

# 日本陸水学会 第 81 回大会 (沖縄大会)

## 1. テーマ

自然豊かな我が国唯一の亜熱帯島嶼地域である沖縄において、海洋王国として栄えた琉球の歴史・文化・風土に触れながら、沖縄の陸水環境の現状・取組を参加者に紹介することにより亜熱帯島嶼地域の陸水環境への理解と知見を広げるとともに、我が国の陸水環境に係る調査研究成果等の報告・議論等を通じて、陸水学会活動の更なる飛躍を期待して企画を行うものである。

## 2. 大会概要

○会期：2016年11月3日(木)～6日(日)

○日程：11月3日(木) 公開シンポジウム，陸水底生動物同定会（沖縄県立博物館・美術館）

11月4日(金) 幹事会，企画委員会，編集委員会，評議員会  
(琉球大学50周年会館)

エクスカージョン（沖縄本島：終日）

11月5日(土) 一般講演，課題講演，ポスター発表（予備日），自由集会（琉球大学農学部）

11月6日(日) 一般講演，課題講演，ポスター発表，学会賞授与式，総会，懇親会（琉球大学農学部）

○場所：琉球大学千原キャンパス（農学部及び50周年会館）

(〒903-0213 沖縄県西原町字千原1番地) <http://www.u-ryukyu.ac.jp/index.htm>

公開シンポジウム，陸水底生動物同定会は別会場（沖縄県立博物館・美術館）

○交通：1) 那覇空港から高速バス111,113,123番線（約40分）

2) 那覇バスターミナルから路線バス98番線(約40～50分)

(<http://www.kotsu-okinawa.org/>などを参照)

3) 那覇空港からモノレールで首里駅まで行き(約30分)、首里駅からタクシーで約15分 (<http://www.yui-rail.co.jp/>)

## 3. 大会参加等の費用

内容	種別	7月11日(月)～7月20日(水)	7月21日(木)以降	
参加費	会員	一般	7,000円	8,000円
		学生	3,000円	4,000円
	非会員	一般	10,000円	10,000円
		学生	5,000円	5,000円
懇親会費	一般	4,000円	5,000円	
	学生	2,000円	3,000円	
エクスカージョン	一般	1,500円(昼食付き)	1,500円(昼食無し)	
	学生	500円(昼食付き)	1,000円(昼食無し)	

#### 4. 口頭発表

琉球大学千原キャンパス（農学部）にて一般講演と課題講演を開催します。

- 1) 口頭発表時間は、発表**12**分、質疑応答**3**分の合計**15**分です。
- 2) 口頭発表では、液晶プロジェクターをご利用いただきます。液晶プロジェクターは、Microsoft PowerPoint 2007 または2010 および**Adobe Acrobat Reader** を備えた**Windows** パソコンに接続します。演者は**PowerPoint** のファイルもしくは**PDF** ファイルを**USB** メモリーまたは**CD-R** に保存してお持ち下さい。ファイルは事前に各会場受付でお預かりすることになります。**Macintosh**等をご使用の方で**PowerPoint** を利用される場合は、**Windows** 版**Microsoft PowerPoint 2007** または**2010** で予め動作確認したファイルをお持ち下さい。
- 3) 容量が極端に大きい**PowerPoint** ファイルは、表示に時間がかかるなど、不具合の原因となりますので、ファイル容量は必ず**10MB** 未満にして下さい。これ以上のファイル容量の場合、**JLIM81** 実行委員会で画質を落とす場合もあります。

#### 5. 公開シンポジウム

テーマ： 沖縄の陸水環境の現状と課題（学術と市民生活の視点から）

趣旨： 海洋王国として栄えた琉球の歴史・文化・風土に触れながら、自然豊かな我が国唯一の亜熱帯島嶼地域である沖縄の陸水環境について、現状・取組とともに、陸水環境に係る調査研究成果等を紹介することにより、参加者の知見を広げ、亜熱帯島嶼地域における陸水環境への関心を深めることを期待して企画します。

日時： 2016年11月3日(木) 13:00～17:00

会場： 沖縄県立博物館・美術館講堂

プログラム：

##### 第1部 講演・事例報告

講演 沖縄の陸水環境と生活 渡久山 章（琉球大学名誉教授）

講演 沖縄の陸水生物の特徴と現状 西田 睦（琉球大学理事・副学長）

報告 TV河川環境シリーズ 沖縄の水と自然環境 35年の歩み 佐久本 浩志（沖縄テレビ報道部アナウンサー）

報告 瀬長島の環境とオカガニの生態 山崎仁也（沖縄県立博物館・美術館）

##### 第2部 パネル討論 「学術と市民生活の視点から沖縄陸水環境の現状と課題」

パネラー：

渡久山 章 琉球大学名誉教授

西田 睦 琉球大学理事・副学長

佐久本 浩志 沖縄テレビ報道部アナウンサー

山崎 仁也 沖縄県立博物館・美術館主任学芸員

岩男 忠明 内閣府沖縄総合事務局技術管理官

仲宗根 一哉 沖縄県環境保全課長

宮城 俊彦 元沖縄県衛生環境研究所長

## 6. 淡水ベントス同定会

会場に設置した顕微鏡などを使って、持参して頂いた淡水ベントスの同定を、専門家によってお手伝いします。沖縄県外のベントスも歓迎しますが、本州などとは非常に異なる琉球列島のベントスを中心に分類同定します。また、事前に採集した琉球列島のベントスや琉球列島産淡水ベントスのリーフレットなども展示します。標本持参でない方の参加も歓迎します。（企画委員会 谷田一三）

日時：2016年11月3日(木) 9:30～15:00

会場：沖縄県立博物館・美術館 講座室

## 7. エクスカーション

日程：2016年11月4日(金) 8:30～17:30

ルート：

- ①座喜未城（琉球王国のグスクと関連遺産群）
- ②億首川流域億首ダムと下流マングローブ林（水資源開発と陸水環境）
- ③万座海岸（亜熱帯地域海岸と陸水環境）
- ④沖縄本島南部地下ダム流域（地下水と陸水環境）など

## 8. 懇親会

11月6日(日) 18:00より、琉球大学千原キャンパス北食堂にて懇親会を開催します。懇親会への参加希望者は参加申込時に併せてお申込み下さい。

## 9. 宿泊と交通手段について

- 1) 宿泊施設の案内・斡旋等を行いませんので、各自で手配願います。
- 2) 大学内に駐車スペースはございますが、極力、車での来場はご遠慮ください。

## 10. 実行委員会（お問い合わせ先）

〒903-0213 沖縄県西原町字千原1番地

琉球大学農学部地域農業工学科農村計画学研究室内

日本陸水学会 第81回大会（沖縄大会）実行委員会（JLIM81 実行委員会）

大会 委員長 中野拓治

副委員長 宮城俊彦

連絡先E-mail：miyagto571123@yahoo.co.jp

TEL：098-895-8787, FAX：098-895-8787

## 大会会場：琉球大学農学部

### アクセス

1) 那覇空港から高速バス 111,113,123 系統で約 40 分、琉大入口(高速)下車、徒歩約4分

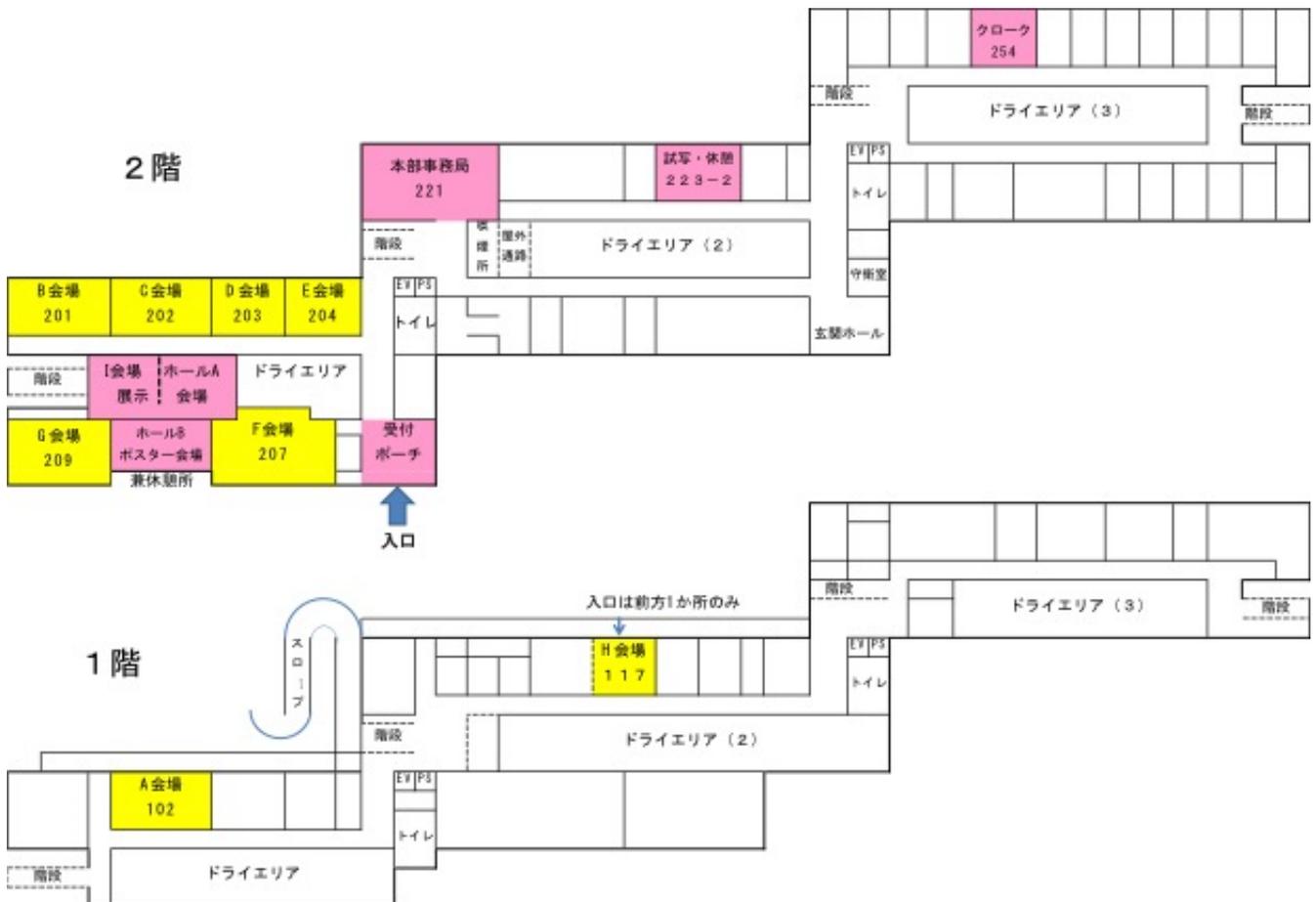
[http://www.kotsu-okinawa.org/route/111\\_113\\_123\\_127\\_yanbaru.html](http://www.kotsu-okinawa.org/route/111_113_123_127_yanbaru.html)

2) 那覇バスターミナルから路線バス 97,98 系統で約 40～50 分、琉大北口駐車場(終点)下車

[http://www.kotsu-okinawa.org/map\\_south.html](http://www.kotsu-okinawa.org/map_south.html)

3) 那覇空港からモノレールで首里駅まで行き(約30分)、首里駅からタクシー約15分(<http://www.yui-rail.co.jp/>)





## 公開シンポジウム・淡水ベントス同定会の会場：沖縄県立博物館・美術館

アクセス

沖縄都市モノレール おもろまち駅下車 徒歩 10 分

[http://www.museums.pref.okinawa.jp/guidance/access\\_price/index.html](http://www.museums.pref.okinawa.jp/guidance/access_price/index.html)



## 座長一覧（一般講演）

一般講演の座長は、前の講演の演者が務める。講演中止等の例外的事態の時は、適宜繰り延べる。

なお、課題講演の座長はコンビーナーが定める。

1日目（11月5日）

A 会場			B 会場			C 会場		
1A01	9:30	木村成子（滋賀県立大）	1B01	9:30	丸尾雅啓（滋賀県立大）	1C01	9:30	赤松史一（酒類総合研）
1A02	9:45	木村成子（滋賀県立大）	1B02	9:45	海老瀬潜一 （元・摂南大）	1C02	9:45	小川幸輝（京都大）
1A03	10:00	原田健一（名城大）	1B03	10:00	細田耕（神戸大）	1C03	10:00	柴田智郎（京都大）
1A04	10:15	池田将平（琵琶湖研）	1B04	10:15	時枝隆之（気象大学校）	1C04	10:15	大沢信二（京都大）
1A05	10:30	佐藤祐一（琵琶湖研）	1B05	10:30	神谷宏（島根県保健環 境科学研）	1C05	10:30	高野敬志 （北海道立衛生研）
1A06	10:45	古田世子（琵琶湖研）	1B06	10:45	丸尾雅啓（滋賀県立大）	1C06	10:45	網田和宏（秋田大）
1A07	11:00	上原佳敏（総合地球研）	1B07	11:00	神谷航一（筑波大）	1C07	11:00	大上和敏（大分大）
1A08	11:15	平林公男（信州大）	1B08	11:15	霜島孝一（国環研）	1C08	11:15	鈴木啓助（信州大）
1A09	11:30	高村健二（国環研）	1B09	11:30	奥居紳也秀（琵琶湖研）	1C09	11:30	藤井智康（奈良教育大）
1A10	11:45	細田真生（島根大）	1B10	11:45	中野拓治（琉球大）			

A 会場			B 会場		
1A11	13:00	Jo Jaeick・東城幸治 （信州大）	1B11	13:00	富山英明（東洋大）
1A12	13:15	宮下洋平貴（北海道大）	1B12	13:15	中村方哉（筑波大）
1A13	13:30	大洞裕貴（北海道大）	1B13	13:30	大沼沙織 （福島県環境創造セ）
1A14	13:45	韓智仙（信州大）	1B14	13:45	成岡知佳（東邦大）
1A15	14:00	全逢錫（信州大）	1B15	14:00	木田森丸（神戸大）
1A16	14:15	二木功子（信州大）	1B16	14:15	大西菜月（京都大）
1A17	14:30	金海燕（名城大）	1B17	14:30	野村早織（信州大）
1A18	14:45	Liu Xin（滋賀県立大）	1B18	14:45	佐藤翼（東邦大）
1A19	15:00	高橋祥尚（滋賀県立大）	1B19	15:00	朴紫暎（京都大）
1A20	15:15	王晓航（滋賀県立大）	1B20	15:15	津田瞳（京都工繊大）
1A21	15:30	丸岡奈津美（東北大）			
1A22	15:45	十河勇樹（龍谷大）			
1A23	16:00	本郷真理（龍谷大）			
1A24	16:15	藤本章晃（岩手大）			
1A25	16:30	金子裕明（神奈川工科大）			

2 日目 (11 月 6 日)

A 会場		
2A01	9:30	長縄秀俊 (京都大)
2A02	9:45	平祥和 (大阪府立大)
2A03	10:00	三宅洋 (愛媛大)
2A04	10:15	武田悠太 (福島大)
2A05	10:30	(講演中止)
2A06	10:45	宮川幸雄 (土木研究所)
2A07	11:00	稲井公二 (大阪府立大)

B 会場		
2B01	9:30	田邊優貴子 (極地研)
2B02	9:45	吉村真由美 (森林総研)
2B03	10:00	植田真司 (環境科学技術研究所)
2B04	10:15	福島慶太郎 (首都大)
2B05	10:30	嵯峨友樹 (島根県保健環境科学研)
2B06	10:45	小松一弘 (国環研)
2B07	11:00	伴修平 (滋賀県立大)
2B08	11:15	今井章雄 (国環研)
2B09	11:30	井上源喜 (大妻大)

A会場		B会場	
9:30 1A01	相模湖・津久井湖におけるラン藻類の季節遷移とVOC産生動態 原田健一（名城大）	9:30 1B01	対馬上島・下島・隠岐島後・大佐渡山地の渓流水質分布と酸性雨影響 海老瀬潜一（元・摂南大）
9:45 1A02	ストレス環境下における <i>Microcystis</i> ラン藻の増殖とVOC産生への影響 原田健一（名城大）	9:45 1B02	モンゴル-ロシアにわたる長大水系の物質循環 フスグル-ウスチリムスク水系の生物地球化学的特徴 細田耕・村田貴拓・望月陽人・三村徹郎（神戸大）・渡辺奏徳（立正大）・佐藤奏哲（山形大）・バレンティン・ドウリュケル・ブラディミール・ファイアルコフ（ロシア科学アカデミー）・杉山雅人（京大）
10:00 1A03	琵琶湖におけるプランクトンの季節遷移について 池田将平（滋賀県琵琶湖環境科学研究セ）・藤原直樹（滋賀県琵琶湖環境学部）・一瀬諭・古田世子（滋賀県琵琶湖環境科学研究セ）	10:00 1B03	富栄養湖沼千葉県手賀沼の炭素収支 時枝隆之・伊波はるな（気象大学校）・葛西真由子（彦根地方気象台）・小菅瞭吾・大塚北人・渡辺苑生（気象大学校）・中山典子（東京大）
10:15 1A04	琵琶湖南湖における水草消長モデルの構築とシナリオ解析 佐藤祐一・石川可奈子・井上栄壮・岡本高弘（滋賀県琵琶湖環境科学研究セ）・芳賀裕樹（滋賀県琵琶湖博物館）・川崎竹志・尼子博章（滋賀県）	10:15 1B04	斐伊川放水路稼働に伴う栄養塩負荷削減効果 神谷宏（島根県保健環境科学研究所）
10:30 1A05	琵琶湖で発生したメタロゲニウム粒子の糖鎖解析 古田世子（滋賀県琵琶湖環境科学研究セ）・池谷仁里（兵庫県立大）・池田将平・一瀬諭（滋賀県琵琶湖環境科学研究セ）・宮田直幸（秋田県立大）	10:30 1B05	琵琶湖における正リン酸とSRP定量値の乖離 丸尾雅啓・宮下治希・石丸真菜・山本麻由佳（滋賀県立大）・小畑元（東京大）
10:45 1A06	琵琶湖流域に生息する水田産卵魚の耳石Sr安定同位体比を用いた回遊履歴の推定 上原佳敏（総合地球研）・片岡佳孝（滋賀県水産試験所）・亀甲武志（滋賀県農政水産部）・石田卓也・浅野悟史・小林由紀（総合地球研）・大竹二雄（東京大）・奥田昇（総合地球研）	10:45 1B06	霞ヶ浦湖心における夏季の底層DO濃度の推移とリンの動態 神谷航一・福島武彦（筑波大）・相崎守弘（茨城県霞ヶ浦環境科学セ）
11:00 1A07	野尻湖におけるユスリカ相とその深度分布 平林公男・市川誠・岡田俊典（信州大）・高村健二・今藤夏子・上野隆平（国環研）・山本優（山口県）	11:00 1B07	湖沼における底泥酸素消費量とその変動特性 霜島孝一・今井章雄・高津文人・小松一弘・佐藤貴之・富岡典子・篠原隆一郎（国環研）・奥居紳也・桐山徳也・岡本高弘（滋賀県琵琶湖環境科学研究セ）
11:15 1A08	ため池のユスリカ多様性を類型化する-DNAバーコーディングと進化的種区分- 高村健二・上野隆平・今藤夏子（国環研）・大林夏湖（東京大）	11:15 1B08	琵琶湖北湖第一湖盆における底泥酸素消費量の変動要因について 奥居紳也・岡本高弘・桐山徳也・早川和秀（滋賀県琵琶湖環境科学研究セ）・今井章雄・高津文人・佐藤貴之・小松一弘・霜島孝一（国環研）
11:30 1A09	耳石の酸素安定同位体比を用いたスズキの回遊履歴解読 細田真生・山口啓子（島根大）・坂井三郎（海洋研究開発機構）・中村幹雄（日本シジミ研究所）	11:30 1B09	琉球石灰岩地域地下水の水質組成と影響要因-沖縄本島南部地域を例として- 中野拓治（琉球大）
11:45 1A10	自然環境中におけるミクロキスティス感染性ファージが及ぼす宿主への影響 木村成子（滋賀県立大）・左子芳彦・吉田天士（京大）	11:45 1B10	沖縄の水環境と環境保全 宮城俊彦（なし）

C会場		D会場	
		課題講演1 『地球温暖化が高地湿原生態系“尾瀬ヶ原”に及ぼす影響の陸水学的課題』	
		コンピナー: 坂本充・岩熊敏夫	
9:30 1C01	別府温泉地域におけるCO <sub>2</sub> fluxの分布 小川幸輝・柴田智郎・三島壮智・竹村恵二・大沢信二 (京大)	9:30 S1-1	“温暖化影響下の尾瀬ヶ原”-企画趣旨と陸水学的課題 坂本充 (滋賀県立大、名古屋大 名誉教授)
9:45 1C02	温泉井戸内のヘリウム濃度の鉛直分布 柴田智郎 (京大)・Méjean Pauline・高畑直人・佐野有司 (東京大)	9:40 S1-2	尾瀬の気候と水文 岩熊敏夫 (北海道大)
10:00 1C03	曳航型ラドン濃度観測による別府湾沿岸域の海底温泉湧出の検出 大沢信二 (京大)・杉本亮 (福井県立大)・本田尚美 (総合地球研)・三島壮智 (京大)・谷口真人 (総合地球研)	10:00 S1-3	湿原のNutritionに関して先行研究ではどこまで明らかにされているか? 楊宗興 (東京農工大)
10:15 1C04	北海道弟子屈町で湧出する温泉水の色調と関連成分 高野敬志・内野栄治・青柳直樹・市橋大山 (北海道立衛生研究所)	10:15 S1-4	尾瀬ヶ原の植生・泥炭システムの特性と支配環境 坂本充 (滋賀県立大、名古屋大 名誉教授)
10:30 1C05	下北半島の河川水および湧水の水質分布特性 網田和宏 (秋田大)・四ッ谷隆徳 (東通村)	10:30 S1-5	尾瀬ヶ原と尾瀬沼の環境モニタリング 野原精一 (国環研)
10:45 1C06	温泉水が河川およびダム湖の水質に与える影響について 大上和敏・中野史織・大坪あかね (大分大)	10:45 S1-6	尾瀬ヶ原池塘及び湖沼の水生生物群集特性 福原晴夫 (NPO法人河北潟湖沼研究所)
11:00 1C07	山岳流域上高地梓川における流量の長期変動 鈴木啓助 (信州大)	11:00 S1-7	尾瀬ヶ原湿原の微生物群集特性 福井学 (北海道大)
11:15 1C08	千苜貯水池における水塊形成 藤井智康・常村将太 (奈良教育大)・藤原建紀 (京大 名誉教授)・中山恵介 (神戸大)・江崎智昭・中島祐輔・大藪智久・木村智彦・伊藤裕之 (神戸市水道局)	11:15 S1-8	温暖化影響下の尾瀬の将来予測と今後の課題 岩熊敏夫 (北海道大)
11:30 1C09	日本産ワインに含まれる水分の酸素安定同位体比 赤松史一・清水秀明・藤井力・後藤奈美 (酒類総合研究所)	11:30 S1-9	総合討論(コメントと質疑応答)

A会場		B会場	
13:00 1A11	函館市五稜郭外堀におけるヒシ主体の水草群落の植物プランクトン群集に及ぼす影響 宮下洋平・小林淳希・大洞裕貴（北海道大）・田中邦明（北海道教育大）・今井一郎（北海道大）	13:00 1B11	谷津干潟におけるグリーンタイド発生機構 中村方哉, 矢部徹, 玉置雅紀, 有田康一, 石井裕一, 中嶋信美（筑波大）
13:15 1A12	函館市五稜郭外堀における水草ヒシ由来の殺藻細菌によるアオコ抑制の可能性 大洞裕貴・宮下洋平・小林淳希（北海道大）・田中邦明（北海道教育大）・今井一郎（北海道大）	13:15 1B12	猪苗代湖における水生植物の分布状況の把握と北部水域の水質特性 大沼沙織・佐藤貴之・吉田安伸（福島県環境創造セ）
13:30 1A13	振動発生装置による <i>Microcystis</i> の成長阻害効果 韓智仙・全逢錫・朴虎東（信州大）	13:30 1B13	湿原水における水系腐植物質の反応特性の解析 成岡知佳・千賀有希子（東邦大）
13:45 1A14	DSE電極を用いた水電解処理による <i>Microcystis</i> 細胞の成長抑制 全逢錫・韓智仙・朴虎東（信州大）	13:45 1B14	フミン物質分別定量法および光学的手法を用いた溶存有機物の特性評価 ～タイ王国トラート川における事例～ 木田森丸（神戸大）・Poun Sasitorn（Chulalongkorn University）・大塚俊之（岐阜大）・藤嶽暢英（神戸大）
14:00 1A15	諏訪湖における植物プランクトンの優占種と富栄養化指数の長期変遷 二木功子・宮原裕一・花里孝幸・朴虎東（信州大）	14:00 1B15	強酸性河川の流下・希釈に伴う化学成分の動態 大西菜月・中井康平・杉山雅人（京都大）
14:15 1A16	湖沼生態系における <i>Microcystin</i> 分解性細菌B-9株の生存意義 金海燕（名城大）	14:15 1B16	湖沼堆積物における酸化マグネシウムを用いたリンの溶出制御 野村早織（信州大）
14:30 1A17	過去40年間の琵琶湖産カイアシ類 <i>Eodiaptomus japonicus</i> 生産量における長期変動解析 Liu Xin（滋賀県立大）・Gaël Dur（静岡大）・Ohmae Shinsuke・Morita Takashi（滋賀県水産試験場）・酒井陽一郎（滋賀県琵琶湖環境科学研究セ）・伴修平（滋賀県立大）	14:30 1B17	谷津干潟堆積物における脱窒とアナモックス過程 佐藤翼（東邦大）・諏訪裕一（中央大）・野原精一（国環研）・千賀有希子（東邦大）
14:45 1A18	オオミジンコの混み合い応答における卵生産および脱皮関連遺伝子の発現応答 高橋祥尚・田辺祥子・伴修平（滋賀県立大）	14:45 1B18	硫化水素の生成に伴う汽水域堆積物からのケイ酸の溶出 朴紫暎（京都大）・菅原庄吾・江川美千子・清家泰（島根大）
15:00 1A19	Trade-off between longevity and early reproduction and related gene expressions in <i>Daphnia magna</i> 王晓航・田辺祥子・伴修平（滋賀県立大）	15:00 1B19	琵琶湖北湖底質コアを用いた湖底環境シミュレーション実験による化学成分の動態解析 津田瞳・村山耀平・布施泰郎（京都工芸繊維大）・岡本高弘・奥居紳也・早川和秀（滋賀県琵琶湖環境科学研究セ）・柄谷肇・山田悦（京都工芸繊維大）
15:15 1A20	遺伝解析より明らかとなった日本に産する <i>Daphnia obtusa</i> の正体 丸岡奈津美・大槻朝・牧野渡（東北大）・鏡味麻衣子（東邦大）・占部城太郎（東北大）	15:15 1B20	渡良瀬川の重金属汚染の時空間的変化：現在の底質菌叢との相関 富山英明・北村大樹（東洋大）・鏡良弘（瑞輝科学生物株式会社）・東端啓貴・長坂征治・岩崎雄一・柏田祥策（東洋大）
15:30 1A21	環境DNA分析におけるデジタルPCRの定量精度とPCR阻害耐性について 十河勇樹（龍谷大）・土居秀幸（兵庫県立大）・山中裕樹		
15:45 1A22	環境DNA分析を用いた小規模河川へのアメリカナマズの侵入モニタリング 本郷真理（龍谷大）・加納光樹・苅部基一・平山拓弥（茨城大）・山中裕樹（龍谷大）		
16:00 1A23	ヒゲナガカワトビケラにおける同一個体群の染色体多様性 藤本章晃（岩手大）・安河内祐二（農業・食品産業技術総合研究所）・鈴木剛（大阪教育大）・佐原健（岩手大）		
16:15 1A24	神奈川県に生息するシロタニガワカゲロウおよびミドリタニガワカゲロウの分布と遺伝的構造 金子裕明（神奈川工科大）		
16:30 1A25	東アジア地域アカマダラカゲロウ（昆虫綱・カゲロウ目・マダラカゲロウ科）の分子系統地理：日本列島の形成史との関連 Jo Jaeick・東城幸治（信州大）		
			↑ ←（講演番号の下線付きは優秀発表賞審査対象）

16:45-18:15	ポスターセッション（優秀賞審査対象）
-------------	--------------------

D会場	
<b>Special Session 4 『Internationalizing Limnology』</b>	
Conveners: Jay Piggott · Usio Nishikawa	
13:00 S4-1	Multiple Stressors in Agricultural Streams: lessons from Europe and New Zealand and their implications for Japan  Piggott Jeremy (Jay) (Kyoto University) · Matthaei Christoph (University of Otago) · Leese Florian (University of Duisburg-Essen)
13:15 S4-2	Towards an understanding of “Legacy P” dynamics – characterization and quantification of P forms in stream sediments influenced by agricultural practices  Audette Yuki · O’ Halloran Ivan · Nowel Peter I · Ouellette Lance · Voroney Paul (University of Guelph)
13:30 S4-3	Rice fields as a habitat for the small-clawed otter ( <i>Aonyx cinereus</i> )  Aadreaan · Usio Nishikawa (Kanazawa University)
13:45 S4-4	Effects of water management on terrestrial and aquatic animals in agrochemical-free rice farming  Usio Nishikawa (Kanazawa University) · Akanuma Hiromi (Niigata University) · Kobayashi Raita (Tokyo Collage of Environment)
14:00 S4-5	Combing the conservation cost and contingent valuation by the willingness of tourists to pay to value the aesthetic value of terraced paddy fields  Bixia Chen (University of Ryukyus) · Zhenmian Qiu · Koji Nakamura · Nisikawa Usio (Kanazawa University)
14:15 S4-6	Combined effects of immigration potential and habitat quality on diadromous fishes  Akira Terui (Hokkaido University) · Yusuke Miyazaki (Shiraume
14:30 S4-7	The sediment type plays a significant role in determining the fraction of vegetation in the riparian zone.  Kelum Sanjaya · Asaeda Takashi (Saitama University)
14:45 S4-8	Impact and distribution of invasive translocated fish species.  Navrus Shermatova (Kongju National University) · Sang-Hyeon Park (Bio-Monitoring Center) · Kyu-Jin Kim (Kongju National University) · Jun-Wook Hur (Bio-Monitoring Center) · Kyoung Ha (Biological
15:00 S4-9	Rotifer community as an indicator for environmental changes: applicability of rotifer functional group to environmental assessment and ecological experiments  Oh Hye-Ji · Jeong Hyun-Gi · Nam Gui-Sook · Chang Kwang-Hyeon (Kyung Hee University)
15:15 S4-10	Ecology and biogeography of kinetoplastid flagellates in freshwater deep lakes of Japan  Indran Mukherjee · Hodoki Yoshikuni · Fujinaga Shohei · Okazaki Yusuke · Nakano Shin-ichi (Kyoto University)
15:30 S4-11	Food web research in Tonle Sap lake in Cambodia  Taku Kadoya (National Institute for Environmental Studies)
15:45 S4-12	Microbial and biogeochemical processes in the hypolimnion of Lake Biwa  Takasu Hiroyuki (Nagasaki University)
16:00 S4-13	Stress response and tolerance of Submerged macrophytes to Salinity stress; A comparative study on <i>Potamogeton anguillanus</i> and <i>Faeria densa</i>  Hendadura Chandani Chalanika De Silva · Takeshi Asaeda (Saitama University)
16:15 S4-14	Short term stress responses of <i>Potamogeton anguillanus</i> under the combined exposure to hypoxia and hydrogen sulphide  Parveen Mahfuza · Asaeda Takashi · Rashid Md H. (Saitama University)
16:30 S4-15	General Discussion

11月6日 午前

A会場		B会場	
9:30 2A01	河川性ベントス類の流程分布調査とその分析時に着目すべき点 平祥和 (大阪府立大)	9:30 2B01	福島県における放射能による水生生物の汚染について 吉村真由美 (森林総研)
9:45 2A02	日本国内河川の流量・攪乱レジームと底生動物の反応 三宅洋・吉村研人・渡辺裕也 (愛媛大)・森照貴 (東京大)・赤坂卓美 (帯広畜産大)	9:45 2B02	集水域モデルを用いた福島河川からの <sup>137</sup> Cs流出量の推定 植田真司・長谷英尚 (環境科学技術研究所)・江俊賢 (日本エヌ・ユー・エス)・久松俊一 (環境科学技術研究所)
10:00 2A03	酸性河川酸川におけるユビオナシカワゲラの生活史 武田悠太 (福島大)	10:00 2B03	気仙沼湾および流入河川における水質の長期変動解析と震災による攪乱影響評価 福島慶太郎 (首都大)・長坂翔子 (パシフィックコンサルタンツ)・安部真央・横山勝英 (首都大)
10:15 2A04	置土の流下がダム下流の付着藻類に及ぼす効果に関する複数年のデータを用いた分析 宮川幸雄 (土木研究所)・角哲也・竹門康弘・小林草平 (京都大)・萱場祐一 (土木研究所)	10:15 2B04	宍道湖のシジミ中の脂肪酸組成 嵯峨友樹・崎幸子・狩野好宏・加藤季晋・江角敏明・松尾豊・神谷宏 (島根県保健環境科学研究所)
10:30 2A05	地下圏の微生物は何を語るか 加藤憲二 (静岡大)	10:30 2B05	Fast Repetition Rate Fluorometry (FRRF)法による実湖沼水中一次生産速度の測定 小松一弘・今井章雄・富岡典子・高村典子・中川恵・霜島孝一・高津文人・篠原隆一郎 (国環研)
10:45 2A06	国際データベースに登録された水生昆虫DNAの整理と検証 稲井公二 (大阪府立大)・渡辺幸三 (愛媛大)・加藤幹男 (大阪府立大)	10:45 2B06	琵琶湖内湖における栄養塩インバランスとプランクトンの多様性の関係 伴修平・土居俊平・立花道草 (滋賀県立大)
11:00 2A07	京都大学総合博物館(京都市左京区)に收藏されている膨大な未整理の陸水生物標本(大正～戦前)について 長縄秀俊 (京都大)	11:00 2B07	藍藻類由来の細胞外溶存有機物の特性評価:分画分布、分子サイズ、分解性 今井章雄・小松一弘 (国環研)・佐藤貴之 (福島県)・川崎伸之 (セラングール大)・霜島孝一・富岡典子・高津文人・篠原隆一郎 (国環研)
		11:15 2B08	日田市地域の筑後川水系における泡状物質のバイオマーカーに関する陸水学的研究 井上源喜 (大妻大)
		11:30 2B09	南極の貧栄養湖沼の湖底マット内への栄養塩囲い込みメカニズム 田邊優貴子 (極地研)・水野晃子 (名古屋大)・佐々木顕 (総合研究大学院大学)

13:00-14:30	ポスターセッション
14:30-15:30	学会賞授賞式
15:30-18:00	総会
18:05-20:00	懇親会

C会場		D会場	
課題講演2 『環境DNAを用いた陸水生態系における生物モニタリング』		課題講演3 『河川内プロセスによる生元素の生物地球化学的循環と下流・沿岸域への輸送動態』	
コンピーナ: 源利文・辻冨月		コンピーナ: 岩田智也・中野大助	
9:00	趣旨説明 源利文(神戸大), 辻冨月 (龍谷大)	9:00 S3-1	河川内プロセスによる生元素の生物地球化学的循環と下流・沿岸域への輸送動態 岩田智也 (山梨大)・中野大助 (電力中研)
9:05 S2-1	環境DNAを用いた淀川における天然記念物イタセンバラの生息調査 山本義彦・近藤美麻・内藤馨・上原一彦 (大阪府立環境農林水産総合研究所)・上月佐葉子・渡部健 (パシフィックコンサルタンツ株式会社)・鶴田哲也 (大阪産業大)・稲波璃香・源利文 (神戸大)	9:20 S3-2	野洲川における生物利用性の高い懸濁態リンの動態 尾坂兼一・千代真照 (滋賀県立大)・岩田智也 (山梨大)・奥田昇 (総合地球研)
9:20 S2-2	ミシシッピアカミミガメの生息域調査: 環境DNA技術の適用とPCR阻害要因の検討 相馬理央 (兵庫県立大)・源利文 (神戸大)・土居秀幸 (兵庫県立大)・片野泉 (奈良女子大)	9:40 S3-3	流域スケールにおけるリン酸酸素同位体比分布は何を示すか? 石田卓也・上原佳敏 (総合地球研)・岩田智也 (山梨大)・Osbert Leo A. Privaldos (Leguna Lake Development Authority)・浅野悟史・池谷透 (総合地球研)・尾坂兼一 (滋賀県立大)・井手淳一郎 (九州大)・陀安一郎・奥田昇 (総合地球研)
9:35 S2-3	環境DNAを用いた溪流棲両生類ハコネサンショウウオ <i>Onychodactylus japonicus</i> の分布調査 片野泉 (奈良女子大)・原田憲・相馬理央・酒多勇輔 (兵庫県立大)・源利文 (神戸大)・土居秀幸 (兵庫県立大)	10:00 S3-4	野洲川、安曇川水系における河床バイオフィルムの微生物群集構造 藤永承平・村上綾・岡野淳一・伊藤雅之・大手信人・中野伸一 (京都大)・小林由紀 (山口大)・潮雅之 (龍谷大)・Song Uthram (済州大)・陀安一郎・奥田昇 (総合地球研)・富樫博幸 (東北区水産研究所)・酒井陽一郎 (滋賀県琵琶湖環境科学研究セ)・岩田智也 (山梨大)
9:50 S2-4	ユニバーサルプライマーを用いたサンショウウオ類の環境DNA検出 富田勢 (神戸大)・神松幸弘 (立命館大)・山中裕樹 (龍谷大)・永野昌博 (大分大)・佐藤拓哉 (神戸大)・高原輝彦 (島根大)・沢田隼 (龍谷大)・源利文 (神戸大)	10:20 S3-5	マスバランス法による河川の生産力と呼吸量推定 中野大助・鈴木準平・今村正裕・山本亮介・小林卓也・松梨史郎 (電力中研)
10:05 S2-5	環境DNAを用いたオオサンショウウオの生息適地モデルの作成と評価 日高舜介・勝原光希・富田勢・丑丸敦史・山本哲史・源利文 (神戸大)	10:40 S3-6	ドリフト法を用いた大河川における窒素・リンのスパイラルメトリクスの推定 池田勇太・岩田智也 (山梨大)
10:20 - 10:30	(休憩)		
10:30 S2-6	近縁種を判別する: Multiplex PCRによる日本産メダカ属2種の同時検出 辻冨月・寺村伊織・中井量暉・本澤大生・山中裕樹 (龍谷大)	11:00 S3-7	ダム湖の藻類現存量に及ぼす温暖化の直接及び間接的影響 占部城太郎 (東北大)・高野宏平 (森林総研)・一柳英隆 (水源地環境セ)
10:45 S2-7	環境DNAによる魚類の生物分布・生物量推定:リアルタイムPCRとデジタルPCRの比較 土居秀幸 (兵庫大)・内井喜美子 (大阪大谷大)・高原輝彦 (島根大)・松橋彩衣子 (琉球大)・山中裕樹 (龍谷大)・源利文 (神戸大)	11:20 S3-8	デラウェア河口域におけるシリカの大量消失: 逆問題による推定 吉山浩平 (滋賀県立大)
11:00 S2-8	環境DNA研究におけるSNPマーカーの活用 内井喜美子 (大阪大谷大)・土居秀幸 (兵庫県立大)・源利文 (神戸大)・山中裕樹 (龍谷大)	11:40 S3-9	河川の生元素動態に関するセッションの総括と今後の展望 岩田智也 (山梨大)・中野大助 (電力中研)
11:15 S2-9	堆積物中の環境DNAを用いた魚類DNAのメタバーコーディング 坂田雅之・山本哲史 (神戸大)・宮正樹 (千葉県立中央博物館)・源利文 (神戸大)		
11:30 S2-10	環境DNA分析の現状と課題 源利文 (神戸大)		
11:45 S2-11	全体質疑		

13:00-14:30	ポスターセッション
14:30-15:30	学会賞授賞式
15:30-18:00	総会
18:05-20:00	懇親会

## ポスター（ポスター賞審査対象）（11月5日 16:45-18:15）

- 1P-1 長野県内主要湖沼における溶存有機炭素濃度とその分解特性  
田之上智美・戸田任重（信州大学）
- 1P-2 汽水湖中海の底層におけるアナモックス反応に関する研究  
加藤季晋・菅原庄吾（島根大）・神谷宏（島根県保健環境科学研究所）・江川美千子・清家泰（島根大）
- 1P-3 A novel aerobic methane production pathway in freshwater ecosystems  
KHATUN SANTONA（山梨大）・小島久弥（北海道大）・岩田智也（山梨大）
- 1P-4 熱分解及び熱脱着GC/MSを用いた琵琶湖北湖底質中有機成分の動態解析  
村山耀平・津田瞳・布施奏明（京都工芸繊維大学）・岡本高弘・奥居紳也・早川和秀（滋賀県琵琶湖環境科学センター）・柄谷肇・山田悦（京都工芸繊維大学）
- 1P-5 多環芳香族炭化水素を指標とした底質中琵琶湖北湖における有機物の動態解析  
初雪・村山耀平・津田瞳・布施奏明（京都工芸繊維大学）・早川和秀（滋賀県琵琶湖環境科学センター）・水口裕尊・柄谷肇・山田悦（京都工芸繊維大学）
- 1P-6 ダムは水生昆虫の春季羽化ピークにどのような影響をもたらすか：流程地点間での比較  
赤松真治・松岡真梨菜・水守裕一・谷川緑（兵庫県立大）・布野隆之（兵庫県立人と自然の博物館）・一柳英隆（九州大）・土居秀幸（兵庫県立大）・片野泉（奈良女子大）
- 1P-7 水生昆虫の羽化におよぼす小規模ダムの影響：季節間および流程地点間での比較  
松岡真梨菜・赤松真治・水守裕一・谷川緑（兵庫県立大）・布野隆之（兵庫県立人と自然の博物館）・一柳英隆（九州大）・土居秀幸（兵庫県立大）・片野泉（奈良女子大）
- 1P-8 ダム河川流程における流下物および流下プランクトン群集組成の季節変化  
谷川緑・水守裕一・松岡真梨菜・赤松真治・相馬理央（兵庫県立大）・一柳英隆（九州大）・土居秀幸（兵庫県立大）・片野泉（奈良女子大）
- 1P-9 小規模ダム河川におけるダム・堰堤・支川流入が底生動物群集に与える影響  
水守裕一・松岡真梨菜・赤松真治・谷川緑・相馬理央（兵庫県立大）・一柳英隆（九州大）・土居秀幸（兵庫県立大）・片野泉（奈良女子大）
- 1P-10 水棲生物の分布への河川横断構造物の影響：環境DNA分析による評価の試み  
櫻井翔・三宅凜太郎・本澤大生・辻冴月・山中裕樹（龍谷大）
- 1P-11 尾瀬ヶ原池塘における水系腐植物質の動態解析  
熊崎悠一・成岡知佳（東邦大）・野原精一（国環研）・千原有希子（東邦大）
- 1P-12 釧路湿原におけるシカの環境攪乱が栄養塩動態に及ぼす影響  
金子命・保原達・中谷暢文・日野貴文（酪農大学学園）・稲富佳洋・島村崇志・宇野裕之（北海道立総合研究機構）・吉田剛司（酪農学園大学大学院）
- 1P-13 河川及び沿岸域における溶存有機物の時空間変化 ―震災によって創出された塩性湿地の影響―  
橋本和磨・福島憲太郎・横山勝英（首都大）
- 1P-14 雨天時の出水による霞ヶ浦への栄養塩負荷と底泥からの栄養塩溶出について  
金子陽輔・對馬育夫・南山瑞彦（国立研究開発法人土木研究所）
- 1P-15 高濃度酸素水供給装置を用いるダム湖の窒素浄化に関する研究  
引野愛子・菅原庄吾（島根大）・増木新吾（松江土建）・江川美千子・清家泰（島根大）

1P-16	底生ミジンコのトンボ幼虫に対する被食回避行動: 泥にもぐるミジンコと死んだふりをするミジンコ 山田紗友美・占部城太郎 (東北大)
1P-17	溪流昆虫の淵における流下・着地行動 永田広大・下村航一・加賀谷隆 (東京大)
1P-18	福島県裏磐梯地域に生息する外来底生動物(ウチダザリガニとフロリダマミズヨコエビ) 難波元生 (福島大)・内藤裕一 (海洋研究開発機構)・塘忠顕 (福島大)
1P-19	メチレンブルー法による微量試料水中硫化物の吸光度定量について 鈴木舞・菅原庄吾 (島根大)・勢村均 (島根県水産技術セ)・神谷宏 (島根県保健環境科学研究所)・江川美千子・清家泰 (島根大)
1P-20	諏訪湖産ヒメタニシにおけるアオコ毒素マイクロシスチンとその代謝産物について 木村龍平 (信州大)・横山淳史 (農環研)・全逢錫・朴虎東 (信州大)
1P-21	水草ヒシの藍藻 <i>Microcystis aeruginosa</i> に対する成長阻害物質の探索 丸山あい・二木功子・船山啓・朴虎東 (信州大)
1P-22	CRISPR配列に基づく <i>Microcystis</i> の群集構造解析 山中ももこ・中田舞・中村銀士・森本大地・左子芳彦・吉田天士 (京都大)
1P-23	北海道渡島大沼における植物プランクトンの変動 小林淳希・宮下洋平・太洞裕樹・今井一郎 (北海道大)・田中邦明 (北海道教育大)
1P-24	白駒池における動物プランクトン <i>Daphnia dentifera</i> の餌資源 豊田真樹・牧内和孝・河鎮龍・朴虎東 (信州大)
1P-25	小湖沼の <i>Daphnia dentifera</i> 個体群における遺伝構造の経年変化; 優占クローンはなぜ毎年交代しないのか 柳沼康平・八巻圭佑 (東北大)・熊谷仁志 (大阪大)・牧野渡・占部城太郎 (東北大)
1P-26	摩周湖に生息する細菌群集の鉛直分布 藤永承平・岡崎友輔 (京都大)・五十嵐聖貴 (北海道大学)・大八木英夫 (日本大)・小林拓 (山梨大)・武内章紀 (国環研)・深澤達矢 (北海道大学)・藤江晋 (てしかが自然史研究会)・中野伸一 (京都大)・田中敦 (国環研)
1P-27	富栄養湖(白竜湖)の細菌群集に対する成長に関連した有機物と栄養塩の協同効果 東海林洵・日野修次 (山形大)
1P-28	Spatio-temporal variation in fungal communities in Lake Biwa based on high-throughput sequencing 栄培学・伴修平・田辺祥子 (滋賀県立大)
1P-29	霞ヶ浦北浦における浮遊仔魚の分布および摂餌生態 赤木光子 (東京海洋大)・加納光樹 (茨城大学広域水圏環境科学教育研究セ)・河野博 (東京海洋大)
1P-30	洪水による大型鰓脚類の生息状況の変化について 森田美佳子・山川栄樹 (関西大)
1P-31	野外における魚類由来の環境RNA回収・定量の試み 垣見直樹・河野吉将・山中裕樹 (龍谷大)
1P-32	香川県新川流域における浅層地下水の水質特性と水安定同位体組成 一井築・山田佳裕 (香川大)

## ポスター（ポスター賞非対象）（11月6日 13:00-14:30）

- 2P-1 名古屋大学博物館に保存された資料「西條八東と日本陸水学の流れ」  
寺井久慈・坂野純子（名古屋大学博物館）
- 2P-2 環境教育実施のための中国山西省沁河流域における大腸菌数調査  
渡邊圭司・木持謙・王効拳・田中仁志（埼玉県環境科学国際セ）・袁進・喬曉榮・李超・恵曉梅・齊朔風（山西省生態環境研究中心）
- 2P-3 福島県浜通り地方の河川における放射性セシウムの動態  
中西貴宏・佐藤盛二・村井大平・方寄優二（日本原子力研究開発機構）
- 2P-4 福島県浜通り地域の貯水池における放射性セシウム濃度の時間変化  
舟木奏智・吉村和也・佐久間一幸・成田哲也（日本原子力研究開発機構）
- 2P-5 森林域渓流水中における溶存態・懸濁態の放射性物質の挙動解析  
佐久間一幸・舟木奏智・北村哲浩・飯島和毅（日本原子力研究開発機構）・辻英樹・林誠二（国環研）
- 2P-6 市街地における雨水排水を介した放射性セシウムの流出  
吉村和也（日本原子力研究開発機構）
- 2P-7 福島県松ヶ房ダム湖底質における放射性セシウム動態  
辻英樹・伊藤祥子・林誠二（国環研）
- 2P-8 群馬県内の湖沼・ダム湖における環境放射能  
野原精一（国環研）
- 2P-9 霞ヶ浦における放射性セシウムの移行状況と収支  
荒居博之・福島武彦・恩田裕一（筑波大）
- 2P-10 計算機シミュレーションによる請戸川河口付近における放射性物質が付着した土砂の移動予測  
山田進・北村哲浩・中西貴宏・佐久間一幸・町田昌彦（日本原子力研究開発機構）
- 2P-11 河川流入による懸濁体のダム内堆積と放射性セシウムの動態:3次元シミュレーションによる解析  
町田昌彦・山田進・佐久間一幸・線上広志・北村哲浩（日本原子力研究開発機構）
- 2P-12 水生昆虫コガタシマトビケラに対するネオニコチノイド系殺虫剤の毒性評価  
横山淳史（農研機構・農業環境変動センター）
- 2P-13 水生昆虫の行動に基づくオニコチノイド系殺虫剤の新規影響評価法の検討  
田中仁志・大塚宜寿（埼玉県環境科学国際セ）・相子伸行・矢吹芳教（大阪府立環境農業水産総合研究所）
- 2P-14 兵庫県六甲山地におけるオオカクツツトビケラの生活史と分布  
渡辺昌造（兵庫県立人と自然の博物館）
- 2P-15 水生昆虫の生息場所として人工基盤を用いた河川生態影響評価手法の提案  
相子伸行・矢吹芳教（大阪府立環境農業水産総合研究所）・大塚宜寿・田中仁志（埼玉県環境科学国際セ）
- 2P-16 水生昆虫DNAによる種判別システムの構築  
稲井公二（大阪府立大）・渡辺幸三（愛媛大）・加藤幹男（大阪府立大）
- 2P-17 モンゴルに分布するシロイロカゲロウ *Ephoron nigradorsum* の遺伝的構造  
関根一希（立正大）・Bayartogtokh Badamdorj（National University of Mongolia）・Bae Yeon Jae（College of Life Sciences and Biotechnology）
- 2P-18 琵琶湖南湖における底質粒度と底生動物の分布  
井上栄壮・早川和秀・卯田隆・永田貴丸・一瀬諭・吉田世子・藤原直樹・池田将平（滋賀県琵琶湖環境科学研究所）
- 2P-19 浅場における断続的な貧酸素がヤマトシジミの生残に及ぼす影響  
辻谷睦巳（鳥取大）・戸島邦哲・増木新吾・高橋智（松江土建）・山口啓子（島根大）
- 2P-20 琉球列島久米島の河川における底生動物と赤土等環境要因との関係について  
佐竹潔・山野博哉・林誠二（国環研）・金城孝一・知花睦・座間味佳孝（沖縄県衛生環境研究所）

2P-21	西湖(富士五湖)における光量とプランクトン組成について 長谷川裕弥・吉澤一家(山梨県衛生環境研究所)
2P-22	ミジンコ類と原生動物との捕食-被食関係について 永田貴丸・早川和秀(滋賀県琵琶湖環境科学研究セ)
2P-23	化学物質の影響評価を目的とした新たな淡水マイクロゾム実験系の開発 坂本正樹・真野浩行(富山県立大)・河鎮龍・花里孝幸(信州大)
2P-24	クロロフィル蛍光を利用した植物プランクトン現存量測定法の高精度化 後藤直成・加藤良太・落合伸陽・塚本浩貴(滋賀県立大)
2P-25	琵琶湖における細菌群集の細胞サイズ動態 西村洋子(龍谷大)
2P-26	貧栄養湖における細菌群集と環境因子の関連について 富岡典子(国環研)・土屋健司(創価大)・小松一弘・福島路生・高津文人・霜鳥孝一・篠原隆一郎・今井章雄(国環研)
2P-27	砂河川における石礫の露出高とアユの食み跡の有無との関係 小野田幸生・堀田大貴・菅場祐一(土木研究所)
2P-28	中国山西省を流下する沁河の環境と魚類等の生息状況 木村謙・渡邊圭司・王効拳・田中仁志(埼玉県環境科学国際セ)・袁進・喬曉榮・李超・恵暎梅・齊胡風(山西省生態環境研究セ)
2P-29	The study on movement patterns of <i>Siniperca scherzeri</i> in the middle part of the Geum River using radio telemetry Kyu-Jin Kim (Department of Biology Education)
2P-30	霞ヶ浦底質における深度別の菌叢比較 對馬育馬・金子陽輔・南山瑞彦(土木研究所)
2P-31	長野県諏訪湖における水質と底質の経年変動 宮原裕一・吉田知可(信州大)
2P-32	底面酸素濃度分布を表現するための摩擦速度の推定 井上徹教(港湾空港技術研究所)
2P-33	北浦における水銀濃度分布 荻部甚一(茨城大)・武内章紀(国環研)
2P-34	宮島沼における水質形成過程に関する研究 中谷暢丈・坂本未央・帖佐大介・角勇斗・杉山紗希・北井康貴・山梨光訓(酪農学園大)・牛山克己(宮島沼水鳥・湿地セ)
2P-35	富栄養化した平地湖沼に対する導水の効果 帆苺信(新潟県立教育セ)
2P-36	琵琶湖におけるCODとTOCの相関性について 早川和秀・岡本高弘・廣瀬佳則・佐藤祐一(滋賀県琵琶湖環境科学研究セ)
2P-37	Monitoring of brackish ecosystem using stable isotope analyses : Response of food web structure to desalination and eutrophication Go Sun Mi (キョンヒ大)・Kim Min-Seob (韓国国立環境研究所)・Seo Jong-Mo・中野翔(キョンヒ大)・Jang Min-Ho (コンジュ大)・張光珪(キョンヒ大)
2P-38	安定同位体比からみた琵琶湖における有機物の生分解試験結果について 廣瀬佳則・岡本高弘・古門恵美・佐藤祐一・早川和秀・七里将一(滋賀県琵琶湖環境科学研究セ)・高津文人(国環研)
2P-39	汽水湖におけるCOD測定と有機化合物の分解特性 小川竜平(静岡大)
2P-40	岡山城内堀に溶存する蛍光性有機物の蛍光スペクトルによる特徴づけ 土居愛美・福田史紗・澤近美味・森本喬也・湯川孝紀・齋藤達昭・杉山裕子(岡山理科大)
2P-41	岡山城内堀における栄養塩の形態別分析と循環に関する研究 福田史紗・土居愛美・澤近美味・森本喬也・湯川孝紀・齋藤達昭・杉山裕子(岡山理科大)

2P-42	高緯度北極の湿原における流出溶存有機炭素の特性把握 藤嶽暢英・園田碧（神戸大）・廣田充（筑波大）・内田雅己（極地研）・中坪孝之（広島大）
2P-43	東京都内陸水域における水生植物相の変遷 石井裕一・山崎正夫（東京都環境科学研究所）・和波一男（東京都）・橋本旬也・安藤晴夫（東京都環境科学研究所）・野澤亜紀（東京都）・木瀬晴美（東京都環境科学研究所）
2P-44	酸性度が高い富良野川の水質と生物 今聖一郎・中谷暢文・北井康貴・佐藤明日香・秋山瑞希・北側由莉奈・金子命・保原達（酪農学園大）
2P-45	2015年5月口永良部島の爆発による屋久島溪流河川への影響 永淵修（福岡工業大）・横田久里子（豊橋技術科学大）・中澤暦（九州大）
2P-46	北海道東部の森林小河川における河川流量とフラックス 鎌内宏光（金沢大）・福島慶太郎（首都大）・近藤昭彦（千葉大）・岡部芳彦・勝山智憲・佐藤修一・林大輔・徳地直子（京都大）
2P-47	パラオ共和国の河川水質に関する研究 飯泉佳子・大前英（国際農林水産業研究セ）
2P-48	地下水が湧出する庄川扇状地の右岸河川における水質特性 奥川光治・菊池美里（富山県立大）
2P-49	緩速ろ過浄水用藻類による硝酸塩濃度低減化 岡田紗央里・万木理恵・小関正道（東京家政大）
2P-50	半水棲哺乳類ヌートリアの環境DNA分析による検出 山中裕樹（龍谷大）・源利文（神戸大）
2P-51	佐久間ダムについて考える～大ダムの持続的利用は可能か～ 戸田三津夫（静岡大）
2P-52	扇状地湧水が河川河畔生態系へ及ぼす影響 宋媛媛, 根岸淳二郎(北海道大)



## 課題講演 1 :

# 地球温暖化が高地湿原生態系”尾瀬ヶ原”に 及ぼす影響の陸水学的課題

コンビーナ

坂本充 (名古屋大学・滋賀県立大学 名誉教授)

岩熊敏夫 (北海道大学 名誉教授)

群馬・新潟・福島県境の高地に位置する尾瀬ヶ原は、火山性砂礫上の河川後背地に発達した泥炭湿原である。冷温、多雨の環境下、植物遺体堆積により形成された泥炭湿原生態系として、学問的重要性とともに、多様な景観美から、国立公園特別保護地域として保護されてきた。近年、地球温暖化に原因する豪雨による洪水で湿原が覆われる機会が増え、それによる湿原生態系の変化が懸念されている。この懸念をふまえ、平成 27 年末から、第 4 次尾瀬総合学術調査検討委員会で学術的検討が進められている。本課題講演では、この学術的検討で明らかにされた温暖化影響下の尾瀬ヶ原湿原の陸水学的課題を論じ、今後の調査研究の方向性を明らかにする。講演は学術的検討参加者による講演とともに、検討に参加されていない学会員からの講演、討論を期待する。

坂本 充 (名古屋大学・滋賀県立大学)

### 1. 尾瀬ヶ原の自然と外的負荷

尾瀬ヶ原は、群馬県、福島県、新潟県の県界の日本海に面する 2000m 前後の山地に囲まれた尾瀬盆地に位置する泥炭湿原である。冷温、かつ冬季の豪雪と梅雨・台風期多雨による降水供給の豊かな環境下で、河川後背湿地から発達したブランケット型湿原とされ、基盤地形を反映した湿原面の緩やかな高低と、高位泥炭型湿原に特有の凹凸微地形が特徴的で、それに対応した植生と池塘分布が見られる。Sakaguchi (2005)は、尾瀬の地形発達史の研究から、尾瀬ヶ原は、河川後背地に発達した湿原であると結論すると共に、池塘分布と貫流河川の地形学的考察から、勾玉状池塘は河川流路跡と推論している。

尾瀬ヶ原では、これまで総合学術調査が 3 回 (1950-52、1977-79、1994-97)行われており、同湿原が高位泥炭湿原型微地形が発達し、北方系植物種の多い本州最大の湿原であり、極めて貴重な自然であることを明らかにしている。景観的にも優れていることから、日光国立公園(1934)、国立公園特別保護区(1953)、天然記念物(1960)、尾瀬国立公園(2007)として指定、保護されてきた。人の踏み込みによる湿原荒廃を防ぐため、1958 年から湿原上に木道を架設するとともに、山小屋下水施設を整備し、訪問者による湿原荒廃の防止に努めている。1995 年、尾瀬保護財団を設立、尾瀬地域の環境保全と調和のとれた尾瀬地域の適正利用管理を進めている。

しかし、従来、尾瀬に生ったニホンジカが、1965 年以後、尾瀬に侵入するようになり、ミズバショウ、ニッコウキスゲの採食や泥炭掘り起し、ぬた場形成、池塘植物食い荒らしによる湿原生態系の破壊をもたらすなど、尾瀬ヶ原に大きな負荷を与えている。更に 2011 年の新潟福島豪雨時には、周辺山地からの濁水流入による洪水が発生し、湿原に大きな影響を与えた。Kimoto ら(2005)によると、日本では今後、地球温暖化進行により、無降水の日と、50mm/日を

超える集中豪雨日増加が予測される。近年、気温上昇が見られる尾瀬でも、新潟福島豪雨時に匹敵する洪水が予想されることから、尾瀬保全には、温暖化影響予測に基づいた対策が不可欠である。尾瀬保護財団では、近年の外部環境負荷が尾瀬ヶ原へ与える影響が大きいことから、尾瀬生態系の現状と、温暖化とシカ侵入の影響把握に重点を置いた第 4 次尾瀬総合学術調査を 2017 年 4 月から 3 ヶ年行うことを決定し、只今準備を進めているところである。

### 2. 本課題講演の企画主旨

本課題講演では、第 4 次尾瀬総合学術調査参加予定者から、調査課題の温暖化影響に係る問題点と方向性を論じて戴くとともに、学会員から戴いたご意見をふまえて、第 4 次尾瀬総合学術調査の内容の改善・充実を図り、温暖化の尾瀬生態系への影響のより深い解明を目指す所存である。

### 3. 陸水学的課題

河川後背地に発する尾瀬ヶ原湿原は、豊富な降水により過湿・貧栄養的湿原が維持されている。しかし、温暖化による気候変動は、尾瀬ヶ原の気象・水文環境と地球化学環境を変え、湿原生態系を変質させる可能性が高い。Sakaguchi (2005)によると洪水は過去にも数回あり、洪水時の湿原土砂分布を記録している。しかし、気温上昇や積雪減少、豪雨など温暖化による環境変動が、湿原生態系に及ぼす影響については、水文学的、地球化学的、陸水学的知見は非常に限られている。尾瀬ヶ原の温暖化影響調査が、この課題に貢献できる事を強く願っている。

### 4. 参考文献

Sakaguchi, Y. (2005): The Ozegahara Mire. The striking features and genesis of a natural historical heritage of Japan. 90 pp. (Personal publication).  
Kimoto, M., et al. (2005): Projected changes in precipitation characteristics around Japan under the global warming. SOLA, 1, 85-88.

### 尾瀬の水系とゾーニング

尾瀬ヶ原は阿賀野川水系只見川の源流域に位置する高地湿原 (標高約 1400 m、面積 6.5km<sup>2</sup>) である。尾瀬ヶ原と湿原西方の尾瀬沼 (標高 1665m、面積 1.8 km<sup>2</sup>) は周囲を標高 2000 m 級の山で囲まれ、北の三条ノ滝流出口までの流域面積は 88.8km<sup>2</sup> である。この流域を尾瀬地域 (尾瀬と略) と呼ぶこととする。尾瀬沼の流域面積は 10.8 km<sup>2</sup>、尾瀬沼の流出河川である沼尻川の尾瀬ヶ原西端 (見晴西南) までの流域面積は 7.5km<sup>2</sup> である (図 1)。

尾瀬ヶ原は、湿原北端を流れる猫又川～ヨッピー川～只見川に南側から湿原を横断して合流する 4 河川 (川上川、上ノ大堀川、下ノ大堀川、沼尻川) により、山の鼻田代、上田代、西中田代、中田代、下田代の 5 つの田代に分割されている。沼尻川は下田代西南端からほぼ直角に流路を北に向け、ヨッピー川に合流する。湿原北側には、猫又川～ヨッピー川に合流する河川の扇状地に背中アブリ田代、泉水田代、ヨシッポリ田代が発達している。湿原全体は東西方向には山の鼻田代から沼尻川に向けて、および下田代から沼尻川に向けて下り勾配となり、南北方向には南側山地から猫又川～ヨッピー川に向けて傾斜している。

金井 (1999) は尾瀬ヶ原の 1800 余りの池澮の水生植物の分布調査で、上田代を 5、西中田代を 7、中田代を 9、下田代を 10、山の鼻田代を含む周縁部の田代を 6 に細分した (図 1)。この 37 の田代区分を、勾配、標高差、隣接河川数、そして池澮形状カテゴリを変数としたクラスタリングを行うことで、(1)縁辺部の扇状地・山裾、(2) 西中田代・中田代の中央～北部、(3)上田代・下田代・背中アブリ田代の 3 グループに大別された。これを考慮して、湿原の水文の解析、湿原の成立・維持機構の解明を行っていきたい。

### 尾瀬の気候と水文

尾瀬は東日本太平洋側、北日本日本海側、東日本日本海側さらには北日本太平洋側の気象地域区分の境界に位置し、冬季は東日本日本海側の影響が強いと考えられている。尾瀬の降水量の水平分布を検討するために、全国の観測地点の平年値に標高・勾配などの地形因子および都市因子を考慮して推定したメッシュ平年値を用いた。尾瀬の降水量は、4～9 月は分布に大きな偏りが見られないが 10 月～3 月の期間は湿原南側流域 (27.0 km<sup>2</sup>) が北側流域 (20.9 km<sup>2</sup>) の 2～3 倍の値を示す。その結果年間降水量は湿原北側流域が平均で約 1500 mm、南側流域が 1.6 倍の約 2400 mm となった。尾瀬沼流域でも同様の降水量分布がみられ、冬季に卓越する北西風を反映していると考えられる (図 1)。

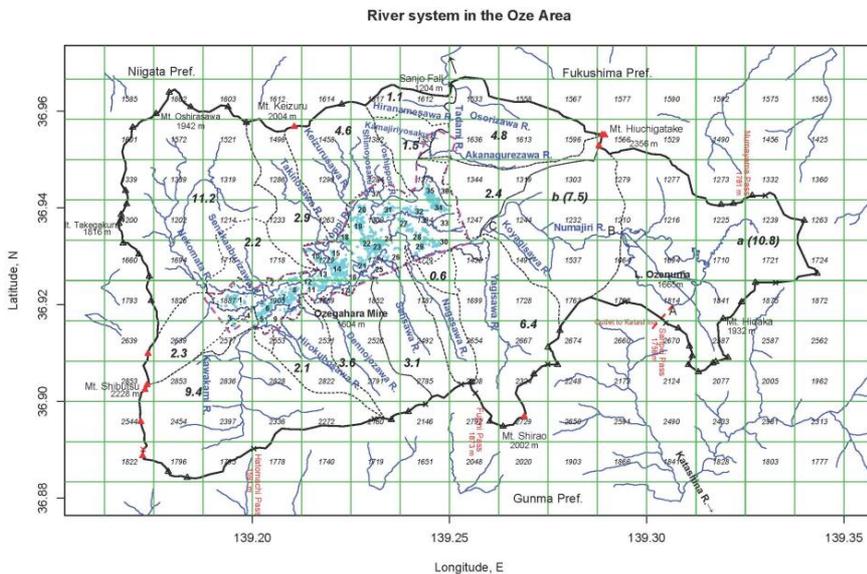
沼尻川と猫又川～ヨッピー川は、湿原表層水の排水の役割を果たしていると考えられ、南側から合流する河川は湿原の水位保持に寄与していると考えられる。しかしながら、泥炭中の水の流れはより複雑なようである。尾瀬ヶ原は河川後背湿地に形成され、染色体状の池澮は旧河川の河道上に形成されたと考えられている (阪口,1989)。阪口 (2007) はさらに、非常に水分の豊富な埋没河川上にはケルミーシュレンケ複合体の縞状池澮が形成されていると推定した。泥炭中の地下水の動態の解明のためには、さらなる観測が必要とされる。

これまで最も深いボーリングは沼尻川の自然堤防で行われたが、8 m 付近より下の層では地下水が噴出し、81 m の深度でも基盤まで到達することができなかった (阪口,1982)。湿原の砂礫層さらにはその下の帯水層における地下水の起源、存在量と挙動等について、新たな探査方法による解明が待たれる。

### 文献

- 金井弘夫 (1999) 尾瀬の総合調査, 377-471
- 阪口豊 (1982) 生物科学, 34, 36-43
- 阪口豊 (1989) 尾瀬ヶ原の自然史, 中央公論社
- 阪口豊 (2007) 尾瀬の自然保護, 30, 1-24

図 1. 尾瀬の流域と水系図。グリッドは 3 次メッシュ (経度方向 45°, 1.13 km、緯度方向 30°, 0.92 km) で年降水量 (mm) メッシュ平年値 (1981～2010 年) を示す。河川脇の数値及び括弧内の数値は流域面積 (km<sup>2</sup>) を示す。金井 (1999) による田代区分を 1～37 の数字で示した。



# S1-3

## 湿原の Nutrition に関して先行研究ではどこまで明らかにされているか？

楊 宗興 (東京農工大学)

### はじめに

尾瀬ヶ原のような泥炭湿地の景観や植生をもっとも特徴付けているのは、高層湿原と低層湿原の違いも作りだしている湿原の「栄養性 nutrition」と考えられる。本講演では、先行研究、成書のレビューを行い、湿原の栄養性についてこれまでに何が明らかにされ、何がわかっていないのかをまとめる。

### 湿地 (wetlands) はどのように分類されているか

湿地の型を表す名称は世界に数多くある。Mitsch and Gosselink (2000)の著した「Wetlands」には、31ものタイプが挙げられており、その中で泥炭が堆積する湿地としては Bog、Fen、Mire、Moor、Muskeg、Peatland、Pososin 等がある。Bridgman et al. (1996)は、湿地の形成に影響を与える要因として、地形、発生の仕方(由来、遷移)、水文、水質、植生をあげながら、泥炭湿地のタイプを整理している。これらの要因は相互に密接に関連する。一般に、泥炭表面が周囲より盛り上がった結果、水分が降水によってもっぱら賄われ(降水涵養型 ombrotrophic)、ミズゴケの優先する泥炭地は bog (高層湿原、高位泥炭地)、河川水・地下水の供給を受け、ヨシ等のイネ科草本が生育する泥炭地は fen (低層湿原、低位泥炭地)と分類される(Mitsch and Gosselink, 2000)。高層・低層、高位・低位は周囲の地下水面に対する高低の意味であり、前者は河川水・地下水の影響を基本的に受けないため、貧栄養であることを特徴とする。

### 尾瀬ヶ原は‘湿性遷移’によって出来たものか

湖が植物の枯死体の堆積によって浅くなり、低層湿原をへてやがて陸化していく遷移を湿性遷移とよんでいる。尾瀬ヶ原はこのように、湖→低位泥炭地→高位泥炭地という発展段階を経て形成されたものと理解されることがあり、一般向け解説書や現地のパネルにもそのように説明されている。しかし、坂口(1982)によるとこれは誤りである。泥炭地の底の地形とは無関係に表面が盛り上がったこのようなドーム状泥炭地(raised bog)は尾瀬ヶ原のどこにも形成されていない。燧ヶ岳の噴火により堰き止められた古尾瀬ヶ原湖は、泥炭が堆積するまえに平野となり、その後、後背湿地や三日月湖から泥炭地が形成された。(下田代やその他の山麓に接したところにある田代は扇状地ないし扇状地状緩斜面に形成されている)この結果、泥炭の底の起伏を反映し、それを毛布のように覆って発展したブランケット型泥炭地に近いものであるという。

坂口(1989)は、世界の大半の泥炭地はこのようなタイプであり、これに対し湿性遷移によりできたドーム型泥炭地は一般に小規模で、世界でも主流ではないと述べている。

### 尾瀬ヶ原は高層湿原か

しばしば、‘尾瀬ヶ原’は日本の典型的な高層湿原と言われる。しかし坂口(1989)によると、この形容も正しくないという。なぜなら、尾瀬ヶ原は一面に連続した湿原ではないからである。上ノ大堀川、沼尻川、六郷堀等、多くの河川によって分断され、それぞれが独立して湿原として発達してきており、植生も多様である。高層湿原といった一つの言葉で表現することはできないと述べている。

### 湿原の栄養性はどこまで明らかになっているか？

一般に高層湿原は貧栄養、低層湿原はそれに対して富栄養と表現される。貧栄養性がミズゴケの発達条件であることは、ドーム型泥炭地の周囲と接する末端部で泥炭の発達が見られない事実からも確かであろう。しかし一方で、ミズゴケが発達して盛り上がることによって降水涵養性となり貧栄養化するという仕組みが働いていることも正しい。貧栄養→ミズゴケ、ミズゴケ→貧栄養のどちらも考えられ、どちらが原因でどちらが結果なのか、あるいは相互に作用し合って発達するようなシステムであるのかは、今後さらに究明されてよい。

これまでに見たいくつかの成書の範囲では、‘富栄養’という表現の化学的な意味は必ずしも明確でない。高層湿原から低層湿原に向かい、pHとCaが相互に関係しながら変化することは明らかにされている。しかし、これまでサーベイした限り、湿原の栄養にかかわる理化学性についての具体的知見は十分ではないのが現状のようである。

### 参考文献

- 坂口豊 (1982): 尾瀬ヶ原盆地の成立と湿原の発達, 生物科学, 34, 36.
- 坂口豊 (1989): 尾瀬ヶ原の自然史, 中公新書
- 坂口豊 (2002): 翠黄遺跡
- 坂本充 (1982): 尾瀬ヶ原における池塘水質の生態学的研究, 生物科学, 34, 22.
- Aber, J.S., F. Pavri, and S. Aber (2012): Wetland Environments: A Global Perspective, Wiley-Blackwell
- Haslam, S.M. (2004): Understanding Wetlands: Fen, Bog and Marsh, CRC Press.
- Mitsch, W.J., and J.G. Gosselink (2000): Wetlands (3rd ed), John Wiley & Sons.
- Reddy, K.R. and R.D. DeLaune (2008): Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications, CRC Press.
- Vepraskas, M.J., J.L. Richardson, M.J. Vepraskas, Christopher B. Craft (2000): Wetland Soils: Genesis, Hydrology, Landscapes, and Classification, CRC Press.

坂本 充 (名古屋大学・滋賀県立大学)

## 1. 植生・泥炭システム特性と植生への地下水影響

尾瀬ヶ原は、河川後背湿地に発する湿原である。湿原の位置する地理的位置から、冷温で降水供給が豊かなことから、湿原植物遺体の泥炭堆積が進み、河川流路から外れた湿原は貧栄養湿原植生に覆われた降水涵養型湿原となっている。この降水涵養型湿原では、植生遺体未分解物の堆積による凹凸微地形が特徴的で、凸部(ケルミ)では乾燥を好むヌマガヤ等が、凹部(シュレンケ)では過湿を好むミズゴケ等が生育し、一部凹部は水が溜まりオゼコウホネ等水草が生育する池塘となっている。降水量が多く、かつ泥炭層の透水性と水流動性が低いことから、湿原は過湿で地下水位が浅い。第1次尾瀬学術調査時に湿原植生分布と地下水位の関係を調べた宝月ら(1954)によると、地下水位の浅い地点は、通気性悪く溶存酸素量少ないので、酸素要求の少ない種が分布し、地下水位が深く通気性が良く地下水溶存酸素量の多い地点は、酸素要求の大きい種が分布する。地下水位は、降水量と洪水により変化することから、湿原の温暖化影響検討では、温暖化の地下水影響を通じての植生影響の検討が不可欠である。

## 2. 窒素、リンの尾瀬ヶ原湿原植生への影響

降水涵養型湿原では、植物可利用栄養塩量が限られるので、植物生育は、相対供給度の低い栄養元素供給度で左右される。表1に示すように、尾瀬ヶ原の主要植物種と降水の元素量比は、NとPが最大で、湿原植物の生育の主要な支配栄養因子であることを示す。集中豪雨後の洪水発生は、これら元素の湿原供給度を変え、湿原植生に大きく影響すると判断され、詳細な検討が必要である。人間活動起因の窒素供給については、窒素酸化物の大気放出に起因する森林窒素飽和が知られている。関東周辺の渓流水調査を行った楊ら(2004)によると、尾瀬地域渓流水のNO<sub>3</sub>濃度は<10μMと周辺域最低で、経大気の大気汚染影響は低いと判断される。氏家ら(1984)の

表1. 尾瀬ヶ原の池塘水及び植物体の主要元素量相対比。Sakamoto(1982)より抽出

元素	池塘	ミズゴケ	ホロムイスグ	ヌマガヤ
K	1.9	2.2	11.6	10.9
Na	1.4	0.07	0.08	0.009
Ca	4.8	1.3	3.6	1.4
Mg	0.9	0.23	0.62	0.71
P	2.8	4.9	18.0	10.0
N	1.2	4.5	19.4	15.3

尾瀬の調査結果も、降水 TN 濃度が 0.25mg/l と他地域より低レベルにあり、大気経由の尾瀬ヶ原窒素汚染は小さいように判断される。

## 3. 湿原生態系の窒素代謝と温暖化影響

尾瀬ヶ原では、窒素が植物生育制限因子であることから、植生・泥炭システムの窒素循環は、植生の生産維持に重要な位置を占める。Hogetsu ら(1982)の尾瀬ヶ原の植物・泥炭システムの窒素循環調査結果によると、年間の植物生産維持には、泥炭層中の可利用窒素は植物枯死体の分解無機化により、年3回の回転が必要とされる。

このような貧栄養環境では、湿原植物による空中窒素固定が、湿原植生の生産維持や促進に重要な位置を占めると考えられる。Maruyama ら(1982)によると、ヤチヤナギ以外の窒素固定活性は低い。根粒寄生菌が窒素固定を行うヤチヤナギは、上田代、中田代一帯に繁茂するとともに、近年、分布拡大がみられ、尾瀬ヶ原湿原の窒素富化への影響が懸念されている。前田ら(1998)によると、ヤチヤナギは、種子で増えるとともに、低水位の湿原環境を好む。集中豪雨時の洪水は、泥炭層の地下水位上昇とともに種子輸送に働くので、洪水で運搬された土砂による植物生育促進効果と相まって、ヤチヤナギの分布拡大と量的増加に関与する可能性が高い。第4次総合学術調査が、温暖化による湿原の窒素富化促進過程解明に貢献する事を強く期待する。

# S1-5

## 尾瀬ヶ原と尾瀬沼の環境モニタリング

野原 精一（国立環境研究所・生物・生態系環境研究センター）

### 1. 尾瀬ヶ原の環境モニタリング調査

過去に3回(1950-52, 1977-79, 1994-97)多くの研究者による総合学術調査が行われ様々な成果が上がっている。福島県や群馬県は毎年調査を実施し、福島県尾瀬保護指導委員会は「尾瀬の保護と復元」、群馬県尾瀬保護専門委員会が「尾瀬の自然保護」として報告書を発行してきている。また、環境省はモニタリング1000事業を各地の湿地等で展開し、尾瀬ヶ原では中田代で水位や地温の観測、植生調査を100年間継続する目標で実施している。その他、国立環境研究所の特別研究や国立公園協会による緊急保全対策実証調査(1980年)、大学関係では植生調査(1970年)や池とうの水質調査、尾瀬高校や国府台高校等が環境教育の一環で環境調査をしてきた。個別的な研究では、アカシボ(赤雪)研究会が第3回総合学術調査後継続し雪解け時の調査を約20年続け、春先に積雪下の洪水(1.6m)を見出している。

### 2. 尾瀬沼の環境の変遷

福島県の公共水域水質調査データを見ると、季節的な変動が大きいが年平均値で透明度はやや減少傾向にあり、クロロフィルa、水温、全窒素、全磷、pHはやや増加傾向にある。CODや溶存酸素には変化は見られなかった。1999年には好転したものの全般的には尾瀬沼が富栄養化の傾向にあると思われたが、最近の透明度はやや持ち直している。多雪地帯である尾瀬地方は1年の半分を雪に閉ざされ、湖岸の水生植物は春先まで雪で押し固められている。春に大量の雪が解けて水位上昇をもたらす、栄養塩類の流入と例年アカシボが観察されている。尾瀬沼の水位は1949年以来発電用水として利用されているため水位は人為的に操作され、冬季には水位が3m低下する。そのため、融雪時には冬季の富栄養酸性降下物等の栄養物質が湖から流出せず湖内で消費されてい

ると推定される。一方夏期には山小屋の生活雑排水はパイプラインを通して系外から搬出されているため人為汚染は現在回避されている。尾瀬沼本来の水位変化に戻すことによって、湖沼生態系が元に戻るかが尾瀬沼の自然再生にとって残された検討すべき重要な課題である。

### 3. 尾瀬沼の環境モニタリングとコカナダモの動態

尾瀬沼には侵入した外来種コカナダモ(*Elodea nuttallii*)は1960年代に日本に帰化し(生嶋・蒲谷,1965)、尾瀬沼には1981年頃に侵入した(星,1982)。その移入は魚放流によるものと推定されている(大森・生嶋,1988)。そこで演者は1987年から福島県の尾瀬保護指導委員会の調査として継続的にライントランセクトの長期モニタリングを行ってきた。群落の発達は一進一退を繰り返していたが2010年には様相が一変し、水深1.5m以深の多くの場所が裸地化し、コカナダモ群落の多くが衰退しごく一部に残った個体のみが見られた。2011年には更に衰退が進み、沿岸湖底では全く植物が見られない裸地となった。2010年は全国的な猛暑の夏であり、各地で様々な現象が起こったが、尾瀬沼もその影響の可能性はあるが、その衰退のメカニズムは不明である。広がってきた在来種ヒロハノエビモとの競争でコカナダモが衰退したのではなく、時間的なずれからコカナダモが自滅した後にヒロハノエビモが広がってきたと考えられた。このまま在来種が徐々に増えてやがて35年前の状態に戻ると推定される。

### 4. 福島第一原発事故の汚染状況

2013年に尾瀬沼でコアを採取し放射性Csの分析を行った。グローバルファールアウトの<sup>137</sup>Csの放射能も底質表層から17cmの深さで検出され、堆積速度は3.4mm/年と推定された。7,500Bq/m<sup>2</sup>の<sup>137</sup>Csの福島第一原発事故による放射能汚染があった。

福原 晴夫 (NPO 法人河北潟湖沼研究所)

### 1. はじめに

尾瀬ヶ原及び周辺を含む地域における総合的な学術調査は、これまで3回(第1次:1950~1952, 第2次:1977~1979, 第3次:1994~1996(+1)行われてきており、それぞれの調査報告書が1954(第1次, 以下報告書年次で示す), 1982(第2次), 1998(第3次)に刊行されている。本報告では、これら報告書及び貴重な継続的な調査が行われてきている「尾瀬の自然保護」(群馬県, 1978~), 「尾瀬の保護と復元」(福島県, 1970~)等を元に、湿原・池漕・尾瀬沼の水生生物を中心とした調査を概観し、今後の総合調査に向けて課題をさぐりたい。

### 2. 主な水生生物関係の調査

これまでに行われてきた水生生物調査の主な分類群、内容は以下のようである。

**第1次:** **植物:** 群落, 生態, 高等植物フロラ, 蘚苔類, ミズゴケ生態, 水生菌, 雪氷藻, 氷雪菌, 鼓藻, 珪藻, 藍藻, **動物:** 甲殻類, 動物プランクトン, 流水動物, 水ダニ, 昆虫相, 水生・水辺甲虫, 半翅類, トンボ, カワゲラ・トビケラ, ワムシと根足虫類, **成果:** フロラ, ファウナ, 水生植物群落・生態, の基本情報を得た。

**第2次:** **植物:** 池漕植物分布, 維管束フロラ, 水生菌, 氷雪菌, **動物:** 池漕ベントス, 動物プランクトン, カゲロウ, トンボ, トビケラ, ユスリカ, ハエ類, 甲虫, **成果:** 池漕カタログ, 動植物インベントリーの追加, 動物プランクトン・ベントスなどの生態学的研究

**第3次:** **植物:** 浮島, 植生, オゼコウホネ・ヒツジクサ遺伝解析・分布, ヤチヤナギ, 池漕植生消長, ミズバシヨウ, 珪藻, カワモズク, **動物:** ソコミジンコ, 水生ミミズ, ユスリカ, ベントス, 動物プランクトンへの紫外線影響, **成果:** 池漕カタログ改定, フロラ・ファウナの追加(特にユスリカ, 珪藻, ミミズ), 野外実験的手法の導入

**尾瀬の自然保護:** 底生動物の変化(生活排水流入部での底生動物, プラナリア, 魚類の変化), 有尾目, 動物プランクトン, プラナリア, トンボ, 魚類, 珪藻, 水生昆虫, ベントス, カワゲラ・トンボ等の食性, 湿地植生, 尾瀬沼コカナダモ, オゼコウホネ生態, カヤツリグサ科: 生活排水の流水に及ぼす影響を底生動物・ミズワタ・魚類,

水質について継続調査. 尾瀬沼コカナダモの継続調査  
**尾瀬の保護と復元:** トンボ, 水生昆虫, ベントス, 両生・爬虫類, 魚類, トンボを中心とした食物連鎖, ヨシ, ミズゴケ, スマガヤ, 尾瀬沼水生植物(含コカナダモ), ミズバシヨウ: 湿原植生と復元, 尾瀬沼コカナダモ動態の継続調査,

これらの研究から、最も基礎となる湿地・水生生物のインベントリーが明らかにされつつあり、群集特性を明らかにする生態学的な研究も進められてきた。

### 3 総合調査に向けて

これまでの総合調査で取り扱われてこなかった点などをまとめると、

1) 未調査及び調査不十分な分類群のインベントリー調査, 2) 近年の分類学的知見に基づく整理と尾瀬特産種の分子系統学的検討, 3) 北方性種(冷水性種)の生態, 4) 四季を通じての尾瀬ヶ原・尾瀬沼の調査, 5) 外来生物の現況と影響の把握, 6) 第1次調査以後の分布域や種の変遷の検討, 7) 温暖化に対する水生生物の応答などが挙げられる。

これらを課題として、植物では「尾瀬ヶ原や至仏山のような特殊な環境下のみで成立し,, 独特なフロラをもった地域,, 起源が古く遺存的な種や特産の種もあり,, (原, 1981)」、動物では「高層湿原の生物相がここに集約され,, 個体が豊富,, 研究フィールドとして,, 優れ,, 北方の湿原生物の比較研究に対して有力な足場,, (朝比奈, 1981)」という当初から指摘されてきた基本的な方向をさらに豊富にしていくことが必要である。

本報告では、動物プランクトン、ベントス、水辺動物各群集の特性について、4)に関連して尾瀬地方の融雪期にみられるアカシボ現象とアカシボ動物及び雪原動物、6)及び7)に関連して上田代におけるオゼコウホネとヒツジクサの分布変化とその要因についても述べたい。

原 寛 (1981): 尾瀬地方の高等植物フロラ. 生物科学. 33: 169-174.

朝比奈正二郎 (1981): 尾瀬ヶ原の動物相. 生物科学. 33: 179-182.

## 1. はじめに

温度は生命活動に大きく作用する環境因子である。湿原生態系を構成する微生物群集への温度変化の影響はその複雑さから十分に明らかにされていない。

尾瀬ヶ原では融雪期に積雪が茶褐色に呈する「アカシボ現象」が観察されている。アカシボ発生過程において、温度上昇による微生物活動の変化とともに種々の物理化学的因子の劇的変化が伴う。本講演では、アカシボを構成している微生物群集の特徴付けを行うことにより、気候変動による尾瀬ヶ原湿原の微生物生態系への応答解明に資することを目的とする。

## 2. 積雪内の微生物群集

積雪中から検出されることの多いバクテリアの分類群としては、*Betaproteobacteria* 綱、*Bacteroides* 門、*Actinobacteria* 門が挙げられる。積雪中の微生物群集の特徴として、大気から降下する微生物の影響を受けていることが指摘されており、積雪中に液体の水が存在しなければ微生物の活動はそのまま保持されていると考えられる。一方、尾瀬ヶ原のような多雪地帯では、積雪下部は厳冬期においても0℃付近に保たれ、液体の水が存在するため、微生物の活動が可能である。したがって、冬期間でも積雪下部及び湿原では微生物による物質循環は無視できないであろう。特に、長期の積雪期間中の尾瀬ヶ原では、積雪下部から湿原表層部において有機物の好氣的分解により酸素が消費されて嫌気環境が発達し、その結果として嫌氣的微生物代謝であるメタン生成や鉄還元が進行するものと予想される。

## 3. アカシボの微生物群集

16S rRNA 遺伝子解析により、尾瀬沼及び尾瀬ヶ原湿原の積雪上で発達するアカシボ現象において、数十種類以上のバクテリアが検出されている (Kojima et al., 2009)。顕微鏡観察の結果、茶褐色の酸化

鉄に覆われた直径約 10 μm の球状粒子 (アカシボ粒子) が特異的に存在していた。両地点で共通して、好氣的メタン酸化菌 *Methylobacter* と嫌氣的鉄還元菌 *Geobacter* が高頻度に検出され、他の積雪環境では見られない特徴である。積雪中のメタンや鉄の分布からも両バクテリアの活動は裏付けられる。好気性菌と偏性嫌気性菌が同時に存在することは一見矛盾するが、両者がアカシボ粒子を構成していることから微視的な空間スケールで好氣的環境と嫌氣的環境が存在するものと考えられる (小島, 2012)。

## 4. 今後の研究展開

尾瀬ヶ原湿原も含めて、湿原の微生物の群集構造や機能は十分解明されているとは言えない。最近、永久凍土の微生物群集に対する温度上昇の影響解明において、メタゲノミクス及びメタプロテオミクスと現場微生物活性測定を組み合わせた網羅的解析が試みられている (Janni et al., 2015)。その結果、短時間の凍土融解でも微生物機能構成が速やかに変動することが示され、特にメタンや鉄に関わる微生物代謝が鍵となることが示唆された。アカシボの微生物群集の特徴からも明らかのように、尾瀬ヶ原湿原においてもメタンや鉄代謝が重要な微生物機能である。今後メタオミクス手法を導入して、気候変動による湿原微生物生態系への応答について詳細に研究する必要がある。

## 文献

1. Hisaya Kojima, Haruo Fukuhara and Manabu Fukui. Community structure of microorganisms associated with reddish-brown iron-rich snow. *Systematic and Applied Microbiology* 32: 429-437. 2009.
2. 小島久弥. アカシボおよび赤雪の微生物群集の特徴. *低温科学* 70: 61-65. 2012.
3. Jenni Hultman et al. Multi-omics of permafrost, active layer and thermokarst bog soil microbiomes. *Nature* 521: 208-212. 2015.

岩熊敏夫（北海道大学）

### 尾瀬とその周辺地域における温暖化

尾瀬の気候変動を100年スケールで推定する目的で、周辺の地域気象観測所（新潟：東日本日本海、前橋：東日本太平洋、福島：北日本太平洋、山形：北日本日本海）における1901～2015年のデータを解析した。1901～1930年の期間に対する1981～2010年の期間の気象項目平均値の比較から、過去110年の間に、①平均気温の上昇、②平均相対湿度の減少、③降水日数の減少、④短時間強雨の発生頻度の増加が示された。上記4地点の100年あたりの気温上昇率は全国平均(1.16℃、気象庁、2016)よりも高く、1.22～1.90℃であった。さらに気象庁(2016)によれば、1962～2015年については、⑤東日本・西日本日本海側における年最深積雪が減少している。

尾瀬山の鼻(1977～2013年)の観測記録からは、7～9月の期間の①平均気温の上昇、②平均相対湿度の上昇、③短時間強雨発生頻度の増加傾向が認められている。30数年の短い期間で気象トレンドを推論するのは難しいが、②の平均相対湿度の上昇については周辺の観測結果と異なっており、原因について今後検討が必要である。

短時間強雨は夏季に集中して起きる傾向が見られ、新潟では10mm/h以上の降水の91%が6～10月の5ヶ月間に発生している。桧枝岐(1979年～)、藤原(1978年～)、片品(1978年～)のアメダス観測所では長期的なトレンドではないが、1980年代から2010年代にかけて、どの地点でも短時間強雨の発生件数が増加する傾向がみられた。さらに、地域気候モデル(RCM2)による将来(2076～2095年)の日本列島の気候予測では、いずれの地域においても短時間強雨の頻度は現在よりも増加する(気象庁、2013)。

### 尾瀬ヶ原における洪水とその発生要因

尾瀬ヶ原では2011年7月の豪雨に伴う大規模な冠水で改めて異常気象に関心が集まった。過去に発生した洪水は、①長雨の影響、②短時間強雨の影響、③融雪時の大雨によりもたらされている(表1)。

尾瀬では毎年5月中旬までには雪が溶けているが、1996年には5月31日の積雪深は1m以上であった(尾瀬山の鼻地区気象観測資料)。これが融雪時の大雨と重なり洪水をもたらしたと考えられている。融雪期が6月と遅かった2000年以後2016年までの期間は、山の鼻または鳩待峠では毎年5月までに雪は溶けていた(鳩待峠については国土交通省による)。東日本日本海側で最深積雪が減少する傾向にあることから、②の残雪の融解と降水の相乗影響による洪水は、今後減少するものと思われる。一方、短時間強雨の頻度が将来的に高くなることが予測されていることから、今後は③が尾瀬での洪水の主要な

要因になるであろう。④については、温暖化の進行で冬季にも降水が影響するなど、今後は増加する可能性がある。また、少雪であっても急速な気温の上昇で早めに雪が溶けて洪水が起きることもある。

表1. 過去の洪水例と洪水の将来予測

洪水の要因	過去の洪水例		将来予測
	尾瀬	阿賀野川水系	
①長雨	1969.8.7-12	1969.8.12	発生
②短時間強雨	2011.7.27-30	2011.7.27-30	頻発 <sup>▲</sup>
③融雪時の大雨	1996.6.22-25	不明	減少 <sup>▼</sup>
④冬季の少雪	不明	不明	増加 <sup>▲</sup>

### 今後の湿原の変遷予測と課題

尾瀬ヶ原の降水分布は、湿原の南側の流域における冬季の降水量が卓越し、年間降水量は南側流域が北側流域の1.6倍となり湿原を涵養している(気象庁メッシュ平年値データより算出)。尾瀬ヶ原の最深積雪には明瞭な増減のトレンドは見られていないが、前出気候モデルによれば、今世紀末の東日本日本海側では冬季の降雪量の減少と、年間無降水日数の増加が予測されており、渇水リスクは増加する。そこで、尾瀬全域の地下水も含めた水収支の変遷を予測するため、地下水の存在量と動態を調べる必要がある。そして尾瀬流域での流出解析に加えて沼尻川、ヨッピー川(只見川)など主要河川の流量の把握も洪水の発生予測には欠かせない。

乾燥と洪水の繰り返しは湿原の劣化をもたらすメカニズムについては、近年頻発しているニホンジカの侵入も湿原劣化を促進する要因として考慮しつつ解明していく必要がある。

尾瀬は阿賀野川水系の源流部に位置し、下流域ではほぼ数年に1回の頻度で豪雨による洪水が発生してきた。尾瀬ヶ原の洪水の発生頻度は下流域ほど高くはないが、過去の湿原の発達過程ではかなりの頻度で洪水に見舞われてきたと推測される。また、過去500年程度であれば気候や阿賀野川水系などの洪水の記録をたどることができ、過去の尾瀬における洪水発生の推定も可能になる。同時に、尾瀬の泥炭層に残された洪水の記録を確認することで、洪水の水平分布が明らかにされるであろう。これらの情報に基づき、湿原の栄養供給源や池塘生態系の連結度の解明や、植生の変遷などの基礎的な研究成果とのリンクを行うことで、機能的側面からの湿原生態系の将来予測につなげていくことができる。

### 文献

気象庁(2013) 地球温暖化予測情報第8巻  
気象庁(2016) 気候変動監視レポート2015

## 課題講演 2 :

# 環境 DNA を用いた陸水生態系における 生物モニタリング

コンビーナ

源利文（神戸大学大学院人間発達環境学研究科）

辻冨月（龍谷大学大学院理工学研究科）

環境水中には、そこに生息する様々な生物由来の DNA が含まれており、それらを総称して環境 DNA と呼ぶ。近年では、この環境 DNA を利用して、魚類や両生類といった大型脊椎動物の分布や生物量などを少量の水から把握する手法の開発が盛んに行われ、新たな生物モニタリングツールとして目覚ましい発展を遂げている。本課題講演では、環境 DNA を陸水生態系における生物モニタリングへ適用した最新の研究成果を報告し、課題や手法の応用について参加者らと議論したい。

\*山本義彦（大阪環農水研，神戸大院発達），近藤美麻，内藤馨，  
上原一彦（大阪環農水研），上月佐葉子，渡部健（パシフィックコンサル）  
鶴田哲也（大阪産大人間環境），稲波 璃香，源利文（神戸大・院発達）

### 1. はじめに

天然記念物であるコイ科タナゴ亜科の淡水魚イタセンパラ (*Acheilognathus longipinnis*) は，淀川で野生絶滅に近い状態に陥っている．本種の生息が最後まで確認されていた城北ワンド群では，大阪府立環境農林水産総合研究所 水生生物センター（以下，水生C）の保存個体群を用い，2013年に場所を公開して野生復帰が行われた．本種の生息や繁殖の状況は，稚魚の目視調査や地曳網による採捕によって行われている．これらの調査手法は技術や労力が必要であるため，広範囲な生息調査を行うことは困難である．そこで，環境DNAを用いた生息調査手法の検討を，水生Cの野外保存池と淀川を対象に行った．保存池は周年の検出の可否と検出に適した時期の検討を，淀川は現地での生息調査への適応を目的とした．



### 2. 材料と方法

本種のミトコンドリア CytB 領域を対象として開発した種特異的なプライマーとプローブのセットを用い，リアルタイム PCR によって本種の環境 DNA の検出を試みた．サンプルは水生 C の保存池から 2015 年 7 月～2016 年 6 月の毎月 1 回採水した 1L（もしくは 500ml）を，ろ過・DNA 抽出したものを用い，DNA コピー数が明らかなスタンダード（3000 コピー，

30 コピー）を同時に分析することで，環境水に含まれる対象 DNA 領域の検出コピー数を比較した．また，2014 年 7 月～9 月に城北ワンド群や本流を含む 88 地点，2016 年 8 月に 2014 年に採水した地点の内，城北ワンド群を含む 30 地点で採水したサンプルを用いてリアルタイム PCR を実施した．

### 3. 結果

保存池では，周年にわたり本種の DNA の検出が可能であったが，3 月から 5 月にかけては他の月に比べ DNA のコピー数や，PCR の 3 つの繰り返し中の検出回数が少ない傾向が見られ，9 月から 12 月にかけては数百コピーが検出された．淀川のサンプルでは 2014 年の城北ワンド群で 1 地点，同ワンド群に近接しないワンドで 2 地点，本流 1 地点で検出された．2016 年のサンプルでは 2014 年に検出した城北ワンド群の 1 地点に加え，これに隣接する 2 地点で検出した．

### 4. 考察

保存池での調査から本種の環境 DNA の周年の検出は可能であり，淀川の調査では本手法が本種の生息調査に実用可能であることが示された．本種は秋に二枚貝へ産卵した後，親魚の多くが春までの間に死亡する．卵は秋に貝の中で孵化し，春に貝から稚魚として泳ぎ出て，その年の秋までに急速に成長し，同年産卵するという生活史を持つ．保存池で環境 DNA の検出コピー数が少なかった春季は成魚が少なく，稚魚も二枚貝から浮出する前後の時期であり，本種のバイオマスが最も少なくなる時期であると考えられる．一方，コピー数が多い秋は，本種のバイオマスが一年で最も大きくなると想定される時期と重なる．これらのことから，生活史を考慮して採水時期を選択することで，より高い精度で現地の生息調査が実施可能になると期待される．

## ミシシippアカミミガメの生息域調査： 環境 DNA 技術の適用と PCR 阻害要因の検討

\*相馬 理央（兵庫県立大院・環境人間），源 利文（神戸大院・発達），  
土居 秀幸（兵庫県立大院・シミュレーション），片野 泉（奈良女子大・理）

### 1. はじめに

ミシシippアカミミガメは、アメリカ合衆国南部からメキシコ北東部の国境地帯に自然分布する中型のカメ類である。日本ではペットとして輸入・流通したものが遺棄され、全国各地に分布している。在来淡水生カメ類と比べて産卵数が多く、より悪化した環境にも耐性があるほか、雑食性で卵捕食もするため、在来カメ類への影響やハス・ジュンサイ・ヒシなどの食害による農業被害も問題視されている。これらの対策には、生息分布の把握が必要であるが、現状ではもんどり罟を仕掛けるなどの人的・時間的コストのかかる方法であるため、多数地点での調査は困難である。

本研究では、兵庫県東播磨地域のため池で（実施されたミシシippアカミミガメの生息域調査において）環境 DNA 技術の適用及び、もんどり罟による捕獲との比較・検討を行った。さらに、環境 DNA 技術において検討すべき課題である PCR 阻害の要因についても検討を行った。

### 2. 方法

野外調査は、加古川市・稲美町・明石市・高砂市のため池 24 面において、2015 年 7 月から 9 月の期間に実施した。各ため池の岸付近にもんどり罟 6 基（水域が狭く、設置場所が限られていた 1 面のみ 4 基）、セルビン 1 基を設置し、カメ類と魚類の捕獲を行った。罟は午後（夕方中心）に設置し、翌日の昼までに回収した。捕獲したカメ類は種名、個体数、重量を記録し、カメ類以外の生物については種名と個体数を記録した。また、罟設置の直前に環境 DNA 分析用の採水を行った。採水場所は、各ため池のもんどり罟 6 基とセルビン 1 基の設置場所の計 7 地点とし、それぞれ 500mL 採水した。

サンプル水は実験室にてろ過（GF/F）、DNA 抽出（DNeasy blood and tissue kit）を行い、抽出 DNA を冷凍保存した。抽出 DNA サンプルは、魚類（コイ、ブルーギル、オオクチバス）とミシシippアカミミガ

メについて、各種に特異的な PCR プライマーと TaqMan 蛍光プローブを用いて、リアルタイム PCR（PikoReal）にて DNA 量を定量した。

また、環境 DNA の阻害要因について検討するため、環境要因として懸濁物質（SS、有機物と無機物を測定）とクロロフィル *a* 量（Chl.*a*）の測定も行った。ミシシippアカミミガメの池毎の捕獲数と環境 DNA 量をそれぞれ標準化し、その値の差（捕獲数－環境 DNA 量）を求め、環境要因との関係を検討した。

### 3. 結果と考察

環境 DNA 量と生物量の関係は、ミシシippアカミミガメについては、環境 DNA 量が生物量を比較的反映している結果となった。また環境 DNA 量のデータは、もんどり罟を設置した採水場所 6 地点のデータを平均した値を用いると定量の精度が向上した。このことから、複数地点からサンプリングを行うことで、環境 DNA による生物量の推定をより正確に行えることが示された。

一方、魚類ではブルーギルのみ正の相関が見られたが、コイ・オオクチバスについては明瞭な関係は見られず、捕獲の有無と環境 DNA の検出/非検出が一致しないものも多かった。考えられる要因としては、魚類の捕獲に用いたセルビンは入り口が小さく、大型のコイやオオクチバスは捕獲できなかったものと考えられる。一方でブルーギルは体が小さく、池の岸帯を生息場所に好むことから、岸付近に設置されたセルビンに捕獲されやすかったことが考えられた。

環境 DNA の PCR 阻害要因の検討の結果、SS 中の有機物量が多いほど、捕獲数と環境 DNA 量の差分値が大きくなり、PCR が阻害されている傾向が見られた。また Chl.*a* 量についても同様の傾向が見られたことから、植物プランクトンが PCR の阻害に影響している可能性も考えられた。今後、さらなる検証を行い、PCR 阻害の要因の解明をする必要がある。

## 環境 DNA を用いた溪流棲両生類ハコネサンショウウオ *Onychodactylus japonicus* の分布調査

\*片野泉（奈良女子大・理），原田憲（兵庫県立大・環境人間），相馬理央（兵庫県立大院・環境人間），酒多勇輔（兵庫県立大・環境人間），源利文（神戸大院・発達），土居秀幸（兵庫県立大院・シミュレーション）

### 1. はじめに

ハコネサンショウウオ *Onychodactylus japonicus* は、兵庫県のレッドデータに登録されている小型のサンショウウオである。本種は氷河期の遺存種で、日本のサンショウウオ科の中で最も標高の高い場所に生息しており、肺がない点や、発達した爪を有する点など、他のサンショウウオにない特異な点が多数ある。しかしその生態には未だ不明な点が多く、地域個体群が認められるなど分類も未だ混乱している状態にある。

環境 DNA 法は近年、水生生物の分布を把握するのに有用であると期待される手法であるが、流水域への適用はこれまで多くない。なかでも、流れが速く伏流が著しい源流域での適用例はほとんどない。しかし、源流域にはハコネサンショウウオのような遺存種など希少種も潜在的に多く生息していることが考えられるため、環境 DNA 法が源流域でも適用可能かどうかを知ることは重要である。そこで本研究では、今後の保全のためハコネサンショウウオの分布域を把握するとともに、源流域での環境 DNA 法の有用性を明らかにすることを目的として、環境 DNA 法と従来の生物調査法による野外調査を行い、結果を比較した。

### 2. 方法

揖保川水系支川の赤西川を中心とする支川群（兵庫県宍粟市）において、2014年5月から2015年11月までの間に以下の野外調査を行った。①目視によるハコネサンショウウオ（以下ハコネと略す）分布調査。調査時には、環境要因の測定、採捕による個体数密度の測定を努力限界まで行い、河床間隙の堆積物も採集した。②環境 DNA 量調査。赤西川のハコネ分布域において、流心部とハコネが確認された河床間隙から採水した。③環境 DNA 技術を用いたハコネ広域分布調査。先の調査地点を含め、近隣の揖保川に流入する近隣の複数支川において表層水やハコネが生息する礫裏の間隙水を採水した。実験室では、河床間隙堆積物の

各サイズ画分での有機物・無機物量を測定した。サンプル水は GF/F フィルターにてろ過し、DNA 抽出（DNeasy blood and tissue kit）後、抽出 DNA を冷凍保存した。抽出 DNA は、今回作成したハコネ属に特異的な PCR プライマーと TaqMan 蛍光プローブを用いて、リアルタイム PCR にて DNA 量を定量した。

### 3. 結果と考察

①目視による分布調査の結果、ハコネは標高約 500m 以上の地点で、流れのほとんどない浅瀬の河床間隙に生息していることが明らかになった。また、赤西川ではハコネが広く分布するのに対し、音水川では全く確認されないことが示された。

②環境 DNA 量調査では、これまでに報告されている止水域と同様、源流域においても表層水を採取することで分布を推定できた。また、ハコネが生息する礫裏の間隙水と表層水の環境 DNA 量を比較した結果、両者の環境 DNA 濃度や検出率に有意な差はなく、むしろ礫裏間隙水の方がデータのばらつきが大きいことが示された。このことは、源流域において環境 DNA 法が有用であることを示すだけでなく、表層水を汲むという簡便な方法は、表層水中を遊泳して生息する生物（魚類など）はもちろん、礫裏や岩盤クラックに潜んで生息する生物にとっても同じく有用であることを示唆している。

③環境 DNA を用いた広域調査の結果、目視ではハコネが確認されなかった音水川においてもハコネが分布していること、従来生息しないと考えられていた引原ダム上流に流入するいくつかの支川でもハコネが生息することが示された。ハコネは産卵・休眠期には地下を流れる伏流内や滝壺など調査の及びにくい地形に潜むため、目視調査には限界があり、そのことが詳細な分布域把握を困難にしていると考えられる。本研究により、このような生物にこそ環境 DNA 法が非常に有用な方法であることが示唆された。

## S2-4

### ユニバーサルプライマーを用いたサンショウウオ類の環境 DNA 検出

\*富田勢(神戸大・発達), 神松幸弘(立命大・グローバル), 山中裕樹(龍谷大・理工)  
永野昌大(大分大・教育), 佐藤拓哉(神戸大・理), 高原輝彦(島根大・生物資源)  
沢田隼(龍谷大・理工), 源利文(神戸大院・発達)

#### 1. はじめに

近年、生物の排泄物等に由来すると考えられる DNA 断片を検出することでマクロ生物種の分布域を把握する「環境 DNA 分析手法」の利用が進んでいる。この手法は、現場での作業が水を汲むだけでよいため、網や罟などを用いた従来の調査手法よりも迅速かつ低コストで調査を行うことができるうえ、調査自体で個体そのものにダメージを与えることがない。しかし、通常環境 DNA 分析では、対象種ごとに種特異的なプライマーを用いた検出系を必要とするため、新たな種にこの手法を適用するにはそれぞれの実験系を開発しなければならない。

本研究では、日本産のサンショウウオ属 (*Hynobius* 属) の保全のためのモニタリング手法として、属単位のユニバーサルプライマーを用いた環境 DNA 分析手法の開発を行った。サンショウウオ属は日本中に広く分布し国内に 21 種が知られているが、そのほとんどが環境省のレッドリストに掲載される絶滅危惧種である。環境 DNA を用いたモニタリングが適用できれば、これまでの調査に比べて簡便かつ非侵襲的に、生息域や季節性による移動の把握のための調査を行うことができる。また、ユニバーサルプライマーを用いることで、種ごとに検出系を開発する労力を省き、同一手法で複数種の環境 DNA 分析が可能となる。

#### 2. 材料と方法

ミトコンドリア DNA 内のシトクロム b (CyB) および 12SrRNA (12S) の 2 つの領域に、サンショウウオ属に共通するユニバーサルプライマーを設計し、

同一検出系の複数種への適用を試みた。各プライマーは、CyB プライマーが 506 塩基、12S プライマーが 293 塩基の増幅長で設計した。ヒダサンショウオ (*H. kimurae*) の生息地 4 箇所と、オオイタサンショウオ (*H. dunni*) の生息地 13 箇所にて 1000ml の採水を行い、サリベットと DNeasy Blood & Tissue Kit を用いて環境 DNA を抽出し、上述のプライマーを用いて PCR 実験を行った。

#### 3. 結果と考察

ヒダサンショウオのサンプルについては、CyB プライマーで 4 地点中 1 地点、12S プライマーで 4 地点中 2 地点の検出に成功した。オオイタサンショウオのサンプルについては、CyB プライマーで、生息地 13 地点中 1 地点、12S プライマーでは 13 地点中 11 地点の検出に成功した。この結果から、12S プライマーのほうが高確率でサンショウウオ属の環境 DNA 検出が可能であることがわかった。プライマーによってオオイタサンショウオの検出確率に差が見られたのは、CyB 領域に設計したプライマーによる PCR 産物の増幅長が長かったことが一因だと考えられる。

さらに、オオダイガハラサンショウウオ、オキサンショウウオをはじめ 6 種のサンショウウオの飼育水、生息地の水から抽出した DNA において、12S プライマーを用いて PCR 実験を行った。本発表ではこれらの結果を報告するとともに、環境 DNA 分析手法のサンショウウオ属への応用可能性について議論したい。

\*日高 舜介, 勝原 光希, 富田 勢, 山本 哲史  
丑丸 敦史, 源 利文 (神戸大・人間発達環境)

### 1. はじめに

生物種とその生息環境の関連性を把握することは、気候変動や生息地の改変による生物多様性減少の解決における重要な第一歩である。そのような関連を可視化する手法の一つとして生息適地モデルを用いた手法が有効である。生息適地モデルは、気候変動が種の分布に与える影響の予測シミュレーションや、外来種の侵入拡大の予測などに用いられ、保全生態学における重要なツールとされている。生息適地モデルの適用にあたっては、現在の種の分布情報を収集することが重要である。しかし、こと水域においては短期間に大規模な調査をするコストが高く、種の分布は長期のデータの積み重ねであることが多い。

近年、従来の水域モニタリング手法のデメリットを補完しうる「環境 DNA 分析」が発展している。この手法は、水中の DNA 断片を検出することで対象とする生物種の分布を把握する手法で、フィールドでは採水をするのみで、人員的・時間的なコストを大幅にカットでき、短期間・広範囲の調査を可能にすると考えられている。

本研究では、オオサンショウウオ (*Andrias japonicus*) を対象とした大規模調査を環境 DNA 分析により行い、そのデータに基づく生息適地モデルを作成し、モデルの評価および検証を行った。

### 2. 材料と方法

本研究で対象とするオオサンショウウオは、国の特別天然記念物であり、岐阜県以西の西日本広域に生息している。近年、気候の変化や外来種の侵入により生息域の減少が問題となっている。

オオサンショウウオが生息するとされる、西日本広域 13 水系 366 地点において、のべ 21 日間でサンプリングを行い、それぞれのサンプルからオオサンショウウオの環境 DNA 抽出を PCR によって検出した。検出系は核 DNA 中のリボソーム DNA における、ITS1 領域を対象とした検出系を用いた。ただし、桂川水系に関しては、*cytb* 領域を対象とした先行研究の結果を引用した。その後、得られた分布情報と、10 種類の環境変数を用いて Maxent による生息適地モデルの作成を行った。その後、従来考えられている分布領域と、環境省による動物分布調査データで作成したモデルと比較し、環境 DNA 手法を用いた生息適地モデル作成の有用性の評価を行った。

### 3. 結果と考察

調査の結果、全水系の合計 127 地点においてオオサンショウウオの環境 DNA 検出に成功した。そのデータを基に生息適地モデルを作成したところ、高精度のモデルを得ることに成功した (AUC=0.937)。また、動物分布調査による情報を基にしたモデルとの比較から、環境 DNA 分析による生息適地モデルが有効であることが示唆された。また、環境 DNA 分析による分布データは短期間のスナップショットを反映していると考えられるため、気候変動による分布域の変化など、今後の予測シミュレーションをより正確に行うことができると考えられる。

本研究によって、環境 DNA 分析の新たな可能性を示すことができた。今後はさらなるサンプリングによるモデル精度の検証と、このモデルを用いたオオサンショウウオの将来の分布予測を行いたい。

## 近縁種を判別する：Multiplex PCR による 日本産メダカ属 2 種の同時検出

\*辻 冨月（龍谷大院・理工），寺村 伊織，中井 量暉（龍谷大・理工），  
本澤 大生（龍谷大院・理工），山中 裕樹（龍谷大・理工）

### 1. はじめに

日本において、メダカは身近に生息する小魚として人々に古くから親しまれてきた。しかし、生息環境の悪化や外来種との競合により、現在では環境省により絶滅危惧Ⅱ類に指定されるまでに生息数が激減している<sup>(1,2)</sup>。また、近年の遺伝的解析により従来 1 種と考えられていた日本産メダカは、ミナミメダカ (*Oryzias latipes*) とキタノメダカ (*O. sakaizumii*) の 2 種に分かれることが明らかとされ<sup>(3)</sup>、両種を独立した生物種として保全する必要性が示された。しかし、両種の形態は酷似しており、種の判別には高度な知識と経験を要するうえに、一般的に用いられる捕獲調査では個体へのダメージや生息地の攪乱が避けられない。

そこで本研究では、水に含まれる生物由来の DNA 断片（環境 DNA）を指標とした Multiplex PCR による両種の同時検出系を開発するとともに、検出力の検討を行った。

### 2. 材料と方法

ミトコンドリア DNA, 16S 領域（ミナミメダカ）および ND5 領域（キタノメダカ）を対象とし、各種を種特異的に検出可能なプライマーセットを設計した。プローブには TaqMan プローブを使用し、種間で異なる蛍光色素を設定した。次に、各種の組織 DNA および生息地（ミナミメダカ:滋賀県、キタノメダカ:福井県）の水から抽出された環境 DNA を用いて、Multiplex PCR による両種の同時検出が可能かどうか検討を行った。

水槽実験では、本検出系の検出力を調べるため、6 L の汲み置き水を張った水槽（n=3）に両種を 1 尾ずつ入れて 5 日間飼育後、水槽の中央から 1、5、10、20 mL の飼育水を採水し、環境 DNA を抽出した。その後、Multiplex PCR による両種の同時検出を行った。さらに、両種間のバイオマスに大きな偏りがある場合でも、正しく両種を検出できるか検討を行った。ミナミメダカおよびキ

タノメダカをそれぞれ 9 尾:1 尾、5 尾:5 尾、1 尾:9 尾の割合で 4 日間飼育し、飼育水から環境 DNA を抽出した。その後、Multiplex PCR による両種の同時検出を行った。

### 3. 結果および考察

組織 DNA および環境 DNA の両方において、本研究で設計したプライマープローブセットを用いた、Multiplex PCR によるミナミメダカおよびキタノメダカの 2 種同時検出に成功した。さらに、各種の生息地由来の試料からは各生息種のみ、両地点の水を混合した試料からは両種が検出された。このことから、本検出系が野外試料に対しても各種を種特異的に検出し得る検出力を備えていることが示された。

水槽実験では、6 L の水に対して各種を 1 尾ずつ飼育した場合、1 mL 採水では両種の同時検出成功率は 44 %であったが、5、10、20 mL 採水では 100 %の確率で両種が検出された。また、各種のバイオマスに大きな偏りがある場合においても、全ての水槽から両種を検出することができた。

本研究で開発した Multiplex PCR による日本産メダカ属 2 種の同時検出系は、近縁な両種を正しく判別するとともに、野外調査への適用も可能な検出力を有することが示された。本検出系を用いることで、素早く、かつ正確に野外における両種の正確な分布把握や非生息地への侵入検知を行うことができると思われる。

### 5. 引用文献

- (1) 林 (2003) 環境局野生生物課(編), 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物, pp. 162-163.
- (2) 環境省レッドリスト(2015) 汽水・淡水魚
- (3) Takehana Y et al. (2003) Geographic variation and diversity of cytochrome b gene in Japanese wild population of medaka, *Oryzias latipes*. Zool. Sci., 20: 1279-1291

## 環境 DNA による魚類の生物分布・生物量推定：リアルタイム PCR とデジタル PCR の比較

\* 土居秀幸（兵庫県立大院・シミュレーション）、内井喜美子（大阪大谷大・薬）、高原輝彦（島根大・生物資源）、松橋彩衣子（琉球大・熱生研）、山中裕樹（龍谷大・理工）、源利文（神戸大・発達）

### 1. はじめに

環境 DNA による生物調査手法は水域環境における新たな調査法として注目され、その活用が模索されている。その結果、これまで、様々な生物種や生息場所において環境 DNA を測定することで生物分布や生物量が明らかになってきた。1 種検出系の環境 DNA 手法では、多くの場合リアルタイム PCR 装置を用いて環境 DNA を解析してきた。しかし近年では、次世代（第 3 世代）PCR と呼ばれるデジタルドロプレット PCR（デジタル PCR）法が実用化され、研究に用いられつつある。デジタル PCR とは、DNA サンプルを油膜で区切られた粒（ドロプレット）に小分けして分析する手法である。約 2 万個の 2 pL のドロプレットの中で DNA を PCR で増幅させてプローブなどにより蛍光させ、そのドロプレットごとの蛍光の有無について解析する。デジタルデータから絶対的に定量できることから、リアルタイム PCR よりも高精度で DNA 量を定量でき、さらに PCR 阻害に強いと考えられている。

本研究では、デジタル PCR とリアルタイム PCR について環境 DNA 分析における性能を検証する 2 つの実験を行った。実験 1 として、デジタル PCR とリアルタイム PCR における環境 DNA を用いた生物量の定量の検出精度について、メソコズム実験からのサンプルを用いて検討した。さらに、実験 2 として、ため池サンプルにおけるブルーギルの環境 DNA の在・不在について、デジタル PCR とリアルタイム PCR での検出感度や PCR 阻害による分析への影響の違いについて検討した。

### 2. 材料と方法

実験 1) 環境 DNA 量から魚の個体数を推定する手法についてデジタル PCR とリアルタイム PCR の性能を比較するため、メソコズムによる操作実験を行った。約 450 L のメソコズム 12 基において、それぞれ、0-85 個体のコイを飼育して、その飼育

水から環境 DNA を収集して解析した。その解析結果から、コイの環境 DNA 量とその個体数・生物量の関係について検討した。

実験 2) 実験には、Takahara et al. (2013) で用いた、ため池 70 個から採集した環境 DNA サンプルを用いて、ブルーギルの環境 DNA が検出された池とされていない池を計 25 個選び、それらの池のサンプルについて、デジタル PCR を用いてブルーギルの DNA を測定した。さらに、ブルーギルの人工 DNA の希釈系を作成して、それをため池の環境 DNA サンプルに入れて検出力を評価した。

### 3. 結果と考察

実験 1) 環境 DNA と個体数・生物量について、リアルタイム PCR とデジタル PCR 共に高い精度で解析できた。しかし、低濃度の環境 DNA においては、デジタル PCR でより高精度に分析できることがわかった (Doi et al. 2015a)。

実験 2) デジタル PCR を用いた場合、ブルーギルの環境 DNA の測定において、リアルタイム PCR よりも検出感度が高いことがわかった。これはデジタル PCR が、検出感度が高くさらに PCR 阻害に強いためと考えられた。また、ブルーギルの人工 DNA を添加した実験からも同様の結果が得られ、デジタル PCR は PCR 阻害に強く、検出力が高いことが示された (Doi et al. 2015b)。

Hideyuki Doi, Kimiko Uchii, Teruhiko Takahara, Saeko

Matsuhashi, Hiroki Yamanaka, and Toshifumi Minamoto (2015a) Use of droplet digital PCR for estimation of fish abundance and biomass in environmental DNA surveys. PLOS ONE 10: e0122763

Hideyuki Doi, Teruhiko Takahara, Toshifumi Minamoto, Saeko

Matsuhashi, Kimiko Uchii, and Hiroki Yamanaka (2015b) Droplet digital polymerase chain reaction (PCR) outperforms real-time PCR in the detection of environmental DNA from an invasive fish species. Environmental Science & Technology 49:5601-5608

\*内井喜美子 (大阪大谷大・薬)

土居秀幸 (兵庫県立大・シミュレーション)

源利文 (神戸大・発達山中裕樹 (龍谷大・理工)

山中裕樹 (龍谷大・理工)

### 1. はじめに

水には、そこに生息する生物に由来する DNA が存在しており、環境 DNA と呼ばれている。近年、環境 DNA の分析により、生物の分布を評価する手法が急速に発達しつつある。捕獲調査を行わなくとも特定の生物の存在を高感度に検出できることから<sup>1)</sup>、外来種の侵入判定<sup>2)3)4)</sup>や、希少種の分布推定<sup>4)</sup>に適用されてきた。現在では、生物の在／不在の判定における本手法の有効性が広く受け入れられつつある。

環境 DNA 分析は、生物の検出に DNA 情報を利用することから、見た目では区別のつきにくい同種内の遺伝子型や隠蔽種の検出にとりわけ有効であると考えられる。日本のコイ (*Cyprinus carpio*) 個体群には、日本在来系統と、人為的に導入されたユーラシア大陸原産の外来系統が存在している<sup>5)</sup>。現在は在来系統と外来系統との間で交雑が起こっており、在来系統の遺伝的な絶滅が危惧されている。在来系統の保全に向けて、交雑がどの程度進んでいるのか、その現状を把握する重要性は大きい。そこで本研究では、核 DNA 上の SNP マーカーをターゲットとした環境 DNA 分析により、コイ個体群の遺伝子プールにおける外来遺伝子の頻度を迅速に推定する手法を開発することを目的とした。

### 2. 材料と方法

5 日間絶食させた在来型コイおよび外来型コイを、生物量比を変えて室内水槽にて混合飼育 (5 L, 20°C, 12-h light-12-h dark) した。48 時間後に、各水槽から水を 500 mL を採取し、吸引ろ過により 47 mm GF/F フィルター (粒子保持能 0.7 μm) 上に環境 DNA 捕集した。その後、DNeasy Blood & Tissue Kit (QIAGEN) を用い、フィルターより DNA 抽出を行った。

先行研究にて、在来系統と外来系統を区別する数個の核 SNP 遺伝子座が報告されている<sup>6)</sup>。本研究ではその中から複数の SNP 遺伝子座を選び、遺伝子型の判定を行った。まず、水槽水から得られた環境 DNA を鋳型とし、SNP 遺伝子座を PCR 増幅した。その後、サブクローニングによって複数のクローンを単離し、シーケンス解析に供した。得られた DNA 配列より SNP 遺伝子型を決定し、各遺伝子座における在来遺伝子型と外来遺伝子型の出現頻度を算出した。

### 3. 結果と考察

環境 DNA 分析では、コピー数の多いミトコンドリア DNA をターゲットとすることが多い。本研究でターゲットとした SNP 遺伝子座は半数体のコイゲノム上に 1 コピーしかないが、水槽水から得た環境 DNA から増幅することに成功した。また、遺伝子型の出現頻度も、各水槽で飼育した在来型と外来型コイの生物量比とよく一致した。今後は、本手法を自然水域に適用できるように開発を進める必要がある。特に、劣化した環境 DNA を効率よく検出できるように、SNP 遺伝子座を含むできるだけ短い領域をターゲットとした PCR 系を開発することが重要である。また、DNA 濃度の薄い環境水をいかに効率よく濃縮するかについても検討が必要だと思われる。SNP マーカーは、ゲノム上におけるその数の多さだけではなく、ターゲット配列を短く設定できる可能性を持つため、環境 DNA 研究における重要なマーカーへと発展することが期待される。

#### 参考文献

- 1) Minamoto *et al.* 2012. *Limnology* 13:193-197
- 2) Jerde *et al.* 2011. *Conservation Letters* 4: 150-157
- 3) Takahara *et al.* 2013. *PLOS ONE* 8: e56584
- 4) Fukumoto *et al.* 2015 *Journal of Applied Ecology* 52: 358-365
- 5) Mabuchi *et al.* 2008 *Molecular Ecology* 17: 796-809
- 6) Mabuchi *et al.* 2012 *Conservation Genetic Resources* 4: 649

\*坂田 雅之（神戸大・発達），山本 哲史（神戸大・発達）  
宮 正樹（千葉県立中央博物館），源 利文（神戸大・発達）

## 1. はじめに

地球上には多くの生物種が知られており、生態系の中で人間は多様な生物種と共存しているが、近年生物多様性の減少が大きな問題となっている。日本では特に陸水生態系、沿岸・海洋生態系における生物多様性の損失が大きく、急速に変化しつつある生態系の迅速な多様性評価が求められている。そこで、近年、従来の目視や捕獲法に比べて低コストかつ簡便な水域の生物多様性評価手法として環境 DNA 法の有用性が議論されている。一般的に、環境 DNA 法では調査地で採水し、水サンプルから生物情報を得るが、堆積物サンプルから生物情報を得ることができるという報告もある。水中の堆積物については、水中やその周辺環境の生態系の情報を蓄積していることや、水中に存在している環境 DNA 分子はそのほとんどが沈殿することなどが報告されている。そのため、堆積物から環境 DNA を検出することは、水中からの検出とは異なる量および質の生物情報を得ることができる期待される。しかし、堆積物由来の環境 DNA に関しては、先行研究がほとんどなく、基礎的情報の蓄積が必要である。

本研究では、水中と堆積物中の環境 DNA を比較することで堆積物環境 DNA 法の基本的情報の増加を主な目的とし、まず、堆積物サンプルと水サンプルから環境 DNA を検出し、DNA 残存時間の比較を行った。次に、自然湖沼において水中と堆積物中の環境 DNA を用いて魚類メタバーコーディングを行った。

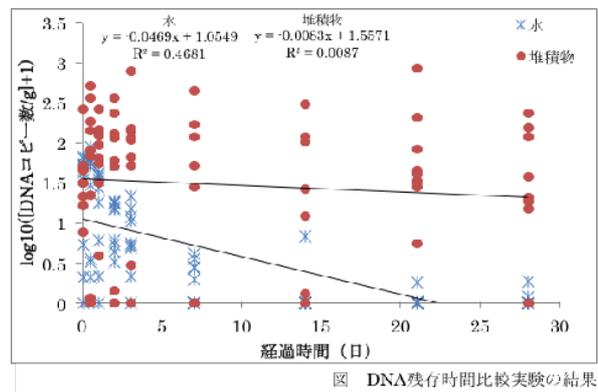
## 2. 方法

神戸大学発達科学部構内の野外ビオトープから水と堆積物を採取し、実験開始後最大 28 日まで室温で遮光して静置した。コイ科の魚種であるカワバタモロコ (*Hemigrammocypripis rasborella*) を対象に水と堆積物中における DNA コピー数の推移を調べるため、各時間点で DNA を抽出し、リアルタイム PCR で DNA 量の定量を行い各サンプルの回帰直線を得た。

その後、統計解析ソフト R を用いて一元配置分散分析で直線の傾きを比較した。次に琵琶湖の内湖である伊庭内湖の 4 地点で水と堆積物を採取し、それぞれから DNA を抽出し魚類ユニバーサルプライマー《MiFish プライマー (Miya *et al.* 2015)》を用いた環境 DNA のメタバーコーディングを行った。

## 3. 結果

実験の結果、堆積物中の DNA 分解速度は水中のそれよりも遅かった (図)。また、単位 g あたりでは水サンプルより堆積物サンプルの方が多くの DNA コピー数を含んでいた。環境 DNA メタバーコーディングでは、水と堆積物で種数・組成ともに異なるという結果を得た。



## 4. 考察

本研究の結果、堆積物中の方が水中より DNA 残存時間が長いということがわかった。これは、堆積物中の DNA は水中の DNA よりも分解されにくいためと考えられる。このように、堆積物では DNA 残存時間が長い場合、過去の生物相を復元することが出来る可能性がある。本研究により、堆積物環境 DNA についてのコピー数以外の情報も得たことは環境 DNA 法における大きな前進であると言える。また、水域の生物多様性を知る上でも新たな手法として前進したと言える。

\*源利文 (神戸大院・発達)

### 1. はじめに

環境 DNA 分析は、環境中に存在する DNA 断片の情報から生物の生息情報を得ようとする分析手法であり、特に水中の DNA 情報からマクロ生物の生息情報を得る手法（狭義の環境 DNA 分析手法、以下これを環境 DNA 分析と呼ぶ）が近年大きく発展している。環境 DNA 分析では池や湖といった陸水の止水域における研究が先行したが、近年では河川や海域など水の動きの大きな水域においても適用可能であることが示されており、応用可能性が広がっている。環境 DNA 分析は大きなコストや時間を要する従来の生物調査を補完することができること期待されている。本発表では、現時点における環境 DNA 分析手法でできることを、最新の知見を紹介しながらまとめたうえで、今後の課題となりうることについて議論する。

### 2. 種特異的な環境 DNA 分析

環境 DNA 分析には大きく分けてふたつの手法がある。ひとつ目は、ある特定の対象種の DNA を特異的に検出あるいは定量する、種特異的な分析手法である。この手法では、様々な生物の DNA が混ざりあって存在するバルクの環境 DNA から特定の対象種の特定の遺伝子領域のみを PCR 法により増幅することで、対象種の DNA を検出しようとする。本課題講演でもイタセンパラ、ミシシippアカミガメ、ハコネサンショウウオ、オオサンショウウオなどの検出が報告される予定である。このような検出手法の応用として、リアルタイム PCR やデジタル PCR を用いて DNA 定量を行うことで生物量を把握しようとする取り組みや、マルチプレックス PCR によって複数の対象種を同時に検出するような取り組みや、SNP の検出によって種内のアレル頻度を求める手法などが提案されている。このような種特異的な検出の対象は様々なセキツイ動物のみならず、甲殻類や水生植物など多くのマクロ生物種に適用可

能であることがすでに報告されており、あらゆるマクロ生物種に適用可能であると考えられる。

### 3. 環境 DNA メタバーコーディング

環境 DNA 分析のもうひとつの戦略が環境 DNA メタバーコーディングである。メタバーコーディングとは、DNA 配列から種の同定を行ういわゆる「バーコーディング」をバルク DNA サンプルに対してあてはめる手法であり、ある分類群に属する生物種の環境 DNA をまとめて解析することが可能である。具体的には対象とする分類群に共通する領域をプライマーとして PCR 増幅した増幅産物を、次世代シーケンシングなどの技術を用いて解析するのである。今回の課題講演では魚類および小型サンショウウオ類のメタバーコーディングが紹介される。メタバーコーディングは生物種の存在を明らかにするための、ある意味で究極の環境 DNA 分析であるといえ、現時点では魚類を対象とした分析手法が先行して開発されているが、今後様々な分類群に適用可能なプライマーの開発が進むだろう。

### 4. 環境 DNA 分析の課題

従来の生物相調査に対して大きなアドバンテージを持つ環境 DNA 分析であるが、現状ではいくつかの課題がある。最大の課題は環境 DNA の反映する時空間的な範囲が明らかでないことである。つまり、環境 DNA から生息が推定される生物種が、いつそこにいたのか、あるいはサンプル採取地点からどれくらいの距離のところに生息しているのか、といった範囲を知ることは困難である。また、DNA の情報のみを用いることから、個体のサイズや生死がわからない点や、データベースに登録されていない種についてはそもそも解析できない点も課題である。本発表ではこのような現時点で環境 DNA 分析がもつ課題について参加者らと共有し、解決するための戦略について議論したい。

## 課題講演 3 :

# 河川内プロセスによる生元素の生物地球化学的 循環と下流・沿岸域への輸送動態

コンビーナ

岩田智也 (山梨大学生命環境学部)

中野大助 (電力中央研究所)

河川は陸域から沿岸域への物質輸送の導管として機能するだけでなく、生物代謝や堆積物との相互作用を通じて生元素を取り込む働きをもつ。水中から取り込まれた生元素の一部は生物群集や堆積物中に保持・隔離され、あるいは食物網中を上位栄養段階へと転送されていき、再び分解されて水中へと回帰する。このように取り込みと放出を繰り返しながら生元素が流下していく過程は、栄養元素のスパイラルと呼ばれている。この河川内プロセスによる有機物生産や栄養塩除去、炭素隔離、食物網への栄養転送は河川の生物多様性を支える基盤となるだけでなく、下流河川や湖沼および沿岸域への生元素フラックスを調節する役割をも果たしていると言われている。しかしながら、河川内プロセスによる生元素の生物地球化学的循環を評価した研究は国内では少なく、水系ネットワークが有する生態系機能を十分には把握できていないのが現状である。本課題講演では、国内河川を対象に生態系代謝や非生物過程によって駆動する炭素、窒素、リンなどの生元素動態（流出、同化、吸着、沈殿、堆積、変換、異化、排出、分解など）に関する研究成果を講演し、国内河川の物質代謝機能について情報交換を行う。さらに、それらの成果を統合しながら河川が陸一川一海結合システムの物質循環に果たす役割について考察したい。

## 循環と下流・沿岸域への輸送動態

\*岩田智也（山梨大・生命環境）・中野大助（電中研）

### 1. はじめに

河川は陸域から沿岸域への物質輸送の導管として機能するだけでなく、生物代謝や堆積物との相互作用を通じて生元素を取り込む働きをもつ。水中から取り込まれた生元素の一部は生物群集や堆積物中に保持・隔離され、あるいは食物網中を上位栄養段階へと転送されていき、再び分解されて水中へと回帰する。このように取り込みと放出を繰り返しながら生元素が流下していく過程は、栄養元素のスパイラルと呼ばれている。この河川内プロセスによる有機物生産や栄養塩除去、炭素隔離、食物網への栄養転送は河川の生物多様性を支える基盤となるだけでなく、下流河川や湖沼および沿岸域への生元素フラックスを調節する役割をも果たしていると言われている。しかしながら、河川内プロセスによる生元素の生物地球化学的循環を評価した研究は国内では少なく、水系ネットワークが有する生態系機能を十分には把握できていないのが現状である。

本講演では、まず国内外における河川の生元素動態に関する研究事例を紹介し、河川の炭素、窒素、リン輸送における河川内プロセスの重要性に関する知見を整理する。次いで、山梨県富士川水系を中心に演者が実施してきた研究を紹介し河川の生元素取り込み機能の推定結果を報告するとともに、スパイラルメトリクスの計算結果をもとに水系ネットワークにおける栄養塩輸送動態の特性について海外河川と対比させながら考察を行う。最後に、本課題講演の講演内容を簡単に紹介しながら、国内河川における生態系代謝や非生物過程によって駆動する炭素、窒素、リンなどの生元素動態（流出、同化、吸着、沈殿、堆積、変換、異化、排出、分解など）に関する研究の現状と課題について議論する。

### 2. 課題講演の概要

本課題講演では、まず S3-1 で河川内プロセスによる物質代謝の測定手法と先行研究事例についてレビューを

行い、これまでに明らかとなっている水系の炭素、窒素およびリンに関する生物地球化学的循環パターンについて解説する。また、水系ネットワークによる物質輸送の調節機能に関する推計結果をもとに、国内河川における生元素の生物地球化学的循環の特徴を浮き彫りにする。次に、S3-2 および S3-3 において、陸域からのリンの流出と河川内での輸送に関する研究成果の紹介があり、とくに逐次抽出やリン酸酸素同位体を用いた水系を流下するリンの起源と生物による変換過程に関する議論を行う。S3-4 では、河川の生元素循環において重要な役割を果たすバイオフィルムの微生物群集に関する発表があり、群集構造の流域内変異とその決定要因に関する考察を行う。S3-5 および S3-6 では、河川の生態系代謝による炭素、窒素、リンの取り込み速度の推定について報告がなされる。とくに、S3-5 では国内では研究例の少ないマスバランスを用いた河川の一次生産と呼吸の推定手法について、S3-6 ではドリフト法を用いた栄養塩スパイラルメトリクスの推定について発表があり、国内の河川中下流域における生元素動態に関する知見を集約する。最後に、S3-7 と S3-8 では、集水域の上流プロセスがダム湖に及ぼす下流インパクトについて、また集水域の最下流端である沿岸生態系へのシリカ輸送とその波及効果について、それぞれ最新の知見について発表がある。

### 3. 今後の課題

このように、本課題講演では上流から沿岸域に至る生元素動態を網羅的に紹介し、河川が物質の輸送系ではなく、回転の場として機能していることを明らかにする。さらに、S3-9 でセッションの総括と今後の展望に関する議論を行い、国内河川の物質代謝機能について情報交換を行う。以上の成果を統合しながら河川が陸-川-海結合システムにおける生元素の生物地球化学的循環に果たす役割について考察したい。

\*尾坂兼一 (滋賀県立大・環境科学), 千代真照 (滋賀県立大・環境科学)  
岩田智也 (山梨大・生命環境), 奥田昇 (地球研)

## 1. はじめに

一般的に水域生態系の藻類はリン源として溶存態のオルトリン酸や有機態リンを利用していることが知られているが、近年、懸濁態リンの一部も自然環境下で可溶化し、藻類に利用可能であることが報告されている。これら生物利用可能と考えられる懸濁態リンは河床堆積物、湖底堆積物、沿岸海洋堆積物中の懸濁態リンの主要な形態であることが報告されており、水域生態系において懸濁態リンを介したリン供給の重要性が示唆されている。一方で集水域から河川を通じて下流域の湖沼や沿岸海域に流出するリンの形態はほとんどが懸濁態であることが報告されているが、その懸濁態リンの生物利用性や流出動態などは十分に明らかになっていない。そこで、本研究では琵琶湖流域の最大流入河川である野洲川において平水時と降雨時に河川水中の懸濁態リンを採取し、逐次抽出法を用いてその形態を明らかにすることにより、集水域から下流域に流出する懸濁態リンの組成や動態を明らかにすることを目的とした。

## 2. 方法

河川水の採取は野洲川本流の4地点(st2、st3、st4、st5)と野洲川支流の杣川の1地点(st1)において、2014年4月20日から2015年5月18日の期間行った。代掻き期間中は1-2週間の間隔、それ以外は1-2か月の間隔で採水した。また野洲川本流下流部のst5では2014年5月、7月、2016年8月の計3回、野洲川上流部の油日森林流域では2014年7月と2016年8月の計2回、降雨時の採水を行った。また、2015年5-7月の期間に月1回、野洲川集水域内の水田からの流出水を採水した。

採取した試料水は孔径  $0.45 \mu\text{m}$  のセルロースアセテートフィルターでろ過を行い、フィルター上の懸濁物について  $1\text{M NH}_4\text{Cl}$ 、 $0.11\text{M}$  亜ジチオン酸塩 (BD)、 $1\text{M NaOH}$ 、 $0.5\text{M HCl}$  を用いて逐次抽出を行い、モリブデンブルー法で溶存反応性リン (SRP) および非反応性リン (RP) を測定した。また、逐次抽出とは別に試料水の懸濁態リン (PP)、溶存態リン (DP)、SRP の測定を行った。

## 3. 結果と考察

図に野洲川・杣川における懸濁態リンの各形態の平均値を示す。本研究地における懸濁態リンの逐次抽出を行ったところ、採水地点、時期、平水時・降雨時に関わらず BD-SRP 態の懸濁態リンが最も大きな割合を占めていた。BD-SRP 態の懸濁態リンは還元的環境で SRP を放出する形態の懸濁態リンであり、河床や湖底などに堆積し、還元的な環境になると SRP を放出すると考えられる。また、 $\text{NH}_4\text{Cl-SRP}$  は粒子に弱く吸着した SRP と考えられるため、BD-SRP と  $\text{NH}_4\text{Cl-SRP}$  を生物利用可能な懸濁態リンとみなす。これら生物利用可能なリンの合計は、野洲川本流中下流部(st3、4、5)を流下する懸濁態リンの  $33.6 \pm 10.1\%$  を占めると推定され、懸濁態リンが下流域の生物にとっての重要なリンの供給源となっていることが示唆される。

また、懸濁態リン中の BD-SRP の割合は野洲川支流の杣川(st.1)で最も高かった。野洲川上流部 (st2) の油日森林流域において降雨時に流出する懸濁態リンは  $\text{NaOH-NRP}$ 、 $\text{NaOH-SRP}$  態の割合が高く、BD-SRP 態の割合は相対的に低かった。一方、水田排水中の懸濁態リンに含まれる BD-SRP 態の割合は  $48.7 \pm 17.5\%$  であった。st.1~5 における集水域の水田面積割合はそれぞれ 29.7、13.7、21.0、21.8、21.6% であり、水田面積割合が高い集水域で BD-SRP 態の割合が高くなる傾向が認められた。河川を流下する生物に利用可能な BD-SRP 態リンの供給源として水田排水が重要であることが示唆される。

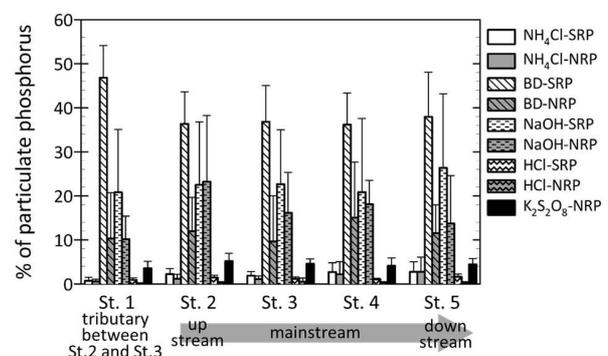


図. 野洲川における平水時の各懸濁態リンの空間分布

## リン酸酸素同位体比分布は何を示すか？

\*石田卓也<sup>1</sup>、上原佳敏<sup>1</sup>、岩田智也<sup>2</sup>、Osbert Leo A. Privaldos<sup>3</sup>、浅野悟史<sup>1</sup>、  
池谷透<sup>1</sup>、尾坂兼一<sup>4</sup>、井手淳一郎<sup>5</sup>、陀安一郎<sup>1</sup>、奥田昇<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>地球研、<sup>2</sup>山梨大・生命、<sup>3</sup>LLDA、<sup>4</sup>滋賀県大・環境、<sup>5</sup>九州大・決断セ

## 1. はじめに

河川におけるリン、生物生産の主な制限要因の一つであり、その循環は適切な土地管理や自然システムの理解において非常に重要である。近年、リン循環を解明するためのツールとして、リン酸酸素同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ ) が用いられ始めている。リンに安定同位体は1種類しか存在しないが、リンの主要形態であるリン酸に含まれる酸素には3種類の安定同位体が存在する。その酸素同位体比によって、各リン起源、生物によるリン代謝、形態変化を評価できる可能性が指摘されている。しかし、一般にリン酸イオン濃度が低い陸水の  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$  を分析するためには、数Lから数十Lの試料、さらに陸域由来の夾雑物（溶存有機物や金属元素）の除去が必要となり、それらには多大な労力と困難さが伴う。そのため、流域スケールで  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$  値の空間分布を明らかにした研究例は存在しておらず、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$  が流域スケールにおけるリン循環の解明に対して有用かどうかは明らかではない。

そこで本研究では、流域スケールにおける  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$  分布を示し、分布パターンと環境因子（リン起源、土地利用、河川の物理的特性）との関係について検討した。

## 2. 材料と方法

調査は琵琶湖への流入河川である野洲川水系（右図）で行った。流域面積は387 km<sup>2</sup>で、主な土地利用として上流部の森林域からはじまり、中流部に農地、下流部には都市域が存在している。

2016年5月に支流を含め30地点から河川水を採水した。また河川へのリン起源として、流域内の基岩（花崗岩、堆積岩）、森林・農地土壌、滋賀県内で主に使用されている化学肥料、農業集落排水の処理水を採取し、河川水とともに  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$  分析に供した。分析は、従来のマグネシウム誘導共沈法

を利用した方法に、固相抽出法による溶存有機物の除去を組み合わせるリン酸銀を精製し、熱分解型元素分析計/質量分析計によって  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$  値を測定した。また河川水試料において、生物代謝起源の  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$  値を推定するため、水の酸素同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}_w$ ) を測定した。生物代謝起源の  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$  は、以下の式(Longinelli and Nuti, 1973)より求めた。

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4 \text{ 生物}} = \delta^{18}\text{O}_w - t / 4.3 + 25.9$$

$\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4 \text{ 生物}}$  は生物代謝起源の  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 、  
 $t$  は水温(°C)

## 3. 結果と考察

本発表では、支流を含めた河川30地点の  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$  と流域内の各起源中  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 、土地利用、各地点の物理的特性（流速や流域面積）との関係を示し、多くのリン起源が含まれる流域において  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$  から何を読み取れるかについて考察する。

引用

Longinelli, A. and Nuti, S. (1973): Earth and Planetary Science Letters, 19: 373-376.

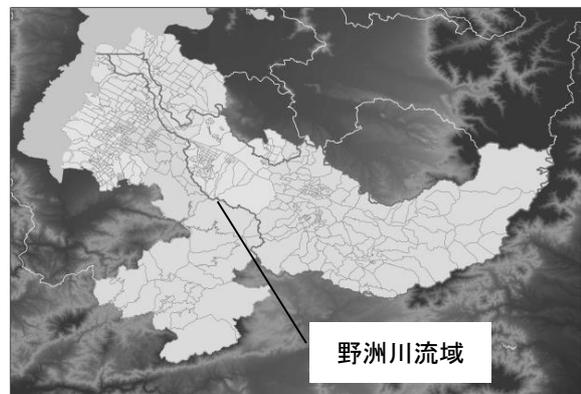


図 野洲川流域（琵琶湖南東部）。流域内・周辺の塗りつぶしは関係する市の領域を示す。

S3-4

Web 公開不希望

S3-5

Web 公開不希望

\*池田勇太（山梨大学）・岩田智也（山梨大学）

## 1. はじめに

人為起源の窒素やリンなどの栄養塩の過剰な流出が、湖沼や内湾などの閉鎖性水域において富栄養化を引き起こしている。そのため、栄養塩の輸送経路となる河川内の栄養塩動態の解明が、下流域への栄養塩負荷の予測で重要になる。

河川内の栄養塩動態は、河床面積当たりの栄養塩取り込み速度  $U$  ( $\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )、水柱から河床方向への栄養塩原子の鉛直移動速度  $v_f$  ( $\text{cm/s}$ )、栄養塩原子が河床に到達するまでの平均流下距離  $S_w$  ( $\text{m}$ ) の3つのスパイラルメトリクスにより記述することができる。これらの指標はトレーサー法による推定が一般的であるが、大河川では膨大な量のトレーサーが必要となるため、スパイラルメトリクスが測定された例はほとんどない。そのため、大河川が下流や沿岸域への栄養塩輸送に及ぼす影響は明らかになっていない。

そこで本研究では、観測者が河川を流下しながら栄養塩濃度の変化を測定するドリフト法を用いて、大河川でのスパイラルメトリクスの推定を目的とする。さらに、季節的にスパイラルメトリクスの推定を行うことで、河川の物理環境や栄養塩濃度が大河川の栄養塩動態に及ぼす影響を明らかにする。

## 2. 材料と方法

調査は、山梨県富士川において2015年5～12月に計6回行った。富士橋上流から月見橋の計6.6km区間（流量  $37\text{--}53 \text{ m}^3/\text{s}$ ）を調査区間とし、ゴムボートで流下しながら177-466 m間隔で連続的に採水するラグランジュ型サンプリングを行なった。また、採水と同時に物理化学環境（水温、光、水深、川幅）の計測を行った。河川水は実験室に持ち帰り、 $\text{NH}_4$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{NO}_3$ および $\text{PO}_4$ 濃度の測定を行なった。

河川内の栄養塩濃度の流程変化を一次反応と仮定し、栄養塩濃度の自然対数値と流下距離の関係から取り込み速度定数  $k$  ( $\text{m}^{-1}$ ) を算出した。次いで、 $k$ の推定値から平均取り込み距離  $S_w$  ( $=1/k$ )、さらに鉛直移動速度  $v_f$  ( $v_f = v h / S_w$ ; 流速  $v$ , 水深  $h$ ) と取り込み速度  $U$  ( $U = v_f C$ ; 栄養塩濃度  $C$ ) を推定した。

## 3. 結果と考察

各栄養塩の取り込み速度  $U$  や環境変数の相関分析を行った結果、 $U_{\text{NH}_4}$ の高い調査区間または季節において  $U_{\text{NO}_2}$ が負の低い値を示し、 $\text{NH}_4$ の取り込みとともに  $\text{NO}_2$ が河床から放出されていることが明らかとなった。さらに、 $U_{\text{NO}_2}$ と  $U_{\text{NO}_3}$ は強い正の相関関係を示したことから、 $\text{NH}_4$ の消費の高い調査区間では  $\text{NO}_2$ だけでなく  $\text{NO}_3$ の放出も生じていることが示唆された。この結果から、調査区間では硝化が活発であると考えられた。また、 $U_{\text{NH}_4}$ は  $\text{NH}_4$ と正の相関を示したことから、富士川本流の窒素動態には高い  $\text{NH}_4$ 濃度による活発な硝化が強く関係していると考えられた。リン酸の取り込み速度 ( $U_{\text{PO}_4}$ ) は、水深や流量と負の相関を示し、水深の浅い区間で高くなる傾向が認められた。このことから、リン酸の動態には光独立栄養生物による取り込みの寄与が高い可能性が考えられた。

海外の5次河川におけるスパイラルメトリクスの推定結果と比較したところ、 $U_{\text{NH}_4}$ は本研究の推定結果が高かった。本研究の推定値が純取り込み速度であることを考慮すると、総取り込み速度はさらに海外河川を上回ることを示している。また、 $\text{NO}_2$ や  $\text{NO}_3$ では水柱への放出がみられた点が先行研究と大きく異なっていた。河床からの  $\text{NO}_2$ や  $\text{NO}_3$ の負荷は、富士川本流で硝化活性の寄与が大きいことが原因であると考えられた。

本研究の結果から、富士川本流の溶存態無機窒素の動態には硝化が強い影響を及ぼすことが示された。また、 $\text{NH}_4$ や  $\text{PO}_4$ の取り込み速度は水深や流量と負の相関が見られ、水深が浅く、流量が少ない時に取り込みが多くなる傾向が示された。この結果から、大規模な出水による流量や水深の増加は  $\text{NH}_4$ や  $\text{PO}_4$ の取り込みを低下させる可能性があることが明らかとなった。

現在、関東・中部地域の複数の大河川においてドリフト調査を行っており、発表ではその成果についても紹介する予定である。

\*占部城太郎\* (東北大生命)・高野宏平 (森林総研)

一柳英隆(水源地環境センター)

### 1. はじめに

藻類の現存量や種組成は湖沼や河川の生態系サービス、特に利水面での水質を決める重要な要素である。したがって、温暖化など、将来の環境変化に対する湖沼の藻類群集の応答を把握することは、生態系サービスを維持し活用していく上で極めて重要である。これまでの研究によれば、温暖化は藻類群集に対して温度上昇の直接的な影響だけでなく、降水量や季節性の変化などを通じて間接的にも影響を及ぼし、またその影響の大きさは栄養環境や食物網構造によっても異なることが指摘されている。このように、藻類群集への温暖化影響は直接的及び間接的に多くの要因が関与すると考えられているが、その複雑性故に藻類群集の温暖化に対する一般的な応答はよく分っていない。

多くの要因が複雑に関与する現象について一般的な傾向を導く方法の1つは、経験的解析(Empirical analysis)であろう。幸いなことに、日本は南北に長く、年平均気温は例えば九州と北海道では摂氏10度以上の差がある。もし、温暖化が藻類現存量に影響を及ぼすのであれば、藻類現存量には南北もしくは緯度標高に沿った一般的な傾向がみられるはずである。本研究は、この可能性を、1990年代から4回の水辺の国勢調査で蓄積されているダム湖のデータを用いて検証した。

### 2. 方法

解析は、九州から北海道に点在する94のダム湖を対象に行った。解析にあたっては、直接的な説明変数として温度要因の他に、全リン(TP)及び集水域の被覆土地利用(LCU)を間接的な説明変数として用いた。藻類現存量は、ダム湖のダムサイト又は湖心部の表層で記録されたクロフィル a 量の4-11月の平均値を用いて評価した。TPについてはChl-aと同時に記録された値(4-11月)の平均値を用いた。

温度変数には、冬期結氷期の影響を排除するため、各ダム湖の位置情報から算出した暖かさの指数を用いた。各ダム湖集水域のLCUについては、まず9区分に分けて主成分分析を行い、その第1～3主成分を解析に用いた。Chl-a量に対する暖かさの直接的及び間接的影響は、共分散構造分析により評価した。

### 4. 結果と考察

水辺の国勢調査ごとに解析を行ったところ、いずれの回でもChl-a量は暖かさの指数と有意な相関がみられ、暖かい地域ほど指数関数的にChl-a量は大きくなることが分った。しかし、TPやLUCを間接要因として含めた共分散構造分析を行ったところ(図1)、暖かさは被覆土地利用、特に農地や宅地の面積及び一部の植生分布を通じてChl-a量に影響を及ぼしており、これら間接的な影響を排除すると、暖かさのChl-a量への直接的な影響は小さくなった。ダム湖のChl-a量に対する温度影響は、集水域の被覆土地利用の影響に比べると遥かに小さく、集水域の被覆土地利用に変化がなければ、藻類現存量への温暖化影響は軽微であること、温暖化に対する集水域での順応策が、ダム湖の水質維持にきわめて重要な影響を及ぼすことが示唆された。

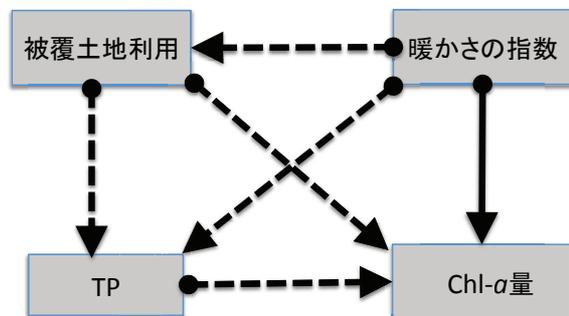


図1 ダム湖 Chl-a 量に対する温度要因の直接(実線)及び間接効果(点線)の解析スキーム

## シリカの大量消失：逆問題による推定

吉山浩平（滋賀県立大学・環境）

## 1. はじめに

デラウェア河口域（図 1）は、アメリカ東海岸に位置し、全米人口の約 10% に飲用水を供給する貴重な水源である。全長 215 km のうち、河川部はフィラデルフィアなどの大都市にから強い影響を受ける一方、河口部は未開発の湿原に囲まれ、渡り鳥やカプトガニなど希少生物の生息地である。

河口域における物質循環は、さまざまな起源の流入が物理・化学・生物作用を受け複雑な様相を示す。本研究では、デラウェア河口域における窒素、リン、シリカの見かけ上の取り込みを逆問題の方法により推定し、 $^{14}\text{C}$  法で推定された一次生産との比較を行った。

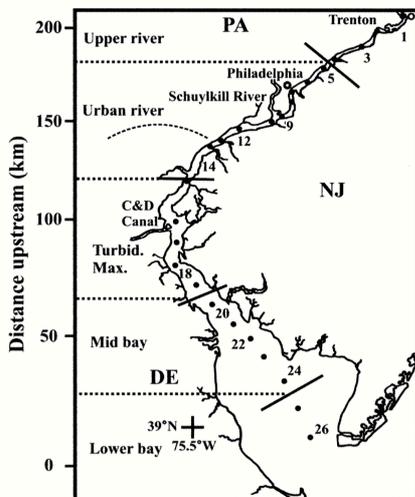


図 1 デラウェア河口域および採水地点 1-26

## 2. 材料と方法

本研究では 1986 年 7 月から 1988 年 9 月の間に得られた無機体窒素 (DIN), 無機体リン (DIP), 溶存態シリカ (DSi), および  $^{14}\text{C}$  法で測定された一次生産の値を用いた。採水は 26 地点で期間中に 19 回行われた (図 1)。これらの値から、内挿により河口よ

り 10~210km までの間で 5km ごとの値を準備した。

栄養塩 (DIN, DIP, DSi) の見かけ上の取り込み速度を得るために、以下のモデルを用いた。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{A(x)} \frac{\partial}{\partial x} \left[ -R(t, x)C + A(x)K(t, x) \frac{\partial C}{\partial x} \right] - U,$$

ここで、 $t$  は時間 (day),  $x$  は河口からの距離 (m),  $A(x)$  は河川断面積 ( $\text{m}^2$ ),  $R(t, x)$  は時間  $t$ , 距離  $x$  における流量 ( $\text{m}^3/\text{day}$ ),  $K(t, x)$  は水平方向の拡散係数 ( $\text{m}^2/\text{day}$ ),  $U$  は見かけ上の取り込み量 ( $\text{mmol}/\text{m}^3 = \mu\text{mol}/\text{L}$ ) である。 $A(x)$  には実際の地形データを用いた。 $R(t, x)$  には上流部での実測データに支流からの流量で重み付けしたものを用いた。 $K(t, x)$  は塩分濃度を保存量と仮定して推定した。上記モデルを各調査で得られた栄養塩濃度を初期値として計算し、次の調査での栄養塩濃度が実現されるような見かけ上の取り込み量  $U$  を Mathematica の FindMinimum 関数を用いて推定した。

各栄養塩に関して、それぞれの地点と期間で得られた見かけ上の取り込み量と対応する一次生産を珪藻の標準的なストイキオメトリー ( $\text{C:N:P:Si} = 106:16:1:16$ ) と比較した。

## 3. 結果と考察

DIN と DSi に対しては、39 地点での誤差の二乗平均平方根が  $0.002 \mu\text{mol}/\text{L}$ , DIP に対しては  $0.0002 \mu\text{mol}/\text{L}$  に収まる範囲で、見かけ上の取り込みが得られた。DSi に関しては、特に夏期上流部で非常に高い取り込みの値 ( $\sim 30 \mu\text{mol}/\text{L}/\text{day}$ ) が得られ、対応する一次生産量 ( $20 \sim 40 \mu\text{mol}/\text{L}/\text{day}$ ) から想定される値を大きく上回った。この結果より、デラウェア河口域上流部における DSi の変動に、付着珪藻が大きく寄与し、河川から河口～沿岸域へのシリカ供給に大きな影響を与えている可能性が示唆された。

S3-9

Web 公開不希望

## 課題講演(Special Session) 4 :

### **Internationalizing Limnology**

Convener

**Jay Piggott** (University of Otago, Dunedin, New Zealand)

**Nisikawa Usio** (Kanazawa University, Kanazawa, Japan)

This session aims to provide a platform for Japanese and non-Japanese limnologists to present their research in English to enhance international impact and foster international collaboration. Studies in any field of limnological sciences will be welcome as long as they are presented in English. At the end of the organised session, we are planning to discuss the possibility of proposing a special feature for Limnology.

## Multiple Stressors in Agricultural Streams: lessons from Europe and New Zealand and their implications for Japan.

\*Piggott J. (Univ. of Otago), Matthaei C. (Univ. of Otago)  
Leese F. (Univ. of Duisburg-Essen, Germany.), Townsend C. (Univ. of Otago)

### 1. Abstract

Over the past 50 years, land-use change to agriculture has been, and continues to be, the dominant driver of biological change in both terrestrial and freshwater ecosystems worldwide. Agricultural stressors seldom operate in isolation, and their impacts on stream ecosystems generally reflect an integrated response to multiple stressors.

In Japan, the recent signing of the Trans-Pacific Partnership free trade agreement has been accompanied by the ambitious aim of increasing Japan's agricultural rice production by more than six times to 10,000 tons over the next three years. The ecological consequences for Japan's freshwater biodiversity from this magnitude of intensification is complicated by the multiple interacting stressors that may accompany such intensification. A key challenge for Japan's freshwater management is to identify and mitigate stressors of greatest concern so as to minimize impacts, however knowledge of this is currently lacking.

Over the past decade a substantial body of research in New Zealand, and more recently in Europe, has focused on disentangling multiple-stressor impacts in agricultural streams, combining 'natural' field experiments with manipulative experiments performed at a range of scales, from whole streams, through stream-side channels to small mesocosms. This presentation will present an overview of this research and discuss its potential implications for the conservation and management of Japan's freshwater biodiversity and future research directions.

## Towards an understanding of “Legacy P” dynamics: characterization and quantification of P forms in stream sediments influenced by agricultural practices

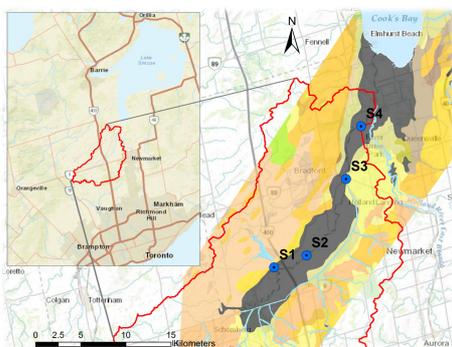
\*Yuki Audette, Ivan P. O’Halloran, Peter M. Nowell, Lance A. Ouellette and R. Paul Voroney (School of Environmental Sciences, University of Guelph, Ontario Canada)

### 1. Introduction

One of the difficult aspects of assessing the effects of agricultural phosphorus (P) best management practices (P-BMPs) is the lag experienced between the initiation of changes in P fertility management and the ecosystem response to reduced P loads. This delay has been attributed to the formation and dynamics of legacy P, the internal loading of P in stream and lake sediments. Understanding P dynamics in stream sediments is important for establishing effective P-BMP for restricted legacy P accumulation in these disparate ecosystems. The P load entering Lake Simcoe, Ontario, Canada has been estimated at 77 tonnes P year<sup>-1</sup>. Of the 21 subwatersheds draining into Lake Simcoe, the West Holland subwatershed contributes the most, ~14.5 tonnes P year<sup>-1</sup>. The objective of the study was to chemically characterize the P forms contributing to legacy P in stream sediments located along the West Holland subwatershed included sediments in the agriculturally-impacted West Holland River.

### 2. Materials and Methods

Water samples at four study sites (Fig. 1) were collected monthly from October 2015. Sediment core samples were collected in November 2015 at the same locations.



**Figure 1.** Location of the four study sites (S1 to S4) and the Holland Marsh in southern Ontario, Canada. Dark color indicates muck soils

Sediment samples were analyzed for mineralogy (X-ray diffraction), cation exchange capacity and organic matter content. Forms of sediment-P in five depth sections (total depth 0-15 cm) were characterized and quantified by sequential P fractionation and solution <sup>31</sup>P NMR spectroscopy techniques.

### 3. Results

The dominant bedrock material in the study area was calcite and the major sediment-P at sites with low risk of releasing P was stable Ca bound P. In contrast, the major form of sediment-P at sites of high risk of P release was redox sensitive P, this was despite pore- and surface waters having higher concentrations of Ca with alkaline pH. Sites of high risk of P release had high organic matter contents, suggesting formation of complexes with Fe (OM-Fe) that adsorb P. Accumulation of loosely bound P, redox sensitive P, pyro P and ortho P diesters (organic P) in the surface sediments was also noted.

### 4. Conclusion

Agricultural practices involving application of inorganic P fertilizers resulted in increased loosely bound inorganic P forms in nearby stream sediments. Organic P accounted for a higher proportion of total P in surface sediment than that in deep sediment suggesting that bioavailable forms of inorganic P entering water bodies are immobilized or taken up by phytoplankton or bacteria upon entering the water column, and are then returned to sediments as decaying biomass. This study also showed that the formation of OM-Fe complexes in sediments could prevent P from forming stable Ca-P minerals even under neutral/alkaline conditions. Ongoing research will examine the temporal and spatial distribution of sediment-P forms and their transformations within aquatic environments.

## Rice fields as a habitat for the small-clawed otter (*Aonyx cinereus*)

\*Aadreaan (Kanazawa University)

Nisikawa Usio (Kanazawa University)

### 1. Introduction: Rice fields as wetlands

Rice fields are one of the important arable lands in the world and the largest single use of land for producing food. Rice field habitats, together with their surrounding land use, is a home for rich wildlife, including both aquatic and terrestrial species. Although rice fields are maintained by humans, they provide valuable habitats for endangered species including otters.

### 2. Otters as the wetland's top predator

Otters occupy the highest trophic level in a food web. As the top predator in wetlands, otters are very important in maintaining the balance of ecosystems. Otter can control invasive species such as fishes, crabs and snails. Otter can also play significant roles in nutrient cycling between aquatic and terrestrial habitats. Otter can also function as indicators of wetland health. When DDT pesticide was used intensively in Europe and North America, most otters nearly disappeared in these regions.

### 3. Otters in rice field landscapes

Two species of otters inhabit rice fields in South-East Asia; the small-clawed otter (*Aonyx cinereus*) and smooth-coated otter (*Lutrogale perspicillata*). Small-clawed otters seem to be more adapted to rice field habitats. While smooth-coated otters use irrigation channels as foraging habitats for fish, small-clawed otters prefer ditches and mudflats adjacent to rice fields to search for various prey species.

Small-clawed otters in rice fields show different diets compared with those inhabiting natural wetlands; in rice field otters forage on fish and invasive golden-apple snails (*Pomacea canaliculata*) while in natural wetlands they forage on crabs.

Small-clawed otters use rice field landscapes as latrine sites. They leave scats along levees, in ditches, near rice field huts, on bridges, and in tree patches. The visitation of otters to their latrine sites seems to be associated with

the landscape components of rice fields. Based on our field surveys along Batang Anai River in West Sumatra, Indonesia, medium numbers of rice field huts was the single most important factor in determining the occurrence of latrine sites in rice fields. Proximity to a ditch, availability of hiding place and an open area for grooming are probably the main reasons for small-clawed otters to preferentially use rice field huts as latrine sites. Furthermore, a remote rice field hut, surrounded by flooded rice fields, was preferred as their latrine sites.

### 4. Towards conservation of small-clawed otters

Rice fields are either main or complimentary habitats for small-clawed otters. The results of our recent study in West Sumatra suggest that small-clawed otters use rice fields and the surrounding land as their main habitats.

There is often a conflict between farmers and small-clawed otters in rice field landscapes. Small-clawed otters often damage rice clumps adjacent to the latrine-site. Although the damage is not as significant as substantially reducing crop yields, farmers consider otters as nuisance animals. In order to rebuild this bad reputation, the role of otters as invasive snail control may be strengthened.

To assure rice fields as a suitable habitat for small-clawed otters in the long run, farmers' attitudes towards otter conservation needs to be investigated and programs to improve the farming system towards otter-friendly needs to be planned.

\*Nisikawa Usio (Kanazawa Univ.), Hiromi Akanuma (Niigata Univ.)  
Raita Kobayashi (Tokyo College Environ.)

### 1. Introduction

Modernisation of agriculture has led to significant loss of biodiversity in Japanese paddy fields. Implementation of wildlife-friendly farming is considered effective means to restore paddy field biodiversity and to revitalise depopulated rural economy (Usio & Miyashita 2015). Typical wildlife-friendly farming practises include reduction or omission of agrochemicals and creation of wildlife habitats (Usio 2015).

In recent decades, prolonged flooding practices, such as winter flooding, early-spring flooding and abandoned mid-summer drainage have attracted much attention with regards to enhancement of paddy field biodiversity. To date, there has been no experimental study that tested the effectiveness of prolonged flooding practises on paddy field biodiversity. We tested experimentally whether prolonged flooding practices enhance paddy field biodiversity.

### 2. Materials and Methods

We used macroinvertebrates, *Tetragnatha* spiders and amphibians as bioindicators (Tanaka et al 2012).

From 2012 to 2013 fiscal years, we performed field experiments with 12 experimental paddy fields (size: 10 m × 6.5 m). We used a 2 × 2 factorial design with and without winter-spring flooding and mid-summer drainage practises. Each treatment was replicated three times and randomly allocated to experimental paddy fields. We cultivated rice without using agrochemicals (agrochemical-free rice farming).

*Macroinvertebrates* – In summer (May-September) and winter (January), we sampled macroinvertebrates with a small hand net (mesh 1 mm) from a 0.1 m<sup>2</sup> area at the centre of four levees.

*Spiders* – From July to September, we counted the number of *Tetragnatha* spiders while walking along the levees at night.

*Amphibians* – In early spring, we counted the number of amphibian egg masses in each paddy field.

### 3. Results

*Macroinvertebrates* – Taxonomic richness, total macroinvertebrate abundance and the abundance of five taxonomic groups (Odonata, Ephemeroptera Heteroptera, Gastropoda, and Coleoptera) were greater in paddy fields without than with mid-summer drainage. Although the abundance of Nematoda and Oligochaeta in winter was greater in paddy fields with than without winter-spring flooding practise, the abundance of Odonata larvae was less in paddy fields with than without such practise.

*Spiders* –The abundance of *Tetragnatha* spiders was greater in paddy fields without than with mid-summer drainage.

*Amphibians* – The egg masses of montane brown frog (*Rana ornativentris*) and Japanese black salamander (*Hynobius nigrescens*) were more numerous in paddy fields with than without winter-spring flooding practise.

### 4. Discussion

Our results showed that effects of prolonged flooding practise on aquatic and terrestrial animals were variable depending on taxon. We found that unimplementation of mid-summer drainage enhance aquatic macroinvertebrate diversity and *Tetragnatha* abundance in summer. In contrast, effects of winter-spring flooding practise were variable depending on taxonomic groups and season; amphibians (egg masses) were positively influenced, *Tetragnatha* spiders showed no measurable effect and the responses of macroinvertebrates were variable.

On the basis of these results, we discuss some strategies to balance biodiversity restoration and rice production through wildlife-friendly water management practises.

# S4-5 Combining the Conservation Cost and Contingent Valuation by the Willingness of Tourists to Pay to Value the Aesthetic value of Terraced Paddy Fields

\* Bixia Chen (University of the Ryukyus), Zhenmian Qiu (Kanazawa University)  
Koji Nakamura (Kanazawa University), Usio Nishikawa (Kanazawa University)

## 1. Introduction

Terraced paddy fields have been an outstanding agricultural landscape in the Asian countries. As a living landscapes, only intensive and continuous cultivation can maintain their landscape aesthetics. Due to population loss and ageing in the rural regions, the maintenance of rural landscapes has been a critical issue for the local policy makers. This major aim of this study was to clarify the factors that affect individuals' preference for the aesthetic value of agricultural landscape, casing a case study in Japan. In addition, the public fiscal support scheme was also analyzed.

## 2. Material and Methods

Shiroyone Senmaida, an outstanding cultural landscape and a major tourist attraction in Noto Peninsula, Ishikawa Prefecture, Japan, was selected as survey site.

In order to comprehend the conservation initiatives and management cost to conserve the agricultural landscape, semi-structure interviews with the municipal officer and local conservation organization leader were conducted in March, 2016.

A payment card approach was applied to elicit tourists' WTP. In this study, a questionnaire study on the tourists travelling in a private/rental car were conducted during March to September 2012. The questionnaire data were analyzed using SPSS statistics program and (R) programming software.

## 3. Results

Using data derived from a sample of 685 respondents. The several socioeconomic variables of age, gender, education level, income, place of residence, and experience of environmental conservation activities were found to impact individuals' decisions to contribute money for the conservation of traditional agriculture landscape of Senmaida. The likelihood interval estimates of the parameters of the log-linear of the agricultural landscape valuation function were calculated. Coefficient for AGE2 (the respondents at their 40s and 50s years old) is negative and significant, implying that the tourists between 40 to 59 years of age were inclined to pay less than those who were over 60 years of age. Both the coefficients of Income2 (five million JPY < the respondent's family total income < ten million JPY) and Income3 (over ten million JPY) were positive and significant, suggesting that the respondents whose

household income of over 5 million were willing to pay than the respondents of lower income category. Coefficients for the Residence2 (the respondent is from metropolitan area other than Ishikawa Prefecture) and Resident3 (the respondent is from other regions other than metropolitan area in Japan or Ishikawa Prefecture) were positive and significant, suggesting that the respondents from Ishikawa Prefecture were inclined to pay more than those from the other part of Japan.

Estimated mean WTP was JPY 775.6 with a 95% confidence interval. According to Wajima City Hall, tourists to Senmaida were approximately 674,900 in 2015. We followed the environmental-discounting rate (equal to 2%) decided by Weitzman (1999) and Sáez and Requena (2007) and applied by Nonara and Salvo (2010). The discounted total annual value of Senmaida agricultural landscape was estimated at 10.5 million JPY (equivalent to about 105,000 USD).

The actual conservation fund input in 2015 was calculated based on the interview with the officer in Tourism Section, Wajima City. The conservation fund input totaled approximately JPY 2.35 million per year from the Senmaida Landscape Conservation Foundation and membership fee collected from "owner system" volunteers were 3.2 million.

## 4. Discussion

Aesthetic agricultural landscapes have emerged as the alternative tourist destination for tourists. However, the value of farm land as tourist attractive is little known, this study filled the gap of this field of the valuation of agricultural landscapes. The monetary value of the traditional agricultural landscape was estimated to be JPY 10.5 million, which was much higher than the actual conservation fund input of JPY 5.55 million.

This study found that WTP would increase with higher income. An important finding is that the attachment of respondents from Ishikawa Prefecture is not significant factor for WTP.

## Reference

- Sáez, C. A., & Requena, J. C. (2007). Reconciling sustainability and discounting in cost-benefit analysis: a methodological proposal. *Ecological Economics*, 60 (4), 712-725.
- Weitzman, M. (1999). *Just Keep Discounting, But*. In Portney and Weyant (eds): *Discounting and Intergenerational Equity Resources for the Future*. Routledge.

# S4-6

## Combined effects of immigration potential and habitat quality on diadromous fishes

Akira Terui (Hokkaido University, School of Agriculture)

Yusuke Miyazaki (Shiraume Gakuen College)

### 1. Introduction

In river systems, considerable debate exists as to why small-scale conservation with a primary focus on habitat quality brings little improvement to biological communities. To reveal potential causes of the enigmatic consequences, further explorations should focus on how species' response to local environments is determined within a watershed. Here, we examined how immigration potential influences habitat associations of four diadromous fishes in the Shubuto River system in Hokkaido, Japan: sculpins (*Cottus* sp. ME and *C. hangiongensis*), gobies (*Gymnogobius opperiens*) and sea lamprey larvae (*Lethenteron japonicum*).

### 2. Methods

We measured fish abundance using a nested sampling design during the summer (late June–July) of 2010 and 2011. We surveyed 47 reach replicates, 27 of which were surveyed twice across 2 years. Sampling reaches were scattered across the river network, and this sampling design helps ameliorate a spurious correlation between immigration potential of diadromous fishes (i.e., distance from the sea) and longitudinal gradients of any environmental variables. Each reach comprised one to five local habitats, each of which can be grouped into either mid-channel, river margin or backwater habitats. We selected local habitats to encompass a range of water depth, current velocity and substrate coarseness.

We used a multilevel Bayesian model to assess interacting effects across spatial levels (reach and local levels). Multilevel models, also known as hierarchical linear models, use nested regression equations to investigate associations between variables at multiple

hierarchies or scales. This approach enabled us to simultaneously evaluate the impact of reachlevel factors (e.g., immigration potential) on both fish abundance and local habitat quality (current velocity, substrate coarseness and water depth).

### 3. Results

A multilevel modeling approach revealed that immigration potential had a “bottom-up effect” on local habitat–abundance relationships (current velocity and substrate coarseness), but habitat preferences did not vary along the gradient of immigration potential. This likely reflects the limited dispersal capabilities of the study species, whereby shorter travel distances may greatly enhance colonization success.

### 4. Discussion

Our study raises the possibility that the effectiveness of small-scale riverine conservation can be improved by selecting areas where successful colonization would be expected. Explicitly incorporating this consideration into conservation decision-making would help achieve greater success in environmental restoration and preservation actions.

S4-7

# S4-8

## Impact and distribution of invasive translocated fish species

\*Shermatova N. (Kongju National Univ.), Park S.H. (Bio-monitoring center)  
Kim K.J. (Kongju National Univ.), Hur J.W. (Bio-monitoring center)  
Ha K. (Biological Resource Center), Jang M.H. (Kongju National Univ.)

### 1. Introduction

The problem of invasions and settlement of living organisms has become one of the hot topics in the scientific disciplines and economic sectors in the second half of the twentieth century. Translocation is the movement of living organisms from one area with free release in another (1999). The translocation of native species can have impacts upon indigenous populations of native fish, the general ecosystem into which translocations occur, as well as subsequent social and economic impacts over time (Morgan et al. 2004). Three Cyprinidae family fishes: the piscivorous chub (*Opsariichthys uncirostris amurensis*), Korean sharpbelly (*Hemiculter eigenmanni*) and skygager (*Erythropterus erythroculter*) are becoming invasive in many countries. The native ranges of those fishes are China, Japan, Korean peninsula and Amur River system. In the 90's those species were accidentally translocated to the Nakdong River, one of the longest rivers in South Korea. Ecological and economic impacts of such species reduce the stability of the native fish community.

Key words: invasive, translocation, distribution, freshwater fishes, the Nakdong River.

### 2. Materials and Methods

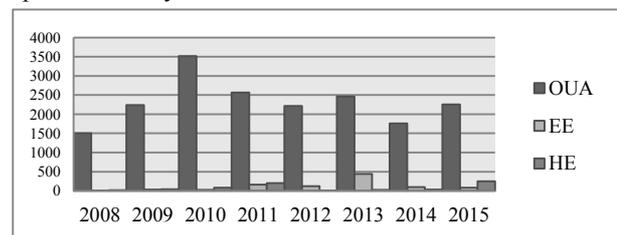
Data of samplings were collected from 2008 to 2015, in the mainstream, tributaries, and small streams of the Nakdong River. Database (2010-2013) of fish assemblages in eight weirs of the Nakdong River was analyzed. Fish were caught with the cast net and kick net, field investigations conducted by the authors of the present study.

### 3. Results

The first records of those fishes in the Nakdong River are inaccurate. They are found in large rivers, reservoirs, lakes and streams. From 2008 to 2012 there were weir constructions in the Nakdong River.



According to our database, number of Korean piscivorous chub increased in 2010, after that time it is one of the dominant species in the Nakdong River. By the database of fish assemblages in weirs, *O.u.amurensis* mostly inhabits in Sangju, Gangjeong, and Haman weirs. The number of skygager is increased in 2013 relatively to other years. And it coincides with data from weirs. In Haman and Gangjeong weirs, the occurrence of *E.erythropterus* was high in 2013. *H.eigemanni* mostly spread in tributaries of the Nakdong River. The highest number displayed in 2015. Korean sharpbelly widely distributed in Chilgok and Haman weirs. The similarity of the range of distribution and adaptability to abiotic conditions, the ecology of spawning and larval development, and broad feeding plasticity of all three species are very similar.



### 4. Discussion

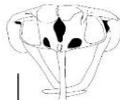
*O.u.amurensis* and *E.erythropterus* are carnivorous species, predate on other small fishes (gobies and small gudgeons), larvae of large cultured fishes (silver and bighead carp) and their eggs, *H.eigenmanni* is an omnivorous species. High fecundity, short-cycle breeding, the ability to eat a wide range of food, over-predation, make those fishes dominant and competitor to native species. Short-cycle invasive fish domesticate vacant ecological niches, however often replace many aborigines or compete with them (Reshetnikov, 2001). Also, they can cause diseases and be an intermediate host for parasites. Management cases of translocated invasive species should be studied, policies and regulations of future translocation should be adopted. This would prevent the distribution of invasive fish species throughout the Korean Rivers.

## Rotifer community as an indicator for environmental changes : applicability of rotifer functional group to environmental assessment and ecological experiments

\*Hye-Ji Oh (Department of Kyung Hee Univ.), Hyun-Gi Jeong (Han River Environment Research Center),  
Gui-Sook Nam (Rural Research Institute), Kwang-Hyeon Chang (Kyung Hee Univ.)

### 1. Introduction

Rotifers have mastax called ‘Troph’i, which performs masticatory function related with food intake and selection. Trophi can be divided into typical six types according to their characteristic morphologies; Malleate, Virgate, Forcinate, Incudate, Ramate and Malleoramate. In addition, those six trophi types can be categorized into two major groups by their feeding habits; Microphagous and Raptorial (Figure 1).

Microphagous group	Raptorial group
Troph 1; Malleate 	Troph 2; Virgate 
Troph 5; Ramate 	Troph 3; Forcinate 
Troph 6; Malleoramate 	Troph 4; Incudate 

**Figure 1.** List of trophi types divided into microphagous group and raptorial group. (Scale bars = 10 μm)

It has been suggested that while rotifers in microphagous group collect multiple food items, raptorial group shows an active grasping, piercing, or pumping action to catch single food item. Because these characteristics represent a rotifer’s ecological niche, they can be applied to approach using rotifer community as a biological and ecological indicator in reservoirs

To identify how microphagous and raptorial groups respond to environments in different ways, we analyzed and compared spatial distribution of trophi community

with that of water quality parameters and basic environments.

### 2. Materials and Methods

To verify the relationships between the compositions of trophi with water qualities, we selected 16 reservoirs of different locations and various water environments across South Korea as study sites. For further analyses to test the applicability of rotifer trophi group to biological indicator for water environment, data of biological community and water quality were collected from the research report published by the government.

For the statistical analyses, rotifer composition and water qualities were used after transformation by  $\log(x+1)$ , and their correlations were examined. Multivariate analyses (Detrended correspondence analysis (DCA) and redundancy analysis (RDA)) were also performed using R version 3.0.3.

### 3. Results and Discussion

The relationships with water environment were analyzed for the community based on species and trophi. Available ecological indicators representing various environment and trophic indices such as trophic status index were considered and included for the analyses. The trophi-based rotifer composition showed closer relationship with water environment than species-based community. This is because the responses of trophi-based identified community appears simple and represents the environment better when considering the relationship with basic water quality variables such as BOD and chlorophyll concentration. In addition, two major functional feeding groups; microphagous and raptorial, were used, and their composition and distribution were useful for indicating water conditions.

\*Indranil Mukherjee, Yoshikuni Hodoki, Shohei Fujinaga, Yusuke Okazaki, Shin-ichi Nakano (Kyoto Univ.)

### 1. Introduction

Nanoflagellates are ubiquitous and abundant member of the aquatic ecosystems, playing important role in the matter cycling, and acting as a connecting link between the lower and the higher trophic levels. However, importance of individual group is not known as studies were mainly conducted in natural ecosystems considering them as a whole. Moreover, studies are mainly focused in the marine environments and knowledge about the nanoflagellate ecology is less known from the freshwater ecosystems, especially the deep lakes. Therefore, the aim of the present study was to elucidate the seasonal changes in vertical abundance and composition of a particular flagellate group, Kinetoplastida in deep freshwater lakes and to discuss about their ecological roles.

### 2. Materials and Methods

Samples from various depths were collected monthly for two years in Lake Biwa, and also from four other deep lakes of Japan during stratification. Seasonal changes in nanoflagellate community was analysed from both epilimnion and hypolimnion of Lake Biwa by clone library analysis using universal eukaryote primers. The abundance of kinetoplastid flagellates was enumerated using Catalyzed Reporter Deposition Fluorescent In Situ Hybridization (CARD-FISH) with kinetoplastid-specific probes. Diversity of kinetoplastids in different lakes was estimated with 454 pyrosequencing using kinetoplastid-specific primers.

### 3. Results

Kinetoplastids were not detected in the flagellate community using universal eukaryote

primers. By contrast, CARD-FISH showed that kinetoplastids dominated in the hypolimnion of Lake Biwa, contributing up to 36.0% of total eukaryotes. Dominance of kinetoplastids was also observed in the hypolimnion of all the investigated lakes. Kinetoplastids were detected with specific primers, and the dominant OTU had the closest match with *Bodo saltans*. The dominant OTU was found to dominate in four among the five studied lakes. Moreover, some OTUs with significant contribution were confined to each lake.

### 4. Discussion

Community compositions of kinetoplastids in the hypolimnion were similar among lakes with similar trophic status. This suggests that, community of hypolimnion kinetoplastids was shaped according to the environmental condition of each lake. The abundance of kinetoplastids had only significant correlation with the concentration of chlorophyll *a* ( $\rho$  -0.37,  $p < 0.001$ ), suggesting their association with the sinking detritus. Thus, the dominance of kinetoplastids indicates the importance of these flagellates in matter cycling in the hypolimnion of deep lakes. The present study revealed that kinetoplastids were overlooked in the diversity analysis, suggesting that these flagellates were underestimated in the global microbial eukaryote diversity studies using universal eukaryote primers. The underestimation of a dominant flagellate group indicates that, universal primers might have also overlooked other important flagellates. The present study highlighted the usage of group-specific DNA primers, and CARD-FISH probes to understand the ecological role and importance of individual flagellate group.

\*Taku Kadoya (National Institute for Environmental Studies)

Understanding the interconnected role of network structure, the distribution of interaction strengths and stability in real food webs is a vexing issue. Decomposing such complex real food webs into building blocks that are often referred as network motifs and looking at their stability in relation to the properties of the substructure is one of the powerful ways to disentangle the complicated relationships. Previous studies have identified that specific types of motifs such as food-chain were much more overrepresented in real food webs than would be expected in random networks, and such motifs actually tend to have dynamically stable property especially in combination with weak interactions. However, since whole web is not a simple aggregation of such motifs (i.e., motifs are dynamically interacted each other), questions remain as to whether the dynamical responses of individual motifs are retained when they are part of a larger food web, and whether these responses can dominate the broader food web dynamic response. Alternatively, identifying topological keystone species that determines whole food web dynamics through network indices or

community sensitivity analysis would be another promising avenue to understand relationships among structures of food webs, their substructures and stability. However, the mechanistic understanding governing stability is limited in this approach.

Here, relying on these existing approaches, I propose a simple framework that uses an energetic view of the fundamental building block of the Consumer-Resource interaction to enumerate key dynamic food web motifs that impart stability in subsystems of whole webs. This approach allows us to move past static measures of network structure and stability (e.g., overrepresentation of motifs, deletion stability) to look for ecologically meaningful decompositions of food webs that can help identify the manner in which whole webs can be stabilized by key dynamic pathways (weak and strong interaction effects). In this talk, I outline the approach and apply it to theoretical food webs and a real complex food web, the Tonle Sap food web that experiences a drastic seasonal change from rainy to dry season yearly, to show how empirical webs can be analyzed to find fundamental subcomponent of food webs.

\*Hiroyuki Takasu (Graduate School of  
Fisheries and Environmental Sciences, Nagasaki Univ.)

### 1. Introduction

We know now that microbes are ubiquitous and play important roles in the regulation of biogeochemical cycling in freshwater systems. In deep lakes, however, our current understanding of the microbial mediated biogeochemical processes is based mainly on research conducted in the surface layer, with much less information available in the deeper layer. In deep freshwater lakes, the hypolimnion, which comprises a large proportion of the water mass, is separated from the epilimnion by the thermocline. Little attention has been paid to microbial processes in the hypolimnion, because microbial activities were thought to be much low, largely suppressed under cold condition and low concentration of bioavailable organic matter in the hypolimnetic waters. Only recently, studies have begun to reveal remarkable features in microbial distributions and their community structures in the hypolimnion. However, the incorporation of hypolimnetic microbial processes into ecological and biogeochemical models of freshwater lakes has been largely hampered by limitations to our knowledge regarding the microbial mediated biogeochemical processes in the hypolimnion.

Bacteria consume about half of primary production and are in turn consumed by protists and lysed by viruses in aquatic systems. Protistan grazing transfers the bacterial biomass to organisms at higher trophic levels via the microbial loop, whereas viral lysis leads to the recycling of carbon and nutrients, each of which is derived from the lysed bacterial biomass and re-supplied to microbes. Thus, it is important to characterize the relative contributions of grazing and lysis to bacterial mortality in order to understand their role in ecological and biogeochemical processes in the hypolimnion.

The purpose of the present study is to clarify the fate of bacterial biomass in the hypolimnion of large freshwater Lake Biwa.

### 2. Materials and Methods

We collected water samples at station Ie-1 (*ca.* 73 m) in the north basin of Lake Biwa. Samples were collected at a depth of 65 m on May through August 2015 during the stratification period. The carbon flux through mortality of bacteria and cyanobacteria was estimated by combining data from the dilution experiments with carbon conversion factors estimated for bacteria and cyanobacteria ( $106 \text{ fg C } \mu\text{m}^{-1}$ ; Nagata 1986).

### 3. Results & Discussion

The cell abundances of bacteria ( $5.6 - 9.2 \times 10^5 \text{ cells mL}^{-1}$ ), heterotrophic nanoflagellates ( $1.1 - 1.8 \times 10^2 \text{ cells mL}^{-1}$ ), and viral-like particles ( $1.1 - 1.6 \times 10^7 \text{ cells mL}^{-1}$ ) were relatively constant throughout the study period. I found relatively high variation of cyanobacteria abundance ( $0.47 \times 10^3 - 2.83 \times 10^3 \text{ cells mL}^{-1}$ ), supporting the notion of the continuous delivery of cyanobacterial cells from the epilimnion to the hypolimnion (Takasu et al. 2015). In the present study, high grazing mortality rates of bacteria and cyanobacteria were detected, whereas the viral lysis rates were negligible. This finding suggests that protistan grazing plays a key role in the removal of prokaryotic cells from the hypolimnion of Lake Biwa. Bacterial growth and grazing mortality rates were positively correlated, suggesting that bacterial grazing mortality depends on bacterial production in the hypolimnion. On the other hand, cyanobacteria did not proliferate and showed different grazing rates among experiments. The abundance of cyanobacteria was highest in August, when the average cyanobacteria:bacteria carbon biomass and daily grazing loss ratios were 10.8 and 11.0%, respectively. Thus, it is likely that the sinking cyanobacteria biomass is an important seasonal component of the carbon flux in the hypolimnetic microbial loop. Our results provide the first data on carbon flux through the mortality of both bacteria and cyanobacteria in a hypolimnetic ecosystem.

### Introduction

Salinity of water which is caused by the presence of excessive amounts of salts is one of the most influencing factors for the spatial distribution of submerged macrophytes. When the salinity level in water exceeds the threshold level, it reduces water potential and causes ion balance or disturbances in ion homeostasis and toxicity which leads to a salt stress on submerged macrophytes. For instance, the long term field observations in Shinji lake, Japan revealed that, there were significant changes in density and distribution of submerged macrophytes along with the salinity gradient. So, the present study was focused to determine the stress response and tolerability of two common submerged macrophytes to laboratory mediated salinity gradient.

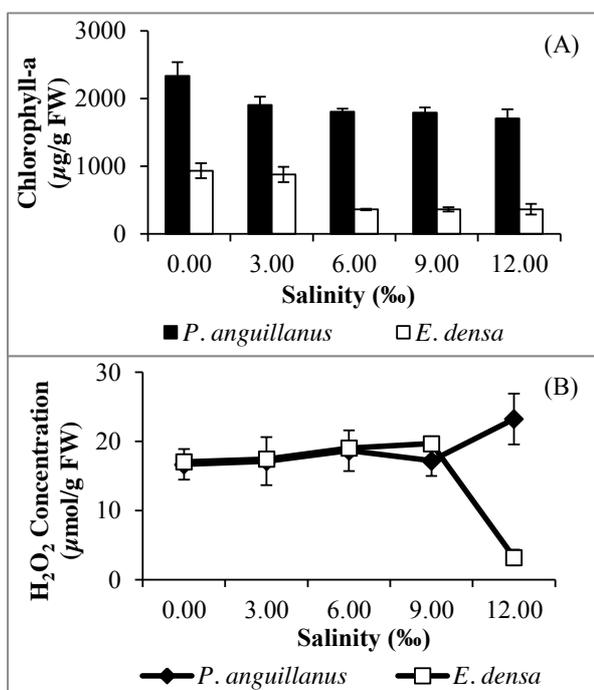
### Materials and Methods

The collected plants of target macrophytes species; *P. anguillanus* and *E. densa* were acclimatized under laboratory conditions before initiating the experiment. Approximately 7 cm long apical tips of considered species were planted in PVC pots with well washed river sand and acclimatized under controlled conditions up to one week period until plants become rooted. Then, they were introduced into five different setups with different salinity levels ranging from 0‰ to 12‰ (0, 3, 6, 9 and 12). The salinity was maintained as NaCl concentration. The long term effects of salinity have been tested after two weeks time duration with reference to the plant growth rates and three types of photosynthetic pigments including Chlorophyll-a, b and Total carotenoids. In addition, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> formation as main reactive oxygen species (ROSs) and several anti-oxidant enzyme activities including Peroxidase (POD), Catalase (CAT) and Ascorbate peroxidase (APX) were examined to determine the stress response levels.

### Results and Discussion

There were significant decreasing of chlorophyll-a concentration of both *P. anguillanus* and *E. densa* along with the salinity gradient (Figure 1; A). Also, it was visually observed that, there was severe bleaching of both plants at higher salinity levels. Further, the salinity

induced oxidative stress was significant in both considered species. Figure 1 (B) shows that there is an increment of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> which is the main ROSs of *P. anguillanus* with increasing salinity level. For *E. Densa*, there was a significant reduction of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> level at the highest salinity level. In that condition, the plants became almost die and they could not able to perform their regular metabolic activities and it may be the reason for significant reduction of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> level.



**Fig. 1** Variations of Chlorophyll-a (A) and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (B) concentrations along with salinity gradient of *P. anguillanus* and *E. densa*.

The obtained results reveals that, the photosynthetic system has been adversely affected by the salinity stress even in the low salinity levels. Comparatively, *E. densa* showed the lowest tolerability to salinity than *P. anguillanus* by showing the complete bleaching of *E. densa* plants under low salinity levels. The findings of this study are particularly helpful for the understanding the interaction between submerged Macrophytes and salinity gradients in natural ecosystems.

\* Mahfuza Parveen<sup>1</sup>, Takashi Asaeda<sup>2</sup>, Md H. Rashid<sup>2</sup><sup>1</sup>Graduate school of Science and Engineering, Saitama University<sup>2</sup>Department of Environmental Science and Technology, Saitama University

### 1. Introduction

In aquatic systems hypoxic events ( $DO < 2 \text{ mg/l}$ ) occur due to eutrophications, salinity, temperature differences, stagnation and flooding. Hypoxia may be a stressor alone, it can co-occur with other potential stressors such as enriched sediment organic matter, which can stimulate the production of hydrogen sulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Several authors have reported that  $\text{H}_2\text{S}$  produced through anoxia causes a strong toxic effect in submerged plants by reducing growth, photosynthesis and metabolic activities. This study examined the impact of water-column oxygen concentration and water column hydrogen sulfide concentration on the submerged macrophytes *Potamogeton anguillanus*.

### 2. Materials and Methods

Plant samples of *P. anguillanus* were collected from Lake Shinji, Shimane, Japan and cultured in laboratory conditions. After 21 days of acclimation, two apical tips (~6 cm) were clipped and plugged into silicone sponge clumps and placed in a 500 ml glass beaker with 5% Hoagland nutrient solution (HNS). Total six treatments with three replications were used for this experiment (Table 1). The experiment was conducted for 3 days because plants exposed to hypoxia and  $\text{H}_2\text{S}$  showed brown color discoloration.

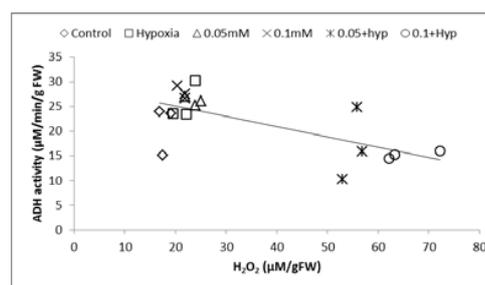
### 3. Results and discussion

Plants exposed to  $T_5$  and  $T_6$  treatments showed brown color discoloration along with low chlorophyll concentrations. High  $\text{H}_2\text{O}_2$  concentrations were also observed in  $T_5$  and  $T_6$  treatments suggested that oxidative stress. No significant differences were observed, while plants exposed to  $T_2$ ,  $T_3$ , and  $T_4$  conditions in

comparison to control.  $\text{H}_2\text{O}_2$  generated by stress can be removed by ROS scavenging enzyme systems (CAT and APX), thereby maintaining a balance redox state. In the present study the antioxidative enzymes were not able to scavenge the overproduction of  $\text{H}_2\text{O}_2$  under  $T_6$  condition.

Table 1 Methodologies used for different treatment

	Treatment	Methodology
$T_1$	Control	Laboratory condition
$T_2$	Hypoxia	Used AnaeroJar after deoxygenated the water bubbling with anaerobic gas ( $\text{N}_2$ , $\text{H}_2$ and $\text{CO}_2$ gas),
$T_3$	0.05 mM NaHS	NaHS as $\text{H}_2\text{S}$ donor
$T_4$	0.1 mM NaHS	NaHS as $\text{H}_2\text{S}$ donor
$T_5$	Hyp.+ 0.05mM NaHS	Used AnaeroJar after deoxygenated the water bubbling with anaerobic gas + NaHS as $\text{H}_2\text{S}$ donor
$T_6$	Hyp.+ 0.1mM NaHS	Used AnaeroJar after deoxygenated the water bubbling with anaerobic gas + NaHS as $\text{H}_2\text{S}$ donor

Figure 1 Correlation with  $\text{H}_2\text{O}_2$  and ADH activity.

The enzyme alcohol dehydrogenase (ADH) catalyzes the final reaction in fermentative ethanol synthesis, also decreased under  $T_5$  and  $T_6$  conditions. The present study indicates that the reduction of growth, photosynthetic efficiency and metabolic adaptability may exacerbate with the combination of hypoxia and hydrogen sulfide.



有井鈴江, 山下竜司, Beata Bober (名城大薬), 富田浩嗣(愛知衛研)  
辻 清美(神奈川衛研), \*原田健一(名城大院総合学術・薬)

### 1. はじめに

相模湖・津久井湖で2008年、2010年、2013年にアオコ状態となった湖面において青色化を伴った溶藻現象が観察され、溶藻活性を持つ揮発性有機化合物(VOC)が検出された。その際、種組成の変化がみられたため、最小成育阻害濃度(MIC)を測定したところ、種によりVOCに対する感受性に差があることが確認された。溶藻現象の引き金は細胞の密度ストレスにあると推測されたので、津久井湖よりラン藻のスカムを採取し、メスシリンダーに入れてガス胞により浮上して濃縮し、VOC濃度が上昇してpHが低下、細胞が溶藻することを確認した。そこで、過去の大発生した時のラン藻の推移を降雨の影響、種組成や細胞密度に注目して溶藻現象を検証した。

### 2. 調査方法

期間；1974年から2013年までの40年間

調査地点；相模湖は相模湖大橋中央、津久井湖は堰堤

調査頻度；週1回(相模湖は特に多い時は週2回)

サンプリング；30 cmの採水筒により表層水を採取検鏡；ラン藻を種毎に細胞数(*Aphanizomenon*はトリコーム数)を計数、平均的な大きさから細胞体積を算出し、*Microcystis*の細胞数に換算してグラフ化した(以下、細胞密度という)。

### 3. 結果

相模湖においては、40年間のうち、細胞密度が $10^6$ 細胞/mL以上となった年は10回あり、そのうち7回は*Anabaena*、3回は*Microcystis*が優占した。1992年と2013年には溶藻現象が生じた(図1)。津久井湖においては、細胞密度が $10^6$ 細胞/mL以上となった年は12回あり、9回はほぼ100%が*Microcystis*で、そのうち3回は $10^7$ 細胞/mL以上であったが、溶藻現象は記録されていない。溶藻現象の記録は4回で、そのうち3回は*Anabaena*と*Microcystis*が混在しており、青色化を伴っていた。1997年は*Microcystis*が見られなかった時期で、青色化を伴っていなかった(図2)。

### 4. まとめ

*Anabaena* や *Aphanizomenon* は定点で $10^6$ 細胞/mL程度の高密度になると溶藻現象が起きていた。この密度はメスシリンダーを用いた濃縮実験の結果より低い。溶藻現象が起きた地点は定点より高密度であるため、整合性は取れる。*Microcystis*が存在するときは青色化を伴った溶藻現象が起きるが、いない時は白濁する。これは、*Microcystis*だけが $\beta$ -cyclocitralを生産するためと考えられる。*Microcystis*だけの場合は、溶藻現象が起きにくい。また、MICの小さい種は早く出現し、*Microcystis*が多くなるとほとんど見られなくなることが多く、 $\beta$ -cyclocitralが種の変遷に関与することが支持される。

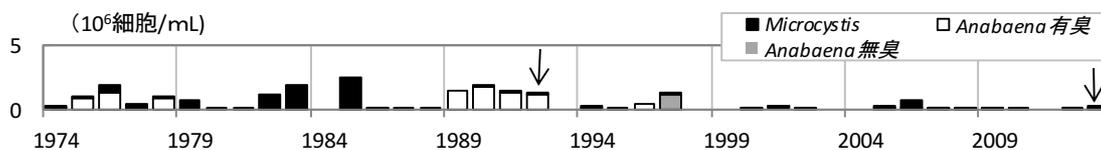


図1 相模湖におけるラン藻の年最大細胞密度の推移 (↓; 溶藻現象が生じた年)

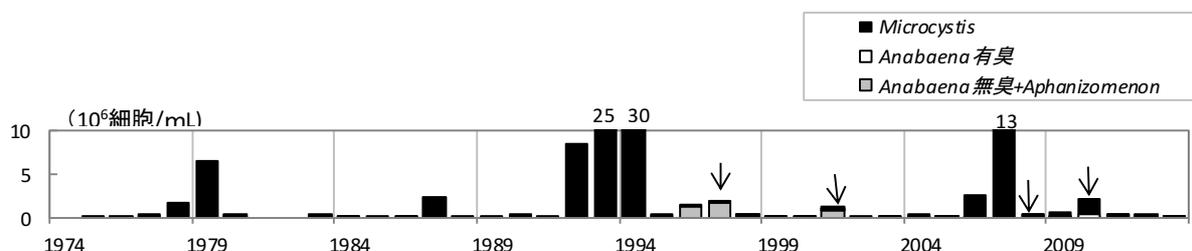


図2 津久井湖におけるラン藻の年最大細胞密度の推移 (↓; 溶藻現象が生じた年)

山下竜司, Beata Bober, 長谷川真照 (名城大薬), 富田浩嗣 (愛知衛研)  
有井鈴江 (名城大薬), 辻 清美 (神奈川衛研), \*原田健一 (名城大院総合学術・薬)

### 1. はじめに

*Microcystis* ラン藻が特異的に産生するβ-cyclocitral は、β-carotene が carotenoid cleavage dioxygenase (CCD) により開裂され生成される。この際、何らかの因子がこの CCD を活性化することで開裂反応が開始されるとされている。すなわち、何らかの刺激により産生されたβ-cyclocitral が溶藻し、その溶藻が新たな刺激となりβ-cyclocitral を産生し、これが繰り返されて溶藻の循環が生起し、細胞数が減少する。現在のところ刺激の候補として、急激な環境の変化、微生物による攻撃、飢餓による死滅および物理的的刺激などが考えられている。本研究では、以下に示すストレス条件下におけるラン藻の増殖と揮発性化合物類 (VOCs) の産生挙動を検討した。

- (1) 高照度および低照度
- (2) 窒素制限およびリン酸制限
- (3) 細胞密度の違い

### 2. 実験方法

ラン藻は研究室で継代培養した *Microcystis aeruginosa* NIES-843 (以下 NIES-843) を用いた。ラン藻の成長指標として細胞数・生細胞数・濁度・pH・乾燥重量・光合成色素・培養液の観察を行った。ラン藻の初期密度は、 $1.0 \times 10^6$ 、 $n=3$  で週 1 回採取した。分析項目として、Solid phase microextraction (SPME) GC/MS を用いた細胞内外 VOCs 定量、通常の GC/MS を用いた細胞外 VOCs 定量、細胞数計測、光合成色素定量、Reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR) による CCD 遺伝子定量などを行い、通常培養条件の対照群と比較した。

### 3. 結果と考察

Fig. 1 に NIES-843 の増殖とβ-cyclocitral およびその酸化生成物であるβ-cyclocitric acid の産生挙動を模式的に示した (1)。コントロール条件である  $10^6$  cells/mL を初期密度として培養した場合、1 週で  $10^7$  cells/mL に到達し、β-cyclocitral の産生が開始される。その後、5 週あたりから細胞数は減少し始め、β-cyclocitral の産生も同様に減少する。一方、β-cyclocitric acid は 2 週ほどから検出され、週を追うごとにその産生量は増加・蓄積する傾向にあった。

上記の結果に対し、各ストレス条件下では以下の挙動が観察された：照度は光合成に影響を与え、低照度と高照度では対照的な増殖および産生挙動を

示した。栄養制限条件下では飢餓状態のため細胞が増殖できず、β-cyclocitral の産生量は対象群と同等であった。高細胞密度では細胞数に変化はみられないが、培養開始から多量のβ-cyclocitral が検出され、それが 5 週間続き、その後急激に消失した。これらの挙動を Table 1 にまとめた。

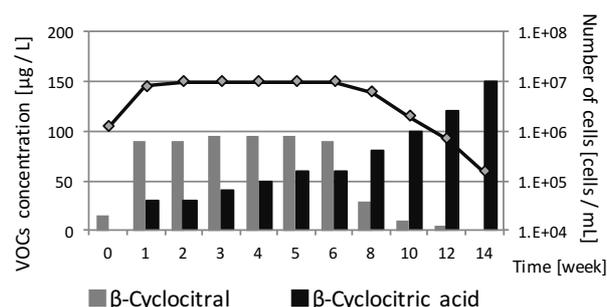


Fig. 1 ストレス条件下の細胞数と VOC の産生量推移

以上の結果は、細胞密度がβ-cyclocitral およびβ-cyclocitric acid の産生のための刺激となっていることを示唆している。すなわち、 $10^7$  cells/mL への到達が産生の閾値であると予想される。

Table 1 ストレス条件下の細胞増殖と VOC 産生

ストレス条件	細胞増殖	VOCs 産生挙動
低照度	遅延	遅延・抑制
高照度	抑制	亢進
窒素制限	早期減少	変化なし
リン制限	早期減少	変化なし
10 倍細胞密度	抑制	亢進
30 倍細胞密度	抑制	大いに亢進

### 4. まとめ

本研究は、化学生態学的観点から揮発性有機化合物について産生挙動やその機能を解明するために実施された。実験結果と様々な知見とを照らし合わせると、*Microcystis* 属に特異的な VOCs であるβ-cyclocitral は細胞数減少に深く関与しており、 $10^7$  cells/mL を閾値として産生されることが判明した。

#### 参考文献

- (1) Tomita et al., *Environ. Sci. Poll. Res.* **23**, 11998-12006 (2016).

1A03

Web 公開不希望

# 1A04 琵琶湖南湖における水草消長モデルの構築とシナリオ解析

\*佐藤祐一・石川可奈子・井上栄壮・岡本高弘（滋賀県・琵琶研セ）  
 芳賀裕樹（滋賀県・琵琶博），川崎竹志・尼子博章（滋賀県・琵琶湖政策課）

## 1. はじめに

琵琶湖の南湖では 2000 年代以降沈水植物（以下「水草」という。）が過剰に繁茂しており，航路障害や流れ藻による異臭，底層の溶存酸素濃度の低下などの問題が顕在化している．演者らはこれまで，水草繁茂の要因や物質循環への影響を解析することを目的として，近年における水草の季節的，経年的な消長を再現できるモデルを構築してきた<sup>1)</sup>．本研究では，このモデルを水草の種別に計算が行えるよう拡張するとともに，いくつかのシナリオ計算を行うことで，水草量を管理する上で有効となる対策について検討を行った．

## 2. 方法

水草消長モデルの概念図を図 1 に示す．南湖における水草茎葉部のバイオマスの消長を次式により計算する<sup>1)</sup>．

$$\frac{d(RPS)}{dt} = \{(1 - F_{psr})P - R - L\}RPS - RM$$

ここで， $RPS$ ：水草量 ( $gC/m^2$ )， $F_{psr}$ ：根部への移行係数， $P$ ：成長率 ( $1/day$ )， $R$ ：呼吸率 ( $1/day$ )， $L$ ：枯死率 ( $1/day$ )， $RM$ ：刈取量 ( $gC/m^2/day$ ) である．成長率は最大増殖速度に栄養塩濃度，光量，水温，混雑効果に関する影響関数を掛け合わせて計算する．光量には日射量その他，水草の群落高や水位，懸濁物質濃度などが影響すると考える．

南湖における平均的な水深を設定し，水草は近年繁茂量の多いコカナダモ，クロモ，センニンモ，およびその他の 4 種を設定して計算を行った．種ごとに群落高の季節変動，最適水温等のパラメータを変更し，種間の相互作用は混雑効果により考慮した．2011 年から 2015 年まで 5 ヶ年の計算を行い，水草量の観測値<sup>2)</sup>および種別の比率<sup>3)</sup>から計算した各水草種のバイオマスの消長が再現できるよう，各種パラメータを調整した．

## 3. 結果と考察

種別の水草量を計算した結果を図 2 に示す．夏期に繁茂し，冬期に減少するという季節変化を再現することができ，特に 2012 年の植物プランクトンの

大量発生に伴う水草の顕著な減少傾向についても一定再現することができた．また 2012 年以前はセンニンモが優占し，2013 年以降はクロモやコカナダモの繁茂量が増加するという種の変遷が観測されているが，計算でも一定その傾向を再現することができた．発表においては，水草刈取量の増加や水位変動の変更等，いくつかのシナリオ計算を行った事例についても報告する予定である．

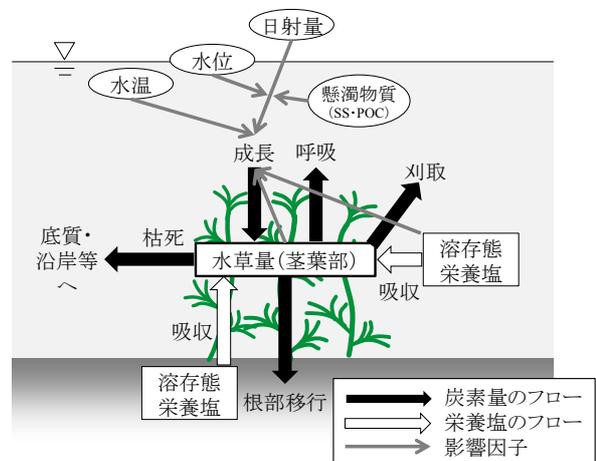


図 1 水草消長モデルの概念図<sup>1)</sup>

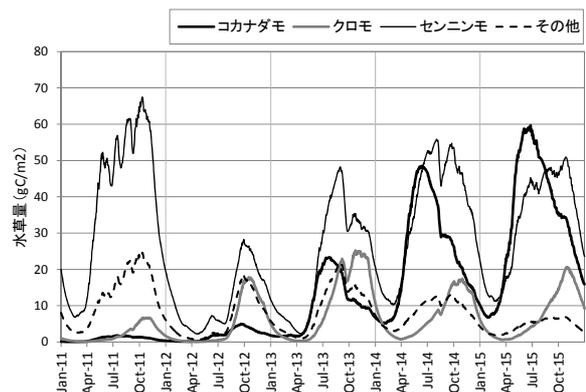


図 2 水草量（種別）の計算結果

## 参考文献

- 1) 佐藤祐一ら（2016）第 50 回日本水環境学会年会講演集，246.
- 2) 大塚泰介ら（2004）陸水学雑誌，65，13-20.
- 3) 琵琶湖政策課（2016）未発表データ.

\* 古田世子、池田将平、一瀬諭（滋賀県琵琶湖環境科学研究センター）  
池谷仁里（兵庫県大学院・理工）、宮田直幸（秋田県立大学・生物）

### 1. はじめに

琵琶湖北湖最深部付近の湖底では、2002年以降溶存酸素濃度（DO）の低下に伴いメタロゲニウム粒子が観測される。メタロゲニウム粒子の主要成分はマンガンで、DOの低下により湖底から溶出したマンガンを酸化細菌等の微生物が酸化することで生成する何本ものフィラメントを持つ微粒子である<sup>1,2)</sup>。Emersonらは、真菌培養液中で生成されたメタロゲニウム粒子のフィラメントは酸性多糖及びタンパク質を含む細胞外ポリマーにMn酸化物が沈着した構造であることを報告している<sup>3)</sup>。

本研究では、既に単離培養に成功したマンガン酸化細菌（BIWAKO-01株）<sup>2)</sup>を用いて、メタロゲニウム粒子に含まれる多糖の組成を調べるため、レクチンを用いて粒子を染色し糖鎖結合解析を行ったので報告する。

### 2. 培養および観察方法

BIWAKO-01株の培養には、Miyajimaの半流動培地<sup>1)</sup>（以下、M3半流動培地と記す）を用いて、20℃、O<sub>2</sub>濃度10%で静置培養した。培養6週目の培養液を3000rpm、10分間遠沈分離し、菌体及びメタロゲニウム粒子を沈殿物として回収した。沈殿物は滅菌蒸留水に懸濁後に遠心分離し、懸濁-遠心分離の操作を10回繰り返して、培地に溶解していた余剰の寒天を除去した。蛍光標識された19種類のレクチンを用いて染色し、蛍光顕微鏡（励起波長470~490nm）で観察した。

### 3. 結果

メタロゲニウム粒子は、茶褐色の粒子が菌体を核として生成し、この粒子からフィラメントが伸長して形成される。このフィラメント部分について、種々の糖類に特異的に結合する19種類のレクチンを用いて染色を行い糖鎖の解析を行った。

この結果、コンカナバリンA（ConA）、*Lycopersicon esculentum* レクチン（LEL）、*Ricinus communis* アグルチニンI（RCAI）、大豆アグルチニン（SBA）の4種類のレクチンで陽性反応を示した。陽性反応例として、RCAIの染色前後の顕微鏡像を図1に示した。

ジャックフルーツシード（ジャッカリン）とピーナツアグルチニン（PNA）の2種では偽陽性（±）となった。陽性となった4種類のレクチンが認識する糖鎖を基に、メタロゲニウム粒子のフィラメント部分には少なくとも $\alpha$ -マンノース、 $\alpha$ -グルコース、ガラクトース、N-アセチル-D-ガラクトサミン、N-アセチル-D-グルコサミンが含まれていることが示唆された。また、琵琶湖で発生したメタロゲニウム粒子についても同様に染色を行ったところ、培養株が生成したメタロゲニウム粒子とほぼ同じ結果が得られた。

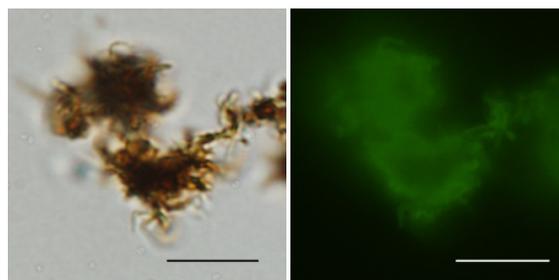


図1 メタロゲニウム粒子のレクチン（RCAI）染色写真 A:染色前、B:染色後 Bar = 10  $\mu$ m

**謝辞** 本研究の一部は、科学研究費助成事業基盤研究（B）課題番号26281042により助成を受け実施した。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- 1) Miyajima T. (1992): Production of *Metallogenium*-like particles by heterotrophic manganese-oxidizing bacteria collected from a lake. *Archives of Microbiology*, 158,100-106.
- 2) Furuta S. et al. (2015): Formation of filamentous Mn oxide particles by the alphaproteobacterium *Bosea* sp. strain BIWAKO-01. *Geomicrobiology Journal*, 32, 666-676
- 3) Emerson D et al. (1989): Formation of *Metallogenium*-like structures by a manganese-oxidizing fungus. *Arch. Microbiol.*, 151, 223-231.

## 耳石 Sr 安定同位体比を用いた回遊履歴の推定

\*上原佳敏（地球研）、片岡佳孝（滋賀県水産試験所）、亀甲武志（滋賀県農政水産部）  
石田卓也、浅野悟志、小林由紀、（地球研）、大竹二雄（東京大学）、奥田昇（地球研）

## 1. はじめに

水田には、魚類の産卵場所、稚仔魚の生育場所としての機能があり、魚類群集の種多様性を保全する上で重要な生息地と位置付けられる。コイ科魚類は水田地帯で優先する種多様性の高い生物群であるが、水田に依存する魚類の多くは、ヨシ帯や内湖などの産卵適地の減少により、絶滅の危機に曝されている。それら魚類の資源量の回復や生育場所の保全を図るには、対象魚の生育環境履歴の情報が不可欠である。しかし、琵琶湖のように広大で、深い湖では、個体の生息履歴を追跡するのが非常に難しく、個体レベルの回遊生態に関する知見に乏しいのが現状である。これまで、回遊履歴を推定する方法として、魚体に標識を施した個体を放流・再捕獲する方法、電波や音波発信機を装着した個体の位置情報を受信機で捕捉する音響手法などが試みられてきたが、従来の方法は、データ回収率が低い、一度に多数個体を追跡できない、長距離の移動を捕捉できないなどの欠点があった。近年、これらの手法とは全く異なるアプローチとして、耳石の微量元素組成と安定同位体比を用いた回遊生態研究が注目されている。魚の耳石のストロンチウム (Sr) 安定同位体比

( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) は生育環境水に応じて変化するが、一度耳石に沈着した Sr は終生ほとんど代謝されない。他方、陸水の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  は流域の地質特異性を反映して、高い空間異質性を示すことが報告されている (Nakano et al., 2005)。そこで、本研究では、耳石マイクロコアの  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  を分析することにより、水田産卵魚の回遊履歴を推定することを試みた。

## 2. 材料と方法

本研究は、琵琶湖の流入河川である、長命寺川流域の常楽寺地区（近江八幡市）、および、野洲川流域の須原地区（野洲市）の水田および水路で調査を実施した。対象魚として、琵琶湖固有亜種である沖合回遊性のニゴロブナを用いた。滋賀県で

は、資源増殖事業として、水田を活用したニゴロブナの種苗放流を実施している。また、種苗の耳石に染色標識を施すことにより、種苗放流魚の捕獲・追跡調査を行っている。本研究では、捕獲調査により得られた標識個体、および、水田・水路で採集された野生個体について分析を行った。耳石試料として礫石を用いた。礫石を樹脂で包埋・研磨し、薄片切片を作製し、微量試料掘削回収装置 (MicroMill, ESI) を用いて中心部から輪紋に沿って約 100  $\mu\text{m}$  間隔でマイクロコア試料を回収した。粉末試料は、蒸留硝酸で分解した。誘導結合プラズマ質量分析装置 (7500c, Agilent Technologies) にて、採集地・周辺水域の水試料および耳石試料の微量元素濃度を測定した後、陽イオン交換樹脂を用いて Sr を分離し、表面電離型質量分析計 (Triton, Thermo Fisher Scientific) にて  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  を測定した。

## 3. 結果と考察

常楽寺で採集された標識放流個体の耳石核  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  の平均値 (5 個体) は  $0.71112 \pm 0.00003\text{SD}$  であり、捕獲場所の環境水に近い値 ( $0.71108$ ) を示した。また、耳石コアから縁辺部の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  が周辺水域の同位体比に近い値を示したことから、これらの標識魚は北湖沖合で成長することなく、周辺水域を回遊した後、出生場所に戻ってきている可能性が示唆された。一方、須原地区で採集された天然魚 (3 個体) の耳石核  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  は  $0.71184 \pm 0.00009$  であり、採集場所の水田水 ( $0.71192$ ) と近い値を示した。耳石縁辺部の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ( $0.71217$ - $0.71236$ ) が琵琶湖の南湖 ( $0.71221$ ) や北湖 ( $0.71250$ ) 近い値を示したことから、琵琶湖の沖合を回遊した後、出生地に産卵回帰したものと推察される。今回の予備的分析結果により、耳石マイクロコアの  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  を用いて淡水魚の回遊履歴を推定する方法の有効性が示唆された。

### 1. はじめに

野尻湖は長野県上水内郡信濃町(北緯 36 度 49 分 30 秒、東経 138 度 13 分 20 秒)に位置し、標高 654 m、最大水深 38.5 m の中栄養湖である。長野県内では諏訪湖に次ぐ湖面積 4.56 km<sup>2</sup> をもち、貯水容積は県内最大である。湖底に生息する底生動物群集に関する研究は、これまでに数少なく、Miyadi(1932)、北川(1973)が湖内複数地点でユスリカ幼虫、水生貧毛類を対象として、生息密度や現存量の調査結果を報告している。近年では Inoue *et al.* (2010)が湖畔にライトトラップを設置し、ユスリカ類の成虫を捕獲して、生息種の報告を行っている。本研究では、現在の野尻湖内の底生動物群集の深度分布を明らかにし、過去の調査で明らかとなっている底生動物群集の優占種、生息密度、現存量、分布パターン等を比較することにより、湖底環境の変化を推察することを目的としている。

### 2. 方法

調査は 2015 年 3 月 10 日に行った。底生動物の試料は水深約 5 m から 25 m までの間に 5 地点(St.1 : 6.2 m、St.2 : 10.5 m、St.3 : 14.9 m、St.4 : 20.2 m、St.5 : 27.1 m)を設定し、エクマンバージ採泥器を用いて各地点で 3 回の採泥を行った。各試料は 1 回毎にメッシュサイズ 250 μm のサーバーネットで底泥をふるい落とし、その残渣をビニール袋に入れ、実験室に持ち帰った。また、各調査地点において、重力式コアサンプラーを用いて底泥コアサンプルを採取し、底泥直上水温、直上水中の溶存酸素量(DO)、表層底泥温、底泥表層 3 cm の灼熱減量(%)を測定した。実験室に持ち帰った試料は、種類毎に分類し、個体数と湿重量を測定し、生息密度と現存量を算出した。

### 3. 結果と考察

各地点における底泥直上水温の平均値は 2.7 ± 0.2°C、底泥直上 DO は 12.0 ± 0.4 mg/L、底泥温は 2.9 ± 0.2°C で、地点により大きな変化は認められなかった。しかし、灼熱減量については、水深が浅い地点から 9.6%、11.4%、11.2%、15.0%、13.9% と水

深が増すにつれて、底泥中の有機物含量が高くなる傾向が認められた。採集された底生動物群集のうち、最も生息密度が高かったのは水生貧毛類で、調査地点全体の平均生息密度で 2,809.0 ± 2,138.4 匹/m となった。次いでユスリカ類が 2,128.2 ± 2,330.4 匹/m となっていた。一方、現存量では水生貧毛類が 2.26 ± 1.56 g/m、ユスリカ類は 7.64 ± 4.64 g/m となり、ユスリカ類の方が多かった。ユスリカ類に注目してみると、生息密度ではキリカキケバネエリユスリカ属の一種 *Heterotrissocladius* sp. (766.6 ± 1615.2 匹/m) が優占していたが、現存量ではヤマトユスリカ *C. nipponensis* (5.71 ± 5.45 g/m) が優占種となっていた。両種ユスリカ類の深度別分布パターンをみると、*Heterotrissocladius* sp. は水深 5~10m の地点に特に多く、*C. nipponensis* は 15m より深い地点に高密度で生息していた。また、各地点についてユスリカ類の多様度指数(H')を計算すると St.2 が最も高く、水深が深くなるにしたがって H' 値、生息密度、種数は減少傾向にあった。過去の調査と比較すると、これまで報告の無かった *Heterotrissocladius* sp. が今回の調査で初めて確認され、浅い地点での優占種であることが明らかとなった。ユスリカ類全体の生息密度は過去の調査報告と比較して本調査結果の方が高く、水生貧毛類についても同様の結果となった。安野ら(1983)は富栄養化が進むとユスリカ類の現存量は増加すると述べている。湖沼の富栄養化とユスリカ類の現存量との関係に今回の平均現存量を適用し、TSI (Trophic state index)を推定すると 50.8 となり、この値は中栄養湖の中でも富栄養湖に近い値となった。今回の調査においてユスリカ類の現存量の約 7 割を占める *C. nipponensis* は、1928 年の約 10 倍、1972 年の約 4 倍と密度が高くなっていた。以上のことより、野尻湖では 1930 年代、1970 年代と比べて湖底環境が変化し、湖の富栄養化が進行していると推測された。

**謝辞：**本研究を遂行するにあたり、信州大学繊維学部武田技術職員にサポートをしていただいた。この場をおかりして、お礼申し上げます。

## 1. はじめに

ユスリカ科昆虫の成虫は種特異的形態に富んでいるが、幼虫はそれに乏しいため、分類が容易なのは成虫である。一方、成虫の出現期間は短い、幼虫のそれは長い、採集が容易なのは幼虫である。従って、ある水域のユスリカの多様性を調べる時には、採集された幼虫を羽化成虫と対応づけて分類する困難があった。

しかし、近年普及した DNA バーコーディングにより、幼虫標本であっても正確な種同定とそれによる多様性の評価が可能となる展望が開けてきた。DNA バーコーディングによる種同定が普及すれば、DNA バーコードを学名の代替として将来的にも参照可能な多様性資料を整えることができる。

また、分子系統樹上で進化過程を考慮して種を区分する手法も近年開発されている。同種・近縁種標本を十分に含んだ分子系統樹では枝末端に近づくほど枝が短く密になる傾向が認められる。この分枝パターンの疎密に注目して統計学的に種を区分することができる。この手法を適用すれば、標本の DNA 塩基配列をもとに、種別個体数組成を定量化することが可能となる。

本研究では、DNA バーコーディングを適用して兵庫県南西部のため池におけるユスリカ多様性を調査し、池とその環境に対して類型化した。

## 2. 材料と方法

調査を行ったため池 20 面は、兵庫県加古川市・播磨町・小野市・加東市・加西市にわたる播磨平野に存在する。これらの池において底質および水草の採集を行い、それらの基質からユスリカ幼虫を肉眼及び実体顕微鏡にて拾い出した。拾い出した幼虫標本は 1 個体ずつ冷凍保存し、その後、タンパク分解酵素による DNA 抽出を施した。

抽出 DNA から DNA シークエンサーにより標本のミトコンドリア DNA CO1 領域の塩基配列を決定した。決定された塩基配列はハプロタイプに絞った上で整列し、Mr.Bayes 等のソフトウェアを用いて分子

系統樹を作成した。

分子系統樹上で種を区分する手法は主に 2 つある。対象の系統樹において、根から全ての枝先までが等長であることを求める GMYC (General Mixed Yule Coalescence: Pons et al. 2006) と必ずしも等長を求めない PTP (Poisson Tree Process: Zhang et al. 2013) である。ここでは両手法を採用し、両方の結果を比較した上で、種区分を統一した。

上記の種区分にもとづいて得られた池毎の種別個体数をもとに Non-metric Multidimensional Scaling (NMDS) にて群集を類型化し指標種を検出した (R パッケージ `vegan`, `labdsv`)。各池の水質・生物相・周辺土地利用等のデータを用いて群集類型と環境傾度との関係を解析した。

## 3. 結果

20 面のため池から 1,060 個体のユスリカ幼虫標本が採集された。池 1 面あたり 0~21 種が区分され、底質から 0~15 種、水草からは 3~16 種が見つかった。全区分種数は 72 種であり、33 種の学名が確定された。多様性解析の結果を報告する 2012 年初夏の底質調査では 439 標本が採集され、全体で 50 種、池 1 面あたり 0~11 種のユスリカが区分された。なお、同じ時期の水草調査では、全体で 38 種、1 面あたり 2~7 種が区分された。

採集標本 1 個体だけの池を除いた 18 池の底質群集組成は NMDS 二次元空間上にて 4 群に分類された。栄養塩濃度等の水質・底質に関わる環境条件のちがいをこの空間上に投影したところ、次元 2 は全リン濃度および透明度と対応し、水質の富栄養化との関連が認められた。なお、4 群のうち 2 群については代表的な指標種 (アカムシユスリカ *Prosilocerus akamusi*、ハラグロセスジユスリカ *Chironomus longipes*) が認められた。

調査されたため池は、沈水・浮葉植物生育の有無や周辺の陸上植生・土地利用にちがいがあるため、これらの要因と群集類型の関係についても解析を進めて、報告する予定である。

\*細田真生（島根大院・生資），山口啓子（島根大・生資）

坂井三郎（海洋研究開発機構），中村幹雄（日本シジミ研究所）

### 1. はじめに

島根県東部の斐伊川水系河口部に位置する宍道湖と中海は日本を代表する汽水湖であり，そこには数多くのスズキ (*Lateolabrax japonicus*) が日本海から来遊する。本種は当地域において，水産的価値が高く，持続的な利用を図るために保全管理が求められる。一般的に魚類の保全管理において，対象魚が季節や成長段階に応じて水域をどのように移動しているかを把握することは重要であり，もともと海産魚であるスズキが汽水域をどのように利用しているか回遊の実態を知る必要がある。

回遊を調べる方法の1つとして耳石分析がある。耳石は硬骨魚類の内耳に存在し，付加成長して生息環境中の化学成分を取り込む特徴をもつため，生息水域や生息水域間の移動（回遊履歴）の復元に有効である。しかし，一般的に利用される Sr/Ca 比は，海水と汽水で値の区別が困難であるため，汽水域への移動を復元する際には有効ではない。そこで，本研究では，酸素安定同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) に着目し，塩分の異なる水域における回遊履歴の解読指標（塩分指標）としての有効性を明らかにすることを目的とした。また，回遊履歴に時間情報を入れるため，耳石断面にみられる透明帯・不透明帯の形成時期を明らかにした。そして，これらの結果を適用して，斐伊川水系におけるスズキの季節・年齢に応じた水域の移動を検討した。

### 2. 材料と方法

材料のスズキは，2013年夏および2014年4月～2016年3月の間，毎月，塩分の大きく異なる宍道湖，中海，境水道，美保湾で主に定置網（柵網）により捕獲されたものを島根県水産技術センター，日本シジミ研究所，その他漁業者より提供された。スズキを捕獲した近日に，各地点で採水と水質の測定を行った。

スズキの体長を測定後，耳石を取り出した。耳石のサイズを測定後，アクリル樹脂に包埋し，切断・研磨して耳石断面を作成した。耳石断面を双眼実体顕微鏡の落射光で観察し，さらにマイクロドリル（いずれも WEB 社製，Geomill326）で耳石断面を成長に沿って数十層に切削した。これらの切削試料と採水して得られた水の同位体を質量分析計（GV Instruments 社製，Isoprime）で測定した。そして，耳石縁辺および水の  $\delta^{18}\text{O}$  値と生息水域塩分の関係

を把握した。さらにこの関係を用いて，耳石を層状に切削して得られた連続した  $\delta^{18}\text{O}$  値から回遊履歴を解読した。回遊履歴解読には，宍道湖と美保湾で捕獲された個体を用いた。

### 3. 結果および考察

耳石断面観察の結果，形成時期はおおよそ透明帯が夏，不透明帯が冬であることが分かった。 $\delta^{18}\text{O}$  を測定した結果，水および耳石縁辺部の  $\delta^{18}\text{O}$  値と捕獲地点の塩分には，相関の高い直線関係 ( $r>0.95$ ) があることが分かった (Fig. 1)。この結果から，耳石の  $\delta^{18}\text{O}$  は水の  $\delta^{18}\text{O}$  を反映し，生息塩分の指標として有効であることが示された。また，成長方向に耳石の  $\delta^{18}\text{O}$  値を追跡した結果，宍道湖と美保湾で捕獲された個体はともに，成長に伴い値が大きく変化しており，水域間を移動していたことが示された。さらに両個体の  $\delta^{18}\text{O}$  値は，0歳期の夏に低い値をとり，塩分の低い汽水や淡水域にいたことを示した。このことから，宍道湖・中海などの汽水域は，海産魚であるスズキの稚仔魚や幼魚の育成場として非常に重要であることが示された。一方，0歳期の冬においては  $\delta^{18}\text{O}$  は高い値をとり，塩分の高い汽水や海水域にいたことを示した。1歳期以降をみると，宍道湖の個体は毎年，季節に応じた移動を示したが，美保湾の個体は，夏も塩分の高い汽水や海水域に留まっていることを示した。このことから，1歳以降は個体により，利用する水域が異なってくるものと考えられた。

本研究により，耳石の透明帯・不透明帯と  $\delta^{18}\text{O}$  により，汽水域を含む淡水～海水域間の魚の移動を読み取ることができることが明らかとなった。しかし， $\delta^{18}\text{O}$  は水温の影響を受けることが知られているため，これについては今後，検討が必要である。

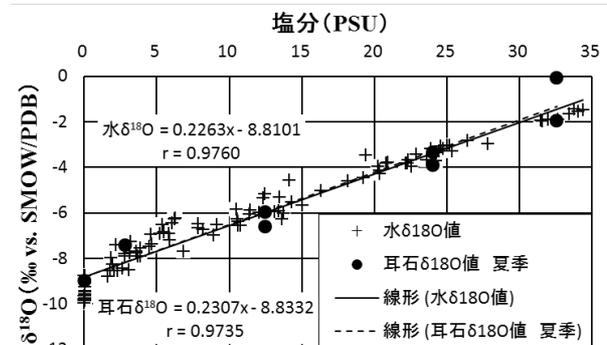


Fig. 1 水および耳石の  $\delta^{18}\text{O}$  と塩分の関係

## 自然環境中におけるミクロキスティス感染性ファージが 及ぼす宿主への影響

\*木村成子（滋賀県大・環境科学），左子芳彦，吉田天士（京大・農）

### 1. はじめに

ミクロキスティスは、世界中の湖沼に遍在するラン藻で、その一部の株が毒素を産生することから、本種によるブルームの発生は世界共通の深刻な社会問題である。ミクロキスティスゲノム上には、数多くのファージ（細菌に感染するウイルス）耐性遺伝子が確認され、ファージ感染を頻繁に受けてきたことが伺える。ファージは宿主を溶藻することから、宿主動態に影響を及ぼし、さらに物質循環を促進すると考えられている。したがって、ミクロキスティス動態解明のためには、ファージ感染を介した宿主溶藻率を知ることは必要不可欠である。そのため、ミクロキスティス感染性ファージ Ma-LMM01 のゲノム情報から作成されたプライマーによる定量化 PCR 法に基づき、Ma-LMM01 タイプファージが宿主に及ぼす影響が調べられてきた。しかしながら、私たちの先行研究より、本タイプファージは遺伝的に異なる3つのグループから構成され、Ma-LMM01 は最も小さなグループⅢに属することが分かった。つまり、従来法では本タイプファージの一部のみ検出可能であると考えられる。そこで、本研究では、①3つの異なる遺伝子グループを網羅するプライマーを作成し、環境水中のファージ遺伝子コピー数を real-time PCR 法を用いて定量すること、②その定量値より被感染宿主細胞数を推定し、ファージ感染による宿主溶藻への影響を再評価することを目的とした。

### 2. 材料と方法

京都市広沢池において、2010年4月から11月に、月1-3回、表層水を採取した。DNA抽出は、試水を遠心分離して得たペレット（宿主画分）および0.2 μm フィルターでろ過した試水（ファージ画分）を用いて行った。Kimura *et al.* (2013)で得られた Ma-LMM01 タイプファージの43遺伝子タイプ（434配列）を基に、縮重プライマー g91DRTPF1/g91DRTPR2 を設計した。本プライマーおよびこれまで Ma-LMM01 タイプファージの検出に用いてきた sheathRTF/sheathRTR プライマーを用いて、環境試水中より抽出した DNA を鋳型としてリアルタイム PCR 法を行った。

被感染宿主細胞率 (i)は、以下の式より算出した。

$$i(\%) = (C/b)/H \times 100$$

C:両画分のファージコピー数の和、b:宿主1細胞から放出される娘ファージ数、H:ミクロキスティス細胞数

### 3. 結果と考察

sheathRTF/sheathRTR プライマーを用いて定量した場合、ファージ画分の g91 コピー数は、調査期間を通して、検出限界 ( $2.0 \times 10^2$  copies ml<sup>-1</sup>) 以下だったのに対して、g91DRTPF1/g91DRTPR2 プライマーを用いて定量したファージ画分の g91 コピー数は  $2.8 \times 10^3 - 2.0 \times 10^4$  copies mL<sup>-1</sup> の間で検出された。宿主画分のサンプルでは、sheathRTF/sheathRTR プライマーを用いると、g91 コピー数は、4月-7月では  $1.0 \times 10^2$  copies mL<sup>-1</sup> 以下と非常に低く、その後10月には  $6.8 \times 10^5$  copies ml<sup>-1</sup> に達した。g91DRTPF1/g91DRTPR2 プライマーを用いて定量した場合、g91 コピー数は、4月-7月では  $3.2 \times 10^2 - 4.0 \times 10^3$  copies ml<sup>-1</sup> の間で検出され、その後、8月から11月にかけて増加し、10月には  $7.0 \times 10^5$  copies ml<sup>-1</sup> に達した。したがって、g91DRTPF1/g91DRTPR2 プライマーが Ma-LMM01 タイプファージの検出・定量に有効であることが分かった。

次に、g91DRTPF1/g91DRTPR2 プライマーを用いて定量したファージおよび宿主画分のファージ数を基に、全宿主細胞密度に対する感染を受けた宿主細胞密度の割合を算出したところ、最大で1.5%の宿主細胞が感染を受けていることが分かった。しかしながら、ミクロキスティスは遺伝的に非常に多様で、本タイプファージは、一部のミクロキスティスにのみ感染可能であることが分かっている。そこで、広沢池において、ミクロキスティスゲノム上に存在する CRISPR 領域の分布を調べることで、全ミクロキスティスに対する Ma-LMM01 タイプファージ感受性宿主の割合を算出した。その結果、本タイプファージ感受性宿主は約5%であることが分かった。つまり、最大で本タイプファージ感受性宿主の約30%がファージ感染を受けていたことが分かった。したがって、本タイプファージは宿主個体群動態に影響を与えている可能性が示唆された。

## 水草群落の植物プランクトン群集に及ぼす影響

\*宮下 洋平 (北大水産), 小林 淳希 (北大水産)  
大洞 裕貴 (北大水産), 田中 邦明 (北海道教育大), 今井 一郎 (北大水産)

## 1. はじめに

五稜郭は江戸時代末期に北海道函館に建設された陵墓式城郭であり, 1952年に特別史跡に指定された。現在は五稜郭公園となり重要な観光地と, 市民の憩いの場として親しまれている。五稜郭は周囲を外堀で囲まれ, ハスやヒシ等の水生植物が繁茂する。それらの水草はしばしば爆発的に繁茂することから, 年2回の刈り取りが行われている。

しかしながら2014年9月に, 藍藻類主体と思われる濃密なブルームが発生し, 悪臭を放つと同時に景観が悪化した。我々は現在, 環境に配慮したアオコ防除法として, 水生植物を活用した防除手法を提案している。本研究では, 五稜郭外堀におけるアオコの発生状況を把握すると同時に, 外堀の一部に水生植物帯(ヒシ帯)を設置し, 水生植物の有無による植物プランクトンの群集構造の変化について検討を加えた。

## 2. 材料と方法

調査は2015年5月から11月にかけて2週間に1度の頻度で行った。試料採取はヒシを人為的に残した水生植物区(Stn. P)と, 調査期間を通じて水生植物が見られないコントロール区(Stn. C)の2地点で表層からバケツ採水を行い, 水温, pHおよび溶存酸素を現場で測定した。採水試料から, 各栄養塩濃度, クロロフィルa濃度を分析・算出した。また, 試料をグルタルアルデヒドで固定し(終濃度1%), 倒立顕微鏡下で植物プランクトンの種同定および計数を行った。

## 3. 結果

Stn. Pにおける植物プランクトンの組成を見ると, 5月初頭は緑藻類 *Scenedesmus* spp. が優占していたが, その後21日には *Synedra* spp., 6月は *Achnanthes* spp. をはじめとする珪藻類が優占した。7月に入ると藍藻類 *Aphanocapsa* spp. および *Cylindrospermum* spp. が増加し, 藍藻類の割合は60%を超えた。8月には藍藻類の細胞数の割合は全体の90%以上に上がり植物プランクトンの総細胞

数は最大の  $9.4 \times 10^4$  cells mL<sup>-1</sup> を記録した。藍藻類の優占は9月下旬まで続いた。10月になると, 再び珪藻類へと優占が遷移した。調査期間中, 藍藻類の細胞密度の平均は  $1.7 \times 10^4$  cells mL<sup>-1</sup> であった。

Stn. Cでは, 5月は緑藻類が最も割合が高く, 5月1日は *Scenedesmus* spp., 21日は *Dictyosphaerium* spp. が最も細胞数が多かった。6月から7月にかけては珪藻類が優占し, 全体の90%以上を占めた。7月下旬からはStn. P同様に藍藻類の割合が高くなり, その優占は9月下旬まで続いた。藍藻類の組成を見ると, 7月下旬は *Cylindrospermum* spp. が80%を占め, 8月19は一転して *Aphanocapsa* spp. が最も優占した。その後, 9月17日まで再び *Cylindrospermum* spp. の割合が高かった。10月以降はStn. P同様, 再び珪藻類の割合が増加する結果となった。調査期間中の藍藻類の細胞密度の平均は  $2.9 \times 10^4$  cells mL<sup>-1</sup> であった。

## 4. 考察

本調査の結果, 五稜郭では6月より珪藻類の *Achnanthes* spp. が優占した。 *Achnanthes* spp. は付着性であり, Stn. Pにおける *Achnanthes* spp. の細胞数密度が高いことから, 水生植物の付着珪藻由来であり, その後石垣等に付着して増加供給されたと考えられる。その後はケイ酸塩が消費され, 収束した。また, 期間中窒素制限環境であったが, 窒素固定能を有する藍藻類は増殖できたと考えられる。夏季の藍藻類の細胞密度を比較すると, Stn. Pの方がStn. Cに比べて低かった。ヒシは, ヒシ表面のバイオフィーム中に藍藻類を殺滅する細菌(殺藻細菌)が生息しており, 藍藻類の密度が減少したと考えられる。

本調査により水生植物の有効活用によりアオコの発生防除できる可能性が見いだされた。しかし, ヒシの過度な繁茂は溶存酸素を低下させ, 環境の悪化を招く恐れもある為, 適切な密度管理により良好な環境条件を創出する必要がある。

## 殺藻細菌によるアオコ抑制の可能性

\*大洞裕貴, 宮下洋平, 小林淳希 (北大水産)  
田中邦明 (北海道教育大), 今井一郎 (北大水産)

## 1. はじめに

淡水域における有害有毒藍藻類のブルーム (アオコ) は、富栄養化した滞留性の湖沼などでしばしば発生し、景観の悪化、悪臭、藍藻毒による水生生物の斃死等を引き起こす。そのため、アオコの発生は飲料水の確保をはじめとした水資源供給の障害になるほか、観光業、漁業をはじめとする産業の経済的損失を招いている。したがって、淡水域におけるアオコの防除は深刻かつ緊急の課題といえる。

これまで、アオコの防除法として、ポンプによる吸引とフィルターを用いたろ過を行う物理的防除法、硫酸銅や粘土を散布する化学的防除法などが提案されているが、コストの高さや他の有用水生生物への悪影響が懸念されており、ほとんど実用には至っていないのが現状である。近年、低コストかつ湖沼生態系に配慮したアオコ防除法として、藍藻類に対して殺藻能をもつ細菌 (殺藻細菌) を用いた生物学的防除法が提案されている。なかでも浮葉植物ヒシ (*Trapa japonica*) の表面に形成されるバイオフィーム (BF) から、有毒アオコ原因種である *Microcystis aeruginosa* に対する殺藻細菌が高密度に検出され、アオコ防除への実用化が期待されている。そこで本研究では、ヒシ表面BF由来の殺藻細菌を用いたアオコ防除法の検討を目的とし、北海道函館市内に位置する五稜郭公園外堀において、ヒシ表面BFに由来する殺藻細菌の生息密度を調査した。

## 2. 材料と方法

試料の採取は2015年5-10月の期間、五稜郭公園外堀において毎月1回行った。自生しているヒシを残存させた水生植物保護区 (Stn.P) にてヒシおよび水の試料、ヒシの自生していないコントロール区 (Stn.C) にて水の試料を採取した。

水試料については適宜段階希釈後、孔径3.0  $\mu\text{m}$  の滅菌済メンブレンフィルターで濾過を行い、フィルター上に捕集された細菌を粒子付着性細菌 (Particle-associated bacteria: PAB)、濾液中の細菌を浮遊性細菌 (Free-living bacteria: FLB) とした。PABは、ST10<sup>-1</sup>寒天培地上にフィルターを静置することで、FLBは濾液を塗抹することによってそれぞれコロニーを形成させた。暗所での2週間の培養後に形成されたコロニーを釣菌し、細菌株を単離した。

ヒシ試料については、試料の入ったボトルに滅菌蒸留水を加え、600回の強振によって表面BFを剥離した。得られたBF懸濁液は適宜段階希釈し、ST10<sup>-1</sup>寒天培地に塗抹した後、水試料と同様に培養可能な細菌にコロニーを形成させた。その後、各試料から単離した細菌のうち30株を、CT培地で無菌培養した

*M. aeruginosa* (Ma17株) との二者培養実験に供した。培養には48ウェルの滅菌済マイクロプレートを用いた。本実験は温度25°C、光強度約100  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ 、明暗周期14 hL : 10 hDの条件下で2週間行った。その後、倒立顕微鏡下で観察を行い、殺藻細菌および増殖阻害細菌の有無を確認した。

## 3. 結果と考察

Stn.Pにおいて採取したヒシ試料からは、調査期間中は毎月、殺藻細菌および増殖阻害細菌が検出され、その密度は殺藻細菌で4.5 x 10<sup>5</sup> - 6.2 x 10<sup>5</sup> CFU g<sup>-1</sup> wet weight、増殖阻害細菌で1.9 x 10<sup>6</sup> - 2.7 x 10<sup>7</sup> CFU g<sup>-1</sup> wet weightと算出された。水試料についてみると、Stn.Pでは殺藻細菌が1.2 x 10<sup>3</sup> CFU mL<sup>-1</sup>、増殖阻害細菌が5.8 x 10<sup>2</sup> - 1.3 x 10<sup>4</sup> CFU mL<sup>-1</sup>の密度で検出された。Stn.Cにおいては、殺藻細菌が3.0 x 10<sup>2</sup> - 4.6 x 10<sup>3</sup> CFU mL<sup>-1</sup>、増殖阻害細菌が1.1 x 10<sup>2</sup> - 4.1 x 10<sup>3</sup> CFU mL<sup>-1</sup>の密度で検出された。西日本の浅海域における研究例では、赤潮原因種であるラフィド藻 *Chattonella antiqua* に対する殺藻細菌の出現とクロロフィルaの濃度に密接な関係が観察されている。したがって、本研究における殺藻細菌の出現も植物プランクトンの動態と関連している可能性がある。また、水草の影響がおよぶ範囲がある程度あれば、外堀全体に殺藻細菌が分布すると考えられる。

本研究により、五稜郭公園外堀のヒシから、周囲の湖水と比較して高密度に殺藻細菌が検出され、ヒシを用いたアオコ抑制の可能性が示された。今後は、ヒシBF中と水中の殺藻細菌を同定して比較するほか、従属栄養細菌が利用する溶存態有機物が殺藻活性に与える影響の評価などを行い、殺藻細菌に殺藻活性を与える要因を把握する必要がある。

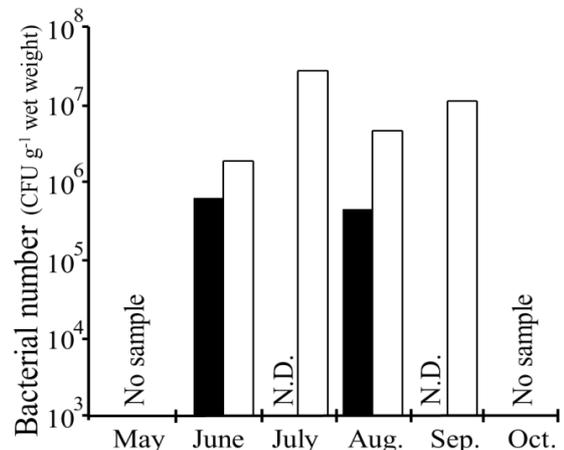


図. ヒシ由来の殺藻細菌および増殖阻害細菌数 (■: 殺藻細菌, □: 増殖阻害細菌)

# 1A13

## 振動発生装置による*Microcystis*の成長阻害効果

\*韓智仙, 全逢錫 (信州大・理), 水野勝紀 (東大・生産研), 朴虎東 (信州大・理)

### 1. はじめに

富栄養な水域に発生する藍藻は景観の悪化だけではなく、二次代謝産物による悪臭や毒素の問題も引き起こす。したがって、様々な藍藻除去法が研究されているが、処理後に毒素が溶出されたなどの新たな問題が現れる。

藍藻は他の藻類に比べて、乱流混合に弱いため、本研究では振動発生装置を用いて、藍藻の成長阻害の効果を調べた。

### 2. 材料と方法

水平と斜めの2つの翼で構成される直径約3.5 cmのシリコン製の振動発生装置を用いた。この装置は攪拌方向によって、水の流れや攪拌様子が異なる特徴を持っている。

振動発生装置による藍藻の成長阻害効果を確認するために、処理無しの対照区(C)、振動発生装置区(O)、攪拌の影響を確認するための攪拌子区(M)を用いた。約7 L規模のアクリル製の水槽に、6 Lの*Microcystis aeruginosa*の培養株 (NIES3349)を用いた。

実験は27±3°C、10±3 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>で10日間行った。吸光度(OD<sub>405nm</sub>)とChl.aで細胞密度を測定し、フローサイトメトリーを用いて細胞サイズ変化を確認した。さらに、振動発生装置による細胞損傷に起因するmicrocystin (以下MCと略す)溶出の影響を調べるために細胞内・外のMC-LRの定量分析を行った。振動発生装置による成長阻害のメカニズムを調べるために透過型電子顕微鏡(以下TEMと略す)による*Microcystis*細胞の観察を行った。

### 3. 結果と考察

処理無しの対照区(C)と攪拌子区(M)は時間経過に伴って細胞密度が増加したが、振動発生装置区(O)の実験期間中には成長が見られず(図1)、Chl.aと細胞内MC-LRでも類似な傾向が示された。したがって、振動発生装置の処理によって、*Microcystis*の成長が阻害し、これは攪拌の影響では無いと言える。

振動発生装置の処理による細胞損傷の影響を調べるために細胞外MC-LRを測定した結果、対照区を含むすべての実験区で検出限界以下だった。この結果から、振動発生装置の処理によって、細胞膜の損傷は受けずに成長が阻害できると考えられる。

さらに、成長阻害のメカニズムを調べるためのTEM観察の結果は、対照区で細胞の内部構造が鮮明にあることに比べ、振動発生装置区の細胞ではガス胞の構造(black arrow)が大幅に減少され、代わり

に空洞(white arrow)が多く観察された(図2)。また、対照区に比べて、チラコイドの構造(gray arrow)が明確に観察されなかった。

これらの結果に基づいて、振動発生装置の処理によって、*Microcystis*の細胞膜の損傷を受けずに、細胞内部のみの影響を及ぼすため、藍藻毒MCの溶出を引き起こさずに*Microcystis*の成長を阻害できる。

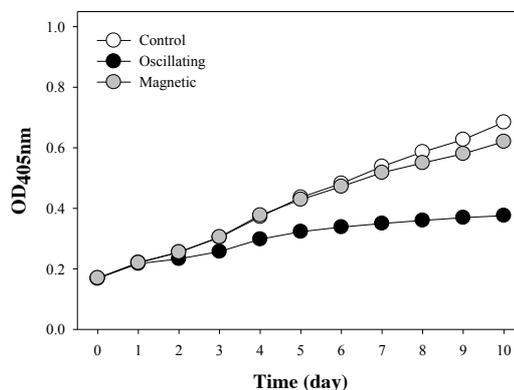


図1. 振動発生装置による細胞密度(OD<sub>405nm</sub>)の変化

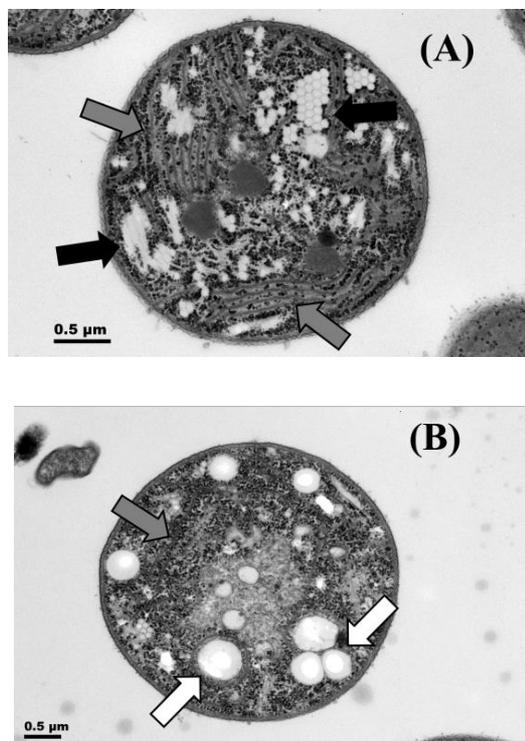


図2. 振動発生装置による細胞構造の変化(A: 対照区, B: 振動発生装置区, black arrow: ガス胞, white arrow: 空洞, gray arrow: チラコイド)

\*全逢錫, 韓智仙, 朴虎東(信州大・理)

### 1. はじめに

湖沼の富栄養化によって発生する藍藻類の大増殖現象(いわゆるアオコ)は景観の悪化, 悪臭, 水質の低下による浄水経費の増加, 有毒藻類の問題などの多くのデメリットが生じる事が報告されている。

水電解処理によって発生する活性塩素・酸素類によって藍藻細胞やその毒素の除去できる。しかし, 藍藻細胞の分解後毒素が溶出され, 溶出された毒素を分解する順番となるため, 水中に大量の藍藻毒素が存在する時期があり, その時期の水を利用すると大変な危険になる可能性がある。

一方, 水電解処理の陽極としてPt電極に比べてDSE電極(Dimensionally Stable Electrode, 不溶性金属電極)の方が効率が高いと報告されている。

従って本研究では, 培養した藍藻細胞を用いた水電解処理による藍藻の成長抑制条件を調べた。さらに, Pt電極と不溶性金属電極の一種の酸化鉄電極の効率を比較し, アオコ対策としての水電解処理を評価することを目的とした。

### 2. 材料と方法

実験に用いた藍藻細胞はMA培地に培養した *Microcystis aeruginosa* NIES 3349である。

電極材料による効果を調べるため, Pt電極の装置と酸化鉄電極の装置で実験を行なった。全ての電極のサイズは6×80 mmであり, 電極間の距離は5 mmである。ポンプを利用し3.0 mL min<sup>-1</sup>の流速で藍藻溶液を陽極と陰極の間に供給した。電極の電圧は4から20Vまで変化しながら実験を行った。処理された溶液は血球版を用いて細胞密度を測った。また, Bioassay方法で細胞の成長を観察した。

成長抑制条件を調べるため, 酸化鉄電極を用いて実験を行なった。電圧は12Vで固定し, 藍藻溶液の電気伝導度は278から575  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , 流速は3.0から21.6 mL min<sup>-1</sup>まで変化しながら実験を行なった。測定項目は上と同じように細胞密度と細胞の成長である。

全ての実験に使用した藍藻溶液の細胞密度は(3.04 ± 0.13) × 10<sup>6</sup> cell mL<sup>-1</sup>であり, 全ての実験は3回繰り返した。

### 3. 結果と考察

図1に水電解処理の電極材料によるBioassayの結果を示した。Pt電極の場合8V以上で細胞成長の抑制が見られ, 4Vでは細胞成長が見られるが(図1(a)), 酸化鉄電極の場合4Vでも細胞成長が見られないこと(図1(b))から, 成長抑制にPt電極より酸化鉄電極が効果的であった。

藍藻の成長抑制条件を調べる実験の結果から, 電極の電流は電極の電圧と溶液の電気伝導度に比例して変化した。表1に水電解処理による溶液の電気伝導度による細胞成長の最大電気量と細胞成長抑制の最小電気量を示した。その結果から細胞の成長抑制のため, 0.38 C mL<sup>-1</sup>以上の電気量が必要であった。

先行研究から *Microcystis* 細胞の除去(95%以上)のため必要な電気量は7.0 C mL<sup>-1</sup>であり, その毒素Microcystinまで除去するため必要な電気量は15.0 C mL<sup>-1</sup>のことから, 成長抑制のみ行う場合, 細胞からの毒素の溶出の危険性はなくて約20から40倍の電気の節約が可能であると考えられる。実際の応用としては, アオコ現象が起こる前から湖全体に対して処理すると, 細胞の成長が抑制されるため, アオコ対策になると考えられる。

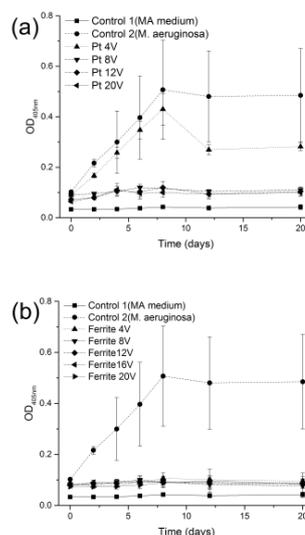


図1. 水電解処理の電極材料によるBioassayの結果。  
(a) Pt電極, (b) 酸化鉄電極。

表1. 水電解処理による溶液の電気伝導度による細胞成長の最大電気量と細胞成長抑制の最小電気量

溶液の電気伝導度 ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	細胞成長の最大電気量 (C mL <sup>-1</sup> )	成長抑制の最小電気量 (C mL <sup>-1</sup> )
278	0.25	0.50
439	0.21	0.38
575	0.25	0.46

## 諏訪湖における植物プランクトンの優占種と富栄養化指数の長期変遷

\* 二木 功子 (信州大・院), 宮原 裕一 (信州大・山岳研)  
花里 孝幸 (信州大・山岳研), 朴 虎東 (信州大・理)

### はじめに

湖沼における植物プランクトン種の優占種の変化は、栄養塩濃度および栄養塩類の濃度比率、光環境、風の影響など様々な環境要因からの影響を受けた結果である。諏訪湖の夏季一次生産は減少し、優占種であった *Microcystis* の生物量の減少で、諏訪湖の水質は、改善傾向にある。2010年～2015年では、窒素固定藍藻 *Dolichospermum* と糸状緑藻 *Mougeotia* が交互に優占するように変化した。

一方、糸状緑藻の増加は、投網の目つまりによる漁業の重労働化を起こした。また、底層の貧酸素化による魚の大量死及びヒシの大量繁茂、ワカサギ漁獲高の減少などの問題が起きている。そのため、現在の湖水の植物プランクトン変化とその増殖の特徴及び湖水の環境変化を解析することは、重要である。本研究は、諏訪湖における長期観測結果と本論文の調査結果を基にして、2010年～2015年における優占プランクトンの変化と諏訪湖の富栄養化指数との関係を比較した。また、近年の夏季植物プランクトンを変化させた影響因子についても明らかにすることを目的とした。

### 材料と方法

植物プランクトン計数試料の採取は、諏訪湖湖心 (36° 02' 50" N, 138° 05' 01" E) において表層から採取後、ホルマリンを用いて固定 (ホルムアルデヒドの最終濃度1.5%) をした。諏訪湖の1977年～2015年の8月における栄養状態の変化は、約10年ごとに Carlson による TSI (TP, CHL, SD) 及び Kratzer と Brezonik による TSI (TN) の式を用いて算出、判定した。各算出式を以下に示す。  $TSI(SD) = 60 - 14.41 \ln(SD)$ ,  $TSI(CHL) = 9.81 \ln(CHL) + 30.6$ ,  $TSI(TP) = 14.42 \ln(TP) + 4.15$ ,  $TSI(TN) = 54.45 + 14.43 \ln(TN)$ 。

### 結果と考察

諏訪湖での長期観測結果を含めて、諏訪湖の植物プランクトン種の組成変遷を解析した結果、1948年以降の諏訪湖植物プランクトン種の変遷は、3回起きていたことが示された。第1回目は1970年代、第2回目は1999年そして第3回目は2011年である。DIN(dissolved inorganic nitrogen) 濃度と DIP(dissolved inorganic phosphorus) 濃度がともに高い環境下では、*Microcystis* が優占種となっていたが、2010年～2015年の諏訪湖植物プランクトン種は窒素固定藍藻 *Dolichospermum* と糸状緑藻 *Mougeotia*, 珪藻 *Aulacoseira* が優占し、植物プランクトンの生物量を増加させていた。2013年のDIN濃度は、 $1 \mu\text{g L}^{-1}$  以下でDIP濃度が  $10 \mu\text{g L}^{-1}$  以上の夏期には、*Dolichospermum* が高い生物量を示した。DIN濃度が  $400 \mu\text{g L}^{-1}$  以上DIP濃度が  $10 \mu\text{g L}^{-1}$  以下の環境下では、秋季に *Mougeotia* の生物量が増加していた。2011年からの植物プランクトン種の変遷は、DINとDIPに起因しており、2010年代以降の諏訪湖は夏季植物プランクトン種の変遷とTSIより富栄養湖から中栄養湖への移行期と言える。

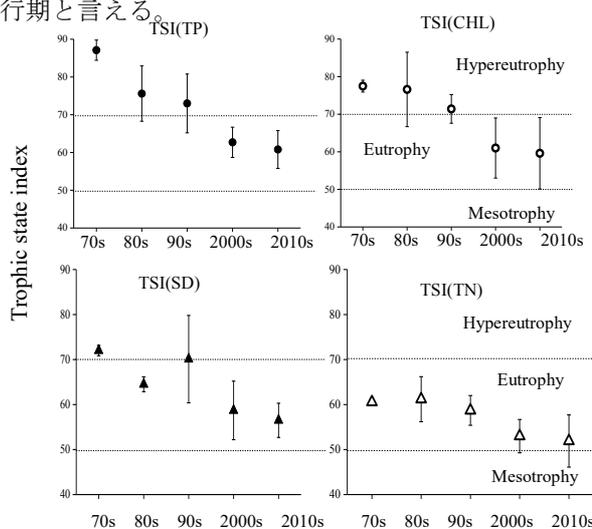


図1. 諏訪湖の富栄養化指数 (8月)

(1970s, 1980s, 1990s, 2000s, 2010s).

● : TSI (TP) ○ : TSI (CHL) ▲ : TSI (SD) △ : TSI (TN)

\*金 海燕 (名城大院総合学術)、

平岡 佳子、宮地 淳、Andrea R. J. ANAS (名城大薬)、

辻 清美 (神奈川衛研)、原田 健一 (名城大院総合学術・薬)

1. はじめに 1994 年、オーストラリアの Jones らは、初めて microcystin (MC) 分解性細菌 MJ-PV 株 (*Sphingomonas* 属 ACM-3962 株) を単離した。当研究室でも 2006 年、MC 分解性細菌 B-9 株を単離した。B-9 株は MC を分解・無毒化する 3 種の加水分解酵素 (MlrA、MlrB、MlrC) およびトランスポータと推測されている MlrD を有している。従来の結果から、B-9 株は MC をはじめとする環状や直鎖状ペプチド類を非特異的に加水分解するとともにアミノ酸を有する化合物のみを加水分解することが示された。

本研究の目的は MC 分解性細菌を環境中のペプチド性有害物質の浄化 (bioremediation) に適用することであり、第 1 段階として B-9 株の分解挙動から生態系における存在意義を検討する。今回、分子量 4000 前後のグルカゴン類とアミノ酸 1 個を含有するペプチドおよびエステル類を基質として用い、メタロプロテアーゼの阻害剤である EDTA (MlrC を阻害させる) を添加し、分解および阻害挙動を観察した。

2. 材料と方法 MC 分解性細菌 B-9 株は神奈川県津久井湖より単離され、桜井培地により 5~7 日間培養した。分子量 4000 前後のグルカゴン類 (GLP/GIP/VIP) とアミノ酸 1 個を含有するペプチドおよびエステル類を含有する化合物を B-9 株の培養液とそれぞれ反応し、その反応液を一定時間ごとに採取した。また、EDTA を適宜用いることにより分解・阻害挙動を HPLC および LC/MS にて分析を行った。

3. 結果および考察 B-9 株によるグルカゴン

類の分解は、endopeptidase、exo-peptidase 様の切断が多く認められ、EDTA で MlrC を阻害した場合、endopeptidase 様の切断が確認されたが、アミノ酸までは分解されなかった。これは恐らく MlrB がペプチドを認識し、endopeptidase 様に切断した後、より小さなペプチドへの変換は exopeptidase 様に徐々にペプチドを切断する MlrC に寄与すると推定した。また、アミノ酸 1 個を含有するペプチド類の加水分解は EDTA では阻害されなかった。以上の結果からアミノ酸への最終分解は、加水分解酵素 MlrC ではなく、新たな分解酵素によると考えられ、さらに、アミノ酸が関与するエステル結合も速やかに切断されることから、エステラーゼの存在も示唆された (図 1)。今後、分子量 1~2 万前後のタンパク質と発色団を用いる小さなペプチドを基質として適用し、B-9 株の分解および栄養の取り込みに注目する。

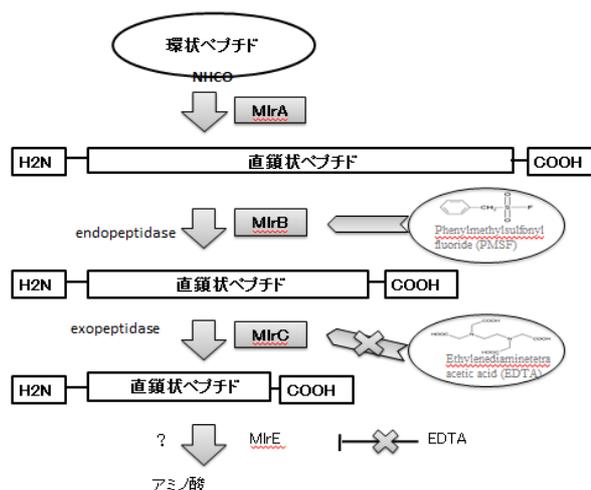


図 1 B-9 株による各種ペプチドの分解挙動

*japonicus* 生産量における長期変動解析

\*Liu Xin (滋賀県大・環境), Gaël Dur (静岡大・理), 土井絵美 (滋賀県大・環境), 酒井陽一郎 (琵琶湖環境科学研究センター), 大前信輔 (滋賀県水産試験場), 森田尚 (滋賀県水産試験場), 伴修平 (滋賀県大・環境)

## 1. はじめに

湖沼生態系において、富栄養化はこれまでに甚大な被害を与え、今また地球温暖化が様々な影響を及ぼす可能性が懸念されている。琵琶湖に生息するカイアシ類 *Eodiaptomus japonicus* は周年に渡って優占し、琵琶湖において重要な二次生産者である。これらは環境変動に敏感であり、環境変動の指標生物として評価することができる。本研究では、琵琶湖における過去 40 年間 (1971–2010 年) におよぶプランクトン試料の解析と室内実験より、*E. japonicus* のバイオマスと生産量を見積もり、それらの長期変動を明らかにした。そして、富栄養化と温暖化が琵琶湖の二次生産に与える影響について評価した。

## 2. 材料と方法

動物プランクトン試料は、1971 年から 2010 年の 40 年間に渡って、滋賀県水産試験場の定点 St. 4 にて、毎月プランクトンネットの 0–20m 鉛直曳にて採集されたものを再分析した。採集と同時に 0–20m の水温を測定した。試料中から *E. japonicus* の体サイズと個体数密度を測定した。体サイズは換算式によって個体重量 ( $W$ ) に換算し、個体数密度に乗じてバイオマス ( $B$ ) を計算した。餌が潤沢な環境で実験的に求めた水温–体サイズ関係式を用い、0–20m 平均水温から野外において餌充分な体サイズ ( $PL_{max}$ ) を推定した。カイアシ類の体サイズは水温と餌量でほぼ決定されているので、野外での平均体サイズ ( $PL_{obs}$ ) と  $PL_{max}$  の比は、餌量の指標 ( $f$ ) として用いることができる。実験で得られた体成長係数 ( $k$ ) を温度 ( $T$ ) と  $f$  の関数式として表し、個体群比成長速度 ( $g$ ) は  $k$  と体重  $W$  から、 $k(W_{max}-W_{obs})/W_{obs}$  で求めた。ここで、 $W_{obs}$  と  $W_{max}$  はそれぞれ  $PL_{obs}$  と  $PL_{max}$  から算出した。最後に、生産速度 ( $P_a$ ) は  $Bg$  にて算出した。個体群の代謝ロス ( $M_a$ ) は、水温から外挿された比呼吸速度 ( $R$ ) と  $B$  より  $BR$  で求めた。個体群成長効率 ( $E_a$ ) は  $P_a/(P_a+M_a)$  にて算出した。

## 3. 結果

過去 40 年間に於ける、*E. japonicus* の生息水温は、5 から 25 °C まで変動し、線形回帰によると、その生息水温は年間 0.036 °C の割合で上昇した。この期間、 $B$  は 0.01–6.97 g m<sup>-2</sup> で変動し、1990 年代後半から増加傾向を示した。 $PL_{max}$  は 0.903–0.979 mm であったのに対して  $PL_{obs}$  は 0.760–0.984 mm で、ほとんどの場合  $PL_{max}$  より低かった。従って、 $f$  は常に <1 であり、平均値は 0.915 だった。 $g$  は 0.0003–0.0799 day<sup>-1</sup> であり、大きく季節変動するものの年変動に大きなトレンドは見られない。 $P_a$  は 1.1–13.2 gC m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> で変動し、平均 5.9 gC m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> であった。 $P_a$  は  $B$  と同様に 1990 年代後半から増加傾向を示した。 $M_a$  は、4.3–42.7 gC m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> であり、 $E_a$  は 16–34% で、平均 20% 程度だった。

## 4. 考察

1970 年代は、琵琶湖が最も富栄養化した時期にあたる。にもかかわらず、本研究で求めた  $f$  はほとんどの場合 <1 であり、*E. japonicus* が餌制限環境にあったことを示唆した。カイアシ類は雑食であり、植物プランクトンは本種にとって主要な食物源ではないのだろう。これまでに、琵琶湖の一次生産は 150–340 gC m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> と報告されており、本研究で見積もられた本種生産量は、一次生産の 2–4% 程度であった。IPCC の第 5 次報告によれば、21 世紀末までに地球大気温度は 3 °C 上昇すると予測される。また、一次生産は 6% 低下する可能性が指摘されている。琵琶湖での本種個体群にとって、温暖化は生産量の増大に寄与しているようだが、代謝ロスも同時に増加しており、餌不足環境ではこの効果が大きい。本研究結果から考えると、琵琶湖では今世紀末までに一次生産が 6% 低下すれば、 $f$  は 0.86 まで減少し、本種の生産量は現在より 13% 低下すると示唆される。

## 関連遺伝子の発現応答

\*高橋 祥尚・田辺 祥子・伴 修平 (滋賀県立大学)

## 1. はじめに

オオミジンコ *Daphnia magna* は混み合うと、成熟サイズが減少し大型の仔虫を生産する。しかし、この混み合い応答については、卵黄形成にかかわるビテロジェニン遺伝子の転写量の増加が報告されているのみで、詳細な分子メカニズムは未だ不明のままである。

これまでに、昆虫や甲殻類ではビテロジェニン遺伝子の転写量調節に脱皮ホルモンが関与している可能性が示唆されている。オオミジンコにおいても同様の調節が行われている可能性は高い。本研究では混み合い応答によるビテロジェニン遺伝子および脱皮ホルモン関連遺伝子の発現量解析を行い、オオミジンコの混み合い応答に関する詳細な分子機構を明らかにすることを目的とした。

## 2. 材料と方法

実験には継代培養した *D. magna* を使用した。*D. magna* は 50-ml の飼育水に 1 個体入れ、14 時間明期 10 時間暗期にて、 $10^5$  cells/ml 以上のクラミドモナス *Chlamydomonas reinhardtii* を与えて飼育した。これを親個体とし、親個体が 3 回目に産んだ子を実験に使用した。実験個体は、餌不足と代謝物質の蓄積を排除するため、フロースルー装置を用い (流速、70 ~ 80 ml/h)、*C. reinhardtii* を同様に餌として与えて飼育した。混み合い区 (10 個体) と非混み合い区 (1 個体) を設定し、4~6 令のそれぞれにおいて、脱皮直後から脱皮直前まで 12 時間間隔で実験個体を採取し遺伝子解析用の試料とした。試料個体から RNA を抽出した後 cDNA を合成し、リアルタイム PCR にてビテロジェニン遺伝子 (*VTGI*)、脱皮ホルモンに関連する 4 遺伝子 (*neverland1*, *shade*, *USP*, *Cyp18a1*) の経時発現量解析を行った。

さらに、これら経時発現量解析の結果から、混み合いと関連して発現量の変化が見られた *VTGI* および *Cyp18a1* について、混み合い応答の可塑性につい

て調べた。6 令まで 1 個体または 10 個体で飼育した実験個体について、7 令の脱皮直前にそれぞれ 10 個体あるいは 1 個体に個体数密度を入れ替えた。対照区では、実験終了時まで同じ個体数密度で飼育した。そして、8 令に脱皮する直前に試料個体を採取し cDNA を合成した後、リアルタイム PCR にて *VTGI* および *Cyp18a1* の発現量を解析した。

## 3. 結果

経時発現量解析の結果、4 令では実験区間に、*VTGI* 発現量の差は見られなかったが、5~6 令では、混み合い区で令期の後半に *VTGI* の発現量が高くなる傾向が認められた。*Cyp18a1* でも混み合いに反応して、脱皮直前に発現量の増加する傾向が見られた。その他の関連遺伝子 (*neverland1*, *shade*, *USP*) に関しては、混み合いによる発現量の差は認められなかった。

6 令における飼育個体数の入れ替え実験の結果、込み合うと *VTGI* も *Cyp18a1* も発現量の増加がみられた。一方、混み合いから解放された場合は、逆にこれらの発現量は低下した。

## 4. 考察

*VTGI* は卵黄形成にかかわる遺伝子であり、ビテロジェニンの増加が卵サイズの増加を促すものと考えられる。ミジンコでは卵サイズが大きくなると仔虫の体サイズが大きくなるため、混み合いに反応して仔虫サイズが増大するのは、混み合い時に *VTGI* の発現量が増加することによるものと考えられた。

これまでに、*VTG* の発現量は脱皮ホルモンによって抑制されること、そして、脱皮ホルモン活性は *Cyp18a1* によって抑制されることが分かっている。即ち、混み合いに反応して *Cyp18a1* の発現量が増加し、脱皮ホルモン活性が低下する。そして、これによって *VTGI* の発現量が増加したのではないかと推測された。

\*Xiaohang Wang, Shoko Tanabe, Syuhei Ban (Univ. of Shiga Pref.)

### 1. Introduction

In the previous studies, daphnids had less longevity, while more investment to reproduction under crowding conditions. This implies a traded-off between longevity and reproduction at crowding. This kind of trade-off through antagonistic effects of heat shock proteins (HSPs) has been known in *Drosophila melanogaster*. In daphnids, long-lived species has been shown a robust *hsp70* induction as compared to short-lived species in response to heat shock. Expression of vitellogenin (VTG) related gene (*vtg1*) was also enhanced under crowding condition. These previous works imply that shorter lifespan and enhancement of reproductive investment in daphnids under crowding condition may be related to enhancement of VTG related genes and depression of heat shock protein related genes.

In this study, we determined the effects of crowding on growth, reproduction and lifespan with expression of genes related to HSPs, Ubiquitin and VTG, i.e. *hsp40* and *70*, *ubiquitin* and *vtg1* in *Daphnia magna*, to clarify the relationship between longevity and reproduction as a molecular mechanism.

### 2. Materials and Methods

*D. magna* were maintained at 20°C with a flow-through system (flow speed, 70 mL h<sup>-1</sup>) in order to keep constant food concentration and avoid accumulation of metabolites under a photoperiod of 12L:12D. *Chlamydomonas reinhardtii* was fed on as food at 10<sup>5</sup> cells mL<sup>-1</sup>. One (control) or ten neonates (crowding) were placed into each of the flow-through flasks. The body size and number of neonates were checked every day. When neonates appeared in the flasks, all of them were removed from the flasks to keep constant density. RNA was extracted from *D. magna* at the 2<sup>nd</sup> to 8<sup>th</sup> instars, and then

reversed transcript to cDNA. Finally, those cDNA were used to analyze the gene expression of *hsp40*, *hsp70*, *ubiquitin*, *vtg1* and *GADPH* (reference) by running real-time PCR. Since heat shock protein 40 (*hsp40*) is regulated to *hsp70* activity, and ubiquitin enhances survival in response to several stress conditions, these genes were determined simultaneously.

### 3. Results

*D. magna* lived a week shorter and reached 0.47 mm smaller in body size at crowding. Clutch size increased with age at both experiment and control until reaching an appropriate size, while decreased after the 15<sup>th</sup> instars under the crowding condition. The cumulative numbers of neonates were 672 and 336 female<sup>-1</sup> in control and crowding, respectively. The body sizes of the neonates depended on their mothers, being larger in crowding treatments.

At crowding condition, *vtg1* gene expression was promoted while *hsp70* and *hsp40* gene expressions were depressed in the 2<sup>nd</sup> to 3<sup>rd</sup> and 2<sup>nd</sup> to 5<sup>th</sup> instars, respectively. *Hsp40* was slightly enhanced at the 7<sup>th</sup> to 8<sup>th</sup> instars. *Ubiquitin* gene expression showed no significant differences between the two treatments.

### 4. Discussion

*D. magna* reduced its body size at maturity, produced larger offspring, and shortened its longevity at crowding. This suggests a trade-off between longevity and reproduction under crowding condition. *Hsp40* and *hsp70* gene expressions were lowered, while *vtg1* gene expression was promoted in the crowding treatments. This antagonistic relationship between *hsp40* and *70* and *vtg1* may explain the trade-off between longevity and reproduction in *D. magna* as molecular level mechanism.

## 遺伝解析より明らかとなった 日本に産する *Daphnia obtusa* の正体

\*丸岡 奈津美(東北大・理), 大槻 朝(東北大・生命), 牧野 渡(東北大・生命)

鏡味 麻衣子(東邦大・理), 占部 城太郎(東北大・生命)

### 1. はじめに

生物の種同定は主に形態的特徴により行われてきた。しかし近年、形態では判別の難しい種でも、遺伝解析により種の同定・判別が行えるようになった。狭義のミジンコ類 (*Daphnia* 属) は、形態変異が著しいため分類がしばしば混乱してきたが、遺伝解析により種同定や分布域の推定がなされつつある。例えば、日本に産する *D. pulex* は米国からの侵入種であること (So et al. 2015) が遺伝解析により明らかにされている。

千葉県印旛沼に出現する *Daphnia* 種は、尾爪の形態や甲殻内縁にある細毛などの特徴から Tanaka & Shigaki (1987) が本邦から記載している *D. obtusa* に近似している。*D. obtusa* は *D. pulex* グループのミジンコ種で、原記載は欧州である。したがって、日本に生息しているのか定かではない。そこで、印旛沼産の *Daphnia* 種がいわゆる *D. obtusa* か否かを確認するため、遺伝解析と詳細な形態観察を行った。

### 2. 材料と方法

2014年5月に千葉県印旛沼において採集され、研究室にて継代飼育されたミジンコ個体を本研究に用いた。形態観察にあたっては、成熟した単為生殖雌個体、雄個体、有性生殖雌個体を用い、顕微鏡下にて観察した。遺伝解析にあたっては、飼育した個体からDNAを抽出し、mtCOI領域のDNA配列を決定し、既知種の配列と比較した。

### 3. 結果

遺伝解析の結果、本種の mtCOI 領域の配列は *D. obtusa* とも、また *D. pulex* グループのいずれの既知種とも一致しなかったが、Kotov & Taylor (2010) が報告している愛知県常滑市の沼で採集された未知種と一致した。詳細な形態観察を行ったところ、雌個体の形態は頭殻の吻状突起が頭部に対してほぼ垂直に突出していること、甲殻腹縁内側から細毛が生

えていること、第2触覚内側3節の先端の節に毛束を有するなどの特徴がみられた。また、雄個体では甲殻腹縁前方に長い毛が密生し、肛門付近が内側に強く凹んでいるといった特徴がみられた。

### 4. 考察

本研究で調べた個体は、*D. obtusa* とは形態的に近似するものの、遺伝的には明らかに異なる種であることが判明した。石川千代松は *D. pulex* グループのミジンコ種として本邦から *D. morsei*, *D. whitmani*, *D. mitsukuri* の3種を新種記載している (Ishikawa 1985, 1896)。近年の分類学からみるとその記載は必ずしも十分でないが、石川が残した記述やスケッチと比較すると、今回調べた個体は、成熟雌個体の甲殻腹縁内側に細毛が生えている点で *D. morsei* と *D. whitmani* とは一致せず、さらに *D. morsei* とは雄個体の甲殻腹縁前方に長い毛が密生している点でも異なるが、*D. mitsukuri* の特長とはよく一致した。よって、今回調べた個体は新種として記載するよりも、石川が記載した *D. mitsukuri* とするのが妥当であろう。

石川によって記載された3種は上野によって全て *D. pulex* であると主張されたために (Ueno, 1926)、これまでその存在は全く検討されてこなかった。本研究により130年以上前に石川が日本で発見し記載した種が、低い出現頻度ながらも生息していることが示唆された。

Ishikawa (1985) Zool Mag 1895a7:137- Ishikawa (1986) Zool Mag 1895b7:147-; Kotov & Taylor (2010) J Plankton Res 32:937-; So et al. (2015) Limnol Oceanogr, 60:1129-; Tanaka & Shigaki (1987) Jpn J Limnol 48:111-; Ueno (1926) Mem Coll Sci Kyoto Imp Univ B. 2: 259-

## 定量精度と PCR 阻害耐性について

\*十河 勇樹(龍谷大・院・理工)

土居 秀幸(兵庫県立大・院・シミュレーション)

山中 裕樹(龍谷大・理工)

## 1.はじめに

近年、水棲生物のモニタリング手法として環境 DNA 手法が注目を集めている。環境 DNA(以下 eDNA)とは、環境中の生物由来の DNA 断片のことであり、野外から採水した試料水に含まれる eDNA を分析する事で生物の在・不在判定だけでなく生物量の推定も行う事ができる。eDNA から種特異的な DNA を分析する際、一般的にリアルタイム PCR 法(以下 qPCR)が用いられているが、新たな分析手法としてデジタル PCR(以下 dPCR)が期待されている。dPCR は qPCR と比べ DNA が低濃度な試料に対しても検出力・定量精度に優れ、野外水中に含まれる有機酸といった PCR 阻害物質の影響を受けにくい手法であると言われている。しかし、野外試料に用いられた例は少なくどの程度の定量精度や PCR 阻害耐性があるのか明らかになっていない。本研究ではため池のような PCR 阻害物質が多く含まれる環境から採水した試料を qPCR 及び dPCR で分析し、dPCR の定量精度や PCR 阻害耐性を評価することを目的とした。

## 2.材料と方法

2016 年 6 月 28 日に京都府亀岡市にある中池で採水を行った。それぞれ 0.1、0.5、1.0、2.0、4.0(L)の水量をフィルター濾過し、その後 DNA 抽出を行った。濾過量を変える事でサンプル中の PCR 阻害物質の濃度を変化させる事が狙いである。抽出後の各サンプル 13.5(μL)に対し、dPCR の定量結果に基づき調整した、採水池にはいない魚種であるスズキ (*Lateolabrax japonicus*)の DNA (133.33 copies/μL)を 1.5μL ずつ添加した。同時に TE Buffer 13.5μL に対し同濃度のスズキ DNA を 1.5μL 添加したサンプルを作成(以下 Lja only)し、野外サンプルに DNA を添加して作成したサンプル(以下 Lja in Nakaike)との比較を行った。作成したサンプルは、qPCR 及び dPCR で分析した。各サンプル PCR の繰り返しを 3 回行い、実験の繰り返しを 5 回行った。

## 3.結果

Lja only の定量結果が本来得られる定量結果の真値と考え、Lja only の定量結果から各濾過量の Lja in Nakaike の定量結果を差し引いた値の絶対値を図 1 に示した。qPCR は dPCR の定量結果と比べ、Lja only の定量結果より離れた値を出す傾向が見られた。また濾過量別に qPCR 及び dPCR での分析値を t 検定で比較したところ、いずれの濾過量のサンプルにおいても dPCR の方が Lja only との定量結果の差が有意に低い結果を示した(t-test,  $p < 0.05$ )。

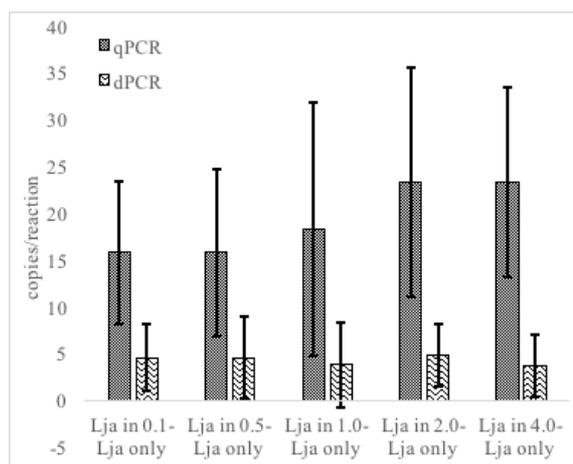


図 1.qPCR 及び dPCR の定量結果の比較

## 4.考察

今回の結果より、dPCR の方が定量精度が優れている可能性が示唆された。対象生物の在・不在判定だけでなく定量された DNA 濃度も厳しく評価しなければならない場合は、dPCR 分析を用いた方が良いと考えられる。環境 DNA 分析において環境 DNA 濃度からの生物量の推定は多く試みがなされているが、DNA 分解のメカニズム、野外試料中に含まれる PCR 阻害の影響評価等、DNA を定量する際に重要であると考えられる事象に関して未だ明らかになっていないことも多い。個々の事象のメカニズムを解明しつつ、定量精度の高い手法を用いることで生物量推定の精度を上げることが可能である。

## 環境 DNA 分析を用いた小規模河川への アメリカナマズの侵入モニタリング

\*本郷真理（龍谷大・院・理工）、加納光樹、荻部甚一、  
平山拓弥（茨城大・水圏セ）、山中裕樹（龍谷大・理工）

### 1. はじめに

北米原産のアメリカナマズ (*Ictalurus punctatus*) は、霞ヶ浦（西浦、北浦、外浪逆浦）で 1981 年に導入され、2000 年以降、優占種となっている。本種はエビ類やハゼ科などの捕食に伴う生態系への影響、胸鰭と背鰭の刺による漁獲物の損傷など甚大な被害をもたらしている。湖沼内における本種の生態に関する研究は行われているものの、そこへ流入する小規模河川における研究は少ない。

本研究では、水棲生物由来の DNA 断片（環境 DNA）を試料水の分析により検出する環境 DNA 分析を用いて、本種が霞ヶ浦の小規模な流入河川へ侵入する環境要因を明らかにすることを目的とした。

### 2. 材料と方法

調査は 2016 年 3 月と 5 月に茨城県霞ヶ浦の北浦の流入河川の 17 本で実施した。その河川では、河口とその上流 2 km の地点で、水質と物理的環境を測定した。堰がある河川では、その上流・下流側で測定し、堰の構造も記録した。

環境 DNA の調査は河川の堰の上流・下流側、または堰のない河川の上流 2 km 地点で各 500 mL 採水し、環境 DNA サンプルを得た。Taqman PCR 法により対象種の在不在を確認した。河川侵入の要因を抽出するために、対象種の在不在を目的変数とした一般化線形モデルによる解析を行い、モデルの選定を行った。

特定の 2 河川において、置き針を 10 m おきに 30 本仕掛け、捕獲調査を行った。

### 3. 結果

対象種の DNA は 3 月に 5 河川で、5 月に 11 河川で検出した。堰の上流で検出した河川は 1 河川から 4 河川に増加した。下流は検出されず、上流のみ検出された河川も存在した。

5 月における置き針調査で捕獲された両河川のうち 1 河川では、環境 DNA が検出されなかった。捕獲された場所は河川の堰から下流へ 200 m の地点であった。

### 4. 考察

低水温時において、アメリカナマズは水深 4 m 以上の環境に生息しており、水温の上昇に伴って湖岸付近に現れることがわかっている。本研究では、低水温時の 3 月においても河川内に留まっている、または一時的な侵入を確認した。

5 月になると、侵入される河川数が増加し、さらに堰の上流まで侵入された河川もあった。そのため、本種の侵入と遡上時期が一致するハゼ科の捕食が懸念される。

置き針調査で捕獲されたが環境 DNA が検出されなかった河川では、捕獲された地点から堰の直下まで低水位状態が続き、本種の侵入が困難である水深であったと考えられる。

また、侵入された河川の最小河口幅は 150 cm で、本調査で検出されていない河川でも今後十分に検出される可能性があることから、引き続きモニタリングを行い、駆除に取り組む必要がある。

1A23

Web 公開不希望

## 神奈川県に生息するシロタニガワカゲロウおよびミドリタニガワカゲロウの分布と遺伝的構造

\*金子裕明 (神奈川県立工科大学大学院応用化学・バイオサイエンス専攻)

高村岳樹 (神奈川県立工科大学)

石綿進一 (神奈川県立工科大学)

### 1. はじめに

神奈川県は、東部は標高 30~50mほどの丘陵や台地が広がり、西部は丹沢・箱根山地からなる。相模川や酒匂川の下流部には沖積平野が発達している。南部フォッサマグナ帯に属し、東北日本と西南日本の境に位置し、フィリピン海プレート沈み込みによる丹沢山地の形成、富士山、箱根山の火山活動の影響を強く受けるなど複雑な地史を持つ。その結果、植物ではサガミジョウロホトトギス、タンザワヒゴタイなど多くの固有種がある一方、ギフチョウやムカシヤンマなど、近隣山地に分布するが、県西部地域には分布しない種も多い。現生の有翅昆虫で最も原始的とされるカゲロウ目 Ephemeroptera の分布と遺伝的構造も特徴的な地史を反映していると考え、日本固有種であり、河川の中下流部に広く生息するヒラタカゲロウ科 Heptageniidae シロタニガワカゲロウ *Ecdyonurus yoshidae* Takahasi と、その近縁種ミドリタニガワカゲロウ *Ecdyonurus viridis* Matsumura の神奈川県における分布と遺伝的構造を解明することを目的とした。

### 2. 材料と方法

神奈川県内 10 水系 57 地点を両種カゲロウ幼虫を対象に採集調査した。顕微鏡下で腿節の後縁に長毛と棘毛を持つ個体を *E.yoshidae* と、腿節の後縁に長毛のみを持つ個体を *E.viridis* と同定した。DNA を抽出し、ミトコンドリア DNA の CO1 遺伝子の一部塩基配列を決定した。比較のためにミドリタニガワカゲロウ天竜川水系 4 個体、シロタニガワカゲロウ琵琶湖 12 個体、高知県安田川 6 個体、DDBJ に登録されている 1 個体を加え解析した。

### 3. 結果と考察

シロタニガワカゲロウは、上流域から汽水の影

響が及ばない下流域にかけて、緩流帯に広く分布し、7 水系 29 地点から採集された。ミドリタニガワカゲロウは 2 水系 5 地点から採集され、1 地点以外は上流域であった。この内 4 地点ではシロタニガワカゲロウと同所的に生息していた。

シロタニガワカゲロウ 228 個体、ミドリタニガワカゲロウ 20 個体の塩基配列を決定した。両種にミナミタニガワカゲロウ *E.hyalinus* を加え、NJ 法により構築された系統樹で、高い確率で形態による分類と同様に 3 種がそれぞれ単系統にまとまった。シロタニガワカゲロウからは、45 種類のハプロタイプを同定した。同一のハプロタイプを持つ個体が全体の 57% を占め、県内の 5 水系の他、琵琶湖、安田川からも検出された。複数の水系で共有されるハプロタイプは 7 種類、水系固有のそれは 38 種類であった。水系間での分化は認められなかったが、水系内では高度に分化した地点間があった。一般に分布が広範で連続的な種では、遺伝的構造の地域性は低いと考えられるが、琵琶湖集団 1 (Clade B) と神奈川県集団 2 (CladeA-1, CladeA-2) のクレードに分かれ、それぞれのクレード間は 6 塩基の置換が起きていた。

ミドリタニガワカゲロウからは、9 種類のハプロタイプを同定した。水系固有のハプロタイプは 8 種類、複数の水系で共有するそれが 1 種類であった。水系間での分化は認められなかった。

### 3. 展望

網羅的なサンプリングと複数の遺伝子座を用いて、日本国内広域で、より精度の高い遺伝的構造を追求したい。

## マダラカゲロウ科）の分子系統地理：日本列島の形成史との関連

\* 趙 在翼（信州大学・総合工学系）・東城 幸治（信州大学・理・生物）

## はじめに

近年、分子系統地理学的な研究が多様な生物種群を対象に行われるようになり、特定の生物種群の地理的分布を決定する原理や過程についても詳細に究明されつつある。とりわけ、河川に生息する生物種においては、淡水域かつ河川流路に沿った「線」的な移動という限定的な環境下での移動・分散を余儀なくされる。本川と支川が、そのような線のネットワークで樹状に繋がる一つの水系においても、上流から下流への流程の中で、河川環境は劇的に変化するため、連続した水系内であっても移動分散が広域的に生じることが困難な種群が多いと予想される。加えて、各種群の系統進化史の中では、海水準変動による海峡の成立や山地形成などの地史的イベントの影響も受けながら、現在のような分布形成に至ったものと考えられる。

日本列島における淡水生物を対象とした分子系統地理学的な研究から、いくつかの種群においては、それぞれの分布特性やハビタットの特徴に応じ、地史的なイベントの影響を受け、現在のような分布形成に至った過程が推察されてきた。なかでも、特殊な分布パターンを有する種群や、希少種などが対象となることが多いものの、近年では、比較的広域に分布するハビタット・ジェネラリストを対象とした研究においても、興味深い知見が提出されている。日本列島および日本列島周辺地域に広域分布するような淡水生物種群を対象とした分子系統地理の研究を行うことは、生物の分布における地史的な影響のみならず、日本列島を含めた東アジア地域における生物相の形成史を知る上でも重要である。

これらの観点から、本研究では日本列島と朝鮮半島に広く分布するアカマダラカゲロウ *Teloganopsis (Uracanthella) punctisetae* に着目した。本種は主に河川の中・下流を中心に流程広域に分布する種である。このようなアカマダラカゲロウを対象に、分子系統地理学的研究を実施した。

## 結果と考察

日本列島および朝鮮半島のアカマダラカゲロウを対象として、ミトコンドリア DNA COI 領域（653-bp）における遺伝構造を比較・検討した。

日本列島、朝鮮半島のそれぞれから採取されたサンプルは、いずれも単系統性が強く支持された（図）。日本列島と朝鮮半島の系統群間における分岐年代を推定した結果、両系統の分岐はおおよそ 860 万年前と推定された。日本列島が大陸から離

裂した後に、遺伝的な交流が妨げられたことで、遺伝的分化が生じたのではないかと考えられる。

また、朝鮮半島内においてそれぞれの単系統性が支持される遺伝的に分化した 2 つの系統群 (I, II)、日本列島内においても遺伝的に分化した 2 系統群 (III, IV) の存在が明らかとなった。それぞれの系統間での分岐年代を推定した結果、朝鮮半島内の 2 系統間は約 620 万年前、日本列島内の 2 系統間は約 260 万年前、鮮新世以前の分化であると推察された。また、各系統群は地域性のある分布傾向が示され、いずれの系統も側所的に遺伝分化した系統であることが示唆された。

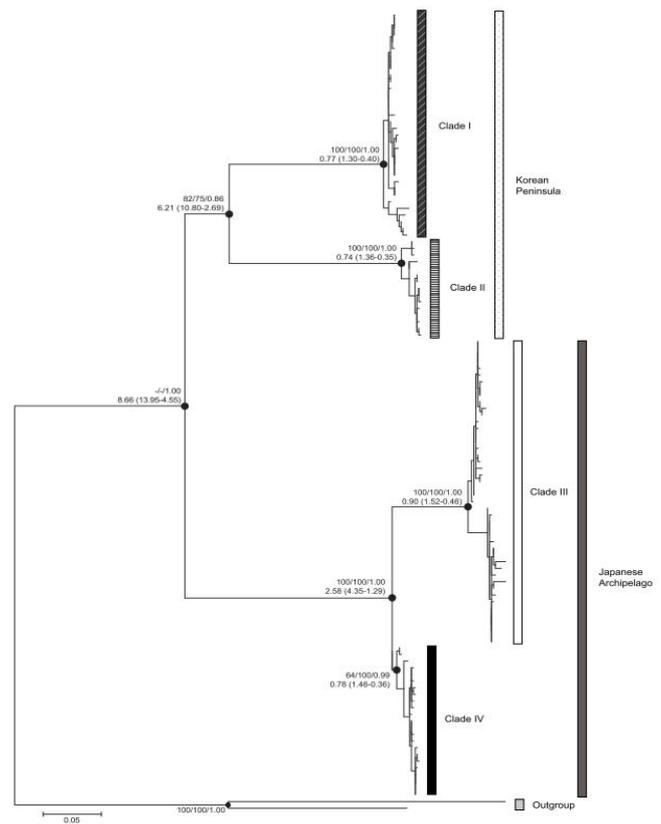


図 . アカマダラカゲロウにおける mtDNA COI 領域（653-bp）の塩基配列データに基づくベイズ樹（各主要分岐点には ML, NJ, ベイズ事後確率を示した）。

### 1. はじめに

河川環境の評価や河川整備計画を支援する目的で、生物群集の種組成の変化パターンについて多変量解析を行うことが多い。河川性水生昆虫の流程分布を解析する場合、複数ある調査地点での昆虫の生息密度を目的変数、各地点における様々な環境データの代表値を説明変数とするが、環境データの項目が多いほど各環境データ間に多重共線性が多く表れる問題点が挙げられる。また、多変量解析で扱うそれぞれの環境データは、各地点の代表値を用いるため、正確に各地点の環境要因を反映しているか疑問が残る。そこで、流程分布調査とその分析時に注意すべき点を明らかにし、現段階での問題点を指摘する。

### 2. 方法

紀ノ川水系に 33 地点を設け、河川性水生昆虫類の流程分布を調査するとともに、水質、水温、河川底質など、分布に影響すると思われる環境要因についても調査した。得られた昆虫全てのデータを解析してしまうと煩雑な結果になるため、属などの分類群に分け、正準相関分析を行った。

### 3. 結果

正準相関分析を行った結果、河川性水生昆虫の流程分布と環境要因の因果関係をある程度は表すことができた。ただし、正準相関分析などの多変量解析からは傾向は示されるが、多重共線性がいくつか見られただけでなく、同じ系統内の種間で、流程分布の違いを引き起こす環境要因について具体的な検討ができていないことに気付いた。

### 4. 考察

環境項目間で多重共線性がみられる場合、主成分回帰分析など、機械的に多重共線性を回避する手法も取られるが、それぞれの種の生態的な特徴、すなわち食性や、水温、底質、流速等に対する選好性に着目することで、直接的な要因か間接的な要因かを判断することができた。同時に、多重共線性が見られた環境項目から必要な項目を引き出すことができた。

引き出された項目のうち、水温について検討すると、対象種の羽化に必要な有効積算温度、発育零点および高温閾値が分布域を制限していると思われる。トビケラ目のウルマーシマトビケラやコガタシマトビケラなど、有効積算温度、発育零点が明らかにされている種もみられるが、まだ多くの種について明らかにされていないのが現状である。

河床の底質や流速については、トビケラ目・カゲロウ目・カワゲラ目など生息場所選択に関わる知見が散見されるが十分とはいえない。また、これらの既存情報と各地点でのデータと照合する必要があるが、多変量解析で用いるデータは各地点の代表値（各地点 1 データ）のみであるため、各地点の底質や流速環境を網羅できていない。したがって、これらのデータは、各地点において瀬・淵構造を含んだ範囲内で格子点データを得る必要がある。

本研究より、河川環境の評価に必要な水生昆虫の生態情報が十分ではないことが明らかにされた。野外調査や室内実験を通じて、それぞれの河川性水生昆虫の生態的な特徴を明確にしていくことが目下の課題である。また、幼虫が調査対象になることがほとんどだが、ヒラタカゲロウ科やナガレトビケラ属など、幼虫の種レベルでの同定が困難なグループも含まれるため、成虫の採集調査も同時に行い、分析精度を向上させる必要がある。

\*三宅 洋, 吉村研人, 渡辺裕也 (愛媛大・院理工研)  
森 照貴 (東京大・総合文化研), 赤坂卓美 (帯広畜産大)

### 1. はじめに

出水などの流量変動は河川生態系における最も重要な物理的攪乱である。出水は生物を直接的に除去するとともに、生息場所環境を改変するため、河川生物群集に強い影響を及ぼす。このため、長期的な流量変動の状況を表す流量レジームは、河川生物の生物多様性の支配的な決定要因であると考えられている。しかしながら、流量・攪乱レジームが河川性底生動物に及ぼす影響を対象とした研究は少ない。国内河川においては流量レジームの解析もほとんど行われておらず、河川管理など応用的な観点からも流量レジームを対象とした研究が求められている。

本研究は、既存の流量データおよび底生動物データを利用した解析を実施し、1) 水文学的指標を用いて国内河川の流量レジームを特徴づけること、2) 流量レジームを決定する自然・人間活動要因を明らかにすること、そして、3) 流量レジームが河川性底生動物の種多様性に及ぼす影響を解明することを目的とした。

### 2. 材料と方法

日本全国 418 地点の流量観測所における過去 20 年間の日平均流量データを用いて 122 種類の水文指標を算出した。これらを用いて主成分分析 (PCA) を行い、国内河川の流量レジームを特徴づける要素を明らかにした。

流量レジームを決定する要因を明らかにするために、主成分軸 (PC 軸) を応答変数、流域特性を説明変数とする一般化線形モデル (GLM) を作成した。最適モデルに取り込まれた説明変数については、応答変数との関係を単回帰分析により検討した。

日本全国 285 地点の底生動物データから、各調査地点における分類群数を算出した。この分類群数を応答変数、PC 軸とそれらの 2 次項を説明変数とする GLM を作成した。最適モデルに取り込まれた説明変数については、応答変数との関係を回帰分析により検討した。

### 3. 結果

PCA の結果、流量レジーム特性を表す 6 つの主成分が得られた。PC1 は主に流量変動の規模を表していたが、その他の軸は出水・低水の継続時間、出水の頻度、流量変化率等、様々な流量レジーム特性と関係していた。

PC 軸を応答変数とする GLM のベストモデルには、流域の気候特性に関する変数が多く取り入れられた。一方、ベストモデルには人間活動要因である土地利用割合 (水田および都市域) およびダム集水域面積割合が取り入れられた。単回帰分析の結果からは、土地利用割合が高いほど流量変動が激しく、ダム集水域面積割合が高いほど流量変動が穏やかになる傾向が見られた。

河川性底生動物の分類群数を応答変数とする GLM のベストモデルには、4 つの PC 軸が取り入れられた。回帰分析の結果、激しい流量レジームを有する河川で分類群数が少なかった。一方、流量レジームが穏やかな地点でも分類群数が低下する場合も見られた。

### 4. 考察

北米などの河川と比較して、国内河川の流量レジームは、出水の継続時間や頻度、流量変化率によって特徴づけられることが分かった。これは日本の急峻な地形や降水量の多さに起因するものと考えられた。

国内河川の流量レジームは、土地利用による流域の不浸透域の増大と、ダムによる流量制御により人為的に改変されていると解釈された。底生動物の分類群数については、地史的影響が見られたものの、流量変動が激しい河川で攪乱耐性が低い分類群の喪失が起こっている可能性も示唆された。

これら人間活動ー流量レジームー底生動物の関係は出水の継続時間によりリンクされていたため、生態系保全を考慮した国内河川の管理においては、出水の継続時間に注目することが重要であると考えられた。

武田悠太（福島大・院・共生システム理工）

### 1. はじめに

福島県猪苗代地域にある酸川は pH 2~3 の酸性河川である。酸川には魚類は生息していないが(河西, 1940), 底生動物は 45 種群が記録されており(河西, 1940; 武田ら 2015), 出現頻度と個体数からユビオナシカワゲラ属の一種(コオノオナシカワゲラ), レゼイナガレトビケラ, チャイロシマチビゲンゴロウ, モンキマメゲンゴロウの 4 種が優占種であることが明らかにされている(武田ら, 2015)。コオノオナシカワゲラは優占種 4 種の中でも生息密度が最も高く, 河川内に広く分布している。しかし, 本種に関する生態的な知見は乏しく, 個体群密度の季節変化と春(4 月から 5 月)と秋(10 月)に羽化することが明らかにされているのみである(小野ら, 2007)。そこで, 演者は本種の詳細な生活史を明らかにするための調査を実施している。今回は 2015 年 9 月から 2016 年 8 月までの調査で明らかになった本種の生活史について報告する。

### 2. 調査地及び調査方法

コオノオナシカワゲラの生活史調査は酸川中流域にあたる猪苗代町若宮付近(標高約 570 m)で実施した。調査は羽化時期に相当する 9 月と 10 月, 3 月から 7 月は 10 日から 15 日に 1 回, 羽化時期終了後の 11 月から 2 月と 8 月は月 1 回の頻度で実施した。

幼虫の採集は, 目合い約 0.3 mm, フレーム幅 25 cm × 25 cm のサーバーネットを用いて, 瀬と淵それぞれ 2ヶ所ずつで実施した。瀬と淵は流速計を用いて測定した流速に基づいて区分した。得られたサンプルは実体顕微鏡下でソーティングした後, 個体数を計数し, 頭幅, 体長を測定した。

### 3. 結果及び考察

2015 年 9 月から 2016 年 8 月までのコオノオナシカワゲラの幼虫の頭幅の頻度分布の経月変化から, 幼虫の頭幅は, 瀬と淵ともに羽化時期に近づくにつれて頭幅の大きい個体(0.5~1 mm)の出現頻度が増加し, 羽化時期開始直後の 10 月中旬には頭幅 1.2 mm 付近にピークが見られることが明らかになった。し

かし, 羽化時期終了後の 12 月と 1 月にも頭幅 1 mm 以上の大きい個体は存在し, 2016 年の 4 月中旬から 6 月中旬にかけて頭幅の大きい個体の頻度は増加した。このことは酸川には羽化時期が異なる集団が 2 集団存在することを示唆している。つまり, 秋(10 月上旬~11 月中旬)に羽化時期を持つ集団(秋羽化集団)と, 春から初夏(4 月中旬から 7 月中旬)に羽化時期を持つ集団(春羽化集団)である。

秋羽化集団と春羽化集団の頭幅を比較すると, 秋羽化集団の羽化期間内に記録された頭幅の最大値は 1.3 mm であること, 秋羽化集団の羽化が終了した 12 月に頭幅 1.2 mm の個体が記録されたことから, 秋羽化集団は頭幅 1.2~1.3 mm の個体が羽化すると考えられる。一方, 春羽化集団は羽化時期直前の 4 月中旬には既に頭幅 1.5~1.6 mm の個体が記録された。春羽化集団は秋羽化集団と同様に, 夏の高水温期に成長し, 秋羽化集団の羽化期間中も成長を続けるため, 秋羽化集団に比べて大型化するものと考えられる。

今後は本種の発育零点や有効積算温量を明らかにして, 本種が 1 年で成虫になるのか, あるいは 2 年以上を要するのかについて検討する必要がある。

### 4. 引用文献

- 河西芳一(1940) 福島県長瀬川の動物相について, 動物学雑誌, 52(6): 241-246.
- 小野美幸・竹内友里・福原晴夫(2007) 酸性河川・酸川におけるコオノオナシカワゲラの生活史, 日本陸水学会講演要旨集, 72: 69.
- 武田悠太・難波元生・塘 忠顕(2015) 長瀬川及びその左支川・酸川における底生動物相, 福島生物, (58): 35-48.

2A04

Web 公開不希望

2A05

\*稲井 公二 (大阪府立大・高等教育), 渡辺 幸三 (愛媛大院・理工)  
加藤 幹男 (大阪府立大・高等教育, 大阪府立大院・理学系)

### 1. はじめに

全動物種に共通の種判別マーカーとして、ミトコンドリアに存在するシトクロムcオキシダーゼサブユニットI (COI)のDNA配列がConsortium for the Barcode of Life (CBOL)によって提唱されている。そこで、陸水域の環境指標生物として重要な水生昆虫4目(カゲロウ・トビケラ・トンボ・カワゲラ)について、COI領域の配列データを整理し、その特徴及び種判別に用いる上での課題について報告する。

### 2. 方法

国立遺伝学研究所(DDBJ)のアーカイブに登録されているDNA配列データRelease 105(2016年6月)および2016年8月末までの更新データに基づき解析を行った。分類学データはNational Center for Biotechnology Information(NCBI)Taxonomy databaseを使用した。COI配列の判定は登録されているデータ中の注釈に基づいたが、その遺伝子配列上の特徴も加味して判定した。

### 3. 結果

国際DNAデータベースには、上記の水生昆虫4目合計で約8.7万登録されており、その内の約71%がCOI領域を含んでいた。またNCBI Taxonomy databaseに属名+種小名からなる正式な種名で登録されているものが上記の4目で5548種あり、その内の約82%の種でCOI配列が登録されていた。種数としては多くはないが、COI配列に関してはデータの蓄積がかなり進んできていることが分かった。以下、正式な種名で登録されているもののみを対象として配列の比較検討を行った。

COI領域の5'側657塩基配列を対象とし、同一種内や種間、および属、科が異なる配列間で1対1の総当たりによって配列を比較し、その塩基配列一致率の分布を求めた。トビケラ目の結果を図1に示す。(a)は同一種内の配列間、(b)は同じ属内の種間、(c)は同じ科内の属間、(d)は科間の塩基配列一致率の分布を示している。

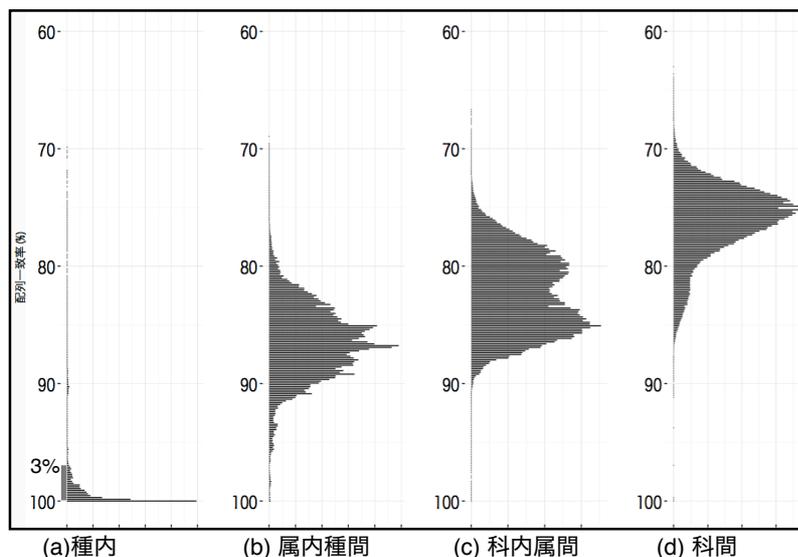


図1. トビケラ目の配列一致率分布

種内の比較 (a)では、総当たりペアワイズ比較の全組合せのうち、一致率が97%以上 (図中の縦線3%)の組合せの割合は88.1%を占めた。種間の比較(b)では80-95%、属間(c)では75-90%、科間(d)では70-85%のあたりに一致率のピークが現れた。(b)-(d)では一致率の分布が重なっている領域が多く存在した。種間の比較(b)において、一致率97%以上の範囲に含まれるペアワイズ比較の組合せの割合は全組合せの0.45%に止まったことから、トビケラ目については登録されているDNA配列との比較に基づく種の判定に十分な確度をもって利用できると思われる。

次に、カゲロウ目の結果を図2に示す。種内の比較(a)に示すように、同一種内の場合には多くの配列が一致率97%以上の範囲に収まっているが、矢印で示す82-88%付近に比較的大きなピークが認められる。このことは、同一種として登録されているものについても、塩基配列が12-18%程度異なるものがあることを示しており、隠蔽種や異種が含まれている可能性が考えられる。一方で、同じ属内の種間の比較(b)では、矢印で示すように98%付近にピークが認められる。これは、違う種として同定された標本からの配列データの中に一致率の高いものが存在することを示している。トンボ目、カワゲラ目についても顕著ではないが、同様の現象が認められた。ここでは図示していないが、トビケラ目とカゲロウ目の目間では、塩基一致率は65-78%の範囲にあった。

### 4. 考察

水生昆虫については、COI領域のDNA配列情報の蓄積がかなり進んできている。しかし、国際DNAデータベースへの登録はそれぞれの研究者自身が独立に行っており、種同定の相違が残された状態で登録されている可能性も排除できない。有効な種判別データベースとして活用するためには、遺伝子配列を考慮した再検証も必要であると思われる。

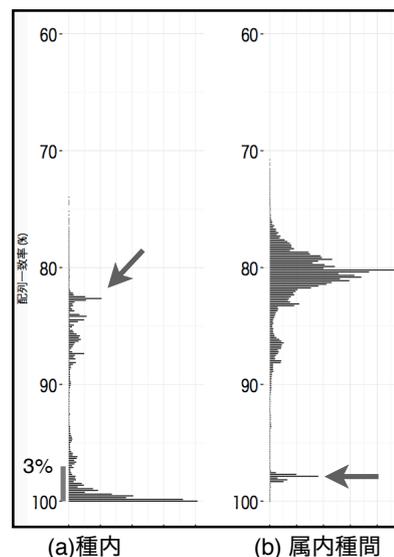


図2. カゲロウ目の配列一致率分布

## 京都大学総合博物館（京都市左京区）に収蔵されている 膨大な未整理の陸水生物標本（大正～戦前）について

長縄秀俊（京都大院・理）

### 1. はじめに

日露戦争を終結させたポーツマス条約に基づき、当時のロシアから中国大陸の一部地域を租借することとなった日本政府は、関東州および満州国と名付けた植民地政策の一環として、治水・農耕・飲料水確保のための陸水インフラ整備を迫られていた。こうして、淡水生物学的な調査が京都帝大理学部動物学教室の川村多實二に委嘱され、これに当時の大津臨湖実験所の宮地傳三郎、今西錦司らが加わり、調査は北朝鮮から内蒙古に至るまで展開された。数多くの貴重な採集品が日本国内へもたらされたことは、各種報告書などからうかがわれるが、その大部分が戦禍に遭い焼失もしくは破壊されたと考えられてきた。このほど演者は、当該史料と思われる手つかずの標本・資料などが京都大学総合博物館の標本庫の奥に大量に眠っていることを発見したので、ここに報告する。

### 2. 材料と方法

京都大学総合博物館（本川雅治・教授，中山直英・研究員）にて標本・資料閲覧の便宜を図っていただいた。ラベルに残された今西錦司の筆跡は岐阜大学図書館の今西文庫により照合確認した。

### 3. 結果

生物標本は上野益三のもとに集積されていたと思われ、そのほかに大津臨湖実験所における定点観測のサンプル、京大関係の多くの研究者が日本各地の湖沼や、旧満州・内蒙古・関東州・朝鮮・台湾・樺太・千島などの湖沼を調査した際の採集品が含まれる。さらには、一部に琉球列島の生物調査の成果とみられるものがあった。その内訳は以下の通りである（大正初期～、判明分のみ）。

- ・標本びん・管びんに封入された小・中型動植物の標本（少なくとも 9,000 点，保存状態は様々）
- ・管びんに封入された湖沼プランクトンの標本（大量にあるが，形態観察・同定には不向き）
- ・プレパラート標本（内容の詳細は未調査）
- ・国内外の湖底泥サンプル（少なくとも 500 点）
- ・動植物の乾燥標本（昆虫類・貝類・魚類ほか）
- ・中国大陸産の岩石・鉱物類（若干点）
- ・ガラス乾板（上野益三のネガ 40 枚ほど）
- ・琉球列島生物調査隊（東京帝大の岡田彌一郎・鹿野忠雄，東京文理科大の木場一夫ほか）が沖縄本島・伊平屋島・久米島の調査を実施，1935 年）から上野益三あてに同定を依頼された標本（約 30 点，国立民族学博物館に関連資料あり）
- ・川村多實二・宮地傳三郎プランクトン採集記録ノート（堀江正治より寄贈，資料室に保管）

### 4. 考察

川村による報告書（1940 年）の緒言には「本邦の陸水生物学者に新たなる希望を与え，更に一段の躍進を促す（現代漢字・仮名遣いに改めた）」とあるように，これらの標本類は第二次世界大戦が激化する以前の日本陸水学に，ひとつの忘れ去られた歴史が存在したことを物語る。かつて大津市の観音寺町に存在した大津臨湖実験所にて戦禍を免れた標本類は，植民地時代を反映する「負の遺産」としてタブー視されたのであろうか，上野益三の京大定年退官の際（1963 年）に新聞紙にて封印され，その後は実に半世紀以上にわたり目の見ることはなかった。学術遺産としての適正な管理と活用のありかたをご教示願いたい。

【連絡先】〒649-2211 和歌山県西牟婁郡白浜町 459 京大瀬戸臨海実験所，naganawa@doctor.interq.or.jp

○海老瀬 潜一(元・摂南大・理工), 永淵 修(前・滋賀県大・環境), 川村 裕紀(キョーワ(株))

### 1. はじめに

東シナ海・日本海の偏西風帯の離島は、中国大陸に近く、酸性物質負荷の溪流水質への影響が推測される。東シナ海・日本海の境界で朝鮮半島に近くて日本列島から距離がある対馬は、地理的に重要である。上島・下島併せて 696km<sup>2</sup>の面積で、南北に長い島中央部に 600m 級の低山ながら山地があり、東西両側等への溪流群が多数存在する。鳥取県沖の隠岐島後(242km<sup>2</sup>)は円形島で、島中央に 600m 級の低山の山地があり、円周状海岸へ放射状流下溪流群がある。新潟市沖の佐渡島(855km<sup>2</sup>)西側の大佐渡山地には、南北に近い 1,000m 超の脊梁山地があり、東西に流下する溪流群がある。この離島の溪流水質を個々に同一水文条件下の 1 日調査で方位分布特性を明らかにした。



図-1 下島



図-2 上島

### 2. 対馬・隠岐島後・大佐渡山地の特徴

対馬下島(図-1)は南北に長い矩形形状で、中央部の矢立山地から四方の海岸へ流下する溪流群がある。上島(図-2)は中央部に 400m 級山地を有し、南北に長い形状で、東西と南側に溪流群がある。下島溪流群は 3 月 4 日に北西端から、上島は 3 月 5 日に南東端から時計回りに調査した。約 2 週間の晴天続きで、下流側では伏流する断流する渇水状況にあった。火山成因の島ではないが、両隣の溪流の 3 倍以上の溪流が多くあり、統計計算から除外した。上島を 4 方位に、下島を 3 方位に分けて表-1 と表-2 に示す。

表-1 対馬下島の溪流水質の方位分布

溪流数	標高 (m)	EC (mS/m)	アルカリ度 (meq/l)	pH	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/l)	
北	4	20.8	11.6	<b>0.352</b>	<b>7.14</b>	12.3	0.352
東	6	<b>31.7</b>	11.9	0.195	6.81	9.6	<b>0.265</b>
南	4	22.0	11.6	0.271	6.99	<b>17.8</b>	0.740
西	8	25.8	<b>12.0</b>	0.301	7.06	11.9	<b>0.531</b>
距離 (km)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> /Cl <sup>-</sup> (mg/l)	
北	<b>23.6</b>	<b>8.36</b>	9.62	<b>0.845</b>	<b>3.42</b>	<b>7.77</b>	1.21
東	15.8	3.15	8.46	0.449	1.81	<b>5.51</b>	<b>1.36</b>
南	12.3	4.83	<b>13.23</b>	0.722	2.42	5.76	<b>1.15</b>
西	9.9	5.22	9.25	0.584	2.46	7.33	1.20

表-2 対馬上島の溪流水質の方位分布

溪流数	標高 (m)	EC (mS/m)	アルカリ度 (meq/l)	pH	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/l)	
東	9	<b>22.7</b>	16.2	0.565	7.24	18.1	0.585
南	5	12.0	<b>18.6</b>	0.761	7.41	<b>19.3</b>	<b>0.593</b>
西	13	19.2	17.9	<b>0.789</b>	<b>7.49</b>	16.9	<b>0.515</b>
距離 (km)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> /Cl <sup>-</sup> (mg/l)	
東	20.7	10.8	13.2	<b>0.686</b>	5.96	11.1	<b>1.14</b>
南	<b>40.6</b>	12.2	<b>13.9</b>	0.651	7.66	14.8	1.13
西	13.2	<b>12.2</b>	12.4	0.517	<b>8.00</b>	<b>15.2</b>	1.13

### 3. まとめ

対馬は湾形部が内陸に深く入組むリアス式海岸で、中央部山地が低くて西側溪流流域が中央部を占め、東側溪流の河川長が短くて急勾配のため、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>や Cl<sup>-</sup>濃度が東側で低い傾向となった。両濃度は南側や北側でも高くて西側で最も高くなり、海塩や酸性物質負荷の顕著な分布特性は認められなかった。対馬上島の SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は佐渡や隠岐と同濃度レベルであった。

## モンゴル-ロシアにわたる長大水系の物質循環 フブスグル-ウスチイリムスク水系の生物地球化学的特徴

\*細田耕, 村田貴拓, 望月陽人 (京大院・人環),  
三村徹郎 (神大院・理), 渡辺泰徳 (立正大・地球環境),  
佐藤泰哲 (山形大・理), Valentin V. Drucker (ロシア・陸水研),  
Vladimir A. Fialkov (ロシア・バイカル博), 杉山雅人 (京大院・人環)

### 1. はじめに

フブスグル-ウスチイリムスク水系は、モンゴル-ロシアをまたぐ 2300 km におよぶ長大な水系である (図 1)。その流域の環境条件は、地理・水理構造・地質帯・気候など様々な点から、地域によって大きな変化を示す。そのため、本水系においては、流域の環境変化にともなう様々な物質循環の変化が観測されると期待される。しかしながら、これまでこの水系全域を網羅した包括的な調査は行われておらず、水域の生物地球化学的特徴に関する報告はなされていない。本研究の目的は、溶存化学組成から、これらの水系を流下する間の化学動態を議論し、水域の特徴を明らかにすることである。



図 1 調査水系

### 2. 材料と方法

同水系の調査は 4 年にわたって行った (表 1)。現地では水温、pH、透明度、電気伝導率などを測定した。採集した水を孔径 0.45 μm のポリフッ化ビニリデンフィルターを用いてろ過した。これらを研究室に持ち帰り、測定を行った。測定項目及び方法は、次の通りである。

Na・K : 炎光分析法

Ca・Mg : 誘導結合プラズマ発光分析法

Cl・SO<sub>4</sub> : イオンクロマトグラフィー

アルカリニティー : 滴定法

Si : モリブデンブルー法

表 1 調査期間

	調査年・月	採水地点
フブスグル湖	2009・8	H1-17
エギン川-セレンガ川(モンゴル)	2010・7	US1-13
セレンガ川(ロシア) バイカル湖	2010・8	LS1-14 DP
アンガラ川(中流)-ブラーツク湖	2011・8	MA1-10
アンガラ川(下流)-ウスチイリムスク湖	2012・8	LA1-10

### 3. 結果

図 2 に Ca, Na 及び Si の結果を示す。

フブスグル湖では、いずれの成分もほとんど変動がなかった。

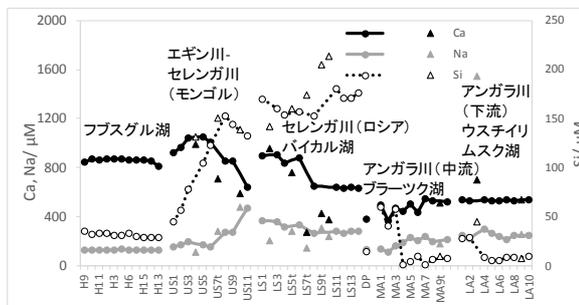


図 2 Ca, Na 及び Si の変動

エギン川 (US1~US6) 流下にもない Ca は増加傾向を示した。ついでセレンガ川に流入した後 (US8)、Na が増加した。Si についてはセレンガ川に合流するまで増加し、その後減少した。

ロシア国内のセレンガ川では、Ca, Na とともに支流の影響を受けて濃度減少していた。

アンガラ川 (中流) -ブラーツク湖では、MA1 から MA10 へ流下する間、Ca, Na は増減を繰り返しながら徐々に濃度増加したが、Si は MA4 において、急激に濃度減少した。

アンガラ川 (下流) -ウスチイリムスク湖では、LA3t から高濃度の Ca, Na が流入しているが、両成分はほとんど変化が見られなかった。Si は、MA4 と同様に、LA4 において、急激な濃度減少が見られた。

### 4. 考察

フブスグル湖は集水域に石灰岩地帯をもつため (Goulden et. al. 2006)、Ca が高濃度であった。エギン川では Ca が濃度増加したが、これは流下にもない気圧や水温が変化し、炭酸カルシウムが溶解したためと考えられる。セレンガ川と合流すると、その影響を受けて Ca は減少し、Na が増加した。このように、フブスグル湖由来の Ca を多量に含んだ水質は、石灰岩以外の地質帯からの河川水の影響を受けて、徐々に変化した。

MA4 及び LA4 の地点では、Si の急激な濃度減少が見られた。この地点では、他の栄養塩も同様の挙動を示しており、pH とクロロフィル *a* の増加が確認された。これは、流域の環境条件が河川から湖へと変化し、水の流れが緩やかとなったため、植物プランクトンが増殖して、栄養塩を吸収したためと考えられる。

### 参考文献

Goulden et. al.(2006),The Geological History and Geography of Lake Hovsgol(Mongolia).

# 1B03

## 富栄養湖沼千葉県手賀沼の炭素収支

\*時枝隆之、伊波はるな、葛西真由子 1、小菅瞭吾、大塚北人、渡辺苑生  
(気大校、1:現彦根地方气象台)、中山典子 (東大大気海洋研)

Cole ら (2007) や Tranvik ら (2009) は、湖沼に流入する炭素の質と湖沼系外へと移行する炭素の形態から湖沼の炭素変換能力を評価し、湖沼を分類しようとする 'active pipe concept' を提唱した。これは、陸上の植生によって大気から吸収された炭素が、生物の活動により様々な形に変換され、一部は湖沼域に流入し、湖水中で再変換がおこなわれ、二酸化炭素として大気に放出されたり、粒子状有機炭素として湖底堆積物に移行したり、あるいは河川等を経由してやがて海洋にもたらされる、といった湖沼域が、植物が吸収した二酸化炭素の再分配に果たす役割を評価するものである。

本研究は、流入する炭素の質と湖沼中で変質を受けた後に流出していく炭素の質に特に注目し、富栄養湖沼における炭素の収支を見ることで、富栄養湖沼が大気二酸化炭素濃度に与える影響の評価を試みる。

### 方法

日本を代表する富栄養湖沼千葉県手賀沼で、無機炭素関連パラメータ (溶存無機炭素 DIC、二酸化炭素分圧  $p\text{CO}_2$ 、pH) 及び全有機炭素 TOC の観測結果について報告を行う。

### 結果と考察

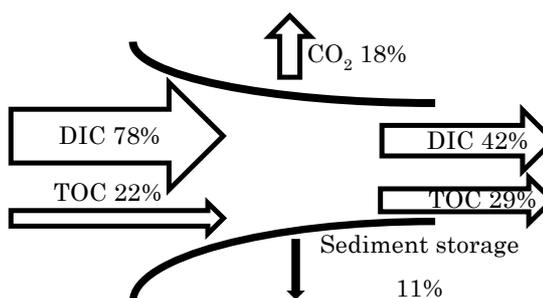
昨年度本会において無機炭素の結果をもとにすでに報告をおこなったとおり、手賀沼は豊富な栄養塩類を利用し高い生物生産性を有している。にもかかわらず、その表面水の  $p\text{CO}_2$  はどの時期の観測においても、またどの観測地点においても大気に対して過飽和状態にあり、世界湖沼の平均の 2 倍の速度で大気に二酸化炭素の形で炭素を放出している。すなわち、陸上植生が吸収した分のいくらかを帳消しにしている。その量は手賀沼全体から年間で  $570 \pm 60$  (MgC) と見積もった。

河川から流入する炭素は年間で  $2700 \pm 200$  (MgC) で、そのうち 78% は DIC として、残りが

TOC として流入している。一方、流出についてみると、流入量に比べて DIC で 800 (MgC) 減少、TOC で 400 (MgC) 増加しており、湖内での高い生物生産性によって正味で有機物生産が起こっていることとなる。このことは大気に二酸化炭素として炭素を放出しながらも、無機炭素を直接大気とやりとりのできない有機炭素に変換することで、手賀沼は自ら大気への二酸化炭素の放出量を抑制していると言える。

さらに、湖底堆積物の予備的観測結果から、年間でおよそ 400 (Mg) の炭素が正味で堆積し、大気からの炭素を固定することで、大気二酸化炭素濃度の調整を行っている。

昨年度本会において報告した湖水中での有機炭素生産速度 ( $7600 \pm 1200$  MgC/yr) と有機炭素分解速度 ( $4000 \pm 1300$  MgC/yr) を考慮すると、この高い有機炭素生産速度を支えるためには湖底堆積物内での細菌による有機炭素の活発な無機化とその後の湖水への無機炭素の十分な溶出が必要となる。これについては現在、堆積物間隙水中の測定を進めており、大会において報告予定である。



Tranvik ら (2009) をもとに作成した  
手賀沼における炭素収支

### References:

- Cole et al., *Ecostst.*, **10** (2007)
- Tranvik et al., *Limnol. Oceanogr.*, **54** (2009)

# 1B04

## 斐伊川放水路による宍道湖へ流入する栄養塩負荷の削減

菅原庄吾（島根大・総合理工）・\*神谷 宏（島根保環研，島根大・汽水域研究センター）・江角敏明（島根保環研）・田林 雄（関東学院大・経済学部）・清家 泰（島根大・総合理工）

### 1. はじめに

斐伊川放水路（図参照）は2013年6月に竣工し、同年9月には初めての分流が行われた。2013年9月3～4日にかけて、秋雨前線の影響により約150mmの降水があった。この時斐伊川放水路は起伏ゲートが操作され分流が行われた。上島流量がピーク時には $1,250 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ が観測され、本川に $700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ が流れ、放水路には $550 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ が流れた。この時の分流比は5:3.9であった。

洪水は多量の栄養塩負荷、特にリンを下流にもたらず。下流に湖がある場合は流入負荷の問題は大きい。宍道湖はこの30年間富栄養湖のままであり、リン負荷が十分に削減されていない影響が考えられる。栄養塩でも特にリンは流量の増加によって河川中の濃度も増加するので、通常流入する淡水量を栄養塩濃度の高くなる洪水時に人為的に分流することによって栄養塩負荷の削減が期待される。そこで我々は、過去30年間の斐伊川の流量データを用いて、斐伊川放水路があったと仮定して、分流により宍道湖へ流入する全窒素（TN）及び全リン（TP）がどの程度削減されるのかを計算した。

### 2. 方法

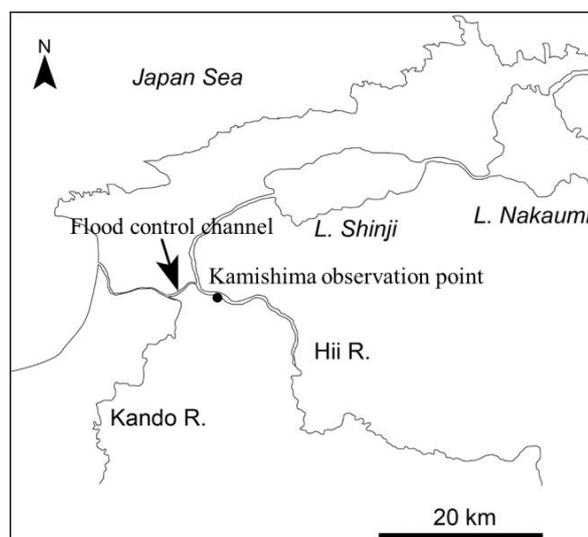
斐伊川放水路は斐伊川の宍道湖流入部から約14.4km上流に位置し、計画高水流量 $4,500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ （上島観測所）のうち $2,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ を神戸川へ分流する延長約4.1kmの人工水路である。斐伊川流量データは上島観測所のものを基に、欠測があったらその箇所は大津観測所のデータを用い、さらに欠測の場合は前後のデータの平均値を用いた。期間は1984年1月1日1:00から2013年12月31日24:00までの30年間、1時間ごとのデータを用いた。この流量データから斐伊川本川と放水路の流量を

計算した。

### 3. 結果及び考察

30年間の総流量は $3.99 \times 10^{10} \text{ m}^3$ であった。年間合計値の最大は2011年の $1.89 \times 10^9 \text{ m}^3$ 、次いで1993年の $1.87 \times 10^9 \text{ m}^3$ 、2006年の $1.78 \times 10^9 \text{ m}^3$ であった。最小値は1994年の $7.82 \times 10^8 \text{ m}^3$ であった。

年間降水量と年間流量には良い正の相関関係が見られた（ $R^2 = 0.80$ ）。30年の合算としては1.6%が斐伊川放水路から流出した計算となった。平均的には水量としてはここ30年ではあまり大きな削減はなかった。TN年間負荷量の30年間の合計の放水路による削減量は2.8%と計算された。TP負荷量30年間の合計の放水路による削減量は11.6%と計算された。TNに対してTPの削減量が大きい結果となったが、これは洪水時にTP濃度、特に懸濁態リンが多くなるためである。放水路を稼働することによって宍道湖のTN:TP比が変化する可能性が考えられた。



## 琵琶湖における正リン酸と SRP 定量値の乖離

\*丸尾雅啓, 宮下治希, 石丸真菜, 山本麻由佳 (滋賀県立大・環境科学)  
小畑元 (東京大学大気海洋研究所)

### 1. はじめに

リンは一次生産の制限因子になることが多く、種々の形態のうちリン酸態が最も利用されやすいと考えられている。リンの定量にはモリブデンブルー法(定量値を SRP : Soluble Reactive Phosphorus と呼ぶ)をよく用いるが、ヒ素(V)や酸性条件下で加水分解されたリン酸化合物の影響により、過大評価になる可能性がある。今回はリン酸をこれらの成分と分離するためにイオンクロマトグラフィーを適用し、試料注入量を増やすことによって極低濃度のリン酸定量の可能性について検討した。またすでに河川水では SRP 値とリン酸濃度が乖離していることが示されている(Maruo et al., 2016)が、リン欠乏とされる琵琶湖水についても両者の値がどの程度異なるのか比較した。

### 2. 材料と方法

湖水は本学実習調査船「はっさか」にて 2015 年 4 ~ 11 月にかけて琵琶湖北湖最深部付近(35° 22'N, 135° 06'E, max. depth 90 m)で X-ニスキン採水器を用いて採取した。試水を船上濾過後冷蔵して持帰りイオンクロマトグラフィーで分析した(カラム Dionex AS-23A)。サプレッションはエクスターナルモードとし、

試料注入量は 5 mL とした。

### 3. 結果と考察

今回用いたシステムのリン酸定量限界は 1 nmol/L 以下であった。現時点では 0.2 nmol/L 程度のブランク値が認められるので、低減について今後検討の必要がある。

琵琶湖北湖におけるリン酸定量値は、表水層では 0.8~8.8 nmol/L と非常に低い値を示した。深度 50~60m を超えると採水時期に関わらずリン酸濃度が急激に上昇し、最高で 470 nmol/L となった。SRP については通常の分光光度計と 50mm 光路長のセルを用いた結果、70 nmol/L 以下の値は検出できなかったため、深水層のみ比較を行った。SRP に占めるリン酸の割合は深度とともに上昇し、湖底付近では両者が近い値を示した。この傾向は春季から秋季へ向かうにつれより顕著であった。表層から供給される種々のリン化合物が深水層で分解を受け、リン酸へと変化しているものと考えられる。今後長光路セル等を用いて表水層についても比較を行う予定である。

参考文献 Maruo, Ishimaru, Obata et al (2016) *Limnology* 17, 7-12.

1B06

Web 公開不希望

1B07

Web 公開不希望

\*奥居紳也<sup>1)</sup>, 岡本高弘<sup>1)</sup>, 桐山徳也<sup>1)</sup>, 早川和秀<sup>1)</sup>, 今井章雄<sup>2)</sup>, 小松一弘<sup>2)</sup>, 高津文人<sup>2)</sup>, 佐藤貴之<sup>2)</sup>, 霜鳥孝一<sup>2)</sup>

1)滋賀県琵琶湖環境科学研究センター, 2)国立研究開発法人国立環境研究所

### 1. はじめに

琵琶湖北湖の水深 90 m のエリアにおいて底層 DO が 2 mg/L を下回る貧酸素状態が 2000 年以降 4 回観測されている。底層 DO の低下について寄与が大きいとされる底泥酸素消費量(SOD)を測定した結果、琵琶湖北湖第一湖盆における SOD は季節変動があることが分かってきた。今回、SOD の変動等について検討したので報告する。

### 2. 方法

調査地点は、琵琶湖北湖第一湖盆の今津沖中央定点(C点)および湖盆中央(L点)である(Fig. 1)。各地点において不攪乱柱状採泥器(カラムサイズ 500 mm × 110 mmφ)を用いて、カラム内の泥厚が 250 mm になるように、底泥を採取した。調査は、C 点は 2013 年 5 月から 2016 年 2 月まで季節ごと



Fig. 1 採泥地点

に計 12 回、L 点は 2015 年 5 月から 2016 年 2 月まで季節ごとに計 4 回それぞれ実施した。調査月は、春季を 5 月、夏季を 7 月または 8 月、秋季を 10 月、冬季を 2 月とした。

酸素消費実験は次の方法により実施した。カラム内の泥直上水を、水深 85 m の湖水を GF/B ろ紙でろ過しエアレーションにより DO を飽和させた水に置き換え、カラムをスターラー付ゴム栓で密栓した。7°C の条件下で直上水を攪拌培養し、定期的に直上水 DO を測定し、次式により SOD を算出した。ここで、 $[DO]_t$  は  $t$  日経過後の DO、 $V$  は直上水の体積、 $S$  は泥面積をそれぞれ示す。

$$SOD = \frac{V}{S} \left( \frac{\partial [DO]_t}{\partial t} \right)$$

底泥成分と SOD の関係を見るため底泥中に含まれる成分を分析した。底泥は表面から深度ごとに切り分け、試料の調製は底質調査方法に準じて行った。分析項目は全炭素(TC)、全窒素(TN)、全リン(TP)、鉄(Fe)、マンガン(Mn)の 5 項目とした。

### 3. 結果と考察

Fig. 2 に 2013 年度から 2015 年度までの C 点における測定日数  $t$  を 5 日間とした SOD を示す。C 点の SOD は、本調査期間において夏季に小さくなる季節的変動がみられた。一方で、年間平均値は 0.25 (2013 年度), 0.24 (2014 年度), 0.26  $gO_2/m^2/day$  (2015 年度) であり同程度の値であった。L 点の SOD は、2015 年度においては、0.22 (春季), 0.24 (夏季), 0.29 (秋季), 0.26  $gO_2/m^2/day$  (冬季) であり、年間平均値は 0.25

$gO_2/m^2/day$  であった。春季に小さくなった以外は C 点と類似の変動がみられ、年間平均値も C 点と同程度の値であった。

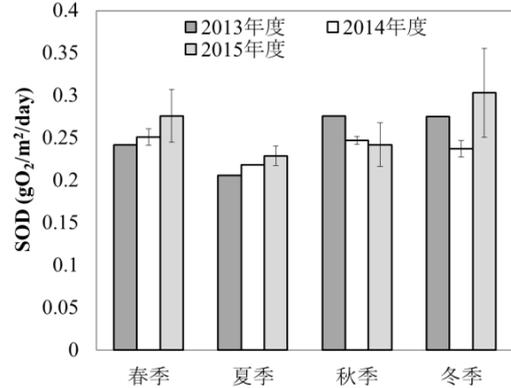


Fig. 2 C点における SOD の経年・季節変動(2013 年度および 2014 年度夏季は  $n=2$ , それら以外は  $n=3$ 。エラーバーは標準偏差を示す)

琵琶湖北湖第一湖盆における底層 DO は例年、4 月から 9 月にかけて減少し、10 月から 12 月に最低となる。例年の SOD が  $0.25 gO_2/m^2/day$  であるとする、4 月から 8 月にかけての底層 DO の減少と SOD から算出した底層 DO 値はおおむね一致する。9 月以降は例年台風や季節風等の強風の影響を受ける度合いが大きく異なり、その時期の底層 DO 値の変動は強風の寄与が大きいものと推察される。一方、2012 年度に見られた 8 月後半以降の底層 DO の急激な低下には、SOD が大きく寄与したのではないかと推測しており、今後も底層 DO の変動要因の解明には SOD の測定が必要であると考えられる。

SOD の変動要因を調べるため、底泥中に含まれる成分を分析し SOD との相関を成分ごとに調べた。SOD と Mn、全炭素の表層含有量の関係を Fig. 3 に示したが、有意な相関は得られなかった。他の成分についても同様であり、これは底泥成分に一定の季節変動がみられないことに起因するものと考えられる。このことから、SOD の変動要因として、底泥の表面構造や内部構造等についても今後検討する必要があるものと考えられる。

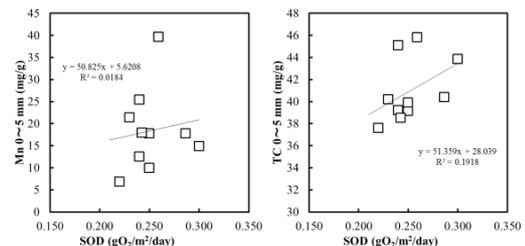


Fig. 3 SOD と底泥中成分の関係

### 1. はじめに

沖縄本島南部地域（糸満市・八重瀬町）は、琉球石灰岩を表層地質とする段丘地形によって特徴づけられる畑地農業地帯（基幹作物：サトウキビ）であるが、国営沖縄本島南部水利事業（1992～2005年）の地下ダム築造（米須・慶座）等によって水資源開発が進められ、1,352haの畑地に地下水が灌漑用水として利用されている。地下ダム流域における水質管理を含めた今後の地下水の適正な利用に資する観点から、本研究では、米須地下ダム流域（以下、調査地域という）を対象として、琉球石灰岩地域地下水の水質組成と影響要因について考察したので、報告する。

### 2. 研究方法

本研究では、30地点（湧水：8カ所、観測井（基盤岩に到達するまで全面的にストレーナーを配置）：22カ所）の水質データを用いて検討を行った。観測井での採水深度は地下水面から-5m程度とした。水質測定項目は、水温、pH、電気伝導度（EC）、酸化還元電位（ORP）、溶存酸素（DO）、陽イオン（ $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ ）、陰イオン（ $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{SO}_4^{2-}$ ）、重炭酸イオン（ $\text{HCO}_3^-$ ）である。水質調査は、2012年2月から2013年11月までの間に概ね月1回の頻度で21回実施した。統計解析には、エクセル統計2010（株）社会情報サービスソフト製品グループ）を用いた。

### 3. 結果と考察

調査地域の地下水水温とpHは、それぞれ20.6～28.4℃（平均値：24.4℃）、6.3～8.2（平均値：7.2）であり、20℃以上であるとともに、弱酸性-中性-弱アルカリ性を示している。DOは、0.5～9.1  $\text{mgL}^{-1}$ （平均値：3.9  $\text{mgL}^{-1}$ ）と還元的状態から酸化状態であり、ECは、0.47～2.95  $\text{mScm}^{-1}$ （平均値：0.90  $\text{mScm}^{-1}$ ）を示している。一方、陽イオン（ $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ ）は、いずれも広い範囲に分布しており、その平均濃度は $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ の順に大きくなっている。また、陰イオンと重炭酸イオン（ $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ ）の平均濃度は、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ -Nの順に大きい値を示している。ヘキサダイアグラムを通じて調査地域地下水の水質特性を検討したところ、18地点のうち海岸近傍の米堤上32と米堤上40の2地点を除いて最も含有割合の大きな陽イオンが $\text{Ca}^{2+}$ 、陰イオンは $\text{HCO}_3^-$ であり、炭酸水素カルシウム（ $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ ）型の特徴を有している。米堤上32と米堤上40では、 $\text{Na}^+$ がそれぞれ118.9  $\text{mgL}^{-1}$ 、234.7  $\text{mgL}^{-1}$ 、 $\text{Cl}^-$ もそれぞれ169.2  $\text{mgL}^{-1}$ 、357.4  $\text{mgL}^{-1}$ と100  $\text{mgL}^{-1}$ を超過するような高い値を示しており、塩化ナトリウム（ $\text{Na}-\text{Cl}$ ）型に分類される。

調査地点の地下水水質について、クラスター分析（ウォード法）で得られたデンドログラムによる類型化を試みたところ、

グループ1に属する湧水・観測孔の近傍には、これまでの調査研究によって琉球石灰岩の帯水層に内陸部から海岸に向かう洞くつの存在が確認されており、洞くつを通過する地下水流動がグループ1の地下水水質形成に影響を及ぼしていることが示唆された。グループ2は地下ダム貯留域左岸から中央部の観測孔と止水壁左岸下流の湧水である。グループ3は地下ダム流域東側に位置する観測孔と貯留域右岸の観測孔である。グループ2に属する観測孔・湧水が分布している地下ダム貯留域左岸では、2013年の7月から10月までの少降雨時においても、グループ3の属する観測孔・湧水が存在する貯留域右岸に比べて顕著な地下水位低下は生じていない。地下ダム貯留域左岸では流域上流から地下水が比較的速やかに供給・到達される一方で、貯留域右岸においては地下ダム上流域からの地下水量の供給が少ないことが示唆される。地下ダム貯留域への地下水の供給・到達状況がグループ2とグループ3の地下水水質形成に影響を与えているものと推察される。一方、米堤32と米堤40の観測孔はグループ4に分類されており、塩化ナトリウム（ $\text{Na}-\text{Cl}$ ）型の水質組成であり、地下ダム右岸直上部の一部は塩水残留域になっているものと考えられる。

調査地域には、多くの断層や鍾乳洞等に関連する琉球石灰岩の溶解亀裂部が存在しており、地下水水質の特徴が一致している地点は流動場が接続していることから、琉球石灰岩分布地域帯水層の不均一地盤に起因する水理地質構造が地下水水質形成特性に反映されているものと考えられる。 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、及び $\text{SO}_4^{2-}$ は、内陸部から海岸部に向かって高くなる一方で地下ダム貯留域に入ると低下しており、貯留域で混合・希釈作用が生じているものと考えられる。 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ は、地下水流動に伴う石灰岩溶解が影響して上流から下流に濃度を上昇させた後、地下ダム貯留域と堤体上流部では混合・希釈作用で値が低下したものと推察される。その一方、 $\text{NO}_3^-$ -Nは、内陸部から海岸部に向かって高くなるとともに、断層近傍や地下ダム堤体上流部のように滞留場では低い値を示している。上流から下流に向けた窒素負荷源とともに地下水流動場に伴う流入・混合作用と希釈・脱窒作用が $\text{NO}_3^-$ -Nの空間分布に関与しているといえる。調査地域の地下水は、海塩と石灰岩溶解の自然現象や農地排水・生活排水等の社会経済活動とともに、地下ダム建設に伴う貯留域場条件等によって水質形成が図られていることが示唆された。

### 4. まとめ

琉球石灰岩分布帯水層の水質形成機構に関する検討結果が、適切な地下水利用に活用されることが期待される。

### 1. はじめに

本発表では、主として行政側の種々の環境調査から見えてくる、沖縄の水環境(陸域のみならず、隣接する海域を含む)と環境保全について報告する。なお、特に断りのない場合は、沖縄県の環境白書(平成27年3月、以下、白書と表示)に基づいてデータ等を作成している。

### 2. 現状

#### 2.1 公共用水域の状況

平成25年度の生活環境項目の達成率は、河川(BOD)は97%、海域(COD)は92%で、過去10年間の推移は図1のとおりである。

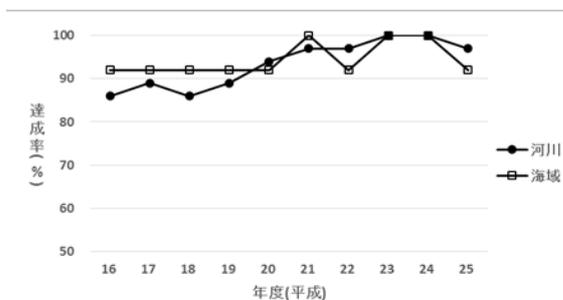


図1 環境基準の達成率(生活環境項目)

河川について、近年は90%以上の達成率となっているが、演者が研究所勤務となった昭和57年当時は多くの河川で水質が悪化しており、環境基準を大幅に超える状況であった。那覇市内の都市河川の同一4地点について、昭和57年度と平成25年度の水質を比較したのが表1で、水質が大幅に改善されていることがわかる。

表1 河川水質の変化

河川名	地点名	BOD75%値(mg/L)	
		昭和57年度	平成25年度
国場川	真玉橋	46	5.2
久茂地川	泉崎橋	44	1.4
安里川	安里新橋	51	3.1
安謝川	安謝橋	23	1.1

#### 2.2 赤土等の流出

沖縄の水環境に係る議論をする際に特に注意したいのが、赤土等の土壌の流出問題である。昭和47年の日本復帰後、大規模な公共工事等により、赤土等の土壌の大量の流出が海域環境に大きく悪影響を与えた。赤土等の流出

の機構は、侵食等の過程として説明され、更に侵食は主として、降雨等の4つの要因によって起こる(沖縄県赤土等流出防止対策基本計画)。これらの要因には沖縄特有のものがあり、従って赤土等の流出問題は沖縄特有のものとなる(鹿児島県の一部地域にも存在)。沖縄県は、平成6年に「沖縄県赤土等流出防止条例」を制定し、赤土等流出防止対策に取り組んだ結果、一定の効果が見られている。平成23年度は沖縄全体で29.8万トンの流出(推定)があり、約85%が農地からであった。赤土等の流出量の推移(平成5, 13, 23年度)は図2のとおりである。

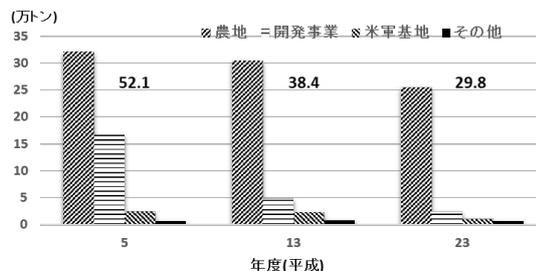


図2 赤土等流出量の推移(基本計画から引用)

### 3. 今後の課題

#### 3.1 水質保全上の課題

畜舎排水の垂れ流しや食品製造業からの未処理汚水の排出等の事例について、法令等の適用外の小規模な事業所が多く、行政機関は指導等に苦慮している。今後は関係行政機関が連携をより強化して指導を行い、水環境の保全・向上を図る必要がある。

#### 3.2 赤土等流出防止対策の課題

沖縄県は、海域を良好な状態に再生し、次世代に引き継ぐために赤土等流出防止対策基本計画を平成25年に策定した。基本計画では、対象海域及びそれに接続する流域に対して「環境保全目標」と「流出削減目標量」を設定しており、平成33年度までに流出量を約3万3千トン削減することを目標としている。目標達成に向けては、県の関係部局や市町村等、地域住民とともに行動計画を策定し、総合的・効果的な施策を推進する必要がある。

1B11

Web 公開不希望

## 猪苗代湖における水生植物の分布状況の把握と

## 北部水域の水質特性

\*大沼沙織, 佐藤貴之, 倉元隆之, 谷口圭輔, 吉田安伸 (福島県環境創造センター)

## 1. はじめに

猪苗代湖では、近年、ヒシを含む水生植物の分布域の拡大や例年 10 月頃に湖岸に漂着する枯死体が問題となっており、枯死体による底質の泥化の進行および栄養塩の回帰による水質の悪化など生態系への影響が懸念されている。猪苗代湖内の水生植物の調査は、1980 年、1981 年、2009 年および 2010 年に実施されているが<sup>1),2)</sup>、その後詳細な分布状況の調査は行われていない。そこで本研究では、2015 年の猪苗代湖における水生植物の分布状況を調査した。また、水生植物が繁茂している北岸部と湖心の湖水の水質を比較した。

## 2. 試料および方法

図 1 に示す猪苗代湖北岸部の調査範囲において、2015 年 9 月に水生植物の分布状況調査を実施した。図 2 の模式図のように湖心から湖岸に向けて調査測線を 18 本引き、調査測線上に 2 m 四方のコドラートを 20 m 間隔で湖岸から約 0.4 km の範囲まで計 284 個設置した。各コドラートで出現した植物の種類、種ごとの植被率(%)、コドラート全体の植被率(%)、水深および底質の状況を調べた。さらに、調査測線上の最も湖心寄りのコドラートから水深約 3 m となる湖岸から約 0.4~1.8 km までの範囲では魚群探知機により水中の沈水植物の分布状況を調査した。浮葉植物の分布域はドローンを使用した空撮により調べた。また、2010 年から 2015 年に湖心と北岸部の小黒川河口沖で表層水を採取して、TOC 濃度 (TOC-V、島津製作所)、全りんおよび全窒素濃度 (吸光光度法) を測定した。

## 3. 結果および考察

TOC 濃度、全りん濃度および全窒素濃度は小黒川河口沖が湖心よりも高い濃度を示した。北岸部は栄養塩の濃度が高い高橋川や小黒川の影響を強く受けていると考えられた。

図 3 より推定した浮葉植物の分布面積は、0.137 km<sup>2</sup>で、うちヒシ類(ヒシおよびオニビシ)は 94.3%、

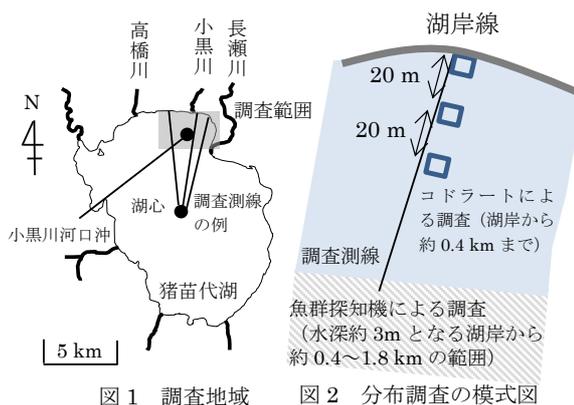


図 1 調査地域

図 2 分布調査の模式図

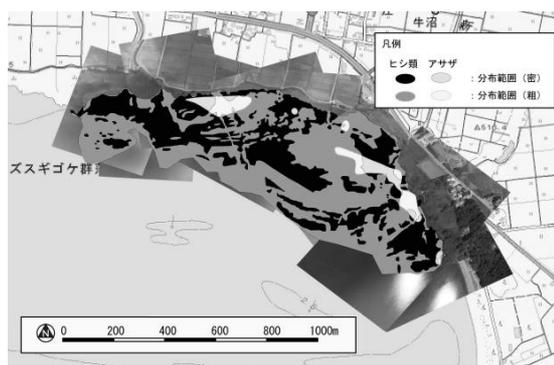


図 3 浮葉植物(ヒシ類およびアサザ)の分布図

アサザは 5.7%であった。2009 年 8 月の調査<sup>2)</sup>では、浮葉植物の分布面積が 0.135 km<sup>2</sup>で、うちヒシ類は 23.2%、アサザが 76.8%であると報告されており、2009 年と比べて 2015 年の分布状況調査ではヒシ類の分布域が拡大していた。猪苗代湖北岸部での浮葉植物の優占種がアサザからヒシ類へ変化している可能性が示唆されたが、その原因については、今後、さらなる検討が必要だと考えられる。

## 参考文献

- 1) 黒沢高秀ら (2011) : 1980 および 1981 年から 2009 および 2010 年の猪苗代湖北岸部水生植物群落の変化. 福島大学地域創造. 22, pp.47-57
- 2) 黒沢高秀ら (2012) : 猪苗代湖北岸の水生生植物相・植生と水環境保全事業への提言. 福島大学地域創造. 24, pp.97-113

\*成岡知佳, 千賀有希子 (東邦大・理)

### 1. はじめに

水系腐植物質 (AHS) は植物遺骸由来の難分解性有機物の総称であり, 水域における溶存有機物 (DOM) の多くを占め, 炭素動態を支配する重要な物質である。

湿原は多様な湿原植物由来の AHS を多く蓄積し, 他の水域へ AHS を供給する場である。AHS は水域を移動するとき, 太陽光 (光過程) とバクテリア (生物過程) によって分解されると考えられる。一般に, AHS は高分子で複雑な構造をもつため微生物には利用されにくく, 光過程の後に生物過程が促進すると認識されている。さらに, 近年の研究で生物過程により, AHS が再合成されることが明らかになった。しかしながら, 現場において光過程と生物過程が AHS の分解や再合成などの動態にどの程度寄与するかは明らかになっていない。

本研究では, AHS 動態に対する光過程と生物過程の寄与を明らかにするために, 釧路湿原内に位置する腐植栄養湖赤沼の湖水を用い, 微生物をサイズごとに取り除いた系を調製した後, 湖岸に静置し, 時間を追って AHS の量と質を測定した。

### 2. 材料と方法

赤沼表層水を用いて 4 つの系を調製し, 石英ビンに入れた:孔径 0.22  $\mu\text{m}$  のフィルターでほぼ全ての生物を取り除いた系 (-Bac), 有効保持粒子径 0.7  $\mu\text{m}$  のガラス繊維ろ紙で生物を取り除いた系 (-SS), 無ろ過の系 (Intact), 無ろ過で暗条件の系 (Dark) (-Bac, -SS, Intact 系は太陽光露光)。これらの石英ビンに 2016 年 8 月 10 ~14 日の 4 日間, 赤沼湖岸に赤沼の表層水と同じ水温となるように設置した。0, 2, 4 日目に試料を回収し, 溶存有機炭素 (DOC) 濃度および AHS の量と質を測定した。DOC 濃度の測定には全有機炭素測定装置を用いた。AHS の量の測定は樹脂吸着ー炭素量測定法 (Tsuda et al. 2012) を改変した方法で行い, 質の測定には三次元励起蛍光スペクトル (EEM)ーPARAFAC 法を用いた。EEM の測定条件は, 励起波長 (Ex)/蛍光波長 (Em)=220~600/210~620 nm, バンド幅 3 nm, 積分時間 0.5 秒とした。PARAFAC によって成分の分離を行い,

得られた成分の蛍光強度は, 10  $\mu\text{g/L}$  硫酸キニーネ溶液を用いて相対的に規格化した。

### 3. 結果

DOC 濃度は -Bac 系と -SS 系では実験期間を通して減少した。また, Intact 系では 2 日目から 4 日目にかけて減少した。一方, Dark 系では変化が見られなかった。

2012 年 5 月から測定してきた赤沼水の EEM データと本実験により得られた EEM データの PARAFAC 解析 (n=73) により, 2 つの AHS 様物質: AHS-1 (Ex/Em = <252, 306/416 nm), AHS-2 (Ex/Em = <252, 348/476 nm) が分離された (Stedmon and Markager 2005)。AHS-1, 2 の蛍光強度は, -Bac, -SS, Intact 系において実験期間を通して減少した。また, これらの系における蛍光強度に有意な差はみられなかった。一方, Dark 系では, AHS-1 の蛍光強度が実験期間を通して, AHS-2 は 2 日目から 4 日目にかけてわずかに増加した。

### 4. 考察

-Bac, -SS, Intact 系で AHS-1, 2 の蛍光強度は実験期間を通して減少したことから, これらの成分は光分解されたと考えられた。また, -Bac 系と -SS 系における AHS-1, 2 の蛍光強度の変化に有意な差はみられなかった。-SS 系は主にバクテリアが存在する系である。したがって, 光条件下でバクテリアは AHS 分解にほとんど寄与しないと考えられた。また, Intact 系と Dark 系では実験期間を通して藻類の増殖が見られず, 藻類は枯死・分解したと考えられた。Dark 系では AHS-1, 2 の蛍光強度の増加が見られたが, Intact 系では減少したことから, 藻類分解由来の AHS 成分は太陽光下で素早く分解されると推察された。しかしながら, Dark 系で DOC 濃度の増加が見られなかったことから, バクテリアは AHS 以外の DOM 成分を優先的に利用すると考えられた。

光過程および生物過程による AHS の再合成, 樹脂吸着ー炭素量測定法による AHS の量の測定については現在検討中である。

## フミン物質分別定量法および光学的手法を用いた溶存有機物の特性評価 ～タイ王国トラート川における事例～

\*木田 森丸（神戸大院・農）、Poungpam Sasitorn（Chulalongkorn 大）  
大塚 俊之（岐阜大・流域圏）、藤嶽 暢英（神戸大院・農）

## 1. はじめに

水環境中の溶存有機物（DOM）の分析には紫外可視吸光および三次元励起蛍光といった光学的手法が汎用されている。これらの手法は簡便・迅速に DOM の化学構造特性を探ることができ、特に広域モニタリング研究や水処理場での水質モニタリングには欠かせない手法である。データの解析には Specific UV Absorbance (SUVA<sub>254</sub>), Fluorescence Index (FI), Freshness Index (BIX; Recent autochthonous contribution index とも言う) といった光学的指標がよく用いられる。これら指標は DOM の芳香族性や起源の情報を与えるものとして提案され広く使用されており、結果の解釈にはしばしば陸域由来のフミン物質 (HS) の DOM への寄与の程度が挙げられる。しかしながら、実際にこれら指標と HS の濃度もしくは DOM に占める割合とを比較した報告はない。本研究ではそれらの直接比較をおこなうことで、光学的指標の解釈の妥当性を検証した。

## 2. 材料と方法

調査地はタイ王国トラート川流域とした。明瞭な乾季（11月～4月）と雨季（5月～10月）があり、雨季の降水量は年間降水量の9割に相当する。サンプリングは乾季（2016年1月）と雨季（同7月）におこなった。複数の支流が合流しながらひとつの河口に収束しており、サンプリングは複数の源流から河口に向けておこなった。河口近くは潮の干満の影響を受ける。乾季は満潮、雨季は干潮時に採取し、乾季の河口付近のサンプルは海水との混合が確認された。

サンプルは水温および pH、電気伝導率をポータブル測定器（HORIBA LAQUA シリーズ）を用いて現場で測定し、サンプリング当日にろ過（ADVANTEC GF-75; 0.3 μm）した後、日本に保冷移送した。常温

に戻した後に紫外可視吸光スペクトルと三次元励起蛍光スペクトルを超純水をブランクとして測定し、光学的指標として SUVA<sub>254</sub> および FI、BIX を算出した。HS 濃度は DAX-8 樹脂を用いたバッチ法により、DOC 濃度と非 HS 濃度の差し引きにより求めた。また、サンプルを 0.1M 硝酸濃度に調整し、溶存鉄濃度を ICP-AES を用いて絶対検量線法で測定した。溶存鉄濃度は SUVA<sub>254</sub> 値の補正に用いた。

## 3. 結果および考察

SUVA<sub>254</sub> は既往研究の最大報告値と比較して倍程度の値を示すサンプルが複数確認された。溶存鉄により吸光度を過大評価した結果と判断し、鉄濃度による吸光度の補正をおこなったところ、SUVA<sub>254</sub> 値は妥当な範囲に下方修正された。SUVA<sub>254</sub> は表層水に対して用いられる場合は鉄濃度による補正はおこなわれずに数値が報告されているが、補正が必要な場合があることが示された。乾季と雨季の結果を比較したところ、HS 割合および SUVA<sub>254</sub> は雨季に上昇し、BIX は雨季に低下した。SUVA<sub>254</sub> は HS 割合と比較的高い正の相関を示したが、回帰直線の傾きは季節により変化した。FI は変化の幅が少なく、サンプリング場所に応じた明確な変化は確認されなかった。FI は HS の主成分であるフルボ酸の起源を表す指標として、精製したフルボ酸を用いて確立された指標であり、DOM の構成成分の変化を捉えるには感度が十分ではないことが示唆された。概して、本研究で選択した光学的指標は HS 濃度や割合の変化を完全に説明することはなく、それらの結果を HS と関連付けて解釈することは注意が必要である。最後に、HS 濃度と溶存鉄濃度は支流ごとに明瞭かつ異なる関係性を示した。また、回帰直線の Y 切片が負であったことから、全ての鉄は HS 複合体として存在していることが示唆された。

1B15

Web 公開不希望

\*野村早織（信州大・理），朴虎東（信州大・理）

## 1. はじめに

富栄養化によるアオコの発生の原因の一つとして溶存無機態のリンが挙げられている。湖水中のリンが増加する要因として外部からのリンの流入だけではなく、底質中に存在するリンの溶出の寄与度も注目されており、底質中のリンの制御が求められている。酸化マグネシウム (MgO) は下水処理においてリンの除去に用いられており、さらに、Mg は水環境中に多量に存在しているため生態系への影響が比較的少ない水質改善材料と考えられている。

本研究の目的は、湖沼堆積物において MgO を用いたリンの溶出制御への影響を明らかにすることである。

## 2. 材料と方法

### 《実験①リンの溶出抑制》

容器 (0.2m×0.27m×0.18m) に松本城お堀の堆積物を約  $1.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ 、曝気水を約 6L 入れた。暗室で静置し、温度は 25℃ に設定した。嫌気状態の実験容器に MgO (マグネシアクリンカー、宇部マテリアルズ提供) の添加を行い、水中の溶存無機態リン濃度にどのような変化が表れるのかを検証した。9 日間、毎日 10mL の採水と 1.5g の MgO 添加を行った。12 日目、16 日目、20 日目には採水だけ行い、採水したサンプルはイオンクロマトグラフィー (DX-120, Dionex) でリン酸態リンの濃度を測定した。また、X 線回折装置 (UltimaIV, Rigaku) およびエネルギー分散型 X 線分光器 (JSM-6510A, JEOL) を用いて沈殿物の同定を行った。

### 《実験②MgO 添加による影響》

4 つの容器 (0.27m×0.16m×0.17m) に松本城お堀の堆積物を約  $1.0 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ 、曝気水を約 5L 入れた。暗室で静置し、温度は 25℃ に設定した。一方は空気が出入りできるようにし(蓋なし)、もう一方は空気が出入りできないように蓋をした(蓋あり)。それぞれの容器に MgO を 5g 添加し、さらに対照区として

MgO を添加しないものを用意した。それぞれ 14 日間、2 日毎に溶存酸素 (DO) および pH の測定しその後 10mL 採水した。採水したサンプルはイオンクロマトグラフィーを用いて  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  および  $\text{Mg}^{2+}$  の濃度を定量した。

## 3. 結果と考察

### 《実験①》

MgO (合計 13.5g) を添加すると、20 日間でリンは  $7 \text{ mg L}^{-1}$  から  $0.6 \text{ mg L}^{-1}$  まで減少し、91% のリンが水中から除去された。MgO 添加後、堆積物表面は白い沈殿物で覆われていた。沈殿物の元素分析を行うと、沈殿物全体にマグネシウム (Mg)、酸素 (O) およびリン (P) の存在が確認された。MgO がリンを吸着またはリンと化合し、沈殿したと思われる。白い沈殿物が堆積物表面を覆うことにより、堆積物から溶出しようとするリンを物理的に抑える効果もあると考えられる。

### 《実験②》

対照区では、pH や  $\text{Mg}^{2+}$  濃度は一定であった。窒素は  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  の順に形態変化しており、硝化作用が進行していた。DO は  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  濃度が増加する際に低下した。硝化によって酸素が消費されたためであると考えられる。DO が低下したため、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  濃度は増加した。

MgO を添加したものは pH と  $\text{Mg}^{2+}$  濃度は増加し、DO は MgO 添加後に低下した。MgO 添加によってバクテリアが増加したためであると考えられる。窒素は  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度のみ増加し続け、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  はほぼ検出されなかった。酸素がバクテリアによって消費されてしまったため、硝化が進行しないからであると思われる。 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  濃度はほぼ一定であり、MgO 添加によってリンの溶出が抑制されていた。

実験①と②から、MgO 添加によってリンの溶出が抑制されることが明らかとなった。しかし、DO 低下による影響が懸念されるため、その対策が必要である。

\*佐藤 翼 (東邦大院・理), 諏訪 裕一 (中央大・理工)  
野原 精一 (国環研・生物), 千賀 有希子 (東邦大院・理)

## 1. はじめに

谷津干潟は、東京湾の埋め立てによって取り残され、コンクリートで囲まれた約 40 ha の干潟である。潮汐による水の交換は 2 本の水路を通じてのみ行われ、その水域環境は閉鎖的である。近年、干潟内への富栄養な海水の流入によりアオサの異常増殖 (グリーンタイド現象) が頻発するなど環境の悪化が問題視されている。谷津干潟の環境モニタリングから、谷津干潟は過栄養水域であることが報告されている (千賀と山内, 2015)。

栄養塩の 1 つである  $\text{NO}_3^-$  は脱窒とアナモックスとよばれる 2 つの硝酸還元過程によって系外に除去される。脱窒とは  $\text{NO}_3^-$  を  $\text{N}_2$  へ還元する過程であり、アナモックスとは  $\text{NO}_2^-$  と  $\text{NH}_4^+$  をカップリングして  $\text{N}_2$  を生成する過程である。一般的に、沿岸域では脱窒活性が高く、アナモックス活性は低いと報告されている (Brin et al., 2014)。しかしながら、過度に富栄養化した干潟における脱窒とアナモックスに関してはほとんど報告例がなく、両者の進行に関しては明らかになっていない。

そこで本研究では、谷津干潟の堆積物における脱窒とアナモックスの進行を  $^{15}\text{N}$  トレーサー法により測定した。また、アセチレン阻害法により測定した脱窒活性と環境因子との関係について検討した。

## 2. 方法

堆積物と海水のサンプリングは、月に一度、大潮あるいは中潮の干潮時に行った。堆積物は、谷津干潟泥質区および砂地区の 2 地点について、海水はタイダルクレーンで採取した。

### $^{15}\text{N}$ トレーサー法による脱窒とアナモックス

堆積物スラリーが入ったバイアル瓶に、2 mM  $\text{NO}_3^-$ 、1 mM  $\text{NH}_4^+$  となるように① $\text{NO}_3^- + ^{15}\text{NH}_4^+$ 、② $^{15}\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ 、③ $^{15}\text{NH}_4^+$  (コントロール) を加えた系をそれぞれ調製し、20°C の暗条件下で 3 日間嫌気培養した。これらのバイアル瓶の気相に蓄積した  $^{29}\text{N}_2$ 、 $^{30}\text{N}_2$  を、時間を追ってガスクロマトグラフ付き質量分析計 (GCMS-QP2010 Plus, Shimadzu) で測定した。脱窒は②系の  $^{30}\text{N}_2$  生成

で、アナモックスは①系の  $^{29}\text{N}_2$  および②系の  $^{29}\text{N}_2$  生成で評価した。

### 脱窒活性と環境因子

2012 年 6 月より月に一度アセチレン阻害法で脱窒活性を測定した。堆積物スラリーが入ったバイアル瓶に  $\text{NO}_3^-$  を 5 mgN/L、 $\text{C}_2\text{H}_2$  を 6 kPa となるように添加し、20°C の暗条件下で 5 時間嫌気培養した。培養終了後、ホルマリンを 1% となるように加えて脱窒菌の活動を抑制した。気相中の  $\text{N}_2\text{O}$  を電子捕獲型検出器付きガスクロマトグラフ (6890, Agilent) で測定した。液相中の  $\text{N}_2\text{O}$  を Weiss と Price の式 (1980) を用い、脱窒活性を算出した。

また、重回帰分析により脱窒活性と環境因子の関係を検討した。

## 3. 結果と考察

### $^{15}\text{N}$ トレーサー法による脱窒とアナモックス

泥質区において、①の系では培養 3 日目においても  $^{29}\text{N}_2$  および  $^{30}\text{N}_2$  の生成がみられなかった。一方、②の系では  $^{29}\text{N}_2$  および  $^{30}\text{N}_2$  の生成がみられたが、 $^{30}\text{N}_2$  の生成量の方が  $^{29}\text{N}_2$  より圧倒的に高かった。②の系で検出された  $^{29}\text{N}_2$  は、測定した全  $\text{N}_2$  に対する  $^{29}\text{N}_2$  の比率 (0.74%) は大気

の比率 (0.73%) に近かったことから、海水中に含まれていた  $^{14}\text{NO}_3^-$  と添加した  $^{15}\text{NO}_3^-$  の脱窒により生成したと考えられた。したがって、泥質区での  $\text{NO}_3^-$  除去に関連した硝酸還元過程には脱窒が大きく寄与していると考えられた。

砂地区に関しては現在検討中である。

### 脱窒活性と環境因子

泥質区および砂地区の脱窒活性はそれぞれ 6.1~44  $\mu\text{gN gdry}^{-1} \text{day}^{-1}$ 、0.8~11.9  $\mu\text{gN gdry}^{-1} \text{day}^{-1}$  の間で変動し、泥質区の脱窒活性は砂地区よりも有意に高かった ( $p < 0.05$ )。

重回帰分析により、泥質区および砂地区の脱窒活性は、基質である無機態窒素や有機物量と良い相関が得られた。特に、泥質区の脱窒活性は、様々な変数と相関を示し、泥質区の窒素浄化は様々な因子によって複雑に制御されていることが示唆された。

## 硫化水素の生成に伴う汽水域堆積物からのケイ酸の溶出

\*朴 紫暎 (京都大学大学院・人間環境学), 管原 庄吾 (島根大学大学院・総合理工)  
江川 美千子 (島根大学大学院・総合理工), 清家 泰 (島根大学大学院・総合理工)

### 1. はじめに

ケイ素は、植物プランクトンの珪藻の骨格を形成する元素であり、環境水中ではケイ酸として存在する。ケイ酸は、pH 7では非解離の  $\text{Si}(\text{OH})_4$  の形態で存在している。堆積物中での鉄やアルミニウムの水酸化物等と相互作用していることが知られている (Weijden, 2007)。汽水湖中海において、底層の還元に伴い湖底からケイ酸の溶出がみられたことから、湖底からのケイ酸の溶出には硫化水素の生成が関係していることが示唆された。そこで本研究では、還元的になった汽水湖での硫化水素の発生が、ケイ酸の溶出に及ぼす影響を検討し、ケイ酸の溶出機構の解明を目的とした。

### 2. 実験方法

リン酸と硫化水素は、ケイ酸の定量法であるモリブデン黄法に対して妨害を及ぼす。そこで先ず、これらの妨害除去法の検討を行った。次に、室内実験において、硫化水素の発生がケイ酸の溶出に及ぼす影響を見るため、1) 水酸化鉄 (III) と硫化水素の反応によるケイ酸の溶出、2) 及びその反応時間について室内実験を行った。pH 8 に調整したケイ酸と鉄 (III) の混合溶液をシリンジにとり、孔径 0.45  $\mu\text{m}$  のろ紙を用いて 10 mL ろ過し、このろ液中 (ろ液 1) のケイ酸の濃度を定量した。また、ろ紙上に補足された沈殿物に 30 又は 100 mgS/L の硫化水素溶液を 10 mL 通水し、このろ液中 (ろ液 2) のケイ酸の濃度を定量した (検討 1)。10 mL の中海の湖底堆積物の表層試料に pH 7 に調整した 0, 5, 10, 20, 50 mgS/L の硫化水素溶液をそれぞれ 20 mL 添加した。この溶

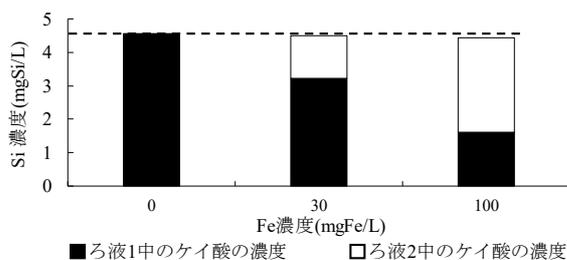


Fig. 1 検討 1 の結果

液を 0, 10, 30, ..., 1500 分後に孔径 0.45  $\mu\text{m}$  のろ紙を用いてろ過し、そのろ液中のケイ酸の濃度を定量した (検討 2)。

### 3. 結果と考察

30 mgP/L のリン酸を含む溶液に酒石酸の濃度が 0~30%の酒石酸をそれぞれ 1 mL 添加したところ、酒石酸の濃度が少なくとも 20%であればリンモリブデン酸の形成を完全に抑制できることが分かった。次に、硫化水素濃度が 200 mgS/L の溶液に塩酸を添加して酸性にし、スターラーで攪拌しながら経時的に硫化水素濃度を追跡した結果、7 分後には硫化水素濃度がほぼゼロになった。

(検討 1) pH 8 に調整したケイ酸と 0, 30, 100 mgFe/L の鉄 (III) の混合溶液のろ液からそれぞれ 4.6, 3.2, 1.8 mgSi/L のケイ酸が検出された。また、ろ紙に捕捉された懸濁物に対し、0 と 30, 100 mgS/L の硫化水素を通水すると、それぞれ 1.3 及び 2.8 mgS/L のケイ酸が検出された。このことから、ケイ酸が水酸化鉄と共沈し、還元的雰囲気になると、水酸化鉄が還元されてケイ酸が遊離することが分かった (Fig. 1)。

(検討 2) 中海の湖底堆積物試料に pH 7 に調整した 0, 5, 10, 20, 50 mgS/L の硫化水素溶液をそれぞれ 20 mL 添加した結果、いずれの濃度においても添加 900 分後には約 28 mgSi/L で一定になった (Fig. 2)。

硫化水素によるケイ酸の溶出は汽水湖特有の現象である。汽水域におけるケイ酸の挙動の解明にはさらなる検討が必要である。

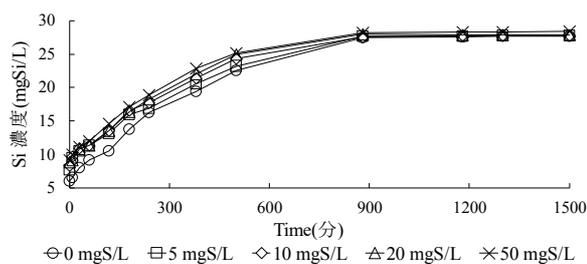


Fig. 2 検討 2 の結果

琵琶湖北湖底質コアを用いた湖底環境シミュレーション  
実験による化学成分の動態解析\*津田 瞳<sup>1</sup>, 村山耀平<sup>1</sup>, 布施泰朗<sup>1,2</sup>, 岡本高弘<sup>3</sup>,  
奥居紳也<sup>3</sup>, 早川和秀<sup>3</sup>, 柄谷 肇<sup>4</sup>, 山田 悦<sup>1,2</sup>

(1.京工織大院・工学科学, 2.京工織大・環境科学セ, 3.琵琶研セ, 4.京工織大・分子化学系)

## 1. はじめに

1985年以降、琵琶湖北湖では難分解性有機物の増加などによる生態系への影響が懸念されている。また、琵琶湖北湖では成層期と循環期を繰り返しているが、近年、温暖化などの影響による成層期の長期化等により深水層における底層水の低酸素化の発生頻度が増加している。低酸素化の影響についてこれまでPやMnなどの無機成分の動態について多くの報告があるが、有機成分の動態について検討した例は少ない。そこで本研究では、琵琶湖北湖の底質コアを採取し、湖底環境のシミュレーション実験を行い、底質-湖水間の物質循環と低酸素化の影響について検討した。

## 2. 材料と方法

循環期直後の2015年、2016年各5月と成層期である2015年10月に琵琶湖北湖今津沖中央(St.17B 水深90m)で不攪乱採泥器と自作の浮泥捕集システムを用いて採取した底質コアと、同日に採取した湖水(St.17B 85m ろ過水)を直上水として用いて、120日間の湖底環境のシミュレーション実験を行った(Fig. 1)。直上水はpH7.0、水温7°Cに設定して溶存酸素(DO)濃度を制御し、1-2週間ごとに25mL採取した試料水の蛍光特性と化学成分について分析した。底質コアは採取直後とシミュレーション実験

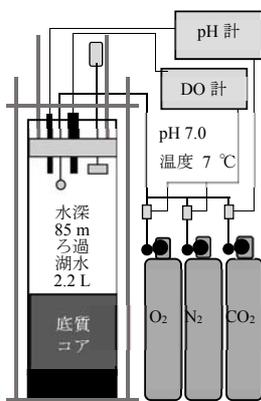


Fig. 1 湖底環境シミュレーション実験の概略図

終了後、20cmまでを5層に分離し、底質試料と間隙水中の化学成分の変化を比較した。

実験はそれぞれ3本の底質コアを用いた。2015年5月試料では、DOを0mg/L、2.6mg/L、10mg/Lに設定し、2015年10月の試料で3本のコアをDO0mg/Lに設定し、a, b, cとしてコアによる違いと再現性などについて評

価した。2016年5月試料は、それぞれ実験期間を30、60、120日に設定し推移を観察した。

## 3. 結果と考察

難分解性であるフルボ酸様蛍光物質の蛍光強度は、2015年5月試料では実験開始後すぐに上昇し、120日目の値はDO0mg/Lでは9.8QSU、DO2.6、10mg/Lで約12QSUまで増加し、2015年10月試料では約9QSUまで増加した(Fig. 2)。2016年5月試料でも同様にフルボ酸様蛍光物質の蛍光強度は上昇した。タンパク質様蛍光物質の蛍光強度は2015年5月試料では約5QSU、2016年5月試料では4.5QSU程度で推移し、2015年10月試料においては実験開始後徐々に上昇して7QSUまで増加した。

間隙水中のフルボ酸様蛍光物質の蛍光強度は、シミュレーション実験前後において2015年5月試料の3,4層では全てのDO条件で増加し、2層ではDO0, 2.6mg/Lの条件で増加、DO10mg/Lの条件で減少した。2015年10月試料のDO0mg/Lの条件下では、実験前後で2-4層におけるフルボ酸様蛍光物質の蛍光強度が増加した。2015年5月、10月のシミュレーション実験前後におけるフルボ酸様蛍光物質の蛍光強度の変化をBiwako FA(日本腐植物質学会提供)を用いて炭素量に換算すると、直上水中と間隙水中においてフルボ酸様蛍光物質の総量が増加していた。この結果から、溶存酸素量に関わらず底質から間隙水中にフルボ酸様蛍光物質が溶出したことが考えられ、底質はフルボ酸様蛍光物質の定常的な供給源であると推測された。

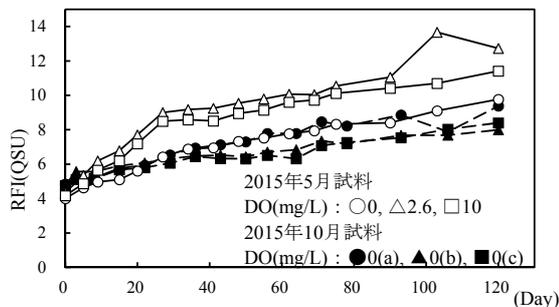


Fig. 2 直上水中フルボ酸様蛍光物質の時間変化

富山英明 (東洋大・生命科学), 北村大樹 (東洋大・生命科学),  
 鏡良弘 (瑞輝科学生物), 東端啓貴 (東洋大・生命科学・生命環境科学セ),  
 長坂征治 (東洋大・生命科学・生命環境科学セ), 岩崎雄一 (東洋大・生命環境科学セ),  
 \*柏田祥策 (東洋大・生命科学・生命環境科学セ)

### 1. はじめに

栃木県日光市足尾町に位置する足尾銅山は、日本有数の粗銅生産量で日本の明治時代における近代化を支えた一方で、激甚ともいえる国内最大規模の重金属汚染を渡良瀬川流域に引き起こした。足尾鉍毒事件関係資料 (安在ら編 2009) には、1897 年に上流域の河川水中で最大約 20 mg/L、土壌中では約 4600 mg/kg という高濃度の銅が検出されたことが報告されている。しかし、現在の渡良瀬川流域は、下流の渡良瀬遊水地が 2012 年ラムサール条約に登録されるなど、生態系が大きく回復してきている。

本研究では、渡良瀬川における重金属濃度の時空間変化とそれに伴う生物応答・適応の理解を目的として、足尾銅山閉山前の 1960 年から 2010 年までの河川中における銅などの重金属濃度の時空間的变化を既往の水質測定データから定量化し、加えて、測定データの少ない上流域において定期モニタリングを実施することで、河川水中および底質中の重金属濃度を調査・把握し、モデル推定値の検証を行った。さらに生態系において物質循環を支える重要な役割を担う底質の細菌叢に着目し、それらと底質中重金属濃度との関係について調査した。

### 2. 方法と材料

渡良瀬川の計 7 カ所における銅や亜鉛などの重金属濃度の測定は、1960 年から現在まで時空間的に偏在・点在した形で存在する (渡良瀬川河川事務所 HP にて公開)。そこで、それらの河川水分析データを用いて、渡良瀬川上流の原向より下流域における銅濃度の時空間的变化を一般化加法モデルにより定量化した (対象期間は 1960–2010 年)。なお、ここでは、重金属として銅に着目して記述する。

上記の水質調査では、特に汚染レベルが高いと思われる渡良瀬川上流域において、近年の測定が行われていなかった。そのため、渡良瀬川上流および対照として思川上流に調査地点をそれぞれ 2 地点ずつ設定し (渡良瀬川は原向及び草木ダムの 2 箇所)、

河川水および表層底質を 2014 年 5 月から 2015 年 2 月にかけて 15–20 日間隔で採取した (以下、定期モニタリングと呼ぶ)。採取した試料の重金属濃度は ICP-MS を用いて分析した。

また、底質中の細菌叢と重金属濃度との程度の関係を調査するために、渡良瀬川および思川の上流域から中流域にかけてそれぞれ設定した 3 地点において、2015 年 4 月に底質 (表層から 10 cm まで) を採取し、次世代シーケンサーを用いた DNA メタゲノム解析により、底質中の細菌叢を比較解析した。

### 3. 結果と考察

渡良瀬川における銅濃度 (全量) の時空間的变化を一般化加法モデルにより推定した結果、1960 年から足尾銅山が閉山した 1970 年代にかけて、約 500–2000 µg/L から 20–50 µg/L まで急激に減少し、近年にかけて緩やかに減少していることが分かった。

渡良瀬川および思川での定期モニタリングの結果、河川水中の平均銅濃度 (溶存態) は渡良瀬川上流の 2 地点で 10.7, 4.5 µg/L であり、上記モデル推定値とも概ねよく一致していた。一方、思川の銅濃度は 2 地点とも約 2.5 µg/L であり、渡良瀬川の方が約 2–5 倍高い濃度であった。渡良瀬川上流調査地点の底質中の銅濃度はそれぞれ 350.9, 121.4 mg/kg であり、思川上流 (51.2, 40.7 mg/kg) に比べて最大約 10 倍程度高い濃度を示した。

底質中の細菌叢データを用いた統計解析の結果、底質中重金属濃度と細菌叢の変化に相関が見られ、さらに、重金属濃度が最も高かった渡良瀬川の最上流地点には、*Marisediminicola* 属および *Sulfitobacter* 属という 2 種類の細菌属が特異的に出現していた。以上の結果から、渡良瀬川の河川水中および底質中の重金属濃度が、過去に比べて顕著に減少しているにもかかわらず、現在も底質中の重金属濃度が細菌叢の形成に影響を及ぼしていることが示唆された。

【謝辞】本研究は、平成 26–30 年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (S1411016) の研究費によって支援された。

2B01

Web 公開不希望

\*植田 真司, 長谷川 英尚, 久松 俊一 (環境科学技術研究所)  
江 俊賢 (日本エヌ・ユー・エス㈱)

### 1. はじめに

福島第一原子力発電所事故後、著者らは福島県飯館村の小河川において<sup>137</sup>Csの流出に関する研究を進め、出水時の懸濁粒子を介した<sup>137</sup>Csの移動が重要な役割を果たしていることを明らかにした(Ueda et al., 2013)。また、河川からの<sup>137</sup>Cs流出量を評価するため、観測期間中の水位からHQ曲線式を用いて求めた河川流量と<sup>137</sup>Cs濃度との関係式から<sup>137</sup>Cs流出量を算出してきた。

今後の<sup>137</sup>Cs流出量予測と他の河川への展開を行うためには、流域における水収支及び土砂侵食・土砂輸送モデルを用いて、<sup>137</sup>Cs流出量を推定する集水域<sup>137</sup>Cs移行モデルが必要である。

本会では、上記モデルを構築し、計算値を実測値と比較した結果を発表する。

### 2. 材料と方法

対象河川は、福島県飯館村の比曾川及び割木川とした。さらに両河川の主流河川である新田川全流域も計算対象とした(図1)。両河川の上流部の主な土地利用形態は、比曾川では水田であり、割木川では森林である。



図1 飯館村河川における観測地点(○)及び新田川流域(枠線)

集水域の水収支モデル(WEP, Water and Energy transfer Process)に土砂流亡を扱うUSLE(Universal Soil Loss Equation)モデルを組み込んで集水域モデルとし、粒子に<sup>137</sup>Csを分配させ、地表水出水に伴う<sup>137</sup>Cs輸送を計算可能とする集水域<sup>137</sup>Cs移行モデルとした。モデルの格子は、水平方向に100mメッシュで分割し、土壌層を表層から鉛直方向に2、3、5、10、40及び140cmに分割した。

気象データとしてレーダーアメダス解析雨量を用い、地表面の<sup>137</sup>Cs蓄積量の分布データは、第3次航空機モニタリング(2011年7月2日)による観測結果(文部科学省, 2011)を用いた。河川からの<sup>137</sup>Cs流出量の推定は、2011年から2014年の4年間について行った。

### 3. 結果と考察

構築した集水域モデルを用いて、比曾川及び割木川の河川流量と河川水中の懸濁粒子(SS)濃度の観測値と計算値を比較した結果、河川流量と河川水中のSS濃度ともに計算値は観測値を概ね再現した。また、両河川における河川水中懸濁態成分の<sup>137</sup>Cs濃度の計算値は観測値と概ね良い相関を示した(図2)。そこで、事故後約4年間の<sup>137</sup>Cs流出量の計算を行い、地上に沈着した<sup>137</sup>Csの河川による流出率の推定を行った。比曾川及び割木川の<sup>137</sup>Cs流出率の計算値は2011年が最大となり、それぞれ0.44%及び0.14%であったが、2012年以降は<0.14%及び<0.06%に減少し、2014年までの総流出量は0.74%及び0.21%と推定された。このように、本研究で構築した集水域<sup>137</sup>Cs移行モデルは河川流量、SS濃度及び河川水中<sup>137</sup>Cs濃度の観測値を良好に再現し、<sup>137</sup>Cs流出量の推定に役立つことが認められた。

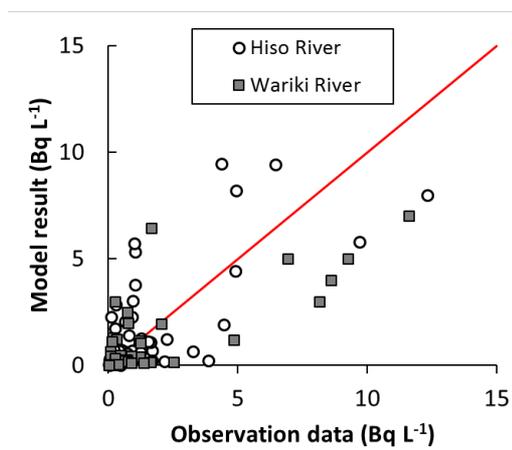


図2 比曾川及び割木川における河川水中の懸濁態成分の<sup>137</sup>Cs濃度の計算値と観測値との比較

今後、福島県内の河川流域では除染活動が順次行われ、河川から流出する<sup>137</sup>Cs量が大きく変化することが予測される。従って、継続した観測を行うとともに、モデルによる<sup>137</sup>Cs流出量の評価を行うことによって、流域からの<sup>137</sup>Csの経時的な変化を捉えていくことができると判断される。

### 参考文献

文部科学省(2011)第3次航空機モニタリングの測定結果について、H23.7.8.  
Ueda et al., (2013) J. Environ. Radioact., 118, 96-104.

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。

## 震災による攪乱影響評価

\*福島慶太郎（首都大院・都市環境），長坂翔子（パシフィックコンサルタンツ(株)）  
安部真央，横山勝英（首都大院・都市環境）

## 1. はじめに

2011年3月の東日本大震災で発生した津波は、海底の巻き上げ、遡上範囲での沿岸破壊、地盤沈下による湿地の形成など、陸域から海域にかけての水質形成環境に多大な影響を与えた。津波が発生すると、その年の養殖カキ・ホタテの成長が向上することが経験的に知られている。一方、気仙沼湾では津波発生の2年後、有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium tamarense* が大量に発生し、24年ぶりに養殖ホタテガイから麻痺性貝毒が大量に検出され、大損害を被った。このような津波後の生物動態から、湾内の栄養塩動態にも何らかの影響が及ぶものと推察される。しかしながら、これまで震災による河川から海への栄養塩供給ならびに海域における栄養塩の時空間分布への影響については明らかにされていない。

本研究では、震災後の河川・海水水質の変動パターンとその要因を検討するため、気仙沼湾及び流入河川上流・下流水質の長期データの解析を行った。

## 2. 材料と方法

本研究は、気仙沼湾内の3定点、および気仙沼湾に流入する2つの河川(大川・鹿折川)における上流と下流のそれぞれ2定点ずつを対象とした。各定点の過去の水質については、国立環境研究所の公共用水質データベース(1985~2009年)、気仙沼水産試験場の水質測定結果(1985~2016年)、岩手県環境研究センター(2009~2015年)等のデータを参照した。陸域河川については、2-3か月に1回、海域については1-2か月に1回の頻度でデータがとられている。

また、2011年から2016年にかけては実際に採水を行い、首都大学東京の実験室にて測定を行った。採水および分析方法は、気仙沼水産試験場で実施されている方法に従った。

本研究で対象とする水質項目は、全窒素(TN)、硝酸態窒素( $\text{NO}_3^-$ )、アンモニア態窒素( $\text{NH}_4^+$ )、全リン(TP)、リン酸態リン( $\text{PO}_4^{3-}$ )、水温、クロロフィル a 濃度とした。観測定点や期間によってはデータベースから得られないものもあったため、比較可能な水

質項目、観測定点、期間を限定して解析を行った。測定機関の異なる水質データが比較可能であることを確認するため、定点で測定が重複している期間について相関を調べた。

長期的な水質変動を解析するために、解析対象の全期間で変化の傾向を調べた。また、全期間を対象に月平均値を求め、毎年各月の実測値と月平均値の差の変化について検討した。

## 3. 結果および考察

大川、鹿折川とも河川上流では、約30年間 TN・TP 濃度に有意な変化は認められなかった。河川下流では、1990年代前半ごろから現在まで TN・TP 濃度が徐々に低下する傾向があり、2011年以降は震災の影響は見られなかった(図1)。気仙沼湾の表層海水の  $\text{NO}_3^-$ -N 濃度は1986年以降徐々に低下する傾向がみられたが、震災2年後の *A. tamarense* 大発生以降、急激に上昇しており(図2)、*A. tamarense* の大発生が湾内の栄養塩動態に影響を及ぼしたことが示唆された。発表では、他の水質項目についても検討を行い、気仙沼湾における水質変動要因を考察する。

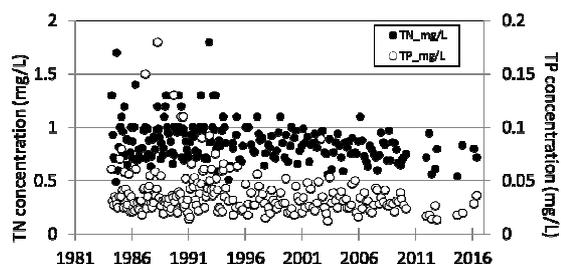


図1 大川下流の TN・TP 濃度の変化

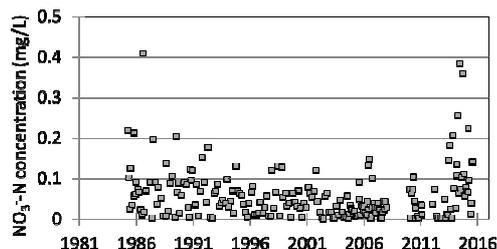


図2 気仙沼湾・表層海水の  $\text{NO}_3^-$  濃度の変化

\*嵯峨友樹, 崎幸子, 狩野好宏, 加藤季晋,  
江角敏明, 松尾豊 (島根県保環研),  
神谷宏 (島根県保環研, 島根大・汽水セ)

### 1. はじめに

島根県東部に位置する汽水湖の宍道湖は富栄養湖であり、植物プランクトンの存在量も多い。そのため、懸濁物食性であるヤマトシジミの一大産地となっている。ヤマトシジミの資源量は2012年には約1.5万トンにまで落ち込んだが、2013年以降は回復傾向にある。このヤマトシジミ資源量の更なる増加を考える上でヤマトシジミの食性を明らかにすることは大変重要である。しかし、宍道湖で発生する植物プランクトンのうち、ヤマトシジミの生育に好適な餌となるものは明らかになっていない。また、生物の成長や繁殖に大きな影響を及ぼす成分として知られているEPA(エイコサペンタエン酸)やDHA(ドコサヘキサエン酸)を含む脂肪酸類は生体内で生合成され別の脂肪酸に変換されるが、ヤマトシジミの脂肪酸変換能については不明である。そこで本研究では宍道湖で発生する藍藻 *Synechocystis* spp.、珪藻 *Thalassiosira pseudonana*、緑藻 *Pseudodictyosphaerium minusculum* の3種を餌としてヤマトシジミを飼育し、摂取した餌の脂肪酸によりヤマトシジミの脂肪酸量や脂肪酸組成が、どのように変化するかを比較することにより、ヤマトシジミの好適な餌の検討を行った。

### 2. 材料と方法

餌とする植物プランクトンには当研究所で継代培養しているものを使用した。藍藻 *Synechocystis* spp. と緑藻 *Pseudodictyosphaerium minusculum* の大量培養では培地としてIMKダイゴ培地を使用し、塩分濃度を3psuとした。珪藻 *Thalassiosira pseudonana* の大量培養ではケイ酸ナトリウム添加IMKダイゴ培地を使用し塩分濃度を6psuとした。培養条件は20℃、2000lux、明期24時間曝気で行った。植物プランクトンの脂肪酸測定は大量培養した各植物プランクトンをそれぞれWhatman GF/Fを用いて、ろ過をした後にメタノール/クロロホルム溶液で抽出しメタノール塩酸でエステル化を行った。その後、ガスクロマトグラフィーで測定した。

ヤマトシジミは宍道湖北岸で採取し、10日間馴致飼育を行った後、殻長が10mm以下を140個体、10～

15mmを10個体、15～20mmを8個体ずつとり、藍藻 *Synechocystis* spp.、珪藻 *Thalassiosira pseudonana*、緑藻 *Pseudodictyosphaerium minusculum* を給餌する区を設け、水温20℃、2001lux曝気条件下で30日間室内飼育した。また、コントロールとして、10日間馴致飼育後すぐに同様の個体数を凍結保存した。ヤマトシジミの脂肪酸測定は各試験区から各殻長の供試貝を無作為に取りだし、軟体部湿重量を測定した後に、植物プランクトンの脂肪酸測定と同様の操作を行い脂肪酸を測定した。

### 3. 結果

餌として用いた植物プランクトンの体積当たりの脂肪酸量は、藍藻 *Synechocystis* spp. では、ほとんど多価不飽和脂肪酸を含有していなかった。珪藻 *Thalassiosira pseudonana* は、飽和脂肪酸も多価不飽和脂肪酸(EPAやDHAを含む)も両方多く含有していた。緑藻 *Pseudodictyosphaerium minusculum* は、飽和脂肪酸を少量含有し、多価不飽和脂肪酸(EPAやDHAを含まない)を多く含有していた。

植物プランクトンを給餌したヤマトシジミの脂肪酸量は珪藻 *Thalassiosira pseudonana* では、コントロールと比較して多くなったが、藍藻 *Synechocystis* spp. と緑藻 *Pseudodictyosphaerium minusculum* では、コントロールと比較して大きく変化しなかった。ヤマトシジミの脂肪酸組成については、どの植物プランクトンを給餌しても大きく変化しなかった。

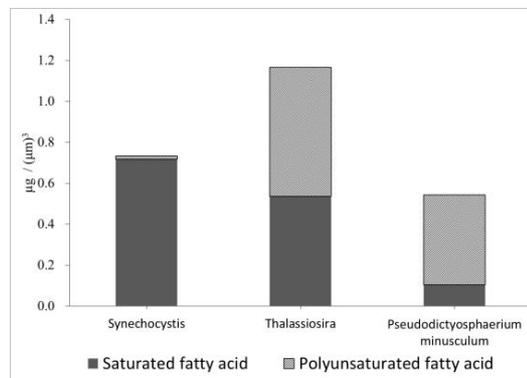


Fig 1. 植物プランクトンの脂肪酸

\*小松一弘、今井章雄、富岡典子、高村典子、

中川恵、霜鳥孝一、高津文人、篠原隆一郎（国立環境研究所）

### 1. はじめに

Fast Repetition Rate Fluorometry (FRRF) 法は、植物プランクトンの光合成による一次生産速度(PP: Primary productivity)測定における蛍光法の一つである。培養法と異なり現場で瞬時に(数 $\mu$ 秒で)測定が可能、放射性同位体フリーな測定が可能と言う利点を有し、期待が高まっている。本報告では、同手法を霞ヶ浦と琵琶湖に適用し、PPに影響を与える因子について考察した。

### 2. 材料と方法

霞ヶ浦湖内5地点において2015年7月～2016年3月の毎月1回、琵琶湖北湖1地点において2014年2月～2016年2月の間に計4回、PPの測定を行った。測定機器としてFRR式蛍光光度計(Fastpro, Chelsea社)を用いた。450nm、530nm、624nm前後の3種類の波長を持つ高速のパルス光(飽和過程で1 $\mu$ 秒間隔、緩和過程で50 $\mu$ 秒間隔)をそれぞれ励起光として照射し、導き出されるクロロフィル蛍光の時間変動(Kautsky誘導曲線)から得られる様々なパラメータを用いて一次生産速度を理論的に算出した<sup>1)</sup>。なお本手法は元来、光合成活性の測定で用いられていることから、単位Chl.a当たりのPP(PP/Chl.a)として算出される。光量子と深度も付属のセンサーで同時に測定した。

### 3. 結果

霞ヶ浦では、観測地点や季節に関係なく表層付近でのPP/Chl.aが高かった。琵琶湖でも霞ヶ浦と同様、表層付近でのPP/Chl.aが高く、これは成層期と循環期のいずれにおいても見られた。霞ヶ浦の結果について、深さ方向にPP/Chl.aを積分したところ(Chl.a濃度は概ね鉛直方向に一定と確認済)、図1に示す通り湖心(St.9)における湖水柱では7月、8月の夏季に低く、秋季である10月に急激に上昇していることが分かった。こうした傾向は湖心と水塊を同じくするとされる土浦入り(St.7)でも同様だった。一方、高浜入り(St.1、St.3)では12月に最も高いPP/Chl.aを示した。また、いずれの地点でも3月のPP/Chl.aは低かった。

### 4. 考察

表1に示す通り、霞ヶ浦におけるPP/Chl.aはChl.a濃度自体と対応していない。すなわち多くの藻類が溜まる湾内(St.1)よりも湖心部(St.9)、夏季よりも秋季や冬季で効率的に生産されていることが分かった。測定に用いたFRR蛍光光度計は3種類の波長を持つパルス光をそれぞれ照射できるため、各

波長に応じた藻類種のPP/Chl.aも計測できる<sup>2)</sup>。例えば霞ヶ浦では、全体の生産が低かった夏季に藍藻類による生産(励起波長624nmのパルス光に対する応答)が比較的高い事が分かった。逆に秋季、冬季では珪藻類の生産(励起波長450nm)が高かった。また琵琶湖では霞ヶ浦では全く検出されなかった緑藻類による生産(励起波長530nm)が明確に検出された。以上より一次生産速度は、藻類量(Chl.a等)よりも藻類の生育状態や優占藻類種に影響されることが示唆された。

PP/Chl.aが急に上昇する前後の時期における水質を比較すると、TN/TP比はいずれの地点でも(PP/Chl.a上昇前の月)<(PP/Chl.a上昇後の月)だった。しかしNH<sub>4</sub>-N/TN比やPO<sub>4</sub>-P/TP比は下がっていた。藻類による活発な生産活動において、これらの利用しやすい栄養塩類が選択的に消費された可能性が高い。

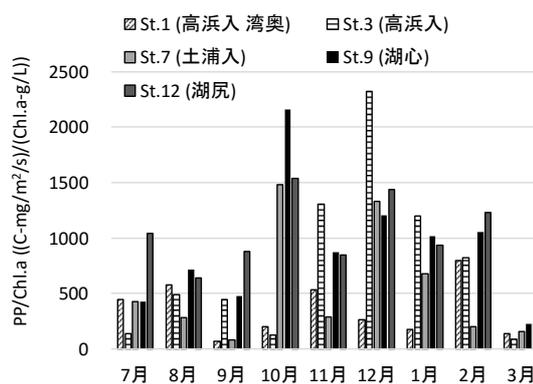


図1：霞ヶ浦におけるPP/Chl.a  
(2015年7月～2016年3月)

表1：PP/Chl.a急増前後におけるChl.a濃度と栄養塩類の変化

(単位はPP/Chl.a: (C-mg/m<sup>2</sup>/s)/(Chl.a-g/L)、Chl.a:  $\mu$ g/L、TN/TP: mol/mol)

		PP/Chl.a	Chl.a	TN/TP	NH <sub>4</sub> -N/TN	PO <sub>4</sub> -P/TP
St.3 (高浜入)	10月	125	56	37	0.00	0.05
	12月	2322	51	50	0.00	0.00
St.7 (土浦入)	9月	83	15	23	0.11	0.17
	10月	1482	49	34	0.00	0.01
St.9 (湖心)	9月	474	21	20	0.13	0.47
	10月	2161	30	32	0.01	0.22

<謝辞>本研究は環境省環境研究総合推進費(平成25～27年度:5-1304及び平成28-30年度:5-1607)の援助を受けて遂行した。ここに記して謝意を表する。

<参考文献>

- 1) Kolber et al. (1993) *Limnol. Oceanogr.*, 38, 1646-1665
- 2) 小松ら (2015) *土木学会論文集G(環境)*, 71(7), 309-314

\*伴修平・土居俊平・立花道草・刘鑫（滋賀県立大・環境）

### 1. はじめに

本邦の湖沼における富栄養化は1970年代まで、赤潮、アオコ、魚介類斃死、異臭味など様々な環境問題を引き起こしたが、1980年代以降、事業所からのN、Pの負荷削減によって改善してきた。しかし、大気あるいは農地からの窒素フラックスの増加は、水域への窒素負荷を高め、結果としてN/P比のインバランスを生じている。これが水圏生態系にどのような影響を与えているかは、まだあまり良くわかっていない。本研究では、琵琶湖周辺にある6つの内湖において、栄養塩とセストンC/N/P比を求め、そこに生息する動植物プランクトンの種組成と比較する事によって、流入する栄養塩のインバランスがプランクトンの多様性に与える影響を評価した。

### 2. 材料と方法

調査は、湖北野田沼、蓮池、堅田内湖、柳平湖、神上沼、浜分沼の6内湖にて、2014年8月、10月、2015年2月、5月、7月の合計5回行った。調査した6湖沼のうち、堅田内湖（17%）と蓮池（52%）を除くその他4湖沼では集水域土地利用の70%以上が水田である。採水は、流入、流出点と湖内2定点にて行った。湖内定点では、チューブサンプラー（内径58mm、測長1m、容量2.85L）を用いて全水柱より採水した。化学分析用には湖水をそのまま持ち帰り、植物プランクトン計数用には1%グルタルアルデヒドにて固定、動物プランクトン計数用には目合い40- $\mu\text{m}$ のプランクトンネットにて濃縮後、4-5%ホルマリン固定して持ち帰った。採水と同時に、水質計（HORIBA, U-50）にて水温、pH、EC、濁度を測定した。

持ち帰った湖水試料は、溶存態栄養塩濃度（ $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ ）、懸濁物質濃度（SS）、セストン生元素濃度（C、N、P）、溶存有機物量（DOC）、クロロフィルa量（Chl.a）の測定に供した。固定したプランクトン試料については種毎に計数して、多様性指数（ $H'$ ）を算出した。

### 3. 結果

調査は、季節毎に行ったので、水温は全ての湖で10~29°Cで変動した。Chl.aは湖沼によって大きく異なり、蓮池で最も少なく季節変動も小さかったのに対して（<15  $\mu\text{g/L}$ ）、柳平湖と神上沼では40~60  $\mu\text{g/L}$ 以上になる場合もあり季節変動も大きかった。

濁度とSSの変動は類似しており、高い正の相関関係が認められたが（ $r=0.79$ ）、SSとChl.aの相関はそれほど高くなかった（ $r=0.59$ ）。これは、SSに含まれる植物プランクトンの割合が湖によって異なることを示す。

セストンC/N比とC/P比は共にレッドフィールド比を上回ったが、Healey and Hendzel (1979, 1980)の閾値は下回った。セストンN/P比は5~25と多くの場合にレッドフィールド比より高く、窒素供給の高い可能性が示唆された。

流入点における栄養塩濃度は湖沼間で大きく異なり、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は柳平湖と神上沼で特に高い。流入点と流出点におけるDIN濃度比とDIP濃度比を比較すると、これらも柳平湖と神上沼で高く、DINおよびDIPの湖内での消費が高いことを示唆した。

植物プランクトン細胞数は、Chl.aの分布とは一部異なり、湖北野田沼で最も高く季節変動も最も大きかった。一方、その他の湖沼では、Chl.aとほぼ同じ傾向を示した。多様性指数（ $H'$ ）は湖北野田沼、柳平湖、神上沼で高く季節変動も大きかった。一方、蓮池と堅田内湖では、 $H'$ はそれほど高くはなく、季節変動も小さい。

$H'$ とセストンC/N、C/P、N/P比で相関分析を行ったところ、いずれも関連性は認められなかった（それぞれ、 $r=0.29$ 、 $0.07$ 、 $0.11$ ）。

### 4. 考察

選んだ6内湖への栄養塩負荷は集水域の土地利用にかかわらず、大きく異なることが分かった。それは、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ の流入量で特徴付けられ、水田排水の流入量に依存しているようであった。流入点と流出点での栄養塩濃度比は、湖内での栄養塩除去能を指標すると考えられるが、柳平湖と神上沼でリン除去能の大きいことを除くと、その他では流入点と流出点での濃度比はほとんどみられず、内湖における栄養塩除去能はそれほど大きくないことが示唆された。

Chl.aと植物プランクトン細胞数はいずれも流入点の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度に依存して増加する傾向を示したが、プランクトンの多様性とセストンC/N/P比との間に相関関係は認められず、湖内の栄養塩インバランスはプランクトンの多様性に影響を与えないようにみえた。

\*今井章雄, 佐藤貴之, 小松一弘, 霜鳥孝一, 富岡典子, 高津文人,  
篠原隆一郎 (国立環境研究所), 川崎伸之 (セラゴンール大学, マレーシア)

## 1. はじめに

藻類は無機炭素を光合成固定してかなりの部分を細胞外に溶存有機物 (DOM) として排出する。藻類由来 DOM は湖内部生産 DOM の重要な供給源と考えられる。藻類由来 DOM の大部分は炭水化物 (多糖類) と言われているが, 現時点で, 藻類由来 DOM の特性に係る知見は十分とは言えない。

本研究は, 藻類由来 DOM の特性を把握するために, 霞ヶ浦で優占する藍藻類 *Microcystis aeruginosa* と *Planktoniella agardhii* を対象として増殖実験を行い, 培養に伴う培地 DOM の特性を分画分布, 分解性, 分子サイズ分布の観点から評価した。

## 2. 実験方法

霞ヶ浦から分離した *M.aeruginosa* (NIES-44) と *P.agardhii* (NIES-204) の単藻無菌株を, 前培養後に, DOM 濃度を極力低く抑えた培養培地 9L (修正 CB 培地,  $<0.5 \text{ mgC L}^{-1}$ , 10 L PC 容器) に植種して, 約  $100 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 12h:12h 明暗周期,  $25^\circ\text{C}$ , 無菌空気散気混合の条件で無菌的に増殖実験を行った。培養時間に伴い培地を採取して, ろ過 (Whatman GF/F) 操作で DOM サンプルを得た。

約 700mL の DOM サンプルに, 霞ヶ浦湖水ろ液を 1% (v/v) 植種して,  $20^\circ\text{C}$ , 60 rpm, 暗所で 100 日間培養した。100 日後に残存した DOM を難分解性 DOM (RDOM) と定義した。DOM と RDOM サンプルを DOM 分画手法 (Imai et al. 2001) と分子サイズ分布測定 (TOC, UV 254nm, Ex/Em 310/410nm 検出) に供した (Kawasaki et al. 2011)。DOM 濃度は溶存有機炭素 (DOC) として測定した。

## 3. 結果と考察

2 種の藍藻類は停滞期を示さず, 対数的に増殖して, 次いで定常期・死滅期に到達した。比増殖速度は, *M.aeruginosa*, *P.agardhii* で, 各々  $0.33, 0.29 \text{ day}^{-1}$ , 最大 Chl.a 濃度は各々  $1140, 390 \mu\text{g L}^{-1}$  であった。*M.aeruginosa* は十分に増殖したが, *P.agardhii* は期待したほど増殖しなかった。これは *P.agardhii* が低温を好むためと推察される。

藍藻類由来 DOM のほとんどは親水性 DOM (親水性酸, 塩基物, 中性物質) であった。また DOM 分画分布は藻類種や増殖期で大きく異なることが明らかとなった。*M.aeruginosa* では対数期で親水性酸が圧

倒的に卓越, 定常期・死滅期で親水性中性物質の存在比が最大となった。*P.agardhii* では DOM のほとんどは親水性酸であった。フミン物質の存在比は *M.aeruginosa* 2-4%, *P.agardhii* 9-16% と低かった。

藻類由来 DOM の分解性も藍藻種で大きく異なっていた。*M.aeruginosa* 由来 DOM は約 50% が分解されたが, *P.agardhii* では 90% 以上が分解された。

*M.aeruginosa* 由来 RDOM は, 増殖期に関係なく, 親水性酸が圧倒的卓越していたが, *P.agardhii* 由来 RDOM では親水性酸の卓越は見られなかった。

全ての藻類由来 DOM サンプルで, 高分子 DOM (約  $10^5 \text{ Da}$ ) と低分子 DOM (約  $250 \text{ Da}$ ) の二つのピークが確認された。対数期で高分子 DOM が増大し, 定常期・死滅期に入ると低分子 DOM の割合が上昇した。高分子 DOM はほとんど UV 吸収能がなく, 低分子 DOM は UV 吸収能が高かった。フミン様 DOM は低分子 DOM のさらに低分子側にあった (図 1)。

*M.aeruginosa* 由来 DOM は分解に伴って高分子, 低分子 DOM とともに減少したが, RDOM としては UV 吸収能のない高分子 DOM が大半であった。ただし, 約  $2 \text{ kDa}$  に小さなピークが現れ, 非常に高い UV 吸収能を呈した。一方, *P.agardhii* の場合, DOM はほとんど分解されたが, *M.aeruginosa* と同様に, 新たに約  $2 \text{ kDa}$  の UV 吸収能を持つピークが生成された。

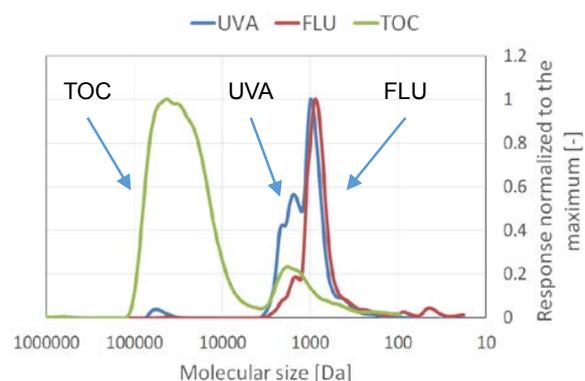


図 1 *M.aeruginosa* 由来 DOM の分子サイズ分布 (TOC 検出, UVA(254nm), FLU(Ex/Em 310/410nm)). 最大強度に対して標準化した。培養 18 日間のサンプル。

[参考文献] Imai et al. (2001) Wat. Res. 35, 4019-4028; Kawasaki et al. (2011) Wat. Res. 45, 6240-6428.

\*井上源喜, 日朝菜摘, 村山理紗子 (大妻女子大学・社会情報)  
川野田實夫, 大上和敏 (大分大学・教育)

## 1. はじめに

大分県の日田市は温泉地で水郷と呼ばれている観光地であるが, 1987年頃より筑後川(三隈川)に泡状物質が漂い景観を損ね問題になっている。中善寺湖, 四万十川, 宇治川などでも大量の泡状物質が観測されている。泡状物質の原因としては水生植物や陸上植物の落葉などから溶出する多糖類が関与しているとされている。また, 南極マクマードドライバレーの湖沼でも夏期の湖岸に顕著な泡状物質がみられ, バイオマーカーの特徴より湖岸などに広く分布するシアノバクテリアに由来することが報告されている(Matsumoto *et al.*, 1985)。最近, 登別温泉の大湯沼(水温 49.8℃)の湖岸にも泡状物質がみられ, 分岐脂肪酸がかなり多く含まれ真正バクテリアの寄与が大きいことが明らかになった(井上ら, 2014; 井上, 2014)。本研究では日田市地域の筑後川水系(三隈川水系)における泡状物質の調査および採取を行い, それらに含まれる脂質バイオマーカーの分析を実施した。バイオマーカーの特徴より起源生物の解明を試みた。

## 2. 材料と方法

日田市地域の筑後川水系の三隈川, 大山川, 玖珠川および高瀬川における現地調査を, 2015年8月および12月等実施し, 泡状物質と底生藻類試料を採取した。試料採取はステンレスパイプをつけたヒシヤク等を用い, ガラス瓶(100 mL)に入れ冷凍保存した。泡状物質は実体顕微鏡により観察を行った。バイオマーカーの分析は Matsumoto *et al.* (1979, 1982, 2003)の方法に準じて行った。泡状物質および藻類を含む試料は塩酸性(pH<2)にし酢酸エチルで抽出した。酢酸エチル抽出液はケン化(80℃, 2時間)後, シリカゲルカラムクロマトグラフィーにより, ヘキサンで炭化水素画分, 酢酸エチルで極性画分(脂肪酸, ステロール等)を得た。極性画分は脂肪酸メチルエステル, ステロールトリメチルシリル(TMS)誘導体にした。これらの測定は JEOL JMS

1000 GC/MS で行った。

## 3. 結果と考察

日田市地域における筑後川の BOD 濃度平均値は, 1998年頃より 1 mg/L 程度で推移し人為活動による汚染はほとんどみられない。日田市小淵観測所における筑後川の年平均流量は, 降雨量減少がないにも関わらず, 1960年には 70 m<sup>3</sup>/s であったが 2010年頃には約 40 m<sup>3</sup>/s に減少している(国土交通省筑後川河川事務所, 2015)。ダムによる取水等の人為的な要因によると考えられる。

泡状物質試料中には, 非環式炭化水素は奇数炭素優位の *n*-アルカンが卓越し, 分岐アルカンと多くの試料では unresolved complex mixture of hydrocarbons (UCMH) がみられ, 生物起源の炭化水素と石油関連物質による汚染性炭化水素の混合物であることが明らかになった。トリテルパンおよびステランは熱変性を受けた一連の化合物が検出され, UCMH の存在と合わせて石油関連物質による汚染性の炭化水素がかなり多いと判断される。脂肪酸は短鎖(C<sub>10</sub>~C<sub>19</sub>)の *n*-アルカノイック酸(*n*-C<sub>16</sub>)および/または *n*-アルケノイック酸(*n*-C<sub>16:1</sub>, *n*-C<sub>18:1</sub>)が主成分で, 少量の長鎖 *n*-アルカノイック酸(C<sub>20</sub>~C<sub>34</sub>)と分岐脂肪酸(イソ, アンチイソ-C<sub>12</sub>~C<sub>18</sub>)が検出され, 藻類の寄与が大きく, 維管束植物と真正バクテリアの寄与は少ないとみることができる。ステロールは C<sub>27</sub>~C<sub>29</sub> ステノールおよびスタノールが検出されたが, コレステロールのみが主成分で, 藻類(珪藻を除く)の寄与が大きく維管束植物や珪藻の寄与は小さかった。これらの結果より, 泡状物質の生成には藻類の寄与が大きく, 維管束植物や真正バクテリアの寄与は小さいと考えられる。今後はさらに光合成色素やカロチノイド等の色素による藻類群組成の解明を行い, 泡状物質の消失および水質の改善の糸口になればと期待している。

本研究は大分県の委託事業として調査した。また, 試料採取に際しては大分県生活環境部, 西部保健所, および日田市市民環境部の職員の皆様の援助を受けたので感謝します。

## 栄養塩囲い込みメカニズム

\*田邊優貴子（極地研）

水野晃子（名古屋大・宇宙地球環境研究所），佐々木 颯（総研大・先導研）

**1. はじめに**

南極淡水湖沼の湖水のほとんどは栄養制限下にあると考えられている (Hawes et al. 1993)。これまで我々は昭和基地周辺エリアにおいて 17 の淡水湖沼について研究し、湖底微生物マット表層の間隙水には湖水よりも 3-220 倍高濃度の DIN (溶存無機窒素) と 2-102 倍高濃度のリン酸が含まれていることが明らかになった (Tanabe et al. 2016)。最も高濃度だった南極湖沼の湖底栄養塩は、温帯域の富栄養化湖沼の湖底栄養塩濃度と同等もしくはそれ以上であった。また、南極の湖水の栄養塩濃度はどの湖も同程度であるにも関わらず、湖底の栄養塩濃度は湖によって大きく異なっていた。このことから、南極湖沼では湖底から湖水に栄養塩が放出しにくい何らかのメカニズムがあると考えられる。そこで、このメカニズムを解明することを目的として本研究を行った。

**2. 調査地と方法**

南極淡水湖から採取し、分析した湖底マットの間隙水の栄養塩濃度を用いて、湖底への栄養塩囲い込みをコントロールしていると考えられ

る 2 つの要因 “湖底を覆う粘性物質” と “光合成生物による表層での栄養塩吸収” を調べた。そのために、湖底マット中におけるケイ酸、リン酸、アンモニウム濃度それぞれのダイナミクスを表す拡散モデルを作り、実データにフィッティングさせ、粘性と吸収の効果を求めた。

**3. 結果と考察**

ケイ酸を利用する生物である珪藻がこのエリアの南極湖沼にはほぼ存在しないため、ケイ酸モデルは物理化学的プロセスのみで表され、ここから粘性を推定したところ、水の 1-4% の拡散速度となることが明らかになった。この粘性を生物活動プロセスが含まれるリン酸とアンモニウムモデルに適用し、表層での光合成生物による吸収を求めたところ、還元層において分解者による栄養塩供給速度より 5-7 オーダー速く吸収するという結果が得られた。

このことから、湖底マットの粘性と、とりわけ、湖底表層での光合成生物による栄養塩の急激な吸収によって、湖底から湖水に栄養塩が放出されず、その結果、湖底内に栄養塩が囲い込まれて大量の栄養塩が蓄積していると考えられる。



\*小川幸輝, 柴田智郎, 三島壮智, 竹村恵二,  
大沢信二 (京大 地球熱学研究施設)

## 1. はじめに

地球大気や海洋は、固体地球内部にある揮発性元素が脱ガスし、徐々に蓄積することによって形成した。地球史を通して、脱ガス過程で重要な役割を果たしているものの1つに火山活動がある。火山活動は現在でも物質やエネルギーの循環など大きな役割を担っている。火山地帯では噴気孔から様々な物質を放出しているが、噴気孔のみならず山体からも揮発性元素の脱ガスが見られる。山体で観測される揮発性元素の1つである二酸化炭素の放出量の変化は、火山活動と密接な関係があることが報告されている (Hernandez et al., 2001)。

二酸化炭素の放出量の分布は均一ではなく、地質や地下構造などによって大きな差が出る。非火山地帯でも大陸内の地溝帯や活断層から二酸化炭素が放出されており、活断層がその通路と成りうるということが考えられる (Dogan et al., 2009)。本研究では、日本でも有数の地熱活動が見られ、断層の発達している別府温泉地域において二酸化炭素の放出量を測定することで、脱ガス機構を調べる。

## 2. 観測

中部九州地域は張力が発達し、地溝帯を形成している。その東端部の別府湾から西側にかけて多くの活断層が密集するとともに、鶴見岳、伽藍岳、由布岳といった活動的な火山が位置している (図 1)。別府温泉地域では、これらの火山活動に伴う高温の流体が供給されている。Allis and Yusa (1989) は、別府温泉地域の地下 100m における地温分布を推定した。それによると別府温泉地域の北部と南部の二つの地域に高温部があり、断層に沿って位置している。これらの地域では地表部に噴気などの地熱兆候が見られ、地熱活動が活発な地域と考えられる。北部の鉄輪断層では、三根 (2006) が二酸化炭素の放出量を測定し、断層周辺部で高い値の存在を示した。

本研究では、南部に位置する堀田断層・朝見川断層に沿って二酸化炭素の放出量を測定した。放出量の測定はチャンバー法を用いた。チャンバー法は、地面に被せた容器内の二酸化炭素濃度の変化を測定することで、その増加量から二酸化炭素の放出率 (CO<sub>2</sub> flux) を求める手法である。これまでに 2016 年 7 月、8 月および、9 月に 178 箇所の測定をした。また、測定の開始時と終了時には任意の基準点において測定を行った。

## 3. 結果および考察

CO<sub>2</sub> flux 値は堀田断層と朝見川断層に沿って高い値が分布している。この高い値は断層に沿った温泉流動、もしくは断層からしみだしていることが考えられる。しかし、一部の高い値が断層から離れた位置でも見られることから、CO<sub>2</sub> flux は地下の温泉流動が起因していると思われる。由佐・大沢 (2000) によると、朝見川断層に沿って温泉が流動しているが、途中で2つに分かれ、その1つは断層から離れ流れている。断層から離れたところで見られた高い CO<sub>2</sub> flux 値の分布は、断層から離れた温泉流動と対応している。このことから、CO<sub>2</sub> flux の分布は地下の温泉流動の影響が高いと考えられる。

## 引用文献

- Allis and Yusa (1989) Geothermics, 18, 743-759.  
Dogan et al. (2009) G3, 10, Q11009.  
Hernandez et al. (2001) Science, 292, 83-86.  
三根 (2006) 平成 18 年度京都大学大学院理学研究科惑星科学専攻地球物理学分野修士論文集 II  
由佐・大沢 (2000) 大分県温泉調査研究会報告, 51, 1-8.

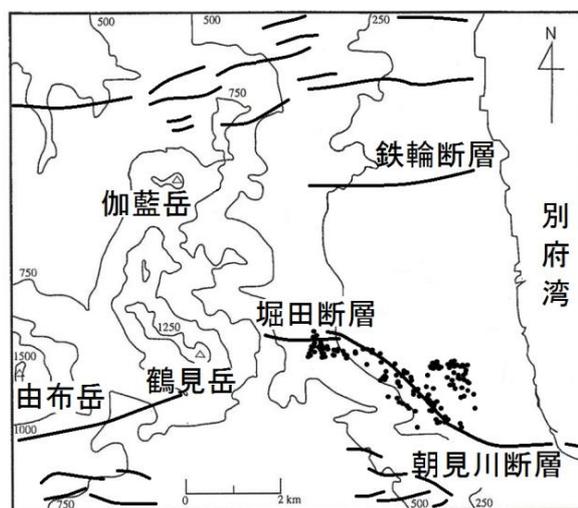


図 1. 観測地点の概略図。黒丸は観測地点、太い曲線は断層を示す。

\*柴田智郎 (京大 地球熱学研究施設)

Pauline Méjean, 高畑直人, 佐野有司 (東大 大気海洋研究所)

## 1. はじめに

地下深部の状態を把握するためには、深部からしみ出してくる揮発性物質を理解することが重要である。なかでもヘリウムは有望な指標の1つである。ヘリウムは岩石との相互作用に乏しいため、地殻内では流体とともに移動する。また、ヘリウムには2つの同位体があり、その同位体比を調べることで、マントル起源とする流体の寄与や地下水の滞留時間などを推測することができる。

地下水や温泉水に溶存しているヘリウムの分析は、出来るだけ空気に触れないように試料水を採取・保管し、実験室で行う。しかし、試料水を空気に触れずに採取するためには、高度な知識と技術が必要となる。そこで、水は通さずに気体だけを通す気体半透膜を使い、試料水中に溶存しているヘリウムやネオンなどの希ガスの採気を試みた。ここでは、大分県別府温泉にある温泉井戸内の温泉水中のヘリウム濃度の深度分布を求めた。

## 2. 対象地域と測定方法

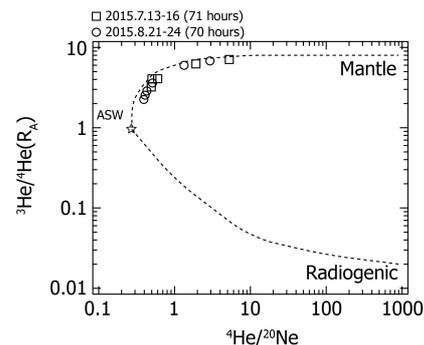
別府温泉は、九州中部の張力が発達する地域（松本, 1979）の東端に位置する。温泉活動は、西側の鶴見火山群から東側の別府湾岸まで続き、火山群から供給される熱水流体がもたらしている。この地域は、西側の火山群から流出してきた安山岩類の碎屑物によって埋められた扇状地であり、その南縁と北縁はそれぞれ東西方向に走る断層によって挟まれている。西側の火山群から供給された熱水流体は、これら2つの断層に沿って、東側の海岸方向に流動している（Allis & Yusa, 1989）。

別府温泉域に位置する京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設構内に、深度300mの温泉井戸（BGRL井）がある。この温泉井に、2015年7月13日～16日と8月21日～24日との異なる2期間にて、井戸内の深度約290mから約50m間隔ごと上方に向かってサンプラーを設置し、溶存ガスを採気した。採気した希ガスは、東京大学大気海洋研究所に

ある希ガス同位体質量分析計（Helix-SFT; GV Instrument）を用い、その濃度と同位体比を求めた。

## 3. 結果と考察

通常、別府温泉域のような火山地帯からは、マントル起源とするヘリウムの放出が見られる。ヘリウム（He）には、質量数3と4との2つの安定同位体が存在する。 $^4\text{He}$ は主にUやThの壊変で生じる $\alpha$ 粒子起源であるため、UやThが比較的多く含まれる地殻物質では、同位体比（ $^3\text{He}/^4\text{He}$ ）の値が低くなる。大気値（ $1.4 \times 10^{-6}$ ）を基準（ $= 1 R_A$ ）にとると、上部マントル物質は約 $8R_A$ 、下部マントル物質は $35R_A$ 以上、大陸地殻物質は $0.02R_A$ 以下である。



測定の結果では、設置深度が浅い試料ほどヘリウム濃度が低く、同位体比が低くなっている。同位体比が最も高い試料は井戸底付近のもので、それぞれ $7.08R_A$ と $6.79R_A$ を示した。これらの高い同位体比はマントル起源のヘリウムの寄与が示唆される。温泉井は、スクリーンが井戸底付近の278m～300mにあり、温泉水はスクリーンを通じて流出入する。温泉水とともに井戸内に入ったヘリウムは、上方に拡散することにより、濃度が上方に向かって低くなるような鉛直分布したと考えられる。

## 参考文献

- Allis & Yusa (1989) *Geothermics*, 18, 743-759.  
松本徂夫 (1979) *地質学論集*, 16, 127-139.

## 別府湾沿岸域の海底温泉湧出の検出

\*大沢信二 (京大・理), 杉本 亮 (福井県大)  
 本田尚美 (地球研), 三島壮智 (京大・理)  
 谷口真人 (地球研)

## 1. はじめに

別府温泉は、鶴見火山の東方山麓に発達した火山扇状地に展開する典型的な火山性温泉である。その扇端部は別府湾に没し、火山と海に挟まれた傾斜地から湯けむりが立ち上る独特の景観を呈している。別府温泉は、鶴見火山の地下深部に存在するナトリウム-塩化物型の地熱水によって涵養されており、扇状地の北縁と南縁の境界をなす断層に沿って別府湾沿岸方向に流動している。この南北2つの流動系の末端沿岸部にはかつて天然の砂湯も存在したことから、地下熱水の一部は海底に湧出している（いた）ものと考えられる。野満ほか（1940）はその海底温泉の存否を確かめるために昭和12～14年にかけて海洋学的調査を行ったが、残念ながら当時の観測装置をもってははっきりと海底温泉の湧出と断言できる証拠は得られていない。そこで、私たちは Submarine Groundwater Discharge [SGD]（海底地下水湧出）を検出する有力な手段として近年注目を集めている曳航型ラドン濃度観測（例えば、Burnett et al., 2013 ; Lin et al., 2012）を別府温泉の沿岸域に導入して、海底温泉湧出の検出を試みた。

## 2. 方法

2013年7月30日～31日に、別府温泉の海岸部を含む別府湾奥部の沿岸域において広域曳航調査を実施した。海岸線に沿って水深10m以浅を小型船で低速で曳航し、船外に取り付けた水中ポンプによって海水をくみ上げ、船上へ汲み上げた海水を気液平衡装置（DurrIDGE社製 RAD-AQUA）に流し込み、海水中から気体へと平衡移動した<sup>222</sup>Rnを静電捕集型ラドンモニター（DurrIDGE社製 RAD7）に導入し、10分間隔で測定した。また、水温・塩分は、汲み上げた海水の一部を小さなケースに流し入れ、ケース内に設置した水温・塩分計によって水温と塩分を1分間隔で測定した。移動する船舶の位置情報は、GPS

によって記録した。曳航は日出町深江から高崎山麓の田浦海岸付近まで行い、総延長25kmほどの区間で525点（ラドンについては76点）のデータを取得した。

## 3. 結果と考察

得られた<sup>222</sup>Rn濃度の分布を図1に示す。境川以南と亀川-関の江間で2dpm/Lを超える高い<sup>222</sup>Rn濃度のエリアを検出することに成功した。境川以南の高濃度エリアは南部の地下熱水流動系に対応し、亀川-関の江間のそれは内竈地区の温泉水系からの海底湧出の存在を暗示している。これ以外にも、<sup>222</sup>Rn濃度が低いエリアとは異なり、相対的に高濃度のエリアでは水温との間に正相関が認められることから、現在も温泉の海底湧出が存在するものと推測した。しかし、水収支の観点（由佐, 2003）からは現在は地下熱水のほとんどが陸上で揚水されていると考えられており、今回の研究結果と一見矛盾するが、量の多少の問題であると考えられるので、日出町沿岸域で行ったように（本田ほか, 論文投稿準備中）、細密な曳航観測を行うとともに、ラドン・塩分の収支計算によって海底温泉湧出量を見積もってみたいと考えている。

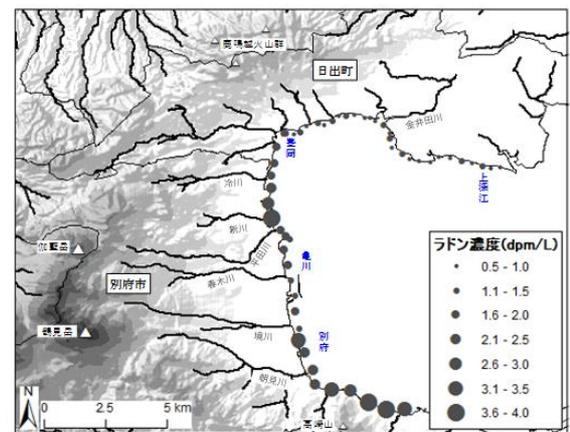


図1 別府湾沿岸域のラドン濃度分布

\*高野敬志, 内野栄治, 青柳直樹, 市橋大山 (北海道立衛生研究所)

## 1. はじめに

温泉法による温泉成分分析の現地調査では、温泉の外観や臭い等の知覚的試験を行う。それにより、泉質の推定が可能な場合があり、分析すべき成分の選択、現地処理の方法等、温泉の重要な情報が得られる。知覚的試験による外観の調査では、含有する金属類、腐植物質や湧出地に生息する生物によって温泉水に着色が認められる場合がある。温泉水の着色原因を明らかにすることは、温泉の潜在的な性質を認識でき、その利用や保全に対して役立つと考えられる。

北海道東部に位置する弟子屈町は、明治 10 年から硫黄の採掘が始まり、明治 18 年に温泉宿が開設される等、古くから地下資源を利用した産業や観光が栄えた地域である。北部には川湯温泉や屈斜路湖周辺の温泉群、中央部には摩周温泉等、温泉地が点在し、町内全域に数多くの温泉井を有する。

町内で湧出する温泉の中には、褐色に着色するものが認められる。本研究では、過去 20 年の温泉成分分析結果を整理し、化学的成分と着色の関係を調べると共に、2015 年に調査を行い着色が認められた 2 つの温泉について、着色原因を調べた結果について報告する。

## 2. 材料および方法

1995-2014 年に行った弟子屈町内に湧出する 62 件の温泉成分分析データ及び 2015 年に行った同町内の 2 つの温泉の調査結果から、知覚的試験の外観に関する結果に基づき、温泉水の着色原因を調べた。知覚的および化学的試験は、温泉分析の公定法である鉱泉分析法指針に準じて行った。更に腐植物質について、2015 年に調査を行った温泉水を対象として非イオン性の Supelite DAX-8 樹脂によって疎水性酸性成分を分離し、酸性沈殿法によってフミン酸とフ

ルボ酸を分別して含有する炭素濃度を測定した。

## 3. 結果および考察

1995-2014 年に行った 62 件の温泉分析では、褐色または黄色の着色が認められたのは 9 件であった。それらは pH が 8.6-9.4 とアルカリ性で、泉温は 33-58 °C の範囲であった。鉄およびマンガン濃度は、着色した温泉水でも無色のものより両濃度が低い場合があり、着色との関係は明確ではなかった。着色が認められた 9 件の温泉水について、腐植質濃度を調べた結果、 $0.1 \text{ mg kg}^{-1}$  以上であったのは 3 件、 $<0.1 \text{ mg kg}^{-1}$  であったのが 5 件であり (1 件は腐植質未定量)、腐植質が検出されなくとも着色が認められた例がある等、腐植質と着色の関係も明確ではなかった。

2015 年に調査した同町高栄および鈴蘭地区の 2 つの温泉の色調は、それぞれ極微褐色澄明および微褐色澄明であった。泉質は高栄が単純温泉で、鈴蘭がナトリウム-塩化物温泉であった。泉温はそれぞれ 51.6 および 83.6 °C で、pH はそれぞれ 7.4 および 7.5 であり中性-弱アルカリ性であった。双方とも鉄およびマンガン濃度は、着色原因となるような高い濃度ではなかった。腐植質濃度について、高栄は  $1.5 \text{ mg kg}^{-1}$  で着色の原因と考えられたが、鈴蘭は  $<0.1 \text{ mg kg}^{-1}$  で着色を説明できるものではなかった。鉱泉分析法指針による腐植質の分析は、フミン酸を対象とした分析法であり、フルボ酸は測定できない。そこで、疎水性酸性物質を分離し、フミン酸とフルボ酸を分別して各々の炭素を測定した。その結果、フミン酸炭素濃度は高栄が鈴蘭よりも 2 倍高く、腐植質濃度の結果を反映していた。一方、フルボ酸炭素濃度は、鈴蘭が高栄よりも 3 倍高かった。このことから、腐植質濃度が  $<0.1 \text{ mg kg}^{-1}$  であっても、フルボ酸が含有することで着色の原因となる場合があることが示唆された。

1C05

Web 公開不希望

\*大上 和敏, 中野史織, 大坪あかね (大分大学教育学部)

### 1. はじめに

大分県の竹田市直入町田北にある芹川ダムは、大分県政史上 2 番目の河川総合開発事業の一環として、1956 年に大分川水系に築造された多目的ダムである。芹川ダムでは、1985 年頃より毎年夏季にアオコの発生が観測され始め、景観の悪化やダム下流域での異臭等が問題となっている (坂田・中島, 2005)。

一般的に、アオコの発生に関わるダム湖の富栄養化は、周辺の田畑から排水や、生活排水などによる栄養塩類の増加が原因とされているが、芹川ダムの数キロ南側に位置する長湯ダムでは、周辺の環境は芹川ダムとほぼ同様であるにも関わらず、これまでにアオコの発生が観測されていない。芹川ダムの上流域には大分県を代表する温泉地のひとつである長湯温泉があり、温泉水には比較的高濃度のリンを含むものがあるため、芹川ダムのアオコの発生には、長湯温泉から排出された温泉排水中のリンが関与している可能性が考えられる。

そこで本研究では、芹川ダムのアオコの発生原因を明らかにすることを目的に、湖沼水の栄養塩類リンに注目してダム湖に流入する小津留川、馬門川、芹川上流域の水質調査を行い、温泉排水がダム湖に与える影響について検討を行った。

### 2. 試料採取および調査方法

芹川ダムには、小津留川、馬門川、芹川の 3 つの河川が流入している。本研究では、芹川ダムを流入する河川について、8 地点を調査対象とした。現地調査は、2014 年 4 月～10 月の間 5 回実施した。

現地で気温、水温、pH、電気伝導度を測定し、試料水は 500mL ポリビンに採水して持ち帰り、分析に用いた。試料水の化学分析は、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ についてはイオンクロマトグラフィー、 $\text{SiO}_2$ および  $\text{PO}_4\text{-P}$ については、モリブデン酸黄色法およびモリブデン青色法による吸光度法でそれぞれ分析を行った。 $\text{HCO}_3^-$ は pH4.3 アルカリ度法による値より求めた。

### 4. 結果と考察

各調査地点の主要化学成分の総量値 (TDS) (図 1) では、① 小津留川、③ 馬門川、④ 社家川 1、⑤ 社家川 2 については、日本の河川水とほぼ同程度であるが、⑥ 芹川上流 1、⑦ 芹川上流 2、⑧ 芹川流入については、平均的な日本の河川水の 2～3 倍の値となっていた。

図 2 に各調査地点におけるリン濃度を示す。本調査地点のリン濃度は、TDS の値と同様に、⑥、⑦、⑧の調査地点において、リンの濃度が高い値を示している。

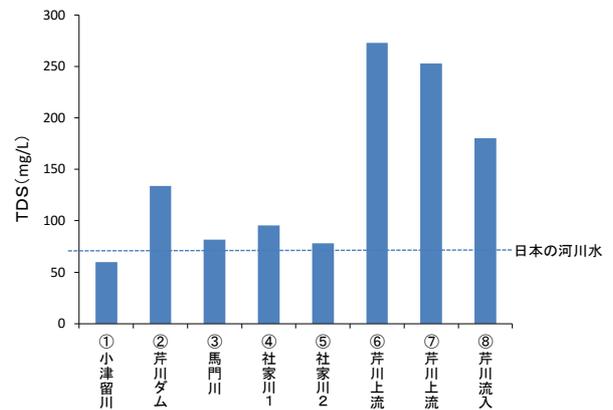


図 1 各調査地点における主要化学成分の総量値 (TDS)

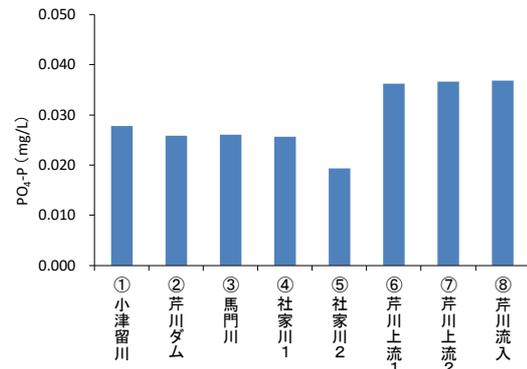


図 2 各調査地点におけるリン濃度 (PO<sub>4</sub>-P)

温泉には、岩石起源のリンがリン酸イオンの状態 ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) で含まれているので、芹川上流に位置する長湯温泉の温泉水によりもたらされるリンの供給量について検討を行った。河川水に含まれている  $\text{Cl}^-$  が温泉由来であると仮定し、温泉由来のリン濃度を計算することができる。

長湯温泉の温泉水に含まれている  $\text{Cl}^-$  および  $\text{PO}_4\text{-P}$  の濃度の平均値は、それぞれ 196.0mg/L、0.23mg/L であるので (大分県鉱泉誌, 2006)、河川水の  $\text{Cl}^-$  の濃度に基づいて⑧ 芹川流入に含まれる温泉由来のリン濃度を求めると 0.008mg/L となる。この値は、⑧の河川水に含まれる  $\text{PO}_4\text{-P}$  の約 20%に相当する。

1C07

Web 公開不希望

\*藤井智康 (奈良教育大・教育), 常村将太 (奈良教育大・院), 藤原建紀 (京都大・名誉教授), 中山恵介 (神戸大), 江崎智昭, 中島祐輔, 大藪智久, 木村智彦, 伊藤博之 (神戸市水道局)

### 1. はじめに

近年の気候変動にともなう短時間強雨の増加傾向が明瞭に現れ, 1日のうちに湖水の大部分が入れ替わり, 湖内の水質が大きく変わる強雨イベントが毎年のように起きている. 出水でダム湖水の大半が入れ替わった後, 再び貧酸素化するまでの時間は, 出水の時期や強度によって異なることが経験的に知られている. しかし, 再貧酸素化の過程や酸素消費物質はよく分かっていない. そのため, 従来用いられてきたダム湖における予測モデルでは十分に説明, 予測することが困難な状況にある. 本研究では, 将来的な貯水池内の3次元流動・水質モデルを構築するために, 成層期・循環期における詳細な縦断観測を実施し, 貯水池内の水塊形成について明らかにすることを目的とした.

### 2. 現地調査

千苺貯水池における調査地点を図1に示す.

各調査地点では, 直読式総合水質計 AAQ-177 を用い, 水温, 電気伝導度 (EC25), DO, pH, 濁度, クロロフィル蛍光等の鉛直分布を水深 0.1 m 間隔で測定した. また, 流入河川の羽束川及び波豆川の河床に INFINITY-CT を設置し, 水温, 電気伝導度を 10 分間隔で連続測定した.

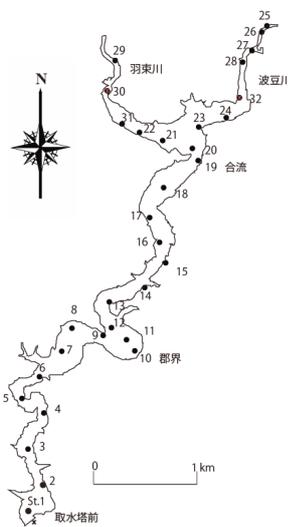


図1 調査地点

### 3. 結果及び考察

千苺貯水池における水塊構造は, 4月以降成層が強くなり, 7月には深水層との境界が水深 10 m 程度と深くなっていた (図 2(a)). 湖内の貧酸素水塊の分布については, 郡界付近 (St.11~13) の底層で作られた貧酸素水塊が, 深水層境界上面に沿って, St.1 の取水塔方向に向かって伸びていると考えられる (図 2(b)). また, この付近の底層の電気伝導度が他の地点と比較

して高く, 貧酸素水塊中の底泥から各種イオンが溶出しているものと考えられる (図 2(c)). St.1~17 の水深 2~7 m の低電気伝導度水塊 (EC25:72  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) は, 6月下旬及び調査前日の降雨に伴って流入した河川水が躍層付近に拡がっているものと推察される (図 2(c), 図 3). St.1~7 の底層の DO の回復は, 底層曝気装置の稼働によるものである.

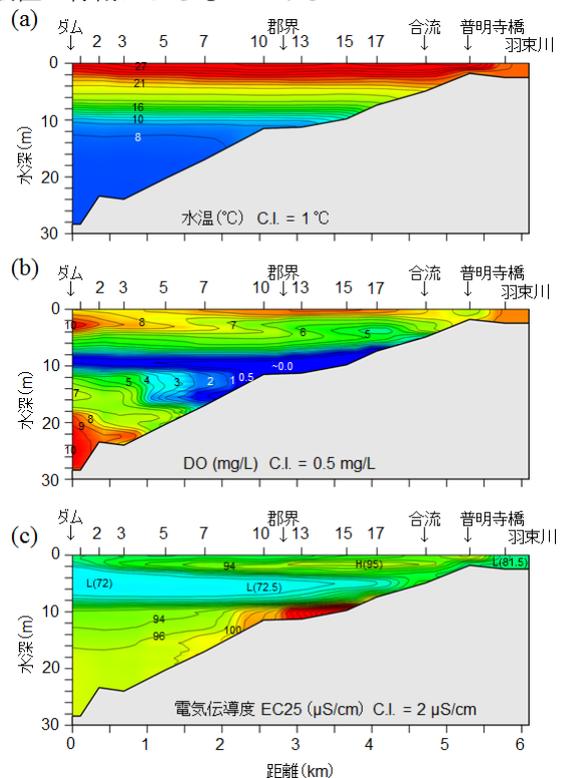


図2 縦断観測結果 (2016年7月14日)  
(a)水温, (b) DO, (c) 電気伝導度

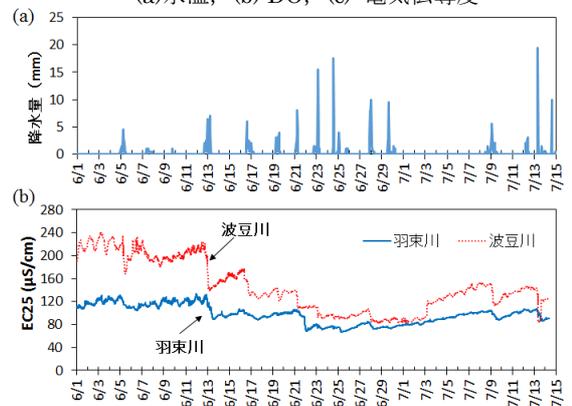


図3 三田地点降水量及び羽束川・波豆川の電気伝導度  
(a)降水量, (b) 電気伝導度 (2016年)

1C09

Web 公開不希望

