

資 料

底質珪藻遺骸からみた飯山貯水池酸性化の検討

今村 賢太郎

An Examination of Acidification based on Diatom Assemblage in Reservoir Inoyama Sediments

KENTARO IMAMURA

(Received Sept. 29, 1995)

緒 言

現在、酸性雨は世界的に広域化しており、その影響の著しい北欧や北米では、森林植生の衰退や陸水の酸性化による漁業資源の減少が深刻な問題となっている。

これには、これらの地域の多くが、花崗岩や珪岩などの基盤でCaイオン等のカチオンの供給が少ないうえ、基盤上の土壌も薄く、酸中和能が低いという背景的要因がある [24]。酸性雨の生態系への影響を測るうえで、湖沼のpHは重要なバロメータであるが、これらの地方では、酸性雨並の酸性度であるpH5.5以下の湖沼の比率が高い。

わが国の場合、降雨そのものの酸性度は、これらの地域とあまり変わらないが、流域の多くが、黒ボクや広葉樹林下に形成された褐色森林土など酸中和能の高い土壌で覆われているため、酸性雨に対する緩衝能は高いと判断されている [8]。湖沼のpHも火山湖等を除く一般湖沼の大半が6.0以上で、5.5以下の湖沼はほとんどみられない [9]。

広島県内主要45湖沼の調査 [15] では、pHは大半が7.0以上で、最低は県西部山間に位置する飯山貯水池（総貯水量1,781千 m^3 ）の6.4（1990年表層水平均値）であった。この貯水池は、集水域基盤が花崗岩で、特に汚染源もなく、貯水1 m^3 当たりの集水面積が1.62 m^2 と非常に狭いのが特徴である。つまり酸性雨の影響が著しい北欧等の湖沼と同じように、降雨があまり質的变化を受けずに溜まる立地にあり、このことが低pHの要因と推定された。その後、1991~1994年の当貯水池表層・低層水調査 [14] で、酸中和能を示すアルカリ度は0.05meq/l（平均値）、酸性成分である硫酸イオンは2.3mg/l（平均値）といずれも県下湖沼平均値に比べ著しく低く、周辺降水とほぼ同じ値であることが明らかになった。さらにプランクトン調査では酸性湖沼

指標種の渦鞭毛藻の一種が優占していることが判明した [1]。

このような降水起源の貧汚濁性軟水湖沼は、降水の質の変化に対して、生態系がプランクトンなどの種の交代や増減という形で敏感に反応する傾向があり [18]、酸性雨の影響をモニタリングするのに最適である。

湖沼調査には、現況調査の他に、湖底堆積物中の生物遺骸を解析する、いわゆる考古学的手法を用いて過去に遡って今日までの環境変化の推移を究明する古環境調査がある。

ここでは、広島県が実施してきた酸性雨調査事業の一環として、酸性雨による湖沼への影響実態を明らかにする目的で、この手法を用い飯山貯水池の貯水開始当初から今日までの約60年間の水質状況、特にpH推移について検討した。

調査方法

1. 底質採取

1995年6月29日、図1に示す地点（水深約7m）において、アクリルパイプ（内径10cm、高さ60cm）を用い、湖底基質（ダム完成時の湖底）までの堆積泥をダイバーにより柱状採取した。その高さは28cmであった。さらに、これを1cm間隔に切断し、各断片を試料瓶に保管し持ち帰った。

2. 試料の前処理と種の同定

堆積泥のうち、湖底表面から深さ27~28cmの泥（以後、湖底基質直上泥という）、深さ18~19cmの泥、深さ9~10cmの泥、および湖底表層の泥を分析試料とした。各試料は十分攪拌した後、約2gを105℃で2時間乾燥した。さらに各乾燥泥0.50gを2%過酸化水素水で

煮沸洗浄処理した後、20mlにメスアップした。この一定量（10 μ lまたは20 μ l）を鏡検し、この中に含まれるすべての種の同定と各細胞数の計測を行った。それぞれの種の至適pH値については、表1に示すように主にCholonoky [4] によった。種の形態確認には、走査電子顕微鏡も用いた。湖底表層泥については、その間隙水のpHを電極法で測定した。

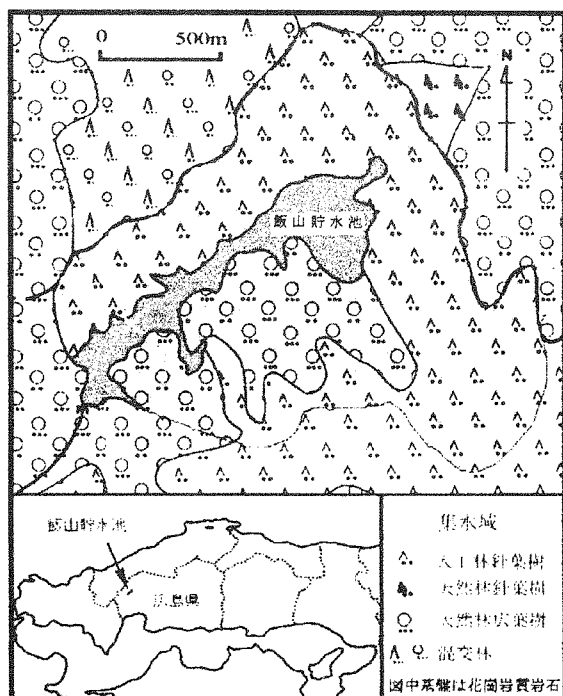


図1 飯山貯水池

×印：底質採取地点。植生区分は1978年時のもので文献 [16] によった。

結果および考察

湖底基質の直上泥は、砂礫やヨシ等の植物破片が含まれ、基質と堆積泥との境界は比較的明瞭であった（図3-1）。

プランクトン遺骸は量的にほぼ100%が珪藻類で、このうち主要種として表1に掲げた11種が、総細胞数の95%以上を占めた。各試料の構成種は一致しており、種の相対頻度に多少の差異がみられたに過ぎない。この他に*Pinnularia gibba* Ehrenberg, *Pinnularia maior* (Kützing) Cleve, *Eunotia rhynchocephala* Hustedtや*Stenopterobia curvula* (W.Smith) Krammerなど酸性水質指標種を主とした9種程度が出現した。

相対頻度が最も高いのは、*Melosira distans* var. *helvetica*で、1/3から半数近くを占めた。本種は高層湿原等に優占する酸性水質指標種で、至適pHは基本種と同じ6.5付近と考えられる [4]。次の*Eunotia*類3種

は、貯水開始当初は約4割を占めていたが、以後は2割以下に低下している。これらは、Ca濃度の低い貧汚濁性酸性湖沼の指標種（至適pH5.0弱）である。続いて*Frustulia rhomboides* var. *saxonica*（至適pH6.0弱）はやはり酸性水質指標種で、増加傾向が認められる。

これに続き*Tabellaria flocculosa*, *Neidium iridis* var. *amphigomphus*, *Surirella linearis*, および *Stauroneis phoenicentron*がそれぞれ数%程度出現した。このうち前種は貧汚濁性湖によく見られる酸性水質指標種（至適pH5.0）で、低下傾向にある。中2種はやはり酸性水質指標種（至適pH6.0前後）で、*Surirella*は若干増加傾向にある。また後種はむしろ β 中汚濁性水域によく見られる種で、微増傾向にある。次に*Pinnularia braunii* var. *braunii*とその変種の*Pinnularia braunii* var. *amphicephara*は、いずれも相対頻度が1%余りと少ないが、代表的な酸性水質指標種で特にpH2~5程度の水域で優占的である [11]。

酸性水域とアルカリ水域では、珪藻優占種に顕著な相違がみられ、前者が*Eunotia*属と*Pinnularia*属、後者が*Navicula*属と*Nitzschia*属の種である [23]。さらに、酸性水域の珪藻も、無機酸性水域とフミン酸やフルボ酸を多く含む腐植栄養性酸性水域で多少、種が異なる [11] [20]。

当貯水池では、各深度別堆積物中の珪藻群は、いずれも酸性水質指標種が大方を占め、中でも*Eunotia*属、*Pinnularia*属の種類数が卓越していることから、貯水開始当初より酸性湖沼であったことが判る。さらに、至適pH値5~6の腐植栄養性水域の指標種が多くみられることは、これらの種の棲息場である堆積物表面 [21] の水質は、腐植栄養性で、pH値も表層水の6.4より幾分低いことを示唆している。実際、採泥時の潜水観察では湖底層水はかなり褐色を呈しており、腐植栄養性であることが伺われ、その堆積物表層間隙水のpHは5.2であった。また、湖深部周辺の底面には腐植質の起源となる落葉や樹木片の集積が観察された。

当貯水池でみられた主要種構成は、流入河川のない、いわゆる雨水溜池の調査結果 [19] とほぼ一致しており、降水起源の貧汚濁性腐植栄養の酸性湖沼に共通した特質とも考えられる。ここでは*Melosira distans*, *Tabellaria fenestrata*, *Eunotia* spp., *Frustulia rhomboides* var. *saxonica*, *Pinnularia* spp.が、その構成種であったが、都市化により流域の汚染が進み、水質が富栄養アルカリ性に転じ始めると、これらの種は激減し、優占種は*Navicula*属、*Nitzschia*属の種に交代している。

図2に示す優占4種の相対頻度の推移から貯水池のpH変動を推定すると、浮遊性種で貯水のpHを指標する*Melosira distans* var. *helvetica*が、ほぼ横這いであることから、この間の水質に大きな変化がなかったと推

定できる。また至適pHが5.0から5.5内にある *Tabellaria flocculosa* や *Eunotia* 類は減少傾向にあり、反対にpH7.0付近の水域にも比較的よく分布している *Furustulia rhomboides* var. *saxonica*[22]が増加傾向にあることから、湖底層水については緩やかなpHの上昇の可能性が考えられる。あるいは村上 [20] によると腐植質以外の要因で酸性水質を示す湖沼では、*Eunotia*属はほとんど出現せず、これに代わって *Furustulia rhomboides* var. *saxonica*が優占する傾向があることから、広葉樹林の伐採等何らかの要因による湖内腐植質減少の可能性が示唆される。腐植質はこのように棲息生物の種構成に影響するとともに、その緩衝作用により湖水pHの安定化に寄与していると考えられる。

以上のことから、当湖のpHは貯水開始当初から弱酸性状態で、横這い、もしくはごく緩やかに高くなる傾向で推移してきたと推定される。従って、酸性雨に

よる貯水のpHの低下傾向はみられないと言える。

酸性雨の陸水への影響調査にあたり、降水中の硫酸イオンや硝酸イオン、炭酸イオンなど酸性成分の化学的作用が重視されがちである。しかし、一方でこれらの成分はバクテリアや藻類の繁殖に消費分解され、その結果として水域の酸性化を抑える大きな要因ともなっており、このような生物作用やその化学的作用との関連の調査も不可欠である。

生態系内における生物・化学反応の様態は、地理的、気候的条件等の違いにより各地域で差異があると考えられる。従って、今後、酸性雨等の生態系影響調査を進め、また環境指標生物の情報量を充実させ、その精度を高めるためにも、より数多くの現場調査と実態に即した試験的データの積み重ねが要求される。

表 1 飯山貯水池底質中の主要珪藻とその環境指標

種名	細胞数と相対頻度				生活型	至適pH	汚濁性
	泥深(cm)	0-1	9-10	18-19			
<i>Melosira distans</i> var. <i>helvetica</i> Hustedt	4200	2830	5170	6720	浮遊性	6.5 (基本種)	貧汚濁性 文献[19]
	49.5	38.3	55.7	36.2			
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	210	343	641	2820	付着性 又は浮遊性	5.0	貧汚濁性
	2.47	4.64	6.91	15.2			
<i>Neidium iridis</i> var. <i>amphigomphus</i> (Ehrenberg) V. Heurck	283	467	473	128	付着性	6.0前後	貧汚濁性
	3.33	6.32	5.10	0.69			
<i>Stauroneis phoenicentron</i> (Nitzsch) Ehrenberg	388	280	242	222	付着性	6.8	β 中汚濁性 ～貧汚濁性
	4.57	3.79	2.61	1.20			
<i>Furustulia rhomboides</i> var. <i>saxonica</i> (Ehrenberg) de Toni	1720	981	757	490	付着性	6.0弱	貧汚濁性
	20.3	13.3	8.16	2.64			
<i>Pinnularia braunii</i> (Grunow) Cleve var. <i>braunii</i>	105	109	63	199	付着性	6.0以下 文献[11]	α 中汚濁性 ～ β 中汚濁性
	1.24	1.48	0.68	1.07			
<i>Pinnularia braunii</i> var. <i>amphicephala</i> (A. Mayer) Hustedt	116	109	105	152	付着性	1.6～5.0	α 中汚濁性 ～ β 中汚濁性
	1.37	1.48	1.13	0.82			
<i>Eunotia flexuosa</i> (Brébisson) Kützing	326	623	630	3300	付着性	5.2～5.5	貧汚濁性
	3.84	8.43	6.79	17.8			
<i>Eunotia exigua</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst	850	1430	946	4250	付着性	5.2～5.3	貧汚濁性
	10.0	19.4	10.2	22.9			
<i>Eunotia serra</i> Ehrenberg	21.0	15.5	32.0	105	付着性	5.0	貧汚濁性
	0.25	0.21	0.34	0.57			
<i>Surirella linearis</i> W. Smith	273	202	221	152	付着性	6.0弱	β 中汚濁性 ～貧汚濁性
	3.21	2.73	2.38	0.82			
総細胞数	8492	7389	9280	18538			

注：数値の上段は細胞数($\times 10^3$ cells/g乾燥泥)、下段は相対頻度(%)を示す。

生活型は文献[10]、至適pHは一部を除き文献[4]、汚濁性は一部を除き文献[12]によった。

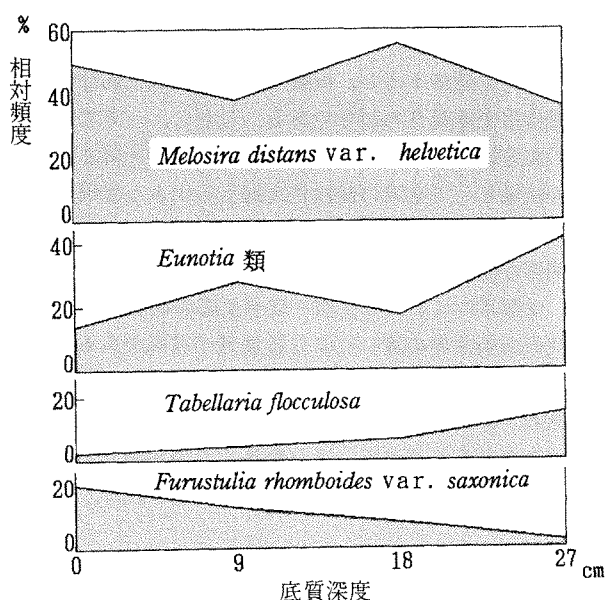


図2 優占4種の相対頻度

要約

弱酸性湖沼飯山貯水池の堆積物中の珪藻遺骸組成の解析により以下のことがわかった。

- (1) 堆積物中の珪藻遺骸組成は、大半が酸性水質指標種で、約20種が出現した。主要種として*Melosira distans* var. *helvetica*, *Furustulia rhomboides* var. *saxonica*, *Eunotia*類など11種が全体の95%以上を占めた。これらは、その指標pH値が貯水の実測値とほぼ一致し、環境実態をよく反映していた。
- (2) 各深度別堆積物中の珪藻構成種は一致した。また指標pH5.0強の珪藻類が減少し、指標pH6.0付近の珪藻類が増加する傾向がみられることから、当貯水池のpHは、貯水開始当初より弱酸性を示し、横這い、もしくは緩やかに上昇しながら推移してきたと推定された。これらのことから、酸性雨による貯水pHの低下傾向はみられないと判断した。

謝辞

本調査にあたり、有益なご助言をいただいた広島県保健環境協会の半田信司氏に深謝いたします。

参考文献

[1] 今村賢太郎・福代康夫:弱酸性湖沼の山ダム湖で優占する渦鞭毛藻*Peridinium inconspicuum*の形態, 日本水産学会秋季大会講演要旨集,1990.
 [2] 小島貞男・小林弘:素顔の水処理生物,総集版I,

月刊「水」発行所,1976.
 [3] 小島貞男・小林弘:素顔の水処理生物,総集版II, 月刊「水」発行所,1977.
 [4] Chloňok B. J.: Die Oecologie der Diatomeen. Verlag von J. Cramer, 1968.
 [5] Krammer E. & Lange-Bertalot H.: Bacillariophyceae. 1. In: Ettl. H. et al. eds., Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/1. Gustav Fischer, Stuttgart, 1986.
 [6] Krammer E. & Lange-Bertalot H.: Bacillariophyceae. 1. In: Ettl. H. et al. eds., Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/2. Gustav Fischer, Stuttgart, 1988.
 [7] Krammer E. & Lange-Bertalot H.: Bacillariophyceae. 1. In: Ettl. H. et al. eds., Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/3. Gustav Fischer, Stuttgart, 1991.
 [8] 坂本充:酸性雨と水環境,水質汚濁研究,14, 9: 15-22, 1991.
 [9] Japan Environmental Agency Interim report of acid precipitation survey in Japan, pp. 19,1987.
 [10] 日本水道協会編:上水試験方法,日本水道協会, 1978.
 [11] Negoro K.: Diatom flora of mineralogenous acidotrophic inland water of Japan, Jap. J. Diatomology, 1, 1-8, 1985.
 [12] 日本生態学会環境問題専門委員会編:環境と生物指標2-水界編一,共立出版,1975.
 [13] 橋本敏子, 井澤博文:広島県内中小規模湖沼水中の溶存無機成分,広島県保健環境センター研究報告, 2, 27-34, 1994.
 [14] 広島県:広島県酸性雨調査5カ年計画事業報告書,印刷中.
 [15] 広島県:ひろしまの湖沼-湖沼水質環境管理指針-, 1991.
 [16] 広島県:都道府県土地分類基本調査-津田-, 1980.
 [17] Hustedt F.: Bacillariophyta (Diatomeae) .in. Pascher, A. (ed.) Süßwasser-Flora, Mitteleuropas, Heft 10. Jena, 1930.
 [18] Brettum P.: Acidification of the humic Lake Skjervatjern; effects on the volume and species composition of Phytoplankton, Environ. Int., 20, 3, 313-319, 1994.
 [19] 村上哲生:高度に汚染された溜池から得られた堆積物中の珪藻群集とその遷移,陸水雑, 47, 4, 337-344, 1986.
 [20] 村上哲生・近藤繁生・松井義雄:珪藻相の相違に基づく浅い池の類型化;平地に分布する黄褐色の水色の溜池の付着珪藻相の特徴,陸水雑, 49, 3, 157-166, 1988.

- [21] 渡辺仁治・大柳実喜子：霧島国立公園の無機酸性湖不動池の陸水学的研究，とくに珪藻群集，陸水雑，39, 156-162, 1978.
- [22] 渡辺仁治・安田郁子：志賀高原の渋池・三角池・長池・木戸池の底泥中の珪藻群と珪藻群に基づく酸性度指数，陸水雑，43, 4: 237-245, 1982.

- [23] Watanabe T.: Tolerant Diatoms to inorganic acid and alkaline lakes and some evolutionary considerations, Jap. J. Diatomology, 1, 21-31, 1985.
- [24] Wright R. F.・Henriksen: Chemistry of small Norwegian lakes, with special reference to acid precipitation, Limnol. Oceanogr., 23, 487-498, 1978.

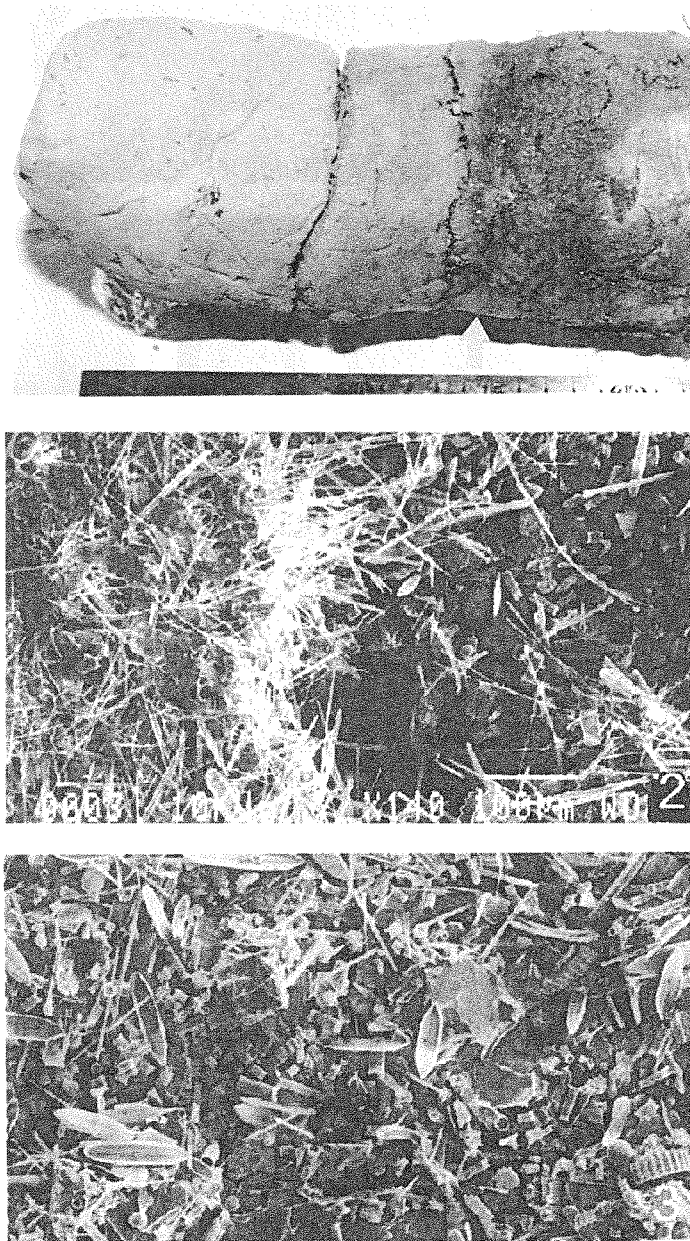


図3-1 飯山貯水池の底泥中の珪藻遺骸

- 1: 乾燥底泥（予備採取試料）。乾燥により幾分縮小している。矢印より右側黒色部が湖底基質で，砂礫や植物片を含む。
- 2: 湖底基質直上泥（走査型電子顕微鏡像）。*Eunotia flexuosa*が多く，右半分はそれを洗い流した面。
- 3: 上記試料右側拡大面

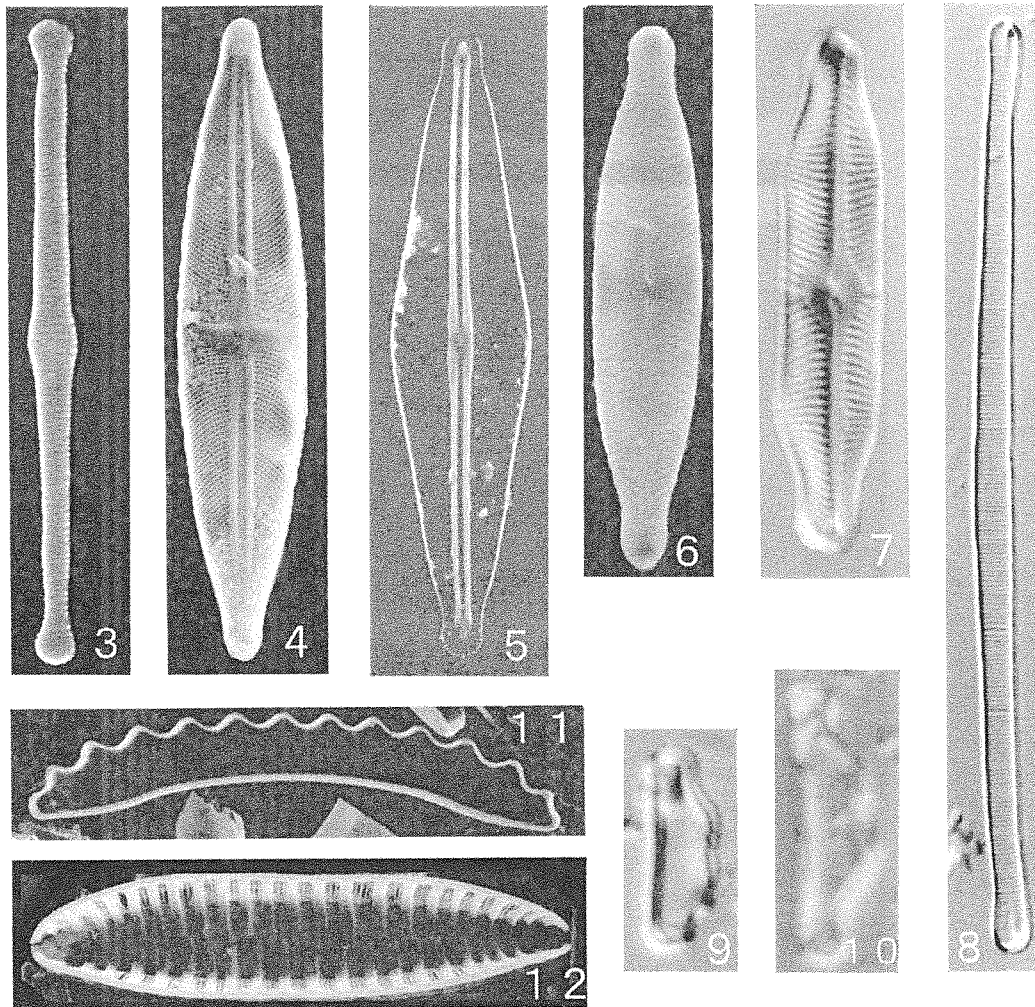
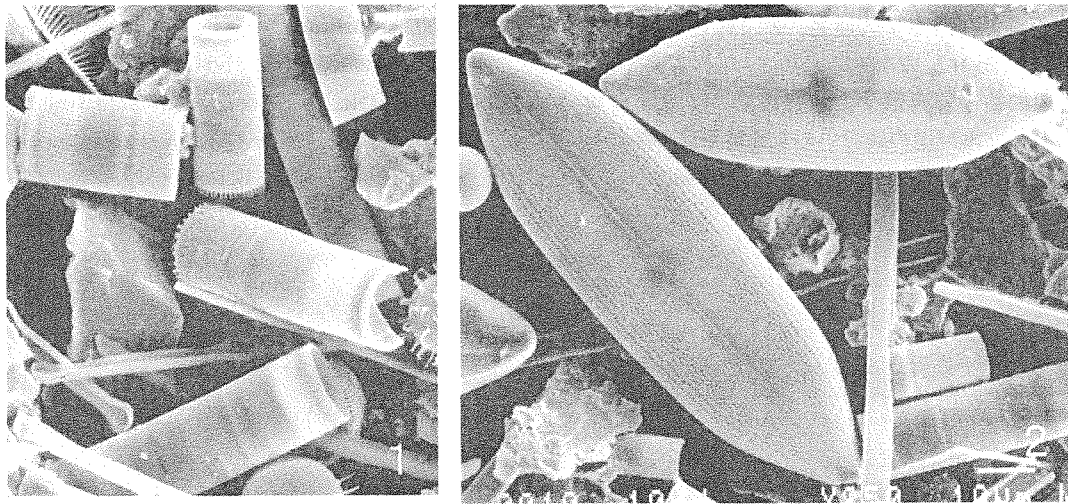


図3-2 基質直上泥中の珪藻遺骸

- 1: *Melosira distans* var. *helvetica*
- 2: *Nedium iridis* var. *amphigomphus*
- 3: *Tabllaria flocculosa*
- 4: *Stauroneis phoenicentron*
- 5: *Frustulia rhomboides* var. *saxonica*

- 6: *Pinnularia braunii* var. *braunii*
- 7: *Pinnularia braunii* var. *amphicephra*
- 8: *Eunotia flexuosa*
- 9-10: *Eunotia exigua*
- 11: *Eunotia serra*
- 12: *Surirella linearis*