

福井県北潟湖における夏の水質と珪藻遺骸分布

香月興太^{1*}・瀬戸浩二¹・北川淳子²

Summer water quality and diatom distribution in Lake Kitagata, Fukui, Japan

Kota Katsuki^{1*}, Koji Seto¹, Junko Kitagawa²

Abstract: Water quality and surface sediment diatom assemblages in Lake Kitagata, Hokuriku region, Japan, were investigated in August 2016. Lake Kitagata is a brackish lagoon complex, separated into several sub-basins by narrow channels. Water quality was different in each sub-basin. Surface salinities in each sub-basin of Lake Kitagata were between 4 and 19, and bottom salinities were between 6 and 32 in August of 2016. Anoxic water masses were present in the near-bottom water of the central and a portion of the southern lagoon. The three most dominant diatom taxa in the surface sediments were *Cyclotella striata*, *Cyclotella meneghiniana*, and *Cyclotella atomus*. This probably reflects the high salinity and nutrient conditions of Lake Kitagata in recent years prior to sampling. The number of total diatom valves in surface sediment increased moving from east to west, with decreasing salinity, however, diatom numbers decreased again at the lowest salinity (the westernmost sub-basins). It is likely that other phytoplankton taxa dominated the population in the westernmost area due to low salinity conditions. In Lake Kitagata a strong fresh-water effect is observed not only in the low salinity western area, but also at the mouth of the lake, opening into the ocean. This occurs because fresh water from the Daiseiji River, which empties into the lake at the mouth, moves upstream into the Lake Kitagata system.

Key words: Lake Kitagata, Water quality, Diatom, Surface sediment

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 年縞博物館・Varve Museum, 122-12-1 Torihama, Wakasa-cho, Mikatakaminaka-gun, Fukui 919-1331, Japan.

* Corresponding Author

受付日：2021年5月11日，受理日：2021年6月23日，WEB掲載日：2021年7月15日（2021年7月27日修正掲載）

はじめに

北潟湖は本州の日本海沿岸、福井県と石川県の県境に位置する汽水湖で、その面積は 2.16 km² である。北潟湖の面積の 99 % 以上は福井県あわら市に位置しているが、日本海へとつながる湖口は石川県の二級河川大聖寺川の河口部とつながっている(国土地理院・令和2年全国都道府県市区町村別面積調)。北潟湖は北東から南西へ細長く伸びた形をしており、全長は約 6 km である。湖の複数個所で幅が極端に狭くなっており、それらの箇所多くには橋が架かっている(図 1)。北潟湖北東部にある開田橋には、2004 年に自動開閉式の水門ゲートが設置され、現在も運用されている。この水門ゲートは上流側と下流側の水位差に応じて開閉されるため、北潟湖の水質、特に塩分は開田橋水門の開閉状況に応じて変動している。北潟湖の最大水深は 3.7 m で開田橋水門の上流側付近にある。湖の大部分の箇所において、湖岸から 30–40 m で水深 2.5–3 m 弱まで一気に深くなるが、湖の中央部はほぼ平らである(地理調査部木村幸一ほか, 2009)。

北潟湖は富栄養化が進行しており、環境省による平成 30 年度公共用水域水質測定結果によると、開田橋以南の平均 COD は 5.8 mg l⁻¹ であった(環境省水・大気環境局水環境課, 2019)。この値は環境省が定める水質基準を達成しておらず、全国の湖沼でも 19 番目に高い値である。このような現状を背景に、福井県では平成 25 年度に「北潟湖の自然再生に関する協議会」が発足、平成 30 年 11 月にはで県内で 2 例目の法定協議会となる「北潟湖自然再生協議会」が設立され、北潟湖の水質改善に向けた取り組みが始まっている。

北潟湖の水質や生息プランクトンは、県衛生環境研究センター(およびその前身組織)が定期的に定点観測を行っている。そのため、表層水の水質や生息する動植物プランクトンの概要は把握されている(例えば、根来・青木, 1991; 片谷ほか, 1998; 松崎ほか, 1998)。しかし、その一方で湖内の水塊構造や動植物プランクトンの分布などはまだ調査が不十分である。北潟湖における優占植物プランクトンである珪藻の動態に関しても、いくつかの優占種の除き、属レベルでしか報告がおこなわれておらず、北潟湖内に生息する珪藻群集の生態が把握されているとは言い難い。

珪藻は生息する環境の変化に敏感なため、珪藻の群集組成は水環境を反映する指標として用いられている(例えば、渡辺ほか, 1988; 渡辺, 2005)。また、珪藻は死後に珪質の殻が堆積物に保存されやすいた

め、古環境の指標としても用いることができる(小杉, 1988; 千葉・澤井, 2014)。本研究では北潟湖の湖底に堆積している珪藻群集と北潟湖の水質を調査し、北潟湖の水質と生息する珪藻群集の特徴について明らかにする。

試料と方法

本研究では、2016 年 8 月 8–9 日に北潟湖内の 10 地点(K01, K03, K05, K08, K10, K12, K16, K20, K23, K25)において、水質および底質調査を行った(図 1)。水質(水温・塩分・クロロフィル濃度・濁度・溶存酸素)は直読式総合水質計 AAQ127 (JFE アドバンテック株式会社製)を用いて深度プロットを作成し(図 2)、底層堆積物はエクスマンバージ採泥器(離合社製)を用いて表層を乱さないように採取したのち、表層約 1mm を珪藻分析用に採取した。試料採取地点では水の色を測定する為、表層数センチの深度に透明度板を投下し、Olympus 製のカメラ(TG-5)を用いて、オートモード・フラッシュなしで直上から写真撮影を行った。撮影した写真の補正は行っていない。

珪藻群集解析用の試料処理として、乾燥試料約 20 mg をビーカーにいれ、10 % 過酸化水素水で約 1 時間半加熱し、堆積物中の有機物を除去したのち、ピロリン酸ナトリウムを加え試料を攪拌した。ビーカーに蒸留水を加え 4 時間安置後に上澄み液を廃棄する工程を 3 回繰り返した後、ビーカー内の試料を、マイクロピペットを用いてカバーガラス全面に垂らした。カバーガラス上の試料を乾燥させ、マウントメディアを用いてスライドガラスと固定し、珪藻観察用スライドを作成した。観察した試料は生物顕微鏡(Olympus BX53)を用いて 1000–2000 倍で観察を行った。乾燥重量 1 g あたりの珪藻殻の量は、以下の計算式で算出した: 乾燥重量 1 g あたりの珪藻殻の量 (valves g⁻¹) = 計測した珪藻殻数 (valves) / 計測した際の観察した面積 (mm²) × カバーガラス面積 (mm²) / マイクロピペットで採取した水量 (mL) × ビーカー内の水量 (mL) / 表層堆積物の乾燥重量 (g)。

結果

「はじめに」で述べたように、北潟湖は北東から南西へ細長く伸びた形をしており、複数個所で幅が極端に狭くなっている(図 1)。本稿では北潟湖を、隘路を境に 5 つの水域に分けた。湖奥にあたる昭和橋から西側を西部 (K01, K03)、西部を除いた日之出橋

福井県北潟湖における夏の水質と珪藻遺骸分布

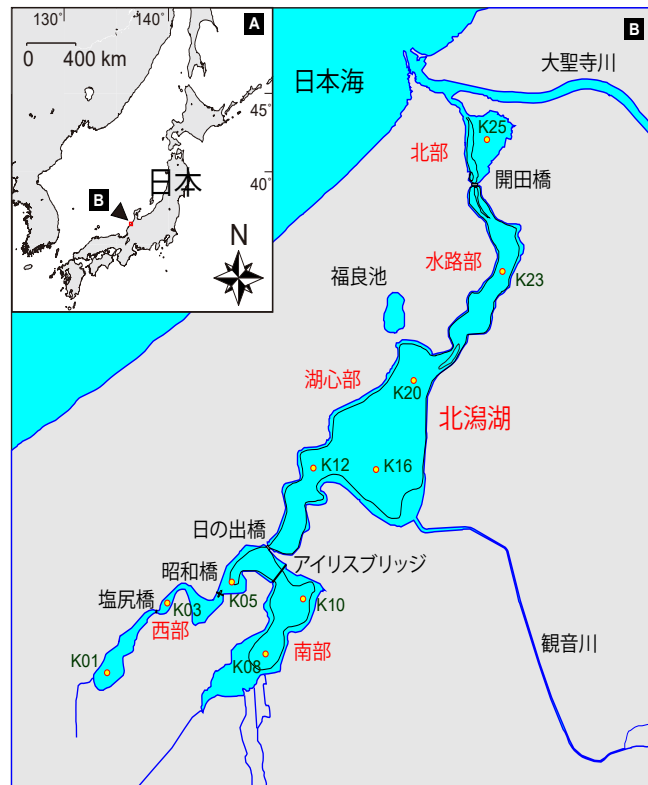


図1 北潟湖の湖底地形と試料採取位置。等深線は水深2 m および3 m.

Fig. 1 Bathymetry map of Lake Kitagata. Bathymetry lines show 2 and 3 m depth.

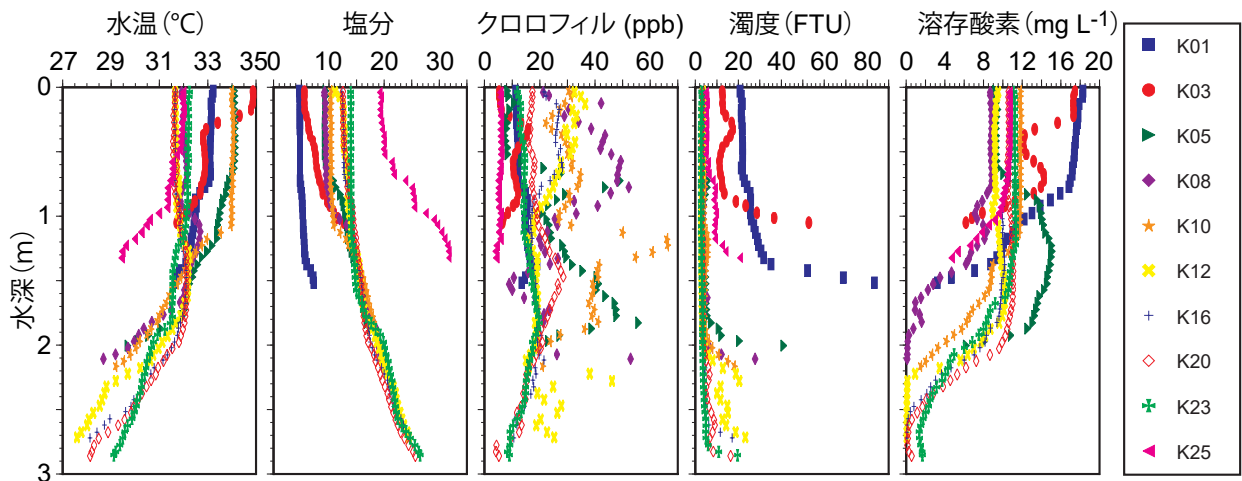


図2 北潟湖の水質.

Fig. 2 Vertical distributions of water qualities in Lake Kitagata.

より南側を「南部」(K05, K08, K10), 日之出橋より東側で観音川が流れこみ湖の幅が広がった個所を湖心部(K12, K16, K20), 湖心北東から開田橋までの湖の幅が狭まった個所を水路部(K23), 開田橋より北を北部(K25)とした。

夏季の北潟湖の水質

北潟湖内の10地点に置いて, 水温・塩分・クロロフィル・濁度・溶存酸素量を深度別に測定した(図2)。北潟湖における表層水温は, 測定時刻が異なるため, 地点ごとに水温差があるが, 傾向は似通っており, 水深0.9–1.2 m付近から深くなるにつれて水温は次第に減少する。各地点の温度差は北部のK25を除き, 水深1.2 m以下で小さくなる。西部のK03のみ表層0.2 mに温度躍層が存在する。

塩分は深度が深くなるにしたがって増加する。北部のK25と西部のK01を除き, 水深1.2 m以下の塩分はほぼ同じで, 水深1.2 mで約15 PSU, 水深2.9 mで約25 PSUまで増加する。西部のK01は湖面から湖底まで4–5 PSUであり, 湖底付近でのみわずかに塩分が増加する。おなじ西部のK03は, 表層のみK01と同じ塩分だが, 水深0.2 m以下で塩分が増し, 湖底では他の地点の塩分とほぼ同じ値となった。北部K01では表層は20 PSUで, 水深が深くなるにつれて塩分が増し湖底では海水とほぼ同様の32 PSUとなった。

クロロフィル濃度は地点間の差が激しい。南部のK01, K05, K08はクロロフィル濃度が高く, 50 ppbを超えるが, クロロフィルピークの深度はそれぞれ異なる。湖心部西部のK12にも表層および水深2.25 mにクロロフィルピークが見られるが, その他の地点ではクロロフィル濃度の鉛直分布はなだらかに変化し, ピークと言えるほどのクロロフィル濃度の極端な増加は見られない。クロロフィル濃度が最も低いのは北部K25であり, 表層から湖底まで約5–6 ppbでほぼ一定であった。

濁度は西部で高く, K01で表層から湖底まで20 FTU以上で, 深度が深くなるにつれて増加する。K03では10FTU以上で, 湖底付近のほかに深度0.2–0.4 m間で濁度が増加する。その他の地点では濁度はほぼ6 FTU以下で, 湖底付近でのみ濁度が増加する。ただし, 北部のK25では表層は他の地点と同じ6 FTU以下であったが, 深度0.7 m以下でおよそ10 FTUとなった。

表層0.7 mの溶存酸素は, 西部を除き北潟湖全域で8–12 mg L⁻¹であり, 湖心部や水路部では水深2.0

m以下で減少し, 水深2.3–2.5 m以下でほぼ無酸素状態となった。南部のK10もほぼ同様のパターンを示したが, 溶存酸素が減少し始める水深は湖心部・水路部よりやや浅く, 水深1.5 mであった。西部は表層の溶存酸素量が多く17.0–18.5 mg L⁻¹であり, K01では水深0.8 mより下部で急激に減少したのに対し, K03では表層0.3 m以下で減少するが, 0.3 mから増加に転じ0.7 m付近で極大を示し, 0.8 m以下で急激に減少する。南部のK05のみ, 北潟湖のそのほかの地点と違った溶存酸素量のパターンを示し, 水深0.7 mまでは他の地点と同じおよそ9 mg L⁻¹であったが, 0.7 mから1.3 mまで溶存酸素は約16 mg L⁻¹まで増加し, 湖底でも11.0 mg L⁻¹と高い値を示した。

表層堆積物中の珪藻分布

北潟湖の表層堆積物から産出した珪藻種は57属127種およびいくつかの不明種であった(図3-5)。表層堆積物中の珪藻殻数は, 乾燥重量1 gあたり1.0 × 10⁶ 殻から54.8 × 10⁶ 殻で, 南部でもっとも値が高く42.3–54.8 × 10⁶ 殻, 次に値が高いのが湖心部で, K16で24.9 × 10⁶ 殻産出した(表1, 図6)。逆に北部で最も産出量が少なかった。西部(K01, K03)も堆積物中にある珪藻殻の量は多くなく, 乾燥重量1 gあたり7.2 × 10⁶ および10.0 × 10⁶ 殻であった。

優占する珪藻種は, 第一に*Cyclotella striata* (平均42.0%)。北潟湖の全域で産出し, 湖奥のK01と南部K10以外のすべての地点で第1優占種であった(図7e)。産出頻度が特に高かったのは南部・湖心部で, 南部のK08では91.8%と群集の大半を占め, 第1優占種でなかったK10でも第3優占種として15.6%を占めた。湖心部の3地点では半数以上を本種が占めた。第2, 第3優占種は*Cyclotella meneghiniana*と*Cyclotella atomus*で, 北潟湖における平均産出頻度はそれぞれ7.5%と3.8%であった。*Cyclotella meneghiniana*の産出頻度は0.5–14.8%であり, 10%以上の産出を示した地点は, K01, K05, K10, K23であった(図7d)。*Cyclotella atomus*の産出頻度は0.2–13.6%であり, 10%以上の産出を示した地点は, K05とK10であった(図7c)。単一種ではないが, *Chaetoceros*属の休眠胞子が産出頻度3.5%を占めた。K01を除く湖内全域で産出しすが, 産出頻度は北部, 水路部, 湖心部と湖口に近い方が明らかに高かった(図7b)。次いで産出頻度が高かったのは平均3.3%の*Cyclotella meduanae*で*C. atomus*と同じ地点で高頻度を示した。

*Pseudostaurosira brevistriata*は西部で産出頻度が

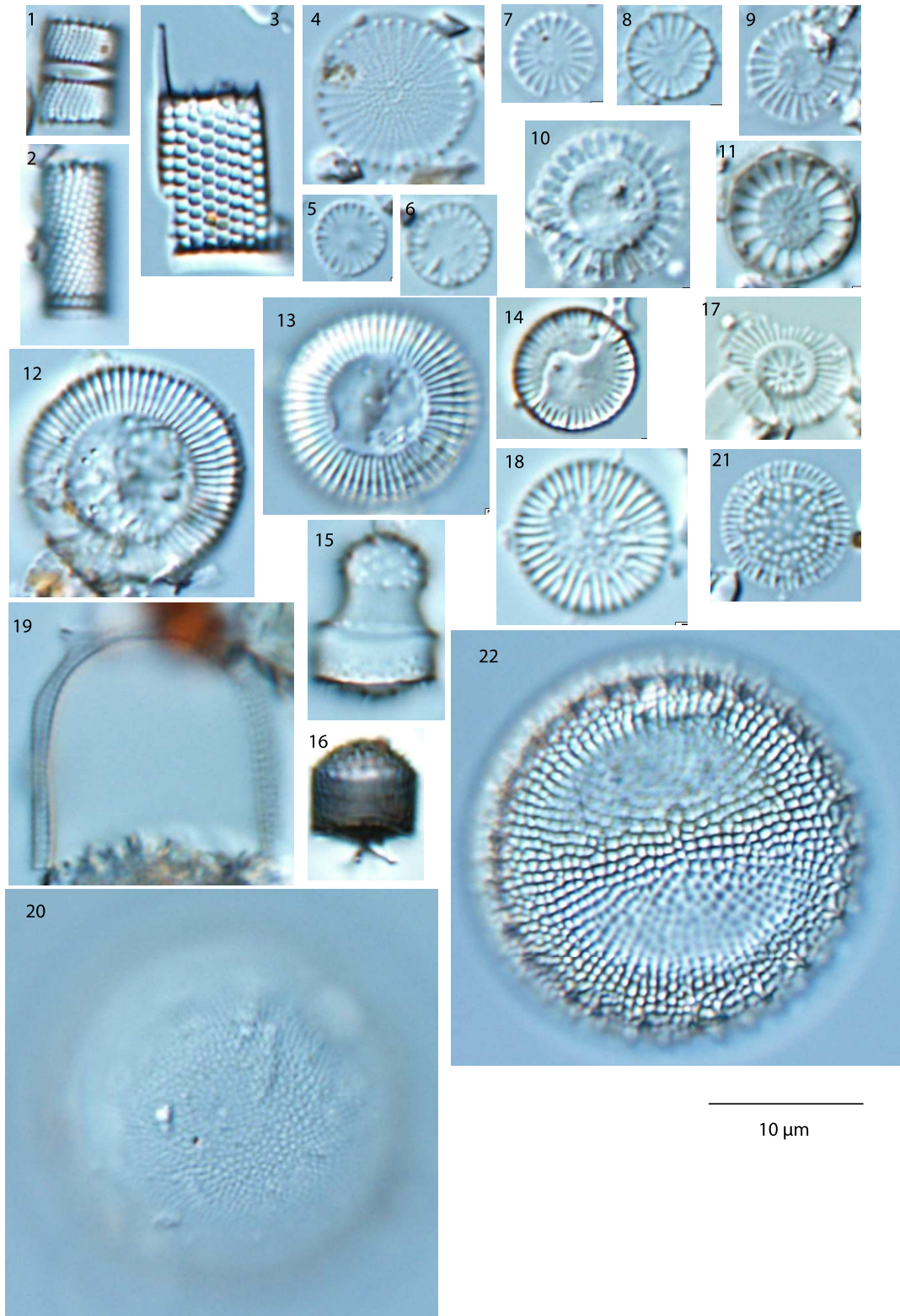


図3 北潟湖に産出する円心目珪藻.

Fig. 3 Centric diatoms in Lake Kitagata.

1. *Aulacoseira alpigena*, 2. *Aulacoseira ambigua*, 3. *Aulacoseira granulata*, 4. *Cyclostephanos fritzii*, 5-6. *Cyclotella atomus*, 7. *Cyclotella cryptica*, 8-9. *Cyclotella meduanae*, 10-11. *Cyclotella meneghiniana*, 12-13. *Cyclotella striata*, 14. *Cyclotella* sp., 15-16. *Chaetoceros* Resting spore, 17. *Discostella stelligera*, 18. *Lindavia lacunarum*, 19-20. *Melosira moniliformis*, 21. *Lindavia praetermissa*, 22. *Thalassiosira bramaputrae*

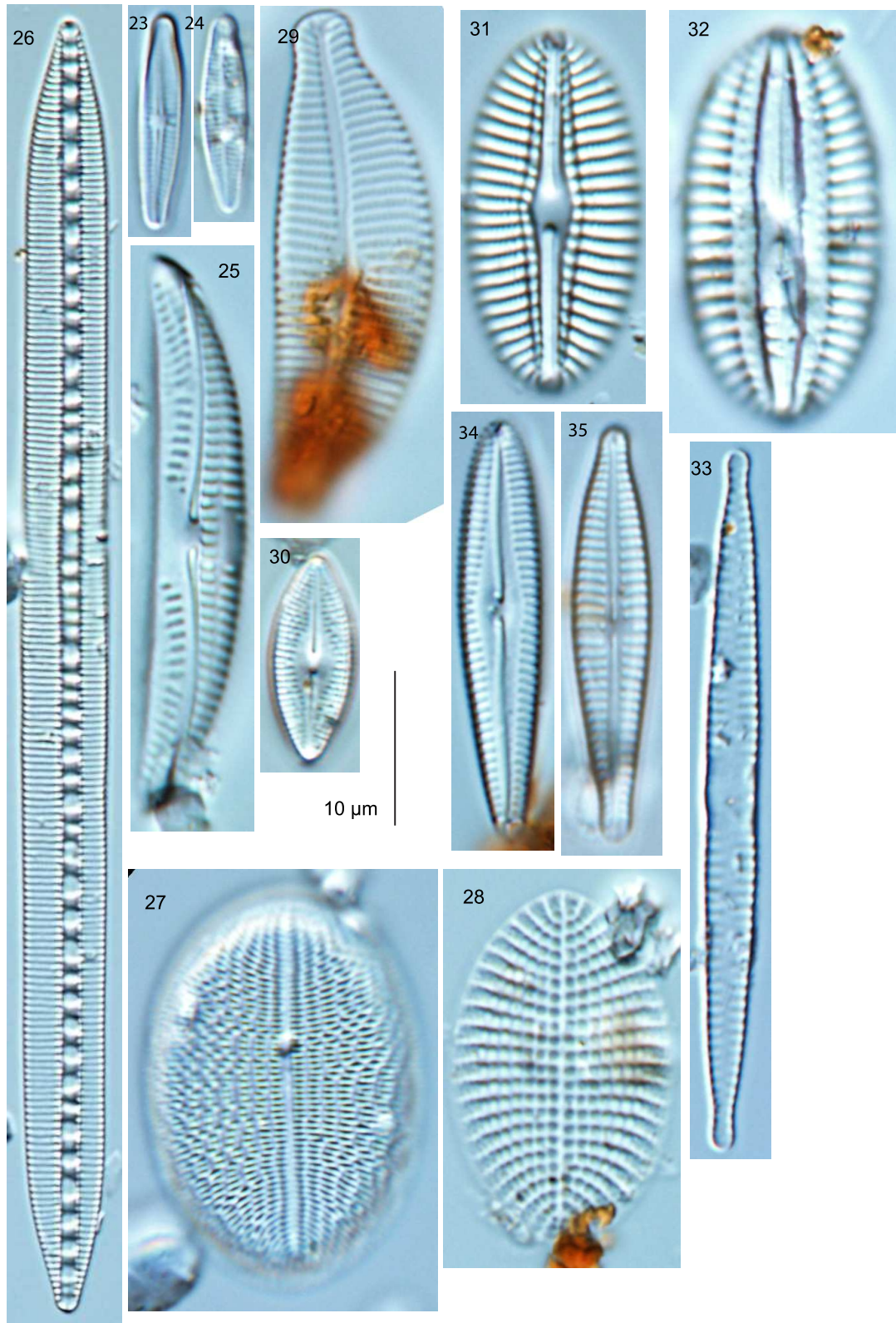


図4 北潟湖に産出する羽状目珪藻.

Fig. 4 Pennate diatoms in Lake Kitagata.

23-24. *Achnantheidium minutissimum*, 25. *Amphora hiromuii*, 26. *Bacillaria paxillifer*, 27. *Cocconeis placentula*, 28. *Cocconeis scutellum*, 29. *Cymbella turgidula*, 30. *Diadesmis confervacea*, 31. *Diploneis ovalis*, 32. *Diploneis suborbicularis*, 33. *Fragilaria rumpens* var. *fragilarioides*, 34. *Gomphonema clevei*, 35. *Gomphoneis heterominuta*

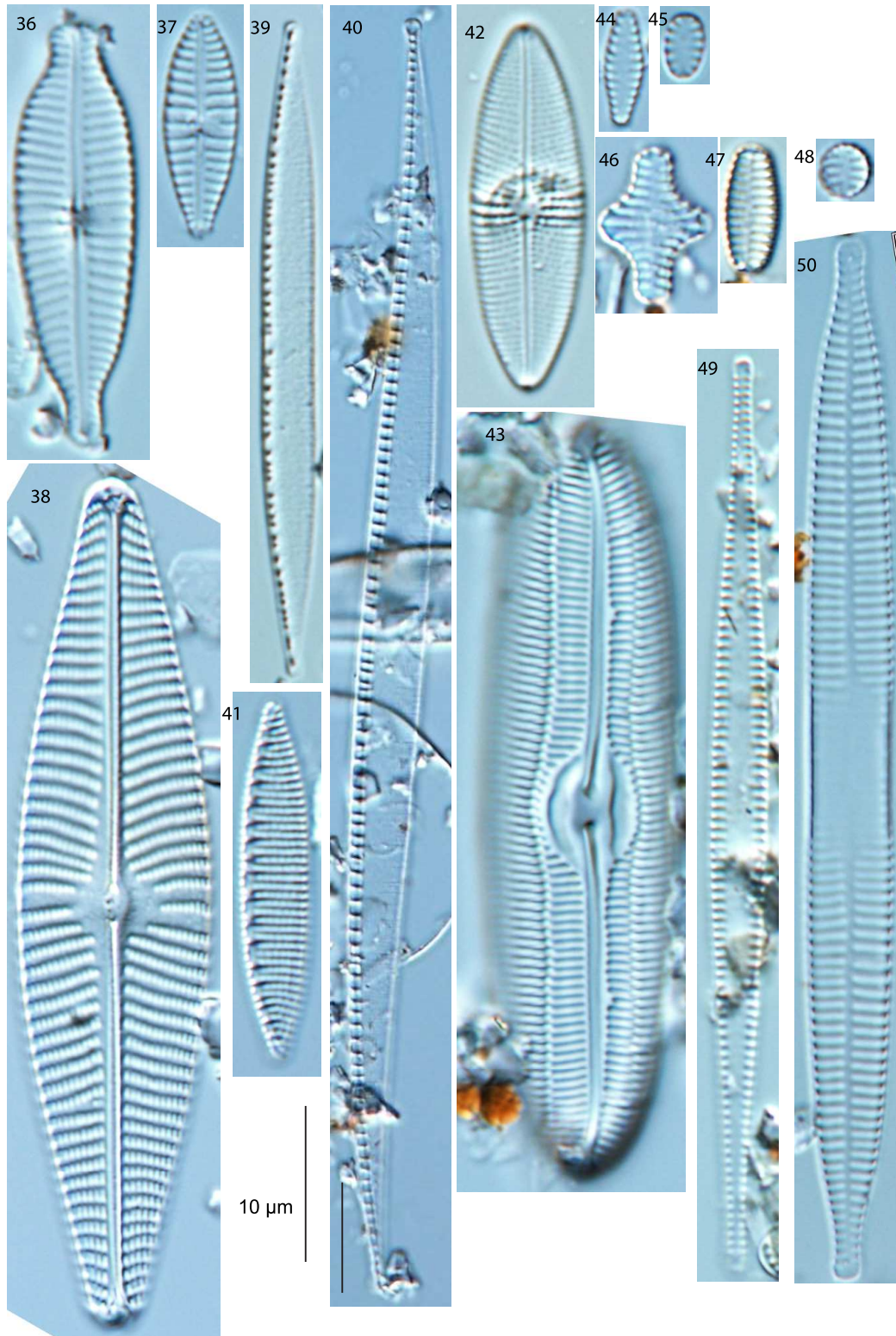


図 5 北潟湖に産出する羽状目珪藻。(続き)

Fig. 5 Pennate diatoms in Lake Kitagata. (continued)

36. *Gomphonema lagenula*, 37. *Gomphonema parvulum*, 38. *Navicula peregrina*, 39. *Nitzschia paleacea*, 40. *Nitzschia sigma*, 41. *Nitzschia supralitorea*, 42. *Parlibellus berkeleyi*, 43. *Pinnularia karelica*, 44. *Pseudostaurosira brevistriata*, 45. *Pseudostaurosira brevistriata* var. *minor*, 46. *Staurosira construens*, 47. *Staurosira venter*, 48. *Staurosirella pinnata*, 49. *Tabularia fasciculata*, 50. *Ulnaria ramesii*

表 1 北潟湖に産出する主要な (相対頻度 1 % 以上の) 珪藻種. 太字は 3 % 以上を示した.

Table 1 Major diatom taxa (over 1 %) in Lake Kitagata. Bold is the taxon over 3 %.

Location	K01	K03	K05	K08	K10	K12	K16	K20	K23	K25	Mean
<i>Achnantheidium minutissima</i>	1.0	3.6	1.9	0.2							0.7
<i>Amphora strigosa</i>			0.8							1.6	0.2
<i>Halumphora coffeiformis</i>									0.4	1.1	0.1
<i>Aulacoseira ambigua</i>	7.2	4.0	1.5		1.6			0.2	0.4	2.2	1.7
<i>Aulacoseira canadensis</i>	2.4										0.2
<i>Aulacoseira granulata</i>	2.4	2.8		0.5				0.2	0.4		0.6
<i>Chaetoceros</i> spp. resting spore		1.2	2.7	0.2	1.6	3.0	7.2	5.4	8.0	6.0	3.5
<i>Cocconeis placentula</i>	2.4	0.4	0.4				0.4	0.4		3.3	0.7
<i>Cocconeis scutellum</i>									0.8	1.6	0.2
<i>Cyclotella atomus</i>	1.9	2.4	13.6	0.2	12.9	0.3	0.4	3.7	1.5	1.1	3.8
<i>Cyclotella atomus</i> var. <i>gracilis</i>	0.5	0.4	1.5	0.2	0.8			0.4	1.1		0.5
<i>Cyclotella criptica</i>			4.5		22.3			1.1	0.4		2.8
<i>Cyclotella litoralis</i>				0.5	2.0	1.2	0.4	0.9	0.8		0.6
<i>Cyclotella meduanae</i>			4.2	0.7	17.2	1.8	2.4	5.2	1.9		3.3
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	10.5	7.3	13.3	2.7	14.8	3.3	4.4	8.4	10.0	0.5	7.5
<i>Cyclotella striata</i>	2.9	15.3	29.9	91.8	15.6	82.7	70.8	56.5	41.8	13.0	42.0
<i>Cyclotella</i> sp. 1	2.4	0.8	8.0	0.2	0.4		0.4	0.2	0.8	2.2	1.5
<i>Cyclotella</i> sp. 2		0.8	1.1		3.1	0.3	0.8	3.0	3.4	1.6	1.4
<i>Cymbella turgidula</i>										1.6	0.2
<i>Diademsis confervacea</i>		2.0			0.4						0.2
<i>Diploneis crabro</i>										1.1	0.1
<i>Diploneis ovalis</i>	2.4	1.6	1.5		0.4	2.4	2.4	1.3	1.9	8.7	2.3
<i>Diploneis smithii</i>									0.4	1.1	0.1
<i>Diploneis smithii</i> var. <i>recta</i>							1.2		0.4	1.1	0.3
<i>Diploneis suborbicularis</i>		0.4								1.1	0.1
<i>Epithemia adnata</i>	1.4										0.1
<i>Fragilaria rumpens</i> var. <i>fragilarioides</i>	0.5	1.6						0.2			0.2
<i>Gomphonema clevei</i>							0.4			1.1	0.1
<i>Hippodonta linearis</i>		0.8	1.1		0.4	0.3	2	0.9		1.1	0.7
<i>Melosira moniliformis</i>	0.5	0.4				0.3				1.6	0.3
<i>Navicula gregaria</i>			0.4		0.4	0.3			0.4	2.2	0.4
<i>Navicula nipponica</i>	2.9	2.0	0.4	0.5				0.4	1.5	0.5	0.8
<i>Navicula yuraensis</i>	1.0									3.8	0.5
<i>Navicula</i> sp. 1										4.3	0.4
<i>Nitzschia sigma</i>			0.8				0.4		0.4	1.6	0.3
<i>Pinnularia karelica</i>									0.4	3.3	0.4
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	23.9	4.0	0.8						1.1	0.5	3.0
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> var. <i>minor</i>	1.9	2.8	0.4				0.4		0.4		0.6
<i>Roicosphenia abbreviata</i>								0.2	0.4	2.7	0.3
<i>Skeletonema castatum</i>			0.8							1.6	0.2
<i>Staurosira construens</i>	1.9	2.4									0.4
<i>Staurosira venter</i>		5.6							1.1		0.7
<i>Staurosirella pinnata</i>	4.8	2.4	1.1					0.2			0.9
<i>Synedra rumpens</i>	1.4									0.5	0.2
<i>Tabularia fasciculata</i>		0.8			0.4				1.1	0.5	0.3
<i>Tabularia tabulata</i>		1.6								0.5	0.2
<i>Thalassiosira bramaputrae</i>	2.4	1.2		0.2							0.4
<i>Tryblionella levidensis</i>	0.5	1.2						0.9	1.1		0.4

高く、特に K01 では 23.9 % を占め第一優占種となったが、その他の地域でほとんど産出せず、特に湖心および南部の K08, K10 ではまったく産出しなかった (図 7f)。同様に *Aulacoseira ambigua* は西部と北部 (図 7a), *Staurosira venter*, *Staurosirella pinnata* などが西部のみで多産した。逆に, *Diploneis ovalis*, *Navicula*

yuraensis, *Pinnularia karelica* は北部で多産した (表 1)。

考 察

本調査では, *Cyclotella striata* が優占して産出し, その他の *Cyclotella* 属の産出も多かった (表 1,

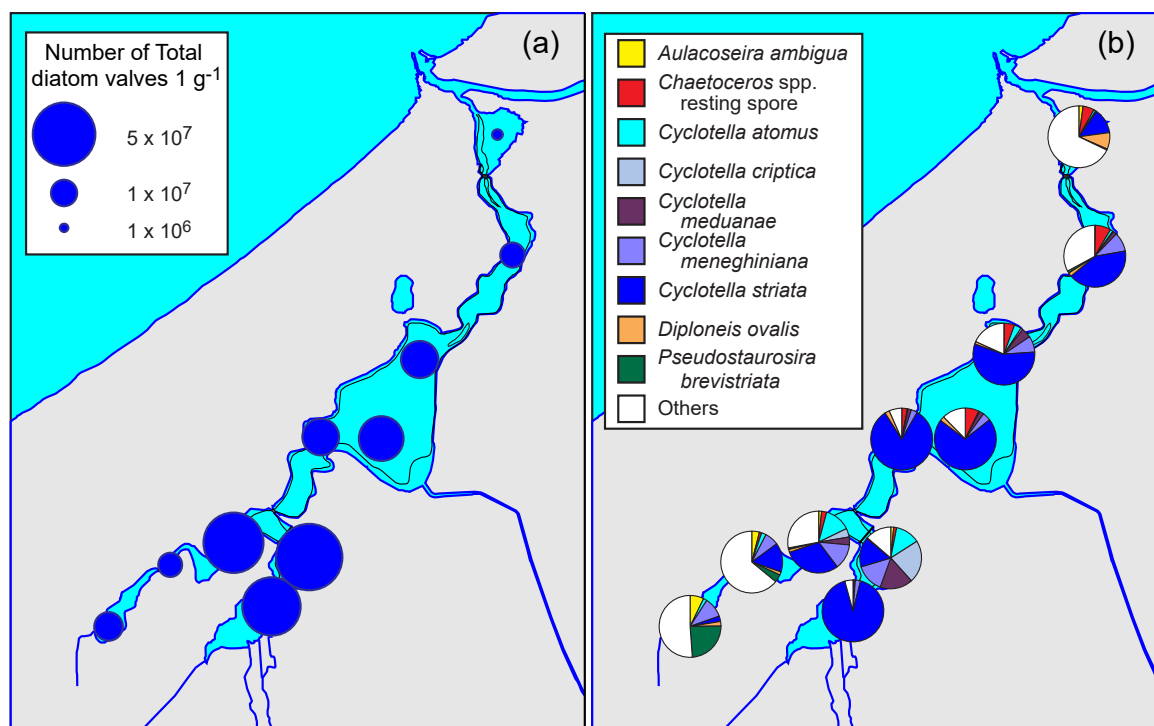


図 6 北潟湖の表層堆積物中の珪藻群集.

Fig. 6 Diatom distribution in the surface sediments of Lake Kitagata.

図 6, 7). 福井県が公表している例年の「公共用水域および地下水の水質の測定結果報告書」によると、北潟湖は珪藻・藍藻・緑藻が混合して生息し、優占する植物プランクトンの移り変わりが非常に激しい。例えば、近年の湖心において珪藻種が 8 月か 10 月またはその両方に第 1 優占種となった 2017 年, 2016 年, 2015 年の優占種は、それぞれ *Skeletonema* spp., *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella* spp. と異なっている (安全環境部環境政策課, 2015, 2016, 2017)。2016 年 8 月に行った本調査において *Cyclotella* 属が湖心を含む地点で優占していることは、2016 年に採取した北潟湖の湖底表層に含まれる珪藻遺骸が正しく前年度に優占した珪藻群集を反映していることを示している。また、*C. striata* は高塩分の汽水環境を好む内湾指標種群に位置する種であり (小杉, 1988; 千葉・澤井, 2014)、2015 年から 2016 年前半は、*A. granulata* のような淡水種や藍藻・緑藻が優占する他の年に比べて、北潟湖の塩分が比較的高かったことが伺える。

北潟湖で産出する珪藻群集は経年変化のみならず地点間の差も激しく、比較的似通った群集である湖心部内以外では、それぞれ特徴が異なった。以下に水域ごとの特徴を述べる。

西部

北潟湖の西部は北潟湖の中でも特に汚濁が進んだ地域であり、過去 40 年以上にわたってほとんどの期間に置いて、湖内でもっとも全窒素や全磷濃度が高い (福井県衛生環境センター計測, 北潟湖自然再生協議会, 2019)。その一方で、本研究で採取した北潟湖の表層堆積物中の珪藻遺骸の量は乾燥重量 1 g あたり $7.2\text{--}10.0 \times 10^6$ 殻であり (図 6)、北潟湖の中では多いとは言えない。おそらく塩分の薄い西部では、珪藻以外の植物プランクトンが多産していることが原因であると考えられる。1988 年 4 月に行われた水質調査では、西部塩尻橋付近は湖の色が湖心や南部とは異なり緑色をしていることが観察され、湖心部と塩尻橋において、水質および植物プランクトンの対比調査が行われた (石田ほか, 1988)。その結果、湖心部では出現した植物プランクトンの 77 % が珪藻で、藍藻、緑藻がそれぞれ産出頻度 18 % と 4.6 % であったのに対し、塩尻橋では緑藻 42 %, 珪藻 32 %, 藍藻 24 % と、明らかに緑藻の出現頻度が高かった。今回の 2016 年の調査時でも、表層水の色は昭和橋と塩尻橋を境に明らかに変わり、西部湾奥では表層水が緑色であったため (図 8)、西部の植物プランクトンは珪藻より

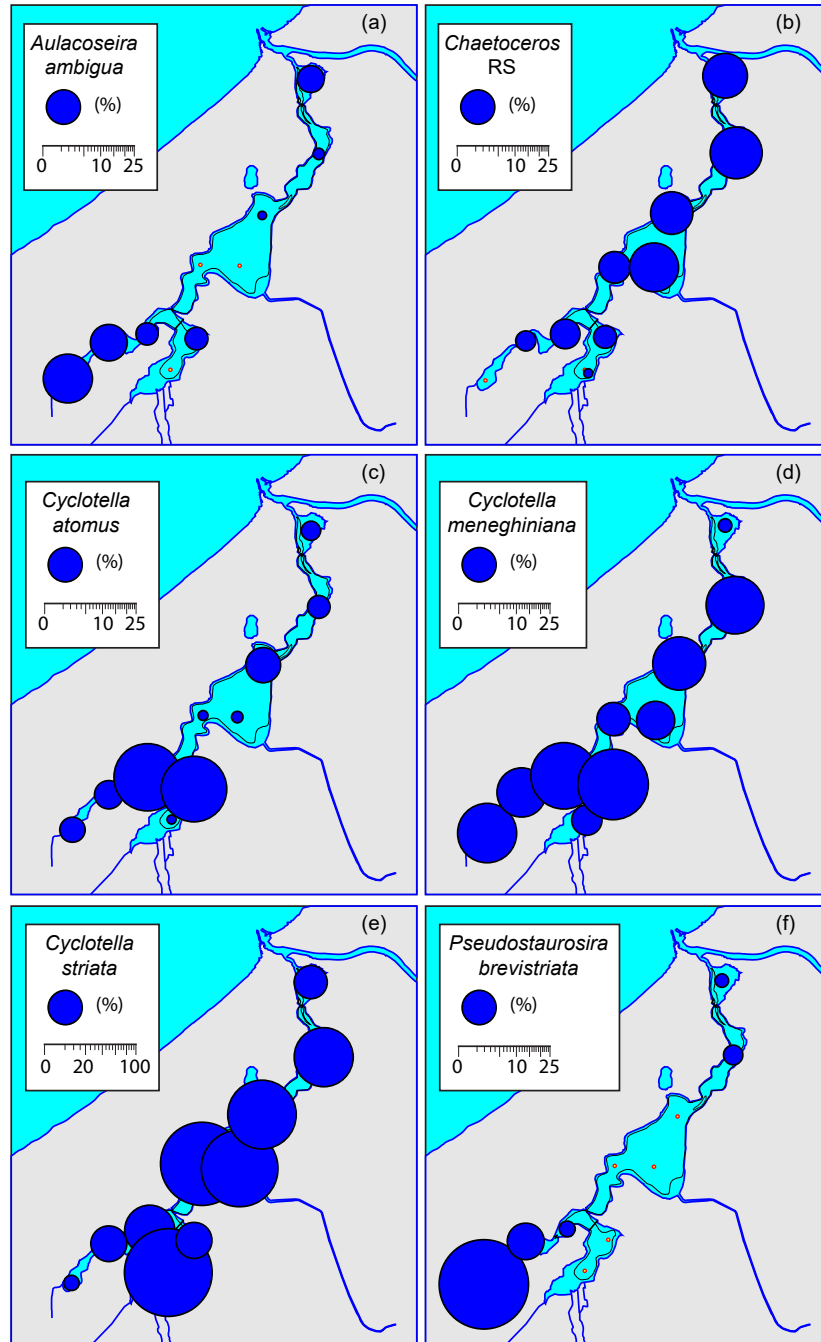


図7 北潟湖の主要珪藻の分布.

Fig. 7 Major diatom distributions in Lake Kitagata.

緑藻・藍藻が多産していたと推測することが出来る。

西部湖奥の K01 で最も多産する珪藻は、*Pseudostaurosira brevistriata* (23.9 %) であり、次いで *Cyclotella meneghiniana* (10.5 %), *Aulacoseira ambigua* (7.2 %), *Staurosirella pinnata* (4.8 %) の順に多産する。*Pseudostaurosira brevistriata* は淡 - 汽水性の付着性藻類であり、ある程度汚濁した環

境に強い中汚濁耐性種である (小林ほか, 2006)。*Cyclotella meneghiniana* と *Aulacoseira ambigua* は共に浮遊性珪藻である。*Cyclotella meneghiniana* は貧塩 - 好塩性の珪藻種であり、多少汚濁された淡水から汽水の湖沼に広く分布する (小林ほか, 2006)。*Aulacoseira ambigua* は *P. brevistriata* 同様に中汚濁耐性種であり、淡水湖沼で広くみられる (小林ほか,

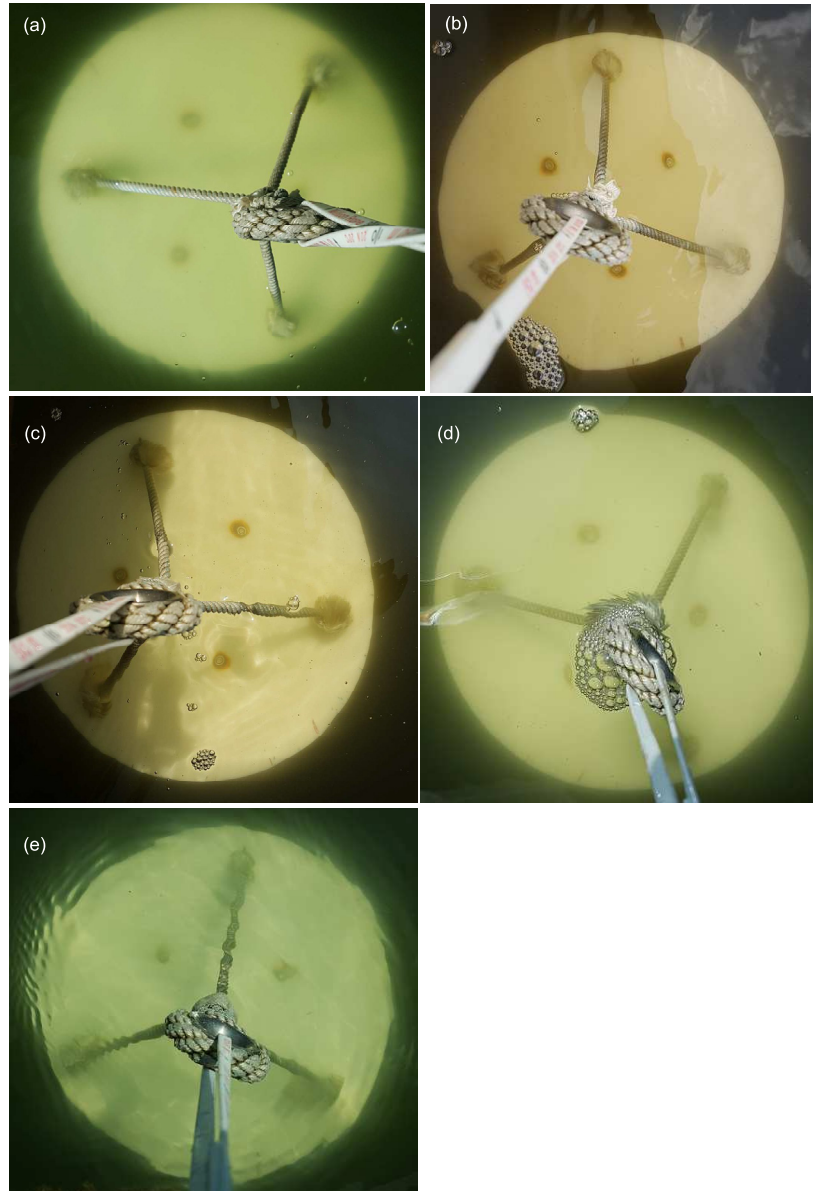


図8 北潟湖の表層水の色. (a) 西部, K01, (b) 南部, K08, (c) 北潟湖湖心, (d) 水路部, K23, (e) 北部, K25. Olympus 製のカメラ (TG-5) を用いて, 直上より撮影.

Fig. 8 Surface water color in Lake Kitagata: (a) west area, K01, (b) south area, K08 (c) the central point of Lake Kitagata, (d) channel area, K23, (e) north area, K25. These photos were taken from directly above water surface with an Olympus camera (TG-5).

2006). 止水性の湖沼沼沢湿地指標種群に区分されており(千葉・澤井, 2014), 世界各地の淡水湖沼で多産するため, 遺跡調査や海跡湖の古環境変動において, 過去に存在した淡水湖沼の証拠としてよく報告される(例えば, 樋上ほか, 2003; Sato et al., 2016). 一方で, 汽水湖沼からも頻度は低いが産出し, 国内では網走湖やサロマ湖から報告があるほか(Katsuki et al., 2009; 香月ほか, 2018), 水

月湖の柱状堆積物記録においても1966年の汽水化以後も *A. ambigua* が継続して産出していたことが報告されている(齋藤ほか, 2013). *Staurosirella pinnata* は淡水の付着性種としてよく報告されるが, この種も汽水域に生息しており, 塩分10‰以下で特に多産する(例えば, Hassan et al., 2006). 調査日におけるK01地点の塩分は4.5-7.3‰であったが(図2), 塩尻橋における2016年を通した塩分の

平均値は 1.65 ‰ であり (安全環境部環境政策課, 2017), 年間を通じて低塩分環境にある. K01 の珪藻群集は K01 周辺が通年して富栄養・低塩分であったことを反映していると考えられる.

K03 地点では, *C. striata* が第 1 優占種 (15.3 %) となる. 上述したように *C. striata* は内湾指標種群に位置する種であり, 海水と同じかやや低い塩分を好む中汚濁耐性種である (小杉, 1988; 小林ほか, 2006). K03 地点における塩分の鉛直分布では, 表層では湖奥の K01 地点と同じであるが深くなるにつれて塩分が高くなり, 湖底では湖心部や南部・水路部の塩分と一致する (図 2). 調査時の塩分分布と *C. striata* の相対頻度は開田橋開門時の塩分遡上の影響が西部の K03 地点まで届いていることを示している. 第 2 優占種は *C. meneghiniana* (7.3 %), 第 3 優占種は *Stausosira venter* (5.6 %). *Stausosira venter* は汎世界種で淡水河川や河口部で良く見られる付着性種である (Lee, 2010). やや汚い水を示す β -中腐水性を好む環境指標種である (Van Dam et al., 1994). K01, K03 がある西部では, 南部や湖心部と比較して付着性珪藻種の頻度が高い. これは, 西部は水深が浅く隘路で, かつ岸辺に植生があり, 付着性珪藻の生息や堆積に適しているためであると考えられる.

南部

南部は堆積物中に占める珪藻化石の殻数が他の水域と比較して圧倒的に多い (表 1, 図 6). 採取日のクロロフィル濃度も高く, 南部のいずれの地点においても最大クロロフィル濃度は 50 ppb を超えていた (図 2). 南部の表層水は茶色がかかった色をしており (図 8), 珪藻が繁殖していることが伺える. 南部の水質 (全窒素・全燐・COD) は, 西部と比較すると比較するとやや低い, 湖心部や水路部と比較すると明らかに高い (高島, 2007; 安全環境部環境政策課, 2017). 調査日の水質においても, 過去の文献報告においても南部は西部と比較して塩分が高いため, 藍藻や緑藻といった栄養塩の使用に関する競合相手が多産せず, 珪藻の生産力が高いのではないかと考えられる.

南部における優占珪藻は, K05 地点では第 1 優占種 *C. striata* (29.9 %), 第 2 優占種は *Cyclotella atomus* (13.6 %), 第 3 優占種は *C. meneghiniana* (13.3 %) であり, K08 地点では第 1 優占種である *C. striata* が 91.8 % と圧倒的多数を占め, 第 2 優占種の *C. meneghiniana* は 2.9 %, ほかに 1 %

以上の出現頻度を示した種はいなかった (表 1, 図 6). K10 地点では第 1 優占種 *Cyclotella criptica* (22.3 %), 第 2 優占種は *Cyclotella meduanae* (17.2 %), 第 3 優占種は *C. striata* (15.6 %) であり, その他の *Cyclotella* 属の種を含め, *Cyclotella* 属のみで 89.8% と約 9 割を占めた. 南部の各地域で優占する種で *C. striata* を除く, *C. atomus*, *C. criptica*, *C. meduanae*, *C. meneghiniana* は, 貧塩 - 好塩性の淡水種あるいは低鹹汽水種であり, いずれも汚濁耐性種である (小林ほか, 2006). K05 地点および K10 地点の珪藻群集は典型的な高栄養低鹹汽水環境を示している. 一方で, *C. striata* は内湾指標種群であり, 南部で産出する他の *Cyclotella* 属よりも高塩分環境を好む種である. 珪藻群集から見ると, 南部の湖奥にあたる K08 地点は K05 地点や K10 地点より高塩分環境であることを示している. K05, K10 の珪藻群集が低塩分環境を示す原因として, 西部から流入する低塩分高栄養の水塊が K05 地点を通り K10 地点付近まで広がるのが良くあるか, K10 付近に排水される流入域の田園からの栄養塩負荷が大きいことなどが考えられるが, 明確な原因は明らかではない.

湖心部

湖心部の湖底堆積物中の珪藻群集は南部に次いで高い (表 1). 調査日における表層水の色も南部よりやや薄いものの茶色をしており, 珪藻群集の繁殖していることが伺われた (図 8). 湖心部内は地点による群集の差が少なく, 湖心部の 3 地点はいずれも *C. striata* が第 1 優占種 (K12: 82.7 %, K16: 70.8 %, K20: 56.5 %), 第 2, 第 3 優占種は *C. meneghiniana* か *Chaetoceros* spp. resting spore のいずれかであった. *Chaetoceros* spp. resting spore は海生の *Chaetoceros* 属の作る休眠胞子で, 北潟湖内では湖口から湖奥に向かうにつれて頻度が低くなる傾向があり, 湖心部ではもっとも奥側の K12 で頻度が低く, 南部や西部では更に頻度が減少する (図 7b). 調査日に行った水質調査では, 塩分や溶存酸素量が湖心部内の 3 地点でほぼ一定で, 同程度海水流入の影響を受けていたといえるが (図 2), 珪藻化石群集から考えると, 湖心部西部より湖奥では流入海水の影響が減少していることが伺える. 一方, 湖心部南部には観音川が流れ込み, 湖心部南部は観音川から流れ込む砂質堆積物が堆積しているが (国土地理院, 2008), 湖心部は最も付着性種や淡水種の頻度がもっとも低い. 気象庁が公表

している北潟湖近隣の福井県三国の降水量記録によると、調査が行われる前の1年間は降水量が少なく、1日に50mmを超える雨がかった日は僅か3日しかなかった(気象庁HP)。その為、観音川から北潟湖に流入する淡水や淡水性珪藻が少なかったのではないかと推測される。

水路部・湖水部

水路部(K23)に堆積する珪藻の量は乾燥重量1gあたり 17.2×10^6 殻で湖心部や南部に比べると少ない(表1)。しかしながら、産出する珪藻群集は湖心部の北側(K20)と似通っている。第1優占種が*C. striata*(41.8%)、第2、第3優占種が*C. meneghiniana*(10.0%)と*Chaetoceros* spp. resting spore(8.0%)である(表1)。優占種の出現頻度はK20より低く、代わりに淡水種や付着性種が産出する。一方、湖心部は北潟湖で最も珪藻の産出量が少なく、K25地点では乾燥重量1gあたり 7.6×10^6 殻であった(表1)。北部は過去40年以上にわたってほとんどの期間に置いて、湖内でもっともCODや全磷濃度が低く、2015–2016年度においても同様である(福井県衛生環境センター計測、北潟湖自然再生協議会、2019)。湖底堆積物中の珪藻群集が少ない要因は、このような低栄養塩環境であると考えられる。第1優占種は*C. striata*(13.6%)、第2優占種*Diploneis ovalis*(8.7%)、第3優占種は*Chaetoceros* spp. resting spore(6.0%)であった。第2優占種である*D. ovalis*は淡水種である。この*D. ovalis*のみならず北部K25地点では淡水種の出現頻度が高く、*Navicula yuraensis*(3.8%)、*Cocconeis placentula*(3.3%)、*Pinnularia karelica*(3.3%)と淡水あるいは淡水・汽水両方の河川で見られる珪藻種が多い(表1)。調査日のK25地点で測定した塩分は、湖底付近の水深1m以下では32PSUに達したが、上部0.7mは20PSU程度であった(表2)。北部には明らかに河川からの淡水の流入があり、大聖寺川を流れる淡水が海水と共に北潟湖に遡上していることが伺える。水路部において湖心部北部より淡水種の頻度が多い原因として、大聖寺川起源の淡水が水路部にも流入しているためだと考えられる。

まとめ

2016年8月8–9日に北潟湖で水質と表層堆積物中の珪藻群集の調査を行った。北潟湖はプランクト

ンの経年変化が激しい海跡湖である(安全環境部環境政策課、2015、2016、2017)。今回採取した珪藻群集の第1–3優占種(*Cyclotella striata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cyclotella atomus*)が、福井県の安全環境部環境政策課により報告された2015年夏季・秋季の最優先植物プランクトン(*Cyclotella* spp.:安全環境部環境政策課、2015)とほぼ一致していることから、採取した表層堆積物は採取前年度以降に堆積したものと判明した。北潟湖内で最も堆積物中の珪藻遺骸量が多いのは南部であった。富栄養化がもっとも進行しているといわれる西部で珪藻遺骸の量が少ないのは、西部は塩分が低いため珪藻以外の植物プランクトンが優占しているためである。北潟湖の珪藻群集は汽水性珪藻が主体であるが、海生・淡水珪藻種も産出する。海生珪藻は湖口側の北部、水路部で比較的多く湖奥に向かうにつれて減少し、流入する海水の影響が湖奥に向かうにつれて減少していることを反映している。一方、淡水性珪藻は湖奥の西部で高い出現頻度を示すほか、湖口側の北部や水路部でも産出する。淡水性珪藻がこのような分布を示した理由は、西武は海水の影響が少なく年間を通じて塩分濃度が高いのに対し、北部・水路部は湖口で合流する大聖寺川から河川水が北潟湖に遡上しているからであると考えられる。湖心部には観音川が流入しているにも関わらず、ほとんど淡水珪藻が見られなかった原因は、調査が行われる前の1年間は降水量が少なく、観音川から淡水流入量が少なかったからではないかと考えられる。

謝辞

本論文は2名の方に査読して頂き、アリゾナ大学のDavid Dettman博士には英文校閲を行って頂いた。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- 安全環境部環境政策課(2015)平成26年度 公共用水域および地下水の水質の測定結果報告書 福井県。福井県、104p。
安全環境部環境政策課(2016)平成27年度 公共用水域および地下水の水質の測定結果報告書 福井県。福井県、104p。
安全環境部環境政策課(2017)平成28年度 公共用水域および地下水の水質の測定結果報告書 福井県。福井県、104p。

- 千葉 崇・澤井祐紀 (2014) 環境指標種群の再検討と更新. *Diatom*, 30: 17–30.
- 地理調査部木村幸一・齋藤俊信・三谷麻衣・新西正昭 (2009) 小松・加賀・あわら地区湖沼湿原調査. *国土地理院時報*, 119: 57–62.
- 石田敏一・青木啓子・富山 猛 (1988) 北潟湖塩尻橋付近の水質と植物プランクトンについて. *福井県公害センター年報*, 18: 117–121.
- Hassan, G.S., Espinosa, M.A., Isla, F.I. (2006) Modern Diatom Assemblages in Surface Sediments from Estuarine Systems in the Southeastern Buenos Aires Province, Argentina. *Journal of Paleolimnology*, 35: 39–53.
- 樋上 昇・佐藤公保・川添和暁・鬼頭剛・堀木真美子・上田恭子・森勇一・藤根久・今村美智子・山形秀樹・Lomtatize Zauri・植田弥生・池谷勝典・馬場伸一郎・望月明彦 (2003) 本川遺跡 愛知県埋蔵文化財センター調査報告書 第100集, 愛知県埋蔵文化財センター, 396p.
- Lee, J.H. (2010) *Fragilaria, Hannaea, Pseudostaurosira, Punctastriata, Staurosira, Staurosirella*. In: *Algal flora of Korea. Volume 3, Number 2. Chrysophyta: Bacillariophyceae: Pennales: Araphidineae: Diatomaceae. Freshwater diatoms II*. Joh, G., Lee, J.H., Lee, K. & Yoon, S.-K. (Eds.), pp. 53–96. Incheon: National Institute of Biological Resources.
- 片谷千恵子・松崎雅之・加藤賢二・高田敏夫 (1998) 北潟湖・三方湖におけるプランクトンの季節的変動について (第3報) —植物プランクトン (1988年度) —. *福井県環境科学センター年報*, 28: 70–77.
- Katsuki, K., Seto, K., Nomura, R., Maekawa, K., Khim, B.K. (2009) Effect of Human activity on Lake Saroma (Japan) during past 150 years: evidence by variation of diatom assemblages. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81: 215–224.
- 香月興太・瀬戸浩二・園田 武 (2018) 網走湖における珪藻群集の季節変化. *LAGUNA*, 25: 11–18.
- 環境省水・大気環境局水環境課 (2019) 平成30年度公共用水域水質測定結果. 環境省, 東京, pp. 188.
- 気象庁: 過去の気象データ検索: <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/> (2021年5月11日確認)
- 北潟湖自然再生協議会 (2019) 北潟湖自然再生全体構想—北潟湖の恵みを再発見し, 未来に残そう—. 北潟湖自然再生協議会事務局, あわら市, pp.62.
- 国土地理院 (2008) 湖沼湿原調査報告書 (小松・加賀・あわら地区). 国土地理院技術資料 D1-No.498.
- 小林 弘・出井雅彦・真山茂樹・南雲保・長田敬五 (2006) 小林弘珪藻図鑑 第1巻. 内田老鶴圃, 531p.
- 小杉正人 (1988) 珪藻の環境指標種群の設定と古環境復元への応用. *第四紀研究*, 27: 1–20.
- 松崎雅之・片谷千恵子・加藤賢二・高田敏夫 (1998) 北潟湖・三方湖におけるプランクトンの季節的変動について (第4報) —動物プランクトン (1988年度) —. *福井県環境科学センター年報*, 28: 78–88.
- 根岸健一郎・青木啓子 (1991) 1987年の夏秋における三方湖と北潟湖の浮遊性藍藻類. *Acta phytotaxonomica et geobotanica*, 42: 164–171.
- 齋藤めぐみ・山田和芳・リチャード・スタッフ・中川毅・米延仁志・原口 強・竹村恵二・クリストファー・ラムジー (2013) 水月湖ボーリングコアを用いた天正地震 (AD 1586) 前後の湖底堆積物の分析. *地学雑誌*, 122: 493–501.
- Sato, Y., Matsuoka, H., Okamura, M., Kashima, K. (2016) Late Holocene environmental changes of coastal lagoon inferred from a fossil diatom analysis of sediment core from Lake Hamana, central Japan. *Quaternary International* 397: 317–329.
- 高島正信 (2007) 北潟湖の水質改善に関する調査研究. *福井工業大学研究紀要* 37: 371–378.
- Van Dam, H., Mertens, A., Sinkeldam, J.A. (1994) A corded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28: 117–133.
- 渡辺仁治 (2005) 淡水珪藻生態図鑑. 内田老鶴圃. 784p.
- 渡辺仁治・山田妥恵子・浅井一視 (1988) 珪藻群集による有機汚濁指数 (DAIpo) の止水域への適用. *水質汚濁研究*, 11: 765–773.