近自然河川工法　～地球の生命系をまもる技術～

（株）西日本科学技術研究所　福永秦久

【はじめに】

ここでは、河川の自然環境が生物等に対して、どのような役割を果たしているか、それをつくるにはどうしたら良いのかなどを書く予定である。最初に断わらなければいけないが、決して治水をおろそかにしようということではなく、治水工事を行う場合にもこういったことに配慮すれば、生物の生息できる環境は維持できるということである。

Ⅰ　環境の保全

1. 環境の変化

(1) 地球環境

地球環境は激変し、人類の存続が危うくなってきた。炭酸ガス濃度の増加による地球の温暖化、熱帯雨林の減少、砂漠面積の拡大、オゾンホール、生物種の減少など、問題は山積している。国連を中心に、持続的発展を目指して様々な施策が講じられているが、ここで考えなければいけないのは、地球が危ないのではなく、我々人類の存続が危うくなってきたということである。気温が上昇しても、砂漠が拡大しても、地球は存続する。しかし、生物相は変化することから、そうしたときに人類は、どうなるのであろうか。この本の題目である、近自然河川工法・地球の生命系をまもる技術は、自然を取り戻すことによって、人類の存続を目指すための土木技術と考えている。

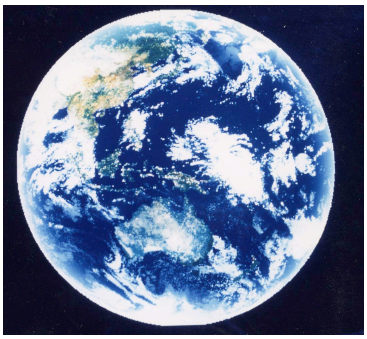


写真 1-1　人工衛星から見た地球

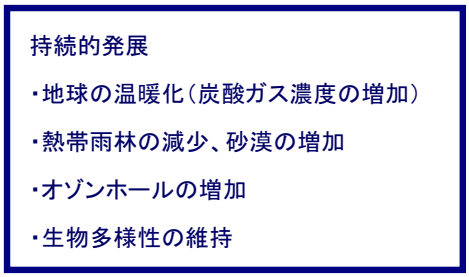


図 1-1　地球の課題

(2) 価値の変化

これまで、私たちは安価で便利なものをたくさん開発・生産し、それによって物質的に豊かな生活を過ごしている。

軽くて均一で、どのような形にも成形できるプラスチックス類は、私たちの生活のあらゆる分野で使用されている。野菜の温室栽培に欠かせない塩化ビニールシートもその一つ

である。これは腐らずに長持ちするほど良い性質であったが、現在では「腐敗しない」、「焼却するとダイオキシンを出す」ことから、その処分が問題になっている。このように同じ製品でも、時代が変化するとその価値や評価が変わる。

写真 1-1　塩化ビニールを使用した温室栽培のハウス群

(3) 土木事業による環境変化

私たち土木技術者は、河川、道路をコンクリートで固め、堅固な構造物を造り、安全で快適な生活基盤をつくってきた。雨が降っても歩きやすい地面は拡大したが、生態系のネットワークを分断し、自然のダイナミズム（自然自身による変化）を抑制した。近代においては、ますます人工化が進み、動植物などの生物が減少し、地球環境は激変した。生態系のネットワークが分断されると、物質循環がおかしくなり、人間の精神面にまで変化が出てきていると考えられる。そうした傾向が地球全体で現れてきたのが、炭酸ガスの増加による地球の温暖化である。これは、炭素循環のバランスが崩れたためである。

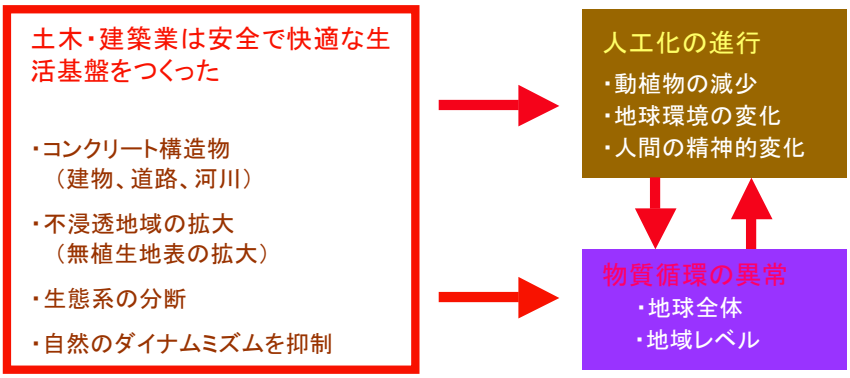


図 1-2　土木事業と環境問題の関係

(4) コンクリート化

土木技術者は、川の氾濫を防ぐために、曲がった川を直線にし、河岸をコンクリートで固め、河床を平坦化して水を速く大量に流すことを行った。これによって、水害は減少したが、気候の確率で考えると、これでもあふれることがある。また、多くの支川の改修によって、下流に位置する本川の洪水が増加している。吉見川は、四万十川（流路延長 196km）の中間地点である 100km に位置する支流であり、50 年前にはこの川

写真 1-2　川はコンクリート化、直線化が進行した(高知県・吉見川)

に降った雨は約 2 日で河口に達していたが、最近では 1 日で達している。そのため、同じ雨の降り方でも、下流の水位は高くなり、氾濫の危険性は高まっている。写真 1-2 を見て、何よりも残念なことは、わずかに植物は見られるが、昆虫、鳥、魚などの動物の気配が感じられないことである。

写真 1-3 は 15 年ほど前の九州の事例で、もとは水田地帯で小川が流れていたが、埋めて住宅団地を建設した。その場所は公園にし、コンクリートで固めた水路をつくり、電動ポンプで水を循環している。埋め立て以前は、ホタルがたくさん生息していたことから、そのホタルを復元するために、水の中に焼きもののタイルで、50 センチメートル程度のホタルをつくった。そのホタルには、お尻のところにランプをつけたので、夜になると一年中自動的にピカピカと光り始める。また一年中同じ形で動かない色コイもタイルでつくった。

写真 1-3　これまでの環境改善はコンクリートで固めることであった

写真 1-4　水中にあるタイル張りのホタル

2. 自然の重要性

(1) 地球の歴史

自然の保護や再自然化の重要性は、様々な理由が叫ばれている。遺伝子資源、炭酸ガスの吸収、地下水や水源の涵養などがあげられるが、ここでは話題にあまりあがらない化学的な意味を記述する。

地球の歴史は 45 億年から 60 億年と言われている。そのうち比較的大きな生物が出現した 6 億年ぐらいをぐっと引き延ばして、図 1-3 に表示した。地球の歴史から見れば約 10%程度の 4 億年前には魚類が出現し、3 億年前には両生類、鳥類、恐竜（爬虫類）が出現した。我々人間が含まれる哺乳類の出現は 2500 万年前ぐらいで、その後 200 万年ぐらい前に人類の祖先が出現した。そして原人の登場は 50 万年くらい前だと考えられている。そういった地球の歴史が我々の血液の中、また遺伝子・DNA に流れており、人類の動物としての歴史は、地球の起源に基づいていると考えられている。母親のおなかの中で、初期の胎児は魚の赤ちゃんと同じ姿であることは、この一例である。私たちの身の回りでは、便利な工業製品が次々と生まれ、住宅や生活用品だけでなく、食料までもが人工的に製造されたものになりつつあるが、果たしてそれで人類は持続的に生存できるのであろうか？

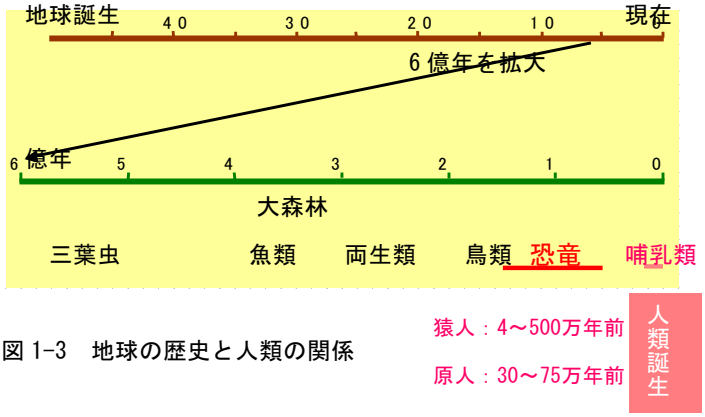


図 1-3　地球の歴史と人類の関係

図 1-4 は、私の子供が見ていた絵本から取り込んだものである。この絵で言いたいことは、先ほどの図と同じで、地球の歴史や生物の進化から考えると、私たち人類は、これまで地球上に登場・生存していた生物を経て進化し、現在の姿になっている。つまり、「私たちには恐竜の血が流れている」と言え、はるか太古の昔からの生物の歴史を引きずっており、人類が誕生する以前の自然生態系にもとづいて、この身体・組織がつくられている。

図 1-4　人類には恐竜の血が流れている

(2) 自然な物質の重要性

一般的には有害だと言われるカドミウム、鉛、水銀も地球の地殻物質で、地球上にもともと存在した物質であるが、「有害」だからといってこれを含まない食物や水が求められている。しかし、こうした物質も人間の身体をコントロールするために、ごくごく微量な成分として、身体の中では使用されている。何故、このようになったかと言えば、地球上に存在している物質なので、生物はその存在割合に応じた組織になったと考えられる。つまり、それらは自然界の生態系の中で、生産、摂取、分解、排出されている。

植物の中で生産された炭水化物を動物類が食べ、それを利用し、分解して、さらに排出する。つまり、我々人間などの生物の遺伝子には、自然界の物質の利用方法、解毒方法、排出方法がインプットされている。地球の長い歴史の間にそうした情報を持つ生物が生き残り、対応できない種が滅びていったと言える。そのため、PCB やダイオキシンなど、これまで地球の歴史の中で体験していない物質が人間の身体に入ってくると、「解毒し排出する」データを持っていないため、変な現象が生じて病気になる。そういった生態系のつながりを無視して、河川

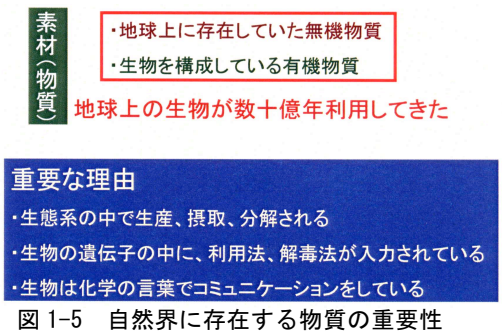


図 1-5　自然界に存在する物質の重要性
（寺田弘、筏英之、高石善久：地球にやさしい化学）

を三面張りにして良いであろうか。今すぐその影響は出てこないかもしれないが、将来はきっと我々人類に何らかの変化を起こさせると心配される。

(3)近自然化の理由

私たちの周囲を近自然化するのは、精神的な満足を得るためだけでは無い。人類が生存するためには、先述のように、正常な物質循環を維持することが重要である。「生物の多様性」を維持するためには、「物理環境の多様性」が必要であり、その生物と物理環境にもとづく人間生活の多様性が、また地域の自然と文化を保ち、それらを含めた全体が、多様な自然と考えられる。私たちは、手つかずの自然を保護するとともに、身近なところにも自然をつくっていくことが必要である。

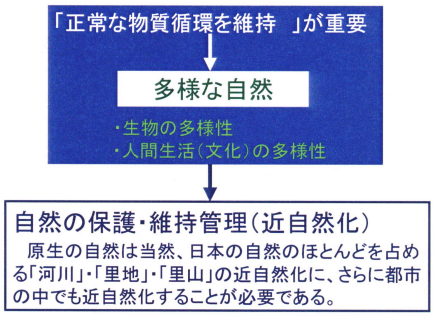


図 1-6　自然を復元する理由

3. 二次的自然と文化

(1)豊かな文化の根源

人間生活とともにある 2 次的自然は、私たちの歴史・文化の根源である。半世紀前まで、私たちは自然の中から食料、燃料、道具、建物の材料を得ていた。高知県の天狗高原は、1960 年代以前まで、1 年に 1 度ススキを刈る草原であった。そのため、常に貧栄養の土地になり、ススキ草原は維持され、春から夏は緑が広がり、秋には白い穂が付いて、美しい風景になった。しかし、高度成長期からプラスチックスなどの化学製品の使用量が増えるとともに、ススキを使用しない生活になり、ススキの草原は不要になった。そのため、西洋的な食べ物である牛肉と牛乳を生産するために、40 年前に牧場に変わった。現在は、1 年中青々とした牧草が茂っており、私が 40 年前に見た風景は、今はなくなった。それは、単にススキの草原の風景だけではなく、その周辺の山や農地、集落、そして遊んだ川も、同時に記憶からなくなることで、想い出は、つながりのある一連の風景である。

写真 1-5　以前はススキを採取するの茅場であった

写真 1-6　現在は富栄養化した放牧場である

天狗高原の刈り取ったススキは、屋根の素材であった。また、ススキは、農耕用の牛馬

の飼料、堆肥の材料、炭俵（炭を入れて運搬する）などの材料に使用されていた。このように、当時の生活は、現在叫ばれている循環型社会そのものであった。そして、九州では、秋に集落全員でススキを刈る時歌い始めたのが、民謡である「刈り干し切り歌」である。このように、ある地域の自然環境によって、個性ある地域文化が形成されていた。

図 1-7　地域文化は自然と一体である

(2) 草原の生物相

刈り取られたススキの草原では、日当たりの良い草地でないと生育できないスミレ類が、春に花をつける。そのスミレの葉を食べるのはヒョウモンチョウ類で、現在はそれらの多くが貴重種になっている。また、夏になると、可憐なヒメユリが花をつける。これは、当時昆虫採集をしていた、私の記憶の中の風景である。人間生活とともにあった自然生態系の代表例であるが、物質文明の発達によって人間の生活が変化し、そして無くなったものの一例である。

写真 1-7
日当たりの良い場所に生育するスミレ類

写真 1-8　夏の草原にはヒメユリが咲いていた

写真 1-9　スミレ類を食草とするヒョウモンチョウ類は草原の昆虫である

Ⅱ　河川の再自然化

1. 自然な河川

(1) 生態系ピラミッド

河川を巡る食物ピラミッドは、太陽エネルギー、土壌や砂礫、水などの、いわゆる無機的な環境が基礎になる。その食物連鎖には、河床材料の表面に付着して生育する藻類があり、その藻類を水生昆虫やアユ等の草食性の魚類が食べ、それらの動物を肉食性動物である水生昆虫や魚類が食べ、そして生態系ピラミッドの頂点に位置する鳥類や熊などが食べる。人類も魚類を食べているため、鳥類と同じ上位に位置し、下位にある無機的な環境から、最高位に位置する動物類までつながった生態系ピラミッドの一員であることになる。そのため河川を人工的に変えると、食物連鎖の基礎となる河床材料や水の流れなどの物理環境が変化するため、食物ピラミッドの上位の生物に影響を及ぼすことになる。私たち人間は、この数百年の間に周囲の環境また地球環境を激変させたので、この上位に位置する動物類が絶滅の危機に瀕している。

図 2-1　水中の生態系ピラミッド

(2) 淵と瀬

河川の中流域には、淵と瀬が隣り合わせで存在する。水当たりの強いところ（水衝部）には深い淵が形成され、そしてその上下流には瀬が形成される。こうした組み合わせは、自然な河川にとって非常に重要な物理環境で、多くの魚類によって餌場や隠れ場所として利用される。化学的に見ると、瀬で空気が供給されて有機物が分解された後に、淵では汚濁物質が沈殿して、水が浄化される。

写真 2-1　淵と瀬は隣り合わせにある

稚魚は遊泳力が小さいので、流れが弱く大型の魚に襲われることのない水深が数センチメートル程度の浅いところに集まる。一見、魚類にとってはあまり役に立たない浅場であるが、流れが緩く、水温が高く、餌が得やすいため、さらに大型の魚類に捕食される恐れが少ないことから稚魚にとっては必要な環境である。

ヤナギ類やササ類が生育している水衝部は、水中にそれらの根が垂れ下がり、魚介類の隠れ場になる。

写真 2-2　浅場には稚魚が集まる

写真 2-3　植物の根は隠れ場となる

(3) 水際

砂礫河川の水際では河床の堆積物がふるい分けを受けて、砂が多いところ、礫が多いところが形成される。日本の多くの河川では、洪水の時に流れが速いところは大きい礫が堆積し、流れがゆっくりのところは砂がたまる。それによって、水生昆虫も礫河床に生息する種類、砂河床に生息する種が棲み分けをする。また、速い流れを好む魚類や、緩い流れを好む魚類など、異なる物理環境に異なる水生動物が生息する。ここで、注目すべきは、多少人工化された河川でも、土木構造物である水制を設置して上下流に自由な水際部分をつくると、写真 2-4 のようなふるい分けを受けた砂礫が堆積する水際が形成される。つまり、近自然河川工法では土木技術者は構造物をつくるが、その際に自然にゆだねる部分をつくることによって、様々な河川の生物が生存できる環境が形成される。

河川の水深が 0 の湿った河原は、昆虫たちの吸水場所になる。このわずかな湿りが、多くの昆虫にとって非常に重要である。例えば、写真 2-5 の蝶は水面に浮くことができないため、足は石の上に置き、吸水管を石のわずかな隙間に差し込んで水を飲む。夏の暑い日には、蝶の吸水はよく見られる光景で、水を飲んでは尻からぽたぽたと出し体温を下げる。

写真 2-4　水際の砂礫は篩い分けされている

写真 2-5　湿った場所で吸水するアオスジアゲハ

図 2-2 は、遠浅の水際における水鳥類の餌の取り方をしめす。1 のように潜水して餌を採りに行く種類もいれば、2 の白鳥のように水に浮かんで長い首を水中に伸ばして河床の植物を食べる種もいる。カモ類は 3 のように、水面に浮かんで水中に首だけ入れたり、逆立ちして川底の水草や藻類を食べる。これ以上深くなるとカモ類は餌をとることができなくなる。4 は水中に長い足で立ち、長いくちばしで餌を食べる種類で、5 はシギ類やチドリ類で、水際を歩き回って餌を探す。遠浅の水際であれば、様々な種類の水鳥が生活できるが、水際を急深にすると餌取りができない種類が出てくる。自然の河川では、日々水面が変化するので、水位が変化

種々の水深における，鳥類による餌の利用
（1973年，REICHHOLF より）
1 潜水鴨（オオバン，カイツブリ，他），2 白鳥，3 鴨，
4 水中歩行種，5 水際歩行種，6 水面上の餌の摂取（鴨）

図 2-2　水鳥の餌の取り方

しても遠浅の水際を提供できることは、多様な生物相にとって重要である。

写真 2-6　カモ類は逆立ちして藻類や水生植物を食べる

(4) 植物

水中に植物が生育している浅い水域は、コイ、フナ類、ナマズ等の産卵の場所になる。こうした魚類の産卵は、河川や湖沼だけでなく、水が入った水田でも行われる。「流速が 0」または「流れが小さい」浅い水域は水温が高く栄養成分が多いため、稚魚の餌となる動物プランクトンも豊富である。河川や湖沼の水際をコンクリートで固めて無植生にすると、先の魚類の産卵水域が消失する。

写真 2-7　ナマズの産卵の様子

トンボ類は、空中へ飛び立つために、水中から水際の植物をよじ登り、やがて背中が割れて羽と身体が出て、大空へと旅立つ。その羽化の時、つかまる角度は、種類によってほぼ決まっているようで、垂直から逆さ、つまりオーバーハングになる 90 度から 180 度までを利用するタイプと、水平な場所から垂直な場所を利用するタイプ、さらに垂直に近い角度である 70 度から 120 度ぐらいを利用するタイプに分類できる（図 2-3）。オーバーハングを利用するタイプのトンボのヤゴが、水から出てつかまる場所を探した場合、水際が緩傾斜のコンクリートで固められると、羽化する場所が存在しないことになる。このように、様々な角度を人間の手によって創り出すことは実際上不可能であるが、そこに植物が生育していれば、あらゆる角度を提供していることになる。このように、自然界には生物によって利用されていない場所はない。

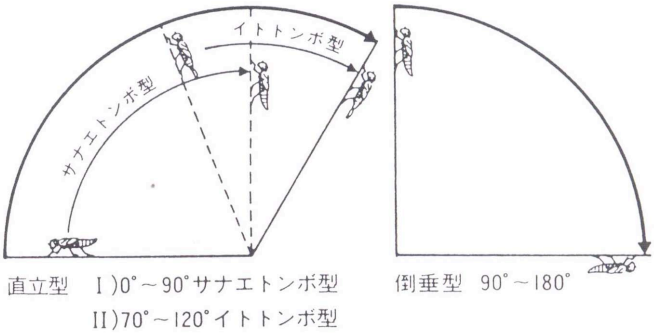


図 2-3　トンボ類は種類によって羽化の角度が異なる
（桜井良三編,1985：決定版生物大図鑑 昆虫Ⅰ）

写真 2-8　植物は全ての角度を提供する

河岸にヨシやススキなどの背の高い草が生育している場所には、ノウサギやネズミ類などの哺乳類が水を飲みに通う「けもの道」がある（写真 2-9）。野生の動物は、空からタカ類にねらわれているし、地上には人間がいるため、安心して水際に近づけない。そこで、周囲から見えない植物が茂ったところを選んで水際へ通っている内に、けもの道ができる。

写真 2-9　背の高い草藪には獣道がみられる

(5) 動物と河川環境

河川環境と動物の関係について、2 つの例を示す。

日本には幼虫時代を水中で過ごすホタルが 2 種類生息している。一つは成虫の大きさが 1～2 センチメートルである大型のゲンジボタルで、幼虫は水がきれいで礫河床の川に生息することから清流のシンボルになっている。ゲンジボタルは水際の湿った苔や草の上に卵を産み、それが孵化して幼虫は水中に落ち、カワニナを探して食べ成長する。この時、卵から孵化した幼虫は、水に落ちなければ生きていけないため、ゲンジボタルが産卵する草や苔はオーバーハングに近い地形に生育しているものだけである。カワニナの餌は、礫の表面に生育する藻類が主であるため、礫河床が良い。10 ヶ月から 2 年間にわたってカワニナを食べながら成長したゲンジボタルの幼虫は、やがて水中から出て、水面から数十センチメートルの高さの土中でサナギとなり、5 月～6 月上旬に成虫になって飛び始める。このように、水際の湿った苔、カワニナの餌となる藻類の生育できる礫河床、水際の土などがセットで必要なわけで、図 2-4 のどれが欠けてもゲンジボタルは成育できない。

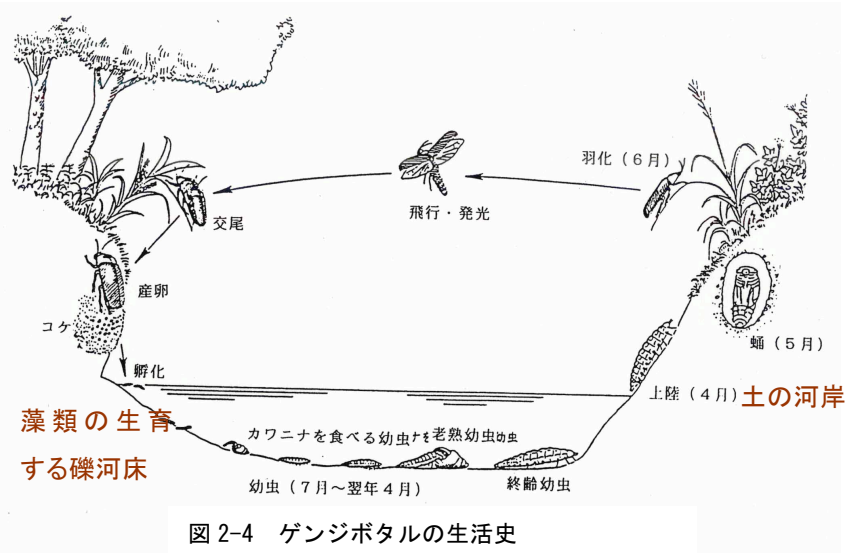


図 2-4　ゲンジボタルの生活史
（大場信義, 1996：日本の昆虫⑫ゲンジボタル）

ムカシトンボは、人類よりずっと昔からこの地球上で生活してきた種で、日本で「生きた化石といわれる」名前の由来はそこにある。図 2-5 にあるようにこのトンボは、渓流の水際に生育する蕗（フキ）やワサビなどの葉柄に産卵し、孵化した幼虫は水中に落ち、流れの中で 7～8 年間生活する。餌は他の水生昆虫等であるため、その流れは水質がよいことと、河床が礫であることが条件である。ムカシトンボは水中から出て空中へ飛び立つために、水際から少し離れたところに生育する植物につかまって羽化するが、これは出水によって被害を受けることを避けるためと考えられている。その後成虫は、流れ周辺の森の中で生活をする。ムカシトンボの生存を河川工事から考えると、水質が良好で礫河床が成育条件であるので、水際をコンクリートで固めることはできず、工事による泥水の発生は許されない。さらに、成虫が生活する河川周辺の森が必要である。何よりも考えなければいけないことは、ムカシトンボは親になるまでに 7～8 年間を要することで、この間に泥水の発生や河川工事があると、このトンボはその川から姿を消すことになる。

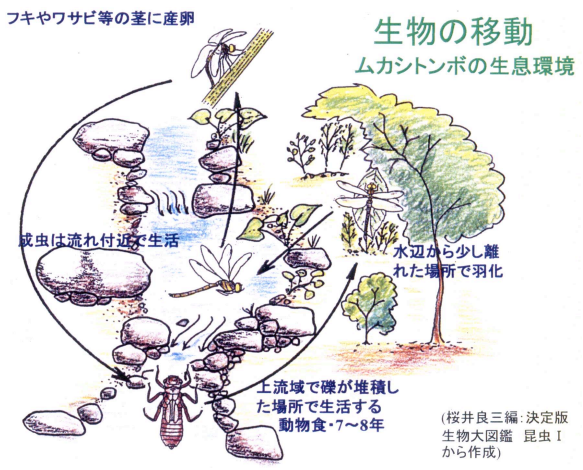


図 2-5　ムカシトンボの生活史

2. 近自然河川工法

(1) 近自然河川工法とは

近自然河川工法は、スイス、ドイツなどのドイツ語圏の国々で行われていた、“Naturnaher Wasserbau”の日本語訳である。日本に紹介したのは、愛媛県・五十崎町（現・内子町）の市民グループで、1988 年にスイス連邦共和国の土木技術者であるクリスチャン・ゲルディ氏を招いて、講演会をしたのが初めてである。

スイス・チューリッヒ州の建設局が 1985 年に発行した「Mehr Natur Siedlung und Landscaft（日本語訳は（財）リバーフロント整備センター, 1990：町と水辺により多くの自然を)」の本の中に、「住宅、道路を含めてあらゆる場所に、できるだけ自然を取り入れましょう。」と書いている。その中で「近自然工法」という言葉が使用されており、その概念として表 2-1 の上段に示す言葉が用いられている。

また、ドイツ・バイエルン州では、内務省建設局の刊行物第 21 巻として 1989 に発行した、「河川と小川＝保全・開発・整備：Flüsse und Bäche」（1992,（株）西日本科学技術研究所発行)の前文に表 2-1 の下段のような表現をして

表 2-1　近自然工法の概念

スイス・チューリッヒ州 各種の建設工事および維持管理に際して、その行為によって危害を加えられる動植物が、生き延びることのできる区域（Bio Top＝生物生息空間）をつくっていくこと。
ドイツ・バイエルン州(近自然河川工法) 河川の全ての多様な機能と相互のむすびつきが保たれ、発展していけることを最優先にした配慮がなされなければならない。

いる。

どうしてこのような考え方が出てきたのかとスイスの友人に聞いたところ、彼は「人間の生存と自然環境は、切っても切り離せない。単純に人間の快適性や欲望で自然界を変えてしまうと、最後には人類の滅亡につながる。」と言った。

(2)近自然河川工法の理念

スイス・チューリヒ州建設局の発行した本には、近自然工法の基本理念として 13 項目をあげている。その中で、河川に関係ある 9 項目を表 2-2 にしめす。

表 2-2　近自然工法の理念

・秩序はより少なく、多様さはより多く。
・既成事実も勇気を持って問題視する。
・不浸透地域を拡大しない。
・生態学的拠点をネットワークする。
・自然のダイナリズムをなるだけ妨げない。
・多様性の豊かな境界部分を保全する。
・土着の、その場所にふさわしい植物を優先する。
・自然に手を加える場合は環境調和テストを行う。
・自然に手を加えた場合はその埋め合せをする。

（リバーフロント整備センター編集,1990：まちと水辺に豊かな自然を）

・「秩序はより少なく、多様さはより多く。」は、この言葉に続いて「我が家ではコンクリートの隙間からわずかに生えた草をスイス的な徹底性を持って取り除いた」、「自然を思う気持ちが、過度の規格の統一や、ただ立派なだけの建設の方法を放棄することを要求するのである。」と書いている。

・「既成事実も勇気を持って問題視する。」は、「暗渠にした川を再びもとの自然な流れに近い状態に戻してやることは、しばしば実現可能である。」と説明している。

・「不浸透地域を拡大しない。」は、「住宅地区においては事情の許す限り、舗装材料に浸透性のあるものを用いることが望ましく、地表からの排水はできるだけ地下へ浸透させるべきである。」とある。

・「生態学的拠点をネットワークする。」は、「自然に近い土地や河川のネットワークによって自然保護地区が国土全体にわたって相互に結ばれ広がっていることが不可欠である。」とある。

・「自然のダイナリズムをなるだけ妨げない。」は、物理環境や生物相が自然に変化することの許容を意味する。

・「多様性の豊かな境界部分を保全する。」は、その理由として「境界部分では二つの生態系が出会い、そして二つの世界を合わせたよりももっと豊かな世界が生じる。」と書いている。

・「土着の、その場所にふさわしい植物を優先する。」は、近自然工法の基本的な考え方である。

・「自然に手を加える場合は環境調和テストを行う。」とあるが、環境調和テストとは、環境影響評価のことである。

・「自然に手を加えた場合はその埋め合せをする。」は、現在一般的になっている「ミチゲ

ーション」と考えて良いであろう。

つまり、「人間が生きていくためには、やはり土地の改変、河川の改修もやむを得ないが、その程度は最低限にし、実施する場合にはあらゆる配慮をしなければならない。それによって、人類自身の持続的な生存が可能になる。」ということであろう。

写真 2-10 は、先の理念にあげた「不浸透地域を拡大しない」にもとづき穴あきの芝ブロックを使用したスイスの駐車場である。こうすることによって、夏でもあまり暑くならない。スイスでは、河川工事などを含めた地域づくりに対して、しっかりした基本的な考えを持っている。

写真 2-10　芝ブロックの駐車場は暑くない

写真 2-11　スイスの美しい牧場風景は「自然破壊」の姿である

写真 2-11 のような美しい牧場風景を指して、「これは自然破壊の姿です。昔は森林でしたが、肉や牛乳のためにその森林を切り払って牧草地に変えました。そして、それによって洪水や土砂崩れなどが発生し、大きな災害を受け、さらに身近にいた植物や動物が姿を消した。」、「食料を生産しなければならないので、すぐ森林を復活することはできない。それならば、わずかな土地でも自然を復活させよう。」が、彼らの考え方である。「自然と人間は共存しないと人類の存続はあり得ない。」という彼らの考えに対して、私が「すごいなあ！」と言うと、「この考え方は 2000 年前にヨーロッパに伝わった東洋の思想です。」、「ヨーロッパの考え方は、自然は征服するものです。日本の神社、仏閣で見られるように裏の山まで含めた自然とともに生活しようというのは、東洋の思想ではないですか？」と言われた。私は、スイスで日本の基本的考え方を教えられた。

(3) 多自然川づくり

ドイツ語圏で「近自然河川工法」と呼ばれたものを、日本の建設省（現在は国土交通省）は「多自然型川づくり」として、1990 年に導入した。その定義を「多自然型川づくりの推進について」の通達から抜き出して表 2-3 にしめす。これによると、「多自然型川づくり」の目的は「生物の良好な成育環境と美しい自然景観」であって、「人間にとっての川ではなくて、生物にとっての川づくりとともに、自然景観の豊かな川をつくる。」ということである。この定義は、スイス、ドイツの「近自然河川工法」の基本的な考え方と同じであるこ

とは、注目に値する。しかし、日本の土木技術者は、スイスで実施された近自然河川工法の写真を見て、自然石とヤナギ類を使用すれば良いと解釈し、全国で誤った工事が実施された。

この「多自然型川づくり」の通達が出て 15 年を経た、2006 年の秋に、これまでの実施状況を総括して、河川事業の見直しを行い、「多自然川づくり」として再出発した。名称から「型」を取り除いたのは、「型」の言葉があると、規格にもとづいて計画・実施すれば良いと、技術者が考えるためである。表 2-3 の下段にある新しい通達によると、以前の「多自然型川づくり」の通達に、「暮らし、歴史・文化との調和」が加わっている。人間の居住域にある河川では、「人間生活によって形成された 2 次的自然があるので、それを維持する」という考えであろう。

表 2-3　多自然型川づくりと多自然川づくりの定義

「多自然型川づくり」

第2　定義

「多自然型川づくり」とは、河川が本来有している生物の良好な成育環境に配慮し、あわせて美しい自然景観を保全あるいは創出する事業の実施をいう。

（平成2年11月6日　「多自然型川づくり」の推進について）

「多自然川づくり」

「多自然川づくり」とは、河川全体の自然の営みを視野に入れ、地域の暮らしや歴史・文化との調和にも配慮し、河川が本来有している生物の生息・生育・繁殖環境及び多様な河川景観を保全・創出するために、河川管理を行うことをいう。

（平成18年10月13日　多自然川づくり基本指針）

多自然川づくりの基本方針から注目すべき文章を抜粋して表 2-4 にしめす。

表 2-4　多自然川づくりの進め方

3　実施の基本

（1）川づくりにあたっては、単に自然のものや自然に近いものを多く寄せ集めるのではなく、可能な限り自然の特性やメカニズムを活用すること。

（2）関係者間で 4 に示す留意すべき事項を確認すること。

（3）川づくり全体の水準の向上のため、以下の方向性で取り組むこと。

ア　河川全体の自然の営みを視野に入れた川づくりとすること。

イ　生物の生息・生育・繁殖環境を保全・創出することはもちろんのこと、地域の暮らしや歴史・文化と結びついた川づくりとすること。

（8）瀬と淵、ワンド、河畔林等の現存する良好な環境資源をできるだけ保全すること。

（「平成18年10月13日　多自然川づくり基本指針」　から抜粋）

河川全体の自然環境を理解し、良好な環境が残っているところをどのように保全し、悪化しているところをどのように再生していくのか等全体として目指すべき一貫した目標のもと、川づくりを行うことが必要である。

この考え方は 2006 年に発表されたが、福永はクリスチャンゲルディ氏の教えにより、1992 年から、「よい物理環境・生物環境・自然景観を保全し、悪い環境を改善することを、河川のダイナミズムの活用によって行う。」工法を採用している。

(4) 近自然河川工法の進め方

福永が考える近自然河川工法の考え方を図 2-6 にしめす。

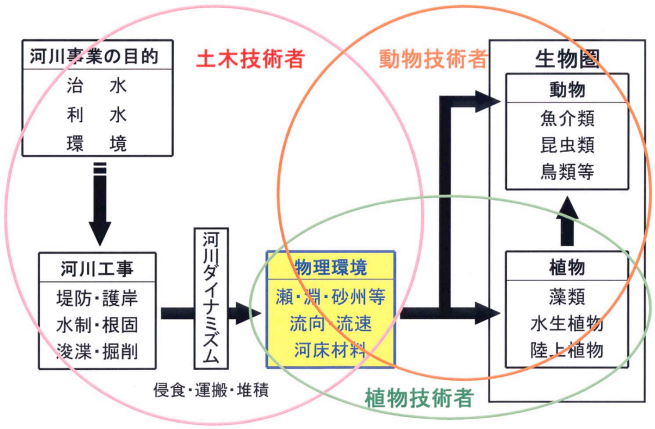


図 2-6　近自然河川工法の考え方

たびたび氾濫するとか、治水の安全度が低いとか、また最近の日本では、環境改善のためなどの目的で河川事業が計画される。その河川事業としては、目的を達成するために、堤防や護岸の建設、それらをまもるための水制や根固、流下断面積を拡大するために行う浚渫や掘削などの河川工事が設計され、施工される。そうして、河川に土木構造物が出現したり、物理環境が変化して工事が終了する。しかし、河川の近自然化はこれが出発点で、これから川が変化していく。出水等で河川自らが、ある場所は侵食し、ある場所は土砂を堆積して、変化していくことを、河川ダイナミズムと言い、近自然河川工法ではこれが非常に重要である。土木技術者は河川の自然を全てをつくることはできない。河川では、ダイナミズムによって、物理環境が変わる。例えば、土砂の移動によって瀬、淵、砂州が形成され、川底の砂や礫がふるい分けられ、それとともに流向や流速などの水の流れが変化する。そうした多様な物理環境の出現によって、水中の藻類や陸上の草など、植物類が生育する。その植物類と先の物理環境によって、そこに適した魚介類や水生昆虫などの水中の動物、また植物を食べる昆虫などが成育する。このような関係になっているので、土木技術者はつくるべき物理環境を目標にして、土木構造物等の設計を検討しなければならない。その目標とする物理環境は、植物や魚等の技術者が提案すべきである。このように、全ての技術者が、現在の河川の物理環境と、望ましい物理環境を共有しなければ、いい川づくりはできない。以上が、近自然河川工法のシステムである。しかし、日本の土木技術者は、全てをつくろうとする。例えば、魚巣ブロックを入れるとか、自然の水の動きを考えずに土砂を入れたり、掘ったりするが、それらは一度の出水で、なくなることが多い。

3. これまでの川づくり

(1) スイスの事例

a. 近自然工法を進める

スイスで最初に実施された近自然河川工法の事例を次にしめす。写真 2-12 の左部分にバイパス道路の計画が持ち上がったときに、現在流れている小川を暗渠にするか、または U 型溝にするかの案が出た。その時、クリスチャン・ゲルディ氏は「自然の小川」を埋めたり、コンクリートで固めるのは良くないので、写真右側の山際に付け替える提案を出した。工事終了の写真 2-13 によると、小川の水際は湾曲し河床には石が転がっているが、これは全て意識的に行っている。写真 2-14 は、完成後 5 年を経た川の姿である。両岸は護岸としての役割を果たすヤナギが生育しており、自然の川にあるような落差をつけた場所もある。そして、水の落ち口には深みが形成され、たくさんの魚類が生息している。クリスチャン・ゲルディ氏によると、彼の奥さんをこの写真の状態になった現場へ連れて行って、川を見せたところ、「あなたはここで何をしたのですか？普通の川があるだけじゃないの。」と奥さんが言ったので、彼は非常に感激したそうである。見ただけでは人工の川とはわからないほどの素晴らしい川ができていたわけである。

写真 2-12
スイス・ミューリー川の工事前の状態

写真 2-13　工事が終了し通水前の状態

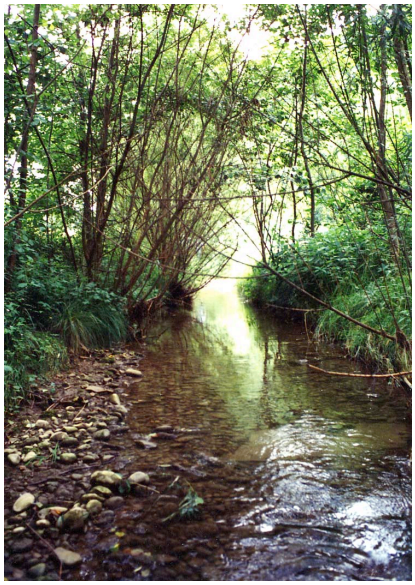


写真 2-14　工事終了後 5 年を経たミューリー川

b. 住宅地の河川

スイスの小さな村の中を流れる小川の改修例である。治水のために改修されたコンクリートの 3 面張りの川があったが、たびたび氾濫するので、さらに治水工事を行うことになった。当然、普通の治水工事ではなく、近自然河川工法でやろうということになったが、ここでは土地に余裕がないため、道路の下に洪水の時だけ流れるバイパス水路をつくり、さらに川の上流に遊水池もつくったため、近自然河川工法が可能になった。写真 2-16 の左側は、家屋が川に沿って並んでいたので、コンクリート護岸の前に石を積み、水際の石は

凸凹とし、石と石の間は穴がある。一方、右側は農地であったので、土地を買収し土の法面にして植物を生育させた。私がここを訪れたとき、周辺の村会議員さん達が視察をしていた。落差の下の深みにマス類がたくさんいることを見て、参加者は感嘆の声を上げた。

写真 2-15　スイス･アピスト川の未改修区間

写真 2-16　近自然河川工法で改修したアピスト川

c. 近自然化の効果

次の事例もスイスの河川である。昔は曲がりくねった自然状態の河川であったが、治水対策のために川幅を広げて直線にした（写真 2-17）。近自然河川工法による改修前の状態で、スイスではこれを一次改修と言っている。これを写真 2-18 のように、1983 年から近自然河川工法で改修した。この工事は簡単だったようで、水際に侵食防止のために並べていた石を、パワーショベルで崩しただけである。工事終了から数年後には石のまわりが深くなり、水の流れが蛇行した。日本ならば一次改修でも、「自然豊かな河川」に分類されるのではないかと思われる。笑い話になっているが、1988 年にクリスチャン・ゲルディ氏を日本に招いたときに、その講演要旨を印刷屋さんにお願いしたところ、校正にあがってきた原稿では写真 2-18 が改修前で、写真 2-17 が近自然河川工法による改修後と刷られていた。私は最初にその原稿を印刷屋さんに渡す時、間違ってはいけないと思い、写真の裏にペンで、「改修前」、「近自然河川工法による改修後」と書いたが、印刷屋さんの常識では私が間違って記入したと思ったようである。この近自然河川工法による改修の効果は、グラフに示すようにマス類が 3 倍に増加し、しかも 1 歳魚、2 歳魚、3 歳魚とも増加していることから、河川内で産卵し、そして育っていることがわる。

写真 2-17　ネフ川の一次改修(直線化)区間

写真 2-18　近自然化後のネフ川

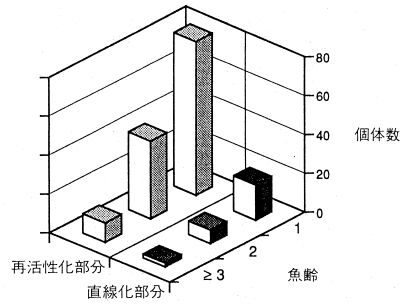


図 2-7　ネフ川は近自然化によってマス類が増加した
（フェレーナ･ルビーニ(山脇正俊訳), 1994：生物学の視点から見た可能性と限界, 近自然工法の思想と技術）

d. 自然と人工物

河川工事では様々な人工物をつくるが、近自然河川工法を進める場合、河川の景観は重要である。洪水時に攪乱を受ける水際から下は、河川のダイナミズムで自然景観に近づいていくが、堤防については変化がほとんどないので、工事時から配慮が必要である。スイスの技術者、クリスチャン・ゲルディ氏は「自然界に直線は無い」と言っており、また数式で表現できる幾何学的な曲線も存在しないことは明らかである。

写真 2-19 はドイツの堤防の管理道兼散策道の事例である。対岸から見ると、わずかに曲がって見える程度であるが、橋を渡って道路に近づくにつれて、曲がりを感じるようになる。堤防に起伏をつけ、それをうまく利用して柔らかな曲線に仕上げている。ドイツには、こうした自然の中に人工物を調和して配置したり、盛土や掘削で自然に調和した景観をつくる設計技術がある。日本などの建築の景観ではなく、あくまで自然景観の技術である。だから、眺めた景観の中で、どのような工事をしたのかわからないことが、最も高い評価を得る。

写真 2-19　対岸から見ると直線に近い道である

写真 2-20　近づくと起伏で曲がった道に見える

(2) 日本の事例

a. 近自然工法の前

四国西南部を流れている「日本最後の清流」である四万十川の今から 20 年少し前の事例である。河岸を緑化するために、コンクリート壁を緑の塗料で塗り、川から見ると大きな緑色の壁が出現した。近自然河川工法が日本に紹介されるまでは、このようなことを真剣に実施していた。

写真 2-21　緑色に塗装したコンクリート擁壁

近自然河川工法では、河川を蛇行させるが、流路を無理に、また幾何学的な曲線で曲げることではなく、水の蛇行を許容することである。次の写真 2-22 は流路延長が 70km 程度の河川で、写真の場所は川幅が数百メートルのほぼ直線の河道であるが、交互に砂州が形成され、水の流れの変化点には瀬が、瀬の下流

には淵が形成されている。河川における蛇行の波長は、ほぼ規則性があり川幅の 5～10 倍と考察されている。また砂州は少しずつ移動する。これが自然の河川の姿である。また、写真 2-23 のように、3 面をコンクリートで固めた川でも、数年を経過して何回かの洪水をうけると、交互に土砂が堆積して植物が生育する。河川は直線にしても、水は直線で流れないことをしめす事例である。

写真 2-22
高知県・物部川では交互砂州が見られる

写真 2-23
直線化した川でも水は曲がる（愛知県・阿蔵川）

b. 悪い事例・強制的に曲げる

誤った設計の事例を次にしめす。

水の流れを緩やかに曲げるために、水際にコンクリートの擬木を並べ、擬木と護岸の間には土を入れて植物を植えた（写真 2-24）。右の写真 2-25 は、完成 1 ヶ月後に発生した小規模な出水直後の状態である。右岸側の土と植物は流れ去り、左岸側の護岸下には上流からの土砂が堆積した。設計案では、擬木の曲線どおりに水を流す予定だったと考えられるが、水の蛇行を考慮せずに設計した悪い事例である。このような工事は日本各地で見られるようである。

写真 2-24　流れるところを擬木で固めた水路(完成直後)

写真 2-25　出水後は右岸側の土が流失し、左岸側は堆積した

c. 植物技術者の協力

近自然河川工法の考え方で記述したが、川づくりの計画を進めるためには、生物系の技術者の協力が必要である。特に、水中に関しては魚類の技術者、陸上に関しては植物の技術者の意見は重要である。その場合、単に生息する魚類や植物の種名を出すだけでなく、

代表的な種の成育環境、特に物理環境を表現してもらう必要がある。魚類の場合には、産卵場所、遡上の時期とそのルート、餌の種類なども必要な情報である。陸上部の植物相については、生育する主要な種および生態系の基本となる種の生育条件をしめすことが重要である。例えば、計画している植物種の植栽位置に関しては、地下水位と出水時の水没頻度によって生育可能かどうかが決まることから、水面からの高さは重要である。写真 2-26～写真 2-28 は、九州・球磨川の事例で、水面から数メートル高いコンクリート面に、土を入れた麻袋を置き、ヤナギを挿し木した。その土を入れた袋は、高さ約 30 センチメートルだったので、周囲にその袋の高さ程度まで土を入れた。工事後、ヤナギは順調に生育し、出水ごとに土嚢周辺に土砂が堆積して、いまでは土の厚さは 50 センチメートルほどになっている。また、現在は樹高 7～8 メートルのヤナギ林になり、上流から流れてきたと思われるクルミも生育して、鳥の巣も見られる。設計時に植物の技術者から得た情報は、「この川に生育している樹木の中で最適な植栽種は何か、その植栽方法は、出水による水没や乾燥にどの程度の時間まで耐えられるか？」などであった。

この現場には、写真でわかるように堤防をまもるための水制を設置したが、計画した通りに水制の先端には 4 メートルの深い淵が形成され、大型の魚類がたくさん生息していた。

写真 2-26　コンクリート面に土嚢を置きヤナギを挿し木した

写真 2-27　2 年後の状態

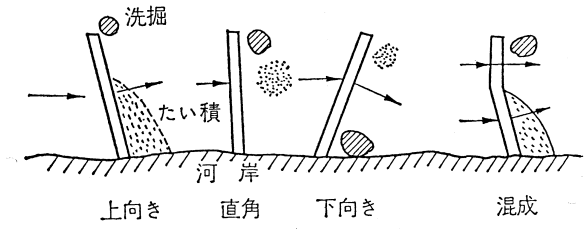
写真 2-28　9 年後の九州･球磨川

4. 活用すべき近自然工法

(1) 水制の作用

水制工は、スイスの川づくりに多く採用されたが、日本でも初期の近自然河川工法の設計に多く採用され、現在でも河川の近自然化を進めるためには、なくてはならない河川工法である。特に、出水時に流水が越流する低い水制は、水と土砂の流れを制御することができるため、河川の物理環境を整える有効な構造物である。近自然河川工法の考え方でしめしたように、物理環境は生態系の基本となる。

その作用を上向き水制から説明する。図 2-8 にしめすように、流水は水制を越流すると、水制に対して直角方向に曲がるため流下してきた土砂は、水制上下流の岸側に堆積して護岸の基礎をまもる。物理環境としては、遠浅の水際が形成され、岸側の高い土砂のところから植物が生育を始める。水制先端付近では河床が洗掘されて、淵が形成されるため、治水と環境の両立を考えると、最も適したタイプである。九州の河川での実績によると、上流側の河岸に対して 70～75 度の角度であれば、土砂堆積は確実に行われる。



伊藤弘住：土木施行講座　9 河川構造物施行法　1978. 山海堂

図 2-8　越流水制の向きとその洗掘・堆積作用

直角型水制の場合には、水制の下流中央付近に土砂が堆積し、淵は先端の下流に形成される。このタイプの水制の岸側にも土砂を溜めることも多くあるが、確実ではない。下向きタイプの場合は、水制先端下流に土砂が堆積し、水制下流の岸側が洗掘されて淵ができる。そのため、護岸が侵食される恐れがあるので、侵食防止対策を十分に実施する必要があるが、水際に淵をつくったり、入り江状の水域を形成するために用いることが可能である。そのため、治水面の安全性を確保すれば、特殊な物理環境を形成するための工法として検討に値する。2 つ以上のタイプの水制を混成したタイプもある。

水制工は河川構造物であるが、自然な河川では水制としての働きが様々なところで見られる。石 1 個でも、また木材でも水の流れが変化するので、近自然河川工法の設計には大いに活用すべきである。つまり、文字の意味である「水を制する工法」と解釈して、多様な材料と形を利用することが良いと考えられる。

(2) 越流型水制

a. 四万十川の事例

四万十川は流路延長が 196km の川で、計画高水流量は 14,000m3/s と、日本の河川の中でも大きい方に属する。写真 2-29 は河口から 1km ほどの場所で汽水域になっており、浅い礫河床に生育するスジアオノリ（汽水域で生育する大型の藻類）を採取する漁場である。これまでの川づくり計画では、写真 2-29 の手前にある高水敷きを下流に延長するとともに、

堤防を高くする計画であった。その計画で高水敷きになる水域は、スジアオノリの漁場であったため、漁獲量が減少する恐れからその対策が、また治水面からみると海に近いことから、堤防はコンクリート構造物にして波による侵食を防止することが要求された。

私が考えた案は、低い水制を用いて河岸に土砂を溜めるとともに、水制による河床材料ふるい分けをおこなって、スジアオノリの生育に適した礫の河床を維持することである。堤防は練り石張としたが、写真 2-30 でわかるように、その表面には石の突起が出た凸凹状態で、これを石混じりの山土で覆土した。その表面には、その周辺に生育している樹木を植栽した。水面に突出しているものは水制で、河床の変化に対応できるように、コンクリート枠の沈床とし、現地発生の砂礫を覆土した。完成後、数年で水際は予定どおり礫の河床になり、12 年後の堤防は樹高が 7m ほどの林になっている（写真 2-31）。また、工事で植栽した樹木は 4 種であったが、12 年後は 20 種類ほどに増えている。

写真 2-29　四万十川下流の工事前の状態

写真 2-30　枠水制と練り石張りを施工した

写真 2-31　工事完成から 10 年後の状態(遠浅で砂礫の水際と樹林が形成されている)

b. 砂礫のふるい分け

四万十川の事例で、最も注目されることは河床の砂と礫のふるい分けである。写真 2-32 で明らかなように、左側の陸に近い部分は礫ばかり、沖側は砂と泥である。一方、少し上流の水際に杭を並べて打ち込んだ場所（写真 2-33）は砂と礫が混合された河床になっている。つまり、水制のような突起があれば、出水時に流速の変化が生じ、それに応じて流速の小さい河床は砂が堆積し、流速の速いところは礫の河床になる。しかし、写真 2-33 のように水際を切り立った直線にすると、出水時に流速の違いが生じなくなり、従って河床の

砂と礫は同じところに堆積する。四万十川の礫河床の汽水域では、河川の流量が少なく水温が低下する冬季から早春にスジアオノリが繁茂し、漁業者たちはそれを採取して乾燥し出荷する。写真 2-32 の水際にある薄い緑色は、コアマモという汽水域に生育する水草で、泥河床に生育する。このコアマモ群落には、多くの魚介類の仔稚魚が成育し、外敵から姿を隠すとともに、豊富にあるプランクトンを餌としている。このように、水制によって岸側に土砂を堆積させ、かつ砂と礫をふるい分けをした事例は多くの河川で実績がある。

写真 2-32　水際の砂礫は篩い分けされている

写真 2-33　直線の護岸部では篩い分けされない

c. 近自然河川工法の効果

四万十川の河口域で実施した近自然河川工法の効果を図 2-9 の左図にしめす。工事前は、6 から 8 種の魚類が確認されたが、工事後は 18 種に増加し、4 年後には 21 種になった。生息が確認された魚類の中には、河口の汽水域に生息し、体長が 1.5m 以上になり「絶滅の恐れのある魚類」に指定されているアカメの稚魚も含まれている。

図 2-9 の右図はスジアオノリが生育する河床の高さをしめす。このノリは冬季は海抜-0.75 から-1.25m の礫河床に生育し、春季には海抜-1.6 から-2.0m の礫河床に生育することから、この高さの河床を維持するように水制を設計することが重要である。つまり、礫河床の面積を大きくすると、スジアオノリの生育量が多くなることから、先の河床の勾配をできるだけ緩くすることが重要になる。工事が完成した半年後の冬から、ここでスジアオノリの採取が始まった。なお、四万十川におけるスジアオノリの生産量は日本の全生産量の 50～80%を占め、この川の漁業者にとって大きな収入源になっている。

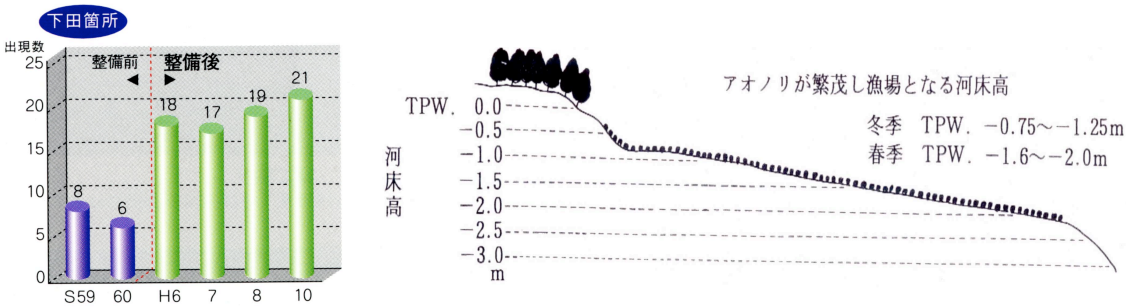


図 2-9　確認した魚類数の変化とスジアオノリの生育する河床の状態
（四国地方建設局中村工事事務所, 1995：まほろば「四万十川」多自然型川づくり, パンフレット）

d. 水際に土砂をためる

写真 2-34 および写真 2-35 は、九州・大淀川の事例である。河川のダイナミズムを利用して、護岸の基礎部に土砂を堆積させる目的で、直角水制を 3 基設置した。完成直後の出水で、先端部の石が少し動いたが、水制間への土砂堆積作用は大きく、2 年後には水制及び護岸が土砂で隠れてしまった。それに伴って、生育する植物種も増加し、1 年後には 34 種、そして 2 年後には 57 種の植物が確認され、またその間には、植物の優占種が変化している。河川の性質や出水の状態、さらに工事場所によって異なるが、この事例のように水制間の土砂堆積が進むと、護岸法面も土砂堆積が進むことがある。

写真 2-34　施工直後の九州･大淀川の水制

写真 2-35　2 年 5 月後には土砂堆積で水制が隠れた

e. 長くて低い水制は土砂堆積して砂州を形成する

写真 2-36 は、九州・球磨川の事例で、蛇篭鞍掛水制と呼ばれる日本の伝統的な河川工法である。蛇篭であるため、河床の変化に柔軟に対応し、外形が曲線で形成されているので、柔らかい景観になっている。この低くて長い水制の目的は、河岸の侵食を防止するともに、水際近くに土砂を堆積させて、砂州と遠浅の水際を形成することである。写真 2-37 は 4 年後の状態で、予定どおり土砂が堆積した。河川管理者である建設省の技術者は、「予定どおり土砂堆積して水制は隠れてしまったが、美しい姿が見えなくなったのは残念だ。」と言っていた。

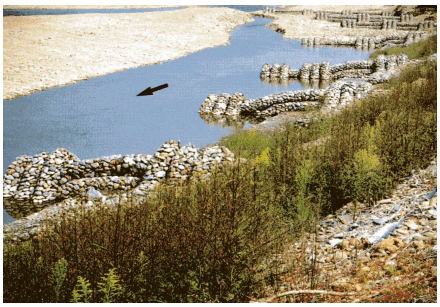


写真 2-36　工事直後の蛇篭鞍掛水制(九州･球磨川)

写真 2-37　4 年後に水制は土砂で隠れた

生態面の効果について、完成 1 年後に実施した調査結果をみると、植物の種類は水制の施工地点で 142 種、一方、自然河岸の場所では 144 種であったことから、工事後 1 年経過した時には既に自然な植生に近づいていたことになる。水生昆虫などの底生動物の種類数

は、水制の施工場所では 51 種であったが、自然河岸の水際では 49 種であったことから、これも自然河岸に近づいたと考えられる。魚類の調査結果によると、水制工の施工地点では 8 種の魚類が確認され、自然河岸では 11 種の魚類が確認されたことから、魚類相も自然河岸に近づいたと言える。

この場所の出水時の流速は、計算値で 5m/s 以上であったことから、数回の出水で、蛇篭鞍掛水制の先端が下流側に変形したが、水制としての機能は果たしている。バラバラにならずに、変形が許されることが、この水制の特徴である。

水制の生態的な機能について、同じく球磨川の事例によると、コンクリート製の根固めブロックをこれまでのように河岸に平行に並べた場合と、河岸から水制状に配置した場合の比較を、魚類の潜水観察で実施した。それによると、2 ヶ月後の調査では平行においた場合は 5 種の魚類であったが、水制状に突出した配置の場合は 8 種の魚類が確認された。

f. 擁壁前面の緑化

写真 2-38 の事例では、国道の拡幅工事のために川側にコンクリートの擁壁ができ、また対岸もコンクリートの護岸を施工した。同時に川の中も整地したので、変化の少ない流れになってしまった。河川の場合、水際を生態的に多様化すると、景観面も良くなることから、水際には土砂を堆積させる機能を持つ低い水制を設置し、水制の頭部と水制間にヤナギ類の挿し木を行った。さらに、川の中にも石を置いて、水の流れを変えた。写真 2-39 は 6 年後の状態で、ヤナギは生長して水際部分を覆っているし、堆積した土砂には草や他の樹木も生育し始め、自然な河岸のように見える。水面には速い流れがあり、その下流では少し淀み、また速い流れがあり、再び淀みと変化のある流れが続いている。この流れの変化は瀬と淵を 1 組としてとらえ、その波長を考えた置石をしている。このように擁壁工事直後の平坦な川に比較して多様な流れができ、自然な川の流れに近づいたことから、多くの魚類が生息し、釣り人が増えたようである。

写真 2-38　道路工事で平坦化した高知県･北川川

写真 2-39　近自然化の工事終了 4 年後の状態

g. 水制は魔法の技術

写真 2-40 は四万十川の支流の例で、工事前の状況である。河床は砂礫であるが両岸はコンクリートで固められ、魚類は少し生息しているが、植物は全く生育していない。そこで

環境改善のために、両側に水制を設置した。右岸は水衝部なので、機能とデザインを考えて少し高い水制にし、左岸は水裏のため低い水制とした。写真 2-41 は、工事終了から 3.5 年後の状態で、水制間に土砂が堆積し植物が生育した。植物はほとんどがツルヨシであるが、数種類の樹木も生育している。なおここでは、上流からの土砂供給に期待して、人為的に土砂は入れておらず、植栽もしていない。このように上流域から、土砂の供給があれば、川の自然性は回復することをしめした事例である。また、水制の先端付近には深みができ、多くの魚類がみられ、また夏になると、近くの子供たちが水泳をして遊んでいる。

写真 2-40　近自然化前の高知県･吉見川

写真 2-41　水制を設置して 3.5 年後の状態

h. 小川のワンド

写真 2-45 の場所は土地の余裕があったので、入り江状の水域（ワンド）を計画した。一般に、河川を拡幅すると、そこの流速は低下して土砂が堆積する。そのため、川幅の広い場所やカーブの内側に入り江をつくっても、出水とともに土砂で埋まってしまうことが多いため、ここではワンドを維持するために、下向き水制を使った。越流型の下向き水制は下流の岸側が掘れることから、写真 2-42 のように低い蛇篭を流れに対して斜め下流に向けて置いた。重要なことは、小さな出水でも水が蛇篭を越流する高さに設計することである。写真 2-43 は、約 10 年後の状態で、予定どおり入り江は残っており、完成直後よりはっきりした入り江状の水域になっていた。計画ではオタマジャクシが泳ぐ予定であったので、それは十分果たしていると考える。

写真 2-42　ワンドを保護する下向き水制

写真 2-43　10 年後にもワンドは残っている

(3) 淵をつくる

a. 淵の形成 3 態

河川における淵の形成は、大きく 3 種類に分類できる（写真 2-44～写真 2-46）。それは落差の下に形成される S 型の淵、巨石などの大きな障害物の周囲に形成される R 型の淵、川の曲がりの外側に形成される M 型の淵である。近自然河川工法で設計する場合、この原理をうまく使うことが重要である。河川の勾配や出水時の流速にもよるが、S 型については、日本ではその落差が 10～15 センチメートル程度でも形成される。ただし、落差工の角を丸めるなど魚類の遡上には配慮する必要がある。R 型の淵は、置き石だけでなく、先述した水制も利用できる。M 型の淵については、河川の蛇行（曲り）を直線化しないことで、この限界の角度は 25 度程度あれば淵が形成されるといわれている。いずれの方法を採用するかは、現場の状態によって決定する。治水上の危険性が生じないように、深く掘れても危険のない構造にすることが重要である。

写真 2-44 落差の下にできる S 型

写真 2-45 巨石の周囲にできる R 型

写真 2-46 カーブにできる M 型

b. 淵があり魚が遡上できる川に

写真 2-47 は四万十川支流の北川川の事例で、ここは大きく蛇行していたが、洪水時の流水を早く流下させるために、川をショートカットした。その際、勾配を調整するためにコンクリートの落差工が、また左岸側には魚道がつくられたが、上流側の入り口は土砂で埋まり機能を果たしていなかった。魚類はこの落差工を遡上できず、下流に形成された深い淵にたくさんの魚類が生息したことから、釣り人は喜んでいた。そこで、堰堤のコンクリート部分を不規則に切り取り、また上流側の河床の岩も、不規則に切り取った。その結果、落差工やその上流の部分にも様々な流れができ、魚類は大きさや種類によって最も適した場所を選んで遡上している。写真 2-48 で明らかなように、近自然河川工法による改良工事の特徴は、人工的な景観が自然の渓流のような景観に変化したことであろう。

写真 2-47　近自然化の工事前(高知県･北川川)

写真 2-48　近自然工法による改修工事 6 年後

c. 落差工の計画

愛知県の小さな川（太田川）で、川幅を広げる河川改修が計画された。この川の近自然河川工法としての課題は、魚類の生息環境の保全（移動路と淵）および農村景観への調和である。淵づくりとしては、写真 2-49 のように勾配を調整するために 20 センチメートルほどの落差工をつくり、下流側の深みを保全している。この落差工の場合、下流の河岸基礎を保護するために、落差工の両側は少し内側に向けている。それによって、河岸の下部の侵食が小さくなり、中央部の深みが深くなっている。また、落差工の石の角を欠いて流れの下に空気層ができないようにして、魚類の遡上に配慮している。

写真 2-50 は、落差工にせずに急勾配の渓流にして、高さを調整した例である。この時の配慮事項は、平常時の流速が速くならないようにしたことである。そのために河床を凸凹にしたが、泡立ちの発生は防止しなければならない。魚類の遡上を考えた場合、縦断勾配は 1/10 以下にすることが望ましく、できれば 1/20 程度にすべきである。この川の場合は、緩い流れの部分をつくるために斜路の両側は石を置いて緩傾斜にしている。現在は、土砂が堆積して植物が生育している。河岸の石積みは少し凸凹をつけ、隙間から植物が生育し、柔らかな景観になった。

写真2-49　落差工にして魚窪地をつくった

写真2-50　渓流にして落差を調整する

(4) 近自然公園

写真 2-51 は豊田市の中心部で実施された都市における近自然工法の事例で、工事前の状態である。豊田市では、高度成長期の都市域の拡大に伴い、農地の中を流れていた小川を暗渠化し、水田を埋め立て市街地を拡大した。その時、公園が必要になったため、グラウンドとプールのある都市公園をつくった。数十年が経過し、豊田市はさらに市街地が拡大するとともに、人口も増加したので、郊外に駐車場付の立派なグランドや１年中泳げる温水プールを建設した。そのため、この公園を利用するのは、周辺の子供だけになった。

1990 年代になり、近自然工法を推進する豊田市の土木技術者は、再び小川を復活することを、住民に提案した。都市の中心にグランドがあるよりは、自然の川が必要だと判断したのである。そして、周辺の住民に呼びかけたところ、最初は反対もあったが、昔の自然な川を知っている老人たちが賛成し、次いでお母さん達も賛成して、実行することになった。小川を復活するために掘り出した土はグラウンドに盛り上げて小山をつくり、里山にある樹木を植栽した。さらに、昔の小川を探して掘っていくと、水田の跡が出てきたので、

その水田も小川とともに復活した（写真 2-52)。

写真 2-51　近自然化前の公園にはグランドとプールがあった(豊田市･児ノ口公園)

写真 2-52　近自然工法による工事で田舎の風景となった。

現在では、春の花見、6 月は田植え、7 月の七夕、秋の月見と稲刈りなど、地域住民が共同して行う行事が増え、交流が盛んになった。特に、老人たちの活動の場が増え、地域の子供たちに田植え、稲刈り、餅つきなどを教える光景が見られる。小さな里山では、樹木が順調に育っているので、まもなくカブトムシやクワガタムシが見られるであろう。

写真 2-52 でわかるように土の道があり、中央には小川とそれを渡る木橋がある。土の道は、スイスの近自然工法の理念、「不浸透地域を拡大しない」に学んでおり、そこを歩いてみると柔らかく、また夏でもそれほど暑くならないようである。小川を渡る橋は、老人たちが公園内で間伐した樹木で手作りした作品である。小川には、今は貴重な魚類になった、メダカも泳いでいる。春から夏には、近所の子供たちが魚とりや、どろんこ遊びに夢中になり、春には、小川の両側に菜の花をはじめとする様々な花が咲いている。

写真 2-53　土の歩道と春の小川がある

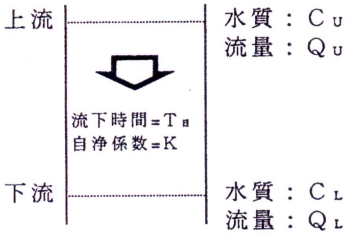
写真 2-54　せせらぎにはメダカも泳ぐ

Ⅲ　河川における水質浄化と漁業

1. 水質浄化の理論

ここでは近自然河川工法と水質浄化について述べる。写真 3-1 の左は、これまで進めてきたコンクリートの U 字溝による小川の改修例であり、右写真は近自然河川工法による改修後の小川である。川の蛇行を許容するために、侵食防止として、要所要所に石を配置しヤナギの挿し木をした。このような 2 つの改修例について、水質浄化作用を比較してみる。

河川に流入した汚濁物質は、微生物等による分解、河床等への沈殿や吸着などの作用により減少する。上流の水質濃度を C_U、流量を Qu、下流の水質濃度を C_L、流量を Q_L、自浄係数は K、流下時間は T（日）とし、流量が変化しないと仮定すると、汚濁物質の減少は $C_L = C_{U*} e^{-KT}$ となる。この式でわかるように、自浄係数が大きいほど、また流下時間が長いほど下流側の水質 C_L は改善される。自浄係数は、河床の状態、付着藻類や植物の生育、水の流れ方など多くの要因で変化するが、左写真のように川がコンクリートで固められるより、右写真のように土や石やヤナギがある川の方が、浄化係数が大きいことは明らかである。また、長い時間かけて流下するほど水質がきれいになる。近自然河川工法の小川の流下時間は、コンクリートの小川の流下時間より長いことは明白で、近自然化した川の浄化能力は、コンクリートの川の浄化能力より大きいことがわかる。



$Q_U = Q_L$ なら

$C_L = C_U * e^{-KT}$

K：浄化残率ともいう

図 3-1　水質浄化の理論式

写真 3-1　これまでの改修（左写真）と近自然河川工法による改修（右写真）、（豊田市・ソウロ川）

2. 水質浄化のメカニズム

河川における汚濁物質としては、BOD（生物学的酸素要求量）であらわされる有機物質、窒素、リンなどの無機物質、水中に微粒子で懸濁している浮遊物質などがある。BOD の浄化に関しては、先述の自浄作用で説明できる。一方、窒素は、タンパク質、アミノ酸、アンモニアなどに含まれ、化学変化を経て硝酸イオンになる。また、有機物中のリンも同様に化学変化でリン酸イオンになる。これらが河川から除去されるのは、付着藻類や植物に取り込まれた後、その植物等が出水で流下するか、またはそれらを含んだ植物が動物類に食

べられて食物連鎖で除去されることが必要である。さらに、浮遊物質は沈殿・吸着・ろ過で水中から取り除かれる。クリスチャン・ゲルディ氏は、砂礫河床の表面積がコンクリート河床のそれより大きく、窒素やリンを吸収する付着藻類や分解等の浄化作用をする微生物の生育面積が大きくなることを報告している（図 3-2)。それによると、コンクリートの河床面積を 1 とすると､コンクリート河床に石を埋め込むとその表面積は約 1.8 倍になり、さらにその上に石を並べると表面積は 7.28 倍に増加する。また自然の河床であれば 2,600 倍になる。先の硝酸イオンやリン酸イオンを浄化する付着藻類は石などの表面で生育するので、表面積の増加は浄化作用の増加になる。自然の河川では、これに加えて砂礫等の間を通過する水のろ化作用や、波立ちによる水中への酸素の補給も期待できる。さらに、先に述べた流下時間についても、河川をコンクリート化すれば、飛躍的に短くなることは明白である。これまで、治水や利水のために河川等をコンクリート化してきたが、これは河川の浄化力を低下させたことになる。つまり、これまで汚濁物質やゴミなどの汚れをできるだけ早く、スムーズに流下させていたが、逆に川の水質を汚していたことになる。

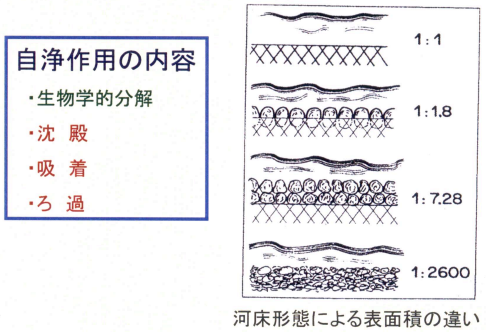


図 3-2　河川での水質浄化作用と河床面積

写真 3-2 は四万十川の洪水で、写真 3-3 はその濁水の海への拡散状況である。先述したように、自然性の高い河川では、河床や石の表面で汚濁物質を吸収した藻類が繁殖し、また礫の間や川底に沈殿した懸濁物質が、どんどん蓄積されていく。しかし、自然界は良くできており、不定期であるが時々洪水が発生して、河床を攪乱し、礫の表面を洗い、川底や礫の間の泥などを下流へと運ぶ。つまり、平常時の水質浄化によって付着藻類などに取り込まれた栄養物質や、礫の間に泥とともに堆積した固形物は、出水時の攪乱によって海へと運ばれる。海にとってこれは重要なことである。

写真 3-2　高知県･四万十川の出水

日本の太平洋南部の海域では、こうした洪水のあと濁水の境界部分にイワシ類の稚魚が大発生するが、これは陸地の栄養源が、海の生物を育てる例の一つである。また四万十川では、秋に台風が襲来して洪水が発生すると、その年の冬にはスジアオノリの収穫量が増加する。スジアオノリは、水温が低下する時期に河口域の礫の表面に生育する藻類で、礫の表面が泥等で覆われるとスジアオノリの生育が妨げられるが、秋に洪水が発生して河床

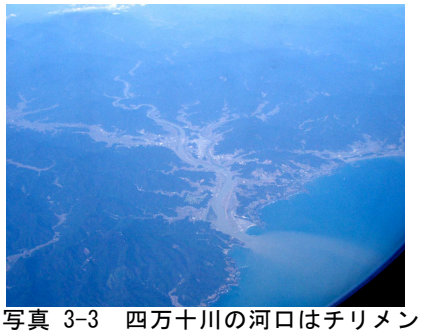


写真 3-3　四万十川の河口はチリメンジャコ（イワし類の稚魚）の漁場である

を攪乱し、また上流から新鮮な礫を運んで来た年の冬は豊作になるそうである。河川における洪水は、水質的また生物的に見て必要な現象であり、また海にとっても重要な栄養供給源になっている。

3. 川漁による水質浄化

漁業による水質浄化の効果についての試算例をしめす。図 3-3 は、四万十川における漁獲量の経年変化をしめしている。四万十川は、日本の中でも川漁業が盛んな川の一つで、それを中心にして生計を営んでいる漁業者が百人ほどいる。川での漁業は、藻類や魚介類によって吸収された栄養物質を、川から取り上げることであるので、漁獲量が多いほど、河川を浄化する効果は大きくなる。20 年前に比較して、2001 年は漁獲量が 4 分の 1 に減少していることから、その効果も 4 分の 1 になっていると考えらる。

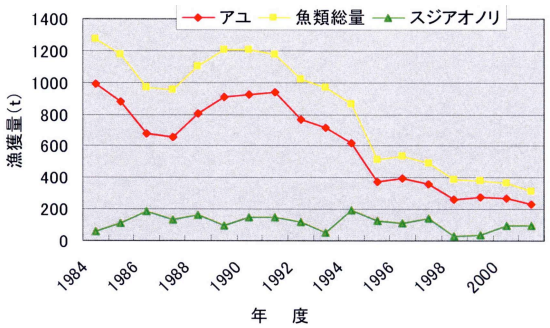


図 3-3　四万十川における漁獲量の推移
（農林水産統計年報）

そこで、四万十川における浄化について、漁獲量が多かった 1984 年および少なかった 2001 年の漁業による水質浄化を、高知県農林水産統計年報の値と、各水産物の窒素含有量から四万十川における栄養塩の除去量（水質の浄化量）を試算した（表 3-1）。なお、「具同の流下量」は、年平均水質×年平均流量から求めた汚濁負荷量で、この地点はスジアオノリが生育する区域のすぐ上流に位置している。そのため、川漁業による除去量に具同の流下量を加えた量が、四万十川全体の負荷量と仮定すると、漁獲量が多かった 1984 年には、漁業による除去量は全窒素量の 10%程度であったが、2001 年には 5%に減少したと考えられる。同様な試算をリンについても行ったところ、1984 年の漁業によるリンの除去量は 14%、2001 年のそれは 7.9%と計算された。このように、漁獲量の減少が、河川の汚濁を進めていることは注目すべきと考える。

近自然河川工法によって、魚類やスジアオノリなどが増加すれば川の汚濁は減少し、四万十川の川漁業も振興できることになる。さらに、食物ピラミッドで示されるように、魚が増加すると上位に位置する動物も増加して、川から汚濁物質の除去量がさらに増加する。このように、近自然河川工法によって河川の生物が豊になれば、川はきれいになり漁業などの地域産業の振興も進むと考えらる。

表 3-1　川漁業が果たす水質浄化への貢献度

川漁業によるNの除去量

年　度	1984年(S59)			2001年(H13)		
水 産 物 名	魚類	ｴﾋﾞなど動物	ｽｼﾞｱｵﾉﾘ	魚類	ｴﾋﾞなど動物	ｽｼﾞｱｵﾉﾘ
漁 獲 量 (t/y)	1,273	95	59	313	48	98
N含有量(g/100g)	2.93	3.21	2.90	2.93	3.21	2.90
Nの除去量(t/y)	37.3	3.0	1.7	9.2	1.5	2.8
総Nの除去量(t/y)		42.1			13.6	

Nの除去割合

年　度	川漁業の除去量 A(t/y)	具同の流下量 B(t/y)	A/(A+B) (%)
1984年(S59)	42.1	380.5	10.0
2001年(H13)	13.6	258.3	5.0

（N 含有量：食品成分表，具同の流下量=(公共用水域の水質測定結果×流量年表による水質測定日の流量)の平均値）