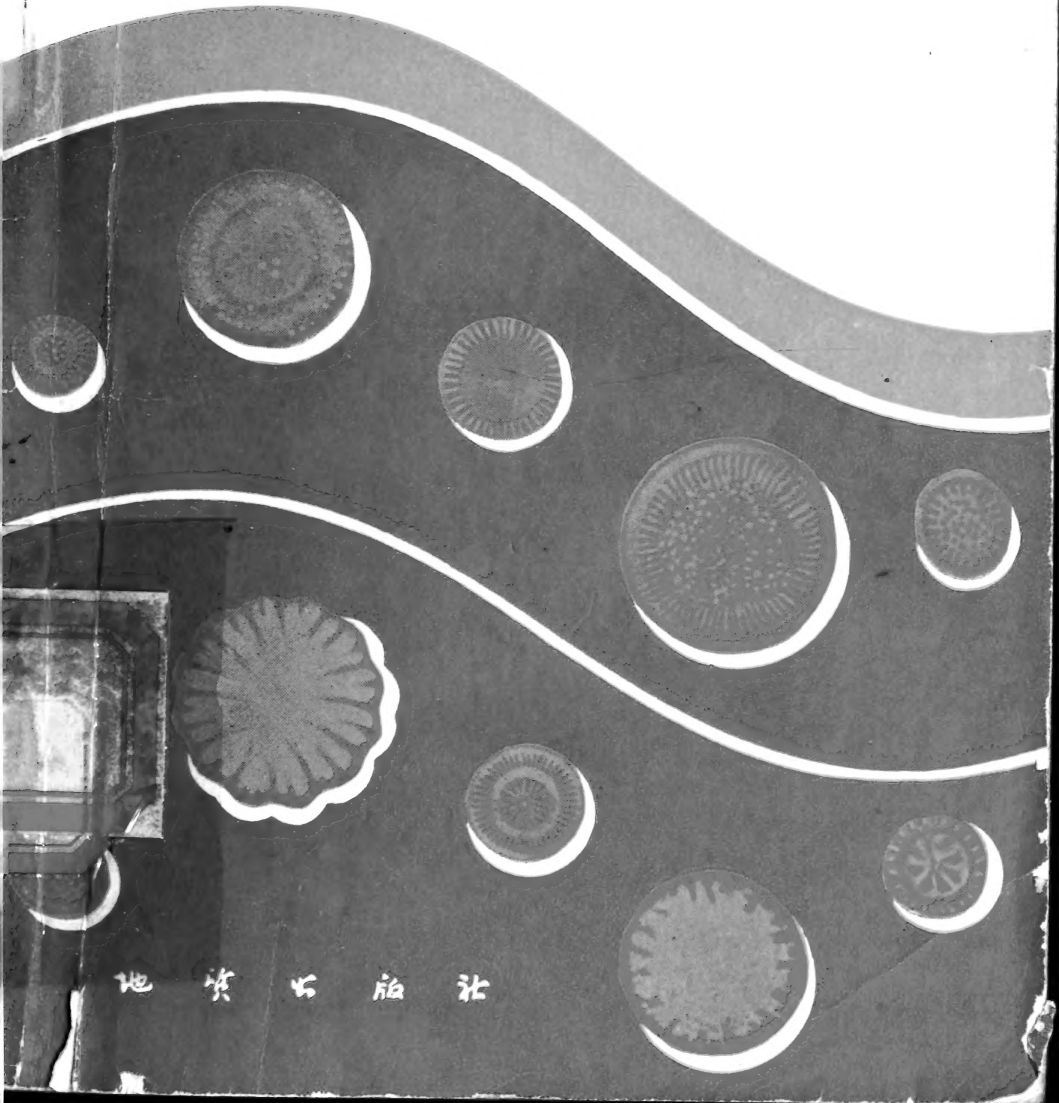


# 硅藻

GUI ZAO

(日)小泉 格 编



地质出版社



58.334  
115

# 硅藻

[日] 小泉格 编

王开发 郭蕃民 译 闵馨 校



地质出版社

中科院植物所图书馆

237630



S0014882

## 内 容 提 要

本书为日本浅野清主编的《微古生物学》(朝仓书店, 1976年初版)的“硅藻”部分, 由大阪大学小泉格执笔。书中概括地介绍了硅藻形态、分类、生态, 硅藻化石古地理分析及硅藻化石地层学, 涉及内容颇广, 且相当广泛地搜集了世界各国最新研究成果, 汇总了不少新的资料、图表, 不仅对于学习硅藻及硅藻化石的一般知识颇有裨益, 而且对于了解硅藻化石的研究历史、发展现状、研究动态等也很有参考价值。现代硅藻分布极为广泛, 而化石硅藻亦广泛出现于中生代晚期以来的海相、陆相及海陆过渡相的沉积层中, 它对于进行新生代地层对比, 查明岩相类型, 研究古气候、古地理变迁, 都具有重要意义。

本书可供生物、古生物 地层、第四纪地质、石油地质、海洋地质工作者及有关专业教学参考。

## 硅 藻

〔日〕小泉 格 编

王开发 郭蓄民 译

闵馨 校

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑: 张毓崧

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·全国新华书店经售

开本:  $850 \times 1168 \cdot 1/32$ ·印张:  $3^5/16$  字数: 79,000  
1984年8月北京第一版·1984年8月北京第一次印刷

印数: 1—2,320册 定价: 0.70元

统一书号: 15038·新1009

# 目 录

一、序言	1
二、现代硅藻的生活	2
(一) 光合作用	2
(二) 生活史(生殖)	3
三、硅藻壳的形态和构造	5
(一) 硅藻壳的形态	5
(二) 圆心目硅藻和羽纹目硅藻	7
(三) 圆心目硅藻壳面的构造	7
(四) 羽纹目硅藻壳面的构造	11
(五) 电子显微镜下壳孔和壳壁的构造	17
四、硅藻的分类系统	20
分类概要	23
五、现代硅藻的生态和分布	42
(一) 硅藻的生态划分及其分布	42
(二) 淡水硅藻	44
(三) 半咸水硅藻	46
(四) 海水硅藻	47
(五) 环境因素影响下的形态变异	50
六、硅藻遗体的沉积和分布	52
(一) 从活体到遗体	52
(二) 硅藻遗体的水平分布	56
(三) 硅藻遗体的垂直分布	63
(四) 异地硅藻遗体	69
(五) 硅藻埋藏群的意义	70
(六) 湖相层中的硅藻遗体群	70

七、硅藻化石群的古环境分析·····	73
八、硅藻化石地层学·····	75
(一) 硅藻地层学的发展·····	75
(二) 现阶段的硅藻地层学·····	77
九、海生硅藻的今后研究任务·····	92
参考文献·····	93
图版及说明·····	95

# 一、序 言

硅藻是属于黄褐色植物门 (Chromophyta) 硅藻纲 (Bacillariophyceae) 的单细胞藻类, 具硅质壳壁, 壳壁内包裹原生质。硅藻无论在海水、半咸水或淡水中, 都呈浮游或底栖状态, 对于盐分、温度和各种无机盐类等反应敏锐。硅藻含有色素体, 因此, 能在有光带进行光合作用。

硅藻的分类主要根据内、外二个壳壁的形状和壳壁的各种纹饰。生物学家对残留在微体化石当中的生物硅藻, 作了最为详细的分类, 因而化石硅藻的分类除了一部分属和种外, 是使用生物学者所用的分类系统, 现在一般是使用胡斯特德 (Hustedt 1956) 所确立的分类系统, 这个分类将现代硅藻和化石硅藻划分为16科约190属, 最近由于弄清楚了属和科之间在发生上的关系, 从而推进了建立更自然的分类研究工作。

硅藻增殖后死亡, 其遗骸除经过分解、破坏、溶解过程而沉积以外, 同时还有被浮游动物捕食之后包裹在粪便中沉积的。底质中的遗骸群能充分反映活体群的种的组成, 然而壳壁薄的硅藻死后, 在未沉积下来以前就被溶解, 因此, 这些遗骸在堆积物中没有残存。有关遗骸群中的种和种组成的地理分布及其特点以北太平洋区域研究得最好。

硅藻的最老记录是在侏罗纪初期, 但含大量硅藻最老地层主要见于加利福尼亚、乌拉尔地区的上白垩系。对环太平洋区域的第三系硅藻化石层位, 自二十世纪初期开始, 已在北美、爪哇、苏联、日本等地进行研究, 最近根据深海钻探计划 (DSDP) 又对全世界海区第三系硅藻化石层位进行了研究, 目前借助硅藻化石已有可能识别和对比第三系比统小的地层单位。特别是北太平洋海底, 由于海水很深几乎不含石灰质微体化石, 因而硅藻为划分那里的第三系和第四系地层提供了唯一的古生物标志。

## 二、现代硅藻的生活

硅藻细胞是由活体的原生质和保护它的介壳所构成。通常细胞内部充满着液胞，在中央部分有原生质的主块，细胞壁的内侧有原生质的薄层，它们之间由原生质丝连结起来。中央的原生质主块之中有一个细胞核，在壳壁内侧的原生质中有色素体（图1）。色素体的形状、数目、排列方式依硅藻的种类而异，所以以前曾被作为硅藻分类的基准（Pfitzer 1871, Petit 1877）。在所有硅藻的原生质和色素体中，存在着大小不一的球形油粒，它是光合作用的生成物，储藏着营养。油粒的生成也和硅藻的浮游有关，其生成使细胞的比重增加。

### （一）光合作用

现已发现有些硅藻是利用乳酸盐和葡萄糖等有机质的异养硅藻，如舟形藻（*Navicula*）菱形藻（*Nitzschia*）、卵形藻（*Cocconeis*）属的一些种，但许多硅藻可将水和二氧化碳的无机化合物合成为有机化合物的自养硅藻。供有机物合成的能量是靠色素体中的叶绿素a和补助色素（叶红素）所吸收的光。对于光合作用最适宜的光强和光量依硅藻的种类而异，一般是随光加强而光合作用也活跃起来。然而有一饱和点，如果光的强度超过了这饱和点，光合作用反而下降，因此，太阳光强时，硅藻的生息密度在水面以下数米深处最大。一般情况硅藻发育最盛期间浮力最强，能长时间地停留在光合层中，随着衰老乃逐渐下沉，色素方面的不同波长吸收率也发生变化，因而即使在光强非常弱的有光带下部也在进行光合作用（Smayda 和 Boleyn 1956）。

光合作用也和温度有关，在水温较高的水域和季节中，与水





图 1 大羽纹藻 (*Pinnularia major*) 的壳环面

(约250倍) (据Hustedde 1956年)

pf—原生质丝；ol—油粒；pb—中央原生质块；k—核；d—双杆；ch—色素体

温大致相等的温度是适宜光合作用的温度，而低水温的水域和季节中，比水温相当高的温度才适宜于光合作用，因此，南极海区水温虽然很低，而光合作用却反而很活跃 (Bunt 1964)。

硅藻的光合作用除了受光和温度的物理因素影响外，也受水中的二氧化碳和各种营养盐等化学因素的影响。外洋水中含多量的二氧化碳，所以光合作用不受限制，但在硅藻生活的近表层部分，营养盐类浓度比深层低得多，如果没有来自营养盐类丰富的深层部分，或其他方面的充分补给，光合作用和增殖将受到限制。

## (二) 生活史 (生殖)

硅藻随着细胞分裂，壳也分离成外壳和内壳。由于新壳是在旧壳的内侧生成的，所以由分裂而产生的2个子细胞，其中一个与母细胞同样大，另一个直径比母细胞小壳壁厚度的二倍。如此连续分裂的结果，以旧内壳作为外壳的细胞，便渐渐缩小。当到了再也不能维持细胞应有机能的大小时，便实行有性生殖，形成增大孢子，以恢复其大小，借增大孢子生成的大形细胞，相对于最小细胞，比 *Melosira varians* 大20倍，比 *Coscinodiscus curvatus* 大12倍 (Stosch 1965)，比 *Rhizosolenia setigera* 大4倍 (江草1957)。休眠孢子的形成也是无性生殖的一种。圆心目的

冠盖藻属 (*Stephanopyxis*) 和角刺藻属 (*Chaetoceros*) 中的沿岸性种, 因湿度、盐分、营养盐类有显著变化, 而生活条件恶化时, 就借坚硬的胞壳, 来对付不适的环境。

关于硅藻的有性生殖, 在羽纹目硅藻方面, 人们很早就知道了 (Geitler 1932)。可是在圆心目硅藻方面, 长时间认为增大孢子是借无性生殖产生的, 这无非是对微小孢子作了不确切的观察。自斯托奇 (Stosch 1951) 开始发现直链藻 (*Melosira*) 的卵和精虫的受精而产生增大孢子以后, 许多种类的有性生殖被查明了, 如圆心目的直链藻 (*Melosira*)、冠盖藻 (*Stephanopyxis*)、盒形藻 (*Biddulphia*)、骨条藻 (*Skeletonema*)、辐轩藻 (*Bacteriastrum*)、小环藻 (*Cyclotella*)、沟盘藻 (*Aulacodiscus*)、辐衲藻 (*Actinoptychus*)、圆筛藻 (*Coscinodiscus*)、根管藻 (*Rhizosolenia*)、角刺藻 (*Chaetoceros*) 等属。 *Melosira varians* 的营养细胞是链状群体, 发生有性生殖时, 在减数分裂之后, 从某个细胞生出具有一根鞭毛的 4 个精虫, 从其他细胞产生一个卵, 精虫和卵结合时, 受精卵增大成为增大孢子, 形成新的壳, 就成了新个体 (Sterch 1951)。羽纹目硅藻方面, 卵形藻 (*Cocconeis*)、棒杆藻 (*Rhobalodia*)、杆线藻 (*Rhabdonema*)、布纹藻 (*Grammatophora*) 等属为有性生殖, 当二分裂使细胞达到很小时, 就抛弃了原生质的壳, 进行减数分裂, 从各细胞生出一个或二个雄性和雌性的同形配偶子, 它们的结合体增大容积而成为增大孢子之后, 也形成壳, 形成新的个体 (丸茂 1974)。

### 三、硅藻壳的形态和构造

#### (一) 硅藻壳的形态

硅藻壳象贝壳那样，也有两个上下重合的壳片，分别称为上壳和下壳。每个壳片又可分为盖面、底面的壳面和遮覆侧面的侧带。在壳面和侧面之间还有一个中间带，壳面周边向侧面弯折的边缘部分称为壳带，两个壳片的侧带所遮覆的部分称为壳环（图2,3）。

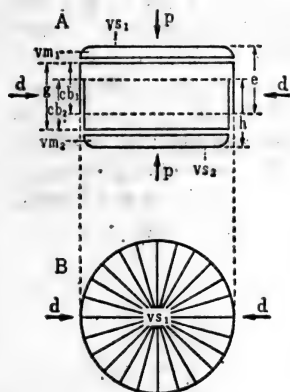


图2 圆心目硅藻圆筛藻属 (*Coscinodiscus*) 的壳的模式图

(据Cupp 1943年)

A—壳环面；B—盖壳面；C—贯壳轴；d—直径；e—上壳；h—下壳；cb<sub>1</sub>—上壳的侧带；cb<sub>2</sub>—下壳的侧带；g—壳环；vs<sub>1</sub>—盖面；vs<sub>2</sub>—底面；vm<sub>1</sub>—上壳的壳带；vm<sub>2</sub>—下壳的壳带

轴可分为贯穿两个壳面的贯壳轴和壳面上的直径。如壳面不是圆形的，又分为顶轴和切顶轴。面可分为平行于壳面的面称为盖壳面，平行于长轴和短轴直交的面为长轴面；平行于短轴和长轴直交的面为短轴面（如图4）。因此，观察硅藻时，便有从壳面观察的壳面观；和从壳环观察的壳环观之分。壳环观中又分目视长轴面的宽壳环观；和目视短轴面的狭壳环观。

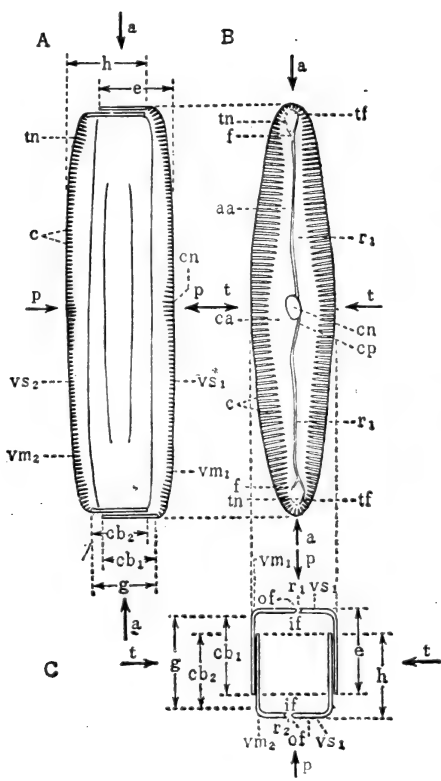


图 3 羽纹目硅藻舟形藻科 (Naviculaceae) 的壳的模式和构造图

(据Cupp 1943年)

A—长轴面, B—盖壳面, C—短轴面, a—顶轴, p—贯壳轴, t—切顶轴, e—上壳, h—下壳, r<sub>2</sub>—下壳的纵沟, f—漏斗隙, cb<sub>1</sub>—上壳的侧带, cb<sub>2</sub>—下壳的侧带, g—壳环, tn—极结节, cn—中央结节, cp—中心孔, r<sub>1</sub>—上壳的纵沟, tf—极隙, aa—轴区, ca—中央区, vs<sub>1</sub>—盖面, vs<sub>2</sub>—底面, vm<sub>1</sub>—上壳壳带, vm<sub>2</sub>—下壳壳带, of—纵沟的外裂隙, if—内裂隙, c—肋

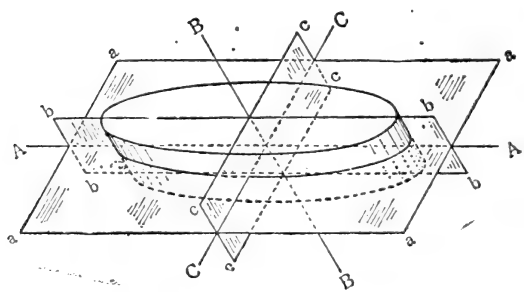


图 4 硅藻细胞的轴和面

(据Hendey 1960年)

A—顶轴, B—壳轴, C—切顶轴, a—盖壳面, b—长轴面, c—短轴面

## (二) 圆心目硅藻和羽纹目硅藻

硅藻根据壳面观的形态，可区分为如下两大类（目）。

1. 壳面呈圆形、椭圆形、三角形、五角形、六角形等，表面具有同心状或辐射状排列的纹饰为圆心目，这个目的硅藻没有纵沟和羽纹构造。

2. 壳面呈舟形、楔形、棒形、堤形等，表面纹饰具有左右对称形式的硅藻为羽纹目，这个目的硅藻具有纵沟。

## (三) 圆心目硅藻壳面的构造

圆心目硅藻的壳面上有圆形或多角形以及蜂窝状的点纹、孔纹或肋，它们排列成辐射状或同心状。壳面的中心部分，有的无

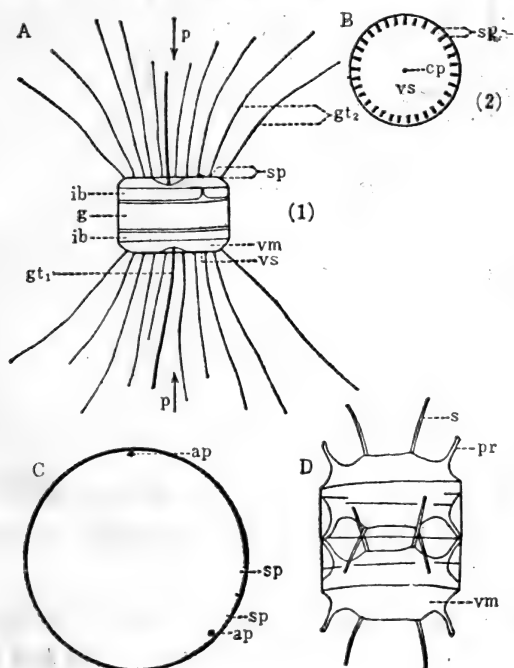


图 5 圆心目硅藻的壳的构造

(据Cupp 1943年)

A, B—*Thalassiosira aestivalis* (1)壳环面；(2)盖壳面；C—*Coscinodiscus centralis* var *pacifica* (盖壳面)；D—*Biddulphia mobiliensis* (盖壳面)；p—贯壳轴；

gt<sub>1</sub>—连结细胞的肥大原生质丝；gt<sub>2</sub>—由壳缘小棘生成的细的原生质丝；sp—壳缘小棘；ib—中间带；g—壳环；vm—壳面；vs—壳面；cp—中心粘液孔；ap—小突起；s—棘毛；pr—突起

斑纹，呈透明平滑的中心区，有的中央有很大的斑纹，叫中央花纹。壳面的周缘部可见到棘状突起或隅角突起（图5）。

1. 壳孔（图6）

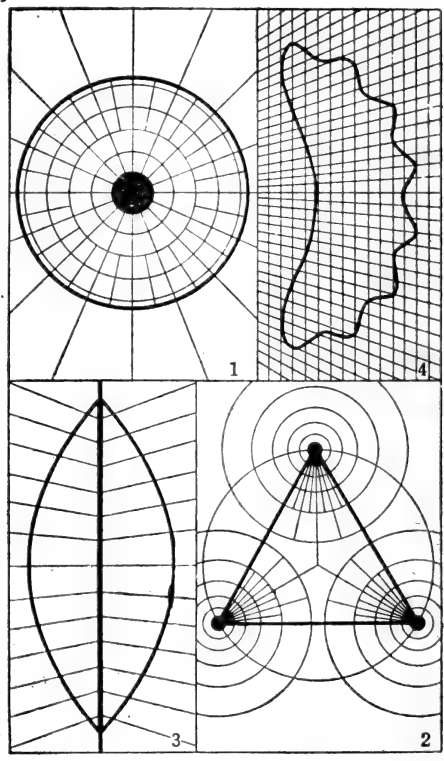


图 6 硅藻壳和壳面上的构造排列的基本形式

（据Hendey 1964年）

1—球心状；2—具有一定角度的辐射状；3—羽状；4—格子状

从光学显微镜观察是点纹或孔纹，而在电子显微镜下却是贯穿壳壁的壳孔。硅藻的壳孔是细胞内的原生质和细胞外的水之间进行物质交换的通道。

点纹呈分散不规则的小点纹状纹饰，或表现为直线、弯曲、交叉、辐射状等规则的排列。规则的排列称为条线。有时点纹非

常小，不能分辨，条线则形成文字般的线。至于线的大小，大的直径 $1\mu$ ，大多数约 $0.5\mu$ 。点纹可分为以下两种：(1)细孔——开口的小孔；(2)类似孔——不开口而被膜遮覆的小孔。

孔纹为蜂窝状，壳壁中有具有侧壁的小室构造，壳面上呈网眼的花纹，也称为网眼隙。其形态则有 *Coscinodiscus* 属的六角形，*Ithmia* 属的长圆形，*Pinnularia* 属的长椭圆形以及棒形等。特别是 *Pinnularia* 属 可以看到一种伸长孔纹的沟状构造，称为孔房。孔纹有许多形状的排列，可归纳为下面 4 种基本形状：(1)由中心点放射的球心状或辐射状；(2)具有一定角度的辐射状；(3)羽状，以中心线为准左右对称的；(4)排列一样的格子状。

## 2. 顶域、周缘域 (图 7)

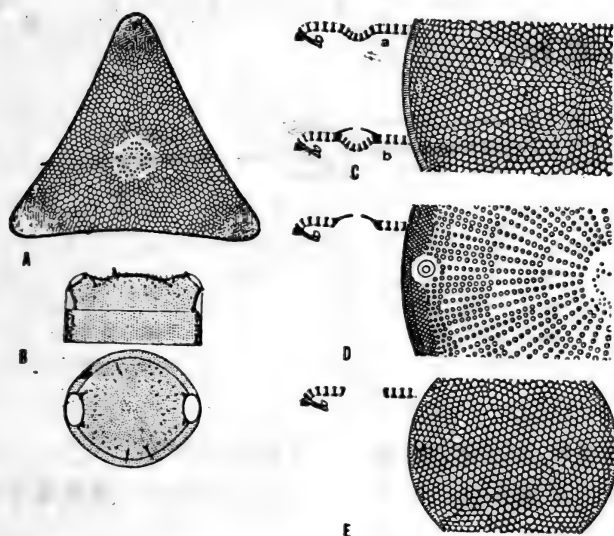


图 7

(据 Hasle 等 1975 年)

A—拟眼纹 (*Trigonium*); B—眼纹 (*Odontella*); C—(a) 孔纹; (b) 双有盖的拟结节 (*Actinocyclus*); D—双有盖的拟结节 (*Actinocyclus*); E—无盖的双(内腔)拟结节 (*Roperia*)

顶域是与壳面上的主要构造花纹不同的区域，周缘域为具有比壳面上主要部分的孔纹还要小的孔纹（拟眼纹）区，它具有变厚的无构造边缘的眼纹以及拟结节等。

### 3. 突起 (图 8)

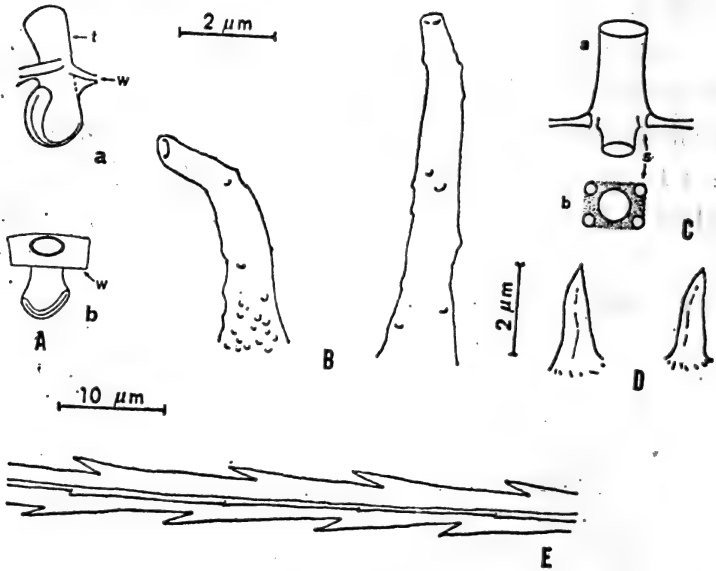


图 8

(据Hasle 等 1975年)

A—唇形突起；a—具有外管(t)的唇形突起 (*Lauderia*)，b—没有外管的唇形突起 (*Thalassiosira*)；B—闭塞突起 (*Thalassiosira*)；C—支柱突起—补助细胞(S)，a—纵断面，b—横断面；D—棘状突起 (*Thalassiosira*)；E—刺状突起 (*Corethrom*)

均质硅质化壳壁的突起，可分为四种类型：

(1) 唇形突起：壳壁内侧坍陷而成的管，或被两片唇瓣包围纵向裂缝状的管，或开口。

(2) 闭塞突起：一端闭塞中空的管。

(3) 支柱突起：由于壳壁内侧的弓形支柱而形成的2—5个室的管，或被细孔包围的管。

(4) 棘状突起：有突出于壳壁非中空的突起和非常小的



棘，壳面上小而圆的突起，以及爪状的棘等。

#### (四) 羽纹目硅藻壳面的构造

羽纹目硅藻的壳面，在长轴两侧排列着由孔房或点纹以及小纹构成的羽状线条。羽纹构造并不达到长轴的轴部，而在壳面中央沿长轴构成一个称为轴区的细长透明部分。在中央部分由于孔房或线条稍短而略宽阔，为中央区。从 *Navicula lyra* 可看到相当宽广的透明区，就是这个中央区扩大的部分。中央区有时存有独特的点纹和各色各样的花纹。假两肋藻属 (*Pseudoamphiprora*) 具有十字结节，那是横断面的中央结节扩大的部分。通常轴区正中有沿长轴方向的纵沟，纵沟也有偏向壳面边缘部分的，如菱形藻属 (*Nitzschia*) 和双菱藻属 (*Surirella*) 等。轴区显著狭小，以致外观类似纵沟，所以一度曾称它为拟纵沟，但现在已不使用了。

##### 1. 纵沟

羽纹目硅藻多数为上下两个壳面并均有纵沟，少数只有一个壳面上有，还有完全不具纵沟的。壳面中央部分纵沟中断而加厚部分为中央结节，纵沟两端增厚部分称极结节，纵沟在断面上呈  $>$  形裂隙，其上半部称为外裂隙，下半部称内裂隙，纵沟是原生质流动的通道，纵沟的形状按照它的裂缝为线状、灯丝状、捻线状等 (图9)。在中部结节部分，纵沟的外裂隙一端称外中央孔，内裂隙一端叫内中央孔，通过联络管来联络 (图10)。极结节为透明的大凹陷，它的外裂隙的末端钩状弯曲部分称极隙，内裂隙因为朝内侧成漏斗状的，所以称为漏斗隙 (图11)，在壳的一边 (裂隙) 朝彼此相反的方向弯曲，而壳的两边则弯曲方向一致。

原生质流动是从外裂隙的极隙开始，沿着纵沟外面向后，通过前方的中央结节的垂直孔，进入细胞内部之后，再经过联络管而由后方的中央结节的垂直孔上升，再沿着外裂隙转向后方极结节的极隙。原生质的流动补偿是沿着纵沟内裂隙反方向流动的，

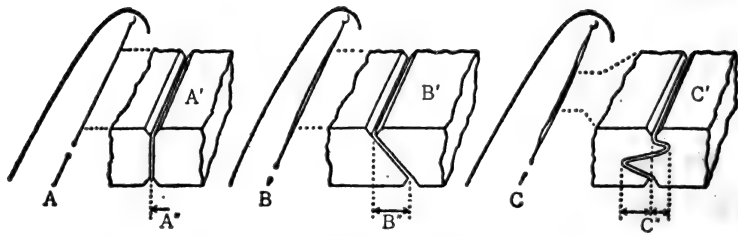


图 9 纵沟的形态和构造

(据 Werff 和 Huls 1957年)

A—线状；B—带状；C—灯丝状；A'—B'—C'—纵沟的横剖面；A''—B''—C''—示纵沟部分

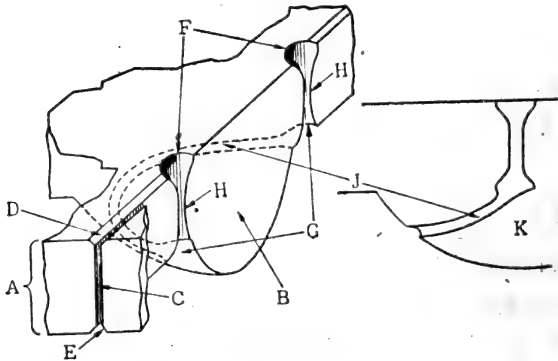


图 10 羽纹硅藻属 (*Pinnularia*) 的中央结节的构造

(据 Werff 和 Huls 1957年)

A—壳壁；B—中央结节；C—纵沟隙；D—外裂隙；E—内裂隙；F—外中央孔；G—内中央孔；H—垂直孔；J—连络管；K—中央结节为朝细胞内部圆筒状的突起

原生质完整地来回流动，是通过内外两裂隙进行的。由于原生质流向外界和水发生摩擦，使硅藻能实现前进运动，因此有纵沟的羽纹硅藻被看成比没有纵沟者高一等。

## 2. 管状纵沟

所谓管状纵沟是指因硅质板（腓骨）使壳的内部分离出现空腔，在空腔内侧具有管状通道的纵沟（图12）。过去一直称为龙

骨点，其实就是腓骨。结节虽已几乎退化，很难看出中心孔，可是确还存在。

网眼藻属 (*Epithemia*) 和细齿状藻属 (*Denticula*) 的管状纵沟，外部为裂孔，内部由很多圆孔构成，而网眼藻属 (*Epithemia*) 的壳面隆起比细齿状藻属 (*Denticula*) 稍微隆起 (图13)。

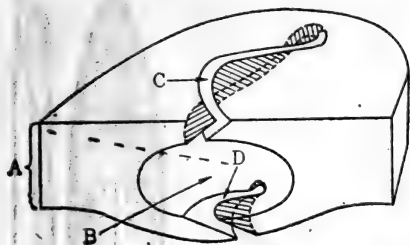


图 11 羽纹硅藻 (*Pinnularia*) 极结节的构造

(据 Werff 和 Huls 1957年)

A—壳壁，B—空洞，C—外裂隙的极隙；  
D—内裂隙的漏斗隙

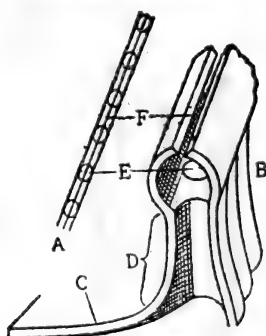


图 12 管状纵沟的构造

(据 Werff 和 Huls 1957年)

A—管状纵沟；B—壳带；  
C—壳壁；D—龙骨；E—腓骨上的穴；F—纵沟

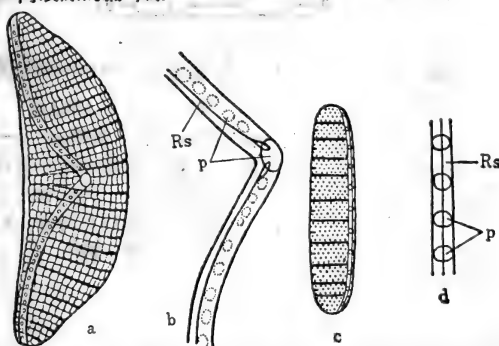


图 13 网眼藻属 (*Epithemia*) 和细齿状藻属 (*Denticula*) 的管状纵沟

(据 Hustedt, 1965年)

a, b—网眼藻属 (*Epithemia*)；c, d—细齿状藻属 (*Denticula*)，  
P—腓骨上的穴 (内部)；Rs—纵沟 (外部)

菱形藻属 (*Nitzschia*) 在壳面上一侧边缘的龙骨有纵沟 (图 14), 双菱藻科 (*Surirellaceae*) 的波纹藻属 (*Cymatopleura*) 壳面上两侧的边缘部分呈龙骨状, 双菱藻属和 *Campylodiscus* 属呈翼状构造, 其中有管状纵沟, 每个细胞上下两壳面两侧边缘上各一个, 共有四个管状纵沟 (图 15)。

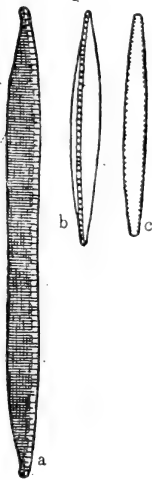


图 14 菱形藻属 (*Nitzschia*) 的管状纵沟

(据Hustedt 1965年)

- a—*Nitzschia heusleriana*  
偏心管状纵沟的
- b, c—*Nitzschia dissipata*  
中心管状纵沟
- b—盖壳面; c—壳环面

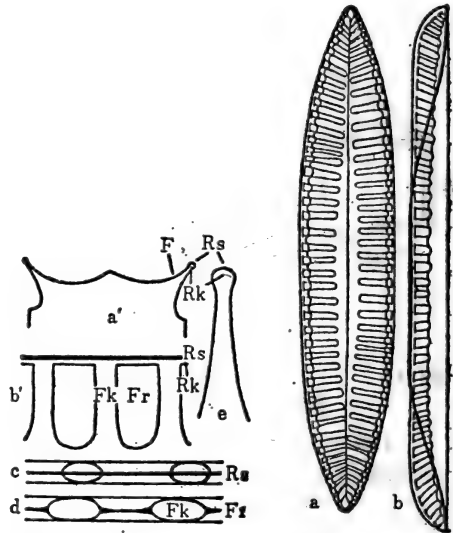


图 15 双菱藻属 (*Surirella*) 的管状纵沟

(据Hustedt 1965年)

- 右a—盖壳面, 左a—短轴面, c—在管状纵沟的最高点, 聚焦的场合, F—翼, Rk—缘道管, Fr—翼窗, 右b—壳环面, 左b—长轴面, d—同最低点聚焦的场合; Rs—纵沟, Fk—翼沟

### 3. 粘液孔

据哈斯莱 (Hasle 1974) 电子显微镜观察的结果, 羽纹目硅藻内, 属于没有真正纵沟亚目的硅藻粘液孔, 与圆心目硅藻之唇形突起为同一构造。具有真正纵沟亚目的硅藻没有粘液孔 (唇形突起)。形成群体的种, 许多在壳面上的端部有孔板, 从这里分泌细

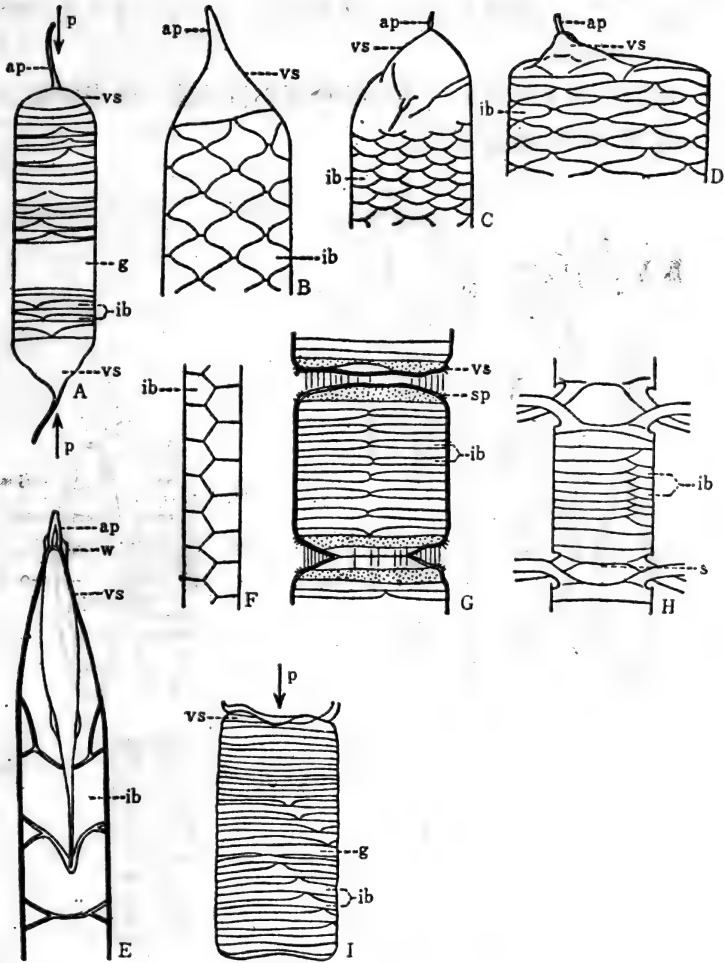


图 16 各种的中间带 (据 Cupp 1943年)

A—*Rhizolenia cylndrus* (轮状—洋襟状); B—*R. arafurensis* (鳞状); C—*R. clevei* (鳞状); D—*R. castracanei* (鳞状); E—*R. stylermis* (轮状—1条联系线); F—*Ductylisolon mediterraneus* (鳞状); G—*Loudoria anulata* (轮状—1条联系线); H—*Chaetoceros eibenii* (轮状—爪状); I—*Guinardia flaccida* (轮状—洋襟状); P—贯壳轴, g—侧带, sp—小棘, ap—尖端的突起; ib—中间带, S—壳面的棘, vs—壳面, W—翼状附属物

胞连结外壳的胶质物质，而没有这种孔板的硅藻则从通常的壳孔中分泌，群体的形成和粘液孔（唇形突起）似乎没有直接关系。

#### 4. 中间带

中间带有多种类型，主要是指圆心目硅藻，即壳面带和侧之间表现为特别构造的部分。

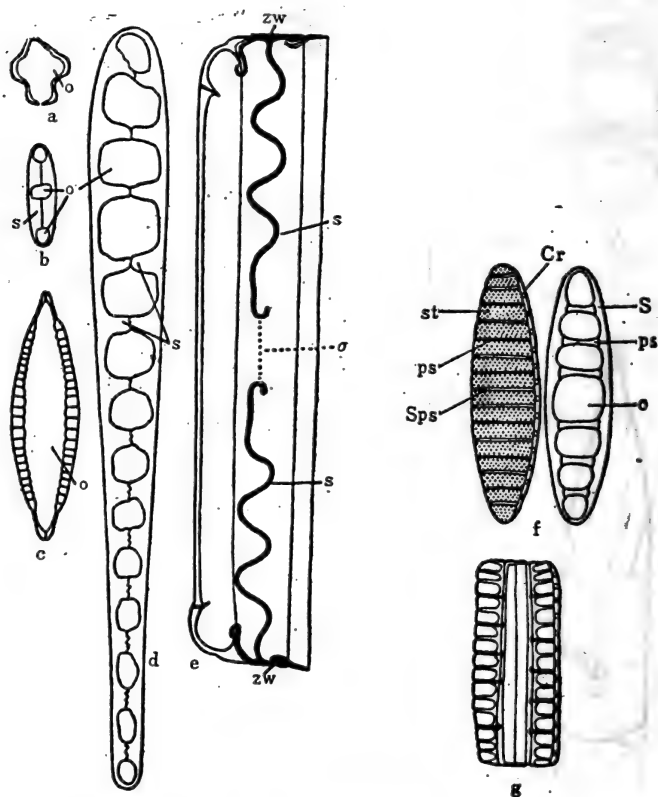


图 17 各种隔壁

(a-b 据 Hustedt 1965, f-g 据 Simonsen 和 Kanaya 1961 年)

a—四环藻属 (*Tetracyclus*), b—迪安托美拉藻属 (*Diatomella*), c—乳房藻属 (*Mastogloea*), d—梯楔形藻属 (*Climacosphenia*), e—布纹藻属 (*Grammatophora*), f-g—细齿藻属 (*Denticula*), a-d·f—盖壳面, e·g—壳环面, S—隔壁, ps—拟隔壁, Sps—二次拟隔壁, o—开口, st—一条线, zw—中间带

中间带通常在细胞形成后立即生成，但也有在以后再增加的，因此，中间带的数目，在幼小的细胞中少，老的细胞中多。中间带有鳞片状和轮状两种类型。轮状中间带是围绕细胞而作轮状排列，但多数并不形成一个完整的轮，仅一部分有联系构造。联系构造有爪状如角毛藻属 (*Chaetoceros*)，一条联系线如根管藻属 (*Rhizosolenia*)，凸盘链藻属 (*Lauderia*)，洋襟状如圆筛藻属 (*Coscinodiscus*)、海链藻属 (*Thalassiosira*)、格维那迪亚藻属 (*Guinardia*) 等 (图16)。

### 5. 隔壁

系指在轮状中间带的细胞壁，有的平行于壳面向细胞内部延伸为边缘薄片状，并将细胞分为几个区，这片状构造称隔壁。通常隔壁从长轴的一极向贯壳轴方向发展如四环藻属 (*Tetracyclus*)，也有从两极伸向贯壳轴方向如等片藻属 (*Diatomella*)、乳房藻属 (*Mastogloea*)，隔壁不一定是平滑的，从布纹藻属 (*Grammatophora*) 方面可以看到，有时扭曲成波状 (图17)。

## (五) 电子显微镜下壳孔和壳壁的构造

近廿年来，拍摄了数百种硅藻的电子显微镜照片，对壳的基本构造进行了研究。亨迪 (Hendy 1957, 1964, 1971) 以这个领域的创始人奥野 (1953、1954) 对壳壁的微细构造所作分类为基础，进一步探讨了以往的研究结果。将含有壳孔的壳壁的微细构造归纳为四个基本类型 (图18)。

1. 薄板状构造：壳壁由成列具有同等大小圆孔(点纹)的一层均质厚的硅层构成。有些壳壁呈线状增厚(肋)或是通过肋补强。也有很多种内孔被稍微复杂的突起团塞了一部分，如角刺藻科 (*Chaetoceraceae*)、圆筛藻科 (*Coscinodiscaceae*)、舟形藻科 (*Naviculaceae*)、脆杆藻科 (*Fragilaraceae*) 以及 *Bacillariaceae* 等科 (图18—A)。

2. 房室构造：内、外二层硅质层，通常附于排列成六角形

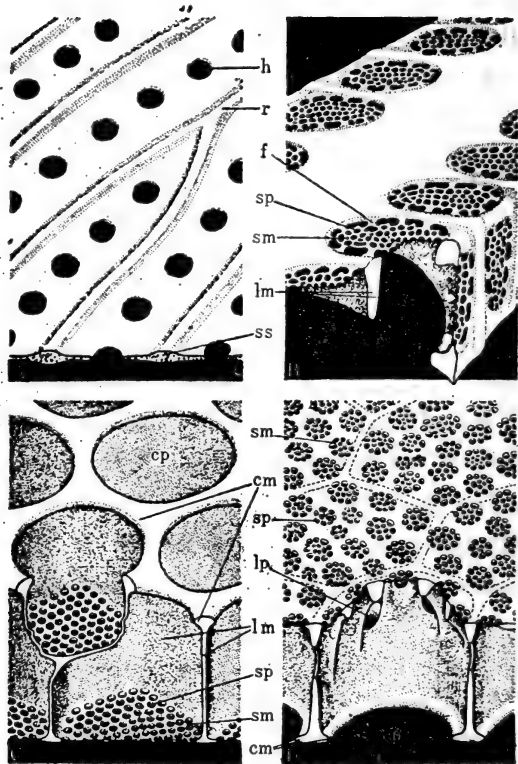


图 18 各种类型的壳孔和壳壁

(据 HendeY 1971年)

左一有开口的薄板状构造；右一筛膜构成的拟房室构造；左下一外侧有开口的房室构造；右下一内侧有开口的房室构造；cm—盖筛膜；op—盖孔；f—筛膜肥厚部分；h—开口；sp—筛孔；lm—侧膜；lp—侧孔；r—肋；sm—筛膜；ss—海绵状多穴室构造

的侧壁，因此壳壁象蜂窝状。某些种侧壁有称为侧孔的孔。根据内层和外层的构造差异，可分为两类（Coscinodisceae, Eupodisceae, Biddulphiaceae, Actinodisceae 以及 Navicalaceae 等科）。

(1) 外壁为有几个或很多微细孔的膜，与此相对，内层则有一个大的略呈圆形的孔，即外侧一部分闭塞，而内侧是完全开



口 (图18—D)。

(2) 壳壁顺序和 (1) 相反的类型, 这种类型较少 (图18—C)。

3. 拟房室构造: 几乎没有房室的不完全的房室构造, 这种类型, 壳的构造只限于越过壳带伸达下面的外形为棒状或纺锤状的种 (Fragilariaceae, Achnanthaceae 以及 Biddulphiaceae 等科, 图18—B)。

罗斯 (Ross) 和辛斯 (Sims 1971) 调查了盒形藻科 (Biddulphiaceae) 所属的 10 种硅藻指出, 可分为四种类型: 壳孔的构造有孔状和槽状的; 突起部分的穴; 盖壳面的穴逐渐缩小而把突起部分掩盖起来, 以及坚固的边缘有多数的小孔。

## 四、硅藻的分类系统

西蒙森 (Simonsen 1972) 认为, 现在广泛采用的 Schütt—Karsten—Hastedt 的分类系统在很大程度上是人为的, 他根据下述的标准, 把以前的分类系统按光学显微镜的观察, 重新加以探讨, 叙述了存在于圆心目硅藻各科之间进化系统的发生关系 (图 19, 表 1), 介绍如下:

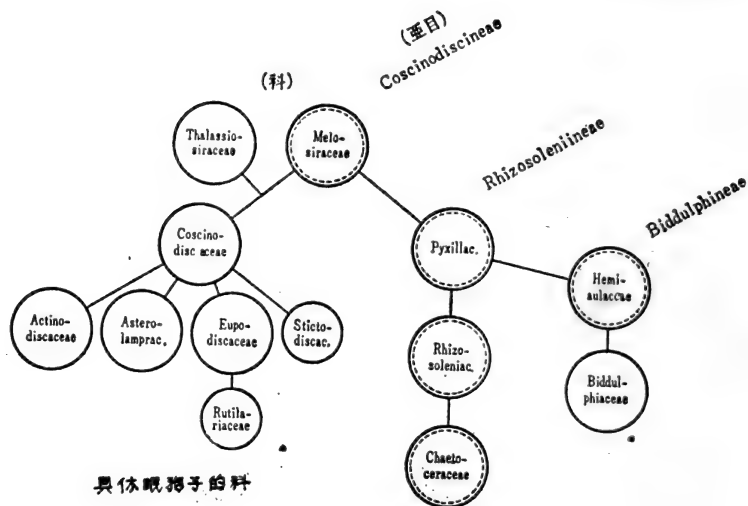


图 19 圆心目硅藻的各科系统图

(据 Simonsen 1972 部分修改)

识别属或属群的重要标准: ①眼纹; ②壳面上的突起; ③隅角突起; ④棘; ⑤拟隔壁; ⑥群体形成的方式; ⑦休眠孢子; ⑧壳孔的显微构造; ⑨壳的形状; ⑩壳面的分割区; ⑪中间带。

最早的硅藻是罗思皮兹 (Rothpletz 1896) 从符腾堡 (Wü

表 1 西蒙森 (1972) 的圓心目矽藻分類體系

圓心目

I. Coscinodiscineae 亞目

1. Melosiraceae 科

(*Stephanopyxis*, *Pyxidicula*, *Strangulonema*, *Melosira*, *Endictya*, *Hyalodiscus*, *Stephanodiscus*, *Cyclotella*, *Lauderia*, *Schroederella*, *Detonula*, *Bacterosira*, *Thalassiosira*)

2. Coscinodiscaceae 科

(*Coscinodiscus*, *Planktoniella*, *Ethmodiscus*, *Gosleriella*, *Craspedodiscus*, *Palmeria*, *Jamischia*, *Fenestrella*)

3. Actinodiscaceae 科

(*Actinodiscus*, *Actinoptychus*, *Lepidodiscus*, *Aulacodiscus*)

4. Asterolampraceae 科

(*Asterolampra*, *Asteromphalus*, *Brightwellia*, *Bergonia*, *Rylandsia*)

5. Eupodiscaceae 科

(*Actinocyclus*, *Roperia*, *Hemidiscus*, *Stictocyclus*, *Eupodiscus*, *Auliscus*, *Rattrayella*, *Craspedoporus*)

6. Rutilariaceae 科

(*Rutilaria*, *Bacteriopsis*, *Syndetocystis*, *Syndetoneis*)

7. Stictodiscaceae 科

(*Stictodiscus*, *Arachnoidiscus*)

II. Rhizosoleniineae 亞目

1. Pyxillaceae 科

(*Pyxilla*, *Gyrodiscus*, *Mastogonia*, *Pterotheca*, *Pyrgopyxis*, *Gladius*)

2. Rhizosoleniaceae 科

(*Rhizosolenia*, *Guinardia*, *Lithodesmium*, *Ditylum*)

3. Chaetoceraceae 科

(*Chaetoceros*, *Bacteriastrum*, *Astheyia*)

III. Biddulphiineae 亞目

1. Hemiaulaceae 科

(*Hemiaulus*, *Trinacria*, *Goniothecium*, *Cerataulina*, *Pseudorutilaria*)

2. Biddulphiaceae 科

(*Biddulphia*, *Trigonium*, *Hydrosera*, *Entogonia*, *Leudugeria*, *Terpsinoe*, *Anaulus*, *Porpeia*, *Eunotogramma*, *Isthmia*)

rtemberg. Boll)的利阿斯统下部(侏罗纪初期)发现的 *Pyxidicula bollensis* 和 *P. liassica* 两个种,但是 *Pyxidicula* 属还不是最早的硅藻。全部圆心目硅藻从侏罗纪突然出现,从白垩纪到第三纪初期迅速发达起来,但是有一个问题,在此之前的第一次生产物是什么呢?(但至今尚未发现其他代以硅藻的东西)大概硅藻的祖先是无壳或具极薄的硅质壳,未曾化石化。硅藻没有硅质壳也能生存(Hendy 1945, Apelt 1969)。很可能,在无壳球形原生质体上生出2个硅质半球发育了最初的硅藻——*Pyxidicula*,再从边缘部分生出突起,才产生了 *Stephanopyxis* 和 *Skeletonena*,所以认为原始的硅藻应为 *Pyxidicula*—*Stephanopyxis* 群(Melosiraceae 科)。

这个群从发生系统上有两个分支:一支是经由海链藻科(Thalassiosiraceae)发展成圆心目主体的圆筛藻科(Coscinodiscaceae),不形成休眠孢子,而且几乎不是群体。一般休眠孢子和群体的形成,从发生系统上被认为是原始的硅藻。从这个群再进一步派生四个分支:①盖壳面被辐射状凹凸而分成若干扇形区,各具有不同网眼构造的种的群—Actinodiscaceae科;②具有由网眼变形而成透明的脉络和具中央区的种的群—Asterolampraeae科;③具有拟结节和眼纹的种的群—Eupodiscaceae科;④具有车轮状的梁状隆起的种的群—Stictodiscaceae科。

另一分支是长圆筒形中央部有突起的 *Pyxilla* 群(Pyxillaceae科),形成休眠孢子。具有中央突起和很多中间带的 *Rhizosoleninaceae* 科容易与 *Pyxilla* 群相联系。而 *Chaetocera* 科和 *Rhizosolenia* 群的联系虽还不明确,但 *Chaetoceros* 属, *Bacteriastrium* 属及 *Attheya* 属的隅角或刺毛与 *Rhizosolenia* 属的偏心隅角同属一种器官,所以把它归入该群比放在 *Biddulphia* 群更合适。

第三分支是 *Hemiaulaceae* 和 *Biddulphiaceae* 科,罗斯和辛斯(1971)认为 *Biddulphiaceae* 科可分为2个群,一部分是由 *Biddulphia* 属和 *Kittonia* 属所组成的一群,因已知其具有眼

纹，还是划入 Eupodiscaceae 科为好。按 Schütt—Karten—Hustedt 旧的分类体系，*Hemiaulus* 群是从 *Biddulphia* 群进化而来的，但 *Hemiaulus*、*Gomithecium* 等属一个体，2 个壳片的大小、构造均不同，而 *Biddulphia* 群则不是这样。和羽纹目硅藻相反，在圆心目的异种壳片是更原始的。再者，*Hemiaulus* 属和 *Cerataulina* 属有休眠孢子，而 *Biddulphia* 属没有，以上事实足以证明 *Hemiaulus* 群不是 *Biddulphia* 的子孙，而是它的祖先。*Hemiaulus* 群最重要的特征是隅角突起上具有爪状的棘，随着这个爪状棘的消失，*Hemiaulus* 属发展成为 *Biddulphia* 属。*Biddulphia* 群具有中间带和拟隔壁，而且多数的属都存在，是进化相当完好的种群。

羽纹目硅藻，无疑是从硅藻已经得到很好发育的白垩纪后期至第三纪初期，从圆心目硅藻派生而来的，可以认为，它大概是从没有纵沟向两壳面上有纵沟进化，哈斯莱 (1974) 认为，纵沟似乎是从唇形突起 (粘液孔) 形成的。

## 分 类 概 要

前述西蒙森 (1972) 在考察发生系统基础上研究的新的分类体系，是古生物学上卓越的一项成就，但尚未完成。因此，这里要介绍的是现在一般使用的 Schütt—Karten—Hustedt 的分类体系中胡斯特兹 (Hustedt 1956) “科属检索表” 的分类概要。这样的分类，似乎比按照分类学上的顺序把科和属罗列起来的分类法，既容易理解分类的基础，又便利实际运用。根据电子显微镜所作新的分类学研究结果，必须加以修改的一些地方，都标以 \* 记号，最后，并加了注释。还有在各属名后面括弧内分别注以略图的编号，再后面是表示一般的生态 (海—咸水生，淡—淡水生，浮—浮游生，底—底栖)。

## 黄褐色植物门 (Chromophyta)

### 硅藻纲 (Bacillariophyceae)

#### 1. 圆心目

- 1a. 眼纹、瘤状突出, 缺少突起, 有时因形成群体而有长的刺状突起, 壳面不分成扇形区。  
1. *Coscinodiscaceae* 科
- 1b. 眼纹、瘤状突出, 有突起, 壳面形成扇区。 2
- 2a. 壳面呈非对称半圆形。 3
- 2b. 没有 2a 的特征。 4
- 3a. 缺少拟隔壁。 8. *Hemidiscaceae* 科
- 3b. 有拟隔壁。 7. *Anaulaceae* 科
- 4a. 壳面被辐射状的肋、管或凹凸分割成扇形区。  
2. *Actinodiscaceae* 科
- 4b. 壳面没有如 4a 那样被分割。 5
- 5a. 壳呈细长棒状, 有很多中间带, 但无隔壁。 4. *Soleniaceae* 科
- 5b. 缺少中间带, 中间带有时有, 但短, 为钝角状突起 6
- 6a. 壳棒状, 周缘部分齿状, 或者壳的中央有根螺旋状扭曲的坚固突起, 或者中央突出。
- 6b. 缺少如同 6a 的突起。
- 7a. 以相互成螺旋状回转的突起, 形成锁状的群体。  
9. *Rutilariaceae* 科
- 7b. 突起保持互相不变, 只在其端部接触而形成群体。  
*Coscinodiscaceae* 科的一部分
- 8a. 由 2 根或 2 根以上非常长的刚毛形成群体。  
5. *Chaetoceraceae* 科
- 8b. 缺少如同 8a 那样的刚毛。 9
- 9a. 壳棒状, 有稍微深入切顶轴方向的拟隔壁。  
*Anaulaceae* 科的一部分。
- 9b. 壳是圆形或纺锤形, 有眼纹、瘤状突出, 突起。 10
- 10a. 壳面圆形, 偶有纺锤形的, 有眼纹。 3. *Eupodiscaceae* 科

10b. 壳面钝圆纺锤形或多角形, 缺少眼纹或有瘤状突出、突起, 或者有构造不一样的多角形。6. *Biddulphiaceae* 科.

10. *Thalassiosiraceae* 科\*

1. *Coscinodiscaceae* 科

1a. 壳圆筒形、球形或者以椭圆形构成连锁状的群体, 充分发达的壳带上有显著的构造。 2

1b. 壳呈盘状鼓形, 不形成群体, 只壳面上有显著的构造。 11

2a. 以胶质线或者中空之长棘, 形成连锁状群体。 3

2b. 形成和 2a 不一样的群体。 6

3a. 以壳面周缘部的棘形成群体。

*Stephanodiscus* 属 (图23—21) 海水、浮游

3b. 以胶质线形成的群体。 4

4a. 由一条非常粗的胶质线连结。 *Porosira* 属\*<sub>2</sub> (图20—1)

4b. 以和 4a 不一样的方法连结。 5

5a. 由几条分散的粘液质线连结。 *Coscosira* 属\*<sub>8</sub>

5b. 借壳面中央部分的一条粘液质线连结。

*Thalassiosira* 属\*<sub>2</sub>, 海水、浮游

6a. 壳面纺锤形。 *Druridgea* 属

6b. 壳面圆形。 7

7a. 壳壁构造非常粗, 有大的多角形网眼构造。 8

7b. 壳壁构造不明显。 9

8a. 壳面呈盘状, 形成紧密结合的连锁状群体。

*Endictya* 属 (图20—3)

8b. 壳面突出, 只有中央部分互相接触。 *Pyridicula* 属

9a. 壳面的中央部分平滑, 但在周缘有辐射状的条线。

*Hyalodiscus* (图20—4)

9b. 不同于9a。 10

10a. 壳呈微长的连锁状群体, 壳面上缺少束房状的构造。

*Melosira* 属, 淡水—海水, 底栖—浮游

(和 *Stephanodiscus* 属\*<sub>5</sub> 的一部分)

10b. 单个的, 或构成短的连锁形群体, 呈束房状构造。

*Podosira* 属 (图20—5)

11a. 壳面上的构造与 *Coscinodiscus* 属的构造相似, 壳环

- 部有边缘般宽大翼状附属物。 *Planktoniella* 属\*。(图20—6)
- 11b. 缺少象 11a 那样的附属物。 12
- 12a. 壳面盘行成同心圆，微细点纹排列成辐射状，在各列间有辐射状透明肋纹，周缘部有显著的棘列。  
*Stophanodiscus* 属\*。(图20—2) 淡水，浮游
- 12b. 不同于 12a 13
- 13a. 壳圆筒状，有很发达的壳带，壳面有微细的细点纹。  
*Ethmodiscus* 属，海水、浮游
- 13b. 壳没有显著的贯壳轴。 14
- 14a. 周边部和中央区的构造显著不同。 15
- 14b. 不同于 14a。
- 15a. 中央区围绕着一列大的孔纹 *Brightwellia* 属 (图20—7)
- 15b. 缺少象 15a 那样的环。 *Cyclotella* 属\*。(图20—8)
- 16a. 中央部有圆盘状的凹陷，周边部分呈城墙状的突出。  
*Craspedodiscus* 属 (图20—9)
- 16b. 壳面有不同形状的起伏 17
- 17a. 周缘部分的构造许多透明辐射状线纹中断。 *Coscinodiscus* 属
- 17b. 周缘部分没有辐射状的线纹。 *Coscinodiscus* 属，海水、浮游

## 2. Actinodiscaceae 科

- 1a. 壳面因扭曲成辐射状而成为上下交互的扇形区。 2
- 1b. 壳面大体上是平坦的。 3
- 2a. 周边部分有不同的辐射状的弯曲。 *Glorioptychus* 属
- 2b. 不像 2a 那样。 *Actinoptychus* 属，海水、浮游
- 3a. 借内侧开口的辐射状脉纹分割成扇形区。 4
- 3b. 辐射状的肋纹分割成扇形区。 5
- 4a. 全部脉纹一样粗细。  
*Rylondsia* 属和 *Asterolampra* 属 (图20—11) 海水、浮游
- 4b. 脉纹中有一条非常细，壳面左右对称，  
*Liriogramma* 属以及 *Asteromphalus* 属 (图20—10) 海水、浮游
- 5a. 由长短交错而坚固的辐射状的肋和许多呈同心圆的肋交叉成蜘蛛网状。 *Arachnoidiscus* 属 (图20—15) 海水，底栖
- 5b. 壳面上有非常纤细的构造，不呈蜘蛛网状。 6
- 6a. 周边呈显著波状，并具有许多辐射状的沟。



*Anthodiscus* 属 (图20—12)

6b. 周边部分平坦, 或微呈波状, 缺少辐射状的沟。

*Stictodiscus* 属 (图20—13) 海水、浮游

### 3. Eupodiscaceae 科

1a. 壳面构造如龟背的图案。

*Tabulina* 属和 *Chelonidiscus* 属 (图20—18)

1b. 不同于1a. 2

2a. 壳的中央部分显著隆起, 有坚固而粗大的棘状突起。

*Pyrgodiscus* 属 (图20—18)

2b. 不同于2a. 3

3a. 周缘部分有一个眼纹。 4

3b. 眼纹以外还有瘤状突起。 7

4a. 有粗的网眼构造, 中央部分的网眼与3条偏心的平行线交叉。 *Roperia* 属 (图20—14) 海水、浮游

4b. 不同于4a. 5

5a. 中央部分眼纹大。 *Mammula* 属

5b. 周边部分眼纹小。 6

6a. 壳面被放射状肋纹分割成许多的扇形区。 *Stictocyclus* 属

6b. 壳面上缺少那样的肋纹。

*Actinocyclus* (图7—C, D) 海水、底栖

7a. 缺少眼纹, 辐射状排列的隆起部分上有许多圆筒形或乳头状突起。 *Aulacodiscus* 属 (图20—16) 海水、底栖

7b. 壳面上的瘤状突起处有眼纹。 8

8a. 周缘部分网眼小。 9

8b. 在周缘部分略朝内侧眼纹稍大。 10

9a. 壳面平坦, 有粗大的网眼构造。 *Eupodiscus* 属 (图20—17)

9b. 壳面呈微突状, 构造很细。 *Ratrayella* 属 (图20—19)

10a. 在壳面上眼纹呈不规则形状, 偶有成纵长形的。

*Fenestrella* 属

10b. 眼纹在瘤状突出处构成清楚的形状 11

11a. 有中央区。 *Auliscus* 属 (图21—11)

11b. 缺少中央区。 *Pseudoanliscus* 属

#### 4. Soleniaceae 科

属于这个科的大种分部，因壳壁非常薄弱，作为化石产出不多，仅限于下面两个属：

*Rhizosolenia* 属 (图16)：壳圆筒形，贯壳轴显著长，一般多数有中间带，有时也有无中间带的种。壳面呈偏心或同心的圆锥形，顶端笔直或弯曲，有棘状突出或有长的刺。

*Bacteriosira* 属<sup>+</sup>：壳形圆筒，成紧密结合连锁状的群体，有一对中间带，周缘部分有一列微小的刺。

#### 5. Chaetoceraceae 科

1a. 壳面椭圆形，只有一对刺毛。 *Chaetoceros* 属，海水、浮游

1b. 壳面圆形，有许多放射状的刺毛。

*Bacteriostrium* 属，海水、浮游

#### 6. Biddulphiaceae 科

1a. 有瘤状突出或隅角突起的一端不呈钩状。 2

1b. 隅角突起的一端呈钩状。 12

2a. 外端伞状，有稍微扩大的2—3条长突起。

*Kittonia* 属 (图21—2)

2b. 缺少如2a的突起。 3

3a. 壳面呈三角形或多角形。 4

3b. 壳面呈圆形或钝圆纺锤形。 7

4a. 壳面的中央部分有粗而长的棒状突起。 *Ditylum* 属

4b. 缺少如4a的突起。 5

5a. 由壳环面生长的壳膜连结而形成纵长的锁状群体。

*Lithodesmium* 属 (图23—15)

5b. 缺少如5a的壳膜。 6

6a. 周边及中央部分均由不同构造的辐射状肋所构成。

*Entogonia* 属

6b. 缺少如6a的周边部分。

*Triceratium* 属 (图23—16) 海水、底栖

7a. 壳面圆形，具有发达的网眼构造。

*Isthmia* 属 (图21—5) 海水、底栖

7b. 壳面钝圆纺锤形。 8

- 8a. 壳壁硅质化差, 呈纤细的构造。 9
- 8b. 壳壁硅质化增厚, 一般有粗的网眼构造。 10
- 9a. 贯壳轴直而短。 *Climacodium* 属
- 9b. 贯壳轴弯曲。 *Eucampia* 属(图21—3)
- 10a. 壳在贯壳轴上扭曲着。 11
- 10b. 壳不扭曲。 *Biddulphia* 属(图5—D)海水、底栖
- 11a. 壳面有瘤状突出、 *Cerataulus* 属(图21—9)
- 11b. 周边部分有瘤状突出。 *Huttoniella* 属
- 12a. 壳面圆形, 有显著短的突起。 *Cerataulina* 属
- 12b. 壳面椭圆形或多角形, 有长的突起。 13
- 13a. 壳面钝圆纺锤形。 *Hemiaulus* 属(图23—19)海水、浮游
- 13b. 壳面三角形或四角形。 *Trinacria* 属, 海水、浮游

### 7. Anaulaceae 科

- 1a. 顶轴弯曲。 2
- 1b. 顶轴直的。 3
- 2a. 顶轴弓形弯曲。 *Eunotogramma* 属
- 2b. 顶轴 S 形弯曲。 *Helminthopsis* 属
- 3a. 拟隔壁在壳面下方弯曲, 至壳的中央部分与壳面平行。  
*Porpeia* 属
- 3b. 缺少像3a那样的拟隔壁。 4
- 4a. 壳呈纤细形, 拟隔壁之周边部分不增厚。  
*Anaulus* 属(图21—4)
- 4b. 壳坚固, 壳面周边部分呈波状, 拟隔壁两端增厚很多。  
*Terpsinoe* 属

### 8. Hemidiscaceae 科

- 1a. 多数有中间带, 壳面上散布着类似细孔的东西。  
*Eunotiopsis* 属
- 1b. 缺少中间带, 壳面上有微细六角形网眼作辐射状排列,  
有时造成画区。 *Hemidiscus* 属海栖、底栖或浮游

### 9. Rutilariaceae 科

含有必须从分类学方面加以探讨的 8 个属, 代表属为 *Rutilaria* (图21—

(注)\*莱博尔(lebour 1930)曾把 *Thalassiosira*, *Coscinosira*, *Lauderia*, *Schroederella*, *Bacteriosira* 5个属归成 *Thalassiosiraceae* 科。之后哈斯莱 (Hasle 1973) 又从下面 10 个属恢复了这个科。

### 10. *Thalassiosiraceae* 科

壳呈圆盘状或短圆筒形，壳面中央部分有一根或一根以上的小管，有时有大的网眼纹饰，或借这种小管使邻接细胞成为群体，或借从管中出来的原生质丝形成群体。壳面上有辐射状的网眼构造，周边部分有一个唇形突起，由 *Porosira* 属\*<sub>2</sub>、*Thalassiosira* 属\*<sub>3</sub>、*Planktoniella* 属\*<sub>4</sub>、*Stephanodiscus* 属\*<sub>5</sub>、*Cyclotella* 属\*<sub>6</sub>、*Bacteriosira* 属\*<sub>7</sub>、*Skeletonema* 属、*Lauderia* 属、*Detonula* 属、*Minidiscus* 属构成。

\*<sub>2-7</sub>\* 这些属是赫斯莱 (1973) 编入 *Thalassiosiraceae* 科的。\*<sub>8</sub> 哈斯莱 (1972) 的电子显微镜研究结果，把这个属的种全部编入 *Thalassiosira* 属。

### 羽 纹 目

- |                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1a. 缺少纵沟。               | 11. <i>Fragilariaceae</i> 科 |
| 1b. 有纵沟。                | 2                           |
| 2a. 纵沟短，或没有结节，即使有亦非常微弱。 | 12. <i>Eunotiaceae</i> 科    |
| 2b. 不一定那个壳面上有纵沟。        | 3                           |
| 3a. 只有一个壳面有纵沟，其它壳面没有。   | 13. <i>Achnanthaceae</i> 科  |
| 3b. 两个壳面均有纵沟            | 4                           |
| 4a. 缺少管状纵沟。             | 14. <i>Naviculaceae</i> 科   |
| 4b. 具管状纵沟。              | 5                           |
| 5a. 缺少龙骨。               | 15. <i>Epithemiaceae</i> 科  |
| 5b. 有显著的龙骨或翼状突起。        | 6                           |
| 6a. 壳面上或周边部分有龙骨状的纵沟。    | 16. <i>Nitzschiaceae</i> 科  |
| 6b. 有管状纵沟的龙骨，周缘部分卷曲。    | 17. <i>Surirellaceae</i> 科  |

### 11. *Fragilariaceae* 科

- |                    |                           |
|--------------------|---------------------------|
| 1a. 从壳带方面看，壳呈弓形弯曲。 | 2                         |
| 1b. 无1a弓形的弯曲。      | 3                         |
| 2a. 有多数的中间带。       | <i>Eutopyla</i> 属 (图21—8) |
| 2b. 缺少中间带。         | <i>Gephyria</i> 属 (图21—9) |

- 3a. 有中间带和很发达的隔壁。 4.
- 3b. 缺少隔壁。 12
- 4a. 顶轴同极。 5
- 4b. 顶轴异极。 10
- 5a. 有平行于切顶轴的坚固肋纹, 其间有点纹构成的条线。  
*Tetracyclus* 属 (图17—a) 淡、底
- 5b. 无如5a的构造。 6
- 6a. 有两对隔壁。 7
- 6b. 有多对隔壁。 8
- 7a. 隔壁为波状。  
*Grammatophora* 属 (图21—10)
- 7b. 隔壁为平盘状。  
*Tabellaria* 属 (图21—13) 淡、底
- 8a. 有构造坚固的中间带。  
*Rhabdonema* 属 (图21—12)
- 8b. 壳壁的构造纤细。 9
- 9a. 海生种。  
*Striatella* 属
- 9b. 淡水种。  
*Tabellaria* 属
- 10a. 具有隔壁的中间带。 11
- 10b. 具有多个隔壁的中间带。  
*Climacosphenia* 属 (图17—d)
- 11a. 壳的顶端部分有隔壁。  
*Licmophora* 属 (图21—11)
- 11b. 微离壳的顶端部之处有隔壁。  
*Licmosphenia* 属
- 12a. 切顶轴方向有坚固的肋纹和由细微点纹构成的条线。 13
- 12b. 缺少如12a的构造。 17
- 13a. 顶轴异极。  
*Meridion* 属 (图21—15)
- 13b. 顶轴同极。 14
- 14a. 一边壳面的中央部分有一对肋。  
*Cylophora* 属
- 14b. 两边壳面有数目的肋。 15
- 15a. 中央部分有无构造的空白区。 16
- 15b. 缺少如15a的空白区。  
*Diatoma* 属 (图21—18) 淡、底
- 16a. 中央部分为带状。  
*Plagiogramma* 属 (图21—19)
- 16b. 不同于16a。  
*Omphatopsis* 属 (图8.23—20)
- 17a. 壳三角形、星形。 18
- 17b. 壳钝圆纺锤形。 19
- 18a. 有长而细的臂。  
*Centronella* 属 (图8.21—17)
- 18b. 有短的臂。  
*Fragilaria* 属的一部分

19a. 顶轴弯曲。	20
19b. 顶轴直的。	
20a. 顶轴异极。	<i>Camptostylus</i> 属(图21—20)
20b. 顶轴同极。	21
21a. 壳面非对称。	<i>Campylosira</i> 属(图21—20)
21b. 壳面对称。	22
22a. 壳的构造被沿长轴方向肋的中线所中断。	23
22b. 缺少如 22a 的中线。	24
23a. 形成带状的群体。	<i>Ceratoneis</i> 属
23b. 单独的个体。	<i>Synedra</i> 属的一部分
24a. 切顶轴方向有肋纹, 肋纹之间有两列互相交叉的开口	<i>Pseudoeunotia</i> 属, 海、浮
24b. 切顶轴方向有点列, 极的部分有纵沟的萌芽。	<i>Amphicampa</i> 属
25a. 形成星形或 Z 形的群体。	26
25b. 没有形成如 25a 的群体或为单独个体。	28
26a. 切顶轴方向的细微条线达到中央的肋纹。	<i>Asterionella</i> 属(图21—14)
26b. 壳面的构造仅存在于周缘部分, 粗糙。	27
27a. 壳的两端同形。	<i>Thalassionema</i> 属, 海、浮
27b. 壳的两端异形。	<i>Thalassiothrix</i> 属的一部分
28a. 壳呈非常长的棒状, 两端异形。	<i>Thalassiothrix</i> 属的一部分
28b. 壳呈楔形, 显著异极。	29
29a. 顶轴异极。	30
29b. 顶轴同极。	34
30a. 切顶轴方向有坚固的肋, 肋间有粗的开口或点纹。	<i>Podocystics</i> 属
30b. 构造纤细。	31
31a. 肋间为均质有非常纤细的类细孔。	<i>Opephora</i> 属(图21—22)
31b. 有切顶点纹和切顶线。	32
32a. 壳面的构造被中央线中断。	<i>Synedrasphemia</i> 属
32b. 切顶条线在轴域被中断。	33
33a. 极区呈不同的构造。	<i>Sceptroneis</i> 属

- 33b. 极区透明或没有特别不同的构造。 *Trachysphenia* 属
- 34a. 形成带状群体。 35
- 34b. 没有形成如 34a 的群体。 41
- 35a. 壳面构造没有被中央肋或中央域中断, 或无显著的中央肋。 36
- 35b. 有显著的中央肋或中央域。 37
- 36a. 有切顶肋和两列开口列。 *Fragilariopsis* 属, 海、浮
- 36b. 呈网眼构造, 缺少显著的切顶肋。 *Cymatosira* 属 (图21—16)
- 37a. 壳面为波状, 故从壳带观察带状群体间有间隙。 38
- 37b. 不同于 37a。 40
- 38a. 为淡水生。 *Fragilaria* 属的一部分
- 38b. 为海生。 39
- 39a. 有拟中央结节。 *Gyphodesmis* 属
- 39b. 不同于 39a。 *Dimerogramma* 属 (图21—23)
- 40a. 有大而呈圆形类细孔状的切顶点纹列。 *Rhaphoneis* 属
- 40b. 有小的点纹切顶条线。 *Fragilaria* 属 (图21—21) 淡、底
- 41a. 壳椭圆形, 有大的类细孔状的切顶点纹列, 或形成带状群体或为单独个体。 42
- 41b. 壳棒状, 有纤细构造。 43
- 42a. 壳在顶轴上面扭曲着。 *Weissflogia* 属
- 42b. 壳不扭曲。 *Rhaphoneis* 属的一部分
- 43a. 端极的前面有短的棘, 构造只限周缘部。 *Thalassionema* 属, 海、浮
- 43b. 缺少如 43a 的棘。 44
- 44a. 中央线两侧的构造被顶轴方向的透明带中断。 *Clavacula* 属
- 44b. 缺少如 44a 的透明带。 45
- 45a. 壳呈棒状, 壳面为直线状或披针形。 *Synedra* 属 (图22—1) 淡、底
- 45b. 壳管状, 稍微扭曲着。 *Tubulaia* 属

## 12. Eunotiaceae 科

- 1a. 顶轴为异极。 42
- 1b. 顶轴为同极。 43
- 2a. 顶轴直。 *Peronia* 属 (图22—2)

- 2b. 顶轴弯曲。 *Actinella* 属  
 3a. 纵沟几乎没有, 而呈细孔状。 *Pseudohimantidium* 属  
 3b. 有短的纵沟。 *Eunotia* 属 (图22—4) 淡、底

### 13. Achnanthaceae 科

- 1a. 顶轴异极。 *Rhoicosphenia* 属 (图22—10)  
 1b. 顶轴同极。 2  
 2a. 纵沟为偏心状。 *Anorhoneis* 属 (图22—12)  
 2b. 纵沟在中央线上。 3  
 3a. 壳面的内侧有肋。 *Campyloneis* 属 (图22—11)  
 3b. 壳的内侧完全缺少肋, 或限于狭窄的周边部分有肋。 4  
 4a. 壳带观察顶轴弯曲, 粘质柄上形成带状群体, 或为单  
 独个体。 *Achnanthes* 属  
 4b. 顶轴直, 缺少粘质柄。 *Cocconeis* 属 (图22—5) 淡—海、底

### 14. Naviculaceae 科

- 1a. 在龙骨或翼状隆起上有纵沟。 2  
 1b. 壳面上有纵沟。 4  
 2a. 翼状隆起 S 形。 *Amphiprora* 属 (图22—7)  
 2b. 不同于2a。 3  
 3a. 切顶轴异极。 *Auricula* 属 (图22—9)  
 3b. 切顶轴同极。 *Tropidoneis* 属 (图22—6)  
 4a. 顶轴或切顶轴二者之一异极, 或两轴都呈异极。 5  
 4b. 两轴同极。 12  
 5a. 顶轴异极。 6  
 5b. 顶轴同极, 切顶轴异极。 9  
 6a. 纵沟的两极裂开向侧方弯曲, 壳有时微呈背腹性。  
*Didymosphenia* 属  
 6b. 脚端处的极裂微直。 7  
 7a. 切顶轴同极。 8  
 7b. 切顶轴异极。 *Gomphocymbella* 属  
 8a. 纵沟非常短。 *Gomphopleura* 属, 淡、底  
 8b. 纵沟达到壳的中央。 *Gomphonema* 属 (图22—8)  
 9a. 贯壳轴显著弯曲, 壳环观为椭圆形。



- Amphora* 属 (图22—3)
- 9b. 贯壳轴或直、或稍微弯曲, 壳环观为线状。 10
- 10a. 形成带状群体。 *Cantenula* 属
- 10b. 单独个体。 11
- 11a. 有三条偏心而平行条线交叉的构造。
- Toxonidea* 属 (图22—16)
- 11b. 不同于 11a 的构造, 切顶点线在纵沟的两侧微呈辐射状的排列。 *Cymbella* 属 (图22—4) 淡、底
- 12a. 中间带、隔壁或周边部分有画纹区。 13
- 12b. 缺少隔壁。 14
- 13a. 中间带及平坦部分有多孔质的隔壁。
- Diatomella* 属 (图17—6)
- 13b. 中间带和周边部有画纹区。 *Mastogloia* 属 (图22—13)
- 14a. 外侧开口, 内侧具有孔膜的小室构造的壳壁。 *Dictyoneis* 属
- 14b. 缺少如 14a 的壳壁。 15
- 15a. 顶轴微呈 S 形。 16
- 15b. 不同于 15a。 17
- 16a. 有条线直角交叉的格子花纹。 *Gyrosigma* 属 (图22—19)
- 16b. 有三条条线交叉的六角形花纹。 *Pleurosigma* 属 (图22—15)
- 17a. 顶轴稍微扭曲, 或纵沟倾斜。 18
- 17b. 顶轴不扭曲。 19
- 18a. 顶轴方向 2 条肋间有纵沟。 *Scoliotropsis* 属 (图22—20)
- 18b. 缺少如 18a 的肋。 *Scolioleura* 属 (图22—17)
- 19a. 顶轴方向的 2 根管间有纵沟。 *Diploneis* 属 (图23—1)
- 19b. 缺少如 19a 的管。 20
- 20a. 切顶孔房在肋或内侧开口, 外侧被均质顶轴方向的带所中断。 21
- 20b. 不同于 20a。 23
- 21a. 切顶孔房被稍微宽大的顶轴方向的肋中断。 *Oestrupia* 属
- 21b. 孔房未被中断。 22
- 22a. 壳平盘状, 构造非常粗。 *Pinnularia* 属, 淡—海, 底
- 22b. 壳如圆顶棚状鼓起, 构造纤细。 *Caloneis* 属 (图23—5)
- 23a. 在顶轴方向 2 条肋间有纵沟。 24

- 23b. 缺少如 23a 的肋。 26
- 24a. 壳椭圆形或长椭圆形。 25
- 24b. 壳四角形。 *Cistula* 属
- 25a. 纵沟极结节处的内裂隙长。 *Fichea* 属
- 25b. 纵沟极结节处的内裂隙短。 *Frustulia* 属 (图23—6)
- 26a. 纵沟短, 达不到壳的中央。 27
- 26b. 纵沟不短。 29
- 27a. 有切顶肋和两列纤细的类细孔, 纵沟稍短。 *Brebissonia* 属
- 27b. 不同于 27a, 纵沟更短。 28
- 28a. 纵沟远离极。 *Rouxia* 属
- 28b. 纵沟靠近极。 *Amphipleura* 属 (图23—2)
- 29a. 周边部分有显著的顶轴方向的肋, 中央部分的细孔在相反两侧排列成弯曲的长钥匙形。 *Neidium* 属 (图23—4)
- 29b. 不同于 29a。 30
- 30a. 周边部分有短的肋。 *Mastoneis* 属
- 30b. 缺少如 30a 的肋。 31
- 31a. 中央部分凸状隆起, 向周边部分急剧倾斜。 32
- 31b. 缺少如 31a 的隆起。 34
- 32a. 周缘部分透明。 *Scoresbya* 属
- 32b. 至周缘部分有构造。 33
- 33a. 有十字结节。 *Pseudoamphiprora* 属
- 33b. 缺少十字结节。 *Cymatoneis* 属 (图23—7)
- 34a. 有达周缘部分的十字结节, 有时成裂沟。 *Stauroneis* 属 (图23—8)
- 34b. 中央结节和中央区域为互相独立的构造。 35
- 35a. 壳面为孔房构造, 壳壁外侧为细孔所包覆, 内侧为开口。 *Tracynesis* 属 (图23—9)
- 35b. 缺少如 35a 壳壁的构造。 36
- 36a. 极结节缺少外裂隙, 内裂隙是直的。 *Stenoneis* 属
- 36b. 缺少如 36a 的极结节。 37
- 37a. 切顶条线明显的被微呈波状的顶轴方向的肋所中断, 构成向切顶轴方向延伸的类细孔状的构造。 *Anomoensis* 属
- 37b. 切顶点纹或线纹没有伸向切顶轴方向。

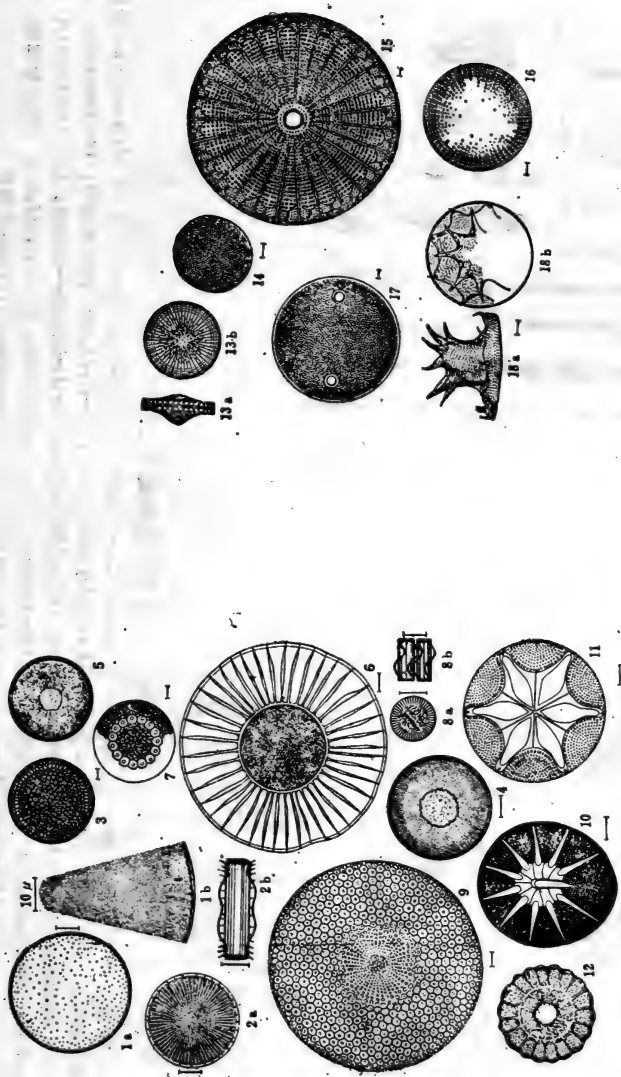


图 20 硅藻的主要属 (之一)

- 1—*Porosira*, 1b—1a的一部分放大, 2—*Stephanodiscus*, 2b—壳环面, 3—*Endictyus*, 4—*Hyalodiscus*, 5—*Podosira*, 6—*Planktoniella*, 7—*Brighiellia*, 8—*Cyclotella*, 8b—壳环面, 9—*Craspedodiscus*, 10—*Asseromphala*, 11—*Asterolampraria*, 12—*Anthodiscus*, 13—*Sitodiscus*, 13a—壳环面, 14—*ria*, 15—*Arachnodiscus*, 16—*Antlacodiscus*, 17—*Eupodiscus*, 18—*Pyrgodiscus*, 18a—壳环面

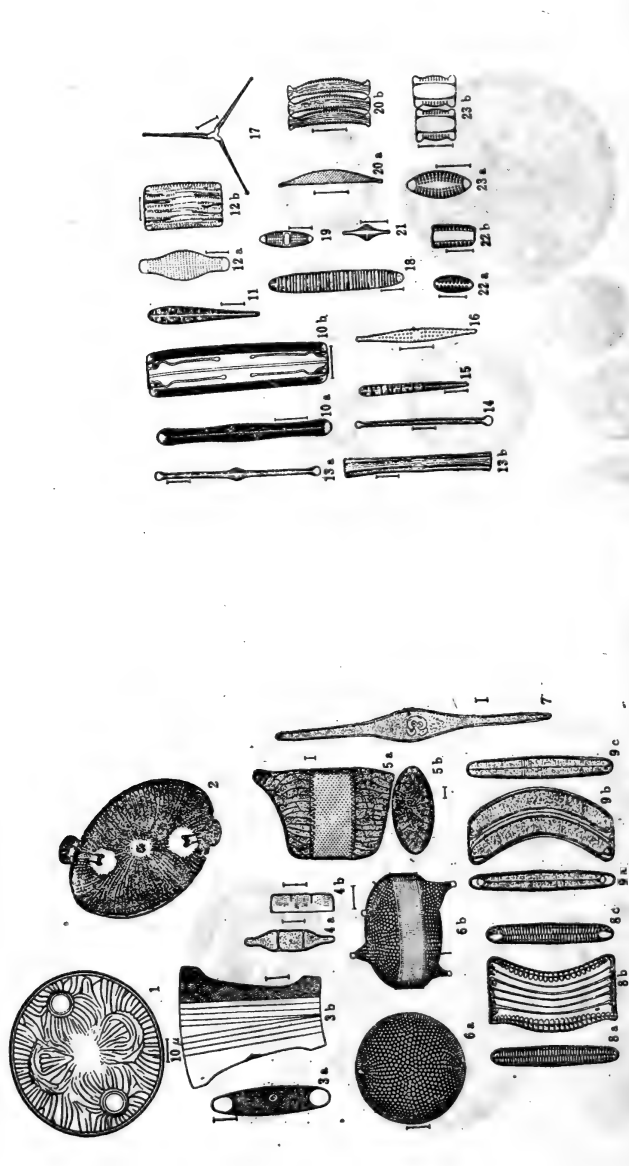


图 21 硅藻的主要属 (之二)

1—*Auliscus*, 2—*Kitonia*, 2b—长轴面, 3—*Eucampias*, 3b—长轴面, 4—*Anaulus*, 4b—壳环面, 5—*Isthmia*, 5a—长轴面, 6—*Cenaulus*, 6b—壳环面, 7—*Rustilaria*, 8—*Entopylas*, 8b—长轴面, 9—*Gephyria*, 9b—长轴面, 10—*Grammatophora*, 10b—长轴面, 11—*Licmophora*, 12—*Rhodonemas*, 12b—长轴面, 13—*Tabellaria*, 13b—长轴面, 14—*Asterionella*, 15—*Meridion*, 16—*Cymatosira*, 17—*Centronella*, 18—*Diatomas*, 19—*Plagiogramma*, 20—*Campylosira*, 20b—长轴面, 21—*Fragilaria*, 22—*Opephora*, 22b—长轴面, 23—*Dimerogramma*, 23b—长轴面

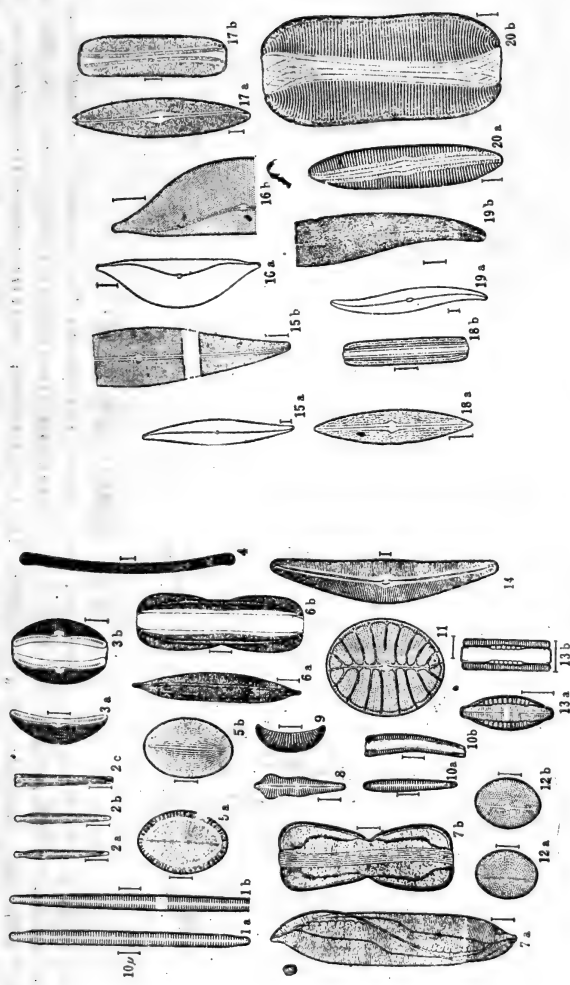


图 22 筛硅藻的主要属 (之三)

1—*Synedra*, 1b—中央区的放大; 2—*Peronia*, 2b—长轴面; 3—*Amphera*, 3b—长轴面; 4—*Eunotia*, 5—*Cocconeis*, 6—*Tropidoneis*, 6b—长轴面; 7—*Amphiprora*, 7b—长轴面; 8—*Gomphonema*, 9—*Auricula*, 10—*Rhoicosphemia*, 10b—长轴面; 11—*Campyloneis*, 12—*Anorthoneis*, 13b—长轴面; 14—*Cymbella*, 15—*Pleurosigma*, 15b—放大图; 16—*Toxonidea*, 16b—放大图; 17—*Scoliotroura*, 17b—长轴面; 18—*Anomoloneis*, 18b—长轴面; 19—*Gyrosigma*, 19 b—放大图; 20—*Scoliotropis*, 20b—长轴面

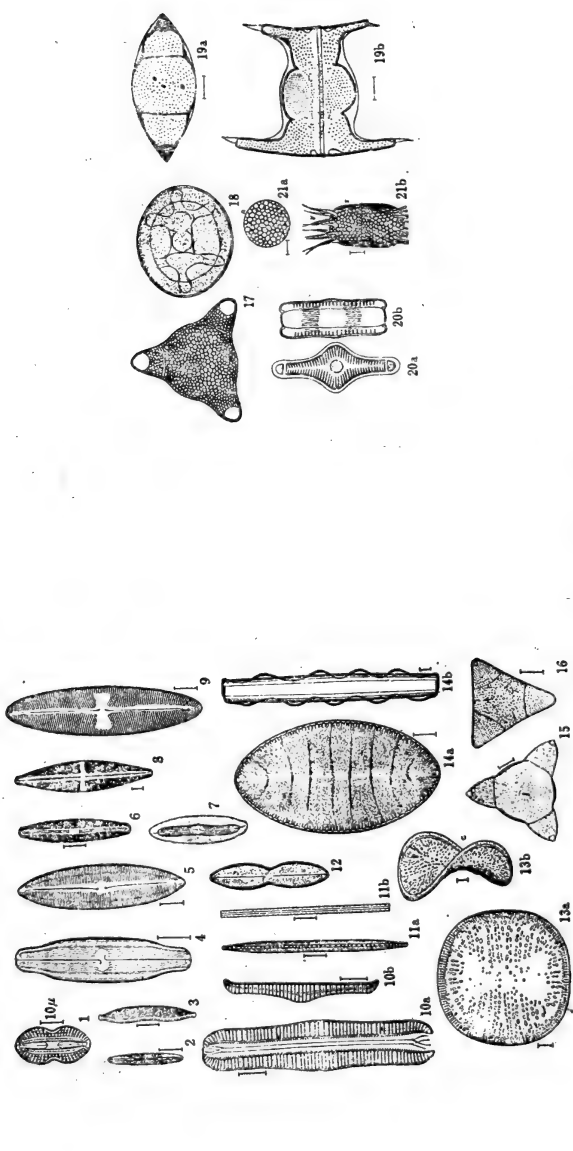


图 23 硅藻的主要属 (之四)

1—*Diploneis*, 2—*Amphipleura*, 3—*Hantzschia*, 4—*Neidium*, 5—*Caloneis*, 6—*Frustulia*, 7—*Cymatoneis*, 8—*Siauroneis*,  
 9—*Trachyneis*, 10—*Rhopalodius*, 10a—长轴面, 11a—*Bacillaria*, 11b—长轴面, 12—*Dicyonais*, 13a—*Campylodiscus*,  
 13b—壳环面, 14a—*Cymatopleura*, 14b—长轴面, 15—*Lithodesmium*, 16—*Triceratium*, 17—*Hydrosera*, 18—*Chelonio-*  
*discus*, 19a—*Hemiaulus*, 19b—长轴面, 20a—*Omphalopsis*, 20b—长轴面, 21a—*Stephanopyxis*, 21b—壳环面

*Navicula* 属, 淡水—海水、底栖—浮游

### 15. Epithemiaceae 科

1a. 龙骨上缺少纵沟, 管的内壁有明显的开口。 2

1b. 龙骨上有纵沟, 管的内壁开口不明显。 5

*Rhopalodia* 属 (图23—1)

2a. 顶轴直的。 *Denticula* 属 (图17—f、g) 淡、海水, 底栖—浮游

2b. 顶轴弯曲。 *Epithemia* 属 (图13—a、b) 淡、底栖

### 16. Nitzschiaceae 科

1a. 顶轴扭曲成螺旋状。 *Cylindrotheca* 属

1b. 不同于1a。 2

2a. 壳面为对称的。 3

2b. 不同于2a。 6

3a. 切顶轴异极。 4

3b. 切顶轴同极。 5

4a. 顶轴当中弯曲, 有龙骨。 *Hantzschia* 属 (图23—3)

4b. 顶轴当中弯曲, 无龙骨。 *Cymbellonitzschia* 属

5a. 壳侧连结, 形成板状群体。 *Bacillaria* 属 (图23—11)

5b. 未形成如5a的群体。 *Nitzschia* 属的一部分

6a. 顶轴异极, 壳楔形。 *Gomphonitzschia* 属

6b. 顶轴同极。 7

7a. 有切顶肋和两列纤细的类细孔, 壳纺锤形, 形成连锁状群体。 *Pseudonitzschia* 属

7b. 不同于7a。 *Nitzschia* 属 (图14), 淡、海水, 底栖—浮游

### 17. Surirellaceae 科

1a. 2个壳片的贯壳轴平行, 或作锐角交叉。 2

1b. 贯壳轴直角相交, 壳面常为鞍状弯曲。

*Campylodiscus* 属 (图23—13)

2a. 壳面在顶轴方向微呈波状。 *Cymatopleura* 属 (图23—14)

2b. 壳面顶轴方向是直的, 或弯曲而非波状。

*Surirella* 属 (图15) 淡、海水、底栖

(注)\* 哈斯莱(1970)电子显微镜研究结果, 这个属的种编入

*Nitzschia*.

## 五、现代硅藻的生态和分布

硅藻，从其生活所必需的光、温度等物理条件以及化学条件来看，它可以生长在任何水域中，甚至可以生长在保持一定水分的已经变干了的地方。目前，有关硅藻生态学方面的研究成果已积累很多，对控制硅藻分布的环境因素，亦已十分清楚。

### (一) 硅藻的生态划分及其分布

控制硅藻分布的盐类，首先是氯化钠(NaCl)。按氯化钠的含量，可将地表水体划分为咸水、半咸水和淡水。其中咸水硅藻与半咸水硅藻，或半咸水硅藻与淡水硅藻之间的差别，虽然尚有些不够清楚的地方，但咸水硅藻与淡水硅藻之间的差别，是明确的。因此，以咸水、半咸水和淡水三者作为硅藻生态分类的三个基本单位，还是合适的。

许多学者(希洛克门, 1928; 佩斯塔罗齐, 1942; 福吉特, 1954等)都曾研究过硅藻分布与盐分的关系。克尔贝(1927, 1932)所提出的下述分类体系，至今仍广被应用。

1. 贫盐型：生活在盐分5‰以下的淡水中的硅藻。又可分为：

a) 喜盐型——本来是生活在淡水中的硅藻，由于少量盐分的吸引，有时也出现于半咸水中，如 *Navicula cincta*, *Caloneis amphibiaena*, *Cyclotella meneghiniana*, *Diatoma elongatum*, *Navicula hungarica*, *Epithemia sorex* 等。

b) 不定型——即一般所说的淡水种的大部分，在盐分少的情况下，其生活不受影响，如 *Diploneis elliptica*, *Cymbella lacustris*, *Gyrosigma attenuatum*, *Hantzschia elongata*, *Syne-*



*dra ulna*, *Rhopalodia gibba*, *Epithemia trugida* 等。

c) 嫌盐型——非常嫌恶盐分，只能在极纯净的水中才能生活，如 *Eunotia*、*Actinella*、*Stenopterobia* 等属的绝大多数种，*Pinnularia*、*Erustulia* 属的若干种，和 *Tabellaria flocculosa* 等。

2. 中盐型：生活在盐分约5—20‰的半咸水中的种，如 *Acnhanthes brevipes*, *Amphora coffeaeformis*, *Nitzschia hungarica*, *Navicula salinarum*, *Stauronies salina*, *Navicula integra*, *Diploneis interrupta* 等。

3. 正盐型：生活在盐分为30—40‰的水中的种，即一般海洋中的硅藻。

4. 高盐种：生活在盐分比海水还高的水域中的硅藻，如 *Navicula longirostris* 等。

后来，西蒙森 (Simonsen, 1962) 根据对波罗的海西部海水——半咸水硅藻的盐分容许范围的调查研究，提出了按盐分划分的硅藻个体分类体系(图24)。其中贫盐种相当于淡水种，中盐种相

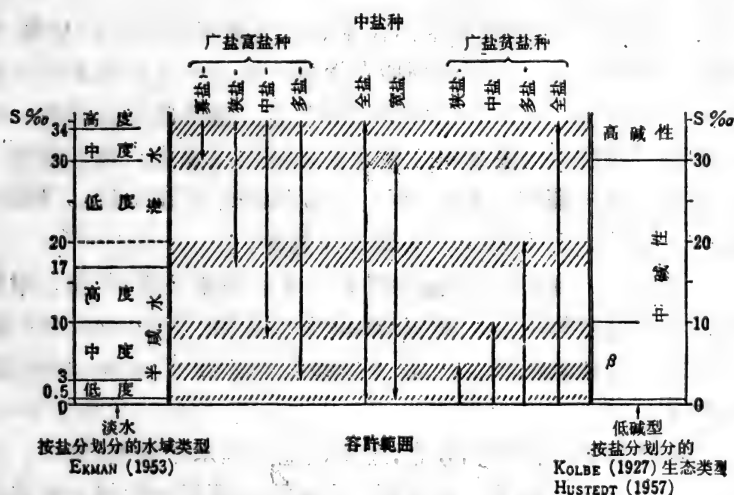


图 24 按盐分划分的硅藻个体生态类型

(据西蒙森, 1962)

当于半咸水种，高盐种相当于海水种。

下面分别叙述一下生活在淡水、半咸水和海水中的硅藻是怎样适应其所在生活环境的？支配它们生长、繁殖的环境因素是什么？以及这些环境因素又是怎样支配它们的生长和繁殖的。

## (二) 淡 水 硅 藻

淡水硅藻的生活型和分布特点如下：

1. 浮游型：淡水区的“浮游种”，一般是指沿岸底栖种在其无性繁殖期表现为浮游形式的种。象在海水区那样整个生长过程都表现为浮游形式的真正的浮游硅藻，未曾见于淡水区。淡水浮游硅藻，有的个体很小 (*nannoplankton*)，有的较大 (*net plankton*)。个体小的有 *Stephanodiscus hantzschii*, *Cyclotella glomerata*, *C. meneghiniana*, *C. kiitzingiana* 和 *C. comta* 等；较大的有 *Rhizosolenia*、*Synedra*、*Asterionella*、*Melosira* 和 *Eragilaria* 等属的各个种。

2. 底栖种：底栖硅藻生活在水底岩石或沉积物上。大部具有纵沟，借以移动。底栖硅藻所在深度，决定于水的透光状况和水中氧、硫化氢、甲烷、二氧化碳等含量。这类硅藻在湖沼、池塘、小溪、河流中均易繁殖。但寒带地区的浅水中，数量较少。属于底栖型的硅藻有，*Navicula*、*Surirella*、*Nitzschia*、*Pleurosigma* 和 *Compylodiscus* 等属的一些种。

3. 附着种：以胶质分泌物附着于其他物体上的硅藻。附着形式，有的是整体附着，如 *Achnanthes* 属和 *Cocconeis* 属；有的呈床状、管状和柄状等，如 *Cymbella* 属和 *Gomphonema* 属的一些种。

淡水硅藻的生活型和分布，还明显地受到水体类型（湖沼、池塘、泉、小溪、河流等）的控制。在象湖沼那样大体静止状态的水中的硅藻，根据水中营养物质丰富与否和是否有腐殖质，其种类和数量也有所不同。

(1) 富营养水(湖): 水中营养物质丰富(尤其磷和氮), 硅藻产量高。多 *Stephanodiscus binderanus*, *Cyclotella dubia*, *Asterionella farmosa* 等浮游种, 和 *Cymbella*, *Epithemia*, *Gomphonema*, *Navicula* 等属的沿岸种。

(2) 贫营养水(湖): 营养物质贫乏, 硅藻产量低, 一般浮游种较少, *Cyclotella comta*, *C. kiitzingiana*, *Tabellaria fenestrata* 等底栖种较多。

(3) 腐殖营养水(湖): 水中含腐殖质较多, 营养物质和氧较少, 硅藻产量低, 常见 *Eunotia* 属的各个种与 *Pinnularia*, *Frustulia*, *Stenopterobia* 等属的一些特定种共生。

奈嘎德(1949)和福吉特(1954)曾建议按圆心目硅藻与羽纹目硅藻的相对比率和优势种来确定湖的营养状况。

关于流动水体中硅藻的特点, 大体如下:

(1) 一般流水: 在流动很缓慢的流水中, 浮游型硅藻少。在流动较快的流水中, 一般不生长狭长形状的硅藻, 多见 *Achnanthes*, *Cocconeis*, *Cymbella*, *Gomphonema* 等属的附着种。硅藻在清静的流水中比在混浊的流水中更易于繁殖。

(2) 河流: 在河口附近水流层宽、流速减缓的地方, 多 *Asterionella*, *Cyclotella*, *Diatoma*, *Fragilaria*, *Nitzschia*, *Synedra*, *Stephanodiscus*, *Tabellaria* 等属的浮游种。在靠近河岸的地方, 多底栖附着种, 属种成分多样。

胡斯特德(1930)根据陆地水域的营养型, 把淡水分为以下一些生态类型, 即: (1) 流水——a. 细流, b. 小溪, c. 河流; (2) 静水——a. 沼泽, b. 池塘, c. 湖。后来胡斯特德(1937, 1939)在测定上列各类水体氢离子浓度(pH)的基础上, 重新探讨了硅藻生态分类体系, 对原来的划分作了修改。

以下是按氢离子浓度(pH)划分的硅藻生态类型:

(1) 酸性种: 生活在 pH 7 以下的水中, 但以 pH 5.5 以下为最适宜条件。属于此类的硅藻有, *Eunotia tenella*, *E. exigua*, *Frustulia rhomboides*, *Pinnularia braunii*, *P. microsta-*

*uron*, *P. obscura*, *Surirella angusta* 等 (渡边等, 1973; 上条等, 1974)。

(2) 喜酸性种: 生活在 pH 7 附近的水中, 但以 pH 7 以下为最适宜条件。属于此类的种有, *Achnanthes lapponica*, *Navicula subtilissima*, *Cymbella minor*, *Navicula rofacana*, 以及 *Eunotia*, *Pinnularia*、*Tabellaria* 等属的一些种 (福吉特, 1954)。

(3) 中性种: 出现在 pH 7 的水中的种, 如 *Achnanthes coarctata*, *A. flexella*, *Anomoeoneis exilis*, *Cymbella naviculiformis*, *C. sinuata*, *Diploneis elliptica*, *D. oculota*, *Gomphonema gracile* 等 (福吉特, 1954)。

(4) 喜碱性种: 生活在 pH 7 附近的水中, 但以 pH 7 以上为最适宜条件, 如 *Achnanthes hungarica*, *A. lanceolata*, *Amphora ovalis*, *Cocconeis placentula*, *Cymbella cymbiformis*, *C. lacustris*, 以及 *Caloneis*、*Cyclotella*、*Epithemia*、*Fragilaria*、*Gomphonema* 等属的一些种 (福吉特, 1954)。

(5) 碱性种: 只见于碱性水域中的种, 如 *Cymbella affinis*, *C. tumuda*, *C. turgida*, *Gomphonema olivaceum*, *Gyrosigma acuminatum*, *Opephora martyi*, 以及 *Stephanodiscus* 属的一些种 (福吉特, 1954)。

### (三) 半咸水硅藻

如前所述, 半咸水硅藻作为一种生态分类单位, 其独立性是不够明显的。这类硅藻的生活区, 大体可以分为如下三种:

(1) 淡水与海水混合的水域: 由淡水中的贫盐种和海水中的正盐种组成。其中沿岸种特别多, 常见受一定地理条件限制的特征种。

(2) 内陆盐湖: 古老的盐湖可见较多的中盐种, 新成的盐湖几乎没有硅藻。

(3) 工业污水和工业盐水：均无硅藻。

#### (四) 海水硅藻

关于海生硅藻的生态划分，虽然已进行过多方面的研究，但直到目前为止，还未建立一个比较严密的体系。这里谨以亨台(1964)的划分为基础，叙述一般常用的海生硅藻生态体系。

##### 1. 远洋种

**全浮游种：**整个生活期间都呈浮游状态的远洋硅藻。这类硅藻完全不受海岸影响，表现为单独自由浮游形式。由于在远洋存在不同性质的海流，相应地在各海流分布地区也分布着各种不同的特有的硅藻种。它们的分布，主要取决于一定海流影响下的海水的盐分和温度，因此可将一些敏锐地反映环境因素的硅藻，作为一定海流的指示种。例如，在日本近海的黑潮主流，只有 *Chaetoceros coarelatus*, *C. dedayi*, *Climacodium biconcavum*, *Hemiaulus hauckii*, *Rhizosolenia bergonii*, *R. styliiformis* 等暖水种（黑潮指示种）(川原田, 1965)；在亚寒带水中，见有 *Chaetoceros atlanticus*, *Corethron hystrix*, *Thalassiothrix longissima* 等冷水种；在中央水中，硅藻较少，可以 *Hemiaulus hauckii* 为代表；而在赤道水中，则分布着 *Planktoniella sol*, *Rhizosolenia bergonii*, *Thalassiothrix mediterranea* 等暖水种（丸茂、朝岡, 1974）。另外，在东北太平洋，还可以划分为八个与各该海区海洋条件相适应的硅藻群（汉立克, 1971）。

哈斯莱(1974)据拖网采样的分析结果，对海生浮游硅藻的地理分布，作了如下划分（表2）：

硅藻的数量变化，完全取决于有无营养盐类。在冷水区，水温低，脱氮细菌的活动受到抑制，营养盐类易于聚积，因此两极海区硅藻特别丰富。这是由于水温低大量碳酸溶于海水以及光线整年照射的缘故（MANN, 1937）。在上升流的海区，由于深层的营养盐类被带到表层，硅藻数量也较多。据丸茂和朝岡的研究

表 2 海生浮游硅藻的地理分布 (哈斯莱, 1974)

冷水种

北半球

*Bacteriosira fragilis*, *Denticula seminae*, *Detonula confervacea*,  
*Nitzschia grunowii*, *N. paaschei*, *N. seriata*, *Thalassiosira constricta*,  
*T. hyalina*, *T. nordenskiöldii*

两 极

*Nitzschia cylindrus*, *Porosira glacialis*, *Thalassiosira antarctica*

南半球

*Charcotia actinochilus*, *Eucampia balautium*, *Nitzschia curta*, *N.*  
*kerguelensis*,  
*N. ritscheri*, *N. separanda*, *Porosira pseudodenticulata*, *Thalassiosira*  
*gracilis*, *T. ritscheri*

暖水种

*Coscinodiscus nodulifer*, *Detonula pumila*, *Lauderia annulata*, *Ni-*  
*tzschia kolaczekii*, *N. marina*, *N. subfraudulenta*, *N. subpacific*,  
*Pseudoeunotia doliolus*, *Roperiatessellata*, *Thalassiosira diporocyclus*,  
*T. lineata*, *T. minuscula*

广温种

*Dactyliosolen mediterraneus*, *Minidiscus trioculatus*, *Nitzschia ame-*  
*ricana*, *N. bicapitata*, *N. fraudulenta*, *N. paeudonana*, *N. pungens*,  
*Thalassiosira eccentrica*, *T. floridana*, *T. gravido(?)*, *T. mala*, *T.*  
*prof unda*, *T. subtilis*

(1974), 沿北太平洋西经 115° 亚寒带水中的硅藻最多, 中央水中硅藻最少。赤道海区的硅藻数量较中央水多, 但不及亚寒带水。赤道海区硅藻较多的原因, 是由于那里盛行上升流的缘故(图25)。

## 2. 浅海种

**全浮游种:** *Thalassiosira* 等属的种;

**部分浮游种:** 本来是沿岸种, 但在其生活过程中有一部时间以浮游状态在远洋渡过, 其余时间则为一种孢子呈底栖状态。*Chaetoceros*, *stephanopyxis* 等属的一些种归于此类;

**偶然浮游种：**生活过程的大部分时间是在海底泥砂上呈底栖状态，或以群呈带状、叶状附着于其他固定物体上。但由于波浪等的作用，有时可离开其他物体而呈浮游状态。这类硅藻分布广泛，属种也多。严格地确定那些属种属于此类，比较困难。主要有 *Melosira sulcata*, *Podosira stelliger*, *Actinoptychus senarius* 等。

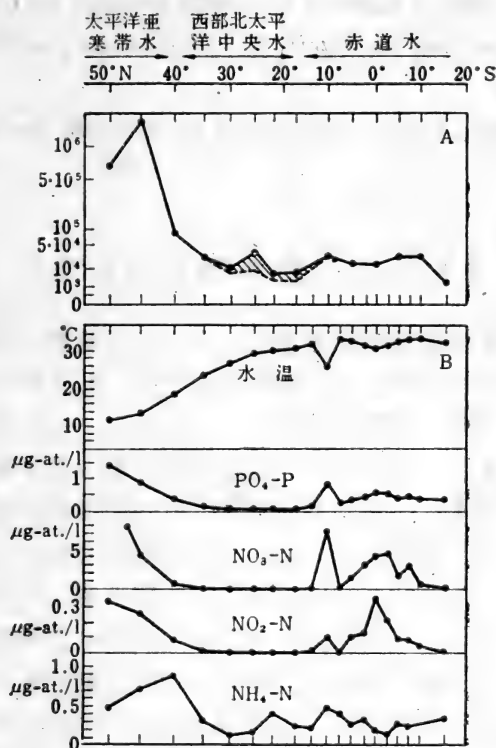


图 25 太平洋西经115°的浮游植物和环境因素的变化

(1969年8—10月) (丸茂, 朝岡, 1974)

A—表层200米水柱中每1 m<sup>3</sup>的硅藻细胞数, 斜线部分为 *hemiaulus hauckii*, B—100米以浅的水温、营养盐的平均值

### 3. 沿岸种

大部为附着种和底栖种，其分布明显受到波浪和流入的河流的影响。可以分为：

低潮线附近的种：*Grammatophora*、*Licmophora*、*Rhabdonema* 等属的种，以及 *Achnanthes longpipes*、*Synedra fulgens*、*Navicula gravilleana* 等；

潮间带的种：*Diplonis* spp.、*Gyrosigma balticum*、*G. fasciola*、*Hantzschia marina*、*Navicula elegans*、*N. lyra*、*N. marina*、*Pleurosigma aestuarii*、*Rhaphoneis amphicerus*、*Surirella orata* 等；

高潮线附近的种：*Pleurosigma angulatum*、*Surirellagemma* 等。

## (五) 环境因素影响下的形态变异

现代海生浮游硅藻的形态随着季节和地理条件的变化而变化，是早已知道的事情。形态的这种变化，可以看作是在水温变化的情况下继续保持其浮游状态的一种适应。一般在水温上升时，水的比重粘性减小，硅藻的形态应向着与水的摩擦增大（增加表面积）和个体变小的方向发展。但就个体大小来看，温本耐（1936）的研究结果却是相反的，热带地区的 *Rhizosolenia styliformis* 和 *Coscinodiscus* 属的各种比寒带地区的种要大。哈特（1937）认为，热带海区分布大型硅藻，是由于那里的营养盐类丰富，盛行上升流的结果。克尔贝（1954）也同意这一看法，认为赤道太平洋海底柱状样中 *Coscinodiscus nodulifer* 个体大小的垂向变化，是上升流强弱变化的结果。其中大型硅藻集中的层位是冰期的。这一结论与阿伦纽斯（1952）的看法相同，后者认为，赤道海区硅藻产量增高时期，是上升流盛行、深层营养盐类被大量带到表层的时期；而这个时期相当于极地有大冰川发育、极地至赤道的气温梯度增大、贸易风加强、赤道海流及其反向流增强的时期（冰期）。这样一些看法，后来又得到爱密里安尼（1955）



和海斯 (1968) 的赞同。

布克尔和托德 (1974) 曾对热带东太平洋和日本本州能登半岛中新世中期的绝灭种 *Annellus californica* 的大小进行比较研究, 结果发现该种的大型种主要分布于能登半岛, 认为这是由于能登半岛位置偏北 (水温低), 且地处沿岸地区、营养盐类丰富的缘故。

## 六、硅藻遗体的沉积和分布

浮游硅藻生殖后，经衰老，枯死，其遗体在水中一面被分解、溶解，一面向海底沉积。下沉的路线和速度，因受海流、上升流、海水密度变化等的影响而表现复杂。经近十余年来的研究，目前对有关硅藻在水中的下沉情况，已有比较清楚地了解。

### (一) 从活体到遗体

斯梅达 (1970) 曾对浮游植物的下沉速度作过详细的论述。根据他的研究，死亡的浮游植物比活着的下沉快，大型的比小型的下沉快 (图26)。又据李西村 (1971) 的研究，海水悬浮质或底质中主要由硅藻壳组成的硅质物质，其下沉速度相当于直径为  $1-5\mu$  的石英颗粒的下沉速度，如果下沉 5000 米，最大的壳需 30—100 天，最小的壳则需数千年。但实际上，只有极少数的硅藻壳是象矿物颗粒那样单独直接向海底下沉。大部分硅藻的下沉与浮游生物的食物链有密切关系。即以植物为食的浮游动物先将硅藻捕食，再将其壳包藏在粪便中排出，而后再下沉。有些浮游动物排泄的硅藻壳，表面包着一层薄膜，这种薄膜即保护了海水对硅藻壳的腐蚀，同时也加快了其下沉速度 (斯梅达, 1970, 1974)。一般以植物为食的浮游动物粪便颗粒直径为  $50-250\mu$ ，其下沉速度为 30—200 米/日；而单独下沉的硅藻壳 (平均直径为  $6-50\mu$ )，下沉速度仅为 0.2—7 米/日 (斯梅达, 1971；许拉德尔 1971)。

硅藻壳的分解、溶解、破坏，在表层数十米的光合带内进行最快。随着深度的增加，这一过程相应变缓 (图27)。因此，壳很薄的硅藻，如 *Chaetoceros*、*Fragilaria*、*Nitzschia* 和 *Rhizoso-*

*lenia* 属的大部分种，沉至水深 200—500 米处，差不多都被溶解了。一般能沉到深海底的硅藻壳，只相当于表层悬浮硅藻壳的 1/10—1/100。当然，沉到深海底的硅藻的种数也相应有所减少，一般为表层的 20—70%。

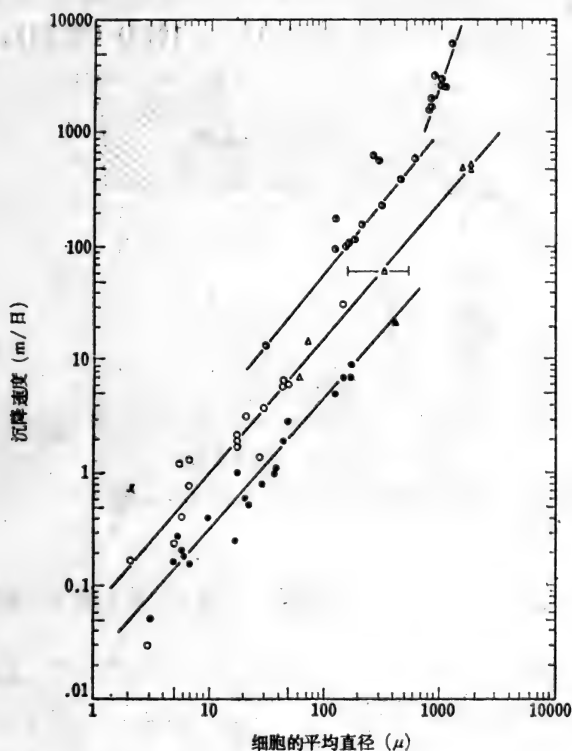


图 26 单独和成团浮游生物细胞大小与沉降速度的关系

(Smayda, 1971)

●—活动的细胞；○—老枯细胞，●—*Cyclococcolithus fragilis* 的集团期 (Palmelloid stage)；△—空壳，休眠孢子，枯死细胞；▲—计算速度

因此，海底沉积物中硅藻壳的数量和属种成分与表层活体硅藻群相比，是有本质上的不同，但有一点也是清楚的，即表层水中硅藻多的海区，海底沉积物中硅藻壳亦多（卡尔维特，1966；

克兹洛娃、穆希娜, 1966; 克兹洛娃, 1970)。图 28 为太平洋地区两者关系的一例 (克兹洛娃、穆希娜, 1966)。在南极海、白令海、鄂霍次克海, 太平洋高纬地区和东南太平洋等营养盐类丰富、盛行上升流的海区, 由于海水中硅藻含量高, 海底沉积物中的硅藻壳也多, 以致广泛分布着主要由硅藻壳组成的硅藻软泥 (朱斯等, 1969, 1971; 李西村, 1971, 1972) (图 29)。

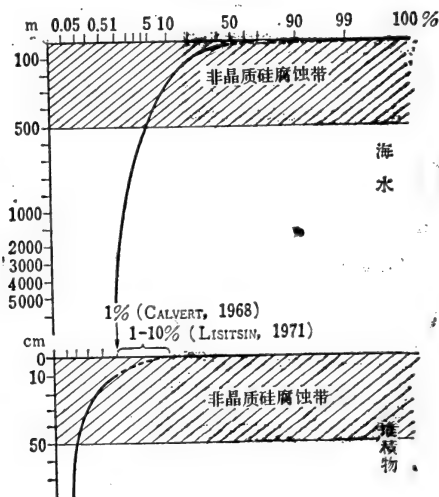


图 27 海水和堆积物中非晶质硅 (主要由硅藻壳组成) 腐蚀带

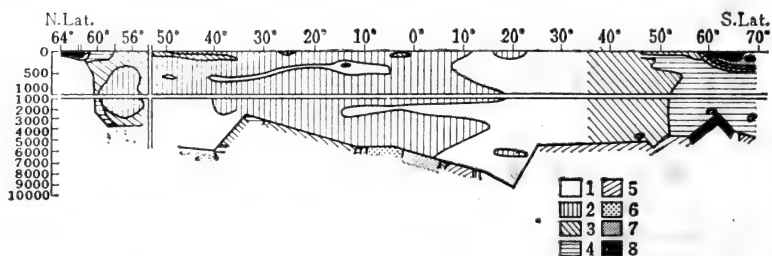


图 28 沿太平洋西经174°海水 ( $1m^3$ ) 和海底沉积物 (1g) 中的硅藻壳数 (单位100万个)

(克兹洛娃和穆希娜, 1966)

1—无硅藻壳; 2—0.01以下; 3—0.01—0.05; 4—0.05—0.5; 5—0.5—2.5; 6—2.5—10; 7—10—40; 8—40—160

白令海，鄂霍次克海、日本海北部和北太平洋，自更新世以来沉积了大量硅质沉积物。白令海沉积速度较快，达  $1.5-3 \text{ 克/cm}^2/1000\text{年}$ ，鄂霍次克海也较快，北太平洋相对较慢，为  $0.01-0.1 \text{ 克/cm}^2/1000\text{年}$ （李西村，1971）。据目前了解，硅藻沉积量最高的地区在加利福尼亚湾，该地沉积速度达  $0.6-174 \text{ 克/cm}^2/1000\text{年}$ ，平均为  $50 \text{ 克/cm}^2/1000\text{年}$ （卡尔维特，1966）。

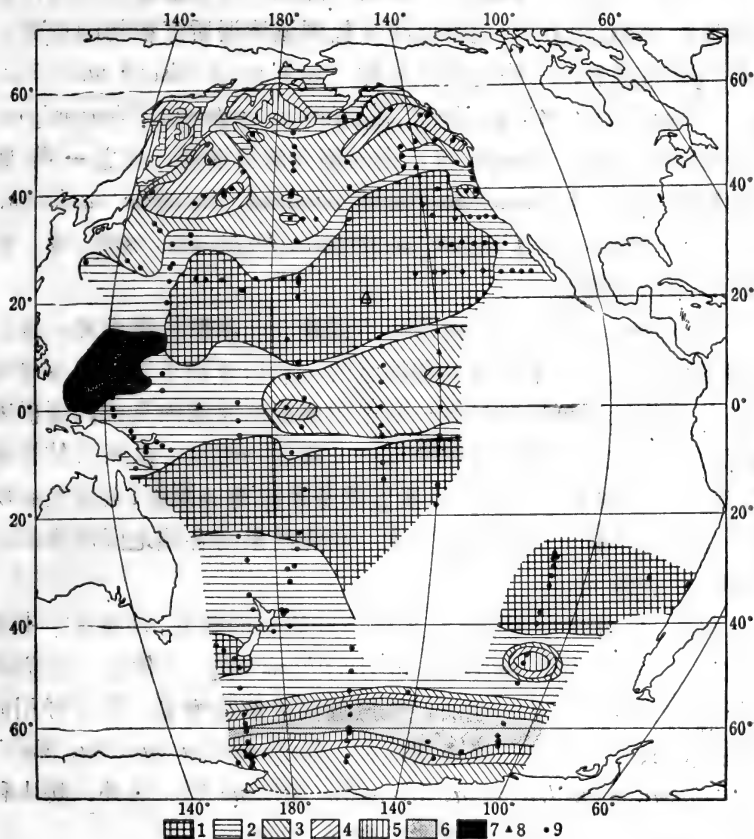


图 20 太平洋底表层沉积物 (.g) 中硅藻壳 (单位百万个)

(朱斯等, 1971)

1—无硅藻壳, 2—0.04—5, 3—5—25, 4—25—50, 5—50—100, 6—100以上, 7—*Ethmodiscus*软泥, 8—第三纪沉积, 9—采样点

## (二) 硅藻遗体的水平分布

1. 海湾区：日本的海湾底质中的硅藻分布，较早由押手（1954, 1955, 1959）作过调查，后来又由林（1961, 1964, 1969）和野口（1969, 1970）作过研究。

据押手（1954）的研究，陆奥湾海底硅藻壳数量，自湾口向内侧逐渐增加。10万个/克等值线呈包围该湾泥质沉积物的形势。从种的分布来看，一些主要浮游种，如 *Coscinodiscus marginatus*, *C. radiatus*, *C. wailesii*, *Navicula aspera*, *Pleurosigma elongatum*, *P. normatii* 等，由内侧向湾口渐增；反之一些底栖种和附着种，如 *Arachnoidiscus ornatus*, *Auliscus caelatus*, *Cocconeis scuterum*, *Cyclotella striata*, *Diploneis* spp. 等，则由湾口向内侧增加。

林（1964, 1969）曾对湾底不同地点硅藻群的组成种，按生态划分为海生的、半咸水的和淡水的，然后分别求出其在各硅藻群中的平均值，再用M—B—F三角座标法将湾内全部硅藻群表示在图上，借以分析辨认整个海湾硅藻群的特征。从所得结果来看，海湾一半咸型特征表现最明显的是崎津湾硅藻群，其次是有明海硅藻群和不知火海硅藻群。这一研究结果与各该地区所作的盐分测定是一致的。

据野口（1970）的研究，美保湾底质中的硅藻，以淡水—中咸半咸水的 *Diploneis smithii* 和 *Amphora* spp. 占优势。它们在沿岸地区虽然只占7%左右，但愈近河道愈加增多。在日野川河口地区，具大量河流—淡水湖沼种，如 *Cymbella tumida*, *Navicula hasta*, *Synedra ulna*, *Melosira valians* 等。另外，暖水种在沿岸区较多，冷水种离岸愈远愈增（图30）。

2. 海区：将海洋表层水中的活体硅藻群与海底表层沉积物中的遗体硅藻群进行直接比较，最初是由苏联学者在鄂霍次克海、白令海、南极海等海区进行的。他们认为，表层沉积物的硅

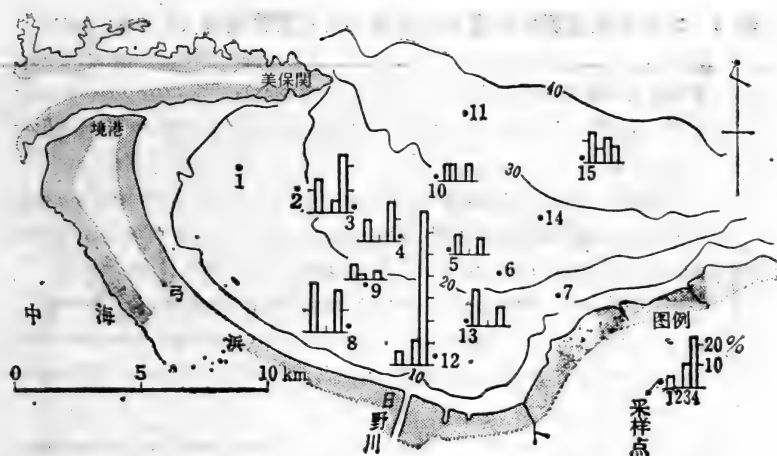


图 30 美保湾的硅藻分布(据野口, 1970编图)

(1) 暖水种—*Diploneis* spp., *Rhabdonema* spp., *Rhaphoneis* spp., *Suirella fastuosa*, *Trachyneis* spp.; (2) 冷水种—*Hyalodiscus* spp.; (3) 海湾种—*Bacteriastrium* spp., *Nitzschia* spp.; (4) 淡水—半咸水种—*Melosira valians*, *Amphora* spp., *Achnanthes inflata*, *Cymbella* spp., *Diploneis smithii*, *D. ovales*, *Diatoma* spp., *Navicula hasta*, *Synedra ulna*

藻群能在很大程度上反映表层水中硅藻群的种的组成(朱斯1962; 朱斯等, 1969)。但如前所述, 表层沉积物与表层水中的硅藻组成是有相当差异的, 如作为现代海洋条件(水团和海流等)指示种的 *Chaetoceros* 和 *Rhizosolenia* 属的大部分种的遗体, 在沉积物中便没有保存。因此在进行底质分析时, 不应原封不动地利用在生物地理分布和生态特征方面已经了解清楚的现生硅藻指示种(金谷, 井上, 1972)。

关于遗体硅藻组成种及其地理分布的研究工作, 以在太平洋地区进行较多。(朱斯1969, 1971) 综合苏联学者长期研究结果, 以表层水中现生硅藻的地理分布为基础, 研究划分了底质中遗体硅藻群的类型, 并分别按优势种用地理名称命名, 如亚极种和亚热带种占优势的遗体硅藻群, 分别叫做亚极硅藻和亚热带硅藻群(表3)。这些硅藻群的分布, 一般都呈明显的带状(图31)。

金谷和小泉(1966)将北太平洋表层底质中的55个现生种,

表 3 太平洋表层沉积物遗体硅藻群及其主要构成种 (朱斯等, 1971)

- 
- I. 亚北极硅藻群集 (Arctoboreal diatom complex): *Thalassiosira nordenskioeldii*, *T. gravida*, *Bacterosira fragilis*, *Chaetoceros furcellatus*, *Biddulphia aurita*
- II. 北方硅藻群 (Northboreal diatom complex): *Thalassiosira excentrica*, *Coscinodiscus curvatulus*, *C. marginatus*, *Actinocyclus divisus*, *Rhizosolenia hebetata*, *Thalassiothrix longissima*, *Denticula seminae*
- III. 亚热带硅藻群集 (Subtropical diatom complex): *Thalassiosira decipiens*, *T. lineata*, *Coscinodiscus radiatus*, *Thalassionema nitzschioides*, *Pseudoeunotia doliolus*, *Roperia tesselaia*, *Nitzschia bicapitata*, *N. interrupta*, *N. sicula*
- IV. 热带硅藻群集 (Tropical diatom complex): *Coscinodiscus crenulatus*, *C. nodulifer*, *Hemidiscus cuneiformis*, *Thalassiosira oestrupii*, *Rhizosolenia bergonii*, *Nitzschia morina*
- V. 赤道硅藻群集 (Equatorial diatom complex): *Asteromphalus imbricatus*, *Coscinodiscus africanus*, *Triceratium cinnamomeum*, *Asterolampra marylandica*
- VI. 亚南极硅藻群集 (Subantarctic diatom complex): *Fragilariopsis antarctica*, *Coscinodiscus lentiginosus*, *Thalassiothrix antarctica*, *Schimperella antarctica*
- VII. 南极硅藻群集 (Antarctic diatom complex): *Fragilariopsis cursa*, *F. cylindrus*, *Eucampia balaustium*, *Thalassiosira gracilis*, *Charcotia actinophilus*, *Coscinodiscus oculoides*, *C. symbolophorus*, *Biddulphia weisflogii*
- 

根据其地理分布的相似性, 划分为五个群组 (表 4), 又根据各个群组的组合关系, 划分为七个组成种和地理分布上不同的群集 (图 32)。从这些群集和组成种的地理分布可以看出, 各群集都反映了现代太平洋表层流和上层水团的分布特点。

另外, 金谷和小泉还在北太平洋选出亚极带固有的寒流种 (20 种) 和亚热带、热带固有的暖流种 (22 种), 研究了这些指示种相对频率的地理分布, 提出了用 Td 值来推测表层水温的方法, 即:

$$Td = XW / (XC + XW) \times 100$$



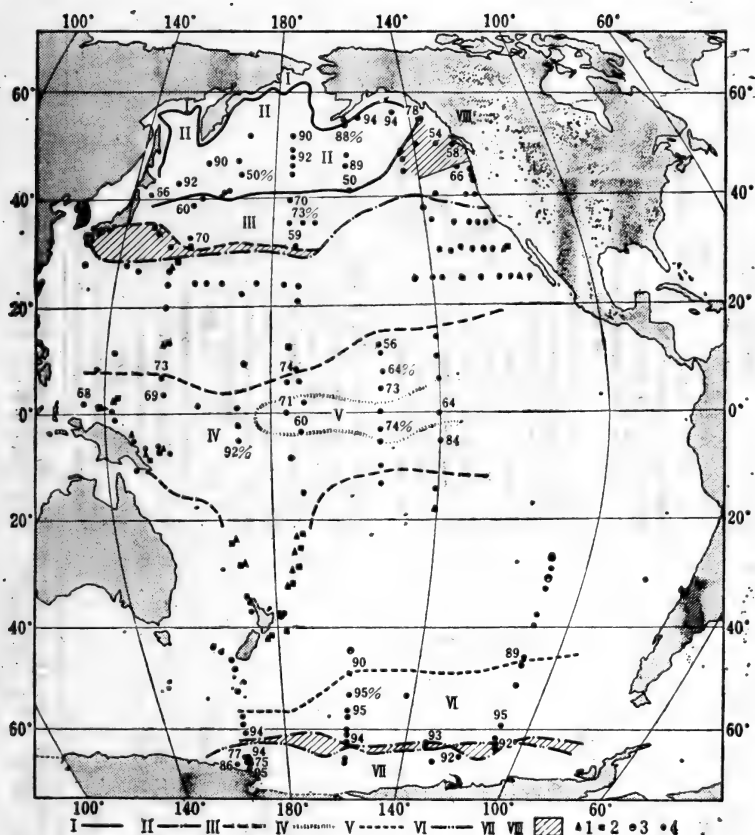


图 31 北太平洋表层沉积物中遗体硅藻群的分布

(朱斯等, 1971)

I—亚北极, II—北方, III—亚热带, IV—热带, V—赤道, VI—亚南极, VII—南极, VIII—过渡带。

1—亚热带, 2—热带, 3—少量产出亚南极种, 4—采样点

Td——硅藻温度

XW——任意取出的 200 个个体中暖流种的个数

XC——任意取出的 200 个个体中寒流种的个数

北太平洋各地的 Td 值, 明显地反映了表层水温等温线的分布 (图33)。

表 4 太平洋底表层沉积物基本硅藻群的组成种 (金谷、小泉, 1966)

I 组	
Thalassiosira decipiens: (N; nB; sB, subT) [E; I]	C
Thalassionema nitzeichionides: (N; nB, sB)	C
Coscinodiscus excentricus	C
Coscinodiscus tabularis var. egregius: (O; sB)	C
Coscinodiscus crenulatus: (subT, T)	C
Thalassiosira oestrupi: (subT)	C
Coscinodiscus lineatus: (O; T) [E; P, A, I]	C
W Pseudocunotia doliolus: (O; subT, T) [E; P, A]	W
W Coscinodiscus nodulifer: (T) [E; P, A, I]	W
W Roperia tessellata: (O; sB, T) [E; A]	W
W Coscinodiscus africanus: [E; P, A, I]	W
Thalassionema nitzeichionides vars.: (sB)	W
W Coscinodiscus cf. anguste-lineatus	W
W Nitzschia marina: (T) [E; P, A, I]	W
W Actinocyclus subtilis: [E; A, I]	W
W Hemidiscus cuneiformis: (O; T) [E; P, A, I]	W
W Ethmodiscus rex: (O; T) [E; P, A, I]	W
W Planktoniella sol: (O; T)	W
W Rhizosolenia bergonii: (O; T) [E; I]	W
W Coscinodiscus perforatus var. cellulosa: (O; sB)	W
W Roperia tessellata var. ovata: (subT)	W
W Roperia tessellata var. coscinodiscoides: (subT)	W
伴生种 <i>Cyclotella striata</i> (subL; nB)	
II 组	
Coscinodiscus radiatus var. MS: (O; sB, subT)	C
Actinocyclus curvatus: (O; nB)	C
C Rhizosolenia hebetata. f. hemalis: (O; AB)	C
C Coscinodiscus excentricus var. jousei MS: (O; nB)	C
C Actinocyclus divinus: (O; sB)	C
C Coscinodiscus marginatus: (O; nB)	C
C Denticula seminiae: (O; nB)	C
N, 浅海性; O, 外洋性; subL, 沿岸性; A, 北極; AB, 亚北極; nB, 南方; sB, 南方; subT, 亚熱帶; T, 熱帶; [E; P], 熱帶太平洋; [E; A], 熱帶大西洋; [E; I], 熱帶印度洋; SubAnt, 亚南極; Ant, 南極; C, 寒冷水; W, 溫暖水	
C Asteromphalus robustus: (O; nB)	C
C Coscinodiscus oculus iridis var. borealis: (O; nB)	C
C Thalassiosira gravida: (N; AB)	C
C Coscinodiscus excentricus var. leasarcolatus MS	C
C Biddufphus aurita: (N; nB)	C
C Actinocyclus ochotenis: (O; nB)	C
伴生种 <i>Coscinodiscus excentricus</i> var. <i>fasciculata</i>	
III 组	
Fragilaritopsis kerguelensis: (O; SubAnt)	C
Fragilaritopsis ritcheii: (N; Ant)	C
Coscinodiscus lentiginosus: (O; SubAnt)	C
Eucampia balaustium: (N; Ant)	C
Asteromphalus hoocheri: (O; SubAnt)	C
Hemidiscus karsteni: (O; SubAnt)	C
Micropodiscus olveranus: (N; SubAnt, Ant)	C
cf. <i>Coscinosira antarctica</i> : (N; Ant)	C
伴生种 <i>Thalassiosira gracilis</i> : (N; Ant)	
IV 组	
Porosira glacialis: (N; A, AB)	C
Thalassiosira kryophila: (N; A)	C
Thalassiosira hyalina: (N; A)	C
Thalassiosira nordenskiöldi: (N; AB)	C
Bacteriosira fragilis: (N; A)	C
Fragilaritopsis cylindrus s.l.: (N; AB)	C
Chaetoceros furcellatus: (N; A, AB)	C
V 组	
Triceratium cinnamomeum: (T)	W
Asteromphalus hiltonianus: (E; P)	W
W Asteromphalus elegans: [E; P]	W
W Actinocyclus elongatus*: [E; P]	W
W Asteromphalus maryclandica*: (T)	W
伴生种 <i>W Asteromphalus imbricatus</i> : (T)	

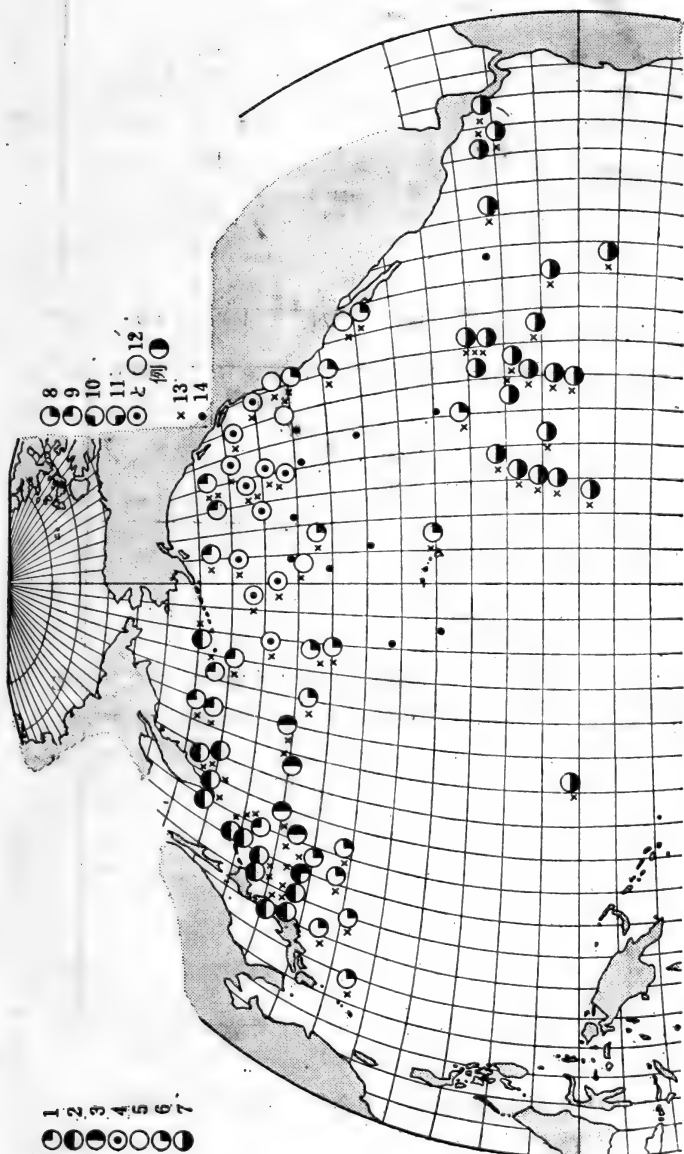


图 32 北太平洋表层底质硅藻遗体群组和群集 (金谷, 小泉, 1966)

硅藻遗体群集 1—亚极群集, 2—西北边缘群集, 3—亚极和中央混合群集, 4—东北过渡群集 (北), 5—东北过渡群集 (南), 6—中央群集, 7—赤道群集; 硅藻遗体群组: 8—I组, 9—II组, 10—III组, 11—IV组, 12—不能辨认群组, 13—采样点, 14—几无硅藻

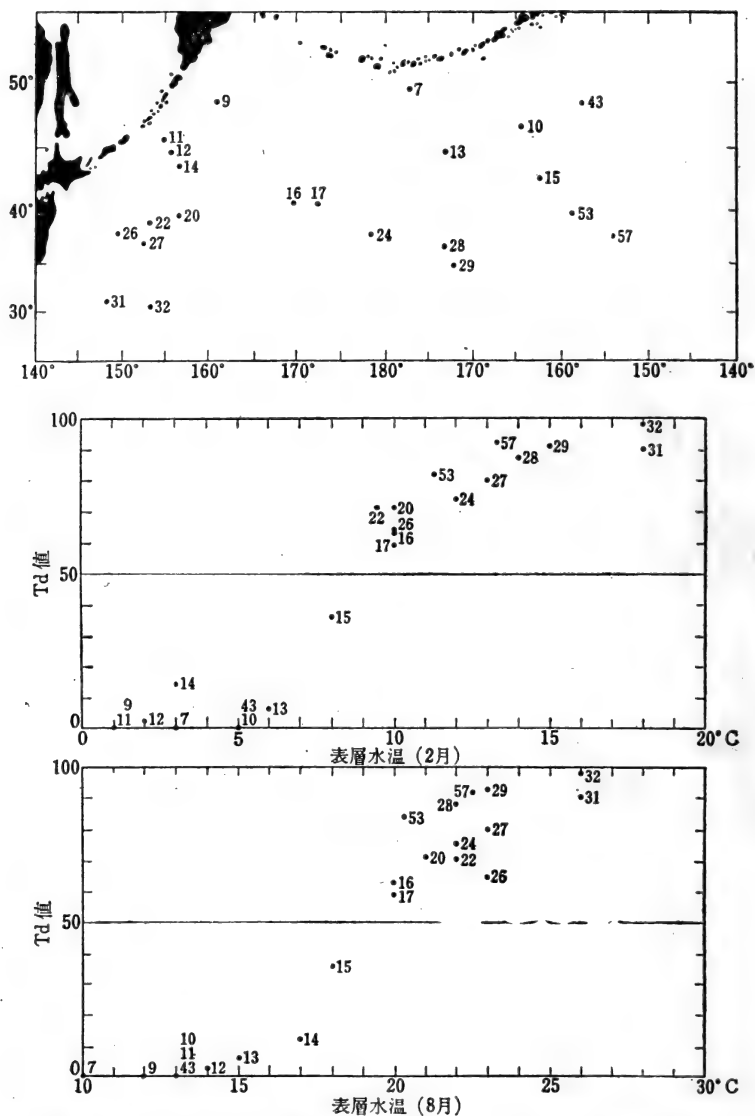


图 33 Td值与表层水温的关系 (据金谷、小泉, 1966编图),  
表层水温据斯浮德洛浦 (1942)

### (三) 硅藻遗体的垂直分布

如前所述，现生硅藻分布于海水、半咸水和淡水中，具有浮游、底栖等生活方式。它们能敏锐地反映生活水域的盐分、温度和所含各种无机盐类。利用硅藻的生态特征，可以比较有效地恢复、了解沉积物在沉积时的古地理环境。有关这方面的研究工作，目前已广泛进行，其中以关于第四纪古地理的研究工作较多。第四纪有多次冰期、间冰期，相应地也有多次海面升降变化。利用沉积物中的硅藻遗体，可以研究平原区的海水进退和由其引起的古地理环境的变迁，同时利用海底柱状样的硅藻遗体还可以研究气候变化（海水温度变化）。

1. 古盐分分析：通过硅藻遗体所反映的古盐分的分析研究，可以辨认海陆相地层，了解海水进退和古地理环境的变迁。长谷川（1966, a, b; 1967 a, b; 1968）曾根据钻孔样中硅藻遗体所反映的古盐分，分析了日本关东平原绳文时代早期—晚期海水进退、海面变化和沉积环境的变迁，论证了海进层上限所达到的高度（换算为高出现代海面的高度）和沉积环境的特点。

阿久津（1971, 1972, 1973）也同样以解释沉积环境为目的，对武藏野台地、东京下町低地和东京湾底等钻孔硅藻遗体进行了分析研究。图 34 便是东京湾中部川崎—木更津间遗体硅藻群的分析结果和根据遗体硅藻群所作的层位对比。该剖面的中部和两侧，清楚地表现为两次沉积旋回（A 和 B）（阿久津, 1973）。

2. 古水温研究：金谷和小泉为了探讨深海柱状样各层位的 Td 值对表层古水温的指示效果，曾对柱状样 V 20—130 各层位的两个受海况变化影响的参数（硅藻群型和 Td 值）进行比较分析。结果是，硅藻群型的层位变化与 Td 值所反映的冷期和暖期是对应的，唯 655—656cm 以下部分，两者的对应关系不够明显。总之，应用遗体硅藻群的 Td 值来推测第四系沉积时的古表层水温和掌握第四纪硅藻群的层位变化是有效的。

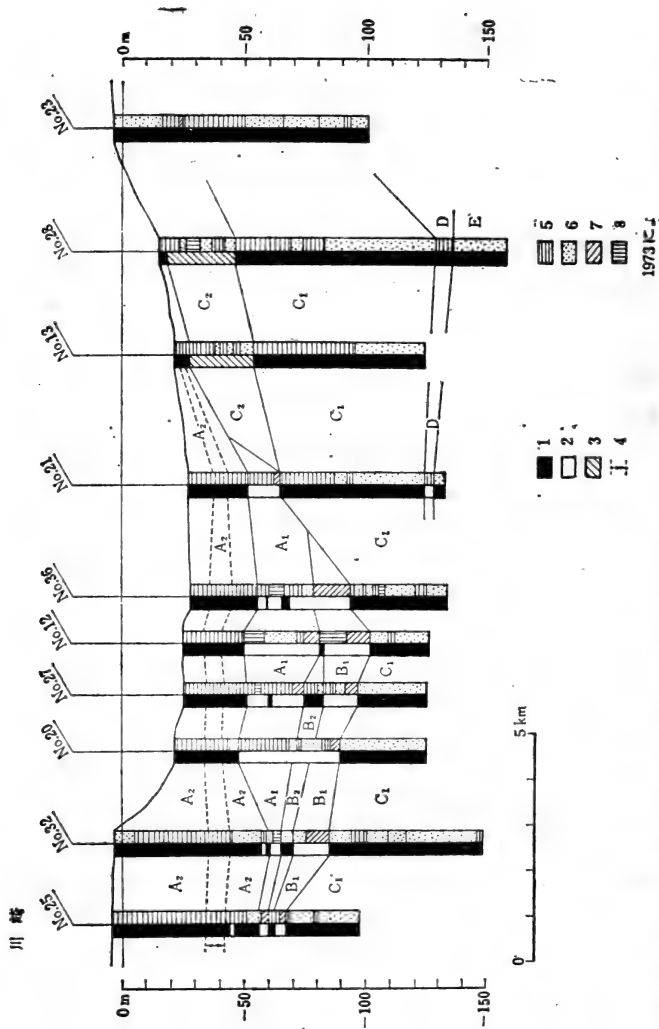


图 34 据岩相和硅藻遗体所确定的东京湾底部中部古地理环境  
(阿久津, 1973)

1—海区堆积物; 2—陆源堆积物; 3—半咸水堆积物; 4—*Melosira sulcata*带; 5—粉砂; 6—砂; 7—砾砂; 8—砂与粉砂互层

北太平洋海区的古地磁层位，研究的比较清楚，目前已广泛被当作一种时间尺度来应用。唐纳荷（1970）对北太平洋高纬地区已查明古地磁层位的七个钻孔的 Td 值进行分析后认为，从第四纪表层古水温的变化来看，海水温度的明显降低时期是在更新世中期，相当于布伦赫斯正极期之初；同时在整个布伦赫斯正极期，见有九次 Td 值降低时期（寒冷期）（图35）。

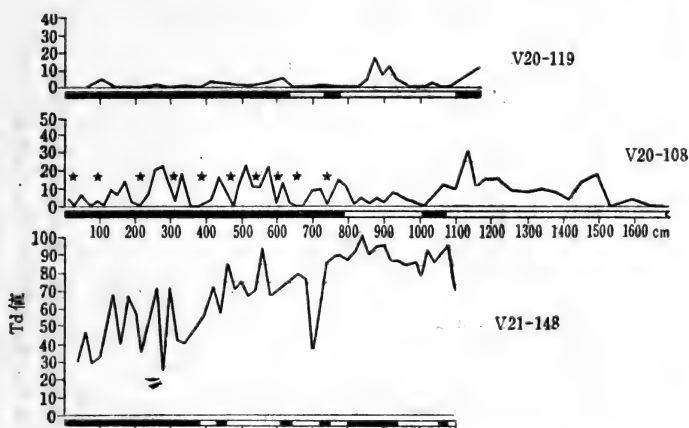


图 35 柱状样 V21-148, V20-108, V20-119 的 Td 值

（据唐纳荷，1970）

V21-148的Td值自下部向上部减少，按其变化可以分为三段。V20-108 的★处为Td值的低值

图 36 为根据遗体硅藻编制的北太平洋区第四纪表层水温变化图（反映冰川的消长）。从该图可以看出：1）寒流硅藻个体数增加和 Td 值减少（开始寒冷化）的时期是在松山逆极期的晚期；2）Td 值的周期变化（寒冷期与温暖期交替）主要发生在布伦赫斯正极期。这样一些变化与肯特（1971）据冰山漂砾沉积量的变化所确定的气候变化时期是一致的；与海斯（1969）据热带东太平洋柱状样的分析所确定的碳酸钙开始增加和表现为周期性变化的时期，也是对应的。另外，图 36 还表明，在约 50 万年前（相当于明德一里斯间冰期，整个北太平洋都是 Td 值的高值期

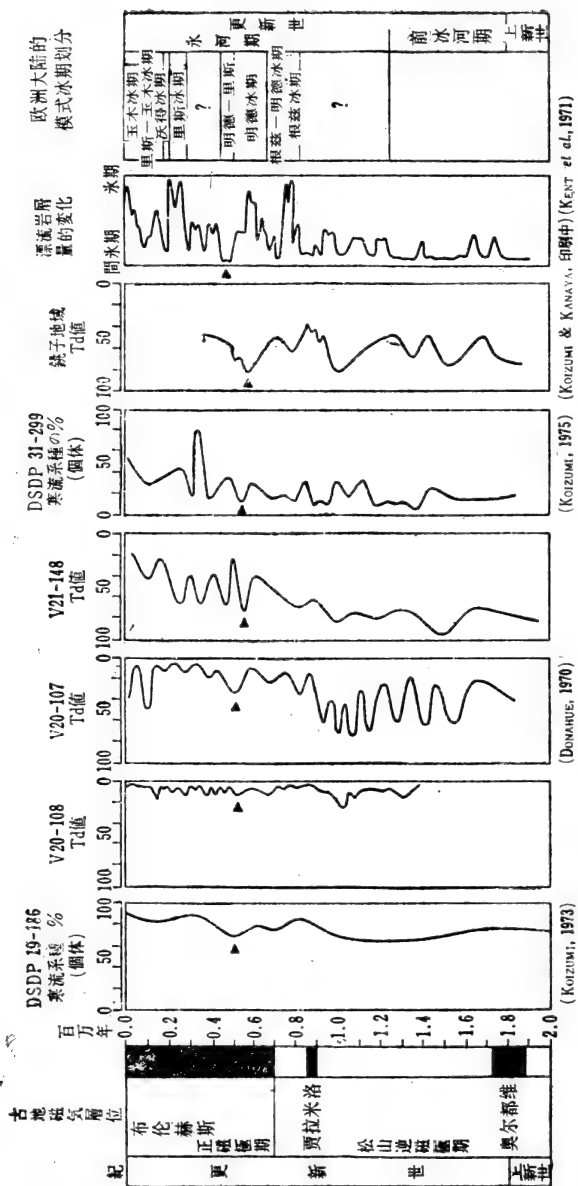


图 36 北太平洋高纬度地区第四纪 Td 值、寒流系硅藻个体数 (%) 的变化与漂冰岩屑量的变化, 以及欧洲大陆标准冰期的对比

▲ 表示 50 万年前的温暖期 (明德—理斯间冰期) (小泉原图)



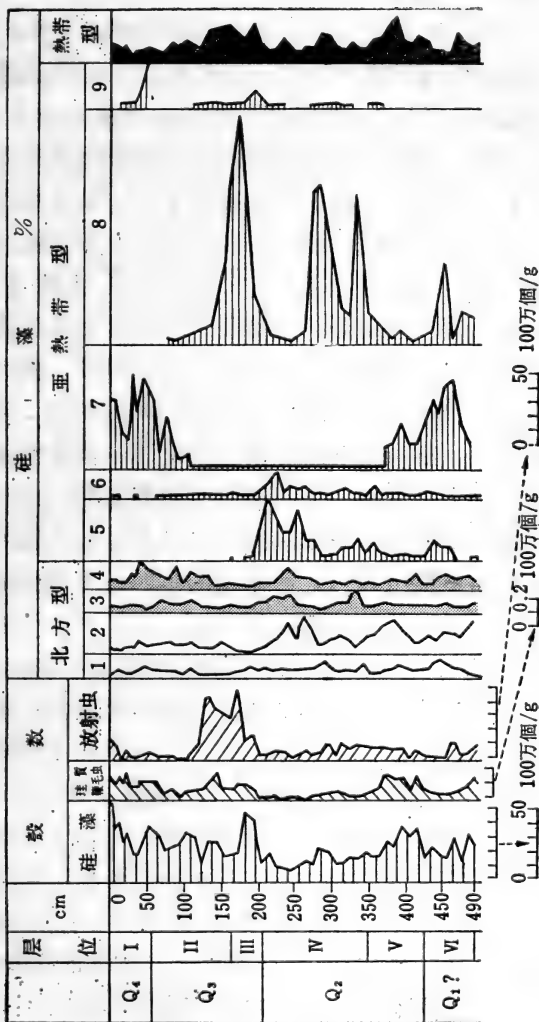


图 37 3155点 (40°32'8W, 166°13'.3W) 硅藻遗体的垂直分布  
(据朱斯, 1971)

1—*Coscinodiscus marginatus*; 2—*Denticula seminata*; 3—*Rhizosolenia hebetata*; 4—*Thalassiosira excentrica*; 5—*Coscinodiscus wailesii*; 6—*Rhizosolenia styliformis* v. *fatissimay*; 7—*Thalassiosira decipiens*; 8—*T. ostrupii*; 9—*Pseudoecunoina doliolus*

(温暖期)。这一 Td 值的高值期，在陆区桃子地区也有表现（小泉、金谷，1975）。陆区在这一时期普遍受到海侵，形成大阪群 Ma 5 层、横滨附近的屏风浦层等海相层。

朱斯（1961，1962，1963，1969，1971）认为北太平洋的第四系是在冰期、间冰期交替出现的情况下沉积的。他把表层沉积——层 I 定为全新统，向下以 II、IV 等偶数代表冰期沉积，III、V 等奇数代表间冰期沉积。划分的主要依据是遗体硅藻群中寒冷种与温暖种的出现频率，同时也考虑到单位沉积量中硅藻壳数（在北太平洋高纬地区，间冰期硅藻产量增高）和硅藻化石层位对比（图 37）。按此划分，第四系底部为层 VIII，即第四纪更新世最初开始于寒冷期。这一看法与上面提到的第四纪转冷时期的看法有些不同。不过，朱斯对第四纪冰期的解释存在某些混乱。例如，他曾把柱状样 V20—119 的 629—767 cm 层划为层 VIII（1969），后来（1971）又改为层 VI A，而对改动的原因并未说明。据宁柯维奇等（1966）的意见，这一层段相当于松山逆极期的上部（约 80 万年前），即上面谈到的整个北太平洋第四纪气候，开始正式转冷的时期，它不是海斯和布格林（1971）所确定的第四纪更新世的开始，而只是第四纪冰期的开始（小泉，1973）。

日本海盆北部 USSR 3602 点柱状样 ( $41^{\circ}09'06''N, 135^{\circ}18.1'E$ ，水深 3504 米，柱长 17.02 米) 的硅藻遗体，可以分为五层：即 I (0—140 cm)——冰后期；II (140—280 cm)——冰期；III (280—590 cm)——间冰期；IV (590—1033 cm)——冰期；V (1033—1702 cm)——间冰期。层 II 出现 33.3% 的淡水种，层 IV 见有再沉积的第三纪绝灭种（锡茨肯那，1959）。大和舟状海盆的柱状样 M40—3 ( $39^{\circ}03.5'N, 136^{\circ}44.5'E$ ，水深 2600 米，柱长 21 cm + 126 cm)，从所含遗体硅藻的垂向变化可以看出：1) 该样的 33 cm，相当于冰后期的“最适宜气候期”（约 6000 年前）；2) 63 cm，相当于冰后期与冰期的分界（约 11000 年前）（小泉，1970）。

#### (四) 异地硅藻遗体

在远洋沉积物中，除含有当地的海生浮游硅藻以外，还常常混有来自附近海底或陆地的二次沉积的异地硅藻，其中包括淡水的浅海底栖的或已经绝灭的遗体。

克尔贝(1955)曾在大西洋赤道海区海底柱状样中发现许多淡

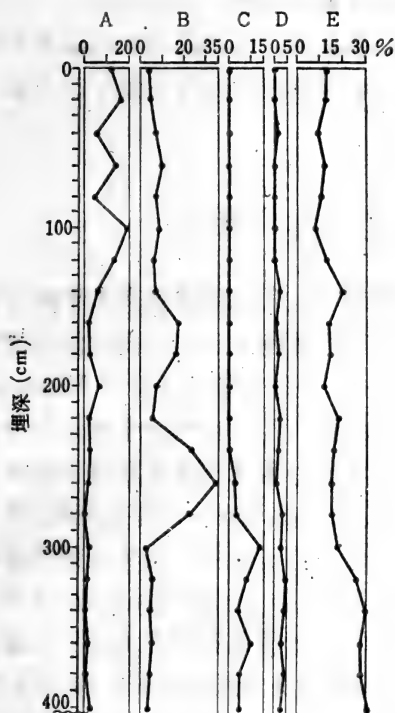


图 38 柱状样 V 28-265 遗体硅藻群生态类型的垂直变化

(小泉, 1973)

A—温暖种频率, B—寒冷种频率, C—绝灭种频率; D—淡水种频率; E—浅海底栖种频率, A—E 横轴数值为 200 个硅藻壳中所占百分比

水硅藻 (*Melosira granulata*, *M. ambigua*, *Stephanodiscus astraea*, *Epithemia argus*, *Cymbella turgida* 等)。这些淡水硅藻可能是被河流或风自邻近非洲大陆搬来的, 也可能这里以前是陆地, 以后才下沉成为海洋 (克尔贝, 1955, 1957)。后来, 福尔格 (1967) 在该区采集的由烈风自非洲大陆吹来的沙尘中, 也发现了许多淡水硅藻, 其中许多种与克尔贝 (1955) 在柱状样中发现的相同。

产自日本海隐岐舟状海盆的柱状样 V 28-265, 据硅藻化石分析, 该样 130 cm 处为冰后期与冰期的分界, 130—290 cm 为玉木冰期沉积。此冰期沉积中, 见有异地硅藻出现

(图38),即自130cm向下,不仅浅海底栖种逐渐增多,而且连续出现淡水种,260cm以下还见有许多中新世的绝灭种。这种情况在大和舟状海盆所采柱状样中也可见到。该海盆玉木冰期沉积(140—280cm)中,在190cm以下,浅海底栖种增多,并出现淡水种和绝灭种。冰后期沉积的50—90cm间,也见有异地硅藻出现。以上日本海底沉积中所出现的异地硅藻,从沉积物的岩相、粒度、成分来分析,可以看作是由于冰期或寒冷期冰川发展、海面降低,致使海底滑坡和浊流作用增强的结果(小泉,1973.C)。

白令海的深海钻探试样也同样表明,该海区在冰川显著发展时期,有许多浅海底栖种和淡水种硅藻被带到海底深处。(小泉,1973b)。

### (五) 硅藻埋藏群的意义

最近,布克尔、斯坦登、波茨和布克尔利用许多南太平洋表层底质样,追索南极海特有的硅藻遗体随南极底层流向北流的流动路线。南极海的硅藻遗体中,有60%是这个海区特有的 *Nitzschia kerguelensis* 和 *N. lentiginosus* 组成。经过对这两个种水平分布的调查,已经了解,它们自南极海底沿着低凹水道和舟状海盆向北流动,一直可以达到南极底层流收敛的地方——菲诺克斯·特克洛群岛以北(约 $7^{\circ}\text{N}$ )(图39)。在北上的过程中,壳体受到机械破坏,壳的绝对数量减少。这种情况表明,研究硅藻遗体的分布,对于了解海底沉积物的来源、底层流的流路和海底地形是有意义的。同时也表明,在研究活体硅藻群转变为遗体硅藻群的过程中,必须注意到埋藏群的形成问题。

### (六) 湖相层中的硅藻遗体群

在作为陆地水域的代表的湖泊中,随着入湖泥砂的下沉,生长在湖里的硅藻遗体也一道下沉,形成湖底沉积物——湖相层。根据

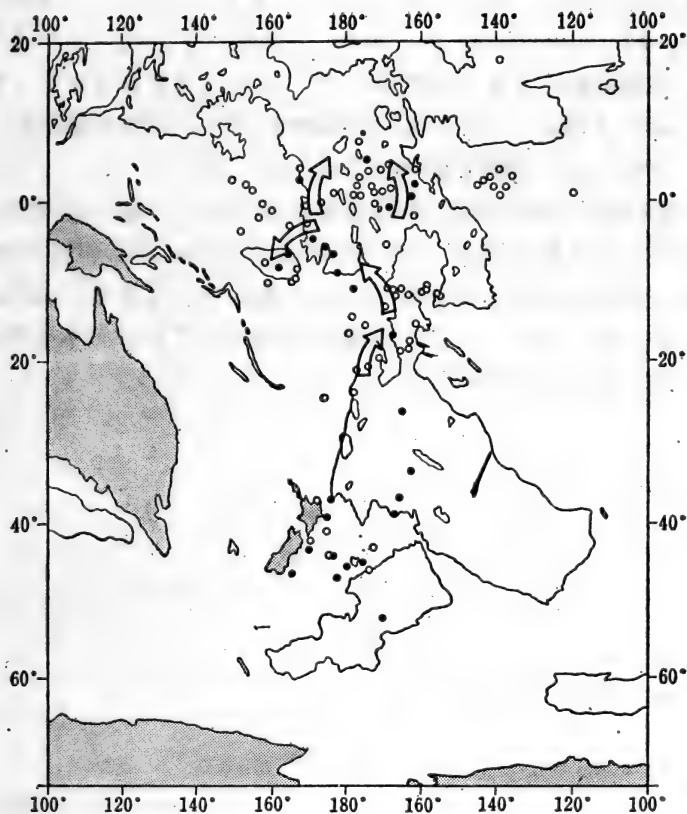


图 39 南中太平洋异地硅藻遗体在表层底质中的分布(波茨、布克尔)  
黑点为含有南极海特有种的底质, 箭头表示据异地硅藻  
遗体推测的南极海底层流流路

湖相层中的硅藻遗体群来分析沉积环境和古湖盆形态是很有成效的(小林, 1962; 野口、中上, 1968; 桑本1971; 田村等, 1971)。此外, 湖相层常常具有颜色深浅不同的条带, 应用硅藻遗体群来解决这种条带的成因, 也有不少实例。

阿久津(1960, 1964)对盐原群、宫岛层的灰色、白色条带的成因, 作了明确的解释, 即当湖水因受洪水的影响而变成中营养

湖或富营养湖时，湖中将繁殖 *Melosira granulata* v. *angustissima*, *Stephanodiscus niagarae* 等硅藻，于是形成灰色条带；当这些硅藻消耗了水中的营养盐类，使湖变成贫营养湖时，则湖中硅藻将以 *Stephanodiscus niagarae* 为主，这时便形成白色条带。在更大洪水影响下还可以形成灰褐色泥岩。

本宿层上部湖相层的灰白色和灰色条带，与所含硅藻属种无关，两者都是由 *Melosira granulata*, *Stephanodiscus niagarae* 等组成。条带的成因主要是由于灰白色条带中硅藻壳多，灰色条带中硅藻壳少。藤田（1970）认为，灰白色条带是在湖水安静、宜于硅藻繁殖的条件下形成的。

## 七、硅藻化石群的古环境分析

根据硅藻遗体群来恢复第四纪沉积环境的问题，在前面已经谈到，这里再谈谈有关恢复新第三纪古环境的一些例子。

市川等（1955）根据对能登半岛中新统山户田硅藻泥岩中硅藻化石群的分析，认为该泥岩沉积盆地本来是一个东侧有开口的、时有海水注入的半咸水湖盆，后来由于海水注入量急剧增加，沉积盆地才由半咸水湖盆转变为海区。

小泉（1972，1973 d）曾对福岛、宫城两县沿太平洋岸呈带状分布的上新统竜口层的硅藻化石群进行统计分析，结果查明，在竜口层沉积时期，暖流（古黑潮）的影响和现在一样，愈向南部愈强。北部沿仙台周围至北上河谷为内海型沉积盆地。此盆地开始时为浅海，以后有所加深，后来又转变为浅海。

巴伦（1973）根据朱斯等（1969，1970）对太平洋表层底质硅藻遗体地理分布的研究结果，分析了加利福尼亚圣大巴巴拉附近中新统一上新统沉积时期的古水温。分析结果表明，该地水温在莫尼安阶晚期约为 $10^{\circ}\text{C}$ ，莫尼安阶—特尔莫尼安阶（中新世）水温呈波动式徐徐上升，至上新世初期，约达 $17^{\circ}\text{C}$ 。硅藻化石反映的水温的这一变化情况，与根据其他微体化石的研究结果颇为一致。

以上所列举的例子，可以说都是正确的。不过应该指出，用硅藻化石来分析古环境，通常是借助于生态特征已经了解清楚的现代种。而实际上，沉积层年代愈古老，现代硅藻愈少，生态特征不清的绝灭种愈多。因此以现代硅藻种为基础来分析研究古代环境，有一定的局限性。

泽村（1973a）认为，在进行古环境分析中，有必要推测硅藻群中占优势的绝灭种的生态特征。他对日本东北地方，根据已

有资料，分析了该地主要绝灭种与现代种的关系和绝灭种在层位和地理分布上的规律性，从而确定了出现频率很高的绝灭种 *Actinocyclus ingens* 为远洋种，*Denticula* spp. 为近海种。在此基础上，他把该地中、上新统的硅藻群划分为远洋种、近海种和近岸——淡水种，并用三角图法表示三者的数量关系。最后得出：1) 远洋种自女川阶以来逐渐减少；2) 船川阶早期，远洋水明显注入，硅藻群发生质的变化；3) 以后沉积盆地逐渐缩小，变成内海型；4) 男鹿地区从船川阶早期末到后期，很快从近海带转变为沿岸带；和 5) 本州西北端和北海道南部地区远洋种比较丰富等一些看法（图40）。

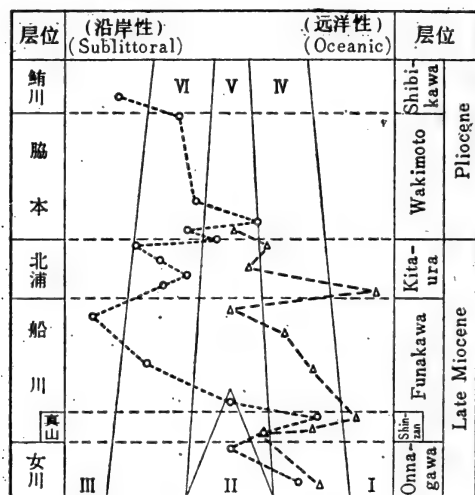


图 40 男鹿、鯉泽地区硅藻化石群的层位变化

(泽村, 1973a)

- 男鹿地区 (Oga district), ▲—鯉泽地区 (Ajigasawa district)  
 I—远洋区 (Oceanic field), II—近海区 (Neritic f.), III—沿岸区 (Coastal f.), IV—外过渡区 (Outer transition f.), V—亚近海区 (Subneritic f.), VI—内过渡区 (Inner transition f.)



## 八、硅藻化石地层学

### (一) 硅藻地层学的发展

自从汉那 (1927a、b) 在加利福尼亚莫罗诺页岩中发现白垩纪晚期的硅藻化石，并指出其在地层学上的意义，以后有关环太平洋地区硅藻化石的记载和地层划分的工作，日益增多，但以研究不同硅藻种的地层分布 (生存期, Stratigraphic ranges) 为基础的近代硅藻化石地层学，主要还是开始于金谷 (1957, 1959) 的工作。目前，若干硅藻属和种的进化系列 (亲缘关系) 已渐被查明，根据已积累的资料，按硅藻种来划分上白垩统和第三系各统是有效的。

以前有关硅藻化石地层的研究工作，大都限于陆地出露的沉积岩，其发展情况，可归纳如下：

1. 苏联所进行的各项研究工作，可以朱斯和希索克娃、普列兹卡娅 (1963) 的工作为代表。他们研究的重点是硅藻化石种的分类和记述，同时对属的地理和地层分布也作了论述。据他们的研究，中生代和新生代的硅藻，存在着种的差异；新第三系含有许多老第三系未见的新的超科。后来，格富塞 (1974) 也总结了苏联的研究工作，他按时代分别记述了苏联各地自白垩系至现代沉积中硅藻遗体化石的地理分布和产出层位，对以前的研究工作作了补充；

2. 过去有关白垩系硅藻的研究，主要限于加利福尼亚地区，但最近在苏联 (主要是乌拉尔地区) 也提出了许多有关这一时期的硅藻研究报告 (普罗斯金娜、拉夫连克, 1949; 朱斯, 1951a; 斯提尔尼克娃, 1965a, 1956, 1966b)。斯提尔尼克娃 (1974)

详细地记述了苏联白垩系硅藻种的地理分布和产出层位；

3. 关于古新统、渐新统硅藻化石的报告和记载,以在苏联提出的较多(普罗斯金娜、拉夫连克, 1949; 朱斯, 1951b, 1955; 斯提尔尼克娃, 1960; 格雷塞, 1962);

4. 始新统硅藻,最初由汉那(1927a)在加利福尼亚作过研究,以后在其他地方也提出了许多这方面的报告和记载,如加利福尼亚(金谷, 1957)、新西兰(许拉德尔, 1969)、苏联(普罗斯金娜、拉夫连克, 1949; 朱斯, 1955; 斯提尔尼克娃, 1960; 格雷塞和普斯诺娃, 1964; 希索克娃、普列兹卡娅和格雷塞, 1964; 格雷塞和希索克娃、普列兹卡娅, 1968);

5. 拉茵霍尔德(1937)曾研究爪哇岛中新统、上新统硅藻的地层分布;

6. 朱斯(1962)编纂了苏联远东地区(萨哈林、堪察加、科曼多尔群岛)自中新统上部到现代沉积中主要海生硅藻种的出现层位。后来,这一地区海生硅藻群的变迁,被划为七个阶段(希索克娃、普列兹卡娅, 1967);

7. 在日本,最初研究和记载了能登半岛的中新统硅藻(市川等, 1955, 1956; 石川, 1960; 石川等, 1964),接着又对本州中新统中部(金谷, 1959; 泽村, 1963)和中新统中部—上新统(小泉, 1968)的浮游硅藻群进行了带的划分。在进行本州东北地方和北海道中新统的对比当中,曾讨论依据硅藻化石对比地层的可靠性问题。结论是,硅藻化石对于进行较大范围的地层对比是有效的。为此,将本州东北和北海道的中新统硅藻群自上而下划分为如下几个带: B<sub>3</sub>群——以*Thalassiosira*属为主(北浦阶); B<sub>2</sub>群——以*Coscinodiscus marginatus*为主(船川阶); B<sub>1</sub>群——以*Actinocyclus ingens*, *Denticula*属为主(女川阶)和A群——几乎不含上述层种(泽村、山口, 1961, 1963; 泽村, 1963a)。嗣后,又对本州西北部、鲭泽地区中新统和上新统硅藻群的差异,作了研究(小泉, 1966),进一步探讨了本州东北地方(宇野, 1968; 秋叶, 1972)、北海道(奏、长谷川, 1970; 押手, 宇野

1971) 中新统硅藻种的层位分布和对比问题;

8. 有关北美西海岸的第三系硅藻,以往已经有过不少研究报告(汉那, 格兰特, 1962; 汉那, 1930 b, 1930 c; 1932; 洛曼, 1928, 1950) 并提出了 *Denticula* 属的层位分布和利用其进行地层对比的问题(西蒙森、金谷, 1961)。后来, 许拉德(1973 b) 又根据加利福尼亚海的深海钻探试样, 对该属的分类和层位分布作了进一步研究。此外, 加利福尼亚(伏姆哈特, 1967; 巴伦, 1975a) 和奥莱肯(奥尔等1971; 奥尔, 1971) 等地的新第三系硅藻种的记载和层位分布的研究工作, 亦在进行。

随着上述环太平洋地区硅藻的地层分布和各层位间硅藻群变化情况的研究, 逐步开展各个地区的硅藻分带工作。并在此基础上, 开始寻找某些非地区性的、可资追索广大地区时间界限的硅藻及其出现频率的研究工作。所有这些工作, 使得硅藻地层学进入了一个新的发展阶段。

## (二) 现阶段的硅藻地层学

近年来, 海生浮游硅藻的生物地层学已有明显的发展。这首先表现在硅藻化石分带方面, 从种的出现和绝灭的“事件”中, 找到了适用于广大地区确定地层年代的基准面(datum plane); 其次还表现在, 由于作为时间尺度的古地磁层位学的引进, 使时间的精度得到了明显的提高; 另外, 深海钻探计划所提供的连续沉积的柱状样, 也为开展硅藻化石地层学的研究工作, 创造了有利条件。目前, 在许多海域都在开展海生硅藻地层学的研究工作, 其中以在北太平洋地区所进行的工作最多。

### 1. 硅藻种的生存期与硅藻地层学

金谷、小泉(1970) 通过分析已知年代样品(用硅藻以外其它标志确定的年代)中的硅藻化石, 分析研究了环太平洋地区海生浮游硅藻的生存期。这一研究提供了不少以往不太清楚的硅藻种的层位分布资料。图 41 是在两个以上地区同时发生的硅藻事

件，其中包括以往研究太平洋底沉积时已经提到的事件，也包括一些新的事件。主要新的事件有：

(1) *Rhizosolenia curvirostris* 在布伦赫斯正极期中期消灭；

(2) *Nitzschia reinholdii* 在贾拉米洛正磁极事件与布伦赫斯正磁极期之间消灭；

(3) *Actinocyclus oculatus* 在贾拉米洛正磁极事件消灭；

(4) *Nitzschia fossils* 在奥尔都维正磁极事件与贾拉米洛正磁极事件之间消灭；

(5) *Pseudoeunotia doliolus* 在奥尔都维正磁极事件出现；

(6) *Thalassiosira convexa* 在松山逆磁极初期消灭。

所述各种硅藻事件，由于原来样品的年代有些不够确切，以及供分析的样品还不够齐全等原因，可能存在一定误差。所以有关硅藻的层位分布和对比问题，今后尚应继续研究。

在上述研究工作之后，小泉(1973a)用同样方法研究了日本本州各地中新统一上新统海生浮游硅藻群，并将其划分为五个带。由上而下：

a. *Denticula seminae* 带；

b. *Denticula seminae*—*Denticula kamtschatica* 带；

c. *Denticula kamtschatica* 带；

d. *Denticula hustedtii* 带；

e. *Denticula hustedtii*—*Denticula lauta* 带。

据秋叶(1975)最近的研究，这个分带也适用于北海道西部各地。

自从上村、泽村(1973)自缺少化石硅质页岩的碳酸盐团块中找到保存良好的硅藻化石以后，化石分带的这部分空白始被填补，同时也为分析其沉积环境提供了依据。泽村在研究三浦、房总两地含碳酸盐团块的中新统硅藻化石的基础上，将该地中新统的硅藻群划分为 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 四带。将此划分与整个环太平洋地区中新统硅藻化石进行比较分析，可以看出，中新统中期是

(IV) 热带太平洋

(II) 北中太平洋

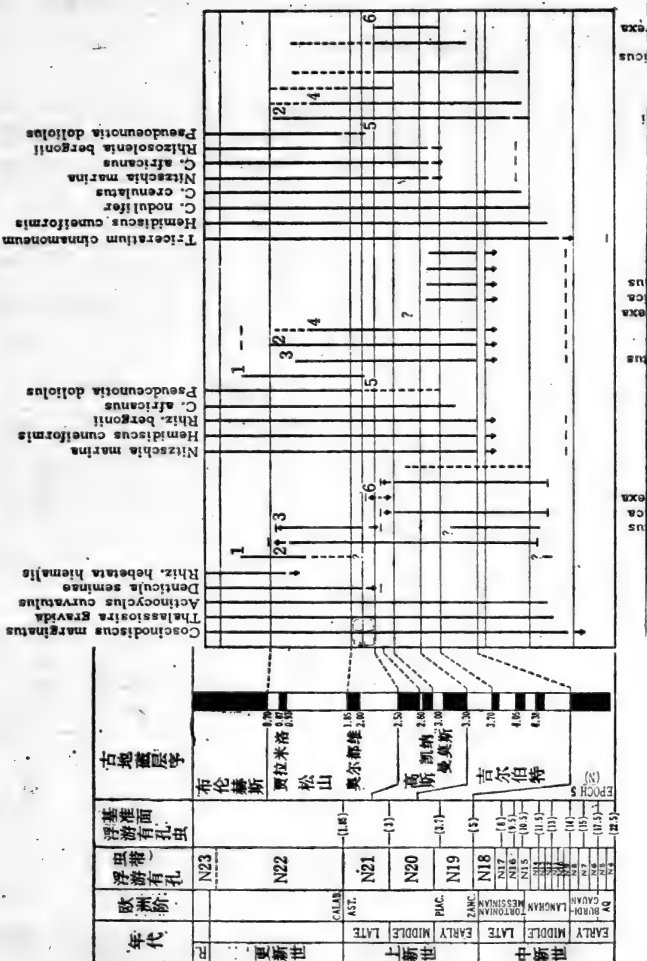


图 41 环北太平洋地区中新世晚期—更新世的硅藻事件  
 (图中数字) (金谷, 小泉, 1970)  
 CALAB—卡拉布里, PLAC—普列赞, TORTONIAN—托尔顿, LANGHAN—兰格, AQ—阿奎坦, AST—阿斯提, ZANC—真土, MESSINIAN—麦兴, BURDIGAUAN—布尔季加

新旧硅藻化石群的交替时期。在进行中新统分层和进行表日本与里日本中新统对比时，以下列一些硅藻事件作为标志是合适的，即自下而上：*Actinocyclus ingens*, *Denticula lauta* 的出现期；*D. hustedtii* 的出现期；*Kisseleviella carina* 的绝灭期和 *Hemidiscus cuneiformis* 出现期（图 42）。

	硅藻年代基准面	三浦半岛	房总半岛	男鹿半岛
上新世		上 总 层 群		
中新世晚期	<i>Hemidiscus</i> ↑ <i>cuneiformis</i>	三浦层群 { 池郷砂岩层 逗子泥岩层⊗ 田越川礫岩层	安野互层 稻子沢泥岩层 千畑礫岩层	豊岡层群 北浦~船川階⊗
中新世中期	↓ <i>Kisseleviella</i> <i>carina</i> <i>Denticula</i> ↑ <i>hustedtii</i>	矢部层⊗	天津层⊗ 木の根层 中尾原层⊗ 大崩层 奥山层	佐久间层群 女川階⊗ 西黒沢階
	↑ <i>Actinocyclus ingens</i> ↑ <i>Denticula lauta</i>			
中新世早期		葉山层群 { 衣笠层 大山擢层 森戸层⊗	泥岩相⊗ 砂岩相	保田层群 台島階

⊗ 产硅藻化石

↑ 出现期

↓ 绝灭期

图 42 三浦、房总、男鹿地区硅藻化石层位对比

(泽村, 1973a)

关于加利福尼亚地区的新第三系硅藻化石层位分布及其与其他地区硅藻化石带的对比，以往研究的不多。最近巴伦(1975a, b) 对此开展了研究。不过他所划分的各个带的年代，由于沿用了以往该地常用的时代界限，因而与许拉德尔(1974) 的研究结果有所不同。

在此以前，金谷（1970）曾就钻探莫霍面的深海柱状样研究硅藻化石的层位分布和分带，进一步分析了曾被克尔贝（1954）研究过的热带东太平洋柱状样（SW 76），认为，据硅藻化石的对比，柱状样（SW 76）中存在不整合，其下部植物群属莫尼安阶（中新世）。后来，许拉德尔（1974）又以深海钻探计划第18节所获样品的硅藻分带（许拉德尔1973a）和布克尔（1972）的分带为基础，进一步研究该莫霍面钻孔的硅藻群，重新确定了该孔各层年代，并记述了硅藻种。

朱斯（1974a, 1974b）根据过去所获热带太平洋底样品的分析结果，编纂了自渐新世至现代的硅藻种的生存期（图43）。

1: *Hemiaulus polycystinorum*, 2: *H. angustus*, 3: *H. longicornis*, 4: *Triceratium barbadense*, 5: *Rylandsia biradiata*, 6: *Cestodiscus pulchellus*, 7: *Coscinodiscus mexicanus*, 8: *C. argus*, 9: *Asterolampra praemarylandica*, 10: *Cestodiscus mihinae*, 11: *C. robustus*, 12: *Coscinodiscus oligocenicus* var. *oligocenicus*, 13: *C. sellatum*, 14: *C. excavatus* var. *quadriocellatus*, 15: *Rouxia hannai*, 16: *Craspedodiscus coscinodiscus*, 17: *Coscinodiscus princeps*, 18: *C. oligocenicus* var. *nodosa*, 19: *C. lewisianus* var. *similis*, 20: *C. lanceolatus*, 21: *C. vigilans*, 22: *Rouxia quadrangula*, 23: *Synedra jouseana* f. *linearis*, 24: *Synedra* sp., 25: *Aulacodiscus* aff. *pellucidus*, 26: *Biddulphia* sp., 27: *Asteromphalus minimus*, 28: *Bogorovia veniamini*, 29: *Coscinodiscus paleaceus*, 30: *Kozloviella edita*, 31: *K. pacifica*, 32: *Bogorovia tenuis*, 33: *Actinocyclus miocenicus*, 34: *A. ingens*, 35: *Coscinodiscus marginatus* var. *antiqua*, 36: *Denticula lauta*, 37: *D. nicobarica*, 38: *D. hustedtii*, 39: *Coscinodiscus vetutissimus*, 40: *C. yabei*, 41: *Actinocyclus ellipticus*, 42: *Triceratium cinnamomeum*, 43: *Nitzschia porteri*, 44: *Nitzschia miocenica*, 45: *Thalassioira praeconvexa*, 46: *Coscinodiscus praelineatus*, 47: *Nitzschia jo-*

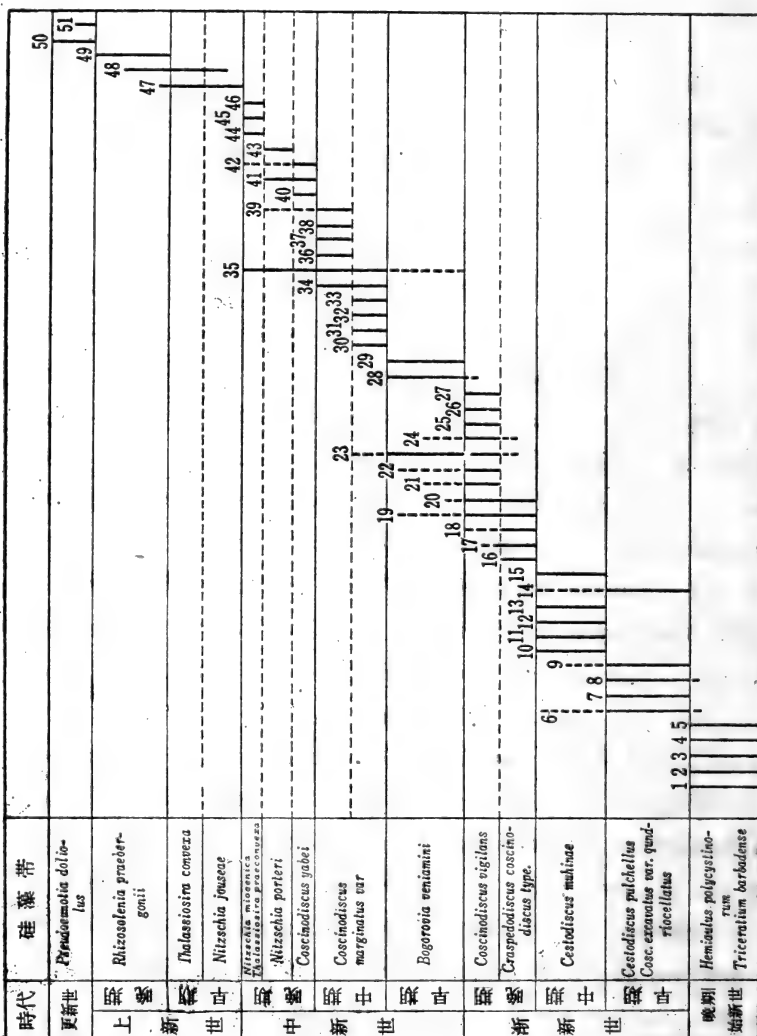


图 43 热带太平洋始新世晚期—更新世的硅藻分带

(朱斯, 1974a,b)



*useae*, 48; *Thalassiosira convexa*, 49; *Rhizosolenia praebergonii*, 50; *Pseudoeunotia doliolus*, 51; *Mesocena elliptica*

## 2. 古地磁与硅藻地层学

古地磁的层位变化，是一种与海洋生物变化完全无关的现象。根据古地磁的测定，可以较高的精度确定地层的世界性时间界限，它是一种非常有效的的时间尺度。

唐纳荷（1970）曾根据北太平洋地区已查明古地磁层位和放射虫分带的七个柱状样，对这个海区的第四系，按硅藻的绝灭种进行过分层。

布克尔（1972）把热带东太平洋许多海底柱状样海生浮游硅藻的层位分布，同其他微体化石及古地磁层位进行比较，提出了该区自中新世（古地磁期11）以来的硅藻分带。这个分带，精度高，界限明确（图44）。在此基础上，布克尔又把热带东太平洋和日本男鹿半岛（小泉，1968）两地共同的硅藻事件（*Rhizosolenia praebergonii* 的出现，*Thalassiosira nativa* 的层位分布，和 *Coscinodiscus yabei* 的绝灭等）加以比较，提出：船川层的上部和北浦层可与上新统上部对比；中新统与上新统分界位于船川层的下部；女川层上部与船川层下部之间存在不整合或沉积速度急剧减缓的时期。后来，木村（1972，1974）、肯特（1973）、北里（1975）等研究了男鹿半岛的古地磁层位，特别是北里（1975）为了把握地层的等时面和其年代，几乎使用了目前所能使用的各种手段。最后确定，船川层上部正磁极期为奥尔都维正磁极事件，胁本层下部的正极期为贾拉米洛正磁极事件。

布克尔（1972）的研究工作后来又被深化了。目前硅藻的层位分布与分带及其与古地磁层位和其它微体化石层位的对比，已向下伸延到中新统下部（古地磁期19）。

近年来，苏联学者也积极地把作为时间尺度的古地磁层位引进到硅藻层位分布和分带的研究工作中（朱斯和彼特洛谢夫斯卡娅1974；卡萨利娜和杰米琴克，1974）。

另外，关于陆地出露的海相层古地磁层位与硅藻层位分布、

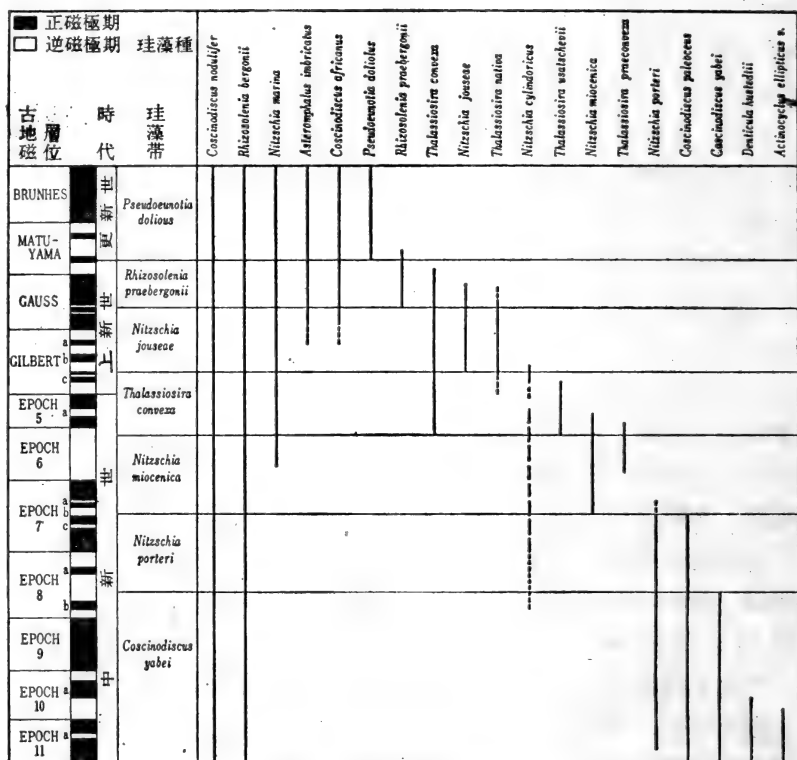


图 44 据热带东太平洋海底柱状样编定的中新统一更新统古地磁层位与珪藻的层位分布和分带

(据布克尔, 1972改编)

分带的对比研究工作,目前为数不多(北里, 1975; 小泉、金谷, 1975)。图 45 是有关日本铍子地区更新统的研究成果。该图表示了四个主要硅藻基准面与古地磁层位及其它微体化石(浮游有孔虫、超微化石、放射虫)事件的关系(小泉、金谷, 1975)。

目前,在确定古地磁层位的时代时,一般是先根据微体化石来确定沉积层是否是连续沉积的。因为在存在沉积间断的情况下,不同的正极期(或负极期)可能互相重叠。小林等(1971)曾对作过古地磁测定的两个柱状样的硅藻和放射虫进行分析研

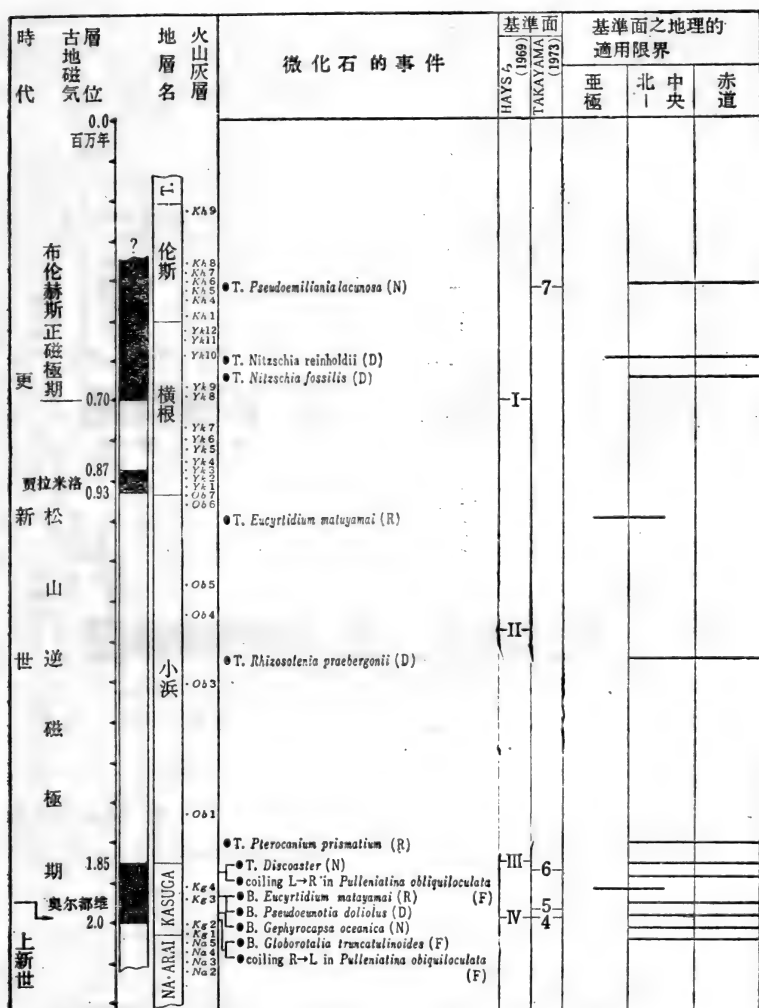


图 45 铈子地区的微体化石事件及其基准面的适用范围

(小泉、金谷, 1975)

N—石灰质超微化石, D—硅藻, F—浮游有孔虫, R—放射虫,  
T—绝灭; B—出现

究, 结果发现, 一个样由于缺少松山逆极期的沉积, 致使布伦赫斯正磁极期与高斯正磁极期的沉积直接接触 (图46)。

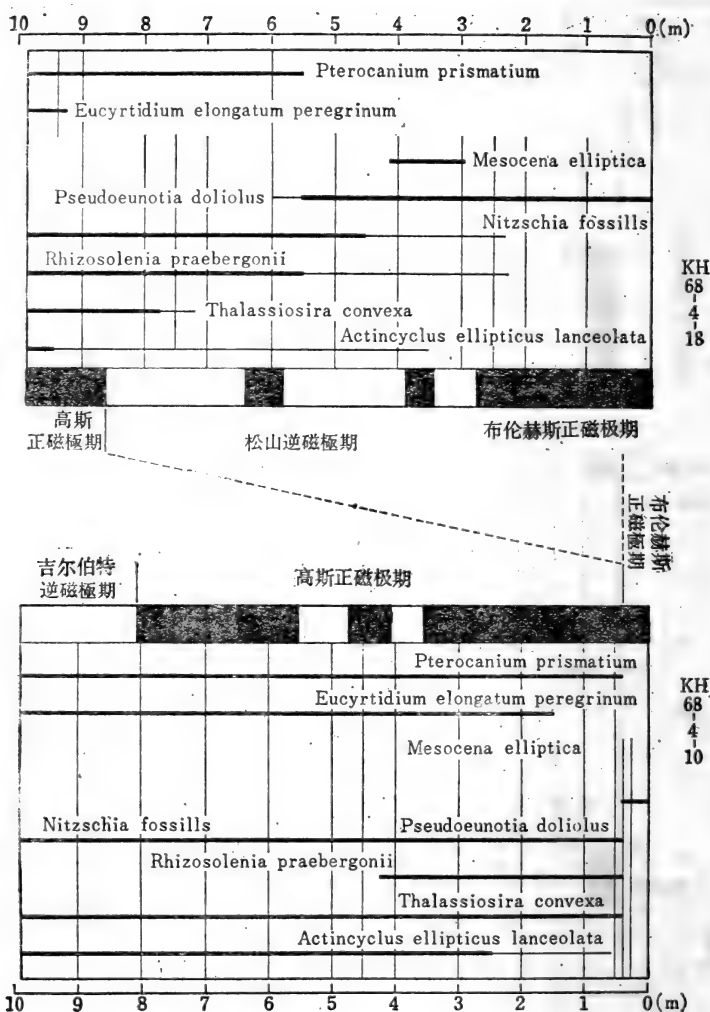


图 46 据微体化石标志所见沉积间断的一例  
(小林等, 1971)

关于地磁倒转与浮游生物绝灭之间的关系, 海斯 (1969, 1971) 认为放射虫的绝灭与地磁倒转有密切关系, 但两者明确的因果关系, 并未得到证实。最近在北太平洋, 对北纬 30—40° 范

围内的 13 个柱状样（其中 8 个已查清古地磁层位），进行浮游硅藻出现和绝灭层位的时间、空间分析，结果如 47 图所示，地磁倒转与硅藻种的绝灭之间，并未发现密切关系。如从硅藻群的

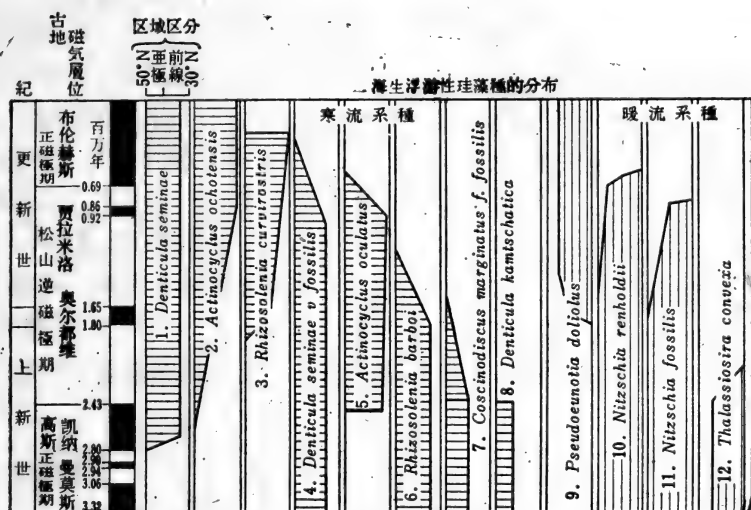


图 47 北太平洋北纬 30—50° 主要海生浮游硅藻时间、空间分布  
(小泉, 1975c)

组成种和 Td 值的变化（硅藻温度）看，硅藻种的绝灭主要还是由于第四纪冰期到来，海洋环境恶化（表层水温降低）所引起的（小泉, 1975 C）。

### 3. 深海钻探计划与硅藻层位学

以前，自海底采集的深海沉积物是零星的，其年代是通过对比陆地标准地质年代来确定。随着深海钻探计划的实施，在世界许多海区得以取得长达数百米几乎是完整连续的深海岩芯。利用这种连续的样品，可以有效地进行微体化石层位划分，并进而可以补充陆区分层的不足（金谷、井上, 1972）。海生硅藻化石研究者，积极参加了一些主要海区深海钻探计划中的硅藻层位研究工作。作为深海钻探计划报告书，已经发表和准备发表的研究报告

有：1)北太平洋区：许拉德尔 (1973a),小泉 (1973 b, 1975 c, 1975 d); 2) 热带太平洋区：伯克莱和福斯特(1973); 3)南极海：海佐斯 (1975), 麦克伦 (1975), 许拉德尔 (35节), 巩波斯 (36节); 4) 印度洋：许拉德尔 (1974) 及 5) 地中海：海佐斯等。

在这些研究中，北太平洋区的硅藻化石层位划分，可以通过对比热带东太平洋海区来确定，因为如前所述，后者的硅藻分带 (布克尔, 1972), 在目前看来是最有效的的时间尺度。在东北太平洋, 据许拉德尔 (1972a) 的意见, 可以深海钻探计划第 18 节在加利福尼亚海区的钻孔 173 作为硅藻层位划分的标准孔, 该孔硅藻群为寒流种与暖流种的混合群。在北太平洋高纬地区和日本海区, 据深海钻探计划第 19 节和第 31 节的分析结果来看, 硅藻为分析该区岩芯提供了重要的古生物基础 (小泉, 1973 b, 1975c)。在以上一些海区, 由于邻近的陆地已经积累了相当数量的硅藻地

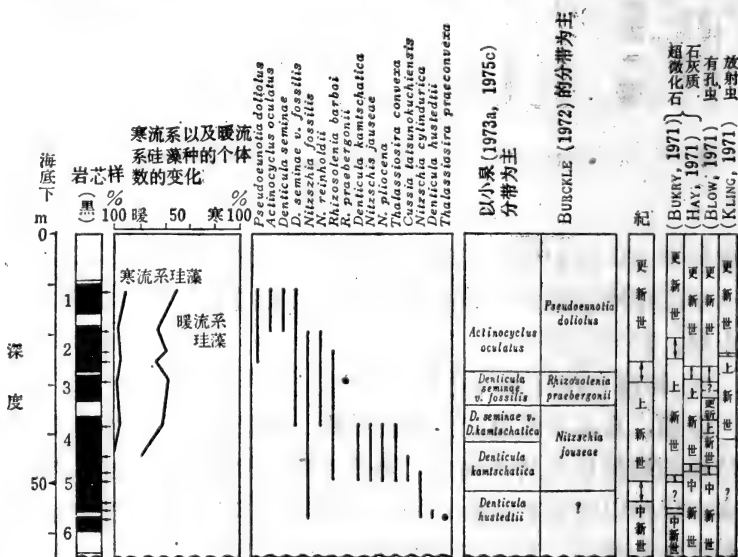


图 48 深海钻探计划第 6 节自西北太平洋谢吉海岭所取柱状样海生浮游硅藻层位分布、分带与石灰质超微化石、有孔虫、放射虫分层的比较 (小泉, 1975d)

层资料，因而有可能在这些地区首先编制成海底与陆地的统一的硅藻地层体系。另外，在北西太平洋中纬度地区，由于那里的硅

时代	带	硅藻	
更新世	Denticula seminae	Tm <i>Denticula seminae</i> v. <i>fossilis</i>	
		Tm <i>Rhizosolenia curvirostris</i> ; Tm <i>Thalassiosira nidulus</i>	
	Rhizosolenia curvirostris	Tm <i>Nitzschia fossilis</i>	
		Tm <i>Nitzschia reinholdii</i>	
	Actinocyclus oculatus	Tm <i>Actinocyclus oculatus</i>	
上新世	Denticula seminae v. <i>fossilis</i>	Tm <i>Rhizosolenia barboi</i>	
		Rhizosolenia barboi → R. <i>curvirostris</i>	
		Tm <i>Thalassiosira antiqua</i> ; Tm <i>Coscinodiscus pustulatus</i> ; <i>Nitzschia fossilis</i> → <i>Pseudoenotia doliolus</i> ; Tm <i>Rhizosolenia praebergonii</i> † e	
		Denticula seminae v. <i>fossilis</i> → D. <i>seminae</i>	
	Denticula seminae v. <i>fossilis</i>	Tm <i>Thalassiosira usachevii</i> † sub A; Tm <i>Thalassiosira zabelinae</i> † sub A	
		Tm <i>Cussia tatsunokuchiensis</i>	
	Denticula Kamschatica	Tm <i>Thalassiosira convexa</i>	
		Tm <i>Denticula kamschatica</i>	
	中晚新期	Denticula Kamschatica	Tm <i>Nitzschia jouseae</i> † e; Tm <i>Thalassiosira nativa</i> † e
			Bm <i>Rhizosolenia praebergonii</i>
Denticula Kamschatica		Bm <i>Actinocyclus oculatus</i>	
		Tm <i>Denticula hyalina</i>	
		Denticula <i>kamschatica</i> → D. <i>seminae</i> v. <i>fossilis</i>	
		Tm <i>Cosmidiscus insignis</i>	
中晚新期		Denticula Kamschatica	Tm <i>Coscinodiscus symbolophorus</i>
			Bm <i>Actinocyclus ochotensis</i> ; Bm <i>Coscinodiscus pustulatus</i> † sub A
			Tm <i>Coscinodiscus temperi</i>
			Bm <i>Thalassiosira nidulus</i>
	Denticula hustedtii	Bm <i>Cosmidiscus insignis</i>	
		Bm <i>Cussia tatsunokuchiensis</i> ; Bm <i>Thalassiosira nativa</i>	
		Bm <i>Thalassiosira zabelinae</i> ; Bm <i>Thalassiosira usachevii</i>	
		Tm <i>Rouzia californica</i> ; Tm <i>Goniothecium tenue</i> † sub A	
		Bm <i>Nitzschia jouseae</i> ; Bm <i>Nitzschia reinholdii</i>	
		Denticula <i>hyalina</i> → D. <i>Kamschatica</i> ; Tm <i>Denticula hustedtii</i> <i>Thalassiosira praeconvexa</i> → T. <i>convexa</i> ; Tm <i>Actinocyclus ingens</i> † sub A	
中晚新期	Denticula hustedtii	Bm <i>Thalassiosira praeconvexa</i>	
		Tm <i>Nitzschia fossilis</i> ; Bm <i>Thalassiosira antiqua</i>	
	Denticula lauta	Tm <i>Coscinodiscus endoi</i> † sub A	
		Tm <i>Coscinodiscus plicatus</i> † sub A	
		Bm <i>Thalassiosira praeconvexa</i>	
		Tm <i>Denticula lauta</i> ; Tm <i>Denticula dimorpha</i> ; Tm <i>Hemiaulus polymorphus</i> ;	
	Denticula lauta	Tm <i>Kisseleviellacarina</i>	
		Tm <i>Mediaria splendida</i> ; Tm <i>Rhizosolenia miocenica</i>	
		Bm <i>Rhizosolenia barboi</i> † e; Tm <i>Cussia paleacea</i>	
		Bm <i>Coscinodiscus temperi</i> ;	
Denticula lauta	Tm <i>Denticula nicobarica</i> ; Tm <i>Craspedodiscus coscinodiscus</i>		
	Tm <i>Stephanopyxis punctata</i>		
	Denticula <i>lauta</i> → D. <i>hustedtii</i> ; Tm <i>Macrora stella</i> ; Tm <i>Raphidodiscus marylandicus</i> ;		
	Bm <i>Cussia paleacea</i>		
Denticula lauta	Tm <i>Sceptroneis caducea</i> ; Tm <i>Coscinodiscus lewisianus</i>		

图 49 环太平洋地区中新统一更新统主要硅藻事件

(小泉, 1975e)

Tm—壳形变化的上限, Bm—壳形变化的下限, →演化系列,  
†—中纬度地区与亚极地区, (SubA) 或赤道区(c)间硅藻事件的区域差异

藻群是混合型的，因而有可能利用同一样品来分析研究不同生物地理区的硅藻分带。通过对布克尔（1972）和小泉（1973a, b, 1975c）两个在不同生物地理区所作的硅藻分带的分析研究，发现两个分带的界限，几乎适用于该海区全区。其中谢吉海岭柱状样的硅藻分层还与其他微体化石（放射虫、浮游有孔虫、超微化石）的分层非常一致（图48）：

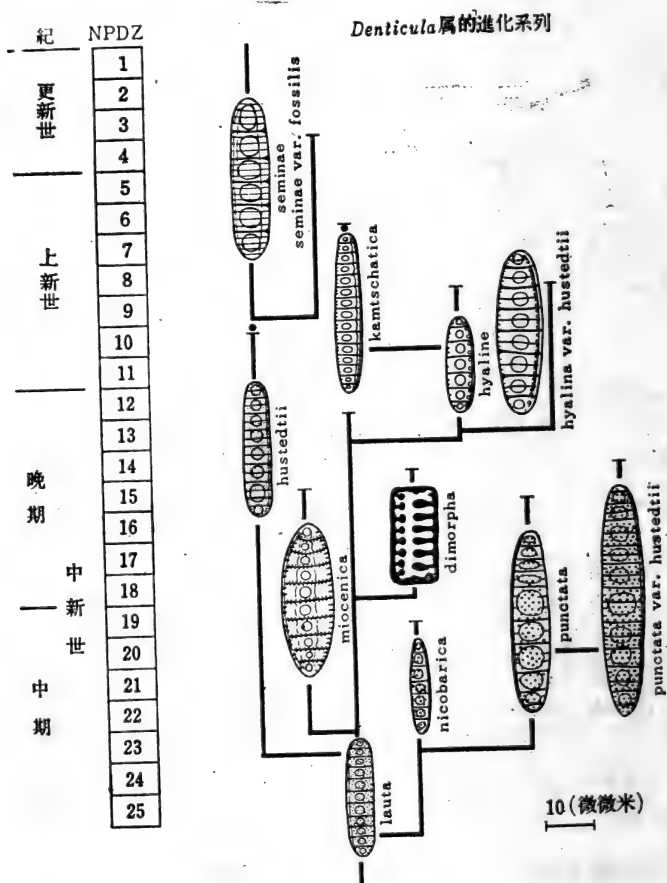


图 50 据深海钻探计划第18节样品所了解的 *Denticula* 属的演化系列 (许拉德, 1973b) NPDZ, 北太平洋硅藻带



根据已有的研究，并参照陆上资料，整个北太平洋自中新统中部至现代，海生浮游硅藻的层位分布和分带，可整理归纳如图49所示（小泉，1975a）。

深海钻探计划所提供的连续的沉积样品，为研究硅藻形态、构造的演化系列和演化过程以及演化过程的定性定量分析，创造了有利条件。这方面的研究工作，目前已有不少进展。图50是许拉德尔关于 *Denticula* 属演化系列的研究成果。

其它一些属和种群的演化系列（如 *Cussia* 属和 *Coscinodiscus yabei* 群）或演化过程的定性、定量研究（如 *Rhizolenia barbai*→*R. curvirostris*, *Nitzschia fossilis*→*Pseudoeunotia doilolus*, *Thalassiosira convexa* var. *aspinosa*→*T. convexa* 等），也正由一些学者进行研究。

## 九、海生硅藻的今后研究任务

今后海生硅藻的研究任务如下：

1. 现代海生浮游硅藻种的分布和生态的海洋参数标准化研究，海生浮游硅藻群的统计分析和电子计算机分析的研究；
2. 通过对沿岸型和近海型硅藻的培植实验，查明硅藻对生态条件变化的容许范围；
3. 硅藻在海水和海底——沉积物中的溶解，从硅藻活体群至遗体群到化石群的群体变化的研究；
4. 由化石硅藻群恢复活体硅藻群的研究；
5. 关于硅藻地层学：(1) 按国际地层命名规范进行分带；(2) 带的定义和伴生种的研究；(3) 基准面 (datum plane) 的定义；(4) 应用生物测定法对属、种级的演化过程的研究；(5) 硅藻种的绝灭的原因，绝灭的时间频率及与其它事件的关系的研究；(6) 热带太平洋、印度洋、北太平洋、南极海、大西洋等地标准层序的建立。
6. 浮游生物生态及生物地层学体系的研究。

## 参 考 文 献

### § 2.

- 丸茂隆三(編)(1974): 海洋プランクトン. 海洋学講座 10, 1-232, 東京大学出版会, 東京.
- パーソンズ, T. R. and 高橋正征(著), 市村俊英(訳)(1974): 生物海洋学, 1-246, 三省堂, 東京.
- 高野秀昭(1967): 珪藻類の生殖(総説). 日本プランクトン研究連絡会報, (14), 1-12.
- 時間 隆, 原田英司, 西村三郎.(1972): 海の生態学. 生態学研究シリーズ 3, 1-317, 築地書館, 東京.

### § 3.

- 小久保清治(1960): 浮遊珪藻類, 1-340, 恒星社厚生閣, 東京.
- HENDEY, N. I. (1964): An introductory account of the smaller algae of British coastal waters, Fishery Investigations Series N; part V, Bacillariophyceae (Diatoms), 1-317, Her Majesty's Stationery Office, London.
- HUSTEDT, F. (1962): Die Kieselalgen. Dr. L. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz VII. Band; Teil I, 1-920, Johnson Reprint Corporation, New York.
- HEYWOOD, V. H. (Ed.) (1971): Scanning electron microscopy, 1-331, Academic Press, London.
- FUNNELL, B. M. and RIEDEL, W. R. (1971): The micropalaeontology of oceans, 1-823, Cambridge University Press, London.

### § 4.

- JOUSÉ, A. P. and SHESHUKOVA-PORETSKAYA, V. S. (1963): Class Bacillariophyta, Diatoms. In BACHRAMEBA, V. A. (Ed.), Principles of Paleontology, The guide book for the paleontology and geology of the Soviet Union. A lgae, Brophyta, Psilophyta, Lycopsida, Arthropphyta, Pteridophyta, 55-151, Akademy Nauka S. S. S. R., Moskow.
- HUSTEDT, F. (1956): Kieselalgen (Diatomeen), 1-70, Kosmos-verlag Franckh, Stuttgart.
- SIMONSEN, R. (Ed.) (1972): First symposium on recent and fossil marine diatoms, Bremerhaven, September 21-26, 1970. Proceedings. 1-296, Heft 39, Nova Hedwigia, J. Cramer.
- VAN DER WERFF, A. and HULS, H. (1957-1966): Diatomeeën flora van Nederland.

### § 5.

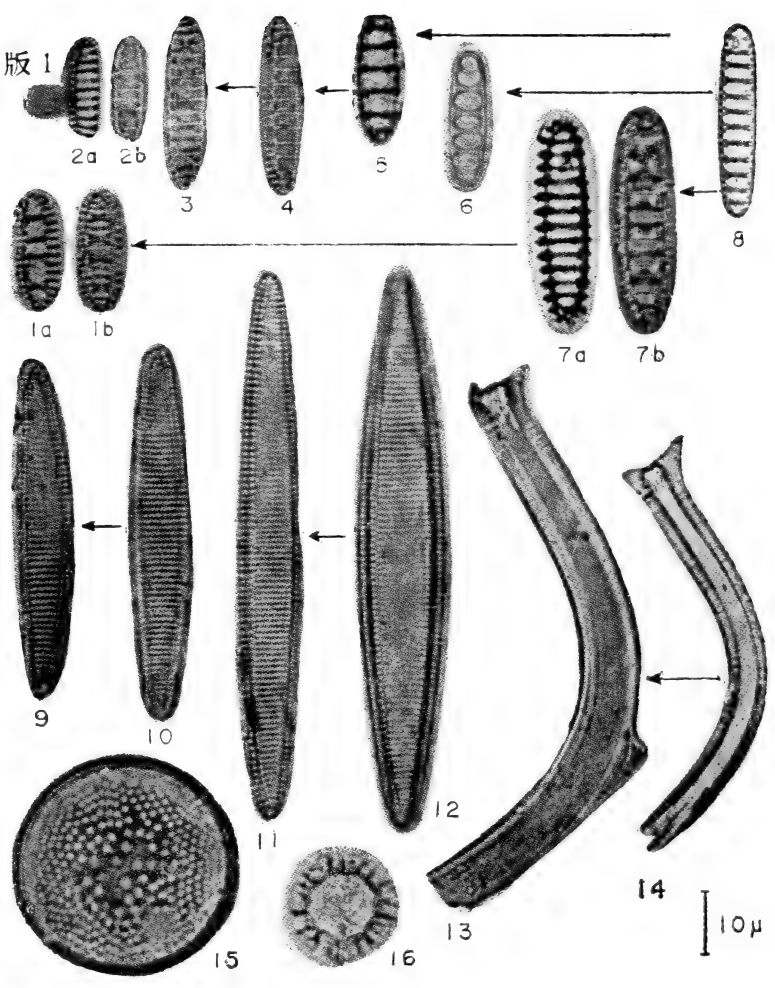
- PATRICK, R. and REIMER, C. W. (1966): The diatoms of the United States, Vol. 1, 1-688, Monographic Series No. 13, The Academy of Natural Sciences of Philadelphia.
- HUSTEDT, F. (1930): Bacillariophyta (Diatomeae), Heft 10, In PASCHER, A (Ed.), Die Süßwasser-Flora Mitteleuropas, 1-466, Jena.
- FOGED, N. (1954): On the diatom flora of some Funen Lakes, *Folia Limnologica Scandinavia*, No. 6, 1-75.
- SIMONSEN, R. (1962): Untersuchungen zur Systematik und Ökologie der Bodendiatomeen der Westlichen Ostsee, In WOLTERECK, R. (Ed.), *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie, Systematische Beihefte* 1, 1-44.
- SMAYDA, T J (1971): Normal and accelerated sinking of phytoplankton in the sea. *Marine Geology*, 11, 105-122.
- 金谷太郎, 井上雅夫 (1972): 深海堆積物, 337-528, 堆積物の化学. 海洋科学基礎講座 12, 1-571, 東海大学出版会, 東京.
- KANAYA, T. and KOIZUMI, I. (1966): Interpretation of diatom thanatocoenoses from the North Pacific applied to a study of core V20-130 (Studies of a deep-sea core V20-130, part VI). *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, 2nd ser. (Geol.), 37, (2), 89-130.
- HAYS, J. D. (Ed.) (1970): Geological Investigations of the North Pacific. 1-323, Memoir 126, Geol. Soc. America.
- §7.
- KOIZUMI, I. (1973): Marine diatom flora of the Pliocene Tatsunokuchi Formation in Miyagi Prefecture., *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, N.S., 79, 126-136.
- BARRON, J. A. (1973): Late Miocene-Early Pliocene paleotemperatures for California from marine diatom evidence. *Palaeo-geography, climatology, ecology*, 14, (5), 277-291.
- 沢村孝之助 (1973): 化石珪藻群集よりみた東北裏日本新第三紀後期の古地理的環境. 地質調査所月報, 24, (4), 193-213.
- §8.
- 金谷太郎, 小泉 格 (1970): 環太平洋地域の珪藻生層位学の現状と問題点. 海洋地質, 6, (2), 47-66.
- KOIZUMI, I. (1975): Late Cenozoic diatom biostratigraphy in the circum-North Pacific region. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 81, (10), 611-627.

# 图 版 及 说 明

## 图 版 1

1. *Denticula seminae* Simonsen and Kanaya, 1961, DSDP 19—184 (北太平洋高纬地区), 更新世晚期。
2. *Denticula seminae* Simonsen and Kanaya var. *fossilis* Schrader, 1973. DSDP19—188 (白令海), 上新世晚期。
3. *Denticula seminae* Simonsen and Kanaya var. *fossilis* Schrader 1973. V20—119 (北太平洋高纬地区), 更新世早期。
4. *D. kamtschatica* Zabelina, 1934, V20—119 (北太平洋高纬地区) 上新世早—晚期。
5. *D. hyalina* Schrader, 1973. DSDP 31—299 (日本海), 上新世晚期。
6. *D. dimorpha* Schrader, 1973, DSDP 31—299 (日本海) 中新世晚期。
7. *D. hustedtii* Siosehrader and Kansya 1961, DSDP 19—192 (北太平洋高纬地区), 中新世晚期。
8. *D. lauta* Bail, 1854. DSDP 19—183 (北太平洋高纬地区)。中新世中期。
9. *Pseudoeunotia doliolus* (Wall) Grun, 1880, (铍子、春日层) 更新世晚期。
10. *Nitzschia fossilis* (Freng.) Kanaya, 1870, TT 28—14 (北太平洋中纬度地区,) 更新世早期。
11. *N. marina* Grun., 1880, DSDP 32—303 (北太平洋中纬地区), 上新世晚期。
12. *N. reinholdii* Kanaya, 1970, TT 28—2 (北太平洋中纬地区), 更新世早期。
13. *Rhizosolenia curvirostris* Jouse, 1968, DSDP 19—193 (北太平洋高纬地区), 更新世晚期。
14. *R. barboi* Brun, 1894, DSDP 31—302 (日本海), 上新世早—晚期。
15. *Actinocyclus oculatus* Jouse, 1968, V20—119 (北太平洋高纬地区), 更新世早期。
16. *Thalassiosira hidulus* (Temp and Brun) Jouse, 1961, DSDP 31—301 (日本海), 更新世早期。
- 13、14. 壳为环视, 余为壳面视。

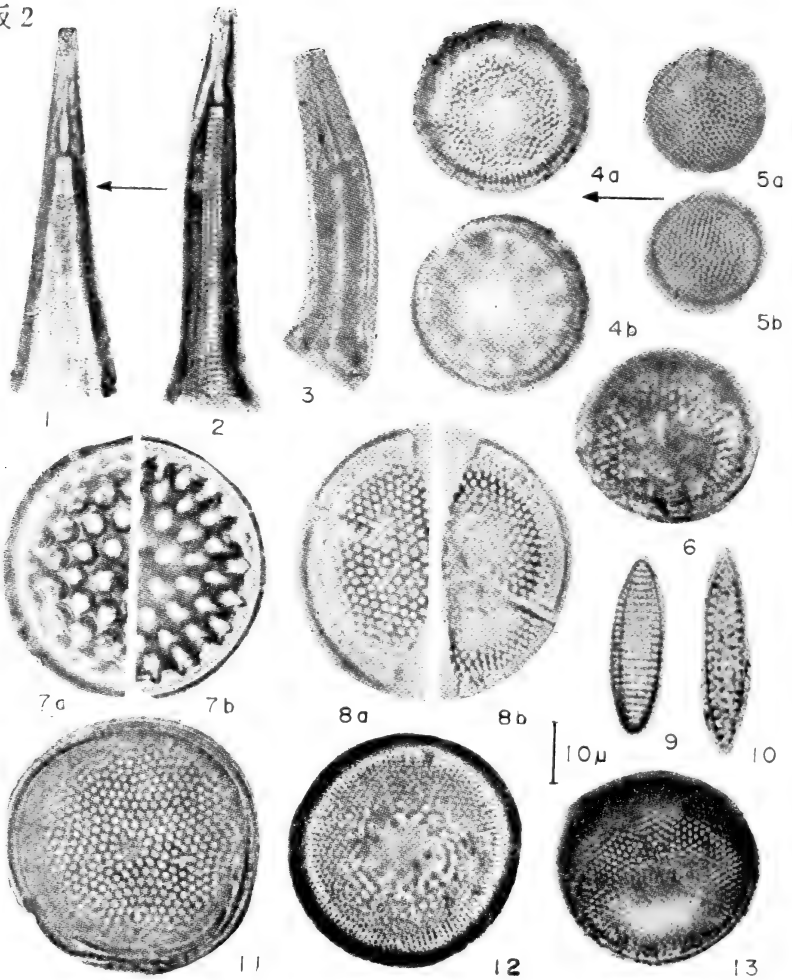
图版 1



## 图 版 2

1. *Rhizosolenia bergonii* Perag., 1892, (房总半岛, 国本层), 更新世早期。
  2. *R. praebergonii* Much., 1965, DSDP 31—299 (日本海), 上新世晚期。
  3. *R. miocenica* Schrader, 1973, (岐阜县, 生表层) 中新世中期。
  4. *Thalassiosira convexa* Much., 1965, DSDP 31—299 (日本海), 上新世早—晚期。
  5. *T. praeconvexa* Bcrkie, 1972, DSDP 32—303 (北太平洋高纬地区) 中新世晚期—上新世早期。
  6. *T. zobelinae* Jouse, 1961, DSDP 31—302 (日本海), 上新世晚期
  7. *Coscinodiscus pustulatus* Mann, 1907, V 21—148 (北太平洋中纬地区), 上新世晚期。
  8. *Thalassiosira usatschevii* Jouse, 1961, DSDP 31—301 (日本海), 中新世晚期—上新世早期。
  9. *Nitzschia jouseae* Burckie. 1972, DSDP 32—301 (北太平洋中纬地区), 中新晚期—上新世早期。
  10. *Cussia tatsunokuchiensis* (Koizumi) Schrader, 1974, DSDP 32—310 (北太平洋中纬地区), 中新世晚期—上新世早期。
  11. *Thalassiosira antiqua* (Grun.) Cl., 1941, DSDP 19—186 (北太平洋高纬地区) 上新世早期—晚期。
  12. *Cosmodiscus insignis* Jouse, 1961, DSDP 19—186 (北太平洋高纬地区), 上新世早—晚期。
  13. *Coscinodiscus symbolophorus* Grun., 1884. DSDP 19—192 (北太平洋高纬地区), 中新世晚期—上新世早期。
- 1—3 为壳环视, 6、13 为稍斜壳面视, 其他为壳面视。

图版 2





### 图 版 3

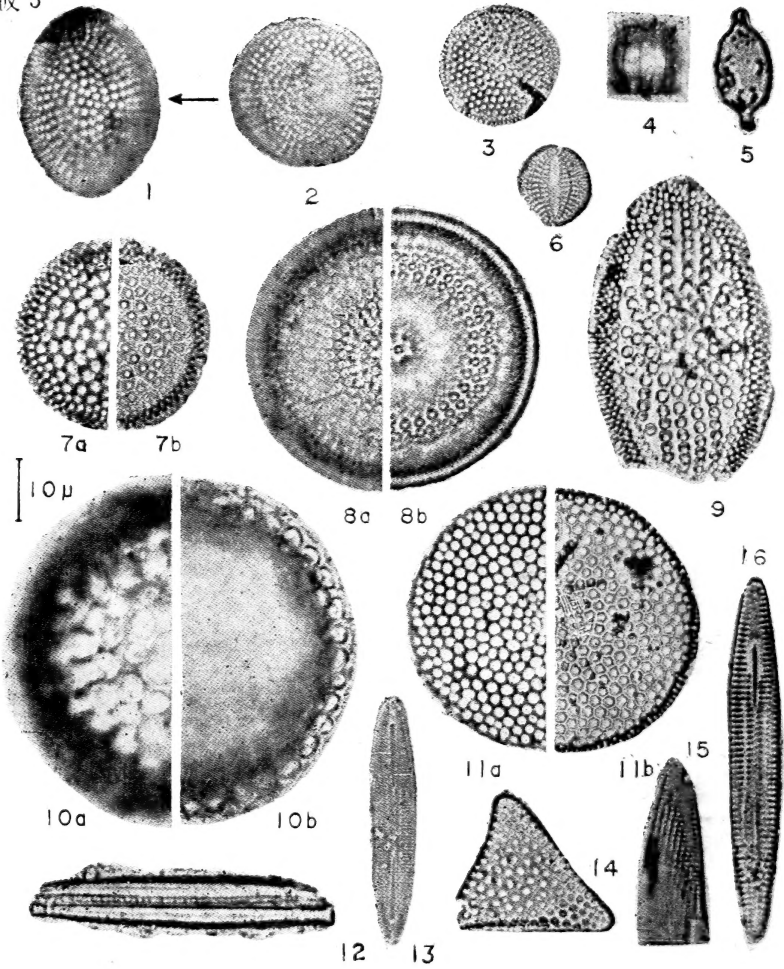
1. *Coscinodiscus temperi* Brun, 1889 (官城县, 龙口层), 上新世早—晚期。
  2. *C. yabei* Kanaya, 1959, (岐阜县, 生表层), 中新世中期。
  3. *C. endoi* Kanaya, 1959, (常磐地区, 治内层), 中新世早期。
  4. *Stephanogonia hanzawae* Kanaya, 1959, (常磐地区, 矾原层), 中新世晚期。
  5. *Kisseleviella carina* Sheshuk., 1962, DSDP19—186 (北太平洋高纬地区), 中新世中期。
  6. *Raphidodiscus marylandicus* Chris., 1887, (埠阜县, 生表层), 中新世中期。
  7. *Actinocyclus tsugaruensis* Kanaya, 1959, (常磐地区, 下手纲层), 中新世中期。
  8. *A. ingens* Ratt., 1890, DSDP19—183 (北太平洋高纬地区), 中新世中期。
  9. *Coscinodiscus lewisianus* Grev., 1866 (常磐地区, 下高久层), 中新世早期。
  10. *Stephanopyxis schenckii* Kanaya, 1959, (常磐地区, 治内层), 中新世早期。
  11. *Coscinodiscus vetustissimus* Pant., 1886, (常磐地区, 下高久层), 中新世早期。
  12. *Coniothecium tenue* Brun, 1894, DPSD 19—186, (北太平洋高纬地区), 中新世中期。
  13. *Rouxia naviculoides* Schrader, 1973, RC19—390 (日本海), 中新世晚期。
  14. *Triceratium condecorum* Bright., 1853, (常磐地区, 治内层), 中新世早期。
  15. *Mediaria splendida* Shesusk., 1962, DSDP 19—183 (北太平洋高纬地区), 中新世中期。
  16. *Rouxia californica* Perag., 1910, RC10—390 (日本海), 中新世晚期。
- 4、12. 为壳环视, 其他为壳面视。

图1—3中, 注a·b者: a以壳顶为焦点, b以基底为焦点。各个图的说明是: 属名、种名、原作者、发表年份, 产地或产出地层名称、该种分布的层位。产自海底堆积物者, 注有样号。箭头表示进化系列(祖先→子孙)。参见图4〔3〕。



S0014882

图版 3



北京植物所

收到期

237630

58.334

硅藻 1984

115

2. 5. 8. 5. 6. 2. 5

陈世群 + 2001. 4

2003年9月1日

58.334

115

### 注 意

- 1 借书到期请即送还。
- 2 请勿在书上批改圈点，折角。
- 3 借去图书如有污损遗失等情形须照章赔偿。

237630

京卡 0701

统一书号：15038·新

定 价： 0.70

科 目： 75—76