

仙台市西部に分布する中部中新統旗立層の珪藻化石層序

柳沢幸夫*

Yukio, YANAGISAWA (1999) Diatom biostratigraphy of the Middle Miocene Hatatate Formation, Sendai City, Miyagi Prefecture, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 50, (4), p. 269-277., 4 figs., 1 table.

Abstract: Diatom biostratigraphy is established for the Middle Miocene Hatatate Formation exposed along the Iwanosawa section, Sendai City, Miyagi Prefecture, northeastern Japan. The formation is composed mainly of muddy fine-grained sandstone intercalating a number of thin tuff beds. The lower Hatatate Formation above the tuff bed Ht 10 is assigned to the *Denticulopsis praedimorpha* Zone (NPD 5B) of Akiba (1986), and contains two diatom biohorizons, D52.5 (the first acme of *Denticulopsis crassa*) and D53 (the first occurrence of *D. praedimorpha* var. *praedimorpha*). The rapid decrease of radiolarian *Cyrtocapsella tetrapera* lies just below the diatom biohorizon D53. Remarkable diachronism across latitude is suggested for the last occurrence of calcareous nannofossil *Cyclicargolithus floridanus* which lies between the diatom biohorizons D52.5 and D53 in the Hatatate Formation. The glauconite bed in the lowest Hatatate Formation is characterized by a very slow sedimentation rate and was deposited during the interval from 15 to 13 Ma.

要 旨

仙台市西部の茂庭の岩の沢に露出する中部中新統旗立層下部の珪藻化石層序の検討を行った。旗立層は、主として塊状の泥質細粒砂岩からなり、多くの凝灰岩薄層を挟む。本層下部の凝灰岩層Ht10より上位は、Akiba(1986)の*Denticulopsis praedimorpha*帯(NPD 5B)に属する。また、本層下部に、*Denticulopsis crassa*の第1アクメ(D52.5)と*D. praedimorpha* var. *praedimorpha*の初産出(D53)の2つの珪藻生層準が見出された。旗立層では、放散虫の*Cyrtocapsella tetrapera*の急減層準は、珪藻生層準D53の直下にある。また、石灰質ナノ化石の*Cyclicargolithus floridanus*の終産出は、旗立層では珪藻生層準D52.5とD53の間にあり、珪藻および放散虫生層準との関係から、緯度方向の顕著な異時性を示すことが示唆された。旗立層最下部にある海緑石層では堆積速度が非常に小さかったと推定され、その推定堆積期間は約15Maから13 Maである。

1. はじめに

宮城県仙台市西部には、海成中部中新統の旗立層が分布する(Hanzawa *et al.*, 1953)。本層から産する主要な4種類の微化石(浮遊性有孔虫・放散虫・石灰質ナノ化石・珪藻)については、すでに詳細な微化石層序学的

研究が行われ(尾田・酒井, 1977; Honda, 1981 MS; Maruyama, 1984), 北西太平洋における新第三紀の複合微化石層序や地磁気微化石年代尺度作成のための基礎的なデータを提供してきた(たとえば尾田ほか, 1983; Oda *et al.*, 1984; 尾田, 1986など)。しかし、旗立層下部については、珪藻化石層序の検討が行われてこなかったため、この層準における珪藻と他の微化石の生層準との関係は明らかではなかった。こうした複数の微化石層序の生層準の相互関係を確かめることは、今後さらに高い精度の複合微化石年代尺度を構築してゆく上で重要と考えられる。そこで、今回旗立層下部が模式的に露出する仙台市西部の太白区茂庭岩の沢ルートにおいて試料を採取して、珪藻化石層序の検討を行った。

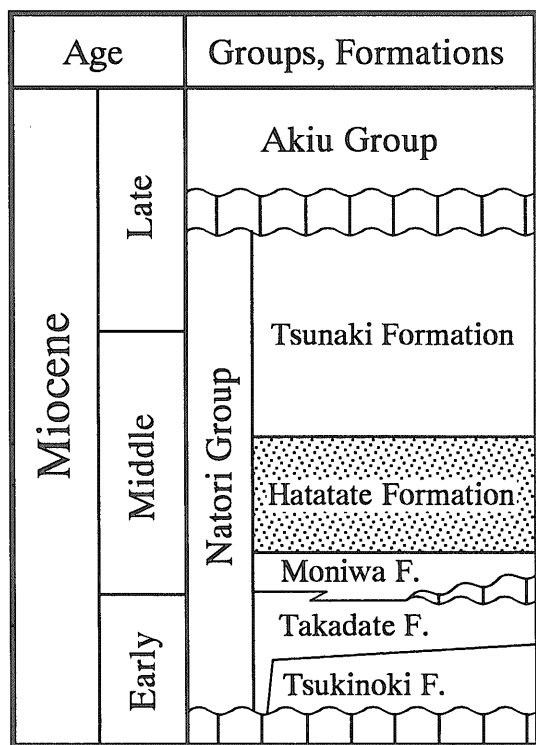
2. 試料及び方法

旗立層は名取層群の中部に位置する海成層で、茂庭層を整合に覆い、綱木層に整合に覆われる(第1図; Ishizaki and Takayanagi, 1981; 北村ほか, 1986)。本層は、主として塊状の泥質細粒砂岩からなり、下部から上方へ次第に細粒化し、最上部で再び粗粒となる。また、追跡可能な凝灰岩鍵層を多数挟む(尾田・酒井, 1977)。

試料は、尾田・酒井(1977)のルートマップに従って、25個(MONM14-38)採取した(第2図)。岩の沢セクションでは、茂庭層上部から旗立層下部が観察される(第

Keywords: diatom, sedimentary rocks, biostratigraphy, biochronology, Hatatate Formation, Moniwa Formation, Sendai, Miyagi Prefecture, Japan, Neogene, Miocene

*地質標本館 (Geological Museum, GSJ)



第1図 仙台市西部の中新統の層序。
Fig. 1 Stratigraphy of the Miocene sequence in the western Sendai area.

3図). 岩の沢の茂庭層上部は, 安山岩の亜円礫ないし亜角礫を主とする礫岩・礫質砂岩からなる。旗立層の基底から凝灰岩層Ht8までの間は円礫岩(2.7m)が発達し, その上位は凝灰岩層Ht9まで細一中粒砂岩(約3m)となる。Ht9の上限より上位はすべて塊状の泥質細粒砂岩からなり, 凝灰岩層Ht10, Ht11, Ht12を挟む。

旗立層最下部の凝灰岩層Ht9の直下には, 貝殻片および軽石片を混じえ, 海緑石を多量に含む厚さ約1.5mの細一中粒砂岩(以下, 海緑石層)が発達する。海緑石層は生物擾乱作用を強く受け, その下限・中部および上限には径数20cm程度の楕円形の石灰質団塊を挟む。この海緑石層は, 詳しい記載はないものの, 田口ほか(1969)および島田(1986)が旗立層基底部に存在すると報告した海緑石砂岩に相当するものと考えられる。また, 植田・鈴木(1973)がK-Ar年代測定を行ったのも, この海緑石層から採取した海緑石である可能性が高い。

試料の処理は, Akiba(1986)のunprocessed strewn slideの方法で行った。珪藻化石の同定・算定方法は柳沢(1999a)に従った。

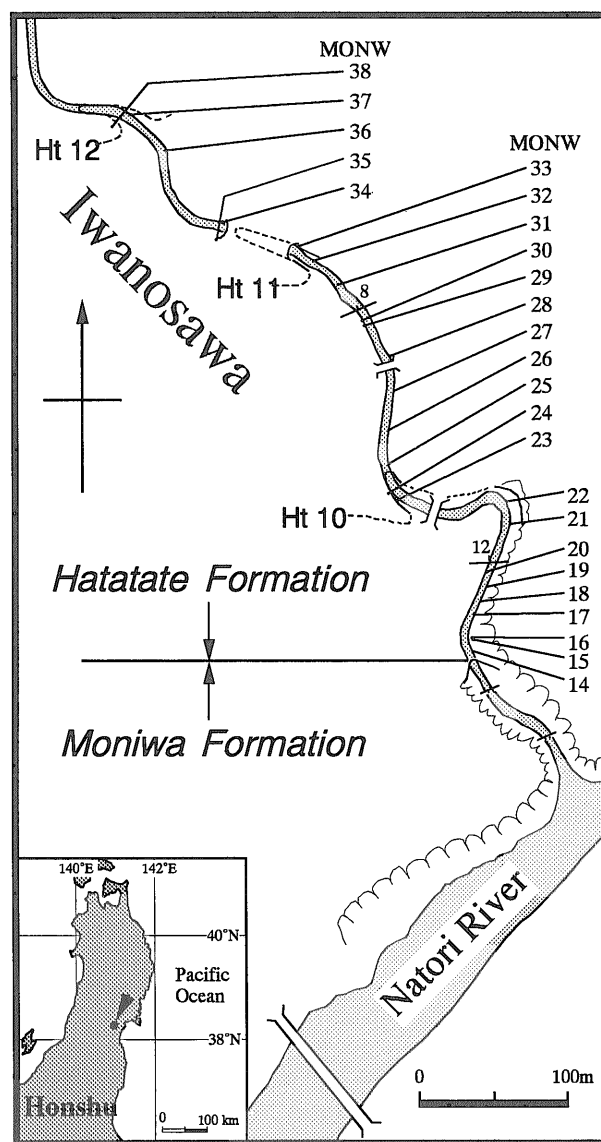
3. 結果

採取した試料のうち, MONW24より上位の13個から珪藻化石が産出した(第1表)。MONW24では, 珪藻殻は半ば溶解しており, これより下位の試料では珪藻は産出

しない。これは, MONW24以下では続成作用により, 珪藻殻をつくるオパールAが溶解していることが原因である可能性が高い。

産出した珪藻化石群は, 全般に保存状態が不良で, *Actinocyclus ingens*, *Coscinodiscus marginatus*, *Paralia sulcata*, *Stephanopyxis* spp.などの殻の頑丈なタクサの頻度が非常に高い(第3図)。とくに, 試料MONW33以下では, これらの頑丈なタクサの頻度の合計は50%を超える。一方, MONW34以上の試料は, 通常の珪藻質泥岩中の珪藻に比べると保存は悪いものの, MONW33以下の試料より相対的に保存状態はよい。

生層序上有用な *Denticulopsis simonsenii* は, MONW



第2図 岩の沢セクションの試料採取位置図。原図は尾田・酒井(1977)による(一部改変)。

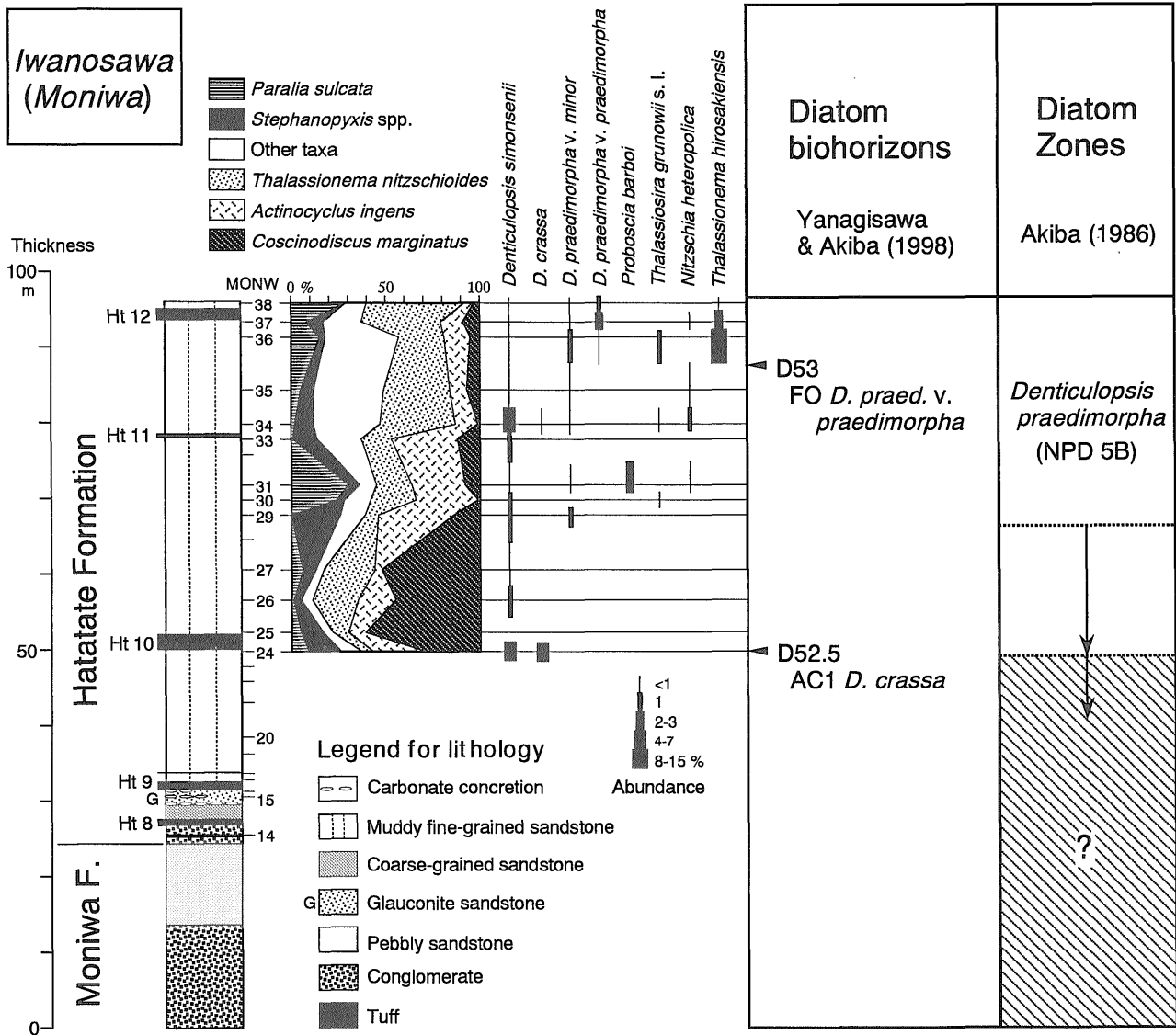
Fig. 2 Map showing sample locations in the Iwanosawa section (Moniwa, Sendai), partly modified after Oda and Sakai (1977).

旗立層の珪藻化石層序 (柳沢)

第1表 岩の沢セクションにおける珪藻の産出表.

Table 1 Occurrence chart of diatoms in the Iwanosawa section, Moniwa, Sendai. Preservation, P: poor; M: moderate. Abundance, R: rare. Occurrence, +: present.

Formation	Hatata Formation													
	Denticulopsis praedimorpha Zone (NPD 5B)													
Diatom zone	MONW-	24	25	26	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38
Sample number														
Preservation		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	M	P	P
Abundance		R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
<i>Actinocyclus ellipticus</i> Grunow		-	-	-	-	-	+	-	-	-	1	2	-	1
<i>A. ingens</i> f. <i>ingens</i> (Ratray) Whiting et Schrader		25	9	20	4	40	33	28	35	12	9	14	12	5
<i>A. octonarius</i> Ehrenberg		-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	1	1	-
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg		1	1	+	1	4	2	+	1	3	4	4	+	+
<i>Arachnoidiscus</i> spp.		-	1	-	-	1	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Azpeitia vetustissima</i> (Pantocsek) Sims		-	-	-	-	-	+	3	-	-	10	2	-	-
<i>Cavitatus jouseanus</i> (Sheshukova) Williams		+	-	-	-	-	1	+	-	-	-	-	+	-
<i>C. miocenicus</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa		-	-	-	-	-	1	+	-	-	-	-	-	-
<i>Cocconeis californica</i> Grunow		-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>C. curviritunda</i> Brun et Tempère		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenberg		29	61	45	52	14	1	8	12	1	7	5	9	3
<i>C. radiatus</i> Ehrenberg		-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>C.</i> spp.		-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cladogramma dubium</i> Lohman		-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Clavicula polymorpha</i> Grunow et Pantocsek		-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Denticulopsis crassa</i> Yanagisawa et Akiba		5	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
(Closed copula)		2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>D. hyalina</i> (Schrader) Simonsen		-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>D. praedimorpha</i> var. <i>minor</i> Yanagisawa et Akiba		-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-
(Closed copula)		-	-	-	-	1	-	+	-	+	1	2	+	1
<i>D. praedimorpha</i> var. <i>praedimorpha</i> Akiba ex Barron		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	2	1
(Closed copula)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-
<i>D. prae-hyalina</i> Tanimura		-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>D. simonsenii</i> Yanagisawa et Akiba		2	-	1	-	1	1	+	1	4	+	+	+	+
S-type girdle view of <i>D. simonsenii</i> group		3	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	1	-
<i>Diploneis bombus</i> Ehrenberg		-	+	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>D. smithii</i> (Brébisson) Cleve		1	-	+	1	-	-	+	-	1	-	-	1	-
<i>Eucampia</i> sp. A (= <i>Hemiaulus polymorphus</i> Grunow)		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Grammatophora</i> spp.		+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	1	-
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova		+	-	-	-	-	1	1	2	2	2	4	1	2
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba		-	-	-	1	-	+	1	1	1	7	2	+	2
<i>Mediaria splendida</i> Sheshukova		-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+
<i>Melosira sol</i> (Ehrenberg) Kützing		+	-	1	-	-	+	+	1	-	3	1	-	-
<i>Nitzschia challengerii</i> Schrader		-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>N. heteropolica</i> Schrader		-	-	-	-	-	+	+	-	1	+	-	+	-
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve		9	5	1	6	-	24	30	1	2	5	15	8	29
<i>Plagiogramma starophorum</i> (Gregory) Heiberg		-	-	1	-	-	+	-	-	-	-	-	1	-
<i>Planifolia tribranchiata</i> Ernissee		-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundstöm		-	-	-	-	-	4	-	-	-	4	-	-	-
<i>P. barboi</i> (Brun) Jordan et Priddle		-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>hiemalis</i> Gran		+	-	1	-	-	+	-	-	-	-	-	1	1
<i>R. miocenica</i> Schrader		-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	2	4	-
<i>R. styliformis</i> Brightwell		-	-	1	-	-	+	-	1	6	2	4	3	1
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehrenberg) Hasle et Sims		+	1	1	-	-	-	-	-	-	1	-	+	2
<i>Stephanogonia hanzawae</i> Kanaya		+	-	-	-	-	2	-	-	3	-	-	1	-
<i>Stephanopyxis</i> spp.		17	12	4	7	26	4	6	13	10	7	3	9	-
<i>Stictodiscus kittonianus</i> Greville		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassionema hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	2	+
<i>T. nitzschiioides</i> (Grunow) H. et M. Peragallo		6	8	24	27	7	24	19	26	50	35	24	42	52
<i>Thalassiosira grunowii</i> Akiba et Yanagisawa		-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	1	-	-
<i>T. leptopus</i> (Grunow) Hasle et Fryxell		-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>T. manifesta</i> Sheshukova		-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>T.</i> cf. <i>temperei</i> (Brun) Akiba et Yanagisawa		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>T.</i> spp.		-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow		+	+	-	-	2	1	+	-	+	+	2	1	+
<i>Triceratium condecorum</i> Brightwell		-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Total number of valves counted		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Resting spore of <i>Chaetoceros</i>		19	13	13	15	28	37	15	20	27	59	52	61	56



第3図 岩の沢セクションにおける主な珪藻の層序分布。
Fig. 3 Stratigraphic distribution of selected diatom species in the Iwanosawa section.

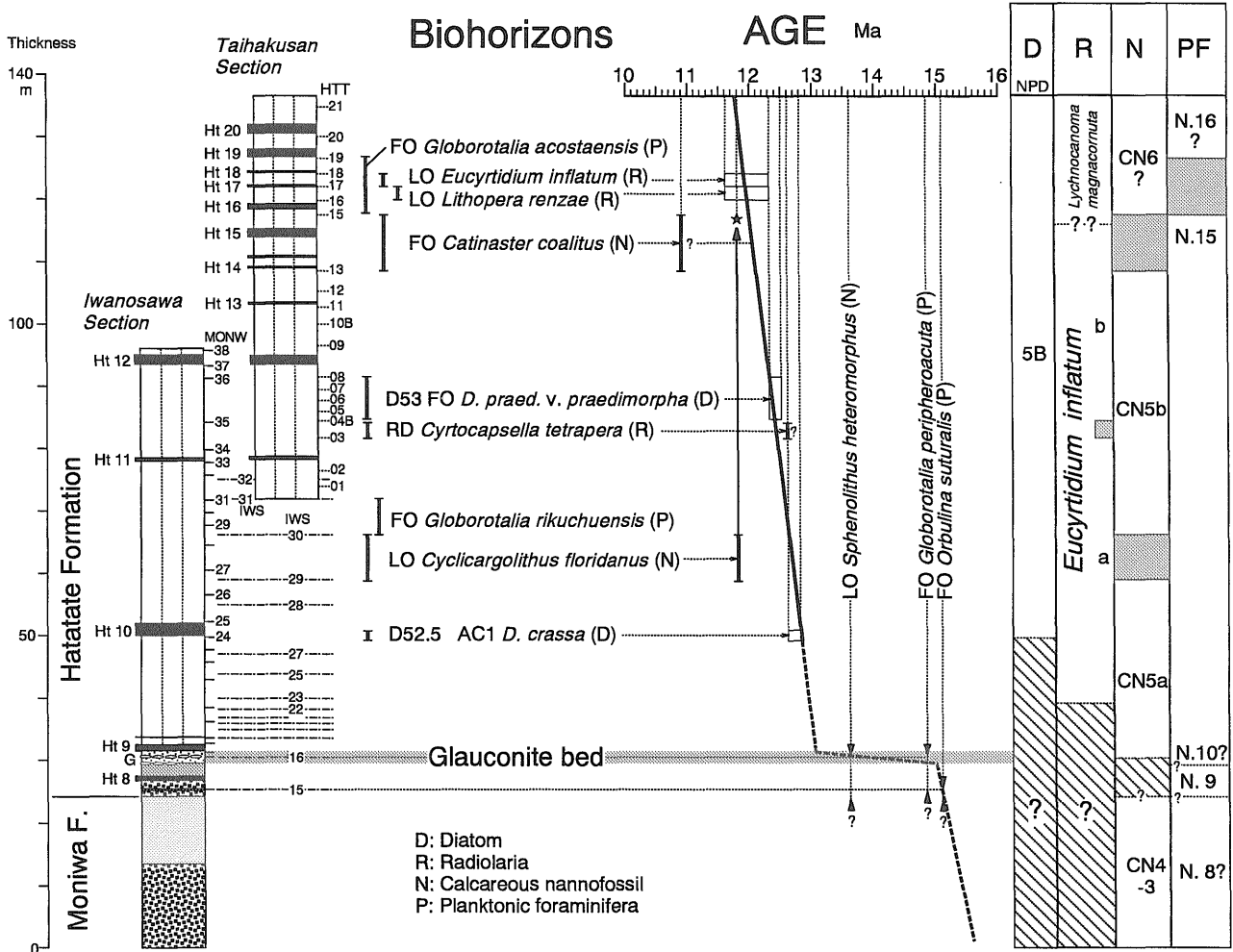
24以上の試料から産出する。また、*D. praedimorpha* var. *minor*はMONW29以上から、*D. praedimorpha* var. *praedimorpha*はMONW36以上から産出する。*D. crassa*は、MONW24で5%の産出を示すほか、MONW34でわずかに産出する。

4. 考察

4.1 珪藻化石層序

MONW29-38からは*D. praedimorpha*が産するので、この区間はAkiba (1986) の*D. praedimorpha*帯 (NPD 5B) に属する (第3図)。その下位のMONW24-27は、*D. praedimorpha*は含まないものの、以下のような理由から*D. praedimorpha*帯に属すると判断される。

MONW24から産出する*D. crassa*の初産出は、*D. praedimorpha*帯の下限に一致することがわかっている (Yanagisawa and Akiba, 1998)。このことは、DSDPのHole 438A (Yanagisawa and Akiba, 1990) ばかりでなく、能登半島珠洲地域の鶺鴒川・般若川セクションでも確認されている (柳沢, 1999b)。したがって、MONW24-27の区間は、*D. praedimorpha* var. *minor*そのものは見つからないものの、*D. crassa*が産出していることから、*D. praedimorpha*帯に属すると判断できる。*D. praedimorpha*帯下部に終産出を持つ*Crucidentricula nicobarica*が産出しないことも、消極的な証拠ではあるが、この化石帯認定を支持する。なお、*D. praedimorpha* var. *minor*がこの区間から産出しないのは、この区間で珪藻の保存状態がとくに悪いことが原因かもしれない。



第4図 茂庭層上部および旗立層下部における各種微化石の生層準・化石帯と堆積速度曲線。岩相の凡例は第3図と同じ。

Fig. 4 Stratigraphic distributions of microfossil biohorizons and biozones in the upper Moniwa and lower Hatatate Formations, with a sediment accumulation rate curve. D: diatom zonation (Akiba, 1986; Yanagisawa and Akiba, 1998); R: radiolarian zonation (Motoyama and Maruyama, 1998); N: calcareous nannofossil zonation (Okada and Bukry, 1980); PF: planktonic foraminiferal zonation (Blow, 1969). See Fig. 3 for the legend of lithology.

Yanagisawa and Akiba (1998) の示した生層序学的に有用な生層準としては、*D. praedimorpha* var. *praedimorpha* の初産出層準 (D53) が、MONW35と36の間に認められる。また、MONW24では、*D. crassa* が5%の頻度で産出しており、これは*D. crassa* の第1アクメ (D52.5) と判断される。*D. crassa* が数%以上の頻度となるのは、*D. praedimorpha* 帯の下部 (*C. nicobarica* の終産出の直上かその周辺、第1アクメ) と、*Thalassiosira yabei* 帯 (NPD 5C) の下部 (第2アクメ) の2つのアクメの区間のみである (Yanagisawa and Akiba, 1990, 1998)。MONW24での5%の産出は、その層序学的な位置から考えて、第1アクメ (D52.5) に対比される。

4.2 微化石層序との比較

旗立層およびその下位の茂庭層について行われた浮遊

性微化石層序の研究結果を、太白山セクションの結果と合わせて第4図にまとめた。

珪藻では、Maruyama (1984) が太白山セクションを検討し、少なくとも凝灰岩Ht11の5m下位の層準までは*D. praedimorpha* 帯 (NPD 5B) に属することを明らかにした。今回の研究によって、*D. praedimorpha* 帯の下限がさらに下位のHt10よりも下位にあることがわかったことになる。

放散虫については、尾田・酒井 (1977) が岩の沢・太白山セクションの試料を分析している。それによれば、IWS23以上からは*Eucyrtidium inflatum* が産出する。このことから、IWS23より上位は、本山・丸山 (1998) の*E. inflatum* 帯と認定される。また、HTT03と04Bの間には*Cyrtocapsella tetrapera* の急減層準があり、これにより*E. inflatum* 帯はa亜帯とb亜帯に分けられる。さらに、太白山

セクションの上部には、*Lithopera renzae*の終産出および *E. inflatum*の終産出が認められる。

石灰質ナンノ化石では、Honda (1981MS) が、茂庭層と岩の沢・太白山セクションの旗立層を検討し、その結果は尾田ほか (1983) と Oda *et al.* (1984) で紹介されている。それによると、茂庭層は、*Sphenolithus heteromorphus* が産することから、Okada and Bukry (1980)のCN3-4に対比される。旗立層では、IWS16以上からは *S. heteromorphus* は産出せず、*Cyclicargolithus floridanus*の終産出がIWS29と30の間に、また *Catinaster coalitus*の初産出がHTT13と15の間に認められる。このことから、旗立層では、CN5a (IWS16-29)、CN5b (IWS30-HTT13)、CN6 (HTT15-21) の3つの化石帯が識別される。

茂庭・旗立層の浮遊性有孔虫層序は、Saito (1963) と尾田・酒井 (1977) によって明らかにされた。それによれば、茂庭層は、*Globigerinoides sicanus*とその子孫である *Praeorbulina glomerata*と *P. transitoria*が産し、*Orbulina*が産出しないことから、Blow (1969) のzone N. 8に属する。また、旗立層の最下部では、IWS15からzone N. 9の下限に初産出を持つ *Orbulina suturalis*が産出し、その上位のIWS16からzone N. 10の下限に初産出のある *Globorotalia peripheroacuta*がその祖先の *G. peripheroronda*とともに産出する。これらのことから旗立層最下部のIWS15-16は、zone N. 9からN. 10までの区間に相当する。なお、*O. suturalis*の初産出は旗立層の基底付近に、また、*G. peripheroacuta*の初産出は、IWS15の保存状態が悪いので断言はできないが、おそらくIWS16と15の間に存在する。

太白山セクション上部のHTT15と19の間には、zone N. 16の下限を規定する *Globorotalia acostaensis*の初産出が認められている (尾田・酒井, 1977)。しかし、旗立層産の *G. acostaensis*は、典型的な *G. acostaensis*とは形態が異なり、分類学的に問題があるので、旗立層上部にzone N. 16が存在するかどうかは疑問が残る (尾田, 1998私信)。

以上の微化石層序の研究と今回の研究により、次のような生層準相互の関係が明らかになった。

(1) *D. praedimorpha* var. *praedimorpha*の初産出 (D53) は、放散虫の *Cyrtocapsella tetrapera*の急減層準の直上にあることが確認できた。この関係は能登半島珠洲地域の飯塚珪藻土部層 (柳沢, 1999b) や一関地域の下黒沢層 (林ほか, 印刷中) でも確認されており、両生層準が広域的な対比に有用であることを示す。

(2) 旗立層では、下位より珪藻の *D. crassa*の第1アクメ (D52.5)、石灰質ナンノ化石の *Cyclicargolithus floridanus*の終産出、そして *D. praedimorpha* var. *praedimorpha*の初産出 (D53) の順序にあることがわかった。

次に、旗立層に認められた微化石の生層準の年代について検討する (第4図)。浮遊性有孔虫と石灰質ナンノ化

石の生層準の年代は Berggren *et al.* (1995) に、珪藻の生層準の年代は Yanagisawa and Akiba (1998) に、そして放散虫の生層準の年代は 本山・丸山 (1998) にそれぞれ準拠した。なお、石灰質ナンノ化石の *Cyclicargolithus floridanus*の終産出は、*Discoaster kugleri*の初産出に替わるCN5a/CN5b境界の代替生層準として化石帯認定の際に広く使用されているので、ここでは *C. floridanus*の終産出の年代として Berggren *et al.* (1995) によるCN5a/CN5b境界の年代 (11.8 Ma) を与えた。この生層準の年代に関しては、最近房総半島の木の根層上部で、この生層準の上位2 mにある凝灰岩の普通角閃石K-Ar年代として 11.7 ± 0.2 Maが報告された (Takahashi *et al.*, 1999c)。また、栃木県烏山地域の大金属層最下部でも、この生層準の上位1 mに挟まる凝灰岩の黒雲母K-Ar年代として 11.76 ± 0.19 Maが得られている (Takahashi *et al.*, 1999b)。したがって、*C. floridanus*の消滅年代が11.7-11.8 Ma前後であることは、非常に確実性が高い。

第4図から明らかなように、旗立層における珪藻と放散虫の生層準の年代の関係にはとくに矛盾はない。しかし、石灰質ナンノ化石の *C. floridanus*の終産出と *Catinaster coalitus*の初産出は、珪藻・放散虫の生層準よりも、100万年あまり年代が新しく、食い違いが著しい。

まず、*Cyclicargolithus floridanus*の終産出層準について検討する。渡辺・高橋 (1998) および Takahashi *et al.* (1999b) によれば、房総半島の木の根層・天津層では、*C. floridanus*の終産出は、*D. praedimorpha* var. *praedimorpha*の初産出 (D53) よりも上位にあることが確認されている。上述のように旗立層では、両生層準の層序関係はこれとは逆であるので、珪藻生層準を基準とすれば、旗立層では房総半島でよりも *C. floridanus*の終産出が早いことになる。また、会津地域でも、*C. floridanus*の終産出が珪藻の *Crucidentricula nicobarica*帯 (NPD 5A) より下位か同帯内にあると解釈できるデータが得られている (相田ほか, 1998)。このように、珪藻生層準を基準とすれば、*C. floridanus*の終産出の位置は場所によってずれがあることは確かである。

仙台を含む東北日本では、寒冷種を指標とする珪藻・放散虫層序が地層の対比に有効で信頼性が高いことが証明されているのに対して、温暖種を指標種とする浮遊性有孔虫・石灰質ナンノ化石層序は、指標種の産出が稀か散点的であって、その適用には限界があることがわかっている (Oda *et al.*, 1984など)。したがって、*C. floridanus*の終産出と珪藻・放散虫の生層準の年代に関する食い違いは、*C. floridanus*の終産出が同時的でなく時間のずれを持つこと、すなわち、温暖種である *C. floridanus*が、仙台のような寒流卓越地域では、南方に位置する房総半島よりも見かけ上早く産出が終了することによると考えたほうが理解しやすい。実際に、もし旗立層でも房総半島と同じ層準 (*D. praedimorpha* var. *praedimorpha*の初産出

の上位, 第4図の星の位置)に*C. floridanus*の終産出があると仮定すると, 生層準の年代の矛盾はほとんど解消する。

一方, 逆に*C. floridanus*の終産出層準が同時であると仮定し, それを基準とすると, *D. praedimorpha* var. *praedimorpha*は, 房総で早く産出し始め, 仙台ではそれよりも遅れて産出が始まると考えなくてはならない。しかし, 寒冷種である*D. praedimorpha* var. *praedimorpha*の分布特性を考えると, その初産出が南方に位置する房総で早く, 北方の仙台で遅れるというのは, 極めて考えにくい。このことから, やはり*C. floridanus*の初産出は, 緯度方向の異時性 (diachronism) があり, *C. floridanus*は, 旗立層では房総や烏山地域などの南方地域に比べ, より早く産出が終了したと考えるのが最も合理的である。

次に, *Catinaster coalitus*の初産出と珪藻・放散虫生層準との年代のずれについて考察する。まず, このずれが*C. floridanus*の終産出と同様に, 生層準の異時性による可能性を考えてみる。*C. coalitus*の初産出に地域による時間のずれがあると仮定し, 珪藻および放散虫生層準を基準としてみると, 旗立層における*C. coalitus*の初産出層準は, D53と*L. renzae*の終産出の間にあるので, その推定年代は12 Ma前後の値となる。一方, 低緯度地域での*C. coalitus*の初産出の年代は10.9 Maである (Berggren *et al.*, 1995)。したがって, *C. coalitus*の出現は低緯度地域でよりも, 仙台地域の方が相対的に早いことになってしまう。しかし, これは非常に考えにくいことである。なぜならば, 一般的に*C. coalitus*のような温暖種の出現は, 分布の中心域である低緯度域で早く, 分布の周辺域である中-高緯度域ではそれよりも遅れるからである (Aubry, 1995など)。このように, *C. coalitus*の初産出について生じた年代の不一致を, 生層準の異時性で説明することは難しい。

その他の可能性としては, この生層準と地磁気極性年代尺度との対比のずれや, この種に関する分類学的な問題などの要因が考えられる。しかし, いずれについても現在のところ十分に議論するだけのデータはないので, *C. coalitus*の初産出と珪藻・放散虫生層準との年代のずれに関する問題は, 今後の検討課題としたい。

4.3 堆積速度曲線と海緑石層

次に, 旗立層で認められた生層準の年代を基にして, 本層の堆積速度曲線を作成した (第4図)。なお, ここでは地層の圧密を考慮していないので, 堆積速度はみかけの値である。すでに考察したように, 石灰質微化石の生層準には問題があると考えられるので, ここでは珪質微化石の生層準に基づいて堆積曲線を作成した。

Ht10以下の旗立層最下部から茂庭層にかけては, 珪質微化石の生層準の位置がはっきりしないので, 堆積速度曲線の位置を確定することはできない。しかし, *S. heteromorphus*の終産出, *G. peripheroacuta*の初産出およ

び*O. suturalis*の初産出に矛盾しないように連続的な堆積速度曲線を描くとすれば, どうしても旗立層の最下部で堆積速度が極端に減少したと考えざるをえない。岩の沢における生層準のデータだけでは, 堆積速度が減少する区間を十分に特定することはできないが, ここでは旗立層最下部での堆積速度の減少が, すべて海緑石層の部分で起こったと仮定して堆積速度曲線を作成してみた。というのは, 実際に海緑石層で堆積速度が急減することが, 能登半島の水見地域, 珠洲地域および金沢地域での高分解能の珪藻化石層序を用いた研究で実証されているからである (渡辺, 1990; 柳沢, 1999a, b)。

上述のような仮定をおいてはいるものの, 海緑石層の形成年代は, 堆積速度曲線から約15 Maから13 Maと推定できる (第4図)。北陸地域では, 珪藻化石層序によって年代の判明している中新世の海緑石層として, *D. praelauta*帯のもの (16.3-15.9 Ma), *D. lauta*帯上部から*C. nicobarica*帯のもの (15.3-13.0 Ma), *D. dimorpha*帯のもの (10.0-9.2 Ma) の3層準が知られている (渡辺, 1990; 柳沢, 1999a, b)。旗立層最下部の海緑石層の推定年代は, このうち2番目の海緑石層の年代とおおよそ一致する。この層準の海緑石層は日本海側の中新統に最も広く発達しており (島田, 1986), 男鹿半島の西黒沢層と女川層の境界部にある海緑石層も珪藻化石層序 (小泉・的場, 1989) から判断してこの層準に対比できる。田口ほか (1969) は, 岩相の特徴から, 旗立層最下部の海緑石層を西黒沢層・女川層境界の海緑石層に対比できると考えたが, 今回の研究結果は彼らの推定を実証したことになる。

ところで, 植田・鈴木 (1973) は, 仙台市茂庭の海緑石層から採取した試料の海緑石についてK-Ar年代測定を行い, 12.6 Maと12.7 Maの年代値を報告した (誤差は示されていない。値は新壊変定数で補正; 柴田, 1981)。彼らは, この海緑石層を茂庭層最上部のものとしているが, 詳しい産地と層準を明示していない。しかし, 本報告で記載した海緑石層のほかには海緑石層はみあたらないので, 彼らが年代測定を行ったのは旗立層最下部の海緑石層である可能性が高い。報告されたK-Ar年代値は, 微化石年代から推定される海緑石層の年代の上限に近い値である。

これまで, 旗立層では主要な4種類の微化石 (浮遊性有孔虫・放散虫・石灰質ナノ化石・珪藻) について, 詳細な微化石層序学的研究が行われてきたが, この海緑石層については全く考慮されてこなかった。しかし, この海緑石層の堆積期間は約200万年にも及び, その中に多くの微化石生層準が集中していると予想されるので, 今後はこの付近の層準では試料採取の間隔を細かくして研究をする必要がある。

5. まとめ

旗立層下部が露出する仙台市太白区茂庭岩の沢において、珪藻化石層序の検討を行い、以下のことが明らかとなった。

1. 旗立層下部に、*Denticulopsis crassa*の第1アクメ(D52.5)と*D. praedimorpha* var. *praedimorpha*の初産出(D53)の2つの珪藻生層準が見出され、本層下部の珪藻化石層序がより詳細に明らかになった。
2. 旗立層では、放散虫の*Cyrtocapsella tetrapera*の急減層準は、*D. praedimorpha* var. *praedimorpha*の初産出層準の直下にあること、また、石灰質ナンノ化石の*Cyclicargolithus floridanus*の終産出がD52.5とD53の間にあることがわかった。また、珪藻および放散虫生層準との関係からみて、*C. floridanus*の終産出は非同時性を示すことが示唆された。
3. 旗立層最下部にある海緑石層の推定生成年代は約15 Maから13 Maまでの200万年間で、この年代は日本海側の中新統で最も広く発達する西黒沢層と女川層の境界の層準に発達する海緑石層の年代とおおよそ一致する。

この研究では、旗立層下部における珪藻の生層準と他の微化石の生層準との相互対比を明らかにすることができた。このデータは、今後さらに高い精度の複合微化石層序を構築してゆく上で重要と考えられる。

謝辞 熊本大学の尾田太良教授と海洋地質部の田中裕一郎博士には、それぞれ旗立層の浮遊性有孔虫と石灰質ナンノ化石についてご教示いただいた。石油資源開発株式会社技術研究所の秋葉文雄副主席研究員、資源エネルギー地質部の渡辺真人主任研究官および地質標本館の利光誠一博士には原稿を、読んでいただき有益なコメントをいただいた。深くお礼申しあげる。

文 献

- 相田 優・竹谷陽二郎・岡田尚武・長谷川四郎・丸山俊明・根本直樹 (1998) 会津地域における中新統の微化石層序と古海洋環境。福島県立博紀要, no.13, 1-119.
- Akiba, F. (1986) Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene through Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. *In* Kagami, H., Karig, D. E., Coulbourn, W. T., et al., *Init. Repts. Deep Sea Drilling Project, U. S. Govt. Printing Office, Washington D. C.*, 87, 393-480.
- Aubry, M.-P. (1995) From chronology to

stratigraphy: Interpreting the lower and middle Eocene stratigraphic record in the Atlantic Ocean. *SEPM Special Publ.*, no. 54, 213-274.

- Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher, C. C. III and Aubry, M.-P. (1995) A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. *SEPM Special Publ.*, no. 54, 129-212.
- Blow, W. H. (1969) Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. *In* Bronnimann, P. and Renz, H. H. eds., *Proc. First International Conference on Planktonic Microfossils (Geneva, 1967)*, Leiden, no. 1, 199-421.
- Hanzawa, S., Hatai, K., Iwai, J., Kitamura, N. and Shibata, T. (1953) The geology of Sendai and its environs. *Sci. Repts. Tohoku Univ. Second Ser. (Geol.)*, 25, 1-50.
- 林 広樹・柳沢幸夫・鈴木紀毅・田中裕一郎・斎藤常正 (印刷中) 岩手県一関市下黒沢地域に分布する中部中新統の複合微化石層序。地質雑。
- Honda, N. (1981MS) Upper Cenozoic calcareous nannofossil biostratigraphy of the Pacific side of Japan. Dr. dissertation, Tohoku Univ., 110p.
- Ishizaki, K. and Takayanagi, Y. (1981) 6. Sendai area. *In* Tsuchi, R. ed., *Neogene of Japan - Its Biostratigraphy and Chronology*, IGCP-114 national working group of Japan, 53-56.
- 北村 信・石井武政・寒川 旭・中川久夫 (1986) 仙台地域の地質。地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 134p.
- 小泉 格・的場保望 (1989) 西黒沢層の上限について。地質学論集, no.32, 187-195.
- Maruyama, T. (1984) Miocene diatom biostratigraphy of onshore sequences on the Pacific side of northeast Japan, with reference to DSDP Hole 438A (Part 2). *Sci. Repts. Tohoku Univ., Second Ser. (Geol.)*, 55, 77-140.
- 本山 功・丸山俊明 (1998) 中・高緯度北西太平洋地域における新第三紀珪藻・放散虫化石年代尺度: 地磁気極性年代尺度CK92およびCK95への適合。地質雑, 104, 171-183.
- 尾田太良 (1986) 新第三紀微化石年代尺度の現状と問題点—中部および東北日本を中心として—。北村 信教授記念地質学論文集, 297-312.
- 尾田太良・長谷川四郎・本田信幸・丸山俊明・船山政昭 (1983) 中新統浮遊性微化石層序の現状と問題点。石油技誌, 48, 71-87.
- Oda, M., Hasegawa, S., Honda, N., Maruyama, T.

- and Funayama, M. (1984) Integrated biostratigraphy of planktonic foraminifera, calcareous nannofossils, radiolarians and diatoms of Middle and Upper Miocene sequences of Central and Northeast Honshu, Japan. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **46**, 53-69.
- 尾田太良・酒井豊三郎 (1977) 旗立層中・下部の微化石層位—浮遊性有孔虫・放射虫—. 藤岡一男教授退官記念論文集, 441-456.
- Okada, H. and Bukry, D. (1980) Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973, 1975). *Marine Micropaleontol.*, **5**, 321-325.
- Saito, T. (1963) Miocene planktonic foraminifera from Honshu, Japan. *Sci. Rept. Tohoku Univ., Second Ser. (Geol.)*, **35**, 123-209.
- 柴田 賢 (1981) K-Ar法による新第三紀放射年代資料 (1979-1980). 土 隆一編, 日本の新第三系の生層序および年代層序に関する基本資料「続編」, 101-104.
- 島田昱郎 (1986) 中新世海緑石の層準とその石油地質学的意義. 田口一雄教授退官記念論文集, 149-160.
- 田口一雄・遠藤 毅・北川勝之 (1969) 仙台付近新第三系中に発見された溶結凝灰岩と海緑石砂岩 (要旨). *地質雑*, **75**, 95.
- Takahashi, M., Tanaka, Y., Mita, I. and Okada, T. (1999a) Geochronologic constraints on the age for the last occurrence (LO) of *Cyclicagolithus floridanus* (CN5a/CN5b boundary) in central Japan. *Abstract of 1999 Annual Meeting of Palaeont. Soc. Japan*, 150.
- Takahashi, M., Mita, I., Watanabe, M. and Motoyama, I. (1999b) Integrated stratigraphy of the Middle Miocene marine sequence in the Boso Peninsula, central Japan: a review. *Bull. Geol. Surv. Japan.*, **50**, 225-243.
- Takahashi, M., Mita, I. and Okada, T. (1999c) K-Ar age of the Am-4 Tuff related to the CN5a/CN5b boundary on the Miocene marine sequence in the Boso Peninsula, central Japan. *Japan. Assoc. Petrol. Technol.*, **64**, 282-287.
- 植田良夫・鈴木光郎 (1973) 東北日本産海緑石とセドナイトのK-Ar年代. *地質学論集*, no.8, 151-159.
- 柳沢幸夫 (1999a) 金沢市南部地域に分布する中新統の珪藻化石層序. *地調月報*, **50**, 49-65.
- 柳沢幸夫 (1999b) 能登半島珠洲地域の中新統の珪藻化石層序. *地調月報*, **50**, 167-213.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F. (1990) Taxonomy and phylogeny of the three marine diatom genera, *Crucidentricula*, *Denticulopsis* and *Neodenticula*. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **41**, 197-301.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F. (1998) Revised Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **104**, 395-414.
- 渡辺真人 (1990) 富山県氷見・灘浦地域の新第三系の層序—とくに姿層とその上位層との間の時間間隙について—. *地質雑*, **11**, 915-936.
- 渡辺真人・高橋雅紀 (1998) 房総半島における中部中新統の複合年代層序. 日本地質学会第105年学術大会講演要旨, 45.

(受付: 1998年10月29日; 受理: 1999年2月18日)