

## 新潟県胎内市シンクルトン記念公園周辺の新第三系珪藻化石

秋葉文雄<sup>1)</sup>・加藤 進<sup>2)</sup>・井上洋子<sup>3)</sup>・壇原 徹<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>(有) 珪藻ミニラボ ☎ 357-0023 飯能市岩沢 632-12

<sup>2)</sup>(株) 地球科学総合研究所 ☎ 112-0012 東京都文京区大塚 1-5-21

<sup>3)</sup>井上パレオラボ ☎ 168-0065 東京都杉並区浜田山 4-6-6

<sup>4)</sup>(株) 京都フィッショントラック ☎ 603-8832 京都市北区大宮南田尻町 44-4

### Neogene diatoms in the environs of the Memorial Park of Petroleum, Tainai City, Niigata Prefecture

Fumio Akiba<sup>1)</sup>, Susumu Kato<sup>2)</sup>, Yoko Inoue<sup>3)</sup>, and Toru Danhara<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Diatom Minilab Akiba Ltd.

<sup>2)</sup>JGI, Inc.

<sup>3)</sup>Inoue Paleolab.

<sup>4)</sup>Kyoto Fission-Track Co., Ltd.

#### Abstract

The Uchisugawa Formation outcropped near the Memorial Park of Petroleum yields abundant diatoms belonging to the three Middle Miocene diatom zones, NPD4B, NPD5A and the lower part of NPD5B, and is correlative to the Nanatani Stage in Niigata area. The correlation shows the formation is interfingered with its underlying Shimoseki Formation as previously suggested by Hiramatsu and Miwa (1998). The Kuwae Formation, which unconformably overlies the Uchisugawa Formation, yields rare diatom assemblages indicating the Pliocene diatom zone NPD8.

The fission-track dating of a pumiceous tuff layer near the NPD5A/NPD5B boundary shows evidently younger age (10.7 Ma) than that estimated by the diatom biostratigraphy (12.7 Ma), which suggests a later thermal event.

All the diatoms recognized in this paper are listed with their short taxonomic references, and most of diatoms found in a highly diversified sample belonging to the Middle Miocene *Denticulopsis praedimorpha* Zone (NTD5B) are illustrated.

**Key words:** Niigata, Neogene, diatom biostratigraphy, Uchisugawa Formation, fission-track dating, Nanatani Stage

#### 1. はじめに

シンクルトン記念公園の位置する新潟県北蒲原郡黒川村（現胎内市）は、石油が「燃水」という呼び名で初めて文献（「日本書記」）に現れた「越の国」献上地の有力候補地のひとつであり、古くから石油が採取されていた記録が残っているところである（長、1970）。明治9年のライマンの調査（鈴木、1982）や明治41年の伊木による調査（伊木、1909）の頃にも原油の採取が行われていたが、この地域が越後黒川油田（第1図）として本格的に開発されたのは昭和15年（1940年）からである。125坑の坑井が掘削されたが、原油の累計生産量は約24,000 kLに過ぎない小規模な油田である（帝国石油㈱、1992）。

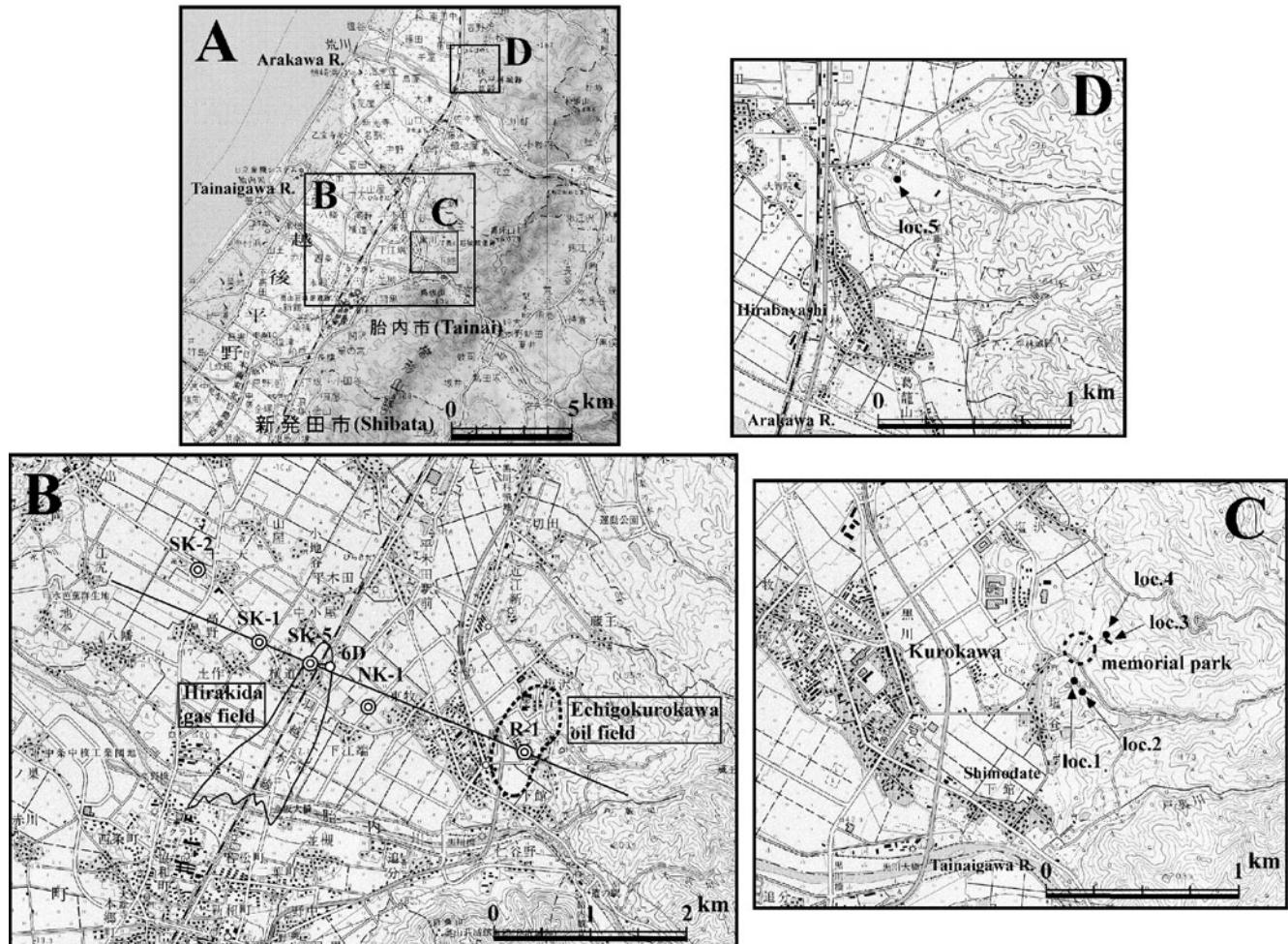
平木田ガス田（第1図）は越後黒川油田の西方約2.5 kmの羽越本線の直下に発達しており、昭和41年に石油資源開発㈱が平木田SK-3で発見した層位トラップを主とするガス田である（加藤・片平、1968）。西山層から寺泊層にガス層が発達しているが、連続性に乏しく、天然ガスの累計生産量は約1.8億 m<sup>3</sup>であった（天然ガス鉱業会、2009）。

シンクルトン記念公園では、現在も原油や天然ガスが地表に滲み出しており（これを油・ガス微と呼ぶ：第2図）、周囲の露頭では不整合や原油を含む砂岩層も観察できることから、この公園は石油地質学を学ぶ上で貴重な場所となっている。著者の一人加藤が石油資源開発㈱長岡鉱業所に勤務していた平成11年にはシンクルトン記念公園北東の小沢に堰堤が作られたばかりであり、その北側の沢斜面には、良質の珪藻質泥岩が連続的に露出していた。その中には凝灰岩層や原油を含む砂岩などが挟在しており、その泥岩からは新潟県下では比較的産出例の稀な七谷期の珪藻化石群集が豊富に検出された。

本稿では、シンクルトン記念公園に近接する地域から採取した試料も含めて、それらの珪藻化石とフィッショントラック(FT)年代測定結果を報告し、不整合の年代や七谷階/寺泊階境界などについて考察する。

#### 2. 地質概説

シンクルトン記念公園を含む柳形山脈周辺の新第三系の層序は



第1図. 索引図および試料採取位置図.

Fig. 1. Index map showing oil and gas fields, well locations and sample localities. Topographic maps, "Niigata" at 1:200,000 in scale, "Nakajo" at 1:50,000 and 1:25,000 in scale by Geographical Institute of Japan are used.

西田・津田（1961）によって報告され、広く用いられている（第3図）。最下位の釜杭層は下部に礫岩が発達し、上部は砂岩からなり、一部はシルト岩・砂岩の互層である。下関層は主に黒色頁岩からなり、しばしば凝灰岩を挟む。最下部に海緑石砂岩が発達する。内須川層は黒色泥岩からなり、一部でシルト質あるいは砂質となる灰白色の緻密な凝灰岩を挟む。鍬江層は内須川層を不整合に覆い、主にシルト岩、細粒～中粒砂岩およびこれらの互層からなる。櫛形山脈の東側では起伏に富んだ侵蝕面上に基底礫岩が発達している。新潟地域の標準層序（新潟県、2000）に対比すると、釜杭層は津川階に、下関層は七谷階に、内須川層は寺泊階に、鍬江層は西山階に対比されている（第3図）。

シンクルトン記念公園のある塩谷付近では、黒色泥岩からなる内須川層とそれを不整合に覆う鍬江層が主に露出している（第4図）。

平木田ガス田では、平木田SK-1などの坑井で津川階に対比される砂岩優勢な地層を確認しており、椎谷層基底には構造頂部に向かって削剥量が増加する不整合の存在が報告されている（加藤・片平、1968；片平、1969；片平、1973）。また、椎谷層には下位の七谷層や寺泊層起源の泥岩礫が含まれている（片平、1969；新

保、1971；鈴木ほか、1977；加藤・渡辺、1984）。

### 3. 試料

#### 3.1. 珪藻化石

シンクルトン記念公園南東の沢には幾つかの小さな露頭がある（第1図）。最も手前の露頭（loc. 1）は、主に鍬江層の細礫を含むシルト岩からなり、原油を含む砂岩層を不規則に挟んでいる。約1mの間隔で2試料（試料1-1, 1-2）を採取した。約20m先の露頭（loc. 2）は内須川層の塊状珪藻質泥岩からなり、1試料（試料2）を採取した。

平成11年の時点では、シンクルトン記念公園北東に作られた堰堤北側の沢斜面には地層が連続的に露出していた（第5図：loc. 3）。その地質柱状図を第6図に示す。ほとんどが内須川層の珪藻質泥岩からなるが、最下位の約10mは硬質であり、割れ方が明らかに異なっていることから、下関層と判断した。この露頭から約5m間隔で8試料を採取した（上位から試料3-1～3-8；第6図）。

この沢の斜面の上には細い道路があり、堰堤付近の露頭（loc.



第2図. シンクルトン公園の油・ガス微.  
Fig. 2. Oil and gas seepages in the Memorial Park of Petroleum.

4) では鉢江層基底の不整合が観察できる（第5図）。基底部の礫岩に含まれている泥岩礫から2試料を採取したが、珪藻化石は含まれていなかった。不整合の直下および約2 m 下の塊状泥岩からそれぞれ試料を採取した（試料4-1, 4-2）。これら2試料は試料3-1よりも上位に位置している（第6図）。

神林村平林の露頭（第1図；loc. 5）から採取した試料（試料5）は塊状シルト岩からなり、椎谷層に対比されている（片平, 1969）。

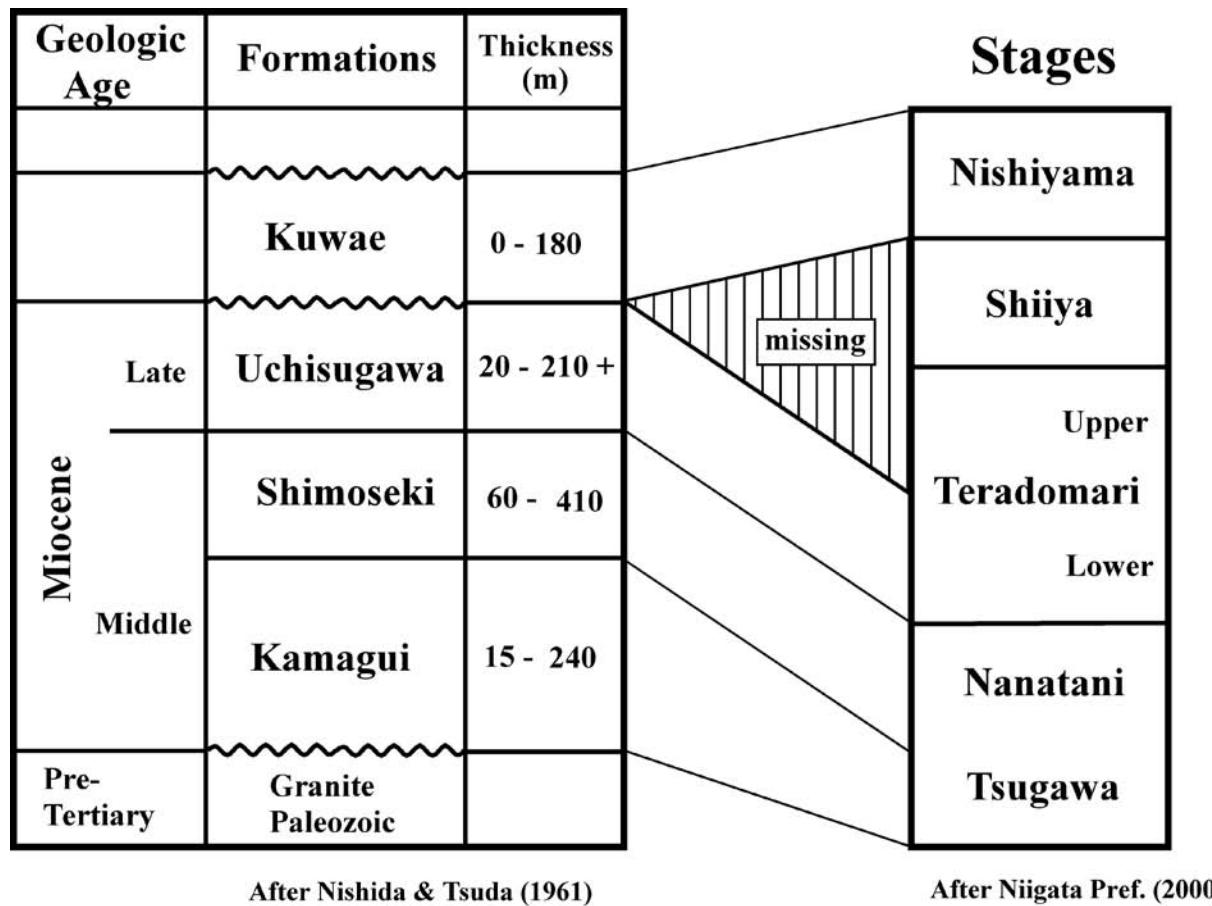
### 3.2. フィッショング・トラック年代測定

堰堤北側の沢斜面（loc. 3）で採取した珪藻化石用の試料3-3の上位約60 cmには、約10 cmの浮石質凝灰岩が挟まれていたので、FT年代測定用の試料として採取した。

## 4. 硅藻化石

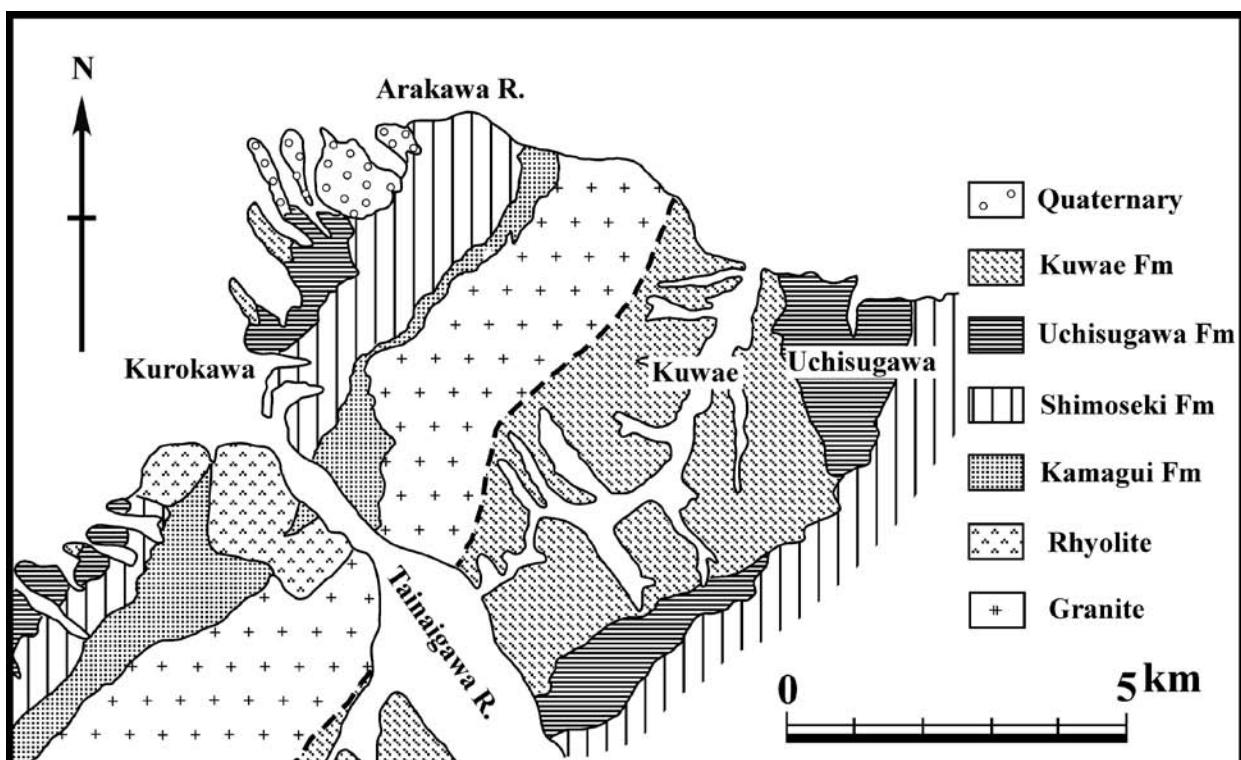
### 4.1. 分析方法

珪藻化石の同定、算定には秋葉ほか（1982）に従って作製した未処理散布スライドを使用した。珪藻殻の算定は、スライド上に任意の測線を選び、観察された個体数の合計が100個体になるまで行った。



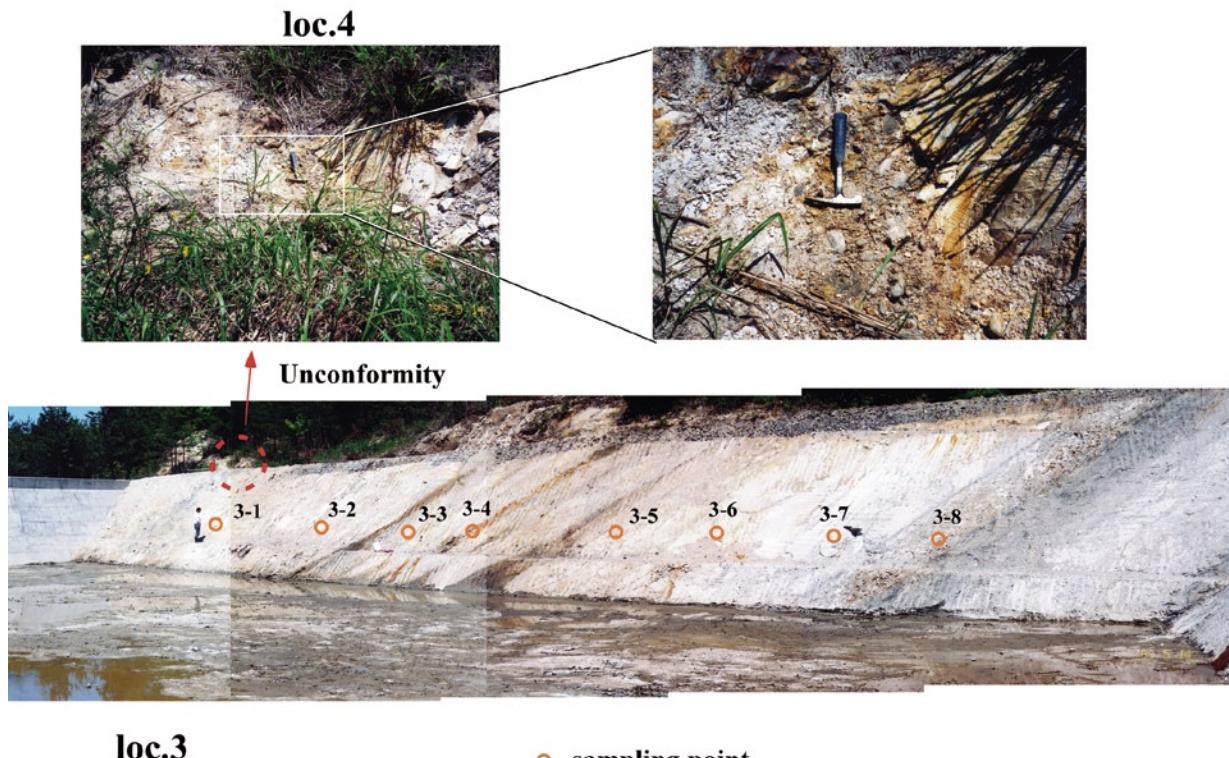
第3図 新第三系の層序 (西田・津田, 1961).

Fig. 3. Stratigraphy of Neogene strata (Nishida and Tsuda, 1961).



第4図 地質概略図 (西田・津田, 1961).

Fig. 4. Geological sketch map (Nishida and Tsuda, 1961).

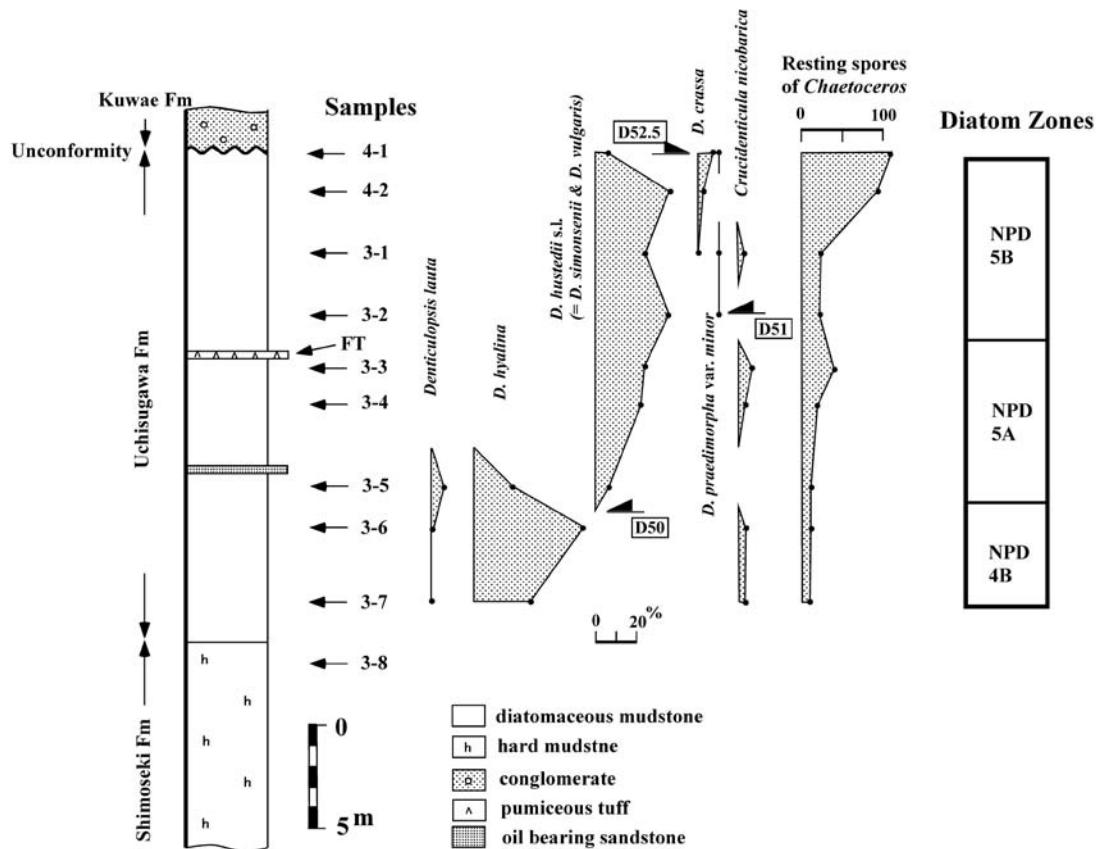


loc.3

○ sampling point

第5図 内須川層の連続露頭 (loc. 3).

Fig. 5. Large outcrop (loc. 3) of the Uchisugawa Formation near the Memorial Park of Petroleum.



第6図 地質柱状図と主要珪藻種の産状。

Fig. 6. Columnar section of the Uchisugawa Formation in loc. 3 and loc. 4, and the occurrence of selected diatoms.

第1表. 珪藻化石產出表.  
Table 1. Occurrence chart of diatom species.

Habitat	Locality Sample	1		2		3		4		
		1	2	1	2	3	4	5	6	7
	DIATOM ZONE (NPD)			SB	5B	5A	4B			4
	ABUNDANCE			VA	VA	VA	A	A	A	SB
		valves / slide ( x 100)		4	12	72	72	72	72	VA
	PRESERVATION			P	P	G	M	M	M	V
	MARINE DIATOMS									
p	<i>Actinocyclus ellipticus</i> Grunow									72
e	<i>ingens</i> Rattray									72
b	<i>A.</i> <i>octonarius</i> Ehrenberg									M
a	<i>spp.</i>									F
b	<i>Actinoptychus senariae</i> (Ehrenberg) Ehrenberg									
b	<i>Adoneis pacifica</i> Andrews									
b	<i>Amphora</i> spp.									
a	<i>Arachnoidiscus</i> sp.									
b	<i>Asteromphalus</i> sp.									
b	<i>Aulacodiscus</i> sp. A									
b	<i>Auliscus caelatus</i> Bailey									
e	<i>Azpeitia endoi</i> (Kanaya) Sims et Fryxell									
e	<i>A.</i> <i>vetusissima</i> (Pantocsek) Sims									
b	<i>Biddulphia tenumoii</i> (Bailey) Roper									
p	<i>Cavatulus</i> <i>joussaeus</i> (Sheshukova) Williams									
e	<i>C. miocenica</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa									
c	<i>Clavicularia polymorpha</i> Grunow									
b	<i>Coccconeis californica</i> Grunow									
b	<i>C. costata</i> Gregory									
c	<i>C. scutellatum</i> Ehrenberg									
b	<i>C. spp.</i>									
p	<i>Coscinodiscus leviomans</i> Greville									
c	<i>C. marginatus</i> Ehrenberg									
p	<i>C. oculus-iridis</i> Ehrenberg									
c	<i>C. radiatus</i> Ehrenberg									
e	<i>C. symbolorophus</i> Grunow s. l.									
c	<i>C. spp.</i>									
e	<i>Crucidenticula nicobarica</i> (Grunow) Akiba et Yanagisawa									
e	<i>C. punctata</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa									
b	<i>Dalphinella surirella</i> (Ehrenberg) Andrews									
b	<i>D. spp.</i>									
e	<i>Denticulopsis crassa</i> Yanagisawa et Akiba									
e	<i>D. hustedtii</i> (Simonsen et Kanava) Simonsen s. l.									
e	<i>D. hyalina</i> (Schrader) Simonsen									
e	<i>D. laeta</i> (Bailey) Simonsen									
e	<i>D. miocenica</i> (Schrader) Simonsen									
e	<i>D. praedimorpha</i> var. <i>minor</i> Yanagisawa et Akiba									
e	<i>D. praedaua</i> Akiba et Koizumi									
b	<i>Diploneis bombus</i> Ehrenberg									
b	<i>D. spp.</i>									
e	<i>Dossetica lacera</i> Forti									
e	<i>Endictya oceanica</i> Ehrenberg									
e	<i>Eucampia</i> sp. A									
e	<i>Fragilariopsis oceanica</i> (Cleve) Hasle									
e	<i>Gontothecum rogersii</i> Ehrenberg									
c	<i>Grammatophora</i> spp.									
e	<i>Hemisaulus bipinnis</i> (Ehrenberg) Grunow									
H	<i>Hemidiscus cuneiformis</i> Wallach									
e	<i>H. ovalis</i> Lohman									
e	<i>Hyalodiscus obsoletus</i> Sheshukova									
b	<i>H. spp.</i>									
e	<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba									
e	<i>Ishmia</i> sp.									
e	<i>Leptizymia dalaroi</i> (Azpeitia) Yanagisawa									
e	<i>Mastogloia splendida</i> (Gregory) Cleve									
e	<i>Mediaea splendida</i> Sheshukova									
b	<i>Melosira sol</i> (Ehrenberg) Kutzting									
b	<i>Navicula lyra</i> Ehrenberg									
b	<i>N. spp.</i>									
e	<i>Neodenticula kantschikatica</i> (Zabelina) Akiba et Yanagisawa									
N	<i>N. koizumii</i> Akiba et Yanagisawa									
N	<i>Nitzschia granulata</i> Grunow									
e	<i>N. heteropctica</i> Schrader									
e	<i>N. umaniensis</i> Akiba									
N	<i>N. reinholdii</i> (Kutzing) Baldauf et Barron									
N	<i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) Agardh									
b	<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve									
b	<i>Plagiogramma staurophorum</i> (Greille) Heiberg									
b	<i>Podostria stelligera</i> (Bailey) Man									
b	<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundstrom									
e	<i>P. barbii</i> (Brun) Jordan et Priddle									
e	<i>P. praesalata</i> (Schrader) Jordan et Priddle									
e	<i>Pseudopixylla americana</i> (Ehrenberg) Forti									
b	<i>Rhabdomeia spp.</i>									
e	<i>Rhizosolenia miocenica</i> Schrader									
b	<i>R. cf. stylifera</i> Brightwell									
b	<i>R. spp.</i>									
e	<i>Rouxia californica</i> Peragallo									
e	<i>R. peragalli</i> Brun et Herbaud									
b	<i>Rutillaria epsilon</i> Greville									
e	<i>Stephanogonia hanzawae</i> Kanaya									
S	<i>S. cf. hanzawae</i> Kanaya									
b	<i>Stictodiscus kützingianus</i> Greville									
e	<i>Stephanopixys nitzschioidea</i> (Grun.) H. et M. Peragallo									
e	<i>T. longissima</i> Cleve et Grunow									
e	<i>T. aspera</i> (Herbaud) Cleve									
b	<i>Trachyneis decolorata</i> Brightwell									
e	<i>Trochosira spinosa</i> Kützing									
b	<i>Xanthiopixys maculata</i> Hanna									
	NONMARINE DIATOME									
p	<i>Aulacpeira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen s.l.									
b	<i>Cyclorella kützingiana</i> Thwaites									
b	<i>Cymbella</i> sp.									
b	<i>Epithemia</i> spp.									
b	<i>Melosira varians</i> Agardh									
b	<i>Navicula</i> spp.									
b	<i>Stephanodiscus</i> spp.									
	Total number of valves counted	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Resting spores of Chaetoceros	32	29	41	40	45	79	37	21	16
	Number of taxa recognized	31	39	30	34	30	36	27	23	21

## Legend

**Legend**  
 Abundance: VA; very abundant, A; abundant, R; rare, Preservation: G; good, M; moderate, P; poor.  
 Habitat: p; planktonic, b; benthic, e; extinct, Occurrence: +; presence or fragment of diatom.

100 個体の算定後に、さらに数 100 個体から 1000 個体程度の追加観察を行って、その際認められた種は珪藻化石産出表に +印で表示した。この印は破片で認められた種も示す。試料に含まれる珪藻化石の含有量については、VA (very abundant), A (abundant), C (common), R (rare), VR (very rare) の 5 段階で評価・記録すると共に、100 個体の算定を要した走査線の長さから算出したスライド 1 枚当たりの総個体概数も表示した。珪藻化石の保存度については、VG (very good), G (good), M (moderate), P (poor) および VP (very poor) の 5 段階で評価・記録した。*Chaetoceros* 属の休眠胞子は、上記算定中に遭遇した個体数を別途記録した。

なお、驚異的に高い種の多様度を持つ1試料（中部中新統の *Denticulopsis praedimorpha* 帯下半部に属する試料4-1）については、上記の通常の観察のほかに5枚のスライドの追加検鏡を行って、できる限り多くの稀産出種も摘出するように努め、それらの大半を図示した。

珪藻化石帯とその認定基準は、Akiba (1986) および Yanagisawa and Akiba (1998) に従った。化石帯認定およびその他の対比に有効な生層準 (biohorizon) については、Yanagisawa and Akiba (1998) による D 番号と年代値を踏襲したが、中部中新統の幾つかの生層序の年代値は最近 Watanabe and Yanagisawa (2005) によって改訂された値に従った。なお、生層準の種類を示す用語と略語は、柳沢 (1999) に倣った。すなわち、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) および AC (acme or peak event, アクメまたはピークイベント) である。

#### 4.2. 珪藻化石群集および化石帶区分

結果を第1表に示す。以下採取地点毎に、珪藻化石群集および化石帶区分などについて記述する。

1) loc. 1

試料 1-1 および 1-2 に含まれる珪藻化石は、保存状態が不良で含有量も小さい。これらの試料には海生浮遊性種の *Thalassionema nitzschioïdes*、海生底生種の *Paralia sulcata* および淡水生種が比較的多産する。稀産ながらも、両試料には *Neodenticula kamtschatica* が産出し、下位の試料 1-2 には非常に稀にその子孫型の *N. koizumii* が検出される。

### これらの *Neodenticula* 属の産状から試料

1-2 は、*N. koizumii* の初産出 (D80; 3.5/3.9 Ma) とその上位の *N. kamtschatica* の終産出 (D90; 2.6/2.7 Ma) という Yanagisawa and Akiba (1998) による 2 つの生層準に挟まれる区間として、鮮新統中部の *N. koizumii*–*N. kamtschatica* 帯 (NPD8) に認定される。一方、試料 1-1 は、*N. koizumii* が認められないことに基づけば、上部中新統最上部から鮮新統下部の *N. kamtschatica* 帯 (NPD7B) に認定される。しかしながら、試料 1-1 が試料 1-2 の上位約 1 m から採取されたことを考慮すると、試料 1-1 も本来は *N. koizumii*–*N. kamtschatica* 帯に相当するものが、保存状態、含有量および観察個体数の関係から、*Neodenticula koizumii* が検出されなかつたと解釈するのが妥当と考えられる。

#### 2) loc. 2

試料 2 は保存状態が良好で、海生種のみから構成される、非常に豊富な珪藻化石群集を産出する。本試料の珪藻化石群集は、*Thalassionema nitzschiooides* と *Denticulopsis hustedii* s.l. (= *D. simonsenii* および *D. vulgaris*) の多産、および *D. crassa* と *D. praedimorpha* var. *minor* の産出で特徴づけられる。*D. praedimorpha* var. *minor* の先祖型の *D. praedimorpha* var. *prima* または子孫型の *D. praedimorpha* var. *praedimorpha* はどちらも検出されなかつた。

上記の産状から、*D. praedimorpha* var. *minor* の初産出 (D51; 12.7 Ma) と *D. praedimorpha* var. *praedimorpha* の初産出 (D53; 12.2 Ma) の 2 つの生層準に挟まれる区間として、本試料は中部中新統上部の *D. praedimorpha* 帯 (NPD5B) 下部に相当する。さらに、*D. crassa* が比較的普通に産出することを考慮すると、本試料は *D. crassa* のアクメ 1 (D52.5; 12.3 Ma) に近接する層準に位置すると考えられる。

#### 3) loc. 3 (第 6 図)

最下位の試料 3-8 には珪藻化石はまったく含まれていなかつた。しかし、この試料以外の 7 試料は、すべて珪藻化石を豊富または非常に豊富に産出する。保存状態は普通～不良である。7 試料の珪藻化石群集は、いずれも *Actinocyclus ingens*, *Denticulopsis hustedii* s.l., *D. hyalina* および *Thalassionema nitzschiooides* の多産で特徴づけられる。これらの中で *D. hustedii* s.l. と *D. hyalina* の産出は特定層準に限られる。すなわち、上位 4 試料 (試料 3-1, 3-2, 3-3, 3-4) では *D. hustedii* s.l. のみが、中間の試料 (試料 3-5) では両種が、下位の 2 試料 (試料 3-6, 3-7) では *D. hyalina* のみが、それぞれ多産する。また、産出頻度は非常に小さいが、*D. praedimorpha* var. *minor* が上位 2 試料 (試料 3-1, 3-2) に限られて産出する。*Crucidenticula nicobarica* は下位の 4 試料 (試料 3-3, 3-4, 3-6, 3-7) に比較的多産している。なお、これらの試料には、上記の試料 2 と同様に、*D. praedimorpha* var. *prima* または *D. praedimorpha* var. *praedimorpha* はいずれも検出されなかつた。随伴される *Chaetoceros* 属の休眠胞子の産状を見ると、下位の試料 3-7 から上位の試料 3-1 に向かってやや増加する傾向が認められ、上方に向かって多少浅海化したのではないかと考えられる。

上記の産状から、以下の 2 つの生層準が認定される。すなわち、試料 3-2 と試料 3-3 の境界で認定される *D. praedimorpha* var. *minor* の初産出 (D51; 12.7 Ma), そして試料 3-5 と試料 3-6 の境界で認定される *Denticulopsis simonsenii* (本論の *D. hustedii* s.l. にほぼ相当) の初多産 (D50; 13.0 Ma) である。後者の生層準は、*D.*

*hyalina* の終多産 (D50; 13.0 Ma) とも一致することが分かっている (Yanagisawa and Akiba, 1998) ことから、試料 3-5 における *D. hyalina* の多産をここでは再堆積によるものと解釈した。これら 2 つの生層準に基けば、試料 3-1 から試料 3-7 までの 7 試料は、中部中新統上部の 3 つの化石帯に認定される。すなわち、上位の 2 試料 (試料 3-1, 3-2) は *D. praedimorpha* 帯 (NPD5B) に、中位の 2 試料 (試料 3-3, 3-4) は *C. nicobarica* 帯 (NPD5A) に、下位の 3 試料 (試料 3-5, 3-6, 3-7) は *D. hyalina* 帯 (NPD4B) に、それぞれ認定される。ここで認定された *D. praedimorpha* 帯 (NPD5B) は、*D. praedimorpha* var. *praedimorpha* が未産出であることから、同帯の下半部に相当する。

#### 4) loc. 4 (第 6 図)

試料 4-1 と 4-2 は非常に豊富に珪藻化石を産出する。前者の保存度は普通程度であるが、後者のそれはかなり不良である。これらの試料の珪藻化石群集は、優占種はそれぞれ異なるものの、いずれも *Actinocyclus ingens*, *Azpeitia endoi*, *Crucidenticula punctata*, *Denticulopsis crassa* および *Denticulopsis hustedii* s.l.などを共通して産出する。試料 4-1 は、非常に稀であるが *D. praedimorpha* var. *minor* を産出し、また *Denticulopsis crassa* を比較的多産することで特徴づけられる。これらの試料においても、*D. praedimorpha* var. *praedimorpha* は検出されなかつた。これら 2 試料に随伴される *Chaetoceros* 属の休眠胞子の産出量は下位の loc. 3 の試料のそれよりも顕著に大きくなつており、loc. 3 の層準よりも loc. 4 の層準でさらに浅海化が進んだことを示唆していると思われる。

上記の群集組成から、試料 4-1 はちょうど生層準 *D. crassa* のアクメ 1 (D52.5; 12.3 Ma) に相当する層準と考えられる。したがって、前述した試料 3-1, 3-2 と同じ理由から、本試料は *D. praedimorpha* 帯 (NPD5B) の下半部に相当すると判断できる。試料 4-2 は、*D. praedimorpha* var. *minor* を産出しないが、試料 3-1 よりも上位にあって、試料 2 と群集が類似していることから、*D. praedimorpha* 帯 (NPD5B) に認定される。*D. praedimorpha* var. *minor* は比較的小型でかつ纖細な殻を持つ種であり、試料 3-1, 3-2 および試料 4-1 のいずれにおいてもその産出頻度は 1% 以下と低いことから、保存度不良の試料 4-2 では検出されなかつたのは当然のことと言えるのかもしれない。また、生層準 *D. crassa* のアクメ 1 は、生層準 *Crucidenticula nicobarica* の終産出 (D 52; 12.3 Ma) と一致するとされており (Yanagisawa and Akiba, 1998), 能登半島珠洲地域 (柳沢, 1999) および岩手県一関地域 (林ほか, 1999) でもこれら 2 つの生層準が一致することが確認されている。しかし、*D. crassa* のアクメ 1 と考えられる試料 4-1 でも、その下位の試料 4-2 でも *C. nicobarica* の産出は認められなかつたが、その原因もやはり *C. nicobarica* が小型であることや試料の保存度不良によるものと推測される。

*Chaetoceros* 属の休眠胞子を多量に随伴している試料 4-1 の珪藻化石群集は、他に類例を見ないほどに多様性に富んでいたので、通常の分析の他に 5 枚のスライドの全域について追加観察を行った。その結果、本試料から認定される珪藻化石は少なくとも 108 タクサ (sp., spp. および var. などを含む) を数えることが分かった (第 2 表, Appendix および Plates 1–9)。それの生態学的な群集組成としては、海生浮遊性種が 60 タクサ (累計の産出頻度は 72%), 海生底生種が 46 タクサ (同, 28%), そして淡水種が 2 タクサ (同, 1% 以下) である。

第2表. 試料4-1からの珪藻化石産出表.  
Table 2. Occurrence chart of diatom species

Table 2. Occurrence chart of diatom species from Sample 4-1.

Diatom taxa and occurrence (%)		Habitat Illustrations (Pls.1-9)					
<i>Achnanthus</i>	sp.	+	M b	pl. 8, fig. 9.			
<i>Achnanthus</i>	<i>Actinocyclus</i>	<i>ellipticus</i> Grunow	+	M p	pl. 1, fig. 11.		
<i>A.</i>	<i>ingens</i> Rattray s.l.		8	M p	pl. 2, figs. 1, 4.		
<i>A.</i>	<i>octonarius</i> Ehrenberg		+ M b	pl. 1, fig. 7.			
<i>A.</i>	sp. A		2	M b	pl. 1, figs. 8-10.		
<i>A.</i>	<i>Actioprychus</i>	<i>senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	10	M b	pl. 3, fig. 6.		
<i>Amphora</i>	spp.	<i>biostratus</i> (Grunow) Grunow	+	M b	pl. 9, figs. 17-19.		
<i>Ananthis</i>	sp.		+ M b	pl. 4, fig. 10.			
<i>Archahnoidiscus</i>	<i>kittinii</i> Arnott		+ M b	pl. 3, fig. 8.			
<i>Aulacodiscus</i>	<i>granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen s.l.		+ M b	pl. 3, fig. 7.			
<i>Aulacopeira</i>	<i>caelatus</i> Bailey		Nyp				
<i>A.</i>	sp.		1	M p	pl. 4, fig. 5.		
<i>A.</i>	<i>Azpeitia</i>	<i>endoi</i> (Kanaya) Sims et Fryell	+	M b	pl. 1, fig. 4.		
<i>Bidululphia</i>	<i>tuemoyi</i> (Bailey) Roper		+	M b	pl. 6, fig. 8.		
<i>Caritatus</i>	<i>lanceolatus</i> Akiba et Hiramatsu		+	M p	pl. 6, fig. 8.		
<i>C.</i>	<i>miocenica</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa		*	M p	pl. 7, fig. 10.		
<i>Chaetoceros</i>	spp.		+ M b	pl. 4, fig. 13.			
<i>Clevicula</i>	<i>polymorpha</i> Grunow		1	M b	pl. 7, fig. 10.		
<i>Cocconeis</i>	<i>californicus</i> Grunow		1	M b	pl. 4, fig. 5.		
<i>C.</i>	<i>scutellum</i> Ehrenberg		+	M b	pl. 6, figs. 10-11.		
<i>C.</i>	<i>cf. scutellum</i> Ehrenberg		1	M b	pl. 7, figs. 1-7.		
<i>C.</i>	spp.		+ M b	pl. 7, figs. 8-9.			
<i>C.</i>	<i>marginalis</i> Grunow		25	M p	pl. 1, figs. 1-2.		
<i>C.</i>	<i>nitidus</i> Gregory		+	M b	pl. 6, figs. 10-11.		
<i>C.</i>	<i>oculus-iridis</i> Ehrenberg		3	M p	pl. 1, fig. 6.		
<i>C.</i>	<i>radiatus</i> Ehrenberg		2	M p	pl. 1, fig. 12.		
<i>C.</i>	<i>symbolophorus</i> Grunow s.l.		+ M p	pl. 1, fig. 5.			
<i>C.</i>	spp.		3	M p	pl. 1, figs. 1-2.		
<i>Cricididentula</i>	<i>punctata</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa		+	M p	pl. 9, figs. 11-12.		
<i>C.</i>	<i>nicobarica</i> (Grunow) Akiba et Yanagisawa		+	M p	pl. 6, fig. 2.		
<i>D.</i>	sp.		+	M b	pl. 7, figs. 1-5.		
<i>Delphinella</i>	<i>crassa</i> Yanagisawa et Akiba		5	M p	pl. 9, figs. 1-5.		
<i>Denticulopsis</i>	<i>husstedii</i> (Simonsen et Kanaya) Simonsen s.l.						
<i>D.</i>	<i>miocenica</i> (Schrader) Simonsen						
<i>D.</i>	<i>praedimorpha</i> var. <i>minor</i> Yanagisawa et Akiba						
<i>D.</i>	<i>praeighthalina</i> Tanimura						
<i>D.</i>	<i>vulgaris</i> (Okuno) Yanagisawa et Akiba						
<i>Diploneis</i>	spp.						
<i>Dosserica</i>	<i>faceria</i> (Forti) Hanna		*	M p	pl. 5, fig. 1.		
<i>Endicta</i>	<i>oceania</i> Ehrenberg		++	M p	pl. 9, figs. 6-10.		
<i>Eucampia</i>	sp.		++	M b	pl. 9, fig. 13.		
<i>Eunotogramma</i>	sp.		++	M p	pl. 9, fig. 14.		
<i>E.</i>	<i>Euotogramma?</i>		++	M b	pl. 8, figs. 2-6.		
<i>Fragilaria</i>	<i>cf. oceanica</i> (Cleve) Hasle		*	M p	pl. 5, fig. 1.		
Genus et species	indet.		++	M p	pl. 4, fig. 7.		
Ceratium et species	indet.		++	M b	pl. 4, fig. 12.		
Gibbula	sp. A		++	M p	pl. 4, fig. 14.		
<i>Glyptothecus</i>	<i>extima</i> Greville		++	M b	pl. 6, fig. 7.		
<i>H.</i>	<i>stellatus</i> Greville		++	M b	pl. 6, fig. 9.		
<i>Goniolithophora</i>			++	M b	pl. 6, fig. 9.		
<i>Grammatophora</i>			++	M b	pl. 6, fig. 9.		
<i>Hydrodiscus</i>	<i>rogersii</i> Ehrenberg		++	M b	pl. 6, fig. 9.		
<i>Ikebea</i>	spp.		++	M b	pl. 6, fig. 20.		
<i>Kozumiinia</i>	<i>obsoletus</i> Sheshukova		++	M b	pl. 3, fig. 3.		
<i>Liradicus</i>	<i>tenius</i> (Brun) Akiba		++	M b	pl. 5, fig. 5-6.		
<i>Mammadiscus</i>	sp.		2	M p	pl. 4, figs. 1-2.		
<i>Stomatia</i>	<i>adatroi</i> (Azpetita) Yanagisawa		+	M p	pl. 5, fig. 3.		
<i>Kozumiinia</i>	<i>akibaiae</i> Saito		*	M p	pl. 5, fig. 4.		
<i>Liradicus</i>	<i>hyalinaria</i> Lohman		*	M p	pl. 5, fig. 12.		
	sp.		*	M p	pl. 5, fig. 12.		

### Diatom taxa and occurrence (%)

Diatom taxa and occurrence (%)			Habitat Illustrations (Pls.1-9)		
<i>Lirudiseus</i> ?	sp.	*	M p	pl. 5, figs. 2.	
<i>Maglobia</i>	<i>splendida</i> (Gregory) Cleve	1	M b		
<i>Media</i>	<i>splendida</i> Shestukova	+	M p	e	
<i>Melosira</i>	<i>sol</i> (Fresenius) Kützing	2	M b	pl. 3, fig. 4.	
<i>Navicula</i>	<i>hennedyi</i> W. Smith		M b	pl. 8, figs. 10-11.	
N.	<i>hochstetteri</i> Grunow	+	M b	pl. 9, fig. 21.	
N.	<i>lyra</i> Ehrenberg	1	M b	pl. 8, fig. 7.	
N.	<i>optima</i> Hamma	+	M b	pl. 8, fig. 8.	
N.	spp.	+	M b	pl. 8, figs. 12.	
<i>Neobrunia</i>	<i>mirabilis</i> (Brun) Kuntze	+	M p	e	pl. 3, fig. 9.
<i>Nitzschia</i>	<i>heteropolica</i> Schrader	+	M p	e	pl. 9, fig. 16.
N.	spp.	+	M p		
<i>Paralia</i>	<i>suicata</i> (Ehrenberg) Cleve	8	M b	pl. 3, figs. 2-3.	
<i>P.</i>	<i>suicata</i> var. <i>coronata</i> (Ehrenberg) Andre	+	M b	pl. 3, fig. 1.	
<i>Peripleropsis</i>	<i>tetracornuta</i> Sato	*	M p		
<i>P.</i>	sp.	*	M p	pl. 5, fig. 6.	
<i>Pinnularia</i>	<i>pinnularia</i> (Greville) Heiberg	+	NNb	pl. 9, fig. 20.	
<i>Plagiomugna</i>	<i>staurophorum</i> (Greville) Heiberg	+	M b	pl. 6, fig. 21.	
<i>P.</i>	<i>antillarum</i> Cleve	+	M b	pl. 6, fig. 22.	
<i>Planifolia</i>	<i>tribrachia</i> Emissae	+	M p	e	pl. 4, fig. 6.
<i>Proboscia</i>	<i>praeciliata</i> (Schrader) Jordan et Priddle	+	M p	e	
<i>Pycnilla</i>	sp.	+	M p	e	pl. 4, fig. 11.
<i>Rhabdonema</i>	<i>japonicum</i> Tempère et Brun	+	M b		
R.	<i>aff. styliformis</i> Brightwell	+	M p	e	pl. 3, fig. 9.
<i>Rhizosolenia</i>	<i>microcenica</i> Schrader	+	M p	e	pl. 4, fig. 11.
R.	<i>sp. A</i>	+	M p	e	pl. 3, fig. 10.
R.	spp.	+	M p	e	pl. 3, figs. 11-12.
<i>Ruticularia</i>	<i>epsilon</i> Greville	+	M b		
<i>Savannularia</i>	<i>biseriata</i> Konura	+	M b		
<i>Stephanagonia</i>	<i>hanzawai</i> Kanaya	+	M p	e	pl. 5, figs. 9-10.
S.	spp.	+	M p	e	pl. 5, figs. 7-8.
<i>Sitcodiscus</i>	<i>californicus</i> Greville	+	M b	pl. 2, fig. 12.	
S.	<i>tunianum</i> Greville	+	M p	e	pl. 4, fig. 4.
<i>Stephanopxis</i>	<i>turris</i> (Greville et Arnott) Ralfs	1	M p	pl. 2, fig. 10.	
S.	spp.	+	M b		
<i>Thalassionema</i>	<i>nitzschiaoides</i> (Gran) H. et M. Peragallo	3	M p	pl. 2, fig. 11.	
<i>Thalassiosira</i>	<i>tepiops</i> (Grunow) Hasle et Fryxell	11	M p	pl. 6, fig. 6.	
T.	<i>mizunamensis</i> Yangisawa	+	M p	pl. 2, fig. 7.	
T.	<i>unioculata</i> Akiba	+	M p	e	pl. 9.
T.	cf. <i>yabei</i> (Kanaya) Akiba et Yangisawa	1	M p	e	pl. 2, fig. 8.
T.	spp.	+	M p	e	
<i>Thalassiothrix</i>	<i>longissima</i> Cleve et Grunow	+	M p	e	
<i>Triceratium</i>	<i>condecoratum</i> Brightwell	+	M p	e	pl. 4, fig. 8.
<i>Triceratium</i> ?	sp.	+	M p	e	pl. 4, fig. 9.
<i>Trinacria</i> ?	sp.	*	M p	e	pl. 5, fig. 11.
X.	<i>Yanthophysix</i>				
X.	<i>maculata</i> , Hamma				
X.	<i>polaris</i> Gran				
Total number of valves counted		100			
Resting spores of <i>Chloroceros</i>		117			
Number of taxa recognized		108			

**Legend** Occurrence: + or \*, presence or fragment of diatoms, \*; Its occurrence in Tab. 1 is included in the [resting spores of *Chaetoceros*].

第3表. フィッショング・トラック年代測定結果.

Table. 3. Result of fission-track dating.

Mineral	Method	No. of grains	Spontaneous		Induced		Dosimeter		r	$P(\chi^2)$ (%)	U (ppm)	Age $\pm 1\sigma$ (Ma)
			$\rho_s$ ( $\times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ )	(Ns)	$\rho_i$ ( $\times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ )	(Ni)	$\rho_d$ ( $\times 10^4 \text{ cm}^{-2}$ )	(Nd)				
Zircon	ED 1	30	2.727	(1,397)	3.713	(1,902)	7.917	(2,432)	0.765	13	370	10.7 $\pm$ 0.5
		29	2.689	(1,370)	3.696	(1,883)	7.917	(2,432)	0.889	26	370	10.6 $\pm$ 0.5
Zircon	ED 2	30	1.444	(414)	4.132	(1,127)	7.917	(2,432)	0.560	19	390	10.8 $\pm$ 0.7
		28	1.459	(386)	3.931	(1,093)	7.917	(2,432)	0.600	58	410	10.4 $\pm$ 0.7

(1)  $\rho$  and N : density and total number of counted tracks, respectively

(2) method: external detector method (ED 1, internal surface; ED 2, external surface)

(3) neutron dosimeter glass: NIST-SRM612

(4) irradiation site: TRIGA MARK II nuclear reactor of St. Paul's University (Rikkyo Daigaku)

(5) r: correlation coefficient between  $\rho_s$  and  $\rho_i$ (6)  $P(\chi^2)$ : probability of obtaining the  $\chi^2$  value for n degrees of freedom (n=number of crystals - 1) (Galbraith, 1981)

(7) U: uranium content

(8) age calibration factors:  $\zeta_{ED1} = 370 \pm 4$  (1 $\sigma$ ) and  $\zeta_{ED2} = 372 \pm 5$  (1 $\sigma$ ) (Danbara et al., 1991)

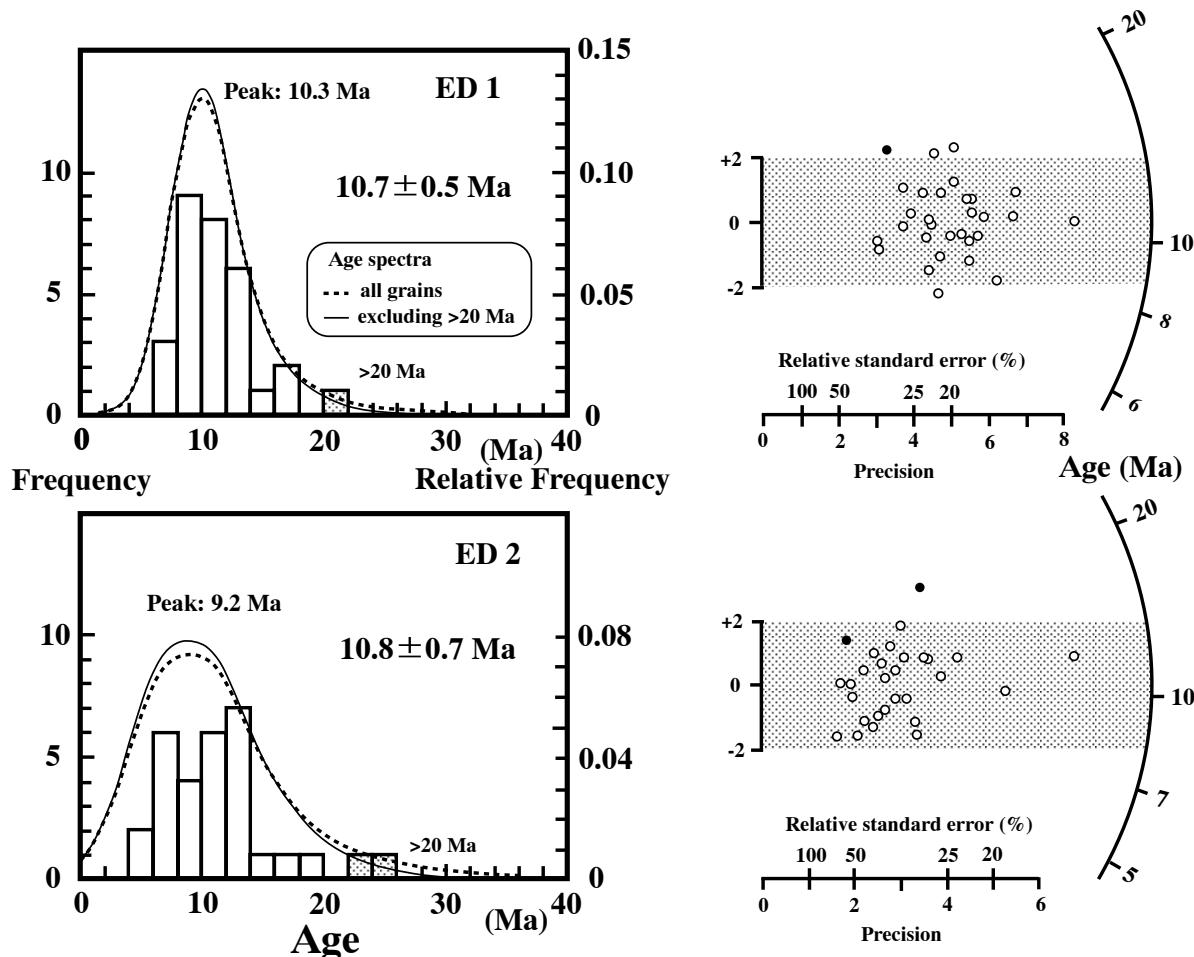
## 5) Loc. 5

本試料から検出された珪藻化石群集は、産出量は稀で保存状態が不良である。その群集内容は、*Neodenticula kamtschatica* を比較的多産し、その子孫型である *N. koizumii* を欠くことで特徴づけられる。また、*Rouxia californica* は極めて稀に含まれているのみである。したがって、本試料は、*Rouxia californica* の終多産出 (D75; 6.4 Ma) と *N. koizumii* の初産出 (D80; 3.5/3.9 Ma) で規定される上

部中新統最上部～鮮新統下部の化石帶、*Neodenticula kamtschatica* 帯 (NPD7B) に認定される。なお、本試料には、試料 1-1 や 1-2 と同様に、海生底生種および淡水種の混入が顕著である。

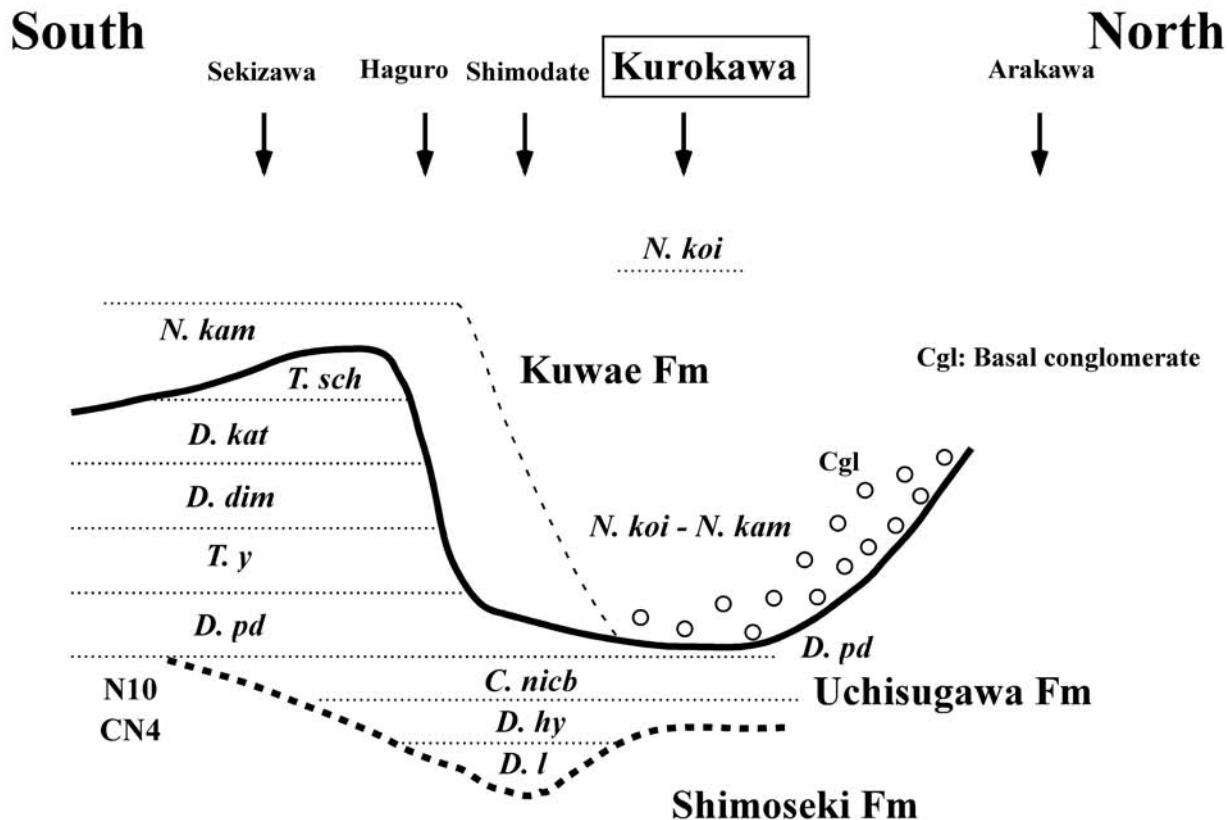
## 5. フィッショング・トラック年代測定

## 5.1. 測定方法



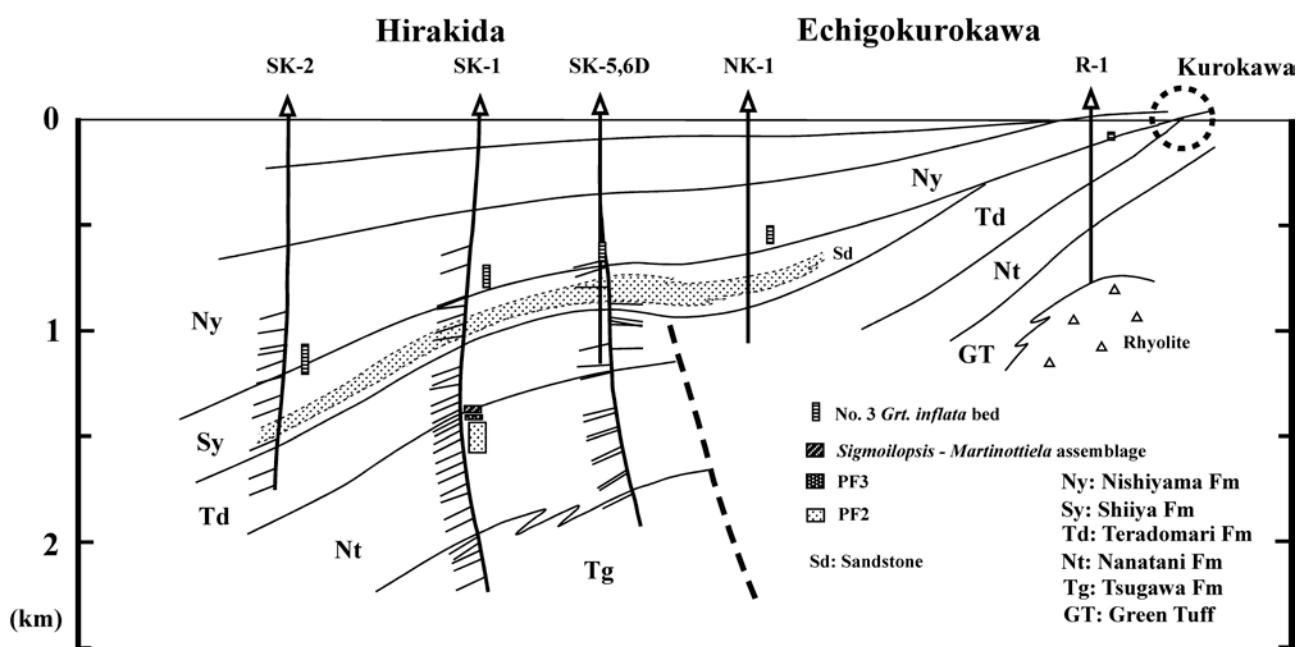
第7図. FT試料の粒子年代ヒストグラム、年代スペクトルおよびラディアルプロット。

Fig. 7. Age histograms, age spectra and radial plots of the FT sample.



第8図 鍬江層基底における不整合の形態（平松・三輪, 1998 を修正）。

Fig. 8. Morphology of the unconformity at the base of the Kuwae Formation (modified from Hiramatsu and Miwa, 1998).



第9図 地質断面図（加藤・片平, 1968 を修正）。

Fig. 9. Geologic section (modified from Kato and Katahira, 1968).

FT 年代測定にはジルコン結晶を用い、その抽出には渡辺・檀原(1996)の方法を用いた。測定は外部ディテクター法(Gleadow, 1981)を用いて結晶面内部面(ED1)と外部面(ED2)の両方で行い、年代標準試料によるゼータ較正(Hurford, 1990; Danhara *et al.*, 1991)を行った。

## 5.2. 測定結果

測定結果を第3表および第7図に示す。内部面・外部面とも粒子年代のまとまりは良く、 $\chi^2$ 検定にも合格しており、さらに年代値もそれぞれ  $10.7 \pm 0.5$  Ma,  $10.8 \pm 0.7$  Ma と一致している。したがって、これらは信頼性の高い年代値であると判断される。なお、第2表には参考までに粒子年代が 20 Ma より古い粒子を除いて計算した年代値も示した。

## 6. 考察

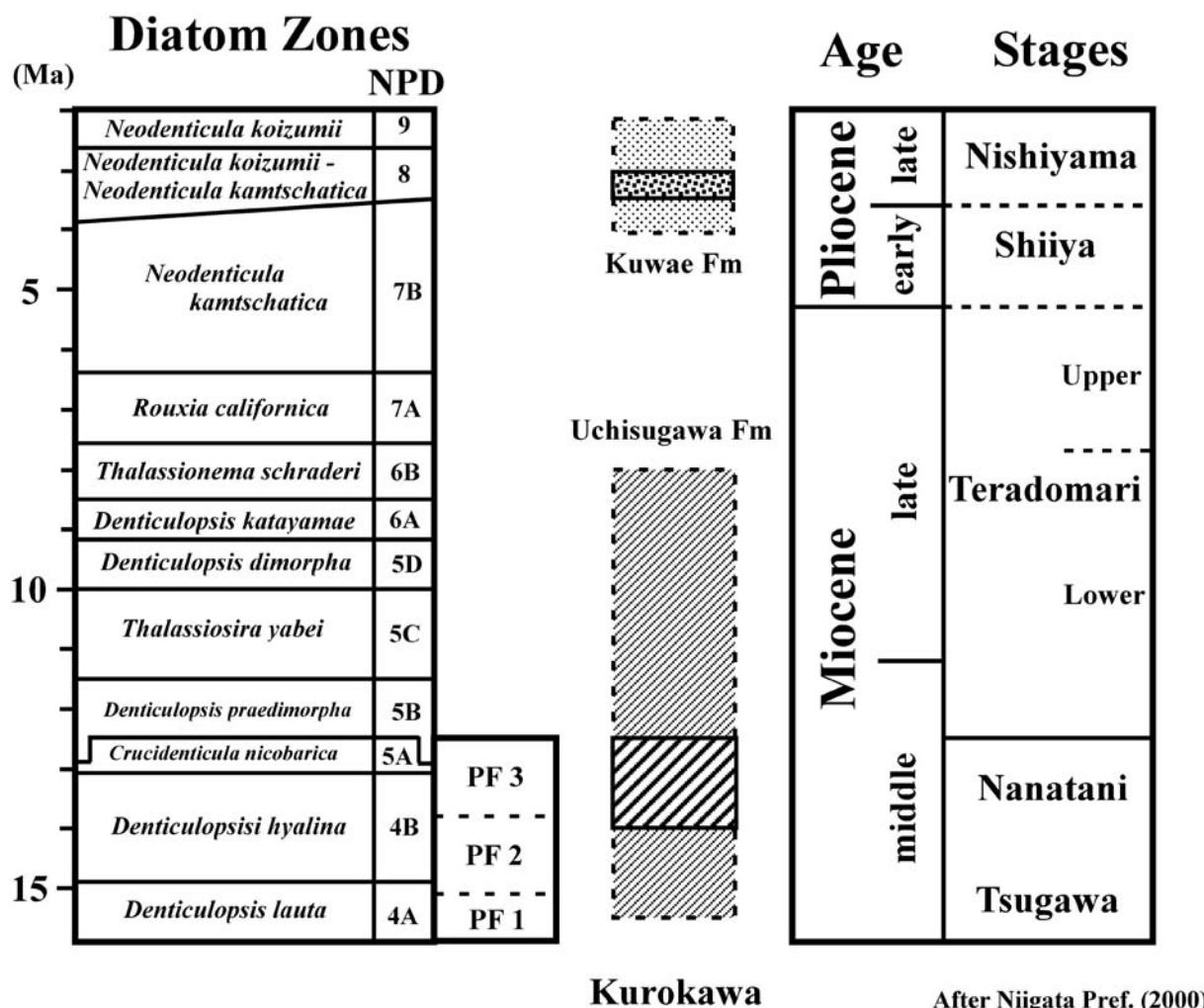
### 6.1. 鍬江層基底の不整合

シンクルトン記念公園周辺に分布する鍬江層の珪藻化石帯は *N.*

*koizumii*-*N. kamtschatica* 帯(NPD8)であり、新潟標準層序(新潟県, 2000)の西山階に対比される。

平松・三輪(1998)は胎内川以南の柳形山脈の東翼および西翼に分布する鍬江層と下位の内須川層の有孔虫化石、石灰質ナンノ化石および珪藻化石を調査し、特に珪藻化石に基づいて鍬江層の年代と基底の不整合の形態を明らかにしている(第8図)。それによれば、鍬江層では3つの珪藻化石帯が認定されているが、最下位の *N. kamtschatica* 帯(NPD7B)は胎内川夏井では非常に薄く、ほとんどが *N. koizumii*-*N. kamtschatica* 帯(NPD8)であり、今回の結果と矛盾しない。

不整合直下の珪藻化石帯はシンクルトン公園周辺では *D. praedimorpha* 帯(NPD5B)であり、平松・三輪(1998)の結果と一致している(第8図)。しかし、シンクルトン公園周辺の同帯は、*D. praedimorpha* var. *minor* の産出と *D. praedimorpha* var. *praedimorpha* の欠如で特徴づけられるものであり、同帯の下半部を代表するものである。それに対して、平松・三輪(1998)による同帯がその上半部または下半部のいずれを代表するものであるかは不明である。ただし、平松・三輪(1998)によって報告された“*D.*



第10図. 七谷階 / 寺泊階境界における珪藻化石帯および浮遊性有孔虫化石帯(新潟県, 2000)。

Fig. 10. Diatom zones and planktonic foraminiferal zones of the Nanatani/ Teradomari stage boundary (After Niigata Pref., 2000).

*praedimorpha*" の産出頻度が比較的大きいことを考慮すると、それは *D. praedimorpha* var. *praedimorpha* に同定されるもので、同帯の上半部を代表している可能性が高いと考えられる。

平木田ガス田では、浮遊性有孔虫化石の No. 3 *Globorotalia inflata* bed が西山層下部に確認されており(新保, 1971; 第9図)、下位の椎谷層とは整合関係にある(片平, 1973)。地表でも、荒川よりも北方には椎谷層が分布しており(片平, 1969), 試料5では *Neodenticula kamtschatica* 帯(NPD7B)が確認されている。また、椎谷層中に寺泊層や七谷層の泥岩礫が頻繁に挟在しており(片平, 1969など)、椎谷層基底に軽微な不整合が認められている(加藤・片平, 1968)。

櫛形山脈の東側では、各所で起伏に富んだ侵蝕面の上に基底礫岩が発達しており(西田・津田, 1961), その堆積相、形態、分布、礫種の検討などに基づいて、チャネル充填堆積物と考えられている(稻葉ほか, 1989)。

以上を総合すると、櫛形山脈の両翼における鍬江層基底の年代は胎内川より北では若干若くなっている可能性があり、大規模なチャネルの発達は *N. koizumii*–*N. kamtschatica* 帯(NPD8)の時代以降になってからであろうと推定される。また、不整合による大きな時間間隙の一部はチャネルによる削り込みに起因している可能性がある。

越後黒川油田の油層はほとんどが鍬江層中にあり、基底の不整合が油の移動経路として重要な役割を果たしたと推定される。

## 6.2. 七谷階 / 寺泊階境界

七谷層と寺泊層は一般に泥質岩からなっており、両層の境界は岩相や有孔虫化石群集に基づいて設定されることが多いが、そのような有孔虫化石が多産するような地層からは珪藻化石が産出することはほとんどない。珪藻化石は堆積盆の縁辺部に局部的に発達する珪藻質泥岩から豊富に検出されことがあるが、そのような岩相の地層からは逆に有孔虫化石、特に浮遊性有孔虫化石が認められることは稀である。例えば、今回珪藻化石が多産したシンクルトン公園周辺の内須川層からは、若干の底生有孔虫化石が産出するものの、浮遊性有孔虫化石は検出されていない(渡辺、私信)。また、西方の平木田ガス田の坑井では、有孔虫化石による化石帶区分と対比が有効であるが、続成作用のため珪藻化石の産出はほとんど皆無である(第9図)。

平木田ガス田では、SK-1において浮遊性有孔虫化石帶のPF3(深度 1,420–1,440 m)と PF2(深度 1,450–1,610 m)が確認されている(石油資源開発(株)社内試料; 第9図)。本井では釜杭層に対比される砂礫層が深度 1,900 m 以深に発達しているため、この区間では有孔虫化石はほとんど産出しない。PF2 の最上部付近には浮遊性および底生有孔虫化石の産出頻度が急増する層準が認められ、この層準を境として熱帶種(*Globorotalia peripheroacuta* や *Globorotalia praemendarii*)が減少し、温帶種(*Globorotalia miozea miozea* や *Globorotalia miozea conoidea*)が増加している。底生有孔虫化石は *Hopkinsina shinboi*–*Gyroidina orbicularis* 群集であり、砂質種の *Martinottiella communis* と石灰質種の *H. shinboi* の著しい多産および石灰質種の *Cibicides malloryi* と *G. orbicularis* が比較的豊富に付随することで特徴づけられる。PF3 の上部になると砂質有孔虫が急増しており、この傾向が下越地域の多くの坑井で認められる(加藤・片平, 1993)。深度 1,380–1,410 m 間では、*Sigmoilopsis*

*schlumbergeri* や *H. shinboi* が多く砂質有孔虫と共に産出する *Sigmoilopsis schlumbergeri*–*Martinottiella communis* 群集が確認されており、さらにその上位には寺泊階の特徴である *Dorothia* spp.–*Haplophragmoides* spp. 群集が認められる。七谷階から寺泊階への底生有孔虫化石群集の変化は、浮遊性種を豊富に伴う好気性の堆積環境から、砂質種を多く含む砂質種石灰質種混合の幾分嫌気性の環境、さらに嫌気性閉鎖環境への変化を示唆している。これらの底生有孔虫化石群集から推定される古水深は中部半深海帯であり、底生有孔虫化石群集の大きな変化は汎世界的な古気候変動と古日本海に流入する外洋表層水の量および質に関連していると考えられる。

七谷階 / 寺泊階の境界は浮遊性有孔虫化石帶の PF3 の上限に設定されており、それは珪藻化石層序の *D. praedimorpha* 帯(NPD5B)の中間に對比されている(例えば、新潟県, 2000: 第10図)。その根拠は、PF3 の上限層準で浮遊性有孔虫群集の変化から推定されている温暖な環境から寒冷な環境への変化(Planktonic Foraminiferal Sharp Surface: 米谷・井上, 1981)が *D. praedimorpha* 帯(NPD5B)の中間に認められるからである。すなわち、典型的な温暖種の *C. nicobarica* の終産出は *D. praedimorpha* 帯(NPD5B)の中間に生層準 D52 (12.3 Ma) として認められており、その直上には典型的な寒冷種の *D. praedimorpha* var. *praedimorpha* の初産出が生層準 D53 (12.2 Ma) として東北日本で広く認められている(Yanagisawa and Akiba, 1998; 柳沢, 1999; 林ほか, 1999)。この対比によれば、シンクルトン記念公園周辺に露出する内須川層の珪藻質泥岩で認定された *D. praedimorpha* 帯(NPD5B)の下半部、*C. nicobarica* 帯(NPD5A)および *D. hyalina* 帯(NPD4B)の化石帶はいずれも七谷階に相当することになる(第10図)。したがって、平松・三輪(1998)が指摘しているように、内須川層下部と下関層は指交関係にあることがこの地域でも確認された。

## 6.3. 硅藻化石年代と FT 年代の不一致

FT 試料は試料 3-2 と 3-3 の間から採取されたものであり、それぞれの試料の硅藻化石は *D. praedimorpha* 帯の下半部(NPD5B; 12.7–12.2 Ma)と *C. nicobarica* 帯(NPD5A; 13.0–12.7 Ma)に認定されていることから、硅藻化石から予想される FT 試料の年代は 12.7 Ma (= NPD5A/NPD5B 境界) 前後である。しかしながら、FT 試料の FT 年代は約 10.7 Ma であり、その信頼性は非常に高いことから、誤差を考慮しても硅藻化石から期待される年代よりも有意に若い結果が得られたことになる。

FT 年代が微化石から推定される年代よりも古くなることは比較的良く知られており、一般的にはジルコンの異質結晶の混入で解釈されている(例えば、加藤ほか, 2007)。一方、FT 年代が微化石年代よりも若くなる場合は、通常熱イベント(変質)の存在が推定される(加藤ほか, 2007)。

硅藻化石は続成作用に非常に弱く、低温(30 ~ 46°C)でオパール A からオパール CT に転換する(多田ほか, 1988)。この変化はオパール A の溶解、オパール CT の沈殿というプロセスを経ているため、ある程度の時間が必要である(服部、私信)。一方、硅藻化石は短時間の熱に対しては非常に強く、実際、硅藻土は七輪や耐火材として利用されている。例えば、「切り出し七輪」では窯に入れて 800°C で約 45 時間焼成されるが、硅藻化石は全く変化していない。これに対し、FT のアニーリングは温度に主に依存しており、900°C 前後で

あれば数秒から 10 秒で FT がほぼ完全に消滅する (Murakami *et al.*, 2006)。粒子年代ヒストグラムやラディアルプロット (第 7 図) を改めて見ると, ED1 では年代の古い 3 粒子が年代のリセットを受けなかつた粒子のようにも見え, ED2 では頻度ピークが 2 つあるバイモーダルなパターンを示しているなど, 熱イベントの存在を支持しているとも解釈できる。内部面および外部面の両方で年代の古い 3 粒子を除いて年代値を計算するとそれぞれ  $10.3 \pm 0.4$  Ma,  $10.2 \pm 0.7$  Ma となり, 内部面のピーク年代と一致している。これらのこと考慮すると, FT 試料における珪藻化石年代と FT 年代の不一致は 10.3 Ma 頃に地質学的に短時間の熱イベント (貫入岩?) があった可能性を示唆している。

黒川ほか (1999) は夏井付近の胎内川右岸に露出する内須川層の *D. praedimorpha* 帯 (NPD5B) において 3 枚のパミス質凝灰岩を記載している。シンクルトン公園付近の内須川層 (loc. 3) で確認されたパミス質凝灰岩は、珪藻化石から判断するとこれらよりも下位の層準であると推定される。

#### 6.4. 珪藻化石の多様性

今回の試料の中で、試料 4-1 は非常に大きな多様性を持っていた。すなわち、通常の数 100 個体程度の観察で認められた種数は他の試料と大差のない約 40 種であった (第 1 表) が、約 30,000 個体の追加観察では 108 種であった (第 2 表)。観察個体数が大きくなれば当然それに応じて検出される種数は増加するが、数千～数万個体の追加観察を行ってもその増加量は 10 ~ 20% 程度に留まるが一般的である。それに対して、本試料の場合にはその 2.5 倍にも増加した。以下では、他の地域での観察例を紹介しながら、試料 4-1 の大きな多様性の原因について考察する。なお、認定される種数は、堆積環境や試料の保存度などの試料自体の特性よりも、試料の処理法や分類方法などの研究者の特性に左右される部分も決して少なくないが、ここでは前者に限ることとする。

多様性の大きな試料の例として世界的に有名なのは、日本産の珪藻 (化石) を初めて本格的に報告した Brun and Tempère (1889) の材料となった試料、「仙台産および江戸産の石灰質團塊」である (秋葉, 2008)。彼らはこれら 2 試料から新種 70 余種を含む約 260 種もの産出を報告しているが、その新種の大半は極度な稀産種であり、後年再確認されたのは数種に限られるとする。秋葉 (2008) はこの「仙台産石灰質團塊」の原試料を再調査して約 90 種の産出を確認しているが、石灰質團塊である本試料の保存度の良さは驚異的であり、現世堆積物にも残されていないような繊細な珪藻殻も頻繁に含んでいることが分かった。それからも推測されるように、この試料の圧倒的な多様性の大きさは、その極端に良好な保存度に依存している部分が大きい。もし石灰質團塊を見たら珪藻試料として採取するようにと昔から言われる所以である。

日本各地の新第三系珪藻化石生層序の研究における産出表の幾つかを見てみると、平均的には 1 試料当たりに検出される種数は 20 種から 40 種程度が一般的であり、同一地層や同一地域の中では大きな変化が認められない場合が多い。しかし、北海道北部の初山別セクションで見られるように、地層によって検出される種数が極端に異なる例 (秋葉, 2001) もある。そこに分布している遠別層は珪藻質シルト岩、そしてその上位の茂築別層は砂岩薄層を挟在する砂質シルト岩からなる。それらの珪藻化石含有量を比

較すると、遠別層に比べて茂築別層は 1/4 程度の含有量しか持っていないが、検出される種数は 2 倍程にもなる。すなわち、遠別層では試料当たり 40 種程度しか認められないのに対して、茂築別層では 70 ~ 80 種が認められる。その理由は、遠別層の珪藻化石群集は現地性の海生浮遊性種を主体とするのに対して、茂築別層のそれは本質的に中新統～鮮新統からの再堆積群集を主体として、それに淡水種などの現地性群集が混合したものからなっており、茂築別層には元来異なった環境に生息していた多様な生活型を持つ種が同時に含まれているからであると解釈される。

試料 4-1 の場合には、「仙台産團塊」とは異なり保存度は必ずしも極端に良好ではなく、本来含まれるべき鍵種の *Crucidenticula nicobarica* が通常の観察では認定されなかったことでも分かるように、むしろ保存状態は不良である。また、その群集は実質的にすべて現地性と判断されるものであり、北海道の茂築別層で見られたような生活型の極端に異なったものの混合群集でもない。本試料の特徴として、随伴される *Chaetoceros* 属の休眠胞子の多いことと、群集全体に占める海生底生種の割合が比較的大きいこと (約 30%) が挙げられる。これらはいずれも浅海性の環境を示唆しており、潮間帯から大陸棚にかけての浅海域は各種生物の多様性の高い場所である。本試料の堆積した海域の深度は不明であるが、海生浮遊性種の遺骸を豊富に沈積するような深い、しかも浅海から海生底生種が豊富にもたらされるような、離岸距離の小さな海域という堆積環境が推測される。

## 7. まとめ

シンクルトン公園周辺に分布している内須川層は *Denticulopsis praedimorpha* 帯 (NPD5B) の下半部、*Crucidenticula nicobarica* 帯 (NPD5A)、および *D. hyalina* 帯 (NPD4B) に相当する珪藻化石を産出し、新潟標準層序の七谷階に対比される。したがって、内須川層下部と下位の下関層は指交関係にある (平松・三輪, 1998) ことが確認された。内須川層を不整合で覆っている鍬江層は *Neodenticula koizumii*-*N. kamtschatica* 帯 (NPD8) に相当する珪藻化石を産出し、西山階に対比される。

内須川層中のパミス質凝灰岩の FT 年代は約 10.7 Ma であるが、珪藻化石から推定される年代 (約 12.7 Ma) よりも明らかに若く、熱イベントの存在を示唆している。

非常に大きな多様度を示す *D. praedimorpha* 帯 (NPD5B) に属する 1 試料 (試料 4-1) の堆積環境を考察すると共に、その詳細な群集組成リストを作成して、その大半を図示した。

## 8. 謝辞

資料の公表を許可された石油資源開発㈱に深謝します。試料の採取に協力頂いた同社野口慶一社員、坑井や地表の微化石資料について情報を提供して頂いた同社技術研究所平松 力・三輪美智子両社員、平木田ガス田や地表における有孔虫化石について教えて頂いた渡辺其久男氏、シリカの続成作用についてご教示して頂いた福井大学服部 勇教授、および文献検索に便宜をはかって頂いた国立科学博物館の谷村好洋博士に厚く感謝します。

## 引用文献

- Abbott, W. H. and Andrews, G. W. (1979), Middle Miocene marine diatoms from the Hawthorn Formation within the Ridgel and Trough, South Carolina and Georgia. *Micropaleontology*, **25**, 225–271.
- Akiba, F. (1982), Taxonomy and biostratigraphic significance of a new diatom, *Thalassionema schraderi*. *Bacillaria*, **5**, 43–61.
- Akiba, F. (1986), Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy for Deep Sea Drilling Project Leg 87 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., Courbourn, E. et al., *Init. Repts. DSDP*, **87**, 393–481.
- 秋葉文雄 (2001), 北海道天北—羽幌地域に分布する茂築別層の珪藻化石群集とその地質学的意義. 石油資源開発(株)技術研究所, 研究報告, no. 15, 27–51.
- 秋葉文雄 (2008), 幻の仙台産石灰質団塊—珪藻化石の話—. 地質ニュース, no. 648, 62–71.
- Akiba, F., Hiramatsu, C. and Yanagisawa, Y. (1993), A Cenozoic diatom genus *Cavittatus* Williams; an emended description and two new biostratigraphically useful species, *C. lanceolatus* and *C. rectus* from Japan. *Bull. Natl. Sci. Mus., Tokyo*, Ser. C, **19**, 11–39.
- Akiba, F. and Yanagisawa, Y. (1986), Taxonomy, morphology and phylogeny of the Neogene diatom zonal marker species in the middle-to-high latitudes of the North Pacific. In, Kagami, H., Karig, D., Courbourn, E. et al., *Init. Repts. DSDP*, **87**, 483–554.
- 秋葉文雄・柳沢幸夫・石井武政 (1982), 宮城県松島地域に分布する新第三系の珪藻化石層序. 地調月報, **33**, 215–239.
- Andrews, G. W. (1976), Miocene marine diatoms from the Choptank Formation, Calvert County, Maryland. *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, **910**, 1–26.
- Andrews, G. W. (1981), Revision of the diatom genus *Delphineis* and Morphology of *Delphineis surirella* (Ehrenberg) G. W. Andrews, n. comb. In, R. Ross (ed.), *Proceedings of the Sixth International Diatom Symposium*, 81–90. Koeltz Scientific Books, Koenigstein, Germany.
- Andrews, G. W. and Rivera, P. (1987), Morphology and evolutionary significance of *Adoneis pacifica* gen. et sp. nov. (Fragilariaeae, Bacillariophyta), a marine araphid diatom from Chile. *Diatom Research*, **21**, 1–14.
- Bailey, J. W. (1854), Note on new American species and localities of microscopic organisms. I. Fossil marine Diatomaceae in California. *Smithsonian Contrib. Knowl.*, **7**, 1–16.
- Baldauf, J. G. and Barron, J. A. (1980), *Actinocyclus ingens* var. *nodus*: a new, stratigraphically useful diatom of the circum-North Pacific. *Micropaleontology*, **26**, 103–110.
- Barron, J. A. (1975), Late Miocene–early Pliocene marine diatoms from southern California. *Palaeontographica B*, **151**, 97–170.
- Barron, J. A. (1980), Lower Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy of Leg 57, off northeastern Japan, Deep Sea Drilling Project. In, Scientific Party (ed.), *Init. Rep. DSDP*, **56 & 57**, part 2, 641–685.
- Barron, J. A. and Baldauf, J. G. (1986), Diatom biostratigraphy of the lower Pliocene part of the Sisquoc Formation, Harris Grade section, California. *Micropaleontology*, **32**, 357–371.
- Brun, J. (1894), Espèces nouvelles. *Le Diatomiste*, **2**, 72–78, 86–88.
- Brun, J. and Tempère, J. (1889), Diatomées fossiles du Japon, espèces marines et nouvelles des calcaires argileux des Sendai et de Yedo. *Soc. Phys. Hist. Nat. Geneve Mem.*, **30**, 1–75.
- 地質調査所(編)(1957), 日本鉱業誌 BV-b 石油および可燃性天然ガス. 東京地学協会, 416 p.
- 長 誠次 (1970), 本邦油田興亡史, 石油文化社, 243 p.
- Cupp, E. E. (1943), Marine plankton diatoms of the West Coast of North America. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr.*, **5**, 1–238.
- Danbara, T., Kasuya, M., Iwano, H. and Yamashita, T. (1991), Fission-track age calibration using internal and external surfaces of zircon. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **97**, 977–985.
- Ernisse, J. J. (1976), Endoskeletal dinoflagellates from the Coosawhatchie Clay, Jasper County, South Carolina. *South Carolina Div. Geol. Notes*, **20**, 88–100.
- Fryxell, G. A., Sims, P. A. and Watkins, T. P. (1986), *Azpeitia* (Bacillariophyceae): Related genera and promorphology. *Syst. Bot. Monog.*, **13**, 74 p.
- Gladenkov, A. Yu. (2003), Diatom biostratigraphy of the Neogene Milky River Formation, Akaska Peninsula, southwestern Alaska. *Proc. Calif. Acad. Sci.*, **54**, 27–64.
- Gleadow, A. J. W. (1981), Fission track dating method: What are the real alternatives? *Nucl. Tracks*, **5**, 3–14.
- Greville, R. K. (1861), Descriptions of new and rare diatoms, Series IV. *Transact. Microscop. Soc. London*, N. S., **9**, 79–87, pl. 10.
- Greville, R. K. (1862), Descriptions of new and rare diatoms, Series VII. *Quart. Jour. Microscop. Soc. London*, N. S., **2**, 231–236, pl. 10.
- Greville, R. K. (1863), Descriptions of new and rare diatoms, Series X. *Quart. Jour. Microscop. Soc. London*, N. S., **3**, 228–237, pls. 9, 10.
- Greville, R. K. (1866), Descriptions of new and rare diatoms, Series XIX. *Transact. Microscop. Soc. London*, N. S., **14**, 77–86, pls. 8, 9.
- Grunow, A. (1868), Algae. Reise der östreichischen Fregatte Novara um die Erde in den Jahren 1857, 1858, 1859. *Botan. Thil*, **1**, 1–104.
- Hanna, G. D. (1932), The diatoms of Sharktooth Hill, Kern County, California. *Proc. Calif. Acad. Sci.*, ser. 4, **15**, 115–193.
- Hasle, G. R. (1965), *Nitzschia* and *Fragilariopsis* species studied in the light and electron microscopes. III. The genus *Fragilariopsis*. *Skr. Norske Vidensk Akad. Kl. I, Mat.-Naturvidensk. Kl.*, **21**, 1–49.
- Hasle, G. R. (1972), *Fragilariopsis* Hustedt as a section of the genus *Nitzschia* Hassal. *Nova Hedwigia (Beih.)*, **39**, 111–119.
- Hasle, G. R. and Fryxell, G. A. (1977), The genus *Thalassiosira*: species with a linear areolae array. *Nova Hedwigia (Beih.)*, **54**, 15–66.
- Hasle, G. R. and Sims, P. A. (1986), The diatom genera *Stellarima* and *Symbolophora* with comments on the genus *Actinoptychus*. *Br. Phycol. J.*, **21**, 97–114.
- Hasle, G. R. and Syvertsen, E. E. (1996), Marine diatoms. In, Tomas, C. R. (ed.), *Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates*, 5–385, Academic Press, San Diego.
- 林広樹・柳沢幸夫・鈴木紀毅・田中裕一郎・齋藤常正 (1999), 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. 地質雑誌, **105**, 480–494.
- Hendey, N. I. (1964), An Introductory Account of the Smaller Algae of British Coastal Waters. *Fish. Invest., Bacillariophyceae (Diatoms)* (Ser. 4, Pt. 5): London (HMSO317 p.).
- Hendey, N. I. (1981), Note on the genus *Neobrunia* O. Kuntze. *Bacillaria*, **4**, 7–20.
- 平松 力・三輪美智子 (1998), 新潟県北蒲原地域の新第三系微化石層序と鍬江層基底の不整合形態. 石技誌, **63**, 301–314.
- Hurford, A. J. (1990), Standardization of fission track dating calibration: Recommendation by the Fission Track Working Group of the I. U. G. S. subcommission on Geochronology. *Chem. Geol.*, **80**, 171–178.
- Hustedt, F. (1927–1959), Die Kieselalgen Deutschland, Oestreichs und der Schweiz mit Berücksichtigung der übrigen Lander Europas sowie der angrenzenden Meeressgebiete. In, Rabenhorst, L. (ed.), *Kryptogamen-Flora von Deutschland, Oestreichs und der Schweiz*. Leipzig (Akademische Verlagsgesellschaft), 7, Teil I, Sect. 1–5, 920 p. 542 figs., 1927–1930; Teil II, Sect. 1–5, 736 p, 1105 figs., 1931–1937; Sect. 6, 108 p., 73 figs., 1959; Teil III, Sect. 1–3, 556 p., 411 figs., 1961–1964.
- 伊木 常誠 (1909), 越後黒川油田地質調査概報. 地調報告, **13**, 59–68.

- 稻葉 充・生路幸生・増井泰裕・佐賀 肇(1989), 北蒲原平野北部の西山層の堆積相 その1: 岩相、化石相による海底チャネル～サブマリンファンの復元. 石技誌, **54**, 310.
- Jordan, R. W. and Saito, M. (1999), The genus *Proboscia* from the *Thalassiosira yabei* Zone (middle-late Miocene) sediments of Hokkaido, Japan. In, Mayama, S., Idei, M. and Koizumi, I. (eds.), *Proc. 14th Int. Diatom Symp. Tokyo, Japan, Sept. 2–8, 1996*, Koeltz Sci. Books, Koenigstein, 565–580.
- Jordan, R. W. and Priddle, J. (1991), Fossil members of the genus *Proboscia*. *Diatom Research*, **6**, 55–61.
- Jousé, A. P. (1961), Miocene and Pliocene marine diatoms from the Far East. *Bot. Mater. Spor. Rast., Bot. Inst., Akad. Nauk S.S.R.*, **16**, 59–70.
- 片平忠実(1969), 新潟県北蒲原平野の基盤構造と構造発達史(上), (下), 石技誌, **34**, 249–256, 314–319.
- 片平忠実(1973), 5.2 平木田ガス田. 石油技術協会 40周年記念, 36–37.
- Kanaya, T. (1959), Miocene diatom assemblages from the Onnagawa Formation and their distribution in the correlative formations in Northeast Japan. *Sci. Rept. Tohoku Univ., Sendai*, 2nd ser. (Geol.), **28**, 27–124.
- Kanaya, T. (1971), Some aspects of pre-Quaternary diatoms in the ocean. In, Funnel, B. and Riedel, W. (eds.), *Micropaleontology of the Oceans*, Cambridge Univ. Press, 545–565.
- 加藤正和・片平忠実(1968), 平木田ガス田における層位トラップについて. 石技誌, **33**, 91–96.
- 加藤 進・檀原 徹・松井良一・小田 浩(2007), 新潟地域の地下に分布するグリーンタフのフィッショングラウド年代. 地調研報, **58**, 371–388.
- 加藤 進・片平忠実(1993), 東北日本油田地域の地下地質－新潟下越地域の中・下部中新統を中心にして. 北陸地質研究所報告, **3**, 51–69.
- 加藤 進・渡辺其久男(1984), 北蒲原平野下に発達する“Breccia”について. 石技誌, **49**, 165–175.
- Koizumi, I. (1968), Tertiary diatom flora of Oga Peninsula, Akita Prefecture, northeast Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 2*, **40**, 171–225.
- Koizumi, I. (1973), The late Cenozoic diatoms of Sites 183–193, Leg 19 Deep Sea Drilling Project. In, Creager, J. S., Scholl, D. W., et al., *Init. Repts. DSDP*, **19**, 805–855.
- Komura, S. (1975), *Ikebea*, eine neue Gattung der Pennaten Bacillariaceen aus dem Neogene Japans. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan.*, N. S., **99**, 133–142.
- 黒川勝己・永田 亮・吉田卓司(1999), 新発田市上荒沢～黒川村胎内川地域の内須川層・鍬江層の火山灰層とくに鍬江層中のZnp-Ywg相当火山灰層について. 新潟大学教育人間科学部紀要(自然科学編), **2**, 1–32.
- Lohman, K. E. (1938), Pliocene diatoms from the Kettleman Hills, California. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, **189-C**, 81–94, 4 pls.
- Lohman, K. E. (1948), Middle Miocene diatoms from the Hammond Well: Cretaceous and Tertiary subsurface geology. *Maryland Dept. Geol. Mines, Water Resources Bull.*, **2**, 151–187, 7 pls.
- 米谷盛寿郎・井上洋子(1981), 新潟堆積盆地における中部中新統中下部の有孔虫化石群集と古地理の変遷. 化石, **30**, 73–78.
- Mukhina, V. V. (1965), New species of diatoms from the bottom sediments of the equatorial region of the Pacific. *Nov. Systemat. Plant. Non Vascular Bot. Inst. Akad. Nauk S.S.R.*, 22–25.
- Murakami, M., Yamada, R. and Tagami, T. (2006), Short-term annealing characteristics of spontaneous fission tracks in zircon: a qualitative description. *Chem. Geol.*, **227**, 214–222.
- 新潟県(2000), 新潟県地質図説明書. 200 p.
- 西田彰一・津田禾粒(1961), 新潟県坂町附近の新第三系. 横山次郎教授記念論文集, 107–113.
- Sancetta, C. (1982), Distribution of diatom species in surface sediments of the Bering and Okhotsk seas. *Micropaleontology*, **28**, 221–257.
- Schrader, H.-J. (1973), Cenozoic diatoms from the northeast Pacific, Leg 18. In, Kulm, L. D., von Huene, R., et al., *Init. Repts. DSDP*, **18**, 673–797.
- Schrader, H.-J. (1976), Cenozoic planktonic diatom biostratigraphy of the southern Pacific Ocean. In, Hollister, C. D., Craddock, C., et al., *Init. Repts. DSDP*, **35**, 605–671.
- Sheshukova-Poretskaya, V. S. (1962), New and rare Bacillariophyta from diatom suite of North Sakhaline. *Study Note LGU (No. 313)*, Ser. biol, **49**, 203–211. (In Russian)
- Sheshukova-Poretskaya, V. S. (1967), *Neogene Marine Diatoms of Sakhalin and Kamchatka*. Leningrad (Izd. Leningr. Univ.), 429 p. (In Russian with English abstract)
- 新保久弥(1971), 新潟油田第三系有孔虫総合対比. 石油資源開発技術研究特報.
- Simonsen, R. (1979), The diatom system: Ideas on phylogeny. *Bacillaria*, **2**, 9–71.
- Simonsen, R. and Kanaya, T. (1961), Notes on the marine species of the diatom genus *Denticula* Kütz. *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.*, **46**, 498–513.
- Sundström, B. G. (1986), The marine diatom genus *Rhizosolenia* a new approach to the taxonomy. *PhD. Thesis, Lund Univ.*, 117 p., 39 pls.
- Suto, I. (2003), *Periptera tetricornusa* sp. nov., a new middle Miocene diatom resting spore species from the North Pacific. *Diatom*, **19**, 1–7.
- Suto, I. (2004), Taxonomy of the diatom resting spore form genus *Liradiscus* Greville and its stratigraphic significance. *Micropaleontology*, **50**, 59–79.
- 鈴木尉元(1982), 地質調査所における石油・天然ガス調査事業の歩み. 地質ニュース, **336**, 20–38.
- 鈴木勝王・藤田 実・工藤修治(1977), 北蒲原平野における石油・ガスの移動, 集積機構に関する1考察. 石技誌, **42**, 139–147.
- 多田隆治・水野達也・飯島 東(1988), 青森県下北半島北東部新第三系の地質とシリカ・沸石統成作用. 地質雑誌, **94**, 855–867.
- 帝国石油株式会社(1992), 五十年史 技術編. 439 p.
- Tanimura, Y. (1981), Late Quaternary diatoms of the Sea of Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., ser. 2 (Geol.)*, **51**, 1–37.
- 渡辺真人・檀原 徹(1996), 房総半島上総層群のフィッショングラウド年代. 地質雑誌, **102**, 545–556.
- Watanabe, M. and Yanagisawa, Y. (2005), Refined Early to Middle Miocene diatom biochronology for the middle- to high-latitude North Pacific. *The Island Arc*, **14**, 91–101.
- Williams, D. M. (1989), *Cavittatus* D. M. Williams, nov. gen.: a new genus of fossil diatom (Bacillariophyta) based on *Synedra jouseana* Sheshukova-Poretskaya. *Rev. Palaeobotany & Palynology*, **58**, 357–362.
- Wornardt, W. W. (1967), Miocene and Pliocene marine diatoms from California. *Occas. Pap. Calif. Acad. Sci.*, **63**, 1–108.
- Yanagisawa, Y. (1993), *Thalassiosira mizunamensis* Yanagisawa sp. nov., a new fossil *Thalassiosira* species from the early Middle Miocene Oidawara Formation in Mizunamai area, central Japan. *Diatom*, **8**, 43–49.
- Yanagisawa, Y. (1994), *Koizumia* Yanagisawa gen. nov., a new marine fossil araphid diatom genus. *Trans. Proc. Soc. Japan, N.S.*, **176**, 591–617.
- 柳沢幸夫(1999), 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, *Crucidenticula*, *Denticulopsis* and *Neodenticula*. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **41**, 197–301.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F. (1998), Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code

- numbers for selected biozones. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **104**, 395–414.
- 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新第三系の生層序と地下地質. 地調月報, **40**, 405–467.
- Zabelina, M. M. (1934), Diatoms from the Tertiary deposits of the eastern coast of Kamtchatka. *Trans. Oil Geol. Inst.*, ser. A, **48**, 3–19. (in Russian)

2009年9月30日原稿受理

#### Appendix: Diatom Floral Reference

Taxonomic references to diatoms specifically identified in the samples of this paper are shortly listed below. They are alphabetically arranged within MARINE DIATOMS and NON-MARINE DIATOMS. All the illustrated figures are from the sample, locality 4-1, which belongs to the lower part of the Middle Miocene *Denticulopsis praedimorpha* Zone (NPD5B), and shows very high species diversity.

##### MARINE DIATOMS

###### *Achnanthes* sp. (Pl. 8, fig. 9)

*Actinocyclus ellipticus* Grunow in Van Heurck, 1881; Hustedt, 1929, Kieselalg., I, p. 533, fig. 303; Akiba, 1986, pl. 16, fig. 5. (Pl. 1, Fig. 11)

*Actinocyclus ingens* Rattray 1890; Kanaya, 1959, p. 97, pl. 7, figs. 6–9, pl. 8, figs. 1–4; Akiba and Yanagisawa, 1986, p. 494, pl. 34, figs. 1–9, pl. 35, figs. 1–9.

*Actinocyclus ingens* var. *nodus* Baldauf in Baldauf et Barron, 1980; p. 104, pl. 1, figs. 5–9. Remarks: This taxon was not separately counted from *A. ingens*. (Pl. 2, Fig. 1)

*Actinocyclus* cf. *ingens* Rattray. Remarks: This form is very similar to the species, but is characterized by several hyaline areas near valve margin. It was not separately counted from *A. ingens*. (Pl. 2, Fig. 4)

*Actinocyclus octonarius* Ehrenberg, 1838; Hendey, 1964, p. 83, pl. 24, fig. 3. Synonym: *Actinocyclus ehrenbergii* Ralfs, Hustedt, 1929, Kieselalg., I, p. 525, fig. 298. (Pl. 1, Fig. 7)

*Actinocyclus* sp. A. Remarks: This diatom is similar to *A. tenellus* (Brébisson) Andrews (1976, p. 14, pl. 3, figs. 8–9), but is characterized by denser areolae, and valves with four sectors instead of those with five or more sectors. It is also close to *Coscinodiscus rothii* (Ehr.) var. *subsalsa* (Juhl–Dannfo.) Hustedt (1928, Kieselalg., I, p. 402, fig. 212), but no definite identification was made at present. (Pl. 1, Figs. 8–10)

*Actinoptychus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg, 1843; Sancetta, 1982, p. 225, pl. 1, fig. 7. Synonym: *Actinoptychus undulatus* (Bailey) Ralfs, Hustedt, 1929, Kieselalg., I, p. 475, fig. 264. (Pl. 3, Fig. 6)

*Adoneis pacifica* Andrews and Rivera, 1987: p. 2, figs. 1–26; Gladenkov, 2003, pl. 1, fig. 2.

*Amphora* spp. Remarks: Three forms were differentiated, but not specifically identified. (Pl. 9, Figs. 17–19)

*Anaulus biostratus* (Grunow) Grunow, 1863; Hustedt, 1930, Kieselalg., I, p. 892, fig. 536; Abbott and Andrews, 1979, p. 233, pl. 1, fig. 13. (Pl. 4, Fig. 10)

###### *Arachnoidiscus* sp. (Pl. 3, Fig. 8)

*Aulacodiscus kittonii* Arnot ex Pritchard, 1861; Barron, 1975, p. 123, pl. 3, fig. 10. (Pl. 3, Fig. 7)

*Auliscus caelatus* Bailey, 1854; Hustedt, 1928, Kieselalg., I, p. 518, fig. 291.

*Auliscus* sp. (Pl. 4, Fig. 5)

*Azpeitia endoi* (Kanaya) Sims et Fryxell in Fryxell et al., 1986: p. 16. Synonym: *Coscinodiscus endoi* Kanaya, 1959, p. 76, pl. 3, figs. 8–11. (Pl. 1, Fig. 4)

*Azpeitia vetutissima* (Pantocsek) Sims in Fryxell et al., 1986: p. 16. Synonym:

*Coscinodiscus vetustissimus* Pantocsek, 1886; Kanaya, 1971, p. 555, pl. 40.2, figs. 1–5.

*Biddulphia tuomeyi* (Bailey) Ropper, 1859; Hustedt, 1930, Kieselalg., I, p. 834, fig. 491; Andrews and Abbott, 1985, p. 72, pl. 7, figs. 5–8.

*Cavatitus jouseanus* (Sheshukova) Williams, 1989, p. 260; Akiba et al., 1993, p. 20, figs. 6–19–20. Synonym: *Synedra jouseana* Sheshukova: Sheshukova-Poretskaya, 1962, p. 208, fig. 4; 1967, p. 245, pl. 42, figs. 4a–b, pl. 43, figs. 12a–b.

*Cavatitus lanceolatus* Akiba et Hiramatsu, in Akiba et al., 1993: p. 22, figs. 6–1a–b, figs. 7–1–7. Synonym: *Synedra jouseana* var. 1, Barron, 1980, p. 672, pl. 1, fig. 33; *Synedra jouseana* Sheshukova-Poretskaya, Akiba et al., 1982, pl. 3, figs. 83–84. (Pl. 6, Fig. 9)

*Cavatitus miocenicus* (Schrader) Akiba et Yanagisawa, in Akiba et al., 1993: p. 28, figs. 9–11. Synonym: *Synedra miocenica* Schrader, 1976, p. 636, pl. 1, figs. 1, 1a–b.

*Clavicula polymorpha* Grunow and Pantocsek in Pantocsek, 1930; Sheshukova -Poretskaya, 1967, p. 246, pl. 42, fig. 6. (Pl. 4, Fig. 13)

*Cocconeis californica* Grunow, 1881; Hustedt, 1933, Kieselalg., II, p. 343, fig. 796; Sheshukova-Poretskaya, 1967, p. 277, pl. 43, fig. 11. (Pl. 7, Fig. 10)

*Cocconeis costata* Gregory, 1855; Hustedt, 1933, Kieselalg., II, p. 332, fig. 785; Sheshukova-Poretskaya, 1967, p. 262, pl. 44, figs. 4a–c.

*Cocconeis scutellum* Ehrenberg, 1938; Hustedt, 1933, Kieselalg., II, p. 337, fig. 790; Hendey, 1964, p. 180, pl. 27, fig. 8; Akiba, 1986, pl. 30, figs. 3, 11.

*Cocconeis* cf. *scutellum* Ehrenberg. Remarks: This is similar to the species, but is characterized by very long “marginal spines”. (Pl. 6, Figs. 10–11)

*Cocconeis* spp. (Pl. 7, Figs. 1a–6; Pl. 8, Fig. 1)

*Cocconeis* ? sp. Remarks: This form is characterized by an elliptic valve with a subcentral and marginal three to four rows of large punctae, which are rarely seen in *Cocconeis* species. (Pl. 7, Figs. 8–9)

*Coscinodiscus lewisanus* Greville, 1866: p. 78, pl. 8, figs. 8–10; Kanaya, 1971, pl. 40.5, figs. 4–6; Akiba et al., 1982, pl. 1, figs. 10–11.

*Coscinodiscus marginatus* Ehrenberg, 1843; Hustedt, 1928, Kieselalg., I, p. 416, fig. 223; Sheshukova-Poretskaya, 1967, p. 156, pl. 11, fig. 9, pl. 17, figs. 4a–c, pl. 18, figs. 1a–2. (Pl. 1, Figs. 1–3)

*Coscinodiscus nitidus* Gregory, 1857; Hustedt, 1928, Kieselalg., I, p. 414, fig. 252.

*Coscinodiscus oculus-iridis* Ehrenberg, 1839; Hustedt, 1928, Kieselalg., I, p. 454, fig. 2221. (Pl. 1, Fig. 6)

*Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg, 1840; Hustedt, 1927, Kieselalg., I, p. 240, fig. 225. (Pl. 1, Fig. 12)

*Coscinodiscus symbolophorus* Grunow, 1884; Sheshukova-Poretskaya, 1967, p. 167, pl. 1, fig. 3, pl. 9, fig. 1, pl. 22, figs. 3a–d; Schrader, 1973, p. 703, pl. 22, figs. 8–9; Akiba, 1986, pl. 2, fig. 1. Remarks: This species is recently referred to *Stellarima mirotrias* (Ehrenberg) Hasle et Sims (1986, p. 11, figs. 18–27), of which specific concept has been seemingly heterogeneous and an old name of this species is used here. (Pl. 1, Fig. 5)

*Crucidenticula nicobarica* (Grunow) Akiba et Yanagisawa, 1986, p. 486, pl. 1, fig. 9, pl. 2, figs. 1–7, pl. 5, figs. 1–9; Hayashi et al., 1999, pl. 1, fig. 8; Yanagisawa and Akiba, 1990, p. 232, pl. 1, figs. 23–29. Synonym: *Denticula nicobarica* Grunow, 1868, p. 97, pl. 1A, figs. 5a–b.

*Crucidenticula punctata* (Schrader) Akiba et Yanagisawa, 1986, p. 487, pl. 1, figs. 10–12, pl. 4, figs. 1–9; Yanagisawa and Akiba, 1990, p. 232, pl. 1, figs. 30–32. Synonym: *Denticula punctata* Schrader, 1973, p. 705, pl. 1, figs. 25–30, not figs. 16–17. (Pl. 9, Figs. 11a–12b)

*Delphineis surirella* (Ehrenberg) Andrews, 1981: p. 81, pl. 1, figs. 1–5; pl. 2, figs. 6–7; Akiba, 1986, pl. 20, figs. 2–3. Synonym: *Raphoneis surirella* (Ehrenberg) Grunow, Hustedt, 1931, Kieselalg., II, p. 173, figs. 679a–c.

- Delphineis* sp. (**Pl. 6, Figs. 1–4a**).  
*Denticulopsis crassa* Yanagisawa et Akiba, 1990: p. 248, pl. 3, figs. 21–27, pl. 12, figs. 1–8. (**Pl. 9, Figs. 1a–5**)  
*Denticulopsis hustedtii* (Simonsen et Kanaya) Simonsen s.l. Remarks: Included here in the counting, are *Denticulopsis simonsenii* Yanagisawa et Akiba and *Denticulopsis vulgaris* (Okuno) Yanagisawa et Akiba.  
*Denticulopsis hyalina* (Schrader) Simonsen, 1979: p. 64; Yanagisawa and Akiba, 1990, p. 240, pl. 2, figs. 14, 33–34, pl. 9, figs. 8–9. Synonym: *Dentula hyalina* Schrader, 1973, p. 704, pl. 1, figs. 12–22.  
*Denticulopsis lauta* (Bailey) Simonsen, 1979: p. 64; Yanagisawa and Akiba, 1990, p. 235, pl. 2, figs. 6–8, 15, pl. 5, figs. 1–3, pl. 9, fig. 1. Synonym: *Denticula ? lauta* Bailey, 1854, p. 9, figs. 1–2; *Denticula lauta* Bailey, Simonsen et Kanaya, 1961, p. 500, in part, pl. 1, figs. 1–5, not figs. 6–10.  
*Denticulopsis miocenica* (Schrader) Simonsen, 1979: p. 65; Akiba, 1986, pl. 26, figs. 26–27; Yanagisawa and Akiba, 1990, p. 241, pl. 2, figs. 35–37. Synonym: *Denticula miocenica* Schrader, 1973, p. 705, pl. 2, figs. 26–28.  
*Denticulopsis praedimorpha* var. *minor* Yanagisawa et Akiba, 1990: p. 249, pl. 4, figs. 1–2, 8–9, 11, 21–24, pl. 7, figs. 5–6, 10, pl. 12, fig. 9; Hayashi et al., 1999, pl. 1, figs. 9–11; Watanabe and Yanagisawa, 2005, fig. 5. 13–17, fig. 6. (**Pl. 9, Figs. 6a–10**)  
*Denticulopsis praelauta* Akiba et Koizumi, in Akiba, 1986: p. 439, pl. 26, figs. 10–14; Akiba and Yanagisawa, 1986, p. 490. Pl. 7, figs. 1–15, pl. 8, figs. 1–9; Yanagisawa and Akiba, 1990, p. 234, pl. 2, figs. 3–5, 16–18. Synonym: *Denticula* sp. cf. *lauta* Bailey, Barron, 1980, p. 672, pl. 1, figs. 13–14; *Denticulopsis* sp. A, Akiba et al., 1982, pl. 3, figs. 41–44.  
*Denticulopsis praehyalina* Tanimura 1989 emend. Yanagisawa et Akiba, 1990: p. 239, pl. 2, figs. 28–32, pl. 9, figs. 5–7. (**Pl. 9, Figs. 13a–b**)  
*Denticulopsis vulgaris* (Okuno) Yanagisawa et Akiba, 1990: p. 243, pl. 3, figs. 4–8, pl. 11, figs. 2, 6–10. (**Pl. 9, Figs. 14a–b**)  
*Diploneis bombus* Ehrenberg, 1844; Hustedt, 1937, Kieselalg., II, p. 704, fig. 1086.  
*Diploneis* spp. (**Pl. 8, Figs. 2–6**)  
*Dossetica lacera* (Forti) Hanna, 1932: p. 190, pl. 11, fig. 3. (**Pl. 5, Fig. 1**)  
*Endictya oceanica* Ehrenberg, 1845; Hustedt, 1930, Kieselalg., I, p. 297, fig. 136.  
*Eucampia* sp., Yanagisawa et al., 1989, pl. 4, fig. 16. Synonym: *Hemiaulus polymorphus* Grunow, Hanna, 1932, p. 193, pl. 11, fig. 7; Barron, 1975, p. 143 pl. 9, fig. 6; *Hemiaulus* cf. *polymorphus* Grunow, Schrader, 1973, p. 705, pl. 13, figs. 4–7; *Eucampia balaustium* Castr. ?, Sheshukova-Poretskaya, 1967, p. 209, pl. 34, figs. 2a–d; Remarks: This diatom has been frequently referred to *H. polymorphus*, but is distinguished from it by the lack of pesudosepta. Its detailed comparison with *Eucampia antarctica* (Castracane) Mangin (Hasle and Syvertsen, 1996), p. 172, pl. 33, *Eucampia antarctica*: (a)–(f) may be necessary. (**Pl. 4, Fig. 7**)  
*Fragilariopsis oceanica* (Cleve) Hasle, 1965, pl. 1, figs. 15–19, pl. 2, figs. 6–9, pl. 3, figs. 1–2, pl. 16, figs. 1–2. Synonym: *Fragilaria oceanica* Cleve, Hustedt, 1931, Kieselalg., II, p. 148, fig. 662; *Nitzschia granulata* Hasle, 1972: p. 115; Sancetta, 1982, p. 233, pl. 3, figs. 8–10.  
*Fragilariopsis* cf. *oceanica* (Cleve) Hasle. Remarks: This is similar to the species, but is characterized by coarser costae. (**Pl. 9, Fig. 15**)  
*Glyphodesmis exima* Greville, 1862: p. 235, pl. 10, figs. 7–10. (**Pl. 6, Fig. 20**)  
*Glypodiscus stellatus* Greville, 1862: Barron, 1975, p. 142, pl. 9, fig. 5. (**Pl. 4, Fig. 3**)  
*Goniothecium rogersii* Ehrenberg, 1841; Hanna, 1932, p. 192, pl. 11, figs. 4–6; Wornardt, 1972, pl. 3, fig. 6. (**Pl. 5, Fig. 5**)  
*Grammatophora* spp. Remarks: Several forms were distinguished, but no precise identification was made here. (**Pl. 6, Figs. 12–19**)  
*Hemiaulus bipons* (Ehrenberg) Grunow in Van Heurck, 1882; Lohman, 1948, p. 177, pl. 10, fig. 7; Akiba et al., 1982, pl. 2, fig. 30.  
*Hemidiscus cuneiformis* Wallich, 1860; Hustedt, 1930, Kieselalg., I, p. 904, fig. 542; Schrader, 1973, pl. 24, fig. 14; Akiba, 1986, pl. 16, figs. 3–4.  
*Hemidiscus ovalis* Lohman, 1938: p. 91, pl. 22, fig. 9; Akiba, 1986, pl. 16, figs. 1–2.  
*Hyalodiscus obsoletus* Sheshukova, 1959; Sheshukova Poretskaya, 1967, p. 131, pl. 12, fig. 2; Akiba, 1986, pl. 29, fig. 15.  
*Hyalodiscus* spp. (**Pl. 2, Figs. 5–6**)  
*Ikebea tenuis* (Brun) Akiba, 1986: p. 439, pl. 19, figs. 1–5. Synonym: *Goniothecium tenue* Brun, 1894, p. 77, tab. 5, figs. 5–6. Remarks: Akiba (1986) synonymized five *Ikebea* species proposed by Komura (1975) with this species, because they could not be practically distinguished in their girdle views. (**Pl. 4, Figs. 1–2**)  
*Koizumia adaroi* (Azpeitia) Yanagisawa, 1994: p. 600, figs. 8–1–7, 12, 13, 9–11 –3.  
*Liradiscus akibae* Suto, 2004: p. 65, text-figs. 2D–E, pl. 1, figs. 1a–14b. (**Pl. 5, Fig. 9**)  
*Liradiscus bipolaris* Lohman, 1948: Suto, 2004, text-figs. 2H–2I, pl. 1, fig. 15a –16b. (**Pl. 5, Fig. 4**)  
*Liradiscus?* sp. (**Pl. 5, Fig. 2**)  
*Mammodiscus* sp. (**Pl. 5, Figs. 12a–b**)  
*Mastogloia splendida* (Gregory) Cleve, 1895; Hustedt, 1933, Kieselalg., II, p. 463, fig. 883.  
*Medialia splendida* Sheshukova, 1962; Sheshukova-Poretskaya, 1962 p. 210, fig. 2, text-fig. 5; 1967, p. 307, pl. 47, fig. 14, pl. 48, fig. 8.  
*Melosira sol* (Ehrenberg) Kützing 1849; Hustedt, 1927, Kieselalg., I, p. 270, fig. 115; Kanaya, 1959, p. 63, pl. 1, fig. 3. (**Pl. 3, Fig. 4**)  
*Navicula hennedy* W. Smith, 1856; Wornardt, 1967, p. 81, figs. 187–188. (**Pl. 8, Figs. 10–11**)  
*Navicula hochstetteri* Grunow, 1863: Hustedt, 1964, Kieselalg., III, p. 663, fig. 1664. (**Pl. 9, Figs. 21a–b**)  
*Navicula lyra* Ehrenberg, 1843: Wornardt, 1967, p. 82, figs. 189, 190, 192. (**Pl. 8, Fig. 7**)  
*Navicula optima* Hanna, 1932: p. 202, pl. 13, fig. 6; Barron, 1975, p. 148, pl. 11, fig. 14. (**Pl. 8, Fig. 8**)  
*Navicula* spp. (**Pl. 8, Figs. 1, 12**)  
*Neobrunia mirabilis* (Brun) Kuntze, 1898; Hendey, 1981, p. 11, pl. 1, figs. 1–3; pl. 2, figs. 4–7; pl. 3, figs. 10–13. Synonym: *Brightwellia* (?) *mirabilis* Brun in Brun et Tempére, 1889, p. 27, pl. 8, fig. 1. (**Pl. 3, Fig. 5**)  
*Neodenticula kamtschatica* (Zabelina) Akiba et Yanagisawa, 1986: p. 490, pl. 21, figs. 7–8, 13–19, 21, pl. 22, figs. 1–12; Yanagisawa and Akiba, 1990, p. 259, pl. 7, figs. 27–37. Synonym: *Denticula kamtschatica* Zabelina, 1934, p. 16, figs. 7–9; Simonsen et Kanaya, 1961, p. 503, pl. 1, figs. 14–18.  
*Neodenticula koizumi* Akiba et Yanagisawa, 1986: p. 491, pl. 21, figs. 22–28, pl. 23, figs. 1–12, pl. 24, fig. 19; Yanagisawa and Akiba, 1990, p. 262, pl. 7, figs. 38–41. Synonym: *Denticula seminae* Simonsen et Kanaya, Koizumi, 1973b, p. 832, pl. 5, figs. 5–9, not figs. 1–4.  
*Nitzschia granulata* Grunow, 1862; Lohman, 1938, pl. 22, fig. 10.  
*Nitzschia heteropolica* Schrader, 1973: p. 707, pl. 26, figs. 1–2; Akiba, 1986, pl. 23, fig. 3. (**Pl. 9, Fig. 16**)  
*Nitzschia umaoiensis* Akiba, 1986: p. 440, pl. 23, figs. 1–2.  
*Nitzschia reinholdii* Kanaya emend Baldauf et Barron, 1986: p. 364, pl. 2, fig. 7.  
*Odontella aurita* (Lyngbye) Agardh, 1832; Sancetta, 1982, p. 234, pl. 3, figs. 11–12; Akiba, 1986, pl. 17, figs. 2–3. Synonym: *Biddulphia aurita* (Lyngbye) Brébisson et Goedy, Hustedt, 1930, Kieselalg., I, p. 846, fig. 501.  
*Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve, 1873; Hendey, 1964, p. 73, pl. 23, fig. 5; Sancetta, 1982, p. 235, pl. 3, figs. 13–15. Synonym: *Melosira sulcata* (Ehrenberg) Kützing, Hustedt, 1928, Kieselalg., I, p. 276, figs. 118–119; Tanimura, 1981a, pl. 4, fig. 6. (**Pl. 3, Figs. 2–3**)

*Paralia sulcata* var. *coronata* (Ehrenberg) Andrews, 1976; p. 9, pl. 1, figs. 7–8. (Pl. 3, Fig. 1)

*Peripteropsis tetricornusa* Suto, 2003: p. 2, figs. 3, 5–35.

*Peripteropsis* sp. (Pl. 5, Fig. 6)

*Plagiogramma stuarophorum* (Gregory) Heiberg, 1863; Hustedt, 1931, Kieselalg., II, p. 110, fig. 635; Akiba, 1986, pl. 30, fig. 12. (Pl. 6, Fig. 21)

*Plagiogramma antillarum* Cleve, 1878; Barron, 1975, p. 151, pl. 11, fig. 14. (Pl. 6, Fig. 22)

*Planifolia tribachiata* Ernissee, 1976: p. 92, pl. 1, figs. 1–3, pl. 2, figs. 3–4; Yanagisawa et al., 1989, pl. 4, fig. 13. Remarks: This peculiar form was first described as an endoskeletal remain of a dinoflagellate, but the finding of its intact cells and a labiate process (Akiba and Ernissee, unpublished data, 1991) showed it to be a diatom. (Pl. 4, Fig. 6)

*Podosira stelligera* (Bailey) Mann, 1907; Hustedt, 1928, Kieselalg., I, p. 286, fig. 128.

*Proboscia alata* (Brightwell) Sundstöm, 1986: p. 99, pl. 36, figs. 256–266. Synonym: *Rhizosolenia alata* Brightwell, 1858; Hustedt, 1929, Kieselalg., I, p. 600, fig. 345; Schrader, 1973, pl. 10, fig. 12.

*Proboscia barboi* (Brun) Jordan et Priddle, 1991; p. 56, figs. 1–2. Synonymy: *Pixylla (Rhizosolenia?) barboi* Brun, 1894, p. 87, pl. 5, figs. 16–17, 23; *Rhizosolenia barboi* (Brun) Tempère et Peragallo, 1908; Akiba and Yanagisawa, 1986, p. 497, pl. 42, figs. 3–5, 7, 10–11, pl. 44, figs. 1–8.

*Proboscia praecalata* (Schrader) Jordan et Saito, 1999; p. 567. Synonym: *Phizosolenia praecalata* Schrader, 1973: p. 709, pl. 10, fig. 13.

*Pseudopyxilla americana* (Ehrenberg) Forti, 1909; Sheshukova-Poretskaya, 1967, p. 227, pl. 39, figs. 2a–b; Schrader, 1973, p. 708, pl. 10, fig. 22.

*Rhabdonema japonicum* Tempère et Brun in Brun et Tempère, 1889: p. 53, pl. 1, fig. 6.

*Rhizosolenia miocenica* Schrader, 1973: 1973, p. 709, pl. 10, figs. 2–6, 9–11. (Pl. 3, Fig. 9)

*Rhizosolenia* aff. *styliformis* Brightwell. Remarks: This is similar to *P. styliformis* Brightwell, 1858 (Hustedt, 1929, Kieselalg., I, p. 584, fig. 334), but has no well rounded otaria. (Pl. 3, Fig. 10)

*Rhizosolenia* sp. A. Remarks: Similar to *P. setigera* Brightwell, 1858 (Tanimura, 1981, pl. 6, fig. 14), but its process is slightly twisted and more robust. (Pl. 3, Figs. 11–12)

*Rouxia californica* Peragallo in Tempère et Peragallo, 1910; Akiba and Yanagisawa, 1986, p. 497, pl. 46, figs. 1–5, 11, pl. 47, figs. 1–11.

*Rouxia peragalli* Brun et Heribaud in Heribaud, 1893; Sheshukova-Poretskaya, 1967, p. 294, pl. 43, fig. 17.

*Rutilaria epsilon* Greville, 1863: p. 228, pl. 9, fig. 1.

*Stephanogonia hanzawae* Kanaya, 1959: p. 118, pl. 11, figs. 3–7; Koizumi, 1968, p. 217, pl. 35, figs. 3a–4. (Pl. 5, Figs. 9–10)

*Stephanogonia* spp. (Pl. 5, Figs. 7–8)

*Stephanopyxis turris* (Greville et Arnott) Ralfs in Pritchard, 1861; Hustedt, 1928, Kieselalg., I, p. 304, fig. 140; Koizumi, 1973, p. 833, pl. 6, figs. 13–16. (Pl. 2, Figs. 10a–b)

*Stephanopyxis* sp. (Pl. 2, Figs. 11a–b)

*Stictodiscus californicus* Greville, 1861: p. 79, pl. 10, fig. 1; Wornardt, 1967, p.

38, figs. 54–55. (Pl. 2, Fig. 12)

*Stictodiscus kittonianus* Greville, 1861: p. 79, pl. 10, figs. 2–3. (Pl. 4, Fig. 4)

*Thalassionema nitzschiooides* (Grunow) H. et M. Peragallo, 1901; Sanctetta, 1982, pl. 4, figs. 11–13; Hustedt, 1932, Kieselalg., II, p. 245, figs. 725a–c.

*Thalassionema schraderi* Akiba, 1982: p. 50, pl. 1, figs. 6–11, 16–18; Akiba and Yanagisawa, 1986, p. 498 pl. 48, figs. 1–5, 10–12, pl. 50, figs. 1–10. Synonym: *Thalassionema hirosakiensis* (Kanaya) Schrader, 1973, pl. 23, figs. 31–33.

*Thalassiosira convexa* Muchina, 1965: p. 22, pl. 11, figs. 1–2; Koizumi, 1973, pl. 7, figs. 13–15.

*Thalassiosira leptopus* (Grunow) Hasle et Fryxell, 1977: p. 20, figs. 1–14, 94–96. Synonym: *Coscinodiscus lineatus* Ehrenberg, Hustedt, 1928, Kieselalg., I, p. 292, fig. 204. (Pl. 2, Fig. 7)

*Thalassiosira mizunamensis* Yanagisawa, 1993: p. 43, pl. 1, figs. 1–9, pl. 2, figs. 1–10.

*Thalassiosira nidulus* (Tempère et Brun) Jousé, 1961: p. 63; Koizumi, 1973, pl. 7, fig. 25, not fig. 26; not Jousé, 1961, pl. 3, figs. 4–5; Akiba, 1986, pl. 6, figs. 5–7. Synonym: *Stephanopyxis nidulus* Tempère et Brun in Brun et Tempère, 1889, p. 57, pl. 8, figs. 10a–b.

*Thalassiosira umaoiensis* Akiba, 1986: p. 441, pl. 13, figs. 8–11. (Pl. 2, Fig. 9)

*Thalassiosira yabei* (Kanaya) Akiba et Yanagisawa, 1986: p. 493, pl. 27, figs. 1–2, pl. 28, figs. 1–9. Synonym: *Oscinodiscus yabei* Kanaya, 1959: p. 86, pl. 5, figs. 6–9.

*Thalassiosira* cf. *yabei* (Kanaya) Akiba et Yanagisawa. Remarks: Similar to the species, but is characterized by more delicate areolae. (Pl. 2, Fig. 8)

*Thalassiothrix longissima* Cleve et Grunow, 1880: Hustedt, 1932, Kieselalg., II, p. 247, fig. 726; Cupp, 1943, p. 184, fig. 134.

*Trachyenis aspera* (Ehrenberg) Cleve, 1894; Hendey, 1964, p. 236, pl. 29, fig. 13.

*Triceratium condecorum* Brightwell, 1853; Hanna, 1932, p. 221, pl. 17, figs. 1–3; Schrader, 1973, pl. 12, fig. 9. Synonym: *Triceratium* sp. a, Kanaya, 1959, p. 101, pl. 9, figs. 5a–b.

*Trochosira spinosa* Kitton, 1871; Sheshukova-Poretskaya, 1967, p. 137, pl. 11, figs. 6a–b, pl. 13, figs. 4a–b.

*Xanthiopyxis maculata* Hanna, 1932: p. 225, pl. 18, fig. 4.

*Xanthiopyxis polaris* Gran, 1900; Suto, 2004, p. 289, figs. 1.A, 7.1–7.17. (Pl. 5, Figs. 11a–b)

#### NONMARINE DIATOM

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen s.l.: 1979, p. 58. Synonym: *Elosira granulata* (Ehrenberg) Ralfs in Pritchard, Hustedt, 1927, Kieselalg., I, p. 248, figs. 104a–e. (Pl. 2, figs. 2–3)

*Cyclorella kuetzingiana* Thwaites, 1848: Hustedt, 1928, Kieselalg., I, p. 338, fig. 171.

*Melosira varians* Agardh, 1827; Hustedt, 1928, Kieselalg., I, p. 240, fig. 100.

*Pinnularia* sp. (Pl. 9, figs. 20)

#### Plate 1

(All figures from Sample 4–1. Scales A for fig. 12 and B for others, are 10μ.)

Figs. 1–3b. *Coscinodiscus marginatus* Ehrenberg.

Fig. 4. *Azpeitia endoi* (Kanaya) Sims et Fryxell.

Fig. 5. *Coscinodiscus symbolophorus* Grunow s. l.

Fig. 6. *Coscinodiscus oculus-iridis* Ehrenberg.

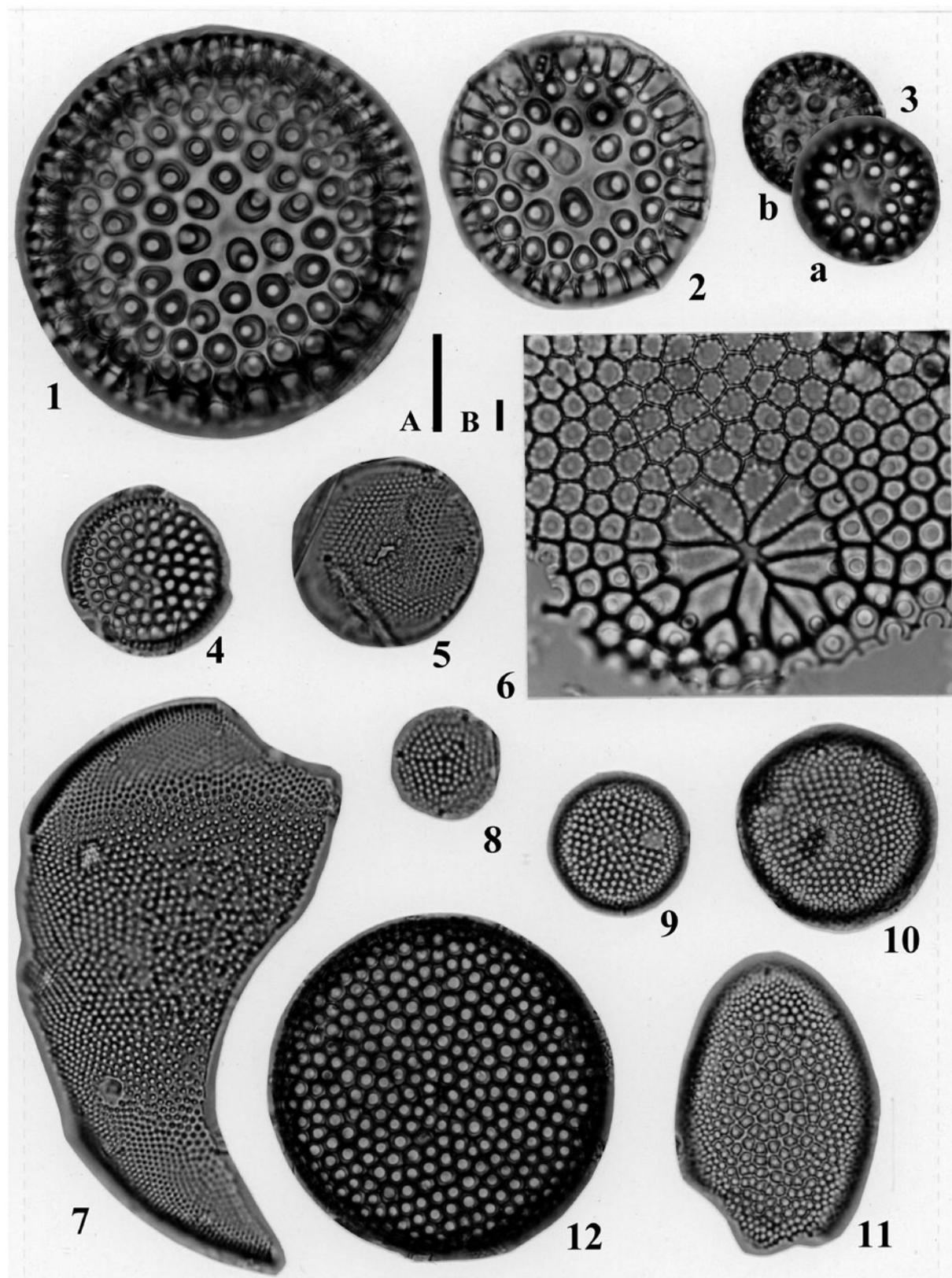
Fig. 7. *Actinocyclus octonarius* Ehrenberg.

Figs. 8–10. *Actinocyclus* sp.

Fig. 11. *Actinocyclus ellipticus* Grunow.

Fig. 12. *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg.

Plate 1



**Plate 2**

(All figures from Sample 4-1. Scale is 10 $\mu$  for all figures.)

Fig. 1. *Actinocyclus ingens* var. *nodus* Baldauf.

Figs. 2-3. *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen s.l.

Fig. 4. *Actinocyclus* cf. *ingens* Rattray.

Figs. 5-6. *Hyalodiscus* spp.

Fig. 7. *Thalassiosira leptopus* (Grunow) Hasle et Fryxell.

Fig. 8. *Thalassiosira* cf. *yabei* (Kanaya) Akiba et Yanagisawa.

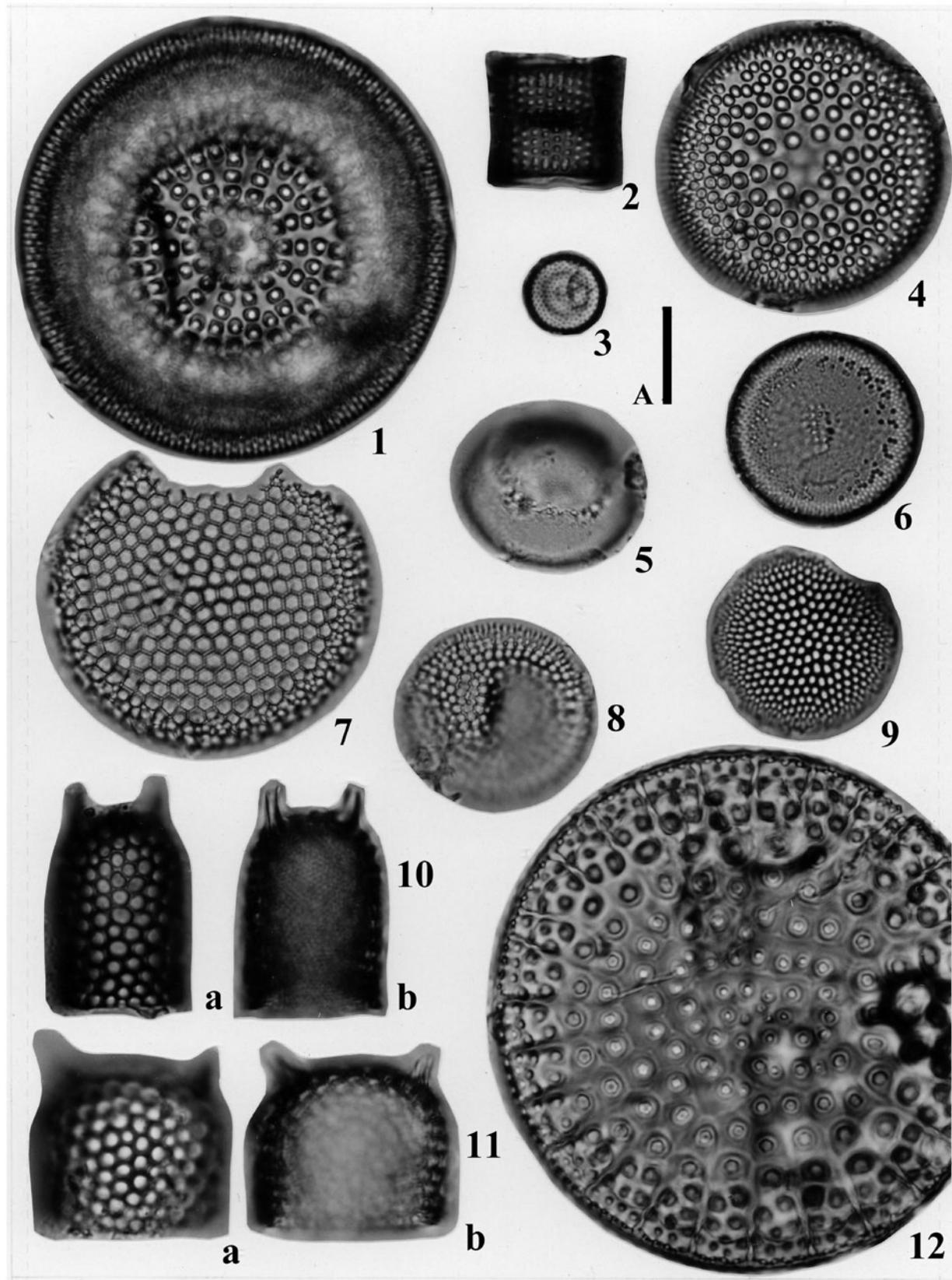
Fig. 9. *Thalassiosira umaoiensis* Akiba.

Figs. 10a-b. *Stephanopyxis turris* (Greville et Arnott) Ralfs.

Figs. 11a-b. *Stephanopyxis* sp.

Fig. 12. *Stictodiscus californicus* Greville.

## Plate 2



**Plate 3**

(All figures from Sample 4-1. Scales A for fig. 8 and B for others, are 10μ.)

Fig. 1. *Paralia sulcata* var. *coronata* (Ehrenberg) Andrews.

Figs. 2-3. *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve.

Fig. 4. *Melosira sol* (Ehrenberg) Kützing.

Fig. 5. *Neobrunia mirabilis* (Brun) Kuntze.

Fig. 6. *Actinopytchus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg.

Fig. 7. *Aulacodiscus kittonii* Arnot ex Ralfs.

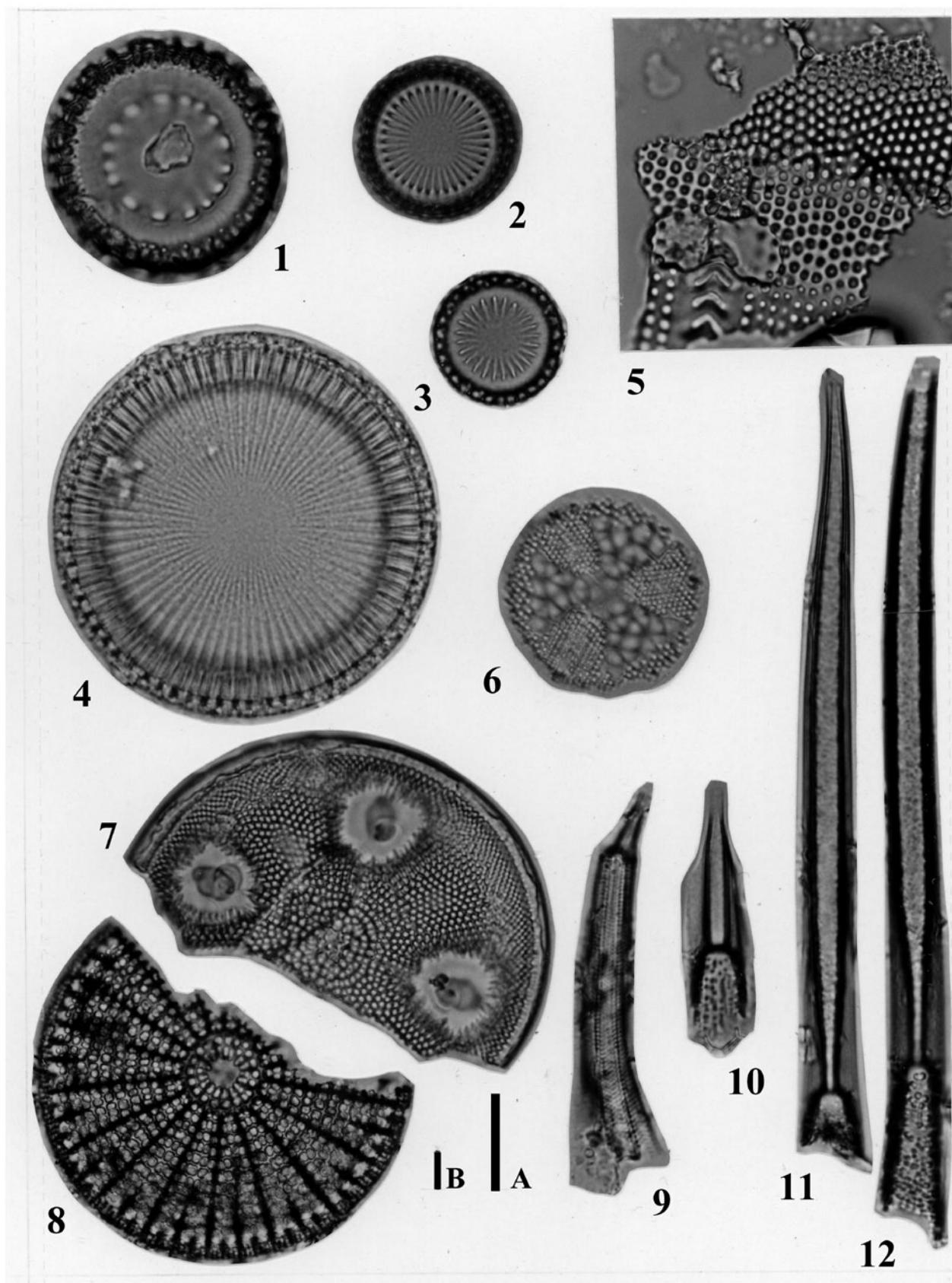
Fig. 8. *Arachnoidscus* sp.

Fig. 9. *Rhizosolenia miocenica* Schrader.

Fig. 10. *Rhizosolenia* aff. *styliformis* Brightwell.

Figs. 11-12. *Rhizosolenia* sp. A.

## Plate 3



**Plate 4**

(All figures from Sample 4-1. Scale is 10 $\mu$  for all figures.)

Figs. 1-2. *Ikebea tenuis* (Brun) Akiba; fig. 1, girdle view; fig. 2, valve view.

Fig. 3. *Glyphodiscus stellatus* Greville.

Fig. 4. *Sictodiscus kittonianus* Greville.

Fig. 5. *Auliscus* sp.

Fig. 6. *Planifolia tribrachiata* Ernissée.

Fig. 7. *Eucampia* sp.

Fig. 8. *Triceratium* ? sp.

Fig. 9. *Trinacria* ? sp.

Fig. 10. *Anaulus biostratus* (Grunow) Grunow.

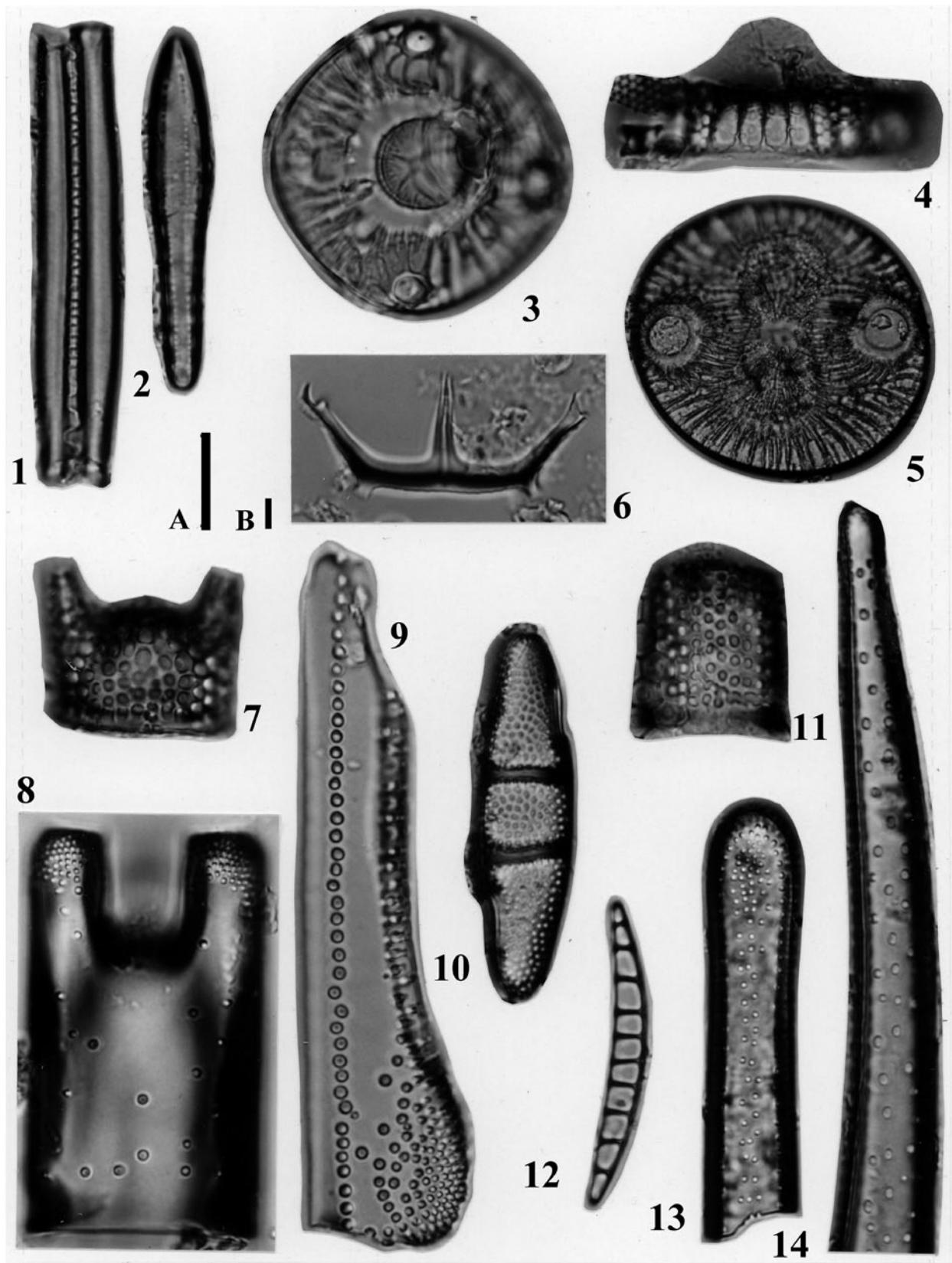
Fig. 11. *Pyxilla* sp.

Fig. 12. *Eunotogramma* sp.

Fig. 13. *Clavicula polymorphus* Grunow.

Fig. 14. *Eunotogramma* ? sp.

## Plate 4



**Plate 5**

(All figures from Sample 4-1. Scale is 10 $\mu$  for all figures.)

Fig. 1. *Dossetica lacera* Forti.

Fig. 2. *Liradiscus* ? sp.

Fig. 3. *Liradiscus akibae* Suto.

Fig. 4. *Liradiscus bipolaris* Lohman.

Fig. 5. *Goniothecium rogersii* Ehrenberg.

Fig. 6. *Peripteropsis* sp.

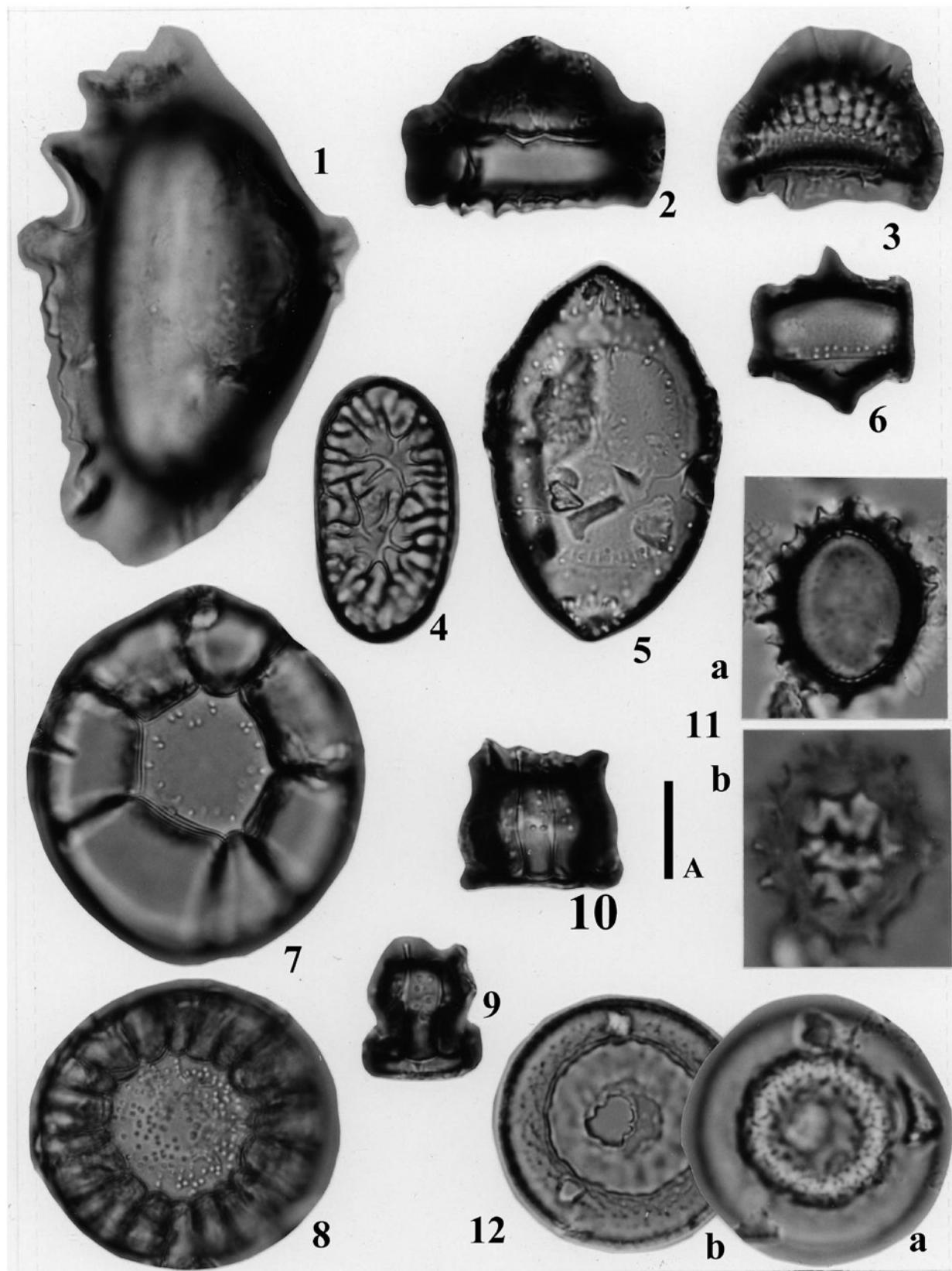
Figs. 7-8. *Stephanogonia* spp.

Figs. 9-10. *Stephanogonia hanzawai* Kanaya.

Figs. 11a-b. *Xanthiopyxis polaris* Gran.

Figs. 12a-b. *Mammodiscus* sp.

## Plate 5



**Plate 6**

(All figures from Sample 4-1. Scale is 10 $\mu$  for all figures.)

Figs. 1, 3, 4a-b. *Raphoneis* spp.

Fig. 2. *Delphineis* sp.

Figs. 5-6. *Thalassionema nitzschiooides* (Grunow) H. et M. Peragallo.

Fig. 7. Genus et species indet. sp. A.

Fig. 8. *Cavittatus lanceolatus* Akiba et Hiramatsu.

Fig. 9. Genus et species indet. sp. B.

Figs. 10-11. *Cocconeis* cf. *scutellum* Ehrenberg.

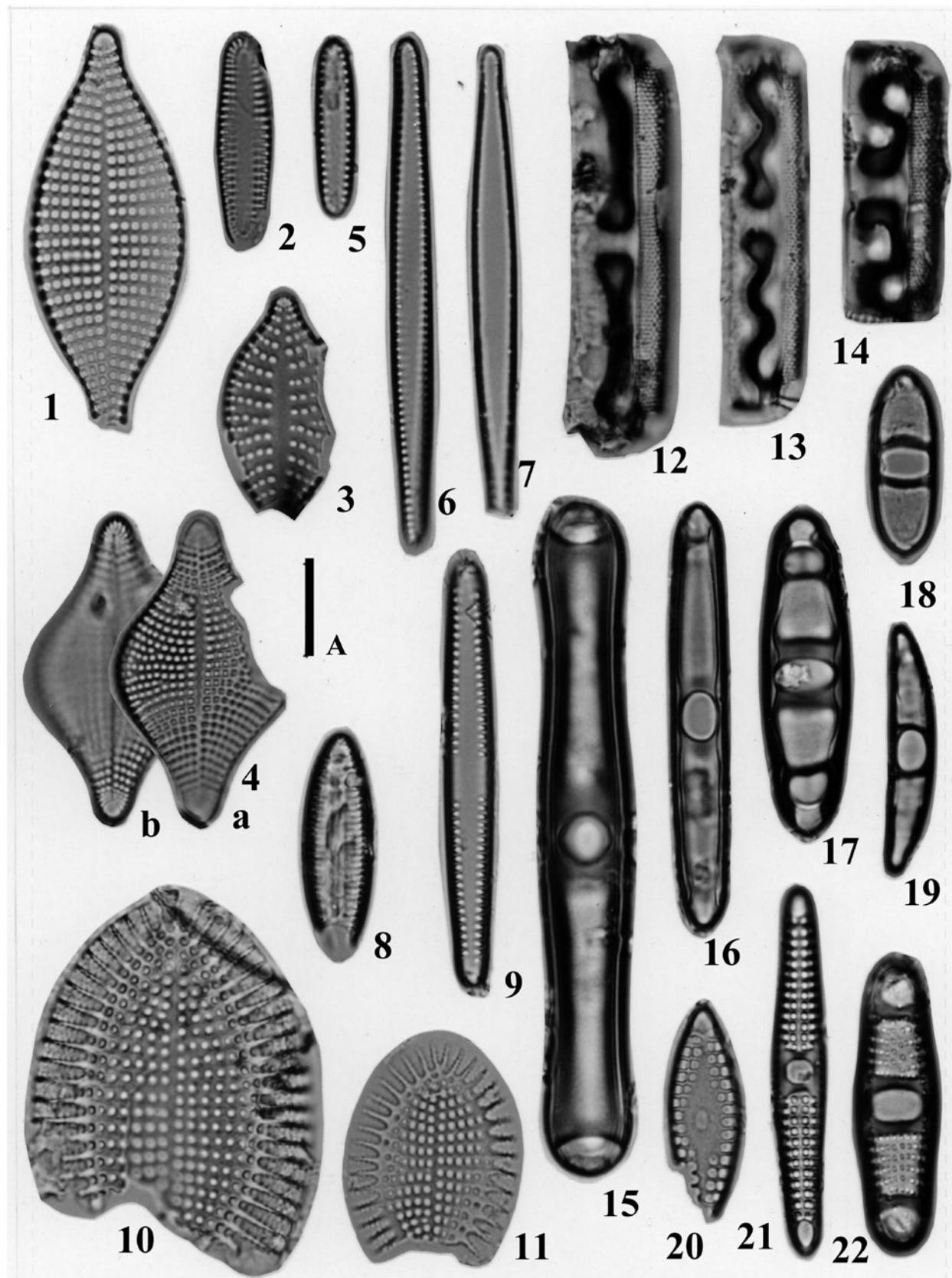
Figs. 12-19. *Grammatophora* spp.

Figs. 20. *Glyphodesmis exima* Greville.

Figs. 21. *Plagiogramma staurophorum* (Greville) Heiberg.

Figs. 22. *Plagiogramma antillarum* Cleve.

## Plate 6



**Plate 7**

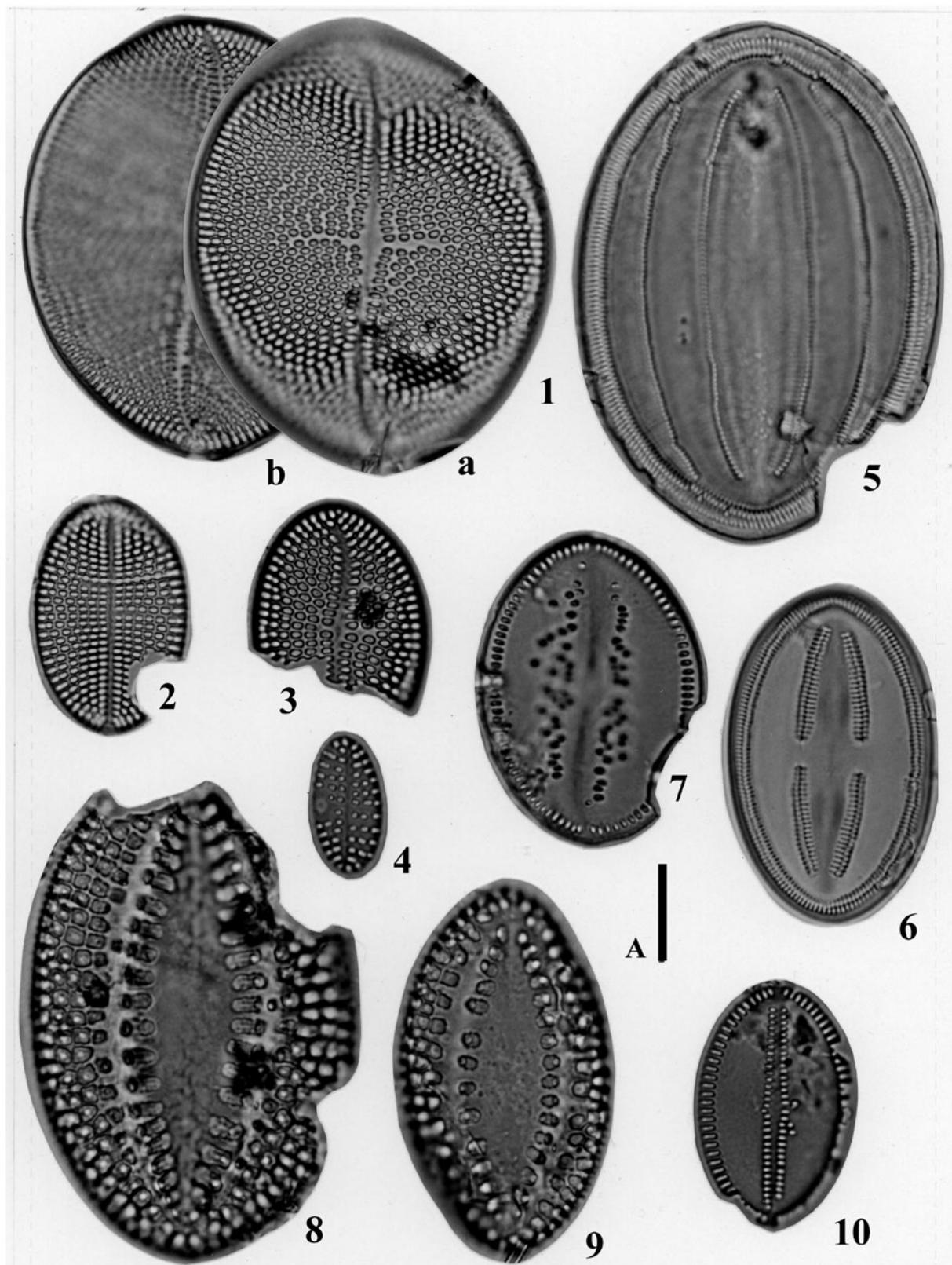
(All figures from Sample 4-1. Scale is 10 $\mu$  for all figures.)

Figs. 1a-7. *Cocconeis* spp.

Figs. 8-9. *Cocconeis* ? sp.

Fig. 10. *Cocconeis californica* Grunow.

## Plate 7



**Plate 8**

(All figures from Sample 4-1. Scale is 10 $\mu$  for all figures.)

Figs. 1, 12. *Navicula* spp.

Figs. 2-6. *Diploneis* spp.

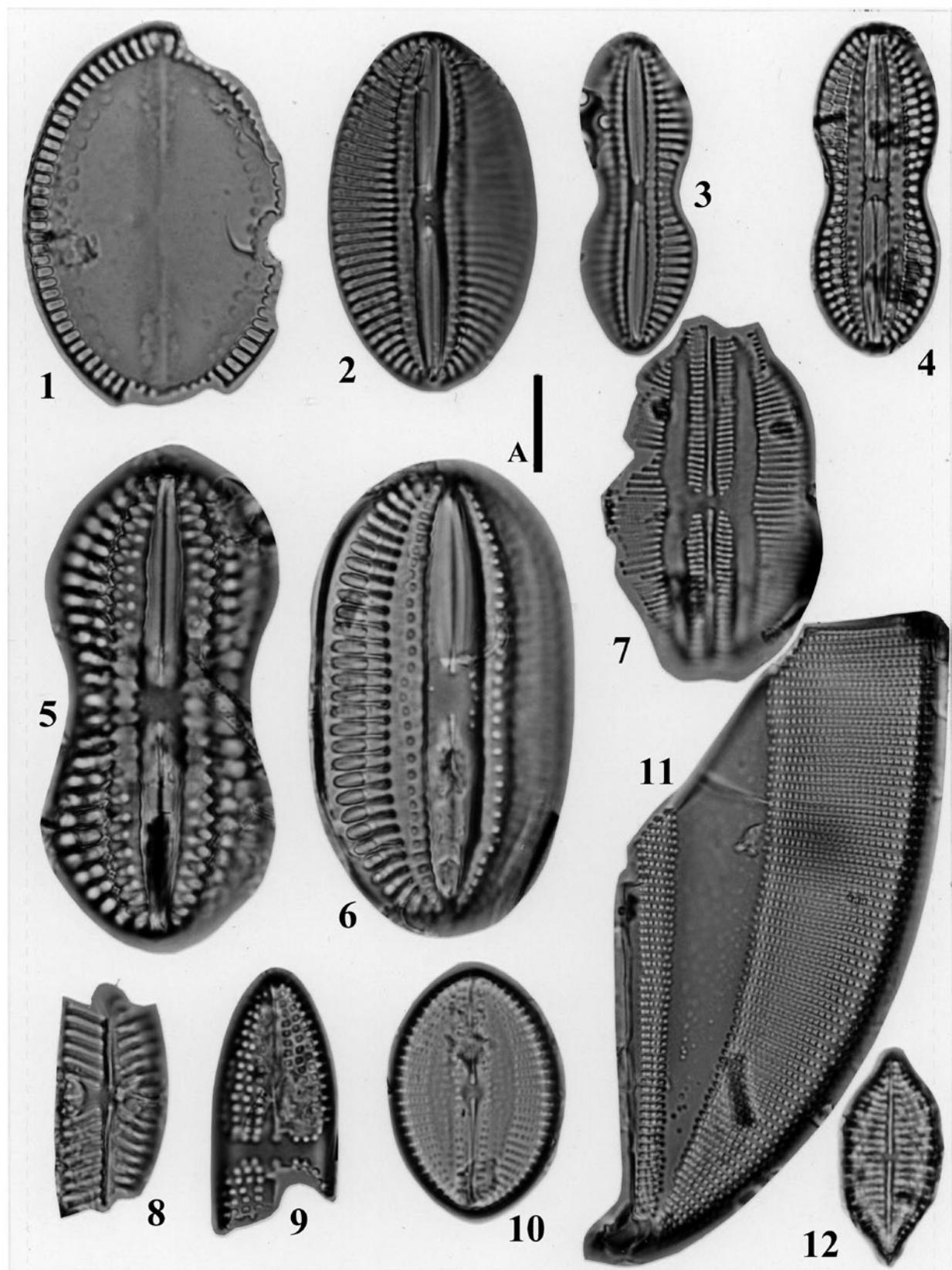
Fig. 7. *Navicula lyra* Ehrenberg s.l.

Fig. 8. *Navicula optima* Hanna.

Fig. 9. *Achnanthes* sp.

Figs. 10-11. *Navicula kennedy* W. Smith.

## Plate 8



**Plate 9**

(All figures from Sample 4-1. Scale is 10 $\mu$  for all figures.)

Figs. 1-5. *Denticulopsis crassa* Yanagisawa et Akiba. Figs. 1a-2, valve view of valves; fig. 3, girdle view of a valve; figs. 4-5, valve view of connecting bands.

Figs. 6-10. *Denticulopsis praedimorpha* var. *minor* Yanagisawa et Akiba. Figs. 6a-7, valve view of valves; figs. 8-10, valve view of connecting bands.

Figs. 11a-12b. *Crucidenticula punctata* (Schrader) Akiba et Yanagisawa.

Fig. 13a-b. *Denticulopsis praehyalina* Tanimura.

Figs. 14a-b. *Denticulopsis vulgaris* (Okuno) Yanagisawa et Akiba.

Fig. 15. *Fragilariopsis* cf. *oceanica* (Cleve) Hasle.

Fig. 16. *Nitzschia heteropolica* Schrader.

Figs. 17-19. *Amphora* spp.

Fig. 20. *Pinnularia* sp.

Fig. 21a-b. *Navicula hochstetteri* Grunow.

Plate 9

