

神奈川県立博物館
研究報告
自然科学23号

神奈川県立博物館

平成6年3月

目 次

高桑正敏：1新種を含む北ベトナム産ルリボシカミキリ属について	1
荻部治紀：西マレーシアからのミナミヤンマ属の1新種及び1未記録種について	7
中村一恵・神谷敏郎・宮内俊哉・松島義章：日本の最北端に漂着したオウギハクジラ <i>Mesoplodon stejnegeri</i> について	13
北川淑子・勝山輝男：日本産コアゼガヤツリとその近縁種について	29
平田大二・加藤 昭：神奈川県山北町箒沢産含カリウムパルガス閃石および含アルミニウム 透輝石	41
小出良幸：総説：地球形成の場にまつわるモデルとその束縛条件	51
今永 勇・杉山茂夫：大磯丘陵の篠窪火砕岩について	87

CONTENTS

TAKAKUWA, Masatoshi: The Genus <i>Rosalia</i> (Coleoptera, Cerambycidae) from North Vietnam, with Description of a New Species	1
KARUBE, Haruki: A New Species and a Newly Recorded Species of the Genus <i>Chlorogomphus</i> (Odonata, Cordulegastridae) from West Malaysia	7
NAKAMURA, Kazue, KAMIYA, Toshiro, MIYAUCHI, Toshiya and MATSUSHIMA, Yoshiaki: On <i>Mesoplodon stejnegeri</i> Stranded on the Northernmost of Japan	13
KITAGAWA, Yoshiko and KATSUYAMA, Teruo: <i>Cyperus halpan</i> and Its Allied Species (Cyperaceae) in Japan	29
HIRATA, Daiji and KATO, Akira: Potassian Pargasite and Aluminian Diopside from Hôkizawa, Yamakita-machi, Kanagawa Prefecture, Japan	41
KOIDE, Yoshiyuki: Review: Models and Constraints in Background of the Earth's Formation	51
IMANAGA, Isamu and SUGIYAMA, Shigeo: On the Shinokubo Pyroclastic Rocks in the Oiso Hill	87

The Genus *Rosalia* (Coleoptera, Cerambycidae) from North Vietnam,
with Description of a New Species

Masatoshi TAKAKUWA
(Kanagawa Prefectural Museum)

1 新種を含む北ベトナム産ルリボシカミキリ属について

高 桑 正 敏
(神奈川県立博物館)

北ベトナム産ルリボシカミキリ属 (カミキリムシ科甲虫) の3種を記録した。うち1種は新種, *Rosalia* (*Eurybatus*) *kubotai* TAKAKUWA, sp. nov. で, 北インドから記載された *R. (E.) decempunctata* (WESTWOOD) と同一のグループに属するが, 触角の形状や中胸腹板突起に顕著な差が見出されるため, 別種関係として扱うべきと考えられる。また, この国から初めてタイワンベニボンカミキリ *R. (E.) formosa* SAUNDERS を記録するとともに, その亜種名を中国南西部から記載された subsp. *pallens* GRESSITT に充てた。

Abstract. Three species of the longicorn genus *Rosalia* from North Vietnam are recorded: *R. (s. str.) lameeri* BRONGNIART, *R. (Eurybatus) kubotai* sp. nov. which is closely allied to *R. (E.) decempunctata* (WESTWOOD), and *R. (E.) formosa pallens* GRESSITT which is new to fauna of that district.

Fortunately, I could catch two beautiful specimens of the subgenus *Eurybatus* of the genus *Rosalia* at the top of Mt. Tam Dao near Hanoi, North Vietnam in 1991. I immediately noticed that it is hitherto unknown species by the characteristic antennae, though it is closely allied to *decempunctata* (WESTWOOD) from North India. However, all the specimens caught are only two and also only female. I had been obliged to wait the description of new taxon.

Now, I will describe the beautiful cerambycid as a new species. Because, I was able to examine many materials of the strange species and that relatives by favour of some kind Japanese entomologists. In addition, two species of the same genus from North Vietnam, *Rosalia* (*Rosalia*) *lameeri* BRONGNIART and *R. (Eurybatus) formosa pallens* GRESSITT, are recorded, of which the latter is first recorded from the district.

Before going further, I wish to express my sincere gratitude to Dr. Masanobu KUBOTA, Miss Rieko MURAMOTO and Messrs. Haruki KARUBE, Hiroshi FUJITA, Masao ITO and Tetsuro MIZUNUMA for their kindness supplying with valuable materials used in this paper, and to

Dr. Yoshihiko KUROSAWA, Mr. Masao KUBOTA and Miss Sachiyo NIRASAWA for their kind help of gathering literatures.

Key to the Vietnamese species of the genus *Rosalia*

1. Body clothed with bluish pubescence; antennae provided with a distinct tuft of black hairs at each apex of 3rd to 6th segments; mandibles of male apparently larger (*Rosalia* s. str.) ----- *lameeri*
- Body above clothed with vermilion pubescence; antennae without tufts of hairs; mandibles of male smaller (subgenus *Eurybatus*) ----- 2
2. Body beneath black, with prosternum vermilion excepting coxal borders; elytra without few long erect hairs, provided with 4 – 5 pairs of black spots; antennae of male less than 1.6 times as long as body, with a subrectangular inner projection at each apex of 3rd to 7th segments; mesosternal process of male fairly narrow, deeply concave, with apex rather appendiculately prolonged; legs short and stout; tegmen of male genitalia shorter ----- *kubotai* sp. nov.
- Body beneath largely yellowish vermilion except for blackish head, mesosternum, posterior parts of prosternum and metasternum and last abdominal sternite; elytra densely clothed with long erect hairs, especially on basal part, with black transverse bands at base and just behind middle and 2 pairs of black spots between the bands; antennae of male more than twice as long as body, with an acute oblique inner spine at each apex of 3rd to 7th segments; mesosternal process of male tongue-shaped, with apex broadly rounded; legs long and sublineate; tegmen of male genitalia slender ----- *formosa pallens*

Rosalia (Rosalia) lameeri BRONGNIART

(Figs. 1, 2)

Rosalia Lameeri BRONGNIART, 1890, Anns Soc. ent. Fr., (6)**10**: 243, pl. 10, figs. 7, 8 (Laos).

— GRESSITT, 1951, Longic., **2**: 212, 214 (Burma, Siam, Laos, Annam, SW China, Formosa?).

Rosalia lameeri var. *unireducta* PIC, 1937, Mel. exot. ent., **69**: 11 (Annam).

Specimens examined. 1 ♀, Mt. Tam Dao, near Hanoi, 28. III. 1993, N. KATSURA leg.; Sapa, near Lao Cai: 1 ♂, 18. V. 1993, local col. leg.; 1 ♂, 30. V. 1993, same; 3 ♀ ♀, 2–5. VI. 1993, same.

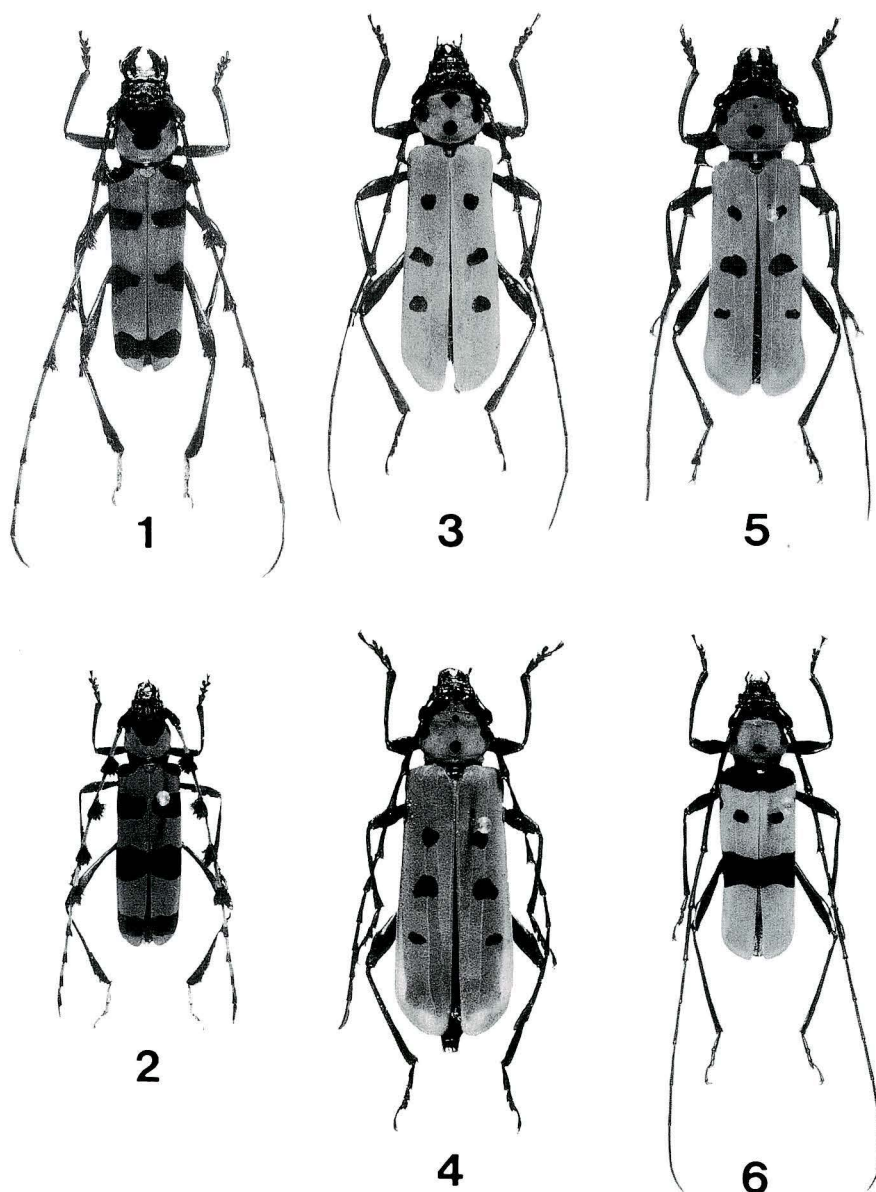
Distribution. Burma, Thailand, Laos, N. Vietnam, SW China and Taiwan?.

Rosalia (Eurybatus) kubotai sp. nov.

(Figs. 3, 4, 8)

Rosalia (Eurybatus) decempunctata: GAHAN, 1900, Ann. Mag. nat. Hist., (7)**5**: 348.

— KABAOKOV & MURZIN, 1992, Syst. Ecol. Ins. Vietnam, p. 64 (N. Vietnam). — HUA et al., 1993, Longic. Beetl. Hainan & Guangdong, p. 94, pl. 10, figs. 125a, 125b (Hainan).



Figs.1-6. *Rosalia* spp. —1. *R. (Rosalia) lameeri* BRONGNIART from N. Vietnam, ♂, 2. same, ♀, 3. *R. (Eurybatus) kubotai* sp. nov., ♂(holotype), 4. same, ♀(paratype), 5. *R. (Eurybatus) decempunctata* (WESTWOOD) from N. India, ♂, 6. *R. (Eurybatus) formosa pallens* GRESSITT from N. Vietnam, ♂.

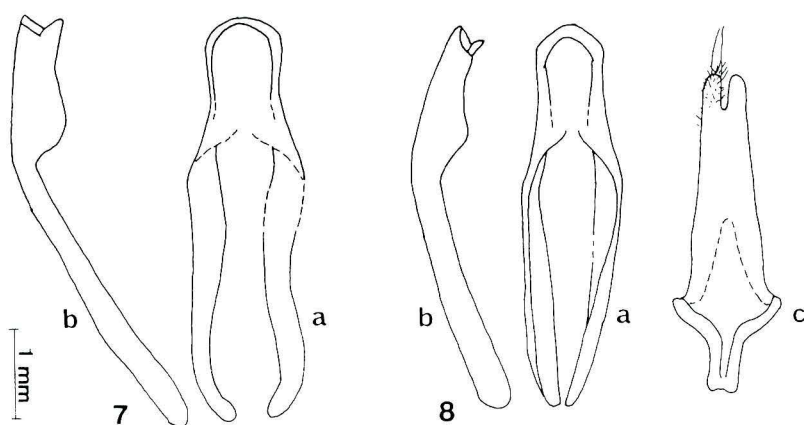


Fig.7-8. Male genitalia of *Rosalia* (*Eurybatus*) spp. —7. *R. (E.) decempunctata* (WESTWOOD) from N. India, 8. *R. (E.) kubotai* sp. nov. a: median lobe in ventral view; b: same in lateral view; c: lateral lobes in ventral view.

Male. Body above vermilion to reddish vermilion excepting almost all parts of head, scutellum and maculate spots on pronotum and elytra where are black, beneath almost entirely black excepting reddish prosternum; antennae and legs black; male genitalia darkened amber.

Head entirely black, lustrous, very densely, rather finely punctate on dorsum, densely clothed with short erect pubescence, with large reddish mark of pubescence on occiput; vertex with a median longitudinal furrow; eyes comparatively large, each apparently shorter than the shortest gena before it; mandibles slenderer than in *decempunctata*, each gently rounded at external side. Antennae rather thick, exceeding elytral apex at 8th or 9th segment, beneath with long oblique hairs in basal 6th which become sparser apicad in 3rd to 6th; relative lengths of segments of the holotype as follows: 4.5:1:7.3:7.1:7.3:6.7:6.1:5.4:5.1:4.8:8.1; scape fully clavate, nitid, rather sparsely, deeply punctate; 3rd to 5th or 6th each with a blunt inner spine which is more or less obliquely projected and gradually becomes smaller towards 6th. Pronotum globose at sides, about 1.4 times as wide as long, widest behind middle, indistinctly constricted at base, always maculated with 4 black spots, 2 median and 2 lateral; disc flattened, very sparsely with long erect hairs on the base; a pair of lateral tubercles large and dull. Scutellum tongue-shaped, not haired. Elytra about 2.8-2.9 times as long as basal width, very sparsely provided with long erect hairs at basal part, each with 4 or 5 black spots: one bordering on scutellum, often disappearing, 2nd sited laterally at basal $2/11$, the remainders arranged on disc, varied in the size and shape, 3rd placed at basal $2/9$, 4th somewhat obliquely transverse usually, placed at just middle between 3rd and 5th or more or less adjacent to the latter which is placed at apical $1/3$; sides slightly broadened posteriad in basal $5/6$, then nearly straightly convergent towards apices which are moderately rounded. Prosternum reddish excepting coxal borders; process spoon-shaped. Mesosternal process fairly narrow, deeply

concave, parallel-sided or gently convergent posteriad and abruptly, often appendiculately attenuate near apex. Abdomen apparently attenuate apicad with curving sides; 7th sternite rectangular with rounded apex; 8th gently attenuate apicad, broadly emarginate at apex. Pygidium strongly rounded at apex. Legs comparatively stout, densely clothed with minute pubescence; femora subclavate.

Genitalia rather slender, considerably variable in the shape. Median lobe relatively thin; ventral plate arcuately reflexed, rounded or dully pointed at apex. Tegmen fully bent ventrad near middle; lateral lobes parallel-sided, gently rounded at each apices.

Female. Head and prothorax smaller. Antennae stouter, exceeding elytral apices at 10th or last segments; 3rd to 6th segments each dilated and subspinoso at apex. Elytra about 2.6–2.8 times as long as wide. Mesosternal process triangularly attenuate apicad. Seventh abdominal sternite longer, with apex widely and slightly rounded. Pygidium rather narrowly truncate or more or less emarginate at apex. Legs somewhat shorter.

Body length: 17–33mm.

Type series. Holotype: ♂, Mt. Tam Dao, near Hanoi, 14–17. V. 1992, M. KUBOTA leg. Paratypes: same locality as the holotype: 2 ♀♀, 16–23. V. 1991, M. TAKAKUWA leg.; 1 ♂ 2 ♀♀, 14–17. V. 1992, M. KUBOTA leg.; 1 ♀, 4. VI. 1992, M. ITO leg.; 1 ♂ 1 ♀, 3–28. V. 1993, N. KATSURA leg.; 11 ♂ 11 ♀♀, 1–31. V. 1993, local col. leg.; 1 ♀, 4. VI. 1993, S. NAKAMURA leg.

Specimen examined besides the type series: 1 ♂, Mt. Taihei, Tongshi, Hainan Is., S. China, 28–30. III. 1991.

Distribution. N. Vietnam and Hainan Island of China.

This new species is closely similar to *R. (E.) decempunctata* from North India, but apparently differs from the latter in the following characteristics: elytra with very few long erect hairs on basal part (without long erect hairs in the latter); body above vermilion to reddish vermilion (red in the latter); antennae of male with 3rd to 5th segments more thickened, with spines of 3rd to 5th or 6th segments more or less obliquely projected (right-angled in the latter); antennae of female usually exceeding elytral apex (shorter than body in the latter), with 3rd to 6th segments dilated and subspinoso at each apex (each dilated apicad in the latter); mesosternal process of male narrower, deeply concave, abruptly attenuate near apex (shallowly concave, gradually attenuate apicad in the latter); pygidium of male strongly rounded at apex (weakly so in the latter); 8th abdominal sternite of male gently attenuate apicad, broadly emarginate at apex (abruptly attenuate apicad, rather bilobed at apex in the latter); median lobe of male genitalia slenderer and thinner, with ventral plate arcuately reflexed (bent before middle in the latter); and so on.

Rosalia(Eurybatus) formosa pallens GRESSITT

(Fig. 6)

Rosalia (Eurybatus) formosa pallens Gressitt, 1945, Lingnan Soc. J., **21**: 124. — 1951, Longic., **2**: 213, 215, pl. 8, fig. 2. (SW China)

Specimens examined. 2 ♂♂, Mt. Tam Dao, near Hanoi, 15–20. IX. 1992.

Distribution. SW China and N. Vietnam.

Specimens of North Vietnam are well allied to those of the nominotypical subspecies from North India in a first sight, but surely differ from them in the following respects: basal black band of elytra partly touching external margins, more or less emarginate at the median; postmedian black band of elytra more or less oblique at anterior margin; elytral apices obliquely, broadly, rather truncate; mesosternal process broadly rounded at apex; apex of 7th abdominal sternite truncate. They should be rather included in subsp. *pallens* from SW China.

References

- BRONGNIART, C., 1890. Longicornes. *Annls Soc. ent. Fr.*, (6)**10**: 237–253, pl. 10, figs. 7, 8.
- GAHAN, C. J., 1900. On some longicorn Coleoptera from the Island of Hainam. *Ann. Mag. nat. Hist.*, (7)**5**: 347–354.
- 1906. Coleoptera.—Vol. I (Cerambycidae). *In: The Fauna of British India, including Ceylon and Burma*. xviii+329 pp. Tayler & Francis, London.
- GRESSITT, J. L., 1945. New longicorn beetles from China, XL (Col. Ceramb). *Lingnan Sci. J.*, **21**: 123–134.
- 1951. Longicorn beetles of China. *In* LEPESME, P., ed., *Longicornia*, **2**: i–ii + 1–667, 22 pls. Paul Lechevalier, Paris.
- & J. A. RONDON, 1970. Cerambycids of Laos (Disteniidae, Prioninae, Philinae, Aseminae, Lepturinae, Cerambycinae). *Pacific Ins. Monog.*, **24**: 1–313.
- HUA, L., H. NARA & C. YU, 1993. Longicorn-Beetles of Hainan & Guangdong, 319pp., 24pls. Muh-Sheng Museum of Entomology, Puli. (In Chinese & English.)
- KABAKOV, O. N. & S. V. MURZIN, 1992. A quantitative estimate of the cerambycid fauna (Coleoptera, Cerambycidae) of Tamdao Range (Socialist Republic Vietnam). *In* MEDVEDEV, L. N., ed., *Syst. Ecol. Ins. Vietnam*, pp. 61–70. Nauka, Moscow. (In Russian.)

A New Species and a Newly Recorded Species of the Genus *Chlorogomphus*
(Odonata, Cordulegastridae) from West Malaysia

Haruki KARUBE
(Kanagawa Prefectural Museum)

西マレーシアからのミナミヤンマ属の1新種及び1未記録種について

荻 部 治 紀
(神奈川県立博物館)

マレー半島の西マレーシア領より、ミナミヤンマ属の1新種 *Chlorogomphus yoshihiro* sp. nov. 及び未記録種 *Chlorogomphus arooni* ASAHINA を記載した。

前種はボルネオ島より記載されている *Chlorogomphus dyak* LAIDLAW に近縁の種で、このグループとしては2種目のものである。なお *Ch. dyak* とは胸部の斑紋及び尾部付属器の形状から、簡単に区別できる。

後種は従来タイの南部からのみ知られていたもので、今回マレーシアから初めて記録される。原産地の個体群と比較すると、羽の褐色斑がやや拡大し、その色調も暗めである。また腹部の黄斑も拡大している。

Abstract. Two cordulegastrid dragonflies, *Chlorogomphus yoshihiro* sp. nov. and *Chlorogomphus arooni* ASAHINA, are described from the Malay Peninsula. The former is rather allied *Chlorogomphus dyak* LAIDLAW, and the latter is first recorded from the district.

In early Spring of 1991, Mr. Yoshihiro Hirose succeeded to catch some interesting species of the genus *Chlorogomphus* from Cameron Highlands of Pahang States, West Malaysia. These were consist by two species, one is identified as *Chlorogomphus arooni* ASAHINA and another is rather allied to *Chlorogomphus dyak* LAIDLAW, but differs from that in the characters of the maculate pattern and shape of anal appendage. In 1992, I could collect some materials of the latter species female at the same locality. After careful study, it became clear that the species is surely new to science.

In the present paper, I am going to describe that new species under the name of *Chlorogomphus yoshihiro*, and also record *Chlorogomphus arooni* ASAHINA as the first record from West Malaysia.

Before going further, I wish to express my heartily thanks to Dr. Syoziro Asahina of

the president of the Society of Odonatology, Tokyo, Prof. Dr. Yasuaki Watanabe of the Laboratory of Entomology, Tokyo University of Agriculture, Dr. Allen Davies of Cambridge University for their constant guidance and kind advise to my study, and Mr. Masatoshi Takakuwa of the Kanagawa Prefectural Museum, for his kindness reading of the original manuscript, Mr. Itsuro Kawashima for his drawing of figures whole body used in this paper, Thanks are also due to Messrs. Yoshihiro Hirose, Kouichi Matsumoto and Yusuke Takanami supplying with valuable materials used in this paper.

Chlorogomphus arooni ASAHINA

Chlorogomphus arooni Asahina, 1981, Proc. Japn. Soc. syst. Zool., Tokyo, 20: 35–38; Asahina, 1986, ibid 34: 39–45.

Materials for study. 1 ♀, 19 miles point from Tapha to Cameron Highlands, West Malaysia, 26. III. 1990, leg. Y. Hirose; 1 ♀, 14 miles point of the same, 26. IV. 1990, leg. K. Matsumoto; 1 ♀, Gombak, 36km point from Kuala Lumpur to Genting Highlands, West Malaysia, 1. V. 1993, leg. Y. Takanami.

Notes. This species has hitherto been known from only Thailand, so this is the first record from West Malaysia.

These specimens are very similar to those of type locality but somewhat differs from them in the follows: wings with more blackish marks, especially specimens from Genting Highlands has blackish markings on node; yellow oblique fasciae of 1st to 3rd abdominal segments wider. Male is unknown.

Chlorogomphus yoshihiroii sp. nov.

Type series. Holotype: ♂, 19 miles point from Tapha to Cameron Highlands, West Malaysia, 24. III. 1990, leg. Y. Hirose. Paratypes: 1 ♂, same data as the holotype; 6 ♂♂ 1 ♀, same locality as the holotype, 24–26. IV. 1992, leg. H. Karube. The holotype will be preserved in the collection of the Kanagawa Prefectural Museum (Nat. Hist.), Kanagawa.

This is a slender species, and is rather allied to *Ch. dyak*. Male. Abdomen (incl. appendage) 49.6mm in length; hindwing 40mm in length. Head black; labium whitish yellow; labrum black; anteclypeus brown; postclypeus largely greenish yellow; ridge of antefrons narrowly yellow; eyes almost meeting; occiput black, with black long hairs.

Prothorax black with a pair of greenish yellow markings on posterior lobe. Pterothorax black, with yellowish stripes as shown in Fig. 1; antehumeral stripe very narrow; lower part of humeral stripe gradually becoming more obscure; anterior part of mesepimeron with yellow band; metepisternum with yellow band at median part, which is indistinct near metastigma and is scarcely connected with yellow patch of metinfraepisternum; metepimeron with oblique yellow bands at anterior area and lower edge; metapostepimeron almost yellow.

Wings nearly hyaline; pterostigma black, covering 2.5 cells. Triangles 2-celled in all

wings, that of the fore with costal and distal sides equal in length and much longer than the basal, that of the hind with distal side a little longer than the costal. Anal loop 8-celled. Anal triangle 3-celled. Nodal index: 8-13; 17-9/11-14: 16-2.

Abdomen slender, black, with yellowish markings (Fig. 1); 1st segment with oblique patch at lower part, which is connected with anterior fascia of 2nd segment; 2nd with two rings, one is obliquely running from ante-ventral part to the medio-dorsal, another is situated at apex, both of which are bilaterally separated dorsally; lower edge of 3-4th yellow; 3rd with median small fascia and a pair of yellow dorsal spots at apex; 4-5th black; 6th with yellow ring at apex; 7-9th without markings.

Caudal appendages black. Superior appendage almost straight in dorsal view and longer than segment 10; ventral spine stout, situated at basal 3/5. Inferior appendage slightly shorter than the superior, gradually thickened and weakly reflexed dorsad towards apex, broadly divaricate at apex, with two pairs of spines dorso-apically; latero-median notch running near apex (Figs. 2, 3).

Accessory genitalia as shown in Fig. 5; anterior lamina attenuate to apex which is a little hooked posteriad; hamulus posterioris moderately thick. Penis rather slender; penis vesicle with 1st segment distinctly protruding posteriad, longitudinally and deeply grooved medio-ventrally; 2nd segment slender; 3rd anteriorly with spine; 4th somewhat conical with a pair of very long projections towards base, very deeply divaricate at apex of ventral plate, with dorsal part narrowly rounded at apex, and with a median distinct pit running from apex to basal 2/3 (Figs. 6, 7).

Female. Abdomen 53.5mm in length ; hindwing 45.5mm in length.

Maculations similar to those of male. Head broader than in male; eyes more widely separated; narrow stripe of antefrons more slender (Fig. 8).

Maculations of Prothorax and Pterothorax similar to those of male in general (Fig. 9). Wings slender; fore wing with apparent golden yellow marks at apical half and base, these maculations jointed through sc and R+M; hind wing almost hyaline, with golden yellow patches around node and at base; nodal index 10-19: 20-9/11-16: 14-10; triangle of fore wing 3-celled in right wing, 2-celled in the left, that of the hind 4-celled in right, 3-celled in the left; anal loop 18-celled, nearly reaching posterior ridge.

Abdomen slender; maculate pattern similar to male, but yellow markings more developed; oblique patch of 2nd segment and ring of 6th segment wider.

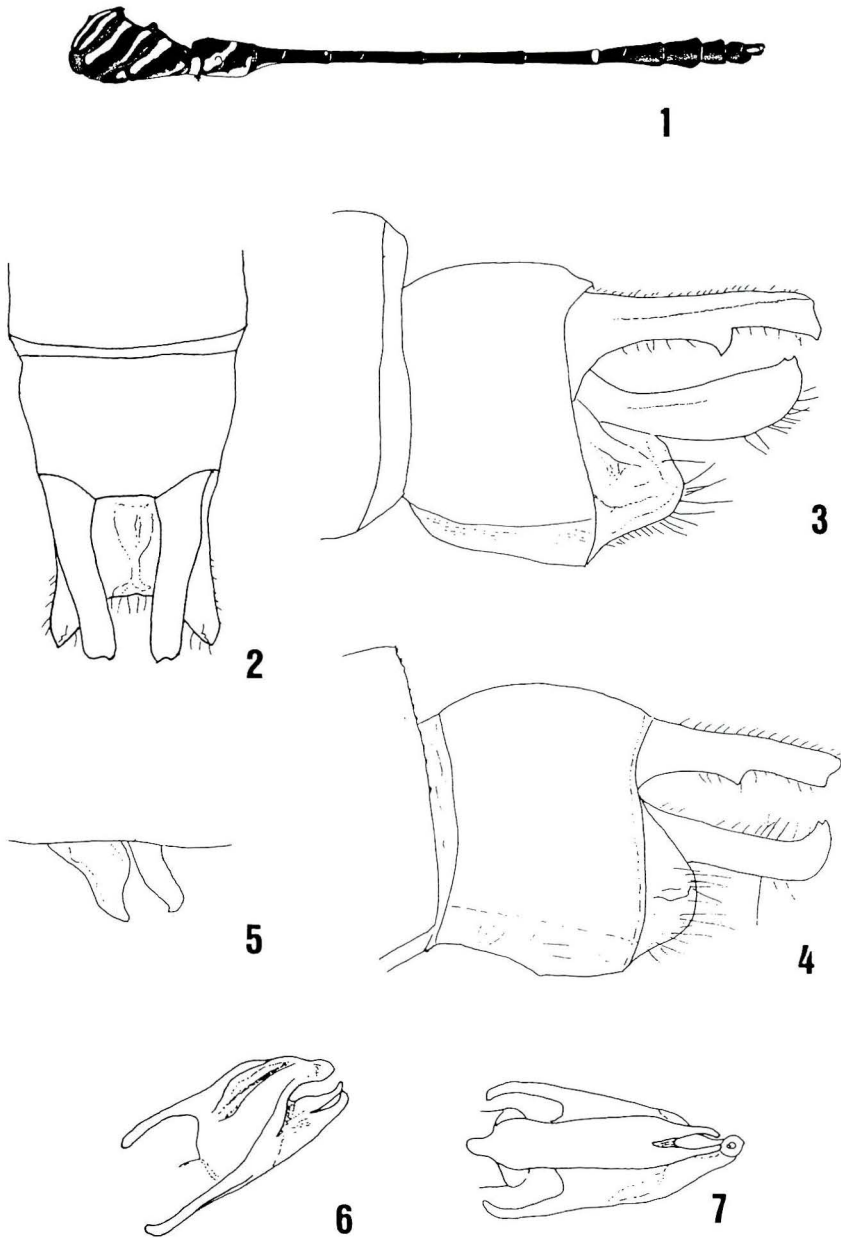
Valvula valvae shaped as truncated cone, the tip transversely hips-shaped. Tenth abdominal segment with dorsal plate shorter than paraproct, with the ventral lobed at apex, and slightly longer than paraproct. Cerci somewhat shorter than dorsal plate of 10th segment (Fig. 10).

Notes. Laidlaw described in 1931 that he examined a male of *Ch. dyak* from Johole of the Malay Peninsula. However, I don't believe that the species habits in the district,

because two or more species among the same species group of the genus *Chlorogomphus* are never sympatrically distributed.

References

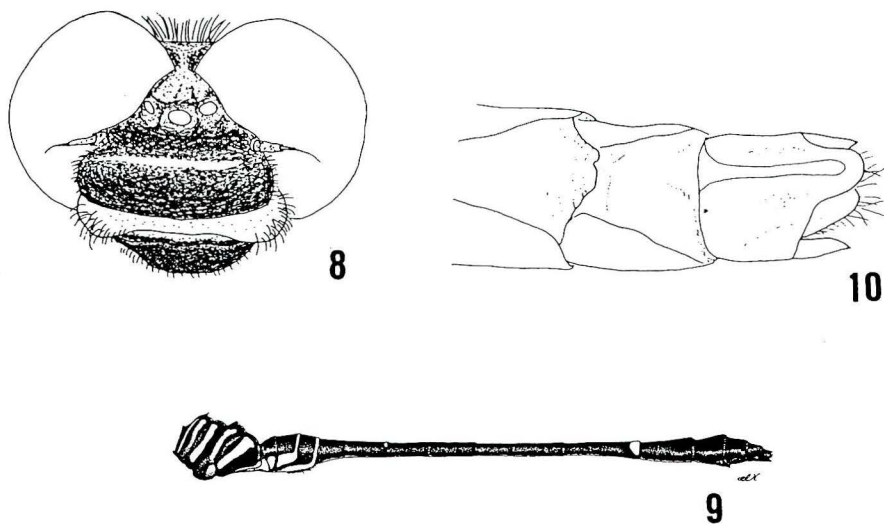
- ASAHINA, S., 1981. A new *Chlorogomphus* from Thailand (Odonata, Cordulegasridae). *Proc. Japan. Soc. Syst. Zool., Tokyo*, **20**: 35-38.
- 1986. A list of the Odonata recorded from Thailand part XVI. Cordulegastridae. *ibid.*, **34**: 39-45.
- FRASER, F. C., 1929. A revision of Fissilabioidea. Part 1. Cordulegastridae. *Mem. Ind. Mus.*, **9**: 69-167, 4 pls.
- 1940. A new species of *Chlorogomphus* (Order Odonata) *Proc. Roy. Ent. Soc. Lond. (B)*, **9**: 55-56.
- LAIDLAW, F. F., 1911. Descriptions of two dragonflies (Odonata) from Sarawak. *J. Strts. Br. Roy. Asiat. Soc. Singapore*, **57**: 191-192.
- 1914. Contributions to a study of the dragonfly fauna of Borneo part II. The Gomphinae and Chlorogomphinae. *Proc. Zool. Soc. London.*, **1914**: 51-3.
- 1931. Dragonflies (Odonata) of the Malay Peninsula with descriptions of new species. *J. Fed. Malay State Mus.*, **16**: 175-233.
- 1934. A note of the dragonfly fauna of Mt. Kinabalu and of some other mountain areas of Malaysia, with descriptions of new or little known species. *Ibid.*, **17**: 549-561.
- LIEFTINCK, M. A., 1954. Handlist of Malaysian Odonata. *Treubia*, **22**(Suppl.): i-xiii + 1-202.



Figs. 1-3, 5-7. *Chlorogomphus yoshihiroi* sp. nov., male.

1. Body in lateral view; 2. Caudal appendage in dorsal view; 3. Caudal appendage in lateral view; 5. Accessory genitalia in lateral view; 6. The last segment of penis in latero-ventral view; 7. same in ventral view.

Fig. 4. *Chlorogomphus dyak* Laidlaw, male caudal appendage in lateral view.



Figs. 8-10. *Chlorogomphus yoshihiroi* sp. nov., female.

8. Head in anterior view; 9. Body in lateral view; 10. End of abdomen in ventral view.

日本の最北端に漂着したオウギハクジラ *Mesoplodon stejnegeri* について

中村 一 恵¹⁾・神谷 敏 郎²⁾・宮内 敏 哉³⁾・松島 義 章¹⁾

(1) 神奈川県立博物館・2) 東京大学総合研究資料館医学部門・3) 北方自然史研究所)

On *Mesoplodon stejnegeri* Stranded on the Beach of the Northernmost in Japan

Kazue NAKAMURA¹⁾, Toshiro KAMIYA²⁾, Toshiya MIYAUCHI³⁾ & Yoshiaki MATSUSHIMA¹⁾

1) Kanagawa Prefectural Museum, Naka-ku, Yokohama, Kanagawa 231, Japan

2) The University Museum, The University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

3) Natural History Laboratory for Northern Japan, Wakkanai-shi, Hokkaido 097, Japan

Abstract. On 21 March 1990 a beaked whale of the genus *Mesoplodon* was found to have stranded on the beach of Souya-misaki (35°30'57"N, 141°55'2"E), the Sea of Okhotsk. The animal was an adult male measuring 4.65 m in body length. It had 45 vertebrae, composed of 7 cervical (first three cervical vertebrae were fused into one unit), 9 thoracic, 11 lumbar and 18 caudal vertebrae. The measurements of skull, vertebrae, sternum, pectoral appendages and scapulae were presented. The specimen was identified as *M. stejnegeri* in the osteological comparative studies with those of *M. carlhubbsi*, *M. densirostris* and *M. ginkgodens*.

クジラ目ハクジラ亜目の中でアカボウクジラ科は、中型(体長4~13m)のハクジラ類で19種から構成されている。今後新種が付け加えられる可能性が高いが、現在ではツチクジラ属(*Berardius*, 2種), タスマニアクチバシクジラ属(*Tasmacetus*, 1種), アカボウクジラ属(*Ziphius*, 1種), トックリクジラ属(*Hyperoodon*, 2種)およびオウギハクジラ属(*Mesoplodon*, 13種*)である(Wilson and Reeder, 1993)。

アカボウクジラ科の大きな特徴としては、タスマニアクチバシクジラ(*T. shepherdi*)とトックリクジラ属(*Hyperoodon*)以外のすべての種は、下顎骨に2本(オウギハクジラ属)または4本(ツチクジラ属)の機能歯を持つにすぎない点が挙げられる。特にオウギハクジラ属では歯の形態と位置が種によってきわめて特徴的で、種を同定する際の有力な根拠となっている。学名も「下顎の中央部に1本の歯を備えた鯨」を意味するギリシャ語で属名(*Mesoplodon*)が付けられている(Gotchi, 1979)。

*13種のうち、*Mesoplodon pacificus*については、別属*Indopacetus*に分類されることがあるが、*Mesoplodon*属に含めるのが一般的である(Wilson and Reeder 1993, p.362.)。 *M. pacificus*を別属に分類すれば、*Mesoplodon*属は12種となる。

日本近海にも *Mesoplodon* 属のクジラが分布している可能性については、1915年に永沢六郎によって指摘されていたが（永沢, 1915）、本種の骨格標本が初めて収集されて学術報告がなされたのは、1936年に小川鼎三による（小川, 1937）。本種に関しての第2例目の報告は、1957年9年になって西脇昌治と神谷敏郎によって収集された標本であった（Nishiwaki and Kamiya, 1958）。

本邦における *Mesoplodon* 第1号標本は宮崎県外ノ浦漁港に水揚げされた個体の頭部、胸鰭および尾鰭であった。第2号標本は神奈川県大磯海岸に打ち上がった個体で、骨盤骨を除いた全身骨格が収集され研究が行なわれた。これら2例の骨格について、研究に関わった小川、西脇、神谷が研究協議を行ない、その結果、第1号と第2号標本は同一の種に属するとの結論に達し、*Mesoplodon ginkgodens*（イチョウハクジラ）という新種を提唱した（Nishiwaki and Kamiya, 1958）。この研究成果は学術的に承認され、今日に至っている。

近年、日本近海での鯨類に関する調査・研究が進展するにともない、*Mesoplodon* 属に関する報告が相次いで行なわれ、これまで珍鯨とされてきた *Mesoplodon* が、かなり日本近海に生息していることがわかってきた。1993年に発表された山田格による日本海産漂着鯨類のデータベースの概要によると、39例の *Mesoplodon* 属のクジラの漂着が確認されている（山田, 1993）。これに太平洋岸の記録を加算すると、日本近海での *Mesoplodon* の記録例はかなり多いものとなり、いわゆる珍鯨ではなくなっている。これまで報告された種は *M. ginkgodens*, *M. stejnegeri*, *M. carlhubbsi*, *M. densirostris* の4種である。

一方、北海道近海における *Mesoplodon* 属の漂着記録はきわめて少なく、山田の調査によると、*M. ginkgodens* の1例が室蘭市の海岸で確認されているのみである。今回、北海道宗谷岬の海岸において漂着した中型鯨のほぼ全身骨格標本を調査・研究する機会が与えられ、本標本が *Mesoplodon stejnegeri* であると同定できたので報告する。

本標本は、1990年3月21日、北海道稚内市珊内の宗谷岬（北緯35度30分57秒、東経141度55分20秒）に漂着していたのを筆者らの一人、宮内が収集し、骨格標本としたものである。漂着時の写真を提供下さった京都大学理学部地質学鉱物学教室の前田晴良博士によれば、漂着後2日目の状況は次のようであった（松島宛1992年8月12日付私信による）。

右側の背中の肉がえぐれ露出しているのは地元の漁師が試食のため切り取ったためである。腹は破れ、内臓は露出し、消化管にはガスが溜り始め膨脹しかけ始めていたが腐敗臭はまだなかった。また腹の裂目から脂肪が流れ出し、それが海面に斑紋状に浮かんでいた。当日の気温は0～2℃であった。

本例はわが国において記録された *Mesoplodon* 属の種としては最北端に漂着したものであり、また、全身骨格が収集され研究できた貴重な1例である。なお、本標本は神奈川県教育庁生涯学習部博物館開設準備室に保存されている。

外部形態

本例が海岸に漂着した時の形状はPl. I, Fig. 1～2に示されている。前田博士の観察記録にあるように、新鮮時に解体されて背部の筋肉（固有背筋群）がほぼ全長にわたって切り取られた後、腹部は手付かずに海に投棄されたものと推定される。このために脊柱はほぼ完全に剖出されていて、これに頭部、背鰭、尾鰭が付着して残存している。腹部内臓は手付かずの状態で残されており、腸管などは全長にわたって原形が保たれていた。

死後経過時間は不明であるが、頭部については *Mesoplodon* 属の種の最大の特徴である下顎

中央部に扁平で三角形を呈する1対の大きな歯が残存している。脊柱の各椎骨間の椎間円盤連結も原形が保たれ、また大形の背鰭と尾鰭とも原形がよく保たれている。さらに腸管においても腐敗があまり進行していない。これらのことから、また本例が高緯度の低水温海域において厳冬期に収容されている点からみても、かなりの期間海中を漂流していたことも考えられる。

外部計測としては、吻端より尾鰭中央先端までの直線を測り、この値465cmを体長とした。その他の部位に関しての計測は腐敗の進行状況から行なわれなかった。性別については、本例のように大形の歯の形状はオスにおいてのみ見られるという従来の報告例との照合、および腐敗内臓について陰茎を確認していることから、本例がオスであったことは間違いない。

Mesoplodon 属の種においては、頭部下面の咽喉部にV字形の皮膚溝が存在するが、この皮膚溝の有無については観察を行なっておらず確認されていない。本例の収集時期が厳冬期であったために、陸に引き揚げた後に土中に埋めて保存し、9ヵ月後に掘り出して骨格標本とした。この間の作業過程によって骨格の一部に欠損部位が生じたり、収容前にすでに流出してしまった部位もあって、肋骨、前肢骨（胸鰭）の一部および骨盤骨が欠けている。

骨格観察所見と計測値

頭蓋骨と脊椎骨の計測値を付表1と2に、胸骨、前肢骨、肩甲骨の計測値を表1～3に示す。

頭蓋骨 (Pl. II, Fig. 1～2, Pl. III, Fig. 1, Append. Tab. 1)

上面より見て、口吻部 (rostrum) が非常に長く、頭蓋骨全長 (吻端～後頭顆) のおよそ $\frac{3}{4}$ が口吻を形成し、後方 $\frac{1}{4}$ が脳頭蓋を形成している。頭蓋骨最大幅は全長の約 $\frac{1}{2}$ にあたる。幅広い口吻基部より口吻端までにかけての前縁の輪郭は滑らかで、前眼窩切痕もきわめて浅い。

口吻部に分布している知覚神経である三叉神経第二枝の上顎神経の二本の太い枝が貫通する上顎骨孔と前顎骨孔との相互の位置関係は、前者の5mm後方に寄った位置に前顎骨孔が開口している。

象牙質状の硬さを呈している左右の前顎骨間に存在する鋤骨は、骨質が軟らかであるが（完全成熟していないため）、その基部は2cm前後隆起しており、いわゆる鋤骨隆起部の形成が認められる。

側面では口吻底溝 (basistrostral groove) が認められるが、その溝はあまり深くない。鋤骨隆起部の存在がはっきりと認められる。

下面では口吻基部より口吻にかけての外側縁の輪郭が滑らかに移行していることがよく示されていて、前眼窩切痕の形状も確認できる。

下顎骨 (Pl. III, Fig. 2)

左右の下顎体を組み合わせて上面から見ると、下顎骨全長の前方およそ $\frac{1}{4}$ を占めている長い下顎縫合面後縁の15mm後方に歯槽が見られ、ここに扁平で大型の1対の下顎歯がはまりこんでいる。この歯の萌出状態は頭部の外形写真で見られるように、歯の上下径（高さ）の約 $\frac{1}{2}$ が歯槽内にあって強靱に固定されている。

付表1により左下顎歯の計測値を見てみると、上下径（高さ）125mm、前後径（幅）88mm、厚径が19mmもある大型の立派な歯である。*Mesoplodon* 属においては、歯の形態、大きさは性別と個体の成長にともなって大きく変わる。本例の歯も未だ完全成熟に達した個体のものとは言えない。なお、図版Iの図2に示されている本例の歯の萌出状態は、文献的にみても、このように明瞭に示された写真はこれまでに例がなく、価値ある記録写真であろう。

脊椎骨 (Pl. IV, Fig. 1～3, Append. Tab. 2, Pl. V, Fig. 1)

脊柱は頸椎（7個）、胸椎（9個）、腰椎（11個）、尾椎（18個）から構成され、総脊椎数は45個である。第1～第3頸椎は癒合している。胸椎には9対の肋骨が関節していて、第1肋骨より第7肋骨は二頭肋骨であった。また、第1腰椎より第10腰椎下面に9個のV字骨が認められた。なお、一部の胸椎、腰椎の棘状突起には骨折が治癒してできたと考えられる痕跡が認められた。

Table 1. Measurements of the sternum (mm)

	1st element	2nd element	3rd element	4th element	5th element
Greatest length	240	106	78	47	29
Greatest breadth of anterior part	146	121	105	77	55
Greatest breadth of posterior part	126	120	96	74	45
Greatest thickness at middle	23	16	14	11	8

Table 2. Measurements of the pectoral appendages (mm)

	L	R
Length of humerus	156	156
Breadth of humerus at distal end	68	70
Depth of humerus at distal end	45	45
Breadth of humerus head	73+	82
Height of humerus head	82	80
Length of radius	176	177
Breadth of radius at distal end	55	55
Depth of radius at distal end	38	35
Length of ulna	187	188
Breadth of ulna at distal end	41	41
Depth of ulna at distal end	25	26

Table 3. Measurements of the scapulae (mm)

	L	R
Length along vertebral border	372	—
Length of glenoid cavity	245	—
Breadth of glenoid cavity	450	—
Length of acromion, along medical border	111	108+
Length of coracoid, from supraglenoid edge to tip	99	97
Greatest breadth of acromion	59	55
Breadth of articular surface	48	47
Height of articular surface	63	64

胸骨 (Pl. V, Fig. 2, Tab. 1)

4 個の骨が組み合わさって胸骨が形成されていた。

この他、舌骨は収集されたが、痕跡的な骨盤骨は確保できなかった。骨盤骨は肛門外側の腰筋中に埋まっているもので、肉塊を切り出した時に失われたものと思われる。

前肢骨 (Pl. V, Fig. 2, Tab. 2~3)

肩甲骨、上腕骨、前腕の橈骨と尺骨は左右側とも収集できた (右肩甲骨では内側縁に一部欠損あり)。前肢指根骨および指骨については一部に欠損があり、指根骨と指骨数については正確に確認できなかった。

本例の分類学的位置

Mesoplodon 属を分類する基準として、Flower (1878) は下記の 5 点を挙げている。

1) 口吻底溝の有無, 2) 上顎骨孔と前顎骨孔の相互的位置関係, 3) 上顎に弱小歯が存在するかどうか, 3) 1 対の大きな歯が下顎骨のどの位置に存在するか, 5) 下顎歯の形態。

その後の研究の進展により、上記 5 項目に加えて、口吻部全形の比較、とりわけ上顎骨にある前眼窩切痕と、その外側に見られる隆起切痕の有無、位置関係が重要視されている (Moore, 1968; Miyazaki *et al.*, 1987; Mead, 1989)

現在、*Mesoplodon* 属には *M. bidens*, *M. bowdoini*, *M. carlhubbsi*, *M. densirostris*, *M. europaeus*, *M. ginkgodens*, *M. grayi*, *M. hectori*, *M. layardi*, *M. mirus*, *M. pacificus*, *M. stejnegeri*, *M. peruvianus* の 13 種が同定されている。これら 13 種について、本例との近縁な種を求めてみると、歯の構造と下顎骨における位置に重点をおいて整理した結果から、*M. carlhubbsi*, *M. densirostris*, *M. ginkgodens* および *M. stejnegeri* の 4 種に絞ることができる。さらにこれら 4 種の歯の形態を比較してみると、*M. densirostris* の歯は扁平でなく、かなりの厚さがあって円錐形に近く、特に厚さは 60mm を超えるものもある。また、この大型の歯を固定する歯槽は下顎縫合の後端より離れて後方に位置し、下顎骨の形態も独特であり、本例とは著しく異なる。

M. carlhubbsi との比較では、*M. carlhubbsi* の頭蓋骨では前眼窩切痕 (antorbital notch) と、その外側にある隆起切痕 (protuberance notch) の 2 種の切痕の凹みが深くて、あたかも 2 対の突起が横に並んでいるかのような形態を示す。本例では隆起切痕は極めて浅く、口吻基部より口吻にかけての外側縁の輪郭が滑らかに移行しているので、*M. carlhubbsi* とは別の種であることは明瞭である。

M. ginkgodens の和名はイチョウハクジラであって、本種の歯がイチョウの歯の形をしていて扁平で、歯の厚さは 1 cm 以内と薄いことから命名されている。本例の歯の特徴は、*M. ginkgodens* の歯の形状とは著しく異なっている。さらに *M. ginkgodens* では、成熟したオスにおいても、下顎歯の先尖は歯肉より萌出している部分が 5 mm 以下で、大部分が歯肉内に埋まっている。

以上の点を主として Mead (1989) の総説に基づいて、検討した結果、本例の頭蓋骨は *M. stejnegeri* の形質を備えていることが判明した。*M. stejnegeri* は北太平洋に分布する種で、基準標本は 1883 年にベーリング島で採集された若い個体の頭蓋骨であった。次いで 1904 年に米国のオレゴン州で成体の頭蓋骨が採集されている (True, 1885)。わが国では秋田県において漂着例が得られ、西脇昌治によって最初の研究がなされている (Nishiwaki, 1962)。秋田標本は成熟したオスであった。その後、京都府舞鶴湾に漂着した未成熟のオスについて、宮崎信之らによっ

て詳しく考察されている (Miyazaki *et al.*, 1987)。

以上、上記4種との比較調査により、宗谷標本を *M. stejnegeri* と同定した。本種は、多くの研究者によって指摘されているように、北米西岸からベーリング海、日本海にかけての北太平洋冷水域から多数例の記録が得られている。

近年わが国において、*Mesoplodon* 属の骨格標本が多数例収集されるようになってきているが、正式な報告例はあまり多くはない。筆者らは、全国の博物館・研究施設に保存された標本の精査結果が公表されることを切に期待するものである。そのことによって、少なくとも日本近海産の *Mesoplodon* 属に関する分類学的な再検討のきっかけが得られるものとする。

Mesoplodon 属の和名について

これまでにわが国で刊行された鯨類に関する和書においては、*Mesoplodon* の和名として「オオギハクジラ」が使用されてきている。その語源を求めてみると、*Mesoplodon* 第1号であった小川標本の有していた歯の形態が、あたかも扇を開げた状態を呈していたことから、黒田長礼によって「扇歯鯨」の和名が付けられた (Kuroda, 1938)。現在、動物の種類についての学術報告の和名はカタカナで表記され、「扇歯鯨」には「オオギハクジラ」があてられているが、「扇」は「オウギ」であって、オオギ (大きい) の意ではまったく別の意味になってしまう。この間の誤りが、いつどこで生じたかのいきさつについては不明であるが、また、学術論文においては学名のみが通用し、和名に関しての穿鑿はあまり意味のないものと言えるが、*Mesoplodon* の正しい和名として「オウギハクジラ」を用いることを提唱する。本稿では「オウギハクジラ」を用いている。

この点について他の例を挙げると、軟体動物・斧足類・ホタテガイ *Patinopecten* (*Mizuhopecten*) *yessoensis* の俗名はオウギガイ (扇貝) であって、その殻の特徴をよく表している。この俗名に「オオギガイ」をあてたとしたら、この貝の正体は何を指しているのか不明になってしまうであろう。

謝 辞：本報告をまとめるにあたり、京都大学理学部地質学鉱物学教室の前田晴良博士から漂着時の得難い写真の提供をうけ、またその状況についての私信をいただいた。本例の同定にあたり、横浜八景島シーパラダイス水族館館長・中島将行博士から有意義な指摘をいただいたうえ、*M. carlhubbsi* の歯の標本を比較調査のために貸与下さった。本報告に用いた骨の標本写真は神奈川県立博物館主査の井上久美子氏が撮影して下さい。また、国立科学博物館の上野輝弥博士と神奈川県教育庁生涯学習部博物館開設準備室の皆さん、並びに稚内市の太田弘、羽山誠治、関いさ子、佐伯年雄の諸氏には標本の収集にあたり多大な援助をいただいた。これらの方々並びに関係各位に対して衷心より御礼申し上げます。

参考文献

- FLOWER, W. H., 1878. A further contribution to the knowledge of the ziphioid whales, genus *Mesoplodon*. *Trans. Zool. Soc. London*, **10**: 415-437.
- GOTCH, A. F., 1979. *Mammals, Their Latin Names Explained*. Blandford.
- KURODA, N., 1938. *A List of the Japanese Mammals*. Privately published, Tokyo.
- MEAD, J. G., 1989. Beaked whales of the genus *Mesoplodon*. In RIDGWAY S. H. and R. J. HARRISON, eds., *Handbook of Marine Mammals*, Vol. **4**, pp. 349-430. Academic Press.

- MIYAZAKI, N., I. NAKAMURA, S. TANABE, and R. TATSUKAWA, 1987. A stranding of *Mesoplodon stejnegeri* in the Maizuru Bay, Sea of Japan. *Sci. Rep. Whales Res. Inst.*, **38**: 91-105.
- MOORE, J. C., 1968. Relationships among the living genera of beaked whales, with classification, diagnoses and keys. *Fieldiana Zool.*, **53**: 206-298.
- 永沢六郎, 1915. 日本近海産鯨類 14 種の学名 (会). 動物学雑誌, **27**: 404.
- NISHIWAKI, M., 1962. *Mesoplodon bowdoini** stranded at Akita Beach, Sea of Japan. *Sci. Rep. Whales Inst.*, **16**: 61-77.
- NISHIWAKI, M. and T. KAMIYA, 1958. A beaked whale *Mesoplodon* stranded on Oiso beach, Japan. *Sci. Rep. Whales Res. Inst.*, **13**: 53-83, pls. 1-17.
- NISHIWAKI, M. and T. KAMIYA, 1959. *Mesoplodon stejnegeri*** from the coast of Japan. *Sci. Rep. Whales Res. Inst.*, **14**: 35-48.
- 西脇昌治, 1965. 鯨類・鰭脚類. x + 439 pp. 東京大学出版会.
- 小川鼎三, 1937. 本邦の齒鯨類に関する研究. 植物及動物, **5**(2): 413-415, **5**(3): 591-595.
- REYES, J. C., J. G. MEAD and K. WAERBEEK, 1991. A new species of beaked whale *Mesoplodon peruvianus* Sp. N. (Cetacea: Ziphiidae) from Peru. *Marine Mammal Science*, **7**: 1-24.
- TRUE, F. W., 1885. Description of a new species of *Mesoplodon*. *Proc. U. S. Natl. Mus.*, **8**: 584.
- TRUE, F. W., 1910. An account of the beaked whales of the family Ziphiidae in the collection of the United States National Museum, with remarks of some specimens in the American museum. *Bull. U. S. Natl. Mus.*, **73**: 1-30.
- 山田格, 1993. 漂着クジラデータベースの概要. 日本海の鯨たち. **3**: 43-65.
- WILSON, D. E. and REEDER, D. M., eds., 1993. Mammal Species of the World. Sec. ed. xviii + 1206 pp. Smithsonian Institution Press.

* 本例は後に西脇(1965)において *M. stejnegeri* と訂正された。

** 本例は後に西脇(1965)において *M. calhubbsi* と訂正された。

Appendix Table 1. Skull Measurements of the Soya-misaki *Mesoplodon*.

Measurements	mm	%
1. Condylobasal length	713	100
2. Rostrum length	403	56.5
3. Tip of rostrum to posterior margin of pterygoid nearest mid-sagittal plane	529	74.2
4. Tip of rostrum to most posterior extension of wing of pterygoid (L)	538	75.5
5. Tip of rostrum to most posterior extension of pterygoid (L)	391	54.8
6. Tip of rostrum to most posterior extension of maxillaries between the pterygoids on the papale	415	58.2
7. Tip of rostrum to most posterior extension of maxillary plate (L)	673	94.4
8. Tip of rostrum to anterior margin of superior nares	500	70.1
9. Tip of rostrum to most anterior point of premaxillary crest	536	75.2
10. Tip of rostrum to most posterior extension of temporal fossa (L)	650	91.2
11. Tip of rostrum to most posterior extension of lateral tip of premaxillary crest (L)	565	79.2
12. Tip of rostrum to most anterior extension of pterygoid sinus (L)	385	54.0
13. Greatest length of temporal fossa (L)	101	14.2
14. Greatest length of orbit (L)	99	13.9
15. Greatest length of right nasala on vertex of skull	50	7.0
16. Length of nasal suture	44	6.2
17. Greatest breadth of skull across postorbital process of frontals	355	49.8
18. Greatest breadth of skull across zygomatic processes of squamosals	326	45.7
19. Greatest breadth of skull across centers of orbits	342	48.0
20. Least breadth of skull across posterior margins of temporal fossae	242	33.9
21. Greatest span of occipital condyles	105	14.7
22. Greatest width of occipital condyle (L)	41	5.8
23. Greatest length of occipital condyle (L)	71	10.0
24. Greatest breadth of foramen magnum	40	5.6
25. Greatest height of foramen magnum	43	6.0
26. Greatest breadth of skull across exoccipitals	258	36.2
27. Greatest breadth of nasals on vertex	58	8.1
28. Least distance between premaxillary crests	21	2.9
29. Distance from anterior process of premaxillary crest to posterior to right nasal on vertex	29	4.1
30. Greatest span of premaxillary crests	135	18.9
31. Width of rostrum at midrostral length	46	6.5
32. Width of premaxillary at midlength of rostrum	36	5.0
33. Width of rostrum at $\frac{1}{4}$ rostral length from the tip	32	4.5

34. Width of premaxillae at $\frac{1}{4}$ rostral length from the tip	31	4.3
35. Width of rostrum at $\frac{3}{4}$ rostral length from the tip	80	11.2
36. Width of premaxillae at $\frac{3}{4}$ rostral length from the tip	57	8.0
37. Greatest depth of rostrum at midrostral length	69	9.7
38. Width of rostrum of superior nares	182	25.5
39. Greatest width of superior nares	57	8.0
40. Greatest width of inferior nares, at apices pterygoid notches, on the pterygoids	89	12.5
41. Height of skull, distance between vertex of skull and most ventral point of pterygoids	302	42.4
42. Greatest width of temporal fossa approximately at right angles to greatest length (L)	62	8.7
43. Least distance between maxillary foramina	68	9.5
44. Least distance between premaxillary foramina	38	5.3
45. Greatest length of vomer visible on palate	220	30.9
46. Greatest condylar length of mandibular ramus (L)	582	81.6
47. Greatest length of mandibular symphysis	125	17.5
48. Greatest height of mandible at coronoid process (L)	113	15.8
49. Height of mandible at midlength of alveolus (measured from lingual margin of alveolus) (L)	61	8.6
50. Height of mandible at midlength of alveolus (measured from lingual margin of alveolus) (R)	68	9.5
51. Length from most posterior extension to mandibular symphysis to most posterior extension of condyle (L)	455	63.8
52. Length from posterior margin of alveolus to condyle (L)	340	47.7
53. Length of alveolus (L)	113	15.8
54. Width of alveolus (L)	26	3.6
55. Tip of mandible to anterior margin of alveolus (L)	140	19.6
56. Tip of mandible to center of alveolus (L)	194	27.2
57. Greatest length of tooth (L)	125	17.5
58. Greatest length of tooth (R)	128	18.0
59. Greatest antero-posterior width of tooth at approximately left angles to long axis of tooth (L)	8	1.1
60. Greatest antero-posterior width of tooth at approximately right angles to long axis of tooth (R)	89	12.5
61. Greatest thickness of tooth (L)	19	2.7
62. Greatest thickness of tooth (R)	18	2.5

Appendix Table 2. Measurements of the vertebrae(mm) of the Souya-misaki *Mesoplodon*.

Serial no.	Segment no.	Greatest		Centrum			Neutral canal		Fusion of epiphyses
		B	H	B	H	L	B	H	
1	C 1	170	143	-	-	-	58	43	yes
2	2	163	138	-	-	-	-	-	yes
3	3	140	119	64	53	-	47	28	yes
4	4	121	128	60	52	16	41	40	yes
5	5	110	144	60	51	16	41	46	yes
6	6	99	170	65	50	17	41	47	yes
7	7	134	199	64	51	24	47	50	yes
8	D 1	153	240	58	52	31	49	51	yes
9	2	145	273	56	51	44	50	51	yes
10	3	146	284	58	49	55	56	53	yes
11	4	152	296	58	47	64	52	57	yes
12	5	150	305	60	48	70	51	57	yes
13	6	148	315	64	50	79	52	60	yes
14	7	165	320	68	51	86	54	57	yes
15	8	157	330	75	53	91	53	69	yes
16	9	232	343	75	56	98	46	60	yes
17	L 1	292	350	72	60	106	40	58	yes
18	2	294	370	78	66	113	41	63	yes
19	3	286	381	78	69	116	42	63	yes
20	4	281	397	79	72	119	45	65	yes
21	5	291	414	90	80	125	43	60	yes
22	6	282	425	87	78	130	44	59	yes
23	7	280	418	96	89	151	47	46	yes
24	8	282	414	90	98	138	46	62	yes
25	9	284	413	92	84	145	47	55	yes
26	10	273	412	99	90	154	39	36	yes
27	11	277	423	99	91	156	42	41	yes
28	Ca 1	270	407	101	97	153	36	32	yes
29	2	246	380	104	96	147	32	33	yes
30	3	220	351	106	94	139	31	29	yes
31	4	196	315	102	94	131	26	23	yes
32	5	172	272	105	93	124	24	23	yes
33	6	144	234	102	94	118	25	21	yes
34	7	112	201	93	87	111	20	17	yes
35	8	85	176	88	89	99	17	16	yes
36	9	80	148	82	85	92	10	10	yes
37	10	82	109	76	82	72	8	2	yes
38	11	75	76	52	55	61	-	-	yes
39	12	63	60	44	51	44	-	-	yes
40	13	62	58	46	44	41	-	-	yes
41	14	57	47	39	37	37	-	-	yes
42	15	54	42	40	35	35	-	-	yes
43	16	45	44	30	27	32	-	-	yes
44	17	40	28	29	23	29	-	-	yes
45	18	33	20	13	13	24	-	-	yes

Explanations of Plates

Plate I

- Fig. 1. External features of the present *Mesoplodon stejnegeri* found on the beach of Souya-misaki (Photograph by Dr. H. Maeda). An arrow shows the flukes without a notch at the center of its posterior margin.

漂着時の外部形態。腹腔の内臓器官は原形が保たれているが、背部の筋肉は体軸にそって大きくえぐり取られ、脊柱が露出している。背鰭と尾鰭はよく原形を留めている。尾鰭には後縁正中に切れ込みがなく、後方に向かって軽く突出している（矢印）。このよな尾鰭の形状は*Mesoplodon* 属の特徴とされる。

- Fig. 2. Lateral view (right side) of the head in the present *Mesoplodon stejnegeri* (Photograph by Dr. H. Maeda). Note the large tooth (right side) which measured 128mm in height under the extracted condition, and 18mm in width (thickness).

頭部右側面。下顎のほぼ中央部に扁平な三角の1対の大きな下顎歯が存在する。歯の上端は鋭く尖っている。下顎先端部は上顎よりも幅が広く、口を閉じた状態では下顎の方がやや突出する。

Plate II

- Fig. 1. Skull of the present specimen, *M. stejnegeri*, adult (male). Dorsal view.

オウギハクジラ *M. stejnegeri* 雄成獣の頭蓋骨。背面。

- Fig. 2. Ventral view.

同腹側面。

Plate III

- Fig. 1. Lateral view of the skull in the present specimen, *M. stejnegeri*.

オウギハクジラ *M. stejnegeri* の頭蓋骨側面。

- Fig. 2. Lateral views of the mandibulae and teeth (upper: right; lower: left).

下顎骨と歯（上：右；下：左）。

Plate IV

- Fig. 1. Lateral view of the cervical vertebrae, the 1st to 9th thoracic, and the 1st to 3rd lumbar vertebrae.

オウギハクジラ *M. stejnegeri* の頸椎、第1～第9胸椎および、第1～第3腰椎。

- Fig. 2. The 4th to 11th lumbar vertebrae.

第4～第11腰椎。

- Fig. 3. The 1st to 18th caudal vertebrae.

第1～第18尾椎。

Plate V

- Fig. 1. Medial view of the right (upper) and left (lower) sides ribs of *Mesoplodon stejnegeri*.

オウギハクジラ *M. stejnegeri* の肋骨（上：右側，下：左側）。

- Fig. 2. Sternum and scapulae.

オウギハクジラ *M. stejnegeri* の胸骨と肩甲骨。

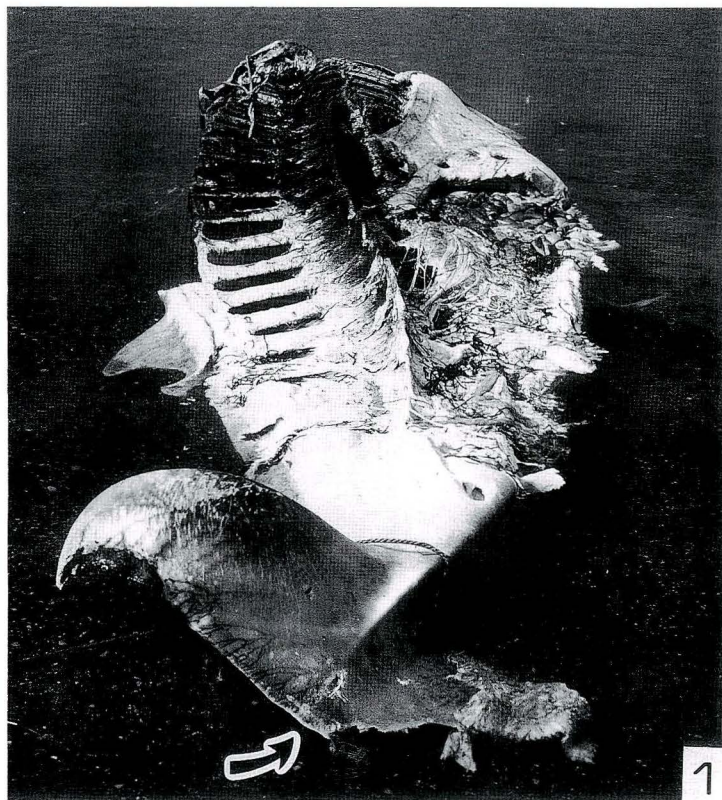


PLATE I

Mesoplodon stejnegeri Stranded on the Beach of the Northernmost in Japan

PLATE II

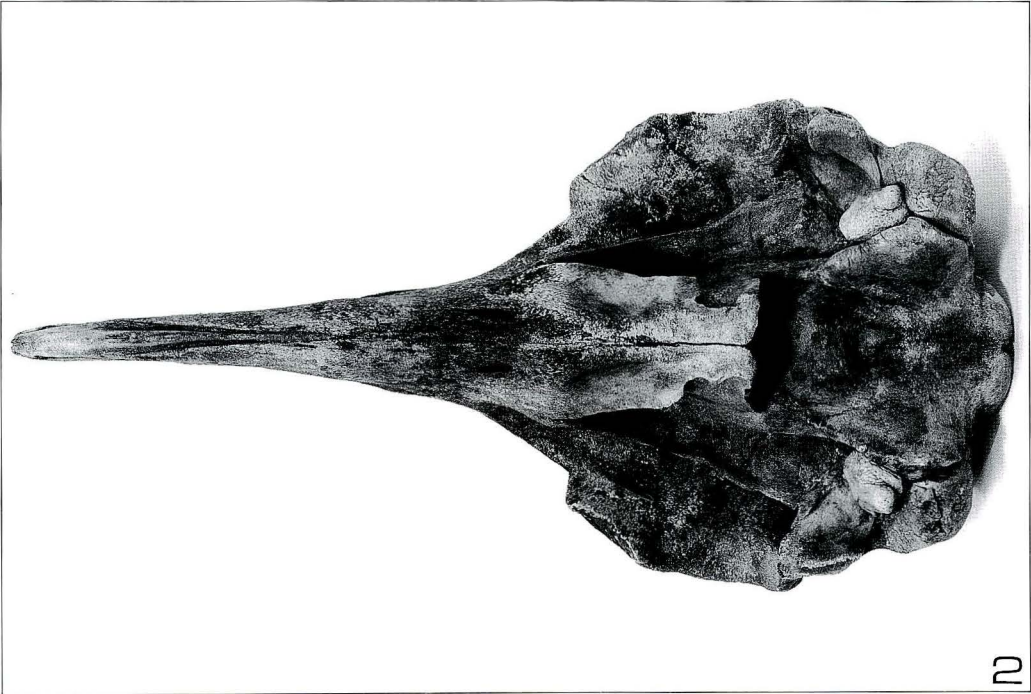
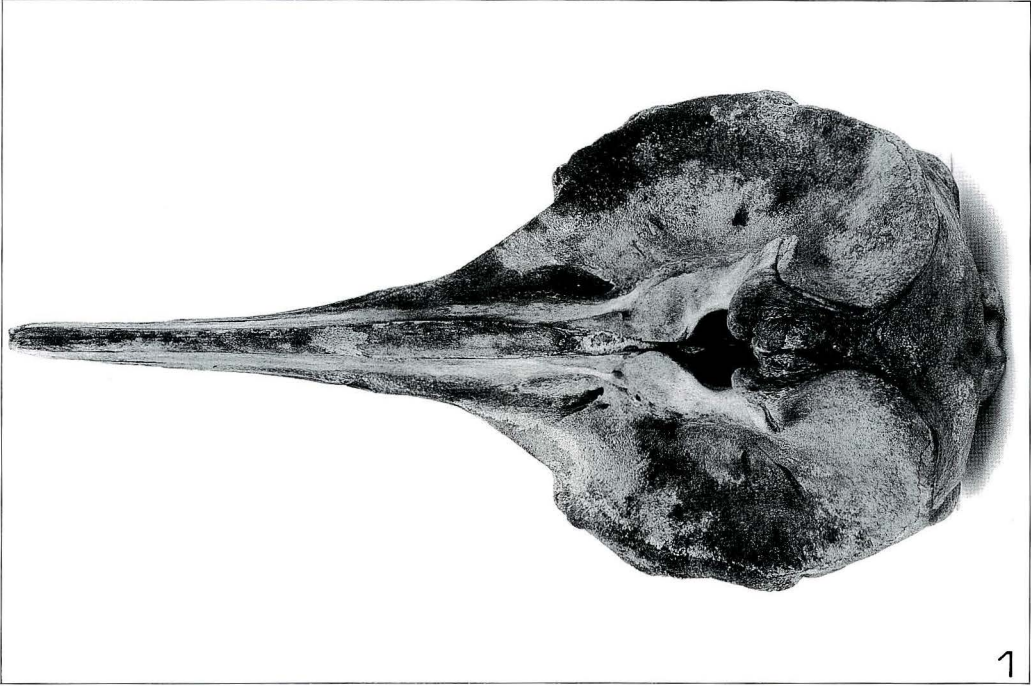


PLATE III

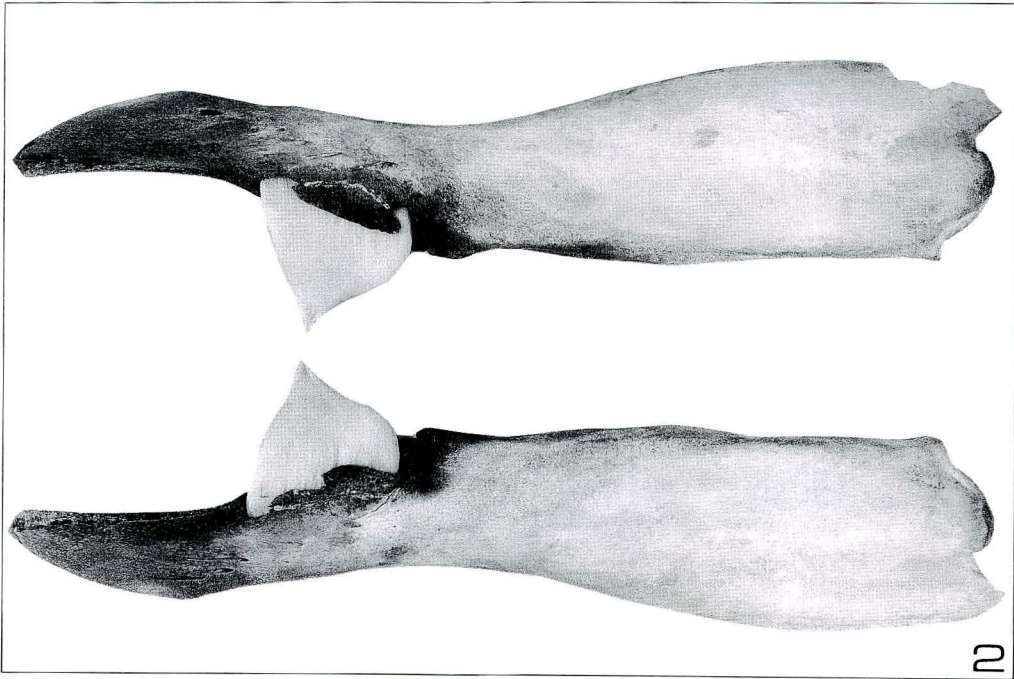
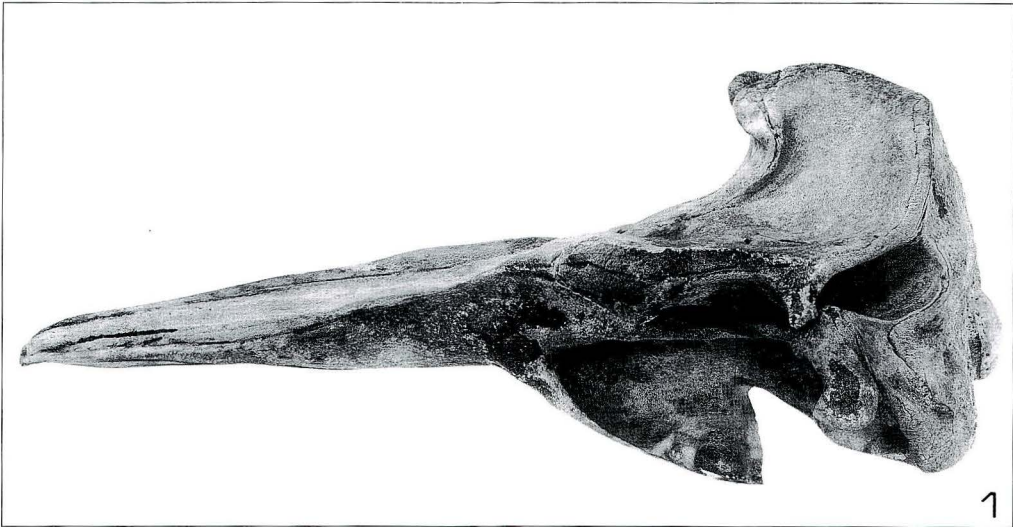


PLATE IV

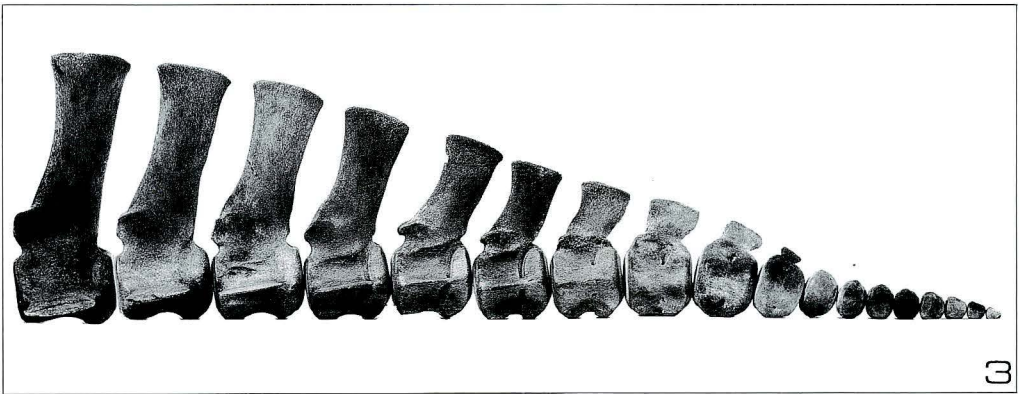
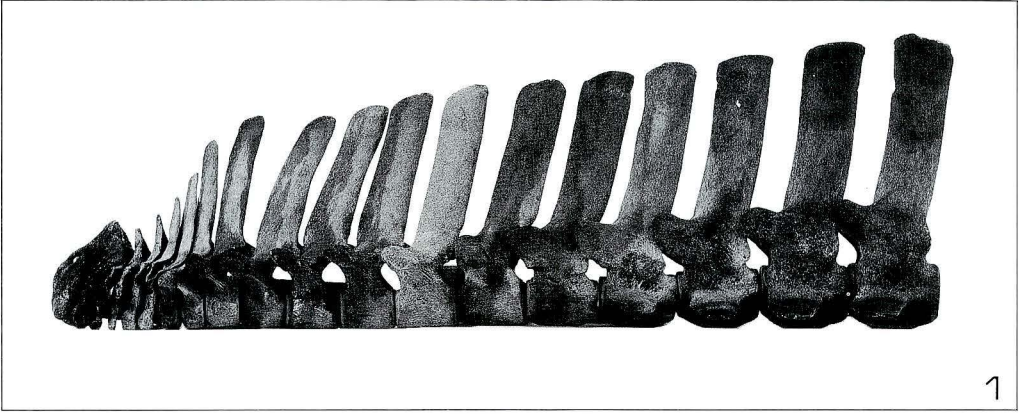
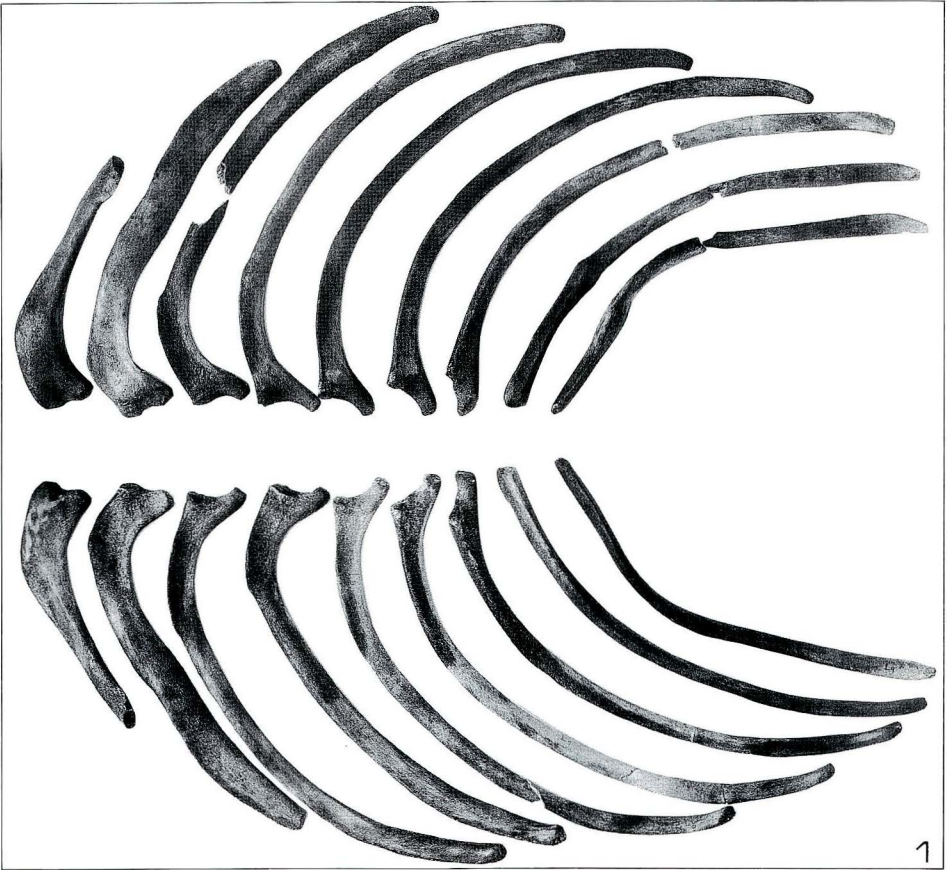


PLATE V



日本産コアゼガヤツリとその近縁種について

北 川 淑 子 ・ 勝 山 輝 男

(神奈川県立博物館)

Cyperus halpan and Its Allied Species (Cyperaceae) in Japan

Yoshiko KITAGAWA & Teruo KATSUYAMA

(Kanagawa Prefectural Museum)

Abstract. A taxonomical examination was made on *Cyperus halpan* and its allied species in Japan. We recognized three species: *C. halpan*, *C. juncoides* and *C. tenuispica*. They were separated by characters of rhizome, glumes and numbers of stamen. *C. juncoides*: rhizome elongate, glumes acute at the apex, 1.5-2mm long, stamens 3. *C. halpan*: tufted, glumes acute or cuspidate at the apex, 1-1.2mm long, stamen 1. *C. tenuispica*: tufted, glumes rather truncate at the apex, 0.6-1mm long, stamens 0-2. *C. halpan* and *C. tenuispica* are distributed in the south-western part of Japan. The former is rather common, but the latter is rare in Japan. *C. juncoides* is common in Japan and its distribution extends northward to Aomori prefecture.

1. はじめに

Cyperus halpan L. と *C. tenuispica* Steud. は、ともに世界の熱帯から暖温帯にかけての湿地や水田に普通に見られるカヤツリグサ科の雑草とされている。日本では従来この両者は、長くはった根茎を持つものがコアゼガヤツリ、叢生する1年生のものがヒメガヤツリ（ミズハナビ）と認識されることが多く、コアゼガヤツリには *C. halpan*、ヒメガヤツリには *C. tenuispica* があてられている（大井，1965）。

ところが、北村・村田・小山（1964）はコアゼガヤツリは生育環境によって、根茎が伸びず叢生し、その場合にはヒメガヤツリに形態が酷似することを指摘している。その場合の区別点としては、コアゼガヤツリでは小穂の鱗片が密に接しているため小軸が見えないのに対し、ヒメガヤツリでは鱗片がやや疎らに着くので小軸が見えること、コアゼガヤツリでは鱗片は長さ約1.5mmでその先は外反しないが、ヒメガヤツリの鱗片は長さ約1mmで先が外反することをあげている。

しかし、日本産のコアゼガヤツリとヒメガヤツリの標本をチェックしたところ、この叢生する‘コアゼガヤツリ’はヒメガヤツリと混同されているケースが多いことがわかった。また、筆者の一人北川は、根茎をひくタイプのコアゼガヤツリは雄ずいが3本あるが、叢生し根茎を

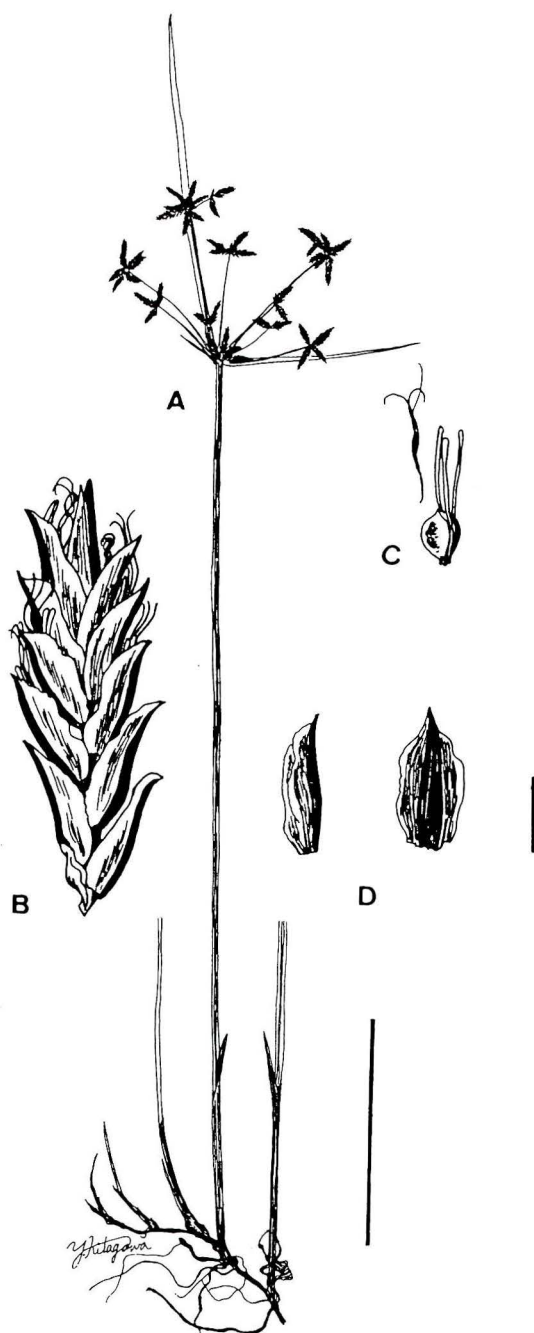


図1. コアゼガヤツリ *Cyperus juncoides* Lamk.

A: 全体図 (スケール 5 cm);

B: 小穂; C: 果実と雌しべ・花糸; D: 鱗片 (B, C, Dはスケール 1 mm).

1993年10月10日, 東京都町田市三輪町の休耕田にて採集, 標本: 北川No.1660より一部を描く.

引かないタイプの‘コアゼガヤツリ’は雄ずいが1本しかないことに気がついた。そこで、根茎を引くタイプのコアゼガヤツリ，叢生する‘コアゼガヤツリ’，ヒメガヤツリの形態と分類を再度整理するとともに，標本を精査し，この3種類の分布を調べたので報告する。なお，ここでは根茎を引く型を従来どおりコアゼガヤツリ（図1）とし，叢生する型をツルナシコアゼガヤツリ（図2）と呼ぶこととする。図3はヒメガヤツリである。

本稿の執筆にあたり，東京大学総合研究資料館，東京都立大学牧野標本館，国立科学博物館，千葉県立中央博物館の標本を閲覧させていただいた。関係の職員の方々，標本を集めてくださった先人に対し御礼申し上げる。また，標本や文献資料でお世話になった，山崎敬博士，小崎昭則氏，大森雄治氏，筒井貞雄氏，堀内洋氏，木村陽子氏に厚く御礼申し上げる。



図2. ツルナシコアゼガヤツリ *Cyperus halpan* L.

A: 全体図 (スケール 5 cm);

B: 小穂; C: 果実と雌しべ・花糸; D: 鱗片 (B, C, Dはスケール 1 mm).

1992年11月22日，沖縄県石垣市名蔵の水田にて採集，標本：北川No.1473より一部を描く。

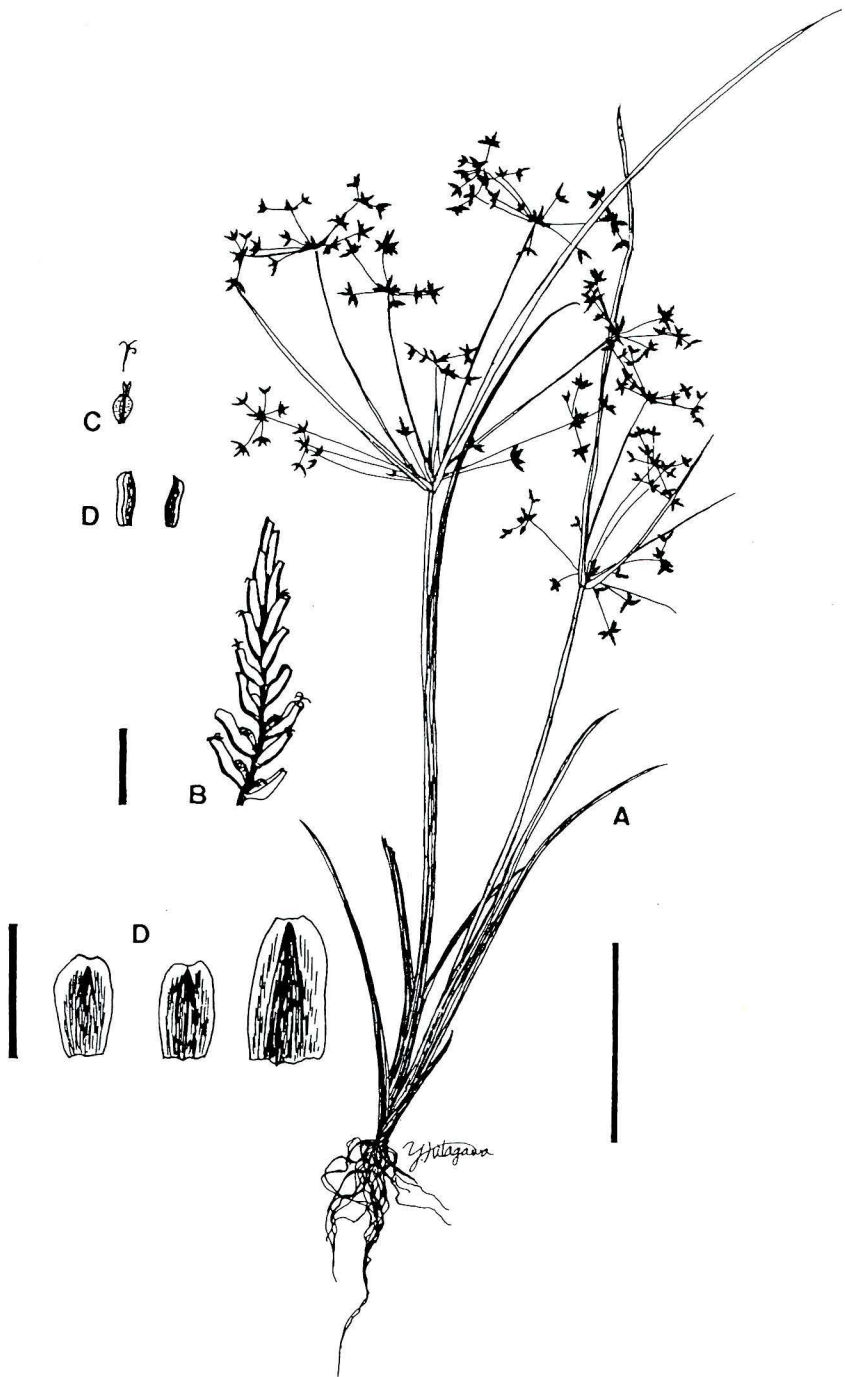


図 3. ヒメガヤツリ *Cyperus tenuispica* Steud.

A: 全体図 (スケール 5 cm);

B: 小穂; C: 果実と雌しべ・花糸; D: 鱗片 (B, C, Dはスケール 1 mm).

1950年 8月16日, 愛知県豊川市平尾町駒場にて採集, KPM29007 より一部を描く.

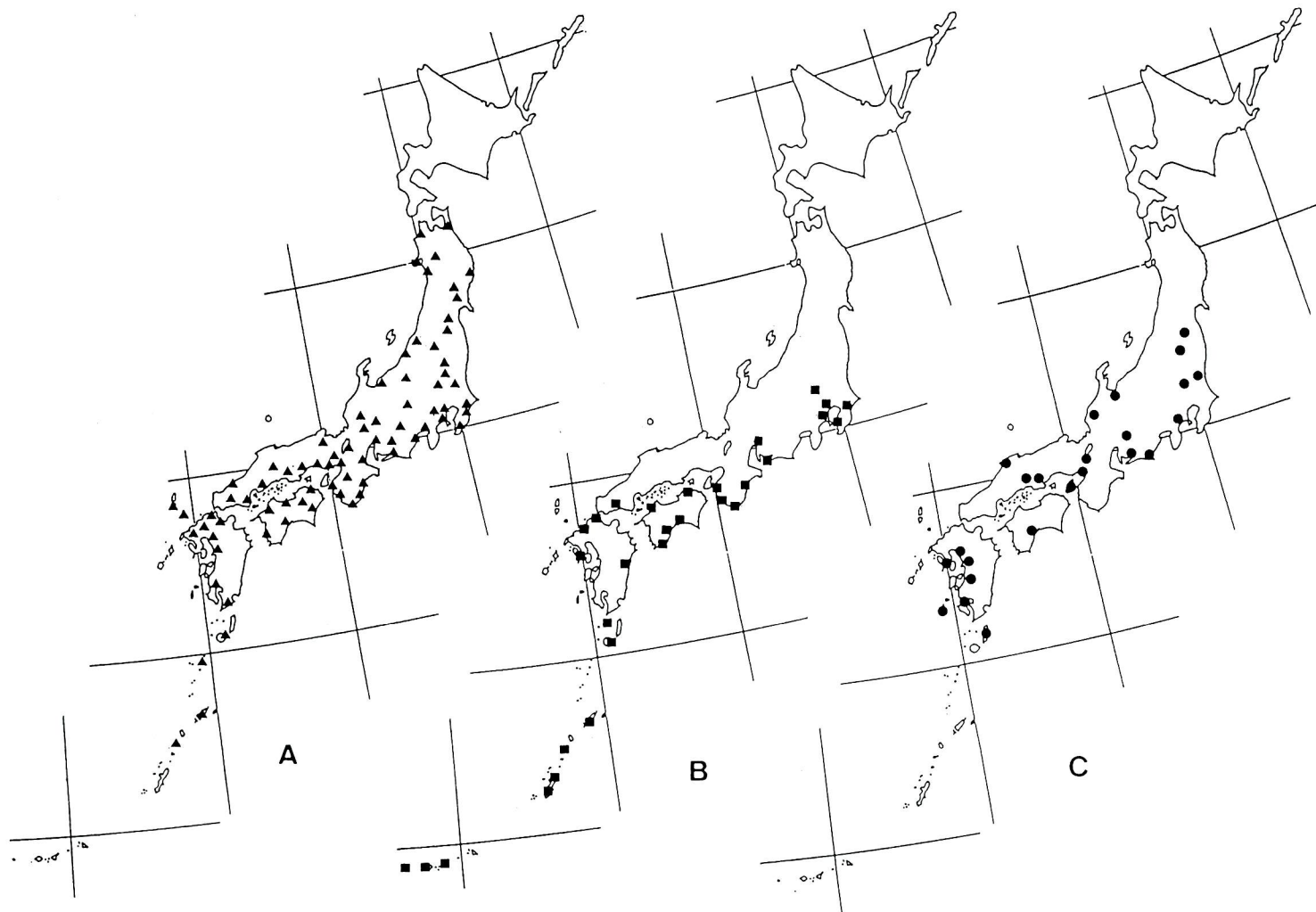


図4. A: コアゼガヤツリ *Cyperus juncooides* Lamk. の分布; B: ツルナシコアゼガヤツリ *Cyperus halpan* L. の分布; C: ヒメガヤツリ *Cyperus tenuispica* Steud. の分布.

2. 方法

コアゼガヤツリの2型とヒメガヤツリについて、神奈川県立博物館および東京都立大学牧野標本館、個人収蔵の標本を使い、雄ずいの数、果実や鱗片の長さを計測した。標本各部の形態観察には実体顕微鏡（8～35）倍を使用した。コアゼガヤツリの2型の標本各々10点およびヒメガヤツリの標本10点から形が整った小穂をランダムに2個ずつ取り、それぞれの小花の雄ずいの数を調べた。どの小穂も先端の2、3個は未熟で、雄ずいの数をかぞえるのが困難であったため、その分は数から除外した。なお、小穂下部の成熟して小花が落下したようなものは極力取り上げないようにしたが、やむをえない場合はその分を不明として、かぞえられるものについては落下分を数に入れた。あわせて、鱗片の長さ、鱗片の先端の状態、果実の大きさを調べた。測定に用いた標本データを検討資料に示す。分布資料としては神奈川県立博物館、東京都立大学牧野標本館の他に国立科学博物館、東京大学総合研究資料館、千葉県立中央博物館の標本をチェックし、3種類の日本国内における分布図を作成した。分布図作成にのみ用いた標本データは紙数の都合で省略する。

3. 結果と考察

表1、2、3に結果を示すが、コアゼガヤツリは246花のうち、雄ずい2本のもの4個、3本のもの242個で、約98%が1小花中の雄ずい数3本であった。ツルナシコアゼガヤツリは293花のうち、雄ずい0のものが11個、1本のものが275個、2本のものが7個で、約94%が1小花中の雄ずい数が1本であった。ヒメガヤツリは167花のうち雄ずい0のものが23%、1本が53%、2本が22%でややばらつきがあるが、雄ずい3本のものはなかった。雄ずいが3本未満の場合には実際に数が少ない場合と、落ちてしまった場合が考えられる。しかし、コアゼガヤツリの雄ずいはほぼ3本、ツルナシコアゼガヤツリは1本とみなしてよさそうである。ヒメガヤツリについては雄ずいは0～2本とばらついているが、前2者とは異なる傾向がある。

表1. コアゼガヤツリ *Cyperus juncoides* Lamk.
1小花中の雄しべの本数.

雄蕊の数 株 (標本番号)	0 本	1 本	2 本	3 本	合 計
A (北川396)	0	0	0	21	21
B (北川426)	0	0	0	18	18
C (小崎2275)	0	0	0	18	18
D (小崎7887)	0	0	0	29	29
E (小崎7888)	0	0	0	22	22
F (小崎7889)	0	0	2	25	27
G (小崎7891)	0	0	2	23	25
H (KPM8702)	0	0	0	22	22
I (KPM51324)	0	0	0	34	34
J (KPM58286)	0	0	0	30	30
合 計 (%)	0 (0)	0 (0)	4 (1.6)	242 (98.4)	246 (100)

注) 各々の標本より2小穂を調査。 KPM: 神奈川県立博物館。

表 2. ツルナシコアゼガヤツリ *Cyperus halpan* L.

1 小花中の雄しべの本数.

株 (標本番号)	雄蕊の数	0 本	1 本	2 本	3 本	合 計
A (北川1032)		0	31	1	0	32
B (北川1477)		2	38	1	0	41
C (小崎806)		4	21	0	0	25
D (小崎7878)		0	30	1	0	31
E (小崎7880)		2	24	3	0	29
F (小崎7881)		0	30	0	0	30
G (小崎7883)		1	25	0	0	26
H (KPM7392)		0	19	0	0	19
I (KPM58288)		1	32	1	0	34
J (KPM73433)		1	25	0	0	26
合 計 (%)		11 (3.8)	275 (93.9)	7 (2.4)	0 (0)	293 (100)

注) 各々の標本より2小穂を調査。 KPM: 神奈川県立博物館。

表 3. ヒメガヤツリ *Cyperus tenuispica* Steud.

1 小花中の雄しべの本数.

株 (標本番号)	雄蕊の数	0 本	1 本	2 本	3 本	不 明	合 計
A (KPM29006)		0	7	9	0	0	16
B (KPM29007)		4	7	4	0	2	17
C (KPM76308)		2	4	8	0	1	15
D (MAK222687)		8	8	3	0	?	19
E (MAK222689)		7	7	2	0	0	16
F (MAK224009)		3	12	4	0	0	19
G (MAK224019)		6	24	5	0	?	35
H (MAK224017)*		2	10	0	0	1	13
I (MAK224020)*		3	2	2	0	?	7
J (MAK224483)*		3	7	0	0	0	10
合 計 (%)		38 (22.8)	88 (52.7)	37 (22.2)	0 (0)	4 (2.4)	167 (100.1)

注) 各々の標本より2小穂ずつ調査。ただし、*印は1小穂のみ。

MAK: 牧野標本館。 ?は小穂下部の小花の一部が落ちていたもの。

表 4. 雄しべ・果実・鱗片の比較.

植物名	コアゼガヤツリ	ツルナシコアゼガヤツリ	ヒメガヤツリ
雄蕊の数	3本まれに2本	1本まれに2本	1本または0か2本
果実の長さ	0.7~0.8mm	0.5~0.6mm	0.3~0.4~0.5mm
鱗片の長さ	1.5~1.8~2mm	1~1.1~1.2mm	0.6~0.8~1mm

同様に3種類の果実の長さおよび鱗片の長さについても計測したところ、表4のような違いが認められた。コアゼガヤツリの鱗片は先が尖り、長さ1.5~2.0mm。果実は長さ約0.7~0.8mm、最大幅0.3~0.5mm。ツルナシコアゼガヤツリも鱗片の先が尖り、長さ1.0~1.1mm。果実は長さ0.5~0.6mm、最大幅0.4~0.5mm程度であった。ヒメガヤツリは3者のうちでもっとも小さく、鱗片は長さ0.6~1.0mm、果実も長さが0.3~0.5mmしかなかった。しかもヒメガヤツリの鱗片はコアゼガヤツリやツルナシコアゼガヤツリとは異なり、鱗片の先が切形に近く、反曲するものが多く見られた。コアゼガヤツリでは鱗片のサイズが大きく、互いに接しているため、よく熟しても鱗片の間から小穂の小軸がはっきりと見えることはない。ヒメガヤツリでは鱗片がきわめて小さく、ゆるく接しているので、熟してくると鱗片の間の小軸が露出しやすい。ツルナシコアゼガヤツリでは鱗片が両者の中間の大きさで、小軸の見え具合も両者の中間といえる。なお、花序に対する苞葉の長さも比較したが、明白な違いは見られなかった。

標本をチェックし、3種類の分布を調べたのが図4である。その結果、コアゼガヤツリは青森県から南西諸島までほぼ全県にわたって生育している様子が読み取れる。一方ツルナシコアゼガヤツリは関東地方から沖縄県までの西南日本に片寄って見られ、やや南方系であることがうかがえる。ヒメガヤツリは北は福島県から南は鹿児島県種子島まで、各地に散見されるが、数は前2者に比べてずっと少ない。

コアゼガヤツリとツルナシコアゼガヤツリは横にはった根茎の有無だけでなく、雄ずいの数、果実や鱗片の長さで区別が可能である。両者の分布の範囲もコアゼガヤツリがかなり北方まで分布するのに対し、ツルナシコアゼガヤツリでは関東以南の暖地に限られる。生育環境はコアゼガヤツリよりもツルナシコアゼガヤツリの方がやや攪乱された環境に多く見られ、長期間の休耕田や安定した山間部の湿地ではコアゼガヤツリが多い。コアゼガヤツリとツルナシコアゼガヤツリは日本では同種として扱われているが、以上のような点で明確に区別できる。

なおコアゼガヤツリは湿地に生える時は細長い地下茎を出し、乾いた所では地下茎は発達せず、稈は叢生する(北村・村田・小山, 1964; Koyama, 1978)とあるが、ツルナシコアゼガヤツリは、水をたたえた水田(北川No. 1473他)や造成地の水湿地(堀内No. 7032B他)に生育することが観察されている。

ツルナシコアゼガヤツリとヒメガヤツリは叢生し、根茎が伸びないので、きわめてよく似ている。ヒメガヤツリでは鱗片の先端が切型でほとんど尖らず、おおむね反曲すること、果実や鱗片の大きさがヒメガヤツリの方が小さいこと、雄ずいの数が2本のものがかなりの割合で含まれていることで区別が可能である。

4. 分類上の取扱い

日本では従来、根茎を引くものをコアゼガヤツリといい、学名に*C. halpan*を用いている。叢生するツルナシコアゼガヤツリと思われるものについては、Makino (1905) が*C. halpan* (日本名コアゼガヤツリ) には2型があり、そのうちの1つ var. *micro-Halpan* は匍枝が無く、小穂はより小形、果実もまた小さいと記しているにすぎない。しかし、その後、牧野の同種に関する記載はなされていないようである。

C. halpan L. の原記載では2型について触れていないが、Clarke (1894) は*C. halpan* の典型品は長く根茎を引く型で、茎は間隔をおいて単生するが、他に、非常に短い根茎を持つものや、ひげ根のみの型のあることを記している。Kükenthal (1936), Kern (1974) は日本での一般的な認識とは逆に叢生するものを*C. halpan* L. ssp. *halpan* とし、根茎を引く型については

ssp. *juncoides* (Lamk.) Kükenth. と分けている。したがって、コアゼガヤツリとツルナシコアゼガヤツリを別種として扱う場合にはツルナシコアゼガヤツリが *C. halpan* L. にあたり、コアゼガヤツリは *C. juncoides* Lamk. となる。

なお、Clarke (1894), Koyama (1962; 1978; 1985), 北村・村田・小山 (1969) は *C. halpan* の叢生する型と根茎をひく型を認識しているが、これらを種内の変異として扱い区別していない。また、ヒメガヤツリ *C. tenuispica* についてはいずれの著者も別種として扱っている。

コアゼガヤツリ

Cyperus juncoides Lamk., Illustr. I, 147 (1791).

Cyperus halpan L. subsp. *juncoides* (Lamk.) Kükenth. in Fedde, Repert. **23**: 184 (1927) et Cyperaceae 249 (1936), 'haspan'; Kern in Fl. Malesiana **7**: 625 (1974).

'*Cyperus halpan* L.' sensu auct.; Matsumura, Ind. Pl. Jap. **II** 141 (1905); Nakai in Bot. Mag. Tokyo **26**: 186 (1912); Makino et Nemoto, Nippon Shokubutu Soran, 1464 (1925); Ohwi, Fl. Jap. rev. ed., 200 (1965); Clarke in Hook. f., Fl. Br. Ind. **6**: 600 (1894), pro parte; T. Koyama in Quart. Journ. Taiwan Mus. **14**: 175 (1962), et Fl. Taiwan **5**: 335 (1978), et Fl. Ceylon **5**: 203 (1985), pro parte; Kitamura et al., Colour. Illustr. Herb. Pl. Jap. (Monocot.), 239 pl. 60 (1964), pro parte, 'haspan'.

Cyperus halpan L. var. *tuberiferus* T. Koyama in Journ. Jap. Bot. **30**: 136 (1955), 'haspan'.

多年草で根茎を長く引き、茎を単生する（単生する茎と茎の間隔は1～5 cm位の幅がある）。ふつう花茎の鞘に続く葉身はきわめて短い。鱗片は長楕円形または長楕円状披針形で、長さ1.8 mm前後。果実の長さは0.7～0.8 mm, 最大幅0.3～0.5 mm。雄ずいは3本。

池畔や休耕田等、より自然な環境の水湿地に見られる。日本では北海道と沖縄を除く、青森県から鹿児島県に至る全国に分布する。

ツルナシコアゼガヤツリ（新称）

Cyperus halpan L., Sp. Pl. ed. 1, 45 (1753); Kükenth., Cyper. Cyperaceae 247 f. 28 E-G (1936); Clarke in Hook. f., Fl. Br. Ind. **6**: 600 (1894), pro parte; T. Koyama in Quart. Journ. Taiwan Mus. **14**: 175 (1962), et Fl. Taiwan **5**: 335 (1978), et Fl. Ceylon **5**: 203 (1985), pro parte, 'haspan'.

Cyperus halpan L., Kern, in Fl. Malesiana **7**: 624 f. 56 (1974).

Cyperus halpan L. var. *microhalpan* Makino in Bot. Mag. Tokyo **19**: 145 (1905), in adnota; Makino et Nemoto, Nippon Shokubutu Soran, 1464 (1925), 'haspan'.

1年草または短命な多年草。株は叢生し、ひげ根を出す。葉は短く、長くても草丈ほどであるが、時に鞘に続く葉身のみの極めて短いものも見られる。鱗片は長楕円形で、長さ1.1 mm前後。果実の長さは0.5～0.6 mm, 最大幅0.4～0.5 mm。雄ずいは1本。

湿った宅造地や水田等、やや攪乱された土地に見られる。日本では関東地方から沖縄県に至る西南日本に見られる。

ヒメガヤツリ (ミズハナビ)

Cyperus tenuispica Steud., Synops. Pl. Glum. **2**: 11 (1855); Kükenth., Cyper. Cypereae 245 f. 28 A-D (1936); Ohwi, Fl. Jap. rev. ed., 200 (1965); T. Koyama in Quart. Journ. Taiwan Mus. **14**: 175 (1962) et Fl. Taiwan **5**: 335 (1978) et Fl. Ceylon **5**: 203 (1985); Kitamura et al., Colour. Illust. Herb. Pl. Jap. (Monoct.), 239 pl. 60 (1964); Kern in Fl. Malesiana **7**: 625 f. 58 (1974).

'*Cyperus flavidus* Retz.' sensu Clark in Hook. f., Fl. Br. Ind. **6**: 600 (1894); Makino in Bot. Mag. Tokyo **19**: 145 (1905); Matsumura, Ind. Pl. Jap. II 140 (1905); Nakai in Bot. Mag. Tokyo **26**: 189 (1912); Makino et Nemoto, Nippon Shokubutu Soran, 1463 (1925).

Cyperus pseudo-halpan Makino in Bot. Mag. Tokyo **6**: 47 (1892), nom. nud, 'pseudo-halpan'.

1年草。株は叢生し、ひげ根を出す。葉は比較的短い、草丈ほどになるものもある。鱗片は先端が平たい長楕円形で、外反してつき、長さ0.8mm前後。果期に鱗片の間から小軸がよく見える。果実の長さは0.3~0.5mm (0.4mm中心)。雄ずいは1本が約50%で、0および2本がそれぞれ20%強。

水田等に、稀に見られる。日本では福島県から鹿児島県の各地に散見。

検討資料

1. コアゼガヤツリ *Cyperus juncoides* Lamk.

栃木県 太田原市佐久山、加藤仁, Sep. 10, 1966, KPM8702; 千葉県 長生郡八積村, 古瀬義, Aug. 6, 1958, KPM51324; 佐倉市茂原, 大場達之, Sep., 1974, KPM58286, 58297; 佐倉市飯塚, 小崎昭則 No. 7887, Sep. 28, 1988; 香取郡東庄市東和田付近の谷戸奥湿地, 小崎昭則 No. 7888, Sep. 7, 1988; 佐倉市飯塚・林間の湿地, 小崎昭則 No. 7889, Sep. 29, 1988; 東京都 町田市三輪町・谷戸奥の休耕田, 小崎昭則 No. 7100, Oct. 26, 1990; 狹山市・狭山湖畔, 北川淑子 No. 766, Sep. 10, 1990; 町田市三輪町・谷戸奥の休耕田, 北川淑子 No. 1660~1671, Oct. 10, 1993; 神奈川県 川崎市麻生区早野・休耕田, 北川淑子 No. 426, Sep. 17, 1989; 静岡県 田方郡函南町奈古屋の放棄水田, 北川淑子 No. 396, Sep. 3, 1989; 愛知県 豊橋市細谷町, 小崎昭則 No. 7891, Nov. 3, 1983; 和歌山県 東牟婁郡古座町田原, 堀内洋 No. 5903, Sep. 12, 1992; 東牟婁郡那智勝浦町・休耕田, 堀内洋 No. 6813, Aug. 14, 1993; 東牟婁郡太地町太地字西地・休耕田, 堀内洋 No. 6931, Sep. 15, 1993; 西牟婁郡串本町出雲・宅造地水溜り, 堀内洋 No. 7032A, Sep. 25, 1993; 西牟婁郡串本町潮岬・休耕田跡地, 堀内洋 No. 7038A, Sep. 25, 1993; 岡山県 庄原市長塚町溜池周囲の湿性草地, 小崎昭則 No. 2275, Sep. 7, 1989; 徳島県 脇町猪尻, 木村晴夫, Aug. 6, 1963, KPM7307; 福岡県 北九州市小倉南区下横代・新池, 時田房恵 No. 172, Sep. 21, 1981; 北九州市小倉南区上吉田, 永田知恵子 No. 508, Sep. 26, 1975; 福岡市東区香椎, 永田知恵子 No. 526, Sep. 29, 1975; 八女郡星野村宿の谷, 猪上信義 No. 5382, Oct. 12, 1976; 春日市大牟田池, 猪上信義 No. 10736, Sep. 4, 1982; 豊前市平原, 猪上信義 No. 11101, Oct. 11, 1982; 三池郡高田町上楠田, 猪上信義 No. 11150, Oct. 24, 1982; 久留米市高良台, 益村聖 No. 2034, Sep. 18, 1976; 久留米市高良台, 益村聖 No. 2037, Aug. 19, 1976; 三池郡高田町渡瀬, 益村聖 No. 2040, Sep. 23, 1976; 八女郡黒木町渡内, 益村聖 No. 2889, Sep. 02, 1979; 春日市白水池, 益村聖 No. 2890, Oct. 10, 1979; 北九州市八幡西区本城・的場・鵜ノ巣池, 益村聖 No. 3216, Aug. 11, 1982; 太宰府市観世・安の浦池下・休耕田 alt. 50m, 筒

井貞雄 No. 21873, Oct. 3, 1981; 筑紫郡那珂川町背振ダム下流左岸上, 筒井貞雄 No. 23979, Sep. 23, 1982; 筑紫郡那珂川町上梶原・宅地水溜り alt. 340m, 筒井貞雄 No. 24048, Oct. 3, 1982; 筑紫野市上村・宅造荒地, 筒井貞雄 No. 24099, Oct. 3, 1982; 福岡市博多区持田ヶ浦・溜池の水辺 alt. 32m, 筒井貞雄, Oct. 14, 1982, 筒井 24330; 筑紫野市脇田・池の岸辺 alt. 60 m, 筒井貞雄 No. 24460-1, Nov. 23, 1982.

2. ツルナシコアゼガヤツリ *Cyperus halpan* L.

群馬県 日光, 西尾和子, Jul. 2, 1959, KPM358; 千葉県 君津市豊英倉沢, 小崎昭則 No. 7882, Aug. 30, 1988; 佐倉市内田, 小崎昭則 No. 7881, Sep. 28, 1988; 神奈川県 横浜市緑区鴨居・鶴見川高水敷, 北川淑子 No. 1032, Sep. 16, 1991; 愛知県 豊橋市渥美町伊良湖, 小崎昭則 No. 7878, Sep. 12, 1991; 和歌山県 新宮市新宮王子ヶ浜・線路敷内水湿地, 堀内洋 No. 5841, Sep. 5, 1992; 西牟婁郡串本町出雲・宅造地水溜り, 堀内洋 No. 7032B, Sep. 25, 1993; 香川県 大川郡寒川町, 小崎昭則 No. 7880, Sep. 26, 1991; 福岡県 粕屋郡新宮町新宮浜, 筒井貞雄 No. 23748, Sep. 11, 1982; 行橋市前田・前田大池, 筒井貞雄 No. 24207, Oct. 10, 1982; 豊前市平原山ノ神池, 筒井貞雄 No. 24282, Oct. 11, 1982; 福岡市東区海の中道, 猪上信義 No. 5479, Nov. 7, 1976; 直方市中泉, 猪上信義 No. 9273, Sep. 13, 1981; 宗像郡津屋崎町池尻, 猪上信義 No. 5484, Nov. 7, 1976; 北九州市小倉南区横城題代葉山, 時田房恵 No. 713, Oct. 12, 1981; 鹿児島県 鹿児島市前の浜, 小崎昭則 No. 7884, Aug. 28, 1988; 出水市荘瀉, 小崎昭則 No. 7882, Aug. 30, 1988; 奄美大島住用村役勝, 勝山輝男, Mar. 31, 1993; 沖縄県 石垣市元名蔵白水川, 北川淑子 No. 1470~1472, Nov. 20, 1992; 石垣市名蔵水田, 北川淑子 No. 1473, Nov. 22, 1992; 西表島浦内放棄水田, 北川淑子 No. 1474, Nov. 23, 1992; 西表島星立水田, 北川淑子 No. 1477, Nov. 23, 1992; 西表島美田良水田, 北川淑子 No. 1478, Nov. 23, 1992; 国頭郡宜野座村漢那, 焼田理一郎, Aug. 28, 1993; ボルネオ, コタキナバル〜ラナウ川岸, 勝山輝男, Mar. 4, 1993; ボルネオ, 勝山輝男, Mar. 7, 1993.

3. ヒメガヤツリ *Cyperus tenuispica* Steud.

福島県 福島市, 根本莞爾, Sep. 23, 1898, MAK224008; 西白河郡五ヶ村, 鈴木伝吉, Sep. 2, 1906, MAK222586; 西白河郡五ヶ村, 今井直吉, Sep., 1907, MAK222687; 西白河郡表郷村, 鈴木伝吉, Oct. 1, 1907, MAK224856; 茨城県 西茨城郡岩瀬町, Sep. 16, 1928, MAK222587; 栃木県 河内郡上三川町, 関本平八, Aug. 25, 1913, MAK224009; 神奈川県 津久井郡相模湖町, 武井尚, Sep. 30, 1951, KPM79390; 南足柄市関本, 勝山輝男, Aug. 14, 1983, KPM flk-76308; 富山県 富山市東呉羽村, Oct. 1, 1905, MAK224010; 岐阜県 中津川市坂本村茄子川, 松井守正, Sep. 20, 1910, MAK224011, 224012; 愛知県 豊橋市, 牧野富太郎, 1893, MAK224013; 岡崎市, 梅村甚太郎, Sep. 17, 1905, MAK224483; 豊川市平尾町駒場, 大場達之, Aug. 19, 1950, KPM29006; Aug. 16, 1950, KPM29007; 兵庫県 州市千葉, Aug., 1910, MAK224015; 州市松沢, Aug. 20, 1910, MAK226471; 島根県 朝山村上朝山雲井滝, 妹尾岩市, Oct. 11, 1907, MAK224021; 岡山県 吉備郡高松町, Jul. 10, 1905, MAK222689; 川上郡川乱, 吉野善助, Sep. 10, 1906, MAK224485; 御津郡富山, 宇野確雄, Oct. 02, 1913, MAK224484; 高知県 高岡郡, 牧野富太郎, 1885, MAK224016; 土佐, 牧野富太郎, 1887, MAK226473, MAK226603; 高岡郡佐川町, 牧野富太郎, Sep. 07, 1887, MAK224017; Sep. 12, 1887, MAK224018; 高岡郡佐川町加茂, 牧野富太郎, Sep. 21, 1887, MAK223315,

MAK224019; 土佐市甲原村, 牧野富太郎, Oct. 17 1892, MAK224020.

文 献

- CLARKE, C. B., 1894. Cyperaceae. In Hooker, J. D., ed., *Flora of British India* Vol. **6**, pp. 585-748.
- 勝山輝男, 1988. カヤツリグサ科. 神奈川県植物誌調査会編, 神奈川県植物誌 1988, pp. 318-380. 神奈川県立博物館, 横浜.
- KERN, J. H., 1974. Cyperaceae. In van Steenis, C. G. G. J., ed., *Flora Malesiana*, ser. I Vol. 7. pp. 435-753.
- 北川淑子, 1992. コアゼガヤツリ, ヒメガヤツリについて気づいたこと. 多摩丘陵植物調査会, 多摩丘陵の植物, (2): 19-21.
- 北村四郎・村田源・小山鐵夫, 1964. 原色日本植物図鑑 (下). 4+464 pp., pls. 108. 保育社, 東京.
- KOYAMA, T., 1955. Les diagnoses des Cyperaceae nouvelles pour la flore de Japon. *Journ. Jap. Bot.*, **30**: 129-137.
- KOYAMA, T., 1962. Classification of Family Cyperaceae (3). *Quart. Journ. Taiwan Museum*, **14**: 159-194.
- KOYAMA, T., 1978. Cyperaceae. In *Flora of Taiwan*, Vol. **5**. pp. 191-372.
- KOYAMA, T., 1985. Cyperaceae. In DASSANAYAKE, M. D. & FOSBERG, F. R., eds., *Flora of Ceylon*, Vol. **5**. pp. 125-405.
- KUKENTHAL, G., 1927. Cyperaceae novae vel criticae imprimis antillanae. *Fedde, Repertrium specierum novarum regni vegetabilis*, **23**: 183.
- KUKENTHAL, G., 1936. Cyperaceae-Skirpoideae-Cypereae. Engler, *Pflanzenreich*. 101. ref. 184 pp.
- LAMARCK, M., 1791. Encyclopedique et Methodique Botanique. Illustration des Genres. I. 2+16+2+496 pp.
- LINNAEUS, C., 1753. Species Plantarum. I. 560 pp.
- MAKINO, T., 1892. Notes on Japanese Plants, XV. *Bot. Mag. Tokyo*, **6**: 45-56.
- MAKINO, T., 1905. Observation on the Flora of Japan. *Bot. Mag. Tokyo*, **19**: 131-160.
- 牧野富太郎・根本莞爾, 1925. 日本植物総覧. 1942 pp., 日本植物総覧刊行会, 東京.
- MATSUMURA, J., 1905. Index Plantarum Japonicarum II. 7+315 pp. Maruzen, Tokyo.
- NAKAI, T., 1912. Cyperaceae-Cyperinae Japonico-Coreanae. *Bot. Mag. Tokyo*, **26**: 185-207.
- 大井次三郎, 1965. 改定新版日本植物誌. 4+1560 pp., pls. 57. 至文堂, 東京.

Potassian pargasite and aluminian diopside from Hôkizawa,
Yamakita-machi, Kanagawa Prefecture, Japan.

Daiji HIRATA¹⁾ & Akira KATO²⁾

1) Kanagawa Prefectural Museum, Naka-ku, Yokohama, Kanagawa 231, Japan

2) National Science Museum, Hyakunin-cho, Shijuku-ku, Tokyo 169, Japan

神奈川県山北町箒沢産含カリウムパルガス閃石および含アルミニウム透輝石

平 田 大 二¹⁾ ・ 加 藤 昭²⁾

1) 神奈川県立博物館・2) 国立科学博物館

箒沢産の石榴石スカルン中に産する単斜角閃石は、化学分析の結果含カリウムパルガス閃石で比較的SiO₂含有量の低いものである。また、共存する透輝石はAl₂O₃に富んでいる。これらは丹沢山地の中心に露出する石英閃緑岩の貫入に伴うドロマイト質石灰岩の交代作用の産物で、比較的珪酸分に乏しい高温条件下での産物である。また、丹沢山地ではこの岩体に伴われる金属の鉍化作用の痕跡がない。パルガス閃石のFe²⁺Fe³⁺置換体にあたるヘイスチング閃石は、スカルン中に産するものはしばしば著しい金属鉍化作用を伴っている。従って、含カリウムパルガス閃石は金属鉍化作用を伴わない証拠ともなり得る。また、インド産のパルガス閃石に富み含アルミニウム透輝石を含む岩石では、パルガス閃石は今回のものよりもSiO₂に富みAl₂O₃に乏しいが、含アルミニウム透輝石は逆で今回のものよりSiO₂に乏しくAl₂O₃に富んでいる。

Abstract. The average of four microprobe analyses of potassian pargasite in a garnet skarn from Hôkizawa, Yamakita-machi, Kanagawa Prefecture, is : SiO₂ 38.33, Al₂O₃ 16.69, TiO₂ 0.57, Fe₂O₃ 4.01, MgO 12.65, FeO 11.68, MnO 0.19, CaO 12.82, Na₂O 1.88, K₂O 2.20, Cl 0.09, -O=Cl₂ 0.02, total 98.01%, after the allotment of Fe into FeO and Fe₂O₃ using the basis of total of octahedral+tetrahedral cations=13 and positive charge=46. The anhydrous formula after this base is : (Na_{0.54}K_{0.42}Ca_{0.05})_{Σ1.01}Ca_{2.00}(Mg_{2.81}Fe²⁺_{1.01}Al_{0.64}Fe³⁺_{0.45}Ti_{0.06}Mn_{0.02})_{Σ4.99}Al_{2.00}(Si_{5.71}Al_{0.29})_{Σ6.00}O₂₃, or precisely a subsilicic potassian pargasite. The X-ray powder pattern is indexed on a monoclinic cell with $\underline{a}$ =9.929Å, $\underline{b}$ =18.080Å, $\underline{c}$ =5.330Å, β =105.9°. The chemical analysis of aluminian diopside in association with potassian pargasite is : SiO₂ 47.44, Al₂O₃ 7.03, TiO₂ 0.30, Fe₂O₃ 3.90, MgO 11.77, FeO 4.15, CaO 25.02, total 99.61%, after the same allotment of Fe on the basis of total cations=4 and positive charge=12, giving Ca_{1.00}(Mg_{0.66}Fe²⁺_{0.13}Fe³⁺_{0.11}Al_{0.99}

$\text{Ti}_{0.01}\Sigma 1.00(\text{Si}_{1.78}\text{Al}_{0.22})\Sigma 2.00\text{O}_6$. The Al_2O_3 contents in diopside range from 2 to 10 wt.%. That of grossular is: SiO_2 37.64, Al_2O_3 11.15, Fe_2O_3 14.95, TiO_2 0.63, FeO 1.20, MnO 0.61, CaO 33.62, total 99.80%, after the same allotment of Fe on the basis of total cations=8 and positive charge=24, giving $(\text{Ca}_{2.88}\text{Fe}^{2+}_{0.08}\text{Mn}^{2+}_{0.04})\Sigma 3.00(\text{Al}_{1.05}\text{Fe}^{3+}_{0.90}\text{Ti}_{0.04})\Sigma 1.99\text{Si}_{3.00}\text{O}_{12}$, or a ferrian grossular. The skarn was derived from dolomitic limestone due to the intrusion of a quartz-diorite mass exposed in Tanzawa Mountains.

INTRODUCTION

Hôkizawa is one of the most famous localities of skarn minerals not only in Kanagawa Prefecture but also in Japan due to the occurrences of vesuvianite (Yoshiki and Watanabe, 1932), diopside (Kamiyama, 1934a), monticellite (Kamiyama, 1934b), wollastonite (Kamiyama and Katayama, 1934), tobermorite and plombierite (Matsubara, 1980). Most of them are found in dumps derived from unspecified exposures probably developed long the contact of a quartz-diorite mass occupying an extensive area in Tanzawa Mountains with limestone, which is partially dolomitic. As seen in the natures of described minerals, most of skarn-forming minerals were produced under higher temperature and silica-poorer conditions, where the effects of retrograde stages might have existed. The studied material was collected by the first author in a dump accumulated along the river course of the River Naka, which has the drainage involving exposures of quartz-diorite, skarns and metamorphic rocks.

After the microprobe analyses, the essential constituents of the examined materials are found to be potassian pargasite, aluminium diopside, and ferrian grossular. The first one is characterized by its lower SiO_2 and rather high K_2O contents worthy of description under the name potassian pargasite, or precisely subsilicic potassian pargasite (Leake, 1978). The X-ray powder pattern is compared with that of potassium pargasite from Einstödingen, East Antarctica (Matsubara and Motoyoshi, 1985), which has a similar but slightly smaller cell, the difference being ascribed to the lodging of smaller octahedral and tetrahedral cations.

Although the locality is so prolific in skarn minerals, no remarkable metallic ore deposits are developed around the contact aureole of the quartz-diorite body. Clinoamphiboles in skarns accompanying metallic mineralization contain more $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ than the present material, or they correspond to hastingsite, the $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}$ analogue of pargasite. It seems that the content of $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ in the present pargasite is too low to accompany metallic mineralization, which was not accompanied by the quartz-diorite plutonism.

OCCURRENCE

The studied material is a piece of skarn dominated by reddish brown massive grossular with many greenish grey specks composed of two minerals, or less dark to light

grey and darker grey ones. The former is observed to be rather granular, and the latter is tabular to fibrous under the magnifier, the maximum dimensions being a millimeter across and a few millimeter long, respectively. These correspond to aluminian diopside and potassian pargasite, respectively. The grossular masses involve minor composites of latter two, but the aggregates of latter two involve no grossular grains.

In thin section grossular forms aggregates apparently composed of rather equigranular grains, all of which are devoid of birefringence. Potassian pargasite forms nearly monomineralic aggregates composed of prisms or intergrowths with prismatic aluminian diopside grains, which forms larger rectangular grains, too. Also, minute grains of potassian pargasite are included within grossular grains (Fig. 1a and 1b). Potassian pargasite is moderately pleochroic with axial colours changing from very pale grey to bluish grey.

CHEMICAL ANALYSES

Chemical analyses of potassian pargasite, aluminian diopside and grossular were made by employing Link Systems energy dispersive X-ray spectrometer as given in Table 1.

Three chemical analyses of potassian pargasite are tabulated. All of them have K₂O contents high enough to be attached with the adjective "potassian". Among pargasite analyses, the present ones, especially No.2, belong to those with lower SiO₂ content, which allows the usage of adjective "subsiliic" (Leake, 1978) as well as the figure of average, and suggest the existence of compositional continuity to magnesio-sadanagaite (Shimazaki *et al.*, 1984), this being unusually potassium dominant and silica poor clinoamphibole together with its Fe²⁺ analogue, in these no Na dominant analogues being known to date. The allotment of Fe²⁺ and Fe³⁺ in the present analyses is based on the total of the octahedral and tetrahedral cations to be 13 and of the total of cationic valency to be 46. Pargasite with similar SiO₂ content is known in eclogite, though this contains more Al₂O₃ and Na₂O and less CaO and K₂O (Bocchio, 1977). As to K₂O content in pargasite, Matsubara and Motoyoshi (1985) described potassium pargasite with $K/(K+Na)=0.63$ in granulite from Einstödingen, East Antarctica. They drew $Fe^{2+}/(Mg+Fe^{2+})-K/(K+Na)$ diagram on which the chemical compositions of their pargasitic hornblende and potassium pargasite of the same genesis are on a near linear line with a positive gradient. If the chemical composition of the present pargasite is plotted on their diagram, the point is so remote from the line, probably reflective of the fundamental difference in geologic condition.

The chemical analysis of diopside intergrown with potassian pargasite is given in column No.4. While diopside grains with rather rectangular outline in thin section have wider range of Al₂O₃ content as given in column Nos. 5 and 6. The basis of calculation of empirical formula is the total of cations to be 4 and that of positive charge to be 12. It is worth mentioning that the analysis Nos. 5 and 6 has the relation $Fe^{3+} > Al$ in the octahedral site, indicating the capability of taking up Fe³⁺ in place of Al. All the analyses

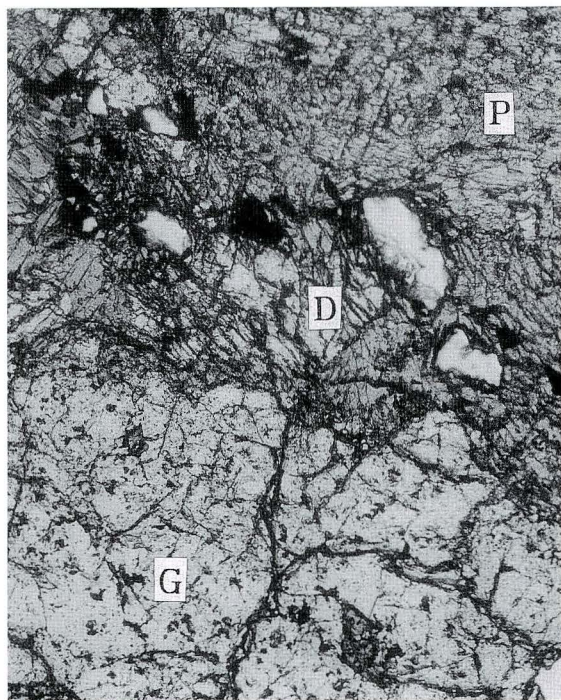


Fig. 1a. Potassium pargasite(P)(upper half) with aluminian diopside (D)(near rectangular grain in the center) and ferrian grossular(G)(down half). One polar. Field view: 1.33 x 1.75mm.

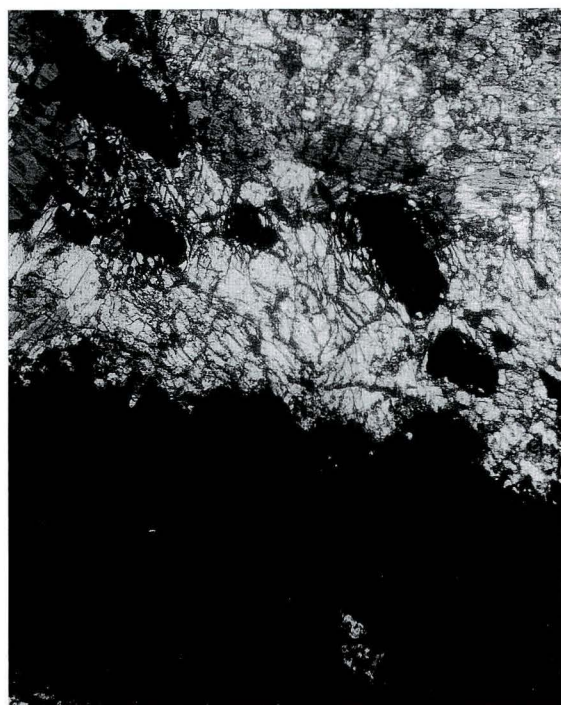


Fig. 1b. Ditto. Crossed polars.

Table 1. Chemical analyses of potassian pargasite, aluminian diopside, and ferrian grossular.

Weight percentages: (*: calculated)

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
SiO ₂	38.33	37.69	39.21	47.44	52.55	44.31	37.64
Al ₂ O ₃	16.69	17.63	15.10	7.03	2.15	9.92	11.15
TiO ₂	0.57	0.55	0.43	0.30	0.26	0.80	0.63
Fe ₂ O ₃	4.01	3.81	3.74	3.90	1.81	7.10	14.95
FeO	8.10	8.61	7.85	4.15	0.65	1.92	1.20
MgO	12.65	11.89	13.68	11.77	16.34	11.01	
MnO	0.19				0.44		0.61
CaO	12.82	12.62	12.94	25.02	26.11	25.08	33.62
Na ₂ O	1.88	1.92	1.98				
K ₂ O	2.20	2.16	2.14				
Cl	0.09	0.17					
Sum	98.03	97.09	97.07	99.61	100.31	100.14	99.80
-O=Cl ₂	0.02	0.04					
Total	98.01	97.05					

Empirical formulae: (1.~3.: anhydrous basis neglecting Cl)

1. Potassian pargasite. Mean of 4 analyses. (Na_{0.54}K_{0.42}Ca_{0.05})_{Σ1.01}Ca_{2.00}(Mg_{2.81}Fe²⁺_{1.01}Al_{0.64}Fe³⁺_{0.45}Ti_{0.06}Mn_{0.02})_{Σ4.99}Al_{2.00}(Si_{5.71}Al_{0.29})_{Σ6.00}O₂₃.
2. Ditto. The SiO₂ lowest analysis. (Na_{0.56}K_{0.41}Ca_{0.03})_{Σ1.00}Ca_{2.00}(Mg_{2.66}Fe²⁺_{1.08}Al_{0.77}Fe³⁺_{0.43}Ti_{0.06})_{Σ5.00}Al_{2.00}(Si_{5.65}Al_{0.35})_{Σ6.00}O₂₃.
3. Ditto. The SiO₂ highest analysis. (Na_{0.57}K_{0.41}Ca_{0.02})_{Σ1.00}Ca_{2.05}(Mg_{3.04}Fe²⁺_{0.98}Al_{0.51}Fe³⁺_{0.42}Ti_{0.05})_{Σ5.00}Al_{2.00}(Si_{5.85}Al_{0.15})_{Σ6.00}O₂₃.
4. Aluminian diopside. Prisms in direct contact with potassian pargasite. Ca_{1.00}(Mg_{0.66}Fe²⁺_{0.13}Fe³⁺_{0.11}Al_{0.09}Ti_{0.01})_{Σ1.00}(Si_{1.78}Al_{0.22})_{Σ2.00}O₆.
5. Ditto. A rectangular grain. The Al₂O₃ lowest analysis. Ca_{1.02}(Mg_{0.89}Fe³⁺_{0.05}Fe²⁺_{0.02}Mn_{0.01}Ti_{0.01})_{Σ0.98}(Si_{1.92}Al_{0.08})_{Σ2.00}O₆.
6. Ditto. The same grain as 5. The Al₂O₃ highest analysis. Ca_{1.01}(Mg_{0.61}Fe³⁺_{0.20}Al_{0.10}Fe²⁺_{0.06}Ti_{0.02})_{Σ0.99}(Si_{1.66}Al_{0.34})_{Σ2.00}O₆.
7. Ferrian grossular. (Ca_{2.88}Fe²⁺_{0.08}Mn_{0.04})_{Σ3.00}(Al_{1.05}Fe³⁺_{0.90}Ti_{0.04})_{Σ1.99}Si_{3.00}O₁₂.

demonstrate the coupled substitution of Al(Al,Fe³⁺) for (Mg,Fe)Si very clearly, although minor Ti may require the excess of tetrahedral Al for charge balance in such a monovalent cation free case.

Grossular is to contain higher Fe₂O₃ content, indicating that the formation of the present skarn was made under rather oxidizing condition. The microprobe survey informs the chemical inhomogeneity to be very small if present. The calculation of empirical

Table 2. X-ray powder pattern of potassian pargasite and potassium pargasite.

1.			2.			1.			2.		
I	d _{obs.}	d _{cal.}	I	d _{obs.}	hkl	I	d _{obs.}	d _{cal.}	I	d _{obs.}	hkl
10	9.02	9.02	5	9.04	020				2	1.960	190
100	8.47	8.47	60	8.47	110	1	1.937	1.937			281
			2	5.10	130	8	1.906	1.906	1	1.901	510
2	4.93	4.93	2	4.94	111	1	1.869	1.869	2	1.865	191
9	4.52	4.51	5	4.52	040	1	1.864	1.863			242
5	4.23	4.23	4	4.23	220	2	1.827	1.826	5	1.822	530
			1	3.90	131				2	1.802	0.10.0
15	3.381	3.388			041	1	1.776	1.775			2.10.0
		3.384	30	3.38	131			1.774			312
		3.381			150	1	1.733	1.733			223
45	3.288	3.284	30	3.280	240			1.733			551
85	3.155	3.145	100	3.138	310	3	1.694	1.695			082
25	2.949	2.952	12	2.949	151			1.693	5	1.689	550
		2.944			221			1.693			262
45	2.820	2.822	45	2.815	330	14	1.653	1.654			481
10	2.763	2.760	8	2.759	331			1.654			601
25	2.707	2.709	10	2.706	151			1.654			461
8	2.597	2.596	7	2.593	061	3	1.642	1.643			333
12	2.566	2.566	6	2.564	002			1.643			480
		2.563			241	4	1.617	1.618			1.11.0
		2.562			202	6	1.597	1.598			531
12	2.395	2.395	19	2.389	400			1.597			600
16	2.356	2.355	10	2.352	351	2	1.572	1.572			620
			12	2.345	421	5	1.562	1.563			1.11.1
			5	2.301	171	4	1.525	1.526			243
5	2.260	2.259	2	2.255	331			1.524			173
		2.258			080			1.524			1.11.1
2	2.234	2.230	2	2.228	042	1	1.521	1.520			192
					242	5	1.505	1.506			551
12	2.165	2.167	8	2.161	261			1.505			640
		2.164			332			1.505			0.12.0
			5	2.111	440	3	1.484	1.485			513
8	2.047	2.047	4	2.046	202	2	1.474	1.472			153
			8	2.039	402			1.472			442
					280	1	1.451	1.450			4.10.1
9	2.020	2.021	6	2.016	351			1.449			661
2	2.006	2.007	5	2.002	370	3	1.409	1.411			660

a = 9.929Å	a = 9.917Å
b = 18.080Å	b = 18.020Å
c = 5.330Å	c = 5.321Å
β = 105.9°	β = 105.49°

1. Potassian pargasite. Hōkizawa, Kanagawa Prefecture. Cu/Ni radiation. Diffractometer method. The present study.
2. Potassium pargasite. Einstödingen, East Antarctica. Cu/Ni radiation. Diffractometer method. After Matsubara and Motoyoshi (1985).

formula is based on the total cation=8 and the total cationic valency=24. Seeing from the ratio of total metallic cations to Si is close to 5:3, the substitution of H₄ for Si is unlikely.

The degrees of inhomogeneity of three examined silicates vary significantly despite the close co-existence. They are to increase in the order of grossular, potassian pargasite, and aluminian diopside if the ranges of mole percents of end member formulae are taken into consideration.

X-RAY POWDER STUDY

A few fractions of potassian pargasite were examined by X-ray powder diffractometer. All them are essentially identical, the pattern of best quality is given in Table 2 in which it is compared with that of potassium pargasite from Einstödingen, East Antarctica (Matsubara and Motoyoshi, 1985). From the indexing the cell parameters are calculated as: $a=9.929\text{\AA}$, $b=18.080\text{\AA}$, $c=5.330\text{\AA}$, $\beta=105.9^\circ$. The slightly larger unit cell edges than those of the latter will be due to the higher contents of tetrahedral Al relative to Si and of octahedral Fe²⁺ relative to Mg and the other cations.

The powder patterns of aluminian diopside forming visible aggregates are close to that given in JCPDS Card No.11-654.

The powder pattern of ferrian grossular consists of rather sharp peaks even in the higher angle region. The coincidence of calculated d-values using a cubic cell with $a=11.942\text{\AA}$ with observed ones (Table 3) will be due to the less inhomogeneous nature and to the lesser degree of deviation from the cubic symmetry, if present.

DISCUSSION

Here, two matters are considered. One is the comparison with skarns accompanying metallic mineralization represented by the existence of hastingsite, which has higher FeO and Fe₂O₃ contents, concluding that pargasite is to be involved in skarns without accompanying metallic mineralization. The other is the consideration on pargasite–diopside association, which is also found in higher grade metamorphic rocks.

Despite the frequent and extensive occurrence of skarn minerals around the acidic plutonic body located in the center of Tanzawa Mountains, the development of metallic ore deposits is very poor or essentially null. The obtained results enable to compare the mineral with hastingsite, which corresponds to the Fe²⁺Fe³⁺ analogue of pargasite and is found in skarns accompanied by metallic mineralization due to activities of acid intrusive. As far as our literature survey informs, pargasite and its potassium-bearing derivatives do not accompany any significant metallic mineralization, serving as a proof of barren skarn. The comparison of hastingsite in skarns accompanying metallic mineralization with the present potassian pargasite informs that the higher FeO, Fe₂O₃ and SiO₂ contents in the former may be responsible for metallic mineralization.

Table 3. X-ray powder pattern of ferrian grossular.

I	d _{obs.}	d _{cal.}	hkl	I	d _{obs.}	d _{cal.}	hkl
3	4.233	4.222	220	6	1.723	1.724	444
55	2.987	2.987	400	22	1.656	1.656	640
2	2.824	2.815	330	2	1.625	1.625	633, 552
100	2.670	2.670	420	37	1.596	1.596	642
8	2.547	2.546	332	9	1.493	1.493	800
30	2.437	2.438	422	2	1.470	1.470	811, 554
14	2.342	2.342	510, 431	1	1.408	1.407	660
13	2.180	2.180	531	8	1.335	1.335	840
1	2.112	2.111	440	3	1.303	1.303	842
18	1.936	1.937	611	3	1.273	1.273	664
4	1.888	1.888	620	1	1.259	1.259	851

$$a = 11.942\text{\AA}$$

Table 4. Chemical analyses of pargasite and fassaite from India and of potassian pargasite and aluminian diopside from Hôkizawa.

	1.	2.	3.	4.
SiO ₂	42.05	38.33	46.52	47.44
Al ₂ O ₃	15.86	16.59	10.07	7.03
TiO ₂	0.76	0.57	0.32	0.30
Cr ₂ O ₃	0.12		0.06	
Fe ₂ O ₃	2.36	4.01	2.22	3.90
FeO	8.35	8.10	5.26	4.15
MgO	14.18	12.65	11.45	11.77
MnO	0.21	0.19	0.31	
CaO	10.98	12.82	22.58	25.02
Na ₂ O	2.52	1.88	0.27	
K ₂ O	0.83	2.20	0.15	
H ₂ O ⁺	1.28		0.28	
H ₂ O ⁻	0.12		0.12	
F	0.08			
Cl		0.09		
-O=F ₂ , Cl ₂	0.035	0.02		
	99.665	98.01	99.61	99.61

1. Pargasite. Aganampudi, India. After Rao and Rao (1981).
2. Potassian pargasite. Hôkizawa, Kanagawa Prefecture. Same as column 1, Table 1.
3. Fassaite (=aluminian diopside). Aganampudi, India. After Rao and Rao (1981).
4. Aluminian diopside. Hôkizawa, Kanagawa Prefecture. Same as column 4, Table 1.

The association of pargasite and diopside is also found in metamorphic rocks of higher grades. After Rao and Rao (1981), a pargasite-rich rock from Aganampudi, India, contains 60% pargasite, 39% fassaite (=aluminian diopside), and 1% spinel. The rock is from a charnockite region and its metamorphic origin is very likely. In Table 4 the chemical analyses of pargasite and fassaite are compared with the present materials, column Nos. 1 and 4, Table 1 being selected. The most notable differences in pargasite analyses are the lower SiO_2 and higher Al_2O_3 contents than the Indian material, whereas the present diopside has higher SiO_2 and lower Al_2O_3 contents than the Indian material. Therefore, a cross-cutting relation of joins connecting the $\text{Al}/(\text{Si}+\text{Al})$ ratios of two minerals between two pairs comes out. In the present material, the variable Al_2O_3 contents in the examined diopside grain reveal the inhomogeneity, which has been reserved even after the subsequent formation of potassian pargasite. The multi-staged formation of diopside with different Al_2O_3 contents is very likely and a part of the products co-existed with potassian pargasite. At the present stage, the discussion on the cross-cutting relation seen in the two pargasite-diopside pairs seems meaningless.

REFERENCES

- BOCCHIO, R., 1977. Ferropargasite alluminifera in un'eclogite di Gorduno (Svizzera). *Rend. Soc. Italiana Miner. Petro.*, **33**: 519-529.
- KAMIYAMA, T., 1934a. Diopside from Hôkizawa, Kanagawa Prefecture. *Jour. Geol. Soc. Tokyo*, **41**: 20-24. (in Japanese)
- KAMIYAMA, T., 1934b. Monticellite from Hôkizawa, Kanagawa Prefecture. *Jour. Geol. Soc. Tokyo*, **41**: 25-26. (in Japanese)
- KAMIYAMA, T. and N. KATAYAMA, 1934. Wollastonite from Hôkizawa, Kanagawa Prefecture. *Jour. Ass. Petro. Miner. Econ. Geol.*, **11**: 201-206. (in Japanese)
- LEAKE, B. E., 1978. Nomenclature of amphiboles. *Amer. Miner.*, **63**: 1023-1052.
- MATSUBARA, S., 1980. Plombierite from Zarenosawa, Nishi Tanzawa. *Nat. Hist. Rept. of Kanagawa*. (1), 39-41. (in Japanese)
- MATSUBARA, S. and Y. MOTOYOSHI, 1985. Potassian pargasite from Einstödingen, East Antarctica. *Miner. Mag.*, **49**: 703-708.
- RAO, K. S. R. and A. T. RAO, 1981. Pargasite-rich rock from the Eastern Ghats, India. *Miner. Mag.*, **44**: 111.
- SHIMAZAKI, H., Bunno, M. and T. OZAWA, 1984. Sadanagaite and magnesio-sadanagaite, new silica-poor members of calcic amphibole from Japan. *Amer. Miner.*, **69**: 465-471.
- YOSHIKI, B. and S. WATANABE, 1932. Vesuvianite from Miho. *Jour. Ass. Petro. Miner. Econ. Geol.*, **8**: 28-29. (in Japanese)

総説：地球形成の場にまつわるモデルとその束縛条件

小 出 良 幸
(神奈川県立博物館)

Review: Models and Constraints in Background of the Earth's Formation

Yoshiyuki KOIDE
(Kanagawa Prefectural Museum)

Abstract. The Earth exists under the influence of the Sun, Moon, Venus, Mars, and so on. The Earth was formed under the similar situation. The earth science, however, has not always taken their influence into consideration. Therefore, the future earth science should tackle with the information of not only other planets but also galaxies and univers. Their movements, structures, conditions, and evolutions will be revealed by the new observation depending on new technology. Our Earth is the lowest constituent in the universe hierarchy. The hierarchy is classified into some stages; universe, galaxy, star, planetary system. Our planet had been formed in the open system. The formation should be understood under the influence of all hierarchical constituents. This paper is a review of the standard models of each stage and constraints which are evidences and facts based on the observation and experiments, and analyses evaluated chemistry.

I はじめに

月による干潮，太陽による日射・昼夜の変化・季節変化，隕石の衝突などは，地球の進化に影響を与えた地球外の要因として，現在の地球科学に組み込まれている。最近では，太陽系外の星，銀河内での太陽系の運動，我々の銀河と隣の銀河との相互作用など，より大きなスケールの要因も，地球に影響を与えるという考えが提唱されている。これは，地球の営みが，地球だけの閉鎖系ではなく，宇宙という解放系の一部として行われていることを意味する。また，地球外の情報の増加によって，地球を含む解放系として少しずつではあるが定量的に扱えるようになってきた。

地球の起源は，太陽系の起源につながり，さらには星の起源につながる。また，地球の化学組成を考えると，隕石の化学組成，太陽の化学組成が必要で，星の化学組成，そして元素の起源の情報も必要とする。このようなつながりを考えると，今や，地球化学者も地球だけの知識では不十分で，地球外の情報を理解しておく必要がある。本論文は，地球形成に参与する可

能性がある、宇宙の進化、銀河の進化、星の進化、惑星系の形成についての標準モデルを概観することを目的とした。

地球外の物質の化学組成は、直接化学分析することは不可能なので、元素が発するあるいは吸収する電磁波を利用して間接的に調べる。分析手法は違っても、得られた化学組成からその物質の起源や進化を知るという目的は、同じである。当然、地球化学者もそのデータを吟味し、利用できる立場にある。本論文のもう一つの目的は、元素の形成から地球形成にいたる道筋で、化学組成が関与している部分を明らかにすることである。化学組成が、概観した標準モデルの根拠や束縛条件になっている部分を整理して提示することである。

著者は、地球の岩石の化学組成を通じて、岩石の成因や地球の進化などを検討してきた。しかし、長いタイム・スケールで地球の進化を考える場合、地球だけの閉鎖系ではなく、宇宙の一員として地球を考えるなければならないことを痛切に感じ始めてきた。そこで、本論文では、無謀を省みず、専門外のレヴューを試みた。何分、即席のレヴューなので、十分な論文調査や最新情報のフォローができていないと思われる。しかし、著者ような門外漢には、役立つので、利用していただき、間違いを指摘していただきたい。本論文では、古典的な論文の引用は省略した。東京大学の青木雄一郎氏には論文の収集や概略の内容について議論いただいた。

II 宇宙

時間軸の「現在」の位置に、我々の地球は存在する。現在の地球は、形成以降百数十億年たった宇宙にあり、その形成の場は、今から46億年前の宇宙である。この宇宙は、有限の時間のなかで、今の姿へと変化してきた。つまり、宇宙には始まりがあり、時間がたつとともに不可逆の変化をとげて、そして終わりを迎えることを意味する。宇宙に関する議論は、現在盛んに行われて、理論的モデルが多数提唱されている。そのモデルを検証するために天体観測や素粒子合成実験などが行われているが、まだ実証されているような定説は確立されておらず、いくつもの理論がつぎはぎ状に組み立てられている。このような状況を把握して、地球形成の舞台としての宇宙の進化を概観する。

1 宇宙の進化モデル

i 宇宙の始まり

現在、宇宙は膨張していると考えられている。この膨張している宇宙の時間を遡っていくと、宇宙は、限りなく小さな空間へと収斂していく。その極限のサイズは、PLANCK (1900) が古典的な物理学の作用する最小の単位として導入したプランク定数によって規定される。プランク定数 ($1.05 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{sec}$) と光の速さ ($3 \times 10^8 \text{m/sec}$)、重力定数 ($6.7 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$) から最小のプランク単位が得られる。プランク質量は 10^{-8}kg 、プランク長さは 10^{-35}m である。プランク質量をエネルギーに換算するとプランクエネルギーの 10^{10}GeV が得られ、プランク長さを光速で割るとプランク時間の 10^{-44}sec が得られる。

プランク単位より小さい世界は、量子力学によって記述される。極小の宇宙の始まりは、量子力学によってモデル化されている。モデルは宇宙の波動関数決定の問題になり、いくつかの仮説が提唱されている。VILENKIN が提唱する「無の状態」からの「創造説」やHAWKING らの提唱する「境界のない境界条件」を導入した「始まりのない宇宙説」などがある。

「創造説」とは、量子力学におけるトンネル効果によって、空間の大きさがゼロの状態「無の状態」から有限の大きさに遷移したという説である。無から遷移したときが宇宙の始まりである。一方、「始まりのない宇宙説」では、時空には始まりがないとする説である。我々が感じ

ることができる実数時間に対し、量子力学の世界では虚数時間を使用できる。量子力学の虚数時間を宇宙論に導入することによって、時間と空間の区別がなくなり、時空に端がなくなり完全に閉じた4次元空間となる。どこを始まりとみなしてもよい「境界のない境界条件」が設定される。「創造説」では始まりという特異点があったのに対し、「始まりのない宇宙説」では始まりという特異点をなくしてしまったのである。両モデルとも、今のところ実証のすべがないために、多分に形而上的なものである。

ii インフレーションとビックバン

宇宙誕生から 10^{-44} 秒たつと古典的な物理学の作用が始まる(図1)。プランク時間以降の量子宇宙からビックバン(big bang)へと移行する急激な加速膨張の時期を、インフレーション(inflation)と呼ぶ。このようなプロセスを想定すると、宇宙の平坦問題、地平問題などが解決できるほか、密度のゆらぎが量子的に形成されるという、ミクロとマクロの両方が結びつけられる利点がある。

ビックバンは、1946年ころGamowが提唱した宇宙の始まりを漠然と指すものであったが、現代宇宙論ではモデルにより様々に限定されて使われる。一般には、ビックバンは、宇宙の始まりの 10^{-35} 秒後で、インフレーションが終わった時期で、温度は 10^{27} Kから急激に下がり、大きさが 10^{-35} mから 10^{-2} mまで膨張する時期である。

ビックバンの時期に、物質の形成がおこなわれる。最初に形成される物質は、クォークとレプトンという素粒子である(素粒子については後述)。クォークが3個結びついて、中性子や陽子などのハドロンが形成される。これが「クォークの閉じこめ」(quark confinement)で、ハドロン期と呼ばれる。

ハドロン期のつぎに、レプトン期と呼ばれる時期がくる。レプトン期は、宇宙の温度が下がり、電子などのレプトンが宇宙の構成要素となり、ニュートリノが自由に飛び回る時期である。バリオン数(後述)に関しては非対称であることは判明しているが、レプトン数に関して非対称かどうかはわかっていない(佐藤勝彦, 1988)。

ビックバン期の高温状態では、電子が原子核に捕らわれることなく、プラズマ状態として遊離する。原子核が電子を取り込むのは、50万年後温度が3,000Kになってからである。このときまで、電子は自由に飛び回っているため、光が散乱されてまっすぐ進めなかったのが、水素原子形成を境にして光はまっすぐ進めるようになる。このときを「宇宙の晴れ上がり」という。

インフレーションでは急激な加速膨張の時期であったのが、ビックバンの時期には膨張速度が減りはじめる時期にあたる。宇宙に存在する物質の重力によって膨張速度にブレーキがかかり、時間とともに膨張のスピードが遅くなっていく。膨張にともなって宇宙の体積が大きくなると、エネルギー密度は小さくなり、宇宙は冷え、現在の2.7Kでまで下がった。

iii 宇宙の終わり

宇宙の将来は、その曲率が重要な鍵を握る。曲率を求める原理は非常に簡単で、宇宙空間で3点のつくる三角形の内角の和が180度以下なら閉じており、180度以上なら開いており、180度なら平坦である。現在、宇宙の曲率の正確な測定には成功していないが、現在の宇宙の曲率は、非常にゼロに近いとされている。

ハッブル定数(後述)がわかると、宇宙が閉じるために必要な、最低の密度が計算でき、臨界密度と呼ばれている。観測から、宇宙の平均密度が推定できる。観測された密度を臨界密度で割った値を Ω という。 $\Omega > 1$ ならば宇宙空間は閉じていることになり、 $\Omega < 1$ ならば開いて

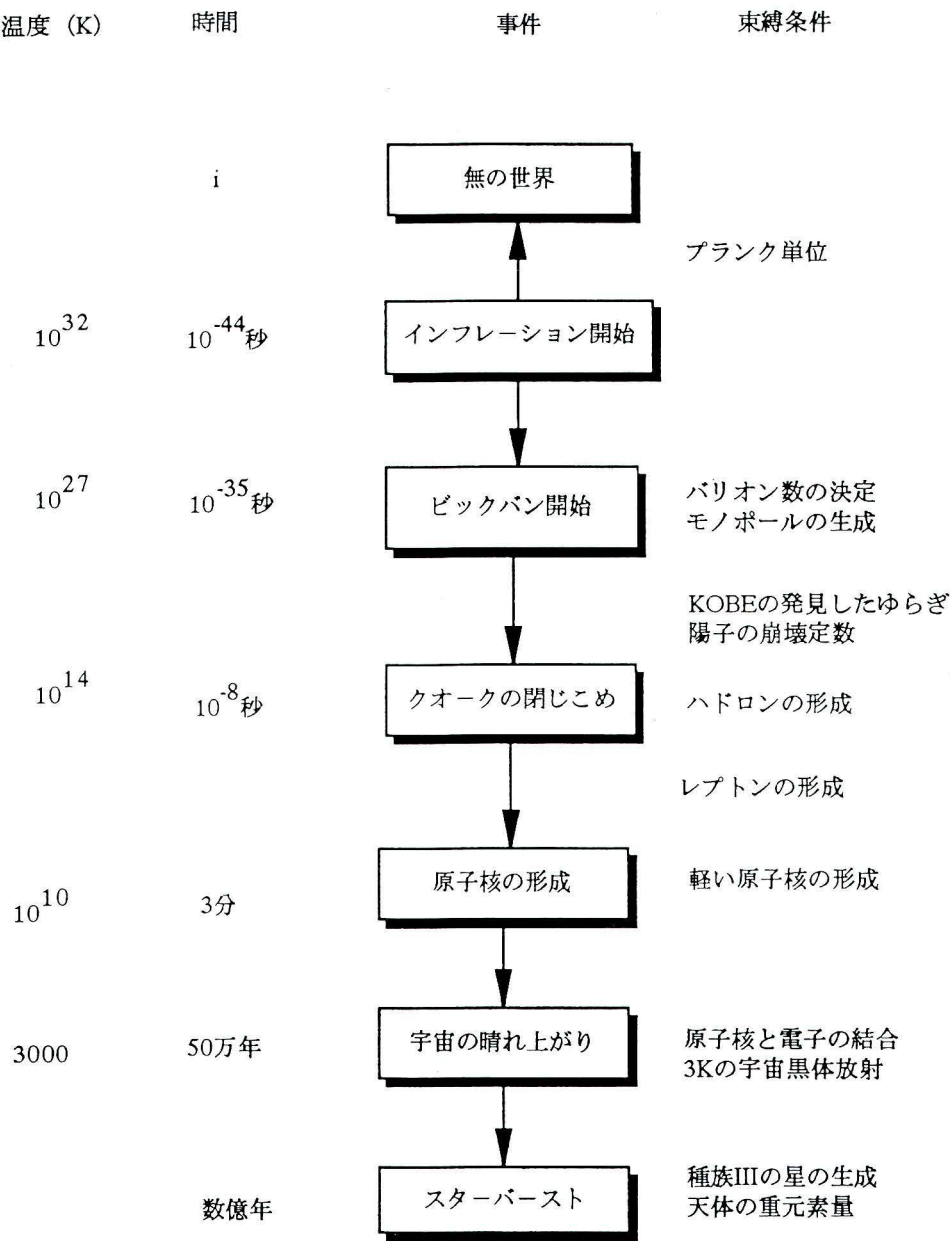


図1. 宇宙初期の進化. 宇宙初期に起きたと考えられている事件と時間, 温度そして事件と関連する束縛条件を示した. 温度は, ビックバンより50万年 (1.5×10^{14} 秒) 後を3,000 Kとして計算した.

おり, $\Omega = 1$ なら平坦であることになる。観測で求められる物質量は $\Omega = 0.01 \sim 0.1$ と小さい。一方, 百数十億年たった現在の宇宙がまだ膨張していることから, 宇宙の平均密度は $\Omega = 10$ 以下であると考えられる (並木, 1990)。もし, $\Omega \geq 1$ なら, 現在の観測技術では見つかっていない物質があると予想されている。このような物質は暗黒物質 (dark matter, invisible matter,

missing mass など) と呼ばれている。

Ω の値が 1 を境にして、宇宙の最後は、全く違ったものになる。

$\Omega = 1$ で宇宙の平均密度と臨界密度が等しいとき、空間の曲率はゼロとなる。宇宙はかろうじて膨張を続けることができる。このような状態の時空を、平坦な宇宙という。

$\Omega < 1$ の開いている宇宙の最後は、ひたすら膨張を続けることになる。並木 (1990) は、以下のような終わりを描写した。寿命の長い星やこれから生まれる星を考えると、今から 10^{14} 年後には、銀河にある星はすべて白色矮星や中性子星、ブラックホールになってしまう。重力により星どうしが接近しあって銀河面からの軌道が乱れ、銀河から脱出する星が増えていく。 10^{18} 年くらいたつと、銀河から星やガスが離れて、質量の 9 割くらいがなくなり、銀河は実質的に蒸発してしまう。 10^{29} 年くらいたつと、まだ確認はされていないが陽子の崩壊がおこったとすると、残った高密度星の陽子も崩壊して陽電子になる。陽子の半減期 (10^{32} 年) 程度たつと、宇宙の物質の半分が陽子崩壊する。 10^{100} 年たつと巨大ブラックホールも蒸発してしまう。そして最後には電子と陽子が崩壊してできた陽電子、ニュートリノ、光子のみとなる。

$\Omega > 1$ 以上の閉じた宇宙は、膨張がある時から収縮に転じる。収縮によって光子は高いエネルギーをえて、水素原子をイオン化する。更に収縮すると、星の外部の方が高温になり星は融け始める。同時に巨大ブラックホールは、星や星の残骸を吸い込んで巨大な銀河ブラックホールになっていく。銀河ブラックホールは成長を続け、ビックバンとは逆の爆縮 (ビッククランチ: big crunch と呼ばれる) がおこる。宇宙は、またビックバンをおこす。膨張、収縮を永遠に繰り返す振動宇宙になる。

2 観測事実と束縛条件

○宇宙の階層

1980 年代以降、観測データの増加によって、現在の宇宙の構造がかなり明らかになってきた。その結果、宇宙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ことがわかってきた (図 2)。

階層のなかで最小の単位は、星である。星にも、惑星系というよりさらに下位の構造がある。星は、いくつかあつまり、星の集りである星団を作る。星団は、散開星団と球状星団がある (表 1)。散開星団は、100 から 1,000 個の星の集まりで、若い星、種族 I の星 (後述) から構成されている。この星団は 300 光年ほどの厚さの薄い層の銀河面に分布する。一方、球状星団は、散開星団より、星の数や大きさの上でも大規模で、年老いた星、種族 II の星を主とする。球状星団は銀河をとりまく直径 20 万光年の球状のハローに分布する。

銀河は、 $10^{10} \sim 10^{12}$ 個の星、そして星と星の間に分布する星間物質によって構成されている。そして、我々の銀河以外に無数の銀河あることが明らかになった。現在、58,500 個ほどの銀河が記載されている。銀河も平均的に分布するのではなく、粗密があり、粗密の分布に階層的な構造がある。

銀河の上の階層は、銀河群と呼ばれるものである。20 個以下の銀河の集まりで構成されている。典型的な銀河群は、190 光年の範囲に 5 個ほどの銀河が集まっているものをいう。それぞれの銀河は相対速度 100 km/sec ほどで運動している。

次が、銀河団と呼ばれる階層である。銀河団は、50 個程度ときには 1,000 個を越す銀河が、1,000 万光年ほどの領域に密集している。現在、4,000 個ほどの銀河団カタログが作られている。それぞれの銀河団は、相対速度数百 $\sim$ 1,000 km/sec で運動している。

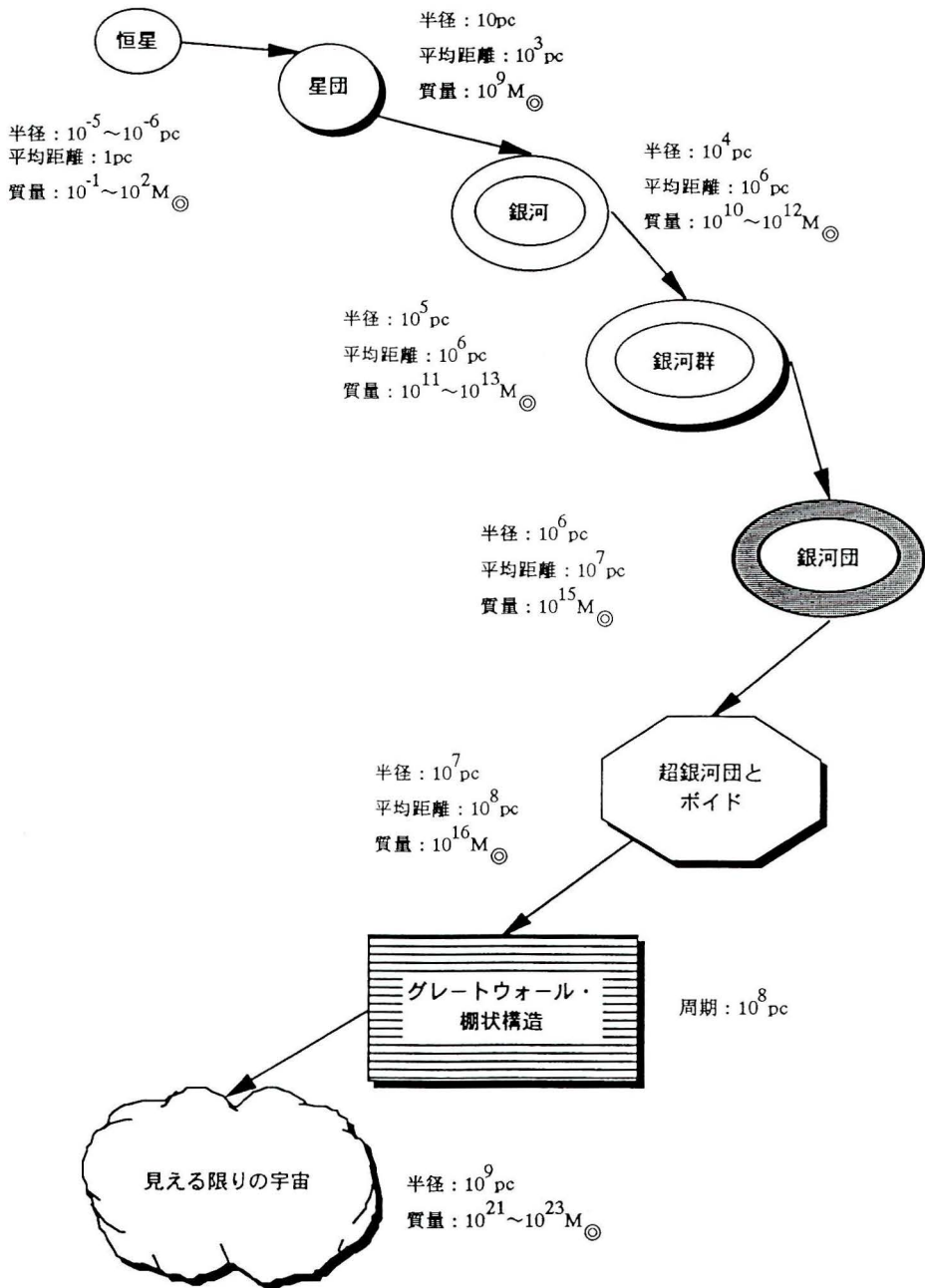


図2. 宇宙の階層. 上から下に向かって宇宙の階層が上がり, 大規模になる. 各階層には規模を示すデータを付け加えた. pcはパーセック(parsec)で $1 \text{ pc} = 3 \times 10^{16} \text{ m}$, $M_{\odot}$ は太陽質量で $1 M_{\odot} = 1.99 \times 10^{33} \text{ g}$ である.

表 1. 散開星団と球状星団.

	散開星団	球状星団
恒星数	$10^2 \sim 10^3$	$10^4 \sim 10^6$
半径	$2 \sim 10 \text{pc}$	$20 \sim 200 \text{pc}$
種族	I	II
年齢	0年～100億年	100億年～150億年
平均寿命	2億年	≥ 100 億年
重元素含有率	2% (太陽程度)	太陽の数分の1～1/100
銀河内の分布	銀河面と渦状腕	全体に球状分布
運動	銀河回転	離心率0.6
総数 (発見数)	≥ 2000 (約1500)	約200 (約130)
恒星の質量	$\leq 30 M_{\odot}$	$< 1 M_{\odot}$
星団の質量	500	10^5

pcはパーセック (parsec) で $1 \text{ pc} = 3 \times 10^{16} \text{ m}$, $M_{\odot}$ は太陽質量で, $1 M_{\odot} = 1.99 \times 10^{33} \text{ g}$ である.
磯部 (1993) による.

カミノケ座と隣のA1367銀河団の間にも銀河があり、つながっており、その回りには銀河がほとんどない領域がある。超銀河団とボイド (超空洞: void) である。超銀河団は、1 億光年ほどの大きさの銀河団や銀河群の集まりである。直径 3 億光年もあるような空洞域が見つかっている。このような、超銀河団とボイドが織りなす構造は、宇宙のどこでも普遍的にあり泡状構造と呼ばれる。泡状構造は、泡の表面に銀河が分布し、泡の本体がボイドに相当するような 3 次元的なものである。泡状構造でもっとも近いものは、我々の銀河から 4 億光年のところに、銀河の密集するグレートウォール (great wall) がある。グレートウォールのような構造は、4 億光年周期で繰り返しており、棚状構造と呼ばれる。

宇宙には、物質の粗密が、さまざまなスケールで分布していることがわかってきた。池内 (1993) は、最近の観測結果を以下のようにまとめた。10Mpc ($1 \text{ Mpc} = 3.09 \times 10^{14} \text{ cm}$) のスケールの分布の規則性, 30Mpc を上限とする泡構造, 100Mpc を特徴的な長さとするグレートウォール構造, 10～50Mpc で500km/sec程度の一様膨張からのずれ, 宇宙の平均密度が平坦な宇宙になるには $\Omega = 0.2$ 程度であること, 銀河間ガスが $z > 4$ (z は赤方偏移: 後述)の時点でイオン化されていること, クェーサー (quasar) は $z = 4.9$ にでき $z = 2$ のころ急増し以降急減すること, 電波源をもつ銀河は $z = 3.8$ のころに現れ, 電波源を持たない銀河は $z = 3.4$ のころに登場すること, $z \geq 4$ のころ銀河間の雲や銀河の円盤が多数存在することなどである。以上のことから、池内は、 $z > 5$ 頃, 星の進化過程は我々の近傍の銀河のものつまり最近のものと差がないが、宇宙初期の大構造が形成された時期と考えた。

○素粒子の合成

宇宙の物質は、100種類程度の元素でできている。元素は、原子核と電子から構成されている。原子核は、陽子と中性子、その他の素粒子からできている。同じ元素であっても、中性子の数の違いが質量数の違いとなり、同位体を生じる。各元素は、一般に質量数の違う同位体をいくつか含み、同位体元素の数は、280程度になる。

素粒子は、現在300程度の種類が発見され、まだ未発見のものがあるとされている。素粒子は、

理論が予測し、検証を加速器がおこなってきた。加速器は、核子や素粒子をぶつける装置である。素粒子のぶつかる場所は、高エネルギー状態になる。つまり宇宙の初期状態を再現していることになる。

原子核を作る陽子 (proton) と中性子 (neutron) は核子 (nucleon) と呼ばれる。核子はクォーク (quark) 3 個からできていることが、加速器を用いた実験で確かめられた。核子や核子より重い素粒子をバリオン (baryon: 重粒子ともいう) という。中間子 (meson) とバリオンをハドロン (hadron) という。したがって、この世の形あるものは、すべてハドロンからできていることになる。ハドロンのうち中性子は、電子とニュートリノ (neutrino) を放出して陽子になる。その逆の反応もおこる。ただ、陽子は中性子より重いので、両反応は完全に対照的には起こらない。つまり、重い中性子から軽い陽子への反応の方がおこりやすくなる。

素粒子の中でも、クォークは基本的な素粒子だと考えられている。クォーク以外に基本的な素粒子として、光子 (photon) などからなるゲージ粒子 (gauge boson: 場の粒子) と、電子やニュートリノからなるレプトン (lepton: 軽粒子) がある。このような素粒子が、物質の基本的なものだと考えられている。基本的な素粒子の中で、トップクォークと呼ばれる素粒子以外は、加速器によってその存在は確認されている。

宇宙の始まりには、まだ陽子や中性子は存在せず「クォークのスープ」と呼ばれる時期があった。「クォークのスープ」とは、レプトンと力の粒子 (graviton: 未発見; ROZENTAL, 1988) がばらばらになったクォーク中にぎっしり詰まった状態をいう。大部分の正と反のバリオンは対消滅するが、正のバリオンが若干多かったのが残る。この残る割合は「宇宙バリオン数」と呼ばれ、バリオン全体の 10^{-8} ほどで、これが今の宇宙を作る物質になっている。

○宇宙の年齢

宇宙の年齢は、いくつかの方法で見積もられているが、何らかの前提をもうけて推定したものである。そのいくつかを紹介する。

RUTHERFORD & SODDY (1903) によって発見された放射性元素は、年代を測定するのに重要な役割を演じる。放射性元素を用いると定量的に年代が求められ、地球の岩石や隕石で成功している。

$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ と $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ の同位体比を用いるモデルによると、太陽系を作っている元素の合成は、それぞれ $11 \sim 16 \times 10^9$ 年前、 $12 \sim 17 \times 10^9$ 年前から始まったとされる (FOWLER, 1972)。 ^{87}Sr と ^{87}Rb を用いる方法では、 $10 \pm 3 \times 10^9 \sim 16 \pm 5 \times 10^9$ 年の年代が推定されている。 $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 、 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 、 $^{244}\text{Pu}/^{238}\text{U}$ の 4 つの同位体比を用いるモデルでは、 $10.6 \pm 2 \times 10^9$ 年の年代が得られている (FOWLER, 1972)。 ^{187}Os と ^{187}Re を用いた推定では、合成モデルによって $13 \pm 1 \times 10^9$ と $22 \pm 5 \times 10^9$ 年という結果が得られている (CLAYTON, 1968)。 ^{235}U と ^{238}U 、 ^{232}Th とその娘核種である ^{207}Pb 、 ^{206}Pb 、 ^{208}Pb を用いたモデル計算では、宇宙の形成年齢として、 1.08×10^{10} 年程度の年齢が得られている。

^{232}Th と ^{142}Nd の量をスペクトル観測から求め、宇宙の年齢を推測する方法がある。Th/Nd 比は、我々の銀河のディスク内の星では変化が認められない。この事実は、星の年齢が ^{232}Th の崩壊係数 2×10^{10} 年よりかなり短いことを示す (松本, 1988)。この事実を利用したモデル計算によると、 $0.96 \sim 1.1 \times 10^{10}$ 年の年齢が得られている。

球状星団の HR 図と星の進化理論を比較して宇宙の年齢を求めると、 1.3×10^{10} 年という推定値が得られている (野津, 1978)。

星の進化理論による白色矮星の寿命が $9.0 \pm 1.8 \times 10^9$ 年であること、観測による白色矮星の光度関数から、宇宙の年齢が $1.03 \pm 0.22 \times 10^{10}$ 年が推定されている。

遠くの星から届く光は、その距離が大きいほど古いものになる。したがって、最も遠くの天体を探せば、最も古い天体が決まり、宇宙はその天体よりも前にできたことになる。現在、最も遠い天体は、クェーサー (quasar) と呼ばれるものである。もっとも遠いクェーサーは、123億年前のPC1247+3406で、宇宙の形成は123億年より古いということになる。

ハッブル定数が決まれば、その逆数は宇宙の年齢 (ハッブル時間と呼ばれる) とみなすことができる。ただ、現在得られているハッブル定数は、誤差が大きい。したがって、ハッブル定数から導かれるハッブル時間の誤差の大きき、 $9.8 \sim 20 \times 10^9$ 年程度とされている (表2)。

表2. ハッブル常数.

研究者	発表年	ハッブル定数 (km/sec/ 10^6 光年)	ハッブル年齢 (億年)
Hubble	1929	17	176
Sandage & Tammann	1974	17.0 ± 2.7	152~210
Sandage & Tammann	1975	17.5 ± 0.9	163~181
van den Bergh	1975	$29.1 (+4.6, -3.7)$	87~118
Sandage & Tammann	1976	15.4 ± 1.3	183~213
Tully & Fisher	1976	24.5	122
Heidmann	1977	25.5 ± 5.8	96~152
Lyden-Bell	1977	33.7	89
Peeble	1977	12.9~23.6	127~233
Peeble	1977	10.1~26.1	115~297
Visvanathan	1979	15.6	192
Visvanathan & Sandage	1977	15.1 ± 1.2	184~216
de Vaucouleurs	1979	30.7 ± 3.1	89~109
Hanes	1979	24.5 ± 3.4	108~157
Kennicutt	1979	$18.4 (+4.6, -3.1)$	130~196
Kennicutt	1979	19.9	151
Aaronson et al.	1980	29.1 ± 1.2	99~108
Kennicutt	1980	16.9	178
Mould et al.	1980	19.9 ± 1.2	142~160
Stenning & Hartwick	1980	23.0 ± 4.6	109~160
Sandage & Tammann	1982	15.3 ± 2.1	172~227
Nielsen	1984	23.6	127
Sandage & Tammann	1984	17.8 ± 3	144~203
Aenett et al.	1985	18.1	166
Aaronson	1986	28.2 ± 0.3	105~108
de Vaucouleurs	1986	33.4 ± 1.2	87~93
Bottinelli et al.	1986	18~21	143~167
Gouguenheim	1987	22.1 ± 1.0	130~142

松本 (1988) と鈴木敬信 (1991) より引用した。ハッブル年齢はハッブル定数から計算した。

各種の方法で宇宙の年齢は推定されているが、どれも誤差が大きく、 $0.9 \sim 2 \times 10^{10}$ 年と非常にレンジの広いものとなっている。宇宙の年齢の確定はされていないが、平均的には150億年がよく使われる。ただし、その誤差は、 ± 50 億年である。

○陽子崩壊の検証

「宇宙バリオン数」の説明には、まだ定説がないが、仮説のひとつに大統一理論（GUT: Grand Unified Theory）がある。GUTでは、モノポール（monopole：磁気単極子）の存在と共に、陽子が $10^{30} \sim 10^{32}$ 年で崩壊するという予言がなされている。もし、この陽子崩壊が確認されると、ビッグバンのころの宇宙の証拠を見いだしたことになる、GUTの信憑性がでてくる。

陽子崩壊の実証を各地で試みられている。日本の神岡鉱山の地下1,000mに設置されたカムイオカンデは、ニュートリノの観測装置として有名だが、もともとはGUTで予言された陽子崩壊の現場の検証を試るためのものであった。しかし、陽子の崩壊は現在まで一度も確認されず、 10^{31} 年以下の半減期ではないことが実証された。また、モノポールも今だに発見されていない。予言した現象が確認されないことから、GUTは改変をせまられている。

○「ゆらぎ」の発見

現在の宇宙には、星団、銀河、銀河群、銀河団、超銀河団、グレートウォールなどさまざまなレベルでの構造がある（図2）。このような構造の存在は、宇宙には物質のレベルで、ムラがあることを示している。

1989年、ゴダード宇宙飛行センターから打ち上げられたCOBE衛星は、宇宙背景放射を測定し、不均質さのあることを発見した。その宇宙背景放射に見つかった「ゆらぎ」は、 10^{-5} 以下のオーダーである。宇宙背景放射のゆらぎは、非常に初期の宇宙のゆらぎを見ていることになる。

いままでのモデルでは、このようなムラのできかたは示されていない。いつ、どこで、どうしてこのような構造ができたかが問題になってくる。背景放射のゆらぎは、温度のゆらぎを見ていることになる。温度のゆらぎは、密度のゆらぎに比例する。密度のゆらぎは、重力によって増幅されていくため、いったんできた密度のゆらぎは成長していく。

ゆらぎと宇宙の大構造との因果関係はよくわかっていない。暗黒物質による先導説や銀河規模の大爆発説、宇宙ひも（cosmic string）説、ソフト相転移（宇宙壁）説などがあるが決着がついていない。それは、池内（1993）によれば、このゆらぎに対応するような観測される天体がないこと、ゆらぎを形成するには暗黒物質のような重力以外の不明瞭な作用を必要とすることなどから、初期条件より時間を遡るようなモデルは今のところできそうもないらしい。

○ビッグバンの証拠

ビッグバン理論は、観測可能な3つの現象を含んでいる（並木、1990）。それは、ハッブルの法則と宇宙背景放射、軽い原子核の存在比である。実際に理論的に予言されたものは、宇宙背景放射である。この3つの観測事実によって、ビッグバン理論が第一近似としては正しいことが証明された。しかし、ビッグバン理論による宇宙の一樣かつ等方であるという「宇宙原理」は、前述の「ゆらぎ」の発見と宇宙の大構造の発見によって、ビッグバン理論やインフレーション理論の改変やより精密な理論の導入がせまられている。

ハッブルの法則

ハッブルの法則は、1929年にHUBBLEによって発見されたもので、銀河がお互いの距離に比

例した速度で離れていくというものである。速度は、赤方偏移で求められる。天体の赤方偏移は、宇宙の膨張によるドプラー効果であると考えられている。従って赤方偏移は、後退速度と光速の比 (z) で近似できる。

銀河の後退速度 (v) は、銀河間の距離 (r) とハッブル定数 (H_0) から、

$$v = H_0 \cdot r$$

と表現できる。ハッブル定数は、時間に依存せず一定の値を持つと仮定されているが、どのような時期でも一定であったという検証はなされていない。

ハッブル定数は、宇宙を記述するのに非常に重要なものであるにもかかわらず、精度良く決定されてない。それは、遠くの天体の距離を正確に決める方法が、まだ確立されていないためである。1970年以降のデータは、表2にまとめてある。このような値は、平均を求めることにあまり意味はなく、精度のよい観測値が出される必要がある。現在、 $15 \sim 31 \text{ km/sec} \cdot 10^6 \text{ 光年}$ 程度の値が使われている。

宇宙背景放射 (宇宙黒体輻射とも呼ばれる)

1965年のPENZIASとWILSONの偶然による宇宙背景放射の発見により、GAMOWの予言が確認され、ビックバン理論が実証された。ビックバンのときに放射された光が、現在宇宙を満たしている光である。光は激しいドプラー効果によって、その波長は約1,000倍に伸び、現在は主としてミリ波やマイクロ波にかけた電波領域で観測される。この光のスペクトルは、宇宙背景放射と呼ばれ、非常に均質なものである。この宇宙背景放射は、かつて宇宙が、高温・高密度の状態を経験したことを示している。

軽い原子核の存在比

GAMOWのビックバン理論では、宇宙の始まりの3分間で、宇宙を構成する元素がすべてできたとした。しかし、その後、ビックバンの膨張があまりに急激であったために、形成される原子は、ほとんどがHで、ついでHeと、少しのLiとBe、Bしかできないことがわかってきた(寺沢, 1986)。

宇宙が冷えてくると、中性子と陽子が結びついて ^2H (^2D とも書かれる)の原子核を作る(図3)。 ^2H は形成されても、高温状態ではすぐに光を吸って中性子と陽子に分解する。しかし、宇宙が膨張によって急速に冷えてくると一部が残り、 ^2H 同士がぶつかり結合する。そのとき陽子が飛び出すと ^3H (^3D とも書かれる)ができ、中性子が飛び出すと ^3He ができる。 ^3H に ^2H がぶつかり中性子が飛び出し ^4He の原子核が、 ^3He に ^2H がぶつかり陽子が1個飛び出して ^4He ができる。ビックバンから3分後には、温度が 10^9 K まで下がり、さらにLi, Be, Bが作られる。宇宙の創世時につくられる元素は、Bまでである。質量数5と8に安定な原子核が存在しないことと、非常に短期間での原子核合成であったので、軽元素だけしかできなかった。

陽子と中性子の生成と消滅の反応が対称的でないため、陽子と中性子の存在比は、1対1ではなく、10対2になる。このような条件のもとでは、HとHeの存在比は12対1で、質量比では3対1になると計算されている。

Heの合成は、星の中でも起こるが、星のなかで形成されるHeの量は、理論的には現在観測されているHeの量の100分の1程度にしかならず (ARIMOTO & YOSHII, 1986)、宇宙創世の時期にすでにHeが観測される程度合成されていたことになる。

宇宙の元素存在度は、全元素中のHの質量をX, HeをY, その他の重い元素をZで表わす。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 (YANG *et al.*, 1984)。星の進化のモデルから、質量、光度、年齢を利用してYを求めると、

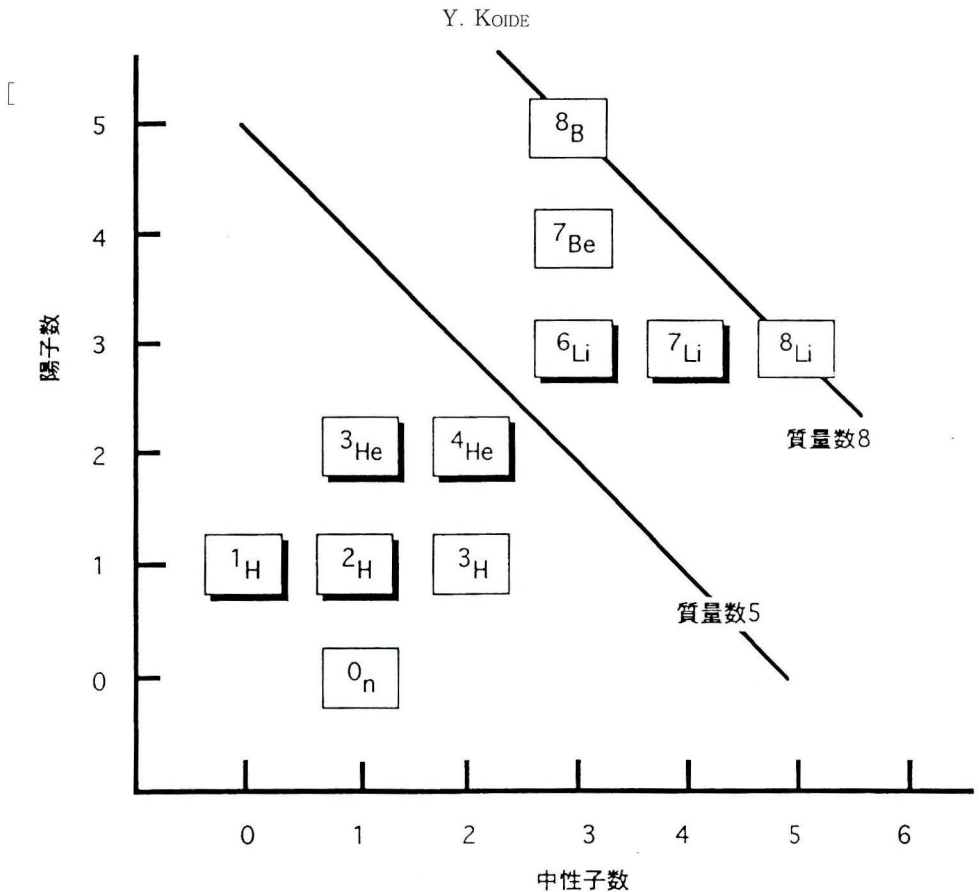


図3. ビッグバンで形成される原子核. 縦軸が陽子数で横軸が中性子数, 足したものが質量数になる. 四角の中に元素記号と質量数を示した. 元素記号のうち, nは中性子を示す. 影の付いた四角の原子核は安定で, 影のないものは放射性核種である. 実線で示した質量数5と8のところには安定な原子核はない.

0.27~0.32になる。我々の太陽プロミネンスのYの観測値は0.38, 太陽風のYは0.20である。一般の星のYは, 0.25~0.27である。我々の銀河の星間ガスのYは, 0.29である。大マゼラン星雲のYは0.29で, 230万年前の銀河NGC6822は0.27, 290万年前のNGC598 (M33と呼ばれる) 銀河はY=0.34, 約1,000万年前のNGC4449銀河はY=0.28である。宇宙のどこをとっても, どの時代をとっても, 非常にHeの値は一樣である。これは, 星の進化によってYがそんなに変化しないことを示す。つまり, 宇宙に存在するHeの存在度は, 星のなかではそんなに消費されず, 宇宙初期に形成された元素比のままであることを意味する。

厳密に始源的なYの値を議論するには, 星の核合成のHe分を差し引くか, 重元素で汚染されていないものを利用して比べる必要がある (佐藤勝彦, 1988)。重元素の汚染は, O/H比でチェックできる。O/H比が小さいほうが重元素による汚染が少ない。O/H比の少ないオリオンのHII領域 (後述) ではY=0.30±0.02, 小マゼラン星雲は0.27程度である。また, O/H比の少ないHII領域は, 0.22~0.3までばらつき, 平均では0.25程度である。その他, 化学的進化の進んでない小銀河の観測から, 0.23~0.27という観測結果が得られている。以上のことから, 宇宙創世の生産量は, Y=0.24±0.02と推定されている (YANG *et al.*, 1984)。He以外の

も、元素合成モデルから得られる値と観測値は非常によい一致を示す。

○暗黒物質

宇宙初期の高温・高密度状態では、各粒子の対創成が可能である。しかし、宇宙の膨張で温度が下がると、粒子は対消滅する。しかし、何らかの理由のために対消滅しなかったバリオンが残った。このような「バリオン数」は、ビッグバン時代の残存物(relict)とみなせる。物質はバリオンからできおり、遠くの天体もバリオンの放射(電磁波)を通じて存在が確認されている。

もし、宇宙の初期にバリオン以外の素粒子で対消滅を免れた残存物があったとし、その素粒子が質量を持っていたとしたら相当な量になるはずである。暗黒物質は、天体になりにくく、電磁波を放出せず、その他の相互作用も非常に弱いという条件を満たさなければならない(佐藤文隆, 1988)。現在の観測技術で暗黒物質を見つける方法は、暗黒物質の塊があれば、宇宙の各階層の構造に予想外の重力作用を及ぼすはずである。間接的ではあるが、このような重力作用から暗黒物質を探知できる。また、宇宙の膨張のスピードは、暗黒物質を含む総質量に見合ったものになるはずである。ハッブル定数の正確な測定ができれば、暗黒物質自体は確認できないが存在は確認できる。

光子もビッグバン時代の残存物である。宇宙初期の光子は宇宙背景放射として観測される。ただ、光子は質量がゼロのため暗黒物質とはならない。その他にも、各種の未発見の素粒子(アキシオン、質量を持つニュートリノ)やブラックホール、多数の褐色矮星などが暗黒物質の候補として考えられているが、まだ確定はされていない。

III 銀河

地球の起源を考える場合、その舞台として一番重要なのは、我々の銀河である。我々の銀河の外には、多数の銀河があることが知られている。そのような銀河の比較検討から、分類がなされ、そして進化モデルが提唱される。銀河には、多様なものがあり、単純な成因でなく複雑な生成環境や履歴をもっていることが予想される。銀河の分類とその進化モデルを概観する。

1 銀河の進化

i 銀河の分類

銀河は、形態によって分類されている。楕円銀河(E型)、渦巻銀河(S型)、レンズ状銀河(S0型)そして不規則銀河(I型)に分けられる(表3)。銀河の各タイプは、色との間により相関があり、不規則銀河→渦巻銀河→楕円銀河の順に青から赤みを帯びる(吉井, 1989)。

楕円銀河は、ディスク(円盤部)がなく、明るさが中心から外に向かって減っていく。球状のE0から極端な楕円までのE7までの8種に細分される。楕円銀河を構成している星は、ランダムな回転運動をしている。そのため楕円銀河全体としては、回転は非常に小さい。楕円銀河には、年老いた赤っぽい星が多く、星間ガスがほとんど残っていない。これは、楕円銀河内では、新しい星が生まれることが少ないことを物語っている。

渦巻銀河は、バジル(中心部)とディスク(円盤部)の部分からなる。丸い形をしたS型(SA型とも書かれる)と、バジルを串ざしにする棒状の構造をもつSB型に区分される。また、両タイプは、渦巻の開き具合によって、最も強く巻き付いたa、中くらいのb、緩く開いているcの3タイプに分けられる。ディスクの部分は、星間ガスが豊富で、若い星が主体であるのに対し、バジルでは老いた星が多い。渦巻銀河の中では、ScやSBc型が星間ガスを最も多

表 3. 銀河の分類.

銀河	略号	細分	頻度	星間物質	バジル	ディスク	構成種族
楕円 レンズ状	E	E0~E7	13.0	なし	あり	なし	種族II
	S0	S0	21.5	なし	あり 丸い 棒状	あり	種族II
渦巻	S	SB0	61.1	多い	あり 丸い 棒状	渦巻腕	バジル：種族II ディスク：種族I
		Sa, Sb, Sc SBa, SBb, SBc					
不規則	I	Im, I0	4.3	最も多い	なし	なし	

く含んでおり、新しい星が次々と生まれている銀河である。

レンズ状銀河は、バジルとディスクの区別があるが、ディスクに渦巻状の腕を持たないものである。ディスクに棒状の構造を持つSB0と持たないS0型のふたつに分類される。レンズ状銀河は、楕円銀河と渦巻銀河の中間的なものに位置づけられる。比較的安定した回転運動をしているが、星間ガスがほとんどない。

不規則銀河は、上の3つのどれにも属さないものである。

ii 銀河の進化モデル

銀河の形態分類は、1920~1930年代にかけてHUBBLEがおこなったものである。HUBBLEは、形態の違いは銀河の進化の程度の違いであると考えた。しかし、現在では銀河の形態の違いは、銀河形成の初期条件の違いで、銀河のもとになったガス雲の回転の程度の差だと考えられている。

楕円銀河は、ガスの回転が弱いときにできると考えられている。ガスの回転が弱いと、ガスが急速に収縮して、星が一斉に成長し始める。このような星は、種族IIの星（後述）と呼ばれる。そのうち太陽質量の 10^{12} 倍ぐらいの大きな質量の銀河では、1億年程度で、巨星に進化してしまう。質量の小さな銀河では衝突の頻度が多くなり成長時間はもっと短くなる。巨星は高温・高圧のガスを吹き出し、超新星爆発をする。超新星爆発によるガスの放出は、ほとんど同時に起こる。多くの星から吹き出される高温のプラズマ状のガスによって、銀河に残っていた星間ガスも銀河の外に吹き飛ばされる。これを銀河風という。Arimoto & Yoshii (1987) のモデルでは、10億年程度で、銀河風がおきる。吹き出た高温のガスは、銀河を囲むハローとなる。このような銀河の中では、種族I（後述）の材料となる星間ガスが吹き飛ばされてしまうので、若い星が生まれてこない。

渦巻銀河では、銀河ガスの回転が強かったために、種族IIの星が一斉に生まれることはなく、隨時できることになる。そのためディスクのガスも飛び散ることもなく、種族Iの星の材料となる。種族Iの星は、何度もガスから星そしてまたガスへの輪廻を繰り返すことにより、重い元素を含んだ星へと変化していく。

我々の銀河は、Sb型の銀河である。太陽系は、銀河中心の回りを2億年かかって回っている。銀河ディスク内の星の公転速度は、200km/secで銀河の内側でも外側でも同じで、ほぼ円形の軌道をとっている。このような回転は、微分回転と呼ばれ、外側ほどゆっくり回転することになる。微分回転が渦巻き構造を形成したと考えられている。

星は、互いの重力で集まろうとするため、ディスク中に星の密度に粗密のむらができる。

密度むらはディスクの微分回転によって渦巻き状に引き延ばされる。密度の高いところにさしかかった星は重力によって引き寄せられ、密度の高いところを出ようとする星は引き戻される。いったんできた星の密度むらは、助長されることになる。一種の波状に密度むらがディスク内を伝わっていく。これを密度波という。密度波は、ディスクよりもゆっくり回転するため、星は密度波を通過していくが、星間ガスは停滞していく。この星間ガスの多い部分では、星ができ、渦巻き状の腕を形成される。

レンズ状銀河は、いくつかの起源の違ったものが混在している可能性がある（野口，1993）。その起源として、かつてはディスクがあったのだが、星の形成率が高かったのでガスを消費し尽くしレンズ状銀河になったもの、銀河の相互作用によってできたもの、渦巻銀河のガスが銀河間ガスと衝突してなくなったもの、などが考えられている。

不規則銀河には、衝突している銀河や、相互作用をしている銀河も含まれる。また、渦巻銀河で、渦巻とバジルを持たないディスクだけの銀河も含まれる。その典型は、大マゼラン星雲と小マゼラン星雲である。不規則銀河は、ガスが多く、全体的に青く、金属元素の含有量が少なく、あまり進化していない銀河と考えられている。しかし、その進化の実態は良くわかっていない。

2 観測事実と束縛条件

○スターバースト

数千万年という非常に短い期間のうちに、銀河質量の数％分が星を形成する。このように大量の星が短期間で形成される現象をスターバーストという。

スターバーストで形成されたとされるOB型星（後述）は、超新星爆発を起こした際放出されるシンクロトロン放射によるX線で観察され、OB型星に暖められた周囲のダストからの熱放射の赤外線でも観測できる。また、Hの出すH α 線でOB型星の周辺のHII領域（星が形成されやすいところ：後述）の観測などから、スターバーストの可能性が指摘されてきた。相互作用を起こしている銀河の中心核近傍の1～2 pcの狭い領域でスターバーストが発生していると考えられている。

野口（1993）のシミュレーションでは、銀河同士の相互作用によって、銀河に棒状構造ができ、銀河に中心部にガスの流入が起こり、激しい星の形成つまりスターバーストがおこることが示された。

○銀河の化学組成

B（ホウ素）以上の重元素の合成は星の中でおこる。したがって、銀河は、時間の経過とともに重元素の量が増えていく。

YOSHII & ARIMOTO（1987）のモデル計算によると、楕円銀河の質量が大きくなると、重元素の生成の比率も大きくなる。太陽質量の 10^{12} 倍程度の巨大楕円銀河では、星の重元素の量は太陽の0.1～10倍（太陽の量は0.02程度）、平均値で約2倍に、 10^7 倍の楕円銀河では0.1～0.01倍、平均で0.5倍になる。

渦巻銀河では、形成後10億年ほど経過したときにバジル風が発生し、大量の重元素をハローにまき散らしたと考えられている。バジルは楕円銀河と非常によく似ている。これは、楕円銀河の重元素の頻度分布モデルと、我々の銀河のバジルのK型巨星の重元素の頻度分布の観測値が一致することで確認されている（RICH, 1990）。渦巻銀河のディスクにおける重元素の形成過程は、主系列星の観測で知ることができる。ディスク内のG型星の重元素量は、太陽の0.1～

1.5倍、平均で0.5倍である。0.1倍より低い重元素量の星は極端に少ない。ディスクを形成した初期的なガスにはもともとある程度の重元素が含まれていたことになる。これは、銀河バジルの最初のスターバーストのときにハローに飛び散ったガスが銀河面に落ちてディスクを形成したことを意味する（有本，1993）。

○銀河の相互作用

図2に示したように、銀河間の平均距離は 10^6 pcである。銀河の半径が、 $10^4 \sim 10^5$ pcであるので、銀河の平均距離は、半径の10～100倍になる。一方、銀河の中の星の平均距離は、星の半径の100～10,000倍である。従って、宇宙は星のレベルでみるより、銀河のレベルでみるほうが込み合っていることになる。

一個の銀河が、宇宙年齢の間に衝突する確率は、約0.01回となる（野口，1993）。0.01回というのは、下限の値である。それは、銀河は密集している部分があること、また、宇宙が膨張しているためかつてはもっと銀河間距離が近かったことから、衝突の確率が多かったと考えられる。衝突、あるいは衝突にいたらない銀河同士の相互作用は、頻繁に起こったはずである。

銀河のbタイプは、棒状の構造を持つ。野口のシミュレーションによれば、棒状の構造は、2つの銀河の潮汐作用によってできる。しかし、別のシミュレーションでは、ディスクの質量がハローより大きければ、ディスクは不安定となり、自然に棒状構造ができることが示された。また、楕円銀河は渦巻銀河の接近・合体した結果だという説があり、シミュレーションの結果もその可能性を否定しない。どれが棒状構造の形成の原因かは決着が付いていない。

○銀河中心核

銀河の中心は、物質が多く、大きな重力をもつ。銀河が回転しているうちは、ガスが銀河中心核に落ちることはないが、回転速度が落ち始めると、ガスが銀河中心核をめざして落ち込んでくる。銀河の中心核は、巨大なブラックホールになっており、その回りを10,000 km/secのスピードで回転する降着円盤がある。ガスは、降着円盤に降りつもり、数万から数百万度の高温になり、強烈なX線や紫外線をだす。このような状態の銀河は、活動銀河と呼ばれる。全銀河の1%が、活動銀河であるとみなされている。また、クエーサーや電波銀河、セイファート銀河など観測的に異なる天体も、活動的な銀河中心核として理解されつつある。

IV 星

星の一生は比較的良好に理解されているが、まだ実証されていない部分も多い。星は、質量によってその一生が決定づけられ、いくつかの終焉が予想されている。銀河の中で、星が果たす役割は、重元素の生産とガスの放出である。星は、星間ガスから生まれ、星としての寿命を終え、また星間ガスへとかえる。物質は、一連の輪廻をめぐるたびに、重元素が増える。白色矮星や中性子星、ブラックホールなどは、物質循環の輪廻からはずれ、同じ形態のまま存在し続ける。

1 星の進化

i 星の分類

星は、高温である。高温の物体は、温度に応じた放射を行う。放射は、温度に依存するため、表面温度10,000度以上の星は青く、5,000度以下の星は赤く見える。放射とは、連続するス

表 4. 星のスペクトル型.

スペクトル型	表面温度(K)	スペクトルの特徴
O	80,000	He ⁺ ; 高次電離O、N線
B	20,000	He線 ; 電離O ⁺ 、N ⁺ 線
A	10,000	H線 ; 電離金属線
F	7,000	AとGの間 ; Ca ⁺ 線
G	6,000	中性金属吸収線 ; 最強Ca ⁺ 線
K	4,200	GとMの間 ; Ca線 ; CH、CN線
M	3,000	TiO分子線 ; Ca線 ; 各種分子線
R	3,000	ZrO分子線
N	3,000	C ₂ 分子線

ベクトルで、その中に星の大気に含まれる元素の輝線スペクトルが存在する。輝線スペクトルの種類とその強度によって、星はスペクトル型に分類される。温度の高い方から、O、B、A、F、G、K、Mと名付けられている。OからMに向かって早期から晩期と呼ばれる。OからMへの変化は連続しており、さらに0から9まで細分される。0はそのスペクトル代表的なもので、5は中間的なものになる。その他にも、C（炭素）のスペクトル線の強いN、Cが少なくZrOの輝線スペクトルが特徴のRが区分されている（表4）。

同じスペクトル型でも、星の大気の圧力によって、線スペクトルの幅が異なり、スペクトル級としてIからVIIに細分される。Iが超巨星（Ia明るい超巨星とIbそれほど明るくない超巨星に分けられる）、IIが明るい巨星、IIIが普通の巨星、IVが準巨星（巨星と主系列星の中間の星）、Vが主系列星、VIが準矮星（主系列星より1.5等級ほど暗い星）、VIIが白色矮星に相当する。

スペクトル型とスペクトル級が決まると星の明るさが決まる。星の明るさが決まると、連続スペクトルが求められる。推定された連続スペクトルと、観測された連続スペクトルを比べることによって、星間減光が求められる。星間減光とは、観測した星と地球の間にある塵による散乱や吸収によって起こる現象である。星の明るさと星の光の強さ、星間減光から地球と星の距離が推定できる。

星は、スペクトルによって大きく2つの種類に区分されている。一つは、重い金属元素のスペクトルがはっきり見える種族I（population I）と呼ばれる星と、重い金属元素のスペクトルがはっきりしない種族II（population II）の星である。

種族Iの星は、重元素とHの比が0.06～0.02で、年齢が若く、主系列の星が多い。種族Iの星は、散開星団をつくり、銀河のディスクを構成している。我々の太陽は、種族Iに属し重元素/H比は0.02である。一方、種族IIの星は、重元素/H比は0.01以下で重元素が少なく、年齢が古く、赤色巨星や超巨星が多い。種族IIの星は、球状星団をつくり、銀河のハローを構成している。

HR図は、横軸に星のスペクトル型（O型を左に、M型を右）をとり、縦軸に絶対等級をとって、星のデータをプロットしたものである。スペクトル型のかわりに、星の表面温度や色指数、色温度、有効温度を、絶対等級の変わりに星の真の明るさや光度などをとることもある（図4）。1905年にHERTSprungが考え、1913年にRUSSELLが図示したものである。2人の名前

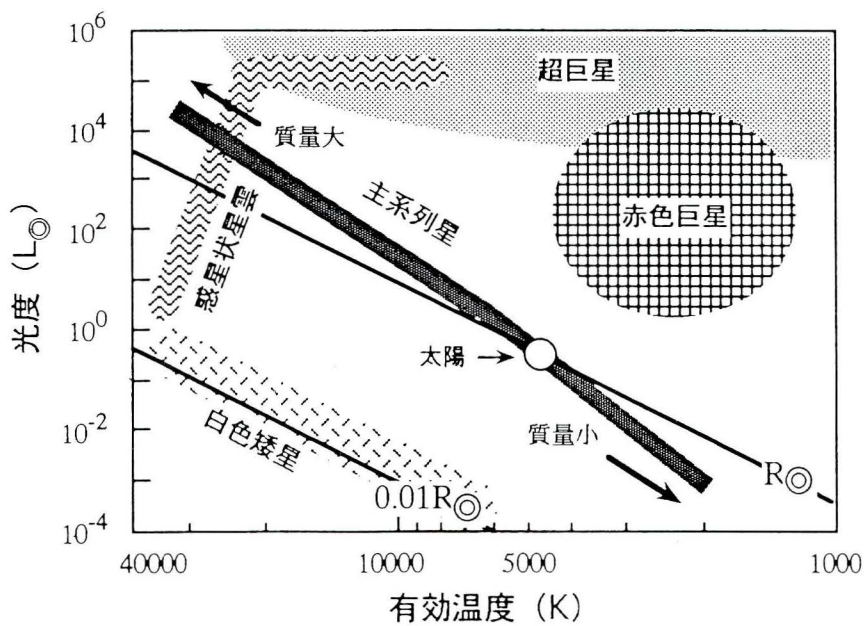


図4. HR図. 光度 ($L_{\odot}$) は太陽光度で $1 L_{\odot} = 2 \times 10^{33} \text{erg/sec}$, $R_{\odot}$ は太陽半径で $1 R_{\odot} = 6.96 \times 10^8 \text{m}$ になる. 主系列星と赤色巨星, 超巨星, 惑星状星雲の中心星, 白色矮星がプロットされる領域を示した. 実線は $1 R_{\odot}$ と $0.01 R_{\odot}$ の星の光度と有効温度の関係を示したものである. 主系列星の領域では, 左上の星ほど質量が大きく右下にいくほど質量は小さくなる.

表5. 恒星の進化.

質量 (太陽=1)	主系列時代の スペクトル	収縮時代 (年)	主系列時代 (年)
20	B0V	3×10^4	1×10^7
10	B1V	1.2×10^5	4×10^7
5	B5V	6×10^5	2×10^8
3	A0V	2×10^6	5×10^8
2	A8V	8×10^6	2×10^9
1	G2V	5×10^7	1×10^{10}
0.8	G7V	8.5×10^7	2×10^{10}
0.6	K5V	2×10^8	7×10^{10}
0.4	K9V	3×10^8	2×10^{11}
0.3	M2V	5×10^8	4×10^{11}
0.2	M5V	1×10^9	1×10^{12}

をとって、HERTSprung-RUSSELL 図、略して HR 図と呼ばれている。1950年代になり、星の進化と構造が、この図で系統的に表されることがわかってきた。

星の92%が主系列星と呼ばれる領域にプロットされる。散開星団の星は明瞭な主系列を作るが、球状星団の星は主系列の温度が低いところに短くプロットされるにすぎない。HR 図で、質量の大きい主系列星は左上で、質量の小さい星は右下にプロットされる。主系列星の高温の星と低温の星では、最大で1億倍ほどの温度差があるのに、その半径と質量の比は3倍ほどしか変わらない。質量/半径比は、星の内部温度にはほぼ比例する。これは主系列星の内部では同じ種類の核反応、つまり水素の熱核反応がおこっていることを示している（杉本，1991）。

ii 星の進化モデル

星の一生は、その質量によって定められている（表5）。核融合反応はエネルギーの放出をともしない、星を膨張させる。一方、星は質量に応じた自己重力で縮もうとする。膨張と収縮の力の釣り合いが、星の大きさを決定する。つまり、質量に応じて、星の性質が決まるということになる。このような力学的平衡状態は、非常に安定で、熱核融合反応が停止するまで続く。

星は、生まれるときと老いて死ぬときに激しい変化を起こす。星の誕生については、後述するので、ここでは星の死について説明する。

星の寿命とその終わりがたは、質量によって大きく変わる（図5）。主系列星の寿命は、質量の2乗にはほぼ反比例するといわれている。小質量の星は、エネルギー発生率が低い、つまり核合成のスピードが遅く長寿となる。質量の小さい星は、1,000億年以上の寿命をもつといわれている。非常に小さな質量の星は、暗くて見えないような低温の星、褐色矮星と呼ばれ、膨大な数の星が潜在的にあると考えられている。

主系列星内でHからHeへの核融合反応が終わると、星はエネルギー放出が減り、自己重力が勝り収縮する。充分な質量がある星では、収縮によってHeを利用した核融合が始まる。質量に応じてより質量数の大きい核融合が起きる（表6）。HからHeの核融合に比べ、質量数の大きな核種の放出するエネルギーは少ない。核融合のエネルギーの変化によって、星は不安定に

表6．核燃焼による元素合成。

燃焼	主な生成核種	温度 (10 ⁷ K)	恒星種
¹ H燃焼 (ppチェーン) (CNOチェーン)	² H, ⁴ He ⁴ He, ¹² C, ¹⁶ O	1.5~2	主系列星
⁴ He燃焼 (3α反応)	¹² C, ¹⁶ O	15	赤色巨星
¹² C燃焼	²⁰ Ne, ²⁴ Mg	70	赤色超巨星
²⁰ Ne燃焼	²⁴ Mg, ¹⁶ O	150	赤色超巨星
¹⁶ O燃焼	²⁸ Si	250	白色矮星
²⁸ Si- ²⁴ Mg燃焼	⁵⁶ Ni	400	超新星
⁵⁸ Ni	⁵⁶ Fe	400	超新星

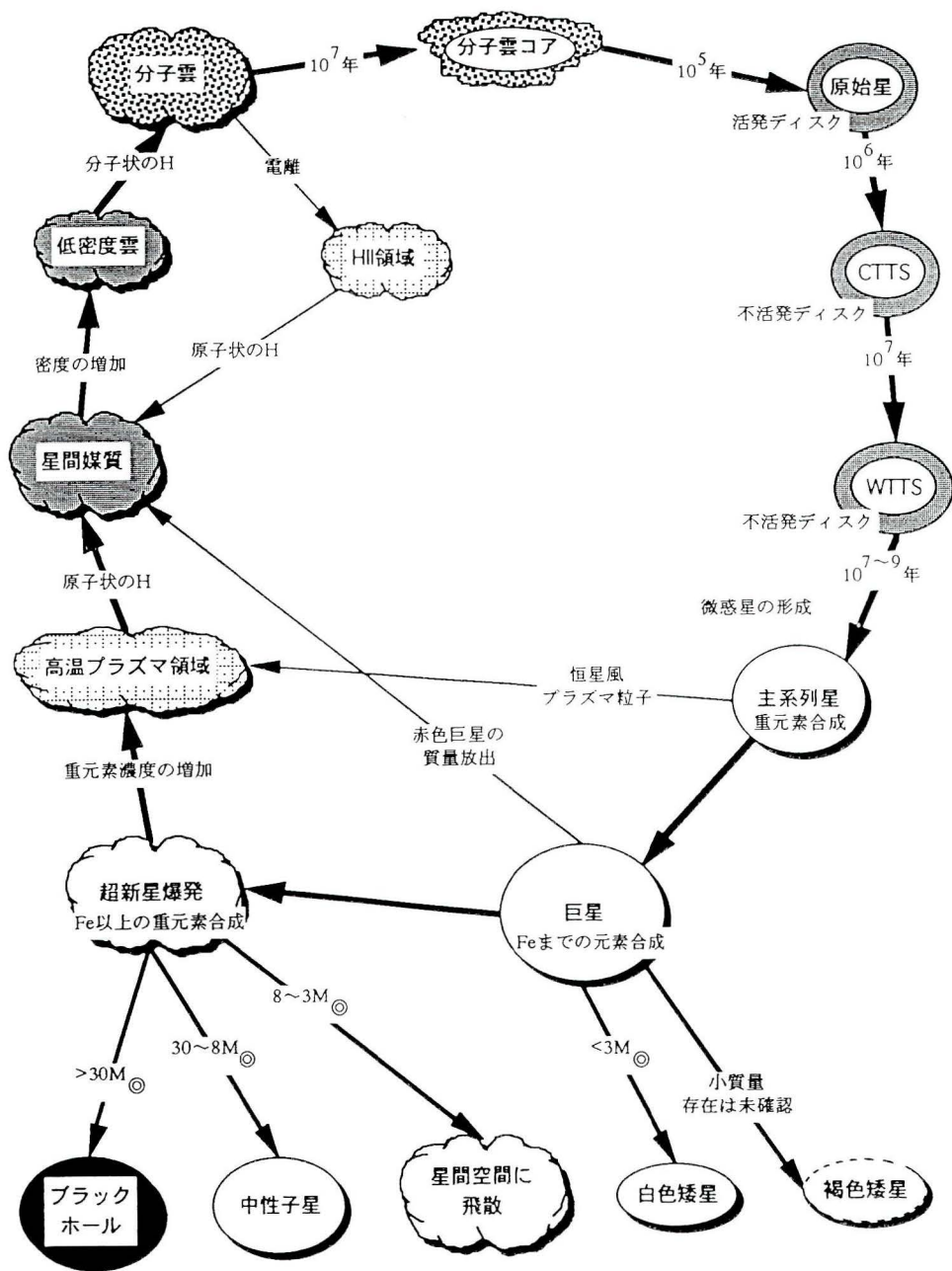


図5. 星間物質から星への輪廻. 星から各種の星間物質の輪廻を太い実線で示した. また, 巨星と超新星爆発で輪廻からはずれていくものを質量別に示した. 細い実線は, 主の輪廻以外の経路を示した. $M_{\odot}$ は太陽質量で, $1 M_{\odot} = 1.99 \times 10^{33} \text{ g}$ である.

なり星全体が膨張する。核融合によるエネルギーが減っているのに膨張するため、星の温度は下がっていく。つまり、赤くて大きい星になる。このような星は、赤色巨星という。赤色巨星のサイズは星の質量によって違うが、ここまではどの星もたどる運命である。

太陽の3倍以下の質量の星は、主系列星で数億～数百億年過ごした後、膨張して赤色巨星になる。星の外層が膨張を続けると、中心星の重力の影響は減り、最後には中心星から離れて星雲状のガスになる。これを、惑星状星雲という。惑星状星雲は、広がり続け、まわりの星間ガスとなっていく、やがて見えなくなる。星間物質として放出されたガスは、次の星の材料として輪廻のサイクルに入る。

中心部に残された星の温度は、数万度になり白く見える。中心星は非常に小さいため白色矮星と呼ばれる。白色矮星はエネルギー源を使い果たしており、あとは冷えるのみで、赤色矮星から黒色矮星となり死を迎える。

我々の太陽は、宇宙では一般的な質量をもつ星で、その寿命は約100億年(計算上104億年)といわれている。現在、太陽は46億年経過したので、寿命の約半分を生きたということになる。そして、赤色巨星から惑星状星雲への道をたどると考えられる(図6)。

大質量の星は、エネルギー消費量が多く、寿命が短い。大質量星の核融合反応は、Feの形成まで続く。Fe以上の原子核は、吸熱反応でエネルギーを与えないと核融合が起こらない。したがって星の中で形成される元素は、Feまでである。星の中心にFeが生成され、Si・S・Ca層、O・Ne・Mgの層、C・Oの層、Heの層、そして一番外側にHの層という多層構造を形成する。

大質量の星の中心部は、60億度以上の高温になり、高エネルギーの光子が発生して、Feの原子核をバラバラにしてしまう。バラバラになるとき中性子や陽子は、エネルギーを吸収するため、中心部の圧力が下がり、星は重力崩壊を起こす。重力崩壊が始まると、陽子は電子を取り

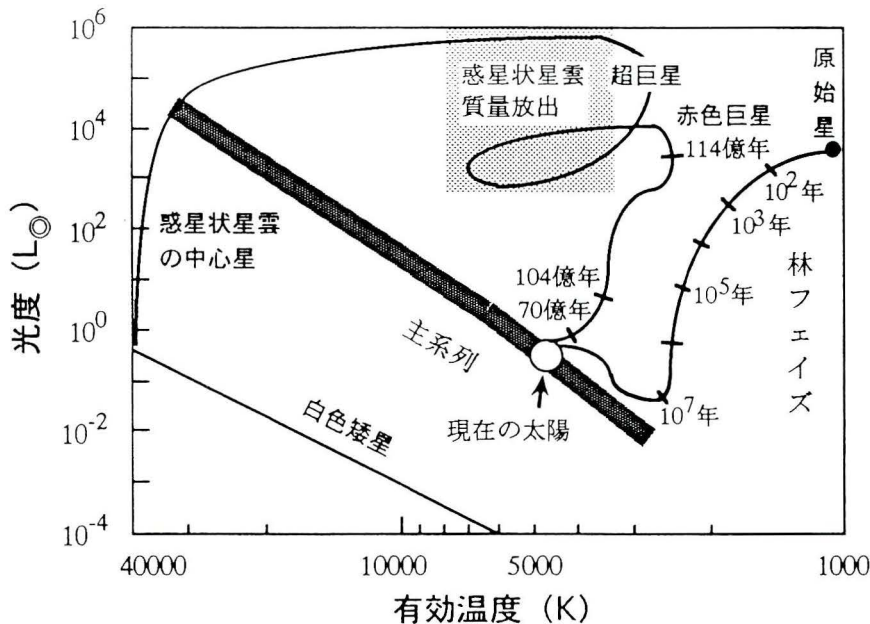


図6. 星の一生. HR図上で、太陽質量程度の星 ($1 M_{\odot} = 1.99 \times 10^{33} \text{ g}$) の進化過程を示した。原始星から主系列に達するまでの林フェイズの所用時間と、主系列から白色矮星までの経路と時間を実線で示した。

込み中性子になる。中性子になると電氣的な反発はなくなり、中心部はもっと高密度の状態になる。中性子がぎっしりつまった中心部では、重力崩壊がストップする。外側ではまだ重力崩壊が続くために、外から落ちてきた物質が中性子の芯の部分にぶつかりはねかえる。そのときに強い衝撃波ができ、外からくる物質をはね飛ばす。この衝撃波は、2, 3日で、星の表面にたっし、星の外側の物質をはね飛ばされる。これが超新星爆発と呼ばれるものである。

超新星爆発のとき、衝撃波が星の内部を通過すると、急激に温度が上昇し、激しい核反応が起る。核反応は、速い中性子の捕獲反応である r 過程や陽子捕獲反応である p 過程がおこり、Fe より重い元素が合成される。

超新星爆発は、H のスペクトル線が見えないか見えるかによって、I と II 型に区分される (VAN DEN BERGH & TAMMANN, 1991)。

3 ~ 8 太陽質量の星では、縮退がおこり、C と O の中心核が形成され成長するにつれて、C の核融合反応の暴走がおこり爆発する。このとき、星をつくっていた物質は完全に飛び散ってしまう。このような超新星爆発を I 型と呼ぶ。I 型の超新星爆発はあらゆる銀河でおこる。

8 太陽質量以上の星では、Fe の中心核ができ、 4×10^9 K 以上の温度になると、Fe は光分解する。このときの超新星爆発を II 型という。II 型の超新星爆発は、渦巻銀河だけで発生する。

太陽の 8 ~ 30 倍の質量の星は、青い色の主系列星から非常に明るく赤色超巨星 (表面温度 3,000 度) や青色超巨星 (表面温度 10,000 度以上) となる。II 型の超新星爆発では、星のほとんどの物質が飛び散ってしまうが、中心部の中性子の芯は星として残る。この中性子からできた星を、中性子星と呼ぶ。中性子星の磁極付近から、電波や X 線などの電磁波が放射される。磁極と自転軸は必ずしも一致せず、放射される電磁波は回転する。その回転の半径内に地球があると、放射線は、パルス状になって見える。このような強烈なパルスをだす星を、パルサー (pulsar) と呼ぶ。

太陽の 30 倍以上の質量の星も、II 型の超新星爆発を起こす。中心部は、重力が中性子の反発力に勝り、重力崩壊を止めることができず、光も抜けでることができないブラックホールとなる。

2 観測事実と束縛条件

○星間物質

宇宙の物質は、天体だけではない。天体以外にさまざまな形態の物質がある。それは、星間ガスとか星間物質と呼ばれるものである。星間物質は、種族 I の星とほぼ同じ元素組成をもつと考えられている。星間物質の元素の重量比は、H が 70 ~ 75%, He は 23 ~ 28%, 残りの重元素が 2 ~ 3% となる。宇宙空間の多くは中性の H が低密度・低温で存在する星間媒質と呼ばれるものでうめられている。星間媒質は一様ではなく、H の状態や温度・密度によって不均質があり、区分されている。そのような部分は、領域や雲と呼ばれている。星間空間は、宇宙の主要物質である H の状態によって、H が電離している状態、中性原子の状態、中性分子の状態に区分されている (図 7)。

電離している H (高温プラズマ領域、低密度 HII 領域、高密度 HII 領域)

H が電離している状態は、高温低密度で特徴づけられる高温プラズマ領域と、やや温度の低い HII 領域の 2 種に区分される。

高温プラズマ領域は、超新星爆発や高温度星からの紫外線や X 線などによる高次の電離イオン (O^{6+} や N^{4+}) が観測され、区分された。高温プラズマ領域は、電離が起こったときの衝撃

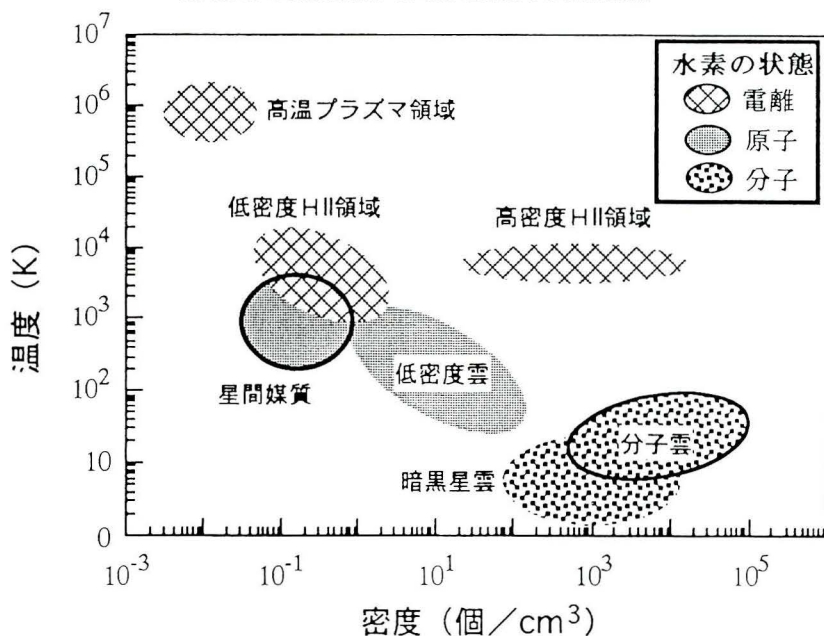


図7. 星間ガスの状態図. 星間物質の水素の状態（電離状，原子状，分子状）による区分とその領域範囲を示した.

波面によってできた，巨大な泡状や泡が連なったトンネル状として存在する。Hイオンの密度は， $1 \text{ 個}/\text{cm}^3$ 以下だが， 10^6 K 以上の高温のプラズマとして存在する。HII領域は， $7,000 \text{ K}$ 以上の高温の星間物質で，若い高温の星のまわりにできる活発な活動をしている領域である。HII領域は，Hイオンの密度が $100 \text{ 個}/\text{cm}^3$ 以上の高密度の領域と， $100 \text{ 個}/\text{cm}^3$ 以下の低密度の領域に細分される。

中性のH原子（HI領域，HI雲，低密度雲，星間媒質）

宇宙空間は，Hの原子核が電子を伴った中性の状態ではばらに存在する。このような領域は星間媒質（inter stellar medium）と呼ばれる。星間媒質は，H原子が $1 \text{ 個}/\text{cm}^3$ 以下， $6,000 \text{ K}$ 以下の温度である。中性のあるいは分子状のHの領域は，星間雲と総称される。星間雲は，密度によって低密度雲と分子雲（分子状のHが存在：後述）に区分される。低密度雲は，HII領域より低温の $6,000 \text{ K}$ 以下の領域で， $1 \sim 100 \text{ 個}/\text{cm}^3$ の密度でHが中性の状態が存在する。低密度雲の質量は太陽質量の 10^3 倍程度である。

低密度雲は星の光の吸収によって観測される。また， 21 cm のH原子の出す波長の電波で観測される。HI領域の分布から，我々の銀河の渦状腕があることが判明した。

低密度雲は，星間媒質と同じ重力的束縛状態ではなく，圧力的に平衡状態にある。低密度雲や星間媒質は温度が低く密度がやや高く，高温プラズマ領域と低温HII領域は低密度であるが温度が高い。そのため，低密度雲や星間媒質と，低密度HII領域，高温プラズマ領域は，似たような圧力平衡にあると考えられる。

観測されている低密度雲の化学組成比を太陽系のものと比較すると，表7のようになる。低密度雲のMgやSi，Al，Ca，Ti，Feなどのほとんどの重元素は，太陽系の化学組成に比べて，数桁少なくなっている。これは，ガスの成分のみを観測しているためで，固体成分の宇宙塵が加わっていないからだと考えられている（鈴木博子，1983）。

表 7. 太陽系と星間ガスの化学組成.

元素	太陽系	低密度雲	宇宙線 観測値	源
H	2,700,000	10,000,000	-	-
He	270,000	-	49,000	30,700
Li	0.06	-	118	-
Be	0.00007	-	53	-
B	0.003	-	246	-
C	1,000	1,000	1,000	1,000
N	310	200	228	60
O	2,400	2,000	913	1,280
F	0.08	-	22	7
Ne	340	-	132	160
Na	6	3	32	27
Mg	110	20	169	295
Al	8.4	0.02	30	44
Si	99	6	118	280
P	1.0	0.4	4.7	6
S	51	100	19.3	38
Cl	-	-	4.2	3
Ar	10	3	7.4	8
K	0.37	0.1	6	7
Ca	6.0	0.006	15.9	37
Sc	0.003	-	3.4	-
Ti	0.24	0.002	12.6	-
V	0.03	-	6.7	-
Cr	1.3	-	12.8	-
Mn	0.95	-	8.5	-
Fe	89	2	71	305
Co	0.22	-	0.2	-
Ni	4.9	0.1	-	-

太陽系の元素比は ANDERS & EBIHARA (1982), 低密度雲は鈴木博子 (1983), 宇宙線は西村 (1988) による. 元素比は, C を 1,000 個としてすべて再計算した.

宇宙線に含まれる化学組成では, Li や Be, B などの元素 (L 核元素と呼ぶ) がきわめて多い. このような元素は, 恒星内の熱核反応ではできにくいものである. また, できたとしてもすぐ壊れてしまう元素である. したがって, 宇宙線源にもこのような元素が多量に存在していたのではなく, 破砕核反応によって形成されたものだと考えられている (西村, 1988).

そこで, 破砕核反応によって形成された分を抜いたものが宇宙線の源だと考えられる (表 7). 宇宙線を発する物体は, 恒星内の元素合成 (s 過程) 以外に, 超新星爆発のときに生じた元素 (r 過程) も含む. 質量数が 60 程度まで (Fe 付近) は, 太陽系の組成にやや似ているが, その誤差は大きい.

分子の H (分子雲, 暗黒星雲, 散光星雲)

星間雲のうち分子雲は、 $1,000\text{個}/\text{cm}^3$ 以上で、 $10\sim 30\text{ K}$ の低温である。分子雲内では、大部分のHeより重い元素は、半径 $0.1\mu\text{ m}$ 程度の固体粒子になっていると考えられる。このような固体粒子は、星間塵とか宇宙塵と呼ばれ、紫外線の吸収によって観測される。そのほかに、COやホルムアルデヒド、シアン化水素、エチル基、シアノアセチレン、ホルミル基などの分子が、普遍的に存在する。CO分子が $300\text{個}/\text{cm}^3$ 以上あれば 2.6 mm の電波で観測可能である。

銀河の中心部1万～2万光年には、分子雲の多い領域がリング状にある。銀河全体として、分子雲は5,000個程度ある。1個の分子雲は、直径 $30\sim 300$ 光年で、質量は太陽質量の $10^4\sim 10^6$ 倍程度である。星間雲は、星と同じように銀河の中心の回りを 250 km/sec で回転している。そのほかに 10 km/sec の無秩序な運動もおこなう。銀河内の分子雲の総質量は、太陽質量の 10^9 倍、銀河内の星の質量の20%に匹敵し、星間物質の90%をしめる。

星間雲は、直接みることはできないが、回りの星との関係でみるのが可能である。星間雲が背後に見えるはずの星を遮っている場合を暗黒星雲と呼ぶ。温度は 10 K で2光年程度の半径、太陽質量の100倍以上の不定形である。星間雲が近く of 明るい星の光を反射している場合を散光星雲という。

暗黒星雲は、定義によれば、分子雲のうち暗いシルエットを作るものをいい、分子雲とは見え方だけの違いである。しかし、慣例により分子雲より質量が少ないものを暗黒星雲といたり、星の生まれている場所を指したりする。暗黒星雲という呼び方は、使い方が必ずしも区別されていないので、物理量を議論するときは注意を要する。

○星の重元素濃度

宇宙における星の役割のうち、ガスの放出が物質の進化には重要である。星は星間物質から生まれ、ガスを放出して一生を終わるという一連の輪廻をもっている(図5)。この輪廻で生まれるガスは、星を作ったガスとは違う。それは、星の中の核融合と超新星爆発の重元素の合成によって、重い元素を含むガスへ変化していく。輪廻が繰り返されるにしたがって、重元素の比率が多い星間物質になっていく。この変化をうまく読みとれば、星や銀河、宇宙の進化に関する情報を引き出せる。

1957年にBURBIDGEらは、すべての元素の合成過程を示す試みをおこなった(BBFHモデルと呼ばれる)。ビッグバンのときに形成された軽元素以外は、恒星内と超新星爆発で合成されるというモデルである。恒星内では、核燃焼のH反応、 α 反応、e過程などでFeまでの元素が合成される(表6)。さらに ^{13}C や ^{17}O などの $(4n+1)$ 核の (α, n) 反応でできた中性子の捕獲によるs過程で、星の内部でもわずかながら、重い元素ができる。

超新星爆発における核合成は、s過程とともに、速い中性子捕獲反応(r過程)や陽子捕獲反応(p過程)がおこる。このような過程によってFe以上の重元素(超U元素まで)の合成がおこなわれる。1987年2月23日に大マゼラン星雲で発生した超新星SN1987Aによって、Uあたりまでの多くの重元素が実際に観測され核合成モデルが検証された。また、各地のニュートリノ検出装置でもこの超新星爆発のときに発生したニュートリノを検出した。これは、太陽系外からの初めてのニュートリノである。

重元素の放出は、主として星の末期の超新星爆発と惑星状星雲の形成時におこなわれる。CやNは超新星爆発ではあまり放出されず、惑星状星雲の中にたくさん見いだされる。

I型超新星爆発では、 0.7 太陽質量におよぶ大量のFeの放出をおこなう。一方、II型の超新星爆発では、Feより質量の小さい、OやMg、Neなどの元素が放出される。 20 太陽質量程度の

星の場合、Feの放出量は0.07太陽質量である。銀河形成初期には、II型超新星爆発だけが重元素を供給し、時間がたつにつれてI型超新星爆発も重元素を供給するようになった。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は1:9程度と考えられている(辻本・野本, 1993)。

○遠く of 天体

遠く of 天体は、非常に古い光を観察することになり、「宇宙の化石」のようなものと考えられる。したがって、古い天体を探すことは、宇宙の歴史の解明に重要である。一番遠い銀河は、4C41.17という赤方偏移 $z=3.8$ の宇宙誕生から41億年後のものである。 $z=4.7$ のPC1158+4635というクェーサー(準恒星状天体、準星とも呼ばれる)が、光速の94%のスピードで遠ざかっているのが遠く of 天体であった。最近、PC1247+3406というクェーサーが発見された。このクェーサーが現在、一番遠くにあるとされるもので、 $z=4.897$ 、123億光年の距離である。宇宙の150億年のうち、123億年までの天体が見つかることになる。

クェーサーは、一般に赤方偏移が大きく、遠くにある天体である。しかし、普通の銀河より明るく輝いているので、遠く of クェーサーでも観測することができる。エネルギーの発生率が通常 of 天体の10倍以上あるので、通常 of 天体や銀河の活動とは違った機構が働いているはずである。現在、確定したモデルはないが、活動的な中心核をもつ銀河と考えられている。クェーサーは古い天体であることから、宇宙の初期や銀河の形成時期の履歴を保存している可能性があるが、まだ十分な検討はなされていない。

○種族IIIの星

現在観測されている星には、種族としてIとIIの2つがあることは前述した。この他に、種族IIIという星が考えられている。実際には、種族IIIの星は見つかっていないが、ビッグバンで形成された元素から作られた星が、かつては存在したと考えられている。種族IIIの星は、ビッグバンで形成された元素組成と、現在の星を構成している元素組成のとのギャップを埋めるものである。

その根拠は、重元素の存在量である。現在の星の重元素/H比は、最小値でも 10^{-4} 以上ある。この比が、 10^{-5} 以下の星は見つかっていない。我々の銀河は、すべて種族IかIIの星で構成されている。我々の銀河を構成している物質の大部分は、重元素をある程度含んだ物質からできていることを示している。つまり、我々の銀河は、ビッグバンで合成された元素から直接できたのではなく、すくなくとも一度は、重元素合成のメカニズムを通り抜けた物質からできている。

種族IIIの星がもし存在したとすると、その星の質量は、巨大で、短寿命で、できてすぐに寿命が終えたと考えられる。種族IIIの星の残骸は識別されていないが、高温プラズマ領域は、種族IIIの星の超新星爆発や恒星風で加熱された可能性が指摘されている。

もう一つ、種族IIIの星の存在を示唆するデータとして、近赤外線領域の宇宙背景放射がある。その観測値は、予測値を大きく上回るものであり、波長 $2\mu\text{m}$ 付近に強いスペクトルらしきものがある(松本, 1988)。赤方偏移の大きいところでおきた現象は、近赤外線領域でその影響が表れやすいため、宇宙の初期におきた事件を記録している可能性がある。観測値は、3Kの宇宙背景放射の数%を占めるほどのエネルギー量に相当し、激しい事件が起きたことを示す。また、 $2\mu\text{m}$ の強いスペクトルは、赤方偏移したライマン α つまりHの輝線スペクトルの可能性がある。このような現象は、銀河形成以前の大質量の種族IIIの星が一斉に形成され、爆発し

た名残かも知れない。

V 惑星系

地球は、他の惑星や衛星と一緒に、惑星系形成の一連の過程によってつくられたはずである。もし地球だけが、特別なところ、特別なときに作られたとしたら、地球や生命に関する研究は地球固有の特殊なものになってしまう。しかし、他の惑星や地球の持つ規則性は、地球が太陽系で特別な星ではなく、他の惑星などと一連の因果関係をもっていることを強く示唆する。また、惑星系も、我々の太陽系特有のものではないということも観測事実からわかってきた。惑星系の形成を概観する。

1 惑星系形成モデル

i モデルの変遷

惑星系と太陽との成因関係は定かではなかったが、科学の土俵で議論され、太陽系は太陽や惑星、各種の衛星、彗星などを含めて形成されたい。しかし、詳細は不明な部分が多い。このような不確かさが、現在の太陽系形成のモデルの現状である。代表的なモデルの変遷を以下で概説する。

渦動説：DESCARTES (1644) が提唱

DESCARTES (1644) は、科学的な太陽起源説を初めて提唱した。渦動こそが運動の基本であり、太陽系の起源も渦動運動で説明しようとした。しかし、たぶんに哲学的なモデルで、実証性はなかった。COPERNICUSの地動説がでてすぐの時代でもあり、太陽や惑星の性質も万有引力の法則もわかっていない時代であった。モデルの内容よりも太陽系起源に科学の光を当てたことを評価すべきであろう。

星雲説：KANT (1755) が提唱、LAPLACE (1796) が修正

ゆるく自転していた高温のガスが太陽系の始まりとする説である。ガスは、冷え、収縮し、回転が早くなる。ガス玉の赤道面から遠心力によってガスがちぎれとび、それが惑星となった。ガスの飛び出たガス玉は収縮し、自転速度が速くなり、さらにガスを放出する。このようなことが何度か繰り返されていくつかの惑星ができ、最後に残ったガス玉が太陽になった。この説の最大の弱点は、角運動量が惑星にあり太陽にはないことが説明できない点である。

遭遇説：CHAMBERLIN (1901) が提唱、MOULTON (1905) が修正

2つの星が偶然遭遇することによって太陽系ができたとする説である。太陽はもともと1個の恒星として単独に存在した。この太陽の近くを偶然別の恒星が通過した。その時、天体間の潮汐力によって、ガスが噴出した。流出したガスは、急速に冷めていき、微惑星になり、惑星に成長したとする。この説では、質量の少ない惑星が、角運動量の大部分をもっているということが説明可能になった。

潮汐説：JEANS (1916) が提唱、JEFFREYS (1918) が修正

遭遇説と同様に2つの天体がたまたま近くを通り過ぎたというのが原因で、太陽系の惑星ができたという説である。遭遇説との違いは、潮汐力で流出するガスが、連続した塊であるという点である。潮汐力が最初弱く、最大の潮汐力を経て、最後にはまた弱まる。これに対応して、ガスの量も変化して紡錘状になる。形に見合った量のガスが分裂して各惑星になったとする説である。従って、惑星は、真ん中の木星が一番大きく、木星から離れると小さくなるとい

う法則性を説明している。

連星説：RUSSELL (1935) が提唱, LYTTLETON (1941) が修正

かつて太陽は、連星であったとする説である。太陽の近くを別の星が通過したとき、太陽と伴星の間におきた潮汐力によって、潮汐説と同じようなシナリオで惑星が形成されたとする。伴星は、通り過ぎた恒星とともに太陽から離れていった。

三遭遇説：ALFVEN (1942) が提唱

単独の太陽が、固体粒子からなる暗黒星雲を通り抜け、そのとき捕らえた物質が月と火星になったという説である。その後、別の星間物質を通り抜けたときに捕らえた物質で、木星型惑星やその衛星などができた。さらに、大きな暗黒星雲を通り抜けたとき、水星、金星、地球、天王星の衛星などを作った。惑星の形成にあたっては、太陽の磁力によって、捕らえた電離物質に太陽の自転のエネルギーが伝えられ、公転運動になった。この運動量の移動が、現在の質量と運動量の不均衡を作ったとした。

渦流理論：WEIZSACKER (1944) が提唱

単独に存在した太陽が、暗黒星雲の密度の濃い部分を通過したとき、とらえたものが惑星の起源になったとする説である。取り込まれた星雲成分は、自転していたため赤道面上に集まり、円盤状になっていく。円盤状の星雲成分の中では乱流が発生し、多数の渦が発生する。やがて渦は、同一円軌道に5個になっていく。このような円形軌道が、多数できるが、一軌道に5個の渦という初期条件が、やがて太陽からの距離 $2R$ という軌道に収斂していく。渦と渦の間に物質が集まり、やがて惑星に成長していくというモデルである。

隕石理論：SCHMIDT (1944) が提唱

単独の太陽が、濃い星間雲に突入し、ガスと固体粒子も取り込んでまわりに星雲をつくり、それが惑星のもとになったとする説である。捕獲された物質は、円盤状の扁平な星雲となる。物質同士が衝突・合体をして、惑星へと成長していく。物質量は、各軌道に木星程度の惑星を作るほどあったのが、太陽に近い惑星では、大量に太陽に落下して地球型惑星になるだけしか残らなかった。

自転暗黒星雲説：WHIPPLE (1947) が提唱

この説は、太陽と惑星が同時にできるというものである。ゆるく自転する暗黒星雲が、回りの星の光の圧力によって収縮を始める。収縮を始め密度が大きくなると、重力の効果も加わり収縮がより進む。収縮が進むにつれて自転が加速され、扁平な円盤状の星雲となっていく。収縮の程度の違いによって星雲中に乱れができ、粒子の多く集まるところができる。そこでは衝突が頻繁におこり成長するものが現れる。成長した粒子がある程度の大きさになると重力の作用で回りの粒子を集めだし、加速度的に成長し、太陽になっていくとする。

宇宙塵説：UREY (1952) が提唱

地球、月、隕石の成因を中心に展開された説である。固体粒子を含むHを主体とする低温のガスが太陽となり、残りのガスが太陽の周りに円盤状に分布し、微惑星へと成長していく。もととも含まれていた少量の固体粒子が微惑星になる。微惑星は、高温の時期を経る。この高温期に、鉄の酸化物が還元され、揮発成分や一部の固体の成分も抜けていく。再び、微惑星は冷え、集合して惑星へと成長する。

伴星超新星説：HOYLE (1955) が提唱

直径1.5光年程度の星間物質から惑星と太陽が同時に形成されるという説である。収縮して原始太陽が形成される。収縮とともに自転速度を速め、やがては遠心力によって原始太陽の赤

道から物質が飛び出し、環ができる。環のなかのHは電離しており、太陽の磁力によって、引きずられる。そのときに太陽の自転から回りの環に運動量が伝えられる。角運動量の大きくなった環は太陽から離れていく。環が遠ざかっていくと温度が低下して固体物質が凝縮する。このような固体物質が惑星へと成長していく。成長していくとき、地球型惑星の位置にはガスはもうなくなり、木星型惑星の位置にはまだ大量のガスが残っていた。このため、地球型惑星と木星型惑星の違いができたとする。

ii 標準モデル

1950年代まで多くの太陽系起源説が提唱されてきたが、1960年代以降は、観測事実の集積によって、モデルは完成版ではないが収斂しつつある。骨子となっているのは、SAFRONOV (1969) や林 (1972), GOLDBREICH & WARD (1973) などのモデルである。

太陽系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、原始太陽とその赤道面に円盤状の星雲になる（原始星とディスクの形成）。そのときに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く始め、円盤も赤外線をだして輝く（古典的Tタウリ期星と活動的ディスクの形成）。原始太陽はいったん活動を弱め、ディスクも安定する（弱輝線Tタウリ期星と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、微惑星が形成される（微惑星の形成）。微惑星が原始惑星へと成長する（原始惑星の形成）。

このようなモデルの詳細を以下にのべる。

○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/ cm^3 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。おうし座の分子雲コアは、サイズが 10^4 天文単位（AU）、質量が太陽の数倍、温度が10Kという条件をもっている。このような分子雲コアが、原始太陽系形成の場となる。分子雲コアは、一般に角速度 $5 \times 10^{-14}/\text{sec}$ 程度で回転している。

○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、磁場などに別の条件が働いて、ゆっくりと収縮が起こることをいう。磁場が分子雲にあるときはまさに準静的収縮がおこる条件にある。準静的収縮は、密度の増えるに従って、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。太陽質量の程度の分子雲コアの場合、磁場がない時には 2×10^6 個/ cm^3 、磁場がある時は 10^9 個/ cm^3 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。密度の増える様子を図8に示した。

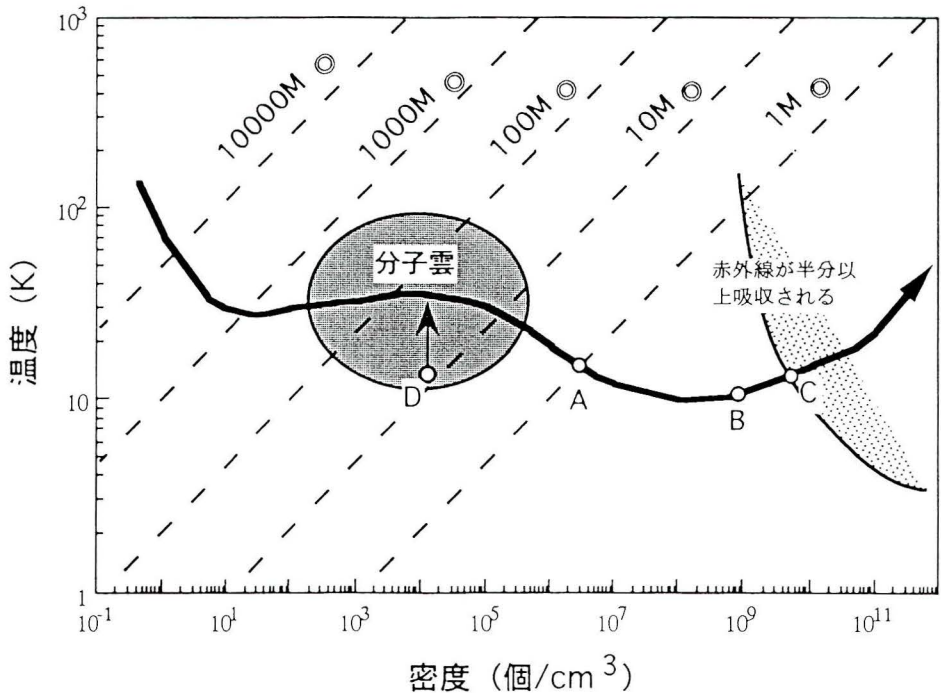


図8. 星間ガスの平衡状態図. 太い実線は星間ガスの平衡状態の条件を示す(中野, 1983). 平行な破線は星間ガス(太陽質量単位: $1 M_{\odot} = 1.99 \times 10^{33} \text{ g}$)が収縮を始める境界線を示す. Aは太陽質量が収縮を始めるところ, Bは宇宙空間に磁場がある時に収縮する条件, 実線とアミをかけた部分は赤外線が半分以上吸収される領域で, Cでは原始星へと進化を始める点である.

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, そこをめがけてガスが集まる。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。

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。

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りきれず, 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。

○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3,000~5,000K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: bipole 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。質量の増加にともなって、ディスクは重力的に不安定が生じ、激しい乱流状態になる。CTTSは、この乱流の効果によって太っていく。やがて、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とも呼ばれる)。ディスク内の温度が上昇する。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, 1983 a) や、CTTSの放つ強烈な光がガスに吸収され温度が上昇する (中野, 1983) 説などが考えられている。この時、内惑星域で2,000Kくらいまで上昇し、微量存在した微粒子も蒸発する。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、固体の微粒子は凝固する (中川, 1983 d)。これを、固体凝縮 (consolidation of solid particle) という。

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, 1983 c)。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200K程度で、木星軌道付近では氷が再び凝縮する100K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, 1983 d)。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。

○弱輝線Tタウリ期星と不活発ディスクの形成

原始太陽は、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 (week 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。

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、温度が一定で光度が下がっていく段階のことをいう。

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。CTTS時代のディスクは乱流状態であったのに対し、WTTSの時代は、激しかった乱流も納まり穏やかな状態になる。ガスの状態が穏やかになると、惑星形成へと一気に進む。

WTTSで、赤外線の放射は少なくなる。この放射は、ディスク内部の発熱が減り、中心星か

らの光を受るだけだと考えられている。しかし、ディスクの放射は、X線での測定が可能である。

○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, 1983 b)。微惑星がガスを引きつけるほどの重力がなかったのに対し、原始惑星は、ガスを大量に引きつけ厚い大気を持つようになる。

微惑星が誕生して 10^5 年ほどすると、原始惑星が数個成長してくる。原始惑星への成長は、一様に進むのではなく、数個のものが選択的に急成長をおこなう。このような成長を、爆走成長 (runaway growth) という。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ため材料も多く、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。

2 観測事実と束縛条件

○原始太陽系の形成条件

原始星は、可視光では観測できないが、赤外線やサブミリ波で観測される。1967年のBN天体と呼ばれるものが、最初の赤外線源の発見である。1983年、赤外線天文衛星 (IRAS: Infrared Astronomical Satellite) が打ち上げられた。12, 25, 60, $100 \mu\text{m}$ の4つの波長で1年間全天を観測した。その結果、多くの赤外線源が発見された。このような赤外線源には、多くの原始星の候補が含まれていると考えられている。

Herbig Haro天体 (Herbig, 1951) と呼ばれ分類されているものが、ガスが晴れた頃の星だと考えられている。Herbig Haro天体は、暗黒星雲の周縁部に見つかる。また、1970年代のミリ波の分子ガスの測定から、CTTSの段階を示すと考えられる双極分子流やガス円盤が、イッカクジュウ座R星やオウシ座L1551 IRS 5, ガカ座 β 星などで見つかった。このような星ではLiの吸収スペクトルが観察される。Liは熱核反応が始まると使われてしまい、すぐなくなっていく。このような観測事実は、まだ核反応は起こっておらず、重力エネルギーの解放によって輝いているCTTSであると推定されている。その他、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る (佐藤, 1983)。このような現象は、活動的ディスクの存在によって起こる現象だという説が有力である。

図8で、太い実線で示したものが、分子雲、分子雲コアそして原始星の温度-密度の平衡条件である (中野, 1983)。点Dで示したような実線上以外の条件にある場合でも、最終的には、平衡状態にたどりつく。実線で示した温度-密度の平衡条件は、密度と温度の関係から求められる境界条件で、Jeans Massから導かれる。密度が 10^3 個/ cm^3 で温度が10Kの分子雲の場合、10.9太陽質量がJeans Massで、分子雲コアの質量になる。密度が 10^4 個/ cm^3 の分子雲では、5.4太陽質量となる (中川・渡辺, 1993)。点Bは、磁場がある時の境界条件である。分子雲が、磁場の力に勝って自己収縮始めるための密度は、磁束密度が $30 \mu\text{G}$ で半径が1 pcの時、 10^4 個/ cm^3

となる。星間空間には、一般に磁場があるので、 10^4 個/ cm^3 が、原始星へと進化を進めるかどうかのもう一つの境界条件になる（中川・渡辺, 1993）。

物体が収縮するとき、重力による自由落下することから、収縮するための時間条件が規定できる。密度が 10^5 個/ cm^3 で様なとき、自由落下時間は、 2×10^5 年となり、密度が 10^4 個/ cm^3 のとき 1.1×10^6 年になる（中川・渡辺, 1993）。

赤道面上に、凝縮温度の高いダストが固化する。ダスト同士が衝突し付着合体する。中川ほか（1981）は、数値シミュレーションで、約 3×10^3 年で、1 cmほどのダスト層ができることを示した。

惑星の成長時間は、太陽からの距離が重要なファクターになる。中沢・中川（1984）の計算によれば、地球の成長時間は 9×10^6 年となる。一般のモデルでは、外惑星の（海王星、冥王星など）形成時間が異常に長い（45億年以上）という致命的な問題が残されている。

微惑星の成長は、ディスク内で穏やかにおこなわれる。強い乱流がディスク内に存在すると、微粒子の沈積が妨げられる。 μm サイズの微粒子が沈降するには、乱流の速度は、数10m/年以下でなければならない。

惑星の形成の段階にはいると、システムの大きな変換点を迎える。それは、構成物質のサイズが、 μm から km のオーダーまで10桁を越える変化がおこるからである。当然、これに関与する物理作用は、大きく変化する。ミクロの世界では、電磁気力が主要な物理現象を支配するのに対し、 km オーダーの世界では重力が支配する。このような物理作用の変化は、 10^4 年程度の短時間で起こる。

○我々の太陽系からの束縛条件

太陽系を構成するものには、太陽以外に9個の惑星、衛星、多数の小惑星、多くの彗星、そして惑星間物質がある。このような構成物質の物理・化学的特徴が、太陽系起源論の中で説明される必要がある。

惑星や衛星の特徴は、母星（太陽や惑星）との距離、運動、物理量によって記述できる。運動は、自転と公転の2種類がある。それぞれの速度と回転方向（順行、逆行、同調）、さらに公転は離心率と軌道傾斜角を記述する必要がある。物理量は、惑星の質量、半径、惑星内の構造、構成物質などを意味する。太陽系の天体に関してのこのようなデータは、まだ充分にはわかっていない。

太陽系の惑星系の特徴として、以下のものが考えられる（水谷, 1978; 鈴木, 1986）。

- 惑星の公転方向が一致すること
- 惑星の軌道面が一致すること（水星、冥王星は例外）
- 惑星の軌道の離心率は小さく円軌道に近いこと（離心率0.206の水星と0.248の冥王星は例外）
- ボーデの法則（ $0.4 + 0.3 \times 2^n$ ）が成立すること
- 太陽の自転と惑星の公転の方向が一致すること
- 太陽の赤道面と惑星の公転面のなす角度が小さいこと（黄道面に対して $7^\circ 15'$ ）
- 質量は太陽が99.9%を占めるが、角運動量の98%は惑星が持つこと
- 惑星には地球型と木星型があること
- 天体間には尺度関係があること

このような特徴は、万有引力の法則に反するものではないが、必然的に導かれるものではない。

い。このような特徴をつくる過程があったことは明らかである。ただし、このような束縛条件には、例外が付きものである。例外もやはり最終的には形成モデルの中で説明されなければならないはずである。標準モデルでも、上で述べた特徴を説明できないものがある。今後、モデルは改訂されていく運命にある。

VI まとめ

科学は実証性を伴わなければ説得力がなく仮説で留まるしかなく、真実に近付けない。

現在、本稿で示した宇宙や銀河、恒星、惑星系の進化モデルが提唱されている。しかし、これは、まだ仮説にすぎない。宇宙や銀河、星の進化などを考える場合、時間の経過によってその変化が記述される。時間変化に対応した観測例があげられる。それはいかにも既成事実で実証されたもののように見える。気をつけなければいけないのは、モデルに基づいて観測事実が並べられているのであって、モデルが、客観的に実証されたものではないのである。

同じような経緯が、地球の古生物の進化に関する研究であった。古生物の進化モデルと銀河や星の進化モデルの大きな違いは、その実証性である。

地球の古生物の進化モデルは、多少の不確かさはあるが、地層の上下関係を丹念に追うことによって、時間の前後関係が厳密に設定され、また化石群集の組み合わせや火山灰などを利用して同一時間面が決定される。そして放射性同位体を用いた絶対時間の導入で、時間軸の確立がおこなわれている。一方、銀河や星の進化モデルでは、時間軸が確立されていない。これは、モデルがかわれば、観測事実の並び替えが行われる可能性があるということである。

銀河や星の進化モデルにおける時間軸の確立の可能性は大いにある。たとえば、ハッブル定数の決定である。ハッブル定数が正確に決まれば、事件の記録が正確な時間軸の中でおこなえる。天体が遠くなるほど、つまり古くなるほど分解能は悪くなるが、宇宙背景放射やクエーサーなどの宇宙初期の古い時代の記録も残されている。宇宙の科学はまだ未完成で今後大きなモデルの改変がたびたびあるはずで、目が離せない。同じような試練や改革は、地球を相手にしている地質学者も乗り越えてきたし、今後も起こるはずである。

参考文献

- ANDERS, E. & M. EBIHARA, 1982. Solar-system abundances of the elements. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **46**: 2363-2380.
- 有本信雄, 1993. 進化する銀河. 科学, **63**: 86-94.
- ARIMOTO, N. & Y. YOSHII, 1986. Photometric and chemical evolution of galaxies based on a evolutionary method of population synthesis. *Astrom. Astrophys.*, **164**: 260-273.
- ARIMOTO, N. & Y. YOSHII, 1987. Chemical and photometric properties of a galactic wind model for elliptical galaxies. *Astrom. Astrophys.*, **176**: 23-38.
- BURBIDGE, E. M., M. BURBIDGE, W. A. FOWLER & F. HOYLE, 1957. Synthesis of the elements in stars. *Rev. Mod. Phys.*, **29**: 547-650.
- CLAYTON, D. D., 1968. Principles of Stellar Evolution and Nucleosynthesis. 612 pp. McGraw Hill, New York.
- FOWLER, W. A., 1972. New observations and old nucleocosmochronologies. In Reines, F., ed., *Cosmology, Fusion and other Matters*, pp. 67-123. Colorad. Associated Univ. Press, Boulder.

- GOLDREICH, P. & W. R. WARD, 1973. The formation of planetesimals. *Astrophys. Jour.*, **183**: 1051-1061.
- 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, pp. 13-18.
- HERBIG, G. H. 1958. T Tauri stars, flare stars, and related objects as members of stellar associations. In O'Connell, D. J. K., ed., *Stellar Populations*, pp. 129-142. North Holland, Amsterdam.
- HOYLE, F., 1955. *Frontiers in Astronomy*. pp. 68-72. William Heinemann, London.
- 池内 了, 1993. 銀河はいつできたのか. 科学, **63**: 82-85.
- 磯部瑋三, 1993. 宇宙のしくみ. 174 pp. 日本実業出版, 東京.
- JEANS, J. H., 1916. *The Dynamical Theory of Gases*. Cambridge Univ. Press., Cambridge.
- KANT, E., 1755. *Allgemeine Naturgeschichte und Theories des Himmels*.
- LAPLACE, P. S., 1795. Exposition du systeme du monde. In *Corpus des Oeuvres de philosophie en langue française*. Fayard, Paris.
- 松本敏雄, 1988. 第5章膨張宇宙の観測. 早川幸男・佐藤文隆・松本敏雄編, 現代の宇宙論, pp. 133-160. 名古屋大学出版会, 名古屋.
- 水谷 仁, 1978. 第1章太陽系の基礎データ. 小沼直樹・水谷 仁編, 岩波講座地球科学13, pp. 1-19. 岩波書店, 東京.
- 中野武宣, 1983. 第Ⅲ章2原始星. 高倉達雄監修, 現代天文学小事典, pp. 144-148. 講談社, 東京.
- 中川義次, 1983 a. 第Ⅲ章3原始原始太陽星雲. 高倉達雄監修, 現代天文学小事典, pp. 148-151. 講談社, 東京.
- 中川義次, 1983 b. 第Ⅲ章4原始惑星. 高倉達雄監修, 現代天文学小事典, pp. 151-152. 講談社, 東京.
- 中川義次, 1983 c. 第Ⅲ章5固体層. 高倉達雄監修, 現代天文学小事典, pp. 152-154. 講談社, 東京.
- 中川義次, 1983 d. 第Ⅲ章6固体の凝縮. 高倉達雄監修, 現代天文学小事典, pp. 154-156. 講談社, 東京.
- NAKAGAWA, Y., K. NAKAZAWA, & C. HAYASHI, 1981. Growth and sedimentation of dust grains in the primordial solar nebula. *Icarus*, **45**: 517-528.
- 中川義次・渡辺誠一郎, 1993. 5惑星系の起源. 清水幹夫編, 惑星の科学, pp. 185-219. 朝倉書店, 東京.
- 中沢 清, 1978. 第2章太陽系の起源と進化. 小沼直樹・水谷 仁編, 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. 長谷川博一・大林辰蔵編, 現代の太陽系科学上, pp. 48-81. 東京大学出版会, 東京.
- 並木雅俊, 1990. 星と宇宙の物理読本. 254 pp. 丸善, 東京.
- 西村 純, 1988. 第9章宇宙線. 早川幸男・佐藤文隆・松本敏雄編, 現代の宇宙論, pp. 264-317. 名古屋大学出版会, 名古屋.
- 野口正史, 1993. 銀河の相互作用. 科学, **63**: 95-102.
- 野津憲治, 1978. 第1章宇宙年代学. 小嶋 稔・斎藤常正編, 岩波講座地球科学6, pp. 1-17. 岩波書店, 東京.

- RICH, R. M., 1990. Kinematics and abundances of K giants in the nuclear bulge of the Galaxy. *Astrophys. Jour.*, **362**: 604-619.
- ROZENTAL, I. L. 1988. Big Bang Big Bounce; How Particles and Field Drive Cosmic Evolution. 池内 了訳, 1991. 163 pp. Springer-Verlang 東京, 東京.
- RUTHERFORD, E. & F. SODDY, 1903. Radio-active Change. *Phil. Mag.*, **5**: 576-591.
- 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).
- 佐藤文隆, 1988. 第8章宇宙初期と暗黒物質. 早川幸男・佐藤文隆・松本敏雄編, 現代の宇宙論, pp. 230-263. 名古屋大学出版会, 名古屋.
- 佐藤勝彦, 1988. 第7章バリオンと元素の起源. 早川幸男・佐藤文隆・松本敏雄編, 現代の宇宙論, pp. 204-229. 名古屋大学出版会, 名古屋.
- 佐藤修二, 1983. 第Ⅲ章14おうし座T型星. 高倉達雄監修, 現代天文学小事典, pp. 171-173. 講談社, 東京.
- SCHMIDT, O. Y., 1944. Meteoritic Theory of the Origin of the Earth and Planets. U.R.S.S., Dokl Akad. Nantz.
- 杉本大一郎, 1991. 第8章星はどのように進化するのか? 日本物理学会編, 現代の宇宙像, pp. 97-107. 培風館, 東京.
- 鈴木博子, 1983. 第V章6星間物質. 高倉達雄監修, 現代天文学小事典, pp. 273-276. 講談社, 東京.
- 鈴木敬信, 1986. 天文学通論. 495 pp. 他人書房, 東京.
- 鈴木敬信, 1991. 天文学辞典. 830 pp. 他人書房, 東京.
- 寺沢信雄, 1986. 宇宙の元素合成. 日本物理学会誌, **41**: 102-110.
- 辻本拓司・野本憲一, 1993. 銀河の化学力学進化と超新星. 科学, **63**: 103-112.
- UREY, H. C., 1952. The Planets: Their Origin and Development. 245 pp. Yale Univ. Press, New Haven.
- VAN DEN BERGH, S. & G. A. TAMMANN, 1991. Galactic and extragalactic supernove rates. *Annu. Rev. Astrom. Astrophys.*, **29**: 363-407.
- YANG, J., M. S. TURNER, G. STEIGMAN, D. H. SCHRAMM, & K. A. OLIVE, 1984. Primordial nucleosynthesis: A critical comporison of theory and observation. *Astrophys. Jour.*, **281**: 493-544.
- 吉井 譲, 1989. 銀河の進化と観測的宇宙論. 科学, **59**: 709-718.
- YOSHII, Y. & N. ARIMOTO, 1987. Spheroidal system as a one-parameter family of mass at their birth. *Astrom. Astrophys.*, **188**: 13-23.

大磯丘陵の篠窪火砕岩について

今 永 勇¹⁾・杉 山 茂 夫²⁾

(1) 神奈川県立博物館・2) 神奈川県温泉地学研究所)

On the Shinokubo Pyroclastic Rocks in the Oiso Hill

Isamu IMANAGA¹⁾ & Shigeo SUGIYAMA²⁾

1) Kanagawa Prefectural Museum, Naka-ku, Yokohama, Kanagawa 231, Japan

2) Hot Springs Research Institute Kanagawa Prefecture, Yumoto, Hakone-machi, Kanagawa 250-03, Japan

Abstract. In the northwestern area of Oiso Hill is distributed Shinokubo Pyroclastic rocks, which is dated 4.34 ± 0.18 million age. It is deposited in Pliocene after Turugizawa Formation and Yato Formation of Miura Group in Upper Miocene, and is located between Tanzawa Group in the northwest and Komayama Group in the southeast.

大磯丘陵は、これまでに数多くの研究がなされている。大磯丘陵全体の地質については、大塚 (1929a, b), 小島 (1954), 関東第四紀研究会 (1987) などの研究があり、大磯丘陵南部について、Ito (1986), 矢野 (1986) ほかの研究がある。しかし大磯丘陵北部については、まだ研究が十分になされていない。ここでは、大磯丘陵北部に分布し、従来足柄層群と同時異相とされていた (例えば竹越他, 1988) 篠窪火砕岩について年代測定結果を中心に報告する。

1. 大磯丘陵の地質概説

大磯丘陵の基盤第三系は、北部の丹沢層群、中部の三浦層群、南部の高麗山層群に大きく分けられる。三浦層群は、南部に大磯層、中部に剣沢層、谷戸層、篠窪火砕岩、鷹取山層が分布している。これらを覆って更新統の足柄層群、前川層、二宮層、吉沢層などが広がっている。

大磯丘陵北西部には、足柄層群最下部層、丹沢層群および斑晶質安山岩からなる篠窪火砕岩が分布している。篠窪火砕岩は、斜長石はん晶の目だつ安山岩と火山角礫岩の互層からなり、東名高速道路の北側に東西に約 3 km にわたって横に長く分布し、北側の丹沢層群、足柄層群と断層で接している。

2. 大磯丘陵北部の地質

大磯丘陵北部の地質層序は、下位から次のように区分される。

丹沢層群

篠窪火砕岩

足柄層群日向凝灰質砂岩泥岩層

丹沢層群は、大磯丘陵西部の小松制作所実験場のある神山から東に篠窪、峠、境別所にかけて分布している。岩相は、頁岩、凝灰岩、火山礫凝灰岩からなり、一部は、石英安山岩質凝灰岩と、同質の火山礫凝灰岩からなる。計測できたところでは、走向が北西－南東、45度東傾斜か走行が西北西－東南東で垂直を示す。同層群中に、走向が西北西－東南東で東に急傾斜の横滑り断層とまた共役な北北西の断層がみられ、水平最大圧縮応力軸が、北西方向（40°－50° W）を示している。本層群の北側は、渋沢断層で限られているが、南側は、篠窪火砕岩と西北西－東南東の断層で接している。本層群の層厚は、不明である。

篠窪火砕岩は、頁岩、斑晶質の安山岩質溶岩と火山碎屑岩とからなり、全体として褐色、黄褐色、灰褐色をしている。火山碎屑岩は、細粒凝灰岩から角礫岩までであるが、斑晶質の火山碎屑岩層が大部分を占めている。岩相は、大磯丘陵南西部に分布する剣沢層に良く似ている。分布は、東名高速道路の北側に分布し、模式地は、篠窪南東の沢。層厚は、篠窪の沢で190m以上ではあるが、高尾から柳にかけての同層の走向傾斜が不明につき全体の層厚は不明である。構造は、篠窪南東で、走向が北東－南西で、30から46度南東傾斜である。本層は、篠窪東でN65° W， 50° N Eの断層で下位丹沢層群と接し、南側は、更新統の海成層およびローム層に覆われる。

大磯丘陵の足柄層群は、川音川東岸の狭い地域に分布し、砂岩泥岩互層からなり、川音川西岸に分布する礫岩層と岩相がまったく異なっている。走向傾斜が、ほぼ東－西方向、北傾斜である。神山の滝から川音川を700m南西に下ったところにある大磯丘陵側の支谷では、足柄層群の砂岩層がN30° E， 82° Wの断層により、篠窪火砕岩と接している。この川音川東岸の川に平行な北東－南西方向の断層の延長が中津川断層を切っているかどうかは明かではない。

表 1．大磯丘陵の層序．

地 質 時 代	大磯丘陵北部	大 磯 丘 陵 南 部
更新世	日向凝灰質砂岩泥岩層	
鮮新世 後期中新世	篠窪火砕岩 (4.34±0.81Ma)	鷹取山層 剣沢層／谷戸層
中期中新世	丹沢層群	高 麗 山 層 群

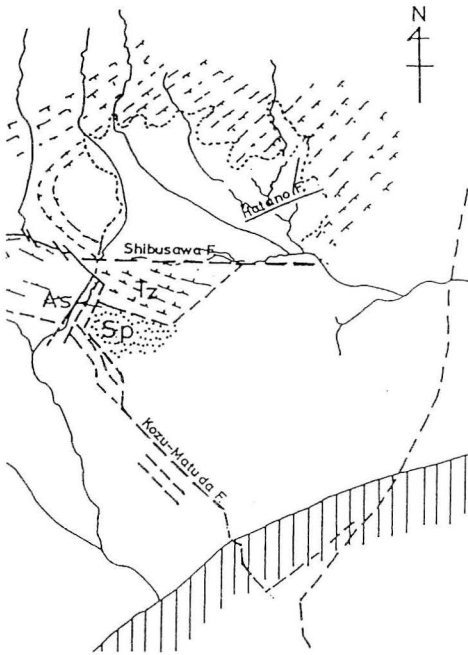


図1. 篠窪火砕岩の模式分布図.

Tz: 丹沢層群; As: 足柄層群; Sp: 篠窪火砕岩; 太い破線: 断層線.

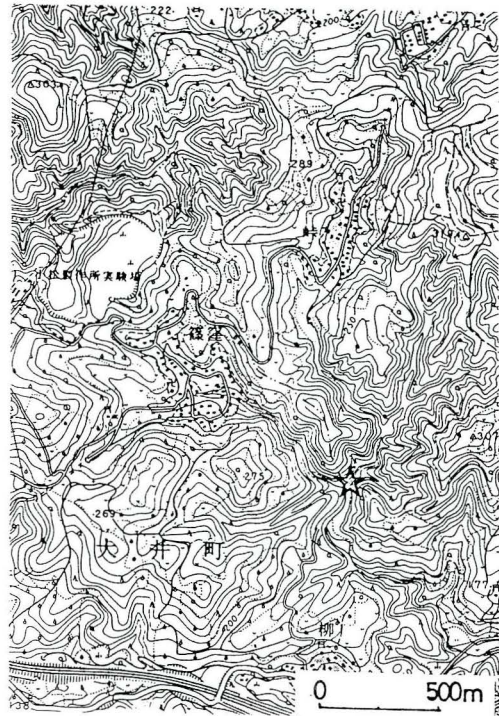


図2. 年代測定資料採集位置図 (星印).

3. 篠窪火砕岩の年代

篠窪火砕岩の安山岩を大井町ゴミ処理所北東250mの地点(図2の星印)で採集し、三菱マテリアルに委託、絶対年代の測定をおこなった。測定の結果、 $4.34 \pm 0.81\text{Ma}$ の値が得られた。一方、足柄層群の年代が1.65Ma以降の堆積であることがわかっているのでこの年代が正しいとすれば、篠窪火砕岩の年代は、これまで考えられていたよりも古く、足柄層群形成以前の堆積物となる。

これまでの研究により、大磯丘陵中部～南西部の三浦層群の層序は、剣沢層、谷戸層、鷹取山層に区分される(Ito, 1986, 矢野, 1986)。下部剣沢層の安山岩質火砕岩のK-Ar年代が、10.4Maと報告されている(伊藤, 1986)。また剣沢層、谷戸層は、ナノ化石から後期中新世CN9(5.6-7.0Ma)とされている。谷戸層、剣沢層が、CN9であることから東丹沢の寺家泥岩層に対比され、鷹取山層は、それよりも若い時代に堆積したものとされ、落合礫岩層に対比されている(矢野, 1986)。篠窪火砕岩は、その絶対年代 $4.34 \pm 0.81\text{Ma}$ から、足柄層群ではなく、むしろ鷹取山層に対比され、剣沢層・谷戸層に連続する火山活動により形成されたものと考えられる。

4. まとめ

大磯丘陵北西部に分布する篠窪火砕岩は、丹沢層群と足柄層群最下部層の日向凝灰質砂岩泥岩層と断層で接している。その年代測定値は、 $4.34 \pm 0.81\text{Ma}$ の年代を示した。大磯丘陵は、北

部と南部に基盤の丹沢層群，高麗山層群の中期中新統が分布し，その間に剣沢層，谷戸層が活動し，それについて篠窪火砕岩が活動したものと考えられる。

文 献

- ITO, M., 1986. Neogene depositional history in Oiso Hill: Development of Okinoyama Bank Chain on landward slope of Sagami Trough, central Honshu, Japan. *Jour. Geol. Soc. Jpn.*, **92**: 47-64.
- 関東第四紀研究会, 1987. 大磯丘陵の層序と構造. 関東の四紀, (13): 3-46.
- 小島伸夫, 1954. 大磯地塊の地質について. 地質学雑誌, **60**: 445-454.
- 大塚弥之助, 1929a. 大磯丘陵を中心とする地域の層序に就いて (その一). 地質学雑誌, **36**: 435-456.
- 大塚弥之助, 1929b. 大磯丘陵を中心とする地域の層序に就いて (その二). 地質学雑誌, **36**: 479-497.
- 竹越 智, 1988. 神縄断層の東方延長について, 地質学会講演予稿集, p. 444.
- 矢野 亨, 1986. 大磯丘陵南部地域の層序とその地質年代および堆積環境. 静岡大学地球科学研究報告, (12): 191-208.

神奈川県立博物館研究報告（自然科学）23号

平成6年3月25日 印刷

平成6年3月28日 発行

発行者 神奈川県立博物館
館長 安藤 雅之

〒231 横浜市中区南仲通5-60
電話 (045) 201-0926
FAX (045) 201-7364

印刷所 朝日オフセット印刷株式会社

編集担当：瀬能 宏，木場英久

**BULLETIN OF
THE KANAGAWA
PREFECT. MUSEUM
Natural Science No.23**

KANAGAWA PREFECTURAL MUSEUM

Yokohama JAPAN

Mar. 1994