サケ科魚類の生息に及ぼす倒木の効果

誌名	水利科学
ISSN	00394858
著者名	永山,滋也 河口,洋一 中野,大助 中村,太士
発行元	水利科学研究所
巻/号	51巻6号
巻号補足	
掲載ページ	p. 60-77
発行年月	2008年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

サケ科魚類の生息に及ぼす倒木の効果

永山滋也
河口洋一
中野大助
中村太士

目　次

Ⅰ．はじめに
Ⅱ．河川内における倒木の役割
Ⅲ．倒木がサケ科魚類の生息に与える影響
　1．海外における研究事例
　2．日本における研究事例
Ⅳ．倒木を用いたサケ科魚類生息場の改善
　1．海外における研究事例
　2．日本における研究事例
Ⅴ．北海道標津川における倒木投入実験
　—サクラマスの応答—
　1．標津川と調査地の概要
　2．倒木投入とサクラマスの応答
Ⅵ．おわりに

Ⅰ．はじめに

河川内の倒木は，治水上の問題や舟運の阻害要因となることから，世界中の河川で管理上の障害物とみなされ，排除の対象となってきた。しかし，1970年代以降，北米太平洋岸地域を中心とした多くの研究により，倒木が河川生態系に果たす重要な役割が強く認識されるようになった（Gregory 2003）。そして現在では，アメリカ，ヨーロッパ諸国，オーストラリア等において，河川内への倒木の投入が水生生物の生息場を改善する手法として有効であると広く認め

られ，実践されている（Bisson et al. 2003）。

一方，日本では，治水上の問題や沿岸域の漁業被害問題から，河川内の倒木は依然として排除の対象としてのみ認識されている。そのため，倒木が持つ生態的な意義に関する認識は極めて薄く，研究事例も非常に少ない。さらに，海外では数多く実践されている倒木を用いた河川環境の改善事例も，北海道においていくつか報告されているのみであり，あまり着目されないまま現在に至っている。良好な河川生態系の保全と再生が河川管理に求められている現在，河川内における倒木がどのような役割を担っているのかを知ることは，河畔林および倒木に関する今後の管理方針を決定していく上で有益であると考えられる。

本論では，河川生態系に及ぼす倒木の役割を概観した後，これまで多くの研究が行われてきたサケ科魚類と倒木の関係に焦点をあて，倒木の役割および倒木を使った生息環境改善について，海外と日本における研究事例をそれぞれ紹介する。ここで，海外の研究事例については既存の代表的な知見をまとめたのに対し，日本の研究事例については，海外で得られた知見と比較し，日本において重要となるであろう論点を整理した。また，北海道標津川下流部において国内で初めて実施された大規模な倒木投入実験におけるサクラマス（*Oncorhynchus masou*）の応答についても紹介する。

Ⅱ．河川内における倒木の役割

倒木は，斜面崩壊や河岸侵食などの攪乱作用や風倒により森林から河川へと

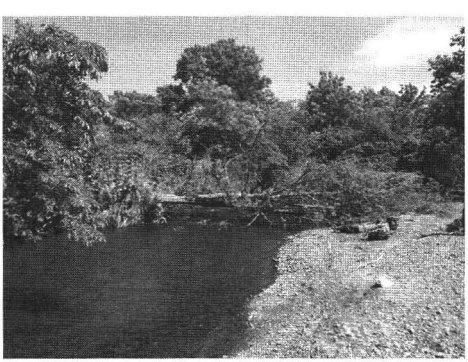

写真1　河岸侵食により発生した倒木

供給される（写真1）。河川に供給された倒木は，移動と停滞を繰り返しながら徐々に海へと運ばれていくが，海へ到達する前に腐朽や破砕によって小片化するものもある。こうした河川内への供給から河川外への流出もしくは小片化までの過程で，倒木は物理的にも生態的にも河川に様々な作用を及ぼすことが知られている。

例えば，河川上流部の小渓流では，倒木は土砂を貯留し，2次流路や瀬淵構造を発達させ，倒木がない場所よりもより多様な河川地形を創出する（Nakamura and Swanson 1993）。こうした河川地形の多様化は多様な流れを形成するとともに，倒木それ自体が障害物となることもあって，速やかに下流へ流出してしまいやすい落葉や落枝を河道内に貯留する（Bilby 2003）。さらに，サケ科魚類の産卵後の死骸も倒木によって多く貯留される（写真2）（Cederholm et al. 1989）。貯留された落葉や落枝は水生昆虫の重要な餌となり（Benke and Wallace 2003），サケ科魚類の死骸は水生昆虫だけでなく陸上の哺乳類や鳥類の餌となり（Cederholm et al. 1989），それらの養分は様々な食物連鎖系へと組み込まれていく。また，倒木による河川地形の多様化と倒木それ自体は，多様な水生生物の様々な生活段階において欠かせない生息場を創出し，例えば水生昆虫（Benke and Wallace 2003）や魚類（Dolloff and Warren 2003）の生態に大きな影響を及ぼしている。

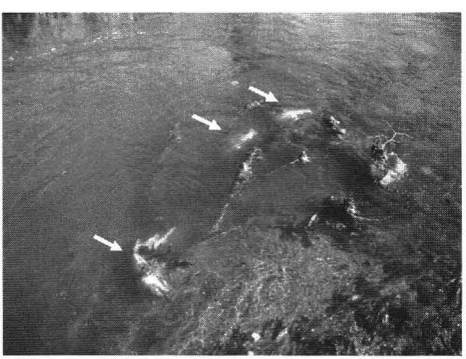

写真2　倒木に捕捉されている産卵後のシロザケの死骸（撮影：2006年11月8日，北海道の標津川にて）

河幅の大きな河川下流部では，倒木単体による地形への影響力は小渓流に比べて相対的に小さい。しかし，たくさん集積した倒木の塊（log jam）が河川の地形や流れに影響し，樹木が生育できる安定した立地を創出，維持すること

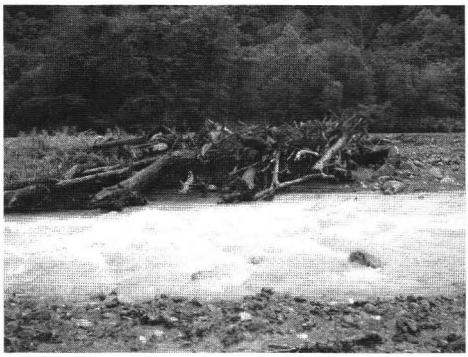

写真3　倒木が集積して形成された log jam.（写真提供：徐正一氏）

が報告されている（写真3）（Abbe and Montgomery 1996）。沖積低地河川などで多く見られる礫径の小さな河川では，倒木は礫に代わる水生昆虫の重要な生息場基質となっている（Benke and Wallace 2003）。さらに，全体的に流れが一様で速い河川下流部では，倒木周辺の低流速域が様々な魚種の生息場として重要であることも知られている（Zalewski et al. 2003）。

このように，河川内の倒木は，上流から下流を含む水系全体において，河川地形，物質循環，生物生態に強く影響を及ぼしている。それゆえ，河川内からの倒木の除去や供給源である河畔林の伐採といった人間活動が，河川内の倒木量を減少させ，間接的に河川生態系の劣化を招いているのではないかと世界中で懸念されている。実際，河川内から倒木を除去した実験からは，土砂や枝葉などの有機物の流出（Bilby 2003），魚類の生息量低下（Dolloff 1986；阿部・中村 1999）といった現象が顕著に現れることが明らかにされている。

Ⅲ．倒木がサケ科魚類の生息に与える影響

1．海外における研究事例

1970年代以降，北米太平洋岸地域を中心として，河川生態系における倒木の重要性を実証する研究が行われてきた。特に，北半球の多くの国にとって重要な水産資源であるサケ科魚類への倒木の影響ついては，数多くの研究が行われてきた。

例えば，小渓流で樹木が川を横断するように倒れた場合，その上流側にはダ



写真 4　流路を横断した倒木による淵の形成

ム型の淵が，下流側には落ち込み型の淵が形成され，サケ科魚類の重要な生息場となる（写真 4）（Fausch and Northcote 1992）。その淵の中あるいは淵以外の場所においても，倒木は外敵から身を隠したり，速い流れを避けたりするためのカバー（避難場）として，サケ科魚類に利用されている（写真 5）（Zika and Peter 2002）。一方，低水温になる冬季には，水温の高い時期とは異なり，サケ科魚類はカバーのすぐ近くやカバー内部の低流速域を利用している（Bustard and Narver 1975）。倒木は，このようなサケ科魚類の冬季生息場としても有効であり，越冬による個体の死亡率を低下させ，翌春までの生残率を高めることが報告されている（Giannico and Hinch 2003）。こうした倒木の直接的あるいは間接的な効果により，小渓流では，倒木量がより多い河道においてサケ科魚類の生息量も多くなることが知られている（Flebbe and Dolloff 1995）。



写真 5　倒木付近に形成されたカバー（速い流れや外敵からの避難場）

河川内の倒木は，流れを遮断したり流況を多様にしたりすることで，その周辺に様々な大きさの礫を貯留する。例えば，倒木が多い河道ではサケ科魚類の産卵床形成に適したサイズの礫が多く捕捉され，倒木が間接的にサケ科魚類の再生産に貢献していることが報告されている（House and Boehne 1986）。また，礫によって形成される間隙は冬季生息場としてサケ科魚類に利用されるし（Bustard and Narver 1975），水中の礫による個体間の視覚的な隔離は，同所的に生息できる個体数を増加させることが示唆されている（Dolinsek et al. 2007）。このように，倒木は礫の捕捉を介して，間接的にサケ科魚類生息場の量や質にも影響を与えている。

河川内の倒木量や倒木の個々の大きさは，供給源となる森林（河畔林）に影響される。それゆえ，河畔の森林のタイプによって，サケ科魚類の生息量が影響されることも知られている。例えば，大径の樹木が優占する原生林（old growth forest）を流れる河川では，二次林（second growth forest）を流れる河川よりも，大きな倒木や倒木に関連した淵の個数が多く，それに伴いサケ科魚類の生息量も大きいことが報告されている（Flebbe and Dolloff 1995）。

河川中下流部など河幅や流量の大きな河川における倒木と魚類生息場に関する研究はいくつか存在し，倒木が多様な魚類の生息場として重要であることが示されている（Lehtinen et al. 1997）。しかし，サケ科魚類に対象を絞ると，流量の大きな河川で倒木との関係を調査し，学術雑誌に掲載されている研究は極めて少ない。これまでのところ，倒木を含む河岸際のエリアが，複数のサケ科魚類幼魚にとってほぼ1年を通して重要な生息場となっていることが報告されているくらいである（Beechie et al. 2005）。

2. 日本における研究事例

日本におけるサケ科魚類と倒木の関係を扱った研究のすべては北海道の小渓流で行われており，その数は非常に限られている。しかし，海外における研究と同様，サケ科魚類の生息に対する倒木の重要性が示されている。阿部・中村（1999）は，河道から倒木を除去したとき，サクラマスの生息量が減少することを明らかにし，春季および秋季のサクラマスの生息にとって倒木が重要な要素であることを示した。Inoue and Nakano（1998）は，草地に囲まれた河川より森林に覆われた河川において河川内の倒木量が多いことを明らかにするとともに，夏季のサクラマスの生息にとって，倒木によって形成されたカバー（強

い流れや外敵からの避難場）が重要であることを明らかにした。多くの先行研究が行われてきた北米太平洋岸地域では，倒木による淵の形成がサケ科魚類の生息量に影響することを示している。Inoue and Nakano（1998）は，それらの地域に比べて，彼らの調査河川で観測された倒木の直径や体積が小さく，相対的に河幅や河床の礫が大きかったことから，倒木による淵の形成が起こりにくく，結果としてサクラマスの生息量に対する淵の影響が小さかったと結論付けている。一方，Urabe and Nakano（1998）は，夏季，倒木による淵の形成がニジマス（*Oncorhynchus mykiss*）の生息量を高めることを明らかにした。Urabe and Nakano（1998）が調査した河川の河床材料は小型で比重の軽い火山軽石であったことから，彼らは，小さい倒木で創出される小さな段差でも淵が形成され，ニジマスの生息量に強い影響を与えたと結論付けている。北米太平洋岸地域の一つであるワシントン州を流れるQueets川での倒木の調査によれば，倒木（直径：＞30 cm）の42%を占めるベイトウヒ（英名：Sitka spruce，学名：*Picea sitchensis*）の平均直径は121.3 cmであり，全7樹種の平均直径も85.4 cmであった（Hyatt and Naiman 2001）。それに比べて，北海道の原生的な森林を流れる河川を含む研究では，直径40 cmを超える倒木は稀であった（Inoue and Nakano 1998）。それゆえ，直径や樹高が相対的に小さい森林に覆われる日本では，火山軽石のような洗掘を受けやすい河床材料が優占する河川以外では，一般に，倒木による淵形成よりもカバー形成がサケ科魚類の生息量に強く影響するのかもしれない。

冬季における倒木とサケ科魚類に関する研究も，国内においてわずかに行われている。阿部（2007）は，草地化された河川より森林に覆われた河川の方が倒木によるカバーが多いことを示すとともに，水温が0 ℃前後にまで低下する冬季において，夏季よりも，倒木によるカバーがサクラマスの生息場として重要であることを明らかにした。冬季において，サクラマスが倒木に関連したカバーを利用することはMiyakoshi et al.（2002）および柳井ら（2001）においても報告されている。サクラマスの冬季生息場として，大きな礫で形成される間隙や雪の重みで水中に没した草本植生によって形成される極めて流速の緩やかな生息場が重要であることが指摘されている（Nagayama and Nakamura 2007）。倒木も，このような微環境を形成することにより，サクラマスの冬季生息場として機能すると考えられる。

海で大型に成長したサクラマス親魚は，シロザケ（*Oncorhynchus keta*）やカラ

フトマス（*O. gorbuscha*）とは違い，春に河川に戻ってきて，秋の産卵まで河川生活をおくる生活史を持っている。Edo and Suzuki（2003）は，夏季において，この大型のサクラマス親魚が大きな倒木を有する淵を利用したと報告している（Edo and Suzuki 2003）。海から河川に戻ったサクラマスは秋の産卵まで採餌を行わないため，エネルギーの節約をしなければならない（田子 2000）。おそらく，大きな倒木は，エネルギーを節約できる生息場として，大型のサクラマス親魚でも利用可能な大きな低流速域を形成すると考えられる。

Ⅳ．倒木を用いたサケ科魚類生息場の改善

1．海外における研究事例

アメリカをはじめ諸外国では，入手の容易さ，低コスト，そして自然河川において重要な魚類生息場であるとの認識から，倒木を用いた魚類生息場の修復（リハビリテーション）が多数行われてきた（中村 1993；Bisson et al. 2003）。

小渓流では，丸太を川に横断させ河岸と河床に固定する手法（ログダムと呼ぶことにする）が頻繁に用いられてきた（写真 6）。この手法は，丸太の上を



写真 6　流路を斜めに横断させたログダム

越流した流れによって，丸太の直下に落ち込み型の淵を形成させ，サケ科魚類の生息場の増加を図るものである。Riley and Fausch（1995）は，河道区間 250 m 内に流路を直角に横断させたログダムを複数設置したところ，河道区間内におけるサケ科魚類の生息量が増加したことを明らかにした。川を横断させる構造物としては，他に，両岸から丸太を斜めに突き出し，流路の中央で丸太

同士を結合させたV字状のウェッジダムもよく用いられている（写真7）。この方法においても，丸太直下に淵が形成され，サケ科魚類の生息量が高まることが明らかにされている（House and Boehne 1986）。

一般に，サケ科魚類の生息場は，3次元的に複雑な構造であるほど，生息量が大きくなることが知られている（McMahon and Hartman 1989；Fausch 1993）。そこでShirvell（1990）は，単体で複雑な生息場を創出できる根株を河幅15 m程度の河川に投入して，岸際だけではなく流路中央部でもサケ科魚類の好適な生息場を創出できることを示した。さらに，枝が付いたままの様々な

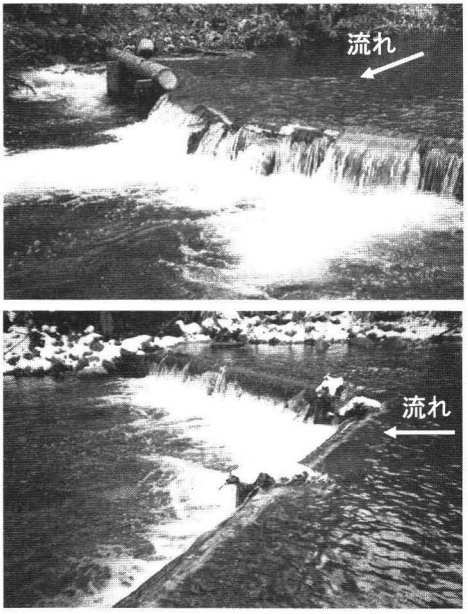

写真7　V字状に丸太を組み，流路を横断させたウェッジダム。上は下流に凸，下は上流に凸（写真提供：柳井清治氏）

長さの木を投入することで，様々な体サイズのサケ科魚類に利用される冬季生息場の創出に成功した事例もある（Zika and Peter 2002）。このように，近年では，複雑な生息場の創出を目的として，枝や根株など木が持つ複雑な構造をそのまま利用するといった，自然に発生する倒木の姿を模倣した手法も多く実践されている。

供給される倒木の長さ（樹高）よりも大きな河幅を持つ河川では，当然個々の倒木は不安定であり下流へと流されやすい。しかし，自然に倒木が集積して

形成された塊（log jam）は，流況を変化させて森林の立地を形成するほど，しばしば長期にわたって安定する（写真3）（Abbe and Montgomery 1996）。この自然のlog jamを模倣して人工的に構築された倒木による構造物はengineered log jams（ELJs）と呼ばれており，護岸および床止めと水生生物の生息場改善を目的とした総合的なプロジェクトに応用されている。例えば，米国ワシントン州のElwha川では，2 km以上にわたる流路区間において，1999年から2004年の間に合計753本（体積2009 m^3）の倒木を用いた21基のELJsが投入され，物理的，生物的なモニタリング調査が行われた（McHenry et al. 2007）。その結果，ELJs付近で河床の洗掘が生じるものの，河道全体では砂州（河原）の形成などに伴い土砂貯留量は増加し，水衝部における河岸侵食が弱まるといった物理的な応答が明らかにされた。さらに，ELJs付近の河床洗掘により形成された淵，ELJsによって流水が安定的に供給されるようになった二次流路，ELJsに関連して形成されたワンドなどの河岸際の環境が，様々な生活段階のサケ科魚類に利用されることを明らかにした。

2. 日本における研究事例

日本における樹木を用いた魚類生息場改善の試みは，北海道の小渓流における2つの事例が報告されているのみであり，そのどちらも，枝や根株などを排除した丸太を河床に固定する手法で行われている（豊島ら 1996；柳井ら 2004）。豊島ら（1996）は，コンクリート製の連節ブロックで河岸と河床が固められた河道において，流路中央付近の連節ブロックを縦断方向に500 mにわたって除去し，そこに流水が集中するようにしたうえ，流路を直角に横断するログダムを複数設置した。その結果，ログダムの上下流に形成された淵がサクラマスによく利用され，サクラマスの生息量が大幅に増加したことを明らかにした。柳井ら（2004）は，単調な早瀬が続いていた河道区間200 mに，ログダム，ウェッジダムおよび河岸から流心に向かって張り出したデフレクター（水制工）を複数設置した。その結果，春季（6月）の小型のサクラマスは丸太の設置に伴い多様になった河岸際を，夏季（7，8月）のサクラマスは新たに形成された淵をよく利用したことを報告している。

日本における以上の2つの事例は，根株や枝が排除されている丸太を整然と組み，床固め工，水制工を構築したものである。そのため，“淵”を形成する効果は高いとしても，複雑な“カバー”を形成する効果は低いと考えられる。

カバーは強い流れや外敵からの避難場になるとともに，その複雑な構造は多くの個体が同所的に生息することを可能にするため，1年を通してサケ科魚類の生息にとって極めて重要な要素である（McMahon and Hartman 1989；Inoue and Nakano 1998）。Nickelson et al.（1992）は，ログダムやウェッジダムのような横断構造物で形成された淵は，サケ科魚類の夏の生息場としては機能するものの，カバーへの選択性が強まる冬の生息場としては適切でないことを明らかにした。さらに，Nickelson et al.（1992）は，その淵の中にカバーとして束ねた枝を投入すると，冬でも多くの個体に利用される適切な生息場となることも示した。それゆえ，倒木が持つ魚類生息場としての効果を最大限に引き出すためには，枝や根株，倒木同士の重なりなど，複雑さを創出する要素を極力除去しないことが重要である。今後，日本において倒木を用いた魚類生息場改善を行う際には，自然の河川内で観察されるような倒木構造を模倣し，枝や根株を保持した倒木，あるいは樹木の各部位を組み合わせた複雑な倒木構造の採用を期待したい。

V．北海道標津川における倒木投入実験 —サクラマスの応答—

1．標津川と調査地の概要

戦前までの標津川下流部は，大規模な未開拓の湿地帯をめぐる蛇行河川であったが，1970年代後半までには下流部の蛇行流路のほとんどが短絡され，現在の直線流路が完成している。これら一連の工事によって治水安全度は向上し，周辺の湿地は牧草地として利用可能になったものの，それまで広く分布していたハルニレ（*Ulmus davidiana var. japonica*），ヤチダモ（*Fraxinus mandshurica var. japonica*）の大径湿地林は姿を消し，かつて生息していたイトウ（*Hucho perryi*）も確認できなくなっている。このような背景のもと，失われた標津川の河川生態系を取り戻したいという地域の要望を踏まえ，引き堤と流路の再蛇行化を手段とした再生事業が検討されることとなった（平井・空閑 2005）。対象河道は下流部の約3.5 km区間であるが，その大規模な蛇行流路と氾濫原の復元に着手する前段階として，直線化により分断されていた1つの旧川を本川堰上げによって再連結した蛇行試験が実施されている（写真8）。標津川における倒木投入実験は，この再蛇行河道において，さらなる水生生物の生息場改善とその



写真 8　旧川連結前後の蛇行試験区の景観。過去の工事で分断された旧川Aを本川と再連結した

効果の検証を行うために実施された。なお，標津川自然再生事業についてのより詳細な情報や研究報告は，2005年の応用生態工学会誌における特集や河口・中村（2005）の他，リバーフロント整備センターのホームページからも閲覧可能である。

2. 倒木投入とサクラマスの応答

投入する倒木の構造は，“樹木”そのものの構造をすべて活かすことにより

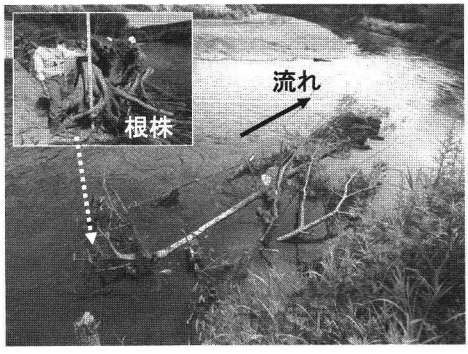

写真 9　倒木を投入したサイト（倒木区）の写真。上流端に大きな根株を投入している

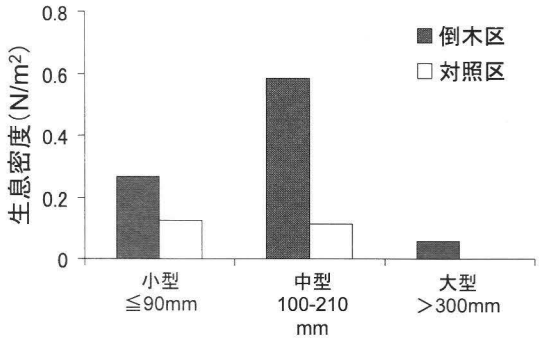

図1　倒木区と対照区におけるサイズクラス別のサクラマスの生息密度

多様な生息場が創出されると考え，枝や葉が付いたままの針葉樹1本（樹高10－13 m）と広葉樹2本（樹高8－10 m），さらに大きな根株1セット（重さ約0.8 t）を組み合わせたものとした。水中への投入の際には，それらをワイヤーとボルトで連結し，根株を最上流端に配置させた（写真9）。投入した倒木は，河岸や河床へ埋め込むことはせず，河岸の木などにワイヤーでアンカーをとり，「木流し」の状態にした。

2004年6月，再蛇行河道内の水衝部に形成された側方洗掘型の淵において，上記の倒木構造物を投入した。約1年後の2005年7月，倒木を投入したサイト（倒木区）と倒木を投入しなかったサイト（対照区）において，潜水によるサクラマスの直接観察を行い，個体数と全長を目視で測定した。

その結果，海から戻ってきた大型のサクラマス（＞300 mm）は倒木区にお

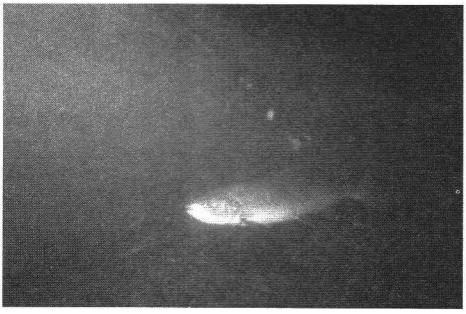

写真10　倒木区において根株下流側の深場に見られた大型のサクラマス親魚

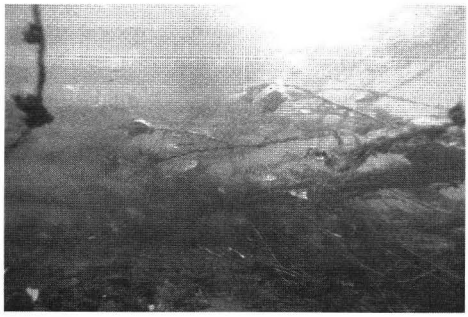

写真11　倒木脇の速い流れの中で採餌を行うサクラマス幼魚

いてのみ観測され，小型（≦90 mm）および中型（100－210 mm）のサクラマスも，倒木区では対照区のそれぞれ2.1倍，5.1倍と高い生息量を示した（図1）。このことから，今回投入した倒木は，複数の生活段階のサクラマスが高い密度で利用できる適切な生息場を創出したと考えられる。また，大型のサクラマスは根株の下流側の深場を（写真10），中型のサクラマスは倒木脇の速い流れを（写真11）主に利用する傾向が潜水時に観察された。

Ⅵ．おわりに

国内において，倒木は河川管理上の障害物としてのみ認識されており，河川生態系において倒木が担う重要な役割についての認識は極めて薄い。本論では，サケ科魚類に焦点をあて，倒木が果たす生態的な役割と倒木による生息場改善の事例およびその効果を紹介した。良好な生物生息場が河川管理に求められている現在，魚類生息場の保全および改善において倒木に期待できる効果は大きいと考えられる。

本論で紹介した倒木の投入によるサケ科魚類生息場の改善事例は，投入した場所，あるいはその周辺における狭い範囲での再生手法，すなわちリハビリテーション（rehabilitation）である。さらに，投入された倒木は，それ自体の流出や埋没，破砕，腐朽などによって，魚類生息場としての機能低下を免れることはできないため，短期的なリハビリテーションと捉えることができる。

先に，倒木の投入が魚類生息場改善に多用されてきた理由として，入手の容易さ，低コスト，魚類生息場として重要な要素であるとの認識の3点を挙げた。しかし，改修された河道に沿って長距離にわたり継続的に倒木を投入し続け，

魚類生息場を維持することは現実的ではないだろう。第一に考えるべきことは，倒木供給プロセスの保全と再生，つまり持続的な供給源となる森林（河畔林），倒木を発生させる仕組み（河岸侵食など），倒木が河川に留まり易い場（氾濫原や多様な河道形状）の保全と再生であり，それに伴う魚類の生息場および群集の保全と再生である。こうした物理的，生態的な自然プロセスの再生はリストレーション（restoration）と呼ばれるが，この実践には長期的な視野と流域を単位とした取り組みが必要不可欠である。倒木の人工的な投入という短期的なリハビリテーションは，あくまでこのリストレーションの補完もしくは暫定的手段として実践されるべきであり，それだけで劣化した魚類生息場の根本的な解決を約束するものではない。

謝辞

本論は，（財）河川環境管理財団の河川整備基金および科学研究費補助金（基盤研究A：19208013）による助成を受けた。なお，本論の一部である倒木投入実験は，標津川における河川生態学術研究会の総合的な調査研究の一環として実施されたものである。

引用文献

1) Abbe, T.B., and Montgomery, D.R.（1996）Large woody debris jams, channel hydraulics and habitat formation in large rivers. *Regulated Rivers: Research & Management* 12（2－3）: 201－221.

2) 阿部俊夫（2007）小流域における渓畔林の喪失とサクラマス幼魚の生息環境悪化. 日本森林学会誌89（2）: 85－91.

3) 阿部俊夫・中村太士（1999）倒流木の除去が河川地形および魚類生息場所におよぼす影響. 応用生態工学2（2）: 179－190.

4) Beechie, T.J., Liermann, M., Beamer, E.M., and Henderson, R.（2005）A classification of habitat types in a large river and their use by juvenile salmonids. *Transactions of the American Fisheries Society* 134（3）: 717－729.

5) Benke, A.C., and Wallace, J.B.（2003）Influence of wood on invertebrate communities in streams and rivers. *In* The ecology and management of wood in world rivers. *Edited by* S.V. Gregory, K.L. Boyer and A.M. Gurnell. American Fisheries Society, Symposium 37, Bethesda, Maryland. pp. 149－177.

6) Bilby, R.E.（2003）Decomposition and nutrient dynamics of wood in streams and rivers. *In* The ecology and management of wood in world rivers. *Edited by* S.V. Gregory,

K.L. Boyer and A.M. Gurnell. American Fisheries Society, Symposium 37, Bethesda, Maryland. pp. 135－147.

7) Bisson, P.A., Wondzell, S.M., Reeves, G.H., and Gregory, S.V. (2003) Trends in using wood to restore aquatic habitats and fish communities in western North American rivers. *In* The ecology and management of wood in world rivers. *Edited by* S.V. Gregory, K.L. Boyer and A.M. Gurnell. American Fisheries Society, Symposium 37, Bethesda, Maryland. pp. 391－406.

8) Bustard, D.R., and Narver, D.W. (1975) Aspects of the winter ecology of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and steelhead trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 32 (5) : 667－680.

9) Cederholm, C.J., Houston, D.B., Cole, D.L., and Scarlett, W.J. (1989) Fate of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) carcasses in spawning streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46 (8) : 1347－1355.

10) Dolinsek, I.J., Biron, P.M., and Grant, J.W.A. (2007) Assessing the effect of visual isolation on the population density of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) using GIS. *River Research and Applications* 23 (7) : 763－774.

11) Dolloff, C.A. (1986) Effects of stream cleaning on juvenile coho salmon and Dolly Varden in southeast Alaska. *Transactions of the American Fisheries Society* 115 (5) : 743－755.

12) Dolloff, C.A., and Warren, M.L. (2003) Fish relationships with large wood in small streams. *In* The ecology and management of wood in world rivers. *Edited by* S.V. Gregory, K.L. Boyer and A.M. Gurnell. American Fisheries Society, Symposium 37, Bethesda, Maryland. pp. 179－193.

13) Edo, K., and Suzuki, K. (2003) Preferable summering habitat of returning adult masu salmon in the natal stream. *Ecological Research* 18 (6) : 783－791.

14) Fausch, K.D. (1993) Experimental analysis of microhabitat selection by juvenile steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) and coho salmon (*O. kisutch*) in a British Columbia stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50 (6) : 1198－1207.

15) Fausch, K.D., and Northcote, T.G. (1992) Large woody debris and salmonid habitat in a small coastal British Columbia stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49 (4) : 682－693.

16) Flebbe, P.A., and Dolloff, C.A. (1995) Trout use of woody debris and habitat in Appalachian wilderness Streams of North Carolina. *North American Journal of Fisheries Management* 15 (3) : 579－590.

17) Giannico, G.R., and Hinch, S.G. (2003) The effect of wood and temperature on juvenile coho salmon winter movement, growth, density and survival in side-channels.

River Research and Applications 19（3）：219－231.

18） Gregory, K.J.（2003）The limits of wood in world rivers: present, past, and future. *In* The ecology and management of wood in world rivers. *Edited by* S.V. Gregory, K.L. Boyer and A.M. Gurnell. American Fisheries Society, Symposium 37, Bethesda, Maryland. pp. 1 －19.

19） 平井康幸・空閑健（2005）標津川における自然再生事業への取り組みについて. 応用生態工学会 7（2）：143－150.

20） House, R.A., and Boehne, P.L.（1986）Effects of instream structures on salmonid habitat and populations in Tobe Creek, Oregon. *North American Journal of Fisheries Management* 6（1）：38－46.

21） Hyatt, T.L., and Naiman, R.J.（2001）The residence time of large woody debris in the Queets River, Washington, USA. *Ecological Applications* 11（1）：191－202.

22） Inoue, M., and Nakano, S.（1998）Effects of woody debris on the habitat of juvenile masu salmon（*Oncorhynchus masou*）in northern Japanese streams. *Freshwater Biology* 40（1）：1 －16.

23） 河口洋一・中村太士（2005）直線化された川の再蛇行化―分野間の協働について―. 日本生態学会誌55（3）：497－505.

24） Lehtinen, R.M., Mundahl, N.D., and Madejczyk, J.C.（1997）Autumn use of woody snags by fishes in backwater and channel border habitats of a large river. *Environmental Biology of Fishes* 49（1）：7 －19.

25） McHenry, M., Pess, G., Abbe, T., Coe, H., Goldsmith, J., Liermann, M., McCoy, R., Morley, S., and Peters, R.（2007）The physical and biological effects of engineered logjams（ELJs）in the Elwha River, Washington. Report for the Salmon Recovery Funding Board（SRFB）, Interagency Committee for Outdoor Recreation（IAC）. http://www.fws.gov/westwafwo/fisheries/Publications/Elwha%20ELJ%20Monitoring%20Final%20Report-final.pdf

26） McMahon, T.E., and Hartman, G.F.（1989）Influence of cover complexity and current velocity on winter habitat use by juvenile coho salmon（*Oncorhynchus kisutch*）. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46（9）：1551－1557.

27） Miyakoshi, Y., Hayano, H., Omori, H., Nagata, M., and Irvine, J.R.（2002）Importance of instream cover for young masu salmon, *Oncorhynchus masou*, in autumn and winter. *Fisheries Management and Ecology* 9（4）：217－223.

28） Nagayama, S., and Nakamura, F.(2007)Juvenile masu salmon in a regulated river. *River Research and Applications* 23（6）：671－682.

29） 中村太士（1993）米国西海岸における森林と河川をめぐる環境諸問題の紹介―景域保全的視点の必要性―. 水利科学209：41－52.

30) Nakamura, F., and Swanson, F.J. (1993) Effects of coarse woody debris on morphology and sediment storage of a mountain stream system in western Oregon. *Earth Surface Processes and Landforms* 18 (1) : 43－61.

31) Nickelson, T.E., Solazzi, M.F., Johnson, S.L., and Rodgers, J.D. (1992) Effectiveness of selected stream improvement techniques to create suitable summer and winter rearing habitat for juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in Oregon coastal streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49 (4) : 790－794.

32) Riley, S.C., and Fausch, K.D. (1995) Trout population response to habitat enhancement in six northern Colorado streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52 (1) : 34－53.

33) Shirvell, C.S. (1990) Role of instream rootwads as juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and steelhead trout (*O. mykiss*) cover habitat under varying streamflows. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 47 (5) : 852－861.

34) 田子泰彦 (2000) 神通川と庄川におけるサクラマス親魚の遡上生態. 日本水産学会誌66 (1) : 44－49.

35) 豊島照雄・中野繁・井上幹生・小野有五・倉茂好匡 (1996) コンクリート化された河川流路における生息場所の再造成に対する魚類個体群の反応. 日本生態学会誌46 (1) : 9 －20.

36) Urabe, H., and Nakano, S. (1998) Contribution of woody debris to trout habitat modification in small streams in secondary deciduous forest, northern Japan. *Ecological Research* 13 (3) : 335－345.

37) 柳井清治・長坂有・佐藤弘和・安藤大成 (2004) 都市近郊渓流における木製構造物による流路とサクラマス生息環境の改善. 応用生態工学会 7 (1) : 13－24.

38) 柳井清治・永田光博・長坂有・佐藤弘和・宮本真人・大久保進一 (2001) サクラマス幼魚の越冬場を形成する河畔樹木の役割. 日本林学会誌83 (4) : 340－346.

39) Zalewski, M., Lapinska, M., and Bayley, P.B. (2003) Fish relationships with wood in large rivers. *In* The ecology and management of wood in world rivers. *Edited by* S.V. Gregory, K.L. Boyer and A.M. Gurnell. American Fisheries Society, Symposium 37, Bethesda, Maryland. pp. 195－211.

40) Zika, U., and Peter, A. (2002) The introduction of woody debris into a channelized stream: effect on trout populations and habitat. *River Research and Applications* 18 (4) : 355－366.

永山：北海道大学農学研究科　博士後期課程
河口：九州大学工学研究院　助教
中野：財団法人電力中央研究所環境科学研究所　主任研究員
中村：北海道大学農学研究院　教授