

(河川整備基金助成)

公開シンポジウム講演要旨集

『川と川辺のリンケージ：健全な河川生態系を修復するために』

Riparian and river linkages:
Opportunities for restoring aquatic ecosystem health

日時：2003.10.4 14:00～16:50

会場：九州国際大学（KIUホール）福岡県北九州市

応用生態工学会

目 次

プログラム	1
開催趣旨	2
講演者等のプロフィール	3
「川と川辺のリンケージ：健全な河川生態系を修復するために」	5
“ Riparian and river linkages: Opportunities for restoring aquatic ecosystem health ”	8
Professor Stuart E. Bunn	
「森林 - 河川 - 湖沼生態系における物質循環のカスケード」	12
吉岡 崇仁	
「河川・水辺・湿地の復元 - 物質の流れ・攪乱・生息場環境の視点から - 」	15
中村 太士	

プログラム

開催日：2003年10月4日（土）

開催場所：九州国際大学（KIUホール） 福岡県北九州市

14:00～14:05 趣旨説明 國井秀伸（島根大学汽水域研究センター教授、当学会理事）

14:05～15:05 「川と川辺のリンケージ：健全な河川生態系を修復するために」

“Riparian and river linkages: Opportunities for restoring aquatic ecosystem health”

Professor Stuart E. Bunn

（オーストラリア・グリフィス大学教授）

15:05～15:35 「森林 - 河川 - 湖沼生態系における物質循環のカスケード」

吉岡崇仁（総合地球環境学研究所助教授）

15:35～16:05 「河川・水辺・湿地の復元

- 物質の流れ・攪乱・生息場環境の視点から - 」

中村太士（北海道大学大学院教授）

16:05～16:50 パネル・ディスカッション

「川と川辺のリンケージ：健全な河川生態系を修復するために」

コーディネーター：國井秀伸（島根大学汽水域研究センター教授）

パネリスト：Stuart E. Bunn

吉岡崇仁

中村太士

橘川次郎（クイーンズランド大学名誉教授）

16:50 閉会

開催趣旨

自然再生事業が施行され、河川においても各地で積極的な取り組みが始められつつある。自然再生事業は、自然が自らのシステムを創り上げるのを手助けする事業であり、その過程において、健全な生態系の再生・修復を目指して順応的に管理していくことが求められている。ここでは、土木工学的な思考よりも生態学的な思考が優先し、その場所が本来有する生態系の構造と機能を十分に把握することが必要不可欠となる。しかしながら、自然再生事業による生態系の応答を予測することは難しく、河川生態系の健全性を取り戻すために、上流域と下流域の関連性、あるいは川と川辺の関係性をどのように構築していけばよいかが模索されている。

そこで今回の公開シンポジウムでは、オーストラリアの第一線でこれらの課題に取り組んでいるグリフィス大学のスチュアート・バン教授をお招きし、さらに国内からは、物質の流れを共通項目として、大気・森林・土壌・陸水生態系（溪流、河川、湖沼）の相互作用の統一的研究に取り組んでおられる総合地球環境学研究所の吉岡崇仁助教授、そして土砂動態・河川植生・物質循環などの総合的な研究に取り組んでおられる北海道大学の中村太士教授のお二人を講演者として迎え、健全な河川生態系のあるべき姿について討論を行うこととした。当日は、クイーンズランド大学の橘川次郎名誉教授にもコメンテーターとして登場願ひ、当研究会理事の島根大学汽水域研究センターの國井秀伸教授を総合司会に、国際的視野を踏まえて討論を行いたい。

講演者等のプロフィール

Professor Stuart E. Bunn (スチュアート E. バン)

オーストラリア・グリフィス大学教授・河川景観研究センター長。淡水生態学共同研究センター(Freshwater CRC) の復元生態学プログラムのリーダー。研究分野は河川生態学および湿原生態学で、生態系の機能に関して特に関心を持つ。近年はオーストラリア政府の国土・水系委員会の委員長を務め、国際科学会議水部門科学委員会のメンバー。現在は「健康な水路」パートナーシップの専門科学者パネルの副議長、エア湖盆科学技術顧問パネルのメンバーでもある。過去には水に関する諸問題を扱う幾つかの州政府諮問委員会の委員も務める。最近の論文には、河川生態系の健全度、水圏の生物多様性とその復元、流水の生物学的特性と生態学的統合の評価、水質の生物学的モニタリングのワークショップ取りまとめなどがある。

吉岡 崇仁(よしおか たかひと)

1955 年生まれ。大阪大学理学部卒業、名古屋大学理学博士。信州大学理学部助手、名古屋大学大気水圏科学研究所助手、文部科学省総合地球環境学研究所助手を経て、現在は総合地球環境学研究所助教授。生物地球化学が専門。日本陸水学会英文誌(Limnology)編集委員長(2003-2004年)を務める。滋賀県生態学琵琶湖賞受賞(1999年)。主な著作に、「メソコスム 湖沼生態系の解析」(共著)、「微生物の生態 19 巻」(共著)、ブルーバックス「水と生命の生態学」(共著)などがある。

中村 太士(なかむら ふとし)

1958 年愛知県生まれ。北海道大学大学院農学研究科終了。農学博士。1990 年～1992 年まで米国森林局北太平洋森林科学研究所に留学。2000 年より北海道大学大学院農学研究科森林管理保全学講座教授。森林と川のつながりを土地利用も含めて流域の視点から研究している。学会および社会的活動も幅広く、工学など応用的分野のみならず、地形学、生態学といった基礎科学の分野でも活躍している。主な著書に「水辺環境の保全と地形学」(古今書院)、「溪流生態砂防学」(東大出版会)、「水辺域管理 - その理論・技術と実践」(古今書院)、「流域一貫」(築地書館)などがある。応用生態工学会誌編集委員長。

橘川次郎(きっかわ じろう)

1929 年横浜市に生まれ。水産庁技官、京都大学大学院聴講生を経て、オックスフォード大学に留学し、動物生態学を修めた。ニュージーランド国立オタゴ大学助手、オーストラリア・クィーンズランド大学講師、助教授を経て、1980 年から同大動物学部長を務め、オーストラリア熱帯雨林合同研究センターの初代センター長。1995 年同大学名誉教授。オーストラリア生態学会長、野生動物保護連盟評議員、国際鳥類学連合委員、世界的組織「アース・ウォッチ」、野生生物基金の委員なども務めた。約 10 年に

わたりヘロン島におけるメジロの個体群研究に携わるとともに、熱帯地域の鳥類学の開拓者でもあり、進化や多様性に関する研究の基礎を作り、オーストラリアの生態学の発展や研究者の育成に多大な功績を挙げた。これらの業績が認められ、1996年にオーストラリア生態学会から Gold Medal を、1999年に Royal Asian Ornithologists' Union から Serventy Medal を受賞した。この間、わが国の生態学・鳥類学の発展や生物多様性の保全、研究者の交流にも国際的な視野で貢献しており、最近では、京大大学生態学研究センターや総合地球環境研究所の客員教授も努めこれらの発展に寄与した。また、応用生態工学会の設立と発展に副会長として尽力した。著書に " The Behavior of Animals " (1971), " Why Are There So Many Organisms? " (1995) などがある

國井秀伸 (くにい ひでのぶ)

1951年千葉県生まれ。千葉大学理学部卒業、東京都立大学大学院博士課程単位取得退学。理学博士。島根大学汽水域研究センター・副センター長・教授。研究分野は植物生態学および水界生態学で、水生植物を対象とした調査・研究を行っており、最近は宍道湖・中海をフィールドにして、特に汽水域に生育する水生植物の保全に関する調査を行っている。日本生態学会全国委員・自然保護専門委員会委員、日本陸水学会評議員・編集委員、種生物学会幹事などを歴任し、現在応用生態工学会パートナーシップ委員会委員長。主な共著書に、「中海本庄工区の生物と自然」(たたら書房)、「汽水域の科学 - 宍道湖・中海を例にして - 」(たたら書房) などがある。

川と川辺のリンケージ：健全な河川生態系を修復するために

Riparian and river linkages: opportunities for restoring aquatic ecosystem health

グリフィス大学教授・河川景観研究センター長（オーストラリア）

スチュアート・E・バン

Centre for Riverine Landscapes, Griffith University, Queensland, Australia.

Professor Stuart E. Bunn

はじめに

河川生態系は、その集水域、特に川辺ゾーン - 陸域・水域のエコトーン - と強くリンクしていることがよく認識されている。川辺ゾーンは、水域生態系の機能に対する直接的な影響や、陸・水両域のハビタット供給といった多くの重要な生態学的な役割を持っている。これらの理由で、それらは地域の景観の中で「生態的動脈」とも言われることがある。また、川辺の植生は、隣接する農業生産に利用されている土地からの土砂や栄養塩の流入の緩衝帯となり、木の根は効果的に河岸を安定させ、崩壊や侵食を防いでいる。水辺ゾーンはまた、高い社会経済学的の価値を持つ。そこはしばしば農業にとって生産性の高い場であり、灌漑や家畜のための表層の水へ直接アクセスすることができる。残念ながら、これら農業に関する活動はしばしば生物多様性の低下と無傷の川辺域をもたらす生態系サービスの減少をもたらす。

今回の報告では、オーストラリアの広範囲な河川システムに関する研究事例を用いながら、河川が生態系として機能するために川辺がいかに影響しているかを示すことに焦点を置いている。また、これらの例を使って、河川生態系の健全性に対する川辺ゾーンの荒廃の重大性を強調できればと思っている。最後に、川辺の修復を通じて生態系の健全性を回復させる機会について考察したいと思う。

川辺の河川生態系のプロセスへの影響

一般に、森林に覆われている河川は日陰になり、夏季の温度上昇が抑えられ、また変動が和らげられて、極端な温度変化が緩衝される。穏やかであっても川辺植生による被陰は太陽スペクトルの赤から赤外線部分の照射を減少させるので、水温を低くする。森林を流れる川に生息する動物の多くは冷水種であり、水辺が日陰になることで、それらの致死レベル以下に水温が維持される。さらに、水温が低いことで酸素がより溶解しやすくなり、また、酸素要求量が減って、河川堆積物中の微生物の呼吸速度が低下する。

水辺が日陰になることは、単に温度の問題だけでなく、光の強度も低下させる効果がある。森林を流れる健全な川は、典型的に一次生産量が低く、ほとんど水生植物が生育していない。光のレベルが低いことは、糸状藻類や水生大型植物よりも珪藻類や他の微細藻類に有利にはたらく傾向がある。微細藻類の一次生産量は低いが、微細藻類は河川の無脊椎動物にとってはよい食物源となる。

川辺植生は、被陰によって水生植物の生育と生産を制限するだけでなく、エネルギーと栄養塩の主要な供給元でもある。森林河川の動物が利用できるエネルギーの大部分は、落葉リター、有機堆積物、溶存有機物のかたちで特に川辺ゾーンからもたらされ、また集水域の上流部からももたらされる。森林河川の一次生産は一般に（植物、バクテリア、動物による）呼吸よりも小さく、健全な河川は有機炭素の正味の消費者であると考えられる（すなわち従属栄養）。

川辺植生による河川生態系のプロセスに対する川辺ゾーンの強い影響は、川辺植生が除去された場合に最も良く観察される。川辺植生が除去された条件下では、多くが高い光要求性を持つ水生植物、特に糸状藻類と水生大型植物の分布拡大がみられる。このような応答は、しばしば面源・点源からの栄養塩の流入によってより悪化する。強い光と栄養塩の組み合わせは、悲惨な事態を招く。水生雑草の繁茂は、流路を狭くし、土砂の堆積を促すことによって、水域のハビタットの直接的な喪失につながる。水生の藻類と大型植物の生産量が高くなると、夜間の植物による呼吸量が高くなることにつながる（酸素消費）。枯死した植物体が堆積すると、微生物の呼吸量が増大し、さらに溶存酸素が減少する。これはトラップされた土砂とともに、河床を無酸素状態にする。その結果、溶存酸素は危険なレベルにまで減少し、魚類やその他の水生動物の死につながる。

この応答の極端な例を、熱帯のクィーンズランドにあるサトウキビ畑の灌漑用水で見ることができる。水辺植生の大部分が伐採され、流路は繁茂した水生大型植物で塞がれている。このような河川の1つでは、これらの水生雑草は、流路の1キロあたりで2万トンの堆積物をトラップしていると推定された。これは水域のハビタットの明らかな喪失と洪水に対する大きな変化（例えば洪水容量が50年確率流量の3倍あったものが1/3になった）をもたらし、有機物の多い堆積物中で微生物の呼吸速度は高くなり、河床近くの利用可能な酸素量は極めて少なくなった。結果として、ほとんど水生無脊椎動物が記録されなかった。

我々は川辺の被陰だけが、繁茂しすぎた水生の雑草や川辺の雑草を抑制できることを見出した。しかし、雑草が減少した場所で、蓄積された堆積物が動くのに十分な流れの力があるかどうかは明確ではない。堆積物を取り去らないと、このようなインパクトを受けた川が回復しないことは確かであろう。

川辺の他の影響

被陰および落葉リターその他の有機堆積物の供給源としての直接的な効果を通じて、明らかに川辺植生は河川生態系のプロセス（そして生態系の健全性）に対して大きな影響を及ぼしている。上に示したように、重要な役割はこれだけではない。川辺ゾーンは、野生動物や陸上で生活する成虫期の水生昆虫にとって大事なハビタットを提供する。それらは、特に断片化が進んだ景観では、野生生物の移動の主要な回廊となる。川辺ゾーンからもたらされる木の幹や枝は、水生生物の重要なハビタットや藻類生産の安定基盤となる。後者は河床が砂質の場合に特に重要である。

流路内の木は、同様に流路の複雑さと淵環境の生成に影響する。

川辺植生は、河岸の安定性を強化し、侵食を減らし、下流の水生生物のハビタットの喪失を防ぐ。さらにそれは、堆積物や栄養塩や地表流の他の汚染物質をさえぎること、また地表下の流れ中の栄養塩（特に窒素）を捕えて変化させるポテンシャルを持つことで、緩衝帯としても重要な役割を果たしている。南東クィーンズランドにおける最近の研究では、地域の水路を汚染する堆積物と栄養塩の大部分は、集水域上流部での流路の侵食から来ることが見いだされた。川辺の修復は、このような管理の問題が解決できる唯一効果的な手段である。

河川生態系の健全性を守る川辺の修復

川辺の持つこのような明らかで重要な役割にもかかわらず、オーストラリアでは何十年もの間景観管理は不十分であった。川辺植生は、多くの農業が盛んな集水域で、故意に伐採されてきた。木の幹その他の木の残骸は、川の「改修」の口実で、ほとんど完全に流路から取り除かれてきた。家畜の入り込みが制限されていないことも、川辺ゾーンの管理の点では大きな問題である。

しかし、川辺ゾーンの重要性の認識とそれらの復元についての関心が増大してきた。魚類のハビタットを作るために流路に木を再導入するといった、多数のプロジェクトが現在進行中である。同様に、生垣の設置や川辺ゾーンへの再植林に対して、かなりの投資が行われてきた。

そのような川辺ゾーンを保護し、より良く管理することにより、流れや河川を守ることができるのは間違いない。しかし、川辺ゾーンの保護は、愚かな土地利用の実施に対する言い訳として用いられるべきではない。この「か細い緑のライン」が、集水域管理のすべての問題を解決できると期待することはできない。

Riparian and river linkages: opportunities for restoring aquatic ecosystem health

Professor Stuart E. Bunn

Centre for Riverine Landscapes, Griffith University, Queensland, Australia.

(S.Bunn@griffith.edu.au)

Introduction

It is well recognized that stream and river ecosystems are tightly linked to the catchments they drain and especially so with their riparian zones – the terrestrial/aquatic ecotone. Riparian zones have many important ecological roles, including their direct influence on aquatic ecosystem function and the provision of both terrestrial and aquatic habitat. For these reasons, they are often referred to as the “ecological arteries” of our landscape. Riparian vegetation can also buffer sediment and nutrient delivery from adjacent agricultural land use and the roots of trees can effectively stabilize river banks and prevent slumping and erosion. Riparian zones also have high socioeconomic values. They are often productive sites for agriculture and provide direct access to surface water supply for irrigation or livestock. Unfortunately, these latter activities often lead to a decline in biodiversity and the reduction of ecosystem services provided by intact riparian lands.

The focus of my presentation today will be on how riparian zones influence the way in which streams and rivers function as ecosystems, using examples of research undertaken across a range of stream systems in Australia. I also wish to use these examples to highlight the consequences of degradation of riparian zones to stream ecosystem health. To conclude, I will consider the opportunities to restore ecosystem health through riparian restoration.

Riparian influences on stream ecosystem processes

Forested streams are generally well shaded and are buffered from temperature extremes, with low summer maxima and low diel variation. Even moderate shading by riparian vegetation can reduce radiation in the red and infrared end of the solar spectrum and lead to lower water temperatures. Many forest stream animals are cool-water species and riparian shading can maintain temperatures below lethal levels. Furthermore, lower temperatures result in higher oxygen solubility and also reduce the rate of microbial respiration in stream sediments, reducing oxygen demand.

Riparian shading not only reduces temperature regimes but also the intensity of sunlight. Healthy forest streams typically have low primary productivity and few aquatic plants. The low light levels tend to favour diatoms and other microalgae, rather than filamentous algae and aquatic macrophytes. Although primary productivity of microalgae is low, this is often a highly palatable source of food for stream invertebrates.

Riparian vegetation not only regulates the composition and production of aquatic

plants through shading but also is a major supplier of energy and nutrients. Most of the available energy for forest stream animals comes in the form of leaf litter, fine organic debris and dissolved organic matter from riparian zone in particular but also from the catchment upstream. Primary production in forest streams is generally exceeded by respiration (by plants, bacteria and animals) and healthy streams are considered to be net consumers of organic carbon (i.e. heterotrophic).

The strong influence of the riparian zone on stream ecosystem processes by riparian vegetation is best observed when riparian vegetation is removed. Under these conditions, we witness the proliferation of aquatic plants, especially filamentous algae and aquatic macrophytes, many of which have high light requirements. Often, this response is made worse by nutrient inputs from diffuse and point sources. The combination of high light and nutrients is a recipe for disaster. The prolific growth of aquatic weeds can lead to a direct loss of aquatic habitat through channel narrowing and sedimentation. The high production of aquatic algae and macrophytes leads to high plant respiration at night (consumption of oxygen). Accumulation of decaying plant matter can increase microbial respiration and further reduce dissolved oxygen. This together with trapped sediment often leads to anaerobic conditions in the stream-bed. As a result, dissolved oxygen can be reduced to critical levels and lead to the death of fish and other aquatic animals.

An extreme example of this response can be seen in streams draining sugar cane farms in tropical Queensland. Most of the riparian vegetation has been cleared and the stream channels are often choked by invasive macrophytes. In one of these streams, we estimated that these aquatic weeds trapped 20,000 tonnes of sediment per km of channel. This led to an obvious loss of aquatic habitat and major changes to flooding (e.g. from three times the capacity to convey a 50 yr return flood to only one third of the capacity). High microbial respiration rates occurred in the organic-rich sediments and there was very little available oxygen near the stream-bed. As a consequence, few aquatic invertebrates were recorded.

We have found that riparian shading alone can adequately control invasive aquatic and riparian weeds. However, it is not clear whether there is sufficient stream power to mobilise accumulated sediment once the weeds have declined. Impacted streams such as these certainly will not recover unless the sediment is removed.

Other riparian influences

Clearly, riparian vegetation has an important influence on stream ecosystem processes (and ecosystem health), largely through the direct effects of shading and the provision of leaf litter and other organic debris. As indicated above, these are not the only important roles. Riparian zones provide important habitat for wildlife and for the terrestrial adult stages of aquatic insects. They also often represent major corridors for movement of wildlife, especially in an increasingly fragmented landscape. Logs and branches from the riparian zone provide important habitat for aquatic organisms and a stable substrate for algal production. The latter is especially important in sand-bed streams. Wood in streams also influences the complexity of the stream channel and the creation of pool habitats.

Riparian vegetation can enhance bank stability, reduce erosion and prevent the loss of

aquatic habitat downstream. It can also play an important buffering role, by intercepting sediment, nutrients and other contaminants in overland flow, and through its potential to trap and transform nutrients (especially nitrogen) in subsurface flow. Recent research in southeast Queensland has identified that much of the sediment and nutrients that contaminate local waterways comes from channel erosion in the upper catchments. Riparian rehabilitation is the only effective means by which this management issue can be addressed.

Riparian restoration to protect stream ecosystem health

Despite all of these obvious important roles of riparian lands, these have been poorly managed parts of the landscape in Australia for many decades. Riparian vegetation has been deliberately cleared in many agricultural catchments. Logs and other woody debris have been almost completely removed from channels under the guise of river 'improvement'. Uncontrolled access of livestock is also a major issue for riparian zone management.

However, there has been growing awareness of the importance of riparian zones and considerable interest in their restoration. Numerous projects are now underway to reintroduce wood to stream channels to create habitat for fish. Similarly, there has been significant investment in fencing and replanting of riparian zones.

There is little doubt that, to a large extent, we can protect streams and rivers by protecting and better managing their riparian zones. However, protection of riparian zones should not be used as an excuse for poor land-use practice. We cannot expect this 'thin green line' to solve all of our catchment management problems.

Bibliography

- Bunn, S.E. (2003). Healthy River Ecosystems: vision or reality? *Water* **30**, 7-11.
- Bunn, S.E., Davies, P.M. and Kellaway, D.M. (1997). Contributions of sugar cane and invasive pasture grass to the aquatic food web of a tropical lowland stream. *Marine and Freshwater Research* **48**, 173-179.
- Bunn, S.E., Davies, P.M., Kellaway, D.M., and Prosser, I. (1998). Influence of invasive macrophytes on channel morphology and hydrology in an open tropical lowland stream, and potential control by riparian shading. *Freshwater Biology* **39**, 171-178.
- Bunn, S.E., Davies, P.M., and Mosisch, T.D. (1999). Ecosystem measures of river health and their response to riparian and catchment degradation. *Freshwater Biology* **41**, 333-345.
- Bunn, S., Davies, P.M., Negus, P. and Treadwell, S. (1999). Aquatic food webs. In: Lovett, S. & Price, P. (eds.) *Riparian Land Management Technical Guidelines Volume One: Principles of Sound Management*, pp 25-36. Land and Water Resources R&D Corporation, Canberra.
- Bunn, S., Mosisch, T. and Davies, P.M. (1999). Temperature and light. In: Lovett, S. & Price, P. (eds.) *Riparian Land Management Technical Guidelines Volume One: Principles of Sound Management*, pp 17-24. Land and Water Resources R&D Corporation, Canberra.
- Bunn, S., Mosisch, T. and Davies, P.M. (1999). Controlling nuisance aquatic plants. In: Price, P. & Lovett, S. (eds.) *Riparian Land Management Technical Guidelines. Volume Two: On-ground Management Tools and Techniques*, pp 1-14. Land & Water Resources R&D Corporation, Canberra.
- Cottingham, P., Bunn, S. Brooks, A., Croker, K., Davies, P.M., Glaister, A., Hughes, V., Jackson, M., Koehn, J., Lake, S., Marsh, N., Nicol, S., Rutherford, I., Seymour, S., and

- Treadwell, S. (2003). *Managing wood in streams*. Technical Update Number 3, National Riparian Lands Program, Land and Water Australia. ISSN 1445-3924.
- Cottingham, P., Bunn, S. and Quinn, G. (2002). Using ecological knowledge to underpin river rehabilitation. *Water* **29**, 33-36.
- Lynch, R.J., Bunn S.E. and Catterall, C.P. (2002). Adult aquatic insects: potential contributors to riparian food webs in Australia's wet-dry tropics. *Austral Ecology* **27**, 515-526.
- Mosisch, T.D., Bunn, S.E. and Davies, P.M. (2001). The relative importance of riparian shading and nutrients on algal production in subtropical streams. *Freshwater Biology* **46**, 1269-78.
- Prosser, I., Ogden, R. and Bunn, S. (1999). The influence of space and time. In: Lovett, S. & Price, P. (eds.) *Riparian Land Management Technical Guidelines Volume One: Principles of Sound Management*, pp 9-16. Land and Water Resources R&D Corporation, Canberra.
- Prosser, I., Bunn, S., Mosisch, T., Ogden, R. and Karssies, L. (1999). The delivery of sediment and nutrients to streams. In: Lovett, S. & Price, P. (eds.) *Riparian Land Management Technical Guidelines Volume One: Principles of Sound Management*, pp 37-60. Land and Water Resources R&D Corporation, Canberra.
- Treadwell, S., Koehn, J. and Bunn, S. (1999). Large woody debris and other aquatic habitat. In: Lovett, S. & Price, P. (eds.) *Riparian Land Management Technical Guidelines Volume One: Principles of Sound Management*, pp 79-96. Land and Water Resources R&D Corporation, Canberra.

森林—河川・湖沼生態系における物質循環のカスケード

総合地球環境学研究所 吉岡崇仁

流域の研究

最近、地球環境問題に関わって、流域を対象とした研究が盛んに行われている。地球圏・生物圏国際協同研究計画 IGBP (International Geosphere-Biosphere Program) では、コアプロジェクトの中で、BAHC (Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle)、LOICZ (Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone)、LUCC (Land-Use and Land-Cover Change) が陸水域、沿岸域を対象としている。日本の IGBP 計画では、1997-2001 年に、GCTE (Global Change and Terrestrial Ecosystems) のコアリサーチとして日本から提案された TEMA (Global Change Impacts on Terrestrial Ecosystems in Monsoon Asia) を陸上から流域にまで拡大し、陸上の森林生態系がどのようなメカニズムで大気二酸化炭素のシンクとしての機能を果たしているのかをメインテーマに、地球環境変化の陸水圏への波及効果やそこからの地球環境へのフィードバック効果を明らかとする研究計画「陸域生態系の地球環境変化に対する応答の研究」(IGBP-MEXT-TEMA) が実施された(和田 2002)。

本シンポジウムは、「川と川辺のリンケージ」がテーマであるが、IGBP・MEXT・TEMA 研究で得られた結果を中心に、川辺を森林まで、川を湖沼まで延長した「森林—河川・湖沼生態系における物質循環のカスケード」について紹介したい。

IGBP・MEXT・TEMA 計画および成果の概要

本研究計画では、主たる研究対象水系を北海道大学苫小牧演習林 - 幌内川水系及び、琵琶湖集水域に設定した。主な研究の目的は、森林が大気二酸化炭素濃度の上昇に応答する場合、

- ・ 樹木は太るのか、背が高くなるのか、葉・枝葉からなるモジュールはどのように応答するのか。
- ・ 森林土壌の有機物の量と質はどのように変化するのか。

これらの森林の変化に対して、水系では、

- ・ 森林の変化は、水質、特に渓流水の化学組成の変化としてあらわれるか。
- ・ 陸水系での温室効果ガスの動態はどのように変化するか。

以上の疑問に関して、炭素循環を共通項目として、大気・森林・土壌・陸水生態系(渓流、河川、湖沼)の相互作用を統一的に理解することを目的とした。

「森林の応答」としては、個葉の光合成活性やシュートモジュール展開を単木、さらには森林へとスケールアップすることにより、森林における応答のメカニズム解明や炭

素吸収推定法の確立、河川を含む系全体の炭素収支の測定等を行った。

一次生産を評価するために、

- 1) リタートラップ、胸高直径の増加、根のバイオマス増加などによる積み上げ
- 2) 個葉、シュートモジュールの時系列観測による林冠炭素吸収モデルの構築
- 3) 林冠微気象、観測タワーによる二酸化炭素、水蒸気フラックスの測定、チェンバー法による土壌呼吸速度モニタリング
- 4) オープントップチェンバー法(OTC法)による草本の個葉から群集までの生理生態的研究、ファイトトロンによる樹木の応答の生育生理の研究によるモデル構築の基礎データ提供

などを行った。さらに、葉・シュートレベルの変化、樹木のパイプモデルを組み合わせた50本の樹木について、バイオマス、葉面積、樹高の時系列シミュレーションを行った結果、CO₂倍加に対して、樹高が高くなるという応答を示すことが示唆された。

溪流・河川系では、森林土壌系における有機物のC/N比と硝化活性、土壌有機物の蓄積の緯度変化などに加え、河川水中の溶存有機物(DOC)、NO₃⁻が森林土壌での物質循環を反映していることが明らかとなった。また、湖沼系においては、湖内での食物網の動態とそれに伴う沈降粒子束への植物・動物プランクトンの関与、DOCの起源・動態と分解性、炭素・リンの収支に関する陸水生態学的・生物地球化学的研究が進展した。湖沼における温室効果ガスとしては、主にCH₄とN₂Oを取り上げ、生成消費のメカニズムに関する研究を行った。

以上の研究を通じて、集水域の生物地球化学的物質循環が、森林を上流とし、湖沼を下流とするカスケードの中に位置づけることによって、それらの相互作用を把握することができ、陸上生態系と陸水生態系という二つのサブシステムからなる陸域生態系をとらえるという試みが有効であることが明らかとなった。川と川辺が密接に関連していると同じように、陸上と水系は切っても切れない関係にあることが、このカスケードを見ることで理解できる。

これからの流域環境研究

IGBPの国際的な取組では、2000年に終了した第1期に続く第2期への移行に向けて、炭素循環、水、食料と繊維など、分野横断的プロジェクトの検討が始まっている。2003年に始まる予定の第2期IGBPにおいては、IGBP自体のプログラムの再編と並行して、WCRP(World Climate Research Program : 世界気候研究計画)、IHDP(International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change : 地球環境変化の人間社会的側面国際研究計画)、DIVERSITAS(生物多様性科学国際協同プログラム : DIVERSITAS Programme)の4つの国際研究プログラムが加わった「地球システム科学連携、Earth System Science Partnership (ESS-P)」が発足し、「水」「食料」「炭素」

をキーワードとした研究が実施されることになった。IGBP と IHDP からは、Land プロジェクトが提案され、2003 年 12 月 2～5 日にメキシコでオープンサイエンスカンファレンスが開催される。

IGBP 以外の活動においても、文部科学省委託事業「人・自然・地球共生プロジェクト」では、平成 14 年度から、「アジアモンスーン地域における人工・自然改変に伴う水資源変化予測モデルの開発」が採択され、「科学技術戦略：環境分野推進戦略」では、「自然共生型流域圏・都市再生技術研究イニシアティブ」が 5 省の省際プロジェクトとして計画されるなど、流域環境と地球環境変化あるいは人間環境とを結びつけるプロジェクトが注目される。

森林から沿岸までを含めた流域環境は、人間活動が集中する環境の一つである。したがって、今後の流域を対象とした環境研究では、人間と流域環境の相互作用を理解する必要に迫られるであろう。流域環境に関する自然科学の知見と人々の生活や環境に対する価値観とをどのように統合理解すればいいのか。地球環境問題の克服に向けた学問の創出を目的として、平成 13 年 4 月に設置された総合地球環境学研究所では、自然科学的観点ばかりではなく、人文・社会学的観点も取り入れた複数の研究プロジェクトが、国内外の流域を対象として進められている。模索は始まったばかりである。

河川・水辺・湿地の復元

- 物質の流れ・攪乱・生息場環境の視点から -

北海道大学大学院 中村太士

本研究では流域の景観構造を、リーチスケール、セグメントスケール、集水域スケールに区分し、これまで演者が実施してきた事例研究をもとに、河川構造物や流域土地利用が、物質の移動、攪乱、そして生息場環境に与える影響を論ずることとする。さらに、生態系の劣化要因を解明し、生物保全もしくは自然復元を実施するための考え方と実施例について紹介する。

まずリーチスケールの事例として、北海道真駒内川の事例を紹介する。真駒内川では流路工や護岸工など、さまざまな治水砂防施設が設置されており、これらの構造物による流水環境の画一化が、少なからず河川生物相に影響を与えていると推測できた。さらに、上流からの細粒土砂の生産と流出によって、河床には細粒砂がレキ表面や間隙に堆積していることが観察できた(Yamada and Nakamura 2000)。環境傾度分析の結果、真駒内川で現在河川環境の悪化を引き起こしている原因は、上流からの細粒砂流出とこれに伴う河床間隙の減少であり、こうした目詰まり現象が流速や水深が低下する流路工区間で顕著になることが明らかになった(渡辺ほか 2000)。特に浮き石の減少は、ハナカジカに代表される底生魚類個体数の減少を引き起こしていたことから、実験的に浮き石生息場を創出することによって、ハナカジカ個体数を回復させることができるか否かを検証した。

次に、セグメントスケールとして、長野県梓川と北海道東部に隔離分布するケショウヤナギそして代表的先駆性河畔林樹種の生態について、網状河川と生育パッチの空間分布の観点から解析した。さらに、ダムによる洪水攪乱の減少がケショウヤナギに与える影響についても考察した。網状河川の特徴である頻繁な流路変動とそれによる攪乱は、様々な立地環境をもつ地形面をモザイク状に提供し、ケショウヤナギが生活史をとじるために必要な生息場所である砂礫堆や低位・高位氾濫原を安定して(いわば動的平衡状態)供給することができると推測された(Nakamura and Shin 2001)。この解析事例を示し、ダムができ攪乱が制御された場合のパッチ変化とケショウヤナギ林の動態について述べる(高木・中村 印刷中)。

最後に、集水域スケールとして、流域からの濁水の氾濫に伴う陸地化、栄養化が顕著になっている日本最大の湿原である釧路湿原を取りあげ、景観構造の変化と物質の流れ、湿原植生の変化、湿原再生計画の概要について述べる。流域の最下流端にかまえる釧路湿原では、森林伐採、農地開発、明渠排水路造成等によって上流域から土砂が生産され、湿原に入る入り口で堆積し、約2mの河床上昇を引き起こしている(Nakamura et al. 1997)。その結果、湿原内に細かな粒子の土砂が堆積し、湿原が陸地化している。さらに、微細な粒子には

窒素やリンなどの栄養塩が吸着されており、家畜糞尿などの流域からの負荷の増加に伴い、もともと貧栄養状態で維持されていた湿原は富栄養化しつつある。湿原の土砂堆積と栄養塩の集積は、最終的に湿原植生を変化させ、もともとあったスゲやヨシの低層湿原植生が、湿原の周辺から樹林化しハンノキやヤナギの群落に変化している(Nakamura et al. 2002)。衛星画像解析(Kameyama et al. 2001)によると、これら濁水の氾濫域ならびに樹木分布域は、湿原の縁辺部から着実に広がっている(Nakamura et al. in press)。こうした現状を受けて、現在では集水域スケールで様々な保全や復元対策が講じられている(中村 2003)。

引用文献

- Kameyama, S, Yamagata, Y, Nakamura, F., Kaneko, M. (2001) Development of WTI and turbidity estimation model using SMA -- Application to Kushiro Mire, eastern Hokkaido, Japan --. *Remote Sensing of Environment* **77**: 1-9
- 中村太士(2003)河川・湿地における自然復元の考え方と調査・計画論 - 釧路湿原および標津川における湿地, 氾濫原, 蛇行流路の復元を事例として - . *応用生態工学* **5-2**: 217-232.
- Nakamura, F., Sudo, T., Kameyama, S. and Jitsu, M. (1997) Influences of channelization on discharge of suspended sediment and wetland vegetation in Kushiro Marsh, northern Japan. *Geomorphology* **18**: 279-289
- Nakamura, F. and Shin, N. (2001) The downstream effects of dams on the regeneration of riparian tree species in northern Japan. *Geomorphologic Processes and Riverine Habitat, AGU Water Science and Application Volume* **4**: 173-181.
- Nakamura, F., Jitsu, M., Kameyama, S., and Mizugaki, S. (2002) Changes in riparian forests in the Kushiro Mire, Japan, associated with stream channelization. *River Research and Applications* **18**: 65-79
- Nakamura, F., Kameyama, S. and Mizugaki, S. (in press) Rapid shrinkage of Kushiro Mire, the largest mire in Japan, due to increased sedimentation associated with land-use development in the catchment. *Catena*.
- 高木麻衣, 中村太士 (印刷中) ダムによる流量調節が河畔林に及ぼす影響について - 北海道札内川の事例 - . *日本林学会誌*
- 渡辺恵三・中村太士・加村邦茂・山田浩之・渡邊康玄・土屋進(2001)河川改修が底生魚類の分布と生息環境におよぼす影響. *応用生態工学* **4-2**: 133-146
- Yamada, H. and Nakamura, F. (2002) Effect of fine sediment deposition and influence of channel works on periphyton biomass in a freshwater catchment in northern Japan. *River Research and Applications* **18**: 481-493.

- Memorandum -