

## エコロジカル・ユニットとしての流域生態系

\* 江崎保男<sup>1</sup>

### The watershed ecosystem as an ecological unit

\* Yasuo Ezaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Regional Resource Management,  
University of Hyogo, 128, Shounji, Toyooka, Hyogo  
Pref. 668-0814, Japan

\* E-mail: ezaki@rrm.u-hyogo.ac.jp

### 生態系

「生物圏」、つまり生物が生息する地球表層の自然を生態系と呼ぶ(図1)。だから、生態系とは「生活感覚の自然である」とも言える。「森・川・海のつながり」と言うように、生態系はつながっている。しかも、生態系はダイナミックな存在であり、物質がこの中を循環している。水を例にとるならば、太陽エネルギーによって温められると、上空に昇り、空間移動し冷やされた後、地球上の他地域で雨として降下し地上に到達する。また、日本で草原を維持するには人手を加える必要がある。放置するとたいていは森になってしまうからである。しかし、数千年・数万年、あるいはそれ以上の時間スケールの間に、火山が噴火すると溶岩流が大地を埋め尽くし、それまで森に生息していたありとあらゆる生物は死滅、あるいは移動してここから姿を消す。そして、その後はふたたび生物が侵入し、いずれは草原になり、その後森林になる、というように循環する。

窒素とリンは、ヒトを含めた生物の体をつくるのに必須の元素である。タンパク質と遺伝子DNAの原料だからである。陸域の窒素とリンは、無機物あるいは有機物として、川を経由しいずれは海底に流れ降るのだが、北太平洋では、窒素・リンが海底から湧き上がってくる。そして日本の河川で生まれたサケやマスは、川を降り海に出て、北太平洋まで移動し、ここで窒素・リンの塊である動物プランクトンを大量に食って成長し、再び生まれた川の上流域に戻るとともに、そこで、産卵して死

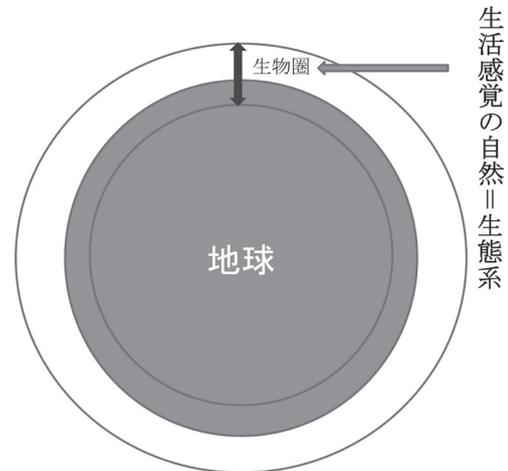


図1. 生態系. 生物が生息する地球表層の自然が生態系である。

ぬ、その死体を哺乳類、あるいは鳥が食って、森の中で糞をして、また森へと戻す。つまり栄養は、世界中を巡っている。だから、「循環」というのが地球生態系の本質であり、生態系概念の本質は、自然を「物質循環の場」と捉えるところに存在する。これが生態学者の自然認識である。

### 流域生態系

山の頂上には分水嶺がある。兵庫県では山地が東西方向に伸びているので、北斜面に落ちた雨は最終的には日本海、南斜面に落ちた雨は瀬戸内海、つまり太平洋に河川(本川)として流れ込む。この分水嶺に囲まれた地域を流域と呼んでいる。コイ・ナマズ・フナといった淡水魚は、流域で進化してきた。なぜなら、彼らは海に出られないからである。極端にいうと「流域に閉じ込められて進化してきた」と言える(実際は海水面の変動があるのでもう少し複雑)。そして実は、多くの生物がそうなのであり、大きな飛翔力をもつ鳥は例外中の例外である。そして、人の社会と文化についても同じことが言える。かつて、クルマも飛行機もなかった時代、流域に暮らす人々にとっては、分水嶺をなす高い尾根を越えること自体が実に大変であり、しかも、その後発達した交通手段は舟運であった。だから、文化も流域沿いに広がっ

<sup>1</sup> 兵庫県立大学地域資源マネジメント研究科  
668-0814 兵庫県豊岡市祥雲寺128

\* E-mail: ezaki@rrm.u-hyogo.ac.jp

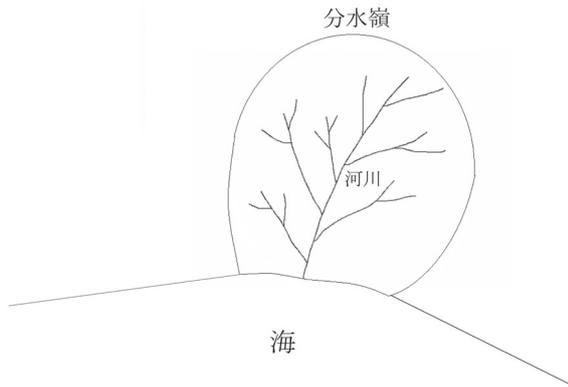


図2. 流域の概念図. 分水嶺の片側斜面に落ちた雨が、一本の河川として海に流れ込む地域をさす. 日本の国土は流域というピースにわけられるジグソーパズルである.

ていった. また言葉も流域で進化してきたはずであり, だからこそ方言が存在する, という具合に, 「流域は明白な地域の生物学的・かつ社会的単位である」ということになる.

一方, 日本の国土は, 流域というピースからなるジグソーパズルであると言える (図2). 裏を返すと, 国土は流域に分けられる. そこで, 流域単位で環境の保全や再生を考えなければいけない. あるいは, 保全の単位として考えられるのは, 流域しかないということになる. なぜなら, 水が流域をつないでいるからである. そこで「流域は運命共同体」とも言える.

生態学は, 地球の自然, 特に生活感覚の自然を相手にするわけだが, 地球生態系を丸ごと相手にするのは科学的に不可能である. そこで, たとえばグーグルの地図を上空から眺めてみることにする. すると, 森・草原・河川・湖沼・農地 (水田)・都市・海が峻別できる. 景観によって, 地球表面をこれらのカテゴリーに分けることができるのである. そして峻別された個々の「各種生態系」を, 森林生態系・草原生態系・河川生態系・湖沼生態系・水田生態系・都市生態系・海洋生態系というふうに呼んでいる.

わが国では一般的に, これら7つの生態系が流域を構成している. そして, 「山の上には森がある」というのが普通である (ただし, かつての上山高原の場合には, 山の上に草原があった). また都市は一般的に下流に位置する. そして, これらの各種生態系は「自然のパーツ」と言える. 地球生態系全体で物質循環が起きているのであるから, 各種生態系では, 完全な物質循環が起きているわけではない.

さて, 一般論ではあるが, 日本の場合は, 一番上に奥山があり, 次に里山があり, 農村がある. また草原があ

り, 湖沼があって, 水田があって, それから都市がある. 川が流れ, 海へと続く. つまり各種生態系がつながりながら流域を構成しているのであり, これを流域生態系と呼んでいる. ただし, 全てをつないでいるのは水であり, 流域は水のつながりである. だから, 流域生態系を考えるには, まずは河川生態系のことを考えることが重要だということになり, これに焦点をあてることによって, 流域生態系を全体的に捉えることができることになる.

### 河川生態系

森林生態系については, かなり明確な物質循環が起きていることが証明されている. アメリカの森林で窒素量が計測された. 土壌中にはどれくらい窒素が含まれているのか. 樹木にはどれくらい窒素が含まれているのが測られたのである. また, 森には必ず, 谷や沢とよばれる川が流れているので, 川を通じて森の生態系に毎年, 1ヘクタール当たり何グラムぐらいの窒素が流入するのか, また流出していくのか, すべてが測られた. その結果, 窒素は「入ってくるが, ほとんど出ない」ということがわかった. 森林生態系の中では, ほとんどの窒素が植物により活用され循環している, ということがわかったのである. なぜ出ないのかということ, 植物たちが, 土壌中の窒素という重要資源を, 競争的に取り合うからである. その結果, 森の生態系では, 高い割合で物質循環が起きているのである.

一方, 河川では循環と呼べるほどの物質循環が起きているはずはない. 「川は流れる」からである. 川の栄養の動きを模式的に描くと, 図3のようになる. 図中の螺旋の意味するところは「一時的な栄養の滞留」である. たとえば, 川底の石表面には藻が生えている. 藻類は, 上流から流れてきた無機栄養を吸収して, 光合成つまり有機物生産をしている. それをアユが食 (は) む. とはいえど, ほとんどが流れてしまう. ただし, 湿地あ

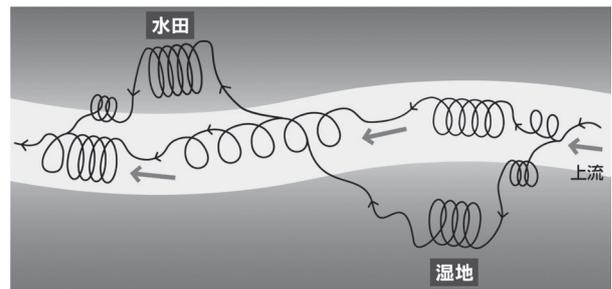


図3. 河川生態系での栄養塩の動き (江崎 2009より).

るいは、現在では田んぼとなっている氾濫原では、栄養が滞留する。そのため川の一部は非常に生産性豊かな場所となっている。だから、川は通路だが、生産現場でもあるということになる。

そこで、河川生態系の特性だが、ここでは水と土砂が常に動くことにより生物のハビタット（生息場所）が形成されている。わが国では、春の雪解け、梅雨、台風の3時期、強烈な洪水が起きる。そうすると、水とともに土砂が動いて、瀬と淵が形成される。アユは瀬にいるし、淵には淵の魚がいる。瀬と淵があることによって、川本来の生物たちがいるわけなのだ。洪水は攪乱の一種であるが、攪乱によって、毎年ハビタット、つまり生物の生息場が振り出しに戻る。これが本来の河川生態系の姿である。

前述のように、森は人間の時間スケールにおいては、ずっと森なのであるが、これとて、いずれ火山が噴火すると溶岩台地に戻ってしまう。各種生態系も循環するわけである。ただ、そのタイムスパンがあまりに長いから一般的に見えないのだ。いっぽう河川では毎年攪乱によって振り出しに戻る。循環が簡単に見て取れるのである。また、栄養が上流から流れてくるわけであるが、これらの多くは水の流れに乗って、周囲の陸地から流入する多様な栄養、例えば落ち葉である。森に大量に存在する落ち葉が、雨が降れば川に流れ込むことになる。また河川内では常に生物が遡上・降下している。川は生物と栄養にとって大事な通路だということになる。

そこで、河川生態系のマネジメントを考えよう。まずは、水と土砂のマネジメントである。このことは、洪水をどうするのかということと深く関係している。現代においてはほとんどの河川にはダムが建設されているので、ダムの下流には土砂が供給されない。このことにより、海浜が痩せている。しかし、土砂は流さないといけなというので、国交省や水資源機構が、最近では、わざわざダムにたまった土砂をダムの直下流において、フラッシュ放流で流したりしている。

2つ目は、栄養の流入・流出のマネジメントである。川には、水に伴って陸地から栄養が流れこむ。栄養の多くは有機物の形態をとっており、「汚れ」でもあるので、大量に流れ込むと富栄養化を引き起こす。栄養には適量というものがあるのだ。

3つ目が生物の流入と流出。言葉を変えると遡上と降下。これもダムがあると、阻害されるので、最近では魚道をつけることがままある。このようにして流域管理がなされている。森・川・海はつながっているから、流域

は全体で管理しなければいけない。これが河川生態系のマネジメントである。

## 生態学

次に、生態学、エコロジーの話をする。ここでは生物群集と生物多様性の話が必須となる。最近では「生態系」という言葉がよく使われるが、「集団の生物学」としての生態学の本質は生態系ではなくて、「生物群集」という概念にある。図4は食物連鎖の例であるが、これこそが生態学・エコロジーの基盤、食う・食われる、の関係である。頂点捕食者は誰か、明らかに人である。かつて、出石の殿様は、コウノトリを採り、すまし汁にして食べたと言う。それから、江戸時代にはカラスも食べていた。サカナはもちろんである。一方、人はカモを食べる。地球上の生物で、食われないものは一般的にないのであり、現代人だけがその例外である。例えイヌワシであっても、卵やヒナの段階では他の動物に食われる。ライオンであっても、子はしばしばハイエナに食われる。あるいは、ライオンが年老いてしまったら、これも他の動物の餌食になるわけである。現代人は例外であるが、我々の祖先にあっても、アフリカで森から地上に下りたところの人類は、当然猛獣に襲われ食われていたと考えられる。

捕食・被食関係で結ばれた生物たちは、地域の生物集団と看做せるのだが、これを「生物群集」と呼ぶ。生物群集の機能の最大のもは、食糧生産機能にある。人から見ると、他の生物たちがいないと食料がなくなってしまうのだ。例えばウシがいなかったら、我々は（ウシが食っている）草を食べないといけない。ウシがいるおかげで牛肉が食べられるわけである。そこで、ウシは草を牛肉に変えてくれる「装置」だと言える。同様にコイは、ミミズの肉をコイの肉に変えてくれる装置だということになる。このように、生物群集は、食糧生産機能を有している。

もう一つ大事なことがある。図4に「デトリタス」と記されているが、ありとあらゆるものの死体・死物をさす。我々の髪の毛が落ちたり、フケが落ちたりする。これも死物でありデトリタスであるが、これを食ったり、分解する生物がいる。彼らのおかげで、地球はきれいに保たれているわけであり、ここにも食物連鎖があって、廃棄物処理機能をもつことになる。だから、生物群集という概念においてもっとも大切なことは、彼らが、我々人の、食糧をつくってくれるし、人を含む生物の遺骸

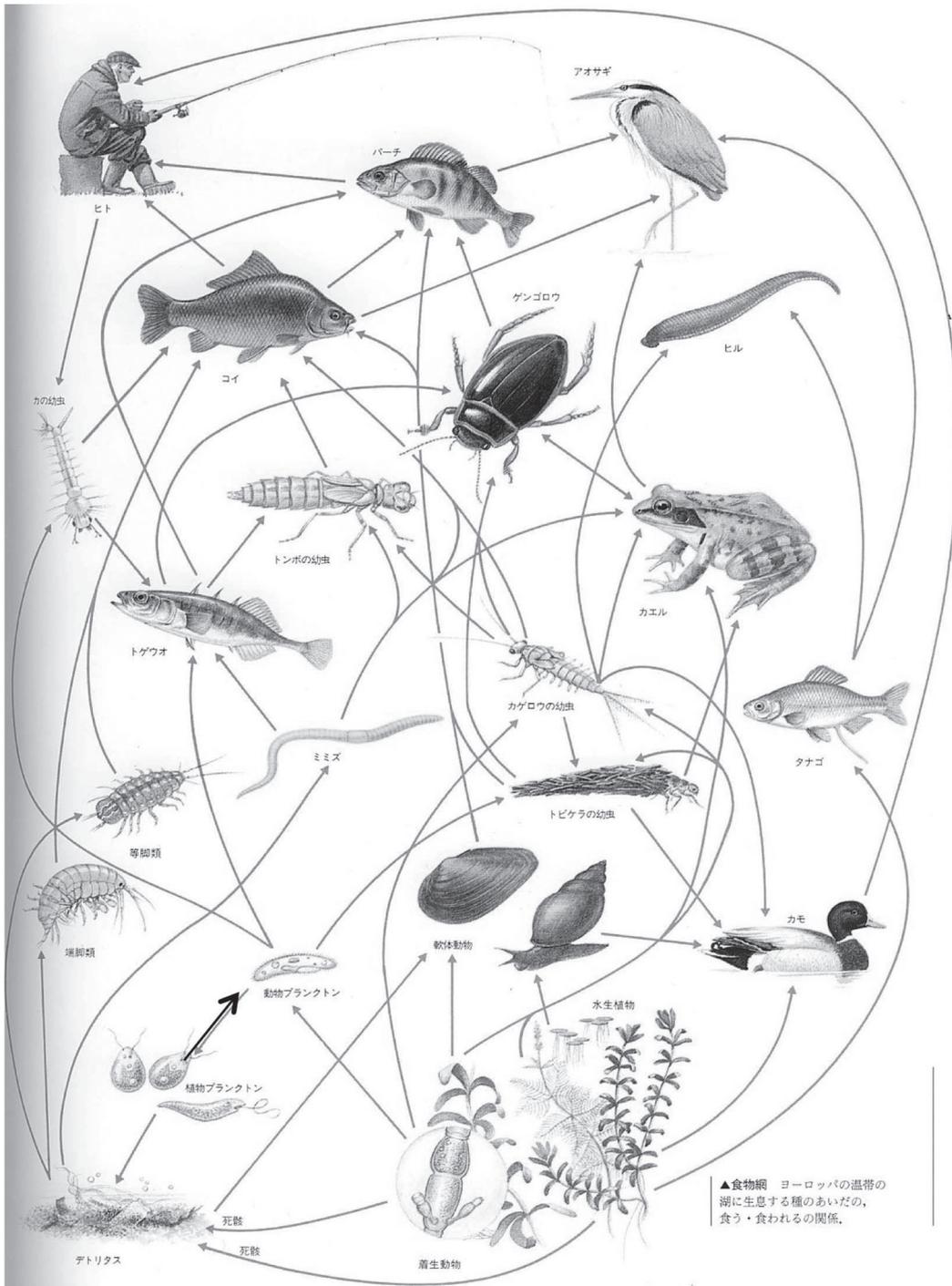


図4. 食物連鎖と生物群集 (P. D. ムーア 1987を改変).

や、排せつ物も処理してくれるということである。

生物群集は一般的に、少なくとも我々の生活感覚の時間スケールでは絶滅しない。ところが最近、それが起きているから問題になっている。本来は絶滅しないのであり、生態学の本質的な疑問はここにあって、「なぜ、どのような仕組みで彼らは絶滅しないのか」ということにある。例えば実験室でアズキゾウムシとその捕食者であるハチを飼うと図5のように、これらの個体数が振動する。餌が増加するとそれを食うハチがふえる。つまり捕

食者の数がふえる。捕食者の数がふえると、たくさん食われるから餌となるゾウムシは減るという具合に、個体数の振動が起きる。つまり生物群集は、捕食・被食関係のつながりの中で、ダイナミックに安定しているということなのであり、これを私は変動安定と名づけた(江崎2012)。勘所は「バランス」なのだ。適度に食われ、適度に捕食者から逃げる。ほかにも競争したり、協同したりして生物群集全体としてバランスがとれている。例えば鳥と木の実の関係は、植物が栄養豊かな実を鳥のため

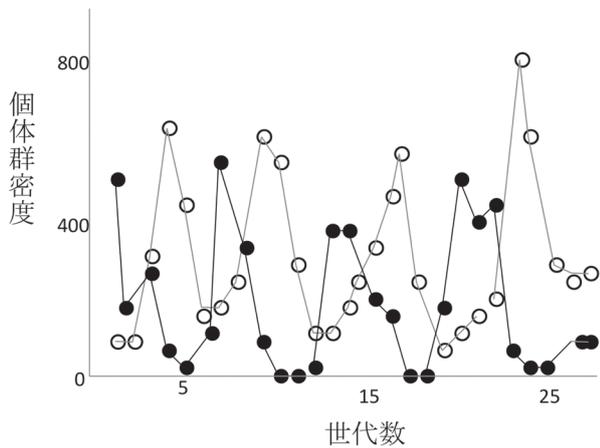


図5. 実験室内でみられる捕食寄生者（●マメゾウコマユバチ）と被食者（○アズキゾウムシ）の個体数振動（Utida 1957を元に作図）。

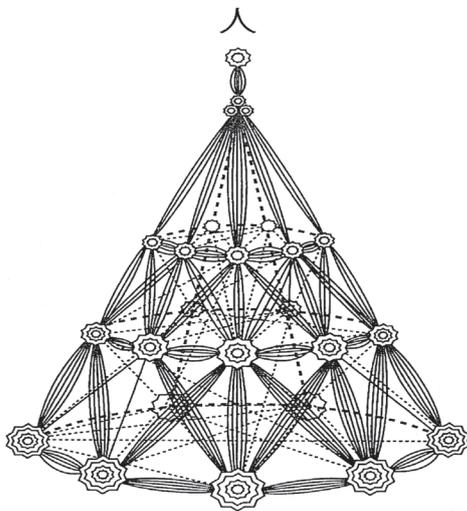


図6. 生物群集の4次元ネットワークモデル。金平糖のかたちをした丸が各種個体群。これをつなぐ繊維が生物間相互作用を表し、それぞれ大きさ（個体数）と太さ（関係の強さ）を時間的に変動させている（江崎 2012より）

に用意したのである。むろん自分の子である種を鳥に運んでもらうためである。あるいは、カッコウが小鳥の巣に卵を産み込んで、彼らの力を利用して自分のひなを育てさせるという労働寄生がある。このように多様な種が「生物間相互作用」を行い、その結果、変動安定が、もたらされているわけである（図6）。

生物多様性については、難解な説明が流布しているが、その本質は非常に簡単であり、「地域に本来いるべき（多様な）生物群集が生息していること」にある。「多様な」に括弧をつけてあるのは、例えば砂漠はどう考えても種数が少ないわけである。だから、どこでも多様、多くの種がいたら良いかというと、そうではない。少ないところには少ないのが当たり前であって、それが生物多様性なのである。

環境省は生物多様性危機の原因として4つ挙げている。このうち、外来種と地球温暖化については、話がややこしくなるので、今回省略する。残るのは、開発・乱獲、それに放棄・放置、この2つがダメだという。これが何を意味しているのか。これら2つは、「適切に手を入れるべきだ」ということを意味している。採り過ぎても採らなくてもだめ、つまりバランスが大切なのである。人は長きにわたって、種まきや収穫に際して適度に土地を攪乱し、適度に生物たちを資源として活用してきた。そのことによって在来生物たちとともに生きてきた。言い換えると我々は、いろんな動物や植物を食べながら、一緒に生きてきたのであり、そのことによって健全な生態系、つまりまっとうな自然、を維持してきたのである。であるから、人が地域生態系の一員であって、その行為が生態系の重要な機能を担う生物群集に多大な影響を与えているということを認識しなければならない。

私は最近、「生態系は衣食住の自動販売機」という例え話をする（江崎 2014）。この自動販売機の中では、生物群集による食糧生産が行われている、あるいは廃棄物処理が行われている。かつて、例えば縄文時代、日本人はどうしていたか、「自然の恵み」としての魚介・ジビエ・山菜等をいただいていた。しかし、弥生時代以降、自動販売機にコインの投入口をつけ、種・苗・肥料・子牛・稚樹等を入れることを始めた。そして、この自動販売機内部では、生物群集が活発な生産活動を行ってくれるので、栽培生物が出てくるわけである。つまり米・野菜・養殖魚・スギやヒノキの材などが生産される。これが農林水産業である。

現在の問題は、収穫しなくなったこと、活用しなくなったことである。一番の典型が森である。かつて、スギやヒノキの苗を大量に植えたのに、その生産物を収穫しないまま現在に至っている。自動販売機の取り出し口に出てきた生産物をとり出さないのだから、これらが自動販売機内部に放置され、生ゴミになっている。しかも、それを、これまた人が食べなくなったシカが貪り食っているわけである。だから、生物群集と言う自動販売機が今、故障しているのだ。それが現代の生物多様性の危機なのである。

近過去における流域での各種生態系のつながりを簡単に説明する。里山・草原・湖沼・田んぼから、例えば材であったり、シイタケであったり、肉であったり、あるいは魚といったものが都市に運ばれていた。同じく、海の生産物が都市に運ばれる。これが近過去の姿であった

(図7). このように、近過去において各種生態系は効率的につながっていた。

さて、流域での栄養付加という話をちょっと具体的に取上げてみたいと思う。これは琵琶湖の事例であり、「流域環境学」という本から情報を頂戴している(谷内ほか 2009)。かつては、(農家の方はよく御存じだと思うが)「田越かんがい」というのをやっていた。河川の上流から水を引いて、田を潤し、それが次の田へと流れ、最後に内湖に入って琵琶湖へ流入していた。ところが、圃場整備事業がなされた後どうなったかというところ、用水路を通して琵琶湖から水が供給されるようになった。一方、排水は直接排水路に流され、琵琶湖に流れこむようになった。その結果、田面から、多くの代かき水が水路に流出するようになった。かけ流しによるオーバーフロー、あるいは補修中の水尻から濁水が出る。またこれら濁水を強制的に放流してしまう。代かきというのは、田面を平らにして肥料を行き渡らせるために土壌を砕く行為である。

かつてはどうだったかというところ、水路の水はきれいであって、その底まで酸素が行き渡る結果、いろんな生物が生息していた。ところが、土砂で濁った代かき水が大量に入ってきて水路を濁水が流れると、シルト・粘土が水路を埋めてしまう。そうなるとうちな酸素供給がなされなくなって、酸素欠乏が起こる。そしてメタンが発生する。こんなことが琵琶湖で起きたのである。

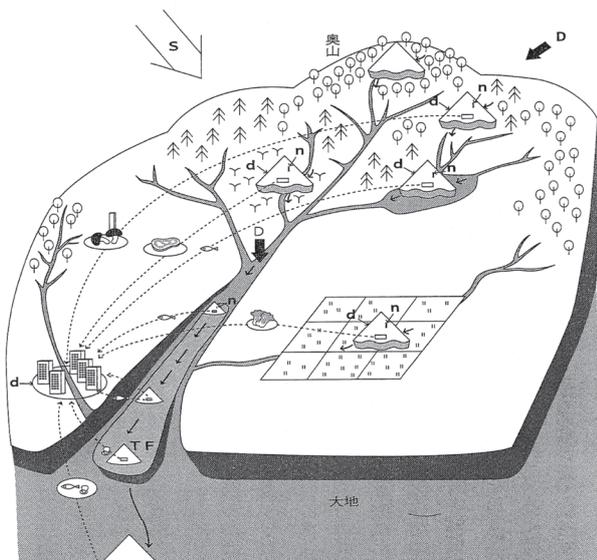


図7. 近過去における流域生態系の構造イメージ。陰影部は水域を表す。区分された各種生態系にそれぞれ自動販売機モデル(アイコン)を配置し、物質の流れを実線矢印、食糧と生活物資の移動を破線矢印で表現している。S:太陽エネルギー; D:自然攪乱; d:人為攪乱; n: 栄養物質; TF:干渴(江崎 2012より)。

実際に窒素の量をはかってみると、上流では濃度が低くなくても、最終的に琵琶湖へ流れ降ると非常に濃度が高くなる。同様にリン、これも重要な栄養物質であるが、上流では薄いものの、最後に、琵琶湖へ行くと濃くなるのだ。窒素とリンは、前述のように生物の必須栄養元素である。であるが、多過ぎると汚れる。これが富栄養化であり、「過ぎたるは及ばざるがごとし」となる。琵琶湖では人口増加とともに、底泥に汚れがたまっていった。その結果、安定同位体比を使うと、琵琶湖のイサザという魚も、どんどんどんどん汚れを吸収しているということがわかった。

下水道の普及率であるが、滋賀県があるとき全国平均を追い抜いた。なぜかというところ、湖なので人為的なインパクト・影響がすごく見えやすいからである。実際に、湖の漁業に、例えばエリという漁法があるが、その網に泥が付着して、魚がとれない状態になったので、迅速な対応をしたという。しかし、海の場合は、なかなか見えないわけである。だから「森は海の恋人」という形で、近年になって森が大事だということになったのだ。

そして、流域というのは、実は重層構造になっている。先ほどの琵琶湖の話は、ここへの流入河川の話である。水は琵琶湖から流れ出る。それが瀬田川・宇治川となって淀川に流れ降るが、淀川になるときは、木津川、桂川と合流する。流域というのはこのように重層構造になっているのだ。

最後に、自然システムと社会システムの話をする。図8は河川のイメージ図である。まず、上流には上流域特有の自然、例えば棚田がある。人間が活用することによって、これらの自然をつくってきたわけである。そして、これに適応した社会システムがあったはずである。次に、中流域には中流域特有の自然があり、これに適応した社会システムがかつてあったはずだ。下流域になる

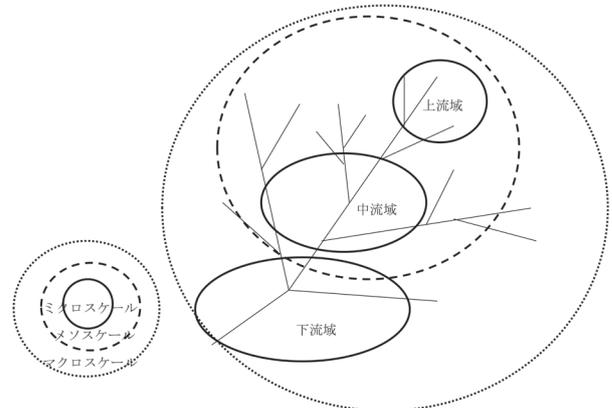


図8. 流域の重層構造(岩田 2009を元に作図)。

と、また同じことで、やはりその自然に適応した生活を人がしており、そこに特有の社会システムがあったはずである。しかし、流域としては、それぞれミクروسケール・メソスケール（中間スケール）・マクロスケールというように、つながっているのに、この3つぐらいのステージに分けて、ものごとを考えないと、流域のつながりが見えてこない。

そこで、コウノトリの野生復帰においても、これを行っているのだが、「アダプティブマネジメント」という手法がある。コウノトリが絶滅する以前には、科学的な情報がほとんどなかった。であるから、まず放してみても彼らの生態を知る、その上で次の手を打っていくということをやっている。これをPDCAサイクルと呼んでいる。計画し、実行し、モニタリングして、評価して、だめだったら修正し、これを計画に反映する、このサイクルである。だから、アダプティブマネジメントは、PDCAサイクルの繰り返しである。ただし、スケール間のつながり、ミクロ、メソ、マクロのつながり、さらに個々の環境を捉えながら、スケールごとにそれぞれの実践を行う必要がある、こういった配慮が必要になるのだ。

そこで、まとめは「流域の上・中・下流は一心同体」となる。また、河川は上流から下流に、水と土砂と栄養の3点セットを運ぶので、上流の住民は常に下流の住民に配慮しながら生活する責務がある。一方、下流域に住む都市住民は、上流域に住む一次産業従事者が自分たちの生活を支えてくれていることを忘れてはいけない。食

糧も、生活自体もそうである。そして、地域の自然システムと社会システムの相互作用・関係を常に頭に置いて、地域社会づくりを考える必要がある。なぜならば、日本の自然をつくっているのは人間だからである。里山に代表されるように、それはもともとのものではない。人が日本の自然をつくってきた。人は健全な自然、健全な流域生態系を基盤に生きてきたし、これからもそうしないといけない。流域生態系が壊れてしまったら、我々は生きる基盤を失うことになる。

最後に、現代において、地域の自然システムと社会システムの間にはズレはないのだろうか。これは一度考えてみる必要があると思う。それぞれには、それぞれの自然に適応した生活の仕方があるはずである。でも、それは必ずしも昔に返れということではない。現代風のやり方というものがあるはずだ。

---

## 引用文献

- 江崎保男（2012）自然を捉えなおす。中央公論新社、東京、292 p.
- 江崎保男（2014）地域の生物多様性復元：ツールとしてのエコ資源。野生復帰、3:7-11.
- 谷内茂雄・脇田健一・原 雄一・中野孝教・陀安一郎・田中拓弥（編）（2009）流域環境学－流域ガバナンスの理論と実践。京都大学学術出版会、京都、564 p.

（2016年3月1日受理）

