

松島地域の中新世珪藻化石層序の再検討

柳沢幸夫* 秋葉文雄**

Yukio YANAGISAWA and Fumio AKIBA (1999) Revised marine diatom biostratigraphy of the Miocene sequence in the Matsushima area, northeastern Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 50 (7), p. 431-448, 8 figs., 3 tables.

Abstract : We have revised the marine diatom biostratigraphy of Akiba *et al.* (1982) for the Miocene sequence in the Matsushima area, Miyagi Prefecture, northeastern Japan, and have proven that the high-resolution Neogene diatom biochronology proposed by Yanagisawa and Akiba (1998) can be applied to the Miocene in this area. The Miocene sequence in this area is composed of the Matsushimawan and Shida Groups in stratigraphically ascending order. Diatoms occur in the upper Matsushimawan Group and throughout the Shida Group. In the upper Matsushimawan Group, diatom zones of the upper *Crucidentricula kanayae* Zone (NPD 3 A), the *Denticulopsis praelauta* Zone (NPD 3 B) and the *D. lauta* Zone (NPD 4 A) of Akiba (1986) were identified with useful diatom biohorizons of Yanagisawa and Akiba (1998) including D 35, D 40, D 41, D 41.5 and D 42. In the Shida Group, diatom zones of the *Crucidentricula nicobarica* Zone (NPD 5 A), the *D. praedimorpha* Zone (NPD 5 B), the lower *D. dimorpha* Zone (NPD 5 D), the uppermost *D. katayamae* Zone (NPD 6 A) and the lowermost *Thalassionema schraderi* Zone (NPD 6 B) were recognized. A synthesis of biostratigraphy and chronostratigraphy has revealed that the Miocene sequence in this area are composed of six depositional units that are separated by relatively long hiatuses or unconformities. The lower Middle Miocene sequences in the Matsushima area can be precisely correlated with that in the Yatsuo area by the high-resolution diatom biostratigraphy. Correlation of the diatom biostratigraphy to the magnetostratigraphy in the Matsushimawan Group and Yatsuo area has serious discrepancy, suggesting possible errors in either diatom biostratigraphy or magnetostratigraphy.

要 旨

宮城県松島地域に分布する中新統の珪藻化石層序(秋葉ほか, 1982)の再検討を行い, 高い時間分解能の年代層序を確立した。Yanagisawa and Akiba (1998)の示した高分解能の珪藻化石層序が, 松島地域でも適用できることを明らかにした。*Denticulopsis lauta*帯(NPD 4 A)の基底と*D. praedimorpha*帯(NPD 5 B)の基底の層準は, 秋葉ほか(1982)の推定した位置よりもやや下位にあることが判明した。珪藻化石層序と既存の年代データに基づいて, 松島地域の中新統の年代分布を総括した。松島地域では中新世を通じて堆積期間よりも, 無堆積または不整合により失われてしまった期間のほうが長く, 堆積は6つの期間で断続的に起きている。松島地域と八尾地域の下部中新統最上部から中部中新統下部

にかけての層序は, 珪藻化石層序によって10-20万年の精度で対比することができる。両地域の岩相変化のパターンは, 不整合のタイミングも含めてこの時間精度で非常によく似ている。松島地域における珪藻化石層序と古地磁気層序の対応関係は, Chron C5 C/C5 B境界付近ではYanagisawa and Akiba (1998)と合うが, C5 Bn.2n付近では食い違う。また, 松島地域と八尾地域では, 珪藻化石層序に基づくかぎりその古地磁気層序のパターンは全く一致しない。これらのことは, 両地域での珪藻化石層序または古地磁気層序そのものに問題があることを示唆する。

1. はじめに

新第三紀珪藻化石層序は, 石灰質微化石の産出しない

* 地質標本館 (Geological Museum, GSJ)

** 石油資源開発(株)技術研究所 (JAPEX Research Center, 1-2-1 Hamada, Mihama, Chiba, 261-0025, Japan)

Keywords : diatom, biostratigraphy, biochronology, magnetostratigraphy, sedimentary rocks, Matsushima, Miyagi, Yatsuo, Japan, Matsushimawan Group, Shida Group, Miocene, Neogene

中-高緯度地域において信頼性の高い年代決定手法として広く用いられてきた(Koizumi, 1985; Akiba, 1986など). 最近では, 古地磁気層序との直接対比によってその年代決定の確実性が増すとともに, 新たに多数の生層準が識別され時間解像力がさらに向上した(Barron and Gladenkov, 1995; Yanagisawa and Akiba, 1998). 筆者らは, この高い時間分解能を持つ珪藻化石層序を用いて, 日本の新第三紀堆積物中に記録されたさまざまな地質イベントを従来よりも高精度で対比するための基礎的な研究を行ってきた(柳沢, 1999a, b, c, d, e). この論文では, その一環として行った宮城県松島地域に分布する中新統の珪藻化石層序に関する研究の結果を報告する.

松島地域の中新統の珪藻化石層序については, すでに秋葉ほか(1982)によって詳細な研究が行われ, その成果は当時の珪藻化石層序学の進歩に重要な貢献をした. その後, Yamazaki(1989)は同じ地域で古地磁気層序学的研究を行い, 中期中新世初頭における東北日本弧の回転に関するデータを提供するとともに, 下部中新統から中部中新統下部における古地磁気層序を確立した. その結果, 松島地域では珪藻化石層序と古地磁気層序の直接対比が可能になった. 日本の中新統では微化石層序と古地磁気層序の直接対比が成功しているところはほとんどなく, その意味で松島地域は, 新第三紀の地磁気微化石年代尺度の精度を向上させてゆく上で非常に重要な場所の1つと言える.

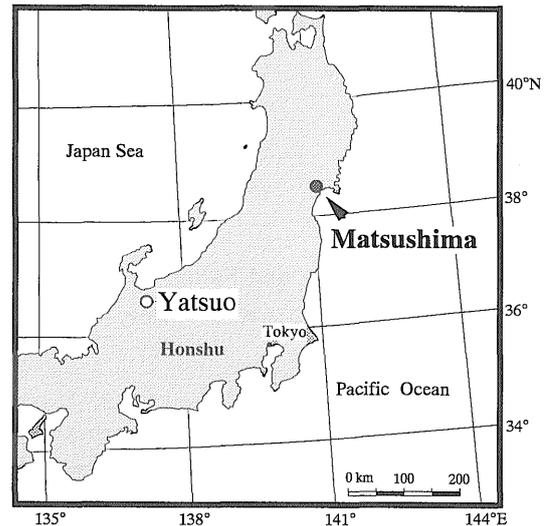
この研究では, その後の珪藻化石層序学の進歩を踏まえて, 秋葉ほか(1982)が研究した試料を再分析し, 松島地域に分布する中新統の珪藻化石層序を改訂・更新した. それに基づいて, すでに珪藻化石層序について報告した富山県八尾地域の中新統(柳沢, 1999c)との詳細な対比を試みるとともに, 珪藻化石層序と古地磁気層序を対比し, その問題点について考察した.

2. 層序・試料および方法

東北日本太平洋側の宮城県中部に位置する松島地域(第1図)には, 中新統の火山岩類と堆積岩類が広く分布する(石井ほか, 1982b). これらは下部の松島湾層群と上部の志田層群に分けられる(第2図).

松島湾層群は三畳系の利府層と白亜系の利府花崗岩類を不整合に覆い, 下位から塩釜層, 佐浦町層, 網尻層, 松島層および大塚層に区分される. 本層群の下部(塩釜層, 佐浦町層および網尻層下部)は, 安山岩質火砕岩, 火山円礫岩, 凝灰質砂岩および凝灰岩からなる陸成-汽水成堆積物である. 一方, 本層群上部(網尻層上部, 松島層および大塚層)は, 泥岩を主とする海成堆積物で, 間に水中火砕岩を多く挟む.

塩釜層は前期中新世の陸上の安山岩火砕岩からなる. 佐浦町層は塩釜層を不整合に覆う河川成堆積物で, 下部



第1図 松島地域の位置

Fig. 1 Location map of the Matsushima area.

は塩釜層由来の安山岩礫からなる礫岩, 上部は砂岩および泥岩からなる. 本層からは, *Comptonia-Liquidamber-Ficus* を特徴とする温暖な気候を示す塩釜植物群が産出する(Okutsu, 1955). 網尻層は砂岩と泥岩からなる地層で, 中-上部からは *Vicarya yokoyamai*, *Siratoria siratoriensis* を含む八尾-門ノ沢型動物群が産する(Hanzawa *et al.*, 1953).

松島層は珪長質凝灰岩を主とする海成層で, 下位より下部軽石凝灰岩部層(Mt_1), 中部軽石凝灰岩部層(Mt_2), 凝灰角礫岩部層(Mt_3), シルト岩部層(Mt_4)および上部軽石凝灰岩部層(Mt_5)の5部層に分けられる. 大塚層は主に珪藻質泥岩からなる地層で, シルト岩部層(Ot_1), 凝灰質砂岩砂質シルト岩部層(Ot_2), 珪藻質シルト岩部層(Ot_3)およびシルト岩砂岩部層(Ot_4)の4部層に細分される. このうち凝灰質砂岩砂質シルト岩部層(Ot_2)は, 斜交層理のある凝灰質砂岩からなり, この部分で堆積環境が一時的に浅海化したことを示す. また, 珪藻質シルト岩部層(Ot_3)は, 薄層理の発達した珪藻質泥岩からなる. なお以下の記載では, 松島層と大塚層の各部層は簡便のため記号名を用いて記述する.

志田層群は松島湾層群を不整合に覆い, 全体として海成の砂質堆積物を特徴とし, 幾つかの層準に水中火砕流堆積物を挟む. 下位から根古層, 三ツ谷層, 幡谷層, 鹿島台層, 番ヶ森山層および大松沢層に細分される. 三ツ谷層, 番ヶ森山層および大松沢層の基底には, それぞれ不整合が認められる.

根古層は斜交層理のある安山岩質の黒色凝灰質砂岩からなり, 最上部に軽石凝灰岩を挟む. 三ツ谷層は根古層を不整合に覆う砂岩層で, 下部は斜交層理のある粗粒砂岩, 上部は塊状の細粒砂岩からなる. 幡谷層は凝灰質砂岩を特徴とし, 最下部に火砕流堆積物(白坂山凝灰岩部

松島地域の中新統の珪藻化石層序 (柳沢・秋葉)

Age	Groups and formations	Column	Thickness (m)	Lithology	Diatom zones NPD	Remarks Age (Ma)				
Plio.	Sendai Group 仙台層群		100	Mudstone and sandstone Conglomerate	7B					
Late Mio.	志田層群		Omatsuzawa F. 大松沢層	150	Sandy mudstone and fine sandstone Pumice tuff	6B 6A				
			Bangamoriyama F. 番ヶ森山層	80-180	Cross-bedded coarse-grained sandstone Cross-bedded tuffaceous sandstone	5D				
			Kashimadai F. 鹿島台層	160	Fine-grained sandstone	5B				
Middle Miocene	Shida Group		Hataya F. 幡谷層 白坂山凝灰岩	180	Fine-grained tuffaceous sandstone Pumice tuff	5B	Shirasakayama Tuff M. ◀11.7±1.1 (FT) ²⁾			
			Mitsuya F. 三ツ谷層	280	Fine-grained sandstone Cross-bedded coarse-grained sandstone		5A			
			Neko F. 根古層	150	Pumice tuff Cross-bedded andesitic sandstone		◀13.3±1.2 (FT) ²⁾			
			松島湾層群		Otsuka Formation 大塚層	300	Mudstone and sandstone Thinly bedded diatomaceous mudstone Tuffaceous sandstone, sandy mudstone Dacite volcanic breccia Mudstone	4A	13.6±0.9 (K-Ar) ⁵⁾ ◀15.5±0.8 (K-Ar) ⁵⁾	
					Matsushima Formation 松島層	Mt5 Mt4 Mt3 Mt2 Mt1	350-400	Felsic tuff and tuff breccia Mudstone Felsic tuff and tuff breccia	3B 3A	◀15.8±1.0 (FT) ²⁾
						Ajiri Formation 網尻層	250	Interbedded tuffaceous sandstone and mudstone Tuff		Yatsuo-Kadonosawa-type fauna ⁴⁾ (<i>Vicarya</i> , <i>Siratoria</i> etc.) Shiogama Flora (Dajima-type) ³⁾ (<i>Comptonia</i> , <i>Liquidamber</i> etc.) ◀23.1±2.4 (FT) ²⁾ ◀22.3 (K-Ar) ¹⁾
Early Miocene	Matsushimawan Group		Sauramachi F. 佐浦町層	240	Sandstone and mudstone Volcanic conglomerate					
			Shiogama F. 塩釜層	250	Andesite volcanoclastics and tuff Breccia					
Cretaceous	Rifu Granitic Rocks 利府花崗岩類		500+	Granodiorite						
Triassic	Rifu F. 利府層		500+	Shale, sandy shale and sandstone						

第2図 松島地域新第三系の層序。石井ほか (1982b) を一部改訂。

Fig. 2 Stratigraphy of the Neogene sequence in the Matsushima area, modified after Ishii *et al.* (1982a). Open triangle : fission track age ; solid triangle : K-Ar age. References ; 1) Konda and Ueda (1980) ; 2) Ishii *et al.* (1983) ; 3) Okutsu (1955) ; 4) Hanzawa *et al.* (1953) and 5) Ishii *et al.* (1982 a).

層)が発達する。鹿島台層は細-極細粒砂岩からなり、多くの凝灰岩薄層を挟む。番ヶ森山層は鹿島台層を不整合に覆う斜交層理砂岩で、下部は軽石片を多量に含む凝灰質粗-極粗砂岩、上部は中-粗粒砂岩を特徴とする。大松沢層は砂質泥岩ないし細粒砂岩からなる地層で、下部に凝灰岩層を挟む。なお、本層は下位の番ヶ森山層とは整合と考えられていたが(石井ほか, 1982b)、珪藻層序では両者の間に時間間隙が推定されることから、この論文では両層の関係を不整合と考える。

この研究では、秋葉ほか (1982) が分析した松島湾層

群および志田層群の試料から、それぞれ19個と24個の試料を選んで再分析した(第3図および第4図参照)。なお、試料の採取地点は秋葉ほか (1982) の第3図を参照されたい。試料の処理および珪藻化石の算定法は、柳沢 (1999a) に従った。

3. 結果

珪藻化石の産出結果を第1-3表に示す。珪藻化石帯区分は、Akiba (1986) および Yanagisawa and Akiba

第1表 松島湾層群上部における珪藻産出表。

Table 1 Occurrence chart of diatom species in the upper Matsushimawan Group. Preservation, G : good, M : moderate, P : poor ; Abundance, A : abundant, C : common, R : rare ; Occurrence, + : present.

Formations	Aj	Matsushima F.						Otsuka Formation														
Diatom zones	Ck	<i>D. praelauta</i> (NPD 3B)						<i>Denticulopsis lauta</i> Zone (NPD 4A)														
Diatom biohorizons		D35			FCO <i>D. praelauta</i>			D40		D41			D41.5		D42							
Sample numbers	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
Original sample numbers	Aj	N	My	My	My	My	My	My	My	My	N	OT	My	OT	OT	OT	OT	Ya				
Preservation		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	M	P	M	P	M	P	M			
Abundance		R	R	R	R	R	R	R	R	R	A	R	A	R	C	R	C	R	C			
<i>Actinocyclus octonarius</i> Ehrenberg	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>A. ingens</i> f. <i>ingens</i> (Rattray) Whiting et Schrader	2	2	1	-	2	3	1	3	1	5	1	2	2	6	12	24	-	-	-	7	9	10
<i>A. ingens</i> f. <i>nodus</i> (Baldauf) Whiting et Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	1	1	+	2			
<i>A. ingens</i> f. <i>planus</i> Whiting et Schrader	-	2	9	1	2	-	2	2	1	+	-	2	6	4	14	16	13	13	16			
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	1	4	2	2	1	4	-	2	+	5	+	3	10	6	1	-	+	2	2			
<i>Aulacoseira</i> spp.	-	-	1	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Azpeitia endoi</i> (Kanaya) Sims et Fryxell	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	-	+	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>A. vetustissima</i> (Pantocsek) Sims	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Cavitatus jouseanus</i> (Sheshukova) Williams	1	1	1	+	-	1	1	+	3	+	-	+	+	1	2	1	4	2	2			
<i>C. lanceolatus</i> Akiba et Hiramatsu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	23	19	14	7			
<i>C. linearis</i> (Sheshukova) Akiba et Yanagisawa	-	-	+	-	-	+	-	-	1	1	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Cestodiscus</i> sp. (concave)	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Cocconeis californica</i> Grunow	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>C. costata</i> Gregory	-	-	-	-	-	-	1	-	+	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	
<i>C. scutellum</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	
<i>C. vitrea</i> Brun	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coscinodiscus lewisianus</i> Greville	-	-	1	-	-	-	-	+	+	-	-	-	1	1	-	1	2	-	2			
<i>C. marginatus</i> Ehrenberg	-	4	1	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	1	+	-	2	+	2			
<i>C. radiatus</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Crucidentacula kanayae</i> Akiba et Yanagisawa	-	-	1	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Delphineis miocenica</i> (Schrader) Andrews	-	-	1	-	2	-	3	3	2	2	2	2	-	1	-	+	-	1	3			
<i>D. penelliptica</i> Andrews	-	+	3	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+			
<i>Denticula norvegica</i> Schrader	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Denticulopsis ichikawae</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	32	17	34	14	8	5	8	1			
<i>D. lauta</i> (Bailey) Simonsen	-	-	-	-	-	-	-	4	22	22	28	38	23	10	8	2	5	4	13			
<i>D. okunoi</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	3	8			
<i>D. praelauta</i> Akiba et Koizumi	-	+	+	62	+	17	36	58	29	28	+	1	4	18	3	24	10	13	6	1	+	11
Girdle view of <i>D. lauta</i> group	-	-	-	-	-	-	-	-	+	1	4	18	3	24	10	13	6	1	+	11		
<i>Eucampia</i> sp. A (= <i>Hemiaulus polymorphus</i>)	-	-	1	-	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	+			
<i>Goniothecium odontella</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Grammatophora</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	1	-	-	+	-			
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-			
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba	1	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	+	-	2	+	+	-	+	-			
<i>Kisseleviella carina</i> Sheshukova	5	12	3	15	-	6	11	1	+	3	29	+	+	+	5	1	1	+	1			
<i>Mediaria magna</i> Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	1	-	-	-	-	-	-	-	
<i>M. splendida</i> Sheshukova	-	+	-	1	-	+	-	+	1	2	+	+	+	1	1	+	+	+	+			
<i>Melosira sol</i> (Ehrenberg) Kützing	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+			
<i>Nitzschia challengerii</i> Schrader	-	-	-	5	-	1	1	+	2	+	1	1	+	-	1	+	3	+	1			
<i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) Agardh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	-	1	1	1	5	1	1	1	1	-	-	+	+	-	2	-	2	15	3			
<i>Planifolia tribranchiata</i> Ernissee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundstöm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-			
<i>P. interposita</i> (Hajós) Jordan et Priddle	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	1	1	+	-	+	+	+	1	+			
<i>Pseudodimerogramma elliptica</i> Schrader	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	+	-			
<i>Raphidodiscus marylandicus</i> Christian	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-			
<i>Rhaphoneis scalaris</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
<i>Rhizosolenia miocenica</i> Schrader	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	
<i>R. styliformis</i> Brightwell	-	1	-	-	-	1	-	1	1	-	+	1	+	-	-	+	1	-	1	-	1	
<i>Rouxia naviculoides</i> Schrader	-	-	-	1	-	-	-	-	-	+	+	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehrenberg) Hasle et Sims	-	+	-	-	-	-	-	2	2	+	-	-	-	+	2	-	1	2	2			
<i>Stephanogonia hanzawae</i> Kanaya	-	-	-	-	-	-	2	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Stephanopyxis</i> spp.	2	1	3	-	4	-	-	-	-	-	-	3	1	2	4	-	3	1	-			
<i>Thalassionema</i> cf. <i>hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	1	-	-			
<i>T. nitzschoides</i> (Grunow) H. et M. Peragallo	88	67	67	10	77	61	25	18	31	27	7	11	13	12	12	16	17	25	13			
<i>T. obtusa</i> (Grunow) Andrews	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
<i>Thalassiosira</i> cf. <i>grunowii</i> Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
<i>T. leptopus</i> (Grunow) Hasle et Fryxell	-	-	+	-	1	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-			
<i>T. mizunamiensis</i> Yanagisawa	-	1	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2	3	+	+	+	+	+			
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+	+	1	+	+	+	+			
<i>Triceratium condecorum</i> Brightwell	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
<i>T. arcticum</i> Brightwell	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-			
<i>Trochosira spinosa</i> Kitton	-	2	2	1	-	4	10	4	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-			
Total number of valves counted	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

松島地域の中新統の珪藻化石層序 (柳沢・秋葉)

第2表 志田層群下部における珪藻産出表。

Table 2 Occurrence chart of diatom species in the lower Shida Group. Preservation, G : good, M : moderate, P : poor ; Abundance, A : abundant, C : common, R : rare ; Occurrence, + : present.

Formations	Mitsuya Formation				Hataya F.			Kashimadai Formation					
Diatom zones	<i>C. nicobarica</i>				<i>Denticulopsis praedimorpha</i> (NPD 5B)								
Diatom biohorizons	D51				D52					D53			
Original sample numbers	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	N 7912	N 1305	N 424	N 420	N 418	N 58	Os 7	K 177	K 181N	K 169	K 170	K 99	
Preservation	P	P	P	P	P	G	P	P	P	P	P	P	
Abundance	R	R	R	R	R	C	R	R	R	R	R	R	
<i>Actinocyclus ellipticus</i> Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
<i>A. ingens</i> f. <i>ingens</i> (Rattray) Whiting et Schrader	30	18	2	8	37	+	2	18	7	5	44	5	
<i>A. ingens</i> f. <i>nodus</i> (Baldauf) Whiting et Schrader	3	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>A. ingens</i> f. <i>planus</i> Whiting et Schrader	3	-	-	-	-	-	1	-	3	-	36	-	
<i>A. octonarius</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	3	-	1	3	-	-	1	-	+	-	-	-	
<i>Azpeitia endoi</i> (Kanaya) Sims et Fryxell	1	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	
<i>Bogorovia praepaleacea</i> (Schrader) Jousé	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
<i>Cavitatus jouseanus</i> (Sheshukova) Williams	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	
<i>C. miocenicus</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	
<i>Cocconeis californica</i> Grunow	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
<i>C. costata</i> Gregory	-	2	1	-	-	-	-	1	-	-	+	-	
<i>C. scutellum</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
<i>Coscinodiscus lewisianus</i> Greville	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>C. marginatus</i> Ehrenberg	-	-	1	2	3	-	3	7	4	-	1	1	
<i>C.</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	
<i>Crucidenticulanicobarica</i> (Grunow) Akiba et Yanagisawa	2	8	22	5	1	8	5	2	6	-	-	-	
<i>C. punctata</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	
<i>Delphineis surirella</i> (Ehrenberg) Andrews	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	
<i>Denticulopsis crassa</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	
<i>D. lauta</i> (Bailey) Simonsen	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>D. praedimorpha</i> var. <i>minor</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	-	-	2	+	1	+	1	+	3	2	
(Closed copula)	-	-	-	-	1	-	-	+	+	-	1	+	
<i>D. praedimorpha</i> var. <i>praedimorpha</i> Akiba ex Barron	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	
(Closed copula)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	
<i>D. simonsenii</i> Yanagisawa et Akiba	10	33	30	30	24	30	22	36	40	35	8	9	
<i>D. vulgaris</i> (Okuno) Yanagisawa et Akiba	-	-	-	-	-	3	1	-	+	-	-	3	
S-type girdle view of <i>D. simonsenii</i> group	3	7	5	5	3	23	25	22	19	11	2	2	
D-type girdle view of <i>D. simonsenii</i> group	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	
<i>Eucampia</i> sp. A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	
<i>Goniothecium odontella</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	
<i>Grammatophora</i> spp.	-	-	-	3	-	-	-	2	-	-	-	-	
<i>Hemiaulus bipons</i> (Ehrenberg) Grunow	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova	-	-	-	-	-	-	1	1	+	+	-	1	
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba	4	5	7	-	-	1	2	2	3	4	1	12	
<i>Kisseleviella carina</i> Sheshukova	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	
<i>Mediaria splendida</i> Sheshukova	-	-	1	-	+	+	+	+	+	-	-	-	
<i>Nitzschia challengerii</i> Schrader	-	1	1	-	+	1	1	-	-	-	-	-	
<i>N.</i> cf. <i>grunowii</i> Hasle	-	-	-	-	-	1	-	-	+	-	-	-	
<i>N. heteropolica</i> Schrader	+	-	-	-	1	1	1	+	2	+	+	+	
<i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) Agardh	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	4	4	-	-	1	-	1	1	-	15	-	4	
<i>Planifolia tribranchiata</i> Ernissee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundstöm	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	
<i>P. barboi</i> (Brun) Jordan et Priddle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	
<i>P. praebarboi</i> (Schrader) Jordan et Priddle	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	
<i>Pterotheca subulata</i> Grunow	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	
<i>Rhizosolenia miocenica</i> Schrader	-	-	-	-	-	1	+	-	+	-	-	+	
<i>R. styliformis</i> Brightwell	-	-	1	-	-	+	-	-	-	-	-	8	
<i>Rouxia californica</i> Peragallo	-	2	-	+	+	1	-	-	+	-	-	+	
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehrenberg) Hasle et Sims	-	-	-	-	1	-	1	1	+	-	-	1	
<i>Stephanogonia hanzawae</i> Kanaya	1	-	-	-	1	+	-	1	-	-	+	-	
<i>Stephanopyxis</i> spp.	-	9	10	7	-	1	-	2	-	1	1	+	
<i>Thalassionema hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	
<i>T. nitzschiioides</i> (Grunow) H. et M. Peragallo	34	6	17	35	25	27	16	3	15	25	4	39	
<i>Thalassiosira grunowii</i> Akiba et Yanagisawa	-	1	-	-	-	2	11	+	+	+	-	4	
<i>T. leptopus</i> (Grunow) Hasle et Fryxell	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow	+	1	+	-	+	-	-	+	+	+	-	+	
<i>Triceratium condecorum</i> Brightwell	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total number of valves counted	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

第3表 志田層群上部における珪藻産出表.

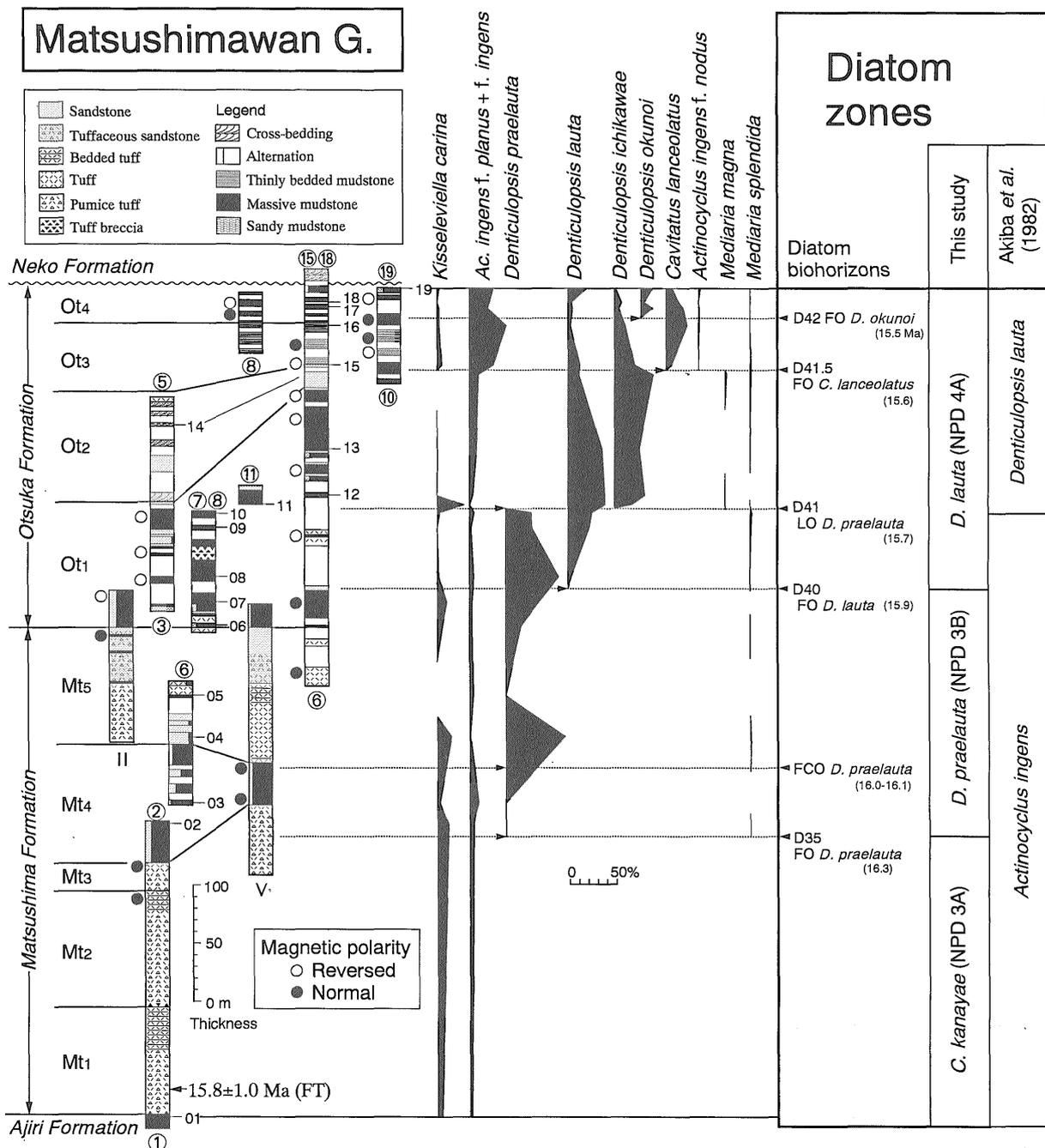
Table 3 Occurrence chart of diatom species in the upper Shida Group. Preservation, G : good, M : moderate, P : poor ; Abundance, A : abundant, C : common, R : rare ; Occurrence, + : present.

Formations	Bangamori-yama F.		Omatsuzawa Formation											
	<i>D. dim.</i>		<i>D. kata.</i>		<i>Thalassionema schraderi</i> Zone (NPD 6B)									
Diatom zones														
Diatom biohorizons			D60		D65									
Sample numbers	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43		
Original sample numbers	Os	Os	K	Os	Nx	Nx	Nx	Nx	Nx	Nx	Nx	Nx		
Preservation	P	P	P	M	P	P	P	P	P	P	P	M		
Abundance	R	R	R	C	R	R	R	R	R	R	R	R		
<i>Actinocyclus ellipticus</i> Grunow	-	-	+	-	1	-	1	2	2	-	-	-		
<i>A. ingens</i> f. <i>ingens</i> (Rattray) Whiting et Schrader	-	2	-	-	-	-	11	-	2	1	+	+		
<i>A. ingens</i> f. <i>planus</i> Whiting et Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-		
<i>A. octonarius</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-		
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	2	-	10	2	7	13	10	17	10	5	2	10		
<i>Adoneis pacifica</i> Andrews	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-		
<i>Aulacoseira</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2		
<i>Azpeitia endoi</i> (Kanaya) Sims et Fryxell	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-		
<i>A. nodulifera</i> (Schmidt) Fryxell et Sims	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	+		
<i>Cavitatus jouseanus</i> (Sheshukova) Williams	-	-	1	+	+	-	-	-	-	-	-	1		
<i>Cocconeis californica</i> Grunow	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-		
<i>C. costata</i> Gregory	-	-	1	-	-	-	1	-	-	4	-	+		
<i>C. scutellum</i> Ehrenberg	-	1	-	-	-	-	-	-	2	-	+	+		
<i>C. vitrea</i> Ehrenberg	-	1	3	-	-	1	-	-	-	-	-	-		
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenberg	2	1	5	4	9	1	9	1	5	5	4	3		
<i>C.</i> spp.	-	-	3	-	-	1	1	-	1	1	-	-		
<i>Cymatosira debyi</i> Tempère et Brun	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Delphineis sachalinensis</i> (Sheshukova) Andrews	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1		
<i>D. surirella</i> (Ehrenberg) Andrews	4	-	1	1	+	1	-	2	1	5	3	2		
<i>Denticulopsis crassa</i> Yanagisawa et Akiba	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>D. dimorpha</i> var. <i>dimorpha</i> (Schrader) Simonsen (Closed copula)	5	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	1	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>D. ichikawae</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+		
<i>D. katayamae</i> Maruyama	-	-	+	22	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>D. lauta</i> (Bailey) Simonsen	-	-	2	-	-	-	+	+	-	1	-	+		
<i>D. praedimorpha</i> var. <i>minor</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-		
<i>D. praekatayamae</i> Yanagisawa et Akiba	-	-	+	4	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>D. praelauta</i> Akiba et Koizumi	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	+		
<i>D. simonsenii</i> Yanagisawa et Akiba	4	4	3	+	-	-	1	-	-	-	-	-		
<i>D. vulgaris</i> (Okuno) Yanagisawa et Akiba	4	1	1	+	-	-	-	-	-	+	-	-		
S-type girdle view of <i>D. simonsenii</i> group	2	+	+	2	-	-	-	-	-	-	-	-		
D-type girdle view of <i>D. simonsenii</i> group	-	-	+	6	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Diploneis smithii</i> (Brébisson) Cleve	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-		
<i>Grammatophora</i> spp.	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-		
<i>Hemidiscus cuneiformis</i> Wallich	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-		
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova	2	5	4	1	1	4	4	-	3	1	+	1		
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba	2	1	-	4	3	1	2	-	5	10	8	6		
<i>Koizumia akibae</i> Yanagisawa	-	-	+	-	2	-	-	1	1	-	2	2		
<i>Nitzschia cylindrica</i> Burckle	-	-	+	-	1	-	-	-	-	-	-	-		
<i>N. fossilis</i> (Frenguelli) Kanaya et Koizumi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1		
<i>N.</i> cf. <i>grunowii</i> Hasle	-	-	1	-	-	-	-	-	-	2	-	-		
<i>N. heteropolica</i> Schrader	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>N. miocenica</i> Burckle	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>N. praereinholdii</i> Schrader	-	-	1	-	-	-	-	-	-	+	-	-		
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	8	25	36	18	34	35	31	30	34	23	23	13		
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundstöm	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	1		
<i>P. barboi</i> (Brun) Jordan et Priddle	-	-	-	1	1	3	2	2	-	+	3	1		
<i>Pseudopodosira elegans</i> Sheshukova	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	2		
<i>Pterotheca subulata</i> Grunow	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	+		
<i>Rhaphoneis amphiceros</i> Ehrenberg	-	1	-	1	-	-	-	-	-	2	+	1		
<i>Rhizosolenia styliformis</i> Brightwell	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	1		
<i>Rouxia californica</i> Peragallo	-	-	2	+	-	1	2	+	+	+	2	1		
<i>Stellarima microtrias</i> (Ehrenberg) Hasle et Sims	1	-	-	-	1	3	1	1	-	1	1	1		
<i>Stephanopyxis</i> spp.	1	-	-	-	-	-	-	1	1	2	-	-		
<i>Thalassionema hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader	+	-	+	-	-	-	-	-	-	1	1	+		
<i>T. nitzschoides</i> (Grunow) H. et M. Peragallo	61	54	22	31	36	32	22	35	27	30	38	44		
<i>T. schraderi</i> Akiba	-	-	-	-	+	-	1	-	-	-	+	2		
<i>Thalassiosira burckliana</i> Schrader	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	+		
<i>T. grunowii</i> Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-		
<i>T. leptopus</i> (Grunow) Hasle et Fryxell	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-		
<i>T. manifesta</i> Sheshukova	-	-	+	-	-	3	-	2	-	2	-	3		
<i>T. miocenica</i> Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+		
<i>T. nidulus</i> (Tempère et Brun) Jousé	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	1	-		
<i>T. temperei</i> (Tempère et Brun) Akiba et Yanagisawa	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-		
<i>T.</i> spp.	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	6	1		
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	1	+		
Total number of valves counted	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		

(1998) の北太平洋中-高緯度珪藻化石帯をその NPD コード番号とともに用いる。また、対比に有用な生層準は Yanagisawa and Akiba (1998) の D コード番号を使用する。なお、この論文では以下のような略号を使う。FO (first occurrence: 初産出), LO (last occurrence: 終産出), FCO (first common occurrence: 初多産出), LCO (last common occurrence: 終多産出)。

3.1 松島湾層群

松島湾層群では、網尻層最上部から大塚層最上部までの区間で珪藻化石が産出する (第3図, 第1表)。網尻層最上部の試料 no. 1 は、*Denticulopsis praelauta* および *D. lauta* を欠き、*Actinocyclus ingens* を含む珪藻化石群が産出することから、Akiba (1986) の *Crucidentricula kanayae* 帯 (NPD 3A) に属すると判断できる。また、この試料は *C. kanayae* が産しないことから、*C. kana-*



第3図 松島湾層群上部における主な珪藻種の層序学的分布。

Fig. 3 Stratigraphic distribution of selected diatom species in the upper Matsushimawan Group. Paleomagnetic data were taken from Yamazaki (1989). Stratigraphic columnar sections were simplified after Ishii *et al.* (1982 b) and Akiba *et al.* (1982). Numbers below the columnar sections are those of Ishii *et al.* (1982 b) and Yamazaki (1989). Numbers above the columnar sections are those of Akiba *et al.* (1982).

yae の LCO (D33) よりも上位, すなわち *C. kanayae* 帯の上部に位置する。

松島層の試料 no. 2 から大塚層最下部の試料 no. 7 までは, *Denticulopsis praelauta* を含み *D. lauta* を欠くことから, *D. praelauta* 帯 (NPD 3B) に属する。また, 大塚層の試料 No. 8 から no. 19 までは, *D. lauta* を含み *D. hyalina* を産出しないことから, *D. lauta* 帯 (NPD 4A) と認定される。

生層準として, 松島層中に *D. praelauta* の FO (D35), 大塚層中に *D. lauta* の FO (D40), *D. praelauta* の LO (D41), *Cavitatus lanceolatus* の FO (D41.5) および *Denticulopsis okunoi* の FO (D42) が確認された。また, *D. praelauta* の FCO (または急増) 層準が, 松島層の Mt4 部層の最上部に認められた。この生層準は, Yanagisawa and Akiba (1998) では取り上げられていないが, 北陸地域の珪藻化石層序では対比に有効なことが確かめられている (柳沢, 1999c, d)。

3.2 志田層群

志田層群では三ツ谷層上部から大松沢層上限までの区間で珪藻化石が産出するが, 根古層と三ツ谷層中下部からは珪藻化石は見つかっていない (第4図, 第2表, 第3表)。三ツ谷層上部の試料 No. 20 から no. 23 までは, *Denticulopsis simonsenii* が多産し, *Crucidentacula nicobarica* を含みかつ *Denticulopsis praedimorpha* を産しないことから, *C. nicobarica* 帯 (NPD 5A) と認定できる。その上位の三ツ谷層最上部の試料 no. 24 から鹿島台層の no. 31 までは *D. praedimorpha* を含むので, *D. praedimorpha* 帯 (NPD 5B) に属する。

番ヶ森山層の試料 no. 32, 33 は, *Denticulopsis dimorpha* var. *dimorpha* を産することから *D. dimorpha* 帯 (NPD 5D) と判定される。これらの試料は, *Denticulopsis praekatayamae* と *D. dimorpha* var. *areolata* が含まれていないので, *D. dimorpha* 帯中部にある *D. praekatayamae* の FO 層準 (D57) より下位に相当する。

大松沢層下部の試料 no. 34, 35 は, *Denticulopsis katayamae*, *D. praekatayamae* を産し *D. dimorpha* を含まないので, *D. katayamae* 帯 (NPD 6A) に属する。また, 大松沢層中上部の試料 No. 36-43 は, *Thalassionema schraderi* が産出し *D. katayamae* が産しないことから, *T. schraderi* 帯 (NPD 6B) と判定される。さらに, これらの試料は *T. schraderi* が多産しないので, *T. schraderi* 帯下部にある *T. schraderi* の FCO 層準 (D66) よりも下位に位置づけられる。

生層準として, *D. praedimorpha* var. *minor* の FO (D51) が三ツ谷層最上部に, *C. nicobarica* の LO (D52) と *D. praedimorpha* var. *praedimorpha* の FO (D53) が鹿島台層中部に認められた。また, *D. katayamae* の LO (D65) が大松沢層下部で確認された。

4. 珪藻化石層序と年代

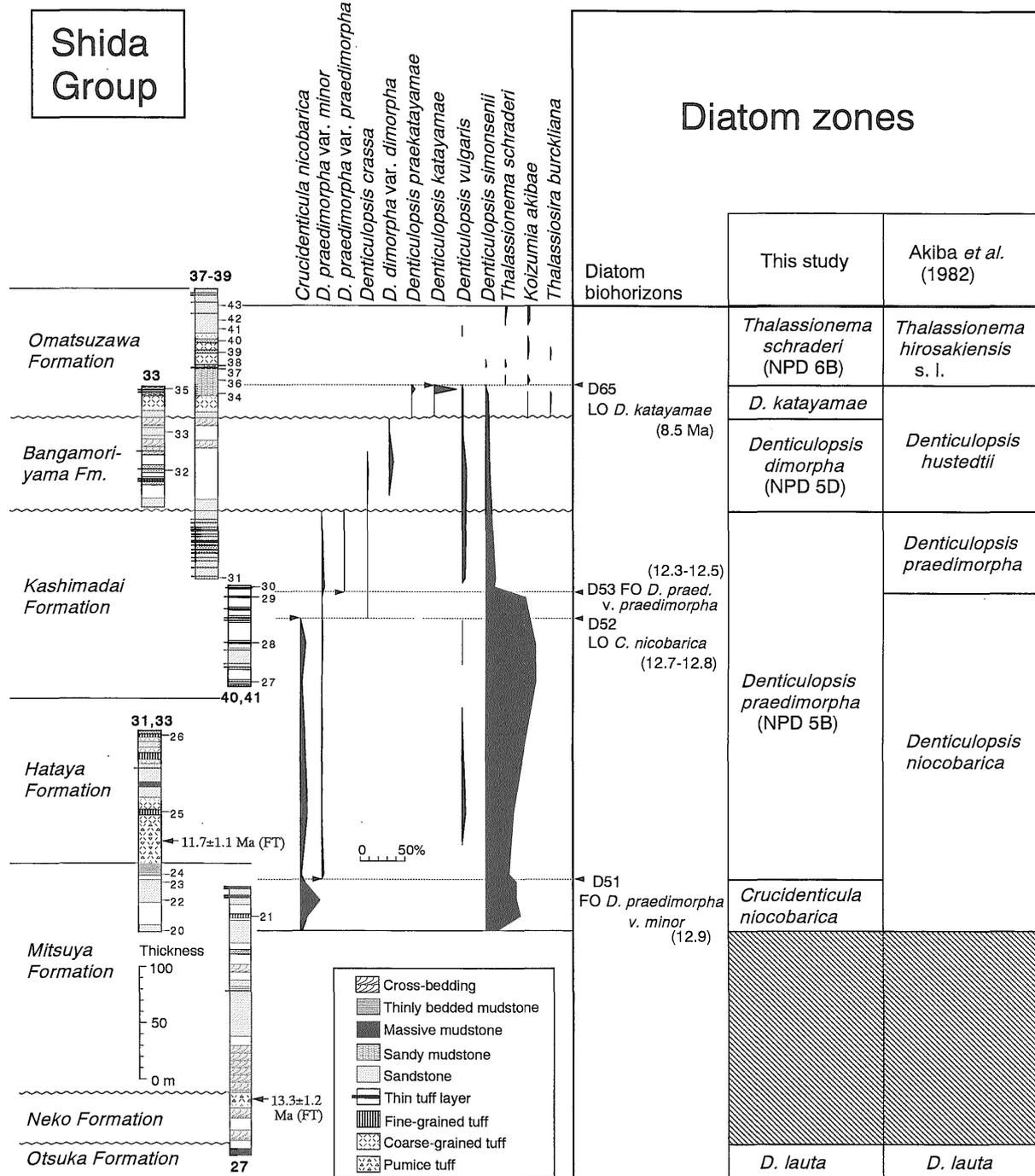
4.1 秋葉ほか (1982) との比較

今回の研究によって, Yanagisawa and Akiba (1998) が提示した幾つかの新しい生層準が本地域でも確認され, 従来よりも精度の高い珪藻化石層序が本地域でも適用できることがわかった。その結果は, 秋葉ほか (1982) とは本質的な点では異なるものではないが, 1982年以降の研究の進展によって化石帯が細分されたり改名されたりしているので, 両研究は見かけ上一致しない点がある (第3図および第4図)。こうした違いについては, Yanagisawa and Akiba (1998) の Fig. 3 を参照されたい。

ここでは, 秋葉ほか (1982) と若干異なる結果となった次の2点についてのみ議論する。

1) *D. lauta* 帯の基底 (*D. lauta* の FO) の位置を, 本研究では秋葉ほか (1982) に比べ, 層厚にして 65 m ほど下位の層準に認定している (第3図)。この違いの原因は, 1982年当時まだ *D. praelauta* が正式に記載されておらず, *D. praelauta* と *D. lauta* を区別する分類基準が曖昧であったことにある。秋葉ほか (1982) の産出表では, 現在の *D. praelauta* に相当する個体は *Denticulopsis* sp. A として算定されてはいるものの, *D. sp. A* は現在の *D. praelauta* の種概念よりもやや広く, 側肋 (marginal ribs) がわずかに発達した最も原始的な *D. lauta* をも含んでいる。このために秋葉ほか (1982) では, *D. lauta* の FO は本研究よりも上位に認定されている。

2) *D. praedimorpha* 帯の基底, すなわち *D. praedimorpha* の FO (D51) は, 秋葉ほか (1982) では鹿島台層の中部にある (第4図)。これに対し, 本研究ではその約 250 m 下位の三ツ谷層最上部にこの生層準を認めた。この食い違いも, 基本的には分類上の問題による。秋葉ほか (1982) では, 種 *D. praedimorpha* の中で最も原始的な形態を示す *D. praedimorpha* var. *minor* が認識されていなかった。この変種は 1990 年になってから Yanagisawa and Akiba (1990) によって記載されたタクソンで, 秋葉ほか (1982) では *Denticulopsis* cf. *lauta* または *D. aff. lauta* と同定されていて, 種 *D. praedimorpha* の中には含まれていない。したがって, 当時の種 *D. praedimorpha* は現在の *D. praedimorpha* var. *praedimorpha* と var. *robusta* のみからなる。このため, 秋葉ほか (1982) における *D. praedimorpha* 帯の基底は, 本論文での *D. praedimorpha* var. *praedimorpha* の FO に一致することになる (第4図)。変種 *minor* は非常に小さく, 一般的に産出量も稀であるため, 現在でもその FO を見つけるには相当な注意を必要とする (Yanagisawa and Akiba, 1998)。



第4図 志田層群における主な珪藻種の層序学的分布。

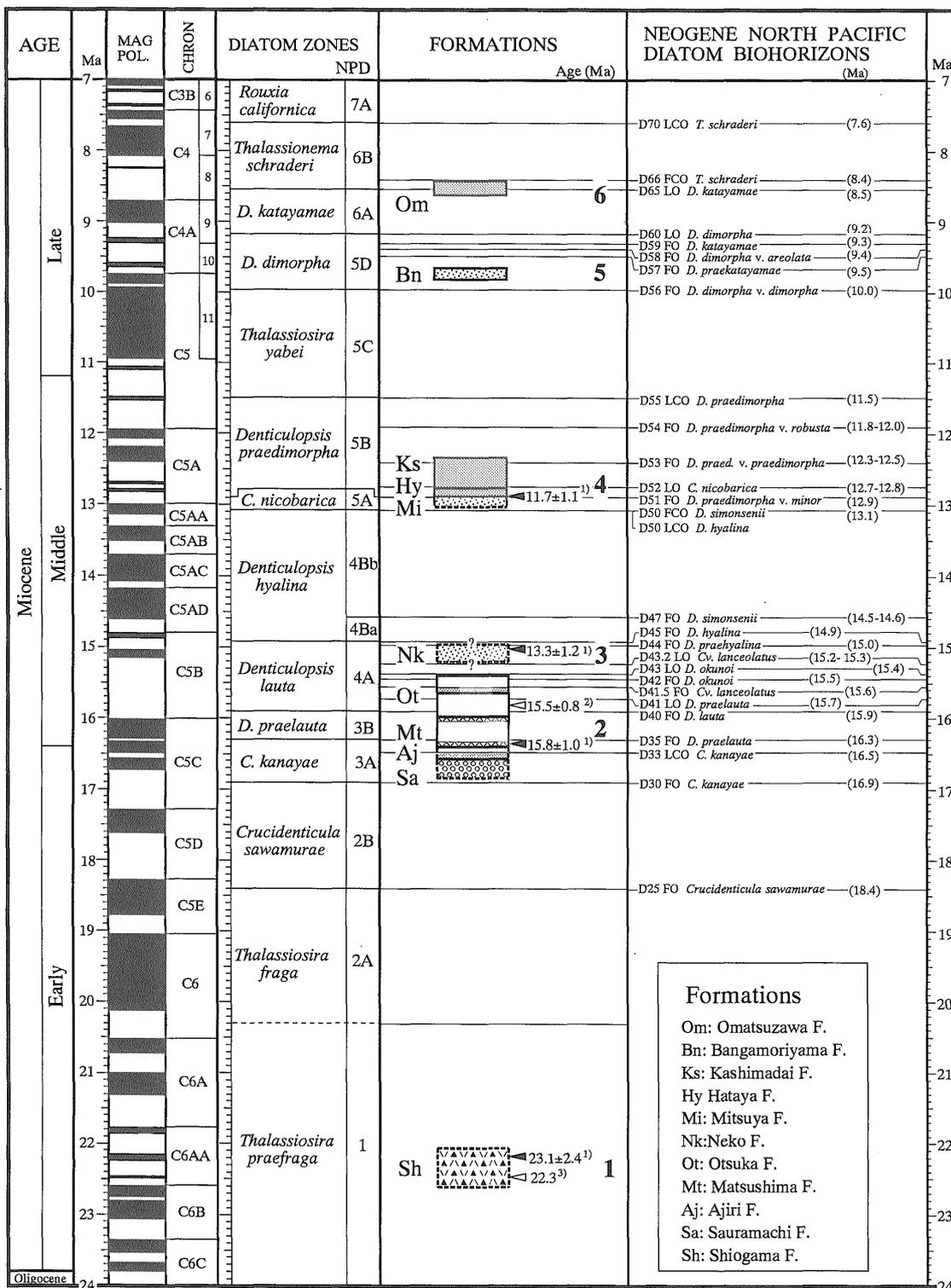
Fig. 4 Stratigraphic distribution of selected diatom species in the Shida Group. Stratigraphic columnar sections are simplified after Akiba *et al.* (1982). Numbers of the columnar sections are those of Akiba *et al.* (1982).

4.2 松島地域の年代層序のまとめ

松島地域の中新統に関しては、すでに多くの研究によって年代・化石・古地磁気に関する基礎的なデータが豊富にそろっている。したがって、松島地域は日本の中新世における地史イベントを明らかにするための基準となる地域の1つになりうる。そこで、ここではこれらのデータに基づいて、現時点における松島地域の中新統の

年代層序について総括した(第5図)。なお、この地域のフィッシュトラック年代はすべて標準化の勧告(Hurford, 1990)の前に測定された値なので、考察にあたっては参考値に留める。

松島湾層群最下部の塩釜層からは、22.3 MaのK-Ar年代(今田・植田, 1980)と23.1±0.8 Ma(誤差は1σ, 以下同様)のフィッシュトラック年代(石井ほか,



第5図 松島地域の中新統の堆積年代.

Fig. 5 Age of the Miocene sequence in the Matsushima area. Diatom biochronology and diatom biohorizons were taken from Yanagisawa and Akiba (1998). 1-6: Depositional units. Open triangle: fission track age; solid triangle: K-Ar age. References; 1) Ishii *et al.* (1983); 2) Ishii *et al.* (1982a); and 3) Konda and Ueda (1980).

1983) が報告されており、本層は 22-23 Ma 前後の陸上火山活動による堆積物であると考えられる。

佐浦町層からは直接年代を示す資料はない。しかし、本層は *Comptonia-Liquidamber-Ficus* を特徴とするい

わゆる台島型植物群に含まれる温暖な塩釜植物群が産出すること (Okutsu, 1955), さらに貝類化石および珪藻化石から 16-17 Ma の堆積物と考えられる網尻層とは岩相が漸移することから、16-17 Ma 前後の河川成堆積物

であると考えられる。したがって、下位の塩釜層とは500 万年以上の時間間隙があると推定される。

網尻層からは *Vicarya yokoyamai*, *Siratoria siratoriensis* を含むいわゆる八尾-門ノ沢型の貝類動物群が産する。この動物群は珪藻化石層序では、常に *C. kanayae* 帯かその直下に産する (入月・松原, 1994; 柳沢, 1999 a, c)。さらに、本層最上部は珪藻化石帯の *C. kanayae* 帯の上部、すなわち *C. kanayae* の LCO (D33, 16.5 Ma) と *D. praelauta* の FO (D35, 16.3 Ma) の間に位置づけられる。したがって、下限の年代に不確実さはあるものの、網尻層は 17-16.4 Ma の堆積物であると推定できる。

松島層は *C. kanayae* 帯最上部から *D. praelauta* 帯最上部の区間 (約 16.4-16.0 Ma) に属する。この珪藻化石年代は、石井ほか (1983) によって報告された松島層 Mt₁ 部層のジルコンフィッシュントラック年代 15.8±1.0 Ma とは矛盾しない。

大塚層は *D. praelauta* 帯最上部から *D. lauta* 帯中部 (D42 と D43 の間) の区間、すなわち年代では 16.0-15.4 Ma の区間に位置づけられる。年代値としては、大塚層 Ot₁ 部層中部のデイサイト火山角礫岩層に対比される塩竈地域の東宮浜層デイサイト溶岩の K-Ar 年代 15.5±0.8 Ma がある (石井ほか, 1982a)。この年代値は上述の珪藻年代とは矛盾しない。このほか、石井ほか (1982 a) はやはり東宮浜層の安山岩溶岩の K-Ar 年代として 13.6±0.9 Ma を報告しているが、この安山岩は東宮浜層に含まれるかどうかは疑問がある。

根古層からは、年代決定に有効な微化石はこれまでのところ見つかっていない。ただし、下位の大塚層の上限は 15.4 Ma、上位の三ツ谷層の下限の年代は少なくとも *C. nicobarica* 帯 (12.9-13.1 Ma) かまたはそれよりも古いので、根古層の年代が 15.4 Ma から約 13 Ma の間にあることは確かである。根古層上部の軽石凝灰岩には、13.3±1.2 Ma のジルコンフィッシュントラック年代があるものの、測定誤差がやや大きい (石井ほか, 1983)。このほか北隣の涌谷地域に分布する根古層相当層の追戸層からは、安山岩溶岩の K-Ar 年代として、15.5±1.5 Ma と 12.9±0.6 Ma が報告されているほか、凝灰質砂岩中より Blow (1969) の zone N. 9 ないし N. 10 を示す浮遊性有孔虫化石が産出する (石井・柳沢, 1984)。Berggren *et al.* (1995) によれば、zone N.9-N.10 は 15.1-12.7 Ma である。以上のデータを総合すると、根古層の堆積年代はほぼ 15 Ma から 13 Ma の間にあると推定される。

三ツ谷層の上部は *C. nicobarica* 帯に属し、最上部は *D. praedimorpha* 帯最下部にかかる。したがって、本層の上限は約 12.9 Ma かそれよりもやや新しい。本層の下限の年代ははっきりしないが、幡谷層および鹿島台層の堆積速度を考慮すれば、三ツ谷層の下限は *C. nicobarica* 帯の中にある可能性が大きい。

幡谷層は *D. praedimorpha* 帯下部の *D. praedimor-*

pha var. *minor* の FO (D51) と *C. nicobarica* の LO (D52) の間に位置する。石井ほか (1983) は幡谷層下限の白坂山凝灰岩部層から 11.7±1.1 Ma のジルコンフィッシュントラック年代を報告している。

鹿島台層は *D. praedimorpha* 帯下部に位置し、その上限は *D. praedimorpha* var. *praedimorpha* の FO (D53, 12.3-12.5 Ma) の少し上位にある。

番ヶ森山層は、*D. dimorpha* 帯 (NPD 5 D) 下部の *D. dimorpha* var. *dimorpha* の FO (D56, 10.0 Ma) と *D. preakatayamae* の FO (D57, 9.5 Ma) の間に位置づけられる。なお、隣接する仙台・古川地域では、番ヶ森山層上部に相当する青麻層から Blow (1969) の zone N. 17 にあたる浮遊性有孔虫化石が産出し、その年代は 6-7 Ma とされる (Saito and Isawa, 1995)。この年代は珪藻化石層序に基づく年代とは 200 万年以上の差があるが、この矛盾については今後の検討課題としたい。

大松沢層は *D. katayamae* 帯 (NPD 6 A) 最上部から *T. schraderi* 帯 (NPD 6 B) 最下部に相当する。本層下部には *D. katayamae* の LO (D65, 8.5 Ma) が認められ、かつ本層上限は *T. schraderi* の FCO (D66, 8.4 Ma) に達しないこと、さらに堆積速度から考えて、本層の年代は 8.6-8.4 Ma 程度と考えられる。

以上述べてきた各地層の年代分布を概観してわかるのは、松島地域では中新世を通じて堆積は断続的に起こっており、地層が堆積している期間よりも、無堆積または不整合により失われてしまった期間のほうが長いことである。堆積している期間は、6つのユニット、すなわち下位より、ユニット1 (塩釜層)、ユニット2 (佐浦町層-大塚層)、ユニット3 (根古層)、ユニット4 (三ツ谷層-鹿島台層)、ユニット5 (番ヶ森山層) およびユニット6 (大松沢層) に分けられる。

このうち最も長く堆積が継続したのはユニット2で、約150 万年堆積が続いている。この区間は松島地域の中新統の中で最も堆積深度が深い時期で、最も海進が進んだ松島層および大塚層の時期には、主として珪藻質泥岩からなる泥質堆積物が堆積した。

志田層群の時期には松島地域は全域的に浅海化し、砂質堆積物が卓越するようになる。下位の松島湾層群中にはドーム状の隆起に伴う小断層群が多く発達するのに対し、上位の志田層群中にはこうした小断層群はほとんど見られない (石井ほか, 1982 b)。このことから、この浅海化は、松島湾層群堆積後 (約 15 Ma) に、現在の松島湾地域を中心として起こった隆起運動によるものと思われる。

志田層群の堆積は断続的で、それぞれの堆積期間も数十万年以下と短い。志田層群の時期にはとくに大きな構造運動が起こった徴候は全く認められないので、この時期の堆積は主に海水準変動に規制されていた可能性が高い。堆積が起こっている期間は、相対的に海水準が高い

時期に相当しているであろう。

4.3 八尾地域と松島地域の中新統の対比

富山県八尾地域(第1図)の中新統については、すでに詳細な珪藻化石層序を明らかにした(柳沢, 1999c)。ここでは、両地域で確立された古地磁気層序を対比するため、珪藻化石層序に基づいて松島地域と八尾地域の中新統の対比を行う。

八尾地域の中新統は、下位より楡原層、岩稲層、医王山層、黒瀬谷層、東別所層、天狗山層および音川層からなる(早川・竹村, 1987; 第8図参照)。東別所層は下位より栃上泥岩部層、塩谷砂岩部層、浅谷シルト岩部層および三谷泥岩部層に細分される。珪藻は黒瀬谷層最上部(山田中凝灰岩部層の100m下位まで)と東別所層から産出する(第6図)。八尾地域では、下位より生層準D35, D40, D41, D41.5, D42 および D43 が確認されている(柳沢, 1999c)。また、D35とD40の間には、*D. praelauta*のFCO層準が認められ、対比に有効である。

まず、松島層Mt₄部層中にあるD35と*D. praelauta*のFCOは東別所層の栃上泥岩部層下部に認められる。また、大塚層Ot₁部層中のD40とD41は、八尾地域では栃上泥岩部層上部で確認される。さらに、大塚層Ot₃部層下限付近にあるD41.5は浅谷シルト岩部層下部に、またOt₄部層下部にあるD42も同様に浅谷シルト岩部層下部に存在する。

以上の生層準の対比から、松島層Mt₄部層から大塚層Ot₁部層までが栃上泥岩部層に、大塚層Ot₃・Ot₄部層は浅谷シルト岩部層下部にほぼ相当することがわかる。また、大塚層Ot₂部層と東別所層塩谷砂岩部層は、ともにD41とD41.5に挟まれる区間の上部にあるので、ほぼ同時期の堆積物である。両部層ともに泥岩の卓越する岩相中に挟まる浅海成砂質堆積物という性格も共通することから、両部層は岩相上でも対比できる。

さらに、松島層Mt₁-Mt₃部層の厚い珪長質火砕岩層と八尾地域の山田中凝灰岩部層は、いずれもD35(16.3Ma)の下位にあり、泥岩の堆積速度から考えるとほとんど同時期の堆積物であることがわかる。両者の下位にある網尻層および黒瀬谷層主部から、ともに*Vicarya yokoyamai*をはじめとする八尾-門ノ沢型動物群を産することもこの推定を支持する。

このように、松島地域の網尻層、松島層と大塚層と、八尾地域の黒瀬谷層と東別所層は、珪藻化石層序により10-20万年の精度で対比できる。両地域の堆積速度はほぼ同程度であり、対比線もほぼ平行である。ただし、松島地域では松島層の層準で厚い凝灰岩層が発達しているために層厚が厚くなっているが、こうした地質学的には瞬時の堆積物を除いた泥岩層を比べると、その厚さはほとんど同じオーダーである。たとえば、*D. praelauta*のFCOとD40の間は、松島地域では層厚が約150m、八

尾地域では約50mであるが、松島地域でのMt₅部層の凝灰岩の部分を除くと松島地域でも約60mとなり、両地域でほとんど同じ厚さとなる。

次に、志田層群の対比について考察する。松島地域では、大塚層の上位に安山岩質の黒色砂岩からなる根古層が不整合で重なる。一方、八尾地域でも東別所層の上位を、安山岩質の黒色砂岩からなる天狗山層が不整合(伊香浜不整合)で覆う。

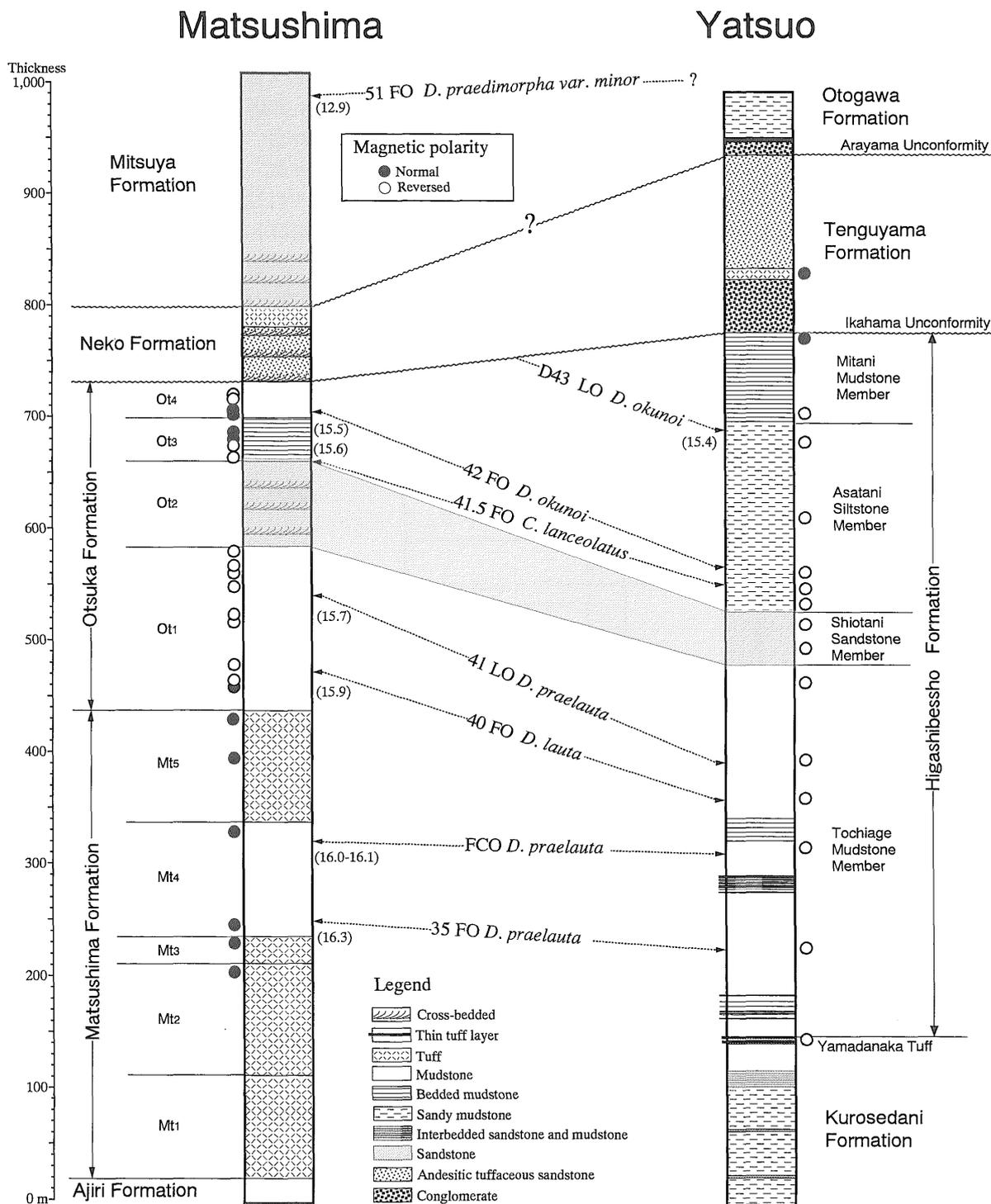
珪藻化石層序からみると、両地域における不整合直下の堆積物の年代は八尾地域の方がやや新しい。すなわち、八尾地域における伊香浜不整合直下の三谷泥岩部層は、珪藻生層準D43(15.4Ma)よりも上位にあり、堆積速度曲線から不整合直下の年代は約15.3Maと算定される(柳沢, 1999c)。これに対して、松島地域では生層準D43は認められず、大塚層の上限はD42(15.5Ma)とD43の中間にある。したがって、不整合直下の堆積物の年代は、八尾地域の方が約10万年新しい。しかし、この違いはわずかであり、不整合による削剥量が松島地域の方が多少大きかったと考えれば説明できる。したがって、両地域で共通して認められるこれらの不整合は、相互に対比できる可能性が高い。天狗山層からは*Nanaochlamys notoensis*(Yokoyama)と*Kotorapekten kagami-anus*(Yokoyama)などを含む軟体動物化石群が産出している(Ogasawara *et al.*, 1989)が、根古層相当層の追戸層からも同様な化石群が産出する(Hatai, 1938, 1941; Masuda, 1956)。これは根古層と天狗山層が対比されるという考えを支持する。また、根古層および天狗山層はともに安山岩質の黒色砂岩からなり、岩相の特徴も一致する。

松島地域では、根古層の上位に三ツ谷層が不整合で重なる。同様に八尾地域でも、天狗山層の上位に不整合(新山不整合)で音川層が累重する。両地域に共通して存在するこれらの不整合が対比できる可能性はあるものの、残念ながら現在のところ音川層基底についての信頼できる年代層序学的なデータが全くないので、これは単なる憶測に留まる。

以上みてきたように、松島地域と八尾地域の下部中新統最上部から中部中新統下部にかけての層序は、10-20万年という高い精度で対比することができる。こうした精密な対比によってわかるのは、松島地域と八尾地域が500km以上も離れていてしかも地質学的な場が全く異なるにもかかわらず、両地域における中新統の岩相変化のパターンが不整合のタイミングも含めて、この時間精度で驚くほどよく似ていることである。

5. 古地磁気層序との対比

微化石層序の年代決定には、古地磁気層序との直接的な対比が重要である。これは、地磁気極性の反転史を基



第6図 松島地域と八尾地域の下部-中部中新統の対比.

Fig. 6 Correlation of the lower to middle Miocene sequences between the Matsushima and the Yatsuo areas. The diatom biostratigraphy and the magentostratigraphy of the Yatsuo area are based on the data of Yanagisawa (1999c) and of Itoh *et al.* (1999), respectively.

にした地磁気極性年代尺度が微化石年代尺度の基礎となっているからである (Berggren *et al.*, 1995). 幸い松島地域では, Yamazaki (1989) が網尻層, 松島層および大塚層の古地磁気層序を確立しているの, 珪藻化石層序と古地磁気層序を直接対比し, Yanagisawa and

Akiba (1998) の示した珪藻化石層序と古地磁気層序の対応関係をチェックすることができる. また, 八尾地域の中新統でも, 伊藤・早川 (1988, 1989) および伊藤ほか (1999) が詳細な古地磁気層序を確立している. したがって, 珪藻化石層序による対比を仲立ちとして, 両地域の

古地磁気層序を直接比較することができる。

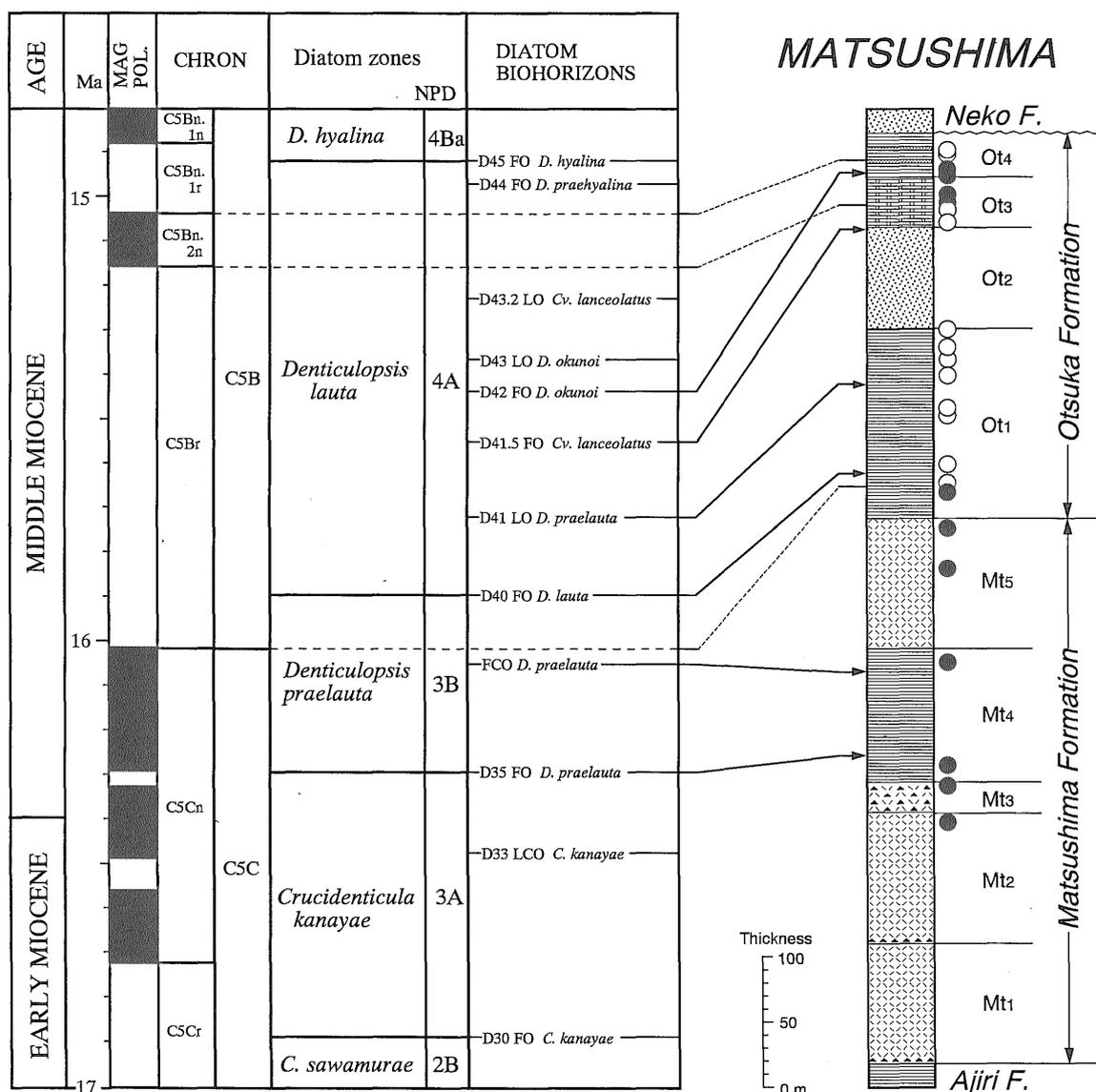
5.1 松島地域での古地磁気層序との対比

Yamazaki (1989) は網尻層・松島層・大塚層から 33 点の古地磁気測定を行い、松島湾層群上部の古地磁気層序を確立した(第7図)。それによれば、網尻層、松島層および大塚層 Ot₁ 部層最下部の試料は、すべて正帯磁である(網尻層の古地磁気は第8図参照)。また、大塚層では Ot₁ 部層下部から Ot₃ 部層の中部までが逆帯磁、Ot₃ 部層上部と Ot₄ 部層下部が正帯磁、そして Ot₄ 部層上部は逆帯磁である。

Yamazaki (1989) は以上の結果と秋葉ほか(1982)の珪藻化石層序と放射年代値に基づいて、松島湾層群上部

の古地磁気層序を地磁気極性年代尺度に対比した。その対比を第7図では破線で示した。まず、大塚層 Ot₁ 部層最下部以下の正帯磁区間は、Chron C5Cn に相当するとされた。また、Ot₁ 部層下部から Ot₃ 部層の中部までの逆帯磁区間は C5Br に、Ot₃ 部層上部と Ot₄ 部層下部の正帯磁は C5Bn.2n に、そして Ot₄ 部層上部の逆帯磁は C5Bn.1r に、それぞれ対比された。一方、今回の研究で改訂された松島湾層群上部の珪藻化石層序を、Yanagisawa and Akiba (1998) の珪藻年代層序に対比した結果を第7図の実線で示した。

Yanagisawa and Akiba (1998) によれば、Chron C5B/C5C の境界は、*D. praelauta* 帯(NPD 3B)の上部にあり、生層準 *D. lauta* の FO (D40) よりも約 10 万年



第7図 松島湾層群上部と地磁気極性年代及び珪藻年代尺度の対比。
 Fig. 7 Correlation of the upper Matsushimawan Group to the magnetic polarity time scale of Cande and Kent (1995) and Berggren et al. (1995), and the diatom chronology of Yanagisawa and Akiba (1998). Paleomagnetic data were taken from Yamazaki (1989).

古い。松島地域でも Chron C5B/C5C の境界は, *D. praelauta* 帯 (NPD 3B) の中にあり, *D. lauta* の FO (D 40) のやや下位にある。したがって, この部分は, Yanagisawa and Akiba (1998) の提示した珪藻化石層序と古地磁気層序の対比とは整合的である。

次に, 大塚層上部の Ot₄ 部層にある生層準 *D. okunoi* の FO (D 42) 付近についてみる。生層準 D 42 は, Yanagisawa and Akiba (1998) では C5Br の中にある。これに対し, 大塚層上部ではこの生層準は C5Bn.2n の中にある。このため, D 42 の対比線は, C5Bn.2n の基底の対比線と交差する。したがって, 大塚層上部における珪藻化石層序と古地磁気層序の対応関係は, Yanagisawa and Akiba (1998) のそれとは明らかに食い違う。

以上をまとめると, 松島地域での珪藻化石層序と古地磁気層序の対比は, D 40 付近では Yanagisawa and Akiba (1998) とほぼ一致するが, 大塚層上部の D 42 付近ではずれていることがわかる。

5.2 松島地域と八尾地域の古地磁気層序の対比

次に, 珪藻化石層序による対比に基づいて, 松島地域と八尾地域の中新統の古地磁気層序を対比する (第 8 図)。伊藤・早川 (1988, 1989) は八尾地域に分布する楡原層から三田層までの古地磁気測定を行い, 地磁気極性年代尺度と対比した。また, 最近伊藤ほか (1999) は測定に問題のあった地点の再測定を行い, 地磁気極性年代尺度との対比を修正した。

伊藤ほか (1999) によれば, 岩稲層から医王山層下部までは正帯磁, 医王山層中部から黒瀬谷層および東別所層の最上部まではすべて逆帯磁, そして東別所層の上限付近の 1 点で正帯磁の結果が得られている。彼らは K-Ar 年代と浮遊性有孔虫・珪藻化石層序に基づいて, 医王山層中部から黒瀬谷層および東別所層の最上部までの長い逆帯磁区間を, Cande and Kent (1995) の地磁気極性年代尺度の Chron C5Br に対比した。この解釈はすでに柳沢 (1999c) で議論したように, Yanagisawa and Akiba (1998) の示した珪藻化石層序と古地磁気層序の対比とは合わず, 全体として古地磁気層序の方が新しい年代推定となる。

珪藻化石層序では前述のように生層準 D 35 から D 42 までが松島・八尾両地域で共通して認められ, 高精度で両地域の層序が対比できるので, これに基づいて両地域の古地磁気層序を対比してみる。まず松島地域では, 生層準 D 40 のやや下位より D 35 までの区間はすべて正帯磁となっている。一方, 八尾地域ではこの区間はすべて逆帯磁である。また, 松島地域では大塚層上部の生層準 D 41.5 と D 42 に挟まれた区間にはっきりした正帯磁区間が認められる。しかし, 八尾地域ではそれに相当する区間はすべて逆帯磁であって, 正帯磁は全く測定されて

いない。このように, 珪藻化石層序による対比に基づくかぎり松島地域と八尾地域では古地磁気のパターンは全く一致しない。

5.3 珪藻化石層序と古地磁気層序の対比

以上述べてきたように, 松島地域と八尾地域における珪藻化石層序と古地磁気層序の対比については, 以下のような矛盾が指摘できる。

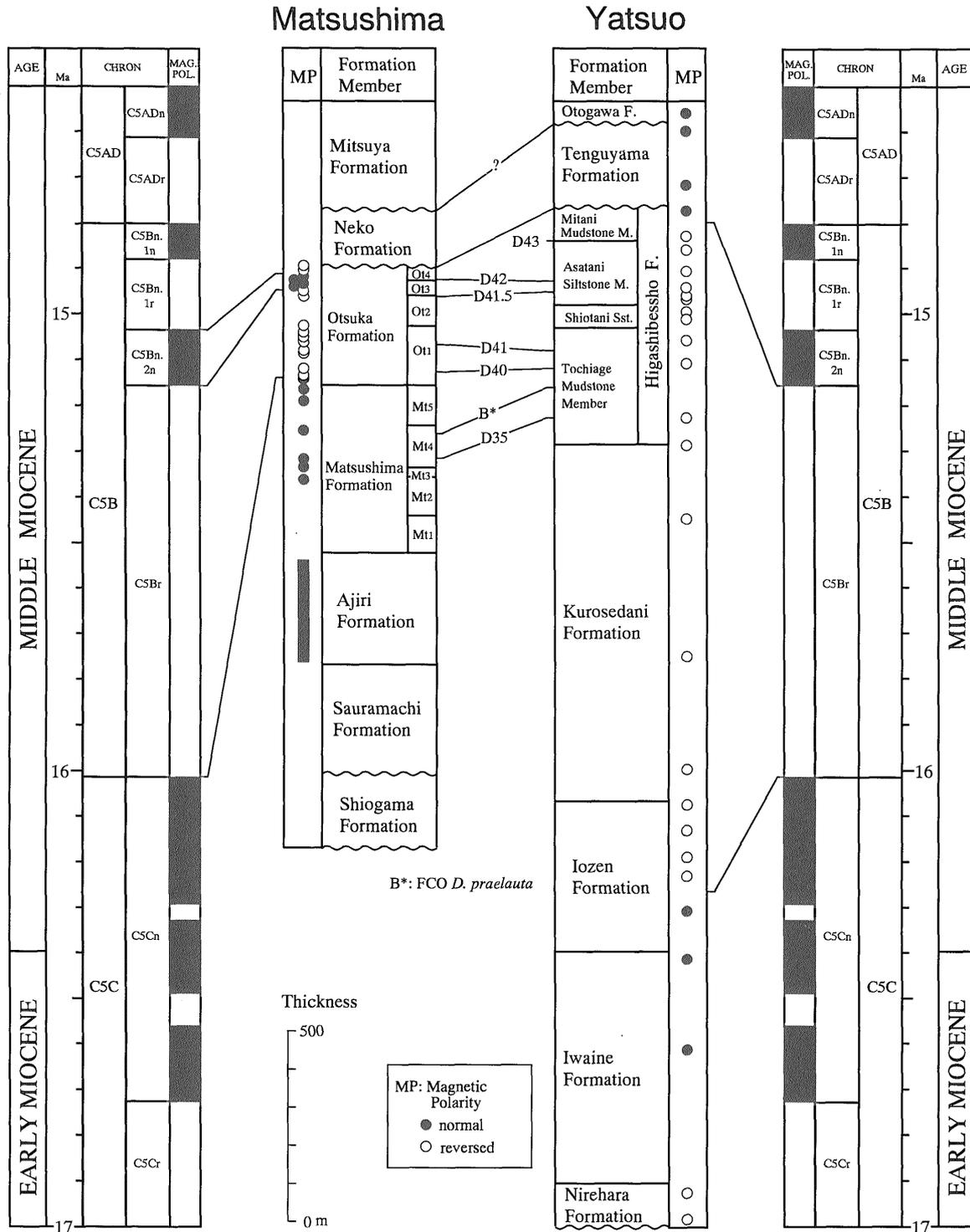
1) 松島地域における珪藻化石層序と古地磁気層序の対応関係は, Chron C5C/C5B 境界付近では Yanagisawa and Akiba (1998) と合うが, C5Bn.2n 付近では食い違う。

2) 八尾地域では, 珪藻化石層序と古地磁気層序の対応関係は, Chron C5C/C5B 境界付近でも C5Bn.2n 付近でも, Yanagisawa and Akiba (1998) とは合わない (柳沢, 1999c)。

3) 松島地域と八尾地域では, 珪藻化石層序による対比に基づくかぎりその古地磁気層序のパターンは全く一致しない。

このように, 松島地域と八尾地域における珪藻化石層序と古地磁気層序の対比の食い違いは複雑である。上記のうち 1) と 2) に関しては, すでに柳沢 (1999a, c) が議論しているように, 1つの可能性として珪藻化石層序と古地磁気層序の対比そのものに問題があることが考えられる。Yanagisawa and Akiba (1998) の珪藻年代層序の基になっている Barron and Gladenkov (1995) が研究した ODP Site 884 B と 887 では, 前期中新世末から中期中新世初頭では, 古地磁気層序の記録が不良かあるいは珪藻化石帯の認定が難しく, 珪藻化石層序と古地磁気層序の対応は完全ではない。このため, 珪藻化石層序と古地磁気層序の対比には解釈の余地がある。また, Yanagisawa and Akiba (1998) の示した生層準と古地磁気層序との対応関係のうち, 2次層準の対比は間接的であって確定したものではない。したがって, 松島と八尾地域において, 古地磁気層序と珪藻化石層序の対応関係が Yanagisawa and Akiba (1998) と合わないという 1) と 2) の事実は, むしろ Barron and Gladenkov (1995) や Yanagisawa and Akiba (1998) の示した珪藻化石層序と古地磁気層序の対比の方に問題があることを示すとも考えられる。

しかしながら, 珪藻化石層序によって高精度で対比できる松島地域と八尾地域の中新統において, 両地域の古地磁気層序そのもののパターンが全く合わないという 3) の事実は, 単純に両層序の対比のみに問題があるわけではないことを示す。つまり, 両地域での珪藻化石層序と古地磁気層序の食い違いのパターンが同じであって, その食い違いが系統的であればこれを修正すれば済むのであるが, 実際には両地域での食い違いのパターンは全く別であり, 単純に珪藻化石層序と古地磁気層序の対比



第8図 松島地域と八尾地域の古地磁気層序の対比。

Fig. 8 Correlation of the magnetostratigraphy between the Matsushima and the Yatsuo areas. The diatom biostratigraphy and the magnetostratigraphy of the Matsushima area are based on this study and Yamazaki (1989), respectively. The diatom biostratigraphy and the magnetostratigraphy of the Yatsuo area are based on the data of Yanagisawa (1999c) and of Itoh *et al.* (1999), respectively.

を小修正することで問題を解決することはできない。このことは、両地域での珪藻化石層序または古地磁気層序そのものにも問題があることを示唆している。

6. まとめ

この研究では、宮城県松島地域に分布する中新統の珪

藻化石層序の再検討を行った。その結果, Yanagisawa and Akiba (1998) の示した高分解能の珪藻化石層序が松島地域でも適用できることが明らかになった。

1) *Denticulopsis lauta* 帯 (NPD 4 A) の基底と *D. praedimorpha* 帯 (NPD 5) B の基底の層準は, 秋葉ほか (1982) の推定した位置よりもやや下位にあることが判明した。

2) 珪藻化石層序と既存の年代データに基づいて, 松島地域の中新統の年代分布について総括した。松島地域では中新世を通じて堆積期間よりも無堆積または不整合により失われてしまった期間のほうが長く, 堆積は6つの期間で断続的に起こっている。

3) 松島地域と八尾地域の下部中新統最上部から中部中新統下部にかけての層序は, 珪藻化石層序によって10-20万年の精度で対比することができる。両地域の岩相変化のパターンは, 不整合のタイミングも含めてこの時間精度でよく似ている。

4) 松島地域における珪藻化石層序と古地磁気層序の対応関係は, Chron C5C/C5B境界付近では Yanagisawa and Akiba (1998) と合うが, C5Bn.2n付近では食い違う。また, 松島地域と八尾地域では, 珪藻化石層序に基づくかぎり, その古地磁気層序のパターンは一致しない。これらのことは, 両地域の珪藻化石層序または古地磁気層序そのものにも問題があることを示唆する。

珪藻化石年代の確定には良好な放射年代値との対応関係をつけることと共に, 現在地質年代尺度の基礎となっている古地磁気層序との直接的な対比が重要である。しかし, 中新統に関しては, 陸上セクションにおいて珪藻化石層序と古地磁気層序との直接の対応関係がわかっている部分は極めて限られている。その意味で, 両者の直接対応がついている松島地域は, 地磁気微化石年代尺度を確かなものとしてゆく上で非常に重要な地域である。しかし, 残念ながら八尾地域の古地磁気層序との対応関係も含めて, 珪藻化石層序と古地磁気層序の対比に関して今回は確定的な結論を得ることはできなかった。今後, 松島地域の古地磁気層序については, 珪藻化石層序との対応関係を中心に再検討が必要である。

謝辞 資源エネルギー地質部の渡辺真人主任研究官と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。海洋地質部の山崎俊嗣博士と大阪府立大学の伊東康人博士には, それぞれ松島地域と八尾地域の古地磁気層序に関して御教示いただいた。また, 環境地質部の石井武政博士と元地質調査所職員の山口昇一博士には, 今回分析した試料の採取に際してご協力いただいた。石油資源開発株式会社には, 本論を公表する機会を与えていただいた。以上の各位に深謝の意を表す。

文 献

- 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.
- 秋葉文雄・柳沢幸夫・石井武政 (1982) 宮城県松島周辺に分布する新第三系の珪藻化石層序. 地調月報, 33, 215-239.
- Barron, J. A. and Gladenkov, A. Y. (1995) Early Miocene to Pleistocene diatom biostratigraphy of Leg 145. *In* Rea, D. K., Basov, I. A., Scholl, D. W. and Allan, J. F. eds., *Proc. Ocean Drilling Program, Sci. Results*, College Station TX (Ocean Drilling Program), 145, 3-19.
- 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, 129-222.
- 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.
- Cande, S. C. and Kent, D. V. (1995) Revised calibration of geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Jour. Geophys. Res.*, 100, 6093-6095.
- Hanzawa, S., Hatai, K., Iwai, J., Kitamura, N. and Shibata, T. (1953) The geology of Sendai and its environs. *Sci. Repts. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, 25, 1-50.
- Hatai, K. (1938) A note on *Pecten kagamianus* Yokoyama. *Bull. Biogeogr. Soc. Japan*, 18, 103-110.
- Hatai, K. (1941) On some fossils from the Oide Shell-Beds developed in Toda-gun, Rikuzen Province, Japan. *Japan Jour. Geol. Geogr.*, 18, 109-118.
- 早川秀樹・竹村厚司 (1987) 富山県八尾地域の新第三系. 地質雑, 93, 717-732.
- Hurford, A. J. (1990) Standardization of fission track dating calibration: Recommendation by

- the Fission Track Working Group of the I. U. G. S. Subcommission of Geochronology. *Chem. Geol.*, **80**, 171-178.
- 入月俊明・松原尚志(1994) 貝形虫化石群集解析に基づく下-中部中新統門ノ沢層の堆積環境の垂直変化. *地質雑*, **100**, 136-149.
- 石井武政・柳沢幸夫(1984) 旧北上川沿いに分布する追戸層の地質時代について. *地調月報*, **35**, 623-635.
- 石井武政・柳沢幸夫・山口昇一(1983) 松島湾周辺に分布する中新世軽石凝灰岩のフィッシュン・トラック年代. *地調月報*, **34**, 139-152.
- 石井武政・柳沢幸夫・山口昇一・阿部智彦(1982a) 塩竈地域の中新世火山岩の K-Ar 年代—*Actinocyclus ingens* ゾーンと *Denticulopsis lauta* ゾーンの境界の年代に関連して— . *地調月報*, **33**, 425-431.
- 石井武政・柳沢幸夫・山口昇一・寒川 旭・松野久也(1982b) 松島地域の地質. *地域地質研究報告* (5万分の1地質図幅), *地質調査所*, 121 p.
- 伊藤康人・早川秀樹(1988) 富山県八尾地域に分布する新第三系の古地磁気層序. *地質雑*, **94**, 515-525.
- 伊藤康人・早川秀樹(1989) 富山県八尾地域の新第三系における磁極期 C5B/C5C 境界について. *地質雑*, **95**, 133-136.
- 伊藤康人・柳沢幸夫・渡辺真人(1999) 八尾地域に分布する新第三系の古地磁気層序/珪藻化石層序. *地調月報*, **50**, 215-223.
- Koizumi, I. (1985) Diatom biochronology for late Cenozoic Northwest Pacific. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **91**, 195-211.
- 今田 正・植田良夫(1980) 東北地方の第三紀火山岩の K-Ar 年代. *岩鉱特別号*, no. 2, 343-346.
- Masuda, K. (1956) Some fossil Pectinidae from the Oido Formation, Wakuya-machi, Todogun, Miyagi Prefecture, Northeast Japan. *Saito Ho-on Kai Mus. Res. Bull.*, no. 25, 22-26.
- Ogasawara, K., Ijima, S. and Kaseno, Y. (1989) Miocene molluscs from the Tenguyama Formation, Toyama Prefecture, Hokuriku District, Japan. *Sci. Repts. Kanazawa Univ.*, **34**, 67-93.
- Okutsu, H. (1955) On the stratigraphy and paleobotany of the Cenozoic plant beds of the Sendai area. *Sci. Repts. Tohoku Univ.*, 2nd Ser. (Geol.), **26**, 1-114.
- Saito T. and Isawa, T. (1995) Planktonic foraminifers of Late Miocene age (zone N.17) from the Aoso Formation of Sendai City, northeastern Honshu, Japan. *Saito Ho-on Kai Mus. Nat. Hist., Res. Bull.*, no. 63, 9-23.
- Yamazaki, T. (1989) Paleomagnetism of Miocene sedimentary rocks around Matsushima Bay, Northeast Japan and its implication for the time of the rotation of Northeast Japan. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **41**, 533-548.
- 柳沢幸夫(1999 a) 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(1999 b) 富山・石川県境の医王山地域に分布する中新統の珪藻化石層序と対比. *地調月報*, **50**, 67-81.
- 柳沢幸夫(1999c) 富山県八尾地域の下部-中部中新統の珪藻化石層序. *地調月報*, **50**, 139-165.
- 柳沢幸夫(1999d) 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.
- 柳沢幸夫(1999 e) 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. *地調月報*, **50**, 269-279.
- 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*, **106**, 395-414.

(受付: 1999年1月6日; 受理 1999年2月18日)