

C 会場

要 旨

9 月 28 日 (月曜日)

午前 一般講演 2C01 ~ 2C12

9 月 29 日 (火曜日)

午前 一般講演 3C01 ~ 3C10

2C01 The effect of main flow velocity on stress responses of *Vallisneria spiralis* L.

Kelum Sanjaya^a · Takashi Asaeda^a (Saitama Univ)

Introduction

Aquatic plants play an important role in aquatic system in terms of ensuring both biotic and abiotic relationships within the system. They are source of foods, provide hiding places, create a habitat or provide conditions for breeding. They are the primary producers in the aquatic system and circulate nutrients within the system by converting the basic chemicals in water and soil in to organic matters which become later, the foods for secondary producers. Water movement has been known to be important factors that regulate the growth and distribution of aquatic plants in lotic systems. *Vallisneria spiralis* is a submersed aquatic plant which has been tested for stress due to water movement, however, information are lacking on their physiological responses for different water velocities. Therefore the objective of the present study was to assess the physiological responses of *Vallisneria spiralis* to different flow velocities.

Materials and methods

The present study was conducted in a closed flow system with 5cm in diameter transparent tubes which were modified to generate 4.3 ± 0.4 (low), 7.55 ± 0.66 (Medium) and 14.23 ± 0.74 (high) cm/s velocities. The turbulence of each microcosm was kept minimal in order to observe the effect of flow velocity. Three plants with 8-10cm in length were exposed to each condition. The control was maintained without a flow within the same system. 5% Hogland Nutrient Media (HNS) was used as the nutrient media. Well washed river sand was used as the substrate for plants. Temperature was maintained at 25°C and the light intensity was maintained at $100-110 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. The system was subjected to 12h: 12h light/dark period. The experiment was carried out for two weeks period. After two weeks, the strand elongation, photosynthetic pigments, Fv/Fm ratio and H₂O₂ were measured.

Results and discussion

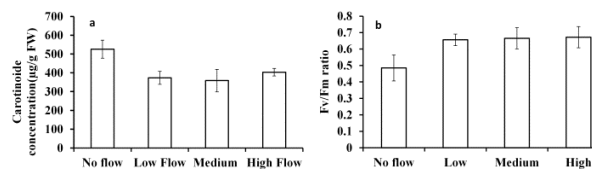


Figure (a) represents the carotenoids concentrations and Figure (b) represents the Fv/Fm ratio in no flow, low, medium and high flow treatments.

Though the strand elongation was not significant among low medium and high flows, the highest strand elongation was in high flow condition. Total chlorophyll was not significant among the treatments however the carotenoid concentration was significantly higher ($p < 0.05$) in no flow treatment while Fv/Fm ratio was significantly lower ($p < 0.05$) in no flow treatment. This denoted the stress of plants in stagnant condition. H₂O₂ concentration in no flow treatment was significantly higher ($p < 0.05$) compared to low medium and high flow treatments. H₂O₂ concentration in low flow treatment was higher than the medium and high flow conditions. Carotenoids act as a scavenging agent of reactive oxygen species such as H₂O₂ which are harmful to the plant body. When reactive oxygen species concentration increase inside the plant body due to stress, scavenging agents such as Carotenoids concentration increases to reduce the toxicity of reactive oxygen species

Conclusion

According to the present study it was shown that the flowing condition is relatively less stressful to *Vallisneria spiralis* compared to the stagnant or no flow condition. Further experiments are needed for comparing the stress response with the space for upright growth in no flow condition.

1. Introduction

In aquatic ecosystem soil flooding, waterlogging and eutrophication changes soil physical and chemical characteristics, which leads to high respiration rates and low dissolved oxygen (DO) in poorly mixed water. Aquatic macrophytes specially submerged macrophytes are frequently encounter low oxygen environments during their life cycle. To understand the physiological behavior and stress responses of submerged macrophytes under low oxygen concentrations (DO~0mg/L), an experiment was conducted with *Egeria densa* (Planch).

2. Methodology

Approximately 10cm long plants were placed in 500ml glass beaker on silicon sponge clups, which acted as an anchor for the plants. The beaker was placed in a 2.5L AnaeroJar (Oxoid AG25, Oxoid Ltd., Basingstoke, England) after deoxygenated the water bubbling with N₂ gas. Anoxic conditions were prepared with AnaeroPack (an atmospheric gas generating system, Mitsubishi Company, Japan), which can reduced the oxygen <0.1% and generated 10-15% CO₂. Anaerobic indicators were used to check the low oxygen level (<0.1% atmospheric O₂) inside the jar. However, low oxygen and high CO₂ under anoxia is a common phenomenon in natural conditions.

3. Results

Total Chl. and Fv/Fm values decreased when plant exposed to low oxygen concentration. Chl.a/b increased in low oxygen, which acts as a stress marker for plant when plant exposed to stress condition. Indole acitic acid (IAA) is one of the most common auxin found in plants, which related to growth of the plant. In the present study

IAA concentration decreased >60% in low oxygen concentration. Simultaneously H₂O₂, POD and CAT activity also increased in low oxygen concentration, which suggested that oxidative stress induced in low oxygen concentration. We can assume that the observed H₂O₂ accumulation in the tissues may promote the loss of leaves, since high H₂O₂ accumulation has been identified as an important mechanism of leaf senescence.

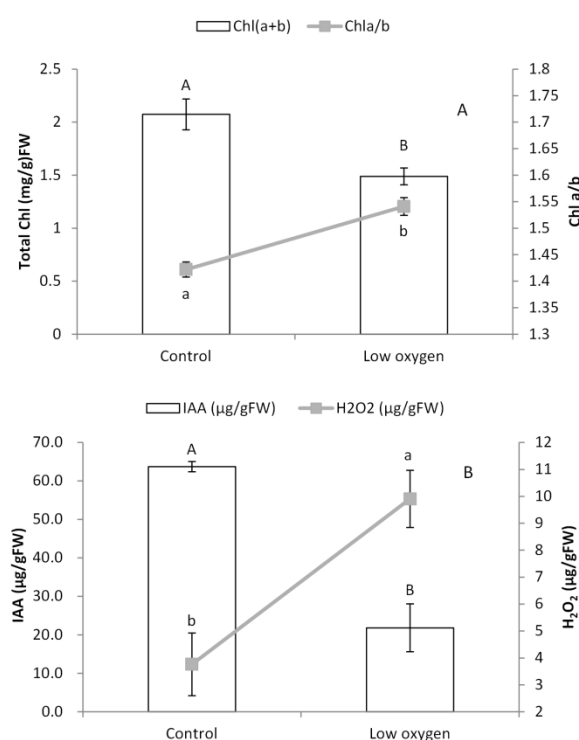


Fig.1 Total Chl., Chl a/b (A) and IAA, H₂O₂ (B) values of *E.densa* under low oxygen concentrations (mean ± SD)

4. Conclusion

The present study revealed that low oxygen concentration reduce the growth, chlorophyll concentration and induce oxidative stress of *E.densa* and can survive under this condition until 10 days.

*一瀬 諭・藤原直樹・古田世子 (滋賀琵琶環研セ)

1. はじめに

湖沼におけるプランクトン調査は、多くの水域において実施されており、長期にわたるプランクトン種の変遷についても、これまで多くの報告がある。しかし、その調査頻度は毎月1回程度のもので殆どであった。我々は、琵琶湖の湖水が京都～大阪へと流下していく瀬田川の唐橋流心部においてプランクトン調査を1979年4月から34年間、週1回以上の頻度で実施してきた。今回、植物プランクトンと併せて動物プランクトンについても1999年から実施してきており、15年間の動・植物プランクトン優占種の変遷を中心にまとめたので報告する。

2. 方法

調査地点は、瀬田の唐橋流心部(表層)、プランクトンの調査期間は1999年～2013年までの15年間、原則として毎週月曜日の朝、採集した計数データを用いた。植物プランクトンの計数は湖水1mlを直接プランクトン計数板に取り、種類毎に細胞数の計数を一瀬らの方法¹⁾により実施した。動物プランクトンは湖水40LをNXXX25(40 μ m)のプランクトンネットで40mlにまで濃縮し、その湖水1mlをプランクトン計数板に取り、種類別の総個体数の計数を実施した。さらに、動物プランクトンは原生動物、ワムシ類、甲殻類について各類別にも解析を実施した。

3. 結果および考察

瀬田川流心部における植物プランクトンは、調査期間中に第1優占種として39属49種が出現し、最も多く優占種となった種類は黄色鞭毛藻の*Uroglena americana*(平均体積257 μ m³)であり、1～5月を中心に出現し720回の調査期間中に186回優占種となった。次いで、褐色鞭毛藻の*Rhodomonas* sp. (平均体積170 μ m³)の104回、*Cryptomonas* sp. (平均体積1,700 μ m³)の65回の順であった。次に、動物プランクトンでは、32属51種が優占種となり、優占種となる回数は、ワムシ類に属する*Polyarthra vulgaris*が270回と年間を通じて多く計数され、次いで、ミジンコ類の*Bosmina longirostris*の64回、繊毛虫類の*Codonella cratera*

の63回の順であった。これらプランクトン優占種の変化を見るため15年間で5年毎に集計した結果、表1に示すように、植物プランクトンは、2009年以降、褐色鞭毛藻に属する*Cryptomonas* sp.の優占回数が減少し、黄色鞭毛藻の*Uroglena americana*が多くなることが認められた。また、動物プランクトンでは小型繊毛虫の*Codonella cratera*やワムシ類の*Polyarthra vulgaris*の優占回数が増加傾向を示し、ミジンコに属する*Bosmina longirostris*やケンミジンコの幼生であるNaupliusの優占する回数が減少傾向にあることなどが明らかとなった。

瀬田川流心部において長期的に増加傾向を示す種類や減少傾向を示す種類について検討した結果、2009年以降、南湖で発生している植物プランクトンや動物プランクトンのサイズは2003年以前と比較すると琵琶湖と同様に小型化傾向にあることが明らかとなった。

今回、総細胞数や総個体数としての優占種を抽出したが、種類によっては細胞体積や個体体積が大きく異なる種類もあり、今後は、動・植物プランクトン数に併せてバイオマスである総細胞体積量、総個体体積量として評価していきたいと考える。

表1 琵琶湖(瀬田川流心)におけるプランクトンの優占回数(1999-2013年)

Phytoplankton	1999~2003	2004~2008	2009~2013	Total
Cyanophyceae	4	5	6	15
Chrysophyceae	59	58	73	190
Dacillariophyceae	70	72	87	229
Dinophyceae	0	1	0	1
Cryptophyceae	70	62	37	169
Chlorophyceae	26	39	37	102
Total	229	237	240	706
Zooplankton	1999~2003	2004~2008	2009~2013	Total
Rhizopoda	19	33	17	69
Ciliophora	37	28	52	117
Eurotatoria	131	126	141	398
Branchiopoda	25	27	15	67
Copepoda	21	24	15	60
Total	233	238	240	711

文献

1) 一瀬諭,池谷仁里,古田世子他:琵琶湖に棲息する植物プランクトンの総細胞容積および粘質鞘容積の長期変動解析,日本水処理生物学会誌,49,2,65-74(2013)

2C04

Web 公開不希望

*加藤季晋・管原庄吾・江川美千子（島根大）・増木新吾（松江土建）・清家 泰（島根大）

1. はじめに

中海は外海と狭い水道（境水道）でつながっており、潮汐の影響を受けて物質交換が起こる。また、日本海から塩分を含んだ密度の高い海水が入るため、温度躍層よりも強固な塩分躍層が形成される。中海の湖心では夏季に日本海からの海水の流入による溶存酸素の供給があることと、水深 6 m の底層では光が届くぎりぎりの深度であり、硝化の光阻害が生じ $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ のパスが阻害され NO_2^- が蓄積されることが知られている（清家ら, 1986）。

本研究では、新たな窒素循環プロセスであるアナモックス反応に着目した。アナモックス反応はヒドロキシルアミン (NH_2OH) と NH_4^+ が反応して中間体であるヒドラジン (N_2H_4) を形成し、この N_2H_4 から分子状窒素 (N_2) を形成して系外へと放出するものである。この N_2H_4 から N_2 への脱水素反応のとき、 NO_2^- の還元により生成した NH_2OH と NH_4^+ が反応して再び N_2H_4 が形成されることもアナモックス反応の特徴である。中海では、夏季に NO_2^- が蓄積するためアナモックス反応による窒素除去が活発に起きている可能性がある。

本研究の目的は、アナモックス反応の基質である NH_2OH と中間体である N_2H_4 の環境水中での挙動からアナモックス反応を確認することである。

2. 方法

NH_2OH , N_2O : 現場で NH_2OH 及び N_2O 測定用試料水を 70 mL バイアル瓶にそれぞれ密封し、 NH_2OH 測定用試料水には NaClO 溶液を添加したあと実験室に持ち帰った。 N_2O 測定用試料水にはホルマリンを添加後、実験室に持ち帰った。実験室では、試薬を添加した試料水に N_2 ガスで気相 40 mL 作り、気液平衡の状態にした後、気相試料をガスクロマトグラフ (Shimadzu GC-14) により測定した。

N_2H_4 : 現場で 50 mL プラスチックシリンジに試料水を採取し、ろ過後、*p*-ジメチルアミノベンズアルデヒド溶液を添加し発色させた。発色させたサンプル 50 mL を Sep-Pak C18 カードリッジに通水

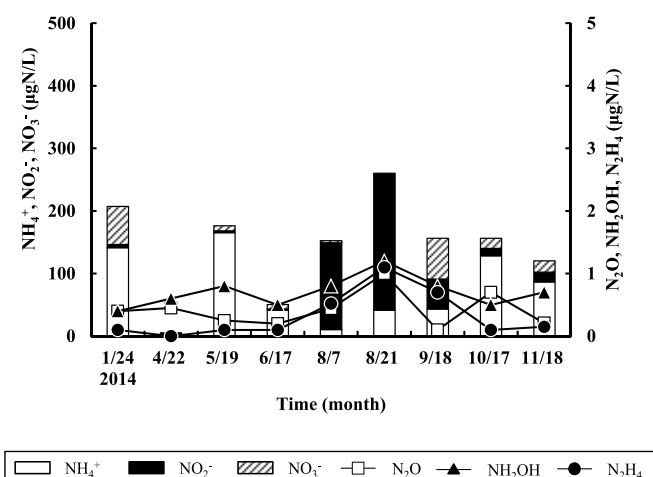
し、吸着させて持ち帰り、実験室にて塩酸・エタノール混合溶液で溶離し、分光光度計 (Shimadzu UV-1800) で 457 nm にて吸光度を測定した。

3. 結果と考察

2014 年の中海湖心における溶存無機態窒素の経月変化を Fig. 1 に示す。2014 年は、8 月から 9 月に NO_2^- の蓄積が確認された。さらに、 NH_2OH 及び N_2H_4 も他の月と比べて比較的高い濃度で検出されたことから、中海湖心では、夏季の NO_2^- の蓄積に伴い、アナモックス反応が活性化したものと推察される。

中海の窒素循環において、これまで脱窒による窒素除去のみしか考えられていなかった。しかし、本研究により夏季に NO_2^- が蓄積する中海底層においてアナモックス反応による窒素除去も重要な役割を果たし、中海の自然浄化機能としてアナモックス反応が深く関わっているものと考えられる。

Fig. 1 中海湖心における窒素化学種の経月変化



*引野愛子・管原庄吾（島根大・院・総理工）・増木新吾・戸島邦哲（松江土建）・
江川美千子・清家泰（島根大・院・総理工）

1. はじめに

硝化とは、好気的な環境においてアンモニア酸化細菌による NH_4^+ から NO_2^- への酸化、さらに亜硝酸酸化細菌による NO_2^- から NO_3^- を生成する酸化過程のことである。脱窒とは、嫌気的な環境において通性嫌気性細菌である脱窒細菌によって NO_3^- が NO_2^- 、亜酸化窒素(N_2O)を経て N_2 ガスに還元するという生物学的な NO_3^- の異化的還元過程である。この脱窒過程は、水圏から窒素を N_2 ガスとして系外に除去することから、水圏の窒素浄化の最終段階を担う過程として、言い換えれば富栄養化抑制プロセスとして非常に重要である。硝化により生成した NO_2^- 、 NO_3^- は、脱窒により N_2 として系外に放出される。つまり、さらなる水質改善を目指すためには窒素を N_2 ガスとして系外に放出することができる硝化と脱窒の2過程が必要である。

本研究では、淡水湖である布部ダム（島根県安来市広瀬町）の湖水の窒素浄化能、また WEP システム（高濃度酸素水供給装置(松江土建(株)製)）の稼働による湖水の窒素浄化能への影響を確認するために定期観測による湖水の水質観測および室内実験を通して検討した。

2. 材料と方法

・定期観測

現場でバイアル瓶(70 mL)に湖水を入れて密封し、ホルマリン(1 mL)を添加し、実験室で N_2 ガス(40 mL)で気相をつくり、 N_2O を ECD-GC (Shimazu GC-14)で測定した。また、ろ過した湖水の NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- を発色後吸光度計を用いてそれぞれ定量した。

・脱窒活性の室内実験

現場でテドラーバック(2 L)に湖水を 700 mL 入れアセチレン 100 mL を添加し実験室に持ち帰った。実験室では、現場の DO に調整した N_2 と O_2 の混合ガス(300 mL)で気相を作り、暗所で現場に近い温度

条件下で培養し、12 h、24 h(1 日後)、48 h(2 日後)、60 h(3 日後)の N_2O を ECD-GC(Shimazu GC-14)を用いて定量した。

3. 結果と考察

本研究では、島根県布部ダムの深水層における窒素浄化能、および WEP システムが窒素浄化能に与える影響について、定期観測による経月変化と室内実験を通して検討を行った。

Fig. 1 に 2014 年 4 月 14 日から 2015 年 1 月 14 日までの湖底上 1 m の水質の経月変化を示す。6 月 4 日から 7 月 7 日にかけて WEP システムの稼働により DO は $2 \text{ mgO}_2/\text{L}$ まで上昇した。これにより、 NH_4^+ および TIN の減少が確認できたことから硝化・脱窒の一連の反応が示唆される。しかし、8 月 19 日には WEP システムの稼働により DO が非常に高い $38 \text{ mgO}_2/\text{L}$ まで上昇した。8 月 19 日から 9 月 5 日で NO_3^- の増加が確認されなかったことから硝化阻害が示唆される。また、10 月 24 日から 11 月 20 日にかけて NO_3^- の減少が確認された。これは脱窒によるものだと考えられる。脱窒活性の培養実験においても、10 月 31 日には約 $30 \mu\text{gN}/\text{L}/\text{day}$ 、11 月 20 日には約 $33 \mu\text{gN}/\text{L}/\text{day}$ と高い活性を示した。これらのことから、WEP システムの稼働により DO をコントロールすることで硝化・脱窒を促進し、効率的に窒素を除去することが可能であると考えられる。

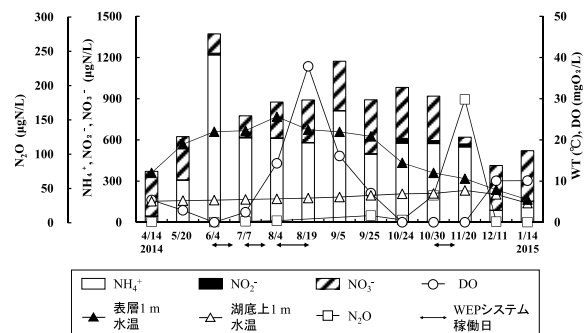


Fig. 1 湖底上 1 m における水質の時系列変化

2C07

Web 公開不希望

*霜鳥孝一, 今井章雄, 高津文人, 小松一弘, 佐藤貴之,
富岡典子, 篠原隆一郎, 三浦 真吾 (国環研)
桐山徳也, 岡本高弘 (滋賀琵琶湖科研セ)

1. はじめに

湖沼の底泥表面では有機物の分解等に伴い溶存酸素 (DO) が消費される。この底泥の DO 消費量 (Sediment oxygen demand, SOD) は底生生物の生態や底泥溶出に大きな影響を与えることから、環境指標としての注目が高まっている。SOD の測定は、測定用チャンバーを現場に設置する現場法と採取した底泥コアを実験室に持ち帰って測定する室内実験法に大別される。しかし、前者はチャンバーの開発期間や費用、後者は実験手法の多様性や大型のコアの取り扱い等の問題から、操作が容易ではない。そこで、本研究では、SOD を簡便に測定できる手法の開発を検討した。

2. 実験方法

霞ヶ浦湖心と琵琶湖南湖において、不攪乱柱状採泥器 (離合社) を用いて底泥コア (内径 11cm 長さ 50cm) を採取した。採取したコアの直上水を取り除き、予め DO 測定用センサーチップ (Presens) を張り付けた内径 1.28cm 採泥用ガラスバイアルで底泥表面から深度 7cm 付近までの泥を採取した。ここに孔径 0.2 μ m のメンブレンフィルターでろ過した現場の直上水を加え密閉し、現場の湖底直上水で静置培養した (バイアル法)。DO 濃度の時間変化は蛍光式酸素センサー Fibox 3 (Presens) を用いて測定した。コントロールとして、ろ過した直上水のみをバイアルに入れたものを用意した。バイアル法との比較のため、霞ヶ浦湖心の底泥コアの直上水を攪拌しながら培養する実験も行った (底泥コア法)。SOD の算出は以下の式に従った。

$$\text{SOD (gO}_2\text{/m}^2\text{/day)} = \Delta [\text{DO}]/\text{dt} \times (\text{直上水量/底泥表面積}) \times 24/1000$$

$$\Delta [\text{DO}]/\text{dt} : \text{培養時間 } t \text{ (h) における DO 濃度 (mgO}_2\text{/L) 変化から求めた近似曲線の傾き (mgO}_2\text{/L/h)}$$

$$\text{底泥表面積} : \text{バイアル底面積} = 0.000129 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\text{直上水量} : \text{加えた直上水の体積 (L)}$$

$$24/1000 : \text{単位換算係数}$$

3. 結果と考察

霞ヶ浦で採取した底泥を、底泥コア法とバイアル法でそれぞれ培養 (25 $^{\circ}$ C、10 時間) したところ、SOD は、各々 1.21 と 0.30 gO₂/m²/day であった。直上水を攪拌した場合、SOD の値が数倍大きくなるのが指摘されている。また、底泥コアには大型の底生生物が確認されたことから、攪拌や底生生物の存在が両者の SOD の差につながったと推察される。従って、バイアル法では、水流や底生生物の影響を排除した底泥-直上水間の酸素消費が SOD に反映されていると考えられる。

琵琶湖南湖でバイアル法を用いて、5 時間培養したところ、SOD は 1.07 gO₂/m²/day であった。これは霞ヶ浦の同培養時間における値 (0.41 gO₂/m²/day) の 2.6 倍に相当する。琵琶湖と霞ヶ浦の底泥・水質の差を考慮すれば、この差の要因が有機物の分解のみに起因するとは考えづらい。これより、底泥間隙水から還元状態で溶出するイオン成分の形態にも着目し、SOD への寄与について、今後より詳細な分析を検討している。

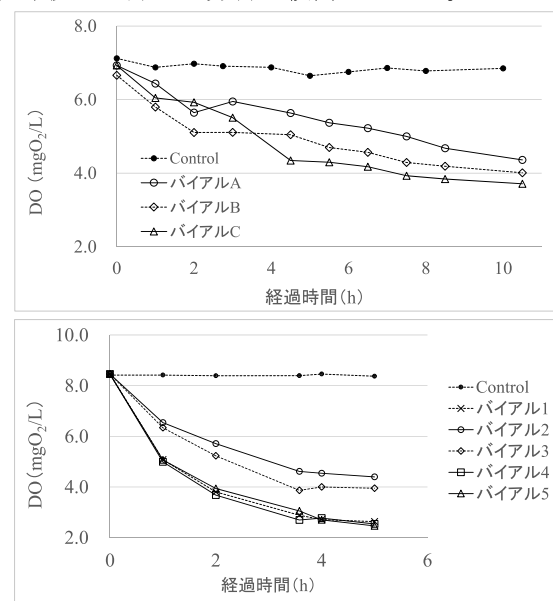


Fig. 1 霞ヶ浦湖心 (上) と琵琶湖南湖 (下) における底泥の酸素消費 (バイアル法)

* 原田健一・有井鈴江・Beata Bober（名城大）・
富田浩嗣（愛知衛研）、辻 清美（神奈川衛研）

1. はじめに

ラン藻類は、 β -cyclocitral をはじめとして様々な揮発性有機物（VOC）を産生し、その VOC は、ラン藻自身に対し、溶藻活性を持つことが知られている。2008 年と 2010 年には、津久井湖において青色化を伴った溶藻現象が生じた。一方、2013 年 9 月には、相模湖で *Anabaena mucosa* が優占した後 *Microcystis* が優占種となり、青色化を伴う溶藻現象が見られた。本研究では、ラン藻の顕微鏡観察、細胞数の計数、pH 測定とともに従来測定できなかった β -cyclocitric acid およびその関連化合物を含む VOC の分析を行った。

2. 材料と方法

溶藻現象を起こしていない地点（以下 A という）、溶藻現象が生起していない緑色のスカム地点（同 B）、溶藻現象が生起した青白色のスカム地点（同 C）からラン藻類を採取し、pH 測定、顕微鏡観察と細胞数の計数、VOC の測定を行った。VOC は、サンプルを GF/A によりろ過し、エーテル抽出後 GC-MS で分析した。

3. 結果

図 1 に 3 地点（A, B および C）におけるラン藻種の存在比を、表 1 には VOC 濃度、pH および *Microcystis* の細胞数を示す。

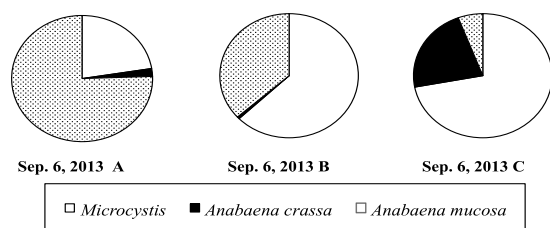


図 1 2013 年 9 月相模湖の 3 地点におけるラン藻種の存在比

溶藻現象を起こしていない地点 A では、*Anabaena mucosa* が優先しているが、溶藻現象が生起していない緑色のスカム地点 B では、*Microcystis* が優先していた。青色化を伴う C では、*Microcystis* の細胞数が増加するとともに *Anabaena crassa* も増えていた。

表 1 2013 年の相模湖で採集したラン藻中の VOC の濃度 ($\mu\text{g/L}$)、pH および *Microcystis* の細胞数

	A	B	C
pH	9.3	8.7	6.2
β -cyclocitral	ND*	ND*	ND*
2,2,6-trimethylcyclohex-1-en-1-yl formate	ND	ND*	25 (0.15)
β -cyclocitric acid	ND*	52 (0.31)	120 (0.71)
2,2,6-trimethylcyclohexanone	ND*	11 (0.08)	170 (1.2)
β -ionone	10 (0.05)	120 (0.61)	150 (0.80)
<i>Microcystis</i> cells	4.5×10^4	2.0×10^5	8.5×10^5

() はモル濃度

VOC に関して、A では β -ionone だけが検出され、B と C では、ロ液から β -cyclocitral が検出されなかったが、 β -cyclocitral の酸化生成物である β -cyclocitric acid および 2,2,6-trimethylcyclohexanone が高濃度で検出され、pH の低下も確認された。特に、C では β -cyclocitric acid より 2,2,6-trimethylcyclohexanone の濃度が高いことが特徴的であった。

4. 考察

2013 年相模湖においては、溶藻現象が起きていない地点 A では β -ionone だけが検出された。集積したスカム (B) では、VOC 濃度が高く、*Microcystis* が多く溶藻した。その結果、 β -cyclocitral が放出され、 β -cyclocitral に対する感受性が *Microcystis* より高い *Anabaena* が溶藻したと考えられる。C では *Anabaena crassa* の生残率が高かったものの、翌日には激減し、逆に *Microcystis* は増加して 4 日後に *Microcystis* のみとなった。また、2,2,6-trimethylcyclohexanone が多量に検出されたことから β -cyclocitral の酸化は Baeyer-Villiger 型で進行していることが示唆された。

関連文献

Arii et al., *Appl. Environ. Microbiol.*, **81**, 2667-2675 (2015).

*時枝隆之・葛西真由子・谷口雄哉・伊波はるな・小菅瞭吾（気大校）・中山典子（東京大）

はじめに

陸水域からの大気への二酸化炭素やメタンといった温室効果気体の放出は、陸域が吸収する二酸化炭素を帳消しにすることから、その定量的把握は重要である。Coleら(1994)は、多くの湖沼が大気への二酸化炭素の放出源となっていることを報告している。富栄養化し生物生産が高まった湖沼においては有機物生産のための無機炭素が必要となるがその炭素が大気から供給されていればその湖沼は大気二酸化炭素の吸収源ということになる。本講演では、富栄養化湖沼に分類され、高い生物生産性の結果、高いCOD(化学的酸素要求量)が観測される千葉県手賀沼において二酸化炭素を観測することで、ここでの生物生産のための炭素源について検討した結果を報告する。

方法

手賀沼湖内に設けた20の観測点について、2013年4月から2015年5月までの計15回の二酸化炭素観測を実施した。炭酸系パラメータの他に、2014年5月からは、現場での明瓶暗瓶法(Gaarder and Gran, 1927)により生物生産速度の測定をあわせて実施した。

結果と考察

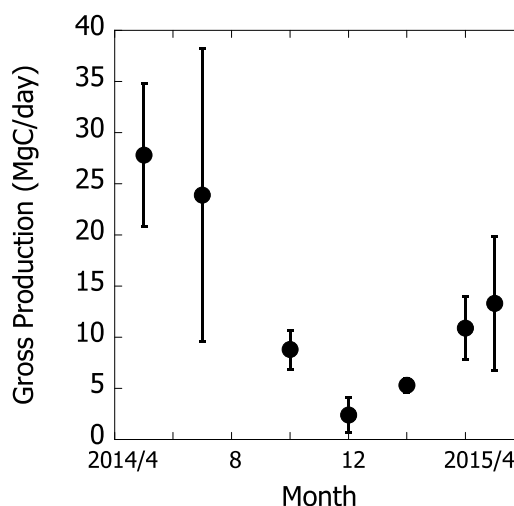
現場法により見積もられた有機炭素生産速度は、炭素換算で、0.42~4.8 (mg/L/日)の範囲にあり、春季から夏季にかけて高く、秋季から冬季にかけて低い季節変動を示した(図)。手賀沼全体では年間で4,800±1,000 (Mg)の無機炭素が有機炭素に変わっていることになる。

15回の観測における表面水二酸化炭素分圧は、430~14,000 (μatm)の間にあり(平均二酸化炭素分圧3,600 μatm)、観測したすべての表面水二酸化炭素分圧は大気二酸化炭素分圧(約400 μatm)を上回っていた。すなわち、手賀沼もまた大気二酸化炭素の供給源としての強いポテンシャルを有し、富栄養湖

沼手賀沼においても大気中二酸化炭素が生物生産のための炭素源ではないことが示された。手賀沼全体から大気へと放出された二酸化炭素は、炭素換算で、2013年、2014年、及び2014年5月から2015年4月までで、それぞれ730±80、540±60、及び570±60 (Mg)と見積もられた。なお、ここで計算された二酸化炭素放出速度(160g炭素/m²/年)は、Raymondら(2013)が報告した世界の湖沼からの平均放出速度(76g炭素/m²/年)の2倍に相当する。

現場法から見積もられた湖水中で無機化した炭素は年間で2,600±900 (Mg)であり、これだけでは手賀沼における生物生産をまかないきれない。手賀沼における溶存無機炭素の収支バランスから、水中での無機化に合わせて、河川からの無機炭素の流入(2,200±100 Mg/年)と堆積物からの溶入(1,900±1,400 Mg/年)により、手賀沼における生物生産が維持されていると見積もられた。

図: 手賀沼における純生産速度(2014年4月~2015年5月)



References:

- Cole et al., *Science*, **265** (1994)
- Gaarder and Gran, *J. Cons. Porm. Int. Explor. Mer*, **42** (1927)
- Raymond et al., *Nature*, **503** (2013)

* 藤井智康 (奈良教育大)・藤原建紀 (京大名誉教授)

1. はじめに

近畿約 1400 万人に水道水を供給する琵琶湖南湖において、pH が上昇し、pH が 9.0 を超える期間が夏季の 1 ヶ月間も続くようになった (図 1)。湖水の pH の環境基準は「8.5 以下」であるため、長期間にわたって環境基準を満たせない状況となっている。また、水道原水の高 pH 化は利水障害となり、浄水場では硫酸等を加えて pH 調整を行わざるを得なくなっている。琵琶湖では、窒素・リン負荷量削減により植物プランクトン量が減り、透明度が上昇する一方、底泥から栄養を取ることのできる水草が代わって繁茂するようになった。琵琶湖の高 pH 現象は、水草の光合成による CO₂ 吸収に起因するものと考えられている。しかしながら、これは確かめられたものではない。また水草の除去で高 pH 化を防げるかどうかも分かっていないことから、本研究ではこの現象を確かめることを目的とする。

2. 現地調査及び解析

(1) 現地調査

図 1 に示す琵琶湖南湖及び瀬田川 7 カ所と北湖 1 カ所で表層水もしくは鉛直分布測定を 2014 年に行った。調査は直読式総合水質計 (AAQ-177) を用い、水温、クロロフィル蛍光、pH、溶存酸素濃度 (以下 DO) 等を測定した。また、京都市上下水道局の水質試験年報による水質データを解析した。

(2) エアレーション

St.1, St.4, St.7 の表層水を採水した。採水試料は、エアポンプを用いてエアレーションし、pH の時間変化を測定した。これにより湖水の pH が低下するかを確認した (図 2)。エアレーションによって、水中の CO₂ 濃度が大気中の CO₂ 濃度と平衡状態になった湖水 (pH が一定) を作った。

(3) 二酸化炭素の解析

CO₂ の解析については、全アルカリ度および、pH、水温から CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center) が提供する CO₂ SYS (Lewis・Wallace, 1998) を用いて pCO₂ を計算で求めた。

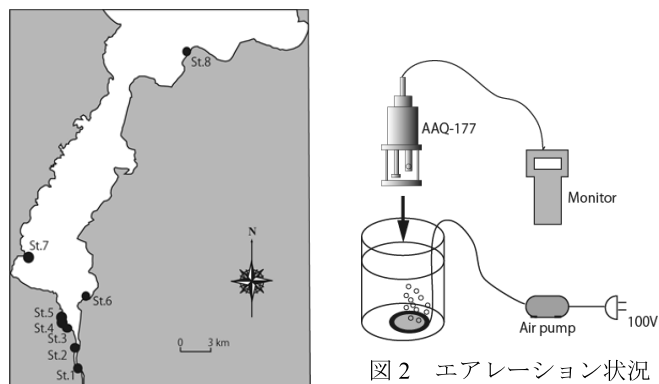


図 1 琵琶湖調査地点

3. 結果

高 pH となっていた 7 月の St.4 では、2 時間のエアレーションにより pH が 9.84 から 8.09 まで低下し、一定となっていた (図 3)。また、pH 8.5 以上の高 pH が見られる 7 月～8 月にかけては、pCO₂ が 10~50 μatm と低く、光合成による CO₂ 吸収が顕著であることを示している (図 4)。

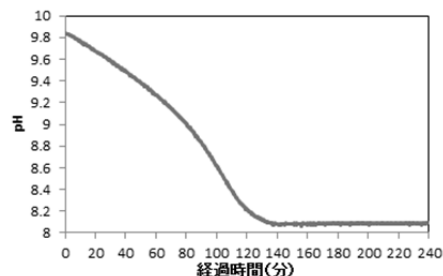


図 3 St.4 におけるエアレーションによる pH の時間変化 (2014 年 7 月 31 日)

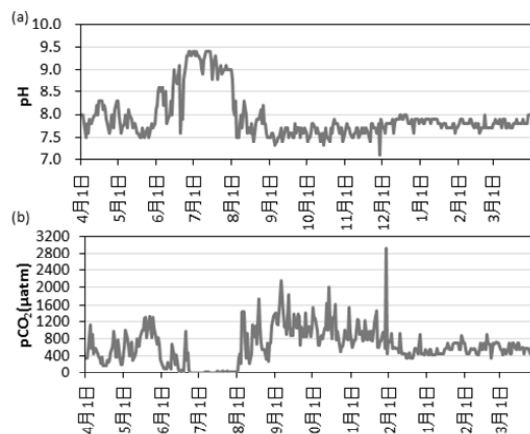


図 4 水道原水の pH 及び pCO₂ の変動 (2012 年度)
(京都市上下水道局の原水毎日分析データより作図)

坂本 充(名古屋大・滋賀県大)

1. はじめに

Thinemann, Nauman の先駆研究に発する湖沼植物プランクトン生産の N,P 支配に関する研究は、陸水学の中心的課題であり、多くの研究が進められてきた。特に 1970 年以後、富栄養化に係る湖沼管理の必要性から、藻類生産の N,P 支配に関する定量的研究が進み、その後の湖沼生態系代謝研究の発展を促した。この富栄養化研究では、Sakamoto (1966) による湖沼の植物プランクトンと N,P 量関係の研究が、重要知見として、湖沼富栄養化の研究管理に国際的に頻繁に利用され、陸水学の発展を促進した。わが国では、この量関係を用い湖沼富栄養化環境基準を構築し、その基準に沿って今日まで湖沼環境管理が進められている。Sakamoto (1966) による植物プランクトンと N,P 量関係の知見は、50 年前の湖沼環境を反映したものであり、地球温暖化が急速に進みつつある現代の湖沼にどれ程適用できるか懸念がある。この懸念から、演者は、地方自治体の湖沼水質観測結果資料を用い、温暖化影響の検討を進めている。本報告では、温暖化による水温上昇の TN-Chl, TP-Chl 関係への影響について、検討結果を報告する。

2. 検討資料。

主に滋賀県環境白書資料編の琵琶湖水質観測結果を用い、比較に長野県環境部と茨城県環境部の公共用水域水質測定結果を用いた。

3. 結果。

植物プランクトンと N,P との量関係への温暖化影響を調べるため、温暖化が顕著になった最近 10 年間の琵琶湖定期観測結果から作った早春(4, 5, 6, 7 月)の TN-Chl, TP-Chl 関係(図 1)を、50 前の Sakamoto (1966) と比較すると、琵琶湖では TN に対する Chl 量が顕著に低いが、TP に対しては Chl が有意義に高く、諏訪湖でも同様な傾向が見られる。植物プランクトンの量変動は、一次生産による増殖

と被捕食・分解・沈降による消費のバランスで維持され、温暖化による水温上昇と密度成層の発達は、これらバランスに働き、植物量変動をもたらすと考えられる。この理解から、水温、密度成層(それに係る水温差)と、TP レベルからの期待 Chl 量と観測 Chl 量の比を温暖化効果 Chl 指数として検討したところ、特に水温と有意な関係(図 2)が見られた。近年、琵琶湖では温暖化進行に伴い、小型ランソウの占める割合が増えつつある。本研究は、温暖化が植物プランクトンバイオマスにも顕著な影響あることを示している。今後の更なる研究が必要である。

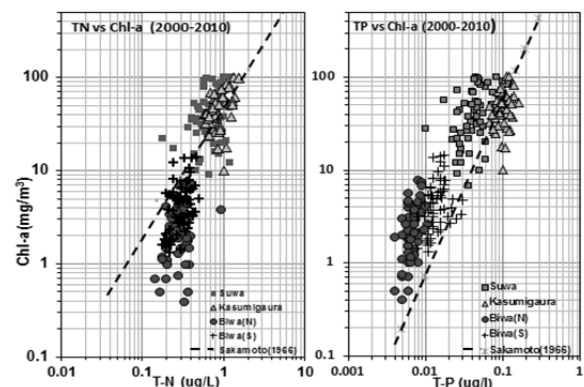


図 1. 4 湖沼の初夏表層水の TN, TP-Chl-a 関係。点線は Sakamoto (1966) の量関係を示す。

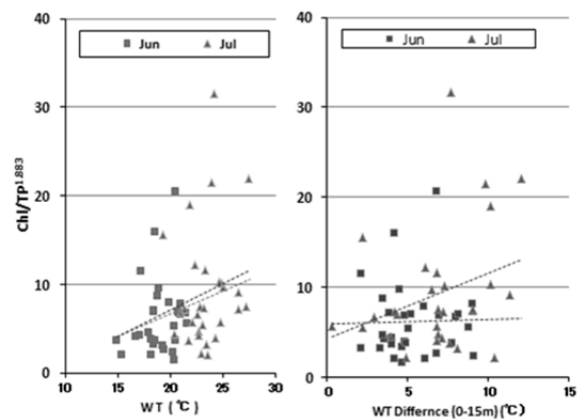


図 2. 琵琶湖北湖今津沖における 1980 年以後の 6 月と 7 月の表層水の温暖化効果 Chl 指数の表層水温(左)、0~15m 層の水温差(右)に対する関係。

3C01

Web 公開不希望

北澤大輔（東京大）

はじめに

深水湖における全循環の発生は、表層水温と底層水温の変動に依存する。近年、気候変動によって、湖の水温が上昇傾向にあるが、表層水温と底層水温の上昇率が同じであれば、全循環が毎年発生する。一方、底層水温の上昇が表層水温の上昇に追いつかない場合は、全循環が停止し、底層水の貧酸素化等の問題が発生する。日本の代表的な深水湖である琵琶湖では、成層期の底層水温の上昇率が大きく、冬季に全循環が発生するのに対し、池田湖では、底層水温の上昇率が表層水温の上昇率よりも小さく、全循環が停止する年が多発している。

本研究では、底層水温の変動に着目し、琵琶湖と池田湖を対象として、物理場の数値シミュレーションを実施する。特に、表層から底層への熱輸送に着目した解析を行う。

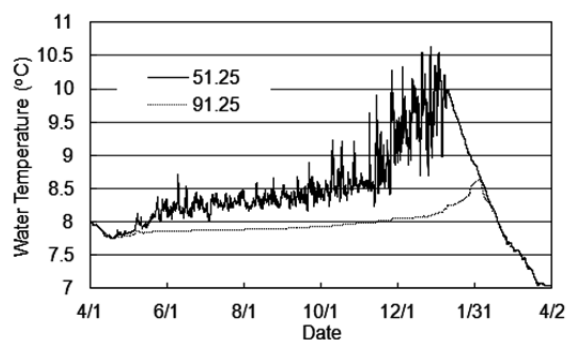
流れ場モデル

流れ場モデルの基礎方程式は、ブジネスク近似と静水圧近似を仮定した運動方程式、連続の式、水温の移流・拡散方程式、状態方程式である。琵琶湖と池田湖を水平方向に 500m、鉛直方向に 2.5m の格子で分割し、基礎方程式を有限差分法により解いた。

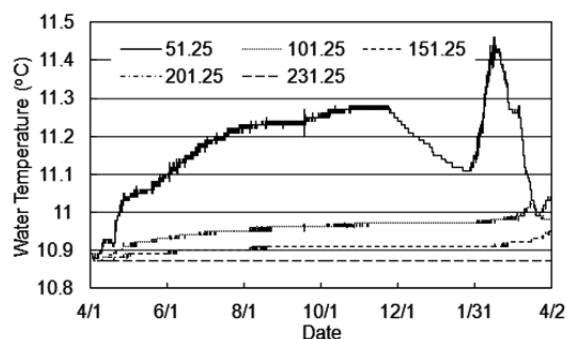
計算対象期間は、2007年4月1日から2008年3月31日とした。初期条件を設定するために、2006年4月1日から2007年3月31日までの助走計算を行った。境界条件として、湖面での運動量フラックスと熱フラックスを推定するために、彦根気象台と枕崎気象台、指宿アメダスの気象計測データを用いた。琵琶湖では、25個の流入河川と2つの流出河川、池田湖では4個の流入河川と1つの流出河川を考慮した。

計算結果と考察

計算結果の一例として、琵琶湖と池田湖の最深部地点付近における水温の変動を示す (Fig.1)。琵琶湖の水面下 51.25m では、成層期に 7.8°C から 8.5°C



(a) 琵琶湖



(b) 池田湖

Fig.1 : 琵琶湖と池田湖の最深部付近の地点における水温変動の比較

近傍まで上昇した後、鉛直方向に混合した。水面下 91.25m においても、7.8°C から 8.1°C 付近まで上昇した後、表層水温と混合した。一方、池田湖では、同じ鉛直位置で比較した場合、水温の上昇率が低かった。水面下 51.25m では、10.9°C から 11.3°C 付近まで、約 0.4°C 上昇したが、水面下 101.25m より下方では、水温の上昇は 0.1°C 以下であった。気候変動による湖沼の表層水温上昇率は、一般的に 0.03°C 程度 (100 年間で 3°C 程度上昇の場合) であるため、これよりも水温上昇率が低い層は、冬季に表層と混合しにくい状況が発生する。琵琶湖と池田湖とで深層水温の上昇率に違いが発生する原因としては、湖の水平スケールや湖底の傾斜に伴う内部波などの物理現象の違いや、気象条件の違いなどが挙げられ、これらの影響について解析を行った。

*井上徹教（港空研），中村由行（横国大）

1. はじめに

水域のリン循環を考える上で、堆積物からのリンの溶出は最も重要な過程の一つである。本稿では、直上水流速の急激な変動に対するリン溶出速度の短期的な応答について、数値実験により検討した内容について報告する。

2. 材料と方法

本モデルでは、拡散過程により酸素が直上水から堆積物へと供給され、堆積物中での生化学的な反応により消費される。間隙水中のリンは堆積物粒子からの脱着により供給され、拡散により直上水へと輸送される。堆積物中の好気層においては二価鉄の非生物学的な酸化による水酸化鉄の生成がおけると同時に、リンがそれに吸着するものと仮定している。上述の拡散や生化学的過程は酸素、リン、二価鉄に関する物質収支式中において、以下のように表現される（Inoue and Nakamura 2012）。

$$\phi \frac{\partial C_{O_2}}{\partial t} = \phi D_{zO} \frac{\partial^2 C_{O_2}}{\partial z^2} - \frac{1}{4} \phi k_{OF} C_O C_F - k_B \quad (1)$$

$$\phi \frac{\partial C_P}{\partial t} = \phi D_{zP} \frac{\partial^2 C_P}{\partial z^2} - \alpha k_{OF} C_O C_F - k_{ad} C_P - k_{de} \{C_P - C_P(-\infty)\} \quad (2)$$

$$\phi \frac{\partial C_F}{\partial t} = \phi D_{zF} \frac{\partial^2 C_F}{\partial z^2} - \phi k_{OF} C_O C_F - \frac{1}{\alpha} k_{de} \{C_P - C_P(-\infty)\} \quad (3)$$

ここで、 C_{O_2} 、 C_P 、 C_F はそれぞれ酸素、リン、二価鉄の濃度、 D_{zO} 、 D_{zP} 、 D_{zF} はそれぞれ酸素、リン、二価鉄の拡散係数、 z は上向きを正とした水・堆積物界面からの鉛直方向の距離、 ϕ は間隙率、 k_{OF} は二価鉄の酸化速度定数、 k_B は生物学的酸素消費速度定数、 α はリン脱着の際の間隙水中でのリンと二価鉄との濃度増加比、 k_{ad} はリン吸着速度定数、 k_{de} はリン脱着速度定数、 $C_P(-\infty)$ は $z=-\infty$ における間隙水中でのリン濃度を表す。

3. 結果と考察

流速のステップ的な増加に対する、水・堆積物界面近傍におけるリン鉛直分布の応答は、上述の非定常数理モデルにより計算された。図-1は流速が 1.7 cm s^{-1} から 5.0 cm s^{-1} へ急増した場合のリン鉛直分布の応答の様子を示したものである。これらは平均流速が 1.7 cm s^{-1} の場合の定常解を初期条件として用い、平均流速が 5.0 cm s^{-1} の条件下での非定常計算を行った結果である。図-1から、水中のリン濃度分布は5分以内に準定常的な分布に達するのに対し、堆積物中のリン濃度分布が準定常的な分布に達するには2.5時間程度要することがわかる。これは水中での拡散に関する時間スケールよりも堆積物中における生化学的な反応に関する時間スケールの方が大きいためである（Inoue et al. 2000）。

図-2に水・堆積物界面（ $z=0 \text{ mm}$ ）および堆積物直上

（ $z=10 \text{ mm}$ ）における拡散フラックスの時間変化の様子を示す。水・堆積物界面（ $z=0 \text{ mm}$ ）における値は比較的穏やかな変動を示すのに対し、直上（ $z=10 \text{ mm}$ ）のフラックスは流速変化後一時的に非常に大きな値をとることがわかる。図-1は流速の増加に伴い拡散境界層厚さが減少することも示しており、この現象は一般的にみられるものである。このことから、流速増加前に拡散境界層内に含まれていたリンは「流速の増加」＝「拡散境界層厚さの減少」に伴い上側の水中へと輸送され、これが溶出フラックスの急増の原因であることが示唆される。

参考文献

- 1) Inoue, T. and Y. Nakamura (2012). "Response of benthic soluble reactive phosphorus transfer rates to step changes in flow velocity." *Journal of Soils and Sediments* 12(10): 1559-1567.
- 2) Inoue, T., Y. Nakamura and Y. Adachi (2000). "Non-steady variations of SOD and phosphate release rate due to changes in the quality of the overlying water." *Water Science and Technology* 42(3-4): 265-272.

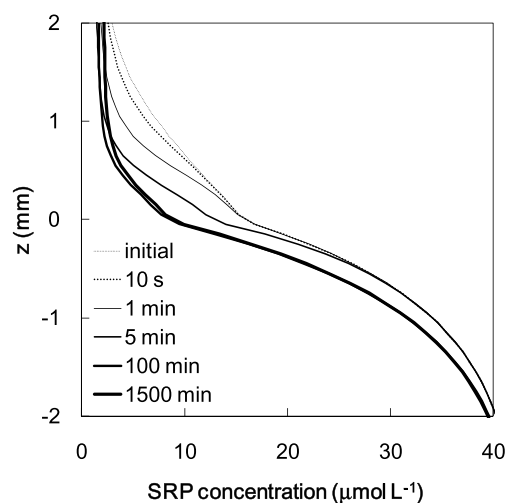


図-1 流速変化に伴うSRP鉛直分布の応答

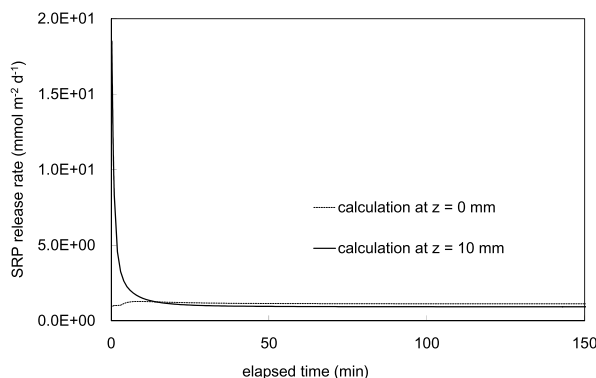


図-2 流速変化後のフラックスの時間変化

*Jeon Bong-seok, 韓 智仙, 朴 虎東(信州大・理)

1. はじめに

湖沼の富栄養化によって藍藻類の大増殖現象(いわゆるアオコ)が発生し、その細胞が死んだ後湖底に沈んでバクテリアにより分解される。バクテリアは分解の際に酸素を消費するため湖底は嫌氣的になり、リンが溶出され湖沼は再びアオコ状態が継続される悪循環に陥る。

水電解方法は、陽極から酸素と共に活性塩素・酸素種が発生し、活性塩素・酸素種によって藍藻細胞やその毒素の除去が可能である。加えて、水電解方法により栄養塩類の除去もできたと報告された (Jeon *et al.*, 2015)。

本研究では、水電解用の電極と振動発生プロペラ(W-motion)を用いた装置を利用し、アオコが発生する池の水質改善について試みた実験結果を報告する。

2. 材料と方法

千鹿頭池は $6 \times 10^4 \text{m}^3$ の規模で、富栄養化された池である。アオコが発生した8月21日から10月19日まで長野県松本市の千鹿頭池で実験を行った。水電解法を用いた浄化装置は4つのいかだと2つの振動発生プロペラ(W-motion)、2つの電極セットと電源で構成されている。電極セット1の陽極は7つのPt/Ti電極と7つの鉄電極で、陰極は14つのステンレススチール電極で構成されており、電極セット2は14つのPt/Ti電極と14つのステンレススチール電極で構成された。全ての電極の大きさは $50 \times 200 \text{mm}$ であり、電極の間隔は5mmである。電極セットはそれぞれ0.9と1.38mの水深に設置され、W-motionは0.4と1.8mの水深に設置された。

実験中に千鹿頭池の4つの地点(St.1; 流入口, St.2; 流入口と湖心の間, St.3; 湖心, 装置の設置された所, St.4; 流出口)から溶存酸素濃度、水温、pH、電気伝導度、窒素とリンの濃度変化を調べた。また、装置の深さによりDOメーターを設置し溶存酸素を測定した。

3. 結果と考察

図1に千鹿頭池におけるSt.3地点(湖心、装置の設置された所)の時間によるDOの鉛直分布を示した。装置が設置されてなかった2008年の場合、表層のDO濃度は $10 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ 以上に維持されたが、湖底から数十cmの水深でDO濃度が極めて低くなる貧酸素層(0から $3 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$)の形成が見られた。一方、装置を設置した2009年の場合、表層部のDO濃度は6から $11 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ で、深層部の貧酸素水塊も解消された。

深層部のDO濃度が高くなった理由はW-motionにより陽極から発生した酸素が底泥まで運ばれたためだと考えられる。

底泥まで酸素を運ぶことにより嫌氣的な湖底を好氣的な環境に変換させ、リンの溶出を止めることも期待される。

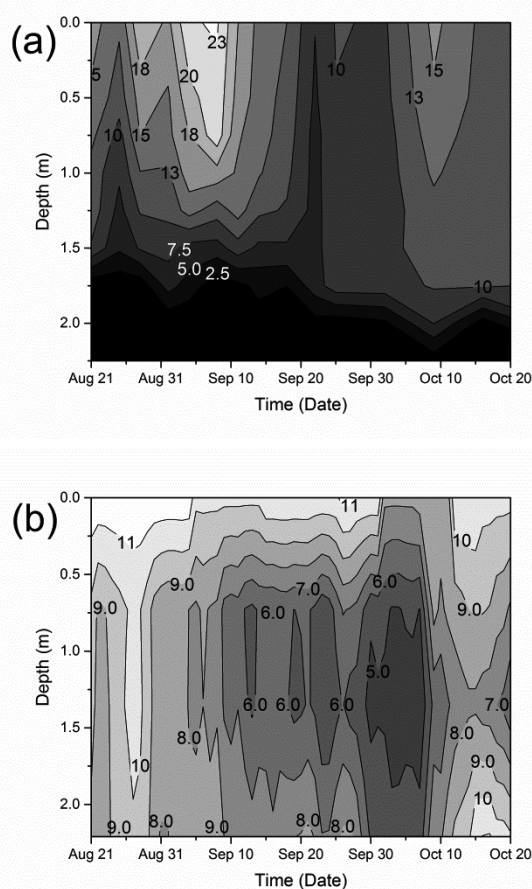


図1. 千鹿頭池におけるSt.3地点(湖心、装置の設置された所)の時間によるDOの鉛直分布。(a) 2008年、(b) 2009年。DOの単位は $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ 。

*布施泰朗¹, 櫻木俊太², 津田 瞳², 岡本高弘³, 奥居紳也³, 早川和秀³,
柄谷 肇⁴, 山田 悦¹

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

1. はじめに

近年、琵琶湖では、温暖化の影響による成層強化などにより、湖底の低酸素化の進行が懸念されている。1987年と2002年に今津沖中央定点(St.17B)の湖底直上において溶存酸素濃度0.9mg/Lを記録し、2006年には例年1月~2月に観測される全循環が起こらず、3月末にかろうじて深底部の溶存酸素が回復するなどの事象が発生している。低酸素化の影響については多く研究されているが、有機成分の動態についての報告例は少ない。本研究では底質-湖水間における有機態炭素の動態を明らかにすることを目的とし、低酸素化した湖底環境を再現し、直上水及び底質中化学成分の解析を行った。

2. 材料と方法

底質試料は2014年10月に滋賀県の環境基準点である琵琶湖北湖今津沖中央(St.17B、水深約90m)で不攪乱採泥器及び自作の浮泥捕集システム(コア捕集後上部に蓋をするシステム)を用いて堆積層別に採取し、湖底環境のシミュレーション実験(152日間)に用いた。再現実験ではpH、水温、溶存酸素量を制御し、直上水(St.17B 85m 濾過水2.2L)から25mLずつ1-2週間ごとに採取して化学成分及び蛍光特性について分析した。底質コアは採取した直後と再現実験終了後の試料を堆積層別(Layer 1: 0-1 cm, Layer 2: 1-2 cm, Layer 3: 2-4 cm, Layer 4: 4-10 cm, Layer 5: 10-20 cm)に分離し、それぞれ底質試料及び間隙水中の化学成分(TOC分析、蛍光X線分析など)と蛍光特性(3D-EEM)についてシミュレーション実験前後と比較解析した。さらに、底質乾燥試料を前処理なしでPy-GC/MSを用いて熱分解生成物の挙動について解析を行い、国立環境研究所提供の底質標準試料と比較して相対評価した。

3. 結果と考察

DO値を10mg/Lから0mg/Lに徐々に下げ、直上水中化学成分及び蛍光特性を分析した結果をFig. 1に示す。MnはDO値が低下すると溶出が始まり、152日後には48mg/Lまで増加しほぼ一定となった

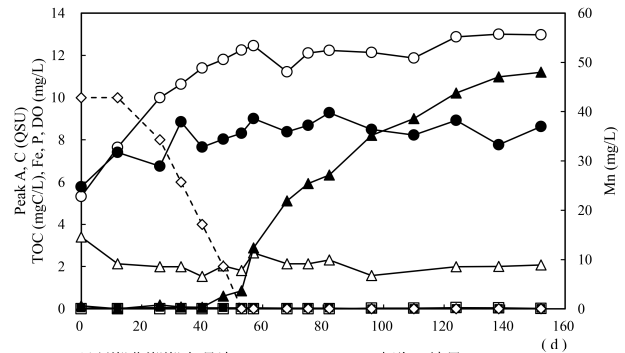


Fig. 1 琵琶湖北湖湖底環境シミュレーション実験の結果
○ Peak A : フルボ酸様蛍光強度, ● Peak C : タンパク質様蛍光強度
△ DOC, ▲ Mn, □ Fe, ■ P, ◇ DO

が、Feの溶出は確認できなかった。P濃度は実験開始から26日目まで増加し、DO値の低下に伴い減少した。直上水のDOC値は約2mgC/L前後の値で推移し、フルボ酸様およびタンパク質様蛍光物質の蛍光強度(Peak A, C)はDO濃度の低下と共にそれぞれ12 QSU、9 QSUに上昇した。シミュレーション実験後、Layer 1-3の間隙水中ピークAの蛍光強度は実験前より上昇したが下層で減少し、Peak Cは全ての層で低下した。底質はフルボ酸様蛍光物質の定常的な供給源である可能性が示唆された。また、Py-GC/MSで堆積層別に相対評価可能であった熱分解生成物(脂質成分を除く)の生成量をシミュレーション実験前後で比較した結果を増減率としてFig. 2に示した。Xylene, Pyridine及びMethylpyrroleは下層で増加する傾向を示し、BenzeneとTolueneはすべての層で63-91%に減少するなど、底質中の有機態炭素の変化を評価できることが確認できた。

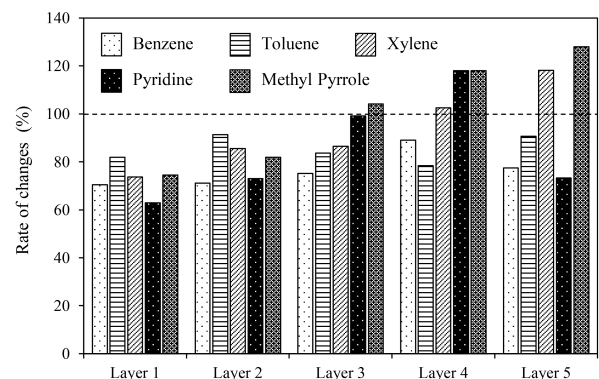


Fig. 2 Py-GC/MSを用いた湖底環境シミュレーション実験(152日間)前後の堆積層別底質試料を600℃で熱分解したときの熱分解生成物生成量増減率

*鈴木 舞 (島根大・院・総理工), 管原庄吾 (島根大・院・総理工)
勢村 均 (島根県水技セ), 神谷 宏 (島根県保環研)
江川美千子 (島根大・院・総理工), 清家 泰 (島根大・院・総理工)

1. はじめに

二枚貝類は貧酸素等のストレス環境に曝されると、周辺環境が回復するまで貝殻を閉じて環境の回復を待つ。その際、エネルギー供給のために解糖系が嫌気代謝になり、貝殻内にコハク酸、酢酸、プロピオン酸などの有機酸が蓄積する。この有機酸は硫酸還元細菌の餌となるため、硫酸還元細菌がヤマトシジミの代謝で蓄積した有機酸を用いて硫化水素を生成する可能性が十分にありうる。しかし、二枚貝の貝殻内の硫化水素の定量は試料液量が微量である為、メチレンブルー法での定量は困難である。

そこで、本研究では Cline (1969) の手法を基に試料液量が数 100 μL でも硫化水素を定量する手法を開発し、本仮説の検証を行った。また、新規に開発した手法を用いて、室内実験において貧酸素及び青潮を想定した硫化水素曝露試験を行い、貝殻内外の硫化水素を定量した。

2. 材料と方法

・標準定量操作

ピペットマンを用いて試料を 200 μL 採取し低濃度用発色試薬 0.2 mL を入れた試験管の底までピペットを差し込み、ゆっくりと試料を押し出した。その後、攪拌せずに 15 分間放置し 0.1 M HCl 5 mL を添加して 1 cm のマイクロセルを用いて 2 時間以内に 667 nm における吸光度を測定した。

・検証実験

< 供試貝 >

実験に使用したヤマトシジミ(殻長 20 mm \pm 1 mm) は 2014 年 11 月初旬に宍道湖東部で採取し、島根県水産技術センター内で 4 日間コンディショニングを行ったものを用いた。

< 飼育水の調整及び飼育条件 >

日本海の海水(35 psu)をガラスろ紙(ADVANTEC 社製 GS-25)を用いてろ過し、蒸留水を用いて約 5 psu に希釈した。その希釈海水に窒素ガスを通気して溶存酸素を追い出し貧酸素水とした。硫化水素の系は、

その窒素置換した希釈海水をガラスシリンジに取り、硫化水素標準液を添加して 30 mgS/L とした。その後 0.3 M HCl を用いて貧酸素・硫化水素の系の pH を 8.0 ± 0.1 になるように調整した。その飼育水を 3 個体のヤマトシジミを入れた別の 100 mL のガラスシリンジに 80 mL 添加し、気相を抜いてゴム栓で密栓した。その後、室温が 25°C の恒温室内で、水槽にガラスシリンジを入れ、遮光した。このシリンジを複数本用意し、24 時間毎に 1 本無作為に選択し、飼育水及び貝殻内部の硫化水素の測定を行った。選択されなかったものは、24 時間毎に水交換を行った。

3. 結果と考察

ヤマトシジミ 1 個体から採れる体腔液の液量は、成貝(殻長約 20 mm)ですら数 100 μL 程度である。そこで試料量を 200 μL とし、標準定量操作により本法の定量範囲を検討した結果、0.2~50 mgS/L の範囲で直線性の良い検量線が得られ、その決定係数(R^2)は 0.992 であった。

ヤマトシジミを貧酸素水中で飼育した結果、時間経過と共に貝殻内の硫化水素濃度が上昇し 1.4~4.2 mgS/L 検出された。また、死亡個体確認後に飼育水(貝殻外)中にも硫化水素が 1.0~3.7 mgS/L 検出された。

一方、硫化水素を添加した系(30 mgS/L)では、少なくとも 1 時間は貝殻を閉じて外部からの硫化水素の浸入を防いだが、6 時間後には貝殻内に硫化水素が浸入していることが分かった。本研究の結果から、宍道湖におけるヤマトシジミの斃死要因として単なる貧酸素による死亡ではなく、貧酸素+貝殻内部の硫化水素生成による死亡という新たな死因が浮上した。

*千賀有希子, 根立竜馬, 盛合哲史, 山内翔平, 和田憲昭, 近藤拓未, 宮田 勉, 森 朱音, 佐藤 翼, 成岡知佳, 矢部詩織 (東邦大・理), 北沢俊幸, 李盛源, 白木洋平 (立正大学・地球環境)

1. はじめに

谷津干潟は、東京湾の埋め立てによって取り残された約 40 ha の干潟である。現在でも干潟の周りは住宅化・都市化が進んでおり、そのほとんどがコンクリートで囲まれている。潮汐による水の交換は 2 本の水路を通じてのみ行われ、その水域環境は閉鎖的である。1988 年に国の鳥獣保護区、1993 年にはラムサール条約登録湿地に登録され、干潟を保護する活動が積極的に行われてきた。しかしながら、近年ではグリーントイド現象が頻発している。グリーントイドを引き起す海藻類アオサ属は、異常増殖することによって堆積物を被覆し酸素の供給を遮蔽する。堆積物では還元環境が発達し、貝など水棲生物の斃死が起こっている。これら水棲生物の斃死やアオサの枯死は景観の悪化を伴う他、悪臭やさらなる還元物質の生成などを誘発し問題となっている。衛生的な観点からも環境の悪化が危惧されている。

本講演では、2012 年 6 月から 2015 年 8 月にかけて月に 1 回の頻度で測定した水質データおよびアオサ体の全炭素含有率 (TC)、全窒素含有率 (TN)、全リン含有率 (TP) の変化について報告する。

2. 方法

谷津干潟におけるサンプリングおよび調査は、大潮あるいは中潮の干潮時に行った。

水質：栄養塩と DOM 谷津干潟中心部の表層の堆積物を採泥し、遠心分離により間隙水を回収した。海水は干潮時にできるタイダルクリークから採水した。間隙水と海水はろ過後、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} を比色定量した。さらに溶存有機物成分を解析するために、三次元励起蛍光スペクトル-PARAFAC 法を用いた (Aqualog, Horiba)。この方法により、水サンプルの発光状態をある範囲の励起波長と蛍光波長において連続的に蛍光強度を測定することで網羅的に知ることができ、さらに多変量解析 PARAFAC によって重なり合ったピークを分解し、蛍光特性を持った個々の DOM 成分を検出できる。

アオサの N, P 量 2014 年 4 月から 12 月における緑色体および枯死した白色体のアオサの TC, TN を有機元素分析装置 (Micro Corder JM10, J-Science)

で、TP を大山ら (1991) の方法で測定した。

3. 結果と考察

谷津干潟におけるアオサの増殖は主に 2012 年 6 ~ 7 月, 9 ~ 10 月, 2013 年 4 ~ 5 月, 10 ~ 11 月, 2014 年 4 ~ 6 月, 9 ~ 10 月, 2015 年 5 ~ 6 月にみられた。その他の月はアオサの枯死あるいは腐敗が進んでおり、特に夏期のアオサと水棲生物の腐敗による悪臭はひどかった。

海水中の NH_4^+ 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 PO_4^{3-} 濃度は、それぞれ $\text{nd} \sim 4610 \mu\text{gN l}^{-1}$ 、 $\text{nd} \sim 423 \mu\text{gN l}^{-1}$ 、 $\text{nd} \sim 52 \mu\text{gN l}^{-1}$ 、 $5 \sim 101 \mu\text{gP l}^{-1}$ の範囲で変動した。吉田 (1983) の海水域区分によると谷津干潟は富栄養域あるいは過栄養域に区分された。アオサの増殖と枯死に伴う栄養塩の変動ははっきりみられなかったが、間隙水中の NH_4^+ と PO_4^{3-} 濃度は統計的に正の相関を示したことからアオサ枯死による分解・溶出が推察された。

海水、間隙水における DOM は 5 つの成分が検出された：腐植様 (Ex/Em = 312 nm/405 nm)、微生物起源様 (255 (363)/457)、トリプトファン様 (282/339)、チロシン様 (276/304)、腐植酸様物質 (408/504)。全体を通して海水中の DOM 成分のうち腐植様、微生物起源様、トリプトファン様物質の蛍光強度は他の成分と比べ高く、特に夏に高い傾向があった。一方、間隙水中においては、アオサや他の水棲生物の成長が始まる春期にトリプトファン様とチロシン様物質の蛍光強度が極端に高くなる月があった。

緑色体のアオサの TN は、平均 4.0% であったのに対し白色体は 4.5% であり、若干白色体の方が高かった。一方、TP については、緑色体が 0.20%、白色体が 0.14% と緑色体の方が高かった。また、C/N は緑色体および白色体にほとんど差がみられなかったが、C/P は白色体の方が高かった。これらのことより、アオサの枯死により窒素は溶脱しにくく、リンの方から溶脱すると推察された。この結果は異常増殖したアオサが枯死した際の栄養塩動態を理解する上で重要であると考えられる。

今後、グリーントイドが水質に与える影響を明らかにする上で、アオサの定量および東京湾から遡上する海水の水質を詳細に調べて行く必要がある。

*望月陽人, 細田耕, 杉山雅人 (京大院・人環)

1. はじめに

乾燥地域の内陸部には、塩湖と呼ばれる高い塩濃度を示す湖が存在する。塩湖は顕著な流出河川をもたないため、流入水中の溶存成分は湖水中に濃縮され、溶解度積に達した陽・陰イオンは析出する。この沈殿析出により、湖に流入する主要アルカリ土類金属 (Ca^{2+} , Mg^{2+}) と炭酸化学種 (HCO_3^- , CO_3^{2-}) のうち当量濃度合の大きいほうは濃縮され、他方が涸渇する。炭酸化学種が濃縮された塩湖では pH が 9~10 と高くなり、涸渇した塩湖では 5~7 と低くなるなど、水質も両者で大きく異なる^[1]。

本講演では、塩湖におけるアクチノイド (U, Th, Pu) ならびに微量アルカリ土類金属 (Sr, Ba, Ra) の分布と動態に関するこれまでの研究動向を、湖水中の炭酸化学種濃度と関連させて概説する。加えて、われわれが調査を行った塩湖、ワン湖 (トルコ)・ツァガン湖 (モンゴル) などでの結果も紹介する。

2. 塩湖湖水中の微量元素の分布と動態

(1) アクチノイド

U 濃度は炭酸化学種が濃縮された塩湖で顕著に高く、涸渇した塩湖では海洋よりも低い (表 1)。流入河川の濃度は同程度であるため、前者では U が湖水に濃縮され、後者では湖水から除去されている。炭酸化学種濃度が高い塩湖において、U は炭酸錯体 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ を形成して安定に溶存する。一方、炭酸化学種濃度の低い塩湖では炭酸錯体として溶存する U の割合が小さく、そのため溶存態濃度が低いと考えられる。

表 1. 塩湖とその流入河川および海洋での U 濃度 (nmol/L)

	湖水・海水	流入河川	文献
炭酸化学種 濃縮			
モノ湖 (アメリカ)	2,300	-	[2]
ワン湖 (トルコ)	390	6.8	[3]
ツァガン湖 (モンゴル)	290	-	[3]
炭酸化学種 涸渇			
死海 (イスラエルなど)	7.2	24	[4]
海洋	14	-	[5]

モノ湖 (アメリカ) では、Th と Pu も高濃度を示す^[2]。これら元素は、一般的な水圏ではそれぞれ $\text{Th}(\text{OH})_4$ 、 PuO_2 として固相へ移行するが、炭酸化学種濃度が高いモノ湖では炭酸ヒドロキシ錯体を形成して溶存する。

(2) 微量アルカリ土類金属

アクチノイドとは逆に、微量アルカリ土類金属は炭酸化学種が濃縮された塩湖において低濃度である (表 2)。これら元素が CaCO_3 に共沈除去され、また多量に溶存する CO_3^{2-} や SO_4^{2-} と沈殿を形成するためである。

一方、炭酸化学種が涸渇した塩湖の微量アルカリ土類金属濃度は極めて高い (表 2)。このような塩湖でも微量アルカリ土類金属は共沈や沈殿形成の影響を受ける^[6]。しかし、 CO_3^{2-} や SO_4^{2-} の濃度が Ca^{2+} との沈殿形成により低くなるので、微量アルカリ土類金属はこれら陰イオンとの沈殿形成によってはあまり除去されず、湖水に濃縮される。

表 2. 塩湖および海洋での微量アルカリ土類金属濃度

	Ba (nmol/L)	Ra (fmol/L)	文献
炭酸化学種 濃縮			
モノ湖	-	2.2	[2]
ツァガン湖	44	-	[7]
炭酸化学種 涸渇			
死海	33,000	270	[6], [8]
海洋	90	0.18	[9], [10]

3. 参考文献

- [1] 望月ら(2014), 陸水研究, **1**, 49-63.
- [2] Simpson et al. (1982), *Science*, **216**, 512-514.
- [3] 望月(未発表).
- [4] Gavrieli and Halicz (2002), *Israel Jour. Earth Sci.*, **51**, 243-251.
- [5] Ku et al. (1977), *Deep-Sea Res.*, **24**, 1005-1017.
- [6] Chan and Chung (1987), *Earth Planet. Sci. Lett.*, **85**, 41-53.
- [7] 村田(2011), 京都大学大学院人間・環境学研究科修士論文.
- [8] Möller et al. (2007), *Chem. Geol.*, **239**, 27-49.
- [9] 藤永(2005), 京都大学学術出版会.
- [10] Bruland et al. (1974), *Jour. Geophys. Res.*, **79**, 3083-3086.

3C09

Web 公開不希望

種・個体レベルから個体群・群集レベルへ

*坂本正樹（富山県立大・工），河鎮龍（富山県立大・工）
真野浩行（土木研・水環境），片岡知里（東洋大院・生命科学）
柏田 祥策（東洋大・生命科学）

1. はじめに

化学物質による生態系への影響評価は種レベルの毒性試験データから算出される指標値に基づいて行われている。一方で，群集レベルの実験結果はほとんど活用されていない。マイクロコズムやメソコズムなどの試験法は OECD, US EPA 等が公表しているが，構成種の多さや，種レベル試験と直接比較できる群集レベルのエンドポイント（指標）が定められていない等の問題がある。また，生物間相互作用などの影響により，種レベル試験と異なる結果が得られることも多い。そのため，これらを考慮しながらも現行の指標値と直接比較可能な群集レベルでの指標を定める必要がある。

本研究では，「既存の毒性試験結果と直接比較できる」ことを重視した単純なマイクロコズムを構築し，殺虫剤，除草剤，銀ナノ粒子の毒性について種レベルでの指標値との比較を行った。

2. 材料と方法

種レベル試験と結果を直接比較するため，標準試験生物である *Pseudokirchneriella subcapitata*（ムレミカヅキモ）と *Daphnia magna*（オオミジンコ）をマイクロコズムの構成種とした。ムレミカヅキモとオオミジンコの初期密度をそれぞれ 0.5 mg C L^{-1} ， 20 inds. L^{-1} とし，COMBO 培地を用いることで両種が増殖できるようにした。

本研究では殺虫剤（フェニトロチオン），除草剤（シメトリン），銀ナノ粒子（銀ナノコロイド）を試験物質とした。ムレミカヅキモの 72-h EC_{50} （増殖率が 1/2 になる濃度）とオオミジンコの 48-h EC_{50} （1/2 が遊泳できなくなる濃度）の低い方の値を最高濃度とし，30 日間のマイクロコズム試験を行った。

群集レベルでのエンドポイントは PRC（principal response curve）の canonical coefficient（ムレミカヅキモとオオミジンコの個体群動態から計算）とし，

ダネット検定によって対照区との違いを調べた。

3. 結果

マイクロコズム試験においては，フェニトロチオン $0.02 \mu\text{g L}^{-1}$ （オオミジンコの 48-h EC_{50} ）に曝してもムレミカヅキモとオオミジンコの個体群動態（PRC の canonical coefficient）に対する有意な影響がなかった。同様に，シメトリン $5 \mu\text{g L}^{-1}$ （ムレミカヅキモの 72-h EC_{50} ）も，マイクロコズム試験では有意な影響が検出されなかった。

銀ナノコロイドについては $15 \mu\text{g L}^{-1}$ （ムレミカヅキモへの 72-h EC_{10} やオオミジンコの内的自然増加率に対する EC_{10} と同程度）で有意な個体群動態への影響が検出された。また，毒性の主要因である銀イオン濃度は試験期間中ほとんど変化しなかった。

4. 考察

マイクロコズム試験ではフェニトロチオンとシメトリンによる有意な影響が検出されなかった。これは，個体群動態に対する生物間相互作用と試験物質の毒性影響の強さが相対的に異なるためである。例えば，シメトリン曝露では $5 \mu\text{g L}^{-1}$ でムレミカヅキモの増殖率が 1/2 になる。しかし，オオミジンコによる摂食効果は相対的に強く，数日で細胞密度が 1/10 以下になった。そのため，オオミジンコの存在下ではシメトリンの毒性による両者の個体群動態への影響が検出されにくくなったと考えられる。

銀ナノコロイドについては低濃度でも有意な影響が検出された。これは，銀ナノコロイドに対するムレミカヅキモとオオミジンコの感受性が同程度で，両者が同じように直接的な毒性影響を受けたためだと考えられる。

このように，化学物質の作用パターン（どの生物に強く作用するか）の違いによって，種レベルと群集レベルで結果が異なることがわかった。