

短 報

網走湖における珪藻群集の季節変化

香月興太¹・瀬戸浩二¹・園田 武²Seasonal change of the diatom assemblage
in Lake Abashiri, JapanKota Katsuki¹, Koji Seto¹ and Takeshi Sonoda²

Abstract: Monthly total mass and diatom fluxes in Lake Abashiri between August 4, 2011 and November 8, 2012 were analyzed. There were three peaks of total mass flux and total diatom flux in the sampling duration. 82 diatom taxa appeared. Except for one month between June 12 and July 13, 2012, the most abundant diatom taxon was *Cyclotella atomus*. *Diatoma tenuis* was the primary taxon in only the month, and this taxon showed under 3 % occurrence in two months. These flux changes in Lake Abashiri strongly supported the assumption by a previous report that a band of laminated deposit in Abashiri sediment was formed in each half year.

Key words: Sediment Trap, Lake Abashiri, Diatom, *Cyclotella atomus*

はじめに

微化石を用いた古環境の復元は、基本的には化石となった生物の生態的特徴を利用して行われる。シリカの殻を形成する植物プランクトンである珪藻は堆積物中によく保存されるため、珪藻の殻を用いた古環境復元の精度を向上させることを目的に、現生珪藻種と周囲の水質の関係はよく研究されている(例えば、小島ほか, 1995; 渡辺, 2005)。さらに近年は、古環境

復元の高時間分解能化を進めるため、セディメント・トラップを用いた珪藻群集の生産量の定量的な把握や、各珪藻種の季節変化を明らかにする研究が進められてきた(例えば、加藤ほか, 2000; Onodera and Takahashi, 2009)。ただし、珪藻群集の季節変化は、水温・塩分・水質汚濁のような周囲の水環境の変化に強く依存するため(肥塚・渡辺, 1995; 紫加田ほか, 2010)、水域ごとに違いが見られると考えられるが、セディメント・トラップを用いた珪藻群集の季節変化の

¹ 島根大学エスチュアリー研究センター・Estuary Research Center, Shimane University, 1060 Nishikawatsucho, Matsue 690-8504, Japan.

² 東京農業大学生物産業学部・Faculty of bio-industry, Tokyo University of Agriculture, 196 Yasaka, Abashiri 099-2493, Japan.

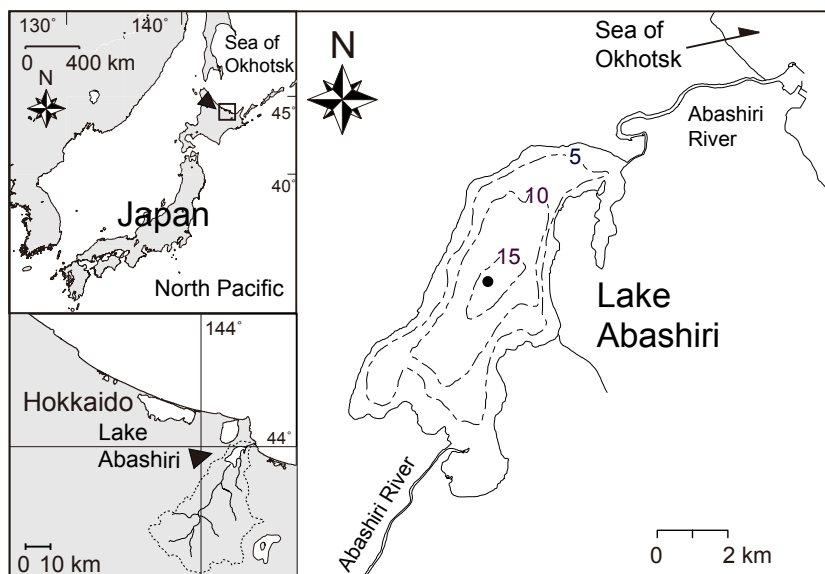


図1 網走湖におけるセディメント・トラップ設置地点.

Fig. 1 Sampling duration of the sediment trap obtained from Lake Abashiri.

報告が行われているのは、ごく一部の水域に過ぎない。

北海道東部に位置する汽水湖である網走湖は、湖の底層に無酸素層を有するため、湖底堆積物には顕著な縞状構造が見られることが知られており（許ほか、2012）、古環境学的には高時間分解能での古環境解析が可能な非常に価値の高い海跡湖であるが、堆積物を形成する沈降粒子の季節変化を定量的に調査した研究はなかった。そこで本研究では、2011年8月4日から2012年11月8日にかけて、網走湖湖底にセディメント・トラップを設置し、月ごとの沈降粒子の総量と沈降する珪藻遺骸群集の変化を分析した。

調査地域

セディメント・トラップを設置した網走湖の面積は32.3 km²、平均水深は6.1 m、最大水深は16.1 mである。湖中心部に湖盆が存在する。網走湖は7.2 kmの網走川下流部を通じて、オホーツク海と繋がっている（図1）。湖面水位は0.5 m以下であるため、満潮時にはオホーツク海からの海水遡上が起きる。一方、網走湖に流れ込む網走川は広大な流域を持つ1級河川で、全長115 km、流域面積は1380 km²であり、湖内への流入水量の約97%を占めている。このような背景から網走湖には、上層が淡水、下層が塩水という2層構造が形成されている（Mikami et al., 2002）。その境となる塩淡境界には明確な躍層があり、水深2.5–6.5 mに位置し、夏季に強く成層する。表層の塩分は0–5

‰程度で推移することが多く、夏に高塩分化し、冬季の結氷期間には表層はほぼ淡水化する。一方、底層の塩分は年間を通じて15–16 ‰で安定している。網走湖は強く成層しているため、躍層以下の溶存酸素はほぼ0 ‰である（Mikami et al., 2002; 瀬戸, 私信）。

試料と方法

本研究では北海道網走市網走湖湖心付近（N43°58.352', E144°10.541'）において簡易セディメント・トラップを設置し、2011年8月4日から2012年11月8日にかけて、約1カ月（平均35.5日）の間隔で13個の試料を採取し（内、1試料は未回収）、全沈降粒子量および珪藻群集の検討を行った（表1）。セディメント・トラップから回収された試料は凍結乾燥し、質量を測定した。一日当たりの全沈降粒子量（g cm⁻² day⁻¹）は、各試料の質量と採取瓶の口の直径及び試料瓶設置期間から算出した。また、珪藻解析用の試料として各試料から少量の試料を秤量して取り出し、過酸化水素を加えて有機物を取り除いたのち、マウントメディア（和光製薬製）を用いてスライドガラスに封入し、観察用スライドを作成した。観察スライドは、光学顕微鏡を用いて1000倍及び2000倍（接眼10倍、対物100倍、中間1~2倍）で観察し、珪藻殻の計測を行った。

表1 網走湖に設置されたセディメント・トラップの採集期間.

Table 1 Sampling duration of the sediment trap obtained from Lake Abashiri.

Number	Setting	Recover	Duration
1	2011/8/4	2011/9/9	36
2	2011/9/9	2011/10/7	28
3	2011/10/7	2011/11/8	32
4	2011/11/8	2011/11/29	21
5	2011/11/29	2012/1/17	49
6	2012/1/17	2012/3/14	57
7	2012/3/14	2012/5/9	56
8	2012/5/9	2012/6/12	34
9	2012/6/12	2012/7/13	31
10	2012/7/13	2012/8/2	20
11	2012/8/2	2012/9/5	34
12	2012/9/5	2012/10/5	30
13	2012/10/5	2012/11/8	34

結果と考察

網走湖の沈降粒子変動

全沈降粒子量 (Total mass flux) は、2011 年後半では 8 月から 9 月にかけて増加し、2012 年では 3 月から 6 月と 9-10 月の 2 回の増加時期があった (図 2A)。全珪藻沈降殻数 (Total diatom flux) も全沈降粒子量と同じく 2011 年後半で 1 度と 2012 年に 2 度の増加時期が確認されたが、全珪藻沈降殻数の増加時期は全沈降粒子量の増加時期といくらか異なり、2011 年後半では 8 月、2012 年では 6 月後半から 7 月前半にかけてと 9-10 月が増加時期であった。網走湖は基礎生産者として珪藻が優位を占める湖沼であるので (中村ほか, 1980)、全沈降粒子量が増加しているにも関わらず、全珪藻沈降殻数の増加が見られない 2011 年の 9 月や 2012 年の 3-4 月には、無機物の流入が多かったのではないかと考えられる。2011 年 9 月 2 日には網走市周辺で 1 日あたり 100 mm を超える豪雨が降っており (図 3)、この豪雨により広大な流入河川から陸源性の土砂が流入したと考えられる。また、網走市一帯は積雪地帯であり、網走湖も冬季に結氷する。2011 年度の網走市の降雪状況は 2011 年 11 月 16 日に初雪が観測され、2012 年 4 月 9 日に最後の降雪が確認されている。2011 年 11 月から 2012 年 3 月上旬にかけては (サ

ンプル未回収期間も含むが)、全沈降粒子量・全珪藻沈降殻数ともに低い (図 2A)。これは、集水域の積雪および網走湖の結氷により、網走湖に陸源性の土砂が流入せず、また網走湖湖面に雪が積もり、水中への射光が遮られるため、基礎生物生産量が落ち込むことが原因だと考えられる。2012 年の網走市の日平均気温は 3 月から上昇しはじめ、4 月初旬に気温が氷点下からプラスに転じ、1 ヶ月の間に気温が 10 度上昇した (図 3)。2012 年の 3-4 月に全沈降粒子量が増加する理由は、この時期に網走湖の集水域で融雪が起きるために、融雪に伴って網走湖に土砂を伴った雪解け水が流入するからであると考えられる。網走湖の沈降粒子量と河川からの流入量に関連性がみられるという推測は、沈降粒子に含まれる淡水性珪藻遺骸から裏付けることが出来る。*Encyonema minutum* のような河川性の淡水性珪藻の増減は全沈降粒子量の増減と同じ挙動を示しており (図 2J)、網走湖の沈降粒子が河川水とともに網走湖に流入していることを証明している。

全沈降粒子量と降雨・降雪との関係が不明瞭なのは、2012 年後半である。2012 年 7 月 31 日から 8 月いっぱいにかけて、2 度も 1 日の降水量が 40 mm を超える豪雨があったにも関わらず、全沈降粒子量・全珪藻沈降殻数はともに低かった (図 2A)。あるいは、1 日 40 mm 程度の降雨では河川の流下速度もそれほど上がらず、粗粒の堆積物も流入しにくいいため、降雨時期から網走湖で沈殿するまでの間に期間が空き、翌 9 月に全沈降粒子量が増加するのかもしれないが、実際のところこの降雨時期における低い全沈降粒子量の要因は不明である。

網走湖の後期完新世の堆積物には明瞭な縞状構造が見られる。網走湖の縞状構造は黒色系の層と白色系の層が交互に積み重なっており、各縞は粘土物質優勢層と珪藻優勢層に区分できるが、鉱物組成や珪藻の量比は各層ごとに異なっており、それぞれのバンドに明確な周期性はないとしている (許ほか, 2012)。許ほか (2012) は、網走湖堆積物に含まれる縞の枚数や各縞に含まれる珪藻遺骸や鉱物組成を調査し、網走湖堆積物に見られる縞状構造は年縞ではなく半年縞ではないかと指摘した。本研究においても、網走湖の沈降粒子は年 2 回のピークがあり、なおかつ陸源堆積物を多量に含む全沈降粒子量のピーク時期と全珪藻沈降粒子殻数のピーク時期にはずれがあった (図 2A)。この結果は、網走湖湖底には、半年ごとに陸源堆積物を多量に含む粘土物質優勢層と珪藻優勢層が交互に堆積していくことを示しており、許ほか (2012) の推論を強く支持する結果となっている。

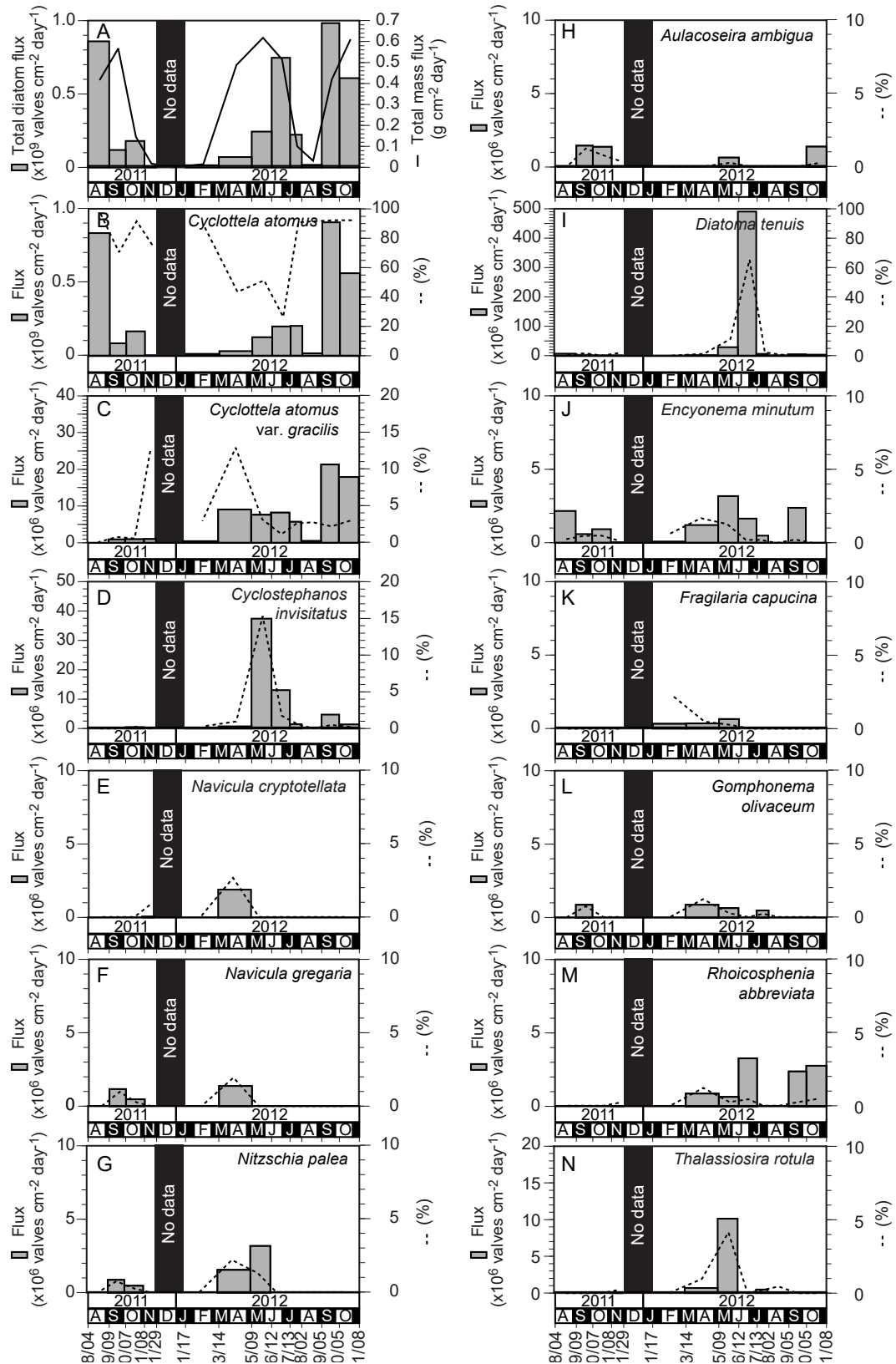


図2 2011年8月3日から2012年11月7日までの全沈降粒子量ならびに沈降した珪藻群集の変動。棒グラフはFlux量，破線の折れ線グラフは相対頻度を示す。

Fig. 2 Flux and relative abundance change of the total mass and diatom assemblage between August 3, 2011 and November 7, 2012. Gray bars and dotted lines show the diatom flux and relative abundance values, respectively.

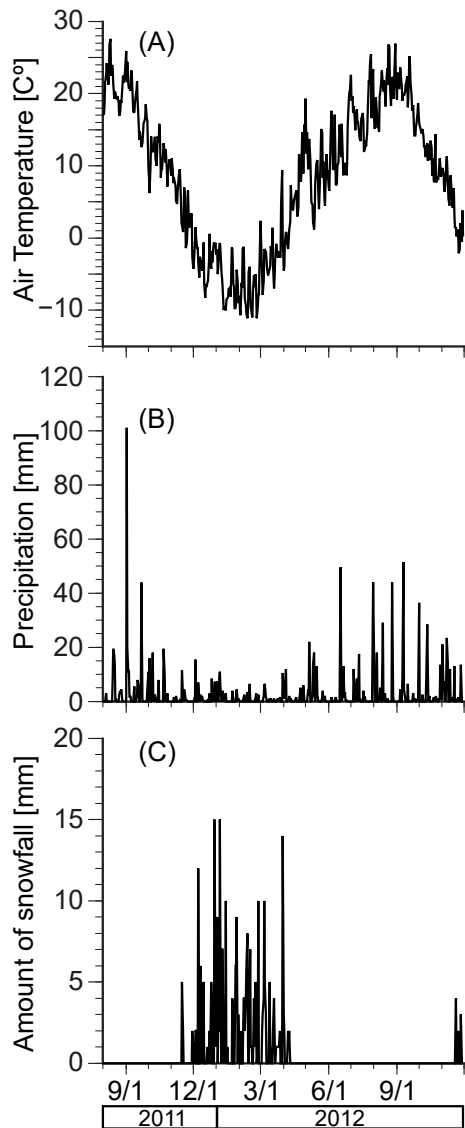


図3 網走湖における気候変化(気象庁HP):(A) 日平均気温, (B) 一日あたりの降水量, (C) 一日あたりの降雪量。

Fig. 3 Weather report of the Abashiri City supported by the data from Meteorological Agency: (A) Daily temperature, (B) Daily precipitation, and (C) Amount of daily snowfall.

網走湖の珪藻群集変動

網走湖の沈降粒子内より82種の珪藻種が同定された(図4)。ただし、その多くは出現頻度が低く、各月の産出頻度が1度でも5%を超えた種は、以下の4種のみであった:*Cyclostephanos invisitatus*, *Cyclotella atomus*, *Cyclotella atomus* var. *gracilis*, *Diatoma tenuis* (図2B-D, I)。このほか、*Thalassiosira rotula* が2012

年の5月に4%を超えたほか、2012年3-4月に小型の*Navicula*属の出現頻度が全体として9%を超えていた。網走湖において最も産出頻度が高い種は、ほぼ通年*C. atomus*である。本種は2012年の6月12日から7月13日の1ヶ月を除くすべての期間で第一優占種であり、春から初夏(4-7月初旬)以外の期間では、産出頻度の70%以上を占め、時には全体の95%に達する。*Cyclotella atomus*は塩分耐性をもつ淡水種であり、富栄養化した淡水湖または低鹹汽水湖でよく見られる(例えば、Korhola and Blom, 1996; Yao et al., 2011)。2番目に産出頻度が高かった種である*D. tenuis*は、*C. atomus*とは逆に第1優占種であった2012年の6月12日から7月13日とその前の採取期間である5月9日から6月12日の2か月間を除くと出現頻度が低く、3%を超える月はなかった。*Diatoma tenuis*は汽水湖における産出頻度が少なく、湖沼において第1優占種になった例は、網走湖以外では報告がない。*Cyclotella atomus* var. *gracilis*は、8月と冬季を除き、一定した出現頻度を示した(図2C)。*Cyclotella atomus* var. *gracilis*は広塩性種で、主に富栄養化した低鹹汽水湖でよく見られる(例えば、Kiss et al., 2012; Katsuki et al., 2016)。海生種で汽水域でも時折見かける*T. rotula*(Döhler and Biermann, 1985; 福代ほか, 1990)は2012年の5月8日から6月11日にかけての1ヶ月のみ、高い出現頻度を示した(図2)。網走湖における海水流入量は冬季に多く、逆に、融雪による河川流入量が多い4月から6月にかけて、網走湖への海水流入量は少ない(池永ほか, 1998)。その為、*T. rotula*の沈降殻数がこの時期に増加した原因は海水流入ではないと考えられる。上述したように網走湖の水塊構造は2層構造を形成しており、2000年以降の塩淡境界は通年して水深約5mに存在している(池永ほか, 1998; 小澁, 2010)。下層の塩水は強風時になると上層まで湧き上がることがある(丸谷ほか, 2010)。5月12日には瞬間最大風速19.0 m/sを記録している(気象庁HP)ことや、富栄養指標種である*C. invisitatus*(Lowe and Crang, 1972)が*T. rotula*と同時期に高い出現頻度を示していることから、この時期の網走湖では強風による水塊の攪拌があり、底層から高栄養塩濃度の塩水が湧昇したため、*C. invisitatus*や*T. rotula*の生産力が向上した可能性があるが、現状では相互の関係はよくわからない。

1995年に網走湖の表層堆積物を調査した鹿島(1996)は、網走湖湖底の表層堆積物における第1優占種は*Cyclotella caspia*で、随伴種が*D. tenuis*であったと報告している。また、1978-1979年における網走

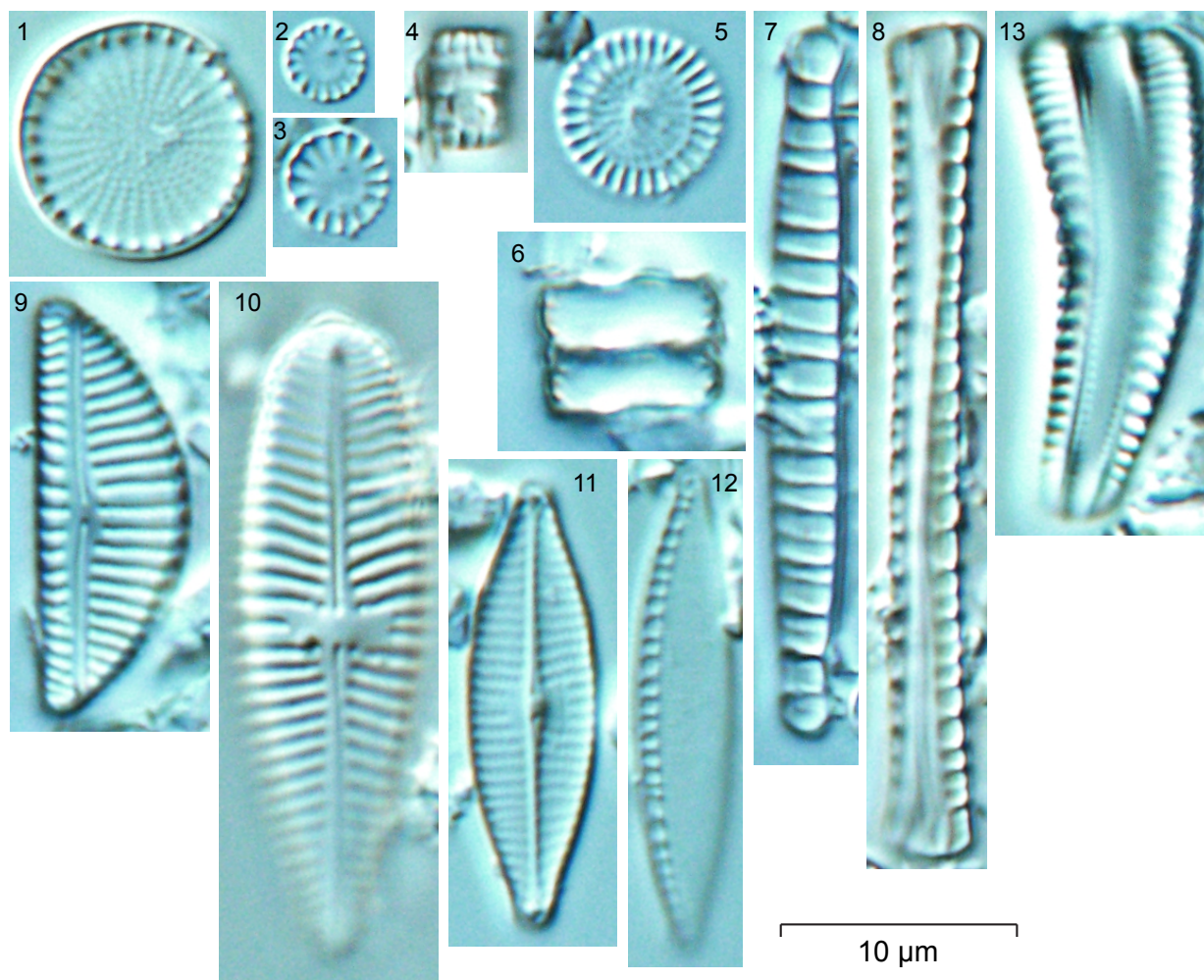


図4 網走湖に設置されたセディメント・トラップで確認された珪藻種.

1: *Cyclostephanos invisitatus* (Hohn & Hellermann) Theriot, Stoermer & Håkasson, 2-4: *Cyclotella atomus* Hustedt, 5-6: *Cyclotella atomus* var. *gracilis* Genkal & Kiss, 7-8: *Diatoma tenuis* C.Agardh, 9: *Encyonema minutum* (Hilse) D.G.Mann, 10: *Gomphonema olivaceum* (Hornemann) Brébisson, 11: *Navicula gregaria* Donkin, 12: *Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith, 13: *Rhoicosphenia abbreviata* (C.Agardh) Lange-Bertalot.

Fig. 4 Diatom taxa in sediment trap samples from Lake Abashiri.

湖内の珪藻群集変動を調べた中村ほか(1980)は、第1優占種は *Cyclotella meneghiniana* で、6月と9・10月の年2回増殖したと報告している。いずれも今回の調査期間における第1優占種とは異なっている。網走湖はかつて淡水湖であったが、1925年頃から汽水化し、1990年頃まで徐々に塩淡境界の水深が浅くなっている(高安・飛島, 1930; 池永ほか, 1996)。その後、塩淡境界の上昇傾向は緩やかになったものの年ごとに塩淡境界の水深は著しく異なる。その為、網走湖では富栄養化した低鹹汽水湖に多い小型の *Cyclotella* 属が優占することが多いものの、優占種となる種が年ごとに大きく入れ替わるのではないかと考えられる。

まとめ

本稿では2011年8月4日から2012年11月8日にかけて、網走湖湖底に設置したセディメント・トラップの解析結果から、網走湖の沈降粒子の変動とその要因に関して報告を行った。網走湖の全沈降粒子量と珪藻沈降殻数は調査期間である1年半の間にそれぞれ3回のピークがあり、かつそれぞれのピーク時期は多少異なっていた。網走湖で沈降した珪藻遺骸は、ほぼ通年において *C. atomus* が第1優占種であり、6月から7月の1ヶ月の間のみ *D. tenuis* が第1優占種となった。この種構成は、過去の網走湖におけるプラ

ンクトン調査の結果や表層堆積物中の珪藻遺骸群集の結果とは著しく異なるが、これは網走湖の水環境の経年変化が大きいことと強く関連していると考えられる。

本稿では、網走湖における沈降粒子と珪藻遺骸群集に関して結果を述べたが、セディメント・トラップ期間内の網走湖の水質変動データがないため、珪藻群集や沈降粒子量の変動要因としての、湖内水循環等の湖内流動に関する考察が不足している。珪藻群集の変動要因として、湖内流動は強い影響を及ぼしていることが推測されるため、今後は水質変動データを含めた継続した調査が重要となる。

謝 辞

本研究に用いたセディメント・トラップの設置および回収において、西網走漁業協同組合の川尻敏文・末沢海一の両氏には尽力いただいた。また、東京農業大学生物産業学部水産増殖学研究室の学生諸氏に調査補助していただいた。また、本研究には科研費(基盤B:20340138 および17H02974, 研究代表者は共に瀬戸浩二)を使用した。本原稿は2名の査読者と1名の編集委員に丁寧に査読していただいた。ここに記して謝意を表す。

引用文献

Döhler, G., Biermann, I. (1985) Effect of Salinity on 15N-ammonia and 15N-nitrate Assimilation of *Bellerochea yucatanensis* and *Thalassiosira rotula*. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*, 180: 589-598.

福代康夫・千原光雄・高野秀昭・松岡数充(1990) 日本の赤潮生物—写真と解説—。内田老鶴圃, 東京, 407p.

許成基・船木淳悟・岡村眞・松岡裕美・坂本竜彦・鹿島薫・山辺希世(2012) 網走湖底質とその縞状構造について。地球科学, 66: 17-33.

池永均・山田正・内島邦秀・大島伸介・向山公人・平野道夫・井出康郎・田村圭司(1996) 網走湖における塩淡二成層の形成と挙動に関する研究。水工学論文集, 40: 589-594.

池永均・山田正・向山公人・大島伸介・内島邦秀(1998) 網走湖の塩水化の機構と塩淡二成層の長期変動特性に関する研究。土木学会論文集, 600: 85-104.

鹿島薫(1996) 網走湖・サロマ湖の湖底堆積物から得られた珪藻遺骸群集。Laguna, 3: 33-39.

加藤めぐみ・谷村好洋・松岡数充・福澤仁之(2000) 沿岸域における珪藻遺骸群集と化石群—大村湾におけるセディメント・トラップ実験結果—。Laguna, 7: 53-60.

Katsuki, K., Yang, D.Y., Seto, K., Yasuhara, M., Takata, H., Otsuka, M., Nakanishi, T., Yoon, Y., Um, I.K., Cheung, R.C.W., Khim, B.K., Kashima, K. (2016) Factors controlling typhoons and storm rain on the Korean Peninsula during the Little Ice Age. *Journal of Paleolimnology*, 55: 35-48.

Kiss, K., Klee, R., Ector, L., Acs, E. (2012) Centric diatoms of large rivers and tributaries in Hungary: Morphology and bio-geographic distribution. *Acta Botanica Croatica*, 71: 311-363.

肥塚利江・渡辺仁治(1995) 清浄河川(高見川)と汚濁河川(佐保川)における付着珪藻群集と有機汚濁指数DAIpoの季節変化。日本水処理生物学会誌, 31: 89-98.

小島貞男・須藤隆一・千原光雄(1995) 環境微生物図鑑。講談社, 東京, 759 pp.

Korhola, A., Blom, T. (1996) Marked early 20th century pollution and the subsequent recovery of Töölö Bay, central Helsinki, as indicated by subfossil diatom assemblage changes. *Hydrobiologia*, 341: 169-179.

小澁晴信(2010) 網走湖における塩淡密度成層の遷移に関する研究。中央大学大学院研究年報, 40: 4p.

Lowe, R.L., Crang, R.E. (1972) The ultrastructure and morphological variability of the frustule of *Stephanodiscus invisitatus* Hohn and Hellerman. *Journal of Phycology*, 8: 256-259.

丸谷靖幸・中山恵介・堀松大志・鰻目淑範・米元光明(2010) 網走湖における密度界面に対する風応力と河川流入の影響評価。水工学論文集, 54: 1393-1398.

Mikami, H., Hino, S., Sakata, K., Arisue, J. (2002) Variations in environmental factors and their effects on biological characteristics of meromictic Lake Abashiri. *Limnology*, 3: 97-105.

中村優子・青井孝夫・黒木宗尚(1980) 網走湖の植物プランクトンの季節的消長。環境科学 3: 35-46.

Onodera, J., Takahashi, K. (2009) Long-term diatom fluxes in response to oceanographic conditions at Stations AB and SA in the central subarctic Pacific and the Bering Sea, 1990-1998. *Deep-Sea Research I*, 56: 189-211.

- 紫加田知幸・櫻田清成・城本祐助・生地暢・吉田誠・大和田 紘一 (2010) 八代海における植物プランクトンの増殖に与える水温, 塩分および光強度の影響. 日本水産学会誌, 76: 34-45.
- 高安三次・飛島貫治 (1930) 湖沼調査. 第4編 網走湖 (昭和4年) 調査. 水産調査報告, 22: 1-53.
- 渡辺仁治 (2005) 淡水珪藻図鑑. 群集解析に基づく汚濁指数 DAI_{po} PH 耐性能. 内田老鶴堂, 666p.
- Yao, M., Li, Y.-L., Yang, X.-D., Liu, Q. (2011) Three-year changes in planktonic diatom communities in a eutrophic lake in Nanjing, Jiangsu Province, China. *Journal of Freshwater Ecology*, 26: 133-141.