

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。

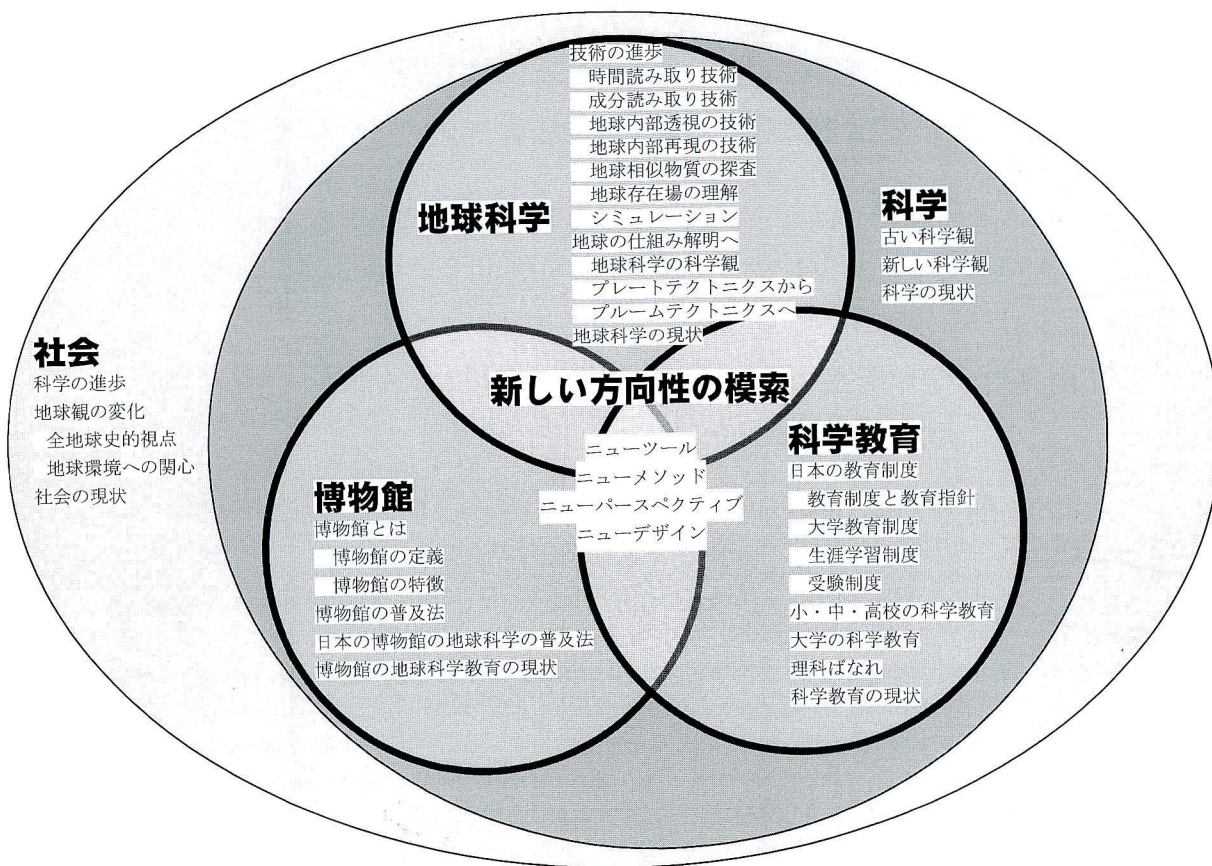


図 1. 博物館にける地球科学教育を取り巻く現状。
 本稿で現状分析した分野と内容をまとめた。

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

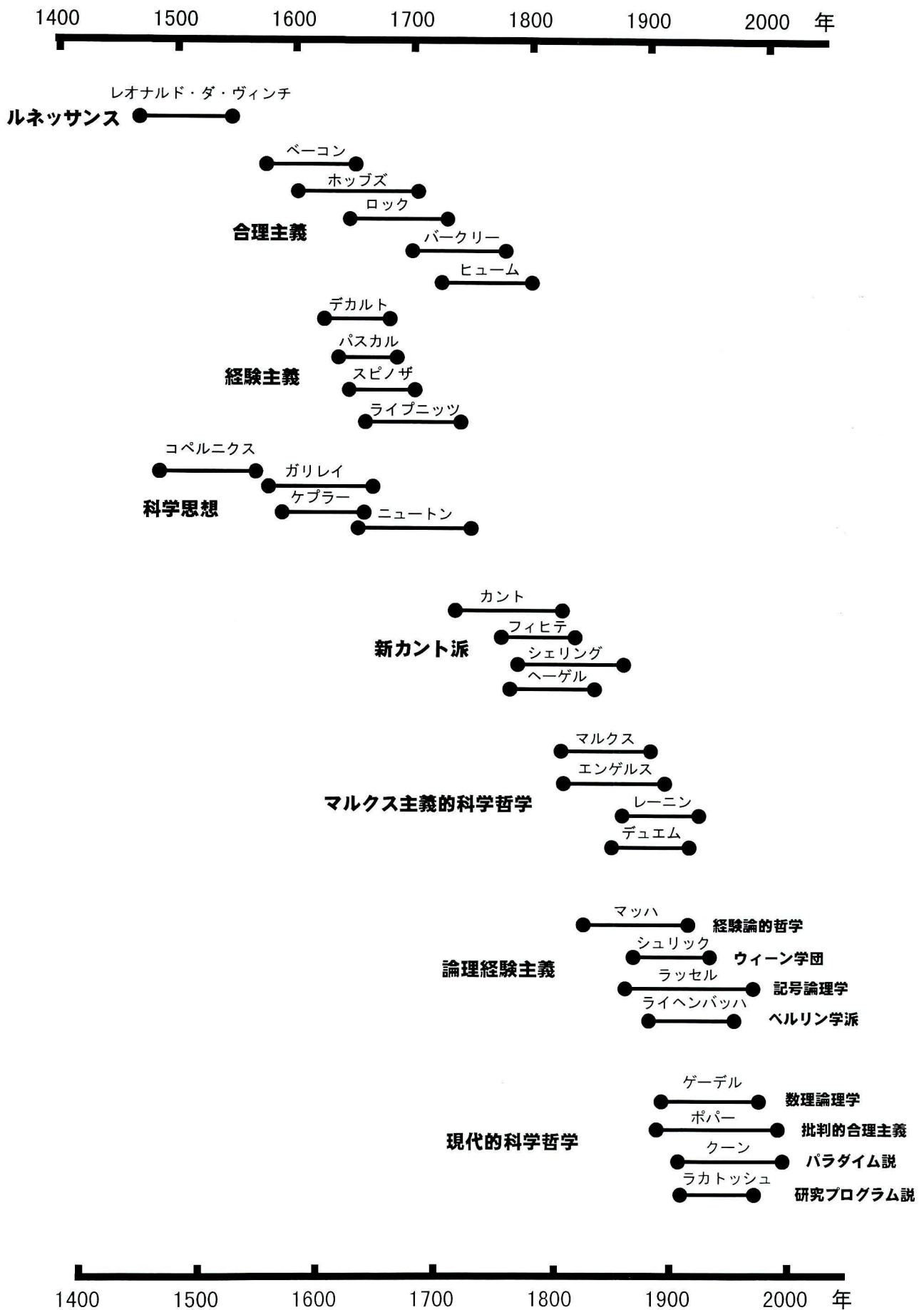


図 2. 科学哲学の潮流.

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励するため、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に改訂されてきた。

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・適性に応じ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、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、今も多く的小学生の興味は、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・ホック仮説の集め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に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、健常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できるれば理想である。

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

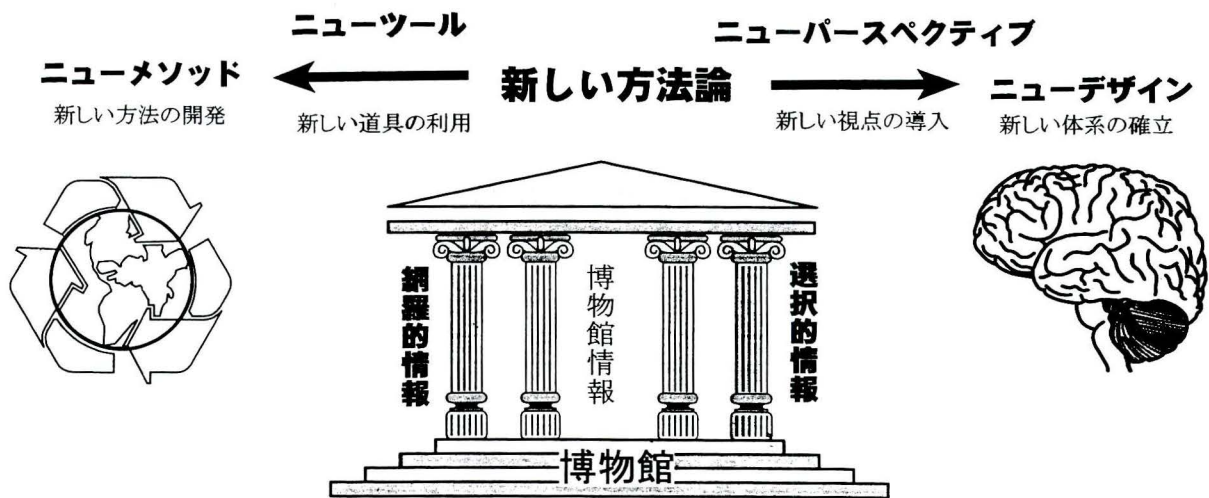


図 3. 博物館にける地球科学教育の新しい方向性.

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済むことになる。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

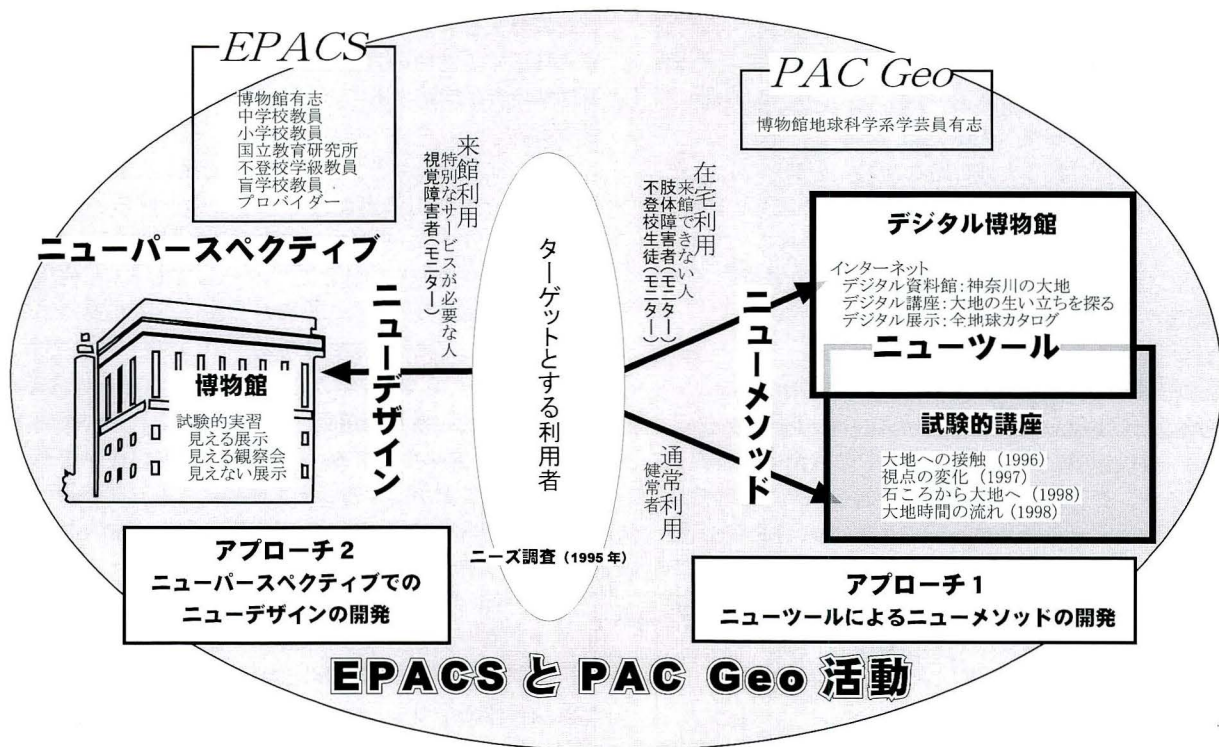


図4. PAC Geo と EPACS の活動。

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)