

琵琶湖の水深 90m 地点での深層部の溶存酸素濃度の低下と水質について

*青木 眞一, 南 真紀, 岡本 高弘, 焦 春萌 (滋賀県琵琶湖環境科学センター)

1. はじめに

琵琶湖北湖の深層部では、富栄養化や地球温暖化が原因と指摘される溶存酸素濃度の低下が観測されている。演者らは 2010 年の本学会で、琵琶湖の水深 90m の地点で行った 2009 年度の調査の結果から、台風通過の強風の影響による深層部での溶存酸素濃度の一部回復などについて報告した。溶存酸素濃度の低下は、重金属や栄養塩類の底泥からの溶出を引き起こす可能性があり、水質への影響を把握する必要がある。ここでは琵琶湖の水深 90m の地点で行った水質調査の結果から、深層部での溶存酸素濃度の低下や回復、平面分布の時間変化、さらに湖底直上 0.5m の水質の動態などについて報告する。

2. 方法

水質調査は、琵琶湖第一湖盆の水深約 90m の今津沖中央定点 (C 点) で行った。測定水深は、0.5, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 85m および湖底直上 1m の 11 水深とした。測定は月 2 回の頻度で実施した。水温と溶存酸素濃度は、環境システム製ケーブル式のクオンタ水質計を使用した。その他の水質項目は、バンドーン採水器で採水した。さらに自動採水器を湖底に設置し、月 4 回の頻度で湖底直上 0.5m の採水をし、同時に溶存酸素計を設置し連続測定した。水質分析は琵琶湖水を実験室に持ち帰り、JIS K0102 に準拠した方法等で測定した。

また水深 90m の平面分布は、C 点を含む等深線上の 6 地点と中央の水深の最深部(水深 92m)の 1 地点について、水温と溶存酸素濃度を月 1 ~ 2 回測定した。

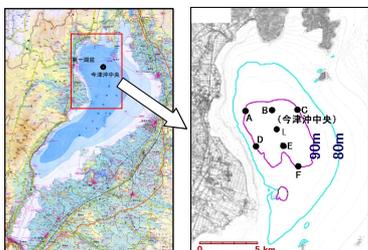


Fig.1 今津沖の調査地点

3. 結果と考察

C 点での湖底直上 1m の溶存酸素濃度の経月変化を Fig.2 に示す。夏季には温度成層の形成により、表水層と深水層の水は混合せず、表水層から深水層へ酸素は供給されなくなる。2011 年度の溶存酸素濃度は、過年度 10 年間の平均値程度で 4 月から 10 月まで低下し、11 月 8 日には一部回復がみられ、12 月 5 日には年度最低値の 3.2mg/L となった。2 月 6 日には表層から深層部までの湖水の鉛直混合による溶存酸素濃度の全層での回復が見られた。全層での回復の時期は例年並みの時期であった。

今津沖第一湖盆の水深 90m での溶存酸素濃度の平面分布の時間変化を Fig.3 に示す。2011 年度と過去 3 年を比較すると、C 点の湖底直上 1m の溶存酸素濃度の年度最低値が過去 30 年間での最低値の 0.5mg/L を示した 2008 年度に、2mg/L 未満が観測されたのは 10 月 14 日から 11 月 25 日と期間も長くその範囲も広がった。これに比べ 2011 年度に、2mg/L 未満は観測されなかった。

C 点でのマンガン濃度の時間変化を Fig.4 に示す。溶存酸素濃度が低くなった 10 月には、マンガン濃度が高くなり、しかもそのときの水深 85m、湖底直上 1m、湖底直上 0.5m を比較すると、湖底面に近くなるにしたがってマンガン濃度が高くなっていることがわかる。これはマンガンが湖底から溶出しているものと考えられる。

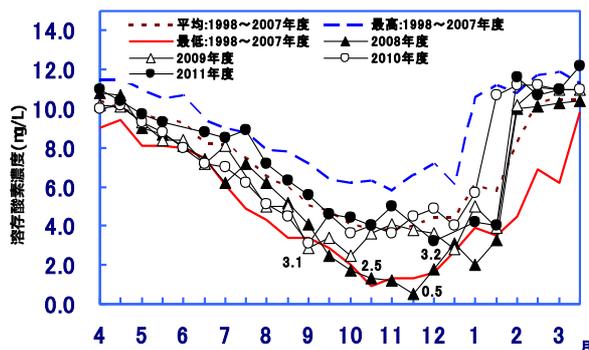


Fig.2 今津沖中央定点 (C 点) での湖底直上 1m の溶存酸素濃度の経月変化

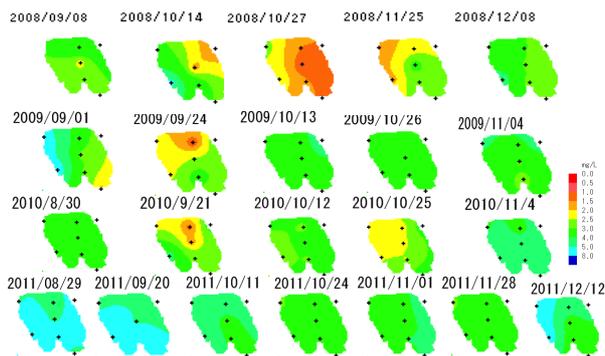


Fig.3 今津沖第一湖盆の水深 90m (湖底直上 1m) での溶存酸素濃度の平面分布の時間変化

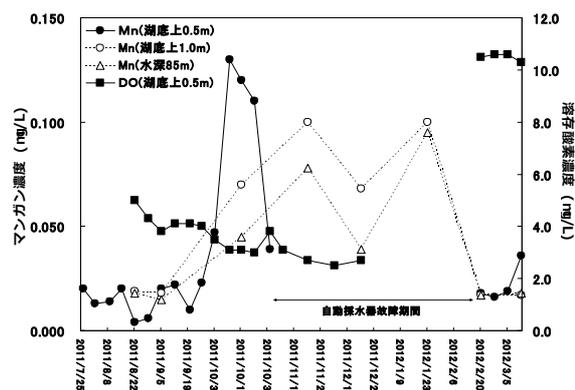


Fig.4 今津沖中央定点 (C 点) での湖底付近のマンガン濃度の時間変化

4. 参考文献

青木眞一ら (2010) 琵琶湖の水深 90m 地点での 2009 年度の深層部の溶存酸素濃度の低下について, 172, 日本陸水学会第 75 回大会講演要旨集

5. 謝辞 33 年間の継続した観測に関わられてきた多くの皆様の努力に感謝します。

琵琶湖における刺網への藻類等の付着条件

*大前信輔、森田尚、金辻宏明、藤原公一（滋賀県水産試験場）

1. はじめに

近年、琵琶湖北湖ではコアユ等を対象とした刺網への藻類等の付着現象が発生している。このため、漁労作業の重労働化等の漁業被害が生じており、漁業者からは原因解明と対策が望まれている。

これまでの研究により、網地には主に *Mougeotia* spp.や *Fragilaria crotonensis* といった植物プランクトンが付着することが明らかとなった。しかしこれらは以前から琵琶湖で普通にみられた種であることから、植物プランクトンの網地への付着を助長させる媒体物が存在する可能性があると考えられた。

そこで、本研究ではその媒体物の有無を実験的手法により調べた。

2. 材料と方法

材料は2012年7月17日に彦根市柳川地先で漁業者の操業網で得た付着物を用いた。付着物は現場で湖水を張った容器に洗い込み試験場に持ち帰った。

付着物 (SS=0.19mg/ml) は400×g、10分で遠心分離し、プランクトンを除去した上清を得た。2リットルビーカーに蒸留水で5倍希釈した上清1リットルを入れ、これに実験網（10cm×10cmの針金枠に22節の刺網地を固定して作成）を入れてスターラーで2時間、90rpmで攪拌したのち、網（以下、処理網）の一部を静かに切り取り、スライドグラスに処理網のスタンプ標本を作成し、PAS染色を行って多糖類付着の有無を確認した。

次に処理網を彦根市八坂地先（水深約5m）から揚水した湖水1リットルを入れた2リットルビーカーに処理網を入れ、スターラーで30分、90rpmで攪拌した。その後、網地に付着した植物プランクトンを検鏡し、細胞数や組成を調べた。対照には無処理の実験網（以下、無処理網）を用いて同様に調べた。

3. 結果および考察 決裁

処理網のスタンプ標本をPAS染色したところ、多糖類を示す付着物が確認された。このことから上清には多糖類が含まれ、処理網には多糖類が付着していることが確認された。

植物プランクトンの付着実験結果を図に示す。網地当たりの付着植物プランクトン細胞数を比較したところ、処理網は983cells/網地mg（乾重量）で無処理網より約3.3倍付着した。また、付着した植物プランクトンの組成は両網共に *Staurastrum dorsidentiferum* が優占した。しかし、処理網では無処理網に比べ *Mougeotia* spp.と *Fragilaria crotonensis* が多く付着した。

これらのことから、処理網に付着した多糖類は *Mougeotia* spp.や *Fragilaria crotonensis* 等の複数種の植物プランクトンの網地への付着を助長する1つの媒体物ではないかと考えられた。今後は多糖類の由来をつきとめる予定である。

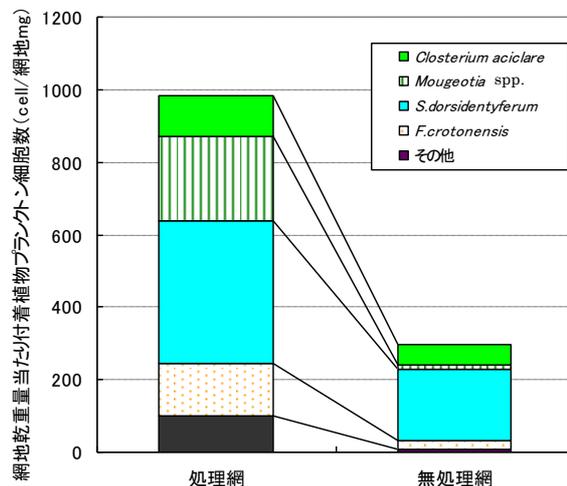


図 付着実験で得られた植物プランクトン組成

4. 謝辞

本研究を行うにあたって助言等いただいた滋賀県琵琶湖環境科学研究センターの諸氏に感謝する。

なお、本研究は環境省環境研究総合推進費（D-1004）の支援により実施された。

三方湖における植物プランクトン増殖を支える 栄養塩の起源とその季節変化

*杉本亮（福井県大・海洋生物資源）、佐藤専寿（福井県大大学院・生物資源）

吉田丈人（東大・総合文化）、富永修（福井県大・海洋生物資源）

1. はじめに

三方五湖の最も奥部に位置する三方湖では、ヒシの異常繁茂など富栄養化と関わる様々な現象が未だに大きな環境問題となっている。三方湖の富栄養化の要因となっている栄養塩の起源は、集水域から河川を通して供給されるものだけではなく、隣接する水月湖や湖内で再生産されるものも存在する。栄養塩の流入負荷管理を行う上でも、これら起源の異なる栄養塩が、基礎生産過程に及ぼす影響を明らかにすることは重要な課題となっている。本研究では、湖内で増殖する溶存無機態窒素（DIN）ならびに植物プランクトンの窒素安定同位体比（ $\delta^{15}\text{N}$ ）を指標とし、植物プランクトン増殖を支える栄養塩の起源とその季節による違いを評価した。

2. 材料と方法

2009年8月から2010年11月の期間中に計7回の観測を行なった。湖内9測点ならびに湖口と流入河川（ハス川）において、多項目水質計による水温・塩分・溶存酸素（DO）濃度・pHの測定および採水を行った。採水試料は栄養塩の濃度（ NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} ）と $\delta^{15}\text{N}$ （ $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$ ）、植物プランクトンならびに懸濁態有機窒素の $\delta^{15}\text{N}$ （ $\delta^{15}\text{N}_{\text{PHY}}$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{PN}}$ ）分析に供した。また、系外（河川と水月湖）から供給されるDIN負荷量とその $\delta^{15}\text{N}_{\text{DIN}}$ は、実測データと河川流量、塩分の保存式から見積もった。

3. 結果と考察

植物プランクトンの $\delta^{15}\text{N}$ は年平均的には河川起源のDIN（ NO_3^- と NH_4^+ ）のフラックスで重み付けした平均値）とほぼ同じ値を示すが、春季から夏季にかけて低下し、秋季に高くなるという季節変化も認められた。この $\delta^{15}\text{N}_{\text{PHY}}$ の季節変化は、河川から供給されるDINでは説明できず、それ以外のDINソースによって主に説明される。

春季から夏季のDO濃度の低下に伴い NO_3^- の $\delta^{15}\text{N}$ は低下する。 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ が最も低かった2010年7月はDO濃度ならびに NO_3^- 濃度と明瞭な関係性が認められ、 $\delta^{15}\text{N}$ の低い NO_3^- は主に硝化反応の同位体効果を反映していることが分かる。そのことから、植物プランクトンの $\delta^{15}\text{N}$ の低下は湖内で再生産された NO_3^- を取り込んだ結果と考えられる。

一方、夏季から秋季にかけては隣接する水月湖から塩水が三方湖内へと進入する。2009年11月に水月湖から三方湖へと供給されていたDINフラックス（ $\text{NO}_3^- = 86 \text{ kg N d}^{-1}$ 、 $\text{NH}_4^+ = 21 \text{ kg N d}^{-1}$ ）は、ハス川からのフラックス（ $\text{NO}_3^- = 118 \text{ kg N d}^{-1}$ 、 $\text{NH}_4^+ = 19 \text{ kg N d}^{-1}$ ）に匹敵するものであった。水月湖は部分循環湖であり、そこから供給される NH_4^+ の $\delta^{15}\text{N}$ は著しく高い。そのため、植物プランクトンがDINの中でも NH_4^+ を優先的に利用することで、秋季に $\delta^{15}\text{N}$ が上昇する。この時、植物プランクトンが取り込んでいた全DINに占める NH_4^+ の割合を $\delta^{15}\text{N}$ から見積もったところ39-48%であった。水月湖から供給される NH_4^+ フラックスはハス川の1.14倍であることを考慮すると、取り込まれた全DINに占める水月湖由来の NH_4^+ の割合は25%程度と考えられる。

以上より、三方湖の一次生産過程においては、集水域から供給される栄養塩だけではなく、湖内で再生産される栄養塩や隣接する水月湖から流入する栄養塩の影響が無視できないことが明らかになった。このことは、陸域からの栄養塩負荷管理だけを行っていても、湖内の富栄養化状態が改善しないことを意味している。また、水月湖水流入の駆動力は、日本海の海面水位の変化であるため、今後は外海の数10年変動スケールを視野に入れた富栄養化対策も講じていく必要がある。

中海本庄水域における人為的水質環境変化による底質の変化

瀬戸浩二（島大・汽水セ）・秋満睦（島大・総理）・
山口啓子（島根大生資）・倉田健悟（島根大汽水セ）

1. はじめに

島根県から鳥取県にまたがる斐伊川水系河口域には、日本を代表する汽水湖である宍道湖・中海が分布する。中海では、大規模な干拓および淡水化事業が行われたが、最終的に 2002 年に中止となった。干拓事業の過程において中海北部の本庄水域が閉鎖されたが、中止になったことにより 2009 年 5 月に森山堤防において 60m の開削、潮通しが行われた。本研究は森山堤防開削前後の水質、底質をモニタリングし、開削による変化を明らかにすることを目的に行った。

2. 材料と方法

調査は 2006 年から毎月 20 日前後に本庄水域の 12 定点で水質測定、採水、採泥が行われている。そこでサンプリングされた底質の表層試料について CNS 元素分析や粒度分析を行った。

3. 結果

本庄水域は、森山堤防が部分開削された 2009 年 5 月以降、境水道からの高塩分水が底層に流入するようになったため、底層は高塩分化している。これにより塩分躍層が定常的に形成され、特に本庄水域西部の底層では貧酸素環境が形成されやすくなった。一方、本庄水域東部、開削口付近では、貧酸素環境が形成されにくくなっている。

底質表層試料の有機炭素 (TOC) 濃度および全イオン (TS) 濃度は、本庄水域西部の M06 地点では増加傾向を示し、減少傾向を示す開削口付近の M09 地点と対照的である。M06 地点より高い値を示していた M09 地点は、森山堤防開削以後 M06 地点より低い値を示すようになった。

4. 考察

M06 地点の C/S 比については、季節的な増減を繰り返しながら減少する傾向にあり、より還元的な環境に移行しているものと考えられる。一方、M09 地点の C/S 比は、季節的な増減を繰り返しているが、平均的に見れば、森山堤防開削後に大幅な減少がみられる。このような傾向は、通常、より還元的な環境に移行しているように解釈されるが、実際には底質直上の溶存酸素量は平均的にみれば増加しており、むしろ酸化的な環境に移行している。この C/S 比の減少は TS 濃度の減少に対して TOC 濃度の減少が大きいことに起因している。この TOC 濃度の減少の原因として、溶存酸素量が増加したことによる有機物の分解の促進、植物プランクトンの基礎生産の減少、無機碎屑物の増加による希釈効果があげられる。森山堤防開削後、M09 地点の溶存酸素量が増加しており、生物的な有機物の分解が促進された可能性がある。C/N 比も開削後、やや高い値を示すため有機物が分解されたことを示唆している。植物プランクトンの現存量に関連するクロロフィル a 濃度は総量として減少し、TOC 濃度の減少に基礎生産の減少も影響している。表層堆積物の粒度は、開削前後で 7φ から 6φ と粒度が粗くなっており、粒度頻度分布から粗粒な区画の頻度が増加している。これらは森山堤防の部分開削による潮流によって粗い粒子が新たに付加されたものと思われる。粗粒な碎屑物の付加は有機物を希釈することから、TOC 濃度の減少の一因となっているものと思われる。これらのことから TOC/TS 比の減少は、TOC 濃度の減少に起因しているものと思われる。

宍道湖湖底堆積物中の種子・卵胞子を用いた 水生植物相の復元

*小室隆（東大院・新領域）, Sergey K. Krivonogov (UIGGM SB RAS), 山室真澄（東大院・新領域）

はじめに

日本の平野部湖沼では戦後からの護岸工事や干拓等により湖岸植生が破壊されてきたところが多く、湖沼生態系は大きく改変されたとされている。現在では失われた自然を取り戻そうと2002年に施行された自然再生推進法により自然再生事業が盛んに行われているが、主要水生植物だった沈水植物が再生対象とされている例は少ない。1950年代半ばに消滅してしまった沈水植物はその記録がほとんど残っておらず、また水面下にあったため一般市民に馴染みがなかったことが、再生対象とされていない原因と考えられる。従って自然再生推進法により再生事業が盛んになりつつある今日、生態系の根幹を為す一次生産者である沈水植物の衰退以前の状態は、真に復元されるべき生態系として、自然科学の知見に基づいて提示されねばならない。

以上より本研究では、沈水植物が最も豊富であったとされる高度経済成長期以前を対象として、島根県宍道湖で水生植物相の解明を試みた。本研究では、湖底堆積物中に埋没している水生植物の種子・卵胞子を用いて種子分析を行うことで、過去の水生植物相の復元が可能かどうかを検討した。

材料と方法

過去の水生植物相を復元する方法として、堆積物中の土壌シードバンクからの撒き出しが試みられている¹⁾。しかし、この方法では発芽能力を有している種子のみの同定しか行うことができず、湖沼に生育していた全ての水生植物を復元したとは言えない。一方で種子分析は発芽能力の有無に関わらず、顕微鏡を用いて直接種子を堆積物中から取り出して同定するため、堆積物中に存在する全ての水生植物相の復元が可能である。そのため、本研究では種子分析を用いて研究を行った。

予備調査として直径4cmの柱状堆積物60cmを用いて種子分析を行ったが、種子・卵胞子を発見することができなかったことから、宍道湖での種子分析には多量の堆積物が必要であることが明らかとなった。そこで本研究ではダイバーにより、直径8.5cmのアクリル管を用い、船上にて特別に開発された篩²⁾で500,250,100 μm に分画し、必要量が確保されるまで堆積物を採取した。分画した堆積物は実験室にて40 $^{\circ}\text{C}$ で定量になるまで乾燥した後、実態顕微鏡下で種子や卵胞子の選別を行った。

結果

全地点において250 μm の篩に残った残滓から種子・卵胞子を採取することができ、合計41粒が採取された。その全てがシャジクモ類の卵胞子であり、シャジクモ (*Chara braunii*)、オウシャジクモ (*C. corallina*)、イトシャジクモ (*C. fibrosa subsp. flassida*)、シラタマモ (*Lamprothamnium succinctum*) の4種が採取された (Fig.1)。このうちオウシャジクモは6地点から採取され、全体に占める卵胞子数も33粒と、最も多かった。

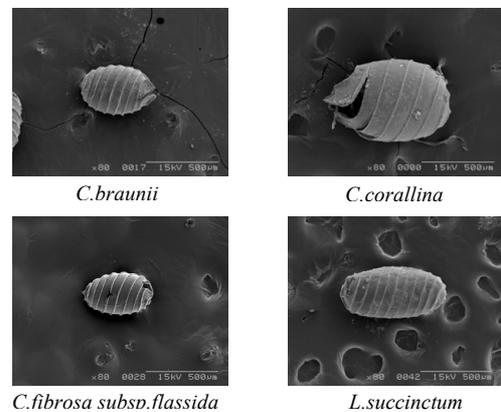


Fig.1. 湖沼堆積物より採取されたシャジクモ類の卵胞子

考察

宍道湖から得られたシャジクモ類卵胞子の大部分を占めたオウシャジクモは、石灰化能力が高いことで知られている。本研究では並行して、1947年に撮影された空中写真により、当時の沈水植物の分布状態を復元している³⁾。その結果、1947年当時の宍道湖は透明度が約4mもあったことが分かっている。その当時は富栄養化が始まっていなかったことと共に、石灰化能力が高いオウシャジクモが優先することで水中のリンが炭酸塩に吸着し、植物プランクトンの繁茂に取ってリンが不足する状態であった可能性がある。

参考文献

- 1) Nishihiro Jun et al (2007) Restoration of wetland vegetation using soil seed banks: lessons from a project in Lake Kasumigaura, Japan. *Landscape Ecol Eng.* 2: 171-176.
- 2) 小室隆ほか (2012) 水生植物の種子・卵胞子を含んだ湖底堆積物を船上で篩い分ける装置の開発. *水草研究会誌*, 97: 29-33.
- 3) 小室隆ほか (2011) 米軍空中写真を用いた沈水植物の判読. 2011年陸水学会ポスター発表.

宍道湖・中海におけるヤマトシジミを用いた現場型耐性実験

*森高秀信（島根大・総合理工）

瀬戸浩二（島根大・汽水セ）

1. はじめに

ヤマトシジミは淡水と海水の混ざる汽水域に生息し、貧酸素耐性・塩分耐性などに優れた二枚貝である。低鹹汽水湖である宍道湖はヤマトシジミの産地として有名であり、宍道湖の漁獲量の9割以上を占めている。しかし近年、その漁獲量・資源量が減少してきており、冬に起こる大量斃死が問題視されている。その斃死の原因は未だ不明瞭だが、餌不足や環境変化などが考えられている。本研究では、宍道湖・中海の4地点で水深別にヤマトシジミを飼育し、水質やその他の環境負荷からのヤマトシジミの耐性について検討することを目的としている。

2. 材料と方法

本研究では、夏季にヤマトシジミの野外飼育実験をS01(宍道湖湖心)・M03(中海湖心)・HP(本庄水域)・YP(米子湾)の4地点で行った。この実験に用いたヤマトシジミは、S02(宍道湖東端)地点から採取されたものである。各地点において、S02地点で採取されたヤマトシジミ10個体を入れた飼育カゴを、水深10~20cm間隔で40カゴ設置した。設置後一ヶ月間飼育し、その期間の生残率、殻長成長速度、肥満度を求めた。また、S01とM03の設置後に台風6号が接近し、S01地点とM03地点の表層で、飼育カゴが脱落し回収できなかった。そのため表層付近の一部データが欠損している。

3. 結果

生残率は、各地点の湖底から1m以深で0%となった。また、M03地点は水深1mから3mにかけて0%、YP地点では3m以深は0%となり、HP地点は1mから3mにかけて数値が激しく変動した。

肥満度はM03地点、YP地点、HP地点の各地点における中層付近で0.04という宍道湖のほぼ2倍の値を示した。S01地点は他の地点に比べ水深による変化が少なく、ほぼ一定であった。またS01地点は他の3地点よりも肥満度が低く、実験開始前のS02で採取した個体の肥満度と比較してS01地点は減少し、他の3地点は増加するという結果を示した。

殻長成長速度はHP地点では低く、0.1~0.5mm/月であった。YPとM03地点では、共に3m付近で0.8mm/月と高い値を示した。S01地点は水深による変化が少なく、ほぼ一定であった。

回収できた全個体の中で、YP地点で殻長成長量・肥満度が共に高い個体が最も多く存在した。

4. 考察

今回の結果で、生残率はどの地点も中層付近で高い値を示したが、表層と底層では低い値を示した。底層では、無酸素状態となっているため、生残率が低下しているものと考えられる。表層での生残率低下の原因はいくつか考えられるが、波によるストレスが主要因と考えられる。特にS01とM03の表層では台風の影響が強く表れている。また、中海の3地点では、調査期間中、同じ水深でも塩分に差が見られ、塩分変化の少ない宍道湖と比較して、中海の3地点は生残率が低いため、塩分変化によるストレスも考えられる。加えてヤマトシジミを採取した時期が、肥満度が減少する時期であり、もともと疲弊していた個体を実験に使用したため、環境ストレスを過敏に受けたものと考えられる。このように、表層では複数の要因が複合することによって、生残率の低下を引き起こしたと考えられる。

池田湖の全層循環前後の水質変化について

*尾辻裕一¹⁾, 坂元克行¹⁾, 貴島宏¹⁾, 永井里央¹⁾, 宮ノ原陽子²⁾, 長井一文¹⁾

1)鹿児島県・環境保健センター, 2)鹿児島県・食の安全推進課

1. はじめに

池田湖は鹿児島県の薩摩半島南部に位置する湖面積 10.95 km², 周囲 15.1 km, 最大水深 233 m の九州最大の湖である。この湖は亜熱帯湖に属しており, 厳冬には不完全全層循環, 暖冬には部分循環することが知られている^[1]。

湖水の循環は, 1986 年 2 月に全層循環が確認されたのを最後に, 2011 年 2 月に至るまで部分循環しか発生しなかった。そこで, 池田湖の中層から底層部における溶存酸素と栄養塩類の挙動に着目し, 池田湖の水質変動機構について知見を得ることを目的に, 全層循環前後の水質の変化について調査を行った。また, 全層循環が発生した気象的要因についても解析を行ったので報告する。

2. 調査方法

調査地点は, Fig.1 に示す最大水深 233 m の湖心に設定された環境基準点 2 を対象とした。採水層は 0.5 m, 15 m, 30 m, 100 m, 110 m, 120 m, 150 m, 200 m の 8 層を設定した。調査期間は 2010 年 4 月から 2012 年 2 月とし, 偶数月に調査を実施した。

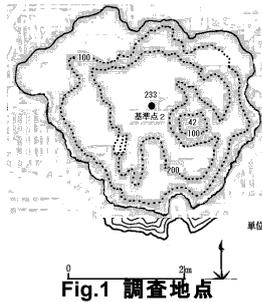


Fig.1 調査地点

調査項目として, 水温, DO, T-N, NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, T-P, PO₄-P を設定した。水温についてはアレック電子社製の水温計を用いた。その他の項目についてはバンドーン採水器で採水し, 実験室にて JIS K 0102 または K 0170 に準拠した方法で測定した。

また, 気象庁のホームページで公開されている鹿児島県指宿の気温, 最多風向, 平均風速等の気象データを利用した。

3. 結果と考察

Fig.2~4 に DO, T-P, T-N の全層循環前 (2010 年 12 月) と全層循環後 (2011 年 12 月) の鉛直分布を比較したものをそれぞれ示す。

全層循環前の状況においては, 水深 110 m を境に DO の値が小さくなり, ほぼ無酸素状態になっていることがわかる (Fig.2)。T-P は水深 110 m 以深で濃

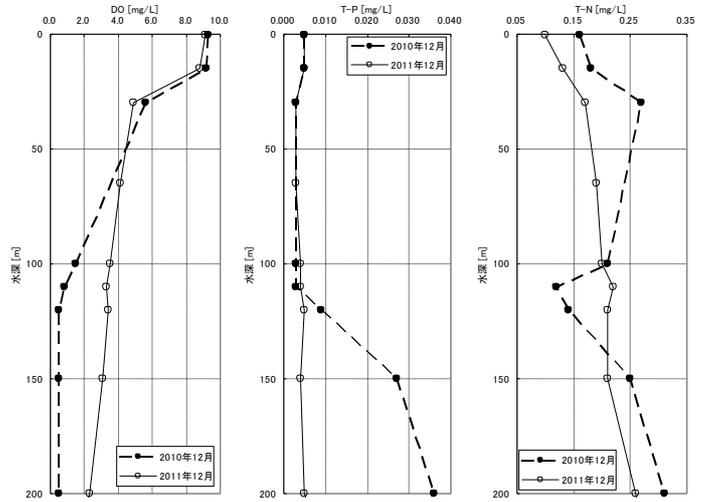


Fig.2 DO の鉛直分布 Fig.3 T-P の鉛直分布 Fig.4 T-N の鉛直

度が上昇していることが見て取れる (Fig.3)。これは底層が無酸素状態であることから底泥からリンが溶出していると考えられる。循環後 T-P 濃度は, 全層ではほぼ同じ水準となっている。

T-N については, 全層循環の前後で水深 110 m 付近の挙動に大きな差が見られる。全層循環前の状況下ではこの層において脱窒が起こっていたと推察される。

全層循環が発生した気象的要因について検討するために, 全層循環が成立した 2011 年 1 月と成立しなかった 2010 年 1 月の風配図を作成した。Fig.5 に示す風配図は, 日平均風速[m/s]を日最多風向で積算した値を用いている。

Fig.5 より, 指宿では風向が北から西の方角に偏在していることが見て取れる。また, 2011 年 1 月は 2010 年 1 月に比べより風向が特定の方角 (北北西) に集中していることが

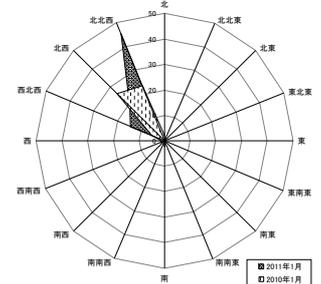


Fig.5 指宿 1 月の風

わかる。このことから, 風が全層循環発生の一つの要因になっているのではないかと推察される。

参考文献

- [1] 吉村信吉(1937) 南九州火山湖の冬季に於ける循環状態, 海と空, 17, 237-254 ; 289-301.

南極湖沼の光環境の多様性、その要因、生物応答

工藤 栄 (国立極地研究所・総研大), 田邊優貴子 (東大・創成科学)

1. はじめに

南極湖沼は集水域に繁茂した植生や動物の営巣地がない限り、その湖水は氷河や雪の融け水を湛えた極貧栄養環境となっている。日本の南極観測の拠点である昭和基地近傍の東経 40 度、南緯 69~70 度に広がる露岩域 (宗谷海岸露岩域、昭和オアシス) にはこうした極貧栄養環境の淡水湖沼が多数存在する。

湖水中の植物プランクトン量は周年非常に少なく、特に夏期間においてその量は減じ、検出限界程度になる (Tanabe et al. 2008)。このような湖の生物生産や生態系は、湖底にマット状に繁茂する微生物ベントス群集の光合成活動によって担われているのが南極湖沼の普遍的な特徴である (Vincent and Laybourn-Parry 2008)。

植物プランクトンをほとんど含まず、栄養塩類の乏しい融氷・融雪水からなる湖水を透過して湖底のマット状の光合成ベントス群集に到達する光は、したがって、湖盆の深さと水に懸濁・溶存した物質の光吸収や散乱特性に従って変質・変量すると期待される。これら湖沼では融け水に含まれるシルトが前者の、生物活動によって作りだされた Chromophoric (or Colored) Dissolved Organic Matter (CDOM) が後者の代表と考えられる。しかし、これら南極湖沼内に透過する光の特性、およびそれに影響を及ぼす要因との関係、さらには到達光と光合成ベントス微生物群集の吸光特性との関係など、南極湖沼生態系の光合成生物の環境応答や適応現象の研究上、重要な事項と考えられるものの、数湖沼での生理生態学的研究などがなされているのみであった (たとえば Tanabe et al. 2010)。

本研究では昭和オアシスに点在する淡水湖沼の光環境特性の観測結果、並びにそれら湖沼のマット状光合成ベントス群集の吸光特性をまとめるとともに、それらの相互関係の解析を試みると同時に、湖水の

CDOM 存在量に関する測定を加えて、湖沼の光環境に応じたベントス群集の特徴と多様性の説明を試みるものである。

2. 方法

2007 年 1 月を中心に第 48 次日本南極地域観測隊夏期に実施した南極湖沼観測で得た湖底到達光の分光観測、湖底のマット状ベントス微生物群集の光吸収の分光スペクトル測定結果を整理し、17 湖沼での湖水の光鉛直拡散減衰係数 K ならびに生物群集の光吸収スペクトルの関係解析を試みた。同時に得た湖水の CDOM 量の測定を蛍光分光光度計 (Aqualog、HORIBA) を利用して定量、湖水の光吸収特性との質的・量的関係を調べてみた (なお、CDOM 測定の試みは原稿作成時、未着手であり、今後進める予定の事項である)。

3. 結果と考察

湖水の光鉛直拡散減衰係数 K の波長特性は、純水の吸収特性とほぼ同じものから、紫外線をきわめてよく吸収するもの、光波長に依存せずに全体的に光を透過させにくいものまでであることが分かった。CDOM 測定結果を交えこれら特性の説明を試みる。

盛夏の地表到達光エネルギースペクトルと湖水の K 、並びに水深で湖底到達エネルギースペクトルを求め、ベントス群集の光吸収スペクトルとの関係から推察される群集の光環境応答特性を論じる予定である。

4. 参考文献

Tanabe et al. 2008: Polar Biology 31:199-208.

Tanabe et al. 2010: Polar Biology 33:85-100.

Vincent and Laybourn-Parry 2008: Polar Lakes and Rivers. Oxford Univ. Press. pp 327.

南極湖沼生態系を支える湖底の栄養塩

*田邊優貴子（東大・新領域）、堀 誠（東大・新領域）、内田雅己（極地研、総研大・極域）
大園享司（京大・生態研）、山室真澄（東大・新領域）、工藤 栄（極地研、総研大・極域）

1. はじめに

昭和基地周辺には露岩域と呼ばれる地帯があり、これらは氷期-間氷期サイクルという地球規模の環境変動の影響を受け、数万年前に南極氷床が後退して創成された環境である。そこに100以上も点在する多様な大きさ・形状・水質を持った湖沼中には、まるで森林のようなユニークかつ豊かな光合成生物群集（藻類・シアノバクテリア・コケ類優占）が形成されている。南極の淡水湖沼生態系は一般的に貧栄養、低温であることに加え、光合成有効放射（PAR）が年間を通して少ないという、極めて生産性の低い環境である。これまでの研究結果から、南極における夏は光エネルギーを利用して生活できる季節ではあるが、藻類・シアノバクテリアが光合成を行うに当たって強光・低温といった生理的ストレスが大きい時期であり、さらに清澄で浅い南極の湖沼中には強光・紫外線が湖底まで到達する環境であることが分かってきた。

貧栄養な生態系である南極において、これまで考えられてきたシナリオは、シアノバクテリアによる窒素固定によって系が支えられているというものが一般的であり、その他に湖底堆積物中からの栄養塩の供給があるのではないかと想像もされてきた。しかし、現在まで、湖底生物群集がどこから栄養を得て生長しているのか、また、湖底堆積物中にはどれくらいの栄養塩が存在しているのかは明らかにされていない。そこで、本研究では昭和基地周辺露岩域の広範囲から採集した湖水と湖底堆積物中の間隙水の栄養塩との比較、堆積物内の栄養塩の鉛直プロファイルから、湖底生物群集の栄養の獲得とその在処を明らかにすることを目指した。

2. 材料と方法

2010年1月～2010年2月にかけて、昭和基地から約20 km南に位置するラングホブデ露岩域、約50 km南に位置するスカルプスネス露岩域、約70 km南に位置するスカーレン露岩域において、17湖沼の湖心部から湖水と1湖沼につき3本の湖底堆積物柱状コア（長さ5-50 cm）のサンプリングを実施した。湖底堆積物コアは、アイスドリルで湖氷に穴をあけ氷上から、もしくは湖水が消失した時期にはボート上から採取した。採取した湖底堆積物コア

を現場で鉛直的に表層から厚さ1 cm、4 cm毎に切断し、厚さ1 cmに切断した試料を固形と間隙水に分離した。湖水および分離した間隙水を0.2 μmのシリンジフィルターで濾過し、固形試料とともに-20℃で冷凍保存し国内に持ち帰った。持ち帰った水試料はオートアナライザーQuAAtro 2-HRおよびAACS-IIを用いて、溶存無機栄養塩 PO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+ 、 SiO_3^{2-} の分析を実施し、固形試料は元素分析計により、全窒素・全炭素を測定した。

3. 結果考察

湖水のDIN ($NO_3^-+NO_2^-+NH_4^+$) は、分析を実施した17湖沼ともに0.41-1.1 μmol/Lで、湖沼によって大きな差は見られなかった。 PO_4^{2-} は16湖沼で0.03-0.09 μmol/Lの範囲だったが、1湖沼（親子池）のみ0.26 μmol/Lであり、この湖沼は海岸近くに位置していることや周辺には海鳥が営巣していることから、その影響を受けていると考えられた。一方、湖底堆積物表層1cm中の間隙水のDINは1.6-208 μmol/L、 PO_4^{2-} は0.11-4.7 μmol/Lという範囲で、湖水と比較すると表層間隙水のDINは3-219倍、 PO_4^{2-} は2-102倍もの濃度であり、湖によって著しく異なることが分かった。湖底堆積物内の間隙水のDINと PO_4^{2-} の鉛直プロファイルを見ると、深部で最も高く、表層に近づくにつれて直線的に減少する傾向であったが、深さ5cmから表層にかけてさらに急激に減少する傾向が見られた。

南極湖沼の大部分を占める貧栄養淡水湖においては、シアノバクテリアによる空中窒素固定が湖沼生態系にとっての重要な窒素源になっていると、これまでは考えられてきた。しかしながら、本研究結果から、湖底堆積物内に大量の窒素およびリンが蓄積されており、光合成可能な表層部分においてそれらを光合成生物が利用していることが示唆された。また、湖水と湖底間隙水との比較によって、湖底内から湖水中へ栄養塩が単純に拡散・放出されないメカニズムの存在も浮上した。これらのことから、現在の南極湖沼生態系の物質循環、さらに湖沼創成から現在までの生態系の発達による物質循環・生物群集構造の遷移について新たな仮説を立てた。

安定同位体比から見る南極湖沼の堆積物発達機構

*堀 誠(東大院・新領域) 田邊 優貴子(東大院・新領域)
工藤 栄(極地研) 山室 真澄(東大院・新領域)

はじめに

南極大陸の昭和基地周辺には、氷床に覆われていない地面がむき出しの地域があり、湖が多数存在している。これらの湖は、多様な大きさ・形状・水質・創成年代であるが、多くは淡水湖である。これら淡水湖は、一年の大半を湖面が氷に閉ざされており、集水域も狭く、水の流入・流出が観察される湖は稀である。そのため非常に貧栄養な湖水であり、植物プランクトンもほとんど見られない。しかし、湖底にはコケ類と藻類が共存した豊富な植生が、分厚いマット状に存在している。つまり、この植生には貧栄養な湖水の中でその成長を支える独特な維持機構が働いていると考えられる。それに伴って、湖底の堆積物も独特の発達機構を持つと推測される。そこで本研究では、湖底堆積物の炭素・窒素量とその安定同位体比を分析し、植物の成長を支える栄養物質循環の特徴を考察することを目的とした。

材料と方法

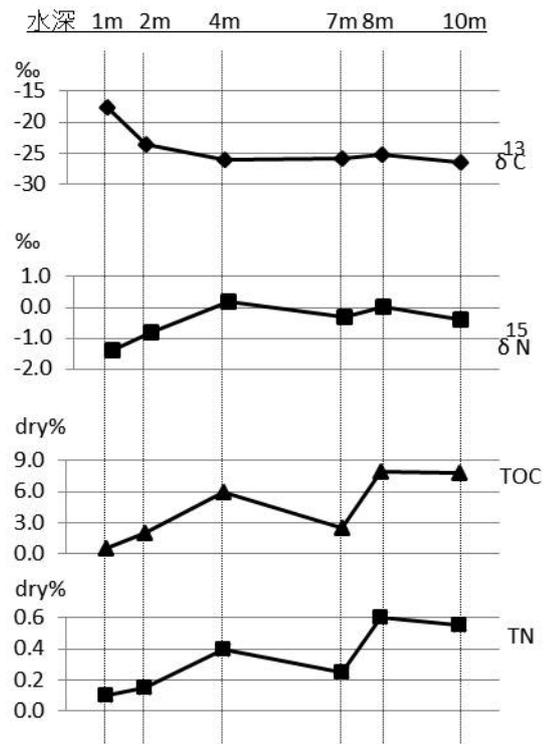
試料には、第 51 次・53 次南極観測隊が採取した湖底堆積物と湖沼周辺有機物を用いた。堆積物は 17 湖沼で採取し、1 湖沼を除いて湖心から採取した。堆積物を一定の法則によって切り分け、分析に供した。また、17 湖沼中で長池については異なった水深 6 点で堆積物を採取し、表層 1cm のみ分析した。すべての試料は凍結乾燥したのち、めのう鉢でホモジナイズし、1mol 塩酸で処理した。炭素・窒素安定同位体比および有機炭素・窒素量を、サーモクエスト社製 DeltaPlus で分析した。

結果と考察

窒素安定同位体比の結果から、主に外部から栄養が供給される湖沼と、内部で生産される湖沼とに大別された。内部で生産される湖では、堆積物中の炭

素・窒素蓄積量が大きく異なっているのは、湖の集水域の大きさや創成年代の違い、湖沼に流入する有機物の違いと関連があることが考えられた。

長池の水深ごとの堆積物試料の分析結果が下図である。2m以浅は堆積物中の有機物や窒素の濃度が著しく低かった。この原因として、冬季に氷が 2m 近くまで発達し、攪乱されるためと考えられた。一方で、水深 2m までの窒素安定同位体比は他の水深よりも著しく低い値であり、湖面が解放される夏季のわずかな期間に、シアノバクテリアによって盛んに窒素固定が行われていることが示唆された。



図：長池の水深ごとの堆積物表層試料の炭素安定同位体比（1 段目）、窒素安定同位体比（2 段目）、全有機炭素（3 段目）、全窒素（4 段目）

リン制限湖沼における窒素循環の研究 ～グルタミン酸合成酵素活性による評価～

*朝倉奈緒子(山形大大学院理工学研究科), 日野修次(山形大・理)

1. はじめに

水圏に生育する生物群に最も重要な栄養塩類はリンと窒素であり、どちらがより制限因子となりうるかは明確ではないが、一般的にはリンが重要であるとされている。本研究ではリン制限であるが窒素制限ではない猪苗代湖に着目し、水圏での窒素循環を考える上で、生物に必要とされるアミノ酸代謝系に着目した。グルタミン酸が全ての生物群に共通して生体内におけるアミノ酸合成の出発点であるということから、グルタミン酸合成酵素活性を測定することにより生物群集全体の窒素代謝について推定することを試みた。また、比較対象として、富栄養化が進行している山形市霞城公園掘割水についても同様の実験を行った。

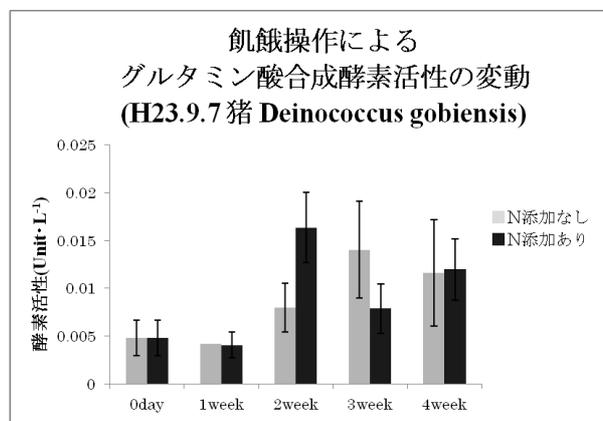
2. 材料と方法

採水は猪苗代湖、霞城公園共に2011年4月～2012年7月に行った。猪苗代湖は湖心の表層で計14回、霞城公園は西堀の表層で計5回採水をし、採水後、試水をWhatman GF/Fフィルター(ポアサイズ0.7 μ m)を用いてろ過し、フィルター試料を-15 $^{\circ}$ C以下で冷凍保存した。グルタミン酸合成酵素活性の測定は、まずTris-HCl Buffer(pH 7.7)中で超音波破碎し、冷却遠心(3 $^{\circ}$ C, 11900 \times g, 15分)で得られた上澄み液を粗酵素液として、分光光度計(SHIMAZU UVmini-1240)を用いて、反応溶液のNADPHの吸光度(340nm)の減少を一定時間測定することにより算出した。

3. 結果・考察

2011年の猪苗代湖でのグルタミン酸合成酵素活性の変動幅は0.170～0.752(平均0.285 \pm 0.018)mUnit/Lで、9月以降低下する傾向が見られた。同様に、霞城公園掘割水での酵素活性の年間変動幅は3.92～15.9(平均11.4 \pm 0.1)mUnit/Lで、猪苗代湖と比較して約40倍高い値を示した。また、

2012年4～7月の猪苗代湖でのグルタミン酸合成酵素活性の変動幅は0.228～0.856(平均0.452)mUnit/Lで、両年とも夏にかけて増加する傾向が見られた。この活性度は水圏に存在する生物量によって影響を受けるため、細菌数、生物量(炭素量)、Chl-pigment単位の比活性を算出して比較した。その結果、霞城公園生物量当たりの比活性が猪苗代湖より1～5倍高かった。両水圏の酵素活性を比較した結果、基本的に2011年と同様に酵素活性は生物量(炭素量)に依存していると考えられるが、生物量当たりの活性自体も霞城公園の方が高いことがわかった。さらに、2010年に得られたグルタミン酸合成酵素活性と各環境因子との相関を2011年についても調べたところ、総活性とChl-pigmentとの間に正の相関がみられたのに対し細菌数との間には相関がなかった。これらのことから2010年とは逆に、2011年ではグルタミン酸合成酵素活性は植物プランクトン量に依存していると考えられる。上記の可能性について検証するため、まず分離菌株を用いてバクテリアによるグルタミン酸合成酵素活性に対する影響についても実験した。発表当日には、得られた結果についても報告する予定である。



環境中における *Microcystis* 感染性シアノファージの

遺伝的多様性とその経時的変動

*木村成子, 吉田天士, 左子芳彦 (京大院・農)

1. はじめに

Microcystis aeruginosa はアオコを形成するラン藻である。環境中において本種の一部は、常にシアノファージ (ラン藻に感染するウイルス) 感染を受けている。我々は、環境中における *Microcystis* ファージ遺伝子の動態およびその発現量を定量することで、*Microcystis* ファージ感染が光周期に依存した日周パターンを示すことを明らかにした。その際、ファージ遺伝子型が非常に多様である可能性が示された。そこで、本研究では、環境中における *Microcystis* ファージの遺伝的多様性とその経時的変動を明らかにするとともに、*Microcystis* ファージの遺伝的多様性をもたらす因子についても考察する。

2. 材料と方法

京都市広沢池において、2006年から2011年までのアオコ発生時期 (7-9月) に月1-4回、計19回、表層水を採取した。0.2 μm フィルターでろ過した試水より DNA を抽出した。抽出された DNA を鋳型として、Ma-LMM01 タイプシアノファージ尾部遺伝子 (*g9I*) を標的とした PCR 法を行い、得られた PCR 増幅産物の配列を決定した。得られた配列を 100%塩基配列相同性で遺伝子タイプに分類して、TCS ver. 1.21 を用いて最節約ネットワークを構築し、MEGA5 を用いて系統樹 (NJ) を作成した。遺伝子解析ソフト EstimateS ver. 1.2.0 を用いて、各採水日における、Shannon 指数および Chao1 指数を算出し、PAST ver. 2.09 を用いて Rarefaction curve を描いた。

3. 結果と考察

Microcystis ファージ尾部遺伝子を標的とした PCR を行い、全ての試料より、554 bp の増幅産物を得た。各試料からそれぞれ 25-40 クローン、計 524 クローンの塩基配列を決定した。それらのアライメントを行い、100%塩基配列相同性で遺伝子タイプの分類をおこなった結果、269 遺伝子タイプ (GT1-GT269) に分類された。Rarefaction curve、Chao1 指

数および Shannon 指数は、調査期間 (2006年-2011年) を通して、高いファージの多様性が維持されていることが示された。

系統樹 (NJ) および最節約ネットワークを構築した結果、269 遺伝子タイプは大きく 3 つのグループ: グループ I (429 clones)、グループ II (84 clones) およびグループ III (11 clones) に分けられた。それぞれの代表的な遺伝子タイプ間で比較すると、グループ I とグループ II、グループ I とグループ III およびグループ II とグループ III の間で、それぞれ 26、26 および 27 塩基異なっていた。調査期間を通して、グループ I では、GT2 (91 clones)、GT33 (49 clones)、GT139 (24 clones) および GT122 (14 clones)、グループ II では GT25 (27 clones)、グループ III では GT1 (6 clones) が優占していた。各グループは、上述の優占した遺伝子タイプと 1-2 塩基異なる遺伝子タイプから構成されていた。また、グループ I において優占していた GT2、GT33 および GT139 間の塩基置換数は 1-2 塩基で、それらは同義置換だった。細菌は、ファージ感染に対する防御機構を発達させてきた。特に、*M. aeruginosa* は、細菌・古細菌 1055 ゲノム中で、最も多くのファージ耐性遺伝子を有している。ファージもまた変異することで、宿主耐性機構を回避している。したがって、本研究で認められたファージ多様性は、点変異による宿主防御機構回避の結果、もたらされたものかもしれない。さらに、アミノ酸変化をもたらさない点変異を起こしたファージが、個体群内で優占すると考えられた。

調査期間を通して、経時的にファージ遺伝子タイプおよびその組成は大きく変動し、さらに、ファージの多様度もまた大きく変動していることが示された。このことは、ある遺伝子タイプのファージが、ある宿主に感染しそれを減少させると、そのファージ感染に耐性をもつ別のタイプの宿主が増加し、そのタイプに感染できる遺伝子タイプのファージが増加するという現象を表していると考えられた。

溶存酸素量の違いが湖沼底質の藻類シードバンク機能に及ぼす影響

*田中仁志（埼玉県環境科学国際センター）、古田世子、藤原直樹、一瀬 諭（滋賀県琵琶湖環境科学研究センター）、馬場大哉（東レテクノ株式会社）
岸本直之（龍谷大学・理工）、西村 修（東北大院・工）

1. はじめに

我が国の湖沼においては、環境基準（COD）の達成率が低いことが大きな問題になっている。植物プランクトン（藻類）の現存量は COD を始めとする、湖沼の水質形成に大きく影響する。また、琵琶湖では沖帯で観察される藻類の種構成が変化してきたことが報告され、COD への関与が指摘されている。

一方、近年では、底層水の貧酸素化による湖沼生態系に対する影響が懸念されている。底質は藻類の供給源（シードバンク）として、重要な機能を持つと考えられる。しかしながら、底層水の貧酸素化が藻類のシードバンク機能に及ぼす影響は明らかになっていない。

本研究では、昨年の本大会での報告¹⁾に引き続き、一部底質の泥質化が報告されている琵琶湖沿岸帯の底質評価への応用を踏まえ、山ノ神沼の底質を用いて、藻類の底質から水中への回帰に及ぼす溶存酸素（DO）量の影響を検討しているので報告する。

2. 材料と方法

2.1 対象湖沼および供試底質

山ノ神沼（埼玉県蓮田市）の底質を用いて実験を行った。山ノ神沼は面積 3ha、水深約 1.2m の浅い天然湖沼で、毎年アオコの発生する典型的な富栄養湖沼である。底質は 2011 年 6 月に採取し、実験までの間は 4℃暗所において保存した。

2.2 藻類回帰試験

藻類回帰試験は、6 ヶ月間保存後の底質試料 300ml を 2 個の浄水器を用いて脱塩素処理した水道水 3L を入れておいた 3L トールビーカーに投入し、よく攪拌後、室温（約 20℃）で静置した状態で行った。開口部はラップで密閉した。実験条件は照明（光）条件のみ変化させ、一方は 12h/12h 周期の明暗条件に、もう一方はアルミホイルで完全に遮光した連続暗条件に設定した。窒素ガスパージ等による溶存酸素濃度調整は行わなかった。藻類観察用サンプルは、ビーカー内に付着した藻類が巻き上がらないように注意して採取し、顕微鏡観察を行った。藻類は、細胞数から（群体は細胞数に換算）出現率（%）を求めた。また、実験中のビーカー内の水温、pH および DO を多項目水質計 Hydorab MS5 を用いて連続測定を行った。

3. 結果

一例として、実験開始後 0、3、7 日のビーカー内で観察された光条件別藻類別出現率（%）を図 1 に示す。回帰した藻類は緑藻や珪藻も観察されたものの、光条件に関わらず藍藻類が 80%以上の出現率を占めた。このときの最も多い出現種は、*Merismopedia*

tennuissima であった。DO は実験開始時にはほぼ 0mg/L であったが、12h/12h 周期の明暗条件では明期に DO が上昇した一方、連続暗条件では DO は開始時とほぼ同じ状態で推移したという違いが見られた。

4. 考察

実験中に観察された DO の変化は、底質中に存在した藻類が活性化した際の光合成による現象と考察された¹⁾。この結果から、照明の有無により DO 量の異なる状態を再現することが可能となった。DO 量が藻類出現率に直接的影響を及ぼすかどうかについては、実験に用いた底質を蛍光顕微鏡で観察した結果、藍藻類と見られる細胞が多く存在していたことから、底質中の現存量が多かったため、回帰した藍藻類の出現率が大きくなったと考えられた。また、精査する必要はあるものの、現在、沈降したばかりの栄養細胞の排除と休眠解除のためにシードバンク機能評価前には底質の低温保存を行っている。保存時の酸素量および期間によって、残存する藻類種が選択されていく可能性がある。このため底質の保存条件の違いが及ぼすシードバンク機能への影響について検討を行う必要があると考えている。

本研究から、底質中の藻類の回帰には、光条件が重要な因子であることが示唆されたものの、藻類種の選択性については明らかにすることはできなかった。今後は、光条件の照度および底質の保存条件の違いが回帰藻類に及ぼす影響を評価する予定である。

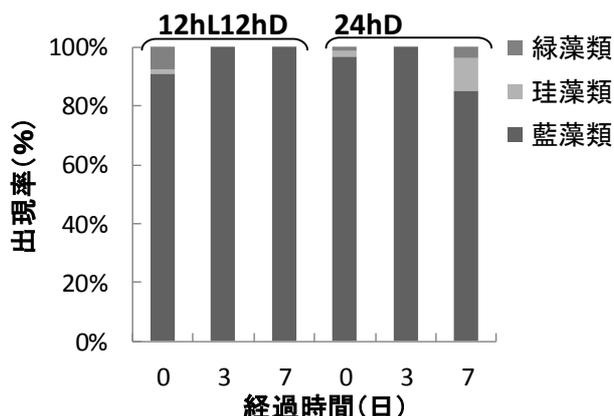


図 1 藻類回帰実験における藻類の出現数経
（左：12h/12h 周期明暗条件、右：連続暗条件）

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」（平成 23 年度）の一部として実施した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) 田中ら（2011）第 76 回日本陸水学会講演集、75。

淡水及び汽水湖沼の堆積物における放射性セシウムの蓄積量の特徴

*植田 真司, 大塚 良仁, 久松 俊一 (公益財団法人環境科学技術研究所)

1. はじめに

大気中に排出された放射性物質の一部は陸域の土壤に沈着する。特に、放射性セシウムは土壤に強く吸着されるため、淡水に溶けた状態での移動は小さく、降水時には土壤粒子そのものが表面流出水とともに上流域から下流域へと移動し、湖沼や海洋に流出することが知られている。過去に行われた核実験により大気中に放出された放射性物質は未だに流域土壤や湖底堆積物に蓄積されている。

本研究では、塩分特性の異なる淡水湖と汽水湖を対象に、湖底堆積物中の ^{137}Cs 蓄積量の特徴を明らかにした。更に、堆積物中の $^{239+240}\text{Pu}$ の蓄積量を求め、 ^{137}Cs の蓄積量と比較した結果を報告する。

2. 方法

図1に示すように、六ヶ所村の大型再処理施設における実燃料を用いたアクティブ試験前（バックグラウンド時）に、近隣する汽水湖の尾駁沼（1997年9月）及び鷹架沼（2003年7月）、並びに淡水湖の田面木沼（2003年8月）及び市柳沼（2004年6月）において柱状湖底堆積物試料を各々2~3本採取した。柱状試料は、塩化ビニル製の円筒（内径16cm、長さ100cm）を用いて、潜水により採取した。採取後、すみやかに表層から2~2.5cm毎に切断し、プラスチック容器に密封保存した。

^{137}Cs の測定は、試料の乾燥後、Ge 半導体検出器を用いて行い、 $^{239+240}\text{Pu}$ の測定は、試料の灰化後、四重

極 ICP-MS を用いて行った。 ^{137}Cs 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の蓄積量は、表層からそれぞれの核種が検出されなくなる層までの 1 m^2 当たりの積算量として求めた。

3. 結果

六ヶ所村における各湖沼の堆積物中の ^{137}Cs 蓄積量は、汽水湖で $0.8\sim 1.5\text{ kBq m}^{-2}$ 、淡水湖で $1.5\sim 3.7\text{ kBq m}^{-2}$ であり、淡水湖のほうが汽水湖より高かった（図1）。また、淡水湖と汽水湖による $^{239+240}\text{Pu}$ 蓄積量の違いは小さく、 $0.11\sim 0.29\text{ kBq m}^{-2}$ の範囲であった。

ここで、六ヶ所村で採取された未攪乱土壤中の ^{137}Cs 蓄積量（Ohtsuka et al., 2007）に対する湖底堆積物中の ^{137}Cs 蓄積量の比を取ると、淡水湖の堆積物中の比は田面木沼の1地点を除き、1以上であったが、汽水湖の堆積物の比は0.5以下であった。一方、いずれの湖沼においても堆積物中 $^{239+240}\text{Pu}$ 蓄積量は六ヶ所村未攪乱土壤中の $^{239+240}\text{Pu}$ 蓄積量より大きく、湖面沈着した $^{239+240}\text{Pu}$ に加え、集水域に沈着したものが、河川を通して流入したことにより増加したと考えられる。

このように、淡水湖と汽水湖との ^{137}Cs 蓄積量は異なり、淡水湖のほうが汽水湖より高くなる特徴が認められた。海水が混じり合う汽水域では Cs の溶解度が高くなり、 ^{137}Cs の一部が堆積物中から除かれたか、あるいは、湖底へ堆積せず、溶存形態で直接海域へ流出したことが考えられる。

*Ohtsuka et al., (2007) ISBN: 978-7-302-15627-7, pp433-434.

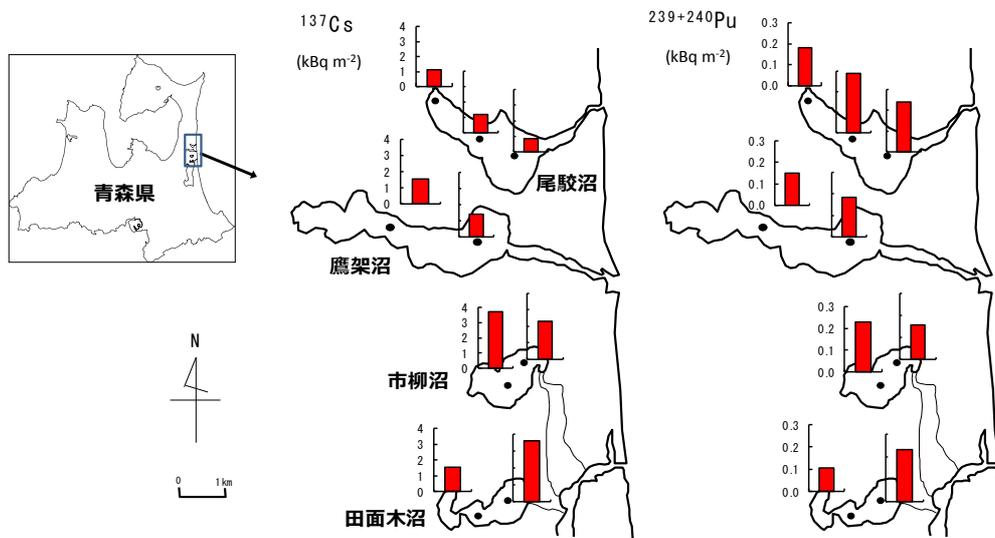


図1 六ヶ所村湖沼における湖底堆積物の ^{137}Cs 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の蓄積量

本記事事項は、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。

水圏の微生物群集が関連する物質循環 に対する化学物質の影響

*竹山輝（山形大学大学院理工学研究科） 奥野貴士（山形大・理） 日野修次（山形大・理）

[はじめに]

現在、我々を取りまく生活環境では数多くの化学物質が使用されている。このような化学物質は、様々な過程を経て環境中に排出されるため、大気・土壌および水圏で様々な化学物質が検出されている。自然の環境浄化能力を超える化学物質による汚染が進行すれば社会問題となる。これに伴い、流出した化学物質による生物群への影響の評価が盛んに行われている。環境への影響の評価の対象となる生物は、比較的大型の生物が多数を占め、自然生態系の根底を担う微生物群集への影響の評価はほとんど行われていないことから、微生物群集への影響を明らかにすることは重要であると考えられる。

本研究では、主に農薬による水圏の微生物群集への影響について明らかにするため、研究対象として、周囲の環境が異なる水圏（猪苗代湖、白竜湖）を選び、その試水に既知の農薬を添加した。培養後の、微生物群集の構造変化や生理活性への影響を評価し、水圏の微生物群集に対する化学物質の影響や物質循環に関するモデリングを行うことを目的とした。

[実験方法]

2010, 2011, 2012年4月～12月（予定含む）の期間に猪苗代湖、白竜湖の表層で採水した。添加する化学物質としては、農薬で幅広く用いられる DCMU（3-(3,4-ジクロロフェニル)-1,1-ジメチル尿素）などを用い、微生物群集の構造と生理活性への影響を検討した。生理活性については¹³Cを用いた安定同位体法を用いて光合成活性と代謝活性を測定した。測定に¹³CO₂アナライザー（日本分光、EX-130S）を用いた。微生物群集の構造について、電気泳動で得られるバンドをDNAの塩基配列の違いで分離することができる DGGE 法（変性剤濃度勾配ゲル電気泳動法）を用い、細菌群集構造をバンドパターンの形で検出し、また、農薬の影響をバンドパターンの比較から評価した。

[結果・考察]

生理活性への農薬による影響に関して、光合成活性では DCMU によって明らかな阻害が認められた。2,4-D に関しては著しい阻害は認められず、逆に光合成の促進が認められた時もあった。代謝活性では、高濃度の DCMU では、常に阻害効果が見られた。2,4-D については阻害される場合と促進される場合が見られた。両方の生理活性への影響について、白竜湖と猪苗代湖で DCMU による阻害の程度に違いが見られた。

上記の白竜湖、猪苗代湖の DCMU の阻害の程度の違いは周囲環境の違いによる優占生物種の違いが反映している可能性が高い。また、猪苗代湖で 2,4-D について、阻害と促進される場合が認められたことから、異なる湖沼間で生物種が違ってくるだけでなく、同一湖沼内でも、細菌類などの群集構造が変化しているのではないかとこの仮定を明確にするため、DGGE 法を用い検証を行っている。また、細菌の群集構造が農薬の添加によって実際に変化しているのかについても DGGE 法を用いることで評価したところ、農薬を添加した系にのみ出現するバンドが見られており、農薬添加による構造の変化を示唆した。

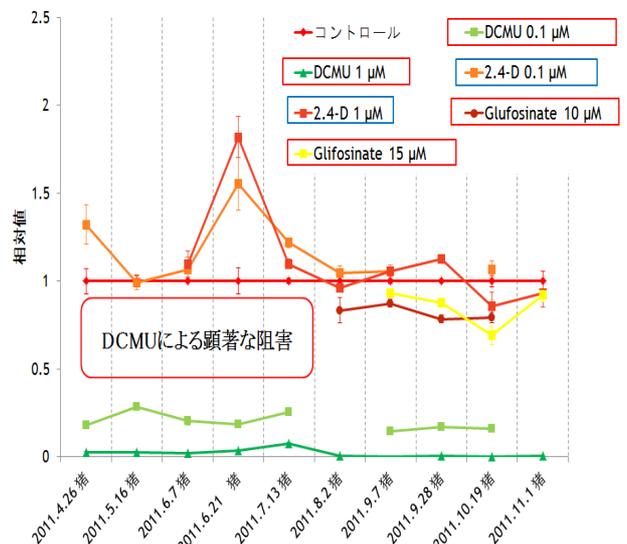


図1 光合成活性への影響

越後平野の水田におけるカイエビ類の分布

吉岡 翼（富山市科学博物館）

1. はじめに

国内におけるカイエビ類の生息環境は主として水田であるが、分布や発生が予測しがたいことから、しばしば「神出鬼没な生物」として取り上げられる。その一方、土壌の粒度や冬期の土壌湿度が分布に影響しているとされるほか、大高ほか（2008）はカイエビ *Caenestheriella gifuensis* の分布について生息地の過去の環境に依存している可能性を示唆している。本研究では、人為的な改変を強く受けた歴史を持つ越後平野の水田を対象として、現在の生息分布を示すとともに、過去の土地利用との関連を考察する。

2. 方法

越後平野を中心として新潟県内の 131 地点において、2005 年（第 1 回）および 2009～2010 年（第 2 回）の 6 月上旬、各地点 30 筆を目安にカイエビ類の生息を調査した。生息していた水田については生息密度を定性的に 4 段階で評価した。各地点で生息していた水田の割合を生息率とする。

また、2005 年には越後平野北部において、カイエビ類の生息条件としてあげられることのある、冬期の土壌湿度、土壌粒度および灌漑様式を記録した。土壌湿度は湛水～風乾の面積で 7 区分、土壌粒度はいわゆる日本農学会法に従って 5 区分、灌漑様式は入排水路の分離とパイプライン化を基準として 3 区分した。

さらに、2008 年には越後平野北部において、1km² の区画で各 30 筆を対象としたベルトトランセクト調査を行った。

3. 結果

確認されたカイエビ類はカイエビ、ヒメカイエビ *Eulimnadia* sp. cf. *E. packardiana*、タマカイエビ *Lynceus biformis*、トゲカイエビ *Leptestheria kawachiensis* の 4 種であった。このうちトゲカイエビは 2009 年の 1 地点 2 筆のみであった。カイエビの生息は越後平野北部に限られた。ヒメカイエビは山間部の盆地に集中しているが、越後平野北部でもわずかに確認された。タマカイエビは越後平野に広く点在するように分布するが、越後平野北部にやや多い。

越後平野北部におけるカイエビ類の生息域は、福島潟～新井郷川ラインを南限とする。特にカイエビではこの境界が顕著であり、その北側でのみ高密度に生息する。ただし、加治川と胎内川の扇状地では生息率が低い。

ヒメカイエビは生息確認地点に変化が顕著であったが、カイエビについては大きな変動はなかった。

カイエビとタマカイエビについては生息率と生息密度に正の相関があり、両者は水田および地点において共存および共産しやすい。

冬期の土壌湿度、土壌粒度および灌漑様式の分布はカイエビ類の分布と調和的でない。

4. 考察

越後平野北部で生息域の境界となっているラインは、西暦 1000 年ごろのものと考えられる越後平野の古地図（いわゆる寛治図と康平図）に描かれている湖岸とよく一致する。この古地図は贋作と評価されることもあるが、おおむね当時の景観や水上交通を反映したものと考えられる（榎根, 1985; 高濱, 2004）。境界となっているラインの南側では阿賀野川と信濃川の影響下にあり、20 世紀半ばまで深田が広がり多数の湖潟が存在するなど、定常的水域が多く、大川川の氾濫の影響も強く受けていた。一方その北側は加治川の流域であり、西部では砂丘列が分布するなど、地形的な差異も大きい。カイエビ類は一時的淡水域を代表する生物群のひとつであり、流水域や定常的水域には一般に生息しない。そのため、福島潟～新井郷川ライン南側のかつての環境はカイエビ類の生息には不適であり、現在の乾田化された水田の生息域は過去の環境を反映していると考えられる。

このことはカイエビ類がエッグバンクに強く依存していることを示唆するものの、種によってその程度に差があると考えられる。ヒメカイエビは日和見的な発生をするように見えるが、生殖が雄性両性型で、新たな個体群の形成が比較的容易なため、生息地点の変動は新しく移入した個体群を見ている可能性もある。

新潟県におけるカイエビ類の分布の特徴は、カイエビが平野部に連続的な分布を持つのに対してヒメカイエビが山間部に偏るなど、分布がよく調べられている滋賀県の例（Grygier et al. 2002）と共通する点がある。しかし、新潟県のカイエビは扇状地で生息率が低くなるが、富山県（布村, 2006, 2010）ではむしろ扇状地を中心に分布するなど、顕著な地域的差異も存在し、歴史的な土地利用の地域性との関連も検討する必要がある。

生存戦略としてのアメリカザリガニの共食い

*中村隆宏（東大院・新領域）、山室真澄（東大院・新領域）

1. はじめに

アメリカザリガニ (*Procambarus clarkii*) は北アメリカ原産の淡水性の雑食動物で、侵入した生態系の食物網において群集構造の決定に直接的かつ間接的に影響するキーストーン種である。アメリカザリガニは 1927 年に 1 回輸入されたのみと考えられているが、現在では日本列島に広く分布している。アメリカザリガニが池・河川に侵入するとその場所で優占し、他の生物がほとんど生息しない状態が多くみられる。アメリカザリガニの個体数管理を行う上でも、餌の乏しい条件下でどのような生存戦略をおくっているかを解明することは重要である。アメリカザリガニは共食いを行うことが知られており、これが餌が乏しい条件下で有利に働いている可能性がある。

本研究では、アメリカザリガニの共食いに着目し、実験条件下でアメリカザリガニの成長や生残率を比較することにより、その生存・存続を可能にする要因を明らかにすることを試みた。

2. 材料と方法

実験には、縦 92.5cm、横 59.1cm、深さ 29.3cm の水槽を用いた。

実験処理区の餌条件としては、自然に近い区画 {ザリガニ+リター+アカムシ (*Prosilocerus akamusi*)}、餌資源としてリターを評価するための区画 (ザリガニ+リター)、餌がない条件下でのザリガニの生存力を検討する区画 (ザリガニのみ) の 3 段階用意した。それぞれの処理区には 9 個体のザリガニを個別にした区画と、9 個体一緒にした区画の、合計 6 タイプの実験区を設定した。各実験は

3 反復ずつ飼育実験を行った。測定項目はザリガニの生存個体数、個体重量、水温である。

3. 結果と考察

ザリガニの生残率は、リターとアカムシがある比較的栄養源が多い条件下では混在区と孤立区の差が小さいのに対し、リターの区画及び餌なし区画では大きな差がみられた。これより、本実験条件下で発生する共食いは、資源を取り合うためにザリガニ同士が競争者を排除する目的というよりは、栄養摂取を行うためであると考えられる。

ザリガニとリターの区画では、混在区の方が孤立区より成長率が高く、リターとアカムシがある区画とほぼ同様に高い成長率を示していた。これより、植物性食物しかない条件下では、共食いをすることで動物性食物を補っているものと考えられた。

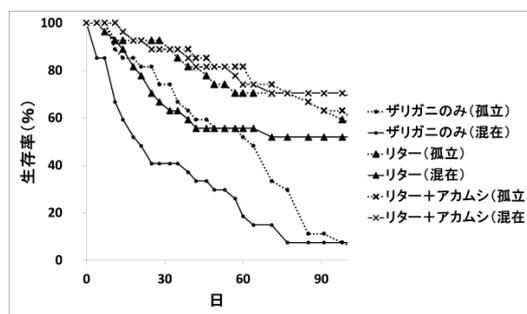


図 1. ザリガニ生存率の経時的変化

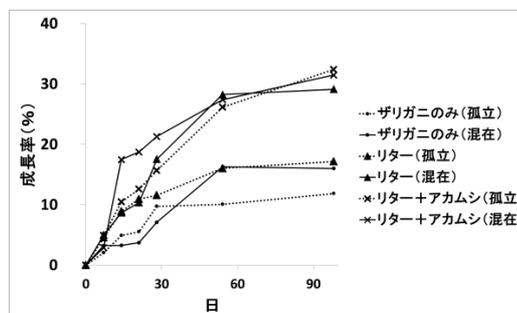


図 2. ザリガニ成長率の経時的変化

栄養段階決定のための微量アミノ酸分画法

*小野田貴光（静岡大院工）戸田三津夫（静岡大工）

1. はじめに

窒素安定同位体比を用いた食物網の推定は生態系の食物連鎖構造を解析する方法として広く使われている。また、近年フェニルアラニンとグルタミン酸を用いた窒素安定同位体比の解析により、高精度でしかも、単一サンプルの分析で栄養段階を求めることができると報告されている。^{1,2)}本研究では生物中に含まれるアミノ酸を抽出、誘導体化してアミノ酸中の $\delta^{15}\text{N}$ を測定することにより生物の栄養段階を決定することを簡便に実現することを目的としている。すでに本手法は力石ら¹⁾により紹介されているが、高価で特殊な機材が必要であるため、より安価で簡便な分析の実現を目的とした。具体的にはセミマイクロなスケールによるアミノ酸の誘導体化と HPLC による誘導体の分離である。

本研究は佐鳴湖のヤマトシジミの栄養段階を決定することをもう一つの目標としている。佐鳴湖は COD の値の高い湖として認知されていて、2010 年度の値は 8.1 ppm（全国ワースト 9 位）であった。その佐鳴湖の水質浄化の一環としてヤマトシジミの復活プロジェクトが行われている。ヤマトシジミのろ過能力は高く、水質改善に期待されているが、一方、ヤマトシジミ復活による浄化と生態系への影響は未解明で、食性もよくわかっていない。ヤマトシジミの栄養段階がわかれば、食性や、生態系での役割も解明でき、浄化の寄与をより推定しやすくなるものと思われる。簡便なアミノ酸抽出分離方法が実現すれば、従来のバルク分析の知見とあわせ、より多くの生態系での食物網解析が進むものと思われる。

2 材料と方法

まず、市販のアミノ酸試薬、Phe、Glu、Tyr、Asp、Ser、Val、Met、Leu、Ile を用いて誘導体を合成した。すなわち、これらを 0.5 g ずつ用いて 2-プロパノールと塩化チオニルを封管中にて反応させ、カルボキシル基をイソプロピルエステル化した。続いて、アミノ基を保護するためにクロロギ酸ベンジルと 2M Na_2CO_3 を用いて氷浴中にて攪拌することで Z 基保護を行った。Z 基保護を用いた理由としては、保護基に窒素を含まないことと、UV 吸収による生成物の確認が容易にできることなどがある。

得られたアミノ酸誘導体は、HPLC にて分離することを試みた。カラムには C18 逆相カラムを用い、溶媒には 0.01M リン酸を添加したメタノール水溶液を用いた。メタノールと水の比率はメタノール：

水 = 35:65 および、50:50 で行った。

3. 結果

生成物の構造は ^1H NMR よび ^{13}C NMR による分析により確認した。また、TLC 上において Z 化前にはなかった UV 吸収を示すスポットが見られたこと、加えて、保護の前には存在していたニンヒドリン溶液により呈色するスポットが消えたことからアミノ酸の誘導体化は成功していると判断した。

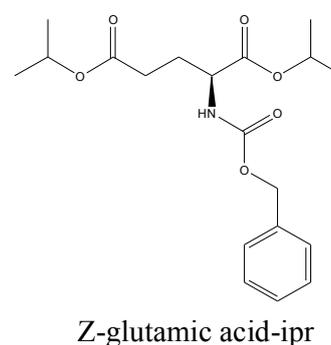
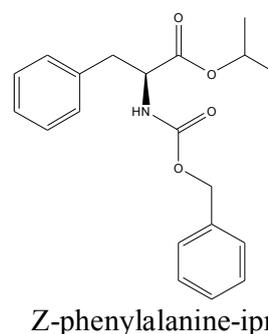


図 1. Phe と Glu の Z 化イソプロピルエステル誘導体

これらの誘導体は一樣に無色の固体であり、有機溶媒に難溶であり、水に易容であるという性質を有していたが、すでに述べた HPLC 条件では、両者の誘導体の分離が良好ではなかった。

4. 考察

現段階では HPLC による完全分離に至っていないため、安定同位体比解析を行っていないが、条件や誘導体化の方法など見直し、分離を行う。

引用文献

1. Y. Chikaraishi et al., *Limnol. Oceanogr.: Methods* 7, 740-750 (2009).
2. 力石ら、*地球化学*、44, 233-241 (2010).

河川における残留塩素の低減効果に関する研究

*小川隆文(名古屋大学工学研究科), 田代喬(名古屋大学環境学研究科), 辻本哲郎(名古屋大学工学研究科)

1. はじめに

残留塩素は下水処理の消毒過程で発生し、水生生物に対する毒性が確認されている(藤田, 1988)。開水路では保持されにくいとされるが、処理水が流入する河川における動態はほとんど未解明である。そこで本研究では、河川水中の残留塩素の挙動解明を目的とし、河川水中の残留塩素濃度とそれ以外の水質項目や流域情報との関係性を分析した。

2. 材料と方法

三重県を流れる橿田川流域の計 16 カ所(本川に 7 地点, 6 つの支川流域に 9 地点, 図-1 参照)において水質調査を行った田代ら(2012)のデータを分析した。水質項目は、多項目水質計(TOA-DKK 社製, WQC24)による pH, DO, EC(電気伝導度), 濁度, 水温, 試料水の主要陰イオン(F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , TOA-DKK 社製 IA-200 による), 遊離残留塩素(Hanna 社製 HI701 による)である。

3. 結果と考察

図-1 には、橿田川流域における各調査地点と計測された残留塩素濃度(田代ら, 2012)を併せて示す。さらに、測定された全水質項目を因子とする主成分分析を実施したところ、第二主成分までの寄与率が 61%に達した。図-2 には、各因子の主成分負荷量と各地点における主成分得点を示す。

残留塩素は橿田川流域において広く分布し、局所的に高濃度で検出された。また、主成分分析では、第一主成分が多くの水質特性を表現する一方、第二主成分には残留塩素, NO_2^- , Br^- が寄与した。第一主成分によって相対的な汚濁状況が表現されと考えられるが、残留塩素は必ずしもこれに関わりなく、また、残留塩素の低減は, NO_2^- , Br^- , NO_3^- や水温と関連する可能性が示唆された。今後は、流域の土地利用, 排水処理状況などとの関連性についても分析を行い、考察する予定である。

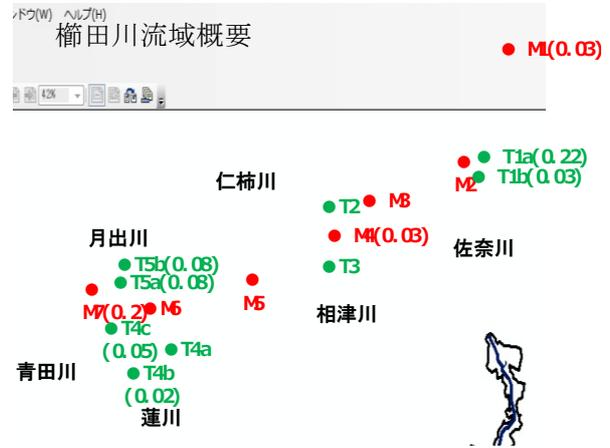


図-1 調査地点と残留塩素濃度(括弧内, mg/l 記)の分布

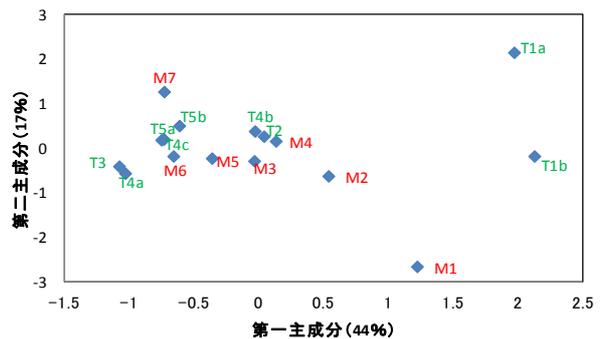
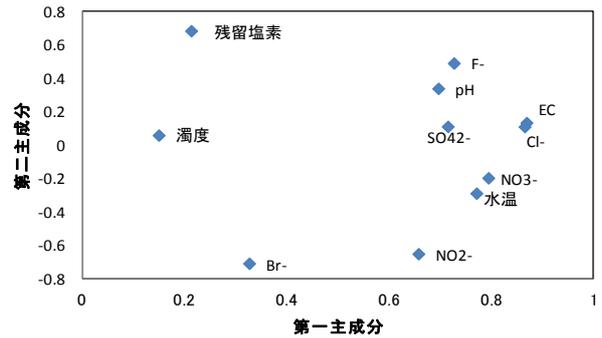


図-2 各因子の主成分負荷量と各地点の主成分得点

参考文献

藤田(1988): 用水と廃水, 30:3-11.
 田代, 陳, 林(2012): 土木学会環境水理部会研究集会講演要旨集。

炭化汚泥の硝化促進担体としての最適濃度の検討

*江口雅昭¹⁾・本田由佳子²⁾・二宮善彦³⁾・上野薫²⁾・浜辺久⁴⁾・澤井正和⁴⁾

¹⁾ 中部大院・応用生物, ²⁾ 中部大・応用生物, ³⁾ 中部大・工, ⁴⁾ オオブユニティ (株)

1. はじめに

活性汚泥法では、余剰汚泥が産業廃棄物として排出される。この余剰汚泥の新たな有効利用方法として、堆肥製造時の熱を利用して省エネルギー的に乾燥・炭化した余剰汚泥（以下、炭化汚泥）の安価な微生物付着担体としての硝化処理活用を目指す。本報では作製した炭化汚泥の性能を他の炭化汚泥や市販の硝化担体と比較し、さらに硝化促進担体としての最適添加濃度を検討した。

2. 材料と方法

①炭化汚泥の性能比較：供試担体には本プロジェクトで作製した炭化汚泥（C-1）、他社により作製された木質チップ入りの炭化汚泥（C-2）、市販のポリエチレングリコール製硝化担体（PEG 担体）を用いた。添加濃度は試水質量に対して 10wt% とした。C-1 と C-2 は粒状（ $\phi 0.25\sim 1\text{mm}$ ）と粉状（ $\phi 0.25\text{mm}$ 以下）に篩別して供試した。物理特性として各分画の比表面積、全細孔容積および平均最高直径（BET 法）を測定した。供試水には全試験区で下水処理場の曝気槽原水を使用して、10 日間振盪培養（110rpm, 25°C, pH は採水時に 7.8~8.0 に調整）を行った。採水したサンプルは $\phi 4\mu\text{m}$, $\phi 0.45\mu\text{m}$, $\phi 0.20\mu\text{m}$ でろ過後に水質分析を行った。水質分析項目としては NH_4^+ （インドフェノール法）、 NO_2^- （BR 法）、 NO_3^- （イオンクロマトグラフィ）、DN（燃烧酸化-化学発光法）を測定した。硝化能は硝化率（%； NO_3^- 濃度/10 日目の DN 濃度 $\times 100$ ）で評価した。

②炭化汚泥の最適濃度の検討：供試担体として C-1 と PEG 担体を用い、添加濃度は 10% と 1%（C-1 粉状は 0.5% と 0.05% も実施）とした。なお、硝化能の評価方法は①と同様とした。

3. 結果と考察

①炭化汚泥の性能比較：C-1 区の硝化率は C-2 区の 1.2 倍、無添加区の 1.3 倍高い値かつ PEG 区と同等の硝化能であり、C-1 は硝化担体として有用であることが示された。炭化汚泥の物理特性を比較したところ、C-1 は C-2 より比表面積で 2.6 倍、全細孔容積は 1.5 倍、平均最高直径は 0.5 倍であった。これより、比表面積が大きく細かな細孔がある C-1 の方が高い吸着能をもつ炭化汚泥であったために、硝化能が高かったと推察した。

②炭化汚泥の最適濃度の検討：Fig.1 に各試験区における 8 日目の硝化率を示す。1%添加区が、最も高い硝化率を示し、無添加区よりも硝化効率は約 30%高かった（PEG 区と同等）。よって C-1 の最適添加濃度は 1%と判断された。粒径別では 10%添加区では粉状が、1%添加区では粒状が高い硝化率を示した。炭化物は、粒径の小さいものほど灰分が多く含まれている傾向にある。今回は篩別法により区分したため、灰分量の偏りが担体効果に影響を及ぼしたと推察した。

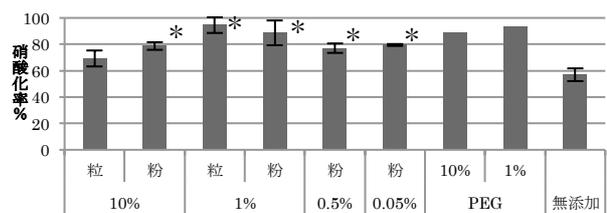


Fig.1 8日目の硝化率(添加濃度別比較)

(* : $P < 0.05$, Tukey-Kramer 法, 無添加との有意差)

4. おわりに

今後は、C-1 粒状での低添加濃度での試験を行い、より最適添加濃度を確定する。さらに、灰分量と硝化能の関係を把握したい。

本研究は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)「水処理汚泥を利用した水処理省エネルギー利用技術の研究開発」の一部として実施された。