

神奈川県立博物館
研究報告
自然科学28号

神奈川県立 生命の星・地球博物館

平成11年2月

目 次

総説

小出良幸: 冥王代の地質学的素描	1
------------------------	---

論説

小出良幸・平田大二・山下浩之・新井田秀一・田口公則: 地球科学の新しい教育法試案 —博物館における地球科学教育の刷新へのケーススタディー	29
広谷 彰: 丹沢山地のニホンジカにおける角サイズの変化	57
新井田秀一: リモートセンシングによる土地被覆分類—2万5千分の1箱根における検証—	63
今永 勇: 伊豆衝突帯における足柄層群の層序と構造	73

短報

中村一恵: 宮ヶ瀬遺跡から出土したニホンオオカミの下顎骨標本について	107
--	-----

資料

小出良幸・平田大二・山下浩之・新井田秀一・佐藤武宏・田口公則: インターネットのリンクデータベース —自然史博物館、理科教育、地球環境、障害者、地球科学に関するリンク集—	109
奥野花代子: 全国の盲学校の博物館利用に関するアンケート調査	127
神奈川県立博物館研究報告投稿規定	137

CONTENTS

Review

Yoshiyuki KOIDE, Geological Sketch of Hadean Era	1
--	---

Original article

Yoshiyuki KOIDE, Daiji HIRATA, Hiroyuki YAMASHITA, Shuichi NIIDA, & Kiminori TAGUCHI, A Tentative Plan of New Education Method on Earth Science - A Case Study of Renovating Literacy of Earth Science on Museum -	29
Akira HIROTANI, Changes in Antler Size of Sika Deer in the Tanzawa Mountains over the Past Years	57
Shuichi NIIDA, Land Cover Map by Remote Sensing: In the case of Hakone area	63
Isamu IMANAGA, Stratigraphy and Tectonics of the Ashigara Group in the Izu collision Zone, Central Japan	73

Short article

Kazue NAKAMURA, A Note on the Mandible of the Japanese Wolf, <i>Canis lupus hodophilax</i> Temminck, Excavated from Miyagase Remains, Kanagawa Prefecture	107
--	-----

Note

Yoshiyuki KOIDE, Daiji HIRATA, Hiroyuki YAMASHITA, Shuichi NIIDA, Takehiko SATO & Kiminori TAGUCHI, Link Database in the Internet - Links Related to the Museum of Natural History, Handicap, Science Education, Earth's Environment and Earth Science	109
Kayoko OKUNO, A Questionnaire Survey for Visually Handicapped Students on Museum Visiting	127

Instructions to authors	137
-------------------------------	-----

総 説

冥王代の地質学的素描

Geological Sketch of Hadean Era

小出 良幸

神奈川県立生命の星・地球博物館

Yoshiyuki KOIDE

Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, 499 Iryuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan

Abstract. The Earth was formed at about 4.56 Ga (Ga indicates an abbreviation of billion years ago). We can get many geological evidences after 3.8 Ga. There is, therefore, no evidence from 4.56 Ga to 3.8 Ga. The period is called Hadean era. The definition of Hadean is a period of no geological evidence. In this paper, I describe geologically the Hadean era from inductive and deductive approaches. The inductive approach is the estimation from inside and outside of the Earth. The deductive approach is the estimation from laws, rules, tendency and systematics by simulation of computer and high temperature and pressure experiments of rocks and magmas.

Key words: Hadean, Geology, Earth's history

I はじめに

我々の認識できる世界は、広がりつつある。そして、今や我々は宇宙全体の広さや宇宙が静的ではなく、現在膨張中であることを知っている。地球内部についても、おぼろげながらその構造や構成成分、物理状態についての知見をもつにいたった。

直接触れることのできる世界を、我々の世界と呼ぶとすると、我々の世界は、地表付近に限られる。大航海時代に人類は地球が丸いことを知った。真っ直ぐ進めばやがて同じ場所にたどり着くという行為によって実証された。今や、まったく別の手法であるアポロやミール、スペースシャトルなどの宇宙船から見ることによって、地球が丸いと再確認された。技術の進歩により、宇宙からの画像や映像を目にすることができ、多くの人が地球が丸いことを知った。

こんなに技術が進んだ時代になっても、人類が直接手で触れられる世界はそんなに広がってない。1969～70年代にかけて、アポロ計画によって12人が月に降り立ったにすぎない。

基本的に人類は、地球表層の環境から逃れることができない。地球外に人類がでるときは、ミニ地球と呼ぶべき宇宙船や宇宙服に包まれていなければならない。海中でも同じである。人類の祖先である生命は海で生まれ、進化し、やがて陸上生活をするようになった。故郷である海には、陸地の環境を持ち込まないと戻ることができない。

人類の認識の世界は広がる一方であるが、肉体的な限界があるため、地表からあまり離れることができない。今のところ技術を進歩させることによって、人類は肉体的ハンディキャップを補っている。

我々が直接調査することのできるのは、地表付近の物質や現象に限られるが、間接的ならば、地球内部や地球外をも調べることができる。間接的情報は、地表から距離を隔てるにつれて、精度が悪くなる。しかし、精度は技術の進歩によって上げることができる。議論に必要な精度があるかどうか、問題になるだけである。

本稿では、我々が認識しうる我々の世界の始まりを記述する。各種のアプローチの方法を試み、現在の情報から描ける地質学に裏づけされた冥王代を概観する。

本研究は、文部省科学研究費、文部省南関東科学系博物館ネットワーク推進事業、日本科学協会の援助を受けている。

II 冥王代とは

まず最初に、地球最初の時代である冥王代の位置付けと、その定義をする。

1 現在の世界

現在の太陽系あるいは地球の歴史は45億年、宇宙の歴史は100億あるいは150億年という時間を経ている。もし、時間が過ぎ去り、一度しか起きない事象の積み重ね

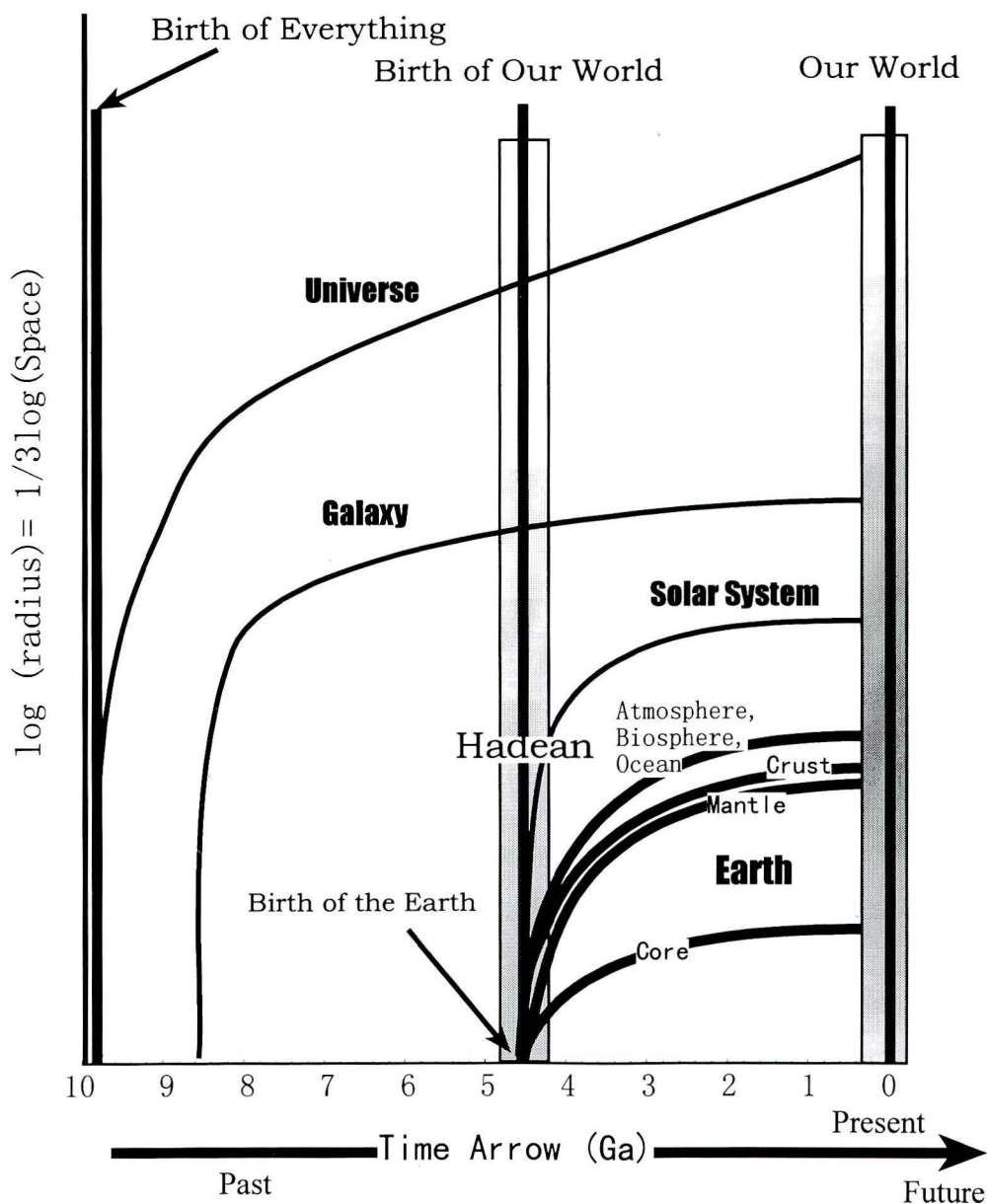


図 1. 現在の世界.

現在の世界を構成する要素を、時間と半径あるいは体積という次元で見た成長曲線として示した。現在の我々の世界は、冥王代に誕生し、さまざまな原因による結果の積分値として存在していることを示している。詳細は本文参照。

のうえに成り立っているとすれば、現在の世界は、「過去のすべての原因による結果である」という因果律に支配されていることになる（図 1）。従って現在の世界を理解するには過去を知る必要がある。逆に因果の積分値である現在の世界を知ることによって、原因をつくった過去を知ることが可能となる。

地球は、ある時、形成された。地球は小さい材料から今の大きさに成長してきたのである。太陽系もある材料から成長し、今の姿になった。それは超新星爆発によって作られた物質を材料としていと考えられている。太陽系が属する銀河も、ある時期に形成されたはずであるが、そのプロセスや時期は定かでない。宇宙は現在、物理的に広がっている。

過去には、ビックバンと呼ばれる宇宙の始まりがあったとされている。その証拠もそろっている。つまり我々の住む世界は、始まりがあり、成長し現在の姿になったということである。

冥王代こそ、我々の世界の始まりである。

2 冥王代の定義

地球の時代区分は、化石の変遷や地質現象の変化を用いて決められている。模式地となった地層がその時代を代表し、上下の地層との境界が、時代の境界となる。違う地域の地層に対しては、化石や火山灰の積み重なりや同時間を示す証拠があれば、同時代の地層と確認される。地球の地史は、新しいものから顕生代（Phanerozoic, 0～5.7 億年前）、隠生代（Cryptozoic, 5.7～45.6 億年前）に区分される。顕生代とは、生物が化石として多量に発見される時代につけられた名称である。顕生代内の区分は、他の惑星とは違って、生物による区分がおこなわれている。新生代（0～6500 万年前）、中生代（6500 万～2.45 億年前）、古生代（2.45～5.7 億年前）である。隠生代は、原生代（5.7～24.5 億年前）、太古代（24.5～38 億年前）、冥王代（38～45.6 億年前）に区分される（Harland et al., 1990）。図 2 に全地質時代の時代区分と、冥王代の時代区分を示した。

Hadean という名称は、太古代（Archean）に先行する時代として Cloud（1976）によって提唱された。Hadean

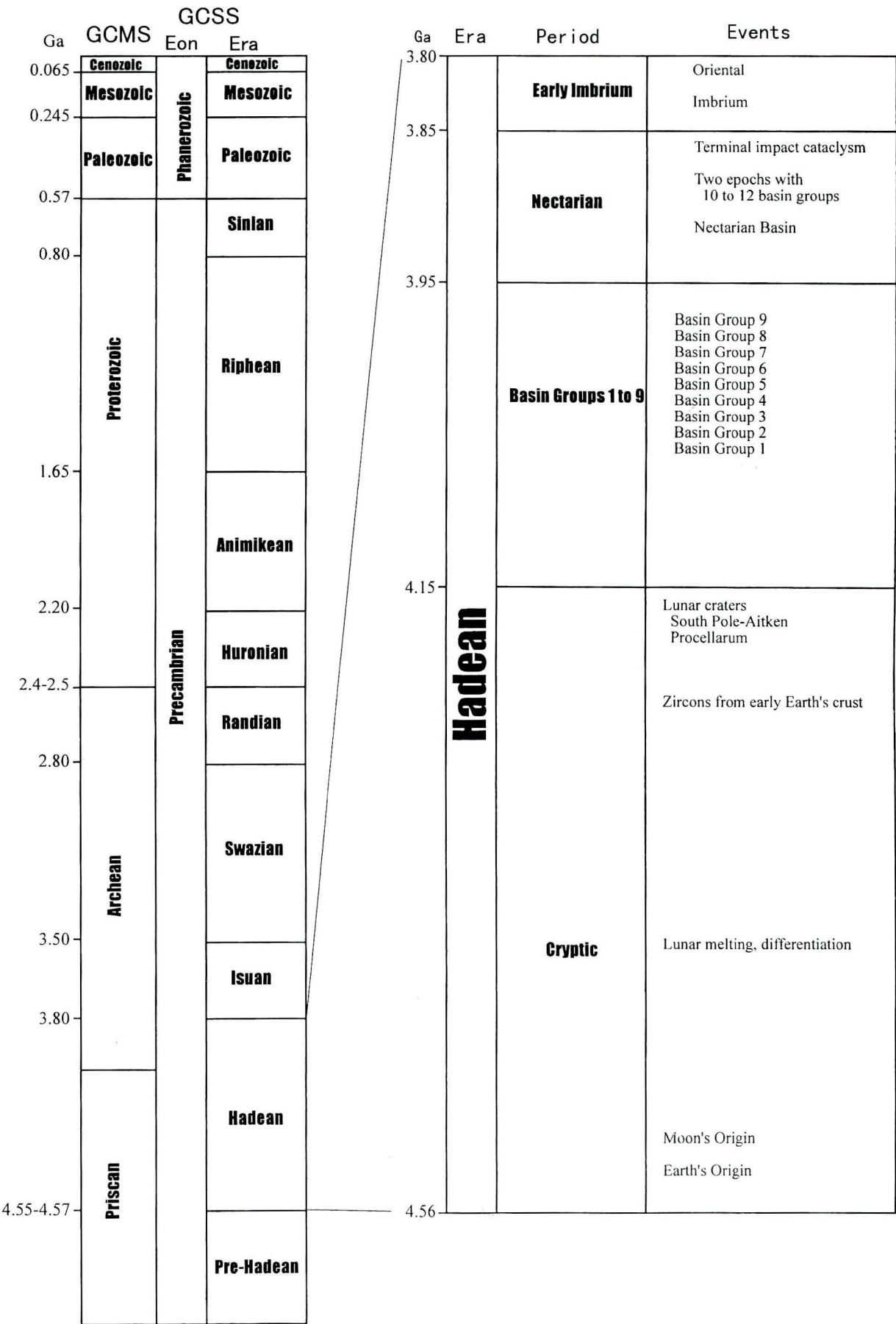


図 2. 時代区分と冥王代の細分。
時代区分とその期間を線形スケールで表示した。データはHarland et al. (1990) による。GCMSはGlobal chronometric scaleの略で、GCSSはGlobal chronostratic scale略である。

は日本語では冥王代と訳されている。冥王代の始まりは、地球形成の時期である。地球形成時の様子は、現在地球には残されていない。冥王代の終わりは太古代の始まりである。太古代の最初の時代は、イスアン (Isuan) 紀と呼ばれる。グリーンランドのIsua地方に分布する地層が、最初の記録である。それ以降の記録は断片的であるが、地球に残されている。

冥王代は、一般的には地球上に記録が残されていない時代である。そのために他の手段によって時代区分がされている。冥王代の時代区分は、月の地質区分が参考にされている (Harland et al., 1990)。

冥王代は、古い方から順に Pre-Nectarian 紀 (45.6 億～39.5 億年前)、Nectarian 紀 (39.5 億～38 億年前)、Imbrian 紀 (38.5 億～38 億年前) に区分される。

Pre-Nectarian 紀は、月の形成から始まる。月の形成は地球の形成と同時期だと考えられている。しかし、giant impact 説によって、原始地球の形成後、微惑星の衝突によって月が形成されたというモデルがある。とすれば、地球の形成は月の形成より前ということになる。従って Pre-Nectarian 紀の始まり、すなわち冥王代の始まりは、地球の形成である。冥王代の始まりは、月を調べても分からないことになる。

Pre-Nectarian 紀の記録は、激しい衝突によってほとんど消されている。微惑星の衝突は、時代とともに減少していくが、太陽系初期ほど多い。衝突があると角礫化や衝突溶融が起こる。そのため、もともとあった岩石の履歴が消されていく。

月の深成岩の破片から得られた放射性年代は45.4億～41.7億年前で、火山岩は39.8億年前より若い値が得られている。

Wilhelms (1987) や Harland et al. (1990) は Pre-Nectarian 紀を古い方から、Cryptic Division (45.6 億～41.5 億年前)、Basin Group 1 (41.5 億年～41 億年前)、Basin Group 2 - 9 (41 億～39.5 億年前) に分けた。

Cryptic Division は、月が形成された後、分化 (differentiation)、深成作用 (plutonism)、火山作用 (volcanism)、衝突混合 (impact mixing)、衝突溶融 (impact melting) が激しく起こった時代である。

Basin Group 1 は、2つの大きな衝突盆地に特徴づけられる。41.5 億年前に形成された Procellarum と 41 億年前の South Pole-Aitken である。

Basin Group 2 ～ 9 は、28 個の衝突盆地と 30km 以上の直径を持つ 3400 個のクレーターの分布と重なり方によって 8 個の Basin Group に分けられている。年代は、41 億～39.5 億年前と推定されている。

Nectarian 紀は、約 39.2 億年前の Nectaris 衝突盆地の形成から始まる。約 7000 万年間続く。10 から 12 個の盆地から形成される。各 Basin Group には 121 個のクレーターからなり、形成時期は二つの時代に分けられる。この時期に、Serenitatis と次の Crisium 衝突盆地がほぼ同時期に形成される。38.5 億年前は "Terminal Impact Cataclysm" という非常に激しい衝突の時代と考えられている。

Imbrian 紀は、月で三番目に大きい Mare Imbrium をもとにしている。Imbrium 衝突盆地は 38.5 億年前に形成され

た。38 億年前に形成された Orientale 盆地が Imbrian 紀の終わりで同時に冥王代の終わりである。

Imbrium と Orientale の衝突クレーターの形成に飛び出した放出物は、クレーターの縁から少なくとも 1,000km に達しそれぞれに放出物を出す二次的なクレーターも形成されている。KREEP に富む、玄武岩の年代から、角礫岩の年代は 38.5 億年前と考えられる。

III アプローチの方法

冥王代とは、地質学的証拠のない時代であるから、どうしても推定する必要がある。地質学は地球の時間変化を記述する学問である、と定義しよう。ならば、冥王代を総合的に記述する学問は、地質学をおいてほかにない。つまり、自己矛盾を含んだ文章であるが、地質学的証拠のない冥王代を総合的に記述できるのは地質学である。

冥王代への地質学的アプローチは、二通りの方法がある (図 3)。一つは帰納的アプローチでもう一つは演繹的アプローチである。

帰納的アプローチは冥王代の時間的前と後の証拠から、ある傾向を見出し、証拠のない時代へと推測していくものである。

帰納的アプローチは、時間経過を因果と見立てる。冥王代を結果とみなすか、原因とみなすかによって、二つの方向性がある。冥王代を結果とみなす方向性は、原因をなしていた時期、あるいは地球誕生の準備をしている時期の情報から冥王代を推定する方法である。つまり、原因から結果を予測するものである。逆に、結果から原因を推定する方法は、冥王代以後の地質時代のデータから冥王代を推定する方法である。冥王代以降の太古代や原生代などの岩石や地質情報から冥王代を推定することである。

一方、演繹的アプローチは、地質学的普遍則を冥王代に適用するものである。岩石成因論や惑星形成モデルなどの一般化された規則性や法則は、時間や場所を選ばず、普遍的なものである。このような規則や法則から冥王代を演繹的に推定するものである。

すべての推定法は独立な手法である。もし、それぞれの推定法での結論が一致すれば、かなりの精度を持って冥王代の姿が再現できたことになる。しかしながら、今のところこのような推定は断片的で、十分な結論を導き出すに至っていない。

IV 帰納的アプローチ 1: 地球内からの推定

帰納的アプローチのうち、地球内部から得られる証拠をもとに、より古い時代の冥王代をさぐる。冥王代を原因として、導き出された結果を集めて検討する。ここでは、最古の鉱物、最古の岩石、最古の堆積岩、太古代の岩石、全地球史からの外挿について検討する。

1 最古の鉱物

最古の証拠とは、古い物質の発見である。地球では、太古代の岩石が一番古い岩石である。

しかし、太古代より古い冥王代の物質が発見されている。それは、ジルコン (Zircon) と呼ばれている鉱物粒

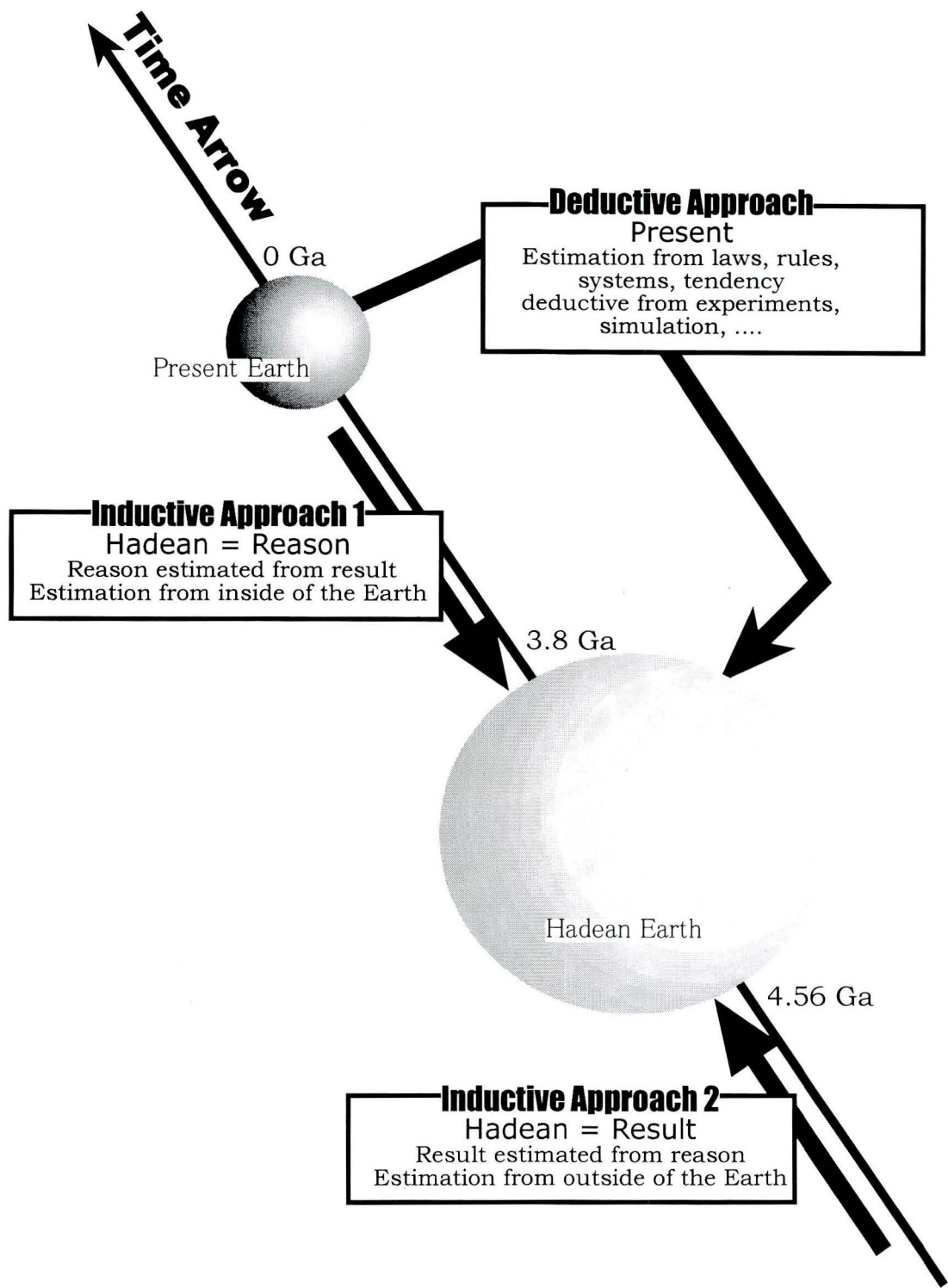


図 3. 冥王代へのアプローチの方法。
冥王代へのアプローチの方法を、帰納的方法の二種と演繹的方法に分けて、その概略を示した。詳細は本文参照。

である。
最古のジルコンを産出したのは、太古代後期の堆積岩である。堆積岩のうち、他の岩石の破片からできているものを碎屑性堆積岩という。碎屑性堆積岩は、堆積岩の形成年代より古い碎屑物からできている。もし、その碎屑物の年代を測定することができれば、冥王代に形成された物質を探すことは可能である。しかし、それは、非常に困難である。一般に碎屑性堆積岩の粒子は小さく、微小物質による年代測定をおこなわなければならない。

そのためには非常に精度のよい測定技術、あるいは高精度の分析機器が必要となる。測定技術は、隕石の微量分析が可能なるものを一部の研究室で達成されている。
高精度分析器機としては、SHRIMPと呼ばれる二次イオン質量分析装置がある。SHRIMPは20 μmほどの微小部分のU-Pb年代測定をおこなうことができる。今のところSHRIMPで年代測定をしているのは、主にジルコン粒子である。ジルコンは、比較的変成作用に強く、結晶作用のときの化学組成を保存し、UやThを含みやすい鉱物

表 1. 冥王代のジルコン年代

Locality	Rock (Sample No.)	Age (Ga)	ϵ Nd	ϵ Sr	References
Acasta	zircon, tonalitic gneiss (BGXM)	3.967	-1.68		1
			0.65		
Mt. Narryer	zircon, leucocratic granitic gneiss (SP-405)	3.967	0.88		1, 2
	zircon, quartzite (71932)	4.19	-7.14	7540	3, 5
Jack Hills	detrital zircon, quartz pebble conglomerate (MT25F)	4.276	-7	-1085	4, 5
		4.276	-6.35	-1033	4, 5
	detrital zircon, quartz pebble conglomerate (MT14)	4.276	-7.37	-844	4, 5
	detrital zircon, quartz pebble conglomerate (MT17C)		-6.56	-1046	4, 5
			-5.93		
Qianxi	detrital zircon, fuchsitic quartzite	3.851			6
Anshan	zircon, sheared gneiss	3.804			6
Amitsoq	zircon, tonalitic gneiss	3.822			7
Isua	zircon, boulder	3.824			8

ϵ 値はzirconを含む岩石で、小出(1992)の再計算した値を用いた。Referencesで一番古い年代を示した。References. 1: Bowring et al. (1989a), 2: Bowring et al. (1990), 3: Compston & Pidgeon (1986), 4: Froude et al. (1983), 5: Mass & McCulloch (1991), 6: Lui et al. (1992), 7: Kinny (1986), 8: Michard-Vitrac et al. (1977).

であるために、U-Th-Pb の年代測定法が適用できる。

表 1 にジルコン年代で、冥王代の年代が出たものを示してある。冥王代の年代を示す岩石がいくつも見つかってきている。地質学的証拠のない時代を冥王代とすると、太古代と冥王代の境界（H-A 境界）は 42.76 億年前まで溯ることになる。GCSS の定義では、Cryptic 紀まで太古代に含まれることになる。これは、年代をいくらでも溯らせるのか、それともある模式の地層における H-A 境界を固定して、年代もそこで変化させないかである。これは定義の問題である。

第四紀を Lyell は人類の時代したが、古い人類化石が次々と発見されると、第三紀と第四紀の境界が変動することになる。そのため 1985 年以降、南イタリアの Vrica を模式地と決め、第三紀と第四紀の境界とされている。このような変更は、共通に認識され、周知されていればよい。H-A 境界もそうなのであろう。

地球最古の鉱物の年代は、SHRIMP でポイント分析された年代である。西オーストラリアの Yilgarn 地塊の西縁部に分布する Narryer Gneiss Complex の Mt. Narryer のクォーツアイト中から 41.9 億年前の碎屑性のジルコンが発見された (Froude et al., 1983)。同じく Narryer Gneiss Complex の Jack Hills の礫岩中の碎屑性ジルコンが 42.76 億年前のものであることが判明した (Compston and Pidgeon, 1986)。

このような年代をチェックするために、従来の質量分析による方法で、Mt. Narryer の同じ岩石（試料番号 71932）中のジルコンについて追試がおこなわれた。従来の化学分析と質量分析計による年代は 36.0 ~ 37.5 億年前 (Scharer and Allegre, 1985) で、ジルコン粒を直接質量分析計で分析する方法で最古の年代 40.7 ~ 41.7 億年前 (Kober et al., 1989) が得られた。同一試料でこのように

データがばらつくのは、試料中に含まれるジルコンの起源がいくつかの時代の違う（30 ~ 33、36 ~ 38、39 ~ 43 億年前）後背地から由来したもので、そのうち最古のジルコンは稀な存在（2.5 ~ 12% の確率）で、たまたま Scharer らの試料には含まれていなかったらしい (Mass and McCulloch, 1991)。

碎屑性ジルコン粒子の年代測定は各地の試料でおこなわれている。しかし、岩石の年代のより古いものが見つかっているところはそれほど多くない。

ジルコン粒子の存在が、地球史で持っている重要性は単に古さだけでなく、その頃に地表に固体が形成され、後世の堆積岩に入り込むほどに存在したということである。マグマ・オーシャンの存在中は、地球表面が固まったとしても、地殻として残存しない。マグマ・オーシャンが縮小もしくは、地下にだけ残るかしている状態でないと地殻として存続しない。従って 42 億年前に、後世に残る地殻が形成されていたことを最古の碎屑性ジルコンは物語っているのである。

2 最古の岩石

最古の岩石とは、文字通りその岩石が形成された時代の一番古いものである。

カナダ北部 Slave Province、Acasta 地方のトータル岩質 ~ 花崗岩質の片麻岩が 39.67 億年前に固結したことが明らかになった (Bowring et al., 1989a; b)。

現在、最古の岩石は 39.67 億年前のものである。しかし、年代は決定されていないが、著者の調査から、トータル岩質片麻岩に貫入された角閃岩が発見されている (図 4)。角閃岩は斑れい岩を原岩としている変成岩である。変成作用が激しく年代決定ができそうにないが、地質関係の上では、39.67 億年前より古いことは明らかである。

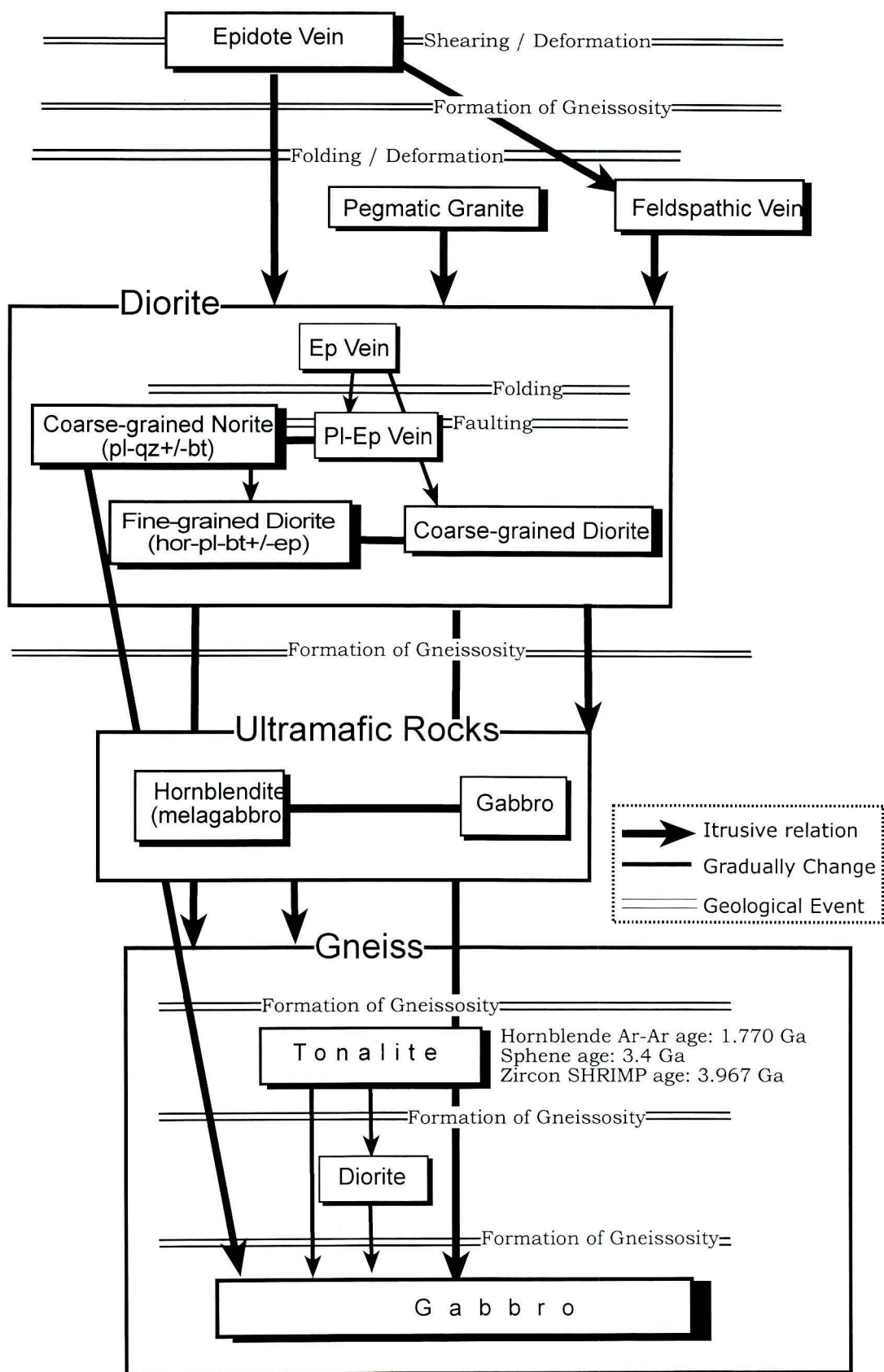


図 4. アカスタ地域の火成岩の貫入関係.

地球最古の火成岩の産地である Acasta, Northwest Territory, Canada での調査によって読み取った最古の岩石群の地質学的関係を示した。最古の岩石は年代決定されていないが、角閃岩相の変成作用を受けた斑れい岩であることがわかる。

アカスタ地域以外でも冥王代の岩石が発見されるかもしれない。その年代は、地球誕生までさかのぼるかというところではなさそうである。月の形成史を見ていくと、古い岩石は天体形成直後の微惑星衝突によって破壊されている。月の高地では、38.5～40億年前の年代の角礫岩が多い。一番古い岩石は、troctolite で45.1億年前である。土壌では、約46億年前のものがみつっている（小出・山下, 1996b）。また、月では、マグマ・オーシャンが形成され、古い時代の記録が消されている。

地球でも、微惑星の爆撃や、マグマ・オーシャンが形成されたと考えられる。従って、冥王代の初期の記録は、月と同様消されていると考えられる。従って、現状の情報から、地球上でさかのぼれるのは、ジルコンの鉱物の年代である、42億年前くらいまでであろう。

3 最古の堆積岩

従来グリーンランドの約38億年前の岩石が地球最古の岩石だとされていたのだが、Acastaのトーナル岩の発見によって最古の岩石という地位はカナダに移ってしまった。しかし西グリーンランドの岩石の地球科学的重要性は変わっていない。カナダの岩石は火成岩であるのに対し、グリーンランドは堆積岩を伴う岩石群である。両者は、時代が違うこともさることながら、地質的構成が全く異なっており、冥王代の重要な情報を提供する。

Isuaは、西グリーンランドの南にあり、地球で一番古い地層が分布する（McGregor, 1973）。

Isuaの堆積岩は、石英岩（quartzite）、シルト岩（siltstone）、泥質岩（pelite）、石灰質炭酸塩岩（calcareous and carbonate rocks）と鉄鉱（ironstone）からなる。鉄鉱は磁鉄鉱（magnetite）と石英（quartz）からなり初期の層状鉄鉱層（banded iron formation: BIF）である。Isua地域には同時代の火山岩が分布する。火山岩は塩基性から超塩基性の溶岩や火山角礫岩である。

BIFのPb-Pb全岩年代として、 37.60 ± 0.70 億年前が得られているが、花崗岩の貫入時の変成年代を示すと考えられている。Amitsoqにおける変成作用の年代は約37.50億年前である。

Isua地域の岩石での炭素同位体の研究から、海洋のバイオマスがすでにかんりの量の有機炭素をつくり出していたと考えられている（Schidlowski, 1988）。有機炭素は、 ^{12}C に富んでいることから、原核生物のシアノバクテリアによって光合成がおこなわれていたと推定される。

Isua以外からも同じ頃か、より古い岩石がみつっている。例えば、南アフリカのLimpopo帯のSand River片麻岩は少なくとも 37.86 ± 0.61 億年前の年代を示す。この片麻岩は堆積岩を原岩としているが、堆積岩の基準（Standard Scale）として西グリーンランドの岩石が完全である（Tankard et al., 1982）。

最古の堆積岩の地球史における重要性は、その生成過程にある。堆積岩は陸地の岩石が雨や風によって、削剥、風化、分解され流水によって運搬され、海底に堆積したものがやがて固まったものである。つまり堆積岩の形成には、地表において、液体、固体、気体の共存が前提となる。地球では液体は水つまり海であり、固体は海面の

上の地殻つまり大陸で、気体は大気である。このようなものがある一定時間存在することによって堆積物が形成される。そして、それより長い時間堆積場が継続すると下位より固い堆積岩ができてくる。堆積岩が形成されても、その次にやはり長い継続によってその堆積岩が地殻に保存され、人類が発見できる場所、つまり陸地の地表に露出しなければならない。

グリーンランドの堆積岩は、このようなすべての条件を満たしているのである。グリーンランドは海洋地殻を伴い、深海堆積物と陸源性堆積物からなる。このような岩石群は最近、付加体として認識されるようになってきた（丸山・磯崎, 1992）。

付加体の存在の意味するところは、プレート・テクトニクスが働いていたことである。

その後、地表には断続的ではあるが、付加体が発見されている。つまり地表には、海が約38億年前から現在まで存在し、プレート・テクトニクスのメカニズムが働いていたことを示唆する。

4 太古代の岩石

大陸の最古の岩石を図5と表2に示した。大陸で古い岩石を産するのはクラトン（後述）と呼ばれる地帯である。クラトンは、大陸の各地に分布する。露出が連続しないが、地下に一連の古い地塊があると推定される場合は、クラトンとして一括される。しかし、その構成は多様である。太古代の地層の分布を見ても、大陸内の大きなクラトン分布の中に散在する。まだ、クラトンの内部の地質単位やその時代が、すべて明らかにされているわけではないが、基本的には大陸は、先カンブリア時代の古い岩石を中心に構成されていることが分かる。そして、その周辺に顕生代の構造帯の岩石類がくっついている。中心に古い地質体、その外側に新しい時代の構造帯が形成されている。グリーンランドのクラトンでは、太古代のIsuan紀まで溯ることができる。

このような現在の大陸内部の地質単位を見ると、大陸は段々成長してきたように見える。つまり地球初期は、陸地が少なく海洋が広く、時代とともに大陸の比率が増えてきたことになる。大陸は常に堆積岩の供給源として、削剥されてきた。大陸は陸地にある限り減少させられ、海で堆積物として保存されている。基本的には、大陸物質や堆積岩は、花崗岩質の組成を持ち、比重の軽いものである。従って、大陸物質は、いったん形成されると、大陸から海へ、そして堆積岩としてリサイクルされる可能性がある。

大陸の成長のモデルがいくつかあるが、地球初期に一気に形成されたというモデルと、時代ごとに増えてきているという二つのモデルに大別される。

時代ごとに大陸地殻が増加してきたというモデルは、マントルから大陸物質が常に供給されることを根拠としている。TTG（後述）として、マグマ起源の大陸物質が火成作用によって常にマントルから大陸地殻に付け加わる。島弧の火成岩類も、マントル起源の物質から島弧地殻となり、造山帯として大陸地殻へと成長する。海洋地殻の一部もオフィオライトや、グリーンストーン（後述）

として大陸地殻に取り込まれている。このような大陸物質の付加作用を考慮して、大陸は時代と伴に増加しているというモデルである。

一方、地球初期に大陸地殻が一気にできたとするモデルの発想は月の形成史から得られる。月では形成初期に大陸物質が大量に生成され、月の「高地」として現在も保存されている。

このような2つのモデルのどちらが正しいかは、まだ決着がついていない。

5 全地球史からの外挿

冥王代の歴史を知るための方法の一つとして、冥王代以降の歴史が包括的に認識できる時に、冥王代の歴史も帰納的に推測することができる。数学に例えていうと、太古代以降の地球の全歴史が、時間を変数とする方程式となったすると、その方程式の時間が0（ゼロ）の場合、あるいは方程式の初期条件が冥王代と見なせる。推定ではあるが、帰納的手法という正式な科学的手順に基づいている。

地球の歴史を、総合的にとらえようという考えは古くからあったが、近年、地球全史を地球外の天体との関連も含めておこなう試みがなされてきた。文部省科学研究費重点領域『全地球史解読』である。

「全地球史解読」では、試料採集の「とる」、分析の「とけい」、解読の「よむ」、解釈の「もでる」という基礎を確立し、40億年前までの主要な地質時代における地球の

日常的環境を知ること、そして、太古代—原生代（A-P）境界とペルム紀—三畳紀（P-T）境界の事件（イベント）の実態と原因を究明することを課題として取り組んだ。この研究では、物証に基づく「とる」、「とけい」、「よむ」、「もでる」という基礎的な技術を国産のオリジナリティを持って確立することを前提としている点で、ユニークである。

「とる」はすべての基礎としての、試料確保を目指して、世界各地の古い地層の採取を行った。採取のターゲットは40億～2億年前の深海底堆積物である。深海底堆積物は、地球と宇宙の歴史を連続的に記録している。2億年前以降の試料は、DSDPやODPですべて確保されている。2億年前以前は、大陸に地層として保存されているものを探査し採取しなければならない。そこには、地球の日常的環境と地球史上の大事件も記録されているはずである。「とけい」では、地層に現れる縞模様を時空間系列データと見なして、そこにタイム・スケールを付けようという試みである。放射性年代測定だけでなく、天体の運動の原因となる日常的現象によって縞模様ができ、それが時計となると考えたのである。「よむ」では、試料の縞模様から、宇宙と地球の環境変動を解読するものである。実物試料の化学分析や格子欠陥の特性から様々な次元で縞模様を読むことになる。「もでる」では、実験できない系を理解するためのモデルを作る。「とる」「よむ」「とけい」で集めた情報を整理解釈する為に、数値モデルを作り、数値シミュレーションをおこなって地球の多圈

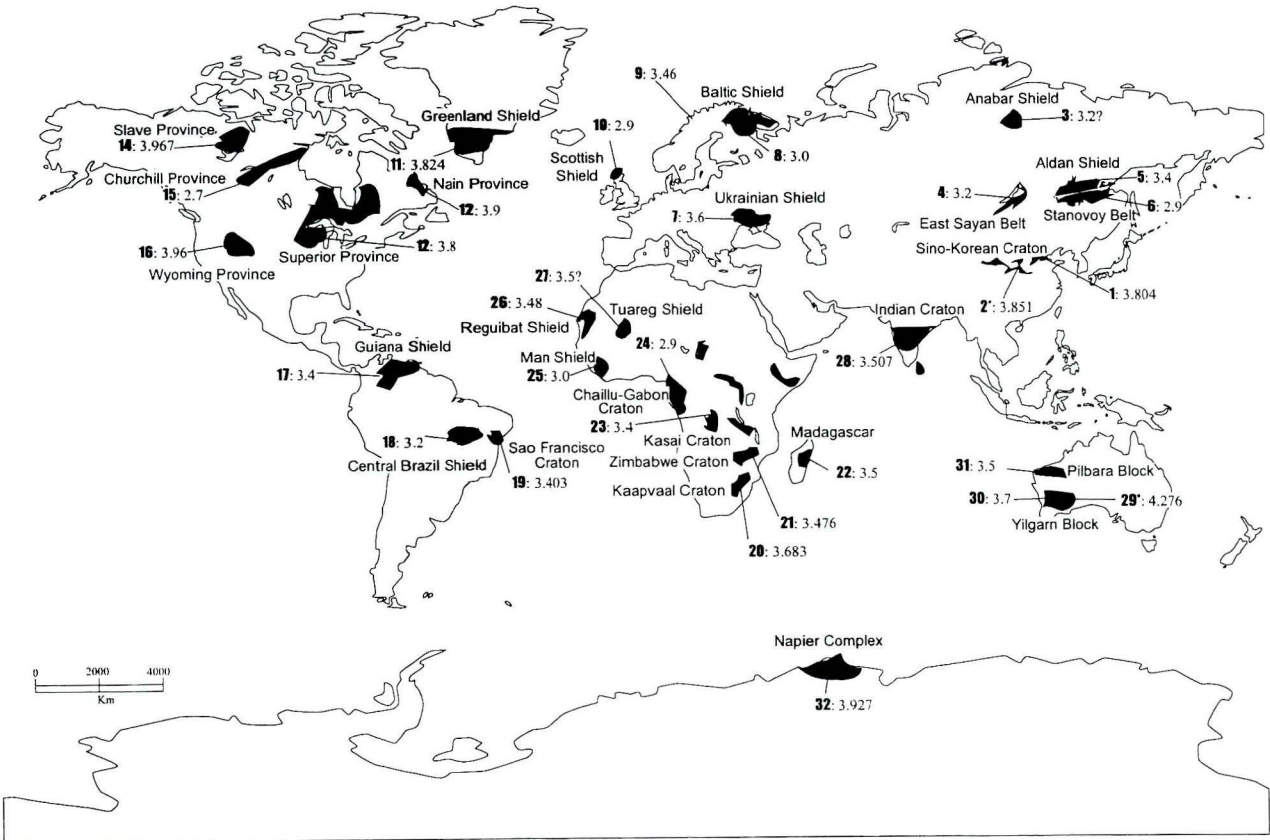


図 5. 最古の岩石の分布。

冥王代と太古代のクラトンで、現在得られている最古の年代を示した。年代の前の数字は、表 2 の No に対応する。詳細は表 2 を参照。

表 2. クラトンにおける最古の岩石

No	Rocks and Locality	age (Ga)	Reference
1	zircon , sheared gneiss, Anshan Complex, Cathaysian Craton	3.804	1
2	detrital zircon SHRIMP age, fuchsitic quartite, Caozhuang, Qianxi Complex, Cathaysian Craton	-3.851	1
3	protolith age, Anabar shield, Siberian Craton	> 3.2?	2
4	Krasnogorsk, East Sayan Fold Belt, Siberian Craton	3.2	3
5	zircon, Aldan shield, Siberian Craton	3.4 - 3.2	4
6	gneiss and greenstone, Stanovoy Belt, Siberian Craton	2.9	5
7	Yamburg migmatites, Ukrainian sheild, East European Craton	3.6 - 3.5	6
8	greenstone, Karelian Province, Baltic Shield,East European Craton	3.0 - 2.7	7
9	Vikan gneiss, Lofoten Islands N.Norway, East European Craton	3.46	8
10	Scourian gneisses, Scotland, Scottish Fragment	2.9	9
11	zircon, Isua boulder, West Greenland, Greenland Shield	3.824	10
12	Uivak protolith, Nain province, North American Craton	3.9	11
13	gneiss protolith, Minnesota River Valley, North American Craton	3.8 - 3.5	12
14	zircon SHRIMP age, Acasta gneiss, Slave Province, North American Craton	3.967	13
15	Kaminak felsic vocanic rocks, Churchill Province, North American Craton	- 2.7	14
16	protolith, Wind River Mountains, Wyoming, North American Craton	3.96 - 3.4	15
17	Imataca complex (gneiss, granulite), Guiana shield, South American Craton	> 3.4	16
18	Goias massif, Rio Porto gneiss-migmatite, Central Brazil Shield , South American Craton	3.2	17
19	zircon, granitoid, Boa Vista basement gniess, Sao Francisco Craton, South American Craton	3.403	18
20	tonilitic orthogneiss, Ancient gneiss complex, Kaapvaal craton, African Craton	3.683	19
21	Tokwe-Shabani gneiss, Sebakwain group, Zimbabwe Craton, African Craton	3.476	20
22	Antogil gneiss, Madagascar, African Craton	3.5 - 3.4	20
23	Luanyi gneiss, Kasai craton, African Craton	3.5 - 3.4	20
24	Gabon massif, Gabon craton, African Craton	3.0 - 2.6	20
25	Leonean orogeny, Man shield, African Craton	- 3.0	21
26	granulite, Reguibat shield, African Craton	3.48	22
27	Red 'Series', Central Hoggar (Pharasian chain), African Craton	- 3.5 ?	20
28	zircon, quartzofeldspathic gneiss, Bhandara craton, Indian Craton	3.509	23
29	detrital zircon SHRIMP age, metaquartzite, Mt. Narryer, Yilgarn, Australian Craton	3.8 - 3.3	24
30	Narryer gneiss complex, Mt. Narryer, Yilgarn, Australian Craton	3.7 - 3.35	25
31	Warrawoona group, Pilbara, Australian Craton	3.5 - 3.3	20
32	Mount Soues orthogneiss, Napier, Enderby land, Antarctic Craton	3.927	26

References. 1:Liu et al. (1992), 2: Bibikova et al. (1987), 3: Bibikova et al. (1984), 4: Bibikova et al. (1986), 5: Nutman et al. (1992), 6: Semenenko (1972), 7: Gaal & Gorbatshev (1987), 8: Taylor (1975), 9: Park & Taney (1987), 10: Michard-Vitrac et al. (1977), 11: Nutman et al. (1989), 12: McCulloch & Wasserburg (1980), 13: Bowring et al. (1989a), 14: Cavell et al. (1992), 15: Mueller et al., (1992), 16: Hurley et al. (1976), 17: Danni et al. (1982), 18: Cordani et al. (1985), 19: Kroner & Tegtmeier (1994), 20: Goodwin (1996), 21: Macfarlane et al. (1981), 22: Latouche (1978), 23: Sarkar et al. (1993), 24: Scharer & Allegre (1985), 25: Nemchin et al. (1994), 26: Black et al. (1986).

（気圏、水圏、生物圏、地圏）の相互作用を明らかにしようというものである。

「全地球史解説」の成果は多分野の研究者が全く新しい視点で、全く新しい手法を開発し、全く新しい方向性を目指した点で成果を上げたと考えられる。そして、全地球史という壮大なるテーマにも、充分日本の研究は対応可能であることが明らかになった。「全地球史解説」では、地球史7大事件としてE1 からE7を上げている。

46億年前に成層した地球の形成があった（E1）。40億年前以降に形成された岩石が保存されるようになった（E2）。27億年前に激しい火成活動があり地球磁場強度が急増した（E3）。19億年前に超大陸が形成された（E4）。6億年前に巨大太平洋ブルームの出現と多様な生物が発生・進化した（E5）。2.5億年前に、約1000万年間海洋が酸素欠乏状態となり、生物の大絶滅が起こった（E6）。現在、人類が自分や地球、宇宙の歴史やその摂理を科学によって探し始めた（E7）。

このような事件の詳細はまた充分に解明されていない。地球の歴史で一度しか起こらなかった現象を、科学的に普遍化された方法論で追求可能であることを「全地球史

解説」は示したのである。一度しかない歴史とは、古い時代固有の物質や現象として、大地に記録されている。このような証拠から事件や過去の日常性を読み取ることが可能である。

大陸地域は変動帯（Mobile belts）あるいは造山帯（Orogenic belts）に対して、変動が少ない安定した地域という意味で、クラトン（剛塊、Craton）と呼ばれる。変動帯は新しい時代に形成されたものであるのに対し、クラトンは先カンブリア時代の古い時代に形成されて安定化した地域である。クラトンは、楕状地（Shield）や卓状地（Platform）と呼ばれる地域である。楕状地は、楕を伏せたように中央部が高く、周辺部に向ってゆるやかに低くなる地域である。卓状地は、楕状地と同義である。

クラトン中には、グリーンストーン帯（Greenstone belt）、コマチアイト（Komatiite）、TTG（Trondjemite-Tonalite-Granodioriteの略）などの先カンブリア時代固有の岩石類が含まれる。

グリーンストーン帯は苦鉄質～超苦鉄質の火山岩類と堆積岩類を伴う岩石群である。このような地球表層で、形成された岩石類を、表成岩（Supracrustal）と呼ぶこと

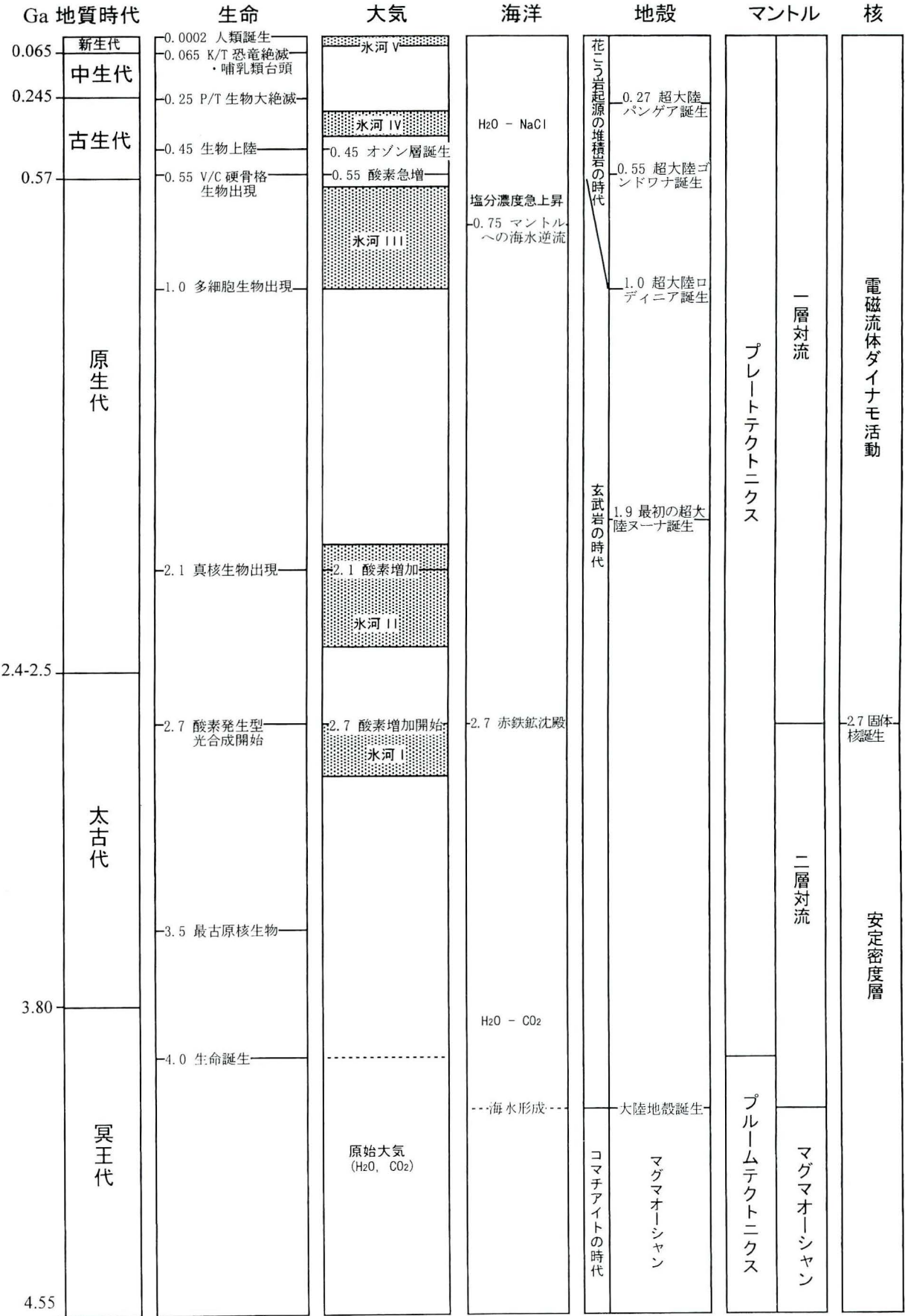


図 6. 全地球史。
地球史上で起こった各種の事件を、地球の構成要素ごとにまとめた。データは全地球史解読計画の成果や丸山・磯崎 (1998)、丸山 (1998) などによる。

がある。火山岩類は、変成作用を受けて緑色を呈するので、グリーンストーン帯と呼ばれる。火山岩類には、しばしば枕状構造が見られたり、上位に安山岩や流紋岩などの火山岩やその火山砕屑岩類があり、チャート、縞状鉄鉱層、泥岩、石灰岩などが重なり、最上位にタービダイトを伴うことがある。グリーンストーン帯の中央部には、ドーム状の花崗岩あるいは花崗片麻岩があり、火山岩および堆積岩類は、複背斜構造をなすことが多い。グリーンストーン帯の成因として、リフト説、島弧―縁海説、沈み込み帯説などがある(加納, 1995)が、「全地球史解説」の成果として沈み込み帯説が有力である。

グリーンストーン帯の下部には、コマチアイトと呼ばれる特にMgOの含有量の多い超苦鉄質火山岩を伴う。太古代から原生代初期に産出するコマチアイトは、急冷によって長く延びたカンラン石のスピネル構造を特徴的に持つ。コマチアイト・マグマの形成には1650℃以上の高温部がマントル上部に存在する必要がある。そのため、地球初期の頃のマントルは、温度が現在より高かったことを示している。

TTGは、グリーンストーン帯に貫入している花崗岩類で、直径10km～100kmのドーム状に構造を持つバソリスである。化学的には、Na₂Oに富みK₂Oに乏しい(Na₂O > K₂O)のカルクアルカリ岩質で、Al₂O₃、Sr、軽希土類に富み、Y、重希土類に乏しく、Eu異常はないという特徴を持つ。ザクロ石や角閃石に富む起源物質の部分溶融によって形成されたと考えられている。TTGは角閃岩相～グラニュライト相の変成作用を受けていることが多い。

冥王代をよりリアルにとらえるには、全地球史的視点で、冥王代を見ていく必要がある。しかし、この作業はまだ緒についてばかりで、これから明らかにされていくであろう。図6に現段階で得られている、新しい地球史をまとめた。

V 帰納的アプローチ2：地球外からの推定

帰納的アプローチのうち、地球外から得られるより古い証拠をもとに、より新しい時代の冥王代をさぐるものである。冥王代が結果として形成された原因となるものを集めて検討する。ここでは、隕石と地球相似物質として地球以外の惑星について検討する。

1 材料物質：隕石

隕石は、地球も含めて惑星の材料物質あるいは太陽系の平均的固体物質であると考えられている(小出, 1995a)。そのため、隕石をくわしく調べると、冥王代の以前の様子がわかる(小出, 1995b; 小出・山下, 1995)。ここでは、隕石の分類とその化学的特徴をまとめ、隕石から読み取れる事件をまとめる。

i 隕石の分類

隕石は、珪酸塩鉱物とFe-Ni金属鉱物から構成されている。珪酸塩鉱物を主とする隕石を石質隕石(stony meteorite)、Fe-Ni金属鉱物を主とする鉄隕石(iron meteorite)、珪酸塩鉱物とFe-Ni金属鉱物からなる石鉄隕石(stony-iron meteorite)に区分される(表3)。表4に

は、隕石の平均化学組成をまとめた。

石質隕石はコンドリュール(chondrule)を持つコンドライト(chondrite)と、コンドリュールのないエイコンドライト(achondrite)に分けられる。コンドライトは、化学的特徴から、LLコンドライト(あるいはamphotelite)、Lコンドライト(olivine-hypersthene chondrite)、Hコンドライト(olivine-bronzite chondrite)、Eコンドライト(enstatite chondrite)、Cコンドライト(carbonaceous chondrite)に分類される。エイコンドライトは、鉱物組み合わせや化学組成、組織などによってホワルダイト(howardite)、ユークライト(eucrite)、ダイオジェナイト(diogenite)、オーブライト(aubrite)、ユレイライト(ureilite)に区分される。

鉄隕石は、全岩化学組成のNi、Ga、Ge及びIrの含有量によって15の化学グループに分けられる(Wasson, 1985)。石鉄隕石はFe-Ni金属鉱物のマトリックスに珪酸塩鉱物を含むポリミクト角礫岩である。石鉄隕石は珪酸塩鉱物の組合せによって、メソシデライト(mesosiderite)、パラサイト(pallasite)、ロドラナイト(lodranite)そしてシデロフィア(siderophyre)に分類されている。

ii 隕石の履歴

隕石の詳細な年代測定から、太陽系の形成時の事件が読み取られつつある。以下にその内容を概観する。

presolar grainとは、超新星爆発の元素合成ではなく、別の星からやってきた粒子である。presolar grainは、数ppm程度の量しか含まれていないが、carbonaceous chondriteの細粒で低温でできたmatrixから見つかる。現在、diamond、SiCとgraphiteの3種が見つかっている。同位体比の異常から、これらの粒子が別の星から来たことがわかる。同位体異常は、C、Si、N、希ガスなどで認められる。

diamondは、10 Å程度の非常に小さいサイズだが、量は400～1800ppm程度で多い。XeやNeの希ガスで異常が見つかっている(Anders & Zinner, 1993)。このような異常は、超新星爆発でできたものであると考えられている。

SiCは、7ppmの量で、0.03～10 μm程度の大きさである。稀に15×26 μmの大きいものも見つかっている(Virag et al., 1992)。SiCの30%に、希ガスの同位体異常が見つかった。²¹Neの含有量から、太陽以前の宇宙線を1.3～20億年間浴びたと考えられている(Lewis et al., 1994)。¹²C/¹³Cでも、地球(89)より高い値をもつものや、低い値を持つものなど異常な粒子が見つかっている。このような粒子のうち、¹⁴N/¹⁵Nが低いもの(地球は272)をgrain X、高いものをgrain Yと呼んでいる(Anders & Zinner, 1993)。grain YはSi同位体でも異常を示す。このような異常は、いくつかの星からやってきた粒子が混在している可能性がある。多くのSiCはasymptotic giant branch star(漸近巨星分枝星: AGB星と略す)で形成された。¹²C/¹³Cが低いSiCは、hot bottom burningという過程かJ-type炭素星から来たものと考えられており、grain Xは超新星起源の可能性を示している(甘利, 1993)。

表 3. 隕石の分類と化学的特徴

Type of chondrite		1	2	3	4	5	6
Mode of ol & px		-	>5%	>5%	<5%	-	-
Composition of ol & px		-	-	-	-	uniform	uniform
Mode of Low-Ca px		-	predominantly	predominantly	>20%	<20%	
Low-Ca px		-	monoclinic	monoclinic	monoclinic	monoclinic	orthorhombic
Secondary feldspar		-	absent	absent	<2 μ m	<50 μ m	>50 μ m
Igneous glass		-	primary, isotropic, variable abund	primary, isotropic, variable abund	turbid if present	absent	absent
Ni in metals		-	<20%	>20%	>20%	>20%	>20%
Taenite		-	absent or very minor	present	present	present	present
Kamacite		-	-	present	present	present	present
Ni in sulfide		-	>0.5%	<0.5%	<0.5%	<0.5%	<0.5%
Chondrules		none	very sharp	very sharp	well-defined	readily delineated	poorly defined
Matrix		all fine-grained, opaque	much opaque	opaque	transparent microcrystalline	recrystallized	recrystallized
C Content		~ 3.5%	1.5-2.8%	0.1-1.1%	<0.2%	<0.2%	<0.2%
H ₂ O Content		~ 6%	3-11%	<2%	<2%	<2%	<2%

Type	matrix	olivine	pyroxene	Mg/Si	Ca/Si	Fe/Si	Fe ratio	mineralss
CI	> 95	serp		1.05	0.064	0.86	0	mt, dl, pyrr, sulf
CM	85 - 55	serp		1.05	0.068	0.80	0	toch, calc, arag, mt, eps, pent, pyr
CO	40 - 30	Fa ₆₀₋₃₀		1.05	0.067	0.77	0-0.2	phyllosilicate
CV	50 - 35	Fa ₆₀₋₄₀	Ca-rich(Fs ₅₀₋₁₀ , Wo ₅₀₋₄₅)	1.07	0.084	0.76	0-0.3	ne, sdpent, tr, mt
C4-5	80 - 50	Fa ₄₀₋₃₀	Ca-rich and Ca-poor					pl(An ₉₀₋₂₀), mt, pent, pyr
H3, L3, LL3	5 - 15	Fa ₃₀₋₂₀	Ca-poor(Fs ₂₀₋₁)	0.77-0.96	0.0035-0.0050	0.52-0.81	0.11-0.83	glass, tr, Fe, Ni, mt

Type	olivine		Ca-poor pyroxene		Ca-rich pyroxene		plagioclase		troilite	kamacite	taenite
	mode	Fa	mode	En:Fs:Wo	mode	En:Fs:Wo	mode	Or:An:Ab	mode	mode	mode
E	-	-	50-60	98.4:0.3:1.3	-	-	5-10	4.0:15.0:81.0	5-10	15-25	-
H	33-37	16-20	23-27	81.6:16.8:1.6	4-5	48.8:6.0:45.2	9-10	5.8:12.3:81.9	5-6	15-17	5.2
L	45-49	23-26	21-25	77.3:20.9:1.8	4-5	47.7:7.6:44.7	9-10	5.6:10.2:84.2	5-6	6-8	10.6
LL	56-60	27-32	14-18	72.6:25.2:2.2	4-5	46.5:9.6:43.9	9-10	3.6:10.5:85.9	5-6	1-2	32.9

Group	Type	Mineral Assemblages	Fe# in ol & px	Al ₂ O ₃ (wt%)	CaO (wt%)
HED	Aubrite	Mg-rich en	<0.1	0.2 - 2	0.6 - 2
	Ureilite	ol, Ca-poor cpx, Fe-Ni, C	>0.3	0 - 1	0.1 - 2
	Howardite	opx, pl	>0.3	4 - 12	4 - 10
	Eucrite	pg, pl	>0.3	11 - 13	10
SNC	Diogenite	Fe-rich hy	>0.3	1 - 3	1 - 3
	Shergottite	cpx, pl, (ol)	>0.3	2 - 6	2 - 11
	Nakhlite	ol, Ca-rich cpx	>0.3	1 - 2	15
	Chassignite	ol	>0.3	0.4	2

Type	Frequency (%)	Kamacite Band (mm)	Ni (wt%)	Ga (ppm)	Ge (ppm)	Ir (ppm)
IA (Octahedrite)	17.1	1.0-3.1	6.4-8.7	55-100	190-520	0.6-5.5
IB (Ataxite, Octahedrite)	1.7	0.01-1.0	8.7-25	11-55	25-190	0.3-2.0
IIA (Hexahedrite)	8.3	>50	5.3-5.7	57-62	170-185	2-60
IIB (Octahedrite)	2.6	5-15	5.7-6.4	46-59	107-183	0.01-0.5
IIC (Octahedrite)	1.5	0.06-0.07	9.3-11.5	37-39	88-114	4-11
IID (Octahedrite)	2.6	0.4-0.9	9.8-11.3	70-83	82-98	3.5-18
IIE (Octahedrite)	2.3	0.1-2	7.5-9.7	21-28	60-75	1-8
Mesosiderite	-	~ 1	6.1-10.1	8.9-16	37-56	2.2-6.2
Pallasite	-	~ 0.9	7.9-12.9	14-27	29-71	0.01-2
IIIA (Octahedrite)	24.9	0.9-1.3	7.1-9.3	17-23	32-47	0.17-19
IIIB (Octahedrite)	7.0	0.6-1.3	8.4-10.5	16-21	27-46	0.01-0.17
IIIC (Octahedrite)	1.5	0.2-0.4	10-13	11-27	8-70	0.07-0.55
IIID (Ataxite, Octahedrite)	1.1	0.01-0.05	16-23	1.5-5.2	1.4-4.0	0.02-0.07
IIIE (Octahedrite)	1.7	1.3-1.6	8.2-9.0	17-19	34-37	0.05-6
IIIF (Octahedrite)	1.1	0.5-1.5	6.8-7.8	6.3-7.2	0.7-1.1	1.3-7.9
IVA (Octahedrite)	8.3	0.25-0.45	7.4-9.4	1.6-2.4	0.09-0.14	0.4-4
IVB (Ataxite)	2.3	0.006-0.03	16-26	0.17-0.27	0.03-0.07	13-38

小出(1997)より引用した。略号。 ol: olivine, px: pyroxene, serp: serpentine, mt: magnetite, dl: dolomite, pyrr: pyrrhotite, sulf: sulfate, toch: tochilinite, calc: calcite, arag: aragonite, eps: epsomite, pent: pentlandite, tr: troilite, ne: nepheline, sd: sodalite, pl: plagioclase, Fa: fayalite, Fs: ferosilite, Wo: wollastonite, En: enstatite, Or: orthoclase, An: anorthosite, Ab: albite, en:enstatite, cpx: clinopyroxene, opx: orthopyroxedne, pg: pigeonite, hy: hypersthene, Fe#: Fe²⁺/(Fe²⁺ + Mg²⁺)比。

表 4. 隕石の平均化学組成

Type	C1	CM2	CR2	CO3	CV3	C4	C6	LL3	LL4	LL5	LL6	LL7	L3	L4	L5	L6	H3
SiO ₂	23.67	29.35	32.05	32.82	32.3	33.08	32.2	39.84	40.32	39.61	39.91	41.78	39.72	40.23	38.96	39.46	36.15
TiO ₂	0.12	0.13	0.1	0.14	0.11	0.21	0.14	0.1	0.12	0.11	0.15	0.12	0.12	0.19	0.09	0.11	0.09
Al ₂ O ₃	1.86	2.56	2.13	3.17	2.83	2.92	2.64	2.54	2.63	2.62	2.44	2.54	2.16	2.42	2.5	2.37	2.24
Fe ₂ O ₃	2.32	3.81	6.34	4.3	9.21	11.27	6.47	2.25	0.05	0.32	1.68	0.25	1.5	0.47	1.2	0.58	5.03
FeO	10.27	19.82	16.64	22.19	20.38	16.97	20.65	17.42	16.33	17.2	18.73	18.15	13.76	14.82	13.47	14.09	15.02
MnO	0.22	0.23	0.22	0.22	0.18	0.21	0.25	0.34	0.29	0.31	0.34	0.35	0.33	0.32	0.31	0.33	0.31
MgO	16.45	20.9	23.25	23.71	23.47	25.19	25.42	25.13	25.5	25.76	25.51	26.44	25.4	25.43	24.63	26.03	23.38
CaO	1.62	1.99	1.85	2.37	2.34	2.4	2.4	1.81	1.96	1.8	1.71	1.99	2.26	1.85	1.76	1.74	1.6
Na ₂ O	1.4	0.37	0.26	0.46	0.34	0.42	0.31	0.9	1.01	0.98	0.87	1.08	0.81	0.98	0.85	0.93	1.07
K ₂ O	0.16	0.04	0.05	0.09	0.03	0.04	0.05	0.1	0.09	0.11	0.11	0.11	0.09	0.1	0.11	0.1	0.07
P ₂ O ₅	0.29	0.3	0.3	0.28	0.32	0.23	0.09	0.26	0.21	0.2	0.25	0.22	0.24	0.22	0.21	0.34	0.26
Cr ₂ O ₃	0.32	0.47	0.46	0.5	0.49	0.5	0.52	0.58	0.5	0.48	0.54	0.57	0.45	0.48	0.46	0.53	0.64
NiO	1.18	1.47	1.77	1.65	-	-	-	1.11	-	0.77	0.52	-	-	-	-	0.5	0.63
Fe	0.11	0.64	13.83	2.83	1.26	-	-	1.84	4.32	2.74	1.65	2.73	5.47	5.46	7.92	7.17	9.23
Ni	0.02	0.77	1.47	1.36	0.9	1.22	1.66	0.99	1.04	0.94	0.97	0.91	1.06	1.13	1.32	1.21	1.54
Co	0.01	0.03	0.05	0.06	0.03	0.05	0.04	0.04	0.05	0.03	0.05	0	0.05	0.05	0.07	0.06	0.08
FeS	17.41	8.91	3	5.72	5.16	4.34	5.28	6.1	5.63	6.66	6.23	3.39	6.52	6.1	6.48	6.42	5.7
C	3.54	2.32	-	0.46	0.29	0.06	-	-	-	-	-	-	-	0.13	-	0.13	-
S	-	0.49	-	-	-	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₂ O+	17.06	9.4	4.15	2.01	3.35	0.53	1.4	1.55	0.4	0.16	0.31	0.17	1.16	0.37	0.19	0.12	1.6
H ₂ O-	3.94	3.01	0.8	1.23	0.7	0.68	0.65	0.44	0.04	0.07	0.24	0	0.26	0.05	0.04	0.07	0.44

Type	H4	H4	H5	H6	E3	EH3	EH4	EL6	(G)	How	Euc	Euc(cum)	Euc(mon)	Euc(pol)	Dio	Dio(A)	Dio(B)
SiO ₂	37.02	36.48	36.92	35.92	32.58	36.31	35.88	36.32	38.98	49.01	48.54	48.52	47.47	48.35	50.34	51.71	51.55
TiO ₂	0.11	0.14	0.12	0.11	0.08	0.08	0.09	0.14	0.08	0.28	0.61	0.24	0.69	0.86	0.14	0.11	0.29
Al ₂ O ₃	2.26	2.25	2.36	2.19	2.14	2.93	1.81	1.86	2.96	7.99	12.56	14.17	11.7	11.54	2.12	0.76	2.23
Fe ₂ O ₃	-	3.21	3.45	3.19	3.1	0	0	-	0.91	2.23	0.69	0.57	0.82	0.96	2.27	3.49	0.85
FeO	10.24	12.14	10.18	10.49	12.05	0.96	2.6	0.14	9.69	15.55	17.87	16.53	19.33	18	14.39	14.33	18.4
MnO	0.31	0.3	0.29	0.3	0.27	0.24	0.3	0.08	0.19	0.52	0.35	0.35	0.52	0.53	0.41	0.48	0.59
MgO	23.51	23.97	24.03	23.55	17.7	19.59	18.98	20.92	27.01	15.6	7.9	7.8	7.67	8.11	26.51	26.17	21.44
CaO	1.79	1.63	1.72	1.59	1.22	1.29	0.99	1.06	2.68	6.29	10.15	10.82	9.75	9.86	2.13	1.11	3.26
Na ₂ O	0.96	0.9	0.94	0.82	0.63	0.83	0.89	0.62	0.84	0.3	0.42	0.35	0.46	0.5	0.19	0.05	0.13
K ₂ O	0.11	0.08	0.09	0.09	0.04	0.07	0.21	0.08	0.07	0.04	0.11	0.05	0.06	0.06	0.06	0.03	0.04
P ₂ O ₅	0.23	0.19	0.27	0.25	0.3	0.46	0.37	0.1	0.46	0.12	0.18	0.14	0.15	0.13	0.12	0.07	0.07
Cr ₂ O ₃	0.54	0.57	0.47	0.47	0.36	0.45	0.41	0.25	0.34	0.67	0.36	0.23	0.33	0.39	0.81	1.79	0.7
NiO	-	-	0.59	0.86	-	-	-	-	-	0.02	-	-	0.01	0.01	-	0.01	-
Fe(-Ni)	15.79	12.5	15.41	14.42	8.04	17.8	21.09	27.57	4.89	1.07	-	-	-	-	-	-	-
Ni	1.52	1.3	1.56	1.6	1.41	1.71	1.62	2.29	0.98	0.04	0.01	0	0.01	0	-	0	0.01
Co	0.09	0.06	0.09	0.07	0.06	0.08	0.07	0.11	0.03	0	-	-	0	0	-	-	0
FeS	5.07	5.02	3.51	5.66	13.26	16.31	12.36	7.65	9.31	0.83	0.37	-	0.44	0.81	1.06	1.19	0.51
C	-	-	-	0.02	-	-	0.43	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.33	0.23	0.41	-	0.08	0.16	-	-
H ₂ O+	1.08	1.25	0.61	0.49	5.4	0.5	3.49	0.1	0.3	0.74	0.48	0.45	0.8	0.64	0.35	0.37	0.58
H ₂ O-	-	0.2	0.26	0.22	1.5	0.5	0.85	-	0.04	0.18	0.04	0.01	0.11	0.1	0.03	0.07	0.01

Type	Aub	Ure	Ang	Pall	Mes	Mes	Lod	Reg	Reg	Reg	Reg	AnBre	AnBre	Lunar	AnBre	AnBre	AnBre
SiO ₂	56.91	39.5	40.62	40.24	49.59	28.14	32.21	44.4	45.7	43.9	44.9	43.14	43.59	45.67	43.05	44.34	43.64
TiO ₂	0	0.08	1.64	0	0.52	0.12	0.05	0.22	0.25	0.34	0.23	0.35	1.52	0.53	0.22	0.24	0.03
Al ₂ O ₃	1.45	0.47	9.4	0.01	9.81	5.24	0.43	28.1	25.6	26.1	28.9	26.01	12.89	16.73	27.78	28.35	29.08
Fe ₂ O ₃	0	2.82	0.63	0.68	0	5.31	5.46	-	-	-	-	0.04	0.28	0.48	1.47	0.37	<0.05
FeO	1.12	13.75	16	10.92	15.35	7.89	4.16	4.7	5.4	6.4	4.3	7.02	21.17	13.57	3.69	4.96	5.03
MnO	0.19	0.38	0.14	0.28	0.57	0.31	0.33	0.065	0.075	0.082	0.065	0.08	0.18	0.09	0.08	0.04	0.03
MgO	35.45	37.71	12.43	48.08	13.84	9.2	27.85	5.3	8.2	6.1	4	6.22	5.75	9.52	5.64	5.26	5.03
CaO	1.34	0.8	18.51	0	6.61	3.73	1.88	16	15	15.4	16.9	15.33	13.25	12.28	16.28	15.76	16.63
Na ₂ O	0.8	0.08	0.04	-	-	0.2	0.15	0.43	0.3	0.33	0.33	0.33	0.4	0.42	0.45	0.44	0.44
K ₂ O	0.1	0.02	0.01	-	-	0.02	0.02	0.15	0.16	0.18	0.2	0.02	0.13	0.08	0.02	0.05	<0.02
P ₂ O ₅	0.07	0.18	0.15	0	0.97	0.27	0.34	-	-	-	-	0.31	0.29	0.08	0.15	0.09	0.06
Cr ₂ O ₃	0.05	0.35	0.21	0.47	-	0.36	0.63	0.109	0.129	0.13	0.09	0.13	0.11	0.15	0.1	0.06	0.09
NiO	0	0.18	-	-	-	-	14.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe(-Ni)	0.22	5	-	-	-	32.02	27.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	0.19	0.15	0.02	-	-	3.18	1.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	0.02	0.01	-	-	-	0.11	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeS	0.87	0.72	1.26	-	-	6.19	1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	0	0.12	0.59	-	-	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₂ O+	1.05	3.61	0	-	-	1	0.7	-	-	-	-	0.1	0	<0.05	0.1	<0.05	<0.05
H ₂ O-	0.13	0.2	0	-	-	0.3	0.07	-	-	-	-	0.48	0.18	<0.1	0.63	<0.1	<0.1

Type	AnBre	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
SiO ₂	45.36	52.84	49.5	50.52	48.5	49	46.5	43.03	48.2	42.51	49.52	46.8	48.6	37.22
TiO ₂	1.66	0.2	0.87	0.84	0.7	1.23	1.87	0.36	0.35	0.6	0.35	0.33	0.33	0.1
Al ₂ O ₃	11.49	1.21	7.59	6.27	5.68	9.93	9.93	2.54	2.38	4.01	1.74	1.55	1.6	0.8
Fe ₂ O ₃	0.6	-	-	0	0.7	0.22	-	0.38	-	0.22	1.14	-	-	-
FeO	21.18	17.24	19.8	18.03	17.9	16.9	19.4	18.97	19.3	20.52	18.62	22.5	21.3	27.07
MnO	0.25	0.47	0.518	0.44	0.52	0.47	0.49	0.45	0.47	0.44	0.67	0.5	0.5	0.48
MgO	6.41	24.71	8.95	12.14	16.6	7.32	6.25	29.69	24.7	25.98	10.92	12.9	12	32.31
CaO	11.99	1.82	9.63	9.57	7.1	11	11.1	2.84	4.41	3.76	15.82	14.1	15.3	0.91
Na ₂ O	0.5	0.14	1.47	0.13	0.84	1.68	1.44	0.37	0.47	0.24	0.82	0.46	0.45	0.15
K ₂ O	0.04	0.015	0.189	0.08	0.05	0.09	0.04	0.03	0.03	0.03	0.43	0.11	0.13	0.05
P ₂ O ₅	0.05	-	0.72	0.46	0.65	1.25	2.04	0.39	0.39	0.51	-	-	0.11	0.08
Cr ₂ O ₃	0.17	1.07	0.2	0.15	0.58	0.14	0.15	1	0.91	0.82	0.21	0.27	0.28	0.83
H ₂ O+	0	-	-	0	<0.1	<0.01	-	0.28	-	0.3	-	-	-	-
H ₂ O-	0	-	-	0	0.09	0.09	-	0	-	0	-	-	-	-

データは、小出ほか (1997b) による。Type の (G) は南極隕石 Y-74063 の特異なタイプ、How は howardite、Euc は eucrite、cum は cumulate、mon は monomict、pol は polymict、Dio は diogenite、Ure は ureilite、Ang は angrite、Pall は pallasite、Mes は mesosiderite、Lod は lodranite、AnBre は月起源の anorthositic breccia、Lunar は月起源の未区分隕石、M は火星起源隕石で 1 は ALH84001

grain Y の起源は今のところ不明である。

graphite は、 $0.8 \sim 7 \mu\text{m}$ 程度の大きさで、2ppm 以下の量しか含まない。 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ は地球の値よりはるかに広い範囲の値 ($3 \sim 7000$) を持つ。 $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ や $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ でも広い範囲の値を持つ。また明瞭な過剰の ^{26}Mg をもつ。このような同位体の特徴は、graphite が、AGB 星や Wolf-Rayet star, novae (新星) の起源の粒子であることを示している (Amari et al., 1993)。

元素合成から隕石の形成までの期間は、I-Xe の同位体組成で推定できる。 ^{129}I が β 崩壊して ^{129}Xe が形成される。その半減期は 1570 万年である。余分の ^{129}Xe が隕石から発見されたことから、元素合成から固体の形成まで非常に短い期間に形成されたことがわかる。形成期間は 1 億年のオーダーである。ある隕石の同位体組成を基準に用いることによって誤差が小さくでき、約 3000 万年間に隕石は固化したことがわかる。どのタイプの隕石もこの範囲内にはいる (Swindle & Podosek, 1988)。I は、低温で固化するため、隕石のマトリックスがその主なりザーバーと考えられる。3000 万年という時間は、元素合成からマトリックス形成までの期間を意味する。

^{26}Al は β 崩壊して ^{26}Mg になる。その半減期は、72 万年である。Allende 隕石中の高温凝縮固体 (CAI) に消滅核種の ^{26}Al からできた ^{26}Mg が発見された (Gray & Compston, 1974)。この発見によって、元素合成から高温で形成された CAI の凝縮まで、数 100 万年程度で形成されたことがわかる。

Allende の CAI の Pb-Pb 年代は、 $45.66 \pm 0.02 / -0.01$ 億年前である (Allegre et al., 1995)。この年代は、複数の研究室から得られた精度の良いデータ (300 ~ 700 万年の誤差) に基づいている。一番古い年代は 45.69 ± 0.26 億年前 (Ireland et al., 1990) で、新しいもので 45.59 ± 0.05 億年 (Chen & Wasserburg, 1981) である。平均値は 45.66 億年前となる (Manhes et al., 1988)。この年代は、原始太陽系星雲の中で CAI が形成された時を示す。

普通コンドライト中のリン酸塩鉱物の年代は、精度の良い (300 ~ 50 万年の誤差) Pb による年代測定で $45.63 \sim 45.04$ 億年前が得られている (Gopel et al., 1994)。最古の年代は 45.63 億年前である。このような年代は、45.63 億年前に H4 コンドライトが形成され、6000 万年間にわたって普通コンドライトが形成され続けたことを示している。落下する隕石の 85 ~ 95 % は普通コンドライトからなる。隕石の量比が微惑星の量比を反映するとすると、普通コンドライト母天体が微惑星の主要メンバーであったことになる。普通コンドライトの形成年代 ($45.63 \sim 45.04$ 億年前頃) は、微惑星の形成時期とみなすことができる。

玄武岩質エイコンドライトの Angra dos Reis の全岩年代は、U-Th-Pb で 45.578 ± 0.004 億年前 (Lugmair & Galer, 1992)、Sm-Nd で 45.6 ± 0.3 億年前 (Jacobsen & Wasserburg, 1984) のほぼ一致する年代を得た。また、角礫化していないユークライト (Ibitira) は、 45.56 ± 0.06 億年前の Pb 年代が得られている (Chen & Wasserburg, 1985)。このような分化した隕石の年代は、母天体でマグマの活動が、コンドライトの形成後 500 万年以内に始

まっていたことを示す。

H、LL、E コンドライトの Rb-Sr 年代は 44.98 ± 0.15 億年前である (Minster et al., 1982)。Rb-Sr 年代で、CAI と普通コンドライトのリン酸塩鉱物の形成年代におけるギャップは、300 ~ 600 万年となる。このような年代は Pb 年代から得られる結果と一致する。

コンドライトの ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代は、 $45.3 \pm 0.3 \sim 43.8 \pm 0.3$ 億年前である (Lipschutz et al., 1989)。Pb 年代と Ar 年代には、約 1 億 5000 万年のギャップがある。Ar の閉鎖温度が低いため、その物質に起こった最後の事件を記録している。Ar 年代は、母天体の冷却の年代、あるいは初期の角礫化と衝突の事件を記録していると考えられる。

2 相似物質：地球以外の惑星

惑星は、現在の標準的なモデルでは、ほぼ同時に形成されたと考えられている。そのため、地球以外の惑星の研究から、地球の起源に関する情報が得られる (小出・山下, 1996a, b; 小出ほか, 1997a)。また、月および地球型惑星の水星、金星、火星は、惑星活動をさまざまな段階で終了したものとみなされる。したがって、地球の歴史あるいは進化に重要な情報をもたらすはずである。以下にその内容をまとめる。表 5 には、惑星表層の実測された化学組成をまとめ、表 6 には予想される惑星の内部構造とその物性を示した。

i 惑星の現状

水星の表層物質は月の高地の斜長岩質レゴリス (regolith) に似ていると考えられている。水星内部は珪酸塩鉱物からなる地殻とマントルがあり、600 km に及ぶ厚い一枚のリソスフェアがあるとされる。水星の化学組成はほとんどわかっていないが、水星の物理量から水星の化学モデルが推定されている。水星は密度が大きい、核の占める割合が多いはずである。磁場を説明するには金属核の存在は不可欠であるが、液体核があるかどうかは不明である。

金星の大気は運動しており、紫外線で見ると明暗のすじが見える。金星大気の主成分は CO_2 、 N_2 、 H_2O である。金星の大気圧は 92 MPa に達する。金星大気の D/H 比が大きいのは、激しい H_2O の分解が起こったことを示唆している。金星大気中の $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比は、放射性起源の ^{40}Ar が少なく内部からの ^{40}Ar の脱ガスが充分おこなわれていないことを示している。かつての金星の大気には H_2O はあったが、後に H_2O だけが抜けたと考えられる。

金星の表層物質の分析は、旧ソ連の探査機 Venera や Vega おこなわれた。Venera 8 の着陸地点は K、U、Th が多く、インコンパティブル元素 (incompatible element) に富むマグマから形成された岩石である。K、U、Th が地球の流紋岩や花崗岩に近く、酸性の火成岩の可能性はある。Venera 13 の着陸地点は SiO_2 の少ないアルカリ玄武岩で、Vega 2 の着陸地点はカンラン石玄武岩、Venera 14 の着陸地点はやや SiO_2 の多いソレライト質玄武岩であると考えられる。このことから、平原地域や低地の多くは玄武岩からできており、一部アルカリ玄武岩や流紋岩 (または花崗岩) で構成されていると考えられる。

表 5. 惑星物質の化学組成

Venus																						
Atmosphere	9.2·10 ⁷ (Pa)		CO ₂	96.4±1.03		CO	20~1400		D/H	1.6±0.2												
			N ₂	3.4±.02		Ar	18.6±2.4		¹³ C/ ¹² C	<<1.19												
			H ₂ O	0.14±0.01		Kr	~9.2		¹⁸ O/ ¹⁶ O	2.0±0.1												
			NH ₃	100~1000		Ne	7±3		²⁰ Ne/ ²² Ne	11.8±0.7												
			SO ₂	0.05~150		C	2.67±0.30		³⁸ Ar/ ³⁶ Ar	0.197±0.002												
				O ₂		69.3±1.3		N	2.49±0.30		⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	1.19±0.07										
Soil	Spacecraft	Venera 8	Venera 9		Venera 10		Venera 13		Venera 14		Vega 1		Vega 2									
			SiO ₂						45.1±3.0	48.7±3.6												
			TiO ₂						1.59±0.45	1.25±0.41												
			Al ₂ O ₃						15.8±3.0	17.9±2.6												
			MgO						11.4±6.2	8.1±3.3												
			FeO						9.3±2.2	8.8±1.8												
			MnO						0.2±0.1	0.16±0.08												
			CaO						7.0±0.96	10.3±1.2												
			K ₂ O						4.0±0.63	0.2±0.07												
			SO ₃						1.64±1.0	0.88±0.77												
			K	4.0±1.2	0.47±0.08	0.30±0.16											0.45±0.22	0.40±0.20				
			U(ppm)	2.2±0.7	0.60±0.16	0.46±0.26											0.64±0.47	0.68±0.38				
			Th(ppm)	6.5±0.2	3.65±0.42	0.70±0.34											1.5±1.2	2.0±1.0				
Moon Soil																						
Locality	A-11	A-12	A-15	A-17	L-16	L-24	ave.	ave.	ave.	A-11	A-12	A-15	A-16	A-17	L-16	L-20	L-24	A-14	A-15	A-16	A-17	L-20
Rock Type	MB	MB	MB	MB	MB	MB	An	Nor	Tr	S&RB	S&RB	S&RB	S&RB	S&RB	S&RB	S&RB	S&RB	BX	BX	BX	BX	BX
SiO ₂	40.46	44.88	46.68	39.03	44	46	45.57	50.6	43.5	41.99	46.21	47.19	44.89	44.47	44.37	45.2	45.4	48.9	-	45.48	45.21	-
TiO ₂	10.41	3.62	1.97	11.94	4.77	1.02	0.08	0.3	0.18	7.94	2.61	1.46	0.53	2.84	3.3	0.5	1.04	1.51	1.68	0.64	2.23	0.49
Al ₂ O ₃	10.08	8.93	10.21	9	13.83	12.2	33.4	17	24	12.58	12.13	14.32	27.23	18.93	15.68	22.75	11.95	16.72	13.96	25.11	17.82	23.18
FeO	19.22	20.48	19.87	18.82	18.7	21.58	1	8.2	4.1	16.4	17.19	14.98	4.98	10.29	16.75	7.46	19.55	9.53	14.04	5.08	9.8	7.11
MgO	7.01	10.64	8.76	8.54	6.4	7.4	1.21	12.5	15.1	7.93	10.42	10.95	6	9.95	8.78	9.69	9.87	10.18	10.25	7.24	11.55	10.46
CaO	11.54	9.81	10.63	10.82	11.82	12.2	19.1	9.9	13.4	11.74	9.85	10.47	14.56	12.29	11.5	14.7	11.07	10.67	12.78	15.14	11.42	13.75
Na ₂ O	0.38	0.25	0.3	0.39	0.53	0.23	0.4	0.38	0.37	0.47	0.41	0.4	0.47	0.43	0.35	0.39	0.28	0.73	0.46	0.45	0.53	0.42
total	99.1	98.61	98.42	98.54	100.1	100.6	100.8	98.88	100.7	99.05	98.82	99.77	98.66	99.2	100.7	100.7	99.16	98.24	-	99.14	98.56	55.41
K (ppm)	-	540	409	440	970	-	123	-	520	1370	2100	1300	800	1050	920	630	238	-	-	-	-	-
Ni (ppm)	-	46.7	57.5	2	79	43	-	-	-	199	260	216	378	211	174	252	158	-	-	-	-	-
U (ppm)	-	0.252	0.154	0.123	-	-	-	-	-	0.52	1.68	-	-	-	0.36	0.325	-	3.9	-	-	1.11	-
Th (ppm)	-	0.91	-	-	-	0.2	0.04	-	-	2.34	5.2	-	-	2.44	-	0.975	0.4	15.8	-	-	-	-
Pb (ppm)	-	0.42	0.24	0.278	-	-	-	-	-	1.61	3.9	1.81	1.9	1.47	0.96	-	-	9	-	-	-	-
Rb (ppm)	-	-	0.76	-	1.65	-	-	3.54	0.22	3.8	-	3.8	-	-	2.2	1.6	-	-	-	-	-	1.7
Mars																						
Atmosphere	700 (Pa)		CO ₂	95.32		H ₂ O	0~0.03		D/H	(9±4)·10 ⁴												
			N ₂	2.7		Ne	2.5		¹² C/ ¹³ C	90±5												
			Ar	1.6		Kr	0.3		¹⁴ N/ ¹⁵ N	170±15												
			O ₂	0.13		Xe	0.08		¹⁶ O/ ¹⁸ O	490±25												
			CO	0.07		O ₃	0.04~0.2		³⁶ Ar/ ³⁸ Ar	5.5±1.5												
Soil	Sample Locality	S1	S2	S3	S4	C6,11	U2,4,6,7	C1,7,8	U1,3,5	C2,5,13	C1	C6	average									
		SiO ₂	44.7	44.5	43.9	42.8	44	43	43	43	42	43	44	43								
		TiO ₂	0.9	0.9	0.9	1	0.62	0.54	0.66	0.56	0.59	0.65	0.61	0.6								
		Al ₂ O ₃	5.7	-	5.5	-	7.3	7	7.3	7	7	7.5	7.3	7.2								
		MgO	8.3	-	8.6	-	6	6	6	6	7	6	6	6								
		Fe ₂ O ₃	18.2	18	18.7	20.3	17.5	17.3	18.5	17.8	17.6	17.6	17.3	18								
		CaO	5.6	5.3	5.6	5	5.7	5.7	5.9	5.7	5.5	6	6	5.8								
		K ₂ O	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15	-	-	0.2								
		SO ₃	7.7	9.5	9.5	6.5	6.7	7.9	6.6	8.1	9.2	7	6.7	7.2								
		Cl	0.7	0.8	0.9	0.6	0.8	0.4	0.7	0.5	0.8	0.7	0.8	0.6								
Jupiter																						
		H ₂	89.8±2.0		(Strat.) CO, NH ₃ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₄ , C ₃ H ₈ , C ₃ H ₆ , C ₂ H ₄																	
		He	10.0±2.0		(Trop.) NH ₃ , H ₂ O, PH ₃ , GeH ₄ , CO, HCN																	
		CH ₄	0.196±0.016																			
Saturn		H ₂	96.3±2.4		(Strat.) CO, C ₂ H ₂ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₄ , C ₃ H ₈ , C ₃ H ₆																	
		He	3.3±2.6		(Trop.) NH ₃ , PH ₃ , GeH ₄																	
		CH ₄	0.4±0.2																			
Titan	1.496·10 ⁵ (Pa)	N ₂	65~98		CO		60~150															
		Ar	0~25		C ₂ H ₆		20															
		CH ₄	0.5~20		C ₃ H ₈		4															
Uranus		H ₂	0.5~1		C ₂ H ₂		2															
		H ₂	85		(Strat.) C ₂ H ₂																	
		He	15		(Trop.) NH ₃																	
Neptune		CH ₄	2																			
		H ₂	81±3.2		(Strat.) CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₆																	
		He	19±3.2		(Trop.) CH ₄ , NH ₃																	
Triton	1.6±0.3 (Pa)	N ₂	~100		CH ₄ , H, H ₂ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄																	
Pluto		CH ₄	?																			
Halley's Comet			CO/H ₂ O	0.015~0.07		NH ₃ /H ₂ O		<0.1														
			CO ₂ /H ₂ O	~0.015		N ₂ /H ₂ O		<0.02														
			CH ₄ /H ₂ O	~0.02																		

表 6. 惑星の内部構造

	Mercury	Venus	Earth	Mars	Moon
Satellites	0	0	1	2	-
Atmosphere	-	CO ₂ , N ₂ , H ₂ O	N ₂ , O ₂ , Ar, CO ₂	CO ₂ , N ₂ , Ar, O ₂	-
Crust	?	10-50 km	5-50 km	0-100 km	60-100 km
	silicate	elastic silicate	brittle silicate	brittle silicate	brittle silicate
	lithosphere		continent: granite-eclogite		
	(600 km thick)		ocean: basalt		
Mantle	2,439-1,800 km	5,988-2,940 km	upper: 6,371-5,680 km	upper: 3,388-2,188 km	upper: 1,738-1,658 km
	silicate	silicate	silicate (ol+px)	silicate (ol+px)	silicate (sp+gart)
			lower: 5,680 km	lower: 2,188-1,688 km	lower: 1,200-700 km
			silicate (sp+prvs)	silicate (sp+gart)	silicate (FeO+prvs)
Core	1,800-0 km	2,940-0 km	outer: 3,480-1,210 km	outer: 1,688-1,588 km	outer: 700-300 km
	solid Fe	solid Fe	molten Fe-Ni	molten Fe-S-O	?
			inner: 1,210-0 km	inner: 1,588-0 km	inner: 300-0 km
			solid Fe-Ni	magnetite	solid Fe

	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptune	Pluto
Satellites	16	18	15	8	1
Rings	3	7	11	4	-
Atmosphere	H ₂ , He, CH ₄	H ₂ , He, CH ₄	H ₂ , He, CH ₄	H ₂ , He	-
Gas/Crust	69,953 - 60,000 km	58,130 - 30,000 km	25,200 - 20,250 km	24,623 - 15,000? km	?
	H ₂ -He gas	H ₂ -He gas, liquid (He depleted)	gas (some H ₂ O ice)	gas & H ₂ O ice	CH ₄ ice
Mantle	60,000 - 50,000 km	30,000 - 27,000 km	20,520 - 15,120 km		1,180 - 900 km
	H-He liquid	inhomogeneous	H ₂ O ice rich (some gas & rock)		H ₂ O ice
Core	outer: 50,000 - 14,000 km	outer: 27,000 - 12,000 km	15,120 - 0 km	15,000? - 0 km	900 - 0 km
	H-He molten metal	H molten metal (He enriched)	rock & H ₂ O ice (some gas)	H ₂ O ice & rock	rock
	inner: 14,000 - 0 km	inner: 12,000 - 0 km		*rock rich	(some H ₂ O ice)
	rock & H ₂ O ice	rock & H ₂ O ice			

データは小出ほか（1997b）より引用した。crust は厚さで示し、それ以外は中心からの距離で示した。ol は olivine、px は pyroxene、sp は spinel、gart は garnet、prvs は perovskite を示す。

金星の表面が高温であるため、地殻は elastic に振る舞うと考えられる。地殻の厚さは、地域ごとに 10 ～ 50 km (Sandwell & Schubert, 1992; Grimm & Phillips, 1992) と見積もりに幅がある。様々なサイズのブルームが上昇したのが金星の特徴的な地形を作ったと考えられている。金星は、地球からリソスフェアをはぎ取ったブルーム・テクトニクスを直接見ていることになる (Fujii, 1994)。

月の海の玄武岩は、揮発性成分がほとんどないこと、Fe と Ti が多いのが特徴である。K や希土類元素 (REE: rare earth element) と P に富んだ KREEP が、雨の海の周辺に産出する。月の深成岩は斜長質岩とカンラン岩の 2 種類がある。斜長質岩は、斜長岩 (anorthosite)、斜長岩質ノーライト (anorthositic norite)、ノーライト質斜長岩 (noritic anorthosite) に分類される。カンラン岩は、トロクトライト (troctolite)、ノーライト (norite)、スピネル・トロクトライト (spinel troctolite)、ダナイト (dunite) がある。ポリミクト角礫岩 (polymict breccia) は各種の岩石片が集まって固結したものである。隕石の衝突によって岩石が破碎され、別の隕石の衝突によって高温・高圧になり固結したと考えられる。

月起源の隕石は、レゴリスと斜長岩質角礫岩が多いが、月の海から由来したと考えられる粗粒の斑れい岩も発見されている。

月の表面には 2 ～ 20 m の厚さのレゴリス層がある。海の地殻の厚さは 30 ～ 50 km で、高地の地殻の厚さは 90 ～ 110 km で、平均で 60 km 程度だと考えられる。海では、約 90 % が玄武岩で、残りの約 10 % が角礫岩である。高地では 85 % が角礫岩、10 % がカンラン岩から斜長質岩で、5 % が玄武岩である。60 km で地震波速度は変化し、深度 60 km から 150 km までは月のマントルだ

と考えられる。60 ～ 300 km はカンラン岩で、300 ～ 1,500 km まではより始源的な物質でできているというモデルがある。1,500 km より深い層では溶けた Fe または FeS の核があるかもしれない。

火星の大気圧は、700 Pa と低い。その成分比率は、金星の大気に似ている。火星の大気は、金星同様 CO₂ を主とし N₂ を伴う。微量成分は、H₂O が少く、O₂ が多い。火星の大気の D/H 比と ⁴⁶Ar/³⁶Ar 比は地球のものに比べて一桁大きい。火星内部からの脱ガスが効率よく起こったことを示している。¹⁴N/¹⁵N は、地球の 1/2.5 しかない。¹⁴N は ¹⁵N より大気圏外に出やすいので、火星のもとの大気量は地球の 2.5 倍程度、1 ～ 3 気圧の CO₂ と N₂ 主体の大気があったと考えられる。

火星のクリュセ平原とユートピア平原の土壌は Fe₂O₃ が多いのが特徴で、酸化的な大気によって FeO から Fe₂O₃ に変化したと考えられる。火星の表層物質は、粘土鉱物を含み、高温多湿の環境で形成されたと考えられる。火星にはかつて水の多かった時代があり、現在も化石土壌が残っていることを示唆する。MgO が 5.7 ～ 8.6 wt% 程度で、玄武岩の化学組成を示す。TiO₂ はカンラン岩に比べて高く、地球の MORB のような (ソレライト質玄武岩) 値を持つ。

火星起源と考えられる隕石は、シャーゴタイト (shergottite)、ナクライト (nakhilite) およびシャッシナイト (chassignite) と、最近斜方輝岩 (orthopyroxenite) が加えられた。シャーゴタイトは急冷された組織を持ち、ナクライトも急冷された玄武岩の組織を持ち、火星の地殻の岩石と考えられる。シャッシナイトは、細粒のカンラン岩のような組織を持ち、マントルの岩石と考えられる。斜方輝岩は一番古く 30 ～ 40 億年前 (Ash et al., 1996)、

ナクライトとシャッシナイトは 13 億年前、シャーゴタイトは 1.8 ~ 13 億年前に形成された。火星では昔から比較的最近まで継続的な火成作用があったことを示す。最近、斜方輝岩に生命の痕跡があることが指摘された (McKay et al., 1996)。

火星の地殻は平均数 10 km の玄武岩質岩からできていると予測されている。火星は密度が小さいので他の地球型惑星とは内部構造が違う可能性がある。慣性率 I/MR^2 が 0.365 であるので、内部は化学的に分化していることを示している。火星は、地球に比べて、核が少ないのが特徴である。火星の磁場は弱いので、液体の核はないと考えられる。

木星の特徴は、明るく白い帯 (zone) と暗く赤い縞 (belt) からなる色鮮やかな模様である。帯の部分の低温で上昇気流部で、縞は高温の下降気流部である (森山, 1979)。大赤斑は、南緯 22° 付近に 300 年以上も存続している上昇気流部である。木星の大気は、表層では H_2 と He を主成分とし、 CH_4 や NH_3 などを含む。 He/H_2 比は 0.11 となり太陽の 0.12 に近い。一般的な宇宙は 0.25 前後の Y (He と H 以外のすべての元素との質量比) の値を持つが、木星の Y は 0.18 とかなり低い値である。木星大気の赤や褐色は、S の化合物や P の化合物 (PH_3)、赤リンアミノ酸を含む有機物と考えられている。

木星の表層から 20,000 km のところまで液体分子状水素がある。深度 20,000 km より下では、液体金属水素になる。中心から 14,000 km は珪酸塩鉱物、Fe、氷 (H_2O) からなる核である。木星には、地球の 4,000 倍以上の強い磁場 (404 mT) がある。木星の磁場は、液体金属水素のダイナモ理論で説明されている。

土星の大気の動きは激しく、赤道を境に南北対称に動く。土星の大気成分は、 H_2 が 94 % で、 He が 6 % で、 CH_4 や C_2H_6 、 C_2H_2 、 C_2H_4 、 C_3H_8 などが少量含まれる。密度が小さいのは、全体として He/H 比が 0.06 と小さいことや液体金属水素の部分が少ないためと考えられる。

土星は、木星に比べて密度が小さいことから、液体分子状水素から液体金属水素に転移する境界は深部にあると考えられる。転移領域では、 He の金属水素への溶解度が小さく、 H と He の分離が起こり、重い He が沈む。そのため気体から液体分子水素の領域で He が少なく、逆に液体金属水素中では He が多くなる。中心から 12,000 km までは岩石と氷などからなる核である。外核は中心から 16,000 ~ 7,500 km で H_2O 、 CH_4 、 NH_3 の固体からなり、内核は中心から 7,500 km で、岩石と Fe からなる (Hubbard et al., 1980)。

天王星の大気は、 H_2 を主として、 He 、 CH_4 を伴う。成層圏には C_2H_2 が、対流圏には NH_3 がある。 He/H_2 比は 0.15 で木星の値より大きく、 Y は 0.262 と太陽や宇宙の平均的な値に近い (Gautier & Owen, 1989)。

天王星は、厚く濃い大気と岩石質の核という二層の単純なモデルと、未発見だが H_2O が大量にあるというモデルが考えられている。 H_2O の多いモデルでは、氷の H_2O が主成分で、気体の H_2O と岩石も混ざっており、核は岩石と氷と少量の気体の H_2O が混ざっていると考えられる。

海王星の表面には大黒斑 (great dark spot) と小黒斑がある。大黒斑は 16 日の周期で回転する高気圧性の渦巻で、中心に明るい雲を持つ小黒斑は自転周期と同じ周期で回転している。海王星の大気は、 H_2 が主体である。 He/H_2 比は 0.25 以下である。海王星が青緑色に見えるのは、 CH_4 による赤色光の吸収のためである。

海王星の内部は、密度が非常に大きいことから、岩石物質が氷より多いと考えられる。海王星は外側がガスと氷で、内側が氷と岩石からできており、中心に近いほど岩石の割合が多くなると考えられている。

冥王星には、地球の 10 万分の 1 以下の密度であるが、大気があると考えられる。冥王星の大気は CH_4 を主体とする薄いものであると考えられる。

冥王星の表面は、 CH_4 の氷で覆われていることが赤外スペクトル観測で明らかにされている。 CH_4 の氷は数 km 程度あり、下には 210 ~ 320 km の H_2O を氷があり、中心部は H_2O の氷を含み岩石に富む核があると考えられる。密度は 1.84 g/cm^3 であり、木星型惑星として一番大きい。そのため他の木星型惑星と比べて内部に占める岩石の比率が多いと予想され、岩石比が 68 ~ 80 % と考えられる (McKinnon & Mueller, 1988)。

ii 惑星の歴史

惑星探査から、惑星の進化が推定されている。今のところ、月と地球型惑星の水星と火星の進化史が編まれている。以下では、惑星の構造発達史の概略をまとめる (表 7)。

クレーター密度を用いる相対的で半定量的な年代推定法がある。クレーター密度 (単位面積あたりのクレーターの数) とその地域を作る岩石の形成年代に相関がある (Hartmann, 1977)。年代がたつに従ってクレーター密度は指数関数的に減少する。クレーター密度の半減期は、40 億年前で 8000 万年、35 億年前で 3 億年となる。また、クレーター生成率 (単位面積、単位時間あたりのクレーターの数) も同様に減少し、40 億年前頃は半減期 7 億年以下、30 億年前頃は 3 億年、現在では 10 億年程度になる。

クレーター年代学が適用できるのは、大気がなく固い表面を持つ天体で、水星と月、火星で、小惑星と木星型惑星に伴われる衛星である。年代決定における精度はよくないが、天体の表面観測だけでその天体の地史の概略が編むことが可能になる。

水星表層のクレーター密度年代から、地質構造発達史が提唱されている。新しい方から順に、Kuiperian 代 (0 ~ 10 億年前)、Mansurian 代 (10 ~ 35 億年前)、Calorian 代 (35 ~ 39 億年前)、Tolstojan 代 (39 ~ 40 億年前)、Pre-Tolstojan 代 (40 億年前以前) に区分されている (Spudis & Guest, 1988)。

Pre-Tolstojan 代には、初期に高温期を迎えて中心核が形成され、化学分化が起こった。続いて盆地ができ、火成作用によって平原が形成された。天体が小さいため冷却が進み、天体が収縮を始めてニアメントが形成された。Tolstojan 代は、クレーター、小盆地、平原物質からなる Goya 層群が形成された。Calorian 代は、平原、クレー

表 7. 惑星の進化史

Planet	Division	Age (Ga)	Events
Mercury	Kuiperian	- 1.0	crater ejectors
	Mansurian	1.0 - 3.0	crater ejectors
	Calorian	3.5 - 3.9	Calorian formation
	Tolstojan	3.9 - 4.0	Goya formation
	Pre-Tolstojan	4.0 - 4.56	multi-ring basins, crater ejectors, formation of Mercury
Venus	undefined	-	-
Earth	Cenozoic	0 - 0.065	civilization, development of human, mammal
	Mesozoic	0.065 - 0.245	Alpine orogeny, development of reptoles
	Paleozoic	0.245 - 0.570	Valiscan (Helsinian) orogeny, life on land, development of sea life, Caledonian orogeny, Katangian orogeny
	Proterozoic	0.570 - 2.5	Grenville orogeny, Hadosonian orogeny, stromatolite, Karelian orogeny, banded iron formation
	Archean	2.5 - 3.8	Kenoran orogeny, Samian orogeny, birth of life, chemical evolution
	Hadean	3.8 - 4.56	magma ocean, formation of Earth
Mars	Amazonian	0 - 3.55	polar sediment, comosite lava flows, shield volcanism, one layer lava flows, formation of Marines Valley
	Hesperian	3.55 - 4.3	formation of Talsis plateau, domes, unfractionated lava flows, one layer lava flows, Alba patera, channel formation of catastrophic flood
	Noachian	4.3 - 4.56	development of boundary between north and south hemisphere, formation of plateau and pateras, one layer lava flows, formation of small channels, formation of Mars
Moon	Copernican	0 - 1.0	formation of a few craters (Chiko, Aristarchus, Copernicus)
	Eratosthenian	1.0 - 3.2	Eratosthenes crater, Mare Imbrium lava
	Imbrian	3.2 - 3.8	mare basalt volcanism, layering of crater ejector and lava, formation of mares (Orientale, Imbrium)
	Nectarian	3.9 - 3.9	formation of mares (Crisium, Moscoviense, Humorus, Nectaris)
	Pre-Nectarian	3.9 - 4.56	formation of mares (Serenitatis, Smythii, Tranquillitatis, Nubium), formation of Moon

データは小出ほか（1997b）より引用した。

ター、小盆地の物質からなる Caloris 層群が形成された。小天体の衝突によって多重リングを持つ Caloris 盆地と対極側の丘や線構造が形成された。Caloris 盆地では玄武岩溶岩が盆地を埋めて平原を形成した。Mansurian 代は、Mansur クレーターの放出物質よりなる。冷却に伴ってリソスフェアは成長し、10 億年前にはテクトニックな活動が起きないほどに厚くなった。Kuiperian 代は、Kuiper クレーターの放出物質よりなる。

月の時代区分は新しい方から、Copernican 代（0 ～ 10 億年前）、Eratosthenian 代（10 ～ 32 億年前）、Imbrian 代（32 ～ 38 億年前）、Nectarian 代（38 ～ 39 億年前）、Pre-Nectarian 代（39 ～ 46 億年前）となる（Heiken et al., 1991）。

Pre-Nectarian 代は、Nectaris impact までの時代である。高地が広いことから、月全体が溶けるようなマグマ・オーシャン（magma ocean）があったと考えられる。Nectarian 代は、Nectaris 盆地が形成された期間である。角礫岩の年代は、38.5 億 ～ 40 億年前の年代のものが多く、集中的に激しい衝突が起こったことを示している。この時期に、多数の大きな盆地ができ、玄武岩の火山作用が起こった。Imbrian 代は、Imbrian 盆地の形成の時期である。激しい衝突が起こり、多くの impact melt が形成され、火山活動も激しい時期である。海に玄武岩が大量に形成され、ほとんどの盆地を玄武岩が埋める時期である。海の玄武岩は 31 ～ 43 億年前に形成され、特に 31 ～ 37 億年前の間に活発な活動があった。Eratosthenian 代

に、Eratosthenian クラスのクレーターが形成され、海の玄武岩の活動が終わる。クレーター形成はだいたい下火になる。Copernican 代は、月の地球側で小さな隕石の衝突が時々あるだけで、ほとんどの地質活動は停止している。

火星の地史は、新しいものから、Amazonian 代（0 ～ 35.5 億年前）、Hesperian 代（35.5 ～ 38 億年前）、Noachian 代（38 ～ 46 億年前）の 3 つの地質時代に区別されている。Amazonian 代は前・中・後期に、Hesperian 代は前・後期に、Noachian 代は前・中・後期に分けられる（Neukum & Wise, 1976; Tanaka et al., 1992）。

Noachian 代は、惑星の分化、激しい impact 構造の形成、磁極移動などの盛んな時期であった（Banerdt et al., 1992）。SNC 隕石の同位体組成から、核の形成は集積の終了と同時にあったと考えられる（Treiman et al., 1987）。大気の高い D/H 比や流水地形は、初期に脱ガスと大気形成、降雨が起こったことを示している。Hesperian 代は火星全体の活動から地域的な活動への移行期である。大規模な洪水がありチャネル群が形成される。後期 Noachian 代～前期 Hesperian 代は北と南半球の境界が発達する。Amazonian 代は地域の限られた活動となる。この時期に、極地の堆積物が形成される。そしてこの堆積は現在も続いている。

マントルと核が冷却し地殻が分化し、リソスフェアが厚く成長していく。冷却中はマントル対流が激しく 10 億年前くらいまでに一気に冷めていく（Schubert et al., 1992）。火星の半径が小さく、プレートのもぐり込み帯の

物理条件では、玄武岩がエクログジャイトの安定領域に達しないため地殻のリサイクルは起こらないと考えられている (Taylor, 1992)。

VI 演繹的アプローチ：シミュレーションによる推定

演繹的アプローチは、再現実験をおこない、そこから導き出された一般則を冥王代の現象に適用しようというものである。このようなアプローチとしては、高温高压条件による岩石やマグマ合成実験や計算機によるシミュレーションなどがある。ここではシミュレーションによる成果をまとめ、冥王代に起こったであろう大気・海洋の形成、地殻の形成、マントルの形成および核の形成について一般化して概観する。図 7 には、冥王代に至る年代決定された事件を示した。

1 太陽と惑星系の誕生

物理学的検討や計算機実験の集積によって、モデルは完成版ではないが収斂しつつある (小出, 1994)。骨子となっているのは、Safronov (1969) や林 (1972)、Goldreich & Ward (1973) などのモデルで、以下のように要約できる。

星のもととなる分子雲が収縮を始め、回転を始める (分子雲コアの形成)。回転しながら重力落下してきたガスが、原始星 (原始星の形成) とその赤道面に円盤状の星雲 (原始惑星系ディスクの形成) になる。原始星で熱核反応が始まり明るく輝き始め、余分の物質やエネルギーを回転軸の両極から双極分子流として噴出し、熱核反応が始まり明るく輝き始め (古典的 T タウリ期星)、原始惑星系円盤も赤外線をだして輝く (活動的ディスクの形成)。その後、原始星はいったん活動を弱め (弱輝線 T タウリ期星)、ディスクは安定する (不活発ディスクの形成)。赤道面上に、凝縮温度の高い物質から順次固化したダストとなり、ダスト同士が衝突し付着合体し、微惑星が形成され、原始惑星へと成長する (微惑星から原始惑星の形成)。つぎに、各段階を詳しく見ていく。

2 分子雲コアの形成

宇宙空間には、分子の密度の高いところが存在する。このような部分は、分子雲 (molecular cloud) と呼ばれ、実際に観測によってたくさん見つかっている。分子雲は、 $10^2 \sim 10^3$ 個/cm³ 程度の分子を含んでいる。

このような分子雲が何らかの原因で、密度に不均質が形成される。密度の大きい部分は、分子雲コア (molecular cloud core) と呼ばれる。密度は、1 桁から 2 桁大きくなる。分子雲コアが、原始星形成の場となる。分子雲コアは、一般に回転している。

3 原始星と原始惑星系ディスクの形成

密度が、ある一定量を越えると、分子雲コアは動的収縮を始める。動的収縮とは、ガスが拡散しようとするときの圧力と、重力によって収縮しようとする力の関係で、重力が勝った場合、収縮が始まる。これに対して、準静的収縮というのがある。圧力と重力が釣りあっているのに、磁場など別の条件が働いて、ゆっくりと収縮が起こることをいう。準静的収縮は、密度が増えるに従って、収

縮のスピードが速くなり、動的収縮に移る。その条件は、密度によって決まる。太陽質量程度の分子雲コアの場合、磁場がない時には 2×10^6 個/cm³、磁場がある時は 10^9 個/cm³ といわれている。

動的収縮が始まると、分子雲コアの密度が大きくなる。圧縮による加熱と赤外線による熱の放射冷却の関係が、分子雲コアの温度を決定する (中野, 1983)。密度が小さい場合、加熱と放射は釣りあっており、温度上昇をあまりせず、密度が増加する。しかし、ある一定以上に密度が大きくなると、赤外線の放射が妨げられる。つまり、断熱圧縮が始まり、コアの温度は上昇し始める。質量の中心部、つまり分子雲コアの中心で密度が最大になり、そこをめぐってガスが集まる。断熱収縮による温度の上昇と重力の平衡に達したところで収縮は止まる。力学的平衡の地平は、ガスの収縮にともなって広がる。このような力学的地平が原始星 (protostar) となる。原始星は、密度が 10^{-13} g/cm³ 以上あり、中心温度は 10 万 K から 100 万 K に達する。

ガスの衝突によって、ガスの持っていた運動エネルギーは熱エネルギーに変換され、中心部の温度は上昇する。原始星では、熱核反応は起こらないが、かなり高温になる。しかし、周りのガスがじゃまをして、光はほとんど外にもれない。そのため赤外線源として探査するほかはない。

分子雲コアが角運動量をもっていると、収縮にともなって遠心力が増加する。重力による収縮と、ガスの持っていた遠心力の釣りあった状態になる。このような力学的均衡は、回転する分子雲コアの赤道面上で達成される。やがてガスは回転する円盤のようになり、原始惑星系ディスク (protoplanetary disk) を形成する。原始星や原始惑星系ディスクにもはいるきれず、周りにとどまっているガスが少なからずある。このようなガスを分子雲コアと区別するために、エンベロープ (envelope) と呼ぶ。

分子雲コアでの Jeans の重力不安定の問題で気体の塊が自由に収縮する場合の自由落下時間は、重力収縮の時間と見なされる。太陽系に適用してみると、自由落下時間は、100 万年程度という結果を得る (阿部, 1996)。この 100 万年という期間は、分子雲コアから原始星がでる期間を意味する。

4 古典的 T タウリ期星と活動的ディスクの形成

収縮によって原始星の温度・圧力が急激に上昇する。ガスもディスクに落ちついて平衡に達すると、光が外に漏れ始める。つまり、星が輝き始め、星が誕生する。太陽程度の質量の星では、表面温度は 3,000 ~ 5,000 K ほどになり、光度が現在の太陽の 1,000 倍程度になる。このような非常に活発な若い段階の星を、古典的 T タウリ期星 (classical T Tauri star: CTTS と略す) という。この時期、余分の物質やエネルギーを回転軸の両極から噴出するジェット (双極分子流: bipolar flow) が表れる。

原始惑星系ディスクには、ガスや微粒子が降り続け成長する。活動的ディスク (active disk) と呼ばれる活動的な時期がくる (accretion disk と呼ばれる)。ディスク内

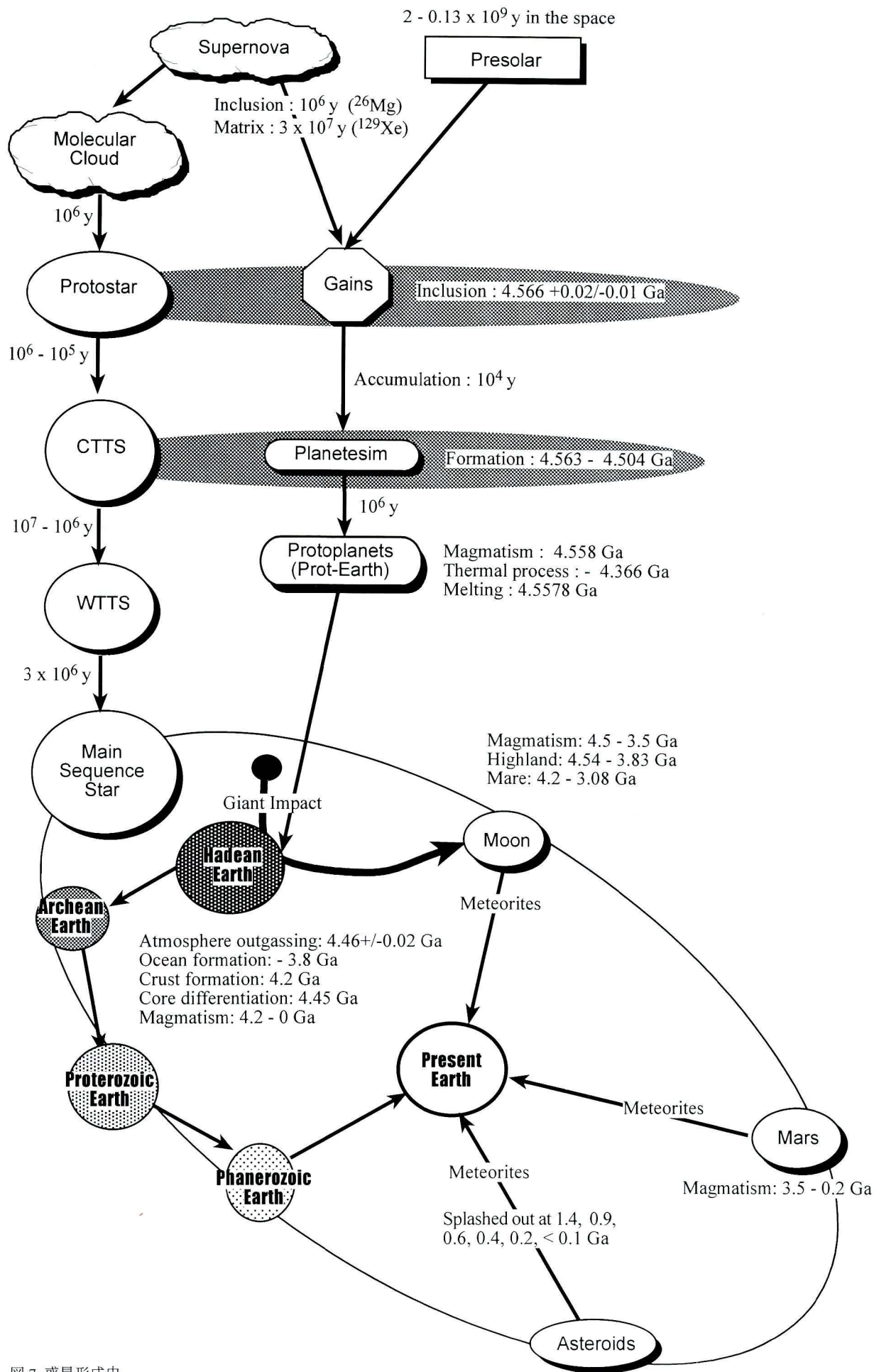


図 7. 惑星形成史。
太陽系形成と地球の冥王代に至るまでの読み取られている事件をまとめた。yは年で期間を意味し、Gaは10億年前で時刻を意味する。詳細は本文参照。

の温度が上昇する。その原因は、急激な収縮によって CTTS の表面から衝撃波が発生してディスクの温度を上昇させるという説（中川, 1983a）や、CTTS の放つ強烈な光がガスに吸収され温度が上昇する説（中野, 1983）などが考えられている。この時、内惑星域で 2,000 K くらいまで上昇し、存在した固体の微粒子も蒸発する。外惑星域でも氷が蒸発する程の温度まで上昇する。収縮が終了すると熱力学的平衡に達し、温度は下がり、微粒子は固体凝縮（consolidation of solid particle）する（中川, 1983d）。

ディスク内では、固体の微粒子が成長しながら赤道面に降りてくる。約 3,000 年ほどで固体粒子が赤道面においてきて固体層を作る（中川, 1983c）。1 μ m 程度の微粒子は、赤道面に降りてきて、固体層を作る頃には、1 cm 程度まで成長している。固体層ができて 2,000 年ほどたつと、ディスクの層厚はもとの 10^{-5} 以下になる。

固体凝縮の平衡温度は、地球軌道付近では氷が凝縮しない 200 K 程度で、木星軌道付近では氷が再び凝縮する 100 K 程度となる。氷の原料となる H と O は、もともとガスのなかに大量に含まれていた元素である。そのため、固体粒子の中に氷を含むか含まないかは、固体粒子に大きな差を生じる（中川, 1983d）。内惑星軌道では氷の再凝縮がおこらず金属と岩石を主とする地球型惑星が生まれる。一方、外惑星軌道では、氷を主成分とする大きな惑星核ができ、大きな重力で周りのガスを集め、大きな木星型惑星となる。

原始星の周りのガスやチリが、原始星に落ち込むか双極分子流で吹き飛ばされるのに 10 万 ~ 100 万年くらいかかる。ガスやチリが吹き飛ばされると、原始星は可視光で輝く T タウリ星となる。

T タウリ星が主系列星になるまでに、太陽程度の質量の星だと、3000 万年くらいかかる。主系列星となった太陽は、H から He への核融合が始まり、星として安定して輝く。

原始惑星系円盤が形成されると、チリは成長する。成長のスピードは、チリの沈降速度に依存する。チリが赤道面に落下するのに、1 AU では約 2,000 年、5 AU では約 4,000 年、30 AU では約 40,000 年かかる（阿部, 1996）。

5 弱輝線 T タウリ期星と不活発ディスクの形成

原始星は、活動が落ちつき、CTTS に比べて H α 線の輝線スペクトルの強度が弱い時期がおとずれる。スペクトルの特徴から、弱輝線 T タウリ期星（weak line T Tauri Star : WTTS）と呼ばれる。WTTS の時代は、 $3 \times 10^6 \sim 3 \times 10^7$ 年程度継続する。

ディスクの質量の大部分（約 80 %）が、 10^4 年ほどで中心星に落下すると、ディスクは重力的に安定する。このような状態を不活発ディスク（passive disk）という。ガスの状態が穏やかになると、惑星形成へと一気に進む。

CTTS から WTTS をあわせて T タウリ期星と総称される。原始星から CTTS、WTTS までをあわせて、林フェーズと呼ばれる。林フェーズとは、HR 図で、比較的低温で光度が下がっていく段階のことをいう。

6 微惑星から原始惑星の形成

ディスクのダストの沈降がすすむにしたがって、ダストの成長がすすみ、微惑星（planetesimal）と呼ばれるものまで成長する。微惑星とは、直径数 km、質量 $10^{18} \sim 10^{21}$ g ほどの仮定の初期天体である。このような微惑星が、約 10^{11} 個ほどが形成される。微惑星は、星雲ガスを引きつけるほどの重力を持たない（中沢, 1978）。

原始惑星（proto-planet）は、微惑星の衝突・合体によって、質量が 10^{25} g に達したものをいう（中川, 1983b）。原始惑星は、重力によってガスを引きつけ大気を持つようになる。微惑星が原始惑星（質量、 10^{25} g）に成長する頃には、同一軌道の微惑星は一つの原始惑星にほとんど吸収されている。分化した隕石の形成年代もほぼ同じであることから（小出, 1995a）、原始惑星での化学的分化は太陽系初期に起こり、分化した隕石も別の惑星の材料物質に加えられたことになる。

惑星成長には、各微惑星が一様に成長するという秩序成長（orderly growth）と、数個のものが選択的に急成長をおこなう爆走成長（runaway growth）の 2 つのモデルがある。

秩序成長では、原始惑星は 10^8 年ほどで地球くらいの大きさまでになる。内惑星領域では、各軌道に一つの原始惑星が成長するには、数百万 ~ 数億年ほどかかる（阿部, 1996）。天王星の領域では、ディスクの厚さや半径も大きい材料も多く、長く惑星は成長できる。木星型惑星は太陽から離れるに従って形成時間が長くなる（モデルによっては 45 億年以上）という致命的な問題が残されている（中沢・中川, 1984）。

暴走成長モデルでは、原始惑星は、 10^6 年ほどで地球くらいの大きさまで成長する。内惑星領域では、原始惑星ができるころには、微惑星はほとんどなくなっている。外惑星領域では、ディスクの厚さや半径も大きい材料も多く、長く惑星は成長できる。 10^7 年後には、地球の 10 倍程度の質量になり、木星型惑星の核となる。

暴走成長はどのような条件で起こるのであろうか。衝突する微惑星の脱出速度と相対速度で決まると考えられる（阿部, 1996）。相対速度が小さな微惑星の脱出速度程度なら暴走し、大きな微惑星の脱出速度なら暴走しない。小さな微惑星の方が大きな相対速度を持つか、ガス抵抗があるとすれば、小さな微惑星の脱出速度程度の相対速度が得られる。一般的には、原始太陽系星雲内では暴走成長する条件になると考えられる。

暴走成長を想定しても、外側にいくほど形成時間がかかり、天王星や海王星で 10^8 年、冥王星では 10^9 年という長い時間が必要となる。暴走成長でも時間がかかりすぎる。別のメカニズムの導入を考えなければならない。

惑星成長の末期には巨大原始惑星同士の衝突が起こる。このような衝突は、ジャイアント・インパクト（giant impact）説と呼ばれ、月の起源を説明できるとされている。ジャイアント・インパクト説は小天体が、地球にぶつかり、そのときに飛び散った破片が集まって月になったとする説である。

惑星の誕生の厳密な定義はないが、一般には惑星のサイズが現在のものに近くなった時期をいう。Patterson et

al. (1955) は海洋底の堆積物の Pb 同位体組成から地球や惑星の形成年代を求めることの可能性を示した。しかし、まだ決定されていない。

VII 冥王代の地球

ここでは、さまざまなアプローチによって収集した情報に基づいて、冥王代の地球を眺める。

1 大気形成

原始惑星は、回りに大気を保持することができる。もし、原始惑星形成時に原始太陽系星雲ガスが存在していれば、大気は、原始太陽系星雲ガスとなる。当然その大気組成は太陽大気の組成と同じである。このような大気は、一次大気 (primordial atmosphere) あるいは太陽組成原始大気 (solar type proto-atmosphere) などとも呼ばれる。

木星型惑星の大気は、太陽組成に類似した還元的な構成である。これは、木星型惑星が形成初期に大量の原始太陽系星雲ガスを集めることができたことを示している。それは、木星型惑星に大量に引きつけるための質量があったこと、形成場に十分な原始太陽系星雲ガスが存在したことが原因であると考えられる。木星型惑星の大気は原始太陽系星雲ガスを今も保持している。

一方、地球型惑星は、CO₂、N₂、O₂などを主成分としているため、原始太陽系星雲ガスとは全く違った酸化的な大気である。このような大気組成は、惑星形成初期にあったのではなく、惑星形成後に起こった変化である。原始太陽系星雲ガスは、もともと地球型惑星の形成場にはなかったとするモデル (Safronov, 1969) と、ガスはどこにでもあったが地球型惑星付近のガスはTタウリ期の強い太陽風で吹き飛ばされたというモデル (Hayashi et al., 1985) がある。

もし、惑星が形成されている時、H₂やHeも岩石やFeと同様に大量にあったとすると、集める機構と逃がさない機構があれば木星型惑星ができる。集める機構とは大きな引力で、逃がさない機構とはTタウリ期の強い太陽風の時期にも耐えられる引力である。集める機構と逃がさない機構はH₂Oの存在で達成できる。形成場に固体のH₂Oが大量にあれば、惑星の大質量は達成しうる。大量のH₂Oの存在と集積によって惑星の質量が多くなり、回りにH₂やHeが大量に引きつけられて木星型惑星が形成される。H₂Oの固体になる位置が、木星型惑星と地球型惑星の境界である。

I-Xeから地球の大気の形成時期が推定される。この濃度から、脱ガス時期は、地球誕生から1.05 +0.25 / -0.15 億年後である (Allegre et al., 1995)。つまり、44.6 ± 0.2 億年前に、地球は大気を保持できるほどの大きさの天体になったと考えられる。

木星型惑星の大気は、現在でもほぼ最初の大気を保持している。しかし、地球型惑星は原始太陽系星雲ガスとは全く違ったものに変化している。地球型惑星は原始太陽系星雲ガスを初期に持っていたとしても、何らかの作用で、別の大気組成に変わったと考えられる。現在の地球大気の希ガス存在度は、原始太陽系星雲ガスのものと

明らかに違って、著しく低い (Brown, 1952)。このような大気は、二次大気とも呼ばれる。二次大気は、原始惑星誕生期か、誕生後に形成されたと考えられる。その形成のプロセスにはいくつかの説がある。連続脱ガス説 (Rubey, 1951)、カタストロフィック初期脱ガス説 (Fanale, 1971)、断続的脱ガス説、衝突脱ガス説などがある (Abe & Matsui, 1985)。いずれのモデルにしても、原始惑星あるいは材料の微惑星に含まれていた揮発成分が脱ガスして、大気になったと考えられる。その脱ガスの度合いと時期の見積りの違いによっていくつかのモデルが提唱されている。

衝突脱ガス説は、比較惑星学の立場より、微惑星衝突時の高温によって微惑星に含まれていた揮発成分が放出されたとするものである。このようなモデルは、地球型惑星の大気すべてに適用可能で、現在一応支持を集めている。

二次大気は、微惑星や原始惑星が持っていた揮発成分が熱によって開放されたものである。その成分は、CO₂、N₂、H₂Oを主とした酸化的ガスであったと考えられる。火山ガスの成分に共通するものである。このような大気組成は、金星と火星の大気成分が良く似ていることから支持される。また、始原的隕石のCコンドライトには、CO₂やH₂Oがたくさん含まれており、金星や火星の大気組成に類似する。

以上のことより、地球型惑星の二次的大気は、惑星の初期に脱ガスが起こったと考ええると、地球も初期にはCO₂、N₂、H₂Oを主成分とする大気を持っていたことになる。その後、地球大気は、固有の進化をしたため、CO₂はなくなりO₂を中心とする大気に変化したと考えらる。CO₂は生物がCaCO₃として固定し、大気成分から抜けて固体地球に加えられた。一方、生物の光合成によってO₂が形成され、大気に放出された。このような生物の関与によって地球大気が進化していったと考えられている。

2 海洋形成

二次大気には、H₂Oが主成分として含まれていた。高温の条件では、H₂Oは水蒸気として大気に存在するが、低温では液体の水として存在する。さらに低温では固体の水となる。液体の水の存在範囲は地球大気の常温常圧では100 ~ 0℃の範囲でしか存在しえない。物理条件を広くしても水の存在する温度・圧力条件は限られている。

太陽系で、液体のH₂Oが存在しうるのは地球と火星軌道付近だけである。地球は、海洋として液体の水が現在も存在している。火星には水は観測されていないが、かつては液体のあった跡が発見されている。河川跡から火星には大量の水が存在した時期が推定されている。火星の海では、生命が発生した可能性も指摘されている (McKay et al., 1996)。学会として、火星の生物は、まだ認知されていない (小出, 1998)。

太陽からの放射エネルギー密度から見ると、H₂Oが液体でいられる範囲は、0.95 ~ 1.01 AUの範囲のみである。温室効果を考慮に入れると、1.5 AUでも液体のH₂Oが存在しうるのは、火星の河川跡からもわかる。小惑星帯の位置に大きな惑星はないため、火星より外では液体の

H₂O が存在しうかどうかは不明である。

海洋の形成プロセスは、惑星表面の温度低下によって始まる。温度の低下によって H₂O は原始大気の中で凝結し、雨となって降ってくる。そして、原始大気の主成分である H₂O が大量に凝縮することによって原始大気は晴れ上がり、太陽光が地表に到達する。降った雨は低地にたまり海となる。熱かった地表も雨のために冷やされる。雨の降った時、地表にマグマ・オーシャンが存在したかどうかは不明である。雨が降ることによってそれ以前に存在していたかもしれないマグマ・オーシャンの表面あるいは大部分が固化して、地殻となる。

火星では、惑星のサイズが小さく質量が小さいため、大気を長期にわたり保持することができなかった。そのため現在では、液体の H₂O は存在していない。H₂O は極付近に固体として存在するのみである。一方、地球では、大気を長期にわたって保持する質量があったため、液体、固体、気体の H₂O が共存できる環境が持続されてきている。

CO₂ は、液体の H₂O の存在下では、CO₃²⁻ として溶解し、陽イオンと結合して沈殿する。このような沈殿物は、熱によって分解するが、その量は、現在の地球を見る限り多くはない。固体として地殻に溜まるか、炭酸塩鉱物として地球深部に蓄えられていると考えられる。大気や海洋の物質循環と H₂O がどのような相であるかが重要な要因である。

海洋の存在は、今のところ、グリーンランドの約38億年前の堆積岩が最古の証拠である。グリーンランドでは、生命の痕跡が存在するとの研究もあり、もしそれが事実で、化学進化に充分の時間が必要であれば、もっと前から海洋は存在する必要がある。しかし、38.5 億年前の Terminal impact cataclysm があったとすると、それ以前にあった海は破壊されたはずである。それ以前に生命が海で生まれたとしても、生き残れなかったかもしれない。しかし、海についての証拠が38億年前までなので、これより古い海についての推定はできない。

3 地殻の形成

地殻の存在が確認されているのは、地球型惑星と衛星である。固体表面が観測できない木星型惑星は地殻の存在は不明である。

惑星内部の熱源は定かではないが、惑星初期は高温であったと考えられている。惑星表面は珪酸塩鉱物が溶けるほど高温のマグマ・オーシャンになっていたと推定される。

マグマ・オーシャンが、天体のどの程度を占め、どれだけの期間存在したのか、またすべての地球型惑星にあったかどうかはわからない。しかし、地質学的根拠から地球と月ではマグマ・オーシャンが存在したと考えられている。また、慣性モーメントは、水星 (0.33)、金星 (0.33)、地球 (0.3308)、火星 (0.366)、月 (0.3901) のいずれも 0.4 より小さい。地球型惑星は、中心部分に重いものがあるような化学分化を起こしていることは明かである。このような化学分化が、マグマ・オーシャンに由来するものであれば、地球型惑星はすべてマグマ・

オーシャンがあったことになる。しかし、化学分化がマグマ・オーシャンに由来するものかどうかはまだ決着していない。

地球の材料物質が均質に集積するのではなく、不均質に集積したとすると、マグマ・オーシャンがなくても、惑星規模の化学分化をつくることは可能である。不均質集積モデルでは、金属の材料物質が最初集積し、惑星の核を形成し、その周りに珪酸塩質の岩石が集積しマントルとなったと考えるものである。不均質集積モデルは存在するが、現在は均質集積モデルが有力である。そしてマグマ・オーシャンで化学分化を起こしたことになる。

マグマ・オーシャンでは、表面から冷えていく。すると、結晶の晶出が起こる。マグマ・オーシャンの物理化学的条件が不明なので、どのような結晶がどのような順番で晶出するかは、よくわからない。月の場合は、斜長石が晶出している。斜長石の比重はマグマより軽く表面に浮き、月の高地を作ったと考えられる。地球にも斜長岩はあるが、月のものとは違いアノサイト (anorthosite) 成分に富む斜長岩からできている。月では、後に活動した玄武岩の海が 17% を覆うが、その他は斜長岩がおおっている。海は 42 億 ~ 31 億年前頃に微惑星の激しい衝突によって形成された (小出, 1997)。そのため、その前に存在していた斜長岩の地殻が破壊されたと考えられる。そして今も、斜長岩と玄武岩の地殻として残る。地球でも、月の高地をつくっていた斜長岩が形成されたかどうかは不明である。

金星や火星の惑星探査や隕石の情報から、玄武岩質の地殻があると推定されている (小出・山下, 1996b)。ただし、金星には酸性岩の地殻もあるらしい。いずれにしても、現在残っている斜長岩の地殻は月だけである。月固有の層なのか、他の天体にも初期には存在したのかは不明である。

玄武岩質にしても斜長岩質にしても、地殻ができるということは、マグマ・オーシャン内で化学分化が起こったことを示す。マグマ・オーシャン内では、核成分が沈み、地殻成分が浮いて分離したことになる。原始マントルは、C コンドライト質物質から核成分と地殻成分が抜けて残渣となる。核物質は Fe と Fe に親和性のある親鉄元素類が挙動をともにしたはずである。地殻が玄武岩質のものであれば、原始マントルは、比較的インコンパティブル元素 (incompatible elements) に富んだ (enrich) 組成となることが予想される。一方、斜長岩質の地殻があったとすると、インコンパティブル元素は地殻に濃集し、原始マントルは枯渇 (depleted) した組成になるはずである。

定性的には以上のような推定ができるが、定量的には議論されていない。いずれの場合にしても、天体が層構造を作った時点で、材料物質の化学組成からは変化し、層毎に相互作用が続く限り各層の化学組成は変化していく。

4 マントルの形成

マントルは、地球型惑星内では、体積も質量も多く主要構成成分となる。始源的隕石を材料物質とすると、金属鉄や FeS が脱けて核を作り、揮発性成分が脱けて大気

と海洋を作り、インコパティブル元素に富んだ珪酸塩が脱けて地殻をつくったと考えられる。核は地球型惑星では多くの体積と質量を持つため、核を作ったFeとそれに伴われる親鉄元素は、核に濃集していると考えられる。大気海洋では揮発性成分が濃集している。天体での地殻の占める割合は少ないため、インコパティブル元素の枯渇はマントル全体に及んでいないかもしれない。それに、地殻はプレート・テクトニクスによって循環しているためマントルの化学組成はインコパティブル元素に富んだ部分も多いと考えられている。

マントルは、地殻のリサイクルと時間の経過によっていつかの端成分マントルが形成されたと考えられる。

端成分マントルは、6つぐらいが識別されている（小出, 1992）。depleted MORB Mantle（DMM と略される）と呼ばれる枯渇した端成分マントルはMORB の供給源と考えられている。高い $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ 比を持つ high μ （HIMU）は特異なホット・スポットの Mt. Helena や Tubnail の火山に産する。enriched Mantle（EM）は、同位体的に enrich したマントルで、リサイクルした地殻を起源とすると考えられている。EM には $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の低い EM I と高い EM II に区分される。EM I は Walvis ridge や Samoa, Kerguelen のホット・スポット火山に産し、EM II はキンバーライトの起源物質と考えられる。材料物質から一番変化が少ない prevalent mantle（PREMA）と呼ばれる端成分がある。PREMA は、大陸洪水玄武岩（continental flood basalt）として大量の火山岩として産する。

このようなマントル端成分の形成は、マントル自身の進化によって形成されている。マントルは、端成分同士の混合と時間効率による変化、成分の分化や端成分を加味された複合的なものとして起こっている（小出, 1992）。

5 核の形成

核は、磁場の存在や慣性モーメント、太陽系の化学組成、隕石などから、Fe を主としたものあるいは H の金属化したものであると考えられる。地球型惑星では Fe を主とし、木星と土星は H の金属化したもの、天王星と海王星は氷と岩石の混合物であると考えられる。

ここでは、実体の比較的良くわかっている地球の核について述べる。

Fe の融点は 1,800 K で、珪酸塩鉱物の融点 900 ~ 1,300K に比べて、はるかに高い。珪酸塩メルトから Fe メルトが分離するというメカニズムを考えなければならない。Fe メルトが珪酸塩メルトと分離する液不混和状態を作らなければならない。このようなメカニズムはあったとしても複雑であろう。Fe は隕石にはたくさん含まれている成分ではあるが、熔融温度と分離過程の点で問題がある。

隕石の中にたくさん含まれる成分で硫化鉄（FeS）は、珪酸塩鉱物と比べても、融点が低く（1,194 K）、比重も大きい（4.84 g/cm³）。FeS メルトを想定すれば、珪酸塩鉱物が溶けるほど温度が上昇せず、FeS メルトだけができ、沈んでいったと考えればよい。FeS メルトが形成されるとすると、FeS から Fe と S に分離する過程を考え

なければならない。高温高压におけるこのような過程はまだ調べられていないため、実際起こりうるかどうか不明である。

MORB の Pb 同位体組成から得られるモデル年代は、大西の MORB は 44.4 億年前、太平洋は 44.3 億年前、インド洋は 44.8 億年前である。平均で 44.5 億年前が MORB から得られる。MORB の 44.5 億年前という年代は、地球が Pb と U の再配分をおこなった時期を示している。大規模な Pb と U の再配分とは、地球規模の化学分化、つまり地球の核形成の時期と考えられる。44.5 億年前に地球内部で核の分化が起こったと推定される（Allegre et al., 1995）。

VIII さいごに

地球の歴史を決定付ける時代である冥王代は、実はほとんどわかっていない。冥王代の現状は、暗闇の中である。地質学的定義の中にのみ存在するだけのリアリティのない時代のように見える。しかし、本稿でまとめたように、技術と調査の進展によって、まったく暗闇の中にあるような冥王代も、少しずつ明かりが見え始めてきた。帰納的手法として地球物質からは、正確な年代決定による冥王代の物質の発見とそこからの各種の地質現象の解釈がおこなえるようになってきた。また、同じく帰納法的手法だが、地球外の証拠である隕石や惑星探査の結果から地球の形成にまつわる情報が増加していることである。一方、演繹的手法として計算機によるシミュレーションによって、太陽系あるいは地球形成のプロセスが解明されてきた。以上のような成果は、今後ますます冥王代がリアリティを持つ時代となっていくであろう。

文献

- 阿部豊, 1996. 太陽系の起源. 地球惑星科学 1. 地球惑星学入門. 岩波書店 219-280.
- Abe, Y. & T. Matsui, 1985. The formation of an impact-induced H₂O atmosphere and its implications for the early thermal history of the Earth. *Jour. Geophys. Res.*, 90: 545-559.
- 甘利幸子, 1993. 隕石中の SiC: 同位体比とその起源. *日本惑星科学会誌*, 2: 73-77.
- Amari, S., P. Hoppe, E. Zinner & R. S. Lewis, 1993. The isotopic compositions and stellar sources of meteoritic graphite grains. *Nature*, 365: 806-809.
- Anders, E. & E. Zinner, 1993. Interstellar grains in primitive meteorites: diamond, silicon carbide, and graphite. *Meteoritics*, 28: 490-514.
- Ash, R. D., S. F. Knott, & G. Turner, 1996. A 4-Gyr shock age for a martian meteorite and implications for the cratering history of Mars. *Nature*, 380: 57-59.
- Allegre, C. J., G. Manhès, & C. Gopel, 1995. The age of the Earth. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59: 1445-1456.
- Banerdt, W. B., M. P. Golombek, & K. L. Tanaka, 1992. Stress and tectonics of Mars. In Kieffer, J. H. B. M. Jakosky, C. W. Snyder, & M. S. Matthews eds., Mars. pp. 249-297. Univ. of Arizona Press, Tucson.
- Bibikova, E. V., V. I. Shul-diner, T. V. Gracheva et al., 1984. Isotopic age of granulites on the West of Stanovoy region. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 276: 1471-1474.
- Bibikova, E. V., A. N. Belov, T. M. Gracheva, et al. 1987. On the age

- of the granulite metamorphic and metasomatic processes. *Transaction of the 23rd Session on Isotope Geochron.*, pp. 71-85. Nauka, Moscow.
- Bibikova, E. V., G. M. Drugova, V. L. Duk & L. Keysky, 1986. Geochronology of the Aldan-Vitim Shield. In Shukolyukov, Y. A. ed., *Isotopic Methods in Geology and Geochronological Scale*, pp. 135-159. Nauka, Moscow.
- Black, L. P., I. S. Williams & W. Compston, 1986. Four zircon ages from one rock: the complex history of a 3930 Ma old granulite from Mount Sones, Enderby Land, Antarctica. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 94: 427-437.
- Bowring, S. A., J. E. King, T. B. Housj, C. E. Isachsen & F. A. Podsek, 1989a. Neodymium and lead isotope evidence for enriched early Archaean crust in North America. *Nature*, 340: 222-225.
- Bowring, S. A., I. S. Williams & W. Compston, 1989b. 3.96 Ga gneisses from the Slave Province, Northwest Territories, Canada. *Geology*, 17: 971-975.
- Bowring, S. A., T. B. Housh & C. E. Isachsen, 1990. The Acasta gneisses: Remnant of Earth's early crust. In Newson, H. W. & J. H. Jones eds., *Origin of the Earth*. pp. 319-343. Oxford Univ. Press, New York.
- Brown H., 1952. The atmospheres of the earth and planets. In: Kniper, G. P. ed., pp. 257-266. Chicago Univ. Press, Chicago.
- Cavell, P. A., J. R. Wijbrans & H. Baadsgaard, 1992. Archean magmatism in the Kaminak Lake area, District of Keewatin, Northwest Territories: ages of the carbonatite-bearing alkaline complex and some host granitoid rocks. *Canadian Jour. Earth Sci.*, 29: 896.
- Chen, J. H. & G. J. Wasserburg, 1981. The isotopic composition of uranium and lead in Allende inclusions and meteoritic phosphates. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 52: 1-15.
- Chen, J. H. & G. J. Wasserburg, 1985. U-Th-Pb isotopic studies on meteorite ALHA81005 and Ibitira. *Lunar Planet. Sci.* 16th., 119-120 (abstr.).
- Cloud, P. E. 1976. Major features of crustal evolution. A. L. du Toit Memorial Lecture Ser. 14, *Transactions of the Geological Soc. South Africa* 79: 33 pp.
- Compston, W. & R. T. Pidgeon, 1986. Jack Hills, evidence of more very old detrital zircons in Western Australia. *Nature*, 321: 766-769.
- Cordani, V. G., K. Sato & M. M. Marinho, 1985. The geological evolution of the ancient granite-greenstone terrane of central-southern Bahia, Brazil. *Precamb. Res.*, 27: 187-213.
- Danni, J. C. M., R. A. Fuck & J. R. Leonardos, 1982. Archean and lower Proterozoic units in Central Brazil. *Geol. Rdsch.*, 71: 291-317.
- Fanale, F. P., 1971. A case of Catastrophic early degassing of the earth. *Chem. Geol.*, 8: 79-105.
- Froude, D. O., T. R. Ireland, P. D. Kinny, I. S. Williams & W. Compston, 1983. Ion microprobe identification of 4,100 - 4,200 Myr-old terrestrial zircons. *Nature*, 304: 616-618.
- Fujii, N., 1994. Global tectonic styles on Venus. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 100: 60-70.
- Gaal, G. & R. Gorbatshev, 1987. An outline of the Precambrian evolution of the Baltic Shield. *Precamb. Res.*, 35: 15-52.
- Gautier, D. & T. Owen, 1989. The composition of outer planet atmospheres. In Atreya, S. K., J. B. Pollack & M. S. Matthews eds., *Origin and evolution of planetary and satellite atmospheres*. pp. 487-512. Univ. of Arizona Press, Tucson.
- Gopel, C., G. Manhès & C. J. Allegre, 1994. U-Pb systematics of phosphates from equilibrated ordinary chondrites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 121: 153-171.
- Grimm, R. E. & R. J. Phillips, 1992. Anatomy of a Venusian hot spot: geology, gravity and mantle dynamics of Eistla Regio. *Jour. Geophys. Res.*, 97: 16035-16054.
- Gray, C. M. & W. Compston, 1974. Excess ²⁶Mg in the Allende meteorites. *Nature*, 251: 495-497.
- Goldreich, P. & W. R. Ward, 1973. The formation of planetesimals. *Astrophys. Jour.*, 183: 1051-1061.
- Goodwin, A. M., 1996. *Principles of Precambrian Geology*. 327 pp. Academic Press, Toronto.
- Harland, W. B., & R. L. Armstrong, A. V. Cox, L. E. Craig, A. G. Smith & D. G. Smith, 1990. *A geologic time scale 1989*. 263 pp. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Hartmann, W. K., 1977. Relative crater production rates on planets. *Icarus*, 31: 84-99.
- 林忠四郎, 1972. 太陽系形成の理論. 月・惑星シンポジウム報告集, 13-18.
- Hayashi, C., K. Nakazawa & Y. Nakazawa, 1985. Formation of the solar system. In Black, D. C. & M. S. Matthews, eds., *protostar and Planets II*, pp. 1100-1153. Univ. of Arizona, Tucson.
- Heiken, G., D. Vaniman & B. M. French, 1991. *Lunar Sourcebook, A users guide to the Moon*. 736 pp. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Hubbard, W. B. & W. L. Slattery, 1980. Interior structure of Saturn inferred from Pioneer 11 gravity data. *Jour. Geophys. Res.*, 85: 5909-5916.
- Hurley, P. M., H. W. Fairbairn & H. E. Gaudette, 1976. Progress report on early Archean rocks in Liberia, Sierra Leone and Guyana, and their general stratigraphic setting. In B. F. Windleg ed., *The Early History of the Earth*, pp. 511-521. John Wiley, New York.
- Ireland, T. R., W. Compston, I. S. Williams & I. Wendt, 1990. U-Th-Pb systematics of individual perovskite grains from the Allende and Marchison carbonaceous chondrites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 101: 379-387.
- Jacobsen, S. B. & G. J. Wasserburg, 1984. Sm-Nd evolution of chondrites and achondrites, II. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 67: 137-150.
- 加納博, 1995. 始生代の地球. 地学団体研究会編, 新版地学教育講座 7 地球の歴史. pp. 90-100. 東海大学出版会, 東京.
- Kinny, D. D., 1986. 3820 Ma zircon from a tonalitic Amitsoq gneiss in the Godthaab district in southern West Greenland. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 79: 337-347.
- 小出良幸, 1992. マントルの同位体的多様性 — マントル進化へのアプローチ. 地学雑誌, 101: 159-192.
- 小出良幸, 1994. 総説: 地球の生成場にまつわるモデルとその束縛条件. 神奈川県立博物館研究報告自然科学, 23: 51-86.
- 小出良幸, 1995a. 総説: 隕石 — 地球の材料物質としての隕石 —. 神奈川県立博物館研究報告自然科学, 24: 9-38.
- 小出良幸, 1995b. 地球前史 — 地球形成場の素描 —. 月刊地球, 17: 203-209.
- 小出良幸, 1997. 宇宙階層概論 — 宇宙の階層内における私たちの普遍性と特異性 —. 神奈川県立博物館調査研究報告 (自然), 8: 131-170.
- 小出良幸, 1998. 生命の起源 — 宇宙生物学へのアプローチ —. 神奈川県立博物館研究報告自然科学, 27: 1-30.
- 小出良幸・山下浩之, 1995. 地球前史 — 地球形成場と原料への束縛条件 —. 地学雑誌, 104: 167-188.
- 小出良幸・山下浩之, 1996a. 総説: 地球初期への惑星物理的束縛条件. 神奈川県立博物館研究報告自然科学, 25: 1-26.
- 小出良幸・山下浩之, 1996b. 総説: 地球初期の惑星化学的束縛条件. 神奈川県立博物館研究報告自然科学, 25: 27-55.

- 小出良幸・山下浩之・佐藤武宏, 1997a. 惑星進化論へのアプローチ: 要因と概論. 神奈川県立博物館研究報告 (自然科学), 23: 1-25.
- 小出良幸・山下浩之・佐藤武宏, 1997b. 惑星科学の現状—惑星の調べ方と調べてわかったこと—. 神奈川県立博物館調査研究報告 (自然), 8: 13-29.
- Kober, B., R. T. Pidgeon & H. S. Lippolt, 1989. Single-zircon dating by stepwise Pb-evaporation constrains the Archean history of detrital zircons from the Jack Hills, western Australia. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 91: 286-296.
- Kroner, A., & A. Tegtmeier, 1994. Gneiss-greenstone relationships in the Ancient Gneiss Complex of southwestern Swaziland, southern Africa, and implications for early crustal evolution. *Precamb. Res.*, 67: 109-139.
- Latouche, L., 1978. Etude petrographique et structurale de Precambrien de la region des Gour Cumelalen (Nord-Est de l'Ahaggar, Algerie). These. Doct. Etat. Univ. Paris.
- Lewis, R. S., S. Amari & E. Anders, 1994. Interstellar grains in meteorites: II. SiC and its noble gases. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58: 471-494.
- Liu, D. Y., A. P. Nutman, W. Compston, J. S. Wu & Q. H. Shen, 1992. Remnants of >3800 Ma crust in Chinese part of the Sino-Korean craton. *Geology*, 20: 339-342.
- Lipschutz, M. E., M. J. Gaffey & P. Pellas, 1989. Meteoritic parent bodies: nature, number, size and relation to present-day asteroids. In R. P. Binzel, T. Gehrels & M. S. Matthews, Eds., *Asteroids II*. pp. 740-778. Univ. Arizona Press, Tucson.
- Lugmair, G. W. & S. J. G. Galer, 1992. Age and isotopic relationships among the angrites Lewis Cliff 86010 and Angra dos Reis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45: 1673-1694.
- Macfarlane, A., M. J. Crow, J. W. Arthurs & A. F. Wilkinson, 1981. The geology and mineral resources of northern Sierra Leone. *Overseas Mem. Inst. Geol. Sci.*, 7.
- Manhes, G., Gopel, C. & Allegre, C. J., 1988. Systematique U-Pb dans les inclusions refractaires d'Allende: le plus vieux materiel solaire. *Comptes Rendus de l'ATP Planetologie*, 323-327.
- 丸山茂徳, 1998. 太古代付加体と新しい地球史. *科学*, 68: 763-774.
- 丸山茂徳・磯崎行雄, 1992. 地球初期のテクトニクス 地球史研究の戦略との展望. *科学* 62: 175-184.
- 丸山茂徳・磯崎行雄, 1998. 生命と地球の歴史. 岩波新書 543, 275 p.
- Mass, R. & M. T. McCulloch, 1991. The provenance of Archean clastic metasediments in the Narryer Gneiss Complex, Western Australia: Trace element geochemistry, Nd isotopes, and U-Pb ages for detrital zircons. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55: 1915-1932.
- McCulloch, T. M. & G. J. Wasserburg, 1980. Early Archean Sm-Nd model ages from a tonalitic gneiss, northern Michigan. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, 182: 135-138.
- McKay, D. S., E. K. Gibson, Jr., K. L. Thomas-Kepka, H. Vila, C. S. Romanel, S. J. Clemett, X. D. F. Chillier, C. R. Maechling & R. N. Zare, 1996. Search for past life on Mars; Possible relic biogenic activity in martian meteorite ALH84001. *Science*, 273: 414-419.
- McKinnon, W. B. & S. Mueller, 1988. Pluto's structure and composition suggest origin in the solar, not a planetary nebula. *Nature*, 335: 240-246.
- Michard-Vitrac A., J. Lancelot, C. J. Allegre & S. Moorbath, 1977. U-Pb ages on single zircons from the early Precambrian rocks of West Greenland and the Minnesota River Valley. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 35: 138-139.
- Minster, J. F., J. L. Birch & C. J. Allegre, 1982. Absolute age for formation of chondrites studies by the 87Rb-87Sr method. *Nature*, 300: 414-419.
- 森山茂, 1979. 木星大気を探る. 自然, 1979年6月号: 2-59.
- Mueller, P. A., J. L. Wooden & A. P. Nutman, 1992. 3.96 Ga zircons from an Archean Quartzite, Beartooth Mountains, Montana. *Geology*, 20: 327-330.
- 中川義次, 1983a. 第III章 3 原始原始太陽星雲. 現代天文学小事典. pp. 148-151. 講談社, 東京.
- 中川義次, 1983b. 第III章 4 原始惑星. 現代天文学小事典. pp. 151-152. 講談社, 東京.
- 中川義次, 1983c. 第III章 5 固体層. 現代天文学小事典. pp. 152-154. 講談社, 東京.
- 中川義次, 1983d. 第III章 6 固体の凝縮. 現代天文学小事典. pp. 154-156. 講談社, 東京.
- 中野武宣, 1983. 第III章 2 原始星. 現代天文学小事典. pp. 144-148. 講談社, 東京.
- 中沢清, 1978. 第2章 太陽系の起源と進化. 岩波講座地球科学 13. pp. 21-87. 岩波書店, 東京.
- 中沢清・中川義次, 1984. 第2章 惑星形成のシナリオ. 現在の太陽系科学. pp. 48-81. 東京大学出版会, 東京.
- Nemchin, A. A., R. T. Pidgeon & S. A. Wilde, 1994. Timing of Late Archean granulite facies metamorphism in the southwestern Yilgarn Craton of Western Australia: evidence from U-Pb ages of zircons from mafic granulites. *Precamb. Res.*, 68: 307-321.
- Neukum, G. & Wise, D. U., 1976. Mars: A standard crater curve and possible new time scale. *Science*, 194: 1381-1387.
- Nutman, A. P., B. Chadwick, M. Bridgewater & M. N. Viswanatha, 1992. SHRIMP U-Pb ages of detrital zircon in Sargar supracrustal rocks in western Karnataka, southern India. *Jour. Geol. Soc. India*, 39: 367-374.
- Nutman, A. P., B. J. Fryer & D. Bridgewater, 1989. The early Archean Nulliak (supracrustal) assemblage, northern Labrador. *Canada. J. Earth Sci.*, 126: 2159-2168.
- Park, R. G. & J. Tarney, 1987. The Lewisian complex: a typical Precambrian high-grade terrain? In Park R. G. & J. Tarney eds., *Evolution of the Lewisian and Comparable High Grade Terrins*. *Geol. Soc. Spec. Public.*, 27: 13-25.
- Patterson, C. C., G. R. Tilton & M. G. Inghram, 1955. Age of the Earth. *Science*, 121: 69-75.
- Rubey, W. W., 1951. Geochemical history of sea water: an attempt to state the problem. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 62: 1111-1147.
- Safronov, V. S. 1969. Evolution of the protoplanetary cloud and formation of the Earth and the planets. Nauka, Moscow, Translated by the Israrel Program for Scientific Translation (1972).
- Sandwell, D. T. & G. Schubert, 1992. Flexural ridges, trenches, and outer arc rises around coronae on Venus. *Jour. Geophys. Res.*, 97: 16069-16084.
- Sarkar, G., F. Corfu, D. K. Paul, N. J. McNaughton, S. N. Gupta & P. K. Bishui, 1993. Early Archean crust in Bastar Craton, Central India - a geochemical and isotopic study. *Precamb. Res.*, 62: 127-137.
- Scharer, U. & C. J. Allegre, 1985. Determination of the age of the Australian continent by single-grain zircon analysis of the Mt. Narryer metaquartzite. *Nature*, 315: 52-55.
- Schidlowski, M. 1988. A 3,800-million-year isotopic record from carbon in sedimentary rocks. *Nature*, 333: 313-318.
- Schubert, G., S. C. Solomon, D. L. Turcotte, M. J. Drake & N. H. Sleep, 1992. Origin and thermal evolution of Mars. In Kieffer,

- H. H., B. M. Jakosky, C. W. Snyder & M. S. Matthews Eds., Mars. pp. 147-138. Univ. of Arizona Press, Tucson.
- Semenenko, N. P. 1972. Comparison between the Ukrainian and Baltic Shield Precambrian. *Geotektonika*, 5: 93-98.
- Spudis, P. D. & J. E. Guest, 1988. Stratigraphy and geologic history of Mercury. In Vilas, F. C. R. Chapman & M. S. Matthew eds., Mercury. pp. 118-164. Univ. of Arizona Press, Tucson.
- Swindle, T. D. & F. A. Podosek, 1988. Iodine-xenon dating. In Kerridge & M. S. Matthews, eds., Meteorites and the early solar system, pp. 1127-1146. Univ. Arizona Press, Tucson.
- Tankard, A. J., M. P. A. Jackson, K. A. Eriksson, D. K. Hobday, D. R. Hunter & W. E. L. Minster, 1982. Crustal evolution of Southern Africa: 3.8 billion years of Earth history. 523 pp. Springer Verlag, New York,
- Tanaka, K. L., David, H. S. & Greeley, R., 1992. Global stratigraphy. In Kieffer, J. H., B. M. Jakosky, C. W. Snyder & M. S. Matthews eds., Mars. pp. 345-382. Univ. of Arizona Press, Tucson.
- Taylor, P. N., 1975. An early Precambrian age for migmatitic gneisses from Vikan IBO, Vesteralen, north Norway. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 27: 35-42.
- Taylor, S. R., 1992. Solar System Evolution. 307 pp. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Treiman, A. H., J. H. Jones & M. J. Drake, 1987. Core formation in the shergottite parent body and comparison with the Earth. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf.*, 17, Jour. Geophys. Res. Supply., 92: E627-632.
- Virag, A., B. Wopenka, S. Amari, E. Zinner, E. Anders & R. S. Lewis, 1992. Isotopic, optical and trace element properties of large single SiC grains from Marchison meteorite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56: 1715-1733.
- Wilhelms, D. E. 1987. The geologic history of the Moon, with sections by J. F. McCauley and N. J. Trask. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper, 1348: 302 pp.

摘 要

小出 良幸, 1999. 冥王代の地質学的素描. 神奈川県立博物館研究報告 (自然科学), 28: 1-28. (Y. KOIDE, 1999. Geological Sketch of Hadean Era. Bull. Kanagawa prefect. Mus. (Nat. Sci.), 28: 1-28.)

地球は約45.6億年前に形成された。38億年前以降の地質学的証拠はたくさん得ることができる。しかし、45.6億から38億年前の間の証拠はない。このような時期を冥王代と呼ぶ。冥王代の定義は、地質学的証拠のない時代である。本論文では、冥王代への帰納的と演繹的アプローチを試みた。帰納的アプローチとして地球内部と地球外からの推定をおこなった。演繹的アプローチとしてコンピューターシミュレーションや岩石やマグマの高温高圧実験によって導き出された法則や規則、傾向、系統的变化などから推定をおこなった。

(受付: 1998年11月27日, 受理: 1998年12月3日)

論 説

地球科学の新しい教育法試案 ー博物館における地球科学教育の刷新へのケーススタディーー

A Tentative Plan of New Education Method on Earth Science
- A Case Study of Renovating Literacy of Earth Science on Museum -

小出良幸・平田大二・山下浩之・新井田秀一・佐藤武宏・田口公則

神奈川県立生命の星・地球博物館

Yoshiyuki KOIDE, Daiji HIRATA, Hiroyuki YAMASHITA, Shuichi NIIDA,
Takehiro SATO & Kiminori TAGUCHI

Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, 499 Iryuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan

Abstract. We analyzed the present circumstances surrounding the literacy of Earth science on museums. Our analyses of the present circumstances are of society, science, Japanese science education, progress of Earth science, and spreading method of museums. The results of their analyses suggest necessary to renovate literacy of Earth science on museums. We generalized the renovation proceeding to the directions of "new tools", "new method", "new perspectives" and "new design". "New tools" are new technology, new hardware and new software. They symbolize the personal computer and the internet. Introduce and usage of "new tools" should lead us to "new method" of science education of museums. "New perspectives" can learn from the handicapped persons. For example, the impediment persons in sight should deeply know the senses of hearing, taste, touch and smell without sight. The "new perspectives" could lead us to "new design" of museum activities. We perform the activities in the new directions.

Key words: Earth Science, Literacy of Earth Science, Museum Education, New Education Method, PAC Geo, EPACS

1 はじめに

科学の進歩は速い。まさに日進月歩で進んでいる。科学の進歩に伴って技術も進歩する。逆に、技術の進歩によって科学も進歩する。過去10年間の進歩に比べ、今後10年間の進歩のほうが大きいと考えられる。それは、ここ10数年あるいは100年くらいの歴史がそれを証明している。地球科学も例外ではない。この100年間に著しい進歩を見せている。博物館では、科学の進歩への直接の貢献つまり研究活動と市民への科学教育つまり普及活動の2つの側面において科学に接している。生涯教育の風潮が強い現在では、研究活動に勝るとも劣らず科学教育も重要である。博物館のような生涯教育施設は、科学普及において重要な役割を果たすと考えられる。進歩の著しい科学を普及するため、博物館での普及活動は、「新しい科学」の普及に適切なものであるかどうかを、常に注意しておく必要がある。

本稿では、地球科学の教育法について再検討する。そのために、地球科学を取り巻く現状を広く概観し、問題点を整理する。また、今までの博物館の普及活動におけ

る問題点を整理する。このような現状分析に基づいて地球科学教育の新しい方向性を模索する。最後に著者らの新しい方向性を目指した活動を報告する。本報告は、著者らの新たな取り組みの紹介であって、既存のシステム、行事、博物館の方針などに制限を与えるものでもないし、どこからも制限を加えられるものでもない。ある博物館の有志が、新しい方向性を目指しておこなっているケーススタディと考えていただきたい。しかし、ここで得られた成果や考えは自由に利用していただきたい。

著者らの活動に理解をいただき協力を頂いた石井政道さん(小田原市教育研究所教育相談指導学級)、五島政一さん(国立教育研究所)、小林真由美さん、鈴木美紗緒さん、杉之間伸男さん(株式会社テクノリサーチ)、鈴木拓也さん(神奈川県立平塚盲学校)、長山高子さん(酒匂中学校)、広谷浩子さん(神奈川県立生命の星・地球博物館)、古屋潔子さん、山崎丞さん(株式会社テクノリサーチ)に感謝申し上げる(アイウエオ順)。本研究は、文部省科学研究費、文部省南関東科学系博物館ネットワーク推進事業、日本科学協会の援助を受けている。

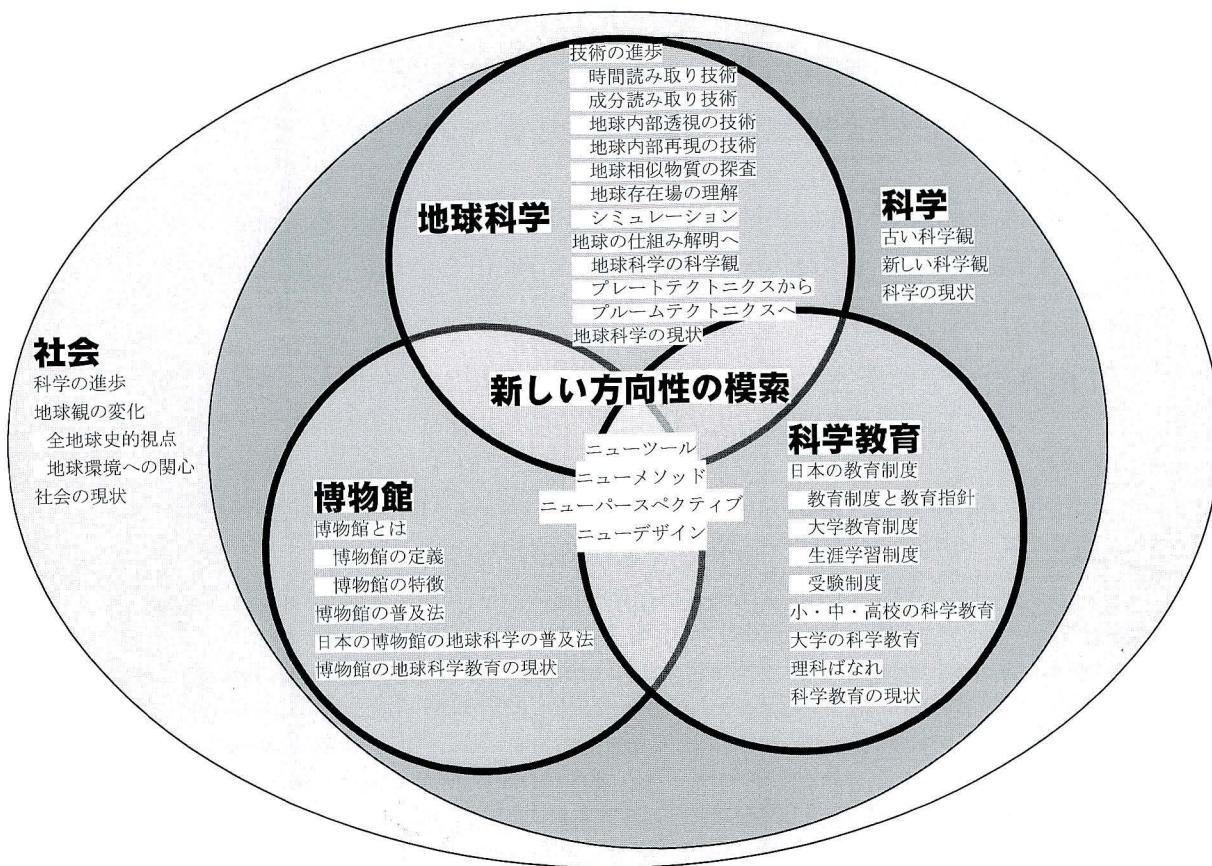


図1. 博物館にける地球科学教育を取り巻く現状。
本稿で現状分析した分野と内容をまとめた。

II 地球科学を取り巻く現状

地球科学は、他の科学分野と同じように進歩している。天文学、物理学、生物学などと比べると、地球科学は、地震や火山の自然災害と恐竜を除けば、マスメディアに取り上げられことは少なく、地味にみえる。しかし、地球科学も確実に進歩しているし、飛躍的な進歩もおきている。地球科学は決して単独で進歩してきたのではない。社会情勢や、科学全体の流れ、周辺の学問分野の進歩に伴って地球科学も進歩している。地球科学を取り巻く状況を把握するために、社会、科学、科学教育、地球科学という観点で現状をまとめる（図1）。

1 社会

地球科学は当然、社会情勢の中で成長する。地球科学を取り巻く状況を考えるとき、真っ先に社会の状況を見る必要があろう。さまざまな社会情勢の変化を、科学の進歩と地球観の変化という視点でみて、現状をまとめて分析する。

i 科学の進歩

トフラー（Alvin Toffler）はその著書「第三の波」(1980)の中で、現代は大きな変換の時期にきていると分析した。トフラーのいう第一の波とは農業革命の段階で、第二の

波は産業革命の段階で、第三の波が現在起こりつつある変化であると考えた。

第三の波を一言でいうと、新しい技術体系と新しい情報体系の出現によって、生産構造の変化が起こることがあり、やがて新しい社会体系が生まれるという予測を含んでいる。新しい技術体系とは、再生可能な資源と分散型、多様化したエネルギーシステムを基盤にした、環境規制の下に出現したコンピューターやエレクトロニクス、遺伝子産業などの省スペース・省エネルギー型の高度な技術群のことである。新しい情報体系とは、エレクトロニクスやコンピューター等の新しい技術体系に裏打ちされた「活性化した社会的記憶」と「非マス化したメディア」によって形造られる情報環境のことである。新しい技術体系と新しい情報体系は、脱規格化した需要に応じた物質代謝型生産システムへと変化していく。生産構造の変化により、労働の家庭化や機械化などの新しい生活様式を生み、やがては新しい社会体系を生じるといえるものである。

約20年前のトフラーの予測はある面では正しい。新しい技術体系と新しい情報体系は生まれている。エレクトロニクスは、軽薄短小を目指し、そして実現してきた。現在もこの方向に沿って技術の進歩は続いている。エレクトロニクスの集大成として、コンピューターがある。コ

ンピューターは、日本では一人一台に近づく勢いである。コンピューターは、今まで手作業でしていた定型業務を迅速簡便化してきた。人間の能力の一部を有能に肩代わりしてきた。しかし、コンピューターだけではなく、便利な箱の域を越えなかった。しかし、インターネットの出現によって、コンピューターに新しい局面が形成された。それは、インターネットによる膨大なる情報空間の形成である。情報空間の入り口がコンピューターなのである。コンピューターなしではインターネットは成り立たない。家庭においては、既存の電話網を利用しながら、電話以上の価値を持つようになった。インターネットは、大衆に受け入れられ、各種の規模での情報発信、受信がおこなわれている。立花隆(1997)はインターネットのデジタル空間を頭脳と見立て、「グローバル・ブレイン」と呼んだ。トフラーのいう大衆を巻きこんだ新しい情報体系が出現しつつある。新しい社会体系はまだ出現していないが、旧ソ連などの社会主義国家の崩壊と東西ドイツの合併など、新しい時代の到来が予感させられる。

さらに重要な点は、シンガポールで実践されつつあるように、国家による高度な情報化した都市を出現させることによって、短時間で経済成長をすることが可能である。情報という視点で見ると、地球に僻地はなくなった。インターネットにつながったコンピューターがある限り、地球上のどこにいても、最新の情報に接することが可能だし、リアルタイムで情報発信ができるようになったのである。

ii 地球観の変化

(1) 全地球史的視点：全地球史解読

最近、地球科学に関連する分野では、総合的研究がおこなわれてきた。代表的なものでは、1960年代の上部マントル計画、1970年代の地球ダイナミックス計画、1980年代のリソスフェア探査開発計画 (DELP: Development and Evolution of the Lithosphere Program)、1990年代では、MULTIER (Multisphere Interaction, Evolution and Rhythm) 計画、そして全地球史解読計画が実施されてきた。

全地球史解読計画の主要な部分は、地質時代の海底堆積物から、過去40億年間の歴史を読み取ろうとするものである。約40億年前からの海洋地殻岩石とその上の遠洋性堆積物、海溝付近の陸源堆積物が保存されている。このような一連の岩石、堆積物を付加体という。保存するためのメカニズムが、プレートテクトニクスである。約40億年前の付加帯があるということは、プレートテクトニクスが40億年前までさかのぼれるということである。

海洋地殻とは、地球表面の7割を代表する岩石群である。深海底におけるマントルまでのボーリングコアに相当する資料が、オフィオライトとして2次元的に地表に存在する。また海洋性堆積物は水圏、気圏、生命圏、そして岩石圏の総合的なインタラクションの積分値のようなものである。陸源堆積物は陸の平均的物質と見なせる。

付加体の構成物の重要性に気付いたのは、日本人研究者であった。すなわち付加体が地球史記録メディアであるという視点を持っていたのは、日本人研究者だけで

あった。

全地球史解読計画は、このような視点と現状の技術力と新しい技術開発に裏づけされた、復元能力によって、地球史を解読し、全地球史の再現を試みるものであった。また、地球史記録メディアである付加体には、宇宙との相互作用の影響も記録されていることがわかってきた。宇宙塵や潮汐作用、日周期、季節変化、年周期あるいはもっと長周期のリズムの記録が読み取られるようになってきた。

1998年3月で全地球史解読計画は終了したが、新しい視点導入と新規技術の開発において地球科学の分野のみならず多分野に重要な貢献をした。

(2) 地球環境への関心

環境問題は、地球規模の取り組みが必要である。それは、生じるであろう影響が全地球規模になっていること、原因が一国家に留まらない場合も多いこと、原因が多数あることなどで、環境問題は複雑化しているためである。たとえば、人口の増大によって、エネルギーや食料の消費が増大する。それを補給するために、発展途上国の原料供給や食料生産が自国の必要量を越えた規模でおこなわれる。そのため、発展途上国では、自然破壊を伴った原料採取や単一作物のみの栽培、農薬の大量投与による生態系の破壊、ひいては地球規模の環境破壊が起こる。

このような複雑な原因を抱えた地球環境問題は、理想的には個人や企業が真剣に地球の環境を憂い、その対策に勤め、地方自治体や国家などの行政や国連がそのレベルに応じて対策したときに初めて本質的な解決がなされるであろう。しかし、これは理想であって、現実には各レベルでの地道な取り組みから始める必要がある。

世界レベルの活動として、最初に環境問題を警告したのは、1972年のローマ・クラブの「成長の限界」においてであった。さらに1975年には同じくローマ・クラブが、「転機に立つ人間社会」において、人類の危機が1972年に予想した方向に確実に進んでいることを示した。1972年6月、スウェーデンのストックホルムで開催された第1回国連環境会議の席上、「人間環境宣言」が採択された。この会議によって、地球環境に関する国際的な取り組みの指針を与えた。それをうけてアメリカ合衆国(1980, 1981)から「西暦2000年の地球」という膨大な特別調査報告書が発表された。その後も、1982年に国際連合環境計画管理理事会特別会合の「ナイロビ宣言」、1992年に環境と開発に関する国連会議の「環境と開発に関するリオ宣言」などによって地球環境に対する宣言が繰り返され、環境問題が世界規模であることをアピールされてきた。

日本は、環境問題に直面し、対処してきた経験を持つ国の一つである。1960年代の単純な利潤追求による無秩序な工業化によって、環境問題が人間への被害という形で現れ、社会問題となった。当時、環境問題は「公害」という言い方がされた。個人対企業の問題として行政が介入したため、地域の問題として捉えられてきた。公害問題への行政の介入によって、環境汚染に対する基準が強化され、公害に対する技術が発達した。

このような社会情勢を受け、1978年、日本学術審議会は「環境科学研究の推進について」という建議を文部省に提出した。これに基づいて、文部省の科学研究費補助金の細目として「環境科学特別研究」が設置され、続いて重点領域研究が始められた。その成果は「地球環境変動の科学ーかけがえのない地球を守るためにー」(第5回「大学と科学」公開シンポジウム組織委員会編、1991)と「地球環境変動の科学IIーかけがえのない地球を守るためにー」(第8回「大学と科学」公開シンポジウム組織委員会編、1994)という形でまとめられている。

文部省は「環境教育指導資料(小学校篇)」(1992)や「環境教育指導資料(中学校・高等学校篇)」(1991)などを出版して、各教科における環境教育の指導案が提示されている。また、このような指導案に基づいて各教育現場で環境学習への取り組みがなされている(小出ほか、1994)。

その他の省庁や地方自治体などでも、環境問題や環境教育に関しての報告書などを提示している。環境庁では「環境白書」(1994)を作成し、現状分析から環境への負担の少ない社会経済活動に向けての提案をしている。ここでは、緻密な現状分析と、地方公共団体による対策例示がなされている。また、一般向けにわかりやすくした「マンガで見る環境白書」(環境庁企画調整局計画調査室、1994)も出版されている。

神奈川県では、かなり具体的な内容をもつ「かながわ環境白書」(1994)が出版されている。この白書では環境の概況と、化学物質の安全性、大気汚染、自動車公害、騒音・振動、悪臭、水質汚染、地盤地下、土壌汚染、廃棄物などによる具体的な問題と、実際の神奈川県における対策を詳細に報告されている。

環境問題は、一種のブームとなりマスコミにも何度も取り上げられ、多数の出版物が出された。このようなブームによって一般の市民にも地球環境の深刻さが伝わっている。

著者らは、地球環境というテーマを設定して1994年4月より5回にわたってアンケート調査を実施した。アンケート調査の集計や結果の詳細は、「神奈川県の地球環境学習実態調査報告書ー新しい地球環境学習プログラム開発をめざしてー」で報告した。また、小出ほか(1994)や平田ほか(1996)でその概略を示した。

アンケート調査の結果からの分析によると、生徒や学生は自然への強い興味を持っている。人文科学や社会科学より、自然科学に対する興味が強いといえる。そして、大人も自然に関する興味を持っている。地球環境問題は学校教育で、何らかの取り組みがなされており、多く階層の人達にも多くのニーズがある。このようなアンケート調査の結果から(平田ほか、1995; 小出ほか、1995a)、市民のニーズを満たすような学習プログラムを開発し、提供していく必要があることが明らかになった(小出ほか、1995b)。

iii 社会の現状：まとめ

社会の現状を、科学技術の進歩と地球観の変化という視点で眺めた。エレクトロニクスの集合体としてコン

ピューターが作られた。インターネットという情報網に接続されることによって、コンピューターが便利な箱から、情報受信・発信装置という固有の能力を持つようになってきた。このような高度情報化によって、人類の地球観に変化が起こってきた。変化してきた地球観とは、空間的・時間的に広がりをもつ全地球的視点である。地球科学でも、科学技術と日本独自の発想による全地球史的視点が導入されてきた。そして一般の人にも地球環境へ関心が向いてきた。社会の現状分析から、社会の変化に伴ってものの見方も変わっていくことが導き出される。ごく当たり前のことであるが、地球科学教育もこのようなものの見方の変化に対処していく必要がある。

2 科学

ここでは、科学の進歩を、科学観や科学哲学の変遷としてたどっていく。科学観の変遷を把握することによって、科学の動向と現状を見る。1950年までの古い科学論と、それ以降の現在も続いている新しい科学観をまとめる(図2)。

i 古い科学観：常識的科学観

私たちは、基本的には常識的な判断に基づいて日常生活をしている。そのため、常識的な判断による科学がなされる。常識的科学観の基盤を築いたのは、デカルト(Ren Descartes)とベーコン(Francis Bacon)であり、カント(Immanuel Kant)によって集約される。

デカルトは、方法序説(1937)の中で合理主義に基づく機械的な自然観を示した。理性により一つの原理から個々の事実を証明するという演繹法と呼ばれる手法を確立した。そして、キリスト教の宗教的時代にあって、精神世界と物質世界を分離した。デカルトから始まる合理主義は、パスカル(Blaise Pascal)、スピノザ(Baruch de Spinoza)、ライプニッツ(Gottfried Wilhelm Leibniz)へと進んでいった。

ベーコンは、先入観や偏見を持たずに、自然をよく観察する経験主義を唱えた。いろいろな事実から一つの原理を導く帰納法という手法を確立した。

ベーコンから始まる経験主義は、ホブズ(Thomas Hobbes)、ロック(John Locke)、パークリー(George Berkeley)、ヒューム(David Hume)へと受け継がれていった。その流れの中に、ニュートン(Isaac Newton)もいた。ニュートンは ϕ われ仮説を作らず ϵ と語り、ベーコン的な精神を表明した(藤村ほか、1988)。

ニュートンは、自然科学の真理を発見したが、それは当時の真理観をくつがえすものであった。

ニュートンの科学に強い影響を受けたカントは、ニュートンの自然科学をモデルとして自然科学の成立・根拠と自然科が扱える範囲とを定め、自然科学では扱えない形而上学の領域を確保しようとしたのである(佐藤・片山、1995)。そして、従来の経験主義と合理主義と批判しつつ、発展させ統一した。

カントから始まるドイツ観念論は、フィヒテ(Johann Gottlieb Fichte)、シェリング(Friedrich Wilhelm Joseph von Schelling)そしてヘーゲル(Georg Wilhelm Friedrich

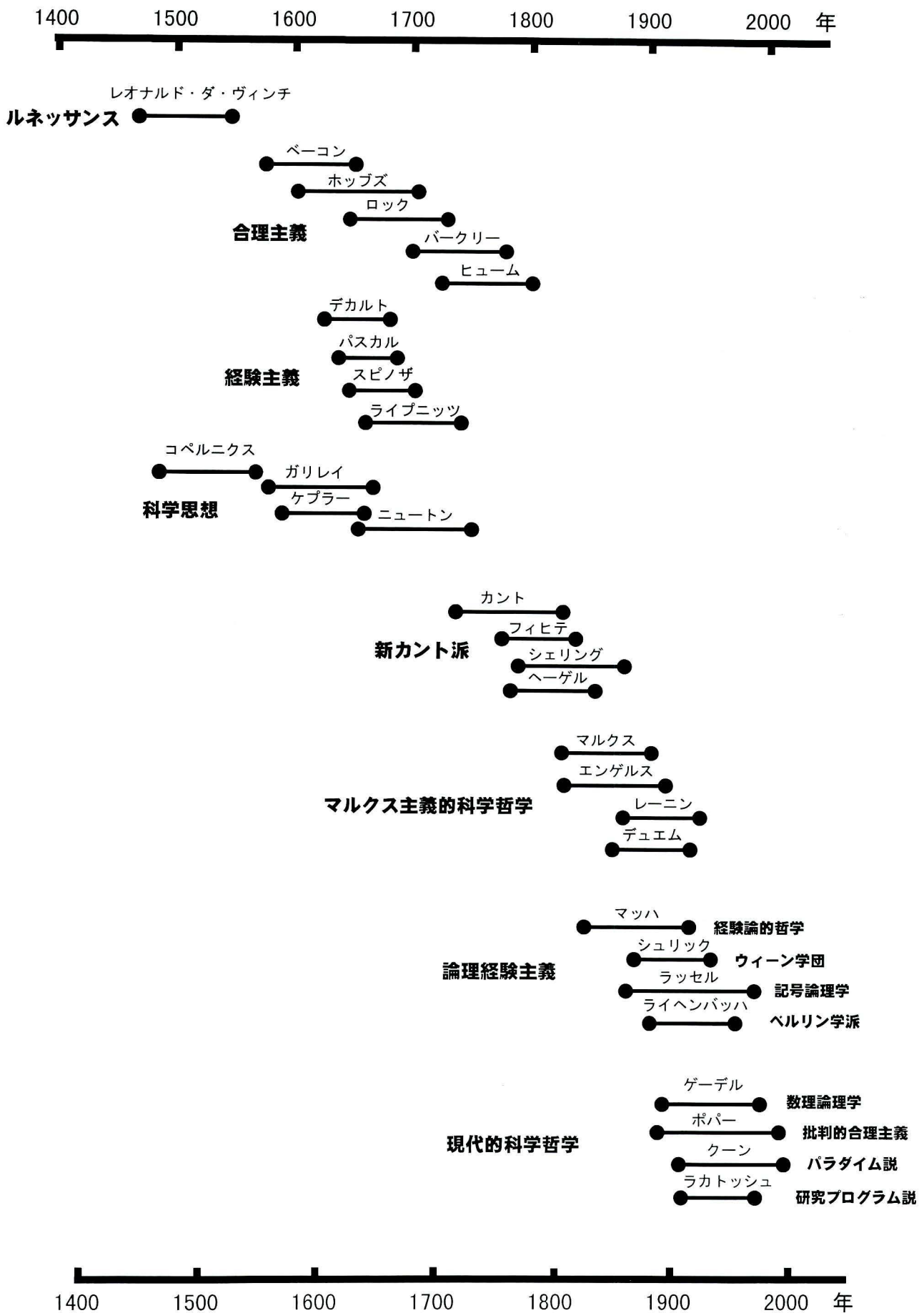


図 2. 科学哲学の潮流.

本稿で取り上げた科学に関する見解を展開した科学者や哲学者の生存期間と、その科学哲学上の分類を示した。

Hegel)によって集大成された。

近代は、レオナルド・ダ・ビンチ (Leonardo da Vinci) に代表されるルネッサンスとコペルニクス (Nicolaus Copernicus) に地動説から始まる科学思想で幕をあける。16～17世紀に、デカルト、ガリレオ (Galileo Galilei)、ケプラー (Johannes Kepler)、ニュートンなどによって創られた近代自然科学は人類に大きな影響を与えた。20世紀までの近世は西洋的な科学思想が全盛であった。西洋的科学思想は哲学と密接に結びついて、常識的な科学観に哲学的裏づけがなされてきた。原因を追求すれば、法則や理論が発見できるという要素還元主義と法則や理論によってこの世は成り立っているという機械論的世界観が主流となった。常識的科学観は、要素還元主義を基本的な方法論とした機械的世界観であった (日本総合研究所編, 1998)。そして、1950年までに、常識的科学観に基づく科学哲学が構築された。

常識的科学観に基づく3つの学派がある。

第1の学派は、19世紀末から1930年にドイツで発見した新カント派である。カント哲学で自然科学の正当性を基礎づけようとしたのである。しかし、カント哲学によって自然科学を基礎づけることができるという考え自体が誤りで、今ではほとんど忘れられている (都城, 1998)。

第2の学派は、19世紀に旧ソ連ではやったマルクス (Karl Marx) を祖とするマルクス主義的科学哲学である。この学派は、自然界のもっとも根本的法則が自然弁証法で、自然科学の方法論も弁証法であると考えた。エンゲルス (Friedrich Engels) の「自然の弁証法」とレーニン (Vladimir Iliich Lenin) の「唯物論と経験批判論」を典拠としていた。そして、旧ソ連の御用哲学となり、反対派を迫害するにいたった。エンゲルスの「自然弁証法」は未完であったし、レーニンの書も政治的目的を持って書かれたもので、どちらも哲学上の考えとすることはできない (都城, 1998)。

第3の学派は、論理実証主義あるいは論理経験主義と呼ばれるものである。マッハ (Ernst Mach) の経験論的哲学をもとにしている。マッハの哲学は、感覚的经验に基づくものだけが科学であるという経験論である。マッハの哲学をもとにして、パートラント・ラッセル (Bertrand Russell) の記号論理学が結びつけて経験論的哲学となった。そして、シュリッック (M. Schlick) から始まるウィーン学団や、ライヘンバッハ (Hans Reichenbach) から始まるベルリン学派となっていく。

以上の流れのさなかにありながら、デュエム (Pierre Duhem) は1914年の「物理理論の目的と構造」の中で冷静な洞察をおこなった。それは、常識的科学論観の誤りを指摘していた。観察の理論依存性と理論全体性、観察による理論否定の困難なことの3点である。ここで、理論の全体性とは、理論の一部の仮説だけを取り出してそれを証明したり、否定することはできないという意味である。理論とは全体を受け入れるか放棄されるかである。

20世紀になると量子力学や宇宙論、生命科学などの発展により、要素還元主義的手法や機械的世界観の限界が表面化してきた。1950年以降、現代風の科学哲学が始ま

る。クーン (Thomas Samuel Kuhn) のパラダイム説が有名である。パラダイムとはクーンが用いた用語で、原義は科学者共同体全体が受け入れられている根本的な考え方のことである。しかし、パラダイムとは現在では、広く用いられて、広義には世界の見方やものの考え方の基本的枠組みというような内容で使われている。

ii 新しい科学観

ここでは、科学観に重要な変化をもたらしたゲーデル (Kurt Godel) の完全性定理と不完全性定理、ポパー (Karl R. Popper) の批判的合理主義、クーンのパラダイム説、ラカトッシュ (Imre Lakatos) の研究プログラム説を中心に、新しい科学観をまとめる。

ゲーデルの完全性定理と不完全性定理は、半世紀たった今でも、その重要性はおとろえない。ゲーデルの論証は、数学的な記述によってなされているが、その内容は科学全般あるいは人間社会にまで影響を及ぼすものである。ゲーデルの完全性定理は、命題論理の公理系が完全で決定可能な体系であること、そして述語論理の公理系は完全だが、決定可能でないことを意味する (廣瀬・横田, 1985)。

ここで命題論理とは、命題間の関係のみを扱う。述語論理とは、命題の内部構造を対象にする。述語論理は、対象によって高階なものになる。論理学のほとんどと数学のかかなりの部分は、第一階述語論理で記述される。

論理学は、ギリシャ時代からある学問である。その中で演繹論理を集大成したものが記号論理学である。ラッセルの記号論理学は、人間思考を形式化、体系化したものである。ゲーデルの完全性定理は記号論理学が完全であることを証明してみせたものである。記号論理学は人間の論理能力に上限をつけたものである。

不完全性定理とは、自然数を用いる数学の公理系は、不完全であることを示した。自然数を含まない公理系はほとんどない。従って数学の体系が不完全であることを示す定理である (廣瀬・横田, 1985)。一般化すれば、体系をいくら論理的に整えても、この体系を否定も証明もできないことが多いことを意味する。自己の無矛盾性をその体系内で証明することができないのである。

新しい科学観では、意識的かあるいは無意識にかはわからないが、ゲーデルの不完全性定理が組み込まれている。

デュエムの常識的科学観をより進めたのは、ポパーであった。ポパーは批判的合理主義によって科学哲学を方向転換させた (川村仁也, 1990)。ポパーは、科学哲学における帰納法への批判を通じて方法論的反証主義を提唱し、弁証法を批判して問題解決の新しい図式 (トライ・エンド・エラー) を示した (小川原, 1997)。

常識的科学の方法は、6段階に分けられる。第1に、観察ないし実験がおこなわれる。第2に帰納法によって、観察したことを説明する一般的理論を考察する。第3に一般的理論に基づく仮説を提起する。第4の段階には、さらなる実験によって、この仮説を検証する。第5にもとの理論が証明されたり、反証されたりする。第6にその理論が間違いだと証明されるまでは、真実である (あるいは偽である) と推定される。

このような科学的方法は、帰納的手法であるが、ポパーは、このプロセスを逆転させ、演繹的手法を提唱した。まず、問題を選び、その解決策つまり何が起きているかを説明する理論を提起する。次にその理論から演繹できる検証可能な命題を考え出す。そして、演繹的に得られた結論を証明するだけでなく、反証するための試験・実験をおこなう。こうした反証は、もとの理論と結合され、よりよい理論を生み出す。ポパーの理論の特徴は、理論を提唱した科学者自身が、反証を試みる点である。

クーンの「科学革命の構造」(1962)では、科学の発展過程を論じた。科学は、累積的に発展・進歩し続けるのではなく、模範的な考え方自体が別のものに取って代わり、断続的に転換すると考えた。このような科学革命をおこなうような規範的な理論をクーンはパラダイムとよんだ。パラダイムは、その後、思想の枠組みという意味で一般に拡大解釈され、20世紀の大流行となった(野家, 1998)。

パラダイムができる前の初期段階では、さまざまな見解が存在していたのが、科学者共同体全体が一つの基本的な理論で一致してくる。これがパラダイムの形成時期である。

パラダイムが確立されると、意味のある事実が決定され、事実と理論の調和がはかれ、理論の整備がおこなわれる。このような時期をクーンは、通常科学の時期と呼んでいる。パラダイムを用いて学生たちに教育がおこなわれ、学生たちはそのパラダイムを受け入れながら研究者となっていく。

研究が進んでいくと、パラダイムでは説明できない現象が増加してくる。このような時期を異常科学(非通常科学)の時と呼び、パラダイムの危機となる。

そして、最後に説明できない事実の増加によって、さまざまな見解が生まれやがて次のパラダイムに変わる。パラダイムの変換期を科学革命と呼ぶ。最近ではパラダイム・シフトと呼ばれることもある。

クーンのパラダイム説では、対立する二つのパラダイムを論理的に優劣が付かないとした(共約不可能)。科学革命が起こっても、科学進歩したかどうかはわからないことになる。

クーンのこのような相対主義をきらって、ラカトシュは「研究プログラム説」の中で、理論の優劣には客観的で論理的な根拠があることを示した。

ラカトシュの研究プログラムとは、一つの系列で論理的に結びついた理論(または仮説)のことである。研究プログラムの中核は、「否定的発見法」と呼ばれる理論が進歩しても変化しない。その中核を取り巻いて、補助的な仮説や仮定、初期条件からなる防護帯がある。理論を改善するためには、「肯定的発見法」と呼ばれる研究の進め方で、防護帯の中の仮定を変えていくことになる。

ラカトシュの研究プログラムでは、二つの対立する理論は共約不可能であっても優劣を客観的に決めて、科学的進歩を合理的に説明できると考えた。古い研究プログラムを救うためにアド・ホック的仮説が使われることがある。アド・ホック的仮説とは、古い理論を救うためだ

けの仮説で、そこからは何も生まれてこない。

新しい研究プログラムの優位性を示すには、古い研究プログラムの事実をすべて説明でき、古いプログラムが予言できない証明可能な予測をおこなえる前進的なものであれば良い。

新しい科学観は、より現実にあったものとなった。しかし、その科学観は、主として物理の法則・理論の歴史から組み立てられている。物理中心の科学理論が地球科学へ適用できるのかどうかは疑問である。都城(1998)は、地質学への科学理論を導入したが、地質学固有の理論体系が必要であることを示した(後述)。今後は、分野別の科学哲学体系で研究が進むであろう。

iii 科学の現状：まとめ

「先入観なしに自然を観察し、必要に応じて実験し、信頼性のあるデータを集めると帰納的に法則が発見できる」という古いタイプの常識的科学観、つまり経験主義的科学観によって、科学全体が総括されてきた。また、原因を突き詰めれば、法則や理論が発見できるという要素還元主義という立場から研究がなされてきた。しかし、1950年代以降、より現実的な科学観によって自然を見たり、科学のやり方がとられるようになった。先入観なしには自然を見ることはできないし、演繹的手法によっても法則や理論が発見されることがあることなどが明らかにされてきた。数学や論理学の理論が広く人間社会に影響を及ぼすことが明らかになった。そして、「パラダイム」や「研究プログラム」などの新しい科学の視点導入がおこなわれた。

自然は、要素還元主義的手法だけでは、すべては解明することができないことが明らかになった。現在では、自然とは複雑で混沌とした面があることが「科学的」にわかってきた。カオスやフラクタルとよばれる複雑系の学問分野が急速に発展したり、従来の学問分野を超えた広領域や超領域の科学に取り組まれているのも、上述の科学の現状の反映であろう。広い領域の科学を総合化するための技術として、システム工学が生まれた。システム工学は、宇宙開発によってもたらされた管理技法の一環として生まれた。システム工学には、科学技術のあらゆる分野の力を結集する必要があり、今では、都市交通網、大気汚染、水質汚濁対策、犯罪防止、教育システムの開発など、多くの分野に適用されている。

以上の科学の現状分析から、従来の常識に囚われず、新しい視点での取り組みが必要であることがわかってきた。

3 科学教育

科学教育は、科学の発展を反映する。一方、国の政策的な影響も強く受ける。特に日本の初等・中等教育では全国一律の教育制度が厳重に守られており、個性のある教育はしにくいのが現状である。しかし、大学では、科学教育は自由度が大きい。ここでは、日本の教育制度を概観し、小・中・高校と大学で科学教育と理科ばなれについて見ていく。

i 日本の教育制度

日本の教育制度の現状を、教育制度と教育指針、大学教育制度、生涯学習制度、受験制度という観点で見えていく。

(1) 教育制度と教育指針

日本の戦後教育は、1947（昭和22）年の、教育基本法と学校教育法の制定から始まる。

教育基本法は、日本国憲法の精神にのっとり、わが国の教育の基本的なあり方を定めたものである。日本国憲法の前文および第一一条より、民主主義教育の目的、方針を明示する教育宣言としての性格をもち、教育憲法ともいうべきものである。教育の目的（第一条）に「教育は、人格の完成をめざし、平和な国家及び社会の形成者として、真理と正義を愛し、個人の価値を尊び、勤労と責任を重んじ、自主的精神にみちた心身ともに健康な国民の育成を期しておこなわれなければならない」と定め、以下、教育の方針、教育の機会均等、義務教育、男女共学、学校教育、社会教育、政治教育、宗教教育、教育行政について定めている。

学校教育法は、第一条で「この法律で、学校とは小学校、中学校、高等学校、大学、高等専門学校、盲学校、聾学校、養護学校及び幼稚園とする」とし、第二章以下に、順次、各種類の学校の基本的事項を定めている。学校教育法は、戦後教育改革によって始まった六・三・三・四制単線型学校体系の根幹を定めた法律である。

1949（昭和24）年に、教育職員免許法（教免法）と指導要録制定が制定された。

教育職員免許法では、幼稚園、小・中・高校の教師になるためには、それぞれの学校の種別・教科にかかわる教員免許状を取得していなければならない。1988（昭和60）年に教育職員免許法が大改定され、1989（平成元）年4月から施行された。

指導要録は、児童生徒の氏名、保護者を記す学籍と、学校生活における学習、特別活動、行動、性格、健康等に関する公的な記録簿で、高等教育機関を除く最終修了学校で保管される。児童生徒の学校生活をよりさまざまな角度から広く客観的に分析し、指導の基礎資料たらしめようとしている。通知表・内申書などはこれを基にして作られることになっている。

1958（昭和33）年に、教師の依拠すべき国家基準として学習指導要領が制定される。学習指導要領とは、学習目標設定、教材組織化、学習指導方式の選択・決定、指導結果評価のための手引きとして、文部省が学校と教師に提供する、わが国の小・中・高校の教育課程をいう。

戦後の一番大きな教育改革は、臨時教育審議会（臨教審と略される）の答申に基づいておこなわれた。

1984（昭和59）年8月、教育改革のために、首相直属の審議会、臨時教育審議会を発足させて、教育改革審議にあたらせた。1985（昭和60）年6月に、臨教審は「個性重視の原則」を基本的な考え方の中心にすえた臨教審第一次答申が出された。1986（昭和61）年4月には、「生涯学習体系への移行」を主軸とする教育再編成の基本方向を提示した臨教審第二次答申がだされた。1987（昭和

62）年4月には臨教審第二次答申を膨らませた第三次答申がだされた。そして、同年8月に臨教審最終答申が提出された。

臨教審の最終答申における二一世紀のための教育目標は、「ひろい心、すこやかな体、ゆたかな創造力」、「自由・自律と公共の精神」、「世界の中の日本人」の育成としてかけ、愛国心と国際的感覚とを兼ね備えた人格形成が大事であるとされた。そして、改革原則として、「個性重視の原則」「生涯学習体系への移行」、「変化への対応」が示され、具体的施策として生涯学習体制の基盤としての教育文化施設のインテリジェント化、共通テスト・寄付講座・ユニバーシティ・カウンスル・教育内容改善・教科書制度改革・教員の資質向上・後期中等教育構造の柔軟化などが、提示されている。

1988（昭和63）年に、臨教審の答申の実現を督促するため、臨時教育改革推進会議（ポスト臨教審）が設置され、また答申の具体化のために、教育課程審議会、大学審議会、中教審（中央教育審議会）、生涯学習審議会などが活動をはじめた。

学習指導要領と指導要録は、臨教審の答申に基づきながらたびたび改訂されてきた。

1970年代の初めごろより、教育評価の方法として、教師の判断で学力に応じた評点をつける絶対評価がおこなわれるようになった。学習の到達基準をはっきりさせたうえで、絶対評価をおこなう到達度評価がおこなわれ始めている。

1989（平成元）年には、幼稚園・小学校・中学校・高校の学習指導要領が改訂され、新学力観が導入され、1990年以降、新学力観が順次実施された。

新学力観は、「子どもが自ら考え主体的に判断し、表現したり行動できる資質や能力の育成を重視」する、個性と多様性重視の学力観である。教師の学習指導の考え方は指導から支援へと転換され、学力の評価も「知識・理解」から「関心・意欲・態度」に重点が移されている。通知表の改革のなかで観点別評価が導入され、客観的な学力の測定よりも教師の主観をまじえた「関心・意欲・態度」の評価が重要視されるようになった。導入の背景には偏差値・輪切り体制による過酷な受験競争の緩和のねらいがあるとされる。

1989（平成元）年の学習指導要領の改定は、臨教審答申に沿っており、国際的感覚と日本人としての自覚をもつ国民形成のためには、基礎学力充実、教育個性化、自主・自発的態度育成が必要であるとしている。道徳教育のいっそうの強化、情報化の進展に対応できる資質の養成、国際感覚を深めるための外国語教育の充実、日本人としての自覚を高めるために「日の丸」の旗を国旗とし「君が代」を国歌とする指導の徹底、小学校低学年（一、二年）の社会科・理科を廃合して「生活科」を新設、中学校での教科選択の幅を広げ習熟度別指導を推進する、高校社会科を解体し地歴科と公民科とを新設する、という内容である。

学習指導要領改定にともない、1991（平成3）年3月に指導要録が改訂され、中学校（1991年）と小学校（1992年）で指導要録が適用された。1994（平成6）年に高校

で新指導要領が実施されるのにもない、高校指導要領が改定された。

この指導要領改訂の特徴は、「観点別学習状況」の評価（絶対評価）への転換が図られた（小学校低学年では相対評価廃止、中高学年では三段階に緩和、中学校では、選択教科は三段階の絶対評価に変更）ところにある。しかし中学校の必修教科では五段階評価を据え置くなど、不徹底な部分を残している。

1995（平成7）年4月に、第一五期中央教育審議会が「二一世紀を展望した教育のあり方について」の諮問に基づき再開された。諮問内容は、「学校・家庭・地域社会の役割と連携のありかた」、「一人一人の能力・適性に合った教育と学校間の接続の改善」、「国際化、情報化、科学技術の発展等社会の変化に対応する教育のありかた」の三点であった。

1996（平成8）年6月に第一五期中央教育審議のまとめが発表され、同年7月に第一五期中央教育審議会の第一次答申がだされた。

第一次答申では二一世紀の初頭に完全週五日制を実現することを明記し、教育の基本方向として個性重視の考え方に立って「生きるちから」を育むこと、いじめ・登校拒否問題への柔軟な対応をおこなうこと、さらには学校・家庭・地域社会の連携を進め、家庭や地域社会の教育を充実することを提言している。開かれた学校づくりを促進するために、学校の学習内容を厳選、「総合的な学習」やボランティア活動、野外体験学習や自然観察などを導入し、国際理解教育として英会話や外国の文化に触れる機会を取り入れること、情報リテラシーの育成や、情報通信ネットワークの活用、科学的なものの考え方の育成、入学者選抜の改善、環境教育の充実などが課題とされている。

(2) 大学教育制度

大学自体の制度改革がおこなわれている。1991（平成3）年、大学審議会は、近い将来に予想される学生数減少、生涯学習社会の到来、国際化の進行に備えて、大学学部学生定員の抑制、大学院学生とともに、各大学がそれぞれに個性を明らかにしつつ生き残っていくような工夫が必要であるとした。そのために、個々の大学が、研究・教育水準の維持向上をはかるシステム（大学自己評価システム）を整備したうえで、大学の研究教育組織、教育課程の編成等については、各大学の自主的判断により、自由におこなえるような大学改革の促進について提言した。

この提言に基づき、文部省は1991（平成3）年6月、大学設置基準、短期大学設置基準、大学院設置基準等を大幅に改定した。大学設置基準の改定で、各大学は大学自己評価システムの作成、教育方法、施設・設備の改善が求められるとともに、社会人の修学が容易になるような昼夜開講制、科目履修制度、国内外の他の大学との単位互換制度などの設置も認められるようになった。

この改定による最も大きな変化は、教育課程編成の自由化であった。従来、大学の科目は、教養科目と通称される一般教育、外国語、保健体育と専門教育の四科目に

区分され、それぞれの科目の一定単位数の必修が大学卒業の要件であった。この科目区分と教養科目の設置については、個々の大学、学部、学科の自由な判断にまかせられ、専攻・専門に応じた授業科目を配列した教育課程を編成すればよいように改められた。教養部等の一般教育課程を置いてきた大学では、教養部を廃止し新学部への転換が計られるようになった。

大学制度改革の動きの中で、教育理念・目標等、教育・研究活動、教員組織、施設設備等の項目についての自己点検・評価を、場合によっては外部の専門家を交えて、また学生の評価を加えておこない、大学の活動を活性化させることがねらいとされている。これと関連して、詳細な講義内容の計画を示すシラバスの作成、課題図書の設定、学生の個別指導のために時間を設定して教育方法の改善に力を注ぐ大学・教員も増加している。大学の大衆化に対応した変革であるが、大学・大学生の社会的位置の変化が象徴されていると見ることができる。

大学院（研究科という）には、修士課程だけの大学院と博士課程の大学院とがある。大学院は、四年制大学が学部を基礎にしてその上に個別に設置するのが原則になっている。しかし、大学院設置基準の改定により、社会人入学枠の設定、大学院大学の設置など、大学院改革も活発になってきている。

個別の大学だけで自前の大学院を設置することが難しい場合、いくつかの国立大学の同一の専門学部が連合して特定の大学を拠点とする連合大学院を作っている場合もある。1989（平成元）年には、複数の国立大学共同利用研究施設の異なった専門領域が連携して、関連する領域の総合的な研究教育をおこなおうとしてつくる大学院（総合研究大学院大学）、複数の専門領域の研究者が集まって先端科学技術の研究教育をおこなう大学院（北陸および奈良の先端科学技術大学院大学）も生まれた。この大学院は学部を持たない大学であるので、大学院大学、もしくは独立大学院と名づけられている。

従来の大学院博士課程をもつ大学でも、この流れに対応してきた。従来研究教育組織の基礎をなしていた講座を学部から大学院に移し、大学院の拡充をはかろうとするものである。従来とは反対に学部が大学院に付属するような形になるが、大学院大学とは違って学部をもつ大学であるから、大学院重点大学とも通称される。

大学開放とは、正規の大学の課程を市民に開放する事業であり、19世紀以来、英米を中心に発達してきた。現在では、マス・メディアの発達に応じて、各種のメディアの組み合わせによる教育形態（マルチメディア教育 multi-media education）が発展している。

たとえば、1969年にイギリスでは、すべての市民を対象にして、テレビ、ラジオ、地方の各種の社会教育施設、通信教育の組み合わせによって、大学卒業資格を得させようとするオープン・ユニバーシティ（open university）が、旧来の大学とは別個の大学として開学している。その後アメリカ・ドイツなどでも同様の公開大学が発展してきている。

日本では一部の私立大学による通信教育や、公開講座の名で公開講演会がおこなわれてきているにすぎなかつ

た。しかし、最近では、開かれた大学のかけ声のもと、社会人入学制度を設け、特別講義を開く大学も数多く現れてきており、一部の国立大学には大学開放センター（名称は、大学教育開放センター・生涯学習教育研究センター・大学開放実践センター等多様）が設けられ、専任スタッフをもって事業が実施されている。

放送大学は1983（昭和58）年4月発足、1985（昭和60）年に開校された。放送大学は、教養学部のみで生活科学（生活と福祉専攻、発達と教育専攻）、産業・社会（社会と経済専攻、産業と技術専攻）、人文・自然（人間の探究専攻、自然の理解専攻）の三コースがある。全科履修生は四年以上在学し、一二四単位を取得すると「学士（教養）」の学位が得られる。選科履修生・科目履修生等として、卒業を目的とせず、自分の学習したい科目を約三〇〇の科目から選択し、講義をうける受講者という制度もある。ビデオ学習センターや今後の衛星放送による全国展開によって生涯学習機関としての充実がめざされている。

1993（平成5）年には、大学審議会は、大学教員問題に関して、一つの大学の教員に自校出身者ばかりでなく他校出身者、社会人、外国人、女性を登用すべきことと、夜間制、昼夜開講制大学院の拡充を提言している。今後も、大学改革はさらにいっそう進むであろう。

(3) 生涯学習制度

生涯教育あるいは生涯学習とは、乳幼児から老年にいたるまでの教育のあり方をいう。実社会と遊離しがちな学校教育を社会に結び付いたものにするとともに、社会の諸制度を教育的に整序しつつ、両者のもつ教育的機能・作用を、人間の発達・成熟の過程・段階に応じて統合し、教育の組織化を進めるべきであるとする教育観をいう。

生涯学習に関する法律は、1949（昭和24）年に社会教育法が制定されている。社会教育法は、国民の自主的な社会教育活動のための環境醸成にあるとされる。

生涯教育・生涯学習の考え方自体は、古くからあったが、1965（昭和40）年にユネスコで、技術の発達、情報化の進展を軸として急激に変動する現代社会に対応する教育計画のための教育観として再評価された。日本では1970年代初めから、国家的関心のもとに世界に先駆けてこの教育論を受け入れた。

1981（昭和56）年に、中教審は国民が生涯を通じ学習し続ける社会（学習社会）の実現をめざす「生涯教育について」を答申し、1987年の臨教審答申で、二一世紀にむけての生涯学習体系への移行を基本にすえた教育改革論を展開したため、生涯教育論は公教育政策の基本理念になった。この臨教審答申では、生涯学習、情報活動の拠点として、教育文化施設を高度の情報通信機能と快適な学習・生活空間を備えたものに整備し、これを最大限有効に活用する方策を施設のインテリジェント化とよんだ。このように整備された施設をインテリジェント・スクールとしている。1988（昭和63）年以降、文部省は、この施設をモデル的に整備してきた。

臨教審答申に基づき、1988（昭和63）年に文部省は、

これまでの社会教育局を廃止して生涯学習局を筆頭局として設置し、生涯学習政策の推進をおこなっている。

中教審は、1990（平成2）年、文相にあてて「生涯学習の基盤整備について」という答申をした。それを受けて、同年1月に生涯学習振興法（正式名称「生涯学習振興のための施策の推進体制等の整備に関する法律」）が制定された。生涯学習振興法は、臨教審答申をうけた中教審の答申「生涯学習の基盤整備について」を法律化したものである。

「学校教育、社会教育及び文化の振興に関し、生涯学習に資するための施策に関する重要事項」等を調査審議する生涯学習審議会が文部省に置かれた。そして、1992年（平成4）年7月に、生涯学習審議会の答申「今後の社会の動向に対応した生涯学習の振興方策について」が提出された。答申では、社会人対象のリカレント教育の推進、ボランティア活動の支援・推進、青少年学校外活動の充実、環境問題や国際理解など現代的課題に関する学習機会の充実、という四つの課題をあげた。

生涯学習審議会の答申での「リフレッシュ教育」あるいはリカレント教育(recurrent education)とは、職業人を対象とし、職業上の知識・技術を内容とし、大学院・大学等で実施される教育を指す。これはOECD（経済協力開発機構）が提唱した生涯教育構想の一つである。一度社会に出た者の学校への再入学を保証し、学校教育と社会教育を循環的にシステム化することを課題とする。

1996（平成8）年4月には、生涯学習審議会は「地域における生涯学習機会の充実方策について」の答申をおこなった。

いま生涯教育は新しい段階にある。中央行政のこのような動きに応じて、各地の自治体もそれぞれの地域圏ごとに生涯教育あるいは生涯学習推進計画を策定し、行政レベルにおける生涯学習推進計画ブームというべき姿が生まれている。行政レベルだけでなく、市民や企業も含めて、高齢者や身体障害者にも安心して使ってもらえるようなバリアフリーの商品やシステムや誰もが使いやすい仕様を追求するユニバーサル・デザインの思想、高齢者やマイノリティにも優しい社会づくりの優しさスタンダード、優しさスタンダードを持ったものに統合するノーマライゼーションなどとして、社会的な取り組みがなされている。

(4) 受験制度

1979（昭和54）年に、国公立大学入試にさいし共通一次試験が導入された。その後、国公立大学受験は一校しかできなかったが、二校受験が可能のように、1987（昭和62）年から国立大学複数受験制が実施された。1987年は国立大学をA・B群に分け、A・B両群の試験日をずらし、受験生がA・B両群の一大学ずつを複数受験できるようにした（連続方式）。

結果はB群の東京大学など一部の大学を除き、各大学とも合格者の入学辞退者が相次ぎ、大量の定員割れを生じて大学・受験者ともども混乱した。そのため1989（平成元）年以降は、定員を前期・後期に分割して二度選抜試験をおこなう（分離分割方式）ところがあらわれた。国

立大学は1997（平成9）年から、公立大学は1999（平成11）年から分離分割方式に統一される。

1990（平成2）年1月に、臨教審答申は、共通一次試験に代えて私立大学の参加を求めた共通テストの実施の提言を受けて、大学入試センター試験が実施された。大学入試センター試験は激化した大学入試を緩和しようとする文部省の意図を受けたものであるが、かえって受験産業が介入して、大学間の格差づけを助長し、受験生の国立大学離れの弊を生み出した側面もある

1993（平成5）年以降、臨教審や第一四期中教審の答申で高校入試の「多様化」が提言されたのを受けて高校教育改革推進会議の報告がまとめられ、高校入試改革が進展している。

改革の基本的な方向は、学科・コース・類型ごとに多様な入学試験をおこなうことができるようにし、学力試験と調査書などの「学習の記録」の比重も、学校単位あるいは学科ごとに選択決定できるようにしたことである。

ii 小・中・高校の科学教育

一般論として、熱心な教師、意欲のある児童・生徒、適切な学習プログラム、そして良い学習環境があれば、教育効果は上がるはずである。しかし、現実はこのように単純に片づけられるものでない。教育の効果は測れるものではないし、測定できたとしても、最終的な評価は、教育を受けた者があるいはその周囲が評価するものであるから、一義的には判断できない。また、教育効果の評価は、10年、20年以上後に出るものかもしれない。教育効果の評価など、現状ではできないのであろう。

評価に基づいて教育をおこなうことができないため、小・中・高校の教師は、文部省や地方自治体の教育委員会などの指導に基づいて、教育をおこなっているはずである。あるいは、少数だが独自の教育理念や信念に基づいて、教育がおこなわれていることもあるであろう。

大学で十分な教員養成のための訓練を受け、大学で認定されたものが教員となる。教員の免許状を持ったもののだけが、教育現場で教育をおこなうことができる。大学で十分に訓練を受けた教員が社会に供給されている。したがって、学校教員は、十分な訓練を受けたものから組織されているはずである。ただし、熱心な教師かどうかはわからない。熱心さは相対的な評価になるからである。

マスコミでは、児童・生徒の落ちこぼれや、不登校、校内暴力、自殺、あげくのはてには傷害事件、殺人事件などが報道されている。児童・生徒の振る舞いが、社会問題となっている。現実には、このような問題をおこしている児童・生徒が、どのような比率を占めているのだろうか。昔から「不良」と呼ばれる児童・生徒はいたろうし、事件として取り上げる児童・生徒もいたはずであろう。今も昔も、少数の児童・生徒がこのような問題を起こしたのであって、多くは「普通」の児童・生徒であったはずであろう。

動物や植物などの自然や岩石・鉱物・化石などに興味を持ち、熱心に自発的に学ぶ児童・生徒は、今も昔もいたはずである。手元に過去のデータがないため比較はで

きないが、今も多くの小学生の興味は、自然に向いていることは確認できる（小出ほか、1995a）。小出らは、年齢を経るにしたがって、児童・生徒の自然に対する熱意や精力が、減少していくを明らかにした。博物館の行事でも、小学生の参加者は多いが、中々高校生の参加者が少ないのは、その反映かもしれない。このような現状の原因のひとつに、受験が挙げられる。小学生のころは自然に興味を持っていたが、大きくなると受験準備に割く時間が多くなってくる児童・生徒が増えているのではないだろうか。

教育現場では、受験以外の目標が二の次にされている場合もあるようである。自然に接することより、受験対策が優先されているようにみえることも多い。「良い教師」とは、良い上級学校に生徒を入学させてくれる人であり、良い児童・生徒とは、良い上級学校に入学できた生徒と考える人も多い。このような児童・生徒が、本当に「良い教師」や「良い生徒」であろうか。受験とは、一つの技能であり、教師や児童・生徒の総合的な評価に採用できるものではない。受験指導に秀でたものや受験技術に秀でたものだけが「良い」とは限らない。受験中心の教育が教育のすべてではない。受験制度によって、教育が歪められている可能性がある。

iii 大学の科学教育

大学や国公立の研究所やそれに類する機関（以下、大学と呼ぶ）での科学教育はどうなっているのだろうか。

大学には、受験によって、大学ごとに知識もしくは受験技能のレベルが揃った学生が集まる。大学教育では、そのレベルに応じた教育がなされるはずである。しかし、大学によっては、単位重視の学生に妥協した教育や、就職ために有利な資格を取るための教育をしているところもある。大学の教師は、教育のための資格はもたないが、専門教育ができる。常勤教師が少なく、非常勤教師にその教育の多くを分担させている大学も見受けられる。

大学の教師には、研究活動を重視するあまり教育をなおざりにする人もいる。その背景には、大学には研究至上主義や業績重視の風潮があるのかもしれない。研究業績が上がらないことを、教育活動による研究時間の不足によるものとする教師もいる。

たとえどれだけ劣悪な環境であっても、良い成績をとる学生は出てくるし、良い研究成果は生まれる。日本の科学技術の高さをみても、日本の研究者は、世界でも優秀な部類に属する。今の大学の科学教育システムは、「良い」といえるのかもしれない。しかし、欧米の優秀な研究者を多数輩出する大学と比べると、明らかに見劣りする。

言うまでもなく、大学における科学教育は、重要である。それは、次世代の研究者育成や科学を教える教師養成が、社会の発展にとって不可欠であり、科学知識の継承・普及のためにも必要だからである。一つの分野の成果が、他の分野への発展のきっかけや原因になりうる。そして、そのような科学の重要性が認められるから、国家つまり税金から出される科学研究費の調達が可能となるのである。

iv 理科ばなれ

「理科ばなれ」が何度も話題に上っている。このような危機感は、一部の人たちだけのものなのか。あるいはマスコミの空騒ぎなのだろうか。「理科ばなれ」という現象は、実態のあるものなのか。その原因は何なのか。危機を叫ぶだけでは問題の解決にならない。実態を把握して、その原因を明らかにし、どうすれば「理科ばなれ」がなくなるかという対策を考える必要がある。

もし本当に問題があるとしたら、国や地方自治体、なによりも小・中学校や高校の教師たちによって、このような「理科ばなれ」に関して、さまざまな角度から調査され、すでに各種の対策をとられているはずである。

「理科ばなれ」が起きているとすれば、博物館でも無視するわけにはいかない。前述のアンケート調査を通じて、多くの人、特に子どもたちは、自然に興味を持っていることがわかってきた。ただし、子どもの自然に対する興味の多さに比べて、大人は興味の対象が自然だけでなく、民族、文化、芸術など多岐にわたっている（小出ほか, 1995b）。大人の興味の多様化は、一般的なものだと考えられる。子供の「理科ばなれ」は認められず、将来子供が大人になったとき起こってくる問題だと考えられる。

博物館の野外観察会や講演には、毎回定員をオーバーするほど、さまざまな年代やさまざまな知的レベルの人が応募してくる。このような状況を見ると、決して自然への興味が衰えているとは思えない。多くの人たちは、自然に接するチャンスを求めているのである。

「理科ばなれ」の原因の一つは、学校教育からの理科関係の授業の減少だと考えられている。このような状態が進むと、日本の基礎科学や技術をささえる人材がなくなり、技術立国日本の将来に暗い影を落とすのではないかと憂えられているのである。

自然を理解するということは、大切である。子供たちは自然に興味を持っているのである。「理科ばなれ」から生じるかもしれない一番の危機は、子どもたちが自然と親しみ、自然に興味を持ち、自然を理解する力が衰えていくことである。少し極論だが、このような自然を理解しない世代が日本や世界を動かすようになると、自然や地球環境なんて見向きもしない社会が出現するかもしれない。

v 科学教育の現状：まとめ

教育者がそれぞれの理想を持って教育に取り組んでいる。また、文部省も指針となる教育理念を提示している。教師の理想を目指した努力が、受験対策によって、児童・生徒に伝わっていないのではないだろうか。小・中・高校での科学教育の現状分析として、自然に接したり興味を持つための教育は、充分おこなわれていないという結論が得られる。大学における科学教育の重要性はだれもが認識しているのだが、研究至上主義や業績主義によって、科学教育が充実しているとはいえないのが現状であろう。

以上の点から、学校以外の生涯学習機関でも、科学教育も必要であると考えられる。

4 地球科学

地球科学という呼び方は非常に漠然としたもので、多数の専門分野を含んでいる。そして、個々の専門分野で知識あるいは情報の増加が進んでいる。本稿では、個々の内容を扱うことができないので、技術の進歩に焦点を当てて、地球科学の進歩を概観する。そして、地球科学の進歩の大局的な流れとして、地球の仕組みの解明へと進んでいる現状をまとめる。

i 技術の進歩

地球科学の進歩に重要な役割を果たした技術として、物理的現象と生物の進化を利用した時間読み取り技術、化学分析装置の発展による成分読み取り技術、地震波など観測とコンピューターによる解析法の進歩による地球内部透視の技術、高温高圧発生装置の発達による地球内部再現の技術、各種電磁波を利用する望遠鏡の発達と探査機による地球相似物質の探査、天文学の技術の進歩による地球存在場の理解、コンピューターの発達による各種のシミュレーションが挙げられる。ここでは、以上の点を中心にまとめる。

(1) 時間読み取り技術

・物理現象の利用

地球科学の中には、過去の事象や、時間変化(発展、分化、進化)を扱う地質学、古生物学、惑星進化学、進化生物学などの分野がある。このような分野では、時間が重要な情報となり、時間を正確に測定する必要がある。

現在進行している時間は、機械的時間によって正確に測ることができる。過去の時間は、直接測ることは不可能である。過去の時間を正確に測定することは非常に困難である。現在でも、多大な労力や機材が必要になる。過去の時間は、時間変化した現象、物質、元素を手がかりとして読み取ることになる。

時間変化した現象とは、事件の前後に変化がおり、物質にその変化が記録されたものである。地質学で言えば地層の堆積や、マグマの噴出や貫入、火山灰の噴出や堆積、断層の形成、変成作用などが挙げられる。地層は、海底に流れ込んで土砂が溜まったものである。下のものが古く上のものが新しいという「地層累重の原理」である。また、削られた地層は古く、削った地層は新しい。不整合などがこの例である。マグマの噴出も下のものが古く、上のものが新しいものとなる。貫入したマグマは、貫入された地層や岩石より新しい。火山灰も下位のものが古く、上位が新しい。断層に切られた地層は断層より前に形成されており、断層を覆う地層は断層より新しい。変成作用は既存の岩石に与える作用である。このような時間変化をした現象は、現象の前後関係を読み取ることが可能である。このような前後関係の読み取りを積み重ねていくことによって、広域的にあるいは全地球的に、地質学的な各現象の前後、新旧を読み取することは可能である。

しかし、各現象の時間間隔が、長いのか短いのかは不明である。地層の厚さや火山体の大きさ、断層の及ぶ範囲や変成作用の広さなどによって、時間の相対的な長さを推定することは可能である。しかし、それはあくま

でも相対的時間にすぎない。

同じく相対的な時間を間接に読み取る方法として、地球磁場の逆転の歴史を利用する古地磁気層位学がある。比較的新しい時代ではかなり精度よく編年される。古地磁気学の果たしたもう一つの重要な役割は、プレートテクトニクスへの貢献である。海嶺軸を古地磁気の縞模様が対称であることによってプレートの生成や移動が明らかになったし、残留磁化の伏角から読み取れる緯度から大陸の移動の歴史を明らかにした。

このような相対時間による限り、地理的にはなれた岩石や地層の時代比較はできない。どうしても絶対時間による比較が必要となる。絶対時間とは、ある基準となる時点から、どれだけ時間がたったかということである。地球科学では、現在を基準としている。現在から何年前という表現をする。現在も、時間は経過するために、基準としては不適切であるが、絶対時間の測定の性質上、こういう表現をせざるを得ない。しかし、古い地質時代の物質を扱う限り、数百年は測定の誤差の範囲となる。

放射性元素は、ラザフォード (E. Rutherford) の 1902 年からの一連の研究によって、その原理が解明された。1905 年にボルトウッド (B. B. Boltwood) が絶対年代決定法の実用化をした。1926 年にはアメリカ科学アカデミー内の地球の年齢に関する委員会で、放射性元素による絶対年代決定法が、唯一の信頼できる地質学的時間尺度であることが認められた。絶対年代測定は、相対年代とは全く違った原理によって測定される。放射性元素は原子が普通に存在する物理化学的狀態では、一定の確率で崩壊し、絶対的時間の経過が刻まれていく。

このような放射性元素を利用した、絶対年代の測定が精度よくおこなわれるようになってきたのは、1960 年頃以降である。

絶対時間の測定が実用化できるようになった初期の頃のデータは、岩石試料のレベルであった。近年では非常に微小な、あるいは微量な物質や鉱物の年代測定をおこなえるようになってきた。物質の種類によっては、二次イオン質量分析計 (Secondary Ion Mass Spectrometer: SIMS) を使えば、 $20\mu\text{m}$ 径の微小領域の形成時代を決定することが可能になってきた。

絶対年代測定も万能ではなく、いくつかの条件を満たす必要がある。それは、分析したい物質や領域が一つの現象で一度にできたものであること、放射性元素の半減期(崩壊のスピード)がその物質の経てきた時期に適切であること、放射性元素の濃度が分析技術に合っていること、などが挙げられる。特に、微小なものや微量なもの分析には、測定精度や環境からの汚染には注意が必要である。

絶対年代測定の精度が上がるに従って、分析の手順は煩雑なテクニックを要するようになってきた。しかし、手間をかけるだけの価値のあるデータが得られている。

・生物進化の利用

生物の生存痕跡を時間記録として利用する方法がある。いわゆる、化石を利用した時間の読み取りである。化石を時計として利用するには、化石となる物質を持つ生物

がいなければならない。そのような物質は、殻や骨、あるいは生活の痕跡(糞や這った跡、棲家など)である。化石となる物質が地層の中に保存され、研究者の目に触れて始めて、時計として利用できる。時計として利用するには、化石の個体数が多い生物種がよく、その種の分布が広く、種の生存期間の短いほうがよい。時計として有効な化石は示準化石と呼ばれる。示準化石は、微少な生物の化石(微化石)の発見によって飛躍的に増加してきた。微化石は、放散虫、コノドント、ナノプランクトン、紡錘虫、花粉、有孔虫、珪藻、介形虫(アストラコーダ)などである。微化石によって詳細な年代区分がなされている。絶対年代は時代が古くなるに従って、その精度が悪くなる。微化石年代は、化石の多産する地層においては精度が落ちることはない。微化石による分帯のほう、絶対年代より分解能が良いこともある。

(2) 成分読み取り技術

地球は各種の物質から構成されている。物質は地層や岩石として存在する。地層も堆積岩という岩石から構成されている。地層や岩石の基本要素は鉱物である。約 4000 種の鉱物が記載されているが、地球あるいは地層、岩石を構成する鉱物は、20~30 種が主要なものである。言い換えれば、20~30 種の造岩鉱物が地球の主要部分を作っているといえる。

岩石の種類は無限といっているほど、多様である。火山岩や堆積岩のように限られた種類の岩石からできているものから、深成岩や変成岩のように連続的に岩相が変化する岩石まで、多様である。20~30 種の造岩鉱物であるが、その組み合わせによって非常に多様な物質が作られていることになる。岩石は、地球の歴史の複雑な履歴によって、多様な種類を持つようになった。岩石の多様性を一義的にあらわす手法の一つとして化学組成を用いることがある。

岩石の化学組成とは、岩石を構成する元素組成を濃度もしくは数密度(ある基準となる元素のモル濃度を決め、目的元素の相対比をアボガドロ数で個数に変換したもの)を用いたりする。一般に岩石を構成する元素は Si、Ti、Al、Mg、Mn、Fe、Ca、Na、K、P、H、O、C など十数種で、99.9 重量パーセント近くを占める。主要成分表記法として、 SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 、 MnO 、 FeO 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 P_2O_5 、 H_2O 、 CO_2 という酸化物の形式で表わす。それは、地表付近の岩石中には、元素が酸化物の形で存在することから慣習的に利用しているのである。

主要元素以外の成分は、微量元素と呼ばれ、ppm や ppb レベルのイオン濃度として表わす。天然の物質には、主要成分以外に微量成分が必ず含まれている。原理的には、天然物質にはほとんどすべての元素が含まれている可能性がある。ただ、分析して検出することができるかどうかは、分析能力にかかわっている。

主要成分や微量元素は、岩石の履歴を反映している。火成岩を例にとると、マグマができる時、起源物質(マントル物質の場合が多い)の溶融作用によって起源物質の性質を反映しながら、起源物質とは違ったマグマ組成になる。マグマが固まる時、結晶分化によってマグマは

組成変化をしながら固結する。つまり、起源物質とは違った化学組成のマグマができ、最初のマグマ（初生マグマあるいは本源マグマとよばれる）とは違った化学組成の岩石ができることになる。化学組成を手がかりにして、岩石のできた履歴を推定することが可能である。このような情報を読み取ることができるため、岩石の化学組成が求められるようになってきた。当初は、化学反応を利用した陽イオンの濃度を検出してきた。そのため一個試料の主要な化学成分の分析値を得るために、1週間近い時間を要した。今では、分析装置の発達によって、数分から数十分程度の時間によって、主要成分の濃度が求められるようになった。微量成分についても、各種の分析装置が、元素の種類や濃度に応じて利用できるようになってきた。機器分析によって多様な岩石や鉱物について、多成分の分析値が報告されるようになってきた。今では一人の研究者がかかわることのできる分野の岩石の分析値でも、処理能力を超えるほど供給量がある。量が質を生むあるいは帰納的手法を使える時代になってきた。情報は広く流通しているので、問題はいかに情報を收拾選択して、必要な量だけを処理する時代になってきた。

(3) 地球内部透視の技術：トモグラフィ

人類は地表で生活しているため、地表付近の情報が多い。直接、地球深部を知るには、地球深部物質を手に入れることである。穴を掘ったり（約1 km）、ボーリング（約10 km）をしても、そんな深くまで達しない。もう少し手軽ではあるが、マグマが上昇する際に取りこんできた捕獲岩を調べることによって、約150 kmまでの情報を得ることができる。しかし、捕獲岩は、時代や地域、位置が限定できない。地球まかせ、マグマまかせとなる。

火成岩は、マントルや地殻深部から由来するマグマからできている。従って、火成岩を調べれば間接的ではあるが、地球深部を推定することができる。変成岩も地球深部で形成されたものが、地球の営力によって地表に持ち上げられたものである。変成岩の研究から地球深部の物理化学条件を間接的に推定できる。

任意の地球深部物質を得ることができないため、上述のような方法では、地球の全体像をつかむことが難しい。しかし、間接的ではあるが、限られた情報だけを用いて内部を覗くことができる。

地球内部の情報は、表層からの振動あるいは波動が内部に伝わり、再び地表に現れた波から読み取ることが可能である。地震波は、地球の岩石破壊によって発生した振動波が、地球の内部を伝わってくるものである。地震波から知ることができる重要な情報は、物質の密度である。密度の違いによって地球の層構造が読み取れる。今では、地球内部を3次元的に見ることも可能になった（地表波トモグラフィ）。地震波トモグラフィでは、地震波速度の違いは密度の違いとして読み替えることができる。もし、同じ成分の物質からマントルができていれば、地震波速度の違いは、マントルの温度構造の違いとみなすことができる。地震波トモグラフィから、マントルの現状を読み取り、地表のプレートテクトニクスと結びつけることによって、マントルの時間変化を推定することが

可能である。このような情報によって、ブルームテクトニクス（後述）というモデルが考え出された。

(4) 地球内部再現の技術：岩石合成実験

地震波によって得られる地球内部の情報は密度である。地球の密度構造を、地球を構成する物質の状態方程式から推定する方法がある。物質の与えられた温度、圧力条件での密度を予想するものである。状態方程式から理論的に推定する方法と実験的に求める方法の2通りがある。

どうしても深部物質を得たいときは、物質を人工的に合成して得る方法がある。原理は簡単である。ある予想される深部物質を、目的とする地球深部の温度・圧力条件にして、物質の状態変化を見ることである。すると、単なる試薬の合成物が、地球深部物質に変わる。どのような鉱物が形成され、その鉱物がどのような性質を持っているのか調べる事が可能である。

岩石合成の技術は、その後進歩を遂げ、今では各種の方法で、高温高压を発生することが可能である。多くの試料が得られるピストン・シリンダーでは4GPaまで、6×4型マルチアンビル型では30GPaまで、ダイヤモンド・アンビルでは400GPaまで発生させることができる。このような装置は静的な高压発生装置で圧力を制御しながら実験できる。衝撃波高压発生装置では、数百GPaまで達成できる。高压になるほど合成できる試料は小さくなる。それぞれの装置には特徴や欠点があるが、目的に応じて使い分けられている。いずれも個人で扱うには大きく、高額な装置ではあるが、得難い情報をもたらしている。

(5) 地球相似物質の探査：惑星探査

惑星の物理状態や化学組成より惑星の特徴を明らかにすることから、惑星科学は始まる。各惑星を比較し、内部構造を知るとは、惑星科学の重要な目的の一つである。そして、惑星科学の成果は、地球科学に反映される。つまり、惑星を地球相似物質と見ることによって、地球の履歴や未来を推定するための比較データとすることができる。

人類は昔から、惑星を見ていた。かつては肉眼であったが、光学望遠鏡からやがては各種の電磁波を調べる望遠鏡へと発展し、今では大気の影響を受けない宇宙空間に望遠鏡を上げて観測するにいたった。望遠鏡などの間接的惑星観測だけでなく、もっと近づいて調べることもおこなわれるようになってきた。

1969年、人類は初めて他の天体に降り立った。その天体は、地球の衛星・月であった。その後、数度にわたって月の有人探査がおこなわれたが、現在では有人の惑星探査はおこなわれていない。唯一例外は、地球である。旧ソ連の宇宙ステーションMirやU.S.A.のSpace Shuttleで、地球を探査している。

地球以外の惑星や衛星、彗星、太陽などを詳しく調べるために、探査機が多数打ち上げられた。探査機のあるものは、月や金星、火星に着陸して、表面物質の組成や、生命の有無を調べた。このような探査機によって、太陽系に関する情報が爆発的に増えてきた。

以下に惑星科学の手法と目的をまとめる。

観測には物理的観測と化学的観測がある。物理的観測にも化学的観測にも、直接と間接の2通りの観測がある。

物理的間接観測は天文学的観測である。

天文学的観測によって、惑星の物理量である軌道要素、天体の固有運動、そして固有の物理量が直接得られる。

軌道要素は、時間の経過によらず不変の値である。しかし、他の天体や大気などの外力によって軌道要素が乱されることがある。このような外力のうち周期性または規則性のあるものを摂動という。摂動力を考慮すると軌道要素は時間とともに変化していくことになる。最近では、摂動以外に、カオス的な運動があるという説もある。天体がカオス的な運動をすると天体の運動の長期予測は不可能となる。

固有運動とは、天体の固有の値で、各天体の個性が現れる。赤道傾斜角、自転周期、慣性率、 J_2 、 J_4 (天体の重力と形、内部状態によって決まる物理量) などのことである。

固有の物理量とは、半径、質量、表面磁場、太陽輻射、表面温度、重力などのことで、固有運動同様、天体の個性を表す物理量である。

惑星表面の物理的 direct 観測は、地球物理学的観測である。惑星の表面での精密な地球物理学的観測によって、地震学的データや熱流量、重力異常、大陸移動速度が得られる。地震学的データには、実体波 (縦波、横波)、表面波 (レイリー波、ラブ波)、自由振動 (伸び縮み振動、ねじれ振動) などがあり、天体内部の構造を知るためには重要な情報となる。

化学的観測では、間接的な測定によって大気組成、地表組成などがわかり、直接測定で大気化学組成、土壌化学組成、海洋化学組成、岩石・鉱物化学組成、物質の形成年代がわかる。直接的な観測による化学的データは、非常に重要である。化学的データは天体の歴史を知る上で不可欠なものである。同位体測定によって得られる形成年代や宇宙線照射年代、地球落下年代などから、その物質の履歴を解くカギが得られる。物理データは現在の姿を克明に記録するのに対して、化学データはその物質にいたるすべての履歴の結果を見ることになる。

惑星探査はまた充分とはいえない。いまだに火星に生命がいるかどうか決着がついていないし、惑星固有の物理量も精度よく求まっていないものも多い。惑星探査は、国家レベルの取り組みが不可欠である。十分な予算と人材をつぎ込まないと惑星探査は成立しない。一時低迷していた惑星探査が、昔ほどではないが、復活しつつある。今後の発展に期待したい。

(6) 地球存在場の理解：天文学の進歩

太陽系外の天体を調べることによって、太陽系の宇宙における位置づけを知ることができる。太陽あるいは太陽系が、他の天体と比べて固有の特徴がたくさん見つかったりすると、地球の科学は普遍性が少ないものとなる可能性がある。地球科学や生物学がその最たるものとなるであろう。しかし、もし太陽系が宇宙において、ごく普通の天体であれば、地球科学は、うまく利用すれば宇宙すべての天体の科学へと発展する可能性が秘められ

ていることになる。このような判断を天文学はさせてくれるはずである。

天文学は、多数の天体を観測することができることから、天体のさまざまな発展過程の情報を得ることができる。もし太陽系に類似する天体が多数あり、その発展過程を知ることができれば、太陽系の歴史を推定することが可能になる。このような情報は、太陽系のひいては地球存在場の理解につながる。

現状での太陽系あるいは地球存在場の様子を以下にまとめる。

宇宙には各種の物質が雑多に存在するのではなく、構造を持ち、階層を形成している。

宇宙の階層のなかで最小の単位は、原子やいくつかの原子が集まった分子である。原子が集まり、物質のもとである鉱物 (無機物) や有機物、非晶質物質を作る。鉱物が集まり岩石となる。岩石の集合体が小天体 (彗星、衛星、惑星) になる。重力で結ばれた小天体と大きい天体 (恒星) が、恒星-惑星系を作る。恒星は、100 から 1,000 個の恒星から構成される星団を作る。銀河は、 $10^{10} \sim 10^{12}$ 個の恒星と星間物質からなる。銀河群は、20 個以下の銀河の集まりである。銀河団は、50 個程度ときには 1,000 個を越す銀河からなる。超銀河団は、差し渡し 1 億光年ほどの大きさの銀河の集合体である。銀河団のない部分をボイドという。

直接測定による宇宙の化学組成は不明であるが、星間物質や宇宙線源の化学組成は、太陽系の化学組成と調和的である (小出, 1994)。

ビックバン理論では、宇宙の初期に形成される原子は、ほとんどが H で、ついで He そして少しの Li と Be、B である。陽子と中性子の生成・消滅反応が対称的でないため、陽子と中性子の存在比は 10 対 2 に、H と He の存在比は 12 対 1 に、質量比は 3 対 1 になると計算される。全元素中で H の占める質量を X, He を Y, その他の重い元素を Z で表わすと、宇宙初期の元素合成モデルでは、初期条件の設定によって Y は変化するが、ほぼ 0.25 になる。

観測による始源的な Y の値は、0.22 ~ 0.30 で平均 0.25 程度である。また、化学的進化の進んでない小銀河の観測からも、0.23 ~ 0.27 という結果が得られている。以上のことから、宇宙創世時の Y は、 0.24 ± 0.02 と推定されている (Yang, et al., 1984)。

星の進化のモデルから Y を求めると、0.27 ~ 0.32 になる。観測される星の Y は、0.25 ~ 0.27 である。230 万年前の銀河 NGC6822 の Y は 0.27、290 万年前の NGC598 銀河は 0.34、約 1,000 万年前の NGC4449 銀河は 0.28 である。Y の値は分散が大きい、宇宙のどこをとっても、どの時代をとっても、Y は 0.22 ~ 0.34 の一様な値である。

我々の銀河の星間ガスの Y は 0.29 である。我々の太陽プロミネンスの Y の観測値は 0.38 である。我々の銀河や太陽の Y の値は、宇宙の普遍的なものに近い。

重元素は、星の中と超新星爆発で合成される。星の中では、Fe までの元素が合成される。超新星爆発における核合成によって Fe 以上の重元素の合成がおこなわれる。したがって、銀河の化学組成は、時間の経過とともに、少しずつではあるが、重元素量 (Z の値) が増えていく

ことになる。

渦巻銀河のディスクにおける重元素量は、主系列星の観測で推定できる。G型星のZは、太陽の0.1～1.5倍、平均で0.5倍である。0.1倍より低いZの星は極端に少ない。

我々の太陽系は、少なくとも一度は、重元素合成のメカニズムを経た元素からできている。太陽付近の星は、IとII型の超新星爆発による重元素供給比が1:9程度と考えられている。我々の太陽は、多くの星よりやや高いZ量を持っているが、特異といえるほどではない。

隕石の同位体組成から、原始太陽系星雲ガスの平均的な情報が得られ、星雲ガスの均質性が確かめることができる(小出, 1995)。隕石の同位体組成には均質性を示すものと、不均質を示すものの両方があるようだが、不均質性についてははっきりしていない。

隕石からは、地球や月の酸素同位体組成とは明らかに違った同位体異常が発見されている。その他、Mg、Si、Ca、Ti、Cr、Baなどの同位体異常がCAIのような高温凝縮物から発見されている。同位体異常の原因としては、消滅核種と太陽系外成分(presolar grain)の混入が考えられている。

惑星系の存在は、星の運動の変化から推定されている。また、CTTS (classical T Tauri star) の段階と考えられるHerbik Haro天体から、10%を越える偏光、1等～2等程度の不規則な変光、赤外線・紫外線の過剰放射、パルマー線などの輝線スペクトルなどが観測され、惑星系の初期段階である活動的ディスクの存在が推定されている。

惑星系の存在は、我々の太陽系だけのものではなく、宇宙では特異ではないようである。

星の92%は、主系列星に属する。我々の太陽は、主系列星に属し、その質量も平均的で、スペクトル型ではG2型に、スペクトル級でV型に分類される。つまり、我々の太陽は、ごく一般的な星であるといえる。

星には、単独のものと連星になっているものがある。太陽系近くの星のうち、単独の星は53%を占め、連星は37%、三連星は10%である。星のうち、半数は単独で存在している。太陽も単独の星のひとつである。星の存在形態は、それぞれ個性があるが、我々の太陽系は、ごく一般的な単独の星である。

我々の銀河は、バジル(中心部)とディスク(円盤部)からなる渦巻銀河で、丸い形をした渦巻が中程度の開き具合のSb型の銀河である。銀河には、他に楕円、レンズ状そして不規則銀河があるが、渦巻銀河は一般的なものである。

銀河団以上の階層でも特異性と呼べるものは見つからない。

以上のことから、我々の太陽系は、どの階層で見ても普遍的であり、特異性はみられない。つまり、地球の存在は宇宙のごく普通のところであるということになる。

(7) シミュレーション：計算機実験

シミュレーションは、実現できそうな状態あるいは長い時間が必要なものの、非常に短時間で起こることなどをコンピューターを使って再現することである。その

ためには計算するための物理状態を記述するための方程式と初期条件が必要となる。

初期条件が不明や正確でないときは、計算結果を現実と比較することによって、その正当性を評価できる。ただし、その初期条件が可能性の範囲をすべてにわたってチェックしていることと、方程式が正しいことが前提となる。多くの場合、方程式は近似や理想状態などの仮定を含むことが多く、どうしても、現実方程式や初期条件を合わせてしまうことが多い。方程式と初期条件作りがおこなわれ、本来独立の手法であるはずが、現象を説明するための単なるひとつの可能性にすぎなくなるきらいがある。

しかし、シミュレーションは、再現不可能なものも、手軽に再現できるという点で重要な手段である。最近ではコンピューターの性能向上によって、かつては省略していた条件やステップなどを、より現実に近い状態でシミュレートできるようになってきた。

シミュレーションによって、太陽系の形成過程や惑星あるいは地球形成過程、巨大原始惑星衝突による月の形成過程、マントル対流のメカニズム解明、プレート運動の再現、大気の変遷過程などに利用されており、成果が上がっている。

ii 地球の仕組み解明へ

技術の進歩によって地球科学は進歩してきた。単に技術に頼る科学の発展だけでなく、地球科学の科学観の変化と呼ぶべき大きな科学に対する考え方も変わってきた。

以下では、プレートテクトニクスというパラダイムの成立によって、地球科学の科学観がどのように変化してきたか、そしてプレートテクトニクスに次いで出てきたブルームテクトニクスという理論の成立と、その将来像をみていく。

(1) 地球科学の科学観：プレートテクトニクス・パラダイム

前述の科学理論は、物理学を中心に組み立てられたものである。そのため、地球科学でこのような科学理論が適用可能かどうかは不明である。

このような物理によって確立された科学理論を地球科学全般に適用できないと考える研究者もいる。都城(1998)は地質学的法則は物理法則とは階層(次元)の違うものであるとした。

今、地球科学の重要なパラダイムとしてプレートテクトニクスがある。プレートテクトニクスより前には、テクトニクスとして四つの別々の基本的観念があった。地球の冷却・収縮説、アイソスタシー説、大陸移動説、地角斜造山説である(都城, 1998)。研究者は、この四つを適当に組み合わせることによって問題を処理していた。そのため、プレートテクトニクス以前はテクトニクスの分野にパラダイムは存在しなかった。

プレートテクトニクスが唱えられたとき、地角斜造山説を支持する人から多数の反論が出された。ラカトシュの研究プログラム説の立場に立てば、研究プログラムには優劣を客観的につけることができる。

プレートテクトニクスというパラダイムは前進的である。それは磁気異常の縞模様や海洋地殻の形式年代が予測され、検証されたことによる。一方、地角斜造山運動はアボ・ホック仮説の集合で何も予言しない退行的なものであった。ラカトシュの研究プログラム説によれば、前進的なプログラムのほうが優れていることになる。

プレートテクトニクスは、付加体研究に重要な役割を果たし、日本列島ひいては島弧形式史、大陸成長史について全く新しい見地を拓いた。

都城(1998)は、地質学は地球固有の法則で、物理法則を内部に含み地球に関するモデルや初期条件の複合したもので「地質学的法則」と位置づけた。そして、地質学的法則は物理法則と階層(次元)の違ったものとした。都城(1998)は地質学上の知識の構造的分類として、演繹的に結びついた階層構造もつものと階層間の結びつきが演繹的でない理論(複合構造理論)に分けた。さらに演繹的階層構造をもつ理論は、二つの階層からなる法則と、三つの階層からなる理論に、複合構造理論は、傾向的法則と観察データからなる簡単な構造をしているものから、演繹的結びつきの無い多くの構成部分からできているものまでであるが、パラダイムになる理論と(第一種)とパラダイムにならない理論(第二種)に分けられるとした。

地質学における演繹的階層構造をもつ理論は全体性をもつパラダイムにはなるが、研究プログラムにならない。パラダイム転換の時が、科学革命になる。地質学の例としては熱力学や狭義のプレートテクトニクスがこれにあたる。

地質学における第一種の複合構造理論は、個々の構成部分に本質的な対立がない場合である。対立がないため一つの複合構造理論ができ、パラダイムになりうるが、研究プログラムとはならない。例として変成岩成因論や化学的物質観の理論がこれにあたる。

第二種の複合構造理論は、個々の構成部分に対立する説があり、さまざまな理論が並存するためパラダイムにならない。構成部分が独立しており中核や防護帯の区別が無いため研究プログラムにならない。例として火成岩成因論や地角斜造山説があげられる。

(2) プレートテクトニクスからブルームテクトニクスへ

プレートテクトニクスは、ドラスティックな科学革命がなくパラダイムとなった。現在、プレートテクトニクスを包有するような理論として、ブルームテクトニクスが現れてきた。ブルームテクトニクスは科学理論上どのような位置づけになり、どのような展開になるのだろうか。

ブルームテクトニクスは、Fukao et al. (1994)の観測とMaruyama (1994)やKumazawa and Maruyama (1994)がモデルを提示し、Kumazawa et al. (1994)はプレートテクトニクスで説明できなかった現象を説明した。

プレートテクトニクスはプレート運動の原動力が解明できなかった。地震波トモグラフィの発達によって地球内部の温度構造が三次元的に詳しく解析された(Fukao et al, 1994)。その結果、沈み込んだプレートの集積域が、P波速度の正の異常域と一致し、P波速度の負の異常域は

ホットスポット集中域と一致していることがわかった。正の異常域では冷たいブルームの下降流(コールドブルーム)が、負の異常域では熱いブルームの上昇流に対応していると考えられた(Fukao et al, 1994)。重力崩壊によってコールドブルームがコア・マントル境界に落下し、その反作用としてホットブルームが上昇流として生じる。このようなマントルの対流をプレートテクトニクスの原動力として位置づけ、1~4億年の周期性を持つとした(Maruyama, 1994)。

Kumazawa and Maruyama (1994)は、熱対流の地球における熱史を地球型惑星の冷却過程ととらえ、ブルームテクトニクスとプレートテクトニクスの時期を一般化した。熱史におけるコア内の変化とし、その変化の結果、生じるはずの現象を太古代と原生代の境界に起きた地質学的現象と結びつけ、自転速度の変化を堆積岩から読み取れば、検証可能であることを示した(Kumazawa et al, 1994)。

ブルームテクトニクスは第一種の複合構造理論に分類される。このような歴史と研究の発展から多くの研究者がブルームテクトニクスを受け入れている。一種のパラダイムのようなのであるが、プレートテクトニクスから科学革命を生じて発達したものでなく、プレートテクトニクスを内部に取り込んだ理論である。

iii 地球科学の現状：まとめ

地球科学は、技術の進歩が重要な要因として作用してきた。技術の進歩によって地球科学の各分野が進歩し、地球の仕組み解明へという方向に向かって、大きな流れが形成された。地球の仕組みの解明は、プレートテクトニクスとブルームテクトニクスの出現である。プレートテクトニクスはパラダイムと呼べるほどの理論となった。その後続くブルームテクトニクスは、プレートテクトニクスより発展したものであるが、定義の上ではパラダイムと呼べるものではない。しかし、地球科学の研究者の多くはブルームテクトニクスに基づいて研究が続いているので、広義のパラダイムと呼べるかもしれない。地球科学でも他の科学分野と同様に、常に変化しており、科学革命(パラダイム・シフト)が起こり新しいパラダイムが出現する可能性がある。このような地球科学の変化が、技術の進歩からもたらされたことを頭に入れて置くべきである。技術の最新情報を収集して、新たな活用方法がないかを常に考えている必要がある。

III 博物館と地球科学教育

ここでは、博物館とは何かをみて、博物館における普及法の現状をまとめる。また、日本の地球科学の普及法の現状をまとめる。以上の現状分析から、博物館の地球科学教育を把握し、博物館の限界をまとめる。

1 博物館とは

博物館とは何かを考えるために、博物館の定義をして、博物館の特徴をまとめる。

i 博物館の定義

博物館には、人によってさまざまなイメージがあるは

ずである。ここでは、法制上の定義をまとめるが、博物館のすべてを定めているとはいえない。しかし、日本という国が定め、国民の合意のもとに定義されたはずの博物館というものが現れているはずである。

日本の法律では、1951（昭和26）年に制定された「博物館法」（最近改正平成5年）の第二条によって、定義されている。

「博物館」とは、「歴史、芸術、民俗、産業、自然科学等に関する資料を収集し、保管（育成を含む。以下同じ。）し、展示して教育的配慮の下に一般公衆の利用に供し、その教養、調査研究、レクリエーション等に資するために必要な事業をおこない、あわせてこれらの資料に関する調査研究をすることを目的とする機関」と定義されている。また、第三条一において、博物館の事業とは、「実物、標本、模型、模写、文献、図表、写真、フィルム、レコード等の博物館資料を豊富に収集し、保管し、及び展示すること」とされている。

第四条三で、「博物館に、専門的職員として学芸員を置く」とし、四で「学芸員は、博物館資料の収集、保管、展示及び調査研究その他これと関連する事業についての専門的事項をつかさどる」としている。

国際的には、ICOMの定義がある。ICOMとはInternational Council of Museumsの略で、国際博物館会議と和訳されている。ICOMでは憲章(Statutes)が1989年に制定されており（1995年最新改定）、第二項第一節(Article 2, para. 1)で、博物館が以下のように定義されている。

A museum is a non-profit making, permanent institution in the service of society and of its development, and open to the public which acquires, conserves, researches, communicates and exhibits, for purposes of study, education and enjoyment, material evidence of people and their environment.

訳すと、「博物館とは、社会とその発展に貢献し、非営利の常設機関であり、研究、教育、娯楽のために、人間と環境に関する物質的証拠を収集、保存、研究、伝達、展示をして、公共のために公開するものである」、となる。

また、博物館には、一定の倫理規定を尊重する特別の研修を受けたものか経験を持つものが、専門職員として（Article 2, para. 2）。そして、専門職員の職業倫理規定が制定されている。その中で、館の運営から、管理、個人にいたるまで、多様な内容での、職業倫理規定が説かれている。

日本の「博物館法」もICOMの憲章の定義でも、博物館の機能は、資料（Material）を集め、保管、展示そして調べることとしている。その博物館の機能を専門職として動かしているのが学芸員なのである。博物館の機能と学芸員がうまくかみ合って始めて、博物館の運営が成り立つ。

日本では最近、「博物館法」に基づかない博物館相当施設が現れてきた。兵庫県立人と自然の博物館は、大学の付属博物館としての位置づけで設立された。学校法上の博物館といえる。

また、最近いくつかの大学で、ユニバーシティミュージアムが設立されている。ユニバーシティミュージアムも博物館の機能を果たさなくてはならないであろうが、

独自の設立目的を持って作られている場合もある。しかし、ユニバーシティミュージアムで一番注意しなければならない点は、研究重視の風潮により、博物館が一種の収蔵庫として、利用価値の少ない資料だけが収められるところのなってしまうことが危惧される。いわゆる「博物館行き」になった資料を置いておくところになってしまう可能性がある。しかし、京都大学の総合博物館の構想（大野, 1998）や東京大学資料館は、独自のポリシーを持った活動をしている。

今後も、多様な博物館が出現するであろう（白岩編, 1996）が、従来の発想にとらわれない、新しいコンセプトの博物館が出現することを願ってやまない。

ii 博物館の特徴

博物館には各種の実物資料が大量にあることが一番の特徴である。展示室に置いてあるものだけでなく、収蔵庫などにも多くの資料が蓄えられている。また、実物資料を調べる研究設備や研究機器なども用意されている。博物館では、このような実物資料と各種の装置を用いた実習や実験ができる。学校でも同様のことがおこなわれているが、実物資料の多様性や収蔵量は博物館が群を抜いている。

第2の特徴として、博物館では、各種のテーマに基づいた資料・情報が系統的に集められている。組織的に継続的に集められた資料群は、コレクションと呼ばれる。資料は実物資料だけでなく、国内外の図書や文献、写真、画像、分布、分析値などの多様なものが集められている。今も、最新の情報が、それぞれの専門の学芸員によって集められている。博物館で収集している情報は、一般の研究者の短期的なテーマに基づいた情報収集とは違って、継続的な情報収集が続けられている。系統分類によるコレクションなどは、博物館が続く限り集められるものもある。

第3の博物館の特徴は、サービスの対象が、一般の市民にあることである。したがって、博物館には学校教育とは違って、さまざまな地域のさまざまな階層の人が集まる。このような多様な人たちが、一つのテーマについて議論できるというのが、学校教育に見られない一面である。基礎知識のレベルの違う人が集まっているため、基礎的な内容の議論で終始する活動になりがちという面もあるが、様々な階層の人の意見が出て深い議論ができ、独自の発展した内容を形成することができる。

一般市民が参加できる生涯学習は、大学などの教育機関でも取り組まれている。しかし、大学では定期的な市民講座を開催しているが、市民が常時利用できる施設ではない。生涯学習の充実には、多様な施設をつくり、より多くの人が利用できる機会を増やし、各種の学習方法の確立をしていく必要がある。そのために博物館は、重要な生涯学習施設となるであろう。

2 博物館の普及法

博物館では、どのように科学普及がおこなわれているのであろうか。分野毎に工夫され、バラエティーのあるものになっているのであろうか。野外観察会を例にとり考

えてみる。

参加者は、講師からはじめに当日観察できるものの概論あるいは一般的な分類法を伝えられる。それにはテキストが利用されることもある。そして目的地で目的物の観察を自力でおこなう。わからない時は、講師に聞き、そのものの名称や分類法とその特徴を聞く。講師は参加者をめぐったり、質問に答えたり、珍しいもの、特徴的なものがあると参加者を集めてその説明をする。観察会の最後には、当日のまとめとして、観察できたものやその季節その地域の特徴をまとめ、より根本的な理論や仮説によって当日のものを位置づけて解説される。

このような手順で一般的な観察会がおこなわれることが多いはずである。従って季節や場所、テーマを変えることによって、無数といえるバリエーションの観察会を催すことが可能である。

つまり、このような方法論は実用的で有効であるため、多くの実践例があるのであろう。観察会の方法論における広義のパラダイムといえる。このようなパラダイム的方法論によって多くの参加者に自然への興味や知識を与えてきた。

この方法論に幾つかの疑問がある。それは、「教える」ことを前提としていること、理論体系に達するまで充分伝達されていない可能性があることである。この方法論では、観察→知識→理論という三つの階層を持ちながら、ものの観察もしくはその名称を中心とした知識伝達が中核をなしているため、理論体系伝達に達するまでに至らないことが多い。帰納的体系のみをとっており、一番重要な帰納部分の最後のところに力点が置かれていない。知識伝達を中心とする手法になりがちである。このような手法の観察会では、理論の演繹性を示すことはむずかしい。

学校教育では、知識偏重の教育の反省からさまざまな教育法の試みがなされてきてが、上級学校に入るために受験が存在する。そのために、多くの試みが成果を上げにくくなっている。良い教育とは良い上級学校にたくさんの生徒を入れるものという、評価評価も生まれている。従って学校教育の多くの試みは空論、理想論に終わる危険性がある。

博物館は生涯教育施設であるため、学校教育と別のアプローチが可能である。まさに、学校教育で試みられた方法を活用できる体制を本質的に持っているのである。ところが、博物館の科学普及法は、知識偏重の帰納的方法が、いまだに利用されている。

これからの博物館の科学普及活動には、国内外の学校教育の試みを貪欲に取り込み、活用してみる必要がある。

3 日本の地球科学普及法

地球科学における普及法を見ると、物理や化学・生物に比べて量的に少ない。また、内容も見劣りがする。それは、地球科学の学問的特性によるものもあるであろうか。地球という固有性はあるが、地球科学の学問体系の階層内には、物理や化学・生物の理論を内包している。従って他分野の各種の方法を、地球科学に応用してみる必要がある。当然、地球科学独自の方法も考える必要も

ある。

地球科学の普及法の遅れは日本だけのものなのか、世界的な傾向なのかよく分からない。しかし、アメリカ合衆国では、子供あるいは一般向けに地球科学教育の各種の試みがなされている。非常に優れた、CD-ROM(たとえば、TASA社の地球科学に関する多数の教育用CD-ROM)や各種の教科書類が多数ある。図鑑やフィールドガイドでは、地球科学の分野(岩石、鉱物、化石など)が脱けることはない。イギリスでも、伝統ある王立科学アカデミーのクリスマスレクチャーでは地球科学の内容が何度もおこなわれている。

日本では、地球科学の専門教育を受けた人材の需要が欧米に比べて少ない。そのため地球科学の教育にさかれる労力も少ないのであろう。受験科目にしてない大学も少ないことから、日本では地球科学の人材が不足している。一般市民も、大人になるほど地球科学における意識が低くなり、興味が少なくなっていく。

地球環境問題や地震、火山、土砂崩れなど、自然災害の多くは地球科学と密接な関連がある。また、日本列島は、世界的にも珍しい島弧という活動的なテクトニック・セッティングにある。また、付加体という地球史において重要なプロセスによって作り上げられた列島である。日本列島の地球科学的研究によって、大陸形成史やプレートテクトニクスのメカニズムの解明が飛躍的に進歩してきた。日本独自の地球科学の普及法をもっと開発する必要がある。そして、市民に地球科学への興味を持ってもらう必要がある。

4 博物館の科学教育の現状：博物館の限界

博物館では、科学普及に対して、効果を上げてきた。今後も従来どおりの活動も必要である。ただし、ニーズ調査や現状分析の結果、今までの活動量では充分でないことは明らかである。

博物館のサービスの対象は、健常者である。あるいは、博物館に来られる人、催し物に参加できる人を対象にしてきた。このような階層の人が博物館を必要とする人のすべてであろうか。博物館に来たくても来られない人、催し物に参加したくても参加できない人、博物館に来て通常サービスが利用できない人も確実にいる。その量は定かでないが、乗り越えるべきさまざまな局面での限界あるいは制約といえるものがある。このようなさまざまな限界や制約を克服した時、その利用法は今まで利用してきた人にも還元でき、より良い博物館利用法となるはずである。

以下では、博物館の限界や制約を、時間的限界、空間的限界、知的限界、量的限界に区分してまとめる。

i 時間的限界

博物館は、午前9時から午後5時が通常の活動時間である。館によっては時間にばらつきがあろうが、ほぼ8時間程度が開館時間である。電話については、もう少し長く利用可能かもしれない。しかし、市民が博物館の情報を必要とする時は、9時～5時の間とは限らない。そして、博物館に行っても調べようという強い意志を持

つ人は少ない。理想的には24時間、博物館の情報が提供されれば良い。しかし、人間を直接配置するのは大変だし、まして専門能力を有する学芸員を24時間配置するのは不可能である。

行事に参加する側にも制限がある。職種や階層によっては、参加できない人も出てくる。平日にも行事をやっているが、多くは土・日曜日である。土・日曜日に時間がとれない人は、博物館の行事にはほとんど参加できない。また、一般の参加者とは、健康者で参加する能力を有する人を言う。従って土・日曜日に働いている人や障害者にとって、現状の博物館はあまり利用価値がないことになる。

「いつでも」博物館の情報を利用できることが理想である。

ii 空間的限界

市民が博物館の情報を利用したい時、博物館にすぐ来れるわけではない。近所の別の博物館や生涯学習施設、図書館で調べることができれば良いが「この博物館」しか持っていない情報のとき、「この博物館」に来なければならない。「この博物館」に情報があるとわかって、来られない場合が想定される。このような空間的限界は、利用者にとって障害となっている。単に常設展示の見学でなく、より高度の情報を必要とする人になるほど、空間的限界は大きな障害になる。

「どこでも」利用できる博物館の情報提供が望まれる。

iii 知的限界

博物館で持っている情報は、非常に多岐にわたり、高度の内容を含んでいる。それは研究動向の最先端まで達している。多岐にわたる情報を公開するにあたって、常設展では、小学校の中・高学年が理解できるような内容にしている。時には、一般向けの内容にしてあり、小・中学生には難しい内容になってくるともしばしばある。特に特別展・企画展では、高度な内容になることが多い。

実物資料を見せることにおいては、年齢、知的レベル、国籍など、関係はないのだが、付属する情報の公開において、知的限界を設けざるを得ない。付属情報とは、資料の名称、分類、産地、時代はもとより、その資料の学問分野における位置づけ、起源、そして関連する資料と情報などのことである。学芸員はこのような情報を各資料に対して保有している。それが、展示として公開される時は間引かれ、シンプルで小学生にも理解できるようなものにされている。

専門家や高い知識を持つ利用者においては、学芸員が持っている専門的な付属情報を欲しい人もいるであろう。また、外国人は外国語による情報公開を望むであろう。小学校の低学年や幼児は、もっとわかりやすい内容を必要としている。非常に多様な形態に情報を加工しなければならない。そのためには膨大な労力と費用を要する。しかし、より多くの人へのサービスを考えるならば、必要なことである。

どんな知的レベルの要求に対しても情報提供できる、「だれでも」利用できる博物館が望ましい。

iv 量的限界

前述のアンケートや社会状況の分析から見て、多くの人たちは、自然に接する機会を求めている。自然に接する機会をたくさん作ることが、地球科学への興味を持ち、自然や地球環境を守る姿勢につながると考えられる。神奈川県立生命の星・地球博物館においても、観察会や実習講座などで自然に接するための機会作りをおこなっている。そして毎回、定員を超える応募者があり、抽選などで定員に絞っているのが現状である。普及活動の回数は、平均すれば毎週のようにおこなわれている。

これは、博物館の行事の定員や目的をもっと増やす必要があることにある。定員は、講師や案内者の人数、観察場所、実習装置・設備に制限されるために、定員を増やすことも限界がある。指導にあたるべき学芸員は、観察会や講座の講師をするだけではなく、他の業務もたくさんかかえている。回数を増やすにも限界がある。

展示物は、ある程度の大きさにされている。その大きさの資料を一度に見ることのできる人数は制限される。小さくなるほど、その人数は少なくなる。展示物を人が説明するとき一番小さな資料を見ることができると人数が、制限となる。それを越えることは、利用者に平等な情報提供ができないことになる。実習や講座、野外観察会は、行く場所や講師、付き添いの人数によって参加者が制限される。

「いくらでも」参加・利用できるようなのがあれば理想である。

IV 博物館の地球科学教育のあるべき姿

ここまで、地球科学の普及をおこなうために、関連すると考えられる分野の現状分析と、博物館における科学教育の問題点を洗い出した。このような検討の結果をふまえて新しい地球科学の普及法を確立するための模索をここでおこなう。目標は、「いつでも、どこでも、だれでも、いくらでも」利用できる博物館なり博物館情報である(図3)。

1 博物館の情報

博物館の扱うあるいは求められている情報は、網羅的であることかつ選択的であることの両面性がある。ここでは、博物館の情報を、網羅性と選択性という点で概観する。

i 網羅的であること

市民の多くは、博物館に網羅的情報を期待している。図書館に行けば調べられる内容でも、自力で調べるのが調べるのがわずらわしくて、誰かに聞こうとする。多くの市民は、博物館で聞けば教えてもらえる、という気持ちがある。博物館にはいろいろな専門家がいて、なんでも知っている人達がいる。だから博物館の人に聞けばなんでも教えてもらえると考えている。

問い合わせの内容は、非常に多様である。自分で簡単に調べることができる初級レベルのものから、関連分野の学芸員がいれば答えることができるもの、専門分野の学芸員がいないと答えられないもの、時には他の施設の

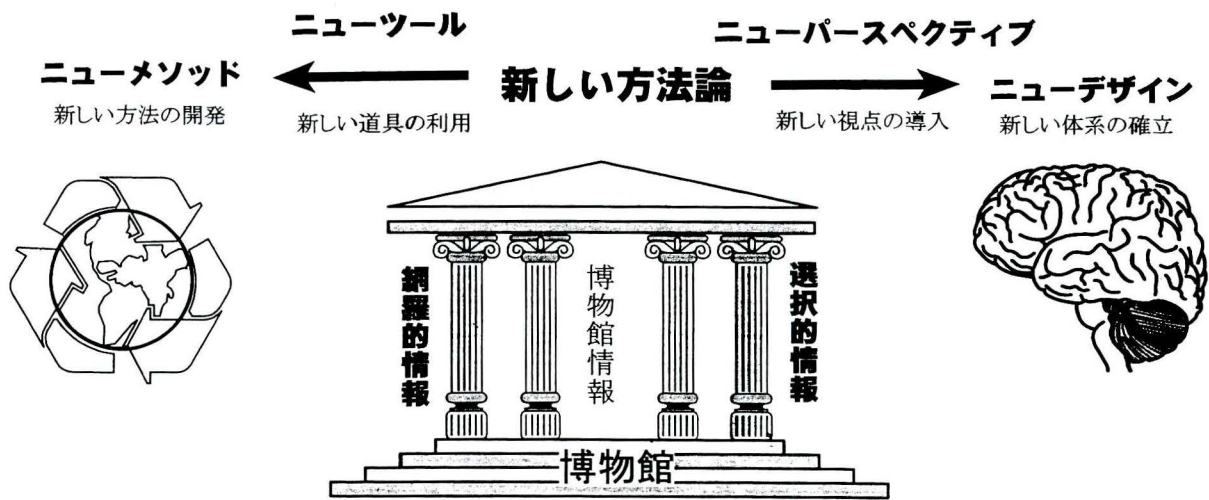


図 3. 博物館にける地球科学教育の新しい方向性.

専門家の方がよい内容や専門家のいそうな施設を紹介するしかないようなものまである。しかし、問い合わせの多くは初級レベルのものが多く、少々専門が違っても答えることが可能である。

需要からいうと、博物館の一つの方向性として網羅的情報の収集が要求される。しかも、それは初級レベルのものである。つまり、広く浅い知識である。実はこのような質問は自力で簡単に回答へとたどり着けるものである。

網羅的内容の問い合わせは、調べる方法を知らなかったり調べる自発性が低かったりすると、人に聞くことになる。従って網羅的内容の質問の答えは、適切な「Q & A」や「よくある質問とその回答(FQA: Frequent Questions and their Answers)」や「よく尋ねられる質問 (FAQ: Frequently Asked Question)」が用意されていれば、専門家がなくても、あるいは人対応でなくてもすむことになる。また、百科図鑑的な情報が調べやすくなっていれば、問い合わせ以外にも楽しみながら自力で答えをだすことができる。あとは、いかに興味を持って簡単に調べる仕組みを作るかということである。

ii 選択的であること

博物館では、すべての資料に関して深く詳しい情報を持つことは不可能である。学芸員の担当する分野そして研究テーマとする資料に関する情報は、選択的に収集される。博物館では、そのような選択的な情報が、長年にわたって実物資料と共に収集される。したがって、選択的な内容であるが、非常に充実した情報データベースの素材が存在することになる。

一般に公開できるほどにデータを加工するには、労力が必要である。しかし、博物館の業務の一つとして、そのような情報を可能な限り使いやすい形で公開することが必要である。あるいは、最低限の加工でもよいから、公開すべきであろう。このような1次的なデータを必要とする専門家もいるかもしれないからである。このような非常に専門性の高い選択的情報の公開は、博物館の学芸

員だけが負っている責務ではない。多くの一般的な研究者と呼ばれる職種のすべての人が負っているものである。博物館における重要な役割は、実物資料の整理・保管・研究・公開である。博物館に来れば、各種の情報のもとである実物資料を見ることができる。

選択的情報は、一般市民にはほとんど利用価値がない、高度な知的レベルに属するものが多い。利用者は、専門家や研究者が主となるであろう。しかし、博物館が研究面で果たすべき役割は大きい。大学や他の研究機関と同じ様なテーマになる場合もあるし、博物館独自のものもあるであろう。研究においては、博物館も他の研究機関と同様の機能を持たなければならない。そのために選択的情報は学芸員自身にも必要だし、学芸員の生み出した情報は、公開され他の研究者の利用できるものとしなければならない。

現在、多くの博物館では、研究報告や研究紀要などというかたちで印刷物が作成され、配布されている。このような形式はもちろん、インターネットなどの情報媒体を利用した情報発信も必要であろう。今後も、博物館でも選択的情報の収集とその発信は継続していかなければならない。

2 新しい方向性の模索

今まで述べてきた社会、科学、科学教育、地球科学そして博物館と地球科学教育の各現状分析に基づき、今後の博物館の科学普及における進むべき方向性を模索する。新しい方向性として、4つの観点でまとめる。新しい道具の導入（ニューツール）と新しい手法の確立（ニューメソッド）、新しい視点の導入（ニューパースペクティブ）、新しい体系の構築（ニューデザイン）である。以下に各方向性を概説する。

i 新しい道具の導入：ニューツール

博物館の情報は、規格が様々でデジタル化するのが難しかった。しかし、技術の発達によって高機能コンピュータやソフトウェアが安価に利用できるように

なったため、規格のそろった情報データベースが構築できる条件が整ってきた。新しい道具とは、博物館情報やさらには学芸員が持っている情報を可能な限りデジタル化し、コンピューターで利用できるようにしたものである。博物館が持つ実物資料、地球環境を示す衛星画像、地球の景観写真、地球科学のデータなどのデジタル化をおこなうことが可能になった。そして、データベース化することができる。データベースは、一般市民が、地球科学に興味を持続するための手助けとして活用できる。

実習や講座も新しいメディアに取り込みデジタル化することが可能である。実習や講座の様子をライブでインターネットに流すことも可能である。実習や講座をデジタル化する意味は、時間、日程や身体上の都合で実習や講座に参加できない人でも、参加者と同じような雰囲気や臨場感を味わうことができることである。このような道具を利用して学習すれば、個人で実習や講座の過程をたどることも可能で、実習や講座に参加したのと同等の効果が期待できる。また野外観察会も同様のデジタル化が可能である。このようなデジタル・ツールを利用した学習で、関連のデータベースもあわせて利用できれば、そのときに出た疑問が、参加者同様解決されるはずである。ニューツールとは、コンピューターを用いたデジタル情報を、インターネットを通じて多様な利用を可能にするものである。ニューツールを利用すれば、「いつでも、どこでも、だれでも、いくらでも」このような情報が利用できるわけである。

ii 新しい手法の確立：ニューメソッド

デジタルという新しい形態の情報を、新しい道具を使えば手軽に利用することが可能になった。デジタルというニューツールを利用するためには、従来にない新しい方法を開発しなければならない。ニューツールを扱うための方法とは、新しい方法（ニューメソッド）である。

コンピューターやインターネットを用いた学習法は、博物館に来なくても、博物館の情報を活用できることである。博物館における従来の利用者階層の広さに比べて、新しい学習法による階層はより広いものとなるはずである。すべての階層とはいわないまでも、今まで実質的に博物館を生涯学習施設として利用していなかった階層に、大きく門戸を開くことになるであろう。

インターネットは、自宅から接続することが可能である。今では、モバイル・コンピューティングとして移動しながらあるいは移動先からも接続可能になった。博物館情報も、インターネット上にホームページを開設しており、そこに必要な情報があれば、いつでも見ることが可能である。また、世界各地の博物館を自宅にいながら、見学していくことも可能になった。インターネットに接続しているコンピューターさえあれば、空間的に地球上では知的レベルにおいて、僻地はなくなったといえる。博物館情報がインターネットに公開されていれば、「どこでも」その情報は利用することができるのである。

博物館情報がインターネットに公開されることにより、時間的制約からも解放されることになる。つまり、「いつでも」博物館情報が利用できるのである。

コンピューターやインターネットを用いた学習法は、使用者の能力やスピードに合わせて各種の活用が可能である。「学ぶ」だけでなく、遊びや、リファレンス、好奇心の赴くままに見る（ネット・サーフィンと呼ばれる）など、様々な活用の可能性もある。ニューツールを用いたニューメソッドは、さまざまな知的レベルの個人が独習できるようにすべきであろう。つまり「だれでも」博物館情報を利用できるようにならなければならない。

ニューツールでは、個人レベルの利用であるため、量的制限は、サーバーの能力によることになる。十分な能力を有するサーバーさえ用意しておけば、多数のアクセスが可能である。多くの人が「いくらでも」博物館情報を利用できることになる。

ニューツールを用いたニューメソッドは、障害者はもちろん、多様な階層の人が、時間や人数制限を受けることなく利用できるものである。つまり、「いつでも、どこでも、だれでも、いくらでも」利用可能にするであろう。

iii 新しい視点の導入：ニューパースペクティブ

従来の博物館活動の多くは、健常者を対象にしたもので、障害者のための博物館活動は不十分であった。生涯教育の施設として博物館を考える場合、障害者にも来館できない人にも均等に機会を提供する必要がある。現在ある博物館の各種機能を根本的に見直し、再構成をしなければならない。

実物資料に対する健常者の方法は、視覚を中心にすえたものである。もし、視覚を中心にしない方法があるとしたら、それはまったく新しい観点になるはずである。人間が持つ視覚、触覚、聴覚、味覚、臭覚のそれぞれの感覚を通じてみた新しい観点（ニューパースペクティブ）を開拓できるかもしれない。そのために、いろいろなハンディキャップを持ちながらも活動している障害者から学ぶ必要がある。彼らは、ニューパースペクティブの昔からの持ち主である。彼らから健常者が知り得ない世界を学ばなければならない。

iv 新しい体系の構築：ニューデザイン

視覚、触覚、聴覚、味覚、臭覚のそれぞれの感覚を中心とした、新して視点（ニューパースペクティブ）の開拓は、ある階層の人だけに適応可能な特別なサービスをするという考えではなく、彼らへの新たなサービスの方法を開発することによって、一般市民や健常者もより良く博物館を利用できるようになることを目的とする。まさに、「いつでも、どこでも、だれでも、いくらでも」利用できる博物館となる方法が開発できると考えられる。ニューパースペクティブによる博物館活動は、まったく新しい体系（ニューデザイン）として構築できるであろう。ニューパースペクティブによるニューデザインは、従来にない博物館あるいは生涯学習施設になるであろう。そして、その博物館は多様な人が多様な利用をするであろう。

V 新しい活動

ここでは、前述の博物館の地球科学教育で目指すべき

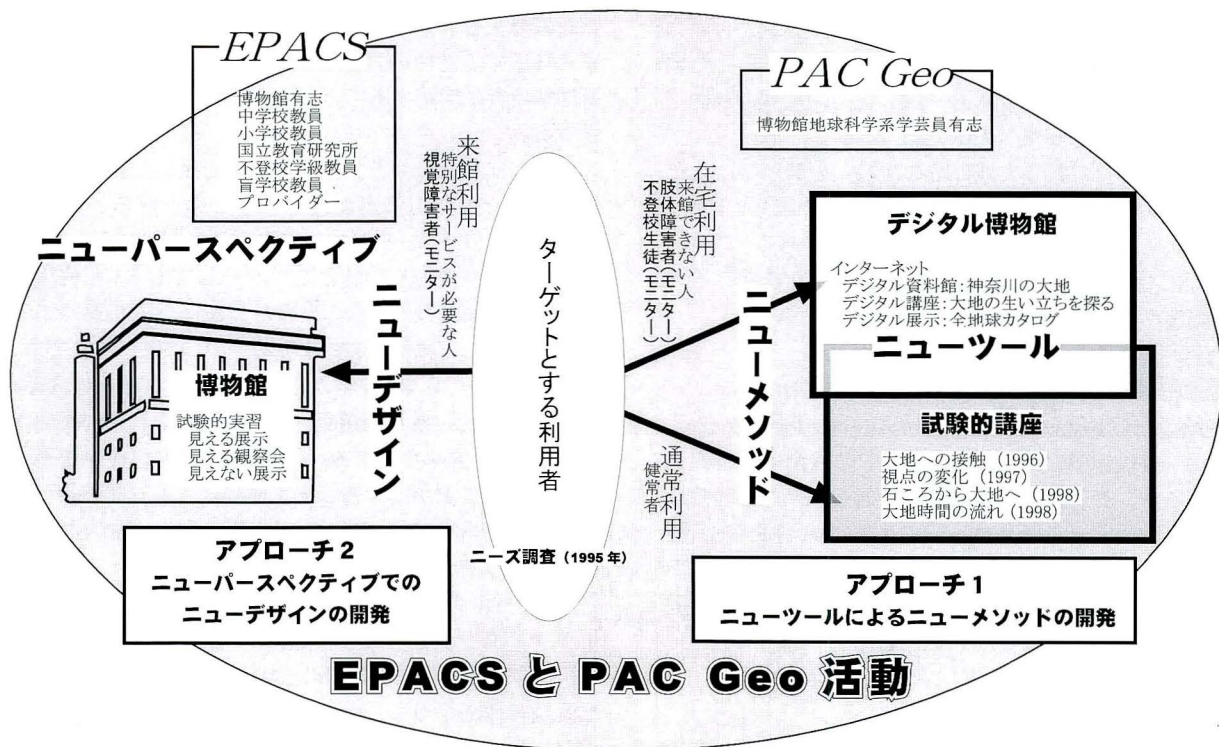


図4. PAC Geo と EPACS の活動。

新しい方向性に基づいた著者らの活動を紹介する。著者らは、PAC Geoというグループで活動している博物館の地球科学を専門とする学芸員の有志で組織されている。その活動を博物館外に広げたグループがEPACSである。2つのグループの活動によって、著者らは新しい方向性を目指している（図4）。

1 新しい地球科学普及は新しい方法で：PAC Geo

PAC GeoとはProject for Advanced and Comprehensive Geoscienceの略である。PAC Geoでは、新しい道具（ニューツール）を利用して、今までにない方法論（ニューメソッド）を作りたいと考えて活動している。PAC Geoのポリシーは、「新しい地球科学普及は新しい方法で」である。

i PAC Geoの目的

今までの博物館では「教える」ということが中心になっていた。PAC Geoでは、その考え方をやめ「教えない」という方針にした。そして、「自分でおこなう」、「考える」ということを中心にし、最終的にはテーマとした題材に興味あるいは好奇心を持つことを目的とした。PAC Geoでは、市民が興味を持った対象をより詳しく調べるための手続きや方法を紹介するだけで、あとは「自分でやる」ということにした。このような戦略のもとに試験的講座をおこない、そこから新しい方法論を生み出していこうと考えた。

試験的講座では、新しい道具を意識的に利用しておこなっている。新しい道具とは最近の分析装置やコンピューターを介したデジタル技術、CG、アニメーション

などをどんどん利用したり、あるいは市販の安価な道具を用いた実験などを行うことである。また、学問の新しい成果を次々に取り入れている。当然、従来の野外観察や実物資料を目で詳しく観察するなどの手法も、取りいれている。

これがPAC Geoの活動方針である。「広く深く地球科学を学ぶために」をキャッチフレーズとしてPAC Geoは活動している。

ii PAC Geoの活動

PAC Geoは、1994年4月より活動を開始し、現在も活動中である。メンバーは、神奈川県立生命の星・地球博物館に所属する地球科学系の学芸員の有志からなる。

今までにおこなった主な活動は、市民の地球科学のニーズ調査と分析、それに基づいて試験的講座の実施した。1994年にアンケート調査を実施している。

1995年にアンケート調査結果とその分析をまとめて「神奈川県の環境学習実態調査報告書—新しい地球環境学習プログラムの開発をめざして—」で報告した。また、一般的論文として小出ほか（1994）と平田ほか（1996）で報告した。

実験的講座は、1996年3月に第一回試験的講座「大地の生い立ちを探る」を「大地への接触」をテーマにおこなった（PAC Geo, 1996a）。この講座の成果は、普及書として「酒匂川地学散歩」全5巻（PAC Geo, 1996b; 1996c; 1997a; 1997b; 1997c）として出版されている。

1997年2月に第二回試験的講座「地球講座：石・大地・地球をみる」を「視点の変化」をテーマにおこなった（PAC Geo, 1997d）。本講座は、小出（1996）の「大きいもの・

小さいもの」を題材にしておこなった。

1998年2月に第三回試験的講座「河原の石から見た地球―大地の生い立ちを探るⅡ―」を「石ころから大地へ」をテーマにおこなった（PAC Geo, 1998）。

1998年12月には、「大地の時の流れ」をテーマにした4回連続の第4回試験的講座を開催した。今後も、毎年1回ペースで試験的講座を続けていく予定である。このようなPAC Geoの活動は、対外的には評価や批判を受けるために関連学会などで報告している（小出, 1998）。

2 だれでも使える博物館：EPACS

EPACSとはExpanded Project for Advanced and Comprehensive Scienceの略である。PAC Geoの活動の延長線上ではあるが、より拡大されたものである。PAC Geoの活動をより発展させるために、別のグループ（EPACS）組織した。EPACSでは、さまざまな面での拡大を考えており、「だれでも使える博物館」をキャッチフレーズに活動を始めた。

i EPACSの組織

EPACSは、1998年4月より5年間を活動期間として現在活動をおこなっている。メンバーは、すべて個人レベルの有志の集まりで、ボランティア精神で活動している。EPACSのメンバーは、神奈川県立生命の星・地球博物館の学芸員、小・中学校教員、国立教育研究所の職員、民間プロバイダーのコンピューター技術者、障害者教育の教員、不登校学級の教員たちから構成されている。その他に障害者と不登校児童生徒にモニターとして参加してもらっている。

ii EPACSの目的

EPACSでは、二つのアプローチによる方法論の確立を最終的な目標とする。一つは、デジタル化された新しい道具（ニューツール）を活用するための新しい方法（ニューメソッド）によるアプローチと、もう一つは実物資料を視覚、触覚、聴覚、味覚、臭覚別にみた新しい観点（ニューパースペクティブ）での新しい体系（ニューデザイン）によるアプローチである。このような2つのアプローチが完成すれば、「いつでも、どこでも、だれでも、いくらでも」利用できる博物館になるはずである。EPACSでは、その一部をケース・スタディとしておこない、方法論を確立する。

(1) アプローチ1: ニューツールとニューメソッドの開発

収蔵してある実物資料と付随する国内外の図書や文献、映像、写真、分布、分析値などの多様な情報を、万人に利用できる形に加工する必要がある。高機能コンピューターやソフトウェアの発達によって、多様な情報をデジタル化し、簡便に活用できる条件が整ってきた。デジタルという新しい道具（ニューツール）が手軽に利用することが可能になった。EPACSでは、具体的にインターネット上のデータベースを構築し、データベースの各種の利用法を開発する。そして、インターネットにより双方向のコミュニケーション手段として、テレビ会議シス

テムの導入も考えている。このような各種のニューツールを利用するための方法を開発する。新しい利用法を地球科学教育に活用することによってニューメソッドが完成する。

コンピューターやインターネットを用いた地球科学教育は、様々な活用の可能性のあるものとする。ニューツールを用いたニューメソッドによる学習プログラムは、障害者や不登校児童生徒にモニターしてもらい、使用方法の改良をおこなう。このようなニューツールを用いることによって、障害者はもちろん、「いつでも、どこでも、だれでも、いくらでも」学ぶことが可能になると考える。

EPACSでは、新しい道具（ニューツール）を利用したテーマを、「地球」にする。「地球」は、実物資料を最大限に活かすことができる。まず始めに、インターネット上に試験的なホームページを開設する。試験的ホームページは「デジタル博物館」と称する。

「デジタル博物館」は、デジタル資料館、デジタル展示、デジタル講座から構成される。

デジタル資料館「神奈川の大地」：博物館に貯えられた大量の情報のうち、神奈川の大地に関連するものをデジタル化する。神奈川の大地というテーマで、神奈川県に分布する岩石、鉱物、地層を網羅したデータベースとする。そして、だれでも使いやすい形で提供する。

デジタル展示「全地球カタログ」：デジタル空間での展示をおこなう。地球科学の最新情報を、デジタル化して、全地球カタログという形で、データベースを提供する。

デジタル講座「大地の生い立ちを探る」：音や動画を含むインタラクティブな学習プログラムを構築する。PAC Geoがおこなっている試験的講座をデジタル上で再現して、新しい学習法を開発する。

ニューツールとニューメソッドによる博物館活動の脱皮が、EPACSの第一のアプローチとなる。

(2) アプローチ2: ニューパースペクティブとニューデザインの開発

アプローチ2は、万人が使える博物館を目指すためのステップである。障害者にも来館できない人にも均等に機会を提供できるものを目指す。十分なケーススタディをした後、現在ある博物館の各種機能を根本的に見直し、再構成を試験的におこなってみる。

ケーススタディでは、実物資料の今までにない活用法を開発する。従来の実物資料に接する方法は、視覚が中心であった。もし、視覚を中心としない接し方があるとなれば、それはまったく新しいものの見方になるはずである。視覚、触覚、聴覚、味覚、臭覚ごとの新しい観点（ニューパースペクティブ）を開拓できるかもしれない。そのための案内役は、いろいろなハンディキャップを持ちながらも活動している障害者が適任である。彼らから私たちが知り得ないニューパースペクティブを学ばなければならない。ニューパースペクティブによる博物館活動は、まったく新しい体系（ニューデザイン）として組み立てることができるであろう。

ケーススタディのために対象者を、視覚障害者に限定

することにした。ケーススタディは、博物館に來られても視覚中心のサービスを受けられない人へのサービス向上を目指しておこなう。EPACSでは、このような障害者だけに適応可能な特別なサービスをするという考えで活動するのではない。彼らへの新たなサービスの方法を開発することによって、一般市民や健常者もより良く博物館を利用できるようになることを目的としている。まさに、「いつでも、どこでも、だれでも、いくらでも」利用できる博物館となる方法を開発したいと考えている。

試験的実習

第一回試験的実習「障害者のための『見える』展示解説」を実施する。「見えるということ」をテーマにおこなう。ニューデザインのための試験的実習では、第一回は視覚障害者を対象にした展示解説をおこなう。視覚障害者を対象にして『見える』展示解説をおこない、『見える』ということの意味を考える。

第二回試験的実習「障害者のための『見える』野外観察会」を実施する。「見えるということ」を再度テーマとしておこなう。視覚障害者を対象にした野外観察会を開く。視覚障害者のための『見える』野外観察会をおこない、『見える』というニューデザインのための素案作りをおこなう。

第三回試験的実習「健常者のための『見えない』展示解説」を実施する。「見えないということ」をテーマにおこなう。人間の情報収集の80%は視覚に頼っている。しかし、健常者は、視覚による情報収集の重要性を認識していない。第三回試験的実習では、「見えない」状態を体験し、視覚によらない情報収集の方法を認識してもらう。そこから得られる体験を参考にし、『見える』というニューデザインを開発する。

EPACSでは、ニューパースペクティブによるニューデザインの博物館活動は、試験的実習から確立する予定である。EPACSの活動は、すでに学会誌に報告を始めている（小出ほか、1998）

3 新しい方法論は新しい組織論で

ニューメソッドとニューデザインは今までにない新しい考え方である。したがって今までのやり方に囚われることなく、新しいやり方でおこなっても良いはずである。つまり、組織運営の新しいやり方をおこなうことも可能であろう。当然、事務局も新しい体制でおこなうことになる。

一例として、インターネット上での組織運営があげられる。インターネットのホームページやメーリングリスト、掲示板の機能で、各種の議論、意見交換、意志決定は、すべてデジタル上でおこなうことも可能であろう。このような要求を満たすものが、インターネット上での会議あるいは意見交換であると考えた。EPACSではメーリングリストを用いて組織運営をおこなっている。メーリングリストは、メンバーのみが利用可能で、メーリングリスト宛てにメールを送ればメンバー全員に同じメールが届くというものである。EPACSのメーリングリストは、プロバイダーが管理している。

また、インターネットによるテレビ会議システムの導入をおこない、インタラクティブなコミュニケーション法を開発する予定である。

このような方法は、新たな組織運営の一つの方向となりうる。多様化、多忙化している現代において、会議や組織運営にさける時間の確保が難しくなっている。その中でも、十分な議論を積み上げ、組織の構成員全員がその内容を把握しておく必要がある。インターネットでの組織運営は、このような要求を満たすものであろう。

「ニューメソッドとニューデザインは新しい組織運営で」と考え、EPACSではインターネット上での組織運営をおこなっている。事務局は、インターネット上のホームページにおき運営をおこなっている。各種の議論、意見交換、決定は、すべてデジタル上でおこなっている。

ホームページの内容は、PAC Geoの歴史とその活動内容、EPACSの活動目的と概要、メンバーの紹介、デジタル会議室、個人メール交換の場としている。「デジタル博物館」の内容や運営や試行などもこの場を中心にして検討していく。EPACSのホームページは現在まだ、非公開である。

EPACSで培われた方法は、新たな組織運営の一つの方向性となるであろう。

VI さいごに

本稿では、博物館における科学教育、特に地球科学教育を取り巻く現状を総括し、分析をおこなった。

社会情勢の現状分析から、社会の変化によってものの見方も変わることが明らかになった。そのため、社会の変化に伴って、新しいものの見方を常に把握しておく必要がある。科学の現状分析から、科学の世界でも科学革命が繰り返し起こり、現在正しいとされている考え方（常識）も、将来も正しいという保証はないことが明らかになった。そのため、従来の常識にとらわれることなく、新しい視点での科学の取り組みが必要である。科学教育の現状分析から、小・中・高校の教育が理念どうり効果を挙げておらず、大学においては科学教育が充実しているとはいえないことが明らかになった。そのため、現在訪れている生涯学習社会を考えると、学校以外での科学教育が必要である。地球科学の現状分析から、地球科学は、物理や化学とは違った側面を持つが、新しい技術の進歩から新しい理論や法則が生まれて、科学革命に相当するような大きな変化が起こることが明らかになった。したがって、最新の技術情報を常に収集し、新しい道具や利用法を考えておくことが必要である。

博物館における地球科学の教育の現状分析から、現状では時間的、空間的、知的、量的限界があることが明らかになった。目指すべきは、そのような限界を超えた「いつでも、どこでも、だれでも、いくらでも」利用できる博物館が必要である。

以上のような現状分析から、新しい方向性を持った方法論の開発が必要ながことが明らかになった。そして、新しい方向性によって博物館の限界を打破できるはずである。その方向性とは、新しい道具の導入（ニューツール）と新しい手法の確立（ニューメソッド）、新しい視点の導

入（ニューパースペクティブ）、新しい体系の構築（ニューデザイン）である。

著者らは、このような方向性に基づいて、PAC GeoとEPACSというグループで活動をおこなっている。PAC GeoとEPACSの活動はまだ途中ではあるが、成果は上がり始めている。著者らの活動で打開できる新しい方向性は一部であろうが、そこで培った方法は、次の打開策への近道であろうし、別分野への応用への道を拓くはずである。

文献

- アメリカ合衆国, 1980. 西暦 2000 年の地球 1 人口・資源・食料編（日本語版）. 逸見謙三・立花一雄監訳, 家の光協会, 東京. 1980. 435 pp.
- アメリカ合衆国, 1981. 西暦 2000 年の地球 2 環境編（日本語版）. 逸見謙三・立花一雄監訳, 家の光協会, 東京. 1981. 526 pp.
- 第 5 回「大学と科学」公開シンポジウム組織委員会編, 1991. 地球環境変動の科学—かけがえのない地球を守るために—, グバプロ, 東京. 214 pp.
- 第 8 回「大学と科学」公開シンポジウム組織委員会編, 1994. 地球環境変動の科学 II—かけがえのない地球を守るために—, グバプロ, 東京. 202 pp.
- Descartes, R. 1637. Discours de la Methode. 谷川多佳子訳, 方法序論. 岩波文庫 青 613-1, 岩波書店, 東京. 137 pp.
- 藤村淳・脇岡義人・江上生子・兵藤友博, 1988. 科学 その歩み. 東京教学社, 東京. 254 pp.
- Fukao, Y, S. Maruyama, M. Obayashi, H. Inoue, 1994. Geologic Implication of the Whole Mantle. P-wave tomography. Jour. Geol. Soc. Japan, 100: 4—23.
- 平田大二・小出良幸・山下浩之・新井田秀一・佐藤武宏, 1996: 地球環境学習ニーズに応える新しい博物館—神奈川県環境学習実態報告書（1995）から—. 神奈川地学, 75: 38-44.
- 平田大二・山下浩之・小出良幸・新井田秀一, 1995. 地球環境学習の実態調査—神奈川県における環境学習の実態—. 神奈川県立生命の星・地球博物館編, 神奈川県環境学習実態調査報告書—新しい地球環境学習プログラム開発をめざして—. 2-70.
- 廣瀬健・横田一正, 1985. ゲーデルの世界—完全性定理と不完全性定理—海鳴社, 東京. 210 pp.
- 神奈川県, 1994. かながわ環境白書 '93. 510 pp.
- 環境庁編, 1994. 環境白書（総説）. 428 pp.
- 環境庁企画調整局計画調査室監修, 1994. マンガで見る環境白書. 50 pp.
- 環境と開発に関する国連会議, 1992. 環境と開発に関するリオ宣言.
- 川村仁也, 1990. ポパー. 人と思想 85. 清水書院, 東京. 218 pp.
- 小出良幸, 1994. 総説: 地球形成の場にまつわるモデルとその束縛条件. 神奈川県立博物館研究報告 自然科学, 23: 51-86.
- 小出良幸, 1995. 地球前史—地球形成場の素描—. 月刊地球, 17: 203-209.
- 小出良幸, 1995. 総説: 隕石—地球の材料物質としての隕石—. 神奈川県立博物館研究報告 自然科学, 24: 9-38.
- 小出良幸・山下浩之, 1995. 地球前史—地球形成場と原料への束縛条件—. 地学雑誌, 104: 167-188.
- 小出良幸, 1996. 大きいもの・小さいもの. オールプランナー, 小田原. 32 pp.
- 小出良幸, 1998. 地球科学の新しい普及活動を目指して. 神奈川県博物館協会会報, 69: 43-52.
- 小出良幸・平田大二・山下浩之, 1994. ニュー・メディアとニュー・メソッド. 神奈川地学, 74: 14-16.
- 小出良幸・平田大二・山下浩之・新井田秀一, 1995a. 環境学習への取り組みと意識—神奈川県での現状分析—. 神奈川県立生命の星・地球博物館編, 神奈川県環境学習実態調査報告書—新しい地球環境学習プログラム開発をめざして—. 71-77.
- 小出良幸・平田大二・新井田秀一・山下浩之, 1995b. 環境学習への新たな試み—博物館でのモデル・ケース—. 神奈川県立生命の星・地球博物館編, 神奈川県環境学習実態調査報告書—新しい地球環境学習プログラム開発をめざして—. 78-82.
- 小出良幸・平田大二・山下浩之・新井田秀一・佐藤武宏・田口公則, 1998. 新しい地球科学の普及をめざして—だれでも使える博物館—. 地学雑誌, 107: 844-855.
- 国際連合環境計画管理理事会特別会合, 1982. ナイロビ宣言. 国連人間環境会議, 1972. 人間環境宣言.
- Kuhn, T. S., 1962. The Structure of Scientific Revolutions. 中山茂訳「科学革命の構造」. みすず書房, 東京. 1971. 277 pp.
- Kumazawa, M & S. Maruyama, 1994. Whole Earth Tectonics. Jour. Geol. Soc. Japan, 100: 81-102.
- Kumazawa, M, S. Yoshida, T. Ito & H. Yoshioka, 1994. Archaean—Proterozoic boundary Interpreted as a Catastrophic collapse of the Stable Density Stratification in the Core. Jour. Geol. Soc. Japan, 100: 50-59.
- Maruyama, S., 1994. Plume Tectonics. Jour. Geol. Soc. Japan. 100: 24-49.
- 都城秋穂, 1998. 科学革命とは何か. 岩波書店, 東京. 331 pp.
- 文部省, 1991. 環境教育指導資料（中学校・高等学校校編）. 121 pp.
- 文部省, 1992. 環境教育指導資料（小学校編）. 119 pp.
- 日本学術審議会, 1978. 環境科学研究の推進について.
- 日本総合研究所編, 1998. 生命論パラダイムの時代. 第三文明社レグルス文庫 228, 東京. 286 pp.
- 野家啓一, 1998. クーン. 現在思想の冒険者たち 24. 講談社, 東京. 326 pp.
- 大野照文, 1998. 大学博物館が研究以前に行わねばならないこと. 地学雑誌, 107: 836-843.
- 小川原誠, 1997. ポパー. 現在思想の冒険者たち 14. 講談社, 東京. 392 pp.
- PAC Geo, 1996a. 研究テクニック講座: 大地の生い立ちを探る. 神奈川県立生命の星・地球博物館, 82 pp.
- PAC Geo, 1996b. 酒匂川地学散歩—石の巻—. オールプランナー, 小田原. 32p.
- PAC Geo, 1996c. 酒匂川地学散歩—地形の巻—. オールプランナー, 小田原. 32p.
- PAC Geo, 1997a. 酒匂川地学散歩—空の巻—. オールプランナー, 小田原. 32 pp.
- PAC Geo, 1997b. 酒匂川地学散歩—大地の巻—. オールプランナー, 小田原. 32 pp.
- PAC Geo, 1997c. 酒匂川地学散歩—歴史の巻—. オールプランナー, 小田原. 32 pp.
- PAC Geo, 1997d. 地球講座石・大地・地球を見る. 神奈川県立生命の星・地球博物館, 45 pp.
- PAC Geo, 1998. 河原の石からみた地球—大地の生い立ちを探る II—. 神奈川県立生命の星・地球博物館, 56 pp.
- ローマ・クラブ, 1972. 成長の限界. ダイアモンド社, 東京. 210 pp.
- ローマ・クラブ, 1975. 転機に立つ人間社会. ダイアモンド社, 東京. 210 pp.
- 佐藤正英・片山洋之助, 1995. 新制チャート式シリーズ 新倫理.

- 数研出版, 東京. 320 pp.
- 白岩正明, 1996. これからの自然史 (誌) 博物館-生命の星・地球博物館一周年記念論集-, 神奈川県立生命の星・地球博物館, 小田原. 187 pp.
- 立花隆, 1997. インターネットはグローバル・ブレイン. 講談社, 東京. 365 pp.
- Toffler, A., 1980. *The Third Wave*. 徳岡孝夫監訳, 第三の波. 中公文庫 23. 中央公論社, 1982. 588 pp.
- Yang, J., M. S. Turner, G. Steigman, D. H. Schramm & K. A. Olive, 1984. Primordial nucleosynthesis: A critical composition of theory and observation. *Astrophys. Jour.*, 281: 493-544.

摘 要

小出良幸・平田大二・山下浩之・新井田秀一・佐藤武宏・田口公則, 1999. 地球科学の新しい教育法試案-博物館における地球科学教育の刷新へのケーススタディー. 神奈川県立博物館研究報告 (自然科学), 28: 29-55. (Y. Koide, D. Hirata, H. Yamashita, S. Niida, T. Sato & K. Taguchi, 1999. A Tentative Plan of New Education Method on Earth Science- A Case Study of Renovating Literacy of Earth Science on Museum -. *Bull. Kanagawa prefect. Mus. (Nat. Sci.)*, 28: 29-55.)

博物館における地球科学教育を取り巻く現状を分析した。現状分析は、社会、科学、日本の科学教育、地球科学の進歩、博物館の科学普及法についておこなった。現状分析の結果、博物館における地球科学教育には刷新が必要であることが示唆された。刷新のためには、ニューツール、ニューメソッド、ニューパースペクティブそしてニューデザインの方向性があることが明らかになった。ニューツールとは新しい技術や新しいハードウェア、新しいソフトウェアなどを意味し、パソコンやインターネットが象徴的である。ニューツールを導入し利用することによって、博物館の科学教育におけるニューメソッドができると考えられる。ニューパースペクティブとは障害者から学ぶことができる新しい見方である。例えば、視覚障害者は、健常者と比べれ聞くこと、味わうこと、触ること、匂うことをより深く知っているはずである。それ学ぶべきである。そしてニューパースペクティブから、博物館活動のニューデザインが導き出されるはずである。我々はこのような新しい方向性で活動をおこなっている。

(受付: 1998 年 10 月 20 日, 受理: 1998 年 12 月 25 日)

論 説

丹沢山地のニホンジカにおける角の大きさの変化

Changes in Antler Size of Sika Deer in the Tanzawa Mountains over the Past Years

広谷 彰

神奈川県立生命の星・地球博物館外来研究員

Akira HIROTANI

Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, 499 Iryuda, Odawara, Kanagawa, 250-0031, Japan

Abstract. Antler size of Sika deer *Cervus nippon* that were hunted in the Tanzawa Mountains during 1956-1998 was compared between period 1 (before 1991) and period 2 (1991 and after). Most specimens analyzed in this study were trophies of antlered heads. In 67 specimens, antler length and the distance between left and right bases of antlers (coronets) were measured, indicating antler size and skull size, respectively. Both antler size and skull size were significantly larger in period 1. Furthermore, antler size relative to skull size was also examined in order to exclude the factors by body size, which presented the same result as expected. Possible factors that could have influenced the recent decrease in the antler size of the deer in the Tanzawa Mountains after 1991 include deterioration of dietary conditions as well as a decrease in population of mature buck due to over-hunting.

Key words: Sika deer, Tanzawa Mountains, Antler size, Skull size

はじめに

シカ科では一夫多妻的傾向の強い種ほど雄は体格に対して長い角を持つことが、種間比較によって明らかにされている (Clutton-Brock, Albon & Harvey, 1980)。これは雌をめぐる雄間の競争の度合いが大きな種ほど大きな角を進化させた証拠であり、したがってシカの角は性選択によって進化したと考えられている。さらに同種内の成獣でも亜種や個体群によって体や角の大きさには変異が見られる。ニホンジカ *Cervus nippon* においても、南方のヤクシカ *C.n.yakushimae* は小型で角も小さく 2 又 3 尖、キュウシュウジカ *C.n.nippon* はそれよりやや大きく半数が 3 又 4 尖となり、中型で 3 又 4 尖の角を持つホンシュウジカ *C.n.centralis* を経て、北方のエゾシカ *C.n.yezoensis* は大型で角も大きく 5 尖が出現する (大森司, 1986)。

また、シカの角は毎年はえかわるので、同じ亜種や地域個体群においてもそのときの環境条件の影響を受けて、年代によって角サイズに変異があらわれる可能性がある (Putman, 1988)。実際、丹沢山地で狩猟をしているハンターの多くは「昔のシカは今よりも体が大きく角も立派だった」と述べている。本論では、この丹沢山地のシカ個体群を対象に、角および体の大きさを比較する有効な指標を見だし、はたしてそれらに年代による相違があるのかを確かめ、その結果に影響をおよぼす要因について議論することを目的とする。

材料

丹沢山地は神奈川県西部に位置し、蛭ヶ岳 (1673m) を最高峰とする約 700km² の山塊である。丹沢山地では 1955 年以来シカが禁猟となっていたが、1970 年雄シカの捕獲が解禁され現在にいたっている。その他に 1966 年以来両性を対象にした有害鳥獣駆除がおこなわれている。

雄シカは 5 月に角を落とし、その後新しい角が成長を始める。角は 9 月頃に完成するため、猟期にはすでに最大長に達している。今回の分析に用いた材料は (1) 丹沢山地で捕獲され (2) 3 又 4 尖の角を持ち (3) 捕獲年が



写真 1. トロフィーに加工する以前の角付きの頭骨。

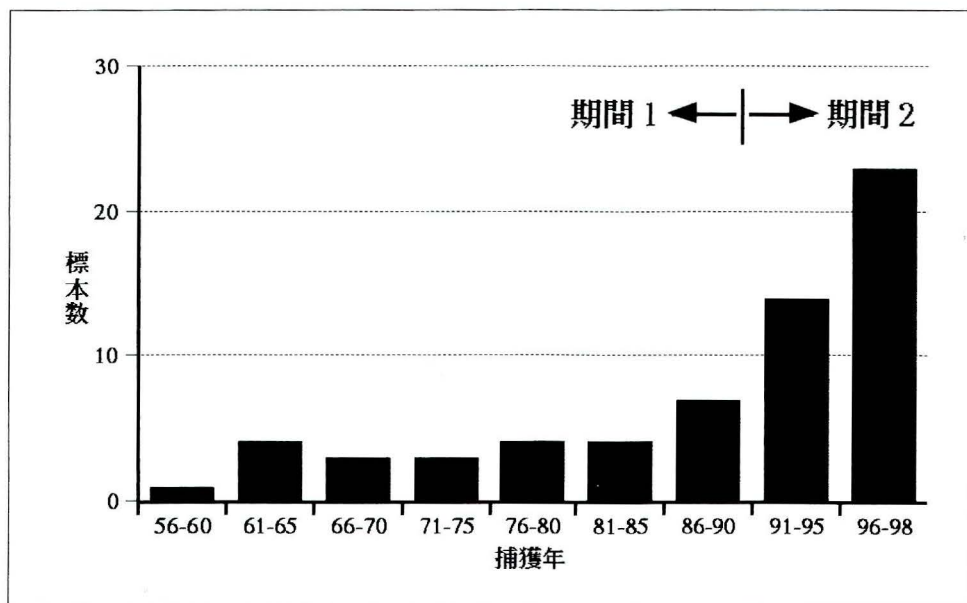


図1. 捕獲年ごとの標本数.

わかっているものとした。ただし正確な捕獲年が不明でも、後に述べる年代区分に振り分けられるものは分析に含めた。標本はほとんどが首から上の剥製（トロフィー）か加工以前の角付きの頭頂部分である（写真1）。その他に下顎付きの頭骨や全身標本等もいくつか含まれた。ふつう剥製にされる個体のほとんどは雄で、かつその年の最大級のものである。丹沢のシカは3又4尖までの枝角を形成し、通常は4才頃にこの状態に達する。しかし、飼育個体で2才で3又4尖になった報告もあり、角の形と年齢は絶対的なものではない（大泰司, 1976; 飯村, 1980; 高槻, 1992）。

分析した67個の標本の捕獲年代の頻度分布を図1に示した。1997年度の猟期には、湘南剥製研究所に持ち込まれた獲物すべてを計測したので標本数が大きい。それ以前のは博物館や個人のもとに散逸している標本を捜して計測したので、古くなるほど標本数が減少する傾向にある。

環境条件、とくに1990年代の餌条件の悪化等を考慮し、期間1（1990年以前）と期間2（1991年以降）のふたつの年代に分けて比較した。せめて10年単位ごとの分析ができれば望ましいが、ここでは標本数の関係できわめて粗い年代区分を採用した。ハンターが昔のシカというとき、10年以上前のものであることが多いので、この年代区分はハンターの語る「昔」と「今」にも大まかに対応している。

方法

丹沢産シカの剥製および頭骨標本67個を対象に計測をおこなった。本論で用いたデータは、ほとんど筆者が計測をおこなったが、8個のトロフィーについては、各所有者に計測を依頼した。今後さらにハンター等に現場で計測をしてもらう場合を考慮し、個人による計測誤差の少ない箇所を選んだ。すべての標本に共通する項目として、角の全長、角幹基部短径、長径および角座間距離を計測した（図2）。

角の形態は複雑なため、その角の大きさを定量化し比

較するには、研究目的に応じた有効で簡便な指標を定める必要がある。角へのエネルギー投資という観点からすると、例えば重さが適当であるが、大部分がトロフィーという標本の性質上、角の重さは計測が困難である。角の全長は付け根にあたる角座から第4枝頂点までの直線距離と角に沿った曲線距離の2通りを計測し、それぞれ左右の平均をとった。ただし、一方の角に欠落がある場合は他方の計測値を用いた。角幹基部は第一枝より下の角の幹の部分で、角の太さを示す指標とした。この部位の断面は楕円形に近いので、その短径と長径を計測し、

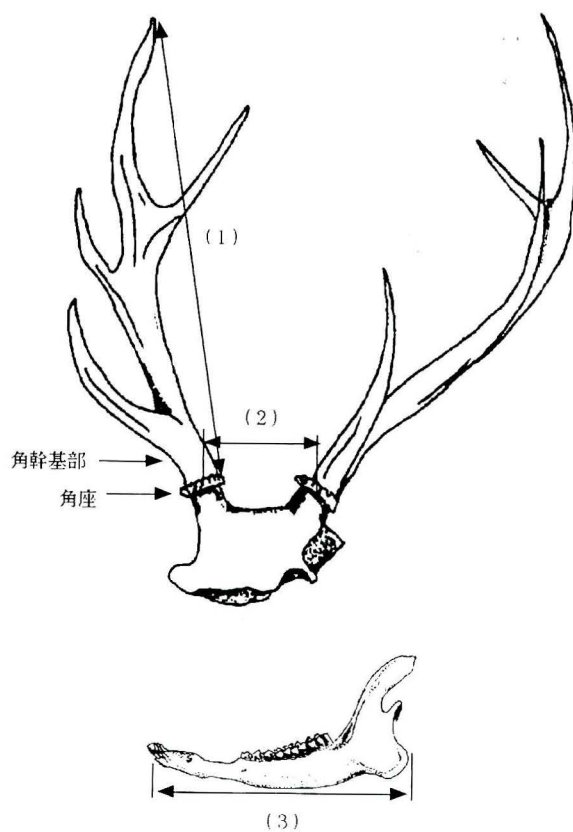


図2. 計測箇所と角の部位名.

(1) 角全長、(2) 角座間距離、(3) 下顎長。

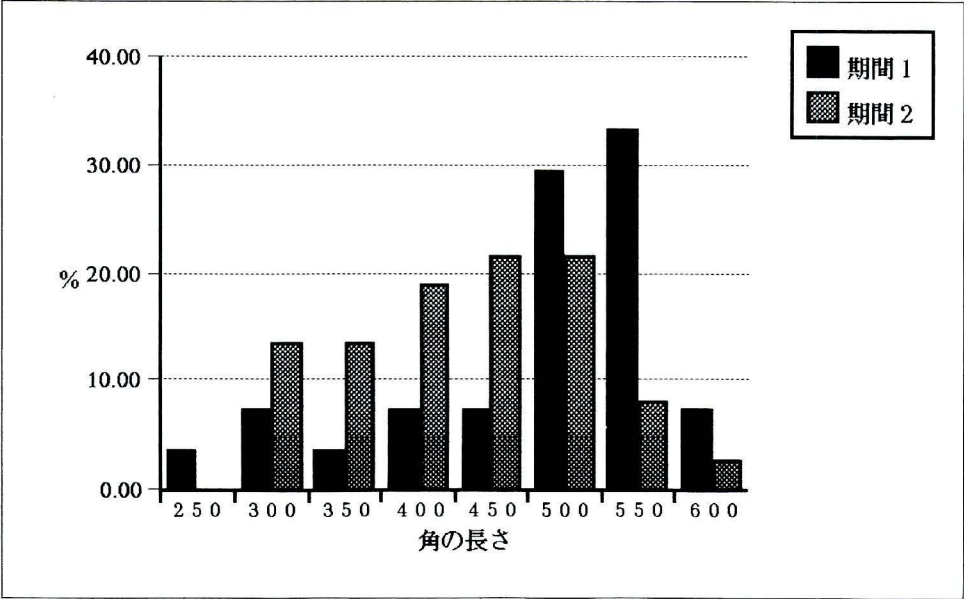


図3. 年代による角の長さの頻度分布.

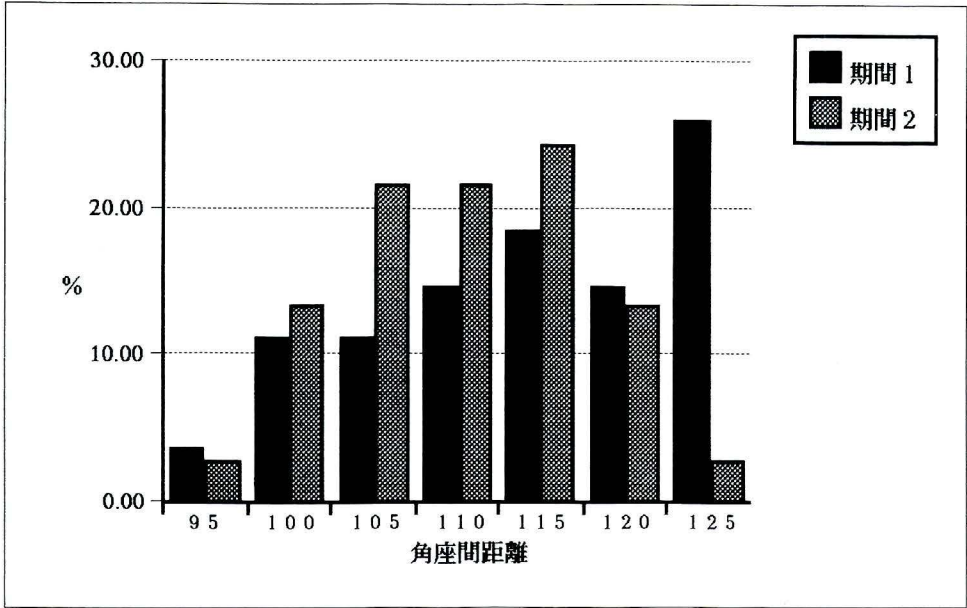


図4. 年代による角座間距離の頻度分布.

それぞれ左右の平均をとった。
トロフィーは角、角座、頭頂部以外は内部が人口の型に置き換えられている場合が多い。このため、頭骨の大きさを示す計測箇所は少ないが、頭骨と角をつなぐ左右の角座間の距離を 5mm 単位で計測した。
共通項目以外に、14 個の標本において角の重さおよび下顎長も計測できた。

結果

1) 角の大きさの指標

直線距離による角の長さ (L₁ mm) と角に沿った長さ (L₂ mm) は互いに強い相関を示したので (Spearman rank correlation coefficient: rs=0.9920, N=15, p<0.01, L₂ = 1.119L₁-32.474)、個人により計測誤差の少ない直線距離のほうを分析に用いた。角の長さに加えて太さも考慮した「直線長×角幹基部短径×長径」の値 (V) は角の重さ (W g) と強い相関を示したが (Spearman rank correlation coefficient: rs = 0.8868, N=14, p<0.01, W=1.9473V^{1.0115})、角の長さだけでも角の重さと強い相関を示した

(Spearman rank correlation coefficient: rs=0.8912, N=14, p<0.01, W=0.0037L₁^{2.0116})。そこで、角の重さを想定する今回の分析では、直線距離による角の長さを角の大きさの指標として使用した。期間 1 の角の平均長は 507.20mm で期間 2 の 456.23mm を上まわり、両者には統計的に有意な相違があった (図 3、Mann-Whitney U test: z=2.66, n1=27, n2=37, p<0.005)。

2) 頭骨の大きさの指標

下顎長は頭骨の大きさを反映するものと考えられるが、本研究の材料においては、下顎付きの標本の数は限られている。そこで、下顎長 (L₃ mm) と有意な相関を示した角座間距離 (L₄ mm) を頭骨の大きさを示す指標として使った (Spearman rank correlation coefficient: rs=0.6511, N=14, p<0.01, L₄ = 0.1312L₃^{1.26})。期間 1 の平均角座間距離は 114.07mm で期間 2 の 110.14mm を上まわり、両者には統計的に有意な相違があった (図 4、Mann-Whitney U test: z=1.84, n1=27, n2=37, p<0.05)。

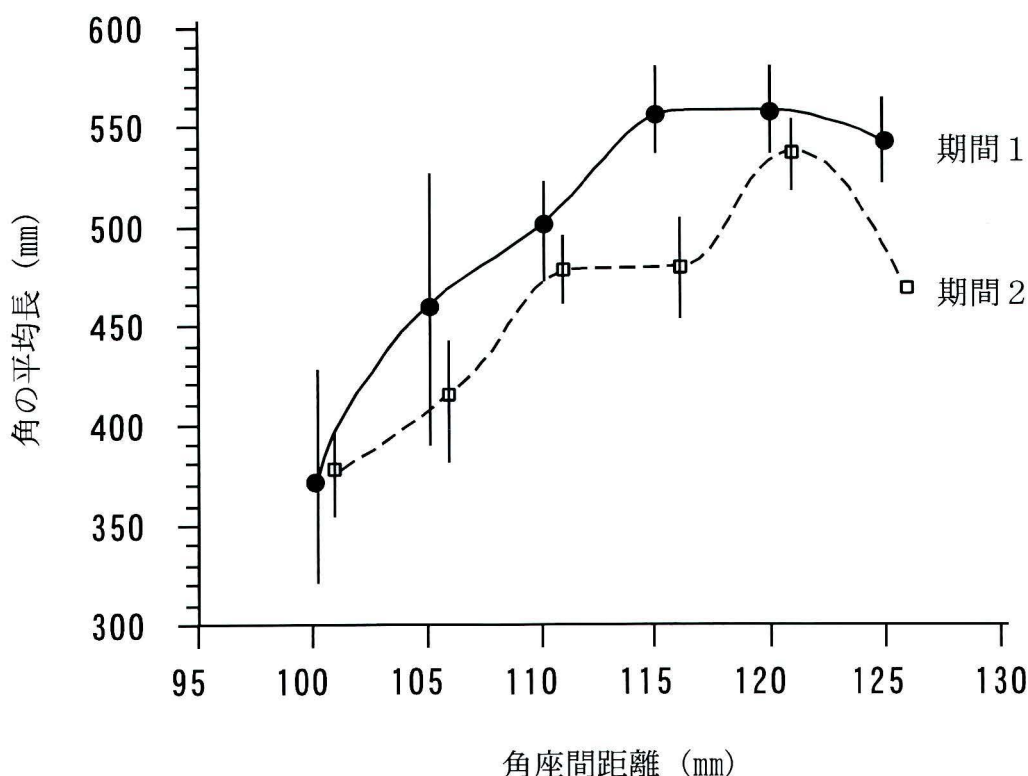


図5. 角座間距離と角の平均長の年代間比較.

期間2の角座間距離125mmの標本は1個のみであった。これを除いて、図には標準誤差が示されている。

3) 体の大きさに対する角の大きさの年代間比較

期間1と期間2における角の長さの平均値を角座間距離に対してプロットした(図5)。角座間距離95mmの小型の雄は期間1、期間2とも標本数が1個であったので、角座間距離100mmの標本とまとめて分析した。角の平均長は年代間で統計的に有意な相違が見られ、体の大きさが同じでも最近の角は小型化していることがわかった(Wilcoxon matched-pair test: $T=1$, $N=6$, $p<0.05$)。角座間距離ごとに角の長さを比較すると、角座間距離115mmの標本において期間1と期間2で有意な相違を示した(Mann-Whitney U test: $U=9$, $n_1=5$, $n_2=9$, $p<0.05$)。

考察

丹沢山地のシカにおいて、角の長さはその重さと強い相関を示した。したがって、角の重さを想定する場合、例えばオオツノジカ *Megaloceros giganteus* のように掌状に広がる複雑な角を持つ種で使われた指標とは異なり(Gould, 1974)、ニホンジカでは角の太さや枝の形についてはあまり考慮しなくとも、長さのみでほぼ角の大きさを示すことができた。いっぽう、体の大きさは頭胴長や肩高、後足長などで示されることが多いが、今回分析に用いた標本からは、これらの情報は得られない。そこで、下顎長と有意な相関を示した角座間距離を頭骨の大きさ、さらには体の大きさを示す指標として使った。これにより、トロフィーという限られた材料から、角の長さと角座間距離という簡便な指標を使って、過去に遡った比較ができた。

今回の材料からは年齢についての情報を得ることがで

きなかった。年齢が推定され成長の様子が調べられている奈良公園のシカでは、2-3才頃までに体高の伸びを終え、それ以降4才頃まで胴が伸び、体重は6才頃まで増え続ける(大泰司, 1976)。いっぽう、角は骨格の完成後も6-7才まで伸長を続ける。この傾向が丹沢のシカにも適用できるなら、トロフィーにされる雄はほとんどが4才以上であるので、骨格的成長はほぼ完了していると考えられる。頭骨の大きさもこれに従うなら、図5のX軸、角座間距離は成長が完了した値であり、成雄の頭骨の大きさの個体間変異を示していることになる(Gould, 1974)。骨格の完成年齢に達した後も角は数年間伸長を続けるので、Y軸の角の長さには成長の要素も含まれている。このことが、角の長さの分散を大きくしている理由のひとつであると思われる。

丹沢山地のシカは、角座間距離も角の長さも今は昔より小さいことがわかった。この事実はハンターたちが語る内容と一致した。しかし、単純に大型の雄がいなくなった結果として、近年のシカの角が小さくなったわけではない。そのことは、角座間距離に対する角の平均長が昔と今とで有意に異なっていることから明らかである。すなわち、同じ体の大きさでも今は昔より角が小さくなっている。以下にこのような結果を招いた可能性のあるふたつの要因について検討したい。

第一にシカにとっての環境条件の変化があげられる。丹沢山地では1955年以降の禁猟と拡大造林によって、1960-70年代にシカは個体数を増し分布を急激に拡大した(丸山, 1974; 飯村, 1980)。森林伐採後の遷移の初期にはササ類や低木類が発達し、シカはこれらを好んで採

食する。その後、林冠の開鎖とともにササ類や低木は枯れ、餌場は消失していく(飯村, 1980; 羽山 他, 1994)。また、標高 1200m 以上の地域を中心にササ *Sasa* ssp. の分布状況を調査した羽山 他 (1994) は、1988-89 年から 1993 年の 4 年間でスズタケ *Sasa borealis* の健全域がほとんど見られなくなり、退行が顕著に進行していることを報告している。スズタケはシカが越冬する際の主要な餌であり、胃内容分析によれば乾重量で 96-99 % にも達する(飯村, 1980)。

羽山 他 (1994) による腎周囲脂肪係数 (KFI) および第一胃内容重量の分析結果によると、丹沢のシカは周年を通して栄養状態が悪く、1992 年以降は採食量自体の減少傾向がうかがわれる。今回の研究で、角座間距離 100mm 以下を除くどの大きさの雄でも 1990 年代の角の平均長が一様に短くなっていたのは、このような餌条件の悪化による個体群全体の低栄養化が原因である可能性が高い。角の成長がその年々の環境条件にどの程度敏感に反応するかは、例えば飼育実験等によって確かめる必要があるが (Fennessy & Suttie, 1985; Putman, 1988 より)、自然個体群においても、洞爺湖中島のエゾシカやスコットランドのアカシカ *Cervus elaphus* で、生息環境の悪化や個体群密度の増大にともなって角が小さくなることが報告されている (Staines, 1978; Clutton-Block et al., 1982; Clutton-Block & Albon, 1989; 梶, 1996)。ふつう角は豊富な餌がある季節に成長するが、角が直接生存のためでなく繁殖のための器官であることを考えると、低栄養条件下では体重と角の縮小率の関係には進化的な興味を持たれる。

角が短くなった第二の要因として個体群構成の変化があげられる。1970 年の狩猟解禁以来、丹沢のシカは雄に偏る高い狩猟圧を受けてきた。この際、とくに立派な角を持った雄が狙われる傾向が強いらしい (飯村, 1980)。期間 1 でとくに角座間距離の大きいものに分布が偏っているのは、大型雄への選択的狩猟の結果であるかもしれない。いずれにせよ、狩猟によって、雄の年齢構成は次第に変化していく。たとえどの年齢の雄を捕獲しても、将来的には大きな角を持った壮年以上の雄の数の減少を招き、角は 4 尖でもまだ最大長に達していない 4-6 才の雄の割合が増えることになる。これにより角の平均長が減少していく。このことは、第一の要因の可能性を減じるものではなく、むしろ両要因が影響している可能性が高い。

謝辞

野川昇・満男両氏 (湘南剥製研究所) には、猟期に集まった獲物の計測の便宜を与えていただいた。平塚市立博物館、横須賀市自然・人文博物館、神奈川県立丹沢湖ビジターセンター、神奈川県立自然保護センター、神奈川県立山岳スポーツセンター、神奈川県立生命の星・地球博物館、中村道也氏 (丹沢ホーム)、小泉義明氏には所有の標本を計測させていただいた。熊澤収氏をはじめ愛甲郡猟友会の斎藤満雄氏、添田喜三郎氏、木村清氏、関根重勝氏、小川武夫氏、安西文男氏、鳥居洋己氏には各自の標本を計測していただいた。今井昌子氏には英文について、佐藤武宏氏 (神奈川県立生命の星・地球博物館) には統計的検定についてのアドバイスをいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- Clutton-Block, T. H., F. E. Guinness & S. D. Albon, 1982. Red Deer: Behavior and Ecology of Two Sexes. 378pp. University of Chicago Press, Chicago.
- Clutton-Block, T. H. & S. D. Albon, 1989. Red Deer in the Highlands. 260pp. BSP Professional Books, Oxford.
- Clutton-Block, T. H., S. D. Albon & P. H. Harvey, 1980. Antlers, body size and breeding group size in the Cervidae. *Nature*, 285: 565-567.
- Fennessy, P. F. & J. M. Suttie, 1985. Antler growth: nutritional and endocrine factors. Fennessy, P. F. & K. R. Drew eds. *Biology of Deer Production*. pp. 239-250. Royal Society of New Zealand.
- Gould, S. J., 1974. The evolutionary significance of "bizarre" structures: antler size and skull size in the "Irish Elk", *Megaloceros giganteus*. *Evolution*, 28:191-220.
- 羽山伸一・古林賢恒・三谷奈保・山根正伸, 1994. 丹沢山地におけるササの退行とニホンジカの状況. *WWF Japan Science Report*, 2(1): 21-47.
- 飯村武, 1980. シカの生態とその管理-丹沢の森林被害を中心として-. 154pp. 大日本山林会, 東京.
- 梶光一, 1996. エゾシカの個体群動態と体サイズの変化. 日高敏隆監修, *日本動物大百科 2 哺乳類 II*, P115. 平凡社, 東京.
- 丸山直樹, 1974. 丹沢山塊のシカ. *哺乳類科学*, 28, 29: 22-28.
- 大泰司紀之, 1976. 奈良公園のシカの角に関する研究 (予報). 天然記念物「奈良公園のシカ」調査報告. pp. 107-128. 春日顕彰会
- 大泰司紀之, 1986. ニホンジカにおける分類・分布・地理的変異の概要. *哺乳類科学*, 53:13-17.
- Putman, R. J., 1988. *The Natural History of Deer*. 191pp. Christopher Helm, London.
- Staines, B., 1978. The dynamics and performance of a declining population of red deer (*Cervus elaphus*). *J. Zool. Lond.*, 184: 403-419.
- 高槻成紀, 1992. 北に生きるシカたち. 262pp. どうぶつ社, 東京.

摘 要

広谷 彰, 1999. 丹沢山地のニホンジカにおける角の大きさの変化. 神奈川県立博物館研究報告 (自然科学), 28: 57-62. (A. HIROTANI, 1999. Change in Antler Size of Sika Deer in the Tanzawa Mountains Over the Past Years. Bull. Kanagawa prefect. Mus. (Nat. Sci.), 28: 57-62.)

丹沢山地で 1956-1998 年に捕獲されたニホンジカの角の大きさを 1990 年以前 (期間 1) と 1991 年以降 (期間 2) で比較した。分析した標本はほとんどが首から上のトロフィーである。角の直線の長さで角座間距離を計測し、それぞれ角の大きさ頭骨の大きさの指標とした。角の大きさも頭骨の大きさも期間 1 のほうが期間 2 より統計的に有意に大きかった。体の大きさの影響を排除するため、頭骨の大きさに対する角の大きさを比較しても、やはり同じ結果であった。最近の角の小型化に影響を与える可能性のある要因として、餌条件の悪化および高い狩猟圧による壮年以上の雄の割合の減少があげられる。

(受付: 1998 年 11 月 7 日, 受理: 1998 年 12 月 3 日)

論 説

リモートセンシングによる土地被覆分類
－ 2万5千分の1箱根における検証－

Land Cover Map by Remote Sensing: In the case of HAKONE area

新井田 秀一

神奈川県立生命の星・地球博物館

Shuichi NIIDA

Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, 499 Iryuda, Odawara, Kanagawa, 250-0031, Japan

Abstract. The theme of this research is to make the land cover map of the Hakone region by using the image of EOS (earth observatory satellites) LANDSAT/TM observed on April 14, 1998. The improvement was added to setting the training area and the category by using a maximum likelihood method for the classification. As a result, land cover map was compared with the vegetation map, which had been investigated before. It has been understood to be able to say practicable enough though a simple comparison cannot be done because a basic idea to the classification is different. Because the change in a continuous environment from the past can be examined, the land cover map made by this research can be used as basic material of the nature conservation etc.

Key words: remote sensing, Land Cover, LANDSAT/TM, Hakone

I はじめに

リモートセンシング (remote sensing) とは、離れた場所から対象物の状態を調べることである。ここでは、地球観測衛星ランドサット (LANDSAT) 5号に搭載されているセマティックマッパー (Thematic Mapper: TMと略す) が観測する電磁波の強さを用いて、地球の表面がどのようなもので覆われているか解析した。

この解析によって得られる図を、土地被覆図 (Land Cover Map) という。この図は、植物、コンクリートなど地球の表面を覆っている物理的なものを示している。観測手法からいって、土地利用図のように利用目的まで知ることにはできない。また、植生図のように植物群落や種組成について細かく知ることにはできない。しかし、定期的に観測されている地球観測衛星のデータを用いるために、迅速な更新が可能であるというメリットがある。

新井田 (1998) は、丹沢山地について1995年11月の観測データを用いて土地被覆の解析方法を評価し、さらに1984年と1995年のデータを用いて神奈川県土地被覆の変化について解析した。本論は、解析データの観測時期や解析方法に改良を加えた。また、2万5千分の1地形図への合成も行った。

この研究は、神奈川県全体の土地被覆図を作成し、経年変化を調べることを最終的な目標としている。本論では、2万5千分の1地形図「箱根」(メッシュコード:

523960) について土地被覆図を作成し、分類結果について検証した結果を報告する。

II 衛星画像を用いた土地被覆分類方法

1. 使用したデータセットと解析環境

新井田 (1998) は、ランドサット5号の11月の観測データを用いた。11月は、夏緑樹はすでに落葉しているため、常緑樹との区別が容易であった。しかし、太陽高度が低いために山地における西側斜面に陰の部分が多くなり、分類精度に悪影響を与えていることが明らかになった。そこで今回は1997年4月14日に観測したデータを用いた。4月は、太陽高度も高く、夏緑樹と常緑樹との区別も容易だと考えられる。なお、神奈川県立生命の星・地球博物館では衛星画像についても、博物館資料として位置づけ、継続的な収集をしている。神奈川県域を中心に関東から中部地方の環境の変遷を調べるため、TMについては1984年観測分のデータから収集している。

画像解析に用いたワークステーションは、当博物館の「博物館情報システム」において、「展示 (共生) 支援システム」として整備されている富士通 S-4/20 (メモリ 96MB、ディスク容量 3.15GB) を使用した。衛星画像データは従来、磁気テープで配布されていたため、磁気テープ装置 Shugart Model-9662 を備えている。また、衛星画像解析用のソフトウェアとしては、富士通 FIP 社製

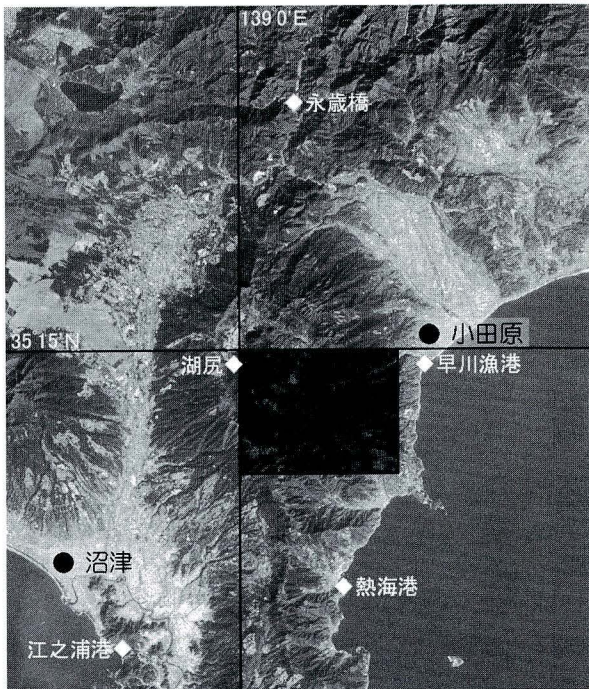


図1 観測位置図（◆印はG C Pを示す）。

EXPIA/S Ver.2.0を使用した。なお解析後の画像の出力などは、パーソナルコンピュータ（富士通 FMV-DESK POWER T III -23、OS:WINDOWS95、メモリ 96MB）を用いた。

2. 地図投影変換

ランドサットのデータは、世界標準座標（Worldwide Reference System：WRS）によって、位置を特定する。この座標系によれば、神奈川県は丹沢山地や多摩丘陵などの県北部がPath107-Row035、箱根山地や三浦半島などの県南部がPath107-Row036のように分かれている。

ランドサットは極軌道衛星であるため、経線に対して傾斜を持つ軌道をとる。そのため観測された画像は上部が真北になっていない。また、センサに起因する歪みもある。そこで衛星画像上において明らかに読み取れる地形・人工構造物の緯度経度位置をG C P（Ground Control Point）として与え、地図投影変換を行った。

本稿では、1997年4月14日観測のPath107-Row036のデータから、国土メッシュコード523960「箱根」に相当する北緯35度10分から15分、東経139度00分から7分

30秒のエリアについて、400×400pixelに切り出した。この1 pixelは、2万5千分の1地形図上においてランドサット／TMの地表分解能である約25メートル四方に相当する。今回G C Pとして与えたのは、北から丹沢湖・永歳橋、早川漁港、芦ノ湖・湖尻、熱海港、江浦港の5点である（図1）。

3. 分類解析

3.1 分類の仕組み

リモートセンシングにおいては、電磁波の強さを観測することによって、対象物の情報を間接的に調べる。このことは「すべての物体は、種類および環境条件が異なれば、異なる電磁波の反射および放射特性を持つ」という特性に基づいている。今回用いたランドサット／TMの観測波長帯とその設計時に想定された目的を表1に示す（宇宙開発事業団地球観測センター編、1990）。

土地被覆を分類する手法は、新井田（1998）が用いた「教師付き分類法（Supervised Classification）」を改良して採用した。

3.2 分類項目の設定

はじめに、分類項目の設定について改良した。新井田（1998）では、土地利用図の凡例を主に参考に行っている。したがって植生に関係する分類項目については常緑針葉樹林、夏緑広葉樹林、常緑広葉樹林、松林、雑木林と粗いものになっていた。

今回は植生図への応用を考え、宮脇他（1972）に付属している「神奈川県現存植生図」にある凡例（合計78単位）を参考に検討した。

森林は複数の層構造を持つ。衛星からは、その最上部層しか観測できないため、上部が樹木で閉ざされている場合、林床がどのような植物で覆われていても分類結果に影響を与えない。そのため、植生の外観（いわゆる、相観）を考慮して決定した。ブナクラスは15単位を5項目に、ヤブツバキクラスは20単位を4項目にまとめた。また、ブナクラスおよびヤブツバキクラスに存在する代償植生についてはあわせて37単位あったものを7項目にした（ただし、耕作地に関するものは別項目としてある）。

この他には、耕作地は温室を追加し3項目とした。水田と畑の区別については、4月に稲作は始まっていないために困難であるので区分していない。無植生地は4項

表1 TMの観測波長帯と設計時に想定された目的

バンド	波長帯[nm]	空間分解能[m]	設計時に想定された目的
1	0.45-0.52	30	土壌と植物の区別 落葉樹と針葉樹の区別
2	0.52-0.60	30	植物の活力度
3	0.63-0.69	30	植物の種類を決定するためのクロロフィル吸収
4	0.76-0.90	30	バイオマス調査 水塊調査
5	1.55-1.75	30	植物水分測定 雪と雲の区別
6	10.4-12.5	120	温度
7	2.08-2.35	30	熱水作用

表2 分類基準一覧

今 回 の 分 類			神奈川県 の 現存植生(*1)	新井田(1998)
分 類 項 目		説 明		
ブナクラス	ブナ林	ブナを中心にした林	ヤマボウシ・ブナ群集 ニシキウツギ・ヤマボウシ群落 イトスゲ・リョウブ群集	夏緑広葉樹林
	夏緑広葉樹林	ブナ以外の夏緑広葉樹林	クレーミズナラ群落 アブラチャン・クロモジ群落	
	風衝低木林	岩場に生える低木林・	オノエラン・ハコネコマツツジ群落 フジアカショウマ・シモツケソウ群落 ヒメノガリヤス・ススキ群落	—
	ミヤマクマザサ	ミヤマクマザサを中心とした笹原	—	
ヤブクラスバキ	照葉樹林	クスを中心とした林	ヤブコウジ・スダジイ群集	常緑広葉樹林
	モミ林	モミを中心とした林	モミ・シキミ群集	—
	シラカシ林	シラカシを中心とした林	シラカシ群集	
	夏緑広葉樹林	ケヤキなどの夏緑広葉樹の林	イロハモミジ・ケヤキ群集 タマアジサイ・フサザクラ群集	
代償植生	コナラ林	いわゆる雑木林	オニシバ・コナラ群集 クスギ・コナラ群集	雑木林
	マツ林	クロマツ林	クロマツ植林 アカマツ植林	松林
	スギ・ヒノキ林	スギ・ヒノキ林	スギ・ヒノキ植林	常緑針葉樹林
	モウソウチク・マダケ	竹林	モウソウチク・マダケ植林	—
	ハコネダケ	ハコネダケを中心とした笹原	ハコネダケ群落	草地
	ススキ草原	ススキを中心とした草原	アズマネザサ・ススキ群集 チガヤ・ススキ群落	
	シバ	シバ地、ゴルフ場など	シバ軍団	
	その他の草地	牧草地など	—	草地
耕作地	果樹園	ミカン畑	常緑果樹園	果樹園
	田・畑	水田・畑	—	耕作地
	温室	温室	—	—
無植生地	高密度市街地	コンクリート建造物が密集した地域	—	高密度市街地
	市街地	住宅地・商業地など	—	市街地
	工場・タンク他	工場団地など	—	工場
	荒地・裸地	地表に植物のない地域	—	空地・荒地
水域・その他	内水域	河川・湖水	—	河川・湖水
	海域	海	—	海
	雲および雲による影	雲と雲の影が地表にうつっているところ	—	雲・未分類地
	急傾斜による分類不定地	北西方向に標高の低下する急斜面	—	—

目とし、市街地など人為的な環境3項目と、荒地と裸地を同一の分類として分けた。「荒地・裸地」には、河原や崩壊地、土のグラウンドなどが含まれている。

このように細分化した結果、新井田(1998)の17項目に対して、今回は27と増加した(表2)。なお、これらの分類は、神奈川県全体について分類することを念頭においているため、箱根エリアに限定した場合、出現しない項目もある。

3.3 トレーニングエリアとカテゴリの設定

次にこれらの分類項目についてトレーニングエリアを設定し、7バンドそれぞれの平均値と標準偏差を求めた。これをカテゴリテーブルとしてまとめた。

トレーニングエリアは、「神奈川の実林50選」として選ばれているものや天然記念物に指定されているような純林として典型的なものの中から比較的面積の大きいものを選んだ。このような場所は、すでに調査報告書が発行されていることが多く(例えば、宮脇他、1972など)、位置を特定する際に参考とした(表3)。

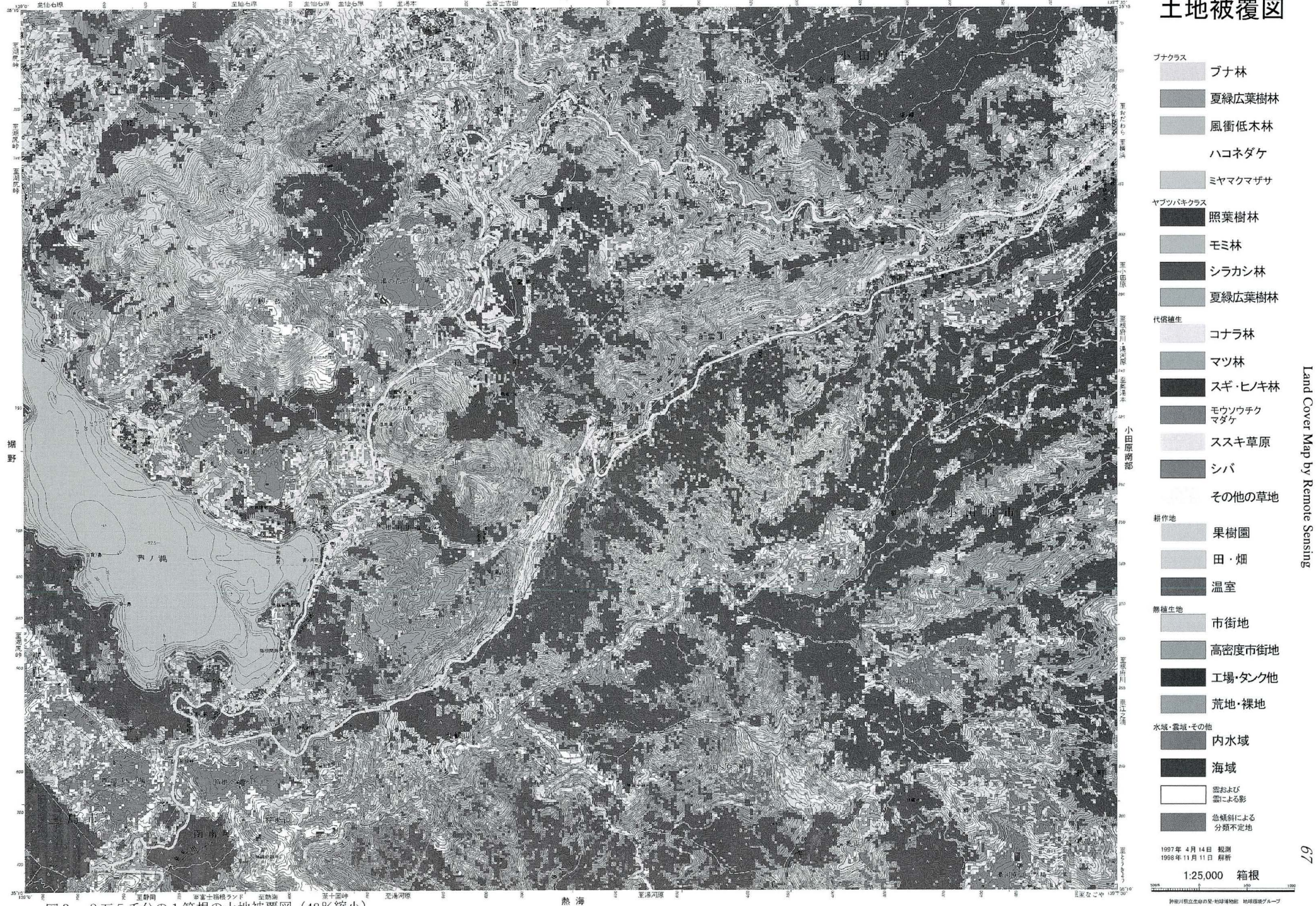
新井田(1998)では影の影響によると考えられる誤分類が多く見られたため、誤分類と地形の傾斜との関係を

調べた。詳しくは後述(Ⅲ 4)するが、北西方向に高度の低下する斜面において、誤分類を起こすことが確認された。今回使用した画像では、水平250メートルの間に150メートルよりも降下するような斜面(傾斜30度)の分類結果は、宮脇(1972)や環境庁(1982)とは異なっていた。

また、同一の植物でも標高が異なれば生育段階が異なることも予想される。そのため、斜面の向きに起因する反射強度の差や、高度差に起因する気温差などによる成長の違いからくる反射強度の差を考慮し、同一の分類項目においても、複数のカテゴリを設定した場合がある。たとえば、スギ・ヒノキ林については標高差から2つに分けてある。コナラ林については日向と日陰でバンド4の値が大きく異なるため2つにしてある。そのため、表3において分類項目数とカテゴリ数は一致していない。

各バンドの強さと主だったカテゴリとの関係を図2に示す。この図からは、各カテゴリがそれぞれ独特のスペクトルを持つことが読み取れる。光合成色素の吸収帯であるバンド3において、市街地とシバが似たような値を取るところが興味深い。

土地被覆図



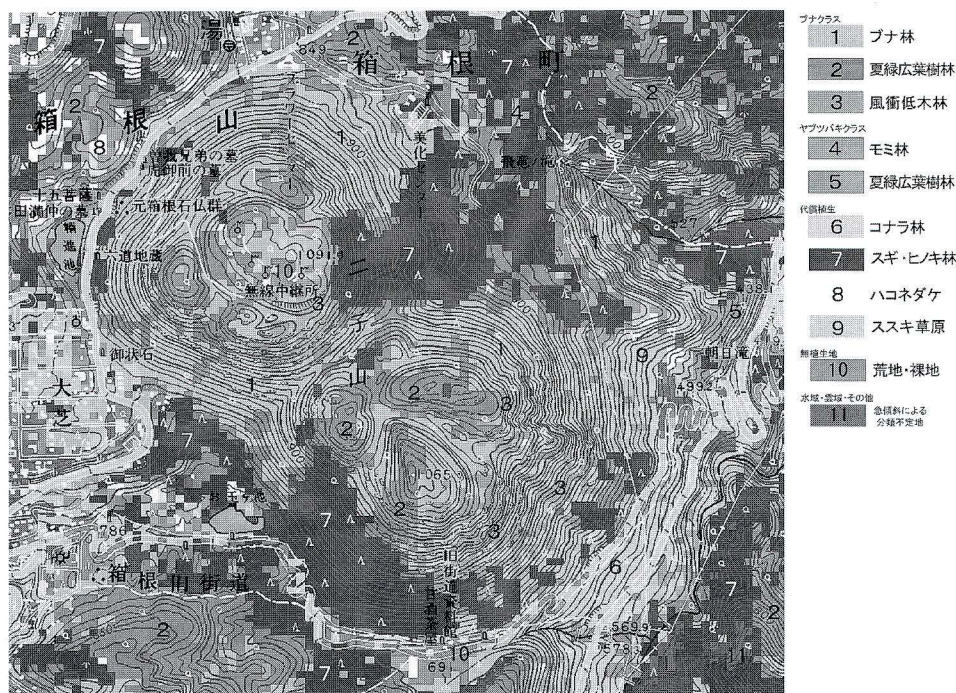


図4 二子山周辺の土地被覆図。

EXPIA/Sには、最尤法を用いて分類処理するプログラムが搭載されている（富士通エフ・アイ・ピー、1993）。

4. 画像合成と出力

400×400pixelというサイズで分類処理された画像は、拡大補間したのち、地形図と重ね合わせた。

地図への重ね合わせ処理は、ワークステーションからTIFF型式でファイル出力したものを、パーソナルコンピュータ（WINDOWS95）に博物館内LANを通じて転送し、Adobe Photoshop 5.0（ソフトウェア）を用いて行った。

重ね合わせに使用した地形図は、国土地理院発行のCD-ROM、数値地図25000（地図画像）「横須賀」に収録されている地形図ファイル、523960.TIFを使用した。このファイルは、地図全面が100pixel/cmの精度で読み取られている。そのため注記や緯度経度目盛など地図の周辺部（整飾）まで含まれている。

衛星画像には、この地形図ファイルの地図部分の画像サイズ（4553×3698）にあわせてニアレストネイバー法にて補間する「画像解像度」変換を行った。この後、地形図ファイルと画像サイズ（4703×3848）を一致させるために「画像サイズ」変換を行った。こうして変換された画像の上に、背景を透明にする処理を行った地形図ファイルを重ね合わせた。

出力は、パーソナルコンピュータに接続されたEPSON MJ-8000Cにて行う。このプリンターは最大A2縦幅（420ミリメートル）まで印刷できるため、この土地被覆図は2万5千分の1というスケールのままで印刷することができる。

III 分類結果の評価

1. 土地被覆図

今回作成した土地被覆図を図3に示す。原図は、縮尺2万5千分の1で土地被覆を色分けで表示しているが、

収録の都合上、白黒印刷で48%縮小している。なお、原図は博物館にて閲覧可能である。

この図を元に、第2回自然環境保全基礎調査（植生調査）において作成された現存植生図（環境庁、1982）、神奈川県現存植生（宮脇他、1972）、国土地理院（1979）の土地利用図と比較した。今後これらと個別に比較する場合を除き、これらをまとめて植生図と記す。

2. 二子山周辺の評価

二子山は山頂にNTTの無線中継所のある上二子山（標高1091メートル）と下二子山（1065メートル）の2つからなる。下二子山の山頂部は、風衝植物群落として神奈川県天然記念物に指定され、立ち入りが制限されている。

植生図からは、下二子山の山裾部や、上二子山と下二子山の谷部の北東側にはスギの植林地が広がっていることが読み取れる。また、山頂部の風衝低木林を除くと、ブナ林が広がっている。

この付近の土地被覆図を図4に示す。この図において下二子山の国道1号線見晴茶屋付近は、スギ・ヒノキ林のトレーニングエリアとしている。図中に示されているスギ・ヒノキ林はこの場所を含めて、植生図と分類結果がよく一致している。

また、無線中継所の周辺に荒地・裸地と分類したエリアがあるが、これは無線アンテナなどの基礎部分などと思われる。

両二子山の南東側の急傾斜地には、風衝低木林と分類される部分が点在する。これは地形図上では岩が露出している記号で描かれている部分と一致している。ヘリコプターからの写真（図5）は、屏風山上空からのアングルで撮影したもので、右側が下二子山、左側が上二子山である。図中に示してあるように、右下側の色の濃い部分がスギの植林地、左側の上二子山の山頂にあるアンテ



図5 二子山付近の空中写真.1998年10月12日飛行、田中徳久氏撮影。

ナが無線中継所である。無線中継所右下の矢印で示してある斜面は、写真からは分かりにくい岩場となっており、背の低い樹木が覆っている。風衝低木林という設定は、参考にした植生が岩場などに生える低木林であるため、このような結果になったものと考えられる。

3. 神山周辺の評価

神山の南東斜面は、宮脇他（1972）によればイトスゲ・リョウブ群集とされ、環境庁（1982）ではミズナラ・リョウブ群集となっている。北西斜面はどちらの図でも、ヤマボウシ・ブナ群集とされている。この神山付近の土地被覆図を図6に示す。

イトスゲ・リョウブ群集やミズナラ・リョウブ群集はどちらもリョウブの目立つ林相であるので、リョウブ林と呼ぶことにする。植生図への応用を考えているため、夏緑広葉樹の区別について検討している。結果として、ブナ林とリョウブ林との間で光学的特徴に差が見られなかったため、区別することはできなかった。このため、図6において神山山頂一帯はブナ林と分類されている。このようなパターンは、環境庁（1982）において大観山から白銀山にかけての尾根の北西斜面においてミズナラ

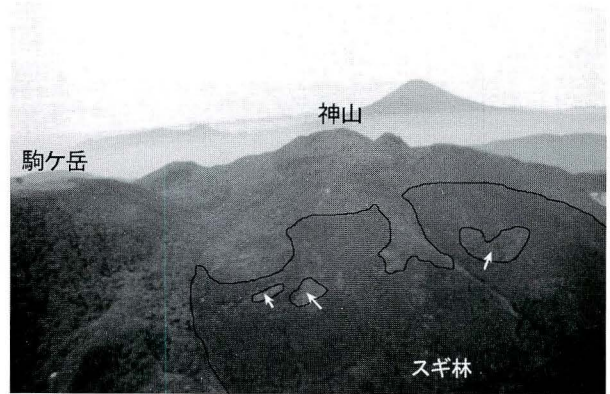


図7 神山付近の空中写真.1998年10月12日飛行、田中徳久氏撮影。

リョウブ群集とされている部分についても、同様になっている（図10参照）。そのため、神山山頂部は土地被覆図ではブナ林という分類結果になっている。したがって、今回の箱根エリアにおいては「ブナ林」のなかに、リョウブ林が含まれることになる。

植生図からは、1300メートル以下にはスギの植林地が広がっていることが読み取れる。図6でのスギ・ヒノキの植林地は、植生図とほぼ同様の分布を示している。ただし、神山と早雲山とのほぼ中間地点にスギ・ヒノキ林の中にブナ林などと分類されるエリアがある。このパターンは国土地理院（1979）の土地利用図にはあるが、それ以外の植生図には見られない。山頂付近を二ノ平上空においてヘリコプターから撮影したのが、図7である。図の右下に広がる色の濃いエリアがスギの植林地であり、その中に矢印で示しているあたりが上記の場所である。植生図作成の際には、国土地理院のものを除いて、なんらかの理由で表現されなかったものと思われる。

4. 浅間山から湯坂山にかけての評価

新井田（1998）では、影の存在によって間違った分類結果を示してしまうことが問題であった。箱根エリアに

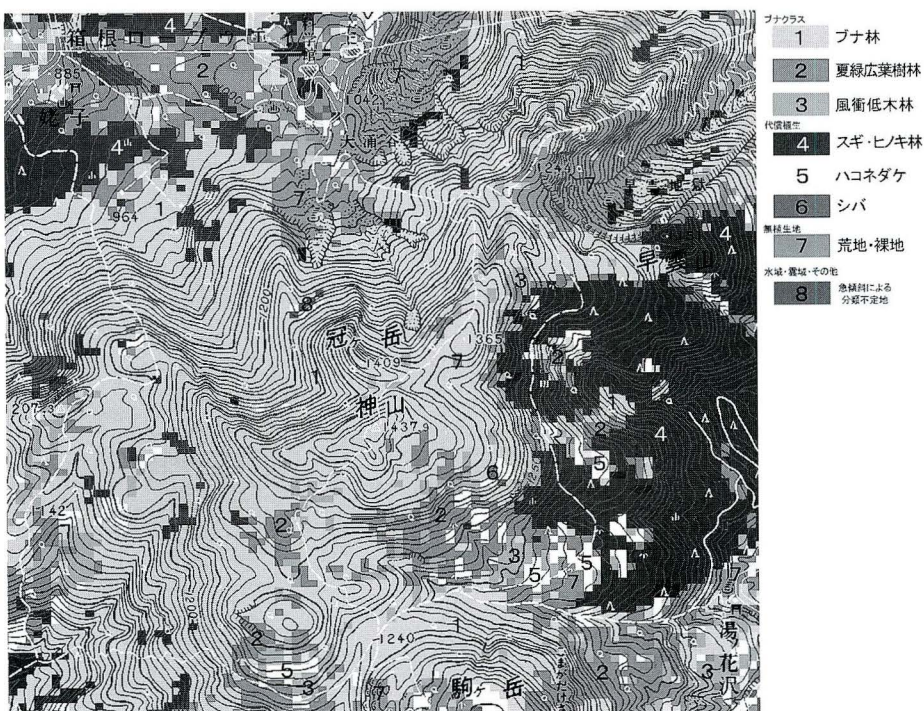


図6 神山周辺の土地被覆図。

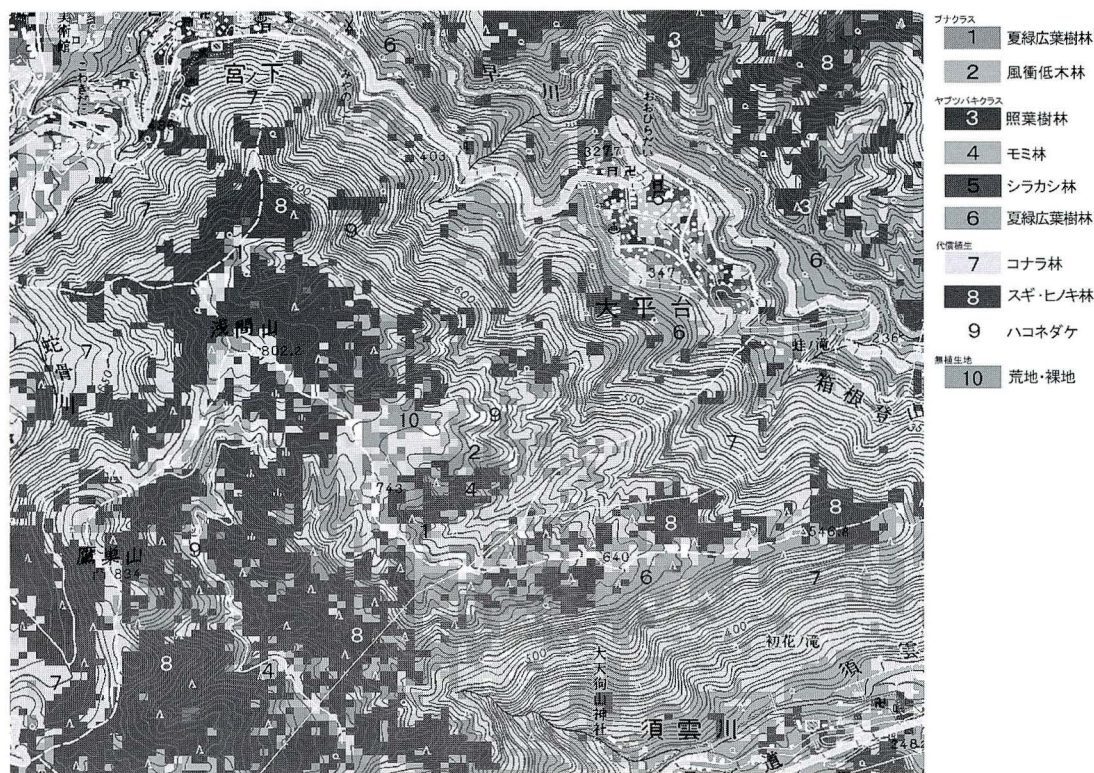


図8 浅間山から湯坂山にかけての土地被覆図。

においては浅間山から湯坂山にかけての稜線の北側がそれに当たる。新时期輪山であるこれらの山々は、ほぼ東西方向に尾根がのびている。そのため、北西方向に太陽光の当たりにくい急傾斜面が存在する。この斜面の植生を、環境庁（1982）と比較した。

その結果、浅間山山頂から宮ノ下にかけての広葉樹林について、土地被覆図ではスギ・ヒノキ林という分類結果を示していることが分かった。このエリアの傾斜は約30度となっている。観測日の太陽高度は51度なので、その斜面における日射量は平らな土地での32%に低下する。他に同じような場所を探すと、湯坂山北側斜面や幕山北西斜面において、植生図とは異なる分類をしていた。湯坂山については植生図を参考に新しいカテゴリとして定義し、分類しなおした。図8はこの結果を反映させたものである。

しかし、幕山においては、岩石の露出している急斜面（図9中の矢印部分）においては、バンド5の値が低いことが確認された。そのためにこのカテゴリとは一致しな



図9 幕山北西斜面の岩場。

いと考え、「急傾斜による分類不定地」を新たに設定した。なお、図3・4・6・8・10はすべてこのカテゴリを設定した上での分類結果となっている。

5. 大観山周辺の評価

植生図によると、大観山北側斜面はスギの植林地となっている。南側斜面は、ブナクラスの夏緑広葉樹林に覆われているが一部にモミ林があるとされている（環境庁、1982）。図10の土地被覆図では、スギ・ヒノキ林についての分類結果は、トレーニングエリアとしている大観山北側斜面を含めて、植生図とほぼ同様であった。また、無線中継所付近のターンパイク沿いの南斜面は、一部に夏緑広葉樹林が混在するような分類結果となっているが、これも宮脇他（1972）とよく一致している。

大観山から無線中継所にかけての南斜面は宮脇（1972）ではハコネダケ群落になっているが、環境庁（1982）ではハコネダケ群落の幅は狭く、その両脇をクリミズナラ群集が挟んでいる。このため図10は環境庁（1982）に近い結果を示している。

モミ林についても大観山南斜面にあるもののひとつをトレーニングエリアとして指定しているが、図10の中ではこの斜面において、モミ林が点在するという結果が得られた。

IV まとめ

数値地図（地図画像）というCD-ROMを利用したことによって、この土地被覆図は新井田（1998）に比べ、土地被覆分布を地表と照らし合わせることが容易になった。特に2万5千分の1という縮尺で作成されている他の植生図との評価が簡便に行えるようになったことは重要である。しかし、分類結果はきわめて機械的に地図上

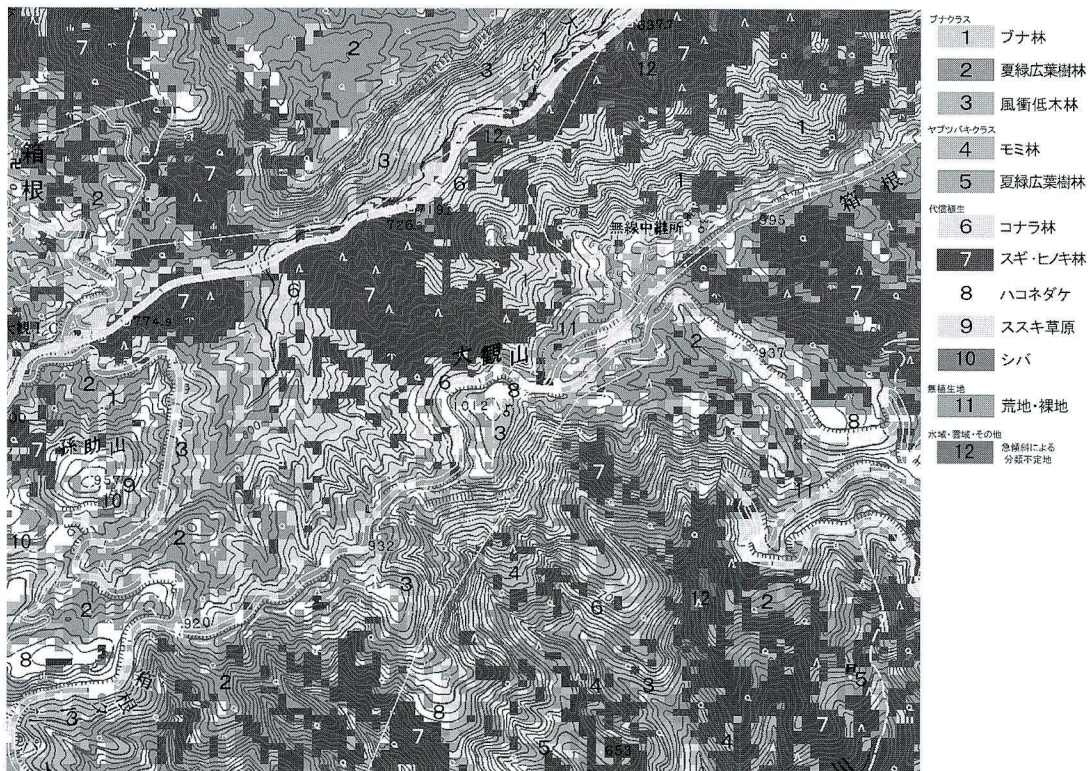


図10 大観山周辺の土地被覆図。

に投影されるため、同縮尺の植生図では分解能の限界から表現しないような小面積の分布についてもそのまま表現されている。

また、重ね合わせるための位置あわせに高い精度の座標変換が必要となった。1ピクセルずれるだけで約25メートルも移動してしまうために、尾根や谷が地図と一致しないことがあり繊細な注意が必要である。

急傾斜地での分類に困難な点が残るものの、今回改良された土地被覆図は、かなり実用に耐えられるようになったと考える。急傾斜地については、あらかじめ数値地図（標高）などのデータから傾斜方向を求めておくことで、判別が可能となる。

今後は、箱根だけでなく丹沢山地などにもエリアを広げ、神奈川県全体を2万5千分の1スケールでカバーする土地被覆図を作成する予定である。また、当館にて収集されている過去のデータについても同様に解析を進めたいと考えている。この研究によって作成される土地被覆図は、自然環境の変化を過去から連続して調べることができるため、自然保護を進めるにも有効なデータとなるだろう。

謝辞

本研究は、神奈川県立生命の星・地球博物館の調査研究事業「リモートセンシングを用いた丹沢山地の土地被覆図の作成」の成果の一部である。また、元神奈川県立博物館学芸部長の高橋秀男氏、当館学芸員の勝山輝男氏、田中徳久氏、田口公則氏には有益なアドバイスを頂きました。土地利用図の背景として使用した地形図は、建設省国土地理院発行のCD-ROM「数値地図25000（地図画像）横須賀」を使用しています。1998年の衛星画像については、元データの所有は米国政府であり、EOSAT

／宇宙開発事業団から提供を受けたものです。これらのご厚意に対して御礼申し上げます。

参考文献

- 神奈川県公園協会・丹沢大山自然環境総合調査団企画委員編、1997. 丹沢大山自然環境総合調査報告書、636pp. 神奈川県環境部。
- 環境庁、1982. 現存植生図（小田原、1/5万）第2回自然環境保全基礎調査（植生調査）。環境庁。
- 国土地理院、1979. 土地利用図（箱根、1/2.5万）。
- 宮脇昭他、1972. 神奈川県の現存植生、789pp. 神奈川県。
- 宮脇昭・藤原一繪・寺田仁志、1991. 大磯町の植生、4+116pp. 大磯町役場。
- 新井田秀一、1998. リモートセンシングによる土地被覆分類—ランドサット/TMによる神奈川県の場合—。神奈川県立博物館研究報告（自然科学）、27: 85-92。
- 日本地図センター編、1992. 数値地図ユーザズガイド、494pp. 日本地図センター、東京。
- 日本リモートセンシング研究会編、1992. 図解リモートセンシング、4+308pp. 日本測量協会、東京。
- 相模原市教育委員会、1988. 相模原市の植生、228pp. 相模原市教育委員会。
- 田中徳久、1996. 第3節下草柳泉の森地区 2 植物、第4章 自然景観と動植物、大和市史8(上)自然編、265-297。
- 土屋清編著、1990. リモートセンシング概論、322pp. 朝倉書店、東京。
- 宇宙開発事業団地球観測センター編、1990. 地球観測データ利用ハンドブッケーランドサット編・改訂版、6+298pp. リモート・センシング技術センター、東京。
- 山崎志乃・遠山三樹夫、1994. 東高根のシラカシ林。天然記念物総合診断報告書、4: 98-137。

横浜市公害対策局, 1991. 横浜市陸域の生物相・生態系
調査報告書, 456pp. 横浜市公害対策局環境管理室.

摘 要

新井田 秀一, 1999. リモートセンシングによる土地被覆分類—2万5千分の1箱根における検証—. 神奈川県立博物館研究報告(自然科学), 28: 63-72. (S. NIIDA, 1999. Land Cover Map by Remote Sensing: In the case of HAKONE area. Bull. Kanagawa prefect. Mus. (Nat. Sci.), 28: 63-72.)

1998年4月14日に観測された地球観測衛星ランドサット/TMの画像を使って、箱根地域の土地被覆図を作成した。分類には最尤法を用い、トレーニングエリアやカテゴリの設定に改良を加えた。その結果、今までに調査されている植生図などと比べると、分類に対する基本的な考え方が異なるため単純な比較はできないが、十分に実用的だといえる。この研究によって作成される土地被覆図は過去からの連続的な環境の変化を調べることができるため、自然保護などの基礎資料となるものである。

(受付: 1998年11月27日, 受理: 1998年12月3日)

Stratigraphy and Tectonics of the Ashigara Group in the Izu Collision Zone, Central Japan

Isamu IMANAGA

Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, 499 Iryuda, Odawara, Kanagawa, 250-0031, Japan

Abstract. A stratigraphical study of the Plio-Pleistocene Ashigara Group in the Ashigara Mountains, including an inquiry into its age, depositional environment, and volcanic activity, has elucidated the tectonic history of the Izu collision zone. The results are summarized as follows:

1) The Philippine Sea Plate began to subside along a trough to the south of the Tanzawa Mountains prior to 2.0 Ma, when the Ashigara Group began to be deposited.

2) The Philippine Sea Plate (PHS Plate) moved in a NNW direction during deposition of the Hinata and Seto Formations (in the lower part of the Ashigara Group). The direction of PHS Plate motion changed to WNW at around 1.72 Ma, after deposition of the Hinata and Seto Formations.

After the change in plate motion, uplift of the Tanzawa Mountains lessened, providing less clastic sediments to the south and to the Hata Formation.

3) The Philippine Sea Plate changed its direction of motion from WNW to NNW along with the North American Plate at about 1.0 Ma.

4) Pyroclastic rocks and lavas effused onto the deep-sea plain and continental slope during deposition of the Hinata and Seto Formations. A subaqueous explosion also occurred during deposition of the Hata Formation. Pyroxene andesite and hornblende andesite dikes and sheets were simultaneously intruded during deposition of the Hinata, Seto and Hata Formations.

5) The E-W trending Kannawa Fault or a similar one had been active since the time of conglomeratic deposition of the Seto Formations.

Key words: Ashigara Group, Kannawa Fault, Philippine Sea Plate, collision, plate motion, conglomerate

Contents

Abstract

Contents

1. Introduction

2. Review of the previous studies

3. Topographic setting

4. Outline of geology

5. Stratigraphy

5-1. Hinata Formation

5-2. Seto Formation

5-3. Hata Formation

5-4. Shiozawa Formation

6. Igneous activity in the Ashigara Group

6-1. Dikes and sheets in the Ashigara Group

6-2. Yaguradake intrusive body

6-3. Hata vent breccia

7. Geological age

8. Geological structure

8-1. Folding

8-2. Fault

8-2-1. Kannawa, Hirayama and Uchikawa Faults

8-2-2. Hinata Fault

9. Fossils

10. Tectonic history of the Ashigara area

11. Conclusions

12. Acknowledgments

13. References

1. Introduction

It has been thought that the depositional basin of the Ashigara Group is located within a collision zone in the northern part of the Izu Peninsula on the Philippine Sea Plate (Fig. 1). The Kannawa Fault, which separates the Ashigara Group from the Tanzawa Group, is thought to be a plate boundary between the Philippine Sea Plate and the Honshu Arc of the Eurasian Plate (Sugimura, 1972).

The Ashigara Group is well known from a sedimentological view and is characterized by a huge amount of conglomerate. This group exhibits two cycles of coarsening upward, from muddy sediments of the Hinata and Hata Formations to

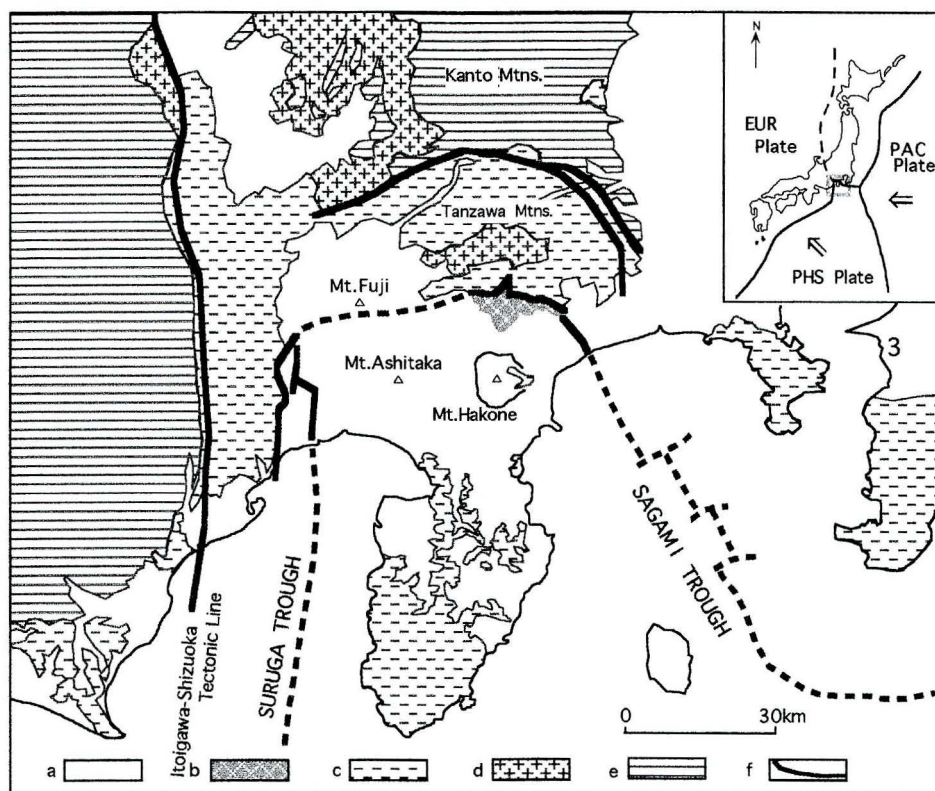


Fig. 1. Geological map of Izu-Tanzawa area as simplified from Kakimi et al. (1982).

a : Quaternary, b : Plio-Pleistocene Ashigara Group, c : Neogene d : Neogene intrusive rocks, e : Pre-Neogene, f : Major faults

conglomeratic sediments of the Seto and Shiozawa Formations. These depositional sequences reveal the detailed tectonic history of the collision processes between the Izu block and the Tanzawa Mountains of the Honshu Arc.

Igneous activity occurred throughout deposition of the Ashigara Group as a result of this collision, and resulted in extrusion of a huge breccia in the middle part of the Hata Formation as well as intrusion of the Yaguradake quartz diorite. The Ashigara Group was cut by the Kannawa Fault and several others and subsequently underwent intensive folding.

I discuss the depositional history of the Ashigara Group, including its igneous activity, and clarify the tectonics of the Ashigara area on the basis of a refined geologic time scale that is evaluated by means of K-Ar dating of igneous rocks and calcareous nannofossils.

This paper is a partially revised version of the doctoral dissertation to the University of Tsukuba.

2. Review of previous studies

Hirabayashi (1898) first described the Ashigara Group and said that the Bed in the Yamakita - Oyama area is composed of conglomerate, sandstone and mudstone with monoclinical folding to the northwest. The Ashigara Tertiary Bed contains shallow marine molluscs and unconformably covers the Misaka Bed in the north.

Kato (1910) first assigned the Ashigara Bed a late Tertiary age, based on molluscan fossils, and noted that it was in thrust fault contact with the Misaka Bed.

Tsuya (1942) divided the Ashigara Group into upper and lower horizons based on its lithic character. The upper horizon is characterized by alternations of sandstone and conglomerate, including a large amount of both quartz dioritic and greenish metamorphic rocks, and the lower horizon consists of an conglomerate that is almost devoid of quartz dioritic pebbles. The boundary of these two horizons is coincident with that of the Hata Formation and Shiozawa Formation in this study.

Kuno (1951) subdivided the Ashigara Bed into upper, middle, and lower zones. He inferred that "the dikes intruded and pyroclastic rocks were laid down in water and followed by the deposition of the sediments without any time intervals, and the quartz diorite plug of Yagura-dake intruded at a comparatively shallow depth, probably not much greater than that at which the dikes intruded." From the view point of plate tectonics, Sugimura (1972) noted that the Ashigara area is a possible location of the plate boundary between the Eurasian and the Philippine Sea Plates. Niitsuma and Matsuda (1984) pointed out that the South Fossa Magna had been an actively subsiding area since the Miocene and that dynamic changes might be related to the collision of Izu-Bonin Arc. Moreover, they suggested that exposures of the Miocene crystalline schist in the Tanzawa Mountains indicate deep denudation due to strong uplifting after Miocene burial.

The depositional environment of the Ashigara Group was discussed as follows by Huchon and Kitazato (1984), Kitazato (1997) and Ito (1985), based on benthic foraminifers and sedimentary facies: the lowermost part, the Neishi Formation

Table 1. Comparison table of the stratigraphical studies in the Ashigara area.

Huchon & Kitazato (1984)	Ashigara Collabo. Res. G. (1986)	Amano et al. (1986)	Ito et al. (1986)		Imanaga (1988)		Imanaga (This Study) (1998)	
A stratigraphy	A stratigraphy	A stratigraphy	A(Ma)	M stratigraphy	A(Ma)	M stratigraphy	A(Ma)	M stratigraphy
Pleistocene	Younger Deposits	Pleistocene	late Pleist.	Hol Tephra	Pleistocene	0.11	Pleistocene	0.11
			0.1	Younger loam		0.15		0.15
			0.15	Nakajima Gravels		0.2		0.2
			0.2	Kissawa loam		0.2		0.2
			0.2	Suruga Gravels		0.2		0.2
			0.2	Tama loam		0.2		0.2
			0.2	upper Ikido Gravels		0.2		0.2
			0.2	lower Ikido Gravels		0.2		0.2
			0.2	Hiuchidake F.		0.2		0.2
			0.2	Kurobyaku F.		0.2		0.2
Pleistocene	Shiozawa F.	Pleistocene	0.5	Oyama Huge Boulder	Pleistocene	0.7	Pleistocene	0.7
			0.7	Oyama Py. flow		0.7		0.7
			0.7	upper Shiozawa F.		0.7		0.7
			0.7	Kurobyaku Py.		0.7		0.7
			0.7	lower Shiozawa F.		0.7		0.7
			0.7	Hata F.		0.7		0.7
			0.7			0.7		0.7
			0.7			0.7		0.7
			0.7			0.7		0.7
			0.7			0.7		0.7
Pleistocene	Hata F.	Pleistocene	1.0		Pleistocene	1.0	Pleistocene	1.0
			1.0			1.0		1.0
			1.0			1.0		1.0
			1.0			1.0		1.0
			1.0			1.0		1.0
			1.0			1.0		1.0
			1.0			1.0		1.0
			1.0			1.0		1.0
			1.0			1.0		1.0
			1.0			1.0		1.0
Pleistocene	Seto F.	Pleistocene	1.4		Pleistocene	1.4	Pleistocene	1.4
			1.4			1.4		1.4
			1.4			1.4		1.4
			1.4			1.4		1.4
			1.4			1.4		1.4
			1.4			1.4		1.4
			1.4			1.4		1.4
			1.4			1.4		1.4
			1.4			1.4		1.4
			1.4			1.4		1.4
Pleistocene	Dai F.	Pleistocene	1.6		Pleistocene	1.6	Pleistocene	1.6
			1.6			1.6		1.6
			1.6			1.6		1.6
			1.6			1.6		1.6
			1.6			1.6		1.6
			1.6			1.6		1.6
			1.6			1.6		1.6
			1.6			1.6		1.6
			1.6			1.6		1.6
			1.6			1.6		1.6
Pleistocene	Doyama F.	Pleistocene	1.7		Pleistocene	1.7	Pleistocene	1.7
			1.7			1.7		1.7
			1.7			1.7		1.7
			1.7			1.7		1.7
			1.7			1.7		1.7
			1.7			1.7		1.7
			1.7			1.7		1.7
			1.7			1.7		1.7
			1.7			1.7		1.7
			1.7			1.7		1.7
Pleistocene	Neishi F.	Pleistocene	1.8		Pleistocene	1.8	Pleistocene	1.8
			1.8			1.8		1.8
			1.8			1.8		1.8
			1.8			1.8		1.8
			1.8			1.8		1.8
			1.8			1.8		1.8
			1.8			1.8		1.8
			1.8			1.8		1.8
			1.8			1.8		1.8
			1.8			1.8		1.8
Pleistocene	Tanzawa G.	Pleistocene	2.0		Pleistocene	2.0	Pleistocene	2.0
			2.0			2.0		2.0
			2.0			2.0		2.0
			2.0			2.0		2.0
			2.0			2.0		2.0
			2.0			2.0		2.0
			2.0			2.0		2.0
			2.0			2.0		2.0
			2.0			2.0		2.0
			2.0			2.0		2.0

A : Geological Age, M : Magnetic Polarity Chron, CN : Calcareous nanno fossil age (Okada and Bukry, 1980), D. No. : Datum No. of Calcareous Nannofossils and their age (Sato and Kameo, 1996).

(the Hinata Formation of this study) formed on a lower slope or abyssal plain at 1,000-2,000 m depth; the Seto Formation was a submarine fan at 200-600 m depth; the Hata Formation represents a shelf edge at 100-300 m depth; the Shiozawa Formation represents a shallow marine environment in less than 30 m depth. Ito (1985) suggested that the Ashigara Group represents the regressive phase of a progradation as it changed from a lower submarine fan/basin plain, through submarine volcano-mid-upper submarine fan/slope, to a fan delta system.

A peculiar deposit in the Hata Formation, consisting of huge boulders and conglomerates of andesitic rock 2 km northwest of the Yaguradake intrusion, has been discussed by many workers. For instance, Imanaga (1977) interpreted it to be an olistostrome. These sediments have also been regarded as volcanic collapse deposits (= the Yamakita Group) that unconformably cover the Ashigara Group, as described by the Ashigara Collaborative Research Group (1983). Ito et al. (1985) thought they were explosive vent fills (= the Hatazawa Vent Fill) in what were once the source of the Ikudo Pyroclastic Flow in the uppermost part of the Shiozawa Formation. Amano et al. (1986) and Ito (1985) considered the Hata Formation deposit to be a diatreme-like body (= the Hatazawa Breccia) and a subaqueous caldera collapse breccia, respectively. According to Amano et al. (1986), hornblende andesite dikes related to this conglomerate shows random strikes,

and occur near to the central conduit, the pyroxene andesite dikes have nearly parallel strikes, and the dominant direction of σ_{Hmax} is $N52^\circ W$. Amano et al. (1986) also observed that the direction of the maximum compressive stress (σ_1) obtained from analysis of the sets of conjugate minor faults is $N30-40^\circ W$, is nearly horizontal, and that the direction of the minimum compressive stress (σ_3) is NE-SW and horizontal; the σ_{Hmax} obtained from the dikes correlates with the direction of σ_1 and is identical with that of the movement of the Philippine Sea Plate (PHS Plate); the eastward and westward bending of the PHS Plate would have affected this stress field.

Huchon and Kitazato (1984) studied the stress field by using fault systems and separated the successive events as follows: after final deposition of the beds, the area was overthrust by the Tanzawa Mountains along the Kannawa Fault and folded by a NW-SE compressional stress field; the direction of compression changed to N-S or NE-SW from NW-SE when the collision of the Izu Peninsula transpired at about 0.3 Ma. Someno et al. (1984) and Ito et al. (1986) subdivided the Shiozawa Formation into the Lower Shiozawa Formation, the Upper Shiozawa Formation, the Oyama Conglomerate Bed, and the Tama Loam Bed (or equivalent beds), in ascending order.

The molluscan fossils were investigated by Otuka (1931),

Kuno (1951), and Matsushima (1982).

Otuka (1931) pointed out that *Umbonium suchiense* Yokoyama in the middle zone of the formation is characteristic of the early Pliocene.

Matsushima (1982) suggested that the fossil fauna in the middle part of the group is dominated by an upper bathyal assemblage, and that the fauna in the lower horizon of the upper part is dominated by an assemblage representing the subtidal and intertidal zone. The geologic age of the Ashigara Group is thought to be early to middle Pleistocene.

Imanaga (1976, 1977) studied the stratigraphy of the Ashigara Group and gave a diagram showing the direction of dikes in the Ashigara Group (Imanaga, 1980). Imanaga (1982) discussed the deformation of the Ashigara Group from the view point of collision tectonics and considered the dome-like folded structure of the Ashigara Group to have been formed by wedging between the Izu Block and the Honshu Arc.

Ito et al. (1986, 1989) discussed the tectonic evolution of the northern border of the Philippine Sea plate.

Studies on the motion of the Philippine Sea Plate are as follows:

Tanahashi (1986) noted on the study along the Sagami Trough to the south of Boso Peninsula that the relative motion of the PHS Plate to Eurasian Plate changed from N to WNW in 1-2Ma and from WNW to N at 0.5Ma. Sugiyama (1989) noted that the relative motion of the Philippine Sea Plate with respect to southwest Japan was thought to have changed from NNW to nearly west in the middle Pliocene and from nearly west to WNW in the middle Pleistocene.

Sugiyama and Shimokawa (1982) suggested that in the Ihara area on the western side of the Izu collision zone, the σ Hmax stress changed from E-W to NW-SE in the middle Pleistocene.

Yamazaki (1992) described the regional diversity of Quaternary tectonics along the northern margin of the Izu

Peninsula, including intense regional uplift along the southwestern margin of Tanzawa Mountains since the middle Pleistocene.

3. Topographic setting

The Ashigara Mountains is located between the Tanzawa Mountains to the north and the Hakone Volcano to the south, and faces the Ashigara Alluvial Plain to the southeast (Fig. 2). The mountains are present in Matsuda Town, Yamakita Town, and Minami-Ashigara City in Kanagawa Prefecture and Oyama Town in Shizuoka Prefecture.

The Sakawa River runs eastward through the Ashigara Mountains and forms deep valleys (Figs. 2, 3). The Kochi, Minase, and Hisari Rivers are the tributaries of the Sakawa River (Fig. 3) and flow southward down from the Tanzawa Mountains to the north. The Ayusawa and Shiozawa Rivers are tributaries of the Sakawa River and flow eastward from the western part of the Ashigara Mountains.

The Uchikawa and Karikawa Rivers (Fig. 3) have a NE-SW orientation in the southern parts of the Ashigara Mountain and flow along the border between the Ashigara Mountains and Hakone Volcano.

Planation surfaces at about 250 m to 300 m, about 320 m to 350 m, and about 350 m to 400 m above sea level occur along the Sakawa River.

The Ashigara Mountains are flat-topped and mostly 500-800 m above sea level. Steep NE-SW trending V-shaped valleys, such as the Hatazawa and Shasuinotaki Valleys, and NE-SW trending summits predominate in the Ashigara Mountains.

Mt. Yaguradake, 870 m (Fig. 2) high, is the highest peak in the Ashigara Mountains. Isolated hills such as the Shiroyama (220 m), Sengenyama (240 m) and Maruyama (250 m) extend east and west, and lie between Yamakita Town and the Sakawa

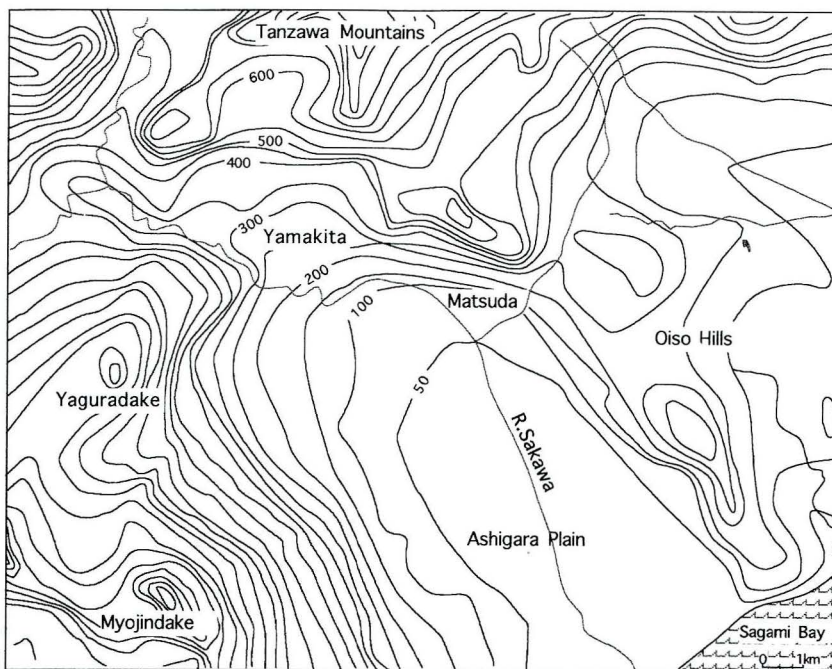


Fig. 2. Summit level map of the Ashigara area and its vicinity.

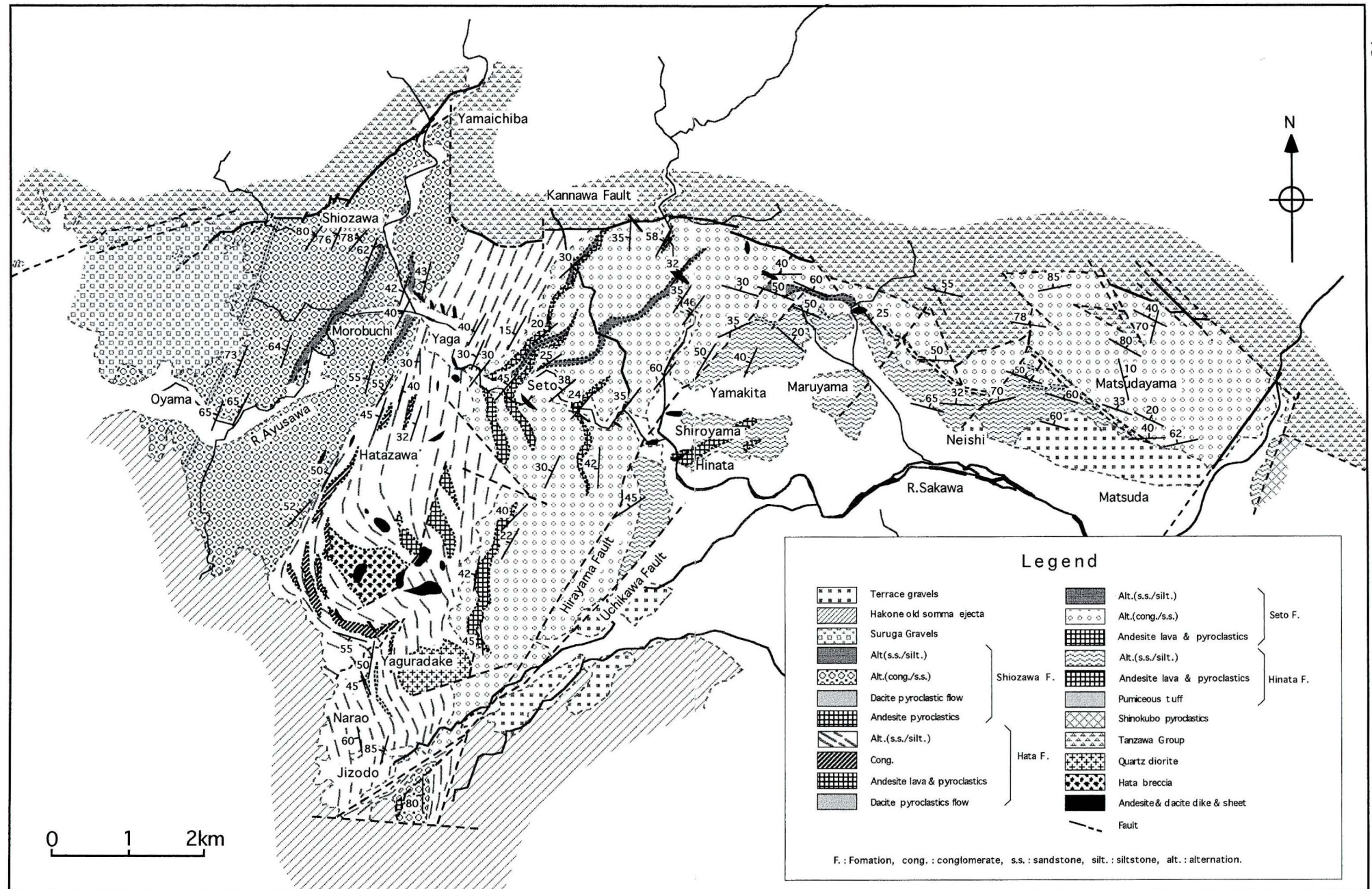


Fig. 4. Geological map of the Ashigara Group.

River (Fig. 5).

Summit levels indicate that E-W and NE-SW structures predominate in the Ashigara Mountains, and acute height differences from 400 m to 700 m along an E-W direction to the north of Yamakita suggest rapid uplift of the Tanzawa Mountains (Fig. 2).

NE-SW stream patterns in the Shiozawa Valley is concordant with the strike direction of the group in this area (Fig. 3).

4. Outline of geology

The Ashigara Group in the Ashigara Mountains embraces the northwestern tip of Oiso Hill and the southern limb of the Tanzawa Mountains. The Ashigara Group is characterized by a huge amount of conglomerate that accumulated from the Olduvai Subchron (2.0 Ma) to the Brunhes Normal Epoch (0.78 Ma) along the boundary between the Philippine Sea Plate and the Eurasian Plate.

From a plate tectonics point of view, Nakamura and Shimazaki (1981), Nakamura et al. (1984) and Seno (1987) pointed out that the change in the direction of convergence of the Philippine Sea Plate in the early to middle Pleistocene and late Pleistocene should have taken place during the deposition of the Ashigara Group.

Igneous activity was vigorous during deposition of the Ashigara Group. Many dikes and sheets were intruded into the group, and pyroclastic rocks were deposited mainly in the lower part of the group (the Hinata and Seto Formations). Explosive eruption of a subaqueous volcano during deposition of the Hata Formation produced thick pyroclastic rocks associated with a huge bed of boulder conglomerate. The Ashigara Group was intruded by more than 30 andesitic and dacitic dikes and sheets,

along with a quartz diorite mass.

The Kannawa Fault separating the Plio-Pleistocene Ashigara Group from the middle Miocene Tanzawa Group runs in an E-W direction on the northern border of the Ashigara Mountains (Matsushima and Imanaga, 1968). Aside from the Kannawa Fault the main faults in the Ashigara Group are the Uchikawa and the Hirayama Faults.

5. Stratigraphy

The Ashigara Group probably lies unconformably on Miocene and Pliocene strata such as the Tanzawa Group in the Tanzawa Mountains (Mikami, 1961, 1962), the Pliocene Hayakawa Tuff Breccia, and the Miocene Yugashima Group which is mainly composed of pyroclastic rocks of marine origin and which comprises the basement rocks of Hakone Volcano on the Izu Peninsula (Kuno, 1951). However, an exact point showing the stratigraphic relationships between these groups has never been found. The Ashigara Group contacts the Miocene Tanzawa Group in the study area along the Kannawa Fault. The Ashigara Group is composed of alternating beds of mudstone, tuffaceous sandstone and conglomerate, and it has been subdivided into the Hinata, Seto, Hata and Shiozawa Formations, in ascending order (Imanaga, 1989).

The Ashigara Group is overlain by the upper Pleistocene Suruga Gravels on its western border, and by the Pleistocene Hakone volcanic ejecta on its southern border (Fig. 4, Table 2).

5-1. Hinata Formation

The Hinata Formation is the lowest unit of the Ashigara Group and is present in the central area as a dome-like folded structure. The formation was first named and defined by Imanaga (1989). The Hinata tuffaceous sandstone mudstone

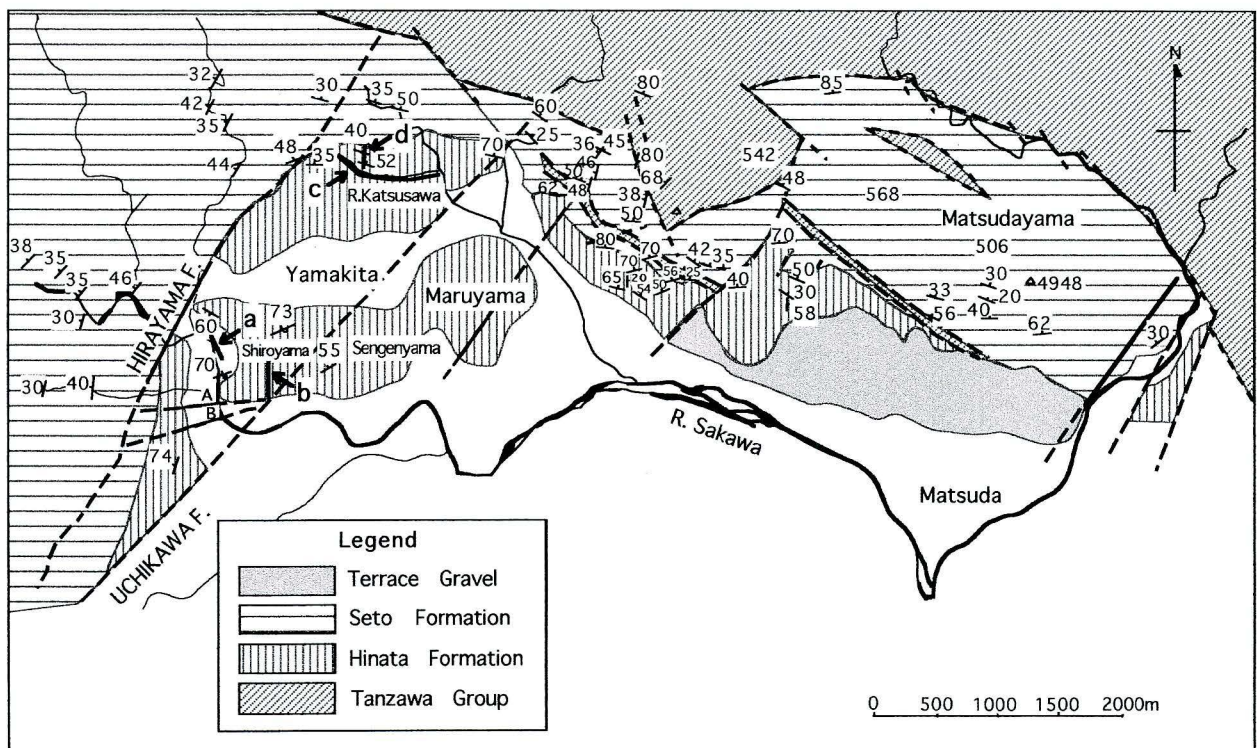


Fig. 5. Geological map of Yamakita and Matsuda area.

bed (Imanaga, 1976, 1977), the Neishi Formation (Huchon and Kitazato, 1984; Amano et al., 1986) and the Doyama Formation (Ashigara Research Group, 1986) are equivalent to the Hinata Formation.

[Type locality]

The type locality of this formation is exposed along banks of the Sakawa River near Hinata, in the western margin of Shiroyama Hill.

At its type locality, the Hinata Formation is composed of an

alternation of mudstone and tuffaceous sandstone interbedded with pyroclastic rocks (Fig. 6-a).

[Thickness]

The thickness of the formation is over 650 meters.

Although the relationship between this formation and underlying strata is not observed in the field, it is thought to unconformably overlie the Tanzawa Group.

[Lithofacies and distribution]

The Hinata Formation is well exposed in the foothills of

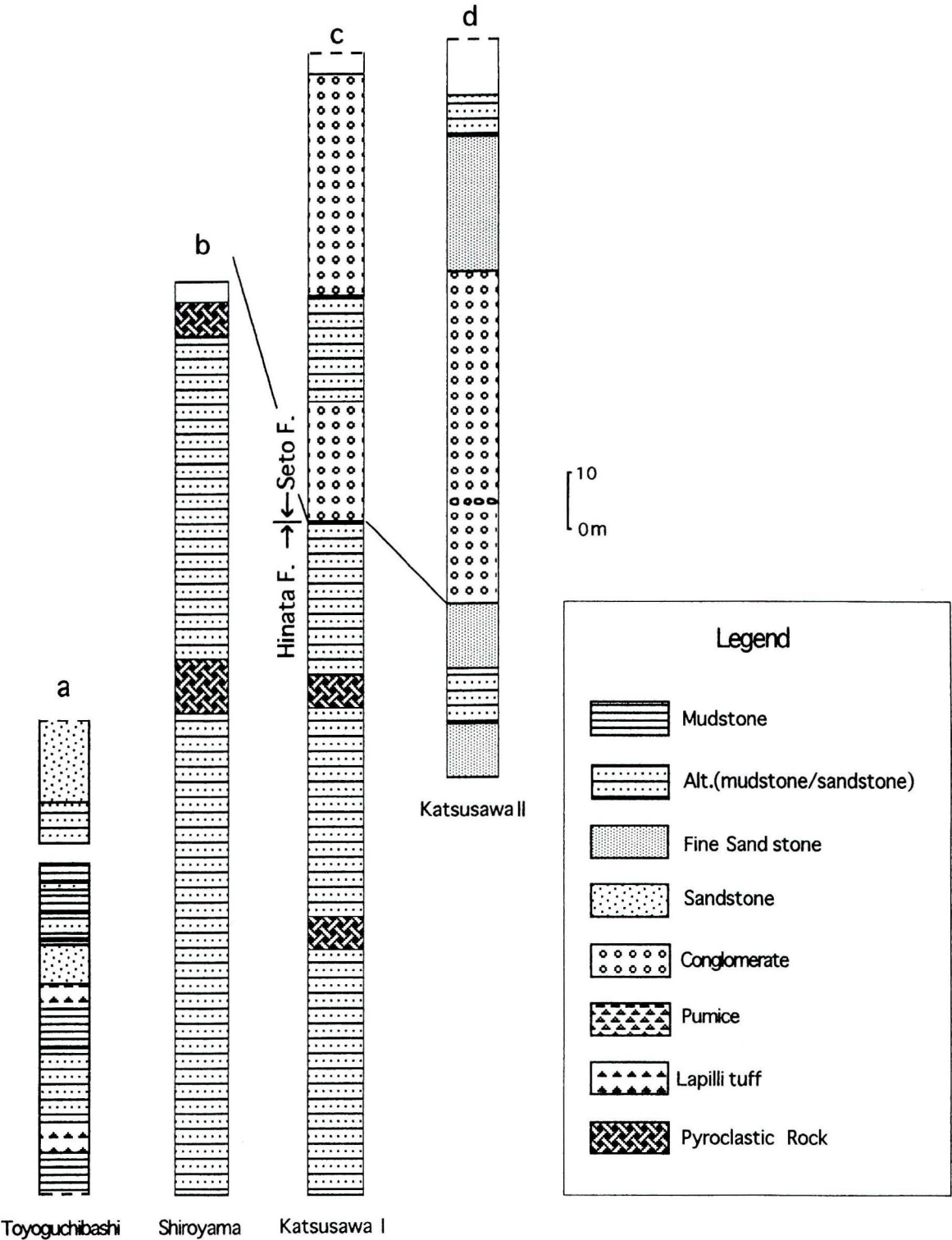


Fig. 6. Columnar section of the Hinata Formation. Localities (a, b, c, d) are seen in Fig.5.

Matsudayama Mountain (250 to 300 m high) to the north of Yamakita and Matsuda Towns, and in hills such as Shiroyama (225.1 m), Sengenyama (250.6 m) and Maruyama (225.1 m) in Yamakita Town (Fig. 5).

The Hinata Formation consists mainly of alternating gray mudstone and tuffaceous sandstone of distal turbidite origin (Fig. 6,). Tuffaceous sandstones contain yellowish-gray or bluish-gray pumice and red-brownish scoria. Lapilli tuffs and tuffaceous sandstones predominate in the eastern part of its distribution area (Plate 1a and 1c). Volcanic breccias with lavas crop out in places in the southern and northern distribution

areas, including at such places as Hisari, Katsusawa, Shiroyama and Hinata. Volcanic breccias associated with lavas are typically crop out in the bed of the Sakawa River, 100 m upstream from the Takase Bridge near Hinata (Figs.7, 8, Plate 1b). Distribution of these volcanoclastic rocks extends over 1,300 m in an ENE direction to Shiroyama Hill. These volcanic breccias are composed of pyroxene andesite that shows a homogeneous ground mass, and the diameter of their clasts is mostly 10-30 cm, although they reach 100 cm in diameter. These lava flows were intruded by zeolite and calcite veinlets, and intercalated with volcanoclastic rocks, and they

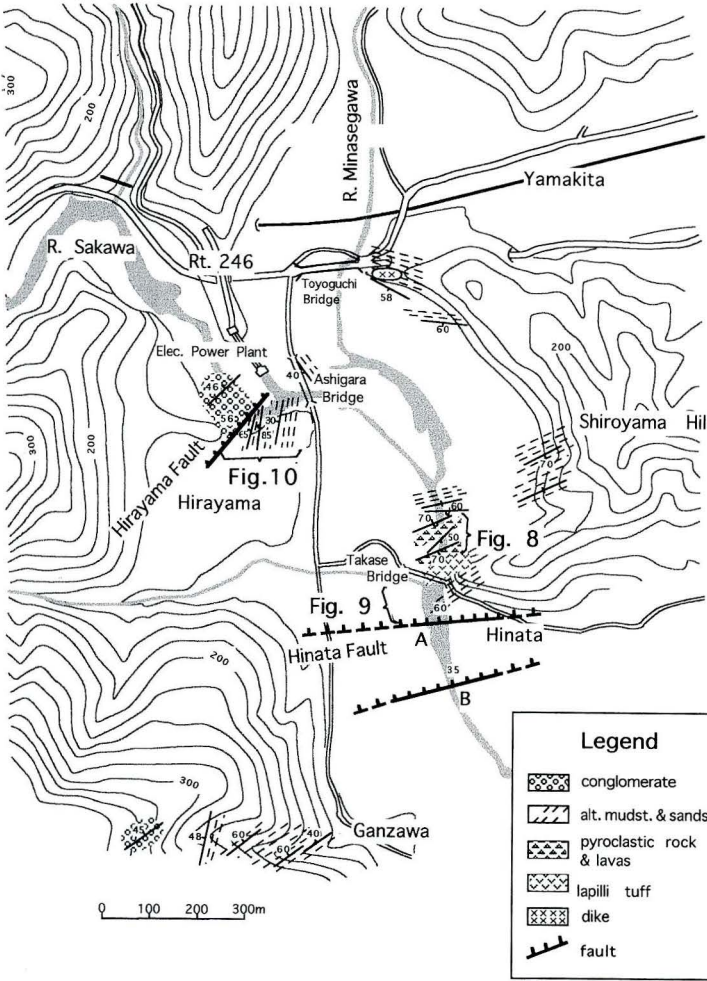


Fig. 7. Route map of Hiramama-Hinata area showing detailed studied localities of Figs. 8 -10.

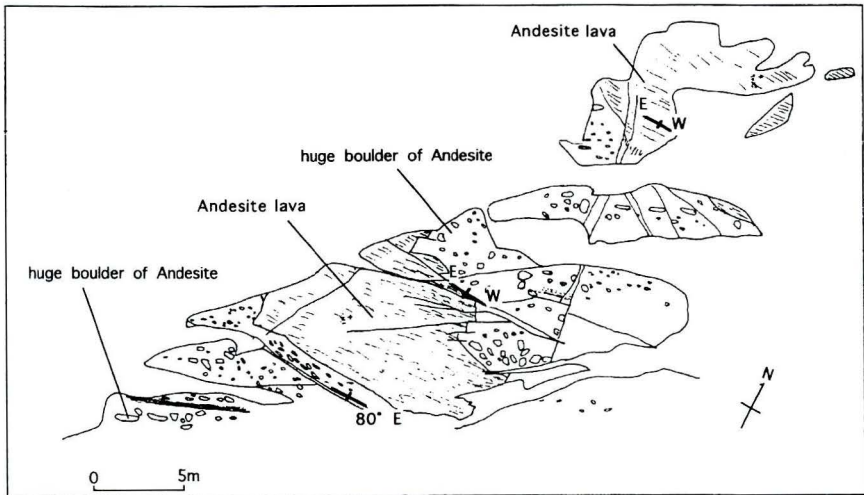


Fig. 8. Volcanoclastic rocks and lavas of the Hinata Formation at upstream of the Takase Bridge.

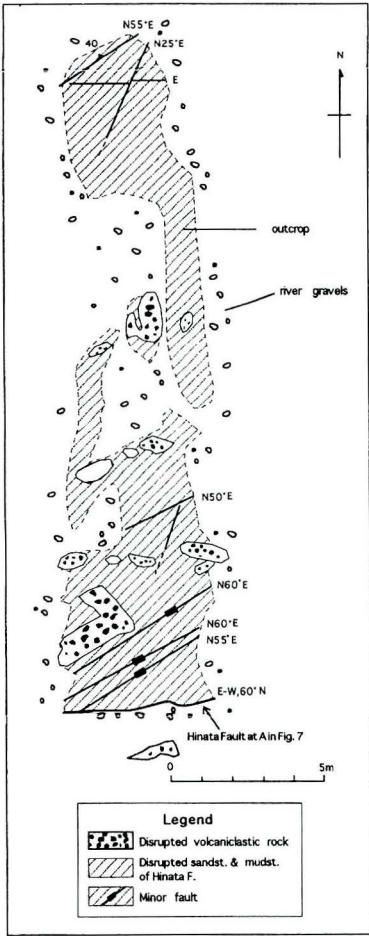


Fig. 9. Hinata Fault and disrupted sandstone and mudstone of the Hinata Formation at the river floor in 100m downstream of the Takase Bridge.

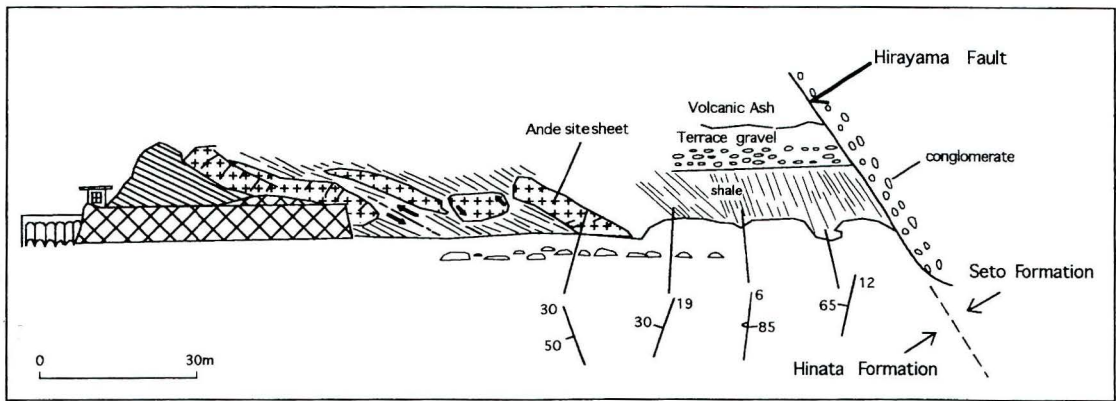


Fig. 10. Outcrop of the Hirayama Fault at 100m upstream from the Ashigara Bridge.

attain thicknesses of 15 m and 5 m, respectively (Fig. 8). At Hirayama Hamlet, the western end of the occurrence area, the formation is cut by the Hirayama Fault (Ito et al., 1987, 1989) in a left-lateral sense and with dip-slip movement (Figs. 5, 10). At the southern end of its occurrence area the Hinata Formation is cut by the Hinata Fault in the bed of the Sakawa River (Soh, 1995) (Figs. 7, 9).

[Fossils]

Molluscan fossils rarely occur.

[Environment]

The depositional environment of this formation was in the middle bathyal zone at 1,000 m to 2,000 m according to Huchon and Kitazato (1984), based on benthic foraminiferal assemblages. In addition, Ito (1985) interpreted these rocks as a lower submarine fan or basin plain. It is possible to say that the Hinata Formation was deposited in a lower fan far from the feeder channel, in association with submarine andesitic volcanics in several places.

5-2. Seto Formation

The Seto Formation was first named by Ishikawa et al. (1983) and used by Huchon and Kitazato (1984), Amano et al. (1986) and Imanaga (1989). This formation can be correlated with the A1 Bed (Imanaga, 1976, 1977) and the Seto Conglomerate (Imanaga, 1978, 1986). Ashigara Collaborative Research Group (1986) subdivided this formation into the Dai, Seto and Tuburano Formations.

[Type locality]

The type locality of the Seto Formation is the bank of the Sakawa River exposed from Hirayama to Seto Hamlets in Yamakita Town.

[Thickness]

The Seto Formation is about 1,300 m thick.

[Stratigraphic relation]

The Seto Formation conformably overlies the Hinata Formation in its eastern area of distribution, and is in contact with the underlying Hinata Formation by virtue of the Hirayama Fault along the Sakawa River. Ishikawa et al. (1983) and Huchon and Kitazato (1984) emphasized that the formation unconformably overlies the Neishi Formation, although evidence of this unconformity cannot be found in the field.

[Lithofacies and distribution]

The Seto Formation is distributed in an area from Matsudayama Mountain in the east, through the valley of the Minasegawa River, the Sakawa River, Shasuinotaki Valley, Nijuisseikinomori Park and Yaguradakekitazawa Valley to Yagurazawa Hamlet, as shown in Figures. 4 and 5.

The Seto Formation mainly consists of conglomerate and andesitic pyroclastics intercalated with sandstone and mudstone (Fig. 11). Each conglomerate bed is up to several tens of meters in thickness. The conglomerate clasts are mainly composed of tuff, tuff breccia, volcanic breccia, andesite, diabase and basalt supplied from the Tanzawa Mountains. Clasts range from boulders to pebbles in size and are subangular

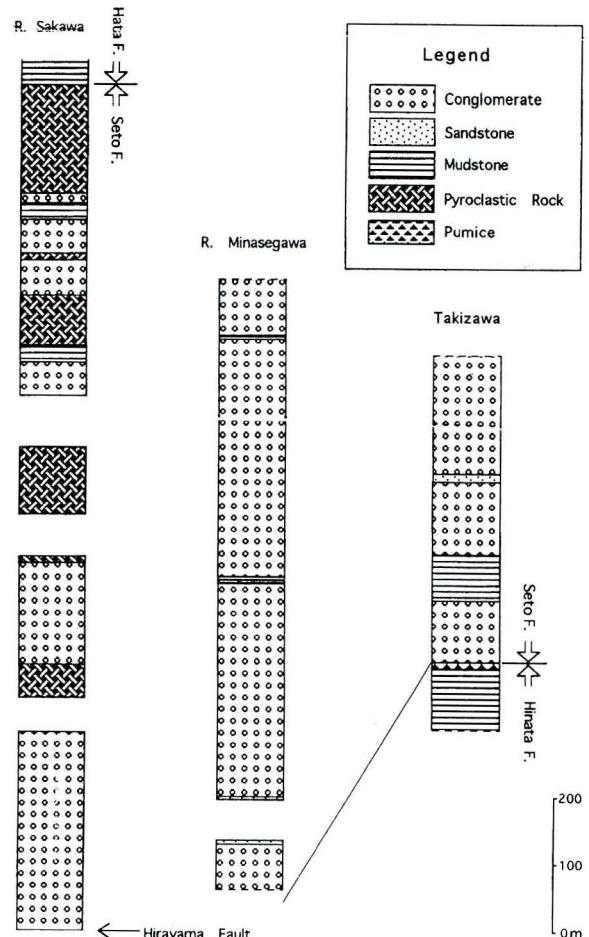


Fig. 11. Columnar sections of the Seto Formation.

to subrounded (Plate 2c, 2d, 2e). Cobble- to boulder-sized clasts of andesite are not from the Tanzawa Mountains but from an autobrecciated in situ lava mound (Plate 2a).

Some conglomerates show well-developed imbrication and have their long axis parallel to the flow with a NW to SE orientation (Ito, 1985)

Some characteristic internal texture of the conglomerate beds are shown in Plate 2; disorganized (Plate 2c), inversely graded or inverse-to-normally graded (Plate 2d, 2e, 2f), thin-bedded turbidite on a levee (Plate 2b), and debris flows (Plate 2c).

Mudstones and sandstones intercalated in the conglomerate are up to 30 m thick and predominate in the middle part of the formation. Pebble- to cobble-sized clasts of chert, shale and sandstone derived from the Kanto Mountains occur to some degree in the conglomerate, as also does sandstone interbedded with conglomerate beds (Plate 2b). Quartz diorite clasts derived from the Tanzawa Mountains exceptionally occur in the Seto Formation in the area of Mt. Matsudayama, along the eastern margin of the formation's distribution area.

Autobrecciated lavas of pyroxene andesite are intercalated in the middle and upper parts of the formation (Fig. 11, Plate 2a). Boulders and cobbles of pyroxene andesite intercalated in the conglomerate in the middle and upper part of the formation are well exposed along the Sakawa River (Plates 2a, 2c). There is conspicuous rhythmic deposition of andesitic cobble-boulder conglomerates in the upper part of the formation.

[Fossils]

Molluscan fossils are rare.

[Depositional Environment]

This formation is thought to have formed as a middle-upper submarine fan (Ito, 1985), in depths between 200 and 600 m, based on a benthic foraminiferal study (Huchon and Kitazato, 1984). A huge amount of gravel might have been supplied from the Tanzawa Mountains as density flows and deposited in feeder channels of a middle-upper submarine fan. Igneous extrusion was active during deposition of the conglomerate. It can be inferred from the depositional process that andesitic to dacitic lavas intruded into the conglomeratic submarine fan and made subaqueous lava flows, and that debris flows of hyaloclastites and conglomerate flowed down into the conglomeratic deposits. These processes are suggested by occurrences of autobrecciated lavas and pyroclastic deposits in the Seto Formation.

5-3. Hata Formation

The Hata Formation was defined by Ishikawa et al. (1983) and has been used by Huchon and Kitazato (1984), Amano et al. (1986), and Imanaga (1989). This formation is equivalent to the A2 Bed (Imanaga, 1976, 1977), the Hata sandstone and mudstone (Imanaga, 1978) and the Hatazawa Formation (Ashigara Collaborative Research Group., 1986). Although Kano et al. (1988) understood the Hata Formation to include

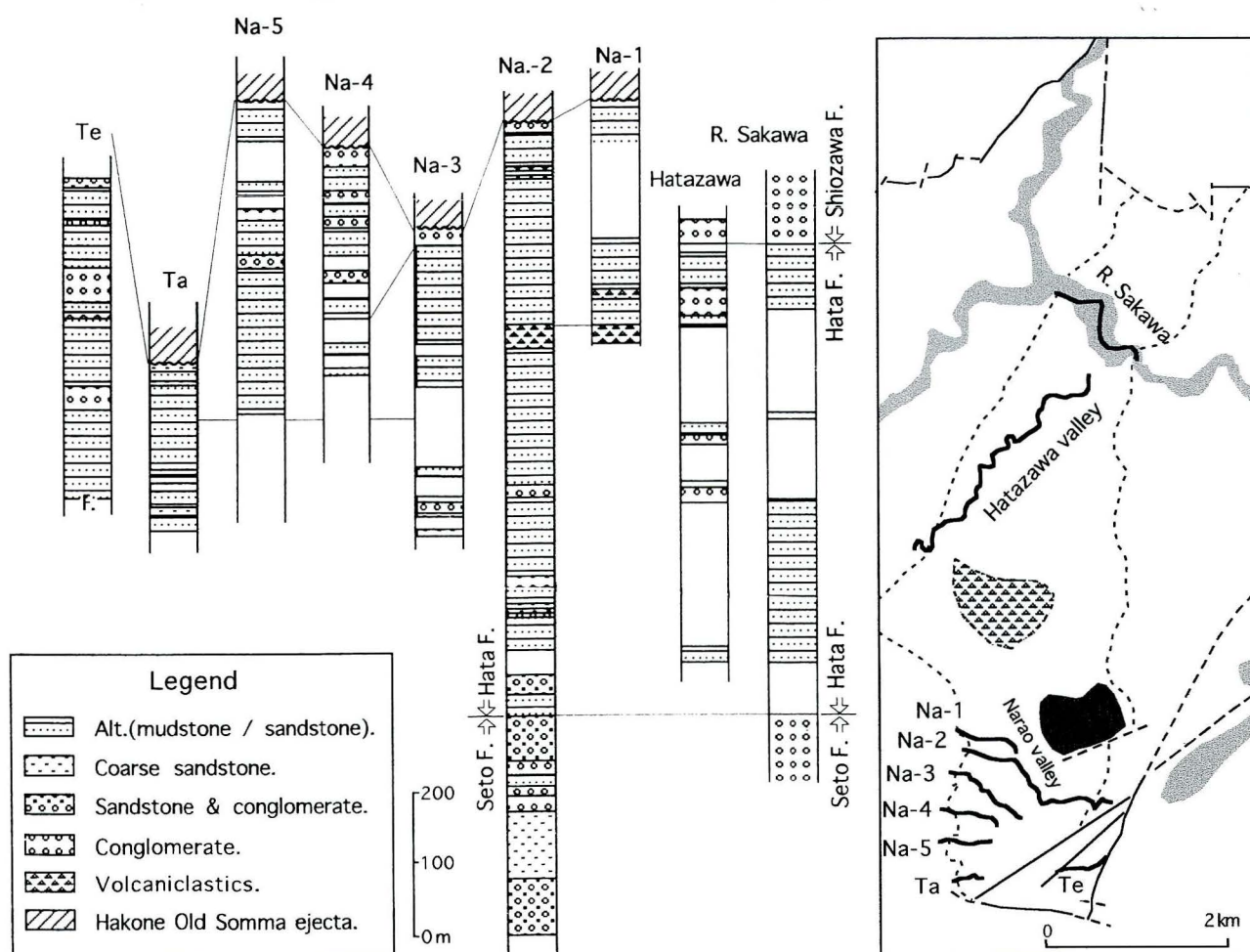


Fig. 12. Columnar sections of the Hata Formation in Jizodo and Hatazawa area.

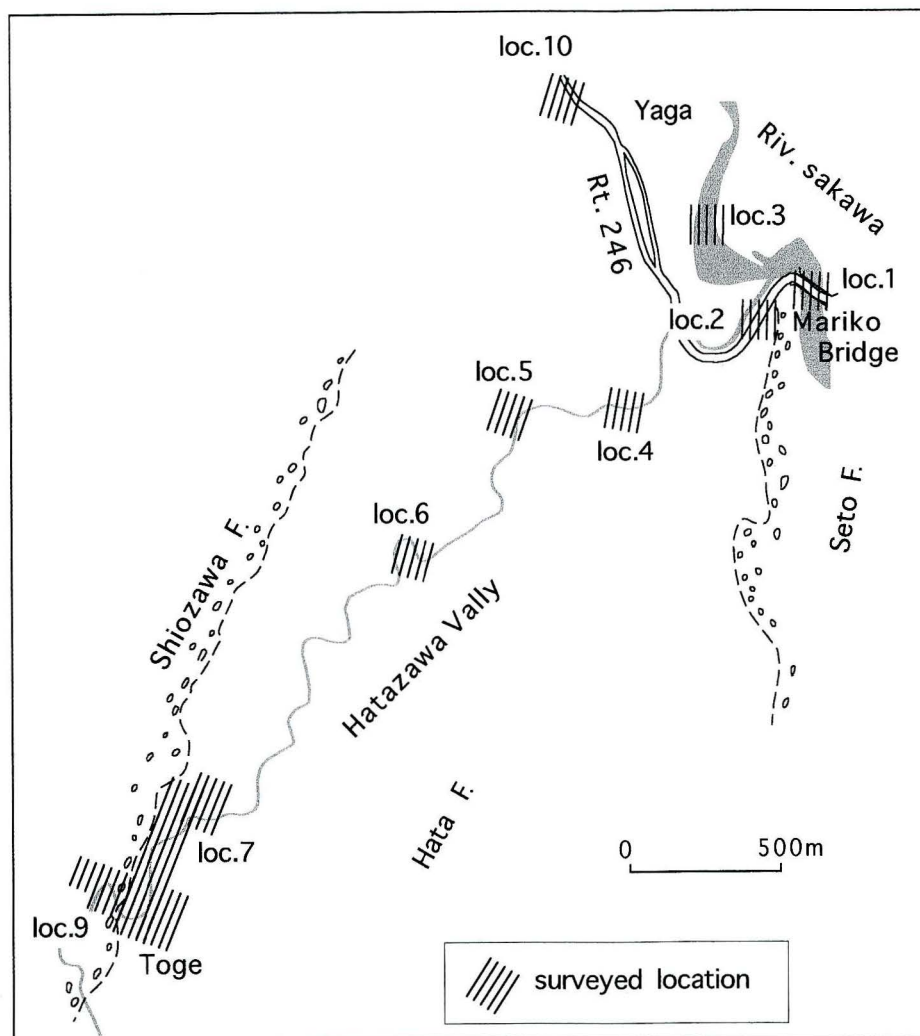


Fig. 13. Location map of columnar section of Hatazawa valley and its vicinity.

the lower part of Shiozawa Formation, I use it as originally defined by Ishikawa et al. (1983).

[Type locality]

The type locality of this formation is the Hata Valley at Yaga Hamlet (Figs. 13, 14). The formation at the type locality is composed of an alternation of sandstone and mudstone intercalated with thin conglomerates.

[Thickness]

The thickness is 600 meters in the northern area and 1,000 meter in the southern area.

The Hata Formation conformably overlies on the Seto Formation. The boundary between the Seto Formation and Hata Formation is well exposed in a cliff along the Sakawa River, 100 m upstream from the Marikobashi Bridge near Yaga Hamlet.

[Lithofacies and distribution]

The formation is distributed in the Hatazawa Valley (Fig. 13), Fukazawa and Arashi and Yaga Hamlets, and Narao Valley and Jizodo Hamlet, from north to south as shown in Fig. 4.

The Hata Formation consists of an alternation of gray mudstone and sandstone intercalated with conglomerate (Fig. 12 Plate 3d). The thickness of the mudstone and sandstone beds varies from several tens of centimeters to 4-5 meters. The conglomerate beds vary in thickness from several tens of

centimeters to 120 meters. Conglomerate beds of 90-120 m thickness can be traced laterally in the uppermost part of the formation. The diameters of the clast of the conglomerates ranges in size from cobbles to pebbles, which are well rounded. The clasts consist of tuff, tuff breccia, andesite, and diabase, with rare quartz diorite derived from the Tanzawa Mountains. The clasts of chert, sandstone and shale derived from Kanto Mountain rarely occur in the conglomerates. There are very few clasts of andesite in the conglomerate of the Hata Formation.

A chaotic conglomerate bed which consists of huge boulder of andesites, sandstones and mudstones crops out in the Ninokurakaihatu Co. Quarry at the end of Hatazawa Valley. The bed is up to 500 m in thickness and 1,200 m in width. The boulders are several tens of centimeters to over 10 meters in diameter (Plate 3a, 3b). This conglomeratic bed is discussed in a later section.

A dacitic pyroclastic bed named the Narao Pyroclastic Flow (Imanaga, 1989) is intercalated in the middle part of the Hata Formation in Narao Valley in the western foothills of Mt. Yaguradake. The flow is intermittently exposed in the Narao Valley in a N-S direction. The maximum thickness is about 30 m, which decreases rapidly toward the northwest and southeast. The flow is composed of hornblende dacite gravels, yellowish pumice and angular siltstone blocks. The Narao Pyroclastic Flow is subdivided into upper and lower units. The

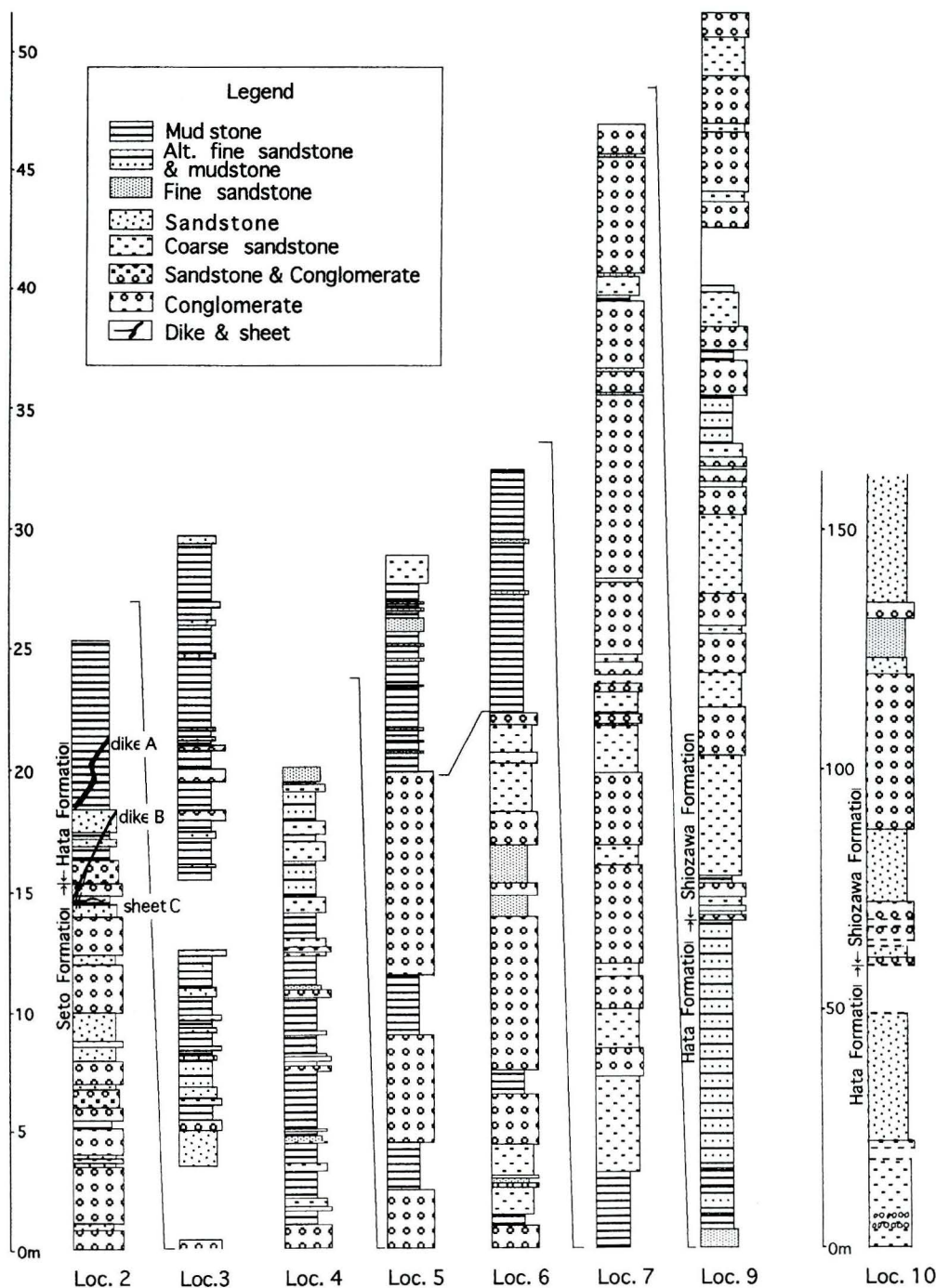


Fig. 14. Columnar sections of the Hata Formation in Hatazawa area and its vicinity (locations are in Fig. 13).

lower bed is strongly solidified and is composed of dacitic pumice, mudstone fragments and andesite breccias about 5 cm in maximum diameter. The ground mass is granules of pumice and mudstone fragments. Dacitic pumice is characterized by occurrence of quartz crystals, bytownite (70-90% anorthite) and hornblende. The upper unit is weak in solidification, is about 4 m thick, and mainly consists of siltstone blocks up to 50 cm in diameter, with subordinate dacitic pumice fragments up to 5-10 cm in diameter (Fig. 15). The matrix is composed of granules of the same dacitic pumice and siltstone fragments. Siltstone fragments are prominent and dacitic pumice fragments are less prominent. The Narao Pyroclastic Flow is interpreted as a debris flow related to an explosive eruption in the sea during deposition of the Hata Formation. That is, hyaloclastic dacitic ejecta mixed with huge mudstone boulders and flowed

down as a gravity slide not far from the explosive center.

[Fossils]

Molluscs such as *Acila divaricata*, *Yoldia glauca*, and *Macoma calcarea* occur as in situ within the alternating beds of mudstone and sandstone. This association suggests the upper bathyal zone (Matsushima, 1982). However, some molluscan fossils in the intercalated conglomerate layers suggest a shallow conditions (Matsushima, 1982).

[Environment]

The paleodepth of the formation is inferred from benthic foraminifers to range from 100 to 300 m in depth (Ishikawa et al., 1983; Huchon and Kitazato, 1984). Volcanic activity was explosive and is considered to have been less active than in the Hinata and Seto Formations, although the Hata Formation was intruded by andesitic dikes and sheets.

5-4. Shiozawa Formation

The Shiozawa Formation is the uppermost unit of the Ashigara Group. The formation was defined by Ishikawa et al. (1983) and followed by Amano et al. (1986), and Imanaga (1989). This formation is equivalent to the A3 Bed of Imanaga (1976, 1977) and the Shiozawa Conglomerate Bed of Imanaga (1978, 1982, 1986). Someno et al.(1984) subdivided the formation into the Lower Shiozawa Formation, the Upper Shiozawa Formation, the Oyama Conglomerate Bed and a bed equivalent to the Tama Loam.

[Type locality]

The formation is exposed well in Shiozawa Valley, where it exhibits a nice alternation of conglomerate and sandstone.

[Thickness]

The thickness of the formation is over 2,300 m.

[Stratigraphic relation]

The Shiozawa Formation conformably overlies the Hata Formation. The boundary between two formations is exposed 100 m south of Shinshimizu Bridge (Fig. 13-Loc.10). The formation is unconformably overlain to the west by the Pleistocene Suruga Gravels (Machida et al., 1975).

[Lithofacies and distribution]

The Shiozawa Formation is mainly present in Yamaichiba Hamlet, Shiozawa Valley, and Morobuchi and Sukima Ham-

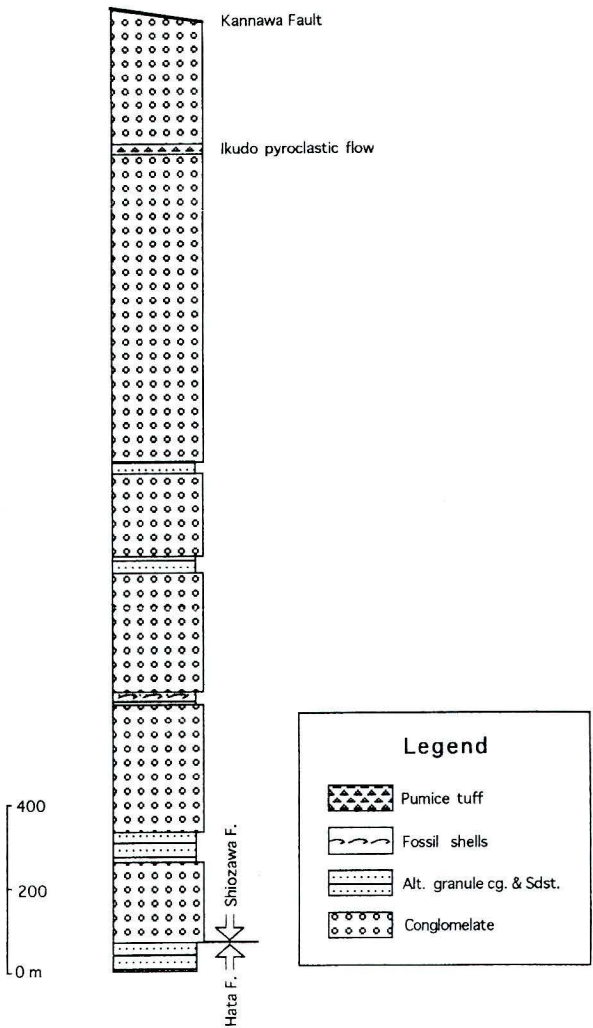


Fig. 16. Columnar section of the Shiozawa Formation



Fig. 15. Sketch of upper horizon of the Narao Pyroclastic flow deposits.

lets in the western part of the Ashigara Mountains, plus a small occurrence in Jizodo Hamlet in the southern part of the Ashigara Mountains. The formation is mainly composed of an alternation of conglomerate and sandstone (Fig. 16). The clasts of conglomerate are subrounded or subangular and poorly sorted and the diameters of the clasts range from cobbles to boulders in size. The clasts of conglomerate are dominantly composed of quartz diorite, amphibolite schist, actinolite schist, chlorite schist and hornfels, all of which are derived from the central part of the Tanzawa Mountains. This groundmass is mainly composed of sand grains of quartz diorite and volcanoclastic rocks of the Tanzawa Group (Plate 4a, 4c). The color of the

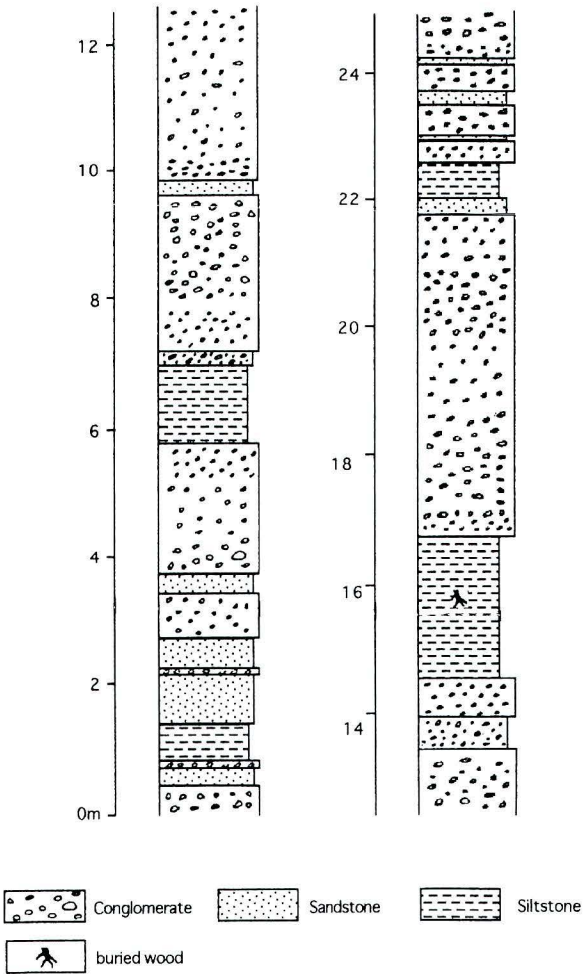


Fig. 17. Columnar section of the middle part of the Shiozawa Formation at Morobuchi quarry.

formation is relatively whitish compared with underlying formations. This formation is easily distinguished from others by the dominant occurrence of fragments of quartz diorite and schist (Plate 4). The alternations of sandstone and pebbly conglomerate are abundant in the lower part, whereas the conglomerate becomes dominant in the upper part of the formation. The sandstone exhibits cross-bedding and graded bedding (Plate 4b).

The ratio of sandstone to conglomerate is 1 : 2.5 at the outcrop in a quarry in Morobuchi that corresponds to the middle horizon of the formation (Fig.17).

Imbrication of the gravel in the conglomerate at the quarry

suggests that the flow direction was from east to west (Ito,1985).

The Shiozawa Formation displays a monoclinal structure dipping to the west. However, the lower 500 m of the Shiozawa Formation show dips of 40-55° NW, while the upper 1800 m shows dips between of 65 to 80° NW.

[Pyroclastic rocks]

Two pyroclastic beds are interbedded in the upper part of the formation. One is the Ikudo Pyroclastic flow (Someno et al., 1984; Ito et al, 1985) exposed in the bed of the Ayusawa River in the vicinity of the Ikudo Electric Power plant. It is 25m and more in thickness and is composed of dacite breccia. This unit can be traced up to 1.5 km to the northeast, to the

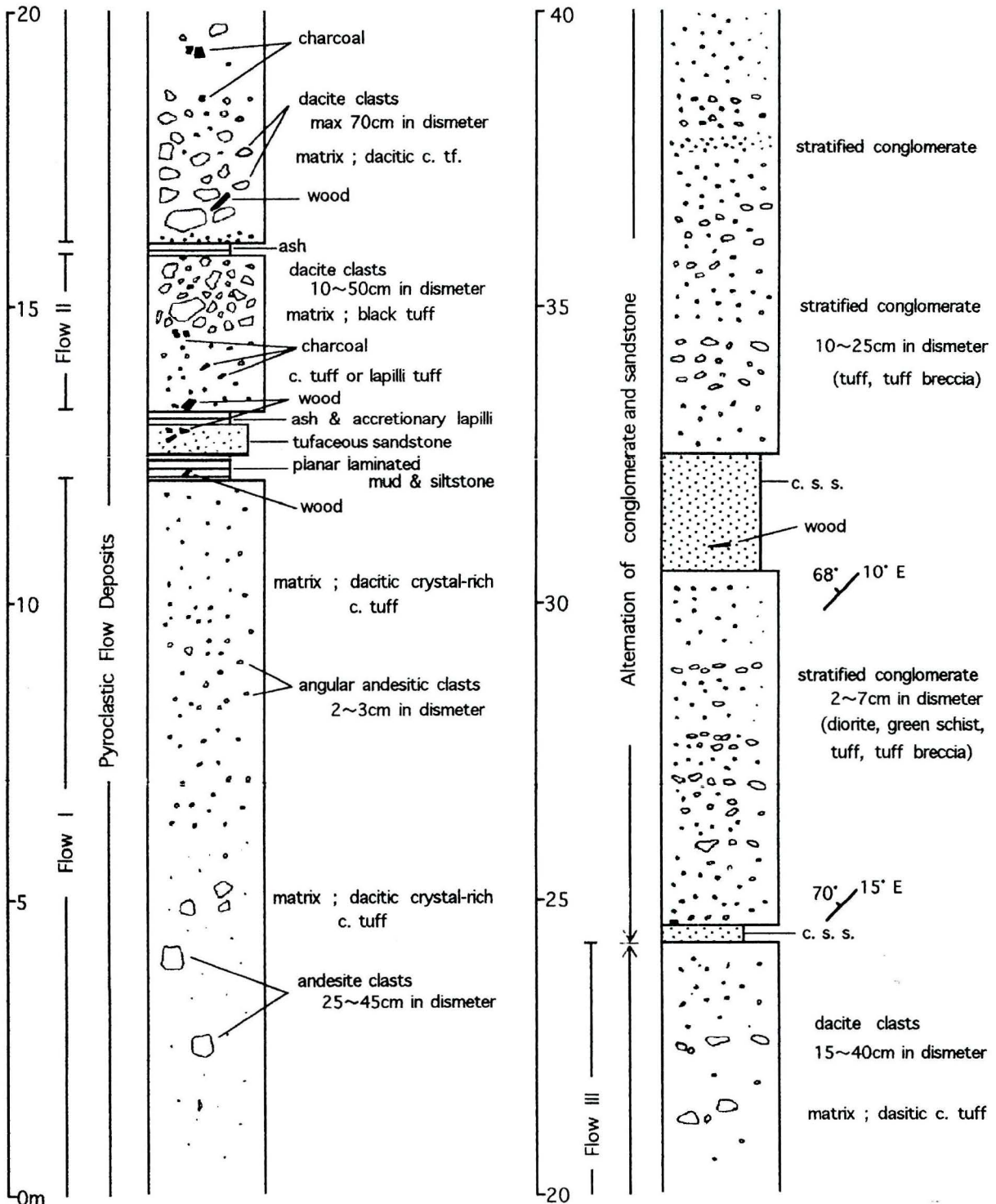


Fig. 18. Columnar section of the Ikudo Pyroclastic Flow.

Shiozawa Valley. This pyroclastic flow can be subdivided into three units in the river bed (Fig. 18), as described below:

Flow unit 1: The total thickness of the Flow unit 1 is more than 12 meters and it can farther be divided into lower, middle and upper parts. Dacitic coarse tuff with scattered boulders of andesites is six meters thick and more in the lower part. Dacitic coarse tuff with andesitic lapilli of 2~3 cm in size, occur in the middle part. Dacitic coarse tuff, 5 meters thick, is present in the upper part. Gray tuffaceous siltstone beds with parallel laminations, tuffaceous sandstone and fine tuff with accretionary lapilli overlie the Flow unit 1.

Flow unit 2: Flow unit 2 is three meters in thickness. Coarse to lapilli tuff with fossil wood occupies the lower part. Black tuffaceous sandstone in association with dacite breccias, which are 20-50cm in diameter, occupies the upper part.

Flow unit 3: Flow unit 3 is an 8-m-thick pyroclastic flow. The basal part is 3 m thick and is composed of dacitic boulders containing fossil wood. The upper part of this unit consists of cobble-sized dacitic clasts.

In Shiozawa Valley, about 1.5 km north of the outcrops in the Ayusawa River, a two-meter-thick dacitic coarse tuff bed is present which consists of the same mineral assemblages as that of the Ikudo Pyroclastic Flow. This tuff bed that contains quartz, plagioclase, hypersthene and hornblende exhibits parallel lamination and includes charcoal fragments. This coarse tuff is thought to be a northern extension of the Ikudo Pyroclastic Flow.

The Kurobyaku pyroclastic deposit (Someno et al., 1984), which is intercalated in the Shiozawa Formation, is present in the Jizodo area in Minami-Ashigara City. This deposit is mainly

composed of andesite breccias and is more than 100 m thick. Two pumice beds are recognized in this deposit. The upper one is a 30-cm-thick white pumice tuff and is characterized by the mineral composition of quartz, biotite, and Na-rich plagioclase.

[Fossils]

About 550 m above the base of the Shiozawa Formation, a shallow molluscan fossil bed is found in fine sandstone to pebbly conglomerate bed that is intercalated in a thick conglomerate. The fossil bed is several meters thick and extends up to 1.8 km along the Kochi River Valley from Yozawa in the north through the entrance of Shiozawa Valley and Morobuchi in the south along the Ayusawa River. The occurrence of fossils of *Crassostrea gigas* (Plate 4c) indicates a shallow embayment (Matsushima, 1982). The proboscidian *Parastegodon* sp. has been found at a quarry in Sukima, in the middle part of the formation (Hasegawa et al., 1986). Fossil wood trunks are also found in the middle and upper portion of the formation (Plate 4f). Calcareous nannofossils do not occur in the formation.

[Environment]

The depositional environments of the Shiozawa Formation can be assigned to shallow marine (about 30 m in depth) in the lower part, and estuarine or terrestrial or a braided river system in the upper part.

6. Igneous activity in the Ashigara Group

Igneous activity was vigorous during deposition of the Ashigara Group, which might have occurred in the region of the plate boundary. A large quantity of andesitic and dacitic pyroclastics and lava flows is present in the group along with

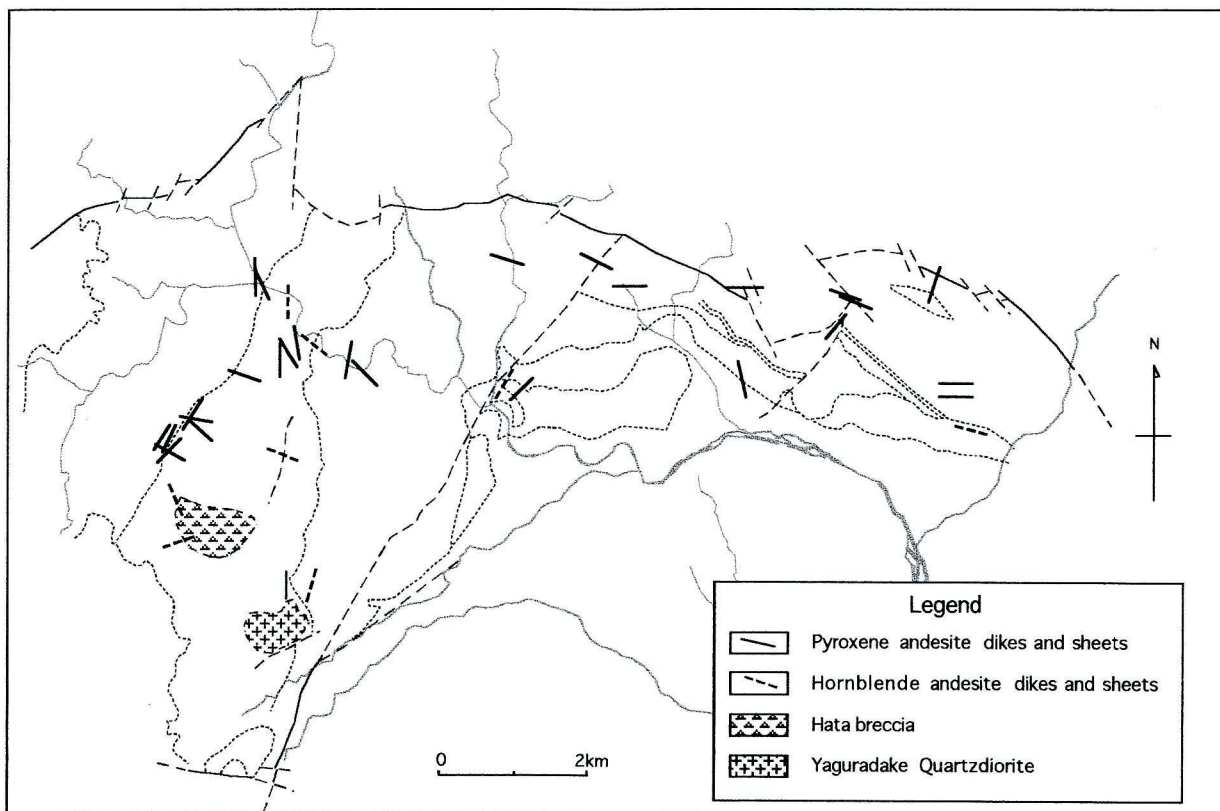


Fig. 19. Distribution and direction of dikes and sheets in the Ashigara Group.

intruded dikes and sheets. The whole rock analyses of the igneous rocks from the Ashigara Group are shown in Table 3.

6-1. Dikes and sheets

More than 30 andesitic dikes and sheets are present in the lower and middle parts of the Ashigara Group (Fig. 19). The thickness of the dikes is commonly up to six meters.

The dike rocks are classified in the pyroxene andesite group, which contains pyroxene phenocrysts, and a hornblende andesite group, which contains hornblende phenocrysts. The pyroxene andesite group is present in the whole study area. Dikes of the hornblende andesite group occur in a restricted area compared to the pyroxene andesite group and is found in the vicinity of the Hatazawa quarry. The SiO₂ content of the hornblende andesite group ranges from 60 to 65 wt%, and that of the pyroxene andesite group from 50 to 62 wt%. The pyroxene andesite group belongs to the tholeiitic rock-series whereas the hornblende andesite group belongs to the calc-alkalic rock series (Figs. 20, 21).

The intrusion of two dike groups within the same time period has been deduced from K-Ar age determinations, as shown in Table 4 and Fig. 22. The boundaries between dikes and sedimentary rocks show straight planes or irregular crooked planes. The irregular crooked planes are thought to have been formed under lower confining pressures and intruded into the Ashigara Group in a semi-solid state. The dikes with straight planes are thought to have intruded under deep confining pressures. This igneous activity may have occurred during or after deposition of the Ashigara Group (Fig. 22). The dominant orientation of the dikes is NW-SE, which suggests maximum horizontal stress in the area when they were intruded (Imanaga, 1980; Amano et al., 1986), although the orientation of the dikes varies between NNW and WNW (Imanaga, 1980).

6-2. Yaguradake intrusive body

Mt. Yaguradake is 870 m high and tributaries from it have developed in every direction except west, as shown in Fig. 23. The Yaguradake intrusive body comprises a quartz diorite mass exposed above the height of 600 m along the tributaries. The boundaries between the intrusive body and its surroundings can be seen along the tributaries. The inclinations of the contact planes between the quartz diorite mass and the Hata Formation are concordant with the bedding planes of the Hata Formation along tributaries Y5, Y7 and Y8 (Figs. 23, 24). The contact of the quartz diorite mass and the surrounding beds shows a lateral slip fault striking N75° E and dipping 48° N at Y9, which is the one of the more southeasterly tributaries. Contact metamorphism of the surrounding mudstone can rarely be observed, although mudstone at the contact on tributary Y9 is weakly metamorphosed.

The central part of the Yaguradake intrusive body consists of medium-grained quartz diorite, and its rim is composed of porphyry. The mineral composition of the mass is hornblende, hypersthene, plagioclase and quartz. The colored mineral is

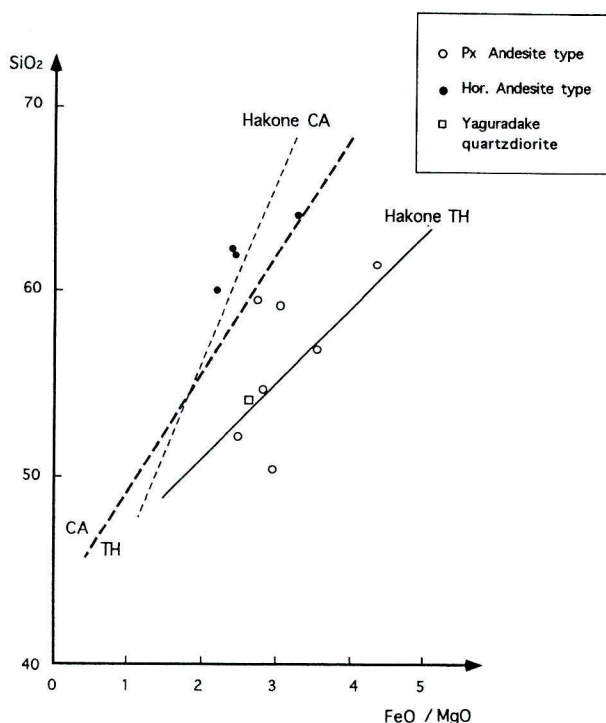


Fig. 20. FeO/MgO-SiO₂ diagram for the rocks of the Ashigara Group.

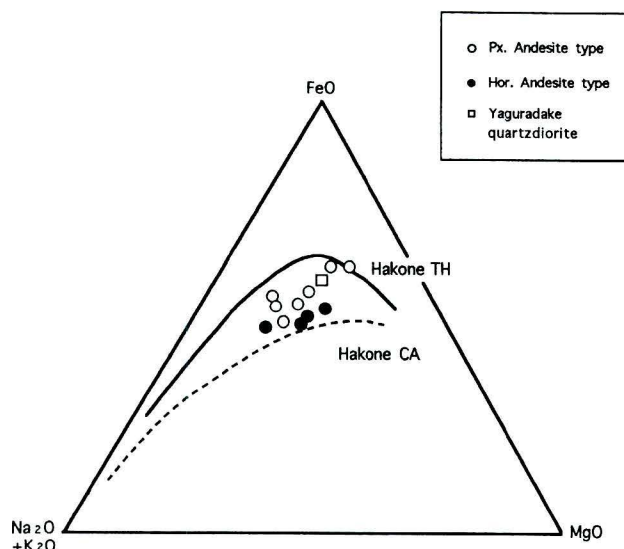


Fig. 21. AMF diagram for the rocks of the Ashigara Group.

mainly composed of hypersthene. The plagioclase is 70-85% anorthite.

The Yaguradake quartz diorite intruded into the lower part of the Hata Formation. The strikes of the Hata Formation are not so disturbed on the north and south sides of the intrusive mass, while the strikes of the formation deviate as they surround the mass on its eastern and western sides. The beds commonly dip 35 to 50 degrees to the west. Based on these observations, it is inferred that the Yaguradake quartz diorite mass intruded parallel to the dip along a bedding plane of the Hata Formation.

The age of the intrusive mass is thought to be 1.15 Ma based on K-Ar dating (Kurasawa et al., 1988) while the deposition of Hata Formation occurred between 1.65 to 1.44-1.26 Ma based on calcareous nannofossils in the present study.

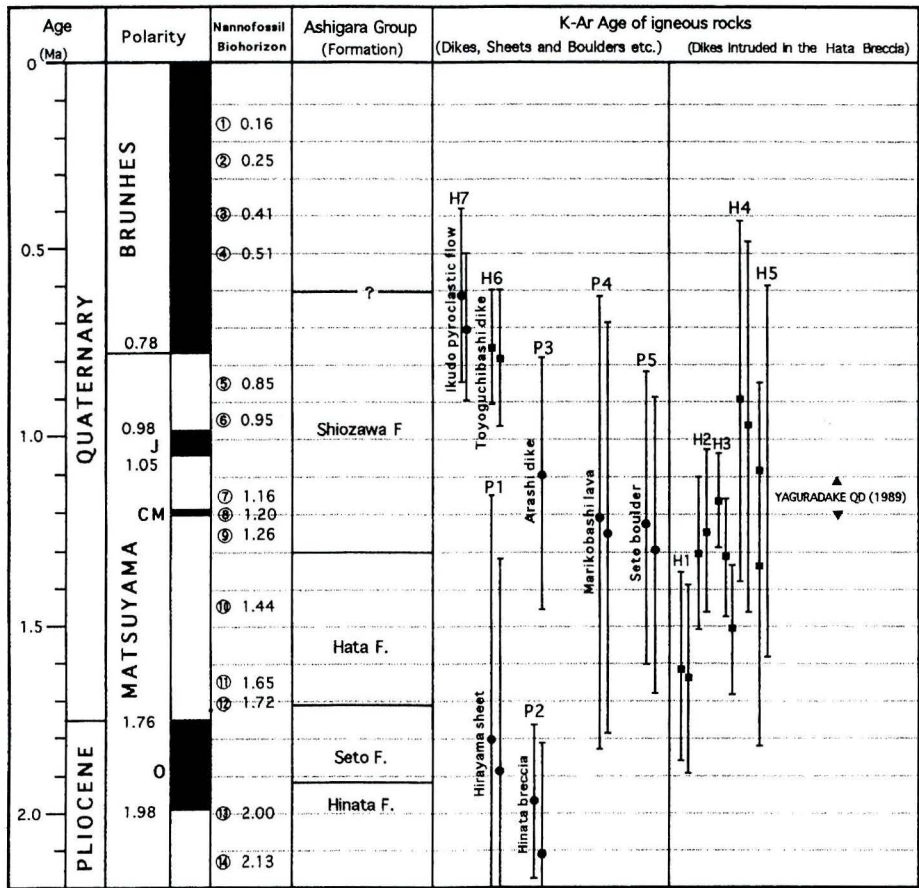


Fig. 22. Geological ages of the strata of Ashigara Group showing ranges of igneous activities.

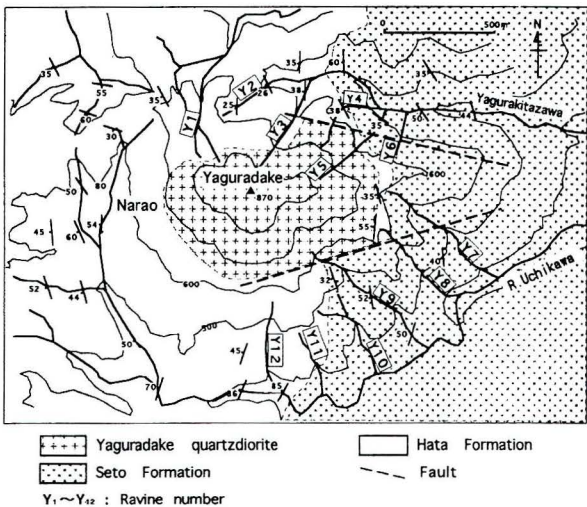


Fig. 23. Geological map of the Yaguradake area.

6-3. Hata vent breccia

The Hata vent breccia is present in the Ninokurakaihatu Co. Quarry, located 2.5 km south of the Sakawa River and 2 km northwest of Mt. Yaguradake. The Hata vent breccia consists of huge boulders of siltstone and andesite (Imanaga, 1977), with the largest boulder over 10 m in diameter. The matrix is poorly sorted and is composed of the same kind of fragments as the huge boulders. Hornblende andesite dikes and sheets were intruded into the Hata vent breccia. The ages of the intruded dikes were determined by K-Ar dating in this study (Table 4 and Fig.22). The bed occurs in an area 1,200 m wide and 500 m high in the middle part of the Hata Formation.

The bed has been interpreted by several authors in various

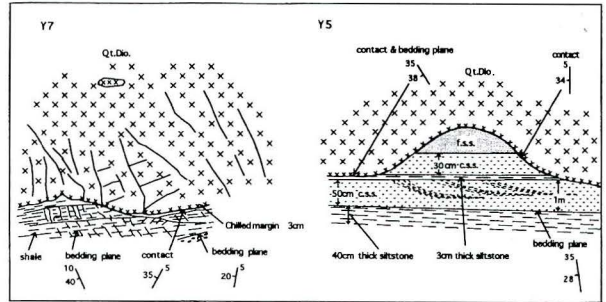


Fig. 24. Contact relationship between the Yaguradake quartzdiorite and the Hata Formation at Y5 and Y7.

ways, as previously mentioned. These include: sedimentary slumping deposits (Imanaga, 1977); volcanic collapse basin deposits (the Yamakita Group) unconformably covering the Ashigara Group (Ashigara Collaborative Research Group, 1983); explosive vent fill (the Hatazawa Vent Fill); a source volcano for the Ikudo Pyroclastic Flow in the uppermost part of the Ashigara Group (Ito et al., 1985); a vent breccia or a diatreme-like body (the Hatazawa Breccia) (Amano et al., 1986); subaqueous caldera collapse breccias (Ito, 1985); the Yamakita Breccia Pipe (Ishida, 1991). The ages of dike rocks intruding into the bed are concentrated between about 1.7 and 0.7 Ma on the basis of whole rock K-Ar age dating (Table. 4; Fig. 22).

The Hata vent breccia is considered to be a subaqueous volcanic breccia that was interbedded in the Hata Formation, while dikes were intruded during and after deposition of the bed. This bed was formed due to subaqueous volcanism, as follows: a subaqueous volcano erupted and made mounds near

Table 3. Chemical composition of the igneous rocks in the Ashigara Group.

		SAMPLE ID	SiO2(wt%)	TiO2(wt%)	Al2O3(wt%)	Fe2O3(wt%)	MnO(wt%)	MgO(wt%)	CaO(wt%)	Na2O(wt%)	K2O(wt%)	P2O5(wt%)	Total(wt%)
1	Takizawa / dike	96040801	52.22	0.83	18.98	10.93	0.18	4.43	10.21	2.07	0.1	0.056	99.99
2	Hinata/ pyroclastic rock	95072807	54.76	0.81	21.36	6.43	0.25	2.28	9.37	3.35	0.73	0.16	99.49
3	Hisari/ lava	95111205	50.59	0.74	22.88	7.73	0.15	2.61	13	1.67	0.22	0.06	99.63
4	Fukazawa/ dike	96122908	59.31	0.79	17.84	8.32	0.19	2.77	6.91	3.05	0.53	0.08	99.78
5	Seto/ dike	97010102	57.07	0.62	20.2	7.36	0.16	2.1	7.33	3.85	0.6	0.1	99.39
6	Tsuburano/ pyroclastic rock	96123004	59.66	0.71	18.06	7.35	0.12	2.72	7.51	3.17	0.59	0.13	100.04
7	Marikobashi/ lava	PL-1	61.77	0.68	16.78	7.34	0.08	1.7	6.88	3.29	0.79	0.11	99.41
8	Ninokura Kaihatsu/ dike	77030804	60.32	0.54	17.81	7.14	0.14	3.39	7.28	2.56	0.43	0.06	99.66
9	Yagurakitazawa/ dike	93030505	64.61	0.41	17.51	5.09	0.21	1.56	6.12	3.25	0.51	0.13	99.39
10	Ninokura Kaihatsu/ dike	95111106	62.26	0.48	17.53	6.18	0.15	2.63	7.31	2.63	0.4	0.08	99.65
11	Ninokura Kaihatsu/ dike	95111106e	62.36	0.49	17.79	6.11	0.15	2.63	6.71	2.89	0.47	0.08	99.67

the explosive vent; the mounds might then have collapsed, so that breccias flowed down into the silty deposits during deposition of the Hata Formation (1.65-1.26 Ma).

7. Geologic Age

It was once thought that the age of the Ashigara Group was Miocene or Pliocene, because intense folding and solidification can be observed in the strata (Kuno,1951). In the 1980's, however, some geologists argued that the age of deposition was early to middle Pleistocene. Mastodon fossils (Parastegodon sp.) were found in the middle part of the Shiozawa Formation (Hasegawa et al., 1986). Furthermore, the shallow water molluscan fauna in the group does not contain extinct species, such as Umbonium costatum that range younger than the middle Pleistocene (Matsushima, 1982). Ishikawa et al. (1983) and Huchon and Kitazato (1984) insisted that the Ashigara Group was deposited in the early to middle

Pleistocene based on calcareous nannofossils. Okada (1987) concluded that the Neishi Formation, the lowest part of the Ashigara Group, is early Pleistocene, whereas the Seto Formation in the middle part of the Ashigara Group belongs to the middle Pleistocene. Koyama (1986) examined paleomagnetic polarity in the Ashigara Group and found both normals and reversals in the Shiozawa Formation. Koyama (1986) correlated the change from reversed to normal polarity in the upper Shiozawa Formation with the change from the Matuyama reversed polarity chron to the Brunhes normal polarity chron (0.78 Ma). Amano et al. (1986) considered the paleomagnetic polarity of the group and concluded as follows: the lowermost Neishi Formation has reversed polarity; the Seto Formation has normal polarity; the Hata Formation and lower Shiozawa Formation have reversed polarities and the upper Shiozawa Formation has normal polarity. Amano et al. (1986) correlated the change from reversed to normal polarity in the

Table 4. K-Ar age (whole rock) of igneous rocks in the Ashigara Group.

NO.	ROCK FACES	ROCK TYPE	LOCALITY	NUMBERS IN LABORATORY	SAMPLE TYPE	POTASSIUM (K wt%)	Rad. 40 Ar (10-8 cc/g)	K-Ar AGE (Ma)	AIR CONT. (%)
P.1	Sheet	Andesite	Hirayama	SH7-330 -345	Whole Rock	0.45 0.05	3.28±0.91 3.19±1.08	1.88±0.56 1.80±0.64	94.9 95.7
P.2	Breccia	Andesite	Hinata	SH7-312 -313	Whole Rock	0.58 ±0.04	4.38±0.57 4.68±0.57	1.96±0.28 2.10±0.29	89.2 88.5
P.3	Dike	Andesite	Arashi	S12-324	Whole Rock	0.3 ±0.00	1.29±0.02	1.11±0.33	92.7
P4	Dike	Andesite	Marikobashi	SH7-352 -353	Whole Rock	0.61 ±0.04	2.88±1.42 2.90±1.27	1.22±0.60 1.23±0.54	96.7 96.7
P.5	Dike	Andesite	Minasegawa	SH7-314 -315	Whole Rock	0.4 ±0.04	1.99±0.57 1.87±0.57	1.28±0.39 1.21±0.39	94.8 95.1
H.1	Dike	Andesite	Ninokura quarry		Whole Rock	0.29 ±0.04	1.80±0.06 1.84±0.11	1.60±0.25 1.63±0.26	94 94.4
H.2	Dike	Andesite	Ninokura quarry		Whole Rock	0.29 ±0.04	1.47±0.06 1.40±0.11	1.30±0.20 1.24±0.21	94.8 95.8
H.3	Dike	Andesite	Ninokura quarry		Whole Rock	0.37 ±0.04	1.66±0.06 1.58±0.09 2.16±0.12	1.16±0.12 1.31±0.15 1.50±0.17	92.2 92.4 92.1
H.4	Dike	Andesite	Ninokura quarry	SH7-346 -347	Whole Rock	0.22 ±0.03	0.74±0.39 0.80±0.39	0.89±0.48 0.96±0.49	97 96.8
H.5	Dike	Andesite	Ninokura quarry	SH7-350 -351	Whole Rock	0.23 ±0.03	1.16±0.38 0.95±0.41	1.33±0.48 1.08±0.49	95.5 96.5
H.6	Dike	Andesite	Toyoguchi, Yamakita	SH7-348 -349	Whole Rock	0.7 ±0.04	2.13±0.46 2.04±0.37	0.79±0.18 0.76±0.15	90.5 91.2
H..7	Ikudo py. flow	Dacite	Ayusawagawa, Oyama	SH7-354 -356	Whole Rock	0.33 ±0.03	0.90±0.22 0.78±0.28	0.71±0.19 0.62±0.23	92.8 95

H.1, H.2 and H.3 are data of Hot Spring Research Institute of Kanagawa prefecture(1992)

upper part of the Shiozawa Formation with the change from the Matuyama reversed polarity chron to the Brunhes normal polarity chron (0.78 Ma), but they evidently did not assign the Seto Formation to any magnetic polarity chron.

K-Ar ages of andesitic dikes, sheets and pyroclastic rocks in the Ashigara Group were analyzed with the help of the Mitsubishi Material Co. (Imanaga & Yamashita, in press)(Table 4).

Three samples, P.1, P.2 and H.6, are evaluated from the Hinata Formation as follows: 1.88 ± 0.56 and 1.80 ± 0.64 Ma from a pyroxene andesite sheet at Hirayama; 1.96 ± 0.28 and 2.10 ± 0.29 Ma from pyroclastic rocks at Hinata; and, 0.79 ± 0.18 and 0.76 ± 0.15 Ma from a hornblende andesite dike at Toyoguchi, Yamakita Town, respectively. From the Seto Formation, 2 samples, P.4 and P.5, are evaluated as follows: 1.22 ± 0.6 and 1.23 ± 0.54 Ma from brecciated lava at Marikobashi; and, 1.28 ± 0.39 and 1.21 ± 0.39 Ma from andesitic conglomerate boulder at Minase. From the Shiozawa Formation, 2 samples, H.7 and P.3 are evaluated as follows: ages of 0.71 ± 0.19 and 0.62 ± 0.23 Ma are reported from the Ikudo pyroclastic flow and an age of 1.11 ± 0.33 Ma is reported from a pyroxene andesite dike at Arashi.

Calcareous nannofossils were examined from the bottom to the top of the Ashigara Group at 53 points with the help of Dr. Tokiyuki Sato of Akita University (Fig. 25). Although the Ashigara Group does not contain calcareous nannofossils in abundance, several datum planes were identified (Table 5).

Samples Sa-1, -2, -5, -6, and Tk-2: Sa-1 and Sa-2 were collected from the Hinata Formation and samples Sa-5, -6 and Tk-2 were collected from the Seto Formation (Fig. 25). These samples contain small *Gephyrocapsa* sp. but not *Gephyrocapsa caribbeanica* or *Gephyrocapsa oceanica* at all, and they also yield *Calcidiscus macintyreii*. The samples collected from the Hinata and Seto Formations indicate placement in the upper-

most Pliocene. Hence, these formations are assigned an age earlier than the first appearance datum of *G. caribbeanica* (1.72 Ma).

The samples Sa-10, -11, -12, -13, -14, Hz-1, -3, Ji-4, -5, and Hw-2, -5 and -6 were collected from the Hata Formation (Fig. 25). They contain *G. caribbeanica* and *G. oceanica* but not the large *Gephyrocapsa* sp. that are the characteristic of the middle Pleistocene. These samples also yield *Helicosphaera sellii* which is a fossil representative of the middle Pleistocene. Therefore, these samples are assigned an age between 1.65 and 1.44 Ma. The Pliocene-Pleistocene boundary is put between the samples Sa-6 and Sa-10, which coincides with the boundary between the Seto and the Hata Formations (Table 5).

In samples Hw-7, -8, -9, -10, -11 and -13 (Fig.25) large *Gephyrocapsa* which are over 6 microns along major axes, and *H. sellii*, are found. They are assigned to the period between the first appearance datum (FAD) of large *Gephyrocapsa* (1.44 Ma), and the last appearance datum (LAD) of *H. sellii* (1.26 Ma), or middle Pleistocene.

Samples Sa-16, -17, -18, -19, -20, -21, -22 and -23 (Fig. 25) from the middle and upper parts of the Shiozawa Formation yield no calcareous nannofossils. The upper Shiozawa Formation is thought to have been deposited in the tidal zone or on the alluvial plane.

The K-Ar age determinations for P.4 and P.5 show a difference from the nannofossil biostratigraphical ages (Fig.22). However, the results of other K-Ar age determination almost directly contradict those based calcareous nannofossils. The combined results of calcareous nannofossils, K-Ar ages and palaeomagnetic studies assign the Ashigara Group to the Plio-Pleistocene. The Hinata Formation (= Neishi Formation of Amano et al., 1986) is estimated to be older than the Olduvai subchron, judging from its reversed polarity (Amano et al.,

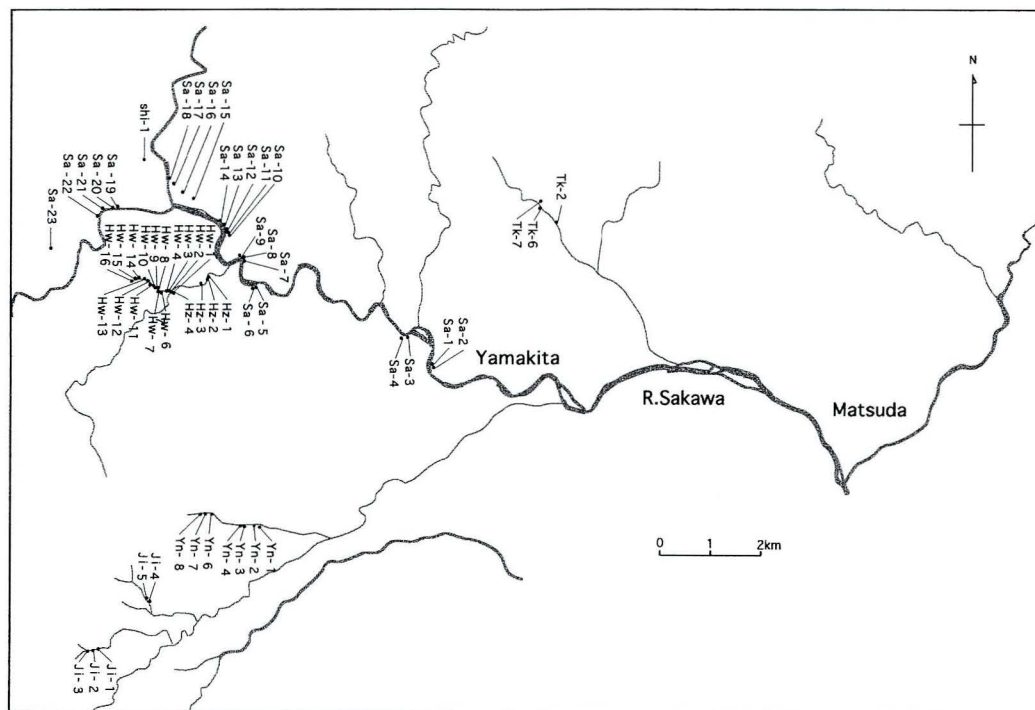


Fig. 25. Sampling localities of calcareous nannofossils in the Ashigara area.

Table 5. Distribution of calcareous nannofossils in the Hinata, Seto, Hata and Shiozawa Formations.

identified by T. Sato of Akita University																				
Age	Formation	Sample No.	<i>Calcidiscus leptoporus</i>	<i>Calcidiscus macintyreii</i>	<i>Coccolithus pelagicus</i>	<i>Discolithina japonica</i>	<i>Discolithina cf. japonica</i>	<i>Gephyrocapsa caribbeanica</i>	<i>Gephyrocapsa caribbeanica</i> (large)	<i>Gephyrocapsa oceanica</i>	<i>Gephyrocapsa oceanica</i> (large)	<i>Gephyrocapsa</i> sp. (small)	<i>Helicosphaera carteri</i>	<i>Helicosphaera sellii</i>	<i>Pseudoemiliania lacunosa</i>	<i>Reticulofenestra</i> sp. (small)	<i>Umbilicosphaera sibogae</i>	<i>Discoaster surculus</i>	<i>Discoaster</i> sp.	nannofossil datum
P L E I S T O C E N E	Shiozawa	Hw-13				X		X	X	X	X	X	X	X	X					Top of <i>H. sellii</i>
	Shiozawa	Hw-11	X					X	X	X	X	X	X	X	X					
	Shiozawa	Hw-10	X	X				X	X	X	X	X	X							
	Shiozawa	Hw-9	X	X				X	X	X	X	X	X							
	Shiozawa	Hw-8	X	X				X	X	X	X	X	X							
	Hata	Hw-7	X	X		X	X	X	X	X	X	X			X					Bottom of large <i>Gephyrocapsa</i>
	Hata	Hw-6			X			X		X		X								
	Hata	Hw-5	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X					
	Hata	Hw-2						X	X	X	X									
	Hata	Ji-5	X					X	X	X	X	X		X	X					
	Hata	Ji-4	X					X	X	X	X					X		R		
	Hata	HZ-3	X	X				X	X	X	X		X			X				
	Hata	HZ-1	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X			R	
	Hata	Sa-15	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	Hata	Sa-14	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X				
	Hata	Sa-13	X	X				X	X	X	X	X	X	X		X	X			
	Hata	Sa-12	X	X				X	X	X	X				X	X				
	Hata	Sa-11	X	X				X	X					X	X					
	Hata	Sa-10	X	X				X	X					X	X					Bottom of <i>G. oceanica</i> and Top of <i>C. macintyreii</i>
U P P E R P L I O C E N E	Seto	Sa-6			X							X			X	X				Below Bottom of <i>G. caribbeanica</i>
	Seto	Sa-5	X	X	X							X	X			X	X			
	Seto	Tk-2	X	X	X							X		X	X	X				
	Hinata	Sa-2	X	X	X							X				X				
	Hinata	Sa-1	X	X	X							X				X				

1986) and calcareous nannofossils (Table 5). The Seto Formation is reported as a normal polarity chron (Amano et al., 1986) and is assigned an age greater than 1.72 Ma using calcareous nannofossils. The normal polarity chron of the Seto Formation is correlated with the Olduvai subchron. The Seto Formation is assigned an age ranging from 1.98 Ma to 1.72 Ma (Table 2). Most of the Hata Formation is placed between 1.72 and 1.44 Ma based on calcareous nannofossils. The uppermost part of the Hata Formation and the lowest part of the Shiozawa Formation are estimated as 1.44 Ma to 1.26 Ma from calcareous nannofossils. Kano et al. (1988) suggested that the lower part of the lower Shiozawa Formation has normal magnetic polarity. The change from reversed to normal polarity is placed in the upper Shiozawa Formation as previously mentioned. This magnetic change may be correlated in three cases ways: 1) Matuyama reversed polarity chron to Cobb Mountain normal polarity subchron or 2) Matuyama reversed polarity chron to Jaramillo normal polarity subchron, and or 3) Matuyama reversed polarity chron to Brunhes normal polarity chron. A K-Ar age of 0.71-0.62 Ma was measured in the upper part of the Shiozawa Formation (Ikudo pyroclastic flow). As a result, the magnetic change in the upper Shiozawa Formation may be correlated with the Matuyama reversed to Brunhes normal chron. The youngest age of the Ashigara Group is 0.78 Ma. for the Shiozawa Formation.

8. Geological structure

8-1. Folding

The Ashigara Group has a half-dome structure that plunges to the northwest (Fig. 26). The northern end of the group is set off by the Kannawa Fault (Figs. 26). The half-dome structure is divided into eastern and western parts by a NW-SE anticlinal axis (Fig. 26). The east wing of the half-dome has a strike that runs WNW-ESE and dips 20 to 80 degrees to the north. The west wing has a general strike of NNE to SSW and the dips vary from low angle to nearly vertical.

Strike lines encircle the Yaguradake intrusive mass to both the east and west (Figs. 23, 27). The intrusive mass is estimated to incline 35-55 degrees to the west. Southern border of the intrusive mass is in contact with the deposits by a small strike slip fault, running in an ENE to WSW direction with a dip 48 degrees toward the north.

To the north and south of the Yaguradake quartz diorite mass two synclines plunge SW or WSW. One is to the north of the Yaguradake quartz diorite mass. The east-west trending ridge from the northern foot of the Yaguradake diorite mass is concordant with the strikes on the northern wing of the syncline (Figs. 26 and 27). The other synclinal structure extends from the south of Mt. Yaguradake to Ashigara Pass (Fig. 27).

The structure of the Ashigara Group in the southern part of its area of occurrence, in the vicinity of Jizodo, is complicated

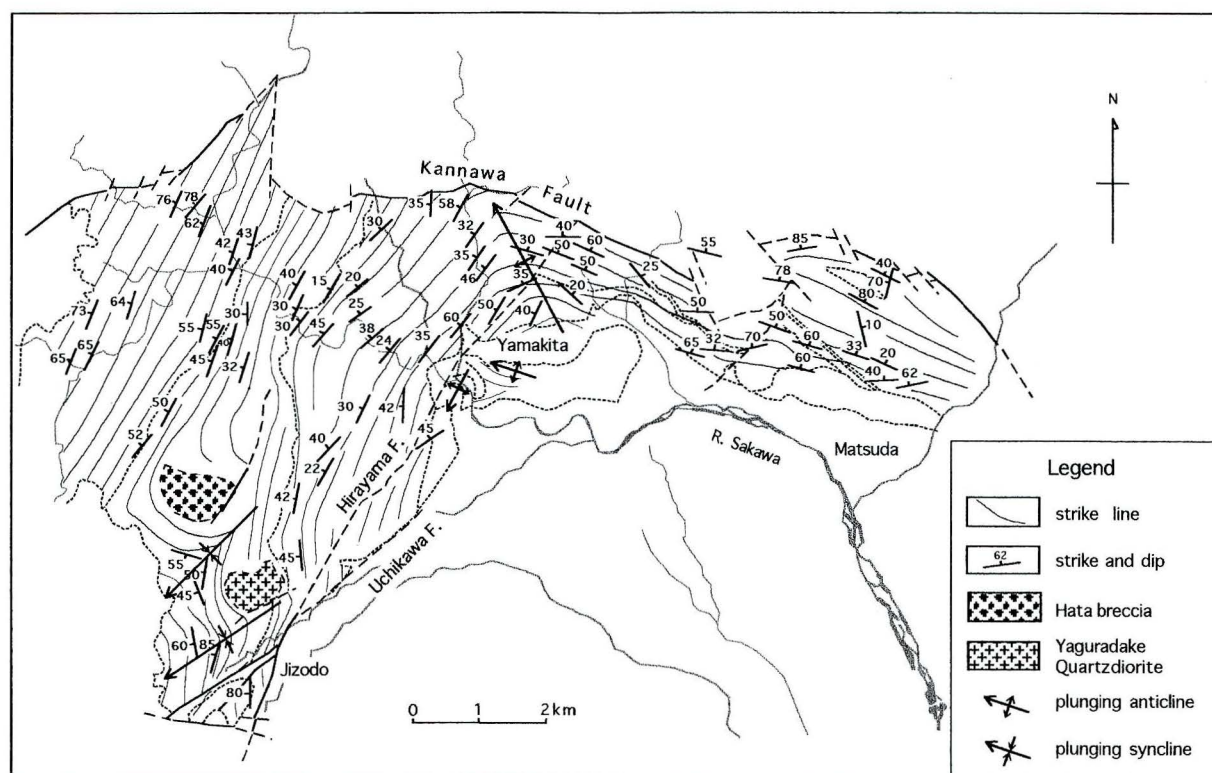


Fig. 26. Structure of the Ashigara Group.

due to lateral faults such as the Uchikawa, Joyama (formerly named Teizan), and Hirayama Faults that run in NE-SW or NNE-SSW directions (Fig 27). The Uchikawa and Joyama Faults, with ENE-WSW trends, separate the strata of the Ashigara Group into three parts. Beds to the north of the Uchikawa Fault strike N-S or NNE-SSW with dips to the west. The strata between the Uchikawa Fault and Joyama Fault strike from E-W to ENE-WSW and dip to the south or are nearly vertical (Fig. 27). The strata of the southern block, south of the Joyama Fault, strikes in a N-S direction and dips from west to almost vertical.

The Ashigara Group in the south of the distribution area is unconformably overlain by the Hakone old somma lavas, but in some places these units have a fault contact.

In the eastern part of its distribution area, in and around Mt. Matsudayama, the structure of the Ashigara Group is complicated. Two lenticular block of the Tanzawa Group are present in the mountain. One of these extends in a NW-SE direction and covers the northeast flank of Mt. Matsudayama, separated from the Ashigara Group by faults (Kanagawa Pref. Gov., 1957). The other long and narrow lenticular strip of the Tanzawa Group exposed between the faults in the southern slope of Mt. Matsudayama extends in a WNW-ESE direction (Imanaga, 1986). A number of small faults trending NE-SW are present on Mt. Matsudayama (Imanaga, 1972). Another NE-SW trending fault along the Neishi Valley displaces the Hinata and Seto Formations for about 0.5 km left laterally. Tsunoda (1997) insisted that the upper Miocene Matsudayama Formation is present on Mt. Matsudayama, but it can merely a lenticular block of the Tanzawa Group which is separate from the Ashigara Group.

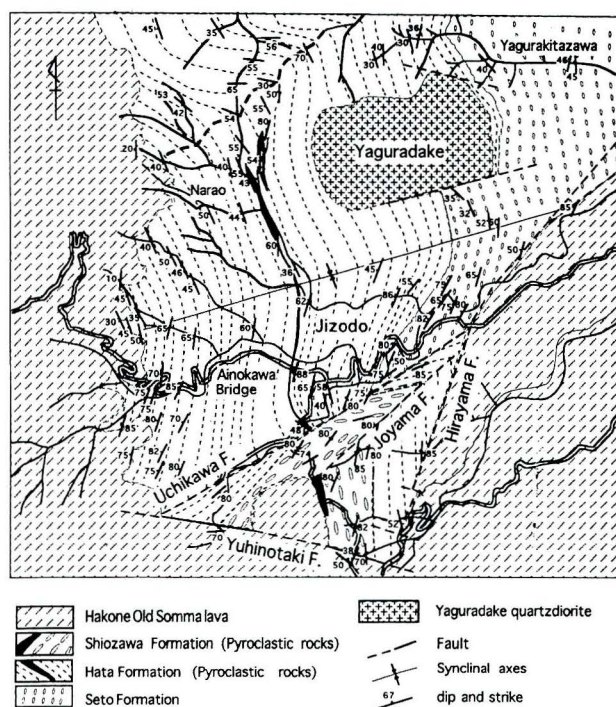


Fig. 27. Geological map of Jizodo area.

8-2. Faults

Among many faults developed in the Ashigara area, the major ones are the Kannawa, Hirayama, Joyama, Uchikawa and Yuhinotaki Faults.

8-2-1. Kannawa, Hirayama, and Uchikawa Fault

The Kannawa Fault is traced in an E-W direction of the southern slope of the Tanzawa Mountains about 20 km from Matsuda Town in the east to Oyama Town in the west (Fig. 28),

then it disappears in the upper Pleistocene Suruga Gravels in the vicinity of Oyama Town. It buries itself under the Hakone and Fuji volcanic ash to the northwest of Oiso Hill. It is a reverse fault which separates the Miocene Tanzawa Group from the Pliocene to Pleistocene Ashigara Group. The Kannawa Fault is also thought to be the boundary between the Philippine Sea Plate and the Eurasian Plate (Sugimura, 1972). The fault planes appear clearly west of the Kouchi River (Fig. 28). The Kannawa Fault trace traverses the upper part of the Seto Formation and all of the Hata and Shiozawa Formations (Fig. 4).

The thickness of the Hata and Shiozawa Formations are more than 2900 m thick and the amount of dislocation is estimated at over 3,000 m.

The Kannawa Fault or a similar fault first appeared during deposition of the Seto Formation and continued its movement during deposition of the Shiozawa Formation.

There exist some NE-SW trending sinistral slip faults showing dip-slip movement in the western part of the Kannawa Fault (Shiozawa fault system). These coexist with NW-SE

trending dextral faults that have dip-slip movement (Nakatugawa fault system) in the eastern part of the Kannawa Fault, and cut and dislocate the Kannawa Fault laterally (Sato, 1976; Hoshino and Hase, 1977; Kano et al., 1978; Kano et al., 1984). Figs. 28, 29 and 30 show the distribution of strikes and dips observed along the western trace of the Kannawa Fault. The striations observed on the E-W trending fault plane suggest NW-SE trending compressive stress, whereas striations on the NE-SW sinistral fault plane indicate NNE-SSW compressive stress as shown in Figure 30.

The NE-SW or NNE-SSW faults are developed in the Ashigara area as shown in Figures 4 and 5.

The Uchikawa Fault exposed along the Uchikawa River extends in the $N60^{\circ}E$ direction and dips vertically, and it cuts the Ashigara Group left-laterally. The eastern extension of the fault is buried under the Hakone pumice flow deposits that have a 50,000 B.P. age.

The Hirayama Fault is well exposed at a cliff of the Sakawa River near an electric power plant in Hirayama Hamlet where

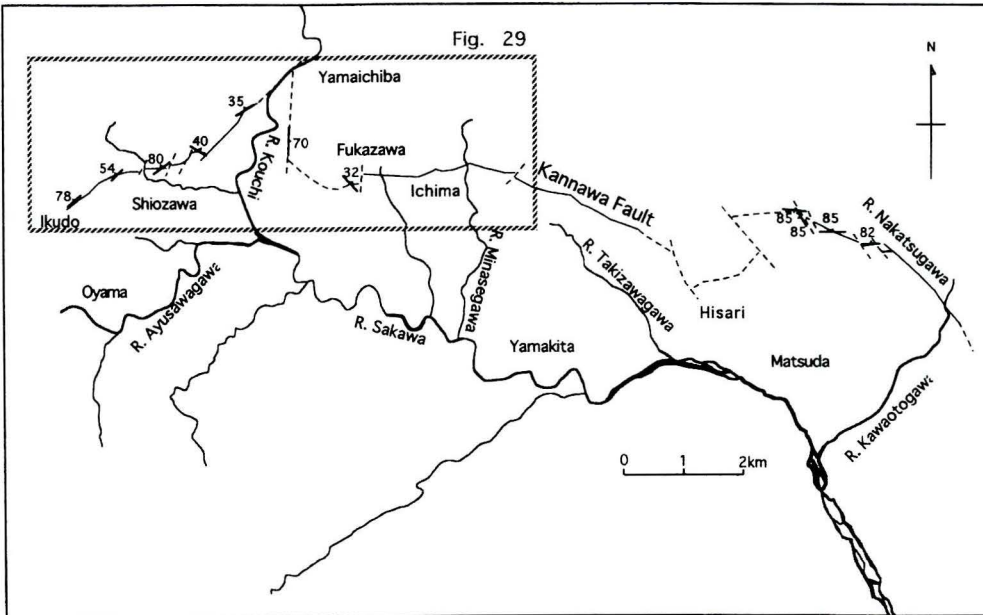


Fig. 28. E-W extension of the Kannawa Fault in the Ashigara area.

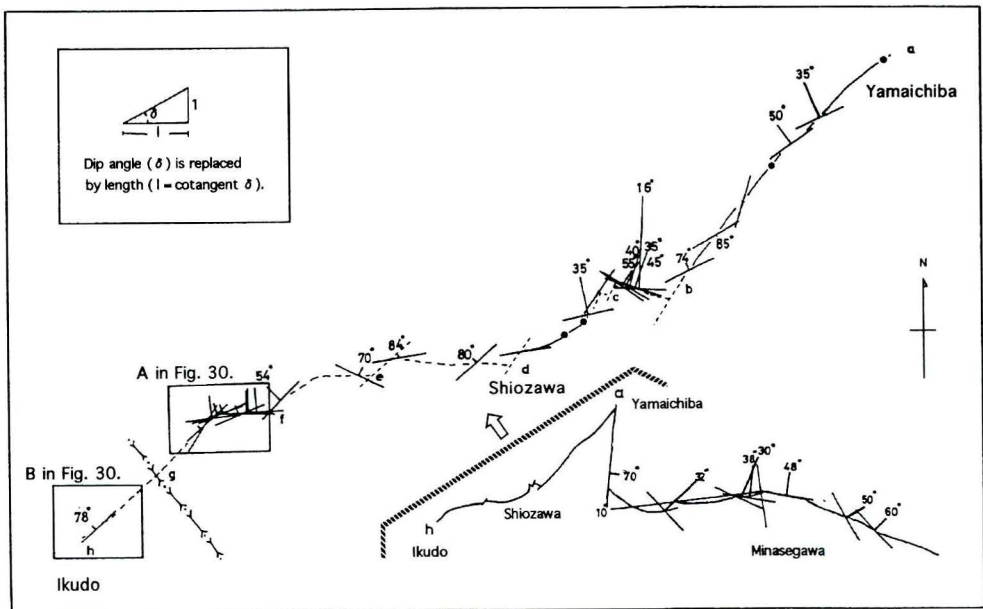


Fig. 29. Strike and dip angles of the fault plane on the Kannawa Fault.

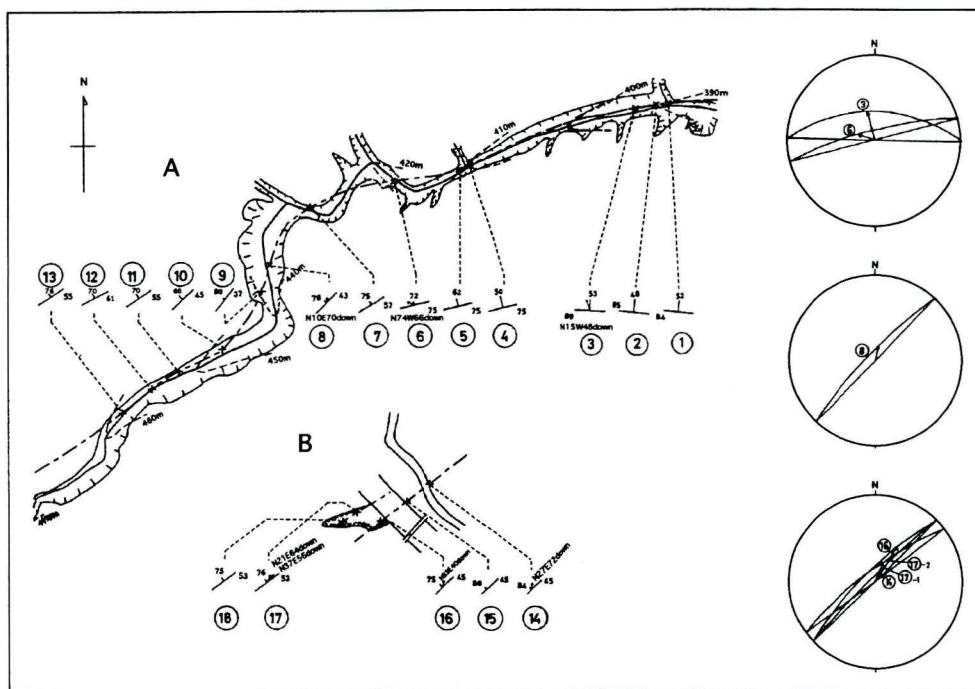


Fig. 30. Strike and dip of the fault plane along the western extension of the Kannawa Fault at Shiozawa Valley (A) and Ikudo Valley (B).

the fault shows the $N30^{\circ}$ E strike and 60° W dip (Imanaga, 1981, Ito et al., 1987, 1989). The Seto Formation contacts the Hinata Formation along the Hirayama Fault. The hanging wall of the Hirayama Fault is the Seto Formation, and the foot wall is the Hinata Formation (Figs. 4, 5, 7). The Hinata Formation was deformed due to compressive stress as shown in Fig. 10. An andesitic sheet which intruded into the shale of the Hinata Formation on the foot wall was cut by a set of minor thrust faults, and segments of the sheet rock were dislocated. The Hirayama Fault extended southwest from Hirayama to the Jizodo area (Amano et al., 1984).

The Seto Formation rode over the old Hakone somma ejecta along the Hirayama Fault in the area to the east of Jizodo (Fig. 27).

The Yuhinotaki Fault is in the Jizodo area, which separates the Ashigara Group from the old Hakone somma ejecta, and is a normal fault striking $N80^{\circ}$ W and dipping 70 degrees to the south.

8-2-2. Hinata Fault

The Hinata Fault is a thrust fault with strike slip movement extending in an E-W direction (Soh, 1995). The Hinata Fault is well exposed along the river bed south of the Takase Bridge near Hinata Hamlet (Figs. 5 and 7). The Hinata Formation of an alternation of sandstone and siltstone striking in a NE-SW direction and dipping at a high angle to the south, thrust up to the south at localities A (95 m downstream from Takase Bridge) and B (140 m downstream from A point) (Fig. 7). The Hinata Fault was considered to be the southern border of the Ashigara Group by Soh (1995), but I think that this fault is not a main boundary fault. The Ashigara Group is distributed in the south of the Hinata Fault at Ganzawa Valley, southwest of Hinata (Fig. 7).

9. Fossils

The calcareous nannofossil flora in the Ashigara Group was reexamined with the help of Dr. Tokiyuki Sato of Akita University. As a result, the Ashigara Group is assigned to the upper Pliocene to lower Pleistocene.

Molluscan fossils occur in the middle and upper parts of the Ashigara Group. The Hata Formation yields a number of molluscan fossils that indicate an upper bathyal zone, such as *Acila divaricata*, *Yoldia glauca*, and *Macoma calcarea*, and the Shiozawa Formation yields fossils such as *Meretrix lussoria*, *Dosinorbis japonicus*, *Dosinella penicillata*, *Paphia euglypta*, *Crassostrea gigas* and *Trapezium liratum* that indicate a shallow or brackish embaymental environment (Matsushima, 1982). The upper part of the Shiozawa Formation yields fossil plants.

A detailed account of fossils and their locations of the Ashigara Group documented mostly by Matsushima (1982) is summarized as below.

Loc. A, riverbed of the Kochi River at Yozawa, Yamakita Town. Fossil beds are intercalated in sandstone and produce *Crassostrea gigas*.

Loc. B, riverbed of the Kouchi River at Kawanishi, Yamakita Town. Molluscan fossils are of subtidal and inter tidal zone characterized by *Meretrix lusoria*, *Dosinorbis japonicus*, *Macoma incongrua*, *Nitidotellina nitidula* and *Mya arenaria oonogai*.

Loc. C, entrance of Shiozawa valley in Yamakita Town. *Dosinella penicillata*, *Dosinorbis japonicus*, *Panopea japonica*, *Mya arenaria oonogai*, *Macoma tokyoensis*, *Meretrix lusoria* and *Umbonium costatum* were reported from this locality.

Loc. D, Morobuchi, Yamakita Town. It yields mollusca such as *Crassostrea gigas*, *Trapezium liratum* and *Macoma incongrua*, *Chiazacmea pygmaea lampanicola* and *Littorina brevicula*.

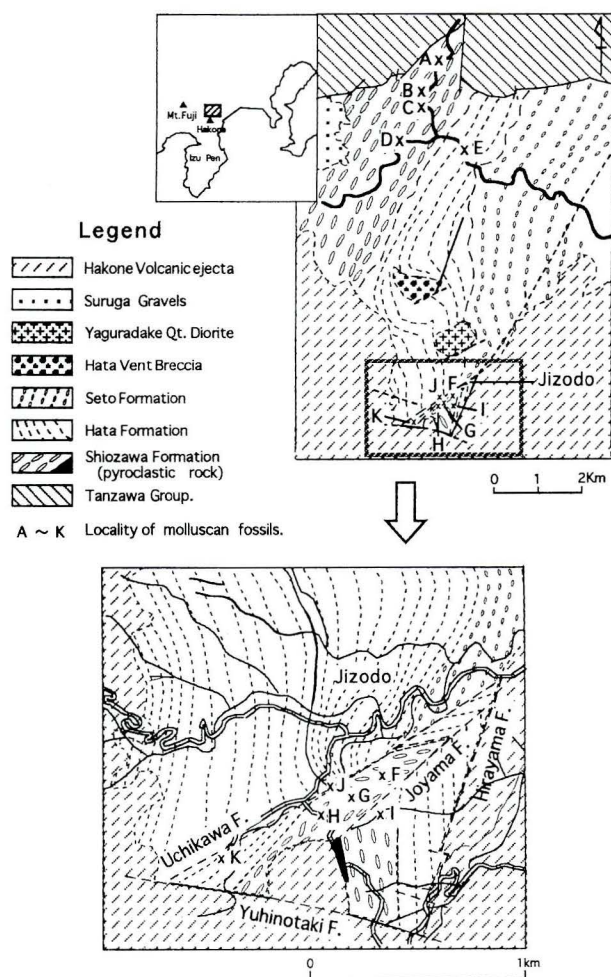


Fig. 31. Molluscan fossil localities in the Ashigara Group.

Loc. E, Arashi, Yamakita Town. Conglomerate bed produce fossils such as *Umbonium costatum*, *Cryptonatica janthostomoides*, *Buccinum* cf. *Leucostoma*, *Atrina pectinata japonica*, *Chlamys* sp., *Acesta goliath* and *Ostrea* sp. The fossils also found in the alternation of mudstone and sandstone such as *Acila divaricata*, *Yoldia glauca*, *Yoldia* sp., *Nuculana yokoyama* and *Macoma calcarea*.

Loc. F, Hamagurizawa in Jizodo, Minami-Ashigara City. Fossil beds are intercalated in sandy mud beds and produced *Crassostrea gigas*, *Trapesium liratum*, *Dosinorbis japonicus*, *Meretrix lusoria* and *Mya arenaria oonogai*. This assemblage indicates a muddy bottom condition of a inner bay.

Loc. G, Joyama in Jizodo. Two molluscan fossil beds are found and they are probably the western extension of the Hamagurizawa beds. Molluscan fossils such as *Crassostrea gigas*, *Trapesium liratum*, *Macoma incongrua*, *Tapes philippinarium*, *Littorina brevicula*, *Reticunassa festiva*, *Meretrix lusoria*, *Dosinorbis japonicus*, and *Umbonium costatum*, were yielded. The molluscan association indicates a inner bay or tidal zone of sandy mud bottom environment.

Loc. H, road-side of Kokubiyakurindo. It yields *Dosinella penicillata*, *Paphia euglypta*, *Paphia chnelliana*, *Clementia vatheleti*, *Macoma praetexta* and *Panopea japonica*.

Loc. I, a tributary of the River Karikawa at south of Joyama, southern area of Joyama Fault. Molluscan fossils are of subtidal

and intertidal zone such as *Meretrix lusoria*, *Dosinorbis japonicus*, *Mya arenaria oonogai*, *Solen strictus*, *Panopea japonica*, *Rapana venos* and *Tonna luteostoma*.

Loc. J, a ruin of quarry at Joyama. Molluscan fossils are characteristic of upper bathyal zone such as *Acila divaricata*, *Nuculana yokoyamai*, *Yoldia glauca*, *Yoldia* sp., *Limopsis tokaiensis* ? and *Solamen* cf. *Spectabilis*.

Loc. K, the entrance of the Yuhinotaki fall. The bed yields molluscan fossils that indicate a upper bathyal zone such as *Ennucula niponica*, *Sarepta speciosa*, *Volutharpa perryi*, *Umbonium* sp. and *Clementia vatheleti*.

10. Tectonic history of the Ashigara area

Sedimentation of the Ashigara Group took place in the late Pliocene, earlier than 2.0 Ma as evaluated from calcareous nannofossil biochronology, K-Ar dating and a paleomagnetic study. At that time, the Philippine Sea Plate started to subside along a trough located to the south of the Tanzawa Mountains. The Hinata Formation, the lowest part of the Ashigara Group, which is mainly composed of alternations of sandstone and mudstone of turbidite origin carried from land to the north, was deposited on a deep sea plain in depths of 1,000 to 2,000 meters (Huchion and Kitazato, 1984). Coarse tuff and volcanic breccia which are intercalated in the Hinata Formation suggest subaqueous andesitic volcanic activities occurred in the depositional area at that time.

The Seto Formation, mostly composed of conglomeratic deposits up to 1,300 m thick, and overlying the Hinata Formation, was deposited as a submarine fan in about 600 to 200 meters depth (Huchion and Kitazato, 1984) at 2.0-1.72 Ma. These thick conglomerate beds were subjected to rapid elevation of the Tanzawa Mountains caused by the collision of Izu Peninsula with the Honshu Arc. The conglomerate clasts mainly consist of basaltic to andesitic pyroclastic rocks of the Tanzawa Group. The rapid uplifting of the Tanzawa Mountains may suggest the beginning of movement on the Kannawa Reverse Fault or a similar fault. The plate motion is estimated to have had a NNW-SSE direction during deposition of the Hinata and Seto Formations.

Subaqueous andesitic pyroclastic rocks and lavas were extruded into the conglomerates of the Seto Formation.

The Hata Formation is mainly composed of sandstone and mudstone that was deposited on the sea floor at a depth of 100 to 300 meters in a shelf-edge environment (Huchion and Kitazato, 1984). Huge mud and sand deposits of the Hata Formation range from 600 to 1,000 meters in thickness and accumulated at 1.65-1.26 Ma.

The change of depositional environments from conglomeratic to sand and mud, that is from the Seto Formation to the Hata Formation, occurred at about 1.72-1.65 Ma. This change was caused by a reduction of PHS Plate motion or by a change in its direction. I concur that the PHS Plate changed its direction from NNW to WNW at 1.72-1.65 Ma, as Tanahashi (1986) has pointed out.

At the beginning of Hata Formation deposition, uplift and denudation of the Tanzawa Mountains were not active as a result of the change in motion of the PHS Plate.

A huge boulder conglomerate is exposed in the Ninokurakaihatu Co. Quarry near the end of the Hatazawa Valley. The conglomerate consists of angular boulders of andesite, mudstone and sandstone. The boulders have a maximum diameter of over 10 meters and are intercalated in the alternation of mudstone and sandstone of the Hata Formation. These huge conglomeratic boulders indicate that a submarine phreatomagmatic eruption occurred during deposition of the Hata Formation. These explosive events might be due to the change in direction of the plate motion.

During deposition of the Shiozawa Formation, the Honshu

Arc separated into two parts, the North America Plate and Eurasia Plate, along the Itoigawa Shizuoka Tectonic Line at about 1.0 Ma. The motion of the Philippine Sea Plate relative to the North American Plate changed direction from WNW to NNW. The Tanzawa Group was again thrust up to the Ashigara Group owing to a change in collision of the Izu Peninsula against the Honshu Arc from a WNW direction to a NNW one. The elevated Tanzawa Mountains was denuded and provided gravels of quartz diorite and green schist from the Tanzawa Group. Clasts were carried to a southern shallow sea or estuary to the depth of about 30-0 meters (Huchion and Kitazato, 1984, Matsushima, 1982), as a fan-delta or alluvial fan.

The depositional duration of the Shiozawa Formation was from 1.26 Ma to sometime after 0.78 Ma.

The whitish conglomerate and sandstone of the Shiozawa Formation is composed of quartz diorite, green schists and hornfels of the Tanzawa Mountains and exceeds 2,300 meters in thickness. The gravels present in the conglomerate suggest that the Kannawa Fault was active and caused a rapid uplifting of the Tanzawa Mountains, and subsequently caused a rapid denudation, especially at the central part of Tanzawa Mountains.

The Yaguradake quartz diorite mass intruded into the lower part of the Hata Formation at about 1.15 Ma (Kurasawa et al.,1988) during deposition of the Shiozawa Formation.

The Ikudo Pyroclastic flow deposits was supplied by a terrestrial volcanic eruption at about 0.78 Ma (Ito et al., 1985). The sharp reduction is seen in the thickness of this pyroclastic flow between the Ayusawa River and the Shiozawa Valley about 2 km north. The conduit of the Hatazawa breccia is estimated to be the source volcano in the south (Ito et al., 1985).

The Ashigara Group was folded and deformed, and these processes were accompanied by uplift of the Ashigara Mountains.

Finally, the Hakone volcanic eruption occurred at about 0.4

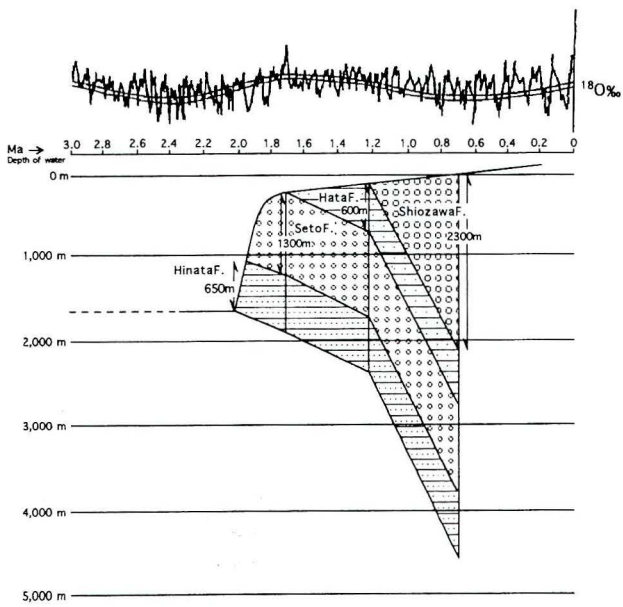


Fig. 32. Change of depositional environment showing the accumulation rate of the Ashigara Group.

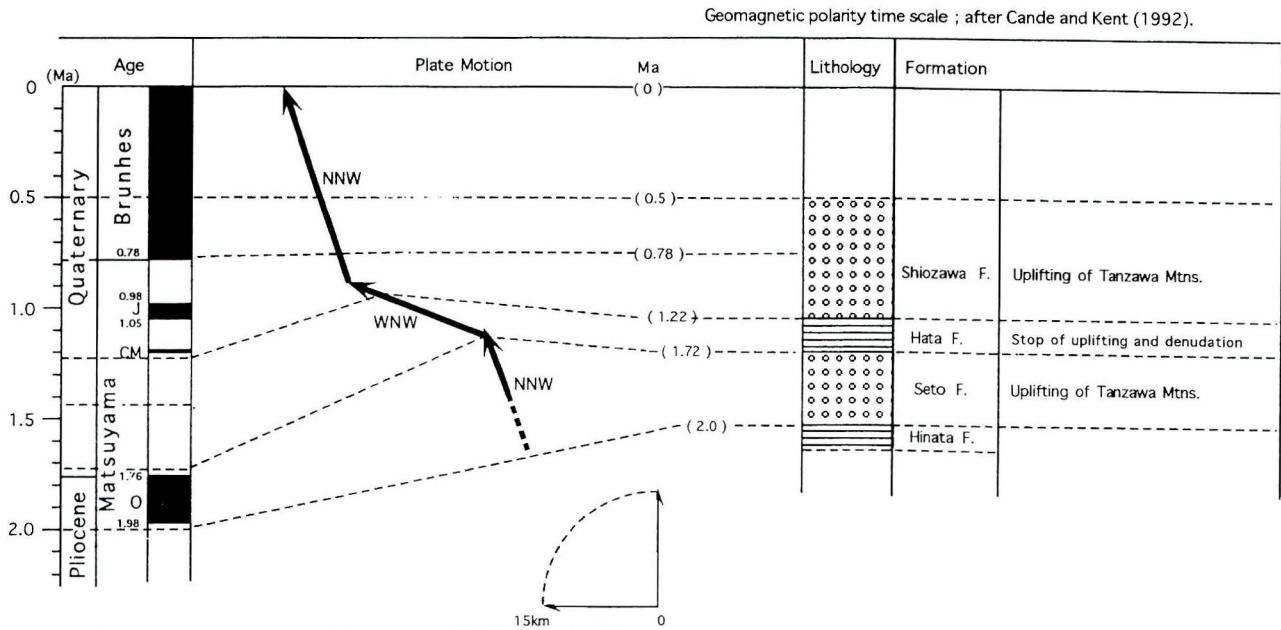


Fig. 33. Schematic diagram showing the motion of Philippine Sea Plate.

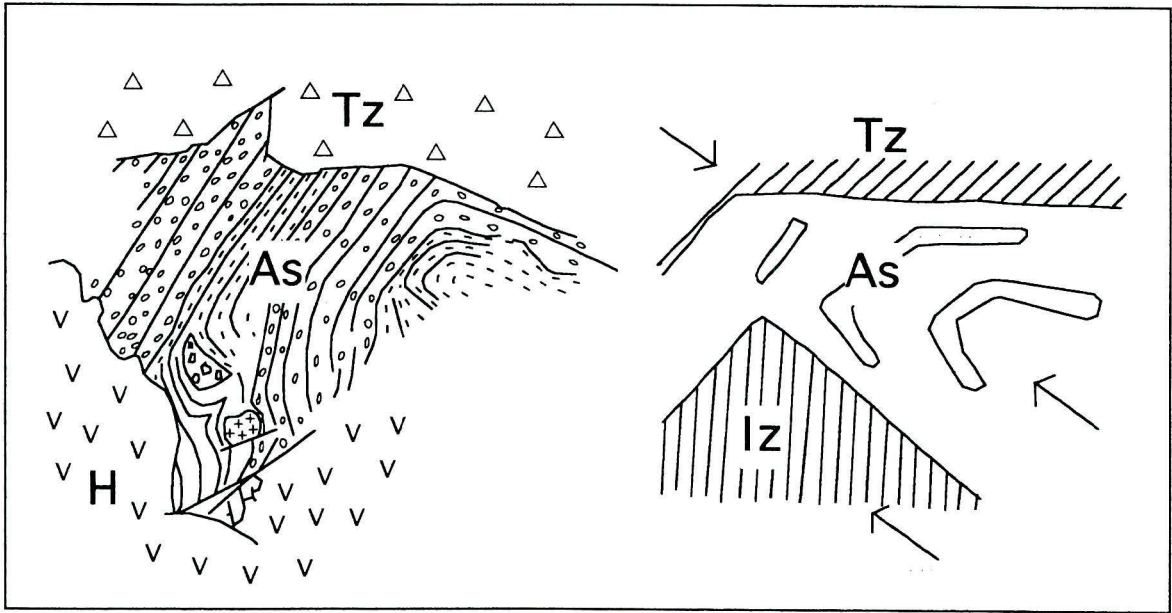


Fig. 34. Schematic diagram showing the structural deformation of the Ashigara Group. Tz; Tanzawa Group, As Ashigara Group, H; Hakone Volcanic ejecta, Iz :Izu Peninsula.

Ma and the Suruga Gravels were deposited at about 0.08 Ma in the western part of Ashigara Mountain (Machida et al., 1978). The NE-SW and NW-SE fault systems which cut the Ashigara Group are estimated to have been made by compressive stress induced by NNW-SSE plate motion after 1.0 Ma.

The changes in the depositional environment, tectonic history and deformation of the Ashigara Group are summarized in Table 6 and Figs. 32,33 and 34.

11. Conclusions

The Ashigara Group is comprised of sediments in a collision zone located between the Izu Peninsula and the Tanzawa Mountains, and consists of conglomeratic deposits over 5,000 m thick. The following conclusions are based on the present stratigraphic study, which incorporates new K-Ar dating and calcareous nannofossil ages.

Table. 6. Compiled table of the stratigraphy of the Ashigara Group.

Age (Ma)	Formation	Column	Thickness	Lithofacies	Depositional Environment	Volcanic Activity	Plate Motion	Fault Activity
Quaternary	0.5	Fuji Volcanic ejecta						
		Suruga Gravels						
	0.78	Hakone Volcanic ejecta						
		Kurobyaku Py. flow						
Pliocene	1.26	Shiozawa F.	2300m+	dacitic py. rock andesitic py. rock fossil shells	alluvial fan estuary	Ikudo Py. flow Kurobyaku Py. Hor. And. Yaguradake Qt. Dio.	NNW 1.0Ma	NE NW N SW SE S LLF RLF RLF
		Hata F.	600~ 1000m	alt. (s. s. /silt st.) breccia dacitic py. rock cong., lava qt. dio. mass	shelfedge -300m ~ -100m	Py. And. Hor. And. Py. And. Hata breccia	NNW 1.72Ma	
		Seto F.	1300m	cong., lava lava lava alt. (cong. /s. s.)	submarine fan -600m ~ -200m	Py. And.	NNW	
	2.0	Hinata F.	650m+	pumice tuf. s. s., alt. (md. st. /s. s.)	deep sea plain -2000m ~ -1000m	Py. And.	NNW	KRF

Conglomerate

Hata breccia

Sandstone

Pyoclastics

Mud st. sand st. alt.

Pumice

Shell fossils

Lava flow

Quartzdiorite

KRF. : Kannawa Reverse Fault, LLF. : Left Lateral Slip Fault, RLF. : Right Lateral Slip Fault.
Qt. Dio. : Quartzdiorite intrusion, Py. And. : Pyroxene andesite activity, Hor. And. : Hornblende andesite activity, Py : Pyroclastics, Py. flow : Pyroclastic flow.

1. The collision of the Izu Peninsula against the Honshu Arc took place at 2.0-1.72 Ma.

2. Two coarsening-upward cycles in the Ashigara Group, from muddy to conglomeratic sediments, seem to be related to the change in motion of the PHS Plate relative to the Honshu Arc.

3. Subaqueous volcanic activities occurred during deposition of the Ashigara Group. Tholeiitic and calcalkalic igneous activity occurred simultaneously in the collision zone.

4. Faults developed in and around the Ashigara Group. The Kannawa Fault began to act as the Seto Formation was deposited.

5. The tectonic history of the Ashigara Group is interpreted as follows:

1) Prior to 2.0 Ma : The Philippine Sea Plate is inferred to have moved in a NNW direction, and the plate began to subside along a trough to the south of the Tanzawa Mountains prior to 2.0 Ma.

2) At 2.0-1.72 Ma : The motion of the Philippine Sea Plate was in a NNW direction. Muddy and sandy turbidites were deposited from a northern land mass in a trough at a depth of about 1,000-2,000 m to the south of the Tanzawa Mountains, and this process produced the Hinata Formation, the lowest formation of the Ashigara Group. Subaqueous volcanic eruptions and lava flows occurred in the trough. Collision of the Izu Block (Izu Peninsula) against the Honshu Arc began at this time. The Kannawa Fault or a similar fault may have become active then. The Tanzawa Mountains were uplifted and supplied conglomeratic materials southward to the sea. The Seto Formation, which consists of an alternation of conglomerate and sandstone, was deposited on a deep sea fan at depths of 600-300 m. Pyroclastic rocks and lavas effused onto the deep sea fan during deposition of the Seto Formation.

3) At 1.72-1.26 Ma : The Philippine Sea Plate changed direction from NNW to WNW at around 1.72 Ma. The uplift of the Tanzawa Mountains was reduced and so provided less clastic material southward to the sea. The Hata Formation, consisting of an alternation of sandstone and mudstone with conglomeratic lenses, was deposited on the continental slope in depths of 300-100 m.

4) At 1.26-0.78 Ma and after: The Eurasia Plate to the east of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line changed to the North American Plate at about 1.0 Ma. In connection with the motion of the Philippine Sea (PHS) Plate relative to the North American Plate, the PHS Plate changed direction from WNW to NNW at about 1.0 Ma, when the Honshu Arc separated into two parts consisting of the North American Plate and Eurasia Plate.

Related to this change in movement to a NNW direction, the Izu Block (Izu Peninsula) on the Philippine Sea Plate collided against the Honshu Arc again, and uplift of the Tanzawa Mountains took place. As a result, the Shiozawa Formation, which is characterized by conglomeratic sediments, was formed at 1.26-0.78 Ma and after.

5) The Yaguradake quartz diorite mass intruded at about 1.15 Ma, during deposition of the Shiozawa Formation.

6) The NE-SW and NW-SE lateral fault systems, namely the Shiozawa and Nakatsugawa fault systems, developed along the Kannawa fault, the junction of two plates at the end of collisional movement.

12. Acknowledgments

I would like to express my sincere gratitude to Professor Kenshiro Ogasawara of the University of Tsukuba for his supervision and critical reading of this manuscript. I am also grateful to Professor Yujiro Ogawa of the University of Tsukuba for his continuous encouragement. Deep appreciation is due to Professor Toshio Koike of Yokohama National University for his helpful comments on an earlier draft of this paper. Deep appreciation is also due to Professor Makoto Arima and Associate Professor Tetsuto Eto, of Yokohama National University, for their consistent support. I thank to Dr. Louie Marincovich, Jr. for his critical reading of the manuscript. I am also indebted to Professor Kiyoshi Okumura of Naruto Educational College and to Professor Tokiyuki Sato of Akita University for their kind support. I am also indebted Dr. Satoru Haraguchi of Ocean research Institute of University of Tokyo for helpful support. I am also grateful to Dr. Takashi Hamada, Emeritus Professor of University of Tokyo and President of the Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, for useful discussions. I would like to express my thanks to several individuals for their cooperation with and encouragement during the preparation of this manuscript: Dr. Yoshiaki Matsushima, former chief of the Natural Science Department, and Mr. Masaru Hirota, chief of the Executive Department, of the Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, for their valuable suggestions and moral support; and colleagues at the Kanagawa Prefectural Museum of Natural History for their warm assistance during the completion of this thesis.

13. References

- Amano, K., K. Yokoyama & T. Tachikawa, 1984. Hirayama fault which cuts an older somma of Hakone volcano. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 90 (11): 849-852. (in Japanese)
- Amano, K., H. Takahashi, T. Tachikawa, K. Yokoyama, C. Yokota & J. Kikuchi, 1986. Geology of Ashigara Group -Collision tectonics of Izu micro-continent with Eurasian plate-. Professor Nobu Kitamura Commemorative volume *Essays in Geology* p.7-29. (in Japanese with English abstract)
- Ashigara Collaborative Research Group for late Miocene-Pliocene series in Ashigara mountainland, 1983. On the Volcano Sedimentary Basin in the Ashigara Area - A study of the Tertiary and Quaternary system in the Ashigara Area (1)-. *Earth Science*, 37 (4): 194-204. (in Japanese with English abstract)
- Ashigara Collaborative Research Group, 1986. Stratigraphy and Geological Structures of the Ashigara Group - Study of the Tertiary and Quaternary systems in the Ashigara Area (2)-. *Earth Science*, 40 (1): 47-63.(in Japanese with English abstract)
- Hasegawa, Y., Y. Matsushima, & K. Mikami, 1986. Parastegodon tooth from the Ashigara Group. *Memory of Institute Field Education*

- of Yokohama National University, 4: 51-55. (in Japanese)
- Hirabayashi, T., 1898. Geological report of Hakone and Atami Volcano. Reports of the Imperial Earthquake Investigation Committee 16: 4-78. (in Japanese)
- Hoshino, K. & H. Hase, 1977. The N-S trending faults to shift the Kannawa fault. Jour. Geol. Soc. Japan., 83 (1): 62-64. (in Japanese).
- Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture, 1992. K-Ar Age results of Kanagawa Prefecture in 1991, Operational Report of the Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture p.72 (in Japanese)
- Huchon, P. & H. Kitazato, 1984. Collision of the Izu block with central Japan during the Quaternary and geological evolution of the Ashigara area. Tectonophysics, 110: 201-210.
- Imanaga, I., 1972. Minor Faults Associated with the Kannawa Reverse Fault along the Nakatsu River, Matsuda Town, Kanagawa Prefecture. Bull. Kanagawa Prefect. Mus. (Nat. Sci.), (5): 27-29. (in Japanese)
- Imanaga, I., 1976. Stratigraphy and geological structure of Jizodo area north of Hakone Volcano. Bull. Kanagawa Prefect. Mus. (Nat. Sci.), (9): 77-84. (in Japanese with English abstract)
- Imanaga, I., 1977. Geology of Hatazawa. north of Mt. Yagura in Ashigara Mountains. Bull. Kanagawa Prefect. Mus. (Nat. Sci.), (10): 37-42. (in Japanese with English abstract)
- Imanaga, I. 1978. The Ashigara Mountains. Excursion Guide Book for Hakone and Tanzawa Mountains, Miura Peninsula and Oiso Hill. Kanagawa Chigakukai p. 14-22. (in Japanese)
- Imanaga, I., 1980. Direction of dikes in Ashigara Group at the base of Izu peninsular. Bull. Kanagawa Prefect. Mus. (Nat. Sci.), (12): 35- 41. (in Japanese with English abstract)
- Imanaga, I., 1981. Reverse fault on the riverbank of opposite side of Yamakita electric power plant, Yamakita Town, Kanagawa prefecture. Natural History Report of Kanagawa, (2): 66. (in Japanese)
- Imanaga, I., 1982. Deformation of the Hakone Volcano Basement Rocks and the Ashigara Group. Bull. Kanagawa Prefect. Mus. (Nat. Sci.), (13): 75-81. (in Japanese with English abstract)
- Imanaga, I., 1986. Stratigraphy and structure of the Ashigara Group. Monthly Chikyu, 8 (1): 637-641. (in Japanese)
- Imanaga, I., 1987. Geological structure of Hinata area, Yamakita-cho, Kanagawa prefecture. Natural History Report of Kanagawa, (8): 23-26. (in Japanese)
- Imanaga, I., 1989. Geology of the Ashigara Group. Modern Geology, 14: 99-112.
- Imanaga, I., 1994. On the Shinokubo Pyroclastic Rocks in the Oiso Hill. Bull. Kanagawa Prefect. Mus. (Nat. Sci.), (23) 87-90. (in Japanese with English abstract)
- Imanaga, I. & H. Yamashita, 1999. K-Ar age new data from Kanagawa Prefecture. Research Report of the Kanagawa Prefectural Museum Natural History (in Japanese)(in press)
- Ishida, T., 1991. Linear Arrangement of Explosive Breccia Pipes in the Eastern part of the South Fossa Magna region. Modern Geology, 15 (4): 401-411.
- Ishikawa, C., N. Okada, & H. Kitazato, 1983. Stratigraphy and geological age of the Ashigara Group. Geological Society of Japan. Abstract of the 90 th Annual Meeting, p. 98. (in Japanese)
- Ito, M., 1985. The Ashigara Group: a regressive submarine fan-fan delta sequence in a Quaternary collision boundary, north of Izu Peninsula, central Honshu, Japan. Sediment. Geol., 45: 261-292.
- Ito, T., T. Fujii, M. Yui, Y. Uesugi, M. Someno & K. Kano, 1985. Ikudo Pyroclastic flow (-0.7 Ma) in the Ashigara Group, central Japan and estimation of its source volcano. Bull. Volcanic Soc. Japan, 30 (4): 319. (in Japanese)
- Ito, T., Y. Uesugi, K. Kano, T. Chiba, H. Yonezawa, M. Someno & M. Honma, 1986. Paleogeographical and tectonic changes of Ashigara-Oiso area, in the recent one million years. Monthly Chikyu, 8 (10): 630- 636. (in Japanese)
- Ito, T., Y. Uesugi, H. Yonezawa, K. Kano, M. Someno, T. Chiba & T. Kimura, 1987. Analytical method for evaluating superficial fault displacements in volcanic air fall deposits: case of the Hirayama Fault, south of Tanzawa Mountains, central Japan, since 21,500 years B.P. Jour. Geophy. Res., 92 (10): 683-695.
- Ito, T., K. Kano, Y. Uesugi, K. Kosaka & T. Chiba, 1989. Tectonic evolution along the northernmost border of the Philippine Sea plate since about 1 Ma. Tectonophysics, 160: 305-326.
- Kakimi, T., H. Yamazaki, A. Sangawa, Y. Sugiyama, K. Shimokawa & S. Okra, 1982. Neotectonic Map of Tokyo I: 500,000. Geological Survey of Japan.
- Kanagawa prefectural government, 1957. Soil-Erosion Control Reports; The Shijuhasse, the Nakatsu, the Hisari, the Minase and the Kajiyashiki pp. 39. (in Japanese)
- Kano, K., T. Ito, & T. Kimura, 1978. Meaning of Kannawa thrust fault in Izu -Tanzawa fault system. 15th Symposium of Natural Disaster Science, p. 89-92. (in Japanese)
- Kano, K., Y. Uesugi, T. Ito, T. Chiba, H. Yonezawa & M. Someno, 1984. Active Faulting in and around the Southern Tanzawa Mountains and the Oiso Hills, South Fossa Magna Region, Japan. The Quaternary Res., 23 (2): 137-14. (in Japanese with English abstract)
- Kano, K., M. Someno, Y. Uesugi, & T. Ito, 1988. Fault movement in the northwestern Ashigara area, central Japan, since the Middle Pleistocene - Process of superficial deformation along a mechanical plate boundary-. Geoscience Reports of Shizuoka Univ., (14): 57-83. (in Japanese with English abstract)
- Kato, T., 1910. General report of the geology of Yamakita Town and its vicinity in Sagaminokuni. Geological Report, (18): 47-73.
- Kitazato H., 1997. Paleogeographic changes in central Honshu, Japan, during the late Cenozoic in relation to the collision of the Izu- Ogasawara Arc with the Honshu Arc. Island Arc, 6(2): 144-157.
- Koyama, M., 1986. Geological history of Izu Peninsula and Pleistocene of Ashigara-Oiso area. Monthly Chikyu, 8(12): 743-752. (in Japanese)
- Kuno, H., 1951. Geology of Hakone volcano and adjacent areas. Part 2. Journal of Faculty of Science University of Tokyo. Section 2, 7: 351-402.
- Kurasawa, H., I. Imanaga, A. Matsumoto & K. Shibata, 1988. K-Ar age and chemical and strontium isotopic compositions of the Yagura-dake Quartzdiorite, Ashigara, central Japan. Jour. Geol. Soc. Japan, 95(4): 331-334. (in Japanese)
- Machida, H., Y. Matsushima & I. Imanaga, 1975. Tephrochronological study on eastern foot of Mt. Fuji volcano. With special reference to geomorphological development accompanied with growth of Mt. Fuji and displacement of the Kannawa fault. Quarternary Research, 14 (2): 77-89. (in Japanese with English abstract)
- Matsushima, Y. & I. Imanaga, 1968. Notes on the Kannawa reverse fault. Bull. Kanagawa Prefect. Mus. (Nat. Sci.), (1): 65-73. (In Japanese with English abstract)
- Matsushima, Y., 1982. Molluscan fauna from the middle and upper parts of the Ashigara Group. Memoirs of National Science Museum, (15): 53-62. (in Japanese with English abstract)
- Mikami, K., 1961. Geological and petrographical studies on the Tanzawa

- Mikami, K., 1961. Geological and petrographical studies on the Tanzawa Mountainland Part I. Science Report of Yokohama Nat. Univ. Section 2, p. 57-110.
- Mikami, K., 1962. Geological and petrographical studies on the Tanzawa Mountainland Part 2. Science Report of Yokohama National University Section 2, p. 59-108.
- Nakamura, K. & K. Shimazaki, 1981. Sagami Trough, Suruga Trough and Subduction of Plate. *Kagaku*, 51 (8): 490-498. (in Japanese)
- Nakamura, K., K. Shimazaki & N. Yonekura, 1984. Subduction, bending and extension. Present and quaternary tectonics of the northern border of the Philippine sea plate. *Bull. Soc. Geol. France*, 26 (2): 224-243.
- Niitsuma, N. & T. Matsuda, 1984. Collision in the South Fossa Magna Area, Central Japan. *Recent Progress of Natural Sciences in Japan*, (9): 41-50.
- Okada, H., 1987. Calcareous nannofossil biostratigraphy and paleoenvironmental analysis of marine formations exposed in the south Fossa-Magna region. *Fossil*, 43: 5-8. (in Japanese)
- Otuka, Y., 1931. On the Tertiary Ashigara Bed. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 38: 322-323
- Sato, T., 1976. Nakatsugawa right-lateral fault (new name). *Jour. Geol. Soc. Japan*, 82 (10): 617-623. (in Japanese with English abstract)
- Sato, T. & K. Kameo, 1996. Pliocene to Quaternary calcareous nannofossil biostratigraphy of the arctic ocean, with reference to late Pliocene glaciation. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 151: 39-59.
- Seno, T., 1987. New plate boundaries around Japan and tectonic movements at 0.5 Ma. *Kagaku*, 57 (2): 84-93. (in Japanese)
- Seno, T., S. Stein & A. E. Gripp, 1993. A Model for the Motion of the Philippine Sea Plate Consistent With NUVEL-1 and Geological Data. *Jour. Geophys. Res.*, 98 (B 10): 17941-17948.
- Soh, W., 1995. A thrust (Hinata Thrust) demarcating the southern margin of the Ashigara Group, central Japan and its seismotectonic implication. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 101 (4): 295-303. (in Japanese with English abstract)
- Someno, M., Y. Uesugi, T. Chiba, K. Kano & T. Ito, 1984. Stratigraphy, ages and geological structure of upper Ashigara group-lower Tama Loam Formation. *Geol. Soc. Japan. Abstract of 91 Annual Meeting* p. 511. (in Japanese)
- Sugimura, A., 1972. Plate boundaries in and near Japan. *Kagaku*, 42 (4): 192-202. (in Japanese)
- Sugiyama, Y. & K. Shimokawa, 1982. The geologic structure of the Ihara district and the Iriyama fault system in the South Fossa Magna region, Central Japan. *Bull. Geological Survey of Japan*, 33 (6): 293-320. (in Japanese with English abstract)
- Sugiyama, Y., 1989. Bend of the zonal structure of island arcs and oblique subduction as the cause of the bending. Part 2 - Bending structures of the outer zone of Southwest Japan and the history of relative motion of the Philippine Sea Plate with respect to Southwest Japan -. *Bull. Geological Survey Japan*, 40 (1): 543-564. (in Japanese with English abstract)
- Tanahashi, M., 1986. Sedimentary Structure and Tectonics of Sagami Trough. *Monthly Chikyu*, 8(4): 238-245. (in Japanese)
- Tsunoda, F., 1997. On the Upper Miocene Matsudayama Formation and the Kannawa Fault in the eastern part of the Ashigara Hill, central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*. 103(5): 435-446. (in Japanese with English abstract)
- Tsuya, H., 1942. Notes on the Ashigara Beds. *Bull. Earthquake Res. Institute University of Tokyo*, 20: 316-321.
- Yamazaki, H. 1992. Tectonics of a plate collision along the northern margin of Izu Peninsula, central Japan. *Bull. Geol. Survey of Japan*. 43(10): 603-657.

摘 要

今永 勇, 1999. 伊豆衝突帯の足柄層群の層序と構造. 神奈川県立博物館研究報告 (自然科学), 28: 73-106 (I. Imanaga, 1999. Stratigraphy and Tectonics of the Ashigara Group in the Izu Collision Zone, Central Japan. *Bull. Kanagawa prefect. Mus. (Nat. Sci.)*, 28: 73-106.)

足柄層群は、鮮新世末から更新世中期にわたって形成され、その層厚は5000mを越える。本層群は、下位から上位に、砂岩泥岩互層から礫岩層を経て再び砂岩泥岩互層から礫岩層へと、大きく2回の上方粗粒化を繰り返している。またその堆積場は、深海底から陸域へと変化している。この足柄層群の形成過程は、2Ma以前にフィリピン海プレートの沈み込み帯が丹沢南部にジャンプし、足柄層群最下部層の堆積が始まる。伊豆地塊の衝突は、2Maから1.72Maの間に始まり、神縄断層のような逆断層の活動が始まり、丹沢山地の急激な隆起・剝削が起こり、厚い堆積物が形成され始めた。1.72Maごろに、それまで北北西に運動していたフィリピン海プレートが西北西に向きを変える。ついで1Ma頃に糸魚川-静岡構造線の東側が北米プレートに移り変わった時期を境に北米プレートに対するフィリピン海プレートの相対的運動方向が北北西に変わり、再び丹沢山地との衝突が強まっていった。このように堆積時のプレート運動の変化に関連して2回の上方粗粒化が起こったと考えられる。また足柄層群の堆積時には、ソレイアイト岩系とカルクアルカリ岩系の火成活動が同時に行われ、多くの岩脈・岩床・岩株が貫入し、溶岩・火砕流が形成された。

(受付: 1998年12月1日, 受理: 1998年12月3日)

PLATE 1



1-a. Turbidite unit of the Hinata Formation, cropped out in the Katsusawa valley, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.



1-b. Andesitic volcanoclastic rocks intercalated in the Hinata Formation, near the Takase Bridge, River Sakawa, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.



1-c. Debris flow deposits of the Hinata Formation, showing volcanic lithic clasts embedded in scoriaceous and pumiceous sandstone matrix. At Mt. Maruyama, Yamakita Town Kanagawa Prefecture. Film box represents the scale.



1-d. Distortion and fluidization occurred in the alternation of sandstone and mudstone of the Hinata Formation at Hinata Hamlet, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.

PLATE 2



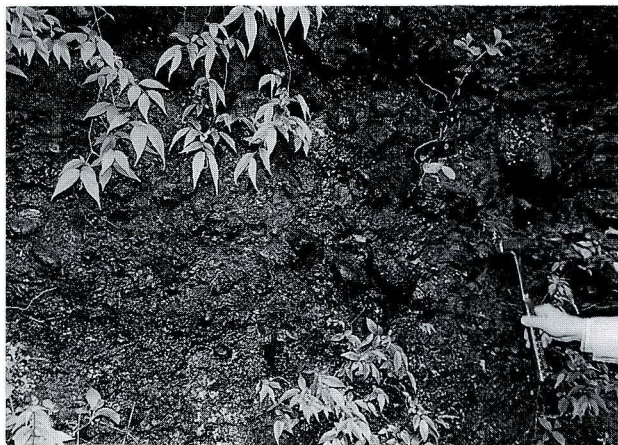
2-a. A detached lava lobe in the conglomerate bed along the River Sakawa, Setoyonkenya Hamlet, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.



2-d. Another exposure of the Seto Formation showing the graded conglomerate of channel deposits, at Fukazawa Hamlet, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.



2-b. An alternation of fine sandstone and pebble-cobble conglomerate of the Seto Formation at Fukazawa Hamlet, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.



2-e. Seto Formation exhibiting inverse to normally graded conglomerate of channel deposits at Yagurakitazawa, Minami-Ashigara City, Kanagawa Prefecture.



2-c. Matrix supported andesite rich conglomerate of debris flow deposits of the Seto Formation exposed along the River Sakawa, Setoyonkenya Hamlet, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.



2-f. Inverse to normally graded conglomerate of channel deposits of the Seto Formation. Tuburano Hamlet, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.

PLATE 3



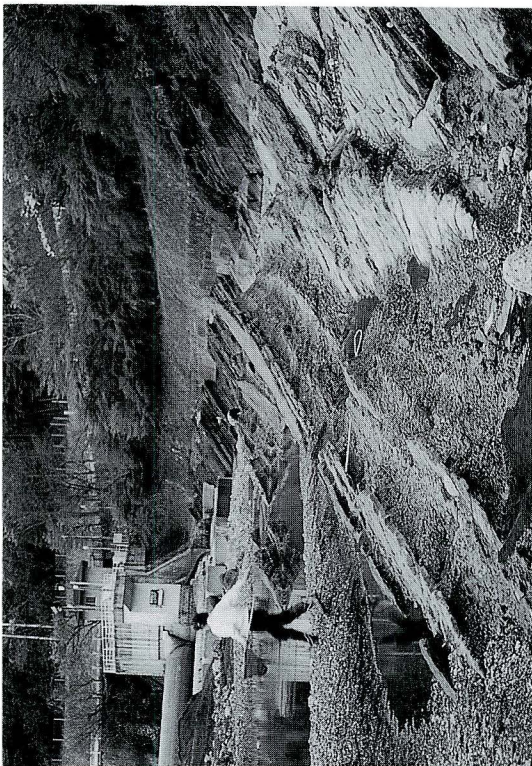
3-a. Explosive breccia at Ninokurakaihatsu Co. Quarry, Hata valley, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.



3-b. Close-up of the explosive breccia showing an angular huge boulder of siltstone over 3 meter at Ninokurakaihatsu Co. Quarry, Hata valley, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.



3-c. Hata Formation showing current ripple, exposed along the River Sakawa, Yaga Hamlet, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.



3-d. Alternation of sandstone and mudstone of the Hata Formation exposed along the River Sakawa in Yaga Hamlet, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.

PLATE 4



4-a. Steeply bedded conglomerate bed of upper portion of the Shiozawa Formation exposed in Shiozawa valley, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.



4-d. Conglomerate bed in a quarry of Morobuchi, belonging to the upper part of the Shiozawa Formation, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.



4-b. Alternation of sandstone and conglomerate of shallow marine deposits found in the Shiozawa Formation along the Ayusawagawa River, Morobuchi Hamlet, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.



4-e. A close-up view of the conglomerate bed (Fig. d, Plate 4), at Morobuchi, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture. Imbrication show the current direction to the west.



4-c. Oyster bed (*Crassostrea gigas*) in the Shiozawa Formation which indicates a shallow embayment, exposed along the Kochi River, Yozawa Hamlet, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.



4-f. Wood trunk buried in living position found in a quarry of Morobuchi, in upper part of the Shiozawa Formation, Yamakita Town, Kanagawa Prefecture.

短 報

宮ヶ瀬遺跡から出土したニホンオオカミの下顎骨標本について

A Note on the Mandible of the Japanese Wolf, *Canis lupus hodophilax* Temminck,
Excavated from Miyagase Remains, Kanagawa Prefecture

中村 一恵

神奈川県立生命の星・地球博物館

Kazue NAKAMURA

Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, 499 Iryuda, Odawara, Kanagawa, 250-0031, Japan

Key words: A newly discovered specimen, Japanese wolf

I. はじめに

ニホンオオカミまたはホンドオオカミ (*Canis lupus hodophilax* Temminck) は本州・四国・九州に生息していたが、現在は生息を裏付ける情報はなく、絶滅種にランクされている (日本哺乳類学会, 1997)。これまで神奈川県丹沢周辺から 23 例のニホンオオカミの標本が知られ、最後の記録は明治 26 (1893) 年である (中村, 1998)。

今回、新たな資料として東丹沢産のニホンオオカミの下顎骨の一部が宮ヶ瀬遺跡群から出土し (かながわ考古学財団, 1995)、西本 (1995) により本種と同定された。しかしながら、西本 (1995) の報告では「ニホンオオカミ」という和名のみの記録であり、計測値はなく、オオカミと同定した根拠は示されていない。そこで、県立埋蔵文化財センター所蔵の標本 (以下、宮ヶ瀬標本と呼ぶ) を計測して再同定を行なった。その際の比較には厚木市七沢産ニホンオオカミ標本 1 個体 (中村昭氏所蔵) の計測値と既報の丹沢産資料 (直良, 1965) を用いた。

II. 資料および調査方法

宮ヶ瀬標本は宮ヶ瀬遺跡群のうち馬場 (No. 6) 遺跡から出土した。この標本は江戸時代のもので、産地は愛甲郡清川村大字宮ヶ瀬である (かながわ考古学財団, 1995)。宮ヶ瀬標本の比較標本として厚木市七沢産のニホンオオカミの下顎骨を用いた。この標本は頭蓋骨と左右の下顎骨の揃ったもので、小原 (1990) によれば、雄成獣のものと推定され、安政 2 (1855) 年に同所で捕獲された 2 頭のうちの 1 頭と考えられている。

宮ヶ瀬標本は、西本 (1995) の記載通り、犬歯 (C)、第 4 小臼歯 (P 4)、第 1 大臼歯 (M 1)、第 2 大臼歯 (M 2) だけが残されている左下顎骨である (図 1)。これら 4 本の歯のサイズと下顎体高 (2) および下顎体厚について計測した。計測法は茂原 (1986) に準拠した。下顎体高 (2) は第 1 大臼歯 (M 1) 中央における下顎体の高さであり、下顎体厚は第 1 大臼歯 (M 1) 中央における下顎体の最大厚である (茂原, 1986)。ここでは、これらの

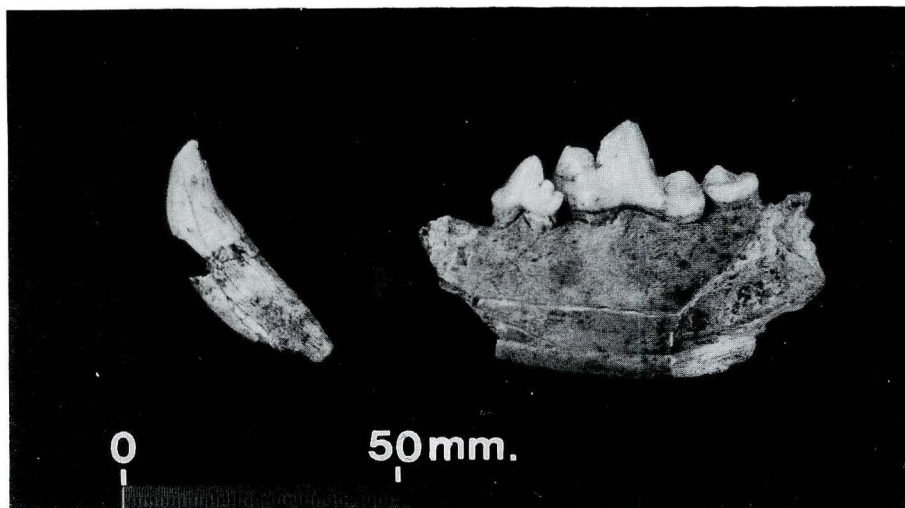


図 1. 宮ヶ瀬遺跡群から出土した江戸時代オオカミの左下顎標本 (頬側). 埋蔵文化財センター所蔵.

表1 ニホンオオカミ *Canis lupus hodophilax* と宮ヶ瀬遺跡出土イヌ属 *Canis* sp. の下顎計測値比較 (単位mm)

No.	産 地	性	C		P 4		M 1		M 2		mbH (M1)	mbTh (M1)
			m-d	b-l	m-d	b-l	m-d	b-l	m-d	b-l		
1.	厚木市七沢	? ♂	L12.42	8.98	13.71	6.85	26.50	9.67	9.87	6.68	27.92	12.25
2.	丹沢札掛	♂	12.6	8.5	14.3	7.3	26.4	9.9	—	—	28.5	12.7
3.	秦野市水無川中流	♂	13.5	8.5	12.8	6.9	24.7	9.0	8.0	7.2	28.1	11.7
4.	秦野市水無川流域	♂	12.9	8.4	12.8	6.8	24.9	9.1	9.8	7.4	27.9	12.5
5.	秦野市	? ♂	L14.8	8.8	14.6	7.7	27.3	10.2	10.2	7.9	28.3	13.1
M±SD			m-d	13.24±0.96	13.64±0.83	25.96±1.12	9.47±0.99	28.14±0.26	12.45±0.52			
			b-l	8.63±0.24	7.11±0.38	9.67±0.52	7.30±0.50					
	丹沢宮ヶ瀬	? ♂	L12.84	8.31	12.55	6.41	26.25	9.29	9.86	7.67	28.68	11.92

No. 1は筆者, No. 2~5は直良(1965)による計測. L:左下顎骨を示す.

計測部をそれぞれmbH (M1)、mbTh (M1) と略記する。

なご援助をいただき、かつ適切な助言をいただいた。以上の方々に衷心より御礼申し上げる。

III. 結果とまとめ

宮ヶ瀬標本とニホンオオカミの下顎歯およびmbH (M1) とmbTh (M1) の計測値を表1に示す。宮ヶ瀬標本の各部位のすべての計測値は95%棄却域に含まれ、西本(1995)の同定通り、本標本は改めてニホンオオカミと判定された。なお、西本(1995)によれば、江戸時代の都市部の遺跡で多く出土するイヌの遺体は馬場(Na.6)遺跡からは出土していない。

今回、本標本がニホンオオカミと判定されたことで、江戸~明治期の神奈川県産ニホンオオカミの標本数は24例となった。

IV. 謝 辞

神奈川県文化財保護課の鈴木次郎氏ならびに県立埋蔵文化センターの大上周三氏と小田貞宏氏は標本閲覧の便宜をはかって下さり、発表の機会を与えて下さった。前報(中村,1998)に引き続き、県立生命の星・地球博物館学芸員の佐藤武宏氏には資料の統計学上の処理で多大

V. 引用文献

かながわ孝古学財団, 1995. 宮ヶ瀬遺跡群V, 馬場遺跡 (No.6). かながわ孝古学財団調査報告 4, 792pp. 神奈川県 文化財協会, 横浜市.

中村一恵, 1998. ニホンオオカミの分類に関する生物地理学的視点. 神奈川博研報 (自然科学), (27): 49-60.

直良信夫, 1965. 日本産狼の研究. 290pp. 校倉書房, 東京.

日本哺乳類学会, 1997. レッドデータ日本の哺乳類. 279pp. 文一総合出版, 東京.

西本豊弘, 1995. 馬場 (No.6) 遺跡出土の動物遺体. 宮ヶ瀬遺跡群 V, 馬場遺跡 (No.6). かながわ孝古学財団調査報告 4, pp. 776-777.

小原巖, 1990. 神奈川県厚木市および愛甲郡清川村の民家に保存されているニホンオオカミの頭骨. 神奈川自然誌資料, (11): 53-56.

茂原信生, 1986. 東京大学総合研究資料館所蔵長谷部言人博士収集イヌ科動物資料カタログ. 東京大学総合研究資料館標本資料報告, (13): 1-185.

(受付: 1998年11月26日, 受理: 1998年12月3日)

資料

インターネットのリンク・データベース — 自然史博物館、理科教育、地球環境、障害者、地球科学に 関連するリンク集 —

Link Database in the Internet

— Links Related to Museums of Natural History, Science Education, Earth's Environment, Handicap Person and Earth Science —

小出良幸・平田大二・山下浩之・新井田秀一・佐藤武宏・田口公則

神奈川県立生命の星・地球博物館

Yoshiyuki KOIDE, Daiji HIRATA, Hiroyuiki YAMASHITA, Shuichi NIIDA,
Takehiro SATO & Kiminori TAGUCHI

Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, 499 Iryuda, Odawara, Kanagawa, 250-0031, Japan

Key words: Internet, Links, Museums of Natural History, Handicap Person, Science Education, Earth's Environment and Earth Science.

I はじめに

インターネットは、巨大なデジタル宇宙である。デジタル化可能な情報は、ほとんどインターネットから入手可能である。ただ本当に情報が入手できるかどうかは、探す人の努力とそれなりの技量を必要とする。著者らは、インターネットに接して、それほど長い経験があるわけではない。しかし、「きっと見つかる」という信念のもとに、検索エンジンや各サイトのリンク集などを渡り歩きながら、このようなデータを集めた。検索の結果の大部分は目的としないデータである。ここで示したデータにたどり着くためには、膨大なる時間と努力を要している。また、デジタルだけでなく、大量の紙へのダウンロードもおこなっている。それでも、関連する分野のすべてに目を通したとはいえない。インターネットは広大である。本資料からもれている重要なサイトもあるかもしれない。しかし、現段階で著者らの時間の許す範囲でまとめたものである。

本資料は、リンク集のあるサイトの一覧と、いくつかのリンク集からデータを集め整理したものである。本資料の目的としては、いくつかのリンク集を紹介するだけでもよかったのだが、役に立てばと思い、可能な限りたくさん載せるようにした。重要なサイトや良いリンク集を本文で示し、個別のURLは表として示した。

II 自然史博物館関連のリンク集(表 1)

表 1 に示した自然史博物館関連の URL 集は、海外のものを示した。国内のものは、表には示さなかった。国内の博物館関連施設のリンク集から探すことが可能である。

<http://www.cyberspacemuseum.com/>

Cyberspace Museum of Natural History and Exploration
Technology

<http://www.lam.mus.ca.us/webmuseums/>

Guide to Museums and Cultural Resources

<http://www.nhm.org/webmuseums/main.shtml>

Guide to Museums and Cultural Resources, Natural
History of Los Angeles County

http://www.museum.or.jp/IM_english/e-link.html

Japanese Museum on the web

<http://www.wits.ac.za/museums/umlistc.htm>

Links to University Museums, University of the
Witwatersrand, Johannesburg

<http://www.mip.berkeley.edu/mip/links.html>

Links to Museums Online, Museum Informatics Project,
UC Berkeley

<http://www.museumlink.com/index.htm>

MuseumLink's Museum of Museums, Massachusetts'
Hammond Castle Museum

<http://www.okc.com/morr/>

Museum Online Resource Review

<http://www.nmmnh-abq.mus.nm.us/nmmnh/mailto/nmmnh/online.html>

Museums Online, New Mexico Museum of Natural History and Science

<http://www.spsouth.com/museums.htm>

Museums, the Stony Point South Computer Club

<http://www.ucmp.berkeley.edu/collections/other.html>

Natural History Museums and Collections, Library, University of Washington

<http://www.ucmp.berkeley.edu/subway/nathistmus.html>

Natural History Museums, U.C. Berkeley Museum of Paleontology

<http://www.spri.cam.ac.uk/lib/museums.htm>

Polar Museums Directory

<http://home.unicom.net/~warnerr/museums.htm>

Science Museum Links, Personal Homepage of Randall J. Warner

<http://www-hpcc.astro.washington.edu/scied/museum.html>

Science Museums and Exhibits, University of Washington

<http://www.icom.org/vlmp/>

Virtual Library museums page (VLmp), ICOM (The International Council of Museums)

<http://volcano.und.nodak.edu/>

Volcano World

<http://www.wmnh.com/>

Worldwide Museum of Natural History

http://www.yahoo.com/Society_and_Culture/Museums_and_Exhibits/Natural_History/

Yahoo - Society and Culture: Museums and Exhibits: Natural History

(日本語で読めるもの)

http://www.sak.or.jp/~museum/index_1.html

日本の博物館のリンク集

柴正博氏の個人ホームページで、日本の博物館の膨大な情報を収集されている

<http://www.museum.or.jp/vlmp-J/>

ICOM の日本語サイト

<http://web.kyoto-inet.or.jp/people/ka8001/world.html>

世界の自然史博物館

神谷英利氏の個人ホームページ

http://www.dino.or.jp/dino_m/d_link.html

恐竜関係リンク集

柴正博氏の個人ホームページ

<http://www.museum.kyoto-u.ac.jp/othermusew.html>

京都大学総合博物館、他の博物館へのリンク集 (日本国外)

III 理科教育関連のリンク集 (表 2)

<http://www.monbu.go.jp/>

文部省

<http://keinetwww.naacc.go.jp/>

国立教育会館

<http://rika.ed.ynu.ac.jp/>

理科教育 ML のページ

ML の紹介、アーカイブ、子供質問箱、膨大な理科関係のリンク集などからなり、ここさえチェックしておけば充分なのでは、と思わせる内容である

<http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/sjst/index.html>

日本理科教育学会

学会誌『理科の教育』、全国大会・支部大会案内など

<http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jsese/index.htm>

日本地学教育学会

学会誌『地学教育』、大会案内など

http://www.katsurao-jhs.katsurao.fukushima.jp/RIKA/index_ja.html

インターネット版【理科の部屋】

リンク集・理科教育ソフトのDL など

<http://www.wave.co.jp/wave/Education/>

うえいぶなび・教育関係

サーチエンジン・うえいぶなびの教育関係のリンク集のページ

<http://www.hosen-hs.okayama.okayama.jp/rika/index.html>

理科実験・観察データベース

小学校～高校までの分野別実験方法データベースで一見の価値あり

http://www.wnn.or.jp/wnn-s/link/kyouka_n/cyuugaku/rika.html

こねっとワールド理科

学年別、科目単元ごとの解説で、コネットチューターによる解説つきのページもある

<http://espero.riken.go.jp/physed.html>

理研・Physics for Student

物理中心の高校理科教育に使えるホームページへのリンク集

<http://www.from.co.jp/teacher/links.htm>

先生のホームページ

全国の現任教員が公開するホームページへのリンク集で、必ずしも理科教育とは関係ないものも含まれる

<http://www.sing.co.jp/link/manabi/rika/sougou.htm>

理科リンク集

新学社による理科関係ホームページへのリンク集

IV 地球環境関連のリンク集 (表 3)

i 地球環境

<http://www.naruto-u.ac.jp/kankyoku.htm>

鳴門教育大学

環境問題に関する資料を世界中からあつめ、教育機関などで利用することを目的としている

ii 地球温暖化

<http://www.ktx.or.jp/~kenkou/link/linkco2.html>

『地球温暖化・防止』総合リンク集

iii 環境ホルモン

<http://www.ktx.or.jp/~kenkou/link/linkcdc.html>

環境ホルモン総合リンク集

http://www2d.biglobe.ne.jp/~chem_env/env/eh_illinoi.html
環境ホルモンのリスト

V 障害者関連のリンク集 (表 4)

<http://www.chubu-gu.ac.jp/wic/ir/h-index.html>
福祉と障害者支援情報の総目次 (中部学院大学・井村保)

http://www.dais.is.tohoku.ac.jp/~iwan/japanese_res.html
障害者情報サービス・国内のリソース
(岩手県立大 / 小林氏)

<http://www.kitao.com/link/>
障害のある子供の教育に関するWWWへのリンク

<http://web.kyoto-inet.or.jp/people/shimizut/welfare.html>
障害者・児、高齢者、難病関連情報webインデックス

<http://bach.icsd4.tj.chiba-u.ac.jp/hitoni.html>
福祉情報他のリンク集 (千葉大 / 知識情報工学講座)

<http://www.jaist.ac.jp/~tokuda/deaf/www-server.html>
聴覚障害と手話に関するWWWサーバー一覧

<http://itass01.shinshu-u.ac.jp:76/TATEIWA/1.htm>
《生命・人間・社会》

<http://www.releenet.co.jp/link/>
LINK! LINK! LINK!

<http://www.shiba.tao.go.jp/mptlink.htm>
高齢者・障害者に有用な情報へのリンク

<http://www.top.or.jp/~jj/rink/sisisyougai-rink.htm>
四肢障害者 (全身性障害者) 総合情報リンク集

<http://www.spijapan.com/search/search.html>
障害者の為の検索エンジン

<http://www.top.or.jp/~cil/>
全国の自立生活センターリンク集

<http://www.wellnet.co.jp/bbs/links.html>
ウイル掲示板

<http://www.tt.rim.or.jp/~inachan/>
稲ちゃん HEARTFUL HOUSE
車イス外出情報のリンク集、障害者向けの情報と催しの紹介

<http://www.caravan.net/office-line/>
車椅子関連 Home Page リンク集

<http://www.releenet.co.jp/link/columu/columu.html>
ニッポンの車椅子 (LINK! LINK! LINK!!)

<http://www.es-dur.co.jp/smnpo/link.html>
まちづくり NPO ネットワークリンク集

VI 地球科学関連のリンク集 (表 5)

<http://rika.ed.ynu.ac.jp/url/tigaku.html>
横浜国立大学物理学科「地学の部屋」

<http://earth.sci.kagoshima-u.ac.jp/oyo/link.html>
鹿児島大学応用地質講座ホームページ

VII さいごに

インターネットは変化が激しいので、ここに示した URL も変わっている可能性がある。本 URL 集は、1998 年 9 月 10 日までのものである。目的のホームページが見つからないときは、検索エンジンを使うか、手入れの行き届いたリンク集をみるかしてほしい。

電子メールや、ニュースグループ、メーリングリストによる情報や、インターネットの WWW サイトによる情報は、紙に印刷された文献と同様に引用可能になってきている (三中, 1997)。電子文献の引用形式は ISO の最終原案 (ISO/DIS 690-2, 1996) で指示されており、
著者・年・タイトル [媒体名]、受信：受信者名、送信日付 [引用：引用日付]、Available from Internet: <アクセス先>、

という引用になる。

本資料がインターネットでの博物館を調べるための参考になれば幸いである。

なおデータ収集にあたっては、博物館関連のリンクおよび URL 集は小出良幸が、理科教育関連のリンクおよび URL 集は佐藤武宏が、障害者関連のリンクおよび URL 集は田口公則が、地球環境関連のリンクおよび URL 集は新井田秀一が、地球科学関連のリンクおよび URL 集は山下浩之が、担当した。

本稿を作成するに当たって、宇津井篤さん、小林真由美さん、古屋潔子さんの助力や助言をいただいた。本研究の一部は、文部省科学研究費、文部省南関東科学系博物館ネットワーク推進事業、日本科学協会の援助を受けた。最後になったが、以上のかたがたに感謝申し上げる。

文献

小出良幸・平田大二・山下浩之・新井田秀一・佐藤武宏・田口公則, 1999. 新しい地球科学普及法試案—博物館における地球科学教育の刷新へのケーススタディー. 神奈川県立博物館研究報告, 28: 29-55.

三中信宏, 1997. 生物系統学. 東京大学出版会, 東京, p. 458.

(受付: 1998 年 9 月 15 日, 受理: 1998 年 12 月 3 日)

表 1 自然史博物館関連のリンク集

No	Names of Natural History Museums and Related Facilities	Home Page Address
1	Academia Sinica, Institute of Botany, Herbarium, Taipei, Taiwan	http://www2.sinica.edu.tw:8080/hast/
2	Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Philadelphia, PA	http://www.acnatsci.org/
3	Adler Planetarium and Astronomy Museum	http://astro.uchicago.edu/adler/
4	Alaska State Museum, Juneau, Alaska	http://ccl.alaska.edu/local/museum/asmhome.htm
5	Albany Museum, Rhodes University, Grahamstown, South Africa	http://www.ru.ac.za/departments/am/info.html
6	Allyn Museum of Entomology, Sarasota, FL	http://www.flmnh.ufl.edu/natsci/allyn/allyn_museum.htm
7	American Museum of Natural History in New York	http://www.amnh.org/
8	Anniston Museum of Natural History, Anniston, AL	http://www.the-matrix.com/anni/nathist.html
9	Archeological Museum of Bologna	http://matahari.tamu.edu/People/Ewen/SouthWest.html
10	Arizona State University, Tempe, AZ: Arboretum	http://www.fm.asu.edu/finalweb/arboindx.htm
11	Arizona State University, Tempe, AZ: Lichen Herbarium	http://lichen.la.asu.edu/
12	Arizona State University, Tempe, AZ: Vascular Plant Herbarium	http://lsvl.la.asu.edu/herbarium/
13	Atlanta Botanical Garden, Atlanta, GA	http://aabga.mobot.org/AABGA/Member.pages/Atlanta/atlanta.html
14	Australasian Regional Association of Zoological Parks and Aquaria Institutional Members	http://www.comcen.com.au/~arazpa/inst_t.html
15	Australian Museum, Sydney, NSW, Australia	http://www.chch.planet.org.nz/green/community/museum.html
16	Australian National Botanic Gardens, Canberra, ACT, Australia	http://osprey.erin.gov.au/anbg.html
17	Bailey-Matthews Shell Museum, Sanibel Island, FL	http://www.coconet.com/sanibel-captiva/bm_shell.html
18	Bartlett Arboretum, University of Connecticut, Stamford, CT	http://florawww.eeb.uconn.edu/bartlett/bartlett.htm
19	Battle Hill Museum of Natural History	http://elwood.pionet.net/~bhmuseum/
20	Bell Museum of Natural History, University of Minnesota, Minneapolis, MN	http://www.umn.edu/bellmuse/
21	Bergius Botanical Garden, Stockholm, Sweden	http://mcewans.pilsnet.sunet.se/Bergianska/bergianska.html
22	Berkeley's Lawrence Hall of Science	http://www.lhs.berkeley.edu/
23	Berkeley's Lawrence Hall of Science: Paleontology	http://www.ucmp.berkeley.edu/
24	Bernice Bishop Museum, Honolulu, Hawaii	http://www.bishop.hawaii.org/
25	Biosciences Page	http://golgi.harvard.edu/biopages.html
26	Birmingham Botanical Gardens, Birmingham, AL	http://www.bbgardens.org/
27	Bishop Museum	http://www.bishop.hawaii.org/
28	Botanic Gardens of Adelaide and State Herbarium, Adelaide, SA, Australia	http://www.wombat.com.au/wombat/atract/sa/adelaide/botanic/index.html
29	Botanical Gardens in Croatia	http://bagan.srce.hr/botanic/cisb/Edoc/flora/gardens/gardens.htm
30	Botanical Research Institute of Texas, Fort Worth, TX	http://www.brit.org/
31	Botanische Garten der Stadt Linz, Linz, Austria	http://www.idv.uni-linz.ac.at/Linzinfo/freizeit/freinfo/BOTANGAR.HTM
32	Boyce Thompson Southwestern Arboretum, Superior, AZ	http://ag.arizona.edu/BTA/
33	Bradbury Science Museum	http://www.lanl.gov/Public/Museum/
34	British Columbia Museum Association	http://www.islandnet.com/~bcm/a/
35	British Museum	http://www.british-museum.ac.uk/
36	Buffalo Museum of Science, Buffalo, NY	http://freenet.buffalo.edu/~bms/
37	Burke Museum of Natural History and Culture, Seattle, Wash.	http://www.washington.edu/burkemuseum/
38	Burke Museum, University of Washington, Seattle	http://weber.u.washington.edu/~burkemus/
39	Burpee Museum of Natural History, Rockford, IL	http://www.sinnfree.org/rpd/rpd51.htm
40	Butchart Gardens, Victoria, BC	http://www.dataflux.bc.ca/butchart/index.html
41	California Academy of Sciences, San Francisco, CA	http://www.calacademy.org/
42	Canadian Botanical Gardens and Arboreta	http://www.science.mcmaster.ca/Biology/CBCN/p0000050.htm
43	Canadian Heritage Information Network National Inventories	http://www.chin.gc.ca/CHIN/DatabaseAccess/e_national.html
44	Canadian Museum of Civilization	http://www.cmcc.muse.digital.ca/
45	Canadian Museum of Nature, Ottawa, ON	http://www.nature.ca
46	Canterbury Museum, Christchurch, New Zealand	http://canterbury.cyberplace.org.nz/community/museum.html
47	Cape Cod Museum of Natural History, Brewster, MA	http://www.capecodconnection.com/ccmnh/index.htm
48	Carnegie Museum of Natural History	http://www.clpgh.org/cmnh
49	Carnegie Museum of Natural History, Pittsburgh, PA	http://trfn.pgh.pa.us/Carnegie/CMNH/home.html
50	Centennial Museum, University of Texas at El Paso, El Paso, TX	http://www.utep.edu/~museum/home.html
51	Charles B. Graves Herbarium, Connecticut College, New London, CT	http://herbarium.conncoll.edu/
52	Chicago Academy of Sciences Nature Museum, Chicago, IL	http://www.chias.org/
53	Chicago Botanic Garden, Glencoe, IL	http://www.chicago-botanic.org/
54	Children's Museum of Indianapolis	http://www.a1.com/children/home.html
55	Children's Museum of San Jose, California	http://www.cdm.org
56	Christchurch Botanic Gardens, Christchurch, New Zealand	http://www.ccc.govt.nz/Parks/Gardens/
57	Chula Vista Nature Center, Chula Vista, California	http://sdcc12.ucsd.edu/~wa12/cvnature.html
58	Cincinnati Museum Center, Cincinnati, Ohio	http://ucaswww.mcm.uc.edu/geology/crest/cmnh/cmc.htm
59	Cincinnati Museum Center, Museum of Natural History; Science, Cincinnati, OH	http://www.cincymuseum.org/cmnh.htm
60	City of Santa Cruz Museum of Natural History, Santa Cruz, CA	http://www.cruzio.com/~scva/nathist.html
61	Clemson University Arthropod Collection, Clemson, SC	http://biowww.clemson.edu/ento/databases/museum/museum.html
62	Cleveland Museum of Natural History, Cleveland, Ohio	http://www.cmnh.org/
63	College of Eastern Utah Prehistoric Museum, Price, UT	http://www.ceu.edu/museum/museum.htm
64	Computer Museum Computer Clubhouse	http://www.net.org/
65	Connecticut State Museum of Natural History	http://www.mnh.uconn.edu/
66	Consortium of Herbaria in Arizona and New Mexico	http://sevilleta.unm.edu/plant/herb/chaznm-home.html
67	Cornell University, Ithaca, NY: Bailey Hortorium	http://www.bio.cornell.edu/hortorium/sohortorium.html
68	Cornell University, Ithaca, NY: Cornell Plantations	http://www.cfe.cornell.edu/plantations/guide.html
69	Cornell University, Ithaca, NY: Herpetology Collection	http://muse.bio.cornell.edu/museums/cuherp.html
70	Cornell University, Ithaca, NY: Ichthyology and Herpetology Collections	http://muse.bio.cornell.edu/taxonomy/cufish.html
71	Cornell University, Ithaca, NY: Ichthyology Collection	http://muse.bio.cornell.edu/museums/cufish.html
72	Cornell University, Ithaca, NY: Ornithology Collection	http://muse.bio.cornell.edu/museums/cubird.html
73	Croatian Natural History Museum / Hrvatski prirodoslovni muzej, Zagreb, Croatia	http://mahpm.hpm.hr/
74	CSIRO Division of Entomology, Canberra, ACT, Australia	http://www.ento.csiro.au/
75	CSIRO Division of Wildlife and Ecology, Canberra, ACT, Australia	http://www.dwe.csiro.au/
76	Cumberland Lodge, Museum, and Center for Leadership Studies, Williamsburg, Kentucky	http://www.cumber.edu/cumberlo.htm
77	Dallas Museum of Natural History	http://www.dallasdino.org/
78	Dawes Arboretum, Newark, OH	http://www.dawesarb.org/
79	Devonian Botanic Garden, University of Alberta, Edmonton, AB	http://www.discoveredmonton.com/devonian/dbg.html
80	Directory of Australian Natural History Museums	http://www.nma.gov.au:80/directory/t_natu.htm
81	DLO-NL Gene Bank and Herbarium, Wageningen, Netherlands	http://www.bib.wau.nl/dlo/genebank.html
82	Eddy Arboretum, Institute of Forest Genetics, Placerville, CA	http://s27w007.pswfs.gov/IFG/ifg.html
83	EMBRAPA/CENARGEN Herbarium	http://asparagin.cenargen.embrapa.br:80/herbarium/herbarium.html
84	Emporia State University Geology Museum, Emporia, Kansas	http://www.emporia.edu/S/www/earthsci/museum/museum.htm
85	Essig Museum of Entomology, University of California, Berkeley	http://www.mip.berkeley.edu/essig/
86	Estonian Academy of Sciences, Institute of Zoology and Botany, Tartu, Estonia	http://www.zbi.ee/english/welcome.htm
87	Exploratorium - San Francisco	http://www.exploratorium.edu/
88	Exploratorium's ExploraNet in California	http://www.exploratorium.edu/index.html
89	Fairbanks Museum and Planetarium, St. Johnsbury, VT	http://www.genghis.com/fairbanks/museum.htm

表 1 自然史博物館関連のリンク集 (つづき)

No	Names of Natural History Museums and Related Facilities	Home Page Address
90	Fernbank Museum of Natural History, Atlanta, GA	http://www.fernbank.edu/fmnh2.html
91	Fick Fossil and History Museum, Oakley, Kansas	http://www.oakley-kansas.com/fick.htm
92	Field Museum of Chicago	http://www.bvis.uic.edu/museum
93	Field Museum of Natural History	http://www.fmnh.org/
94	Finnish Museum of Natural History, Helsinki, Finland	http://www.helsinki.fi/kmus/
95	Finnish Museum of Natural History: Botanical Museum	http://www.helsinki.fi/kmus/
96	Florida Biotic Information Consortium	http://nervm.nerdc.ufl.edu:80/~biota/
97	Florida Museum of Natural History, Gainesville, FL	http://www.flmnh.ufl.edu/
98	Forest Research Institute Malaysia, Herbarium, Kepong, Malaysia	http://frim.gov.my/herbar.html
99	Fort Worth Museum of Science and History	http://www.fwmuseum.org
100	Fossil Horses in Cyberspace	http://www.flmnh.ufl.edu/natsci/vertpaleo/fhc/fhc.htm
101	Frank H. McClung Museum, University of Tennessee, Knoxville, TN	http://mcclungmuseum.utk.edu/default.html
102	Franklin Institute Science Museum	http://www.fi.edu/
103	Franklin Museum of Nature and the Human Spirit	http://www.montana.net/~franklin/
104	Franklin Museum Philadelphia	http://sln.fi.edu/tfi/welcome.html
105	Fundy Geological Museum, Parrsboro, NS	http://www.ednet.ns.ca/educ/museum/fgm/index.htm
106	Furman University, Greenville, SC: Insect Collection	http://ns9000@furman.edu/~snyder/butterfly/index.html
107	Furman University, Greenville, SC: Ives Herbarium	http://ns9000@furman.edu/~snyder/herbarium/index.html
108	G.F. Ledingham Herbarium, University of Regina, Regina, SK	http://herb.biol.uregina.ca/herb/
109	Gazi University, Ankara, Turkey: Ankara Gazi Herbarium	http://quark.fef.gazi.edu.tr/biology/herb.html
110	Gazi University, Ankara, Turkey: Zoological Collection	http://quark.fef.gazi.edu.tr/biology/zcoll.html
111	George C. Page Museum of La Brea Discoveries, Los Angeles, CA	http://www.lam.mus.ca.us/page/
112	Ghost Ranch Living Museum, Carson National Forest, Abiquiu, NM	http://www.laplaza.org/gov/fed/carson/html_main/general_ghost.html
113	Great Plains Zoo and Delbridge Museum of Natural History	http://www.state.sd.us/state/executive/tourism/adds/gpz.htm
114	Gulf Coast Research Laboratory Museum, Ocean Springs, MS	http://eos.gp.usm.edu:80/gcrl/mosaic/resprog.002.html
115	Gyomai Gy. Bessenyei Teacher Training College Botanical Garden, Nyírcuteregyháza, Hungary	http://www.bgytf.hu/~komodi/botkert/eng.shtml
116	Hands On Children's Museum of Olympia, Washington	http://www.wln.com/~deltapac/hocm.html
117	Harris Garden, University of Reading, Reading, England	http://www.reading.ac.uk/AcaDepts/sb/Research_Services/Ha-Ga/hg.html
118	Harvard University - Museum of Cultural and Natural History	http://www.mcnh.harvard.edu
119	Harvard University Museums, Cambridge, MA	http://fas-www.harvard.edu/~peabody/harvard_head.html
120	Heard Natural Science Museum and Wildlife Sanctuary	http://www.heardmuseum.org
121	Herbario Nacional de Mexico, Mexico City, Mexico	http://www.ibiologia.unam.mx/herba/herba.html
122	Herbarium Bogoriense, Bogor, Indonesia	http://www2.bonet.co.id/bonet/herbari.htm
123	Herbariums in Croatia	http://bagan.srce.hr/botanic/cisb/Edoc/flora/herbariums/herbar.htm
124	High Desert Museum, Bend, OR	http://www.highdesert.org/
125	History of Science Museum, Florence, Italy	http://galileo.imss.firenze.it
126	Honolulu Community College Dinosaur Exhibit, Honolulu, Hawaii	http://www.hcc.hawaii.edu/dinos/dinos.1.html
127	Hooper Virtual Paleontological Museum, Canada	http://superior.carleton.ca/~tpatters/Museum/hvpmdoor.html
128	Houston Arboretum and Nature Center, Houston, TX	http://space.rice.edu/~cec/groups/alpha/arboretum.html
129	Houston Museum of Natural Science, Houston, TX	http://www.hmns.mus.tx.us/hmns/home.html
130	Humboldt State University Natural History Museum, Arcata, CA	http://sorrel.humboldt.edu/~natmus/
131	Humboldt-Universitaet zu Berlin, Berlin, Germany: Arboretum	http://www.rz.hu-berlin.de/hub/sehensw/muse_e.html#arboretum
132	Humboldt-Universitaet zu Berlin, Berlin, Germany: Botanischer Garten	http://www.informatik.hu-berlin.de/BtW/A-Z/30.html
133	Humboldt-Universitaet zu Berlin, Berlin, Germany: Botanisches Museum	http://www.informatik.hu-berlin.de/BtW/A-Z/31.html
134	Humboldt-Universitaet zu Berlin, Berlin, Germany: Museum fuer Naturkunde	http://www.rz.hu-berlin.de/hub/sehensw/muse_e.html
135	Hungarian National Museum	http://origo.hnm.hu/
136	Hunterian Museum and Art Gallery, Glasgow, Scotland	http://www.gla.ac.uk/Museum/
137	Idaho State Arboretum, Pocatello, ID	http://www.isu.edu/isutour/treewalk/treewalk1.html
138	Illinois Natural History Survey, Champaign, IL	http://www.inhs.uiuc.edu/
139	Illinois State Museum, Springfield, IL	http://www.museum.state.il.us/
140	INBio, Instituto Nacional de Biodiversidad, San Joseacute, Costa Rica - Herbario	http://www.inbio.ac.cr/tipos/herbario/types
141	Institut Botagravenc de Barcelona, Herbario Salvador, Barcelona, Spain	http://flora.uv.es/herbarios/salvador.htm
142	Instituto San Isidro de Madrid, Herbario, Madrid, Spain	http://flora.uv.es/herbarios/sidro.htm
143	International Museum of Surgical Science	http://www.imss.org/
144	International Wildlife Museum	http://www.artcom.com/museums/vs/gl/85745.htm
145	Internet Webseum of Holography	http://www.holoworld.com/
146	James Ford Bell Museum of Natural History	http://www.umn.edu/bellmuse/
147	James Madison University, Harrisonburg, VA: Arboretum	http://www.jmu.edu/biology/arbor/arbor.html
148	James Madison University, Harrisonburg, VA: Life Science Museum	http://www.jmu.edu/biology/lsmuse/lsmuse.html
149	James R. Slater Museum of Natural History, University of Puget Sound, Tacoma, WA	http://www.ups.edu/biology/museum/museum.html
150	Jardiacten Botaacutenico, Barcelona, Spain	http://www.bcn.es/castella/oci/musemona/enbotani.htm
151	Jardiacten Botaacutenico, Coria, Spain	http://diana.ingenia.es/coria/jardin.html
152	Jardiacten Botaacutenico de Coacuterdoba, Universidad de Coacuterdoba, Coacuterdoba, Spain	http://www.uco.es/cordoba/jarbot.html
153	Jardiacten Botaacutenico Lankester, Universidad de Costa Rica, San Joseacute, Costa Rica	http://www.ucr.ac.cr/lankester/homes.html
154	Jardiacten Botaacutenico Nacional, Dominican Republic	http://www.codetel.net.do/dominicana/botanico.html
155	John May Natural History Museum, Colorado Springs, CO	http://electricstores.com/naturalhistory/default.htm
156	John Ray Herbarium, University of Sydney, Sydney, NSW, Australia	http://www.bio.usyd.edu.au/SOBS/FACILITY/johnray.html
157	Kansas Cosmosphere	http://www.cosmo.org/home.htm
158	Kansas University Natural History Museum, Lawrence, Kansas	http://ukanaix.cc.ukans.edu/~kanu/
159	Kings Park & Botanic Garden, Perth, WA, Australia	http://www.botany.uwa.edu.au/KP/plantsci.html
160	Klamath National Forest Interpretive Museum, Yreka, CA	http://www.r5.pswfs.gov/heritage/036.HTM
161	Koke'e Natural History Museum	http://www.aloha.net/~kokee/
162	L.A. County Museum of Natural History	http://www.nhm.org/cats
163	LA County Natural History Museum	http://cwis.usc.edu/lacnmh/default.html
164	Laboratoire de Prehistoire du Lazaret	http://www.ac-nice.fr/cremli/second/discip/svt/lazaret/index.htm
165	Lake Tiscamingue Fossil Centre	http://www.rlct.qc.ca/index2.html
166	Las Cruces Museum of Natural History	http://www.nmsu.edu/Museum
167	Lawrence Hall of Science	http://www.lhs.berkeley.edu/
168	Lemelson Center	http://www.si.edu/organiza/museums/nmah/homepage/lemel/start.htm
169	Leonardo da Vinci Museum	http://leonardo.net/main.html
170	Liberty Science Center	http://www.lsc.org
171	Lichenological Herbarium, Tartu University, Tartu, Estonia	http://www.ut.ee/lichens/herbarium.html
172	Life Sciences Museum, James Madison University, Virginia	http://www.jmu.edu/biology/lsmuse/lsmuse.html
173	Lindsay Wildlife Museum, Walnut Creek, CA	http://www.wildlife-museum.org/
174	Los Angeles County Museum of Natural History	http://www.nhm.org/webmuseums
175	Lost Museum of Sciences	http://www.netaxs.com/people/aca3/ATRIUM.HTM
176	Louisiana State Arboretum, Ville Platte, LA	http://www.crt.state.la.us/crt/parks/arbretum.htm

表 1 自然史博物館関連のリンク集 (つづき)

No	Names of Natural History Museums and Related Facilities	Home Page Address
177	Louisiana State University Museum of Natural Science	http://lsb103a.zool.lsu.edu
178	Lyon Arboretum, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, HI	http://www.botany.hawaii.edu/lyon/default.htm
179	M.T. James Entomological Collection, Washington State University, Pullman, WA	http://www.wsu.edu:8080/~zack/
180	Macleay Museum, Sydney, NSW, Australia	http://www.usyd.edu.au/su/macleay/welcome.htm
181	Manchester Museum, University of Manchester, England	http://www.mcc.ac.uk/~mellorir/museum.html
182	Manitoba Museum of Man and Nature, Winnipeg, MB	http://www.mbnet.mb.ca/ManitobaMuseum/index2.html
183	Marie Selby Botanical Gardens, Sarasota, FL	http://www.selby.org/
184	Massachusetts Museum of Natural History, University of Massachusetts, Amherst, Massachusetts	http://snapper.bio.umass.edu/vmmnh/
185	Maturango Museum, Ridgecrest, CA	http://www1.ridgecrest.ca.us/~matmus/
186	Mercer Arboretum Botanic Gardens, Humble, TX	http://space.rice.edu/~cec/groups/alpha/mercerc.html
187	Miami Museum of Science	http://www.miamisci.org/
188	Michigan State University, Lansing, MI: Center for Insect Diversity Studies, Lansing, MI	http://www.ent.msu.edu/dept/docs/museum.html
189	Michigan State University, Lansing, MI: W.J. Beal Botanical Garden	http://www.cpp.msu.edu/beal.htm
190	Milwaukee Public Museum, Milwaukee, WI	http://www.mpm.edu/welcome.html
191	Mississippi Entomological Museum, Mississippi State, MS	http://www.msstate.edu/Entomology/museum.html
192	Missouri Botanical Garden, St. Louis, MO	http://www.mobot.org/welcome.html
193	Missouri Botanical Gardens	http://straylight.tamu.edu/MoBot/welcome.html
194	Monterey Bay Aquarium, Monterey, CA	http://www.mbayaq.org/
195	Montreal Botanic Garden and Insectarium, Montreal, QC	http://www.cityvu.com/ENGLISH/BOTANIC.HTM
196	Montshire Museum of Science, Norwich, Vermont	http://www.valley.net/~mms/
197	Morris Arboretum of the University of Pennsylvania, Philadelphia, PA	http://www.upenn.edu/morris/
198	Museacutée de Mineacuterologie, Ecircole des Mines, Paris	http://www.ensmp.fr/Fr/Services/Musee/musee.html
199	Museacutée d'Histoire Naturelle, Fribourg, Switzerland	http://www.etatfr.ch/mhn/mhn.htm
200	Museacutée National d'Histoire Naturelle, Paris, France	http://www.mnhn.fr/
201	Museacutée National d'Histoire Naturelle, Luxembourg	http://www.mnhn.etat.lu/
202	Museacutée national d'histoire naturelle, Paris, France	http://www.mnhn.fr/
203	Museo Civico Di Zoologia, Rome, Italy	http://www.ips.it/musis/bird_3.html
204	Museo de Ciencias Naturales de La Salle, Bogotaacute, Colombia	http://www.lasalle.edu.co/Museo.html
205	Museo de Geologiay Paleontologia, Neuquen, Argentina	http://www.uncoma.edu.ar/MuseoUNC/museoUNC.htm
206	Museo de La Plata,La Plata, Argentina	http://www.unlp.edu.ar/museo/index.html
207	Museo de las Aves de Meacutexico, Saltillo, Mexico	http://192.100.204.58/musave/tour/
208	Museo de Zoologiacute del Grupo Jaragua, Santo Domingo, Dominican Republic	http://www.aacr.net/gef/jaragua/museo.html
209	Museo di Anatomia Comparata	http://musmin.sci.uniroma1.it/unimus/musanco.htm
210	Museo di Anatomia Comparata : Museo di Antropologia	http://musmin.sci.uniroma1.it/unimus/musantro.htm
211	Museo di Anatomia Comparata : Museo di Geologia	http://musmin.sci.uniroma1.it/unimus/musgeolo.htm
212	Museo di Anatomia Comparata : Museo di Mineralogia	http://musmin.sci.uniroma1.it/unimus/musmine.htm
213	Museo di Anatomia Comparata : Museo di Paleontologia	http://musmin.sci.uniroma1.it/unimus/muspal.htm
214	Museo di Anatomia Comparata : Museo di Zoologia	http://musmin.sci.uniroma1.it/unimus/muszool.htm
215	Museo di Anatomia Comparata : Museo Erbario	http://musmin.sci.uniroma1.it/unimus/muserba.htm
216	Museo di Anatomia Comparata : Orto Botanico	http://musmin.sci.uniroma1.it/unimus/ortobot.htm
217	Museo di Storia Naturale dell'Universit di Pisa, Certosa di Calci, Italy	http://astrpi.difi.unipi.it/Museo_di_Calci/MusSN.html
218	Museo di Storia Naturale dell'Universitagrave di Pisa, Pisa, Italy	http://astrpi.difi.unipi.it/Museo_di_Calci/MusSN.html
219	Museo di Storia Naturale, Universitagrave degli Studi di Firenze, Florence, Italy	http://www.unifi.it/unifi/msn/
220	Museo di Zoologia dell'Universitagrave di Bologna	http://www.bo.astro.it/Musei-Universitari/zoologia.html
221	Museo Mundo de Ambar, Santo Domingo, Dominican Republic	http://dominicana.com/m.ambar/
222	Museo Municipal do Funchal, Histoacuteria Natural, Madeira, Portugal	http://www.mmf.uma.pt/
223	Museo Nacional, San Joseacute, Costa Rica	http://www.cr/arte/museonac/museonac.htm
224	Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, Spain	http://albia.museo.csic.es/MNCN.html
225	Museon, Den Haag,The Hague, Netherlands	http://www.museon.nl/eindex.html
226	Museu Municipal do Funchal, Madeira Islands, Portugal	http://www.mmf.uma.pt/ingles/mmf.html
227	Museum d'histoire naturelle, Geneva, Switzerland	http://www.ville-ge.ch/gve_guid/musgal/museum/museum.htm
228	Museum National d'Histoire Naturelle	http://www.mnhn.fr/
229	Museum of Jurassic Technology, Culver City, California	http://www.mjt.org/
230	Museum of Long Island Natural Sciences	http://www.molins.sunysb.edu
231	Museum of Natural History & Cormack Planetarium, Providence, RI	http://ids.net/~cormack_pl/museum.html
232	Museum of Natural History & Science at Cincinnati Museum Center, Cincinnati, OH	http://www.cincymuseum.org/cmnh.htm
233	Museum of Natural History, Foslashroya Nacutetuacuterugripasavn, Faroe Islands	http://www.sleipnir.fo/musnat.htm
234	Museum of Natural History of Crete, University of Crete, Greece	http://www.cc.uch.gr/Tmhata/MFI/BIOGMOUS.html
235	Museum of Natural History of the University of Pisa, Calci, PI	http://astrpi.difi.unipi.it/Museo_di_Calci.html
236	Museum of Natural History of University of Oregon	http://oregon.uoregon.edu/~mnh/index.html
237	Museum of Natural Historyand Cormack Planetarium, Providence, Rhode Island	http://ids.net/~cormack_pl/museum.html
238	Museum of New Zealand Te Papa Tongarewa, Wellington, New Zealand	http://monz.cs.auckland.ac.nz/Cmonz
239	Museum of Physics Department.	http://hpl33.na.infn.it/Museum-old/Museum.html
240	Museum of Science and Industry in Chicago	http://www.msichicago.org
241	Museum of Science in Boston	http://www.mos.org/
242	Museum of Southwestern Biology, University of New Mexico, Albuquerque, NM	http://sevilleta.unm.edu/msb/msb-home.html
243	Museum of the Scott Polar Research Institute, Cambridge, England	http://www.cam.ac.uk/CambUniv/RepMuseums/Scott.html
244	Museum of Vertebrate Zoology, University of California, Berkeley	http://www.mip.berkeley.edu/mvz/
245	Museum of Victoria, Melbourne, Australia	http://www.mov.vic.gov.au/
246	Museum of Victoria, Melbourne, Australia - Mineralogy and Petrology	http://www.mov.vic.gov.au/mineralogy/welcome.html
247	Museum of Science in Boston	http://www.mos.org/mos/
248	Museums of Natural History at Toslashyen, Toslashyen, Norway	http://www.toyen.uio.no/engindex.html
249	Museums of Natural History, University of Copenhagen, Denmark	http://www.nathimus.ku.dk/
250	Musie National d'Histoire Naturelle	http://www.mnhn.etat.lu/
251	Musium Zoologi Bogor, Bogor, Indonesia	http://www2.bonet.co.id/bonet/MESZOO.HTM
252	Mystic Seaport Museum	http://www.mystic.org
253	Icelandic Institute of Natural History, Reykjavik and Akureyri, Iceland	http://www.nattfs.is/
254	National Air and Space Museum	http://www.nasm.edu/
255	National Dinosaur Museum, Gungahghlin, Australia	http://www.world.net/Travel/Australia/dino-museum/
256	National Herbarium of New South Wales, Sydney, NSW	http://www.rbgsyd.gov.au/RBG/Sci/herbarium.html
257	National Herbarium of Suriname, Paramaribo, Suriname	http://www.fsw.LeidenUniv.nl/www/w3_cuan/decherin/rainmed/rain_4.htm
258	National Museum of Namibia, Windhoek, Namibia	http://www.natmus.cul.na/
259	National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington, DC	http://nmnhwww.si.edu/
260	National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington, DC: Arctic Studies Center	http://nmnhwww.si.edu/arctic/
261	National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington, DC: Entomological Collection	http://www.barc.usda.gov/psi/sel/colldoc1.htm
262	National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington, DC: U.S. National Herbarium	http://nmnhwww.si.edu/botany/collover.html

表 1 自然史博物館関連のリンク集 (つづき)

No	Names of Natural History Museums and Related Facilities	Home Page Address
263	National Museums of Kenya, Nairobi, Kenya	http://www.museums.or.ke/
264	National Museums of Scotland, Edinburgh, Scotland	http://www.nms.ac.uk/
265	National Taiwan University Herbarium and Wen-Shan Botanical Garden, Taipei, Taiwan	http://king.cc.ntu.edu.tw/~botany/html/eintro.html#4
266	National University of Hanoi, Zoological Museum, Ha Noi, Viet Nam	http://coombs.anu.edu.au/~vern/hnu-zoo-mus.html
267	Natural History Museum, Berne, Switzerland	http://nmbe0.unibe.ch/
268	Natural History Museum, London, England	http://www.nhm.ac.uk/
269	Natural History Museum Maastricht	http://www.nhmmaastricht.nl
270	Natural History Museum of Fribourg, Switzerland	http://www.etatfr.ch/mhn/mhn.htm
271	Natural History Museum of Los Angeles County, Los Angeles, CA	http://www.lam.mus.ca.us/lacmnh/
272	Natural History Museum of Southern Utah, Southern Utah University, Cedar City, UT	http://www.suu.edu/WebPages/MuseumGaller/museum.html
273	Natural History Museum of the Petrified Forest of Lesvos, Sigrí, Lesvos Island, Greece	http://www.aegean.gr/Petrified_Forest/
274	Natural History Museum University Berlin, Germany	http://www.museum.hu-berlin.de/
275	Natural History Museum, Berne, Berne, Switzerland	http://nmbe0.unibe.ch/
276	Natural History Museum, Berne, Switzerland	http://www.nmbe.unibe.ch/index.html
277	Natural History Museum, London	http://www.nhm.ac.uk
278	Natural History Museum, Switzerland	http://www.nmbe.unibe.ch/
279	Naturhistorisches Museum Freiburg, Switzerland	http://www.etatfr.ch/mhn/mhn_will.htm
280	Natuurhistorisch Museum Maastricht, Maastricht, Netherlands	http://www.nhmmaastricht.nl/
281	Natuurmuseum Nijmegen, Nijmegen, Netherlands	http://www.universal.nl/users/museum/
282	Neanderthal Museum, Mettmann, Germany	http://www.rz.uni-duesseldorf.de/WWW/Neanderthal/homepage.html
283	Neogene Marine Invertebrates of Tropical America	http://porites.geology.uiowa.edu:80/nmita.htm
284	New Brunswick Museum, Saint John, NB	http://www.chin.gc.ca/Government/PCH/CHIN/CHINIndex/Homepage/Museums/NewBrunswick/English/e_nbm.html
285	New England Aquarium, Boston, Massachusetts	http://www.mbl.edu/html/NEA/nea.home.html
286	New England Botanical Club Herbarium, Cambridge, MA	http://www.herbaria.harvard.edu/Collections/nebc/herbarium.html
287	New England Herbarium, University of New England, Armidale, NSW, Australia	http://www.une.edu.au/botany/herbw.htm
288	New England Science Center, Worcester, Massachusetts	http://www.nesc.org/
289	New Mexico Museum of Natural History	http://www.aps.edu/HTMLPages/MMNH.html
290	New Mexico Museum of Natural History and Science	http://www.nmmnh-abq.mus.nm.us/nmmnh/nmmnh.html
291	New Mexico Museum of Natural History and Science, Albuquerque, NM	http://www.aps.edu/HTMLPages/MMNH.html
292	New York Botanical Garden, Bronx, NY	http://www.nybg.org/
293	New York State Museum	http://www.nysm.nysed.gov
294	Newfoundland Museum, St. John's, NF	http://www.stemnet.nf.ca/~cshea/
295	Niagara Parks Botanical Gardens, Niagara Falls, ON	http://www.niagara.com/~jshoup/botanic_gardens.html
296	Nichols Arboretum, University of Michigan	http://www.umich.edu/~swissmis/arb.html
297	Norfolk Island Botanic Gardens, Norfolk Island, NSW, Australia	http://osprey.anbg.gov.au/norfolk_gardens/
298	North Carolina Museum of Life and Science, Durham, NC	http://ils.unc.edu/NCMLS/ncmls.html
299	North Carolina State Museum of Natural Sciences	http://museums.mdm.com/naturalsciences/
300	North Carolina State Museum of Natural Sciences, Raleigh, NC	http://www.nando.net/links/museum/
301	North Carolina State University, Raleigh, NC: Arboretum	http://kelley.ece.ncsu.edu/arboretum/arboretum.html
302	North Carolina State University, Raleigh, NC: Insect Collection	http://ent2.ent.ncsu.edu/FACILITY/museum.html
303	North Cyprus Herbarium	http://force.stwing.upenn.edu:8001/~durduran/herb4.html
304	Northern Lights Planetarium, Norway	http://www.uit.no/npt/homepage-npt.en.html
305	Northern Prairie Herbarium, Jamestown, ND	http://www.npsc.nbs.gov/resource/othrdata/herbar/herbar.htm
306	Nova Scotia Agricultural College, A.E. Roland Herbarium, Truro, NS	http://www.nsac.ns.ca/www/nsac/b/herb.html
307	Nova Scotia Museum of Natural History, Halifax, NS	http://www.ednet.ns.ca/educ/museum/mnh/
308	Oakland Museum of California, Oakland, California	http://www.museumca.org/
309	Ocean Planet exhibit at the Smithsonian	HTTP://seawifs.gsfc.nasa.gov/ocean_planet.html
310	Ohio State University Museum of Biological Diversity, Columbus, OH :Insect Collection	http://iris.biosci.ohio-state.edu/
311	Ohio State University Museum of Biological Diversity, Columbus, OH: Borror Laboratory of Bioacoustics	http://iris.biosci.ohio-state.edu/borror_lab/intro.html
312	Oklahoma Biological Survey, Norman, OK	http://obssun02.uoknor.edu/biosurvey/home.html
313	Oklahoma Biological Survey, Norman, OK: Robert Bebb Herbarium	http://obssun02.uoknor.edu/biosurvey/bebb/home.html
314	Oklahoma Museum of Natural History, Norman, OK	http://www.ou.edu/omnh/
315	Old Trail Museum and Paleontology Field School, Chouteau, Montana	http://www.commerce-center.com/showcase/otm/
316	Olive Pink Botanic Garden, Alice Springs, NT, Australia	http://www.anbg.gov.au/pink/opgarden.html
317	Omniplex Science Museum in Oklahoma City	http://www.ionet.net/~omniplex/index.html
318	OMSI Portland, Oregon	http://www.omsiedu/
319	Ontario Science Center	http://www.osc.on.ca
320	Oregon Museum of Science and Industry	http://www.omsiedu
321	Oregon State Museum of Anthropology, Eugene, OR	http://oregon.uoregon.edu/~mnh/osma.html
322	Oregon State University Herbarium, Corvallis, OR	http://www.orst.edu/Dept/botany/herbarium/index.html
323	Orma J. Smith Museum of Natural History, Albion College of Idaho, Caldwell, ID	http://www.acofi.edu/~mnh/
324	Oxford University Museum of Natural History, Oxford, England	http://www.ashmol.ox.ac.uk/oum/
325	Pacific Grove Museum of Natural History, Pacific Grove, CA of other	http://www.monterey.com/museum.htm#pg
326	Pacific Grove Museum of Natural History, Pacific Grove, CA of other	http://mry.infohut.com/PacificGroveNaturalHistoryMuseum/home.htm
327	Pacific Grove Museum of Natural History, Monterey County, California	http://www.digimark.net/california/museum.htm
328	Pacific Northwest Museum of Natural History	http://www.projecta.com/nwmuseum/
329	Pacific Northwest Museum of Natural History, Ashland, OR	http://www.projecta.com/nwmuseum/
330	Palm Springs Desert Museum, Palm Springs, CA	http://www.palmsprings.com/points/museum.html
331	Pamplemouses Botanical Garden, Mauritius	http://infoserv.sghms.ac.uk/staff/hulkhory/mauritius/pmouses.html
332	Parc Marie-Victorin, Kingsey Falls, QC	http://www.ivic.qc.ca/mv/home2.html
333	Peabody Museum at Harvard University	http://fas-www.harvard.edu/~peabody/
334	Peabody Museum of Natural History, Yale University	http://www.peabody.yale.edu/
335	Petrified Creatures Museum of Natural History	http://www.kjmall.com/petrified/index.html
336	Prince of Wales Northern Heritage Centre, Yellowknife, NWT, Canada	http://tailpipe.learnnet.nt.ca/PWNHC/
337	Provincial Museum of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada	http://www.pma.edmonton.ab.ca/
338	Public Museum of Grand Rapids	http://www.grmuseum.org/
339	Queen Victoria Museum and Art Gallery, Launceston, TAS, Australia	http://www.qvmag.tased.edu.au/
340	Rancho Santa Ana Botanic Garden, Claremont, CA	http://www.cgs.edu/inst/rsa/
341	Raptor Center, University of Minnesota	http://www.raptor.cvm.umn.edu/
342	Raymond M. Alf Museum of Paleontology, Claremont, CA	http://www.webb.pvt.k12.ca.us/webb/Alf/AlfHome.html
343	Red Mountain Museum, Birmingham, AL	http://www.the-matrix.com/discover/rmm.html
344	Redpath Museum, McGill University, Montreal, QC	http://www.mcgill.ca/redpath/
345	Rhode Island Natural History Survey, Providence, RI	http://www.edc.uri.edu/treapage/nathist/index.htm
346	Rhodes University, Grahamstown, South Africa: Albany Museum	http://www.ru.ac.za/departments/am/index.html
347	Rhodes University, Grahamstown, South Africa: J.L.B. Smith Institute of Ichthyology	http://www.ru.ac.za/affiliates/jlbsii.html
348	Rhodes University, Grahamstown, South Africa: Selmar Schonland Herbarium	http://www.ru.ac.za/departments/herbarium/
349	Rio Grande Zoo, Albuquerque, N.M.	http://www.nmia.com/~skshowa/zoo/index.html
350	Rocky Mountain Herbarium, University of Wyoming, Laramie, WY	http://www.uwyo.edu/a&s/bot/herb.htm

表 1 自然史博物館関連のリンク集 (つづき)

No	Names of Natural History Museums and Related Facilities	Home Page Address
351	Roger Tory Peterson Institute	http://www.rtpi.org
352	Royal Botanic Garden Edinburgh, Edinburgh, Scotland	http://www.rbge.org.uk/
353	Royal Botanic Gardens Sydney, Sydney, NSW, Australia	http://www.rbgsyd.gov.au/
354	Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, England	http://www.rbgekew.org.uk/index.html
355	Royal Botanic Gardens, McMaster University, Hamilton, ON	http://www.science.mcmaster.ca/Biology/rbg/RBG.html
356	Royal British Columbia Museum, Victoria, BC	http://rbcm1.rbcm.gov.bc.ca/
357	Royal Ontario Museum, Toronto, ON	http://www.rom.on.ca/
358	Royal Tyrrell Museum	http://www.cuug.ab.ca:8001/VT/tyrrell/
359	Royal Tyrrell Museum Alberta, Canada	http://freenet.calgary.ab.ca/science/tyrrell/
360	Royal Tyrrell Museum of Paleontology, Drumheller, Alberta, Canada	http://www.tyrrellmuseum.com/
361	Rutgers University Entomological Museum, New Brunswick, NJ	http://www.rci.rutgers.edu/~reed/museum.htm
362	San Bernardino County Museum, Redlands, CA	http://www.co.san-bernardino.ca.us/ccr/museum/museums.htm
363	San Diego Natural History Museum, San Diego, California	http://www.sdnhm.org/
364	Santa Barbara Museum of Natural History	http://www.sbnature.org/
365	Santa Barbara Museum of Natural History, Santa Barbara, CA	http://www.rain.org/~inverts/
366	Satrosphere, Aberdeen, Scotland	http://www.eng.abdn.ac.uk/~u01arh/
367	Schedel Foundation Arboretum and Gardens, Elmore, OH	http://www.toledolink.com/~dlare/elmore/schedel/index.html
368	Science Centre, Wollongong, NSW, Australia.	http://www.uow.edu.au/public/science_centre/
369	Science Museum of Minnesota	http://www.sci.mus.mn.us/
370	Science Museum, London	http://www.nmsi.ac.uk/
371	Sciencenter	http://edison.scictr.cornell.edu/
372	Sciencenter of Ithaca, NY	http://edison.scictr.cornell.edu/
373	SciTech	http://www.town.hall.org:80/places/SciTech/
374	Scripps Institution of Oceanography Collections, La Jolla, CA	http://gdcmp1.ucsd.edu/sci_coll.html
375	Senckenberg Natural History Museum, Frankfurt, Germany	http://senckenberg.uni-frankfurt.de/
376	Sharjah Natural History Museum & Desert Park, Sharjah, United Arab Emirates	http://www.sharjahmuseums.com/natural/index.html
377	Shuler Museum of Paleontology, Southern Methodist University, Dallas, TX	http://io.isem.smu.edu/~vineyard/shulermus.html
378	Sierra College Museum of Natural History, Rocklin, CA	http://www.sierra.cc.ca.us/museum/newest.htm
379	Singapore Science Centre	http://www.ncb.gov.sg/vsc/vsc.html
380	Slater Museum of Natural History, Tacoma, Washington	http://www.ups.edu/biology/museum/museum.html
381	Slovene Museum of Natural History, Ljubljana, Slovenia	http://stendar.arnes.si/guest/ljprirodm6/pmsgb.HTML
382	Smithsonian Home Page	http://www.si.edu
383	Smithsonian Institution, National Museum of Natural History	http://nmnhwww.si.edu/nmnhweb.html
384	Smithsonian, Gem and Mineral Collection	http://galaxy.einet.net/images/gems/gems-icons.html
385	Snow Entomological Museum, University of Kansas Natural History Museum, Lawrence, KS	http://ron.nhm.ukans.edu/ksem/index.html
386	South African Museum	http://nv1.samuseum.ac.za/
387	South Carolina State Museum, Columbia, SC	http://www.midnet.sc.edu/scsm/museum.htm
388	South Iceland Institute of natural history	http://www.eyjar.is/~arm/nshome.htm
389	South Shore Natural Science Center	http://key-biz.com/ssnsc/
390	St. Louis Science Center	http://www.slscc.org/
391	Staatliches Museum fuurmlr Naturkunde, Stuttgart, Germany	http://ourworld.compuserve.com/homepages/naturkundemuseum
392	State Botanical Garden of Georgia, Athens, GA	http://www.uga.edu/~botgarden/
393	State Darwin Museum, Moscow, Russia	http://www.darwin.museum.ru/Defengl.htm
394	Stephen Birch Aquarium-Museum, Scripps Institute of Oceanography	http://aqua.ucsd.edu/
395	Stephen F. Austin State University Arboretum, Nacodoches, TX	http://www.sfasu.edu/SFAArb.html
396	Sternberg Museum/Natural History Dinodome, Hays, KS	http://www.neteffect.net/public/icolor/dino/dino.html
397	Stoke-on-Trent City Museum	http://www.keele.ac.uk/koss/stkmg/home.htm
398	Strecker Museum Complex, Baylor University, Waco, TX	http://diogenes.baylor.edu/WWWproviders/Strecker_Museum/
399	Strybing Arboretum & Botanical Gardens, San Francisco, CA	http://cissus.mobot.org/aabga/member.pages/strybing/
400	Subway to Other Servers	http://ucmp1.berkeley.edu/subway.html
401	Survivors: A New Vision of Endangered Wildlife	http://www.i3tele.com/photo_perspectives_museum/faces/survivors.html
402	Swedish Amber Museum, Hllviken, Sweden	http://www.brost.se/
403	Swedish Museum of Natural History, Stockholm, Sweden	http://www.nrm.se/
404	Sydney Aquarium, Sydney, NSW, Australia	http://www.sydneyaquarium.com.au/home.html
405	Tallahassee Museum of History and Natural Science	http://freenet3.scri.fsu.edu:81/Tall_Museum/index.html
406	Tallahassee Museum of History; Natural Science, Tallahassee, FL	http://tallahasseeuseum.org/
407	Tasmanian Museum and Art Gallery, Hobart, TAS, Australia	http://www.tased.edu.au/cultural/tmag/
408	Tate Geological Museum, Casper, Wyoming	http://www.cc.whcnu.edu/tate/webpage.htm
409	Tech Museum of Innovation	http://www.thetech.org/
410	Technischen Universit Bergakademie Freiberg geological collections	http://www.tu-freiberg.de/~wwwggb/sammlung/index.html
411	Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel: TAU Botanic Gardens	http://www.tau.ac.il/botany/Gardens/
412	Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel: TAU Herbarium	http://www.tau.ac.il/botany/Tela/index.html
413	Tennessee Aquarium, Chattanooga, Tennessee	http://www.tennis.org/
414	Texas A&M University Herbarium, College Station, TX	http://csdl.tamu.edu/FLORA/biolherb/tamuhome.htm
415	Texas Memorial Museum, University of Texas, Austin, TX	http://www.utexas.edu/depts/tmm/
416	Texas Natural History Collections, Texas Memorial Museum, Austin, TX	http://www.utexas.edu/depts/tnhc/
417	Teylers Museum, Haarlem, The Netherlands	http://www.nedpunt.nl/teylersmuseum/
418	Thomas Burke Memorial Washington State Museum, Seattle, WA	http://www.washington.edu/burkemuseum/
419	Tools and Resources for Systematic Research	http://www.herb.lsa.umich.edu/tool_dir.htm
420	Trailside Museum	http://members.aol.com/merganser/trailside.htm
421	Transvaal Museum	http://www-tm.up.ac.za
422	Tromsoslash Botanic Gardens, Tromsoslash Museum, Tromsoslash, Norway	http://www.imv.uit.no/english/about/bothage/bothage.htm
423	Tromsoslash Museum, University of Tromsoslash, Tromsoslash, Norway	http://beatles.imv.uit.no/homepage-imv.uit.no.html
424	Tulane University, New Orleans, LA: Herbarium	http://www.tulane.edu/~eeob/Facilities/Herbarium/
425	Tulane University, New Orleans, LA: Tulane Museum of Natural History, Belle Chasse, LA	http://www.museum.tulane.edu/tulane/museum.html
426	Tyler Arboretum, Media, PA	http://haven.ios.com/~mckenzie/abouttyl.html
427	U.S. Agricultural Research Service:	http://www.ars.usda.gov/
428	U.S. Agricultural Research Service: Bee Biology & Systematics Laboratory, Logan, UT	http://www.LoganBeeLab.usu.edu/
429	U.S. Agricultural Research Service: Systematic Botany and Mycology Laboratory, Beltsville, MD	http://nt.ars-grin.gov/
430	U.S. Agricultural Research Service: Systematic Entomology Laboratory, Beltsville, MD	http://www.sel.barc.usda.gov/
431	U.S. Agricultural Research Service: U.S. National Arboretum, Washington, DC	http://www.ars-grin.gov/ars/Beltsville/na/
432	U.S. Agricultural Research Service: U.S. National Parasite Collection, Beltsville, MD	http://www.lpsi.barc.usda.gov/bnpcu/arsbnpco.htm
433	UC Berkeley's Museum of Paleontology	http://www.ucmp.berkeley.edu/
434	Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Ouro Preto, Brazil	http://degeo.ufop.br/em/hist.htm
435	Universitagrave degli Studi di Roma "La Sapienza", Rome, Italy	http://www.ips.it/musis/main_mus.html
436	University of Alaska Museum, Fairbanks, AK	http://zorba.uafadm.alaska.edu/museum/
437	University of Alaska Museum, Fairbanks, AK: Herbarium	http://zorba.uafadm.alaska.edu/museum/herb/

表 1 自然史博物館関連のリンク集 (つづき)

No	Names of Natural History Museums and Related Facilities	Home Page Address
438	University of Alberta Museum of Zoology	http://gause.biology.ualberta.ca/uamz.hp/uamz.html
439	University of Arkansas Arthropod Museum, Fayetteville, AR	http://comp.uark.edu/~gwallis/museum.html
440	University of Arkansas Museum, Fayetteville, Arkansas	http://www.uark.edu/campus-resources/museuminfo/public_html/
441	University of British Columbia, Vancouver, BC: Cowan Vertebrate Museum	http://www.chin.gc.ca/CHIN/CHINIndex/Homepage/Museums/BritishColumbia/English/e_abc-cvm.html
442	University of British Columbia, Vancouver, BC: Herbarium	http://www.student-services.ubc.ca/publicat/pub/calendar/03GEN/6SVCS/herb.htm
443	University of California, Berkeley, Museums, Berkeley, CA: Essig Museum of Entomology	http://www.mip.berkeley.edu/essig/
444	University of California, Berkeley, Museums, Berkeley, CA: Museum of	http://www.ucmp.berkeley.edu/
445	University of California, Berkeley, Museums, Berkeley, CA: Museum of Vertebrate Zoology	http://www.mip.berkeley.edu/mvz/index.html
446	University of California, Berkeley, Museums, Berkeley, CA: University and Jepson Herbaria	http://ucjeps.berkeley.edu/
447	University of California, Davis, Davis, CA: Arboretum	http://pubweb.ucdavis.edu/documents/arboretum/arbhome.html
448	University of California, Davis, Davis, CA: Museum of Wildlife & Fisheries Biology	http://www.wfb.ucdavis.edu/www/museum/museum.html
449	University of California, Irvine, Arboretum, Irvine, CA	http://conbio.bio.uci.edu/arb/
450	University of California, Riverside, Riverside, CA: Botanic Gardens	http://cnas.ucr.edu/~cnas/facilities/botanic.html
451	University of California, Riverside, Riverside, CA: Entomology Research Museum	http://cnas.ucr.edu/~cnas/facilities/entresmus.html
452	University of California, Riverside, Riverside, CA: Germplasm Collections	http://cnas.ucr.edu/~cnas/facilities/germplasm.html
453	University of California, Riverside, Riverside, CA: Herbarium	http://cnas.ucr.edu/~cnas/facilities/herbarium.html
454	University of California, Santa Cruz, Arboretum, Santa Cruz, CA	http://www2.ucsc.edu/arboretum/
455	University of Cape Town, Cape Town, South Africa: Bolus Herbarium	http://www.uct.ac.za/depts/botany/bol/bolusidx.htm
456	University of Cape Town, Cape Town, South Africa: Percy Fitz Patrick Institute of African Ornithology	http://www.uct.ac.za/depts/fitzpatrick/
457	University of Central Florida Arboretum, Orlando, FL	http://pegasus.cc.ucf.edu/~arbor/home.html
458	University of Colorado Museum, Boulder, CO	http://stripe.colorado.edu/~ucm/Home.html
459	University of Colorado Museum of Natural History	http://www.colorado.edu/CUMUSEUM/
460	University of Copenhagen Museums of Natural History, Copenhagen, Denmark	http://www.nathimus.ku.dk/
461	University of Florida, Gainesville, FL: Allyn Museum of Entomology	http://www.flmnh.ufl.edu/natsci/allyn/allyn_museum.htm
462	University of Florida, Gainesville, FL: Florida Museum of Natural History	http://www.flmnh.ufl.edu/
463	University of Florida, Gainesville, FL: Herbarium	http://www.flmnh.ufl.edu/natsci/herbarium/
464	University of Georgia Museum of Natural History, Athens, GA	http://museum.nhm.uga.edu/MNHWWWintro.html
465	University of Illinois, Urbana-Champaign, IL: Arboretum	http://gopher.ag.uiuc.edu/Hort/arb-broc.html
466	University of Illinois, Urbana-Champaign, IL: Museum of Natural History	http://www.uimnh.uiuc.edu/
467	University of Iowa Research Collections, Iowa City, IA	http://www.uiowa.edu/~collect/index.html
468	University of Kansas Natural History Museum, Lawrence, KS	http://ukanaix.cc.ukans.edu/~kanu/
469	University of Latvia Botanical Gardens, Riga, Latvia	http://www.lanet.lv/members/LU/o_botgar.html
470	University of Maryland, College Park, MD: Norton-Brown Herbarium	http://www.inform.umd.edu:8080/EdRes/Colleges/LFSC/life_sciences/plant_biology/.WWW/marv.html
471	University of Massachusetts Herbarium, Amherst, MA	http://www.bio.umass.edu/biology/herbar.html
472	University of Michigan - Exhibit Museum of Natural History	http://www.exhibits.lsa.umich.edu/
473	University of Michigan Museum of Paleontology	http://www.umich.edu/~ummp/
474	University of Michigan Museum of Zoology	http://www.ummz.lsa.umich.edu/
475	University of Michigan Museums, Ann Arbor, MI: Exhibit Museum of Natural History	http://www.exhibits.lsa.umich.edu/
476	University of Michigan Museums, Ann Arbor, MI: Herbarium	http://biosci.cbs.umich.edu/herbarium/
477	University of Michigan Museums, Ann Arbor, MI: James Ford Bell Museum of Natural History	http://www.umn.edu/bellmuse/
478	University of Michigan Museums, Ann Arbor, MI: Museum of Anthropology	http://www.umma.lsa.umich.edu/umma.html
479	University of Michigan Museums, Ann Arbor, MI: Museum of Paleontology	http://www.umich.edu/~ummp/
480	University of Michigan Museums, Ann Arbor, MI: Museum of Zoology	http://www.ummz.lsa.umich.edu/
481	University of Michigan Museums, Ann Arbor, MI: Nichols Arboretum	http://www.umich.edu/~snrewww/arb/
482	University of Minnesota Landscape Arboretum, Chanhassen, MN	http://www.soils.umn.edu:8003/arb.htm
483	University of Natal, Durban, Durban, South Africa: Geology Education Museum	http://www.und.ac.za/und/geology/gem1.html
484	University of Natal, Pietermaritzburg, Pietermaritzburg, South Africa: Herbarium	http://www.unp.ac.za/UNPDepartments/Botany/herbarium.htm
485	University of Nebraska State Museum, Lincoln, Nebraska	http://www-museum.unl.edu/
486	University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NB: Botanical Garden and Arboretum	http://www.unl.edu:80/unlbg/
487	University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NB: University of Nebraska State Museum, Lincoln, NB	http://www-museum.unl.edu/
488	University of Northern Iowa Museum	http://www.uni.edu/museum/museum.html
489	University of Oregon Museum of Natural History, Eugene, OR	http://oregon.uoregon.edu/~mnh/index.html
490	University of Oslo, Oslo, Norway: Botanic Garden and Museum	http://www.toyen.uio.no/botanisk/english_index.html
491	University of Pisa	http://astrpi.difi.unipi.it/Museo_di_Calci.html
492	University of Pretoria, Pretoria, South Africa: Botanic Garden	http://www.up.ac.za/academic/botany/garden/garden.html
493	University of Pretoria, Pretoria, South Africa: H.G.W.J. Schweickerdt Herbarium	http://www.up.ac.za/academic/botany/herb/herb.html
494	University of Queensland Insect Collection, St. Lucia, QLD, Australia	http://www.uq.oz.au/entomology/uqic.html
495	University of South Carolina Collections, Columbia, SC	http://zebra.biol.scarolina.edu/biology/resource/moth/moth.html
496	University of South Florida, Tampa, FL: Botanical Garden	http://www.usf.edu/~isb/garden/garden.html
497	University of South Florida, Tampa, FL: Herbarium	http://www.usf.edu/~isb/gen-info/info.html
498	University of Stellenbosch Garden, Stellenbosch, South Africa	http://www.sun.ac.za/local/academic/natural/botany/garden/garden.html
499	University of Texas Plant Resources Center, Herbarium, Austin, TX	http://www.utexas.edu/ftp/depts/prc/
500	University of Texas Vertebrate Paleontology & Radiocarbon Laboratory	http://www.utexas.edu/research/vprl/
501	University of Washington, Seattle, WA: Burke Museum of Natural History and Culture	http://www.washington.edu/burkemuseum/
502	University of Washington, Seattle, WA: Fish Collection	http://artedi.fish.washington.edu/
503	University of Washington, Seattle, WA: Medicinal Herb Garden	http://www.nnlm.nlm.nih.gov/pnr/uwmhg/
504	University of Washington Fish Collection	http://artedi.fish.washington.edu/
505	University of Wisconsin-Madison Geology Museum	http://www.geology.wisc.edu/~museum/
506	University of Wisconsin-Madison Museums and Collections, Madison, WI: Botanical Garden	http://www.wisc.edu/botany/Garden/
507	University of Wisconsin-Madison Museums and Collections, Madison, WI: Geology Museum	http://geology.wisc.edu/~museum/
508	University of Wisconsin-Madison Museums and Collections, Madison, WI: Insect Research Collection	http://www.wisc.edu/entomology/irc.html
509	University of Wyoming Museums, Laramie, WY	http://www.uwyo.edu/OM/UNIREL/HTM/Attract.HTM
510	University of Wyoming Museums, Laramie, WY: Geological Museum	http://WWW.UWYO.EDU/legal/geomuseum/geolpage.htm
511	University of Wyoming Museums, Laramie, WY: Louis O. and Terua P. Williams Conservatory	http://www.uwyo.edu/a&s/bot/conserv.htm
512	University of Wyoming Museums, Laramie, WY: Rocky Mountain Herbarium	http://www.uwyo.edu/a&s/bot/herb.htm
513	University of Zagreb Botanical Garden, Zagreb, Croatia	http://bagan.srce.hr/botanic/biologija/biology/boteng7.htm
514	Utah Museum of Natural History	http://raven.umnh.utah.edu/
515	Utah State University, Logan, UT: Bee Biology & Systematics Laboratory	http://www.LoganBeeLab.usu.edu/

表 1 自然史博物館関連のリンク集 (つづき)

No	Names of Natural History Museums and Related Facilities	Home Page Address
516	Utah State University, Logan, UT: Intermountain Herbarium	http://www.biology.usu.edu/herbarium/index.html
517	Utah State University Virtual Museum	http://www.usu.edu:80/VRMuseum/
518	Vanderbilt Museum, Centerport, NY	http://www.webscope.com/vanderbilt/homepage.html
519	Vanderbilt Museum, Centerport, Long Island, New York	http://www.webscope.com/vanderbilt/homepage.html
520	Virginia Discovery Museum	http://www.comet.chv.va.us/vdm
521	Virginia Institute of Marine Science Ichthyological Collection, Gloucester Point, VA	http://www.vims.edu/ich_coll.html
522	Virginia Marine Science Museum, Hampton Roads, Virginia	http://www.whro.org/vmsm/
523	Virginia Museum of Natural History, Martinsville, VA	http://www.vmnh.org/
524	Virginia Museum of Natural History, University of Virginia branch	http://www.phys.virginia.edu:80/~vmnh/
525	Virginia Museum of Natural History, Virginia Tech branch	http://www.bev.net/education/museum/index.html
526	Virginia Tech Museum of Natural History, Blacksburg, VA	http://www.bev.net/education/museum/index.html
527	Voralberger Naturschau Dornbirn, Dornbirn, Austria, in German	http://www.swbv.uni-konstanz.de/wwwroot/euregio/vns/index.html
528	Walter Rothschild Zoology Museum, Tring, England	http://www.nhm.ac.uk/museum/tring/tring.html
529	Warsaw University Botanical Garden, Warsaw, Poland	http://www.bot.astro.uw.edu.pl/EDEN/garden.html
530	Washakie Museum	http://w3.trib.com/~wmuseum
531	Washington State University Museums, Pullman, WA	http://www.wsu.edu/NIS/LibrariesandMuseums.html
532	Wayne State University Museum of Natural History, Detroit, Michigan	http://www.science.wayne.edu/animals/index.html
533	Western Australian Museum - Perth Museum, Perth, WA, Australia	http://www.wa.gov.au/muswa/perth_mu.html
534	Whyte Museum of the Canadian Rockies, Banff, AB	http://www.cadvision.com/db/wmcr/
535	Wilbur R. Enns Entomology Museum, University of Missouri-Columbia, Columbia, MO	http://www.museum.insecta.missouri.edu/
536	Wilhelm G. Solheim Mycological Herbarium	http://www.uwyo.edu/a&s/bot/solheim.htm
537	Wyoming Dinosaur Center	http://www.Wyoming.com/~WDC
538	Zoological Institute and Museum, St. Petersburg, Russia	http://www.museum.state.il.us/zooinst/zi_home.htm
539	Zoological Museum of the University of Copenhagen, Denmark	http://www.aki.ku.dk/zmuc/zmuc.htm
540	Zoologisches Museum der Universitaet, Zuumlrich, Zurich, Switzerland	http://www.unizh.ch/zoolmus/

表 2 理科教育関連のリンク集

No	Name	Home Page Address	Memo
1	オンライン自然科学教育ネットワーク	http://www.nep.chubu.ac.jp/onsen/	関西の理科教育実践グループイベント案内、質問箱のページなど
2	シャーロット日本語補習学校	http://www.concordnc.com/jlsc/index.HTM	日米の教育事情の比較についてアメリカの理科教育について
3	愛知教育大学地学教室	http://www.earth.aichi-edu.ac.jp/	研究室・スタッフ紹介など
4	茨城大学教育学部理科教育研究室	http://telemann.edu.ibaraki.ac.jp/	
5	宇都宮大学理科教育	http://rikyoa.sci.utsunomiya-u.ac.jp/	研究室・スタッフ紹介など
6	岡山大学教育学部理科教室	http://sci.ed.okayama-u.ac.jp/science.html	研究室・スタッフ紹介、リンク集など
7	化石のページ	http://www.asahi-net.or.jp/~bp7n-kmy/	化石とは何か、化石の取り方を紹介化石を展示している博物館へのリンクも
8	岐阜大学ハイパーメディア楽修図鑑・岐阜の地学	http://www.crdc.gifu-u.ac.jp/zukan/tigaku/menu.html	岐阜の地質・地学現象に関する画像とその解説
9	宮崎大学教育学部理科教育講座	http://www.edugeo.miyazaki-u.ac.jp/rikyowww/rikyohome.html	研究室紹介、リンク集など
10	群馬大学教育学部理科教育講座	http://www.edu.gunma-u.ac.jp/~hayakawa/rikakoza/	研究室・スタッフ紹介など
11	広島大学教育学部理科教育学講座	http://www.educ.hiroshima-u.ac.jp/~kyori/	研究室・スタッフ紹介、リンク集など
12	埼玉県大里初等理科教育研究会	http://www.kumagaya.or.jp/~tack/rika/	ベクトルメダカ(マイクロズム)の実践、リンク集など
13	埼玉大学教育学部理科教育講座地学研究室	http://www.face.saitama-u.ac.jp/science/geo/geo.htm	研究室・スタッフ紹介など
14	山形大学教育学部理科教育講座地学研究室	http://kescriv.kj.yamagata-u.ac.jp/	研究室・スタッフ紹介、地学Q&Aのページなど
15	滋賀大学教育学部理科教育研究室	http://www.sue.shiga-u.ac.jp/WWW/dept/rika_kyouiku/rika_kyouiku.html	研究室・スタッフ紹介、リンク集など
16	上越教育大学自然系理科	http://www.juen.ac.jp/scien/rika.html	学科・研究室案内、リンク集など
17	上越地区理科教師の情報ネット (RIKA net)	http://www.juen.ac.jp/scien/rikanet.html	理科ネットに関する情報、リンク集など
18	信州大学教育学部理科教育専攻	http://cert.shinshu-u.ac.jp/facul/sci/index-j.html	研究室・スタッフ紹介など
19	青少年のための科学の祭典	http://www.katsurao-jhs.katsurao.fukushima.jp/RIKA/Saiten/saiten.htm	科学の祭典に関するニュース・過去の祭典のレポートなど
20	大阪教育大学理科教育学講座理科教育学	http://web.rikyo.osaka-kyoiku.ac.jp/index.html	研究室・スタッフ紹介など
21	大阪教育大学理科教育講座地学	http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~rika/tigaku/	研究室・スタッフ紹介、実習・実験ガイドなど。主に化学を中心とした理科教員のための ML の紹介アーカイブあり
22	中学理科教員談話室 (ML)	http://www.asahi-net.or.jp/~fi6o-tkhs/	
23	鳥取大学教育学部理科教育研究室	http://banana.fed.tottori-u.ac.jp/rika/rikahome.html	研究室・スタッフ紹介、リンク集など
24	東京学芸大学理科教育学研究室	http://www.u-gakugei.ac.jp/~sciedu/	学科・研究室・スタッフ紹介、小学校理科 INET相談室のページなど
25	東京都中学校理科教育研究会	http://www4.justnet.ne.jp/~komadome2/	活動案内、スタッフ紹介など
26	湯沢市理科教育センター	http://www.yutopia.or.jp/~yuzawasi/rikac/index.html	湯沢市周辺の地質など
27	福岡教育大学教育学部理科教育教室	http://hcs.fukuoka-edu.ac.jp/gakunai/rika/rikyo/rikyo.html	研究室・スタッフ紹介など
28	北海道教育大学札幌校自然科学科	http://www.educ.hiroshima-u.ac.jp/~kyori/	学科・スタッフ紹介など
29	北海道大学高等教育機能開発総合センター高等教育開発研究部	http://socyo.high.hokudai.ac.jp/More_HTML/rika.html	科学技術基本法、学会からの教育課程への要望書、実践例の紹介など

表 3 地球環境関連のリンク集

No	Name	Home Page Address	Memo
1	FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION)	http://www.fao.org/	食糧事情
2	GLOBE JAPAN	http://www.fsifee.u-gakugei.ac.jp/globe/	環境教育
3	ITTO (INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGNIZATION)	http://itto.or.jp/index.html	森林破壊
4	Microsoft TerraServer	http://terraserver.microsoft.com/	SPOT画像販売
5	NASA: Earth Observing System	http://eos.nasa.gov/	リモートセンシング・EOS
6	State of Our World: Population	http://www.igc.apc.org/millennium/inds/pop.html	人口問題
7	U.S.Bureau of Census:World POPClock Projection	http://www.census.gov/cgi-bin/ipc/popclockw	人口問題、人口時計
8	USGS: EROS Data Center	http://edcwww.cr.usgs.gov/	リモートセンシング・地図・GIS
9	アメリカ環境保護局	http://www.epa.gov/surf/	環境問題一般
10	リモート・センシング技術センター	http://www.restec.or.jp/	リモートセンシング・地図・GIS
11	宇宙開発事業団地球観測センター(NASDA EOC)	http://www.eoc.nasda.go.jp/	リモートセンシング・地図・GIS
12	海上保安庁水路部	http://www.jhd.go.jp/	リモートセンシング・地図・GIS
13	海洋科学技術センター	http://www.jamstec.go.jp/	リモートセンシング・地図・GIS
14	厚生省	http://www.ipss.go.jp/worldpop.html	現在の世界人口
15	国土地理院	http://www.gsi-mc.go.jp/	リモートセンシング・地図・GIS
16	国立環境研究所地球環境研究センター	http://www-cger.nies.go.jp/index-j.html	環境問題一般
17	国立社会保障・人口問題研究所	http://www.ipss.go.jp/	人口問題
18	国連食糧計画	http://www.ijnet.or.jp/wfp/	食糧事情
19	日本地図センター	http://www.jmc.or.jp/	リモートセンシング・地図・GIS
20	堀場製作所	http://gaiapress.horiba.co.jp/index.htm	酸性雨の観測ネットワーク
21	鳴門教育大学	http://www.naruto-u.ac.jp/kankyoku/kankyoku.html	環境問題一般

表 4 障害者関連のリンク集

NO	Name	Home Page Address	Memo
1	AccessibleHTML	http://www.twcu.ac.jp/~k-oda/AccessHTML/	すべての人にアクセス可能なHTML文書を書くためのガイド
2	Apple-K-12Education-DisabilityResources	http://www.apple.com/education/k12/disability/	
3	CHIMEServiceProject	http://www.neting.or.jp/welfare/chime/	作成責任者井村 保
4	ForeignResourcesWorldInformationonDisability	http://www.dais.is.tohoku.ac.jp/~iwan/foreign_res.html	
5	IBMバリアフリーの扉	http://www.ibm.co.jp/accessibility/	バリアフリー
6	Nobu'sTopPage	http://www.asahi-net.or.jp/~WC4N-SZK/	車イスの世界バリアフリー
7	RainbowPlazaTOPPage	http://www.fip.co.jp/welfare/	車椅子の使える駅情報の入力フォームあり
8	RoyalNationalInstitutefortheBlindUnitedKingdom	http://www.rnib.org.uk/	視覚障害
9	SQUARE	http://knsv01.akina.ne.jp/~square/SQ01.html	
10	V-CITY福祉の街	http://www.jcsnet.or.jp/V-CITY/welfare/	
11	WELFAREHOMEPAGE	http://www.ricoh.co.jp/net-messena/ACADEMIA/WELFARE/JWELFARE.html	
12	WNN-V(ハローねっと・ボランティア)	http://www.wnn.or.jp/wnn-v/	
13	WORKINGQUADS	http://www4.justnet.ne.jp/~seike/welcomelj.htm	
14	アイメイト協会ウェブページ	http://www.eyemate.org/	盲導犬
15	イネーブルウェア (TRONプロジェクト)	http://tron.um.u-tokyo.ac.jp/	坂村研究室のトロンププロジェクトの一つ
16	インターネットと教育 日本版K-12	http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/educ/	
17	インターネット筑波技術短期大学視覚部情報処理学科3年杉田正幸	http://www.cs.k.tsukuba-tech.ac.jp/stu/962304sm/welcome.html	視覚障害
18	こころWeb	http://www.ibm.co.jp/kokoroweb/main/mail.html	
19	こころリソースブック	http://www.ibm.co.jp/kokoroweb/main/	機器、IBM
20	そっとやさしくさりげなく	http://www.bekkoame.ne.jp/~yoc/index.html	視覚障害者に対するガイド
21	ノーマネットのホームページ	http://www1.normanet.ne.jp/	
22	ノーマライゼーション	http://www.asahi-net.or.jp/~xj6t-tkd/qol/uni.html	ユニバーサルデザイン
23	バリアフリーデザイン・マニュアル	http://www.sric.co.jp/baf/	バリアフリー
24	ハローねっと・ぼらんでいあ	http://www.wnn.or.jp/wnn-v/link/wheelchair/index.html	車イス関係
25	ひとつぶのメルヘン総合福祉情報	http://www.rr.ij4u.or.jp/~tsuruta/welfare/index.html	
26	マイクロソフトアクセシビリティWeb	http://www.microsoft.com/japan/enable/	機器
27	マルチファミリー住宅の設計と施工	http://buri.sfc.keio.ac.jp/access/research/rep97/ake2.htm	バリアフリー
28	みんなのねがいWeb(全国障害者問題研究会)	http://www.nginet.or.jp/	
29	稲ちゃんHEARTFULHOUSE	http://www.tt.rim.or.jp/~inachan/	車イス外出情報のリンク集、障害者向けの情報と催しの紹介
30	国立特殊教育総合研究所	http://www.nise.go.jp/	
31	市民ネットワーク福岡	http://www.coara.or.jp/~minsyuto/snet/index.html	バリアフリー
32	視覚障害リソース・ネットワーク「VIRN」	http://www.twcu.ac.jp/~k-oda/VIRN/	東京女大/小田氏
33	視覚障害リソース・ネットワーク「VIRN」	http://www.dais.is.tohoku.ac.jp/~iwan/VIRN/	ミラー・岩手県立大/小林氏
34	視覚障害リソース・ネットワーク「VIRN」	http://www.jcmw.ac.jp/~katou/VIRN/	ミラー・日本医療福祉専門学校
35	視覚障害リソース・ネットワーク「VIRN」	http://www.human.tsukuba.ac.jp/~h-kawash/VIRN/	ミラー
36	視覚障害者を助けるコンピュータとインターネット	http://ec.nri.co.jp/clclub/netmagazine/netsurferreport/disable1.html	視覚障害
37	視覚障害者用アクセス技術製品データベース	http://www.twcu.ac.jp/~k-oda/AccessBlind/AccessTechBlind.html	東京女子大小田
38	社会福祉法人 視覚障害者文化振興協会	http://web.kyoto-inet.or.jp/org/livex/jbs/	視覚障害、JBS日本福祉放送
39	社団法人神奈川県学習障害教育研究協会	http://www2.odn.ne.jp/~caf45620/	
40	障害・福祉看護を考える	http://www.synapse.ne.jp/~nick/submenu/f_hendicap.html	障害・福祉関連リンクあり
41	障害児教育	http://www.sikasenbey.or.jp/~ueshima/	
42	障害者をめぐるインターネットの利用	http://www.dais.is.tohoku.ac.jp/~iwan/announce/iaj_con.html#index	視覚障害
43	神奈川リハの伊藤	http://www.sfc.keio.ac.jp/~e-ito/	サイバースペースはユニバーサルアクセスの世界
44	身障者・生活情報ML	http://www.releenet.co.jp/link/ml.html	メーリングリスト
45	静岡点訳資料館	http://www2s.biglobe.ne.jp/~akio-k/teny.htm	視覚障害
46	全国障害者介護制度情報	http://www.top.or.jp/~pp/	
47	筑波技術短期大学	http://www.tsukuba-tech.ac.jp/docs/collegej.htm	聴覚または視覚に障害を持っている人が学ぶ3年制国立大学
48	聴覚障害情報提供施設JAIST支部	http://www.jaist.ac.jp/~tokuda/infoCenter.html	
49	日本障害者協議会	http://www.vcom.or.jp/project/jd/index-ja.html	
50	富士通中部システムズ	http://www.tokaido.co.jp/fukushi/	機器
51	遊歩王 (BarrierFreeIndex)	http://www.asahi-net.or.jp/~WC4N-SZK/	車イス関係

表 5 地球科学関連のリンク集

No	Name	Home Page Address
1	ABC's of Plate Tectonics	http://home.earthlink.net/~dlblanc/tectonic/ptABCs.html
2	Academic Society Home Village	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/
3	Academy of Sciences of the Czech Republic, Geophysical Institute	http://www.ig.cas.cz
4	AGU Home Page	http://earth.agu.org/
5	AGU HomePage Science for Everyone	http://earth.agu.org/everyone.html
6	American Crystallographic Association	http://nexus.hwi.buffalo.edu/ACA/
7	Ames Research Center	http://www.arc.nasa.gov/
8	Amethyst Galleries	http://mineral.galleries.com/
9	Auburn University	http://www.auburn.edu/academic/science_math/geology/docs/
10	Augustana College	http://helios.augustana.edu/geology/
11	Australian Geodynamics Cooperative Research Centre	http://www.ned.dem.csiro.au/AGCRC/
12	Australian Institute of Geoscientists	http://www.civgeo.rmit.edu.au/aig/aig.html
13	Ball State University, Geology	http://www.geology.bsu.edu/
14	Ben Gurion University of the Negev, Geological and Environmental Sciences, Israel	http://www.bgu.ac.il/geol/
15	Berkeley Geochronology Center (BGC)	http://www.bgc.org/
16	Big Trouble In Earthquake Country	http://www.lhs.berkeley.edu/SII/SII-eqcountry/Seqcountry.homepage.html
17	Bob's Rockshop	http://www.rtd.com/~bkeller/rockshop/rockshop.html
18	Braunschweig工科大学地質科学科応用地質学講座 (ドイツ)	http://www.tu-bs.de/institute/geowiss/angw_eng.html
19	British Columbia Earthquake Resources	http://www.dsUPER.net/~innotech/
20	British Geological Survey (BGS)	http://www.nkw.ac.uk/bgs/
21	British Geomorphological Research Group	http://www.qub.ac.uk/geosci/geography/bgrg/
22	California Institute of Technology, Experimental Petrology	http://expet.gps.caltech.edu:80
23	California State University	http://www.mcs.csu Hayward.edu/~shirschf/
24	California State University at Long Beach	http://seis.natsci.csulb.edu/default.html
25	California State University Northridge	http://geology.csun.edu/
26	Canadian National Geomagnetism Program	http://gdcinfo.agg.emr.ca/geomag/
27	Canadian Society of Exploration Geophysicists	http://www.geo.ucalgary.ca/CSEG/
28	Carleton College	http://www.carleton.edu/curricular/GEOL/index.html
29	Cascades Volcano Observatory	http://vulcan.wr.usgs.gov/home.html
30	Case Western Reserve University, Geological Sciences	http://www.cwru.edu/artsci/geol/geol.html
31	Center for Geological Environment Research	http://geop.chungbuk.ac.kr/cen2.htm
32	Center for the Study of Active Volcanoes	http://hiiaka.uhh.hawaii.edu/csav/start.html
33	Central Michigan University	http://www.cst.cmich.edu/units/gel/
34	Centre for Energy Petroleum, Mineral Law	http://www.dundee.ac.uk/petroleumlaw/
35	Charles Darwin, The Origin of Species	http://www.wonderland.org/Works/Charles-Darwin/origin/
36	Clausthal工科大学地質古生物学教室土木地質学講座 (ドイツ)	http://www.ingeo.tu-clausthal.de/abteilungen/inggeol-e.html
37	Colgate University	http://www2.colgate.edu/departments/geology/
38	College of Charleston	http://loki.cofc.edu/index.html
39	Comprehensive Oil and Gas Information System (COGIS)	gopher://una.hh.lib.umich.edu/11/ebb/energy/
40	CONTENTS LISTED BY VOLCANO NAME AND COUNTRY	http://www.dartmouth.edu/pages/rox/volcanoes/EvK.html
41	CRDC/Gifu-u 図鑑木曾川	http://www.crdc.gifu-u.ac.jp/zukan/kiso/kisooopen.html
42	Crystallography	http://www.unige.ch/crystal/crystal_index.html
43	Curtin University of Technology	http://www.curtin.edu.au/curtin/dept/geophy/
44	Curtin大学理工学部理学科応用地質学講座 (オーストラリア)	http://www.curtin.edu.au/curtin/handbook95/engsci/ch1007.html
45	Delft University of Technology, Laboratory of Seismics and Acoustics, The Netherlands	http://www.wak.tn.tudelft.nl/index.html
46	Department of Geology and Geophysics	http://www.geo.ucalgary.ca/
47	Department of Geology Home Page, Duke Univ.	http://www.geo.duke.edu/
48	Department of Geosciences, San Francisco State	http://tornado.sfsu.edu/geosciences/geosciences.html
49	Discovery Channel: Earthquake!	http://www.discovery.com/exp/earthquakes/earthquakes.html
50	Earth Sciences Department, University of Coimbra Portugal	http://cygnus.ci.uc.pt/cienterra/dct.html
51	Earthquake Damage Estimation Manual	http://www.nla.go.jp/boushi/manual/eindex.htm
52	Earthquake Information from the USGS in Menlo Park	http://quake.wr.usgs.gov/
53	Earthquake Information Gopher	gopher://nisee.ce.berkeley.edu/1
54	Earthquake Maps and Reports	http://www-geology.ucdavis.edu/eqmandr.html
55	EarthWaves	http://www.earthwaves.com
56	Edinboro University, Department of Geosciences	http://www.geos.edinboro.edu/
57	Edinburgh University	http://www.glg.ed.ac.uk/
58	Egyptian Geological Survey and Mining Authority	http://www.egsma.gov.eg
59	Electronic Volcano	http://www.dartmouth.edu/~volcano/
60	Energy Information Administration Home Page	http://www.eia.doe.gov/
61	Environmental Geochemistry Lab.	http://rose0.kyungpook.ac.kr/~z941094/
62	EOS Volcanology Educational Outreach	http://www.geo.mtu.edu/eos/education/
63	Evolution (Biosciences)	http://golgi.harvard.edu/biopages/evolution.html
64	Formation of the Earth's Atmosphere and Oceans	http://zebu.uoregon.edu/internet/I2.html
65	Fuel Resorces Homepage	http://150.29.9.4:7128/dFR/fuel.homepage.html
66	Gadjah Mada University	http://www.geocities.com/TheTropics/3581/geologi.html
67	Gallery	http://www.nasa.gov/hqpao/library.html
68	Geological Survey of Brazil	http://www.cprm.gov.br
69	Geological Survey of Lithuania	http://www.lgt.lt

表 5 地球科学関連のリンク集 (つづき)

No	Name	Home Page Address
70	Geological Survey of Namibia	http://www.gsn.gov.na/survey.htm
71	Geological Survey of Slovak Republic	http://www.gssr.sk
72	Geological Survey of Slovenia (IGGG)	http://www.i-ggg.si
73	Geological Survey of South Africa	http://www.geoscience.org.za
74	Geological Survey of Sweden	http://www.sgu.se/
75	Geological Surveys and Natural Resources Departments	http://craton.geol.BrockU.CA/guest/jurgen/surveys.htm
76	Geomagnetic Home Page from NOAA	http://web.ngdc.noaa.gov/stp/GEOMAG/geomag.html
77	Geomagnetism and Paleomagnetism	http://solix.fiu.edu:8000/www/geo/paleomag.html
78	Geomagnetism Group Home Page	http://ub.nmh.ac.uk/
79	Geophysical Laboratory, Carnegie Institution of Washington	http://granite.ciw.edu/
80	Geophysical Survey of Slovenia	http://www.sigov.si/ugf/ang/gf.html
81	Geophysics	http://www-crewes.geo.ucalgary.ca/VL-Geophysics.html
82	Geophysics institute of the Mining University of Leoben	http://www.unileoben.ac.at/geophwww/welcome.htm
83	Georgia Tech, General Geology	http://www.gatech.edu/gsc/2501/2501.html
84	Geoscience Information Center	http://gs.ucsd.edu/
85	Geoscience Institute, Mainz University	http://www.uni-mainz.de/FB/Geo/Geologie/
86	Global Earthquake Response Center	http://www.earthquake.org/
87	Goddard Space Flight Center Laboratory for Terrestrial Physics	http://denali.gsfc.nasa.gov/
88	Goettingen, Geochemical Institute	http://www.uni-geochem.gwdg.de/docs/home.htm
89	Groundwater Modeling Links	http://www.et.byu.edu/~geos/staff/owens/groundwater.html
90	Hartwick College	http://www.hartwick.edu/geology/
91	Hawaii Center for Volcanology	http://www.soest.hawaii.edu/GG/hcv.html
92	Hawaii Scientific Drilling Project	http://expet.gps.caltech.edu:80/Hawaii_project.html
93	Hawaii Volcanoes National Park	http://bookweb.cwis.uci.edu:8042/Books/Moon/volcanoes.html
94	Helsinki University of Technology	http://www.hut.fi/HUT/Geodesy/
95	Hunter College (CUNY)	http://everest.hunter.cuny.edu/
96	IFREMER - Marine Geosciences	http://www.ifremer.fr/drogm/
97	Imperial College University of London	http://diamond.ge.ic.ac.uk/brownman/www/struct.htm
98	Indiana State University, Remote-Sensing	http://www.indstate.edu/gga/remote/index.html
99	Indiana State University, Sedimentology	http://www.indstate.edu/gga/sed/index.html
100	Indiana University of Pennsylvania	http://www.py.iup.edu/college/geoscience/geoscience.html
101	Indiana University Purdue University at Indianapolis	http://www.geology.iupui.edu/
102	Indiana-Purdue University	http://www.geosci.ipfw.indiana.edu/
103	Institut de Physique du Globe de Paris	http://www.ipgp.jussieu.fr/
104	Institut fuer Geologie und Dynamik der Lithosphäre IGDL Goettingen Germany	http://www.gwdg.de/~abirkef/igdl.htm
105	Institute for Mineralogy and Mineral Resources	http://www.immr.tu-clausthal.de:80/
106	Institute of Arctic and Alpine Research (INSTAAR)	http://spot.colorado.edu/~instaar/
107	Institute of Geography University of Copenhagen	http://www.geogr.ku.dk
108	International Organisation of Palaeobotany Database includ	http://www.uel.ac.uk/palaeo/index.html
109	Internet Resource Lists for Geophysicists	http://cancer.mss.co.jp/Geophysics/
110	Istituto Internazionale di Vulcanologia	http://www.iiv.ct.cnr.it/
111	Italy's Volcanoes, The Cradle of Volcanology	http://www.geo.mtu.edu/~boris/STROMBOLI.html
112	Jet Propulsion Laboratory	http://www.jpl.nasa.gov/
113	Kansas State University	http://www.ksu.edu/geology/
114	Lamar University, earth and space resources laboratory	http://www.space.lamar.edu
115	Lamont-Doherty Earth Observatory	http://www.ldeo.columbia.edu/
116	Lawrence Livermore National Laboratory Earth Sciences Division	http://www-ep.es.llnl.gov/www-ep/esd.html
117	Leicester University	http://www.le.ac.uk/geology/home/glhome.html
118	Links for Mineralogists	http://www.uni-wuerzburg.de/mineralogie/links.html
119	Lithoprobe Seismic Atlas of Canada	http://www.litho.ucalgary.ca/atlas/atlas.html
120	Loma Linda University	http://www.llu.edu/llu/grad/natsci/
121	Los Alamos National Laboratory	http://www.lanl.gov/
122	Louisiana State University	http://www.geol.lsu.edu/
123	Lulea大学環境デザイン学科応用地質学講座 (スウェーデン)	http://www.luth.se/depts/sb/fo_tg/index.html
124	Manchester Geoscience Research Institute	http://www.man.ac.uk/Geology/research/GRI.html
125	Margins Initiative	http://zephyr.rice.edu/margins/
126	Massachusetts Institute of Technology Earth Resources Laboratory	http://www-erl.mit.edu/
127	Massachusetts Institute of Technology, GPS and Geodynamics Group	http://www-gpsg.mit.edu/
128	MELTS Home Page	http://msgmac.geology.washington.edu/MeltsWWW/Melts.html
129	Memento Mori an interface to the earth	http://memento.ieor.berkeley.edu/
130	Methods and Equipment Used by Marine Geologists, USGS	http://walrus.wr.usgs.gov/docs/margeol2.html
131	Michigan Technological University Volcanoes Page	http://www.geo.mtu.edu/volcanoes/
132	Middle East Technical University (Turkey)	http://www.metu.edu.tr/~www64/
133	MineNet	http://www.microserve.net:80/~doug/
134	Mineral Resources Department of Fiji	http://www.mrd.gov.fj/
135	Minerals Office, Government of Greenland	http://www.greenland-guide.dk/minerals/
136	MIT Geodesy and Geodynamics Laboratory	http://www-erl.mit.edu/geodesy/geodesy.html
137	Monash University Earth Science	http://artemis.earth.monash.edu.au/ESC.home.html
138	Montana Tech, Geophysical Engineering Department	http://markov.mtech.edu/
139	Museum of Mineralogy, Paris	http://www.cri.ensmp.fr:80/mineral/
140	NASA Investigation Volcanology Team	http://www.geo.mtu.edu/eos/

表 5 地球科学関連のリンク集 (つづき)

No	Name	Home Page Address
141	National Aeronautics and Space Administration (NASA)	http://www.gsfc.nasa.gov/NASA_homepage.html
142	National Atlas Information Service in Canada	http://ellesmere.ccm.emr.ca/
143	National Geodetic Survey	http://www.ngs.noaa.gov/
144	National Geophysical Data Center	http://web.ngdc.noaa.gov/ngdc.html
145	National Geophysical Data Center (NGDC)	http://www.ngdc.noaa.gov/
146	National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)	http://www.noaa.gov/
147	New Mexico Bureau of Mines Earthquake Education	http://tremor.nmt.edu/
148	New Mexico Institute of Mining and Technology, Geology Field Camp	http://www.ees.nmt.edu/Geol/classes/camp/camp.html
149	New Mexico Institute of Mining and Technology, Sedimentary Rocks	http://www.ees.nmt.edu/Geol/classes/geol318/homepage.html
150	New Mexico Tech	http://www.ees.nmt.edu/Geol/volcanology/volc.html
151	New Scientist, Earthquakes Report	http://quakes.newscientist.com
152	Newfoundland and Labrador Geological Survey	http://www.geosurv.gov.nf.ca/mindep/curmin.html
153	Nordic Volcanological Institute	http://norvol.hi.is/
154	Nordic Volcanological Institute Iceland	http://www.norvol.hi.is/index.html
155	North Idaho Seismic Network	http://www.uidaho.edu/igs/nisn/nisnhome.html
156	Northeast Louisiana University	http://hurricane.net2.nlu.edu/~geos/geoscience.html
157	Northern Arizona University	http://vishnu.glg.nau.edu/
158	NOVA: Into the Abyss	http://www.pbs.org/wgbh/nova/abyss/
159	ODP-Ocean Drilling Program Home Page	http://www.odp.tamu.edu/
160	Oil Spill Public Information Center	http://www.alaska.net/~ospic/
161	Okanagan University College	http://www.okanagan.bc.ca/geol/home.html
162	OKEANGeofizika Research Institute, Russia.	http://www.sea.ru/nipi/
163	Oregon State University	http://www.ORST.EDU/Dept/geosciences/
164	Paleontological Research Institution	http://www.englilb.cornell.edu/pri/pri1.html
165	PASSCAL Instrument Center	http://pangea.stanford.edu/~passcal/passcal.html
166	Penn State Geosciences Computing Laboratory	http://www.geosc.psu.edu/
167	Penn State, Geodynamics	http://www.geodyn.psu.edu/
168	Pennsylvania State University, Basin Research	http://hydro.geosc.psu.edu/
169	Permian Basin Graduate Center	http://www.pbgc.org
170	Plant Fossil Record and others	http://sunrae.uel.ac.uk/palaeo/pfr2/pfr.htm
171	Princeton Earth Physics Project	http://lasker.princeton.edu/
172	Prototype TriNet Peak Ground Motion Maps	http://www-socal.wr.usgs.gov/pga.html
173	Purdue Geophysics	http://www.geo.purdue.edu/
174	Queen's University Belfast, School of Geosciences	http://www.qub.ac.uk/geosci/
175	Queen's University, Geological Sciences	http://geol.queensu.ca/
176	Rensselaer Polytechnic Institute Geophysics Department	http://gretchen.geo.rpi.edu/
177	Research Institute at Nedri-As (Iceland)	http://www.centrum.is/~nedrias
178	Rhodes University	http://www.ru.ac.za/departments/geology/index.html
179	Rice University	http://zephyr.rice.edu/department/
180	RMIT大学工学部土木・地質工学科地質工学・応用地質学講座	http://www.civgeo.rmit.edu.au/geoleng.html
181	Rob's Granite Page	http://uts.cc.utexas.edu/~rmr/
182	Royal Melbourne Institute of Technology, Civil and Geological Engineering	http://www.civgeo.rmit.edu.au/
183	Russian Academy of Sciences	http://www.chat.ru/~ipgg/
184	San Diego State University, Geological Sciences	http://www.geology.sdsu.edu/geology/
185	San Jose State University	http://geosun1.sjsu.edu/
186	Sedimentology from USGS	http://walrus.sr.usgs.gov/docs/seds/Sedimentology.html
187	Sedimentology from USGS	http://www-marine.wr.usgs.gov/docs/seds/Sedimentology.html
188	Seismology at Univ Zaragoza	http://zar.unizar.es/
189	Seoul National University	http://aqua.snu.ac.kr/
190	Simon Fraser University Earth Sciences	http://www.sfu.ca/earth-sciences/
191	Smith College	http://www.science.smith.edu/geology
192	Smithsonian Gem Mineral Collection	http://galaxy.einet.net/images/gems/gems-icons.html
193	Smithsonian Institution, Global Volcanism Program	http://www.volcano.si.edu/gvp/
194	Sonoma State University	http://www.sonoma.edu/geology/
195	Southwest Volcano Research Centre	http://www.goodnet.com/~ej76707/
196	Staffordshire University	http://www.staffs.ac.uk/sands/scis/geology/geology.html
197	Stanford Earth Sciences	http://pangea.stanford.edu/EarthSci.html
198	Stephen F. Austin University	http://www.math-science.sfasu.edu/Mapserve/SchoolSciMath/geology.html
199	Strong Motion Database	http://smdb.crustal.ucsb.edu/
200	Sul Ross State University, Geology	http://www.sulross.edu/~geology/
201	SUNY Binghamton, Geological Sciences and Environmental Studies	http://www.geol.binghamton.edu/
202	SUNY Stony Brook, Geosciences	http://pbisotopes.ess.sunysb.edu/geo/
203	SVP-Society of Vertebrate Paleontology News Bulletin	http://141.211.110.60/svp/
204	Syzygy earthquake newsletter.	http://www.syzygyjob.com/
205	talk.origins Fossil Images	http://www.fossil-company.com/
206	Technical University Berlin, Geophysics	http://gp8.bg.tu-berlin.de/geophysics.html
207	Technical University of Clausthal, Geology and Paleontology	http://www.inggeo.tu-clausthal.de/english/Welcme-e.html
208	Terrestrial Volcanos	http://www.c3.lanl.gov/~cjhamil/SolarSystem/tervolc.html
209	Texas Tech - Department of Geosciences	http://www.ttu.edu/~geosc/
210	The College of Earth and Mineral Sciences	http://www.ems.psu.edu/
211	The Electronic Volcano	http://www.dartmouth.edu/pages/rox/volcanoes/elevolc.html

表 5 地球科学関連のリンク集 (つづき)

No	Name	Home Page Address
212	The Geological Society of America (GSA)	http://www.geosociety.org/
213	The Minerals Metals Materials Society	http://www.tms.org/
214	The Sci. bio. evolution Home Page	http://www.cqs.washington.edu:80/~evolution/
215	the Society for Sedimentary Geology	http://dc.smu.edu/
216	The Tree of Life Home Page	http://phylogeny.arizona.edu/tree/phylogeny.html
217	TriNet- the system of sensors	http://www.trinet.org/
218	Trinity College Dublin	http://www2.tcd.ie/Geology/
219	TU Bergakademie Freiberg, Institut for Geologie	http://www.geo.tu-freiberg.de/institut/index.html
220	U. of South Carolina Dept. of Geography	http://www.cla.sc.edu/geog/index.html
221	U.K Volcanologists Group Home Page	http://exodus.open.ac.uk/volcano/volc_index.html
222	UH Geology Geophysics, Research Groups	http://www.soest.hawaii.edu/GG/gg_research.html
223	Understanding Earthquakes	http://www.crustal.ucsb.edu/ics/understanding/
224	United Kingdom, Manchester Geology Dept.	http://info.mcc.ac.uk/Geology/home-page.html
225	United States Geological Survey	http://info.er.usgs.gov/
226	Univ Oulu Geophysics Dept.	http://babel.oulu.fi/
227	Univ. of Calgary	http://www.ucalgary.ca/
228	Univeristy of South Florida, Water-Rock Interaction Laboratory	http://www.cas.usf.edu/geology/faculty/steefel/steefel.html
229	Universidad de Buenos Aires	http://tango.gl.fcen.uba.ar/
230	Universidad de Chile, de Geofisica	http://www.dgf.uchile.cl
231	Universidad Nacional Autonoma de Mexico	http://nundehui.igeofcu.unam.mx
232	Universidade Federal de Ouro Preto, de Geologia	http://degeo.ufop.br/index.html
233	Universit Laval	http://www.ggl.ulaval.ca
234	University of Akron	http://www.uakron.edu/geology/index.html
235	University of Alabama	http://www.geo.ua.edu/
236	University of Alaska at Fairbanks	http://mineral.uafsm.alaska.edu/minge/minge.htm
237	University of Alaska, Poker Flat Research Range	http://www.pfrr.alaska.edu/
238	University of Alberta, Geophysical and Environmental Sciences	http://rubble.phys.ualberta.ca
239	University of Arkansas	http://apsara.uark.edu/depts/geology/
240	University of Athens	http://platon.uoa.gr/geology/
241	University of Bergen, Geophysical Institute	http://www.gfi.uib.no/english/institut.html
242	University of Bonn	http://sfb350.ipb.uni-bonn.de/
243	University of Bonn Geodynamik	http://www.geo.uni-bonn.de/
244	University of California Berkeley, Geology and Geophysics	http://www.geo.berkeley.edu/geology/
245	University of California Santa Barbara	http://www.geol.ucsb.edu/
246	University of Chicago, Geophysical Sciences	http://geosci.uchicago.edu/
247	University of Copenhagen	http://trophy.geol.ku.dk
248	University of Dayton	http://www.udayton.edu/~geology/
249	University of Durham, Geological Sciences	http://www.dur.ac.uk/~dgl/www/
250	University of Florida	http://www.clas.ufl.edu/CLAS/Departments/Geology/
251	University of Frankfurt Institute of Meteorology and Geophysics	http://www.rz.uni-frankfurt.de/IMGF/geophys_en.html
252	University of Idaho, Geology and Geological Engineering	http://www.mines.uidaho.edu/geology/
253	University of Illinois at Urbana-Champaign	http://www.geology.uiuc.edu/
254	University of Iowa GIS Institute	http://gort.ucsd.edu/mw/uoigis.html
255	University of Kansas	http://www.geo.ukans.edu/
256	University of Karlsruhe	http://agksun1.bio-geo.uni-karlsruhe.de/
257	University of Kentucky	http://www.uky.edu/ArtsSciences/Geology/
258	University of Manitoba, Geological Sciences	http://www.umanitoba.ca/geosci/gslf.html
259	University of Maryland at College Park	http://www.geol.umd.edu/
260	University of Massachusetts, Geosciences at Amherst	http://www.geo.umass.edu/
261	University of Mexico, Geophysics-Seismology	http://tlacaelel.igeofcu.unam.mx/index.eng.html
262	University of Minnesota, Institute for Rock Magnetism	http://www.geo.umn.edu/orgs/irm/irm.html
263	University of Missouri at Columbia	http://www.missouri.edu/~geolwww/
264	University of Missouri at Kansas City	http://cei.haag.umkc.edu/geo/index.html
265	University of Missouri, Rolla	http://www.umn.edu/~gee/
266	University of New Orleans	http://www.uno.edu/~gege/
267	University of Newcastle	http://www.newcastle.edu.au/departement/gl/
268	University of North Carolin, Chapel Hill	http://www.geosci.unc.edu/classes/Geo120/G120.html
269	University of Otago	http://www.otago.ac.nz/Geology/
270	University of Pennsylvania	http://www.sas.upenn.edu/geology/
271	University of Reading, Postgraduate Research Insitute for Sedimentology	http://www.rdg.ac.uk/PRIS/
272	University of South Florida, Coastal Research Laboratory	http://www.cas.usf.edu/coast_res/index.html
273	University of South Florida, geology	http://www.cas.usf.edu/geology/index.html
274	University of Southern Maine	http://www.usm.maine.edu/~geos/
275	University of Stuttgart	http://www.uni-stuttgart.de/UNluser/igps/home.html
276	University of Tennessee Knoxville	http://tanasi.gg.utk.edu/
277	University of Texas at Austin, Institute for Geophysics	http://www.ig.utexas.edu/
278	University of Texas Austin, Department of Geological Sciences	http://www.utexas.edu/cons/geo/
279	University of Texas Dallas, Magmalogy Laboratory	http://www.utdallas.edu/~ddraper/magmalogy/magmamain.html
280	University of Texas Satellite Geophysics Division	http://sgdion1.arlut.utexas.edu/
281	University of Toronto, Geological and Mineral Engineering	http://www.ecf.utoronto.ca/apsc/geo/index.html
282	University of Tulsa, Department of Geosciences	http://arbuckle.utulsa.edu/geo.html
283	University of Utah, Geology and Geophysics	http://www.mines.utah.edu/~wmgg/

表 5 地球科学関連のリンク集 (つづき)

No	Name	Home Page Address
284	University of Vermont	http://geology.uvm.edu/
285	University of Washington - Geophysics	http://www.geophys.washington.edu/
286	University of Washington Volcano Systems Center	http://www.vsc.washington.edu/
287	University of Western Australia, Geology and Geophysics	http://www.geol.uwa.edu.au/geology.html
288	University of York	http://aurora.york.ac.uk/
289	USC Earth Sciences Department	http://www.usc.edu/dept/earth/
290	USGS Hawaiian Volcano Observatory Volcano Watch	http://www.soest.hawaii.edu/hvo/
291	USGS National Earthquake Information Center	http://wwwneic.cr.usgs.gov/
292	USGS Office of Mineral Resources	http://minerals.er.usgs.gov:80/
293	USGS Volcanology Resources	http://www.usgs.gov/network/science/earth/volcano.html
294	Utah State University	http://www.usu.edu/~geoldept/
295	Vanderbilt University	http://geo.cas.vanderbilt.edu/
296	Vening Meinesz Research School of Geodynamics (VMSG)	http://www.geof.ruu.nl/~vmsg/
297	Victoria University at Wellington, Institute of Geophysics	http://www.gphs.vuw.ac.nz/seismology/seismology.html
298	Virtual Library of Earth Sciences	http://www.geo.ucalgary.ca/VL-EarthSciences.html
299	Virtual Library of Geophysics	http://www.geo.ucalgary.ca/VL-Geophysics.html
300	Volcanic Page	http://www.aist.go.jp/GSJ/~jdehn/v-home.htm
301	Volcano Information Center	http://www.geol.ucsb.edu/~fisher/
302	Volcano Listserve Proceedings	gopher://hoshi.cic.sfu.ca:5555/11/epix/topics/volcano/
303	Volcanoes Online	http://despina.advanced.org/17457/
304	Volcanologist List	http://www.aist.go.jp/GSJ/~jdehn/vnews/vlist1.htm
305	VOLCANOLOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROLOGY	http://www.soest.hawaii.edu/GG/vgp.html
306	VolcanoWorld Home Page	http://volcano.und.nodak.edu/
307	Washington State University	http://www.wsu.edu:8080/~geology/
308	Web Directory: Geophysics in Germany	http://www.ciw.edu/rumpker/geolinks.html/
309	Web版なみふる	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/ssj/naifuru/naifuru.html
310	West Chester University, Geology/Astronomy	http://www.wcupa.edu/_ACADEMICS/sch_cas.esc/
311	West Virginia University Geology and Geography Department	http://www.geo.wvu.edu/
312	WHOI Digital Image Analysis Laboratory	http://tone.whoi.edu/
313	World Data Center A for Marine Geology	http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/aboutmgg/wdcamgg.html
314	Worldwide Volcanic Reference Map	http://www.geo.mtu.edu/volcanoes/world.html
315	XROADS HOME PAGE	http://xroads.wr.usgs.gov/
316	Yamasato's Volcano Page	http://village.infoweb.ne.jp/~hyamasat/index-e.htm
317	Yonsei University	http://geophy.yonsei.ac.kr/index.html
318	Yonsei University, Institute of Environmental Geology	http://ysgeo.yonsei.ac.kr
319	Zhaobo's Wavelet Seismic Inversion Lab	http://timna.mines.edu/~zmeng/waveletlab/waveletlab.html
320	(財)電力中央研究所	http://www.denken.or.jp/home-j.html
321	(財)道路保全技術センター	http://www.ask.or.jp/~hozen/road/index.html
322	(財)日本建設情報総合センター(JACIC)	http://www.jacic.or.jp/
323	(財)日本農業土木総合研究所	http://WWW.jiid.or.jp/
324	(社)砂防学会	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jsce/index.html
325	(社)地盤工学会	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jgs/
326	(社)土木学会	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jsce2/index.html
327	31回国際地質学会議(31st IGC)	http://www.31igc.org/
328	アイダホ大学鉱山地球資源学部地質学地質工学教室	http://www.erb.uidaho.edu/geology/
329	アメリカ地球物理学連合(AGU)	http://earth.agu.org/kosmos/homepage.html
330	アメリカ地質学会(GSA)	http://www.aescon.com/geosociety/
331	アメリカ地質学連合(AGI)	http://jei.umd.edu/agi/agi.html
332	アメリカ地質調査所(USGS)	http://www.usgs.gov/
333	イギリス地球科学教育講座協会(UKESCC)	http://info.mcc.ac.uk/Geology/CAL/index.html
334	イギリス地質学会	http://www.geolsoc.org.uk/
335	イギリス地質調査所(BGS)	http://www.nkw.ac.uk/bgs/home.html
336	インスブルック大学自然科学部地質学古生物学教室 (オーストリア)	http://info.uibk.ac.at/c7/c715/
337	ウィーン大学地球科学部地質学教室 (オーストリア)	http://www.univie.ac.at/Geologie/
338	オーストラリア地質調査所(AGS)	http://www.agso.gov.au/
339	カナダ地質調査所(GSC)	http://www.emr.ca/gsc/gschp.html
340	カリフォルニア州立大学ロスアンジェルス校地質科学科土木地質学講座	http://vflylab.calstatela.edu/edesktop/WWW_Projects/Geol_WWW_Projects/EngrGeology_mhawort/EngrGeology.html
341	クイーンズランド大学地球科学教室 (オーストラリア)	http://www.earthsciences.uq.edu.au/
342	クイーンズ大学応用科学部地質学教室地質工学講座 (カナダ)	http://conn.me.queensu.ca/app_sci/calendar/geoeng.htm
343	コロラド大学自然災害センター	http://adder.colorado.edu/~hazctr/Home.html
344	サウスダコタ工科大学鉱山工業学部地質工学教室	http://www.geol.sdsmt.edu/
345	ザルツブルグ大学自然科学部地質学古生物学教室 (オーストリア)	http://www.sbg.ac.at/gew/home.htm
346	ドイツ国立ウェゲナー研究所(AWI)	http://www.awi-bremerhaven.de/
347	フィンランド地質調査所(GSF)	http://www.gsf.fi/
348	フランス地質鉱山研究院(BRGM)	http://www.brgm.fr/
349	ヘルシンキ工科大学土木地質学地球物理学研究室 (フィンランド)	http://www.hut.fi/HUT/Geophysics/ige.html
350	ラドフォード大学文理学部地質学教室	http://www.runet.edu/~geol-web/
351	愛媛大学理学部生物地球圏科学科(地球科学系)	http://www.ehime-u.ac.jp/~cutie/index_j.html
352	茨城大学理学部地球生命環境科学科地圏進化学講座(地球科学系)	157.80.53.58/chicken.html
353	横浜国立大学教育学部地学教室	http://geology.ed.ynu.ac.jp/
354	横浜国立大学物理学科「地学の部屋」	http://rika.ed.ynu.ac.jp/url/tigaku.html

表 5 地球科学関連のリンク集 (つづき)

No	Name	Home Page Address
355	岡山大学固体地球研究センター	http://mighty.misasa.okayama-u.ac.jp/home_j.html
356	岡山大学理学部地球科学科	http://www.desc.okayama-u.ac.jp/
357	岡山理科大学地震危険予知プロジェクト	http://www.pisco.ous.ac.jp/
358	科学技術庁防災科学技術研究所	http://www.bosai.go.jp/index.html
359	海洋科学技術センター(JAMSTEC)	http://www.jamstec.go.jp/
360	活断層研究会	http://peach.kjb.yamanashi.ac.jp/kyouiku/chiri/imat/imat/T_01.html
361	活断層分布図	http://peach.kjb.yamanashi.ac.jp/kyouiku/chiri/imat/imat/T_02.html
362	環境庁国立環境研究所	http://www.nies.go.jp/index-j.html
363	韓国資源研究所(KIGAM)	http://www.kigam.re.kr/
364	気象庁	http://www.kishou.go.jp/
365	気象庁気象研究所	http://www.mri-jma.go.jp/
366	宮崎大学教育学部特理課程地学講座	http://www.edugeo.miyazaki-u.ac.jp/earth/earth.html
367	巨大災害研究センター	http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/defaultj.html
368	京都大学総合人間学部自然環境学科生物地球圏環境論講座 地球科学分野	http://www.gaia.h.kyoto-u.ac.jp/
369	京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻	http://www.gee.kyoto-u.ac.jp
370	京都大学大学院工学研究科地球工学専攻	http://www.env.kyoto-u.ac.jp
371	京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻	http://www.kugi.kyoto-u.ac.jp:80/deps/
372	京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物理学教室地殻物理学講座	http://www.kugi.kyoto-u.ac.jp/appl.html
373	京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地質学鉱物学教室	http://hyperion.kueps.kyoto-u.ac.jp/
374	京都大学防災研究所	http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/default_j.html
375	金沢大学理学部地球学教室	http://kgeopp6.s.kanazawa-u.ac.jp/
376	九州大学理学部地球惑星科学科	http://qdaps.geo.kyushu-u.ac.jp/
377	熊本大学理学部地球科学科	http://www.sci.kumamoto-u.ac.jp/~shibuya/
378	群馬大学教育学部地学教室早川研究室	http://www.la.gunma-u.ac.jp/~hayakawa/Welcome.html
379	建設省国土地理院	http://www.gsi-mc.go.jp/JIS/gsihome.html
380	建設省土木研究所	http://www.pwri.go.jp/index.htm
381	広島大学文学部 地理学教室	http://www.ipc.hiroshima-u.ac.jp/~geo/
382	広島大学理学部地球惑星システム科学科	http://www.geol.sci.hiroshima-u.ac.jp/
383	構造地質研究グループ	http://www.sci.shizuoka.ac.jp/~geo/Lab/Structure/Structure.html
384	構造地質研究会	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/trgip/index.html
385	高知大学理学部地学科	http://sc1.cc.kochi-u.ac.jp/~geolib/
386	国際構造地質学者協会(IASTG)	http://info.mcc.ac.uk/Geology/IASTG/
387	国際災害軽減工学研究センター	http://incede.iis.u-tokyo.ac.jp/Incede.html
388	国際数理地質学会(IAMG)	http://mp.gsb.empr.gov.bc.ca/
389	国際地質科学連合(IUGS)	http://www.uia.org/uiademo/org/a2723.htm
390	国際土質力学基礎工学会	http://www.uia.org/uiademo/org/b2509.htm
391	国際防災の10年災害ネット	http://hoshi.cic.sfu.ca/hazard
392	国立科学博物館	http://www.kahaku.go.jp/
393	国立極地研究所	http://www.nipr.ac.jp/
394	今日の富士山	http://www3.shizuokanet.or.jp/sinet/4D.acgi\$viewMtFuji
395	阪神淡路大震災と復興の記録	http://www.sanyonet.or.jp/ken-ashi
396	山梨大学教育学部地理学教室	http://peach.kjb.yamanashi.ac.jp/kyouiku/chiri/home.html
397	資源・素材学会	http://mmij.t.u-tokyo.ac.jp/
398	滋賀大学教育学部地学教室	http://www.sue.shiga-u.ac.jp/WWW/dept/chigaku/chigaku.html
399	鹿児島工業高等専門学校土木工学科	http://civil.kagoshima-ct.ac.jp/
400	鹿児島大学理学部旧応用地質学講座	http://earth.sci.kagoshima-u.ac.jp/oyo/
401	鹿児島大学理学部旧地学科	http://earth.sci.kagoshima-u.ac.jp/index-e.html
402	秋田大学教育学部地学研究室	http://www.akita-u.ac.jp/~hayashi/chigaku.html
403	秋田大学鉱山学部資源・素材工学科応用地球科学教室	http://dips11.akita-u.ac.jp/
404	秋田大学付属鉱業博物館	http://www.mus.akita-u.ac.jp/
405	情報考古学会	http://enju.aist-nara.ac.jp/jsai-j.html
406	新潟大学積雪地域災害研究センター	http://rihsa.gs.niigata-u.ac.jp/index_j.html
407	新潟大学理学部自然環境科学科	http://pheasant.ge.niigata-u.ac.jp/
408	神戸大学理学部地球惑星科学科	http://shidahara1.earth.s.kobe-u.ac.jp/index_j.html
409	静岡大学構造地質グループ	http://www.ipcs.shizuoka.ac.jp/~sekmich/
410	静岡大学小山研究室	http://www.ipcs.shizuoka.ac.jp/~edmkoya/Welcome.html
411	静岡大学理学部生物地球環境科学科	http://www.sci.shizuoka.ac.jp/~geo/Welcome_j.html
412	静岡大学理学部地球科学教室	http://www.sci.shizuoka.ac.jp/~geo/temp-g.html
413	石油技術協会	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/japt/index.html
414	千葉大学理学部地球科学科	http://www.s.chiba-u.ac.jp/science/geo.html
415	大阪市立大学理学部地球学科	http://www.sci.osaka-cu.ac.jp/~geos/
416	大阪大学理学部宇宙地球科学科	http://www.ess.sci.osaka-u.ac.jp/index-jp.html
417	大分大学教育学部地理学教室	http://yukichi.cc.oita-u.ac.jp:8001/~nchida/
418	大洋底構造地質部門	http://manbow.ori.u-tokyo.ac.jp/tamaki-html/tytj.html
419	地すべり学会	http://landslide.dpri.kyoto-u.ac.jp/jisu.html
420	地殻工学講座ジオメカニクス分野	http://rock.earth.tohoku.ac.jp/index-j.html
421	地学団体研究会	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/agcj/
422	地球観測センター(NASDA)	http://hdsn.eoc.nasda.go.jp/guide/guide/mainmenu_j.html
423	地質関係主要国際誌一覧	http://www.sci.shizuoka.ac.jp/~geo/Structure/TRGJP/journals/GeoJournals.html
424	地質調査所海洋地質部	http://150.29.9.4:7128/dMG/Japanese/index.html.jis

表 5 地球科学関連のリンク集 (つづき)

No	Name	Home Page Address
425	地震情報新聞	http://www.rim.or.jp/ci/fjs/
426	地震調査研究推進本部	http://www.adeq.or.jp/sta/welcome.htm
427	地震予知連絡会	http://www.gsi-mc.go.jp/YOCHIREN/JIS/ccephome.html
428	地理情報システム学会	http://nsdipa.t.u-tokyo.ac.jp/gisa/home-j.html
429	筑波大学地球科学系	http://www.geo.tsukuba.ac.jp/
430	中華民国中央研究院地球科学研究所 (台湾)	http://earth.sinica.edu.tw/index.html
431	中山大学地球環境科学部(中国)	http://www.zsu.edu.cn/english/earthenv.htm
432	中国地質大学 中国)	http://www.cug.edu.cn/
433	通産省地質調査所	http://www.aist.go.jp/GSJ/HomePageJP.html
434	唐沢鉱山	http://www.st.rim.or.jp/~isao_yo/mining.html
435	島根大学汽水域研究センター	http://kisuiiki.soc.shimane-u.ac.jp/
436	島根大学総合理工学部地球資源環境学科	http://www.shimane-u.ac.jp/info/sogoriko/tikyu.htm
437	東海大学海洋科学博物館	http://www.scc.u-tokai.ac.jp/sectu/kaihaku/index.html
438	東海大学海洋学部海洋資源学科	http://www.scc.u-tokai.ac.jp/ocean/or-j.html
439	東海大学自然史博物館	http://www.scc.u-tokai.ac.jp/sectu/sizensi/index.html
440	東京工業大学理学部地球惑星科学科	http://www.geo.titech.ac.jp/
441	東京大学海洋研究所	http://www.ori.u-tokyo.ac.jp/
442	東京大学気候システム研究	http://www.ccsr.u-tokyo.ac.jp/
443	東京大学工学部地球システム工学科	http://www.t.u-tokyo.ac.jp/~geosys/html/geosys.htm
444	東京大学生産技術研究所	http://www.iis.u-tokyo.ac.jp/iis-j.html
445	東京大学総合研究博物館	http://tron.is.s.u-tokyo.ac.jp/museum/
446	東京大学地球惑星物理学科	http://www.geoph.s.u-tokyo.ac.jp/
447	東京大学地震研究所	http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/Jhome.html
448	東京大学理学部鉱物学教室	http://www.min.s.u-tokyo.ac.jp/
449	東京大学理学部地球惑星物理学科	http://geoph.s.u-tokyo.ac.jp/
450	東京大学理学部地質学教室	http://tsunami.geol.s.u-tokyo.ac.jp/index-j.html
451	東京大学理学部地理学教室	http://fault.geogr.s.u-tokyo.ac.jp/
452	東京都立大学理学部地理学科	http://www.sci.metro-u.ac.jp/geog/jgeogindex.html
453	東大地震研究所火山噴火予知研究推進	http://hakone.eri.u-tokyo.ac.jp/vrc/VRCJ.html
454	東北大学大学院工学研究科地球工学専攻	http://www.earth.tohoku.ac.jp/index-j.html
455	東北大学理学部自然史標本館	http://www.dges.tohoku.ac.jp/museum/museumj.html
456	東北大学理学部地球物質科学科地殻化学および火山体地質学研究室	http://www.ganko.tohoku.ac.jp/
457	東北地方の火山データベースv.1.5	http://www.akita-u.ac.jp/~hayashi/volne.html
458	日本応用地質学会	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jseg/
459	日本火山学会	http://hakone.eri.u-tokyo.ac.jp/kazan/sjishome/VSJ1.html
460	日本岩石鉱物鉱床学会	http://www.ganko.tohoku.ac.jp/ganko/kazan/gakkai/index-j.html
461	日本鉱物学会	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/msj3/index.html
462	日本自然災害学会	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jsnds/
463	日本情報地質学会	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jsgi/index.html
464	日本水文科学学会	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jahs/index.html
465	日本大学応用地学科 (地球システム科学科)	http://wave.chs.nihon-u.ac.jp/
466	日本大学文理学部地球システム科学科	http://wave.chs.nihon-u.ac.jp/
467	日本地学教育学会	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jsese/index.htm
468	日本地形学連合	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jgu/index.html
469	日本地質学会	http://157.80.53.58/home_j.html
470	日本地震学会	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/ssj/
471	日本地理学会	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/ajg/index.html
472	日本道路公団試験研究所	http://www.japan-highway.go.jp/Research/index-j.html
473	農業土木学会	http://www.bio.mie-u.ac.jp/doboku/gakkai/index.html
474	富山大学理学部地球科学教室	http://core.sci.toyama-u.ac.jp/index-j.html
475	物理探査学会	http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/segj/
476	文部省自然災害科学総合研究班	http://rdp.dpri.kyoto-u.ac.jp/saigai.html
477	兵庫県南部地震についての情報	http://www.ijj.ad.jp/earthquake/index-j.html
478	北海道開発局開発土木研究所	http://www.ceri.go.jp/
479	北海道大学工学部資源開発工学科岩石力学講座	http://rock1.mrde.hokudai.ac.jp/japanese.htm
480	北海道大学大学院地球環境科学研究科地圏環境科学専攻	http://www.geoeco.hokudai.ac.jp/
481	北海道大学大学院地球惑星科学専攻(地球惑星物質科学教室)	http://cosmos.epms.hokudai.ac.jp/
482	北海道大学土木工学科	http://www.civil.hokudai.ac.jp/
483	名古屋大学地圏環境工学専攻	http://gew3.genv.nagoya-u.ac.jp/Jindex.html
484	名古屋大学理学部地球惑星科学教室	http://www.eps.nagoya-u.ac.jp/
485	連邦危機管理局(FEMA)	http://www.fema.gov/
486	國立ソウル大學校自然科學大學地質學科 (韓国)	http://plaza.snu.ac.kr/~geol/
487	國立安東大學校地質學科 (韓国)	http://anu.andong.ac.kr/~geology/
488	國立釜山大學校自然科學大學地質學科 (韓国)	http://164.125.9.3:8080/dept/
489	國立慶山大學校地質學科 (韓国)	http://nongae.gsnu.ac.kr/~hgcho/
490	國立江原大學校自然科學大學地質學科 (韓国)	http://www.kangwon.ac.kr/~geology/
491	國立中央大學應用地質研究所 (台湾)	http://www.geo.ncu.edu.tw/default.htm

資料

全国の盲学校の博物館利用に関するアンケート調査

A Questionnaire Survey for Visually Handicapped Students on Museum Visiting

奥野 花代子

神奈川県立生命の星・地球博物館

Kayoko OKUNO

Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, 499 Iryuda, Odawara, Kanagawa, 250-0031, Japan

Key words: Museum management, disabled people, universal museum, universal display, a school for the blind.

1. はじめに

神奈川県立生命の星・地球博物館は、「実物に触る喜び、感動を大事にする」という館の基本方針を強く打ち出し、視覚障害者の方々への利用も図ってきた(図1)。これは博物館の建設段階からバリアフリー精神が考慮され、ガラスケースや柵をできる限りなくし、展示台も低くして、来館者により近づけた展示手法を採用することを基本にして設計されたことによるものである。

そして、博物館基本構想や設計中において展示案内を「人対応」により計画を進めていた。しかし、開館時の財政事情により「人対応」が困難となり、やむなく小さな資料ラベルと解説の少ない展示のままオープンする運びとなった。そのため開館後、音声ガイドを制作して対応し、展示を補完している。この音声ガイドは濱田隆士館長と女性アナウンサーとの対話型・質問形式になっており、親しみやすい上に理解しやすくできている。

展示室の利用にあたって、「展示物が来館者に近い状態にある」「順路にとらわれない」という理由からか、「展示をよく観る」「自分の興味や関心のあるものをとくに観る」という効果もみられているが、改善すべき箇所や課題も多い。

『全国の博物館園における視覚障害者の対応に関するアンケート調査結果報告』(奥野, 1998)にも記述したが、バリアフリーについては全国の博物館園においてもこれから整備されるところが多く、充分ではないにしろ様々に試みられつつある。ところが、こうした博物館側の努力や姿勢が盲学校及び視覚障害者の方々に伝わっていないことが多い。それは博物館側からの働きかけも弱かったことにもよるが、視覚障害者の方々の中には初めから「博物館に行ってもしょうがない」と諦められていた感がある。また、必要最低限ではあるが、「展示」にバリアが

存在し、視覚障害者の方々をより遠ざけてしまったことも一因かもしれない。しかし、最近は情報機器が著しく進歩し、インターネット等の情報提供・伝達手段も普及して、博物館等にも容易にアクセスでき、より利用しやすくなったと思われる。

そこで、さらに視覚障害者の方々に博物館の展示や活動を理解して利用していただくか、盲学校と博物館との連携を一層深めるためにはどうすべきかに焦点を絞り、調査・研究に取り組み、方策を見つけ出すことにした。

ここに紹介した全国の盲学校の博物館利用の現状が、神奈川県立生命の星・地球博物館の方策を検討するだけのものではなく、広く博物館の活動や盲学校等の学習の一助になれば幸いである。

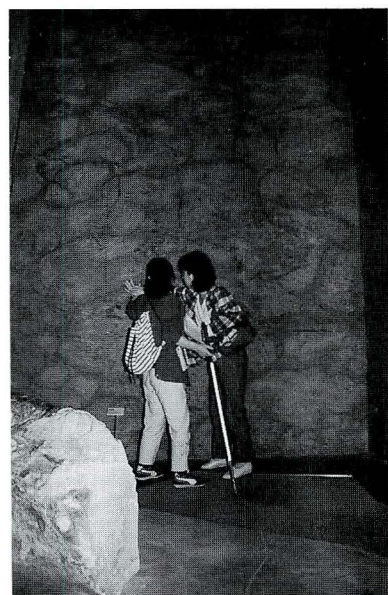


図1. 神奈川県立生命の星・地球博物館の地球展示の実物に触る。

II. 調査・研究の目的

まず現在、盲学校がどのように博物館等を活用しているのか、その最新の状況把握が常に必要であると痛感しており、全国の盲学校へアンケート調査を実施した。

なお、本来は「視覚障害者」「晴眼者」というように分けて考えるべきではなく、「視覚障害者に配慮する」ことは、一般的思考として「すべての人に配慮されたもの」に通ずる。しかし、ここではその対策の検討に重点をおいたので、あえて「視覚障害者のために」という限定的な表現や用語を用いている。

III. アンケート調査の実施

『視覚障害者教育情報ガイド'95～'99年版』に掲載されている全国の盲学校70校の小学部、中学部、高等部(普通科)に対して、「盲学校の博物館利用について」のアンケート調査を1998(平成10)年9月から10月にかけて実施した(図2)。盲学校70校のうち生徒がいない学部を除き、表1に掲げる回答が得られた。

なお、アンケート用紙の内容、項目の選択は、盲学校が利用しやすい博物館の対応を考慮し、盲学校の先生から助言を得て、盲学校と博物館との関わりに視点を置いて作成した。

IV. 調査結果

1. 全国の盲学校各学部の博物館利用の現状

全国の盲学校の博物館利用状況は、表2のとおりである。小学部と高等部では半数が授業の一環で博物館を利用しており、中学部においてはそれを上回る。各学部とも修学旅行や遠足等で特別に利用することの方が多い。

そして、表3に示すとおり、小・中学部の授業での利用は学芸員や職員の案内によるが、高等部での授業及び修学旅行等では各学部とも案内によらず、自由に観て回ることが多い(表3-1)。また、全学部を通して授業で利用する場合は、学芸員等から特別に話を聴くことがあるが、修学旅行や遠足等では、予定コース時間の関係であろうか、話を聴くことは少ない(表3-4)。

盲学校側は「触れる展示物のある博物館」を考慮しながら目的地を選択し、事前に見学や打ち合わせを行っている(表3-2・5・6)。

授業の一環で利用している盲学校の利用回数は、表4のとおりで、在学中に一度は何らかの形で博物館を利用していることがわかる。

表5は、盲学校が授業または修学旅行等で利用したことがあると記載した博物館名である。授業等では地域のあるいは同県の施設を利用し、修学旅行や遠足等では行先が決まった後、周辺の目的にあった博物館を探す場合が多いとのことである。

神奈川県立生命の星・地球博物館でも横浜市立盲学校や神奈川県立平塚盲学校など県内の盲学校が授業の一環で来館し、修学旅行や遠足等では県内の盲学校に加えて遠く岩手県や福井県の盲学校の利用がある。利用に当たって音声ガ

イドが展示への理解を助けている(図3)。また、このガイドはどこでも聞くことができるため、学校へ戻ってから再度授業に使いたい、あるいは自宅でゆっくり聞きたい等の要望もあり、貸し出しを行った例もある。

なお、音声ガイド導入計画は、博物館建設時の展示設計には無かったために、視覚障害者の方が一人で使うにはいくつかの不便を生じた。そこで、ペイイヤフォンを用意して晴眼者とともに使えるように配慮し(図4)、誘導・案内ボランティアの協力(図5)も得ている。このボランティア活動により音声ガイド場所への誘導、説明部分への案内が容易になり、視覚障害者の方々や盲学校等の利用の便がさらにはかれている。

表6に示すとおり、これまで博物館を利用したことがなかった学校からも今後の利用希望が多く、減少の要素は考えられないので、表7以下の内容を重視したい。

まず、「展示室で展示物に触らせたい」という希望に的確に応えるには充分な利用時間が必要になる。その際

表1. 盲学校へのアンケート調査数

	小学部	中学部	高等部
依頼数	68	68	64
回答数	58	58	50
回答率	85.3%	85.3%	78.1%

表2. 盲学校の博物館利用状況

	小学部(58)		中学部(58)		高等部(50)	
	授業の一環	修学旅行遠足	授業の一環	修学旅行遠足	授業の一環	修学旅行遠足
あ る	29	30	31	34	25	28
な い	29	28	27	24	25	22

*各学部の()内数字はアンケート対象数(以下同様)

表3. 博物館の利用状況

		小学部		中学部		高等部	
		授業の一環	修学旅行遠足	授業の一環	修学旅行遠足	授業の一環	修学旅行遠足
「ある」と回答した盲学校数		29	30	31	34	25	28
1	学芸員や職員の案内で、展示を観た	19	10	17	9	10	10
	学芸員や職員の案内はなく、展示を観た	9	20	14	25	14	16
	その他	1	0	0	0	1	2
2	展示室で展示物に触った	25	26	25	28	19	19
	展示室には触れるものがなかった	3	3	4	5	4	7
	その他	1	1	2	1	2	2
3	別室に触れる資料が用意されていて、触った	13	9	10	14	8	8
	とくに触れる資料の用意はなかった	8	13	11	16	10	17
	その他	2	2	3	3	0	1
	不 明	6	6	7	1	7	2
4	学芸員や職員の方から、話を聞いた	19	11	21	13	15	9
	とくに学芸員や職員の方からの話はなかった	7	17	10	21	9	19
	その他	3	2	0	0	1	0
5	学校側として、事前に打ち合わせや下見をした	19	22	20	18	14	16
	とくに事前の打ち合わせや下見は行なわなかった	8	7	10	14	11	12
	その他	2	1	1	2	0	0
6	学校側として、博物館の利用を計画した	27	30	29	33	22	28
	博物館側から利用を依頼された	2	0	1	1	1	0
その他		0	0	1	0	2	0

「官学校等の博物館利用について」アンケート調査のお願い

神奈川県立生命の星・地球博物館

お忙しいなか恐縮ですが、○印またはご記入いただきたくお願い申し上げます。

貴学校名 _____ 学部 _____ 学級数: _____ 学級 _____ 生徒数: 約 _____ 名

連絡先の電話番号 _____ () _____ ご記入者の氏名 _____

博物館の利用にあたって、次のⅠ～Ⅵ項目についてうかがいます。

Ⅰ. 授業の一環で、生徒を博物館へ連れて行ったことがありますか。

Ⅰ-1. ア. ある イ. ない ウ. その他 ()

「ある」と答えられた方に伺います。

Ⅰ-2. それはどちらの博物館ですか。博物館名: _____

Ⅰ-3. どのような利用をされましたか。項目ごとに○をつけてください。

① [ア. 学芸員や職員の案内で、展示を観た
 イ. 学芸員や職員の案内ではなく、展示を観た
 ウ. その他 ()]

② [ア. 展示室で展示物に触った
 イ. 展示室には触れるものがなかった
 ウ. その他 ()]

③ [ア. 別室に触れる資料が用意されていて、触った
 (触った資料名)
 イ. とくに触れる資料の用意はなかった
 ウ. その他 ()]

④ [ア. 学芸員や職員の方から、話を聞いた
 イ. 学芸員や職員の方からの話はとくになかった
 ウ. その他 ()]

⑤ [ア. 学校側として、事前に打ち合わせや下見をした
 イ. とくに事前の打ち合わせや下見は行なわなかった
 ウ. その他 ()]

⑥ [ア. 学校側として、博物館の利用を計画した
 イ. 博物館側から利用を依頼された
 ウ. その他 ()]

Ⅰ-4. 何回利用されますか

ア. 年に1回 イ. 年に2回 ウ. たまたま エ. その他 ()

「ない」と答えられた方に伺います。今後、利用したいと思われませんか。

Ⅰ-5. ア、利用したくない
イ、利用したいと思う → どのような利用をお考えですか。
ア、生徒に展示室で展示物に触らせた
イ、生徒に別室で特別な資料に触らせた
ウ、生徒に学芸員や職員の方から専門の話を聞かせたい
エ、博物館のいろいろな情報を得たい
オ、その他()

Ⅱ、修学旅行や遠足等で、特別に生徒を博物館へ連れて行ったことがありますか。

Ⅱ-1. ア、ある イ、ない ウ、その他()

「ある」と答えられた方に伺います。

Ⅱ-2、それはどちらの博物館ですか。博物館名: _____

Ⅱ-3、どのような利用をされましたか。項目ごとに○をつけてください。

① [ア、学芸員や職員の案内で、展示を観た
イ、学芸員や職員の案内はなく、展示を観た
ウ、その他()
ア、展示室で展示物に触った
② [イ、展示室には触れるものがなかった
ウ、その他()
ア、別室に触れる資料が用意されていて、触った
③ [(触った資料名)
イ、とくに触れる資料の用意はなかった
ウ、その他()
ア、学芸員や職員の方から、話を聞いた
④ [イ、学芸員や職員の方からの話はとくになかった
ウ、その他()
ア、学校側として、事前に打ち合わせや下見をした
⑤ [イ、とくに事前の打ち合わせや下見は行なわなかった
ウ、その他()
ア、学校側として、博物館の利用を計画した
⑥ [イ、博物館側から利用を依頼された
ウ、その他()

「ない」と答えられた方に伺います。今後、利用したいと思われませんか。

Ⅱ-4. ア、利用したくない
イ、利用したいと思う → どのような面で利用したいですか。
ア、生徒に展示室で展示物に触らせた
イ、生徒に別室で特別な資料に触らせた
ウ、生徒に学芸員や職員の方から専門の話を聞かせたい
エ、博物館のいろいろな情報を得たい
オ、その他()

III. 貴校と博物館と関わりをもっていますか。またはもったことがありますか。

Ⅲ-1. ア. ある イ. ない ウ. その他 ()

「ある」と答えられた方に伺います。

Ⅲ-2. それはどちらの博物館ですか。博物館名: _____

Ⅲ-3. それはどのようなことでしたか。

① ア. 博物館から貴校の授業等を参観に来たことがある。
イ. 貴校からのよびかけで、授業等を参観したことがある。
ウ. その他 ()

② ア. 博物館から資料(移動博物館)を持って来たので、資料に触った。
(触った資料名:)
イ. 博物館から資料(移動博物館)を持って来たが、資料には触れなかった。
ウ. その他 ()

③ ア. 貴校からのよびかけで、博物館資料を持って来てもらって資料に触った。
(触った資料名:)
イ. 貴校からのよびかけで、博物館資料を持って来てもらったが、資料には触れなかった。
ウ. その他 ()

④ ア. 博物館から貴校へ、学芸員が専門的な話をに来たことがある。
イ. 貴校からのよびかけで、学校で学芸員が専門的な話をしたことがある。
ウ. その他 ()

⑤ ア. 博物館から貴校へ、博物館の説明(PR)に来たことがある。
イ. 貴校からのよびかけで、博物館の説明(PR)に来たことがある。
ウ. その他 ()

「ない」と答えられた方に伺います。今後、博物館から来て欲しいと思われませんか。

Ⅲ-4. ア. 来てほしいと思わない
イ. 来てほしいと思う → どのようなことで来て欲しいですか。
ア. 授業等を参観に来て欲しい
イ. 博物館資料(移動博物館)を持って来て欲しい
ウ. 博物館の概要や展示の内容等を説明して欲しい
エ. 学芸員や職員の方から専門の話を聞かせて欲しい
オ. その他 ()

IV. 自然系博物館で貸出用教材を揃えたとしたらどのようなものを望まれますか。(複数可)

ア. 化石 イ. 恐竜の化石 ウ. 恐竜等の縮小模型
エ. 隕石 オ. 岩石 ケ. 鉱物標本
キ. 貝類標本 ク. 動物の剥製 ケ. 動物の骨格標本
コ. 動物の毛皮 サ. 昆虫の(拡大)模型 シ. クジラやイルカの骨格標本
ス. 鳥の剥製 セ. 鳥の骨格標本 ソ. 植物や木の実などの模型
タ. 動物や鳥などの鳴き声のテープ ツ. 植物の匂いが出る装置
チ. 博物館の点字解説書や音声ガイド
テ. その他 ()

V. 人文系博物館で貸出用教材を揃えたとしたらどのようなものを望みますか。(複数可)

ア. 石器や土器などの考古資料	イ. 銅鐸などの複製資料
ウ. 薬製品などの民俗資料	エ. 衣類
オ. 兜や鎧などの複製資料	カ. 博物館の点字解説書や音声ガイド
キ. その他()	

VI. 博物館等を利用するまたは利用を考える際にどのような点を考慮されますか。(複数可)

ア. 博物館への交通等、危険性が少ない施設であるか
イ. 誘導用ブロック等が設置されているか
ウ. スロープや階段等、施設内が安全であるか
エ. 見学順路がわかりやすいものになっているか
オ. トイレやエレベータ、レストラン等の位置がわかりやすいものになっているか
カ. 展示が授業の内容にそくしているか
ク. 展示物が生徒の興味や関心の示すものであるか
ケ. 触知板等の案内や説明があるか
コ. 点字解説書や音声ガイドが用意されているか
サ. 触らせてもらえる資料を用意してくれるなど、特別に対応してくれるか
シ. 学習室など、生徒が集まれる場所が用意されているか
ス. 博物館の利用料金等、配慮されているか
セ. その他()

VII. 博物館へ要望やご意見等がありましたら、自由にお書きください。今後の参考にさせていただきます。

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

ご協力ありがとうございました。甚だ勝手ですが、10月10日までに同封の封筒にて、ご回答いただきたく、よろしくお願い申し上げます。

この件に関する問い合わせは、神奈川県立生命の星・地球博物館 奥野花代子
In 0465-21-1515 FAX 0465-23-8846

図 2. アンケート調査用紙。
原図を 45% に縮小してある。

表 4. 授業の一環での利用状況

	小学部(29)	中学部(31)	高等部(25)
年に1回	11	8	8
年に2回位	3	4	2
たまたま	8	13	6
その他	7	6	9

(その他内訳)

小学部・必要に応じて
・数年間に1回 (4)
・1年に3回 (1)

中学部・3年に1回 (5)
・隔年に1回 (1)

高等部・単元に合わせて (5)
・3年に1回 (3)
・不定期 (1)

表 8. 博物館等との連携の有無

	小学部(58)	中学部(58)	高等部(50)
あ る	3	7	10
な い	55	51	40

表 5. 盲学校が利用した博物館一覧、利用校数

A：授業の一環での利用校数
B：修学旅行等での利用校数

利用した博物館名	A	B
北海道開拓の村	0	1
旭川市博物館	1	0
江別市郷土資料館	1	0
釧路市立博物館	1	1
市立函館博物館	1	0
青森県立郷土館	1	0
青森県営浅虫水族館	0	1
棟方志功記念館	1	0
三内丸山遺跡展示室	1	1
岩手県立博物館	1	0
盛岡市子ども科学館	1	0
盛岡市手でみる博物館	0	1
宮沢賢治記念館	0	1
八戸市博物館	1	0
仙台市博物館	1	0
仙台市科学館	0	1
斉藤報恩会自然史博物館	1	0
秋田県立博物館	1	1
山形県立博物館	1	0
ミュージアムパーク・茨城県自然博物館	1	1
栃木県立博物館	1	1
群馬県立歴史博物館	1	0
埼玉県立自然史博物館	1	1
さいたま川の博物館	0	1
千葉県立中央博物館	1	1
千葉県立房総のむら	1	1
NHK放送博物館	0	1
科学技術館	0	1
交通博物館	2	2
国立科学博物館	2	7
たばこと塩の博物館	1	0
電力館	1	0
東京都江戸東京博物館	0	9
東京都高尾自然科学館	1	0
文京ふるさと歴史館	1	0
神奈川県立生命の星・地球博物館	2	4
シルク博物館	0	1
平塚市博物館	1	0
山梨県立考古博物館	1	1
長野市立博物館	1	0
松本市立考古博物館	1	0
松本市立博物館	1	0

利用した博物館名	A	B
上越市立水族博物館	0	1
新潟市水族館マリニア日本海	1	0
富山市科学文化センター	1	1
富山市民俗民芸村	1	0
石川県立歴史博物館	1	1
福井県立博物館	1	1
福井市自然史博物館	1	0
岐阜県博物館	1	2
岐阜市歴史博物館	1	0
静岡市立登呂博物館	0	1
東海大学人体科学博物館	1	0
浜松市楽器博物館	1	1
名古屋科学館	0	2
名古屋市博物館	1	0
豊橋市自然史博物館	0	1
三重県立博物館	1	0
滋賀県立陶芸の森陶芸館	0	1
滋賀県立琵琶湖博物館	2	0
大阪市立科学館	2	2
大阪市立自然史博物館	1	2
大阪府箕面公園昆虫館	0	1
大阪府立弥生文化博物館	1	0
国立民族学博物館	1	1
神戸海洋博物館	1	0
神戸市立青少年科学館	0	2
神戸市立博物館	1	0
兵庫県立人と自然の博物館	1	0
奈良国立博物館	0	1
和歌山県立自然博物館	1	1
大原美術館	0	1
広島平和記念資料館	0	1
徳島県立博物館	0	1
高松市歴史資料館	1	0
愛媛県立歴史民俗資料館	1	0
松山市立子規記念博物館	1	0
高知県立歴史民俗資料館	1	0
北九州市立自然史博物館	1	0
福岡県青少年科学館	0	1
佐賀県立博物館	1	0
熊本市立熊本博物館	1	1
宮崎県立総合博物館	1	0
鹿児島県立博物館	1	0



図3. 岩手県立盲学校高等部が神奈川県立生命の星・地球博物館の「マンドラビラ隕石」の展示の前で音声ガイドを聴きながら資料に触る。



図4. 神奈川県立生命の星・地球博物館の音声ガイドのペアイヤフォンを利用して展示を観る。

表 6. 利用希望の有無

	小学部		中学部		高等部	
	授業の一環	修学旅行遠足	授業の一環	修学旅行遠足	授業の一環	修学旅行遠足
利用したことがない盲学校数	29	28	27	24	25	22
今後利用したい	28	28	26	20	24	21
利用したくない	1	0	1	4	1	1

表 7. 利用内容（複数回答あり）

	小学部		中学部		高等部	
	授業の一環	修学旅行遠足	授業の一環	修学旅行遠足	授業の一環	修学旅行遠足
今後、利用したいと考えている盲学校数	28	28	26	20	24	21
生徒に展示室で展示物に触らせたい	23	19	19	15	20	19
生徒に学芸員や職員の方から専門の話を聞かせたい	17	17	12	10	17	14
生徒に別室で特別な資料に触らせたい	10	9	5	6	8	10
博物館のいろいろな情報を得たい	4	7	5	4	3	2
その他	1	0	1	0	0	0

(その他は、小・中学部とも「地元の博物館とのネットワーク」)

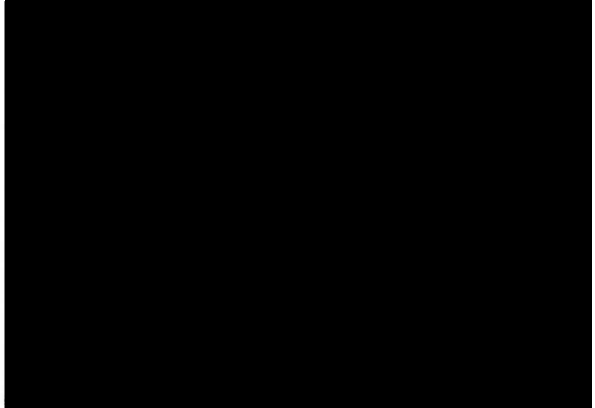


図5. 神奈川県立生命の星・地球博物館の誘導・案内ボランティアによる誘導・案内。

には、この間の来館者との調整をどのようにするかという問題も生じてくる。盲学校側に立った配慮を考えるなら、展示物に沿った対応を考え、学芸員からの解説が加わると、なお学習効果が高まる。

次に、盲学校と博物館との連携体制であるが、連携しているところは未だ少なく(表8)、盲学校へ来て欲しいとの要求もある(表9)。学校側は博物館の資料を生徒に触らせ、学芸員等から専門の話を聴くことを望んでおり(表10)、博物館側からの積極的な働きかけや対応を要望している。

表11は、盲学校と博物館とが連携している所である。主な内容は、定期的な博物館の利用、視覚障害者用展示や展示コーナー設置への協力、点字解説書作成にあたっての助言、職員等との意見や情報交換等である。なかでも博物館から資料の貸し出しを受けて授業に使用するケース(図6)や学芸員等が授業に協力する場合が多い。

2. 博物館の貸し出し用希望教材について

自然系博物館で揃えて欲しいという希望のあった貸し出し用教材を表12に示した。小学部でとくに希望が多いものに「昆虫の(拡大)模型」があり、これは中学部や高等部でも2番目に希望しているものである。図7は、神奈川県立平塚盲学校が独自に用意し、授業に使用しているものである。

中学部では「植物の匂いが出る装置」を第1番にあげている。このような装置が展示室に設置されている例には、神奈川県立生命の星・地球博物館(図8)や兵庫県立人と自然の博物館(図9)、ミュージアムパーク・茨城県自然博物館などがある。

小・中学部においては「動物の骨格標本」より「動物の剥製」を、「恐竜の化石」よりも「恐竜の縮小模型」を望んでいる。

希望順位の低いもののなかでも他学部と比較して、小学部では「化石」、中学部では「鳥の骨格標本」の希望が目立っている。図10は、神奈川県立平塚盲学校の「鳥の剥製標本」を使つての授業風景である。

高等部では「博物館の点字解説書や音声ガイド」を1番にあげ、これは全学部を通して2番目となっている。そして、「動物の剥製」が第3番目になっているにもかかわらず、「動物の毛皮」の希望が極めて低い。

各学部を通じて希望の多いものに、「動物や鳥などの鳴き声のテープ」がある。展示室で鳴き声が聴かれる例として、神奈川県立生命の星・地球博物館のジャンボブック展示の中に「カエルの鳴き声当てクイズ」がある。此処は子どもたちに人気のあるコーナーである(図11)。また、我孫子市鳥の博物館には「鳥の鳴き声」を聴くことのできる展示がある(図12)。

なお、『さわる図鑑』(財団法人 日本野鳥の会,1991)として『庭や公園の野鳥』『森や林の野鳥』の2巻が発刊されており、触って鳥の形が認識でき、点字説明もあり、カセットテープがセットされている(図13)。

岩石や鉱物標本は、触っただけでは区別がしにくいせいか、全学部をとおして要望が少ない。そこで、神奈川県立生命の星・地球博物館では、結晶の形がわかりやす

表 9. 今後、博物館との連携希望について

	小学部(55)	中学部(51)	高等部(40)
来てほしい	4 8	4 2	3 6
来てほしくない	7	9	4

表 10. 博物館との連携希望内容(複数回答あり)

	小学部(48)	中学部(42)	高等部(36)
博物館資料(移動博物館)を持って来て欲しい	3 0	2 7	1 7
学芸員や職員の方から専門の話を聞かせて欲しい	1 6	2 3	1 6
博物館の概要や展示の内容等を説明して欲しい	8	1 6	9
授業等を参観に来て欲しい	2	2	1

表 11. 盲学校と博物館との連携状況

盲 学 校 名	博 物 館 名
茨城県立盲学校	ミュージアムパーク・茨城県自然博物館
千葉県立千葉盲学校	千葉県立千葉中央博物館
筑波大学附属盲学校	埼玉県立自然史博物館 東京都恩賜上野動物園
神奈川県立平塚盲学校	神奈川県立生命の星・地球博物館 平塚市博物館
横浜市立盲学校	国立科学博物館
富山県立盲学校	北陸電力エネルギー科学館
滋賀県立盲学校	滋賀県立琵琶湖博物館
神戸市立盲学校	神戸市立博物館
和歌山県立和歌山盲学校	和歌山県立自然博物館
鳥取県立鳥取盲学校	鳥取県立博物館

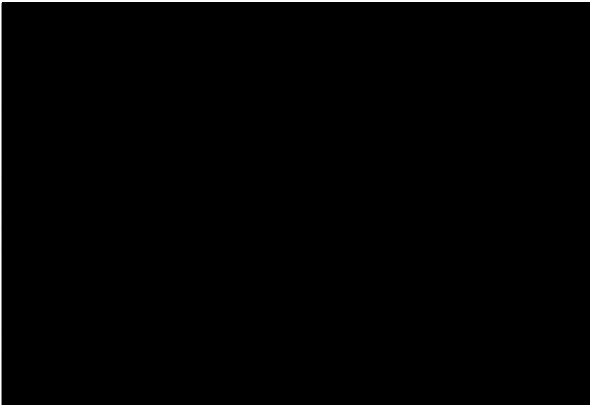


図 6. 神奈川県立平塚盲学校が平塚市博物館から「動物の剥製」の貸し出しを受けて授業に使用。

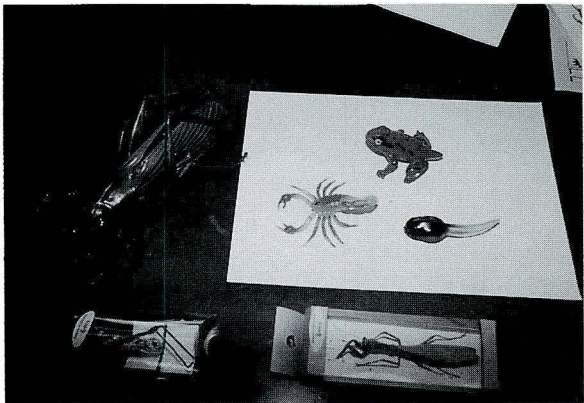


図7. 神奈川県立平塚盲学校が用いている動物や昆虫の学習教材。

表 12. 自然系博物館で揃えて欲しい貸出用教材
(複数回答あり) ○数字は希望順位

	小学部(58)	中学部(58)	高等部(50)	合 計
昆虫の(拡大) 模型	① 3 9	② 3 6	② 3 1	1 0 6
博物館の点字解説書や音声ガイド	3 2	② 3 6	① 3 4	1 0 2
動物の剥製	② 3 8	③ 3 5	③ 2 7	1 0 0
植物の匂いが出る装置	3 2	① 3 9	④ 2 6	9 7
動物の骨格標本	3 0	④ 3 3	③ 2 7	9 0
動物や鳥などの鳴き声のテープ	④ 3 3	2 8	③ 2 7	8 8
恐竜等の縮小模型	④ 3 3	2 5	③ 2 7	8 5
鳥の剥製	③ 3 4	2 6	2 4	8 4
植物や木の実などの模型	2 4	2 1	2 4	6 9
恐竜の化石	2 4	2 2	2 2	6 8
化石	2 5	1 7	2 1	6 3
クジラやイルカの骨格標本	2 0	2 0	2 0	6 0
鳥の骨格標本	1 6	2 4	1 8	5 8
隕石	1 6	1 7	1 9	5 2
貝類標本	1 8	1 3	1 5	4 6
動物の毛皮	1 7	1 6	8	4 1
鉱物標本	9	1 0	1 1	3 0
岩石	9	7	9	2 5
その他	4	0	2	6



図 8. 神奈川県立生命の星・地球博物館のジャンボブック展示「植物図鑑」で用いている「花の香りが出る装置」で展示物に合わせて設置。移動が可能である。



図 9. 兵庫県立人と自然の博物館の植物展示の匂いが出る装置。

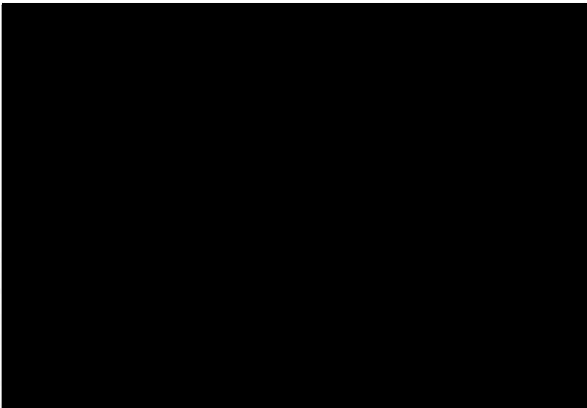


図 10. 神奈川県立平塚盲学校で鳥の剥製を使っでの授業風景。



図 11. 神奈川県立生命の星・地球博物館のジャンボブック展示「カエルの鳴き声当てクイズ」。



図 12. 我孫子市鳥の博物館の「鳥の鳴き声」展示。



図 13. 『さわる図鑑』点字説明もつき、カセットテープがセットされている。

い水晶や方解石等の鉱物標本を準備している。合わせて骨格標本や動物の毛皮、貝類標本、アンモナイトの化石等の資料も学習用教材として収集に努めている。

その他、天文に関する触察資料や虫の声のテープなどの希望が寄せられている。

表13は、人文系博物館での貸し出し用教材の希望である。小・中学部が「鎧や兜」、高等部では「銅鐸」などの複製資料に要望が多い。その他として、民家や集落、墳墓の模型、寝殿造や城、五重塔などの建築模型、農器具の模型等の希望もある。図14は、堺市博物館の展示室にある「銅鐸」と「前方後円墳」の触察模型（図15）で、点字説明も施されている。

なお、今回修学旅行等で利用の多かった東京都江戸東京博物館には「手でみる展示コーナー」（図16）があり、点字版の『博物館見学のしおり』も用意されている。

「博物館の点字解説書や音声ガイド」は自然系博物館と同様、全学部を通じて希望が多いもので、博物館側としても準備しやすいものであると思われるが、例えば、1冊の教科書を点字版にすると12冊にもなり（図17）、点字による解説書の作成には工夫の必要性がでてくる。

希望順位は多少前後するが、自然系でも人文系博物館でも、各学部が要望している資料は同様であり、全学部が共通に使えるものでも良いと判断される。

表 13. 人文系博物館で揃えて欲しい貸出用教材
(複数回答あり) ○数字は希望順位

	小学部(58)	中学部(58)	高等部(50)	合 計
兜や鎧などの複製資料	① 44	① 35	③ 32	111
博物館の点字解説書や音声ガイド	③ 39	① 35	② 36	110
石器や土器などの考古資料	② 40	② 31	③ 32	103
銅鐸などの複製資料	31	23	① 40	94
薬製品などの民俗資料	28	27	25	80
衣類	30	25	25	80
その他	5	0	2	4

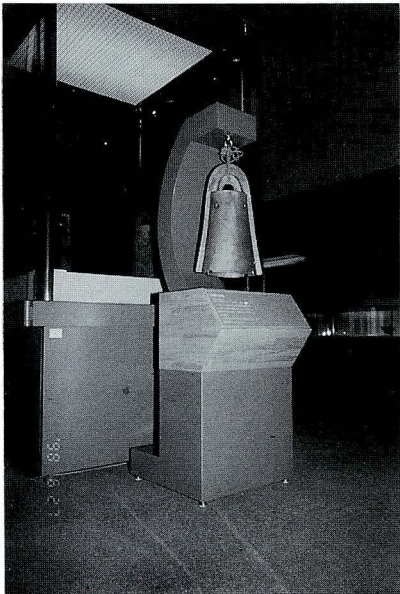


図 14. 堺市博物館の「銅鐸」の展示。点字説明も施されている。



図 15. 堺市博物館の「前方後円墳」の触察模型。点字説明もなされている。



図 16. 東京都江戸東京博物館の「手でみる展示コーナー」にある「浮世絵」の触察資料。



図 17. 生物IBの教科書を点字にした場合の例、後方、12冊分になる。

表 14. 博物館を利用する際の考慮点（複数回答あり） ○数字は順位

	小学部(58)	中学部(58)	高等部(50)	合 計
触れる展示物や体験学習室等があるか	① 5 4	① 5 2	① 4 9	1 5 5
触らせてもらえる資料を用意してくれるなど、特別に対応してくれるか	② 5 0	② 4 3	② 4 3	1 3 6
展示物が生徒の興味や関心の示すものであるか	③ 4 2	③ 4 0	③ 3 5	1 1 7
点字解説書や音声ガイドが用意されているか	④ 3 3	④ 3 7	④ 3 4	1 0 4
スロープや階段等、施設内が安全であるか	2 8	2 1	2 1	7 0
触知板等の案内や説明があるか	2 3	2 4	1 8	6 5
博物館への交通等、危険性が少ない施設であるか	2 0	2 4	1 6	6 0
展示が授業の内容にそくしているか	2 8	1 6	9	5 3
博物館の利用料金等、配慮されているか	1 6	1 9	1 6	5 1
誘導用ブロック等が設置されているか	1 2	1 8	1 4	4 4
トイレやエレベータ、レストラン等の位置がわかりやすいものになっているか	1 0	1 5	9	3 4
見学順路がわかりやすいものになっているか	9	1 1	1 3	3 3
学習室など、生徒が集まれる場所用意されているか	3	1 2	7	2 2

3. 盲学校が博物館等を利用する際の考慮点

盲学校が博物館等を利用する際に考慮している点を表 14 に示した。この表から、とくに小学部が「展示が授業にそくしているかどうか」を選択の対象としているのに対し、高等部では授業との関連性にはそれほど重きをおいていない。上位 4 番目までは全学部共通であり、あくまでも「触れる展示物」があることが基本となる。

なお、盲学校の生徒の中には、知的あるいは身体障害をあわせもつ生徒もあり、受け入れる際には盲学校の先生との十分な打合せが必要となる場合がある。

4. 盲学校から博物館に対する意見・要望等

アンケート項目 VII の博物館への要望等に、参考となる貴重な意見が寄せられたので紹介する。

なお、全学部共通事項が多いので、学部を分けずに原文に近い状態で記載した。

〔触る展示・展示物、体験型展示等について〕

- ・貴重品はやむを得ないが、ガラス越しの展示は盲学校の生徒にはないのも同然。触れる展示をお願いしたい。（7 校）
- ・触察可能な展示物（複製品可）の増加を希望する。（7 校）
- ・博物館の展示や資料には、貴重なものが多くあって、ガラスケースの中に陳列されているので、視覚障害児にとって見づらかったり、触りにくかったりする。実際に手で触ることができたり、音やにおいを感じることができれば、印象深い（感動する）。（6 校）
- ・大きい展示物は全体像が理解しにくいので、縮小模型を用意して欲しい。そして実物もしくは実物大の模型を自由に触れる環境が大切である。（2 校）
- ・複製品の展示物でも本物に近い触感のあるものを用意して欲しい。（2 校）
- ・いろいろな物にどのくらい触らせてもらえるのが、ポイント。展示物を触察できることが第一条件である。（2 校）
- ・触れるものを多く！（ガラスケースが多すぎる！）

- ・視覚障害者の生徒の中には動物に触れない子もあり、鳴き声と動物の名称が一致しないことがある。剥製に触る、鳴き声が聴かれる展示物があると良い。
- ・展示資料に触って良い、悪いをはっきりさせて欲しい。
- ・つり下げ型の展示物や突起物などが、ちょうど頭の高さにあたりるので考慮して欲しい。

〔案内、音声ガイド、点字解説書等〕

- ・音声ガイドの用意と機器の増加を望む。（7 校）
- ・音声による説明と実際に触れる展示物がたくさんあればよくわかる。（6 校）
- ・点字解説書を用意して欲しい。（3 校）
- ・館内に点字の案内板や展示物の側に点字の説明があると、より利用しやすい。（2 校）
- ・学芸員の案内で展示をみると能率的な学習ができる。
- ・ガイドツアーを充実して欲しい。
- ・博物館の点字解説書や音声ガイドがあると、事前または、当日利用する際に大変役立つ。
- ・点字の解説をもう少し読みやすく（例えば、点がつぶれていたり、点の大きさなど）、全ての展示資料に点字の解説をつけて欲しい。
- ・館の簡単な構造（地図など）の説明（点字・拡大文字）があれば事前学習に使えるので、用意して欲しい。
- ・誘導、案内をしてくれる職員や個人でもスムーズに利用できるシステムをつくって欲しい。
- ・気軽に受けられる案内など、人的なケアが必要である。

〔弱視児（者）への配慮〕

- ・弱視用に大きめの文字で書かれた表示や解説書などが準備してあると助かる。（3 校）
- ・照明が暗い博物館が多い。展示物保護のために必要なかもしれないが、弱視者の見学の時に明るくなるようにすると、より見やすく観察力が向上する。（2 校）
- ・展示物までの距離が遠い場合やガラス越しの場合、弱視児にとっては見えにくいので、ビデオカメラ等で拡大して画面に映し出して見れると良い。
- ・弱視用に展示物の高さ、照明、展示説明文字の大きさ等に配慮して欲しい。

〔体験学習、学習教材等〕

- ・博物館が視覚障害児のみならず、一般の子どもたちにも親しみの持てる自らの能動的活動（触れる、匂いをかぐ、体験する等）を通して、楽しみながら学習・体験できる場所になって欲しい。（5校）
- ・実際にいろいろなことを体験する機会が少ないので、体験することも希望する。例えば、糸を紡ぐ、布を織る、脱穀するなど。（5校）
- ・視覚障害者だから特別に触らせてもらうのではなく、ごく自然に、晴眼者と同じような体験、感動が味わえるように工夫して欲しい。（3校）
- ・視覚に訴える展示や資料が一般的に多いので、体験学習室や体験コーナー等を設けて欲しい。（2校）
- ・発掘するとか、体験できる所があるとよい。（2校）
- ・教材として学校にないもの（複製品で可）を積極的に触らせて欲しい。（2校）
- ・映像や写真など現象・事象を理解する上で言葉・文字を補完する資料の絶対数が不足している。触察に適した縮小模型は形態を伝えられるし、毛皮などは触感が伝えられる。貸出用学習教材も揃えて欲しい。（2校）
- ・視覚障害のあるなしにかかわらず、五感すべてで感じたり、体験したり、知ることのできる博物館を望む。
- ・全盲生徒のために可能な限り、触らせて欲しいし、着たり、かぶったり、乗ったり、体験させて欲しい。
- ・複製資料や復元した建造物など、触ったり、体験したり、実感を伴って理解できるように工夫して欲しい。
- ・昔の生活を理解させるための生活体験館や昔の道具、乗り物などを備えて欲しい。
- ・科学実験室や宇宙に関するコーナー（プラネタリウムを含む）など、いろいろな体験ができることを望む。
- ・学習活動で多くのものを触らせてもらうよりも、いくつか絞ってじっくり触らせて欲しい。
- ・視覚障害の他に知的な遅れを合わせ持つ児童のための学習活動に協力して欲しい。（例えば、展示してあるものの複製品を増やして、それに触らせたい）
- ・夏休みや土曜・日曜日等に博物館主催で子供たちに体験主体のプログラムや学習活動等を実施して欲しい。（例えば、親子で参加できる学習会や観察会等、参加費は有料でも年間を通して定期的に実施）
- ・博物館の利用あたって、現場の教師向けの学習プログラムを作成して欲しい。

〔資料の貸し出し、移動博物館等〕

- ・視覚障害児（者）が、触察できる展示物の貸し出しができれば、利用率がアップされる。（3校）
- ・博物館まで行けない地域の学校に対して、移動博物館の充実とその回数の増加を望む。（2校）
- ・いろいろな物を生徒に触らせたいので、学校ごとに教材を貸し出して欲しい。無理ならば、教育委員会がホールを借りてでもできないだろうか。
- ・学校からの要請があれば来校していただけるシステムがあればありがたい。
- ・講師として学校の授業に参加してもらえるとよい。
- ・博物館の学芸員等に資料を持って来てもらって授業をしていただくと、生徒は生き生きして学んでいる。

〔広報、情報提供等〕

- ・近くに利用したいと思う博物館がない。生徒が利用しやすい、楽しめる博物館の情報が欲しい。（4校）
- ・博物館ニュース等が発行されているが、みな一般健常者向きなので、盲学校の生徒にもわかるような優しい点字版のものを作成して提供して欲しい。
- ・盲学校等に定期的に博物館のパンフレットや資料等を配布して欲しい。

〔博物館に対して〕

- ・盲学校の生徒が利用しやすいように配慮して欲しい。今後、生徒に博物館を積極的に利用させてやりたい。（4校）
- ・障害者・健常者共に等しく利用できる思想にたった施設がよい。障害者を特別視する必要はない。（2校）
- ・視覚障害者（特別な配慮の必要な人たちも）が1人で気軽に出かける博物館であって欲しいし、行ける環境をつくって欲しい。（2校）
- ・博物館の利用は大切なものだと考えているが、児童や生徒を連れて行くとなると準備が必要で、博物館の利用は難しいのが現状である。（2校）
- ・“行きやすい”“触れる”など楽しめる博物館が周囲に無いのが残念。視覚障害者にも対応した博物館があれば修学旅行の候補地として考えたい。（2校）
- ・学校行事での利用では引率者がいるので移動面で不自由さは少ないが、視覚障害者が個人で利用可能となるような工夫が欲しい。
- ・児童・生徒が個人的にも利用できる博物館の配慮面をもっとアピールして欲しい（学校でも、学校行事以外でも利用するよう指導したい）。
- ・盲学校の生徒が博物館を利用する際に、必ず聞くことは触れるかどうか、視覚障害があってもわかるかどうかである。何らかの方法で直接感じるものが欲しい。
- ・従来のガラス越しに見る展示だけではなく、体験したり、製作したり、実際に触ることのできる、よりアクティブな博物館を希望する。
- ・視覚障害児にとっては「触ること」が観ること。また「聴くこと」も観ることにつながる。しかし、貴重な展示物のため、ほとんどが「触ってはいけません」というマナーが優先され、博物館の利用を遠慮しているのが現状。触ってみること、学芸員の丁寧な説明があれば子供たちと積極的に博物館を利用したいと思う。
- ・視覚障害者は、視覚以外の残存機能をフルに活用して、知識を得、理解を深めている。この優れた機能を有効に活用するための配慮をして欲しい。
- ・学習内容に即して適時に利用するとすると、盲学校と博物館とが遠すぎる。複製などを多く準備して自由に触察できる施設を各地域に増やして欲しい。
- ・全国の博物館の間で巡回展示等を行い、地方でも実物に触る機会を増やして欲しい。
- ・広すぎる展示室もよくなく、コンパクトな展示室を要望する。
- ・博物館や美術館を利用したいと思っているが交通の便が悪い。公共交通機関が協力してくれて、博物館へ行く臨時バス等が運行されると良い。

〔学芸員、職員等に対して〕

- ・学芸員から専門の話、かつ、子どもが興味をもつ話を聞かせてもらいたい。(2校)
- ・博物館の専門の職員の方の解説が小学生には難しすぎて分かりにくかったので、子供向けの解説のしかたを研究して欲しい。
- ・説明のしかたや触察のさせ方など、職員の方々が障害者について理解、学習することがまず第一。不適切な対応にいらいらさせられることもしばしばある。

〔その他〕

- ・滋賀県立琵琶湖博物館を教員で見学したことがあるが、化石に触ったり、地下の温度を感じたり、視覚障害者の子どもにも十分楽しめる場所だった。このような博物館が増えて欲しい。
- ・トヨタ自動車関連の博物館へ社会見学で行ったが、盲学校の生徒のために配慮してくれた。一般企業でも努力しているのだから、公立博物館でも障害者全般に配慮が必要である。
- ・水族館の利用方法には多くの課題があるので、温水プール等での体験(触れ合い)コーナーがあると良い。

VI. おわりに

「触ること」は「観ること」、また、「聴く」ことも「観る」ことにつながる。「触るもの」がなければ盲学校の生徒にとっては「ない」のも同然、と言う先生からの意見は、博物館に対する基本的な要求であり、博物館側はできる限り「触れるもの」を用意することが求められている。それも「特別」にではなく、「普通」に、一般来館者と同等水準で利用できることが望まれる。

今回、アンケート調査とともに全国の盲学校への博物館活動の発信は、盲学校等に博物館を一層理解していただくきっかけになったと思われる。そして、この調査結果や寄せられた多くのご意見・要望は、博物館側にとって対策や対応を検討するうえの貴重な資料となり、今後、博物館と盲学校等との連携体制を整え、深めていくうえの一つの方向性が示せたと考える。

神奈川県立生命の星・地球博物館では、1998(平成10)年を「ユニバーサル化元年」に位置づけ、これからの新しい“ユニバーサル・ミュージアム”を目指している。

筆者自身もさらにこの研究を拡充させ、全ての人に優しい博物館となるよう努力し、それに向けた活動に取り組んでいる。具体例として、盲学校の先生方との座談会や視覚障害者の方々との交流会の開催、誘導・案内ボランティア活動の体制づくり、貸出用教材の準備や活動プログラムの開発、提供である。また、1999(平成11)年3月の導入に向けて、赤外線と電波を使った誘導・案内システムの開発を計画している。

本調査は「すべての人にやさしい博物館をめざして、五感を使った展示、学習教材等の開発に関する実態調査とその研究―バリアフリー計画―」という課題で、日本科学協会から前年度継続研究として1998(平成10)年度笹川科学研究助成を受け、その研究の一環で実施した。

併せて、文部省科学研究費萌芽的研究「視覚障害者のための博物館における学習活動の展開と学習教材の開発に関する調査研究」1998～2000(平成10～12)年度(研究代表者・奥野花代子)の基礎資料とするものである。

また、現在、神奈川県立生命の星・地球博物館が文部省の委嘱を受けて実施している「南関東地域科学系博物館ネットワーク推進事業」1997～1999(平成9～11)年度の一つ「誰にもやさしい(バリアフリー)博物館活動」事業の一資料とする。

アンケート調査を実施するにあたり、全国の盲学校の先生方にはお忙しいなか、ご協力いただき、厚くお礼申しあげる。

本稿をまとめるあたり、筑波大学附属盲学校の教諭でもあり、筑波大学の鳥山由子助教授、神奈川県立平塚盲学校の小川正裕教諭にご指導、ご協力を賜った。また、NHKの視覚障害者番組を担当している高山久美子フリーアナウンサーからも情報を提供していただいた。そして、博物館ボランティアの横溝吉香さんにもアンケート調査の集計・整理に協力していただいた。末筆ながら記して感謝の意を表したい。

文献

- 神奈川県福祉部福祉課, 1998. 福祉の街づくり整備ガイドブック. pp.116.
- 駒見和夫, 1994. 博物館と障害者. 国府台, 5: 68-77.
- 駒見和夫, 1997. バリアフリー博物館への指向. 博物館学雑誌, 22(1/2): 5-15.
- 日本野鳥の会(監修・鳥山由子), 1991. さわる図鑑.
- 奥野花代子, 1998. 座談会「目の不自由な人のための優しい博物館のありかたを求めて」. 博物館研究, 33-1
- 奥野花代子, 1998. 「全国の博物館園における視覚障害者の対応に関するアンケート調査結果報告」. 神奈川県立博物館研究報告, 27: 95-106.
- 奥野花代子, 1998. 目の不自由な人のための優しい博物館のありかたを求めて―「博物館における視覚障害者の対応について」のアンケートおよび訪問調査から―. 月刊『ミュゼ』, 30: 12-13.
- 視覚障害者教育情報ガイド "95～'99年版, 1995. コレール社. 164-170.
- 山本哲也, 1996. 博物館のバリアフリー計画. 國學院大學博物館學紀要, 21: 151-222.

(受付: 1998年12月3日, 受理: 1998年12月25日)

神奈川県立生命の星・地球博物館編集委員会（1998年度）

委員長	濱田 隆士（館長）
	高橋 俊雄（副館長）
	青木 房雄（管理部長）
	町田 達哉（企画情報部長）
	中村 一恵（学芸部長）
	高桑 正敏（動物・植物チームリーダー）
	平田 大二（古生物・地球環境チームリーダー）
	田中 徳久（植物）
	樽 創（古生物）
	山下 浩之（編集事務担当）

神奈川県立博物館研究報告（自然科学）28号

1999年1月30日印刷

1999年2月15日発行

発行所 神奈川県立生命の星・地球博物館

館長 濱田 隆士

〒250-0031 神奈川県小田原市入生田499

電話 (0465) 21-1515

FAX (0465) 23-8846

印刷所 石橋印刷

**BULLETIN OF
THE KANAGAWA
PREFECT. MUSEUM
Natural Science No.28**

Kanagawa Prefectural Museum of Natural History
Odawara Kanagawa JAPAN
Feb.1999