

Nakamura, F. 1992. New environmental perspectives for
engineering. }
Japanese erosion control, 45(3): 29-37 (in Japanese)

ShinSabo (Journ. Japanese
Erosion Control Society).

環境問題に対する砂防の視点と今後の課題

New Environmental Perspectives for Japanese Erosion Control Engineering

中村 太士*

Futoshi NAKAMURA

Abstract

Environmental problems have been discussed recently in the Japan Society of Erosion Control Engineering (SABO), corresponding with increasing criticism of concrete structures by the general public. Most of the present discussions and SABO works, however, focus on static scenery rather than ecological dynamics. The ideas presented in this paper are oriented to processes which enable ecosystems to maintain connections among a number of biotic and abiotic factors. I propose that SABO is defined as a science which develops the theories and techniques to prevent the erosion disasters without interrupting the diverse processes in natural ecosystems. Maintaining diverse processes is a key issue to ensure productive and species-rich ecosystems. Many papers are reviewed in terms of interactions between geomorphic and biological processes, and summarized in a spatiotemporal framework.

1. はじめに

近年、砂防学会および砂防に関連する学会（日本林学会、日本地形学連合）等でさかんに環境問題が議論されるようになってきた（砂防学会, 1990; 小林富士雄, 1991; 日本地形学連合, 1991）。実際には、行政の方がこの種の問題をいち早く察知しており、現基準内の実施可能な範囲で、砂防工事に組み込む試みが各地でなされている（たとえば北海道開発局・北海道, 1988）。むしろ、反応が遅かったのは筆者も含めた大学研究者であり、社会的な環境意識の盛上りのなかで、どう対応してよいのかわからなくなっているのが現状である。しかし、行政からみれば実施しようとしても補強するデータがきわめて少なく、大学におけるこの種の研究を期待する声も多い。しかし、ほとんどの問題は専門分野間の境界領域に属しており、分化ではない統合に向けた本来の意味での共同研究が必要である。

砂防において環境問題が問われるようになった背景には、1960年代後半から1970年代前半にかけて全国的に発生した環境汚染問題と、これに対する地域住民の価値観の転換があげられる。戦後高度成長期には、工場から出される排気ガスを見て、日本経済発展の象徴と受けとめていた住民が、その問題の重大性にめざめ、現在では大気汚染の象徴と受けとめているのも、ここ30年の大きな転換である。砂防に対する批判の高まりはここ10年で

あり、他の環境問題とくらべてやや遅れて発生してきたといえる。砂防は、歴史的には開発行為にともなう自然改変の後始末的役割を担ってきたといえ、国土開発の基盤整備と考えられるようになったのは近年のことである。火山帯に代表される地質的不安定地域が広く分布し、さらに毎年のように台風・集中豪雨等の被害を受ける日本において、災害防止の任務は重く、その意味では現在もその必要性は広く認められている。砂防に対する批判の遅れ、さらに批判の弱さは、国土保全という誰もが認めざるをえない任務を砂防が歴史的に担ってきたからだと思う。実際、自然保護を訴える住民の多くは、同時に災害からの安全性の確保を第一条件にあげる（竹内・中村, 1989）。

周知のとおり、戦後の大型台風被害に匹敵するような大水害は、河川工事の進展に伴い近年ほとんど発生しておらず、災害形態は地点として分散する土砂災害に移行してきた。こうした大規模土砂災害の発生頻度は、人間の寿命にくらべてきわめて長く、地域災害史を記憶している住民はほとんどいない。ましてや、新しく地域に移ってくる新住民にとってこの種の情報はなにもなく、砂防構造物に対する批判はこうした地域住民から多く聞く。結局、土砂災害の性質（局所性、長い回帰年）と住民意識とのギャップ、さらには近年の自然保護への意識の高まりが高じて、砂防へも批判が向けられるようになってきたと思う。

こうした議論を人命保護 vs. 自然保護と対立視することは、砂防の視点を狭くするだけであり、何の解決にも

* 北海道大学農学部森林科学科

つながらない。砂防がこれまで、土砂管理のみを主眼として河川を取り扱ってきたのは事実であり、これにともなう環境要因の変化にあまりにも無関心であったと思う。現在問われているのはこの点であり、砂防学とは一体何なのかという問いにもつながる(小橋, 1991)。砂防学が緑化、生物保全も含めた自然再生技術として位置づけられるかどうかを問われていると思う(新谷, 1990)。

本小論の目的は、現在実施されている環境問題に対する砂防の研究、さらに現状の砂防工事に関する問題点を指摘するとともに、米国で行われている事例を紹介し、今後の方向に対する筆者の考え方を提示することにある。山腹・海岸緑化など砂防が対象としてきた場合は、溪流・河川ばかりではないが、近年の砂防と環境問題の多くが、水辺環境整備の視点から問われていることから、本論では特に河川および氾濫原を含む河畔林ゾーン(riparian zone)に焦点をあて議論をすすめることにする。

2. 環境問題をとらえるうえでの視点の違い —問題提起にかえて—

2.1 環境問題と景観問題の違い

近年、環境を考慮した砂防工事が各地で実施されており、その多くは河川を中心とした環境整備事業である。砂防ダムに代表されるコンクリート構造物に対する批判に対処するためか、環境問題というよりも景観問題と言いかえたほうが、的確にその内容を表現しているように思える。その意味では、造園学、建築学に近い内容が検討され、デザイン的感覚が要求されていると思われる。しかし、本当にこれだけで良いのだろうか。近年問われている環境問題は、景観問題なのであろうか。景観的視点からつくられる自然観は静的自然観であり、一旦造成すればその景観は少なくとも数十年は維持されることになる。

著者は北大教養部学生との議論を通じて、自然保護に興味をもつ学生の多くが、この静的自然観をもっていることを実感した。そこでは、自然は一枚の絵に代表される景観であり、自然が変化することに対する認識、たとえば砂防が扱う地表変動などはないに等しい。そのため、こうした景観をそこなうダム構造物は完全に悪者になり、極端な場合は、人間の自然に対する行為すべてを否定する声もある。ただ興味深いのは、たとえば有珠山火山爆発にともなう山体の変化、植生の破壊、侵食現象を紹介した後、自然再生技術としての緑化工施工を見せると、これまで人間の行為を否定していた学生達が、緑化工は認めると発言しはじめることである。すなわち、彼らの頭のなかに描いていた自然観の多くは静的自然観であり、自分が自然と思う景観を破壊するものは人間の行為であれ、自然現象そのものであれ否定し、その景観を再生す

る技術に対しては肯定するかに感じられた。

筆者自身、景観問題の重要性を否定する気持ちはない。しかし、現在起こっている環境問題のほとんどは、次章で述べるように流域に広がるさまざまな因果関係のつながりの中で発生しており、一地点に設置された防災空間の景観議論のみで解決することは不可能である。たとえば、景観的には河畔林と河川地形は独立した要因として理解できるが、河畔林の成立・破壊から水流による運搬さらに停滞を考えれば、河畔林と河川地形は互いに影響を及ぼす要因であり(Keller and Swanson, 1979)、魚類の生息場もこれにより影響を受ける(Sedell et al., 1990)。景観に代表されるパターンの維持ではなく、自然現象のプロセスを維持するための動的認識が必要とされる。砂防が環境問題として今後議論してゆかなければならない点は、生物と物理的環境が関連する様々なプロセスの維持であり、最終的には生態系の維持につながると思われる。

实际的に、このプロセスの維持という課題を達成することはきわめて難しく、ある時はまちがいなく防災的視点と対立する。たとえば河川生態系としての河畔林の重要性と、防災的観点からみた流木生産源としての河畔林の危険性などである。結局、両者のトレード・オフのなかで防災計画をすすめてゆかなければならず、砂防学としての技術的可能性は、こうしたプロセスをどこまで断ち切らずに計画を行うことができるかに収められる。

2.2 環境問題における森林機能論

これまで林学を問わず、砂防においても森林の機能論が長く議論されてきた。土砂流出に関連する機能論の多くは山腹表土固定機能であり、最近では河畔林による流送土砂捕捉機能があげられる。近年のように環境問題がさかんに議論され、緑への願望が強まるにつれて、砂防でもこれら機能論を検討する研究がさかんに行われるようになってきている。ここでの問題は、これら機能論の多くが植生と土砂捕捉の観点のみに力点が置かれ、近年の環境問題に対処する機能・影響論になっていないことである。したがって、森林を土砂捕捉という単一機能論で議論することは、仮に土砂捕捉効果がそれほど認められないという結果がでた場合、森林は無用のものとして位置づけられることにもつながる。また、流路工区間の砂礫堆上に成立する河畔林のように、土砂捕捉効果が、ある時は河積を減少させる方向に働き、マイナス効果として受けとめられるのも事実である。

実際、地表変動による森林の破壊とその後の成立過程を観察すれば、「土壌層が安定しているからこそ森林がたち得るし、また実際にたっている、という逆説こそが可能であること」(小出, 1955)は、容易に理解できる。森林が斜面・河道における土砂移動に影響をあたえること

はまちがいないが、あくまでもその影響論は相互作用である。したがって、ある時期、土砂貯留として機能していた森林地帯は、破壊時に新たな土砂（流木）供給源となることも事実であり、単一機能論はそれ自体矛盾を内包しているといえる。

水生昆虫、魚類の生息環境を考えるならば、山腹・河畔林の破壊による流木の河道への供給は重要である。流入した流木の多くは、有機物供給、カバー・淵の形成など多くの機能をもつからである。砂防におけるこれまでの流木の取扱いは、災害のソースという観点からの研究がほとんどであり、環境問題を議論するためには視点の転換が必要になる。結局、いま求められている森林に対する観点は、短い時間スケールの土砂捕捉機能論ではなく、成立から破壊さらに流送をつうじての影響論であり、森林と周辺環境系とのつながりである。

2.3 国土の広さと環境問題—災害か自然現象か

砂防学を、土砂災害から人命と財産を守る技術学と定義すれば、斜面崩壊・土石流等の地表変動現象は、すべて災害と認められ、防止する方向に工事が進められる。実際、こうした観点から工事がすすめられ、現在治山・砂防ダムの存在しない河川は、日本にはほとんどみあたらない。こうした考え方と対照をなすのが、米国における考え方であり、米国を訪問する日本の砂防研究者は、この点にとまどう。国土の大きさを反映してか、砂防が対象とする現象の多くは災害にはいたらず（住民は危険区域に住んでおらず）、自然現象として受けとめられる傾向にあり、近年では森林火災と同様、地表変動も生態系を維持する攪乱現象の一つとしてとらえるようになっていく（筆者自身もこの考え方をもっている—中村, 1990b）。実際、米国において土砂災害防止を目的とした砂防学は存在しない。環境議論が、主として防災構造物批判から始まった日本とは好対照である。

結局、国土が現象を許容できる範囲の広さをもつとき、災害現象は自然現象として受けとめることができ、より柔軟な対応をおこなうことが可能になる。したがって、米国同様の対応が日本全域でできるかと問えば、日本の国土の狭さで、防災と環境問題を両立することはきわめて難しいと答えざるをえない。また実現の可能性がその地域の土地利用状況によって大きく影響を受けることは明らかであり、後章で述べるように、土地利用政策との関連でとらえる必要がある。現在問われている環境問題を解決するためには、土地利用を含めたソフトの対応なくしては不可能であり、地表変動を災害現象としてとらえるだけでなく、流域生態系の基盤要因を形成する現象として再認識する必要がある。したがって、崩壊・地すべり等の個々の現象を、個々の地点でとらえる見方では不十分で、流域全体としての分布、土砂流送としてのつ

ながり、さらに影響を受ける動植物相へのつながりとして理解していかなければならない。

その意味からも、砂防学における水系一貫の考え方は高く評価できる。この考え方を生物環境系にも適応すれば、近年河川生態学で議論されている River Continuum Concept (Vannote et al., 1980) にも通じる考え方であると思われる。砂防が本来の意味での環境保全をめざすのならば、土砂収支の観点のみならず、生物環境系を維持する観点からの水系一貫的考え方が必要になる。

3. 砂防が対象とする現象と河川生態系のつながり

ここでは、前章の問題提起をうけて、景観問題ではない系 (system) としての地表変動と河川生態のつながりを文献紹介も含めて議論する。河川生態系を形成する要因を、地表変動、河川地形、河畔林、河川流水、河川動物相の五つに大区分し、それらの関連を図-1に示した。やや複雑な図ではあるが、実際にはこの図に描かれていないつながりは、まだまだたくさんあると考えられ、筆者がまとめた一事例としてとらえてほしい。図に示した番号は両者のつながりについて検討している文献を表示しており、最後に掲載した参考文献の番号に対応している。砂防分野における地表変動、植物生態における河畔林、動物生態における河川動物相のように、個別要因に関する研究はこれまで多く発表されているが、個々の要因を結ぶ研究はそれほど多くない。

図からあきらかなように、砂防がこれまで対象としてきた地表変動、河川地形を基盤に、生物要因はきわめて複雑にからみあっている。砂防が本当に環境問題をとらえていくならば、この網目のようになった因果をときほぐすしかなく、積極的に境界分野に踏み込んだ研究が必要になる。今求められている環境砂防とは、このつながりを断つことを最小限におさえる技術であり、自然・人為によって破壊された生態系のつながりを再度復元することにあると筆者は考える。前途多難であり、どこから足掛かりを見つけたらよいのか途方にくれるという感はいない。しかし、本論の目的の一つは今後の課題を提示することであり、図-1からこの糸口を見つけることにする。

一つ考えられる重要なテーマは河畔林の影響である。図-1からあきらかなように、河畔林は土地環境系と河川動物相とをつなぐキーファクターであり、地表変動・河川地形などの土地環境系は、その多くの要因が河畔林を通して、河川動物相と結びついている。また、水温・水質等の流水環境系も河畔林の成立・破壊によって多大な影響を受ける。さらに地形的にみれば、河畔林の存在する氾濫原空間は、斜面と河道をつなぐ境界ゾーンであ

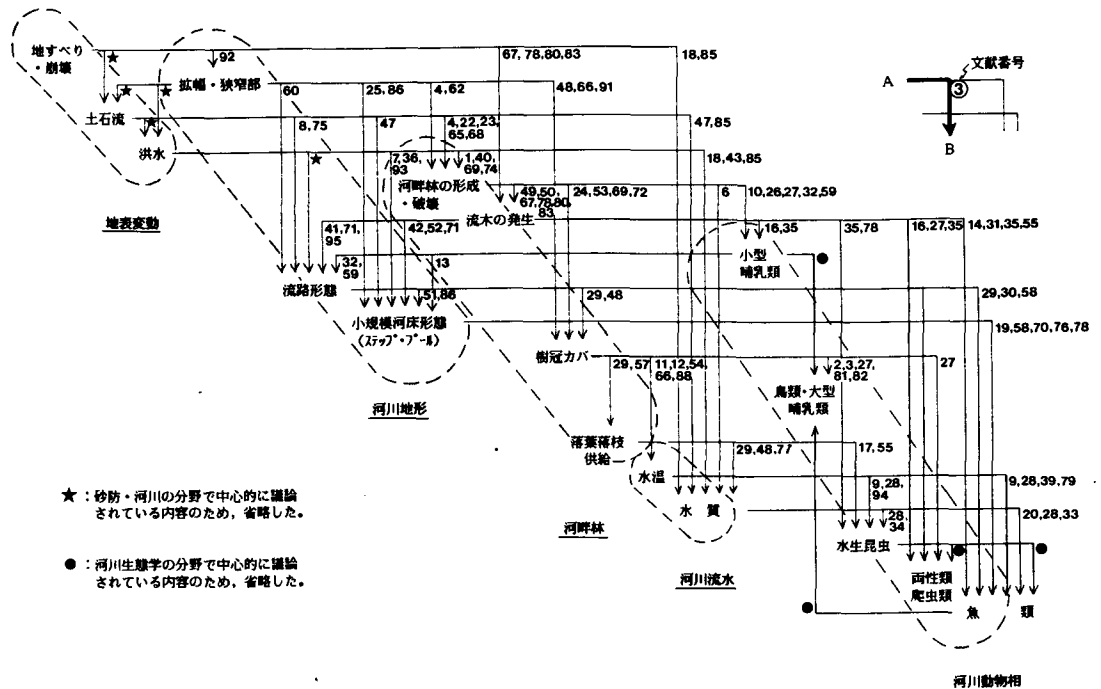


図-1 砂防が対象とする現象と河川生態系のつながり
Fig. 1 Linkages among biotic and abiotic components in riparian zone

り、陸地生態系 (terrestrial ecosystem) と河川生態系 (aquatic ecosystem) との接点でもある (Swanson et al., 1982)。

結局、ここで述べている河畔林の影響とは、砂防が従来問題としてきた土砂捕捉機能ではなく、成立・破壊をくりかえすことにより多様な系を維持する機能を意味している。したがって、流木として河川流路に流出することも、図に表されたように重要な役割の一つである。事実、生態系を構成する一重要要因として流木を取り扱った論文は、米国において近年数多く発表されている（たとえば、Harman et al., 1986）。災害ソースとしての流木と生態系としての流木の役割をいかに整合させるかは、今後の課題である。土地利用等の地域性を考慮して議論すべき問題であろう。

米國太平洋岸北西地帯は、ダグラス・ファー (*Pseudotsuga menziesii*) を中心とする針葉樹林帯に属しており、50 m を越える針葉樹林が河畔林を形成している。したがって、風倒・溪岸侵食・崩壊等によってこれらが一旦河道に供給されると、山地河川の物理的・生物的環境に与えるこれら樹木 (coarse organic debris) の影響は甚大である。複数の頑強な流木が集積すると、他の浮遊流木をあつめて天然ダムに発達することも多く (写真-1)，地形的・生態的影響は重要であると思われる。流木と魚類の生息場の関連をとりあつた論文も多い。ほとんどの研究は、流木をつくる複雑な河床形 (たとえば、ステップ・プール構造) によって、魚類の個体数が増加する傾向を認めており、近年は人為的影響により単純化

された河道（伐採もしくは鉄砲堰による木材流送等が原因）に、積極的に樹木を導入し、魚類の生息場(habitat)を造成している（写真-2）。

これまでの砂防の中心テーマである土砂収支の面から流木をとらえた研究も多い（たとえば、Megahan, 1982）。その多くは、一時的土砂の貯留効果を確認しており、存続年数の長い事例では200年以上停滞している事例が紹介されている（Swanson et al., 1976）。しかし、そのほとんどは流送・破碎・腐朽にともない形成・破壊をくりかえすのが普通で、土砂貯留効果は一時的なものにすぎない。むしろ、貯留効果により、土砂流出のタイミングをずらす点に意義があり、これにより河川生態系の攪乱は一定区間に抑えられ、流域網を通じての攪乱の波及は遅れる。

水温・水質は、河川動物相にとって重要環境要因であり、河畔林との関連が注目される。樹冠による日射遮断効果は、すでに多くの研究によってまとめられており、直達日射量は1/7程度におさえられる(中村・百海, 1989)。当然、伐採に伴い水温が上昇することは必須で、流量の少ない山地河川では5~10℃程度の上昇は確実である。日射遮断効果も、冬期落葉する落葉広葉樹林と年間を通じて葉をつけている常緑針葉樹林とでは季節変化が異なり、河川動物相に与える影響も違う。水質中の懸濁物質については、河畔林による浮遊土砂の貯留とその後の再流出効果があげられる。河畔林が流水の流れを減勢することにより、細粒土砂を一時的に捕捉する効果があることはあきらかであり(新谷ほか, 1989)、問題は流



写真-1 倒木・流木の集積により川道内に形成された天然ダム

Photo 1 Log jam in a mountain stream

木同様、一時的土砂貯留効果が、土砂収支のみならず河川動物相にいかなる影響を与えているか検討することである。さらに窒素・炭素など水質中の化学物質に対する河畔林の影響は未だよくわかっておらず、氾濫原地下水ゾーン (hyporheic zone) を通じての斜面から河道への物質流入、氾濫原と流路との物質交換など、新しい課題は多い。

土砂貯留空間としての溪流拡幅部 (unconstrained reach) の役割に注目した論文は多い (たとえば、中村, 1990 a など)。しかし、溪流拡幅部の役割は、土砂流送など土地環境系ばかりでなく、物理環境の変化をととして生物環境にも多大な影響を与えている。この問題に対するアプローチはきわめて少なく、いまだまとまった論文は、筆者の知る限りでは発表されていない。溪流拡幅部は、山地溪流に形成された特殊な場であり、山腹斜面基岩によって閉じ込められてきた流水は、この場ではじめて側方方向への移動を許される。このため流路変動は激しく、主流路の他に小流量を保持する複数の流路を有し、これらの流路は魚類にとって洪水時の避難箇所 (refugia), 平常時の生息場 (habitat) として機能する。拡幅部は土砂滞留の場であると同時に流木滞留の場でもあり、多くの流木はこの空間に氾濫し、流路変動の主因になるケースも多い (酒谷ほか, 1980)。流路変動にともなう河畔林の成立・破壊は拡幅区間で頻繁に発生し、河畔林の樹齢は若いものから古いものまで多様に分布しているのが普通である (Nakamura, 1986 b)。異なる時期に異なる裸地 (たとえば構成礫の細粗、水分条件) が形成される拡幅部では、多様な樹種が生育できる条件が整っており、一般的に種の多様性は高い (岡村・中村, 1989)。さらに、拡幅部は地形的開放区間であり、狭窄部に比べて地形的日射遮断は少なく、植物による一次生産力は高い。若い河畔林が分布する河畔林ゾーンでは、樹冠による日射遮断効果も十分ではなく、多くの直達日射が水面に届き水温をあげると同時に、珪藻類・水生昆虫の繁殖をうながし、食物視点からも魚類にとって好環



写真-2 樹木の導入による魚類生息場の造成の一事例 (写真流路内の流木はすべて人工的に導入され、ケーブルで溪床に固定されている)

Photo 2 One example of habitat development by introducing coarse woody debris into a stream (All logs in this photo are anchored to the streambed by cables.)

境を提供する (Moore and Gregory, 1989)。

以上、砂防と河川生態系のつながりを概観した。冒頭で述べたように、砂防が河川環境を考えるにあたって、今後注目しなければならないテーマの一つは河畔林の影響であり、そのひろがりには拡幅部に代表される河床平面地形に規制される。これまで土砂管理を目的とした砂防の大方の考え方が、砂防ダムによる安定河川縦断形の樹立にあったのに対して (武居, 1975)、河川生態系を考えた砂防の視点は、河川縦断形のみならず多岐にわたる生物と物理現象の相互作用を許容する河床平面形に向けられなければならないと思われる。

4. 生物情報と地学情報の融合

砂防学の定義がいかなるものであるかは、個々の研究者の考え方によって大きく異なると思われる。しかし、過去の砂防が山腹・海岸緑化という生物中心的視点から出発し、現在の砂防が土砂管理という地学もしくは工学的視点に移っているということは、誰もが認める傾向であろう。今後の砂防学のすがたが、広義の流域保全学であるとするならば (筆者自身の解釈)、これまでの生物情報と地学情報を融合し、さらに工学的視点も維持しなければならない。

生物を研究する分野の多くは、地学を研究する分野にくらべて短い時間スケール、小さい空間スケールの現象もしくは形態を対象とする。したがって、両者の情報を融合しようとしてもスケールがかみ合わず、議論が平行線をたどることも多い。近年の砂防工事と自然保護の対立もほとんどがこれであり、座標軸なしの議論からコンセンサスを得ることはむずかしい。筆者は、生物情報と地学情報を融合するためには、対象とする時空間スケール、とくに時間スケールを明確にすることが重要であることを主張してきた。ある時間スケールで生起する現象

にとって、より短い時間スケールで変化する要因は無視できるほど時間的変動幅が小さく、より長い時間スケールで変化する要因は、この現象の全体的傾向を決定する素因もしくは制限条件 (constraint) を形成する。さらに同時間スケールで変化する要因は、この現象の誘因を形成し、ともに変化することになる (中村, 1989)。

図-1 に示した大区分について、時間・空間スケールをあてはめると図-2 のようになる。この図に示された各区分の空間スケールは、図-1 で議論した各要因の相互関連 (つながり) によって決定されるスケールであり、個々の現象あるいは形態のサイズを表してはいない。たとえば、地すべり・崩壊現象そのものは小規模のものも多いが、ここでの議論である河道への影響範囲となると、大規模空間スケールに及ぶことになる。各大区分は全体的に、地表変動、河川地形、河川流水、河川動物相の順で短時間・小空間スケールに移行していることがわかる。先の議論にしたがえば、より長い時間スケールで変化する要因は、短い時間スケールで変化する要因を規制することになり、我々がこれまで中心的に議論してきた地表変動・河川地形は、河川生物・河川動物相などの生物系を維持する重要な基盤 (template) を形成しているといえる。事実、図-1 に示した矢印の多くは、長時間・大空間スケール要因から短時間・小空間スケールに向かって流れており (全体的に左上から右下にかけてつながっている)、時間スケールによって議論することの妥当性を示している。したがって、この基盤を改造する構造物設置が、河川生物相に多大な影響を与えることはあきらかで、極端な場合、ある種の生物の生存を不可能にする。

砂防学の時空間スケールが、図-2 に示された地表変動・河川地形あたりに位置すると考えると、河川動物相などはオーバー・ラップしない短時間・小空間スケールの要因であり、これまでの砂防にとっては無視できる要

因であったと思う。正確に言えば、考慮する必要がなかった要因であったと思う。ところが、近年の環境問題に対する関心の高まりによって、考えざるをえなくなってきたのが現状であろう。結局、これまで砂防が対象としてきた時空間スケールで環境問題を扱うことはできず、さらに短時間・小空間スケールの視点をもつことが必要になる。たとえば、これまで豪雨時の大規模地形変化 (河床変動、土石流、斜面崩壊) を対象にしてきた砂防学が、河川動物相の生息場 (habitat) 造成を考えてゆく場合、平常時の低水流によって形成される小規模地形変化 (たとえばステップ・プール構造) についても検討しなければならない。

近年議論されるようになった流域的視点に立った土砂流送へのアプローチ (Sediment Budget and Routing) は重要であり、それと同時に今後は、流域一貫の河川生物管理構想が必要となる。ここではあまり詳しく議論しなかったが、河川生物ゾーンがある種の動物にとって、移動通路 (corridors) として機能することも知られており (Forman and Godron, 1986)、砂防学が広域を移動する動物相の保護も考えるならば、現在の時空間スケールをさらに拡張する必要がある。流域をこえた景域 (landscape) の視点が要求される。

5. 土地利用政策への提言

砂防における環境問題が、砂防学のみで処理できるとは思っていない。先にも述べたように、災害からの絶対的安全性と自然環境を同時に手に入れたいのが、地域住民の要求でもある。その意味では、環境問題と防災問題が公に議論され、住民もその責任の一端を担うようなシステムが必要だと思う。そして最終的には、砂防学の論理が土地利用政策へ組み込まなければならない。いや、砂防学が積極的に土地利用政策に関与していかなければならない。住宅の立ち並ぶ都市域でわずかな防犯占有空間を与えられ、この中で環境の議論をすること自体、無理である。3章で述べたように、環境問題を取り扱うためには、系を形成する各要因が相互作用を起こすことのできる平面的広がりが必要であり、縦断勾配議論のみでは解決できない。防災空間が砂防のみで占有することができなくなっているのが現状であるならば (小橋, 1991)、住民との共有空間とするかわりに、広域確保することを論理的に納得させる必要がある。

森林法に定められる保安林の重大な意義の一つに、開発行為に対する土地利用規制をあげることができる。樹林を残すということは、共有空間を残すことにつながる (東, 1979)。本論で議論した河川生物ゾーンの考え方も、土地利用的には共有空間の確保であり、災害という突発的現象からとらえれば、土砂移動のみならず、環境系の破壊をおさえる緩衝空間 (buffer zone) として機能することになる。環境保全的土地利用政策に組み込むよう

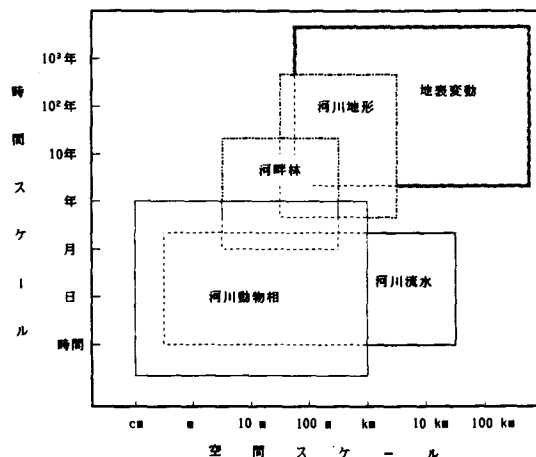


図-2 河川生態系を構成する要因の影響域

Fig. 2 Spatio-temporal scales of biotic and abiotic elements

な論理と技術の確立が、これからの砂防学の課題であると思われる。

6. おわりに

筆者は1990年より、米国 Pacific Northwest Forestry Science Laboratory で研究する機会を得た。米国でも環境問題は活発に議論されており、日本との考え方の違いを痛感した。国土の広がり、気候、文化が異なる以上、考え方の違いがあるのは当然であるが、日本の砂防に欠けている視点がこちらでは精力的に研究されており、その一部を紹介するのも今後の砂防学の発展にとって意義あることに感じられた。内容の整理にあたっては、筆者の考え方が多分に含まれており、問題点も多いと思われる。大方の御指導・御批判をあおぐ次第である。本論では自然現象のつながりに焦点をあてたため、人工構造物による生態系復元、さらに人工構造物による生態系の破壊事例など、流域管理 (Watershed Management) を視点においた試みを紹介することができなかった。こうした研究も多くなされておられ、次回の課題としたい。

本論を書くにあたり、米国 Forest Service PNW Experiment Station の Frederick J. SWANSON 博士からは、多くの示唆ならびに文献等の資料を提供していただいた。さらに北海道大学農学部新谷融教授、富山県立大学高橋剛一郎博士には、多忙中にもかかわらず原稿を校閲していただいた。森林総合研究所北海道支所の坂本知己博士、北海道立林業試験場道南支場の柳井清治博士には、現場にてこの問題について議論していただいた。これらの方々に深く感謝の意を表したい。

本研究は、日本学術振興会が実施している海外特別研究員派遣事業により実施されたものであることを付記する。

参考文献

- 1) Akashi, Y. (1988): Riparian vegetation dynamics along the Bighorn River, Wyoming. M. S. thesis, Univ. of Wyoming, 167p.
- 2) Anderson, B. W. and Ohmart, R. D. (1977): Vegetation structure and bird use in the Lower Colorado River. USDA Forest Service General Technical Report, RM-43, 23-34.
- 3) Anderson, B. W., Higgins, A. and Ohmart, R. D. (1977): Avian use of Saltcedar communities in the Lower Colorado River Valley. USDA Forest Service General Technical Report, RM-43, 128-136.
- 4) 新谷 融 (1971): 荒廃溪流における土石移動に関する基礎的研究。北大演習報, 第28巻, 第2号, 193-258.
- 5) 新谷 融 (1990): 砂防の高視聴率と自然再生技術への道。新砂防, 171, 1-2.
- 6) 新谷 融・黒木幹男・中村太士 (1989): 沙流川河床材料移動調査解析業務報告書。北海道開発局, 29p.
- 7) 芦田和男・江頭進治・安東尚美 (1984): 階段状河床形の発生機構と形状特性。京大防災研究所年報, 27号B-2, 341-353.
- 8) Benda, L. (1990): The influence of debris flows on channel and valley floors in the Oregon coast range, U. S. A. Earth Surface Processes and Landforms, 15, 457-466.
- 9) Beschta, R. L., Bilby, R. E., Brown, G. W., Holtby, L. B. and Hofstra, T. D. (1987): Stream temperature and aquatic habitat: fisheries and forestry interactions. In: Salo, E. A. and Cundy, T. W., eds. Streamside Management-Forestry and Fishery Interactions, Univ. of Washington, Institute of Forest Resources, Contribution No. 57, 191-232.
- 10) Boer, W. J. and Schmidly, D. J. (1977): Terrestrial mammals of the riparian corridor in Big Bend National Park. USDA Forest Service General Technical Report, RM-43, 212-217.
- 11) Brown, G. W. (1967): Predicting temperatures of small stream. Water Resour. Res., 5, 68-75.
- 12) Brown, G. W. and Krygier, J. T. (1970): Effects of clear-cutting on stream temperature. Water Resour. Res., 6, 1133-1139.
- 13) Bruner, K. L. (1989): Effects of beaver on streams, streamside habitat, and coho salmon fry population in two coastal Oregon streams. M. S. thesis, Oregon State Univ.
- 14) Bryant, M. D. (1982): Organic debris in salmonid habitat in southeast Alaska: Measurement and effects. In: Proceedings of the Symposium on Acquisition and Utilization of Aquatic Habitat Inventory Information, 259-265.
- 15) 日本地形学連合 (1991): 地形学と環境-1990年地形学連合秋季大会講演要旨。地形, 第12巻, 69-84.
- 16) Cline, S. P. and Phillips, C. A. (1983): Coarse woody debris and debris-dependent wildlife in logged and natural riparian zone forests-A western Oregon example. USDA Forest Service General Technical Report, RM-99, 33-39.
- 17) Cummins, K. W., Petersen, R. C., Howard, F. O., Wuycheck, J. C. and Holt, V. I. (1973): The utilization of leaf litter by stream detritivores. Ecology, 54, 336-345.
- 18) 江頭進治・芦田和男 (1981): 山地流域における微細土砂の生産場と流出過程に関する研究。京大防災研究所年報, 24号B-2, 239-250.
- 19) 江口俊宏・中村太士・清水 収 (1985): 魚類生息環境としての淵の分類-積丹半島の事例-。日林北支講, 第34号, 202-204.
- 20) Everest, F. H., Beschta, R. L., Scrivener, J. C., Koski, K. V., Sedell, J. R. and Cederholm, C. J. (1987): Fine sediment and Salmonid production: A paradox. In: Salo, E. A. and Cundy, T. W., eds. Streamside Management-Forestry and Fishery Interactions, Univ. of Washington, Institute of Forest Resources, Contribution No. 57, 98-142.
- 21) Forman, R. T. and Godron M. (1986): Landscape Ecology. John Wiley & Sons, Inc., 146-153.
- 22) Frenzen, P. M., Krasny, M. E. and Rigney, L. P. (1988): Thirty-three years of plant succession on the Kautz Creek mudflow, Mount Rainier National Park, Washington. Can. J. Bot. 66, 130-137.
- 23) Gecy, J. L. (1988): Propagule source, disturbance characteristics and the initial establishment of riparian vegetation after debris flows. M. S. thesis, Oregon State Univ., 135p.
- 24) Grant, G. E., Grozier, M. J. and Swanson, F. J. (1984): An approach to evaluating off-site effects of timber harvest activities on channel morphology. In: Proceedings of the symposium on the effects of forest and land use on erosion and slope stability, Honolulu,

- Hawaii, 177-186.
- 25) Grant, G. E., Swanson, F. J. and Wolman M. G. (1990): Pattern and origin of stepped-bed morphology in high-gradient streams, Western Cascade, Oregon. Geological Society of America Bull., 102, 340-352.
- 26) Geier, A. R. and Best L. B. (1980): Habitat selection by small mammals of riparian communities: Evaluating effects of habitat alterations. J. Wildl. Manage., 44(1), 16-24.
- 27) Gregory, S. V. and Ashkenas, L. (1990): Riparian Management Guide. Willamette National Forest, USDA Forest Service PNW Region.
- 28) Gregory, S. V., Lamberti, G. A., Erman, D. C., Koski, K. V., Murphy, M. L. and Sedell, J. R. (1987): Influence of forest practices on aquatic production. In: Salo, E. A. and Cundy, T. W., eds. Streamside Management - Forestry and Fishery Interactions, Univ. of Washington, Institute of Forest Resources, Contribution No. 57, 191-232.
- 29) Gregory, S. V., Lamberti, G. A. and Moore, K. M. S. (1989): Influence of valley floor landforms on stream ecosystems. USDA Forest Service General Technical Report, PSW-110, 3-8.
- 30) Gregory, S. V., Swanson, F. J., McKee, W. A. and Cummins, K. W. (1991): An ecosystem perspective of riparian zones. Bioscience, 41-8, 540-551.
- 31) Grette, G. B. (1985): The abundance and role of large organic debris in juvenile salmonid habitat in streams in second growth and unlogged forests. M. S. thesis. Univ. of Washington, 105p.
- 32) Hair, J. D., Hepp, G. T., Luckett, L. M., Reese, K. P. and Woodward, D. K. (1978): Beaver pond ecosystems and their relationship to multi-use natural resource management. USDA Forest Service General Technical Report, WO-12, 80-92.
- 33) Hall, T. J. (1984): The effects of fine sediment on salmonid spawning gravel and juvenile rearing habitat: A literature review. Stream Improv. Tech. Bull. 428. National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement, New York, 66p.
- 34) Hall, T. J., Haley, R. K., Gislason, J. C. and Ice, G. G. (1984): The relationship between fine sediment and macroinvertebrate community characteristics: A literature review and results from NCASI fine sediment studies. Tech. Bull. 428. National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement, New York, 32p.
- 35) Harman, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins, P., Gregory, S. V., Lattin, J. D., Anderson, N. H., Cline, S. P., Aumen, N. G., Sedell, J. R., Lienkaemper, G. W., Cromack, Jr., K. and Cummins, K. W. (1986): Ecology of Coarse Woody Debris in Temperate Ecosystems. Advances in Ecological Research, 15.
- 36) 長谷川和義 (1988): 山地河川の形態と流れ. 水工学シリーズ, 88-A-8, 22p.
- 37) 東 三郎(1979): 地表変動論. 北海道図書刊行会, 255-256.
- 38) 北海道開発局・北海道 (1988): 北海道砂防計画論.
- 39) Jonsson, B. and Rudd-Hansen, J. (1985): Water temperature as the primary influence on timing of seaward migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42, 593-595.
- 40) Kalliola, R. and Puhakka, M. (1988): River dynamics and vegetation mosaicism: a case study of the River Kamajohka, northernmost Finland. J. Biogeography, 15, 703-719.
- 41) Keller, E. A. and Swanson, F. J. (1979): Effects of large organic material on channel form and fluvial processes. Earth Surface Processes, 4, 361-380.
- 42) Keller, E. A., MacDonald, A., Tally, T. and Merritt, N. J. (in press): Effects of large organic debris on channel morphology and sediment storage in selected tributaries of Redwood Creek. In: Geomorphic Process and Aquatic Habitat in the Redwood Creek Drainage Basin. USGS Prof. Pap. Washington, D. C.
- 43) Kibby, H. V. (1978): Effects of wetlands on water quality. USDA Forest Service General Technical Report WO-12, 289-298.
- 44) 小橋澄治 (1991) 地球環境保全, 国際協力, ……そして砂防学-21世紀の砂防学への議論を!-. 新砂防, 172, 1-2.
- 45) 小林富士雄 (1991): いま何故「森林科学」か-創刊のことば. 森林科学 (日本林学会会報), 1, 1-2.
- 46) 小出 博 (1955): 山崩れ. 古今書院, 205p.
- 47) Lamberti, G. A., Gregory, S. V., Ashkenas, L. R., Wildman, R. C. and Moore, K. M. (1991): Stream ecosystem recovery following a catastrophic debris flow. Can. J. Fisheries and Aquatic Science, 48, 196-208.
- 48) Lamberti, G. A., Gregory, S. V., Ashkenas, L. R., Wildman, R. C. and Steinman, A. D. (1989): Influence of channel morphology on retention of dissolved and particulate matter in a cascade mountain stream. USDA Forest Service General Technical Report, PSW-110, 33-39.
- 49) Lienkaemper, G. W. and Swanson, F. J. (1987): Dynamics of large woody debris in streams in old-growth Douglas-fir forests. Can. J. For. Res., 17, 150-156.
- 50) Likens G. E. and Bilby R. E. (1982): Development, maintenance, and role of organic-debris dams in New England stream. In: Sediment Budgets and Routing in Forested Drainage Basins. General Technical Report, PNW-141.
- 51) Lisle, T. E. (1986): Stabilization of a gravel channel by large streamside obstructions and bed rock bends, Jacoby Creek, northwestern California. Geol. Soc. Amer. Bull., 97, 999-1011.
- 52) Lisle, T. E. and Kelsey, H. M. (1982): Effects of large roughness elements on the thalweg course and pool spacing. In: American Geomorphological Field Group Field Trip Guidebook. 134-135.
- 53) Lyons, J. K. and Beschta, R. L. (1983): Land use, floods, and channel changes: Upper Middle Fork Willamette River, Oregon (1936-1980). Water Resour. Res., 19, 463-471.
- 54) McGurk, B. J. (1989): Predicting stream temperature after riparian vegetation removal. USDA Forest Service General Technical Report, PSW-110, 157-164.
- 55) Meehan, W. R., Swanson, F. J. and Sedell, J. R. (1977): Influences of riparian vegetation on aquatic ecosystems with particular reference to Salmonid fishes and their food supply. USDA Forest Service General Technical Report, RM-43, 137-145.
- 56) Megahan, W. F. (1982): Channel sediment storage behind obstruction in forested drainage basins draining the granitic bedrock of the Idaho Batholith. USDA Forest Service General Technical Report, PNW-141, 114-121.
- 57) Merritt, R. W. and Lawson, D. L. (1978): Leaf litter processing in floodplain and stream communities. USDA Forest Service General Technical Report, WO-12, 93-105.
- 58) Moore, K. M. S. and Gregory, S. V. (1989): Geomorphic and riparian influences on the distribution and

- abundance of Salmonids in a cascade mountain stream. USDA Forest Service General Technical Report, PSW-110, 256-261.
- 59) Naiman, R. J., Johnston, C. A. and Kelley, J. C. (1988): Alteration of north American streams by beaver. *Bioscience*, 38, 753-762.
- 60) Nakamura, F. (1986a): Chronological study on the torrential channel bed by the age distribution of deposits. *Res. Bull. College Exp. For., Hokkaido Univ.*, Vol. 43, No. 1, 1-26.
- 61) Nakamura, F. (1986b): Analysis of storage and transport processes based on age distribution of sediment. *Trans. Jpn., Geomorphological Union*, 7-3, 165-184.
- 62) 中村太士 (1988): 河川の動態解析に関する砂防学的研究. 北大演報, 第45巻, 第2号, 301-369.
- 63) 中村太士 (1989): 野外科学におけるスケール論-時空間問題の整理-. 北大演報, 第46巻, 第2号, 287-313.
- 64) 中村太士 (1990 a): 河床堆積地の時間的・空間的分布に関する考察. 日林誌, 72 (2), 99-108.
- 65) 中村太士 (1990 b): 地表変動と森林の成立についての一考察. 生物科学, 第42巻, 第2号, 岩波書店, 57-67.
- 66) 中村太士・百海琢司 (1989): 河畔林の河川水温への影響に関する熱収支的考察. 日林誌, 71 (10), 387-394.
- 67) O'Connor, M. D. and Ziemer, R. R. (1989): Coarse woody debris ecology in a second-growth *Sequoia Sempervirens* forest stream. USDA Forest Service, General Technical Report, PSW-110, 165-171.
- 68) 岡村俊邦 (1976): 溪床堆積地からみた河畔林の成立. 日林北支講, 25, 97-99.
- 69) 岡村俊邦・中村太士 (1989): 自然河川の流路変動と河川環境に関する砂防学的研究. 水利科学, 第32巻, 第6号, 32-53.
- 70) Reiser, D. W. and Bjornn, T. C. (1979): Habitat requirements of anadromous salmonids. USDA Forest Service General Technical Report, PNW-96, 54 p.
- 71) Robison, E. G. and Beschta, R. L. (1990): Coarse woody debris and channel morphology interactions for undisturbed streams in Southeast Alaska. *USA. Earth Surface Processes and Landforms*, 15, 149-156.
- 72) Ryan, S. E. and Grant, G. E. (1991): Downstream effects of timber harvesting on channel morphology in Elk River basin, Oregon. *J. Environ. Qual.*, 20, 60-72.
- 73) 砂防学会 (1990): 環境と砂防-第22回砂防学会シンポジウム講演集, 122 p.
- 74) 酒谷幸彦・小野寺弘道・柳井清治 (1980): クウンナイ沢における流路変動と河畔林の構造 (I). -流路変動と流木の影響-. 日林北支講, 29, 188-190.
- 75) 笹賀一郎 (1978): 扇状堆積物の再移動に関する研究-宝来沢扇状地・青木の沢扇状地を中心として-. 新砂防, 107号, 1-8.
- 76) Sedell, J. R., Bisson, J. A. and Speaker, R. W. (1979): Ecology and habitat requirements of fish populations in South Fork Hoh River, Olympic National Park. *Proceedings, 2nd conference on scientific research in the National Parks*, 35-42.
- 77) Sedell, J. R. and Dahm, C. N. (1990): Spatial and temporal scales of dissolved organic carbon in streams and rivers. *Organic Acids in Aquatic Ecosystems* (eds. Perdue, E. M. and Gjessing, E. T.), John Wiley & Sons Ltd, 261-279.
- 78) Sedell, J. R., Bisson P. A., Swanson, F. J. and Gregory, S. V. (1990): What we know about large trees that fall into streams and rivers. In: *From the Forest to the Sea - A Story of Fallen Trees*. USDA Forest Service General Technical Report, PNW-229, 47-81.
- 79) Sheridan, W. L. (1961): Temperature relationships in pink salmon stream in Alaska. *Ecology*, 42 (1), 91-98.
- 80) 清水 収・中村太士・全 極雨 (1985): 豊平川上流域における流木移動の実態. 日林北支講, 第34号, 196-198.
- 81) Stauffer, D. F. and Best L. B. (1980) Habitat selection by birds of riparian communities: Evaluating effects of habitat alterations. *J. Wildl. Manage.*, 44 (1), 1-15.
- 82) Stevens, L. E., Brown, B. T., Simpson, J. M. and Johnson, R. R. (1977): The importance of riparian habitat to migrating bird. USDA Forest Service General Technical Report, RM-43, 156-164.
- 83) Swanson, F. J. and Lienkaemper, G. W. (1978): Physical consequences of large organic debris in Pacific Northwest Streams. USDA Forest Service General Technical Report, PNW-69, 12 p.
- 84) Swanson, F. J., Lienkaemper, G. W. and Sedell, J. R. (1976): History, physical effects, and management implications of large organic debris in western Oregon streams. USDA Forest Service General Technical Report, PNW-56, 15 p.
- 85) Swanson, F. J., Fredriksen, R. L. and McCorison, F. M. (1982): Material transfer in a western Oregon forested watershed. In: (Edmonds, R. L. ed.) *Analysis of coniferous forest ecosystem in the western United States*. Hutchinson Ross Pub., 233-266.
- 86) Swanson, F. J., Grant, G. E. and Lienkaemper, G. W. (1987): Field Trip Guide to the H. J. Andrews Experimental Forest, 46p.
- 87) Swanson, F. J., Gregory, J. R., Sedell, J. R. and Campbell, A. G. (1982): Land-water interaction: The riparian zone. In: (Edmond, R. L., ed.) *Analysis of coniferous forest ecosystems in the western United States*. Hutchinson Ross Pub. Comp., 267-291.
- 88) Swift, L. W. and Messer, J. B. (1971): Forest cuttings raise temperature of small streams in the southern Appalachians. *J. Soil and Water Conservation*, 26, 111-115.
- 89) 武居有恒 (1975): 砂防計画に想う. 新砂防, 50, 29-30.
- 90) 竹内正信・中村太士 (1989): 河川環境の住民意識に関する一考察-琴似発寒川と勝納川を比較して-. 日林北支講, 第37号, 165-167.
- 91) Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R. and Cushing, C. E. (1980): The river continuum Concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 130-137.
- 92) Vest, S. B. (1988): Effects of earthflows on stream channel and valley floor morphology, western Cascade Range, Oregon. M. S. thesis, Oregon State Univ. 123p.
- 93) Whittaker, J. G. and Jaeggi, N. R. (1982): Origin of step-pool systems in mountain streams. *ASCE*, 108, No. HY 6, 759-773.
- 94) Wojtalik, T. A. and Waters, T. F. (1970): Some effects of heated water on the drift of two species of stream invertebrate. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 99, 782-788.
- 95) Zimmerman, R. C., Goodlett, J. C. and Comer, G. H. (1967): The influence of vegetation on channel form of small streams. In: *Symposium on River Morphology*. IAHS Publ. 75, 255-275.

(原稿受理日 平成3年5月30日)