

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
「水道システムにおける生物障害の実態把握とその低減対策に関する研究」
分担研究報告書

研究課題：相模川本川における障害生物の繁殖事例

研究代表者 秋葉 道宏 国立保健医療科学院
研究協力者 北村 壽朗 神奈川県企業庁水道水質センター
渡邊 洋大 神奈川県企業庁水道水質センター
岩谷 梓 神奈川県企業庁水道水質センター

研究要旨

相模川下流域における生物障害は、通常上流の相模湖及び津久井湖で繁殖した障害生物の流下が原因であることが多い。2013年春季に、湖沼性ろ過閉塞障害生物の *Synedra acus* が湖沼下流の相模川中流域にある磯辺頭首工で繁殖した事例が観察された。また、春季～夏季には、河川由来とみられるかび臭物質（2-MIB）の濃度上昇が観察された。これらを受けて、2014年に相模川本川における今後の障害生物繁殖の可能性を調べるために、本川の生物障害調査を実施した。その結果、本川中流域の磯辺頭首工の湾処（わんど）部や堰堤部、河床の泥表面において障害生物の繁殖が観察され、生物障害の監視上注意が必要であることが示された。

A. 研究目的

相模川は、富士山麓を水源とする全長 109km、流域面積 1,680km² の一級河川である。河口から約 50km 上流に位置する相模湖及び相模湖の下流 10km に位置する津久井湖は神奈川県営水道の主な水源である（図 1）。

神奈川県営水道（以下、「神奈川県水」とする）は、県内 12 市 6 町、神奈川県民の約 31% を占める 279 万人に水道水を供給している。このうち、河口から 6.5km に位置する寒川浄水場は 11 市 4 町、126 万人に送水する浄水能力 75 万 m³/日の神奈川県水最大の浄水場である。

寒川浄水場原水における生物障害の変遷を見ると、1960 年～1992 年は、大型珪藻類によるろ過閉塞障害、1992 年以降は藍藻類の *Anabaena* が産生したジェオスミンによるかび臭障害、同じく 1992 年以降は小型の球形緑藻類（当時は *Dictyosphaerium* とされた）によるろ過漏出障害が記録されている¹⁾。これらは全て上流の相模湖及び津久井湖で繁殖した藻類の流下による生物障害事例であった。

これ以外の障害事例としては、2004 年に宮ヶ瀬湖で発生した *Uroglena* sp. による異臭味障害事例（生ぐさ臭、臭気物質名未確認）が記録されている。

2013 年 5 月 13 日に、寒川浄水場原水中において湖沼性（浮遊性）ろ過閉塞障害生物である *Synedra acus* の細胞数の増加が観察された。15 日に、上流湖沼の相模湖、津久井湖では *S. acus* が繁殖していないことが判明し、繁殖地点を特定するために相模川本川の調査を行った。この結果、相模川中流域の磯辺頭首工が繁殖地点と特定された。

相模川本川で湖沼性の大型珪藻類が繁殖した事例は初めてであったことから、2014 年 2 月～7 月に磯部頭首工の生物調査を実施した。

また、2013 年の春季～夏季には、相模湖、津久井湖でかび臭産生生物が繁殖していないにも関わらず、本川でかび臭物質（2-MIB）濃度が高くなる現象が観察された²⁾。相模川下流域におけるか

び臭障害事例は、これまでは上流の相模湖や津久井湖で発生した *Anabaena* が産生するジェオスミンの流下によるものが主であったことから、2014年冬季から夏季にかけて、相模川本川における着生藻類及び付着藻類の調査を実施した。

今回の調査により、相模川本川における障害生物の繁殖状況及び今後の繁殖の可能性について、若干の知見が得られたので報告する。

B. 研究方法

1) 磯部頭首工に関する障害生物調査

1 - 1) 2013年の *S. acus* 繁殖事例調査

1 - 1 - 1) 繁殖地点調査

2013年5月13日に寒川浄水場原水中の *S. acus* 細胞数が44細胞/mLまで増加した。繁殖地点を特定するために、5月23日にかけて本川の生物調査を実施した。

調査地点を図1に示す。調査は、昭和橋、磯部頭首工、座架依橋、あゆみ橋で実施し、採水は川岸からステンレス製バケツにより行った。

障害生物試験については、採水した試料を必要に応じて10%グルタルアルデヒド溶液(25v/v%)で固定し、標準計数板法、枠付き界線スライド法またはメンブランフィルター法を適宜使用して、光学顕微鏡(ZEISS, Axio Imager2)200~400倍で観察し計数した。

1 - 1 - 2) 繁殖時のAGP試験

S. acus の細胞数が13000細胞/mLであった2013年5月22日の磯部頭首工右岸湾処部(川の本流と繋がっているが、河川構造物などに囲まれて池のようになっている地形)の表層水を採取し、フィルター(GF/C, Whatman)でろ過後、オートクレーブで高圧蒸気滅菌し、200mLを滅菌済み三角フラスコに移した。同日の湾処部表層水からピペット法で単離した³⁾*S. acus* を植種して31日間培養し、AGP試験(藻類増殖の潜在能力試験)を行った⁴⁾(20℃、光量子束密度38 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、明暗周期12時間)。実験の対照にはCSi培地(珪藻用培地)を用い、同様の操作を行った。

培養開始時と、培養後3、6、10、13、17、20、24、31日目に *S. acus* 細胞数の計数を行った。生物試験は、1 - 1 - 1)と同様に行った。

1 - 2) 磯部頭首工における障害生物繁殖状況調査

2014年2月26日から7月23日にかけて、昭和橋、磯部頭首工右岸側湾処部表層(以下「磯部右岸表層」とする)及び底層(以下「磯部右岸底層」とする)、座架依橋において、気温、水温、pH値、溶存酸素(以下「DO」とする)濃度、クロロフィルa(以下「Chla」とする)濃度、リン酸態リン($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)濃度、障害生物の調査を行った。理化学項目の測定方法は上水試験方法(2011年版)に従い⁴⁾、生物試験は1 - 1 - 1)と同様に行った。

1 - 3) 藻類培養実験

1 - 3 - 1) リン酸態リン濃度の違いによる *S. acus* の増殖特性

2013年5月22日に磯部右岸表層で繁殖した *S. acus* をピペット法で分離し、CSi培地を入れた250mL三角フラスコで予備培養し、単藻培養状態(細菌類は含まれるが、藻類としては一種のみ生育している状態)にした。細胞を洗浄するために、培養液15mLを遠沈管に移し、3000rpmで5分間遠心分離を行った後、パスツールピペットで上澄み液を抜き、精製水を加えて再懸濁させ、再び遠心分離を行う工程を5回繰り返した。*S. acus* が細胞内に取り込んでいる栄養塩の影響を除去するために、20℃、暗所で2日間飢餓培養を行った。飢餓培養後、20mLねじ口試験管を用いて、リン酸態リンを0、0.01、0.02、0.04、0.08mg/Lとなるように調製したCSi培地に *S. acus* を移し、39日間培養を行った(20℃、光量子束密度38 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、明暗周期12時間)。培養開始時と、培養後

6、12、15、20、28、39 日目に *S. acus* 細胞数の計数を行った。生物試験は、1 - 1 - 1) と同様に行った。

1 - 3 - 2) 静置および振とう培養による障害生物の増殖特性

2014 年 3 月 5 日に磯部右岸表層で採取した試料 50mL に、CSi 培地を加えて 500mL に調製した。調整試料 200mL を 2 本の 500mL 平底フラスコに移し、各々 27 日間静置及び振とう培養を行った。培養開始時と、培養後 1、5、12、20、27 日目に、繁殖した障害生物の *Cyclotella* spp.、*S. acus*、*Asterionella formosa* 細胞数の計数を行い、相対的な増殖能を比較した (15、光量子束密度 $38\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、明暗周期 12 時間、振とう速度 80rpm)。生物試験は、1 - 1 - 1) と同様に行った。

2) 相模川本川における着生、付着藻類の調査

2 - 1) 相模川河床における着生藻類調査

2014 年 1 月 31 日に昭和橋の底泥を河川水と共に採取し、1 L ガラス瓶に入れて予備培養を行った (15、光量子束密度 $38\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、明暗周期 12 時間)。60 日後、かび臭を感知するとともに泥表面および試料中に藍藻類の繁殖が確認されたため、分離・培養を試みた。

採取した泥と河川水の一部を耐熱びんに入れて高圧蒸気滅菌を行った後 (121、30 分) 放冷、静置した。24 穴マイクロプレートの 6 ウェルに上澄みの滅菌河川水 0.5mL を、別の 6 ウェルに滅菌した泥と河川水を混合した試料 0.5mL を、それぞれ滅菌済みチップを用いてマイクロピペットで分注した。全てのウェルに 0.5mL の CT 培地 (藍藻類用培地) を加えて培養用の培地とした。各々のウェルに予備培養試料で繁殖した藍藻類を植種し、1 - 3 - 2) と同じ培養条件で、静置及び振とう培養を行った。

10 日間培養後、倒立顕微鏡 (NIKON, TM-300) 400 倍でマイクロプレートを直接検鏡した。

2 - 2) 磯部頭首工堰堤部における付着藻類調査

2014 年 6 月 18 日の磯部頭首工の調査時に、堰堤の越流部に藍色～緑色の付着藻類群集のマットが観察された。マットは調査期間の終わりの 7 月 23 日まで観察された。

7 月 2 日にマットを剥がして密閉容器に入れて持ち帰り、付着藻類の調査を行った。種組成の確認と分類は、1 - 1 - 1) の光学顕微鏡を用いて行った。

採取した藻類のマットを 1cm×1cm に切り出し、ろ紙で水分を吸収した後に精製水を入れた 50mL 試験管に移し、20 静置培養及び 15 振とう培養を行った。培養のはじめと 6 日間培養後に、上水試験方法に基づきかび臭物質を測定した。

C. 研究結果および D. 考察

1) 磯部頭首工に関する障害生物繁殖調査

1 - 1) 2013 年の *S. acus* 繁殖事例調査

1 - 1 - 1) 繁殖地点調査

2013 年 5 月 13 日に寒川浄水場原水において *S. acus* 細胞数の増加が確認された。

ここで使用した *S. acus* の学名は、水道分野で使われているものとした。*S. acus* の学名については藻類分類学の分野では種名や記載の変更が何回も行われている。国内の参考図書やホームページにおいても、渡辺らは *S. acus* の種名を採用しているが形態的な記載が異なり⁵⁾、小林らは *Ulnaria acus* を採用し⁶⁾、辻らは新規種名として *Ulnaria japonica* を提唱する等⁷⁾、様々な記載がある。ここでは、「日本の水道生物」に基づいて *S. acus* の呼称を使用した⁸⁾。

2013 年 4 月～6 月の寒川浄水場原水における水温と *S. acus* 細胞数の推移を図 2 に示す。*S. acus* は、5 月 13 日に 44 細胞/mL が観察されたが、5 月 15 日の上流の相模湖、津久井湖では繁殖していないことが確認された。5 月 17 日に行った河川調査では、昭和橋で 1 細胞/mL、あゆみ橋で 120

細胞/mL が検出され、この区間での繁殖、特に宮ヶ瀬湖の影響が疑われた。しかし、5月21日に座架依橋を調査したところ、*S. acus* は290細胞/mLであり、宮ヶ瀬湖の影響は否定された。

5月23日に、磯部頭首工調査を行った。磯部頭首工は相模原市磯部に位置する農業用水を最大11.85m³/s取水するために築造された取水堰である⁹⁾。右岸側から左岸側に向かって水を堰き止める堰堤部が伸び、左岸側が農業用水の取水口があり、本川に繋がっている。

5月23日に確認された*S. acus*細胞数は、堰堤にせき止められた右岸湾処部で13000細胞/mL、堰堤中央付近で10000細胞/mL、堰堤左岸寄りの本川に流れ込む地点で120細胞/mLであった(図3)。湾処部では、堰堤からの越流は見られず、堰堤にせき止められた湾処部で繁殖した*S. acus*が、本川の合流部で水流により引き込まれながら流下していたと考えられる。

*S. acus*は寒川浄水場原水において、5月17日に最大値330細胞/mLに達したが、浄水場における過閉塞障害は発生しなかった。この理由として、繁殖した*S. acus*の殻長が160~190μmとそれほど大型ではなかったこと、寒川浄水場第3浄水場では過去の障害事例からアンスラサイトを敷設していたことが考えられた。

相模川本川湾処部において障害生物の繁殖が観察された事例は初めてである。現在、神奈川県環境衛生部では、相模川本川の5箇所において定期的な水質試験を行っているが、磯部頭首工は含まれていない¹⁰⁾。障害生物の繁殖状況によっては、降雨等による急な出水の際に、下流で生物障害が発生することも危惧されたため、2014年にも、磯部頭首工における障害生物調査を実施することとした。

1 - 1 - 2) 繁殖時のAGP試験

2013年の繁殖事例において、*S. acus*が13000細胞/mLであった5月22日の磯部右岸表層水は、繁殖した*S. acus*による消費のため、栄養塩類が減少していたと考えられた。当日の磯部右岸表層水を用いて、今後の*S. acus*繁殖の可能性を調べるために、試料をGF/Cでろ過後に高圧蒸気滅菌してAGP試験を行った。結果として、ろ過・滅菌を行った磯部右岸表層水(以下「磯部ろ過水」とする)における最大増殖細胞数は50000細胞/mLで、CSi培地におけるその70%に達し、*S. acus*は5月22日の1mLあたり13000細胞/mLから更に増殖が可能な状態であったことが明らかとなった(図4)。また、磯部ろ過水では、対数増殖期後の定常期が長く、培養期間中に死滅期に至らなかったが、CSi培地では定常期が短く、死滅期に移行する現象が観察された。原因として、CSi培地で*S. acus*は最大71000細胞/mLまで達したが、非常に高密度の生物繁殖による光量の減少や増殖阻害物質の放出等が定常期や死滅期への移行の引き金となったことが考えられたが¹¹⁾、特定はできなかった。

障害生物が繁殖した際に、繁殖が継続するか否かは浄水処理にとっても有益な情報である。珪藻類の繁殖に必要な栄養塩としては、窒素化合物、リン酸化合物、珪酸が重要であるとされているが¹²⁾、障害発生時にこれらの項目の消長を詳細に調べるのは難しく、特に溶性ケイ酸については通常測定していないことから急な測定は困難である。AGP試験は簡易的に障害生物の増殖の可能性を推定できる手法として有用であると考えられた。

1 - 2) 磯部頭首工における障害生物繁殖状況調査

2014年に、磯部頭首工において、前年の*S. acus*繁殖の検証と今後の障害生物繁殖の可能性を調べるため、障害生物繁殖状況調査を行った。

調査期間における磯部頭首工の流況は、2月26日は完全に本川と分離した浅いため池状態(図5-1、2)、3月5日~5月14日は本川と繋がった湾処で、堰堤からの越流が無い状態(図6-1、2)、5月21日~7月23日は湾処で、堰堤から越流している状態(図7-1、2)であった(表1)。また、磯部右岸底層の深度は、堰堤からの越流が無い湾処状態で水面から94cmであった。

調査期間における水温の変化を図8に示す。磯部右岸表層及び底層に比べて上流の昭和橋と下流の座架依橋の水温差は小さく(0.2~0.6)、本川の水温は昭和橋と座架依橋の間でそれほど大きな

差がないと考えられた。一方、磯部右岸表層の水温は、昭和橋、座架依橋より 1.5～5.2 高く、磯部右岸表層が本川とは異なる水温状態にあることが示唆された。一方、磯部右岸表層と底層の水温には 0.4～1.9 の差が存在し、4、6、7月に顕著であった。表層と底層は完全に均一な状態ではないと考えられ、藻類の繁殖にも影響する可能性が示唆された。

リン酸態リン濃度は、昭和橋と座架依橋で 0.03～0.05mg/L であり、本川では安定して存在していることが示され、昭和橋が座架依橋より高い傾向が見られた(図9)。一方、磯部右岸表層及び底層では本川と比べて変動が大きく、本川と顕著な水質の差が認められた。

DO 濃度は、昭和橋と座架依橋でそれぞれ 9.1～12.7、8.8～12.7mg/L であり、大きな差は認められなかった(図10)。一方、磯部右岸表層では、9.7～13.8mg/L で、本川より若干高い傾向が見られ、6月以降顕著であった。磯部右岸底層は表層と同様な傾向を示したが、3月19日、6月18日の DO 濃度は表層より低く、特に6月18日には 2.9mg/L の濃度差が認められ、測定期間における最低値(7.6mg/L)を記録した。

pH 値は、昭和橋では安定していたが、磯部右岸表層及び底層、座架依橋では変動が大きかった(図11)。特に磯部右岸表層では pH 値は 7.9～9.2 と高く推移していた。

Chla 濃度は、磯部右岸表層において常に昭和橋及び座架依橋より高い値を示した。このことから、磯部右岸では藻類の繁殖が顕著であることが認められた(図12)。

調査期間に磯部右岸で繁殖が確認された主な障害生物は、湖沼性大型珪藻類の *Cyclotella* spp.、*S. acus*、*Asterionella formosa* であった。これらの生物の繁殖状況を図13～15に示す。*Cyclotella* spp. はため池状態の2月26日、湾処状態の4月16日、湾処で堰堤から越流していた7月23日のいずれの状態でも繁殖のピークが認められ(図13)、Chla 濃度や溶存酸素、pH 値と変動の傾向が一致していた。ただし、堰堤からの越流が始まった5月21日～6月18日の期間は減少傾向であった。一方、*S. acus* は4月30日から6月4日にかけて繁殖が認められ(図14)、増殖が顕著な時期は越流開始時期と一致していた(5月21日)。*A. formosa* は、湾処状態が始まった3月12日に磯部右岸表層で増殖のピークが確認された後は、顕著な増殖は無く、本川の昭和橋、座架依橋と比べて極端な差は無かった(図15)。

リン酸態リン濃度と生物の関係を考察すると、4月12日から6月4日にかけてはリン酸態リン濃度は 0 mg/L であり、生物の繁殖によりリン酸態リンが枯渇している状態と考えられた。この期間、当初増殖していた *Cyclotella* spp. は変動しながらも減少傾向に転じたが(図13)、*S. acus* はリン酸態リンが枯渇しているにも関わらず、4月30日から6月4日にかけて繁殖が認められた(図14)。

6月11日には、磯部右岸表層でリン酸態リン濃度が一時的に高い値を示した。降水量のデータ(日本気象協会)によれば¹³⁾、6月5日～7日に相模原市で264mmの降雨があり、上流域山ダム(津久井湖)でもゲート放流が行われており、このことが原因と推察された。このリン酸態リンは速やかに消失したが、供給されたリン酸態リンが、6月18日のChla量の増加及び7月23日にかけての *Cyclotella* spp. の繁殖に関与したと考えられる。

以上より磯部右岸は、ため池状態、湾処状態、堰堤からの越流のある湾処状態と3つの状態を取り、本川とは異なる環境で水質にも差が見られることが示された。障害生物としては、*Cyclotella* spp.、*S. acus*、*A. formosa* の3種が観察され、それぞれの状態で *Cyclotella* spp. が優占しやすいことが示唆された。ただし、リン酸態リンが少ない状況でも *S. acus* は繁殖できることが示唆され、今後も注意が必要であることが明らかとなった。

2014年の調査における *S. acus* の磯辺頭首工右岸での最大繁殖量は、大発生をした2013年に比べて少なかった。2013年は、城山ダム上流域において4月中旬以降夏にかけてまとまった降雨が無く、流況が非常に安定していた¹⁴⁾。2013年5月の降水量は過去10年間の平均の1/3、2014年の1/2以下と少なく、このことが原因のひとつと推定された。

1 - 3 - 1) リン酸態リン濃度の違いによる増殖特性

S. acus の増殖特性を明らかにするために、相模川水系で藻類の制限要因になる代表的な栄養塩であるリン酸態リン濃度を¹⁵⁾、0 ~ 0.08mg/L に変化させた CT 培地を作成し、増殖速度の比較を行った。リン酸態リン濃度の違いによる *S. acus* の最大増殖細胞数の変化を図 16 に示す。

単藻培養した *S. acus* は、細胞内にリンを取り込んでいると考えられたため、精製水で 5 回洗浄した後で 2 日間の飢餓培養を行ったが、リン酸態リン濃度 0 mg/L の培地でも増殖が認められ、*S. acus* の最大増殖細胞数は 6800 細胞/mL であった。リン酸態リン濃度 0.02mg/L で 11000mg/L、0.04mg/L で 49000mg/L で、それ以上の濃度では最大増殖細胞数に大きな差は見られなかった。

珪藻類は、体内にリン酸を蓄積することが知られており¹²⁾、本実験では 2 日間の飢餓培養を試みたが、*S. acus* の細胞内にはまだ利用可能なリンが残存し増殖が可能であったと考えられた。環境中にリンが無く、生体内のリンを消費している状態と、環境中に豊富にあるリンを使用している状態とでは、増殖速度に違いが生じると考えられるが、AGP 試験による最大増殖能は、藻類の増殖に影響を与えるリン酸態リン濃度の評価には有効な手法と考えられる。今回の実験においては、飢餓培養の期間を長くすることで、リンに関する要求量がより明らかにできたと考えられた。本実験において、最大増殖細胞数は、0 と 0.01mg/L、0.01 と 0.02mg/L 以上の間で明らかな差が認められた。

珪藻類が必要とするリン酸態リン濃度については、0.15mg/L で生育可能、61mg/L 以上で成長障害を受け、この濃度は藻類全体から見ると中程度よりやや高い要求度との報告がある¹²⁾。一方、*S. acus* の栄養塩要求については、0.005mg/L で不十分で、0.05mg/L で良好であったとの報告もある¹⁶⁾。ただし、報告の *S. acus* は培養時に星型の群体を形成したとあるため、今回出現した種とは異なる可能性がある。今回の実験で、*S. acus* の増殖に十分なリン酸態リン濃度は 0.02mg/L 以上と見積もられ、*S. acus* は低いリン酸態リン濃度で増殖できることが明らかとなった。

1 - 3 - 2) 静置および振とう培養による増殖特性

2014 年 3 月 5 日に、磯部頭首工で繁殖する 3 種類の障害生物を含む磯部表層水を採取し、CSi 培地で 1/10 に希釈した後、静置および振とう培養を行って *Cyclotella* spp.、*S. acus*、*Astrionella formosa* の培養方式の違いによる相対的な増殖特性を調べた(図 17)。初期の細胞数は、*Cyclotella* spp.、*S. acus*、*A. formosa*、それぞれ、130、22、11 細胞/mL であった。*Cyclotella* spp. は、静置培養では培養 5 日目に、振とう培養では 12 日目に増殖のピークを迎え、その後減少した。*A. formosa* と *S. acus* は、静置培養では 12 日に、振とう培養では 20 日にピークを迎え、その後減少した。最終的に培養 25 日目までには *Cyclotella* spp. 及び *A. formosa* は死滅したが、*S. acus* は定常期の状態で生存していた。この優占種の遷移は磯部頭首工右岸における藻類の増殖状況と一致しており、*S. acus* が他の 2 種との競合の中で、最後まで生残することが示唆された。また、3 種類とも静置培養より振とう培養の方が増殖細胞数が相対的に大きくなることが示された。特に *S. acus* では、培養 25 日目の生残細胞数は、振とう培養 (5700 細胞/mL) が静置培養 (1100 細胞/mL) の約 5 倍であり、湖沼性の珪藻類でも緩やかな振とう培養条件においては、増殖能が高くなることが示された。磯部頭首工で *S. acus* が繁殖した時期は、越流が始まった時期に一致したが、越流による水の動きの活発化も *S. acus* の増殖に有利に働いた可能性がある。なお、珪藻類は強光を嫌うため、ガス胞を持つアオコ形成藍藻類のように表層に特異的に分布せず、表層を避けて水塊に広く分布するため、越流による消失は顕著でなく、継続的に増殖できたと考えられた。

以上より、磯部頭首工では時期によって優占種が異なるが、ため池状態、湾処状態、堰堤からの越流がある湾処状態のいずれでも障害生物が繁殖し、特に *S. acus* については、低いリン酸態リン濃度でも繁殖すること、他の競合藻類との競争に優位な傾向があることから、磯部頭首工で今後も繁殖する可能性があることが示唆された。

2) 相模川本川における付着、着生藍藻類の繁殖

2 - 1) 相模川河床における着生藻類調査

着生藻類は、付着藻類ほど強固に基物と結びついておらず、近年ダム湖において湖岸の泥の表面で繁殖し、かび臭問題に影響を与えていることが指摘されている¹⁷⁾。2014年1月31日に採取した昭和橋の泥を予備培養した試料を用いて、滅菌した泥にCT培地を添加した試料と滅菌河川水にCT培地を添加した試料について、静置及び振とう培養を行った結果、泥を含む培地で、*Phormidium tenue* 様の藍藻類が観察された。なお、現在の藍藻類の分類体系では、水道分野で使用している学名の *Phormidium tenue* に相当する藍藻類は *Leptolyngbya tenuis* または *Pseudoanabaena limnetica* 等を指すとされるが^{17) 18)}、ここでは「日本の水道生物」に従って⁸⁾、*Phormidium tenue* 様の藍藻類の呼称を使用する。

プレートを用いた培養実験の結果、静置培養した泥を含むウェルではかび臭を感知したが、振とう培養した泥を含むウェル及び両方の培養をした泥を含まないウェルではかび臭を感知しなかった。泥を含む静置培養したウェルのかび臭産生藻類を単離するために、懸濁後にCT寒天培地に画線培養したところ、茶色いコロニーが形成され、釣菌して液体CT培地に移したところ、かび臭を感知する茶色の藍藻類が繁殖した(図18-1、図18-2、図18-3)。一方、泥を含まない静置培養したウェルの壁面には藻類が繁殖しており、ウェルを良く洗浄して液体CT培地に移して静置培養したところ、かび臭を感知しない緑色の藍藻類が繁殖した(図19)。培養1ヵ月後の茶色の株は糸状体として4.1mm/mLの現存量で、このときの2-MIB濃度は110ng/mL、ジェオスミン濃度は240ng/mLであった。また、緑色の藍藻類は、現存量が13.2mm/mLで、2-MIB濃度は3ng/mL、ジェオスミン濃度は2ng/mLであった。顕微鏡観察では、茶色の藍藻類は細胞の長さとの幅の比が緑色の藍藻類より相対的に小さく、細胞と細胞の間のくびれが大きい特徴があった。

以上より、本川中の泥の中には藍藻類が存在しており、静置や振とう等の培養条件やCT寒天培地や液体CT培地等の培地条件、泥の有無等で適した種が繁殖すると考えられた。実験では、茶色と緑色の2種類の*P. tenue* 様藍藻類が分離できた。これらの藍藻類は、ピペット法で単離を試みたが、最終的には培養液から2-MIBとジェオスミンの2種類のかび臭物質が検出され、単離には至らなかったと考えられた。培養液中に、他の藻類は観察されないと同定したが、顕微鏡下で分類し難い*P. tenue* 様藻類が混在しているか、他のかび臭を産生する放線菌等が混在しているかは不明であった。

相模川岸辺の底泥表面には、着生藻類を含む生物群集が存在し、条件によってはかび臭を産生する可能性があることが示唆された。

2 - 2) 磯部頭首工堰堤部における付着藻類調査

磯部頭首工堰堤越流部のコンクリート壁では、6月18日以降継続してかび臭を産生する付着生物群集のマットが観察された(図20-1、20-2)。マットには、顕微鏡下で*Phormidium autumnale* を優占種とする藍藻群集が認められた(図21)。1cm×1cmに切り出したマットを20静置培養と15振とう培養の2つの条件で6日間培養してかび臭産性能を調べたところ、20培養では2-MIBが50.3ng/cm²/day、ジェオスミンが15.8ng/cm²/dayであり、2-MIB:ジェオスミンの比は3.2:1であった。一方、夏季の水温より低い15の振とう培養では、2-MIBが14.0ng/cm²/day、ジェオスミンが47.0ng/cm²/dayであり、2-MIB:ジェオスミンの比は1:3.4で全く逆の値であった。実験には隣り合った付着藻類のマットを使用したか、大きさが正確に1cm²には調整できず、厚みも異なり(図22-1、22-2) 定量的な誤差が大きいと考えられた。ただし、マット自身の種組成や現存量の違いだけでなく、培養温度や培養条件によってもかび臭産生能に大きな違いが生じる可能性が示唆された。

かび臭問題の多くは湖沼で発生することが多く、原因生物は*Anabaena* 属や*Phormidium* 属の1種~数種であり、特定できる場合が多い。このため、かび臭産生種を調査する場合、試料を顕微鏡で観察し、はっきりしない場合は分離・培養の手法を用いて原因生物を特定する手法が用いられてき

た。河川においても、かび臭物質の濃度が高い場合には特定の付着藻類が原因となることが考えられるが、10ng/L 程度以下のかび臭物質が長期間に渡って検出されるような場合には、特定の生物が繁殖しているのではなく、様々な原因生物が複合的に関与している可能性も考えられる。

今回の調査で、相模川本川でかび臭を産生する藍藻類の存在が確認されたが、ひとつは柔らかな泥の表面や植物体の表面等で繁殖する着生藻類であり、もうひとつは石やコンクリートで繁殖する付着藻類であった。着生藻類については、培養により単藻状態にできたと考えられたが、かび臭物質を測定すると 2-MIB とジェオスミンの両方が検出され、培養液中には分離した藻類の他にもかび臭を産生する生物が存在していた可能性が示唆された。

一方、付着藻類のマットの中にも 2-MIB を産生する代表的な藍藻類が存在していたが、かび臭物質としてはジェオスミンも検出された。同一地点で採取した隣接するマットを用いて、条件を変えて培養を行ったところ、2-MIB とジェオスミンの比率や産生能に大きな違いが見られた。

以上より、相模川の川床の泥やコンクリート護岸等においてはかび臭を産生する着生藻類及び付着藻類群集が存在し、環境に応じて 2-MIB やジェオスミンを産生していると考えられた。河川におけるかび臭産生藻類の調査においては、湖沼における分離・培養後にかび臭産生藻類を特定する方法ではなく、着生及び付着生物群集が作る混合群集としての泥やマットについてかび臭産生能を調査する等の異なるアプローチが必要と考えられる。

相模川水系の生物障害は、上流の相模湖、津久井湖で繁殖した障害生物の流下による事例が多かったが、本川での繁殖は、上流湖沼での繁殖情報が得られないこと、障害が発生してから浄水場までの距離が短いことから、今後も注意が必要と考えられる。

E. 結論

2013 年 5 月、湖沼性ろ過閉塞障害生物の *S. acus* が、相模川本川中流域の磯部頭首工で繁殖する事例が観察された。また、春季～夏季には河川由来とみられるかび臭物質（2-MIB）の濃度上昇が観察された。

これらを受けて、相模川本川における障害生物繁殖の可能性に着目し、2014 年に本川の生物障害調査を実施した。その結果、本川中流域の磯部頭首工の湾処（わんど）部では障害生物として湖沼性珪藻類の *Cyclotella* spp.、*Synedra acus*、*Asterionella formosa* が繁殖することが明らかとなった。*S. acus* は低濃度のリン酸態リン濃度でも繁殖が可能で、磯部頭首工湾処部において、これらの 3 種のなかで優位に増殖し、今後も増殖する可能性が示唆された。

また、本川河床の泥や磯部頭首工湾処で越流が起きているときの堰堤部コンクリート壁において、かび臭物質を産生する着生藻類や付着藻類が分離され、かび臭障害の原因のひとつとなる可能性が示唆された。

着生藻類を含む泥や付着藻類のマットについては、障害生物を単離して調査を行う手法に加えて、障害生物が混在する泥やマットとして取り扱い、かび臭障害への影響を評価する方法も重要と考えられた。

相模川本川の湾処部や川床底泥、コンクリート堰堤等では障害生物が繁殖する可能性があり、生物障害の監視上注意が必要である。

G. 研究発表

1) 論文発表

該当なし

2) 学会発表

(1)岩谷梓，渡邊洋大，北村壽朗．相模川本川滞留域における障害生物の繁殖事例．平成 26 年度日本水道協会関東地方支部水質研究発表会．2014 年 11 月；東京．同講演集．pp．29-31．

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定も含む。）

1) 特許取得

該当なし

2) 実用新案登録

該当なし

3) その他

該当なし

I. 参考文献

- 1) 県営水道の水質（1969～2013）第1集～第35集，神奈川県企業庁.
- 2) 相模川・酒匂川水質概況（2013）相模川・酒匂川水質協議会，p.61.
- 3) 西澤一俊，千原光男（1979）藻類研究法．共立出版，pp.181-183, 229-230.
- 4) 日本水道協会（2011）上水試験法 2011年版．日本水道協会，東京.
- 5) 渡辺仁治（2005）淡水珪藻生態図鑑，内田老鶴圃，p.109.
- 6) 小林弘（2006）小林弘珪藻図鑑，内田老鶴圃，p.83.
- 7) 国立科学博物館（2015）ダム湖の植物プランクトン，（<http://www.kahaku.go.jp/research/db/botany/dam/>）.
- 8) 日本の水道生物（2008）日本水道協会.
- 9) 相模川流域誌編纂委員会（2010），相模川流域誌本編〔中〕，国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所.
- 10) 神奈川県環境科学センター，平成24年度神奈川県公共用水域及び地下水の水質測定結果，神奈川県環境科学センター.
- 11) 秋山優，有賀祐勝，坂本充，横浜康継（1986）藻類の生態，内田老鶴圃，pp.29-36，239.
- 12) 巖佐耕三（1976）珪藻の生物学，東京大学出版会，pp.43-55.
- 13) 日本気象協会（2014）過去天気情報，（<http://www.tenki.jp/past/2014/>）.
- 14) 神奈川の水がめ，相模川水系別降水量（2015）神奈川県企業庁，（http://kanagawa-dam.jp/web_data/rainfall_s.html）
- 15) 齊藤昭二，有賀祐勝（1994）津久井湖における植物プランクトンの季節的消長と環境要因との関係，水道協会誌，第63巻第4号，pp.62-79.
- 16) 青木稔，瀬戸義正，建部修，中村一誠（1990）ろ過障害生物 *S. acus* の増殖特性-AGP試験による増殖特性の検討 - . 日本水道協会誌，第59巻第3号，pp.20-29.
- 17) 小澤和也，木村文宣（2013）貯水池浅場上の底泥がカビ臭現象に与える影響に関する調査研究，平成24年度 水源地環境技術研究所 所報，pp.3-9.
- 18) 木村康文，小泉健一（2014）釜房ダムにおける異臭味対策について，ダム技術，323，pp.42-46.



図1 調査地点

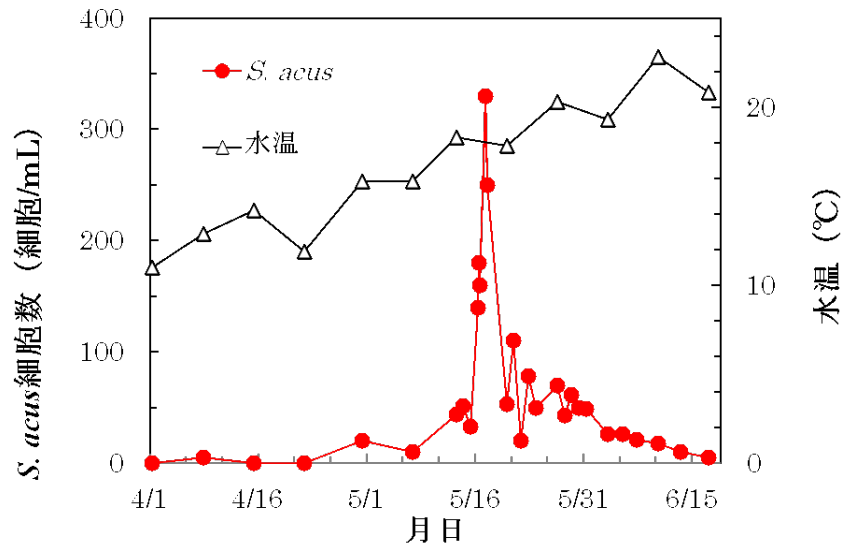


図2 寒川浄水場原水における*S. acus*細胞数と水温の推移

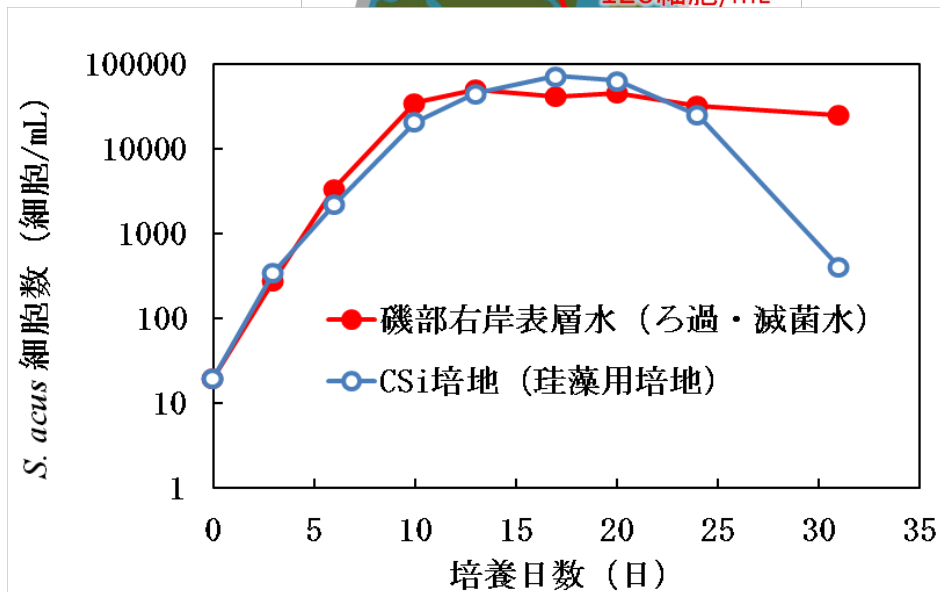
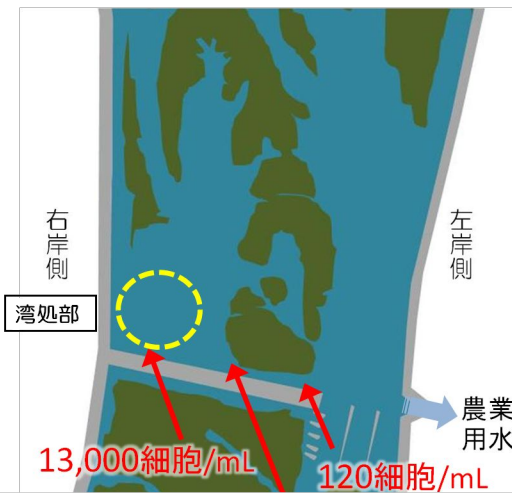


図4 *S. acus*繁殖時の磯部頭首工試料を用いたAGP試験



図 5-1 2014年2月26日の磯部頭首工
右岸写真



図 5-2 2014年2月26日の磯部頭首工
写真

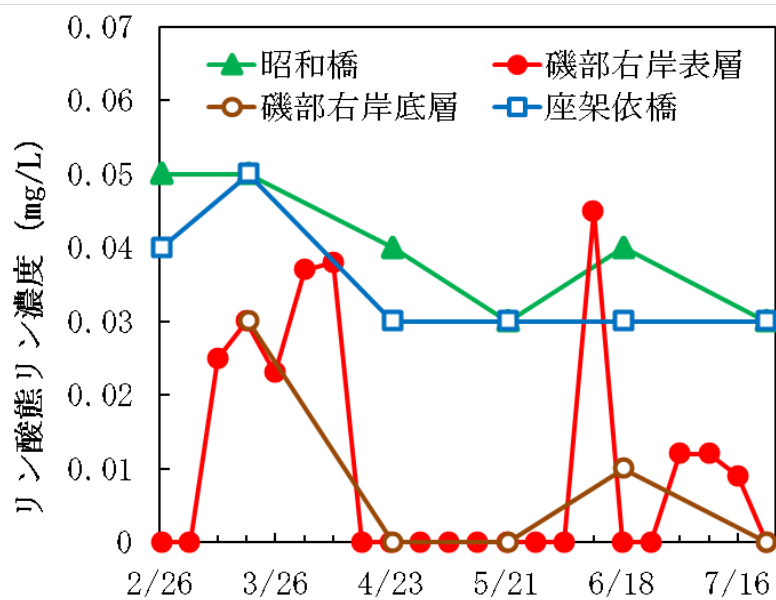


図 6-1 2014年3月26日の磯部頭首工
右岸写真



図 6-2 2014年3月26日の磯部頭首工
写真





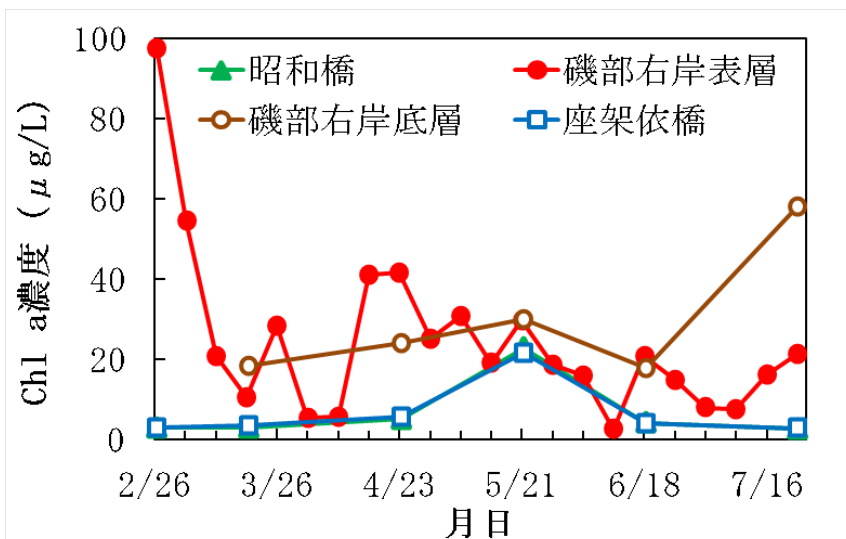


図12 各調査地点におけるChl a濃度の推移

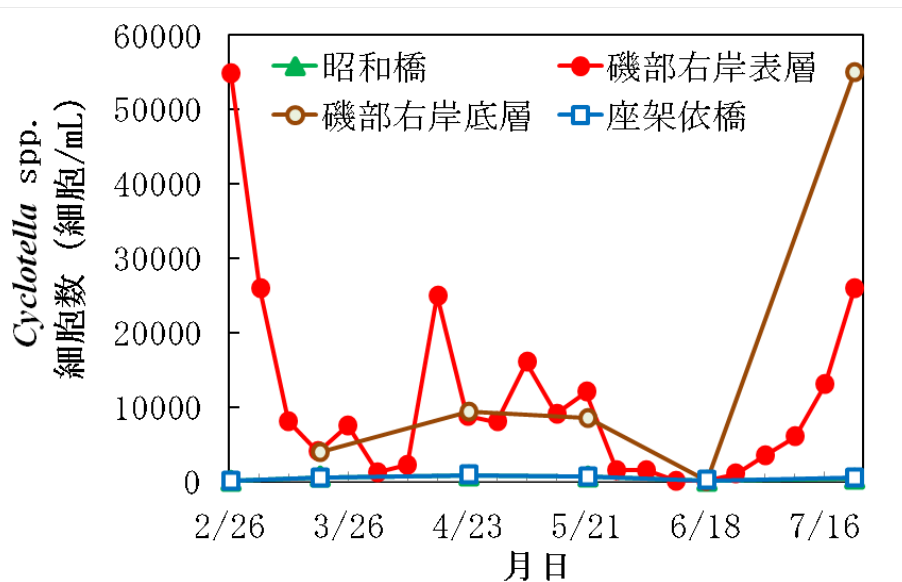


図13 各調査地点における*Cyclotella* spp. 細胞数の推移

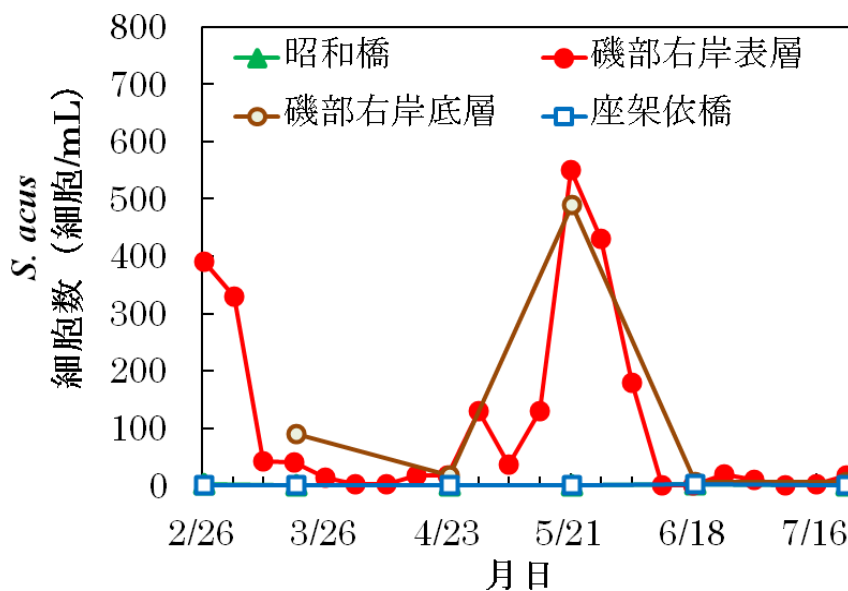


図14 各調査地点における*S. acus* 細胞数の推移

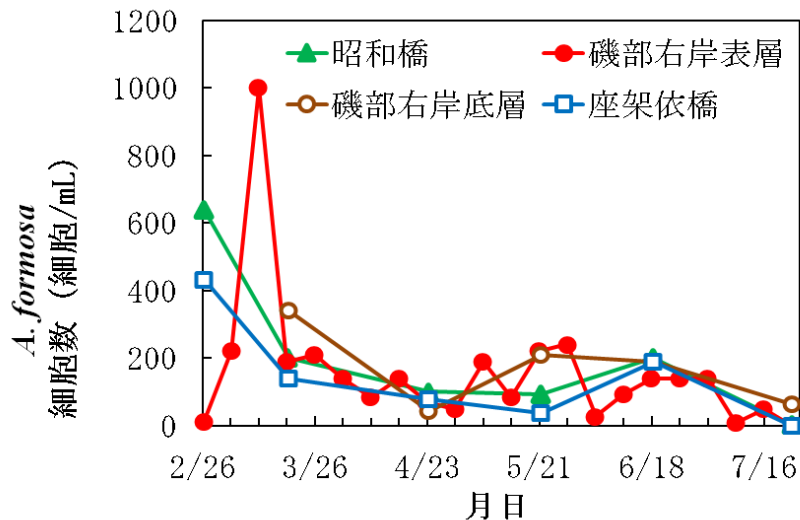


図15 各調査地点における*A. formosa*細胞数の推移

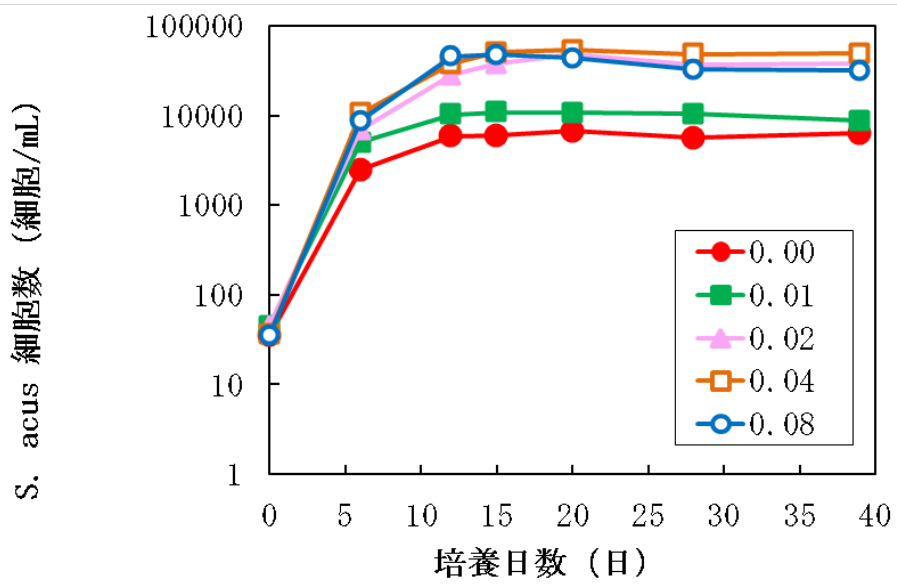


図16 リン酸態リン濃度 (mg/L) の違いによる *S. acus* 最大増殖細胞数の変化

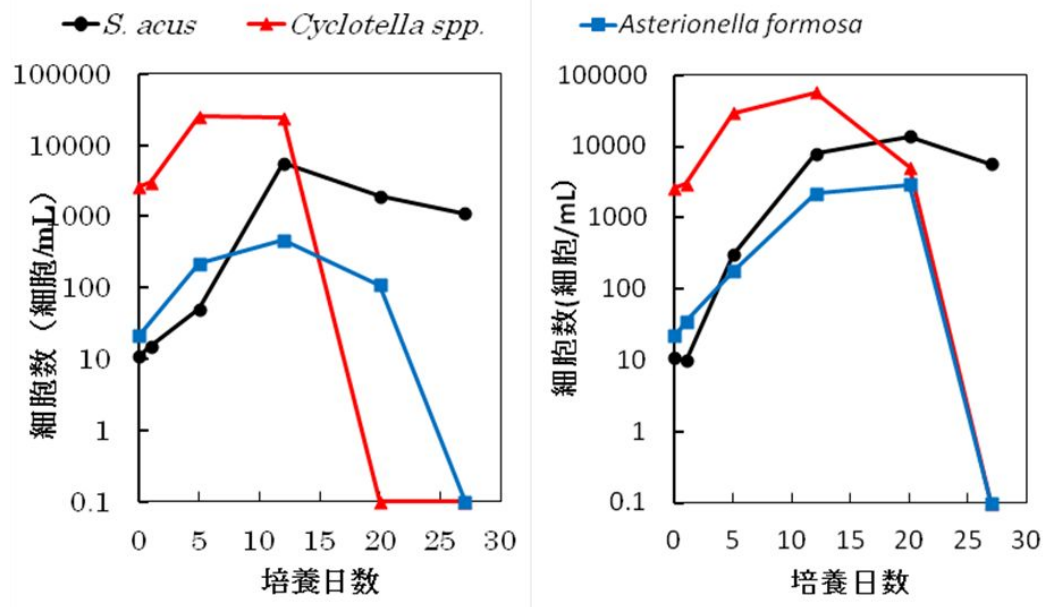


図17 磯部表層水の障害生物3種の静置培養 (左) と振とう培養 (右) による増殖特性の比較



図 18-1 画線培養により形成された藍藻類のコロニー①



図 18-2 画線培養により形成された藍藻類のコロニー②

