

平成 14 年度厚岸湖・別寒辺牛湿原学術研究奨励補助金報告書

厚岸湖における植物プランクトン群集の季節変化

北海道大学大学院水産科学研究科

多様性生物学講座

松山洋平・志賀直信

はじめに

海水と陸水が接触する汽水湖は、海に開く潮口が狭く閉鎖性が強く(奥田, 1997)、河川や陸域からの有機物や栄養塩の流入が頻繁に起こるため、生産性は高く(Whittacker and Linkens, 1975)、それにより豊富な漁業資源に恵まれている。

厚岸湖はサロマ湖に並ぶ北海道の代表的な汽水湖で、北海道東部の太平洋沿岸に位置し、幅 600 m、深さ約 10m の狭水路によって厚岸湾と繋がる汽水湖である。面積約 32 km²、最大水深 11m、平均水深 2 m と浅く、湖北部別寒辺牛川からの淡水の流入と、湖西部厚岸湾からの海水の流入が起こっている。河川水は主に別寒辺牛川から流入しており、湖内への栄養塩供給を担っている。湖内は栄養塩、クロロフィル *a* (Chl. *a*)濃度、塩分の水平分布から河川水域・汽水域・海洋水域の 3 つの区分にわかれ、河川水域では硝酸塩、ケイ酸塩濃度が高く、汽水水域ではリン酸塩濃度が高く、海洋水域では栄養塩濃度、Chl. *a* 濃度が低いという特徴を持っている(Iizumi et al, 1995)。湖内では砂州と泥地を除く全域にアマモ場が形成されており(Oshima et al, 1999)、魚類の産卵・成育の場となっている。これまで厚岸湖では魚類調査(Watanabe et al, 1995)や動物プランクトン調査(小川, 2002)が行われている。しかし、低次生産者として重要な植物プランクトンに関する調査は厚岸湾(田口, 1973)のみで、湖内では行われていなかった。本研究は厚岸湖の植物プランクトン群集の季節変化の明らかにするために、1 年間にわたって毎週 1 回調査を行った。

材料と方法

調査は 2001 年 1 月 17 日から 2002 年 1 月 30 日までの 13 ヶ月間、毎週 1 回厚岸湖内の 1 定点 St. T(43° 02' N, 144° 5' E ; 水深約 2 ~ 4 m)において午後 1 時から 2 時の間に行った(図 1)。この調査地点は汽水域と海水域の境に位置しており、アマモ場は形成されていない。植物プランクトン検鏡用試料(1 ℓ)は Van-Dorn 採水器(容量 3 ℓ)を用いて水面下約 0.5m から採水し、直ちに 1% 中性ホルマリンで固定し、実験室に持ち帰り、静置・沈殿法により 20ml まで濃縮した。この濃縮試料からサブサンプルとして 0.1~0.5ml を検鏡用チャンバーにとり十分に静置させた後、倒立顕微鏡下で種の同定と計数を行った。検鏡は検鏡倍率(300 あるいは 600 倍)を勘案して、細胞サイズが 10 μm 以上の植物プランクトンを対象とし、種の同定が困難な場合には属レベル、あるいはより高い分類単位にとどめた。なお、海産の植物プランクトン種の分類基準は Tomas (1997)、淡水の植物プランクトン種は田中(2002)に従った。

植物プランクトン採集と同時に表層（湖面下約 0.5m）と底層（湖底上約 0.5m）の水温を pH-T メーター（Model 60 pH & temperature, YSI）を用いて、溶存酸素と塩分を DO-S メーター（Model 85 (SCOOT), YSI）を用いて測定した。また、Chl. *a* 濃度測定用の試水は Van-Dom 採水器を用いて表層と底層から採水した。遮光瓶に入れた試水 1 ℓ は実験室に持ち帰り、Whatman GF/F フィルターで吸引濾過し、N, N-ジメチルホルムアミドで抽出後、蛍光光度計（10-AU Fluorometer Turner Designs）で Chl. *a* 濃度を測定した。調査期間中の降水量は湖口付近の太田（図 1 参照）における毎日の降水量データを用いた。なお、降水量データ、潮位データはそれぞれ釧路気象地方台、釧路開発局釧路港湾事務所より提供された。

結果

1. 水理環境

調査地点における水温、塩分、Chl. *a* 濃度、溶存酸素および pH は調査期間中、季節や週単位で大きく変動したが、表層、底層において変動パターンに違いは見られなかった（図 2 a~e）。しかし、これらの変動は必ずしも調査時の干満と対応していなかった（図 3 b）。湖内は調査開始の 2001 年 1 月中旬から 3 月中旬にかけて結氷しており、その間に水温は最低値（2 月中旬の -1.6°C）を記録した。一方、2002 年 1 月 30 日の調査終了時点では湖内は結氷していなかった。調査期間を通じて水温は -1.6~18.9°C の範囲を変動し、融水と同時に急激に上昇し、8 月に最高値となった。その後水温は低下し、冬には再び 0°C 付近を推移した。表層塩分は融氷直後の 3 月下旬~4 月上旬に急激に低下し、最低値（4 月 4 日：17.6）を記録したが、すぐに上昇し、年間ほぼ 33.0 前後であった（図 2 b）。塩分の変動は河川水や降水量に依ると考えられるが、最大降水量を記録した 9 月中旬（11~12 日：94~91mm day⁻¹）が表層塩分の低下と対応している程度で、河川水、降雨量の影響はあまりなかったと判断される（図 3 a）。Chl. *a* 濃度を、その変動パターンから以下の 4 つの期間に分けた。まず、結氷期末に最高値（3 月 7 日：13.6mg m⁻³）を示した（結氷期から融氷期までの高 Chl. *a* 期）あと、5~8 月に 0.5~2.0mg m⁻³ の低い値を推移し（夏の低 Chl. *a* 期）、9~11 月に数回、2 次的なピークを示し（秋の中 Chl. *a* 期）、2001 年 12 月から 2002 年まで再び低い値で推移した（冬の低 Chl. *a* 期；図 2 c）。溶存酸素は表層においてほぼ過飽和であり、Chl. *a* 濃度のピークとほぼ同時に最大値（129%、15.82 mg ℓ⁻¹）を示したが、夏季に低下する傾向が見られた（Fig. 2d）。また pH は調査期間を通して 7.6~8.6 の範囲を変動したが、最大降水量を記録した 9 月 11~12 日の翌日の調査で、最低値 5.5 を記録した（図 2 e）。

2. 植物プランクトン細胞数の季節変化

本研究では円心目珪藻類 17 属 26 種、羽状目珪藻 20 属 22 種、渦鞭毛藻 7 属 12 種、黄金色藻 2 属 2 種、緑藻 1 属 1 種およびユーグレナ藻が出現した(表 1)。出現種は海産性が多く、淡水にのみ棲息する種は円心目珪藻 *Aulacoseira distans* および緑藻 *Scenedesmus* spp.のみであった。また、*Cymbella* spp.、*Pleurosigma* spp.等の付着性種も少数ながら確認された。なお、渦鞭毛藻 *Noctiluca* sp.は従属性渦鞭毛藻であるため、細胞密度の結果から除外した。

調査期間中の細胞密度は $1.8 \times 10^4 \sim 8.5 \times 10^5$ cells ℓ^{-1} 、クロロフィル *a* 濃度は $0.43 \sim 12.4$ mg m^{-3} の範囲にあり、それぞれ年間約 50 倍および 30 倍の変動を示した(図 4 a)。細胞密度は結氷から融氷期には、Chl. *a* 濃度の変動パターンとほぼ同調的であるが、夏以降 Chl. *a* 濃度が低いにもかかわらず何度もピークを示し、極大値は 10 月 31 日にあった。また、ピーク時以外の細胞密度は約 6×10^4 cells ℓ^{-1} レベルにあった。

分類群毎の細胞密度の占有率をみると、珪藻類が最優占し期間中 30~100%であった(図 4 b)。珪藻類のうち円心目は、結氷から融氷期の高 Chl. *a* 期および秋の中 Chl. *a* 期に優占し、最大で 94%の占有率であった。羽状目は平均 43%の占有率であったが、夏と冬の低 Chl. *a* 期に優占する傾向にあった。ユーグレナ藻類は 5 月末から優占し始め、6 月末には最大で約 70%を占めたが、その後は減少し 10 月以降はほとんど出現することはなかった。渦鞭毛藻類、黄金色藻類は明確な季節パターンはなく占有率が 10%を超えることはなかった。淡水性の緑藻類は 6 月上旬に 1 度出現したのみであった。

細胞密度と Chl. *a* 濃度のあいだには有意な正の相関関係が見られた ($r = 0.730$, $n = 55$, $p < 0.001$)。

3. 出現種および種組成の季節変化

調査期間中、総細胞数に対して一度でも 15%以上の占有率を示した種・群を優占種とみなして、以下に植物プランクトン種・群の季節変化を記述する。なお、優占種の選定には、未同定種の複合群“spp.”も 1 種として取り扱った。

優占種をもとに季節変化を見ると、結氷から融氷期の高 Chl. *a* 期にかけて円心目珪藻 *Thalassiosira* spp.が最優占し(最大値は 3 月 14 日の 2.6×10^5 cells ℓ^{-1})、この時期の総細胞数の平均 40%を超えた(図 5 b)。しかし、本属はその後占有率が 15%を超えることはまれであった。*Thalassiosira* spp.の出現にわずかに遅れて羽状目珪藻 *Fragilaria* spp.が優占し、3 月 14 日に最大 (8×10^4 cells ℓ^{-1}) で 44%を占めた。*Thalassiosira* spp.と同様に、本属も融氷が終了した 5 月以降はほとんど出現しなかった。円心目珪藻 *Chaetoceros* spp.は初夏の低 Chl. *a* 期におけるユーグレナ藻類のピーク後に出現し、7 月下旬~8 月に占有率が 20%を越えた。9 月から 12 月上旬にかけて円心目珪藻 *Skeletonema costatum* 優占し、80%以上占有するこ

とがあった。また9～10月には *S. costatum* に次いで羽状目珪藻 *Asterionellopsis glacialis* が優占し、最大18%占めた。本種は *S. costatum* と異なり、その出現は11月に入るとほとんどみられなかった。12月中旬から2002年1月調査終了時まで羽状目珪藻 *Diatoma* spp.、*Nitzschia* spp.、*Thalassionema nitzschioides* の3種が優占した。また円心目珪藻 *A. distans* は周年(平均5.5%)出現した。本研究では、円心目珪藻 *Chaetoceros* spp. および渦鞭毛藻に関しては計数時に休眠孢子およびシストの観察も行ったが、*Chaetoceros* の休眠孢子が8月に、渦鞭毛藻 *Prorocentrum* spp. のシストが8月下旬に一度確認されたのみであった。

優占種の細胞数と水温および塩分との単回帰分析を行った結果、水温と有意な正の相関が得られたのは、*A. distans*、*Chaetoceros* spp.、*Rhizosolenia* spp.、*A. glacialis*、*P. seriata*、およびユーグレナ藻で、負の相関が得られたのは、*Thalassiosira* spp. と *Fragilaria* spp. であった。また、塩分と有意な正の相関が見られたのは *S. costatum* と *A. glacialis* で、負の相関が見られたのは *Fragilaria* spp. と *Navicula* spp. であった(表2)。

考察

植物プランクトンの細胞密度は結氷期後半から融氷期、夏および秋にピークを持った。結氷期後半－融氷期の細胞数の増大はクロロフィル *a* 量のピークとよく一致しており、いわゆる春のブルーミングである。この時期の主たる構成種は *Thalassiosira* spp. と *Fragilaria* spp. であった。後者は同属の *F. islandica* や *F. crotonensis* がベーリング海やチュクチ海からアイスアルジーとして報告されている(Saito and Taniguchi, 1978)。また北海道サロマ湖においては *Fragilaria* spp. に細胞形態の酷似した *Fragilariopsis* cf. *oceanica* がアイスアルジーとして確認されている(新村・田口, 2002)。従って、本研究で出現した *Fragilaria* spp. もアイスアルジーと見なすことができよう。おそらく、融氷直前に海水下面から剥離したもの(渡辺, 1996)と思われる。初夏の細胞密度のピークはユーグレナ藻によるものであり、秋のそれは細胞容積の小さな *Skeletonema costatum* が圧倒的に優占した。厚岸湖において細胞数で優占した植物プランクトン群は珪藻類であり、渦鞭毛藻類の出現はごくわずかであった。本調査地点は水深2～4 mと浅く、潮汐周期によって別寒辺牛川からの淡水、厚岸湾からの海水の影響を受けつつ、水柱は常に鉛直混合が起こっているものと想像される。同時に河川から硝酸塩、珪酸塩(Iizumi, 1995)が、湖内の粒状有機窒素からアンモニウムが(赤羽ほか, 2003)供給される。このように栄養塩と光が十分に供給されている環境下では、一般に渦鞭毛藻類よりも珪藻類がよく増殖することが知られている(Lalli and Parsons, 1993)。

今回の厚岸湖の植物プランクトン相を隣接水域である厚岸湾のデータ（田口，1973）と比較すると、ユーグレナ藻類が出現しないことを除くと、湾内では湖内と類似した季節遷移パターンを示していた。従って、少なくとも今回の調査地点では、植物プランクトン相は基本的には厚岸湾のそれとほぼ同じであると判断される。湖内は湾内水の影響が強いことは、融氷期を除いて塩分が 30 前後あることから裏付けられる。しかし、Chl. *a* 濃度（年間 0.43~12.4mg m⁻³）は厚岸湾（年間 0.16~6.6mg m⁻³；田口，1973）に比べて明らかに高いようである。

本研究では、優占種の細胞密度は塩分よりも水温と有意な相関を示したものが多く、植物プランクトンの出現に水温が強く影響していることを示唆した。一方、植物プランクトン細胞数の変化を同一時期に行われた動物プランクトン個体数の変化（小川，2002）と対応させてみると（図 6）、大まかには植物プランクトンの増加の後に植食性動物プランクトン個体数が増加していることが見て取れる。この傾向は、特に初春~夏に明確である。このことから、厚岸湖の植物プランクトンの季節変化は前述の水温変化のみならず、動物プランクトンの摂食によっても影響を受けているものと考えられる。

今回調査を行った地点は海水の影響が大きい地点であったが、場所によりその物理環境が大きく変わっているため（Iizumi et al., 1995）、各水域に出現する植物プランクトンの組成がかなり異なっていることが予想される。そのため、湖内の植物プランクトン群集を把握するためには、各水域において同様な調査をする必要がある。

要約

- (1) 本研究は厚岸湖における植物プランクトン群集の季節変化を明らかにするために、2001 年 1 月 17 日から 2002 年 1 月 30 日までの 13 ヶ月間、1 週間に 1 度の頻度で厚岸湖内の一定点（43° 2' N, 144° 52' E, 水深 2~4 m）において調査を行った。植物プランクトン試料は Van-Dorn 採水器を用い、湖面下約 0.5m から採水した。
- (2) 調査期間中の植物プランクトンの細胞密度は $1.8 \times 10^4 \sim 6.0 \times 10^5 \text{cens } \ell^{-1}$ 、クロロフィル濃度は 0.43~12.4mg m⁻³ の範囲をそれぞれ変動した。細胞密度は給氷期末、夏および秋にピークをもった。期間中の最優占分類群は珪藻類であったが、初夏にはユーグレナ藻類も優占した。また、出現種の多くは海産種であった。
- (3) 優占種は季節によって異なり、結氷期後半から融氷期の高 Chl. *a* 期には *Thalassiosira* spp. および *fragilaria* spp.、夏の低 Chl. *a* 期にはユーグレナ藻類、秋の中 Chl. *a* 期には *Skeletonema costatum* が優占した。優占種の出現は塩分

よりも水温と有意な相関がみられたものが多かった。また、これら優占種の季節パターンはユーグレナ藻を除いて厚岸湾と同じであったため、採集地点は海水の影響を強く受けていると考えられた。

謝辞

本稿を終えるにあたり、本研究の試料採集、および様々なデータ収集に際し多大なご協力と多くの御助言を頂いた厚岸町カキ種苗センターの武山悟氏および厚岸漁業組合の渋谷盈司氏に厚くお礼を申し上げます。

引用文献

赤羽敬子・岸 道郎・向井 宏・飯泉 仁(2002)陸域からの栄養塩負荷量に対する北海道厚岸湖の生態系の応答. 沿岸海洋研究 40:171-179.

Iizumi, H., S. Taguchi., T. Minami., H. Mukai and S. Maekawa (1995) Distribution and variability of nutrients, chlorophyll *a*, particulate organic matters, and their carbon and nitrogen contents, in Akkesh-Ko, an estuary in northern Japan. Bull. Hokkaido Natl. Fish. Res. Inst. 59: 43-67.

Lalli, C. M. and T. R. Parsons (1993) Biological Oceanography: An introduction. Pergamon Press, New York, 301 pp.

新村陽子・田口哲 (2002) 海水と海水中の植物プランクトン. 月刊海洋号外, 30 : 116-125.

小川千春 (2002) 厚岸湖における動物プランクトン群集の季節変化. 北海道大学水産学部卒業論文

奥田節夫 (1997) 汽水湖における水塊の移動と混合過程. 沿岸海洋研究 35: 5-13.

Oshima, Y., M. J. Kishi and T. Sugimoto (1999) Evaluation of the nutrient budget

in a seagrass bed. *Ecological Modelling* 115: 19-33.

Saito, K. and A. Taniguchi (1978) Phytoplankton communities in the Bering Sea and adjacent seas. II. Spring and summer communities in seasonally ice-covered areas. *Astarte* 11: 27-35.

田口 哲 (1973) 厚岸湖に於ける植物プランクトンの生産生態学的研究. 北海道大学水産学研究科博士論文

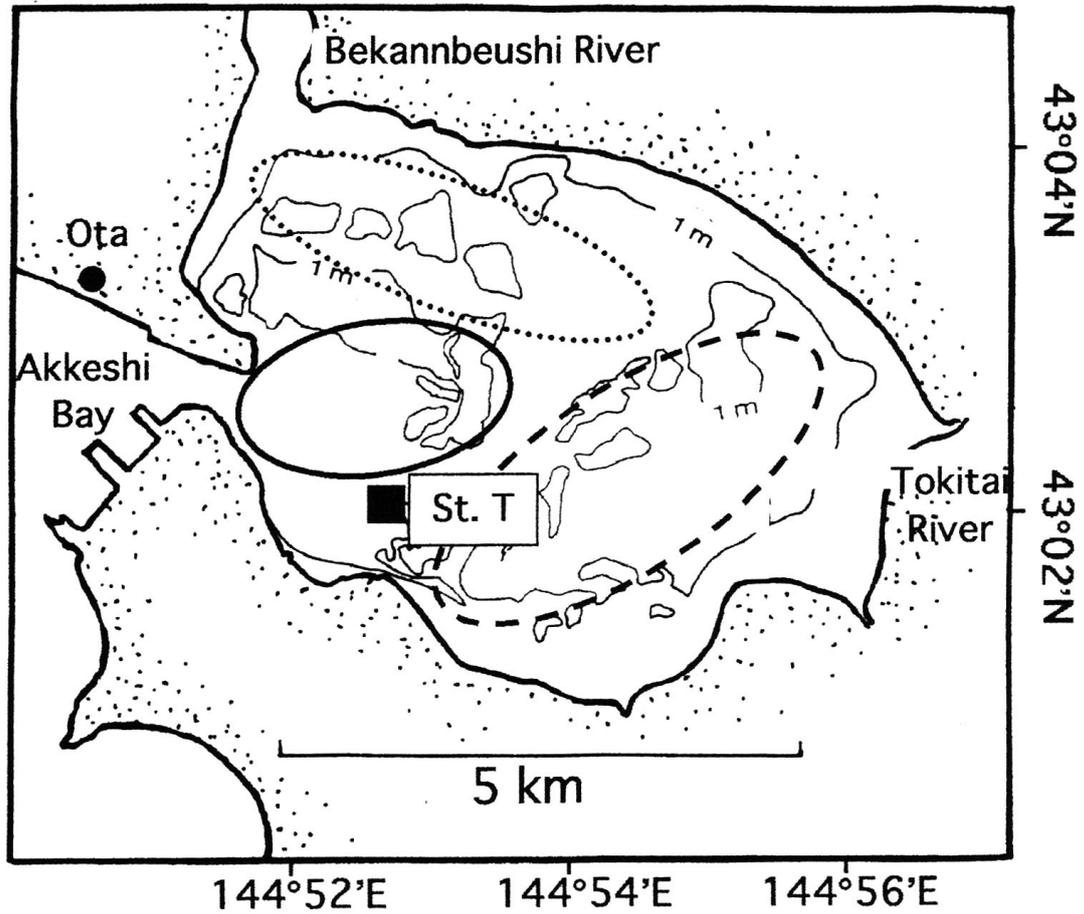
田中正明 (2002) 日本淡水産動植物プランクトン図鑑. 名古屋大学出版会, 584 pp.

Tomas, C. R (1997) *Identifying Marine Phytoplankton*. Academic Press, San Diego, 855 pp.

渡辺研太郎 (1996) アイスアルジー. 月刊海洋号外 10: 25-29.

Watanabe, K., T. Minami, H. Iizumi and S. Imamura (1996) Interspecific relationship by composition of stomach contents of fish at Akkeshi-ko, an estuary of eastern Hokkaido, Japan. *Bull. Hokkaido Natl. Fish. Res. Inst. No. 60*: 239-276.

Whittacker, R. H. and G. E. Liskens (1975) The biosphere and man. In: *Primary Production of the Biosphere* (eds. Liegh, H. and R. H. Whittacker), pp. 305-328. Springer-Verlag, New York.



○ 海洋水域 (---) 汽水域 ○ 河川水域

図1 厚岸湖における採集地点

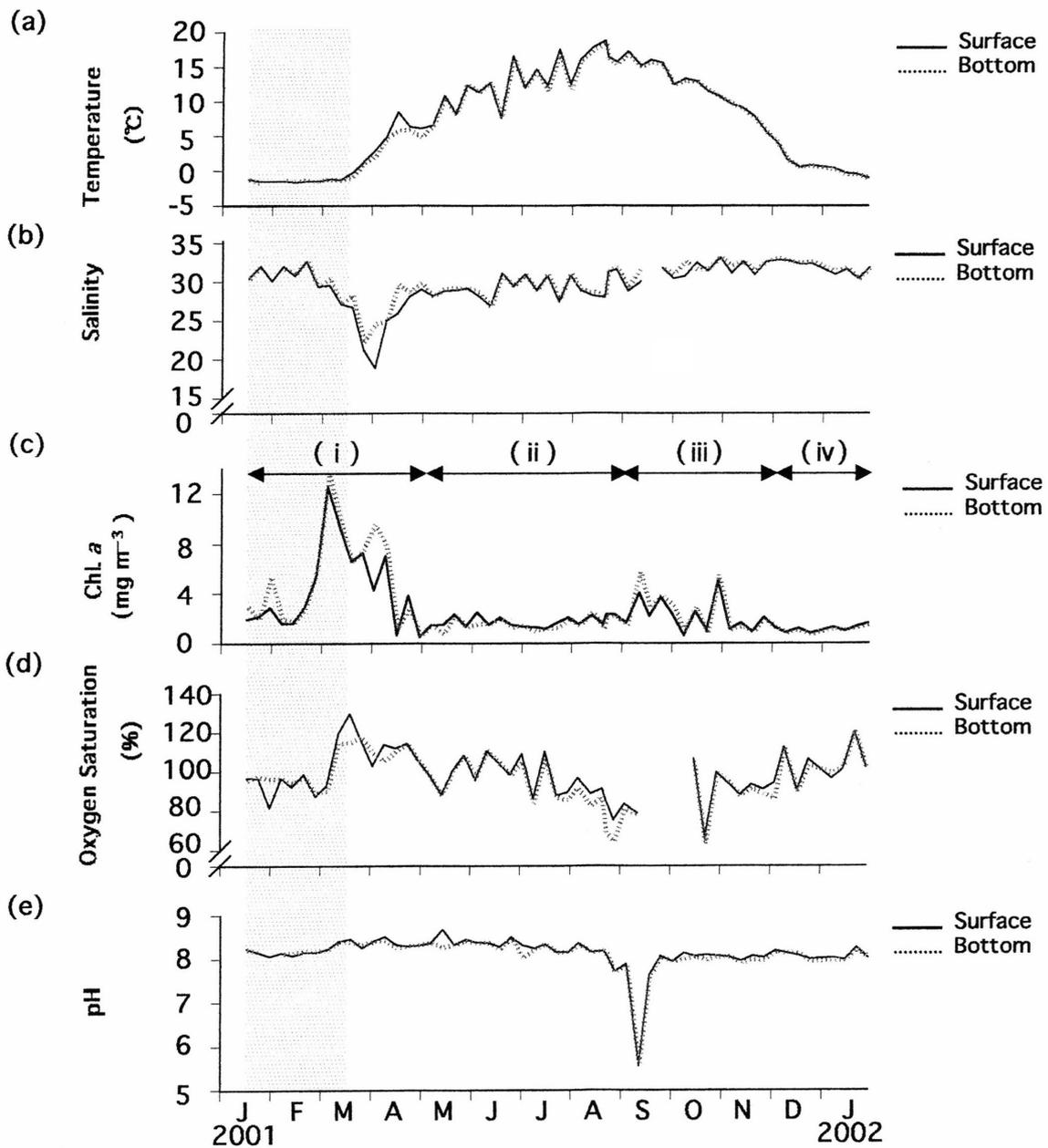


図2 調査期間中の厚岸湖内1定点における表層(水面下約0.5m)と底層(湖底上約0.5m)の水温(a)、塩分(b)、クロロフィル*a*濃度(c)、酸素飽和度(d)、およびpH(e)の変化. 陰影部は結氷期間を示す. (e)の(i)、(ii)、(iii)、(iv)はそれぞれ高クロロフィル*a*期、低クロロフィル*a*期、中クロロフィル*a*期、低クロロフィル*a*期を表す.

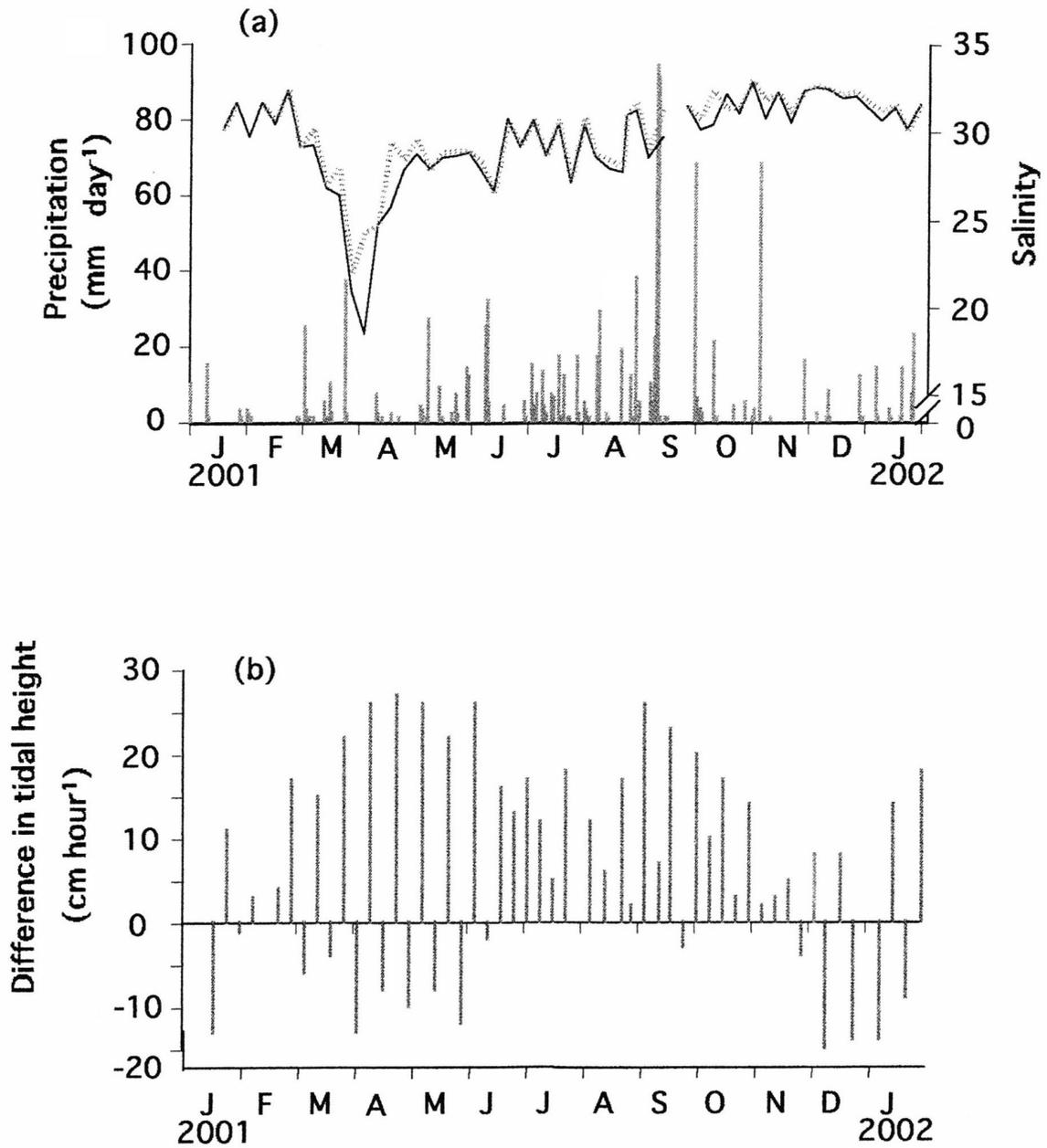


図3 調査期間中の厚岸湖湖口付近（太田）の日間降水量と湖内定点の表層と底層の塩分変化(a)および採集時の厚岸港の潮位(b). +の値は上げ潮を、-の値は下げ潮を表す.

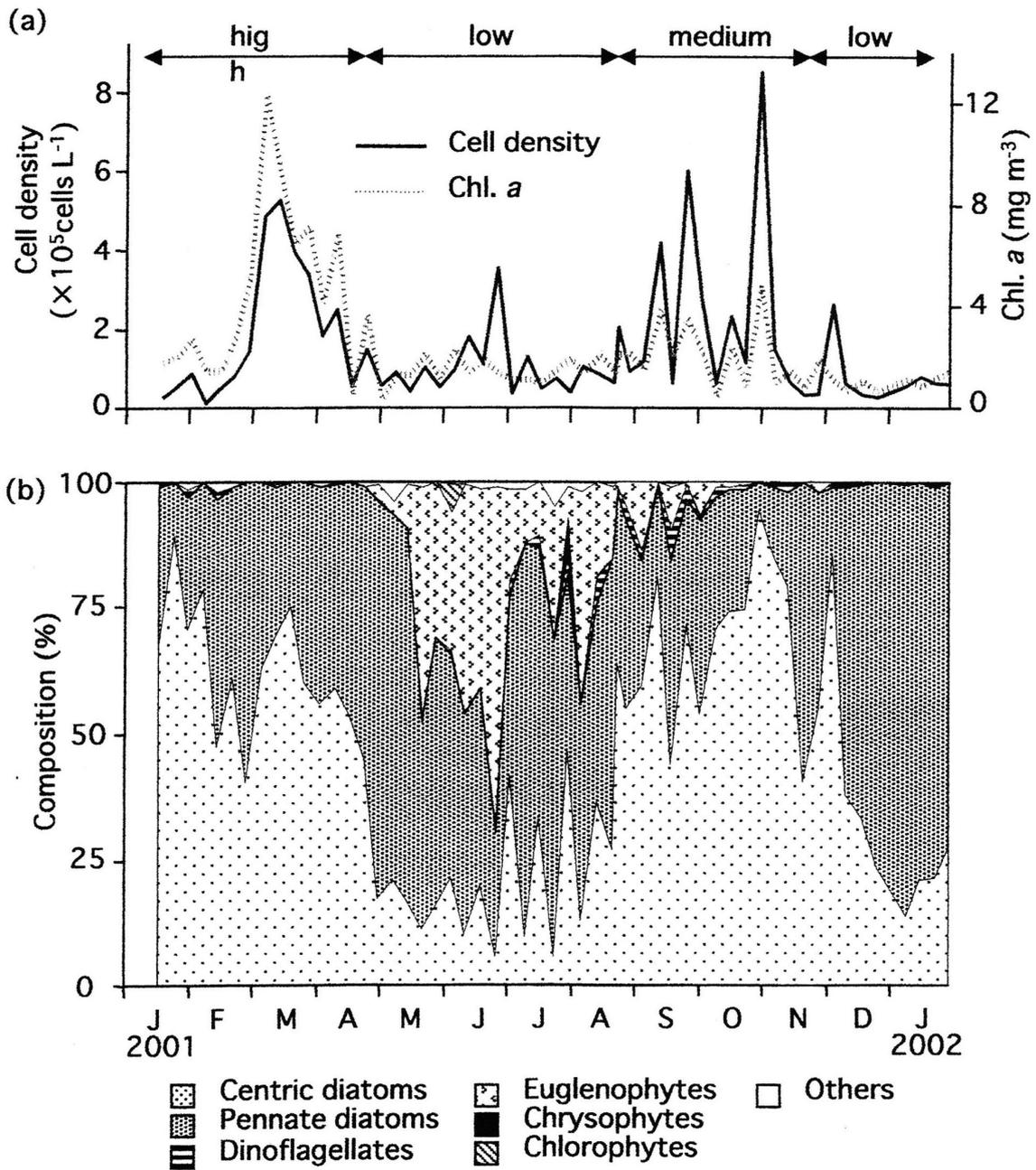


図4 調査期間中の湖内定点における植物プランクトンの総細胞密度とクロロフィル *a* 量 (a) および分類群組成 (b) の変化.

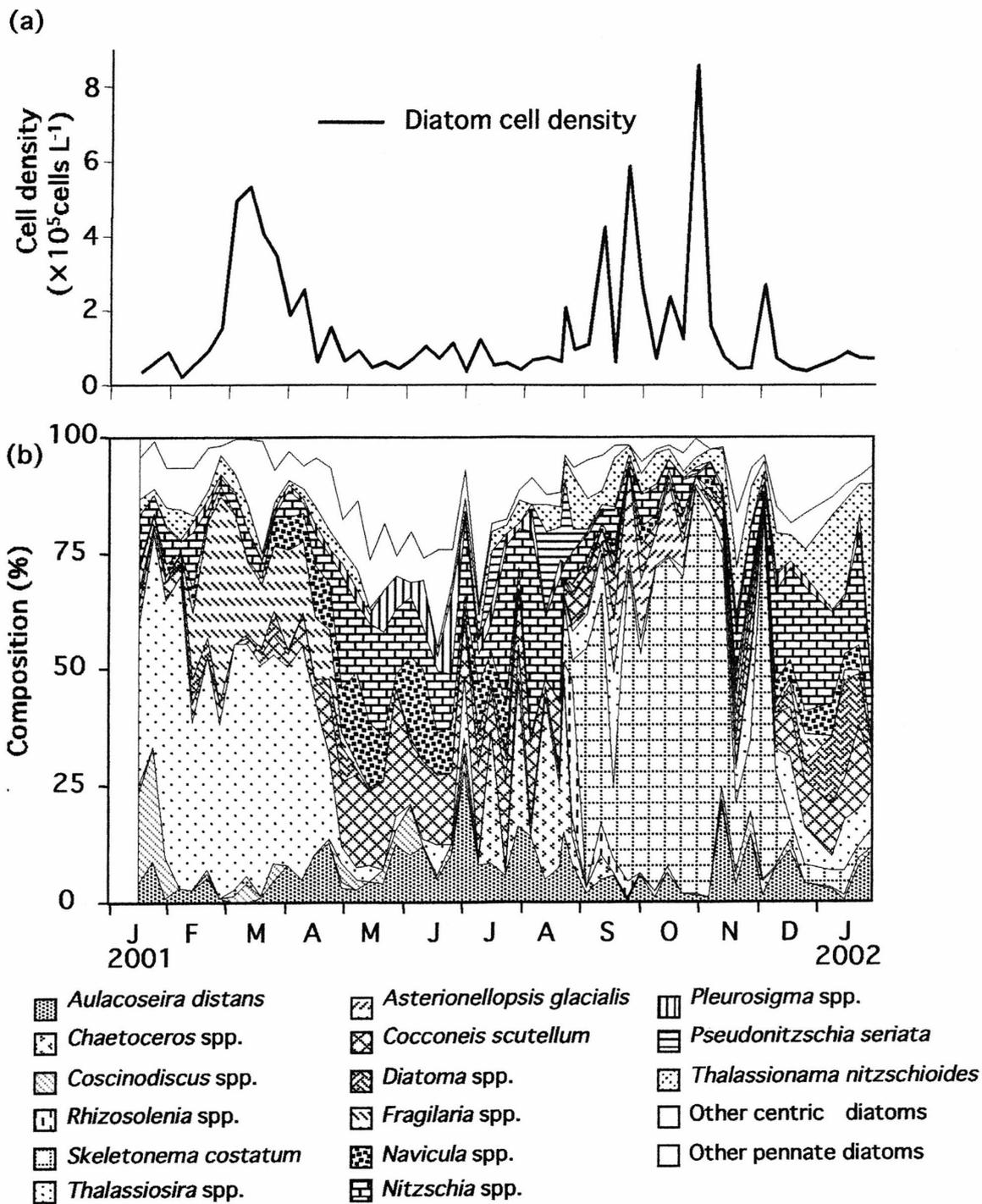


図5 調査期間中の湖内定点における珪藻類の細胞密度(a)および種組成(b)の変化。

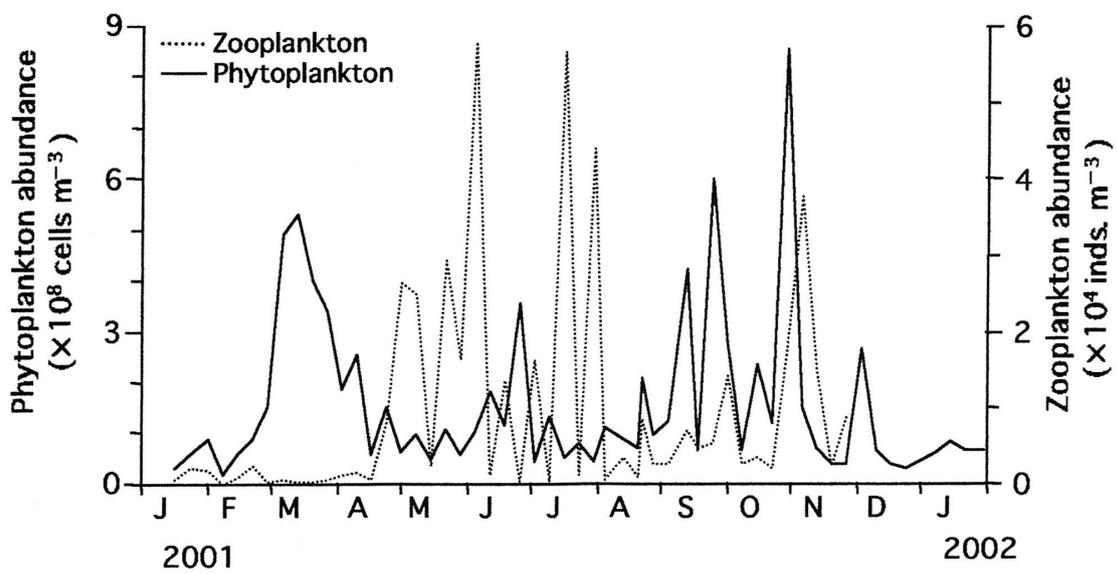


図6 湖内定点における植物プランクトン総細胞密度と植食性動物プランクトン (小川 2002) の季節変化

表1 厚岸湖に出現した植物プランクトン種・群. 属名、種名はアルファベット順に配列してある. 各種の生態的特徴はTomas (1996と田中(2002))に依った; F: 淡水種、B: 汽水種、S: 海産種、P: 浮遊性、★: 底生性.

Centric diatoms	Pennate diatoms	Dinoflagellates
<i>Actinocyclus undulatus</i>	<i>Amphiproraspp.</i>	<i>Ceratium spp.</i>
<i>Asterionella hepaticus</i>	<i>Asterionella glacialis</i>	<i>Dinophysisspp.</i>
<i>Aulacoseira distans</i>	<i>Bacillaria paxillifera</i>	<i>Gymnodiniumspp.</i>
<i>Bacteriastrium spp.</i>	<i>Cocconeis scutellum</i>	<i>Noctiluca sp.</i>
<i>Chaetoceros affinis</i>	<i>Cylindrotheca closterium</i>	<i>Peridinium spp.</i>
<i>Ch. borealis</i>	<i>Cymbella spp.</i>	<i>Prorocentrum spp.</i>
<i>Ch. decipens</i>	<i>Diatoma elongatum</i>	<i>Pyrosystisspp.</i>
<i>Chaetoceros spp.</i>	<i>Diatoma vulgare</i>	
<i>Coscinodiscus eccentricus</i>	<i>Diploneis spp.</i>	Chrysophytes
<i>Coscinodiscus spp.</i>	<i>Fragilaria spp.</i>	<i>Dictyocha sp.</i>
<i>Detonula confervacea</i>	<i>Grammatophoraspp.</i>	<i>Distephanus speculum</i>
<i>Eucampiaspp.</i>	<i>Gyrosigma fasciola</i>	
<i>Hemiaulus spp.</i>	<i>Licmophoraspp.</i>	
<i>Melosira lineata</i>	<i>Navicula spp.</i>	Euglenophytes
<i>M. moniliformis</i>	<i>Nitzschia coarctata</i>	Euglenophyceae
<i>M. nummuloides</i>	<i>Nitzschia spp.</i>	
<i>Odontella aurita</i>	<i>Pleurosigmaspp.</i>	
<i>Paralia sulcata</i>	<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	Chlorophytes
<i>Rhizosoleniaspp.</i>	<i>Rhicosphenia curvata</i>	<i>Scenedesmus sp.</i>
<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Surirellaspp.</i>	
<i>Stephanopyxis nipponica</i>	<i>Synedra spp.</i>	
<i>Thalassiosira condensata</i>	<i>Thalassionema nitzschoides</i>	
<i>Thal. hyalina</i>		
<i>Thal. nordenskiöldii</i>		
<i>Thalassiosiraspp.</i>		

表2 主な植物プランクトン種の細胞密度と水温、塩分との単回帰分析結果.

★ : p < 0.05, ★★ : p < 0.01, ★★★ : p < 0.0001, ns: 有意でない

	Temperature(n=55)	Salinity(n=54)
<i>Aulacoseira distans</i>	0.272★	ns
<i>Chaetoceros</i> spp.	0.539★★★	ns
<i>Coscinodiscus</i> spp.	ns	ns
<i>Rhizosolenia</i> spp.	0.381★★	ns
<i>Skeletonema costatum</i>	ns	0.529★★★
<i>Thalassiosira</i> spp.	-0.571★★★	ns
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	0.391★★	0.320★★★
<i>Cocconeis scutellum</i>	ns	ns
<i>Diatoma</i> spp.	-0.348★★	ns
<i>Fragilaria</i> spp.	-0.582★★★	-0.364★★
<i>Navicula</i> spp.	ns	-0.342★★
<i>Nitzcha</i> spp.	ns	ns
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	0.517★★★	ns
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	ns	ns
Euglenophyceae	0.803★★★	ns