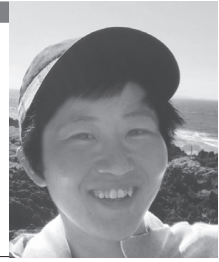


# 未知なる川の謎を追って

宇野 裕美 (生態学研究センター 特定准教授)



ご紹介ありがとうございます。京都大学生態学研究センターから来た宇野裕美と申します。今日は「未知なる川の謎を追って」ということで、川の不思議についてお話ししていきたいと思います。

私はこの京都大学生態学研究センターというところから来ました。私たちのセンターは、この京都大学から30分ほどの大津市のほうにあります。ここでは50人から100人、数十人の研究者が集まって生態学という学問を研究しています。生態学というのは比較的新しい学問でして、生態学研究センターというのも1991年にできて、今年でようやく30周年を迎えるところです。



さて生態学、皆さん聞いたことはおありでしょうか。生態学というのは、まだ皆さんがウィキペディアで調べる前に言いますと、「生態学とは、生き物と環境の間の相互作用を扱う学問分野である」ということで、自然の中での生態系の成り立ちについて調べる学問です。

**生態学: Ecology**

生態学とは生物と環境の間の相互作用を扱う学問分野である。

生物は環境に影響を与え、環境は生物に影響を与える。生態学研究の主要な関心は、生物個体の分布や数にそしてこれらがいかに環境に影響されるかにある。ここでの「環境」とは、気候や地質など非生物的な環境と生物的環境を含んでいる。

(by Wikipedia)

今日は、まず私がどのようにしてこのような壮大な生態系について興味を持つようになったのかということをお話して、その後どうしてそういう生態学という学問を調べていく必要があるのかというのを、私のその河川での研究を基にお話ししていければと思います。よろしくお祈いします。



ガキンちょの頃、小学生の頃、私はただひたすら魚を捕るのが好きでした。おそらくここにおられる皆さんの中にも、身近な近所の川で魚を捕って遊んだ経験がある方はいらっしゃるんじゃないでしょうか。そんな一人でした。私もひたすら魚を捕るのが好きで、行く川によって違う魚が捕れてとても楽しくて、水槽を家に何十個も並べていろいろな魚を飼っていました。



それが中学校、高校に行ったときに生物部というものがあり、その中で顧問の先生がすごく熱心で、毎月同じ川に連れ

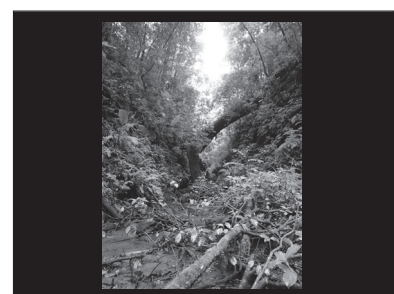
て行ってくださって、川で魚を捕るという経験をしました。その中で月によって捕れる魚が違ったり、場所によって違う種類が捕れたり、とても奥深いということを知らされたんですね。さらにその生き物の中、川の中でも私はこのタナゴという小さな小さな魚に興味をそそられました。

この魚のことをよく調べていくと、実はこのタナゴという魚、二枚貝、川の中にも二枚貝がいるのですけれども、その中に卵を産む。この二枚貝が生息している川じゃないと、このタナゴは生きていけないということを知ったんです。さらにこの二枚貝というのも、すごく面白い生態を持っていて、卵を産んでその小さな稚貝が分散していくためには、他の種類の魚がさらに必要だったりする。ということで、生き物と生き物の関わり合いということをすごく深く学びました。

こういうふうに関わり合いに興味を持って、私は京都大学理学部に進学しました。そこで理学部に行くともものすごくたくさん、いろいろな生き物が大好きな学生がいて、いろいろな人と知り合いになれました。それはまた学生ではなくて研究者、先生たちももちろんそうで、大学のこのやけん（野生生物研究会）とか言って、マニアックな生き物が大好きなサークルに入ったり、実は先ほど徳山さんともここで知り合ったりしたのですけれども、そういうところでサークルであったり、さらに実習がたくさんあって、研究林とかすごい自然、大自然がそのまま保護されているようなところに連れて行っていただいて、そこで自然を研究するといった経験をしました。

私は小学校、中学校、高校と本当に川の生き物に親しんできたのですけれども、実はその川は本当に都会の護岸されたような川であって、大自然の川というのはまた全然違った迫力があるのだということを知りました。

京都大学はそのフィールドを科学教育研究センターというところで、森里海連環学というのを推進していて、森は海の恋人といって、森から流れ出たものが川を流れて海に流れ込む。それが自然全体を回しているのだという話をしていたのですけれども、川に興味を持っていた私にはそれがすごく魅力的に見えて、あ、川が全てを担っているんだということで、大自然の、一方で大自然の中での森と、川と、海とのつなが



りというのがどうなっているのかというふうに興味を持って  
いきました。

それで壮大な河川を研究するに当たって、私は京都大学の  
交換留学で香港大学に行かせてもらったり、その後本格的に  
河川を研究するのであればアメリカということで、UCバー  
クレーの大学院の博士課程に進学して、河川の生態学を学ん  
できました。そして今日本に戻ってきて、より深く本来の大  
自然の成り立ちを知りたいということで、学生と共に研究を  
進めています。

さて、ここまで生態学を研究するに至った経緯についてお  
話ししてきました。私がそこまで情熱を傾けている河川、川、  
一体これは何なのでしょう。川はどんどんずっと上から下  
に水が流れ続けています。この水は一体どこから来るのでし  
ょうか。

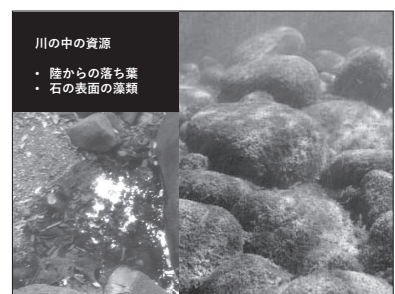
川の始まりは森です。森に降った雨がしとしとしと除々  
に流れ出てきて、小さなせせらぎを形成します。そしてそれ  
が合流して川となって最終的には海に流れ込む。こういった  
この集水域といったエリアに降った雨が集まって河川という  
ものが形成されます。

水が常に上から下に流れるもので、それに伴ってリンや窒  
素などの生物が生きていくために必要なさまざまな栄養や物  
質が、上から下に流されていくこととなります。これが多く  
の方が思い描く河川です。陸からのものが川を通じて海に流  
れていく、そして海の生態系を支えている。

川って本当にものを流しているだけなのでしょう。実は  
川の中にも生態系があって、その生態系のプロセスが実は森  
から川、海の全体をつないでいく上でとても大切な役割を果  
たしています。

さて、川の中にはいろいろな生き物がいます。その生き物  
たちはどういうふうにいるのでしょうか。これはヒント  
です。陸上の生態系では植物を一次生産者として、植物が  
光合成をして、二酸化炭素を有機物にして、その光合成され  
た有機物を食べることで、動物たちは生きています。

また湖や海では植物プランクトンが一次生産者としていて、  
それを食べるプランクトン、そしてそれを食べる魚といった



ふうには生態系は成り立っています。川では何がエサ資源となっているのでしょうか。実はこれは複雑なのです。一つは陸から落ちてくる落ち葉、それが実は大切なエサ資源。それから皆さん川に行くと石を拾うと、実はヌメヌメとして何かいろいろなものがへばりついています。それが藻類で、それが大事なエサとなっていたりします。

また石をひっくり返すと川の中にはたくさんの虫がいます。この虫たちが実はその藻類を食べたりだとか落ち葉を食べたり、そしてさらにそれを砕かれて細くなったものを食べている虫やら、さらにそのへんの他の虫を食べるような捕食者がいて、一次消費者というものが支えられています。

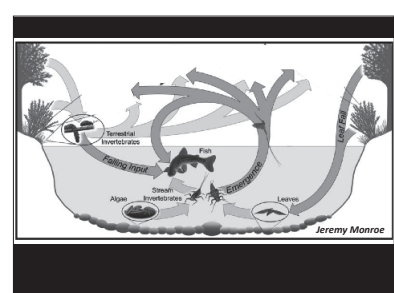
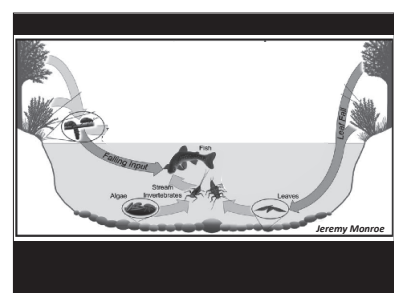
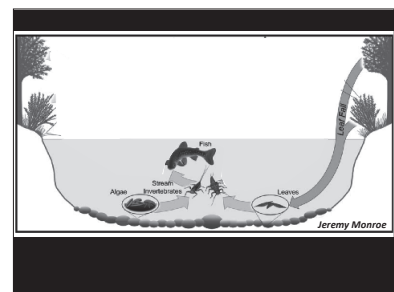
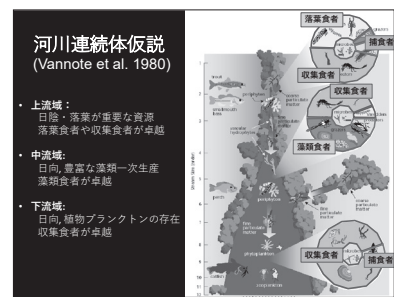
全体としては川の中の落ち葉と藻類というものが、それぞれの水生昆虫によって食べられて、川の一次消費者群衆というのが支えられています。

さて、この落ち葉と藻類、どういう場所でそれぞれ大事なエサなのでしょうか。これまでの研究で、この落ち葉と藻類というの、どちらが重要なエサかというのが、川の場合によって異なるということが知られてきました。

河川連続体仮説と言いまして、川の中ではとても有名な仮説なのですけれども、上流ではせせらぎが細くて樹木が川を覆い尽くします。そうするとたくさんの落ち葉が川の中に入ってきて、川の一次消費者たちは落ち葉を食べるやつらで占められます。

それがだんだんと流れ下って、川が大きくなってくるとどうなるのでしょうか。樹木が及ぼす影響は本当にわずか、端っこのほうだけになってきます。一方で川幅が広くなるということは直接太陽の光が川底に届く、そしてその川底にはたくさんの藻類が生えてくることになります。それで川が下に下ってくるとこの藻類食者の水生昆虫たちがたくさん増えてくる、というふうなことが知られています。

さて、ここまでで一次消費者の話をしました。そうしたら楽しい楽しい魚はどうなるのでしょうか。魚は皆さん今まで話してきたら分かるように、この水生昆虫を食べて成長しています。しかし、これをエネルギー計算してみた人がいました。すると、この水生昆虫の量だけでは、こんなにたくさんの魚が



川で維持できるはずがない。それでは一体魚は何を食べているのでしょうか。これまた、川は森とすごく結びついているということなのですけれども、樹木から落ちてきた昆虫も川の魚にとってはとても重要なエサだということが分かります。

ここまでの話だと、なんだ、結局、川は森に依存しているんだ、森の中から川にもものが流れてくる、それだけじゃないかということなのですけれども、実はこれは生き物を知っている人がよく見ると、すごく面白いことに気がきます。

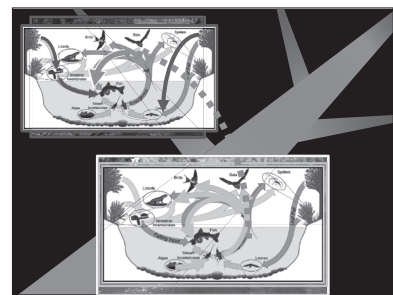
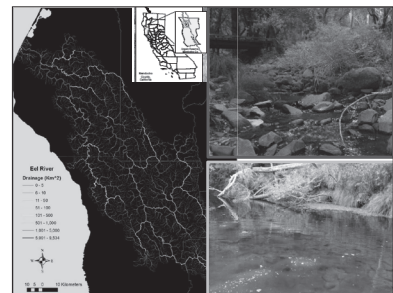
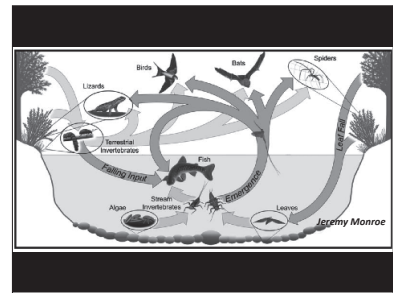
この真ん中にある水生昆虫。例えば、カゲロウや、カワゲラや、トビケラや、そしてトンボや。こいつら、実はみな水の中にいるときは幼体なのです。トンボがヤゴから羽化して空中を飛ぶように、多くの水生昆虫は成長すると川から出て行きます。この川から出てきた水生昆虫というのが、実は溪畔林の食物網にとってもとても大切なエサ資源となっていて、多くのトカゲや、鳥や、コウモリや、クモなどが、川から出てくる資源に依存して生きているということが分かってきました。

ここからはちょっと私の研究の紹介に移ります。ここまでで森と溪畔林というのは、切っても切れない密接な関係にあるということが分かってきました。それでは川全体の中では、上流から下流へこういうふうな食物網というのがどういふふうに変ってくるのでしょうか。

川というのは先ほど上流から下流と言いましたけれども、実は小さな河川がたくさん無数にあって、それがあらかゆるところで本流の大きな川に流れ込んで、大きな川と大河となっていきます。なので、こういう小さな溪流から大きな川までが網目状につながっているネットワークであると捉えることができます。

実際にはこういうふうな小さな小さな支流が、大きな河川に直接流れ込むという場面がたくさん見られるわけです。それぞれの場所ではどういふ食物網があるか考えて見ると、小さな小さな溪畔林では、先ほど言ったように木に川が覆われていて、陸上から入ってくる有機物というのが重要なエサ資源となります。

一方で本流の大きな河川のほうでは、太陽の光が燦々と降



り注ぎますので、藻類起源の川の中からの資源が陸上にたくさん  
の物質を送り出すことになります。よく考えると、こう  
いったとても違った食物網が隣り合って存在していて、この  
二つが関係し合わないのだろうか。

ということで、もしかしてこの本流から羽化した水生昆虫  
が、支流のほうの生態系も支えているのではないだろうか、と  
いう仮説で研究をしてみました。

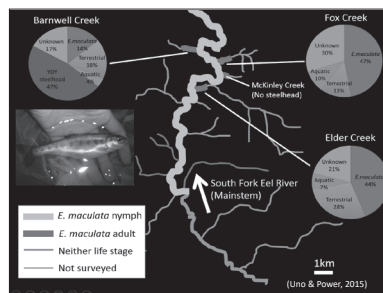
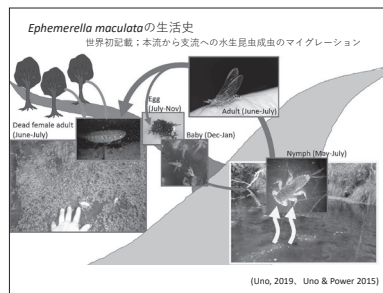
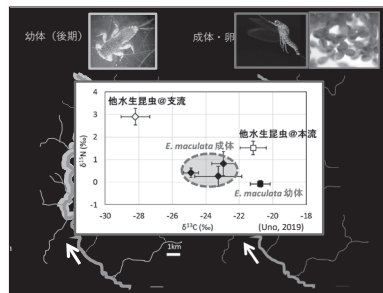
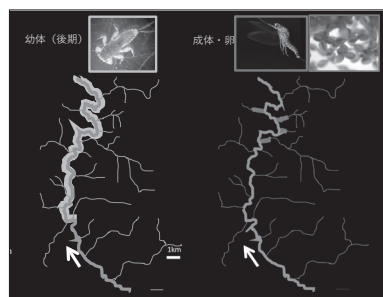
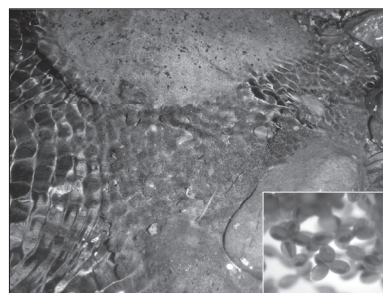
水生昆虫をひたすら川のいろいろなところで取って、成虫  
の飛んでいるやつと比べるわけです。虫がどこからどこに移  
動しているか、どんどん、どんどんこういうふうには調べるわ  
けですね。

これは粘着トラップと言って、ここに虫がぶつかるとそこ  
に貼りつきの刑にあって、虫が数えられるというトラップで  
す。こういう地道な研究をしていく途中で大発見に巡り合っ  
たわけです。

先ほど言った川の支流、その中には水生昆虫はあまりいな  
いはずでした。なのですが、よく見てみると、実は夏のある  
日、すごくたくさんの水生昆虫の固まりが見られたわけ  
です。ズームアップします。この小さな支流に本当にたくさ  
んのカゲロウの死骸が集まっている。これは一体何なのでしょう  
か。よく見てみると、夕方に同じ川に行くと、すごくたく  
さんの成虫が実は飛んでいて、そいつらがお尻のところにお  
卵をたくさん付けていて、川にどんどん飛び込んでいくわけ  
ですよ。何をやっているのかというと、川の底を見ると卵でい  
っぱい。この黒いもの一つ一つが顕微鏡で見るとこんな卵の形  
をしていて、ちゃんと目があるんですね、とても可愛い。

ということで何をやってたかということ、このカゲロウた  
ちは実は川の本流で育っていながら、羽化した後、成虫は支  
流のほうに飛んでいく。この河川の本流と支流の間を行き来  
するサケのような生活史を持っていることが分かったのです。

これは世界で初めての発見だったのですが、なんだこれ、  
ただの水生昆虫の行動やんげ、となるのですが、実はこれ  
はすごいことが分かったのです。このカゲロウたち、本流で  
すごくたくさん豊富なエサを食べて、エサ資源のとても少な  
い貧弱な支流に飛んでいきます。



ということでこのカゲロウの本流から支流への大移動は、支流に生息する捕食者にとって実はとても大切なエサなんじゃないかということで、より深く調べてみました。

実際にその支流に生息する魚が何を食べているかということ調べてみると、胃内容からとてもたくさんのカゲロウ、本流から飛んできたカゲロウが見られました。このことから、やはり本流からやってくるカゲロウが支流にいる魚にとって、とても重要なエサ資源なのではないかということで、実際にそれが生態系に及ぼしている効果というのを評価することにしました。

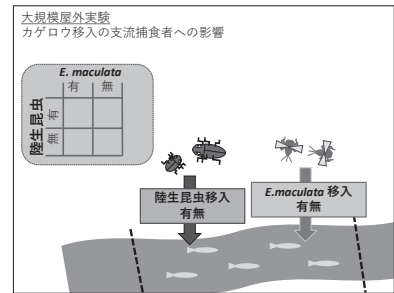
さて、生態学のそういった生き物の効果ってどうやって調べるのでしょうか。実際に野外で実験をするのです。どういふことをするかというと、野外の中でこういうふうにフェンスを立てて川の場所を区切って、魚の密度をまず調整します。それで他の虫が入って来ないように、こんな屋根に覆いを覆ったり、さらにそのカゲロウが入ってくるようにしたり、入ってこないようにしたりということで、カゲロウがいた場合といなかった場合で、生態系にどのような変化が表れてくるのかというようなことを調べました。

それで何を比較するのかというと、一番興味があるのは支流にいる魚がどれくらい本流からやってくるカゲロウの利益を被っているのかということで、その成長の割合というのを測ってみました。

実際にこれが結果なのですけども、このカゲロウが本流からやってくるカゲロウがいた場合には、いなかった場合に比べて、その成長が3倍にも拡大するということが分かりました。カゲロウは実際に飛ぶのは卵を産む時期だけですので、6月から7月だけなのですけども、魚の成長を覆って見ると、実はカゲロウが飛んでくる時期というのが、魚の成長にはとても効いていて、ぐんとその時期に魚が成長するといったようなことが分かってきました。

ということで、先ほど仮説としてあげたこの本流の生態系、食物網と、支流の食物網というのが、このカゲロウの大移動によって支えられているということが分かりました。

この大移動、支流の魚にとってとても大事なことが分かり



ました。というのは、この支流には、支流の水というのは本流の水に比べてとても冷たいのです。というのも地面から沸き出てきたばかりの水ですのでそのまま冷たい、太陽の光によって温められている本流に比べると冷たい。その生き物というのは温度によって生息域というのが本当に敏感に変わりますので、この温かい本流には生きていられないような、こういうイワナのようなサケ科の稚魚がすごくたくさんいるわけです。そいつらはこのカゲロウが本流からやってこなければ全然成長できない。ということでこの魚にとって、このたった一種のカゲロウがとても重要な役割を果たしているということが分かりました。

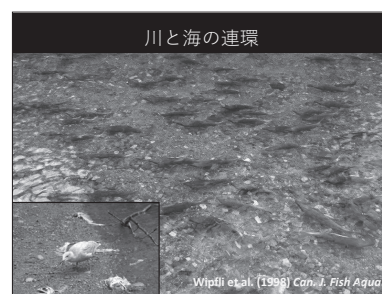
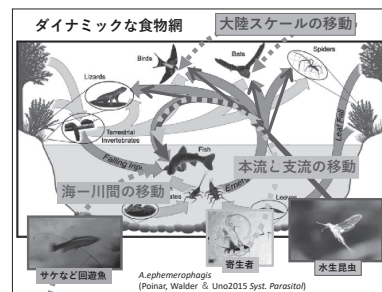
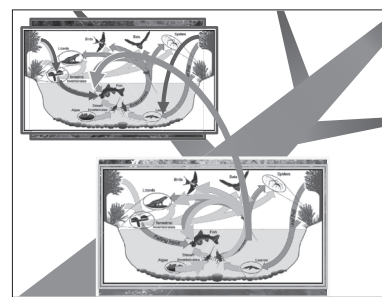
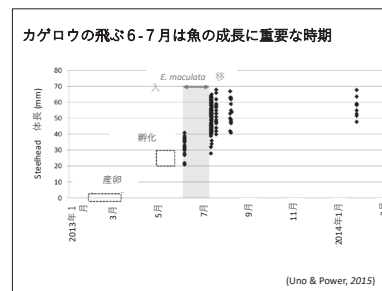
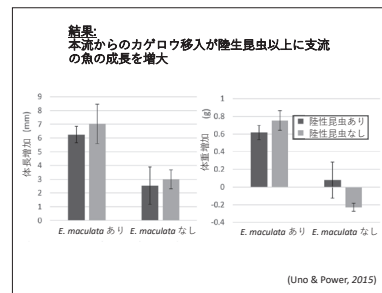
ということで最初にお見せしました川と溪畔林の食物網はダイナミックに関わり合っているというこの図、実はよく調べてみると、このカゲロウというのはこの川の外からやってきて、本流と支流の移動によって、このような外から三次元的にやってくるエサ資源であることが分かってきました。

さらによく調べてみると、このカゲロウには寄生虫がいて、その寄生虫も本流と支流の間を行き来している。さらにさらにこの図をよく見てみると、この真ん中にある魚、これはサケです。ということはサケも海からやってきた生き物で、さらにさらに上に乗っているこの鳥、これはツバメですよね。実は大陸スケールで移動してきたような生き物たちです。

ということで、この川の食物網は溪畔林と密接な関わりを持っているという話であったのですが、実はもっともっと大きなスケールで川のネットワーク、それから海とのつながり、それから大陸間の移動といったスケールで生き物たちが動き合って、関係し合っているということが分かってきました。

さて、ここまでの研究はアメリカの川でやったような研究でした。日本の川でもこのようなことが起こっているのでしょうか。皆さんの身近な川で、そんなに生き物は動いているのでしょうか。ということで、本来の河川ではどうなのかということいろいろ今、調べています。

日本の川というのは、アメリカとか大陸の川に比べてとても短い、島国ですから当然です。どうも調べていると日本の





川には、海からのつながりというのがとても大切になっていて、海から遡上してくる生き物の影響を強く受けています。川と海のごつながりの大切さという意味では、このサケの話がとも有名です。

サケはもちろん皆さんご存じ川で卵を産んで稚魚が海に下って、海で成長して、大きなサケがまた川に上がってくる。そして産卵したサケは、このように川の中で死んで、陸上の生態系にとって、とても大切なエサとなっていることが知られています。

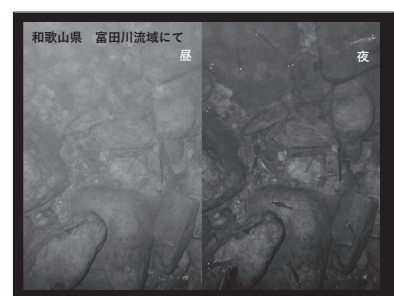
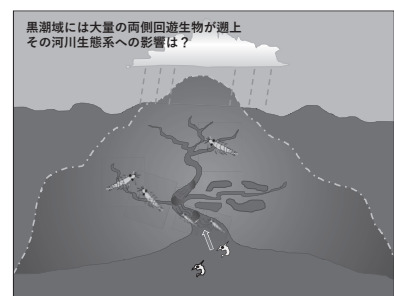
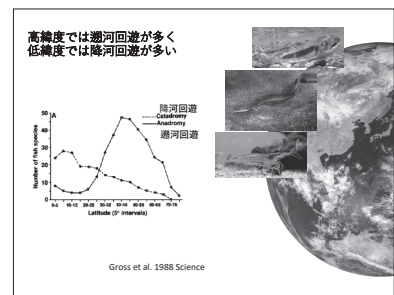
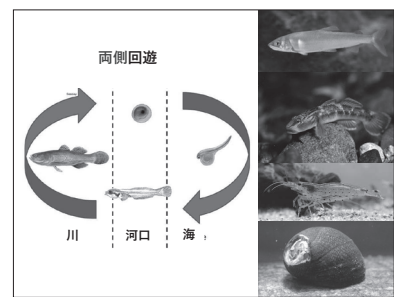
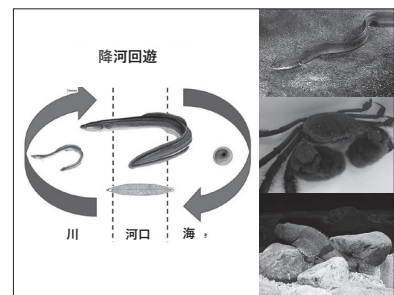
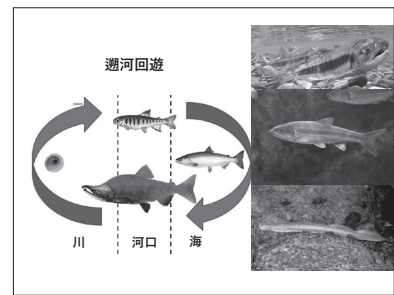
アラスカのほうでは、大量なサケが上がってくることによって、熊とかこのようなカモメが大量に生息できたり、さらにそのサケが死んだ後の死骸から出てくる栄養塩によって、周辺の樹木が大きく育つといったことまで知られています。

このサケは今申し上げたように、海で育って川に上がってくる魚として知られています。これは日本に、北海道にはこういうサケはたくさんいるのですけれども、この熊本とか、京都、和歌山のほう、本州のほうにはあまりこのサケは上がってきません。そうしたら、日本の川にとっては海から上がってくる生き物なんてどうでもいいのでしょうか。いえいえ、そんなことはありません。遡上してくるのはサケばかりではなく、実はいろいろな生き物が海と川の間を行き来しています。

有名なのは、このウナギですね。最近なかなか絶滅危惧種ということで食べられていないですけれども、このウナギは海で卵を産んで川に上ってきて、川で成長してさらにまた今度卵を産みに海に戻っていくという、サケとは反対の生活史を送っています。

このような生活史を持っているのは、ウナギだけではなくて、このモクズガニであったり、アユカケであったりとか、いろいろな魚もいるのですけれども、このようなサケとは違った回遊している生き物もいる。さらにさらに両側回遊と言いまして、先ほどの二つの回遊型とも違って、河口で卵を産んで基本的には川で育つといった生活史を持っている生き物もたくさんいます。

例えば、日本ではとても有名なアユなんかもこの生活史で、あと小さなハゼだとか、小さなエビや貝、たくさんの生き物



がこういった生活史を持っています。こういう両側回遊とか降河回遊をする生き物というのは、サケに比べるととても小さくてあまり人の興味をそそってきませんでした。ただ、この回遊型はこの地球の全球パターンで見ると、面白いパターンを見せていることが知られています。

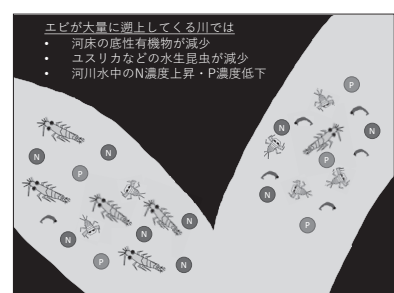
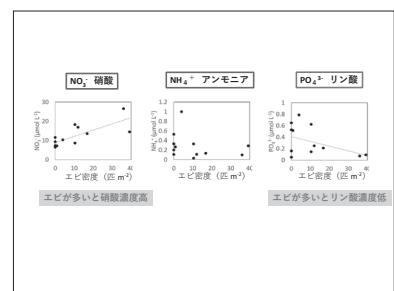
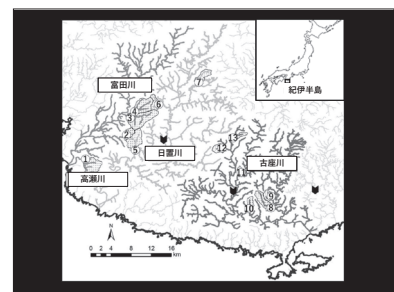
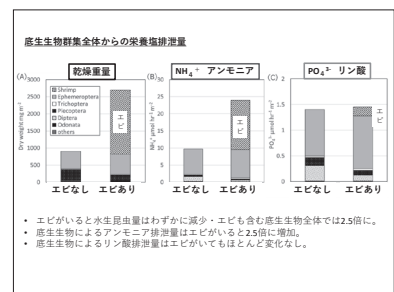
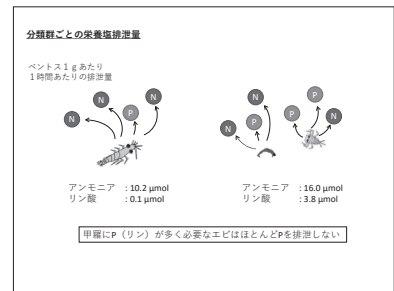
これは1988年の研究なのですが、この緯度ごとに魚の種数を調べてみると、低緯度、熱帯の地域ではこの降河回遊、ウナギとかエビとかのような生活史を持った生き物がたくさんいて、低緯度、寒いところで、先ほどのサケのような遡可回遊をする生き物がたくさんいると、こういったパターンがあるということが分かってきました。

川の研究がとても盛んなのは高緯度が多いのです。ヨーロッパなりアメリカなり。このサケの河川に及ぼす影響というのはよく知られてきたのですが、このような小さなエビやウナギなどが河川に及ぼす影響というのは熱帯地域ではあまり研究されてきませんでした。

日本には黒潮があります。南から暖かい流れを運んでくるので、日本の太平洋側の河川はとても熱帯の河川と似たようなかたちで、両側回遊生物が大量に生息しています。この大量に遡上してくるエビとか、ヨシノボリとかハゼの仲間ですが、河川生態系にどのような影響を及ぼしているのだろうかということ調べています。

これは同じ場所で撮った写真なのですが、和歌山の川です。昼間、何もいないやん。ただ、同じところに夜に行くと大量のエビがいるんですよ。このエビはみんな夜行性で、昼間に行ったら全然いるとは気づきもしないのですが、夜になると大量に石の下とかからもぞもぞ出てきて、川全面を覆い尽くすと。地元の人たちは知っていて、和歌山とか高知とかの人たちは、みんな家からエビタモという小さいタモを持ってきて、夜になると子どもが川に出てきて捕って食べるという文化が実はあったりします。

このエビも実は海からやってきます。ということで、このエビが河川生態系にどのような影響を及ぼしているのだろうか。今度また先ほどのように実験をしてエビを除去して研究をするのですが、なかなかエビの除去って簡単ではありま



せん。石の下に潜り込んでしまいます。

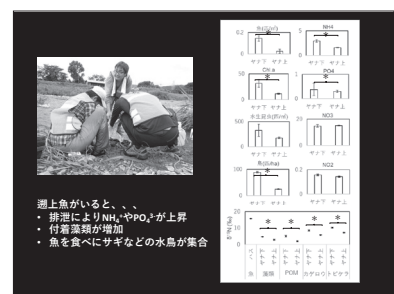
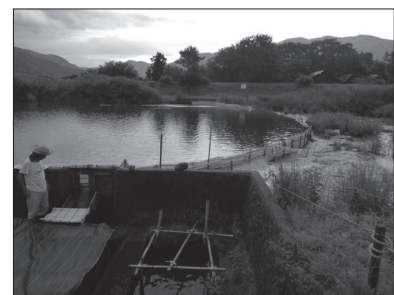
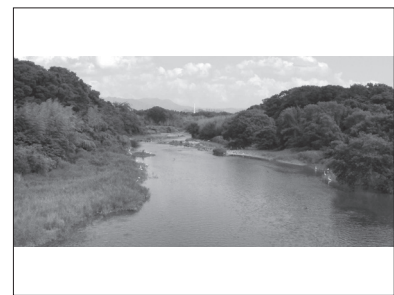
私たちはどういふことをするかというといふイノシシよけの電気柵を改造して、川底に置いてエビを選択的に除去するような装置を作って、エビのいるところ、いないところというのを使って、それが他の生物に及ぼす影響というのを調べてみました。

するとエビがいるところでは、下の有機物が、底生の有機物がなくなることが分かりました。エビがもしやもしや、もしやもしや有機物を食べます。もともといたような水生昆虫のユスリカとかが同じエサを食べていたので少なくなります。全体としてはエビが上ってくることによって、底生生物はすくく3倍にも量が増えるということが分かってきました。

何がすごいかというと、実はこのエビ、水生昆虫たちとは違った栄養塩の循環をしています。エビというのは甲羅がありますね。これまでの研究で甲羅の中にはたくさんのリンが必要とされていて、エビはどんどん、どんどんこのリンを取り込んでしまいます。一方で水生昆虫はそんなにリンは必要ないので、どんどん、どんどん窒素もリンも出していくと。エビがいた場合、いなかった場合だと、エビがいたら圧倒的にこのアンモニアとかリン酸の排泄量は増えるということが分かってきました。

実際にエビがいることによって、河川水中のリンとか窒素が異なってくるのかということ、和歌山地方のいろいろな川で河川の水質を比較してみると、エビの密度が高いほど窒素の濃度が高くて、リン酸の濃度は低いというふうなパターンが見られて、エビが大量に遡上してくる川では底生有機物が減少したり、ユスリカが減少したりするのですけれども、それだけではなくてリンとか窒素の栄養塩、森から海に流されるだけだと思っていた栄養塩の濃度までもが変化をするということが分かってきました。

このように生き物の遡上というのは、生態系に大きな影響を与えていて、琵琶湖でも実はたくさんの魚が遡上してきます。このように魚を食べるためにたくさんの鳥が集まってきたりして、その魚を捕るために漁師さんはヤナといったこういうトラップを、川全面を覆うようなトラップを仕掛けて、遡



上してくる魚を、それこそ一網打尽に捕っています。

私たちはこのヤナと言うのを使って、河川生態系全体に、遡上してくる魚が与える影響といったものも研究していて、この研究でもリンや窒素の栄養塩循環や生物の量にも影響が及ぶということが分かってきました。

ということで、最初に川は上から下への資源移動をする場だと。通路だという話をしました。しかし、これまで紹介をしたような研究から、大量な生き物が海から川に上がってきて、さらに川の本流から支流へ上がって、さらにその川から陸上に上がっていくような生き物の大移動があることが分かってきました。

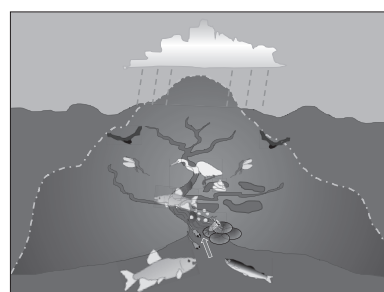
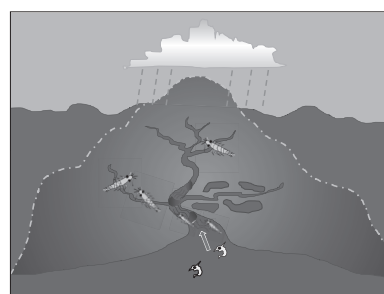
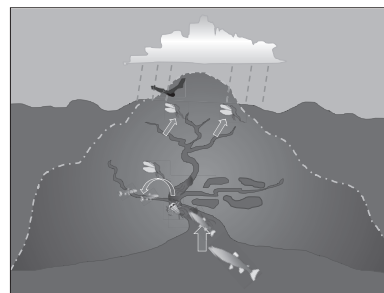
そしてさらにその生き物の大移動というのが、その資源を上の方に、資源の少ない上に運んで行って、その上流の他の生物にまで影響して、生態系全体を支えているということが分かってきました。

ということでここまで紹介してきた話、いろいろな場所での話をしたのですが、自然環境は複雑な構造を持っていて、ダイナミックに変化します。生物はその複雑な環境をどのように利用して、その生物の行動や生活史が生態系全体にどう影響しているのか、ということを知ることが、大自然の成り立ちということを知ることにつながってくるのかなと思います。

残念ながらこのような生き物の移動というのは、人間による河川改修だとか、堰とかダムとか堤防だとかによって、簡単にもろくも崩れ去ってしまいます、なくなってしまいます。

残念ながら日本の多くの河川ではこのような生き物の大移動というのが見られなくなってしまっているのですが、それでももとの大自然の川には一体どういうものがあったのかということを知っておくことは、とても大切なことではないかなと思います。

生態学とはどういうものかという話で私の川の話だけをしてしまいましたけれども、私は生態学者というのは自然のお医者さんみたいなものだと思います。基礎医学の方が、人体の仕組みというのを調べるのと同じように、生態学者は自然の成り立ちというのを調べてこの知識を蓄えているわけで



す。工学の方とか森の研究者、川の研究者、海の研究者、いろいろな人が連携して、この自然というのを守っていかねたらなと思う次第です。ありがとうございました。