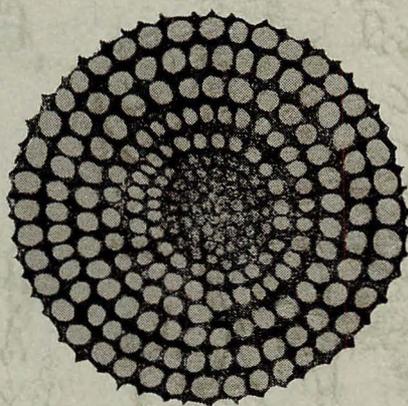


ISSN 0022-9202

化石

36

昭和59年11月



日本古生物学会

- 第 1 条 本会は日本古生物学会という。
- 第 2 条 本会は古生物学およびこれに関係ある諸学科の進歩および普及を計るのを目的とする。
- 第 3 条 1. 会誌そのほかの出版物の発行。2. 学術講演会の開催。3. 普及のための採集会・講演会そのほかの開催。4. 研究の援助・奨励および研究業績ならびに会務に対する功勞の表彰その他第 2 条の目的達成に資すること。
- 第 4 条 本会の目的を達するため總會の議を経て本会に各種の研究委員会を置くことができる。
- 第 5 条 本会は古生物学およびこれに関係ある諸学科に興味を持つ会員で組織する。
- 第 6 条 会員を分けて普通会员・特別会員・賛助会員および名誉会員とする。
- 第 7 条 普通会员は所定の入会申込書を提出した者につき評議員会の議によって定める。
- 第 8 条 特別会員は本会に 10 年以上会員であり古生物学について業績のあるもので、特別会員 5 名の推薦のあったものにつき評議員会の議によって定める。
- 第 9 条 賛助会員は第 2 条の目的を賛助する法人で評議員会の推薦による。
- 第 10 条 名誉会員は古生物学について顕著な功績のある者につき評議員会が推薦し、總會の決議によって定める。
- 第 11 条 会員は第 12 条に定められた会費を納めなければならない、会員は会誌の配布を受け第 3 条に規定した事業に参加することができる。
- 第 12 条 会費の金額は總會に計って定める。会費は普通会员年 7,000 円、特別会員年 8,500 円、賛助会員年 1 口 15,000 円以上とする。名誉会員は会費納入の義務がない。在外の会員は年 8,500 円(または等価の U. S. ドル)とする。
- 第 13 条 本会の経費は会費・寄付金・補助金などによる。
- 第 14 条 会費を 1 年以上滞納した者および本会の名誉を汚す行為のあった者は、評議員会の議を経て除名することができる。
- 第 15 条 本会の役員は会長 1 名、評議員 15 名、および常務委員若干名とする。任期は総て 2 年とし再選を妨げない。評議員は特別会員の中から会員の通信選挙によって選出される。会長の委嘱により本会に幹事および書記若干名を置くことができる。常務委員会は評議員会において互選された者で構成される。但し会務上必要とする場合は、特別会員の中から常務委員若干名を評議員会の議を経て加えることができる。
- 第 16 条 会長は特別会員の中から評議員会において選出され、本会を代表し会務を管理する。会長に事故ある場合は会長が臨時代理を委嘱する。
- 第 17 条 本会には名誉会長を置くことができる。名誉会長は評議員会が推薦し總會の決議によって定める。名誉会長は評議員会に参加することができる。
- 第 18 条 本会は毎年 1 回定例總會を開く。その議長には会長が当たり本会運営の基本方針を決定する。總會の議案は評議員が決定する。会長は必要があると認める時は臨時總會を召集する。總會は会員の十分の一以上の出席をもって成立する。会長は会員の三分の一以上の者から会議の目的たる事項および召集の理由を記載した書面をもって總會召集の請求を受けた場合は臨時總會を召集する。任期は 2 年とし再選を妨げない。
- 第 19 条 總會に出席しない会員は他の出席会員にその議決権の行使を委任することができる。但し、欠席会員の議決権の代行は 1 人 1 名に限る。
- 第 20 条 總會の議決は多数決により、可否同数の時は議長がこれを決める。
- 第 21 条 会長および評議員は評議員会を組織し、總會の決議による基本方針に従い運営要項を審議決定する。
- 第 22 条 常務委員は常務委員会を組織し評議員会の決議に基づいて会務を執行する。
- 第 23 条 会計監査 1 名をおく。監査は評議員会において評議員および幹事をのぞく特別会員の中から選出される。任期は 2 年とし再選を妨げない。
- 第 24 条 本会の会計年度は毎年 1 月 1 日に始まり 12 月 31 日に終る。
- 第 25 条 本会会則を変更するには總會に付議し、その出席会員の三分の二以上の同意を得なければならない。
- 付 則 1) 評議員会の議決は無記名投票による。

表紙の写真： *Porodiscus communis* Rüst.
100 年前に発行された D. Rüst. の
「ジュラ系の放散虫化石」より

化石 36号

1984年11月

目次

論説

- 常磐炭田上遠野地域の中新統中山層産貝化石群集……………高橋宏和 1
層状放射虫チャートの起源
II. 珪酸殻物質の沈殿・剝削および結晶化作用に関する実験的考察……………箕浦幸治・中谷 周 19
異常巻きアンモナイト *Nipponites* の理論形態……………岡本 隆 37

評論

- 系統と歴史生物地理研究の科学性……………速水 格・安藤寿男 53

ノート

- 学士院紀要の著者索引と矢部長克の著作目録……………小林貞一 59

図書案内

- 古生物図書ガイド(4)……………小島郁生 58

ニュース

- IGC 検討会議報告…………… 61

- 新刊紹介……………52, 60

“化石”臨時投稿規定

1. 原稿の種類

和文で書かれた古生物学を中心とした原著論文、短報、評論、解説、新刊紹介、書評、抄録、ニュースその他の記事。

2. 投 稿

原稿は所定の様式の投稿原稿整理カード（コピーして使用されたい）をそえて投稿する。原著論文の投稿に際しては、正規の論文原稿の他に、図、表、図版等を含む完全なコピー1組を付けること。

編集部は、必要に応じて受付原稿のコピーを編集委員以外の適切な人に示し、その意見を徴することができる。

3. 原稿の送付先

〒980 仙台市荒巻字青葉

東北大学理学部地質学古生物学教室内
日本古生物学会“化石”編集部

4. 原稿の体裁

- a. 原稿は400字詰横書き原稿用紙を用い、1論文の長さは原則として40枚以内とする。
- b. 原稿には欧文の表題およびローマ字つづりの著者名をつける。

c. 原著論文には欧文の要旨をつける。

d. 原稿第1ページに脚注として、著者の所属機関を書く。

e. 図または表の呼称は、図1、図2または表1、表2とする。

5. 文 章

a. 文章はひらがなと漢字による「である体」とし、現代かなづかい、当用漢字を用いる。ただし、固有名詞や学界で慣用の術語はこの限りでない。

b. 句読点は、。を用いる。

c. 人名の姓には小キャピタル字体は用いない。

d. 生物の学名のイタリック字体の指定、図・表を入れる位置の指定は著者自身が行う。

6. 引用文献

引用文献は文献として論文末に一括する。体裁は地質学雑誌に準じる。特に必要のない限り、ページまでを完記し、図・表・図版数は省略する。

7. 著者負担

a. 2枚をこえる図版、および折込み図表は原則として著者の負担とする。

b. 14印刷ページを超える分については原則として著者負担とする。

c. 別刷は有償とする。

常磐炭田上遠野地域の中新統中山層産貝化石群集

高橋 宏 和*

Molluscan assemblages from the Miocene Nakayama Formation
in the Kadono district, Joban Coal-Field, Fukushima Prefecture

Hirokazu Takahashi*

Abstract Intertidal molluscan species are predominant in the Nakayama Formation of late Early to earliest Middle Miocene age in the Kadono District, Joban Coal-Field, Fukushima Prefecture. There are recognized four assemblage types that have occupied distinct habitats, on the basis of species composition, species frequency, ecology of living allied species, the mode of occurrence, depositional facies and stratigraphic successions. Type I, the so-called Arcid-Potamid assemblage, has occupied around the low tide mark in the frontal zone of the estuarine mangrove swamp. Type II has been common on the tidal flats developed along the beach, or mainland tidal flats in lagoonal environments. Type III has existed on the tidal flats of barrier beach. Type IV is a mixed assemblage including shallow-water species and intertidal ones. *Vicarya yokoyamai* was obtained from types I, II and III, while *V. callosa japonica* was only found in type IV. Therefore, these two species are presumed to have lived in different habitats, for example, the latter species may have mainly occupied more seaward intertidal zone than have done the former, or been inhibited along the tidal channels.

1. はじめに

いわゆる Arcid-Potamid 群集は、*Anadara kakehataensis*, *A. kurosedaniensis*, *Striarca uetsukiensis*, *Cucullaea toyamaensis* 等の Arcidae 科の二枚貝類と、*Vicarya yokoyamai*, *Vicaryella notoensis*, *Cerithidea kanpokuensis*, *C. yatsuoensis* 等の Potamididae 科の巻貝類を特徴種とする貝化石群集である。本群集は、津田 (1965) により命名され、Otuka (1939), Chinzei (1978), 鎮西 (1982 b) 等の門ノ沢動物群を特徴づける群集と考えられている。特に本群集は、熱帯ないし亜熱帯の潮間帯付近の環境を示し、かつ初期中新世後期から中期中新世最初期の限られた時期に、九州種子島 (Hayasaka, 1969) から北海道奥尻島 (Uozumi and Fujie, 1966) に至るまで広域的に分布することから、これまで古環境や時代決定の良き指標とされてきた。

常磐炭田地域では、*Vicarya yokoyamai* が二層準に産出することが、江口・庄司 (1953), 半沢 (1954), Kamada (1960, 1962), 鎌田 (1972) 等によって報告されている。*Vicarya yokoyamai* は、下位の層準の

滝層では *Vicaryella jobanica*, 上位の層準の中山層では *V. ishiiiana* と共産するが、Arcidae 科の種、特に *Anadara kakehataensis* との共産は知られていない。しかも、二つの産出層準、すなわち滝層と中山層の間には、厚い海成層及び不整合が存在する。

筆者は、常磐炭田上遠野地域に分布する中山層の調査から、初めて *Anadara* cf. *kakehataensis* と *Vicarya yokoyamai*, *Vicaryella* cf. *ishiiiana*, *Tateiwaia tateiwai*, *T. yamanarii*, *Cerithidea* aff. *minoensis* 等が共産する Arcid-Potamid 群集を発見したので、ここに報告し、合わせて中山層産貝化石群集について詳述する。加えて、本地域で従来 *Vicarya*, *Vicaryella* 類が不整合を挟んだ二層準から産するという産出層準の問題についても言及する。

2. 調査地域及び地質概説

上遠野地域は、福島県南東部、常磐炭田の主要稼行炭鉱のあった湯本地域の西方に位置する (図 1)。上遠野地域の層序については、徳永 (1927), 渡辺・紺野 (1934), 渡辺・佐藤 (1937), 半沢 (1954), 藤井 (1956), 須貝ほか (1957), Mitsui (1971) らによって研究されている。

上遠野地域の新第三系は、阿武隈変成岩類及び花

* 筑波大学地球科学研究科

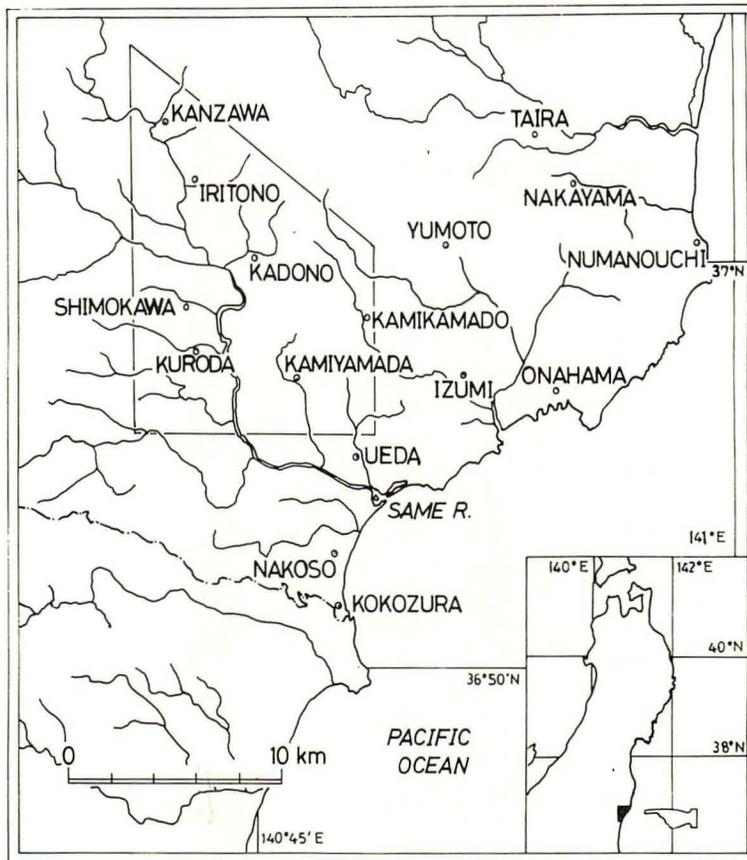


図1 調査地域の位置図(囲いの中が調査地域)

Fig. 1 Index map of the investigated area, which is enclosed with lines

崗岩類からなる基盤岩類を不整合におおい、下位より湯長谷、白土、高久及び多賀の4層群に区分される。おのおの層群の間には、不整合関係が認められる。上遠野地域の地質図及び模式柱状図を図2、図3に示す。

湯長谷層群は、下位より滝層、五安層、水野谷層、亀ノ尾層、平層に区分される。各層は、東ないし北東にゆるく傾斜する同斜構造をなす。

滝層(植田, 1951)は、基盤岩類を不整合におおい、主に礫岩、砂岩、シルト岩、炭質頁岩、亜炭、凝灰岩等からなる。滝層下部からは、*Glycymeris cisshuensis*, *Venericardia subnipponica*, *Ezocallista kurodea*, *Pitar* cf. *ashiyaensis*等の浅海棲二枚貝類を多産する。これらは、初期中新世の芦屋動物群(Otuka, 1939; Chinzei, 1978)に良く見られる種又はその類縁種である。滝層上部からは、半沢(1954)、Kamada (1960, 1962)、鎌田(1972)、三井(1972)により *Vicarya yokoyamai*の産出が報告されており、筆者は上遠野地域南方の上山田より *Vicarya* sp. を

得た。

五安層(中村, 1913)は、主に花崗岩質砂岩からなる。上遠野以北では、五安層は、基底礫岩をもって直接基盤岩類を不整合におおっている。

水野谷層(中村, 1913)は、主に塊状砂質シルト岩、砂岩・シルト岩互層からなる。

亀ノ尾層(中村, 1913)は、主に葉理の良く発達した頁岩、砂岩・シルト岩互層、塊状シルト岩からなる。本層から、*Portlandia tokunagai*を優先種とする深海棲二枚貝化石が多産する。

平層(徳永, 1927)は、上遠野地域では、塊状の中粒ないし粗粒砂岩からなる下部の上矢田砂岩部層(須貝・松井, 1953)と、塊状泥岩を主とする上部の本谷泥岩部層(渡辺, 1929)に分けられる。

湯長谷層群の上位には、白土層群が不整合に重なる。図2の地質図に示す様に、白土層群は、滝層を除く湯長谷層群の各層を南東から北西へ向かって順次オーバーラップしている。上遠野の西方では、白土層群は、基盤岩類の角閃片岩を直接不整合におお

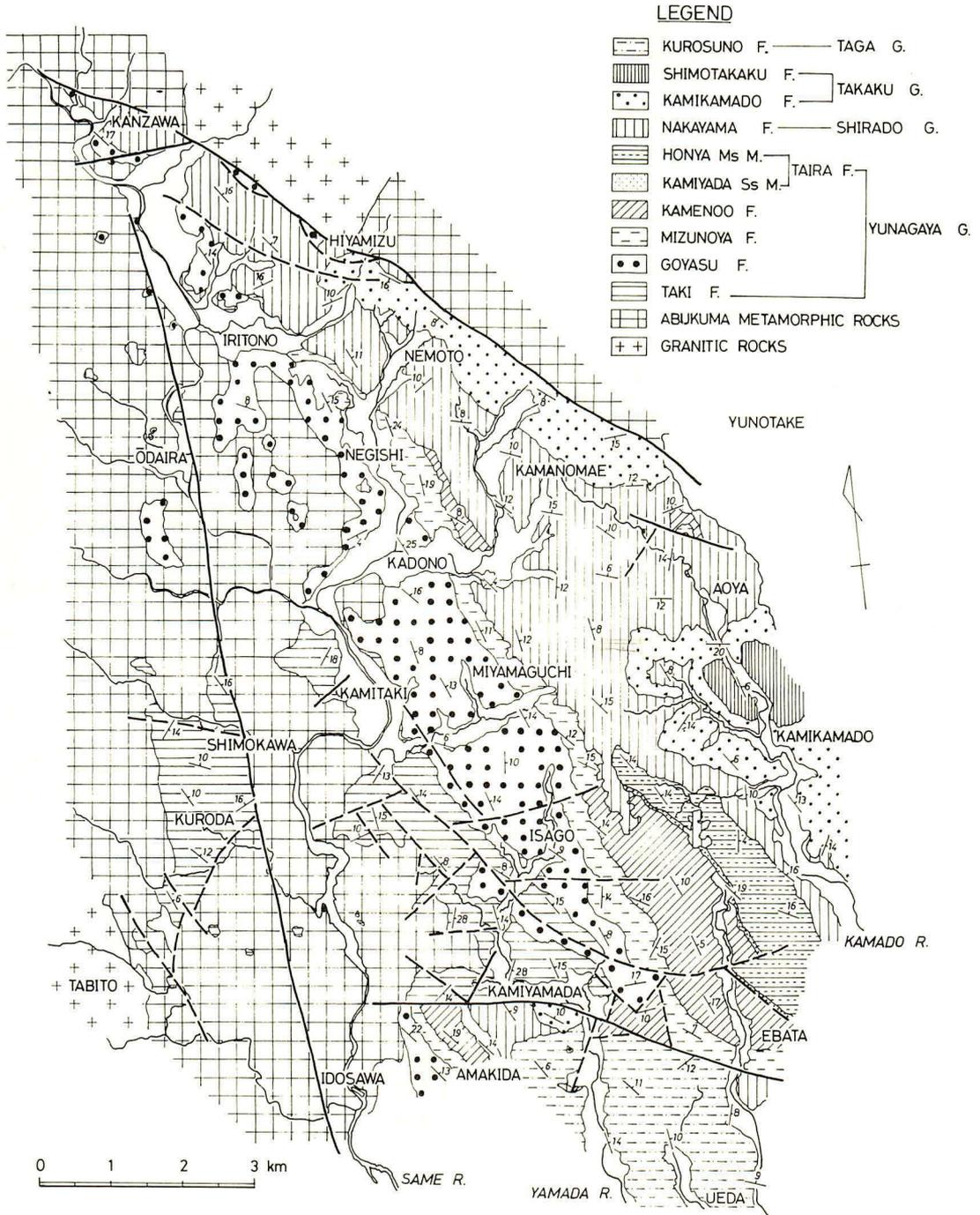


図2 上遠野地域の地質図
Fig.2 Geological map of the Kadono district

AGE	G.	FORMATION	MEMBER	THICK (m)	COLUMN	LITHOLOGY	MOLLUSCAN FOSSILS	PLANT FOSSILS	VOLCANIC ACT.
MIOCENE	TAGAKU G.	KUROKUNO F.		100+		massive tuffaceous siltstone conglomerate & sandstone	<i>Portlandia japonica</i> , <i>Anadara</i> (<i>Anadara</i>) <i>watanabei</i> , <i>Periploma pulchella</i> , <i>Macoma calcaria</i> , <i>Cultellus izumoensis japonicus</i> ,		RHYOLITE
				50		tuffaceous sandy siltstone			
	TAKAKU G.	KAMIKAMADO F.		80		fine-grained sandstone medium-to coarse-grained arkosic sandstone conglomerate siltstone	<i>Acila</i> (<i>Acila</i>) <i>submirabilis</i> , <i>Saccella confusa</i> <i>kongiensis</i> , <i>Anadara</i> (<i>Anadara</i>) <i>watanabei</i> , <i>Siliqua</i> cf. <i>minoensis</i> , <i>Nassarius shimizui</i> ,		
				220		tuffaceous sandstone alternation of tuffaceous sandstone & siltstone lapilli tuff tuff, pumice tuff tuff breccia lava	<i>Anadara</i> cf. <i>kakehataensis</i> , <i>Crassostrea gravitesta</i> <i>Saxolucina khataii</i> , <i>Hiatula minoensis</i> , <i>Dosinia</i> (<i>Phacosoma</i>) <i>nomurai</i> , <i>Cyclina japonica</i> <i>Vicarya callosa japonica</i> , <i>V. yokoyamai</i> , <i>Vicaryella</i> cf. <i>ishiana</i> , <i>Cerithidea</i> aff. <i>minoensis</i> , <i>Tateiwaiwa tateiwai</i> , <i>T. yamanarii</i> ,	<i>Comptonia naumanii</i> <i>Quercus</i> (<i>Cyclobalanopsis</i>) sp. <i>Zelkova</i> sp. <i>Cinnamomum</i> sp. <i>Liquidambar</i> sp. <i>Acer</i> sp. <i>Diospyros</i> sp.	RHYOLITE ANDESITE BASALT
	SHIRADO GROUP	NAKAYAMA F.		100		massive siltstone	<i>Solemya tokunagai</i> , <i>Palliolium peckhami</i> , <i>Lucinoma actilineata</i> , <i>Conchocele bisecta</i> , <i>Vesicomya kawadai</i> , "Akebiconcha" <i>chitanii</i> ,		
			HONYA Ms. M.	40		medium-grained arkosic sandstone			
			KAMIYADA Ss. M.	120		siltstone alternation of sandstone & siltstone shale	<i>Acila</i> (<i>Acila</i>) <i>eximia</i> , <i>A. (A.) submirabilis</i> , <i>Portlandia</i> (<i>Acilana</i>) <i>tokunagai</i> , <i>Lucinoma otukai</i> , <i>Venericardia</i> (<i>Cyclocardia</i>) <i>orbica</i> , <i>V. (C.) cf. laxata</i> , <i>Turritella</i> (<i>Hataiella</i>) cf. <i>omurai</i> ,	<i>Quercus</i> sp. <i>Acer</i> sp.	
	GROUP	KAMENOO F.		85		alternation of sandstone & siltstone massive siltstone	<i>Lucinoma</i> cf. <i>otukai</i> , <i>Conchocele bisecta</i> ,		
				210		fine-grained sandstone medium-to coarse-grained arkosic sandstone conglomerate	<i>Venericardia</i> (<i>Cyclocardia</i>) sp.	<i>Acer</i> sp.	
	YUNAGAYA	GOYASU F.		150		lignite tuff medium-to coarse-grained sandstone lignite & siltstone, tuffaceous conglomerate siltstone	<i>Glycymeris cisshuensis</i> , <i>Dosinia</i> (<i>Phacosoma</i>) <i>nomurai</i> , <i>Cyclina japonica</i> , <i>Vicarya</i> sp. <i>Cerithidea sugaii</i> , <i>Crassostrea mundana</i> <i>Trapezium</i> (<i>Neotrapezium</i>) <i>ischaraense</i> , <i>Cultellus</i> <i>izumoensis</i> , <i>Venericardia</i> (<i>Venericor</i>) <i>subnipponica</i> , <i>Ezocallista kurodae</i> , <i>Cerithidea</i> (<i>Cerithideopsis</i>) sp.	<i>Taxodium</i> sp. <i>Glyptostrobus</i> sp. <i>Metasequoia occidentalis</i> <i>Comptonia</i> sp. <i>Fagus antipofi</i>	RHYOLITE
						amphibolite granite			
Pre-T.		BASEMENT ROCKS							

図3 上遠野地域の模式柱状図
Fig. 3 Generalized stratigraphic section of the Kadono district

っている。白土層群は、その上位の高久層群と共に北西-南東方向を軸とし、南東側にゆるく開いた向斜構造(釜ノ前向斜; Mitsui, 1971)をなしている。

白土層群は、中山層のみからなる。

中山層(Watanabe, 1926)は、著しく火山砕屑物に富み、主に安山岩質凝灰角礫岩、火山円礫岩、火山礫凝灰岩、砂質凝灰岩、石英安山岩質ないし流紋岩質浮石質凝灰岩、細粒凝灰岩、凝灰質砂岩、シルト岩等からなる。入遠野の北西、宮沢入口の中山層下部には、玄武岩質枕状熔岩、ハイアロクラスタイトが見られ、加納ほか(1973)、一色(1974)は、これらが極く近くの陸上から海中に流入したと述べている。入遠野の北方、上根本周辺の中山層下部に網状河川性堆積物が良く見られ、陸域が近くに存在した事がわかる。中山層上部の砂岩、シルト岩から潮間帯及び上浅海帯の貝化石が多産し、特に上根本北方から *Anadara cf. kakehataensis*, *Vicarya yokoyamai*, *Vicaryella cf. ishiiana*, *Tateiwaia tateiwai*, *T. yamanarii*, *Cerithidea aff. minoensis* 等からなる Arcid-Potamid 群集が確認された。

この白土層群中山層を、高久層群が平行不整合におおう。上遠野地域の高久層群は、下位の斜交層理の発達する花崗岩質砂岩からなる上釜戸層(Mitsui, 1971)と、上位の塊状凝灰質シルト岩からなる下高久層(須貝・松井, 1953)に分けられる。上釜戸層から、*Acila submirabilis*, *Anadara watanabei*, *Dosinia nomurai*, *Siratoria siratoriensis* 等、門ノ沢動物群(Otuka, 1939; Chinzei, 1978; 鎮西, 1982 b)に特徴的な浅海棲二枚貝化石を産する。

高久層群以下の地層をゆるい傾斜不整合でおおう多質層群黒須野層(Mitsui, 1971)は、上遠野地域の南方に認められるE-W方向の山田断層の南側のみ分布し、塊状凝灰質シルト岩、砂岩、浮石質凝灰岩からなる。

以上、本地域の地質の概略を述べた。確かに *Vicarya* は、滝層と中山層の2層から産出する。滝層は、不整合を隔てて、明らかに中山層の下位にあるが、その不整合による間隙は極めて短く、湯長谷層群及び白土層群のすべてが、初期中新世後期から中期中新世最初期の間に堆積したとする意見もある(増田, 1973)。中山層は、初期中新世後期から中期中新世初期(台島・西黒沢階)のいわゆる「グリーン・タフ変動」による安山岩質及び石英安山岩質ないし流紋岩質の火山砕屑岩を主とした地層である。これに対し、滝層には、火山砕屑岩は極めて少なく流紋岩質凝灰岩がわずかに見られるのみである。また、生層序学的に有用な Arcid-Potamid 群集は、中山層に見られ、かつ後述する様に、熱帯のマングローブ・スワンプに特有な *Terebralia sp.* を伴って

いる。一方、滝層には、初期中新世の芦屋動物群要素の貝化石が見られる。加えて、図3に掲げた植物化石から見ても、中山層産の *Liquidambar*, *Cinnamomum*, *Diospyros* 等は、暖温帯の構成要素であるのに対し、滝層には、*Taxodium*, *Metasequoia* 等の冷温帯要素が多産し、明らかに区別される。従ってこれらの事実から、初期中新世後期から中期中新世最初期の熱帯ないし亜熱帯性の環境下で中山層が形成され、滝層は、中山層に先立ち、*Vicarya* が生息できた初期中新世の温暖な環境下で形成されたのであろう。

3. 中山層産貝化石群集

上遠野地域の中山層は、最大層厚220mに達する。貝化石は、主としてその中、上部の20ヶ所から確認された(図4及び表1)。産出化石は、二枚貝19属27種、巻貝12属22種に及び、潮間帯種が著しく多い。産出層準は図5に示してある。種構成、種の産出頻度、産状、堆積相から4つの異なるタイプの貝化石群集が識別された。以下、個々のタイプについて記述する。

(1) タイプI

タイプIは、常磐炭田地域で初めて確認された Arcid-Potamid 群集である。産地は、遠野町上根本北方の冷水から折松に至る林道沿いの産地10の1ヶ所のみである。

産地10の柱状図を図6に示した。産地10では、下位の粗粒ないし中粒の花崗岩質砂岩からなる五安層を、中山層の基底礫岩が不整合におおっている。中山層は、下位より巨礫岩ないし大礫岩と含礫泥質細粒砂岩の互層、中礫岩と細礫岩ないし粗粒砂岩の互層、泥質細粒砂岩、含礫シルト岩、トラフ型斜交層理を伴う中粒砂岩の順に重なる。これらの堆積物からは大型海棲化石を産しない。こうした事実から、これら一連の地層は、陸成扇状地基部の土石流堆積物から扇状地末端部の網状チャンネル堆積物に至る重なりを示すものと考えられる(Bull, 1977; Miall, 1977, 1978)。その上位の砂管を含む中粒砂岩層をチャンネル状に切り込んで堆積した、淘汰の悪い凝灰質泥質砂岩(図6 H1)より、*Anadara cf. kakehataensis*, *Crassostrea sp.*, *Hiatula minoensis*, *Cyclina japonica*, *Vicarya yokoyamai*, *Vicaryella cf. ishiiana*, *Cerithidea aff. minoensis*, *Tateiwaia tateiwai*, *T. yamanarii* 等が密集して産する。これらのうち、*Crassostrea sp.* の殻は残っているが、他はほとんど溶脱している。*Anadara cf. kakehataensis*, *Cyclina japonica*, *Hiatula minoensis* の一部は、合弁で産出し、また、Potamididae の多くの種の彫刻も明瞭で、他のより沖合の浅海棲種を伴わないことから、この

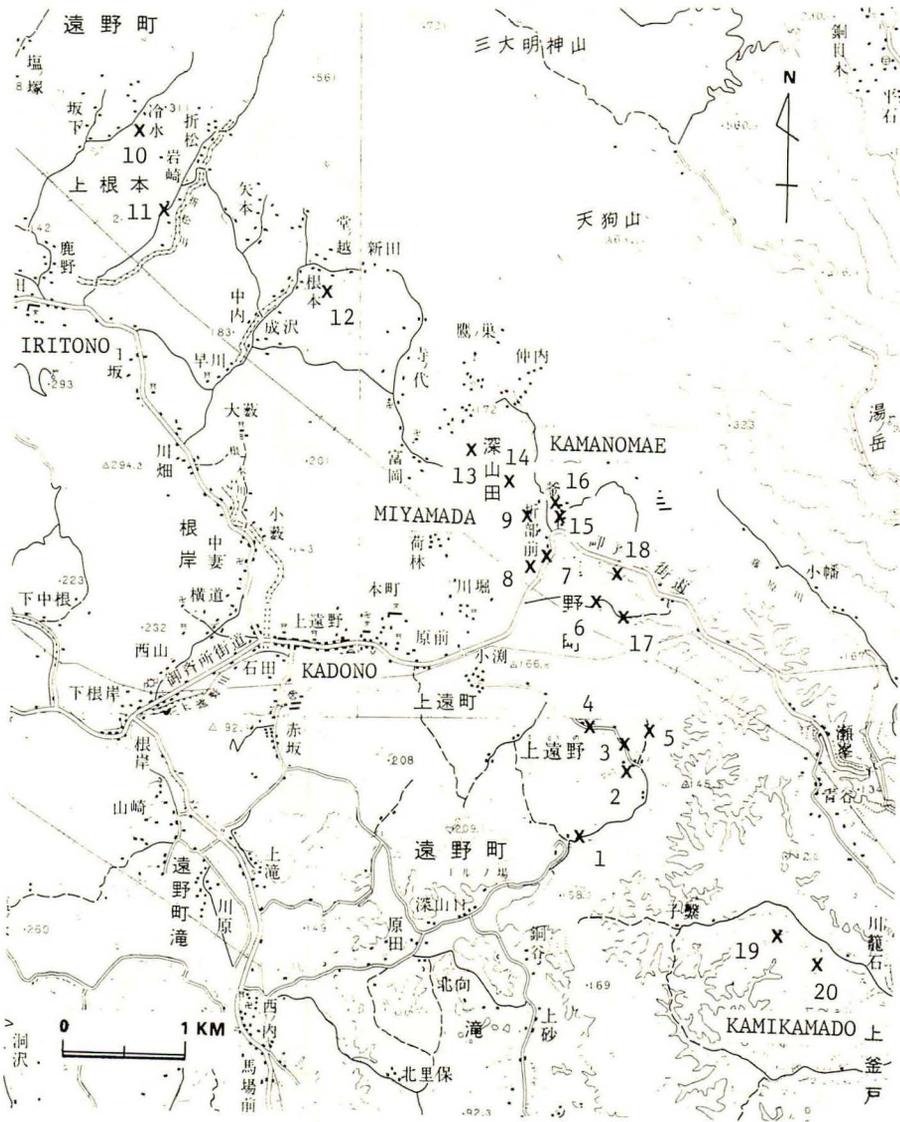


図4 白土層群中山層の貝化石産地地図
Fig. 4 Molluscan fossil localities from the Nakayama Formation

群集は、原地性に近いものと考えられる。

産地10で見られる Potamididae の種の中で、特に *Terebralia* sp. は、東北日本の門ノ沢動物群を含む地層からは、初めての産出である (Plate, Fig. 12). *Terebralia* sp. は、保存が悪く、わずか1個体得られたのみであるが、各螺層に4本の等間隔に並ぶ螺肋と、それと交わる14本前後のやや不規則に配列する低い縦肋を備えている。螺肋、縦肋とも肋間より幅が狭く、体層の左側には縦張肋が発達する。殻底、水管溝の形状は、不明瞭であるが、以上の特徴から

本種は、Taguchi, Osafune and Obayashi (1981) が岡山県勝田郡奈義町柿の中新統吉野層から記載した *Terebralia itoigawai* に良く類似している。*Terebralia itoigawai* は、現生のマドモチウミニナ、*T. sulcata* の類縁種であり、*T. sulcata* は、マングローブ樹林の海側の泥底を主な生息域とする種である。現生種の *T. sulcata* の生態をそのまま化石種である *T. itoigawai* に適用すると、中山層堆積時に、本産地近傍にマングローブ・スワンプが、存在したことが推測される。

表1 白土層群中山層産具化石表 (1~20は、図4の産地番号に一致する)
Table 1 Molluscan fossils from the Nakayama Formation of the Shirado Group

Species	Localities	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>Barbatia</i> sp.										3											
<i>Anadara</i> (<i>Hataiarca</i>) cf. <i>kakehataensis</i>	Hatai and Nisiyama									(2)											
<i>Anadara</i> (<i>Anadara</i>) sp.																			1	1	3
<i>Crassostrea gravitesta</i>	(Yokoyama)			A						A											
<i>C.</i> sp.				2						3	1		1	2							
<i>Saxolucina khatai</i>	(Otuka)							23						4		7					
<i>S.</i> sp.				2				1			9		7		1					1	2
<i>Lucinoma</i> sp.																				26	
<i>Diplodonta ferruginata</i>	Makiyama																				
<i>Macoma</i> sp.		2				2												15			9
<i>Hiatula minoensis</i>	(Yokoyama)			(1)(3)		(3)			3	(2)(3)	(1)	1	(3)		7					1	
<i>H.</i> sp.				1				3		1									1		
<i>Solen</i> sp.												(1)									
<i>Cultellus izumoensis</i>	Yokoyama							(1)													
<i>Trapezium</i> (<i>Neotrapezium</i>) sp.								1		1				1							
<i>Leukoma</i> (<i>Glycydonta</i>) <i>itoigawae</i>	Tsuda																1		6		
<i>Veremolpa</i> sp.																					2
<i>Dosinia</i> (<i>Phacosoma</i>) <i>nomurai</i>	Otuka																65		3		
<i>D.</i> (<i>P.</i>) cf. <i>suketoensis</i>	Otuka																5				
<i>D.</i> (<i>P.</i>) sp.														2			52		5	1	
<i>Siratoria siratoriensis</i>	(Otuka)																	1		2	
<i>Meretrix arugai</i>	Otuka																	6			
<i>M.</i> sp.																			5		
<i>Cyclina japonica</i>	Kamada							7		(2)	2								10		
<i>C.</i> sp.															1				3		
<i>Clementia</i> sp.										(1)										(1)	
<i>Thracia</i> sp.														1							
<i>Puncturella</i> sp.										1											
<i>Cerithidea</i> (<i>Cerithidea</i>) <i>kanpokuensis</i>	(Makiyama)	4					4	1				1									1
<i>C.</i> (<i>C.</i>) sp.							3														
<i>C.</i> (<i>Cerithideopsilla</i>) aff. <i>minoensis</i>	Itoigawa	23	9			53				3	14	4		7							
<i>C.</i> (<i>C.</i>) sp.						7				5	1									1	1
<i>Batillaria</i> cf. <i>toshioi</i>	Masuda																				
<i>Tateiwaia tateiwai</i>	(Makiyama)	7	9	16	1	11	7	19	50	2	72	1	2	1	1	41		1		2	
<i>T. yamanarii</i>	(Makiyama)			1	1	1			20	13	7			1		18				3	
<i>Vicarya callosa japonica</i>	Yabe and Hatai															1					
<i>V. yokoyamai</i>	Takeyama	2		1		8			2	1	10			4							
<i>V.</i> sp.		3					1	1	4	6	15	1	9								
<i>Vicaryella</i> cf. <i>ishiana</i>	(Yokoyama)					3		1	3	7	5		4								
<i>V.</i> cf. <i>notoensis</i>	Masuda								1												
<i>V.</i> sp.										2											
<i>Terebralia</i> sp.										1											
<i>Euspira meisensis</i>	(Makiyama)																			1	2
<i>Chicoreus</i> sp.															1						
<i>Siphonalia</i> cf. <i>minoensis</i>	Itoigawa										1										
<i>S.</i> sp.				1																	
<i>Nassarius</i> (<i>Reticunassa</i>) <i>simizui</i>	Otuka																				1
<i>N.</i> (<i>R.</i>) sp.								1									2		1		
<i>Epitonium</i> sp.																	1				5

Number shows individuals. () shows the number of intact bivalves. A: abundant but not counted.

マレーシア、シンガポールの現生のマングローブ・スワンプでは、その前面の低潮線付近に分布する軟らかい泥の中に、*Anadara granosa*が多数生息していることが知られている (Purchon and Purchon, 1981). この放射肋上に顕著な顆粒を備える *A. granosa* と類似した形態の特徴を持ち、潮間帯に分布の限られる Potamididae の種と共産する *A. kakehataensis* も、当時それに近い生息位置を占めていたと推測される。

このような現生種の生態及び産地10の下位の堆積相から、海岸に近い所にできた小規模な扇状地の末端の網状チャネルがそのまま海に流入し、その河口付近にマングローブ・スワンプが存在したと推定され、タイプIの群集、すなわち Arcid-Potamid 群集は、マングローブ・スワンプの前面の低潮線付近を占めていたと考えられる。この Arcid-Potamid 群集に付随する *Geloina*, *Telescopium* を主としたマングローブ・スワンプ内部の群集 (Oyama, 1950) やマングローブ・スワンプに特徴的な原地性のマングローブの幹及び根構造を含む生物擾乱された泥岩 (Semeniuk, 1981) は、まだ中山層から見出されていない。

タイプIの群集は、その主構成種から、Chinzei (1978) の *Anadara-Vicarya* 群集に相当する。

(2) タイプII

中山層の産地1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 17等に分布するシルト岩から、*Tateiwaia tateiwaia*, *T. yamanarii*, *Cerithidea* aff. *minoensis*, *Vicarya yokoyamai*, *Vicaryella* cf. *ishiihana* 等の多くの Potamididae の種からなる群集が見られる。これらをタイプIIとし、その例として、まず産地6の群集について述べる。

産地6における柱状図を図7に示した。産地6では、下位より平行葉理及び波高6 cm以下のカレント・リップル葉理の発達する細粒砂岩、平行葉理の見られる細礫岩ないし粗粒砂岩、斜交層理の発達する中粒砂岩、砂管をひんぱんに含む中粒砂岩と重なり次いで貝化石を含むシルト岩へ移化する。この層厚約1 mの青灰色シルト岩(図7 h 1)から、*Tateiwaia tateiwaia*, *T. yamanarii*, *Cerithidea kanpokuensis*, *C. aff. minoensis*, *Vicarya yokoyamai*, *Vicaryella* cf. *ishiihana* 等の潮間帯の泥底に主に生息していたと思われる Potamididae の諸種と、泥に深くもぐる二枚貝の *Hiatula minoensis* 等が産した。*Hiatula minoensis* は、ほとんど合弁で産し、また、密に産する Potamididae の各種の表面装飾が極めて明瞭なことから、この群集は、ほぼ原地性と言える。

タイプIIの群集を含むこのシルト岩の上位には、砂管を含む中粒砂岩ないし細粒砂岩とシルト岩の組

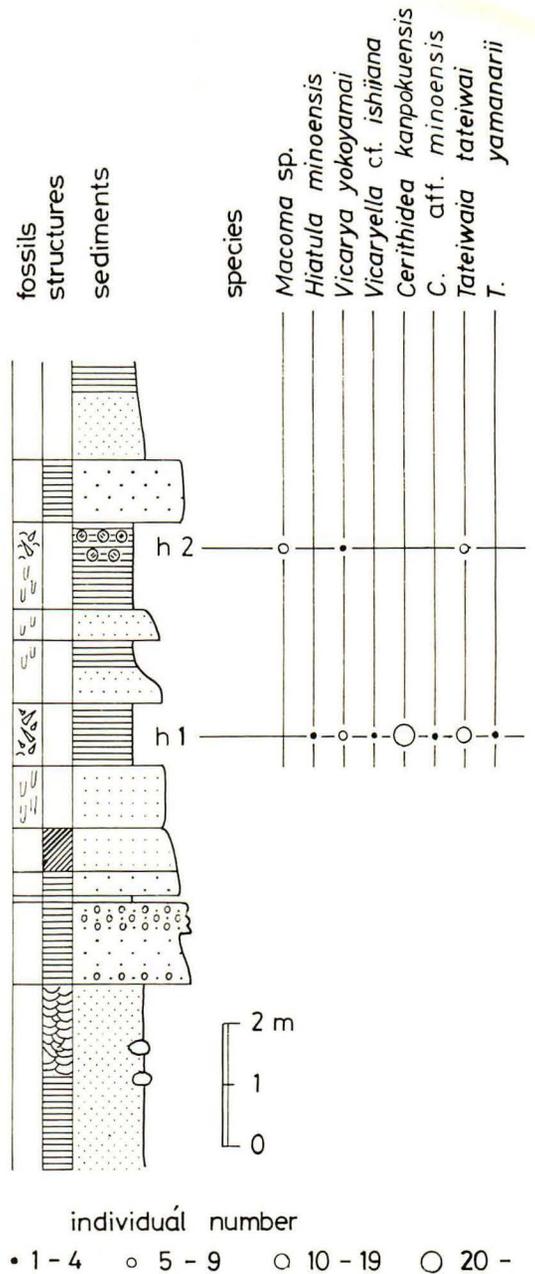


図7 産地6における柱状図(凡例は図6に同じ。h 1, h 2は貝化石産出層準を示す)

Fig. 7 Columnar section in the southeast of Oribamae (Loc. 6)

(See Fig. 6 for legend. h1 and h2 show the horizons of molluscan fossils)

表1 白土層群中山層産貝化石表 (1~20は、図4の産地番号に一致する)
Table 1 Molluscan fossils from the Nakayama Formation of the Shirado Group

Species	Localities	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
<i>Barbatia</i> sp.										3												
<i>Anadara</i> (<i>Hataiarca</i>) cf. <i>kakehataensis</i>	Hatai and Nisiyama										(2)											
<i>Anadara</i> (<i>Anadara</i>) sp.																				1	1	3
<i>Crassostrea gravitesta</i>	(Yokoyama)			A						A												
<i>C.</i> sp.					2						3	1		1	2							
<i>Saxolucina khatai</i>	(Otuka)								23						4		7					
<i>S.</i> sp.					2			1				9	7			1						
<i>Lucinoma</i> sp.																				1	2	
<i>Diplodonta ferruginata</i>	Makiyama																				26	
<i>Macoma</i> sp.		2				2												15				9
<i>Hiatula minoensis</i>	(Yokoyama)			(6)	(8)		(4)			3	(2)	(3)	(1)	1	(3)		7				1	
<i>H.</i> sp.				1					3			1									1	
<i>Solen</i> sp.													(1)									
<i>Cultellus izumoensis</i>	Yokoyama									2												
<i>Trapezium</i> (<i>Neotrapezium</i>) sp.									1		1				1							
<i>Leukoma</i> (<i>Glycydonta</i>) <i>itoigawae</i>	Tsuda																1				6	
<i>Veremolpa</i> sp.																						2
<i>Dosinia</i> (<i>Phacosoma</i>) <i>nomurai</i>	Otuka																65				3	
<i>D.</i> (<i>P.</i>) cf. <i>suketoensis</i>	Otuka																5					
<i>D.</i> (<i>P.</i>) sp.														2			52				5	1
<i>Siratoria siratoriensis</i>	(Otuka)																1				2	
<i>Meretrix arugai</i>	Otuka																6					
<i>M.</i> sp.																	5					
<i>Cyclina japonica</i>	Kamada								7		(2)	2					10					
<i>C.</i> sp.															1		3					
<i>Clementia</i> sp.											(1)										(1)	
<i>Thracia</i> sp.														1								
<i>Puncturella</i> sp.										1												
<i>Cerithidea</i> (<i>Cerithidea</i>) <i>kanpokuensis</i>	(Makiyama)		4				4	1					1									1
<i>C.</i> (<i>C.</i>) sp.							3															
<i>C.</i> (<i>Cerithideopsilla</i>) aff. <i>minoensis</i>	Itoigawa		23	9		53				3	14	4		7								
<i>C.</i> (<i>C.</i>) sp.							7			5	1										1	1
<i>Batillaria</i> cf. <i>toshioi</i>	Masuda																					
<i>Tateiwaia tateiwai</i>	(Makiyama)		7	9	16	1	11	7	19	50	2	72	1	2	1	1	41		1		2	
<i>T. yamanarii</i>	(Makiyama)				1	1	1			20	13	7		1			18				3	
<i>Vicarya callosa japonica</i>	Yabe and Hatai																1					
<i>V. yokoyamai</i>	Takeyama		2		1		8			2	1	10		4								
<i>V.</i> sp.			3					1	1	4	6	15	1	9								
<i>Vicaryella</i> cf. <i>ishiana</i>	(Yokoyama)						3		1	3	7	5		4								
<i>V.</i> cf. <i>notoensis</i>	Masuda									1												
<i>V.</i> sp.												2										
<i>Terebralia</i> sp.												1										
<i>Euspira meisensis</i>	(Makiyama)																				1	2
<i>Chicoreus</i> sp.																1						
<i>Siphonalia</i> cf. <i>minoensis</i>	Itoigawa												1									
<i>S.</i> sp.					1																	
<i>Nassarius</i> (<i>Reticunassa</i>) <i>simizui</i>	Otuka																					1
<i>N.</i> (<i>R.</i>) sp.									1								2				1	
<i>Epitonium</i> sp.																	1					5

Number shows individuals. () shows the number of intact bivalves. A: abundant but not counted.

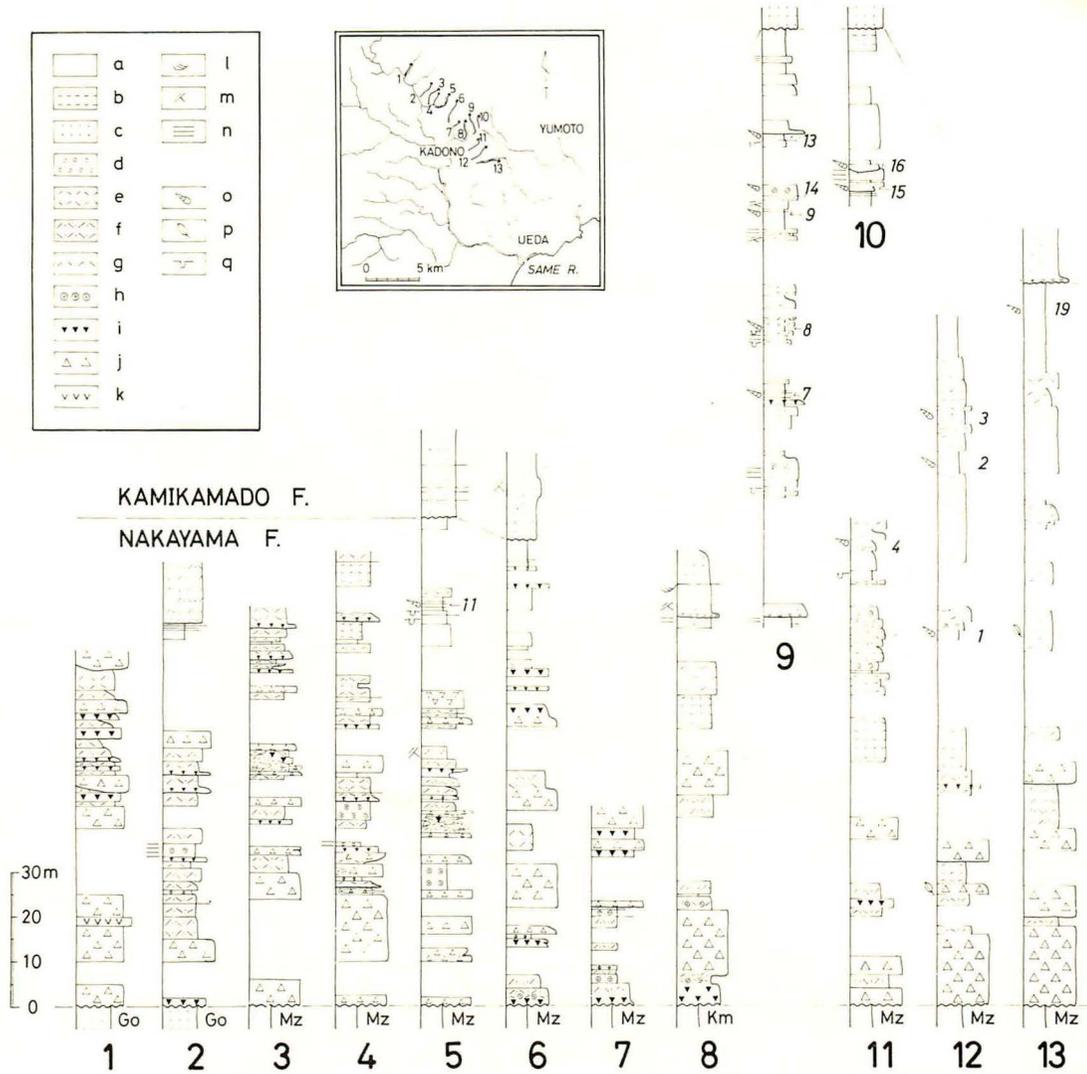


図5 白土層群中山層の柱状図及びその作成ルート (斜体数字は産地番号)

a : シルト岩, b : 砂岩・シルト岩互層, c : 砂岩, d : 礫岩, e : 凝灰岩・凝灰質砂岩互層, f : 凝灰質砂岩, g : 凝灰岩, h : 浮石質凝灰岩, i : 火山礫凝灰岩, j : 凝灰角礫岩, k : 熔岩, l : トラフ型斜交層理, m : 斜交層理, n : 平行葉理, o : 貝化石, p : 植物化石, q : 生痕化石

Go : 五安層, Mz : 水野谷層, Km : 亀ノ尾層

Fig. 5 Columnar sections of the Nakayama Formation

a: siltstone, b: alternation of sandstone and siltstone, c: sandstone, d: conglomerate, e: alternation of tuff and tuffaceous sandstone, f: tuffaceous sandstone, g: tuff, h: pumice tuff, i: lapilli tuff, j: tuff breccia, k: lava, l: trough cross-stratification, m: cross-stratification, n: parallel lamination, o: molluscan fossils, p: plant fossils, q: trace fossils

Go: Goyasu Formation, Mz: Mizunoya Formation, Km: Kamenoo Formation

Arabic numbers indicate the routes along which columnar sections were obtained
Italic numbers show molluscan fossil localities

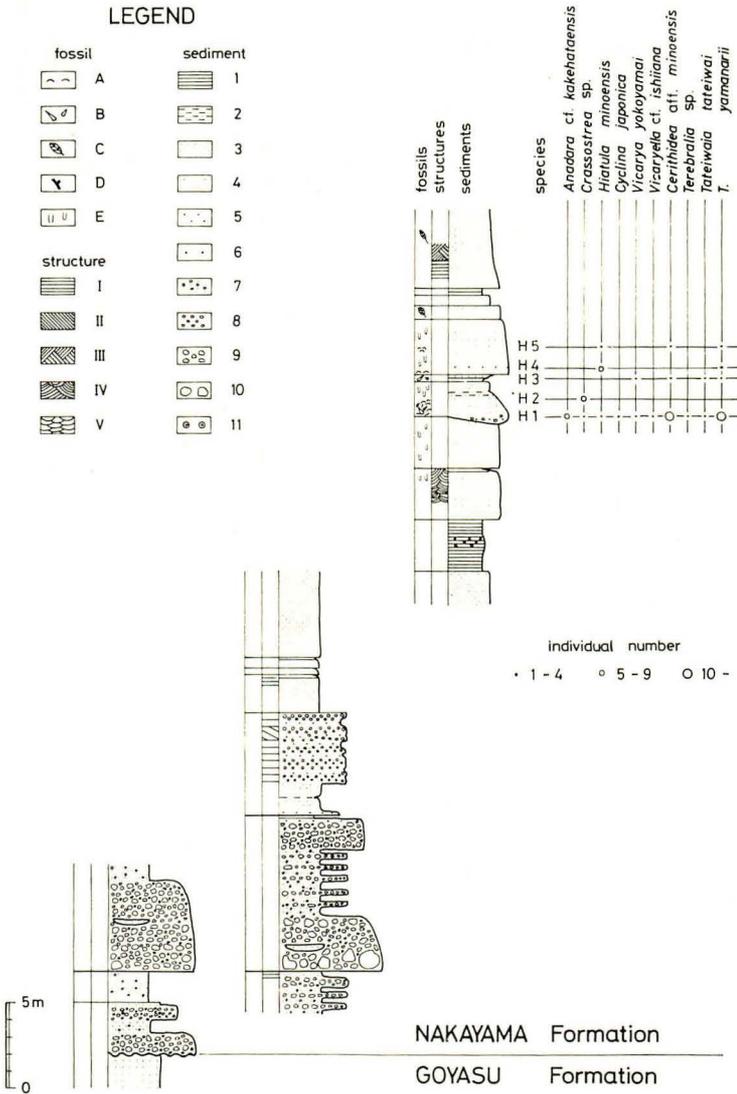


図6 産地10における柱状図

A:二枚貝化石, B:巻貝化石, C:葉化石, D:材化石, E:生痕化石, I:平行葉理, II:プレーン型斜交層理, III:斜交層理, IV:トラフ型斜交層理, V:リップル葉理, 1:シルト岩, 2:砂質シルト岩, 3:細粒砂岩, 4:中粒砂岩, 5:粗粒砂岩, 6:細礫岩, 7:含礫砂岩, 8:中礫岩, 9:大礫岩, 10:巨礫岩, 11:浮石
H1~H5は, 貝化石産出層準を示す

Fig. 6 Columnar sections to the north of Kaminemoto (Loc. 10)

fossils. A: bivalves, B: gastropods, C: leaves, D: trunks, E: sand pipes
structures. I: parallel lamination, II: planar cross-stratification, III: cross-stratification, IV: trough cross-stratification, V: ripple lamination
sediments. 1: siltstone, 2: silty sandstone, 3: fine-grained sandstone, 4: medium-grained sandstone, 5: coarse-grained sandstone, 6: granule conglomerate, 7: conglomeratic sandstone, 8: pebble conglomerate, 9: cobble conglomerate, 10: boulder conglomerate, 11: pumice

H1 to H5 show the horizons of molluscan fossils

マレーシア、シンガポールの現生のマングローブ・スワンプでは、その前面の低潮線付近に分布する軟らかい泥の中に、*Anadara granosa*が多数生息していることが知られている (Purchon and Purchon, 1981). この放射肋上に顕著な顆粒を備える *A. granosa* と類似した形態的特徴を持ち、潮間帯に分布の限られる Potamididae の種と共産する *A. kakehtaensis* も、当時それに近い生息位置を占めていたと推測される。

このような現生種の生態及び産地10の下位の堆積相から、海岸に近い所にできた小規模な扇状地の末端の網状チャンネルがそのまま海に流入し、その河口付近にマングローブ・スワンプが存在したと推定され、タイプIの群集、すなわち Arcid-Potamid 群集は、マングローブ・スワンプの前面の低潮線付近を占めていたと考えられる。この Arcid-Potamid 群集に付随する *Geloina*, *Telescopium* を主としたマングローブ・スワンプ内部の群集 (Oyama, 1950) やマングローブ・スワンプに特徴的な原地性のマングローブの幹及び根構造を含む生物擾乱された泥岩 (Semeniuk, 1981) は、まだ中山層から見出されていない。

タイプIの群集は、その主構成種から、Chinzei (1978) の *Anadara-Vicarya* 群集に相当する。

(2) タイプII

中山層の産地1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 17等に分布するシルト岩から、*Tateiwaia tateiwaia*, *T. yamanarii*, *Cerithidea* aff. *minoensis*, *Vicarya yokoyamai*, *Vicaryella* cf. *ishiiiana* 等の多くの Potamididae の種からなる群集が見られる。これらをタイプIIとし、その例として、まず産地6の群集について述べる。

産地6における柱状図を図7に示した。産地6では、下位より平行葉理及び波高6 cm以下のカレント・リップル葉理の発達する細粒砂岩、平行葉理の見られる細礫岩ないし粗粒砂岩、斜交層理の発達する中粒砂岩、砂管をひんぱんに含む中粒砂岩と重なり次いで貝化石を含むシルト岩へ移化する。この層厚約1 mの青灰色シルト岩(図7 h 1)から、*Tateiwaia tateiwaia*, *T. yamanarii*, *Cerithidea kanpokuensis*, *C. aff. minoensis*, *Vicarya yokoyamai*, *Vicaryella* cf. *ishiiiana* 等の潮間帯の泥底に主に生息していたと思われる Potamididae の諸種と、泥に深くもぐる二枚貝の *Hiatula minoensis* 等が産した。*Hiatula minoensis* は、ほとんど合弁で産し、また、密に産する Potamididae の各種の表面装飾が極めて明瞭なことから、この群集は、ほぼ原地性と言える。

タイプIIの群集を含むこのシルト岩の上位には、砂管を含む中粒砂岩ないし細粒砂岩とシルト岩の組

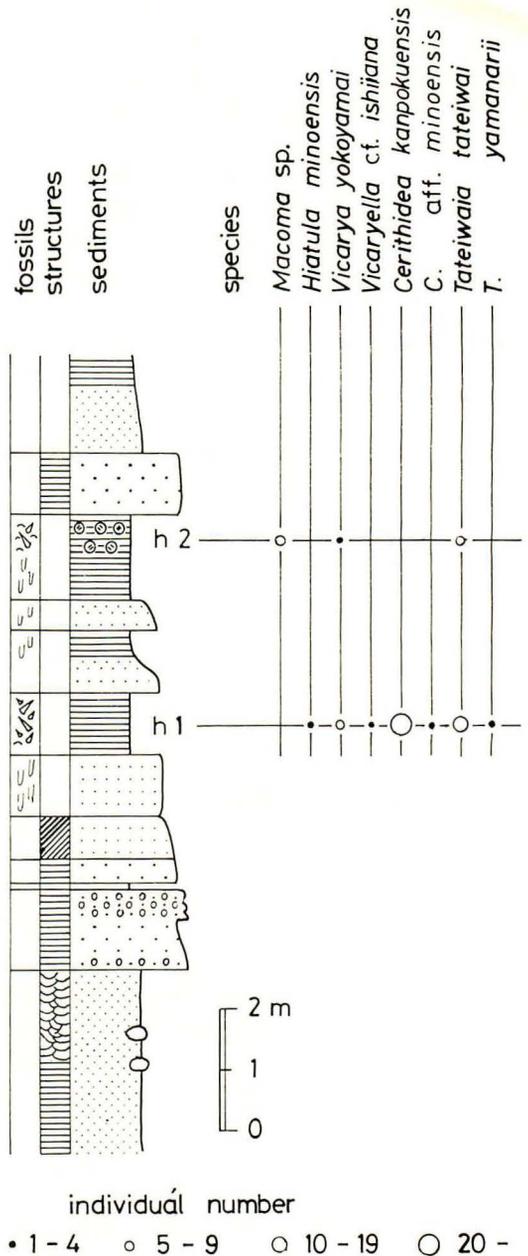


図7 産地6における柱状図(凡例は図6に同じ。h 1, h 2 は貝化石産出層準を示す)
 Fig. 7 Columnar section in the southeast of Oribamae (Loc. 6)
 (See Fig. 6 for legend. h1 and h2 show the horizons of molluscan fossils)

合せが2回繰り返す。上位のシルト岩(図7 h 2)より *Tateiwaia tateiwai*, *Vicarya yokoyamai*, *Macoma* sp. からなるタイプIIの群集が見られる。そして、その上位に、平行葉理を伴う粗粒砂岩が重なる。

以上述べた様な潮間帯種からなるタイプIIの群集が挟在する一連の地層の重なりは、海浜の潮汐低地に良く見られることが知られている (Howard and Reineck, 1972)。すなわち、産地6では、砂管の著しい中粒砂岩ないし細粒砂岩とタイプIIの群集を含むシルト岩からなる潮汐低地の堆積物と、平行葉理を伴う粗粒砂岩や斜交層理の発達する中粒砂岩からなる浅い潮汐流路の堆積物が繰り返して重なっていると考えられる。

産地2, 4, 7, 13で見られる群集も、産地6と全く同様な産状を示し、構成種にもほとんど変化はない。ただし、産地2, 6で多産する *Cerithidea* aff. *minoensis* は、極めて変異性に富み、殻高が低く螺層がふくれたものから、殻高が高く、平坦な螺層をもつものまで連続的に変異する (Plate, Figs. 13-16)。また、体層左側の縦張筋は、個体によって顕著に発達するものと、そうでないものがある。しかし、螺層には、3本の平頂な螺筋と16本前後の縦筋を備え、筋間は筋の幅より広いことで、本種は特徴づけられる。

産地8, 11では、やや砂質なシルト岩から、*Tateiwaia tateiwai*, *T. yamanarii*, *Vicarya yokoyamai*, *Vicaryella* cf. *ishiiana*, *Hiatula minoensis* 等に加え、*Saxolucina khataii*, *Cyclina japonica* 等の二枚貝が多く産する。

産地1, 5, 15, 17では、灰色シルト岩から、*Tateiwaia tateiwai*, *T. yamanarii* 等と *Macoma* sp. が共産するが、個体数は他の産地に比べて少ない。

以上述べたタイプIIの群集は、その構成種の生態、産状及び堆積相から、海浜に沿ってできた潮汐低地を占めていたと推定される。タイプIIの群集は、タイプIのマングローブ・スワンプに特有な *Terebralia* sp. 及び *Anadara* cf. *kakehataensis* を伴わない。産地10のタイプIの群集を含む泥質砂岩(図6 H 1)の上位に、少数ながらも *Tateiwaia tateiwai*, *Cerithidea* aff. *minoensis*, *Vicarya yokoyamai* 等からなるタイプIIの群集を含む青灰色シルト岩(図6 H 3)がある。したがって、タイプIの群集とタイプIIの群集は、側方に漸移するような近接した位置関係にあったと考えられる。

タイプIIの群集は、Chinzei and Iwasaki (1967), Iwasaki (1970), Chinzei (1978) のいう *Batillaria* 群集、糸魚川(1974)、糸魚川・柴田・西本・奥村(1981) の *Vicarya-Cyclina* 群集に相当する。

(3) タイプIII

産地3, 9では、灰色ないし黄褐色のシルト岩中に *Crassostrea gravitesta* が層状密集しており、その上下に *Tateiwaia tateiwai*, *T. yamanarii*, *Cerithidea* aff. *minoensis*, *Vicarya yokoyamai*, *Vicaryella* cf. *ishiiana* 等の多くの Potamididae の種を伴っている。これらをタイプIIIとし、まず産地9について述べる。

産地9では、図8に示す様に、下位より斜交層理の著しい粗粒砂岩、砂管を含む中粒砂岩、平行葉理をもつ粗粒砂岩、砂管の著しい含礫中粒砂岩の順に重なり、その上位に約4 mの厚い黄褐色の粘土岩ないしシルト岩が発達する(図8の柱状図D)。その側方には、細礫岩及び粗粒砂岩で埋積された深さ約3 mの小規模なチャンネル構造が認められる(図8の柱状図C)。シルト岩の最上部には、*Crassostrea gravitesta* が、厚さ約20 cmの貝化石層を形成している(図8柱状図Bのb)。この“*Ostrea bed*”の上下(図8柱状図Bのa及びc)に、*Tateiwaia tateiwai*, *T. yamanarii*, *Vicarya yokoyamai*, *Vicaryella* cf. *ishiiana*, *Cerithidea* aff. *minoensis*, *Hiatula minoensis* 等が多産する。*Vicarya yokoyamai*, *Vicaryella* cf. *ishiiana* は、“*Ostrea bed*”の下盤側(図8柱状図Bのa)に多い。産地9では、産出する種の殻はすべて溶脱している。Potamididaeの各種の表面彫刻は鮮明で、より沖合の浅海棲種を伴わないことからタイプIIIの群集も、ほぼ原地性の潮間帯群集であると考えられる。

タイプIIIの群集を含むシルト岩の上位には、斜交層理、平行葉理の発達する細粒砂岩が、シャープな境界をもって重なっている(図8柱状図A及びB)。潮間帯群集に近接して、こうした高いエネルギー状態を示す環境の場合は、海浜の汀線付近、すなわち前浜(foreshore)であると考えられる。そして、NW-SEの走向で、北東に6°~7°傾く平行葉理から、北東に海域が推定される。また逆に、前浜に近接し、*Crassostrea* が密集する潮間帯群集を伴う厚いシルト岩が形成される場合は、上記の砂質海浜陸側のより低エネルギー状態の水域、すなわちラグーン縁辺に形成された潮間帯であろうと思われる。

産地9では、*Vicaryella ishiiana* より縫合下の顆粒の数が多い *V. cf. notoensis* が、1個体得られた(Plate, Fig. 20)。Masuda (1967) は、*V. ishiiana* と *V. notoensis* が、互いに生態的に異なる環境に生息したであろうと述べたが、産地9における両種の共産から、おのおのの生息域の一部は重複していた可能性が考えられる。

産地3では、*Crassostrea gravitesta* は、産地9ほど密集していないが、*Tateiwaia tateiwai*, *Hiatula*

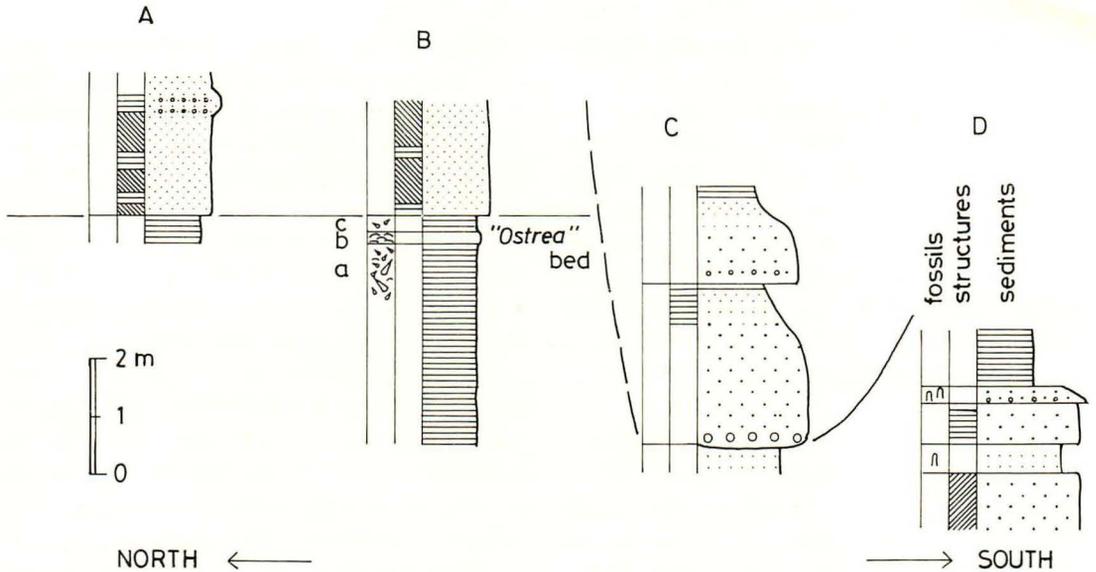


図8 産地9(柱状図B)及びその南北(柱状図A, C, D)の柱状図(凡例は図6に同じ。柱状図Bのbは, "Ostrea bed"を示し, a, cは, それぞれの上盤側と下盤側の貝化石層を指す)

Fig. 8 Columnar sections in the north of Oribemae

(See Fig. 6 for legend. In section B (Loc. a) b indicates the horizon of "Ostrea bed", and a and c show the horizons above and below b, respectively)

*minoensis*等を伴っている。

タイプIIIの群集は, 同じく *Crassostrea gravitesta* を多産する点で, 糸魚川(1971), Okamoto and Terachi (1974), 糸魚川・西川(1976)の備北層群下部砂岩層から識別された *Batillaria-Crassostrea* 群集に比較されるが, 後者では, *Geloina*や *Anadara* を伴い, また, 貝化石を含む岩相も異なる。また, タイプIIIの群集は, Chinzei and Iwasaki (1967), Iwasaki (1970), Chinzei (1978)等の *Batillaria* 群集と *Ostrea* 群集が組み合わされたものと考えられることができる。

(4) タイプIV

産地16, 18の淘汰の良い中粒砂岩ないし細粒砂岩には, *Dosinia nomurai*, *Diplodonta ferruginata*等の浅海棲種と *Tateiwaia tateiwaia*, *T. yamanarii*, *Cyclina japonica*等の潮間帯種との混合群集が見られる。これらをタイプIVとする。

産地16, 遠野町釜ノ前は, Yokoyama (1925)が多くの貝化石を記載した化石産地である。産地16周辺の柱状図を図9に示した。ここでは, 平行葉理, 斜交層理の認められる細礫岩及び粗粒砂岩層(図9柱状図B)をチャンネル状に切り込んで堆積した平行葉理の発達する粗粒砂岩が見られる(図9柱状図A)。この粗粒砂岩の上位に, 保存良好な貝化石を多産する淘汰の良い中粒砂岩ないし細粒砂岩が重な

る(図9柱状図Aのa)。貝化石は密集して産出し, 浅海砂底棲二枚貝化石の *Dosinia nomurai*, *D. cf. suketoensis*, *Siratoria siratoriensis*, *Meretrix arugai*等と, 潮間帯泥底棲の *Saxolucina khataii*, *Hiatula minoensis*, *Cyclina japonica*, *Tateiwaia tateiwaia*, *T. yamanarii*等の貝化石が共産する。産地16の南方(図9柱状図C及びDの下部)には, 潮汐低地及び潮汐流路の堆積物が見られる。従って, 貝化石の種構成, 産状, 堆積相から, タイプIVの群集は, 潮間帯種が流路に沿って運ばれて, 沖合の砂底に生息していた *Dosinia nomurai*等を主とする浅海棲群集と混合して形成されたものと考えられる。

産地16で注目されるのは, 先に掲げた種と共に, *Vicarya callosa japonica*に同定される標本(Plate, Fig. 24)が, 常磐炭田地域から初めて得られたことである。中山層では, これまで述べてきたタイプI, II, IIIのすべての群集に *V. yokoyamai* (Plate, Figs. 21-23)が見られるのに対し, *V. callosa japonica*は混合群集のタイプIVにのみ含まれていることから, 両種は異なる生態的位置を占めていたと推定される。すなわち, *V. callosa japonica*は, *V. yokoyamai*よりもさらに沖側の最低潮線付近か, あるいは, 流路の近傍に生息していた可能性がある。また, 産地9で想定した海浜の内側の潮汐低地に *V. yokoyamai*, 外側の潮汐低地に *V. callosa japonica*がいたとも考

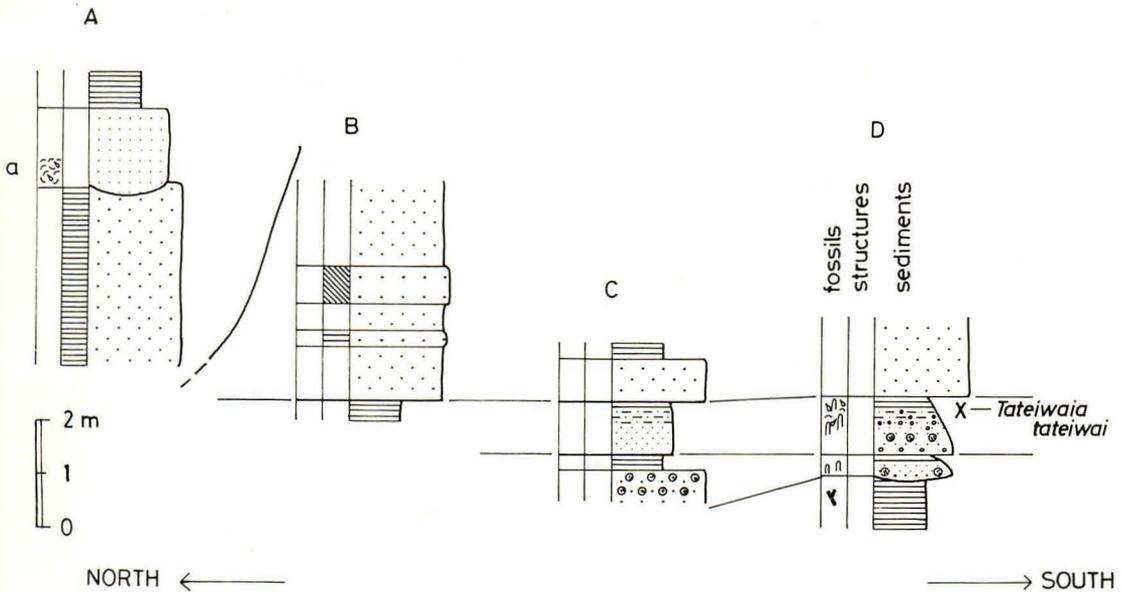


図9 産地16(柱状図A)及びその南方(柱状図B~D)の柱状図(凡例は図6に同じ).
柱状図Aのaは、貝化石の産出層を示す)

Fig. 9 Columnar sections in the west of Kamanomae

(See Fig. 6 for legend. In section A, a presents molluscan fossil layer)

えられる。

産地18では、塊状中粒砂岩中に *Diplodonta ferruginata*, *Dosinia nomurai* と *Vicaryella* cf. *ishiiana*, *Tateiwaia tateiwai*, *T. yamanarii*, *Cerithidea kankuensis* が共産するが、産地16ほど密集して産しない。

4. ま と め

中山層の海成堆積物の岩相と各タイプの群集の位置を示したものが、図10である。北西-南東方向に海岸線が伸び、海域は北東に広がっていた。

常磐炭田上遠野地域には、中山層堆積時に卓越した内湾的環境が形成され、潮間帯種が広く分布していた。潮間帯群集には、3つのタイプが識別され、それぞれ特徴的な地理的位置を占めていた。タイプIの群集、すなわち Arcid-Potamid 群集は、図10に示す様に中山層分布域の北西縁に位置し、湾奥の河口部にできたマングローブ・スワンプの前面の低潮線付近を占めていた。タイプIIの群集は、河口の側方の海浜に沿ってできた潮汐低地、又は図10に示すタイプIIIの群集との位置関係から、ラグーンの陸側の潮汐低地を占めていたと考えられる。タイプIIIの群集は、タイプIIの群集のより沖側、つまり堤州(barrier beach)の潮汐低地面に存在した群集であろう。沖合の砂底には、*Dosinia nomurai*, *Diplodonta ferruginata* 等の浅海棲種が生息し、流路に沿って沖

へ運ばれた潮間帯種と混合して、タイプIVの群集が形成された。タイプI~IIIの群集には *Vicarya yokoyamai*, タイプIVの群集に *V. callosa japonica* が含まれ、両種は異なる生態的位置を占めていた。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、終始御指導頂いた筑波大学地球科学系野田浩司教授に深く感謝の意を表す。また、長崎大学教育学部鎌田泰彦教授には、上遠野地域の層序、貝化石について御討論頂いた。筑波大学地球科学系増田富士雄博士、桂 雄三博士、間島隆一氏、伊藤 慎氏には、それぞれ有益な御教示を頂いた。記して御礼を申し上げる。

文 献

- Bull, W. B., 1977: The alluvial fan environment. *Progr. Phys. Geog.*, **1**, 222-270.
 Chinzei, K., 1978: Neogene molluscan fauna in the Japanese Islands: An ecologic and zoogeographic synthesis. *Veliger*, **21** (2), 155-170.
 鎮西清高, 1981 a: 底生貝化石群からみた中新世における日本列島の海洋生物地理. 化石, (30), 7-15.
 ———, 1981 b: 門ノ沢動物群. 軟体動物の研究(大森昌衛教授還暦記念論文集), 207-212.
 Chinzei, K. and Iwasaki, Y., 1967: Paleocology of shallow sea molluscan faunas in the Neogene de-

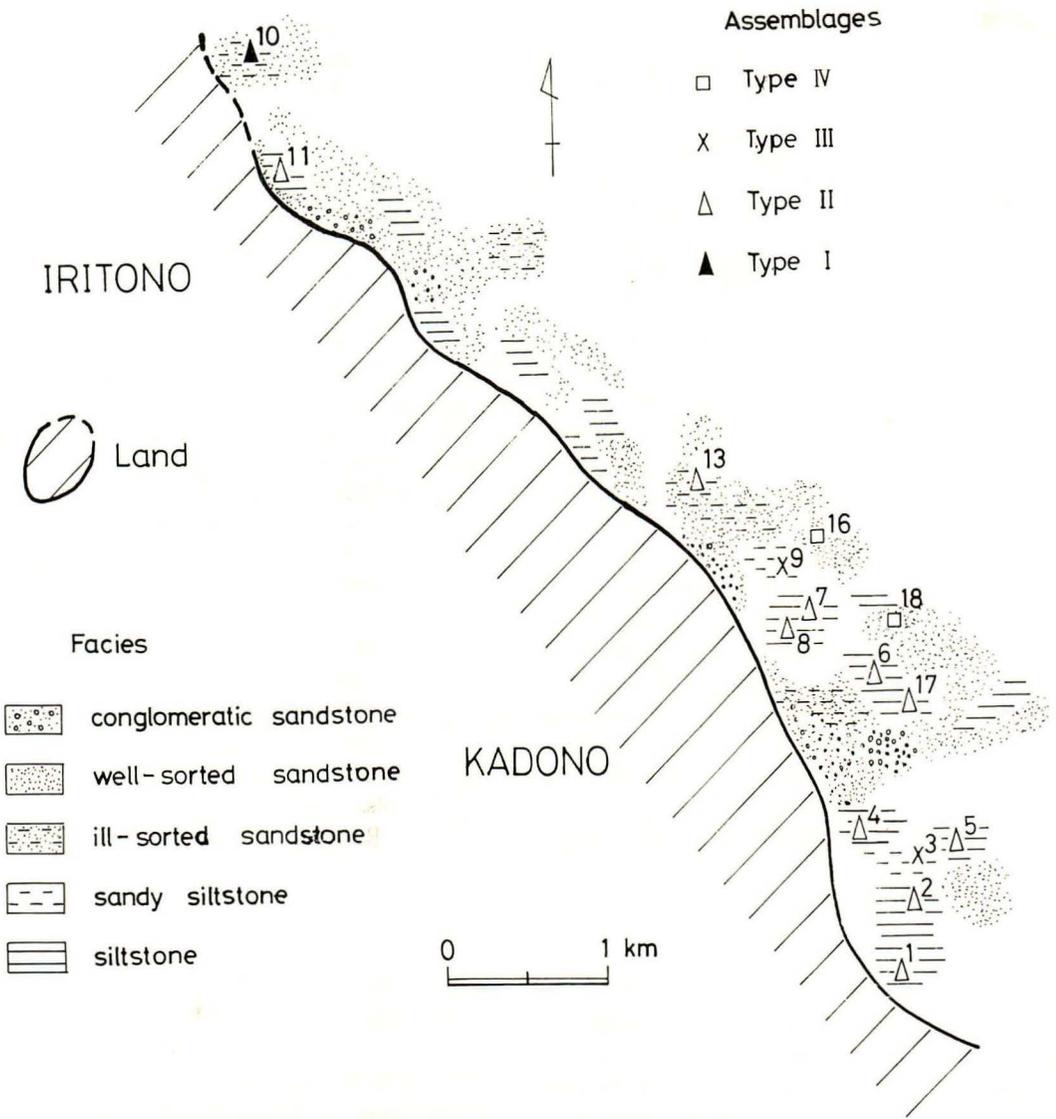


図10 白土層群中山層の海成堆積物の岩相及び貝化石群集(斜線部は陸域を示す。太い実線は、およその当時の海岸線を表わす)

Fig. 10 Distribution of the marine lithofacies and molluscan assemblages of the Nakayama Formation of the Shirado Group (Thick line shows the restored shoreline at the deposition of the Nakayama Formation)

posits of Northeast Honshu, Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, N.S. (67), 93-113.

江口元起・庄司力偉, 1953: 常磐炭田における炭層堆積状態の研究(その1), 一茨城県磯原町付近一. *地質雑*, 59, 99-109.

藤井昭二, 1956: 常磐炭田上遠野地区の第三紀層の層序. 同上, 62, 129-139.

半沢正四郎, 1954: 東北地方. 302p. 朝倉書店, 東京.

Hayasaka, S., 1969: Molluscan fauna of the Kuki-naga Group in Tane-ga-shima, south Kyushu, Japan. *Rep. Fac. Sci., Kagoshima Univ., (Earth Sci., Biol.)*,

(2), 33-52, 3 pls..

Howard, J.D. and Reineck, H.E., 1972: Georgia coastal region, Sapelo Island, U. S. A.: Sedimentology and biology. VIII. conclusions. *Senckenbergiana Marit.*, 4, 217-222.

Hutchings, P. A. and Recher, H. F., (1981) 1982: The fauna of Australian mangroves. *Proc. Linn. Soc. N. S. W.*, 106(1), 83-121.

一色直記, 1974: 阿武隈山地太平洋側の中新世枕状熔岩. *地質雑*, 80, 323-328.

糸魚川淳二, 1971: 中国地方東部の中新世貝類化石群

- (子報). 化石, (22), 29-36.
- Itoigawa, J., 1978: Evidence of subtropical environments in the Miocene of Japan. *Bull. Mizunami Fossil Mus.*, 5, 7-21.
- 糸魚川淳二, 1981: 西南日本の中新世軟体動物化石の2, 3の問題—とくに古地理に関連して—. 軟体動物の研究(大森昌衛教授還暦記念論文集), 187-197.
- ・西川 功, 1976: 岡山—広島県下の古瀬戸内中新統の2, 3の問題. 瑞浪市化石博物館研究報告, 3, 127-149.
- ・柴田 博, 1973: 古環境の変遷と対比……瀬戸内区中新統の場合. 地質学論集, (8), 125-135.
- ・———・西本博行・奥村好次, 1981: 瑞浪群層の化石 2. 貝類(軟体動物). 瑞浪市化石博物館専報, 3-A, 1-53, 52pls.
- Iwasaki, Y. 1970: A Miocene molluscan fauna in the Philippines. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, N.S., (77), 205-228, pl. 23.
- Kamada, Y., 1960: On the associated occurrence of *Vicarya* and *Vicaryella* in the Japanese Tertiary with the first description of a Paleogene species of *Vicarya* from Japan. *Sci. Rep., Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.), Spec. vol.*, (4), 281-295, pl. 30-31.
- , 1962: Tertiary marine mollusca from the Joban Coal-Field, Japan. *Spec. Pap., Palaeont. Soc. Japan*, (8), 1-187, 21 pls.
- 鎌田泰彦, 1962: 常磐炭田地域における問題(特に軟体動物化石). 化石, (4), 56-58.
- , 1972: 常磐炭田における櫛平層の設立と滝夾炭層の層位的位置. 岩井淳一教授記念論文集, 389-402.
- 加納 博・黒田吉益・宇留野勝敏・瀧木輝一・蟹沢聡史・丸山孝彦・梅村隼夫・光川 寛・瀬戸延男・大平芳久・佐藤 茂・一色直記, 1973: 竹貫地域の地質. 109+6p., 地域地質研究報告, 地質調査所.
- Macnae, W., 1968: A general account of the fauna and flora of mangrove swamps and forests in the Indo-West-Pacific Region. *Advances in Marine Biology*, 6, 73-270.
- Masuda, K., 1967: Molluscan fauna of the Higashi-Innai Formation of Noto Peninsula, Japan-III: Description of new species and remarks on some species. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, N.S., (65), 1-18, pls. 1-2.
- 増田孝一郎, 1973: 日本新第三系の貝類化石層序. 地質学論集, (8), 107-120, 2 pls.
- Miall, A. D., 1977: A review of the braided-river depositional environment. *Earth Sci. Revs.*, 13, 1-62.
- ed., 1978: Fluvial Sedimentology. *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.*, 5, 859p.
- Mitsui, S., 1971: Studies on the mechanism of deformation of sedimentary rocks in the Iwaki Area of the Joban Coal-Field, Fukushima Prefecture. *Sci. Rep., Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, 42(3), 199-272.
- 三井 忍, 1972: 常磐炭田の地質構造に関する2・3の問題. 東北大地質古生物研報, (73), 87-96.
- 中村新太郎, 1913: 常磐炭田第1区石城郡湯本附近地質図ならびに説明書. 1-14p., 地質調査所.
- Noda, H., 1973: Geological significance of *Anadara (Hataiarca) kakehataensis* Hatai and Nisiyama in the Arcid-Potamid fauna in Japan. *Sci. Rep., Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.), Spec. Vol.*, (6), 205-215, pl. 18.
- Okamoto, K. and Terachi, M., 1974: Miocene molluscs from the Bihoku Group at Miyauchi-cho, Shobara City, Southwest Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, N.S., (95), 341-352, pl. 47.
- Otuka, Y., 1939: Tertiary crustal deformations in Japan (with short remarks on Tertiary Palaeogeography). *Jubl. Publ. Commem. Prof. H. Yabe's 60th Birthday*, 481-519.
- Oyama, K., 1950: Studies of fossil molluscan biocoenosis, no. 1; biocoenological studies on the mangrove swamps, with descriptions of new species from Yatsuo Group. *Geol. Surv. Japan, Rep.* (132), 1-16, 3pls.
- Purchon, R. D. and Purchon, D. E. A., 1981: The marine shelled mollusca of West Malaysia and Singapore. Part 1. General introduction and an account of the collecting stations. *Jour. Moll. Stud.*, 47, 290-312.
- Reading, H. G. ed., 1978: Sedimentary environments and facies. 557p. Blackwell Scientific Publications.
- Reineck, H.-E. and Singh, I. B., 1975: Depositional sedimentary environments, with reference to terrigenous clastics. 439p. Springer Verlag.
- Sasekumar, A., 1974: Distribution of macrofauna on a Malayan mangrove shore. *Jour. Anim. Ecol.*, 43, 51-69.
- Scholle, P.A. and Spearing, D. ed., 1982: Sandstone depositional environments. *A. A. P. G. Mem.* 31, 410p.
- Semeniuk, V., 1981: Sedimentology and the stratigraphic sequence of a tropical tidal flat, North-Western Australia. *Sed. Geol.*, 29, 195-221.
- 須貝貫二・松井 寛, 1953: 常磐炭田湯本東部地区調査報告. 地調報告, (157), 58+5p., 地質調査所.
- ・———・佐藤 茂・佐々木実・宮下美智夫・河内英幸, 1957: 常磐炭田地質図ならびに説明書. 143+11p., 日本炭田図1, 地質調査所.

- Taguchi, E., 1981: *Geloina/Telescopium* bearing molluscan assemblages from the Katsuta Group, Okayama Prefecture-with special reference to brackish faunal zonation in the Miocene of Japan. *Bull. Mizunami Fossil Mus.*, 8, 7-20, pls. 2-4.
- , Osafune, T. and Obayashi, A., 1981: New Miocene mollusca from the Katsuta Group, Nagicho, Okayama Prefecture, Southwest Japan. *ibid.*, 8, 1-6, pl. 1.
- 高橋宏和, 1983: 常磐炭田上遠野地区における新第三系中山層の Arcid-Potamid 群集. 日本地質学会第90年学術大会(鹿児島)講演要旨, 277.
- 徳永重康, 1927: 常磐炭田地の地質. 早大理工学部紀要, 5, 1-316, 10 pls.
- 津田禾粒, 1965: 東北裏日本の新第三紀動物群と岩相—とくに中新世中期の動物群について—. 化石, (10), 20-23.
- 植田房雄, 1951: 常磐炭田上遠野地区(Ⅲ区)に賦存する化石立木に就いて. 地質雑, 57, 277.
- Uozumi, S. and Fujie, T., 1966: Neogene molluscan fauna in Hokkaido part II. Description of the Okushiri fauna associated with *Vicarya* from Okushiri Island, Southwest Hokkaido. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. 4*, 13(2), 139-163, pls. 11-13.
- Walker, R. G. ed., 1979: Facies models. Geoscience Canada, Reprint Series 1, 211p.
- Watanabe, K., 1926: Tertiary System, in the geology and mineral resources of the Japanese Empire. *Imp. Geol. Surv. Japan*, 34-67.
- 渡辺久吉, 1929: 再び常磐炭田石城郡殊に上遠野区域の第三紀層に就いて(摘要). 地質雑, 36, 293-294.
- ・紺野芳雄, 1934: 常磐炭田第三区磐城国石城郡上遠野附近地質図ならびに説明書. 106+28p. 地質調査所.
- ・佐藤源郎, 1937: 7万5千分の1地質図幅「勿来」および同説明書. 130+17p., 地質調査所.
- Yabe, H. and Ueda, F., 1948: *Vicarya*-beds in the Zyoban Coalfield. *Proc. Japan Acad.* 24(7), 14-19.
- Yokoyama, M., 1925: Molluscan remains from the uppermost part of the Joban Coal-Field. *Jour. Coll. Sci., Imp. Univ. Tokyo.*, 45(5), 1-34, pls. 1-6.

Plate 1

- Fig. 1. *Anadara (Hataiarca)* cf. *kakehataensis* Hatai and Nisiyama, $\times 0.8$, IGUT no. 16012, Loc. 10.
- Fig. 2. *Meretrix arugai* Otuka, $\times 1.0$, IGUT no. 16014, Loc. 16.
- Fig. 3. *Dosinia (Phacosoma) nomurai* Otuka, $\times 1.0$, IGUT no. 16013, Loc. 16.
- Fig. 4. *Cyclina japonica* Kamada, $\times 1.2$, IGUT no. 16015, Loc. 16.
- Fig. 5. *Cerithidea (Cerithidea) kanpokuensis* Makiyama, $\times 2.5$, IGUT no. 16016, Loc. 18.
- Fig. 6. *Cerithidea (Cerithidea)* sp., $\times 1.8$, IGUT no. 16017, Loc. 6.
- Fig. 7. *Tateiwaia tateiwa* (Makiyama), $\times 1.5$, IGUT no. 16020, Loc. 10.
- Figs. 8-10. *Tateiwaia Yamanarii* (Makiyama), Fig. 8, $\times 1.6$, IGUT no. 16023, Loc. 16; Fig. 9, $\times 1.5$, IGUT no. 16022, Loc. 11; Fig. 10, $\times 1.3$, IGUT no. 16021, Loc. 10.
- Fig. 11. *Batillaria* cf. *toshioi* Masuda, $\times 1.3$, IGUT no. 16019, Loc. 10.
- Fig. 12. *Terebralia* sp., $\times 1.2$, IGUT no. 16032, Loc. 10.
- Figs. 13-16. *Cerithidea (Cerithideopsilla)* aff. *minoensis* Itoigawa, $\times 1.5$, IGUT no. 16018, Loc. 6.
- Figs. 17-19. *Vicaryella* cf. *ishiiana* (Yokoyama), Fig. 17, $\times 1.3$, IGUT no. 16028, Loc. 9; Fig. 18, $\times 1.3$, IGUT no. 16029, Loc. 11; Fig. 19, $\times 1.3$, IGUT no. 16030, Loc. 10.
- Fig. 20. *Vicaryella* cf. *notoensis* Masuda, $\times 1.5$, IGUT no. 16031, Loc. 9.
- Figs. 21-23. *Vicarya yokoyamai* Takeyama, Fig. 21, $\times 0.9$, IGUT no. 16025, Loc. 10; Fig. 22, $\times 1.0$, IGUT no. 16026, Loc. 13; Fig. 23, $\times 0.8$, IGUT no. 16027, Loc. 9.
- Fig. 24. *Vicarya callosa japonica* Yabe and Hatai, $\times 0.9$, IGUT no. 16024, Loc. 16.

(All specimens except figs. 2, 3, 4, 8 and 24 are silicon ruber casts. IGUT = Institute of Geoscience, University of Tsukuba)



1



2



3



4



5



6



7



8



9



10



11



12



13



14



15



16



17



18



19



20



21



22



23



24

層状放散虫チャートの起源

II. 珪酸殻物質の沈殿・削剝および 結晶化作用に関する実験的考察

箕浦幸治*・中谷周*

Origin of radiolarian bedded cherts: Part II

Koji Minoura and Shu Nakaya

はじめに

前稿(箕浦・中谷, 1984, 化石 no. 35)では層状放散虫チャートの堆積場について論じた。層位的にはそれがしだいに沈降する場に集積したものであることが、また化学分析値と酸素同位体化値からは炭酸カルシウム補償深度以深の海底に集積した放散虫殻がいったんコロイド様物質化したものに起源を發することが推理された。さらにまた、停滞した腐食性に富む深層水がその際重要な要因として作用したものと結論した。

ここでは、珪質粒子の堆積作用とチャート化の機構について主として実験により検討し、前稿での推論を補足する。まず水槽実験装置を用いて珪質粒子の堆積性を調べ、実際の海洋環境に対応させて層状放散虫チャートの集積の場を論じ、次いで高圧実験容器を用いて試みたチャートの合成実験を通じ、チャート化の過程の再現に努める。

珪質堆積物の沈殿と削剝

i. 沈殿過程

斜面上の沈殿凹地から珪質堆積物が溢れ出る現象を仮定してみよう。そのような場合、はたして珪質堆積物は海水中に拡散しないで斜面上を流動し、より深い平坦面に沈積するであろうか。われわれはこの疑問を解決するために特別な水槽を作成し、そこに天然の条件を設定して流動実験を試みた。水槽は長さ約2 m、幅25cm、高さ40cmである。流動体の密度が海水のそれに近いため、流速は小さく、この規模の装置でも十分流動の諸過程を観察できる。壁は全面硬質ガラス製(壁面抵抗が小さく、かつ写真撮影の効果を高める)で、その一端に水門を備えた可変角斜面を設けてある。水槽に海水を満した後、斜面のいちばん頂部にある試料溜めに海水との密度差を利用して試料を沈殿させ、水門を開くことによ

り重力の効果を利用してその流動体を作った。水槽の上面よりアルミ箔製スリットを通して採光し、観察壁面の反対側を黒い膜で覆うことにより試料流動体の観察を容易にした。水槽の観察壁面に平行に設置したレール上で撮影機を移動させ、流れの各過程を逐次偏光フィルターを通してフィルム上に記録した。

用いた試料は、海綿骨針・珪藻殻・放散虫殻・粘土および人工珪酸コロイドとその膠状化した粒子である。流れる過程でいずれの試料も海水中には拡散せず、明瞭な構造を伴った流動体を形成し、流れの速度は毎秒数cmとゆっくりしたものであった。人工珪酸コロイドの場合、流動の過程で海水と攪拌して急速に凝集することにより粒状物質を作り、これが流動体の尾部においてゆっくりと沈積する。海綿骨針は流動体内部で水の動きとともに攪拌され、その沈殿はやはり流動体尾部において進行する。流動体に追隨する海水の流れ(層流)は、針の長軸を流れの方向に直交して配列する。図版1は流動過程の記録の一部を示したものである。図版1-5で明らかのように、流動体はすべて明瞭なカルマンの渦列を流れの背後に作る。流動体と底質の間には海水の層(厚さ1mm以下)が介在し、底質表層を削剝することはない(図版1-5)。図版1-12には、粘土層の上位に8時間おきに行なった計4回の流動実験で得た4枚の人工珪酸コロイド膠化体沈殿層の重なりが示してある。連続性に卓越した積層構造は、まさに層状放散虫チャートのそれに類似する。水槽の底に沈殿させたまま静かに放置すると、この膠化体沈殿物は約4ヶ月でゼリー状の粘性の高い物質に変化した。ここでは一応、これを「珪酸ゼリー」と呼ぶことにする。沈殿層内で化学的に脱水反応が進行し、珪酸粒状体相互の結合が行なわれたことによるのではないだろうか(前稿図12参照)。図1は、各種試料についての流動過程での速度と密度(水槽に満した海水を1としたときの流動体の密度)の変化をいくつかの例について示したものである。いずれの試料も

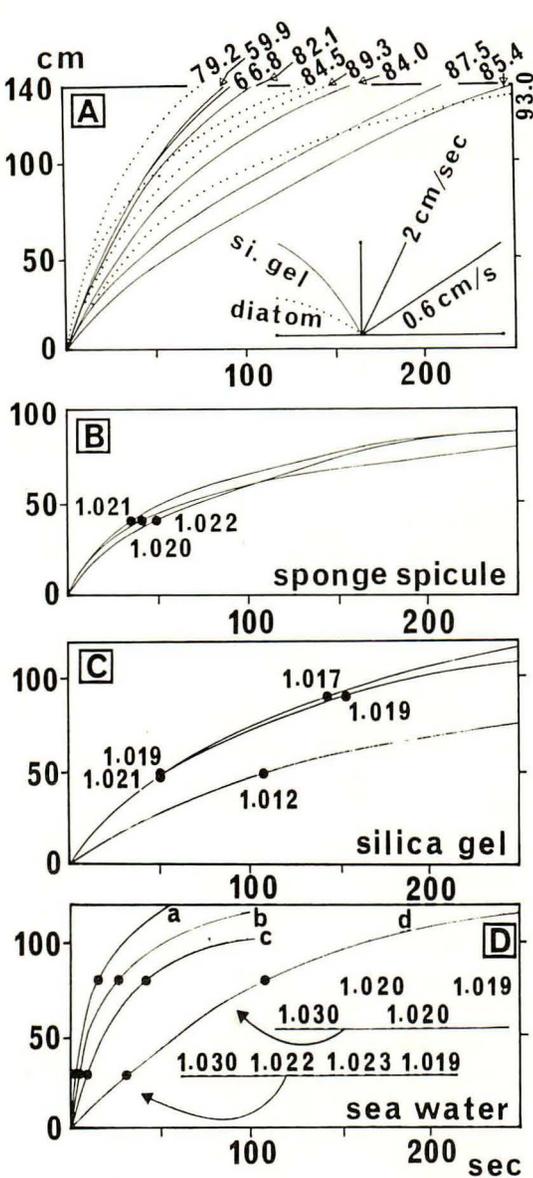


図1 海水を満たした実験水槽内での試料流体の速度と密度(海水を1としたときの流体密度)の変化。水温は12.3°C。
 ④ゲル化した人工珪酸コロイドおよび珪藻殻よりなる流動体の速度変化曲線(数字は試料流動体の含有率,%)。試料流動体の密度が海水のそれに近い場合速度の減衰が小さい。
 ④海綿骨針よりなる流動体の速度変化曲線(数字は流動体頭部の密度)。流動体の密度は海水に比べてわずかに大きい。
 ④ゲル状人工珪酸コロイドの試料流動体の速度変化曲線(数字は流動体頭部の密度)。流動過程での流れの密度変化はほとんどなく、他の試料流動体に比べて速度の減衰が小さい。
 ④濃度の異なる人工海水を流動させた場合の速度変化曲線(数字は流動体頭部の密度)。人工海水試料は流す時点で海水のa, 10倍, b, 7.5倍, c, 5倍, d, 2倍の濃度である。密度が小さいほど流動体の速度の減衰が小さい。このことは静かな海水中にくさび状に層状の流れが介入すれば、それは広い範囲に波及するであろうことを示唆する。

海水との密度差が小さいため、流動速度の減衰が少ない。したがってこの結果は、これらの堆積層が広がりやすいことを示唆している。さらにこの結果は先の流動過程の観察とあわせ、殻が静かに沈殿してできた層と重力流によってできた層とでは、野外で観察する限り両者の区別が困難なことを暗示する。この水槽実験にみられたような、珪質堆積物の流動とこれに続く沈殿層の形成は、実際海底において発生しうる現象であると推定される。

物質の沈殿と削剝に関する現象は、Hjulström (1935)以来多くの実験的研究を通して蓄積された知識により解釈が進み、現在ではかなりの水準で理解されていると言えよう。特に粒子の堆積作用については、流体力学的手段を最大限利用できるため、多くの成果があがっている。図2には、流速と粒子の堆積学的性状に関する研究結果のいくつかについて示してあり、遠洋性堆積物を構成する代表的な堆積物の平均的粒径もあわせて表現してある。たとえば放散虫軟泥の平均粒径(1.5mm)に相当する粒径を有する粒子より成る堆積物についてみると、粒子着底時の流速は7.0cm/sec、あるいはこれ以下であるのに対し、侵蝕時の流速は堆積物の性質によって著しく異なる。たとえば、粘着性のある堆積物で20cm/sec以上、非粘着性堆積物の場合、Maris et al. (1935)の実験式などでは8cm/sec以上でInman (1949)のそれでは2cm/sec以上となる。このことは、堆積物の侵蝕現象の場合、粒子の大きさとは別にそれぞれの堆積物の物性について十分考慮する必要があることを示唆している。

過去の遠洋性堆積物の侵蝕過程についてここで参照できる研究結果は、現在のところ2・3例くらいしか見当たらない。そこでわれわれは、目的とする珪質堆積粒子の沈殿物に関する削剝作用について、実験水槽を用いて検討を行うことにした。珪質粒子の堆積と侵蝕に関し十分な知識が得られれば、チャートを形成した場における深層水の流体力学的性状の理解に役立つものと思われる。

ii. 削剝過程

外径1.7m、水槽幅20cm、高さ35cmの透明アクリル酸ガラス製円型水槽を作製し、これを満たす流体を複数枚(通常12枚)の水かきを連結した回転軸を回すことによって循環層流を発生させた。流速は水かきの回転速度に依存するが、回転速度は駆動系を流れる電流と軸に連結した歯車の性質を変えることによって連続的に変化させられる。装置の全容を図版2-Aに示す。試料を水槽の底に沈殿させて24時間経過した後、さまざまな層流速度での削剝現象を実験観測した。図3は、各種試料のうち珪質粘土(中部太平洋水深5319mの海底より採取)、放散虫殻(珪

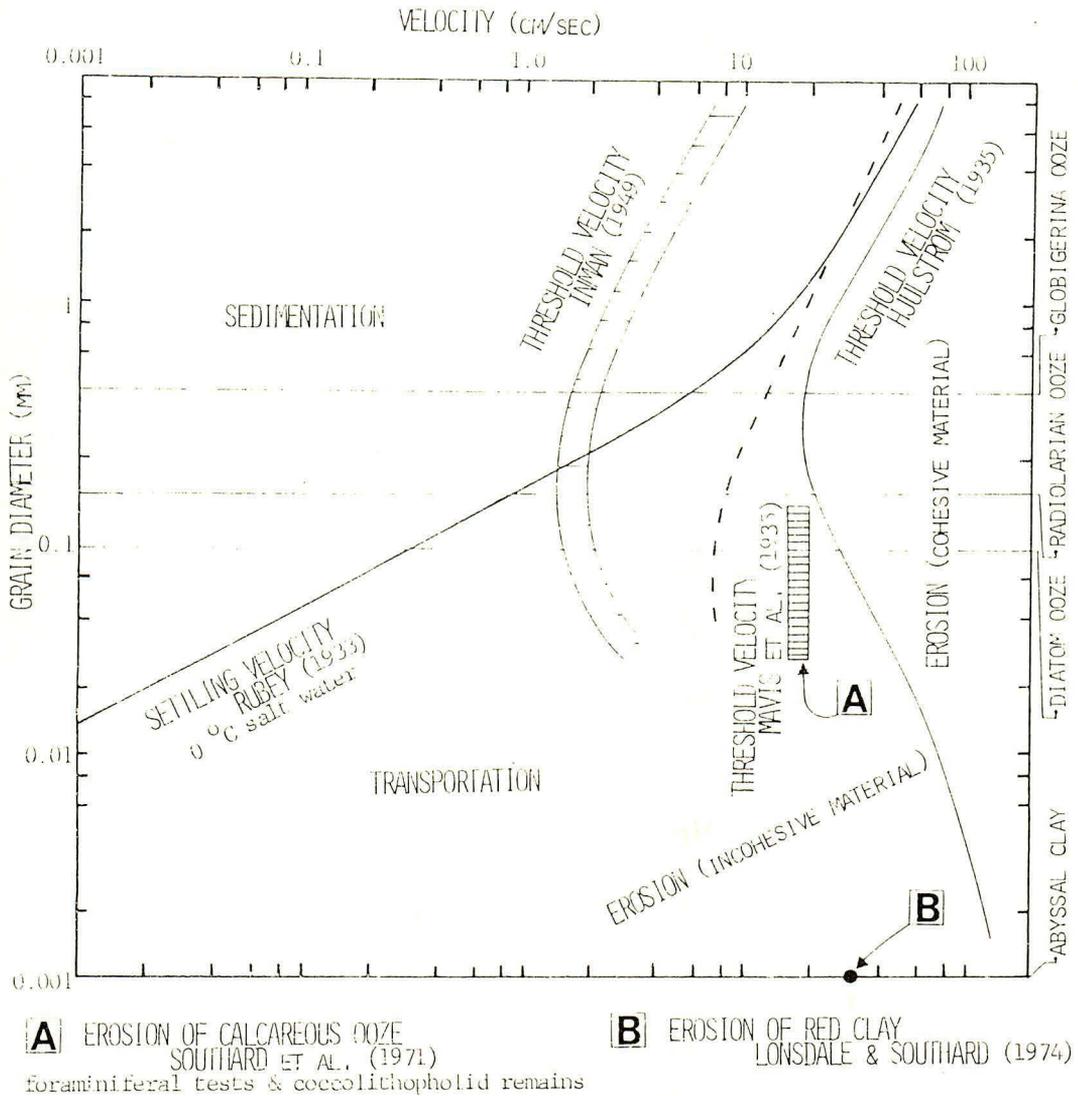


図2 堆積粒子の粒径と限界摩擦速度および沈降速度の関係。非粘着性堆積物の場合、理論的には細粒砂大の粒子からなる堆積物で限界摩擦速度が最小となる。遠洋性堆積物では、粒径以外に堆積物の物性によっても限界摩擦速度が異なる。

質粘土より分離)、珪藻殻(中新統珪藻土より分離)および人工珪酸コロイド膠化粒についての流速に依存した表層沈殿物の動きを表示したものである。この結果で興味深いのは、珪藻殻軟泥様の沈殿物が他の沈殿物に比べて流水による削剝に対する抵抗力が強い(すなわち限界摩擦速度(threshold velocity)が大きい)ことである。これに対して、放散虫殻は水の動きに敏感に対応し、層流速7~8 cm/secで移動を開始する。循環層流を定常的に持続させた長時間(10時間以上)にわたる実験では、流速8 cm/secで流れの方向に長く伸びた洗堀構造(longitudinal

grooves)が、また9~10 cm/secで波状連痕(wavy ripples)が、それぞれ放散虫殻沈殿物表層に発生している(surface erosion, 図版2-B, C)。波状連痕は、珪質粘土の場合には流速14~15 cm/sec、沈殿物の場合には約20 cm/secで形成される。波状連痕の形成に必要な流速のこのような違いは、単なる粒径と層流速に基づく粒子始動の概念だけでは説明できない。珪質粘土沈殿では、珪質生物殻(主に放散虫殻)を埋める粘土粒子が表面を滑らかにして壁面摩擦応力を減少させている。一方珪藻殻沈殿物の場合は、珪藻殻の径が放散虫殻のそれに比較して小さ

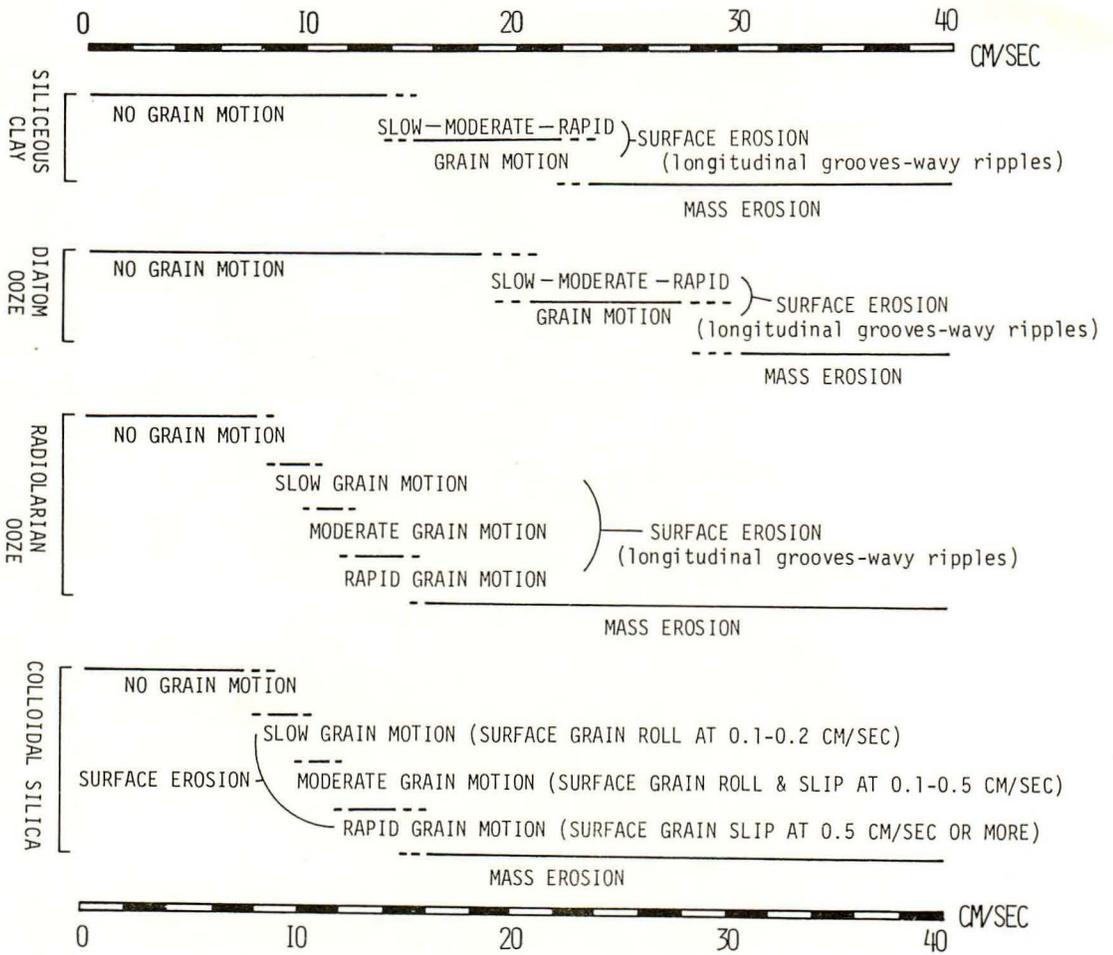


図3 各種珪質沈殿物の限界摩擦速度と侵蝕速度。試料の平均粒径は、放射虫殻0.15mm、珪酸殻で0.08mm、ゲル状珪酸粒で0.008mmである。珪質粘土中の粘土粒子は平均して0.001mmである。Surface erosionは堆積物表面における粒子の移動に伴う堆積構造の形成を、またMass erosionは完全な堆積物の再堆積あるいは堆積粒子の浮遊をそれぞれ意味している。放射虫殻と人工ゲル状珪酸粒は流体力学的に似かよった性状を有している。

く、さらに形状としては偏平～偏楕円体が卓越するために、珪質粘土沈殿物と同様限界摩擦速度が放射虫殻沈殿物に比べてより大きくなっていると考えられる。水かきの回転速度を上げて流速を増大させてゆくと、しだいに波状連痕の波長と波高が増大し、ついには削剝 (mass erosion) が始まる。図3には、人工珪酸コロイドを海水中で凝集させて得た粒状沈殿物についての実験結果もあわせて示してある。放射虫殻に似た流体力学的性状を有しており、他のものに比べて限界摩擦速度が小さいことが結果からわかる。

珪酸物質の堆積環境

前稿で示したチャート薄葉理が粘土層中に認めら

れる事実(前稿図版1-E参照)は、珪酸粒状体の粒子径が小さい(粒径10数ミクロンあるいはこれ以下)にもかかわらず限界摩擦速度が小さいため、わずかの水の動きによっても容易に動くためであろうと解釈できる。放射虫殻および珪酸コロイド様物質に由来する粒状物質が表層付近を流れる水に敏感に対応する現象は、取りも直さず放射虫チャートを溜めた場が水の循環に極めて乏しい環境であったことを物語っている。

粗粒陸源碎屑物を含まない赤色粘土岩はほとんどの場合層状放射虫チャートとは産状を異にしており明瞭な層理を欠くことが多い。遠洋性赤色粘土の削剝現象に関する Lonsdale and Southard (1974) の水槽を用いた実験的研究(図2)では、30cm/secの

流速で表層近くを水が流れる場合に侵蝕が開始される結果が得られている。この測定値は珪藻殻沈殿物の限界摩擦速度(29~30 cm/sec)にほぼ匹敵している。底質中の鉄質鉱物の酸化により赤く発色すると考えれば、赤色粘土が沈殿する場の底層水は酸素に富んでいたと推定される。おそらく循環性の良い海水に常に触れる状態で赤色粘土が集積していったものと思われ、その限界摩擦速度の大きいために、層流による削剝をまぬがれて堆積したのであろう。赤色粘土を構成する粘土粒子は非常に小さい(通常径1ミクロン前後)ため、図2の資料によればそれが沈殿する時点で水の流れの全くない状態を考えねばならない。しかしながら、流れのない環境を現実求めることはほとんど不可能である。赤色粘土岩は定常的にそれを構成する粒子が沈積することによってできた堆積物であるとは思えない。酸素に富む表層水に起源を持つ水の底層への流入によって生じた既存の珪質堆積物の海底風化により、含有珪質殻と有機物が分解され、溶け残った粘土粒子と鉄質酸化鉱物で構成されたものが赤色粘土であると解釈できる。酸素の十分な供給に堆積速度の緩慢さも加わって、赤色粘土堆積場では生物の生息に必要な環境がある程度確保されていたことになる。赤色粘土岩にみる葉理の乱れや欠如は、生物活動による堆積物擾乱作用によるものであろう。箕浦ほか(1983)は美濃帯ジュラ系赤色珪質頁岩中に産する炭酸マンガニウム床について鉱物化学的検討を試み、それが表層に近い(数10cm~数m)堆積物中の還元的环境で形成されたものであることを明らかにした。底質表層で酸化を受ける状態にあっても、表層直下ではすでに還元的环境が支配的であったことをこの結果は示している。層状放散虫チャートを溜めた場合では、表層ですでに酸化状態にあり、沈殿有機物は赤色珪質頁岩の場合よりもさらに表層近くで硝酸あるいは硫酸還元作用により分解されたものと思われる(箕浦ほか, 1983)。ある場合には、そこで炭酸塩鉱物(方解石、苦灰石、菱鉄鉱、菱マンガニウムなど)が作られたであろう。このような環境での生物活動は著しく阻害され、初生的堆積構造(たとえば、表層水における生産性の周期的変動に伴う堆積速度の差によりできる層状構造)は失われることはなかったであろうと推察される。

表層水における生産性が高く、かつ CCD を超えた水深の海があつて、海底近くに 7cm/sec を上回る水の流れがあれば、そこでは層状放散虫チャートに代わって放散虫岩 (radiolarite) ができると考えられる。陸上にも放散虫殻の径はおおむね揃っており、海綿骨針が含まれる場合にはその表軸の配列に方向性が認められる。オフィオライト相を覆ってイ

タリア北部に広く分布するジュラ系層状チャートと呼ばれているものは放散虫岩の典型であろう。Barrett (1982) はこれを放散虫タービダイトと考えており、一度集積した放散虫殻が海嶺斜面上を流動し再堆積したものとしている。日本列島に産する放散虫岩は、多くの場合層状放散虫チャート・赤色粘土岩漸移部や赤色粘土岩中あるいは酸性凝灰岩層を挟有する細粒タービダイトに付随している。しかしそれには、Barrett (1982) に記載されたタービダイトに特徴的な構造は、おおむね欠如している。従って日本の放散虫岩は、先述のようなその組織上の特性から判断して、底層水が定常的に循環する環境で集積したものと思われる。このような環境では、その粒径からして遠洋性堆積物中最も限界摩擦速度の小さい部類に入る(図2参照)放散虫殻は常に洗われて移動しやすく、そのたびに珪酸に不飽和な海水に触れて侵蝕され、沈殿放散虫殻のうち溶解性に乏しいものだけが残って集積するのであろう。したがって、たとえ表層水から多量の放散虫殻が供給されても、堆積場において水の流れがある程度強ければ、チャートのもとになる堆積物はできないことになる。

Crunau (1965) による世界の層状放散虫チャートの時空分布に関する論説をみると、その形成年代はほぼ一定している。たとえば、Thethys 堆積区ではほとんどがジュラ系で、一部に下部白亜系のものがある。それに対して太平洋地域では、近年の微化石層位学的研究成果(たとえば、大阪微化石研究会誌特別号No.5:第1回放散虫研究集会論文集, 1982)などもあわせて考えてみると、主としてペルム・三畳系で、一部に石炭系とジュラ系が認められる。ペルム紀から三畳紀にかけての時代はただ1つの海洋(Panthalassa)に囲まれた超大陸(Pangea)が分裂を開始した時期である(Dietz and Holden, 1970)。白亜紀末には諸大陸の位置が現在にほぼ近くなっている。おそらく、海洋循環のパターン、特に深層水の動きは、この分裂に伴って大きく変わったであろう。層状放散虫チャートの生成時代と現在のその分布を合わせ考えると、堆積物としてのチャートの大部分は、超大陸に深く湾入した Thethys 海と海洋の広範な海域に集積したものと推定される。しかし、大西洋の完全な成立とオーストラリア大陸が南極大陸から分離して北上が始まる始新世には、すでにそれを堆積する場はなくなっていたことになる。層状放散虫チャートの形成と海洋の動的特性は極めて密接な関係にあったことが想像される。

層状放散虫チャートがすべて CCD 以深の酸素の少ない停滞した海水環境に集積した放散虫軟泥に起源を発するとすれば、現在の陸上におけるその分布の広範さからして、広大な広がりをもつ唯一の海洋

の深層水は総じて停滞性の強い腐蝕性に富む海水から成っていたことになる。各時代におけるチャートおよび底生有孔虫殻の $\delta^{18}\text{O}$ 値からみた深層水の温度の履歴は、ジュラ紀から第三紀にかけてしだいにかつ着実に冷たくなっていったことを明らかに示している。前稿の図11における深層水温の変化曲線のたどる傾向をさかのぼってペルム紀あたりまでの水温を推定すると、ジュラ紀頃までは非常に高かった (10°C 以上) ののではないかと思われる。この水温の高さは、表層水と深層水の交換が乏しく、深層へのとりわけ冷たい水の供給がなかったことを示すのではなからうか。白亜紀末から第三紀初期にかけて、ローシアの分裂により北大西洋が形成され、北極海と当時すでにあった南大西洋とを結ぶ水路が確保された。北極海の冷水がこの水路を経て南大西洋から太平洋に流れ込み、そこで深層水の動きを活発化したと推定される。DSDP 試錐試料中にもこの推定が裏付けされる。したがって、前稿の図11で示されたように、暖かかった海洋の深層水が白亜紀の中頃よりしだいに冷たくなってゆく現象は、白亜紀に入ってより顕著になった大陸の分裂に直接起因したものであるということになる。ジュラ紀よりさかのぼった時代に存在したただ1つの海洋は、超大陸の子午線方向に卓越した連年のために、おそらく循環の不活発な動的にも安定した状況にあったであろう。停滞する深層水は、有機物の分解によりしだいに酸性度を高めていったに違いない。結果としての CCD の浅化は炭酸塩殻の海底への沈積を極度に制約し、海洋の多くの部分は珪質殻が単独で沈殿する場となったものと考えられる。太平洋の底質堆積物の分布をみると(たとえば、岡田・小林, 1974)、現在の海洋では炭酸塩殻が主たる堆積の場を占めている。これは多分に深層水の腐蝕性の軽減による CCD 深化の結果であると思われる。このことに関するさらに詳しい議論は後に行う。

非晶質珪酸塩の結晶化作用

層状放散虫チャートについてその堆積様式と環境を具体的に明らかにすることができた。しかし、珪質生物殻がいかなる過程を経て結晶質珪酸塩すなわち石英よりなるチャートに変わるのか、依然明らかでない。Jones and Segnit (1972) は非晶質珪酸塩が地表条件下で結晶質の珪酸塩に変わる過程について考察し、含水珪酸の脱水に伴う珪酸単量体の相互結合により結晶化が進行するとしている。これは具体的には、Opal-A \rightarrow Opal-CT \rightarrow Opal-C \rightarrow Quartz という変化過程で表現されている(たとえば、Jones and Segnit, (1972)). Opal-CT より石英に至る変化は

ほぼ純粋な再結晶過程であり、そこでは常に $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$ (シロキサン結合) の解離と会合が行われていることになる (Cross, 1979)。しかるにこの反応は地表条件下では極めて緩やかにしか進行しない。なぜなら、このシロキサン結合は地表の条件下では非常に安定な結合であるからである。したがって、海底表層付近における非晶質珪酸塩堆積物のチャート化は、Calvert (1974) が考えるように極めて長い時間を要するものと思われる。California の中新統珪質堆積物の続成に関する鉱物学的検討の結果 (Murata and Larson, 1975) では、オパールから石英への移り変わりが堆積物埋没作用による地温勾配に支配された現象であると結論されている。Pisciotta (1981) による同地域でのさらに詳細な研究によっても同様な結論が得られている。埋没増温効果がシロキサン結合の解度と会合を促進し、割合短時間 (3~4 Myr) のうちに微晶質石英の形成にいたったのであろう。しかし、層状放散虫チャートの場合は全く異なっており、熱的效果ではなく、長い時間の経過が再結晶を促したようである (I 稿図11参照)。現在知られうる層状放散虫チャートと考えられるもののうち最も新しいものは、中部始新統である (実際にはこれは放散虫岩であり、層状放散虫チャートとしては下部白亜系が最も新しいものであると考える)。この事実は、深海底の条件下では、非晶質珪酸塩の石英化に少なくとも 30 My 以上の時間が必要なことを暗示するものであろう。しかし、珪質堆積物の固結化は、それが一度コロイド様物質化を経験すると、一連の鉱物相形成のかなり初期の段階で進行するものと思われる。このことは、引張分離や層内褶曲のような層状放散虫チャートにしばしば認められる構造変形からも類推される。チャート化の進行の各段階の状態を示すと思われる試料は現在の海底下からまだ得られてはおらず、カリフォルニアの中新統で確認されたような結晶化の過程の各段階を見出すことはできない。したがって、珪質殻堆積物の脱水が進んで固結化がある程度進行した状態から、石英にいたるまでの過程を具体的に知るためには、Ernst and Calvert (1969) や Oehler (1976) が行ったような高圧実験に頼る以外に方法はない。現在までにこの種の実験的研究はかなり進み、反応速度論的解釈に関してはある程度の貢献が行われている (たとえば、Mizutani (1966))。しかし、非晶質珪酸の石英化の過程における組織上の変化に注目した観察からチャート化を考察した例は Oehler (1976) の報告が唯一であろう。そこでは、珪酸コロイド膠化体 (sili-cagel) を出発物質として最終的に石英粒の形成に関わる詳しい観察の記述あるいは鉱物学的検討はなされていない。われわれはこれらの点を補足すべく、

さまざまな天然および人工珪酸塩を出発物質として
 高压釜を用いて石英に至るまでの過程をつぶさに実
 験し、新たに多くの事実を得ることができた。

i. 珪酸の結晶化過程

出発物質としては、先に水槽実験で用いた試料
 (放射虫殻, 珪藻殻, 海綿骨針, 人工珪酸コロイド
 とこの膠化体) を使用した. 250°C, 60barsの条件を
 設定し, 各試料を石英ガラス管に封入したものにつ
 いて実験を繰り返して行った. 径1cm, 長さ10cmの
 石英ガラス試料管の $\frac{1}{2}$ の空間に乾燥試料と蒸留水を
 等量入れ, 熔接密封した. このアンプルを多数用意
 し, さまざまな試行時間を設けて逐次実験を行った.
 最初人工珪酸コロイドについて実験を行い, 試行時
 間 470 時間でほぼ完全な石英の形成に至るのを確認
 した. 図版3には石英に至るまでの各段階での試料

のSEM観察像が, また各試行時間後の試料に関す
 るX線粉末回折図を図4にそれぞれ示してある. 実
 験開始後23.5時間で非晶質珪酸球の形成が始まり,
 70時間でOpal-CTが, さらに470時間で石英の形成
 に到達しているのが図4において明瞭に表現されて
 いる. 図版3-A~Cでみる非晶質珪酸球(Bではクリ
 ストバル石様板状結晶から成る微小球体も認めら
 れる)は, 新第三系珪質頁岩や珪藻土中の珪藻殻表
 面に付着して認められるものに形態的に類似して
 おり(Pollard and Weaver, 1973; Oehler, 1975; 本
 田1978), また同様のものが深海底堆積物において
 も発見されている(Weaver and Wise, 1972). おそ
 ろく生物殻オパール由来の珪酸コロイドの凝集した
 もので, 続成の初期の段階の産物であろう. 図版3-D
 ~1には美しい形をしたOpal-CTより成る微小球体

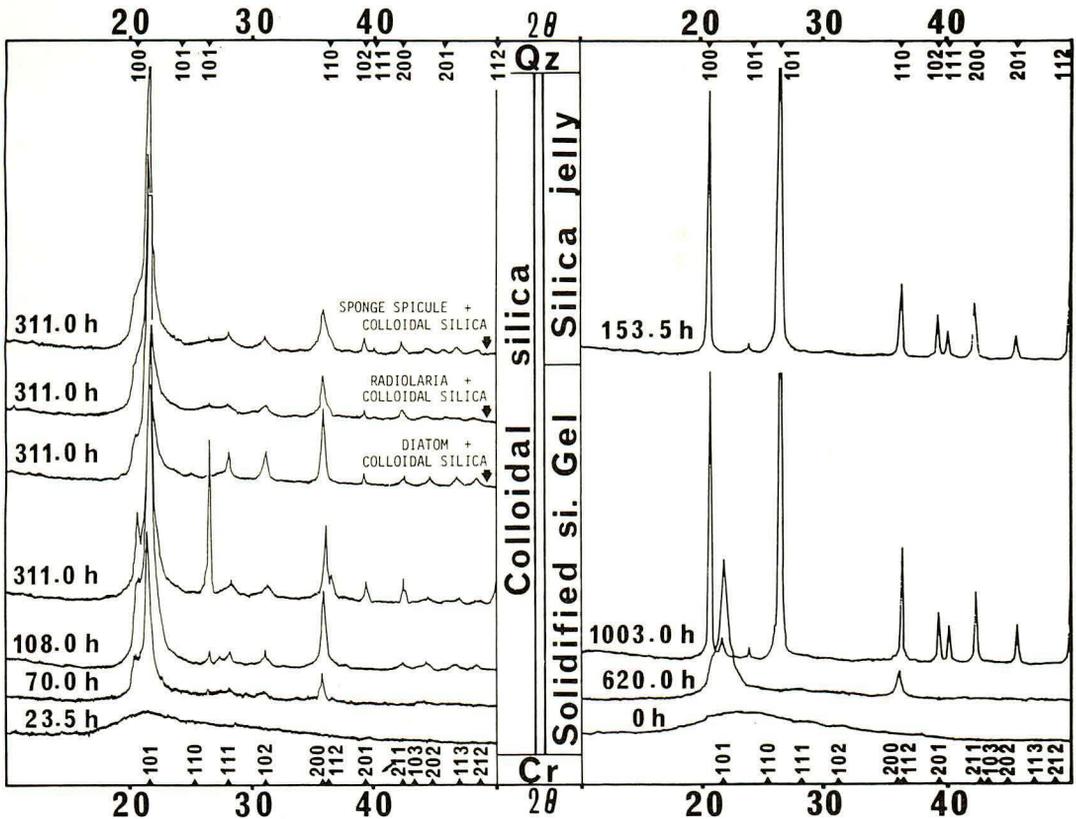


図4 高压実験装置を用いた各種珪質試料再結晶化実験の結果のX線粉末回折図. Qz; 石英の面
 指数, Cr; クリソバル石の面指数. 各回折線に添えた数字は試料の試行時間を表わして
 いる. 人工珪酸コロイドでは, 反応時間の増加とともにクリソバル石の(101)回折線が
 強くなってゆく. 人工珪酸ゲル試料では, 620時間でクリソバル石の形成があ
 ったことが回折線に明瞭に表われている. 人工珪酸コロイドを海水に通してゲル化・沈殿
 させ, そのまま長時間(約4ヶ月)放置した場合にできる粘性のあるゼリー状珪酸では,
 153時間の試行で完全な石英の形成をみる.

示されている。図版3のFとHはこの微小球体の破断部の組織をみたものである。Fでは、球体の内部にBでみるのと同様の板状結晶の集合体が残存しているのがわかる。Hでは、すでに外殻と同じ結晶の形の形態(主にクリストバル石)が内部にまで及んでおり、試行時間がさらに増えて、311時間経過した試料(図版3-J-L)ではなぜか微小球体内部が空洞化している。X線粉末回折法に基づく定量試験の結果、この時点で70~80%が石英であることが判明した。470時間経過後、試料の95%以上が石英となりこの場合のSEM観察像である図版3-M-Oでは明らかに生成物が石英特有の結晶形態をなしているのが認められる。図4のX線粉末回折図には時間ごとの鉱物組成の変化が明瞭に現われている。この図には珪酸コロイド単独試料の他に、珪酸コロイドと珪質生物殻(珪藻、放射虫、海綿骨針)を同等ずつ混合した試料と珪酸コロイド膠化体(Silicagel)および珪酸ゼリー(珪酸コロイドを水槽に沈殿させ4ヶ月以上放置して得た粘性の高い珪酸コロイド凝集体)についての試行結果もあわせて示してある。珪酸膠化体では珪酸コロイドに比べて石英への到達時間が長く、一方珪酸ゼリーは極めて短時間(153時間)で石英に至る。この事実、海底下で珪質殻がコロイド様物質化しさらにこれが凝集すれば、以後固結化と再結晶化は急速に進化する可能性のあることを示唆している。図版4は珪酸コロイド膠化体の各試行時間における生成物のSEM観察像である。図のAからFには図版3でみるのと同様の生成物が認められる。1003時間の試行で得たほぼ石英だけからなる試料の薄片を光学顕微鏡で観察した結果をGとHに示してある。波動消光するモザイク状微晶質石英の集合体より成っており、これはまさにチャート様物質の合成を意味するものであろう。

もし堆積物中で殻の組織の違いによる選択的溶解作用(前稿図版3参照)が進行し、その結果溶けにくい殻の周辺に溶けやすい殻に起源する珪酸が何かの形で留まったとすると、こうした堆積物はいかなる続成の過程を経るのか興味のある問題である。これまでの議論では、珪質殻のあるものが海底表層付近で一度コロイド様状態に達したと推定しており、珪質殻堆積物の続成作用の初期の段階で殻と珪酸コロイド様物質の混在する(極端な場合、珪酸コロイド様物質中に珪質殻が浮遊する)状態があったと考えることができる。そこでわれわれはこれに類する試料を人工的に作り、その再結晶化過程を知る目的で高圧実験を行った。珪質殻単独試料アンプルおよび珪質殻に人工珪酸コロイドを加えたアンプルを共に同一条件(250°C, 60bars)で実験を試行した所、前者では600時間経過後も何ら特別な変化を見出す

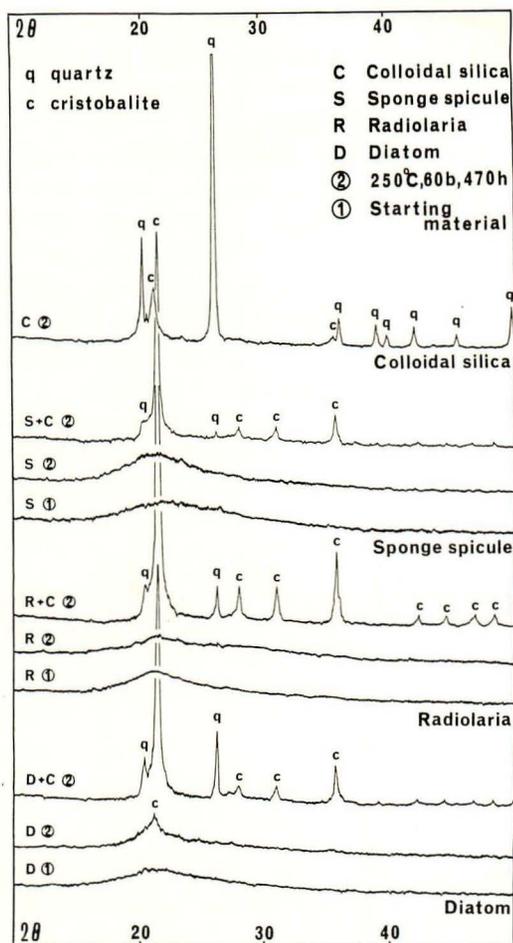


図5 図版5に示した各試料のX線粉末回折結果。珪質生物殻単独試料と人工珪酸コロイド・珪質生物殻混合試料とでは、同一条件でも実験結果に明瞭な違いがある。

ことができなかつたのに対し、後者では470時間で明らかに殻表面にOpal-CTの発達が認められた。実験の結果は、図版5の試料のSEM観察像と図5のX線粉末回折線図で示してある。珪質殻単独試料では、470時間経過後もわずかの非晶質珪酸粒の付着がある以外、殻自体には何の変化も認めることはできず、ほぼ実験開始前の状態のままである(図版5-A-F)。これに対して、殻に珪酸コロイドを加えた混合試料では殻の表層に明らかなOpal-CTの形成が見られる(図版5-G-L)。殻の破断面(図版5-JおよびL)で明らかのように、混合試料では珪酸コロイドに由来する付着珪酸だけではなく、殻の表層も再結晶化作用を受けており、図版5-D-Fにみる珪質殻単独試料の場合と比べて歴然とした違いがある。珪酸コロイドが珪質殻に添加される場合、再結晶化が急速に進む事実が図5の回折線図にも明

瞭に現われている。これらのことから、殻の選択的溶解過程でできたコロイド様珪酸は、珪質堆積物の再結晶化を促進する働きを有していると判断できる。

ii. 珪酸の結晶化の速度

ペルム紀からジュラ紀にかけての時代の海洋の深層水は非常に停滞性が強く、このことが層状放射虫チャートの形成に都合の良い場をもたらしたものと推測した。酸素同位体測定値から推定して、かつての深層水温は現在のそれに比べてはるかに高かったと考えられた(現深層水温より最大で10℃高い)。水温が高いために、次々と沈殿する珪質殻の溶解も、現在の海洋の堆積物のそれに比べより活発であったろうと考えられる。図6は珪酸の溶解度に関する圧力および温度の依存性を表わしたものである(圧力-溶解度の資料は Jones and Pytokowicz (1973); 温度-溶解度の資料は Krauskopf (1956), Kitahara (1960), Hurd (1977) および Lawson et al. (1978) による)。これによって溶解度に対する温度変化の影響は圧力のそれに比べてずっと大きいことがわかる。これから判断する限り、比較的温かかった当時の深層水中並びに底質間隙水中での珪質殻の溶解速度は、現在よりもずっと大きかったことになる。Schinck et al. (1975) は、溶解速度が小さければ堆積粒子間に効率良く珪酸が集積すると結論している(1稿参照)。この考えに従えば、層状放射虫チャート堆積時には底層水の温度が高かったために、堆積物における珪酸の集積効率は温度の低い現在の底質環境に比べて悪かったことになる。しかし、水温が高い分だけ深層水中の珪酸濃度もやはり同様に現在

よりずっと高かったであろうと容易に推察できる。したがって堆積物-海水間の珪酸濃度勾配は現在の状態と大差ないであろう。すなわち、深層水の温度が現在よりも10℃ほど高かったとしても、このことが堆積物間隙水中の珪酸を現在に比べてより活発に海水中へ拡散する要因とはならなかったと考えられる。逆に、深層水温が高いことにより、珪質殻のコロイド様物質化が一層促進されたのかも知れない。

ここでの高压実験の結果は、コロイド様物質化した珪質堆積物が固結し再結晶化したものが層状放射虫チャートであることを示すと同時に、放射虫岩の成因についても重要な示唆を与えるものとする。先にも述べたように、最も時代の新しい深海チャートは中部始新統であるとされているが、実際にはこれは放射虫岩であろう。白亜紀の層状放射虫チャートと呼ばれるものの多くがやはり放射虫岩の類であろうと思われる。層状放射虫チャートと違い、放射虫岩に対比しうる堆積物を現在の海に放射虫軟泥として求めることができる。これは、放射虫岩が海洋の珪酸循環に参加して以来いつの時代においてもみられた堆積物であり、その岩石化したものである放射虫岩のうち最も新しいものが30 Ma ということ、単純に考えてその岩石化には非常に長時間を要していることになる。おそらく地表条件で珪質殻がコロイド様物質化せず、そのまま再結晶化の道をたどったことによるものであろう。集積した珪質殻堆積物が岩石化するのに先行して殻のコロイド様物質化が十分に進行しておればチャートに、また底層流の流れが強く常に生物殻の洗われやすい環境では溶けにくい殻を主体とする堆積物が形成され、これは埋積されて数1000万年単位の時間の経過後、放射虫岩となるのであろう。

現在陸上に分布する層状放射虫チャートと DSDP 試錐試料にみるチャートとは岩相上幾分異なる場合があり、このことから両者の成因は全く別であるという意見がある(たとえば、飯島, 1982)。これは堆積場の海洋環境の相違による沈殿物質の違いによるものではなかろうか。現在われわれが大洋海底から得ることのできるチャート試料は、ジュラ紀以降にできたものである。ここでの議論において明らかにしたように、現在の大洋底に分布するチャートは、深層水の動きが活発化してからの産物である。深層水の腐蝕性が低下して起こった CCD の深化に伴ない、石灰殻の底質への供給が増す。溶存酸素に富む底層水の流入によって底生生物の活動が助長され、堆積物擾乱作用により初生的沈殿構造は消失する。CCD の深化や底層水の活発な動きは、白亜紀より第三紀にかけて顕著に現われている。したがって、この時代のチャートは石灰質になり、かつ層状構造

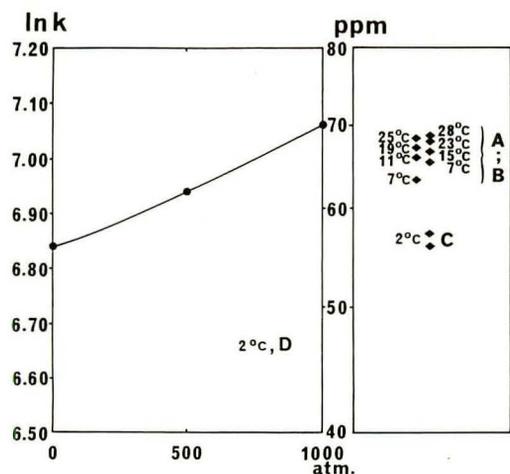


図6 様々な温度・圧力条件での珪酸の溶解度。A; Hurd (1972), B; Lawson et al. (1978), C; Krauskopf (1956), D; Jones and Pytokowicz (1973), 珪酸の溶解度は圧力変化に比べて温度変化に対する依存性が強い。

も欠如することになる。白亜紀においても層状放散虫チャートを形成する場合は確実に存続しており、海洋環境が大きく変化する時期に形成されたチャートが現在の大洋底に分布していると解釈できる。これらのチャートは、今われわれが陸上でみる層状放散虫チャートと成因的に何ら変わりはなく、同一のものとして扱うことができると考える。

現在の海洋における珪質堆積物

図7は、現在の太平洋における海洋環境を決定する主たる要因である海底地形、水深、底層水の流れおよび表層生産性とこれらの要因に支配されてきた底質堆積物の分布を集約したものである。このうち底層水に関しては、Johnson (1974) と Stow and Lovell (1979) および蒲生・堀部(1981)の各資料を総括してその流路を推定したものである。珪酸の表層生産性の資料は、Lisitzin (1972) より得たものである。太平洋海底表層堆積物の分布図は岡田・小林(1974)よりそのまま引用した。海底表層への炭酸塩殻の沈殿は CCD に強く規制されていることが、ほぼ4000m 等深線をその分布の境界としていることからうかがえる。北米大陸西岸に沿った海域では、しかしながらその例よりはずれている。これは、そこでの腐蝕性に富む深層水の表層への湧昇により、炭酸塩殻の活発な溶解作用がより浅い水深にまで及ぶからであろう。南太平洋では炭酸塩殻の堆積作用が北太平洋に比べてより広い海域に及んでいるのが図に明らかに現われている。このこともやはり底層水(南極底層水, AABW)の循環に深くかかわっていると考えてよさそうである。環南極循環流に由来する南極底層水は、初め炭酸カルシウムに飽和しておりかつ溶存酸素も豊富である一方、珪酸はほとんど含まれていない(Heath, 1974)。これは表層水にその起源を発するからである。この水塊が海底地形に支配されて北へ流れてゆくと、その過程で急速な珪質殻の溶解と有機物の分解が進行する。南極底層流はこのような沈降する物質の風化のみならず、すでに堆積していた物質の削剥と風化をも引きおこしている。新生代堆積間隙として、堆積物中にその記録を留められている(たとえば、Moore et al. 1978)。溶存酸素が有機物の溶解により消費され、しだいに底層水の腐蝕性が増大してゆくと、ついに炭酸塩殻をも溶解することになる。このため、この水塊が湧昇する北半球、とくに北米沖海域での海底への表層生産物の集積が規制されるのであろう。南極付近で珪質殻の沈殿が盛んであるのは、表層生産性が極めて大きいことによる。中部赤道太平洋海域での放散虫殻の集積(放散虫軟泥の形成)は、表層の生産性が高いのに加え、堆積深度が CCD 以深であることに

よる。中部太平洋海盆で分離した底層流が Clarion および Horizon 海路を通して西方に流れ込むため、これにより放散虫殻が粘土を主とする他の粒子群より選別され、かなり純度の高い放散虫軟泥が形成される。海底地形・水深・底層流および表層生産性を主要要因として、現在の太平洋底の堆積物の分布をこのように合理的に説明することができる。

この解釈に基づき、現在の海底にチャートの起源となる物質が沈殿する環境が求められるであろうか。循環がなく腐蝕性に富む底層水が占める CCD 以深の海底に珪質殻が沈殿して層状放散虫チャートは形成される、というのがわれわれの結論である。したがってこの条件にかなった環境をあえて求めるとすれば、太平洋中部赤道海域の起伏に富む海底の水の動きに乏しい海底凹地を挙げることができるかもしれない。しかし、起伏に富む地形における海底凹地は、また周辺の高まりより表層堆積物が大量に流入する場でもあり(Van Andel and Komar, 1969)、チャートが形成されるのに必要な堆積速度が小さい(堆積作用が緩やかに進行すると堆積物の表層付近で有機物が効果的に分解され、急激な圧密の作用しない状態で純度の高い珪質殻堆積物ができる)という条件に欠けている。すなわち、現在の海底に層状放散虫チャートになり得る堆積物の沈殿を発見することはできないということになる。この結論は逆に、ペルム紀より白亜紀にかけての海洋の深層水の環境が現在のそれと異なっていたかを物語るものであろう。

底層流の流速の測定に関する Heezen and Hollister (1964) や Betzer et al. (1974) あるいは Stow and Lovell (1979) の報告には、現在の海洋の主だった底層流は毎秒数cmから10数cmの速さで流れており、脈動的にそれは毎秒40cmに達する場合があると記されている。定常性のある毎秒7cmを越す流速で確実に放散虫殻沈殿物の削剥が行なわれるという事実がわれわれの実験で明らかになっている。したがって、底層流流速のこのような実測値からも、現在の海洋は層状放散虫チャートの形成に適した場にはなっていないことがわかる。海水の流動性に関する水槽実験の結果(図1-D)によれば、静止海水では、わずかな水の動きも状況が許せば広範囲に伝えられると考えられる。地形的起伏に乏しいと思われる層状放散虫チャートの堆積場において、底質を削剥するような水の動きが少しでも発生すれば、それはたちどころに広範な堆積場に及んで堆積物の侵蝕が行われることになる。現在インド洋から太平洋を取り巻く広範な陸域にわたって層状放散虫チャートが分布しており(Grunau, 1965)、明らかにその堆積場は当時の海洋底のかなりな部分を占めて存在していたこと

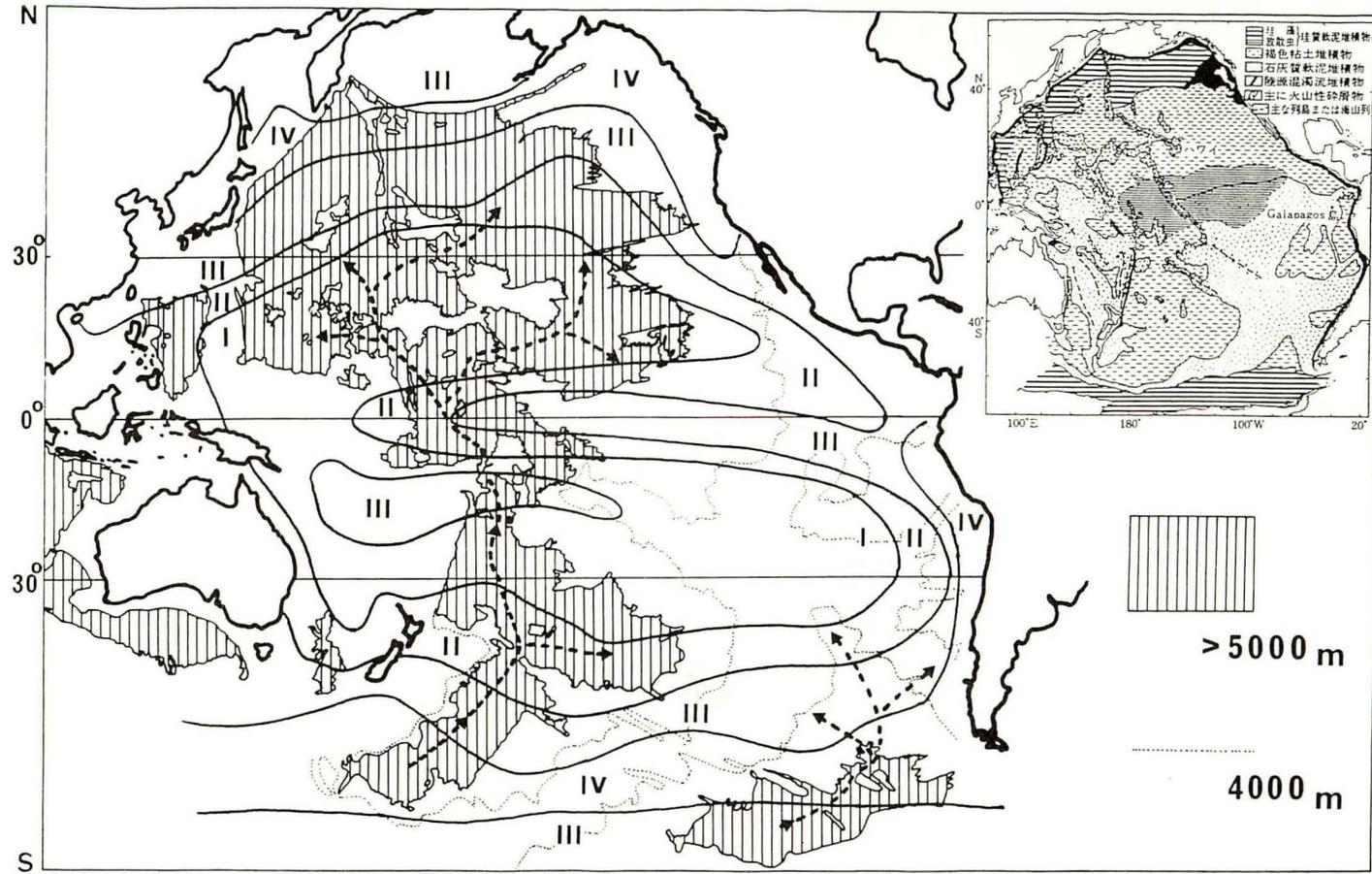


図7 太平洋における珪酸の表層生産性 (I~IV), 底層流の流路 (破線の矢印), 底質堆積物および海底地形。底質堆積物については著者の許可を得て岡田・小林 (1974) をそのまま引用した。I~IVは、海洋表層水において生物珪酸塩が毎年1 m²につき何g生産されているかを表わしている。I; 100 g/m²/yr 以下, II; 100~250 g/m²/yr, III; 250~500 g/m²/yr, IV; 500 g/m²/yr 以上。南太平洋では水深と炭酸塩殻の分布に明瞭な対応が認められる。珪酸殻は表層生産性の高い所に集中して分布している。南極底層水 (AABW) の流路および深層水の湧き上がる所では、CCDや表層生産性に拘束されない堆積作用が進行している。

を示している。これら層状放散虫チャートの堆積物としての性質とその堆積場の広がりから類推して、古生代末より中生代中頃にかけての海洋の深層水は極度によんだ状態にあったと推定される。

おわりに

いわゆるチャートと呼ばれてきた岩石にはその形態・産状にさまざまあり、古くより成因に関する説明が数多くなされてきた。それらのうち、珪藻質堆積物分布域に産する珪質頁岩とここで明らかにした層状放散虫チャートとは量的に主体を占め、しばしば同一のものとして扱われたこともある。しかるに本論で議論したように産状・化学組成あるいは酸素同位体測定値が両者で大きく異なり、成因上の違いがあることが明らかである。太平洋の両極付近の海底に珪藻軟泥が広範に広がりかつ厚く集積しておりもしこれがそのまま脱水すると陸上でみるような珪藻土になるであろう。日本列島のみならず環太平洋新第三系にはこの珪藻土がしばしば出現し、珪質頁岩はこれら珪藻質堆積物に付随して産出する。珪質頁岩の産状は、露頭規模では連続性に優れた硬質緻密な層の集積体としての外に、珪藻土中の薄層としてあるいはそれとの互相として認められる。層位学的に大きく見た場合、珪藻土の側方変移堆積物として、すなわち両者は指交の関係にあるとみなすことができる(船山, 1983MS)。この事実は、珪質頁岩が珪土とは独立した堆積物に由来するものではなくまた単純に珪藻殻堆積物の埋没続成作用により珪質頁岩が形成されたのでもないことを示唆している。珪藻土は一見して無構造であるかにみえる。しかし研磨断面を詳しく観察すると、明らかな生物擾乱の痕跡が至るところに認められ、初生堆積構造(葉理・級化構造)を完全に乱している場合が多い。一方、珪質頁岩中に生物の営みによる堆積構造の乱れを見出すことは稀である。単層や単葉理の側方への連続性は非常に良い。この意味で珪質頁岩は層状放散虫チャートに似ている。珪藻土と珪質頁岩は産状および層位関係からみて同一の起源を有するものと思われ、したがって両者の層相の違いを堆積場の物理・化学的環境の差に求めることができるのではなからうか。1つの堆積場において空間的あるいは時間的に停滞する環境があったとして、堆積速度がさほど大きくなければ、表層堆積物間隙水は常に硝酸あるいは硫酸還元の状態におかれ、沈殿有機物が分解される一方で珪酸殻はコロイド様物質化し、これはやがて珪質頁岩になるものと考えられる。もし表層生産性が高く集積速度が極端に大きければ、珪質殻のコロイド様物質化は疎外され、ひたすら有機物の多い珪質殻堆積物の集積が続くであろう。この場合

生物による堆積物の攪拌はないために、層状構造の発達した堆積物となる。底層水の定常的な流れは、底質堆積物間隙水への酸素の供給を促進し、そこでの生物活動を活発にする。結果的に堆積物は擾乱され、間隙水中の溶存酸素量は常に高い状態に保たれ堆積物中の有機物はその多くが分解されるであろう。間隙水の移動が擾乱作用により盛んなため、溶出珪酸は堆積粒子間に長時間留まることはなく海水中に絶えず溶脱し、したがって堆積物中での殻の消滅は相当速いものと推察される。先に述べた Schrader (1972)による結論一約4000年で堆積物中の沈殿珪質殻の大部分が消滅—はこの推測を裏付けるものと言える。珪藻殻堆積物(珪藻軟泥)の場合、この消滅速度の大きさにも増して、高い表層生産性による底質への殻の供給があるために集積したものと解釈できる。珪藻土—珪質頁岩互層は、層位学的にみて両者の漸移部において認められ、2つの異なる水塊—腐蝕性の強い停滞する水塊と溶存酸素に豊富な流れの強い水塊—の境界部で形成されたのであろう。われわれの行った水槽実験結果で明らかのように、珪藻質堆積物は他に比べて限界摩擦速度が大きく、相当な流れを伴った底層水環境下でも十分集積しうる。

層状放散虫チャートと珪質頁岩は野外での産状が非常に似ている。これは、石英を構成する珪酸が同じ生物殻に由来することとあわせ、両者の沈殿とともに停滞する海水に支配されていることによるものであると考えられる。いずれも律動性豊かな層状構造を有しており、堆積時の積層状態をそのまま反映している。堆積過程でもし何らかの営力(生物による堆積物擾乱作用や底層水による再堆積作用など)の介入がなければ、自然界ではおおむね堆積物は律動性をともなって層状になることを略に示している。

謝辞

本研究を遂行するにあたり弘前大学理学部大貫 仁教授には御助力をいただいた。ここで用いた放散虫試料のうち、赤道海域のものは地質調査所海洋地質部西村 昭博士の御好意により、また石油資源開発株式会社米谷盛寿郎博士からは南極海の試料をそれぞれ御提供いただいた。培養珪藻は財団法人工業開発研究所磁谷 遙博士よりいただいた。水槽実験装置の製作にあたり弘前大学理学部沢田信一助教授を煩わせ、高圧実験装置の製作には同青木正博博士にご尽力いただいた。東北大学理学部遅沢壯一博士および資源コンサルタント株式会社堀口敏秋氏とは野外で多くの議論を重ねた。東北大学理学部中川久夫助教授並びに北海道大学水産学部角階静男教授からはいくつかの重要な示唆を得た。帝国石油株式会社船山政昭氏からは化石珪藻試料を提供していただく

とともに、珪質頁岩の成因に関する氏との会話の中でいくつかの教訓を得た。これらの方々にあつく御礼を申し上げる。国立科学博物館齋藤靖二博士と東北大学理学部高柳洋吉教授には原稿に目を通していただいた。あわせて謝意を表したい。

なお、研究費の一部に文部省科学研究費補助金・奨励研究A (No. 56740327, No. 58740375)および一般研究B (No. 57490002, 代表者大貫 仁)を使用した。

本稿で引用した論文はすべて、前稿にあげてある。

図版 1 各種物質の流動と沈殿の過程

1-4; ゲル化した人工珪酸コロイド沈殿物の流動過程, 5; 流動体内部の構造 (カルマン渦の発達), 6-8; 珪藻殻の流動過程, 9-11; 粘土 (カオリナイト) の流動過程, 12; 珪酸ゲル沈殿層 (写真スケールは 1 cm). 各沈殿層の側方への厚さの変化はほとんどなく, ほぼ一様である. 流動過程で底質表面に微細な剪断変形が発生するが, 試料沈殿後変形構造は消滅する.

図版 2 円形循環水型水槽実験装置 (A) と放散虫殻沈殿物層に発生した波状連痕 (B, C)

B と C は放散虫殻沈殿物表層に発生した同一の構造をそれぞれ別の角度より撮影したもので, 層流速 11~12 cm/sec での波状連痕である.

図版 3 高压実験装置 (autoclave) を用いたゲル状人工珪酸コロイド試料に関する結晶化, 再結晶化実験結果の SEM 観察像

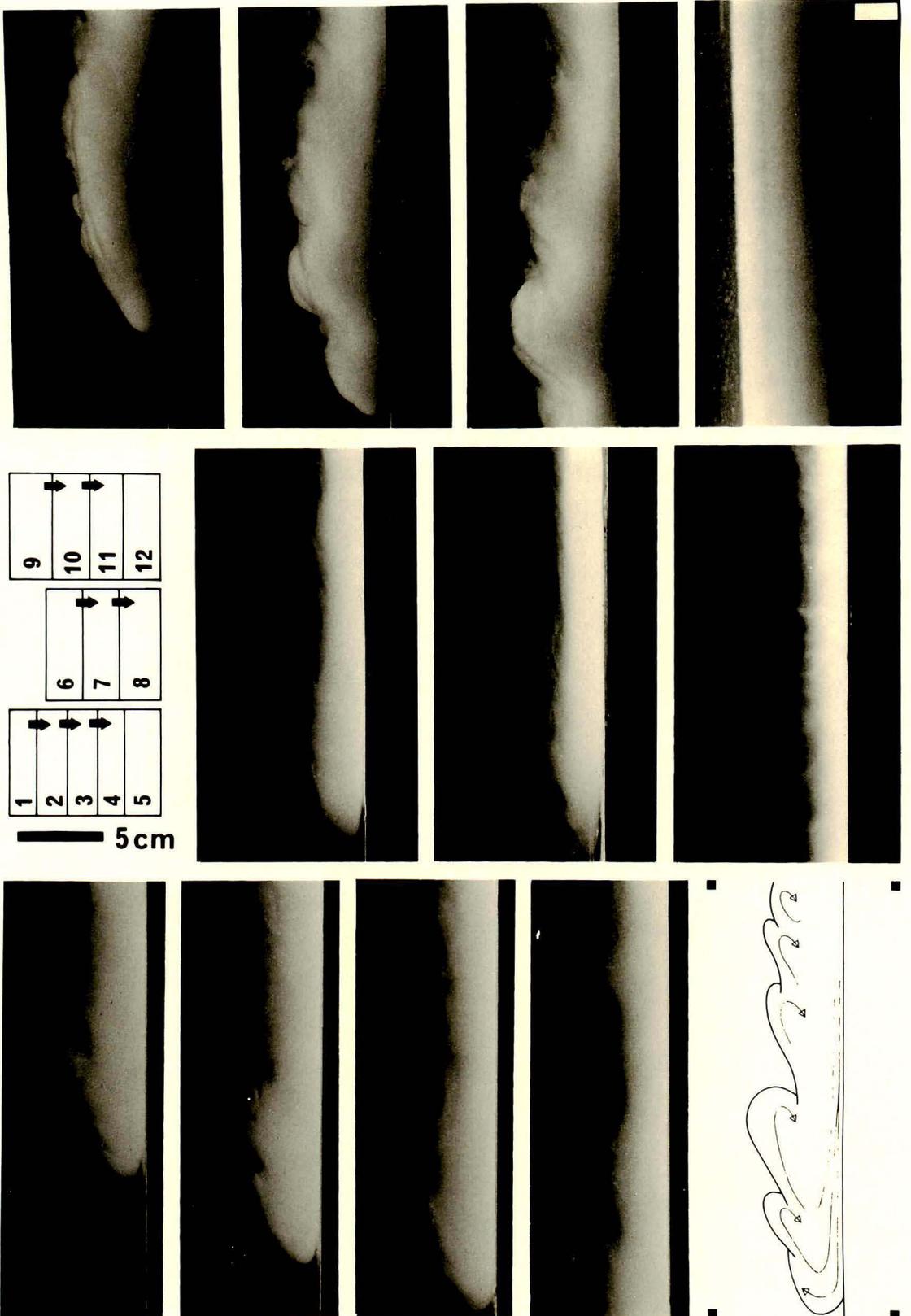
温度 250°C, 圧力 60 気圧で, 試行時間は次の通り. A~C; 23.5 時間, D~F; 70 時間, G~I; 108 時間, J~L; 311 時間, M~O; 470 時間. 各写真下の白い帯はスケールで, 数字はミクロン単位. 試行の最初の段階で無晶質の珪酸球ができる (A). 固結した珪酸ゲルの表面から珪酸を引き出す様に球が成長している. Opal-CT よりなる珪酸球は成長の過程で互いに癒着することが多く (D), 一方が他の一方の球に貫入する形で成長してゆく (E, G). 再結晶化は球の外部より内部にかけて進んでいく (F, H) が, 石英の形成が始まる段階でそれまでの球としての形は失われる (J, K). 球の 1 つ 1 つがそれぞれ単一の石英結晶に転じてゆく (M, N).

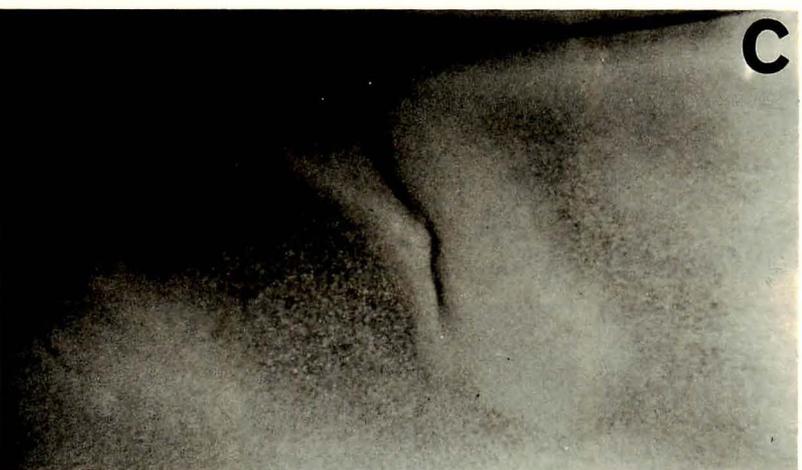
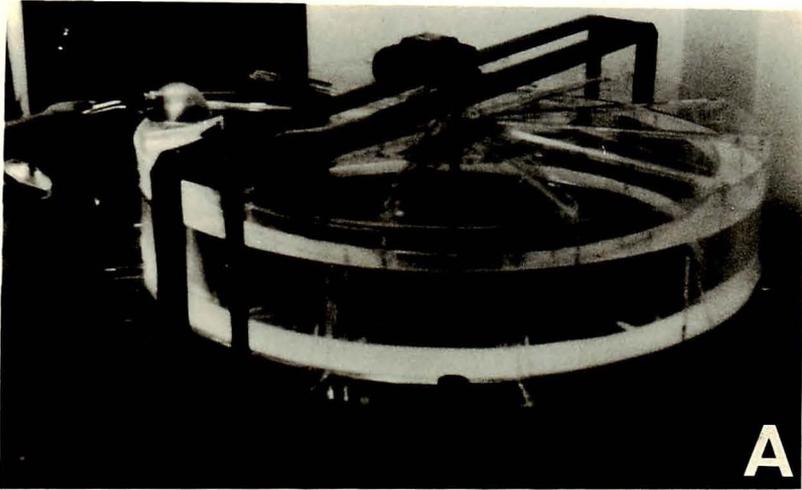
図版 4 図 4 に示した人工珪酸ゲル試料に関する各試行時間後の試料の SEM 観察像

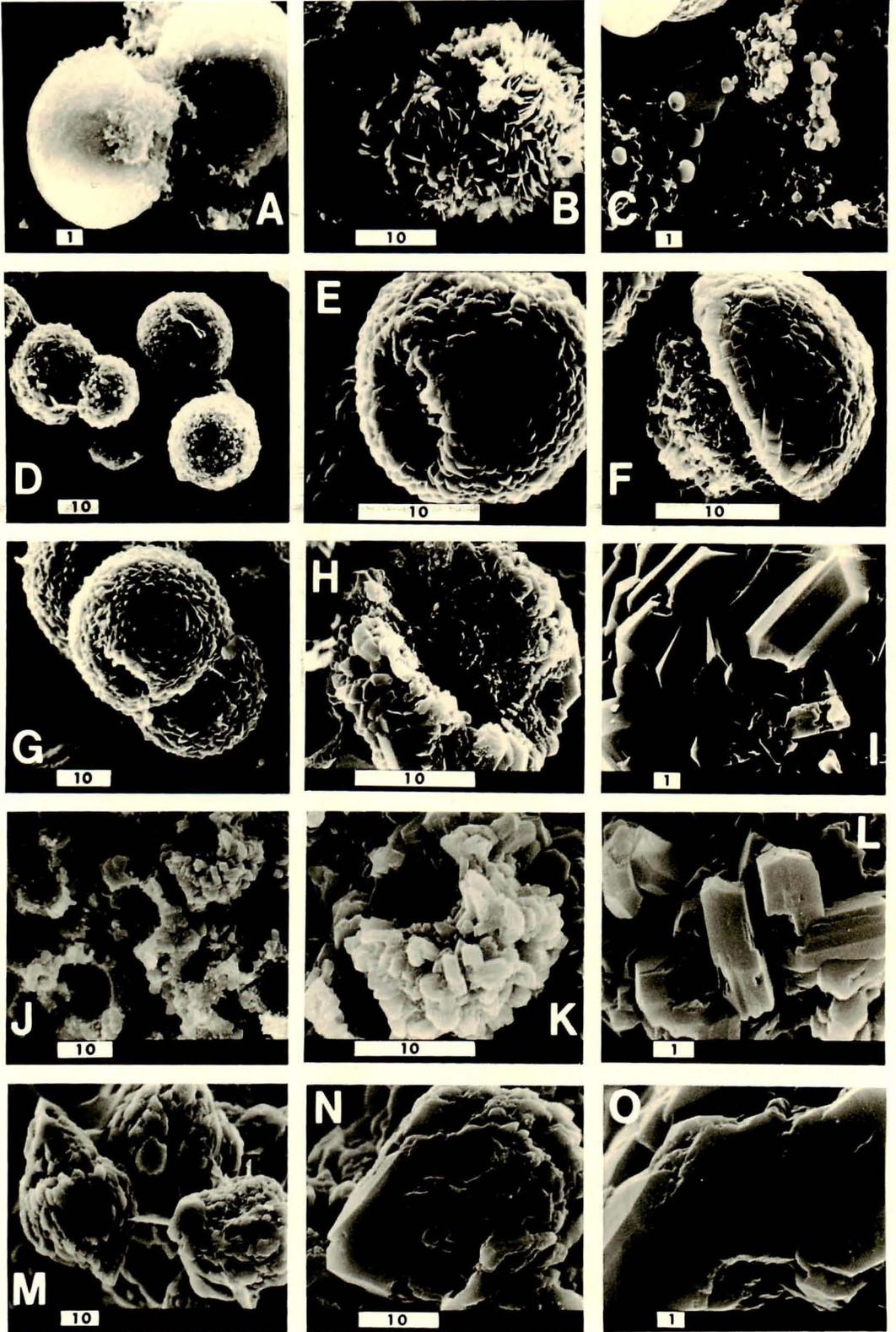
温度 250°C, 圧力 60 気圧で, 試行時間は次の通り. A~C; 620 時間, D~F; 1003 時間, G と H は 1003 時間経過した試料の薄片写真で, 白い帯はスケール (数字はミクロン単位). 波動消光する粗粒晶質のモザイクよりなっている.

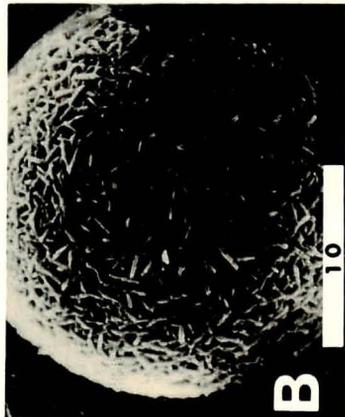
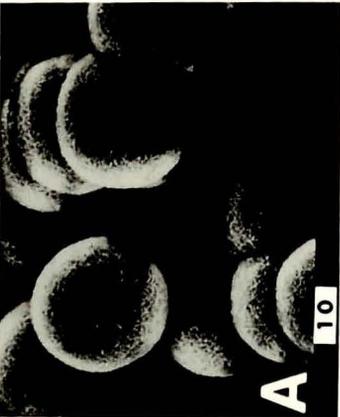
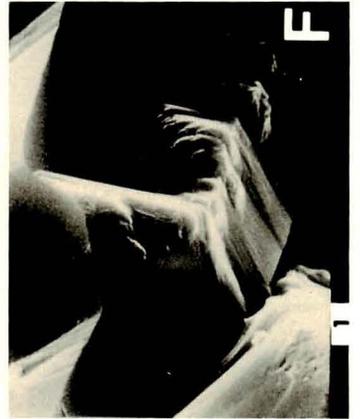
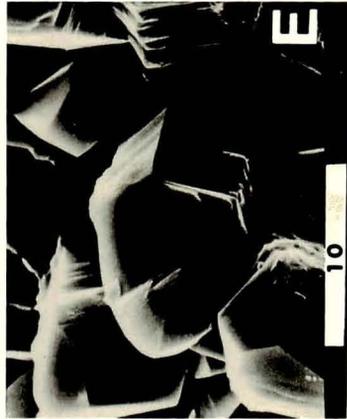
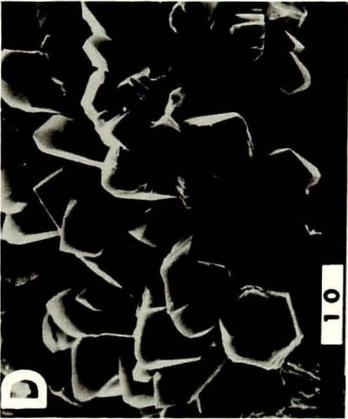
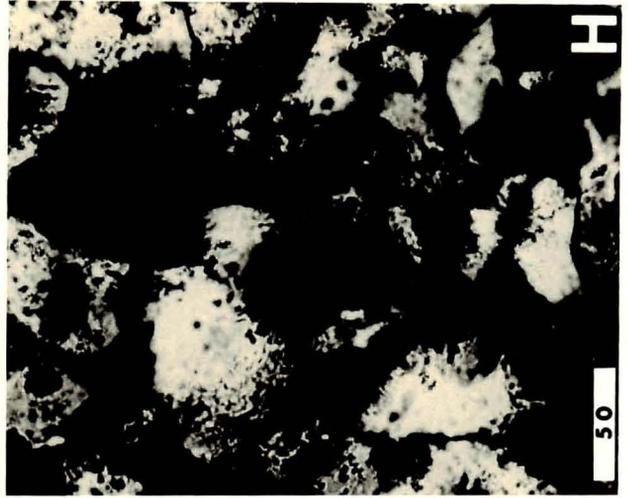
図版 5 各種生物珪質殻と人工珪酸コロイドをともに試験管に封入して行った高压実験結果の SEM 像

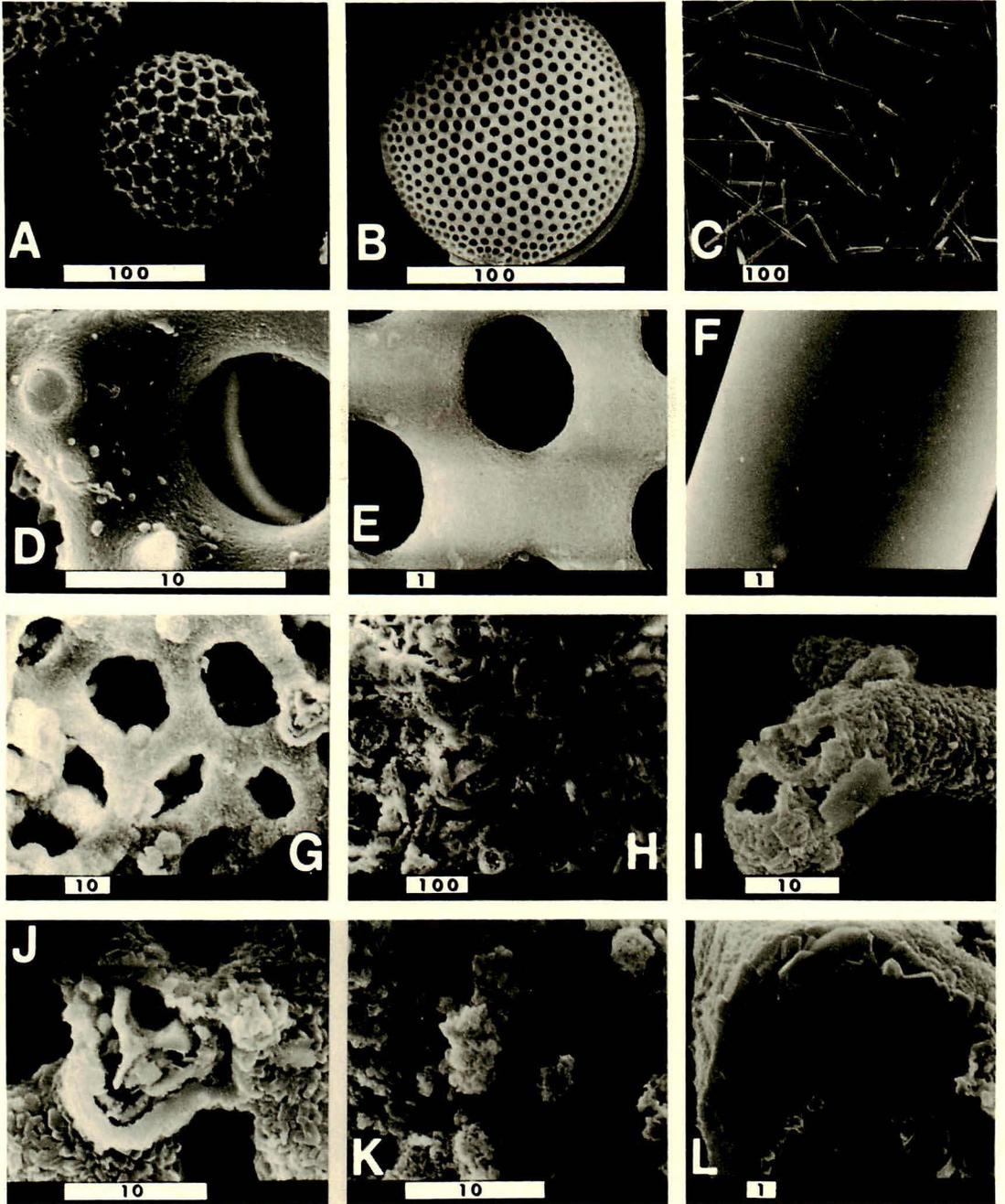
温度 250°C, 圧力 60 気圧で実験し, 試行時間は 470 時間. A~C; 実験に用いた生物殻試料 (A; 放散虫, B; 珪藻, C; 海綿骨針), D~F; 生物殻単独試料の実験結果 (D; 放散虫, E; 珪藻, F; 海綿骨針), G~L; 生物殻・人工珪酸コロイド混合試料の実験結果 (G, J; 放散虫, H, K; 珪藻, I, L; 海綿骨針). 単独試料では実験後もわずかに表面への無晶質珪酸粒の付着が認められるだけである. 混合試料では, コロイドの完全な結晶化 (Opal-CT 化) により殻の肥厚が行われる一方で, 殻表層の再結晶化が進行しているのが破断面にはっきり認められる. 白帯はスケールで, 数字はミクロン単位.











異常巻きアンモナイト *Nipponites* の理論形態

岡 本 隆¹⁾

Theoretical morphology of *Nipponites* (a heteromorph ammonoid)

Takashi Okamoto¹⁾

Abstract *Nipponites* Yabe, 1904, is a Cretaceous ammonoid genus conspicuous for its meandering whorls. The coiling pattern appears very complicated but it is never irregular, as was pointed out by Yabe (1904) and Matsumoto (1977). On both theoretical and empirical grounds, I attempt to model the coiling pattern and to simulate some actual specimens of this genus by computer graphics. Such theoretical-empirical approaches are, I believe, effective not only for an understanding of coiling regularity but also for the quantitative evaluation of intraspecific variation and interspecific differences among heteromorph ammonoids. It is anticipated that they will be informative for taxonomic and functional considerations.

The coiling geometry of three species (including one variety) of *Nipponites*, except for their helical early growth stage, can be expressed by a common function, which is fundamentally an exponentially amplifying sine curve in an equiangular spiral roll (see Figs. 2 and 6). Some slight modifications are, however, necessary to realize a satisfactory simulation (see Figs. 7 and 8). Nine coefficients were estimated on the basis of measurements and allometric analyses of actual specimens. These may be used to express the variability of whorl shape among and within species. A number of projections from various angles have been obtained by means of a micro-computer (e. g. Fig. 9). They are successfully similar to the actual specimens of *Nipponites mirabilis*, *N. mirabilis* "var. *sachalinensis*", and photographs of specimens of *N. occidentalis*.

It is important to note that the calculated values of six of the nine coefficients that determine the basic pattern of coiling are very stable for all of the specimens. On the other hand coefficients for 1) whorl expansion rate, 2) strength of whorl meandering, and 3) position of critical point between the early and middle-late stages (which strongly affects the "space occupying ratio") are greatly variable among these species and varieties of *Nipponites*.

1. はじめに

Nipponites は、Yabe (1904) によって記載されて以来、白亜紀の著しい異常巻きアンモナイトの1属として知られてきた。Matsumoto and Muramoto (1967), Matsumoto (1977) によれば本属は Nostoceratinae に属し、この亜科の *Eubostrychoceras* から派生したとされている。しかし両者のら環の形状は全く異っていて、その中間段階を示すものは未だ報告されていない。

Nipponites のら環の巻き方は非常に複雑に見える

が、すでに Yabe (1904), Matsumoto (1977) らが記述しているように決して不規則ではない。このような異常巻きアンモナイトのら環の形状を数式化し、シミュレートすることは、その巻き方の規則性をよりよく理解できるだけでなく、種内変異あるいは種間変化の大きさを定量的に見つかり、それらの多様性を特定のパラメータで説明することを可能とする。またこれによって他の異常巻きアンモナイトや正常巻きアンモナイトと比較検討することは、系統や機能形態の推定にも役立つと考えられる。

コンピュータを使ってらせん状に巻いた生物の殻をシミュレートする試みは、Raup らの1960年代の一連の研究に見ることができ (Raup and Michel-

¹⁾ 東京大学理学部地質学教室

son, 1965; Raup, 1966, 1967; Raup and Chamberlain, 1967 etc.). これらの論文では、ら環の形は個体成長を通じて基本的に変化しないものとされ、ら環成長率 (W); 直径に対するへその大きさ (D); 巻きの軸方向への移動率 (T); height に対する breadth の大きさ (S) の4つの単純比をパラメータとして巻きの形状のスペクトラムを表わそうと試みた。

これらのパラメータは標本を壊さずに測定することができるという点で実用的であるが、ら環の成長をすべて等成長(プロポーションの変わらない成長)とみなしている点でやや現実とは合わない。いずれにしても、Tanabe et al. (1981) が指摘しているように、これらのパラメータだけで *Nipponites* の巻きの形状を表わすことは不可能である。そこで本論文では、この異常巻きアンモナイトの成長が不等成長であることを考慮して、ら環の形状をまずチューブモデルによって近似することを試みた。一般にチューブ状を呈する物体において、ら環中心の位置ベクトルを \mathbf{R} 、ら環半径を \mathbf{r} とすれば、チューブ表面を表わす位置ベクトル \mathbf{U} は:

$$\mathbf{U} = \mathbf{R} + \mathbf{r}$$

$$\mathbf{r} \cdot \dot{\mathbf{R}} = 0$$

の関係式で表わすことができる。

小論では、まず *Nipponites* の基本的な巻きの形状を表わすために座標軸を決定して第1次近似を試み、次いで実際の標本(または模型)の計測値に基づいて必要な係数を算出し、補正を行いながらマイクロコンピュータによってできるだけ現実に近い図形を得る手順を示した。さらに本属の種間変化と物理量について、若干の考察を試みた。

2. 第1次近似の試み

(1) *Nipponites* の基本的な形状

Nipponites のら環—U字曲線の組み合わせの三次元的配列—は、一見きわめて複雑に見えるが、適切に座標軸を決めれば、成長に伴う X, Y, Z 成分の変化はかなり規則的と考える。

成長の初期の段階、最初の1巻き〜2巻き(直径2cm程度まで)は *Scalarites* に似たゆるいヘリコイドカーブを示す。この時巻きの軸方向の変位はわずかに単調増加するが、かなり平面巻きに近い。Matsumoto (1977) によれば、この成長段階には右巻きと左巻きの個体がある。

それに引き続き成長の中期では、巻きの軸方向にら環がはげしく振動するようになり、蛇行を繰り返しながら初期のら環の周りをとり囲むように、3次元的に成長していく。成長初期と中期間の変移点はかなり顕著である。軸方向の振幅は、成長につれて指数関数的に増加するが、各周期の中心角は成長

の中期を通じてほとんど変化しない。そしてU字曲線の“U”型はしだいに“ひ”型へと変化し、内側のら環に覆いかぶさるようになる。これらの特徴は、*Nipponites* の中で最も“密に巻いた”典型的な *N. mirabilis* で最も顕著であるが、他の種でも多少ともその傾向が認められる。

成長の末期、*N. mirabilis* ではら環が6回程度Uターンを繰り返すと、殻表にこれまで密に生じていた細肋の代りに、かなり強いやや不規則な肋がまばらに生ずるようになる。これは個体が成熟した証拠と見なすことができる。この時期のら環はいくぶん巻きがゆるくなり、やや不規則な形状を示すことがある。

(2) 座標軸の決定

Nipponites のら環の形状をシミュレートするにあたって、座標軸を次のように決定する(図1)。

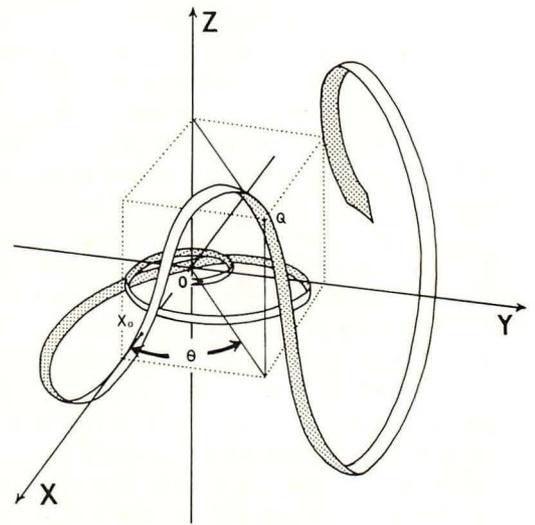


図1 *Nipponites* の巻き方と座標軸との関係。成長初期のヘリコイドカーブを経て、中期以後は巻きの軸方向へ規則的に振動するようになる。

Fig. 1 Co-ordinate axes for the coiling of *Nipponites*. After the helicoid early growth stage, the whorl becomes to oscillate in the direction of coiling axis.

原点(0): 巻きの軸と、軸に垂直に交わりその方向への振動の中心となっている平面との交点。

Z軸: 巻きの軸そのもので、成長初期にこの軸に沿った変位が負になるようにする。

X軸: 成長中期のら環中心が、原点を通りZ軸に直交する平面と最初に入った点を X_0 とした時、原点Oと X_0 を結ぶ直線をX軸とし、O→ X_0 方向を正とする。

Y軸: 原点を通りZ-X平面に直交する直線をY軸とし、右手系を採用する。

また任意のら環中心の位置ベクトル \mathbf{R} を X-Y 平面に投影した時、このベクトルを \mathbf{R}_{xy} とし、X 軸となす角を $\theta (= n\pi)$ とする。そして \mathbf{R} の成分 (x, y, z) を n の関数とみなし、 x, y, z をそれぞれ n を使って媒介変数表示する。

(3) 基本的形状のシミュレーション

ここでは複雑であるが最も規則的な巻き方を示す成長の中期に関しての大まかな近似を試みる。まず問題を単純化して、いく分巻きの解けた平面巻きのら環 (*Scalarites* のようなら環) が、巻きの軸の方向に振動するようなアンモナイトのモデルを考えてみる。ら環の中心だけに注目すれば、図 2 のようなワイヤーモデルで示すことができる。このモデルの場合、X-Y 平面に関する変化と、Z 軸方向の変位をそれぞれ n の関数として切り離して考えることができる (実際には、 x, y, z は互いに関係しあいな

ら変化する (後述)。しかしここでは、モデルを考え易くするため、ひとまず無関係であると仮定する。)

i) X 軸, Y 軸方向の変位

このモデルを X-Y 平面上に投影した時の x, y の関係式は等角らせんを示す (図 2 (b))。すなわち巻きの中心からら環の中心までのベクトル \mathbf{R} を X-Y 平面に投影した時の長さ R_{xy} が、回転角 $n\pi$ に関して指数関数的に増加していく。したがって、

$$R_{xy} = 10^{an+a_0} \quad (1.1)$$

となる。この時、係数 a_0 は $n=0$ の時の半径の常用対数值、 a は半径の成長率を表している。これらの係数は実際の標本を計測して決定することができる。式 (1.1) を n を媒介変数として x, y について解けば、

$$x = 10^{an+a_0} \cdot \cos n\pi \quad (1.2)$$

$$y = 10^{an+a_0} \cdot \sin n\pi \quad (1.3)$$

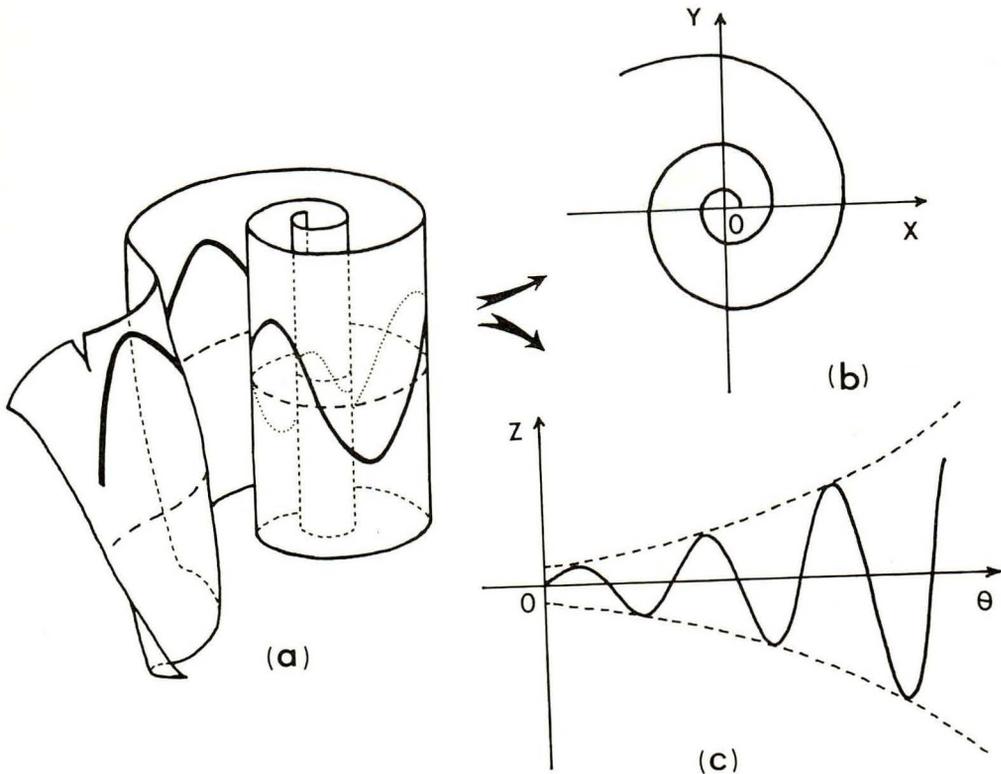


図 2 第 1 次近似にあたって考えた、ら環中心座標のワイヤーモデル (a)。X-Y 平面への投影は等角らせんになる (b)。回転角 θ と Z 軸成分との関係 (c)。

Fig. 2 (a): Wire model for the first step of approximation. (b): Projection of this model on the X-Y plane. (c): Relation between the rotation angle and component of Z-axis.

となる。これらの関係式は、正常巻きアンモナイトと全く同様である。

ii) Z軸方向の変位

Z軸に沿った方向の変位は、図2(c)で示したようにサインカーブの振幅が指数関数的に増加していくような曲線になると考えられる。X-Y平面での変位を横軸にとるならば、波長も指数関数的に増加させなければならないが、回転角を横軸にとれば波長は一定とみなすことができ、簡単な関係式になる。

$$z = 10^{bn+b_0} \cdot \sin dn\pi \quad (1.4)$$

ここで、 b_0 は $n=0$ のときに考えられるZ軸方向の振幅の大きさ、 b は振幅の増加率を示す。また、 d は1巻き(2π)あたりのZ軸方向の振動数を示している。

iii) ら環の半径

一般にらせん状に巻いた生物では、ら環の半径とらせんの長さは等成長(isometry)あるいはいくらか不等成長(allometry)の関係を示し、変移点が無いかぎり両対数グラフの上では直線相関を示す。正常巻きアンモナイトにおけるら環半径の増加率は通常回転角 $n\pi$ に関して一定の割合であるが、これはら環の長さがやはり回転角に対して一定率で増加するためである。*Nipponites* のような異常巻きのアンモナイトでも、ら環半径の増加率はこれに準じると考えられる。また、ら環の横断面は真円に近い。したがってら環半径 r は、

$$r = 10^{cn+c_0} \quad (1.5)$$

で近似できる。ここで c_0 は $n=0$ のときの初期ら環半径の値(常用対数值)、 c はら環の回転角に対するら環半径の増加率を表している。

iv) 第1次近似式

これらの式から *Nipponites* のチューブモデルの第1次近似式を立てることができる。すなわち、図3のようにら環中心の位置ベクトルを \mathbf{R} 、ら環中心Qからら環断面を示す円周上の任意の点Pまでのベクトルを \mathbf{r} 、ら環断面の法線ベクトルを \mathbf{K} とする。このとき、ら環表面上の任意の点Pの位置ベクトル \mathbf{U} は、

$$\begin{cases} \mathbf{U} = \mathbf{R} + \mathbf{r} & (1.6) \\ \mathbf{r} \cdot \mathbf{K} = 0 & (1.7) \end{cases}$$

で表わすことができる。

ここで式(1.2), (1.3), (1.4)から

$$\begin{cases} \mathbf{R} = (x, y, z) & (1.8) \\ \begin{cases} x = 10^{an+a_0} \cdot \cos n\pi & (1.8(a)) \\ y = 10^{an+a_0} \cdot \sin n\pi & (1.8(b)) \\ z = 10^{bn+b_0} \cdot \sin dn\pi & (1.8(c)) \end{cases} \end{cases}$$

\mathbf{r} の絶対値は式(1.5)から、

$$|\mathbf{r}| = r = 10^{cn+c_0} \quad (1.9)$$

法線ベクトル \mathbf{K} は、ら環中心の成長方向を表わして

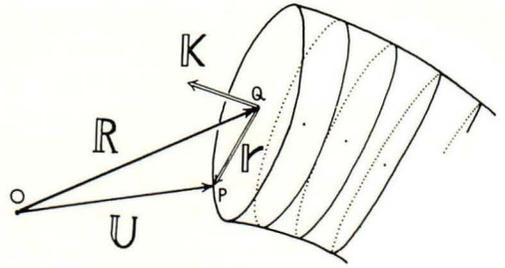


図3 ら環断面を示す円周上の任意の点Pの位置ベクトル \mathbf{U} は、 $\mathbf{U} = \mathbf{R} + \mathbf{r}$ かつ $\mathbf{r} \cdot \mathbf{K} = 0$ で表わされる。ただし \mathbf{R} はら環中心の位置ベクトル、 \mathbf{r} はら環断面の半径、 \mathbf{K} はら環断面の法線ベクトル。

Fig. 3 Position vector \mathbf{U} for a given point P on the cross sectional circle of whorl is indicated by $\mathbf{U} = \mathbf{R} + \mathbf{r}$ and $\mathbf{r} \cdot \mathbf{K} = 0$. \mathbf{R} : position vector for the center of whorl, \mathbf{r} : radius of whorl section, \mathbf{K} : normal vector of whorl section.

いるから、

$$\mathbf{K} = \dot{\mathbf{R}} = \left(\frac{dx}{dn}, \frac{dy}{dn}, \frac{dz}{dn} \right) \quad (1.10)$$

$$\begin{cases} \frac{dx}{dn} = \frac{a}{\log 10} \cdot 10^{an+a_0} \cdot \cos n\pi \\ \quad - \pi \cdot 10^{an+a_0} \cdot \sin n\pi \end{cases} \quad (1.10(a))$$

$$\begin{cases} \frac{dy}{dn} = \frac{a}{\log 10} \cdot 10^{an+a_0} \cdot \sin n\pi \\ \quad + \pi \cdot 10^{an+a_0} \cdot \cos n\pi \end{cases} \quad (1.10(b))$$

$$\begin{cases} \frac{dz}{dn} = \frac{a}{\log 10} \cdot 10^{bn+b_0} \cdot \sin dn\pi \\ \quad + d\pi \cdot 10^{bn+b_0} \cdot \cos dn\pi \end{cases} \quad (1.10(c))$$

でそれぞれ表わすことができる。

3. 標本との比較

(1) 標本資料

前述の式(1.6) ~ (1.10)において、合計7つの係数 ($a, a_0, b, b_0, C, C_0, d$) を設定した。これらの係数は、*Nipponites* の個体によって異なる固有の値である。またこれらの係数は、実際の標本を計測することによって、た易く算出することができるように決められている。そこで東京大学総合研究資料館に保存されている次の *Nipponites* 3個体(模型1個を含む)について、それぞれ7係数を算出した。

- MM7560 *Nipponites mirabilis* Yabe; holotype. Yabe (1904), p. 20, pl. 4, figs. 4-7; pl. 6, fig. 6.
- GK. H5846(模型) *Nipponites mirabilis* Yabe. Matsumoto (1977), p. 339-343, pl. 55, figs. 2,

3; pl. 56, figs. 1, 2.

MM7666 *Nipponites mirabilis* var. *sachalinensis*
Kawada; holotype. Kawada (1929), p. 5, pl.
14, figs. 1, 5.

本変種は Matsumoto (1977) により *N. mirabilis* の異名とされたが、巻きの形状はかなり異なるのでここでは変種名を使って表示する。

(2) 計測のパラメータ

計測した部位は図4に示されている。実際の *Nipponites* の標本からできるだけ正確に作られた石膏模型を、巻きの中心を通り Z 軸に垂直な平面(中心面)で切断し(図4(a)), その断面について巻きの中心を O, ら環断面の楕円の中心を成長初期から順に Q_1, Q_2, \dots, Q_j とする(図4(b))。この時、

$$\theta_i = \angle Q_{i-1} O Q_i \quad (\text{回転角})$$

$$R_i = \overline{OQ_i} \quad (\text{巻きの中心から、ら環中心までの距離})$$

$$r_i \quad (\text{ら環楕円の短半径})$$

を、また図4(c)においてら環中心の Z 軸方向への振幅 B_i をそれぞれの成長段階について計測する。

(3) 個成長のパターン

それぞれの標本について得られた計測値, R_i, B_i, r_i について、個成長のパターンを示したものが図5である。グラフから明らかなように、典型的な *Nipponites mirabilis* の2個体 (MM7560, GK.H5846) の間では、個成長パターンは互によく似ているが var. *sachalinensis* とされた個体 (MM7666) は上記

の2個体とかなり大きな差異を示す。 R_{xy} の成長率については、3標本ともほぼ等しいと考えられる。しかしながら、第1, 第2の個体が3つのパラメータに関してほとんど等成長とみなしうるのに対して、第3の個体では r が他に対して明らかに優成長であることがわかる。これらの計測値をそれぞれ、

$$R_{xy} = 10^{an+a_0}$$

$$B = 10^{bn+b_0}$$

$$r = 10^{cn+c_0}$$

に回帰したところ、表1のように係数を求めることができた。また1巻きあたりの Z 軸方向への振動数を表わす係数 d を、

$$d = 2\pi j / \sum_{i=1}^j \theta_i$$

によって算出した。

表1から、その他の係数に関しても第1, 第2の個体と第3の個体との間には大きな差があることが指摘される。

(3) シミュレーションモデルとの比較

計測の結果シミュレーションに必要な7つの係数を決定することができたので、これらの係数を先に求めた第1次近似式に代入して、マイクロコンピュータによって図形を描かせた結果を図6に示してある。このモデルは *Nipponites* の巻き方の基本的な特徴を表わしてはいるが、実際の標本の巻き方と比べてみると、2つの点で大きく異っている。

表1 *Nipponites mirabilis* 3個体の計測値に基づいて計算された係数。ただし MM7666 は var. *sachalinensis* とされた個体。相関係数 ρ はいずれも0.99を上回っている。

Table 1. Seven coefficients in three specimens of *Nipponites mirabilis* calculated from their actual measurements.

	a	a ₀	b	b ₀	c	c ₀	d
MM 7560	.191	1.09	.200	0.93	.181	0.64	2.99
	$\rho = .9981$		$\rho = .9990$		$\rho = .9970$		
GK. H 5846	.214	1.01	.195	0.92	.215	0.51	2.89
	$\rho = .9960$		$\rho = .9907$		$\rho = .9989$		
MM 7666	.211	1.05	.182	0.90	.333	0.09	2.65
	$\rho = .9962$		$\rho = .9997$		$\rho = .9961$		

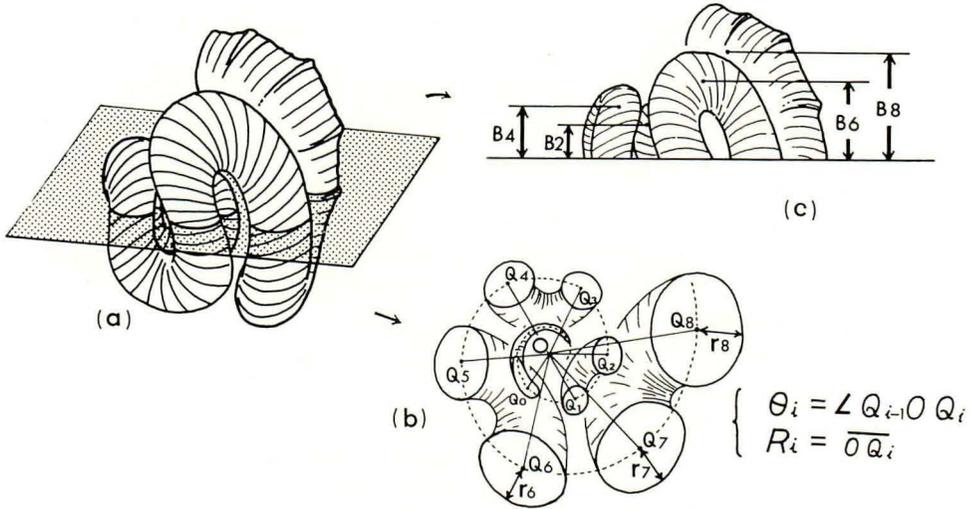


図4 *Nipponites* の計測部位を示す図。標本模型を X-Y 平面で切断し (a)、断面 (b) において θ , R , r を側面 (c) において B を、それぞれ各成長段階について計測する。
 Fig. 4 Measurements of *Nipponites*. Cut the replica of a specimen along the X-Y plane (a) to measure θ , R , and r in section (b) and B in lateral view (c) for each growth stage.

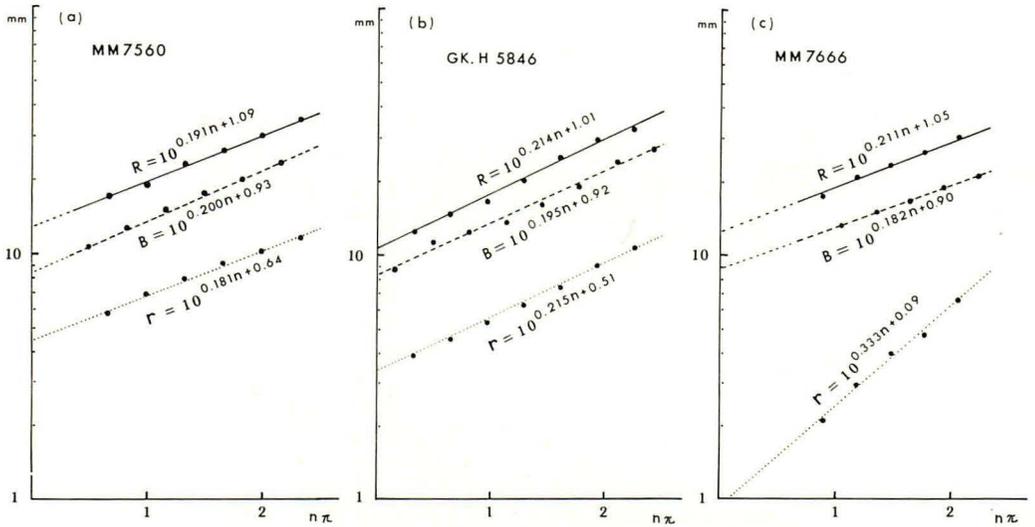


図5 3標本における、回転角に対する R , B , r の相対成長 (個成長) パターン。(a), (b) は *Nipponites mirabilis*, (c) は *N. mirabilis* var. *sachalinensis*.
 Fig. 5 Relative growth patterns between the rotation angle and linear measurements. (a), (b): *Nipponites mirabilis*, (c): *N. mirabilis* var. *sachalinensis*.

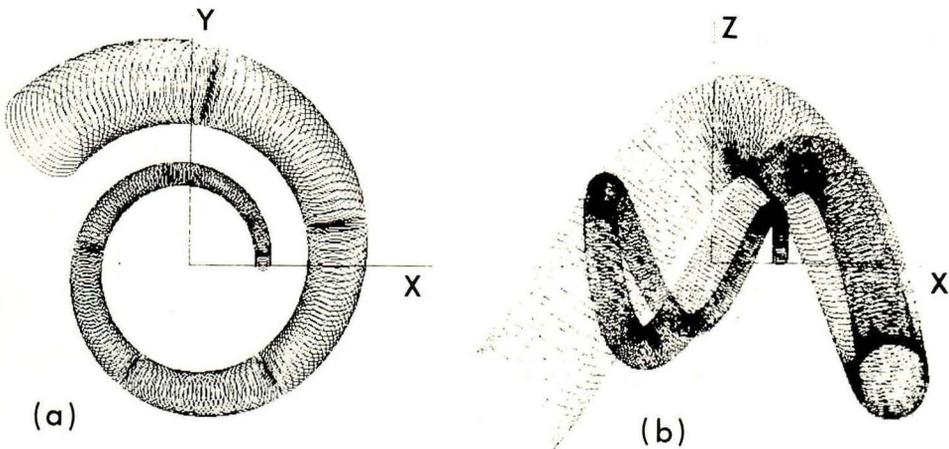


図6 マイコンによって、第1次近似式の表わす図形を描かせたもの。X-Y平面に投影した図(a)、およびX-Z平面に投影した図(b)。係数はMM7666における数値を用いた。

Fig. 6 Computer-made profiles (the first approximation). (a): Projection on the X-Y plane, (b): Projection on X-Z plane. Coefficient values for MM7666 are applied.

まず第1には、X-Y平面上から見た場合、実物ではら環はZ軸方向にUカーブ(あるいは▽カーブ)を描いているのに対して、シミュレーションモデルではサインカーブで近似している(図6(b))。

第2に、Z軸方向から見た場合に実物のら環は、Zの絶対値が大きくなるにつれてZ軸方向に引き寄せられて、ルーレット様の曲線を描きながら広がっていく。これに対してシミュレーションでは単純な等角らせんを描いている(図6(a))。

4. 考 察

(I) より詳細な近似の試み

ここでは前に述べた2点について、より実物に近いシミュレーションモデルが得られるように、 θ および x, y について補正を行なう。さらにはZ軸方向への振動がまだ生じていない、成長の初期段階のシミュレーションを試みる。

i) θ の補正(回転角補正)

前述のように第1次近似式においては、 n と z の関係は、

$z = 10^{bn+a_0} \cdot \sin dn\pi$ (1,4)によって表わした。図7(a)のように、第1次近似で用いたサインカーブを実際の標本のようなU字カーブにするためには、Z軸方向への補正では不可能であり、 θ 軸方向への加減による補正を必要とする。そこでZ座標はそのままにして、 θ 軸方向の加減によって目的とする曲線を得るように、図7(a)の矢印の方向に補正する。この矢印の大きさは経験的には $\frac{1}{2} d\pi$ の周期を持つ

サインカーブで近似できそうであるから(図7(b))、 n の補正値を n' とすれば、

$$n' = n - f \sin 2dn\pi \quad (2.1)$$

となる。この時、 f は第1次近似式のサインカーブからのずれの大きさを示す係数であり、 $f=0$ ならば第1次近似式そのままとなり、大きくなるにつれて、サインカーブ→Uカーブ→▽カーブへと曲線の蛇行が著しくなっていく。この補正は、巻きの中心からら環中心までの位置ベクトル \mathbf{R} の方向にのみ作用するのであって、 \mathbf{R} の大きさやZ軸方向の振幅 z には影響しない。したがって式(1.8(a), (b))がそれぞれ、

$$\begin{aligned} x &= R_{xy} \cos n' \pi \\ &= 10^{an+a_0} \cdot \cos n' \pi \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} y &= R_{xy} \sin n' \pi \\ &= 10^{an+a_0} \cdot \sin n' \pi \end{aligned} \quad (2.3)$$

と書きかえられる。

図7(c)は、式(2.1)において f の値をいろいろに変えた時に描かれる $\theta-z$ のグラフである。標本の計測によってこの係数を正確に見積ることは困難なので、ここではコンピュータで描かせた図と標本とを視覚的に比較して、妥当と思われる f の値を見出している。その結果、GK.H5846では $f=0.11$ 、MM7560では $f=0.12$ 、そしてMM7666では $f=0.05$ 程度であると判定された。

ii) x, y の補正(\mathbf{R} の増加率補正)

z の絶対値が大きくなった時に顕著に表れる x, y 座標の現実からのずれは、前述の補正だけではほ

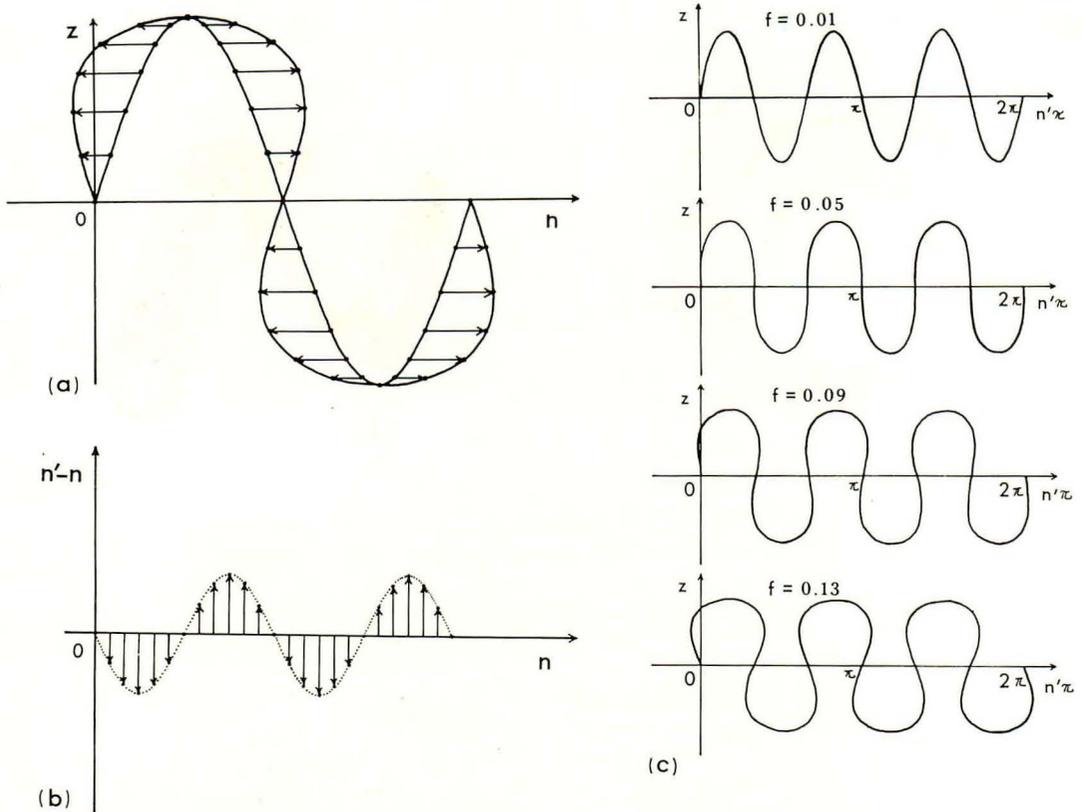


図7 理想的な曲線と、第1次近似で用いたサインカーブ(a)。その回転角方向の差は、 $\frac{1}{2} d\pi$ の周期を持つサインカーブとみなし得る(b)。曲線の蛇行の強さを表す係数 f を、いろいろと変えた時に描かれる曲線(c)。ただし図(c)では $d=3.0$ としている。

Fig. 7 Procedure of modification from a simple sine curve (for the first approximation) to a more ideal curve (a). The difference between the two curves can be roughly regarded as a sine curve with a cycle of $d/2\pi$ (b). Modified curves with various values of the coefficient f , which represents the strength of meandering (c).

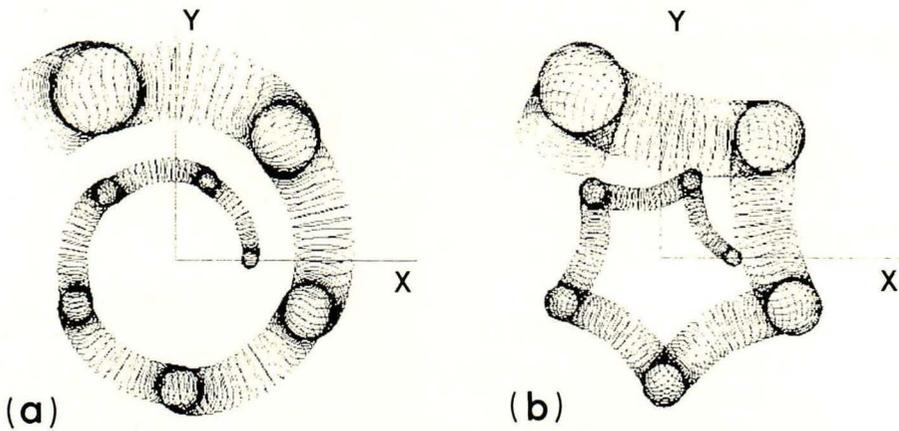


図8 マイコンによって描かせた図形。(a)は図6(a)に回転角補正を加えたもの。(b)はさらに R の増加率補正を行ったもの。

Fig. 8 Computer-made profiles. (a): Only the modification of rotation angle is performed. (b): Both the rotation angle and the increasing rate of R are modified. Compare with Fig. 6 (a).

表2 採用した成長の初期および中後期における x, y, z 成分の式.
Table 2. Applied formulae for x, y and z components in the early and middle later growth stages.

n	early stage		middle stage	
	0	1/4d	1/2d	
x	$10^{an+a_0} \cdot \cos n\pi$		$10^{an+a_0} \cdot \cos n'\pi$	
y	$10^{an+a_0} \cdot \sin n\pi$		$10^{an+a_0} \cdot \sin n'\pi$	
z	10^{bn+b_0}		$10^{bn+b_0} \cdot \sin dn\pi$	

とんど改善されていない(図8(a)). この点に関してモデルを現実に近づけるためには、こんどは $d\pi$ の周期を持った関数による補正が必要である。

ここで視点を少しかえて、巻きを中心から環中心までの距離 R についての変化を考えてみる。実際の標本においては、 R の大きさは z に無関係に一定率で増加しているように見える。しかしながらシミュレーションモデルでは、

$$R = \sqrt{R_{xy}^2 + z^2} \quad (2.5)$$

で表わされ、この式において R_{xy} が一定率で増加するので、 R の大きさは z^2 の振動に影響されて多少振動しながら増加してしまう。そこで、補正後の x, y を x', y' とすれば、

$$(x')^2 + (y')^2 + (z/g)^2 = x^2 + y^2 = (R_{xy})^2 \quad (2.6)$$

の関係が成り立つように補正するのがよい。すなわち、式(2.2), (2.3)から

$$x' = \sqrt{x^2 + y^2 - (z/g)^2} \cdot \cos n'\pi \quad (2.7)$$

$$y' = \sqrt{x^2 + y^2 - (z/g)^2} \cdot \sin n'\pi \quad (2.8)$$

となる。ここで新たに係数 g を設定したが、これは補正の強さを表したもので、 R の長さが z の振動に関係なく一定率で増加している場合、 $g = 1$ となる。ここで扱っている3個体に関しても g の値は $0.9 \sim 1.0$ でほぼ当初の予想通りになっている。この補正を施した後のルーレット曲線状の図形が図9(b)に示されている。これによって成長中期の *Nipponites*

属の巻きの形状はほぼ理想的に近似できたと考えられる。

iii) 成長初期の式

Nipponites の成長初期のら環がどのような式で近似されるかは、この段階の成長様式を示す良い標本を直接計測していないため、よく分からないが、Matsumoto (1977) および松本の標本 (GK. H5846, GK. H5853) の観察によれば、Z軸方向にわずかに変位するゆるいヘリコイドカーブを示すようである。ここではとりあえず、Z軸方向の振動成分だけが無いものと考え、中期における係数を使って成長初期における近似式を表2のように仮定した。しかし、成長初期においては、これらの係数がいくらか異っている可能性もあるので、将来この段階の保存の良い標本が得られた時に改めて検討されるべきである。

iv) 図形と標本との比較

上記の修正を加えた数式に係数を代入していくつかの方向から見た3標本のプロフィールを画かせたところ、成長の中期に限り、いずれも実物とよく似た図形を得ることができた(図9)。

(2) *Nipponites* の種間変化

今回比較的正確に計測値を得ることができた *Nipponites* の標本は3個体にすぎないので、これらだけで種内変異がどの程度であるかを論じることはできない。ここでは *N. mirabilis* のほか、これまでに記載されている *N. bacchus* Matsumoto and Muramoto, 1967; *N. occidentalis* Ward and Westermann, 1977 についても、予想される成長のパターンと係数を比較しながら予察を進めていくことにする。図10および表3に今回扱った *N. mirabilis* の3

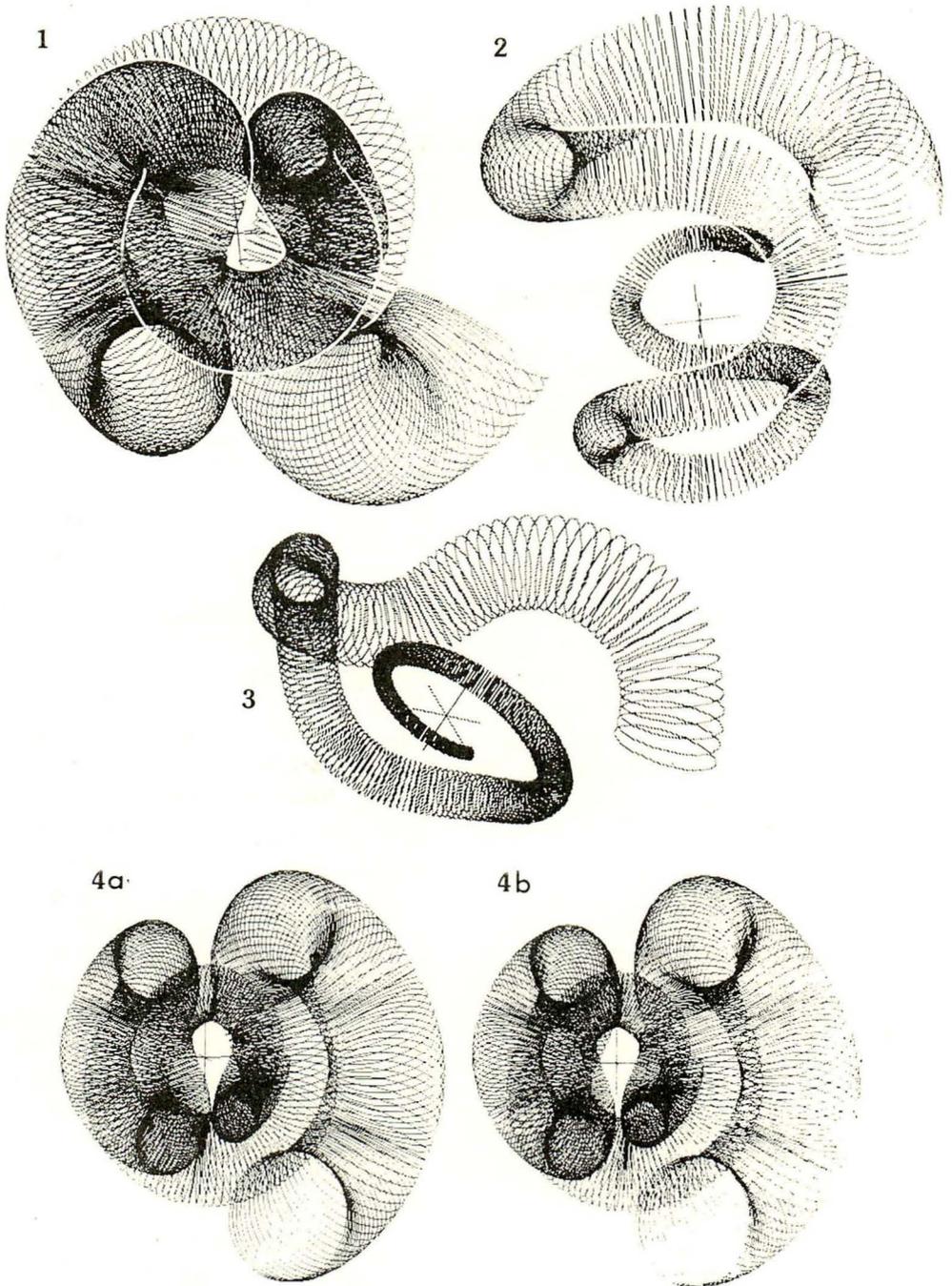


図9 マイクロコンピュータによる *Nipponites* 各種のシミュレーション. 1. *Nipponites mirabilis*; MM7560 (方向-6, -5, -1) 2. *N. mirabilis* var. *sachalinensis*; MM7666 (方向5, -10, 1) 3. *N. occidentalis*; UCLA38180 (方向3, -3, 2) 4a, b. *N. mirabilis*; GK. H5846, ステレオペアー. (方向-2, 10, 1 および-1, 10, 1) 輪は一定の回転角(1° または2°)ごとのら環の成長方向に直交する切り口を表わし、ら環上の肋を示すものではない.

Fig. 9 Computer simulation of four specimens of *Nipponites*.

表3 *Nipponites* 3種 (および1変種) について, 推定される9係数値.

Table 3. Estimated values of nine coefficients in three species (and one variety) of *Nipponites*.

	a	a ₀	b	b ₀	c	c ₀	d	f	g
<i>Nipponites mirabilis</i>	.19 ~ .21	1.0 ~ 1.1	.20	0.9	.18 ~ .22	0.5 ~ 0.6	2.9 ~ 3.0	.11	1 ±
<i>N. bacchus</i>	.2 ±	1.0	.2 ±	0.9	.2 ±	0.4 ~ 0.5	3 ±	.07	1 ±
<i>N. mirabilis</i> var. <i>sachalinensis</i>	.21	1.0	.18	0.9	.33	0 ±	2.7	.05	1 ±
<i>N. occidentalis</i>	.22	1.3	.7 ±	0.5	.3 ±	0.6	3 ±	.03	1 ±

標本および *N. bacchus*, *N. occidentalis* の推定される成長パターンと各係数値を示した. *N. bacchus* については GK.H5444 (Matsumoto and Muramoto, 1967) の図版および国立科学博物館標本 (模型・NSM.PM7350) から, *N. occidentalis* は Ward and Westermann (1977) の図版について間接的に計測し係数を推定した.

これらの結果を総合すると, 巻きを中心から環の中心までの距離 R の増加率 a と, 1巻きあたりの Z軸方向の振動数 d は, 種間を通じてほとんど一定していることが分かる. Z軸方向の振幅の増加率 b についても, ほとんどの標本で $b = 2.0$ 前後で, a に対してほぼ等成長を示しているが, R がかなり大きくなってからはじめて Z軸成分の振動が認められる *N. occidentalis* だけは, 他に比べて急激な増加率を示している. 第一次および第二次のシミュレーションにおいて定められた9つの係数のうちで, 図形の基本的な形態を大きく変えうる係数は, a , b , および d である. 成長がかなり進んだ時期になって急激に Z軸方向の振幅が増大する *N. occidentalis* の b 値を例外と考えれば, *Nipponites* の巻き方を決定する根本的な係数は属の中できわめて安定していると考えることができる.

種間で最も変化が大きいのは, ら環半径 r の成長率 c と, Uカーブの蛇行の程度を示す f である. c の値が最も小さなものは, 典型的な *N. mirabilis* で $c = 0.181$, 最も大きな値は *N. mirabilis* var. *sachalinensis* とされた標本で $c = 0.333$ を示している. しかしながら, r の相対的な大きさはむしろ *N. mirabilis* の方が終始大きな値を示している (図10). いいかえれば var. *sachalinensis* とされた個体は典型的な *N. mirabilis* に比べてら環が当初から細く, ら環

半径の大きな増加率にもかかわらず, “空間の占有率” は小さい. また f についても *N. mirabilis* の完模式標本で $f = 0.12$ を示し, 隣りあったU字ら環がほとんど接するまでに強く屈曲するのに対して, *N. mirabilis* var. *sachalinensis* や *N. occidentalis* では比較的サインカーブに近い. また成長中期の始まりを表わす変移点の時期も, 種によってかなりの違いがある. しかしながらこれらの変異の大きい係数はいずれも *Nipponites* の巻きの形態を大きく変えうるものではない. つまり, *Nipponites* の変異は “空間の占有率” を変化させるような係数について顕著であるといえる.

(3) 問題点および今後の研究の展望

i) *Nipponites* 分類の再検討の必要性

本研究で扱うことができた標本は, わずか数個体にすぎなかったため, 分類に関しては一応従来の見解 (Matsumoto, 1977, Matsumoto and Muramoto, 1967, Ward and Westermann, 1977 etc.) に従っているが, ら環の形状を示す前述の9係数を見るかぎりでは, いくつかの問題点が指摘される.

N. mirabilis と *N. bacchus* の間には殻形態の基本的な差異はほとんど認められず, ら環の蛇行の程度を表わす係数 f の値がやや異なる程度である.

N. mirabilis var. *sachalinensis* とされている個体は, 典型的な *N. mirabilis* や, *N. bacchus* が互いに似通っているのに対して, そのいずれともやや異なった係数を有している. また両者の間に差が認められる係数 f の値に関しては, var. *sachalinensis* は典型的な *N. mirabilis* よりもむしろ *N. bacchus* に近い.

N. occidentalis は前述の3者と比べてかなり異なった形態をしているように見えるが, この形態は

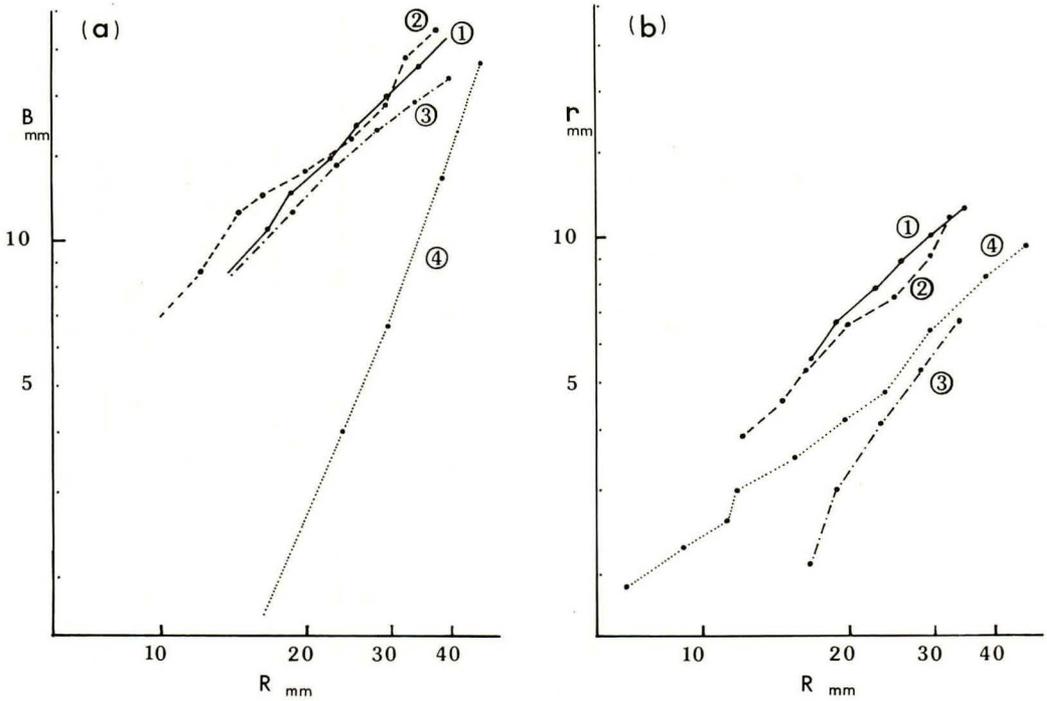


図10 *Nipponites* 各種の相対成長パターン. (a) 原点から環中心までの距離 R に対する Z 軸方向の振幅 B . (b) R に対するら環半径 r の相対成長. ① *N. mirabilis* [MM7560], ② *N. mirabilis* [GK.H5846], ③ *N. mirabilis* var. *sachalinensis* [MM7666], ④ *N. occidentalis* [UCLA38180].

Fig. 10 Patterns of relative growth in four specimens of *Nipponites*. (a): R versus B . (b): R versus r .

N. mirabilis の幼年殻から中年殻初期までの形状と良く相似している. 前者が後者よりやや新しく, 両者の間に直接の系統関係があるとすれば, 幼形進化の好例となるかもしれない.

このような分類や系統の問題点を解決するためには, より多くの標本について検討しなければならないことはいうまでもない. 多数の標本に関して前述の9係数を算出し検討することができれば, 分類学的形質を数理的に分析して評価することが可能となろう.

ii) 物理量の計算

Nipponites のら環の形状を数式で表現できるようになった今, この式を使ってさまざまな物理量を算出することができる. 例えば, ら環の長さ L :

$$L = \int \left| \frac{dR}{d\theta} \right| d\theta$$

ら環の表面積 S :

$$S = \int 2\pi r \left| \frac{dR}{d\theta} \right| d\theta$$

ら環の体積 V :

$$V = \int \pi r^2 \left| \frac{dR}{d\theta} \right| d\theta$$

重心 G :

$$G = \int \pi r^2 \left| \frac{dR}{d\theta} \right| R d\theta \bigg/ \int \pi r^2 \left| \frac{dR}{d\theta} \right| d\theta \text{ など}$$

ここでは一例として, 表1,3 に基づいて“空間の占有率”の値を計算してみる. 空間占有率 D を, 中心を共有する外接球の体積に対するら環体積の割合, すなわち

$$D = \frac{3 \int_{\theta_1}^{\theta_2} \pi r^2 \left| \frac{dR}{d\theta} \right| d\theta}{4\pi(R_{max} + r)^3} \times 100$$

で定義し, 回転角 $\theta = 0$ から 2π まで (*N. occidentalis* については $\theta = -\pi$ から π まで) を試算してみると, *N. mirabilis*: MM7560 で 17.3%, GK.H5846 で

14.1%

N. bacchus: 10.5% ±

N. mirabilis var. *sachalinensis*: 4.0%

N. occidentalis: 3.5% ±

となる。視覚的にも予想されたように、最も占有率の高い MM7560 (*N. mirabilis*) と、最も低い var. *sachalinensis* とされている MM7666 や、*N. occidentalis* の間には、実質的に 5 倍近くの差が生じていることが分かる。

他にもいくつかの仮定をおけば、Raup (1967), Raup and Chamberlain (1967) が正常巻きアンモナイトについて行っているような、浮心や浮力の計算生息時の姿勢などの推定を *Nipponites* についても行うことができるであろう。

5. ま と め

Nipponites のら環のシミュレーションおよび標本の形態解析を行った結果、次のような結論が得られた。

(1) *Nipponites* の巻きのパターンは全部で 9 つの係数を有する指数関数と三角関数の組み合わせによって説明することができる。

(2) このパターンは x , y , z のどの成分についても原点を中心とした振動関数を示していて、しかも巻きの中心から環中心までの距離 R の増加率が常に一定となるような、きわめて求心的な関数である。

(3) *Nipponites* 3 種(1 変種)について、これらの変異を検討した結果、巻きの基本的なパターンは種間でもほとんど一致していることが分かった。

(4) これに対して種間変化の著しい形質は、i) ら環半径の長さに対する成長率とその初期値、ii) Uカーブの程度、iii) 変移点の現われる位置の 3 点である。これらの形質の違いは、“空間の占有率”に関して大きな差異を生じる原因となっている。

6. 謝 辞

本研究を進めるにあたって、東京大学理学部速水格教授には終始御指導いただき、粗稿の校閲もお願いした。国立科学博物館小島郁生博士には同館所蔵の標本を見せていただいた。東京大学地質学教室大路樹生助手、前田晴良氏、小屋口剛博氏、および藤本光一郎氏にはいろいろと御討論願ひ、有意義な御意見を承った。また同教室安藤寿男氏には、標本の模型製作を御指導いただいた。以上の方々から謝意を表する。

付) 数式の表記法について

本文中で使用した数学的記号を以下に示す。

○ベクトル量とスカラー量

\mathbf{R} ……ベクトル量

R ……スカラー量

○全微分

$\dot{\mathbf{R}}$ ……ベクトルの全微分(ベクトル量)

$\frac{dx}{d\theta}$ ……成分(スカラー量)の全微分

○内積

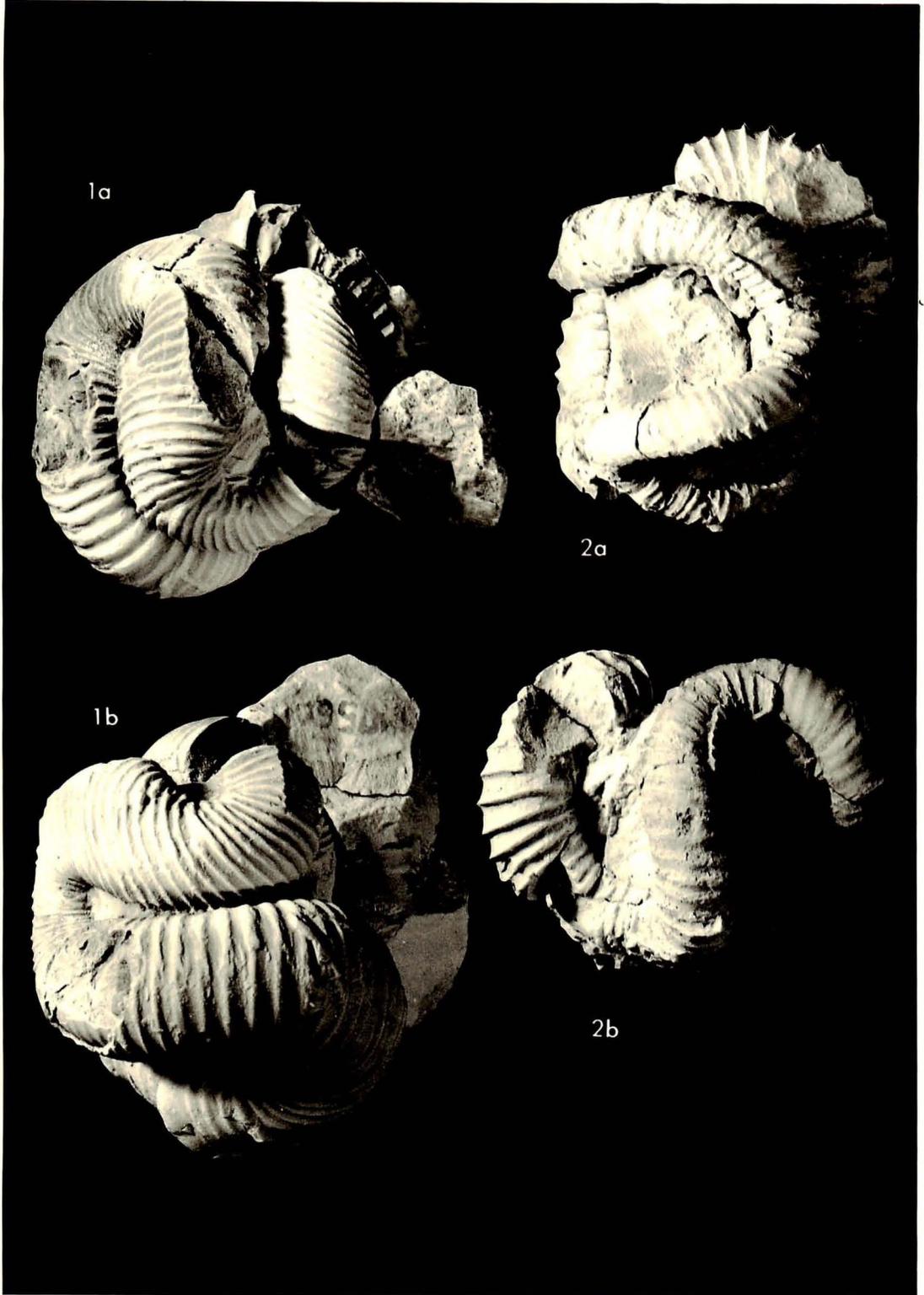
$\dot{\mathbf{R}} \cdot \mathbf{r}$ …… $\dot{\mathbf{R}}$ と \mathbf{r} の内積(スカラー量)

引用文献

- Kawada, M., 1929: On some new species of ammonites from the Naibuchi district, South Saghalien. *Jour. Geol. Soc. Tokyo (Japan)*, **36**, 1-6.
- Matsumoto, T., 1977: Some heteromorph ammonites from the Cretaceous of Hokkaido. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ.*, ser. D, *Geol.*, **23** (3), 303-366.
- Matsumoto T. and Muramoto, T., 1967: Two interesting heteromorph ammonoids from Hokkaido. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ.*, Ser. D, *Geol.*, **18** (2), 361-366.
- Raup, D. M., 1966: Geometric analysis of shell coiling: general problems. *Jour. Paleont.*, **40** (5), 1178-1190.
- , 1967: Geometric analysis of shell coiling: coiling in ammonoids. *Jour. Paleont.*, **41** (1), 43-65.
- , and Chamberlain, J. A., 1967: Equations for volume and center of gravity in ammonoid shells. *Jour. Paleont.*, **41** (3), 566-574.
- Raup, D. M. and Michelson, A., 1965: Theoretical morphology of the coiled shell. *Science*, **147**, 1294-1295.
- Tanabe, K., Obata, I. and Futakami, M., 1981: Early shell morphology in some Upper Cretaceous heteromorph ammonites. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, N. S., (124), 215-234.
- Ward, P. D. and Westermann, G. E. G., 1977: First occurrence, systematics, and functional morphology of *Nipponites* (Cretaceous Lytoceratina) from the Americas. *Jour. Paleont.*, **51** (2), 367-372.
- Yabe, H., 1904: Cretaceous cephalopoda from the Hokkaido, part II. *Jour. Coll. Sci., Imp. Univ. Tokyo*, **20** (2), 1-45.

図版1 1a, b. *Nipponites mirabilis* Yabe ×1. MM7560. 完模式標本. 図9-1と比較されたい.

2a, b. *Nipponites mirabilis* Yabe ×1. Kawada (1929) により "var. *sachalinensis*" とされた個体.
MM7666. 完模式標本. 図9-2と比較されたい.



新刊紹介

Oertli, H. J. (ed.): BENTHOS '83-Second International Symposium on Benthic Foraminifera (Pau, 1983). Elf Aquitaine, Esso REP, Total CFP, 1984年3月, 652p., ソフトカバー, 22×30cm, 300 FF (約9,000円, 送料込).

本書は BENTHOS '83 と銘うった第2回底生有孔虫国際シンポジウムの proceedings である。このシンポジウムは、1975年に開催された第1回の "BENTHONICS '75" (的場(1976)地質雑, 82(2), p. 149-150) に続くもので、M. Hamaoui をはじめとする組織委員会とフランス古生物学会の主催、Elf-Aquitaine, Esso-REP, Total-CFP 各石油会社の後援により、1983年4月11日から15日までの5日間、フランスのポー(Pau)にある Pau et des Pays de l'Adour 大学文学部を会場として開催された。

ポーはフランスの南西部、ピレネー山脈の麓にあり、ブルボン王朝の開祖アンリ4世の生まれた城を中心に広がる人口約9万人、Aquitaine 地方ではポルドーに次ぐ都市である。また、同市周辺はフランスでも屈指の油・ガス田地帯であり、会場となった大学の隣には Société Nationale Elf Aquitaine (Production) の研究所もある。シンポジウムの呼掛け人 Hamaoui や本書の編者 Oertli は同所に所属しており、後者はそこで発行する Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine の編集者でもある。

シンポジウムには28ヶ国から154名が出席したが、そのうち地元フランスが全体の1/3、その他の西欧諸国が1/3を占めた。日本からは的場保望(秋田大)、松丸国照(埼玉大)、北里洋(静岡大)、長谷川四郎(東北大)が出席した。講演は一つの会場で行われ、その数は招待・個人講演を合わせ78題であった。また講演のほか、数多くの *Nummulites* 化石の展示、種の同定に便利なデータベースシステムの紹介、数種類のポスターセッションが行われた。さらに招待

講演の1つとして、大形有孔虫の殻構造や生態に関する映画が上映された。

期間中、膠着質有孔虫に関する夜間小集会がもたれたほか、各種のパーティが催された。さらに、会期終了後にバスク海岸(下部 Senonian ~ 漸新統)およびポー・ポルドー(Aquitanian・Burdigalian)の模式地+貴腐ワイン Chateau d'Yquem)の巡検があった。

本書 BENTHOS '83 にはシンポジウム欠席者のものを含む90編の論文が収録されている。そのうち原著論文は66編で、残りは要旨のみである。原著論文にはカラー写真を含む数多くの図版が掲載されている。時代は古生代より現世にわたっているが、比較的多いのは白亜紀(21編)、古第三紀(17)、第四紀~現世(12)である(数字には多少の重複がある。以下も同様)。地域的には全世界にまたがるが、西、南欧州が各20、14編とかなり多く、極東は7編である。内容別では、生態・古生態(37)、化石層序(35)、新種の記載を含む分類学的な論文(27)などが多数を占める。さらに、大型有孔虫に関するものは28編にのぼり、欧州においてその研究が盛んなことを物語っている。

表紙は表・裏とも期間中に上映された映画のステール写真である。表はハワイ産 *Heterostegina depressa* の顕球・微球2型の生体(会議のシンボルマークにもなった)、裏はハワイの潮溜りの藻場における大型有孔虫の生態の写真で、ともに鮮明で非常に美しいものである。

なお、次の第3回シンポジウムは1986年にスイスのジュネーブで開催される予定である。

購入申込先:

Elf Aquitaine, Documentation-Edition Centre Micoulaou, 64018 Pau, France

(長谷川四郎)

系統と歴史生物地理研究の科学性

速 水 格*・安 藤 寿 男*

Studies of phylogeny and historical biogeography as a science

Itaru Hayami and Hisao Ando

3年ほど前、速水が大学に入って間もないフレッシュな学生を対象に「生物の自然史」と題するセミナーを担当した時のことである。古生物に知られる進化過程の実例としていくつかの分類群の系統図を示した時、学生の一人がこんな質問をした。「化石に属名や種名をつける必要性は判りますが、Aという分類群からBという分類群が由来したことはどのようにして決まるのですか？ある系統に関する学説を検証するにはどうすればよいのですか？」彼はカール・ポパーの科学哲学などを噛ったことがあるらしく、化石による慣習的な系統復元とそれに基づく分類の科学性についていささか疑問を抱いたものと思われる。その時速水は次のように答えたように記憶している。「古生物学は歴史科学ですから、系統の復元はすべて状況証拠に基づく推論であって証明はできません。現生生物を扱う分野でも数学や論理学のような完全な証明はできないのです。系統の復元やそれに基づく分類体系は、経験を積んだ専門研究者が、化石の形態以外に個体発生、変異、古生態、層位的・地理的分布など、あらゆる生物学的・地学的な傍証を総合した思弁なのです」と。ゼミが終ってからいろいろやりとりしたが、その学生は納得した様子はなかった。その時は何というわからず屋かと思ったが、この質問は妙にひっかかるものがあった。

科学哲学者ポパーは、「証拠をもって反論できる学説」が科学であるとし、「歴史は純粋な科学とは一線を画するものとする。古生物学にはこの両面が複雑に入り混っている。改めて考えてみると、我々古生物研究者はあまりに伝統的・経験主義的な学問の方法に慣れすぎて、自らの学問の科学性について深く考える機会が少なかったようである。おそらく当初はこの学生のように素朴な疑問を抱く者も、何年か伝統的な古生物学や地史学を学んで研究者となる頃には、系統樹や分類体系の確立にせまるには、他に方法はないと思うようになるのではあるまいか。ところがこの3・4年の間に学界の情勢は大きく

変化してきた。セミナーの時にはうかつにも全く知らなかったことであるが、この学生が抱いたと同じような疑問がその頃欧米の学者の間で盛んに論議され、分類学や系統論、さらには生物地理学の方法論と科学性について、多くの専門分野の研究者を巻きこんだシンポジウムが重ねられ、伝統的な方法に対する批判と提案が示されてきている。

最近、筆者らはこのような学界の動向に関心を持ち、東大総合研究資料館での「生物地理研究会」の発足も1つの動機となって、このような新しい考え方（クラディズム）と伝統的な考え方の関係を調べてみた。古生物学上の推論は系統の復元に限らず、とかくポパーのいう反証不能のひとりよがりな疑似科学に陥りやすい。しかし、資料（化石記録）の不完全性を乗り越えて斯学の科学性を高めることは、おそらく研究者全員の願いであり、将来のこの学問の発展に不可欠の条件でもある。ここでは不得手な哲学的論議は避けるが、記載古生物学・系統分類学・歴史生物地理学の3点につき、問題点を指摘して若干の考察を行いたい。初めに断っておくが、ここでは研究のレベルや技術・精度は問わない。いかに原始的な研究であっても、それが科学的であるかどうかだけを問題にすることにする。

化石の記載

古生物の研究は近年著しく多様化しているが、出版される論文の大半は現在でも記載的な研究であって、古生物の多様性や分布について未知の部分がいくかに多いかを物語っている。このような研究の中には専門研究者が一生かかって特定の分類群について世界中の資料を扱ったモノグラフもあれば、たまたま巡検で採集された化石の記載報告もある。新しい化石記録の報告自体は、それが論文であるか単なるレポートであるかはともかくとして、産地・層準・産状などの属性が正しく明記されている限り、新事実の発見を公共のものとした行為は評価されるべきであり、科学に益するものであることは疑いない。今後このような記載報告の積み上げがなければ、古

* 東京大学理学部地質学教室

生物研究者はいつまでも現在の不十分な化石記録の知見に甘んじて推論を進める以外に手が無いのである。

化石の記載的研究は事象のありのままの記述を行うのであれば科学性を大きく踏み外すことは少ないかも知れない。しかし、どのような記載にもある程度の解釈はつきものである。例えば、化石に属名や種名を与える行為自体が発表者の考えによるものであり、これが科学性をもつには、同定・記載が妥当かどうか追試できることが条件となる。具体的には記載研究に用いられた標本が、研究の再現性を維持するために、然るべき機関に保管され、後の研究者の要望に応じて公開されることが重要である。逆に言えば、記載公表された原標本が失なわれることは記載論文自体の科学性を損ねることになるのである。この意味で、もし記載標本（特にタイプ標本）を私蔵されている人がいたら、それを永久保存の能力のある信頼できる公共機関に是非寄託されたい。幸い我国の博物館および相当施設の標本保全の態勢は最近かなり改善されつつある。

系統の復元

進化論の確立以来、生物の分類は推定される系統に従って行うのが理想とされてきた。ところが進化の過程は直接観察できないので、種々の状況証拠に基づいて、時には断片的ともいえる化石記録を思弁によってつなぎ合わせて系統樹を作ることになる。従って慣習的な方法による系統復元とそれに基づく分類体系にはさまざまな程度の憶測が入りこむことは避けられない。既存の分類体系を一般科学のように追試したり反証を見い出すことは困難である。これは伝統的な系統分類の宿命的な性格であり、最近 Hanai (1982, 1983) が引用して論じたように、「系統樹の自慢は我庭の植木の自慢の様なもので、此を示されても唯褒めるより手はないのである」という横山 (1935) の比喩によく示されている。まして急速な形態の時間的変化が、断続進化のモデル (Eldredge and Gould, 1972; Stanley, 1979) のように種分化の事変に集中して起っているとすれば、古生物学者が中間型を見い出しながら系統を復元することはきわめて困難となるであろう。結局は多くの可能性の中で、現代の進化学説と相容れない考えは除外し、より多くの傍証に基づく経験豊かな専門研究者の体系がより真相に近いと見なすことになる。これは常識であっても、経験を積みばより正しい学説が得られる保証はない。同じ分類群の系統を多くの学者が研究すれば、たとえ同一の資料に基づいても十人十色の系統樹が作られるであろう。

このような慣習的な一いわば“名人芸的”な一

系統へのアプローチに対して、近年いくつかの異なる見地からの批判が加えられ代案が示されてきた。その主なものの1つは分子進化の理論を背景とした数量分類学的方法であり、他の1つはここ数年大きな論議を呼んでいる分岐分類学的方法である。

数量分類学 (numerical taxonomy) は1960年代に多変量解析の技法の発展とともに台頭した (Sokal and Sneath, 1963) が、その後20年を経過して、その効用と限界につきある程度評価が定まってきた感がある。この方法は実際に観察しうる多数の形質を等価にみなし、数的に操作上の分類単位 (O T U) の群形成を行って樹状図 (dendrogram) を作成して体系を考察する。1960年代にはいくらか流行のきざしがあったが、各形質の遺伝的評価がなされぬままにこれを進めることはいかにも乱暴であって、多くの批判を受けて結局そのままの形では慣習的な分類学を乗り越えるものとはならなかった。しかし、その後多変量解析の方法が分子進化の理論——特にアミノ酸の塩基置換の速度が確率論的に一定であるとする仮説——と結びついたために大きな状況の変化が起っている。つまり、電気泳動法などにより、アミノ酸の塩基配列を種々の現生生物で解読し、その間の総合的な類似の程度に基づき系統を復元する道が開かれた。最近では系列の分岐の順序ばかりでなく、分岐の年代も推定されるようになってきている。

慣習的な系統分類が遺伝と環境の相互作用の産物である形態的特徴に大きく依存するのに対して、この方法では遺伝的な多様性と差異の程度を直接的に取扱い、従来の慣習的な系統復元とは違って追試・反証も可能とされる。分子レベルの形質をとりあげる時には「遺伝的距離」が直接的に求められる。例えば、人類の抗原抗体や酵素型、蛋白型などには多くの多型を示す形質があり、多変量解析とクラスタリングによって人間間の類縁関係や分岐年代が推定されている (尾本, 1982 参照)。ただし、絶滅生物についてはこの方法は適用するすべがない。

一方、分岐分類学 (cladistic taxonomy) あるいは phylogenetic systematics) は、一般に Hennig (1966) (独語版は1950) によって創始されたといわれ、1970年代に入ってから大きく発展した。アメリカ自然史博物館や大英博物館 (自然史) のような分類学の総本山のようなところでも、現生生物学者・古生物学者を問わず次第にこの新しい考え方に共鳴する人が増加しているようである。我国でもまだ少数ではあるが、若手の研究者の間で分岐分類学的な研究が始められている。

アメリカ自然史博物館ではこの論議は1960年代後半より始まっており、その経過は雑誌 *Systematic Zoology* などに掲載された夥しい数の論文や Nelson

and Platnick (1981)に詳しい。1970年代半ばには約30名の分類学者のうちの半数以上が分岐分類学を支持するようになったという。最近ではいくつかのテキストブックが出版され (Eldredge and Cracraft, 1980; Wiley, 1981; Nelson and Platnick, 1981), 系統分類に携わる多くの分野の研究者を集めた大規模なシンポジウムも行われている (例えば, Cracraft and Eldredge, 1979 eds.; Funk and Brooks, 1981 eds.)。

大英博物館 (自然史) では生物進化の展示に分岐分類学的な考えを取り入れることの可否をめぐる激しい論争があった。これは1970年代後半に台頭してきた分岐分類学者らが、分岐図や分岐分類学の概念を示すことによって、従来の伝統的な進化の展示を一新させてしまったことに始まる。1980年から81年にかけての雑誌 *Nature* の通信欄は毎号のように、分岐分類学者とその反対者による書簡が掲載され、激しい議論の応酬があったことを示している。

ここで分岐分類学の理論と方法を詳細に紹介するには紙数がなく、また筆者らには荷が重すぎるが、分岐分類学者の主張するところを要約すれば、次のようになるであろう。

1) すべての分類群は祖先種—子孫種という系統関係 (phylogenetic relationship), あるいは類縁関係 (genealogical relationship) を有し、それらを調べることによって分岐の歴史を復元し、復元される系統を反映する分類を行うのが分岐分類学である。この場合どの分類群も類縁関係に基づく自然分類群を表わすように単系統群 (monophyletic group) あるいはクレード (clade) でなければならない。

2) 生物は種分化とそれに伴うあるいは独立な形質の進化によって多様化する。そして種分化の歴史は形質の進化を伴うか、または種分化速度が形質の進化速度より遅い時に復元ができる。この場合進化の単位は種、特に進化学的種 (evolutionary species) であって高次分類群ではない (例えば A 科から B 科が進化したということは実際にはありえない。A 種から B 科ならありうる)。

3) 分類群間の類縁関係は、原始的か派生的かを評価した形質をどれだけ共有するかを示す分岐図 (cladogram) に表わして判断する。

4) 1つの分類群の中の系統関係を考察する時、可能な選択肢として複数の分岐図が想定されることがある (例えば4種からなる分類群の分岐のパターンは、同時に3つ以上に系列が分岐することがないと仮定しても、15通りある)。その場合には節減の原則 (principle of parsimony) (オッカムのかみそりとも呼ばれる) によって形質の原始性・派生性からみて最も矛盾の少ない分岐図を採用する (複雑な場

合にはコンピューターを利用する)。

5) 分岐図は分類群間に見られる進化に伴う新形質についての入れ子状 (nested) 分布パターンを示す一つの仮説である。各要素 (種や種からなるグループ) は分岐点に結ばれた対を構成し、順次より高次の対を作るような階級構造をなす。分岐図から分岐 (種分化) の相対的時間の順序が判定される。分岐図が数量分類学の樹状図と最も異なる点は、形質が原始的か派生的かを評価した上で分類に利用されることにある。

分岐分類学は化石種も対象とすることができるが、分岐図を作る過程では層序学的産出順序や生存期間は化石記録が不完全であるという理由で考慮しない。むしろ化石は仮説として作られた分岐図の検証に用いる傾向がある。形質・分類群の内容と形質の極性 (原始的か派生的か) の評価が変らなければ、誰が試みても同一の分岐図に到達する。よって分岐分類学は追試・反証が可能で、第1近似から第2近似へと進む科学となると主張される。

伝統的な分類学者と分岐分類学者は共に系統 (phylogeny) という概念を抱くが、両者の意味するところは明らかに異なっている。一般の古生物研究者の間では系統とは生物が分化し進化してきた過程であると理解する。これに対して分岐分類学の目ざす系統はいくつかの仮定のもとに分岐図から演繹されるパターン (あるいは仮説) であって、過程を前提としない (過程は科学的には立証が困難であるとする)。過程を前提とした検証性を持たない物語風の系統は排除しようとする。したがって、分岐図は一見系統樹に似ているが、両者は異質のものである。

このような2つの新しい系統へのアプローチを我々古生物研究者はどう受けとめるべきだろうか。分子レベルの数量分類学的方法是現在では1つの確立したアプローチと見ることができると思われるが、分岐分類学の是非については今なお盛んに論議が戦わされている。この考えが当初 Hennig らによって提示された時、伝統的な分類学者から多くの批判が浴せられた。例えば、形質が原始的であるか派生的であるかは一概に決定できないこと、形態の時間的変化は速度が一定でなく、しばしば異なった進化系列で平行的に起り、時には逆行すると信ずるべき証拠があることなどが指摘された。古生物学者の多くは現在でもこのような意見であるかも知れない。

筆者の1人 (速水) も当初はこのような印象を受け、化石の層序学的分布を無視するような系統復元は古生物学とはおよそ無縁で、古生物研究者が分岐分類学に進むのは、自らの利点 (化石は生物進化の唯一の物的証拠であること) を放棄する自殺行為に等しいとさえ思った。しかし、今ではこれらの新し

い系統研究の結果を化石記録から推定される系統と比較することも大いに意義のあることと考えている。

伝統的な系統分類学者（特に古生物学者）は、化石種の層序学的産出順序を重視してきた。例えば、始新世にAという種が知られ、漸新世にそれに近縁なBという種の産出が知られているとする。その場合、通常AからBが進化した可能性は考えるが、その逆は考えない。しかし、分岐分類学者が考えるように、化石記録はきわめて不完全であって、始新世（およびそれ以前）のB種の記録が未発見である可能性があるとするれば、A種がB種から由来したこともありうることになる。従って形態変化が見かけ上逆行しているような現象があっても、実はそうでないのかも知れない。分岐分類学では形態変化の逆行や収斂は起るとしても稀なことであるという仮定に立ち、現在の実視できる資料を最大限に生かして系統を科学的に復元しようとするところに特徴がある。さらに、分岐分類学に賛同するある古生物学者が主張するように、最も矛盾の少ない分岐図を一つの有力な仮説として、これを化石記録で修正・補強し、より信頼性の高い系統樹を生み出して行くことが古生物学の重要な課題となるのかも知れない。少なくとも分岐分類学と古生物学は無縁とは言えなくなった。

伝統的な系統分類学を続けていく研究者もこの辺で分岐分類学者の批判にある程度耳を傾ける必要があると思う。これまで古生物研究者はあまりに断片的な化石記録に基づいて（または他に資料がないことを理由にして）フィクションとも言えるような系統を安易に推定してきた傾向はなかったか？ 系統や分類上の見解の相違が生ずるたびに共に根拠のない水掛け論を展開していることはないであろうか？ 筆者ら自身いつの間にか疑似科学の世界に足を踏み入れそうな自分に気付くことがある。分岐分類学の将来は予見し難いが、近年退潮傾向にあった系統分類学を再び魅力ある近代科学として復帰させる1つの契機を与えているとも考えられよう。

生物の地理的分布とその変遷

系統の研究と同様のことが歴史生物地理学 (historical biogeography) についても言える。生物地理学は19世紀後半に Wallace らにより生物分布の区系区分を論ずる学問として開始された。近年では MacArthur らによって生態学の理論をとり入れて大きく発展した地理生態学 (geographical ecology) と、区系分布の発展過程や分類群の起源・移動を扱う歴史生物地理学に分化して進歩してきた。最近のプレートテクトニクスの発展は歴史生物地理学の考証に大きなインパクトを与えた。これと並んで

vicariance biogeography (まだ適切な訳語を知らない) という新しい生物地理の考え方をめぐって、欧米で盛んに大きなシンポジウムが開かれている (Nelson and Rosen, 1981 eds.; Sims, Price and Whalley, 1983 eds. ほか)。

Vicariance biogeography は分岐分類学の生物地理学への応用と見ることができ、従来の Darlington (1957) らで代表される dispersal biogeography に対立する代案とされている。いくつかの離れた地域に祖先を共有すると考えられる同種や近縁種（または高次分類群）の集団が分布する場合、これらを祖先が発祥した地域からの移住により説明するのではなく、がんらい広く分布していた種が障壁によって分布域が分断され異なった方向に進化した (vicariance event という) という仮説を立て、これを検証するのである。

Vicariance biogeography の主張と分析の手順を要約すると次のようになる。

1) 歴史生物地理学は、分散 (dispersal)、発祥の中心 (center of origin) そして種分化といった実際に観察されない過程を前提とした分析をするべきではない。

2) 様々な単系統の分類群の分布パターンを調べ、地図上にプロットして分布範囲を認定することから始める。

3) 認定された分布範囲から、特定の分類群がある地域に固有であるという現象 (endemism) が見い出される。次に固有分布の間の相関関係や、それらと地理的・地質的背景との関係を追及する。

4) 分布範囲がよくわかっている1つの単系統群について、分岐分類学的手法で作られた分岐図をもとに地域分岐図 (area cladogram) を作る。

5) このようにして得られた複数の地域分岐図から、共通する生物地理区々の分岐パターンを抽出する。

6) この分岐パターンを1つの仮説とし、地理学的・地質学的証拠と対比して、生物地理区々の分化が vicariance event によるものかどうかを判定する。

Vicariance biogeography に加担する分岐分類学者の主張には従来の歴史生物地理学に対する批判が含まれている。彼等はある新しい分類群が地球上のどこかで最初に出現し他の地域に移住したことを否定するものではないが、それは科学的には実証が難しいとする。

この主張に対しても古生物研究者はある種の抵抗を感じるであろう。化石記録は不完全であるとして斥けられているからである。古生物学者は分類群の起源と移動について多くの推定を行って来ており、中にはかなり信憑性が高いとみられる復元もある。例えばヒラコテリウム (=エオヒップス) に始まる

新生代のウマ類が主として北米大陸を舞台に発展し、時に陸橋を渡ってユーラシア大陸や南米大陸に分布を拡げ、現在では中央アジア方面にのみ野生種が残存しているとする (Simpson, 1951 ほか) のは定説となっている。しかし一般の海生動物においては、このような移動経路を復元できることは稀であろう。化石記録の少ない分類群で断片的な産出をつないで結論する起源地と移動の経路は、無数に存在する選択枝の1つを与えているに過ぎず、新産地の発見によって一挙に棄却されてしまう危険性がある。

現在、歴史生物地理学はきわめて多くの専門分野にまたがる学際的・総合的な学問として新しい時機を迎えている。分岐分類学の生物地理学への応用はまだ誕生して日が浅く、技法としても確立したとは言えないかも知れない。生物の地理的分布の変遷を、dispersal と vicariance event のいずれで説明するかはケースバイケースで考えるのがよいかも知れない。しかし、いずれにしてもこの最近の動向は従来の歴史生物地理学に対して記録の過信と科学性の喪失を戒めていると考えることができる。系統分類と歴史生物地理の考究において、歴史科学的アプローチと現在科学的アプローチは、それぞれ利点と限界があつて、両者は相補的な関係にある。分子生物学や分岐分類学による系統へのアプローチが盛んになったからと言って、化石のもつ系統分類学上の意義が小さくなったわけではない。逆にこれらの新しい方法による樹状図や分岐図を検証する手段として化石記録は従来にも増して重要な役割を演ずることになろう。

引用文献

- Cracraft, J. and Eldredge, N. (1979, eds.): *Phylogenetic Analysis and Paleontology*. Columbia Univ. Press. 233 p.
- Darlington, P. J. Jr. (1957): *Zoogeography: the Geographical Distribution of Animals*. John Wiley & Sons, New York. 675 p.
- Eldredge, N. and Cracraft, J. (1980): *Phylogenetic Patterns and Evolutionary Process. Method and Theory in Comparative Biology*. Columbia Univ. Press. 349 p.
- Eldredge, N. and Gould, S. J. (1972): Punctuated equilibria — An alternative to phyletic gradualism. In Schopf, T. J. M. (ed.): *Models in Paleobiology*, p. 82-115. Freeman, Cooper and Co.
- Funks, V. A. and Brooks, D. R. (1981, eds.): *Advance in Cladistics*. Proceeding of the First Meeting of the Willi Hennig Society. New York Botanical Garden. 250 p.
- Hanai, T. (1982): A story of the belemnite — developmental approach to fossil morphology. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, N. S., no.128, p. 421-432, pl. 66.
- (1983): A story of the belemnite — an approach based on the method of inventing auxiliary assumptions in paleontology. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, N. S., no. 131, p. 125-134.
- Hennig, W. (1966): *Phylogenetic Systematics*. Univ. Illinois Press. 263 p.
- 横山次郎 (1935): キサゴ科の形態発達史. *The Venus*, vol. 5, no. 5, p. 241-255.
- Nelson, G. and Platnick, N. (1981): *Systematics and Biogeography. Cladistics and Vicariance*. Columbia Univ. Press. 567 p.
- and Rosen, D. E. (1981, ed.): *Vicariance Biogeography. A Critique*. Columbia Univ. Press. 593 p.
- 尾本恵市 (1982): 遺伝学と人類学. 井上英二編: 遺伝学と医学Ⅲ. 129-163 頁. 共立出版.
- Simpson, G. G. (1951): *Horses*. Oxford Univ. Press. 247 p.
- Sims, R. W., Price, J. H. and Whalley, P. E. S. (1983, eds.): *Evolution, Time and Space: The Emergence of the Biosphere*. System. Assoc. Spec. Vol. No. 23, Academic Press. 492 p.
- Sokal, R. R. and Sneath, P. H. A. (1963): *Principles of Numerical Taxonomy*. W. H. Freeman. 359 p.
- Stanley, S. M. (1979): *Macroevolution. Pattern and Process*. W. H. Freeman. 332 p.
- Wiley, E. O. (1981): *Phylogenetics. The Theory and Practice of Phylogenetic Systematics*. John Wiley & Sons, New York, 439 p.

図書案内

古生物図書ガイド(4)¹⁾小島郁生²⁾

SF小説ほか

伴野 朗：五十万年の死角。B 6 判，277 p.，講談社，1977年，790円。

[主要内容] 蒸発/追跡/疑惑/混乱/回帰/邂逅/対決/真相。

[寸言] 消えた北京原人化石骨の行方を探る。第22回江戸川乱歩賞受賞作。

豊田有恒：カンガルー作戦。285 p.，徳間文庫，1981年，340円。

[主要内容] 熱帯雨林/バーネット鮭/タイムパトロール/青いUFO/異形の美女/時空間チェイス/始新世の哺乳類/太古の遭遇/ジャングルの鎮魂歌/近代史の謎/未来からの救援/進化の隘路/有袋人/古代都市/殺戮の時代/偽マヤ文明/巨象マストドン/有袋人の神話/神の証。

[寸言] 古生物学者を夢みた地質家と，いわば有袋人類ともいうべき異類に属する古生物学者2名が主役で活躍。

豊田有恒：ダイノサウルス作戦。B 6 判，309 p.，早川書房，1979年，1000円。

[主要内容] 調査隊失踪/恐竜の墓/フタバズキ竜/謎のタイムマシン/ペレジノイの死/エゾミカサ竜/死闘/恐竜の狩人/対決/血と肉の儀式/恐竜人/酋長の死/上空の円盤/復讐の戦い/異星人ゲラツハ/恐竜の未裔/円盤着陸/宇宙船内部/宇宙船奪取/ゴビ砂漠へ/人類基地/解剖/二つの地球史/古生代ペルム紀/獣窩類虐殺/決戦迫る/異類の基地/異形の女/開戦交渉/宇宙の対決。

[寸言] ごく最近，徳間文庫にも取められた。

ドゥーガル・ディクソン：アフターマン。人類滅亡後の地球を支配する動物たち。A 4 変形判，123 p.，旺文社，1982年，4000円。

[主要内容] 進化/生命の歴史/人類後の生物/温帯の森林と草原/針葉樹林/極地とツンドラ/砂漠：乾燥の地/熱帯草原/熱帯林/島と島大陸/未来/系統樹。

[寸言] 著者は古生物学者。5000万年後の動物界を想像。きれいなカラー。

ベルナルド・ユーヴェルマンス(今井幸彦訳)：未知の動物を求めて。B 6 判，253 p.，講談社，1981年，1400円。

[主要内容] 失われた世界はどこにでも/早過ぎたキュヴィエの断定/セイロンの野人ニタエウォ/スマトラの小人オラン・ペンデク/ヒマラヤの雪男イエティ/南米の猿人アメラントロポイド/マンモスは生きている。

レイW(池辺明子訳)：動物奇譚。伝説の動物・滅びゆく動物。B 6 判，287 p.，図書出版社，1979年，1500円。

[主要内容] 神話のなかの動物/絶滅した動物たち/生きている化石。

小学生高学年以上中学生向き

朝日新聞科学部編：地球をさぐる。少年科学図書館6，A 5 判，248 p.，朝日ソノラマ社，1981年，1200円。

[主要内容] 新しい地球像/日本列島/生きものの歴史/地震と火山/水と土のはなし/地球をつつむ海と大気。

[寸言] 朝日新聞社刊の少年少女理科年鑑に掲載された記事の数年分をまとめたもの。

糸魚川淳二：大昔の陸と海 シリーズ海4。20×22 cm，50 p.，らくだ出版，1980年，1200円。

[主要内容] さまよう海岸線/古瀬戸内海の移り変わり/沈んでゆく海底ともしり上がる山なみ/むかしと今，陸と海。

小野 謙：ひとつの崖から 房総に学ぶ地層と化石。A 5 判，114 p.，千代田書房，1983年，1200円。

[主要内容] 崖に向かって/化石とは/観察の方法/現地性，異地性の化石/水流の方向を示す貝化石/貝化石から水深の変化を知る/アカニシの中の方解石/誘導化石/採集品の整理/瀬又にて/下湯での観察/木更津にて/ひとつの崖から。

[寸言] 中学生が書いた化石の本。

¹⁾ Some popular books on paleontology (4)

²⁾ Ikuwo Obata 国立科学博物館地学研究部

ノート

学士院紀要の著者索引と矢部長克の著作目録*

小 林 貞 一**

日本学士院では Proceedings of the Imperial Academy を 1912 年に発刊し、1926 年以降間断なく巻を重ねて、1945 年に Proceedings of the Japan Academy (PJA) と改め、53 巻(1977) No.4 から Ser. A: Mathematical Sciences と Ser. B: Physical and Biological Sciences とに分けられて毎号 2 冊づつ出して今日に至っている。その 56 巻までの著者索引の出版が院の創立百年(1977)の記念事業計画中に加えられて、PJA Vols. 1-56 (1912-1980) Physical and Biological Sciences A-M が 1983 年に、N-Z が 1984 年春に出来て来た。

学士院では会員の論文発表とその他の論文紹介を月例会で行い、次の月例会には紀要に出版されているが、7・8 両月は休会であるので紀要は年 10 冊の月刊ということになっている。各論文は短篇(現在刷上り 4 頁以内)ではあるが、このように速報されて貴重な研究成果の先取権が護られてきた。その論文数は既に 8,000 篇を越えている。

学士院紀要には各巻ごとに索引が附されていたが通巻の著者索引が作成されたのは今回が初めてであって、私はこれを通覧して未知の多数の論文を見出すことが出来た。矢部長克のところには 1926-1967 の間に自著 43、共著 74、合計 117 論文がある。長岡半太郎は 1926-1942 の間に自著 34 と共著 89、計 123 論文を寄稿している。矢部の著作目録としては手元に下記の 3 冊があるが、畑井小虎の尽力で第 3 冊には 394 タイトルが載っている。

Bibliography of Published Writings of Hisakatsu Yabe Up to October, 1935, 16 p. (259 titles)

Jubilee Publication in the commemoration of Professor H. Yabe, M.I.A. sixtieth birthday, vol. 1, 612 p. 32 pls. Bibliography, p. 8-24. (290 titles)

A Memorial to Hisakatsu Yabe (December 3,

1878 to June 23, 1969). By Kotora Hatai. Sc. Rep. Tohoku Univ., 2nd ser. (Geol.), v. 41, no. 2, p. 109-128. Bibliography of Published writings of H. Yabe, p. 114-128. (394 titles)

この程上記の著者索引中に第 3 冊の補遺として追記すべき 18 論文のあることが判明したので矢部先生の論文総数は 412 タイトルとなった。日本古生物学会創立 50 周年の機にこれらを「化石」を通じて追加することは私に取ってまことに喜ばしい。各タイトル末尾に、ゴチで巻数(号数は括弧内)、頁、発行年を列記する。

- Palaeogene Age of the Coal Formation of the Ube Coal-field, Yamaguti Prefecture 20, 725(1944)
- Stratigraphical Position of the Kokozura Sandstone, (Contribution to the Geology of the Zyöban Coal-field, II) 24, (8)1(1948)
- The Taga Beds of the Zyöban Coal-field (Contributions to the Geology of the Zyöban Coal-field III) 25, (8)9(1949)
- The Tozenzi Sandstone (Contributions to the Geology of the Zyöban Coalfield, IV) ... 25, (10)7(1949)
- Pseudofossils from Fengning-hsien, Jeho, similar to "*Sewardiella verrucana* Fucini" from Mt. Pisani 26, (6)29(1950)
- On a Limestone with *Favosites* from Erh-tao-kou, West of Kirin, Manchuria (Preliminary Report). With Eguchi, Motoki 19, 681(1943)
- Discovery of *Pseudomophyma* in the Limestone of Erh-tao-kou near Kiturin, Mansyû. With Eguchi, Motoki 20, 382(1944)
- Notes on the Upper Palaeozoic Coral-Genera *Cystipora* and *Arachnastraea*, I. With Eguchi, Motoki 20, 469(1944)
- Ditto, II. With Eguchi, Motoki 20, 732(1944)
- Generic Identity of *Notocyathus* Tension-Wood and *Citharocyathus* Alock. With Eguchi, Motoki 22, 6(1946)
- Eine *Verbeekiella* Art aus dem Kitakami-Gebirges, nordöstlichen Honsyu, Japan. With Minato, Masao 20, 159(1944)
- On the Occurrence of *Polythecalis* from the Permian

* Author index of the Proceedings of the Japan Academy and Hisakatsu Yabe's bibliography of published writings, supplement

** Teiichi Kobayashi 東京都渋谷区代々木 5-50-18

- of Japan. With Minato, Masao 21, 466(1945)
 A New Species of *Wentzelella* from the Permian Limestone near Iwaizaki, Kitakami District, North-east Japan. With Minato, Masao 21, 469(1945)
 Remarks on the Genus *Comalia* Wells with the Description of a New Species from the Jurassic of Japan. With Sugiyama, Toshio 9, 60(1933)
 Subfossil Gizzard Stones Probably of Birds Found in the Phosphate Deposit of Kita-Daito-zima. With Sugiyama, Toshio 10, 361(1934)
 Discovery of Lower Carboniferous Corals from the Yatusiro District in Kyūsyū. With Sugiyama, Toshio 15, 300(1939)

- Notes on *Anisocoenia* Reuss and *Favoidea* Reuss. With Sugiyama, Toshio 18, 194(1942)
Vicarya-Beds in the Zyōban Coalfield. With Ueda, Fusao 24, (7)14(1948)
 省みれば 1941-45 の欧文論文発表上最も困難な時期に *Concept of Time in Geology*, 1-5 を始め蒙古地向斜の秋吉造山輪廻のほか私に取って大事な論文22篇と、朝鮮の沃川造山帯地史短報1-4 他共著4篇と合計30篇を公表することが出来て、学士院紀要には私自身大変な恩恵に浴しているのであって、本紀要に古くから国際学術速報として果して来たその重要さを痛感している。

新刊紹介

横須賀市自然博物館所蔵

平瀬貝類標本目録 (I) オナジマイマイ科

横須賀市博物館資料集 8 号. 60 ページ (24 図版を含む). 1983 年 12 月発行. 700 円 (郵送料 200 円).

〒 238 横須賀市深田台 95)

この目録には、上記コレクションのうちの一部、オナジマイマイ科の 7 属 146 種 60 亜種が掲載されている。平瀬コレクションは平瀬与一郎氏 (1859-1925) がフィラデルフィア科学アカデミーの Pilsbry 博士との親交を通じて、きわめて意欲的に収集した陸貝コレクションを母体としている。

このコレクションは、1913 年京都市岡崎に私財を投じて設立された、当時日本では大変少なかった自然史博物館「平瀬介館」に展示されていたものの一部であり、館内には日本の海・淡水産 350 種、外国産 700 種が展示されていた。また同館で刊行された「介類雑誌」4 巻も特筆される事業であり、貝類標本の販売も行われていた。

残念なことに同館とその事業は、日露戦争とその後の経済不況にわざわざされて 1915 年に休止されてしまった。にもかかわらず同コレクションは長男の信太郎氏 (1884-1939) に引継がれて、戦前唯一の

本格的な貝類図鑑「天然色写真 日本貝類図譜」に 1360 種が図示された。平瀬コレクションは後に資源科学研究所に移されたが、第二次世界大戦はこのコレクションの大部分を焼失させてしまった。

幸いなことに陸貝標本の大部分が残存していることが判明し、戦後に整理・研究が再開され、その成果は 1951 年に上記図鑑は増補改訂版として出版された。平瀬コレクションはさらに鹿間時夫教授に託されて横浜国立大学に保管されていたが、教授は退官に際して横須賀市博物館に寄託、寄贈した。

博物館は東アジアの陸産貝類の研究の基礎となった同コレクションの重要性にかんがみ、その目録の作成を前田和俊、太田 秀、大里明博、鹿野康裕、上島 励氏に委託し、この程その一部が出版された。二度の戦禍から平瀬コレクションを守ったのは滝庸、鈴木好一、鹿間時夫博士をはじめとするすでに故人になられた古生物学者、貝類学者であり、もちろん今も活躍中の研究者も多数含まれている。

平瀬コレクションに関する特別展示会は、同博物館で 1985 年 2-4 月に予定されている。

(蟹江康光)

ニュース

I G C 検 討 会 議 報 告

I G C 検討会議は、昭和59年6月14日、日本学術会議において、第2回会議をひらき、1992 I G C 日本招致意志表示問題について、下記のような最終結論をえました。なお、I G C 検討会議は、この結論を出すことによって一応の任務を終ったわけですが、今夏のモスクワ I G C に於て、日本招致の見通しとなった場合、準備委員会の結成されるまで存続されることになりました。

(59.6. 14記 I G C 検討会議議長 坂倉勝彦)

本検討会議では、I G C 日本招致に関する賛否並びに意見の問合せを200余りの関係研連・学協会・大学・官庁その他の研究機関に対して行った。

1. アンケートの結果

- i. 招致時期が1992年という遙か先行のため、日本招致に切実感がなく、また問合せ先によっては内部事情で一本化した結論の出しにくい機関もあって回答率は26%であったが、主要学会の大半からの回答があり、結果は、賛成73%、反対12%、保留15%であった。
- ii. 但し、賛成票についても無条件賛成ばかりでなく、
財政的に実施可能か
組織はどうなるのか
という2点が大きな関心の的になっていた。
- iii. 反対意見の中には、I G C 巨大化を批判して、多額の費用を使っても見返りに得るところが少ないというのが多かった。
- iv. 反対および保留票の中には、招致決定の場合には協力する旨の付帯意見が少なくなかった。
- v. 研連 I G C 小委員会の“規模縮小・内容充実・シンポジウム中心型”の日本方式案には反対がなく、これに触れた回答は何れも賛成であった。

2. 検討

- i. アンケートとは別に各委員がそれぞれのルートを通じて I G C 日本招致に対する各方面の感触を打診した結果は次の通りである。
 - A. 学会関係では、日本地質学会が明瞭に日本招致にふみきり、他の専門学協会も同調するものと期待される。
 - B. 多くの地質学関係の教室で内部検討が行なわれたが、問題点は質問状の場合とほぼ

同じである。

ii. 財政問題

財政問題は1989年ワシントン I G C で公式に日本招致が決定するまでの準備期間と、それ以後に分けて考える必要がある。後者では大規模な募金活動が要請されるが5年以上先の見通しを現在たてることは不可能である。但し、極力冗費を省き、関係学会が協力して準備をすすめ、社会的評価が得られれば、最低限の募金は不可能ではないであろう。他の学会がそれぞれ苦しい財政事情の中で国際学会を開催しているのをみれば、地質学会だけにその能力がないとは考えられない。1989年までの準備期間の主費は、委員会活動が主であるが、日本 I G C の方向づけをする極めて重要な時期であるので、節約しても1,000万円はこえるであろう。この期間はまだ招致の公式決定以前であるので、他の機関からの寄付はあおぐことがむずかしく、学会あるいは個人の寄付でまかなうべきであろう。

3. 準備委員会

I G C 招致の第一段階で最も重要なことは広く納得される委員会ができ、それが有効に機能することである。アンケートにみる組織に対する関心は、

- i. 日本開催に賛成する地質学者が喜んで協力するような委員会の構成
- ii. 信頼される委員長の選出

これは、地質学関係学会の現状および研究者のそれぞれの立場から充分理解されることであり、また I G C 開催迄の一切をまかせる最高責任者を現在決定することは頗る難事である。

当検討会議は当面この問題を打開するため次の試案を作成した。

- A. 本年のモスクワ I G C での日本招致意志表示によって日本開催の見通しがついた場合には直ちに準備委員会を発足させる。
- B. 本委員会はワシントン I G C までのもので、その後の組織委員会に自動的に移化するものではない。
- C. 委員長は委員の互選を原則とし、その任期はワシントン会議までとする。
- D. 委員は学協会4、官庁1、業界2の計7

名と準備委員会に付置される各小委員会（従来の例では約8）の委員長の計約15名とする。

4. 反対意見について

1-iiiの少数意見は余りに近視眼的ではないかと考える。かつて、地質学後進国であった日本がIGCに参加して多くのメリットを得たように、日本でのIGCに参画し、外国学者と交流する機会をもつことは、特に若い研究者にとって良いインパクトになるのではないか。日本の学問レベルは充分、IGCのメリットを吸収でき、国際的にも地質学の発展に寄与できる段階にあるといえよう。

5. 結論

- i. IGC検討会議は日本地質学会はじめ関係学会が1992年のIGC日本招致に賛成の意向を示しており、本年夏のモスクワIGCで1992年IGCの日本招致意志表示を提案すべきであると考えられる。
- ii. 賛成論者の中にも、準備委員会等の運営を危惧する向もあるので前項に記述した如く、準備委員会は自動的に組織委員会に移るもの

ではなく、ワシントンIGCまでの準備に限定するのが適当と考える。

- iii. 準備委員会の運営経費は学協会および個人の寄付によるものとする。
 - iv. 日本開催にあたっては、研連IGC小委の日本方式案を基礎として能う限り多くの研究者の参画を求めるべきなので、例えば次のような運営の分散方式をとることも考えられよう。
 - A. シンポジウムはそれぞれの専門学会・組織に主導性をゆだねる。
 - B. 地方巡検とそれにとりまなう小集会は、それぞれ地域・専門学会・組織に主導性をゆだねる。
 - C. 準備委員会に付置される小委員会は、つとめて分散する。例えば、会場はA、巡検はB、プログラムはC、出版はD、各地方。
- (付言) IGC検討会議は地質研連が上記の結論をふまえて、すみやかに行動することを切望するものである。

“化石”バックナンバーの在庫

(価格は送料込み)

[13号] マラヤ・タイ国産古植物化石, 古生物分類の理論と方法, その他	(500円)
[16号] グニアン問題, 鮮新統・漸新統論考, その他	(500円)
[17号] シンポジウム“日本新生代貝類化石群の時空分布(その一)”, その他	(600円)
[18号] シンポジウム“日本新生代貝類化石群の時空分布(その二)”, その他	(600円)
[21号] シンポジウム“化石硬組織内の同位体”, その他	(800円)
[22号] 特集“中国地方新生界と古生物”	(800円)
[23・24号] 特集“化石硬組織内の同位体(第3回シンポジウム)”, その他	(1600円)
[25・26号] シンポジウム“古植物の分布とその問題点”, その他	(1600円)
[27号] 深海底堆積物中の炭酸塩溶解量の測定, その他	(1700円)
[28号] 太平洋側と日本海側の新第三系の対比と編年に関する諸問題, その他	(1900円)
[30号] シンポジウム“新第三紀における日本の海洋生物地理—中新世を中心として—”	(2200円)
[31号] 本邦白亜系における海成・非海成層の対比, カキの古生態学(1)	(1500円)
[32号] 四万十帯のイノセラムスとアンモナイト, カキの古生態学(2)	(1500円)
[33号] ジャワの貝化石, 三疊紀 <i>Monotis</i> , その他	(1500円)
[34号] 進化古生物学の諸問題, その地	(1500円)
[35号] 後期三疊紀二枚貝 <i>Monotis</i> の古生物学的意義, その他	(1500円)
[増刊号] コロキアム: 化石硬組織内の同位体	(1000円)

29号の残部はありません。

バックナンバーを御希望の方は, 代金を払い込みの上, お申込み下さい。

大学研究機関等で購入の際は, 見積請求書等必要書類をお送りしますので御請求下さい。

申込みと送金先:

〒980 仙台市荒巻字青葉 東北大学理学部地質学古生物学教室内

化石編集部 (振替口座 仙台1-17141)

または日本学会事務センター内日本古生物学会

1984年11月15日印刷

1984年11月16日発行

化石第36号

発行者 日本古生物学会

東京都文京区弥生2-4-16

日本学会事務センター内

編集者 高柳洋吉・鎮西清高・石崎国熙

印刷者 東光印刷株式会社

TEL (0222) 31-0894

Fossils

Number 36

Nov. 16, 1984

Contents

Molluscan assemblages from the Miocene Nakayama Formation in the Kadono district, Joban Coal-Field, Fukushima Prefecture	H. Takahashi	1
Origin of radiolarian bedded cherts. Part II	K. Minoura and S. Nakaya	19
Theoretical morphology of <i>Nipponites</i> (a heteromorph ammonoid)	T. Okamoto	37
Studies of phylogeny and historical biogeography as a science	I. Hayami and H. Ando	53
Author index of the Proceedings of the Japan Academy and Hisakatsu Yabe's bibliography of published writings, supplement	T. Kobayashi	59
Some popular books on paleontology (4)	I. Obata	58
Information on Books		52, 60
News		61