

2015 年度（第 51 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 15-A-6

河川・氾濫原の自然再生
ーその技術と考え方

北海道大学 教授

中村太士

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2015 年 8 月

河川・氾濫原の自然再生－その技術と考え方

Restoration of streams, rivers and floodplains – concept and technical basis

中 村 太 士
Futoshi NAKAMURA

1. はじめに

北海道を代表する大河の多くは、かつて大きく蛇行しながら広大な氾濫原を形成した。その結果、扇状地では網状の河道が複雑に発達し、沖積低地では川の周辺に自然堤防が発達した。氾濫原や自然堤防の上にはうっそうとした河畔林や湿地林が生育した。扇状地では伏流水や湧水が湧きあがり、自然堤防背後には、洪水時に雨水が停滞する広大な後背湿地帯が広がった。大径の河畔林にはシマフクロウが営巣し、蛇行した大河にはイトウやサクラマスが棲み、自然短絡した蛇行河川は三日月湖となり、多くの渡り鳥の中継地となった。

こうした北海道の自然河川は、戦後の復興とともに大きく変貌した。特に、1960年代以降の高度経済成長期における農業開発は、北海道の河川そして周りの氾濫原を激変させた。北海道の大河のすべては、戦後の農地開発とともに捷水路工事が実施され、蛇行河川は直線河道に変化した。大河、石狩川本川も、改修前に364km程度あった流路延長は、現在268kmになっており、ショートカットにより約100kmも短くなったことになる。

我が国は、1993年に生物多様性条約を締結し、1995年から4次にわたり生物多様性国家戦略を策定してきた。また昨年は、生物多様性条約締約国会議（COP10）が名古屋で開催されるなど、生物多様性の保全に向けた取り組みが注目されるようになってきた。2001年～2005年にかけて行われたミレニアム生態系評価（MA）は、1000人を超える専門家の参加のもと、地球規模で生物多様性や生態系を評価した。また、2006年、2010年には、地球規模生物多様性概況第2版、第3版（GBO2, GBO3）が公表された。その中では、2010年目標「2010年までに生物多様性の損失速度を顕著に減少させる」は達成されなかったと結論している。

2010年、GBOの日本版であるJBO（日本生物多様性総合評価報告）が発表された。筆者も、この作成委員会に参画した。河川については、1997年の河川法改正、2002年の自然再生推進法の制定にともなって、環境や生態系の保全を目的とした事業が実施されるようになってきた。しかし、評価結果は「湖沼を含めた陸水生態系の状態は、1950年代後半から現在に至る評価期間において大きく損なわれており、長期的には悪化する傾向で推移している。」というものであった。その原因としては、砂利採取、河川改修、湖沼や湿原の埋立て等があげられている。これに加えて、外来種問題が深刻化していることが指摘された。

こうした背景のもと、本論では、近年顕在化している河川生態系と生物多様性の劣化プロセスを、河川構造、流況、流砂系の変化から検討し、その現状の課題と再生の方法について紹介したい。

2. 河川構造の変化と生物多様性

日本が多くの蛇行河川を失った歴史は、近代的な土木技術が発達した明治時代、明治29年の河川法の制定にかのぼる。それ以前、明治初期の河川管理方法は、オランダ技術に代表される低水工事と呼ばれるものであった。低水工事とは、舟運による物資輸送を可能にするため、また安定して取水や灌漑ができるようにするため、川の水位が低い時期にも濬筋（みおすじ）が乱れないように調節し、安定した水位や水深を確保するために実施される工事のことである。その後、物資の輸送が舟運から鉄道や道路などの経路に変わると、低水工事の重要性が低下し、多発した大河川の氾濫と時期を同じくして、高水工事の必要性が叫ばれるようになった。高水工事とは、洪水時に河川の氾濫をおさえ、河水を一時貯留したり、より早く海まで流したりするように計画された工事のことである。明治29年に制定された最初の河川法

は、高水工事による治水に重点を置いた法整備であり、フランスへの海外留学から帰ってきた若い技術者達によって、築堤を中心にした洪水防御工事が実施され、河川は徐々に直線化されていった。

蛇行していた北海道の河川が、捷水路工事と築堤工事によって直線化され、大きな変貌を遂げたのは、戦後の高度経済成長期、1950~1960年代であろう（図1）。北海道におけるこの時代の捷水路工事は、治水目的の他、河川の両側に広がる泥炭地を乾燥化し田畑として利用する目的もあった。捷水路工事は流路延長を短くし、河床勾配を急にするため、一般的に流速が増大し河床が掘れて低下する。この低下した河床に連動して、周辺地域の地下水位も下がり、農地として利用することが可能になったのである。こうした歴史的背景を経て、日本の蛇行した河川は直線化され、治水の安全度は向上し、周辺地域の集約的な土地利用が可能になった。



図1 標津川における蛇行河川の直線化

一方で、河道の直線化とともに、蛇行河川や氾濫原に依存しながら生育・生息して生物種の多くは姿を消した。かつて、北海道の多くの河川に生息していたと考えられる日本最大の淡水魚イトウは、主に平野部を流れる蛇行河川に生息し産卵もしていたが、直線化とともにほとんどの河川から姿を消した。さまざまな生物種は、蛇行した河川の構造やその水文・水理条件に適応し生存してきた。そのため、直線化によってその環境を失うことは、すなわち絶滅を意味する。

曲がった川と直線の川は何が違うのか。川は曲がることによって、瀬や淵の繰返しを創り出す。多くのサケ科魚類は、淵に生息し、瀬から流されてくる水生昆虫を捕食する。また、淵から瀬に変化する場所では、川の水が一度砂礫に浸透し、伏流水となって再び川に戻る流れが形成される。こうした場所は、サケ科魚類の産卵する場所として機能し、卵が生きていくためには、伏流水によって十分な溶存酸素が供給される必要がある。曲がった川の外側には深い淵が形成され、岸が侵食されることによって川辺の樹木が倒れこむ。倒木の内部には遅い緩やかな流れが形成され、周辺には複雑な速い流れが取り囲み、さまざまな大きさの、そして多くの種類の魚類が生息できるようになる（図2）。

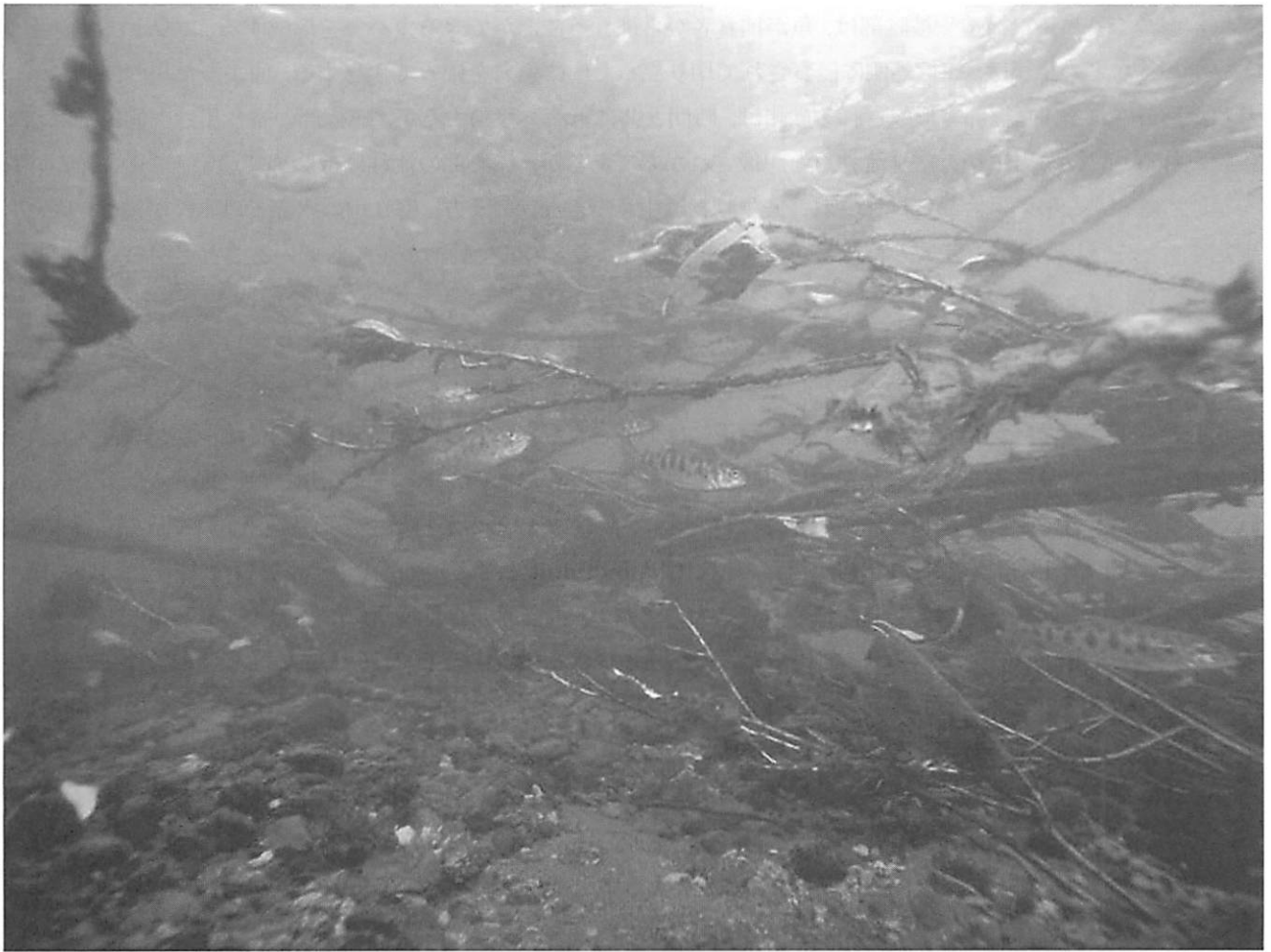


図2 倒流木の周りのサクラマス幼魚

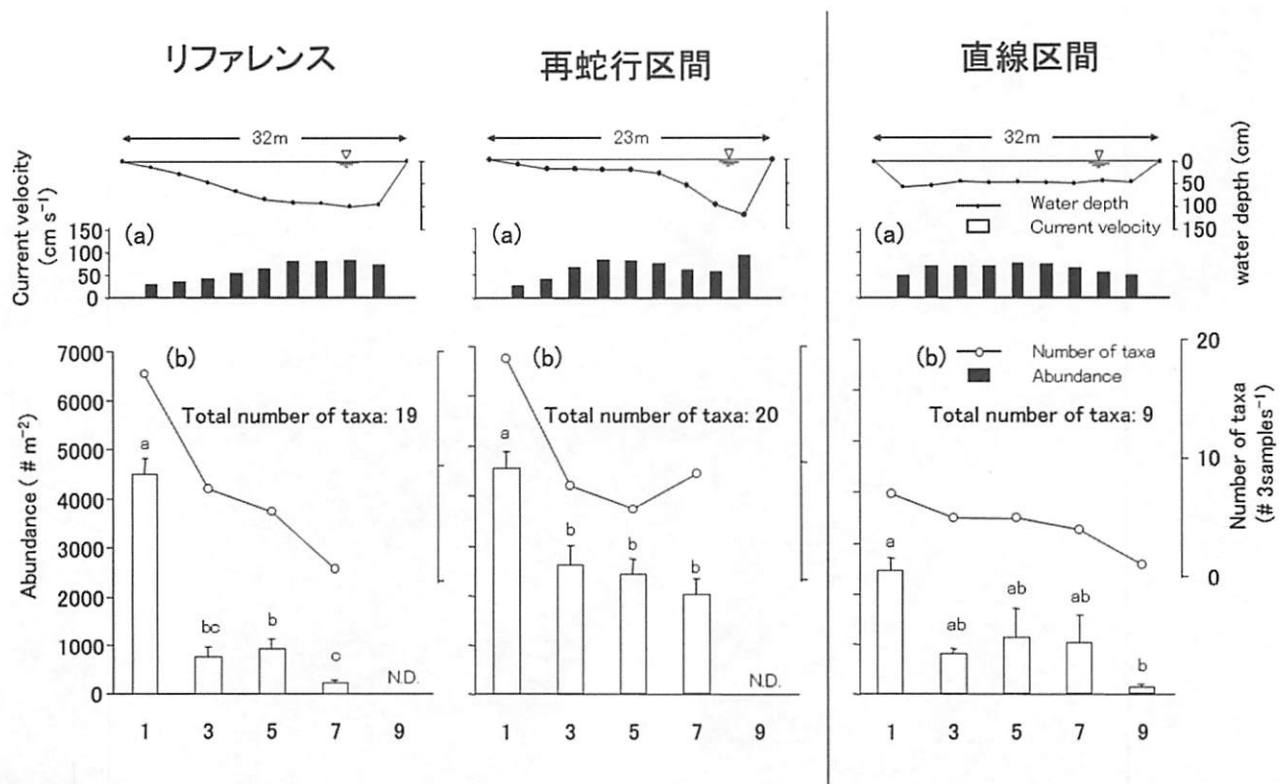


図3 蛇行河川と直線河川の底生動物の密度と種類数

倒木がつくる複雑な構造や被陰部は、魚が捕食者から逃れることができるカバーを形成する。カワセミやショウドウツバメなどの鳥類は、蛇行外側に侵食されて切り立った崖に巣穴を掘って生息する。曲がった川の内側には寄り州が形成される。直線部で形成される砂州は、時間と共に下流へ移動するが、蛇行部の寄り州は内側に安定して維持される。蛇行河川はゆったり流れると想像されがちであるが、流心部の流れはきわめて速い。このため、底質を構成する細かな砂礫は容易に運搬され、底生動物は生息できない。一方、寄り州の水際には水深が浅く、底質も安定する。こうした水域と陸域の移行帯（エコトーン）には多くの底生動物が生息していることが明らかになっている（図3）。

直線の川は、これとは逆に、川の深さや速さが一様で平瀬が続く。単調で速い流れの中では、魚類は定位するためにエネルギーを消費してしまい、ほとんど生息できない。魚類が生息するためには、流速ゼロもしくはゆっくりと渦を巻くような領域が必要になるが、直線河道には形成されない。さらに、直線化されて流速が早まり、底質を構成する砂礫が容易に動くような状況では、底生動物も生きていけない。まっすぐな川には、曲がった川で形成されるようなエコトーン領域はなく、水域と陸域は完全に分離しているのが特徴である。

淵や瀬など、河川内に形成される河川流路単位（Channel unit と呼ぶ）の生息場環境がもつ機能については、魚類や底生動物の研究を通じて明らかにされてきた。一方で、氾濫原の生息場所についての研究数は、まだ限られている。河川と氾濫原のつながりは、河川生態系の生物多様性を保全する上で、最も重要な課題の一つである。各生物種は生活史ステージに応じて異なる複数の生息場環境を使うことが知られており、こうした生息場所が離れずに連結されている必要がある。また、ある生物種は、氾濫原内にある池やワンドが洪水氾濫により一時的につながることで、生活環を全うできる。こうした洪水攪乱による季節的、一時的な連結も重要な生態系プロセスである。一方で、これまでの河川改修によって、河川と氾濫原の連結性が失われたのも事実である。捷水路工事と築堤は、堤内にある河跡湖との連結性を遮断した。また、高水敷と低水路固定によって、河川と氾濫原にあった多様な生息場環境は失われた。



図4 石張り護岸の多自然型河川改修

こうした状況に歯止めをかけようと、国は1991年「多自然型川づくり」に関する通達を出し、川の生物に配慮した河川管理をめざすことを宣言した。この新たな考え方は、ヨーロッパのスイスやドイツで実施されていた「近自然河川工法」を参考にしながら、日本独自の技術を発展させるものであった。通達には「河川が本来有している生物の良好な生育環境に配慮し、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」と明記されていたが、この思想・理念を現場で実践することに生物知識のない土木技術者は頭を抱えた。そのため、多自然型護岸に代表されるように、コンクリートで護岸せず石張りにするといった、工種・工法に偏った事例が多く実施された（図4）。総じて言えば、過去の多自然型川づくりの多くは、修景と公園造成の役割を果たしたが、生物に対する機能や効果はきわめて薄かったと言わざるを得ない。

3. 流況の変化と生物多様性

北海道には冬季、雪が積もり春になると融雪が始まる。このため、北海道の河川流量には、4月～5月にかけて大きな融雪出水のピークがある。年間流量に占める融雪流量の割合は高く、多いところでは半分程度に達する。このため、北海道の河川に生育、生息する生物は、この季節的な攪乱のリズムに合わせるような生活史をもっている。

北海道の水辺には、様々な種類のヤナギ科植物が生育する。これらのヤナギ科植物の種子散布時期は、種ならびに属によって微妙に異なるが、全体としては5月～9月である。これは冷温帯積雪地域では必ず融雪洪水が春先に発生するため、その洪水減水期に時期を合わせて種子を散布している（図5）。つまり、融雪洪水という予測可能な攪乱に対しては、散布時期を同調させることによって、新たに形成された裸地（砂州）に侵入・定着できる可能性を最大化していると考えられるのである。

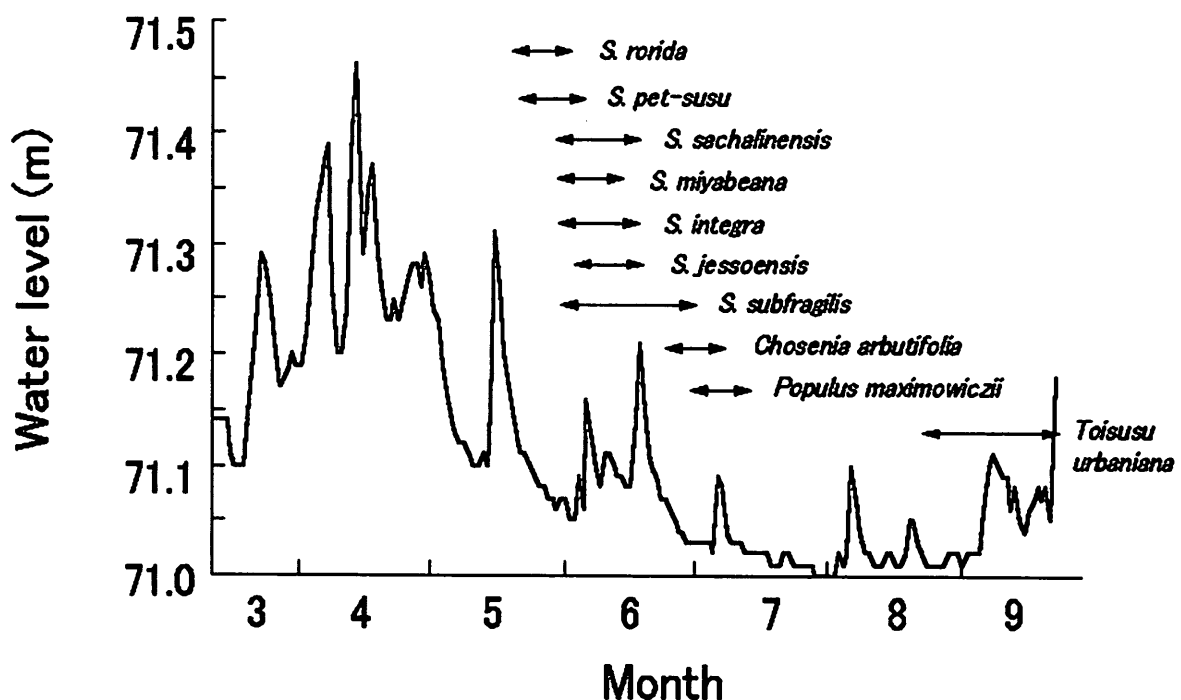


図5 北海道におけるヤナギ科植物の種子散布時期

ヤナギ科植物の種子は 1000 粒で 100～600mg ときわめて軽く、毎年大量に生産され、風によって容易に運ばれる。発芽定着できる条件は、河川が運搬してきた砂礫で構成される裸地（鉍質土壌）であり、定着には光や水分が良好な立地を必要とする。林床植生下の落葉リター上などでは発芽定着できない。ヤナギ属は 5 月から 6 月にかけての融雪出水の減水期に種子を散布しており、出水によって形成された裸地にいち早く侵入することができるが、その反面、小規模な出水ピークによって冠水や流出の被害を受けやすい。一方、ケショウヤナギやドロヤナギ、オオバヤナギなど散布時期の遅い種は、水位がほぼ低水位に収まった 7 月以降に侵入することから、他のヤナギ属にすでに侵入されている不利な立地か、もしくは流水近くの裸地、融雪後期にまれに発生する大規模出水によってつくられる攪乱裸地などに侵入する。実際、北海道の河畔林において、流水近くに成立する種は、この 3 種とケヤマハンノキである。

仮にこうした融雪出水が貯水ダムによる流量調節によって抑えられ、5 月から 6 月にかけての砂礫堆の形成と水分の供給が失われた場合、種子が発芽定着できる更新立地は激減し、ヤナギ科植物が水辺域から姿を消すことは容易に想像できる。図 6 に札内川ダムによる流量調節の流況を示した。融雪洪水のピークがダム建設後大きく減少していることがわかる。

現在、貯水ダムにおいては、ダム下流の水涸れ区間の解消を目的に維持流量が確保されるようになった。しかし、維持流量のみならず、自然河川の流量の季節変動を考慮した放流がなされなければ、北海道の河川生物は生き残ることはできないだろう。植物の開花、結実時期、動物の渡り、休眠、発情時期など、生物が示す季節現象を生物季節（フェノロジー）と呼ぶ。生物多様性に与えるダムの影響は、魚類に認められるような上流域と下流域の移動阻害のみならず、人為によって変えられた流況と生物季節とのミスマッチによって引き起こされており、これをいかに解消していくかは今後の重要な課題である。

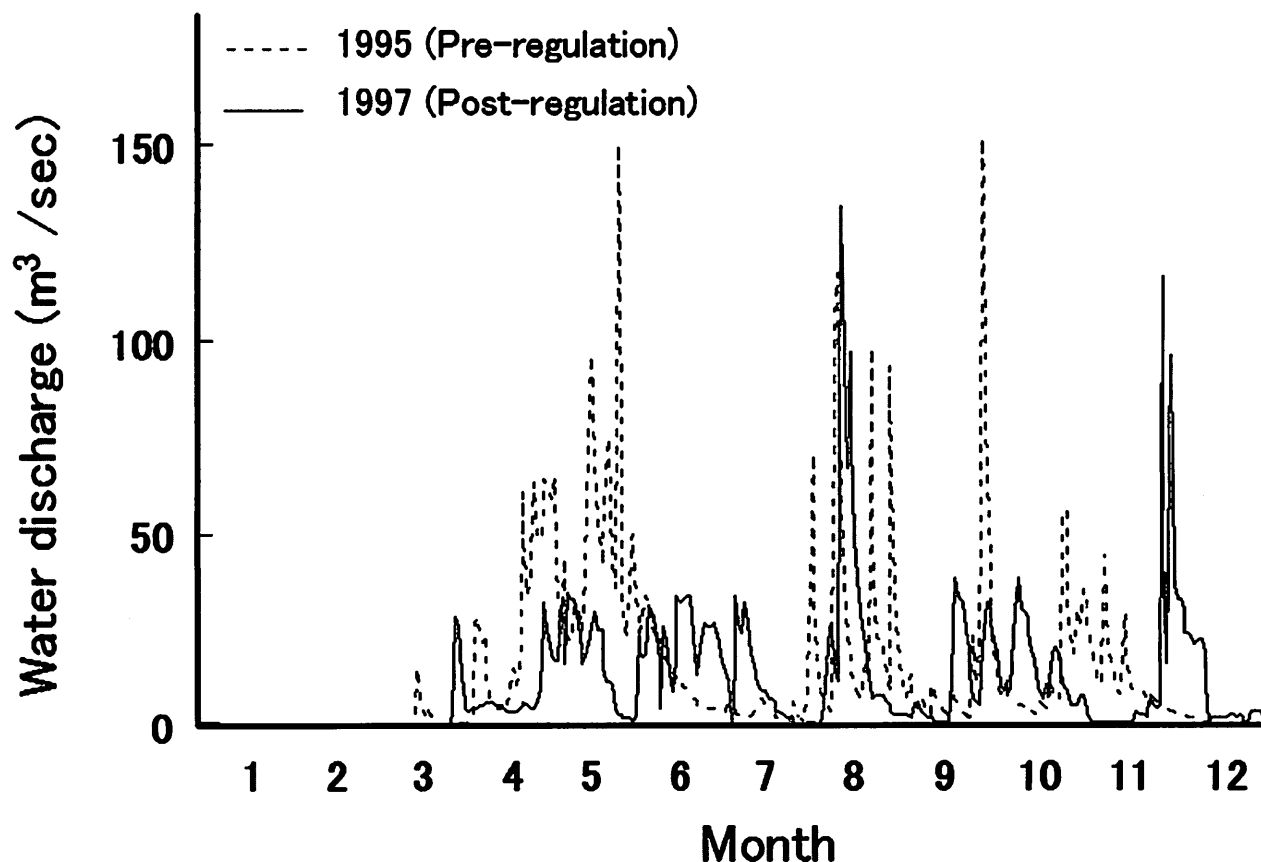


図 6 札内川ダム建設前後の流況変化

4. 流砂系の変化と生物多様性

明治 29 年の河川法，明治 30 年の森林法と砂防法と，いわゆる治水三法の成立以降，近代国家日本は，土砂生産ならびに流出をいかに防止し，崩壊地を緑化するかに大きな力を注いできた。事実，大正から昭和の戦後にかけて，日本の山地は禿山が至るところにあり，洪水そして土砂害も頻発した。当然，土砂生産を抑えて，下流河川の河床上昇を防ぎ，治水上の安全を確保することが，国家としての至上命令であったと思う。

しかし，戦後，日本の国土は急激に変化した。高度経済成長とともに，安全な国土を開発するために治山・砂防事業はさかんに実施され，日本では禿山をほとんど見ることはなくなった。一方で，昭和 30 年代，いわゆる林力増強計画の実施により，奥地天然林はスギやヒノキなどの人工林に置き換わった。しかし，その後の安価な外材輸入により日本の人工林は温存され，国土保全上問題となる皆伐地は減少してきた。日本の国土がこれほどまでに緑で覆われた時代は，これまでなかったと思われる。

一方で，日本の多くの沖積扇状地河川は，平均して 2m 程度，河床が下がっている（図 7）。河床低下の大きな原因は，河床低下量と砂利採取による系外への持ち出し量の比較から，高度経済成長期の川砂利採取と推定されて

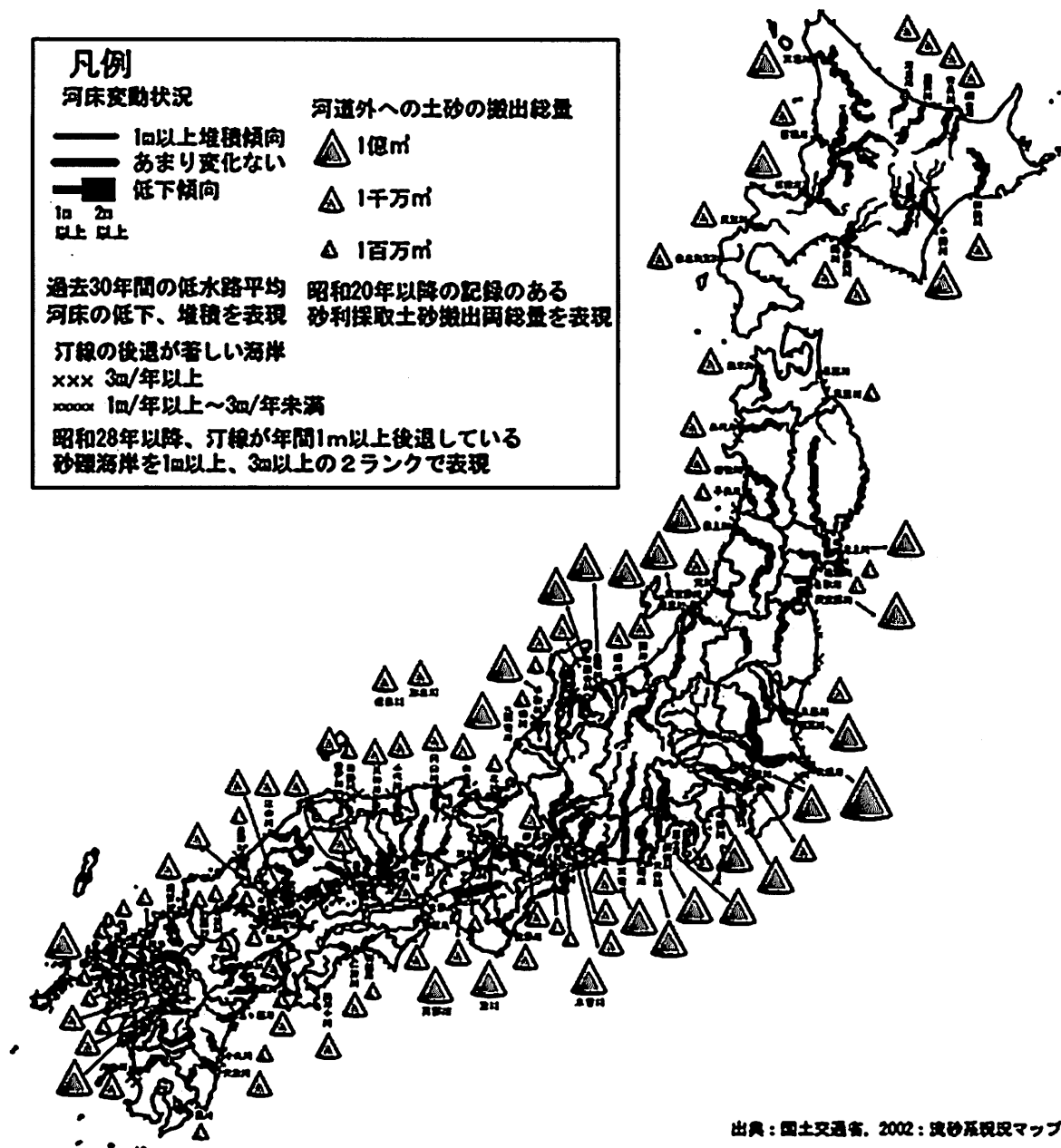


図 7 日本の河川の砂利採取と河床低下

いる。一方、現在砂利採取はほとんど実施されておらず（禁止されており）、貯水ダム、治山・砂防ダムによる土砂流出の防止・貯留が、過去の砂利採取に加わる形で過剰に効きすぎている可能性も高い。その結果、土砂生産・流出レジームは明らかに変化し、下流扇状地河川では河床を構成する土砂が供給されなくなっていると推測される。河床が下がることは、河積が増えることになり、これまで治水上の観点からは歓迎されてきた。しかし、侵食が度を越し、数メートル下がりだすと、橋脚や堤防・護岸の根の部分が洗われ、場所によっては構造物の安全性に影響を及ぼす事態になっている。

河床低下に伴う河川生態系の変化として、維持管理上、最も大きな問題になっているのが、氾濫原もしくは高水敷の樹林化である（図8）。樹林化とは、かつて河原として維持されてきた場所に、ヤナギ類、ハンノキ類、外来種のニセアカシアなどの樹木が侵入し、旺盛に繁茂することである。河床低下に伴い、滞筋（みおすじ）が固定化し、氾濫原（高水敷）の洪水攪乱が減ったことに原因がある。川は洪水時に砂礫を運搬する。源流部から土砂が生産され、砂礫が活発に移動する川では、複数の流路が網状に発達し、広い礫床の河原が形成される。こうした活動的な河川では、河床低下が起こることはなく、たとえ樹木が河原に定着してもすぐに流されてしまい、大きな樹林に成長することはない。一方、今の日本の川では、砂利採取やダムによる砂礫捕捉、発電・取水・治水による流量調節によって、水位低下もしくは流況が安定し、低水路護岸によって滞筋が変動しなくなっているのが特徴である。これによって、樹林化が進行し、名前の前に「カワラ」が付くカワラノギク、カワラハハコ、カワラバッタなど、河原特有に見られる生物が日本の川から姿を消している。

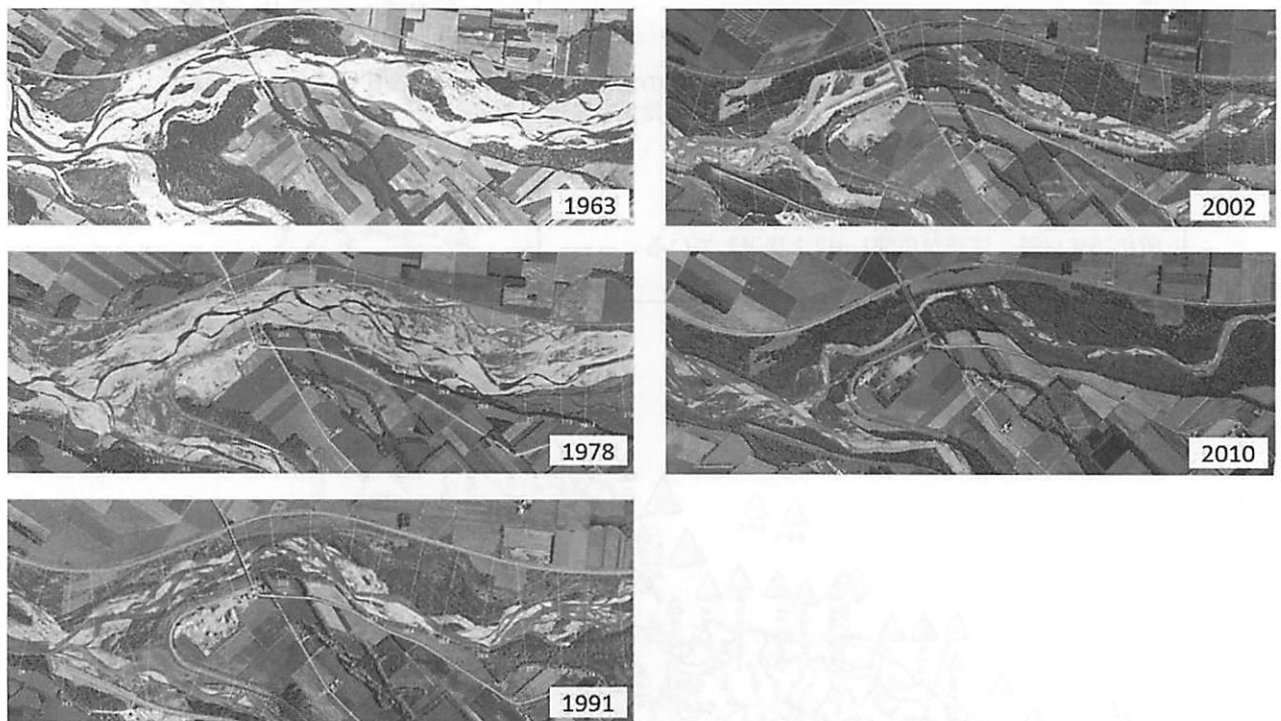


図8 北海道札内川における氾濫原の樹林化

河床低下が極度に進むと、生き物にも甚大な影響を及ぼす。まず、河床を構成する礫がアーミングにより大礫ばかりになり、底生動物が棲めるような小さな石ころがなくなってしまう。サケの産卵床としても適さなくなる。また、さらに侵食が進むと、河床を覆っていた大礫もなくなってしまう、今度は河床に基岩が現れるようになる。岩には昆虫も底生魚類も棲むことはできない。基岩が硬い場合、侵食はゆっくり進むが、軟岩が現れると一気に侵食が進み、滝や溪谷のような様相が現れる。札幌市を流れる豊平川の扇頂部にある“おいらん淵”では、落差 10



図9 北海道豊平川扇頂部における河床低下

メートル程度の滝とキャニオンができあがっている（図9）。

かつての豊平川は砂利を運搬することによってエネルギーを消費してきた。その後、砂利採取等で川底の砂利が奪われると、残った砂礫は、河床にステップとプールの段差を作りながらエネルギーを消費した。さらに、ダム等で砂利が山から供給されなくなると、最後に河川は基岩をえぐりエネルギーを消費する。これを英語で *hungry water*（お腹の減った川）、もしくは *sediment starvation*（土砂の飢餓状態）と呼ぶ。生物多様性を保全するためにも、流砂系の回復がきわめて重要である。

5. 再生への新たな視点

5-1 河川構造の視点から

これまで、日本の河川管理において重要な課題は、任意の時点における任意の場所の河床高を予測することであり、安定した河道縦断形の維持だったと思われる。確かに縦断形（河床勾配）は、河川を管理する上で最も重要なパラメーターの一つであることに間違いはないが、河川における生物多様性は、横断的もしくは平面的な形状に依存していると言っても良い。水生生物の種多様性が下流域で高くなる理由として、生息場所のサイズが大きくなる、安定性が増すなどの要因が挙げられているが、氾濫原を含めた横断方向の生息場多様性が増すことが主要な要因ではないかと考えている。

今後の河川生態系における生物多様性を高めるためには、個別生息場所の保護・保全から、それらを形成する生態系プロセスを維持し、その連結性を高めることが肝要である。そして、それを実現するためには、横断的な生息場所の多様性をどのように保全、創出するかがカギとなる。こうした連結性の確保は、地球温暖化シナリオにおける適応戦略としても重要となるであろう。

植物や動物の棲んでいる場所の環境を調査すると、親と子では生育・生息環境が異なることが多い。たとえばケシヨウヤナギやオオバヤナギなど、北海道の水辺林を構成するヤナギ類は、稚樹は新しくできた砂礫地に密生するのに対して、タネをつける母樹はそれよりも高く、洪水攪乱を受けない場所に生育する。サクラマスやアメマスなどのサケ科魚類も同様で、稚魚は水深の浅い川岸の水際や二次流路に生息するのに対して、親魚は水深の深い淵に生息する。

生物が生存するためには、親や子など各生活史ステージで必要となる環境が整っていないといけないが、残念ながら現状は子が育つ環境が整っていない。親は大きくて人目につきやすいが、子は目立たないため、多くの人は親が育っていると、健全な生態系であると誤解する。しかし、絶滅する生物種の多くは、子が生まれたり、子が育つステージがうまく機能していない。

かつて矢作川流域（愛知県）で立派なケヤキ河畔林を見たが、ここでも稚樹を見つけることは難しかった。ケシヨウヤナギが生育する札内川ダム下流でも同様な現象が起きている。北海道でかろうじて生息が確認されているイトウも、親魚はいても稚魚が見つからない川が多い。百年生きると言われるカワシンジュガイが標津川（北海道）にも多く生息しているが、2～3cm以下の稚貝が見つかっていない。これら長寿の生物は、親がいることによって絶滅の危機を見逃されることが多いが、年齢から考えて、1960年代の高度経済成長からすでに絶滅のループに入っていたと思われる。すべての生物について、生活史を通じて必要な生息場環境を明らかにすることは不可能に近い。まず、繁殖や子が育つ環境条件を明らかにし、その環境を保全することが急務である。

5-2 流況の視点から

米国における生態系管理の基本的な考え方は、生態系プロセス、特に自然撓乱の模倣にある。たとえば、山火事がその生態系を維持する上で重要な撓乱であるならば、自然状態における山火事の範囲や頻度を調査して、木材生産のための伐採範囲や回数を決定するのである。ただし、多くの山火事跡地では、すべての樹木が焼け焦げてなく

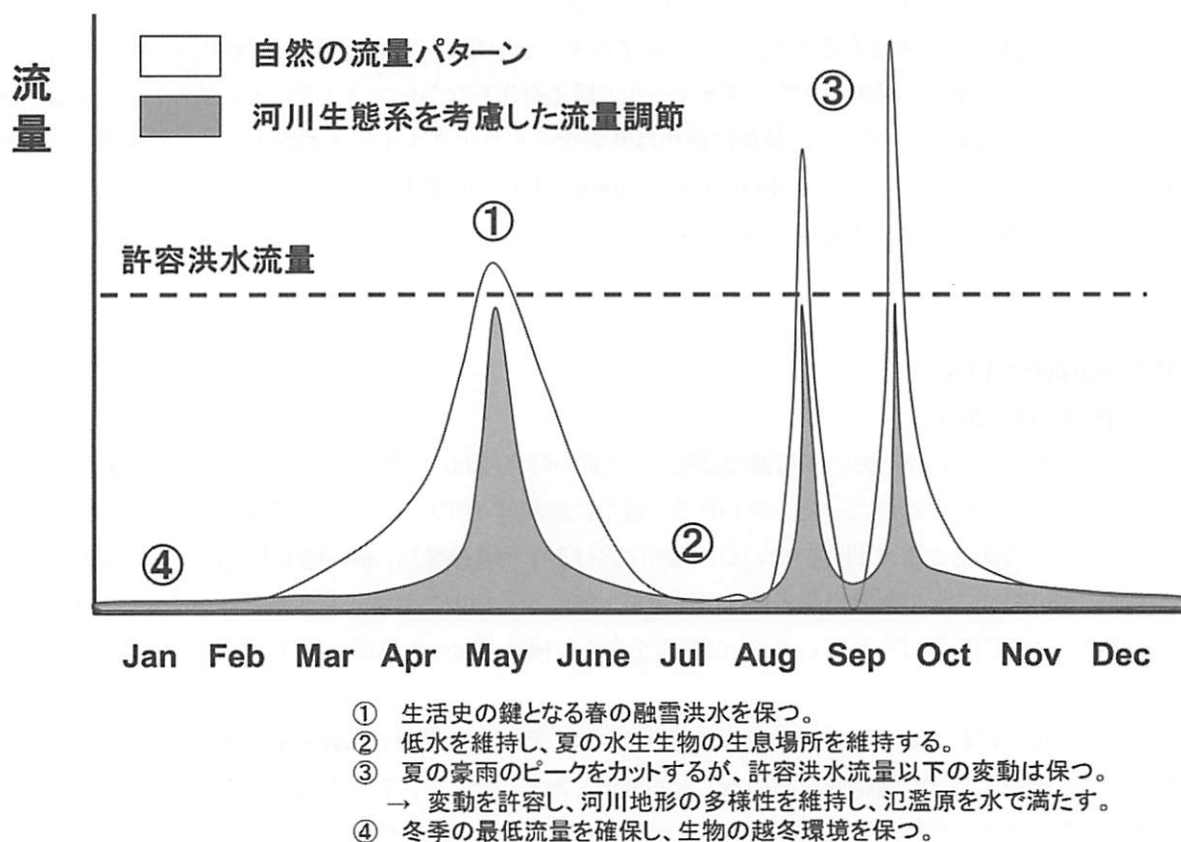


図10 河川生態系に配慮した流量調節

なってしまうことはない。このため、一部の立木や枯木、倒木は収穫されずに残され、最後に火入れされる。河川でも *natural flow regime*（自然の流況）を手本におく考え方が一般的である。先に述べたように、生物はこの自然の流況に適応して生き残ってきたと考えられるからである。

これまでの工学的技術は、洪水防御や電源開発などの単一目的に対しては、大きく機能した。一方、主体である生物とそれを取り巻く環境の関係、さらに種子散布や送粉、被食防衛、食物連鎖など、生物間相互作用の全体システムは、網目のように複雑であり、単一目的で発達した技術は機能しない。理由はともかく、河川の流況を崩さないのが得策である。

こうした観点から、河川生態系を維持するために注目すべき流量の季節変動について述べたい（図 10）。図に示した流況は北海道をイメージしており、濃い部分が生態系を維持するために必要な流量、白い部分が利水のために使う流量である。また、許容洪水流量とは、災害に至らないために設定された計画高水のことである。

先に説明した通り、北海道における融雪洪水は、河川生物相の生活史と密接に関連しており、生物多様性を維持する上で必要不可欠である。このため、一部をダムに貯めて利用するにしても（白い部分）、許容洪水流量以下で融雪洪水を維持する必要がある（①）。また、夏期、流量が低下し最も水温が高くなる時に、生存可能な場所に移動するためにも、十分な低水流量を確保する必要がある（②）。さらに、氾濫原と河川との連結性を高め、川の変動（ダイナミズム）を維持し、氾濫原に十分な水分を補給するためにも、夏季の洪水出水は許容されなければならない（③）。また越冬期は、河川性魚類にとって過酷な環境である。越冬期、個体群を維持するためにも、十分な流量を冬期に確保しなければならない（④）。現在のダム維持流量はこうした生活史や生物季節の観点から設定されておらず、今後は生物季節からみた再検討が必要である。

5-3 流砂系の視点から

地表的な崩壊地の緑化は、今後とも必要とされるであろう。しかし、河床低下が著しく進行する現在、水系的な土砂生産・流出の防止を検討する必要性は、地殻変動帯などの特殊な流域を除いてないと思われる。今や、崩壊地は下流河床を維持するために必要な土砂を生産するリソース（資源）であり、崩壊地のまま維持することも検討すべきである。

樹林化は、川に棲む生物相を変えてしまうだけでなく、洪水時にも治水上の大きな問題となる。樹木が川の周りに繁茂すると、洪水時に川の流れに抵抗するため、疎通能力が低下し氾濫する危険性が増す。また、時に流木化して橋脚に引っかかって集積し、ここでも堤防決壊や橋・道路などの構造物を破壊する危険性が増す。伐採して管理するには、多くの労力と費用がかかるだけでなく、伐採された樹木は法律上の廃棄物となり、処理のために、これまた多大な税金がかかる。

急激な河床低下とそれに伴う樹林化の問題は、技術的に対応するにはきわめて難しい課題であり、ある種の閾値（いきち）を越えた状況にあることを想像させる。自然科学で扱う現象は、徐々に変化するのではなく、ある限界値に達すると急激に変化する場合が多い。生態系も同様である。

生態学で使われる言葉にレジーム・シフトがある。閾値を越えた結果、全く異なる生態系に移行してしまうことを意味する。河川における異常な河床低下、氾濫原の樹林化、海での砂浜の減少、海岸線の後退など、我々が直面する課題の多くは、すでに閾値を超えてしまっており、元に戻すことはほとんど不可能な状態にあるのかもしれない。また、閾値を越えたのは 1960 年代の高度経済成長期であり、顕在化したのが現在かもしれない。今後、急激に人口が減少する日本では、どこならばまだ閾値を超えておらず再生に向かえるのか、どこは現状の変貌してしまった生態系を認めながら最小限の管理で対応するのか、という仕分けをする必要がある。そのためにも、河川生態系が急激な変貌を遂げる閾値が何によって決定されるのか、科学的知見の集積が必要である。