



日本陸水学会 第 83 回大会

岡山大会

講演要旨

2018 年 10 月 5 日 (金) ~8 日 (月)

岡山大学 創立五十周年記念館・環境理工学部

公開講演会 要旨

2018年10月5日（金）

東日本大震災と河口干潟の保全

* 占部城太郎（東北大院・環境生命科学）

「青葉城恋唄」で一躍有名となった仙台市の中心を流れる広瀬川は、名取川と合流し太平洋に注いでいる。この名取川河口には、右岸に広浦、左岸に井土浦という潟湖が広がっており、海水と陸水が混ざる汽水域と干潟生態系を形成している。このような潟湖は海の生物だけでなく陸水の生物にも格好の生息場所を提供しているだけでなく、漁港や漁場・茅場など人々の生活にも密着して利用されてきた。仙台湾沿岸には、阿武隈川河口（鳥の海）から旧北上川河口（石巻）まで、貞山（伊達政宗公）堀を含む全長 49 km の運河が江戸時代から明治時代にかけて整備され、広浦・井土浦を南北に横切っている。仙台湾沿岸の河川や河口域は物資の輸送面でも、今日的なハイウェイや集積地の役割を担っていたのだ。河口域はそれ以外にも水の浄化など様々な便益（生態系サービス）を人の生活に提供して来たが、近代化にともなってその便益は忘れられつつある。

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災は大津波を引き起こし、仙台湾を含む沿岸域に破壊的な被害をもたらした。この大津波は海岸線を大きく変化させ、河口域の砂州や干潟は大きく変化してしまった。そこに棲む生物も消滅してしまったと危惧するほどであった。ところが、震災後毎年調査をしていくと、本来あったであろう自然の姿が浮かび上がるようになった。残念ながら、破壊された堤防の復旧や巨大防潮堤の建設など減災整備事業が各進められるにつれ、仙台湾で復活しつつあった沿岸域生態系の姿が再び損なわれようとしている。将来の災害を最小限に食い止める防災設備は必要不可欠であるが、それとともに生態系がもつ便益（生態系サービス）を極力損なわず、活用するよう方向付けることも自然を対象にする研究者の役割であろう。

本講演では、名取川河口にある井土浦東谷地干潟の保全のため、私達が取り組んだ試みを紹介したい。河口域は行政区分が極めて複雑であり、その利害関係を理解しながら隘路を（役所街でのフィールドワークで）探していくことや、現場での生物調査（本来のフィールドワーク）に加え、先達の優れた研究成果を活かしながら、自治体議会や行政とともに知恵を絞ることの重要性、さらには将来に向けた法整備の必要性などを紹介したい。

塩湖の化学環境 — 現状と将来 —

*杉山雅人 (京都大・院人間・環境), 望月陽人 (京都大・院人間・環境)

1. はじめに

塩湖 (saline lake) は乾燥地域に分布し、湖水に含まれる総塩分が 0.5 g/L 以上の湖であって、地殻運動により形成された構造湖、岩塩地帯での溶食湖などその成因はさまざまである (陸水学事典)。代表的なものとして、カスピ海や死海が挙げられる。塩湖と同じく高塩濃度の水を湛える湖として、中海や宍道湖などの汽水湖 (brackish lake) があるが、これは通常、塩湖には含めない。汽水湖は、淡水と海水が入り混じった総塩分が 0.5~30 psu (実用塩分単位) の湖水からなる湖と定義される (陸水学事典)。

近年の地球温暖化に伴う乾燥気候の強まりによる湖面蒸発水量の増加と灌漑や生活用水・工業用水などのための過度な取水による流入水の減少などによって、今後、世界各地で塩湖の濃度上昇・水位低下や淡水湖から塩湖への変質が起こると懸念されている (讀賣新聞, 2014年6月2日)。ひいては、湖の消失も危惧される。かつては湖として世界第4位の広さを誇ったアラル海ではこのことが既に現実となった (朝日新聞, 2014年10月3日)。中国やモンゴルでも多くの湖が消失した (Liu et al., 2013)。

氷河の融解や集中豪雨による淡水の大量供給によって、湖上層に塩分の少ない表層水が形成されると塩分躍層が出現して湖水の鉛直混合が滞ることも、いくつかの塩湖で懸念されている。もちろん、淡水の大量供給は水位上昇も引き起こす。

表1 塩湖の水質

	ワン湖	死海	琵琶湖	海
pH	10.1	6.2	7.9	8.2
塩分 (g/L)	16	313	-	35
Na (mmol/L)	332	1466	0.29	480
K (mmol/L)	11.2	205	0.05	10
Mg (mmol/L)	3.96	1901	0.09	55
Ca (mmol/L)	0.04	449	0.30	11
Alk (meq/L)	146	0.47	0.71	2.2
Cl (mmol/L)	153	6281	0.21	560
SO ₄ (mmol/L)	23.5	3.5	0.09	29

Mochizuki et al. (2018), Moller et al. (2007), 杉山 (2005), 一色 (2005).

塩湖は湖水中の Ca²⁺濃度とアルカリ度の大小関係によって、① $2 [Ca^{2+}] < [HCO_3^-] + 2 [CO_3^{2-}]$ の湖と② $2 [Ca^{2+}] > [HCO_3^-] + 2 [CO_3^{2-}]$ の湖に大別される (望月ら, 2014; Mochizuki et al., 2018)。①の湖では、湖水の蒸発濃縮に伴う塩分上昇により CaCO₃ が沈殿して HCO₃⁻ と CO₃²⁻ が湖水中に残って濃縮され、アルカリ度と塩基性の増大が起こる。この典型がワン湖 (トルコ) である。②の湖では CaCO₃ 沈殿の生成に伴って Ca²⁺ が湖水中に残存・濃縮されて、アルカリ度は低く pH は中性付近となる。死海はこの形式の湖である (表1)。

本講演では、①と②の湖を比較しながら塩湖の一般的性質、化学環境の現状と将来、個々の塩湖が置かれる特徴的環境について紹介する。

2. 研究対象とする塩湖

これまでわれわれが調査を行ってきた塩湖は、主に①に属す湖、ワン湖、アルハン湖 (モンゴル)、ツァガン湖 (モンゴル)、イシククル湖 (キルギス) である。ワン湖、アルハン湖、ツァガン湖は pH がそれぞれ 10.1、9.3、9.3 を示し、①の湖の特徴を色濃く反映している。一方、イシククル湖の pH は 8.6 で、①と②の湖の中間に分類される。これらに加え、①の湖であるモノ湖 (アメリカ) や②に属す死海などの先行研究の結果をもとに、両者の陸水学的・環境学的特徴を述べる。

3. 特徴的的化学環境

塩湖の化学環境について特徴的な例を述べる。①の湖ではアルカリ度と pH の増加に伴って U や V の濃度が増加し、Sr は涸渇する。②の湖では Ca とともに他のアルカリ土類元素の濃度も増加する (Mochizuki et al., 2018)。

塩湖一般の特徴とは断言できないが、リン酸濃度は①のワン湖 (3.5-5.9 μmol/L) でも②の死海 (0.3-2.3 μmol/L) でも高い濃度にある。しかし、Chl-a 濃度や基礎生産量はとても低い。pH や塩濃度が高いことが植物プランクトンの増殖の抑制に影響していると考えられる (Reimer et al., 2009; Stiller et al., 1999; Tugrul et al., 1984)。

森里川海をつなぐ里海づくり

*田中 丈裕 (NPO 里海研)

1. はじめに

“里海”とは、1998年に九州大学の柳哲雄教授によって提唱され、「人手が加わることで生物多様性と生産性が高くなった沿岸海域」と定義されている。2006年には「里海論」が出版され、“里海”という言葉と概念は、2007年「21世紀環境立国戦略」および「第3次生物多様性国家戦略」、2008年「海洋基本計画」等に盛り込まれた。2018年5月15日に閣議決定された第3次海洋基本計画においても、「高い生産性と生物多様性が維持されている“里海”の経験を沿岸域の総合的管理等に積極的に活用」と明記されている。“瀬戸内海生まれ日本発”の“里海”は、2006年世界閉鎖性海域環境保全会議(EMECS7)で“Sato-Umi”として紹介されて以来、アメリカ合衆国やフランス、インドネシア、アフリカ諸国などに広がり、今や“Satoumi”は世界に定着しつつある。この考え方は、日本古来の漁業制度に端を発する漁業者主導による沿岸域管理手法に根ざしたものであり、社会生態系バランス(Socio-Ecological Balance)を持続的に保持するための優れたエコシステムアプローチの戦略といえる。

2. アマモとカキの里海～岡山県日生(ひなせ)～
“里海づくりのトップランナー”と言われている地域がある。岡山県の東南端に位置する備前市日生町である。ここでは、ほとんど消滅したアマモ場を、漁師達を中心となって、30年以上の歳月を費やし250ha以上にまで回復させた。1985年からアマモの種を播き始め、その後、実証試験を繰り返し、当地の主幹漁業であるカキ養殖業に伴い大量に発生するカキ殻が底質改良に効果的であることを突き止めた。1994～1996年度には、漁師達による播種活動を継続しつつ、大学や民間の研究者・技術者等と一体となり、アマモ生育条件を解明するとともに生育制限要因の改善に関する知見を集積した。さらに5年間を費やして現地調査と技術開発に取り組み、2001年に「アマモ場造成技術指針」を完成させた。2006年には「カキ殻の有効利用に係るガイドライン」を策定し底質改良を加速化させた。2009年には日生町漁協の組合員83人のメンバーからなる日生藻場造成推進協議会が結成され、2010年には、生活

協同組合おかやまコープ、NPOなどからも応援が得られるようになり、2011年春にアマモ場は200ha以上にまで回復、30年間に播いた種子は1億粒を超え、2015年春には250haに達した。

漁師達だけで続けてきたアマモ場再生活動に2012年から一般市民が参加するようになった。2013年からは地元の日生中学校の生徒達約200名が参画して新たな海洋学習の場となり、2015年以降は、小・中・高校生・大学生と活動の輪はさらに広がっていった。真庭市や鏡野町等の里山との交流も盛んに行われるようになり、浜と浜が繋がって、漁師達と市民・子ども達によるアマモ場再生活動は、瀬戸内市、岡山市、玉野市、浅口市、笠岡市と県下全域に拡大していった。2015年に全国農業協同組合連合会が中心となって新たなブランド米としてカキ殻を米づくりに使用した“里海米”を商品化、作柄・販売数量も順調な伸びを示し、これを契機に2018年から初めて農業関係者が“海の森づくり”に参加するようになった。岡山県沿岸部における干拓を巡る漁業と農業の400年以上に亘る壮絶な紛争の史実を振り返れば、実に歴史的な出来事である。

3. 里海・里山・「まち」を繋ぐ～里海からの発信～

“里海 Satoumi”では、沿岸域を、陸域を含めて包括的に捉え統合的に管理するICM(Integrated Coastal Management)を進めようとしている。2017年2月6日、日生町漁協が中心となって「備前市里海里山ブランド推進協議会 with ICM」が設立された。専門委員会と実働部隊である4つの専門部会(ブランド戦略部会、商品開発部会、観光戦略部会、まちを愛する物語部会)も立ち上がり、1年半を経て着実に成果を挙げつつある。漁協、農協、森林組合、地域おこし協力隊、商工会、観光協会、備前焼作家、料理人、文化施設関係者、研究者、教育関係者など、これまでそれぞれの分野で孤軍奮闘してきたあらゆるステークホルダーが共通の目標を持って繋がって結び付き、喜々として夢のある未来づくりに奔走している。“アマモとカキの里海”が目指すのは、水を介した森里川海の繋がりを基軸に置き、人と物の交流を通じて「里海」・「里山」・「まち」を包括する真の循環型地域社会の構築である。

瀬戸内海の浮遊・漂着・海底ゴミの挙動

*柳 哲雄（国際 EMECS センター）

1. はじめに

最近マイクロプラスチックの挙動・影響に関する報道が多い。マイクロプラスチックを含む海ゴミは浮遊・漂着・海底ゴミに分類され、それぞれの挙動特性を明らかにすることで、効果的なゴミ対策が可能となる。

それは琵琶湖のような陸水域でも同様で、陸水で効果的なゴミ対策を行おうとすれば、淡水域での浮遊・漂着・湖底（川底）ゴミの挙動特性を詳しく明らかにしておく必要がある。

本稿では瀬戸内海における過去の調査・研究結果をもとに、瀬戸内海における浮遊・漂着・海底ゴミの挙動特性を明らかにする。

2. 瀬戸内海の海洋ゴミ

瀬戸内海の海洋ゴミの総量は2009年現在9,100トンと言われている。その8%が浮遊、26%が漂着、58%が海底ゴミで、海底に最も多量のゴミが存在している。ゴミの流入する割合は、陸からが66%、海域へ直接が27%、外洋からが7%と、陸からが圧倒的に多い。ゴミの流出先は回収が31%、外洋が53%、海底が16%で、外洋へ流出するゴミが最も多い。

3. 浮遊ゴミ

海面を浮遊するゴミは河口フロント、潮汐フロント、熱塩フロントなど、瀬戸内海各所で季節的に卓越する潮目に集積される。ゴミ回収船はこのような潮目の卓越する場所と時間を熟知して、浮遊ゴミ回収を効率的に進めている。

4. 漂着ゴミ

海岸への漂着ゴミは、タバコの吸い殻・プラスチック・発砲スチロールなどが主だが、漂着量は風や雨の影響を大きく受けて、季節的・場所的な変動が大きい。例えば、大阪湾では大雨の後や冬—春季の季節風が卓越する時期に東海岸での漂着ゴミが多くなる。

さらに香川県では冬季に、西向き海岸で漂着ゴミが多く見られる。

また、韓国・台湾・中国産の使い捨てライター・ペットボトルなども瀬戸内海全域の海岸に漂着している。

さらに、瀬戸内海沿岸各県から流出した使い捨てライターの起源調査結果によると、兵庫県・愛媛県・広島県の各海岸に他県からのゴミが漂着しやすい傾向があることが明らかになった。

5. 海底ゴミ

海底に堆積するものはプラスチックが圧倒的に多い。場所的には周辺人口が多い大阪湾の海底ゴミの量が多く、さらに備讃瀬戸の海底ゴミ量が多い。これは、表層を備讃瀬戸から太平洋に、底層を太平洋から備讃瀬戸に向かう、密度流により、海底付近に漂う海底ゴミが瀬戸内海の東西から備讃瀬戸に向かって、集積されているからだと考えられる。

6. おわりに

瀬戸内海の漂着ゴミは大波などにより離岸して浮遊ゴミとなり、太平洋に流出し、黒潮—黒潮続流によって輸送され、やがて、ハワイ北東部沖に集積させられることがわかっている。

このことは、私たちが出した日本の海洋プラスチックゴミがアメリカの海洋生態系・人々の健康に悪影響を与える可能性のあることを示唆している。すなわち、海洋ゴミ問題は国際問題化する可能性が高い。

海洋ゴミ対策に最も重要なことは、発生抑制対策である。瀬戸内海のみならず、琵琶湖のような陸水域においても、最大の負荷源は河川で、それは我々の生活そのものが最大のゴミ負荷源であることを示している。

今後早急にゴミ発生抑制対策を行うことが強く求められている。

瀬戸内海の環境管理からみた陸水問題

*松田 治 (広島大・名誉教授)

1. はじめに

IGBP のコア・プロジェクトの一つであった LOICZ (Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone) では、沿岸水塊の特性として4つの界面、すなわち、陸岸、海底、沖合水塊と大気に接していることをあげている。瀬戸内海のような閉鎖性海域では、沖合水塊の代わりに対岸の沿岸水塊が位置するので、沿岸水塊に対する陸岸や陸水の影響はさらに強くなる。沿岸海域の管理手法として、国際的には ICM (Integrated Coastal Management : 沿岸域総合的管理) が主流である。すなわち、沿岸海域の管理は海域単独ではできないので、陸域を含めた分野横断的、省庁横断的な管理が必要をいう考え方で、その趣旨は海洋基本法 (2007 年) などにも謳われている。その意味では、当初、臨時措置法として 1973 年に制定された「瀬戸内法」(瀬戸内海環境保全特別措置法) は、海域の保全に関する法律であるが、その対象範囲を瀬戸内海に流入する河川の集水域としたことは、当時としては画期的であった。しかし、日本では、省庁別のいわゆる「縦割り行政」的な仕組みが強く、近年でも現場レベルでの ICM はなかなか進展していない。

2. 瀬戸内海の環境管理の変遷

瀬戸内海および周辺の自然的・社会的環境は第 2 次大戦後の日本の高度経済成長期を中心に大きく変わった。陸域の開発や産業活動が拡大して工場排水・生活排水による水質汚濁と富栄養化が著しく進行し、大規模な埋立て等により、藻場・干潟を含む浅海域が失われた。赤潮や貧酸素水塊が多発して、「瀕死の海」と形容されるに至った。その後、水質汚濁と富栄養化の影響は様々な立法措置や施策によって次第に改善され、当初、目標にされた水質的に「きれいな海」は、かなりの程度に実現された。近年では、栄養塩が不足する貧栄養化が新たな問題となっている。2015 年には「瀬戸内法」と同法に基づく国の基本計画が大幅に改訂され、目指すべき新たな目標は「豊かな海」となった。

3. 「豊かな海」に及ぼす陸水と陸上活動の影響

瀬戸内海が目指す「豊かな海」は、生態系サービスの豊かな海と言い換えることもできる。瀬戸内海の持つ食料供給、環境調整、文化的サービスなどの生態系サービスがどのような要因によって変動したのかが、日本の里山・里海評価 (Japan *Satoyama Satoumi* Assessment : JSSA) の過程で検討された。その結果、瀬戸内海の生態系サービスに大きな変化をもたらした生物多様性や生物生息環境の喪失などの直接要因は、その殆どが、陸上の人間活動に基づくものと考えられた。すなわち、土地利用の変化、河川工事、海岸の護岸工事などの影響が大きい。さらに、これらをもたらす間接要因としては、都市域への人口集中、工業化の進展や農業の「近代化」、防災事業の拡大などがあげられる。このような陸域の人間活動の影響を海域にもたらす媒体として、陸水は極めて重要な役割を果たしている。陸水問題が瀬戸内海の環境管理にとって重要な所以である。

4. 新たな動きと今後の展望

2018 年 4 月には国の第 5 次環境基本計画が、5 月には第 3 次海洋基本計画が閣議決定された。このいずれにおいても、SDGs (持続可能な開発目標) などの国際的枠組みの重視と活用があげられている。従って、瀬戸内海の環境管理も、大局的には、次第に SDGs に沿ったものとなる可能性が高い。また、新たな環境基本計画では「地域循環共生圏」の考え方が提唱され、森里川海のつながりが強調されている。これらの方向性も、今後の地方自治体の施策などに影響してゆくことになる。2018 年 7 月の西日本豪雨では、大量の陸水と共に、土砂や流木、瓦礫などが瀬戸内海に流入した。このような非定常的な陸水の影響についても研究手法の開発が必要である。今後は、瀬戸内海の環境管理にとって陸水の研究が極めて重要であることを再認識して、長期計画や基本的なアプローチを考える必要がある。

課題講演・一般講演 要旨

2018年10月7日(日)

*杉本 亮 (福井県大・海洋生資)

1. はじめに

若狭湾は大規模なリアス式海岸を有する内湾域である。湾奥部には大小様々な枝湾が存在し、その海岸線延長は 560km にも及ぶ。そのため陸との接点が多く、集水域からの水・物質供給の影響を強く受ける。若狭湾へ供給される淡水は、一級河川の由良川や北川等の河川水によってもたらされる以外に、地下水も重要な淡水供給源となっている。若狭湾沿岸には大規模な都市はなく、集水域内での物質負荷は太平洋側の地域に比べると小さい。しかしながら、日本海側に位置する特性上、東アジアから越境輸送される窒素酸化物が集水域内の物質循環にも深刻な問題を引き起こし始めている。本発表では、若狭湾の中央部に位置する小浜湾とその集水域において、筆者が実施してきた森から海までを包括的に扱った物質動態研究を紹介する。

2. 河川水を介した物質輸送

小浜湾へ流入する北川・南川では、TN 濃度（≒ NO_3^- ）がこの 30 年間で倍増している。流路延長が 35km 程度の両河川は、流域内での窒素負荷の影響が小さく、渓流水中の窒素濃度が海域へ流出する物質負荷に対して支配的であるため、森林の窒素飽和状況を理解することが重要となる。ただし、河川水中の DIP 濃度は水田の灌漑期に増加する傾向がある。

北川流域と南川流域への窒素沈着量は、流域間での違いはほとんどないものの、平地から山間部を含め、年間 1000 mg m^{-2} を大きく超えている。一方、両流域から小浜湾への窒素流出量は、南川よりも北川の方が NO_3^- 濃度が高いため、北川が南川の約 1.7 倍(DIN で約 1.5 倍)である。北川の NO_3^- 濃度が高いのは、流域内の面積の大きい 4 つの集水域(※本流への TN 負荷量の約 7 割を占める)が窒素飽和の傾向にあるためである。また、北川流域内の山麓湧水・被圧地下水の NO_3^- 同位体比から大気沈着窒素の混入割合を定量したところ、その割合は年々増加している状態にある。

3. 地下水を介した物質輸送

小浜湾の集水域には豊富な地下水資源があり、湾

内のいたるところに海底湧水として直接流入している。小浜湾への地下水流入量を、 ^{222}Rn と塩分の収支計算をもとに推定したところ、 $0.05 \sim 0.80 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ 程度であり、陸域からの全淡水流入量の年平均で約 2 割に相当していた。さらに、地下水による DIN, DIP, DSi の輸送量は、全陸水由来の栄養塩輸送量の平均で 42%, 65%, 33% であった。小浜湾の低次生態系が主にリンによって制限されていることを考慮すると、地下水がもたらす栄養塩は、小浜湾の物質循環・生物生産において重要な役割を果たしている可能性が高い。

4. 陸水流入に対する沿岸海洋生態系の応答

小浜湾の水柱の基礎生産環境は、河川からの栄養塩フラックスの季節変化に応じて大きく変化する。河川流量が多い冬季には、湾内表層で一次生産が活発となるが、流量が少なくなる 3 月から 10 月にかけては表層での一次生産は小さくなり、下層で高くなる傾向にある。北川の沖合域では、底層からの地下水湧出に対応する Chl.a 極大層の存在も確認されている。また、ごく沿岸の浅海域では、地下水湧出の影響が強い場所ほど、植物プランクトンの一次生産速度が有意に高く、魚類等の高次生物の個体数やバイオマスも高い傾向にある。

一方、慢性的な大気沈着窒素の影響により陸域から海域へ流入する窒素量が経年的に増大しており、その影響は生物生産・物質循環過程にまで及んでいる。小浜湾内で得られた柱状堆積物から推定される現在の平均堆積速度は、2000 年以前の約 3 倍であり、BSi に至っては約 4 倍増加している。窒素制限下にあったと考えられる小浜湾では、陸域からの過剰な窒素負荷により、2000 年頃を境に生態系の栄養塩バランスが大きく変化した可能性が高い。

5. おわりに

小浜湾流域の健全性を確保する上で、森林から過剰に供給される硝酸イオンの削減が重要な課題となるが、水田で活発な脱窒などの生態系機能を活かした負荷削減策などを考慮していくことも必要であろう。

3A02

森里海連環学の取り組み —由良川プロジェクト—

*吉岡崇仁・京都大学フィールド科学教育研究センター木文化由良川
プロジェクトメンバー（京都大学・フィールド研）

1. はじめに

京都大学フィールド科学教育研究センター（以下、フィールド研）は、2003年、京大の森と海の教育研究施設を連携した新たな学問分野「森里海連環学」の創出を目的に掲げ、学内共同利用施設として発足した。農学部、理学部の附属施設であった頃から実施していた講義、実習科目に加え、全学共通科目である講義や少人数セミナー、野外実習などの大学教育を推進してきた。また、フィールド研に所属する瀬戸臨海実験所、舞鶴水産実験所、芦生研究林・北海道研究林・上賀茂試験地では、文部科学省により教育関係共同利用拠点の認定をうけて、公開実習の実施や他大学の実習等の受入を積極的に行っている。一方、研究面では、森林科学、海洋生物学、水産学等の基盤分野の研究に加えて、目的に掲げた森里海連環学の研究にも取り組んできた。2009年度から5ヵ年計画で、文科省概算要求特別経費により、森里海連環学に関する研究プロジェクトを実施した。プロジェクトのタイトルは、「森里海連環学による地域循環木文化社会創出事業（略称：木文化プロジェクト）」である。調査対象は、京都府の由良川流域と高知県の仁淀川流域であるが、ここでは由良川流域で行った研究プロジェクトの概要を紹介する。

2. 木文化プロジェクトの目的

プロジェクトの目的は、全国的に人工林への手入れ不足が指摘されていたことに着目し、「人工林の大規模な間伐操作実験や里山再生実験を行い、森林生態系と隣接する河川生態系への影響を調査し、健全な森林と河川の再生に最適な植生管

理方法を検討する」ことであった。また、河口沿岸域の植物プランクトンや海藻類にとって必須元素である鉄を溶存状態で陸から海に運ぶ担体として森林土壌で生産される腐植物質が注目されている。対象とした流域で、溶存鉄と腐植物質の動態を調査することで、森と海のつながりを確認することも目的のひとつであった。

3. 結果

由良川流域の下流、河口沿岸域における生態系において、陸起源・河川起源有機物が食物連鎖の重要なエネルギー源になっていること、河川由来の栄養塩が河口沿岸域での生物生産に利用されていることなどが多くの研究成果として得られた。一方、森林管理・整備のための間伐施業や土地利用変化が流域環境にどのような影響を及ぼすかに関しては、定性的ながらも程度把握できた。たとえば、硝酸塩や溶存鉄などの濃度は、集水域の森林率とは負の相関、農耕地や市街地率と正の相関が見られることから、これらの物質の起源が森林以外にあることが推定された。この結果は、由良川流域においては、森林由来の溶存鉄が海域の生物生産を支えているというスキームは簡単には見いだせないことを示唆していた。詳細については、由良川上・中流域に関して本課題講演で福島慶太郎氏から、河口沿岸域に関しては、自由集会で渡辺謙太氏から紹介される。

このプロジェクトでは、森林資源に関する住民調査や市民参加ワークショップを行うなど人文社会学の観点からの研究でも興味深い成果が得られており、自由集会で紹介したい。

*福島慶太郎（京大・生態研），福崎康司，日高渉（京大院・農），
白澤紘明（信州大・農），向昌宏，徳地直子，吉岡崇仁（京大・フィールド研）

1. はじめに

一般に河川における窒素（N）やリン（P）の負荷は、森林に比べて農地や市街地で大きく、湖沼や沿岸河口域の一次生産性や物質循環に多大な影響を与える。また、海域ではN、Pに並び、鉄（Fe）も一次生産を規定する重要な要因である。酸化的な水圏においてFeは大部分が不溶性であり、溶存態のFeは腐植物質等で構成される溶存態有機物（DOC）と錯体を形成して河川から海域へと運搬されることが報告されている。腐植物質は森林土壌に多く堆積していることから、溶存態Feの形成に森林が重要な役割を果たす可能性も指摘されているが、その実態については十分な知見が存在しない。本講演では、京都府由良川を対象に、N、P、Feの養分物質及びFeを運搬すると考えられるDOCの濃度形成要因について、土地利用や地形から解析を行った。

また、近年、人工林施業やシカ食害など急速な森林攪乱の進行によって、森林からの硝酸態（NO₃⁻）-Nの流出が増加し、河口沿岸域の栄養塩濃度や組成への影響が懸念される。そこで由良川流域で想定される森林攪乱等が河川河口域の養分物質濃度に与える影響についても検討を行った。

2. 材料と方法

調査は、京都府を流れる一級河川・由良川（総延長146 km、流域面積1880 km²）を対象に行った。由良川本流19、支流35地点で採水し、水質と流域の地形・土地利用・人口密度・農地への面積当たり年間施肥量との関係を解析した。水質は、NO₃⁻-N、アンモニア態（NH₄⁺）-N、溶存態全窒素（TDN）、リン酸態（PO₄³⁻）-P、溶存態全リン（TDP）、溶存態Fe、DOCである。流域の土地利用については、環境省の提供する第2-5回植生調査データを、人口については総務省統計局の平成22年度国勢調査データを、施肥量については流域内の農業協同組合や市町村役場の聞き取り、及び農林水産省提供の都道府県施肥基準等を整理して可能な限り栽培品種ごとのN、

P施肥量を算出した。これらを採水地点より上流の集水域面積当たりに変換して、人口密度、単位面積当たりの施肥量とし、50 m DEMより算出した地形指数、集水域面積の計4つの説明変数から重回帰分析を行い、水質の規定要因について検討した。

由良川最上流部に位置する京都大学・芦生研究林において、防鹿柵で囲った天然林集水域を用いてシカによる下層植生の衰退と水質との関係を解析した。また、人工林集水域で間伐試験を行い、伐採と水質との関係を解析した。由良川流域内の人工林で伐採施業を、二次林・天然林でシカ食害を想定し、河口域の水質に与える影響を予測した。

3. 結果および考察

由良川本流・支流を含め、TDNとその8割以上を占めるNO₃⁻およびTDP濃度は、人口密度が高い集水域ほど高く、重回帰分析の結果、最も標準偏重回帰係数の高い変数として選択された。このことから、河川の流下過程において農耕地からの排水よりも、市街地からの生活排水等がNやPの負荷源として強く寄与しているものと考えられた。一方、森林率が98%以上の小集水域に限ると、N、P濃度は地形指数と相関があり、急峻な地形を有する集水域ほどN濃度が高くP濃度が低い傾向がみられた。

由良川上流部の森林では、スギ人工林の本数率約40%の間伐によってNO₃⁻濃度が約3倍に、シカによる下層植生の衰退によって濃度が約1.5倍上昇した。Pの流出はほとんど見られなかった。河口域の一次生産を規定する栄養塩のバランスを示すN/P比は、流域内のすべての人工林に間伐が施され、二次林・天然林でシカ食害が顕在化した場合を想定すると、現状の23から一時的に最大38に上昇する可能性が示された。現在N制限とされる由良川河口域の生産性が、森林攪乱によって増大し、N制限からP制限へと新たな養分制限フェーズに移行する可能性が示唆された。発表では、FeやDOCに関する結果についても紹介する。

宍道湖周辺小河川からの負荷流入

3A04

*宗村広昭（岡大・環生命）

1. はじめに

これまで汽水湖水環境の改善策・保全策は様々考えられ実行に移されてきたが、現時点でも改善の見られない箇所が多数存在する。汽水湖へ流入する主要河川については国や地方自治体を中心として継続的に調査が進められ、水量、水質等の情報が蓄積されている。一方汽水湖へ流入する小河川についてはあまり調査が行われておらず、情報蓄積量も少ない。汽水湖水環境の改善策をより実現性の高いものにするためには、流入する主要河川だけでなく、汽水湖周辺に存在する小河川流域での営農等人間活動や集落排水等が対象流域の水質や下流汽水湖の水環境に与えている現況を把握することが必要である。

2. 宍道湖周辺河川流域の概要

宍道湖は島根県東部に位置し日本を代表する汽水湖の一つである。その周辺には 20 を超える河川が存在し、下流湖沼に流入している。最も流域面積が大きく、宍道湖の水環境に影響を及ぼしているのは斐伊川である。宍道湖流域面積の約 76%を占めている。残りの 24%程度が小河川群の流域面積となる。宍道湖流域の土地利用割合を見ると、81%が森林、13%が水田、2%が畑地、宅地・その他で 4%を占めている。

3. 調査方法

本調査では、宍道湖へ流入する河川を 11 河川選定し、月 1 回程度の現地調査によって水質 (TN, TP, SS) 挙動の把握を行った。報告する調査期間は 2013 年 5 月～2015 年 11 月である。調査河川はアクセスの容易さを考慮して決定した。河川サンプルは 4℃以下で保存し、出来るだけ速やかに分析した。分析は工業排水試験法 JIS K0102 に基づいて行った。

4. 結果と考察

年平均水質を見ると、SS が 9.3mg/L、TN が 0.82mg/L、TP が全 0.082mg/L であった。特に TN と TP 濃度は、宍道湖の環境基準である 0.4mg/L および 0.03mg/L を超えていることが把握された。また月ごとの変動では、梅雨および台風の影響等によって降水量が増加する 5 月や 10 月ごろ増加する傾向が把

握された。TN、TP 濃度では多くの観測地点で統計的な差が確認された。一方、SS 濃度ではその傾向は強くなかった。また調査期間中の外れ値を除いた最小値と最大値を見ると、TN、TP では古曾志川が最もその差（変動幅）が大きかった。次いで TP においては秋鹿川も大きな変動幅を示した。SS では古曾志川よりも東長江川や草野川が大きな変動幅であった。水質の中央値を見ると、TN および TP で古曾志川、秋鹿川、そして草野川が高い傾向を示した。

斐伊川を境にして湖北と湖南とに分割し比較すると、湖北の平均水質は、湖南の平均水質の 2 倍程度であった。TN および TP において統計的な有意差が示された ($p < 0.001$)。土地利用と水質の相関関係を湖北と湖南で見ると、湖北では、TN、TP で農地割合と統計的に優位な弱い正の相関が認められ、森林割合と統計的に優位な弱い負の相関が認められた。また湖南では、TP と森林割合とで統計的に優位な弱い正の相関が認められた。また、流域内における集落排水の有無と水質の関係を見ると、湖北では TN において統計的に優位な差 ($p < 0.001$) が認められ、TP では、湖北、湖南両方とも統計的な有意差 ($p < 0.001$) が認められた。これらのことから、土地利用と水質の関係では、湖北の方が湖南より農地の影響が大きき可能性があると考えられた。また集落排水も小河川の水質に少なからず影響を及ぼしていると考えられた。

これまでの情報をもとに負荷量を計算した結果、TN では斐伊川、湖北、湖南、湖西の流量割合に沿った負荷量割合であったが、TP においては小河川群の影響が 10%程度大きくなり、相対的に斐伊川の影響が減少していると考えられた。

これまで継続的なデータが少なかった宍道湖周辺小河川を対象に TN、TP、SS の水質挙動の把握を行った。これにより周辺河川が宍道湖の水環境へ与える影響について一端を明らかにすることができた。今後、湖北・湖南における水質空間分布の差が何に起因するのかについてより詳細に分析し、地域別の改善策を構築する必要があると考えられる。

*安元純・野崎真司, Bam HN Razafindrabe (琉球大・農), 中屋眞司 (信州大・工), 土岐知弘・新城竜一 (琉球大・理), 安元剛 (北里大・海洋生命)

1. はじめに

国内唯一の亜熱帯島嶼地域である琉球弧では、人々は島嶼の限りある水・土地・生物等の資源を有効利用しながら自然と共生した生活を営んできた。しかし、近年の都市域の拡大や産業構造の変化を背景に、人口や観光客数の増加にともなう水資源利用量バランスの急変と、舗装面、建築物等の不透透域の拡大による雨水の地下浸透量の減少などにより、多くの島嶼地域では湧水や地下水などの水資源が枯渇傾向にある。くわえて、生活排水や畜産廃棄物の不適切な処理や化学肥料等の過剰使用に伴い病原性微生物や硝酸性窒素等による地下水汚染が顕在化している。特に、宮古島や沖縄島南部地域など水道水源を地下水に依存している島嶼地域において喫緊の課題であるといえる。地下水は農業用水としても利用されているため、一部地域では地下水の水質劣化が農作物の生育障害の原因となっている。さらに、熱帯・亜熱帯の島嶼地域において水資源の枯渇や水環境の悪化は、浅海域生態系の土台となっているサンゴ群集の衰退や生態系の劣化に繋がり、水産・観光業にも損害を与えている。

2. サンゴの生息環境に栄養塩が及ぼす影響

サンゴ礁が形成される熱帯、亜熱帯の海水は一般的に栄養塩濃度が低く貧栄養であり、富栄養化した海域や水質の悪化した陸水の供給はサンゴの生育にとって不適な環境となる。特に、リン酸塩はサンゴの骨格形成を阻害する要因になっている可能性も指摘されている。

そこで著者らは、コユビミドリイシサンゴ (*Acropora digitifera*) の稚ポリプを用いて、硝酸塩やリン酸塩等の栄養塩が初期の骨格形成に及ぼす影響について検証した。その結果、サンゴのポリプの初期の骨格形成には、硝酸塩 NaNO_3 は 10 mM でも有意な阻害効果がみられなかったのに対し、リン酸塩 Na_2HPO_4 は 1 μM と非常に低濃度でも阻害効果がみられた。さらに、オルトリン酸やポリリン酸などの無機態リンのみならず、有機態リンなどの形態のリン塩が低濃度でもサンゴの骨格形成を大きく

阻害することを見出した。このことから、サンゴ礁生態系が形成される熱帯・亜熱帯地域において、持続的な農業活動とサンゴ礁生態系の保全を両立するためには、リンの循環を流域スケールで把握し管理していくことが非常に重要である。

3. 亜熱帯島嶼地域の統合的水循環管理に向けて

琉球弧における水循環に係わる地域課題の要因として、①沖縄特有の水循環の特性や、陸水とサンゴ礁生態系との関係性（陸と海のつながり）に関する基礎研究が不足していること、②人間活動に伴う水資源や水環境への影響評価と環境負荷低減に向けた技術開発の応用研究が不十分であること、③水資源や水環境に対する住民の意識が希薄化していること、④海洋基本法(2007)や水循環基本法(2014)で義務づけられた陸域と海域とを一体として捉えた統合的水循環管理計画が欠如していることなどが挙げられる。

著者らは、平成 26 年度から琉球島嶼の統合的水循環管理の在り方について、分野横断的な学際研究を進めている。そのなかで、多くの琉球島嶼において、水資源の枯渇や水環境の悪化とそれに伴うサンゴ礁生態系の劣化が問題となっていることや、アジア太平洋をはじめとする熱帯・亜熱帯域の島嶼地域で共通の問題であることが確認された。また、分野横断的な学際的研究の成果を通して、琉球弧のように規模の小さな島嶼では各資源間の物理的な距離が短く、水循環を介して地形・地質、土壌、サンゴ礁生態系などの各環境要素が互いに密接な関わりを持っており、健全な水循環を維持することが、持続可能な自然共生社会システムの構築に繋がる可能性がみえてきた。また、宮古島・多良間島及び沖縄本島南部地域で実施した研究成果により、島嶼地域の基幹産業となることが多い農業や畜産業の影響が大きな割合を占めていることを明らかにした。今後は、熱帯・亜熱帯島嶼地域において、健全で持続可能な水循環管理を実現するために、人間社会システム、水循環システム、サンゴ礁生態系システムの相互関係の解明を目指したい。

1. はじめに

森から流れ出た川は、里を通じてやがて海に注ぎ込む。「森川里海のつながり」は陸域における生物生産や養分循環のアウトプットが河川水を媒介として、人間活動の影響を受けながら沿岸や外洋の生態系や物質動態に連結していることを指している。森林域においては樹木の光合成によって有機物が生産され、生態系内での養分循環の結果を受けて河川の水質が形成される。大気からの過剰な大気沈着や、森林伐採などの影響により森林域での養分循環や河川水質が変化することが知られている。中下流域においては農業活動や都市域の影響によって河川環境は変化し、肥料成分や生活排水の一部が河川に流入することで、その水質成分が変化を受ける。同時に、河川近傍に存在する河畔林による水質調節や、下水処理場による浄化技術により、人為起源の水質汚染が緩和されることも知られている。陸域生態系から沿岸域への栄養塩の供給は、沿岸での生物生産にとって重要な役割を果たしている。一方で、陸域環境の変化によって過剰な栄養塩や汚染物質が沿岸に供給されると、沿岸生態系の生息域の質を低下し、生物多様性の劣化を引き起こすことが懸念されている。

2. 国内外の研究動向

ロシアからオホーツク海に注ぎ込むアムール川では、陸域の広大な湿地林の地下から供給される鉄分が河川を通じて海に供給されることで (Onishi et al. 2010 ほか) 海洋生態系の生物生産を支えており、その一方で陸面における土地利用等の人間活動がその連結性に負の影響を与えることが懸念されている。日本列島は海に囲まれており、大陸の諸国と比較すると森から海への距離が近く、その連結性が高いと考えられている。古来より、里地における森林資源の持続的利用や、沿岸域における里海での人間の関わりなど、独自の森川里海のつながりが存在しているように捉えられている。環境省 PANCES プロジェクト (<http://pances.net/top>) では北海道東部の

別寒辺牛川流域を対象として、森川里海の連結性や相互作用について現地観測や生態系シミュレーションモデルを用いて明らかにしようとしている。

3. 全球陸域研究計画 (Global Land Programme: GLP)

GLP は地球の持続性に関する国際プログラムである Future Earth (<http://www.futureearth.org/>) のコアプロジェクト (Global Research Project) として、陸面における社会—自然結合システムの持続性を対象に、ローカルからグローバルスケールでの学際研究を推進している (Verburg et al. 2015)。日本には Japan Nodal Office が設置され、日本学術会議小委員会や関連分野の研究者と協力、連動して、さまざまな研究教育活動が行われている (Watanabe et al. 2014)。GLP の Open Science Meeting (OSM) は 2019 年 4 月に GLP 国際オフィスが設置されているスイスのベルンにて開催される (<https://glp.earth/osm-2019>)。

4. GLP アジア会議 2018

上記の OSM に先立って、2018 年 9 月には台湾・台北市において GLP アジア会議が開催される。これは GLP Taipei Office が主催し、Japan Nodal Office が共催している。"Transitioning to Sustainable Development of Land Systems through Teleconnections and Telecouplings" をメインテーマとした本会議には 22 のセッションが提案されている。そのうち、森川里海のつながりをテーマとした "Land-ocean connectivity and interactions on ecosystem structures, processes and services" では、陸から沿岸への水質変化や物質動態、河川環境の人為改変、生物指標を用いた連結性評価、生態系プロセスモデルを用いた将来シナリオに関連した様々な事例研究が報告される。

引用文献

- Verburg PH et al. 2015. *Anthropocene* 12: 29-41
Watanabe T et al. 2014. *Global Environmental Research* 18: 105-112
Onishi T et al. 2010. *Hydrological Research Letters* 4: 85-89

*楊 宗興・中野正隆・笹 孝明・武井六華・永田光陽・福元大地 (東京農工大学)

1. 背景 (問題提起)

森と海のつながりで最も関心がもたれるのは海への養分供給であろう。「森は海の恋人」運動を率い、京大フィールドセンターの社会連携教授でもある畠山重篤氏は、森からの溶存鉄の供給を考える。東京湾沿いには多くの貝塚が分布する。千葉県には全国の貝塚の 1/4 が集まる。とくに大きな中里貝塚 (東京都北区) では、厚さ 4.5m, 幅 100m, 長さ 1km にわたり牡蠣とハマグリ貝殻が堆積している。畠山氏は、「なぜ東京湾にこれだけの牡蠣が生息していたのか?」との問いに対して、「広葉樹の森に水源を発する数多くの河川が注ぐからだ」とその著作「日本 (汽水) 紀行」(2015) の中で答えている。

縄文時代から東京湾のような特定の河口域できわめて高い生物生産性が存在したのは、確かであろう。しかし、果たして、生物生産の源が本当に「森」にあるのかは、科学として明確な答が与えられていないというのが現実であろう。つまり、流域系の生物生産性には大きな謎がある。

本発表では、これまで不明であった流域の生物生産を産み出す仕組みについての新しい仮説を提唱する。

2. 理論

無酸素環境におけるリン酸産生という機構を考える。「栄養塩」であるリンは、よく知られるように各環境において欠乏しがちである。リンが少ないのは、化学的風化に由来するリン酸が粘土鉱物や鉄・アルミニウム酸化物への吸着や収着という機構により土壌で不可給化するからである。このため土壌溶液や河川水中でほとんどリン酸は含まれない。しかし、「無酸素環境」では鉄は二価鉄へと還元されて溶解することで、リン酸が遊離する。また、無酸素条件では化学的風化によってもリン酸が生成すると推定される。河口部・沿岸域堆積物、丘陵地の谷戸等のような高水位で無酸素条件が形成される環境ではリン酸が高濃度化することで旺盛な一次生産が起こり、それにより多くの生物の息が実現しているのかも知れない。

3. 結果と考察

(1) 谷戸生態系

山地渓流水のリン酸濃度は $0.3 \mu\text{mol P/L}$ 程度であるのに対し、横沢入や狭山丘陵等の谷戸地形を示す丘陵地の小流では多くが $1 \mu\text{mol P/L}$ 以上であった。また、横沢入の止水部水中には $0.3 \sim 4.4 \mu\text{mol P/L}$, 土壌間隙水には $1.0 \sim 47 \mu\text{mol P/L}$ のリン酸が含まれた。丘陵地は確かにリン酸が高濃度化した場となっている。

たまり水の泥土表面に設置したチャンバー中で、明条件では溶存酸素濃度が増加し、有意な一次生産が行われていることが確認された。8月～11月の各月の表面土からは $7 \sim 11 \text{ mg m}^{-2}$ のクロロフィルが検出された。谷戸という環境は潤沢なリン酸を使って底生藻類による活発な基礎生産が行われているようである。

(2) 干潟

千葉県小櫃川河口部に存在するクリーク (小水路) の表面水について測定したリン酸濃度は、下流方向に増加する傾向を示しながら $3 \mu\text{mol/L} \sim 15 \mu\text{mol/L}$ の範囲であった (2016年9月の結果)。間隙水のリン酸濃度も同様の空間パターンが見られ、間隙水と表面水のリン酸濃度の間には傾き約 12 の比例関係が見られた。最も粒径が細かく、硫化物の形成が顕著な地点で、リン酸が最高濃度であった。今回の調査で測定された間隙水リン酸濃度は $100 \mu\text{mol/L}$ を越えるものであったが、これは排水や有機物分解という機構では到底説明できない。

(3) 母材からのリン酸遊離の実験的証明

無酸素条件でのリン酸の産生という本研究の仮説を立証するため、土壌母材を培養する実験を行った。小櫃川上流域の露頭から採取したシルト岩を粉碎、ふるいわけしたものに純水を加え、 CO_2 ガスで曝気し、室温に保った。その結果、時間経過とともにケイ酸とともにリン酸の濃度が上昇することが確認された。無酸素条件下で化学的風化によりリン酸が放出されたことを示す。培養後のリン酸/ケイ酸の比率は 0.0031 であり、大陸地殻における値である 0.0036 にほぼ一致した。試料に還元剤 (亜硫酸ナトリウム、塩化ヒドロキシルアンモニウム、ヒドロサルファイト、シュウ酸アンモニウム水和物のいずれか) を加えると、ケイ酸濃度に変化はなかったが、リン酸濃度は還元剤なしの場合のほぼ倍になった。この差は、鉄等の酸化物に吸着していたリン酸の鉄還元に伴う遊離と解釈される。実際の干潟堆積物を培養した場合も、間隙水中のリン酸濃度は増加し、実際にも無酸素下での化学的風化によるリン酸放出という機構が機能していることが確認された。

4. 最後に

リン酸を捕捉する有酸素条件での機構が働かないなら、化学的風化に伴い、岩石中の含有率に則ったリン酸放出が生ずるという原理は確かに機能していよう。河口部・沿岸域や谷戸の無酸素条件はリン酸を産生し、それぞれの豊穡な生物生産を産み出していると推測される。

*大西 健夫 (岐大・応生), 吉野純 (岐大・工), 平松研 (岐大・応生), 宗村広昭 (岡大・環生命)

1. はじめに

気候変動や土地利用変化に対する陸域生態系の応答, それに伴う流域の水文・水質特性の変化は予測が困難である. 少しでも現実的な予測を可能とするためには, 陸域生態系における水・物質循環の素過程の定量化および精度向上とともに, モデリングによる素過程の統合的研究が必要不可欠である. 本研究では, 大小7河川からなる伊勢湾流域圏を対象として, SWAT (Soil Water Assessment Tools) を用いて土地利用および気候変動による水量・水質変化の評価を進めているので, その成果報告を通して, 森川海のつながりを考えるときの話題提供としたい.

2. 伊勢湾流域圏の概要

伊勢湾は渥美半島と志摩半島とにより囲まれた水面面積 1,738km², 平均水深 20m の内湾であり半閉鎖性の水域である. 他方, 対象とした河川は, 木曾川, 長良川, 揖斐川, 庄内川, 鈴鹿川, 雲出川, 榑田川, 宮川の7河川であり, 流域面積は総計約 12,000km² となるため, 海域と陸域の比率を考へても陸域の影響が大きい流域圏とみなせる. なお, 本研究では伊勢湾と連続する三河湾への流入河川は本研究対象では考慮外としている.

3. 水文・水質モデルの概要と解析法

SWAT は HRU (水文応答単位) を基本単位とする半分布型の水文・水質モデルである. モデル構築に必要な各種データ (標高データ, 土壌タイプデータ, 土地利用データ, 気象データ, 流量データ, 水質データ) を集計・整備した後, 標高データを用いて流域分割を行い, 対象流域を 228 のサブ流域, 780 の HRU に分割した. また, 流域の水文・水質特性に影響を与えると考えられる人工構造物であるダム・貯水池 (221 地点) による貯水効果, および主要な水田用排水系統 (愛知用水, 木津用水, 宮田用水, 羽島用水) による取水・排水をモデルに組み込んだ. あわせて農業用水・家庭用水の無機態窒素濃度および施肥量を考慮した.

各河川において潮汐の影響が少ないとみなせる河口近くの流量・水質観測点のデータを用いて, 流量および水質のキャリブレーション (2004~2006年) およびバリデーション (2007年~2009年) を行った. なお最適化手法は 2000 回の LHS (Latin Hypercube Sampling) 法を用いた. 次に, 温暖化条件下における気象データに対するモデル応答特性を検討した. 温暖化条件下の気象データは, HadCM3 による IPCC の A1B シナリオ下での将来気候計算値に疑似温暖化ダウンスケーリングを施して得られた 2090 年の想定気象条件であり, 空間解像度は 2km となっている. さらに農地の森林化, 都市域の拡大・縮小など極端ケースを想定した計算も実施した.

4. 結果と考察

キャリブレーションの結果, 流量に関しては NS 値で 0.6~0.8 と比較的よい再現結果を得た. また, 無機態窒素濃度に関しては不確実性の幅が大きく, 全体として計算値が過大評価になることから農業用排水路などにおける脱窒の正確な考慮の必要性が示唆された. 将来気候条件下では, 濃尾平野を中心として多くの地点において 6~7 月の降水量が 1.5~2 倍程度に顕著に増加することに対応して, 木曾川・長良川・揖斐川・庄内川において流況曲線の高水流量の顕著な増加が確認された. 反対に伊勢湾西岸の4河川では流況曲線における濁水流量の顕著な減少が見られた. 次に全無機態窒素負荷量を算出したところ, 温暖化条件下では若干の増加が見られたが, 顕著な差であるかどうかはさらなる検討が必要であることが示唆された. また, 土壌温度はほぼ全域で上昇することが確認されたが, 有機物や窒素成分の動態については空間的な相違が見られ, その原因を検討する必要性が示唆された. 最後に, 土地利用変化の影響については農地の森林化の影響が顕著に結果を左右する可能性が示唆された. さらなる精度向上とともに, 計算結果に含まれる不確実性評価を行う必要があると考える.

1. はじめに

只見川流域の尾瀬ヶ原(標高1400 m)の長期気象観測記録はない。尾瀬周辺の気象観測所データ解析から、過去110年の間に①平均気温の上昇、②平均相対湿度の減少、③降水日数の減少、④短時間強雨の発生頻度増加¹⁾など、全国で起きている気候変動傾向に合致する結果が示されている。

尾瀬山の鼻の夏季気象観測は1977年より行われている。この期間で気候トレンドの推論は難しいが、夏季(7~9月)の①平均気温の上昇、②短時間強雨発生頻度の増加傾向が認められている¹⁾。

只見川の一方向の水源地である尾瀬沼(標高1665 m)南湖岸の尾瀬沼観測所では長期にわたり気象・水文の通年観測が行われている。本報告では尾瀬沼観測所の観測データの解析結果から、尾瀬で起きている気候変動について考察する。

2. 方法

尾瀬沼観測所(標高1667 m)における気象項目(気温、降水量、1950~2015年)最深積雪(1950~2007年)、および水文項目(尾瀬沼水位、片品川への取水量、沼尻川への放流量、差分としての河川流入量、1964~2015年)の通年日データから、年間、夏季、冬季などの長期変動を解析した。片品川への取水口ではゲート内側に水位計が設置され、取水ゲートを調節して下から取水する。沼尻川への流出部では、放流ゲート底部からの維持水と高水位時にゲートを越流する水が流出する。

3. 結果

【気象項目】1950~2015の66年間では、年平均気温、夏季(7~9月、6~9月)平均気温とも有意な長期変動はみられなかった。年降水量、夏季年降水量、最深積雪にも有意な長期変動はなかったが、最深積雪の平均は3.5 mであった。一方、冬季(1~3月、1~4月)の降水量は有意に減少し、冬季の降雪量の減少を示していた。日降水量1 mm以上の降雨日数は、年間では変化が見られなかったが、夏季(7~9月)の降雨日数は有意に減少した。言い換えれば、夏季の無降雨日数が増加した。

夏季(6~9月)の日降水量100 mm以上の日数は19回で、3.5年に1回の頻度で発生した。

【水文項目】取水口ではにおける尾瀬沼の水位は約3 mの変動を示した。冬季の取水と放流で最低水位近くまで低下し、雪融け後から急速に水位が上昇し、夏の間は高水位を維持するというサイクルを繰り返した。

日降水量100 mm以上の降水イベントのうち、1978年6月と2011年7月には水位が急上昇し、沼尻川への放流量が増加した。

水位変動は月別に平均値または積算値を計算し、経年変動を調べた。1964~2015年間に、月平均水位の年最大値および年平均値は有意に減少した。一方で、月平均水位の年最小値は有意に増加した。融雪後の6月の平均水位は1964~2015年間に有意に減少した。この期間に片品川への取水量は減少し、逆に沼尻川への放流量は増加した。

4. 考察

夏季の無降雨日数の増加は山の鼻および周辺地域気象観測所のデータ解析結果と合致する。冬季の降水量の減少は最深積雪の変化とは合致しなかった。しかし、6月の尾瀬沼水位の減少傾向から、融雪による水の供給量が減少していることが示唆された。

積雪は冬季の湿原生態系の保護に大きな役割を果たす。1982~2007年における山の鼻積雪観測からは最深積雪は増加傾向にあり、平均で3 m、積雪期間は約240日、50 cm以上の積雪期間は約180日である³⁾。近年ニホンジカの侵入と湿原の攪乱が、尾瀬の保全の大きな課題となっている。積雪深と空間分布、融雪時期と場所の把握は、シカの侵入対策を策定する上でも欠かせない。

沼尻川への夏季の放流量の増加は、只見川との合流部の水位上昇と隣接部の湿原(中田代・下田代)の水位上昇をもたらすと考えられる。2011年7月の集中豪雨(日降水量200 mm以上の大雨)がもたらした尾瀬ヶ原の洪水と生態系影響は詳細に検討されている^{4,5)}。これよりも規模が小さい日降水量100 mm以上の降水イベントはほぼ3年半毎に起きている。これが河川水位上昇との複合影響で洪水をもたらす可能性については更なる検討が必要である。

謝辞 この調査研究は、第4次尾瀬総合学術調査の一環として行われた。東京電力ホールディングス(株)には尾瀬沼観測所における社内観測データを解析のために閲覧させていただいた。

文献

- 1) 岩熊敏夫(2016)日本陸水学会第81回大会
- 2) 気象庁(2018)気候変動監視レポート2017
- 3) 野原精一(2012)低温科学, 70, 9-20
- 4) 吉井弘始ら(2014)尾瀬の自然保護, 36,1-14
- 5) 野原精一(2018)日本陸水学会第83回大会

1. はじめに

これまで気候変動の湿原への影響について必ずしも十分に研究されていない。近年多発する大型台風、大洪水等は陸水域・沿岸域の研究者も重要な攪乱として考慮しないではいられない時代となってきた。そこで気候変動の湿原への影響を探るため「平成23年7月新潟・福島豪雨」を例に洪水情報と地形情報から尾瀬ヶ原における洪水の影響評価を行った。この研究は第四次尾瀬総合学術調査（2017～2019年）として実施した。

2. 調査地と方法

尾瀬ヶ原は、本州中央部の多雪地域に位置し、日本最大の泥炭の湿原である。燧ヶ岳や至仏山に囲まれ、山から流れ出した河川が湿原に入り蛇行し掘り水林とよばれる林を作る。約8,000年前から河川の堆積物の上にコケや植物が生育し、枯れた植物が長年堆積して泥炭地の湿原が形成されている。湿原の中には、約1,800個の池塘と呼ばれる池が散在し多様な水環境がみられる。

航空写真データ等から地形図データの収集を行った。既存のレーザープロファイラーデータ（5m間隔）に基づき、小流域図・湿原地形の詳細な地図を作製した。

池塘モデルの構築のため、気候水文と関連する池塘水位、泥炭地の地下水位の変動を明らかにした。特に2013年夏の大洪水における河川由来の粘土鉱物の堆積物について特徴を把握し、降雨流出モデルのためGIS基盤を整備した。河川流路、自然堤防、池塘地形、融雪期積雪深等のデータを収集するため、マルチコプターや固定翼UAVを活用して、0.1m間隔の詳細な3Dモデルを構築した。

洪水区、非洪水区の上田代の池塘40ヶ所を選び池塘生態系の物理環境測定、水温・水位観測を連続的に行った。さらに、湿原と河川について水位の連続測定を行い、微地形と河川水位・泥炭地地下水位、植生変化予測や池塘の変遷から陸水・植生モデルの構築を試みた。湿原1カ所、池塘5ヶ所について「モニタリングサイト1000 陸水域調査湿原調査マニュアル(2016.3)」に従い湿原の温度と地下水位計測を行った。池塘の水位は池塘

底に沈めた水位センサーにより計測し、河川7カ所で橋脚等に水位センサーを固定し水位の連続測定を実施した。

3. 結果及び考察

固定翼UAVを活用して2017年6月に上田代と中田代で高度約50mから約8,000枚の写真を撮影し、オルソ化し合成画像と3D画像を作成した。詳細な写真から川上川が分流して網状河川となるなど水の流れの詳細な把握が可能になった。上田代の池塘での池塘40ヶ所でマルチコプター型ドローンによる撮影を行い、水生植物の分布状況を把握した。

上田代・中田代では湿原表層の底質コアを採取して物理化学性、 ^{137}Cs の分析を行った。中田代のコアでは、表層から15cm程度の場所に無機成分の多い層が見られた。福島原発事故由来の ^{137}Cs は、中田代で平均 $5,919\text{Bq}/\text{m}^2$ 、上田代 $8,594\text{Bq}/\text{m}^2$ で上田代では流域からの再流入による増加した可能性がある。ともにピークは表層5cmまでに限られ、1960年代の大気フォールアウトのピークは20cmコアでは不明瞭であるので、尾瀬ヶ原では地下浸透が大きいものと推察された。

上田代の池塘25ヶ所で底質を採取した。その底質の層の厚さは池塘により異なっていた。(1)浮遊性の分解物、(2)黒色を帯びた泥状(シルト)の分解物、(3)泥炭を形成する植物遺体の未分解物、(4)砂まじりの分解物の順に堆積していた。

河川の水位は融雪時に上昇して、最大水位は川上川では2.3m、上ノ大堀川で2m、下ノ大堀川で2.3m、ヨッピー川で1.5m、東電尾瀬橋で1.3m、沼尻川で1.1mとなった。夏季には上ノ大堀川で水位が7mを越えるなど大雨による水位上昇が顕著であった。厳冬期にも下ノ大堀川や東電尾瀬橋で水位が上昇した。湿原のKA2-5池塘の周辺では融雪時に水位上昇は0.2mであったが、牛首周辺で0.7m、研究見本園では1.6mの地表水位上昇があり、冬季の積雪下にも多くの水で覆われた場所があった。春先の気温が高い時に融雪し研究見本園では5回の水位上昇がみられた。

尾瀬ヶ原上田代・中田代池澮の表層堆積物の性状と灰分量

3A12

*福原晴夫（河北潟湖沼研究所），永坂正夫（金沢星稜大・人間科学）

千賀有希子（東邦大・理），野原精一（国立環境研究所）

1. はじめに

最近の集中豪雨は尾瀬ヶ原にも及んでおり、洪水による池澮や湿原への広範囲な濁流の流入が観測されている（吉井他，2014）。尾瀬ヶ原の歴史の中で、洪水が池澮や湿原に大きな影響を与えていることは十分考えられる。尾瀬ヶ原における総合的な学術調査は、これまで3回（第1次：1950～1952，第2次：1977～1979，第3次：1994～1996(+1)）行われてきた。湿原に洪水がどのような影響を与えてきたかの調査は第3次の阪口・相馬（1998）による氾濫水運搬微粒子による洪水の影響範囲の推定がある。第4次調査（2017～2019）で我々は、洪水が与える影響を池澮に焦点をあて、堆積物、水生生物の面から調査を進めている。本報告では、池澮表層堆積物の性状と灰分量に着目し、洪水との関係を考察する。

2. 調査地と方法

阪口・相馬（1998）による推定氾濫範囲，2011年7月の新潟・福島豪雨の浸水範囲（野原・安類，未発表），同時期の吉永他（2014）を参考に，上田代において39池澮を選んだ。また確実に洪水が及ばないと推定される中田代NA5で5池澮を選んだ。押し込み式コア採泥器（採泥部分：直径4cm，長さ：50cm）を用いて，岸から約1mの範囲内で採取を行い，性状を観察した後，表層10cmを持ち帰った。室内で先端切断注射器（10ml）を用いて体積10mlを採取し，全灼熱減量（600℃，1時間）を測定した。同試料10mlを63μmメッシュでふるい，残差を灼熱（600℃，1時間）して63μm以上の灼熱減量を求めた。63μm以下の灼熱減量は全灼熱減量と63μm以上の灼熱減量から計算で求めた。乾重量と灼熱減量の差を灰分量とした。試料の採取は2017年8月・10月，18年5月に行った。池澮及び水の環境要因（深度，pH，WT，EC，Chl. a濃度等）についても測定した。

3. 結果

39池澮の底泥を除いた環境の主な結果は以下のようであった（測定：27-28/8/17）。pH: 6.2±0.3 (SD), 5.1 (最小) -7.0 (最大), EC: 1.1±0.7, 0.4-4.5

(mS/m), DO: 89.5±8.9, 58.9-110.4 (%), 水深: 97±37, 37-213 (cm), Chl. a: 2.85±1.91, 0.77-7.95 (μg/L), DOC: 6.56±2.73, 2.54-16.59 (mgC/L), 被度(目視): 53±37, 0-95 (%). 池澮水は酸性でECが極めて低く，貧酸素でChl. a濃度は低く，DOC濃度が高く，植生（優占種はヒツジクサ）が豊富な池澮が多かった。目視により堆積物を「浮遊性の分解物」，「黒色を帯びた泥状（シルト状）の分解物」，「泥炭を形成する植物遺体の未分解物」，「砂まじりの分解物」の4種類に分けた。コアの性状は最上部に数cm未満の「浮遊性の分解物」を有し，その下部の組成は池澮により異なり，これらの組み合わせにより大まかに4タイプに分けることができた。表層底泥の灰分量は体積当たり（mg/cm³）で表すほうが重量当たり（g/g）よりも変異幅が広く，以下この体積当たりで表した。39池澮の全灰分量は56.1±33.7, 11.5-154.4 (mg/cm³), 63μ以上では10.5±12.4, 1.0-64.7, 63μ以下では44.3±28.6, 5.9-117.4であった。池澮によりそれぞれの灰分量には最大で約13倍，65倍，20倍の違いが認められ，池澮による差が大きかった。目視により軽石を含まない中田代3池澮の全灰分量は15.7±2.7, 63μ以上では5.6±2.0, 63μ以下では10.4±3.9であり，明らかに上田代池澮に比較して少なかった。

4. 考察

池澮堆積物コアの性状は，目視観察ではあるが，池澮により異なっていた。即ち，池澮の岸辺近くでは，堆積環境が池澮により異なっていることを示す。この原因として，池澮の生成過程，特に拡大過程が関係しているかも知れない。

また，堆積物中の全灰分量（灼熱減量を除いた分）は，上田代池澮では大きく異なり，洪水の影響を受けていないと推定される中田代池澮よりも多かった。砂に相当する63μ以上の灰分量にも池澮により差が大きく，灰分量は洪水の影響の度合いを示す指標となるかもしれない。

（本調査研究は，第4次尾瀬総合学術調査の一環として行われた。

尾瀬ヶ原池澁の水生植物の分布

3A13

*永坂正夫（金沢星稜大・人間科学），福原晴夫（河北潟湖沼研究所），藤原英史（ドキュメンタリーチャンネル），千賀有希子（東邦大・理），野原精一（国環研）

1. はじめに

尾瀬ヶ原の上田代地区においては、ほとんどの地点の表層泥炭に氾濫水運搬粒子が含まれていることが報告されており（坂口・相馬 1999），これは近年たびたび湿原が洪水に見舞われてきたことを示している。一方、池澁においてはヒツジグサ（*Nymphaea tetragona*）の拡大とオゼコウホネ（*Nuphar pumilum* var. *ozeense*）の減少が続いており（金井 1998），その原因について研究が進められている（大森 2014, 2015, 2016）。池澁に生育する水生植物に洪水はどのような影響を与えているのかを明らかにするため、池澁の水生植物の分布と生育状況の調査を開始した。

2. 材料と方法

2017年8月28日、29日に上田代地区の39池澁において次の調査を実施した。① 浮葉植物の分布及び被度；浮葉植物の分布と群落面積を目視で、またドローン撮影画像（Phantom 3 professional, 12M pixels）をPhotoshopにより二値化し画素数を計数することでも群落面積を確認した。② 沈水植物の分布；岸からの目視により確認した。③ 環境測定；水深は池澁内の3ヶ所以上で岸からメジャーを用いて測定した。水中照度は光量子計（Li190r Li-cor），NTU濁度は濁度計（TB-31 TOA-DKK）でそれぞれ測定した。

また、岸から1m以内で直径4cmのコアサンプラーを用いて39池澁の底泥を採取し、その上部10cmをよく攪拌したものを600℃で1時間強熱することで灰分率を求めた。底泥の採取日は2017年8月29日、10月21日、2018年5月21日、22日である。

3. 結果と考察

39池澁におけるNTU濁度の平均値は1.1（最小0.2，最大6.3），水中照度から求めた消散係数の平均値は 1.92 m^{-1} （最小 0.32 m^{-1} ，最大 4.81 m^{-1} ）であり、池澁ごとの差は大きかった。底泥の体積あたりの平均灰分率は 0.05 g/cm^3 （最小 0.01 g/cm^3 ，最大 0.15 g/cm^3 ）であるが、池澁毎に大きな差があった。

浮葉植物ではヒツジグサが39池澁のうち36池澁

に分布し、ミツガシワ（*Menyanthes trifoliata*）は12池澁に、オゼコウホネは8池澁に、フトヒルムシロ（*Potamogeton fryeri*）は1池澁に分布していた。ヒツジグサは分布の見られた36池澁のうち34池澁において優占種となっており、残る2池澁ではミツガシワが優占種となっていた。

上田代地区の最も西側にあたるKA1地区にあって、1996年の金井（1998）の調査結果と比較可能な27池澁では、ヒツジグサは14池澁から18池澁に拡大し、オゼコウホネは10池澁から7池澁へと減少しており、近年のオゼコウホネの減少とヒツジグサの拡大が確認された。

ドローン画像から読み取った池澁面積に占める浮葉植物群落の面積は39池澁の平均で41%（最小0%，最大92%）であり、群落面積の割合が低い池澁（10%以下）と、高い池澁（70%以上）に分かれる傾向があった。群落の面積割合が高い池澁は水深130cm以下の浅い池澁が多かった。また面積割合が高い池澁では消散係数や濁度が高く着色し濁っている傾向があった。

沈水状態で生育していた植物はホソバタマミクリ（*Sparganium glomeratum* var. *angustifolium*），ヌマハリイ（*Eleocharis mamillata* var. *cyclocarpa*），シズイ（*Scirpus nipponicus*），ヒメミズニラ（*Isoetes japonica*）などであるが、岸からの観察では個々の種を正確に同定することはできなかった。これらいずれかの沈水植物が分布する池澁は39池澁のうち11池澁であり、いずれも消散係数が小さく透明で、浮葉植物の群落面積の割合が低い池澁であった。

現在までのところ、浮葉植物種の分布、群落の面積割合、沈水植物の分布と底泥の灰分率の間に明瞭な関係は認められていない。しかしヒツジグサが分布しても群落が拡大しない池澁や、透明な湖水で沈水植物が生育する池澁と、ヒツジグサが広く水面を覆う池澁との間にどのような差異があるのか、今後、さらに詳細な分析を行う予定である。

（本調査研究は、第4次尾瀬総合学術調査の一環として行われた。）

*田邊優貴子（極地研，総研大）

工藤栄（極地研，総研大）

1. はじめに

南極には様々な成因からなる多数の湖沼が存在する。これらのほとんどは最終氷期終了後の温暖化により、氷床が後退して露出した地面である山頂部や南極大陸縁辺部の窪地にできた海跡湖や淡水湖である。昭和基地周辺のような大陸沿岸の湖は一年のほとんど、湖面が氷で覆われているものの、湖水下には液体の水がある。ここに侵入・定着したベントス主体の生態系が、周辺陸域よりも豊饒に発達している。これらは氷期・間氷期サイクルといった地球環境の大規模な変動でほぼ同一時期に成立した湖沼群と考えられてきた。これまでの我々の研究により、同じ気候環境下で約1万年という時間をかけて現在に至るまで、湖底の生態系に多様化がみとめられることがわかってきた。陸水学の黎明期から「湖沼は小宇宙」として、そのシステムとしての独自性やその中にある現象の真理と普遍性、小規模ゆえの探究しやすさが認識され、さまざまな学問が発展してきた。その中で、南極の湖沼に関しては、より、独自性と同時成立性が強い魅力的な研究対象として成り立ちそうではあったものの、南極というフィールドでの調査上の困難さから、何らかの結論めいた事象を導くには、現状、十分な研究がなされてはいない。

本課題講演では、ここ数年で日本南極地域観測隊に参加し、湖沼とその集水域生態系を対象として取り組んだ研究者を中心に、南極、特に昭和基地周辺露岩域の湖沼における研究を紹介するというものである。

2. 話題提供

まず工藤らが、昭和基地周辺露岩域の湖沼の基礎的な観測を通じて得た湖沼の特性を紹介する。少人数小規模でできる携行型GPS魚探プロッターでの湖盆図マッピングによる貯水量(熱容量)推定、水温連続観測からの湖水の鉛直混合特性などに関し、紹介する。

木田らは、湖水と沢水などの溶存有機物特性に関し各種分析を通じた結果を論じる。

後藤らは、可搬型で少人数で運用できる小型無人水中探査機(ROV)を新たに開発した。これを用いた南極での調査を紹介する。

林らは、湖底堆積物を採集し現地実験によって、細菌・古細菌群によるアンモニア酸化能と生物窒素固定について定量した結果から窒素代謝について講演をする。

田邊らは、南極での越冬期間中に一年を通して実施した、典型的な淡水湖沼でのベントス生態系の季節変動特性について、および、湖沼成立年代の解明と誕生から現在までの湖沼環境変遷を探るべく挑んだ岩盤までの湖底堆積物コア採取について紹介する。

3. 南極湖沼研究の今後

我々は、継続的な長期観測を維持する一方で、今後も新たな研究進展、未知の現象解明を目指した魅力ある南極湖沼研究を進めていきたいと考えている。ご参加いただいた方々との議論・討論を通じ、今後の南極湖沼研究の方向性や新たな展開を見出し、また、未来の南極湖沼研究へ参入して活躍したいと思っている方々からのご意見をうかがう機会になればと期待している。

*工藤 栄・田邊優貴子（極地研，総研大）
柴田大輔（筑波大，下田臨海実験センター）

1. はじめに

南極大陸露岩域に表出する氷河湖、南極湖沼は、地球上でも極めて多様な水質環境を示すことが知られている。氷床の縮小に伴って生じた地盤隆起が成因でできた海跡湖もあり、融水の涵養と蒸発のバランスで淡水から超塩湖にわたる多様な塩分濃度を示す。大部分は生物活動の乏しいエリアの冰雪融解水で涵養されているので極貧栄養の湖水ではあるが、一部、海洋動物(鳥・アザラシなど)の営巣地に接する湖沼は極度に富栄養化している。これら多様な湖沼は同じ露岩域に同所的に混在し、同じ気候条件のもと、湖沼成立から独自の変遷過程を経て現在に至っていると考えられる。しかしながら湖沼は文明圏から隔離し、主要な観測基地から離れたところに点在すること、一年のほとんどが湖氷でおおわれてしまうことなどから、これまで調査が行われたものはごく一部で、多くは未着手のままである。したがって、湖盆図のような湖沼研究上の基礎とも言える情報も満足には得られてはいない。

本講演では我々がここ数年で日本南極地域観測隊に参加し、湖沼生態系を対象として観測して集めた湖沼学の基礎となりえる情報を抽出し、昭和基地周辺露岩域の湖沼の特徴の解説を試みた。

2. 材料と方法

携行型 GPS 魚探プロッターを用いた湖盆図マッピングを 6 湖沼で実施した。湖盆図・平均水深を描き出してそれぞれの湖水の貯水量(熱容量)推定を行い、係留観測機器での日射の湖内入射量の季節変動(エネルギー入射)の観測結果と水温連続観測から、湖水での水温環境の検討を行ってみた。これ以前に自身らが測深して描いた湖盆図と対比し、魚探プロッターの利便性と運用上の問題点について検討した。

また、淡水湖と塩湖の湖水鉛直混合特性を比較すべく、係留観測機器を設置し、連続観測記録した結果について、解説を試みる。

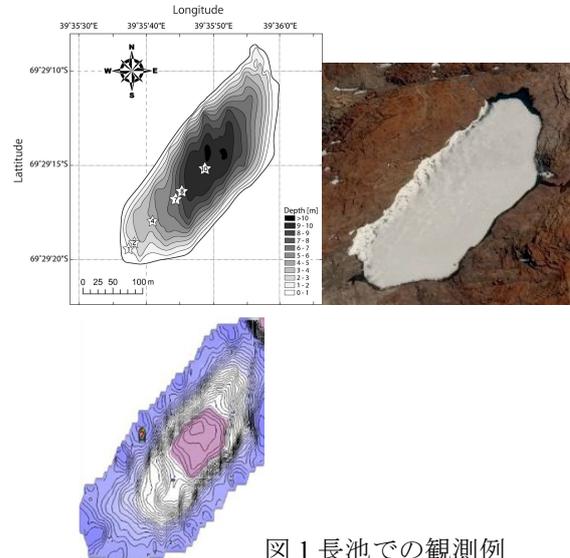


図1 長池での観測例

3. 結果と考察

用いた魚探プロッターは GPS 測位しながら 30 cm (1 フィート) 刻みの等深線をプロッター画像上に瞬時に描くことができる。以前に複数点での測位と測深情報を基に描いた湖盆図に比べ、格段に湖底起伏を描き出すことができた(図1)。航路に対して垂直方向に等深線がひとまずひかれるため、測深航路がまばらな場合には等深線がゆがむ事に注意する必要がある。

長池での係留観測結果から推定された湖水下への日射としてのエネルギー入射量と水温変動は、湖水発達下でも熱対流が生じ、氷消失以前に水温が 10°C に達することを示していた。より浅い他の 5 湖沼に関しては直接の係留観測結果はないが、湖の面積・貯水量から水温変動の違いの推察を試みる。

塩湖においては水深 10m よりも深い湖盆を持つ湖沼において、それより浅層は季節混合層となり冬期に混合する。深層部は周年停滞層となり、還元的環境となっている。境界層付近には強烈なクロロフィル蛍光が観測され、夏期に極大を示した。

浅い塩湖は湖氷に覆われた冬季に全循環する。湖水塩分濃度に応じ、湖水温は-7~-18°C 付近まで低下する。生命の気配に乏しい湖水・湖底となっている。

*木田森丸（神戸大・農）、小島汰一（神戸大・農）

田邊優貴子（極地研）、林健太郎（農研機構）、工藤栄（極地研）

眞家永光（北里大・獣医）、藤嶽暢英（神戸大・農）

1. はじめに

東南極・宗谷海岸露岩域には大きさ・水質・生成年代などの異なる湖沼が 100 以上点在している。宗谷海岸には高等植物は存在せず、腐植質に富んだ土壌も見られないことから、これら湖沼中の溶存有機物（DOM）はほぼ全てが湖内の一次生産者（藻類・コケ類・シアノバクテリア）に由来すると考えられる。こういった宗谷海岸の環境は、起源物質と生成過程に依存する DOM の構造特性と機能を評価するうえで格好の実験場である。また、湖沼に溜まる DOM の化学的多様性を調べることで、南極湖沼自体の多様性の評価にも繋がるのが期待される。

2. 材料と方法

宗谷海岸露岩域の大きささまざまな湖沼（湖心・湖岸）および沢（雪鳥沢とやつで沢）において水試料を採取した（ $n = 80$ ）。採水時には多項目水質計による水質測定を同時におこなった。湖心においてアクリル円筒を用いて湖底堆積物の採取をおこなった場合は、その中間隙水をサンプルとして採取した。採取した水試料はガラス繊維ろ紙（孔径 $0.3 \mu\text{m}$ ）でろ過し、直ちに紫外・可視吸光スペクトルおよび三元励起蛍光スペクトル（EEM）を測定した。

日本に持ち帰った試料は、DAX-8 樹脂を用いて DOM を疎水性有機物（HPOM）と親水性有機物（HPIM）に分画定量した。また、得られた EEM データは PARAFAC 解析をおこない、重なりあったピークを同じ挙動を示すそれぞれの成分（コンポーネント）に分離した。

3. 結果と考察

塩濃度は淡水から海水の 5 倍（179 ppt）まで幅広い値を示した。DOM 濃度は塩濃度に伴って上昇する傾向を示し、 $0.27 \sim 146 \text{ mgC L}^{-1}$ の範囲であった。HPOM 割合は氷河前縁湖で低く、間隙水で高かった。PARAFAC 解析の結果、5 つの蛍光コンポーネントが検出された。それぞれ、タンパク様成分（C1, C5）、微生物由来腐植様成分（C3）、ユビキタスな腐植様成分（C2, C4）に分類された。タンパク様成分の占める割合は平均で 50% であり、一次生産者による DOM への直接的な寄与の大きさが示されたが、一次生産物から二次的に生成したと考えられる腐植様成分の寄与も同程度に重要であった。DOM のソース（一次生産量）とシンク（光・微生物分解）の相対寄与とその過程を考察することで、DOM の量・質両面の多様性を詳細に評価できると考える。

水中探査機(ROV)を用いた南極湖沼での ベントス生態系のマッピングに資する技術

*後藤慎平 (海洋大), 工藤栄, 田邊優貴子 (極地研, 総研大)
香月興太 (島根大), 柴田大輔 (筑波大), Rachel Rudd (アデレード大)

1. はじめに

南極昭和基地周辺露岩域に点在する湖沼では、独自の生態系の存在が近年の研究で明らかになってきた。スカルプスネスの長池、仏池、くわい池の湖底では、光合成生物を主体とするコケボウズの群生が確認されている。一方で、生物の侵入から定着、成長に至る過程は解明されておらず、従来、これらの湖沼調査は、スクーバダイビングなどの方法により人が直接潜水して行われてきた。しかし、低温環境での潜水調査には時間的な制約が大きいため、広範囲の効率的な調査が難しい。そこで本研究では、湖面上と水中から、コケボウズの可視情報を「ハビタット・マッピング」として作成することを目指した。

2. 材料と方法

南極の極限環境下で安定した動作を実現するためには、堅牢性だけでなく電源の種類や空中重量などさまざまな制約を受ける。スカルプスネスは起伏の激しい岩肌が露出した露岩域であることから、スノーモービルや雪上車を使用する事も出来ない。そのため、調査地までは徒歩による移動が基本となり、運搬できる重量にも限界がある。このことから、今回、小型・軽量の水中探査機 (ROV) を新たに開発した。ROV は下部にステレオ視カメラを搭載してお

り、湖底の連続写真を撮影可能である。湖盆図の作成には、音響ソナーを取り付けたゴムボートを使用した。ソナーは GPS と同期しており、航走した経路の直下水深を計測し、即時的に等深線図が作成される。これらの手法により取得した各データを重畳することで、深度ごとのコケボウズの生息状況を立体的に可視化するハビタット・マップを作成する。

3. 結果

2016 年～2018 年に掛けての第 58 次、および第 59 次日本南極観測隊において、昭和基地から約 55 km 南に位置するスカルプスネスの長池、仏池、くわい池で、本 ROV を用いた調査を実施した。調査期間後半 (1 月下旬) まで湖氷が残ったため、湖沼全体の湖底画像の取得には至らなかった。しかしながら、コケボウズの生息密度の高い、北西側湖岸から湖深部にかけての連続ステレオ画像の取得に成功した。



Fig.2 撮影した画像から作成したモザイク・マップ

4. 考察

今回の調査では、これまで点でし得られていなかった湖底の画像を面的に取得することができた。これは、長時間、安定した水中航行が可能な ROV ならではの利点と言える。一方で、機体の整備性や操作性には南極ならではの課題も見えてきた。

今後は取得した湖底の連続画像を湖盆図に重畳可能なモザイク画像を作成する。さらに光スペクトルや水温、溶存酸素などのデータを重畳することで、コケボウズの分布との関係が明らかになることが期待される。ROV は今後の南極湖沼調査に向けて、今回得られた知見を元に改造を実施する予定である。

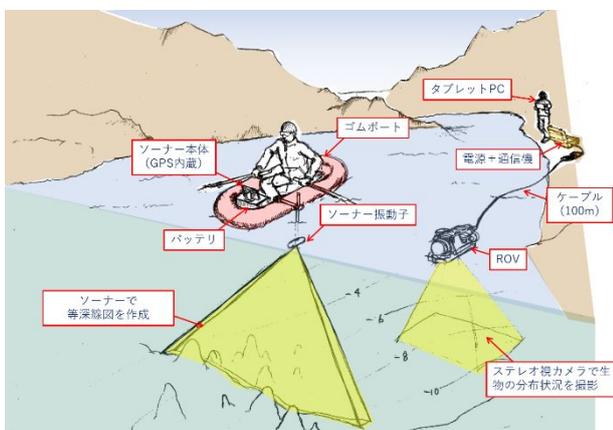


Fig.1 ハビタット・マッピングの概略図

*林健太郎（農研機構・農環セ），田邊優貴子（極地研，総研大）
藤嶽暢英（神戸大・農学），木田森丸（神戸大・農学）
早津雅仁（農研機構・農環セ），工藤栄（極地研，総研大）

1. はじめに

南極大陸ドローニングモードランド宗谷海岸の露岩域には様々な成因からなる多数の湖沼が存在する。海跡湖の一部を除き、この地の湖沼には捕食者となる動物プランクトンが存在しないことから、淡水をたたえる湖沼の結氷・融氷の影響を受けない水深の湖底にはコケ・藻類マットが広がっている。宗谷海岸の露岩域の一つスカルブスネスの幾つかの湖沼の湖底には「コケボウズ」と呼ばれるコケ・藻類・微生物が形成する三角錐の構造物がみられ、とてもユニークな生態系を作り上げている。湖底堆積物は主にこれらの枯死物由来の有機物で構成されており、氷河涵養湖などでは流入するシルト類も堆積物に混ざる。この地の淡水湖沼の特徴として、湖水はきわめて清浄で貧栄養性である一方、湖底堆積物は大量の有機物を蓄えていることが挙げられる。よって、この地の湖沼生態系の窒素循環の主役は、生きたコケや藻類が覆う湖底堆積物表層であると予想される。これまでも湖底堆積物中の硝酸イオン、亜硝酸イオン、アンモニウムイオンの濃度プロファイルなどの測定は行われてきたが、これらは状態量の情報であり、各種窒素化合物の生成・消費速度の情報は得られていなかった。そこで、第58次日本南極地域観測隊の夏隊ミッションとして、湖底堆積物表層の硝化能（アンモニア酸化能：AOP）および窒素固定能の定量に挑戦した。

2. 調査地と調査手法

調査対象は宗谷海岸露岩域の9湖沼（露岩域スカルブスネスの親子池，長池，仏池，如来池，くわい池；露岩域スカーレンのスカーレン大池；露岩域ラングホブデの雪鳥池；露岩域ルンドボークスヘッタの丸湾大池；および露岩域ブライボーグニーパの広江池）の湖底堆積物表層20 cm（0-5 cmは1 cm刻み，5-20 cmは5 cm刻み；計8層；コア3本）とした。

生試料を用い、現地における基質（2 mM アンモニウム）添加好気静置培養により得られた亜硝酸生成速度をAOPとした。培養期間は半日～数日、培養温度は10°C前後とした。なお、テストの結果、振とう培養は亜硝酸生成を完全に阻害するようなため取りやめた。また、生試料の一部を凍結状態で日本に持ち帰り硝化微生物（硝化細菌 AOB，硝化古細菌 AOA）の解析に供した。一方、生試料をバイアルに取って注水および密封してヘッドスペースの10%体積の $^{15}\text{N}_2$ を注入し、静置培養した後に開封して凍結乾燥させて窒素固定能の定量試料とした。培養期間は5日以上、培養温度は10°C前後とした。窒素固定能は、培養前後の試料 ^{15}N 濃度の変化、培養時の気相 $^{15}\text{N}_2$ 濃度、全窒素含量、および培養時間から物質収支式により計算される。

3. 結果と今後の期待

仏池，如来池，くわい池，丸湾大池では明瞭なAOPが検出されなかった。親子池，長池，スカーレン大池，雪鳥池では $10 \text{ ng N g}^{-1} \text{ 乾物 h}^{-1}$ 以上のAOPを示す層が点在し、特に雪鳥池では点数が多かった。集水域で営巣する海鳥の影響と推定される。有機物主体の湖底堆積物は95%前後ときわめて高い含水率を有し、乾物量換算時に含水率測定の誤差が大きくあらわれやすい。また、培養中に亜硝酸濃度がむしろ低下するケースもあった。南極湖底堆積物の精度の高いAOP測定には技術的に克服すべき課題が多い。*amoA* 遺伝子のPCRによると、AOPが検出された湖底堆積物にはAOB・AOAともに存在し、場所によりフロラが異なる可能性が示唆された。今後は硝化微生物のフロラ解析に取り組む。また、窒素固定能の定量には ^{15}N の高精度質量分析が必要なため、農研機構・農業環境変動研究センターの質量分析計のサンプラー部などの改良の完了を待って定量を行う予定である。

および湖底堆積物による湖沼誕生年代の解明に向けた研究

*田邊優貴子（極地研）、國分互彦（極地研）、林 健太郎（農研機構）
木田森丸（神戸大・農）、菅沼悠介（極地研）、香月興太（島根大・エスチュアリ）
川又基人（総研大・複合）、柴田大輔（筑波大・下田）、藤嶽暢英（神戸大・農）、工藤 栄（極地研）

1. はじめに

南極大陸は人為的な影響を地球上で最も受けていない場所の一つである。大陸性南極において最も豊かな生態系は湖沼中に存在し、湖底一面がコケ類・藻類・シアノバクテリア・バクテリア・菌類で構成された、分厚い生物マットで覆われている。昭和基地周辺だけでも大小 100 以上の湖沼が点在し、これらは最終氷期以降の氷床後退に伴って露出し、海岸～氷河末端にかけてある程度誕生年代順に並んでいると考えられる。つまり互いに近傍に位置する湖沼は同じ時代に誕生し、同じ気候条件下で今に至っている。にもかかわらず、湖ごとに異なった生態系が成立しており、このことから南極湖沼は地球規模の生態系の実験場と捉えることができる。南極において湖底マットの光合成の季節変化を知ることは生態系維持の基礎となる情報として重要であるが未だ不明である。また、湖沼の誕生年代についてはわずかな情報があるのみである。

2. 材料と方法

2007 年 12 月-2008 年 2 月にかけての夏、および 2017 年 2 月-2017 年 11 月にかけての晩夏から初夏に、1-3 週間毎に、昭和基地の約 2 km 南に位置する西オングル大池と約 55 km 南に位置する長池において、PAM クロロフィル蛍光測定装置を用いて湖底マットの光合成測定を実施した。また、2017 年 11 月-2018 年 1 月にかけて、宗谷海岸露岩域において 16 湖沼から、今回新規に開発した

可搬型パーカッションピストンコアラーを用いて、湖底基盤まで湖底堆積物コアの採取を試みた。

3. 結果と考察

湖底マットの最大光合成は、真夏の湖水消失に伴う水中への急激な光エネルギーの入射により低下したが、その値がゼロとなることはなかった。その後、強光環境が継続したにもかかわらず、秋に向けて徐々に推定最大光合成が回復していった。年間を通してみると、最大光合成は真冬にゼロ、最も光が得られる夏に低下、春と秋にピークに達した。

今後は光合成色素と遺伝子の解析を進め、光環境への生理応答および生物相の季節変化を明らかにする。

新型コアラーにより過去最長の約 5 m のコアを採取し、これまで不可能だった湖底基盤までのコア採取が可能となった。これにより、今後の年代分析・色素分析・遺伝子解析により、湖沼誕生初期の生物の侵入・変遷と湖沼環境・氷床融解史に関する情報が得られると期待できる。



図1 スカーレン大池での 4.8 m コア採集

*田中賢治（京大防災研），塩尻大也（京大院工），Khujanazarov Temur（京大防災研）

1. はじめに

中央アジアはユーラシア大陸の中央部に位置し、内陸性の強い乾燥した気候が広い範囲で見られ、外洋から遠く隔絶された地形により内陸湖が多く点在している。ここで内陸湖とは、外洋に流れ出す河川を持たず、降水や流入河川から加えられる水量と表面から蒸発して出て行く水量の釣合いによって面積が維持されている湖のことで、周辺の自然環境の変化や人為的な取水の影響により流入と流出のバランスが崩れると、面積・水量が変化する。

近年は、地球温暖化に対する危機感が現実のものとなってきており、今後 30 年で中央アジアの氷河は 25% まで減少するとの予測もなされている。本研究では、キルギス共和国東部に位置するイシクル湖集水域に着目し、気候変動が水収支各項に与える影響を解析する。

2. 解析に使用するモデル

文部科学省気候変動リスク情報創生プログラムで実施された気象研究所の超高解像度全球大気モデル MRI-AGCM3.2S からの出力値を境界条件として陸面過程モデル SiBUC による水・熱収支解析を実施し、現在気候(1979-2003)、将来気候(2074-2099)それぞれ 25 年間の気候値を計算する。ただし、ここで紹介する結果は、全球陸域を対象とした計算結果をイシクル湖集水域について切り出したものであり、積雪融雪過程については考慮されているが、対象地域の高標高域に存在する氷河からの融解水の影響（氷河ストック減少分）は考慮できない。

3. 結果と考察

図-1は現在気候における降水量と蒸発散量の差を示したものである。イシクル湖において、降水量よりも蒸発量が大きく、集水域からの流入水がないと湖を維持できないことがわかる。また、図-2は降水量と蒸発散量の差が将来どの程度変化するかを示したものである。イシクル湖集水域では、降水量、蒸発散量のいずれも増加する場所が多いが、イシクル湖西部では、降水量がほとんど変化しないため、大きくマイナスとなっている。

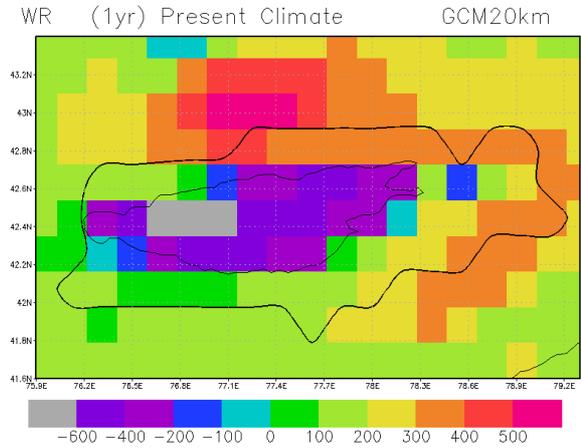


図-1 降水量と蒸発散量の差（現在気候）

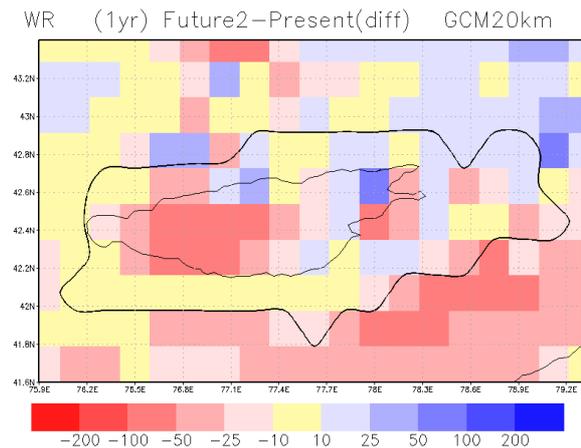


図-2 降水量と蒸発散量の差の将来変化

表1 イシクル湖の水収支成分の変化

	降水量	蒸発量	流入量
現在気候	0.932	3.612	2.142
将来気候	1.131	3.964	2.187
将来変化	0.199	0.844	0.045

イシクル湖における水収支と集水域からの流入量を集計した結果（単位は Gt/year）を表 1 に示す。集水域は乾燥地のため、降水量が増加した分はほとんど蒸発散の増加となり、集水域からの流入量の増加はほとんど見込めない。降水量の増加よりも蒸発量の増加が卓越するイシクル湖は長期的に貯水量が減少する可能性を示唆している。

—イシククル湖を事例に—

*齋藤 圭 (法政大・人文・地理), 大久保賢治 (岡山大・環)

Rysbek Staylkanov (Tien-Shan High Mountain Research Center.)

小寺浩二 (法政大・地理), 前杵英明 (法政大・地理)

1. はじめに

塩湖は水質組成の基となる溶存化学成分が河川、地下水、降雨からの供給や湖中の岩石からの溶脱などにより湖に蓄積され、そして蒸発濃縮や生物活動などの作用により、水質組成に変化が生じるとされる。イシククル湖は、1986年以降塩分濃度が高まっていることが報告されており、特に水位が上昇に転じた1998年以降も塩分濃度が増加し続けている要因については不明である。イシククル湖の水質形成機構を把握するためには、湖及び集水域全体の調査を継続的に行い、流入する河川、地下水の水質が湖に及ぼす影響や蒸発濃縮、生物活動に伴う湖の水質の変化を把握する必要がある。本研究では、2012年～2017年に行った調査結果を基にイシククル湖流域の水質の特徴を把握すると共に、イシククル湖に流入する河川と地下水の負荷量について検討した。

2. 材料と方法

2012年～2017年の夏季に、湖1点、河川31点、湧水2点(合計34点)で現地観測(EC, pH, 水温)と試料採取をし、主要化学成分分析(Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^-)を行った。負荷量については気象データから算出した降水量を用いて、次式で求めた。

$$L=aQ^b \quad (1)$$

ここでは、L=流量、Q=水質を示す。

3. 結果

イシククル湖の水質は $\text{Na}^+ - \text{Cl}^- (\text{Mg}^{2+} - \text{SO}_4^{2-})$ 型を示し、 Ca^{2+} と HCO_3^- は2-3%と最も低いが、海水と比較して Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 濃度の割合が高いという特徴を持つ。流域内河川は $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ 型を示し、その他成分では SO_4^{2-} 濃度が若干高い特徴を持つ。湖東部の河川では SO_4^{2-} 濃度他、 Na^+ 、 Cl^- 濃度が高い地点が見られ、周辺は農地で占められていることから人為による影響が示唆された。また、湖南部から西部にかけて温泉の存在が確認され、全溶存物質(TDS)はイシククル湖よりも高く、水質は $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ 型や $\text{Na}^+ - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ 型を示した。当地域での温泉以外の湧水や井戸水からも、TDSは低いものの、似たような水質タイプであることが確認されている。イシククル湖への流域からの負荷量では HCO_3^- が最も多く、次いで Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Cl^- 、 Mg^{2+} の順で多かった(図-1)。

4. 考察

イシククル湖では蒸発濃縮などの影響により水中から Ca^{2+} と HCO_3^- が除去されていると考え、流域からの供給は SO_4^{2-} が最も多い。イシククル湖の水質タイプと照らし合わせると、 Mg^{2+} が最も低いという点で共通している。 Na^+ と Cl^- の負荷量は温泉水に依るものだと考えられることから、温泉水の流入がイシククル湖の水質に大きな影響を与えている可能性が考えられる。

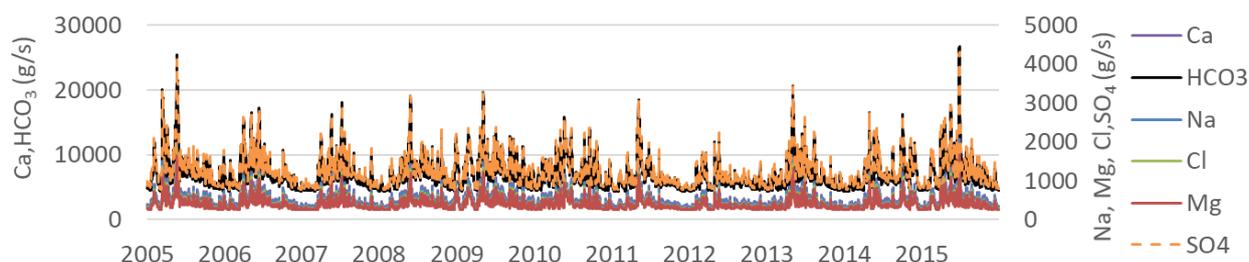


図-1. イシククル湖への流域負荷量 (2005-2015)

*岩田 徹 (岡山大・環), 亀井 亮佑 (岡山大・環)

1. 緒言

夏季に晴天で風が静穏な環境下では、周辺沿岸の湖面表層水温が湖心付近よりも高くなる傾向がある。このような場合、沿岸から湖心へ向かう水平流が駆動されて湖心付近で沈み込み躍層付近で発散するような対流が形成されるとともに、コリオリ力によって左廻り（反時計回転）の回転、いわゆる「環流」が生じることが予測される（大久保・Satykanov ; 2018）。日本の琵琶湖北湖、中国・雲南省のフーシャン湖等で発現する可能性が指摘されている。本研究では、2017年8～9月に杉山・大久保他によって実施されたイシクル湖の縦断観測に合わせ、人工衛星データの同期解析を行った。これにより環流の存在可能性と構造について議論する。

2. データと方法

イシクル湖は中央アジアのキルギス共和国の北東部に位置し、東西 182km、南北 60km の横長をしており琵琶湖の約 9 倍の面積を持つ。

解析に使用した衛星データは、NASA/EOSDIS 提供の MODIS/Aqua の MYDOCGA データの band-9, 10, 12 の 3 チャンネルの海面反射率であり、空間解像度 1km、時間解像度 1 日のデータである。反射強度からクロロフィルを推定する指標として過去に琵琶湖の解析（亀井他 ; 2017）で再現率の高かった band10 (483～493nm) による ND 指標を利

用した。ND (正規化差分) とは、可視光緑色バンド (Gr) と可視光青色バンド (Bl) の反射率の差を正規化した指標であり、以下のように表現される。

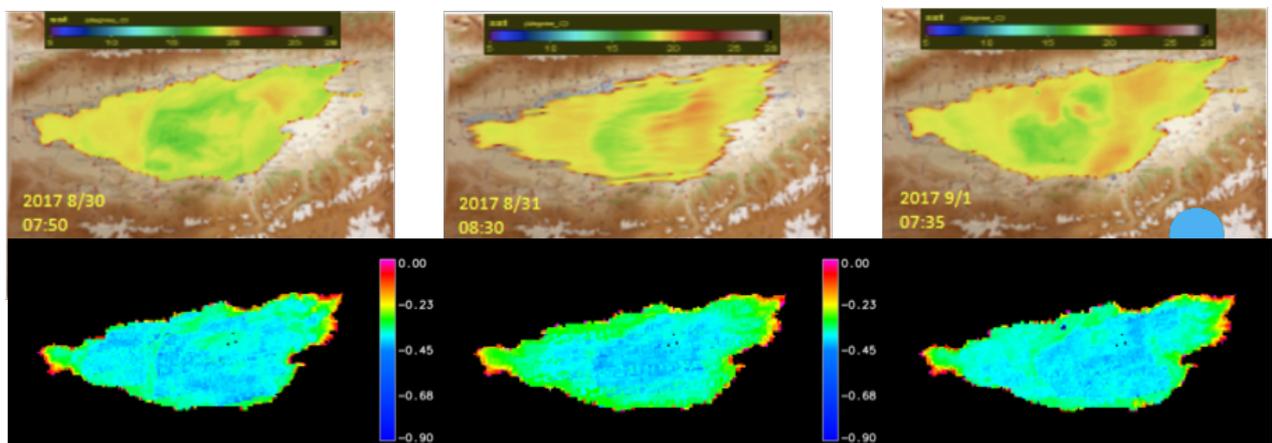
$$ND = (Gr - Bl) / (Gr + Bl)$$

3. 結果

図に、衛星データから推定された 2017 年 8 月 30 日～9 月 1 日の表面の温度とクロロフィル分布を示す。水温については、東西の縁辺部で高く湖心部で低くなる分布を示しており、このような分布は夏季に発現しやすい分布である。クロロフィルも縁辺部で高く湖深部で低い分布を示しているが、8/30、9/1 には北縁部から湖心やや西寄りの領域へ向けて高い（緑）領域が弧を描くような分布が出現している。この領域は水温の水平傾度が最も強い（黄と緑の境界）部分と一致しており、水温傾度の強い領域に沿うような地衡流に近いような流れが生じていることが示唆される。

4. 考察

環流が発生しているとする直径は湖の南北幅にほぼ等しく 60km 程度と予想される。縦断観測においては 50～70m 付近にはっきりとした水温躍層が確認されていた。上部混合層の鉛直-水平比は 1:1000 程度であり、琵琶湖等の他の湖で発現するものと同等のスケール比となっていた。



図：衛星データから推定したイシクル湖における 2017/8/30～9/1 の水温（上）と Chl-a（下）の分布

*大久保賢治（岡山大・環）・

Rysbek Satykanov（Tien-Shan High Mountain Scientific Centre）

1. はじめに

2017年夏のイシクル湖のCTD調査結果から、湖面熱束に駆動される環流強度と地衡流、または傾度流の流れ構造に基づき環流がある湖の特徴を検討する。湖心の水温分布と浮力束分布を図-1に示す。最高水温は8月、熱浮力束は6~7月に最大となる（マーカーは11月(a)中旬及び(b)初旬）。

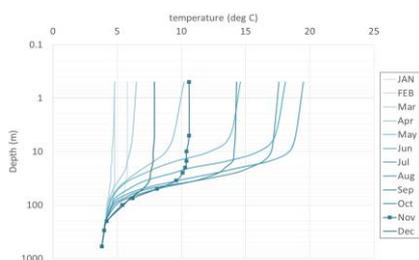


図-1(a) イシクル湖の水温鉛直分布

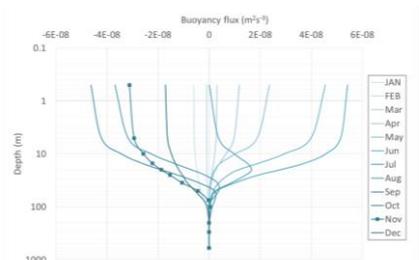


図-1(b) イシクル湖の熱浮力束分布

2. 材料と方法

琵琶湖の湖流を指す北湖の第一環流に匹敵する流れがイシクル湖に存在することが衛星画像で確認され、この流れが熱的に形成される可能性が高い。現地観測結果から図-2は地衡流とし、コリオリパラメータ f : を用いて、次式で求めた。

$$u = \frac{g' \partial h}{f \partial y}; f = 2\Omega \sin\phi; g' = \frac{\Delta\rho}{\rho_0} \quad (1)$$

水温分布の低温ドームを4次以上の多項式で回帰し、側線 u 分布を3次以上の多項式で表す。近隣測線の文献水温・DO分布を図-3に示す。c図は、14~20℃等温線が湖面に現れ、昨年8/24と類似、昨年9/1は、a図と同様、20℃を超えた。

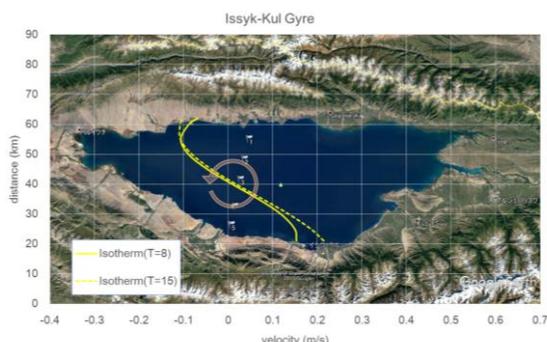


図-2 環流の東方流速分布の推定（2017/8/24）
東西178 km、平均水深278 mに対応する表面静振の周期は1.9時間、振幅0.01 mの場合の節線上流速は0.13 m/s；

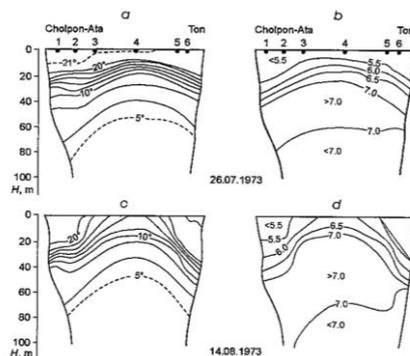


図-3 Cholpon-Ata・Ton線上的水温・DO分布
Romanovsky & Shabunin (2002)

3. 結果

次的に $u = a(BR)^{1/3}$ 、琵琶湖では、 $R = D/4$ (D : 環流直径) で $a \approx 2$ 程度である。上層厚 h を入れ、淡水または全密度で解析する場合 $b = 1$ とする。

$$u = b \left(\frac{g'}{\rho_0} \frac{\Delta\rho}{\Delta t} h R \right)^{1/3}; Ro = \frac{u}{fD} \quad (2)$$

$B = 5 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$, $R = 20 \text{ km}$, $a = 2$ のとき $u = 0.2 \text{ ms}^{-1}$, $Ro = 0.025$ (琵琶湖の1/4)程度になる。

4. 考察

環流を保持する成層湖の相似則が淡水湖と塩湖の間でも成立し、流れ構造の相似は、DO・Chl-aなど生態系の特徴にも反映される。

*程木義邦・中野伸一・Mukherjee, Indranil (京大・生態研)・岡崎友輔 (産総研)・齋藤圭 (法大・人文・地理)・大久保賢治 (岡山大学・環)・Satylkanov, Rysbek (Tien-Shan High Mountain Research Center)・朴紫暎・杉山雅人 (京大院人間環境)

1. はじめに

近年の分子生物学的手法の発達により、DNA を用いた微生物群集解析が行われ、湖沼や海洋では、表層や底層で優占する微生物群集組成が概ね網羅され、物理化学的環境による群集組成の変化や優占種の出現傾向について一般化が可能な程度に情報が集約されつつある。一方、塩湖に関してはほとんど研究が行われていない。本研究で対象としたイシク・クル湖 (キルギス) をはじめ、ヴァン湖 (トルコ) やカスピ海などの主要な塩湖は面積が大きく最大水深も深いため、塩湖は陸水の中で大きな割合を占めている。また、今後の気候変動や人間の経済活動に伴い多くの湖沼で塩分の上昇が生じる可能性もあるため、既存の塩湖における微生物食物網や生物プロセスの解明は非常に重要である。そこで本研究では、イシク・クル湖で採取したサンプルを用い原核生物およびナノサイズの真核生物の群集を解析し、これまでに湖沼や海洋で報告されている微生物群集や優占種との比較を行った。

2. 材料と方法

2016年11月27日にイシク・クル湖のチョルポンアタ沖にて、水深5mおよび95m付近 (水温躍層の下部) で採水を行った。採取した湖水は、細菌とナノサイズの真核生物の計数のため、グルタルアルデヒド溶液で固定 (最終濃度1%) するとともに、ポアサイズ20 μm のプランクトンネットですろ過を行い微生物群集の解析のためのサンプルとした。帰港後、プランクトンネットのろ液2Lをポアサイズ0.22 μm のSterivexフィルター (Merck) を用いてろ過し、<20 μm の懸濁物をフィルターに捕集したのち、RNAlater (ThermoFisher)を添加・冷凍保存し日本に持ち帰った。

微生物からのDNAの抽出にはPowerSoil DNA Isolation Kit (MoBio Laboratories)を用いた。このDNAを鋳型とし、原核生物の解析は16S rDNAのV4お

よびV5領域、真核生物は18S rDNAのV9領域をPCRにより増幅し、MiSeq (Illumina) によるアンプレリコンシーケンスを行った。

3. 結果

1) 原核生物

細胞密度は5mでは 2.3×10^6 cells mL⁻¹、95mでは 1.2×10^6 cells mL⁻¹であった。優占したOTU (operational taxonomic unit) は水深により大きく異なり、5mでは*Synechococcus* (Cyanobacteria, 12.5%)や*Saprospiraceae* (bacIV clade, Bacteroidetes, 4.3%)などの割合が高かった。一方、95mでは、アンモニア酸化古細菌である*Nitrosopumilus* (Crenarchaeota, 14.5%) とともにC111 (acIV clade, Actinobacteria, 14.3%)などが優占していた。また、*Pelagibacteraceae* (SAR 11)のOTUは両水深で優占していた (5m: 19.5%, 95m: 17.4%)。

2) 真核生物

細胞密度は5mでは 1.1×10^3 cells mL⁻¹、95mでは 5.4×10^2 cells mL⁻¹であり、一般的な日本の貧栄養から中栄養の湖沼と比べても低い密度であった。OTUの構成は、5mでは光合成生物と考えられるCryptophytaやHaptophytaの複数のOTUと共に、*Skeletonema* (5.8%)や*Chrysoxys* (5.3%)などのストラメノパイルに属する藻類が優占していた。また、未培養の渦鞭毛藻SCM27C9 (Alveolata) は5m (7.6%)と95m (13.3%)の両水深で優占していた。これらの他、未培養の海洋由来の真核生物のOTUが多く検出された。

4. 考察

微生物群集の解析結果では、原核生物および真核生物ともに、淡水湖沼だけでなく汽水域や海洋で報告されている生物に近縁なOTUが多く見られた、塩湖であるイシク・クル湖の微生物群集は、淡水と海水の双方の特徴を併せ持っていると考えられた。

*杉山雅人（京都大・院人間・環境）、望月陽人（京都大・院人間・環境）
 朴 紫暎（京都大・院人間・環境）

1. はじめに

塩湖（乾燥地域に分布し、湖水中の総塩分が 0.5 g/L 以上の湖；陸水学事典）の一つとして、強塩基性・高アルカリ度閉塞塩湖がある。この湖では、流入河川水の平均化学組成において Ca^{2+} 濃度とアルカリ度が $2[\text{Ca}^{2+}] < [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}]$ の関係にある。また、流出河川を持たない閉塞塩湖であるので、総流入水量と総蒸発水量が均衡している。このため、湖の水位変動は少ないが、湖面からの蒸発によって湖水が濃縮される。これに伴い塩分上昇が起こり、やがては CaCO_3 が沈殿し、 HCO_3^- と CO_3^{2-} が湖水中に残って濃縮され塩基性とアルカリ度の増大が起こる（望月ら, 2014; Mochizuki et al., 2018; 図 1）。

このような塩湖では、上述の主要成分水質の影響

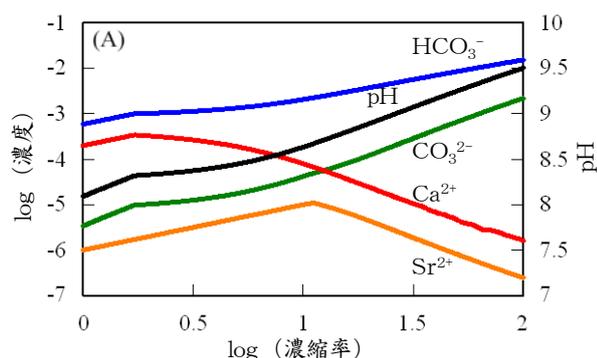


図 1 湖水の蒸発濃縮による溶存イオンの濃度変化

表 1 研究対象湖の水質

	イシククル湖	ワン湖	アルハン湖	ツァガン湖	琵琶湖	海
pH	8.6	10.1	9.3	9.3	7.9	8.2
塩分 (g/L)	4.8	16	-	-	-	35
Na (mmol/L)	60.8	332	154	135	0.29	480
K (mmol/L)	1.7	11.2	0.081	0.542	0.045	10
Mg (mmol/L)	12.1	3.96	4.40	3.12	0.085	55
Ca (mmol/L)	3.4	0.04	0.213	0.285	0.30	11
アルカリ度 (meq/L)	6.6	146	40.3	77.5	0.71	2.2
Cl (mmol/L)	43.2	153	124	78.2	0.21	560
SO ₄ (mmol/L)	21.5	23.5	1.27	0.969	0.09	29
U (nmol/L)	-	387	154	288	0.07	14
V (nmol/L)	-	989	219	57.2	2.3	32
Mo (nmol/L)	-	143	789	680	2.9	107
W (nmol/L)	-	234	56.8	288	0.04	0.07

Lyons et al., 2011; 杉山ら, 未発表; Mochizuki et al., 2018; 杉山, 2005; 一色, 2005.

を受けて、微量成分の分布や動態に特徴的傾向が現れる。本講演ではその研究成果について報告する。

2. 研究湖沼

本講演ではワン湖（トルコ）、アルハン湖・ツァガン湖（モンゴル）について述べる。また、最近になって調査を開始したイシククル湖（キルギス）についても触れる。ワン湖は強塩基性・高アルカリ度閉塞湖として代表的な湖であり、pH もアルカリ度もともに高い。アルハン湖・ツァガン湖はワン湖が広くて深い湖であるのに対し、小さくて浅く（正確な表面積や最大水深などは明らかでない）、pH も少し低い。イシククル湖の pH はアルハン湖・ツァガン湖よりもさらに低い（表 1）。

3. 結果

強塩基性・高アルカリ度閉塞塩湖の U・V・Mo・W 濃度は、琵琶湖や海に比べて格段に高い（表 1）。これは低 pH では UO_2^{2+} として溶存する U が、高 pH では CO_3^{2-} や Mg^{2+} との可溶性アニオン錯体 ($\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$, $\text{Mg UO}_2(\text{CO}_3)_3^{2-}$) を形成すること、酸素酸アニオンを形成する V・Mo・W は、湖水の pH が高くなるので湖底堆積物や水中懸濁物に吸着しにくくなることによっていると考えられる。一方、カチオンに関しては、Ca と同様に炭酸塩沈殿を形成する Sr の濃度が、ワン湖でとても低い。

*川越 保徳, 濱 武英, 伊藤 紘晃 (熊本大・水循環センター), 古閑 仁美 (くまもと地下水財団), 末永 雄一 (パシフィックコンサルタンツ (株))

1. はじめに

平成 28 年 4 月に発生した熊本地震では、ともに震度 7 を記録する前震と本震により、震源地である益城町や熊本市を含む近隣地域に多大な被害をもたらした。飲用水の 100% を地下水に依存するこれら地域にとって地下水はまさに無二の水資源であるが、地震直後には阿蘇カルデラ内で水田の水涸れや再湧出がみられ、水前寺公園の湧水池でも一時的な水枯れが発生し、地震による地下構造や地下水流動への影響が懸念された。

本研究では、地震の 2 年前より継続している地下水水質のモニタリング結果から、地震の前後において地下水質が変化したか否かを解析し、一定の知見が得られたので報告する。

2. 調査・分析方法

2.1 採水地点と採水期間

Fig.1 に、採水井戸 12 地点の位置と地下水流動の概略り、および主な活断層²⁾を示す。これらの採水井戸では、第二帯水層と称される比較的深い帯水層の地下水をくみ上げており、当該地域の飲用水の多くは同帯水層から取水されている。本調査は地震の 2 年間にあたる 2014 年の 5 月（一部は 10 月）から開始、継続しており、採水・分析は毎月 1 回の頻度で行っている。本研究では 2018 年 3 月までのデータを用いて解析を行った。

2.2 水質分析とデータの解析

4 種類の陽イオン (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) と 3 種類の陰イオン (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}), 総アルカリ度 (重炭酸イオンとしても扱い、解析に供した), 電気伝導度の 9 項目の測定値を用いて解析した。

地震前後における測定値の比較にあたっては、経時変化のプロット、ヘキサダイアグラムでの水質変化を確認した上で、差の検定やクラスター分析などの統計手法を用いた。

3. 結果と考察

3.1 ヘキサダイアグラムにでの水質比較

地震前後の平均値を用いてヘキサダイアグラムを作成し、その大きさや形状を比較した結果、地震前後でイオン濃度に若干の差異があると見受けら

れるものもあったが、形や大きさが大きく変化し、“水”が変わったとの印象を受けるものは無かった。

3.2 統計手法による水質変化の有無に関する考察

Welch の検定, Mann-Whitney の U 検定, Brunner-Munzel 検定にて地震前後の測定値間の差を検討した。結果、地点 No.5, No.8, No.10 以外は、6 種類以上の水質項目にて片側 1% の基準で有意な差があると判定された。また、全採水日のデータを用いて K 平均法 (クラスター分析) を行い、採水日を 2 グループに分類したところ、地点 No.1 と No.3 では、地震前の採水日が地震後のグループに分類される、あるいはその逆に地震後の採水日が地震前のグループに分類されるといった誤分類率は 0 となり、採水日が地震前と地震後に正しく分類された。また、地点 No.4, 6, 9, 12 の 4 地点においても、誤分類率は各々 7.0%, 7.1%, 8.6%, 9.1% と低い値となった。以上の結果から、これらの 6 地点では地震の前後で水質が変化した可能性が高いと考えられる。

一方、No.2, 7, 11 の地点では、K 平均法での誤分類率は 10% 台と比較的低かったものの、経時変化のプロットにおいて、地震以外の影響と考えられる変化も推定されたことから、「地震前後での水質変化は否定できない」という判断が妥当と考えられる。さらに No.5, 8, 10 の 3 地点では、「地震前後での水質変化は無い」、あるいは「判断できない」とするのが妥当である。

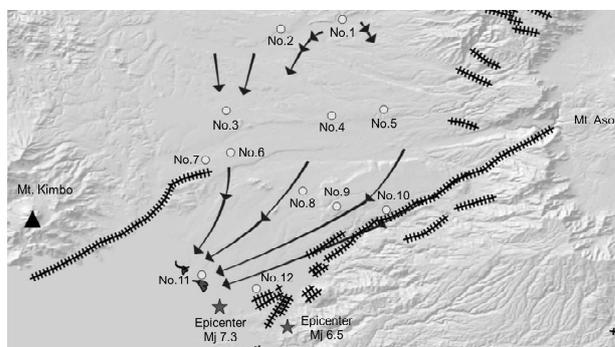


Fig.1 採水地点と震源および地下水流動と活断層

引用文献

- 1) 熊本県・熊本市 (2005) 熊本地域地下水保全対策調査報告書
- 2) 宮縁育夫 (2016) 地学雑誌, 125 (3), pp. 421-429

阿蘇火山の火口湖「湯溜り」の溶存成分収支 から推定される湖底下熱水活動

*大沢信二（京都大・理・地球熱学研究施設），
齋藤武士（信州大・理），網田和宏（秋田大・理工）

1. はじめに

阿蘇火山の中岳第一火口に形成される火口湖「湯溜り（ゆだまり）」は、湖水の表面流出は存在せず、高温で酸性が強く、塩化物イオン（Cl⁻）やマグネシウムイオン（Mg²⁺）などの多量の溶存成分を含む。このような水質は、湖水が塩化水素（HCl）や二酸化硫黄（SO₂）を含む湖底に噴出する火山ガスの影響を受けて形成されている。湖水の水温・水質等は火山ガスの変化に反応して変動しており、湯溜りのような火口湖は「活動的の火口湖」と呼ばれている。

私たちは、湯溜りの激しく変動する湖水同位体組成（δD と δ¹⁸O）の解析から、極端に酸性になった湖水が岩石成分の酸性溶脱を引き起こして δ¹⁸O の交換が起こり、水同位体組成にも大きな変化が起こったことを見出した（大沢ほか, 2017, 昨年 2017 年の陸水学会田沢湖大会）。

この極端に湖水が酸性となった期間には、湖の体積や水収支が詳しく求められており（齋藤ほか, 2008），そこに報告されている水文パラメータを使って湖水の Mg 収支の計算を行ったところ、湖底下熱水活動の存在を示唆する結果が得られたので、その他の入手情報とともに報告する。

2. 研究方法

強酸性水環境では Mg は安定な鉱物を生成しないため、岩石から Mg がいったん水に溶け出すと、Mg は水中に留まる。したがって、湯溜りの Mg 収支は **図 1** のように比較的単純で、式（1）のように表現できる。

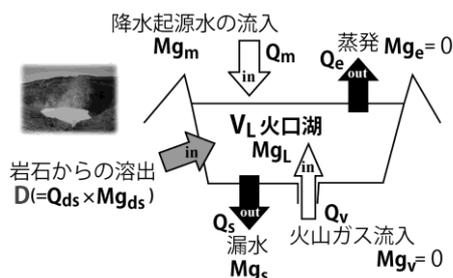


図 1 湯溜りの Mg 収支モデル

$$V_L \cdot Mg_L = V_{L0} \cdot Mg_{L0} + Q_m \cdot Mg_m \text{ (無視できる)} \cdot \Delta t + D \cdot \Delta t - Q_s \cdot Mg_s \cdot \Delta t \quad (1)$$

ここに、Δt は収支計算の対象とする期間、V_L は湖水の体積、Mg は Mg 濃度、Q は流入あるいは流出水量、D が岩石からの Mg 溶出量である。添え字 m, s はそれぞれ降水起源の流入、漏水を意味する。

表 1 Mg 収支計算に用いる各種データ

No. (Obs. and sampling)	Date	V _L * (m ³)	Mg _L ** (kg/m ³)	Δt (days)	Q _s * (ton/day)	Mg _s *** (kg/m ³)
1	Aug.4,2000	5.3x10 ⁵	2.19	992	71-160	4.91
2	Apr.22,2003	6.5x10 ⁴	7.63			
3	Aug.4,2003	3.6x10 ⁴	8.46	105	100-220	8.05

【注】* : 齋藤ほか (2008) ** : 大沢 (2016)

*** Mg_s = 期間の初めと終わりの Mg_L の平均値

3. 結果と考察

式（1）を D= の形に整理し、各パラメータに **表 1** のデータ等を入力して解いた結果が **表 2** である。

表 2 岩石から湯溜りへの Mg 溶出量 (D)

Period	D (kg/day)	Δt (days)	Rocks with acidic leaching	
			Weight (ton/day)	Volume (m ³ /day)
Aug.4,2000 – Apr.22,2003	4100 - 10100	992	130 - 480	40 - 180
Apr.22,2003 – Aug.4,2003	5300 - 12700	105	170 - 600	50 - 220

期間の長さに大きな違いがあるにも関わらず、2 つの期間の収支計算はともに、1 日あたりの岩石からの Mg の溶出量はだいたい 5~10 トン程度という値を示した。これを 1 日に変質を受ける岩石の体積に換算すると 50~200m³ 程度となり、立方体になると 1 辺 3~6m の岩石が 1 日で変質するという驚くべき現象が進行していることが分かった。

このような膨大な量の岩石成分の溶出は、湖盆表面だけの反応では到底追いつかず、湖水が循環して連続的に岩石と反応するシステム、例えば、活動的の火口湖の湖底下にしばしば想定されるような湖水が循環する熱水系の存在を強く支持する。

*高野敬志, 青柳直樹, 内野栄治 (北海道立衛生研究所)

1. はじめに

平成 26 年に「温泉法第 18 条第 1 項の規定に基づく禁忌症及び入浴又は飲用上の注意の掲示等の基準」が改訂され、療養泉に含よう素泉（よう化物イオン 10 mg/kg 以上）が新たに加えられた。また、飲用温泉の場合、含有成分別禁忌症として甲状腺機能亢進症に該当するものに対し、よう化物イオンの許容摂取量が定められた。温泉提供者に求められる 10 年に 1 度の温泉成分分析では、よう化物イオンは必須測定項目ではなく、塩分濃度が高い温泉水を対象とするなど、分析者の判断によって測定を行うこととされている。北海道の温泉分析機関では、平成 26 年までは強塩温泉でよう化物イオンを測定しており、平成 26 年からは等張性および高張性温泉で測定を行っている。しかしながら、測定対象としない温泉でも含よう素泉に該当し、禁忌症の掲示が必要となる可能性がある。

本研究は、今後の温泉成分分析でよう化物イオンの測定の必要性を判断する基礎資料とするため、過去に発行された温泉分析書から含よう素泉に該当する温泉を選出し、その地理的分布や化学的特性等について調査した。

2. 材料および方法

本研究では平成 20–29 年度の 10 年間に発行された温泉分析書のデータを調べた。調査した温泉分析書の総数は 1,140 件であった。そのうち、よう化物イオンを測定している温泉分析書は 75 件であった。

3. 結果および考察

過去 10 年間の温泉成分分析により含よう素泉に該当するのは 33 件であった。そのうち混合泉は 2 件で、残りは単独の源泉と思われる。塩分濃度が高い強塩温泉あるいは等張性および高張性温泉の成分分析以外によう化物イオンを測定していないことか

ら、含よう素泉の存在数を過小評価している可能性がある。塩分濃度が低い温泉のうち、含よう素温泉に該当するものは極めて少ないと仮定し、北海道の平成 28 年の利用泉源数 1,323 本から見積もったところ、北海道の全温泉に対する含よう素温泉の占める割合は最低で 2.5 % 程度と考えられた。

含よう素温泉の地理的分布は、稚内から北海道北部日本海沿岸、石狩平野、太平洋沿岸の苫小牧市まで南北に続く北海道中央部の一つの帯状の中に大部分が含まれていた。他は、道東の十勝地方に 2 件、道南の渡島地方に 1 件あるのみであった。含よう素温泉の湧出形態は、動力揚湯によるものが多く、27 件が該当し、自然湧出および自噴を大きく上回っており、井戸の深さも 1000 m を超える大深度掘削温泉が目立っていた。泉温は、9.4–52.5 °C の範囲で分布しており、特によくよう化物イオン濃度が高い温泉は、泉温の分類では冷鉱泉、低温泉および温泉に該当するものであった。pH は 6.6–8.3 の範囲で分布し、pH の分類では中性温泉と弱アルカリ性温泉に限られていた。

本調査により、北海道内に湧出する含よう素温泉の地理的分布、物理化学的性質などの特徴が明らかとなった。今後は、飲用温泉を中心によくよう化物イオンの測定を行う予定である。

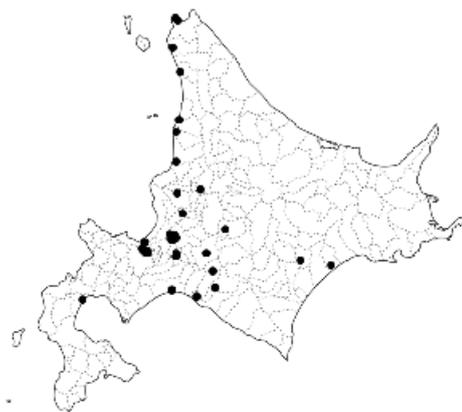


図 北海道内で湧出する含よう素泉の位置

安定同位体比を用いた兵庫県千種川流域における 硫酸イオンおよび硝酸イオンの起源と動態の研究

*藤吉 麗, 陀安 一郎, 藪崎 志穂, 原口 岳, 由水 千景 (地球研),
大串 健一, 古川 文美子, 伊藤 真之 (神戸大), 山本 雄大 (名古屋大),
横山 正 (赤穂特別支援学校), 三橋 弘宗 (兵庫県立大)

1. はじめに

兵庫県西播磨地域を流域圏とする千種川は、昭和の名水百選に選定された清流として知られている。流域を通じて比較的大きな土地改変や人為影響が少なく、従来から地域住民の参画による一斉水温・水質調査が継続されている。一方で、近年行われた河川改修工事による水質や生態系への影響が懸念されている。本研究は、複数年にわたる一斉調査で得られた河川水試料の硫酸イオンの硫黄・酸素安定同位体比、および硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比を用いて、千種川流域における硫酸イオンおよび硝酸イオンの起源と動態を解明し、千種川流域の水環境の科学的評価に資することを目的とした。

2. 材料と方法

2015年8月6日、2016年8月7日、2017年8月6日に千種川水温一斉調査が行われ、調査を担当する地域住民により2015年は計92地点、2016年は計90地点、2017年は計91地点で採水が行われた。また2018年2月14日から15日に、計28地点で採水を行った。採水後、溶存イオン濃度測定用試料は孔径0.2 μm セルロースアセテートフィルターを用いて現地です過を行い、総合地球環境学研究所にてイオンクロマトグラフ (ICS-3000, Dionex) により測定を行った。硫酸イオンの硫黄・酸素同位体比測定用試料は、総合地球環境学研究所にて孔径0.2 μm セルロースアセテートフィルターです過後、6M HCl と10% BaCl₂ を添加して BaSO₄ を生成させた。孔径0.8 μm Nucleopore メンブレンフィルターを用いて溶液をろ過して BaSO₄ を回収し、元素分析計付質量分析計 (Flash2000-Conflo IV-Delta V plus, Thermo Fisher Scientific) により硫黄安定同位体比 ($\delta^{34}\text{S}$) を測定し、熱分解型元素分析計付同位体比質量分析計 (TC/EA-Conflo III-Delta plus XP, Thermo Fisher Scientific) によ

り酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) を測定した。硝酸イオンの窒素同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$)、酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) は脱窒菌法を用いて、ページ&トラップ装置付同位体比質量分析計 (Precon-GasBench-Delta plus XP, Thermo Fisher Scientific) により測定を行った。

3. 結果と考察

硫酸イオンは、観測期間中 1.2~1156 mgL⁻¹ の濃度の変動幅を示した。すべての期間に共通して、北部の源流域で濃度が低く、南部の河口域に向けて次第に濃度が高くなる空間傾向がみられた。各地点の濃度と同位体比は夏や冬の季節に関係なく、ほぼ同じ値を示した。また2017年に河口に最も近い地点で局所的な高濃度 (1156 mgL⁻¹) が観測された。硫酸イオンの起源について $\delta^{34}\text{S}$ と $\delta^{18}\text{O}$ を用いて解析した結果、大部分の地点の硫酸イオンは土壌の硫酸塩由来であること、河口に最も近い地点の硫酸イオンが海水由来であることが推定された。

一方、硝酸イオンは、観測期間中 0~15 mgL⁻¹ の濃度の変動幅を示した。2015年、2016年、2017年の8月に共通して、源流域よりも中流から下流域で濃度が低くなる空間傾向がみられた。反対に2018年2月は中流から下流域の同地点の濃度が源流域よりも高くなる傾向がみられた。硝酸イオンの起源と動態について $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$ を用いて解析した結果、3つの支川 (大日山川、江川川、矢野川) の硝酸イオンは有機質肥料や排水に含まれる窒素の硝化に由来することが推定された。また2015年~2017年8月と2018年2月の比較から、千種川本川の中流から下流域で観測された低濃度の硝酸イオンに対して、水生生物による取り込みや脱窒の寄与が考えられた。

3B19

太平山・森吉山・秋田駒ヶ岳の放射状溪流群水質の方位分布特性

○海老瀬 潜一(元・摂南大・理工), 川村 裕紀(キョーワ(株)), 永淵 修(福岡工大・環科研)

1. はじめに

日本列島は偏西風帯にあり、日本海側高山では西方の中国大陸から大気汚染物長距離輸送で酸性沈着物負荷の影響を受ける。秋田県の日本海側から東の内陸部へ標高が高くなる北緯 39.8~40° でほぼ東西方向に太平山(1171m)・森吉山(1454m)・秋田駒ヶ岳(1637m)が位置する(図-1)。駒ヶ岳は西北部に乳頭温泉や東北部に葛根田地熱発電所のある火山である。

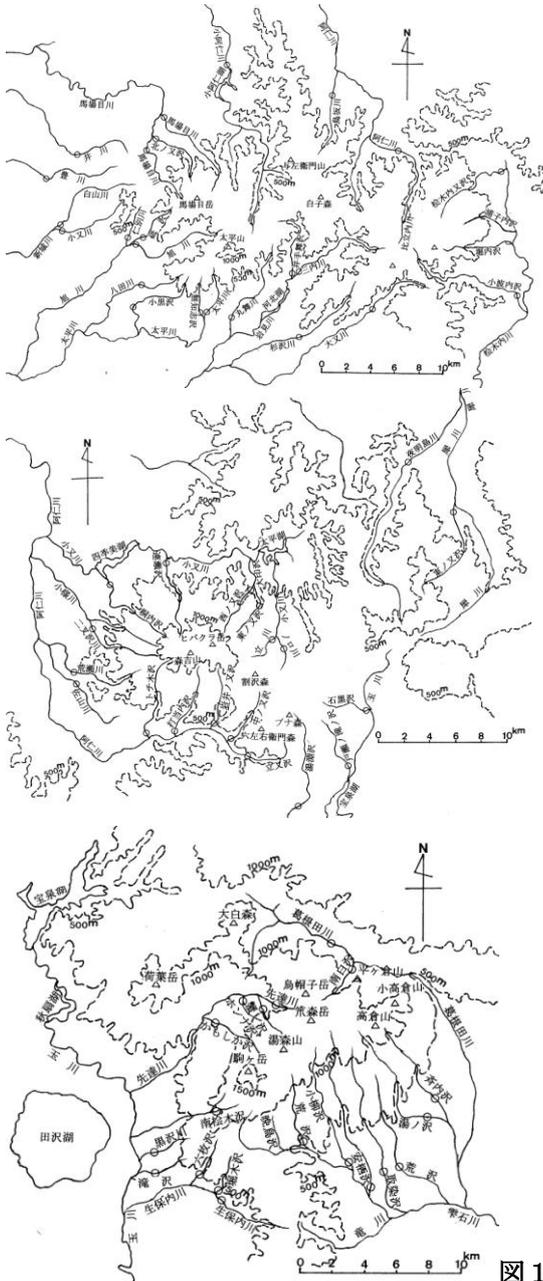


図 1

2. 調査方法と結果

太平山日本海側から東北側の森吉山、奥羽山脈北端の駒ヶ岳へと放射状流下溪流の水質分布を、2017年9月27~30日の72時間で時計回りに調査した。3山系の溪流水質方位分布を表-1に示す。火山の駒ヶ岳と森吉山の北側では EC や SO_4^{2-} 濃度の高い溪流を解析から除いたので、溪流数が少なくなった。

表-1 秋田3山系の溪流水質方位分布

方位	溪流数	EC	pH	アルカリ度	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ -N
		(mS/m)		(meq/l)	(mg/l)	(mg/l)
北	5	6.95	7.09	0.293	5.76	0.278
東	4	6.85	7.02	0.239	6.06	0.164
南	8	5.96	7.01	0.242	4.56	0.096
西	9	11.07	7.12	0.370	10.51	0.249
方位	標高(m)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ /Cl ⁻
北	144	3.63	5.75	1.43	2.00	1.58
東	130	4.65	2.72	1.28	1.86	1.37
南	231	3.58	3.05	1.12	1.64	1.57
西	87	9.17	6.44	2.58	2.99	1.31
方位	溪流数	EC	pH	アルカリ度	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ -N
北	2	4.10	6.77	0.164	3.96	0.066
東	8	5.25	6.87	0.196	3.64	0.099
南	4	6.78	7.08	0.247	5.83	0.142
西	5	6.01	7.04	0.237	5.38	0.096
方位	標高(m)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ /Cl ⁻
北	300	1.49	4.19	0.82	0.89	1.63
東	476	5.02	3.89	1.02	1.52	1.64
南	210	5.15	6.39	1.58	1.76	1.68
西	334	3.57	5.52	1.17	1.66	1.61
方位	溪流数	EC	pH	アルカリ度	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ -N
北	3	6.78	6.79	0.133	2.31	0.108
東	7	6.02	7.25	0.310	2.30	0.153
南	3	8.67	7.30	0.373	3.02	0.130
西	4	10.91	7.46	0.535	3.80	0.212
方位	標高(m)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ /Cl ⁻
北	740	14.79	3.47	1.11	2.24	2.32
東	329	3.98	3.52	1.18	2.25	2.35
南	360	10.84	4.38	1.64	3.96	2.24
西	310	11.01	5.77	2.29	4.90	2.34

3. まとめ

日本海側から東西に並ぶ3山系のCl⁻濃度は海塩影響により西側で高く、全溪流平均でも西ほど高く、Na⁺/Cl⁻比が小さかった。NO₃⁻-N全溪流平均濃度は太平山で高かったが、SO₄²⁻全溪流平均濃度では、東の駒ヶ岳は火山影響の溪流が多く、西の太平山は海塩影響のため、東西方向に凹型の分布状況となった。永淵・海老瀬(2016)高山大気環境と溪流水質,技報堂

*田林 雄（関東学院大），小室 隆（山口大）

1. はじめに

水中の精細な地図の作成や植生分布の作成は、物質循環等を考える上で欠くことはできない。気候変動によって湖沼や海の環境は大きく変化する可能性があり、水中環境を3次元的に掌握しておくことは有用である。ただし、精緻な地図や植生分布などを取得することは、水の中では作業の自由が大きく制限されてしまうため困難である。

最近、写真測量の技術を応用して対象物の写真から3次元モデルを熟練の技を要せずに生成する技術(SfM-MVS; Structure from Motion- Multi View Stereo)が実用化されてきた。地上ではUAV(Unmanned Aerial Vehicle)によって地上部の連続写真を撮影し、地上の精細な地図や地物の3次元モデル化をする研究が多く実施されている。

Remotely Operated Vehicle(ROV)はこれまで調査船から投入するような大掛かりなものが多かったが、最近では1人で持ち運べる大きさのものが開発され、操作も容易なものが多い。本研究では小型ROVで撮影した写真をSfM-MVSによって解析する事で、水中の地形や地物の3次元モデル化の可能性を検証した。

2. 材料と方法

調査は群馬県の菅沼と山口県の秋穂湾において実施した。ROVとしてはDeep Trekker社のDTG2を用いた。機体を制御するコントローラには機体が撮影したビデオ画像が表示され、コントローラと機体は70mのケーブルで繋がれており、このケーブルを介して制御信号やビデオ画像が伝達される。カメラはリコー社のGR2を使用した。

3. 結果・考察

SfM-MVSによって鮮明な水中地物の3Dモデルが再現できた(図1, 2)。菅沼においては複雑な植生の周囲でも機動性高くROVを運用でき、砂地の湖底を攪乱せずに撮影できた。

秋穂湾においては海底の礫、フジツボともに鮮明なモ

デル化に成功し、特にフジツボは一個体ごとに計数ができ、サンプリング調査ではなく全数調査ができる点は生物調査において大きな利点である。また、定期的に撮影することで水中の礫移動や地形変化についての研究へも寄与しうる。

SfM-MVSでは3次元モデルを作成する際に対象の重複した写真が必要であるが、適度な重複画像を得るにはROVによる遠隔撮影は容易ではなく、撮影時間を増やしても撮影抜けが出てしまうケースもみられた。また、自由な角度から対象を撮影するのも容易ではない事があった。しかし、機体の制御性能が向上すればこれらの課題は克服される。

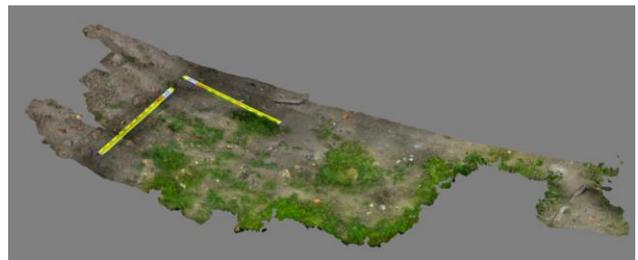


図1 菅沼における湖底の3次元モデル

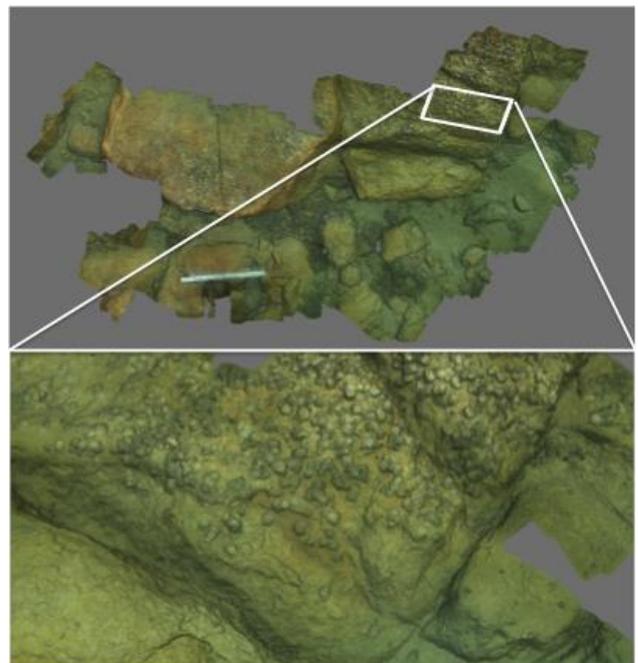


図2 秋穂湾における海底の3次元モデル

*John C. Wells (Ritsumeikan Univ.), Chen-Fen Huang (National Taiwan Univ.), Hiroki Uchida (Ritsumeikan Univ.), Tomonori Ohara (Ritsumeikan Univ.), Kenji Okubo (Okayama Univ.), Eiso Inoue (Lake Biwa Environmental Research Institute)

1. Introduction

We will present results from Coastal Acoustic Tomography (CAT) at horizontal ranges up to 14 km under stratified conditions, believed to be the first field demonstration of CAT in a lake under stratified conditions. Our long-term purpose is to track currents and other physical fields by assimilating the CAT data, and other available data, into an operational forecast system. Fluctuations in acoustic arrival times reflect changes in temperature, but our priority is to infer path-averaged currents from Differential Travel Times (DTT) during reciprocal transmission.

2. Materials and Methods

The tests were performed in Nov 13-18, 2016 and Nov. 10-28, 2017 in the North Basin of Lake Biwa, with average (maximal) depth of 41 (104) m. Even at the end of the 2017 deployment, epilimnion temperatures were about 13°C, versus 8°C, in deep water.

3. Results and Discussion

Acoustic ray-tracing simulations predict that sound is strongly refracted at the thermocline. Accordingly, the thermocline acts as a mirror, and sound mostly passes through the hypolimnion. The western station for both tests was a water intake with a bottom depth of 9 m, while the easternmost station was changed between 2016 (Bottom Depth 35 m) and 2017 (BD 49 m). In Nov. 2017, at a range of 10.2 km, two-way or “reciprocal” transmission was achieved most of the time, with small but significant differences in eastward versus westward travel times. Under the assumption that path length in the two directions was equal, one computes path-averaged currents around 5 cm per second, which agrees with the magnitude of currents to be expected in the deep water. Large fluctuations in signal level were observed, which might be due to internal waves modulating the sound channel. We will refer to data from 3D hydrodynamic simulations, and from thermistor chain records, to interpret these and other characteristics of the CAT data.

倶多楽湖における深層の溶存酸素の 経時的变化と湖水鉛直循環速度について

*大八木英夫（日大）、知北和久（北大）

1. はじめに

地球規模による気候変動によって湖沼では、深水層の水温上昇に伴う水温成層の強化や短期的な鉛直循環不順などの影響が報告され始めている。また、温暖化における影響は、北半球の河川・湖沼の未結氷期間の長期化の傾向に寄与し、北海道の湖沼にもその傾向が現れている。しかし、北海道道央の支笏湖や洞爺湖は、不凍湖の北限として知られているが、熱的特性の機構などについては不明な点が多い。

本研究の対象となる倶多楽湖は、この支笏湖と洞爺湖のほぼ等距離に挟まれている湖沼であり、しばしば御神渡りも観察されている。しかし、近年、結氷期間の短縮化や完全結氷の未出現がみられるようになってきた。このような、温暖化による影響の傾向は、湖面蒸発の長期化による水循環の活発化などを引き起こし生態系への影響についても懸念されているが、温暖化の定量的な影響規模やそのメカニズムに関することが評価された事例は乏しい。

本研究では、湖水循環の速度を定量的に考察することにより、鉛直対流による溶存酸素の鉛直輸送の実態を把握することにより、湖水循環速度・微細鉛直流の解明や気候変動が及ぼす深水層水温への影響を評価することを目的とする。

2. 研究対象と方法

研究対象となる北海道・倶多楽湖は、湖面標高約258m、最大水深148.0m、湖水面積4.68km²である。約4万年前までの倶多楽火山の噴火活動で形成されたカルデラ湖で、流出河川がない閉塞湖である。また、恒常的に流入する河川水量はわずかであり、湖底下では倶多楽湖西部に位置する登別火山と共通する熱水系の存在が示唆されている。

本湖湖岸には気象ステーションを設置し、湖心には水温・電気伝導度（HOBO：U-24）・溶存酸素（RINKO W：JFEアドバンテック社製）と湖底直上には電磁流向流速計（INFINITY-EM：JFEアドバンテック社製）を設置し、1時間後における計測を実施した。

3. 結果および考察

図1には、2017年10月から2018年6月までの溶存酸素飽和度と鉛直合成流速の時系列データを示した。湖底の溶存酸素と流速は、湖底より0.2m上に設置し湖底直上の値を示す。

2017年10月の倶多楽湖では、表層の溶存酸素飽和度は96.5%であり、湖底直上の溶存酸素は0.0%であった。水温躍層はおよそ15mの深度になり、最大117.3%の過飽和層が形成されている。約40m以深より溶存酸素が減少し、水深140mでは84.1%となる。146mには約50%で湖底直上では無酸素層となる。

湖底直上の無酸素層は、12月25日には水温変化に伴う水密度の均一から湖底直上にまで鉛直循環が到達し無酸素層が解消されている。この時の上方方向に鉛直合成流速は4.6cm s⁻¹であった。過去の事例と比較すると、混合時の速度として有意の値であるといえる。以降、循環は活発となり、約10cm cm s⁻¹にも達する速度が時折計測されて、2018年2月5日に完全結氷が確認される直前には41.8 cm s⁻¹の計測期間中の最大となる合成鉛直流速が確認された。

大深度湖沼における湖底直上の微細な鉛直流速実測例は少なく、密度変化に伴う鉛直循環の発生などの湖内部で生じている流れの要因のほか、温暖化などによる気候因子を伴う結氷現象の有無とともに湖水の循環機構と混合の季節的变化、長期的変動について、さらに解明していく必要があるといえる。

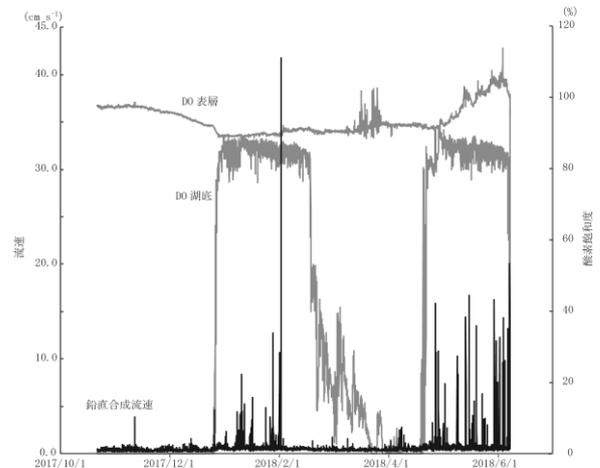


図1 表層の溶存酸素飽和度と湖底直上の溶存酸素飽和度と鉛直合成流速の時系列

3C04

全有機炭素検出器を用いたサイズ排除クロマトグラフィー による溶存有機物の分子サイズ分析と特性評価

*霜鳥孝一¹・今井章雄¹・佐藤貴之²・小松一弘¹・高津文人¹・川崎伸之³
1 国環研, 2 福島県環境創造センター, 3 UNISE

1. はじめに

湖沼や海洋の溶存有機物 (DOM) は複雑な混合物から成り立ち、その特性については未だ不明な部分が多い。DOM の大きな特徴の一つとして、生物分解性と分子サイズとの関連が指摘されている。生物分解性が極めて低い DOM は分子量数千ダルトン (Da) 以下に集中し、10k Da 以上の高分子 DOM には易分解性画分が多く含まれることが報告されている。以上のことから、DOM の分子サイズは、水環境中での有機物循環を司る重要なファクターであると言える。

DOM の分子サイズの測定法において、連続した分子サイズを測定できるサイズ排除クロマトグラフィー (SEC) には大きな利点がある。しかし、既存の SEC で用いられる検出器はほぼ UV 吸収や蛍光検出器に限られている。両検出器では DOM の定性分析は可能であるが、物質の「量」を直接示すデータを得ることができない。この定量性の欠如は SEC による DOM 分析の長年の課題であった。当研究室では SEC に接続可能な全有機炭素 (TOC) 計を独自に開発し、炭素ベースで DOM の分子サイズを評価できる SEC システム (TOC-SEC) を構築することに成功した。

本発表では、TOC-SEC の概要を説明すると共に、湖沼、河川、海水の DOM の分子サイズ測定の例を紹介し、得られたデータからの DOM の特性評価への利用を議論したい。

2. 実験方法

TOC 検出器概要 : SEC の蛍光検出器を出た溶離液にリン酸を混合し脱気ユニットで無機炭素を除去する。その後、酸化ユニット (185nm 低圧水銀ランプ) で溶存有機炭素 (DOC) を CO₂ に酸化し NDIR で炭素量の定量を行う。

試料 : 茨城県霞ヶ浦流域の河川水、滋賀県琵琶湖湖水と琵琶湖から採取した水草の枯死体由来 DOM、東京都東京湾晴海ふ頭の海水。

試料の前処理 : 採取した河川水、湖水はポリカーボネート製のフィルター (孔径 0.22 μm) でろ過した。

海水は湖水同様にろ過し、ろ液を電気透析器で電気伝導度が 1.0 mS/cm になるまで脱塩を行った。これらの試料を TOC-SEC で分析した。

TOC-SEC の主な分析条件 : カラム : TOSOH G3000SW_{XL}、溶離液 : 60 mM リン酸緩衝液、流速 : 0.8 mL/min。UV 検出波長 : 254nm、蛍光検出波長 : 励起/蛍光 = 310/400 nm。分子量校正 : ポリスチレンスルホン酸ナトリウム、炭素量校正 : フタル酸水素カリウム。

3. 結果と考察

東京湾の DOM は、重量平均分子量 (Mw) 約 10 万 Da の高分子と数千 Da の低分子画分に分かれていた。各検出器のクロマトグラムを比較すると、高分子は UV 吸収や蛍光をほとんど持たないことが分かり、多糖などで構成される可能性が示唆された。高分子と低分子のピークエリア比は TOC 検出器で 15%、他の検出器では 5%以下となっていた。これは高分子有機物に UV や蛍光で捉えられない有機物が多く含まれていることを示している。霞ヶ浦流域の河川水の DOM についても Mw 約 10 万 Da の高分子と数千 Da の低分子の 2 画分が得られた。低分子画分については DOC と UV 吸収・腐植様蛍光の間には極めて高い相関が見られたが、高分子画分では同様の相関は見られなかった。これらの結果からも、UV 吸収と蛍光検出器では高分子 DOM の量的評価が難しいことが伺える。

水草の枯死体から浸出する DOM は、Mw 約 10 万 Da の高分子とショルダーピークを持つ分子量数千 Da の低分子に分かれていた。このショルダーピークは水草を採取した琵琶湖南湖の湖水の DOM でも検出された。これより、湖水の DOM に対して、水草由来の DOM が寄与している可能性が示唆された。

TOC-SEC が開発されたことによって、既存の手法では困難であった高分子 DOM の分子サイズも炭素ベースで定量的に評価することが可能になった。今後は、様々な水域の DOM を調査し、DOM の分子サイズと蛍光特性、光・生分解性などの関係性を調査していく予定である。

1. はじめに

環境中有機物の動態を調べる研究において、同位体の天然存在比（炭素： $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、窒素： $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ など）は、生成場所や生成生物、分解過程などの有用な指標となりうる。ただし環境中の有機物は、多種多様な有機分子の混合物となっており、バルク（試料全体）分析ではそれらの平均的な情報が得られるだけである。一方で、特定の有機分子のみを生物や環境試料から抽出・精製し、その同位体比を化合物レベルで測定する手法（有機化合物レベル同位体比分析）を用いれば、より詳細かつ明確な情報を引き出せる可能性がある。

懸濁態の粒子状有機物（POM）は、湖などの水圏環境において、生物が利用可能な有機物プールの主要構成要素であり、物質循環や生態系に重要だが、その動態や化学組成には不明点が多い。これまでに、琵琶湖など溶存酸素に富んだ大深度湖や、北太平洋中央部など海洋遠洋域では、懸濁態 POM のバルク $\delta^{15}\text{N}$ 値が、表層から深層にかけて 5~10%程度大きく上昇する現象が観測されている（e.g., Saino & Hattori, 1980; Tsunogai et al. 2018）。湖と海で共通して見られるこの現象は、水圏の懸濁態 POM の分解過程や組成に関して、重要な制約を与える手がかりとなることが期待される。しかし、バルク $\delta^{15}\text{N}$ 分析だけでは、 $\delta^{15}\text{N}$ 値の上昇をもたらすメカニズムを特定することは難しかった。

演者はこれまで、特にアミノ酸など有機化合物レベルの窒素同位体比（ $\delta^{15}\text{N}$ ）分析を主な手法として、水圏環境中有機物の生成源や動態を探る研究を進めてきた。本発表では、懸濁態 POM のアミノ酸 $\delta^{15}\text{N}$ 分析の研究例を通して、本手法の有用性や近年の発展を紹介し、今後の展望についても議論したい。

2. 材料と方法

本発表では、成層期の琵琶湖北湖の表層（水深 5m）と深層（50m）および、北太平洋中央部の表層（21m）と深層（670m）で採取された懸濁態 POM 試料のアミノ酸 $\delta^{15}\text{N}$ 分析データ（Maki, 2010; Yamaguchi &

McCarthy, 2018）を紹介し、そのデータを説明するメカニズムについての議論を行う。アミノ酸窒素同位体比は、試料中のアミノ酸を塩酸加水分解や誘導体化などで処理・精製した後、ガスクロマトグラフイオン同位体比質量分析計（GC-IRMS）で測定した。さらに、アミノ酸の化合物レベル $\delta^{15}\text{N}$ 値とバルク $\delta^{15}\text{N}$ 値、アミノ酸濃度のデータを用いて、「アミノ酸画分全体」と「アミノ酸以外の POM 画分（Other-N）」の $\delta^{15}\text{N}$ 値を計算した。

3. 結果と考察

琵琶湖と北太平洋中央部ともに、ほとんどのアミノ酸に関して、表層より深層の試料がほぼ一律に 10%程度高い $\delta^{15}\text{N}$ 値を示した。アミノ酸画分全体も同様に深層が 10%程度高い $\delta^{15}\text{N}$ 値を示した一方で、Other-N は表層と深層の $\delta^{15}\text{N}$ 値の差が小さかった。こうした $\delta^{15}\text{N}$ 値変化のパターンは、「懸濁態 POM の分解において、微生物による細胞外加水分解（タンパク質のペプチド結合やアミノ糖ポリマーのグリコシド結合の切断）が律速過程となっている」と考えれば、統一的に説明できる可能性がある。

4. 課題と展望

アミノ酸 $\delta^{15}\text{N}$ 分析を用いた環境中有機物研究の大きな課題の一つは、微生物代謝などのプロセスとアミノ酸 $\delta^{15}\text{N}$ 値の対応について、（少しずつ知見は蓄積しつつあるものの）まだ不明な部分が多いことである。今後、様々な条件での室内実験を行い、環境中有機物をめぐるプロセスとアミノ酸 $\delta^{15}\text{N}$ 値の対応について、解明を進めることが重要となる。

さらにアミノ酸同位体比分析は近年、前処理法や機器分析法の開発・改良によって、分析可能な環境試料の種類（溶存有機物など）やパラメータの種類（ $\Delta^{14}\text{C}$ 分析、D/L 別 $\delta^{15}\text{N}$ 分析など）が拡大しつつある。データの量や項目の増加は、有機物の生成源や動態に関する制約条件を増やすことにつながり、環境中プロセスの理解がより進むことが期待される。

3C06 放射性同位体を用いない細菌生産測定法の開発と応用

*土屋 健司, 佐野 友春, 富岡 典子, 高津文人,
小松一弘, 三浦真吾, 今井 章雄 (国立環境研究所)

1. はじめに

水圏生態系におけるバクテリアは、溶存態有機物を起点とした微生物ループを駆動させる主体者として、生食物連鎖以外に高次の栄養段階に物質を輸送する重要な役割を果たしている (Fenchel 2008). 通常、バクテリア生産量 (BP) は放射性同位体で標識されたチミジン ($^3\text{H-TdR}$ 法; Fuhrman & Azam 1980) やロイシン ($^3\text{H-Leu}$ 法; Kirchman et al. 1985) の取り込み速度を測定し、それを細胞増殖量及び炭素量に変換することで求められる。しかしながら、放射性同位体の使用には、先進国、特に我が国では多くの制限があり、BP の実測例は限られている。

そこで我々は放射性同位体でラベルした $^3\text{H-TdR}$ の代わりに、安定同位体 ^{15}N でラベルしたデオキシアデノシン ($^{15}\text{N-dA}$)を用いて、液体クロマトグラフィー・質量分析計 (LC-MS)でその取り込み速度を定量する手法を開発した ($^{15}\text{N-dA}$ 法; Tsuchiya et al. 2015). 以下に、 $^{15}\text{N-dA}$ 法の開発と応用例について紹介する。

2. $^{15}\text{N-dA}$ 法の開発

本手法は、1) $^{15}\text{N-dA}$ をバクテリアに取り込ませ、2) DNA 抽出、3) ヌクレオシドまで酵素加水分解、4) LC-MS による定量というステップを経る。

本手法の開発において、DNA 抽出方法や抽出効率、 $^{15}\text{N-dA}$ 添加濃度など、各ステップの課題に関して検討した。DNA 抽出方法は、FastDNA SPIN Kit for Soil (MP-Biomedicals)と Extrap Soil DNA Kit Plus ver.2 (日鉄環境エンジニアリング)の2つを検討した。その結果、前者では後段の酵素加水分解反応が進まず、 $^{15}\text{N-dA}$ の定量ができなかった。後者では酵素加水分解反応に阻害は見られず、 $^{15}\text{N-dA}$ の定量が可能となった。

後者の DNA 抽出効率を見積もるため、既知量の *necl* 遺伝子を DNA 抽出時に添加し、抽出後の同遺伝子量を定量 PCR で測定した。その結果、回収率は $102 \pm 9\%$ ($n=7$)となり、DNA 抽出効率は 100% と見なした。

本手法の妥当性を確認するため、既存の $^3\text{H-TdR}$ 及び $^3\text{H-Leu}$ 取り込み速度と $^{15}\text{N-dA}$ 取り込み速度を、海洋 (相模湾)および湖沼 (霞ヶ浦)において比較した。その結果、 $^{15}\text{N-dA}$ 取り込み速度は、両水圏において両基質ともに有意な正の相関を示し、本手法の妥当性を確認した。

3. $^{15}\text{N-dA}$ 法の応用

霞ヶ浦において $^{15}\text{N-dA}$ 法による BP 測定を 2012 年より継続して実施している。BP は $1.9 \sim 138 \mu\text{gC L}^{-1} \text{d}^{-1}$ とおよそ 2 桁の変動範囲を示し、冬季に低く、夏季に高くなる傾向を示した。また、BP と枝角類動物プランクトン(以下、枝角類)の間に有意な関係が見られ、枝角類がある一定個体数に達するまで BP は増加傾向を示し、ある個体数を超えると急激に低下する傾向を示した。これは、枝角類による摂餌行動や排泄などが基質供給速度を高め、BP を増加させるが (e.g. Güde 1988), 個体数がある一定数を超えると枝角類による捕食の影響が強くなり、BP が低下するものと考えられる。

そこで、実験室において個体数を操作した枝角類存在下での BP の変化を調べたところ、*Daphnia galeata* の系では個体数の増加に伴い BP は低下し、*Moina micrura* では BP は逆に増加した。一方、バクテリア現存量 (BA)の変化は種間で異なり、*D. galeata* では低下傾向を示したが、*M. micrura* では有意な変動傾向を示さなかった。以上から、BP 及び BA へ与える影響は枝角類の種によって異なるとともに、BA ベースによる評価は種によっては過小評価につながる恐れがあることが示唆された。

本発表ではこの他に、全国湖沼・河川での BP 測定事例など、既存の放射性同位体を用いた手法では実施が難しかった BP 測定を、 $^{15}\text{N-dA}$ 法で実施した例を紹介するとともに、本手法の課題などに関して議論する。

謝辞: 本研究は JSPS 科研費 25550019, 15K21449 及び笹川科学研究助成 25-716 の助成を受けて実施した。

1. はじめに

原核生物・ウイルス・真核微生物によって構成される微生物生態系は、湖の物質循環や食物網の基盤をなしている。しかし、その研究対象の小ささに加え、環境中の微生物のほとんどが未培養系統で占められることから、微生物生態学は手法的な制約に苦しめられてきた。そのため、湖の物理・地球化学的な研究から微生物の動態の重要性が指摘されることがあっても、そのプロセスを詳細に解明することは困難を極めていた。

10年余りに登場した次世代シーケンサーはこの状況にブレークスルーをもたらした。従来よりも圧倒的な低コストで塩基配列の解読が可能になったことで「未培養の微生物群を未培養のまま研究する」メタゲノム解析が一般化し、さまざまな環境における微生物多様性の全貌が明らかとなってきた。シーケンサーの高性能化にあわせて情報解析技術も大きく進歩し、未培養系統を含む環境中の微生物ゲノムをシーケンスデータから再構築し、各系統の生理・代謝活性を明らかにする研究も広く行われるようになってきた。

演者はこのメタゲノム解析技術を用いて、湖の微生物生態系の多様性や機能を解明しようと試みている。本発表では、最新のシーケンサーや情報解析技術の動向も紹介しながら、この研究で「何をどこまで明らかにできるのか」を示すとともに、今後のメタゲノム解析の方向性と可能性についても議論したい。

2. 材料と方法

琵琶湖をはじめとする、主に水深 50 m 以上の全国の湖の湖心で鉛直的に採水を行った。湖水中の微生物をフィルターを用いたサイズ分画にて、真核微生物(>5.0 μm)、原核生物(0.2–5.0 μm)およびウイルス(<0.2 μm)の3画分に分けて採集し、DNAを抽出した。得られたDNAを用いて、(1)SSU rRNA 遺伝子のPCR増幅産物のシーケンスによる微生物群集

組成の解析(アンプリコンシーケンス)と、(2)断片化した全DNAの網羅的シーケンスによるゲノムの再構築(ショットガンメタゲノム)の2手法を用いて、湖水中の微生物の組成とその生理・代謝活性の推定を行った。

3. 結果・考察

本発表では、細菌画分とウイルス画分から得られた結果を主に紹介する。アンプリコンシーケンスでは、摩周湖から池田湖に至る全国の湖において細菌群集組成を鉛直的に決定した。表水層では、先行研究で湖沼における優占系統として知られてきた *Actinobacteria*, *Proteobacteria*, *Bacteroidetes* の3門に属する細菌が優占していた。一方深水層では、これまで淡水湖沼では報告例が少なかった *Chloroflexi*, *Planctomycetes*, *Nitrospira* 門に属する細菌、*Thaumarchaeota* 門に属する古細菌の優占が見つかり、湖においても、海洋と同様、深層には表層と大きく異なる細菌群集が生息し、深水層では独自の微生物生態系による物質循環・生態系プロセスが駆動していることが示唆された。

ショットガンメタゲノムからは、50以上の細菌系統のゲノムを再構築することができ、その多くが90%以上の復元率(completeness)の高品質なゲノムであった。これらには先述した深水層に特異的な細菌系統のゲノムも含まれており、膜トランスポーター遺伝子の分析等から、その生理的な特性を明らかにしつつある。ウイルス画分のショットガンメタゲノムからは183の完全長ウイルスゲノムと、4000以上のウイルスゲノム断片が得られ、その過半数がこれまでにどの環境でも報告されることがない、新規のウイルスゲノムであった。これらの中には、先述した優占的な細菌系統に感染すると推定されるウイルスも含まれていた。今後はそのゲノム情報や、環境中での季節・鉛直動態に注目して、細菌とウイルスの相互作用と、その物質循環・微生物食物網への影響を明らかにする計画である。

*木村成子（滋賀県大・環境）・大竹裕里恵（東大・総合文化）・吉田天士・左子芳彦（京大・農）・大槻朝・占部城太郎（東北大・生命）・山田和芳（ふじのくに地球環境史ミュージアム）・田辺祥子（滋賀県大・環境）・吉田丈人（東大・総合文化、地球研）

1. はじめに

植物プランクトンは、湖沼生態系において重要な一次生産の担い手である。そのため、それらはエネルギーや物質の流れの起点であり、食物連鎖を支える重要な役割を果たしている。従って、その多様性や現存量の経時的変化などの基礎的情報を得ることは、湖沼生態系を理解する上で必要不可欠である。植物プランクトンの増殖やその群集組成は、富栄養化や温暖化の影響を大きく受けるが、そのような環境変化に伴う植物プランクトンの長期的な変動は不明なままである。

湖沼や海洋の堆積物は、長期間にわたって生物の死骸が降り積もったものである。特に、年縞堆積物は、春から秋に多い植物プランクトンの堆積物と冬に多い陸上起源鉱物の堆積物が、1年を単位として縞々模様で堆積したものである。そのため、各層の生物情報を年代ラベル付きで得ることが可能であり、生物の変遷を知るには非常に良い材料である。さらに、最近、分子生物学的手法の発展とともに、海洋や湖沼の堆積物より抽出したDNAを用いて、過去の植物プランクトン、動物プランクトン、原生生物やウイルスの存在量や多様性の長期的変動の調査がなされ始めてきた。

本発表では、堆積物DNAを用いた解析の動向を紹介するとともに、300年の歴史を反映する湖沼年縞堆積物中の植物プランクトン群集組成を再構築し、その組成変動について調べた結果を紹介する。

2. 材料と方法

長野県深見池において、マッケラスコアラーおよびリムノスコアラーを用いて、湖底年縞堆積物をそれぞれ湖底表面から約3 mおよび約30 cm採取し、3–10 cm間隔でスライスした。各層よりDNAを抽出し、たDNAを鋳型として、藍藻16S rRNA遺伝子に特異的なプライマーを用いて、それぞれV3/V4領域をPCR増幅後、MiSeq (Illumina) を用いて配列を決定した。同時に、堆積物各層の全リンおよび植物プランクトン存在量の指標であるクロロフィルa (Chl.a)量の定量を行った。

3. 結果・考察

既存情報と照らし合わせて、年縞堆積物の年代推定を行なった結果、約300年分(1662年~2016年)の堆積物に相当することがわかった。その間に、深見池周辺では、大満水洪水(1850年)、濃尾地震(1891年)および高度経済成長(1950年以降)等の大きな環境の変化をもたらすイベントが起こっている。TP濃度は、イベント期間(1850–1891年)を除き、1951年以前は165–279 g/cm²/yrと低い値で一定だったが、イベント期間には430–770 g/cm²/yrと比較的高い値を示した。1951年以降では、TP濃度は477–1178 g/cm²/yrと増加し、もっとも高い値を示した。TP濃度の増加に伴って、イベント期間および1951年以降に、Chl.a量も増加した。解析した全ての試料より藍藻16S rRNA遺伝子の配列を得ることができ、合計で799,244リードの塩基配列を決定した。それぞれの得られた配列を97%塩基配列相同性でクラスタリングした結果、各層より6・50のOTUが得られた。クラスターをサイズの大きい順に並べ替えたところ、*Dolicospermum*属、*Synechococcus*属および*Aphanizomenon*属が上位を占め、それらは得られた配列数の80%を占めた。1951年以降では群体を形成する*Dolicospermum*属が優占し、一方で、1951年以前では細胞単体で生息する*Synechococcus*属が、群集内で最も大きな割合を示した。従って、藍藻群集内では、小型の細胞単体から大型の群体を形成するものに置き換わる傾向が認められた。藍藻群集組成は自然過程による一時的な富栄養化の影響は受けなかったが、1951年以降の人工的な富栄養化と共に、その組成は大きく変化したことが示された。また、動物プランクトンの変遷を調べた先行研究より、1800年代初頭より、*Bosmina*属が出現・優占し、1900年代後半より、大型の*Daphnia*属が出現し定着したことがわかっている。MARモデルによる藍藻群集に対する枝角類群集の影響の解析の結果、動物プランクトン群集内の組成変動が、藍藻群集内の細胞サイズの変遷に影響を与えた可能性が示された。

*植田真司¹、長谷川英尚¹、落合伸也²、柿内秀樹¹、佐藤雄飛¹、大塚良仁¹
久松俊一¹ (1 環境科学技術研究所、2 金沢大・環日本海域研究センター)

1. はじめに

著者らは事故当年から福島第一原子力発電所事故に伴って放出された放射性 Cs (^{134}Cs 、 ^{137}Cs) が比較的高濃度で沈着した流域において、河川水による放射性 Cs の輸送に関する研究を進め、出水時には懸濁粒子を介した放射性 Cs の輸送が大きいことを明らかにした (Ueda et al., 2013)。加えて、平水時には福島県の浜通りを中心とした各々の河川水中 ^{137}Cs の約 1/2 が溶存態であること、その溶存態 ^{137}Cs 濃度は集水域における平均 ^{137}Cs 蓄積量と有意な相関関係があることを明らかにした (Ochiai et al., 2015)。

本会では、2011 年から 2017 年にかけて調査した河川水中の溶存態 ^{137}Cs 濃度の長期変動及び溶存物質との相関性について紹介する。

2. 方法

対象河川は、福島県飯館村の新田川水系支流の比曾川及び割木川とし、図 1 に示した 2 地点の観測点を設けた。各河川の採取地点より上流の主な土地利用形態は、比曾川は水田、割木川は森林である。

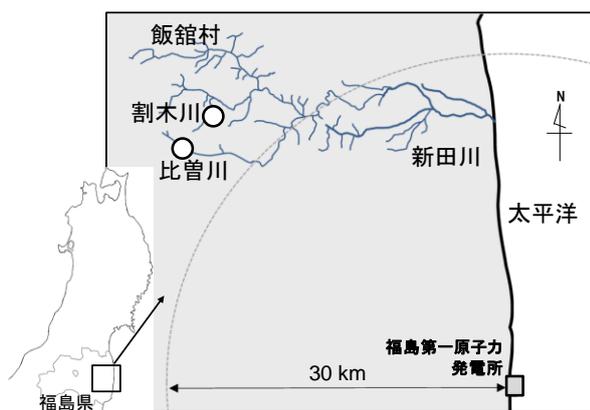


図 1 飯館村河川における観測地点 (丸印)

河川水試料は 0.45 μm メンブランフィルターでろ過し、ろ過水を溶存態として分析に供した。ろ過水はイオン交換樹脂充填カラムに通水して ^{137}Cs を

捕集した後、樹脂を乾燥し、Ge 半導体検出器で測定した。分析結果は試料採取日に減衰補正した。

また、現場において電気伝導度 (EC) を測定するとともに、同試料中の K 及び溶存態有機炭素 (DOC) 濃度を定量した。

3. 結果

事故当年の 2011 年 7 月における比曾川及び割木川の河川水中溶存態 ^{137}Cs 濃度の最大値は、それぞれ $1.5\text{E}+0 \text{ Bq L}^{-1}$ 及び $6.7\text{E}-1 \text{ Bq L}^{-1}$ であり、比曾川が割木川と比べて 2 倍程度高かったが、7 年後には両河川ともに同程度の $8\text{E}-3 \text{ Bq L}^{-1}$ まで減少した。また、河川水中の ^{137}Cs 濃度の減衰から環境半減期を求めると、両河川ともに減少速度の異なる 2 成分で表され、速い成分が約 60 日、遅い成分が約 2 年となった。

上記で計算した 2 成分の半減期に従い、全ての試料中溶存態 ^{137}Cs 濃度を 2 成分に分け、さらに 2011 年 3 月 11 日を基準日として減衰補正した ^{137}Cs 濃度を用いて、各試料中の EC、K 及び DOC 濃度との相関性を評価した。その結果、比曾川の速い成分は EC と、遅い成分は K 及び DOC 濃度と有意な相関関係が認められた。これは、河川水中の EC は降水時に変化することから、水田の多い集水域では ^{137}Cs の沈着直後は降水などの影響によって流出し、その後、時間の経過とともに土壌からの K 溶出や土壌及び植物中の有機物分解の影響によって ^{137}Cs が流出していると考えられる。一方、割木川に関してはいずれの項目についても有意な相関が認められず、森林の多い割木川からの流出機構は比曾川とは異なることを示唆している。

参考文献

Ochiai et al. (2015) *J. Environ. Radioact.*, 144, 86-95.
Ueda et al. (2013) *J. Environ. Radioact.*, 118, 96-104.

本記載事項は、青森県からの受託事業により得られた成果の一部である。

フナによる放射性セシウム濃縮係数

3C10

*石井 伸昌（量研機構・放医研），風呂田 利夫（東邦大・東京湾生態系研究センター），田上 恵子（量研機構・放医研），鏡味 麻衣子（横浜国大・環境情報），内田 滋夫（量研機構・放医研）

1. はじめに

環境中に放出された放射性核種によるヒトの被ばく線量評価において、放射性核種の挙動をモデル化することが重要であり、モデルの精緻化には各コンパートメント間の移行パラメータ（環境移行パラメータ）を精度良く求める必要がある。国民は、食べ物を介した内部被ばくに関心を示しており、内水面漁業の対象魚種の濃縮係数（CR）は、国民の安全と安心に関わる重要な環境移行パラメータである。

福島第一原子力発電所事故において環境中に放出された放射性核種のうち、Cs-137（物理学的半減期 30.2 年）はヒトの健康影響上考慮すべき放射性核種である。そこで、我々は淡水魚における事故由来の Cs-137 の CR について調査を行ってきた。CR は、水中の溶存態 Cs-137 濃度に対する魚の Cs-137 濃度の比として表される。但し、魚の濃度として可食部を対象とした濃度を用いる場合と、魚全体の濃度を用いられる場合とがある。国際原子力機関（IAEA）では、現在、魚全体の濃度を用いた CR について、福島原子力発電所事故のパラメータ収集を行っている。一方、我が国で取得されている濃度データの多くが、筋肉等の可食部の分析結果である。

本発表では、魚全体の Cs-137 濃度を用いた CR を報告すると共に、筋肉部位の Cs-137 濃度から魚全体の濃度へ変換する係数についても報告する。

2. 材料と方法

2015 年 9 月から 2018 年 7 月にかけて、千葉県北西部に位置する印旛沼において、合計 140 匹のフナを採捕した。このうち 75 匹は筋肉部位と筋肉以外の部位に切り分け、残り 65 匹については魚全体を試料として用いた。切り分けた試料と全体試料はそれぞれ凍結乾燥し、粉碎後、ねじ口 U 型容器に封入し、Cs-137 の分析に供した。切り分けた試料のうち 29 匹については、筋肉濃度から魚全体の濃度への換算係数を求めるために、分析後、筋肉と筋肉以外の部位をよく混合し、再度ねじ口 U 型容器に封入し、Cs-137 の分析に供した。Cs-137 の測定は、ゲルマニ

ウム半導体検出器で行い、半減期補正は試料採取日を基準とした。得られた乾燥重量当たりの濃度は、含水率から新鮮重当たりの濃度に換算した。

筋肉部位から魚全体のセシウム濃度への換算係数は、魚全体の Cs-137 濃度／筋肉中の Cs-137 濃度として求めた。

溶存態 Cs-137 濃度は環境省による「放射性物質の常時監視（全国）：公共用水域及び地下水質」調査のデータを利用した。

3. 結果と考察

採捕したフナの全長の範囲は 11.0 cm から 42.8 cm で、平均は 24.4 cm であった。新鮮重の範囲は 16 g から 1379 g で、平均値は 286 g であった。魚の体長や新鮮重は年齢と共に増加することから、様々な年齢のフナが採捕されたと言える。実際、一部のフナで耳石による輪紋査定を行った結果、1 才から 20 才までの個体が確認された。以上の結果から、今回使用した試料は印旛沼で生活する全ての年齢のフナをおおよそ網羅していると言える。

採捕したフナの一部を用いて、筋肉中の Cs-137 濃度から魚全体の Cs-137 濃度への換算係数を求めた。この係数の範囲は 0.53 から 0.90 の範囲で、平均値は 0.69 であった。この結果は、魚の筋肉に Cs-137 が蓄積されやすいことを意味している。IAEA では、この換算係数を 1.0 と報告している。従って、IAEA が定める係数を用いて魚全体の濃度を求めた場合、保守的な値が得られることが分かった。

本調査で得られた換算係数を用いて得られた魚全体の Cs-137 濃度、および魚全体を試料として測定した Cs-137 濃度から CR を求めた結果、CR の範囲は 40 から 800 で、平均値は 331、幾何平均値は 314 であった。IAEA は淡水魚の CR として平均値の場合 3.1×10^3 、幾何平均値の場合 1.6×10^3 と報告している。従って、印旛沼のフナは、IAEA がまとめた魚よりも Cs-137 の濃縮が少ないと言える。この結果は、印旛沼のフナの食性が影響しているのかもしれない。

*田中 敦, 武内章記 (国環研), 五十嵐聖貴 (道総研), 藤江 晋 (自然公園財団), 大八木英夫 (日大・理工), 小林 拓 (山梨大・生命環境), 深澤達矢 (北大・工), 南 尚嗣 (北見工大)

1. はじめに

1931年に41.6 mという世界最高レベルの透明度を記録した摩周湖だが、近年の透明度低下が叫ばれている。これまでの最低透明度は、2015年の12.8 mであったが、ひと夏に3回の台風が北海道に上陸した2016年夏には、過去最低の6.3 mの透明度を記録した。この時には著しい水位の上昇や湖岸壁からの土砂の流入を伴い、明らかに過去に経験しない状況であった。通常の場合は、プランクトンの消長が透明度を支配しているが、2016年の場合は、これとは異なる現象が起きており、通常期との比較とその回復過程を追った。

2. 方法

2008年5月から2017年9月にかけて、摩周湖の水深20 mと40 mの各層に、後述する3種の測器 (JFE アドバンテック) を係留し、通年の観測を行った。ただし、途中で係留地点の変更 (水深200 m地点から212 m: 最深部へ) や測器の不調等の欠測を伴っており、実際の係留深度も設置時期ごとに異なっている。

クロロフィル・温度ロガー、低濃度濁度ロガーはセンサー下向き、光量子ロガーはセンサー上向きで、1時間ごとに受光面をワイパー清拭の後、20データを採取した。20データのうちの外れ値を棄却し、ウランin及びホルマジンを用いた簡易校正により係留期間での感度補正を行っている。クロロフィルは日中値、下向き減衰係数 (K_d) は日中の2深度の水の中光量子束密度の変化から求めた。ただし、長期係留に伴う測器の同期が失われ、データ収集時間内で太陽光変動が考えられるため、 K_d の変動係数が10%以上の観測値は解析に利用しなかった。

3. 結果と考察

通常の場合は5月の循環期の後、クロロフィル濃度が深層から上昇して極大層を形成する。その深度と濃度は年々異なっていた。ピコ植物プランクトンを主体とする小型植物プランクトンによる光吸収と光散乱が、摩周湖の透明度形成に強く寄与しており、生物に乏しい深層水の湧昇する春秋の循環期に、

いったん透明度が上昇する特徴をもっていた。

一方、2016年にかけては、水位の上昇が続いており、8月の台風と豪雨の襲来前から濁度の上昇が認められた (図上・中)。濁度の変化と同期して、実測及び係留観測の K_d から推定した透明度も低下している (図下)。鉛直プロファイル観測では、係留測器よりも浅い深度に濁度ピークが存在し、その結果、推定値と実測値とが乖離したと考える。

洞爺湖では、1977年の有珠山の大噴火により火山灰の湖面への降下があった。このとき、透明度は60 cmまで低下したが、粒子の沈降に伴い、この状態は数ヶ月で回復した。

摩周湖の場合も、12月にかけて濁度は回復しており、年末の循環期には、通常時同様に25 m前後の推定透明度が得られた。また、2017年には大きな濁度上昇はなく、5月には26 m、9月には19 mの実測透明度を得ている。プロファイル観測からも2016年の状況から回復していることが確認できた。

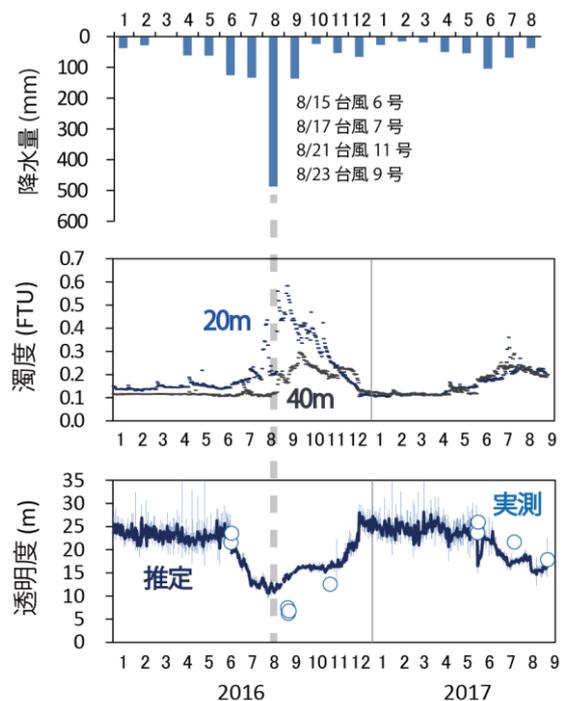


図 2016~17年にかけての摩周湖での濁度、推定透明度の経時変化 (○は実測値) と摩周湖周辺 (川湯) における月間降水量

大八木麻希（四日市大・環境）、八木明彦（愛知工業大・工）

1. はじめに

深見池は長野県下伊那郡阿南町大下条にある天然富栄養湖である。ここは北緯 35° 19′, 東経 137° 49′, 海拔 484 m の所に位置し, 最大深度 7.7 m、湖の短径は 150 m, 長径は 300 m, 面積は 2.1 ha である。集水域面積は, 0.247km² (長野県, 1991) である。また、地域住民の間では、冬に一夜にして湖面が色づく「水変わり」という不思議な現象が語り継がれている。

深見池では 1978 年から観測を継続しているが、2013 年 12 月に初めて表層での貧酸素層出現を観測した。その後、2014 年から毎年観測されている。そこで本研究では、貧酸素層の出現と消滅を長期連続観測によってその過程を明らかにし、既存のデータから理論的に貧酸素となるかを検証した。

2. 調査方法

調査は毎月の定期観測による鉛直分布、さらに 2015 年 8 月～2016 年 3 月 (1 回目)、2016 年 9 月～2017 年 3 月 (2 回目) には、クロロフィル濁度計 (INFINITY-CLW)・溶存酸素計 (RINKO W) を湖心 (水深 50cm) に設置し、水温、DO、濁度、Chl. a の毎時データを収集した。2 回目には湖底直上に導電率データロガー (HOB0、CO-U24-002) の設置も併せて行った。

3. 結果

表層の貧酸素層 (溶存酸素飽和度 30%以下) の出現から消滅までの期間について、2015 年は 7 日間 (11 月 28 日～12 月 5 日)、2016 年は 10 日間 (11 月 25 日～12 月 5 日) であった。この各期間の表層での溶存酸素濃度の最低値について、2015 年は 0.3mg/L (飽和度 2.9%)、2016 年は 1.01mg/L (9.35%) であった。水温は貧酸素層出現に伴う大きな変化は見られなかった。濁度とクロロフィル a につい

ては、貧酸素層出現後から循環期による深水層からの栄養塩供給のため顕著な増加が観測された。

湖底直上の電気伝導度は成層期には平均約 321 μ S/cm、循環期には平均約 164 μ S/cm であった。2016 年 11 月 24 日の湖底直上での値の急減を循環開始とすると、36 時間後に表層で貧酸素層が出現した。

4. 考察

理論的な検証として、循環直後に貧酸素現象を引き起こすのは以下の原因が考えられる。1) 底層の無酸素層の混合によるもの、2) 底層に大量に存在する鉄・マンガン・硫化水素の酸素消費、3) 循環期直前までの酸素消費の 3 つである。

1) について、深見池の成層期の好気層と嫌気層の容積から混合後の酸素量を求めると池全体では 163kg と推定される。2) について、既存のデータから酸素消費量を求めると Fe₂O₃ 現存量から 4.3kg、MnO₂ 現存量から 3.2kg、H₂S 現存量から 13.6kg である。3) について、循環期直前の酸素消費速度から酸素消費量を求めると 50kg/day である。さらに光合成活性量は 48kg/day である。これらの値から推定される深見池全層の DO 濃度は 1.7mg/L となり、観測されたデータと対応する結果である。

また、地域住民に語り継がれる水変わりについても、発生時期が循環期直後 (11 月下旬～12 月上旬)、一夜にして発生 (循環開始から 6 時間)、茶褐色を呈する (底層の高濃度溶存鉄・溶存マンガンの酸化による) と、実際の観測データと一致することが明らかになった。

5. 謝辞

本研究は阿南町役場のご厚意で設置された深見池湖畔の観測小屋を利用しております。ここで感謝いたします。

*時枝隆之、谷口雄哉 1、葛西眞由子 2、伊波はるな 3（気大校、1:山形地台 2:福岡航空地台、3:銚子地台）、中山典子 4、小畑元（東大大海研、4:阪大理）

1. はじめに

メタンは二酸化炭素の 25 倍もの地球温暖化係数（100 年値）を有する。陸水中に存在する溶存メタンは還元的な水中及び堆積物中で有機的に生成されたものであるが、陸水の流出以外に 2 つの水中からの除去の過程が存在する。1 つは水中での濃度が対気に対し過飽和状態にあるとき対気へと放出される過程であり、もう一つは水中で有機的に酸化分解される過程である。前者の場合、対気へメタンを供給することになるので温暖化に対しては陽の効果を持つ。一方、後者は対気へ放出されるメタンが水中で消費されるので温暖化の抑制の効果をもつ。本報告は、水中からの溶存メタンの 2 つの除去過程の調査結果である。

2. 方法

湖水中メタン濃度の観測は、千葉県手賀沼において 2013～17 年におよそ 2 ヶ月に一度実施した。手賀沼内に 20 の観測点を設定し、ヘッドスペース法により湖水中メタン濃度を決定した。

湖水-大気間のメタン交換速度は、表面湖水と大気とのメタン濃度差とメタンの気体交換係数の積として算出した。ここでは、Cole et al. (2010) の気体交換係数を用いた。

湖水中でのメタン酸化分解速度の算出のため、Michmerhuizen et al. (1996) のメタン濃度時間変化法を湖内 5 観測点に適用した。この方法は、試料採取直後に水銀を添加した試料と時間をおいた後に水銀添加を行った試料のメタン濃度の差（減少量）から水中でメタンが分解された速度の算出を行うものである。

3. 結果と考察

流入河川河口域での湖水中メタン濃度と河川流入量から算出したこの湖沼へのメタン流入量は炭素換算で年間 2.2 Mg (10^6 グラム) であった。一方、流出河川への流出時には流入時の 56 % にメタンは減少していた。すなわちメタンが湖水から正味で除去されていることになる。

表面湖水中のメタンは大気濃度から計算される

飽和濃度の 6.7 倍から 26,000 倍にあり、どの観測点のどの時期においても対気へメタンが放出されていた。拡散的に対気へ放出されるメタンは秋冬季に増加する季節変動性が確認された（図 1）。対気へのメタン放出速度は平均 $7.6 \text{ mgC/m}^2/\text{day}$ と見積もられた。これは Bastviken et al. (2011) が見積もった世界の湖沼の平均値の 1.4 倍に相当する速度である。手賀沼全体から 1 年間に対気へ拡散的に放出されるメタンは 11 MgC と見積もられた。

湖水中でのメタン酸化分解速度を決定するためのメタン濃度時間変化法において、メタン濃度は水銀添加時間に対して指数関数的に減少した。初期のメタン減少速度は冬季に増加した。またメタン減少速度と湖水中メタン濃度との間に有意な相関関係がみられた。そこでその関係から手賀沼全体での湖水中でのメタン酸化分解速度の算出を行った。手賀沼湖水中では炭素換算で年間に 5.4 MgC のメタンが酸化除去されていると計算された。

河川からのメタンの流入と手賀沼湖水でのメタンの収支バランスから見積もった堆積物から拡散的なメタンの溶出をあわせた湖水への全メタン供給量は年間 18 MgC と見積もられた。そのうち 63 % が対気へと放出されている計算になる。その一方で湖水に供給されるメタンのうち 31 % を湖内で消費することで対気への放出量を 3 分の 2 に抑えていることになる。

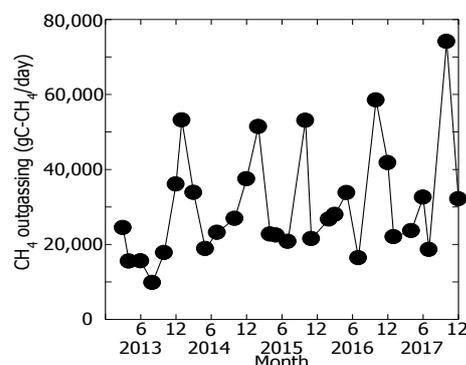


図 1 手賀沼表面から対気へのメタン放出速度

*藤井智康（奈良教育大・理科），藤原建紀（京大名誉教授），
中山恵介（神戸大院・工），山元幸之助（神戸大院・工），清水武俊，平木康大，
大藪智久（神戸市水道局）

1. はじめに

千苺貯水池は，日本で初めてカビ臭が観測された水道水源であることが知られており（水道協会，1979），また，羽束川および波豆川の2つの流入河川からの河川水の影響により，富栄養化が起りやすい水域である．千苺貯水池における水質改善対策として，貯水池内に中層曝気装置が2基，また底層水循環装置が4基設置されており，水質や貧酸素水の改善効果が期待されている．水質改善の目的で中層曝気装置が設置されているが，装置稼働による水温躍層の形成および水温鉛直構造にどのような影響を及ぼしているかの詳細は分かっていない．

本研究では，中層曝気装置の効果について詳細な現地調査によって明らかにすること，及び水塊形成との関連を明らかにすることを目的とする．

2. 調査方法

2.1 縦断観測

調査地点を図1に示す．各調査地点では，直読式総合水質計 AAQ-177（JFEアドバンテック）を用い，水温，電気伝導度（EC25），DO，pH等の鉛直分布を水深0.1m間隔で測定した．

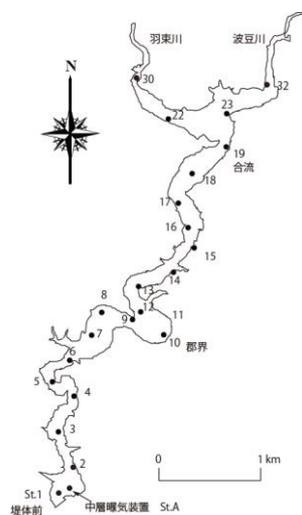


図1 調査地点

2.2 水温連続観測

図1に示す St.A の中層曝気装置地点において，2018年4月19日より水深6mから17mまで1m間隔にメモリー式水温計ティドビット v2（Onset社）を設置し，10分間隔で連続観を行った（図2）．

2.3 中層曝気装置付近の水温分布調査

2017年6月1日に図1に示す St.A の中層曝気装置付近の水温分布を測定した．調査箇所は，図3のとおりである．

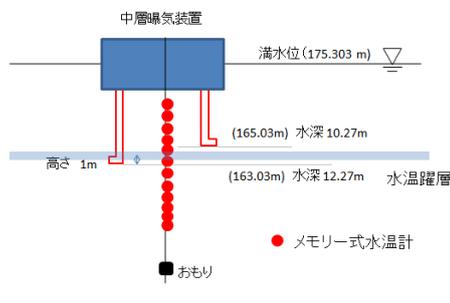


図2 水温計設置状況

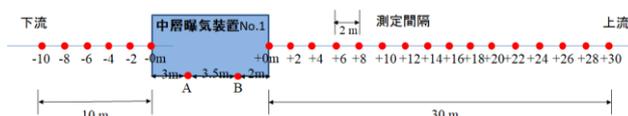


図3 中層曝気装置周辺の調査地点

3. 結果

中層曝気装置の特性を調べた．特に表層の藍藻を中層（取水層）に拡散させる危険性について調べた．中層曝気装置 No.1 の取水および放流は，中層で行われており，上層（水深6m以浅）との混合は起きていなかった（図4）．

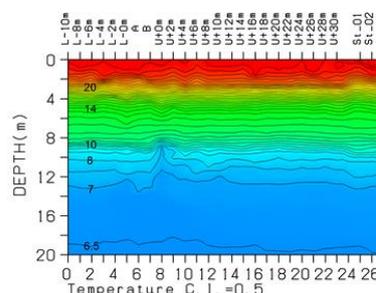


図4 中層曝気装置周辺の水温分布

また，2018年度水温連続観測結果の一例を図5に示す．水深9mの水温躍層付近では，振幅1~2m程度の内部波が見られる．この変動の要因について本学会において明らかにしていく．

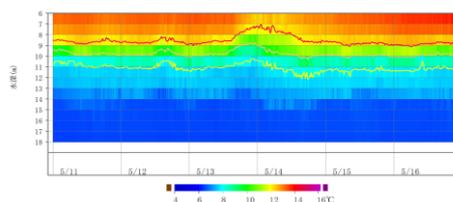


図5 中層曝気装置周辺の水温変動
(2018年5月11日~16日)

※鮎川和泰^{*1}※² 三上育英^{*1} 古里栄一^{*3} 清家泰^{*2}

※¹環境システム(株)※²島根大学エスチュアリー研究センター※³鹿児島大学産学・地域共創センター

はじめに

貯水池に於ける問題点の一つとして、富栄養化、それに伴うアオコの増殖があげられる。藍藻類の増殖は、景観障害、周辺への臭い、カビ臭の原因ともなりこれらの抑制対策は注目されている。その対策技術を確認させるためには、まず藍藻類（アオコ）の発生メカニズムを知ることが初期ステップであるが、現在アオコの指標は、発生後目視される指標に頼らざるを得ない。

本研究では、近年開発されたフィコシアニンセンサーを用いた貯水池水質自動昇降装置「マイクロプロファイラー」により藍藻類の発生初期を計測した。藍藻類は貯水池内において、上流端（浅場）と堤体付近（深場）で異なった挙動を示し、発生初期は、特に表層より深い水深にて推移することがわかった。

使用機材

上流部、堤体付近の2カ所に設置した水質計自動昇降装置（環境システム株式会社製）において、1時間（3時間）に1回、水深5cm間隔で水温、電導度、D.O.、pH、ORP、濁度、クロロフィルa、シアノバクテリア（PCY）を計測した。

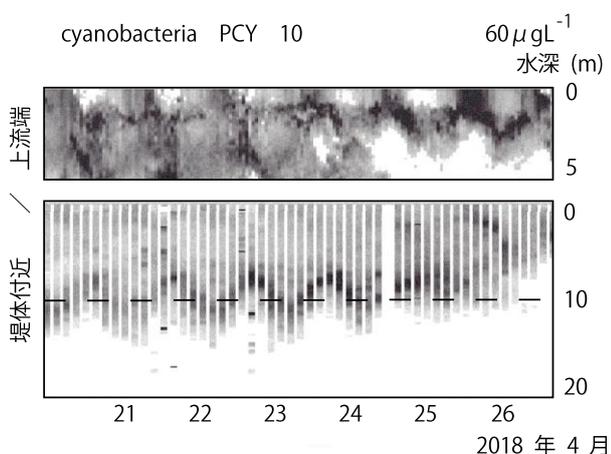


Fig-1 上流端(水深6m)及び堤体付近(水深35m)におけるPCY濃度鉛直分布の時系列分布

結果と考察

調査を行ったのは、島根県にある湛水面積39ha、総貯水量7,100,000m³の貯水池で、上流端は堆積土砂がたまり、水深10m程度の浅場が広がる。

Fig-1には、2018年4月20日からの貯水池内シアノバクテリア濃度(以下PCY)を水深別、1週間時系列に示した。この観測期間中、上流端の水温は表層で20℃、底層で12℃、堤体部の水温は表層で約18度であった。

20日以降、上流端において底～中層部にPCY最大濃度が生じ分散していたが、24日以降は中～表層へその分布が移行した。また、堤体付近でのPCYは、20日以降、水深10m付近で日周変動をしており、24日以降その分布の中心は、表層へと移行した。期間中堤体付近水深10mの水温は、11.2℃から12.7度と変化していた。

まとめ

シアノバクテリアセンサーによる藍藻類の検出により、藍藻類が貯水池表層にその色を見せる約1週間前から少し深い水深で増殖している様子が見られた。

藍藻類群体の挙動が表層へ動いた4月25日以降について、4月26日の貯水池表層pHは9.4pHと強いアルカリを示していた。

これらは、4月20日～23日、緑藻、珪藻など混在する植物プランクトンが光合成により貯水池表層域をアルカリにシフトさせた。その結果、重炭酸イオンを有効に利用出来る藍藻類だけが表層アルカリ域で有利となり、藍藻類だけが表面に移動できる環境が整ったことが、マイクロプロファイラーで捉えたこの挙動であると示唆された。

*岡崎拓也・亀崎直樹（岡山理大・生地）

1. はじめに

一般的に淡水魚類の研究は、生息域の狭い希少種に焦点があたることが多く、通常眼にすることの多い一般種の分布、特に大規模河川の分布に関する報告は少ない。しかし、メダカのように、環境の変化によりかつては当たり前のように生息していた種が急速に減少することもある。そこで筆者らは大規模河川で普通に生息する種を記録するとともに、その魚類相の特性について考察することにした。

2. 方法

調査を行った河川は岡山県の高梁川、旭川、吉井川、兵庫県の千種川、揖保川、加古川、武庫川の計7河川で、いずれも一級河川である。それぞれの河川において、下流から中流にかけて6カ所の調査地を設け、計42調査地で魚類相を調べた。魚類相の調査は、捕獲するのではなく、それぞれの調査地に2つの水中カメラ（GoPro ウェアラブルカメラ）を沈め、2時間の動画に出現する魚類を抽出した。なお、魚類を集めるため、カメラの前には練り餌を網に入れて設置した。魚類の量的評価は、基本的に出現回数で数えたが、常に姿を見せている魚は+++、時折姿を消すが頻繁に出現する種は++として記録した。

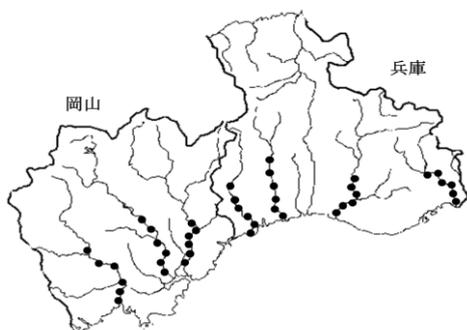


図 調査地

3. 結果・考察

今回の調査で、32種の魚類が記録された。河川別では、高梁川で8種、旭川で12種、吉井川で15種、千種川で16種、揖保川で15種、加古川で15種、武庫川で11種の魚類が記録された。その内、外来種は高梁川で2種、旭川で2種、吉井川で4種、千種川で2種、揖保川で4種、加古川で4種、武庫川で3種とすべての河川で見られた。外来種別ではオオクチバスが5河川、ブルーギルが3河川、タイリクバラタナゴが5河川、カムルチーが3河川で確認された。

最も頻繁に、かつ、多く見られたのはオイカワで42調査地中14調査地、次いでカワムツ（ヌマムツとの識別はおこなっていない）で12調査地で見られた。

一方、タナゴ類は揖保川以西の5河川で見られたが、最も東の揖保川では外来種のタイリクバラタナゴのみが確認された。在来種のタナゴ類が見られたのは千種川、吉井川、旭川、高梁川の4河川で、アブラボテ、ヤリタナゴ、カネヒラ、シロヒレタビラ4種が見られた。タイリクバラタナゴは揖保川、千種川、吉井川、旭川、高梁川のすべてで見られ、特に吉井川、千種川で多かった。タイリクバラタナゴが他のタナゴ類と産卵床の二枚貝などのニッチを巡る競争者だとすると、在来タナゴ類の保全を検討する上では大きな問題だと考えられた。以上の結果より、揖保川より西の5河川にはタナゴ類が産卵床とする二枚貝が生息しているものの、揖保川のタナゴ類は在来種からタイリクバラタナゴに置き換わっていた。すでに多くのタイリクバラタナゴが見られる吉井川や千種川では、将来、同じような経過をとって在来種のタナゴ類が消えることが予想され、注意が必要である。

植物プランクトンの一次生産

*森貞里咲(香川大院・農) 野崎健太郎(椋山女大・教) 山田佳裕(香川大・農)

1. はじめに

香川県は降水量が少なく、蒸発量が多いため、水資源の供給が不安定である。よって、効率的な水利用を目的として流域にはため池を、河道には堰を設けている。その結果、河川中に止水域が形成され、藻類が増殖する環境が生じている。新川は有機物汚濁が著しい河川で、有機物の大部分は藻類である。河川環境を保全するために、河口止水域での高濃度有機物の実態を明らかにし、環境負荷の少ない水利用を提案することが重要である。本研究では、水の滞留時間が長い河川における有機物の動態解析に資するため、新川河口堰に形成された止水域において高濃度有機物の原因である植物プランクトンの一次生産量とその変動を明らかにした。

2. 方法

調査は香川県の新川で行った。流域には1ha以上のため池が90箇所、可動堰は13基存在する。最大止水域を形成している河口で、2015年12月~2018年5月まで週1回の割合で河川水を採取した。試料水は持ち帰り、化学分析を行った。一次生産量は、現場で明暗ビン法を用いて測定した。光合成活性は、研究室のインキュベーターを用いて、光強度2170 lux~18860 luxの間で、透過率を4段階で設定し、光合成・光曲線から求めた。生産量と光合成活性は、溶存酸素を指標として求めたので、呼吸商を1と仮定し、炭素量に換算した。

植物プランクトンは試水をルゴール液で固定し研究室に持ち帰り、光学顕微鏡(1000倍)に取り付けたカメラで植物プランクトンを撮影し、同定後、計数を行った。植物プランクトンの種の起源は、流域の貯水池であると考えられるため、最大面積の貯水池で採水し、種組成を比較した。

3. 結果及び考察

観測期間中の優占種は藍藻の *Microcystis* spp.、*Planktothrix agardhii*、珪藻の *Cyclotella* *dubius*、*Stephanodiscus hantzschii f. tenuis* であつ

た。冬季は珪藻が多く、細胞数は $10^3 \sim 10^4$ cell/ml となった。夏季は藍藻が多く、最多時に 1.6×10^5 cell/ml となり、富栄養湖の霞ヶ浦に匹敵していた(今村・安野 1981)。河川と池で種組成は類似した。Chla 濃度は、12~2月の間に $100 \mu\text{g/L}$ 以上と高濃度で推移し、毎年2月は多く、最大で $332 \mu\text{g/L}$ となった。5~8月の間は $30 \mu\text{g/L}$ 以下で推移し、最小値は $6 \mu\text{g/L}$ であった。

植物プランクトンの1日当たりの総生産量は、0.2(2016年3月11日)~45.3(2017年8月3日) gC/m^2 、純生産量は、0.1~30.1 gC/m^2 の幅で季節変動した。生産量が低い時は、一般的な河川で一次生産者となる付着藻類による総生産量と同程度であるが、高い時は富栄養湖である琵琶湖や霞ヶ浦湖に匹敵するか、それ以上であった(Aizaki 1978, 高村 1987)。光合成活性は水温の影響を受けて変化した。25℃以上で 10mgC/mgChla/h を超え、10℃以下では 2mgC/mgChla/h を下回っていた。水温は、光合成活性に影響を及ぼし、結果として一次生産量にも影響を与えていた。

Chla 濃度と総生産量、光合成活性の変動は対応していなかった。冬季は、河口堰からの水の越流はほとんどなく、止水域の滞留時間は1~3日と長かった。新川は、13基の堰が存在し、河口堰と同様の事がそれらの堰で起こっていると考えられる。一方で、夏季は、農繁期となり吉野川からの水の供給や貯水池や田からの放流で、水量が増加し、滞留時間は1時間から1日程度と短かった。低い活性でも植物プランクトンが増殖する時間が確保できる冬季は、高い活性でも水量が多く、植物プランクトンが増殖する前に流されてしまう夏季に比べて、結果として植物プランクトンの量が多くなると考えられる。堰によって形成された止水域での高濃度有機物は、水の滞留によって植物プランクトンが増殖することが原因であり、堰での滞留時間は河川の有機物濃度を増減させる要因として重要であることがわかった。

フィルター法による DNA 抽出とリアルタイム PCR を用いる琵琶湖北湖における珪藻類などの動態解析

3D06

* 藤井しおり¹・水口裕尊²・比嘉良太¹・藤井一輝¹・布施泰朗^{1,2}・柄谷肇¹・山田 悦³・石川可奈子⁴・岡本高弘⁴・早川和秀⁴

1. 京工織大院・工学, 2. 京工織大・環境科学セ, 3. 京工織大, 4. 琵琶湖環研

1. 緒言

琵琶湖北湖で増加が懸念されている難分解性の溶存有機物質(DOM)には、フミン物質に加えて内部生産の藻類由来 DOM の寄与が大きいことを、我々は報告している。環境水中 DOM への藻類の寄与を明らかにするには藻類モニタリングが重要であるが、現行の顕微鏡を用いる藻類の同定・計数では形態学的に類似した種の区別が難しく、長年の経験や時間を要する。そこで、本研究室では DNeasy Plant Mini Kit による DNA 抽出とリアルタイム PCR(polymerase chain reaction)による藻類のモニタリング法を開発し培養試料や琵琶湖北湖の植物プランクトンネット試料に適用した。本研究では、より高感度で簡便な DNA 抽出法として、メンブレンフィルター上に捕集した藻類からの DNA 抽出(フィルター法)を検討し、フィルター法とリアルタイム PCR を用い琵琶湖北湖における珪藻類など三種の藻類の鉛直分布や月変化など動態解析を行った。

2. 実験

国立環境研究所より提供を受けた三種の藻類、*M. aeruginosa* (NIES-109), *S. dorsidentiferum* (NIES-665), *F. capucina* (NIES-391)を培養し、定常期に達した培養液を用いて、検量線用の細胞密度系列を調製した。これらを各 1 mL 滴下してメンブレンフィルター(孔径 0.45 μm)上に藻類を捕集し、フィルターを遠沈管に入れて一夜、-25℃で凍結した。凍結処理後、室温で解凍し、TE Buffer 5 mL を加えて 100℃で 1 時間加熱(ボルテックス 3 回)し、DNA を抽出した。これらの試料はリアルタイム PCR 測定まで-80℃で保存した。PCR 反応液は、PCR チューブに DNA 抽出試料、SYBR Premix Ex Taq (タカラバイオ製)、プライマー及び純水を加え容量 25 μL に調製した。リアルタイム PCR による PCR 産物の増幅は 95℃で 180 秒の加

熱を 1 サイクル、95℃で 2 秒、58℃で 5 秒、72℃で 5 秒の加熱を 45 サイクル行った後 78℃で 60 秒加熱した。融解曲線分析は 60-95℃の加熱で行った。PCR 増幅曲線で閾値 RFU=500 とし、Threshold cycle (Ct 値) と細胞密度から検量線を作成した。琵琶湖北湖今津沖中央 (St. 17B) において、水深別に湖水を採取した。水深別の湖水試料 1L をフィルター法による DNA 抽出とリアルタイム PCR で分析し、藻類細胞密度の鉛直分布と月変化を求めた。培養液及び琵琶湖試料は、三次元蛍光分光法、全有機炭素計などを用いて DOM の特性評価を行った。

3. 結果と考察

三種の藻類を、フィルター法を用いて DNA 抽出後にリアルタイム PCR 分析すると、Ct 値の変動係数(n=3)は 1~3 % と良い再現性が得られた。珪藻類である *Fragilaria* spp. の水深別細胞密度の月変化を Fig. 1 に示す。*Fragilaria* spp. の細胞密度は水深 0-20 m 間ではほとんど差はないが、水深 20 m より深いと低下し、7-11 月に低いという月変化を示した。藍藻類の *Microcystis* spp. と緑藻類の *Staurastrum* spp. は、それぞれ 6,7 月、9-12 月には検出されず。*Microcystis* spp. の細胞密度は、水深が深くなるにつれて減少し、*Staurastrum* spp. も同様の傾向を示した。

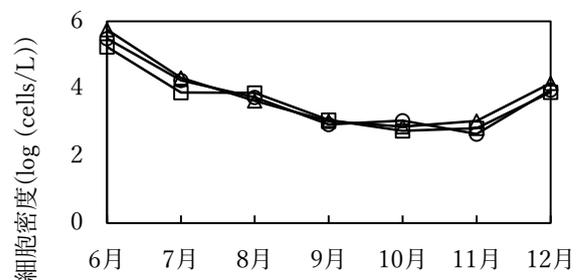


Fig. 1 琵琶湖北湖 (St. 17B) における *Fragilaria* spp.

水深: ○ 0.5 m, △ 10 m, □ 20 m

*坂田 雅之 (神戸大・院・発達), 源 利文 (神戸大・院・発達)

1. はじめに

近年、生物多様性の損失が大きな問題となっており、その保全や復元は重要な課題である。保全や復元のためには過去にどのような生物が生息していたのか、どのようなイベントが原因で生物多様性の減少・絶滅が起こったのかを知る必要がある。そのために、環境中に生物から放出された DNA (環境 DNA) が長時間堆積物中に残存することから、過去の堆積物に含まれる環境 DNA を用いることで当時の生物相を復元できる可能性が考えられる。しかし、環境 DNA 分析手法は主に環境媒体としては水を用いており、その有効性や検出能力もよく議論されているが、堆積物を環境媒体とした本手法については未だ発展が遅れている。

そこで、最終的な目標は環境 DNA を用いた過去復元とし、本研究ではその初期課題である検出法の改善を試みた。実際には、堆積物からの環境 DNA 検出において、どれくらいのサンプル量や、どのような手法を用いることで、有効性が実証されている水由来の環境 DNA と同等の情報を得ることができるかを検討した。

2. 材料と方法

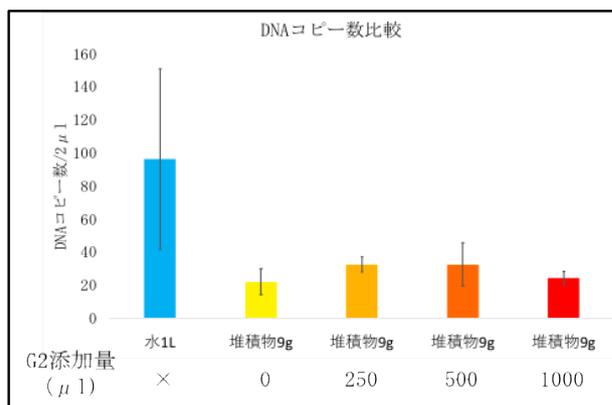
神戸大学内の野外ビオトープから、環境水・堆積物をサンプリングし、そこに生息しているカワバタモロコ (*Hemigrammocyparis rasborella*) を対象として、Real-time PCR 法によりそれぞれの環境媒体に含まれる環境 DNA を定量することで複数段階のサンプル量・抽出方法について検討を行った。

サンプル量についてはこれまで行ってきた 3g を基準とし、その 2 倍量、3 倍量の堆積物を用いてサンプル間の DNA 量や分散について比較した。抽出方法の改善については G2 DNA/RNA enhancer (以下 G2、AMPLIQON 社) を用いて添加することで環境 DNA の回収量が向上するかどうかを比較し、その後、適切な添加量の探索を行った。堆積物からの環境 DNA 抽出は DNeasy Power Soil Kit (QIAGEN 社)

を改良した抽出法 (坂田 未発表) を基準に行った。

3. 結果

堆積物のサンプル量は 3g、6g、9g 間で有意な増加は見られなかったが増加の傾向が見られ、分散も減少する傾向にあった。また、G2 を用いることにより DNA の回収量は有意に増加した。一方で、水サンプルと比較すると、どの G2 添加量でも水サンプルから検出できる DNA 量の約 3 分の 1 程度しか検出できなかった (図)。



図：水と堆積物から検出した DNA 量の比較

4. 考察

本研究では、堆積物サンプル量をこれまでの 3 倍に増加し、G2 を使用することで堆積物から検出できる環境 DNA の量を増加させることに成功した。これは専用のキットによりサンプル量に制限のある堆積物からの DNA 抽出にとって大きな進歩である。その一方で、一般的な水サンプル (1L) から得られる情報量には到達できていないので、さらなる回収量の向上は今後の課題である。また、本研究では対象種を定め、DNA 量を用いて検討を行ったが、今後は環境 DNA メタバーコーディングを用いた種組成に関する情報量の比較も行っていく。このように検出法を確立することで堆積物から多くの生物情報が得られ過去復元においても十分に利用できる時期期待される。

*中屋慎司¹、水口裕尊²、山田悦³、布施泰朗^{1,2}、山本春樹⁴、岡本高弘⁴、早川和秀⁴

1. 京工繊大院・工芸、2. 京工繊大・環境科学セ、3. 京工繊大、4. 滋賀県琵琶環研

1. はじめに

琵琶湖では、近年生物分解を受けにくい難分解性有機物質の増加による生態系への影響が懸念されている。これまでの研究で、難分解性有機物質の一部であるフミン物質が底質表面から溶出することを明らかにしており、本研究室はその溶出機構の解明を目的としている。

琵琶湖において、植物プランクトンは有機物の主要な一次生産者である。植物プランクトンはバクテリア等の微生物による分解作用を受けながら底質に沈降・堆積すると考えられている。従って、そのプランクトン由来粒子の分解過程は底質堆積物中の有機物の量や組成に影響を与える重要な過程であるが、それに関する研究は少ない。

そこで、琵琶湖において植物プランクトンを採取し、生分解実験を行うことにより、植物プランクトンの沈降過程における分解作用や底質における粒子状有機物質への影響について検討した。

2. 材料と方法

プランクトン試料は2018年1-5月に毎月1回琵琶湖北湖今津沖中央 (St. 17B, 水深0-20 m) にてプランクトンネット (mesh 25 μm) を用いて採取した。また、採取したプランクトン試料と湖水 (St. 17B, 水深20 m) を用いて15°Cの暗所にて生分解を開始させた。生分解開始から14日及び28日後にプランクトンを生分解試料として回収した。

それぞれの試料は遠心分離で上澄み液と分離し、凍結乾燥後、テフロン製乳鉢を用いた粉碎を行い、粉末乾燥試料とした。それらの試料を用いて熱分解GC/MS分析、有機炭素含有率、及び元素分析を行った。熱分解GC/MS分析は、試料を前処理なしで測定 (熱分解温度:600°C、熱分解時間:12秒) を行い、評価可能であった熱分解生成物のイオン強度を解析し、内部標準物質のNonadecane (m/z 57) と外部標準試料 (プランクトン試料; 2017年3月16日採取) を用いて相対評価した。

3. 結果と考察

熱分解GC/MS分析において、脂質由来成分 (Hexadecanoic acid (m/z 73)、Alkenes (m/z 69) 及び Alkanes (m/z 71)) とタンパク質由来成分 (Pyridine (m/z 79)、Methylpyrrole (m/z 80)、Benzyl nitrile (m/z 117)、Indole (m/z 117) 及び Methylindole (m/z 130)) が評価可能であった (RSD = 1.4~11.4%, n=5)。生分解28日後の有機炭素含有率の残存率が最も高いのは5月 (86.5%) であったのに対し、最も低いのは3月 (31.1%) であった。また生分解28日後におけるプランクトン試料の各熱分解生成物相対強度について、3月では脂質由来成分及びタンパク質由来成分の残存率が有機炭素含有率と同様に低いが、5月では脂質由来成分は高く、タンパク質由来成分は低く、時期によって異なる結果を示した (Fig. 1)。

琵琶湖北湖において、3月では *Aulacoseira* spp. (珪藻類) が、5月では *Micrasterias hadyi*. (緑藻類) が優占した。植物プランクトンの分解過程は種の違いにより異なると考えられていることから、底質堆積物に及ぼす影響も優占種の違いにより異なることが推測された。

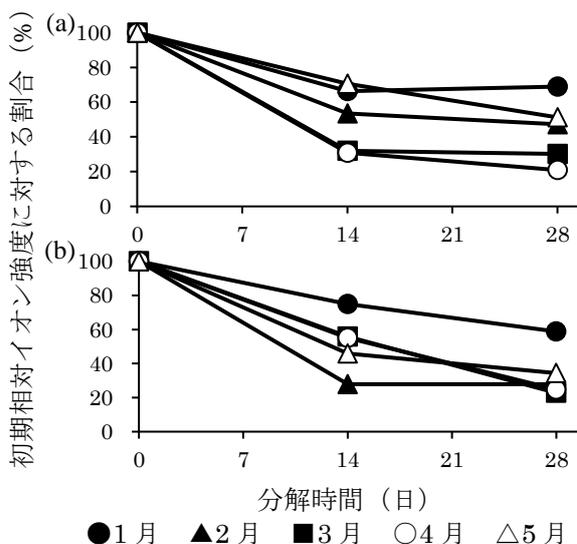


Fig. 1 生分解実験におけるプランクトン試料の熱分解生成物相対イオン強度の変化

(a) 脂質由来成分 (b) タンパク質由来成分

*比嘉良太¹・水口裕尊²・藤井しおり¹・藤井一輝¹・布施泰朗^{1,2}柄谷 肇¹・山田 悦³・岡本高弘⁴・早川和秀⁴

1. 京工繊大院・工芸, 2. 京工繊大・環境科学セ, 3. 京工繊大, 4. 琵琶湖環研

1. 緒言

本研究では、琵琶湖北湖水中の難分解性溶存有機物質 (DOM) には、陸生由来フミン物質等に加えて内部生産性の藻類由来 DOM であることを報告している。しかし、藻類由来 DOM の内、タンパク質様蛍光物質の特性については不明な点が多い。

そこで本研究では、琵琶湖水中タンパク質様蛍光物質の特性を明らかにするために、異なる季節の琵琶湖水及び藻類から、タンパク質様蛍光物質を濃縮・分離し、二次元電気泳動 (2-DE) により比較解析した。さらに、琵琶湖に生息している藍藻類の *Microcystis aeruginosa* と緑藻類の *Staurastrum dorsidentiferum* を培養し、培養液から濃縮・分離したタンパク質様蛍光物質について、マトリックス支援レーザー脱離イオン化飛行時間型質量分析計 (MALDI-TOF-MS) を用い特性解析を行った。

2. 方法

琵琶湖北湖 (St. 17B) の水深 0.5 m で採取した湖水 10-20 L をメンブレンフィルターでろ過後、クロスフロー限外ろ過装置を用いて約 200 mL とし、さらに凍結乾燥により約 3mL に濃縮した。濃縮試料をエコノパック 10DG カラム (Bio-Rad 製、排除限界 6 kDa) を用い Tris-HCl バッファーに交換後、Amicon Ultra 限外ろ過チューブを用いて約 200 μ L まで濃縮した。国立環境研から提供された *M. aeruginosa* (NIES-109)、*S. dorsidentiferum* (NIES-665) を培養し、これらの培養液 400 mL をろ過後、湖水試料と同様の操作で約 200 μ L に濃縮した。

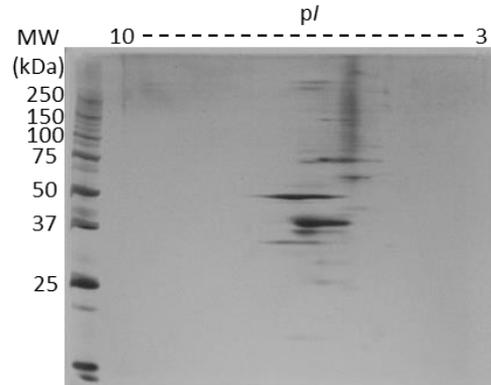
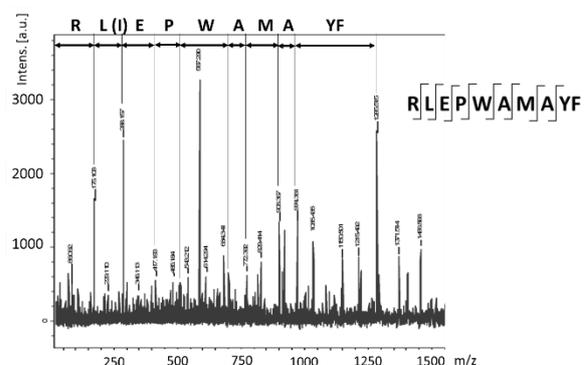
琵琶湖水及び藻類培養液から濃縮分離したタンパク質様蛍光物質を脱塩後、2-DE で分析した。2-DE 後、染色されたスポットを切り出し、脱色、酵素 Trypsin を用いてゲル内消化を行った。MALDI-TOF-MS を用い、これらの試料を解析した。マトリックスは、2,5-dihydroxy benzoic acid (2,5-DHB) を用いた。

3. 結果・考察

濃縮・分離した琵琶湖水中タンパク質様蛍光物質を 2-DE で分析すると、季節によらず、分子量 30-80

kDa のタンパク質が検出された。藻類試料中タンパク質様蛍光物質も主に 30-80 kDa で、分子量は類似しており (Fig. 1)、琵琶湖水の溶存タンパク質への藻類の寄与が考えられる。

S. dorsidentiferum 由来のタンパク質様蛍光物質を MALDI-TOF-MS で分析すると、 $m/z = 1259.009, 1686.074, 1795.157, 1992.474, 2133.559$ 等のスペクトルが得られ、 $m/z = 2133.559$ に関し MS/MS のスペクトルを Fig. 2 に示す。アミノ酸の配列決定を行うと、RLEPWAMAYF と考えられる部分配列が推定され、相同性検索により、O-antigen ligase-like membrane protein と配列が類似していることが明らかになった。*M. aeruginosa* 及び琵琶湖水試料のタンパク質様蛍光物質についても同様の分析を行い、比較検討した。

Fig. 1 *S. dorsidentiferum* 由来 DOM の 2-DE 図Fig. 2 *S. dorsidentiferum* (Parent Mass 2133.559 m/z) の MALDI-TOF-MS/MS 分析

琵琶湖北湖湖底環境シミュレーション実験による 底質-湖水間の溶存有機物質の動態解析

3D10

* 藤井一輝¹、菅井良紀¹、布施泰朗^{1,2}、山田 悦³、山本春樹⁴、岡本高弘⁴、早川和秀⁴
1.京工織大院・工学, 2.京工織大・環境科学セ, 3.京工織大, 4.琵琶湖環研

1. 緒言

閉鎖性水域における難分解性溶存有機物質 (DOM)の増加現象は、国内では琵琶湖北湖以外にも、霞ヶ浦、十和田湖及び野尻湖等で確認されており、今井らは霞ヶ浦では底泥からの溶出が有機物の主な起源の一つと報告している。本研究では、琵琶湖北湖では成層期にフルボ酸様蛍光物質(土壌フルボ酸と同様の蛍光特性)の濃度は底層水の方が表層水より高く、これは難分解性有機物であるフミン物質のうち比較的水溶性の高いフルボ酸の底質からの溶出によるものと推測した。琵琶湖北湖底質を用いて湖底環境のシミュレーション実験を行い、フルボ酸様蛍光物質等が湖水の溶存酸素濃度に関係なく溶出することを明らかにした。

本研究では、湖底環境シミュレーション実験において、直上水に加えて底質・間隙水の採取・分析を行うことで、琵琶湖北湖における底質-湖水間のフルボ酸様蛍光物質の挙動をより詳しく解析した。

2. 実験

琵琶湖北湖の今津沖中央(St. 17B)において、琵琶湖水はバケツとバンドーン採水器、底質コアはRigo製不攪乱採泥器を用いて採取した。底質コアはインキュベーター内(湖底環境に近い温度 7°C)に設置し、DO濃度とpHを制御して暗所で実験を行った。実験期間は約50日間で、定期的に直上水と層別に底質のサンプリングを行った。底質はコア表面から深度別にL1: 0~1 cm, L2: 1~2 cm, L3: 2~4 cm及びL4: 4~10 cmの4層に分けた。琵琶湖水及び直上水はメンブレンフィルター(Millipore製、孔径0.45 μm及び0.20 μm)でろ過をし、三次元蛍光光度法(3-DEEM)でフルボ酸様蛍光物質及びタンパク質様蛍光物質の蛍光強度を測定し、TOC計と蛍光検出-ゲルクロマトグラ

フ法(GPC法)でDOC濃度と分子量分布の測定を行った。底質試料は遠心分離(3000 rpm, 20 min)によって底質と間隙水に分離し、間隙水は蛍光検出-GPC法で測定し、底質は乾燥後TOC計と波長分散型蛍光X線分析(XRF)法を用いて、底質中有機炭素量と無機成分の測定を行った。

3. 結果と考察

蛍光検出-GPC法(Ex/Em = 340/435 nm)で直上水試料を分析すると、琵琶湖水DOMと同様に主にピーク1(RT = 29~30min),ピーク2(RT = 32min),ピーク3(RT = 35min)の3つのピークが検出され、それぞれのピーク強度が経過日数ごとに増加していることから、底質による湖底水中フルボ酸様蛍光物質濃度増加への寄与が推測される(図1)。また、間隙水中フルボ酸様蛍光物質においても、層ごとに各ピーク強度の特徴的な経時変化が確認されており、分子サイズによる挙動の違いなどが推測される。これらの結果と、底質試料の分析結果から底質-湖水間での溶存有機物質の動態解析を行った。

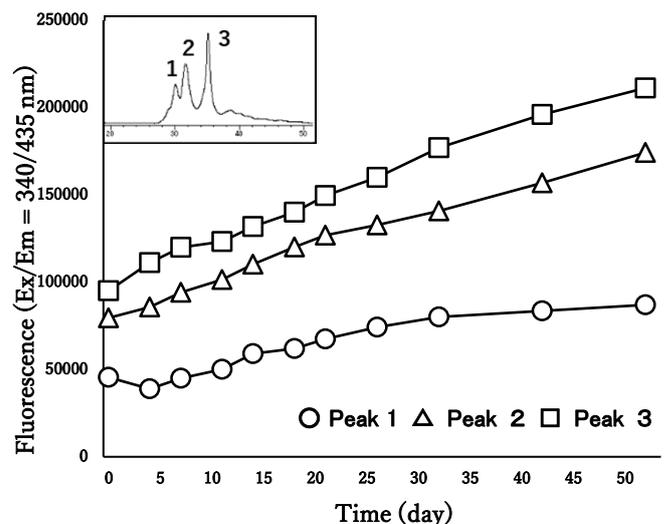


図1 直上水中フルボ酸様蛍光物質のクロマトグラム(左上)と各ピーク強度の経日変化(2018年5月)。

3D11

Py-GC/MS を用いる琵琶湖北湖深水層における溶存有機物質の化学特性解析

*佐藤翔太¹, 布施泰朗^{1,2}, 山田悦³, 山本春樹⁴, 岡本高弘⁴, 早川和秀⁴

1. 京工織大院・工芸, 2. 京工織大・環境科学セ, 3. 京工織大, 4. 琵琶湖環研

1. はじめに

琵琶湖北湖では難分解性有機物の増加が懸念されており、これまでの研究でその一部は藻類由来のタンパク質や糖鎖構造を有することを明らかにしてきた。本研究では、クロスフロー式限外ろ過法で濃縮した溶存有機物(DOM)を熱分解ガスクロマトグラフ質量分析装置(Py-GC/MS)を用いて分析し、熱分解生成物を相対評価することで起源と動態の解析を行った。湖水 DOM への藻類由来 DOM の寄与を明らかにするために、植物プランクトン試料も同様に測定し、比較解析した。

2. 材料と方法

2017年1月から2018年8月まで琵琶湖北湖今津沖中央(St. 17B)において湖水試料(水深0.5 m, 20 m, 80 m)を採水し、プランクトンネット(mesh 25 μm)を用いプランクトン試料(水深0-20 m)を採取した。ろ過した湖水試料20 Lをクロスフロー式限外ろ過ユニット(Sartorius 製 分画分子量:10kDa)で約200 mLまで濃縮後、凍結乾燥した。この乾燥試料をメノウ乳鉢で粉砕した均一な粉末試料(1.0あるいは2.0 mg)を試料カップに取り、内部標準物質として Nonadecane を添加後、Py-GC/MSを用い熱分解温度を400~700°Cまで変化させて熱分解生成物の生成量を測定した。さらに外部標準試料として NIES No. 31 Lake Sediment を5.0 mgもしくは4.0 mgを取り、同様に測定した。Nonadecane のイオン強度(m/z=57)を100として各熱分解生成物の生成量を相対評価した。プラン

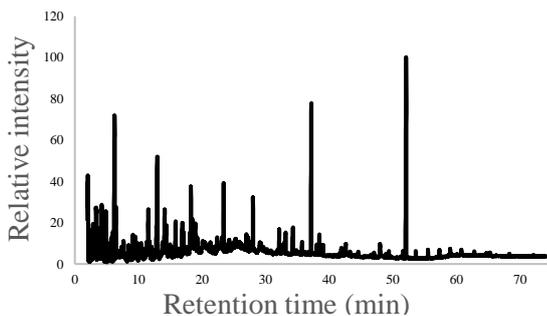


Fig. 1 2017年8月採取の濃縮DOMのピログラム

クトン試料は遠心分離後、凍結乾燥し、粉末試料として同様に測定して湖水 DOM の結果と比較検討した。Fig. 1にPy-GC/MSで測定した濃縮DOMのピログラムを示す。

3. 結果と考察

2017年に採取した表層水の濃縮DOM試料をPy-GC/MS(熱分解温度600°C)で測定し、半定量的評価が可能であった主な熱分解生成物(Alkenes、Alkanes、Pyridine、Cresol、Benzene、Toluene、Xylene、Indole、Di(2-ethylhexyl) phthalate、Methyl pyrrole、Benzyl nitrile、Furan、Tetradecanoic acid、Styrene)の生成量をFig. 2に示す。内部標準物質 Nonadecane のイオン強度(m/z=57)を100として各熱分解生成物の生成量を相対評価した。

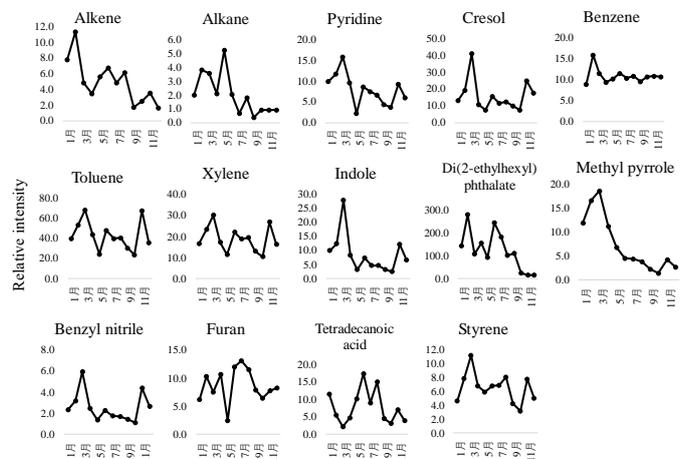


Fig. 2 濃縮DOMの2017年の毎月の熱分解生成物生成量の結果

熱分解生成物生成量の経月変化において類似の挙動をCresol、Indole及びBenzyl nitrileとPyridine、Toluene、Xylene及びStyreneで示した。一方、FuranやTetradecanoic acidなどは他の熱分解生成物とは異なる挙動を示した。類似の経月変化挙動を示した熱分解生成物は同一起源であると推測された。そこで熱分解温度を400~700°Cまで変化させたときの熱分解生成物の生成挙動について検討した。また、FTIRや元素分析結果とあわせて化学特性解析及び動態解析を行った。

*矢巻剛・猪狩彬寛・浅見和希（法政大・院）
小寺浩二（法政大・地理）・堀内雅生（法政大・学）

1. はじめに

島嶼の水環境は様々な地域で研究されてきたが、長崎県の島嶼に関する研究はほとんどないことから、2014年より五島列島、対馬、壱岐、平戸と研究を進めている。これまで、数年間の調査により、各島嶼の水質の特徴や季節変化などが明らかになり、流域による違いも見えてきた。今回は、調査・分析結果および小流域における解析をもとに、各島の河川水質および形成要因について考察・比較を行う。

2. 研究方法

既存研究の整理と検討を行った上で、現地調査は五島列島で2014年から4回、壱岐で2015年から8回、対馬は2016年から8回、平戸は2017年に6回行った。現地では、水温、気温、電気伝導度(EC)、比色pHおよびRpH、COD(2017年/2018年5月壱岐・対馬・平戸のみ)を計測し、採水して全有機炭素の測定と主要溶存成分の分析を行なった。雨水は壱岐・平戸各3か所、対馬4か所、五島列島・島原各1か所で毎月採取し、分析を行っている。

3. 結果・考察

水質の季節変動は特にpHで大きく、溜池において春～夏にかけて9前後、冬は7.5前後まで変動した。RpHは年間通して8前後であることから夏には炭酸同化作用が起きていると言える。

水質組成や各溶存成分間の相関関係から海塩の影響の差が見られ、特に強い河川は対馬下島の矢立山を流域に持つ河川、壱岐北部の谷江川、御手洗川、平戸生月島・的山大島の河川・地下水である。矢立山は対馬島の最高峰であり、風送塩や海水を多く含んだ降水が速く流下したものと考えられる。平戸の生月島や的山大島でも同様の傾向が見られるが、こちらは面積が小さいことも大きく影響しており、的山大島の地下水は塩水化していると考えられる。

壱岐とそれ以外の3島では、河床勾配が異なり、壱岐では、対馬や平戸の河川と比べて上流部から溶存成分濃度が高いことが特徴である。対馬では特に変化が大きい、中流部で伏流、または流量が極端

に減ることとの関係も考えられる。

仁田川（対馬上島）、佐須川（対馬下島）、旗鉾川（壱岐）、安満川（平戸島）において流下に伴う水質組成を見ると、佐須川においては上流において濃度が低く、塩化物イオンとナトリウムイオンの割合が大きい水質組成であるが、下流の金田橋では濃度が増加し、カルシウムイオンが増加した。一方、仁田川、旗鉾川、安満川は流下に伴い濃度は増加が見られたものの、水質組成に大きな変化は見られなかった。佐須川上流部は矢立山を含んでおり、海塩の影響だが、下流部ではそれ以外の要因も大きくなっている。旗鉾川、安満川は上流部より重炭酸イオン濃度が高く、地質や土壌の影響を受けた地下水の寄与が大きいと言える。

対馬上島の舟志川支流の上流部で、溶存成分濃度が特異的に高い地点が見られた。周辺に廃棄物の埋め立て場があるという情報があり、土壌および水質汚染の可能性が高い。

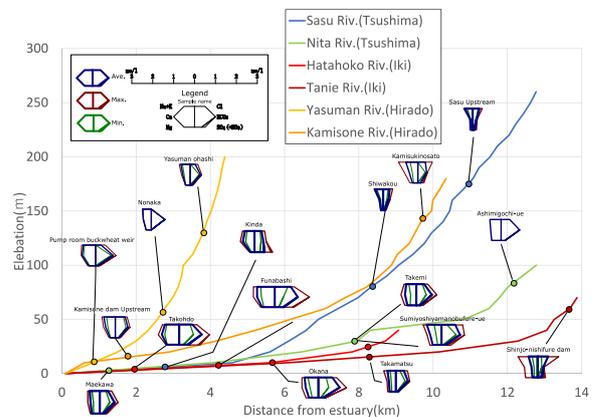


図1 主要河川における河床勾配と水質

4. おわりに

以上から、地形形成と地質・土壌の違いから、水質組成と流下に伴う変化の違いが見られることが明らかになった。今後も小流域における解析と考察をすすめ、水環境をより詳細かつ定量的に把握する必要がある。

The condition of nitrogen and phosphate in coastal alluvial plain Case study: Indramayu, Indonesia

*Anna Rusydi (Hiroshima Univ.), Mitsuyo Saito (Okayama Univ.),
Seiichiro Ioka (Hiroshaki Univ.), and Shin-ichi Onodera (Hiroshima Univ.)

1. Introduction

Nitrogen and phosphorus are chemical compounds those naturally present on earth. Nowadays these substances has become a pollution problem due to human activity. Industrial and municipal waste, fertilizer, and manure are examples of unnatural sources of nutrient.

Our research is in Indramayu, Indonesia, located in the northern part of West Java (Fig. 1). Indramayu is an alluvial plain which has characteristic of huge storage of groundwater. But the soil can easily leak contaminant from surface to subsurface. In this paper, we deliver the concentrations of nitrogen (nitrate, nitrite, and ammonium) and phosphate in the unconfined groundwater.

2. Materials and Methods

Location

A total of 20 samples were collected from unconfined aquifers (18 samples) and the Cimanuk River in August 2017 (Fig. 1). Sampling locations were selected to represent the dominant land-use types in Indramayu area.

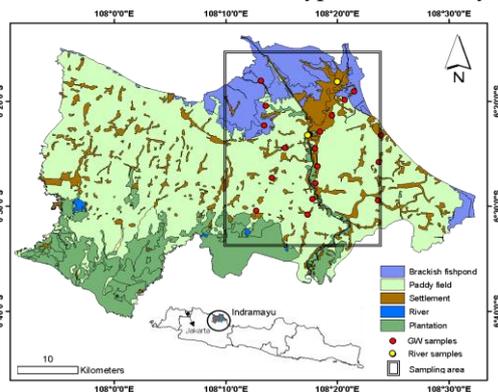


Fig. 1. Sampling location

Analysis

Samples were filtered through a 0.2 μm cellulose ester membrane filter and stored in a freeze condition until analysis. The concentrations of nitrogen and phosphate species were determined with a continuous-flow automated nutrient analyzer.

3. Results

From field measurements, we found that the samples has neutral pH with minimum and maximum pH 6.6 and 8.0, respectively. While the conductivity were varied, from 367 until 22,000 μS/cm. The result of nutrient analysis is shown in Fig. 2. In Fig. 3, we display the correlation between two dominant nutrients in order to find the source of the compounds.

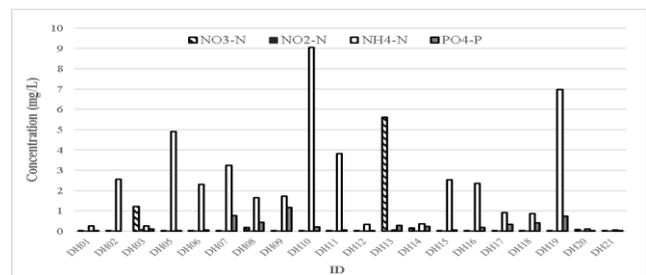


Fig. 2. Nutrient concentration

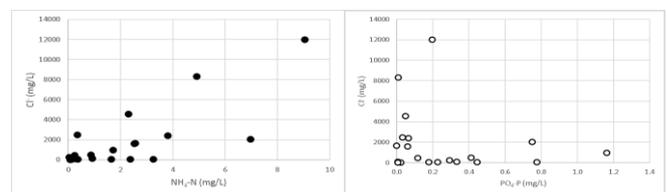


Fig. 3. Correlation between ammonium and phosphate with chloride

4. Discussion

Fig. 2 exhibit that the dominant form of nutrient is ammonium. Moreover, phosphate concentrations were also dominant in some location, although were not as high as ammonium.

Ammonium concentration mostly showing good correlations with chloride, especially in area with high chloride (brackish fishpond). This condition showed that others than fertilizer and human waste, the source of ammonium can also from organic sediments. On the other hand, there was no correlation with phosphate and chloride. Moreover, phosphate in high salinity area was the lowest.

*朴 紫暎・杉山 雅人 (京大院・人環)

1. はじめに

環境水中での溶存ケイ酸の濃度は、0.1 - 0.6mM の範囲であり (Gottlieb et al. 2012)、河川を通して湖に流入される。その後、湖底の浮遊粒子状物質および堆積物中の水酸化鉄に容易に吸着され (Fischer et al. 2009)、半永久的に埋蔵される。しかし、夏に無酸素性の深層水が発達する湖では、硫化水素による水酸化鉄の還元によってケイ酸が水酸化鉄から溶出される。Lehtimäki et al. (2016) も無酸素還元環境で溶出されたケイ酸は、生物起源シリカではなく、水酸化鉄に由来するとしている。

我々は、このような湖におけるケイ酸の地球化学的過程の研究を通していくつかの湖では間隙水中に重合体ケイ酸 (PSi) が溶存することを発見した。したがって、本研究では、様々な湖における PSi 形成及び分解機構とともにケイ酸の溶解度以下で PSi の安定的な溶存について検討した。

2. これまでの観測結果

ケイ酸の化学形態を同定するため、モリブデンブルー法 (Mo-B) および ICP-AES (誘導結合プラズマ原子発光分析法) を用いて、低分子量ケイ酸および溶存全ケイ酸を測定した。O'Connor (1961) によると Mo-B 法では、ケイ酸の単量体から五量体 (これらのケイ酸を以後 MSi と呼ぶ) まで測定できる。また、ICP-AES 法では全ケイ酸 (TSi) を測定することができる (Tallberg 2000)。この MSi と TSi の濃度差を PSi とした。Fig. 1 に示すように、PSi は汽水湖の菅湖と水月湖では検出されなかったが、淡水の琵琶湖と河口湖では溶存していた。

2. 実験方法と結果

本研究では、間隙水中の PSi の主な供給源はケイ酸が吸着している水酸化鉄であり、PSi 溶存を制御

する主要な因子は汽水で最も豊富な成分である NaCl であると仮定した。

ケイ酸の重合反応に対する NaCl の影響について検討した。pH 7 の混合液 (0.6 mM MSi, 0 または 0.3 mM Fe³⁺) の NaCl 濃度を 0 または 0.6 M に調整し、1 ヶ月間放置した (操作①)。その混合液を 10 mL ずつろ過してろ液 1 (F1) と沈殿を分取した。沈殿を Na₂S 溶液 (pH 7、NaCl : 0 または 0.6 M) 10 mL と 1 日間反応させ、ろ過してろ液 2 (F2) を得た (操作②)。各ろ液の MSi と TSi を測定した結果、①、②の操作ともに NaCl が 0 M である F2 溶液でのみ PSi が検出された。

PSi を含む琵琶湖間隙水に NaCl を加え 0.6 M にすると、NaCl 添加後 8 日目には当初存在していた PSi の 94% が MSi に分解された (Fig. 2)。

次の実験により PSi の安定性について検討した。0.7 mM MSi、0.1 mM Fe³⁺、pH 7 の混合溶液から得た沈殿を 0.02 M HNO₃ または 1.0 mM Na₂S の溶液で溶解させた。それぞれの溶液を酸素下ならびに無酸素下で保存した。Na₂S 溶液中では酸素下、無酸素下に関わらず PSi 濃度はほとんど変化しなかった。HNO₃ 溶液中では、PSi は酸素が存在すると約 2 日後に 0 mM になり、無酸素条件でも少し減少した。

3. 考察

上記の結果から、NaCl が 0 M である溶液中で、MSi が水酸化鉄に吸着し、その表面で PSi が形成されることが分かった。大量の NaCl の存在は PSi を分解し、その形成を抑制するため、NaCl が豊富な汽水湖では PSi が検出できなかったと考えられる。また、無酸素環境であるときは、全ケイ酸の濃度が溶解度以下にあっても PSi が MSi に分解せず、長期間安定に溶存すると推定される。

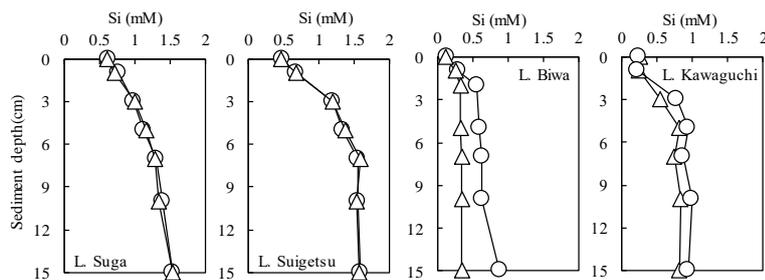


Fig. 1 各湖での間隙水中の MSi(△)と TSi(○)の分布

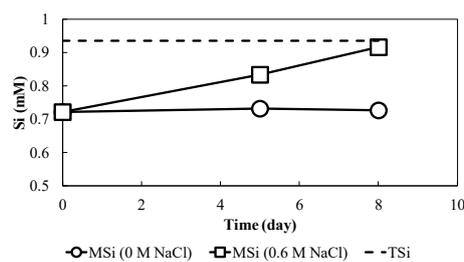


Fig. 2 NaCl の添加による PSi の分解

Comparison of runoff simulations at different scales and evaluation suspended sediment in a small watershed using eco-hydrological model SWAT

*Yang Cao (Hiroshima University), Shin-ichi Onodera (Hiroshima University), Mitsuyo Saito (Okayama University)

1. Introduction

As one of the most important cycles on the earth, the water cycle has an important influence on the biosphere. The water cycle of basin affected by different geographical conditions, such as geology, soil and climate. Therefore, it is necessary to explore the characteristics of hydrological elements in a watershed for the management of water resources and land use. In order to compare the hydrological characteristics of the basins under different natural conditions, Akamatsu Mountain, Shimo-Akamatsu Mountain and Ikuchi Island were selected as the study areas (Fig.1 and Table1).

2. Materials and Methods

The digital elevation model used is the first version of the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM) (grid cell: 30 m × 30 m). The soil and land use data come from Japanese land and information web site. Weather data was downloaded from Japan meteorological website. Then we set up SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model based on these materials.

3. Results

In Akamatsu Mountain and Shimo-Akamatsu Mountain catchments, the groundwater discharge with time is affected by rock. The groundwater discharge in granite area is more stable than that in rhyolite area. In addition, different geological conditions affect the water budget of hydrological elements. In Ikuchi Island, hour simulation perform well in predicting the high flood peak in the river basin with reasonable evaluation indicators. The groundwater as a percentage of precipitation at hourly simulation is about 36.6 % and at daily scale is about 35 %.

4. Discussion

The water budget of hydrological elements was affected

by different geological conditions in mountain catchments and different land use area which has been observed and compared in this study, it shows different natural conditions have an important impact on the hydrological cycle. The ability of hourly flow to simulate flood peak is also explored in this study which will provide experience for the management of water resource.

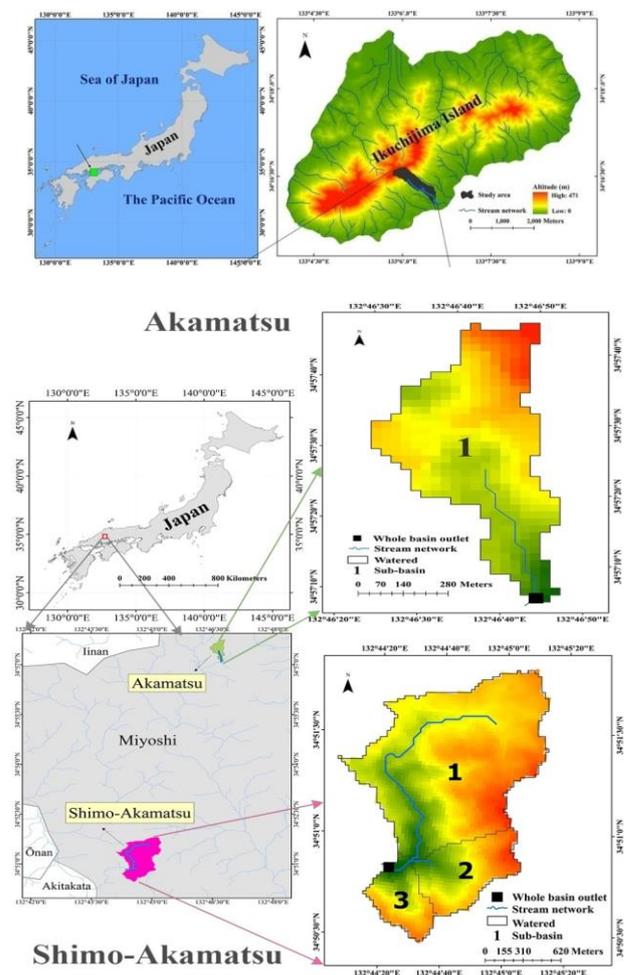


Fig.1 Study areas; Ikuchi Is. and Miyoshi in Hiroshima Pref.

Table1 Physical properties of study area

	Geology	Ann. Precipitation
Ikuchi Is.	Granite	1100
Miyoshi	Granite, Rhyolite	2000

課題講演・一般講演 要旨

2018年10月8日(月)

*奥田 昇（地球研）、小野寺 真一（広島大・総）
伴 修平（滋賀県大・環境科学）

1. はじめに

陸水学の発展に伴って、リンや窒素などの栄養塩の挙動をダイナミックに捉える技術が目覚ましく進歩した。また、20世紀に始まった栄養塩の観測活動の蓄積は、人間活動による陸水環境の長期的な攪乱過程を浮き彫りにした。世界中の陸水が抱える栄養循環の攪乱に起因した環境問題を解決するには、人間活動の場である集水域を含めて、流域スケールで栄養循環の時空間動態を統合的に理解する必要がある。

そこで、栄養循環に関連した物理・化学・生物プロセスを分野横断的に理解する場として琵琶湖流域を対象とした課題講演を企画する。森林・農地・宅地など陸域からの栄養塩排出過程、大気からの栄養塩の降下過程、河川における栄養塩の取込みや輸送過程、地下水を介した湖盆への栄養塩の流入過程、湖盆における栄養塩の三次元動態、生物群集による栄養塩代謝機能など、異なる分野の研究者の知見を共有することによって、流域の栄養循環、特に、リン循環に対する理解を深めたい。

2. 講演プログラム

まず初めに、佐藤氏より、琵琶湖流域内の社会と生態系のリンフローについて話題提供いただく。昭和30年代に比べて、現代のリンフローがどのように変化したか概観したい。続いて、湖沼へのリン負荷における地下水の役割に焦点を当てた小野寺氏の水文研究を紹介する。ラドントレーサーを用いた多地点観測調査を行った結果、河川に対する地下水由来のリン負荷量が無視できない値となりうることを報告する。さらに、友澤氏は、集水域上流部の湧水や沢水の溶存イオン成分および水素・酸素安定同位体比の分析を行い、地下水の涵養プロセスを解明する研究について紹介する。また、王氏は、水収支を推定するSWATモデルを用いて、琵琶湖流域の最大流入河川である野洲川の河川水と地下水由来のリン輸送量の比較を試みる。

井手氏は、リン酸-酸素安定同位体分析という新し

い手法を用いて、河川におけるリン負荷源の推定や生物による代謝過程を評価する研究を紹介する。琵琶湖流域の大規模河川である野洲川と安曇川に本手法を適用し、河川水のリン酸-酸素同位体特性の空間変異が流域間で異なる理由について集水域の土地利用や地質分布に焦点を当てながら考察する。特に、農地は集水域の主要なリン負荷源とみなされるが、石田氏は、湛水期の田面水のリン動態を理解する室内実験を試みる。環境配慮型農法の1つである冬季湛水が田面水のリン濃度を抑制する効果があることを実証した実験結果について報告する。

内湖は、琵琶湖周辺に点在する潟湖の総称であり、集水域から輸送された栄養塩を一時的に貯留・代謝する生態系機能を担う。齋藤氏は、マルチトレーサー法を用いて、2つの内湖における地下水流入を比較し、内湖によって地下水の寄与が異なることを報告する。また、易氏は、内湖に負荷されるリンの動態をリン酸-酸素安定同位体手法を用いて解明することを試みる。農地から負荷されたリンが速やかに湖内で代謝回転され、生物利用性の高い正リン酸の存在比が低下することを報告するとともに、リン代謝における植物プランクトンの関与について検討する。さらに、池谷氏は、可分解性有機態リンの代謝酵素活性を測定することにより、溶存態リンの大半を占める溶存有機態リンが正リン酸の制限下で微生物により利用される可能性について考察する。

刘氏は、ナノレベルで正リン酸を測定するイオンクロマトグラフを用いて、琵琶湖盆におけるリンの水平・垂直分布の季節動態を解明することを試みる。琵琶湖盆の有光層では、正リン酸が著しく枯渇することを報告する。最後に、辻氏はリン制限環境下でバクテリア代謝によって利用される有機態リンのメチルホスホン酸の湖水および周辺環境中での探索を試みる。

以上の話題提供を踏まえて、総合討論では、琵琶湖流域でのリン循環研究を総括するとともに、今後の学際的な研究展望について意見交換したい。

*佐藤祐一（滋賀県・琵琶研セ），永禮英明（岡山大・院）

1. はじめに

受水域に流入する物質のうちリンは，一次生産量を規定する最も重要な元素であるとともに，地球上に有限な資源であることからその枯渇が危惧されている．今後の流域社会におけるリン管理のあり方を検討するためには，社会におけるリンの投入や回収と，受水域の生態系の関係を明らかにすることが必要である¹⁾．本研究では，琵琶湖流域を対象として，現代における流域社会および湖内生態系におけるリンフローを統合的に把握するとともに，リンを介した陸域と琵琶湖のインタラクションの過去と現在の違いを概観する．

2. 方法

流域社会，流入負荷，湖内食物連鎖，水草（沈水植物）に分けて 2010 年代のリンフローを算出した¹⁾．

流域社会については，琵琶湖流域と滋賀県域がほぼ一致することから，滋賀県へのリン投入量と回収量について計算した．リン投入量は農業由来のもののみを取り上げ，回収量は生産量・出荷量に生産物中のリン含有量を乗じて計算した．県外からの移入量は，県内で消費される食品別粗食料から，県内で生産される粗食料を減じたものとして算出した．

流入負荷量は，人口や土地利用等のフレーム値に原単位をかけるか，処理場や事業所など実績値のあるものはそれを利用して集計した．

湖内食物連鎖については，琵琶湖全体を 1 ボックスの完全混合槽と仮定し，栄養塩の他，植物プランクトン，動物プランクトン，魚類（2 種）の生物種からなる食物連鎖モデルを構築した．モンテカルロ法により 100 パターンのパラメータセットが得られるまで計算を繰り返し，得られた結果を平均してリンフローを算出した．

水草については，南湖における水草バイオマスの消長を再現できるモデルを構築した．2011 年から 2015 年まで 5 ヶ年の計算を行い，水草量の観測値の変遷が再現できるよう，各種パラメータを調整した．2010 年代については上記手法により流域社会および湖内生態系におけるリンフローの把握をするが，

過去推計の対象とする昭和 30 年（1955 年）頃においては同程度の情報が得られない．そこで陸域と琵琶湖のインタラクションのみに着目し，昭和 30 年頃のリンフローを計算した．

3. 結果と考察

2010 年代における陸域と琵琶湖のリンフローを図 1 に示す．県外から年間 2,790 t のリンが移入しているが，最終的に琵琶湖に流入するのは 231 t であり，残りの大部分が陸域内の農地や水路，河床などに残留していることがわかる．

一方で昭和 30 年頃のリンフローを同様に算出すると，陸域と琵琶湖のインタラクションに係るリン量は大きく変わらないが，県外から陸域への移出入差が現代に比べてはるかに小さいと推定された．しかし，陸域のリンがマイナス収支となることから，実際には農業部門以外の県外からのリン移入が推定以上であったか，面源負荷の原単位が現代と同程度と仮定しているため，流入負荷量を過大評価している可能性がある．

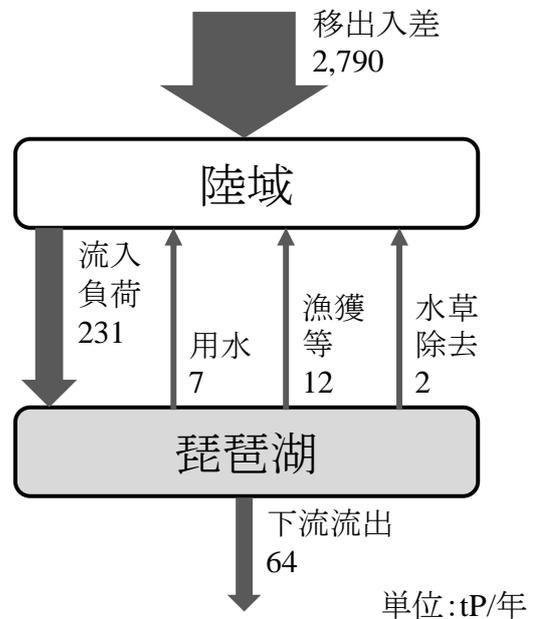


図 1 陸域と琵琶湖のリンフロー (2010 年代)

参考文献

1) 佐藤祐一ら（2017）第 20 回日本水環境学会シンポジウム講演集，221-222

4A03

琵琶湖へのリンおよび水の供給に対する地下水の役割の再評価

*小野寺真一（広島大・総），齋藤光代（岡山大・環境生命）
友澤裕介（広島大・総），伴修平（滋賀県立大・環境），奥田昇（地球研）

1. はじめに

陸域の岩石に由来するリンは、一般的な沿岸や湖沼では低濃度で生物の制限要因になることが多いため、その経路の同定や流入量の定量は重要であり、また地下水中ではその濃度が高いことも多く、重要な経路の一つであることが確認されている（小野寺,2015）。琵琶湖は日本最大の湖沼であり、水深も100m に達する北湖と呼ばれる大部分のエリアでは、富栄養湖ではなくリンが不足した環境となっている。従来から、降水、河川、地下水による琵琶湖への水供給量が議論されてきた。Fujino (1980)、國松 (2003) らは水収支計算から、琵琶湖への河川流出に対する地下水流出の割合を、28.5%、5.8%とそれぞれ見積もった。一方で、シーページメータ等による広域の観測（図1）により、Kobayashi (1994) *1 は地下水湧出量を河川流出量の 22% と見積もり、Fujino (1980) に近い試算となった。しかし、水深10m 以深の試算には至っていないため、十分とはいえない。そこで、本研究ではラドントレーサー等による試算を行ったので、報告する。

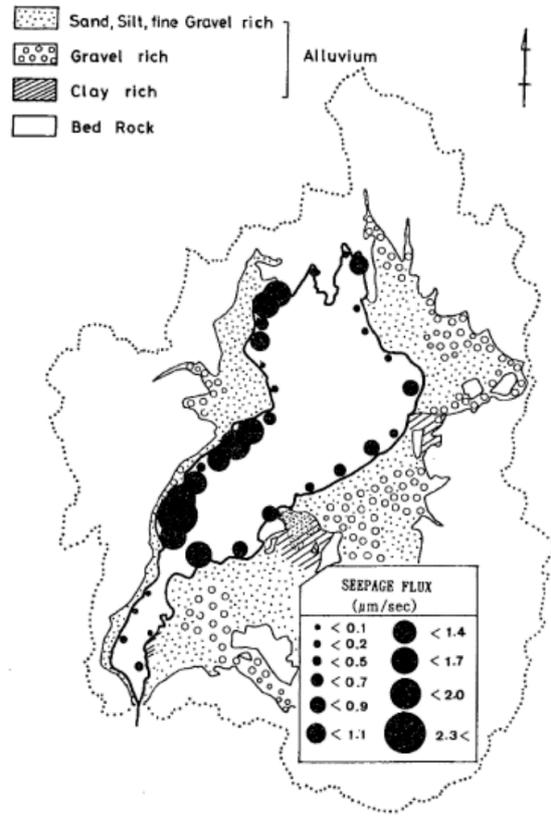


図1 琵琶湖の地下水湧出量分布*1

2. 方法

野洲川河口沿岸域で12地点、彦根周辺域で10地点程度において、それぞれRad7を使用しラドン濃度を計測した。また、彦根から湖心に向かって水深5m、10m、20m、60mの各地点で、表層、低層、湖底間隙水のそれぞれラドン濃度を計測した。それぞれ採水も行い、栄養塩濃度もオートアナライザーにより分析して定量した。計測時期は2015年から2017年にかけて、7月及び10月に行った。あわせて、周辺の河川水、地下水、湖岸間隙水をそれぞれ10地点、7地点、4地点で採取し、ラドン濃度を測定し、あわせて栄養塩濃度も定量した。

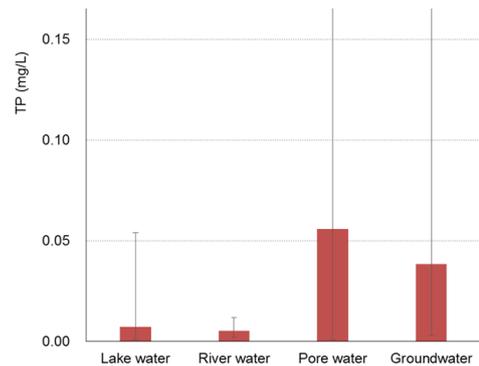


図2 琵琶湖周辺の水のリン濃度

3. 結果と考察

1) 河川水および地下水では、リン濃度（図2）もラドン濃度も地下水が明瞭に高かった。河川水では流下にともない生物消費され揮散されていくのに対して、地下水では湖岸の還元環境下でより溶脱し

ているためであると考えられる。

2) 地下水流出は、より沖での流出を確認する（浅部の値と同程度）とともに、水平的にもより大きな変動を捉えることができた。また、Fujino (1980) による見積もりを大きく上回り、地下水の役割の大きさが示唆されるとともにリンの供給においても重要な役割を果たすことが確認できた。

琵琶湖東岸地下水における

4A04

涵養域からの主要イオン成分寄与の推定

*友澤裕介（広島大・院），小野寺真一（広島大・総），
齋藤光代（岡山大・環境生命），伴修平（滋賀県立大・環境）

1. はじめに

琵琶湖東岸において，地下水は水資源として多く利用されている。また，地下水は池や河川，琵琶湖に流入・漏出しており，生態系との関わりが指摘されている。これらの水環境において，水質は重要であり，その成分の起源を把握することは，保全や持続可能な水環境を考えるうえで必須であるといえる。

そこで，本研究では地下水の溶存イオン成分と水素・酸素安定同位体比を分析し，湖水と地下水の涵養域である上流域の湧水及び沢水と比較することにより涵養域からの成分の寄与の推定を試みた。

2. 方法

調査対象地は琵琶湖東側，彦根城の南側に河口がある芹川流域で，流域面積約 65 km²、幹線流路延長約 17km である。平野部は主に堆積岩類からなり，山間部は玄武岩及び石灰岩が分布している。

採水は 2017 年 7 月に湖水・地下水（深井戸及び浅井戸）・上流域の湧水及び沢水計 9 地点（採水地点標高 700-200m）と 12 月に上流域の湧水及び沢水計 12 地点で実施した。なお，井戸は民家で使用されているものであり，正確な深度が不明であった為，便宜的に浅井戸の深さを 4m（標高 85m），深井戸の深さを 19m（標高 70m）と仮定した。上流の採水地点は小流域の尾根から約 1 km 以内で湧出・表流しているものを対象とした。

採水した水は EC（電気伝導度），pH を測定し，実験室にて水素・酸素安定同位体比（ δD ・ $\delta^{18}O$ ），およびイオンクロマトグラフィーによる主要イオン（ Cl^- ， NO_3^- ， SO_4^{2-} ， K^+ ， Na^+ ， Mg^{2+} ， Ca^{2+} ， NH_4^+ ）の分析を行った。また， HCO_3^- 濃度をチャージバランスから算出した。

3. 結果

地下水の EC は浅井戸：260 $\mu S/cm$ ，深井戸：270 $\mu S/cm$ であり， Ca^{2+} が富む水（40mg/l 以上）であった。

湖水の EC は 132 $\mu S/cm$ であり，地下水より薄い濃度であった。

上流域の湧水・沢水には EC が高い水（100 $\mu S/cm$ 以上）と低い水（100 $\mu S/cm$ 以下）に偏りがみられた。EC が高い水はいずれも Ca^{2+} が多く含まれており，採水地点標高 450m～350m の水には Mg^{2+} も多く含まれていた。（最大 11mg/L）

地下水の酸素安定同位体比は浅井戸が-8.0‰，深井戸が-8.3‰であった。上流域の水では概ね高度効果がみられ，EC の低い水に注視すると $\delta^{18}O$: -0.15～-0.13 ‰ / 100 m の割合が確認できた。このとき，井戸水の涵養標高は 350～230m と推定できた。

4. 考察

多くの地点の溶存イオン成分のパターンは HCO_3^- -Ca 型であった。これは上流域に分布する石灰岩に起因すると考えられる。また， Mg^{2+} が多い水は玄武岩などの影響とみられる。

Ca^{2+} と Mg^{2+} の 2 成分で相関関係をみると地下水（深井戸； Ca^{2+} ：41.4mg/L， Mg^{2+} ：6.8mg/L）は，採水地点標高 680m～500m に分布する” EC が高く Ca^{2+} が富む水（ Ca^{2+} ：約 35mg/L， Mg^{2+} ：約 3mg/L）” のグループと採水地点標高 450m～350m に分布する

” EC が高く Ca^{2+} が富み， Mg^{2+} も多く含む水（ Ca^{2+} ：約 30mg/L， Mg^{2+} ：約 11mg/L）” のグループの中間程度の Mg^{2+} 濃度でありながら， Ca^{2+} 濃度はいずれのグループの水より富んでいた。

これは，この 2 グループの水が，地下水の涵養標高と推定される 350～230m までに混合し，さらに流下に伴い，沖積層中の石灰岩などに接することにより，より Ca^{2+} が富む水となったと考えられる。

* Kunyang Wang (Hiroshima Univ.), Shin-ichi Onodera (Hiroshima Univ.),
Mitsuyo Saito (Okayama Univ.),
Noboru Okuda (Research Institute for Humanity and Nature)

1. Introduction

The quantification of groundwater discharge in water is one of the most important indicators of water cycle in lakes by carrying large nutrient loads. The Yasu River is one of the important water sources of Lake Biwa. This paper using Geographic Information System technology and based on the analysis and prediction of the land use change in Yasu River basin. The water balance was simulated using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT2012). Model calibration and uncertainty analysis were performed with sequential uncertainty fitting (SUFI-2). Although there have been some early studies on lake interactions with groundwater (e.g. Meyboom, 1967, and a review by Winter, 1999) lake ecosystems were far less intensely investigated. In recent years, using heat as a natural tracer has become more and more popular in research addressing small- to medium-scale interactions between groundwater and streams (Anderson, 2005; Constantz, 2008; Stonestrom and Constantz, 2003).

2. Materials and Methods

Lake Biwa is the largest freshwater lake in Japan, located in Shiga Prefecture, northeast of the former capital city of Kyoto. And my study area, Yasu River, is the largest river to flow into Lake Biwa. The catchment has an area of 453 km² and lies between latitude 34°51' to 35°7' N and longitude 135°57' to 136°25' E. The evaluation of study area from 26 in the western parts to 1223 m in eastern parts. The annual precipitation was 1739 mm in 2003 and 1476 mm in 2016. The Yamato River Basin slope from 0 to 60.5 degrees. The mainly soil type in study area is Acrisols, Cambisols, Fluvic gleysols and Rhodosols.

In this study, we choose the ASTER survey data as DEM, which covers all land areas between 83° north latitude and 83° south latitude, much wider than any previous topographic map, reaching 99% of the earth's

land surface. Previously, the most complete DEM data was provided by NASA's Space Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), which mapped 80% of the Earth's land between 60°N latitude and 57°S latitude.

Land use maps and soil maps from the National Land Information website. Land use information is divided into 12 types including farmland, forests, and buildings, and soil is divided into four different types. Slope information is obtained from the DEM and divided into four different levels from 0 to 8, 8 to 24, and more than 24 degree.

3. Results

For the simulation, the Yamato river catchment was divided into 19 sub-basins based on their land use and soil type. All the analysis result was based on each HRU. Simulations were run for time steps of monthly to compare the modelling output with the observed monthly discharge.

The correlation coefficient and the Nash–Sutcliffe coefficient is higher than 0.50. The results shown that total groundwater is 83 million m³ in 2003 and 61 million m³ in 2016. At the same time, phosphorus is also released to the river with groundwater, continuous impact on the water and water quality of the Lake Biwa.

4. Discussion

A total of approximately 33% groundwater in the basin are accompanied by rainfall, of which 8% is deep groundwater. In the normal water year, the groundwater mainly concentrates in the southern area, but in the abundant water year in the eastern mountainous region also has the large concentration degree. Phosphorus is mainly distributed in the downstream regions. Combing the data available next month, I maybe try to compare the distribution of phosphorus between the year of the normal water and the year of abundance water.

*井手淳一郎 (九大・決断科学セ), 石田卓也 (地球研), Abigail P. Cid-Andres (阪大), 尾坂兼一 (滋賀県大・環境), 岩田智也 (山梨大・工), 林拓矢 (山梨大・工), 明石真徳 (山梨大・工), 陀安一郎 (地球研), Adina Paytan (UCSC), 奥田昇 (地球研)

1. はじめに

リン (P) はすべての生物にとっての必須元素であり, 農作物の肥料としても貴重な資源である。一方, 人間活動による P 資源の利用の結果として陸域から水域への過剰な P の流入が生じている。このことは水域の富栄養化を誘発し, 赤潮やアオコの発生等, 水環境問題を引き起こしうる。P は主に水を介して移動し, 自然条件下ではガス態に変化しない。このため, P の環境中での動態は陸域から水域への一方通行であり, 一度水域へ流入した P を回収するには多大なコストを要する。陸域からの過剰な P の流出を抑え, 陸域における P 資源を効率的に活用していくためには, 流域を一つの単位として P の動態や起源を把握し, それらを流域の地目や地質の管理と結び付けていく必要がある。

近年, 流域における P 動態を探るツールとしてリン酸の酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$) を用いた解析手法が注目されている。河川水の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ は水系に負荷されるリン酸の由来を反映するといわれているため, 当手法を用いれば河川の P を流域の地目や地質と関連付けることが可能である。しかしながら, これまで日本の河川に当手法を適用した事例はほとんどなく, 河川の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ がどのような値をとるか, また, その値が何に由来しているかは十分にはわかっていない。

本研究では河川の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ の値とそれを特徴付ける要因を明らかにすることを目的に, 土地利用構成と地質構成の異なる 2 つの河川流域間において河川水の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ の値を比較・検討した。

2. 材料と方法

本研究は琵琶湖・淀川水系に属する安曇川流域 (面積: 311 km²) と野洲川流域 (面積: 387 km²) を対象に実施された。安曇川流域は, その大部分が森林から構成され, また, その地質については流域のほとんどが付加複合体で構成される。野洲川流域では, 上流域が主に森林で構成され, 下流域では宅地が集中分布し, それらを取り巻くように平野部に

田畑が広がっている。地質については堆積岩, 深成岩, 付加複合体で構成される。

安曇川流域の支流河川 7 地点と野洲川流域の支流河川 15 地点で, 2014 年 9 月と 2015 年 9 月に河川水のサンプリングを実施し, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ を分析した。また, 両流域において肥料, 下水処理水, および岩石のサンプルを採取し, それらの $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ も分析した。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ の分析はマグネシウム誘導共沈法によるリン酸銀試料の作成法を採用した。

3. 結果と考察

安曇川流域と野洲川流域における河川水の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ の値はそれぞれ $19.0 \pm 2.4\text{‰}$, $13.1 \pm 2.3\text{‰}$ であり, 安曇川流域のほうが野洲川流域よりも高い値を示した (u-test, $p < 0.001$)。一方, 河川水の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値のばらつきに 2 つの流域間で差はなかった。

河川水のリン酸の潜在的負荷源と考えられる肥料, 下水処理水, 岩石の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値と河川水のそれとを比較した結果, 安曇川流域の河川の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値は岩石 (付加複合体) の値 ($17.5 \pm 2.9\text{‰}$) に近かった。また, 河川の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値は流域に占める堆積岩の割合が増すと低くなったことから, 安曇川流域の河川の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値は地質に由来すると考えられた。一方, 野洲川流域の河川の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値は流域に占める水田の割合と強い正の相関を示したことから, 土地利用に関係すると考えられた。以上のことから, 河川の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値のばらつきは地質や土地利用で説明でき, また, 河川の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値と地質または土地利用との関係性は流域によって異なることが示唆された。

河川の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値の, 地質や土地利用で説明できない部分 (回帰分析の残差) は流域面積の増加とともに一定値に収束する傾向にあった。流域面積が大きくなると流程も長くなるので, 生物によるリン酸の取り込みの機会が増え, リン酸と環境水との間で $\delta^{18}\text{O}$ の温度依存的な交換平衡が生じると考えられる。残差の流域面積拡大に伴う収束傾向は, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値が河川の流下過程で環境水を反映した一定値に近づくことを示しているのかもしれない。

冬季湛水が水田のリン動態に与える影響

4A07

*石田卓也、上原佳俊（地球研）、浅野悟史（琵琶研）、奥田昇（地球研）

1. はじめに

水域への人為的な栄養塩負荷は、これまで富栄養化や水質悪化などの環境問題を引き起こしてきた。近年、下水道の整備や工場排水への規制が進んだことで、点源負荷は減少してきた。その結果、農地などの面源負荷源への対策の重要性が増してきている。水田は、日本において主要な面源負荷源であり、水田に対する栄養塩流出防止策が求められている。

冬季湛水は、圃場整備後の慣行農法では乾田化されている冬季の水田に、湛水を行う農法のことをいう。冬季湛水は、生物多様性の保全（水鳥やカエル類）や水資源の効率的利用を目的として導入が広がってきている。湛水することで、水田内の環境は生物的にも物理化学的にも乾田状態とは大きく異なる状態が生まれ、栄養塩動態にも影響を与えることが予想される。しかし、冬季湛水を行うことによる栄養塩動態に与える影響は十分検証されてきておらず、栄養塩流出防止という観点から冬季湛水がどのような効果を持つのかということは明らかではない。そこで本研究は、栄養塩の中でも最も水域への影響が大きいリン動態に着目し、冬季湛水がどのような影響を与えるのか培養実験によって検証した。

2. 材料と方法

調査地は、滋賀県甲賀市小佐治地区で行った。小佐治地区は、琵琶湖へ流れる野洲川中流域の中山間地域に位置し、その山間に谷津田が構成されている。古琵琶湖層由来の堆積岩から発達した非常に細かい粒子を持つ土壌が分布している。小佐治地区では、水資源の効率的利用やニホンアカガエルの保全などを目的とし、1~2月ごろから湛水を開始する農家が増加してきている。

2017年4月に地区内の5サイトから、冬季湛水を行った水田（冬季湛水区）と隣接する乾田化された通常の水田（通常区）の表層土壌を採取した。実験室へ持ち帰った土壌試料は、同じく採水した用水路の水とよく混ぜ合わせ、疑似的な耕起操作を行った。

その後、土壌を高さ30cm、直径5cmのプラスチックの円筒におよそ同量になるように繰り返し5で用水路の水とともに詰め、土壌表面にのみ光が当たるよう培養容器の側面をアルミ箔で覆った。1日静置後、表層水の一部を採取した。その後、施肥操作として、リンを含む有機・無機肥料を加えた。加えた量は、聞き取り調査によって得られた小佐治地区における標準的な施肥量になるよう調整した。培養は、小佐治地区の4~5月の環境に合わせて、室温15°C、明条件13時間、暗条件11時間の条件下で1か月間行った。期間中、適宜表層水の採水と、表層5cm深の土壌における酸化還元電位を測定した。採取した水試料は、全リン（TP）濃度、反応性リンを測定した。

3. 結果

培養開始時（施肥を与える直前）の表層水中のTP濃度は、5サイト中4サイトで有意に冬季湛水区で低かった。1サイトでは差が認められなかった。培養に伴い、両処理区ともにTP濃度と酸化還元電位の低下が観察された。そのうち、2サイトで冬季湛水区のほうがTP濃度、酸化還元電位ともに低く、3サイトでは処理区間で差は認められなかった。

4. 考察

冬季湛水区で表層水中にTP濃度が低かったサイトが認められたことから、冬季湛水が栄養塩流出防止に貢献できることを示唆している。TP濃度と酸化還元電位に関係性が見られたことから、表層水中のTP濃度を定価されている要因は還元的環境にあることが考えられる。今後、培養前後の土壌中のリン動態や生物性を調べることでTP濃度低下のメカニズムを調べ、どのような条件下で冬季湛水がリン流出防止に効果があるのか整理する必要がある。

*齋藤光代（岡山大・環境生命）小野寺真一・友澤裕介・王 崑陽（広島大・総）
・伴 修平（滋賀県立大・環境）

1. はじめに

琵琶湖の周囲には、現在、推定 20 を超える礁湖（ラグーン）が存在する。これらは内湖（ないこ）と呼ばれ、もともとは琵琶湖の一部であったが、沿岸漂砂や河川から輸送された土砂の堆積によって琵琶湖と隔てられた水域とされている。これらの内湖は、浅水域に適応した生物種の貴重な生息場所となっているほか、琵琶湖への直接的な土砂や栄養塩流入量を軽減する機能を有している¹⁾。前述したように、これらは琵琶湖と繋がっているため、琵琶湖の栄養塩循環を理解するうえでは、内湖における栄養塩収支を把握することが重要である。ここで、湖への地下水流出（Lacustrine Groundwater Discharge: LGD）は、特にリン（P）などの潜在的な栄養塩輸送経路として注目されており²⁾、琵琶湖沿岸域においても、LGD が存在することが従来の研究で明らかにされている³⁾。しかしながら、内湖に対する LGD の影響はこれまで明らかにされていない。そこで本発表では、内湖における LGD について、マルチトレーサー法による評価を行うことを目的とした。

2. 材料と方法

現地調査の対象としたのは、琵琶湖北湖の北部（長浜市）に位置する湖北野田沼および東部（米原市）に位置する蓮池の二つの内湖である。湖北野田沼の面積は約 8ha、平均水深は約 2m、蓮池の面積は約 2ha、平均水深は約 1m とされ、いずれの池においても数か所の流入・流出口がみられる¹⁾。

調査は 2017 年 12 月および 2018 年 8 月に実施し、各池に対する流入量および池から琵琶湖への流出量を測定するとともに、池の内部数か所において、水温・電気伝導度およびクロロフィル a の鉛直分布、およびラドン（²²²Rn）濃度の測定を実施した。²²²Rn はウラン（²³⁸U）系列の放射性核種で、半減期は 3.8 日であり、気体であるが水に溶存しやすい性質を持つ。一般に、地下水中の ²²²Rn 濃度は地表水と比較して明瞭に高い値を示すことから、²²²Rn は地下水のトレーサーとして有用とされている。また、流入水、流出水、池内部の水、池底堆積物中の間隙水、およ

び池周辺の地下水を採取し、²²²Rn 濃度、栄養塩（窒素、リン、珪素）濃度および水の酸素・水素安定同位体比（ δD , $\delta^{18}O$ ）の測定を行った。

3. 結果と考察

湖北野田沼と蓮池において採取された水試料の $\delta^{18}O$ と δD は異なる天水線上にプロットされ、これら二つの内湖は、異なる集水域の地下水流動系の影響を受けていることが示唆された。また、 $\delta^{18}O$ は池周辺の地下水で最も低く、池への流入水において池内部の水と流出水に比べて低い傾向を示した。これらの結果は、周辺地下水の池への流入の影響を反映していると考えられる。

また、²²²Rn 濃度は湖北野田沼内部の水において約 600~800 Bq/m³であったのに対し、蓮池では約 300~400 Bq/m³であり、全体的に野田沼において蓮池よりも高い傾向を示した。さらに、野田沼においては現地で測定した流出量が流入量を上回っており、以上の結果から、野田沼においては地表水以外の流入、すなわち LGD が存在しており、蓮池と比較してその量がより大きいことが示唆された。

*本研究は、総合地球環境学研究所研究プロジェクト（代表：奥田 昇）および科研費基盤研究(A)（18H03961, 代表：伴 修平）の支援のもと実施された。

参考文献

- 1) 滋賀県 (2013) 内湖再生全体ビジョン～価値の再発見から始まる内湖機能の再生～。
- 2) Lewandowski, J. et al. (2015) Groundwater – the disregarded component in lake water and nutrient budgets. 2. Effects of groundwater on nutrients. *Hydrological Processes*, DOI: 10.1002/hyp.10384.
- 3) 小林正雄 (2001) 地下水と地表水・海水との相互作用 3. 湖水と地下水の相互作用. *地下水学会誌*, 43: 101-112.

Phosphorus dynamics in Lagoon lakes Yanagihira-ko and Hira-ko using oxygen isotopic composition of phosphate

* Rong Yi, Syuhei Ban (Univ. of Shiga Pref.), Adina Paytan (UC Santa Cruz)
Takuya Ishida, Tohru Ikeya, Noboru Okuda (RIHN)

1. Introduction

Phosphorus (P) is a key element to determine ecosystem processes because its natural abundance is rare in the bio-available form. Recently, stable isotope ratios of dissolved inorganic phosphate oxygen ($\delta^{18}\text{O}_\text{P}$) have been used to understand P dynamics, especially identify sources of P loading and estimate biological P recycling, in aquatic systems. In lagoons of the Lake Biwa Watershed, we previously reported that bioavailable P is dynamically transformed through their ecosystem processes. Using the $\delta^{18}\text{O}_\text{P}$ analysis, we aim to evaluate biological P recycling as ecosystem functioning of lagoons and examine how the biological P recycling is involved in the P transformation in twin lagoons.

2. Materials and Methods

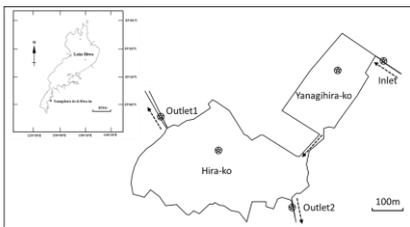


Fig. 1 The map of study lagoons and their sampling locations

For measurement of nutrients and $\delta^{18}\text{O}_\text{P}$, water samples were collected from an inlet, surface and near-the-bottom of twin lagoons, Yanagihira-ko (Ya) and Hira-ko (Hi), and their two outlets in Apr, Jul, Oct 2017 and Jan 2018 (Fig. 1). Simultaneously, water temperature was measured with a multi-parameter water quality meter. TP, TDP and SRP were measured with an auto-analyzer, and orthophosphates with an ion chromatography. Chl. *a* concentrations were measured with a spectro-fluorometer. The water samples were filtered with a 0.45 μm membrane filter and processed according to a modified method of Mclaughlin et al. (2007) to obtain pure silver phosphate precipitation, which were measured using a TC/EA-IRMS. We assume that the study lagoons have two P sources, one is derived from agricultural loading through the inlet of irrigation channel and another from internal loading through the

lake sediment. Sediment core samples were collected and sliced at 3 cm intervals to 9 cm and at 5 cm intervals to 14 cm. Isotope equilibrium values ($\delta^{18}\text{O}_\text{P-IEE}$), where all P were biologically recycled, were calculated by an empirical equation, $T (^{\circ}\text{C}) = 111.4 - 4.3 (\delta^{18}\text{O}_\text{P} - \delta^{18}\text{O}_\text{water})$. The degree of biological P recycling was calculated by $D_{\text{BPR}} = (\delta^{18}\text{O}_\text{P-source} - \delta^{18}\text{O}_\text{P-lagoon}) / (\delta^{18}\text{O}_\text{P-source} - \delta^{18}\text{O}_\text{P-IEE}) * 100$.

3. Results and Discussion

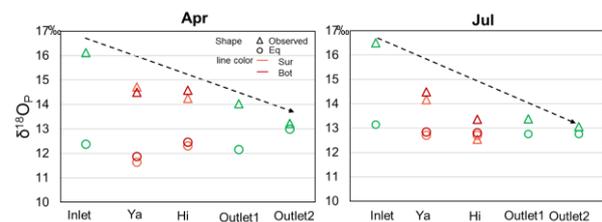


Fig. 2 The $\delta^{18}\text{O}_\text{P}$ of lagoon waters and two P sources.

Agricultural wastes from the inlet had a consistent value of $\delta^{18}\text{O}_\text{P}$ (Fig.2). The $\delta^{18}\text{O}_\text{P}$ of lagoon waters approached to equilibrium values toward the outlets. Since there was no significant difference in the $\delta^{18}\text{O}_\text{P}$ between surface and bottom waters, we considered that internal loading is negligible in the study lagoons. Assuming one source from the inlet, the degree of biological P recycling (D_{BPR}) increased from 34.6% in Ya to 92.8% in outlet2 in Apr and from 58.2% in Ya to 92.0% in outlet2 in Jul. Chl. *a* concentrations were higher in Jul than in Apr. The higher D_{BPR} in Jul can be attributed to higher algal activity in summer. Orthophosphate/SRP ratios were negatively correlated with the D_{BPR} as well as with Chl. *a* concentrations, implying that bioavailable ortho-P was preferentially turned over by algal biomass.

In conclusion, our isotope approach revealed that most of bioavailable ortho-P is biologically recycled within the lagoon ecosystem, suggesting that the lagoons play an important role in reduction of bioavailable P loading into the lake basin. The $\delta^{18}\text{O}_\text{P}$ analysis can be a powerful tool to assess ecosystem functioning, such as biological P recycling, whose information is not available from the direct measurement of P concentrations.

有機態リンの存在量と回転率推定

*池谷透（地球研）、易容・伴修平・丸尾雅啓（滋賀県大・環境科学）、
石田卓也・奥田昇（地球研）

1. はじめに

リンは核酸合成や代謝などに生物が共通して利用する元素であり、湖沼の生物生産の制限因子になることが多い。生産を左右するリンの供給インベントリーや循環速度は物質循環の理解に必要なが、炭素・窒素のように安定同位体がないために循環過程の把握が困難で未解明な点が多い。本研究では、琵琶湖に隣接する内湖における湖水中のリンの存在状態が流入と浮遊微生物の利用によってどのように影響を受けているかを調べ、生物のリン循環に対する寄与を明らかにする。調査地の「平湖・柳平湖」は2つの連結内湖で、農地が多くを占める集水域からの流入水は柳平湖に流入後、平湖に流れ、約8日と30日の滞留時間を経て琵琶湖につながる水路に流出する。構造が比較的単純なため、二つの内湖の水系の比較を通じて流入負荷と湖内のリンの再利用の影響を検討しやすい。下流側の内湖では上流側に比べて再生されたリンの寄与が大きくなる可能性が高い。アルカリフォスファターゼの作用するリン酸モノエステルに加えてリン酸ジエステルがどのように利用されるかなど、再生過程が未解明な溶存有機態リンに対する生物の作用と再生に寄与する基質の組成などの影響について系統的に把握できる可能性がある。そこで、人工基質による分解速度と酵素による分解量を測定し、リン循環に対する溶存有機態リンの量や組成の影響を検討した。

2. 材料と方法

流入水路、柳平湖、平湖の各地点で採水を行い、40 μm ネットでろ過後実験室に持ち帰って懸濁液ならびに孔径 0.2 μm フィルターろ液についてリン酸4-メチルウンベリフェリルの分解反応キネティクスの測定を行い、リン酸モノエステルの分解速度を見積もった。有機態リンの分解量測定には、酵素反応によるオルトリン酸の生成量測定系を新たに開発した。孔径 0.2 μm フィルターろ液に分解酵素（リン酸モノエステラーゼ、リン酸ジエステラーゼ、混合）、

10⁻³ M MgCl₂、10⁻⁵ M m-chlorophenylhydrazone を添加して 25°C で暗所に静置後、オルトリン酸の増加から分解量を見積もった。

3. 結果

流入水、柳平湖表層水、柳平湖下層水、平湖表層水について全溶存態リン（TDP）と SRP の差を DOP として算出すると、TDP の 77~96% はオルトリン酸以外の SRP、もしくは DOP だった。また、流入水では SRP の 60%、湖水では 50~80% がオルトリン酸以外のリン酸化合物に由来する可能性が考えられた。各々のろ液にリン酸モノエステラーゼとリン酸ジエステラーゼを添加すると流入水は 0.22 μM 、柳平湖表層水、柳平湖下層水、平湖表層水はいずれも 0.03~0.04 μM オルトリン酸濃度が増加した。このことから SRP 濃度の 30~50%、TDP の 10~20% はエステラーゼ可分解性と考えられた。このうち、20~100% はリン酸モノエステラーゼ単独で分解された。現場湖水のモノエステラーゼ分解速度キネティクスから柳平湖表層水、柳平湖下層水、平湖表層水では、リン酸モノエステル分解の最短回転時間は、各々、8、7、3 時間と考えられた。

4. 考察

リン酸モノエステル分解の回転速度の見積もりから浮遊粒子に付着した細胞外酵素による無機態リンの再生が湖水の生産性を支える重要な過程であることが示唆された。リン酸モノエステラーゼやリン酸ジエステラーゼによって再生したオルトリン酸の由来は SRP、TDP いずれかの一部と考えられる。平湖・柳平湖では、SRP に対するオルトリン酸の割合が季節変動することが報告されている（Yi *et al.* 2017）。今後、可分解性有機態リンの存在量と組成やリン酸ジエステルの分解速度についてさらに精度を上げた検討を行い、溶存態リンの量や組成と水中の微生物の群集動態や生物多様性との対応について議論する予定である。

*刘鑫, 易容, 丸尾雅啓, 伴修平 (滋賀県大・環境)

1. はじめに

植物プランクトン生産は、無機態リンである正リン酸 ($\text{PO}_4\text{-P}$) の供給量に依存するため、水中の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を明らかにすることは、水圏生態系における一次生産やエネルギー収支を評価する時に重要な指標を与える。モリブデンブルー法 (従来法) は、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の定量に最も使われる方法であるが、琵琶湖の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は、ほとんどの時期において、従来法の検出限界 (100 nmol L^{-1} 程度) 以下であり、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を正確に定量できなかった。

近年、イオンクロマトグラフを用いることで、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を検出限界 5 nmol L^{-1} 程度で求めることが可能となった。本研究では、本法により琵琶湖の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の時空間分布を明らかにした。また、全リン (TP)、窒素やクロロフィル量の時空間分布との関係について議論した。

2. 材料と方法

2018年4月から9月まで月一回、琵琶湖北湖の定点 K4 ($35^\circ 18.9' \text{ N}$, $136^\circ 11.4' \text{ E}$) にて定期観測を行った。5月と7月には、K1 ($35^\circ 17.4' \text{ N}$, $136^\circ 13.8' \text{ E}$)、K2 ($35^\circ 17.8' \text{ N}$, $136^\circ 13.2' \text{ E}$)、K3 ($35^\circ 18.2' \text{ N}$, $136^\circ 12.8' \text{ E}$)、K4 と K5 ($35^\circ 20.3' \text{ N}$, $136^\circ 09.4' \text{ E}$) の合計5地点を通る線上にて断面観測を行った。各地点で CTD 観測の後、深度毎 (0、5、10、15、20、30、40、50 m) にバンドン採水器にて1-2 Lの湖水を採取した。採取した湖水は、直ちにメンブレンフィルター (孔径 $0.45 \mu\text{m}$, Advantec, HA) およびガラスフィルター (Whatman, GF/F) でそれぞれ 200 mL を濾過した。これらの GF/F フィルターと未濾過湖水 (50 mL) および濾過湖水 (ca. 200 mL) は分析まで、冷凍保存した (-20°C)。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度はイオンクロマトグラフ (ThermoFisher, ICS-1600) にて、TP、全溶存態リン (TDP)、無機態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$) 濃度はオートアナライザー (AACS-II, BRAN+LUEBBE) にて、それぞれ測定した。TP - TDP の値を懸濁態リン (PP)、TDP - $\text{PO}_4\text{-P}$ の値を溶存有機態リン (DOP) としてそれぞれ求めた。セストン C、N とクロロフィル a (Chl. a) は、それぞれ CHN コーダー

(SUMIGRAPH NCH-22A, SCAS) と蛍光光度計 (RF-1500, SHIMADZU) を用いて測定した。セストン P、C、N 量から、セストン C/N/P 比を計算した。

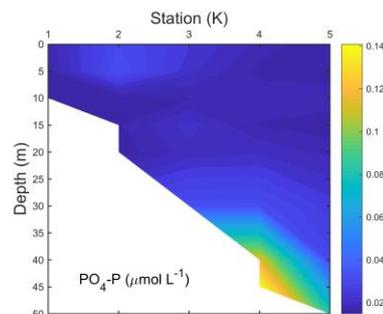


Fig. 1 琵琶湖北湖における正リン酸 ($\text{PO}_4\text{-P}$, $\mu\text{mol L}^{-1}$) の鉛直分布 (2018年5月)

3. 結果

4月から6月にかけて、K4地点の水温は10 m以浅で徐々に上昇、6月には10-20mに水温躍層が形成された。これに伴い Chl. a 量は躍層近傍で、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は躍層以深で増加したのに対し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は躍層以浅で低下した。PPの分布は Chl. a のそれとは異なり、セストン C/P 比の鉛直分布より、4月の5 m以浅、6月の15 m以浅でいずれも著しいP欠乏が示唆された。TDP および DOP は鉛直的に大きな変化はなく、それぞれ 0.20 、 $0.18 \mu\text{mol L}^{-1}$ 程度であったのに対し、 $\text{PO}_4\text{-P}$ はいずれの月も水深30 mまで $0.03 \mu\text{mol L}^{-1}$ 以下であった。そして、30 m以深では増加したが、その量は季節が進むにつれて上昇する傾向がみられた。

5月の横断面観測では、Chl. a 量は水温躍層で高い傾向にあり、K1で最も高かった。K2からK5では、水温躍層に沿って $\text{NH}_4\text{-N}$ の亜表層極大が認められた。一方、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は躍層以深で増加し、最大 $12.58 \mu\text{mol L}^{-1}$ だった。 $\text{PO}_4\text{-P}$ は、30 m以浅では極めて低く、 $0.04 \mu\text{mol L}^{-1}$ 以下であり、K4の湖底直上でのみ高い値 ($0.14 \mu\text{mol L}^{-1}$) が見られた (Fig. 1)。TP、TDP、PP と DOP は、同様な分布傾向を示し、沿岸表層付近で高い傾向を示した。

今後得られる7月の断面観測および8月、9月の観測結果を含めて総合的に議論する予定である。

4A12

イオンクロマトグラフィーを用いた 陸水中メチルホスホン酸の検出

*辻 一真 (滋賀県立大院・環境科学), 丸尾雅啓 (滋賀県立大・環境科学)
小畑 元 (東京大・大気海洋研)

1. はじめに

メチルホスホン酸は、近年水中におけるリン供給源として注目されている。リン制限下にある西湖（山梨県）の表水層で、シアノバクテリア *Synechococcus* のメチルホスホン酸代謝が原因と思われるメタン極大層の形成が確認された。リン制限湖沼において、バクテリアによるホスホン酸類の利用が普遍的に起こっている可能性が高いが、その一方で水中メチルホスホン酸を正確に定量した研究報告はこれまでない。そこで天然水中に存在するメチルホスホン酸の高感度定量法を開発し、河川水、湖水等の分析を試みた。

2. 材料と方法

分析手法としてイオンクロマトグラフィーを適用し、極微量のリン酸でも琵琶湖北湖水中から高感度に検出可能な条件を参考とした (Maruo et al., 2016)。分析カラムとして高い交換容量を持つ AS-23 (Thermo Fiehsr Scientific) を用い、サプレッションには再生液として超純水を流すエクスターナルモードを適用した。まず、メチルホスホン酸分析に特化した最適な溶離液条件を見つけ出し、分析に適用した。試水は、2017年11月～12月にかけて琵琶湖東岸の河川、沼、内湖、湧水、琵琶湖、下水処理水で採取した。メチルホスホン酸のピーク同定は、試料にメチルホスホン酸をスパイクしたクロマトグラムとスパイクしていないクロマトグラムを比較して行った。

3. 結果

溶離液に添加する電解質濃度を推奨濃度よりも低くして最適条件を検討したところ、推奨する濃度の半分とした場合に、他の主要なイオン成分（硝酸イオン、硫酸イオン、リン酸イオン）と分離することができた (図1)。また、試料導入量を 0.1 mL か

ら 10 mL まで変化させたところ、5 mL まで 直線的にピーク面積が増加したため、5 mL を採用した。以上の最適条件で、検量線 ($0-10 \text{ nmol L}^{-1}$) を作成したところ 決定係数 (R^2) が 0.9982 と良好な直線性が得られた。検出限界は $S/N=3$ としたとき 5 pmol L^{-1} であった。実試料のうち、琵琶湖水、内湖、河川、下水処理水からはメチルホスホン酸は明瞭には確認できなかった。一方、天野川近くの湧水 (かなぼう: 米原市世継) と天野川河川水からはメチルホスホン酸が、それぞれ 2.9 nmol L^{-1} 、 2.3 nmol L^{-1} 存在することを確認できた。

4. 考察

今回の研究により、極微量メチルホスホン酸の定量がイオンクロマトグラフィーを用いることで可能となった。実試料分析の結果、メチルホスホン酸が湖沼環境中にイオン成分として存在する可能性は極めて低いことが明らかとなった。しかし、嫌気的環境で土壌微生物により合成されたメチルホスホン酸が、地下水を通して湧水や河川に極微量ではあるが供給されている可能性がある。

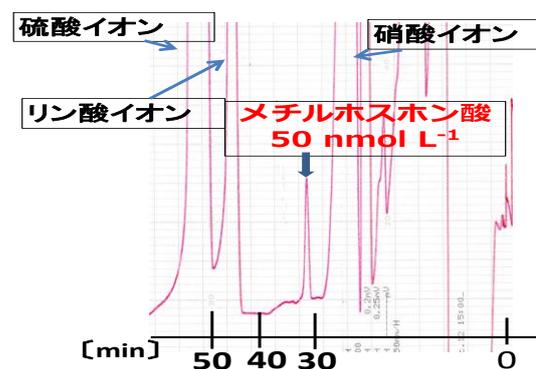


図1: 琵琶湖表層水にメチルホスホン酸 50 nmol L^{-1} 添加したクロマトグラム

参考文献

Maruo et al. (2016) *Limnology* 17(1) 7-12.

4B01

課題講演「次世代型生態系観測技術の湖沼生態系への適用

—霞ヶ浦を例に

霞ヶ浦長期生物モニタリングの今後を考える

*高村典子、松崎慎一郎（国立環境研究所）

国立環境研究所が実施・継続している霞ヶ浦長期生物モニタリングは、国立公害研究所開所の2年後である1976年から霞ヶ浦の沖帯数地点において、「霞ヶ浦全域調査」として水質モニタリングと並行して開始されたものである。1980年ごろからは、基本的に月に一度、湖心(Sta. 9)と高浜入り中央(Sta. 3)の2地点で植物プランクトンと動物プランクトンの種ごとの計数、そして繊毛虫・鞭毛虫・ピコ植物プランクトン・細菌数の計数（これらの微生物項目については1996年から）、加えて土浦沖(Sta. 7)と麻生沖(Sta. 12)の4地点で底生動物（ユスリカとイトミミズ）の計数ならびに一次生産量の測定が実施されており、かれこれ40年の間継続されてきたことになる。こうした長期モニタリングは担当する研究者等も複数になることから、手法の継承やデータ精度の管理などが課題になる。本モニタリングでは、底生動物以外のデータはデータペーパーとして発表され、アップデートしたデータもJaLTERのHPから公表されている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。本定期調査は、こうしたデータの継続的な集積だけでなく、霞ヶ浦の研究プラットフォームとしても大きな役割を果たしてきており、それを活用する形でこれまでも多くの研究論文を生み出してきた。直近では、1996-2015年のデータに基づき、最近の因果関係解析手法により霞ヶ浦生態系の構造も明らかにされ

た⁵⁾。

生態学の分野では、20年ほど前から生態系の理解や気候変動などの影響評価・将来予測に、長期生態系モニタリングの必要性が強く認識されるようになり、研究者によりILTERやJaLTERが組織され、長期モニタリングの継続と運営を後押ししている。霞ヶ浦長期生物モニタリングもJaLTERのコアサイトと位置付けられている。こうした長期モニタリングは、研究の進展や技術革新に対応して、過去からの連続性を担保しながら、モニタリングの手法の見直しが求められる。また、将来的な技術革新を見越して、標本類の保存なども重要視されている。

水環境の保全・管理に、出現するプランクトン種の情報は極めて重要であるにもかかわらず、プランクトン種の計数に関しては、技術者により同定の習熟度も異なるため、同定の精度管理がこれまで大きな課題になっていた。水質分析と同様に、一定の技術を学べば誰でも測定でき、再現されるモニタリングでないと、地域の試験機関等で実施することは難しい。本課題講演では、より現実的になってきた遺伝子分析技術を活用したプランクトンモニタリングとその応用について、霞ヶ浦長期モニタリングをプラットフォームとして検討してきた。その結果を共有し、その応用の可能性について議論する。

引用文献

1)Takamura N., Nakagawa M. (2012a) Ecological Research, 27:837.

http://db.cger.nies.go.jp/JaLTER/ER_DataPapers/archives/2012/ERDP-2012-02

2)Takamura N., Nakagawa M. (2012b) Ecological Research. 27:839.

http://db.cger.nies.go.jp/JaLTER/ER_DataPapers/archives/2012/ERDP-2012-03

3)Takamura N., Nakagawa M. (2016) Ecological Research 31,287.

http://db.cger.nies.go.jp/JaLTER/ER_DataPapers/archives/2016/ERDP-2016-01

4)Takamura N., Nakagawa M., Hanazato T. (2017) Ecological Research 32,1.

http://db.cger.nies.go.jp/JaLTER/ER_DataPapers/archives/2016/ERDP-2016-06

5)Matsuzaki SS, Suzuki K, Kadoya T, Nakagawa M, Takamura N (2018) Ecology <https://doi.org/10.1002/ecy.2414>

メタバーコーディングによる霞ヶ浦に おける植物プランクトンの動態解析

*山口晴代, 中川恵, 河地正伸 (国環研・生物), 片岡剛文 (福井県大・海洋資源)

1. はじめに

霞ヶ浦は日本で二番目に大きな面積を持つ湖で、水資源、漁業資源、水質浄化やレクリエーションの場など、さまざまな機能を担っている。国立環境研究所では毎月、植物プランクトンおよび従属栄養性プロティスト密度をモニタリングしており、霞ヶ浦の主要な一次生産者はシアノバクテリアと珪藻類であることが分かっている。モニタリングでは顕微鏡を用いて同定がなされており、シアノバクテリアでは38、真核藻類では91の系統群の生物体積がモニタリングされている。藻類の多くは属レベルでの同定が可能である一方で、一部は形態形質に乏しく、また細胞サイズが小さいものが数多く存在することから同定は困難を伴う。そこで、本研究では、霞ヶ浦における植物プランクトン組成を詳細に把握し、その群集構造変化を明らかにするため、次世代シーケンサーを用いた16S rRNAおよび18S rRNA遺伝子によるメタバーコーディングを行った。

また、霞ヶ浦で見られる植物プランクトンのうち、生物体積で上位を占めるシアノバクテリアである *Microcystis aeruginosa* は約11の種内系統群に分化していることが知られている。そのうち、一部はミクロキスチンと呼ばれるシアノトキシンを産生することから、特にモニタリングが必要な植物プランクトンである。そこで、*M. aeruginosa* の種内系統群の動態を把握するため、*M. aeruginosa* の系統マーカーであるFtsZ遺伝子を用いたメタバーコーディングも行った。

2. 材料と方法

国立環境研究所が行っている月一回の定期モニタリングにおいて、2012年6月から2015年5月（36ヶ月）にかけてSt. 9から表層水を採水し、フィルター試料からDNAを抽出した。16Sおよび18S rRNA遺伝子をユニバーサルなプライマーを用いてPCR増幅し、次世代シーケンサーを用いて配列取得をした。得ら

れた配列はClaidentを用いて解析を行った。*M. aeruginosa* については、St. 3と9において、2011年から2016年の6月、7月、8月に表層水から得られたDNAサンプルを用いてFtsZ遺伝子を増幅した後、次世代シーケンサーで配列取得した。解析には、clic genomics workbenchを用いた。

3. 結果と考察

シアノバクテリアについて、NMDS解析の結果、年が変わっても同じ月のシアノバクテリア組成が類似し、明瞭な季節変化を示すことがわかった。また、その組成は1-4月、8-11月、5-7月+12月の3つのグループに分けられた。さらに、霞ヶ浦において、*Synechococcus* が遺伝的に多様であることが明らかになった。

真核藻類について、OTU数では年間を通してストラメノパイルおよびアルベオラータに属するプロティスタが多く、存在比では年間を通してストラメノパイル、アルベオラータ、オピストコンタ、クリプト藻が優占していることがわかった。NMDS解析の結果、年が変わっても同じ月のプロティスタ組成が類似し、明瞭な季節変化を示すことがわかった。また、その組成は6-11月、12-5月の2つのグループに分けられた。また、珪藻類やクリプト藻のOTUが年間を通して多様であることも明らかになった。

M. aeruginosa については、Station間で多少存在比は異なるものの、2011年および2012年において、ミクロキスチンを持つグループAが、2013年から2016年にかけてミクロキスチンを持たないグループI、Gなどが優占していたことがわかった。本研究により、霞ヶ浦では年によって優占する *M. aeruginosa* のグループが異なることが示された。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 15H02380（代表：高村典子）の助成を受けて行われた。

霞ヶ浦珪藻プランクトンの環境 DNA 解析

*辻 彰洋・仲村康秀（国立科学博物館・植物），
山口晴代・中川恵・高村典子（国環研）

1. はじめに

植物プランクトンの群集解析は、水環境のアセスメントやモニタリングにおいて、基礎生産者であることや、指標性が研究されていることなどにより、重要な要素として行われてきた。しかし、植物プランクトンを正確に同定・計数するためには、知識と経験が必要である。近年では、そのような植物プランクトンの知識や経験を持ったパラタクソノミストが減少しつつあり、また、同定・計数結果を評価するための精度管理の手法も必要とされている。

遺伝子を用いた環境 DNA 解析は、上記した従来のパラタクソノミストによる同定・計数の問題点を解決する手法として注目を浴びてきたが、植物プランクトン解析において、実際の同定・計数と直接比較するなどの、実用性についての検討はほとんどなされてこなかった。

今回、私たちは霞ヶ浦のプランクトン珪藻を対象として、国立環境研究所の3年間の定期調査試料を材料とし、従来の顕微鏡を用いた同定・計数結果と、葉緑体 *rbcL* 遺伝子を用いたメタゲノム解析の結果を比較検討した。

2. 材料と方法

本研究ではプランクトン計数の葉緑体 *rbcL* 遺伝子を対象とした。既存の研究では、SSU, LSU, *rbcL*, *cox1* 遺伝子を用いられてきたが、SSU では種レベルでの同定は難しく、*cox1* は汎用的に利用可能なプライマー配列が見つかっていない。一方、*rbcL* は、種レベルでの解析が可能であり、ライブラリー構築時にコンタミの影響を受けにくいことなどから、近年珪藻のメタゲノム解析で幅広く使われつつある。本研究では *rbcL* 遺伝子の中でも3末端に近い *rbcL*-3P 領域を用いて解析した。

試料の採取および遺伝子の抽出は山口らによる前の発表と同じである。PCRにより増幅した *rbcL*-3P 領域はフュージョンプライマーを用いて1度に

3年分36ヶ月分を1つのライブラリーとした。このライブラリーをメーカープロトコルによりイルミナ社の MiSeq を用いてシーケンスを行った。シーケンスで得られた配列は、田辺による Claident を用い、あらかじめ作成していた霞ヶ浦のプランクトン珪藻の *rbcL* 配列と比較し、出現種の相対リード数を求めた。霞ヶ浦のプランクトン珪藻の *rbcL* 配列については、ピペット法や寒天プレート法などにより単離株を構築し、遺伝子配列を求めると共に、SEM などを用いて同定を行った。

3. 結果

NGS による *rbcL* リード数と顕微鏡下のカウント結果と比較すると、細胞体積の相対出現率と NGS のリード数の相対出現率はほぼ比例関係を示した。

一方、外れ値を検討したところ、1. *Actinocyclus* sp. を *Thalassioraceae* に含めている事がある。2. *F. tenera* (cf. *gracilis*) を *U. japonica* complex としてしていることがある。3. *A. ambigua* の一部について *A. granulata* としてしている部分が見つかった。これらの種類は、本邦において同定ミスが多見される分類群であり、NGS の問題では無く、顕微鏡下での同定の問題の可能性が高い。

4. 考察

NGS は定量性が疑問視されることもあるが、今回の結果は、応用利用において、実用的な定量性を持っている事を示している。細胞当たりの *rbcL* 遺伝子のコピー数は、細胞体積と比例する可能性が報告されている。本研究の結果は、そのことをサポートしており、*rbcL* 遺伝子を用いたメタゲノム解析の生態的意義が明らかとなった。また、本研究によって従来の顕微鏡下での同定の問題の存在を明らかにすることが出来た。これは、NGS 解析によって顕微鏡を用いた同定の精度管理が出来る可能性を示している。

4B04

動物プランクトンの DNA バーコーディングとその応用

*牧野渡（東北大），中川恵（国環研），永田貴丸（琵琶湖センター），
高村典子（国環研）

短い DNA 塩基配列を生物の種判別に利用する、いわゆる DNA バーコーディングとよばれる手法は、湖沼の生物多様性を把握するための有望なツールであるが、これを適用するためには、参照配列ライブラリーを事前に開発する必要がある。

そこで本研究では、まず霞ヶ浦における動物プランクトンモニタリングの高精度化を目指して、霞ヶ浦動物プランクトン DNA バーコードライブラリーを開発した。具体的には、動物における一般的なバーコード領域であるミトコンドリア DNA・COI (mtCOI) 領域の部分配列を、各動物プランクトン分類群について調べた。この領域の塩基配列は、超並列 DNA シーケンサー（次世代シーケンサー）を使ったメタバーコーディングの、ライブラリー配列として応用できることが既に示されている。

解析の結果、甲殻類では、橈脚類 4 種と枝角類 15 種、合計 99 個体から 37 個のハプロタイプが得られた。これらの配列を、GenBank 上の mtCOI 配列と相同性検索した結果、*Daphnia ambigua* や *Bosmina freyi* のような、移入種ではないかと思われるタクサが、霞ヶ浦には分布していることが示された。輪虫類では、合計 302 個体から 132 個のハプロタイプ

が得られ、Automatic Barcode Gap Discovery (ABGD) アルゴリズムにより、43 種に分離できた。この ABGD 分類は、属レベルでは形態に基づく分類と完全に一致し、種レベルでは形態に基づく分類よりも、より詳細であった。例えば *Brachionus cf. calyciflorus* は 5 つの ABGD 種に分けられ、異なる ABGD 種が異なる季節に出現する傾向が見られた。さらに *Polyarthra* 属や *Synchaeta* 属でも、ABGD 種の季節遷移が観察された。これらの季節遷移は、従来の外部形態に基づくモニタリング手法では検出できないものであった。なお、mtCOI 配列の種内変異を 7% まで許容した場合、霞ヶ浦から得られた橈脚類 4 種のうち 3 種、枝角類 15 種のうち 13 種では、既に GenBank 上に参照配列が登録されていたのに対し、輪虫類で参照配列が登録されていたのは、43 種のうち 17 種のみであった。この結果は、モニタリング対象湖沼での DNA バーコードライブラリーを新規に作成する際には、輪虫類の配列収集が特に重要になることを示している。

講演では、霞ヶ浦以外の本邦湖沼（琵琶湖など）での研究事例もあわせて紹介したい。

ワカサギの食性に関わる要因の解析

*今藤夏子, 松崎慎一郎, 角谷拓, 山口晴代, 安藤温子, 中川恵 (国環研・生物),
伊藤洋 (総研大・先端科学), 牧野渡 (東北大・生命科学), 高村典子 (国環研・生物)

1. はじめに

漁獲物は霞ヶ浦が提供する様々な生態系サービスの1つであり、ワカサギ (*Hypomesus nipponensis*) は最も代表的な対象種である。ワカサギを資源として安定的に得ていくためには、ワカサギを含む食物網の構造や、その安定性を決める要因を知ることが重要である。そのためにはまず、ワカサギが利用する餌生物、特に死亡率の高い幼魚期の餌資源、を特定する必要がある。消化管内容物のDNAを用いた食性解析は、従来の形態による餌生物の同定と比べて、網羅的かつ定量的な食性情報を得られると期待される。

本研究は、霞ヶ浦に生息するワカサギの消化管内容物から抽出したDNAの塩基配列を分析し、餌生物を推定した。また、餌生物の構成と環境要因の関係を統計的に解析した。

2. 材料と方法

2016年6月から9月にかけて、霞ヶ浦の高浜入の湖岸から投網にてワカサギを捕獲し、現地ですぐに解剖し、消化管をエタノールで固定した。実験室にて消化管の内容物からDNAを抽出し、動物のミトコンドリアCOI遺伝子と真核生物の核遺伝子18S rRNAをターゲットとしたプライマーで増幅したPCR産物についてIonPGM (ThermoFisher Scientific) で解析し、塩基配列を得た。塩基配列は、プログラムパッケージClaidentを用いて解析し、得られたOTUについてBlastにより生物名を判定した。

消化管内容物から検出された塩基配列の種構成と環境要因の相関を吟味するために、冗長性解析 (RDA解析) とパーミュテーション検定を行った。環境要因として、採集時期、ワカサギの肥満度および相対サイズ (各採集時期において期待される体サ

イズからの逸脱度) を用いた。

3. 結果と考察

採集したワカサギについて、食性 (種構成と配列数) を全環境要因で回帰する冗長性解析を行ったところ、採集時期とワカサギの相対サイズを説明変数とするモデルが選択された。このモデルを基にしたパーミュテーション検定の結果、両要因ともに種構成に対する有意な相関が認められた。採集時期と各餌生物の相関係数を比較したところ、季節が進むと共に *Alona* 属のミジンコとゾウミジンコが有意に増加し、イサザアミについては有意に減少していた。また、同様にワカサギの相対サイズと各餌生物の相関係数を比較した結果、イサザアミとは有意な正の相関、カワヒバリガイとは有意な負の相関が見られた。

以上の採集、メタゲノムおよび統計解析により、(1) 6月から9月までの季節遷移に伴い、ワカサギが消費する餌生物の種構成が変化すること、(2) 各季節において相対的に大きな個体と小さな個体では餌生物の種構成が異なること、が示された。その要因として、環境中の餌生物の存在量の季節変化、各成長段階のワカサギにとっての各々の餌生物への選好性、餌生物をめぐるワカサギ個体間の競争などが考えられる。今後は、湖水中の餌生物の分布と、餌生物のサイズや動きの季節変化も考慮し、ワカサギの餌生物の構成に与える要因をさらに比較検討する必要がある。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 15H02380 (高村典子代表) の助成を受けて行われた。

4B06

次世代型生態系観測の展開と活用： 群集生態学から気候変動モニタリングまで

*角谷拓，鈴木健大，山口晴代，松崎慎一郎（国立環境研究所）

湖沼生態系は、内水面漁業や用水の提供など人間社会に欠かせない機能を果たす一方で、過剰な採取や、流域からの栄養塩負荷など強い人為影響にさらされており、生物多様性の観点から、最も脆弱性の高い生態系の一つである。さらに気候変動は、湖沼生態系に対して今後大きな影響を与えることが予測されている。たとえば、気温上昇は、表層水温の上昇と底層貧酸素水塊の増大を引き起こし、湖沼内の生物群集の存続可能な領域を狭める可能性がある。また、降雨パターンの変動は栄養塩負荷の増大を招き、湖沼内の生態系に影響を与える可能性がある。湖沼生態系に対するこのような影響を正しく評価するためには、湖沼生態系の動態を決めるカギとなる要素の検出や生態系を構成する生物どうしの相互作用の解明、また、詳細で精度の高い分析・評価のベースとなる高度化されたモニタリング技術の開発も課題となっている。特に近年の次世代シーケンシング技術の発達により環境中の生物種の存在量を同時かつ網羅的に把握することが可能になりつつある。湖沼生態系モニタリングも、このような観測技術の発展をとりいれることで、次世代型生態系観測として飛躍させる条件が整ってきたといえる。

本発表では、課題講演のまとめとして、霞ヶ浦においてこれまで行われてきた長期観測と次世代シーケンシング技術を用いた観測を統合し、どのように湖沼における次世代型生態系観測として確立できるかについて検討する。また、実際に霞ヶ浦で得られた生態系動態情報を用いて、生物どうし、あるいは環境との因果関係解析をおこなうことで、群集動態の予測や環境変動の影響評価にどのように迫ることができるかを検討する。その上で、次世代型生態系観測の他の湖沼や生態系への適用可能性について議論したい。

なお、本研究は JSPS 科研費 15H02380 および 17K15056 の助成をうけて行われた。

4C01

琵琶湖南湖の2017年の沈水植物の現存量分布

*芳賀裕樹（琵琶湖博物館）、酒井陽一郎（琵琶湖環境科学研究センター）、石川可奈子（琵琶湖環境科学研究センター）

1. はじめに

琵琶湖の南湖は水面面積 51.6km²、平均水深 4m の浅くて広大な水域である。この水域では 1990 年代半ばより沈水植物が著しく増加し、2014 年には南湖の面積の 96% に沈水植物が分布するようになった（芳賀・石川, 2015）。

著者らは 2002 年より南湖全域を対象に 4 回にわたって沈水植物の現存量の分布調査を行っている。2017 年にも 5 回目の調査を行ったので、その結果について報告する

2. 材料と方法

沈水植物の採取は 2017 年 9 月 6-13 日に行った。南湖全域に 1 km 間隔のメッシュを設定し、その交点 52 地点を調査地点としてダイバーによる沈水植物の定量採取を行った。50 cm×50 cm のコドラート内に出現した沈水植物と糸状藻類をすべて土嚢袋に詰めて船上に引き上げた。採取の繰り返し回数は 1 地点につき 3 回である。持ち帰った試料は分別まで冷蔵庫で保管した。各試料を水洗いしながら種類ごとに分別し、それぞれを紙袋に入れ 60°C に設定した乾燥機で恒量になるまで乾燥後に乾燥重量を測定した。

糸状藻類はまとめて取り扱い、前記の手順で乾燥重量の測定を行った。

3. 結果と考察

沈水植物は 52 地点中 40 地点に出現し、この出現率に南湖の水面面積を乗じた沈水植物の分布範囲の面積は 39.7 km² となった。地点あたりの沈水植物の現存量（乾燥重量）の平均値と 95% 信頼限界は 53±23 g m⁻² で、ここから南湖全体の現存量は 2761±1196 t と推定された。

沈水植物は 13 種が出現した。1 地点あたりの出現種数と標準偏差は 4.5±3.0 だった。優占したのはクロモ *Hydrilla verticillata* とコカナダモ *Elodea nuttallii* でそれぞれの現存量と 95% 信頼限界は 777±395 t と 776±550 t だった。以下、センニンモ

Potamogeton maackianus (556±350 t)、オオカナダモ *Egeria densa* (283±168 t)、ホザキノフサモ *Myriophyllum spicatum* (257±401 t) の順で続いた。他の沈水植物の現存量は 100 t 未満だった。糸状藻類の現存量は 1161±628 t で、沈水植物の現存量の約 4 割に相当した。

沈水植物全体と量的に主要な 5 種の沈水植物、および糸状藻類の現存量の平面分布を Fig. 1 に示した。量的に主要なクロモ、コカナダモ、センニンモの現存量の大きな地点は南湖の北部に偏って分布し、その結果、沈水植物全体の現存量も北部で大きくなった。糸状藻類は沈水植物とは異なる分布を示した。

前回調査の 2014 年と比較すると、沈水植物の分布範囲は 80%、沈水植物の現存量は 15% に減少した。現存量の低下は南湖全域で生じたが、特に南部で著しかったことから、2017 年は南湖南部で特に沈水植物の成育に不利な環境が形成されたものと考えられる。

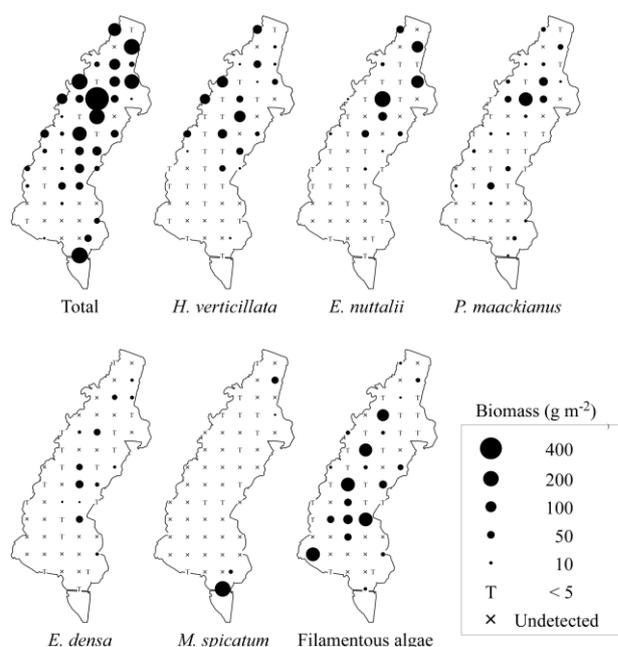


Fig. 1 2017年9月の主要な沈水植物および糸状藻類の現存量分布

*芳賀裕樹（琵琶湖博物館）、酒井陽一郎（琵琶湖環境科学研究センター）、
石川可奈子（琵琶湖環境科学研究センター）

1. はじめに

琵琶湖南湖では1990年代半ばより沈水植物が増加し、2000年以降は8割以上の面積に沈水植物が分布するようになってきている（芳賀・石川, 2015）。沈水植物の増加に伴い、航行・漁業・取水障害や景観の悪化や悪臭等の問題が生じており沈水植物の量の抑制は環境保全上の喫緊の課題である（川崎, 2015）。この課題に取り組むには、前提として、沈水植物の成育状況の把握が必要である。広大な南湖の全域をカバーし、かつ高頻度の観測を実現する方法として、演者らは魚群探知機によるモニタリング手法を2003年に開発した（Haga et al., 2007）。その後、設定を一部変更して2007年から2017年まで観測を行ったので、その結果について報告する。

2. 材料と方法

観測期間は2007年5月から2017年9月までで、この間にのべ70回の観測を行った。南北500m間隔で設置した観測線を時速10±1ノットで航行し魚群探知機による観測画像を得た。この画像を処理して幅50mの区画について植被率・平均群落高・PVIを算出した

観測機材とデータ処理に使用した機材・手順はHaga et al. (2007)に従ったが、魚群探知機の出力を1/10から3/10に、感度を4/10から1.5/10に変更した。また、計算時の沈水植物の検出限界高さを12 pixel (21 cm) から6 pixel(約10.5 cm)に変更した。

3. 結果と考察

Fig. 1は2011年から2014年までの9月の平均群落高の分布図である（2013年のみ欠測により10月）。この図から明らかなように、南湖の沈水植物の分布や成長状況は年によって大きく変動した。2012年は沈水植物の成育が非常に低調だったが2年後の2014年には成長が著しく、両年の南湖全体での平均群落高には2倍以上の開きが生じた。この結果は2012年と2014年に行われた南湖の沈水植物の定量調査の結果とも符合する。2012年と

2014年の沈水植物の現存量はそれぞれ3263±1445 tおよび18173±4387 tと報告されている（芳賀・石川, 2015）。本調査では2017年にも沈水植物の成育不良を観測しており、南湖の沈水植物の生育環境は非常に不安定であると考えられる。

各年の平均群落高の経月変化をプロットしたところ、4月から5月にかけての成長の差が、その年の沈水植物の成育状況を規定する重要な要因であることが明らかになった。種々の環境要因との関係を検討した結果、4月から5月にかけての成育を規定する要因として植物プランクトンの増殖に伴う透明度の低下が重要であることが示唆された。

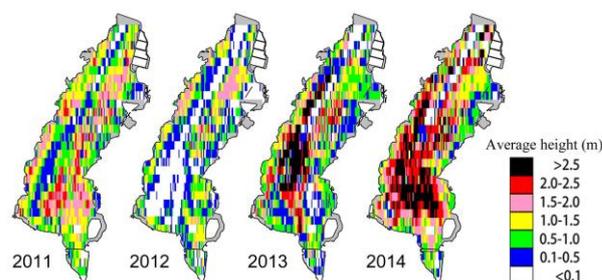


Fig. 1 Distribution map of average height of submerged macrophytes in the south basin of Lake Biwa.

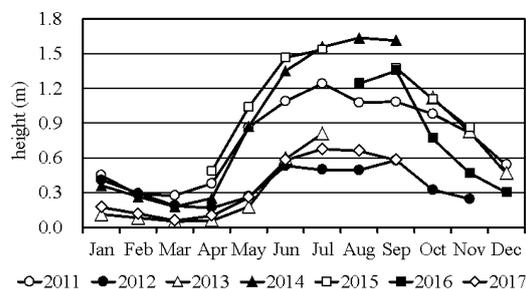


Fig. 2 Seasonal fluctuation of average height of submerged macrophytes.

*高村健二・今藤夏子（国立環境研・琵琶湖分室）

1. はじめに

琵琶湖南湖湖底では年によって水草（沈水植物）の繁茂が著しい。また底生ラン藻サヤユレモ (*Microseira wollei*) が優占する場所もある。一方、滋賀県の報告では水草が過剰繁茂する場所で底泥中の底生動物生息密度の低下が記録されている。つまり、湖底植生の状態により底生動物の生息状況は違っている。

底生動物は湖内の有機物循環に関わるが、それだけでなくユスリカ等の水生昆虫が増加する場合、その成虫羽化が湖内栄養物質の湖外への移送や、羽化成虫が陸上動物の餌となることによる陸上生態系への有機物供給 (subsidy) につながるため、湖内外の生態系への影響が大きいと考えられる。従って、底生動物の量・質両面からの把握が南湖生態系の挙動を理解する上で望ましい。その際、底生動物各種を正確に区分することが欠かせない。生物種の区分・同定には DNA バーコーディングを活用するのが望ましいため、まず南湖の底生動物種同定に必要な DNA バーコード（種固有 DNA 塩基配列）の収集を進めている。また、従来の分類同定では未発見の分類群の探索も兼ねて、定量採集標本の全個体 DNA バーコーディングを同時に行い、前記のような湖底植生の違いに対応した底生動物群集の違いの解明を目指している。

2. 材料と方法

昨年初夏から今春にかけて 4 回、琵琶湖南湖の水草帯・底生ラン藻帯各 3 地点、計 6 地点で Ekman-Berge 採泥器を用いて底生動物を各 2 回採集した。採集標本各個体についてミトコンドリア CO1 領域 DNA 塩基配列の DNA バーコーディングを行い、分類群を決定した。地点別・採集回別の分類群組成を非計量多次元尺度法 (non-metric multidimensional scaling : NMDS) にて類型区分した。採集地点設定、水質観測、底生植生生育状況把握には、滋賀県琵琶湖博物館・琵琶湖環境科学研究センターの協力を受けた。

3. 結果と考察

初夏の採集標本からは、水草帯でユスリカ、底生ラン藻帯でミズムシ、ヨコエビの優占することがわかった。このようなベントス相の明瞭な違いは、生物間相互作用を通じて湖内外の生態系の挙動に影響すると考えられる。北米五大湖域の底生ラン藻優占域での食物連鎖解析では、ラン藻による一次生産は底生動物・魚を含めた二次生産者に利用されにくいと報告されている。それに比べれば、ユスリカが多い水草帯では魚類等による生態系を通じた一次生産産物の利用がより活発であると推測される。

1. はじめに

日本ではかつて、浮葉植物のアサザを植えることで湖沼の水質が浄化されると著名な生態学者が著書で論じていた¹⁾。現在でも沈水植物が繁茂することでアオコを抑制できると信じる研究者がかなりいる。このため、都市河川で異常繁茂したアサザの駆除が行えなくなったり、初期防除（＝根こそぎに駆除すべきだった）に失敗した在来沈水植物の繁茂によって、琵琶湖南湖の漁業が壊滅状態に陥るなどの弊害が生じている。ここではまず「浅い湖沼では沈水植物が優占する透明な状態か、植物プランクトンが優占する濁った状態のどちらかで安定する」という alternative stable state theory のその後の展開を紹介する。次に、海外では 80 年近く前から問題になり、未だに解決法が見いだされていない大型緑藻の異常繁茂の状況を紹介する。

2. 沈水植物の繁茂とアオコ

Scheffer は alternative stable state theory を複数の論文で展開したが、最も引用されているのは Nature 誌で発表した論文である²⁾。この論文では沈水植物の衰退原因として表の 1 行目に「除草剤」と記したにも関わらず、植物プランクトンと沈水植物が栄養塩を奪い合うという、現実にはあり得ない仮定に基づいた議論のみを展開した（沈水植物は水ではなく堆積物から栄養塩を吸収するので、植物プランクトンと栄養塩を巡って競合することは無い）。

当然ながら 2001 年に掲載されたこの論文に反論が噴出したため、2007 年の論文³⁾でドイツやオランダから提出された反論を受け入れ、『「シャジクモ類が優占して透明な状態 vs 維管束植物の沈水植物（以下、水草）が優占して濁った状態』など様々な状況があり得る。」と弁明した。現実には水草によって透明度が高くなるどころか、それらが大量繁茂した琵琶湖南湖では、栄養塩濃度が増えていないにも関わらずアオコが激化している。水草が繁茂すると光

合成で二酸化炭素が使用されることで水中の pH がアルカリ側に傾き、これにより水中の無機炭素の大部分が HCO_3^- となり、光合成に HCO_3^- を利用できるアオコが優占するのである⁴⁾。アメリカの生態学者に、どの植物プランクトンが優占するかは栄養塩だけでなく無機炭素の形態も重要であるとの知見が共有されていなかった為に、Scheffer のトンデモ説が広まってしまったと考えられる。

3. 大型緑藻の繁茂による生態系攪乱

五大湖では大型緑藻 *Cladophora* 類の大量繁茂が 1930 年代頃から発生し、一時期改善が見られたものの、近年再び広範囲に繁茂するようになった。*Cladophora* 類に覆われた湖岸は景観の悪化だけでなく、腐敗により嫌気化してボツリヌス菌が発生し水鳥が大量死するなど、生態系が顕著に攪乱されている（ネット上で *Cladophora* Great Lakes で画像検索すると状況を確認できる）。貧栄養で世界一透明度が高いとされるバイカル湖でも、大型緑藻 *Spirogyra* に湖岸が覆われ、巻貝や海綿の大量死が起こっている⁵⁾。日本でも島根県の宍道湖で *Cladophora* 類が沈水植物群落に集積し、漁獲対象である二枚貝ヤマトシジミへの悪影響が懸念されている。水草に水質浄化能力があるとの誤解を捨て、早急に効果的な防除を実行すべきだろう。

本研究の一部は科研費 (15H05112) により行った。

文献

- 1) 鷺谷いづみ・飯島博「よみがえれアサザ咲く水辺－霞ヶ浦からの挑戦」文一総合出版、229pp.
- 2) Scheffer et al. 2001. Nature 413: 591-596
- 3) Scheffer M & van Nes EH 2007. Hydrobiologia 584: 455-466
- 4) Shapiro J 1990. Verh. Internat. Nerein. Limnol. 24: 38-54
- 5) Timoshkin et al. 2016. J. Great Lakes Res. 42:487-497

*古田世子、池田将平、一瀬諭（滋賀県琵琶湖研センター）
池谷仁里（兵庫県大学院・理工）、宮田直幸（秋田県立大学・生物）

1. はじめに

琵琶湖北湖今津沖の最深部付近の湖底では、溶存酸素濃度

(DO) の低下に伴いメタロゲニウム粒子 (図1) が観測されている^{1,2)}。図1のようにメタロゲニウム粒子は何らかの粒子態に付着して観察されることが多い。主要成分はマンガ

ンで、DO の低下により湖底から溶出したマンガニオンをマンガ酸化細菌等の微生物が酸化することで生成されたと考えられている³⁾。

2017年9月にメタロゲニウム粒子が18,000個/mLと非常に多く観察された。これは、過去最高値を示した2012年9月と同値である。この3ヶ月前に *Staurastrum dorsidentiferum* var. *ornatum* が大量に発生しており2012年においても同様に *S. dorsidentiferum* が大量に発生していたことと、2016年度は *Micrasterias hardyi* が異常発生をしたことから、メタロゲニウム粒子を生成する単離菌株 *Bosea* sp. (BIWAKO-01株) と *S. dorsidentiferum* および *M. hardyi* との共存培養を行ったので報告する。

2. 培養方法

メタロゲニウム粒子の生成には、メタロゲニウム粒子を生成する単離菌株 *Bosea* sp. (BIWAKO-01株)³⁾ を、宮島の培地¹⁾にマンガン濃度を1mMとした培地 (以下M3培地) を用いて20°C、暗所、酸素制限条件 (Anaero Pack-Micro Aero O₂ 6~12%、CO₂ 5~8%) で培養を行った。大型緑藻の *S. dorsidentiferum* (図2) および *M. hardyi* (図3) は、琵琶湖から分離した培養株を用いて、M3培地の寒天に換えて添加した。

また、粒子態 Mn は、ロイコベルベリンブルー試薬を用いて測定し、植物プランクトンおよびメタロゲニウム粒子の計数はプランクトン計数板を用いた。

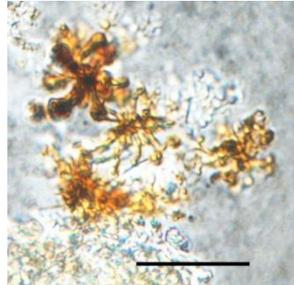


図1 今津沖中央地点水深約90mから採取したメタロゲニウム粒子 (2016/2/16)

Bar = 20µm

3. 結果

M3半流動培地に *S. dorsidentiferum* は660 cell/mL、*M. hardyi* は560 cell/mLを添加し単離したBIWAKO-01株を植え付けて培養した。

S. dorsidentiferum および *M. hardyi* 共に粒子態 Mn は、培養6日目から確認され14日目になると顕微鏡観察によりメタロゲニウム粒子であることが確認できた。メタロゲニウム粒子の生成には多糖類が必要であることが報告³⁾されており、添加した大型緑藻はいずれも粘質鞘を保持していることから、これを利用してメタロゲニウム粒子が生成されたと考えられる。図1で示したメタロゲニウム粒子が付着している粒子態成分は植物プランクトンの分解物であることが考えられるため、今後においても室内実験を行うとともにモニタリング調査により要因について究明していきたい。

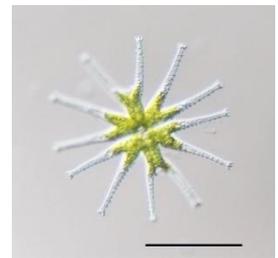
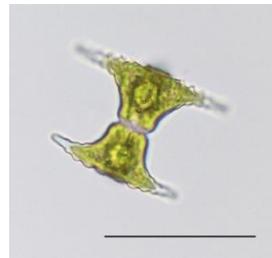


図2 *S. dorsidentiferum* 図3 *M. hardyi* (培養株) (培養株) Bar = 50µm Bar = 100µm

謝辞

本研究の一部は、科学研究費助成事業基盤研究 (B) 課題番号 JP17H01898 により助成を受け実施した。GC/MS システムは京大生圏研究所・京大生圏学研究所の「持続可能生圏開拓診断 (DASH) システム」を利用した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Miyajima, T. (1992): Production of Metallogenium-like particles by heterotrophic manganese-oxidizing bacteria collected from a lake. Archives of Microbiology, 158, 100-106.
- 2) 古田世子ほか(2008): 琵琶湖水から採取培養したマンガ酸化微生物 *Metallogenium* の発育形態について, 陸水学雑誌, 68, 3, 433-441.
- 3) Furuta S. et al. (2015): Formation of filamentous Mn oxide particles by the alphaproteobacterium *Bosea* sp. strain BIWAKO-01. Geomicro. Journal, 32, 666-676

1. はじめに

湖沼生態系の研究において、生物の生産性は古くから重要なテーマであった。例えば、陸水学会会員であれば、リン・窒素・クロロフィル濃度の関係を表したグラフ（例，Sakamoto 1966）は何度も目にしているであろう。この例は、植物プランクトンの生物量を決める環境要因が栄養塩であることを示したものであるが、それ以外の生物はどうであろうか？浮遊生態系においては多くの研究から、比較的まとまった見解が存在する。そこで、それらを紹介しながら、底生生物群集における生産性の研究が新トピックとなってきていることを確認したい。

なお、本稿では、生産性とは厳密な意味での生産性（例えば、生産量・生物量比）ではなく、生産量や、その結果としての生物量を考える。

2. 消費者の生産性に関する複数の意見の対立

消費者の生産性については、産業に密接に関連しているためであろうが、魚類の研究が盛んにおこなわれてきた。しかしながら、生産性がどのような環境要因によって決められるか、1980年代後半に代表的な二つの見方の間で議論があり、21世紀になっても対立が続いている。一つ目の立場は、魚類の生産性は浮遊生態系を通してボトムアップ的に決まるというものであり、代表的なものは、Downing (1990)によるものであり、魚類の生産性を論じた20余りの論文で示されたデータを再解析し、魚類の生産性は一次生産で最もよく説明できることを示した。なお、この1990年の論文は、もう一つの立場を否定する形で書かれた論文である。

もう一つの立場である“morphoedaphic index”とは、湖盆形態を数値化したようなもので、電気伝導度と平均水深の比で表される。

また、“morphoedaphic index”に近い考え方である「氾濫原の広さ」は河川の魚類の生産性の説明要因として支持する研究者が多く、淡水魚類の生態についての本や報告書では、Downing (1990)には触れず、“morphoedaphic index”を紹介している例が近

年でもみられる。

3. 浮遊生態系と底生生態系のリンク

このような、消費者の生産性についての見方の対立は、一次生産者として何を想定するかの違いと読み解くことができる。つまり、Downing (1990)は、一次生産者として主にプランクトンを想定するのに対し、湖盆形態を考えた場合には、プランクトンに加えて底生の一次生産者が含まれるだろう。

浮遊生態系と底生生態系の比較が、定量的なデータや、安定同位体などによる定性的なデータを含めて進むと、魚類の生産が底生生態系にかなり依存していることが解明されるなど、近年では、浮遊生態系と底生生態系をリンクして考える研究が増えてきている。

4. 底生生物の生産性

底生生物の生産性は、深底部では表層の生産性によって明快に説明される。ところが、補償深度より浅い水域では、餌量、波浪等による攪乱、流入河川の影響など、様々な要因が指摘されてきた。いいかえると、浅い水域での底生生物の生産性は、十分に整理されていない研究分野である。

5. 筆者らによる琵琶湖での調査結果

筆者らは、琵琶湖の比較的浅い水域において底生生物（底生動物、底生藻類）を水深ごとに環境要因と比較する形で調査してきた。

2017年の調査では、底泥上の藻類の生物量が光環境に応じて変化していることを示すデータを得ることができた。この関係は、補償深度より浅い水域で、中程度の水深の地点でより明確であった。一方、補償深度より深い地点では、表層の藻類量が底泥上の藻類量と明確な関係を示した。

これらの結果は、浅い水域での底生藻類は光によって生産性が変化することを示すとともに、深度によって、底生藻類の生産性を左右する要因が異なることを示唆している。

*藤野勇馬（福井県敦賀市），石川俊之（滋賀大・教育）

1. はじめに

ビワカマカは琵琶湖固有のヨコエビで、研究例が少なくその生活史については断片的な情報しかない。2006年に滋賀県への侵入が確認されたフロリダマミズヨコエビは滋賀県の指定外来種に指定されており、沿岸部に生息する底生生物との競合が懸念されている。

本研究は、ビワカマカとフロリダマミズヨコエビが生息する旧草津川河口域北西部のごく狭い範囲にある7地点で4～11月にかけて底生生物の定量採集を行ったものである。特にビワカマカに注目して研究を行い、種ごとの水平分布とその季節変化を解明した。

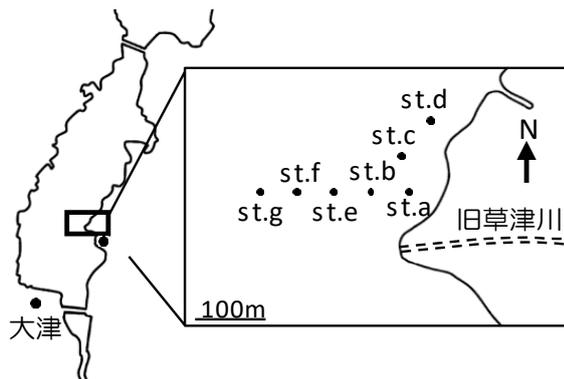


図1 調査地点 右は矩形内の拡大図

2. 材料と方法

調査は図1に示した旧草津川河口域北西の南北130m×東西300mほどの範囲にある7地点で毎月一回行った。底生生物の採集は採泥器（15×15cm）を用い、毎調査各地点3回（両端の調査地点では各1回）底泥を採取したのち、船上でサーバーネットで分け、残った試料を持ち帰った。また、得られた底泥について目視で水生植物の有無を確認した。調査地点ではクロロテック（JFEアドバンテック社製）を用いて水質を測定した。

3. 結果と考察

最も個体数が多かったのは貧毛綱で、シジミ属、ビワカマカ、フロリダマミズヨコエビと続いた。

今回の調査によって得られた全1334個体のビワカマカについてその体長と抱卵の有無を調べたところ、最大体長は過去の文献とほぼ一致したが、抱卵個体は5～11月にかけて採集され、繁殖期がこれまで知られていたより長く続くことが確認できた。

表1、2のように、調査期間を通してビワカマカの個体密度は岸側（st.a～d）の地点で、フロリダマミズヨコエビの個体密度は沖側の地点（st.e～g）で高く、両種の分布はほぼ重ならなかった。また、両種の分布は季節によって変化したが、その境界線は有茎沈水植物（クロモ、コカナダモ、オオカナダモ）の分布の縁とよく似た位置にあった。

以上のことより、本研究によりビワカマカ的生活史について不明であった繁殖期が明らかになった。また、非常に狭い範囲であっても地点により底生生物の群集構造が異なることが解明された。ビワカマカとフロリダマミズヨコエビの水平分布の季節変化については、有茎沈水植物の有無が影響を及ぼしている可能性が高い。

表1 ビワカマカの個体密度（個体/m²）

st.	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
a	0	44	1511	1422	2222	622	622	400
b	15	119	2074	2963	2444	563	637	148
c	-	193	770	1526	474	0	430	385
d	-	548	2652	0	0	0	533	0
e	0	0	74	0	0	0	0	0
f	0	0	0	0	0	0	0	0
g	0	0	0	0	0	0	0	0

*有茎沈水植物が採集された回数が多いほど濃色

**4月はst.c、st.dでの採集を行っていない

表2 フロリダマミズヨコエビの個体密度（個体/m²）

st.	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
a	0	0	0	15	0	0	0	0
b	0	15	0	0	15	0	0	0
c	-	0	0	15	15	30	59	15
d	-	0	0	0	800	281	148	0
e	844	474	489	459	1007	0	2533	1956
f	519	104	1378	74	400	207	370	919
g	178	133	0	0	0	89	0	0

*有茎沈水植物が採集された回数が多いほど濃色

**4月はst.c、st.dでの採集を行っていない

*竹本邦子（関西医大・物理），馬場大哉（東レテクノ・環境科学），
吉村真史（立命館大・SRセンター(現 スプリングエイトサービス)），
瀬川有香（東レリサーチセンター・形態科学），田渕雅夫（名古屋大・SR 研究センター），
渡辺義夫（あいち SR センター），太田俊明（立命館大・SR センター）

1. はじめに

琵琶湖水系の固有種であるセタシジミは、かつて琵琶湖の全漁獲量の 50%以上を占める漁業主要漁獲対象種であった。しかし、昭和 30 年代前半 4,000 トン以上あった琵琶湖産のシジミの漁獲量は大幅に減少し、近年 100 トン以下になっている[1]。さらに、主要漁場での生息密度も昭和 24 年の 60 個体/m²から 0.4 個体/m²と激減している [1]。琵琶湖産シジミの復活に向け、シジミの生育環境を科学的に理解することが求められている。二枚貝は、卵内成分から成る幼生殻に、摂餌を開始した幼生が外套膜上皮からの分泌により形成する成貝殻が同心円上に蓄積されていく。このため、貝殻は年輪のような構造をとり、幼生殻や稚貝の貝殻は、外部の侵食や剥離が起きない限り殻頂に残る。さらに、淡水や汽水息では、殻皮と呼ばれる殻の外側を覆う有機物の薄膜が良く保存される。孵化したセタシジミの幼生は浮遊期間が非常に短く、直ぐに着底し仔貝となることから、我々は、幼生殻や殻皮に生育環境の履歴が保存されていると考えた。

本研究の目的は、琵琶湖産シジミの殻皮に含まれる元素の存在状態から、生育環境の履歴を読み解くことをにある。今回、貝殻の色が違う固体について、殻皮に含まれる鉄(Fe)と硫黄(S)の分布や化学状態などを調べた結果の一部について報告する。

2. 材料と方法

試料は琵琶湖産のシジミを用い、貝殻の色から、黒色タイプ、黄色タイプ、黄色と黒色の縞模様（縞タイプ）の 3 種類に分類した。

電子線マイクロアナライザ(EPMA)により、殻皮に含まれる全元素分析を行った。Fe と S については殻皮の断面で線分析を行った。

Fe と S の化学状態を調べるため、X 線吸収微細構造 (X-ray absorption fine structure, XAFS) を

行った。Fe の K 吸収端の XAFS は、あいち SR センター-BL11S2 硬 X 線 XAFSII ビームラインで行った。S の K 吸収端の XAFS は立命館大学 SR センター-BL-13 収束軟 X 線ビームラインで行った。測定は、全て蛍光 X 線収量法で行った。

3. 結果と考察

EPMA の測定で、殻皮からは、主構成元素である炭素、窒素、酸素の他に、S, Fe, カルシウムなどが検出された。S は表面に多く存在していたが、Fe は深さ方向に不均一に存在していた。Fe は、黒タイプに、縞模様タイプでは黒色部に多く含まれていたが、Fe の K 吸収端の XAFS スペクトルに大きな違いはなく、酸化鉄(III)の状態で存在していると推定された。貝殻表面の Fe の蛍光 X 線強度マッピングの結果から、Fe は主に成長線に沿って分布していることが分かった。黒タイプと黄色タイプの S の K 吸収端の XAFS スペクトルから、S は有機硫黄と推定されたが、黒と黄でスペクトル形状は大きく異なり、異なる化学状態で存在していることが分かった。

これらの結果は、Fe は殻の生成時の内的要因により取り込まれたものであること、色の違いと Fe の化学状態には相関は無いことを示唆するものである。詳細については、当日報告する。

謝辞

本研究は、あいち SR センター成果公開無償利用事業と立命館大学 SR センター成果公開型利用の支援を受けて行われました。試料の一部は滋賀県琵琶湖環境科学研究センターより提供されました。記して謝意を表します。

参考文献

1. 琵琶湖の保全状況に関する資料(http://www.env.go.jp/water/kosyou/biwako/01_saiseijiyokyo_h29.pdf)

*早川和秀・佐藤祐一・永田貴丸・岡本高弘・廣瀬佳則・(琵琶研セ)・
後藤直成(滋県大・環境)・土屋健司・小松一弘・富岡典子・
今井章雄(国環研)・中野伸一(京大・生態研)

1. はじめに

溶存態有機物を細菌群集が利用・増殖することを起点として、繊毛虫や鞭毛虫などの原生動物の捕食、さらに動物プランクトンの捕食へとつながる微生物食物連鎖は、湖沼や海洋の物質循環において重要とされる。海洋では、植物プランクトンを起点とする生食連鎖だけでなく、微生物食物連鎖も動物プランクトンの餌資源として貢献すると考えられている。湖沼では、微生物食物連鎖の起点となる細菌生産速度は、植物プランクトンの光合成の 20~30% (Cole et al. 1988) とされ、重要性が指摘されているが、国内においては実測例が不足しており不明な点が多い。

近年、琵琶湖においては富栄養化が抑制されつつあり、リンの減少にともない植物プランクトンの現存量が減少している。そのため、植物プランクトンによる一次生産量も減少し、動物プランクトンの餌資源、ひいては動物プランクトンの減少が水産資源にも影響を与えていることが懸念される。しかし、一次生産の実測例はわずかで、かつ細菌生産の情報がほとんどなく、生食食物連鎖と微生物食物連鎖を考慮した食物網や物質循環に関する議論は困難であった。水質改善が進む琵琶湖の次の課題は、減少を続けている在来生物群集の再生であり、餌資源の不足も懸念されることから、生食連鎖を支える生産量や物質循環に関する議論が必要である。

我々研究グループは、環境省環境総合研究推進費の助成を受け、平成 28 年度より琵琶湖における有機物収支の把握に関する研究を行ってきた。プロジェクトでは、最新の技術を用いて植物プランクトンや細菌の生産量等を測定してデータを蓄積するとともに、各生物の生産量から関係性を考察したので報告する。

2. 材料と方法

一次生産の測定は、滋賀県立大グループにおいて琵琶湖北湖多景島沖において、クロロフィル蛍光計と光量子計の連続測定と、パルス変調式クロロフィ

ル励起蛍光計で得られた光合成—光曲線から、琵琶湖における植物プランクトンの単位面積あたりの日間一次生産速度を測定・算出された(後藤ら 2018 陸水学会)。

細菌生産は、国環研グループにおいて、2016 年 7 月から 2017 年 12 月に琵琶湖北湖の南比良沖定点 12B において、15N-dA 法により実施された(土屋ら 2018 水環境学会)。細菌呼吸量は、孔径 1 μ m のメンブレンフィルターで濾過した湖水を現場水温に設定した恒温槽で培養し、24 時間後の酸素消費速度から算出した。その他、不足するデータについては、文献等から補完した。

3. 結果と考察

一次生産の測定結果は、年間平均で 31 mg C m³ d⁻¹ (Gross、推定値) と算出され、1990 年代に占部らによって行われた一次生産量の実測 82 mg C m³ d⁻¹ (Niquil et al. 2006) より低い値であった。バイオマスあたりの生産量である回転速度をみても、本研究で得られた 0.14 d⁻¹ は、1990 年代の値 (0.48 d⁻¹) に比べ低かった。両者では測定方法が異なるため、単純に比較できないが、現在は光合成活性が落ちている可能性がある。

細菌生産では、生産と呼吸を合わせた細菌炭素要求量の年間推定値は 26 mg C m³ d⁻¹ と算出され、一次生産量に匹敵していた。過去の研究でも琵琶湖における細菌生産量は一次生産に比べて少なくないことが指摘されてきた (Nagata et al. 1987, Gurung et al. 2002) が、陸域からの有機物の供給を考慮しても、算出された細菌炭素要求量は過大であると考えられる。そのため、細菌生産には光合成産物や陸域から供給される有機物の利用だけでなく、別の機構を考える必要がある。

謝辞

本研究の一部は、環境省環境総合研究推進費 5-1607 の補助を受けて行われました。

*焦春萌・石川可奈子・酒井陽一郎
(滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)

1. はじめに

琵琶湖には、工場等に対する排水規制や流域下水道、農業における施肥指導等、種々の水質改善努力により、富栄養化は抑制されたが、琵琶湖の水環境は必ずしも健全な状態にあるとは言えない。平成6年の大渇水以降、南湖の水草の増加が著しく、夏になるとほとんど水草が覆う状況である。水草の異常繁茂による環境悪化、湖流の停滞、湖底の泥化の進行より、湖底の溶存酸素濃度が低下する。また、南湖の湖底には、砂利採取などにより深い湖底穴が多数形成され、これらの深い湖底穴においては、夏に貧酸素や無酸素状態になる。これらの貧酸素や無酸素状態により、湖底から窒素やリン、重金属が溶出し、湖底環境が悪化することが危惧される。また、外来魚の繁殖、水草の大量繁茂とともに、かつての広大な砂地が、砂利採取によりなくなることで南湖が本来有する在来水生生物の生息地が失われる恐れがある。また、猛暑を含む異常気象は琵琶湖南湖の物理環境および生態系に大きな影響を与えていると推測される。そこで、本研究では、南湖の南北断面において、自動連続観測機器を用いて調査し、数値モデルを開発し、南湖の物理環境の連続変化を把握することを目的とする。

2. 方法

本研究では、2017年夏に、自動連続観測機器により、南湖を南北方向に縦断する線上(S1~S5)で観測を連続で行った。湖底直上の水温・DO濃度の時間・空間変化の詳しい構造を把握するために、S1~S5のそれぞれ湖底直上0.5mにおいて測定精度±0.002℃の水温計(RBR社製の高精度水温計)、測定精度±1%のDO計各1台を設置した。また、南湖水温の鉛直分布を分かるため、S1においてサーミスタチェーン(水温計の水深間隔は、1mである)を設置した。また、数値モデル開発のため、大津気象観測所のデータを使った。琵琶湖南湖の鉛直成層特徴を表すため、鉛直方向に1m毎に分割し、水平方向に500m×500mのメッシュにした。

3. 結果と考察

図1で示すように、水深6mのS1の湖底直上0.5mにおいて、2017年9月~10月中旬に時々一時的に貧酸素状態(溶存酸素は、2mg/lより低い状態)になることが分かった。その後、水温が徐々に低く、乱流も強くなるとともに、溶存酸素は回復した。数値モデルでの数値実験によると、南湖の底層溶存酸素は、水草繁茂状況、南湖洗堰の放流量による流れの強さ等の影響を受ける。

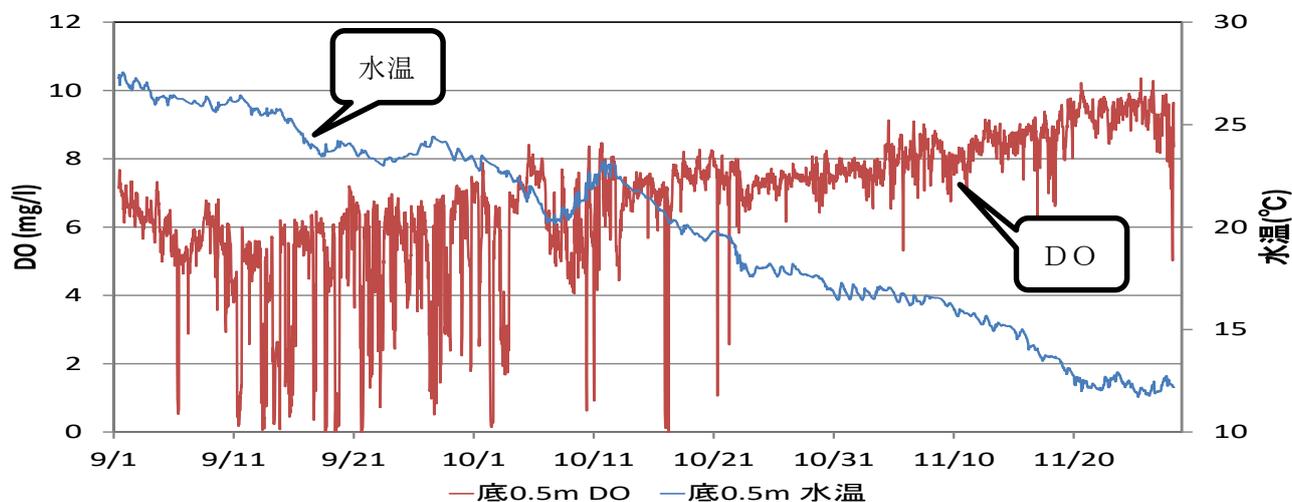


図1 2017年9月~11月、S1(水深6m)における湖底直上0.5mの水温およびDO

1. はじめに

近年、子どもたちは自然の中で生きものに関わる自然体験が著しく減少しており、学校教育でも、環境教育を取り入れる動きが盛んになっている。教員の誰もが実践可能で、より横断的な学習につながる学習プログラムの構築は急務であると考えられる。そこで本研究は、身近な環境として河川を題材とした。

河床に生育する付着藻類は一次生産者として、河川生態系に大きく影響する。その光合成測定法として、溶存酸素濃度の変化から光合成速度を求める明暗瓶法が知られている。その改良法としてプラスチック袋法（渡辺ら 1999）が提唱され、現場で簡易に測定できる方法として多くの実施報告がある（内田 2015）。プラスチック袋法による光合成測定の手順は以下になる。河床において石を拾い袋に入れ、河川水を静かに注ぎ入れ、溶存酸素濃度を測定後、中の空気を抜いて袋の口を閉じる。この袋を同じ河床で 2 つ用意し、一方はそのまま（明条件）、もう一方はアルミホイルを袋にまいて光を遮断し（暗条件）、元の河床に沈める。1 時間後に河床からとりだして、それぞれ溶存酸素を測定し、溶存酸素変化を求める。

この袋法を応用し、魚や水生昆虫が必要とする酸素は、河床の石に付着する藻類の光合成が関わっていることを学ぶプログラムを開発した。自然環境と生きものとの関わりを学び、環境志向的意識を育むことを目的とし、小学生を対象とした体験活動を行って学習プログラムを評価した。

2. 材料と方法

プラスチック袋として酸素透過性の低いクリーンガスバリア袋(20×30cm ASONE)を用い、教材を開発した。河床において長径約 10cm の石を拾い袋に入れ、約 100ml の河川水を静かに注ぎ入れ、中の空気を抜いて袋の口を輪ゴムで閉じる。河床に袋を戻して 1 時間置くと、光合成により袋の中では酸素が増加する。

教材[1] 光合成による酸素放出の観察

活発に付着藻類の光合成がおこなわれると過飽和による水泡が石表面に発生する。水泡ができるかどうか、石表面の変化を肉眼で確認する。

教材[2] 光合成による酸素生成の視覚認識

袋中の水に酸素が多く含まれていることを視覚的に把握するため、河床に戻す際に、インジコカルミンと炭酸水素ナトリウム、ヒドロサルファイト溶液を注入して黄色に呈色させ、直射日光下で静置させる。時間経過とともに付着藻類の表面から青色へ変色する（酸素を放出している）様子を観察する。

3. 結果

体験活動は、多摩川中流域登戸の浅いワンドで実施した。実施した学習プログラムは、①ワンドに生活する水生生物の採取、②教材[1]と[2]で付着藻類による酸素生成の理解、③採取した生物が必要とする酸素がどこから供給されているかについての理解 である。参加児童は 14 名であった。体験活動前後に実施したアンケート調査より、学習プログラムの評価を行った。その結果、川への好感度、生きものへの興味、川への学習意欲、将来の環境への危機感、環境問題への学習意欲、環境問題への自発的行動意識に変化があった。

4. 考察

環境を守るために進んで行動したいなど、環境志向的な行動につながることを期待できた。今回提示した教材は、視覚的に変化を読み取るものであり、色変化への関心が高いことがうかがえた。一方、低学年には、現象の理解までには至らなかったことが示唆され、対象者の年齢選定や、十分な時間を設けた事前事後学習が必要であることがわかった。

内田朝子 明暗びん法と袋法による矢作川上～中流域の一次生産量測定を試み 陸の水 70 : 25 - 28 (2015)

渡辺泰典・大西一博 多摩川の河床に分布する付着藻類の生態と意義に関する研究 とうきゅう環境浄化財団助成 Vol.28-No.201 (1999)

*加藤義和（地球研）、近藤倫生（東北大）、石川尚人（JAMSTEC）、富樫博幸（東北水研）、神松幸弘（立命館大）、吉村真由美（森林総研）、由水千景、原口岳（地球研）、長田穰（東北大）
大手信人、徳地直子（京都大）、奥田昇（地球研）、三木健（龍谷大）、陀安一郎（地球研）

1. はじめに

生態系内で生産されたエネルギーがどのように系内を移動していくかは、生態系サービスにも関わる重要な生態系機能の一つであり、そこには多種間での相互作用も大きく関わっている。植物群集を用いた先行研究では、一次生産者の種多様性は生態系の生産力や安定性に大きく寄与することが明らかにされてきた。しかしこれらの研究では、“水平方向の多様性”（＝一次生産者のみの多様性）のみに注目されることが多く、消費者も含む生物群集、すなわち食物網の構造と生態系機能との関係については、ほとんど明らかにされていない。複雑な食物網ネットワークをそのまま解析するのは困難が伴うが、“アンフォールディング（解きほぐし）”という手法により、より単純な栄養ピラミッドに変換することができる。また、アンフォールドされた食物網を用いることで、3つの新しい食物網複雑性指標（図1：D指標）が得られる。本研究では、これらの複雑性指標の有用性を示すため、河川食物網による検証を試みた。

2. 材料と方法

3つのサイト（A：京都大学和歌山研究林をはじめとする山地源頭域、B：野洲川・安曇川流域、C：有田川流域）の水生無脊椎動物群集を対象に、各分類群の炭素・窒素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ ）から推定された栄養位置（trophic position）とバイオマスに基づいて食物網を構成した。構築された量的食物網でアンフォールディングを行い、3つのD指標を算出、比較した。

3. 結果

サイトAでは、林齢に伴う生態系の変化（水域の攪乱に伴う濾過食者・破壊食者の減少など）などをD指標によってよく捉えることができた。この変化は、従来用いられてきたShannonの多様度指数（ H' ）ではうまく捉えることができなかった。また、水生昆虫群集では従来、摂食機能群による群集構造の評

価が行われてきたが、サイトCでは、各摂食機能群の栄養位置は時空間的に変化していたため、群集構造の評価は困難であった。しかし、3つの複雑性指標を用いることで、食物網の全体構造を統一的に比較することができ、その有用性を示すことができた。

4. 考察

今後、世界各地のさまざまな食物網でD指標を比較することにより、「それぞれの食物網の構造はどのような特徴を持っているのか？」あるいは「さまざまな食物網が共通して持っている構造上の特性は何か？」といった生態学上の問題に迫ることができると考えられる。さらに、食物網構造に起きた変化の検出にもD指標は利用できるため、漁業資源の管理や野生生物の保全などへの応用が期待される。

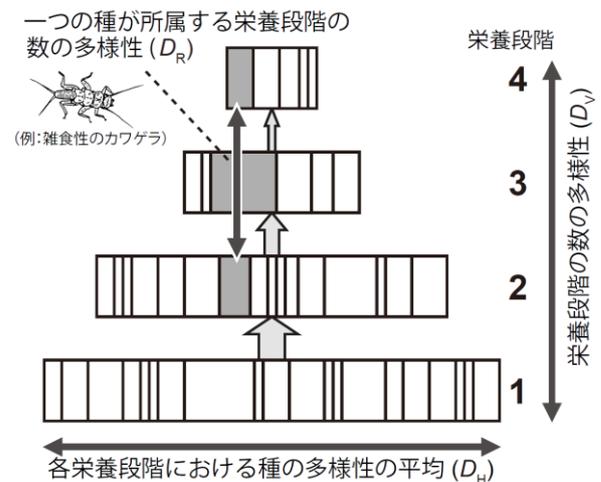


図1. アンフォールディングがなされた後の食物網におけるD指標 (D_H , D_V , D_R)。四角は、それぞれの種のバイオマスのうち、各栄養段階に分配された分量を示す。灰色の四角は、ある一つの種について分配されたバイオマスを示す。

外来種カワリヌマエビ属の1種と在来種 ヌカエビの食性ニッチの安定同位体比解析

*鹿野秀一（東北大・東北アジア），安野翔（仙台市），
藤本泰文（伊豆沼保全財団）

1. はじめに

外来生物の定着による在来種の絶滅や多様性の減少はいろいろな生物種で問題になっており、淡水エビ類の場合日本での外来種のひとつとしてカワリヌマエビ属 *Neocardina* spp. の侵入が報告されている (Niwa et al., 2005)。カワリヌマエビ属の侵入が確認され、在来種のヌカエビ *Paratya compressa improvisa* と同所的に生息する場所では、ヌカエビの生息に負の影響を与えている可能性が報告されている (長谷川ら 2015)。宮城県北部に位置する伊豆沼では、2013年にカワリヌマエビ属の1種の侵入が確認され、現在ヌマエビとカワリヌマエビ属の1種が同所的に生息している状況である。これら2種の炭素・窒素安定同位体比を測定し、食性ニッチの重なり度合いについて検討した。

2. 材料と方法

2017年11月8日と2018年6月19日に伊豆沼北岸の岸際において、数mの範囲で1mmメッシュの網でヌカエビとカワリヌマエビ属の1種を採取した。2017年11月では、ヌカエビとカワリヌマエビ属の1種は成体(それぞれの平均体長24.7mmと25.1mm)のみが、2018年6月では幼体(それぞれの平均体長9.6mmと10.0mm)と成体(それぞれの平均体長24.3mmと23.6mm)が採集された。これらの2種のエビ類は、乾燥後1個体ずつ脱脂処理を行い、炭素・窒素安定同位体比を測定した。安定同位体比の測定には質量分析器(DELTA V, Finnigan Mat社)を使用した。安定同位体比はそれぞれ $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ と表現し、以下の式で求めた。

$$\delta X = (R_{\text{サンプル}}/R_{\text{標準}} - 1) \times 1000 (\text{‰})$$

ここで、Xは ^{13}C または ^{15}N 、Rは $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ または $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ を表す。窒素は空気中の窒素ガスの値、炭素はPeeDee層の矢石の炭素の値を標準の値として計算した。

2種のエビのニッチは、Stable Isotope Bayesian

Ellipses in R (SIBER, Jackson et al., 2011)を用いて、standard ellipses area (SEAc, 40% credible interval) と convex hull area (TA)を求め、重なり度合いの解析を行った。SEAcは、 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ のプロットによる同位体による食性ニッチを楕円形の面積で表している。

3. 結果

2017年11月のヌカエビとカワリヌマエビ属の1種のSEAcのオーバーラップは、1.4%とほとんど重なっていなかった。2種間でSEAcの炭素安定同位体比の範囲には大きな差がなかったが、窒素安定同位体比の範囲ではヌカエビがカワリヌマエビ属の1種より高い値を示した。一方、2018年6月の2種のエビ類の幼体のSEAcのオーバーラップは0%で、ヌカエビの炭素安定同位体比の範囲がカワリヌマエビ属の1種のそれより低い値を示していた。しかし、6月の2種の成体のSEAcのオーバーラップは61.7%と、食物ニッチは大きく重なっていた。また、ヌカエビの幼体と成体のSEAcのオーバーラップは5%で、カワリヌマエビの1種ではほぼ0%であった。

4. 考察

伊豆沼では、これらの2種のエビ類は5月に産卵し、6月中旬に体長10mm程度の幼体となる。2種の幼体は、前年のそれぞれの成体とはSEAcのオーバーラップが小さいことから、成長に伴って食性が変化したことが示唆される。6月の幼体と11月の成体では、2種のエビ類間の食性のオーバーラップが小さいことから、異なるものを食べていると考えられる。しかし、6月の2種の成体間ではSEAcのオーバーラップが大きいことから、種間競争も大きい可能性があり、カワリヌマエビ属の1種の個体数はヌマエビの個体数に負の影響を与えていることが示唆されている研究 (長谷川ら 2015) とともに、外来種の在来種のエビ類への影響が懸念される。

*安野翔（仙台市）、藤本泰文、倉谷忠禎、嶋田哲郎（伊豆沼保全財団）
鹿野秀一（東北大・東北アジア）
菊地永祐（宮教大・教員キャリア研究機構）

1. はじめに

徘徊性のコモリグモ科等からなる半水生クモ類は、水面付近で陸生昆虫や水生昆虫を捕食し、時には魚類を捕えることもある。そのため、捕食を通じて陸域と水域のハビタット連結に寄与していると考えられるが、実際の食物網において半水生クモ類が担う役割については不明な点が多い。

湖岸では様々な水生植物が生育することで、陸域と水域の移行帯となり、水上に独特の節足動物群集が形成される。特に、夏季には浮葉植物がクモにとっての足場となり、湖面への進出を容易にするため、クモの水生昆虫への依存が強まると予想される。

宮城県北部に位置する伊豆沼では、近年、ハス群落が湖面の80%以上を覆う状況であり、群落内ではクモやイネネクイハムシ等の昆虫が多数確認されている。本研究では、ハス群落内及び岸際において、半水生クモの餌資源を安定同位体比により推定することで、水上食物網における半水生クモの役割、及びハス群落が水上食物網に及ぼす影響の解明を試みた。

2. 材料と方法

2017年6月、7月、9月に、伊豆沼においてニセキクヅキコモリグモとその餌候補となる昆虫を採集した。ハスが葉を展開する前の6月には、南岸のみで採集を行い、7月と9月にはハス群落内においても採集を行った。陸生昆虫やユスリカについては、捕虫網で採集し、クモやその他の水生昆虫については、素手またはたも網により採集した。採集したクモ及び昆虫は、24時間の排糞を行い、乾燥、脱脂処理を行った後に炭素・窒素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 値）を測定した。

ニセキクヅキコモリグモの餌資源推定には、Stable Isotope Analysis in R (R Development Core Team 2015)を使用し、ベイズ推定を用いた混合モデルにて解析を行った。水生昆虫と陸生昆虫それぞれの安定

同位体比の平均値をクモの餌候補の値として扱った。ただし、9月に採集した水生昆虫は、ハムシ類とそれ以外の水生昆虫で $\delta^{13}\text{C}$ 値に十分な差が見られたことから、別々の餌資源として解析に用いた。

3. 結果と考察

クモの餌候補として採集した水生昆虫の $\delta^{15}\text{N}$ 値（各月の平均値；7.5~8.3‰）は、陸生昆虫（3.9~5.5‰）よりも高く、十分に区別可能な値であった。水生昆虫の中では、9月に採集したハムシ類（ $-24.7\pm 0.8\%$ （平均 \pm SD））とその他の水生昆虫（ $-30.9\pm 2.8\%$ ）では、異なる $\delta^{13}\text{C}$ 値を示した。

ニセキクヅキコモリグモは、調査期間を通して餌候補の昆虫よりも概ね高い $\delta^{15}\text{N}$ 値を示した。一方、7月と9月では、採集地点間でクモの $\delta^{13}\text{C}$ 値に差が見られた。特に9月では、岸際の個体（ $-30.8\pm 1.7\%$ ）は、ハス群落内の個体（ $-26.8\pm 0.6\%$ ）よりも低い $\delta^{13}\text{C}$ 値を示したことから、生息場所により餌資源が異なる可能性が示唆された。

SIARによる餌資源解析を行ったところ、いずれの月、地点においても、ニセキクヅキコモリグモは水生昆虫に強く依存していることが示唆された。9月には、ハムシ類とその他の水生昆虫を $\delta^{13}\text{C}$ 値で区別できたことから、岸際のクモはハムシ類以外の水生昆虫に最も利用していたのに対し、ハス群落内では、ハムシ類を主要な餌としていることが明らかとなった。

以上の結果から、ニセキクヅキコモリグモは、ハス群落の有無に関わらず水生昆虫を主要な餌としていることが示唆された。なお、9月の結果から、ハス群落内に生息する個体は、ハスを食草とするイネネクイハムシ等をより多く捕食していることが示唆された。つまり、ハス群落は、夏季にクモにとっての一時的なハビタットになるだけでなく、自身がイネネクイハムシの餌となることで、結果的にクモに餌を供給していると考えられる。

1. はじめに

種判別DNAマーカーとして一般によく使われるミトコンドリアのシトクロムcオキシダーゼサブユニットI (COI) 遺伝子のDNAデータについては、近年蓄積がかなり進んできている。他にもヒストンH3遺伝子や18S rRNA遺伝子など、保存性の高い領域と適度な可変領域をもつ遺伝子が種判別マーカーとして提案されており、徐々にDNAデータが蓄積されてきている。本研究では、陸水域の環境指標生物として重要な水生昆虫の4つの分類群(カゲロウ目・トビケラ目・トンボ目・カワゲラ目)の種判別について、これらのDNAマーカーを用いて、それぞれのマーカーの特徴と種判別の可能性について検討した結果を報告する。

2. 材料・方法

国立遺伝学研究所(DDBJ)のアーカイブに登録されているDNA配列データ(2018年7月末までの更新データ)に基づいて、DNAデータ間のペアワイズ類似度比較解析を行った。分類学データはNational Center for Biotechnology Information (NCBI) Taxonomy databaseを使用した。解析には、国際DNAデータベースに登録されているKP970727(COI)、KP970733(ヒストンH3)、KX824003(18S rRNA)に相当する範囲を使用した。

3. 結果

国際DNAデータベース(DDBJ, ENA, GenBank)には昆虫綱に限ってもCOIで約202万、ヒストンH3で約1.1万、18S rRNAで約3.7万配列が登録されている。このうち、DNAデータが登録されている日本産種に関して、国土交通省「河川水辺の国勢調査のための生物リスト」平成29年度版に収載されている種(日本産種数と表記)をもとに集計した(表1)。

表1. 日本産種のDNAマーカー登録状況(種数)

マーカー	カゲロウ目	トビケラ目	トンボ目	カワゲラ目
COI	54	132	162	10
Histone H3	50	2	12	5
18S rRNA	65	10	153	1
日本産種数	152	497	211	199

トンボ目に関してはCOI、18S rRNAについて多数種のDNAデータが登録されているが、その他の3つの目では、日本産種数のうちDNAデータが存在するものはかなり少ないのが現状である。

生物群集の構成を丸ごと解析するには、次世代シーケンサー(並列型ハイスループットシーケンサー)による大規模配列データが有効である。これによって得られるDNA配列は、測定法自体に起因する読み取り誤差

を別としても、既知のデータベース登録配列と完全に一致しないことが多い。その場合には既知配列との類似度から配列出現種を判定することになるが、その基準をどのように設定するかが課題である。そこで、国際DNAデータベースに属名+種小名で登録されている配列データ(sp.表記のデータを除く)を配列ペア総当たりで比較し、種間・属間・科間でそれぞれの類似度を集計した。一例としてカゲロウ目の結果を表3に示す。表中の「種間」とは、同一属内で異なる種との最大の類似度(最近縁種間の類似度)を集計し、その平均値と標準偏差を示したものである。また「属間」も同様に同一科内の異なる属での最大類似度、「科間」も同様に同一目内の異なる科での最大類似度の集計である。

表2. カゲロウ目の種・属・科間での類似度

マーカー	種間	属間	科間
COI	0.892±0.047	0.844±0.027	0.833±0.020
Histone H3	0.967±0.025	0.949±0.023	0.922±0.026

目間の類似度として、カゲロウ目と他の3目(トビケラ, トンボ, カワゲラ)の間で集計した結果は、COIで0.817±0.018、ヒストンH3で0.894±0.021であった。COIは、最近縁種間の類似度が小さく、高い種判別能を持つと思われるが、一方で属間と科間との類似度の違いがヒストンH3に比べて小さく、系統情報の点では、比較の変異量の飽和が速いと思われた。COI、ヒストンH3ともに、アミノ酸配列は高い保存性を示している。特にヒストンH3では、登録されている配列の99%以上でアミノ酸配列が完全に一致していることから、例えば次世代シーケンサー出力データなどを基に、アミノ酸配列に翻訳して比較することで、DNAデータの正確性を検証することが可能になると期待される。

18S rRNAについては配列鎖長に大きな変異をもつことがあり、同一科内でも一定していないため同様の解析は難しい。しかしながら、5'側の約90塩基の領域は、整列した後のギャップは少なく、科や目で特徴的であることから、科や目の判別に利用できる可能性がある。

4. 考察

ヒストンH3遺伝子や18S rRNA遺伝子は、これまで分子系統解析にしばしば活用されてきたが、DNA分類マーカーとしてのポテンシャルは十分に有していることが示唆された。しかし現時点では、種名と対応付けられた参照データ数(データベースに登録されているDNA配列数)が少なく、今後のデータベースの充実が課題でもある。

*平林公男(信州大・学術研究院), 崔翔気・岡田峻典(信州大大学院・総合理工学)

1. はじめに

造網型トビケラ類の一つであるシマトビケラ科幼虫は、河川底生動物の中でも個体数や現存量の大きなグループの一つであり、水圏生態系の中で重要な役割を果たしている(津田, 1956, 1959; 小松, 1974)。しかし、日本産シマトビケラ科について、河川における流程分布や、生活史に関する報告は少ない(谷田, 1980)。

エチゴシマトビケラ *Potamyia chinensis* (Ulmer, 1915) は、河川下流域を中心に分布しているが(小林, 2010)、その生活史や二次生産力に関する研究は極めて少ない。そこで本研究では千曲川中流域の岩野地点において、生息密度で優占するエチゴシマトビケラに注目し、幼虫の齢別組成を季節的に明らかにし、成長解析を行って生活史を明らかにするとともに、瞬間成長法(Johnson & Brinkhurst, 1971)を用いて世代ごとに二次生産力を推定することを目的とした。

2. 材料と方法

調査は2016年4月~2017年11月の間(現在も調査を継続中)、毎月1回、千曲川中流域の岩野橋付近(以下、岩野地点: 県境より77km上流)の瀬と常田新橋付近(以下、常田地点: 県境より105km上流)の瀬で行った(常田地点は2015年4月より調査を開始)。底生動物の採集はサーバーネット(30×30cm², メッシュサイズ450μm)を用い、各地点3サンプルずつ捕獲した。試料は実験室に持ち帰り、10%ホルマリンで固定した後、肉眼および実体顕微鏡を用いて分類群ごとに選別を行った。エチゴシマトビケラ幼虫については、個体数と湿重量を計測し、さらに成長解析を行うために、接眼マイクロメーターを用いて頭長(上唇からキチン化された頭部後方まで)を測定し、齢の判定を行った。また、本種蛹は千原(1955)の検索表を基に分類した。

3. 結果と考察

調査期間内に採集されたエチゴシマトビケラ幼

虫の平均個体数密度と平均現存量は、常田地区の瀬で 16.1 ± 47.8 匹/m²、 0.03 ± 0.1 g/m²、岩野地区の瀬で 1114.4 ± 900.2 匹/m²、 5.7 ± 4.8 g/m²であった。岩野地区においては、個体数密度では優占種となっていた。個体数の多い岩野地区におけるエチゴシマトビケラ幼虫の頭長を測定し、齢を判別した結果、1080~1210μmを5齢、700μm~830μmを4齢、470~590μmを3齢、240~370μmを2齢と判定した。1齢幼虫は鰓が無く刺毛が長いという2齢以降の形態的特徴とは大きく異なることが知られているが、本調査では1匹も捕獲されなかった。蛹は4~5月、7~9月に確認された。各齢の出現頻度を調査月毎にまとめ、齢別組成の解析を行ったところ、非越冬世代が2016.5-8月と2016年7-11月の2世代、越冬世代が2016年9-2017年6月までの1世代であることが明らかとなった(年3世代)。2017年の非越冬世代も5-8月と7-11月の2世代が確認された。

各々の世代の二次生産力を計算すると、非越冬世代が $0.5 \sim 1.1$ AFDW g/m²、越冬世代が 2.1 AFDW g/m²の範囲で変動することが明らかとなった。越冬世代の二次生産力が、非越冬世代の二次生産力と比較して、相対的に高いことが明らかとなった。また、2016年8月30日と9月21日に、1.5mを超える洪水があり、2016年度の2回目の非越冬世代(7-11月)の二次生産力に大きな影響を与えていた。すなわち、2017年非越冬世代(2回目)と比較して、2016年の非越冬世代(2回目)は約45.5%減の値を示した。2017年10月23日には3mを超える洪水があり、越冬世代の二次生産力に大きな影響を及ぼした可能性があり、現在、検討中である。

謝辞: 本研究を遂行するにあたり、信州大学繊維学部の大塚健斗氏、難波広樹氏にフィールド調査において協力をしていただいた。この場をおかりして、深謝いたします。また、本研究成果の一部は、河川財団ならびに、河川砂防技術研究開発公募地域課題分野(河川生態)からの助成を受けて行われたものである。

*栗田 秀男 (群馬県自然環境調査研究会)

1. はじめに

群馬県高崎市の榛名湖では1995年から1999年までワカサギの長期不漁が続いた。2000年に豊漁に転じたがその後豊漁は長続きせず、不漁と豊漁を繰り返した。不漁年にはミジンコ類の *Daphnia* (榛名湖では2種存在) が発生し、輪虫類は減衰した。これは *Daphnia* の抑制 (Suppression) が作用したと考えられたので、今回この *Daphnia* の抑制について調査結果から解析した。月に1回程度の調査でも動物プランクトンの種間を知ることができるのではないかと、本報では、*Daphnia* の増殖期の、*Daphnia* と輪虫類との相関係数を求め、その数値から抑制の程度を判定する試みをした。

2. 材料と方法

1997~2001年まで調査をしたが、2000年は都合により調査欠損が多く、この年を除いて考察した。

調査は、沖帯と沿岸帯の各1ヶ所で行い、それぞれ場所を定めて、10時から13時までに行うことを原則とした。プランクトンや水質について異常な場所を調査しないように配慮した。たとえば、藻類のパッチや水草帯を避けた。また、激しい雨天の日は調査を避けた。

調査方法で特記すべきものを記載すると、クロロフィル a の測定は迅速に行う必要からターナーデザイン社の蛍光光度計を用いて in-vivo 法で行った。動物プランクトンや水質測定用の採水は沖帯で2m間隔の垂直採水により、沿岸帯でも2m内外の垂直採水によって行ったので、年ごとの代表値はこれらの測定値の平均値を用いた。

3. 結果と考察

1997~1999年、2001年の榛名湖のワカサギ漁獲量 (漁獲年度では、1997年で、0, 1998, 1999年でそれぞれ、31.3, 39.1, 2001年で3480kg/km²であった。2001年は豊漁、他は不漁年に相当。年間のChl-a値や *Daphnia* の個体数の変化は年により大きく異なり、以下の特徴がみられた。1997年では、春から夏までのChl-a値は5μg/lの値をかなり下回り、*Daphnia* の個体数は5~10個体/lの間を変動した。1998年

Chl-a値は5μg/l値をほぼ維持して高く、*Daphnia* の個体数は5月に29個体と大きな数値になった。1999年では、3~5月のChl-a値が最大24μg/lと異常に高い値をしめし、反対に *Daphnia* は0.13個体と少ないままだった。2001年では、Chl-a値は4月のみ30μg/lと異常に高い値を示し、それ以降は5μg/lを概ね下回って変動した。2001年はワカサギ豊漁の年だから *Daphnia* は存在しないはずだが発生したのは、この年の観察からワカサギが沖帯を離れて沿岸帯に移動し、動物プランクトン食からベントス食へ食性の変化をしたためと推定された。

各年の *Daphnia* と輪虫類との個体数の変動による相関関係を相関係数で示し詳細にみると以下の特徴がみられた。ここでは相関係数の絶対値で0.5を有意としてみると、1997年では検出種数は10で、*Keraella*, *Polyarthra*, *Filinia* 等5種が抑制を受けた被抑制種で、いずれも小型種であった。*Ploesoma*, *Synchaeta* は、0.729, 0.972のプラスの高い係数で同時増殖の性格を持つと考えられた。1998年では、Chl-a値の高いことに伴い、検出種は18種と多く、反対に被抑制種は4種と少ない。Chl-a値の増大で抑制が妨げられたと、考えられた。1997年の *Keratella ochlearis* と *Keratella quadrata* の小型種が被抑制種でなくなり、*Ploesoma* が被抑制種に転じた。1998年ではChl-a値の増加で藻類の質の変化が起こったと思われた。1999年では、1997年と同じような種の構成と相関係数の構成に戻った感がある。3~5月に高いChl-a値であったが、これは赤潮生物の値で、*Daphnia* に食されなかったことで、餌条件が1997年に類似したと思われる。2001年では検出種14種の相関係数がすべてマイナスで抑制の強いことを示しているようだ。以上を総合すると、輪虫類への抑制の程度は、*Daphnia* の個体数密度とともに両者の餌となる藻類量 (Chl-a値でみて) とその質にあるようだ。藻類量が大きくなると抑制は減少し、反対に藻類量が小さくなると抑制が増大するようだ。以上。

片野俊也、中野温美、田城寺夏実（東京海洋大院）、中島有希子、山田真知子
（福岡女子大）、吉野健児（佐賀大）、横山勝英（首都大学東京）

1. はじめに

各地の内湾では大雨による出水の後に珪藻赤潮が発生することが多い。赤潮を起こす珪藻の中には、環境が不適な時に休眠期細胞を形成して底泥で過ごす種がいる。珪藻の休眠期細胞は光刺激により発芽することが知られており、発芽後増殖に好適な環境であれば個体群は発達する。

珪藻赤潮の発達予測において、底泥中の休眠期細胞の密度を調べる事は重要である。これまでの研究では、珪藻赤潮の休眠期細胞は、各内湾底泥において調べられてきた。ところが富一過栄養な内湾では、大型船舶が接岸できるように急深になっており、透明度が低い事もあって、珪藻休眠期細胞の発芽に必要な僅かな光さえ底泥に到達することは希である。

一方、大雨の後に内湾に注ぐ河川から大規模な出水が起きるとき、感潮河道底泥は深く削り取られ河口域へ流下する。この時、底泥間隙水中の栄養塩と底泥に吸着している栄養塩も海水に触れて脱着することによって海水中に高濃度の栄養塩を放出する。この栄養塩を利用して、珪藻が赤潮を起こすと考えられている。赤潮を起こした珪藻は栄養塩が枯渇すると、休眠期細胞を形成して底泥に堆積する。

このようにして出水後に河口域に流下した底泥堆積物の一部は、潮汐により大潮を経て再び感潮河道に堆積することが知られている。もし、この時に赤潮によって形成された多くの休眠期細胞が感潮河道に堆積すると、内湾で赤潮を起こす珪藻のシードバンクとして機能する可能性がある。そこで、私達は、有明海に注ぐ筑後川と東京湾に注ぐ荒川を対象に、沿岸域に広く分布し赤潮原因藻ともなる

Skeletonema 属について調査を進めている。まだ、得られたデータは断片的であるが、その一部を紹介したい。

2. 材料と方法

2-1. 筑後川の観測

筑後川では2014年の夏季に3回観測を行った。大雨の出水前の4月、出水直後の8月、出水1ヶ月後

の9月である。この間、河川流量、塩分、水位の係留観測を行ったほか、底泥の流出再堆積を把握するため、河床断面の測量も行った。採泥試料からはMPN法による発芽可能な *Skeletonema* のコロニー数を定量するとともに、*Skeletonema* の単離培養、種同定を行った。

2-2. 荒川の観測

2018年5月から観測を開始している。底泥を採取し、MPNにより定量するとともに、泥から直接DNAを抽出し、種特異的プライマーを用いてリアルタイムPCRにより *Skeletonema* 属の種毎に定量した。

3. 結果

3-1. 筑後川の観測

感潮域上流部では4月に 3.3×10^4 MPN g^{-1} が検出された後、出水直後の8月に 0.1×10^4 MPN g^{-1} に減少した。底泥堆積物の堆積が確認された9月には、 4.9×10^4 MPN g^{-1} に回復した。4月と9月の底泥からの単離培養では淡水性種の *S. potamos* と汽水性種の *S. costatum* s.s. が得られた。9月には、観測した3点全てで *S. costatum* s.s. が得られており、感潮河道から河口域にかけて本種が増殖し堆積したと考えられる。

3-2. 荒川の観測

満潮時の塩分が0.2の感潮域上流部底泥から $0.5 - 1.5 \times 10^4$ MPN g^{-1} の *Skeletonema* が検出された。リアルタイムPCRでは 10^5 cells ml^{-1} の *S. marinoi-dohrnii* complex が検出された。本種は、塩分5以下では増殖不可能であることから、河口域から運ばれて堆積した可能性が高い。

4. 考察

筑後川、荒川どちらの感潮河道上流域からも発芽可能な *Skeletonema* 属珪藻が検出された。出水が起きたときには珪藻赤潮のシードバンクとして機能する可能性がある。今後、底泥堆積物の出水と潮汐に伴う輸送、堆積過程と、赤潮形成の関係について詳細な観測を行って行く予定である。

4D09 化学生態学的アプローチによる *Microcystis* 属ラン藻の生活環解明 (1)

-β-cyclocitral の産生機構-

*山下竜司 (名城大院総合学術)、有井鈴江 (名城大・薬)、兼井啓介 (名城大・薬)
辻 清美 (神奈川衛研)、富田浩嗣 (愛知衛研)、原田健一 (名城大院総合学術・薬)

1. はじめに

湖沼においてラン藻が異常増殖することで発生するアオコは近年増加傾向にあり、当研究室では生物学的制御を最終目標として化学生態学的アプローチを用いてラン藻の生活環解明に取り組んでいる。対象としている *Microcystis* 属ラン藻は晩夏に優占し、特異的な溶藻活性化化合物 β-cyclocitral を産生して青色化を伴う溶藻現象を生起することが報告されている (1)。また、β-cyclocitral の産生条件として *Microcystis* 属ラン藻の細胞密度が 10⁷ cells/mL を越えたときに産生されることが示唆された (2)。過去の分析条件と結果を比較したところ、β-cyclocitral は溶媒抽出法では検出されず、固相マイクロ抽出 (SPME) 法を用いた GC/MS でのみ検出されている。そこで、分析手法の違いが *Microcystis* 属ラン藻の β-cyclocitral 産生にどのような影響を与えるか検証を行った。

2. 材料と方法

研究室で継代培養した *Microcystis aeruginosa* NIES-843 を用いて、β-cyclocitral および関連化合物を GC/MS にて分析した。SPME 法と溶媒抽出法を比較し、刺激として選択した加熱・塩析・振盪の 3 要素を適宜組み合わせた。

3. 結果

(i) SPME 法を用いた β-cyclocitral 産生刺激の検証結果を図 1 に示す。β-cyclocitral は加熱を含む 4 条件で検出されたが、塩析・振盪は単体では検出されなかった。

	加熱	塩析	振盪	β-cyclocitral 検出量 [μg/L]
A	○	○	○	9.7
B	○	○		9.3
C	○		○	14.3
D	○			12.3
E		○	○	6.6
F		○		0
G			○	0

図 1 SPME 法を用いた分析条件と β-cyclocitral 検出量

(ii) 溶媒抽出法を用いた加熱刺激の検証

これまで β-cyclocitral が検出されなかった溶媒抽出法に加熱刺激を取り入れて分析を行ったところ、β-cyclocitral のみ検出量が 17 倍に増加した (図 2)。

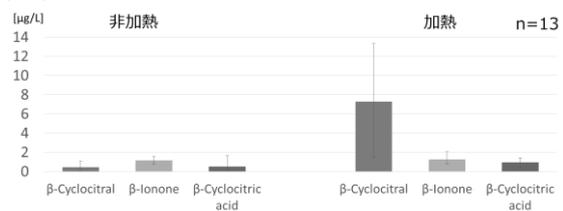


図 2 溶媒抽出法+加熱刺激による VOCs 検出量

4. 考察

Microcystis 属ラン藻に加熱刺激を与えることで β-cyclocitral が検出されることが示された。この結果は β-cyclocitral が β-carotene 由来の代謝物であり、Carotenoid Cleavage Dioxygenase (CCD) 酵素により産生される仮説を支持する。さらに、本実験の過程で β-cyclocitral 酸化生成物を分析する目的で液性を酸性にしたところ、非加熱下においても β-cyclocitral を検出した。CCD 酵素による開裂には 2 種の反応中間体が示唆されている (3)。これらの結果は *Microcystis* ラン藻細胞体内の反応中間体を熱や酸といった刺激を与えることで検出することができていたことを示している。

CCD 酵素は広く植物やラン藻が所有しており、*Microcystis* 属ラン藻では 2 種の CCD が報告されている。

(4) 本ラン藻に特異的な成分である β-cyclocitral の産生には特異的な機能が必要であると推定して遺伝子検索をしたところ、CCD 酵素と考えられる新たな配列を発見した。これらがどのように β-cyclocitral の生成に関与するかを明らかにしていく。

参考文献

- (1) Arii et al., AEM, 81, 2667-2675 (2015) .
- (2) Arii et al., phycological research, 66, 161-166 (2018).
- (3) Harrison and Bugg, ABB, 544, 105-111, (2014).
- (4) Cui et al., CFG, ID:164690, 13, (2012) .

坂本 充 (名古屋大学・滋賀県立大学)

1. はじめに

尾瀬ヶ原は、日本海に面した 2,000m 級の山群に囲まれた山岳湿原で、冬期豪雪・梅雨台風期多雨と冷温気候環境により、植物遺体が未分解のまま堆積した泥炭層上に、北方起源種を含む多様な植物種の生育する湿原（低層、高層）が発達している。この多様な湿原植物種と共に、尾瀬ヶ原の特色は、泥炭の不均一堆積による凹凸微地形と、それに起源する多数の池澆分布である。この自然特性から、尾瀬ヶ原は国立公園特別保護地域、天然記念物として保護されてきた。しかし、地球温暖化とニホンジカの湿原生態系への影響による変化が懸念される事から、一昨年、第 4 次尾瀬総合学術調査団が組織され（第 81 回大会報告）、尾瀬生態系の現状と外力影響の調査を進めている。温暖化影響の調査成果は、本大会の課題講演で報告されるが、この一般講演は、尾瀬湿原におけるシカ擾乱影響の顕著なミツガシワを取り上げ、シカのミツガシワ根茎堀採食の池澆影響の可能性を論ずる。

2. 尾瀬ヶ原におけるシカの植生影響。

尾瀬ヶ原へシカ侵入と、それによる植生攪乱を初めて確認したのは、東北大学の内藤俊彦(1995)である。それ以来、内藤は 20 年に亘り毎年尾瀬ヶ原と周辺湿原の 12-15 調査地点でシカの植生影響を綿密に調査し、15 の調査報告を提出している。この 20 年間の調査を通じ特徴的なことは、尾瀬におけるシカの植生影響の 9 割はミツガシワの根茎採食に集中し、その根茎採食のため生育地の泥炭を掘起こし、ミツガシワをまさに根こそぎ剥ぎ取る激しい攪乱であることを報告している。この攪乱地では、泥炭がヘドロ化し、降水時に流出し、他湿原に大きく影響する事が懸念される。燧岳南林道沿い上田代湿原で

は、ミツガシワ根茎堀採食による 2 池澆間に掘られた穴が洪水で拡がり、池澆壁が決壊している。このようなミツガシワの集中的な堀採食は、尾瀬長池湿原のシカのミツガシワ根茎堀採食を調査した Igarashi と Takatuki (2008)によると、ミツガシワ根茎が栄養価高く、かつ有蹄類誘引物質を含むためと推論している。

3. ミツガシワの生物特性と尾瀬池澆における分布

ミツガシワの根茎は太く水底面か泥中を縦走り、長さ 20-30cm の葉柄を空中に広げる。第 1 次尾瀬総合学術調査の宝月らによると、ミツガシワ根茎の酸素要求は調査湿原植物のうち最も大きく、酸素の豊富な環境で生育することを示しており、事実、ミツガシワは浅い池澆でよく分布する。第 3 次総合学術調査における金井の調査結果も、ミツガシワは、尾瀬の浅い池澆に分布がみられる。このような植物特性から、ミツガシワは、池澆遷移の初期か後期の浅い池澆に集中し分布し、特に遷移後期には、池底に縦横に走る根茎が、池の浅化を促進すると考えられている。シカによる湿原のミツガシワ根茎採食は、池澆への泥炭供給、池澆破壊、さらに採食による根茎死滅により池澆浅化に影響を及ぼし、湿原生態系を大きく左右する過程として重要であり、陸水学的視点からの調査が不可欠である

4. 参考文献

- 内藤、木村 (1998) 尾瀬総合学術調査団、725-739.
 内藤、木村(2000, 2002, 2004, 2006, 2007, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016) 尾瀬の保護と復元 22, 24, 25, 27, 特別号, 28, 29, 31, 32.
 Igarashi, T. and Takatsuki, S. (2008) Biosphere Conservation 9, 9-16
 金井 (1998) 尾瀬総合学術調査団、377-471.

淡水ガメの遷移：岡山平野を中心として

4D11

*亀崎直樹・藤林真・砂場千奈・前川雄治（岡山理大・生地），

1. はじめに

西日本の河川や湖沼には現在ニホンイシガメ *Mauremys japonica*（以下、イシガメ）、クサガメ *M. reevesii*、ミシシippアカミミガメ *Trachemys scripta elegans*（アカミミガメ）、ニホンスッポン *Pelodiscus sinensis* が生息している。イシガメは在来種であるが、クサガメおよびアカミミガメはそれぞれ中国大陸および北アメリカから持ち込まれた外来種である。その種の割合は各地で異なるものの、外来種が優占する地域が増えている。すなわち、かつてはイシガメが優占していたが、外来種の導入によってその割合が急速に下がっている状況にある。本報告では、岡山平野を中心として、カメ相の変化がどのように起こったのかを推察してみたい。

2. 材料と方法

まず、現在の淡水ガメの種組成を調べるために、岡山県のほぼ全域に渡って、2014年5月から2017年7月の間に、ため池149ヶ所、河川76ヶ所の合計225ヶ所で、カメ専用のかご網を用いてカメを捕獲した。網は午後に設置し、翌日の午前中に引き上げた。また、誘引餌としてサバなどの生魚を用いた。

また、過去の状況を推察するために、文献等を調べた。

3. 結果

捕獲されたカメの個体数は1796個体で、内訳はクサガメ：1267個体（70.5%）、アカミミガメ：484個体（26.9%）、イシガメ：35個体（1.9%）、スッポン10個体（0.6%）で、在来種であるイシガメは極めて少ないことが明らかになった。一方、岡山県の淡水ガメの優占種はクサガメであり、また、アカミミガメも少なくはなかった。捕獲される場所には傾向があり、イシガメは河川の上流で捕獲され、特に県の東部に偏って生息していた。アカミミガメは高梁川、旭川、吉井川の河口近くに多く分布していた。

4. 考察

現在の岡山県においては、クサガメが淡水ガメの優占種であるが、これは朝鮮半島より数百年前に

導入された外来種とされている。つまり、数百年以内にイシガメが優占していた淡水ガメ相はクサガメに置き換わったと推察される。しかも、様々な証左から比較的近年に急速に置き換わった可能性がある。まず、最も古い資料とすれば芸術家、本阿弥正勝の残した美術品やスケッチがある。彼は1908年に没するまで、主に岡山に居住し、多くの動物をモチーフにした工芸品を残している。その中にカメを題材としてものも含まれるが、それらは形態からイシガメと判断されるのである。つまり、岡山では1900年ごろまではイシガメが優占していたと判断される。また、岡山県の動物学発展に様々な寄与をした佐藤國康は1993年に出版した著書で、最も普通なカメはクサガメだと述べ、また、イシガメについても少ないとは記載せず、倉敷で撮影したイシガメの写真を掲載している。つまり、1990年代ではクサガメが多いもののイシガメがまた含まれている状態だったと考えられる。クサガメは瀬戸内海の海岸線に多く、遺伝子の分析から朝鮮半島が起源であることが明らかにされているが、1400年代に始まった朝鮮通信使など朝鮮との交易によってもたらされたとも考えられる。

さらに佐藤の著書の中には、アカミミガメに関する記述があり、極めてまれな種と位置付けており、1990年頃に定着が始まったことが推定された。

これらを、今回の調査結果と比較すると、朝鮮との交易で日本の瀬戸内海の沿岸に持ち込まれたクサガメは1900年から1990年にかけて急速にその数を増やしたのである。さらに1990年頃に侵入したアカミミガメもその後平野部の河口周辺で繁殖し、その数を増加させ、今後、増加していくのであろう。岡山のアカミミガメは人口密度に関係なく、高梁川、旭川、吉井川の河口付近に定着しており、状況から海洋を介して定着したと考えている。

このように淡水ガメ相は、原産地とは異なった場所に導入されると、その繁殖力や被食率の違いによって、急速に種が置き換わることがあると考えられる。