



必要記載事項：

- (1) 申込者氏名・所属先および職・所属先住所・電話・ファックス・E-mail
- (2) 研究会、集中講義 & セミナー、野外実習の別
- (3) 課題名
- (4) 開催予定日時
- (5) 開催予定場所
- (6) 開催目的および内容の概略(400字程度)
- (7) 参加予定者の一覧(氏名・所属)

なお、申請が採択された場合、所属機関(部局)の長を通して、正式の研究会等申請書を改めて提出していただきます。

6. 申込期限：2007年4月6日(金)必着。

7. 企画書送付先

〒520-2113 大津市平野2丁目509-3

京都大学生態学研究センター 共同利用担当

TEL：(077) 549-8200(代表)

FAX：(077) 549-8201

E-mail：kyodo-riyo@ecology.kyoto-u.ac.jp

郵送の場合は、封筒の表に「共同利用事業企画書在中」と朱書きして下さい。

8. 選考

当センターにおいて2007年4月中旬に行います。

9. 所要経費

研究会の出席者、集中講義 & セミナーの講師の旅費、場合によってはその他必要経費の全部または一部を、当センターにおいて支出します。1件について20万円以内を予定しています。

10. 報告書および論文の提出

(1) 共同利用事業終了後、1ヶ月以内に報告書を当センターに提出して下さい。なお、提出された報告書は、その全部または一部を当センターの業績目録に掲載します。

(2) 共同利用事業によって得られた成果を論文等により発表する場合には、京都大学生態学研究センター共同利用事業の援助を受けた旨を論文等に記していただくようお願いいたします。また、別刷り1部を当センター共同利用係宛に提出してください。

この公募内容につきまして、不明な点がございましたら、当センター共同利用担当に御照会下さい。

==2006・2007年度京都大学生態学研究センター協力研究員 (Affiliated Scientist) 追加リスト==

氏名	所属	研究課題
大河内直彦	独) 海洋研究開発機構	有機化合物の安定同位体比の生態学的応用
小川奈々子	独) 海洋研究開発機構	安定同位体比測定の新技術革新に関する研究とその応用
中西正己	京都大学、総合地球環境学研究所	物理・化学・生物学的攪乱と琵琶湖生態学
本庄三恵	総合地球環境学研究所	ウイルスの水域生態系での動態解析
湯本貴和	総合地球環境学研究所	日本列島における人間-自然相互関係の歴史的・文化的検討

---



---

 公募型共同利用事業 野外実習の報告
 

---



---

## 「安定同位体実習 2006年8月28日～9月1日」

陀安一郎 (京都大学生態学研究センター)

生態学研究センターの公募実習および京都大学理学部の安定同位体実習の合同で、表記の実習が開催されました。今年度は、公募実習枠からの6名(琉球大1名、京大農学部2名、京大大学院農学研究科1名、東大大学院理学研究科1名)、京大理学部からの5名に加え、オブザーバー2名の合計13名の受講生を迎えました。また今回、EXTRA実習として元素分析計の立上げ講習も実習期間前(8月26～27日)に行ない、3名の参加がありました。本実習では、近年生態学の中で広く用いられるようになった安定同位体を用いた研究を、自らの手で体験してもらうことを目的としました。本年度は特に他の野外実習との連携は意図していませんでしたが、木曾実習に参加してサンプリングした河川生物や陸生昆虫を分析することにより、結果的にフィールドと分析の両方を体験した受講生が2名いました。主体的にサンプリングした受講生と一緒に参加することで、サンプル処理やデータ解析に実感が生まれることになりました。今回は受講生も多いのでテーマをいくつか選びました。琵琶湖沿岸帯の食物網構造を研究している生態学研究センターM2の荻部君に琵琶湖試料、水生昆虫の研究をしているM1の石川君に河川生物の試料、木曾実習の受講生でもあった京大農学部の原口君に森林動物試料、元生態学研究センターの成田さんにトレンサップ湖の動物試料を準備してもらいました。後述の髪の毛試料も合わせ、幅広い試料に関する解析を体験してもらったと思います。ご協力いただいたスタッフの皆さんに感謝します。(以降敬称略)

## 8月28日

各自簡単に自己紹介をした後、安定同位体生態学の基礎の講義(陀安)を行いました。その後、用意したテーマの説明を行ない、各自希望のグループに入ってもらいました。人間の髪の毛で食生活の傾向がわかることを示したところ興味を示した受講生がいたため、上記の試料を用いたテーマの他に人間を扱う班も結成しました。その後、乳鉢を使ったサンプルの粉碎、脂質除去のためのクロロホルム・メタノール抽出の準備を行ないました。

## 8月29日～31日

受講生はテーマ別に6班に分かれ、安定同位体分析に関する一通りの過程を学びました。急遽結成された髪の毛試料を扱う班は、実習生の他に生態学研究センターのメンバーからも多数の試料を集めて分析しました。午後の時間を使い、「環境傾度と生物の同位体比」(高津)、「琵琶湖の食物網」(奥田)、「ミネラルトレーサーを用いた水-生態系の研究」(中野)の各講義を行いました。

琵琶湖の食物網」(奥田)、「ミネラルトレーサーを用いた水-生態系の研究」(中野)の各講義を行いました。

## 9月1日

整理されたデータを検討し、プレゼンテーションを作成しました。グラフ作りからデータ解析、パワーポイントの作成まで、短時間ではありましたが、議論が展開しました。午後からの研究発表会は、生態学研究センターのメンバーの髪の毛の分析に関する発表もあったため聴衆も多く、面白い展開の発表会になりました。その後、トレンサップの食物網構造、琵琶湖沿岸帯の食物網構造、河川生態系の構造、森林と河川の関係に関する発表などが行われました。最終的にはパワーポイントを用いた発表を立派にこなしていました。

## スタッフ(敬称略)

陀安一郎、成田哲也、奥田 昇、荻部甚一、石川尚人、中野孝教(総合地球環境学研究所)、高津文人、堀 千里

## 実習生の感想の抜粋(受講生の許可を受け転載)

■たった5日間で、安定同位体の原理の理解から、実際の測定、データのまとめまで行うことは体力的にはハードでしたが、内容の濃い実習であり、参加してよかったです。今後、自分の研究にも安定同位体比を積極的に取り込みたいと思います。■安定同位体分析をより身近に感じれるようになりました。今後安定同位体を用いた研究をするにあたり、どのような事に留意して計画を立てるべきかが少しは分かったように思います。■人間の毛髪をサンプルに、持ち主の食生活を予想するという人間班の調査の結果で、個人個人の違いがはっきりと出ていたのが面白かった。私のサンプルからの結果は、普段自分で認識していたような食生活を反映したものになっていたので、自分の食べているものが実際に自分の体の成分になっているのが実感できた。■同位体分析のことは知ってはいたが実際の分析過程は知らなかった。これを知らないとサンプリング等の段階でやるべきことが全く違ってくると思う。また、機械の内部のことや分析の原理、データの整理方法までやると思っていなかったが、その部分についても理解はある程度できたと思う。■始まる前は、安定同位体を用いた研究の中でもキレイな話ばかりを聞いていたので、強力な手法と思う以前に正直胡散臭さを感じておりました。(原理もよく分かっている)

ないのに)。先生方から原理の講義を受けたり、実際に脱脂作業を行ったり、クモの頭胸部と腹部の同位対比の違いのデータをみたりすることで、受けた後では安定同位体での研究はとてもデリケートであるが大まかなことを知るのには適しているのではないか、と思うにいたりしました。■研究計画の大切さや、自らの得たい知見に到達するための手法を選択する上での要点なども学ぶこと

ができた。加えて他の実習生との会話や発表の聴講を通じて、特に伝えたいことを相手に伝える上での表現の方法論への習熟、そして今の自分にはない思考体系などを身に滲みて感じ、今後自分の改善すべき点を学んだ。いずれにせよ、通常の実習では決して得られない経験をさせていただいたと思う。

## 「河川生態系の環境構造と生物群集に関する基礎実習」

奥田 昇 (京都大学生態学研究センター)

実習期間：2006年7月29日(土)～8月5日(土)  
開催地：京都大学理学部木曾生物学研究所(木曾町)  
講師：永田 俊・陀安一郎・山村則男(京都大学生態学研究センター)  
受講者：喜田力文(京都大・理・3年)・原口 岳(京都大・農・3年)・門馬栄子(東京海洋大・水産・3年)・嶋津信彦(琉球大・理・4年) 計4名

当センターの公募実習と京都大学理学部の陸水生生態学実習の合同により、表記の実習を開催した。本実習の目的は、身近な自然である河川生態系の環境構造や生物群集について、体験を通じた学習を行い、生態学的な自然観を養うことにある。初日に陸水生生態学に関する基礎的な講義を行い、2日目に野外で環境計測と生物採集を行った。採集試料は研究所に持ち帰り、藻類の現存量推定や水生昆虫の同定、細菌の顕微鏡観察などの実技講習を行った。3日目から、受講者各自が設定した課題に沿って研究を進め、最終日に研究成果発表会を行った。

本実習を担当するのもこれで2回目となり、右も左も分からぬまま開講した前回と比べると幾分のゆとりをもって実習に臨むことができた。折からの集中豪雨の影響で長野県各地では大水害が発生し、当初は開講も危ぶまれたが、実習開催までに増水が治まったのは幸いだった。とは言え、河川水位は平時よりも高く、例年の実習項目である流量測定を受講生が行うのは危険との判断から、私が代わりに測定を行うほどだった。この増水の影響は、受講生の自由研究の内容にも如実に反映された。昨年は、陽が高くなって気温が上昇すると堪らず川に飛び込んで水中観察会が始まるというのがお決まりのパターンだったが、今年は水温が低く、肌身で入水するには少々冷たかったのか喜々として潜る受講生の姿は見られなかった。そのため、今年は魚類を研究材料に用いる受講生は皆無であった。代わりに、物理的攪乱に対する微生物や水生昆虫群集の回復過程に着目した研究が目立った。増水の影響で付着藻類も水生昆虫もかなり流されていたため、当初は研究材料として不適かと思われたが、その状況を逆手にとって、研究課題に活かしてしま

うあたり学生の思考の柔軟さを感じた。「転んでも只では起きない」という精神は研究者にとって必要な資質の1つである。近頃の若者も、まだまだ捨てたものではなさそうだ。

近年、木曾川の実習地周辺では毎年のように集中豪雨が起り、水害が発生しているそうである。もちろん、度を過ぎれば、人命に関わる由々しき事態として捉えねばならないのだが、そうでない場合であっても河川の生物群集には甚大な影響が及ぶ。付着藻類が減り、それを食べる水生昆虫が減れば、それらの食物網の頂点に立つ魚類も減るわけである。魚が減れば、太公望の足は遠のき、遊漁証収入や観光収入を当て込んだ地元の漁協や観光業者にとっては大きな経済的損失となる。地球温暖化と集中豪雨の因果関係が示唆されているが、もし、それが本当なら、地球規模の人為攪乱が局所的な生態系サービスに影響する一例と言えよう。本実習に毎年協力してくださっている木曾川漁協の組合長さんから、実習で得られた成果を地元で公開して欲しいとの要望があった。なぜ、魚が減ってしまったのか？河川生態系がどのように変化してしまったのか？その理由が知りたいとのことだった。釣客収入を生業としている方々にとって河川生態系の劣化は切実な問題なのである。

当センターが公募実習として本実習を開催するようになってから、環境計測・生物採集データが研究所に毎年保管されている。国際的な動向として、地球規模の環境変動および生態影響を観測・予測する長期生態学的研究(LTER:Long-Term Ecological Research)が注目されている。日本での整備は遅れているが、全国には生態学関連の実習を定期的実施する施設が数多くある。これらの実習施設で標準化された手法に基づいたデータ収集を長期的に続けることは、単なる教育サービスとして実習を運営すること以上に、生態学の将来にとって計り知れない価値をもたらすだろう。残念ながら、本実習は今年度以降、隔年開催となることが決定したが、今後の課題として、実習データの収集・保存・公開というシステムを構築することを早急に検討したいと思う。

今回は、受講生が少人数だったこともあり、安全管理

面では大変やりやすい実習だった。全日程を通して付ききりで受講生の面倒を見てくれたアシスタントの西村さんと石川君、毎日美味しいご飯を作ってくださった管理人の山田さん、そして、野外採集調査を許可してくださった木曾川漁協の皆さんに、この場を借りて感謝の意を表したい。

本実習の受講生の研究課題とレポートを以下に掲載する。



今回の参加メンバー

### 「増水による攪乱後の付着藻類・付着性細菌の再定着過程」

喜田力文 (京都大・理・3年)

#### 〈研究テーマ〉

僕の研究テーマは「増水による攪乱後の付着藻類・付着性細菌の再定着過程」です。これをテーマにしようと思ったきっかけは奥田先生の「今年の実習は長雨が続いた後の状態で、河川の生物がかなり流されている」というお話でした。生物が少なく残念だとも思ったのですが、逆に大変貴重な状態なのではないかと考え直し、せっかくなのでこのチャンスを活かせる研究をしたいと思いました。

方法ですが、環境の異なる4つの計測地点で、7/30、8/1、8/2、8/3のそれぞれの日に水温・水深・照度・流速・付着藻類量・付着性細菌数を計測しました。

#### 〈わかったこと〉

・計測期間が5日間という長さにもかかわらず、付着藻類・付着性細菌の量が明らかに増えていました。計測前の予想の段階では「5日間で違いがわかるほど変化するのか？」あるいは「雨がやんでからすぐに回復してしまっていて、変化は見られないのではないか？」など、不安はあったのですが幸いうまく回復過程を記録できました。(できれば後2週間ほど居たかったです・・・)

・同じ河川でも環境によって回復の過程が様々でした。

水深・流速・照度等、物理環境の違いで付着藻類・付着性細菌の増加量が異なりました。ただ、それぞれの環境要因が回復過程に対しどういった作用を及ぼしているのかを解析するには、残念ながら計測地点が少なすぎました。(一応仮説は立ててみました)

#### —仮説—

・山村先生に見せていただいた資料にある、「流速と光合成量の関係(流速が速い方が光合成量は増える)」を前提にして考えると、流速が遅いところは藻類の石面への付着は容易であり、増殖過程で流されるリスクも低いと考えられるが、光合成量は低いため、素早く回復し、絶対量は低いうちに頭打ちを食らって少ないまますぐに安定してしまうのではないか。逆に流速の速い所は、藻類は石面に付着しにくく、また増殖過程で流されるリスクも高いと考えられるが、光合成量が多いため、回復速度はゆっくりでも、順調に伸び続け、量の多いところで安定するのではないか。

・付着藻類量の増加と付着性細菌の増加の様子がかかなり類似していた。それらは密接な関係にあるのではないか。もしくは増加する際に、環境要因から受ける影響が類似しているのではないか？

#### 〈感想〉

すごく楽しい一週間でした。ご飯もおいしかったですし、涼しくてよく眠れました。少人数だったこともあって、他の実習生ともすぐに打ち解けることができたと思います。また、講師の方々もすごく親しみやすくしてくださって、いろいろなことを教えていただきました。本当にありがとうございました。

### 「溪流に生息する造網性クモの空間利用について」

原口 岳 (京都大・農・3年)

谷筋という地形的要因が風向き・水流・動物の動線を規定しており、水流及び風に伴う攪乱及び餌としての動物の動きに対応する形でクモの網の空間配置には一定の規則性が存在するはずであるという仮説のもとで、実習中の自由研究期間を利用し、黒川に流入する細流であるアカシオ沢にて造網性クモの網の張り方を調べた。調査地では、主な造網性クモとしてタニマノドヨウグモ(円網造網型)・クスミサラグモ(皿網造網型)・コクサグモ(棚網造網型)の三種類が存在したので、これら三種のクモを中心に、網の短径長径・直下の地面(水面)からの造網高さ・河川から造網位置までの水平距離、水流に対してどの様な角度で造網しているか・網は水平方向に対してどれくらい傾いているか等を測定した。

調査の結果、水流の上に造網するか、川岸の上に造網するか、という住み分けが観察され、タニマノドヨウグモ・クスミサラグモは前者であり、コクサグモは後者であった。また、鉛直方向の分布で見ると、クスミサラグモはコクサグモに比べて地上からの高さが高い位置に分布していた。一方、様々な角度で造網するタニマノドヨ

ウグモについて造網角度を分析したところ、水流に対して横断的で鉛直な円網、水流に対して平行で鉛直な円網、流れに対して斜めに横切り、覆いかぶさるように傾斜した円網、の三通りの造網のタイプが存在する可能性が示唆された。しかしながら、造網の水流に対する角度の測定にあたっては、そもそも水流の方向をどのスケールで記録するかが問題であり、得られたデータの信頼性は疑わしい。加えてクモがフラックスを認識するとすれば、それは主に風によるものと推測される事から、今後、熱線風向風速計・超音波風向風速計等の、クモにとって有意なスケールでの風の動きを捉えられる測定機器を用いて、フラックスに対してクモがどのような角度で造網しているのかを把握する事が望まれる。尚、仮説の段階では、水流の中央近くに分布する網と川岸付近に分布する網では、網の張り方(角度)が異なっている事を予想していたが、その様な傾向は認められなかった。

以上の結果を総合すると、アカシオ沢のような林冠部が閉鎖された谷筋では、クモの造網に関して、谷の上空を覆うように多数の棚網ないし皿網が存在し、一方、谷の中では微細なフラックスに対応して前述の3つのタイプの造網が行われており、同時に、水流の上と岸の上では住み分けが見られるという構造が存在する事が示唆された。こうしたクモの分布がどの程度の普遍性を伴って観察される事柄であるか、また、前述のような適切なフラックス測定方法の確立、更にはクモ同士の種内、種間の関係などの研究が今後の課題である。また、体重に対する網の重量など、クモの個体にとっての造網コストの指標も合わせて測定する事で、クモの攪乱に対する対応も合わせて考えてみたい。

「流速からみた水生昆虫の分布～カゲロウ目に着目して～」

門馬栄子(東京海洋大・水産・3年)

私は、流速からみた水生昆虫の分布について取り組んだ。理由は、流速はそこに生息する生物になにかしら影響を与えているだろうなと思ったことと、実際に影響があるというデータを出してみたかったからだ。そこで、カゲロウ目を取り挙げ、カゲロウ目と相関関係を持つと思われる他の環境要因(水深・水温・照度・底質・石に付着するクロロフィル量・バクテリア量)との関係を調査した。

調査方法は、長野県木曾福島町の黒川・赤塩沢で行った。調査は20ヶ所の様々な流速の地点で行い、水温・水深・照度・流速を測定し、300×300(mm)のサーバーネットを用いて水生昆虫を採取した。次に、そのサーバーネットを置いた地点の石を10個取り、その粒径を測定した。測定方法はB axisで行った。その後、水生昆虫の同定を行った。(クロロフィル・バクテリアについては、この研究テーマの喜田君に協力していただきました。本当にありがとうございました！)



赤塩沢で水生昆虫を採集。小さな水生昆虫ばかりでソーティングに苦戦

まず、流速とそれぞれの調査地点の総水生昆虫数の比較を行った。その結果、流速が速くなるにつれて水生昆虫数は増えるという正の相関がみられた。このことは、流速が速くなることで栄養塩やCO<sub>2</sub>の供給が活発になりカゲロウの餌となる藻類が増え、カゲロウにとって増える条件ができ水生昆虫が増えた結果、このような正の相関がみられたのではないかと考察した。

次に、底質と水生昆虫との比較を行った。底質は粒径が128×128(mm)を大、90×90～64×64(mm)を中、45×45～32×32(mm)を小、22.6×22.6(mm)以下を砂とし、調査地点20ヶ所のそれぞれの底地で何がどれほどの割合を占めているのかとその場所に生息していた水生昆虫数を比較した。その結果ははっきりとした相関をもつようなデータはみられなかった。しかし、どの地点でも水生昆虫のうち、カゲロウ目が最も多くみられた。また、100%砂地ではユスリカがみられ、水生昆虫が住処としやすいような岩場がなくても約10mmのマダラカゲロウがみられた。このことから、砂地を取り挙げて水生昆虫の分布比較をしてみた。すると、やはり砂の占める割合が0%から100%と増えるにつれ水生昆虫は少しずつ減っていくというデータが得られた。よって、岩場という環境は砂地より水生昆虫にとって生息しやすい環境なのではと思った。しかし、砂が約80%を占める底質の地点で水生昆虫が特に多くみられた。これは砂が全くない岩場のみの環境よりも砂が半分以上占める環境のほうが、水生昆虫は生息しやすいということも考えられる。このデータに関して、これは水生昆虫の種類が関係しているのではないかと考えた。カゲロウ目のなかでもコカゲロウ属やマダラカゲロウ属は岩場に限定することなく、さまざまな場所に生息するといわれている。しかしヒラタカゲロウ属は水流の抵抗を少なくするよう平

たい体の構造を活かして主に岩場に生息しているといわれている。この調査では、ヒラタカゲロウ属よりもコカゲロウ属やマダラカゲロウ属が多くみられたことから、必ずしも水生昆虫は岩場に多く生息するというデータが得られず、底質と総水生昆虫数がある決まった相関をもつということはなかったのだろうと考察した。また、その他の環境要因である、水深・水温・照度・石に付着するクロロフィル量・バクテリア量についてはステップワイズで相関を持つか解析した。しかし相関関係をもつという結果はでなかった。

以上のことより、水生昆虫数と流速は正の相関を持つことから流速という物理的環境は水生昆虫に大きな影響を与えており、他の環境条件よりも顕著にみられるということがわかった。また底質との関係は「岩場であるならば昆虫数が増える」というように単純ではなく、生物自体の特性が関係するなど様々な要因があり複雑に分布しているのではないかということがわかった。流速と底質の分布の関係も調べたかったが、あまりはっきりと言えるような関係を見つけれなかった。今回、底質の石や砂を示す割合を目分量で測るなど、あいまいな部分が多かったことや、地点によって測定基準を変えてしまったり、サーバーネットの使い方がうまくいかなかったりしたことが原因だと反省した。測定方法をもっと工夫することが必要だと感じた。

今回の実習では、現場の調査や実験器具の使い方など初めてのことが多く、内心とても焦っていた。しかし、先生方やTAの先輩に、ほぼ付きっきりで実験内容や同定作業を詳しく教えて頂いたり研究内容を見て頂いたり本当に良い経験になった。こんなにほぼマンツーマンの状態で教えて頂くのは滅多にないことなのに、さらに自分の好きなテーマで進めていいというのもすごい実習だと感じた。また、この実習では研究を進める楽しさや、実際に調査することやデータ解析をする大変さを感じた。自分で調査したいと思ったことでも、思い通りにいかないこともあり、助けてもらわないとできないことが予想していたより多かった。また、周りの方に助けて頂いてばかりだった気がする。このことを忘れずに、これからの研究に活かしていけたらと思う。

### 「アカシオ沢でカゲロウの移動と分布を探る！」

嶋津信彦(琉球大・理・4年)

実習前半に行う野外調査で、サーバーネットを用いたベントスの採集がありました。これは30×30cmの方形枠を河床に設置し、枠内の石などを手や足でござと掻きまわしてベントスを巻き上げ、水の流れを利用してネットに回収するというサンプリングです。そのとき感じたのは、サンプリングで攪乱されたこの場所がその後どうなるのだろうかということです。実習で採集された主なベントスは、カゲロウ目、カワゲラ目の川虫でした。カゲロウは石などに付いた藻類を捕食し、カワゲラ

はカゲロウを捕食します。このことから河床がひっくり返されれば石の上の藻類がはげるので、カゲロウがもどってくるには時間がかかるのではないだろうか、逆に捕食者のカワゲラがいなくなったのでカゲロウが多く集まってくるのではないだろうか、また、藻類が多く付いた石を移入すれば、カゲロウが集まってくるのではないだろうかと予想しました。これらを明らかにするためにアカシオ沢で実験をしました。

まず、90×90cmの調査枠を設け、枠内のベントスをサーバーネットで採集し、翌日に同じ場所、同じ方法で採集しました。1日で移動してくるのかという問題がありました結果としては戻ってきていました。ただし、個体数も種組成も攪乱の前後で変化があまりなく、狙いはずした結果となってしまいました。その後、同じ調査枠内に藻類の多く付いた石と藻類の付いていない同じ大きさの石を置き、翌日にそれぞれの石を含む30×30cm内をサーバーネットでサンプリングしました。結果は、藻類の付いていない石より藻類の多く付いている石のほうにカゲロウが多く集まっていました。今回の実験では、90×90cm程度の攪乱であれば1日でベントスは移り住んでくること、カゲロウが藻類の多く付いた石に1日で集まってくることが明らかにされました。

この実習には、奥田先生に会うために参加しました。それは奥田研究室への進学を希望していたためで、自由研究は適当にすませて実習直後にある院試の勉強をしようと考えていましたがあまかったです。この木曾福島での実習は、院試で面接官となる先生方といろいろな話ができたり、講義の内容が大学院入試の参考になる面もあるので、生態学研究センターへの進学を考えている人には3年生のうちに参加することをお勧めします。



夕食後は眠気をこらえながら皆で調査結果についてディスカッション

## 生態研セミナー参加レポート

開催場所：京大生生態学研究センター第二講義室

第 178 回

日時：2006 年 5 月 19 日（金） 14:00～17:00

「生態系管理におけるシナリオアプローチの試み—琵琶湖流域の事例から—」  
谷内茂雄（総合地球環境学研究所）

「水環境中における細菌間の水平遺伝子伝播」  
植木昌也（総合地球環境学研究所）

前期博士課程 1 年 大川 聡

今回のセミナーは総合地球環境学研究所の谷内茂男さんと植木昌也さんに講演していただきました。

谷内さんの講演では、流域の情報を適正なモニタリング手法で診断する事、得られた環境情報を利害関係者が共有する事、の二点が非常に重要だと言われました。

河川は、上流－下流の勾配など一様でない構造を持っています。またその河川に対する人間のかかわり方も一様でないため、流域生態系を取り巻く人々の意識はさまざまです。流域生態系に利害関係を持つ人々の相互の理解が異なると、流域全体での意見調整が阻害され、流域管理に支障をきたす場合があります。流域に対する意識は立場、スケールにより大きく異なります。流域を階層（マクロスケール⇔メゾスケール⇔ミクロスケール）に分けて考え、得られた流域診断情報を地理情報システムに投影し、各階層間での相互理解を図る事が提案されました。

具体的な事例として、琵琶湖流域における成果が紹介されました。琵琶湖流域を琵琶湖流域（マクロスケール）、彦根市稲枝地区（メゾスケール）、稲枝地区各集落（ミクロスケール）と設定し、流域診断をされました。その結果、メゾ及びミクロスケールの農業活動による濁水やその他の人間活動による排水が複合的に働く事により、マクロな琵琶湖生態系にレジームシフトを引き起こす可能性を示唆されました。そのような濁水問題の背景には、さまざまな社会的問題がある事が明らかにされました。

植木さんの講演では、細菌の遺伝子の水平伝播に対する「場」の重要性が提起されました。遺伝子の水平伝播とは、接合や環境中の DNA の取り込みにより、同種または異なる生物間で遺伝子が伝播する事であり、生物の進化や適応に寄与する為、非常に重要な機構であると考

えられます。

遺伝子の水平伝播頻度は環境中のさまざまな要因に影響を受けている事が明らかとなっています。植木さんの研究では、*Microcystis aeruginosa* 細胞外代謝産物の存在下では、細菌は活性が高まり、その結果、遺伝子伝播頻度が上昇する事が明らかにされました。一方、細菌捕食者である *Tetrahymena thermophila* の存在下では遺伝子伝播頻度が減少する事が明らかにされました。過去に細菌性捕食者であるゾウリムシで同様の研究成果があり、収縮胞内に細菌が密集する為、遺伝子伝播頻度が上昇すると言う報告があります。そのような点からも上記の結果は非常に興味深いものであると言えます。

谷地さんの講演では、問題が最初であり、問題を解決する為にはどうしたら良いか、と言う問題解決型のアプローチをされていました。一方、植木さんは、生態学的に非常に重要で、まだ分かっていない事を明らかにする、と言う一般的な生態科学のアプローチをされていました。このような科学へのアプローチが異なる今回の講演は、科学のあり方を考えさせられる、非常に有意義なものでした。

第 179 回

日時：2006 年 6 月 16 日（金） 14:00～17:00

「ニッチェ・コンストラクションと人類進化」  
長谷川真理子（総合研究大学院大学 葉山高等研究センター）

「報酬を介した共生関係の進化：種内ゲームと種間ゲーム」  
山内 淳（京大生生態学研究センター）

前期博士課程 2 年 林 素行

梅雨のさなか行われた今回のセミナーでは総合研究大学院大学教授の長谷川真理子氏と本センター理論グループ助教授の山内 淳氏が講演されました。

前半のセミナーでは長谷川氏が「ニッチェ・コンストラクションと人類進化」というタイトルで人類の進化をテーマに講演されました。長谷川氏は、人類の文化の進化に関して協力と血縁淘汰の観点から、一般的に動物のメスが閉経後すぐに寿命が来るのに対してヒトのメスが閉経後も生き続け娘や孫の育児を助けることで一世代が単独で育児を行うより生まれてくる子の生存率も上

がり、またそこで生まれた余裕が文化も進化させたとする「おばあさん仮説」を提唱なさって注目されました。また朝日新聞などでも書評を執筆なさって世間にも名の知られた方であり、講演を楽しみにしておりました。講演では人類の進化について最近の学説の潮流を紹介しつつ、男性・女性の生産能力が年齢に応じてどう変化するかを示し男性の過剰生産能力で生まれたエネルギーを集団に分配することで社会が進化し、ほかの類人猿を始め、他の動物がこれまで暮らしてきた自然環境ニッチとは異なる科学技術文明、経済市場ニッチを生み出しそこで暮らすようになったとおっしゃられました。私としては科学技術が進歩した結果、過剰エネルギーを生み出す源が青壮年男性から老年へそして女性にも広がってきたこと、そしてヒトがほかの動物とは異なるニッチで暮らすことを選択してきた結果生まれた環境問題が今後の人類の進化へどう影響するかに興味がひかれました。

後半のセミナーでは山内氏が「報酬を介した共生関係の進化：種内ゲームと種間ゲーム」というタイトルで報酬を介した相利共生の一例としてハチの送受粉行動と花の生殖活動との関係を理論的な側面から解き明かす試みをされました。ハチなどは花に立ち寄り蜜を供給してもらおう一方体におしべからの花粉を身にまとって送受粉活動の手助けを行います。その際ハチの側からみればひとつの花にいる時間が長ければ長いほどその花から得られる蜜の量は多くなるわけですが、一方で時間がたてばたつほど供給される蜜の量の増加量は蜜がかれるなどして減少し、えられる蜜の量は頭打ちになっていきます。花の立場から見ると、ハチなどが一つの花に長くいればいるほど体につく花粉の量が増加し繁殖成功率が上がるメリットがある一方、一つの花に長くいればいるほどほかの花を回る時間が減少するデメリットもあります。さらに植物の繁殖成功率はほかの花の出す蜜の量によっても左右されます。山内氏は過去に鳥などの研究から開発された最適採餌理論から花の間を飛び回る時間を考慮したゲームを定式化し、微分方程式を用いて、両方の数の個体群動態を記述し進化的に安定な状態を調べ、その動態の安定性などを議論しました。以前私の参加している数理セミナーで聞いた話と重なる部分もあるのですが、今回のセミナーでは実際にハチの行動をフィールドで研究したり、分子生物学的側面から研究したりする人も加わってさかんな質疑応答が行われ、私の気づかなかった新たな側面を発見しました。

## 第 180 回

日時：2006 年 7 月 21 日（金） 14:00～17:00

「カムチャツカにおける北方林の更新メカニズムと環境ストレス」

原 登志彦（北海道大学低温科学研究所）

「モンゴル遊牧草原の生物多様性と生物間相互作用」

藤田 昇（京大大学生態学研究センター）

## 前期博士課程 1 年 日高 周

原先生の講演に対して

「北方林はどのように形成されるのか」、このことに対して更新メカニズムに焦点を当てて、二つの生育段階（繁殖戦略・幼木の生存戦略）および落葉・常緑混交林の多様性に着目して生理生態学的にアプローチした研究結果を講義していただいた。

具体的には、幼木段階において、春先に新葉で光阻害が起こることが直接的に枯死につながる可能性が示された。これはクロロフィル蛍光測定を用いた生育実験での検証であるが、個人的にはこのような実験による測定データの蓄積により北方林というスケールまで展開できることに魅力を感じた。繁殖戦略においては、成り年について、(5・6月の)気温と湿度の2つの環境因子が生理学的に光ストレスを通じ、翌年の成り年に影響を与える可能性が示唆された。混交林形成については、冬期において常緑樹の生存にネックとなる低温への適応戦略として、熱放散し酵素活性の上昇につながるタンパク質(ELIP)の存在がキーである可能性が示された。また、これらのデータを基にした温暖化シミュレーションモデル(MINoSGI)の紹介があり、身近で興味深い結果として、日本の冷夏・厳冬という将来予測が示された。

質疑応答では、環境問題についての科学の在り方に話題が展開し、「(科学には技術を進歩させるという目的もあるが、環境問題などの一部については)『科学では解決できない問題である』という認識・情報を一般に与えることも科学の重要な目的のひとつである。」という意見も出された。環境問題は社会問題であり、解決のためには科学・社会両方の協調した進展が不可避であることを強く感じた。

藤田先生の講演に対して

「モンゴル遊牧草原の生物多様性と生物間相互作用」というタイトルで、モンゴルの遊牧スタイルと草本の間の生物間相互作用およびその結果としてどのような生物多様性が生じるかについて講義していただいた。

モンゴルの遊牧では、ヒツジ・ヤギ・ウシ・ウマ etc. といったさまざまな家畜が飼育されており、その遊牧の場所は季節・昼夜によって異なる。これらの形態がいか

に草本の種構成と多様性に影響を与えているのかを、刈り取り実験などにより検証した結果が紹介された。その結果、刈り取り(グレイジング圧)が中規模な場合において種数・バイオマスが最大となることが示された。これは従来の中規模攪乱仮説を支持する結果であるが、グレイジング圧が過度に大きすぎず小さすぎず中規模攪乱に近い程度に保たれるように遊牧のスタイルを維持することが、持続的な草原の利用につながることを示している。

地球上で自然生態系が減少している中で、人間の存在はとても大きな因子である。そのため、人間を含めた生物間相互作用を考えることは今後重要であると思う。自然産物の破綻を生じない持続的利用は人間の経済活動にとって重要であるとともに、自然生態系や種にとっても(最善であるかどうかは分からないが)次善の策ではあるはずである。中規模攪乱仮説や相互作用網のケースを越えた話として、持続利用のモデルとしてモンゴルの遊牧文化がなぜ成立できるのかという側面で聞いていて、ユニークで興味惹かれるテーマに感じた。

#### 第 181 回

日時：2006年9月15日(金) 14:00～17:00

「観測、モデル、シミュレーションー温暖化とあすの地球生態系の研究」

和田英太郎(地球環境フロンティア研究センター)

「人間活動下の生態系ネットワークの崩壊と再生：総合地球環境学研究所一般共同研究」

山村則男(京大大学生態学研究センター)

#### 前期博士課程2年 林 素行

さる9月15日(金)独立行政法人海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター生態系変動予測研究プログラムディレクターの和田英太郎氏と本センター理論グループ所属教授の山村則男氏が講演されました。

まず和田氏は、過去50年における二酸化炭素濃度の急激な上昇とそれに伴って生じたとされる温暖化などの地球環境における様々な問題にどう対応していくかを考える上で、基本となってくるデータを得るための観測・予測技術の現状と将来の展望についてお話しされまし

た。二酸化炭素濃度の継続的な上昇と近年の温暖化に関して1992年リオ・デ・ジャネイロで開かれた環境と開発に関する国際連合会議(地球サミット)で数多くの国家、国際機関、NGOが集まって討議が行われ気候変動枠組条約と生物多様性条約が締結されさらにヨハネスブルグでのサミットを経て、持続可能な経済発展を実現するために信頼性の高いシナリオを政策担当者に提示するためにより精度の高い、かつ全世界的なデータを収集するための最新の手法を陸域中心に述べられました。私は地球科学に関しては専門ではないので細かいところはわからないのですが、観測機器の精度や数、設置場所の問題、あるいは計算機の処理能力の問題からこれまで一辺数百キロのグリッドだったのが最近では10キロまで改善されたそうです。しかし、これに対してこの程度のグリッドでも土地利用は多様で正確性に欠けると出席者の方が指摘されていたことに関して、確かに精度が高くなればなるほどいいのはわかるがそれに伴いかかる時間、予算もかかるわけでその辺りをどう一般の方に納得してもらうかが課題だと感じました。

次に山村氏が総合地球環境学研究所との共同研究として農業や牧畜、森林伐採等の人間活動が生態系にもたらす影響を短期的、および中長期的に予測し、人間活動による生態系の劣化、不安定化を最低限に押さえるシナリオを政策決定者に提示できるようにするプロジェクトについて講演されました。山村氏はモンゴルのゴビ草原とマレーシアのサラワク熱帯雨林を例に、特に人間活動による影響が大きいと考えられる100年間の歴史を振り返った後、前者は南北を軸に後者は標高勾配を軸にそれぞれの環境を代表するような地点をいくつか選定し、得られたデータから解析、モデル化し人間が制御可能な変数(牧畜の様式等)と不可能な変数をいじることでシナリオを提示し、さらに本センター、総合地球環境学研究所を始めほかの大学、研究機関の研究者と共同で今後モデルの精緻化を進めていくとされました。

今回の講演では持続可能な社会を築くためのシナリオを得るために前半ではそのシナリオを作成する上での基礎となるデータを得るための観測・予測技術の現状を、後半ではそのシナリオを作るために生態系ネットワークのモデル化について話されました。私は今後経済発展にも配慮しつつ持続可能な社会を築く上で政策担当者と理論面で橋渡しができるような研究を行いたいと考えておりますがそのためにはより経済学等との協力が必要だと感じました。

## 総合地球環境学研究所 (RIHN) 空間スケール軸プロジェクト 3-1 「琵琶湖－淀川水系における流域管理モデルの構築」

研究代表者 谷内茂雄

(総合地球環境学研究所 研究部 助教授・生態研センター 客員助教授)

期間：2002年度－2006年度

総合地球環境学研究所(地球研)は、地球環境問題の解決に向けた学問(地球環境学)創出をめざし、2001年4月、文部科学省の大学共同利用機関のひとつとして京都市に設立されました。地球研では、地球環境問題を総合的に解明するため、「研究プロジェクト方式」を採用し、自然科学から社会科学にわたる多様な専門分野の研究者が、協力して5年間の研究活動を展開します。プロジェクトの研究成果は、プロジェクトの枠を超えて、地球環境学の構築へと生かされます。現在、20以上のプロジェクトが予備研究段階(FS)を含めて立ち上がっていますが、「琵琶湖－淀川水系における流域管理モデルの構築(琵琶湖－淀川プロジェクト)」は、2002年度に始まった地球研の最初の5つのプロジェクトのひとつで、2006年度が最終年度です(和田英太郎リーダー：2002年4月～2004年7月末、谷内茂雄リーダー：2004年8月～2007年3月末)。

### プロジェクトの目的と特徴

本プロジェクトでは、空間スケール研究軸のプロジェクトとして、流域の「階層性」に着目し、理工学と社会科学の研究者の連携で、流域管理のための環境診断と合意形成の方法論の開発をテーマに研究を進めてきました。流域内の階層性に由来する、多様な利害関係者間の問題認識の違いが、階層間で利害の対立を発生させ、結果として流域管理の大きな阻害要因になるとの認識にたっています。個々の階層の順応的管理を背景とした、多様な利害関係者によるガバナンス(共治)が、コモンズとしての流域の管理を達成する上で必要となる。この考えをもとに、「階層化された流域管理システム」という流域管理のモデル(制度)を提案し、琵琶湖流域における農業濁水問題を事例として、分野横断的研究を進めてきました。学術研究を軸としながらも、新たな地球環境学構築をめざし、一歩足を踏み出して、地域に密着した実践的な試みを行ってきたのが、本プロジェクトの特徴です。地域住民・行政が主体となって流域管理をおこなうために必要な環境情報や、持続可能性のある社会をさぐるためのシナリオを提示できる、総合的・実践的な方法論・学問の創出をめざしています。

### 研究内容

琵琶湖流域においては、琵琶湖の水質対策の上で大きな課題である面源負荷のひとつであり、スケール(階層)をまたぐ複合問題の代表事例として、農業濁水問題に着目してきました。水質を中心とした水環境管理に関わる3つの階層(マクロ：琵琶湖流域、メゾ：彦根市稲枝地域、ミクロ：稲枝地域内の各集落)を設定し、地域社会と琵琶湖の保全が両立する方法を、「物質動態」、「社会文化システム」、「生態系」、「流域情報モデリング」の4班の連携によって探求してきました。1)各階層内で、その階層に応じた環境診断指標を開発し、地域の順応的管理を支援する方法をさぐるとともに、2)環境に対する見方や考え方の違いを階層間で共有する方法論の構築をめざしています。

プロジェクトの考え方の枠組みを広げるため、京大生態学研究センターと共催で、広く環境分野で活躍する方々による講演と討論(ヒューマンインパクトセミナー)を企画しました(2002年度～2004年度：計18回)。また、環境診断指標の構築と調査の上で、CREST「各種安定同位体比に基づく流域生態系の健全性・持続可能性指標の構築」(研究代表者：永田 俊)と、密接な連携をとり、滋賀県彦根市稲枝地区の方々には、住民参加型ワークショップをはじめ、さまざまな形でプロジェクトにご協力いただき、最終年度は、稲枝地区での報告会「いなえ水辺環境学サロン」において、地元の方々との交流を深めました。

### プロジェクトのとりまとめに向けて

「琵琶湖の流域管理から始める地球環境学」というタイトルで、琵琶湖－淀川プロジェクト主催の国際ワークショップを、9月23日・24日の両日にわたって、開催しました。5年間の到達点と成果を関係者に紹介するとともに、今後の発展課題、地球環境学について議論をおこなう「総括」との位置づけです。コメンテータとして招待した、滋賀県の行政担当者、土地改良区の関係者、大学・研究機関の研究者、内外の流域管理の研究者・コンサルタントをはじめ、本プロジェクト、地球研、京大生態学研究センター、地球環境フロンティア研究セン

ターなどから、40名以上の参加者がありました。

参加者との活発な議論の中で、新しい診断手法による琵琶湖の水質形成の影響評価、農業濁水問題を事例とした問題の全体像、住民参加型ワークショップなどコミュニケーションを促進する方法、これらの重要性がうかびあがりました。今後は、プロジェクトの終了に向けて、

流域管理として、また地球環境学としてどのような知見が得られ、どのような発展課題が生まれたか、研究成果を最終報告書にまとめていくとともに、11月6～8日に催される地球研国際シンポジウムに取り組んでいきます。



国際ワークショップ（地球研講演室）の記念写真

### センター員の異動

- ・2005年度日本学術振興会外国人特別研究員の Yanhui Yan 氏が9月13日で採用期間を終え、COE 研究員として着任されました。
- ・総合地球環境学研究所の川端善一郎教授、湯本貴和教授、谷内茂雄助教授が、7月1日付けでセンターの客員教官になりました。

## アユの視覚の分子的基盤

清水 勇 (教授)

天然アユは、いまでは夏の食卓の高級魚であるが、「縦て横に鮎の流れる江戸の町」という句が物語るように、昔はその辺の河川にいくらでも泳いでいたものと思われる。サケ目に属するこの魚種は、日本列島のほぼ全域と朝鮮半島、中国大陸の一部および台湾に生息し、海と川を行き来する両側性回遊魚である。アユは稚魚期を海の沿岸部ですごし、春先になって川に遡上する。環境を変えるとどのように視覚の適応がおこるのかを研究する格好の材料と考え、筆者はこの魚種の眼を分子レベルで研究した。

アユの眼の A1 レチナール (ビタミン A1 アルデヒド) と A2 レチナールの組成を比較すると、海にいるときには A1 の割合は約 80% と高いが、川に遡上したものでは、約 20% に低下する。この現象は桿体のロドプシン ( $\lambda_{\max}$ : 503 nm) とポルフィロプシン ( $\lambda_{\max}$ : 528 nm) の割合に反映されており、短波長光に富む海中環境から長波長光に富む淡水環境への適応と考えられている、琵琶湖には生涯を湖中で過ごすコアユと、夏期になると琵琶湖の流入河川に遡上するオオアユと呼ばれる 2 種類の陸封型アユが生息している。筆者は高速液体クロマトグラフィー (HPLC) 分析によってコアユおよびオオアユのレチナール組成を調査した。それにより冬期に湖中で捕獲したサンプルでは、A1 レチナールの割合がほぼ 100% で、成長が進み春季 (5-6 月) になると A2 レチナール (10-20%) が検出されるようになることを確かめた。また、河川に遡上するオオアユの夏季のレチナール組成は、この時期の両側回遊性のアユと同様に A2 レチナール組成が約 60% と、同時期のコアユよりも有意に増加している。これらのことから陸封型のアユはあたかも湖を海と見立てて生活しているようにみえるが、現在の琵琶湖の光環境は海中のように短波長の青い光に富んでいるというわけではなく、時期や場所によっては河川よりも長波長側にかたよっているため、この現象の適応的な意味づけは難しい。

アユは海、湖、および川といった様々な光環境で生活しており、それに適応しながら生活していると考えられる。アユの視覚適応機構を探るために、オプシン遺伝子の解析を中心としたアユの視覚に関する研究を行い、オプシンの交換による光環境適応を示唆する結果を得た。アユのオプシン遺伝子の検索を行った結果、その網膜には桿体オプシン (AYU-RH) (図 1) の他に、AYU-LWS、-RH2-1、-RH2-2、-SWS1-1、および -SWS1-2 の 5 種類の錐体オプシンが発現していることが明らかになった。他

に非視覚機能オプシンとして脳で発現するエクソロドプシン (AYU-ExRH)、アマクリン細胞と脳で発現する VA オプシン (AYU-VAL、-VAM) の存在が明らかになっている。視物質遺伝子はいずれも、琵琶湖産のコアユおよびオオアユの間でアミノ酸レベルでの変異は確認されなかった。

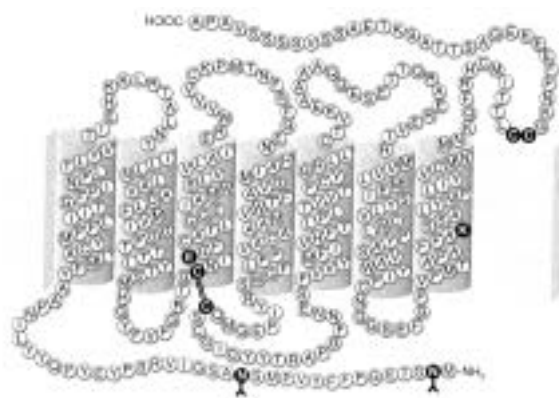


図 1 AYU-RH

上述のようにアユは一般には  $\lambda_{\max}$  を緑色付近に持つ RH2 と紫外部に持つ SWS1 に属するオプシンをそれぞれ 2 種類持っている。アユはこれらのオプシンをどのように利用しているのかが問題になる。アユはコイやメダカと同様、複錐体および長短の単錐体の計 4 種類の錐体細胞を持つ。アユと同じ様な 4 種類の錐体細胞を持つ硬骨魚類の中で、これまでに錐体オプシンが単離されその発現細胞が特定されているのは、メダカ、ゼブラフィッシュ、およびカレイであるが、いずれの場合も複錐体で RH2 と LWS が、長単錐体で SWS2 が、短単錐体で SWS1 のオプシンが発現しており、それはつまり赤-緑-青-UV の 4 色の色覚系を持っていることを示している。系統的に離れたこれらの魚類が共通した発現パターンを示すことから、そのパターンは魚類一般に共通すると考えられてきた。しかし *in situ* ハイブリダイゼーション実験の結果、アユにおいては複錐体で AYU-LWS と AYU-RH2-1 が、短単錐体で AYU-SWS1-2 が発現しており、これらの点は他の魚類と同じパターンであったが、長単錐体で AYU-RH2-2 が発現していた。AYU-RH2-1 と -RH2-2 はいずれも RH2 グループに属するオプシンであ

り、RH2 グループのオプシンは一般に緑色あるいは青色付近に  $\lambda_{\max}$  を持つ。この結果からアユの色覚については以下の2つの仮説が考えられる。まず1) アユの持つ2つのRH2 オプシンのうち一方は  $\lambda_{\max}$  が青色の領域にあり、アユは一般的な他の魚類と同様に赤-緑-青-UVの色覚系を持つというもの。つぎに2) アユの持つ2つのRH2 オプシンはいずれも  $\lambda_{\max}$  が緑色の領域にあり、アユは赤-緑-緑-UVの色覚系を持つ。すなわち緑光受容物質を二種類持つことになる。アユが河川に遡上してオオアユになるとき(このときAYU-RH2-1の割合が高くなる)、この二種の緑光受容物質は石に付着した藻類の選別に重要な機能をはたしているものと推定される。そして色覚が精密になるほど、新鮮で栄養価の高い藻類を識別する効率が高まる。これらの説を検証するためには、今後AYU-RH2-1および-RH2-2のオプシンについてその  $\lambda_{\max}$  を測定する必要がある。

アユのいくつかの集団を用いて2つのSWS1オプシンの発現量を定量的RT-PCR法により比較したところ、どの集団においてもAYU-SWS1-2がより多く発現しており、AYU-SWS1-1の発現量はAYU-SWS1-2の1/10以下であった。また *in situ* ハイブリダイゼーションでもAYU-SWS1-1の発現は確認することが出来なかった。AYU-SWS1-2(紫外光受容物質)は湖中のミジンコなどの捕食に働いていると推定される。湖中のアユはミジンコなどの動物プランクトンの紫外光反射を手がかりに餌をとる。一方、AYU-SWS1-1は幼魚期や婚姻色を示す繁殖期などにおいて発現するオプシン遺伝子の可能性が示

唆される。

アユは赤色光受容視物質 (AYU-LWS) を発現している。行動的にみて、アユは、たいへん赤色に敏感である。それゆえ鮎の釣り人は赤色のジャケットを決して着用しない。動物の赤色光視物質の起源はオプシン進化の系統の中で古いが、分子進化の速度は比較的遅い。すなわち分子的に極めて保守的であるが、魚類がどうしてこのオプシンの構造を強固に保存するのか、その意味は分かっていない。アユの場合のように同じグループに属する複数のオプシンを持つ魚類が、これまでいくつか報告されている。すでに述べたウナギ類の桿体オプシンやシクリッドのSWS2オプシンの他にも、洞窟魚 (*Astyanax fasciatus*) のLWSオプシン、キンギョのRH2オプシン、ゼブラフィッシュのRH2オプシン、およびLWSオプシンなどが複数あることがわかっている。以上は琵琶湖の主としてコアユを材料に行った研究である。両側性のいわゆる海アユとの比較も興味深い今後のテーマである。

アユ研究の面白さは行動、分類系統、環境による形態変化、光周性などなどであるが、ここで紹介したアユの視物質の研究以外に、この種を材料に様々な分子生態学的な研究が日本で展開している。今後は全遺伝子解析を目的としたAyu Genom Projectの構築が望まれる。本研究は源利文さん(現:産業技術総合研究所研究員)との共同研究としてセンターで行ったものである。この記事の詳細については、総説「魚類の視覚適応の分子の基盤」(魚類学雑誌 2005. 52:91-106)を参照されたい。

## Full depth distributions of viruses along a meridional transect across the central Pacific

Yanhui Yang (JSPS fellow)

### Introduction

My research is regarding the ecology and distribution of viruses in oceanic environments. I have been working on this issue with Prof. Toshi Nagata, Dr. Taichi Yokokawa and Ms. Chiaki Motegi at CER. Here I introduce some of my results obtained during the past two years.

In 1990's, the discovery of surprisingly high abundance of virus-like particles in the ocean by electronic microscopy made marine microbiologists quickly recognized the ecological importance of viruses in marine ecosystems. Since then, numerous field and experimental studies found that marine viruses are not only abundant, but also very active. They are a major

cause of mortality of phytoplankton (2%–10%) and heterotrophic prokaryotes (10%–50%). By lysis of host cells, organic matter is released to the water and a considerable part of energy is recycled in the microbial loop rather than transferred to the higher trophic levels (Fuhrman 1999, Weinbauer 2004).

Studies have found that viral abundance increases with increasing abundance of bacteria, suggesting that viruses that attack bacteria (bacteriophages) dominate marine viral assemblages. Viral to bacterial abundance ratio (VBR) typically vary in the range of 5 and 25. However, most of the knowledge so far is based on the studies in coastal waters and surface oceans. Very few data are available for deeper waters (Hara et al. 1996,

Weinbauer et al. 2003). The mechanisms controlling the viral distribution are host availability (including host abundance, activity and diversity) and loss pressure, such as sunlight (UV), enzyme activity, flagellates, adsorption to particles and DOM/colloid. In deep waters, both host abundance and activity are low. On the other hand, the loss factors work efficiently only in surface water (euphotic zone). These arise the questions that how the distribution patterns of viruses are in large scale oceanic environments, especially those in the deep waters.

To reach a better understanding on the distribution patterns of viruses in the full depth of open ocean, we carried out a basin-wide study in two cruises KH04-5 and KH05-2 aboard R/V Hakuho-maru.

### Materials and Methods

KH04-5 was from Dec 2004 to Mar. 2005, covering a range of 67 °S to 10 °N along 170 °W. KH05-2 was from Aug. to Sept., 2005, from 10 °S to 54 °N along 160 °W. During the cruises, water samples were fixed by glutaraldehyde (final conc. 1%) in dark for 15–30 min, frozen in liquid nitrogen (KH05-2) or – 80 °C (KH04-5), then stored in deep freezers until analysis in the laboratory. Viruses and bacteria were counted by a FACSCalibur flow cytometry (Becton Dickinson) according to Brussaard (2004) and Marie et al. (1999) with minor revision. Briefly, after thawed, bacteria samples were diluted 10 times with TE (10 mM Tris-HCl, 1 mM EDTA, pH 8.0) or stained directly with SYBR Green I (final conc.  $10^{-4}$ ) at room temperature for 15–30 min. For viruses, samples were diluted by TE for 50–200 times, stained with SYBR Green I (final conc.  $5 \times 10^{-5}$ ) at 80 °C for 10 min, then cooling down in dark. Before mounted on flow cytometry, 1 μm yellow-green beads (Molecular Probes) were added as inner standard. Special cautions were paid to minimize noises from optics, sheath liquid, bubbles, TE, dye and beads solution. In addition, triplicate blanks were run for every 8–10 virus samples to subtract the noise in virus counting.

### Results and Discussion

With flow cytometry, 3 clusters of viruses were distinguished for most of the samples (Fig.1), suggesting the existence of viral communities with different nucleic acid contents, although differences in stainability may also affect this pattern. However, in some deep water samples in the North Pacific, only 2 clusters were distinguished.

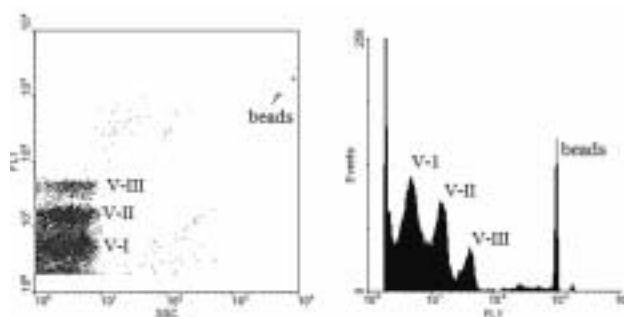


Fig. 1 Typical density plot (left, X and Y axes are side scatter and fluorescence intensity in arbitrary log unit) and histogram (right, X and Y axes are fluorescence intensity in log unit and event counts) of viral like particles (Sta.13, KH05-2, 50 m).

In the surface water (upper 200 m), viral abundance varied from  $1 \times 10^6$  to  $3 \times 10^7$  particles  $\text{ml}^{-1}$ . Low abundance occurred in the subtropical gyres, which are symmetric across the Equator. High abundance occurred in the subarctic region, but in the Southern Ocean, the abundance was low. In the subtropical gyres, there were obvious subsurface virus maximums around 75 m. We also found a meso-scale “viral bloom” in the North Pacific Transition Zone (30–45 °N; Longhurst 1998), a region bounded by two fronts; i.e. Subtropical Front and Subarctic Front. Plausible factors that might explain the establishment of this peak of viruses are unknown: no

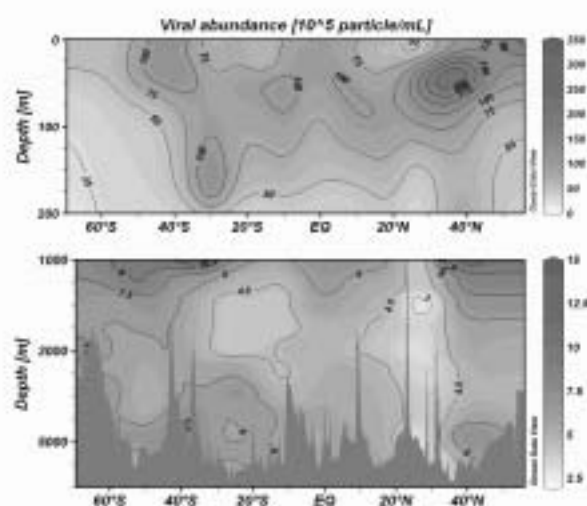


Fig. 2 Distribution of viruses ( $10^5 \text{ N ml}^{-1}$ ) in central Pacific Ocean. Note that scales are different for the surface and deeper waters.

microbial variables that we examined corresponded to this peak (Fig. 2).

In the mesopelagic zone (200–1000 m), viral abundance varied from  $2 \times 10^5$  to  $1 \times 10^7$  particles  $\text{ml}^{-1}$ . Viral abundance was high in the high latitude and low in the low latitude. In the bathypelagic layer ( $> 1000$  m), viral abundance varied from  $1.0 \times 10^5$  to  $2 \times 10^6$  particles  $\text{ml}^{-1}$ . In the upper part of the bathypelagic layer, the abundance was high in the high latitude, and low in the low latitude, which is similar to that in the mesopelagic layer. In the deeper part of the bathypelagic layer, the distribution patterns were complex (Fig. 2).

When analyzed by model II regression using all the data set, we found that viral abundance (VA) was significantly correlated with bacterial abundance (BA) in logarithmic scale ( $\log VA = 2.187 + 0.821 \times \log BA$ ,  $r^2 = 0.89$ ,  $p < 0.001$ ,  $n = 761$ ). For this large scale, 90% of the variations in viral abundance is accounted for by bacteria abundance. The slope was significantly less than 1, which indicates that the relationship between VA and BA is nonlinear.

Viral to bacterial abundance ratio (VBR) is another indicator for the relationship between viruses and bacteria. By plotting VBR with depth, we found an increase of VBR along depth. In the surface and mesopelagic waters, 50% of VBR were in the range of 10–22, which is within the range in literature. However, when compare with the VBR in the open ocean from limited references ( $\sim 1$ –10, e.g. Weinbauer et al. 2003), our results are obviously higher. In the bathypelagic waters, VBR increased, reaching an average of about 40 at the bottom layer. On the other hand, distribution of VBR was not homogenous. High values occurred in the deep water of mid latitudes of both hemispheres (Fig. 3).

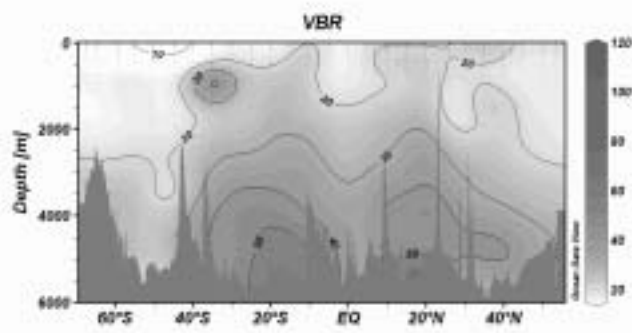


Fig. 3 Distribution of viral to bacterial abundance ratio (VBR) in the central Pacific.

The reason that VBR is significantly higher in deep waters might be that viruses encounter less risk of inactivation from UV light, protease, DOM/colloids and grazers. In such environments, viruses can “wait” for a long period of time until they meet hosts because viruses need no maintenance cost. There might be other sources for the high VBR such as desorption from sinking particles, lateral transportation, and resuspension from sediments. If the speculation is true, interesting questions show up like how old the viruses are in deep ocean? It’s worthy of further study and thinking about questions concerning the oceanic water transportation and evolution.

In conclusion, the present study found VBR is high in the ocean, and VBR increases with depth. High VBR occurred in the deep water of the mid latitude of the both hemispheres, suggesting that deep water could be a huge reservoir of viral genes.

## 安定同位体を用いたタンガニイカ湖シクリッドの食物網の解明

武山智博 (理学研究科・COE 研究員)

アフリカ大陸の東部を南北に走る大地溝帯には、東アフリカ大湖沼群 (East African Great Lakes) が広がっている。一般的な湖は、河川が運ぶ堆積物によって徐々に埋まってしまうが、これら大地溝帯の古代湖は、現在も地殻が少しずつ裂け続けている割れ目に形成されたため、長い歴史を持っている。これらの湖は、カワズメ科魚類 (シクリッド) が適応放散した「進化の実験場」として、多くの研究者の注目を集めてきた。このような湖の一つタンガニイカ湖には、様々な形態と生態をもつ 170 種以

上に分化した固有のシクリッドが生息し、全魚種の半数以上を本グループが占めている。とりわけ、沿岸域は種の多様性が高く、藻類食・ベントス食・動物プランクトン食・魚食・鱗食といった様々な餌ギルドが発達している。さらに、ギルド内では近縁種がニッチをめぐる争っている。こうした複雑な生物間相互作用である食物網が、数個の系統群によって形成されたことはタンガニイカ湖生態系の大きな特徴である。

私は 2003・2005 年のタンガニイカ湖調査隊に参加さ

せて頂く機会があり、脊椎動物で他に例のない一夫多妻的な協同繁殖を行うシクリッドを研究しています。また、2005年からは2ICOEプロジェクト「古代湖の生物多様性と生態系機能に与える人為影響の定量的評価」のメンバーと共に、安定同位体を用いた琵琶湖とタンガニカ湖の沿岸生態系における食物網構造の解明を進めています。ここでは、タンガニカ湖沿岸食物網の高次機能群を構成するシクリッドの餌資源利用様式について、安定同位体分析の結果を紹介します。また、その結果を最近の分子系統解析と照合しながら、食物網形成の進化的プロセスについても考えてみようと思います。

従来の魚類の食物網研究では、胃内容物の分析からそれぞれの種の資源利用様式を記載する方法が用いられてきた。タンガニカ湖沿岸のシクリッド群集でも、この方法で食物網が明らかにされ(堀 1993; Hori et al. 1993)、群集全体では幅広い餌資源を利用している一方で、同じ餌資源を複数の種が利用しているという、複雑な食物網構造が見て取れる。胃内容分析は餌生物を直接的に把握できるが、いくつかの問題点もある。例えば、餌の同定に熟練と多大な労力が必要なこと、栄養段階やニッチなどを連続的・定量的パラメータとして扱うことが難しいこと、実際に同化された正味の餌資源利用に関する情報が得られないこと、などがある。近年、これらの問題点を解消する食物網解析ツールとして安定同位体分析が用いられるようになった。この方法では、生物体を構成する主要元素である炭素と窒素の安定同位体比を測定することにより、餌資源利用を定量的に評価し2次元平面上に食物網構造を視覚的に表現すること、栄養段階を推定することなどが可能となる。なお、炭素安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ )は一次生産者の種類を、窒素同位体比( $\delta^{15}\text{N}$ )は栄養段階をそれぞれ示す。



写真1 Kasengaポイントの岩礁域。大型の藻類食シクリッドが隙間のないほどのナワバリを張っている。

安定同位体分析用のサンプリングは、タンガニカ湖南端に接する国ZambiaのMpulunguという町の近くにあるKasengaというポイントで、2005年11月に行われた(写真1)。岩礁域と砂域からなるKasengaポイントは、タンガニカ湖の中でも、沿岸性のシクリッドの密度・多様度とも比較的高い場所である(Hori et al. 1993)。このポイントに出現する大部分のシクリッド53種と、餌生物として10種を分析に用いた。

シクリッドと餌生物の炭素・窒素同位体比の平均値の分布を図1に示す。シクリッドは学名で、餌生物は日本語でそれぞれ示す。炭素安定同位体比から見ても、沿岸性シクリッドは多様な餌資源を利用していた。また、いくつかの種間で見られたプロットの隣接や重複は、餌資源の利用様式が種間でそれほど違わない、すなわち餌ニッチがかなり近いことを示している。似たような餌資源を利用する複数の種が共存できているのは、例えば襲い分け(堀 1993)のような採餌行動の種間差や、微生物場を違えていることによると考えられる。また、胃内容分析の結果と比較すると、一部の藻類食シクリッドを除き、胃内容分析と同位体分析の結果はそれほど一致せず、それぞれのシクリッドは、複数の餌資源を利用していると考えられる。

炭素・窒素同位体比に基づきクラスター分析を行うと、4つのクラスターに分類された(図1の楕円A~D)。最近の分子系統解析の結果(Salzbürger et al. 2002)と併せて検討すると、それぞれの種の安定同位体の値は系統(Tribe: 族)ごとにまとまったクラスターを形成しなかった。これは、系統関係の近いTribe内のシクリッドで、異なる餌機能群が出現したことを示す。さらに、種数の多い2つのTribe(LamprologiniとTropheini)において、各種の体サイズと栄養段階(窒素同位体比)の関係を検討した(図2)。Lamprologiniでは、様々な餌資源を利用しているが、体サイズが大きいほど、栄養段階が高くなる傾向があった。これは、小型の種では植物食、中型の種では動物食(エビや水生昆虫)、大型の種では魚食という、体サイズと利用餌資源との対応関係によると考えられた。このTribeでは、ギルド内捕食に有利に作用する魚食・大型化、という進化的傾向があると推測された。Tropheiniでは、小型で藻類食のものから、サイズはそのまま動物食化、あるいは捕食回避に有利な藻類食で大型化という進化的傾向があると推測された。分子系統学的解析によりタンガニカシクリッドのTribe間の系統関係はほぼ明らかになっているが、Tribe内についてはまだ十分なデータがない。上記2つのTribeにおける詳細な分子系統データが得られれば、推測されたような体サイズと栄養段階の進化的傾向が、実際に系統関係と一致するかどうか検討することが可能となるだろう。

沿岸性シクリッドの窒素同位体比は、おおよそ3から9の範囲に分布していた。約3%の窒素同位体比の変化で栄養段階が一つ上がるとすると、シクリッド群集のみ

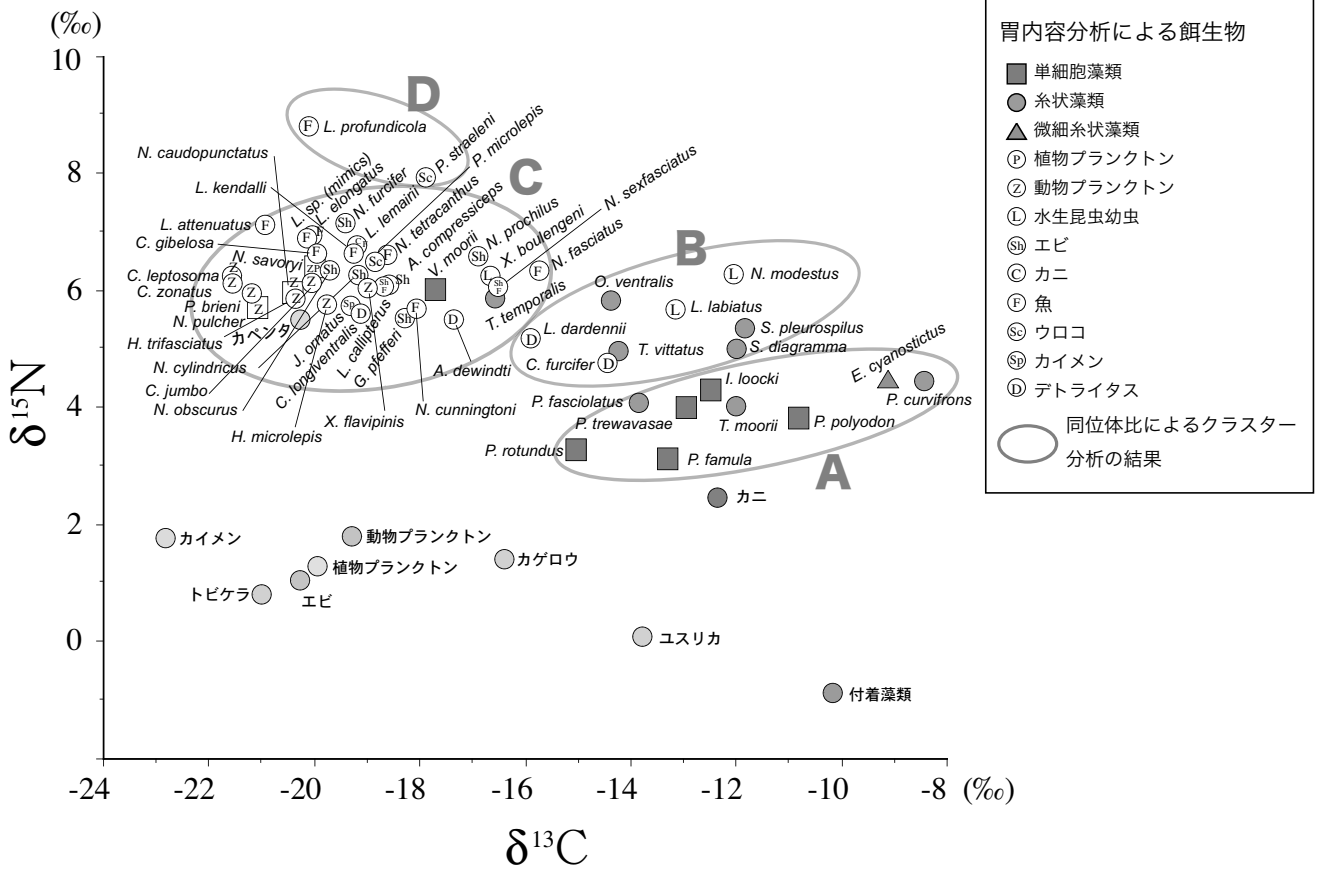


図1 シクリッドと餌生物の安定同位体比の分布

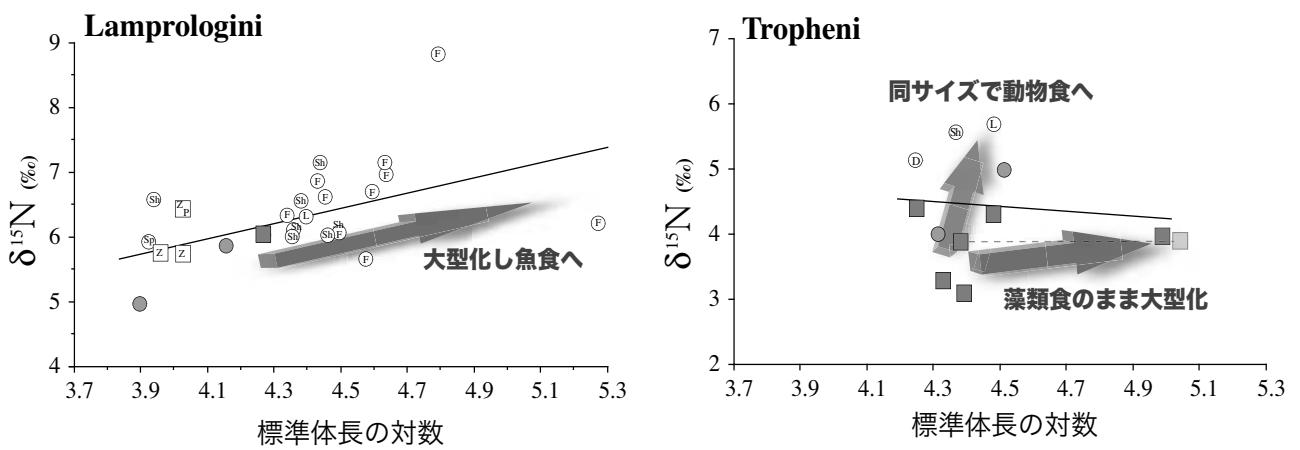


図2 Tribe ごとの体サイズと窒素同位体比 (栄養段階) の関係

で形成される食物網の栄養段階は、2程度であると推定された。コイ科魚類が適応放散した古代湖として知られる琵琶湖では、コイ科魚類により形成される食物網の栄養段階は1程度であり、タンガニカシクリッドの高次餌機能群の複雑さがうかがえる。この違いは、コイ科とカワスズメ科の系統的な違いを反映しているだけかもしれないが、おそらく2つの湖の歴史の違い(琵琶湖:約200万年、タンガニカ湖:約500–2000万年;遊磨1993)も関係しているだろう。東アフリカの古代湖の一つビクトリア湖では、過去1万数千年の間に、現在生息しているシクリッドの多くが適応放散したと考えられている(Johnson et al.1996)。タンガニカ湖に比べ、かなり短い期間に進化したビクトリア湖のシクリッド群集では、どのような食物網が構築されているのか興味を持たれる。

以上のように、安定同位体分析によって、タンガニカ湖の沿岸性シクリッド群集が構成する食物網の構造と栄養段階を定量的に評価し、さらに分子系統のデータを組み合わせることによって、餌資源利用様式の進化的傾向を推測することができた。しかし、古典的な胃内容物分析もやはり重要である。例えば、体サイズと栄養段階の関係が分かったとしても、それがどういった餌資源を利用したこと起因するのかは、胃内容物の情報によって補完されるからである。

最後に、この研究に関わっているプロジェクトメンバーの皆さん(京大生態学研究センターの奥田 昇・陀

安一郎・永田 俊、京大理学研究科の堀 道雄の各氏)、調査をサポートして下さった現地のスタッフの皆さん(Department of Fisheries of Zambia, Lake Tanganyika Research Unit)と2005年タンガニカ湖調査隊の皆さんに、お礼申し上げます。

#### 参考文献

- Hori M, Gashagaza MM, Nshombo M, Kawanabe H (1993) Littoral fish communities in Lake Tanganyika; irreplaceable diversity supported by intricate interactions among species. *Cons Biol* 7:657-666
- Johnson TC, Scholz CA, Talbot MR, Kelts K, Ricketts RD, Ngobi G, Beuning K, Ssemmanda II, McGill JW (1996) Late pleistocene desiccation of Lake Victoria and rapid evolution of cichlid fishes. *Science* 273:1091-1093
- Salzburger W, Meyer A, Baric S, Verheyen E, Sturmbauer C (2002) Phylogeny of the Lake Tanganyika cichlid species flock and its relationship to the Central and East African Haplochromine cichlid fish faunas. *Syst Biol* 51:113-135
- 堀 道雄 (1993) 群衆内の多様な種間関係と他種共存. 堀道雄編:タンガニカ湖の魚たち—多様性の謎を探る(シリーズ地球共生系 6) 平凡社, pp 120-142
- 遊磨正秀 (1993) タンガニカ湖の自然保護. 堀 道雄編:タンガニカ湖の魚たち—多様性の謎を探る(シリーズ地球共生系 6) 平凡社, pp 224-239



## センターでの生活を振り返って

本庄三恵

生態学研究センターでは修士・博士課程の間、7年以上お世話になりました。学位を取り、8月からは総合地球環境学研究所(地球研)でプロジェクト研究員として働くこととなりました。

思い起こせば、生態学研究センターに入ったのは、当時センターの院生で私の所属する大学のTAをされていた野崎健太郎さんに川端善一郎先生を紹介していただいたことがきっかけです。モデル実験生態系であるマイクロコズムを用いた研究をしようと思い、入学しました。しかし、入学直後の4月になって、水の中のウイルスの研究をしないか、という話になりました。そのころの私は、ウイルスとバクテリアの違いもよくわからない状態でした。「水域生態系には非常にたくさんのウイルスが存在し、バクテリアを殺していることが分かってきた。ウイルスの感染によりバクテリアは細胞が破壊され、水中に細胞溶解物質が放出される。そして、この細胞溶解物は再び別のバクテリアに利用されると考えられる。これは今まで考えられていなかった物質の循環経路であり、ウイルスは水域生態系で物質循環に重要な役割を果たしているかもしれない。」と聞き、なんと面白そうな研究だ!とすぐにそのテーマに乗り換えてしまいました。修士では、分かっていないことを明らかにすることの面白さを知りました。大学の頃の環境とは異なり、

まわりには博士課程の方やポスドクの方がたくさんおられ、また先生方が熱心に研究の話を読まれることは、私にとって刺激的で、研究に魅力を感じさせるには十分でした。入学した当初は、まさか自分が研究の道に進むとは少しも考えていませんでした。

博士課程では、同じウイルスでも、アオコの形成種を殺すウイルスという特定のウイルスに着目し、修士課程での物質循環とは異なるテーマで研究を行いました。また、用いる手法も新しく、1からのスタートという感じでした。最初はアオコを殺すウイルスの単離を試み、うまくいかずかなり苦労しましたが、実験が思い通りに行かない時にどうするのかを常に考えてきたことは、大変貴重な経験だったと感じています。

地球研では、より広い分野の研究者の方々と接する機会が増えます。これからも、新しいことにチャレンジすることを忘れず、研究を進めていきたいと思えます。

最後になりましたが、これまでセンターでの研究活動を支えてくださった、先生方、事務や図書の方々、どうもありがとうございました。また研究以外の面でも支えてくださったポスドクや院生みなさま、本当に長い間ありがとうございました。そして、これからもよろしく願いいたします。

### 編集後記

・研究費の申請書書き、学会関連の仕事と、いろいろな仕事が入ってきて書きかけの論文も全然進みません。まあ、誰しも事情は同じでしょうし、泣き言をいっても始まらないのですが…。これからも学会や学位関連の行事とやるべきことが目白押しですが、なんとか頑張って乗り切りたいと思います。(山内 淳)

京都大学  
生態学研究センターニュースの問い合わせ先  
京都大学生態学研究センターニュース編集係  
〒520-2113 滋賀県大津市平野2丁目509-3  
Tel : (077) 549-8200  
Fax : (077) 549-8201  
E-mail : cernews@ecology.kyoto-u.ac.jp