

令和 2 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多様性について

工藤 隆矢(八戸工業大学 工学部 生命環境科学科 4 年)

1. はじめに

立体構造を有する海草が分布することによって周囲の流れを穏やかにするなど環境が改変されたり (Peterson et al., 2004)、付着藻類が付着する基盤が提供されたりする (Gordon et al., 2008)。海草が存在することで、分布する生物種が多様になったり個体数が増加したりすることが指摘されている (Heck et al., 2003.; Hori et al., 2009.; Seitz et al., 2014)。

植物プランクトンは一次生産者として重要な役割を担っており、魚や動物プランクトンなどの多くの生物の餌となり、海水中や淡水中の生態系を支えている (南雲ほか, 2018; 出井ほか, 2020)。その生物量や種構成は水温、窒素やリンなどの栄養塩濃度、光量などの環境要因によって変化する (Diehl, 2002.; Isada et al., 2017.; Righetti et al., 2019)。植物プランクトンのうち、量・種類ともに地球上で最も多いのが珪藻であり、それらは水中に浮いて存在する浮遊性の珪藻と、石や岩、ほかの植物などに付着して存在する付着性の珪藻に分けられる (南雲ほか, 2018; 出井ほか, 2020)。

本研究が調査地とする厚岸湖には、海草の一種アマモ (*Zostera marina*) が広い範囲に分布している (Yamada et al., 2007; Momota and Nakaoka, 2017.; Namba and Nakaoka, 2018)。厚岸湖では、植物プランクトンのうち珪藻類が細胞数で優占しており (松山・志賀, 2002)、厚岸湖の特産品である牡蠣やアサリなどの餌料としては、浮遊性珪藻だけでなく、付着性珪藻も大きな影響を与えていることが指摘されている (Kasim and Mukai, 2009)。

海草の有無が魚類などのほかの動物群に与える影響を評価した研究は多数存在する。さらに、葉上からの付着珪藻の剥離を通じて、アマモの有無が植物プランクトンの種構成にも影響をあたえていることが明らかとなれば、アマモの持つ生態系機能を再評価することに繋がると考えることができる。本研究はアマモの有無が水柱の珪藻の組成に与える影響を評価することを目的として実施する。

2. 材料および方法

2-1 調査地点

本研究は北海道東部、厚岸郡厚岸町に位置する厚岸湖・厚岸湾にて実施した。珪藻の生物量・種構成に影響を与える環境要因が変化に富むように湖内に 4 地点、湾内に 1 地点、合計 5 地点を設定した (Fig. 1)。2016 年 8 月に実施された調査においては、本研究の St.1 (43° 01.897N, 144° 52.992E) から約 60m 離れた地点 (43° 01.526N, 144° 52.576E) と St.2 (43° 02.728N, 144° 53.296E) から約 65m 離れた地点 (43° 02.454N, 144° 53.179E)

にはアマモ *Zostera marina* が分布しており、St. 2 (465.4g m⁻²) の方が St.1 (276.4g m⁻²) より、単位面積あたりの生物量は大きかった(Namba and Nakaoka, 2018)。本研究を実施した 2020 年においても St.1・St.2 にアマモ場が形成されており、8 月の方が 12 月より草体のサイズが大きかったことが定期的に実施されたモニタリングによって確認されている(厚岸臨海実験所 田原聖氏 私信)。

塩分の変化幅は地点により異なる (Table 1) が、St.3 (43° 02.605N, 144° 51.586E)は、湖内では塩分が相対的に高い海洋水域と区分されている (Iizumi et al., 1995)。St.4(43° 03.399N, 144° 51.606E)は別寒辺牛川の河口に近く、塩分が相対的に低い河川水域と区分されている (Iizumi et al., 1995)。St.5 (43° 02.914N, 144° 50.350E) は厚岸湾に位置し、もっとも塩分が高い地点である (Table 1)。北側に約 470m 離れた沿岸部(43° 03.068N, 144° 50.343E)にはアマモが分布する (Namba and Nakaoka, 2018)。なお、Namba and Nakaoka, (2018) における位置情報は、論文中の図を Google earth Pro に照らして判読した。

Table 1 各地点の塩分 (文献値)

St.3 付近の塩分は Iizumi et al., (1995) より引用、それ以外は Yamada et al., (2007) より

	塩分 (psu)		
	6月	9月	11月
St.1付近	24.5	25.0	26.0
St.2付近	26.8	27.0	27.6
St.3付近	18.8	27.3	27.1
St.4付近	16.3	6.2	13.6
St.5付近	28.3	27.7	28.7



Fig. 1 調査地点 厚岸湖・厚岸湾 (Google Maps を一部改変して作図)

2-2 試料採取

調査は 2020 年 8 月 26 日、11 月 20 日に行った。8 月の調査時は下げ潮、11 月は上げ潮であった、各地点において水温・塩分を CTD (JFE Advantech, ASTD102-ALC-0253) で測定し、表層水を採水した。栄養塩測定用試料はバケツで汲み上げ、シリンジ(テルモ SS-10LZ)

を用いて、メンブレンフィルター (ADVANTEC Cellulose Acetate Type 0.8 μ m) を通し、スピッツ管 2 本に 10m l ずつ採水した。また Chl a 測定用に 138.5m l、検鏡用に 500m l を遮光ボトルにそれぞれ採水した。

2-3 試料の分析

栄養塩自動分析装置を用い、硝酸イオン (NO_3)・硝酸イオン+亜硝酸イオン (NO_3+NO_2)・アンモニウムイオン (NH_4)・リン酸イオン (PO_4)・ケイ酸イオン ($\text{Si}(\text{OH})_4$) を測定した。亜硝酸イオン (NO_2) は硝酸イオン+亜硝酸イオン (NO_3+NO_2) から硝酸イオン (NO_3) の値を減じて求めた。また硝酸イオン+亜硝酸イオン+アンモニウムイオン ($\text{NO}_3+\text{NO}_2+\text{NH}_4$) の値を総窒素 (Total Nitrogen) とした。ケイ酸イオン ($\text{Si}(\text{OH})_4$) は冷凍すると重合してしまい、発色試薬と反応しなくなるため、重合を解消するために分析前には、凍結サンプルを暗所・室温で約 48 時間保存し、解凍した。

Chl a は、ガラス繊維濾紙 (Whatman GF/F フィルター 0.7 μ m) で濾過し、ジメチルホルムアミドを 6ml 加えて抽出した。その後蛍光光度計 (Turner Design 10-AU Fluorometer) を用い Welschmeyer 法で測定し、Chl a 濃度 (μ g/L) を求めた。

珪藻は、濃度 2% のルゴール液で固定した後、24 時間以上静置し上澄みを取り除く静置沈殿法で 100ml まで濃縮した。その後、正立顕微鏡 (Nikon, ECLIPSE 50i) とラフターセル計測スライド (ALLIANCE Biosystems, Sedgewick Rafter Counting Cell Slide 01009) を用い、濃縮した試料 1ml 中の珪藻の個体数を計測し、属レベルまでの同定を実施した。珪藻の属の決定は、殻の形や大きさ、葉緑体の位置、単体・群体等から Mizuno and Saito, (1990)、南雲ほか (2018)、松山ほか (2011) を参考に行った。また、付着性珪藻と浮遊性珪藻との区別は、南雲ほか (2018)、松山ほか (2011) を参考に行った。*Paralia* sp. に関しては、ねこのしっぽラボ <http://plankton.image.coocan.jp/ParaliaTop.html> (2021 年 2 月 25 日確認) を参考に同定、付着性・浮遊性の分類を行った。本研究で確認された付着性珪藻と浮遊性珪藻との区別において、南雲ほか (2018) と松山ほか (2011) とが異なる区分を示すことはなかった。

3. 結果

3-1 水温

8 月の最高水温は St.4 における 22.9°C、最低水温は St.5 の 20.4°C であり、すべての地点で 20°C を超えた。11 月の最高水温は St.4 の 9.9°C、最低水温は St.1 の 9.4°C であり、すべての地点で 10°C を下回った (Fig. 2)。

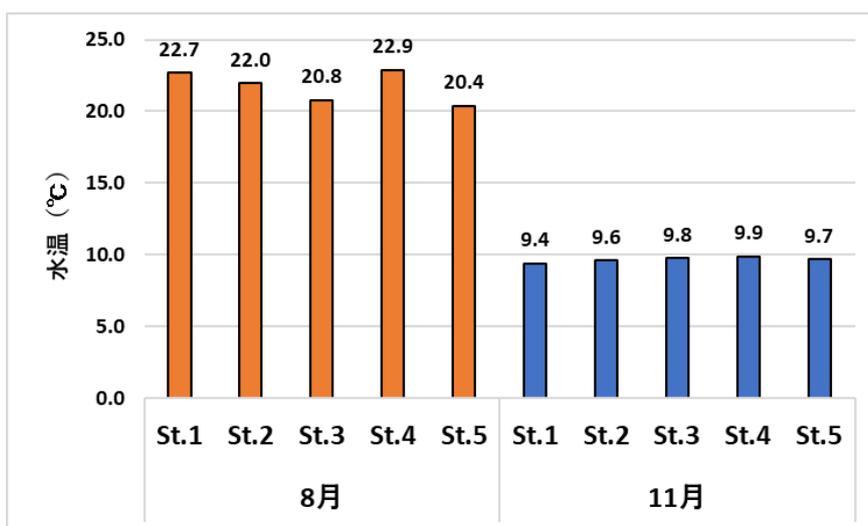


Fig. 2 各地点・季節の水温 (°C)

3-2 塩分

8月には St.5 の 31.9psu が最大であり、次いで St.3 における 31.7psu だった。11月には全地点で 32psu を超え、8月に比べ高い値で安定していた (Fig. 3)。

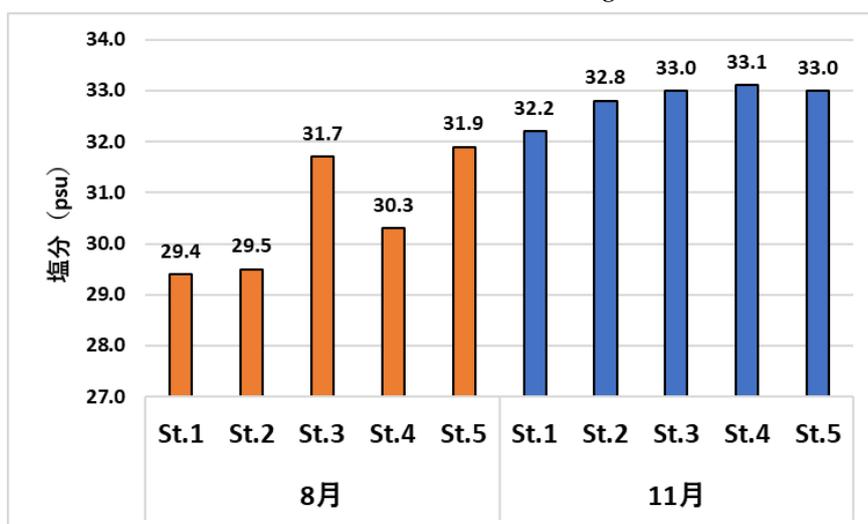


Fig. 3 各地点・季節の塩分 (psu)

3-3 栄養塩

・窒素

8月には全地点で硝酸イオン・亜硝酸イオンより、アンモニウムイオンが高かった。11月には硝酸イオン・亜硝酸イオンの方がアンモニウムイオンより高かった (Fig. 4)。総窒素量は8月には St.3 の 10.01 μM が最大を示し、最小は St.2 の 1.43 μM であった。この2点の差は 8.58 μM であった。しかし、11月の最大値は St.3 の 8.82 μM 、最小値は St.1 の 8.14 μM で、地点間の差は 0.68 μM であった (Fig. 5)。

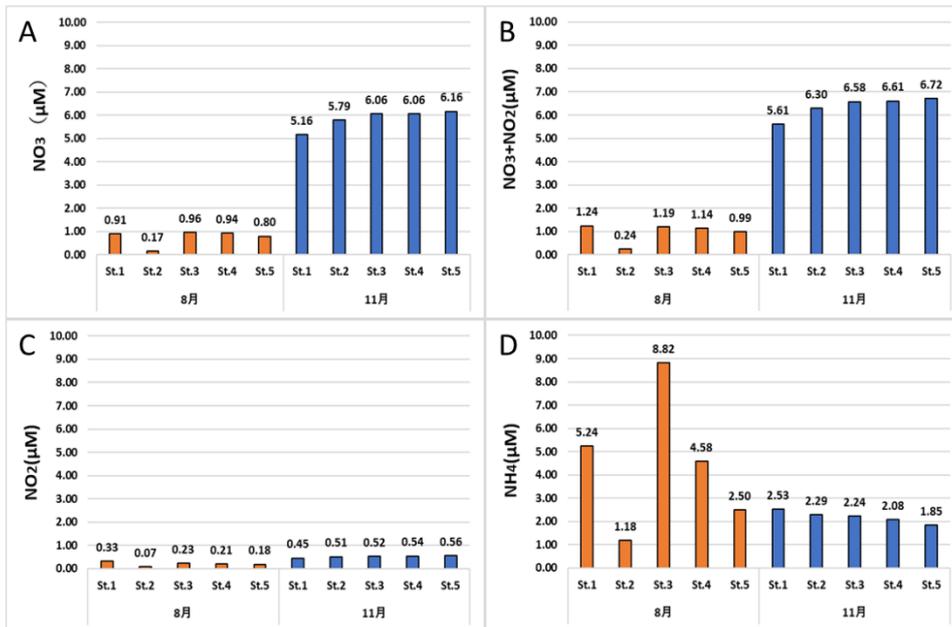


Fig. 4 各地点・季節の A.硝酸イオン B.硝酸イオン+亜硝酸イオン C.亜硝酸イオン D.アンモニウムイオン(μM)

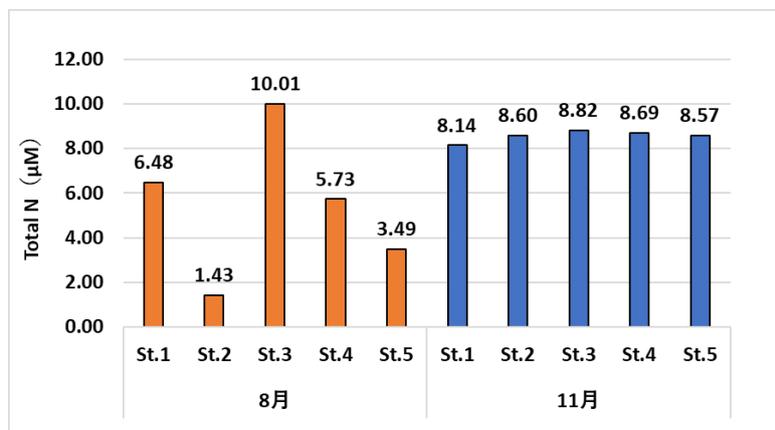


Fig. 5 各地点・季節の総窒素量 (μM)

・リン酸イオン (PO₄)

8月の最大値はSt.1の3.98μM、最小値はSt.5の1.36μMであり、その差は2.62μMだった。11月の最大値はSt.1の1.11μM、最小値はSt.5の1.06μMであり、8月に比べ低く、地点間の差も小さかった(Fig. 6)。

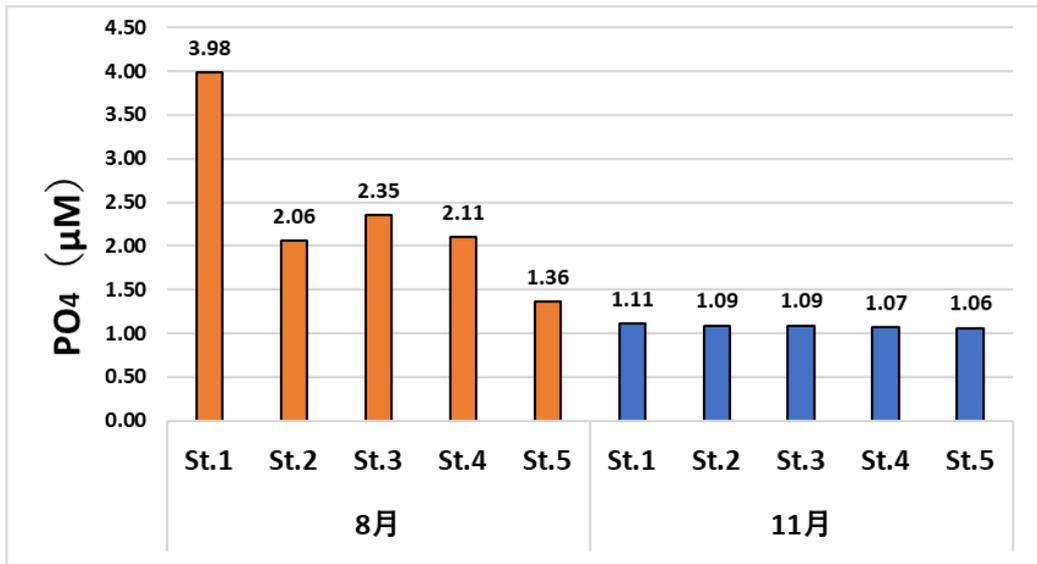


Fig. 6 各地点・季節のリン酸イオン (μM)

・ケイ酸イオン $\text{Si}(\text{OH})_4$

8月の最大値はSt.1の $102.98\mu\text{M}$ 、最小値はSt.5の $39.96\mu\text{M}$ であり、その差は $63.02\mu\text{M}$ と地点間の差が大きかった。11月ではSt.1で最大値 $45.18\mu\text{M}$ 、最小値はSt.5における $26.70\mu\text{M}$ であり、相対的に地点間の差が小さかった(Fig. 7)。

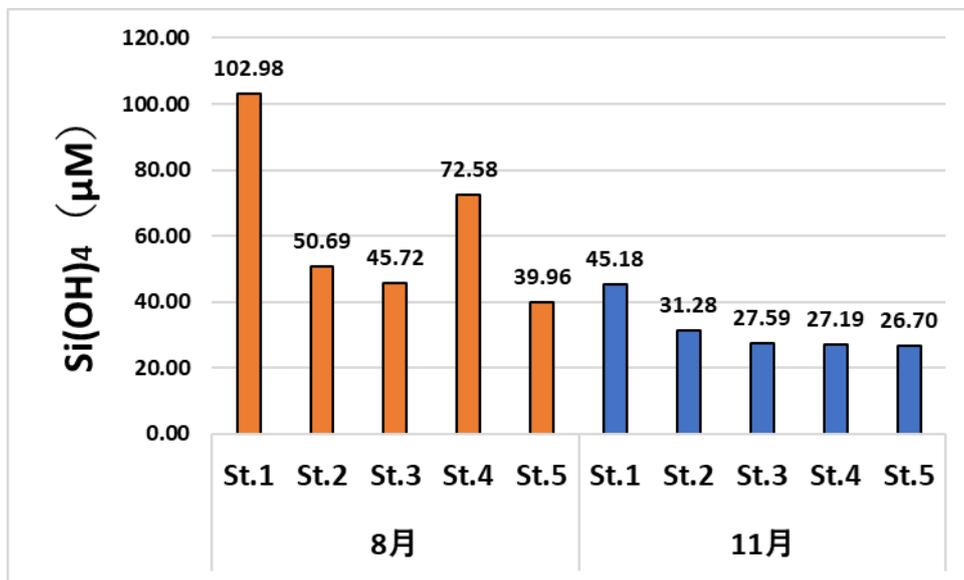


Fig. 7 各地点・季節のケイ酸イオン (μM)

栄養塩全体で見ると、8月では地点ごとの差が大きかったが、11月では全地点で近い値となっていた。また、両季節においてレッドフィールド比 ($\text{N:P}=16:1$) に比べると窒素が少なく、リンが多かった。

3-4 Chl a

8月の最大値はSt.5の $4.9\mu\text{g/L}$ 、最小値はSt.3で $0.9\mu\text{g/L}$ であり、その差は $4.0\mu\text{g/L}$ と地点間の差が大きかった。しかし、11月の最大値はSt.1の $0.97\mu\text{g/L}$ 、最小値はSt.3の $0.60\mu\text{g/L}$ であり、差は $0.37\mu\text{g/L}$ と8月に比べ、地点間の差は小さかった(Fig. 8)。

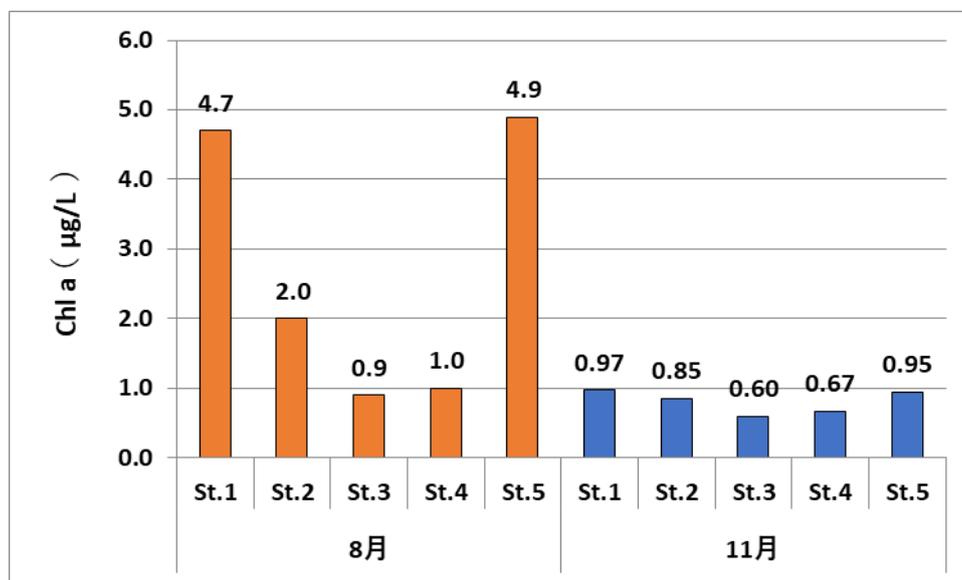


Fig. 8 各地点・季節の Chl a ($\mu\text{g/L}$)

3-5 珪藻の同定と個体数の計測

本研究では、付着珪藻 19 属、浮遊珪藻 9 属が出現した。付着珪藻と分類したものは、*Actinopterychus* sp., *Bacillaria* sp., *Cocconeis* sp., *Cyclotella* sp., *Cymbella* sp., *Entomoneis* sp., *Eunotia* sp., *Gyrosigma* sp., *Licmophora* sp., *Melosira* sp., *Navicula* sp., *Nitzschia* sp., *Paralia* sp., *Plagiotropis* sp., *Pleurosigma* sp., *Rhoicosphenia* sp., *Synedra* sp., *Tabellaria* sp., *Tabularia* sp., である。また、浮遊珪藻と分類したものは *Asterionellopsis* sp., *Chaetoceros* sp., *Coscinodiscus* sp., *Ditylum* sp., *Eucampia* sp., *Pseudo-nitzschia* sp., *Skeletonema* sp., *Thalassionema* sp., *Thalassiosira* sp., である。

ただし、*Gyrosigma* sp. と *Pleurosigma* sp. また *Navicula* sp. と *Nitzschia* sp. の一部に関してはそれぞれ形が類似しており本研究で使用した顕微鏡では判別が困難だったため、属ごとの個体数は *Gyrosigma* sp. + *Pleurosigma* sp. ならびに *Navicula* sp. + *Nitzschia* sp. のようにまとめて表示した。

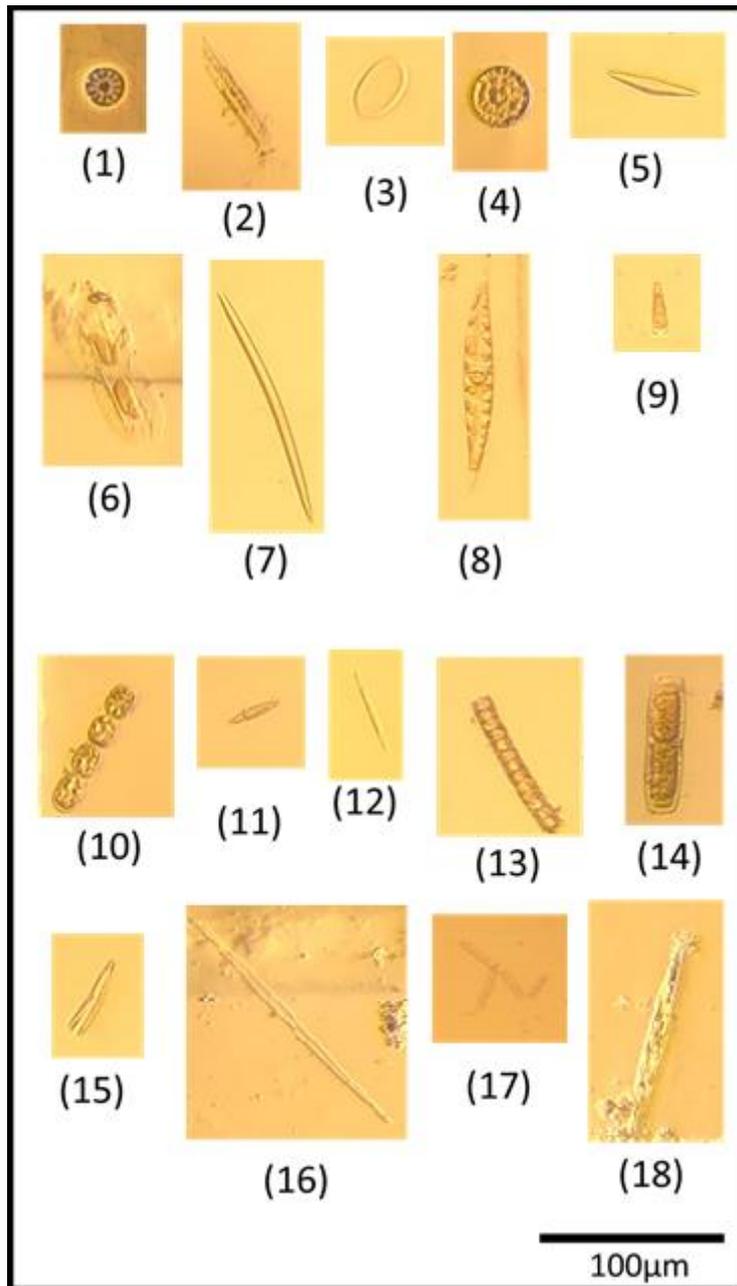


Fig. 9 観察された付着珪藻

- (1) *Actinoptychus* sp. (2) *Bacillaria* sp. (3) *Cocconeis* sp. (4) *Cyclotella* sp. (5) *Cymbella* sp. (6) *Entomoneis* sp. (7) *Eunotia* sp. (8) *Gyrosigma* sp. か *Pleurosigma* sp. (9) *Licmophora* sp. (10) *Melosira* sp. (11) *Navicula* sp. (12) *Nitzschia* sp. (13) *Paralia* sp. (14) *Plagiotropis* sp. (15) *Rhoicosphenia* sp. (16) *Synedra* sp. (17) *Tabellaria* sp. (18) *Tabularia* sp.

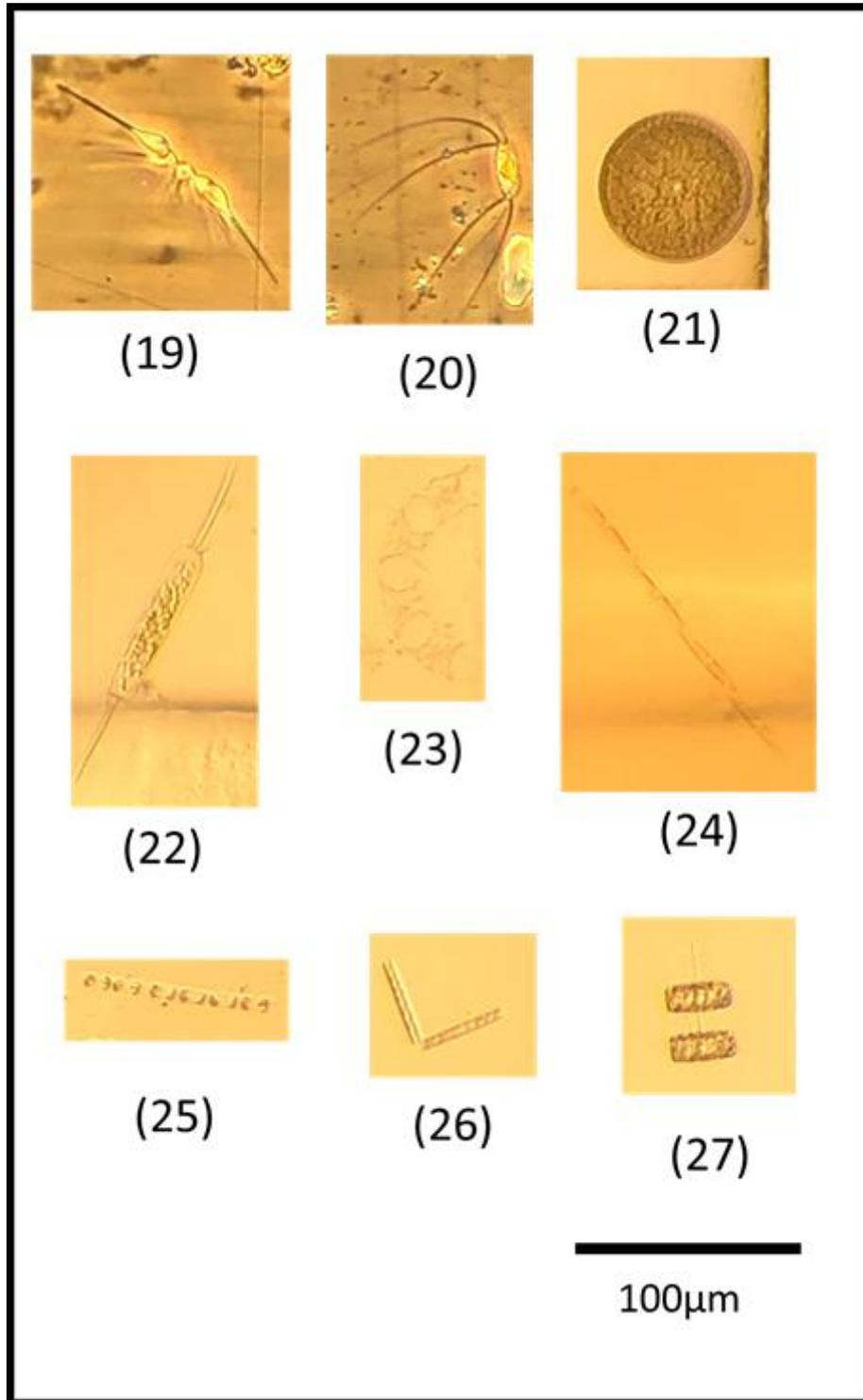


Fig. 10 観察された浮遊珪藻

(19) *Asterionellopsis* sp. (20) *Chaetoceros* sp. (21) *Coscinodiscus* sp. (22) *Ditylum* sp.
 (23) *Eucampia* sp. (24) *Pseudo-nitzschia* sp. (25) *Skeletonema* sp. (26) *Thalassionema*
 sp. (27) *Thalassiosira* sp.

8月試料の検鏡結果は、St.1では付着珪藻7属、浮遊珪藻2属が観察され、全地点の中で最も総個体数が多かった。浮遊珪藻である *Skeletonema* sp.が90%以上を占めていた。St.2では付着珪藻5属、浮遊珪藻1属が観察された。属数は少ないが、付着珪藻である *Navicula* sp.+*Nitzschia* sp.の個体数はほかの地点に比べ1万個体以上多かった。St.3は付着珪藻9属、浮遊珪藻1属と付着珪藻の属数は最も多く確認されたが、総個体数は少ない地点であった。St.4は付着珪藻8属、浮遊珪藻1属が確認され、St.1に次いで *Skeletonema* sp.の個体数が多く、総個体数のうち80%以上を占めていた。St.5は付着珪藻8属、浮遊珪藻3属とほかの地点に比べ確認された属数は多かったが、総個体数は最も少なかった(Fig. 11,12)。

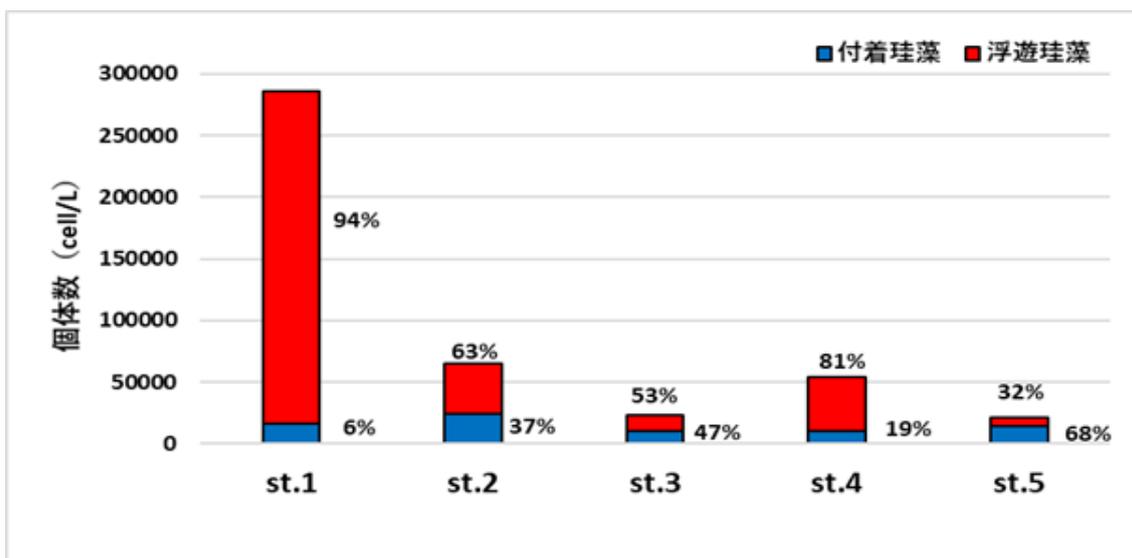


Fig. 11 8月における各地点の付着珪藻・浮遊珪藻の個体数と割合

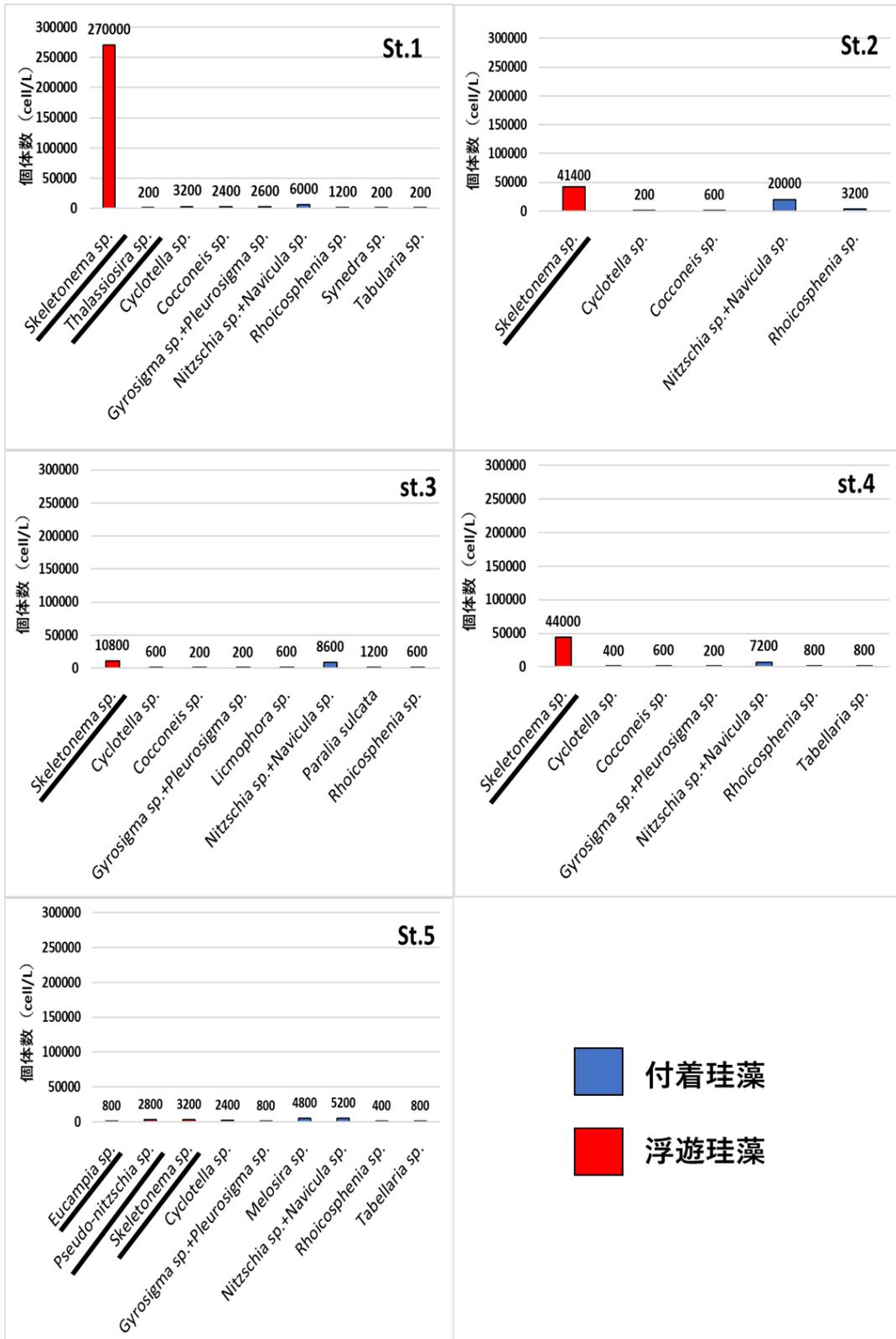


Fig. 12 8月における各地点の珪藻の個体数
 色で判別できない場合に備え浮遊珪藻には属名に下線を付した

11月の検鏡結果は、St.1では付着珪藻13属、浮遊珪藻3属が確認され、付着珪藻の個体数が90%を超えていた。St.2では付着珪藻15属、浮遊珪藻2属と確認された付着珪藻の属数と総個体数が全地点中最も多かった。また、総個体数のうち付着珪藻が90%以上を占めており、そのうち *Navicula* sp. + *Nitzschia* sp. の個体数が70%以上を占めていた。St.3は付着珪藻12属、浮遊珪藻4属と湖内では浮遊珪藻の属数が最も確認された。St.4は付着珪藻9属、浮遊珪藻2属とほか地点に比べ、属数、総個体数共に少なかった。St.5では付着珪藻10属、浮遊珪藻4属が確認され、ほか地点に比べ浮遊珪藻の個体数が多かった (Fig. 13, 14)。

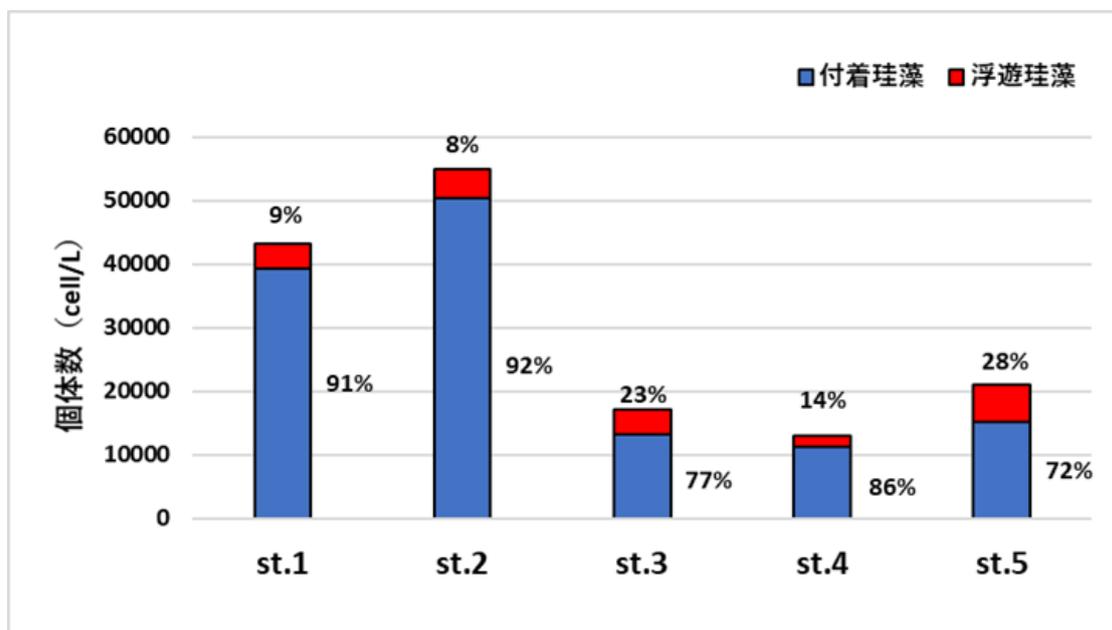


Fig. 13 11月における各地点の付着珪藻・浮遊珪藻の個体数と割合

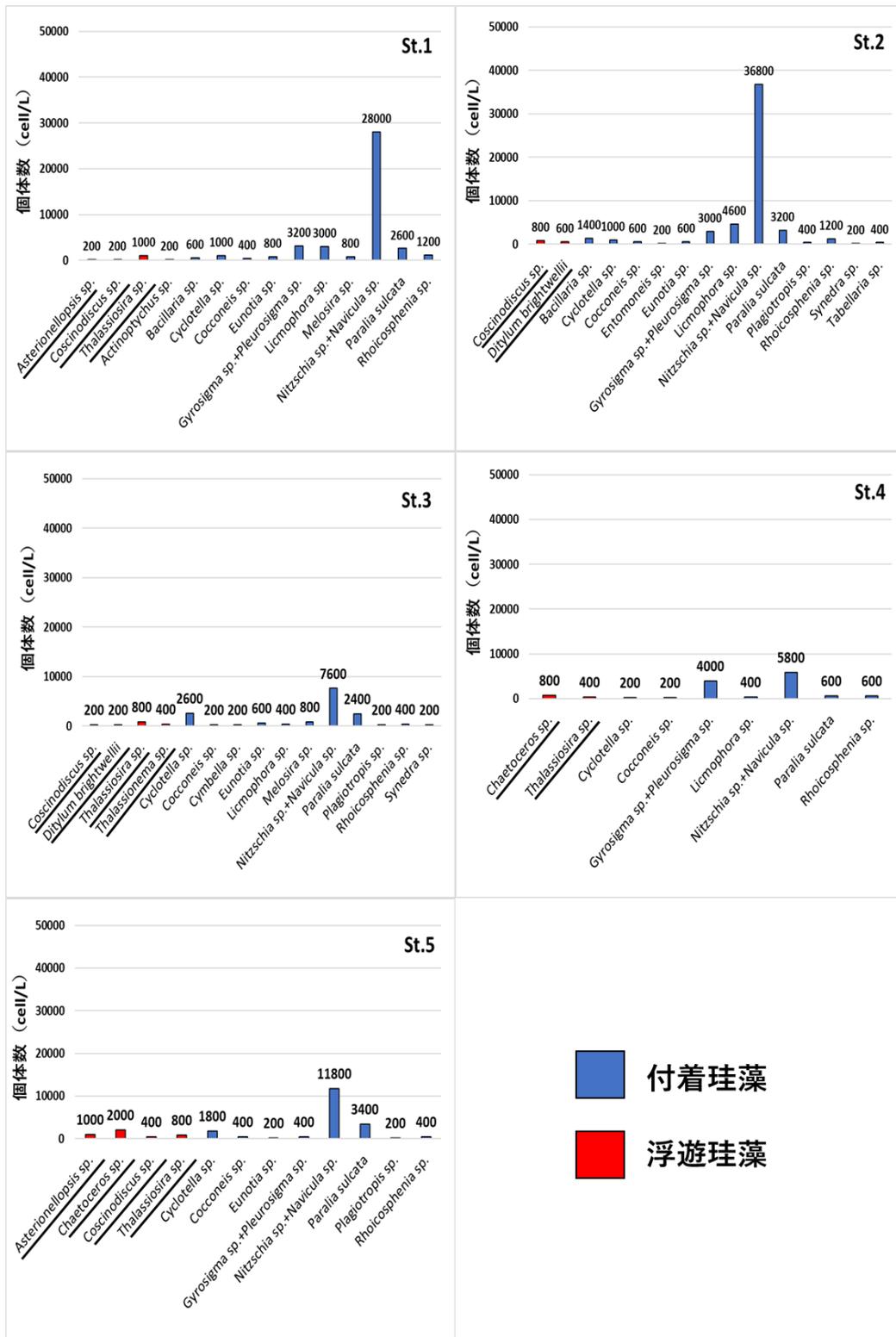


Fig. 14 11月における各地点の珪藻の個体数
色で判別できない場合に備え浮遊珪藻には属名に下線を付した

4. 考察

1) アマモが分布する地点における付着珪藻の量。

11月にはアマモが分布する St.1 と St.2 において付着珪藻の個体数が多かった (Fig. 13)。8月にもその傾向が認められた (Fig. 11)。珪藻全体の個体数を比較すると8月の方が多いが、付着珪藻に限定するとむしろ11月の個体数が多かった。

2019年8月の St.2 付近におけるアマモの LAI は約 $5\text{m}^2/\text{m}^2$ (中村, 2020) であり、厚岸湖においては、アマモが存在しない場合にくらべて、葉の片面で5倍、すなわち両面で10倍の面積の付着基盤が付着珪藻に提供されていることになる。付着珪藻はアマモに限らず底質にも分布する (南雲ほか, 2018; 出井ほか, 2020) が、今回の結果でアマモが分布する地点において付着珪藻が多かったことは、珪藻が付着する基盤を提供するアマモの機能 (Gordon et al., 2008) が大きく貢献していたことによると考えられる。

2008年7月に行われた先行研究ではアマモの葉上に付着し、かつ100細胞以上記録された珪藻は7属である (田中, 2009)。ただし、厚岸湖内の2地点の位置情報は明らかにされていない。このうち、*Licmophora* sp., *Cocconeis* sp., *Nitzschia* sp., *Tabularia* sp., *Navicula* sp. の5つの属が本研究でも水柱から確認された。湖全体の珪藻の種構成を調査した (Kasim and Mukai, 2006) においては、田中 (2009) でも記載されている4属 *Amphora* sp., *Cocconeis* sp., *Nitzschia* sp., *Navicula* sp. に、本研究でも水柱から確認されている *Rhoicosphenia* sp. を追加した5つの属は1年を通して水柱中に存在し、これらの個体数の合計は毎月概ね珪藻全体の個体数の30%以上を占めていた。

本研究における表層海水中の付着性珪藻では、*Navicula* sp. + *Nitzschia* sp. の個体数が多かった (Fig. 15) のに対して、厚岸のアマモ葉上の付着珪藻を直接確認した田中 (2009) では、*Licmophora* sp. が最も優占していた (Fig. 16)。両者の種構成が大きく異なった理由としては、調査時期が一致していないことに加え、波浪などによるアマモ葉上からの剥離のし易さ、剥離した後の水柱へのとどまり易さなどが想定される。

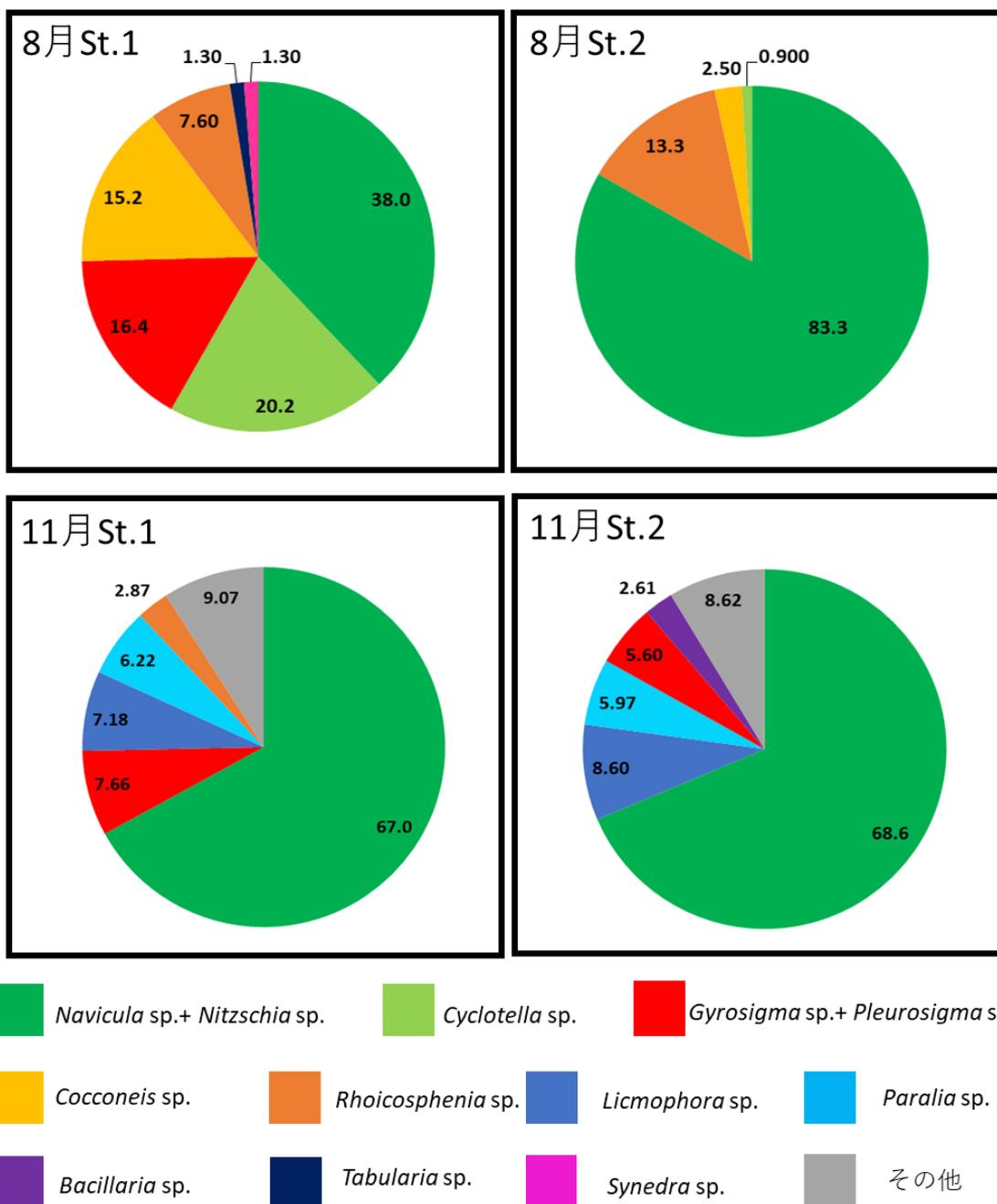


Fig. 15 2020年8月・11月のSt.1, St.2の水柱における付着珪藻の属ごとの割合 (%)

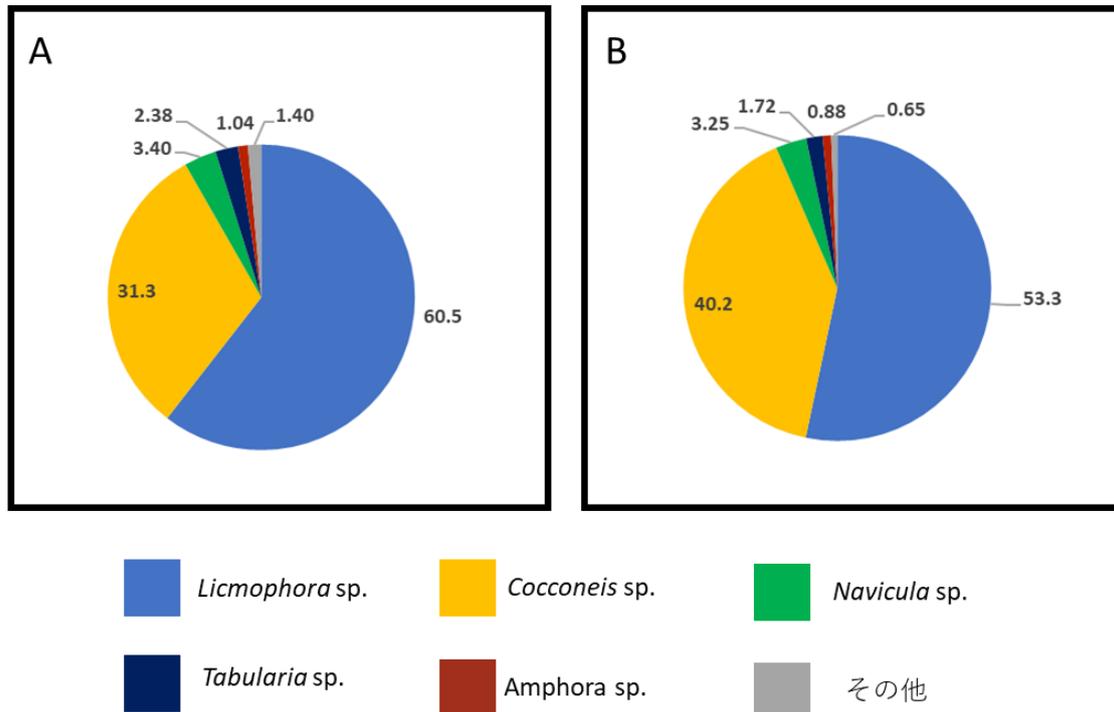


Fig. 16 2008年7月に厚岸湖のアマモ葉上に付着していた珪藻の割合(%)
A,Bは田中(2009)における厚岸湖の2つの地点である。ただし、位置情報は明らかにされていない

2) 浮遊珪藻の季節変化

本研究では、浮遊珪藻の中でも特に *Skeletonema sp.* の個体数が季節間・地点間で大きく変化した。水温が 20°C を超えた 8 月はいずれの地点においても総個体数の内、15% 以上が *Skeletonema sp.* だった。特に St.1 においては約 2.9×10^5 cell/L の内 90% を占めた。しかし水温が 10°C を下回った 11 月には *Skeletonema sp.* は確認されず、ほかの珪藻類の総個体数は最大でも 5.5×10^4 cell/L となった。2001 年 1 月から 2002 年 1 月の期間、本研究の St.1 と St.3 の間の 1 地点 (43° 02' N、144° 5' E) を継続的に調査した先行研究 (松山・志賀, 2002) では、9 月から 12 月上旬にかけて水温が 15°C から 5°C 付近まで緩やかに低下した時期には、*Skeletonema costatum* が個体数の 15% 以上を占め、10 月下旬には総個体数の約 8.0×10^5 cell/L のうち 80% 以上を占めていた。しかし、12 月中旬から 1 月に水温が 0°C 付近まで低下すると、*Skeletonema costatum* の総個体数は 1×10^5 cell/L 以下に減少した。これらは、*Skeletonema sp.* の個体数が水温の変化に対応して大きく変化するという指摘 (上野, 1991) とも整合する。

謝辞

本研究は、厚岸町の令和2年度 厚岸湖・別寒辺牛湿原学術研究奨励補助金をいただき実施しました。ご担当の澁谷辰生様をはじめ厚岸水鳥観察館の皆様には、本研究の経過を温かく見守っていただきました。北海道大学厚岸臨海実験所の伊佐田智規先生、仲間雅裕先生、川田有季さん、田原聖さん、濱野章一さん、桂川英徳さんには調査・測定のご指導、情報提供にご協力いただきました。東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センターの福田秀樹先生、樋口有希子さんには栄養塩を測定していただきました。弘前大学地域戦略研究所の桐原慎二先生には、ご助言をいただきました。甲田聖志郎さんをはじめ、八戸工業大学田中研究室の皆さんには助言・協力をいただきました。八戸工業大学の田中義幸先生には本研究を進めるにあたり様々なご指導をしていただきました。ここに記して以上の方々に深く感謝の意を表します。

引用文献

- Diehl, S. (2002). Phytoplankton, light, and nutrients in a gradient of mixing depths: theory. *Ecology* 83, 386–398.
- Gordon, N., Adams, J. B., and Bate, G. C. (2008). Epiphytes of the St. Lucia Estuary and their response to water level and salinity changes during a severe drought. *Aquatic Botany* 88, 66–76.
- Heck Jr, K. L., Hays, G., and Orth, R. J. (2003). Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Marine Ecology Progress Series* 253, 123–136.
- Hori, M., Suzuki, T., Monthum, Y., Srisombat, T., Tanaka, Y., Nakaoka, M., et al. (2009). High seagrass diversity and canopy-height increase associated fish diversity and abundance. *Marine Biology* 156, 1447–1458.
- 出井 雅彦, 佐藤 晋也, David G.Mann (2020) 『驚異の珪藻世界』,創元社, p176
ISBN978-4-442-43035-5
- 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.

- Isada, T., Hirawake, T., Nakada, S., Kobayashi, T., Sasaki, K., Tanaka, Y., Watanabe, S., Suzuki, K., Saitoh, S., (2017). Influence of hydrography on the spatiotemporal variability of phytoplankton assemblages and primary productivity in Funka Bay and the Tsugaru Strait. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 188, 199–211.
- Kasim, M., and Mukai, H. (2006). Contribution of benthic and epiphytic diatoms to clam and oyster production in the Akkeshi-ko Estuary. *Journal of Oceanography* 62, 267–281. doi:10.1007/s10872-006-0051-9.
- Kasim, M., and Mukai, H. (2009). Food sources of the oyster (*Crassostrea gigas*) and the clam (*Ruditapes philippinarum*) in the Akkeshi-ko estuary. *Plankton and Benthos Research* 4, 104–114.
- 松山 幸彦, 上田 拓史, 上野 俊士郎, 佐野 明子, 濱岡 秀樹, 中島 篤巳, 岩国市立ミクロ生物館 (2011) 『日本の海産プランクトン図鑑』, 共立出版株式会社, p.205 ISBN978-4-320-05711-1
- 松山 洋平, 志賀 直信 (2002). 厚岸湖における植物プランクトン群集の季節変化. 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
- Mizuno M, Saito S (1990) Planktonic diatoms from lake Oike of lake Tsugaru-Juniko Group, Aomori Prefecture. *Diatom Res* 5:9–89. (in Japanese with English abstract)
- Momota, K., and Nakaoka, M. (2017). Influence of different types of sessile epibionts on the community structure of mobile invertebrates in an eelgrass bed. *PeerJ* 5, e2952.
- 中村 歩 (2020). アマモの形態から推定されるブルーカーボン貯留機能の変異. 令和元年度 八戸工業大学生命環境科学科 卒業研究論文
- Namba, M., and Nakaoka, M. (2018). Spatial patterns and predictor variables vary among different types of primary producers and consumers in eelgrass (*Zostera marina*) beds. *PloS one* 13, e0201791.
- 南雲 保, 鈴木 秀和, 佐藤 晋也 (2018) 『珪藻観察図鑑』, 誠文堂新光社, p239

ISBN978-4-416-51844-1

- Peterson, C. H., Luettich Jr, R. A., Micheli, F., and Skilleter, G. A. (2004). Attenuation of water flow inside seagrass canopies of differing structure. *Marine Ecology Progress Series* 268, 81–92.
- Righetti, D., Vogt, M., Gruber, N., Psomas, A., and Zimmermann, N. E. (2019). Global pattern of phytoplankton diversity driven by temperature and environmental variability. *Science advances* 5, eaau6253.
- Seitz, R. D., Wennhage, H., Bergström, U., Lipcius, R. N., and Ysebaert, T. (2014). Ecological value of coastal habitats for commercially and ecologically important species. *ICES Journal of Marine Science* 71, 648–665.
- 田中 正明 (2009). アマモ (*Zostera marina* Linnaeus) に付着する珪藻類について. 四日市大学環境情報論集 12, 2, 1-12
- 上野 俊士郎 (1991) 日本沿岸における海産珪藻*Skeletonema*属2種の生活環と分布に関する研究. *The Journal of Shimonoseki University of Fisheries* 40(1) 23-58
- Yamada, K., Hori, M., Tanaka, Y., Hasegawa, N., and Nakaoka, M. (2007). Temporal and spatial macrofaunal community changes along a salinity gradient in seagrass meadows of Akkeshi-ko estuary and Akkeshi Bay, northern Japan. *Hydrobiologia* 592, 345–358.