



# 陸の水

==== No. 51 ====

日本陸水学会東海支部会  
 ニュースレター2011年10月15日  
 発行：日本陸水学会東海支部会  
 連絡先：〒487-8501 愛知県春日井市松本町  
 1200番地  
 中部大学 応用生物学部 環境生物科学科  
 Tel：0568-51-1111  
 Fax：0568-52-6594  
 E-mail：somiya@isc.chubu.ac.jp

## 2011年「陸水サマースクール」の報告

静岡大学 工学部 戸田三津夫

今年のサマースクールは、陸の水No.50で案内させていただいたように静岡県西部の天竜川、遠州灘、浜名湖、佐鳴湖を一つの水域をとらえて、浜松市内をぐるりと回りました。

-----このような行程でした-----

27(土) 12:40ころ、佐鳴湖漕艇場に集合  
 北岸管理棟にて佐鳴湖の話聞く

- ★「きれいな佐鳴湖を取り戻すために」  
 浜松土木事務所 企画検査課 長尾様
- ★「ヤマトシジミ再生への取り組み」  
 静岡県立浜松北高校 辻野先生

15:00ころ「金原明善記念館」その後天竜川を眺める

16:30ころ 中田島放流会場着 アカウミガメ放流



金原明善を紙芝居で理解  
 (あばれ天竜!)



波が高いので、ここから出ない!



この日はふ化が少なく、子どもたち優先



大人もついにんまり



すぐに旅立つもの、波に戻されるもの

18:30分～19:00ころに宿舎着（湖西市新居町「清風荘」）

勉強会

★「佐鳴湖の自然観察～春夏秋冬～」静岡県農林技術研究所果樹研究センター 高橋様

★「天竜川漁協の未来はあるか」天竜川漁協組合長 秋山様

～ お待ちかねの懇親会 ～

28（日）7:30ころ 朝食

10:00ころ ゆっくりチェックアウト

10:30ころ アサリ漁で選別除外された貝類を  
村櫛漁港で観察（ツメタガイなど）

11:30ころ 記念撮影後、浜名湖体験学習施設  
「ウオット」（水族館）観覧、解散



放流したアカウミガメの子ども

講演4件は子どもたちにはちと退屈だったかもしれません。話題は、佐鳴湖の水質、ヤマトシジミの復活、佐鳴湖の自然、天竜川でした。この地の水系が、天竜川の影響を受け、その水は遠州灘を西進し、浜名湖、佐鳴湖、伊良湖、遠く三河湾、伊勢湾まで達しているはずです。天竜川に相次いで大型ダムができてから、水と魚に変化が現れ、浜がやせウミガメの卵が流され、浜名湖では塩水化が進みアサリの漁獲が減り、ツメタガイや真水の嫌いなタコまで増えました。三河湾でも異変があるようです。水系が陸水でちゃんと繋がっていることを実感していただけましたら、今回のサマースクールにはるる来ていただいた甲斐があったと思います。



アサリ漁で選別除外された貝類



## 2011 サマースクール資料

静岡大学 工学部 戸田三津夫

27日（土）昼 佐鳴湖北岸管理棟にて

★講演「きれいな佐鳴湖を取り戻すために」 浜松土木事務所 企画検査課 長尾様

集合のあと、西岸周遊道路を通過して北岸管理棟へ移動。佐鳴湖は、二級河川新川の一部とされており、管轄は静岡県です。佐鳴湖の状況について管理者の立場から長尾さんに説明していただきました。佐鳴湖流域の土地利用の変遷、生活、産業、面源負荷の状況、水質の変化など、佐鳴湖のおかれていますだいたいの状況を分かっていただけたと思います。佐鳴湖関係の資料も配布していただきました。



★講演「ヤマトシジミ再生への取り組み」 静岡県立浜松北高校 辻野先生

佐鳴湖へのヤマトシジミの再導入活動に精力的に取り組んでいる辻野先生から、水質が悪化する前には佐鳴湖にもヤマトシジミがいたこと、汽水域でヤマトシジミが重要な生き物であることを聞きました。そして、生活系、産業系などの負荷が下水道整備などにより削減効果をあげたあとの、安定した生態系の実現に向けてヤマトシジミの再導入の意義、佐鳴湖でのシジミ飼育実験、種苗生産などの成果、現状について詳しく説明していただきました。佐鳴湖育ちのシジミの実物も見せていただきました。

★見学「金原明善記念館（生家）」、その後天竜川を眺める

天竜川のそばの資産家の家に生まれ、天竜川治水と上流域の植林活動に私財を投じて尽くした金原明善の生涯について、まず、紙芝居で子どもたちと一緒に学習し、手紙や測量器具、91歳の晩年に山に視察に行く際に実際に乗ったカゴなどの資料をみました。その後、近くの天竜川堤防に向かい、現在の天竜川を眺めました。

★体験 遠州灘中田島海岸 アカウミガメ放流（夕方）

浜松市の遠州灘海岸でアカウミガメの保護活動をしている「サンクチュアリNPO」

<http://sanctuarynpo.jp/>のウミガメ放流会に参加しました。全国的に保護の方法については諸説諸主張があります。サンクチュアリでは、一貫してパトロール→卵の保護（ふ化場へ移動させる）→ふ化したカメを放流するという方法をとっています。この日は風があり波が非常に高く、荒々しい遠州灘でした。ふ化した子ガメの数が少ないということで、大人は全員にはわたりませんでした。時期を通じて500円で参加できます。



27日（土）夜、宿舎にて

★講演「佐鳴湖の自然観察～春夏秋冬～」

静岡県農林技術研究所果樹研究センター 高橋様

佐鳴湖で奥様と二人で「佐鳴湖に親しむ会」を毎月、累計**280**回以上開催している高橋さんに、会の概要と佐鳴湖の自然の変化について解説していただきました。毎回の対象は、魚、昆虫、植物、化石など多岐におよび、回ごとに、「冬の木の芽は百面相」、「春の花の色はなに色が多い?」、「湖岸のバッタの飛距離比べ」などユニークなテーマを設定して活動しておられます。説明では、「春の花の色はなに色が多い?」などの例を挙げて、実際に参加者に観察をしてもらい、時には思わぬ結果になることも聞きました。**280**回という数字にも圧倒されますが、地道に継続して会を運営されていることにも敬服しました。

★講演「天竜川漁協の未来はあるか」天竜川漁協組合長 秋山様

秋山様には、日本でも早期からダム開発が進められてきた天竜川の下流域の漁協として、やや自虐的でショッキングなタイトルで話をしていただきました。天竜川の概略、ダムの話、そのため川とアユに大きな影響があることをうかがいました。アユについては、精力的な調査研究をしており、天竜川漁協は全国の漁協の中でも先進的で際立った存在のようです。アユが思わしくないため、近年、遊漁券が販売不振にあること、組合員の高齢化など様々な問題を抱えていることなどもなかなか聞けない話でした。川下りの船の転覆事故のあとで、漁協が万が一のために購入した新造船が思いがけず役立ってしまったことが残念だったという話もありました。

28日（日）

★見学 アサリ漁で選別除外された貝類を村櫛漁港で観察

当初予定していた角立網の漁がないということでしたので、2日目のメニューとしては、浜名湖で最重要な水産資源であるアサリについて見学をしました。貝の漁は、資源さえあれば一定の漁獲が持続して期待できるため魅力的です。近年では、全国的に資源量が少なくなり価格も上昇気味です。ところが最近では、汽水湖とされてきた浜名湖の塩分濃度が上昇し、漁場付近で**25%**くらいあります。生物種にも明確な影響が見られ、マダコやツメタガイ、サキグロタマツメタ（外来種）など海産のアサリ捕食者が増えています。浜名湖自体の水質も改善の方向に向かっており、今度はアサリの餌不足が懸念されています。この日は、浜名漁協のアサリ荷揚場である村櫛漁港に行き、アサリの検量、荷揚を見るとともに雑貝（出荷されない選別外の貝など）を観察しました。漁師はアサリ以外の貝を嫌うため有用なもの以外は雑貝の青いカゴに何でも入れます。したがって、ここに毎日通えば、値打ちのない泳がないものについては効果的に浜名湖の生物を観察、採取することができます。愛知県、三重県ではツメタガイを食用にすることもありますが、全国的なアサリの産地である愛知県との関連でも興味を持っていただいたのではないのでしょうか。



集合写真

\*\*\*\*\*

## 第 19 回 東海陸水談話会のご案内

下記の日程で秋の東海陸水談話会を開催いたします。非会員の方の参加も歓迎いたしますので、お誘い合わせの上奮ってご参加ください。なお、事前申し込み、参加費は必要ありません。

講演 1：「水田表面水は陸水か？」

木村真人氏（名古屋大学 農学部）

講演 2：「雄性発生をする淡水産シジミの不思議」

古丸明氏（三重大学 生物資源学部）

- ・ 日時：平成 23 年 11 月 25 日（金） 19：00～21：00
- ・ 場所：中部大学名古屋キャンパス（鶴舞）6 階大ホール
- ・ 住所：〒460-0012 愛知県名古屋市中区千代田 5-14-22
- ・ 電話：052-251-6326

JR 中央本線「鶴舞」駅名大病院口（北口）下車すぐ  
地下鉄「鶴舞」駅下車北へ約 100 メートル

HP：<http://www.chubu.ac.jp/location/index.html>

## 陸水での群集生態学 (2)

—河川連続体仮説—

(独) 土木研究所・自然共生研究センター

森照貴

今回は、河川が上流から下流へと、その様相が変化していくにつれ、群集がどのように変化していくのかを、陸域と水域のつながり、上流と下流のつながりをもとに提唱された河川連続体仮説 (River Continuum Concept、略して RCC) についてご紹介します。

### 【河川連続体仮説とは】

河川連続体仮説とは、Vannote et al. (1980)の論文にて発表された仮説であり、河川生態系を学ぶ上では欠かせない概念である。この論文には、様々な仮説が提唱されているが、今回、群集生態学と関わりの深い2つの仮説について紹介し、現在に至るまでの研究の進展と展望について紹介する。

### 【河川連続体仮説における2つの仮説】

#### 1. エネルギー基盤の流程変化と、それに応じた底生無脊椎動物群集の組成変化

山地を流れる上流域 (論文では河川次数 1-3 と定義) は、河川上部が河畔林に覆われているために、河床に光が届かず、付着藻類の生産性が低くなる。一方、周囲の河畔林から落葉落枝などの有機物が河川に流入するため、上流域における主要なエネルギー源は、陸域からの落葉を中心とした有機物となる。このような河川では、粗大有機物 (Coarse Particulate Organic Matter) を餌資源とする破碎食者 (Shredder) や、不定形の有機物を餌資源とする収集食者 (Collector) の、全体に占めるバイオマスの割合が大きくなり、付着藻類を餌とする刈取食者 (Grazer) の割合は小さい。一方、中流域 (河川次数 4-6) になると、川幅が広がることで河川上部が河畔林に覆われなくなる。そのため、十分な光が河床に到達し、付着藻類の生産性が高まる。河畔林から落葉などの有機物が流入するものの、上流域で流入した有機物が、物理的な破壊や生物による摂食により細くなり、微細有機物 (Fine particulate organic matter) として、中流域に数多く流下してくる。そのため、中流域における主要なエネルギー源は、付着藻類と上流より流下してきた有機物が中心となる。このような河川では、微細有機物を餌資源とする収集食者と付着藻類を餌とする刈取食者の、全体に占めるバイオマスの割合が大きく、粗大有機物を餌資源とするか破碎食者の割合は小さい。さらに、下流域 (河川次数 7 以上) になると、水深が深くなり、多くの浮遊物質が集積することで透明度が低下する。そのため、再び河床に光が届かなくなり、付着藻類の生産性が低くなる。下流域には上・中流域からは、多くの微細有機物が流下してくるため、下流域における主要なエネルギー源は、流下してくる有機物が中心となる。このような河川では、微細有機物を餌資源

とする収集食者が、全バイオマスの大部分を占め、破碎食者や刈取食者は少ない。破碎食者や収集食者、刈取食者を餌資源とする捕食者 (predator) は、いずれの流程にも存在しているが、全体に占める捕食者のバイオマス割合に関して、流程にそった明確な変化は存在しない。

このように、エネルギー基盤としての付着藻類の生産性、陸域から河川への有機物の流入、上流からその区間への有機物の流入のバランスは、流程に沿って変化する。そして、このエネルギー基盤の変化に応じて、餌資源と食べ方に基づいた摂食機能群 (破碎食者・刈取食者・収集食者・捕食者) のバイオマス割合は変化するというものである。

## 2. 水温の日周変動幅の流程変化と、それに応じた生物多様性の変化

河川水温は気温と同様に日周変動するが、その変動の範囲幅 (最大水温と最小水温の差) は流程に沿って変化する。河川上流域では、安定した水温を示す地下水源や湧水源と近接しており、河川上空が河畔林に覆われているため、水温の日周変動の範囲が小さい (つまり、最大水温と最小水温の差が小さい)。中流域になると、水源から物理的に距離が離れ、河畔林によって上空が覆われなくなることで十分な光が河川へと達する。そのため、水温の日周変動の範囲が大きくなる (最大水温と最小水温の差が大きい) ことが予想される。下流域になると、流量が多くなることで緩衝効果が働き、再び日周変動の範囲は小さくなる。幅広い温度変動は、より多くの種の成長や発達にとって、最適な温度を含むが、温度変動が狭くなると、多くの種にとって不適な条件となりやすい。そのため、このような日周変動の範囲幅の大きさと、多様性は正の相関関係にあることが予想され、水温変動の大きな中流域にて多様性が最大となると考えられる。

### 【河川連続体仮説に関する注意点】

河川連続体仮説の検証を行うためには、正確な理解が重要となる。上記で紹介した 1 つめの「エネルギー基盤の流程変化と、それに応じた底生無脊椎動物群集の組成変化」と 2 つめの「水温の日周変動幅の流程変化と、それに応じた生物多様性の変化」は混同されて用いられることがあるが、あくまで 1 つ目の仮説は底生無脊椎動物に関して、全体のバイオマスに占める各機能群の割合について論じているのみであり、流程に沿って各機能群のバイオマスがどのように変化するか、また、多様性がどのように変化するかについては論じていない。ただし、Vannote et al (1980) の仮説から、新しい仮説を提示することは十分可能である。2 つめの仮説に関して、Vannote et al (1980) は群集を Total community diversity と記している。1 つめの仮説と関連して、底生動物について検証されることが多いが、対象としている群集が底生無脊椎動物群集を意味しているのか、魚類群集を意味しているのか、それとも分類群を限定するものではないことを意味しているのか、ここでは述べられていない。また、流程に沿って変化する水温の日周変動幅に注目しているが、河畔域からの影響の度合いや底質、流量などの要因も、流程に沿った生物多様性の変化にとって重要であろうと補足している。

## 【河川連続体仮説の検証結果】

河川連続体仮説で提示された、流程に沿った複数のパターンについては、個別に検証が進められてきた。例えば、エネルギー基盤については、Rosi-Marshall & Wallace (2002) や McTammany et al (2003), Webster (2007) などが、底生無脊椎動物群集の組成変化については Grubaugh et al (1996) や Shieh et al (1999) などが、多様性については Clarke et al (2008) や Roberts & Hitt (2010) などが検証結果を示している。これまで、流程に沿った各パターンについては、肯定的な結果も否定的な結果も、どちらも示されており (Vinson & Hawkins 1998, Clarke et al 2008)、常に自然界で見られるパターンとは言い難い (Allan & Castillo 2007)。特に、流程に沿った多様性のパターンに関して、数多くの報告があり、中流で最大となるパターンは、底生無脊椎動物群集については多く観察されている (Clarke et al 2008)。しかし、バイオフィームや流水中のバクテリア (Leff 2000, Xu & Leff 2004, Kobayashi et al 2009)、藻類 (Mulholland et al 1995, Sabater et al 2008) については明確なパターンが示されておらず、魚類については、下流ほど多様性が高い傾向にあることが一般的に知られている (Roberts & Hitt 2010)。このように、Vannote et al (1980) による河川連続体仮説は不完全な点を多く含む。しかし、この仮説が重要ではないと扱うのは早計であり、河川連続体仮説は流程に沿って変化する河川生態系を、完全に理解する上での足がかりと捉えるべきであろう (Allan & Castillo 2007)。

既存研究の多くは流程に沿ったパターンに主眼を置くことが多く、そのパターンをもたらずメカニズムについての検証は、まだ十分行われていない。例えば、Vannote et al (1980) では、水温の日周変動幅が多様性に及ぼす影響について提示していたが、このメカニズムについても検証例が少ない (Vinson & Hawkins 1998)。また、パターンが見られなかった場合についても、どういったメカニズムで群集が形成されているのかについての検証はまだ少ない。近年では、常に環境要因だけで群集が説明できるわけではなく、中立説 (neutral theory) で代表されるように確率論的に群集構造が決まる面も多いことが示されつつある (Hubbell 2001)。例えば、地球全体で存在する多様性の緯度パターンを説明するのに、Mid-domain effect というものがあり (Colwell & Lee 2000)、これを河川に適用した研究例がある (Dunn et al 2006)。Mid-domain effect というのは、面積が限定された生息地の中では、環境が全く等しい、もしくは全く影響しなかったとしても、生息地の中央付近に、より多くの種が見られることを示すものである。これは、様々な分布範囲を持つ種をランダムに生息地の中に配置すると、生息地の半分以上の分布範囲を持つ種は、生息地の中心において必ず生息することになる。つまり、生息地の中心付近は、生息地の端点付近よりも多くの種が分布し、その結果として、高い多様性を示すことになる。わかりやすい説明としては、生息地を筆箱に例え、長い鉛筆は分布範囲の大きい種、短い鉛筆は分布範囲の小さい種とし、筆箱に短い鉛筆から、長い鉛筆まで、異なる長さの鉛筆を筆箱に入れる。筆箱を振り、鉛筆の位置がランダムになるようにして、筆箱の何箇所かを横に切り、各横断面にどれだけの鉛筆があるかを数える。すると、中央付近の断面に、より多くの鉛筆 (種) があることになるが、これは、筆箱 (生息地) の中央が、より多くの鉛筆 (種) にとって適しているからではなく、筆箱の半分以上の長さがある鉛筆は、筆箱の中央に鉛筆のどこかが必ずかかってくるためである。この説明を河川に適用し、源頭部と河口部が生息地の端点とすると、生息地の中心付近は中流域となる。つまり、流程に沿った環境の変化に関わらず、中流域の多様性が高くなると (モ



デル上では) 考えられる。このように確率論の面からも群集構造を説明可能なことが、近年になって多く示されつつあることから、環境要因と群集との対応に基づいた考え方や、Mid-domain effect のような確率性に基づいた考え方の両面から、検証を進めて行く必要があると思われる。

### 【河川連続体仮説の展望】

河川連続体仮説は、河川生態系を理解する上で数多くの示唆を与えているが、多様性の流程変化に関する、さらなる理解のためには、関係する 2 つの点に関して検証が必要と考える。まず、スケールの問題が挙げられ、単位面積あたりの多様性 ( $\alpha$  多様性) と、生態系全体の多様性 ( $\gamma$  多様性) の違いである。もうひとつは、流程に沿ったパターンを、ライン (線) として捉えるか、ネットワーク (網) として捉えるかである。

流程に沿って河川規模が異なるということは、生態系のサイズが異なることを意味し、大きな生態系サイズの方が、多くの種を含むことは一般的な傾向である。そのため、単に下流に向かうほど多様性 (種数) が多くなるというのは、生態系のサイズ効果が考えられ、多様性を比較する上では、単位面積あたりの多様性 ( $\alpha$  多様性) と、生態系全体の多様性 ( $\gamma$  多様性) を分離して考えるべきであり、二つの多様性は異なる流程変化を示す可能性が高い。このスケールの問題を取り扱う上で、個体数—種数関係や種数—面積関係が、流程に沿ってどのように変化するかを記載することは重要であり、この二つの関係性と一緒に関単位面積あたりの多様性 ( $\alpha$  多様性) と生態系全体の多様性 ( $\gamma$  多様性) を考えるのが良いと思われる。

また、河川は数多くの源頭部から始まり、最後は 1 本の河川となって海へ流れ込むという、樹木状のネットワーク構造になっている。つまり、1 つの河川には、数多く上流域が存在するわけである。そのため、上流域に生息する種群が、場所によって大きく異なっていれば、上流域全体での合計種数は多くなる。特に、底生無脊椎動物群集に関して、上流域の多様性は低いとされていたが、ネットワーク構造を考慮すると、必ずしも上流域で低くならない可能性が考えられる (Clarke et al 2008)。

以上のように、河川連続体仮説は発表されてから 30 年も経過しているが、今も数多く引用されており、検証するに値する仮説として、また観察されたパターンを説明する理由として、様々な論文に登場する。今後は、パターンの有無だけを議論するのではなく、今回、紹介した展望のように、パターンの有無を決定づける要因 (確率性も含む) が何なのか、また観察している多様性はこういったスケールで観察されているものなのかについて、深く検証していくべきであろう。

### 引用文献

Allan J.D. & Castillo M.M. (2007) *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*, 2nd edn. Springer, Dordrecht.

Dunn R.R., Colwell R.K. & Nilsson C. (2006). The river domain: why are there more species halfway up the river? *Ecography*, 29, 251-259.

Grubaugh J.W., Wallace J.B. & Houston E.S. (1996). Longitudinal changes of macroinvertebrate communities along an Appalachian stream continuum. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53,

896-909.

- Hubbell, S.P. (2001). *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Roberts J.H. & Hitt N.P. (2010) Longitudinal structure in temperate stream fish communities: evaluating conceptual models with temporal data. *American Fisheries Society Symposium*, 73: 281-299.
- Kobayashi Y., Kim C., Yoshimizu C., Kohzu A., Tayasu I. & Nagata T. (2009). Longitudinal changes in bacterial community composition in river epilithic biofilms: influence of nutrients and organic matter. *Aquatic Microbial Ecology*, 54, 135-152.
- Leff L.G. (2000). Longitudinal changes in microbial assemblages of the Ogeechee River. *Freshwater Biology*, 43, 605-615.
- McTammany M.E., Webster J.R., Benfield E.F. & Neatrour M.A. (2003). Longitudinal patterns of metabolism in a southern Appalachian river. *Journal of the North American Benthological Society*, 22, 359-370.
- Mulholland P.J., Marzolf E.R., Hendricks S.P., Wilkerson R.V. & Baybayan A.K. (1995). Longitudinal patterns of nutrient cycling and periphyton characteristics in streams –a test of upstream-downstream linkage. *Journal of the North American Benthological Society*, 14, 357-370.
- Rosi-Marshall E.J. & Wallace J.B. (2002). Invertebrate food webs along a stream resource gradient. *Freshwater Biology*, 47, 129-141.
- Sabater S., Artigas J., Duran C., Pardos M., Romani A.M., Tornes E. & Ylla I. (2008). Longitudinal development of chlorophyll and phytoplankton assemblages in a regulated large river (the Ebro River). *Science of the Total Environment*, 404, 196-206.
- Shieh S.H., Kondratieff B.C. & Ward J.V. (1999). Longitudinal changes in benthic organic matter and macroinvertebrates in a polluted Colorado plains stream. *Hydrobiologia*, 411, 191-209.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R. & Cushing C.E. (1980). River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 130-137.
- Webster J.R. (2007). Spiraling down the river continuum: stream ecology and the U-shaped curve. *Journal of the North American Benthological Society*, 26, 375-389.

\*\*\*\*\*

(編集後記)

連載企画「陸水での群集生態学」の初回とすることで、何をテーマに取り上げるのか、随分と考えました。色々考えたのですが、私は河川をメインフィールドとしているので、河川生態学分野で教科書に必ず登場し、4桁もの引用数を誇る Vannote et al. (1980) を取り上げることにしました。久しぶりに論文を読み直してみたのですが、新しく学ぶことが多く、自分自身、誤解していた面もありました。この論文が世に出て 30 年も経ち、古い論文と呼べるほどの時間が経過していますが、これからも多くの研究者が手に取る milestone と言える存在なんでしょうね。

(陸の水 編集担当：森 照貴)