

# 活性炭の表面状態によって変化する硝酸イオンの吸着特性

\*飯田達也 (千葉大・工), 天野佳正 (千葉大院・工)  
 相川正美 (木更津高専), 町田 基 (千葉大・総安)

## 1. はじめに

硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素が過剰に含まれる水を摂取すると、主に乳児に対し血液の酸素運搬能力が失われ酸欠になる疾患(メトヘモグロビン血症)を引き起こすことが知られている。地下水の水質について環境省が実施した継続監視調査によると、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の環境基準超過井戸数はテトラクロロエチレンやヒ素など他の項目に比べて最も多く、さらに年々増加傾向にある。従って、硝酸イオンの選択的かつ簡便な除去方法の確立が求められる。本研究では、活性炭による水中からの硝酸イオン吸着機構を検討した。

## 2. 材料と方法

市販の石炭系粒状活性炭(カルゴンカーボンジャパン, F400)を純水で煮沸洗浄後、塩酸とフッ酸により脱灰したものをF400-DAとした。F400-DAをNH<sub>3</sub>気流中、1h、700°Cで処理したものをF400-7AGとした。F400-DAをHe気流中1000°Cで脱気処理し酸性官能基を除去したものをF400-10OGとした。硝酸イオン濃度を50ppm(0.80mmol/L)に調整した硝酸ナトリウム水溶液50mLに活性炭100mgを加え、25°C、100rpm、24h、バッチ式の条件で振とうさせた。0.1M HClと0.1M NaOHを用い、初期の溶液のpHを変化させた吸着実験を行い、吸着量を測定した。また、比較実験としてpH調整の際のCl<sup>-</sup>による妨害の影響を検討するため、0.1M NaClを加えて[Cl<sup>-</sup>]を一定にした吸着実験も行った。初期pHを1.7としたときの[Cl<sup>-</sup>]=20mmol/Lを基準とした。

## 3. 結果及び考察

pHを調整したときの[Cl<sup>-</sup>]とF400-DAによる硝酸イオン吸着量Q<sub>e</sub>の関係をFig.1に、その際の[Cl<sup>-</sup>]をTable1にそれぞれ示す。[Cl<sup>-</sup>]を一定としたときのQ<sub>e</sub>は平衡pH(pH<sub>e</sub>)が小さくなるにつれて増加した。[Cl<sup>-</sup>]が一定でないときもpH<sub>e</sub>が小さくなるにつれて吸着量が増加したが、pH<sub>e</sub>が2のときは著しく減少した。pH<sub>e</sub>が3のとき[Cl<sup>-</sup>]/[NO<sub>3</sub><sup>-</sup>]比は2.5であるが、pH<sub>e</sub>が2のとき[Cl<sup>-</sup>]/[NO<sub>3</sub><sup>-</sup>]比は25と大きくなる。従って、pH調整によって過剰となったCl<sup>-</sup>により、硝酸イオンとの競争吸着が生じ、吸着が阻害されたと考えられる。そのため、Cl<sup>-</sup>による妨害の影響が小さくなるように溶液pHを3以上とし吸着実験を行った。次にpH<sub>e</sub>とQ<sub>e</sub>の関係をFig.2に、各活性炭の元素組成と塩基性サイト量をTable2にそれぞれ示す。pH<sub>e</sub>が低くなるにつれて、Q<sub>e</sub>は増加した。同一pH<sub>e</sub>でのQ<sub>e</sub>はF400-7AG > F400-10OG > F400-DAの

順となっており、活性炭の塩基性サイト量や窒素含有率に比例している。活性炭への硝酸イオンの吸着は、活性炭の塩基性サイトにプロトンが吸着することによって正に帯電し、負の電荷をもつ硝酸イオンと静電相互作用することで吸着すると考えられる。従って、塩基性の窒素官能基やπ電子雲が硝酸イオンの吸着に有効であることが示唆される。

Table 1 吸着平衡pHと初期[Cl<sup>-</sup>] (mmol/L)

pH <sub>e</sub>	2.0	3.0	5.3	6.6~12.8
non-constant [Cl <sup>-</sup> ] <sub>0</sub>	20	2.0	0.2	0
constant [Cl <sup>-</sup> ] <sub>0</sub>	20	20	20	20

Table 2 供試活性炭の組成および塩基性サイト量

Carbon	Elemental composition (wt%)				Basic site (meq./g)
	C	H	N	O	
F400-DA	93.40	0.03	0.39	6.17	-
F400-10OG	96.40	0.13	0.43	3.00	0.51
F400-7AG	95.10	0.20	1.86	2.85	0.67

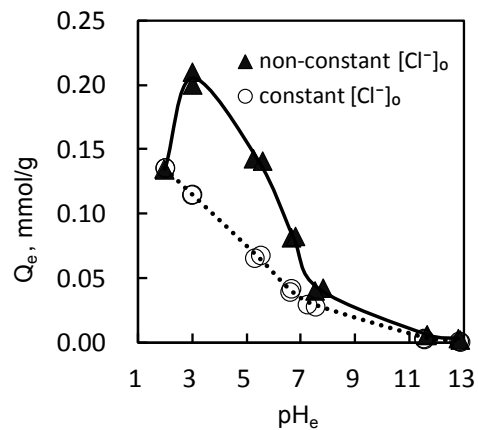


Fig. 1 pH調整におけるCl<sup>-</sup>がNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の吸着に及ぼす影響 (F400-DA)

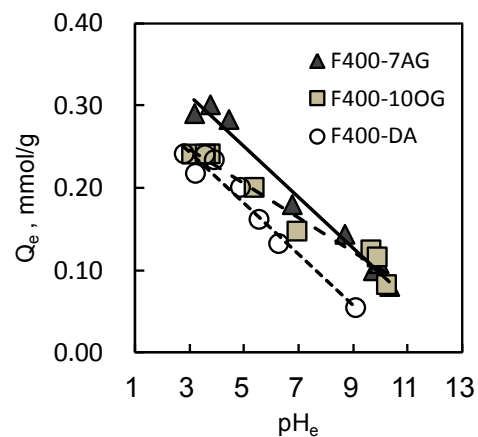


Fig. 2 平衡pHがNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の吸着に及ぼす影響

# 酸化マグネシウムを用いた諏訪湖底質の改善

\*吉田知可(信州大・大学院)

宮原裕一(信州大・山岳科学総合研究所)

沖野外輝夫(諏訪湖クラブ)

## 1. はじめに

二枚貝は植物プランクトンを効率よく摂取することが知られている。現在の諏訪湖ではその生息域が限られており、底生生物による水質浄化機能が低下したままとなっている。そこで、一時的ではなく、持続的な水質浄化機能を諏訪湖に取り戻すためには、二枚貝を復活させることが必要と考えた。

一方、諏訪湖では夏期の溶存酸素の低下や、底質の泥化により、底生生物の生活環境が悪化したままの状態である。諏訪湖に二枚貝を復活させるには、その生息する底質の改善が必要となる。

ここでは酸化マグネシウム(MgO)を用いた底質改善実験を行った。本剤は底質を弱アルカリ性の状態に保つことで、底質の好気性細菌を活性化し、有機物の分解を促進、ヘドロや硫化水素の発生を抑制する効果があるとされている(株式会社 エンデバーホームページより)。

## 2. 実験方法

実験には宇部マテリアルズ株式会社が製造しているミネラルオーシャン S-1(酸化マグネシウム)を用いた。

処理区は湖水のみ、湖水+MgO、湖水+底質、湖水+底質+MgOの4区で、繰り返しを3用意した。1リットル広口ポリビンに諏訪湖底質300g(湿重)、湖水500mLをいれ、各処理区を作成した。MgO添加量は1m<sup>2</sup>あたり1kgとした。実験室の室温は20℃とし、実験期間中は暗条件とした。

0日目に湖水のみと湖水+底質処理区のサンプリングを行った後、MgOを添加し、3日、1週間、2週間後にそれぞれ水と底質のサンプリングを行った。

採取した底質は磁製皿に取り、電気炉中で450℃3時間加熱し、強熱減量を求めた。

水中の溶存有機炭素は島津製作所 TOC-5000で測定した。各種イオン濃度はDIONEXのICS-1500で測定した。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>は陽イオンと陰イオンのイオンバランスから算出した。一般細菌、真菌・酵母は、日水製薬のコンパクトドライ「ニッスイ」TC、YMに試水を添加し、それぞれ48時間、3日から7日培養後、コロニー数を計数した。サンプリング時のpHと溶存酸素はそれぞれ

東亜ディーケーケーのHM-31PとHACHのHQ40dで測定した。

## 3. 結果および考察

水+底質および水+底質+MgOの2処理区で0日、3日、1週間、2週間後の底質について、有機物含量の指標として強熱減量を測定した。水+底質処理区では0日と2週間後の強熱減量に差は見られなかった。一方、水+底質+MgO処理区では強熱減量が低下する傾向がみられた。この原因としてMgO添加による底質の希釈と底質中の有機物の分解が考えられた。

水+MgOおよび水+底質+MgO処理区では、経時的なMg<sup>2+</sup>濃度の増加がみられた。イオンバランスからMg<sup>2+</sup>濃度の増加とともにHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が増加したと推算された。これは水+MgO処理区、水+底質+MgO処理区の両方で増加がみられた。そのため、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の炭酸は底質からではなく、大気中から供給されたと考えられた。

水中の溶存有機炭素はMgOを添加した水+底質+MgOおよび水+MgO処理区でともに有意に増加していた。水+底質処理区よりもMgO添加処理区で溶存有機炭素は増加していた。しかし、水+MgO処理区よりも水+底質+MgO処理区の増加が著しかった。

また、水+底質+MgO処理区では特徴的に無機窒素イオン濃度の増加がみられた。特に2週間後にNO<sub>2</sub><sup>-</sup>濃度が著しく増加していた。

水+底質+MgO処理区では一般細菌の数が有意に増加した。真菌・酵母の菌数も測定したが、こちらには有意な変化は見られなかった。

## 4. まとめ

水+底質+MgO処理区で底質の強熱減量が減少した理由として、底質の有機物の分解が考えられた。また、溶存有機炭素と水中の無機窒素イオンの増加も底質中の有機物の分解が原因と考えられ、水中の一般細菌数も増加しており、細菌による底質の分解が示唆された。

以上からMgOの添加で細菌による底質の分解が促進されたものと考えられた。

## 謝辞

本研究は宇部マテリアルズ株式会社からの委託研究費で実施されました。

# バイカル湖・エニセイ川流域における溶存有機物の遷移過程

\*杉山裕子 (兵庫県大・環境人間), Patrick Hatcher (Old Dominion University), Rachel Sleighter (Old Dominion University), 和田千弦 (兵庫県大・環境人間), 橋田紳乃介 (兵庫県大・環境人間), 熊谷哲 (兵庫県大・環境人間), 中野伸一 (京大・生態研セ), 三村徹郎 (神戸大・理), 渡辺泰徳 (立正大・地球環境), 佐藤泰哲 (山形大・理), Valentin Drucker (ロシア科学アカデミー 陸水研), Vladimir Fialkov (ロシア科学アカデミー バイカル博物館), 杉山雅人 (京大 人間・環境)

## 1. はじめに

近年、地球温暖化による環境変動のため、シベリア永久凍土の急激な融解が進んでいることが観測されている(福田正己ら, 1995)。永久凍土の融解により、土壌有機物の水圏への流出の大幅な増加、炭素循環の変化、流出有機物が水圏生態系に与える悪影響などが懸念されている。

本研究は、北極海に流出する最大の水系であるバイカル湖-エニセイ川流域における溶存有機物の分布と特徴を、DOC 測定や3次元励起蛍光測定、フーリエ変換イオンサイクロトロン共鳴型質量分析 (FT-ICRMS) などにより把握することを目的として行った。

## 2. 材料と方法

試料は、2007年8月および2008年8月にバイカル湖およびエニセイ川流域で採取した。エニセイ川においては、北緯55°59' (St-1)から71°52' (St-24)の範囲にわたり、河川水試料を24地点で採取した。採取した試料は、船上もしくは研究室において速やかにGF/F フィルター (孔径0.7 μm)で濾過し、冷凍保存した後、日本に持ち帰り、DOC 測定および3次元励起蛍光測定を行なった。FT-ICRMS試料はC<sub>18</sub> 固相抽出法を用いて溶存有機物の分離・濃縮を行い、80%メタノール溶液により溶離された有機物濃縮試料に対してESI-FT-ICRMSによりインフュージョン分析を行った。検出はネガティブモードで行った。これらの測定にはShimadzu TOC-5000 全有機体炭素測定器, 日本分光FP-6200 分光蛍光光度計, Apex Qe FTICR-MS 質量分析器 (Bruker Daltonics)を用いた。

## 3. 結果と考察

バイカル湖 (SB) においてDOC は、1.2~1.8 mg C L<sup>-1</sup> の濃度範囲で分布した。エニセイ川上流から中流においては、流入河川およびその流入直後の試料を除くと、DOC は3.13~3.68 mg C L<sup>-1</sup> であった。エニセイ川水試料には4種の腐植様物質蛍光ピーク (Ex/Em = 235~250 nm/410~420 nm;

240~265nm/432~454 nm; 325~330 nm/410~418nm; 325~330 nm/438~454 nm) が観測され、各腐植様ピーク強度とDOC との間には正の相関が見られた。DOC は永久凍土地帯で5.2~8.7 mg C L<sup>-1</sup>と高濃度を示し、この地域から腐植様ピークを示す多量の有機物が供給されていることを示した。質量分析の結果、MS ピークは主に m/z = 200~600 の範囲に分布し、バイカル湖水からエニセイ河川水の下流に移動するにつれて平均の分子量が小さくなる傾向があった(図1)。検出された精密分子量から予想された分子式とそれぞれのピーク強度から、重量平均不飽和度(DBE<sub>w</sub>), O/C<sub>w</sub>, H/C<sub>w</sub>, 炭素数#C<sub>w</sub>, DBE/O<sub>w</sub>, DBE/C<sub>w</sub>を計算し、主成分分析を行った結果、第一主成分として DBE<sub>w</sub>, DBE/O<sub>w</sub>, H/C<sub>w</sub>, O/C<sub>w</sub> が分離され、バイカル湖水 DOM は極性・飽和度が高いのに対し、エニセイ河川水 DOM は極性が低く、不飽和度が増加している特徴があることが分かった。また、エニセイ河川水の上流から下流に移動するにしたがって、極性は低く、不飽和度が増加していく特徴があることが分かった。

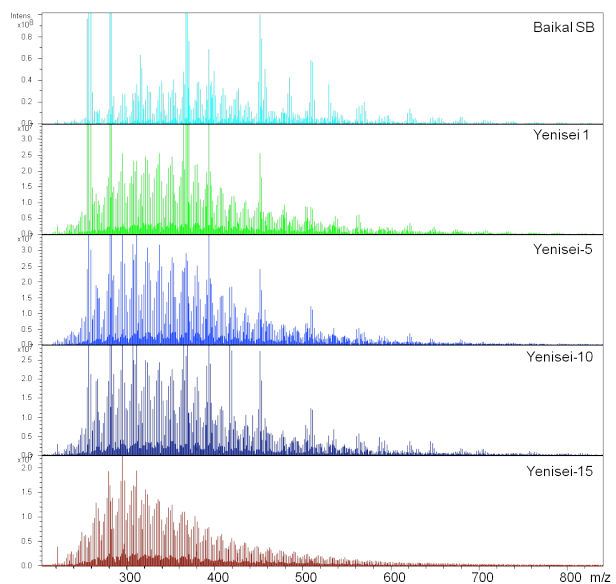


図1. バイカル湖、エニセイ河川水のFT-ICR MS スペクトル

# ベトナム・メコンデルタの高洪水稲作地域における 洪水対策と水田環境について

\*飯泉佳子<sup>1)</sup>, Nguyen Cong Thuan<sup>2)</sup>, 泉太郎<sup>1)</sup>

1) 国際農林水産業研究センター, 2) Can Tho Univ., Vietnam

## 1. はじめに

ベトナムはタイに次ぐ世界第2位のコメ輸出国であり、その輸出量の9割近くがメコンデルタで生産されている。ベトナム・メコンデルタは世界の食料安全保障を考える上で重要な食料生産地帯の1つである(Sakamoto, 2009)。IPCC第4次評価報告書では、東南アジアなどの人口の密集するメガデルタ地帯は、海からの洪水の増加や河川の洪水によって最大のリスクに直面することが指摘されている。ベトナム・メコンデルタにおける洪水対策と安定的な水稲栽培の持続は、国際的に重要な課題といえる。

同地域の北部、カンボジアとの国境近くに位置するAn Giang省は、雨期にメコン川が氾濫して水位が1~3mに達する高洪水地域である。現地では洪水の侵入を一定期間、あるいは年間を通して防ぐために、輪中堤のようなダイクシステムが発達している。夏秋作の水稲の収穫時(8月)まで洪水を防ぐ低い堤防は「セミダイク(semi dyke)」と呼ばれ、セミダイクに囲まれた地域ではコメの2期作が実施されている。一方、「フルダイク(full dyke)」と呼ばれる高い堤防で洪水の侵入を完全に遮断する地域では、コメの3期作が行われている。

近年、ベトナムではフルダイクの導入が進められているが、フルダイク内の水質汚染や水田土壌の肥沃度低下などの問題が懸念される。

そこで本研究は、セミダイク地区とフルダイク地区の水田と水路を対象に水質や土壌の物理化学性を調査し、フルダイク地区における水田環境の劣化について検討することを目的とする。

## 2. 試料および方法

An Giang省のChau Phu郡とPhu Tan郡を調査の対象とした。Chau Phu郡は地区ごとにセミダイクあるいはフルダイクに囲まれているのに対し、Phu Tan郡はメコン川の中州に位置しているため、郡全体がフルダイクに囲まれている。

2011年6月に現地調査を実施した。Chau Phu郡のセミダイク地区3カ所とフルダイク地区1カ所、Phu Tan郡のフルダイク地区4カ所の合計8カ所において、田面水と用水路の水、水田の表層土を採取した。水試料は、現場で多項目水質計(U-21XD, HORIBA)

によりpH、EC、濁度、溶存酸素、水温を測定し、実験室内でTN、TP、主要無機イオン濃度を計測した。土壌試料については、土色、土性、含水比、pH、EC(1:5)、OrgC、TN、TP、可給態N、可給態P、可給態K、CEC、交換性陽イオン等を測定した。

## 3. 結果

地区ごとに田面水と用水路の水に含まれる無機態窒素イオン( $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ )と $\text{PO}_4^{3-}$ の平均濃度をそれぞれ求めて比較すると、水路水中の $\text{NH}_4^+$ を除き、フルダイク地区の方がセミダイク地区よりも濃度の高い傾向があった。また、田面水と水路水を合わせて地区ごとのイオン濃度の平均値を算出すると、 $\text{NO}_3^-$ と $\text{PO}_4^{3-}$ の濃度はフルダイク地区の方が有意に高かった( $p < 0.05$ )。

水田表土の土性や化学的な性質を比較すると、EC、OrgC、TPなどセミダイク地区の方がフルダイク地区よりも平均値の高い項目もあったが、統計的に有意な差は見られなかった。

## 4. 考察

水稲栽培のスケジュールは、セミダイク地区とフルダイク地区で異なっている。調査の実施日において、セミダイク地区の水田は播種後75日~80日経過していたのに対し、フルダイク地区では播種後25日~50日ほどしか経っていなかった。フルダイク地区の調査水田のうち4地点では、0~6日前に施肥されていた。このことから、フルダイク地区の田面水と水路水の $\text{NO}_3^-$ と $\text{PO}_4^{3-}$ の濃度が高かった要因として、施肥の影響が考えられる。しかし、フルダイク地区はセミダイク地区に比べて外部との水のやり取りが少ないため、内部における水の滞留時間が長くなり、しばしば水質の悪化や悪臭などの問題が発生しているとの指摘がある。今後は調査地点を増やして定期的に水質をモニタリングするなど、より詳細な検討を実施する必要がある。

水田土壌の物理・化学的性質については、調査地点間のばらつきが大きく、セミダイク地区とフルダイク地区における平均値の差は統計的に有意ではなかった。

今回の調査からは、フルダイク地区における水田環境の明確な劣化傾向は得られなかった。

# チベット高原・プマユムツォ湖の水温躍層(20–25m)以深における一次生産の規模とその維持機構に関する検討

\*松中哲也(東海大・院・総合理工), 西村弥亜(東海大・海洋), 村上哲生(名古屋女子大・家政), 井筒康裕(東海大・海洋), 奈良郁子(東北大・環境科学), 渡邊隆広(東北大・環境科学), 今井章雄(国立環境研究所), Liping Zhu(中国科学院・西藏高原研究所)

## 1. はじめに

チベット高原に存在するプマユムツォ湖は、ヒマラヤ山脈から北へ50kmの標高5,030mに位置する高々山湖(2,000m以上の標高にある高山湖, Dokulil, 2005)である。一般に、高々山湖は夏季の一次生産速度が低く(ヨーロッパ・アルプスの湖沼で0.000022–0.0033 mg-O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, Dokulil, 2005), 貧栄養湖に属している。一方、本湖における夏季の一次生産速度は、水深10–20m層で0.035–0.075 mg-O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>(Murakami et al., 2007, Fig.1a)と、中栄養湖である木崎湖の夏季の生産速度(Hayashi and Yoshioka, 2001)と同レベルである。更に本湖の一次生産速度は表面から水温躍層直上で水深と共に増大することが報告されている(Murakami et al., 2007, Fig.1a)。以上のことから、本湖の湖沼型は中栄養湖であり、水温躍層以深(深水層)に一次生産の極大が存在する可能性が強く示唆される。

本研究では、標高5,030mに位置するプマユムツォ湖の深水層において、中栄養湖の規模を超える一次生産の存在と、その維持機構を明らかにすることを目的とした。そのために、水深27mと45mで捕捉した沈降粒子について、粒子サイズと有機物の起源パラメーター(C/Nとδ<sup>13</sup>C)を基に、植物プランクトン起源有機炭素と陸起源物質(sand, silt&clay, 土壌起源有機炭素, および陸上植物起源有機炭素)を選別し、0–27m層と27–45m層における各種物質の平均生成速度、あるいは平均存在量を基に解析を行った。

## 2. 材料と方法

2006年8月13–21日の8日間、湖東部の水深50.5m地点において、水温躍層から2m下の水深27m、および湖底から5.5m上の水深45mの2層にセジメントトラップを係留し(Fig.1b)、沈降粒子を採取した。また、同じ地点から表層堆積物(0–1cm)を採取した。一方、沈降粒子の有機物供給源となりうる動物プランクトン、陸上植物、および土壌を採取した。沈降粒子を32μmの篩にかけ、32μm以上の画分については、水中で攪拌し、沈降速度の違いによって有機物性画分と無機物性画分に分けた。沈降粒子(全粒子, 32μm未満, および32μm以上の有機物性画分)、表層堆積物(63μm未満)、土壌(63μm未満)、および生物体試料の全有機炭素、全窒素、および安定炭素同位体比(δ<sup>13</sup>C)は、試料を6N-HCl

で酸処理を行った後、元素分析計/同位体比質量分析計(Thermo, Flash 1112 series / Finnigan Delta plus Advantage)で測定した。

## 3. 結果と考察

水深27–45mにおける植物プランクトン起源有機炭素の平均生成速度は0.63 mg-C m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>であり、上層(0–27m)のそれ(0.15 mg-C m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>)を少なくとも約4倍上回っていた。この増加率は、各層の中間点である13.5mと36mの間の一次生産速度の理論値(13.5m: 0.042 mg-O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, 36m: 0.17 mg-O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)から計算された生産速度の増加率(4.0倍)とほぼ等しいことから、本湖の水深27–45mに一次生産の増大が認められた。また、本湖の深水層では、中栄養湖を上回る規模で一次生産が維持されていることが示唆された。

深水層の高い一次生産を支える、栄養塩の運搬・補給機構として、表層の水温(10–13°C)に比べ、低温の河川流入水(約5°C)の深層貫入が主要な働きをしていると考えられた。深層貫入の存在は、湖水中のsilt&clay, 陸上植物起源有機炭素, および土壌起源有機炭素の平均存在量が、0–27m層より27–45m層で2から4倍高いことから支持され、下層における栄養塩の補給が、上層より数倍高くなっていることが推測された。

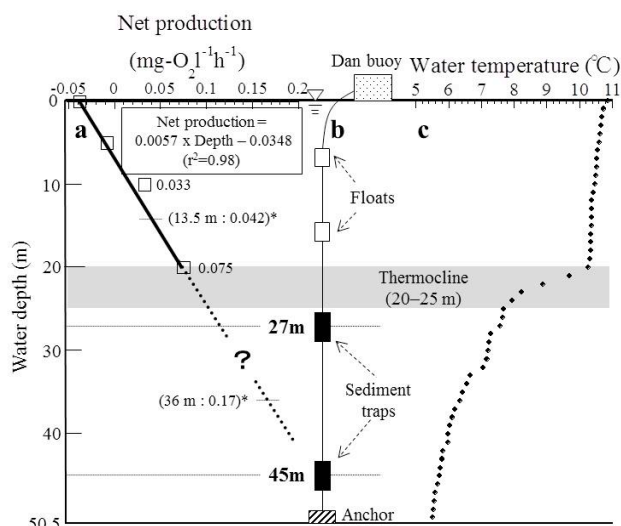


Fig.1 Vertical profile of summer net production in the lake (a, Murakami et al., 2007), illustration of sediment trap deployment (b, 13–21 August, 2006), vertical profile of water temperature, and thermocline position around the site (c, Fujii et al., 2009).

\*Theoretical primary production at 13.5 and 36 m depths (midpoints of 0–27 and 27–45 m water layers).

# 亜寒帯深湖の最近の不凍化と熱循環機構

\*知北和久<sup>1</sup>, 相山 忠男<sup>2</sup>, 野村 芳美<sup>2</sup>, 板谷 利久<sup>2</sup>, 許 成基<sup>2</sup>, 岡田 操<sup>2</sup>

1. 北大・理 2. 支笏湖の水とチップの会

## 1. はじめに

近年の地球温暖化による影響は、亜寒帯域にある北海道の湖沼、特に火山性カルデラ湖における冬季の不凍化現象として現れている。この不凍化現象は、現在、摩周湖と倶多楽湖で顕著で、その要因は冬季の温暖化傾向が夏季や年平均に比べ異常に高いことが挙げられる。ここでは、倶多楽湖を例として、近年の不凍化の歴史と温暖化との関係、および実際の年間を通じての全層水温変動について議論する。

## 2. 観測地点と方法

図 1 に、倶多楽湖と周辺の気象観測点（森野、登別、くま牧場）の位置を示す。これらの観測点での過去 10 年間、30 年間のデータを用いて、長期的な気温トレンドを検討した。また、倶多楽湖の最深点に温度ロガー係留系を設置し、2009 年 7 月～2010 年 10 月（このとき、冬季は全面結氷）の期間、1 時間間隔でほぼ全層の水温を観測した。

また、湖畔では湖水位・雨量・気温を同間隔で測定している。

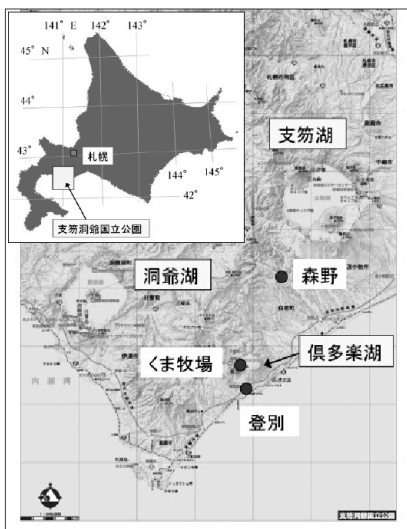


図 1. 倶多楽湖と周辺気象観測点の位置.

## 3. 結果と考察

表 1 に、各気象観測点における最近 30 年間と 10 年間の年間上昇率 (°C/年) を示す。なお表には、摩周湖近くの川湯アメダス地点の結果も示している。これより、10 年間の冬季平均気温の上昇率は 30 年間のその 7~14 倍、10 年間の年平均気温上昇率の 3~18 倍で、近年は冬季の上昇率が極めて高いことがわかる。図 2 は、2009 年 8 月 1 日～2010 年 10 月 7 日における最深点での日平均水温の変動を示す。図より、秋の鉛直循環は 12 月 24 日、春のそれは 5 月 21 日に開始し、全面結氷は 2 月 15 日～4 月 2 日の期間である。この観測から、春と秋の循環は全層循環ではなく、水深 100 m より浅い部分で起こっていることが判明した。今後は、係留系による水温観測を継続し、2019 年には不凍湖となりうる倶多楽湖の熱循環機構を明らかにしていきたい。

表 1. 各観測点での気温上昇率

Year	1980 - 2009	1980 - 2009	1999 - 2008	1999 - 2009
Site	Annual mean	Dec - Feb mean	Annual mean	Dec - Feb mean
Bear park	-	-	0.010	0.18
Noboribetsu	0.039	0.035	0.059	0.23
Morino	0.028	0.014	0.076	0.19
Kawayu	0.020	0.038	0.068	0.45

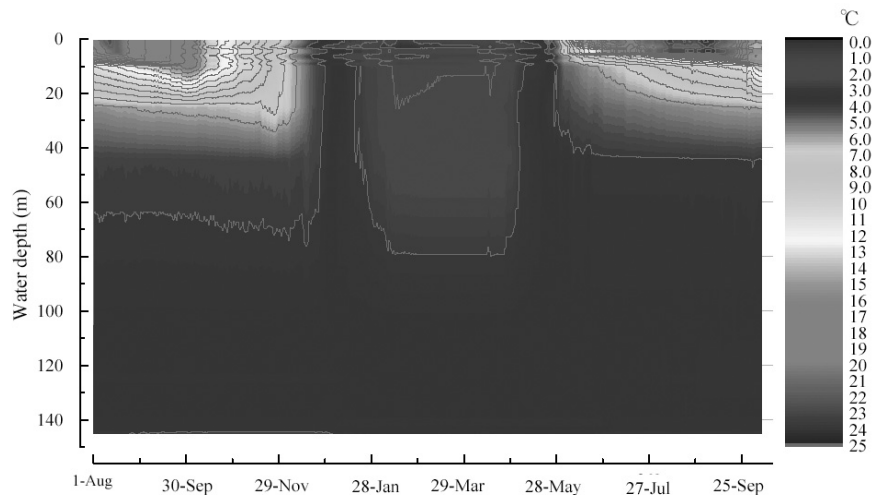


図 2. 倶多楽湖の全層水温変動

# さまざまな栄養レベルによって変化する 藍藻類 *Microcystis aeruginosa* の浮揚特性

\*杉本晃一 (千葉大・工), 天野佳正 (千葉大院・工)  
相川正美 (木更津高専), 町田 基 (千葉大・総安)

## 1. はじめに

富栄養化した湖沼において、藍藻類の異常増殖によるアオコの発生が問題となっている。*Microcystis aeruginosa* はアオコを形成する代表種であり、細胞内にガス胞を有する。*M. aeruginosa* はこのガス胞により生じる浮力と、多糖やタンパク質などのバラストによる沈降力とのバランスによって浮揚性を調節しているといわれている。この垂直移動により *M. aeruginosa* は効率的に光や栄養塩を吸収することができ、これが優占化に寄与すると考えられている。本研究では代表的な栄養塩である窒素およびリンの濃度によって変化する *M. aeruginosa* の浮揚性についての基礎的な知見の集積を目的とする。

## 2. 材料と方法

供試体として、群体形成能を有していない *M. aeruginosa* (UTEX : 2061) を用いた。培養温度 25°C, 培養照度 10,000 lux, 明暗周期 14L/10D にて、適宜栄養塩を調節した pH 8.0 の WC 培地 (PO<sub>4</sub>-P = 1.55 mg/L, NO<sub>3</sub>-N = 14.0 mg/L) により *M. aeruginosa* を培養した。まず 1 週間前培養したのち、20 mL の WC 培地を試験管に充填し、*M. aeruginosa* の初期細胞密度が 10<sup>5</sup> cells/mL になるよう接種した。接種直後に細胞密度が均一になるよう攪拌し、試験管の下部 15 mL に相当する部分をアルミホイルで覆うことで遮光し測定日まで静置した。浮揚性の測定は、培養開始後 2, 5 および 10 日目に行った。上下層が混ざらないよう上部 5 mL を分取し、上層および下層の細胞密度それぞれ C<sub>1</sub> および C<sub>2</sub> を求めた。細胞密度は波長 680 nm の吸光度と細胞密度の関係式から、吸光度を測定することで算出した。細胞密度 (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>) と溶液量 (V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>) から相対浮揚率 (RB) を次の式により算出した。

$$RB(\%) = C_1 V_1 / (C_1 V_1 + C_2 V_2) \times 100$$

## 3. 結果と考察

さまざまな窒素およびリン濃度レベルで *M. aeruginosa* を培養したときの RB 値を Figure に示す。接種直後に試験管を攪拌しているため、

培養開始後 0 日目は細胞が均一に分散している (RB = 25%) とした。WC 培地から窒素を制限していった場合、窒素の減少とともに浮揚性が失われていくことが分かる。特に NO<sub>3</sub>-N = 0 mg/L において細胞は明らかに沈降していたが、この条件では細胞の増殖も抑制されていた。WC 培地からリンを減少させた場合も同様に、RB 値の低下が確認できる。また、PO<sub>4</sub>-P = 0.05 mg/L とし、さらに NO<sub>3</sub>-N を 14.0 mg/L から 0.5 mg/L に減少させると、培養開始後 10 日目において、より RB 値が低下していることが分かる。以上より、窒素およびリンの減少は *M. aeruginosa* の浮揚性を低下させることが確かめられた。沈降の原因は栄養塩の不足によるガス胞の減少または多糖やタンパク質などの増加であると考えられるが、その定量的評価には至っていない。しかし、栄養塩制限下で多糖やタンパク質の合成を促進できるとは考えにくいことから、本研究で示された細胞の沈降に対し、ガス胞の減少による寄与が大きいものと思われる。

藍藻類の浮揚性が栄養塩の不足によって低下することはこれまでも報告されているが、本実験では試験管という小規模な培養で同様の結果を得ることができた。今後は、ガス胞または多糖やタンパク質の定量を通じ *M. aeruginosa* の浮揚性機構について調べていく予定である。

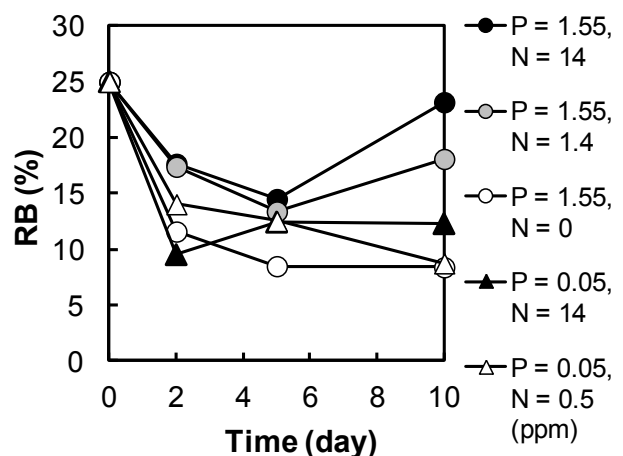


Figure 相対浮揚率 (RB, %)

# ミカヅキモによる硫酸バリウムの特異的生物濃縮

神田航（京大・総人），池谷仁里（京大院・人間環境）  
宮下英明（京大院・人間環境），\*杉山雅人（京大院・人間環境）

## 1. はじめに

1992年の夏、琵琶湖で緑藻のミカヅキモ *Closterium aciculare var. subpronum*（図1）が大量発生した。このとき、琵琶湖湖水では水色が緑になり、死滅したミカヅキモによる悪臭が問題となり新聞で大きく報道された。これと時期を同じくして、琵琶湖表層水中の溶存態バリウム濃度が激減した。ミカヅキモの異常増殖がバリウム濃度の変動に何らかの関わりを持っているのではないかと推測された。

ミカヅキモは細胞の両末端液胞に硫酸バリウム結晶を形成する（Brook et al., 1988）。このことは、上述のバリウムの濃度減少がミカヅキモの異常増殖と何らかの関連にあることを示唆している。

本研究では、ミカヅキモによる硫酸バリウムの特異的生物濃縮について、琵琶湖でのバリウム濃度とミカヅキモ個体数に関するフィールド観測、ミカヅキモの室内培養実験におけるバリウム濃度と増殖曲線との関連ならびに硫酸バリウムの個体内分布について解析を行って、それを検証した。

## 2. 実験

1992～1993年、2011年に琵琶湖北湖近江舞子沖（水深74m）で、試料を採取した。湖水を孔径0.4μmのフィルターでろ過し、ろ液と懸濁粒子を分取した。それぞれの化学分析を行って元素濃度を求めた。プランクトンネットを用いて、プランクトンを採取し同様に化学分析を行った。

*Closterium aciculare var. subpronum* を成分の異なる種々の培地にて培養し、増殖曲線を描いた。細胞数の計測後、培養液（ろ液）とミカヅキモの化学分析を行った。また、ミカヅキモ1個体中でのバリウムと硫黄の濃度分布を測定した。

## 3. 結果と考察

琵琶湖近江舞子沖の表面水中での溶存態バリウム濃度の季節変化を図2に示した。1992年夏の表層で顕著な濃度減少が起こっていたことが分かる。滋賀県琵琶湖環境科学研究センターの定期観測の結果から、このときの近江舞子沖での植物プランクトンは *Closterium aciculare var. subpronum* が

最優占種であり、その個体密度は約1000 cells/mLと推測された。

ミカヅキモ用の培地に、琵琶湖と同程度の濃度（10 μg/L, 73 nmol/L）のバリウムを添加した培地を用いてミカヅキモの増殖曲線を測定した。培養開始後6日目には、琵琶湖での優占時と同等の個体密度に到達した。このときの培地中のバリウム濃度減少量は琵琶湖での観測値に匹敵していた。また、これらの培養実験値と琵琶湖観測値からそれぞれに求めたミカヅキモ1個体中バリウム濃度も両者で良い一致を見せた。

1993年6月に琵琶湖で採取したプランクトンと湖水の化学分析の結果から、プランクトンによるBa, Sr, Ca, Mgの濃縮係数を求めた。この値も、培養実験から得たミカヅキモによる濃縮係数と良い一致を示した。

これらの結果は、ミカヅキモの異常増殖によって琵琶湖表層水中の溶存態バリウム濃度の減少が起こったことを強く示唆していた。また、ミカヅキモによるBaの濃縮係数はSr, Ca, Mgの値よりも1000倍高く、アルカリ土類元素の中でも特異的にBaが濃縮されていることが分かった。これは、ミカヅキモ個体中の硫黄濃度の分析結果などから、難溶性の高い硫酸バリウムとして選択的に濃縮されているためと考えられた。

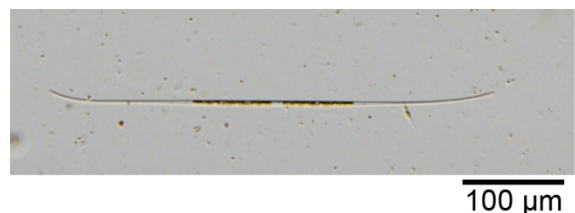


図1 *Closterium aciculare var. subpronum*

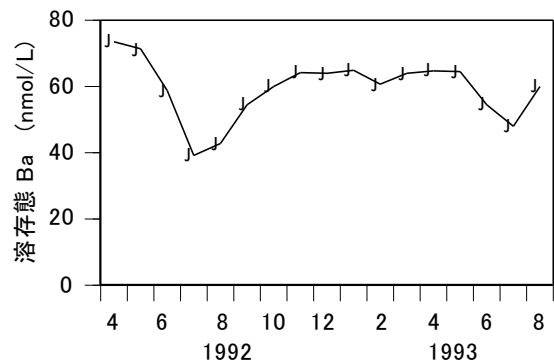


図2 溶存態バリウム濃度の季節変化



# CO<sub>2</sub>ハイドレートの生成条件と藻類培養系での利用に関する研究

\*中野 翔 (富山県立大・工学), 四十万 淳 (富山県立大・工学), 宮本 泰行 (富山県立大・工学), 佐藤 幸生 (富山県立大・工学), 能登 勇二 (富山県立大・工学), 坂本 正樹 (富山県立大・工学)

## 1. はじめに

植物プランクトンは水中の溶存物質を利用し成長, 増殖する。特に光合成活性の高まる日中は, 水中の溶存 CO<sub>2</sub> が枯渇し CO<sub>2</sub> をめぐる藻類種間の競争が起こることが知られている。植物プランクトンによって消費された CO<sub>2</sub> は, 夜間, 大気からの溶け込みや生物の呼吸によって回復する。溶存 CO<sub>2</sub> 濃度と藻類増殖速度の関係を調べた実験例は多く, 一般に CO<sub>2</sub> ガスのバブリングや, ドライアイス溶于することによって, CO<sub>2</sub> 濃度を制御している。しかし, ドライアイスを用いる場合, 低温操作の危険性や水温低下の問題があり, また, バブリングでは定量的な操作が難しい。

本研究では, より安全かつ簡便に藻類増殖速度を高めるために, CO<sub>2</sub> ハイドレートを用いて実験を行った。CO<sub>2</sub> ハイドレートの融点は 4℃ であるため, 安全に取り扱うことができる。また, 重さを定量的に測り取って使用することが出来るため, ガスを用いるよりも容易に濃度調整できる。

## 2. 材料と方法

CO<sub>2</sub> ハイドレートは定温法で蒸留水を用いて作られたものを使用した。CO<sub>2</sub> ハイドレートを異なる濃度 (0, 1.3, 3.2, 8, 20g/L) で COMBO 培地に溶解させ, 無菌培養したムレミカヅキモ (*Pseudokirchneriella subcapitata* : NIES-35 株) を投入し, インキュベーター内で培養した。繰り返しは各処理区で 4 回行った。24, 48, 72 時間後の細胞数を測定し, 細胞密度の時間変化を調べた。また, 藻類投入直後, 実験終了時の水温, pH, DO, CO<sub>2</sub> 濃度を測定し, 細胞密度

との関係を調べた。

## 3. 結果と考察

藻類投入直後の CO<sub>2</sub> 濃度は 1.1 - 51.6 mg / L で, 藻類の細胞数は  $4.4 \times 10^8$  -  $5.2 \times 10^8$  cells / mL であった。実験終了時の CO<sub>2</sub> 濃度は全ての処理区で 1.0 mg / L 未満で, 細胞数は  $1.2 \times 10^8$  -  $2.3 \times 10^8$  cells / mL であった。pH は CO<sub>2</sub> 濃度と密接に関係している。実験開始時の pH は 6.6 - 8.2 だったが, 実験終了時ではハイドレートによって供給された CO<sub>2</sub> をほぼ使いきってしまうため, pH は 7.9 - 8.9 と高くなっていた。DO はほぼ一定で, CO<sub>2</sub> との関係はなかった。以上の結果から, CO<sub>2</sub> は藻類増殖に正の影響を及ぼしていた。実験終了時の CO<sub>2</sub> 濃度がどれも低いことから, 藻類は培地中に含まれているだけの CO<sub>2</sub> を使い切り, 増殖していると考えられる。CO<sub>2</sub> ハイドレートを水溶すると pH が大きく下がるが, 予め培地や飼育水の pH を高く調整すれば, 容易に pH や CO<sub>2</sub> 濃度をコントロールできる。CO<sub>2</sub> ハイドレートは保存・取り扱いが容易であるため, 商用藻類増殖の促進, 海洋バイオマスの生産量の増加への応用に期待できる。

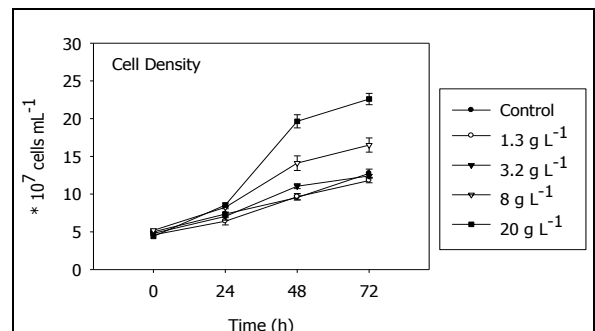


図 1. 各処理区の細胞密度の時間変化。値は全て平均値±標準誤差

# 特定外来生物オオクチバスの繁殖抑制装置の開発

中井 克樹（滋賀県立琵琶湖博物館）

## 1. はじめに

わが国の陸水域において、侵略的外来種は生態系・生物群集の主要な攪乱要因のひとつと考えられている。なかでも、オオクチバスとブルーギルは全国各地に分布を拡げ、多くの水域で激増し、生物多様性の保全や漁業の維持に深刻な影響を及ぼしている。そのため、これらの魚種は、2005年に施行された外来生物法の定める特定外来生物に指定され、積極的防除の対象となっている。

これら外来魚が侵入した水域においては、その生息を抑制するために、特にオオクチバスを対象としてさまざまな手法が検討・開発されている。それらは、生息する個体を積極的に捕獲する手法と、繁殖活動を抑止・阻害する手法とに大別され、後者として、演者らは、この魚が仔（卵・仔魚・稚魚）を保護する繁殖習性を利用し、人工産卵装置に繁殖個体を誘引し卵塊や仔魚を回収する手法の開発を行なっている。ここでは、装置の開発をめぐる現状と、今後の課題について紹介する。

## 2. 材料・方法

もともと宮城県伊豆沼で開発された装置で、苗ポット用を並べるプラスチック製トレイを2つ合わせて一辺 50cm 程度の正方形に成形した本体とし、その底面に砂利を敷いて、湖底に設置される形式であった。この方式は、砂泥底が広がる伊豆沼において、砂利底という産卵に適した底質を提供するためか、高い成功を収めた。ところが、この従来型の「直置き式」装置を導入した水域でバスの産卵がうまく誘導されない例が相次いだ。そこで、演者らは、改良型として「吊り下げ式」装置を開発し、2009年に愛知県のため池と岡山県のダム貯水池での試行を行った。その結果、直置き式で成果が得られなかった両水域において、

バスの産卵が誘導され、「吊り下げ式」装置の有効性が示された。

しかし、この吊り下げ式装置は、オオクチバス繁殖期に頻発する大雨による増水が発生すると岸から遠ざかり、かつ水の透明度が低下するために、岸沿いを遊泳するバス繁殖個体が装置を見つけられなくなり、誘引性を発揮できないという新たな課題が発生した。この課題に対処するため、鹿児島県と福島県のダム貯水池において、2011年～2012年、網場（あば＝流木防止フェンス）や取水ポンプ筏など、岸から「沖出し」され水位変動を受けない施設に吊り下げ式装置を係留し、オオクチバスが誘引されるかどうかを検討した。

## 3. 結果

両水域において、網場と取水ポンプ筏に係留した装置にオオクチバスの産卵が認められた。特に福島県三春ダム貯水池では、2012年、差し渡し200mを超える網場の中央部に係留した装置にも産卵が認められ、計9基に係留した取水ポンプ筏では同時に最高で7基の利用が認められた。

## 4. 考察

このような「沖出し」施設に産卵が認められたことは、通常、湖岸沿いに産卵適地を探索すると推測されるオオクチバスは、沖出し施設に出会うと、オス・メスの繁殖個体がそろって沖側へと移動し、係留された人工産卵装置に産卵を行うことを示唆するものである。さらに、沖出し施設には、オオクチバスの当歳魚やブルーギルの若魚が集結する現象も確認された。水域における既存の施設が図らずも備えている外来魚に対する誘引効果は、外来魚防除のための新たな手法の開発に応用される可能性を秘めていると期待される。

# 琵琶湖における溶存態難分解性有機物の起源に関する一考察

\*佐藤祐一・岡本高弘・早川和秀（琵琶湖環境科学研究センター）

## 1. はじめに

琵琶湖では、1980年代半ばから2000年代にかけてBODは減少する一方でCODが増加から横ばいで推移してきたことから、難分解性有機物の増加が疑われている。この要因を明らかにするため、滋賀県は関係機関との協力の下、発生源や環境中の調査、流域水物質循環モデルによる解析を行っており、これまでに湖内の難分解性有機物（RTOC）は湖内由来が約7割、陸域由来が約3割を占めることが分かっている<sup>1)</sup>。一方で湖内の難分解性有機物は約9割が溶存態であることから、形態別に収支を把握してそれぞれの寄与を明らかにする必要がある。

筆者らは難分解性有機物の収支をマクロに把握することを目的として、琵琶湖を対象としたボックスモデルを構築し、RTOCの相当量が湖内で沈降・除去されている可能性を指摘した<sup>2)</sup>。また2011年度には琵琶湖に係る第6期湖沼水質保全計画が策定され、形態別流入負荷量の経年変化が把握できるようになった。そこで本研究では、難分解性有機物を溶存態（RDOC）と懸濁態（RPOC）に分離し、北湖と南湖を分割したボックスモデルを構築し、琵琶湖におけるRDOCの起源を推定することを目的とする。

## 2. モデルの概要

北湖は表水層と深水層の2ボックス（循環期には1ボックス）、南湖は1ボックスにより成るモデルを

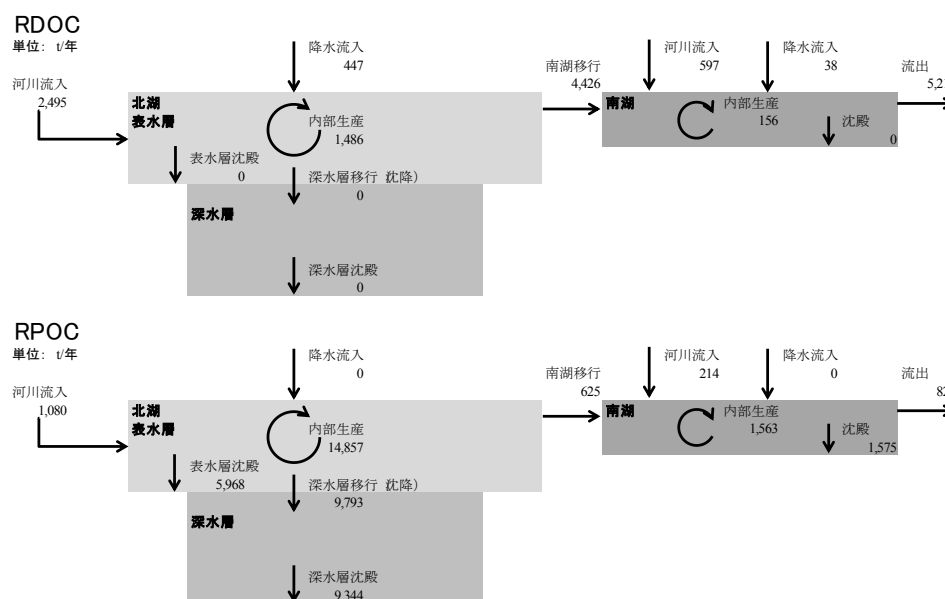


図-1 2010年における難分解性有機物（RDOC・RPOC）の収支

構築した。計算は1985年から2010年まで日単位で行い（気象等は年間の平均的な値を採用）、各ボックスは完全混合と見なした。物質としてはRPOCとRDOCを考慮し、共に変質はしないが、RPOCについては沈降速度に応じて除去されるものとした。

入力データとして、流入負荷量は発生源ごとに原単位法や実績により推定、降水量は彦根気象官署の観測値、降水水質は観測値、蒸発量は気温や風速等から計算、停滞期の期間は過去の観測から設定した。沈降フラックスや季節・水深別の湖水濃度が既往の調査と概ね合致するように、内部生産量や内部生産由来のRDOCとRPOCの比率、沈降速度等のパラメータを既往の文献の範囲内で設定した。

## 3. 結果と考察

例として2010年におけるRDOCとRPOCの収支を図-1に示す。各パラメータやフラックスについては文献の範囲内にありつつ、湖内RDOC濃度が約1.0mg/Lでほぼ季節変化や鉛直方向の変化がないこと、RPOC濃度が0.1~0.2mg/L程度となることが説明可能なモデルが構築された。この結果によれば、これまでにモデルで見積もられていた湖内生成の難分解性有機物の多くは懸濁態であり、RDOCの湖内生産量を外来の流入量と比較すると、湖内由来が約3割、陸域由来が約7割と陸域由来が上回る結果となった。一方で陸域からのRDOCの流入負荷量につ

いては、1985年から1995年まで横ばいでその後減少していることから、湖内難分解性有機物の増加については湖内における生産・分解等の機構の変化が原因であると考えられた。

### 参考文献

- 1) 岡本高弘ら：滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書，7，pp.87-102，2012。
- 2) 佐藤祐一ら：日本陸水学会第76回大会講演要旨集，p.126，2011。

# 微小繊毛虫共存系における一次生産有機物の分解に関する研究

\*鈴木 恵(龍谷大学大学院・理工), 岸本直之(龍谷大学・理工)

古田世子・一瀬 諭(琵琶湖環境科学研究センター)

## 背景と目的

湖沼における一次生産有機物は、主に植物プランクトンや水生植物が担っている。また、今井ら<sup>1)</sup>は琵琶湖北湖水中の溶存有機物は主に植物プランクトン由来であると推察している。一次生産有機物は、一般に細菌によって分解されるか、動物プランクトンの捕食によって失われる。一方で、動物プランクトンは細菌も捕食し、細菌中の栄養塩を水中に回帰する役割も果たしていると考えられるが、動物プランクトンが細菌による生分解に及ぼす影響は必ずしも明らかにされていない。そこで、本報告では細菌と微小繊毛虫を共存させた生分解系を用いて実験を行うことにより、一次生産有機物の微生物生態系における分解過程について調査した。

## 材料と方法

本報告では植物プランクトン、動物プランクトン、および細菌共存系による生分解実験を実施した。事前に、琵琶湖水から分離した *Microcystis wesenbergii* (藍藻) を M11 改変培地にて培養し、高濃度の培養液を作成した。微小繊毛虫は *Paramecium caudatum* を使用し、大麦若葉粉末抽出液にて事前に継代飼育した。この *M. wesenbergii* 培養液 60 ml に、細菌を含む琵琶湖水を 2%(Whatman GF/B 濾過済み; 1.2 ml)、および *P. caudatum* を 2 匹毎植種した(植種系)。生分解実験は 20°C 暗所にて 30 日間実施した。分析項目は TOC、DOC、POC、TN、DN、PN、TP、DP、PP、SS、菌数等で、経日変化(0, 1, 2, 5, 10, 20, 30 days)を求めた。ここで、T は全、D は溶存態、P は懸濁態である。また、コントロールとして *P. caudatum* を植種しない系を設定した(非植種系)。

## 結果と考察

TOC による生分解曲線は緩やかに減少する傾向にあった。また、*P. caudatum* を植種することによって TOC 分解速度が速くなる傾向にあった(Fig. 1)。さらに、PP 濃度は *P. caudatum* 植種系・非植種系ともに TP に対する割合が減少する傾向にあった。これより、細菌によって分解されて溶存無機物として植物体の外に放出されたものと示唆できた。また、*P. caudatum* 植種系ではやや減少が早くなる傾向にあったことから、動物プランクトンが細菌を捕食することによってリンの水中への回帰を促進していると推察できた。

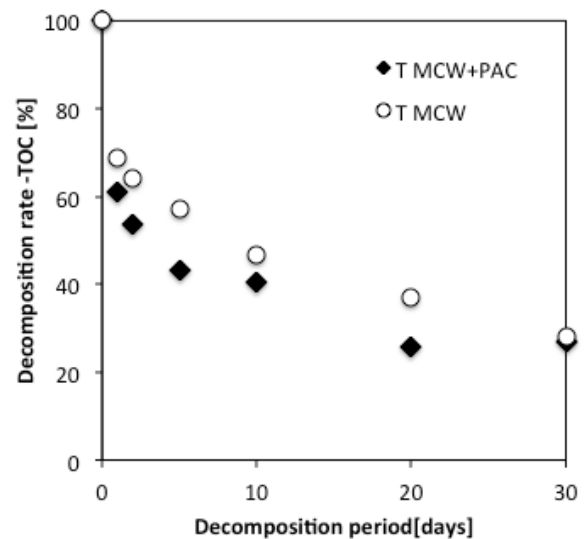


Fig.1 TOC 分解率

## 謝辞

本研究は環境省環境研究総合推進費「湖沼水質形成における沿岸帯の機能とその影響因子の評価」(H23~25 年度 代表 一瀬諭)の一部として実施した。ここに記して謝意を表します。

## 引用文献

1) 今井章雄ほか (1998) 琵琶湖湖水および流入河川水中の溶存有機物の分画, J. Limnol. **59**, 53-68.

# BACTERIOPHAGES AS REGULATORS OF BACTERIOPLANKTON ABUNDANCE IN BIGGEST KHUBSUGUL–SELENGA–BAIKAL–ANGARA–YENISEI AQUATIC ECOSYSTEMS

\* V.V. Drucker (Limnological Institute, SB RAS), M. Sugiyama (Kyoto Univ.),  
N.V. Dutova (Limnological Institute, SB RAS), A.S. Gorshkova (Limnological  
Institute, SB RAS), Y. Watanabe (Rissho Univ.)

High abundance of viral particles (up to  $10^{8-9}$  particles/ml) has been recorded in seas and oceans for the past years. Their abundance exceeds the bacterial content in the water [1]. Viruses of marine organisms belong to a number of powerful biological factors and play a key role in the control of abundance and species diversity of hosts in plankton and benthos.

The first investigations of bacteriophages started in the most ancient (25 mln years) and deepest (1,637 m) oligotrophic Lake Baikal as well as the Angara River in 1997 [2] and resumed in 2003-2009 using transmission electron microscopy [3, 4]. Studies at Lake Khubsugul and in the Selenga and Yenisei Rivers were carried out jointly with Japanese scientists in 2008-2011 (grant holder Prof. M. Sugiyama). Particles of 30-80 nm dominated in the size spectrum of Baikal bacteriophages, occurrence frequency being 25-90% at all depths with their maximum in the surface water layer. The second group in the size spectrum was represented by phages of  $\geq 100$  nm (up to 56%). Particles of  $\leq 30$  nm amounted to only 2-7% of the total number of bacteriophages. Average abundance of free phage particles was  $(0.8\pm 0.3)\cdot 10^6$  ml<sup>-1</sup> in the surface water layer and  $(0.16\pm 0.04)\cdot 10^6$  ml<sup>-1</sup> at a depth of 25 m. The maximal abundance of bacteriophages was recorded in the surface layers of Lake Baikal in spring, summer and autumn. The concentration of phages decreased with the depth: up to  $(0.09\pm 0.01)\cdot 10^6$  ml<sup>-1</sup> at 250 m,  $0.02\cdot 10^6$  ml<sup>-1</sup> at 500 m and  $0.01\cdot 10^6$  ml<sup>-1</sup> at 1,000 m, whereas at the bottom (1,200 m) in Southern Baikal their amount increased up to  $0.03\cdot 10^6$  ml<sup>-1</sup>. The results of vertical distribution of bacteriophages allowed us to determine correlation

coefficients with bacterioplankton abundance: at 0 m – 0.42 ( $P\leq 0.01$ ), at 25 m – 0.74 ( $P\leq 0.001$ ) and at 250 m – 0.62 ( $P\leq 0.01$ ).

A high morphological diversity of bacteriophages was registered in the Baikal water: the families *Siphoviridae* – 59%, *Podoviridae* – 11% and *Myoviridae* – 6%. Of special interest are rare forms of bacteriophages revealed by us which have not been described in other water bodies of the world: in the form of “whirligig”, with spiny processes, with oblong head across the tail in a form of “hammer”, with two differentiated covers and thick tail.

Specific features of taxonomic diversity, size spectrum, spatial and vertical distribution of bacteriophage abundance were studied for the first time in the alpine ultraoligotrophic Lake Khubsugul at different depths around the entire water area. Bacterioplankton was also studied in this lake. Phages of the order *Caudovirales* (with a tail) dominated in Lake Khubsugul. Thus, a new trophic chain was determined in the structure and functioning of the “microbial loop” in the ecosystems of these lakes.

1. Berg O., Borsheim K.Y., Bratbak G. and Heldal M. // Nature.- 1989.-Vol. 340.- P. 467-468.
2. Drucker V.V., Maslennikov A.A. // Materials of Anniversary Conference, Irkutsk.- 1998.- P. 279.
3. Drucker V.V., Dutova N.V. // Proceedings of Academy of Sciences.- 2006.- V. 410(6).- P. 847-849.
4. Drucker V.V., Dutova N.V. // Proceedings of Academy of Sciences.- 2009.- V. 427(2).- P. 277-281.

# 誘導防衛の適応性： ミジンコの種間・種内クローン間・齢間にみられる 可塑的形態の変異

\*永野 真理子<sup>1</sup>, 吉田 丈人<sup>1,2</sup> (1 東大・総合文化, 2 JST PRESTO)

## 1. はじめに

生物が捕食者に対してみせる可塑的な防衛は、適応的と考えられるが、同じ餌生物個体群のなかでも、可塑的な防衛には個体間でばらつきがあることもよく知られている。生物間相互作用においては、形質の適応性やばらつきは考慮されないことが多く、個体の示す多様で複雑な形質は無視されがちである。ミジンコ (*Daphnia* 属) は、捕食者カイロモンに対して表現型を明確に変化させることから、表現型可塑性のモデル生物として最適である。本研究は、1つの湖に共存する体サイズが異なる2種のミジンコ (*D. pulex*: 成虫体長 1.3mm と *D. ambigua*: 成虫体長 0.8mm) の2捕食者 (フサカ幼虫と魚) に対して示す形態の表現型可塑性を、種間・クローン間・齢間のレベルで比較することを目的とした。ミジンコへの捕食圧は、一般的にサイズ依存的に決定される。そのため、体サイズの大きい *D. pulex* は、視覚捕食者であり大きなミジンコを選好する魚に対してより大きな可塑性を示し、体サイズの小さい *D. ambigua* は、口器サイズに依存して小さなミジンコを選好するフサカ幼虫に対してより大きな可塑性を発現すると予想される。しかし、ミジンコ種内を考えれば、ミジンコ個体のなかで、より大きいクローンや大きい体サイズの齢が、魚に対してより可塑性を発揮するかもしれない。反対にミジンコ個体のなかで、小さいクローンや小さい齢は、フサカに対してより可塑性を発揮するかもしれない。また、可塑的防衛の変異の大きさは、可塑的防衛が適応の標的になったときに適応をもたらす可能性の大きさを示しており、適応の原材料を提供するという意味で重要である。

## 2. 方法

### 2.1 誘導実験

本実験にもちいたミジンコ2種は、深見池 (長野県) から採集し、それぞれ10クローンずつを単離した。実験室にて継代培養したミジンコをもちいて、魚 (フナ属, *Carassius*) とフサカ幼虫 (*Chaoborus flavicans*) の飼育水2種類 (カイロモン水) とカイロモンなし飼育水 (コントロール) でそれぞれ飼育した (ミジンコ2種 x クローン10株 x 飼育水3種類 x 繰り返し3回)。ミジンコの形態計測は、頭長、体長、尾刺長を計測し、*D. pulex* では背首歯状突起の有無を、*D. ambigua* では尖頭の有無を調べた。

### 2.2 分析方法

表現型軌道分析 (PTA; Phenotypic trajectory analysis, Adams & Collyer 2009) によって、処理間・齢間による表現型の変化の軌道について、方向 ( $\theta$ ), サイズ

( $\Delta$ length), 形 (shape) の3項目を比較した。

## 3. 結果

### 3.1 主成分分析

第1主成分の寄与率は42.8%で、因子負荷量は尾刺長で0.92, 体長で0.89あった。第2主成分の寄与率は23.0%で、因子負荷量は背首歯突起の有無で0.64, 頭長で-0.67, 尖頭の有無で-0.53であった。

### 3.2 表現型軌道分析 (PTA)

#### a) 種特異的な反応

カイロモンに対する可塑的な反応には、種特異性がみられた ( $\theta_{AM,PL} = 72.63$ ,  $P_{\theta} = 0.016$ ,  $\Delta$ length = 0.25,  $P_{\Delta} = 0.01$ , shape = 1.18,  $P_{shape} = 0.001$ )。

#### b) クローン間変異

クローン間の比較においては、統計量の有意差があるなしによってカイロモンに対する反応を分類することができ、*D. pulex* は4タイプあり、*D. ambigua* は2タイプあることがわかった。

#### c) 個体発生に沿った形態変化の種間比較

個体発生に沿った形態変化を処理ごとで比較した場合、どの処理間においても *D. pulex* は、*D. ambigua* より第1主成分の軸に沿う大きな軌道を描くことが明らかになった。よって *D. pulex* の形態変化は、カイロモンよりも個体発生にロバストであった。さらに *D. pulex* は、魚カイロモンには応答しないが、フサカカイロモンには応答することがわかった ( $\theta_{C,CH} = 23.80$ ,  $P_{\theta} = 0.0125$ ,  $\Delta$ length = 3.08,  $P_{\Delta} = 0.0025$ , shape = 0.36,  $P_{shape} = 0.0025$ ;  $\theta_{F,CH} = 26.48$ ,  $P_{\theta} = 0.005$ ,  $\Delta$ length = 2.95,  $P_{\Delta} = 0.0025$ , shape = 0.38,  $P_{shape} = 0.0025$ ;  $\theta_{F,C} = 4.86$ ,  $P_{\theta} = 0.668$ ,  $\Delta$ length = 0.125,  $P_{\Delta} = 0.653$ , shape = 0.107,  $P_{shape} = 0.983$ )。対して *D. ambigua* は、個体発生よりカイロモンに依存した形態変化がみられた。

## 4. 考察

サイズ依存の捕食理論からサイズ依存の誘導防衛が予測されたが、本研究の結果は予測とは異なり、サイズに依存しない非常に複雑な可塑性がみられた。クローン間でカイロモンに対する応答は多様であった。また、ミジンコの成長による段階的な体サイズの増加は、誘導防衛の発現にほとんど関係せず、たとえば *D. pulex* はどの齢においても魚カイロモンに反応しなかったり、*D. ambigua* は齢によって魚カイロモンに対する反応が複雑に変化することがわかった。ミジンコの防衛形質は、形態のみならず、行動や生活史の変化も含むことから、今後はこれらも考慮してミジンコの捕食者に対する適応性を考えたい。

# ヨシ帯における Chydoridae の分布とその要因

\*唐澤奈緒美(信州大学理学部)

花里孝幸(信州大学山岳科学総合研究所)

## 1. はじめに

近年、諏訪湖は水質の浄化が進んでおり、それに伴って沖帯の環境は変化をしてきた。

その一方で、湖岸のヨシ帯では、夏期に溶存酸素濃度が著しく低下する現象がしばしば観察されている。こうしたヨシ帯での溶存酸素濃度の低下は、1998年と2000年に諏訪湖で行われた水生植物帯の研究でも示された(Sakuma and Hanazato 2004)。

しかしながら、溶存酸素濃度の低下がヨシ帯の生物群集に及ぼす影響については、詳しい研究がなされていない。

そこで本研究では、水生植物帯で一般的にみられる枝角類 Chydoridae の、ヨシ帯における分布及び密度の変動と、溶存酸素濃度がそれに及ぼす影響の解析を目的に調査を行った。

## 2. 方法

ミジンコのサンプリングは、諏訪湖のヨシ帯で、2012年5月22日から月に2~4回の頻度で行った。サンプリング方法は Sakuma et al.(2004) を参考にした。採取対象としたのは、ヨシ表面上、湖水中、及び底質上の小型甲殻類である。試料はシュガーホルマリンで固定し、その後、光学顕微鏡下で種の同定及び計数を行った。

サンプリング時には、環境要因の測定も行った。測定項目は、水温、水深、溶存酸素濃度、pH、光量子、水中のクロロフィル a 濃度、懸濁物質量、ヨシの背丈である。ヨシに付着している付着藻類を採集し、その量をクロロフィル a 量として表した。

## 3. 結果と考察

ヨシ帯は環境要因の時間的変動が激しく、それに伴って Chydoridae の密度も大きく変動した(図 1)。

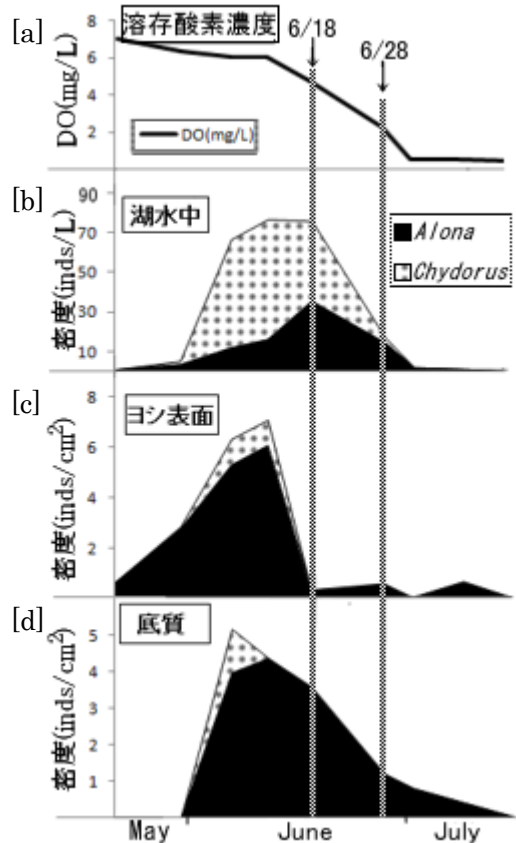
溶存酸素濃度は、6月の半ばまで 6.0mg/L を上回る値を維持していたが、6月18日には 4.77mg/L、6月28

日には 2.24mg/L となり、7月に入ると 1.0mg/L を下回る値が続いた(図 1 [a])。

Chydoridae の密度は、サンプリング開始から6月半ばまでは *Chydorus*、*Alona* 共に増加傾向にあったが、ヨシ表面では6月18日、湖水中では6月28日を境に減少へ転じた(図 1[b],[c])。

溶存酸素濃度が 6.0mg/L を上回っていた5月22日から6月12日までは、ヨシ表面の Chydoridae 密度と付着藻類量の間には、有為な正の相関が見られた ( $P < 0.1$ )。よって、6月12日までは、Chydoridae の密度は餌である付着藻類量に依存していたと考えられる。

しかし、6月18日以降は、二つの間に有為な相関が見られなくなった ( $P > 0.1$ )。また、Chydoridae の密度の減少期は、溶存酸素濃度の減少時期と重なっていた。以上から、Chydoridae の個体群密度は、溶存酸素濃度による制約を受けている可能性が示唆された。



(図 1) 溶存酸素濃度と Chydoridae の密度の変動

# Cyclopid と温度上昇が動物プランクトン群集に与える複合影響

\* 小林 宏輝 花里 孝幸 ( 信州大学 山岳科学総合研究所 )

## はじめに

温度変化は動物プランクトンの生活史を変化させる。これに関する研究はかなり進んでいるが、温度上昇が動物プランクトンの食う一食われる関係にどのように影響するかは知られていない。

そこで、植食性動物プランクトン群集(被食者)と無脊椎捕食者(捕食者)の関係に着目した。植食性動物プランクトン群集は、無脊椎捕食者からの捕食影響を受け、その構造を変化させることが知られている。湖沼生態系に多く存在する無脊椎捕食者であるケンミジンコを用い、ケンミジンコが動物プランクトンに与える捕食影響が温度によってどのように変化するかを、メソコスムを用いた実験で検証した。

## 方法

動物プランクトン群集を構築するため、容積 50L のタンクに水道水 40L と、諏訪湖湖心で採取した泥約 1kg を加え、動物プランクトン群集を発生させた。このタンクは 20°C と 24°C の温度条件でそれぞれ 3 個ずつ作製した。泥を加えてから 7 日目以降は、2 日に 1 度の頻度で餌としてクロレラ(*Chlorella vulgaris*) を  $5.0 \times 10^5$  cells/ml になるように加えた。動物プランクトン群集を均一化するために、タンク作成から 24 日目に温度ごとにタンクの水を一度混合し、その際泥を取り除いた。その後各水温で 6 個、合計 12 個の 20L タンクに 15L ずつ入れた。このタンクを作成する際すべての水を  $500 \mu\text{m}$  のメッシュで濾過し、全タンクから大型の無脊椎捕食者を取り除いた。

更に 1 週間このタンクで群集を安定させた後、各水温 6 個のタンクのうち 3 個のタンクに、ケンミジンコ (*Thermocyclops taihokuensis*) を 6 inds./L の密度で入れ、残りのタンクは無脊椎捕食者を入れない対照区とした。

これらの操作により、20°C-ケンミジンコ区、20°C-Control 区(ケンミジンコなし)、24°C-ケンミジンコ区、24°C-Control 区(ケンミジンコなし)の 4 つの処理区について、それぞれ 3 個のメソコスムを作った。実験は温度を 20°C に、光周期を明期:暗期=14:10 に保った室内で行った。

ケンミジンコ投入後 2 日目を実験初日 ( 0 日目)

とし、2 日ごとに鉛直カラムを用いて水面から底までサンプリングを行った。採取したサンプルから、各タンクにおける動物プランクトン群集の個体群密度の変化を調べた。

## 結果・考察

意外なことに、捕食者であるケンミジンコが居ることで、動物プランクトン群集の生物量のピーク時生物量が増加した( Fig.1 )。この結果を説明するのに、2 つの仮説を立てた。

仮説①: ケンミジンコが小型の動物プランクトンであるワムシを捕食、減少させたため、これらの動物プランクトンが接触していた餌量が増え、より大型のミジンコが効率よく餌を利用した。

仮説②: 与えたクロレラ量と同じにも関わらず生物量に違いがあったということは、ケンミジンコの存在によって、何かクロレラ以外の餌源が発生したとも考えられる。動物プランクトンは植物プランクトン以外に微生物を食べることが知られている。ケンミジンコは何らかのプロセスを経て微生物ループを促進させたのではないかと。

また、以上の影響は低温である方がより強い傾向があった( Fig.1 )。これは高温によりケンミジンコの行動が変化し、うまく捕食できていない可能性がある。実際にフィールドでケンミジンコは低温環境に選択的に存在するという報告例がある。

今回の結果から、淡水域の温度上昇が進むと、ケンミジンコからの被食者群集への影響が弱まることが示唆された。

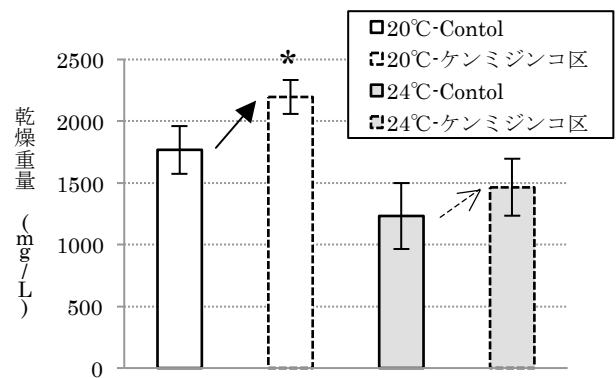


Fig. 1 : ピーク時のプランクトン生物量 ( Cladocera + rotifer )



# 高山腐植栄養湖における *Daphnia* と *Acanthodiaptomus* の共存メカニズム

\*平野真聡 花里孝幸 (信州大学 山岳科学総合研究所)

## ◆Introduction

標高 2000m 以上に存在する高山腐植栄養湖は、一般的に「長い結氷期間」「低エサ密度」「強 UV」などの影響により、そこに生息する生物たちは多くのストレスを受けている。しかしそれでも多くの高山腐植栄養湖では、複数の動物プランクトン種が高い個体群密度を維持していることが知られている。ただし高山湖は、積雪などの影響により冬季の調査が困難なことから、そこに生息する動物プランクトン個体群動態の定期的な通年調査は、あまり報告されていない。

今回調査を行った白駒池は、標高 2115m の亜高山帯に存在する、日本最大の高山腐植栄養湖である。年間を通して水温は低く、11 月中旬から翌 5 月中旬までの長い結氷期間を持つが、*Acanthodiaptomus pacificus* と *Daphnia longispina* の 2 種の動物プランクトンが共存している。そこで本研究では、この 2 種の動物プランクトンの共存メカニズムの解明を目的として、白駒池での通年調査を行い、個体群動態の解析を行なった。

## ◆Material and Method

調査対象湖沼に選んだ白駒池は、北八ヶ岳地域の標高 2115m に位置している。成因は堰き止めによるものとされており、流入河川は降水があったときのみ出現し、流出河川は存在しない。面積は 11ha、平均水深は 4.1m で、最大水深は 8.6m である。湖水は腐植酸によってコーヒープラウン色を呈しており、pH は 5 前後で魚類は存在していない。

2 種の動物プランクトンの個体群動態及び湖水中の非生物的環境の調査は、2011 年 4 月から 2012 年 7 月の間、およそ 3 週に 1 度の間隔で湖心 (水深 8m 地点) に行なった。動物プランクトンは、水深 0~7m で 1m 間隔に採集し、ホルマリンで固定したのち、種同定および体長や発育段階、抱卵数の測定を行なった。また各水深の pH・EC・水温・DO・Chl.a 濃度の測定も行なった。

さらに昼夜間の分布水深の比較や、バクテリアの分

布水深調査、2 種の動物プランクトン個体の C/N 同位体比を用いた食物網解析も行なった。

## ◆Result and Discussion

*A. pacificus* の個体群密度は、解氷直前の 5 月にピークを向かえ、*D. longispina* の個体群密度はそのおよそ 2 ヶ月後の 7 月にピークを向かえた。また 2 種間で再生産を行なう季節が異なっていることも明らかになった。このことから、この 2 種間で「時間的な棲み分け」が行なわれている可能性が考えられる。

また、この 2 種は食物網解析の結果から、異なるエサ資源を利用し「食い分け」を行なっていることが明らかになった。特に *D. longispina* においては、分布水深がバクテリアのそれと一致したため、バクテリアをエサ資源としている可能性が高いと考えられる (Fig.1)。

さらに 2 種の昼夜間分布水深の結果から、*A. pacificus* は UV などの影響と考えられる DVM (日周鉛直移動) を行なっていたが、*D. longispina* においては確認されなかった。このことから、2 種間で「空間的な棲み分け」が行なわれていると考えられる。

これらの結果から、2 種の共存が可能な要因は、「時間的・空間的な棲み分け」と「食い分け」の『ニッチ分化』によるものであると考えられる。

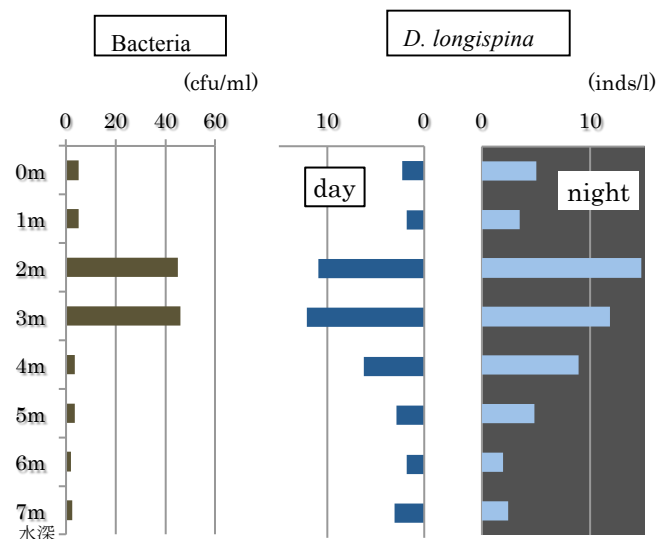


Fig.1 バクテリアと *D. longispina* の分布水深比較

# 水草(コカナダモ *Elodea nuttallii*)が枝角類に与える影響

\*井上実佳 花里孝幸(信州大学 山岳科学総合研究所)

## はじめに

湖沼において水草が化学物質を放出しており、それが動物プランクトンの遊泳行動等を変えるということが知られている。

枝角類(植食性動物プランクトン、ミジンコ)は、植物プランクトン群集に大きな影響力を持ち、湖沼の生態系において重要な役割を果たしている。水草が放出する化学物質が動物プランクトンの行動に影響を与えているのであれば、その化学物質は動物プランクトンの生活史特性を変えている可能性がある。そこで本研究では、化学物質を放出することが知られているコカナダモ(*Elodea nuttallii*)を用い、水草が放出する化学物質のミジンコの生活史特性への影響並びに個体群変動に対する影響を解析した。

## 材料と方法

コカナダモは長野県の白樺湖から採取し、それを室内(室温 20°C, 16 時間明期, 8 時間暗期)で維持したものを使用した。実験には、室内でクローン培養したアミメネコゼミジンコ *Ceriodaphnia reticulata* を使用した。

▶生活史特性の解析(室内実験)…はじめに、室温 20°C, 16 時間明期, 8 時間暗期の部屋で、容量 5L の水槽に上水を濾過した水を 5L 入れ、そこにコカナダモを 0g, 10g または 30g 入れ、24 時間以上維持した後、その水を濾過して試験水として用いた。*C. reticulata* の抱卵個体を各 45 個体用意し、3 種類の試験水で飼育した。その際、9 つの 1L ビーカーを用意し、それぞれの飼育水を 3 つの容器に入れ、それぞれの容器にミジンコを 5 個体ずつ入れた。数日後に得られた 1 齢仔虫を、各処理の飼育水で 10 個体ずつ、1 個体/容器で飼育しながら、体長変化、脱皮間隔、抱卵数、生まれてきた仔虫数と仔虫の体長を毎日測定した。測定は 20 日間行った。仔虫を取るための抱卵個体は 2 日に 1 度換水し、仔虫の測定開始以降は毎日換水した。餌はクロレラを使用し、給餌は換水と同時に行い、 $2 \times 10^5$  cells/ml の密度になるようにした。

▶個体群実験(野外実験)…実験は長野県第 2 白樺湖における水草繁茂池で行った。*C. reticulata* の抱卵個体を 135 個体用意し、爆気水で飼育した。その際、9

つの 1L ビーカーを用意し、それぞれの容器にミジンコを 15 個体ずつ入れ、4 回目の抱卵で得られた 1 齢仔虫を実験に使用した。40ml プラスチックチャンバーを 36 個準備し、爆気水とエサ(クロレラ)を入れ、1 個のチャンバーにつき 3 個体の *C. reticulata* を分注した。そのチャンバーを 2 処理区に分けて設置し、3 日毎に各処理区 3 チャンバーずつ回収、計数、計測を行った。処理区は水草有り、水草無しの 2 種類とした。

実験は 18 日間行い、チャンバーの回収と同時に給餌を行った。エサはクロレラを使用し、 $4 \times 10^5$  cells/ml の細胞密度になるようにした。

## 結果

室内における生活史特性の解析では、水草がある処理区において、累積抱卵数と reproductive effort が有意に低下するという結果が得られた。仔虫体長は水草処理区において有意に大きくなり、成熟体長(1 回目抱卵時)が低下するという傾向が得られた。

野外における個体数変動の解析では、水草処理区において、1 チャンバー当たりの個体数(Fig. 1)と平均抱卵数が低下するという結果が得られた。

## 考察

室内実験により、水草はミジンコの再生産に対して負の影響を与えているという結果が得られた。また、野外実験においても同様の結果が得られたことから、水草は野外においても実際にミジンコに負の影響を与えていることが確認された。

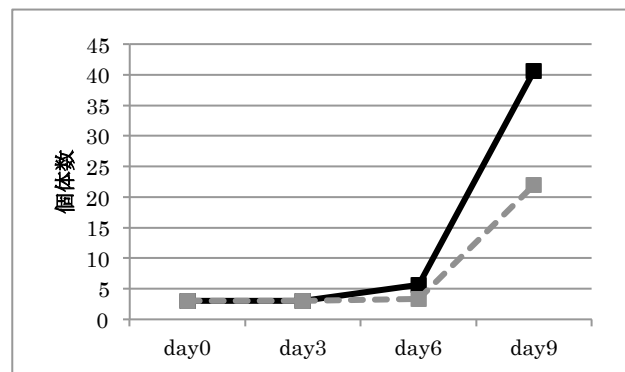


Fig.1 チャンバー当たりの個体数

—■— 水草無し    - - - ■ - - - 水草有り

(2012 年 7 月 27 日までの結果のみ記載)

# 富栄養湖におけるケンミジンコの底泥－湖水間の日周鉛直移動

○戸田 龍太郎<sup>1)</sup> 花里 孝幸<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>信州大学大学院・<sup>2)</sup>信州大学山岳科学総合研究所

## はじめに

動物プランクトンの生存戦略の一つとして、魚の捕食圧が高い日中には深層に移動し、魚の捕食圧が低くなる夜間に表層に移動する日周鉛直移動(Diel Vertical Migration 以下, DVM)が知られている。DVMは一般的に比較的水深の深い湖で見られる行動であるが、長野県諏訪湖でもノロ(*Leptodora kindtii*)やケンミジンコ属(cyclopoid copepods)のDVMが確認されている。このうちケンミジンコについては、過去の研究結果から日中は湖底泥上まで降りている可能性が示唆されていた。そこで本研究では、DVMをしているケンミジンコが日中、底泥上にまで降りているのかを明らかにすることを目的とした。

## 方法

諏訪湖湖心において2011年4月21日から隔週で、湖水中の動物プランクトン群集の鉛直分布を調べるため、バンドン採水器を用いて表層から底泥直上まで1m間隔で定量的に採取した。またコアサンプラーを用い、底泥上のケンミジンコの採集を試みた。採取したコアカラム(カラム径4cm)中の湖水及び浮泥を40µmのプランクトンネットで濾し、シュガーホルマリンにて固定した。さらに湖水中の環境要因の測定も行った。また6月からは昼に加え夜間にも同様のサンプリングを行った。サンプリング後実験室にて光学顕微鏡下で種の同定及び個体数のカウントを行った。カウント後にWeighted Mean Depth(WMD)という計算式を用いて、ケンミジンコの平均分布を算出した。環境要因は0.5mごとに水温、DO、光量子、1mごとにpH、EC、Chl.a濃度を測定した。

## 結果と考察

ケンミジンコの日中の密度は深層で最も高く、表層に近づくと密度は低くなった。特

に水深1m付近では密度がゼロになるときもあった。また底泥中にもケンミジンコが生息していることを確認でき、特に成熟したAdultが、成熟前であるcopepodidよりも多く確認された。これはAdultの方が他の齢個体よりも大型であり、魚の捕食影響をより強く受けるため、それを避けるためであると考えられる。夜間ケンミジンコは全層にわたって分布しており、日中ほとんど確認されなかった1m付近でもケンミジンコの分布を確認することができた。またケンミジンコの種類によってDVMに違いが見られ、強いDVMが確認されたのは大型の種である*Acanthocyclops*、*Mesocyclops*で、DVMが弱かったのは小型の種の*Thermocyclops*であった。一方ノープリウス幼生は昼夜間での密度にほとんど差はなく、これは過去の研究とも一致する。夜間の底泥上の個体数は日中の半分以下であったことから、日中底泥上に分布した個体が夜になって水中へと移動したと考えられる。

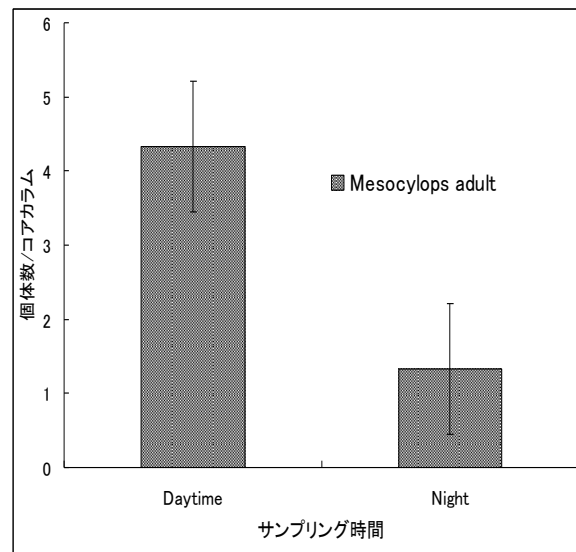


図1. コアサンプラー(コアの直径4cm)で日中(Daytime)と夜間(Night)に採集した*Mesocyclops*(Adult)の底泥上の密度

# 急性毒性試験はミジンコへの銀毒性を過大評価する

\*米島伸（富山県立大・工学部）坂本正樹（富山大学・工学部）  
柏田祥策（東洋大学・生命科学部）立田晴記（琉球大学・農学部）

## 1. はじめに

近年のナノテクノロジーの急激な発達にともない、様々な用途で使用されたナノ材料が環境中に流出している。とくに、高い抗菌活性をもつことから世界市場の約半数を占める銀ナノ粒子については、使用・廃棄後に排水に混入した場合、下水処理場の生物処理（活性汚泥）に悪影響を与えて処理機能の低下を引き起こすこと、さらに銀ナノ粒子の水環境への流亡と水生生物（藻類・ミジンコ・魚類）への毒性影響が OECD（経済協力開発機構）などで懸念されている。銀ナノ粒子の影響として活性汚泥の硝化作用阻害、緑藻の光合成阻害、ゼブラフィッシュの胚発達阻害と孵化率低下などがわかっているが、銀ナノ粒子の毒性作用機序の詳細は正確にはわかっていない。特に毒性影響が銀ナノ粒子由来であるのか、解離した銀イオン由来であるのかは全く不明である。

そこで本研究では銀ナノ粒子と硝酸銀の2つの物質においてミジンコで急性・慢性毒性試験を行いどのような影響が出るかを評価した。

## 2. 材料と方法

オオミジンコ (*Daphnia magna*) は国立環境研究所の経代培養クローン (NIES 系統)、カブトミジンコ (*D. galeata*) は霞ヶ浦から単離・培養したクローンをを用いた。

銀ナノ粒子と硝酸銀によるミジンコの遊泳行動および生存への影響は急性毒性試験 (OECD test guideline TG-202)、増殖率への影響は慢性毒性試験 (TG-211) により評価した。慢性毒性試験において生まれた仔虫は写真を撮り ImageJ を用いて体長を測定した。実験で使用した銀ナノ粒子の溶液はアメリカで市販されているサプリメント (ADVANCED COLLOIDAL SILVER : 図 1) を希釈して使用した。

## 3. 結果・考察

銀ナノ材料と硝酸銀を用いた急性毒性試験を行った結果 *Daphnia galeata* が *D. magna* よりも高い感受性を示した。また、半数影響濃度が銀ナノ材料よりも硝酸銀のほうが3~5倍低かった。

慢性毒性試験を行ったところ、銀ナノ材料、硝酸銀それぞれの物質で、急性毒性試験の半数影響濃度の暴露条件でも各ミジンコの内的自然増加率に影響がみられなかった。そこで半数影響濃度の暴露条件より高い濃度条件でもう一度慢性毒性試験を行った。

急性毒性試験のほうが慢性毒性試験より影響する濃度が低かったのは溶存有機物に解離銀イオンが付着し、結果的に解離銀イオンの濃度が低くなっているためではないかと思われる。

慢性毒性試験でも急性毒性試験と同じように半数毒性影響が銀ナノ材料より硝酸銀のほうが高かった。内的自然増加率に影響を及ぼす濃度が *D. galeata* では急性毒性試験の半数影響濃度の4~5倍だったのに対し、*D. magna* では急性毒性試験の半数影響濃度の3~4倍であった。

これらの結果から、急性毒性試験で得られた毒性値を基準とする生態リスク評価では、ミジンコへの銀毒性を過大評価することが明らかになった。また、毒性が銀ナノ材料より硝酸銀のほうが強かったことから、毒性を示す直接の原因物質が銀粒子ではなく、解離銀イオンであると考えられる。銀などの重金属の生態リスク調査を行う際は、金属の形態を詳細に調べる (スペシエーション) ことが必須である。

# 貧栄養化による諏訪湖の無脊椎捕食者と動物プランクトンへの影響

\*君島 祥 (信州大学 山岳科学総合研究所)  
花里孝幸 (信州大学 山岳科学総合研究所)

## 1. はじめに

長野県に位置する浅い富栄養湖の諏訪湖では、他の富栄養湖と同様に、プランクトン食魚の現存量が高く、ワムシ綱やゾウミジンコ属 (*Bosmina* 属)などの小型種によって動物プランクトン群集が構成されている。これは、多くのプランクトン食魚が視覚を利用して餌生物を探すため、より大型の動物プランクトン種が選択的に捕食されるためである。

諏訪湖では、*Bosmina* 属の2種 (*B. longirostris* と *B. fatalis*)が優占し、2種の個体群が季節遷移を示すことが知られている(Chang & Hanazato 2003)。春と秋には *B. longirostris* が優占し、夏には *B. fatalis* が優占する。この季節遷移は、無脊椎捕食者であるノロ (*Leptodora kindtii*)が夏に出現し、*B. longirostris* の個体群を抑制することで生じると考えられている(Chang & Hanazato 2004)。

近年の諏訪湖では、水質浄化に伴う貧栄養化によって、アオコ発生量の減少やワカサギ漁獲量の低下といった生物相の変化が生じている。一般的に湖の富栄養化が進むと、ワムシ綱や *Bosmina* 属などの小型種によって動物プランクトン群集が構成されるようになる。一方で、湖の貧栄養化が進んだ場合の動物プランクトン群集構造の変化に関する知見は少ない。そこで本研究では、貧栄養化の進む諏訪湖での動物プランクトン群集の動態を調べた。

## 2. 材料と方法

諏訪湖の湖心において2008年から2011年の4年間、毎年3月から12月にかけて2週間毎に動物プランクトン群集の調査を行った。動物プランクトン群集のサンプルを定量的に採取するために、カラムサンプラーを用いて水深0mから5.5mの湖水を水柱状に12L採取し、その水をメッシュサイズが40 $\mu$ mのプランクトンネットに通して動物プランクトンを濾し集めた。その後、動物プランクトンをシュガーホルマリンで固定し、光学顕微鏡を用いて種の同定と個体数の計数を行った。

## 3. 結果

湖心におけるノロの個体群動態を Fig. 1 に示す。2008年から2011年にかけて、ノロの個体群密度のピークが見られる時期が僅かに早くなっている。

*Bosmina* 属における *B. longirostris* の優占度の変化を Fig. 2 に示す。2008年から2011年にかけて *B. longirostris* から *B. fatalis* へと優占種が変化する時期が早くなっている (2008年:7月末、2011年:6月初め)。

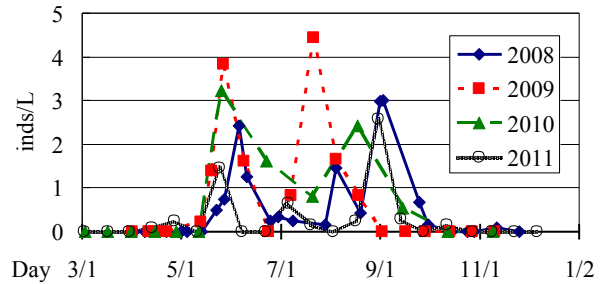


Fig. 1 湖心におけるノロの個体群動態

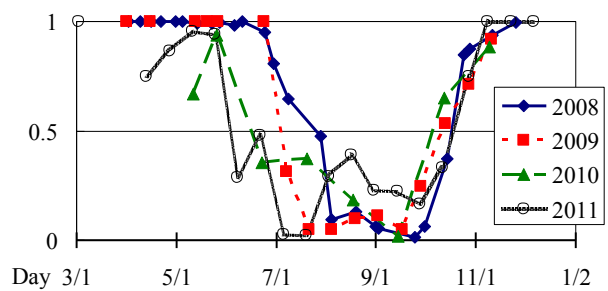


Fig. 2 *Bosmina* 属における *B. longirostris* の優占度の変化 (*B. longirostris* / *Bosmina* 属)

## 4. 考察

多くのプランクトン食魚はより大型の動物プランクトンを選択的に捕食する性質を持ち、諏訪湖の主なプランクトン食魚であるワカサギにおいても、大型の動物プランクトンであるノロを選択的に捕食することが知られている。

近年の諏訪湖では、ワカサギ等のプランクトン食魚の漁獲量が低下していることから、プランクトン食魚の密度が低下していると考えられる。その為、ノロに対する魚の捕食影響が低下し、ノロの出現可能な時期が早まったと考えられる。また、1999年以前と比べて、2008年から2011年にかけてのノロのピーク時の密度は高い値を示している。これらの結果から、早期から *B. longirostris* に対するノロの捕食影響が及ぶようになり、*Bosmina* 属の2種の優占種が入れ替わる時期が早まったと考えられる。