

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：32607

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07532

研究課題名(和文) 小川原湖における異臭味原因物質の発生要因の解明

研究課題名(英文) Elucidating the cause of strange odor production in Lake Ogawarako

研究代表者

眞家 永光 (Maie, Nagamitsu)

北里大学・獣医学部・講師

研究者番号：00453514

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：小川原湖水の物理環境と、冬の大風や台風などの極端な気象が物理環境に与える影響を明らかにした。湖水体積の13%を占める15～21mの層に全窒素の22-63%、全リンの38-79%が存在した。これらは経時的に大きく変動することより、浅層の窒素・リンの重要な供給源になっていると考えられた。また、小川原湖は、植物プランクトン組成の異なる3つの水域に類別された。ラン藻類が優占する秋季に鉄濃度が上昇したことから、糸状藍藻類の増殖に鉄が関与している可能性が示唆された。異臭味物質(2-MIB)産生菌として考えられている糸状藍藻類15株(うち2-MIB産生遺伝子を持つもの5株)を単離培養することに成功した。

研究成果の概要(英文)：We unveiled physical environments of water in Lake Ogawarako, and influence of extreme weather events such as strong wind and typhoons to it. A 22-63% of total nitrogen and 38-79% of total phosphorous were distributed in the water layer from 15 to 21 m, which occupied only 13% of whole lake water. Their percentages significantly changed temporally, as such the layer is considered to be the major source of nitrogen and phosphorous in the upper layer. Lake Ogawarako was divided into 3 sub-region with different phytoplankton composition. Since iron concentration in lake water increased in autumn, when cyanobacteria became dominant, iron could be playing a role in the propagation of filamentous cyanobacteria. We isolated 15 strains of filamentous cyanobacteria, 5 strains of which had 2-MIB synthesis gene.

研究分野：生物地球化学

キーワード：物質循環 全窒素 全リン 糸状藍藻類 2-MIB 小川原湖

1. 研究開始当初の背景

小川原湖は、青森県東部に位置する汽水湖であり、全国第2位の漁獲量を誇る青森県の内水面漁業を支えている。しかしながら、近年、小川原湖では、富栄養化に伴い、(1)水質の悪化(透明度の減少)、(2)異臭味成分である2-メチルイソボルネオール(2-MIB)の発生が問題になっている。したがって、小川原湖の生態系サービスを維持するためには、これらの問題を対処しなければならない。特に、2-MIBは、魚介類に臭し、その商品価値を著しく損なわせるため、発生予測や発生制御が喫緊の課題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、2-MIBの発生に關与する要因を明らかにするため、小川原湖の環境要因を多項目にわたり学際的に調査する。つまり、湖水の物理的、化学的構造および微生物群集構造を調査し、それらを有機的に解析することより2-MIBの発生要因を解明する。その中でも、小川原湖水質の近年の変化として、CODの上昇、リン濃度の上昇、貧酸素層の上昇が見いだされているため、本研究では、CODの原因物質である溶存有機物(DOM)、プランクトン増殖の制限因子であるリン、そして、底質の還元化に伴い溶出されるとともに、光合成の必須元素である鉄の動態に特別な注意を払う。

3. 研究の方法

(1)小川原湖に9地点の長期モニタリング地点を設定し(図1)、月に一度、各地点の表層と、湖心においては湖底まで2mおきにpH、溶存酸素濃度、塩分濃度、水温を測定した。また、水試料を研究室に持ち帰り、溶存態全炭素、全窒素、溶存態全窒素、全リン、溶存態全リンの各濃度をオートアナライザー(SWAAT, BLTEC)を用いた比色法にて

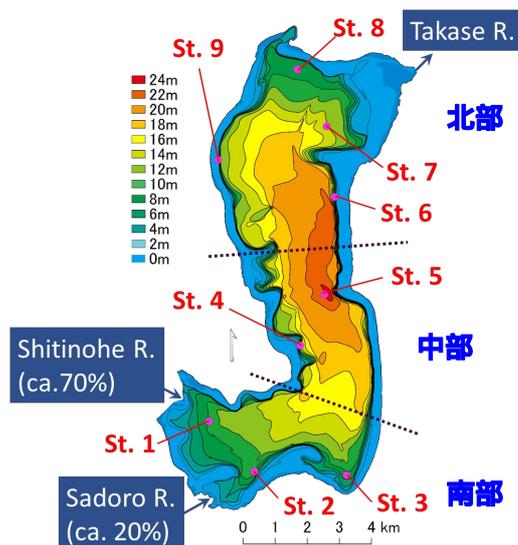


図1 小川原湖の湖盆形態と試料採取地点

測定するとともに、溶存有機物の三次元蛍光スペクトル(EEM)を蛍光分光光度計(Horiba, Fluoromax-4)と紫外可視吸収スペクトルを紫外可視分光光度計(Shimadzu UV-1800)を用いて測定した。得られたEEMは、PARAFACモデルを用いた統計解析により成分分離を行った。また、各地点におけるChl-a, Chl-c量を測定した。

(2)湖水400mLをSterivexフィルター(Millipore)に通してプランクトンを回収した。

4. 研究成果

(1)物理環境:2006年から2017年の塩分濃度の結果を図2に示す。表層から10mの塩分濃度は、概して調査期間を通し1~2psuで安定していた。16mの塩分濃度は経年的に大きく変動した。18mの塩分濃度は、2010年10月に大きく低下した。小川原湖の塩分躍層の水深は、14mから18mで推移していた。

春と秋の循環水深は13m~15mであったが、夏季は5m~7m付近であった。

16mの塩分濃度の変動の原因を調べるため、ウェダバーン数を算出し(2009年~2017年)、風による混合の影響について考察した(図3)。ウェダバーン数は、 $W < 1$ の場合は風の影響により混合し、 $W > 1$ の場合は混合しにくいとされる。16mの塩分濃度が低下した時には、春期の大風や夏期の台風の上陸などによりその直前に $W < 1$ となる時期が見られた。したがって、極端な気象が生じると、塩分躍層まで影響が及ぶことが示唆された。また、塩分躍層の深さの変化は数か月間持続されることが見いだされた。

(2)化学環境

全窒素

2010年10月~2017年8月の全窒素量は、最大1554t、最小642t、平均1092tであり、1月~4月に増加する傾向にあり、他の月と比較して平均9%多かった(図4)。年変動の傾向を見ると、2011年の800t~1100t

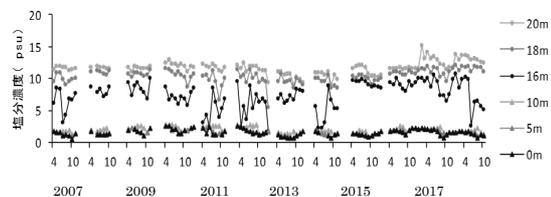


図2 塩分濃度の経時的推移

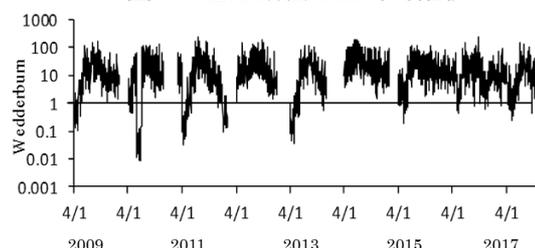


図3 ウェダバーン数の経時的推移

から 2014 年の 1100 t ~ 1500 t に上昇後、減

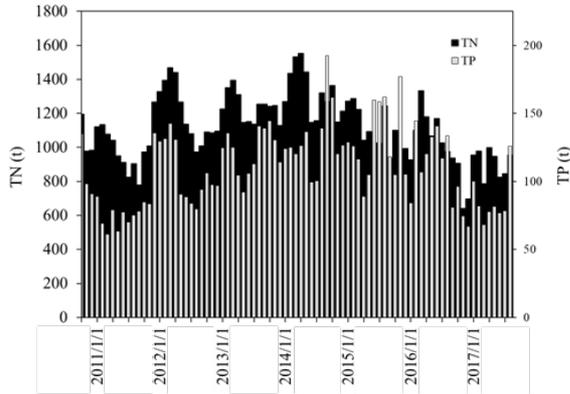


図 4 小川原湖における窒素現存量,リン現存量の推移 (2010 年 10 月 ~ 2017 年 8 月)

少に転じ、2018 年は 800 t ~ 1000 t であった。水深別の分布をみると、水深 15 m ~ 21 m の現存量が多く、当水深の現存量が全現存量に占める割合は平均 43% (最小 22%, 最大 63%) であった。また、特に 10 m 以浅で 1 月 ~ 4 月に明確な増加を示した。水深別の現存量の年変動については、2015 年以降水深 10 m 以浅で減少傾向にあった。また 2016 年 8 月に水深 15 m ~ 21 m で急激に減少した。

全リン

2010 年 10 月 ~ 2017 年 8 月の全リン量は最大 192 t, 最小 61 t, 平均 109 t であった (図 4)。明確な季節変動はみられなかった。年変動については、2011 年の 60 t ~ 130 t から 2014 年の 100 t ~ 190 t に上昇後、2016 年 8 月まで横ばい傾向にあり、2016 年 9 月に急激に減少し、2017 年は 70 t ~ 120 t であった。水深別分布は水深 15 m ~ 21 m に多く、当水深の現存量の全現存量に占める割合は平均 66% (最小 38%, 最大 79%) であった。季節変動については、1 月 ~ 4 月に 10 m 以浅で明確に増加する傾向にあった。水深別の現存量の年変動については、2016 年 2 月、8 月に水深 10 m 以浅で突発的に増加する一方、水深 15 m ~ 21 m では急激に減少した。

溶存有機物

溶存有機物濃度は、概して 4 月から 9 月にかけて増加したが、経年的なトレンドは見られなかった (中央値 1.8 mgC L^{-1})。EEM は、起源や続成過程の異なる 8 つの PARAFAC 成分に分離された (図 5)。陸域由来の成分強度は流入河川の多い南部 (図 1) で高いとともに、全体的に年々上昇していく傾向が見られた (図 6)。台風の後、浅層域における DOM はより陸域起源の性質を帯びており、その変化は数か月間維持された。

(3) 生物環境

クロロフィル a (Chl-a) とクロロフィル c2 (Chl-c2) 量には、季節的変動が見られたが、一定の経年的トレンドは認められなかった。Chl-a/Chl-c2 比には、地域的な差異が見られた。また、この値は秋に高くなり、ラン藻類が優占していることが示唆された。さら

に、ラン藻類の組成は、地理的変動よりも季節的変動が大きいことが明らかにされた。小川原湖水から糸状藍藻類が 15 株単離され、そのうち、5 株が 2-MIB 生成遺伝子を持っていた。

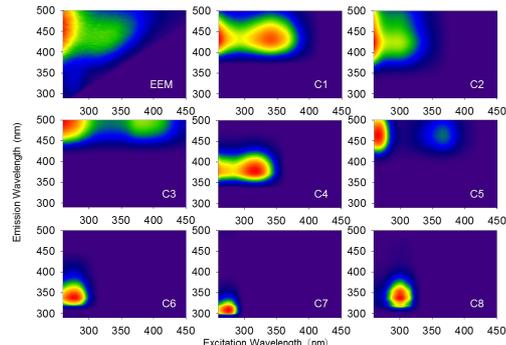


図 5. 小川原湖と流入河川の EEM より分離された 8 つの PARAFAC 成分 C1, C2, C3, 陸域由来腐植様ピーク; C4, C8, 微生物由来腐植様ピーク; C6, C7, タンパク質様ピーク

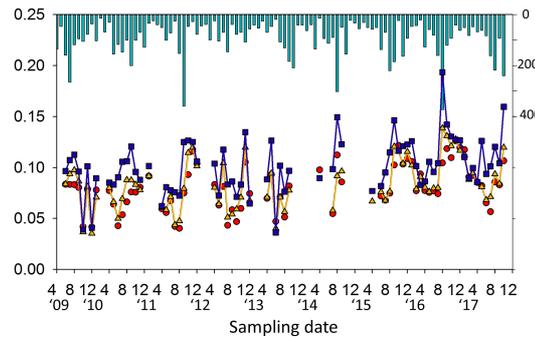


図 6. 表層の (C1+C3)/DOC 値 (左軸) と降雨量 (右軸) の経時的推移 (水域毎)

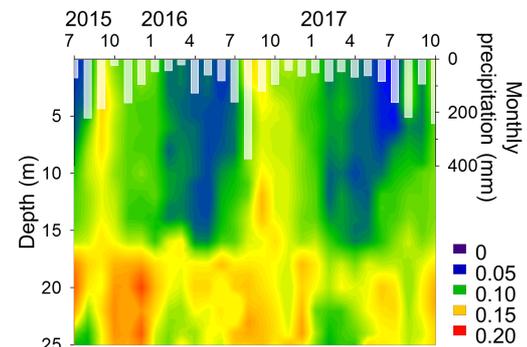


図 7. St.5 (湖心) における (C1+C3)/DOC 値の鉛直分布の経時変化

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 6件)

Shizuka, K., Maie, N., Nagayama, S., Yamabata, R., Nagasaki, M., Matsuya, N., Kakino, W., Tanji, H., Recent changes in the vertical distribution of Nitrogen and Phosphorous in a brackish lake Ogawarako of northeastern Japan. 17th World Lake Conference, Oct 15th-19th, 2018, Ibaraki, Japan.

Harada, K., Maie, N., Shizuka, K., Nagasaki, K., Kakino, W., Tanji, H., Recent changes in halocline and circulating depths in Lake Ogawara, 17th World Lake Conference, Oct 15th-19th, 2018, Ibaraki, Japan.

N. Maie, K. Shizuka, W. Kakino, E. Shima, H. Tanji, Spatial and temporal variations of the quality of dissolved organic matter in a dimictic lake in Japan. 2018 Ocean Sciences Meeting, Feb 11-16, 2018, Portland, OR, USA

眞家永光 三次元蛍光 PARAFAC (解析・成分分離編) 日本腐植物質学会講演会 2017年11月16~17日 (山口大学, 山口市)

眞家永光、宮崎 翼、静 一徳、長崎勝康、蛭名秀樹、柿野 亘、丹治 肇 小川原湖における FDOM の鉛直分布の経時的変化 2016年度日本腐植物質学会 2017年3月4日 (名城大学, 名古屋市)

眞家永光 水環境中の天然有機物組成の季節のおよび地理的変動 平成 27 年度農業農村工学会大会, 2015年9月1日~4日 (岡山大学, 岡山市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

眞家 永光 (MAIE, Nagamitsu)

北里大学・獣医学部・講師

研究者番号: 00483514

(2)研究分担者

丹治 肇 (TANJI, Hajime)

北里大学・獣医学部・教授

研究者番号: 50414446

柿野 亘 (KAKINO, Wataru)

北里大学獣・医学部・講師

研究者番号: 10623936

村瀬 潤 (MURASE, Jun)

名古屋大学・大学院生命農学研究科・准教授

研究者番号: 30285241

(4)研究協力者

静 一徳 (SHIZUKA, Kazunori)

(地独)青森県産業技術センター内水面研究所・研究員

蛭名 秀樹 (EBINA, Hideki)

小川原湖漁業協同組合