

日本陸水学会近畿支部会 第 22 回研究発表会 講演要旨集



©Yoshinari KOBUE

神 戸
2011 年 2 月 26 日・27 日

**日本陸水学会近畿支部会
第 22 回研究発表会**

講演要旨集

地方職員共済組合 有馬保養所 瑞宝園

2011 年 2 月 26 日(土)・27 日(日)

日本陸水学会近畿支部会第 22 回研究発表会・総会プログラム

場所： 地方職員共済組合 有馬保養所 瑞宝園

2 月 26 日 (土)

12:55 開会あいさつ

(一般講演)

- 13:00 琵琶湖湖岸砂浜帯における付着藻類の現存量の鉛直分布
○赤壁 咲・天橋 望・安積寿幸・赤塚徹志・三田村緒佐武 (滋賀県大・湖沼環境)
- 13:15 琵琶湖周辺に流入する湧水涵養水路群における水草の分布と生育環境特性
○高橋和也・浅枝 隆 (埼玉大院・理工)
- 13:30 大阪城内濠のプランクトン調査
○五十嵐優也 (大阪府立高津高等学校)
- 13:45 日本産カゲロウ類の網羅的 DNA バーコーディング
○脇村 圭¹⁾・竹門康弘²⁾・高柳 淳³⁾⁴⁾・谷田一三¹⁾・清水信義⁴⁾・加藤幹男¹⁾ (大阪府大・理,²⁾ 京大・防災研,³⁾ 慶應大・医,⁴⁾ 慶應大・先端研 GSP センター)
- 14:00 河川生息場所の簡易評価法試案
○谷田一三・與世田信忠・平 祥和 (大阪府大・理)
- 14:15 造網性トビケラ摂食生態の流程による変化
○坂田啓三・平 祥和・谷田一三 (大阪府大・理)
- 14:30 透過性砂防堰堤の創出する水理・河床環境と底生動物群集
○津山隆之¹⁾・高橋剛一郎²⁾・谷田一三¹⁾ (¹⁾ 大阪府大・理,²⁾ 富山県大短大部・環境)
- 14:45 紀の川岩出井堰上下流での水生生物群集の生息環境評価
○松村勇希・三雲唱平・石田裕子 (摂南大・理工)
- 15:00 紀の川岩出井堰の運用が上流の水生生物群集に与える影響
○龜山大輔・松村勇希・三雲唱平・石田裕子 (摂南大・理工)
- 15:15 本邦河川水質の現況と近過去からの変容
○小林一星¹⁾・堀 智孝¹⁾・杉山雅人²⁾ (¹⁾ 京大院・人間環境,²⁾ 京大院・地球環境)
- 15:30 寄生虫の存在と宿主の体組織の重金属濃度の関連性
○高山あずみ・浦部美佐子・丸尾雅啓 (滋賀県大・環境科学)
- 15:45 琵琶湖におけるウランの分布と動態
○望月陽人¹⁾・杉山雅人²⁾ (¹⁾ 京大・総合人間,²⁾ 京大院・地球環境)
- 16:00 琵琶湖水中の Fe(II)に与える生物活動の影響
○柳沼 勇多・丸尾 雅啓 (滋賀県大・環境科学)
- 16:15 生育環境の違いによる藻類の光合成電子伝達系の働きについて
野中悠平¹⁾・○奥村 亮¹⁾・広谷博史²⁾ (¹⁾ 大教大院・教育,²⁾ 大教大・教育)

(特別講演)

- 16:30 琵琶湖の水陸移行帯の湿地における脱窒とそれに影響を及ぼす環境因子
○赤塚徹志・三田村緒佐武 (滋賀県大・湖沼環境)

(懇親会)

18:00 瑞宝園内会場にて (20:00 終了予定)

2月27日（日）

（総会）

9:00 研究発表会会場にて

（一般講演）

- 9:30 限外ろ過・C₁₈固相抽出法による琵琶湖溶存有機物の分離と特徴の比較
○北野史子¹⁾・早川和秀²⁾・西本鷹耶³⁾・小島礼慈¹⁾・原 都³⁾・熊谷 哲¹⁾・高橋勝利⁴⁾・藤嶽暢英⁵⁾・杉山裕子¹⁾（¹⁾兵庫県大院・環境人間，²⁾琵琶湖研センター，³⁾兵庫県大・環境人間，⁴⁾産総研，⁵⁾神戸大院・農）
- 9:45 PARAFACを使用した琵琶湖蛍光性DOMの起源の推定
○小島礼慈¹⁾・杉山裕子¹⁾・早川和秀²⁾・和田千弦¹⁾・石川可奈子²⁾・岡本高弘²⁾・丸尾雅啓³⁾・神澤真一⁴⁾・奥村亮二⁴⁾・藤原 学⁴⁾・熊谷 哲¹⁾（¹⁾兵庫県大院・環境人間，²⁾琵琶湖研センター，³⁾滋賀県大・環境科学，⁴⁾龍谷大・理工）
- 10:00 FT-ICR MS分析を用いた森林生態系における溶存有機物の循環過程の解明
○原 都¹⁾・大橋瑞江¹⁾・Sirpa Piirainen²⁾・Pirkko Kortelainen³⁾・Leena Finer²⁾・熊谷 哲¹⁾・高橋勝利⁴⁾・森谷美奈¹⁾・杉山裕子¹⁾（¹⁾兵庫県大・環境人間，²⁾フィンランド森林研究所，³⁾フィンランド環境研究所，⁴⁾産総研）
- 10:15 浄水場における緩速濾過処理と急速濾過処理による溶存腐植様物質の分子サイズ分布への影響
○佐藤裕泰・丸尾雅啓（滋賀県大院・環境）
- 10:30 フブスグラーバイカル流域における物質の化学動態
○村田貴拓¹⁾・三村徹郎²⁾・渡辺泰徳³⁾・佐藤泰哲⁴⁾・三田村緒佐武⁵⁾・中野伸一⁶⁾・A.Dulmaa⁷⁾・V.V.Drucker⁸⁾・杉山雅人⁹⁾（¹⁾京大院・人間環境，²⁾神大・理，³⁾立正大・地球環境科学，⁴⁾山形大・理，⁵⁾滋賀県大・環境科学，⁶⁾京大・生態研センター，⁷⁾モンゴル生物学研究所，⁸⁾ロシア科学アカデミー陸水学研究所，⁹⁾京大院・地球環境）
- 10:45 代かき時に宇曽川河川水へ流出する農業濁水の特徴
○赤松由実子・安積寿幸・赤塚徹志・三田村緒佐武（滋賀県大・湖沼環境）
- 11:00 安曇川の水質の季節変動および河口沖における流況変動
○藪内春香・○天沼翔太・齊藤紫保・遠藤修一・石川俊之（滋賀大・教育）
- 11:15 2010年のびわ湖水質の季節変動
○藤田将成¹⁾・○片岡弘貴¹⁾・遠藤修一¹⁾・石川俊之¹⁾・奥村康昭²⁾（¹⁾滋賀大・教育，²⁾大阪電通大・工）
- 11:30 水温躍層中に流入した河川水による酸素極小層への酸素供給について
○堤 康郎・岡本 巖（酸素の会）
- 11:45 びわ湖の湖陸風について
○菊田早絵子・遠藤修一（滋賀大・教育）
- 12:00 閉会挨拶

一般講演の時間は、発表12分＋質疑応答の3分の計15分です。
発表時間にはスライドの準備も含まれますので、ご注意ください。

琵琶湖湖岸砂浜帯における付着藻類の現存量と光合成速度の鉛直分布

※赤壁咲・天橋望・安積寿幸・赤塚徹志・三田村緒佐武（滋賀県立大学環境科学部）

1. はじめに

河川や海岸および湖岸などの砂礫には、一次生産者として重要な役割をもつ付着藻類が生育している。この付着藻類は光合成によって有機物を生産するため、光エネルギーは重要なものと考えられる。砂浜における光条件としての砂中の有光層は、砂浜表面からの深度 5 mm を超えることはないと報告されている。(Brawn and McLachlan, 2002) 一方、岩本ら(2001)、堀川(2003)、天橋(2008)、清沢(2008) は砂浜帯におけるクロロフィル *a* 濃度の鉛直分布を調査し、5 mm 以深の堆積物深度でクロロフィル *a* 濃度のピークを観測している。

本研究では、琵琶湖湖岸砂浜帯のうち粒径分布が異なる 2 地点において、それらのクロロフィル *a* 量および光合成活性の鉛直分布を調査した。そして、粒径分布によるクロロフィル *a* 量と光合成活性の鉛直分布の違いを比較すると共に、それらのクロロフィル *a* の起源と深い堆積物層でのクロロフィル *a* 量ピークの形成過程を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

本研究では、琵琶湖東岸における粒径分布の異なる 2 か所の砂浜帯を調査対象とした(図-1)。これらの砂浜帯は周囲が開けた、0.25 mm 以上の様々な粒径の砂礫で構成される砂浜 A と、半島状の地形に位置する粒径の細かい砂で構成される砂浜 B である。

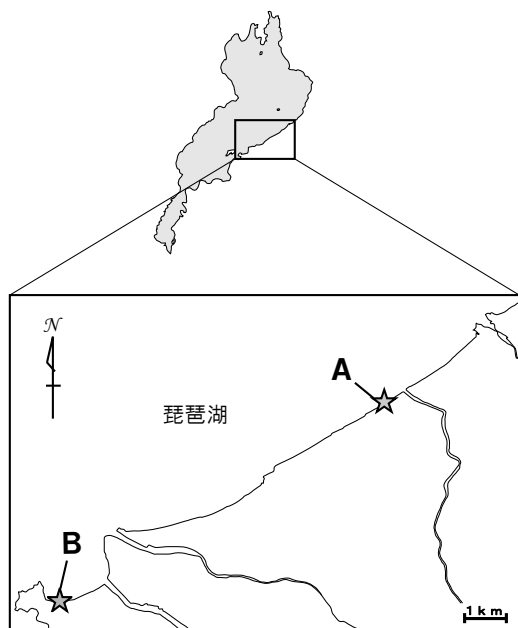


図-1. 試料採取地

調査は、2 つの砂浜帯において、2010 年の 10 月、11 月、12 月に計 3 回ずつ採取を行った。さらに、各調査地において汀線で鉛直 30cm の砂層コア試料を 2 本ずつ採取した。現場で採取した試料は研究室へ持ち帰り、クロロフィル *a* 量、光合成活性、含水量および強熱減量、粒径の鉛直分布を測定した。また、現場においては物理的環境要因として湖水の水温、電気伝導度、pH、風速を測定した。

光合成速度は、汀線における砂層コア試料を表面 (0-5mm)、0-10cm、10-20cm、20-30cm に分けた 4 試料を対象とし、明暗瓶法にて溶存酸素変化量から求めた。また、光合成速度とクロロフィル *a* 量から、クロロフィル *a* 量当たりの光合成速度を光合成活性とした。

3. 結果と考察

11 月の砂浜 A と砂浜 B の汀線におけるクロロフィル *a* 量はそれぞれ 0.026~0.71 g/m³(平均 0.26 g/m³)、0.17~1.68 g/m³(平均 0.77 g/m³)であった(図-2)。これらの結果から、砂浜 A におけるクロロフィル *a* 量は、砂浜 B と比較して低くなっていることが分かった。湾のように周囲を囲われ、激しい波が打ち寄せにくい砂浜 B に対し、周りの開けた砂浜 A には激しい波が打ち寄せやすく、波の影響を受けやすい。さらに、粒子径の大きい礫や砂が多い砂浜 A では粒子間隙が大きく、細かい砂が密集している砂浜 B よりも波による流動をより顕著に受ける。これらのことから、砂浜 A では付着藻類の生育が困難となることにより、砂浜 A と砂浜 B におけるクロロフィル *a* 量に差が生じたと考えられた。

風の強かった砂浜 B における 10 月の汀線でのクロロフィル *a* 量の鉛直分布は 0.24~2.45 g/m³(平均 1.52 g/m³)と高く、且つ深度 15~20cm においてクロロフィル *a* 量のピークが確認された(図-3)。一方、風のほとんどなかった 11 月の汀線でのクロロフィル *a* 量の鉛直分布は 0.12~1.68 g/m³(平均 0.774 g/m³)で、深度が深くなるにつれ急激に減少した。これらのことから、風による波の発生は砂浜の攪乱を招き、付着藻類現存量の鉛直的な分布変動を引き起こしたと推測され、さらに自発的に移動する付着藻類が存在した可能性も考えられた。

表-1 の結果から、砂浜 A では群集純生産量が -470~-37 mg C/m³/h(平均 -246 mg C/m³/h)と、負の値となる傾向を示した。砂浜 A における群集純生産量が負の値

となった原因として、砂浜 A における付着藻類現存量が少なく、従属栄養生物による呼吸量が付着藻類の光合成量を上回ったという可能性が示唆された。一方、砂浜 B では群集呼吸量、群集純生産量がともに測定され、この結果と砂浜 B におけるクロロフィル a 量の結果(図-2)から、砂浜 B には付着藻類の現存量が高く、光合成活性をもつ付着藻類が深度の深い場所にも存在することが示唆された。

本研究から、波による砂浜の攪乱に伴う付着藻類現

存量の鉛直的な分布変動により、深い堆積物層においてクロロフィル a 量のピークが形成されると考えられた。さらに、砂浜 B では、光合成活性をもつ付着藻類が堆積物深度の深い場所にも確認されたことから、自発的に鉛直移動を行う種が存在していた可能性が示唆された。

今後、顕微鏡などによる砂層試料中における種組織の特定や計数、各調査地における波の大きさとそれによる堆積物の攪乱の度合いなどの調査が必要とされる。

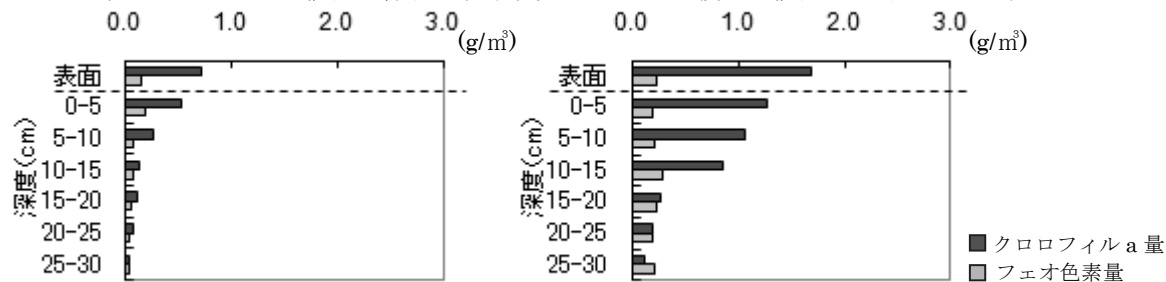


図-2. 11月の砂浜 A(左)と砂浜 B(右)の汀線におけるクロロフィル a 量。

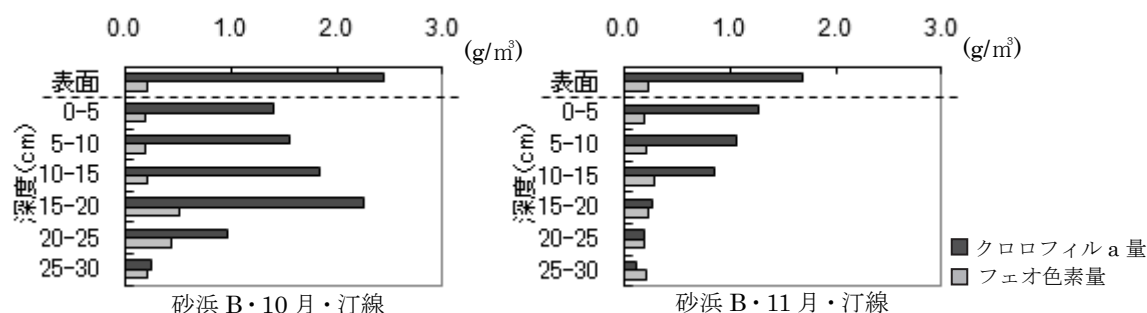


図-3. ピークが確認された試料のクロロフィル a 量の一例。

表-1. 砂浜 A と砂浜 B における光合成速度と光合成活性。

光合成商=1として算出した。空欄(-)は有意なデータが出なかったことを示す。

調査日	深度	クロロフィルa量*	フエオ色素量**	光合成活性	光合成速度	群集呼吸量	群集純生産量
		(mg/m ³)	(mg/m ³)	(mg C/mg chl.a/h)	(mg C/m ³ /h)	(mg C/m ³ /h)	(mg C/m ³ /h)
砂浜A	表面	128 ± 10	32 ± 3	1.55	199	343	-144
	10/26 0-10	116 ± 9	76 ± 8	1.21	140	176	-37
	10-20	27 ± 4	66 ± 9	0.63	17	270	-253
	20-30	6 ± 1	16 ± 1	-	-	-	-
	表面	74 ± 8	21 ± 2	2.09	156	625	-470
	11/22 0-10	62 ± 8	24 ± 6	-	-	177	-
	10-20	35 ± 3	28 ± 11	-	-	153	-
	20-30	13 ± 1	11 ± 2	-	-	59	-
	表面	21 ± 1	4 ± 1	1.36	28	356	-328
	12/21 0-10	103 ± 9	39 ± 2	-	-	6	-
	10-20	33 ± 1	19 ± 2	-	-	-	-
	20-30	40 ± 3	25 ± 2	-	-	-	-
砂浜B	表面	591 ± 47	40 ± 8	1.29	761	218	544
	10/22 0-10	593 ± 44	55 ± 8	1.48	880	295	614
	10-20	651 ± 41	146 ± 11	1.57	1023	353	703
	20-30	243 ± 28	156 ± 16	1.24	303	53	262
	表面	202 ± 16	27 ± 5	2.32	470	80	390
	11/25 0-10	216 ± 21	34 ± 2	2.00	433	19	434
	10-20	119 ± 8	85 ± 5	0.72	86	34	55
	20-30	23 ± 1	57 ± 7	-	-	-	-
	表面	345 ± 18	48 ± 7	1.57	541	264	277
	12/8 0-10	390 ± 11	55 ± 3	0.83	324	218	110
	10-20	165 ± 15	67 ± 7	-	-	130	-
	20-30	25 ± 3	41 ± 2	-	-	1	-

* 培養実験に使用した液中のクロロフィル a 量。

**培養実験に使用した液中のフエオ色素量。

琵琶湖周辺に流入する湧水涵養水路群における 水草の分布と生育環境特性

高橋和也・浅枝隆（埼大院・理工）

1. 研究の背景と目的

湧水が流入する池や河川では、しばしば湧水に特徴的な水草群落が生形成される。バイカモやナガエミクリ、ミズハコベは湧水で涵養されている小河川でよく見かける植物群である（角野,1994）。なかでもナガエミクリは環境省レッドリストにおいて準絶滅危惧種とされており、特に、その保全が望まれる。しかしながら、湧水を好んで生育している植物に関し、その詳細な生育環境を調査した事例はそれほど多くない。これらの植物の生育環境を理解することは、種の保全を考える上で重要である。また、近年、水草の生態系サービスが注目されるようになってきた（Yarrow, 2009）。農地等からの面源負荷対策は琵琶湖においては依然課題であるが、琵琶湖に流入する河川・水路に生育するナガミクリ等の水草の生育環境や生育特性を把握することは、生態系サービスを最大化するような水路管理にとって重要な知見といえる。そこで、本研究では、琵琶湖周辺に位置する湧水涵養水路群において水草の分布状況を調査し、同一水路群に分布する他の水草群落の生育環境と比較しながらナガエミクリの生育環境特性について考察し、湧水が本種の生育に果たしている役割を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2-1. 調査対象地

調査対象地は、滋賀県近江八幡市を流れ、琵琶湖に流入する黒橋川の上流部およびここに流入する2つの農業用排水路である。調査対象とした黒橋川の上流部も、流路が改変され農業用排水路として利用されている。最上流部には湧水池があり、ここからの湧水と水田からの排水によって涵養されている。また、2つの流入排水路のうち一方には黒橋川同様、湧水池（若宮湧水）からの水が流入している。2つの湧水池以外にも3水路とも、河床からの湧水がところどころに認められ、今回対象とした水路はすべ

湧水によって涵養されている。

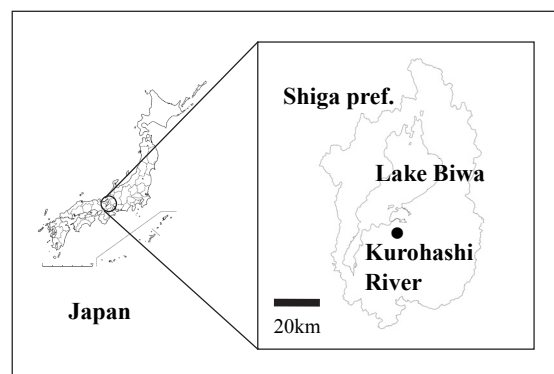


図-1 調査対象位置図

2-2. 水草の分布および生育環境調査

黒橋川および2つの水路を踏査し、調査対象水路には、主にオオカナダモ、コカナダモ、ナガエミクリの3群落が生分布していることを確認したうえで、群落ごとに30×30cmのコドラートを設定、水草の現存量を把握した。コドラートの数は、群落の分布面積に応じて設定し、オオカナダモ12、コカナダモ9、ナガエミクリ5とした。また、コドラート付近において、流速とpH、DO、EC、水温を現地計測し、底泥および水を採取した。採取した底泥については、室内にて粒度分布を計測するとともに、N、Pの含有率を分析した。また、水に関しては、NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N、PO₄-P濃度を分析した。

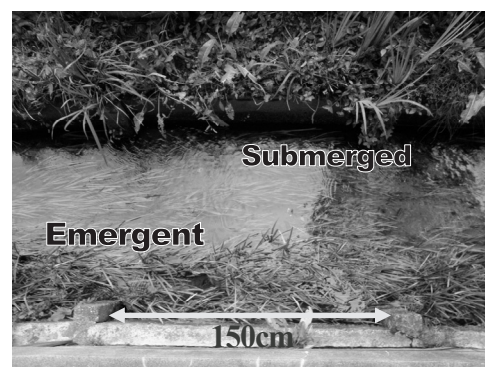


写真-1 ナガエミクリ群落

サンプリングは、2010年5月から7月にかけて実施し、水質の現地計測は、この間に5回実施した。黒橋川の上流部は、水路を維持管理するために毎年7月の第一日曜日に水草と堆積した底泥が除去される。流速は水草が取り除かれた直後の2010年7月17日計測した。

3. 結果と考察

図-2はオオカナダモ、コカナダモ、ナガエミクリの3群落で得られた生育環境に関するデータセットを用いて主成分分析を行った結果である。

図-2(b)よりナガエミクリはpH、水温および底泥中のN、P含有率が低く、また、水中の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が低い環境下に生育していることがわかる。

一方、オオカナダモ、コカナダモはこれとは逆の環境下に生育しており、オオカナダモの方がコカナダモに比べて流速の速い場所に生育する傾向にある。これについては、植物体の大きさや根の張り方等流速に対する支持力の違いが関係している可能性が考えられる。

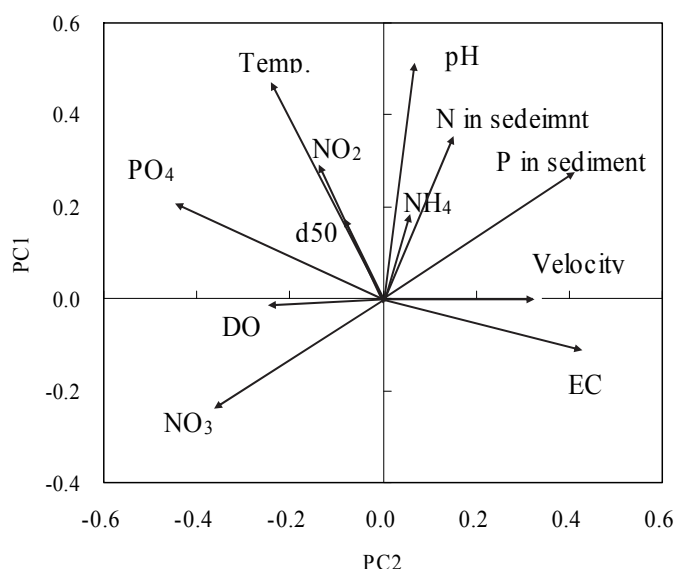
前述のとおり、当該水路は湧水に涵養されており、湧水のpHは酸性(pH:6.0程度)を示している。そのため水路内のpHは湧水からの距離が近いほど低く、流下する過程で徐々に上昇していく。ナガエミクリ群落の水温、pHはともに低くなっているが、このことは、本種が他の2種よりも湧水に依存していることを示唆している。

ナガエミクリ群落内の栄養塩濃度に関しては、底泥中のP含有率、水中の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度とも低くなっていた。 $\text{PO}_4\text{-P}$ は容易に金属イオンと結合し沈降する傾向が強い。そのため、地下を浸透して湧き出す湧水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は低くなると考えられる。リンに関しては、オオカナダモ、コカナダモともに、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の高い場所を好んで生育している。水田に隣接する水路にもかかわらず、湧水の存在が $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を低く維持し、このことがオオカナダモやコカナダモの侵入を防ぎナガエミクリの生育を可能にしているものと考えられる。

オオカナダモ群落とコカナダモ群落の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を比較すると、コカナダモ群落の方が高いが、これはオオカナダモの方が現存量も有意に大きく(T検定, $p=0.01$)、積極的に水中の $\text{PO}_4\text{-P}$ を葉や茎をとおして植物体に取り入れた結果で

はないかと考えている。

a) PC1-PC2 上の各要素の環境勾配



b) PC1-PC2 上の主成分得点のプロット

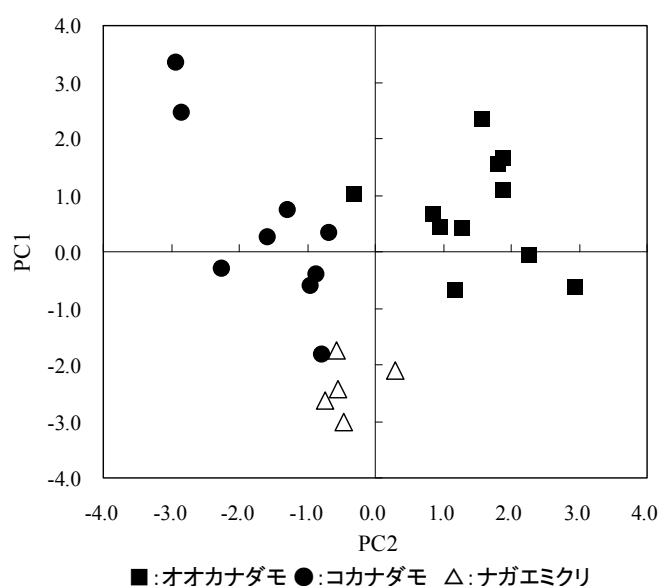


図-2 主成分分析結果

引用文献

- 角野康郎(1994), 日本水草図鑑, 文一総合出版, pp.179
- Yarrow M, Marin V, Finlayson M, Tironi A (2009) The ecology of *Egeria densa* Planchon (Lilioidae: Alismatales): A wetland ecosystem engineer? Revista Chilena de Historia Natural 82: pp.299-313

大阪城内濠のプランクトン調査

○五十嵐優也、中根将行（大阪府立高津高等学校）

1. はじめに

本校生物研究部は、1977 年より約 30 年間にわたって「大阪城内濠のプランクトン調査」を続けている。

内濠でヒドラ (*Hydra.sp*) を見つけたことをきっかけにして始まったということもあり、当初は内濠に対する興味から調査を行っていた。しかし現在は、内濠という身近な自然の中で生物群は何に影響を受け、どのように移り変わっていくのかということを知るためにこの調査を行っている。

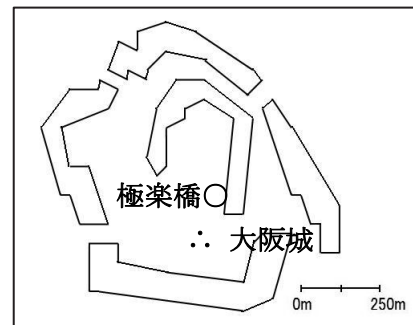
2009 年 1 月～12 月にかけての調査では、各種プランクトンの個体群密度と水質の変動には関係性がみられることが分かった。そこで今回は、個体群密度変動での関係性を作り出す要因についての考察を行った。

2. 調査方法

調査場所は大阪城内濠にかかる極楽橋である（地図を参照）。一年を通じてのプランクトン群の移り変わりを調べるため、隔週日曜日の午前 10 時と調査日時を定めて調査した。

調査項目は以下の通りである。

- ・天気 ・気温 ・水温 ・水深 ・透明度
- ・水素イオン指数 ・溶存酸素濃度 ・電気伝導度
- ・各種パケットテスト（化学的酸素要求量（COD）、
亜硝酸態窒素、リン酸態リン、アンモニウム態窒素）
- ・プランクトンネットによる定量採集・同定
- ・ユネスコ法によるクロロフィルの定量



計数法による個体群密度の算出

プランクトンネット(NXX-13、格子サイズ 100 μm)で採集し、シュガーフォルマリンで固定した。その後、顕微鏡下で同定し、以下の式から 10L 中での個体群密度を算出した。

$$\frac{\text{観察した個体数} \times \text{採水した水の量(mL)} \times 10}{\text{ネットで引いた水の量(L)} \times \text{同定した水の量(mL)}}$$

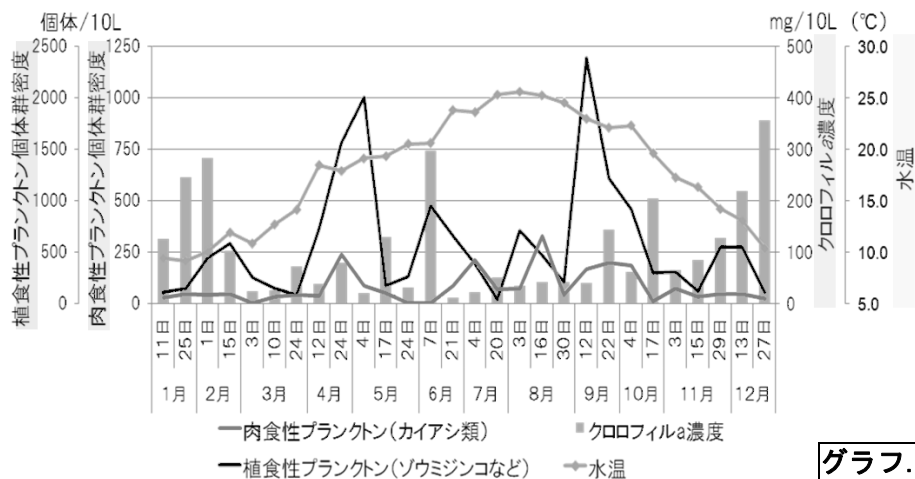
大きさが 100 μm 以上のプランクトン（内濠に生息する動物プランクトンの大半）については、この方法で同定が可能である。しかし、ネットによる採集法では採集可能なプランクトンの大きさが網目の細かさに左右されるため、小型の植物プランクトンなどの個体群密度を調査するのには適さない。

そこで、小型植物プランクトンの個体群密度の動向を知るため、2008 年 10 月からはユネスコ法によるクロロフィルの定量を実施した。また、この調査で得られたデータは本校生物研究部ホームページに掲載している。

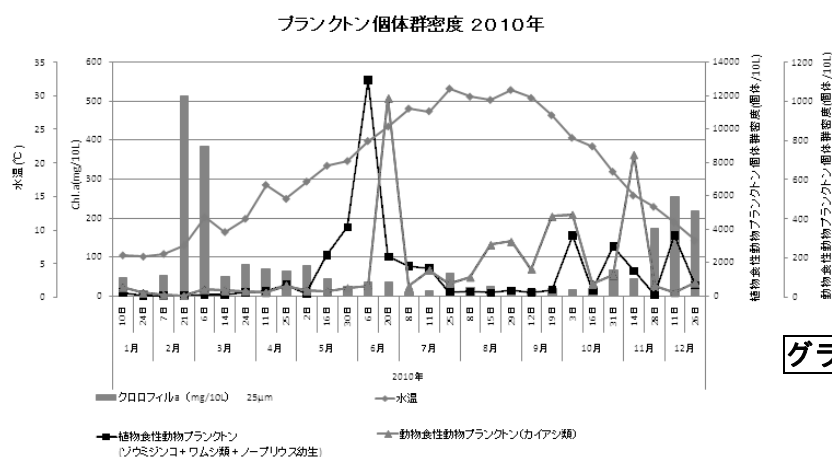
生物研究部 URL http://www.osaka-c.ed.jp/kozu/06club/37bio/Bio_club.htm

3. 調査結果・考察

「クロロフィル量(緑の縦棒)・肉食性プランクトン(赤の折線)・植物食性プランクトン(青の折線)・水温(黄の折線)」の値の変化について「**グラフ. 1**」では 2009 年を、「**グラフ. 2**」では 2010 年を示す。



グラフ. 1



グラフ. 2

両年を比較して、雨期のずれがあるが、雨水の流入により、植物プランクトン(クロロフィル a)が増えて、植物食性プランクトンが激増したものと考えられる。また、その増加を追うように肉食性プランクトンが増加していることが分かった。11月下旬から3月上旬にかけて植物プランクトンが激増していることから、大阪の冬(低温期)は植物プランクトンにとって個体群密度を抑制する、所謂「環境抵抗」にはなっていないものと考えられる。

参考文献

- 水野壽彦.日本淡水プランクトン図鑑.第11版.保育社.1964.351p
- 水野壽彦.淡水プランクトン学入門.第1版.東海大出版会.1984.186p
- 花里孝幸.ミジンコその生態と湖沼環境問題.第2刷.名古屋大学出版会.1998.230p
- 花里孝幸.ミジンコはすごい!.第1版.岩波ジュニア新書.2006.210p
- 西條八東・三田村緒佐武.新編湖沼調査法.第7刷.講談社.2004.238p

日本産カゲロウ類の網羅的 DNA バーコーディング

脇村 圭¹ 竹門康弘² 高柳 淳^{3,4} 谷田一三¹ 清水信義⁴ 加藤幹男¹

(¹大阪府大・理・生物 ²京大・防災研・水資源 ³慶應大・医・分子生物 ⁴慶應大・先端研・GSP センター)

1. はじめに

生物のモニタリングを行う上で、生物種を正しく同定することは非常に重要である。従来、生物種の同定は、その形態的特徴に基づいて行われてきた。しかし、それには膨大な知識と経験が必要であり、例えば、水生昆虫類を種レベルまで同定できる専門家は多くないのが現状である。

DNA バーコーディングとは、ゲノム DNA 中の特定の領域の、種特異的な配列をデータベース化し、種判別マーカを確立することを意味している。したがって、未同定の標本から得た DNA 配列を、既知の標本と対応づけられた種判別マーカと比較することで、容易に種同定ができると期待される。

カゲロウ類は、その生息環境の選好性から河川環境の指標生物として利用されることが多い。また、河川において他の大型水生昆虫や魚類の餌資源としても重要であることが知られている。そのため、それぞれの調査地における生息個体数や種数の変動に関する追跡が広く行われている。しかし、これらのカゲロウ類は、形態からの同定が比較的容易である成虫の期間は短く、また、種ごとに羽化時期が異なるために、一度の調査で多数の種について解析することは困難である。一方、幼虫時では、種を判別する形態的特徴が表れていない場合も多く、その同定は困難を極める。そこで、幼虫から抽出した DNA を解析し、その結果をデータベースと参照して種の同定をできるようにすることで、これらの問題が克服されると期待している。本研究では、日本産カ

ゲロウ類を網羅する種判別マーカを作成することを目標とする。

今回の解析では、チトクロム酸化酵素サブユニット I (COI) 遺伝子、18S rRNA 遺伝子、ヒストン H3 遺伝子領域を対象とした。これらの領域は比較的保存性が高く、また一方で変異しやすい部位も持つため系統解析によく用いられている。

2. 方法

和歌山県、奈良県で採集したカゲロウ標本について、形態に基づいて同定を行った後、解剖を行い、オス標本から貯精嚢と中胸筋肉、メス標本から中胸筋肉を摘出した。得られた組織から、定法に従って DNA を抽出した。各個体から抽出されたゲノム DNA を鋳型として PCR を行い、前述の 3 遺伝子領域の PCR 産物を得た。配列決定反応には Applied Biosystems 社の Big Dye Terminator ver. 3.1 を使用し、両相補鎖について配列が決定された領域をデータとして得た。配列データを相同領域ごとに整列し、遺伝子系統樹を作成した。

3. 結果と考察

今回、COI については 8 種 11 個体、H3 については 7 種 8 個体、18S rRNA については 11 種 12 個体の配列データを得た。これらのデータに加えて、相同配列を GenBank/EMBL/DDBJ 国際データベースより取得し、遺伝子系統樹を作成したところ、それぞれの種は属ごとに集合した。すなわち、ここで用いた領域は、属判別および種判別に有効な情報をもつことが示された。

日本には100種以上のカゲロウ類が生息し、今後これらのカゲロウ類の網羅的バーコーディングを進めていく。

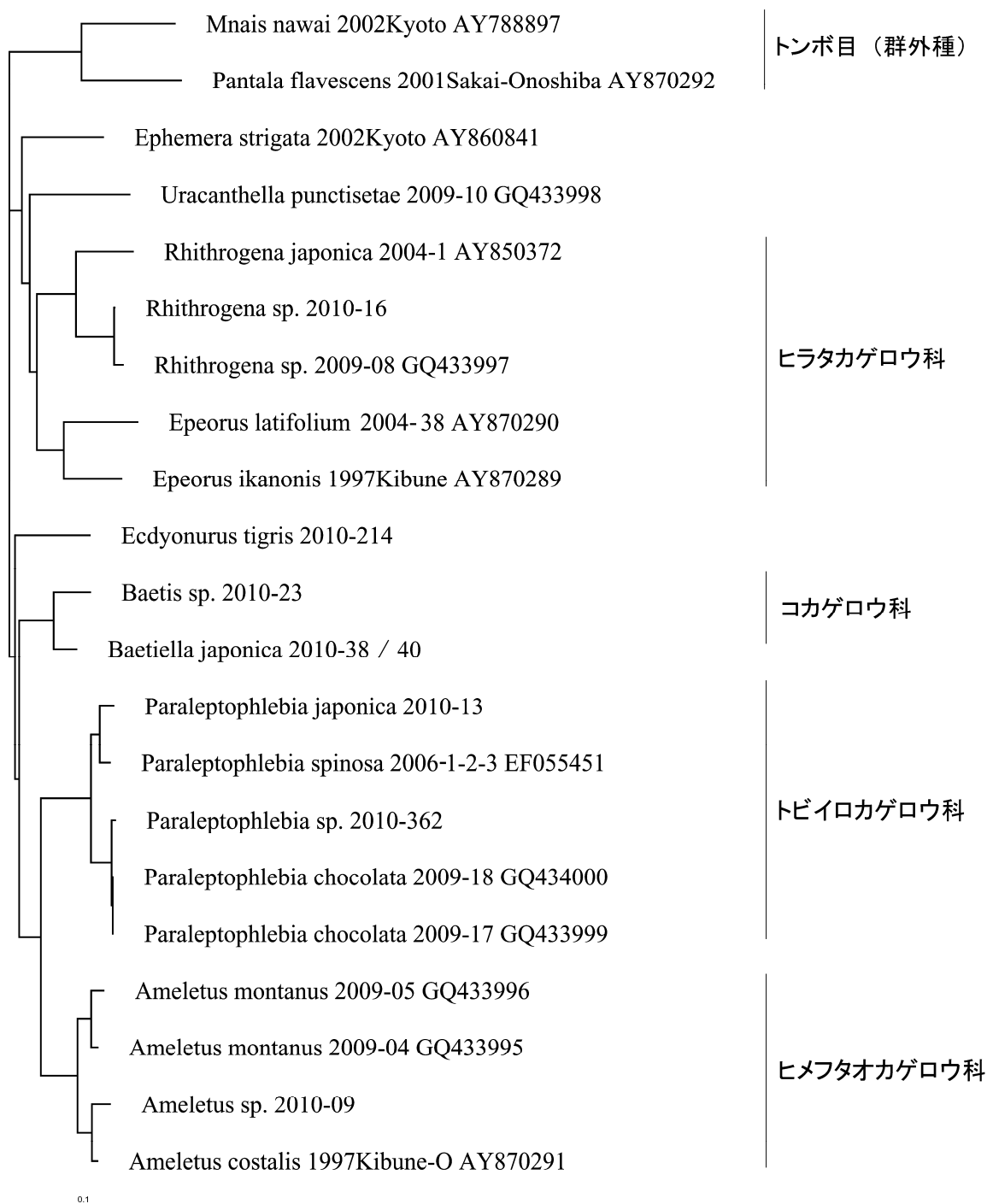


図 ヒストン H3遺伝子部分配列に基づく近隣結合系統樹
 PHYLIP ver.3.67および TreeView ver. 1.6.6により作成。

河川生息場所の簡易評価法試案

※ 谷田一三・與世田信忠・平 祥和(大阪府立大学大学院理学系研究科)

1. はじめに

谷田(2010)は、『河川環境の生物指標学』のなかで、水質の生物指標だけでなく、河川生息場所の簡易的な評価方法について、2つの手法の提案を行っている。生物学的な水質判定をするときには、生息場所の人為的改変や劣化が、生物群集、ひいては生物指標や生物学的な水質判定にも影響を及ぼすというのが、生息場所の評価が必要な一つの理由である。しかし、それだけではない、今日の日本の河川では、「水の汚れ」は大幅に改善されたが、河川の人為的改変、流況の改変などに伴う「川の汚れ」が、いまだに大きな問題となっている。

上記の図書では、山地溪流や中流河川における生息場所多様性のチェックシート(谷田、1996)とともに、米国各州で広く使われている河川生息場所の景観的な簡易評価法を紹介している。本講演においては、後者の米国各州で実施されている方法をベースにした生息場所評価手法の改訂版を紹介するとともに、それを具体的に紀ノ川—吉野川水系に試用した例を紹介する。

2. 評価手法の概要

評価項目は次のようになっている。

リーチ単位などによる判定(各20点満点)

1) 表在性ベントスと魚類が利用できるカバー(カバー)

カバーとは安定性の高い石礫(とくに浮き石)、安定した流倒木

2) 基質の砂泥によるはまり度(はまり度)

3) 流速(0.3m/秒)、水深(0.5m)で区分される組み合わせ(流速・水深)

4) 砂礫堆の堆積傾向(砂堆積)

5) 河道(低水路)に対する水流(幅)(水流)

6) 河道の改変、とくに直線化(人為改変)

7) 瀬や蛇行の出現頻度(蛇行頻度)

左右岸ごとの判定項目(各10点満点、各項目小計20点)

8) 河岸の安定性(河岸安定性)

9) 河岸の樹木による保護(植生カバー)

10) 河畔植生の幅(河畔林の幅)

項目については、溪流と中流域とは共通であるが、4段階(優、良、可、不適)の判定基準が異なっている。例えば、カバーについては、優判定は溪流では70%以上だが、中流では50%に、砂礫堆積については、それぞれ5%と10%になっている。はまり度、流速・水深、水流、蛇行頻度、河岸安定性、植生カバー、河畔林の幅については、基準に差はない。

項目についてやや説明の必要なものもある。カバーについては、表在性ベントスや魚類が利用できるカバーとされている。すなわち、大型のカワゲラやカゲロウ、それに造網性トビケラなどが生息できる礫間やヨシノボリなどの底生魚が入れる礫下などの空間、それに流倒木が作る間隙を指標としている。年に数回程度の洪水では破壊されない安定的な空間を対象とすることになっている。この洪水頻度などについては、日本ではもう少し短い回帰、すなわち安定度の低いものもカバーとして評価していいと思われる。砂礫の堆積傾向については、砂州の被度を指標にしている。蛇行などの出現頻度については、平均川幅に対する出現頻度(例えば優レベルでは間

隔が平均川幅の7倍以下)を目途にしている。

3. 結果と考察

私どもが調査定点としている。奈良県東吉野村について、溪流のチェックシートを適用すると、カバーが13点、はまり度が18点、流速・水深が18点、砂堆積が13点、水流が15点、人為改変が15点、蛇行頻度が18点、河岸安定性が14点、植生カバーが14点、河畔林幅が12点で、合計スコアは200点満点の150点、総合判定では良の最高スコアに近い。

同じく調査を継続してきた中流域の木津川神矢地点については、次のようになる。カバーが13点、はまり度が12点、流速・水深が18点、砂堆積が12点、水流が10点、人為改変が15点、蛇行頻度が13点、河岸安定性が16点、植生カバーが13点、河畔林幅が13点で、合計スコアは同じく200点満点の135点、総合判定では良となる。

講演では、これらの地点の解析に加えて、紀ノ川水系の調査地点についての解析は、画像資料とともに紹介する。

参考文献

谷田一三(編)2010. 河川環境の指標生物学. 北隆館、東京。

造網性トビケラの摂食生態の流程による変化

※坂田啓三(大阪府立大学 理学部 生物科学科)・平祥和(大阪府立大学 理学系研究科 生物科学専攻)・谷田一三(大阪府立大学 理学系研究科)

1. はじめに

河川性水生昆虫の摂食方法は、Cummins (1973) の摂食機能群によると破碎食者 shredder、刈取食者 grazer、収集食者 collector、捕食者 predator に分けられる。収集食者に属する濾過食者は、川の流下粒状有機物（流下 Particulated Organic Matter, 流下 POM）を、固着巣に付属する網で濾して食べる。そのため、餌は流下 POM の組成に大きく影響されると思われる。また、流下 POM は、河川連続体仮説 (Vannote 1980)によると、上流から下流へと連続的な変化が見られるという。すなわち、上流では陸生由来の有機物が多く、粗大有機物 (Coarse Particulated Organic Matter, CPOM, $>1000\ \mu\text{m}$) が多い。また、下流では付着藻類を含む河川性植物が増え、微細有機物 (Fine Particulated Organic Matter, FPOM, $1000\sim0.45\ \mu\text{m}$) が多くなる。本研究では、河川の上流と下流における流下 POM の組成の変化が、濾過食者の代表である造網性トビケラの幼虫の餌内容に与える影響を検討した。

2. 方法

調査地は紀ノ川水系の高見川木津川地点（上流域、調査日 2010 年 4 月 18 日）および紀ノ川橋本地点（下流域、調査日 2010 年 5 月 16 日）を選定した。流下 POM は、それぞれの地点で、流下ネット（メッシュサイズ: $100\ \mu\text{m}$ 、網口口径: $300\ \text{mm}$ 、長さ: $700\ \text{mm}$ ）を使い採取をした。採取したサンプルは、約 3 %ホルマリンで固定し研究室に持ち帰った。流下 POM サンプルは、分析用篩で $125\sim250\ \mu\text{m}$ 、 $250\sim500\ \mu\text{m}$ 、 $500\sim1000\ \mu\text{m}$ 、 $1000\ \mu\text{m}<$ に、水中分画して (wet sieving) プレパラートを作成し、顕微鏡に接続したデジタルカメラで写真撮影した。

幼虫は、河床から石礫を取り上げ目視で採取し、流下 POM と同様に固定し持ち帰った。造網性トビケラは種と齢期を同定した後、実体顕微鏡下で消化管を摘出し、その前方部分の内容物のプレパラート（グリセリンマウント）を作成し、POM と同様に画像を取得した。

流下 POM と消化管内容物の画像はパソコンに取り込み、PowerPoint 上で 10×10 の格子点を作成し、格子点に重なる内容物を動物質、陸生植物、河川性植物、デトリタスに分けて、それぞれの格子点数をカウントした。

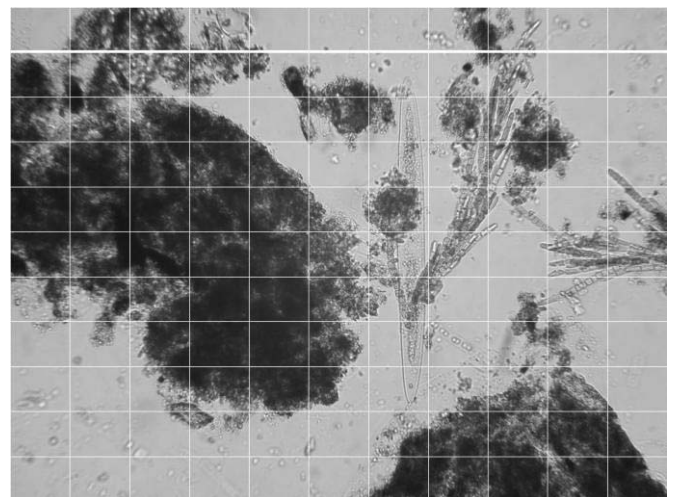


図 1. ヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata*) の消化管内容物のカウント用画像

3. 結果と考察

流下 POM に関しては、木津川地点で陸生植物が全てのサイズ分画においてもほぼ半分を占め、一方、河川性植物は 1.5~50.4% となった。橋本地点では陸生植物が 0.4~11.7% で、河川性植物は 19.8~91.4% であった。

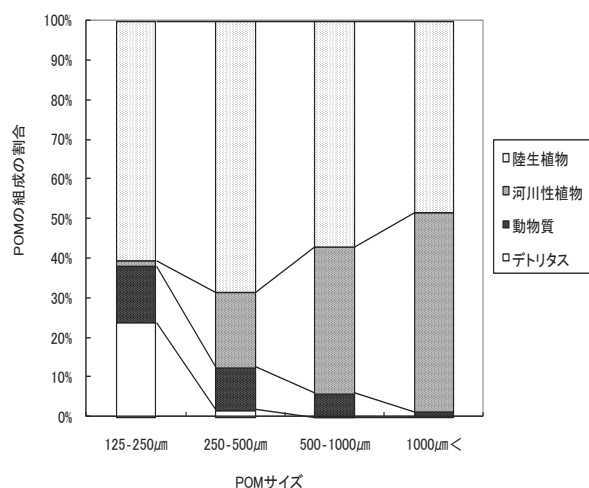


図 2.高見川木津川地点での POM 組成

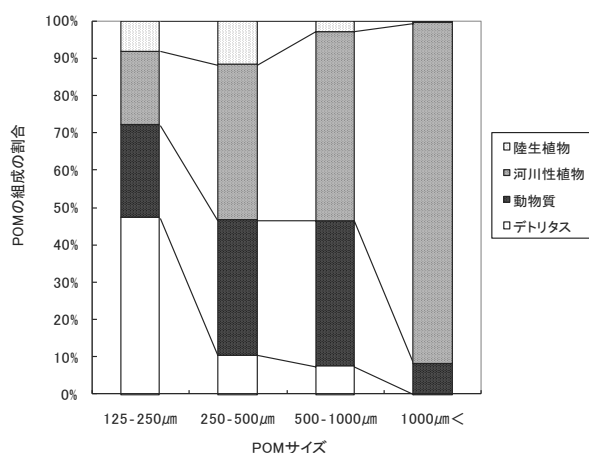


図 3.紀ノ川橋本地点での POM 組成

消化管内容物に関しては、デトリタスが全ての個体で 50%以上を占めていたが、木津川地点では陸生植物が、橋本地点では河川性植物（おもに付着藻類）の割合が多くなっており、流下 POM の組成と傾向が類似していた。

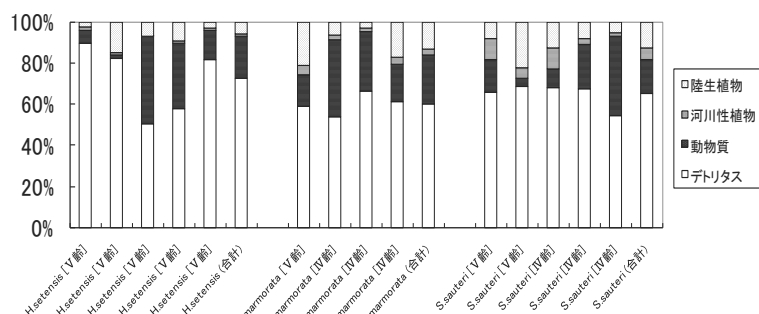


図 4.高見川木津川地点における濾過食性トビケラの消化管内容物の割合

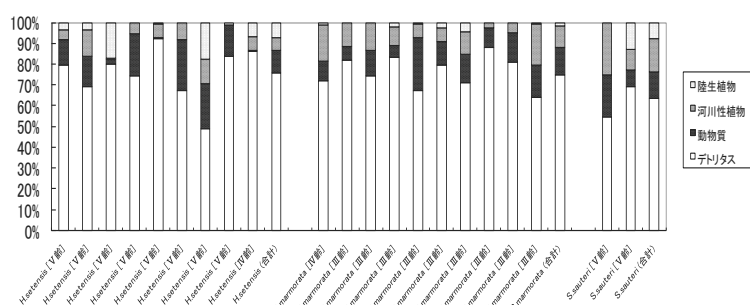


図 5.紀ノ川橋本地点における濾過食性トビケラの消化管内容物の割合

これらの結果は、河川連続体仮説が提示する流程に対応した流下 POM の組成の変化、上流では外来性（陸由来）の有機物が多く、下流では内性（付着藻類）が多いとする一般的な傾向と一致していた。また、この様な利用可能な餌内容（流下 POM）の変化が、造網性トビケラの消化管内容の組成に影響を与えていたことが解った。

4. 参考文献

1. Cummins, K. W. (1973) : Trophic relations of aquatic insects. *Annul. Rev. Entomol.*, **18**: 183/206
2. Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R. and Cushing, C. E. (1980) : The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **37**, 130-137.
3. 川合禎次・谷田一三（編）（2005）日本産水生昆虫—科・属・種への検索 東海大学出版会

透過型砂防堰堤の創出する水理・河床環境と底生動物群集

※津山隆之(大阪府立大学・理学系研究科)・高橋剛一郎(富山県立大学工学部・環境工学科)・谷田一三(大阪府立大学・理学系研究科)

1. はじめに

河川上流域には、土砂災害を防止する目的や森林の保全などを目的として砂防堰堤が多数設置されている。これらは、洪水時の流下土砂を堰堤上部に堆積させ、下流域への土砂供給を制限する働きがある。また、河床勾配を緩くして河岸や河床の侵食を防ぐなど、土砂の制御に用いられる。

しかし、砂防堰堤上流部の土砂堆積による河床の上昇により、砂防堰堤上流で河床勾配が低下し砂防堰堤周辺の水理環境にさまざまな影響を与える。また、土砂堆積による河床の上昇により流路周辺の溪畔林と河道との距離が大きくなり、流路外から供給される落ち葉などが激減(谷田1998)することが報告されている。

これらの変化は、その川を生息・生育の場としている生物群集にも、種多様性の減少や組成の変化などの影響を及ぼしている。

河川の連続性を阻害し、生態学的単純化の一因となる従来型の砂防堰堤の問題点を解消する目的で、透過型砂防堰堤が開発されてきた。これらの環境負荷を軽減することが期待される透過型砂防堰堤が、実際にどのような水理環境と生態系を創出しているのかを検証するために、底生動物の採集と物理環境調査を行った。

2. 方法

石川県白山市の尾添川水系の蛇谷川で調査を行い、上流から St.1 (従来型堰堤上流地点)、St.2 (対照地点)、St.3 (上流側透過型堰堤上流地点)、St.4 (下流側透過型堰堤上流地点)、St.5 (従来型堰堤上流地点)の5地点を設定した。St.1, St.2, St.3 については、2009年10月3日～10月5日、2010年6月12日～6月13日、2010年9月2日～9月4日、2010年10月20日～22日の各期間で、St.4, St.5 について

は2010年の3回のみ調査を行った。

底生動物の生息場所調査として、各地点で水理環境(流速、水深、水準測量)、底質環境(河床材料のサイズ、河床材料の空間配置、河床の付着藻類量)や流下粒状有機物(POM)量、水質環境(PH、DO、EC、水温など)の測定を行い、底生動物の採集はサーバーネット(25×25cmコドラート)を用いて定量採集した。採集した底生動物は5%ホルマリン溶液で固定し、実験室にてできる限り種までの同定を行った。また、各地点において採水した河川水は、実験室にて NH_4^+-N 、 NO_3^--N 、 NO_2^--N 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ の濃度を分光光度計(HACH、DR/2010)により測定した。



図-1. 透過型砂防堰堤

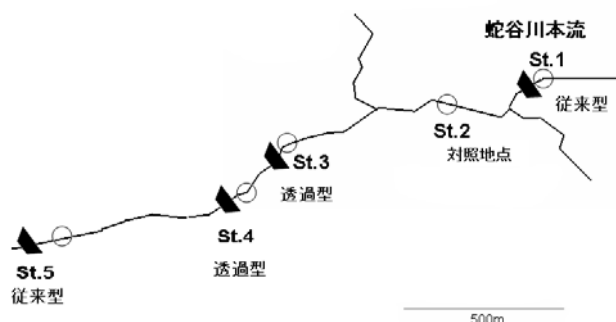


図-2. 調査地点

3. 結果と考察

今回採集した全93サンプルの内、71サンプルから合計71種類、20006個体の底生動物が得られた。また、E:Ephemeroptera(カゲロウ目)、

P:Plecoptera(カワゲラ目)、T:Trichoptera(トビケラ目)の頭文字をとった略称、EPTの生物種の合計数を「EPT種類数」として用いた。このEPT種類数は、調査地の水質の健全度や瀬・淵などの河川環境の多様性を表す指標として最近よく用いられている(谷田 2010)。

結果は、出現種類数・EPT種類数ともにすべての調査でSt.3(透過型砂防堰堤上流地点)でもっとも高い値を示した。

また、それぞれの種個体群とそれに属する個体数から導かれた多様性指数(DI)は、2010年9月の調査を除き、St.3でもっとも高い値を示した。



図-3. : 出現種類数

流下粒状有機物(POM)量は、0.125mm~0.25mm、0.25mm~0.5mm、0.5mm~1mm、1mm<の4サイズにふるい分けし、600℃で二時間強熱し、灼熱減量(Loss of Ignition)を測定した。0.25mm~0.5mmサイズで2010年10月調査を除き、St.3(透過型砂防堰堤上流地点)で最大となり、落葉の多かった2010年10月調査では、1mm<サイズが上流の2地点で多く(St.2(対照地点)で最大)、その他のサイズはSt.5(従来型砂防堰堤上流地点)で他地点と比べ有意に多い結果となった(Tukey-Kramerの多重比較検定: $p<0.01$)。

また、河床材表面の付着藻類量については、河床材の表面に付着した藻類を、特殊アクリル繊維による擦りとり法(谷田ほか1999)を用いて採集し、クロロフィルa量を付着藻類量の指標とした(西條・三田村1995)。

得られた結果から、生きたクロロフィルa量の割合を求めた結果、2010年10月調査だけ地点間の有意差が見られ、St.3がSt.1(従来型砂防堰堤上流地点)、St.4(下流側透過型堰堤上流地点)、St.5(従来型砂防堰堤上流地点)と比べ有意に高い結果となった(Tukey-Kramerの多重比較検

定: $p<0.01$)。またこの時のフェオフィチンを含むクロロフィルa量の全体値はSt.4で最大であった。

また、河床勾配については堰堤直上からの距離と河床高の変化量を用いて、その近似直線の傾きから平均勾配を求めた。結果は、St.1: 0.0668、St.2: 0.1289、St.3: 0.0562、St.4: 0.0912、St.5: 0.0407となり、St.5(従来型砂防堰堤上流地点)で最も小さく、St.2(対照地点)で最も大きかった。透過型砂防堰堤の設置されているSt.3、St.4では、St.4で勾配が大きい結果となった。

底質に関しては、砂礫の侵食や堆積の程度を調べるために、浮き石(石が積み重なり石と石の隙間が空いた状態の石:U, $\phi>64\text{mm}$)、はまり石(石の下方が泥や砂のなかに埋もれており石の表面(上・側面)だけが水中に出ている状態の石:H, $\phi>64\text{mm}$)、小礫(P, $\phi=16\sim64\text{mm}$)、砂利(G, $\phi=2\sim16\text{mm}$)、砂(S, $\phi=0.0625\sim2\text{mm}$)、泥(M)を目視で判定し、 $50\times50\text{cm}$ の範囲内で被覆面積の多い順に上位2つを記録した。谷田(1990)太田ほか(2002)に基づいて、各底質のスコア(U, 6; H, 5; P, 4; G, 3; S, 2; M, 1)を掛け合わせた値の合計値を各地点における底質指数(Substrate Index)とした(谷田1990; 石田・竹門・池淵2006)。

底質指数の結果は、生物の出現種類数やEPT種類数の増減と同様の傾向となった。

出現種類数の最も多かったSt.3では、堰堤直上部分に急勾配な地形(早瀬あるいは荒瀬)が形成されており、これによって河床底質の配置と組成がより多様で複雑になり、底生動物にとって利用できる生息場所が多様になったと考えられる。

上流側の透過型堰堤直上地点においては、底質指数が高い結果となり、また水深や流速等の物理環境も多様で、実際に最も底生動物群集が多様であったことから、定常的な土砂移動の供給を一つの役割とする透過型堰堤が、周辺の底生動物群集にとっても多様な生息場所空間を創出していることが示唆された。

4. 引用文献

谷田一三(2010) 河川環境の指標生物学 北隆館 120-128

紀の川岩出井堰上下流での水生生物群集の生息環境評価

松村勇希・三雲唱平・石田裕子（摂南大・理工）

1. 背景と目的：現在、多くの河川に取水や海水の逆流防止を目的として堰が造られていく一方で、河川の自然環境へ影響をおよぼすことが知られている。堰が設置されると、上流では堰によって土砂が堆積し、乾陸化（陸地化）やそれによる植生繁茂が発生し、逆に下流では上流で細かな土砂が堰き止められることによる底質の粗粒化や河床低下が発生する。このように、上流と下流の環境が分断された状態になると、そこに生息する生物に顕著に影響が出てくると考えられる。本研究では、和歌山県北部を流れる紀の川岩出井堰に着目し、堰の上下流での生物の息状況を調査することによって、水生生物群集の生息環境としての評価を行うことを目的とした。

2. 調査地点および調査期間：調査地点は、岩出井堰による水位変動を考慮し、灌漑期のみ湛水域を形成し堰の影響を受ける堰上流、堰の影響を常時受けていると考えられる堰下流、堰の影響を全く受けない支川の貴志川中流の3地点を選定した。それぞれの地点で、最も河床・水理変動の影響を受けやすい早瀬とわんどで調査を行った。調査期間は、灌漑期・非灌漑期の水位変動および季節変化を考慮し、2009年3月（冬）の非灌漑期、5月（春）の非灌漑期の終わり、8月（夏）の灌漑期、11月（秋）の非灌漑期の始まり、1月（冬）の非灌漑期とした。

3. 調査項目および方法：環境の調査項目として、水深、60%水深流速、水温、底質、水質（全窒素・全リン・pH・DO・電気伝導度）を測定した。生物の測定項目として、魚類および底生生物を対象とした。早瀬ではサーバーネットを使った定量採取（25 cm×25 cmのコドラートを使用、メッシュサイズは500 μ m、（n=3））とタモ網（合計努力量30分）を行った。わんどではエクマンバージ採泥器（675 cm^3 （n=3））とタモ網（合計努力量30分）を用いた。

4. 結果と考察：水温は季節による変化があったのみで、地点による違いは明確には見られなかった。水深では、上流早瀬の水深は灌漑期で高く、下流早瀬では低くなった。それ以外の非灌漑期である3月、11月、1月で上流では低くなり、下流では高くなった。

早瀬の流速は、上流は灌漑期の8月になると緩やかになり（ 2.0 ± 1.4 cm/s）、非灌漑期の11月（ 31.0 ± 19.0 cm/s）、1月（ 34.2 ± 3.5 cm/s）になると強くなった。下流は灌漑期である8月のみ弱くなり（ 13.5 ± 8.1 cm/s）、非灌漑期の11月は流れが強くなった（ 134.7 ± 36.1 cm/s）。貴志川では、灌漑期・非灌漑期の影響はあまりなく強い流れとなった（各月85 cm/s以上）。8月に下流で流速が遅くなったのは、5月末に灌漑用の貯留が始まり、ほとんど下流に水を流していなかったことが原因だと考えられる。それによって、水深が低下した。一方、上流では湛水域が形成され水位が上昇し、流速が小さくなったと考えられる。

全調査期の土砂粒度分析の結果から、細かい粒子の程度を表す有効径 D_{10} は堰の上流のわんどで最も小さく、次に下流わんど、支川のわんど、下流の早瀬、上流の早瀬、支川の早瀬の順番となった。また、試料全体の粒度の細かさを表す D_{50} でも、上流のわんど、下流のわんど、支川のわんど、上流の早瀬、下流の早瀬、支川の早瀬の順番となった。これらの結果より、わんどは粒度が細かく、早瀬では粒度が粗かったことがわかる。ただし、上流の早瀬の底質は早瀬の中では細かく、わんどに近いことが分かった。その理由は、堰が土砂を堰き止めてしまうからである。岩出井堰は部分的に可動部を持つ可動堰ではあるが、固定堰の部分が存在するために、上流で細かな土砂が堰き止められて、堰の上流で粒度が細かくなった。そのため、下流では、元々あった粒径の細かい土砂が流され、

上流から細かな土砂が流れてこないために、粒度が粗くなったのではないかと考えられる。この状態が長く続くと、堰の上流で土砂が堆積し、乾陸化が発生し、下流では底質の粗粒化が進行していく。そのような変化が生物にも大きな影響を与えてだろうと考えらる。

水質では、全窒素、全リンが非常に高い値であった。各月全ての地点で、富栄養化の基準値を超えているが、その中でも5月の支川早瀬2.40mg/l、わんどでは3.10 mg/lと値が高く、同様にECでも支川の早瀬22.60mS/m、わんど34.70mS/mとなった。貴志川流域付近では果樹園が多いことから、調査前日に雨が降ったため、果樹園が排水に混じって肥料が流出したからだと考えられる。

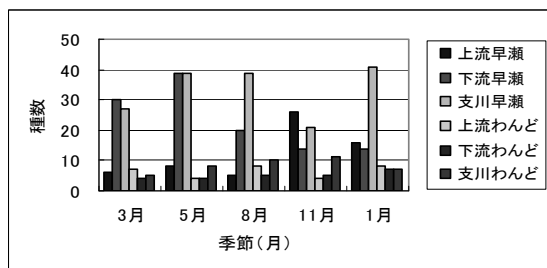


図-1 各地点の平均生息密度

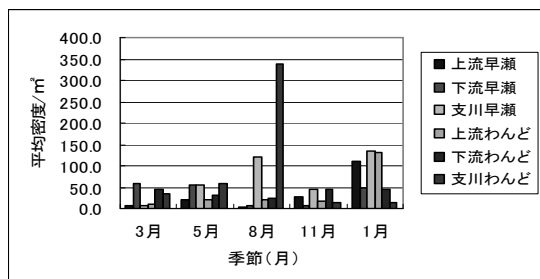


図-2 各地点の種数

本調査で採取された生物は、早瀬で合計71種3034個体、わんどで23種1902個体だった。

図-1より、最も生息密度が高かったのは1月の支川早瀬である。これは、一般的に水生生物が羽化する時期が春であるため、その前の1月に生物が多くなった。

8月の調査では、灌漑期のため、堰の可動部を閉め切られ、上流で水位が上昇し、流れが留まり、下流で水位が低下した。そのため、生物の結果では、8月の早瀬では下流と支川で見ら

れた生物の種数に比べて、上流で見られた種数は明らかに少なく、わんどで見られた種数とはほぼ同じだった(図-2)。この理由は、下流や支川で見られた石礫を好む生物や、流速の早い場所に生息する生物が上流で見られなかったところにあると思われる。

11月は、上流わんどや支川わんどの生息密度が低い値となった。これは2009年10月8日の台風18号の通過直前一週間前の総雨量が158.5mmであったことや2009年11月11日に発生した記録的豪雨(一時間に119.5mm)により発生した洪水が底質などを攪乱させ、わんどの形状が変化したため、そこにすんでいた生物の減少に繋がったのではないかとと思われる。

タモ網による採取では、1月の全地点の早瀬とわんどの両方で個体数が多くなった。特に支川の早瀬では、オオマダラカゲロウやアカマダラカゲロウなどのマダラカゲロウ科の合計が500個体以上と多かった。これは前述したように、羽化する直前の生物が多くなったと考えられる。さらに、5月の上流の早瀬とわんどで個体数が多かったのは、オイカワ・カワムツの稚魚が採取された影響で(早瀬114個体、わんど482個体)、個体数が高くなったと考えられる。これらの種は流れの緩い場所で成長するが、湛水域が広がったことにより、早瀬の流速が緩やかになり多く採取されたと考えられる。

5. まとめ: 本研究の結果より、岩出井堰の影響は上流で大きく出ているということが分かった。灌漑期の堰の運用によって、上流側では流速が低下し、土砂が堆積していた。その影響から、本来、早瀬の環境を好むカゲロウやトビケラなどの水生生物が上流早瀬では見られなかった。一方、一般的に堰の影響を受けると考えられる下流では生物はあまり影響を受けていないと考えられた。上流の生息環境をよくするためには、まず堆積厚の厚い土砂を取り除くことが、今後の対策になるのではないと思う。

紀の川岩出井堰の運用が上流の水生生物群集へ与える影響

亀山大輔・松村勇希・三雲唱平・石田裕子（摂南大・理工）

1. 背景と目的：多くの河川には堰が設置されている。これは主に取水用や海水の逆流防止のために設置されている。堰は「水を堰き止める」性質上、落差を発生させている。その落差は水生生物の行き来を上流から下流への一方通向にしてしまう。落差が発生すると上下流が分断され、生物の生息環境が悪化すると考えられる。本研究の調査地である和歌山県北部を流れる紀の川にも、取水用の堰が複数設置されている。本研究では、そのうちの一つである岩出井堰に着目し、堰による生物への影響を調査した。岩出井堰は取水用のため、灌漑期と非灌漑期で人為的な水位変動が大きくなっている。その影響を最も受けると考えられる堰直上の早瀬とわんどの生息環境を調査することによって、紀の川岩出井堰の運用が上流の水生生物群集へ与える影響を明らかにすることを目的とした。

2. 調査地点および調査期間：早瀬は合流する支川の影響を受けない場所で、上流から下流に向かって、St. 1～St. 6とし、合計6地点を選定した。わんどは本流とつながった部分からいちばん奥をSt. 1とし、開口部に向かって6地点を選定した。ただし、12月の調査では水位が低くわんどが途切れていたため、最奥部のたまりで3地点、真ん中のたまりで3地点、本流とつながったわんどで3地点とした。調査期間は、非灌漑期（3月12日、5月1日）、灌漑期（8月23日）、灌漑後の非灌漑期（12月12日）に行った。

3. 調査方法：水深、60%水深流速、水温、底質を測定した。水深は1mの鋼尺を使用し、0.5cm刻みで計測した。60%水深流速は電磁流速計を使用した。水温はpH計の水温を参考にした。水深、60%水深流速、水温は地点ごとに計測した。水質は、各地点で、溶存酸素、pH、電気伝導度を測定した。全窒素、全リンは早瀬とわんどで1か所ずつ測定した。

底質は計量カップを用い、地点ごとに代表的だと考えられる場所を選定し、計量カップすりきり一杯（640ml）まで河床の土砂を採取し、実験室に持ち帰り、粒度分析を行った。分析方法はふるい試験によって行った。ふるいのメッシュは50 mm, 40 mm, 25 mm, 20 mm, 9.5 mm, 4.76 mm, 2.0 mm, 0.85 mm, 0.425 mm, 0.250 mm, 0.106 mm, 0.075 mmを使用した。生物調査の調査対象は底生生物とした。早瀬の各地点でサーバーネットを使った定量採取（25cm×25cmのコドラートを使用、メッシュサイズは500 μm）を行った。わんどではエクマンバージ採泥器（15cm×15cm）を使用した。

4. 結果と考察：灌漑期の8月には、堰の可動部が閉じ上流である調査地点は水が溜まって、水深は1mを超えており、ボートを使用しなければ調査は行えない状況であった。3月、5月12月は非灌漑期であり、早瀬の水深はあまり堰の影響を受けていなかった。わんどの水深はいずれの地点も平均的に浅かったが、灌漑期の8月には水が多く堰の影響を受けていた。3月、5月、8月には、わんどより、早瀬のほうが水温が低かった。これは流れが早かったためである。わんどでは、流れが緩く水は流れていなかったためであったので、水温が早瀬に比べると高かった。流速は、非灌漑期である3月、5月、12月では、12月が最も流れが大きかった。12月は灌漑期が終わったあとで、その影響を受けたと考えられる。灌漑期である8月は、早瀬の流速は極端に小さくなり、わんどとほとんど変わりがなくなった。この地点では、堰の影響を多く受けていると考えられる。DOは、非灌漑期の早瀬ではだいたい11.5 mg/l前後の数値で、わんどでは10.5 mg/l前後の数値であった。12月は灌漑期のあとで、わんどの地形が変わっており数値に多少の変化があった。灌漑期の8月はDOが非灌漑期に比べ低くなった。pHは3月は、早瀬とわんどそれぞれ1地点だけの計測だけ

表-1 各地点で採取された
生物の期別の個体数、種数

地点	3月		5月		8月		12月	
	個体数	種数	個体数	種数	個体数	種数	個体数	種数
早瀬1	142	11	358	13	53	5	163	9
早瀬2	349	7	166	11	26	3	136	8
早瀬3	215	6	159	9	48	4	202	12
早瀬4	133	6	150	9	94	6	85	8
早瀬5	119	9	141	11	50	5	208	10
早瀬6	119	7	308	8	58	4	137	11
わんど1	26	3	32	4	10	3	2	2
わんど2	35	4	7	2	16	4	1	1
わんど3	2	1	20	3	36	4		
わんど4	16	4	13	3	8	2	5	4
わんど5	4	4	21	3	7	1	5	2
わんど6	13	3	13	1	16	4	5	2
わんど7							32	3
わんど8							13	2
わんど9							25	3

だが、似たような数値であった。5月、早瀬とわんどで異なる数値を示し、水の入れ替えがないと思われた。8月は灌漑期で水が溜まり、早瀬、わんどは似たような数値を示した。12月は、水が流れているため、早瀬では低くなった、わんど7～9は本流とつながっており、水の入れ替えがあったため、早瀬と似た数値を示した。わんど1～6は水の入れ替えがなく、たまりになっていたため数値は高かった。ECに関しては灌漑期、非灌漑期も、3月、5月、8月では早瀬とわんどに大きな変化はなかったが、12月のわんど1～6の数値は他の地点より低く灌漑期のあとで影響があったと考えられる。底質は、3～8月の早瀬では似たような底質であった。わんど1～3では季節により水位が変わり、砂や泥が溜まらず底質が粗かった。わんど4～6では本流に近い地点であり、水の入れ替えなどで砂や泥がたまっていたので底質は細かった。12月のわんどは、灌漑期あとの調査でわんどの地形が変わり、3～8月までにみられた傾向とは異なった。生物は早瀬では、31種3619個体、わんどでは、8種383個体が採取された。生息密度では圧倒的に早瀬の方が高かったが、8月に関しては、わんどと早瀬に生息密度の大きな変

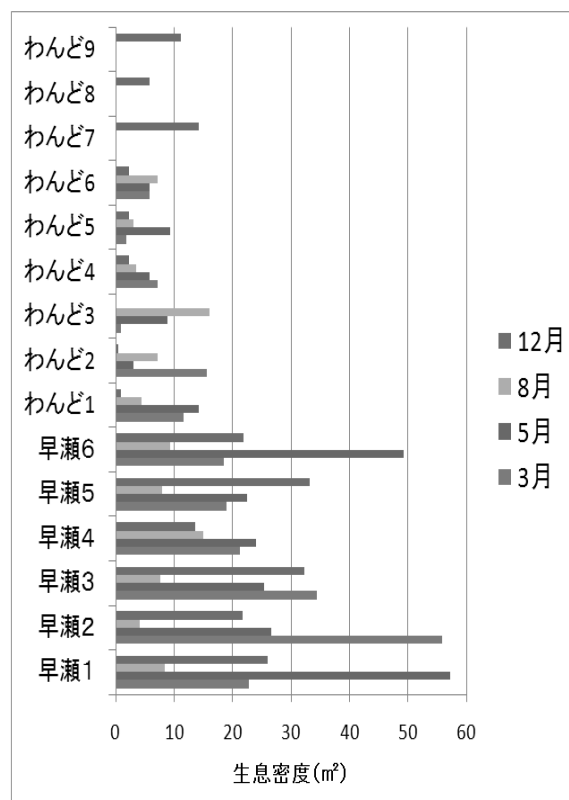


図-1 地点ごとの生息密度

化はみられなかった。灌漑期に堰で水が堰き止められ、上流の早瀬では水が溜まった状態になり、流速が下がった。このときは、ユスリカ類のみが採取され、カゲロウ目がいなかった。また、8月のわんどでは、水中の植物プランクトン(クロロフィル a)が多かった。これはユスリカ類や、ミズミズの餌となる。このときは、ユスリカ類やミズミズを食べるカゲロウも採取された。灌漑期後の非灌漑期では、わんどでは、堰の水位変動を受けておりユスリカでもすめない環境であった。わんど7～9で比較的生物が採取されたのは、本流とつながっているためと考えられた。最も堰の影響が出たのは灌漑期の8月の調査で、早瀬の流れが緩くなった。これは堰を閉じ、水を溜めたためである。このように、人工的な環境の変化により本来の早瀬の環境ではなくなり、早瀬の環境を好む生物には影響が発生すると考えられる。わんどでは灌漑期後の非灌漑期にわんどの形状が変わり、それによって環境が変わり、生物に影響があると考えられる。本研究では、わんどは常に生息密度が低く、早瀬の方が水位変動のダメージを受けていることが示唆された。

本邦河川水質の現況と近過去からの変容

*小林 一星¹⁾ , 堀智孝¹⁾ , 杉山雅人²⁾

1) 京大院・人間環境学

2) 京大院・地球環境学

【 はじめに 】

日本全土を網羅する様な広域的な河川水質調査として、小林 (1960) が 1940 年代後半から 1950 年代にかけて行った全国の主要一級・二級河川を対象とした調査がある。この調査によって日本河川の平均水質が明らかになり、水質汚染が顕在化する前のデータとして貴重なものとなっているが、その後この様な広域的な河川の水質調査は行われてこなかった。

そこで我々 (佐々木 (2003)、佐藤 (2006)、小林 (2010)) は現代の水質を明らかにするために、小林 (1960) と同じ河川で溶存態化学種の濃度を測定した。現代の日本河川の平均水質を明らかにし、過去 50 年間の水質変容の程度とその原因について考察した。

本講演では、調査した主要・微量化学種の中でも特に特徴的な濃度変動を示した溶存態 Si に焦点を当てて報告する。

【 方法 】

◇ 採水

小林 (1960) と同じ全国 225 河川で採水を行った (図 1)。1 河川につき 1 回のみ採水した。

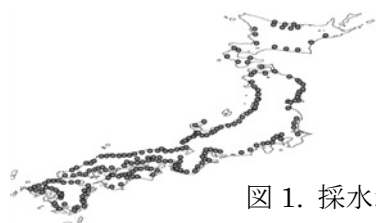


図 1. 採水地点

◇ 溶存態主要化学種の分析方法

試水を孔径 0.4μm のヌクレポアフィルターでろ過し、ろ液に含まれるものを溶存態とした。Cl・SO₄ はイオンクロマトグラフィー、Na・K・Ca・Mg・Si は誘導結合プラズマ発光分析装置 (ICP-AES) を用いて測定した。アルカリニティー (HCO₃) は滴定によって求めた。

◇ 解析方法

河川水中の化学種の起源となる物質のことをエンドメンバーと呼ぶ。フランス河川を対象とした Olliviere et al (2010) は、エンドメンバー (石灰岩、ケイ酸塩岩、蒸発岩) から何% ずつ化学種 (Ca、Mg、Na) がもたらされるかを調べた。ここではこの割合を混合率と呼ぶ。日本には蒸発岩がほとんど分布しないが、島国であるため海塩の影響を受ける。そこで本研究では蒸発岩の代わりに海塩をエンドメンバーに定めた。Ca の混合率の算出式を下記に示した (式 1 ~ 3)。

$$\left(\frac{Na}{Ca}\right)_{riv} = \left(\frac{Na}{Ca}\right)_{carb} \times (\alpha_{Ca})_{carb} + \left(\frac{Na}{Ca}\right)_{sil} \times (\alpha_{Ca})_{sil} + \left(\frac{Na}{Ca}\right)_{salt} \times (\alpha_{Ca})_{salt} \quad (\text{式 1})$$

$$\left(\frac{Mg}{Ca}\right)_{riv} = \left(\frac{Mg}{Ca}\right)_{carb} \times (\alpha_{Ca})_{carb} + \left(\frac{Mg}{Ca}\right)_{sil} \times (\alpha_{Ca})_{sil} + \left(\frac{Mg}{Ca}\right)_{salt} \times (\alpha_{Ca})_{salt} \quad (\text{式 2})$$

$$(\alpha_{Ca})_{carb} + (\alpha_{Ca})_{sil} + (\alpha_{Ca})_{salt} = 1 \quad (\text{式 3})$$

※ (Na/Ca)_{riv}、(Mg/Ca)_{riv} … 実際に測定された河川水中の化学種のモル比

※ (α_{Ca})_{carb}、(α_{Ca})_{sil}、(α_{Ca})_{salt} … Ca についての石灰岩、ケイ酸塩岩、海塩の混合率

※ (Na/Ca)_{carb}、(Na/Ca)_{sil}、(Na/Ca)_{salt} … 石灰岩、ケイ酸塩岩、海塩のエンドメンバーの Na/Ca 比

※ (Mg/Ca)_{carb}、(Mg/Ca)_{sil}、(Mg/Ca)_{salt} … 石灰岩、ケイ酸塩岩、海塩のエンドメンバーの Mg/Ca 比

【 結果と考察 】

図 2 に日本全国 225 河川における 2000 年代および 1950 年代の溶存態主要化学種の加重平均濃度を示した。過去 50 年間で Na、K、Ca、Mg、Cl、SO₄、HCO₃ 濃度が増加し、唯一 Si 濃度だけが減少したことが分かった。

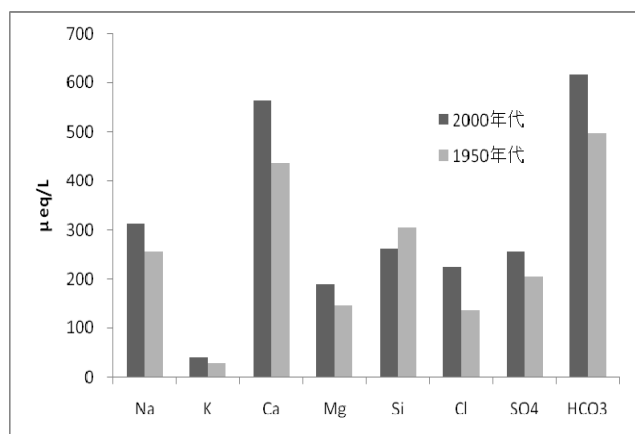


図 2. 主要化学種濃度の経時変化

式 1 をもとに算出された混合率の結果を表 1 に示した。この混合率の結果と平均水質の結果から、各岩石からもたらされる Ca、Na、Mg の濃度を計算した (表 2)。表 2 より、石灰岩およびケイ酸塩岩の風化速度が上昇した結果、Ca、Mg 濃度が増加したと考えられる。

表 1. 混合率の経時変化

	Caの混合率(%)			Naの混合率(%)			Mgの混合率(%)		
	石灰	ケイ酸	海塩	石灰	ケイ酸	海塩	石灰	ケイ酸	海塩
2000年代	72.2	25.9	1.9	0.62	32.0	67.5	24.9	61.9	13.2
1950年代	72.8	25.3	2.1	0.59	29.7	69.9	25.0	60.8	14.7

※石灰…石灰岩、ケイ酸…ケイ酸塩岩

表 2. 各岩石由来の化学種濃度の経時変化

	Ca (μmol/L)			Na (μmol/L)			Mg (μmol/L)		
	石灰	ケイ酸	海塩	石灰	ケイ酸	海塩	石灰	ケイ酸	海塩
2000年代	203	73.1	5.4	1.9	100	211	23.8	59.0	12.6
1950年代	159	55.2	4.6	1.5	76.0	179	18.2	44.3	10.7

ケイ酸塩岩由来の Ca、Na、Mg の濃度を時系列で比較すると、過去 50 年間で約 1.3 倍になっていることが分かる (表 2)。ケイ酸塩岩は溶存態 Si の主たる起源物質であるから、上記 3 元素と同様の溶解過程にあるなら、Si 濃度についても同様に過去 50 年間で約 1.3 倍の濃度上昇がもたらされると推測される。しかし実測値はそうになっていない。図 3 に①2000 年代の Si 濃度、②ケイ酸塩岩の風化速度上昇率を考慮した 2000 年代の Si

濃度、③1950 年代の Si 濃度をそれぞれ示した。①と③の比較からも過去 50 年間で濃度減少したことが分かるが、②と③を比較するとその減少量はより大きい。つまりケイ酸塩岩の風化速度の上昇したことを考慮すれば、Si 濃度の減少量は見かけよりも約 2 倍大きいことが分かった。

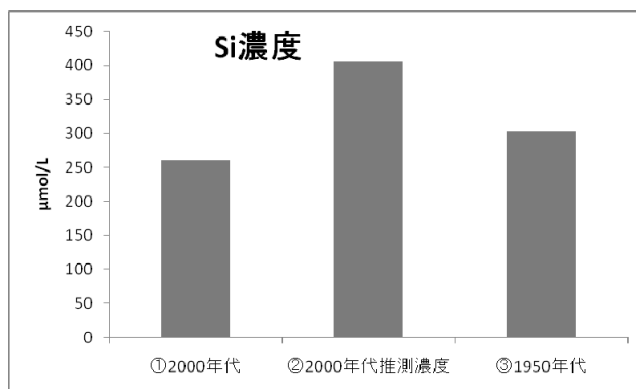


図 3. Si 濃度の経時変化

個々の河川について Si 濃度変動を調べると、調査した 225 河川のうち約 8 割の河川で Si 濃度が減少していた。この理由はダム建設による Si 欠損が原因と考えられる。その詳細については講演で述べる。

寄生虫の存在と宿主の体組織の重金属濃度の関連性

高山あずみ・浦部美佐子・丸尾雅啓

(滋賀県立大学・環境科学部)

はじめに

環境中にあって、存在が疑われる程度の微量物質が、まわりの環境から生体内に濃縮蓄積することは、数多くの場面で観察されてきた。(藤田, 1978)

寄生虫には宿主の組織よりも数千倍重金属を濃縮するものがあることが知られている (Sures, 2003, 2004)。また、寄生虫が魚に感染したとき、もともと宿主にあった重金属が寄生虫に移行し、感染していない宿主よりも筋肉の金属濃度が低くなる場合がある (Sures et al, 2003)。このような場合、ヒトが寄生虫に感染している魚の肝臓や筋肉を摂取したときと感染していない魚のそれを摂取したときで、重金属の摂取量が変わり、非感染魚を食べる方がヒトの健康に悪影響を与える可能性がある。

本研究では食用とされる淡水魚を用い、寄生虫の存在と宿主の体組織に存在する重金属濃度に関連性があるかどうかを検討する。

方法

採集した魚の体重・標準体長を測定した。その後、魚を解剖し、筋肉・肝臓・寄生虫を取り出し、筋肉と肝臓は約 1 cm³、寄生虫は全量をサンプルとした。これらの重金属測定用サンプルを 60℃で 1 日乾燥させた。そのあと、乾燥重量を測定した。また、肝臓全体の湿重量を測った。

サンプルを入れたテフロン容器に重金属測定用硝酸を 1ml 加えて 1 時間放置し、130℃で一時間加熱した。さらにこの過程をもう一度繰り返した後、2ml の過塩素酸を加えて溶けるまで加熱して有機物を分解させた。

溶けたサンプルに総量が約 20g となるように MQW を加え、濃度をフレイムレス原子吸光度分析法で測定した。測定した元素は Cd・Pb・Cu である。

結果

2010 年 5 月に、琵琶湖周辺に生息する魚類 2 種類を採集した。すべての寄生虫に対する魚の感染率・標準体長・体重を表 1 に示す。

表 1. 採集した魚の種類と、個体数・感染率・平均標準体長・平均体重。

採集地点		個体数	感染率 (%)	平均標準体長 ± 標準偏差 (mm)	平均体重 ± 標準偏差 (g)
滋賀県高島市マキノ町知内	アユ	38	53	77.1 ± 15.6	6.1 ± 5.0
滋賀県高島市マキノ町知内	イサザ	38	79	52.2 ± 5.5	2.3 ± 0.9

アユ 38 個体中 21 個体から線虫 *Raphidascaris biwakoensis*、条虫 *Proteocephalus plecoglossi*、鉤頭虫 *Echinorhynchus cotti* が得られたが、感染していた寄生虫が小さすぎる魚 3 個体は分析には用いず、18 個体を感染魚のサンプルとした。また非感染魚のうち 8 個体をサンプルとした。

Pb は、アユの肝臓 26 サンプルのうち 6 サンプルから検出されたが、アユの筋肉・寄生虫のすべてのサンプルで検出限界以下の濃度であった。

Cu は肝臓と筋肉のほとんどのサンプルから検出された。また、線虫と鉤頭虫ではすべて検出限界以下であったが、条虫の半分から検出された。そこで、寄生虫に感染しているアユと非感染のアユで、組織の Cu 濃度に違いがみられるかどうかを調べた(図 1)。その結果、有意な差はみられなかった (U 検定, $p>0.05$)。また、感染していた寄生虫の種別(条虫・線虫・鉤頭虫)ごとにわけて、感染魚と非感染魚の Cu 濃度を調べたが、いずれも有意な差は見られなかった (U 検定 $p>0.05$)。

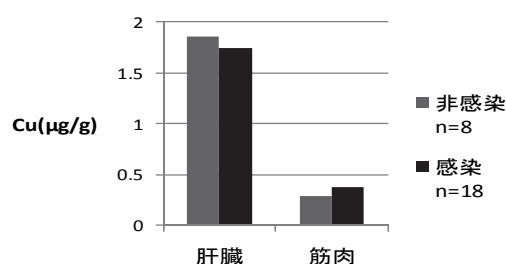


図 1. 寄生虫に感染したアユ(寄生虫の種は問わない)と非感染のアユの肝臓・筋肉における平均 Cu 濃度。

一般講演

イサザは採集した個体のうち、非感染の 4 個体、寄生虫に感染した 22 個体、計 26 個体をサンプルとし測定を行った。イサザから取り出した寄生虫は線虫 *Raphidascaris biwakoensis*、条虫 *Gangesia parasiluri*、鉤頭虫 *Echinorhynchus cotti* である。

Pb はイサザの肝臓・筋肉のサンプルすべてで検出限界以下であった。条虫、鉤頭虫もすべて検出限界以下であった。しかし、線虫では 9 サンプル中 1 個体から検出された。

Cu はすべてのイサザの肝臓および 12 サンプルの筋肉から検出された。イサザに感染していた寄生虫では、鉤頭虫では 4/9 サンプル、線虫では 2/9 サンプルから Cu が検出された。一方、条虫の Cu は検出限界以下であった。イサザについても、感染魚と非感染魚の Cu 濃度を比較したが、有意な違いはなかった(U 検定, $p>0.05$) (図 2)。また、感染していた寄生虫の種別(条虫・線虫・鉤頭虫)ごとにわけて、感染魚と非感染魚の Cu 濃度を調べたが、有意な差は見られなかった(U 検定, $p>0.05$)。

なお、アユの Cd、イサザの Pb・Cd の結果については解析中である。

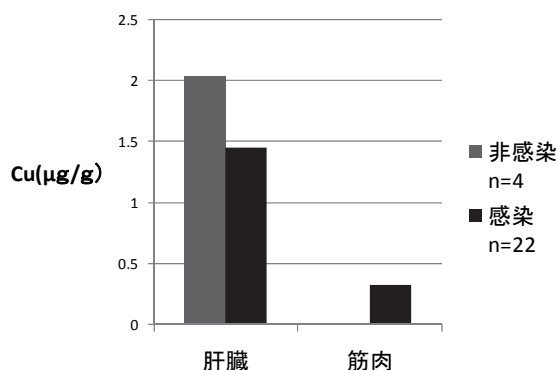


図 2. 寄生虫に感染したイサザ(寄生虫の種は問わない)と非感染のイサザの肝臓・筋肉における平均 Cu 濃度。

考察

2009 年に、琵琶湖で大量死したイサザの残留生化学微量元素についての研究が行われた。(Horai et al, 2009)。本研究におけるイサザの Cu と Pb 濃度と比較すると、Cu はほぼ同じ濃度であったが、Pb に関しては、2009 年のデータでは、 $0.01\sim 0.1\mu\text{g/g}$ であったが、本研究では検出限界以下の濃度であった。2009 年の研究では、イサザ 1 個体すべてを均一にし

日本陸水学会近畿支部会第22回研究発表会要旨集

て測定されたが、今回は肝臓と筋肉のみで測定した。このことから、Pb は、イサザの骨もしくは表皮に存在しているのではないかと考えられる。

Pb は琵琶湖産アユの約 30%の肝臓から検出され、平均濃度は $0.01\mu\text{g/g}$ であった。アユの筋肉ではすべて検出限界以下であった。イサザの体組織ではすべて検出限界以下であった。Cu は、アユでは肝臓と筋肉のほとんどのサンプルから、イサザではすべての肝臓と約 46%の筋肉から検出された。また、Cu の濃度は、アユの肝臓では平均 $1.8\mu\text{g/g}$ 、筋肉では平均 $0.3\mu\text{g/g}$ であり、イサザの肝臓では平均 $1.5\mu\text{g/g}$ 、筋肉では平均 $0.28\mu\text{g/g}$ であった。

一方、松田(2010)は、大型魚類であるニゴイ(2 個体)・コウライニゴイ(2 個体)・ナマズ・ビワコオオナマズの Pb 濃度は、ニゴイ・コウライニゴイ・ビワコオオナマズなどの重金属濃度を測定した。筋肉では検出限界以下だったが、ナマズの筋肉では $0.1\mu\text{g/g}$ 検出された。肝臓ではニゴイ 2 個体中 1 個体、コウライニゴイ 2 個体中 1 個体、ナマズで $0.1\sim 1\mu\text{g/g}$ 検出され、その他の個体では検出限界以下であった。Cu 濃度は、肝臓ではすべての魚種で約 $10\mu\text{g/g}$ 、筋肉では $0.1\sim 1\mu\text{g/g}$ が検出された。Pb・Cu の両方において、琵琶湖産アユ・イサザの組織における濃度よりも大型魚類の濃度の方が高い場合が多かったのは、後者の栄養段階が上位であることが多いことに加えて、寿命が長いことが関係しているのではないかと考えられる。

鉤頭虫は重金属を蓄積しやすい(Sures, 2003, 2004)という先行研究があるが、今回の琵琶湖産アユの Cu・Pb には当てはまらなかった。イサザの鉤頭虫では、Cu・Pb 濃度は条虫や線虫よりも高い値であったが、宿主の組織と同じ程度であった。これは、アユやイサザの寿命が 1 年以内程度であり、重金属の蓄積期間が短かったために、寄生虫にも移行しにくかったためと考えられる。

本研究の結果は、先行研究とは異なり、感染宿主と非感染宿主の筋肉の金属濃度に差がないという結果になった。寄生虫は環境汚染指標として利用できる可能性が示されているが、バックグラウンド値が低すぎる場合、また栄養段階が低い宿主や寿命が短い宿主に感染している寄生虫は、指標として評価することが難しいのではないかとと思われる。

琵琶湖におけるウランの分布と動態

望月陽人(京大・総合人間)・杉山雅人(京大院・地球環境学)

1. はじめに

ウランは現在、主に核燃料として原子力産業に用いられており、今後もその需要は増大すると考えられる。しかし、自然界に放出された場合には、河川などに放射能汚染を引き起こす危険性も孕んでいる。

陸水におけるウランの挙動には未だ不明な点が多い。放射能汚染に備えるために、水系におけるウランの動態を明らかにすること、および汚染が発生していない現段階での分布を収集することは有用である。これらをふまえ本研究では、近畿圏住民の貴重な水源である琵琶湖において溶存態ウランの分布を観測した。またその結果から、琵琶湖内でのウランの動態について解明を試みた。

2. 方法

琵琶湖北湖の Ie-1 地点(水深 約 73 m; 図 - 1)において、各種化学成分の鉛直分布を観測した。観測は 2010 年 5 月 11 日、8 月 27 日、10 月 4 日に行った。採取した水は、現場で孔径 0.45 μm の PVDF フィルター Millex(Millipore 製)を用いてろ過した。ろ液には超高純度の硝酸を添加し、pH を 2 以下とした。

測定項目は以下のとおりである。

現場測定：水温, pH, 電気伝導度, DO

溶存態化学種：Na, K, Mg, Ca, Sr, Ba, V, U

懸濁態化学種：クロロフィル

水温, 電気伝導度, DO は、多項目水質計を用いて観測した。pH は比色法により測定した。溶存態化学種は、V は空気分節連続流れ分析法、U は誘

導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)を用い、それ以外の元素は誘導結合プラズマ発光分析法(ICP-AES)により測定した。

クロロフィルは、抽出ののち吸光光度法により測定した。

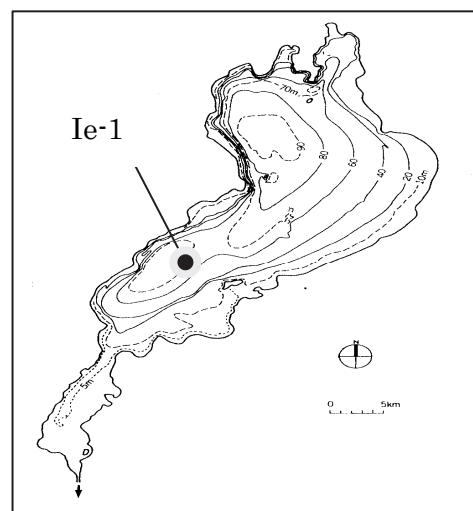


図 - 1 琵琶湖における試料の採取地点

3. 結果と考察

図 - 2 に示すように、琵琶湖北湖では、表層のウラン濃度が深層に比べて常に高かった。表層の濃度は秋から冬に向かうにつれて減少した。一方、深層の濃度はほとんど変動しなかった。

また、ウラン濃度が減少する水深は、pH が減少する水深とよく一致していた(図 - 3)。そこで、堆積物 - 湖水界面を再現したモデル実験を行い、pH 変動に対してウラン濃度がどのように変化するかを検証した。このモデル実験では、琵琶湖の湖底堆積物を遮光した水槽に敷き詰め、北湖表層水を静かに注いだのち、空気と二酸化炭素を、混合比を変えながら通気して湖水の pH を変動させた。

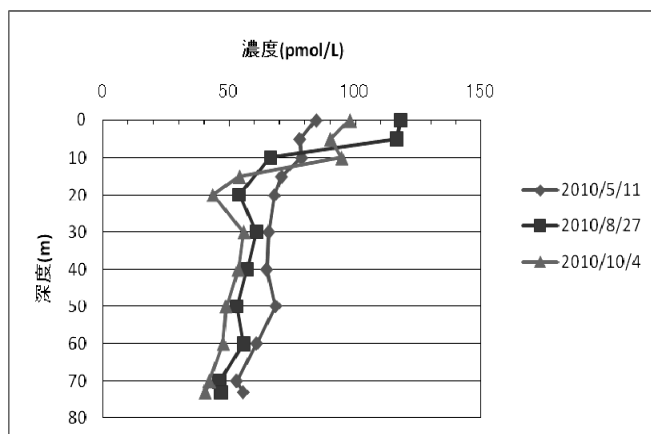


図 - 2 溶存態ウランの鉛直分布

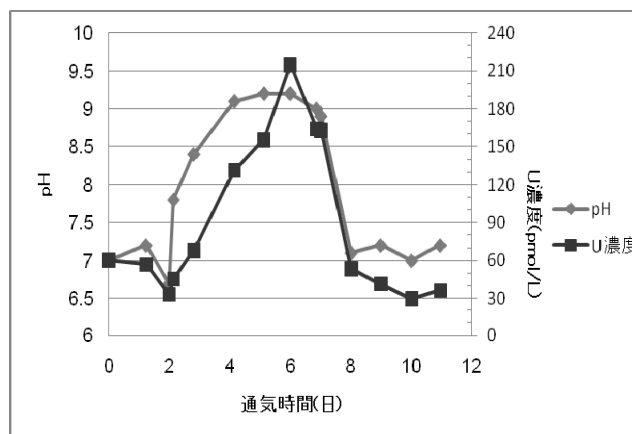


図 - 4 モデル実験の結果

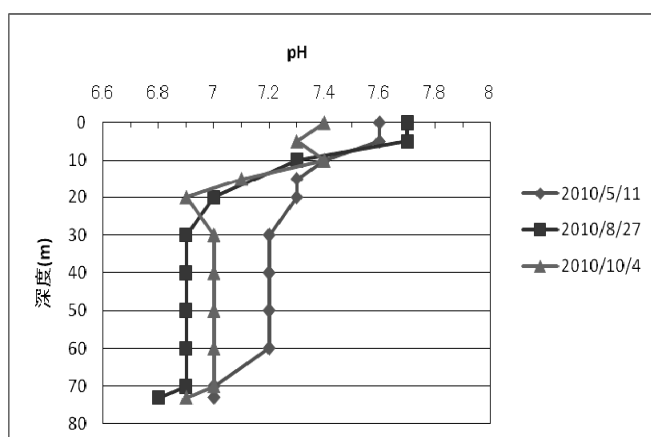


図 - 3 pH の鉛直分布

モデル実験の結果、溶存態ウランは pH の変動に呼応するように変化した(図 - 4)。このことから、ウランは堆積物からの溶出により濃度が増加し、堆積物への吸着により濃度が減少したと考えられた。堆積物からの溶出速度は $9.34 \text{ nmol/m}^2/\text{day}$ と見積もられた。

溶出モデル実験の結果から、以下のことが示唆された。琵琶湖表層では、夏期に生物活動の活性化とともに pH が上昇し、沿岸堆積物および表層の沈降・懸濁粒子からウランが溶出して濃度が増加する。また秋以降には、生物活動の衰退とともに表層水の pH が低下し、溶存していたウランが堆積物や懸濁粒子に吸着される。

今回得られた堆積物からのウラン溶出速度といくつかの文献値から、琵琶湖北湖におけるウランの収支計算を行った。その結果、以下の供給量が推計された。

- ・流入河川からの供給… 1.41 mol/day
- ・沿岸堆積物からの溶出… 0.88 mol/day
- ・懸濁・沈降粒子からの溶出… 0.67 mol/day

ただし、懸濁・沈降粒子からの溶出速度が堆積物からの溶出速度に等しいと仮定している点など、この推計には不確かさが含まれる。実験を重ね、より正確な値を見積もりたい。

今後は、琵琶湖とは環境の異なる湖沼や河川で観測を行い、今回得られた知見を陸水全体にまで拡張することを考えている。

【参考文献】

- 岡本 (1992)：びわ湖調査ノート. 人文書院.
- 國松 (1981)：琵琶湖集水域の河川水,地下水,陸水および琵琶湖流水の水質. 環境科学研究報告集. B-105-R-12-12: 82-104.
- 滋賀県 (1986)：環境白書 資料編 昭和 61 年度版.
- びわ湖生物資源調査団 (1966)：びわ湖生物資源調査団中間報告.
- 前田ら (1987)：北湖における物質の沈降,堆積,分解及び溶出. 滋賀県琵琶湖研究所研究報告, 86-A05: 29-74.
- 横田 (1996)：底質の保全に関する基礎的研究—堆積速度算定への道のり—. 琵琶湖研究所所報第 13 号.
- 横田 (1997)：底質の保全に関する基礎的研究—底泥の量的な動態把握の方法論—. 琵琶湖研究所所報第 14 号.

琵琶湖水中の Fe(II) に与える生物活動の影響

※柳沼勇多(滋賀県大・環境科学) 丸尾雅啓(滋賀県大・環境科学)

1. はじめに

Fe は植物プランクトン体内において酵素やたんぱく質に含まれ、様々な生理学的役割を担っている。そのため、Fe は植物プランクトンの成長制限要因になる場合がある。

真核植物プランクトンにとって Fe を取り込む機構の中で最も基本的な方法は Fe(III) や Fe(II) を細胞膜表面にある輸送たんぱく質と結合させ、Fe を取り込む機構である。この過程で、真核植物プランクトンは細胞膜上の鉄還元酵素や自ら放出するスーパーオキシドラジカルを利用し、Fe(III)L を Fe(II)L に還元する。しかし、環境中に植物プランクトンが成長するために十分な Fe(II) が溶存するならば、植物プランクトンは Fe(III) を Fe(II) に還元する必要がない。つまり、溶存態の Fe(II) はごく微量しか存在されていないとされているが、植物プランクトンや動態に影響をおよぼす可能性がある。

本研究の先行研究として楯(2007)は Fe(II) の光還元に加え、生物活動との関連性を示唆した。さらに、Aldrich らの、植物プランクトンの死骸や残渣から還元性物質が放出され、沈降することで、クロロフィル極大層直下で Fe(III) が Fe(II) に還元され、Fe(II) 濃度が上昇した、という報告もある。琵琶湖の水温躍層上部でも Fe(II) が高濃度で存在する原因のひとつに植物プランクトンの影響が考えられる。

本研究では、琵琶湖の水温躍層付近で Fe(II) が高濃度で存在することに着目し、水温躍層付近の深度で密に採水をおこない、Fe(II) 濃度と CTD によるクロロフィル a 量の測定値を比較し、また、クラミドモナスを用いた室内培養実験をおこなうことで、植物プランクトンの活動が Fe の存在、酸化数の違いに影響を受ける可能性について考察した。

2. 方法

採水地点は琵琶湖北湖、北緯 35°22.00' 東経 136°06.00'、水深約 90 m 地点(図-1. T1)であった。採水に先立ち CTD を用いて水温、クロロフィル a 蛍光強度を測定し、詳細な鉛直分布を得た。

船上で採水器の口にろ過器を接続し、試料を採取した。船上で 1 mmolL⁻¹ の PTDS(以下フェロジン)水溶液と 1 molL⁻¹ MOPS 緩衝液を用いて、Fe(II) の

固定をおこなった。Fe(II) を固定した試料を Sep-pak PS-1 に通し、Fe(II)-フェロジン錯体を吸着し、メタノールで抽出した。この抽出液を用いて Fe(II) の定量を分光光度法でおこなった。本研究ではセルに 100 cm フローセルを用いている。そのため、先行研究に比べて測定感度を上げることができ、濃縮に必要な試料の量を大きく減らすことができた。

また、植物プランクトンと Fe(II) 生成の関係を観察するため、Fe(II) もしくは Fe(III) を加えた培地および Fe を含まない培地でそれぞれクラミドモナスを培養し、Fe(II) 濃度の変化とクロロフィル a 量の変化を観察した。Fe を与えない培地で 5 日間前培養をおこなってから、各培養条件で 5 日間培養実験をおこなった。Fe(II) の定量には上記の方法を用いた。クロロフィル a 量の測定を三波長吸光光度法でおこなった。

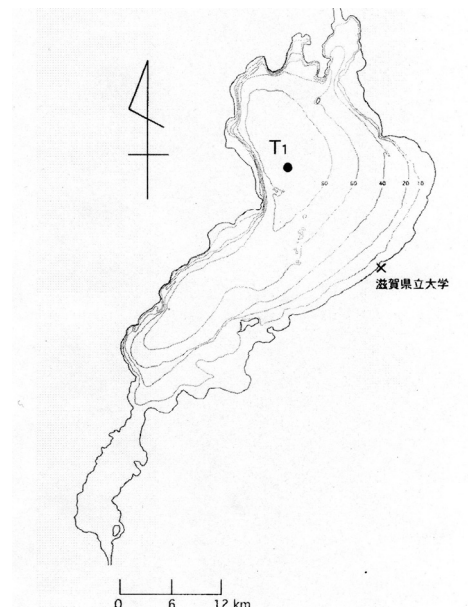


図-1 採水地点

3. 結果と考察

湖水のクロロフィル a と Fe(II) 濃度の鉛直分布

採水日は 2010 年 9 月 1 日、9 月 27 日、11 月 8 日、12 月 10 日である。CTD でクロロフィル a 量 (μmolL⁻¹) の測定した結果、クロロフィル a 量極大層はそれぞれ水深 12 m、14 m、17 m であった。ただし、12 月 10 日のクロロフィル a 量極大層は確認で

きなかった。また、水温躍層上方における Fe(II) 濃度極大層はそれぞれ水深 5 m、14 m、7.5 m、20 m であった。この結果より、9 月 1 日、11 月 8 日ではクロロフィル a 量極大層と Fe(II) 濃度が極大になる水深が異なることが確認された。そのため、琵琶湖における溶存態 Fe(II) の存在に植物プランクトンによる生成の影響はすくないと考えられる。また、Aldrich らが報告した植物プランクトンの死骸や残渣の影響も確認できなかった。一例として、図-2. と図-3. に 2010 年 9 月 1 日の採水結果を示す。

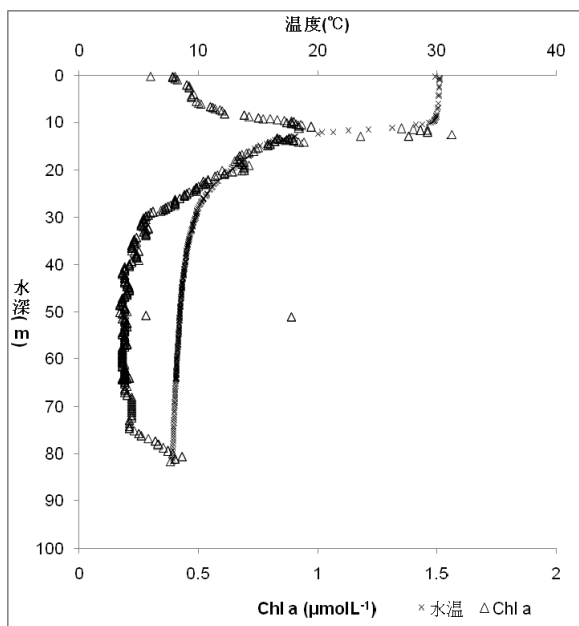


図-2. 2010 年 9 月 1 日琵琶湖 T1 地点における水温(°C)とクロロフィル a 量(μmolL^{-1})の鉛直分布

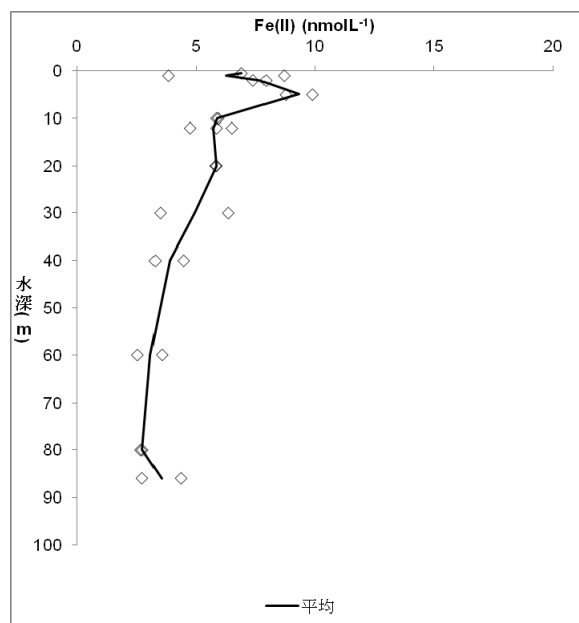


図-3. 2010 年 9 月 1 日琵琶湖 T1 地点における Fe(II) 濃度の鉛直分布

以上から本研究では琵琶湖における植物プランク

トンによる Fe(II) 生成の影響を確認することはできなかった。

クラミドモナス培養実験

クラミドモナス培養実験では、 Fe(II) の定量ができなかったため、今回のクラミドモナス増殖実験では Fe(II) 濃度の変動を観察することができなかった。

また、 Fe の溶存形態や Fe の有無によるクロロフィル a 量の変化を比較するために、反復測定 2 元配置分散分析をおこなった。その結果、個体群間での有意な差はみられなかった($n=47$, $p>0.05$)。この結果より、溶存する Fe の形態や有無にかかわらず成長量に差が見られなかった。これは、鉄欠乏条件下での培養日数が少なかったことが原因であると考えられる。植物プランクトンは細胞内に蓄積した Fe を用いることで成長を続けることができる。そのため、鉄欠乏条件下でも成長が阻害されなかったと考えられる。

以上の結果より、本研究では琵琶湖において、水温躍層付近で Fe(II) が高濃度に存在する原因の一つに植物プランクトンの生物活動が考えられるという可能性を示すことはできなかった。

ここで、永岡(2009)により、溶存有機物によって Fe(II) が安定的に琵琶湖水中に溶存していることが示唆されている。また、同論文より、水温躍層で溶存有機物がおおく滞留することが読み取れる。このことから、琵琶湖の水温躍層付近で Fe(II) 濃度が高くなる要因に、溶存有機物の存在が大きな影響を与えている可能性が考えられる。

参考文献

- ・楯敬介(2007):琵琶湖水中における Fe(II) の鉛直分布を決定する要因について、滋賀県立大学環境科学部環境生態学科水圏科学研究室卒業論文。
- ・永岡一樹(2010):琵琶湖水中の腐植物質が Fe(II) の挙動に与える影響について、滋賀県立大学大学院環境科学研究科環境動態学専攻修士論文。
- ・Aldrich, A. P., C. M. G. van den Berg, H. Thies, U. Nickus (2001): The redox speciation of iron in two lakes. *Marine and Freshwater Research*, 52.855-890.

生育環境の違いによる、藻類の光合成電子伝達系の働きについて

野中悠平・※奥村亮・広谷博史（大阪教育大学）

1. はじめに

藻類は光合成によって、湖沼における一次生産物を作り出し、物質循環における重要な役割を担っている。その藻類が行う光合成の電子伝達系の働きは、パルス変調クロロフィル蛍光法（PAM 法）を用いて測定できる。これにより、光合成電子伝達系の異常部位などを調べることが可能である。光化学系 II（PSII）で吸収された過剰なエネルギーを、余剰エネルギーとして逃がす熱放散 qN （非光化学消光：Non-photochemical quenching）は、光合成速度に大きく影響すると考えられる。

そこで本研究では、pH と光強度が藻類の光合成電子伝達系に及ぼす影響を、 qN の増減から明らかにすることを目的とした。

2. 材料と方法

2.1 調査の概要

調査は奈良県香芝市にある農業用ため池の旗尾上池で行った。このため池は、周囲を住宅と森林に囲まれており、富栄養化が進んでいる。また、旗尾上池の藻類の組成は緑藻類が多くを占める。調査期間は 2009 年 1 月から、2010 年 12 月である。

試料水 400mL を遠心分離（1880×g, 20 分間）で約 5mL に濃縮したものを試料とする。これをクロロフィル蛍光測定装置（PSI, FLUOROMETER FL3500）を用いて測定した。測定方法は Quenching Analysis を使用した。

ガラス電極法（HORIBA pH Meter D-51）を用いて pH を測定した。

2.2 藻類の培養

MBM 液体培地の KH_2PO_4 と K_2HPO_4 の培地内組成を操作することにより、pH4.6, pH5.3, pH6.0, pH8.0 に調節した。*Chlorella vulgaris* を 26°C, 12h 明-12h 暗, 90, 30, 8 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 光照射下に設定したインキュベーターで 3 日間培養した。

MBM 培地にて培養した *C. vulgaris* を試料とし、ク

ロロフィル蛍光測定装置（PSI, FLUOROMETER FL3500）を用いて測定した。測定方法は Quenching Analysis。

2.3 pH と藻類の増殖

pH を 4.6, 5.3, 6.0, 8.0 に調節した MBM 培地にて、*C. vulgaris* を培養した。経時的にクロロフィル濃度を蛍光光度計（TUNER DESIGNS, Aquafluor）を用いて計測した。10 回計測し、それらの平均値を求めた。

3. 結果と考察

3.1 野外での、pH とクロロフィル蛍光の関係

旗尾上池ではおおむね pH6 であったが、2010 年 6 月には pH9.64 となった。この時のクロロフィル蛍光強度を同年 11 月（pH5.91）のものと比較した。

6 月の試料では励起光照射後、時間経過とともに蛍光が増加し、 qN が減少していったと考えられた（図 1）。それに対し、11 月の試料では励起光照射後、蛍光が大きく低下し、 qN が大きいことがわかった（図 2）。これらの試料は pH 以外にも、測定時期や光強度等が異なる。そこで、pH の変化が光化学反応へ与える影響を明らかにするため、光強度を変えて室内培養実験を行った。

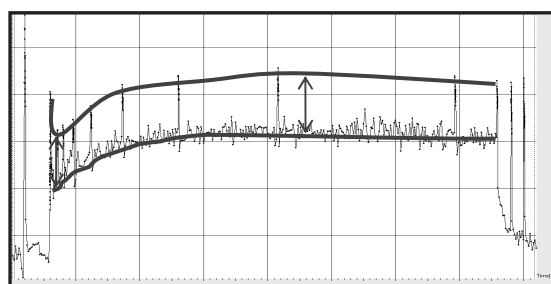


図 1 旗尾上池 pH9.64 (2010 年 6 月)

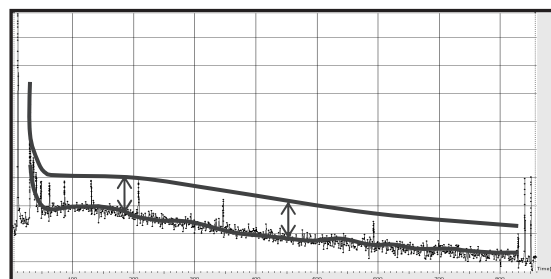


図 2 旗尾上池 pH5.91 (2010 年 11 月)

3.2 弱光下の pH の影響

pH4.6 では励起光照射後すぐに, qN が生じ, 蛍光が大きく低下した (図 3)。その後, qN が減少し, 蛍光が増加した。pH8.0 では励起光照射後, qN による蛍光の減少は見られず, 全体的に高い蛍光強度を維持した (図 4)。

pH4.6 での qN が原因で生じる蛍光の減少は, 炭素固定を行うカルビン回路の反応速度が, 光合成の電子伝達系における反応速度よりも低いためだと考えた。つまり, 光強度 $8\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の条件下では, pH4.6 よりも, pH8.0 の生育環境の方が, カルビン回路の活性が促進されていると考えた。

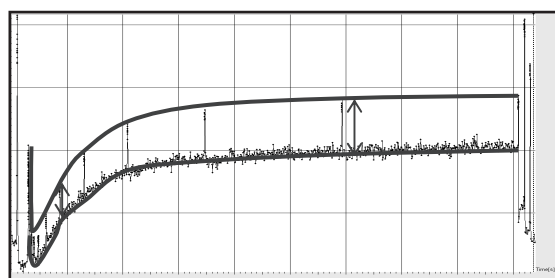


図 3 pH4.6 光強度 $8\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

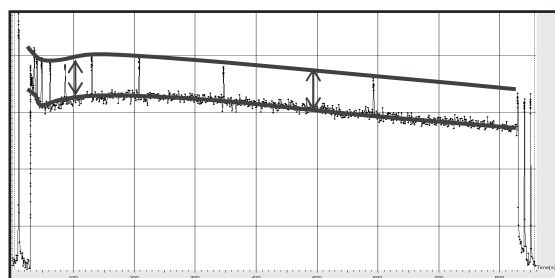


図 4 pH8.0 光強度 $8\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

3.3 pH4.6 下の光強度の影響

光強度 $90\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ では励起光照射後, 蛍光が低下した後, qN が減少し, 蛍光が増加した (図 5)。これは図 3 と同じ特徴であった。しかしその後, qN が再び生じ, 蛍光が大きく低下したという点では異なっていた。この蛍光の減少の理由は現在検討中である。

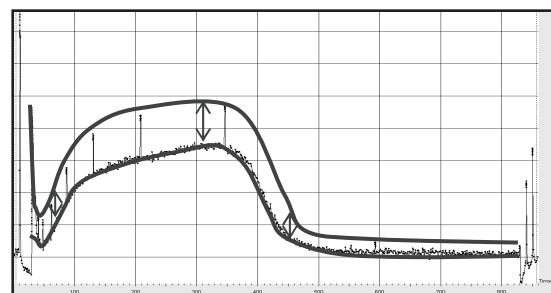


図 5 pH4.6 光強度 $90\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

3.3 pH の違いによる, *C. vulgaris* の増殖速度

pH の異なる条件下の *C. vulgaris* の増殖速度を, クロロフィル濃度を指標として調べた。pH8.0 が最も増殖速度が速かった (図 6)。これはカルビン回路の活性が促進され, 光合成速度全体が速くなったためだと考えた。

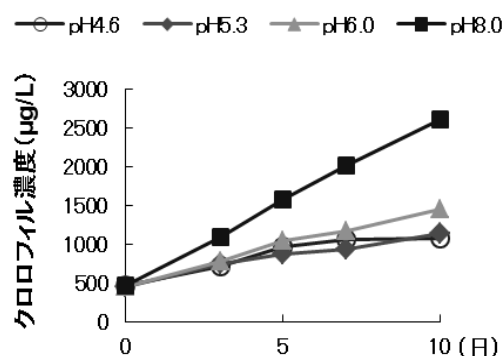


図 6 クロロフィル濃度の経日変化

4. まとめ

- 野外調査において, クロロフィル蛍光に変動が見られた。
- 光強度 $8\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ で培養した *C. vulgaris* は, pH4.6 よりも, pH8.0 の生育環境において, qN によるクロロフィル蛍光の減少が少ない。
- 光強度 $90\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, pH4.6 で培養した *C. vulgaris* では, 蛍光の増加後, 再び qN が生じ, 蛍光の低下が見られた。
- *C. vulgaris* は pH4.6, 5.3, 6.0 の生育環境よりも, pH8.0 において最も速く増殖する。

琵琶湖の水陸移行帯の湿地における脱窒とそれに影響を及ぼす環境因子

赤塚徹志・三田村緒佐武（滋賀県立大・湖沼環境実験施設）

1. はじめに

琵琶湖の水陸移行帯には、内湖とよばれる潟湖や流入河川により形成された三角州周辺域を中心に湿地景観がみられる。これらの湿地は、集水域からの汚濁物質が琵琶湖へ流入する際に、それらを緩衝する場として琵琶湖の水質形成に寄与すると考えられる。また、琵琶湖のように人為的な富栄養化が懸念される湖沼では、その水陸移行帯における脱窒過程が富栄養化の原因物質である硝酸イオンを除去する浄化機能として重要な役割を担っていると考えられる。しかし、そのような琵琶湖への窒素負荷を軽減する場としての重要性は近年まであまり認識されず、水陸移行帯における湿地は干拓事業による農地開発や湖岸堤の建設によりその多くが消失してきた。したがって、水陸移行帯の湿地における脱窒による浄化機能を明らかにすることで、湿地を保全していくことの重要性を再認識することは重要である。

本研究では、硝酸イオンの供給状況、堆積物の冠水・干出サイクルによる酸化還元環境の変動、ヨシの生育による環境因子の変動が脱窒に及ぼす影響について調べた。

2. 水陸移行帯の湿地における硝酸イオンの供給が脱窒速度に及ぼす影響

湿地への硝酸イオンの供給量の差異が脱窒に及ぼす影響をみるために、農業排水の流入がある湿地（湿地 A）と水の流入が主に降雨である湿地（湿地 B）と対照域としての砂浜で調査を行った。

湿地 A では堆積物直上水の硝酸イオン濃度が高かったが、湿地 B ではその濃度が低かった。硝酸イオン未添加での現場脱窒速度は、湿地 A で $6.7 \sim 22 \text{ mgN m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ であり、湿地 B で $0.1 \sim 0.8 \text{ mgN m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ であり、湿地 A で明らかに高い傾向を示した（図 1）。このことから、現場脱窒速度は、堆積物直上水の硝酸イオン濃度の差異による影響を受けると考えられた。一方、硝酸イオンを添加した潜在脱窒速度は、湿地 A

で $12 \sim 22 \text{ (Av. } 18) \text{ } \mu\text{gN cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$ 、湿地 B で $11 \sim 28 \text{ (Av. } 18) \text{ } \mu\text{gN cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$ と両湿地ともに同程度であったが、対照域とした砂浜では $7.2 \text{ } \mu\text{gN cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$ と湿地よりも低かった。このことは、湿地における潜在脱窒速度が豊富な有機物量によって高く維持されることを示唆した。

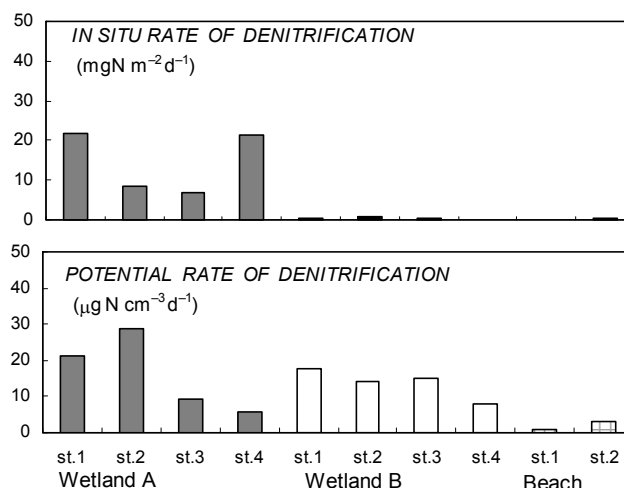


図1 硝酸イオンの供給源の異なる湿地（Wetland A, B）と砂浜（Beach）における脱窒速度

3. 水陸移行帯の湿地における堆積物の乾燥・湿潤過程が脱窒に及ぼす影響

湿地における堆積物の冠水と干出による堆積物乾燥度の変動が脱窒に及ぼす影響をみるために、湿地の冠水域（F1-F3）と干出域（E1-E7）において調査と、堆積物を乾燥・湿潤化する実験を行なった。

冠水域における脱窒速度は全て検出限界以下であり、脱窒速度は強い硝酸制限にあった。一方、干出域では、脱窒速度は検出限界以下～ $21 \mu\text{gN cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$ まで大きく変動し、その速度は堆積物の乾燥により硝酸イオンが蓄積することに影響された（図 2）。一方、潜在脱窒速度は、酸化還元電位の低い冠水域（ $4.6 \pm 1.6 \text{ } \mu\text{gN cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ）よりも高い干出域（ $28 \pm 6.1 \text{ } \mu\text{gN cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ）で高かった。この結果は、干出域における脱窒菌がその酸化環境で好気呼吸によって増殖することを示唆した。

さらに、堆積物の乾燥化実験では、脱窒の酵素反応定数（ $V_{\max}$, K_s ）は増加し、逆に堆積物

の湿潤化実験ではこれらの定数値は減少した。 $V_{\max}$ の変動は、乾燥化による堆積物の酸化環境への移行に伴い脱窒菌が好気呼吸で増殖し、逆に湿潤化による堆積物の還元環境への移行に伴う好気呼吸と脱窒の低下によって脱窒菌が減少することを示唆した。一方、 K_s の変動は、堆積物の乾燥化と湿潤化に連動した硝酸イオンの蓄積・枯渇により、脱窒菌の硝酸イオンに対する親和性が変動することを示唆した。

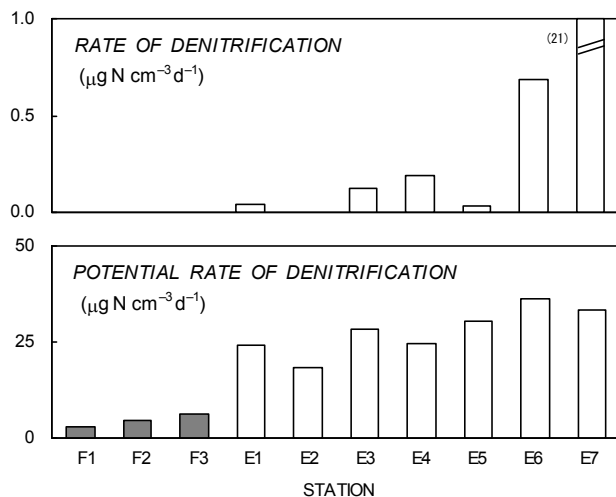


図2 湿地の冠水域と干出域における脱窒速度 (F1-F3は冠水域, E1-E7は干出域における値)

4. 水陸移行帯の湿地におけるヨシの成長・枯死過程に伴う環境因子の変動が脱窒に及ぼす影響

湿地におけるヨシの成長・枯死に伴うヨシ群落域の環境因子の変動が脱窒に及ぼす影響をみるために、冠水域における水ヨシ群落域と干出域における陸ヨシ群落域で調査を行なった。

水ヨシ群落域では、硝酸未添加での脱窒速度は検出限界以下であり、脱窒は硝酸イオンに強く制限されると考えられた。一方、間隙水の硝酸イオン濃度の高い陸ヨシ群落域では、脱窒は全ての基質添加条件で測定された。また、水ヨシ群落域と陸ヨシ群落域ともに、硝酸イオン添加での脱窒は対照域 (ヨシ非生育域) で高く、これはヨシ群落域では硝酸イオンが微生物による窒素の有機化に利用されるために脱窒が抑制されることを示唆した。

脱窒に対する有機物 (グルコース) の添加効果 (CN/N) は、水ヨシ群落域 (1.0-1.3) よりも陸ヨシ群落域 (1.3-1.6) で高く、陸ヨシ群落域における脱窒は有機物の影響を強く受ける環

境にあったといえる (表 1)。さらに、脱窒に対する硝酸イオンの添加効果を表す比 (N/no, CN/C) は、対照域 (1.2-3.2) より陸ヨシ群落域 (1.0-1.6) で低かった。このことは、陸ヨシ群落域では、対照域と比較して硝化で生成された硝酸イオンが効率的に脱窒に利用されることを示唆した。

表1 有機物ならびに硝酸イオンの添加と未添加条件における脱窒速度比 (noは基質未添加, Cは有機基質添加, Nは硝酸基質添加, CNは有機・硝酸基質添加での脱窒速度)

Phase	Ratios	Water area		Land area	
		Reed	Control	Reed	Control
Growth (Apr.- Jul.)	C / no	-	-	1.4	1.5
	CN / N	1.2	1.2	1.5	1.3
	N / no	-	-	1.6	3.2
	CN / C	-	-	1.6	2.8
Stationary (Aug.- Oct.)	C / no	-	-	1.7	1.4
	CN / N	1.3	1.2	1.6	1.3
	N / no	-	-	1.1	1.3
	CN / C	-	-	1.0	1.2
Senescent (Nov.- Mar.)	C / no	-	-	1.3	2.0
	CN / N	1.0	0.9	1.3	1.2
	N / no	-	-	1.3	3.1
	CN / C	-	-	1.3	1.8

5. まとめ

現場脱窒速度は硝酸イオン負荷量の高い場で高く、湿地は琵琶湖への窒素負荷を軽減する場として機能した。また、硝酸イオンの負荷量に関わりなく脱窒の潜在活性は高く、湿地全域で高い浄化機能を有した。堆積物の乾燥化実験では、脱窒の最大速度が増大し、堆積物が干出することで湿地の脱窒菌数が維持されると考えられた。陸ヨシ群落域では、ヨシ非生育域と比較して硝酸イオンの添加効果が小さく、硝化により生成された硝酸イオンが効率的に脱窒に利用されていると考えられた。このような水陸移行帯における脱窒とそれに影響を及ぼす因子の多様性は、流域からの窒素負荷量の変動に対して窒素の浄化という観点から広い応答範囲を維持しているといえる。水陸移行帯を排水処理の場のごとく扱うのには疑問を感じるが、琵琶湖生態系の中で水陸移行帯の湿地は流域からの栄養物質の負荷に対して窒素の浄化機能を有する場といえる。

限外ろ過・C₁₈ 固相抽出法による琵琶湖溶存有機物の分離と

特徴の比較

○北野史子¹, 早川和秀², 西本鷹耶³, 小島礼慈¹, 原都³, 熊谷哲¹,
高橋勝利⁴, 藤嶽暢英⁵, 杉山裕子¹

(¹兵庫県立大学大学院環境人間学研究科, ²滋賀県琵琶湖環境科学研究センター,

³兵庫県立大学環境人間学部, ⁴産業技術総合研究所, ⁵神戸大学農学研究科)

1. はじめに

溶存有機物(Dissolved Organic Matter, DOM)は、一般に孔径 0.2~1 μm のフィルタを通過する有機物と定義される。DOM は、数千を越える多種多様な有機化合物の混合物であり、化合物レベルでの分離は困難である上に天然水中での濃度が低く、その構成成分に関する知見は限られている。とりわけ陸水中 DOM には、土壌起源のもの、人為起源のもの、現場起源のものなど起源が多く、組成はさらに複雑である。また DOM は、バクテリアのエネルギー源、錯生成による有害物質の毒性の緩和、太陽光の入射量の調節による一次生産の支配など、湖沼環境に大きな影響を与える様々な機能を持ち、その動態・機能や起源を把握することが重要である。DOM に含まれる有機物の化合物レベルでの分析を行うためには、適切な分画法を用い、脱塩や濃縮などを行うことが必要である。

近年、質量分析や NMR 測定に先立つ脱塩・濃縮などの目的で様々な分画法が用いられているが、天然水試料に適用した場合に、分離される物質の化学的特徴に関する知見は限られている。本研究では、分子サイズにより有機物を分離できる物理的分画法である限外ろ過膜法、試料中の疎水性物質を優先的に分離・濃縮できる化学的分画法である C₁₈ 固相抽出法に注目し、これらの分画法により分離される有機物の特徴の違いを明らかにする目的で、両法により分離された琵琶湖 DOM を、蛍光スペクトルおよびフーリエ変換イオンサイクロトロン質量 (FT-ICR MS) により分析し、結果を比較した。

2. 試料採取および測定

試料採取は 2009 年 7 月 9 日に、滋賀県琵琶湖北湖 N4 地点(35.38° N' , 136.09° E' :水深 90 m)にて行った。水深 2.5 m、4 m、8 m、10 m、13 m、15 m、40 m、80 m、85 m、90 m にて鉛直試料を採取した。採取した試料は、予め 10 %

界面活性剤溶液(シカクリーン LX-III)と 1M HCl に、6 時間、2 時間と順に漬け置き、超純水で洗浄を行ったポリカーボネート製採水瓶に保存し、氷冷下で研究室に持ち帰った。研究室にて、孔径 0.7 μm の GF/F フィルターを用いて持ち帰った試料のろ過を行った。

3. 実験

得られたろ過(DOM)試料に対して、有機炭素(DOC)濃度測定、3次元励起蛍光スペクトル測定を行った。さらに、DOM 試料をタンジェンシャルフロー型限外ろ過器(Millipore-Pelicon2-mini Cassette)により、分子サイズ 1000Da 以上の高分子量(HMW)DOM・1000Da 以下の低分子量(LMW)DOM に分離した。また、DOM 試料を C₁₈ 固相抽出ディスク(Empore Disk, 3M)を用いて疎水性(Hydrophobic, Ho) DOM・親水性(Hydrophilic, Hi) DOM に分離した。C₁₈ 固相抽出ディスクは、100 % MeOH、超純水でコンディショニングを行った後、超純水 10 L を用いて洗浄を行った。また、ディスクに担持された有機物の分離は 80 % MeOH を用いて行った。ディスクに吸着した有機物を Ho-DOM、通過した有機物を Hi-DOM とした。HMW-DOM, LMW-DOM, Ho-DOM, Hi-DOM について DOC 濃度測定、3次元励起蛍光スペクトル測定を行った。また、水深 8 m, 85 m にて採取した試料の HMW-DOM および Ho-DOM に対して、FT-ICR MS 測定を行った。溶存有機炭素(DOC)濃度測定は Shimadzu-TOC5000、3次元励起蛍光測定は Jasco-FP6200 蛍光分光光度計、フーリエ変換イオンサイクロトロン質量分析(FT-ICR MS)は産業技術総合研究所所有のブルカーダルトニクス製 Apex-Q-94e を用い、検出はネガティブモードで行った。

4. 結果及び考察

N4 地点の DOC 濃度は、0.97~1.50 mgC/L で分布し、表水層(水深 0~15 m)において 1.19~

1.50 mgC/L の高濃度を示した。水深 8 m ~ 20 m にかけて存在する水温躍層付近で DOC 濃度は大きく減少し、中層から底層 40 ~ 85 m では 0.98 ~ 1.02 mgC/L でほぼ一定で分布し、底層水 85 m ~ 90 m で漸増(0.98 ~ 1.04 mgC/L)した。また限外ろ過分画において、HMW-DOM, LMW-DOM の DOC 濃度はそれぞれ 0.56 ~ 0.93 mgC/L, 0.33 ~ 0.66 mgC/L を示し、HMW-DOM の DOC 濃度が 51 ~ 69 % を占めた。HMW-DOM の DOC 濃度は表層水・底層水では比較的低い割合(51 ~ 59%)、中層では高い割合(63 ~ 69%)を占めた。 C_{18} 固相抽出分画において、Ho-DOM, Hi-DOM の DOC 濃度はそれぞれ、0.15 ~ 0.86 mgC/L, 0.46 ~ 0.72 mgC/L を示した。DOM 試料の DOC 濃度に対する Ho-DOM の割合は 15 ~ 60 % と水深によって差があった。表層(2.5 ~ 13 m)で高濃度(0.73 ~ 0.86 mgC/L)かつ 55 ~ 60 % の高い割合を占め、水深 10 ~ 15 m にかけては急激に減少(0.85 ~ 0.49 mgC/L)し、水深 15 ~ 85 m でさらに減少(0.49 ~ 0.15 mgC/L)し、水深 85 m で最低値 0.15 mgC/L を示して、水深 90 m で 0.50 mgC/L を示した。また、Hi-DOM の DOC 濃度が DOM 試料に占める割合は 39 ~ 50 % と、水深による大きな差はなかった。

3 次元励起蛍光スペクトルにおいて、DOM 試料, Ho-DOM, HMW-DOM において、2 種の腐植様蛍光ピーク H-A(Ex/Em=330/408 ~ 410), H-B(Ex/Em=230 ~ 240/401 ~ 409)および 2 種のタンパク様蛍光ピーク P-A(Ex/Em=270 ~ 280/330 ~ 337), P-B(Ex/Em=220 ~ 230/298 ~ 335)が検出された(図 1)。腐植様蛍光ピーク H-B, タンパク様蛍光ピーク P-A, P-B の検出波長は、Ho-DOM において HMW-DOM 試料より低波長側で観測された。

FT-ICR MS 測定の結果、試料の質量イオンピークは水深 8m, 85m の Ho-DOM, 水深 8m の HMW DOM ではほぼ全てが m/z 値 1000 以下で検出された。一方、水深 85m の HMW-DOM の質量イオンピークは m/z 値 1000 以上においても検出された。また、質量イオンピークの精密分子量から予想された分子式の元素比を基に作成した van Krevelen Diagram によって構成有機物の組成を比較したところ、 C_{18} 吸着 DOM, HMW DOM とともにリグニン様物質、タンパク様物質が主な構成成分であることが示唆された。また、 C_{18} 吸着 Ho-DOM には多糖類、縮合型炭化水素が、HMW-DOM には不飽和度の高いフミン様物質、

加水分解性タンニン様物質が含まれていることが示唆された(図 2)。

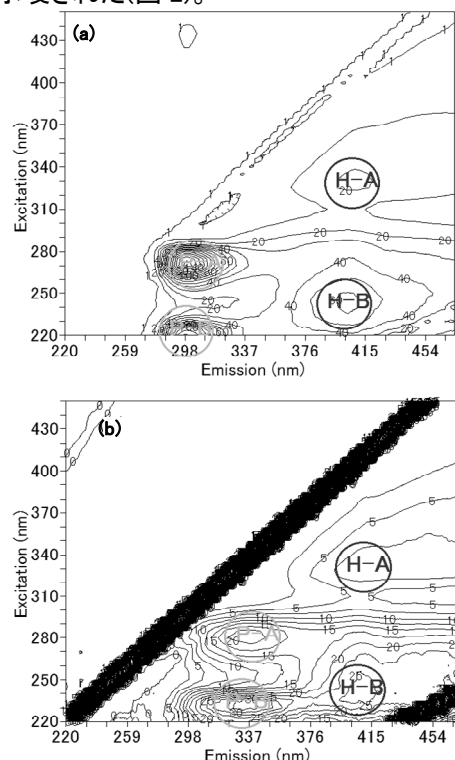


図 1. 琵琶湖 N4 地点水深 8 m における(a)Ho-DOM, (b)HMW-DOM の 3 次元励起蛍光スペクトル

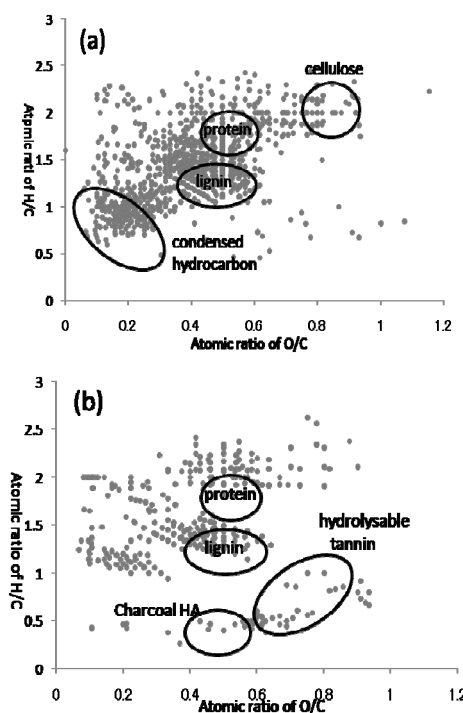


図 2. 琵琶湖 N4 地点水深 8 m における(a)Ho-DOM, (b)HMW-DOM の van Krevelen Diagram (図中には、代表的な化合物グループが示す元素比の範囲を楕円で示した)

PARAFAC を使用した琵琶湖蛍光性 DOM の起源の推定

小島礼慈¹、杉山裕子¹、早川和秀²、和田千弦¹、石川可奈子²、岡本高弘²、丸尾雅啓³、
神澤真一⁴、奥村亮二⁴、藤原学⁴、熊谷哲¹

(1 兵庫県立大学大学院環境人間学研究科、2 琵琶湖環境科学研究センター、3 滋賀県立大学環境科学部、4 龍谷大学理工学部)

1. はじめに

水質を左右する成分の一つである溶存有機物 (Dissolved Organic Matter, DOM) は、多種多様な化合物の混合物であることが知られている。DOM は様々な物理・化学・生化学的特性を有し、水中の物質循環に大きな影響を与える。例として、バクテリアの主要なエネルギー源、水中への太陽光の入射を調整することによる一次生産の支配、などが挙げられる。しかし、DOM を構成する成分、また、水圏における起源や組成、及びその動態についての情報は極めて限られている。これは、DOM を構成する化合物相互の分離が実質不可能であることから、分析・解析が困難なためである。

本研究は統計解析法のひとつである Parallel Factor Analysis (PARAFAC) を、琵琶湖水試料の三次元励起蛍光スペクトル (Excitation Emission Matrix, EEM) に適用し、成分ピークを個々に分離することで、今後の定量的解析につなげることを目的とする。

2. PARAFAC

PARAFAC は多変量解析法の一つであり、重なり合ったピークを同じ挙動を示す成分ピークに分離することができる。また、PARAFAC は主成分分析とは違い、成分の形や、成分の数について仮定することなしに、各成分をそれぞれのスペクトルの形で表すことができる。そのため、成分スペクトルを個々に表示し、それぞれのスペクトルに現れたピーク位置を正確に捉えることができ、その成分も個々に表示できるため、その後の定量的解析にも容易につなげることができる。

図 2-2 に PARAFAC の概念図を示す。図において、 X と x_{ijk} は解析される 3 次元配列のデータを指しており、 a_{if}, b_{if}, c_{if} は f 番目の因子における寄与率 (loading) を示している。また a は Concentration、 b は Emission、 c は Excitation を示している。 E 及び e_{ijk} は residual (残差) を示している。

3. 材料と方法

試料は 2004~2006 年に琵琶湖より採取した 105 試料を使用した。サンプリング地点を図 2-1 に示す。試料は孔径 0.7 μm の GF/F フィルターでろ過され、日立蛍光分光光度計 F-4500 を用いて EEM を測定した。波長範囲は、励起波長が 225~400 nm、蛍光波長が 260~500 nm、バンド幅はそれぞれ 5 nm, 2 nm とした。



図 2-1. サンプリング地点

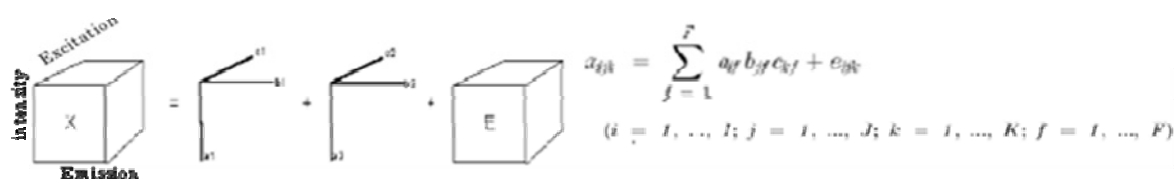


図 2-2. PARAFAC の概念図

蛍光強度はラマン標準補正による規格化を行った。また、PARAFAC 解析では、採取地点ごとの特徴把握を行うため、試料を採取地点別に河川水サンプル(F=30)、沿岸部サンプル(F=10)、沖合い鉛直サンプル(F=34)、表層サンプル(F=31)の4つのデータセットに分類し、解析を行った。

4. 結果

図 4-1 は 2005 年 9 月 20 日に南湖 Yasu 地点(野洲川河口域)の水深 2.5m で採取された試料を測定した EEM である。長波長域(Ex/Em= 360/ 466 nm)に強い腐植様物質蛍光ピークが確認でき、また、短波長域にタンパク質様物質ピーク(Ex/Em= 225/ 327 nm)と腐植様物質ピーク(Ex/Em= 265 / 466 nm)が確認できる。

PARAFAC の適用により、琵琶湖 EEM から 4 つの成分ピークが分離された。そのうち成分スペクトル 1、成分スペクトル 2、成分スペクトル 3 の 3 つの腐植様物質に起因すると思われる成分スペクトルは、従来 1 つの腐植物質様ピークとして捉えられてきたものであるが、PARAFAC 解析により、3 つの成分スペクトルから成り立っていることが示唆された。これらの成分スペクトルはそれぞれ異なる起源のものと考えられる。

既報によると、成分スペクトル 1 のピークは微生物起源 (Ex/Em=390/461 nm Cory and Mcknight et al., 2005)、成分スペクトル 2 と 3 のピークは陸域起源 (Yamashita et al., 2008) と考えられる。

成分スペクトル 4 には Ex/Em =225/338, 280/338 nm に自生性プランクトン起源と考えられるトリプトファン様ピーク (Yamashita et al., 2008) が観測された。

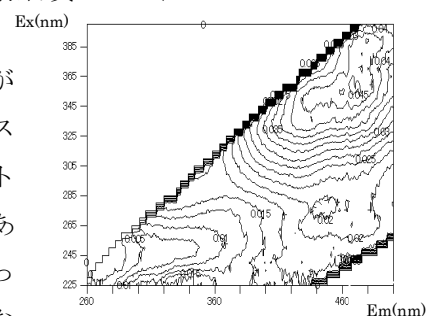


図 4-1.琵琶湖 DOM(Yasu) Raw-data

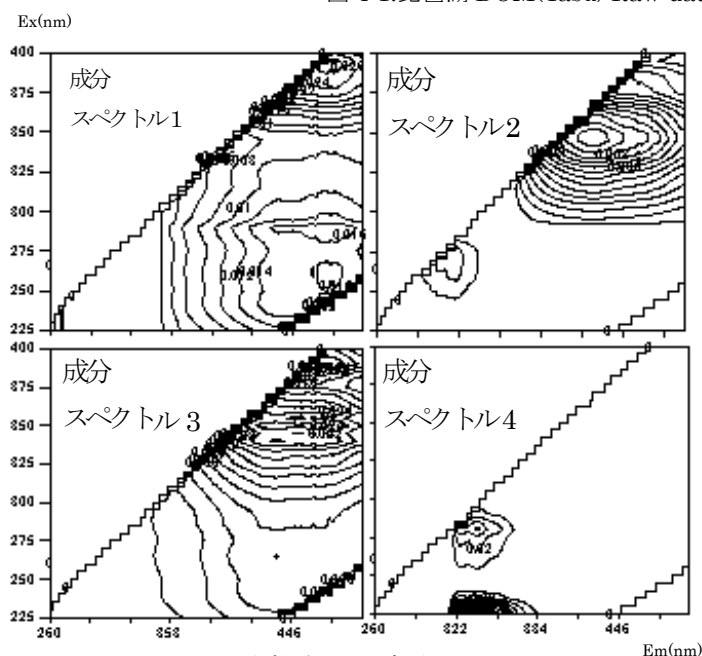


図 4-2.分離された成分スペクトル

謝辞

本研究で使用したデータの一部は総合地球環境学研究所・吉岡崇仁様のご協力のもと測定されました。ここに記して謝意を表します。

FT-ICR MS 分析による森林生態系における 溶存有機物の循環過程

¹原都*、¹大橋瑞江、²Sirpa Piirainen、³Pirkko Kortelainen、
²Leena Finer、¹森谷美奈、¹熊谷哲、⁴高橋勝利、¹杉山裕子
(¹兵庫県立大学環境人間学部、²フィンランド森林研究所、
³フィンランド環境研究所、⁴産業技術総合研究所)

1. はじめに

地球表層に存在する水の約3%を占める淡水は、陸上生物の生命維持活動に必要な不可欠な資源である。この淡水の大半は、主に森林生態系を循環することで形成され、土壌水・地下水として貯蔵されている。そのため森林部における樹木密度や樹種・伐採などの管理状態は、淡水中の溶存成分に大きな影響を与えていると考えられる。

溶存有機物 (Dissolved Organic Matter) は水圏中の主要な溶存成分の1つであり、森林生態系内においては金属との錯体形成や元素の吸脱着による物質循環の流れ及び水質を支配している、重要な因子である。したがって、水圏における DOM の量的・質的な変遷を把握することは、淡水の形成過程を知る上で極めて重要であるといえるが、DOM の質的情報を得ることは方法的に難しく、研究はあまり進んでいない。

本研究では、森林地帯において降雨・林内雨・土壌水・地下水・河川水・湖沼水を採取し、溶存有機体炭素(DOC)濃度・3次元蛍光スペクトル・超高分解能フーリエ変換イオンサイクロトロン共鳴型質量分析 (FT-ICR MS)を行うことで、森林生態系における溶存有機物の形成・変質などの循環過程を解明することを目標としている。また、植栽地と皆伐地の比較によって、土地利用形態が水質にもたらす影響についても考察する。

2. 試料採取および分析方法

試料採取は、フィンランド北東部の森林流域試験地 (ドイツトウヒの人工林) において 2009 年 5・6 月の春と 9・10 月の秋、そして 2010 年の 5・6・8・9・10 月に行った。ここでは、降雨、林内雨、皆伐地 (樹木の地上部を伐採した土地) と植栽地 (皆伐後に苗木を植えた土地) の O 層・A 層・B 層における土壌水、地下水、河川水、湖沼水を採取した。採取した試料は現地で、あらかじめ 400℃で2時間の焼処理を行って孔径 0.7 μm の GF/F フィルターを用いてろ過した。その後、パイレックスのメジュームサンプルガラス瓶に保存して氷冷状態で日本に送付し、DOC・3次元励起蛍光スペクトル測定を行った。FT-ICR MS 分析では、C₁₈ 固相抽出により分離濃縮された試料を ESI 法によりイオン化し、ネガティブモードで検出した。



3. 結果と考察

図1：サンプル採取図

3.1 DOC 濃度測定結果

植栽地と皆伐地において DOC 濃度を比較したところ、皆伐地の O 層は全ての試料で 20 mgC/L 以

上の DOC 濃度を記録しており、A 層（10 mgC/L 以下）・B 層（5 mgC/L 以下）へと深度が深くなるにつれて濃度は減少していた。植栽地 O 層の DOC 濃度は皆伐地のものに比べて低かったが（5.8~20.9 mgC/L）、A・B 層の濃度は、皆伐地の A・B 層よりも比較的高かった（3.8~29.2 mgC/L）。

DOC 濃度は、全サンプルセットで一様に泥炭層の地下水・皆伐地 O 層の土壤水が最も高く、鉬物層の地下水（0.6~1.7 mgC/L）が最も低かった。

3.2 3 次元蛍光測定結果

雨水に比べると林内雨の 3 次元蛍光スペクトルは、DOC 濃度には大きな違いがなかった（雨水 2.05 mgC/L、林内雨 2.29 mgC/L）にも関わらず、腐植様物質蛍光ピーク（Ex/Em = 240/412, 330/455 nm）において約 10~14 倍、タンパク様物質蛍光ピーク（Ex/Em = 230/309, 280/317 nm）で 3~5 倍高い炭素濃度あたりの蛍光強度が観測された。このことから、林内雨には葉や幹の表面から溶出したと考えられる蛍光性の溶存有機物が付加されている可能性があるかと推測される。

2009 年 9 月の皆伐地土壤水では強い腐植様物質蛍光ピークが観測されたのに対し、植栽地では強いタンパク様物質蛍光ピークが観測され、この傾向は、A・B の両層下において共通していた（図 2、図 3）。2010 年のサンプルでは変化の仕方に多少の違いが見られ、皆伐地と植栽地の A 層で強い腐植様物質蛍光ピークが現れていた。B 層になると、皆伐地では腐植様物質蛍光ピークが弱まっているだけなのに対し、植栽地では腐植様物質蛍光ピークが弱まっている一方でタンパク様物質蛍光ピークが形成されるという過程を観測することができた。これより、地上部の管理の違いによって、地下部の土壤水中の有機物組成が異なってくることを示唆された。

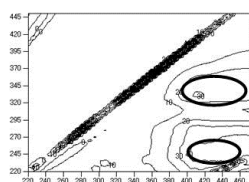


図 2：皆伐地 A 層下

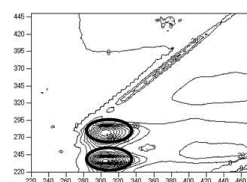


図 3：植栽地 A 層下

（図 2 には腐植様物質蛍光ピーク [Ex/Em = 240/412 nm, 330/455 nm]、

図 3 にはタンパク様物質蛍光ピーク [Ex/Em = 230/309 nm, 280/317 nm] が現れている）

3.3 FT-ICR MS 測定結果

FT-ICR MS 分析では、測定された質量イオンピークの精密電荷質量比 (m/z) から分子式を予測する事が可能である。それぞれの質量ピークに対して予測された分子式から元素組成比を求め、O/C 比を X 軸に H/C 比を Y 軸にプロットする van Krevelen Diagram を作成した。これを用いて植栽地と皆伐地の分子組成の特徴を比較してみたところ、皆伐地と植栽地とで分子組成に違いがみられ、皆伐地に比べて植栽地では、H/C 比と O/C 比の小さい黒色炭素様物質（縮合率が高く不飽和結合の多い化合物：H/C = 0.3~1.0, O/C = 0~0.4）及びリグニン（H/C = 1.0~1.6, O/C = 0.1~0.5）[Grannas et al, 2006] が検出される領域に、より多くのピークが観測された（図 4、図 5）。

DOC 濃度の変化と 3 次元励起蛍光スペクトルに現れていたピーク位置の違い、そして各サンプルの van Krevelen Diagram の特徴の違いから、淡水は森林生態系を循環しながら、その組成を大きく変化させていると考えられた。

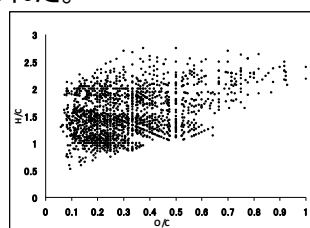


図 4：皆伐地 A 層の van Krevelen Diagram

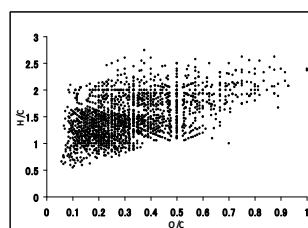


図 5：植栽地 A 層の van Krevelen Diagram

浄水場における緩速濾過処理と急速濾過処理による 溶存腐植様物質の分子サイズ分布への影響

佐藤裕泰(滋賀県大院・環境科学)、丸尾雅啓(滋賀県立大・環境科学)

[はじめに]

彦根市大藪浄水場では、緩速濾過処理方式と急速濾過処理方式を併用している。水源として利用される琵琶湖は、大雨による濁度上昇、季節によって異臭発生などが起こる。異臭味の原因となる化合物の除去に対し、急速濾過処理は十分対応できないために活性炭を投入する必要がある。一方で緩速濾過処理は、生物膜を通じることで異臭の起源物質を除去できる。このことから緩速濾過処理は急速濾過処理と比較して処理能力が格段に少ないものの、安価でより安全な飲料水を確保・供給できると期待される。大藪浄水場では現在使用している緩速濾過池を最大限利用するための処理条件を模索している。

濾過量を増やす場合、濁度が病原性原虫対策として定められた管理値を上回らないことが重要である。このため、大藪浄水場では濾過速度を設計当初より低下させて使用している。当然であるが他の水道水質基準項目（50項目）も同時に満たす必要がある。

原水が適切に処理されていることを示す目安として、二つの濾過処理によって得られた水の溶存有機物のうち、トリハロメタン等の前駆物質とされている腐植様物質の濃度、性状について、高速サイズ排除液体クロマトグラフィーによる分子量分画・蛍光検出法を用い、処理前後に各分子量帯の溶存有機物量がどのように季節的な変化を起こしているかを比較し、緩速濾過法、急速濾過法各々の特徴を明確化した。

なお、通常の浄水場では、いずれかの処理法のみを採用している場合がほとんどであり、同じ原水を用いて、二つの処理法の特徴を比較できる点において、大藪浄水場は数少ない施設である。

[方法]

現場で試料水をポリカーボネート製容器に採取して実験室に持ち帰り、ガラス繊維ろ紙（GF/F）を用いて濾過し、冷蔵保存（5℃）した。腐植様物質濃度と分子量分布を、高速サイズ排除クロマトグラフ（HPSEC）

により測定した。検出には紫外可視吸光検出器（UV 検出器）と分光蛍光検出器（FL 検出器）をこの順序に接続して用いた。HPSEC からは図-1 のようなクロマトグラフが得られ、検出時間から分子量を、ピーク面積から濃度を求めることができる。

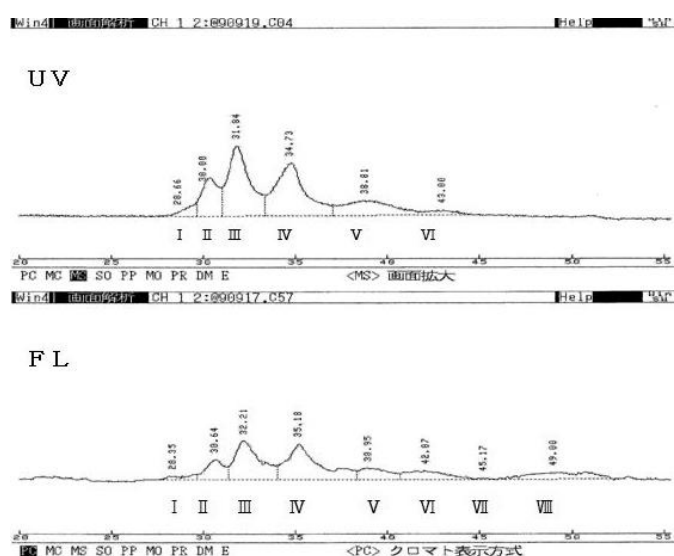


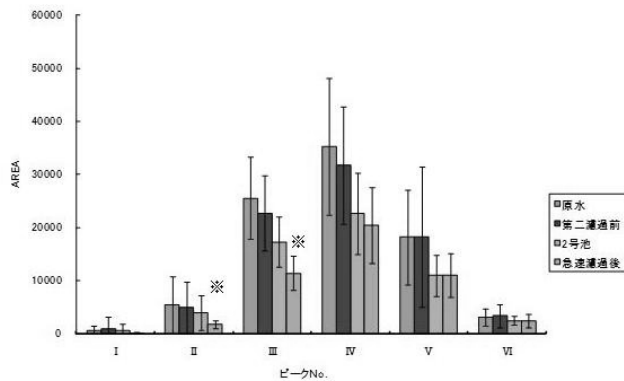
図-1. HPSEC から得られるクロマトグラフ

- ※第 I ピーク：平均分子量 約 3020 Da
- 第 II ピーク：平均分子量 約 1800 Da
- 第 III ピーク：平均分子量 約 1240 Da
- 第 IV ピーク：平均分子量 約 654 Da

[結果と考察]

緩速濾過処理と急速濾過処理において、平成 20～22 年度の全測定値を用い、溶存有機物の分子サイズ分布から緩速濾過処理と急速濾過処理の間の溶存腐植物質の除去量の違いを評価した。有意水準 5 % で、各ピーク面積について平均値の検定を行ったところ、フルボ酸由来とされる、夏季の UV：第 II・第 III ピーク（図-2）、夏季の FL：第 II ピーク、冬季の FL：第 III ピークにおいて有意差が見られた。季節によらず、急速濾過処理においてよりフルボ酸が除かれていた。凝集剤として用いる PAC より生じる水酸化アルミニウムが、腐植物質を強く吸着する性質を持つためである。

一般講演



※緩速濾過水と急速濾過水の平均値について有意差の見られた組み合わせ

有意水準 5%、自由度 24、t 値 2.064

検定統計量 t

ピーク	I	II	III	IV	V	VI
検定統計量 t	1.353	2.213※	3.594※	0.499	0.344	0.065

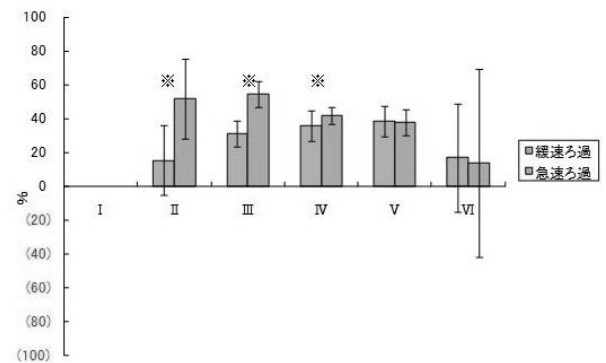
図-2. 夏季における腐植物質・UV のピークごとの平均値と標準偏差、および検定統計量

一方、第IVピークは、先行研究から THMs 生成能の高い分子量だということが分かっている。大藪浄水場では緩速濾過処理と急速濾過処理の間で、UV・FL のピーク面積において有意な差は見られなかった。

琵琶湖から取水した原水の水質は季節によって変化する。また、緩速濾過処理においては大量の降雨や強風による懸濁粒子の巻上げの影響もある。そこで、調査日ごとの原水の水質変動の影響を相殺するために、原水と濾過処理水とのピーク面積の差をとり、減少した量が原水の何パーセントに当たるかを計算し、これを原水からの減少率とした。この減少率について有意水準 5% で平均値の検定を行ったところ、夏季の UV : 第II～第IVピーク(図-3)、冬季の UV : 第II～第IVピーク、夏季の FL : 第II～第IV、第VIIIピーク、冬季の FL : 第II～第IV、第VIIピークにおいて有意差が見られた。

このことから、原水における水質の季節変化を除いた減少率として比較を行うと、THMs 生成能の高いといわれる第IVピークにおいても緩速濾過処理と急速濾過処理との間で減少率の平均値に有意差が見られるということが分かった。

日本陸水学会近畿支部会第22回研究発表会要旨集



※緩速濾過水と急速濾過水の減少率の平均値において有意差の見られた組み合わせ

有意水準 5%、自由度 24、t 値 2.064

検定統計量 t

ピーク	I	II	III	IV	V	VI
検定統計量 t		3.710※	8.198※	2.068※	1.081	0.289

図-3.夏季における腐植物質・UV のピークごとの減少率の平均値と標準偏差、および検定統計量

[まとめ]

緩速濾過処理と急速濾過処理とで溶存有機物の分子量分布を比較したところ、大藪浄水場におけるフルボ酸の除去という点では急速濾過処理の方がより優れているということが分かった。

また、原水による季節的な水質変動の影響を除いた減少率として比較すると、フルボ酸を示すピークに加えて THMs 生成能の高いといわれるピークについても、急速濾過処理の方がより優れているということが分かった。

一般的に、急速濾過処理よりも緩速濾過処理の方が、腐植物質や THMs 生成能の高い有機物を減少させることができるといわれている。しかし本研究では、少なくとも大藪浄水場においては、急速濾過処理において腐植物質がより多く除去されているという結果になった。

フブスグルーバイカル流域における物質の化学動態

*村田貴拓(京大院・人間・環境学)・三村徹郎(神大・理)・渡辺泰徳(立正大・地球環境科学)・佐藤泰哲(山形大・理)・三田村緒佐武(滋賀県大・環境科)・中野伸一(京大・生態学研究科センター)・A.Dulmaa(モンゴル生物学研究所)・V.V.Drucker(ロシア科学アカデミー陸水学研究所)・杉山雅人(京大院・地球環境学)

1. はじめに

フブスグルーバイカル流域はフブスグル湖ーエギン川ーセレンガ川ーバイカル湖まで連なる水系をさす(図-1)。モンゴル北部山岳域を源に発したこの水系の水はハー・ウス川やイ・フル川を経由しフブスグル湖へ流入する。そしてエギン川から流れ出て、セレンガ川を通りロシアのバイカル湖へと流れている。

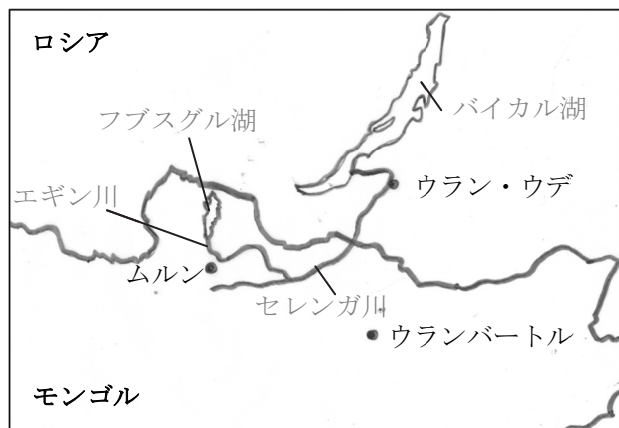


図-1. フブスグルーバイカル流域

本水系の全長、流域面積はそれぞれ 1,380 km、1,053,420 km²であり、我が国の長大水系である信濃川(全長 367 km、流域面積 11,900 km²)や利根川(全長 322 km、流域面積 16,840 km²)と比較すると、本水系の長大さが際立つ。一般的に水系の規模が大きいほど、上流と下流の間で地理・水理・生物相・植生・地質帯・気候など様々な流域環境が変化し、水域内の物質の動態は大きな影響を受ける。

フブスグル湖、バイカル湖は共に琵琶湖と同様に古代湖であり、長きに渡り良質な水質を維持していることから陸水学的に大変興味深い湖である。本水系の最上流に位置するフブスグル湖の周辺地質は石灰岩で形成されているため、湖水は高い硬度を有する(127 mg/L)。一方本水系の最下流に位置するバイ

カル湖ではフブスグル湖に比べ硬度が半分以下に減少する(55 mg/L)。両湖の間にはエギン・セレンガ川が流れており、この地域は気候変化を受けて永久凍土が溶解するなど多様な環境変化がみられる。またセレンガ川はバイカル湖に流入する多くの河川の中で最も主流な河川であり、流入量の 50 %を占める。

本研究は大規模な流域面積と多様な流域環境変化を有した本水系を調査対象とし、フブスグル湖から流れる硬水がどのような過程を経てバイカル湖へ流入するのか、その機構を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

フブスグル湖(湖記号 H)の調査は 2009 年 8 月に行った。湖全体を調査するため東西、南北の測線を設けて表面水を採水した。鉛直方向の水はフブスグル湖の主湖盆と副湖盆のそれぞれ最深付近で採取した。セレンガ川(河川記号 S)の調査は 2010 年 7 月にロシア、翌月にモンゴルへ訪れ計 13 地点の採水を行った。その際モンゴルではエギン川(河川記号 E)計 5 地点の調査を併せて行った。またエギン・セレンガ川に流入する 7 つの支流河川(河川記号 Tr.)を採水した。

採水した試料を孔径 0.40 μm ポリカーボネイト(PC)フィルターでろ過し溶存態試料とした。また PC フィルターに捕捉されたものを懸濁態試料とした。現場で一般水質項目(水温、pH、電導度、クロロフィル *a* 蛍光量、透明度)の測定を行った。試料を持ち帰り研究室で溶存態主要イオン (Na、K、Ca、Mg、Cl、SO₄、アルカリニティー)、溶存態栄養元素 (P、Si、NO₃-N)、溶存態微量金属(Al、Ba、Co、Cu、Fe、Mn、Ni、Sr、Ti、V、Zn) の分析を行った。懸濁態試料は酸で分解したのち、誘導結合プラズマ発光分

析法(ICP-AES)を用いて測定した。懸濁態金属の成分の中で多くを占めていた Al、Ca、Fe、K、Mg、Mn、Na、P を、便宜上懸濁態主要元素と分類した。上記以外の元素を懸濁態微量元素とした(B、Ba、Cd、Co、Cr、Cu、Li、Mo、Ni、Pb、Sr、Ti、V、Zn、Zr)。

3. 結果と考察

3-1. エギン川

モンゴル国内におけるエギン・セレンガ川の懸濁態主要元素の割合を図-2、硬度を図-3 に示した。

エギン川では地殻起源である Al より Ca の割合が高い値を示した。これはフブスグル湖から流れた炭酸カルシウムが懸濁物に多く含まれているためである。エギン川上流域(E1~E3)において懸濁態 Ca の割合が上流(E1)から下流に(E3)に推移するに従い減少し、一方 Al の割合は増加した(図-2)。また硬度は下流に推移するに従い増加した(図-3)。

以上のことはエギン川上流域では、上流から下流に推移するのに従い、石灰岩地質であった集水域が火成岩地質に変化したことや水温・気圧の変化など流域環境の変化によって炭酸カルシウムが溶出し硬度が上昇したと考えられる。

3-2. セレンガ川(モンゴル)

S1 と S2 地点の間にエギン川(E5)、S3 と S4 地点の間にはオルホン川(Tr.2)が流入している。

セレンガ川とオルホン川はエギン川と異なり、懸濁態 Al、Fe、Na の割合が高い値を示した(図-2)。このことは、2 つの河川はエギン川とは異なる地質帯であることを示した。また湖水を含んだエギン川の水は2つの川により大きく希釈されていた(図-3)。

3-3. セレンガ川(ロシア)

ロシア国内のセレンガ川にジダ川、テムニック川、チコイ川、ヒロック川、ウダ川がバイカル湖に流れる間に流入している。

ロシア国内におけるセレンガ川の懸濁態主要元素の割合はバイカル湖に流入前まで大きな変化はなく、オルホン川合流以降(S4)と同様の組成を示した。ま

た、チコイ川、ヒロック川、ウダ川の流入により硬度が大きく減少した(S13:88 mg/L)。チコイ川はロシア国内のセレンガ川へ流れる支流河川の中で最も水量の大きい河川であるため、大きな希釈効果がみられた。

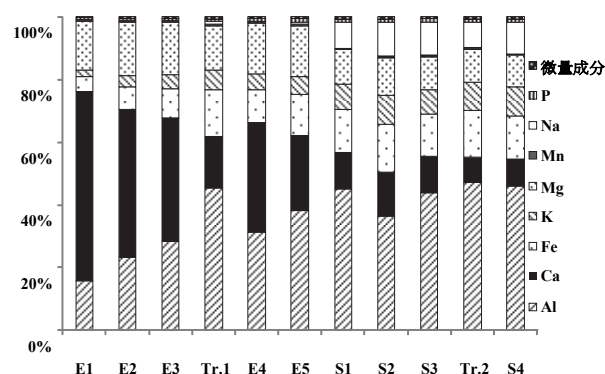


図-2. モンゴル国内におけるエギン・セレンガ川の懸濁態主要元素の割合

*数値の低い順に上流から下流となる

*E3 と E4 の間に Tr.1、S1 と S2 の間に E5、S3 と S4 の間に Tr.2 が流入している

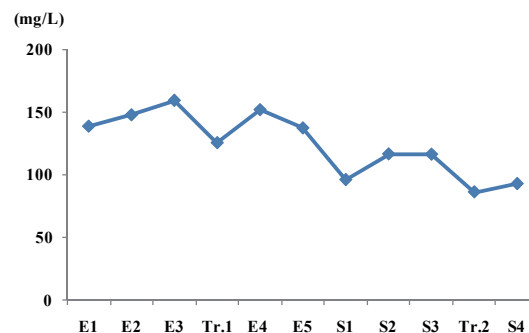


図-3. モンゴル国内におけるエギン・セレンガ川の硬度変化

*横軸は図-2 と同様

*硬度はアメリカ硬度の式から求めた

硬度(mg/L)=Ca(mg/L)×2.5+Mg(mg/L)×4.1

代かき時に宇曾川河川水へ流出する農業濁水の物理・化学的特徴

※赤松由実子・安積寿幸・赤塚徹志・三田村緒佐武(滋賀県大・環境)

1. はじめに

これまで、代かき時に生じる濁り水(以下、農業濁水とする)の流入時における河川や湖沼の栄養塩や濁度の変動について、多くの研究がおこなわれてきた。しかし懸濁物の粒子径を含めた研究はあまり行われていない。本研究では、代かき期間中における河川水中での栄養塩濃度、濁度、懸濁物質量、懸濁物質の粒子径を測定し、代かき時における河川水中での農業濁水の物理・化学的特徴を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

調査地は、滋賀県北東部を流れる宇曾川において、琵琶湖流入河口部より上流約 11km 地点までの区間とし、その区間に調査地点を 6 点設けた(図-1)。



図-1. 宇曾川における試水の採取地点

宇曾川周辺の代かきは5/1 から5/4 頃と、5/13 から5/15 頃に行なうグループで2回あることがわかった。そのため、代かき期を4月の下旬から

5月の中旬として週 2・3 回の頻度で採水を行った。なお、代かき期との比較をするために、晴天時(11月24日)と降雨時(12月3日)にも採水を行った。

栄養塩(アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、リン酸態リン)分析用の試水はガラス繊維ろ紙(Whatman; GF/F)でろ過し、アンモニア態窒素濃度をインドフェノール法(Sagi 1966)、亜硝酸態窒素濃度をBR法(Bendschneider and Robinson 1952)、硝酸を硫酸ヒドラジニウム法(西條・三田村; 1995)、リン酸態リンをアスコルビン酸還元法(Murphy and Riley 1962)により行った。なお、ろ過に用いたろ紙は、懸濁物質量を測定するため、60℃で24時間乾燥させた。そして乾燥後、ろ紙とろ紙上の懸濁物の重さを量り、ろ紙の重量を差し引いて懸濁物質量を求めた。

試水の濁度は濁度計(HACH; 2100N)を用いて測定し、懸濁物質の粒子径頻度分布はレーザー回折式粒度分布測定装置(SHIMADZU; SALD2000J)により測定した。

3. 結果と考察

アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素の総量を溶存無機窒素(DIN)、リン酸態リン濃度を溶存無機リン(DIP)として、DIN/DIP比(モル比)を算出した(図-2)。

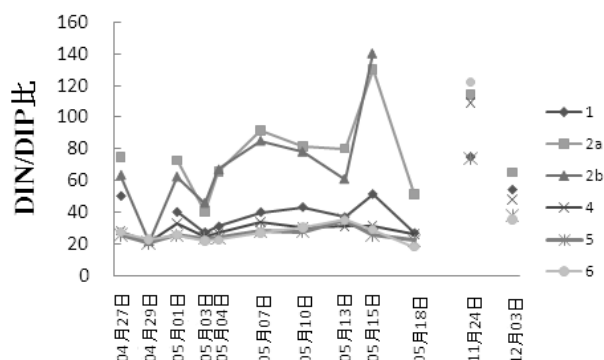


図-2. 各地点における DIN/DIP (モル比)

その結果、宇曽川本流水の DIN/DIP 比は、晴天時に 60~120、降雨時に 40~70、代かき期間に 20~40 であった（支流である Sta. 2a, 2b を除く）。この結果は DIN/DIP 比は代かき期間に低いことを示しており、代かき期の栄養塩濃度は DIN より DIP が相対的に多いと考えられた。

河川水の濁度は晴天時に平均 1.1 (NTU)、降雨時に平均 32.9 (NTU) であり、代かき期間については 1 回目のピークで平均 80 (NTU)、2 回目で平均 34 (NTU) であった。この結果、代かき期間の濁度は晴天時と比べ 1 回目の代かきピークでおよそ 80 倍、2 回目でおよそ 30 倍上昇したことがわかった（図-3）。

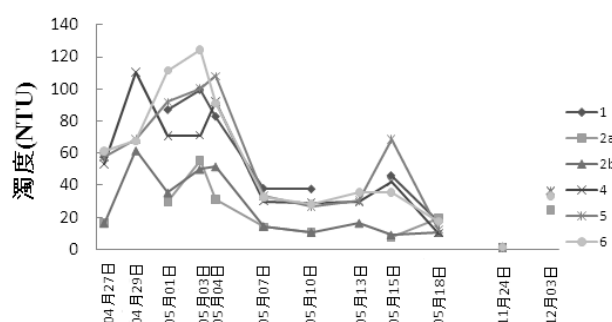


図-3. 各地点における濁度

代かき期間における懸濁物質量は晴天時に 0 (mg/l) に近く、降雨時に平均 0.025 (mg/l) であり、代かき期間については 1 回目のピークで平均 0.050 (mg/l)、2 回目で平均 0.034 (mg/l) であった。この結果は、1 回目の代かきピークで懸濁物質量が明らかに高いことを示した（図-4）。

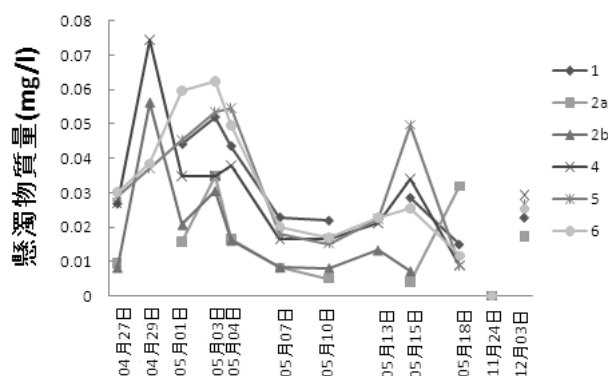


図-4. 各地点における懸濁物質量

懸濁物の粒子径頻度分布は、代かきのピーク前後と中休みの期間はおおよそ 10 μ m あるのに対し、代かきのピークではおおよそ 5 μ m に下がっている。さらに、降雨時の濁水中の粒子径（中央値）は、調査地上流で 40 μ m を超えるものが多く含まれ、代かき時により細かい粒子の懸濁物が河川に供給されていると考えられた（図-5）。

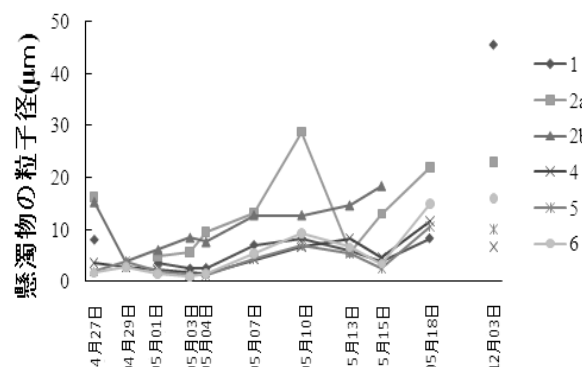


図-5. 各地点における粒子径（中央値）

この結果をもとに、次に示すストークスの式（*）に当てはめた。

$$V = \frac{(\rho_s - \rho)d^2g}{18\eta} \quad \dots (*)$$

粒子の沈降速度 (cm/s) を V 、粒子の粒径 (cm) を d 、粒子の密度 (g/cm^3) を ρ 、流体の密度 (g/cm^3) を ρ_s 、重力の加速度 (cm/s^2) を g 、流体の粘度 (poise= g/cm/s) を η とする。すると、代かき時における濁水中の懸濁物質の沈降速度は $9.9 \times 10^{-12} \sim 5.4 \times 10^{-10}$ (cm/s)、降雨時における濁水中の懸濁物質の沈降速度は $2.9 \times 10^{-10} \sim 1.3 \times 10^{-8}$ (cm/s) であった。このことから代かき時に流れる懸濁物質の粒子は沈降速度が遅いことがわかった。以上の結果から、農業濁水中の懸濁物質はより遠くへ輸送され、琵琶湖へ流入後も広範囲に広がると考えられる。

今後、琵琶湖における農業濁水の拡散範囲が特定できれば、農業濁水流入による栄養塩や濁度の変動が琵琶湖の生態系に与える影響の範囲を解明することができるかもしれない。

安曇川の水質の季節変動及び河口沖における流況変動

○藪内春香・○天沼翔太・齊藤紫保・遠藤修一・石川俊之（滋賀大・教育）

1. 研究目的

湖の水質は流入河川の水質に大きく依存する。したがって、湖に流入する河川水を長期的にモニタリングすることはきわめて重要である。びわ湖に流入する安曇川は電気伝導度が低いことで知られているが、他の流入河川に比べると先行研究が少ない現状がある。そこで、本研究では安曇川の水質の季節変動及び河口沖における流況変動を明らかにすることを目的とする。

2. 観測方法

2-1. 安曇川の定期観測

- ・期間：2010年1月～12月（約2週間に1回）
- ・観測地点：安曇川9地点、支流1地点の計10地点（図1の●）
- ・観測項目：水温・電気伝導度・pH・水位（目視）・記録撮影・採水

2-2. 自記記録計（CT計）による連続観測

- ・期間：2010年5月～12月
- ・観測地点：安曇川 両台橋（図1の△）
- ・観測項目：水温・電気伝導度

2-3. 流況の連続観測

- ・期間：2010年6月～12月
- ・観測地点：舟木崎沖2地点（図2の●）
- ・観測機器：ADCP・流速計・AQUADOPP

クロフィル・濁度計、CT計

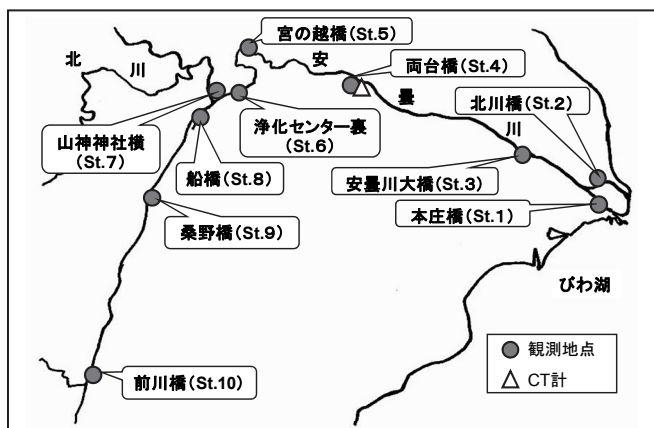


図1 定期観測の観測地点

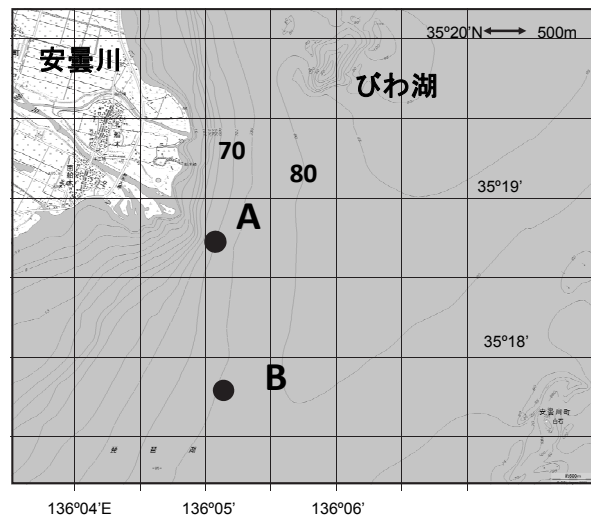


図2 流速計等の設置地点

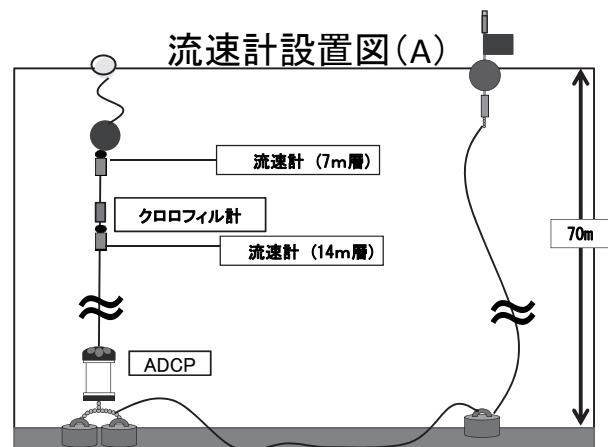


図3 流速計等の係留図

3. 結果・考察

- 安曇川流域において、どの観測地点でも水温の季節変化が見て取れた。降雪があった2月に最低水温を、8月末から9月にかけて最高水温が記録された。
- 電気伝導度については、びわ湖よりも値が低く、融雪水や降水によって希釈され、さらに低い値を記録した。また、下流では値が高くなる傾向が見られた。
- 年間を通して安曇川の水温はびわ湖の表層よりも低く、水温躍層に流入しているのがわかつ

た。5 月末頃から夏に向かって 10~15m に河川水の流入が集中し、9 月ごろをピークに流入深度は深くなっていき、11 月には再び底層に流入した。

- 安曇川河川水は大雨後に流入した河川水のデータより、6 月~9 月には深さ 12~14m に流入した (図 6)。
- 安曇川河川水は 6 月~9 月は第一環流によって河口から南南西の方向に移動した (図 7)。
- 安曇川河口沖では沿岸ジェット流が発生し、流れが強い日では 50cm/sec を超える流れが記録された (図 8)。
- 安曇川河口沖の沿岸ジェット流には吹送流による南南西の流れと、内部波に伴う東北東の流れの 2 つあることがわかった (図 8)。

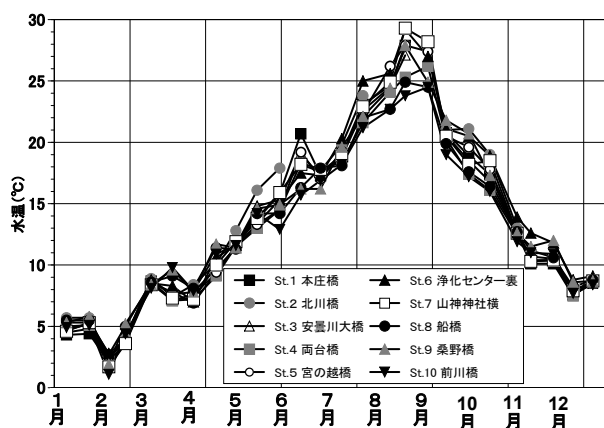


図 4 安曇川の水温の変化 (2010)

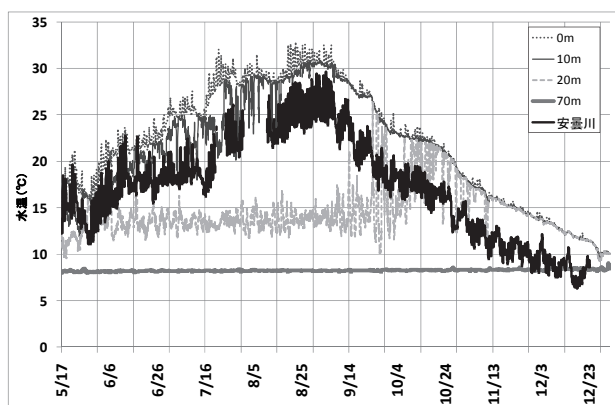


図 5 連続記録による安曇川と
びわ湖の各層水温の比較 (2010)

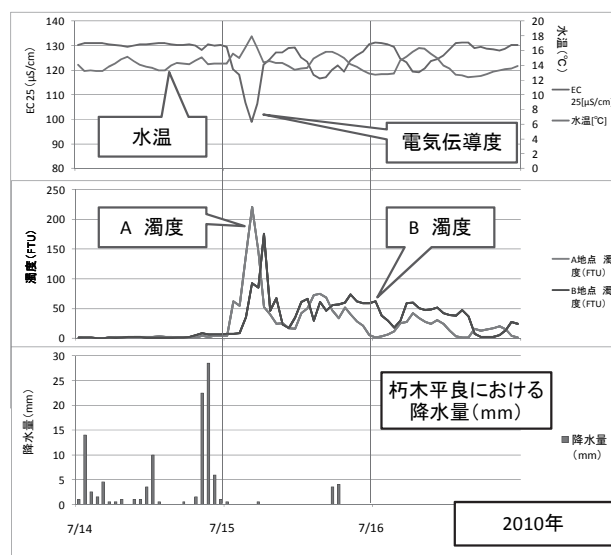


図 6 大雨後に流入した安曇川河川水
(2010 年 7 月 14~16 日)

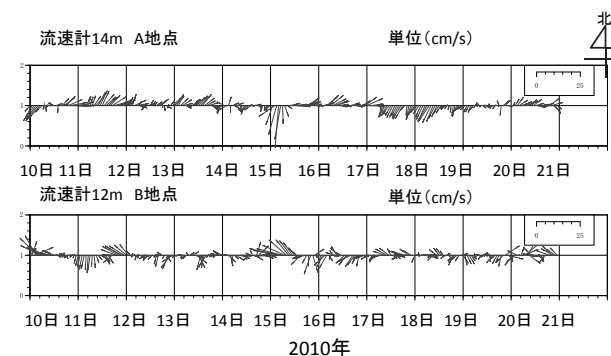


図 7 河川水流入時の流況 (2010 年 7 月)

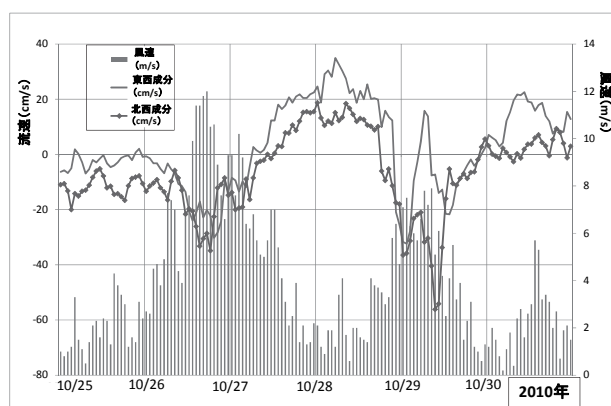


図 8 沿岸ジェット流の発生 (B 地点流速計 5m)

2010 年のびわ湖水質の季節変動

○藤田将成・○片岡弘貴・遠藤修一・石川俊之(滋賀大・教育)・奥村康昭(大阪電通大)

1. 研究目的

近年のびわ湖では富栄養化や水質汚濁、湖底における低酸素化などが問題になっている。これらの問題を考えるには、長期にわたる観測データに基づき解析を行う必要がある。そこで、本研究ではびわ湖縦断観測および、自記記録計群による連続観測を行い、2010 年のびわ湖水質の季節変動を捉えることを目的とした。

2. 観測概要

2-1. 定期観測

- ・期間：2009 年 1 月～12 月＜月 1 回＞
- ・観測地点：びわ湖縦断観測線上の 10 測点、矢橋沖、瀬田川の計 12 測点、(図 1 の●印)
- ・観測項目：水温、濁度、クロロフィル a、電気伝導度、溶存酸素濃度、透明度、pH、風向風速、気温、湿度、船位

2-2. 自記記録計群による連続観測

- ・観測地点：今津沖（水深 90m）と近江舞子沖（水深 70m）(図 1 の■印)
- ・観測項目：各層水温（サーミスタチェーン）、溶存酸素濃度、濁度、クロロフィル a、電気伝導度

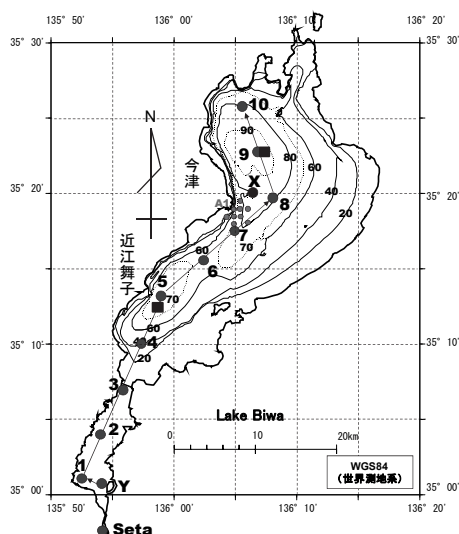


図 1 観測地点

3. 観測結果および考察

3-1. 定期観測結果より

- ・1 月から 2 月にかけて全層循環が見られた。
- ・4 月から水温の成層が見え始め、8 月に最も発達し、12 月まで確認できた。また、6 月からは電気伝導度においても成層が始まった。
- ・5 月と 12 月の観測では、観測数日前の強風によって成層に傾斜がみられた。(図 2、3)

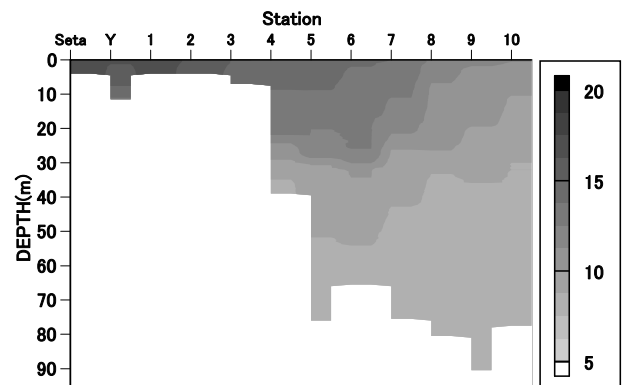


図 2 びわ湖縦断面における 2010 年 5 月の水温分布。左が南、右が北を表す。

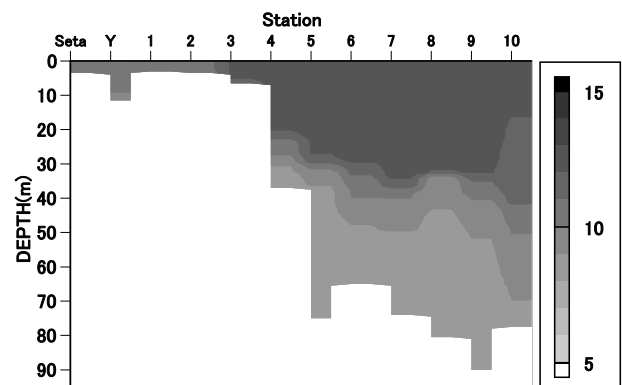


図 3 2010 年 12 月の水温分布

- ・6 月、7 月の観測では、Sta. 6 と Sta. 8 付近を中心に第一環流、第二環流がとらえられた。
- ・7 月には、観測数日前からの降雨により、南湖で高濁度がとらえられた。また、Sta. 7 の水温躍層付近で高濁度、低電気伝導度がみられた。これは安曇川の河川水流入をとらえたものだと考えられる。(図 4、5)

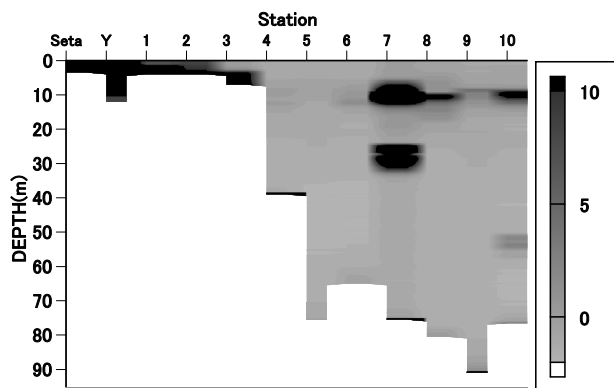


図4 2010年7月の濁度分布

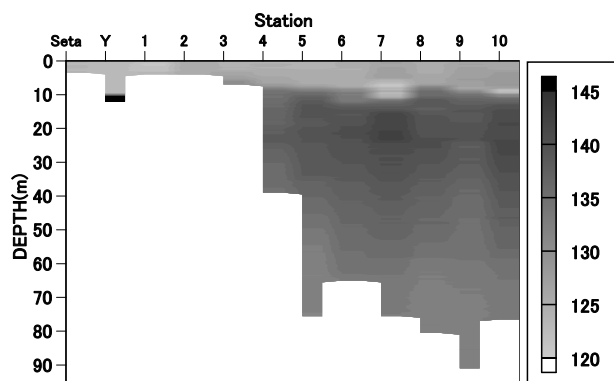


図5 2010年7月の電気伝導度分布

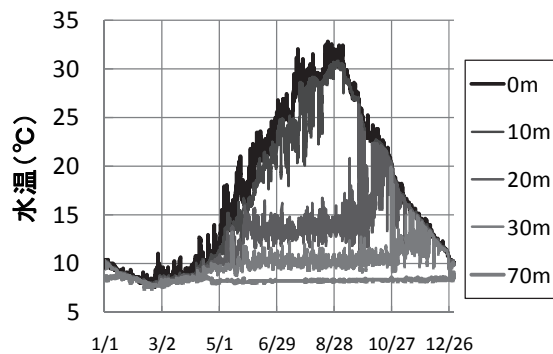


図6 近江舞子沖の年間水温変動

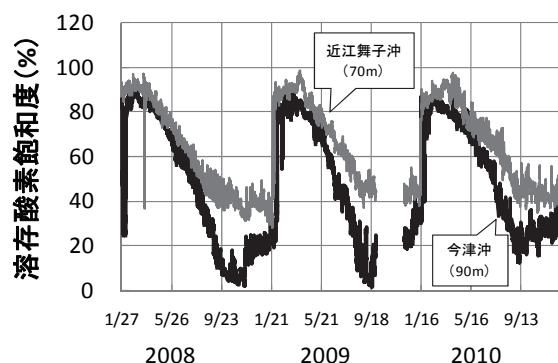


図7 近江舞子沖・今津沖の過去3年の溶存酸素変動

3-2. 連続観測結果より

- ・ 2010年1月中旬にびわ湖の全層循環を確認できた。
- ・ 2010年の近江舞子沖における表層水温は、過去13年間の最高水温である32.85℃を記録した。これは2010年が例年に比べ猛暑日が長かったことが原因とみられる。
- ・ 今津沖においても表層の水温は、前年より約2℃高い値を示した。
- ・ 今津沖（水深90m）と近江舞子沖（水深70m）では、水深の深い方が溶存酸素の消費が進みやすく、最低値も小さい。しかしこの点に関しては水域特性など異なる原因が考えられるので、より詳細な調査が必要である。
- ・ 2010年の今津沖底層の溶存酸素の減少が過去2年に比べ緩和したことが確認できた。
- ・ 近江舞子沖、今津沖の両地点で冬季における沿岸冷却水の流入が確認できた。

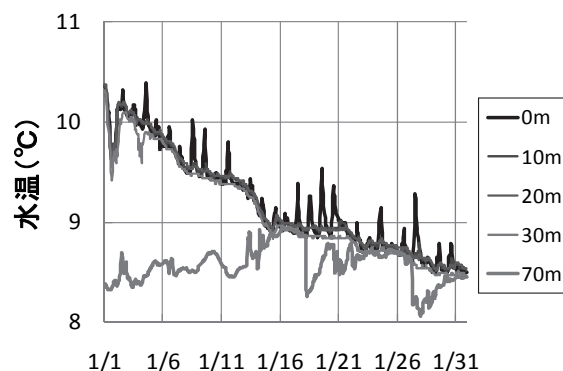


図8 近江舞子沖湖底に流入した沿岸冷却水（2010年1月）

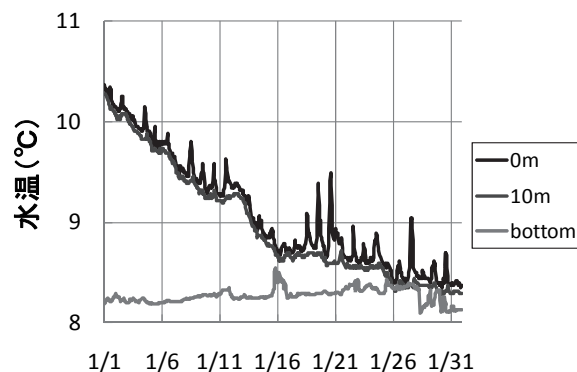


図9 今津沖湖底に流入した沿岸冷却水（2010年1月）

水温躍層中に流入した河川水による酸素極小層への酸素の供給について

※ 堤 康郎（酸素の会）・岡本 巖（酸素の会）

1. はじめに

「酸素の会」は、びわ湖の湖底まで酸素がどのように供給されるのかを調べるために市民レベルで組織された会である。その成果は、2007年5月に発刊した『湖底の酸素はいまーびわ湖深底部酸素の動態をさぐるー』に一定まとめられた。

この中で、次のことが明らかにされた。梅雨や台風時に増水した河川水は、水温躍層中に自らと等温の層を選択して流入することが知られているが、水温躍層には、集積するプランクトンの分解に溶存酸素が使われ酸素極小層が形成されること、この酸素極小層に酸素を多く含んだ河川水の流入することにより、極小層に酸素が供給されることなどである。

今回、その現象を気象要素も加え、細かく検討することにした。

2. 方法

酸素の会での研究のため、当時の滋賀県立衛生環境センター（現 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター）から水質自動観測施設・琵琶湖北湖湖心局（図1、写真1）の1996年および1998年の水温、溶存酸素濃度等のデーターをいただいた。このデーターは、湖面から水深75mまで計36層、1日2回（9時、21時）の測定という精細なものであった。今回、解析に用いたのは、0.5mから30mまでの値である。

まず、データーを半月毎1ページに分かりやすく並べて整理し、その中で特徴的な分布の見られた期間を選び、等値線を引いて観察した。また、この期間の前後を含む気象データーについても、気象庁ホームページより入手した。

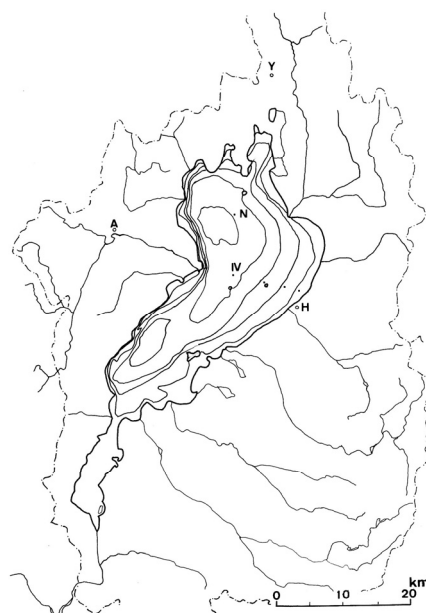


図1 観測地点位置図

(N：琵琶湖北湖湖心局)

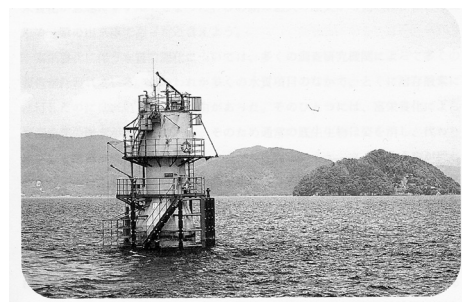


写真1 水質自動測定施設

琵琶湖北湖湖心局

(滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター提供)

3. 結果と考察

図2は、1996年7月18日から8月20日までの北湖湖心局における0.5mから30mまでの1m毎のデーターを元に作成した水温（WT）と溶存酸素濃度（DO）鉛直分布の経時変化を表

したものである。まず、水温を見ると5mから15m付近に水温躍層が形成されている。一方、溶存酸素では、7月27日頃、8m付近に高い濃度の水塊が現れ、酸素濃度の極大が形成された。また、極大層の下には極小層も形成された。(図4参照) この水塊は、8月13日ごろまで約18日間存在した。

この高い溶存酸素濃度を持つ水塊は、河川水に由来するものと思われる。その前後を含む期間の彦根の気温と降水量を示したのが、図3である。7月8日55.0mm、20日16.5mm、22日31.0mmの雨が降った。これらの雨による河川水が躍層

中に流入し湖心に到達したと考える。その後、8月14日6.5mm、15日11.0mmの雨が降るまでは、太平洋高気圧に覆われ、風も2m前後と穏やかな日が続いたようである。欠測後17日以降は、酸素の極大は解消され、極小も鈍化した。

また、8月28日前後には、100mmを越す雨が降っているが、河川水と思われる水塊は数日間しか見られなかった。河川水由来の水塊が湖心付近まで到達して長く留まるのは、成層期を通してそう多くないように思われる。

今後も、データーを積み重ね、湖への酸素供給の仕組みを少しずつ明らかにしていきたい。

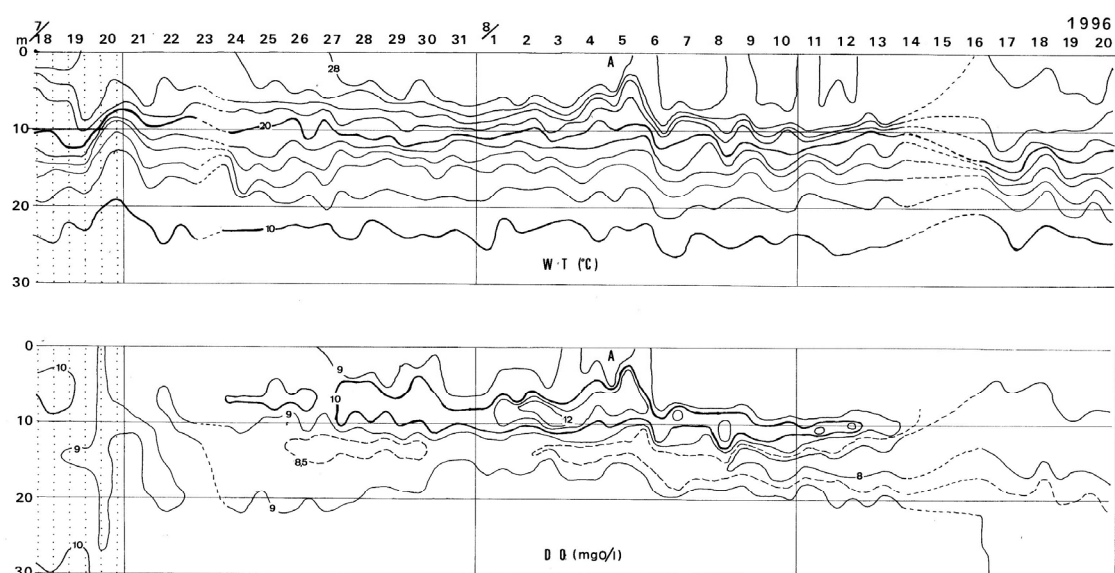


図2 北湖湖心局における水温と溶存酸素濃度の鉛直分布の経時変化

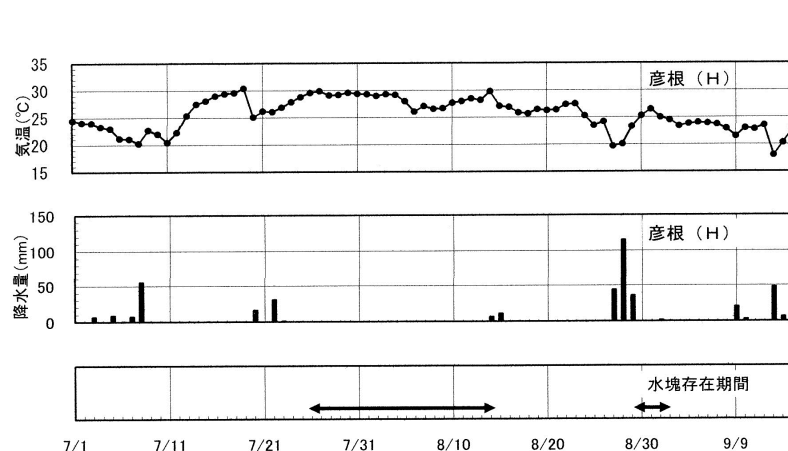


図3 気温・降水量と水塊存在期間の関係

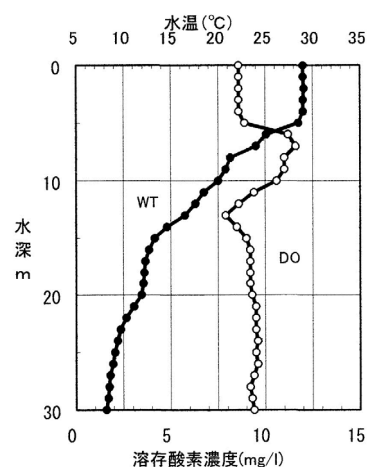


図4 水温と溶存酸素濃度の鉛直分布

びわ湖の湖陸風について

○菊田早絵子・遠藤修一（滋賀大・教育）

1. 研究目的

滋賀県は周囲を山々に囲まれ、中央やや北部にびわ湖が位置する「近江湖盆」と呼ばれる盆地を形成し、特徴的な風系を多く生み出している。特に「湖陸風」は大きな湖の存在によって形成される風系であり、滋賀県の風を特徴づけるものである。本研究では、過去数年間において最もデータの充実している 2007 年を主な対象とし、年間の風の分布や湖陸風発生メカニズムに迫ることを目的とする。

2. 解析に用いたデータ

滋賀県内のアメダス 9 地点およびビワコダス 9 地点については、主に 2007 年の 1 年間の風向風速などの気象データを用い、本学が設置・連続観測を行ったテレメータブイについては、2002 年 11 月から 2003 年 10 月までの 1 年間の気象観測データを用いた。解析に用いた各観測データは以下の地点で観測した（図 1）。

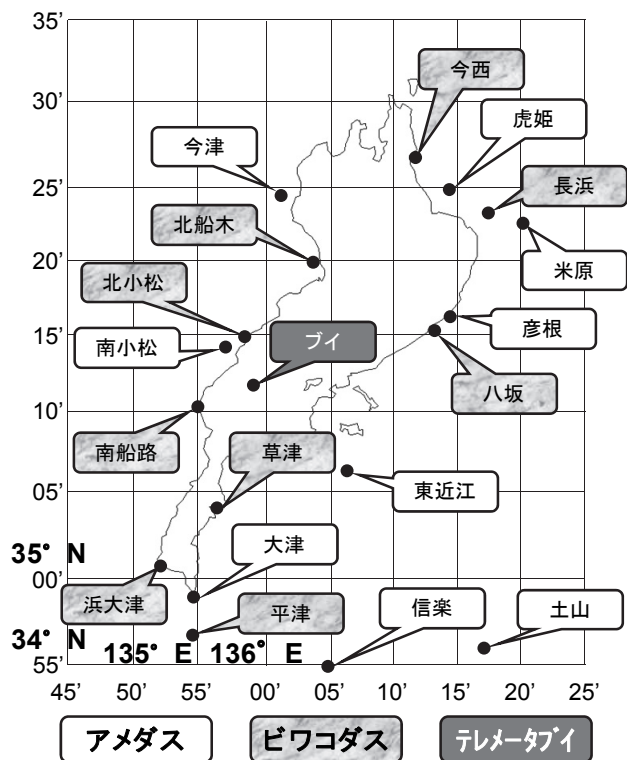


図 1 各観測点の地点図

3. 結果・考察

○2007 年の風の分布と特徴（図 2）

滋賀県内で吹いた風を以下の 7 つに分類し、それぞれの出現を条件別に解析した。

< 7 分類 >

- 湖風・陸風：びわ湖北湖周辺で見られる
- 北西風・南東風・南西風：彦根地方気象台が滋賀県の一般風としている風向
- 台風：台風の接近によってもたらされる風
- その他：上記 6 つに含まれないもの全て

< 2007 年の風の特徴 >

- ・湖風は日中、陸風は夜間に限って出現し、前者は暖候期に、後者は寒候期に出現頻度が高くなる。
- ・北西風は年間を通して発達し、特に冬季には冬型の気圧配置によって出現割合が高くなる。また 1 日のうち夕方方の発生が多く、小浜から日本海の手風が滋賀県に吹きこむためと考えられる。

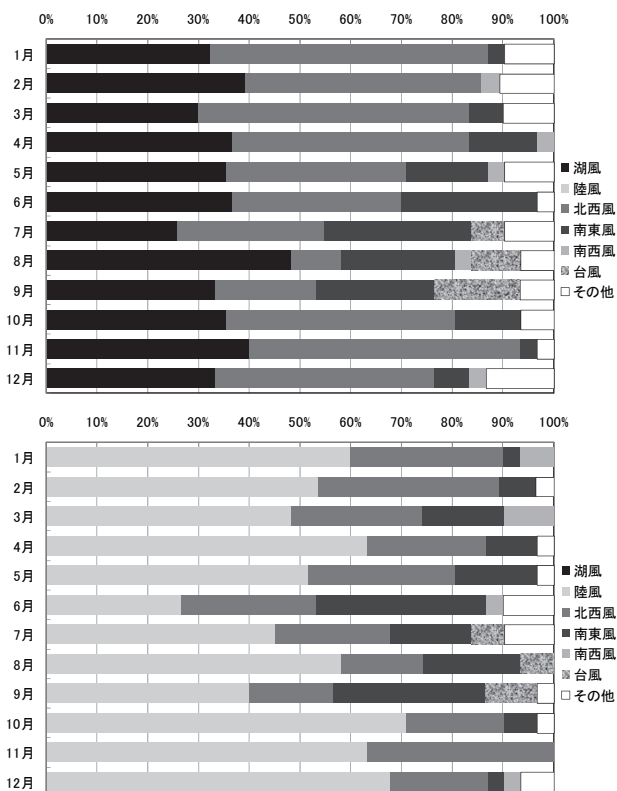


図 2 2007 年に出現した各風系の月別割合（上段が日中、下段が夜間）

- ・南東風は低気圧に伴って出現し、その影響で出現する日の天気は雨天や曇天になることが多い。

○湖陸風の特徴

びわ湖北湖周辺に位置するアメダス3地点について解析を行った。

<湖陸風の判定>

①湖風発生日

- ・今津 N ~E ~S
- ・虎姫 SE~SW~NW
- ・彦根 SW~NW~NE

②陸風発生日

- ・今津 S ~W ~N
- ・虎姫 NW~NE~SE
- ・彦根 NE~SE~SW

上の①、②それぞれについて、同時刻に3条件を満たすか、2条件を満たし、残る1地点が無風の日をリストアップし、湖風または陸風が3時間以上連続して吹いた日を湖風あるいは陸風発生日とする。この定義に基づいて湖陸風の出現回数をまとめた(表1)。

表1 2007年北湖における湖陸風の出現状況

月	湖風		陸風		湖陸風	
	出現回数	出現率(%)	出現回数	出現率(%)	出現回数	出現率(%)
1	13	41.9	25	80.6	11	35.5
2	14	50.0	18	64.3	12	42.9
3	13	41.9	18	58.1	11	35.5
4	14	46.7	20	66.7	12	40.0
5	14	45.2	16	51.6	10	32.3
6	14	46.7	15	50.0	11	36.7
7	14	45.2	13	41.9	5	16.1
8	18	58.1	24	77.4	16	51.6
9	12	40.0	24	80.0	12	40.0
10	9	29.0	26	83.9	8	25.8
11	13	43.3	25	83.3	12	40.0
12	7	22.6	24	77.4	7	22.6
年間合計	155	42.5	248	67.9	127	34.8
暖候期	86	55.5	112	45.2	66	52.0
寒候期	69	44.5	136	54.8	61	48.0

<2007年の湖陸風の特徴>

- ・湖陸風は8月に最も安定して出現する。これは、日照時間が最も長く、陸上の気温が上昇しやすいためである(図3)。
- ・湖上と陸上の気温差が $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以上になったとき、湖風および陸風の発生が明瞭になる(図4)。
- ・出現時刻は、湖風が8時頃、陸風が18時頃であり、交互に入れ替わるような時間変化をする(図5)。
- ・平均風速は湖風のほうが陸風より速く、風速比は1.4~1.7倍である。

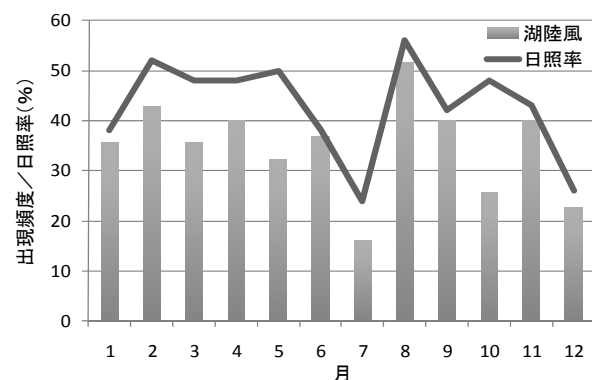


図3 湖陸風の出現と日照率の関係

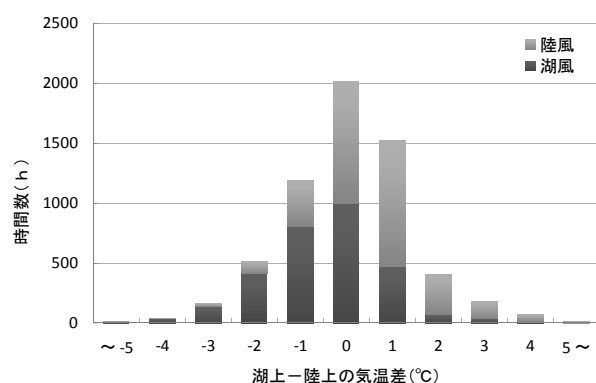


図4 湖上と陸上の気温差と湖陸風の出現時間数

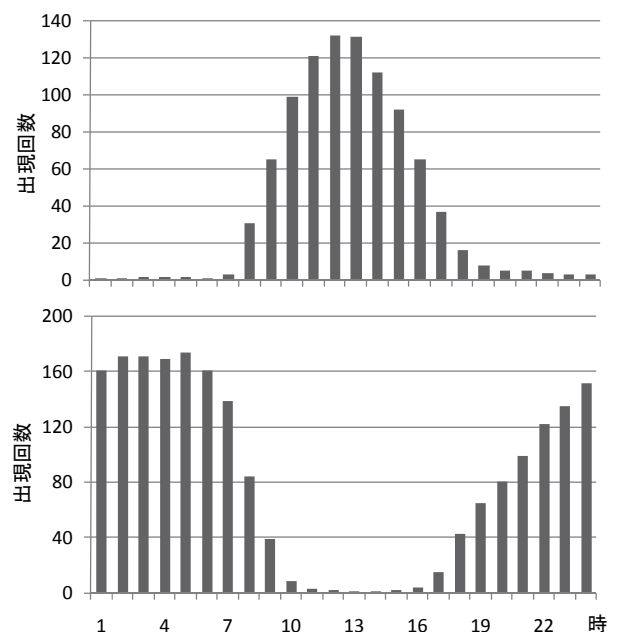
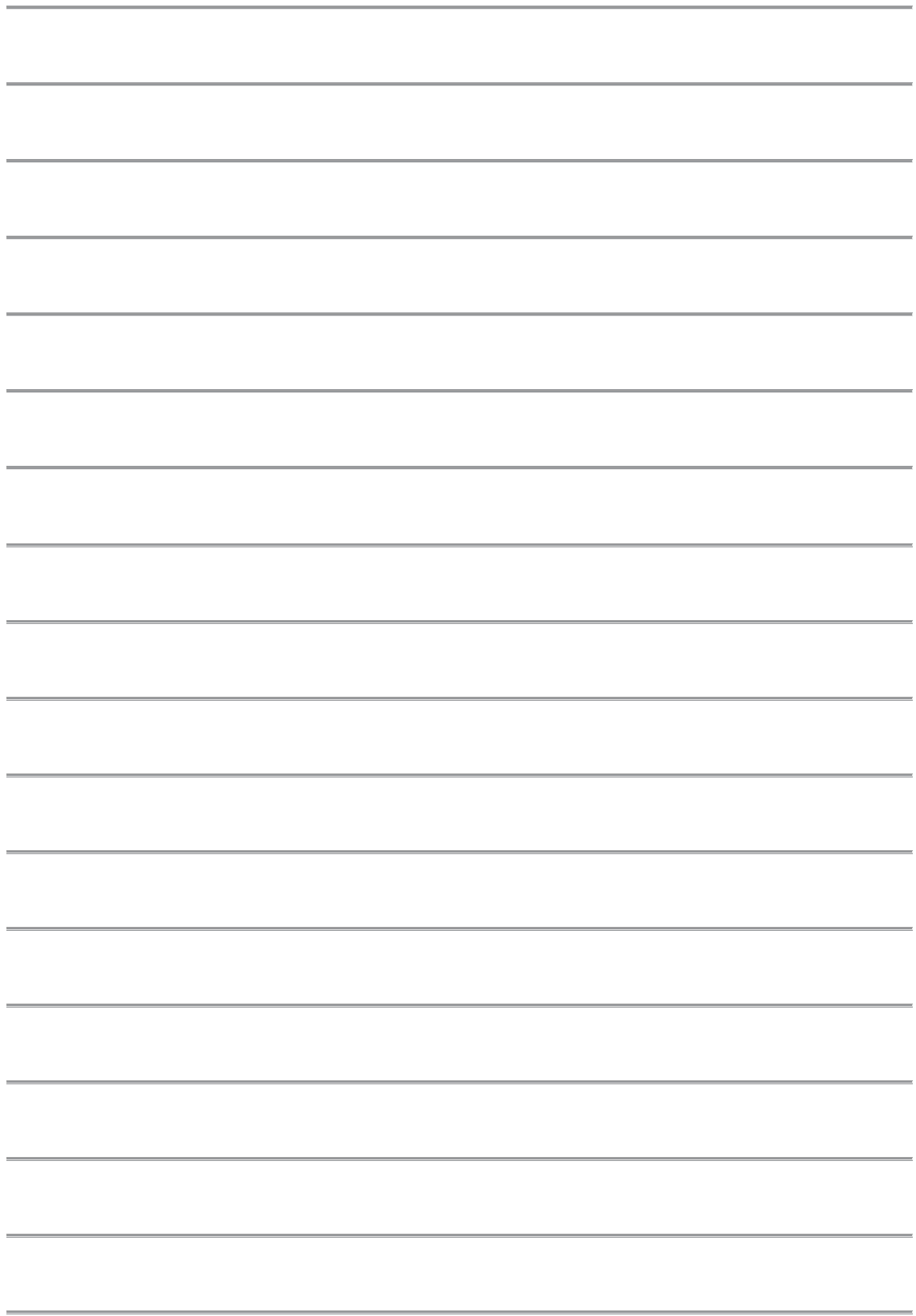


図5 湖陸風の出現時刻(上段が日中、下段が夜間)

<湖陸風のもつはたらき>

湖陸風は、湖上と陸上の空気の交流を行い、びわ湖周辺地域の気温変化を緩やかにする役割を担っている。

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.



日本陸水学会近畿支部会 第 22 回研究発表会 スタッフ

会場世話役	古武家善成（神戸学院大学）
事務局	2010 年度・2011 年度幹事一同
支部会長	三田村緒佐武（滋賀県立大学）
庶務幹事	杉山裕子（兵庫県立大学）
会計幹事	橘 淳治（大阪府教育センター）
広報幹事	石川俊之（滋賀大学）

* 表紙写真撮影 古武家善成 *

日本陸水学会近畿支部会 第 22 回研究発表会 講演要旨集

発行	2011 年 2 月 26 日
編集	日本陸水学会近畿支部会幹事一同
事務局	兵庫県姫路市新在家本町 1-1-12 兵庫県立大学環境人間学部（杉山裕子） 支部会 WEB サイト： http://kinkirikusui.main.jp/
印刷	株式会社 富士印刷
