

## 兵庫県における中部更新統・ 高塚山層(神戸市垂水区)の堆積環境解析

佐藤 裕司<sup>1)</sup>・髯 本 格<sup>2)</sup>・ソグ チンケン<sup>3)</sup>・  
松浦 康<sup>3)</sup>・前田 保夫<sup>4)</sup>

### Paleoenvironmental analysis of the sediments from the Takatsuka-yama Bed, Middle Pleistocene layer in western Kobe City

Hiroshi SATO<sup>1)</sup>, Itaru HASHIMOTO<sup>2)</sup>, NG Chin Kheng<sup>3)</sup>,  
Kou MATSUURA<sup>3)</sup>, Yasuo MAEDA<sup>4)</sup>

#### Abstract

Takatsuka-yama Bed, with a thickness of about 7.8m, is recognized as one of the most important Middle Pleistocene layers distributed in the area along the eastern part of the Seto Inland Sea (Harima Nada), western Japan, because of the well-preserved and abundant molluscan shells and the intercalation of a tephra layer.

We performed diatom and chemical analyses of the sediments from two outcrops, A and B, of Takatsuka-yama Bed. The sediments are divided lithostratigraphically into three units, I, II and III, in ascending order. The results of the diatom analysis show that unit I was deposited in freshwater conditions, its upper part in standing-water conditions, such as a swamp or a lake. Unit II, containing abundant molluscan fossils, and Unit III are inferred to have been deposited in marine littoral and shallow marine conditions, respectively. Takatsuka-yama volcanic ash fell during a time of marine regression before a Middle Pleistocene transgression, because the ash layer is intercalated in unit I.

The variation in the sulfur content of section A is roughly consistent with the sedimentary environments inferred from the diatom assemblages.

**Key words:** Takatsuka-yama Bed, diatom analysis, chemical analysis, sedimentary environment, Middle Pleistocene, marine transgression

#### はじめに

大阪盆地およびその周辺の大坂層群・段丘構成層・沖積層中には、これまでに15層の海成粘土層が識別され、下位よりMa-1層・Ma 0層・Ma 1層…Ma 13層と名づけられている(市原, 1993)。それらの海成粘土層とその間に堆積した陸成層は、地球規模の気候変動におけ

る寒暖のくり返しを反映するものと考えられ、大阪層群の海成層・陸成層のサイクルを国際的な気候変動曲線(酸素同位体ステージ)に対比させる試みもなされている(中世古ほか, 1984; 市原, 1993)。これらの地域では、中期更新世の始まる古地磁気層序ブリュンヌ/松山境界はMa 4層に存在し(Hayashida and Yokoyama, 1989)、Ma 12層が最終間氷期の海進に対応する。すなわち、

<sup>1)</sup> 兵庫県立人と自然の博物館 地球科学研究部 Division of Earth Sciences, Museum of Nature and Human Activities, Hyogo, Yayoigaoka 6, Sanda, 669-13 Japan

<sup>2)</sup> 神戸市立櫛谷中学校 Hasetani Junior High School, Kouzi-dai 1-2, Nishi-ku, Kobe, 651-22 Japan

<sup>3)</sup> 香川大学教育学部地学教室 Department of Earth Sciences, Faculty of Education, Kagawa University, Saiwai-cho 1-1, Takamatsu, 760 Japan

<sup>4)</sup> フィリピン大学理数科教師訓練センター University of the Philippines, Diliman, Quezon City 1101, Philippines

Ma 4層を含めてMa 11層まで、中期更新世において8回の海進が知られている。

兵庫県の瀬戸内海側、加古川以東から神戸西にかけての播磨地方東部(以下「東播地域」と呼ぶ)にも、中期更新世の海進を反映すると考えられる数枚の海成粘土層の存在が知られている。それらの海成粘土層は、川西粘土層(神戸市垂水区)(市原ほか, 1960; 菊本・前田, 1989)、高塚山粘土層(神戸市垂水区)(市原ほか, 1960; 藤田・前田, 1984; 菊本・前田, 1989; 居川・市原, 1993)、赤阪粘土層(神戸市西区)(市原・小黑, 1958, 八木, 1983)と呼ばれている。さらに、加古川下流の日岡丘陵では段丘堆積物中に、海成砂の挟在が報告されている(河名, 1973; 田中, 1989)。

播磨平野の第四系については、鹿間(1936)をはじめとして、今日まで多くの層序学的研究が行われ、1960年代まで、本地域の鮮新—更新統は明石層群と播磨層群に区別されてきた(市原・小黑, 1958; 市原ほか, 1960)。前者は鮮新世から前期更新世にわたるものとみられ、後者は中期更新世以降の地層とされてきたが、その間の不整合関係は、不明確であった(藤田・笠間, 1983)。ところが、1980年頃から始まった神戸市西部の大規模なニュータウン開発に伴い、多くの露頭が出現し、本地域の層序について新たな情報が得られるようになった。藤田・笠間(1983)は、それをもとに、これまで明石層群の縁辺礫層とみられてきた垂水礫層と、大阪層群のMa 1層ないしMa 2層に相当するとみられてきた海成の高塚山粘土層とを中部更新統として明石層群から分離した。さらに、

藤田・笠間(1983)は、大阪盆地内の大阪層群と東播地域の明石層群との関係の大綱が明らかにされてきたことにもとづき、本地域の鮮新—更新統を下位から大阪層群明石累層・大阪層群明美累層・西八木層に区分した。

菊本・前田(1989)は、明美累層を明石累層を不整合に覆う、中位段丘構成層・西八木層よりも下位の地層群とし、本累層を下位より朝霧部層、高塚山部層、岩岡部層の3部層に区分した。そして、これら3部層に、川西粘土層(朝霧部層)、高塚山粘土層(高塚山部層)、赤阪粘土層(岩岡部層)がそれぞれ挟在することから、中期更新世以降、東播地域に及んだ3回の海進を想定した。加古川下流日岡丘陵の海成層については、菊本・前田(1989)はそれを岩岡部層赤阪粘土層に相当するとし、田中(1989)はそれを最終間氷期より一つ前の温暖期の海進に形成されたものとしている。

しかし、これら海成層が直接累重する地点はこれまでに確認されておらず(菊本ほか, 1995)、互いの累重関係は未だ明らかではない。したがって、東播地域に及んだ海進の回数是不明である。しかし、菊本・前田(1989)が指摘したように、現在までのところ東播地域に初めて海進が及んだのは中期更新世以降と考えられ、これらの海成層もまた、地球規模の周期的な気候変動における温暖期を反映したものとして注目される。

ところで、高塚山粘土層は、もともと市原ほか(1960)によって、長坂新田層(神戸市西区)中において海成層の特徴である風化面に硫黄の黄色粉をもつ粘土層に対して命名されたものである。この粘土層からは、マガキ(*Crassostrea gigas*)など豊富な貝化石のほか、コケムシ、シオガマサゴやメジロザメの歯などの産出が報告されている(菊本・前田, 1989)。本論文では、従来の高塚山粘土層を含む細粒堆積物からなる地層を高塚山層と称する。上述の東播地域において海成粘土を挟在する中部更新統のうち、現在までのところ、高塚山層にのみ火山灰(高塚山火山灰)の挟在が知られている。そして、高塚山火山灰については二つのフィッシュトラック年代、 $0.49 \pm 0.09$  Ma(藤田・前田, 1984)と  $0.35 \pm 0.09$  Ma(鈴木, 1988)が得られている。藤田・前田(1984)は、前者の年代値をもとに、高塚山粘土層を大阪盆地およびその周辺における大阪層群の海成粘土層Ma 6層と対比したり、高塚山火山灰の色調や火山ガラスの屈折率から、Ma 7層中またはMa 7層直下に挟まれるサクラ火山灰との対比の可能性を指摘した。これに対し、居川・市原(1993)は明美累層を高位段丘堆積層として大阪層群には含まないとしながら、高塚山粘土層がMa 11層に対比されるのか、あるいはMa 10層以下の層準に対比されるのかについては今後さらに検討が必要としている。

以上のように、高塚山層は火山灰の挟在と海成粘土層中に豊富な古生物学的な情報を有することから、東播地

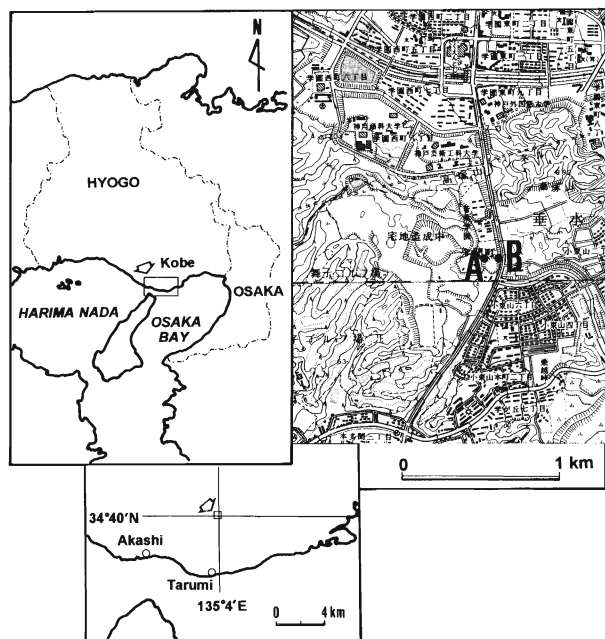


Fig.1 Map showing the location of the investigated site (arrow).

Inset in upper right half shows sampling sites A and B (after 1:25,000 topographic maps "Zenkai" and "Suma").

域における中部更新統の重要な地層の一つといえる。したがって、この地層について、さまざまな古環境情報を収集・解析することは、今後、本地域における中期更新世の環境史を考察する上で重要なことと考えられる。高塚山粘土層の堆積環境は、含有される貝化石群集から浅い内湾域と推定されているが(髯本・前田, 1989), 高塚山層全体の堆積環境については、いくつかの報告において簡単な記述があるだけで(前田, 1988; 髯本・前田, 1989), その詳細について具体的な報告はなされていない。

そこで、本論文では、まず堆積物中の珪藻遺骸群集の分析にもとづき、高塚山粘土層の堆積環境を明らかにした。次に、堆積物中のいくつかの化学元素の含有量を求め、珪藻分析の結果から推定された堆積環境と粘土層中の化学元素の含有量との関係について考察した。近年、堆積物中のイオウ含有量が海成堆積物と淡水成堆積物とを区別する際に有効であることが報告されている(狛, 1992; 佐藤, 1995)。本論文では、堆積物中のイオウと鉄の含有量のほか、海水中の主要イオンであるナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウムの含有量と珪藻分析の結果から推定される堆積環境との関係について考察した。

## 試料および方法

### 1. 試料

現在、高塚山層は神戸市垂水区多聞町の若葉学園南方の露頭で観察される(髯本・前田, 1989; 髯本ほか, 1995)(Fig. 1)。調査は、若葉学園南方の露頭において、1987年12月(露頭断面A)と1991年12月(露頭断面B)に行った。その際、室内分析用の堆積物試料として、二つの露頭断面AおよびBから、それぞれ19試料と23試料を採取した(Fig. 2)。

### 2. 珪藻分析

室温下で乾燥させた試料約2gを珪藻分析に供した。試料は約10%過酸化水素水10mlと濃塩酸2mlを用いて酸処理した。酸処理後、ピロリン酸ナトリウム約1gと蒸留水を加え、懸濁粒子を十分に分散させ、細粒粘土成分をデカンテーションによって除去した。細粒粘土成分の除去は約3時間ごとに繰り返し、上澄液が透明になるまで行った。残りの沈澱物から粗粒堆積物を除去した試料懸濁液を珪藻画分とした。得られた珪藻画分は蒸留水を加えて100mlとし、よく攪拌した後、0.5mlをピペットで採取してカバーガラス上に塗布した。ホットプレート上(60~70℃)で乾燥後、マウントメディア(和光純薬)で封入して検鏡用プレパラートとした。これを用い、ランダムに選んだ一直線視野に出現した珪藻殻を計数すると同時に種の同定を行い、堆積物中の珪藻遺骸群集の種

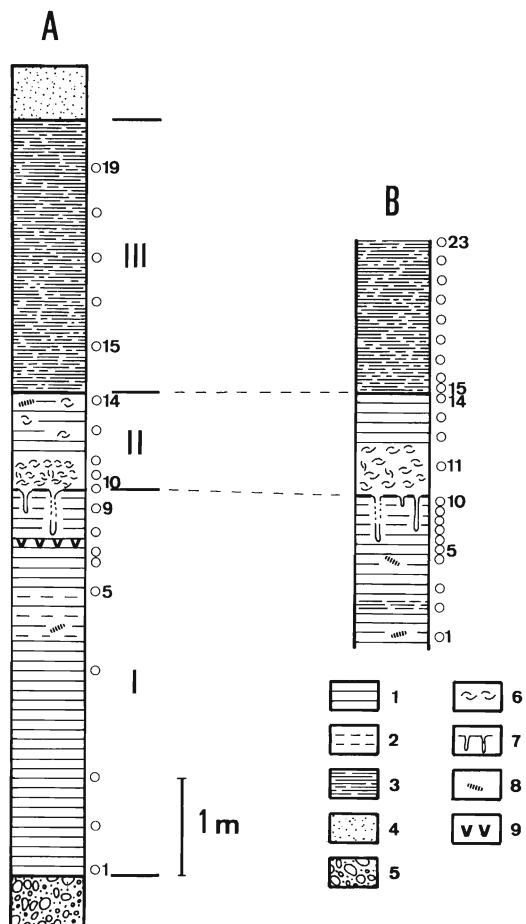


Fig. 2 Columnar sections of the Takatsuka-yama Bed. I, II and III show lithostratigraphic units. Numbers 1 to 19 in section A and 1 to 23 in section B represent the sampling horizon for diatom and chemical analyses. (1; clay, 2; silt, 3; fine sand, 4; medium sand, 5; gravel and sand, 6; shell, 7; trace fossil, 8; wood debris, 9; volcanic ash)

組成を明らかにした。

珪藻の種同定および生態に関する情報は、Lowe(1974), Cleve-Euler(1951-1955), Van Der Werff and Huls(1957-1974), Foged(1975), John(1983), Krammer and Lange-Bertalot(1986, 1991)などによった。

### 3. 化学分析

堆積物中の化学成分と堆積環境との関係を考察したこれまでの研究によると、堆積物中のイオウが海成と淡水成(陸成)を区別するのに最も有効な指示元素とされている(狛, 1992など)。特に、完新世堆積物については、堆積物中のイオウ含有量と珪藻分析にもとづく堆積環境との関係が詳しく研究されつつある(佐藤, 1989; Sato, 1991; 佐藤, 1995)。

堆積物中のイオウは、硫酸塩イオウ、硫化鉄イオウ、元素イオウ、二硫化鉄イオウ、炭素結合イオウなどの形態で存在すると考えられ(狛ほか, 1983; 増澤, 1986),

これらのうち、二硫化鉄(黄鉄鉱 $\text{FeS}_2$ )が堆積環境の推定に用いられることが多い(中井ほか, 1982; 白神, 1985; 藤本, 1993). 本論文における塩酸可溶イオンは主に堆積物中の硫酸塩と塩酸可溶硫化物に、過酸化水素可溶イオンは主として黄鉄鉱と炭素結合イオンに由来するものと考えられる(Kitano and Fujiyoshi, 1980; Kitano *et al.*, 1980; 増澤, 1986). 一般に、全イオン含有量0.3%が海成堆積物と淡水成(陸成)堆積物とを区別する基準と考えられ(狛, 1992), 佐藤(1995)も総イオン(塩酸可溶イオン+過酸化水素可溶イオン)含有量0.3%と珪藻遺骸群集から推定される堆積環境が互によく一致することを報告した.

高塚山層において、露頭断面Aから採取した19試料について化学分析を行った. 室温下で乾燥させた堆積物試料1 gについて、試料中の化学元素の抽出を試みた. 抽出手順は1 N塩酸と30%過酸化水素を用いた分別抽出法により(Sato, 1991; 佐藤, 1995), 1 N塩酸可溶画分と30%過酸化水素画分中に溶出した硫酸イオン、鉄、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウムの含有量をそれぞれ測定した. 両画分中の鉄、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウムは原子吸光度法で定量し、硫酸イオンは比濁法で定量した(APHA *et al.*, 1985).

1 N塩酸可溶画分および30%過酸化水素可溶画分中に溶出した硫酸イオンから、硫酸イオン中のイオン元素量を算出し、それぞれ塩酸可溶イオンおよび過酸化水素可溶イオンとした. 鉄もまた同様に、塩酸可溶鉄と過酸化水素可溶鉄に区別した. そして、塩酸可溶画分と過酸化水素可溶画分中のイオンまたは鉄の合計量を、それぞれ総イオン、総鉄とした.

## 結 果

### 1. 層相

調査地域である神戸市垂水区多聞町若葉学園南方においては、高塚山層は岩相にもとづき、下部より青緑色粘土層(I層)、暗灰色粘土層(II層)、茶褐色砂質シルト層(III層)に分けられた(Fig. 2). II層は従来の高塚山粘土層に相当する. 露頭断面Aにおいて、層厚はI層が約4 m、II層が約1 m、III層が約2.8 mで、I層には高塚山火山灰(髯本・前田, 1989; 居川・市原, 1993)が挟在したが、露頭断面Bでは、火山灰は観察されなかった. いずれの露頭においても、II層の下半部はマガキ(*Crassostrea gigas*)などの貝化石密集層で、高塚山貝層(福田・安藤, 1951; 安藤, 1953)に相当する. II層での底生動物の活動はI層上部にまで及んでおり、I層最上部には多くの生痕化石が認められた.

### 2. 珪藻遺骸群集

珪藻分析の結果は、出現した珪藻を海水生、汽水生、淡水生の生態区分に類別し、各区分の出現頻度(%)を示した. さらに、それぞれの区分のうち、いずれかの試料で10%以上の出現頻度を示した珪藻について、全層準における出現状況をFig. 3および4に示した.

#### 2-1 露頭断面A

I層の最下部の2試料(No. 1, 2)では珪藻殻が含有されなかった. しかし、I層では、珪藻の出現する試料(No. 3-9)では、群集はすべて淡水生珪藻によって占められた. ここでは、プランクトン性の *Aulacoseira* spp. や付着性あるいは臨時性プランクトンの *Fragilaria construens* のほか、付着性種として *Amphora libyca*, *Cymbella* spp., *Gomphonema* spp., *Eunotia* spp., *Pinnularia* spp. などが出現した. I層下部では付着性珪藻が優占し、上部ではプランクトン性珪藻が優占する傾向を示した.

I層とII層の境界部には生痕が多く、境界部が不明瞭である. II層の最下部の試料(No. 10)では、I層についで淡水生珪藻が優占したが、試料No. 11では海水生珪藻が圧倒的に優占した. 試料No. 10とNo. 11の間で珪藻遺骸群集は淡水生から海水生優占へと急激な交代を示した.

II層からの試料(No. 11-14)では、海水生珪藻として、*Cyclotella striata*, *Cyclotella stylorum* および *Thalassiosira* spp. といいたプランクトン性珪藻が優占的に出現した. *Thalassiosira* 属では、*Thalassiosira* cf. *oestrupii* が多く出現した. そのほか、付着性珪藻として *Dimeregramma* spp., *Plagiogramma* spp., *Nitzschia* spp. (*N. cocconeiformis*, *N. granulata*, *N. punctata*)などが出現した.

III層では、II層についで海水生珪藻が優占したが、淡水性の *Aulacoseira* spp. が上位では増加した. III層最下部の試料No. 15では、群集の種組成は概ねII層のそれに類似していたが、それより上部の試料(No. 16-19)では、海水生珪藻として、底生または付着性の *Paralia sulcata*, *Grammatophora oceanica* が特徴的に出現した. 特に、*Grammatophora oceanica* は最上部の試料No. 19で優占した.

#### 2-2 露頭断面B

断面Bは断面AのI層上部からIII層下部までに相当する.

I層では、群集は淡水生珪藻によって占められ、プランクトン性の *Aulacoseira* spp, 付着性あるいは臨時性プランクトンの *Fragilaria construens* が優占した. 特に、I層の上部で *Fragilaria construens* が優占する傾向は断面Aの群集遷移とよく一致する. 断面Bでは、I層上部からの試料(No. 9-10)で海水生珪藻が混在した.

II層からIII層にかけて、群集は海水生珪藻が優占した.

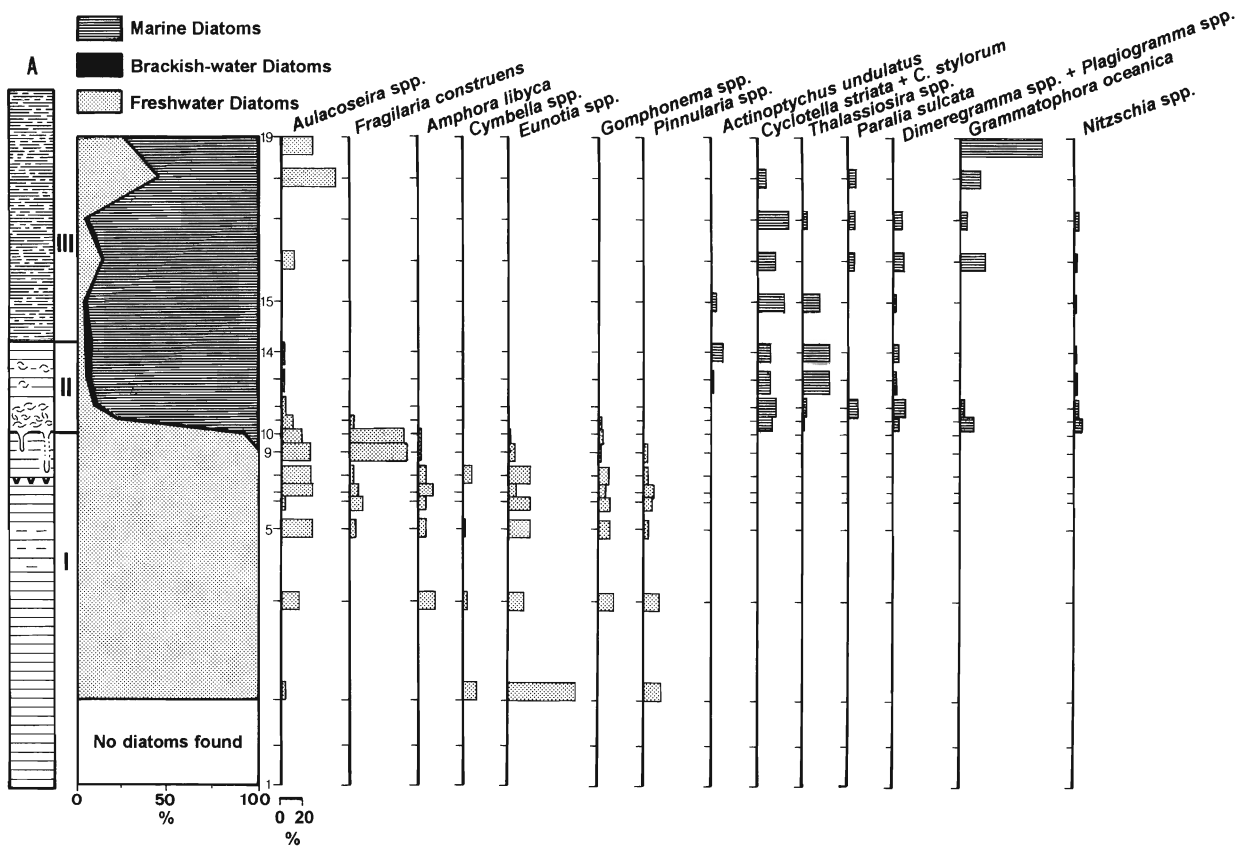


Fig.3 Percentage diagram showing the successive changes in diatom assemblages and the occurrence of selected diatom taxa in section A.

海水生珪藻として、プランクトン性の *Cyclotella striata*, *Cyclotella stylorum* と底生または付着性の *Paralia sulcata*, *Dimeregramma* spp., *Grammatophora oceanica* が出現した。III層の最上部の試料(No.22,23)では、珪藻殻は含有されなかった。また、断面Bでは、プランクトン性の *Thalassiosira* spp. の出現頻度はいずれの試料においても5%未満であった。

### 3. 化学元素の含有量

堆積物中の化学元素含有量はいずれも重量百分率で表した(Fig.5).

#### 3-1 イオウと鉄

I層下部の試料(No.1-5)では、総イオウは0.20%未満の低含有量であった。I層では上位にいくにしたがって、総イオウ含有量は徐々に増加し、最上部の試料No.9では0.84%の高含有量を示した。過酸化水素可溶イオウは試料No.5と6でそれぞれ0.12%と0.16%を示したが、概して0.10%未満と低く、最上部の試料でもほとんどが塩酸可溶イオウであった。

II層からの試料(No.10-14)では、総イオウ含有量は0.80%から1.04%の高含有量を示した。II層では、最上部の試料(No.14)以外はすべて、過酸化水素可溶イオウ含有量が0.30%以上であった。III層からの試料(No.15-

19)でも、総イオウは0.68%から0.89%の高含有量を示した。III層では、過酸化水素可溶イオウは0.10%未満と極めて低く、塩酸可溶イオウが大部分を占めた。

総鉄はいずれの層準においても0.70%以上を示し、ほとんどが塩酸可溶鉄であった。過酸化水素可溶鉄は、II層において最上部(No.14)を除く試料(No.10-13)で0.30%以上を示した。

#### 3-2 ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム

30%過酸化水素可溶画分中のナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウムの含有量は、1N塩酸可溶画分中のそれらに比べて、ほとんど無視できるほどに少なかった。したがって、これらの元素については1N塩酸可溶画分中の含有量のみを表示した(Fig.5)。1N塩酸可溶画分中に溶出したこれらの元素は、炭酸塩に由来するものと考えられる(Kitano *et al.*, 1980)。

試料中のカリウムとマグネシウムの含有量は、全層準を通じて顕著な変化の傾向は示さなかった。これに対して、カルシウムの含有量は、II層下部の2試料(No.10, 11)において非常に高く、ナトリウムもやや高くなる傾向を示した。

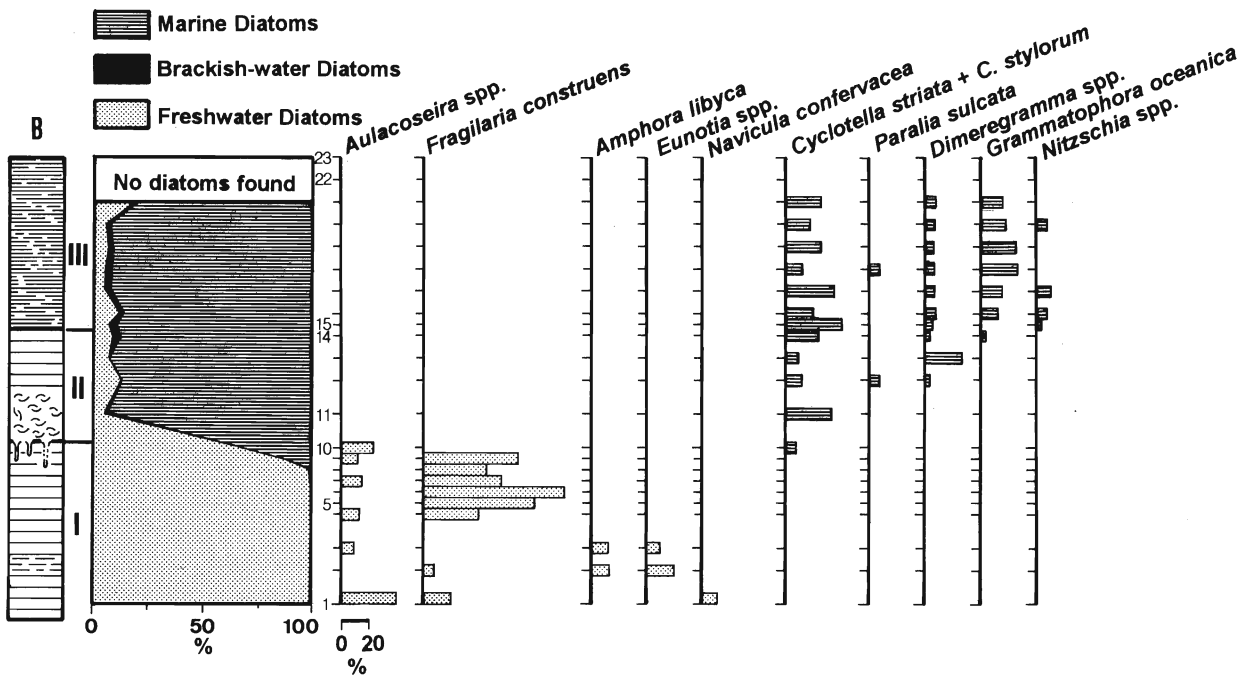


Fig.4 Percentage diagram showing the successive changes in diatom assemblages and the occurrence of selected diatom taxa in section B.

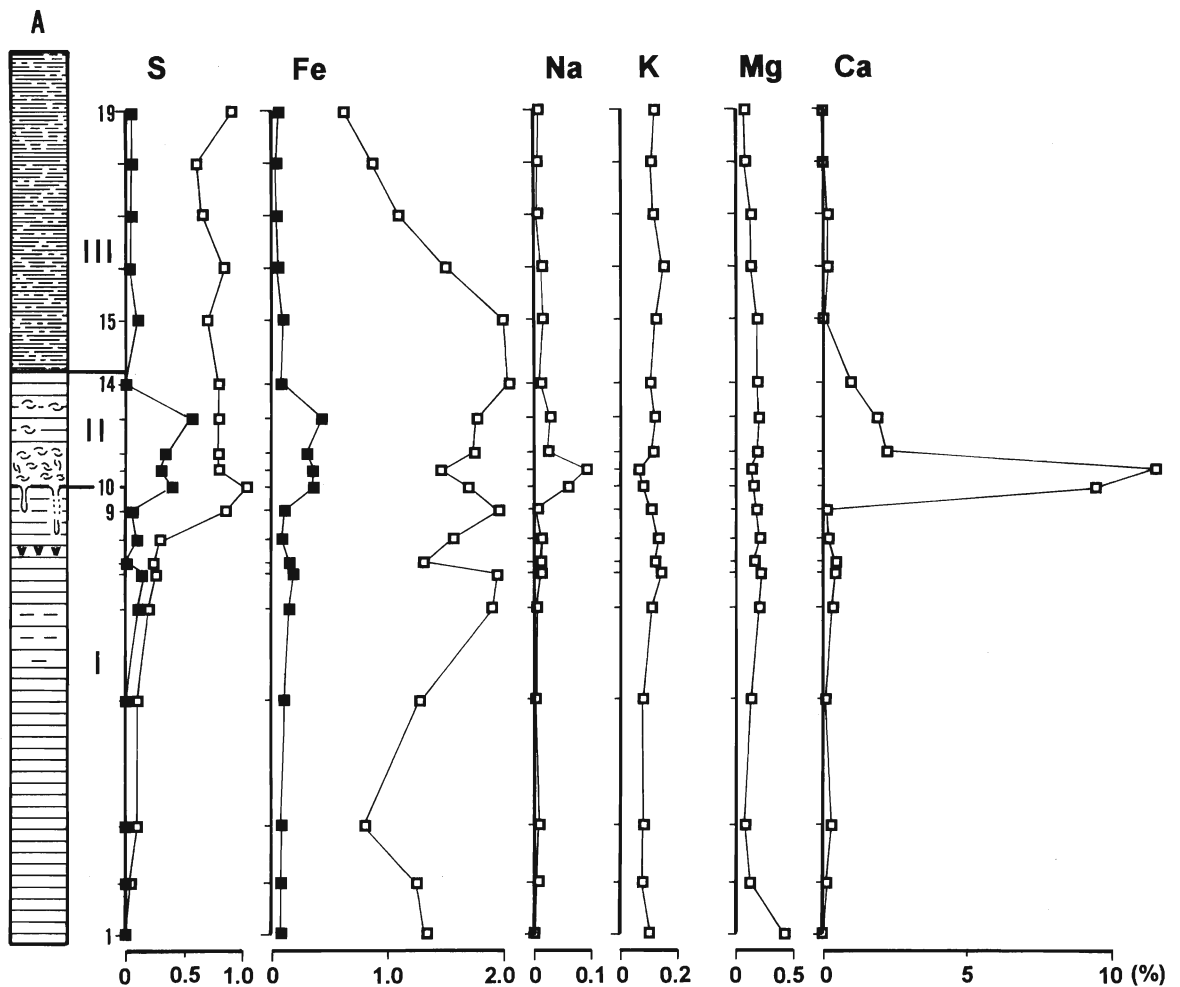


Fig.5 Vertical profiles of the contents (%) of sulfur, iron, sodium, potassium, magnesium and calcium in section A. (-□-, 1NHCl and 30%H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> soluble fractions; -■-, 30%H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> soluble fraction)

## 考 察

### 1. 珪藻分析にもとづく堆積環境変遷

露頭断面AおよびBの珪藻分析の結果から、I～III層における堆積環境は以下のように推定される。

#### I層

珪藻殻含有層では、珪藻遺骸群集は主として沼沢を特徴づける珪藻が優占的に出現したことから、堆積環境は沼沢と推定される。また、群集は上位にいくにしたがって、プランクトン性珪藻が優占する傾向を示したことから、沼沢の水深が徐々に増加し湖沼化が進んだことが考えられる。

#### II層

断面Aでは、II層最下部の試料において、淡水生珪藻が優占した。一方、断面Bでは、I層の上部で海水生珪藻が混在した。I層とII層の境界部には多くの生痕が認められ、これらの生痕が地層の境界を不明瞭にしている。

I層との境界付近を除くと、珪藻遺骸群集は海水生珪藻が優占した。このことから、堆積環境は明らかに海域といえる。基本的にII層での優占種は *Cyclotella striata*, *Cyclotella stylonum* であった。これらの珪藻は大阪湾周辺における完新世海進(縄文海進)頂期の海成堆積物中においても優占種となることが多い(Kumano and Miyahara, 1981; Kumano and Fujimoto, 1982; Sato *et al.*, 1983; Kumano *et al.*, 1992)。このことから、当時の海域は縄文海進時の内湾環境に似たものであったと思われる。珪藻遺骸群集から推定されるII層(高塚山粘土層)の堆積環境は、含有される貝化石群集から、紫本・前田(1989)によって推定された環境と調和する。

#### III層

II層にひきつづき、群集は海水生珪藻が優占し、堆積環境は海域であったといえる。

断面AとBで、出現状況が若干異なるものの、III層を特徴づける珪藻は *Grammatophora oceanica* といえる。このような付着性種の出現は、断面Aにおいて海域が浅くなっていく状況を反映するものと考えられる。

以上のように、高塚山層は、I層は淡水成、II層は内湾海域、III層は内湾浅海域と推定され、沼沢が海域へと変化し、海域が浅化していくまでの堆積環境変遷を反映した地層である。

高塚山層のI層とII層の境界部には生痕が多く、貝類などの底生動物による地層の攪乱が認められる。このため、境界付近ではI層とII層の珪藻遺骸群集が混在した。しかし、I層とII層の群集構成の交代は急激で漸的な傾向にはなかった。これはI層の堆積環境が沼沢といった止水環境であったところに海が侵入したこと、さらには藤田(1990)が考えたように、当時の海進が急激なもの

であったことを反映しているのかもしれない。あるいは、この急激な交代は、I層とII層との境界に、若干の時間間隙が存在することを示しているのかもしれない。断面Bの層相観察において、火山灰層が欠落している事実は、後者の可能性を強く示唆する。

今回の結果から、高塚山火山灰の降灰した当時の調査地域における堆積環境は、沼沢と推定された。すなわち、高塚山火山灰は海進が本格化する(温暖化の最盛期)以前に降灰したものであることが示された。このように、火山灰降灰期の堆積環境を明らかにすることは、今後、大阪層群の標準層序や東播地域周辺に分布する中部更新統と対比を行う際に、重要な情報を提供するものと思われる。とりわけ、中期更新世は六甲変動が活発になる時期とされており(藤田, 1990)、東播地域に分布する中部更新統における海成層の時代対比の確立は、本地域の第四系層序にとってのみならず、六甲変動に伴う本地域の地盤運動の解明にも不可欠と考えられる。

### 2. 高塚山層中の化学成分含有量

高塚山層における総イオウ含有量の鉛直分布をみると、I層の下半部で0.3%未満と少なく、I層の最上部から増加し、II層とIII層では高含有量を示した。I層下部では珪藻殻が含有されなかったために、珪藻分析から堆積環境を推定することが困難であったが、イオウ含有量から堆積物は淡水成または陸成と考えられる。珪藻分析の結果からI層上部の堆積環境は沼沢または湖沼と推定された。しかし、I層の最上部では、珪藻分析から淡水成堆積物と推定されるにもかかわらず、イオウ含有量が高かった。堆積物の色調は下位の堆積物のそれとほとんど変わらないことから、この層準での堆積物がとくに強い還元状態にあったとは考えにくい。その一方で、I層の最上部には、多くの生痕が認められ、上位のII層における海域環境の影響を強く受けているものと思われる。ここでのイオウの高含有量は、II層における海域環境と底生動物の活動に伴い、二次的にイオウ化合物が取り込まれた可能性が高い。

総イオウ含有量はII層およびIII層では高く、珪藻分析にもとづく堆積環境とよく一致した。過酸化水素可溶イオウは、II層においてのみ0.3%以上の含有量を示し、II層最上部からIII層にかけては0.1%未満であった。同様の傾向は過酸化水素可溶鉄においても認められた。II層の最上部を除く試料(No.10-14)では、過酸化水素可溶画分のイオウと鉄の比率(S/Fe)が0.93から1.22の値を示し、これらが黄鉄鉱( $\text{FeS}_2$ )に由来するものであることを示唆する。佐藤(1995)は、過酸化水素可溶イオウの多少が、堆積物の酸化還元状態を判定するのにより指標であるとした。このことから、II層の堆積物は比較的還元的で、II層最上部からIII層にかけての堆積物は酸化

的であることが示される。III層が酸化の状態にあることは、岩相の色調が鉄分の酸化により茶褐色を呈することと調和する。

ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウムは、海水中の主要な陽イオンであるが、堆積物中においてこれらのイオンは拡散しやすく堆積時の状態が保持されにくいとされている(Engstrom and Wright, 1984)。Sato(1991)は、兵庫県豊岡盆地で採取されたコア堆積物について、珪藻遺骸群集にもとづく古塩分濃度の変化とナトリウムおよびカリウムの含有量との関係を示したが、両者の間には相関は認められなかった。

高塚山層では、カリウムとマグネシウムの含有量の鉛直変動は、珪藻分析にもとづく堆積環境とほとんど無関係であったが、ナトリウムとカルシウムの含有量は、II層下部で顕著な増加を示した。この層準は高塚山貝層として知られる貝化石の密集層に相当する。したがって、ここで高含有量を示したカルシウムの大部分は貝殻物質中の炭酸カルシウムに由来するものと考えられる。ナトリウムもまた、カルシウムと含有量の変化傾向が類似することから、貝殻物質に由来するものと思われる。

## ま と め

高塚山層(神戸市垂水区)は、貝化石などの豊富な古生物学的資料を有することや挟在する高塚山火山灰からフィッシュントラック年代が得られていることから、東播地域における中部更新統の重要な地層の一つである。

高塚山層の二つの露頭断面から採取した堆積物中の珪藻遺骸群集といくつかの化学元素の含有量について分析を行った。高塚山層は岩相にもとづき、I~III層に区分された。珪藻分析の結果、I層は淡水成堆積物から成り、特に珪藻殻含有層の堆積環境は沼沢から湖沼と推定された。II層の堆積環境は、内湾海域と推定された。III層はやや砂質で、海水生の付着性種が増加したことから、II層より海域は浅化したと推定される。

以上より、I層に挟在する高塚山火山灰は、海進が本格化する以前の淡水環境下に降灰したものであることが示される。

堆積物中の化学成分のうち、イオン含有量は海成堆積物と淡水成(陸成)堆積物を区別するのによい指標とされる。高塚山層においても珪藻分析の結果から推定される堆積環境とイオン含有量との関係は概ね一致した。ナトリウムとカルシウムの含有量がII層で増加したが、これは貝化石の密集層に一致し、主として貝殻を構成する炭酸塩に由来するものと考えられる。

## 謝 辞

露頭断面Bにおける堆積物試料の採取に際しては、兵庫県立人と自然の博物館地球科学研究部の小林文夫研究部長、古谷 裕主任研究員、先山 徹主任研究員にご協力いただいた。記して厚く御礼申し上げます。また、著者のうち、ソグ・チンケンと松浦 康の二人は、本研究の一部を香川大学の卒業研究として取り組んだ。研究を進めるにあたり終始ご指導頂いた香川大学仲谷英夫博士ならびにト部厚志博士に深く感謝申し上げます。

## 文 献

- 安藤保二(1953)舞子・高塚山貝化石。兵庫生物, 2, 141-144.
- American Public Health Association, American Water Works Association and American Pollution Control Federation (APHA AWWA WPCF)(1985) *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 16th ed. American Public Health Association.
- Cleve-Euler, A.(1951-1955) Die Diatomeen von Schweden und Finnland I-V. *Kungliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar, I-V. Serien* 2(1),1-155, 3(3),1-143, 4(1),1-149,4(5),1-240,5(4),1-217.
- Engstrom, D. R. and Wright, Jr, H. E.(1984)Chemical stratigraphy of lake sediment as a record of environmental change. E. Y. Haworth and Lund, J. W. G.(eds.) *Lake sediments and environmental history*. Leicester University Press, 11-67.
- Foged, N.(1975)Some littoral diatoms from the coast of Tanzania. *Bibliotheca Phycologica*, 16, 1-127.
- 藤本 潔(1993)能登半島七尾西海岸日川低地における完新世後期の海水準変動。第四紀研究, 32, 1-12.
- 福田 理・安藤保二(1951)高塚山貝層。地質雑, 57, 415.
- 齋本 格・前田保夫(1989)神戸の地層を読む2。神戸市立教育研究所, 神戸, 119p.
- 齋本 格・佐藤裕司・加藤茂弘(1995)兵庫県播磨地方東部における第四系露頭。人と自然, 6, 171-196.
- Hayashida, A. and Yokoyama, T.(1989)Brunhes/Matsuyama polarity epoch boundary in the Osaka group of the Senriyama Hills, southwest Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 72, 195-201.
- 藤田和夫(1990)満池谷不整合と六甲変動一近畿における中期更新世の断層ブロック運動と海水準上昇一。第四紀研究, 29, 337-349.
- 藤田和夫・笠間太郎(1983)神戸地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 115p.
- 藤田和夫・前田保夫(1984)須磨地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 101p.
- 居川信之・市原 実(1993)播磨盆地一特に明石地域を中心にして一。市原 実(編), 大阪層群, 創元社, 大阪, 110-126.
- 市原 実(1993)大阪層群の層序学的研究のまとめ。市原 実(編), 大阪層群, 創元社, 大阪, 305-310.
- 市原 実・小黒謙司(1958)明石層群, 播磨層群について(その1)。地球科学, 40, 12-20.
- 市原 実・小黒謙司・衣笠博明(1960)明石層群, 播磨層群について(その2)。地質雑, 66, 605-615.



- John, J. (1983) The diatom flora of the Swan River estuary, western Australia. *Bibliotheca Phycologica*, **64**, 1-359.
- 河名俊男(1973)兵庫県加古川中下流域の段丘地形. 第四紀研究, **12**, 38-48.
- Kitano, Y. and Fujiyoshi, R. (1980) Partitioning of cadmium, copper, manganese and iron into minerals and organic fractions in core sediments from the Osaka Bay. *Geochem. J.*, **14**, 289-301.
- Kitano, Y., Sakata, M. and Matsumoto, E. (1980) Partitioning of heavy metals into mineral and organic fractions in a sediment core from Tokyo Bay. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **44**, 1279-1285.
- 粕武(1992)堆積岩の化学組成による堆積環境の研究 - 特に硫黄含有量による識別 - . 地質調査所月報, **43**, 473-548.
- 粕武・鈴木尉元・小玉喜三郎(1983)房総半島上総層群泥質岩中の硫黄, 炭素, 塩素, 鉄の形態・組成と堆積環境. 地質調査所月報, **34**, 191-206.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1986) Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae. In *Pascher's Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band **2:1**, Gustav Fischer Verlag, 1-206.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1991) Bacillariophyceae 1. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In *Pascher's Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band **2:3**, Gustav Fischer Verlag, 1-166.
- Kumano, S. and Fujimoto, I. (1982) Diatom assemblages during the Holocene transgression at the Minato Bridge in Osaka Port along the Osaka Bay. *Jpn. J. Phycol.*, **30**, 213-218.
- Kumano, S. and Miyahara, S. (1981) Holocene history of the diatom assemblages of the sediments from the mouth of the Samonogawa River along the northern coast of the Osaka Bay. *Jpn. J. Phycol.*, **29**, 109-115.
- Kumano, S., Nishiumi, M., Okuizumi, G. and Sato, H. (1992) Diatom assemblages of sediments from the estuary of Fukuda River in Kobe along the northwestern coast of Osaka Bay with special reference to the Holocene sedimentary history. *Jpn. J. Phycol.*, **40**, 245-259.
- Lowe, R. L. (1974) *Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms*. National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, 333p.
- 前田保夫(1988)神戸の自然史と化石記録. 新修神戸市史編集委員会(編), 新修神戸市史歴史編 I 自然. 考古, 神戸市, 150-290.
- 増澤敏行(1986)硫黄. 日本海洋学会(編), 沿岸環境調査マニュアル, 恒星社厚生閣, 東京, 56-61.
- 中井信之・太田友子・藤沢 寛・古田正夫(1982)堆積物コアの炭素同位体比, C/N比および FeS<sub>2</sub> 含有量からみた名古屋港周辺の古気候, 古海水準変動. 第四紀研究, **21**, 169-177.
- 中世古幸次郎・竹村恵二・西脇二一・中川要之助・古谷正和・山内守明(1984)大阪湾泉州沖海底地盤の層序. 災害科学研究所報告, 関西国際空港地盤地質調査, 柴原出版, 191-198.
- 佐藤裕司(1989)過酸化水素水処理一比濁法による硫黄分析と堆積環境. 第四紀研究, **28**, 35-40.
- Sato, H. (1991) Paleoenvironmental analysis of the core sample from the Toyooka Basin, Hyogo Prefecture, Japan - A study using the diatom analysis combined with selective chemical extraction. *Jpn. J. Limnol.*, **52**, 189-198.
- 佐藤裕司(1995)イオウの分別化学抽出と珪藻分析による古環境解析 - 兵庫県気比低地のコア堆積物を例に -. 第四紀研究, **34**, 101-106.
- Sato, H., Maeda, Y. and Kumano, S. (1983) Diatom assemblages and Holocene sea level changes at the Tamatsu site in Kobe, western Japan. *The Quaternary Research*, **22**, 77-90.
- 白神 宏(1985)FeS<sub>2</sub> 含有量からみた広島平野沖積層の堆積構造. 地理学評論, **58**, 631-644.
- 鹿間時夫(1936)明石層群に就いて. 地質雑, **43**, no.5-15, 565-590.
- 鈴木正男(1988)第四紀火山灰層のフィッシュントラック年代について. 地質学論集, 30号, 219-221.
- 田中真吾(1989)加古川市付近の地形と地質. 加古川市史第一巻抜刷, 102p.
- Van Der Werff, A. and Huls, H. (1957-1974) *Diatomeeflora van Nederland*. Abcoude, Den Haag, 581p.
- 八木浩司(1983)播磨灘北東岸地域における段丘面の時代対比. 地理学評論, **56**, 324-344.

(1997年4月30日受付)

(1997年9月12日受理)

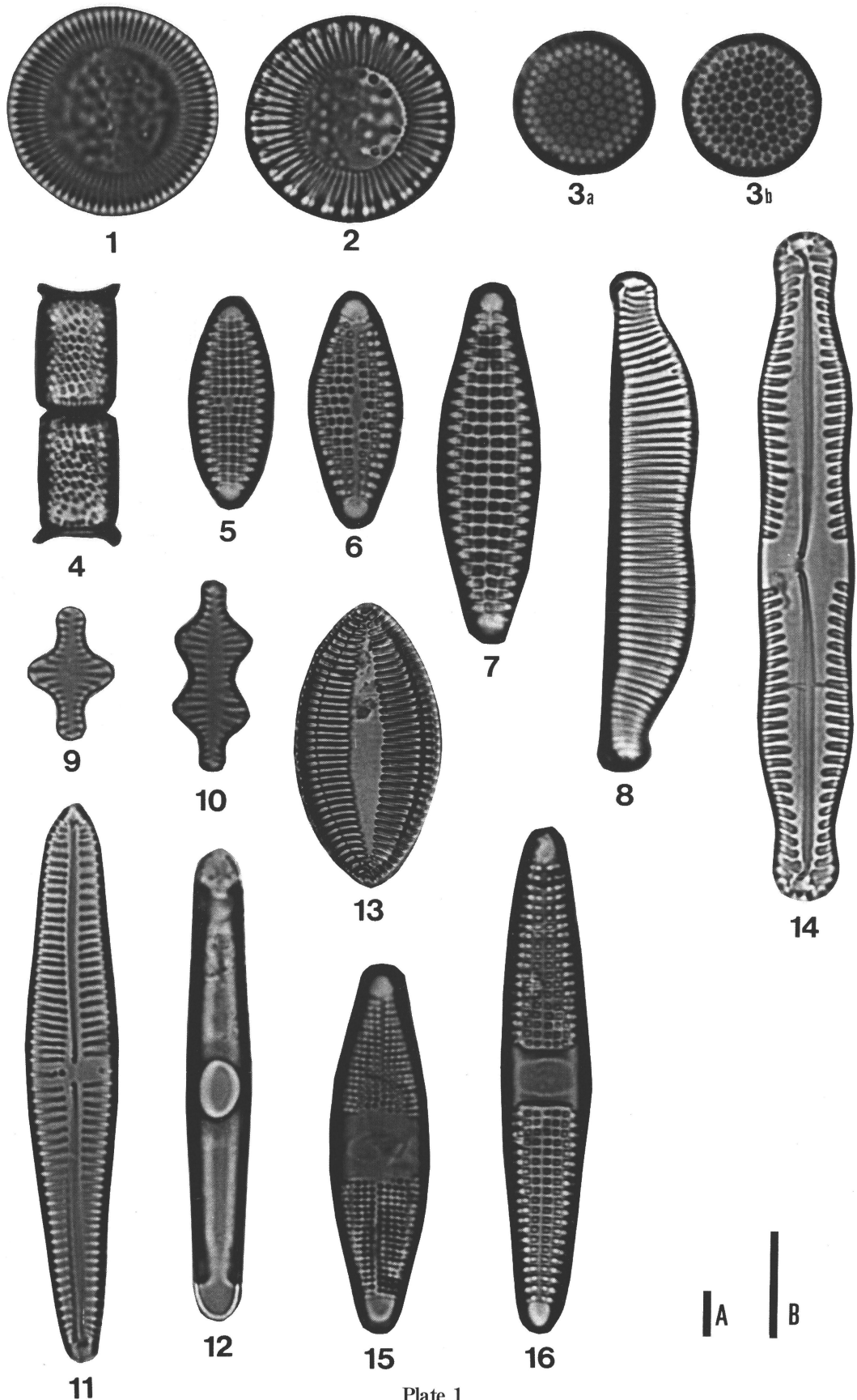


Plate 1

1. *Cyclotella striata* (Kützing) Grunow, 2. *Cyclotella stylorum* Brightwell, 3. *Thalassiosira cf. oestrupii* (Ostenfeld) Hasle, 4. *Aulacosiera ambigua* (Grunow) Simonsen, 5. *Dimeregramma minor* (Gregory) Ralfs, 6. *Dimeregramma minor* (Gregory) Ralfs var. *nana* (Gregory) Van Heurck, 7. *Dimeregramma fulvum* (Gregory) Ralfs, 8. *Eunotia praerupta* Ehrenberg var. *bidens* Grunow, 9. *Fragilaria construens* (Ehrenberg) Grunow, 10. *Fragilaria construens* (Ehrenberg) Grunow f. *binodis* (Ehrenberg) Hustedt, 11. *Gomphonema gracile* Ehrenberg, 12. *Grammatophora oceanica* Ehrenberg, 13. *Nitzschia cocconeiformis* Grunow, 14. *Pinnularia nodosa* (Ehrenberg) W. Smith, 15. *Plagiogramma appendiculatum* Giffen, 16. *Plagiogramma staurophorum* (Gregory) Heiberg. Scale bars = 10  $\mu$ m A (Fig.13) B (Figs.1-12, 14-16)