

福島県太平洋岸に分布する鮮新統大年寺層のテフラ層 —その1. 年代層序—

柳沢幸夫¹・高橋友啓²・長橋良隆³・吉田武義⁴・黒川勝己⁵

Yukio Yanagisawa, Tomohiro Takahashi, Yoshitaka Nagahashi, Takeyoshi Yoshida and Katsuki Kurokawa (2003) Tephra beds of the Pliocene Dainenji Formation distributed in the Pacific side of Fukushima Prefecture, northeastern Japan (part 1): Chronostratigraphy. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 54(11/12), p.351 - 364, 8 figs., 3 tables.

Abstract: Tephrostratigraphy is established for the Pliocene Dainenji Formation distributed in the middle part of the Pacific side area in Fukushima Prefecture. A workable high-resolution microfossil chronostratigraphy is also developed for the formation by integrating all available microfossil information on diatom, nannofossil, planktonic foraminiferal and radiolarian biostratigraphy. The age of each tephra bed in the Dainenji Formation can be estimated by correlation to the standard magneto-biostratigraphic time scale. This report and a companion study on petrography of tephra beds (Takahashi *et al.*, 2003) provide a firm basis of the Pliocene tephrochronology in the southern Tohoku Province.

Keywords: Neogene, Pliocene, Dainenji Formation, Fukushima, Japan, tephra, chronostratigraphy, biostratigraphy, diatom

要 旨

福島県太平洋岸の浜通り地域中部に分布する鮮新統大年寺層のテフラ層序を確立した。また、これまでの珪藻、石灰質ナノ化石、浮遊性有孔虫及び放散虫化石層序データを総合して大年寺層の微化石年代層序を構築し、古地磁気微化石年代尺度に対比した。これにより、大年寺層のテフラ層の年代が推定可能となり、東北地方南部の鮮新世テフラの年代層序の基盤が整備された。

1. はじめに

火山噴火によって広域に拡散するテフラ層は、地質学的時間スケールでは瞬時に堆積するため、優れた同時面指標層として層序の確立や地層の広域対比において重要な役割を果たしている。とくに中期更新世以降では、既に詳細なテフラカタログが整備され(町田・新井2003など)、火山学や層序学ばかりでなく、考古学や防災科学など他分野でも活用されている。

一方、これより古い前期更新世から鮮新世のテフラ層序も、近畿・中部・新潟・関東地域においては、近年広域テフ

ラ層の発見によって急速に研究が進展し、その基盤はほぼ確立しつつある(里口ほか, 1999; 黒川, 1999など)。しかし、東北地方では、鮮新世のテフラ層序の研究はほとんど進んでおらず、広域テフラ層による近隣の新潟・関東地域との対応関係も全くわかっていない。

筆者らはこうした現状を踏まえて、東北地方南部の鮮新世テフラ層序を確立することを目的として、今回福島県の太平洋沿岸地域(浜通り地域, 第1図)に分布する鮮新統大年寺層に挟在するテフラ層について詳細な検討を行った。大年寺層は宮城県から福島県の太平洋沿岸に広く分布する鮮新統仙台層群最上部の海成層で、本層中には多数のテフラ層が鍵層として記載されている(東北農政局計画部, 1979; 久保ほか, 1990, 1994, 2002; 柳沢ほか, 1996)。また、大年寺層については、主要な微化石年代層序について詳細な研究が行われ(竹谷ほか, 1986; 柳沢, 1990など)、テフラ層とのおおよその対応関係も判明している。しかし、これらのテフラ層については、全体の層序が総括されておらず、また岩石学的検討は全く行われていなかった。このため、広域対比や火山活動変遷解明の基礎となる系統的な記載岩石学的情報が全く整備されていなかった。

本研究では浜通り地域中部の大年寺層のテフラ層序を

¹地球科学情報研究部門(Institute of Geoscience, GSJ)

²福島大学大学院教育学研究科(Graduate school of Education, Fukushima University, Kanayagawa, Fukushima 960-1296, Japan)

³福島大学教育学部地学教室(Faculty of Education, Fukushima University, Kanayagawa, Fukushima 960-1296, Japan); 地球科学情報研究部門併任

⁴東北大学大学院理学研究科(Graduate school of Science, Tohoku University, Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8578, Japan)

⁵新潟大学教育人間科学部地学教室(Faculty of Education and Human Sciences, Niigata University, Ikarashi-2, Niigata 950-2181, Japan)

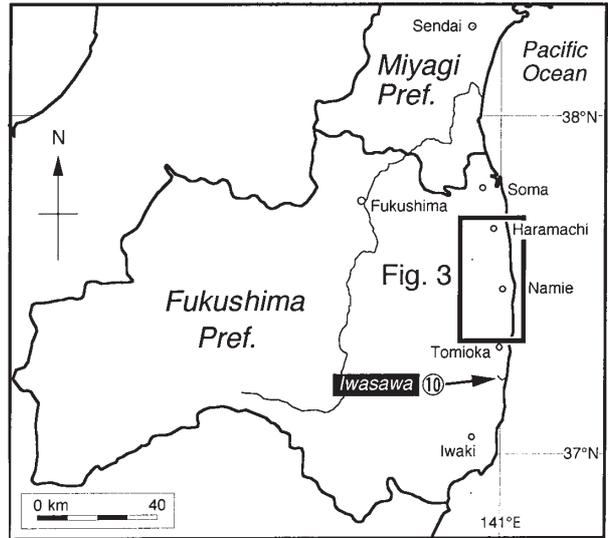
総括し、更に珪藻化石分析と既存の微化石層序に基づいて、テフラ層の年代層序を確立した。また、テフラ層の岩相・鉱物組成・火山ガラスの形状・粒度組成・重鉱物組成及び火山ガラスの化学組成などの岩石学的特徴を系統的に検討した。その結果、大年寺層のテフラ層の記載岩石学的特徴と化学組成が系統的に変化すること、更に一部に広域テフラ層と推定されるテフラ層が挟在することが明らかになった。

この論文では、その1として大年寺層のテフラ層序の総括と微化石層序に基づく年代層序について報告する。引き続きその2(高橋ほか, 2003)では、テフラ層の岩石学的特徴を記載する。

2. 地質概説

仙台層群は宮城県仙台市を模式地とする東北地方南部太平洋側の鮮新統を代表する地層群であり(第2図)、下位から亀岡層、竜の口層、向山層及び大年寺層から構成される(北村ほか, 1986)。このうち、向山層基底には不整合があり、これにより本層群は下部(亀岡層・竜の口層)と上部(向山層・大年寺層)に大別される。

亀岡層は下位の中新統を不整合に覆う。本層は礫岩、砂岩及び泥岩からなり、一部亜炭層を挟む河川成堆積物で



第1図 調査位置図。

Fig. 1 Location map showing investigation area.

ある。

竜の口層は亀岡層から漸移する内湾海成層で、青灰色の泥岩を特徴とし、*Fortipecten takahashii* (Yokoyama) を含む竜の口軟体動物群を産出することで有名である。

AGE	Group	Formations	Column		Thick-ness (m)	Diatom zones	Lithology	
			north	south			NPD	molluscs
LATE PLIOCENE	仙台層群 Upper	Dainenji Formation 大年寺層	D4c	D4c	350 - 430	9	sandstone & mudstone	mudstone with thin sandstone beds
			D4b	D4b				sliding blocks (SB)
			D4a	D4a				submarine slide
EARLY PLIOCENE	SENDAI GROUP Lower	D1	D1b	D1b	80-90	?	massive fine-grained sandstone	coarse-grained sandstone
			D1a	D1a				massive sandy mudstone & muddy sandstone
		Mukaiyama Formation 向山層		80-90	?	mudstone and sandstone lignite pumice tuff conglomerate		
		Tatsunokuchi Formation 竜の口層		10-20	7Bb	mudstone		
		Kameoka Formation 亀岡層		10+	?		lignite mudstone and sandstone conglomerate	
MIO-CENE		Yamairi F., Akashiba F., Taga G., etc						sandstone and mudstone

第2図 福島県浜通り地域の仙台層群の層序。久保ほか(1990, 1994, 2002)と柳沢ほか(1996)を基に作成。

Fig. 2 Stratigraphy of the Pliocene Sendai Group distributed in the Hamadori area, Fukushima Prefecture, compiled from Kubo et al. (1990, 1994, 2002) and Yanagisawa et al. (1996).

向山層は下位の竜の口層を不整合に覆い、礫岩、砂岩、泥岩からなり垂炭層を挟む。また、下部に珪長質凝灰岩層を挟む。浜通り地域の向山層は主に河川成堆積物と推定されるが、一部では本層上部に汽水性のラグーン堆積物が発達する(柳沢ほか, 1996)。

大年寺層は向山層を整合に覆う海成層である。浜通り地域の大年寺層の層厚は最大350~430 mで、岩相は下部の砂質岩相(D₁)、中部の泥岩層(D₂)・砂岩泥岩層(D₃)及び上部の泥岩層(D₄)からなる(第3図;久保ほか, 1990, 1994, 2002;柳沢ほか, 1996)。

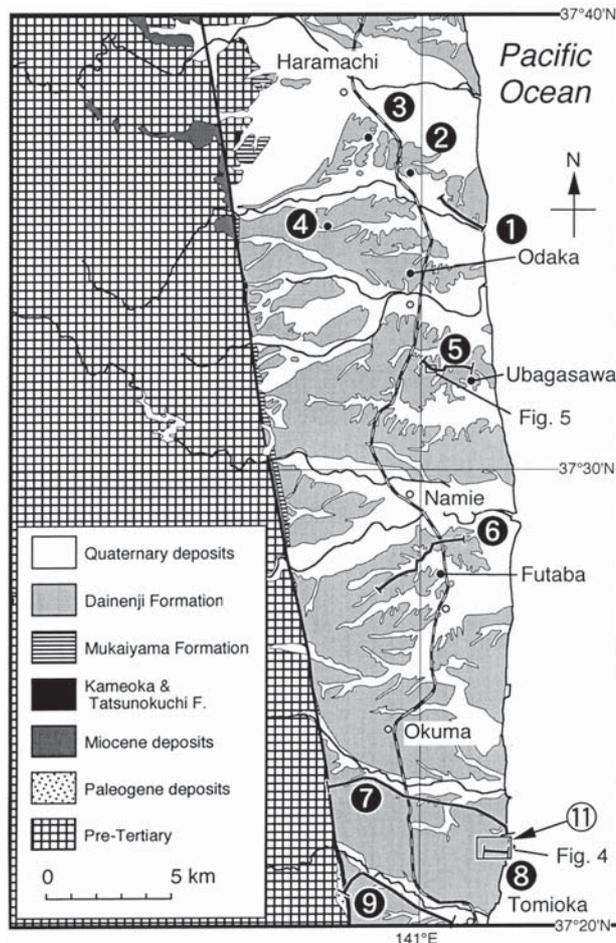
本層下部のD₁は地域的に岩相が変化しており、久保ほか(1994, 2002)は、D₁をD_{1a}、D_{1b}、D_{1c}の3つの岩相に区分して地質図に表現している。D_{1a}は凝灰質砂岩及び砂岩泥岩細互層、D_{1b}は生物擾乱作用が著しい塊状細粒砂岩、そしてD_{1c}は暗青緑灰色の塊状砂質泥岩と泥質極細粒砂岩からなる。これらの岩相は相互に指交・漸移しており、その間に明確な境界をひくことが難しいことが多いが、D₁全体としては南に向かって岩相が細粒化している(第2図)。

本層中部のD₂は、暗青緑灰色の泥岩からなる岩相である。下位のD₁との境界は、後述する牛踏テフラ層(SF11)付近にあり、これは浜通り地域内全域を通じてほぼ一定している。D₃は砂岩泥岩層からなり、D₂の上部と同時異相の関係にある(久保ほか, 1990;柳沢ほか, 1996)。なお、この岩相は浜通り北部にのみ分布し、今回テフラ層を採取した地域には発達しない。

本層上部のD₄は大規模な海底地すべりによって生じた凹地を埋積した堆積物で、浜通り地域南部にのみ分布する。主に泥岩からなり砂岩層を挟む。海底地すべりは断続的に複数回起こっているため、本研究ではD₄をD_{4a}、D_{4b}、D_{4c}の3つのユニットに区分した。地すべりブロックは、D_{4b}の北部で最大10 mの厚さのものがわずかに残っている。しかし、ほとんどのところでは地すべりブロックは残存せず、地すべり面の上位には、厚さ数十cm-数mの細礫混じりの極粗粒砂岩層があるのみである。なお、大年寺層では小規模の海底地すべりは頻繁に生じており、D₁やD₂の層準にも存在する。

3. 試料と方法

この研究では、テフラ層を含む柱状図を、浜通り地域の中部にあたる原町市南部、相馬郡小高町、双葉郡浪江町・双葉町・大熊町及び富岡町の範囲の9つのセクションで作成し、テフラ層を採取した(第3図)。それらは北から、原町市小浜(●)・大甕(●)・大塚(●)・割羽迫(●)、小高町水谷(●)、浪江町高瀬-双葉町渋川(●)、大熊町熊町-大川原(●)富岡町小良ヶ浜(●)、富岡町本町西-上手岡河原沢(●)である。なお、各セクションでの詳細なテフラ層の柱状図は、テフラ層の岩石学的記載とともに高橋ほか(2003, 第5図)で示す。

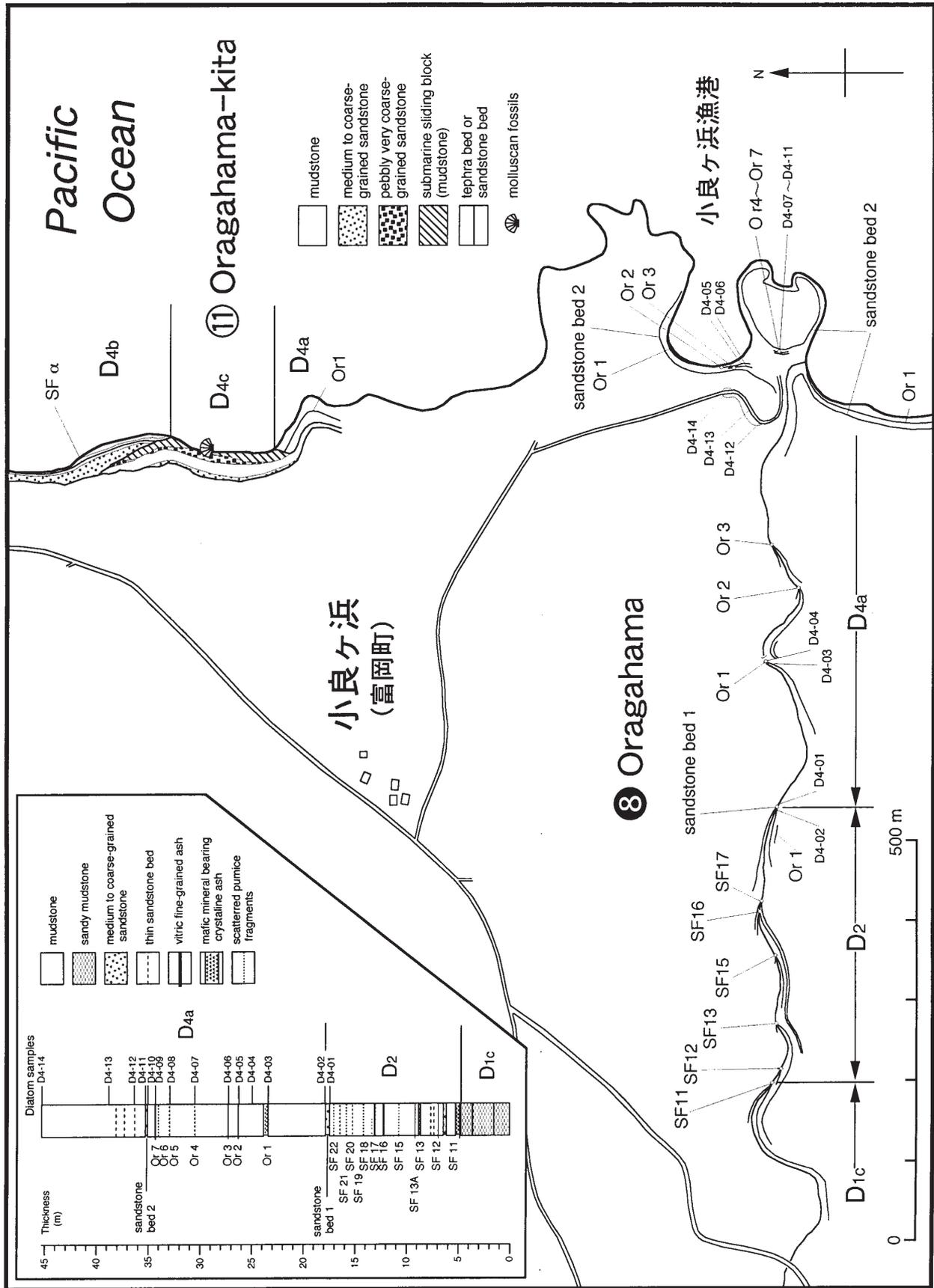


第3図 層序セクション作成位置図。久保ほか(1990, 1994, 2002)と柳沢ほか(1996)を基に作成。層序セクション;●:小浜, ●:大甕, ●:大塚, ●:割羽迫, ●:水谷, ●:高瀬-渋川, ●:熊町-大川原, ●:小良ヶ浜, ●:本町西-上手岡河原沢, ⑪:小良ヶ浜北。

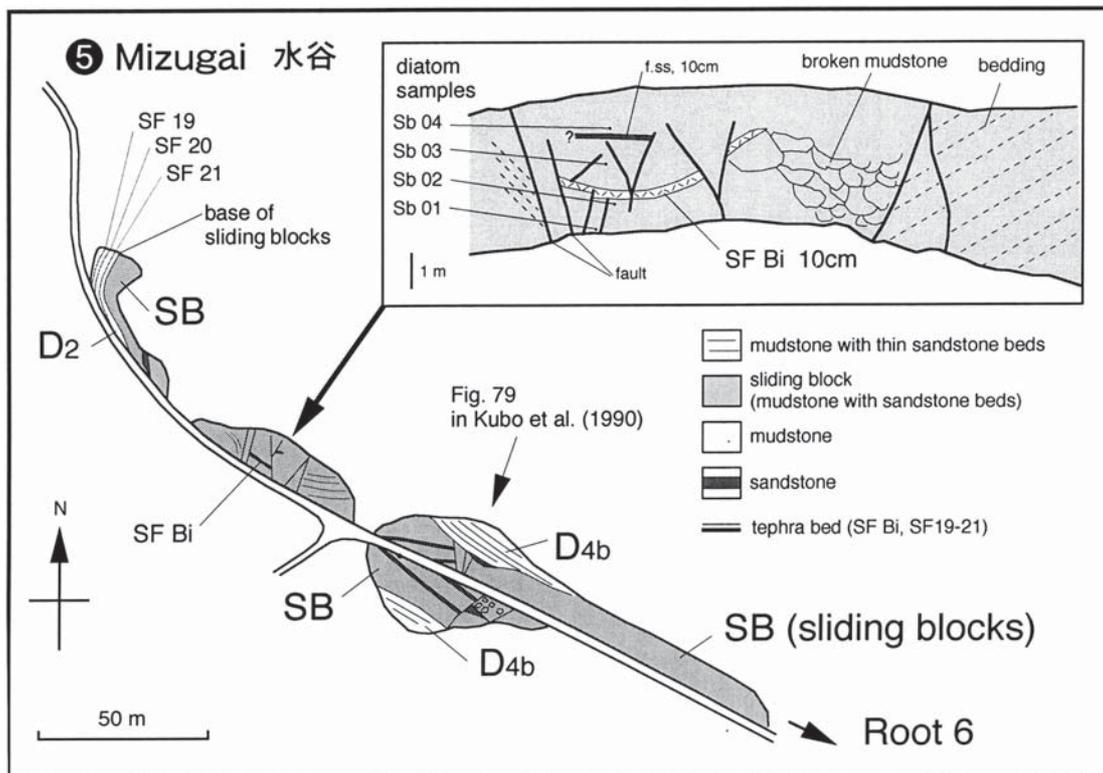
Fig.3 Map showing locations of stratigraphic sections, compiled from Kubo *et al.* (1990, 1994, 2002) and Yanagisawa *et al.* (1996). Stratigraphic sections; ●: Obama, ●: Omika, ●: Otsuka, ●: Wappasaku, ●: Mizugai, ●: Takase-Shibukawa, ●: Kumamachi-Ogawara, ●: Oragahama, ●: Honchonishi-Kamiteoka (Kawarasawa), ⑪: Oragahama-Kita.

テフラ層の名称は、原則として久保ほか(1990, 1994, 2002)及び柳沢ほか(1996)で用いられているSFコード(相馬郡と双葉郡にちなむ。)とOrコード(小良ヶ浜にちなむ。)を用い、未命名テフラ層については新たに名称を付した。ただし、東北農政局計画部(1979)によって命名された牛踏(SF11)、京塚沢(SF29)及び観音前(SF34)の各テフラ層(原典では凝灰岩)については、両者を併用して用いる。

珪藻分析用試料は、富岡町小良ヶ浜のD₂とD_{4a}(第4図)から14試料(D4-1~D4-14)、小高町水谷のD_{4b}の海底地すべりブロック(第5図)から4試料(Sb01~Sb04)を採取した。処理と珪藻の分析・計数は、柳沢(1999)の方法で行った。



第4図 小良ヶ浜セクションでの珪藻試料採取位置図。
Fig. 4 Map showing diatom sample locations in the Oragahama section.



第5図 水谷セクションでの珪藻試料採取位置図。

Fig. 5 Map showing diatom sample locations in the Mizugai section.

4. 結果

4.1 テフラ層序

大年寺層全体のテフラ層序を確立するため、本研究で検討した9セクションにおける全テフラ層を対比した(第6図)。また、微化石層序に基づいて地質年代を考察するため、竹谷ほか(1986)によって微化石層序の検討が行われた浜通り地域南部の岩沢セクション(Ⅹ)と、Kohno and Yanagisawa (1997)が珪藻分析を行った小良ヶ浜北セクション(Ⅺ)も図示した(両セクションの位置はそれぞれ第1図及び第3図参照)。

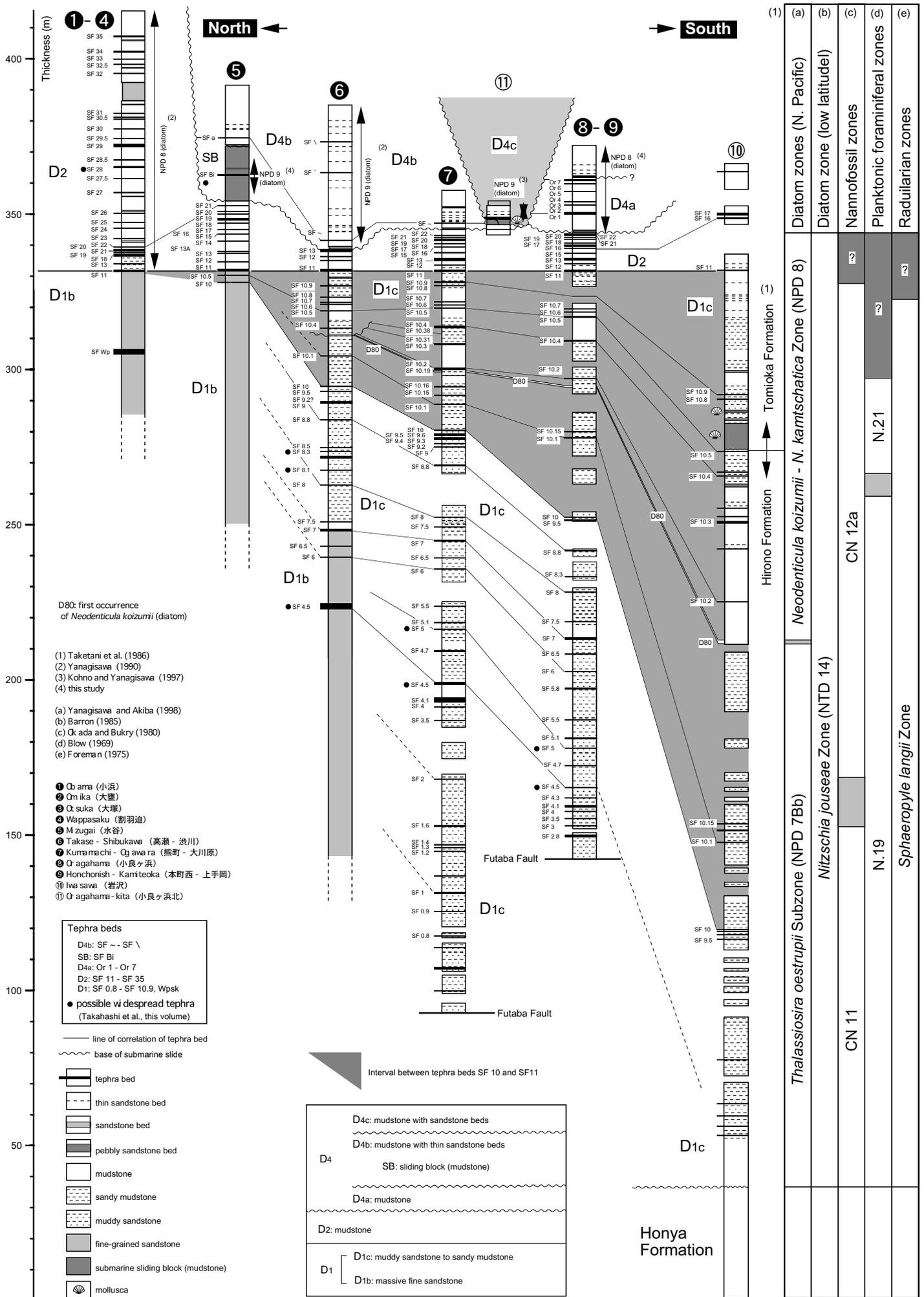
第6図からわかるように、浜通り地域における大年寺層のテフラ層のほとんどは、分布域を通じてよく連続し、鍵層として非常に有用である。しかし、D₁層準では同一層準の岩相が北方に向かってD_{1c}(砂質泥岩ないし泥質砂岩)からD_{1b}(細粒砂岩)へと粗粒化するにしたがって、テフラ層がほとんどなくなってしまい、鍵層として続かない。たとえば、セクション●と●におけるD₁層準の下部を比較すると、SF4.5は両セクションで対比できるものの、セクション●ではその直上にSF4.7~SF5.5、下位にはSF4.1以下多数のテフラ層が確認できるのに対し、セクション●ではこれらのテフラ層は全く認められない。これは、一旦堆積したテフラ層が活発な生物優乱作用により攪拌されて細粒砂岩中にテフラが拡散してしまい、露頭では確認できなくなってしまう可能

性が高い、というのは、たとえば、セクション●のD_{1b}(細粒砂岩)に挟在するSF6.5とSF6は、強い生物優乱作用により切れ切れの虫食い状となっていて、ほとんど消失しかかっているのに対し(高橋ほか, 2003の第5図●-3参照), セクション●では両テフラ層はD_{1c}(泥質砂岩)中であって明瞭な層として存在する。おそらく、厚さ10 cm以下の薄いテフラ層は、D_{1b}中では生物優乱作用により消失して確認できない場合が多く、SF4.5やSF Wpのように層厚が数十cm以上の比較的厚いテフラ層のみが岩相D_{1b}中に残存しているものと推定される。

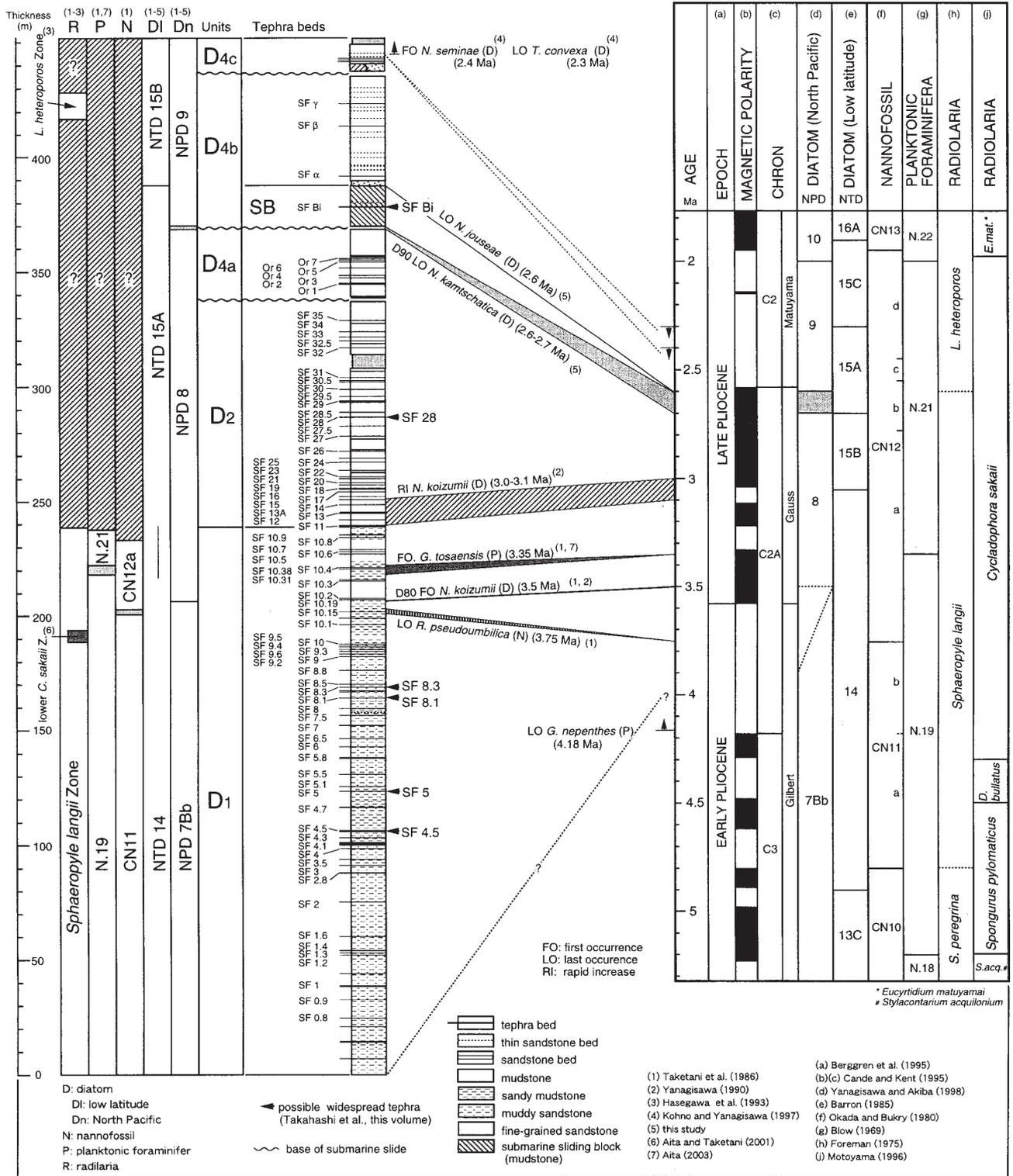
次に、以上のテフラ層の対比を基にして、各層準でもっとも多くのテフラ層が挟まれているセクションを複合して、大年寺層のテフラ層序を示す模式的な柱状図を作成した(第7図)。すなわち、D₁は●、D₂は●と●、D_{4a}は●、D_{4b}は●と●、そしてD_{4c}はⅪの各セクションを用いて柱状図を作成した。以上により、浜通り地域中部の大年寺層のテフラ層序を確立することができた。ただし、大年寺層上部のD₄の層準では、海底地すべりによる欠層があるため、その部分についてはテフラ層序は完全ではない。

4.2 珪藻化石分析結果

富岡町小良ヶ浜のD₂・D_{4a}(第4図)から採取した14試料(D4-1~D4-14)は、*Neodenticula kamschatica*と*N. koizumii*がともに検出される(第1表)。したがって、これ



第6図 大年寺層柱状図の対比
Fig.6. Correlation of columnar sections of the Dainenji Formation.



第7図 大年寺層の年代層序

Fig. 7 Chronostratigraphy of the Dainenji Formation.

鮮新統大年寺層のテフラ層—その1 年代層序—(柳沢ほか)

第1表 小良ヶ浜及び水谷セクションにおける大年寺層の珪藻化石産出表.

Table 1. Occurrence chart of diatoms in the Dainenji Formation of the Oragahama and Mizugai sections.

Sections	Oragahama														Mizugai			
	D2	D4a													D4b (SB)			
Diatom zones (Yanagisawa and Akiba (1998))	NPD 8														NPD 9			
Sample number	D4 01	D4 02	D4 03	D4 04	D4 05	D4 06	D4 07	D4 08	D4 09	D4 10	D4 11	D4 12	D4 13	D4 14	SB 01	SB 02	SB 03	SB 04
Original sample number	Ha tom 10	Ha tom 09	Ha tom 08	Ha tom 07	Ha tom 06	Ha tom 05	Ha tom 04	Ha tom 03	Ha tom 02	Ha tom 01	Ha tom 00	Ha 1256 3	Ha 1256 4	Ha 1256 6	Ha 545 0	Ha 545 1	Ha 545 2	Ha 545 3
Preservation	P	P	P	M	P	M	P	P	P	M	P	M	M	P	P	M	P	P
Abundance	C	C	C	A	A	A	A	A	A	A	C	A	C	C	C	C	C	C
<i>Actinocyclus curvatus</i> Janisch	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. ellipticus</i> var. <i>elongatus</i> (Grunow) Kolbe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. ingens</i> f. <i>ingens</i> (Rattray) Whiting et Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>A. octonarius</i> Ehrenberg	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	+	-	-	-	2	-
<i>Actinocyclus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	1	-	1	-	-	1	1	1	1	+	2	1	-	-	2	2	2	+
<i>A. vulgaris</i> Schmann	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-
<i>Aulacoseira</i> spp.	-	1	3	3	-	1	-	+	2	-	1	+	-	-	4	2	1	-
<i>Azeitia nodulifera</i> (Schmidt) Fryxell et Sims	-	-	-	-	-	+	+	-	1	+	+	+	-	-	-	-	4	-
<i>Bacterosira fragilis</i> (Gran) Gran	-	-	-	1	3	+	+	-	1	+	+	+	+	1	-	-	-	-
<i>Cocconeis</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	+	1	-	-	+	1	+	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenberg	-	3	1	2	8	3	-	1	+	2	1	1	1	1	3	4	1	-
<i>Cladogramma dubium</i> Lohman	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cyclotella</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Delphineis angustata</i> (Pantocsek) Andrews	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	1	+	-	-
<i>D. surirella</i> (Ehrenberg) Andrews	1	1	-	-	1	+	-	-	-	-	1	1	-	-	1	-	5	5
<i>Diploneis</i> spp.	1	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	1	-	1
<i>Grammatophora</i> spp.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hemidiscus cuneiformis</i> Wallich	-	-	-	-	-	-	-	2	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-
<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova	-	-	-	+	1	-	+	2	+	1	-	-	-	-	-	1	-	2
<i>Koizumia tatsunokuchiensis</i> (Koizumi) Yanagisawa	-	4	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	2
<i>Melosira albicans</i> Sheshukova	3	8	2	9	-	2	4	4	1	3	3	6	2	2	-	-	-	-
<i>M. sol</i> (Ehrenberg) Kützing	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Navicula</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-
<i>Neodenticula kamschatica</i> (Zabelina) Akiba et Yanagisawa	9	7	5	4	4	4	3	2	2	9	5	+	5	3	-	-	-	-
<i>N. koizumii</i> Akiba et Yanagisawa	21	14	29	19	23	23	17	39	24	41	36	29	20	52	17	23	19	7
<i>N.</i> sp. A	-	2	4	-	3	3	1	+	-	3	1	2	16	8	11	2	6	3
Open copula of <i>Neodenticula</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Nitzschia</i> cf. <i>extincta</i> Kozurenko et Sheshukova	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	1	3
<i>N. fossilis</i> (Frenguelli) Kanaya et Koizumi	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+
<i>N. grunowii</i> Hasle	1	-	1	1	2	2	2	1	1	-	-	1	1	+	-	+	-	1
<i>N. jouseae</i> Burckle	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>N. marina</i> Grunow in Cleve et Grunow	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>N. reinholdii</i> Kanaya ex Barron et Baldauf	-	+	+	3	3	-	1	2	+	+	+	+	1	+	+	+	-	-
<i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) Agardh	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	+	-	-	-	1	-	1	1
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	8	10	5	2	7	8	10	-	15	2	+	5	+	2	7	2	6	15
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundstöm	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>P. barboi</i> (Brun) Jordan et Priddle	-	-	-	2	-	-	-	1	+	1	+	1	1	-	-	+	-	2
<i>Pseudopodosira elegans</i> Sheshukova	-	-	-	1	-	2	3	-	+	1	2	5	3	4	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia styliformis</i> Brightwell	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Stephanodiscus</i> spp.	-	-	1	1	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	-
<i>Stephanopyxis dimorpha</i> Schrader	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	5	3	+
<i>S. horridus</i> Koizumi	3	-	1	3	7	5	2	1	3	+	6	-	1	-	-	+	1	4
<i>S.</i> spp.	8	7	1	4	11	7	6	3	2	6	9	3	5	1	5	4	9	4
<i>Thalassionema nitzschoides</i> (Grunow) H. et M. Peragallo	28	31	41	38	13	18	36	35	31	19	22	22	27	16	32	34	26	38
<i>Thalassiosira antiqua</i> (Grunow) Cleve-Euler	6	5	1	1	3	6	4	6	1	2	4	4	1	1	-	-	-	-
<i>T. antiqua</i> (Grunow) Cleve-Euler var. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	5	1	1
<i>T. bipola</i> Shiono and Koizumi	-	1	-	-	2	4	-	+	2	+	2	1	2	1	-	-	-	-
<i>T. convexa</i> Muchina	4	3	-	3	1	2	1	1	2	1	1	+	1	+	-	-	1	-
<i>T. decipiens</i> (Grunow) Joergensen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	+	-	-	-	-
<i>T. gravida</i> Cleve	-	+	-	-	6	2	-	-	3	1	2	2	3	-	-	1	1	+
<i>T. jacksonii</i> Koizumi et Barron in Koizumi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>T. jouseae</i> Akiba	1	-	-	-	2	2	-	1	+	1	+	-	-	-	-	1	1	+
<i>T. nidulus</i> (Tempère et Brun) Jousé	-	+	-	-	1	1	-	-	+	-	1	-	+	-	2	-	-	2
<i>T. oestrupii</i> (Ostenfeld) Proshkina-Labrenko	2	+	-	3	1	-	1	-	1	+	-	3	2	4	2	1	2	1
<i>T. trifulta</i> Fryxell	1	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>T. zabelinae</i> Jousé	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>T.</i> spp.	2	2	3	-	-	-	-	-	4	1	1	8	2	-	10	9	5	8
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow	+	+	-	+	+	3	-	-	+	2	+	+	1	+	-	-	-	+
Total number of valves counted	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Resting spore of <i>Chaetoceros</i>	176	83	80	78	47	94	155	82	119	74	94	78	119	89	824	405	426	266

Occurrence; +: present, -: absent. Preservation; G: good, M: moderate, P: poor. Abundance; A: abundant, C: common, R: rare.

らの試料はYanagisawa and Akiba (1998)の北太平洋珪藻化石帯区分のNPD 8帯と認定される。また、すべての試料で*N. koizumii*が*N. kamtschatica*より頻度が高いことから、これらの試料は渡辺(2002)が認定した*N. koizumii*の急増層準(RI)よりも上位にある。

一方、小高町水谷のD_{4b}に属する海底地すべりブロック(第5図)の4試料(Sb01~Sb04)は、*N. koizumii*のみを産し、*N. kamtschatica*を欠いている。このことから、これらはNPD 9帯に属すると判定される。

なお、このほか柳沢(1990)が分析した双葉-小高-小浜セクションと姥ヶ沢セクションにおける珪藻の詳しい産出表は公表されていなかったため、今後の研究の基礎データとして珪藻化石産出表を第2表と第3表に示した。

5. 考察

浜通り地域の大年寺層については、既に主要4微化石(珪藻、石灰質ナノ化石、浮遊性有孔虫及び放散虫)の生層序に関する詳細な研究が行われている(Koizumi, 1972; 竹谷ほか, 1986; 柳沢ほか, 1989; 柳沢, 1990; 長谷川ほか, 1993; Kohno and Yanagisawa, 1997; 相田・竹谷, 2001; 相田, 2003)。そこで本論文では、これら既存の微化石層序データと本研究による珪藻化石分析結果を統合して、大年寺層の年代層序を組み立てる。

5.1 珪藻化石層序

大年寺層の珪藻化石層序を検討した研究としては、Koizumi (1972)、竹谷ほか(1986); 柳沢ほか(1989); 柳沢(1990); 長谷川ほか(1993); Kohno and Yanagisawa (1997)など多数あるが、ここでは、系統的に試料を採取して詳細な検討を行っている竹谷ほか(1986)、柳沢(1990)及び本研究の結果を基本として、大年寺層全体の珪藻化石層序をまとめる。

ところで、日本周辺で適用可能な珪藻化石帯区分としては、主に寒流系種を用いた北太平洋珪藻化石帯区分(Akiba, 1986; Yanagisawa and Akiba, 1998など)と、暖流系種を基にした低緯度珪藻化石帯区分(Barron, 1985)とがある。大年寺層では寒暖両系の珪藻が産出して両珪藻化石帯区分が適用可能であるので、この論文で併用して年代層序を議論する。

まず、本層下部のD₁の区間から検討する。竹谷ほか(1986)に基づくと、岩沢セクション(第6図)では、D₁は北太平洋珪藻化石帯区分のNPD 7Bb帯とNPD 8帯に属し、両化石帯境界の生層準D80(*N. koizumii*の初産出層準)は、テフラ層SF10.15とSF10.2の間に認められる。また、低緯度珪藻化石帯区分では、岩沢セクションのD₁はNTD 14帯に対比される(竹谷ほか, 1986; 久保ほか, 2002)。

次に、本層中上部(D₁の最上部から本層の上限まで)については、柳沢(1990)、Kohno and Yanagisawa (1997)

及び本研究によって明らかにされた化石帯指標種の層序的産出状況を第8図にまとめた。

北太平洋珪藻化石帯区分では、D₁はNPD 7Bb帯とNPD 8帯に、D₂とD_{4a}はNPD 8帯に、海底地すべりブロック(SB)を含むD_{4b}とD_{4c}はNPD 9帯に属する。また、NPD 7Bb/NPD 8帯境界の生層準D80はテフラ層SF10.4附近に、NPD 8/NPD 9帯境界の生層準D90(*N. kamtschatica*の終産出層準)はD_{4a}の上限にある。更に、渡辺(2002)によってその生層序学的有用性が認識された*N. koizumii*の急増層準(RI)は、テフラ層SF11とSF16の間に明瞭に認められる。

低緯度珪藻化石帯区分では、D₁最上部からD_{4c}までの区間はNTD 14帯からNTD 15B帯までに対比される。このうち、NTD 15A/15B帯境界を規定する*Nitzschia jouseae*の終産出層準は、D_{4b}の海底地すべりブロックとそれを覆うD_{4b}の堆積物の基底の間にある。しかし、NTD 14/15A帯の境界は、指標種の*Rhizosolenia praebergonii*が大年寺層では産出しないため認定することができない。

以上の珪藻化石層序のまとめを第7図に示す。

5.2 石灰質ナノ化石層序

竹谷ほか(1986)によれば、岩沢セクションでのD₁は、石灰質ナノ化石帯区分(Okada and Bukry, 1980)のCN 11帯とCN 12a帯に相当する(第6図)。両化石帯の境界を定義する*Reticulofenestra pseudoumbilica*の終産出層準は、テフラ層SF10.15附近に認められる。D₂以上については、石灰質ナノ化石層序は検討されていない。

5.3 浮遊性有孔虫化石層序

岩沢セクションでのD₁には、浮遊性有孔虫化石帯区分(Blow, 1969)のN.19帯とN.21帯が認められる(竹谷ほか, 1986; 第6図)。N.19/N.21帯境界を規定する*Globorotalia tosaensis*の初産出層準は、岩沢セクションではテフラ層SF10.4附近に認められており、これはその後試料を追加して岩沢セクションの浮遊性有孔虫層序を再検討した相田(2003)によっても追認されている。なお、D₂以上からは、浮遊性有孔虫化石がほとんど産出せず、化石帯の認定はできない(相田, 2003)。

5.4 放散虫化石層序

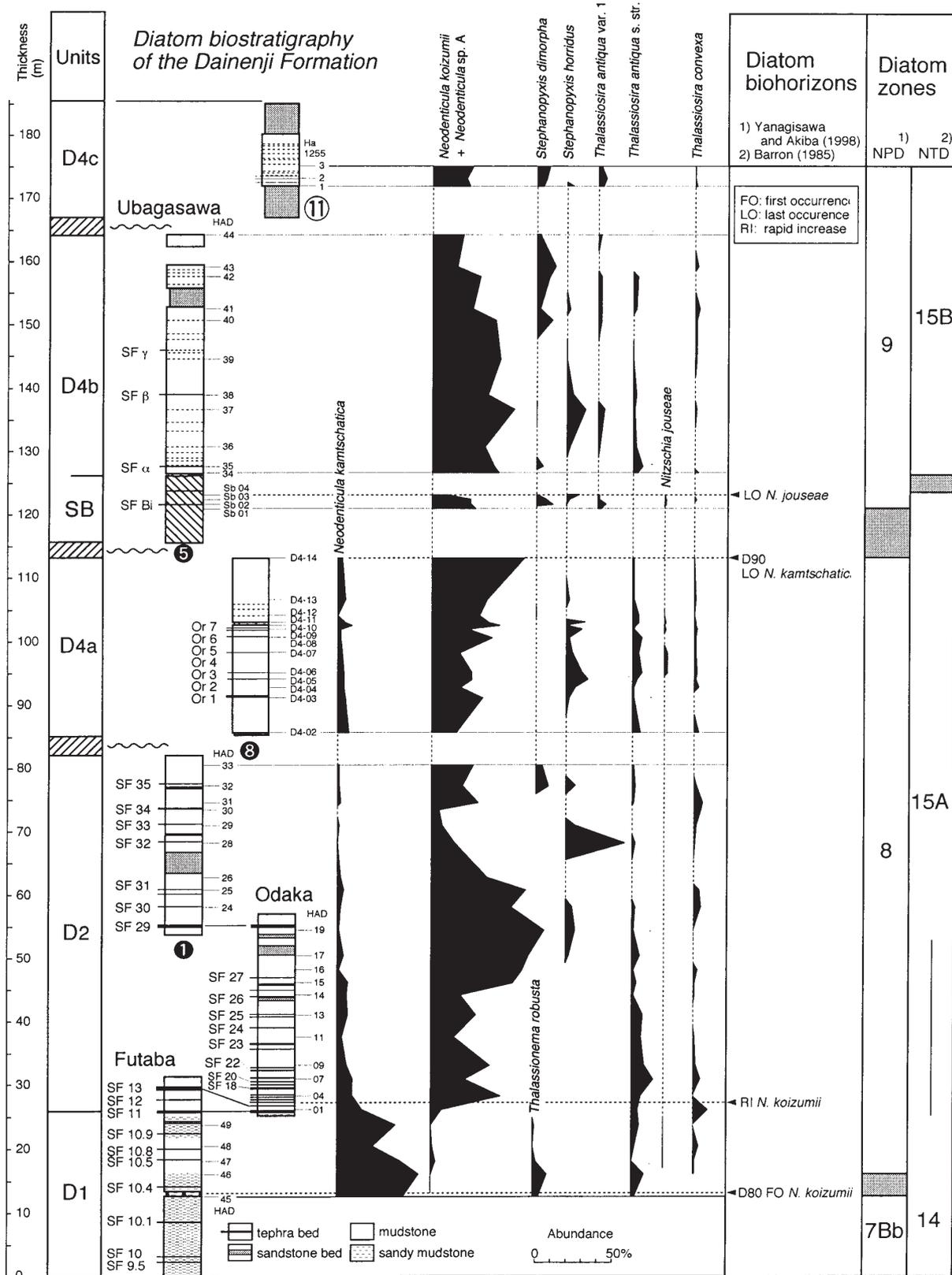
竹谷ほか(1986)が検討した岩沢セクションのD₁は、Foreman(1975)による放散虫化石帯区分の*Sphaeropyle langii*帯の上部に対比される。一方、長谷川ほか(1993)によれば、双葉町の海岸崖から採取された数試料から産出した放散虫群集は、Foreman (1975)の*Lamprocyrtis heteroporos*帯に含まれる。これらの試料は、筆者らの調査によれば、D_{4b}の上部のテフラ層SF γ 附近の層準のものである(第7図)。このほか、相田・竹谷(2001)は、富岡町富岡川の富岡鯨産出地点附近に露出する砂質泥岩の放散虫

第3表 双葉,小高及び小浜セクションにおける大年寺層の珪藻化石産出表.

Table 3. Occurrence chart of diatoms in the Dainenji Formation of the Ubagasawa section.

Section	Ubagasawa											
Unit	D4b											
Diatom zone (Yanagisawa and Akiba, 1998)	NPD 8											
Sample number	HAD	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
Preservation		G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
Abundance		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
<i>Actinocyclus curvatus</i> Janisch		-	+	-	-	3	-	2	+	2	1	1
A. <i>ochotensis</i>		1	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-
A. <i>octonarius</i> Ehrenberg		1	2	1	-	-	1	2	3	5	2	1
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg		-	4	3	1	-	1	2	-	-	-	-
A. <i>vulgaris</i> Schmann		-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Adoneis pacifica</i> Andrews		-	1	-	2	-	-	-	1	1	+	3
<i>Aulacoseira</i> spp.		1	-	1	-	-	-	-	2	-	-	-
<i>Azpeitia nodulifera</i> (Schmidt) Fryxell et Sims		-	+	-	-	-	-	-	2	1	-	-
A. <i>tabularis</i> (Grunow) Fryxell et Sims		-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Bacterosira fragilis</i> (Gran) Gran		-	-	1	-	-	1	1	1	1	1	-
<i>Cocconeis antiqua</i> Tempère et Brun		-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-
C. <i>scutellum</i> Ehrenberg		-	-	-	1	-	-	-	+	-	-	-
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenberg		1	2	-	2	4	1	1	2	5	+	2
<i>Delphineis sachalinensis</i> (Sheshukova) Andrews		-	+	-	-	+	-	+	2	2	-	+
D. <i>surirella</i> (Ehrenberg) Andrews		1	+	1	4	-	-	1	1	-	4	6
<i>Diploneis smithii</i> (Brébisson) Cleve		1	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Grammatophora</i> spp.		1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hemidiscus cuneiformis</i> Wallich		-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
<i>Neodenticula koizumii</i> Akiba et Yanagisawa		40	39	31	35	27	20	21	18	19	11	8
N. sp. A		3	1	3	18	9	24	20	8	13	5	12
<i>Nitzschia cf. extincta</i> Kozurenko et Sheshukova		1	1	-	1	-	2	3	1	+	1	+
N. <i>fossilis</i> (Frenguelli) Kanaya et Koizumi		-	1	3	-	-	-	+	1	-	1	4
N. <i>grunowii</i> Hasle		-	-	-	-	1	1	-	-	-	4	-
N. <i>marina</i> Grunow in Cleve et Grunow		-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
N. <i>reinholdii</i> Kanaya ex Barron et Baldauf		1	-	2	-	-	-	-	+	1	-	+
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve		1	1	5	+	2	3	4	2	5	-	-
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundstöm		-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
P. <i>barboi</i> (Brun) Jordan et Priddle		1	+	4	1	13	8	4	10	1	1	4
<i>Pseudopodosira elegans</i> Sheshukova		-	-	-	-	1	6	-	-	1	3	2
<i>Rhaphoneis amphicerus</i> Ehrenberg		-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	3
<i>Rhizosolenia styliformis</i> Brightwell		-	-	-	-	-	+	-	-	-	1	-
<i>Stephanopyxis dimorpha</i> Schrader		-	2	-	+	-	-	5	1	4	6	1
S. <i>horridus</i> Koizumi		-	-	1	6	2	+	-	1	-	-	-
S. <i>turris</i> (Greville et Arnott) Ralfs		1	-	2	-	-	-	2	1	3	-	5
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) H. et M. Peragallo		37	35	36	20	34	27	24	29	24	51	37
<i>Thalassiosira antiqua</i> (Grunow) Cleve-Euler s. str.		3	6	2	1	2	+	-	2	3	-	-
T. <i>antiqua</i> (Grunow) Cleve-Euler var. I		-	-	1	4	-	-	2	2	2	-	2
T. <i>convexa</i> Muchina		2	-	-	1	-	1	1	3	-	2	-
T. <i>gravida</i> Cleve		1	+	-	1	2	-	3	4	3	1	-
T. <i>jouseae</i> Akiba		-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
T. <i>lineata</i> Jouse'		-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
T. <i>nidulus</i> (Tempère et Brun) Jousé		+	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T. <i>nordenskiöldii</i> Cleve		-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-
T. <i>oestrupii</i> (Ostenfeld) Proshkina-Labrenko		-	-	-	1	-	-	-	1	-	1	-
T. <i>plicata</i> Schrader		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T. <i>trifulta</i> Fryxell		-	-	-	-	-	1	-	1	-	1	3
T. spp.		1	2	2	-	-	-	-	-	-	-	5
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow		-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Total number of valves counted		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Occurrence; +: present, -: absent. Preservation; G: good, M: moderate, P: poor. Abundance; A: abundant, C: common, R: rare.



第8図 大年寺層上部の珪藻化石層序. 柳沢(1990), Kohno and Yanagisawa (1997)及び本研究のデータから作成.

Fig. 8 Diatom biostratigraphy of the upper Dainenji Formation, compiled from Yanagisawa (1990), Kohno and Yanagisawa (1997) and this study.

群集を分析し、それらがMotoyama (1986)の *Cycladophora sakaii* 帯下部に相当すると報告している。この層準は、テフラ層SF10.2の約15 m下位にあたる(第7図)。

5.5 年代層序の総括

以上の微化石層序を、大年寺層の総合柱状図にまとめた(第7図左)。以下、これを古地磁気微化石年代尺度(Berggren *et al.*, 1985; Yanagisawa and Akiba, 1998; 斎藤, 1999)に対比して、大年寺層の年代を議論する。なお、大年寺層における4種の微化石層序の相互関係と指標年代生層準の順序は、既存の微化石年代尺度と矛盾しないので、生層準の位置や各セクション間でのテフラ層の対比にとくに大きな問題はないと判断される。

まず、年代尺度に直接対比できる生層準として、下位より石灰質ナノ化石の *R. esudoubilica* の終産出層準(3.75 Ma)、珪藻のD80 (*N. koizumii* の初産出層準, 3.5 Ma)、浮遊性有孔虫の *G. tosaensis* の初産出層準(3.35 Ma)、珪藻の *N. koizumii* の急増層準(3.0~3.1 Ma)、珪藻のD90 (*N. kamtschatica* の終産出層準, 2.6~2.7 Ma)、及び珪藻の *N. jouseae* の終産出層準(2.6 Ma)があげられる。このうち、珪藻のD80については異時性(場所により年代が異なること)が指摘され、その年代は3.5~3.9 Maと幅のある年代が算定されている(Barron and Gladenkov, 1995; Yanagisawa and Akiba, 1998)。しかし、渡辺(2002)によれば日本周辺など中緯度地域では、この生層準の年代はほぼ3.5 Maで一定しているとされている。大年寺層においても、D80は、*R. pseudoubilica* の終産出層準(3.75 Ma)と *G. tosaensis* の初産出層準(3.35 Ma)の間にあり、渡辺(2002)の見解を支持している。

以上の生層準に挟まれた区間は、直接年代尺度に対比できるので、この区間内にあるテフラ層は、生層準の年代を基準に内挿によってその年代を確実に推定できる。一方、この区間の下位及び上位の区間に挟在するテフラ層の年代は、大年寺層の下限及び上限の年代に曖昧さが残るので、確実性が劣る。

まず、本層の下限の年代は、少なくとも岩沢セクションでは浮遊性有孔虫の *Globigerina nepenthes* が検出されない(竹谷ほか, 1986; 相田, 2003)、その終産出層準(4.18 Ma)よりも新しいと言える。ただし、第6図のテフラ層の対比図からわかるように、岩沢セクションの下限は必ずしも大年寺層で最下限とは言えず、むしろ熊町-大川原セクション(●)や本町西-上手岡セクション(●)の下部において、より下位の層準が露出しているように見える。実際、岩沢セクション下限の不整合では、中部漸深海帯の堆積深度を示す底生有孔虫群集を含む泥岩が、湯長谷層群の本谷層(下部中新統)の泥岩にアバットしており(竹谷ほか, 1986)、不整合直上の層準が、既に海進が相当進んで深度が深くなった層準であることを示している。したがって、これ

よりも古い海進期の層準がその下位に存在する可能性が高い。一方、岩沢セクションの5 km南方の広野町夕筋海岸においては、大年寺層が白土層群中山層(中部中新統)を不整合に覆い、ここでは海進初期の斜交層理の発達した粗粒砂岩からなる浅海堆積物が発達する(竹谷ほか, 1986; 久保ほか, 2002)。しかし、この層準からは微化石は検出されず、大年寺層の海進初期の年代は不明である。以上のように、現段階では微化石から大年寺層下限の年代は確定できない。

ところで、模式地の仙台地域では、大年寺層の下位にある向山層下部の広瀬川凝灰岩について、 3.5 ± 0.4 Maのジルコンフィッシュトラック年代が報告されている(檀原・岩野, 1995)。この年代は、鉱物学的特徴などを基に慎重に本質結晶を識別し、更に自発トラック長の解析なども行って、外来異質結晶を除去して算出されたものであり、信頼性の高い年代である判断できる。したがって、誤差を考慮しても向山層の年代が4 Maを越えないとすれば、その上位にある大年寺層の下限の年代も4 Maより古い可能性は低いと考えるべきかもしれない。しかし、今回研究した浜通り地域中部と仙台地域は約100 kmも離れていて、地層境界が時間面と斜交している可能性も否定できないので、大年寺層の下限は現状では確定できない。

大年寺層の上限については、2.4 Maに初産出がある *Neodenticula seminae* が最上部のD_{4c}から産出しないことから、大年寺層上限が2.4 Maより古いことは確かである。また、2.3 Maに終産出がある *Thalassiosira convexa* がD_{4c}で検出されることも、この推定と整合的である。一方、*N. jouseae* の終産出層準(2.6 Ma)がD_{4b}の海底地すべりブロックとその上位の堆積物の間に認められる。したがって、大年寺層上限の年代は2.4~2.6 Maの範囲に入ることは確かであるが、これ以上の限定はできない。

6. まとめ

本研究では福島県太平洋岸の浜通り地域中部に分布する大年寺層のテフラ層序全体を総括した。また、珪藻化石分析と既存の微化石層序に基づいて大年寺層の年代層序を確立し、古地磁気微化石年代尺度に対比した。これによって、大年寺層のテフラ層の年代が推定可能となり、東北地方南部の鮮新世テフラ年代層序の基礎を構築することができた。

ただし、既に触れたように大年寺層の下限の年代は未だ確定できていない。この問題は、熊町-大川原セクションなどの大年寺層の下限に近い層準について微化石層序の検討を行うことで解決できる可能性がある。一方、浜通り地域の南部(楡葉町・広野町)や北部(鹿島町・相馬市・新地町)では、微化石層序との対応がつかないテフラ層がまだ多く残されているので、それらの年代についても今後検討してゆくことが必要である。

謝辞:地球科学情報研究部門の渡辺真人博士と担当編集委員の吉川敏之研究員には、査読を通じて有益なコメントをいただいた。ここに記して謝意を表す。本研究は地球科学情報研究部門の複合年代層序の研究の一部として実施した。また、本研究には、日本学術振興科学研究費補助金(基盤研究(A), 課題番号:12304031代表者:吉田武義)の一部を使用した。

文 献

- 相田 優 (2003) 福島県双葉地域南部に分布する鮮新統の浮遊性有孔虫生層序. 日本地質学会2003年会予稿集, 78.
- 相田 優・竹谷陽二郎 (2001) 福島県内に分布する海成新第三系の微化石調査資料. 福島県立博物館調査報告集, no. 36, 1-53.
- 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. Rep. Deep Sea Drilling Project*, U. S. Govt. Printing Office, Washington D. C., **87**, 393-480.
- Barron, J. A. (1985) Miocene to Holocene planktic diatoms. *In* Bolli, H. M., Saunders, J. B. and Perch-Nielsen, K. eds., *Plankton Stratigraphy*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 763-809.
- 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 Spec. Publ.*, no. 54, p.129-212.
- Blow, W. H. (1969) Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. *In* Brönnimann, P. and Renz, H. H. eds., *Proc. First Intern. Conference on Planktonic Microfossils*, **1**, 199-422. Leiden, Netherlands.
- Cande, S. C. and Kent, D. V. (1995) Revised calibration of the geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Jour. Geophys. Res.*, **100**, 6093-6095.
- 檀原 徹・岩野英樹 (1995) 火砕流堆積物のFT年代測定—仙台層群広瀬川凝灰岩層の場合—. *フィッション・トラックニュースレター*, **8**, 25-34.
- Foreman, H. P. (1975) Radiolaria from the North Pacific, Deep Sea Drilling Project, Leg 32. *In* Larson, R. L., Moberly, R., Bukry D. *et al.*, *Init. Rep. Deep Sea Drilling Project*, U. S. Govt. Printing Office, Washington D. C., **32**, 579-676.
- 長谷川善和・大石雅之・竹谷陽二郎・丸山俊明 (1993) 福島県双葉町より産出した鯨類化石. 福島県立博物館調査報告, no.23, 1-44.
- 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.
- Kohno, N. and Yanagisawa, Y. (1997) The first record of the Pliocene Gilmore fur seal in the western North Pacific. *Bull. Nat. Sci. Mus. Ser. C (Geol. & Paleont.)*, **23**, 119-130.
- Koizumi, I. (1972) Marine diatom flora of the Pliocene Tatsunokuchi Formation in Fukushima Prefecture. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, no. 86, 340-359.
- 久保和也・柳沢幸夫・吉岡敏和・山元孝広・滝沢文教 (1990) 原町及び大甕地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 155p.
- 久保和也・柳沢幸夫・吉岡敏和・高橋 浩 (1994) 浪江及び磐城富岡地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 104p.
- 久保和也・柳沢幸夫・利光誠一・坂野靖行・兼子尚知・吉岡敏和・高木哲一 (2002) 川前及び井出地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 産業技術総合研究所 地質調査総合センター, 136p.
- 黒川勝己 (1999) 新潟地域における七谷層～魚沼層群の火山灰層序. *石油技誌*, **64**, 1.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス—日本列島とその周辺—. 東京大学出版会, 336p.
- Motoyama, I. (1996) Late Neogene radiolarian biostratigraphy in the subarctic Northwest Pacific. *Micropaleontol.*, **42**, 221-262.
- Okada, H. and Bukry, D. (1980) Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973, 1975). *Marine Micropaleont.*, **5**, 321-325.
- 斎藤常正 (1999) 最近の古地磁気層序の改訂と日本の標準微化石層序. *石油技誌*, **64**, 2-15.
- 里口保文・長橋良隆・黒川勝己・吉川周作 (1999) 本州中央部に分布する鮮新一下部更新統の火山灰層序. *地球科学*, **53**, 275-290.
- 竹谷 陽二郎・相田 優・岡田尚武・尾田太良・長谷川四郎・丸山俊明・根本直樹 (1986) 福島県双葉地域の多賀

- 層群より産する微化石調査報告. 福島県立博物館調査報告, **12**, 53p.
- 東北農政局計画部 (1979) 原町地区地盤沈下報告書, 161p.
- 高橋友啓・長橋良隆・柳沢幸夫・吉田武義・黒川勝己 (2003) 福島県太平洋岸に分布する鮮新統大年寺層のテフラ層—その2. 記載岩石学的特徴—. 地調研報, **54**, 365-393.
- 渡辺真人 (2002) 富山県氷見・灘浦地域の鮮新統の珪藻化石層序と年代層序の再検討—とくに広域火山灰層とNo. 3 *Globorotalia inflata* (浮遊性有孔虫) bedの年代について—. 地質雑, **108**, 499-509.
- 柳沢幸夫 (1990) 仙台層群の地質年代—珪藻化石層序による再検討—. 地調月報, **41**, 1-25.
- 柳沢幸夫 (1999) 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.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F. (1998) Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **104**, 95-114.
- 柳沢幸夫・中村光一・鈴木祐一郎・沢村孝之助・吉田史郎・田中裕一郎・本田 裕・棚橋 学 (1989) 常磐炭田北部双葉地域に分布する第三系の生層序と地下地質. 地調月報, **40**, 405-467.
- 柳沢幸夫・山元孝広・坂野靖行・田沢純一・吉岡敏和・久保和也・滝沢文教 (1996) 相馬中村地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 114p.

(受付:2003年9月30日;受理:2003年12月18日)