

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-3

治水・利水・環境の観点からの流域一貫の
総合土砂・流木管理

京都大学 教授

角 哲也

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2015 年 8 月

治水・利水・環境の観点からの流域一貫の総合土砂・流木管理

Comprehensive Basin-Scale Sediment and Woody Debris Management from the Viewpoint of Flood, Water Resources and Environment Management

角 哲 也
Tetsuya SUMI

1. はじめに

流木による災害については、これまでも種々の対策がとられてきたが、近年、局地的な豪雨が増加傾向にあり、平成 23 年の台風 12 号に伴う紀伊半島を中心とする深層崩壊や那智川の土石流災害、平成 24 年の九州北部豪雨災害、そして平成 25 年の台風 18 号に伴う桂川災害や、台風 26 号による伊豆大島の土石流災害など、豪雨を起因とする流木災害が各地で数多く発生している。

これらの災害は、豪雨の増加に伴う上流域における深層崩壊や溪岸侵食等の増加が原因となっているものと見込まれており、下流域への重要な水源となるダム貯水池においては、流木の除去費用の増大やダム施設への悪影響等が問題となっている。一方で、ダムで捕捉される流木は、下流河川において橋梁に集積して洪水リスクを拡大させるリスクを未然に防止していることが指摘される（角、谷崎 2007）。平成 25 年台風 18 号時の日吉ダムでは、13,500m³の流木がダムに捕捉されたと推定され、これが桂川下流の例えば嵐山（渡月橋）の被害軽減にも大きな効果をもたらしたものと推定される（角、田中、本間 2013）。

ここで、ダムには洪水調節を行う多目的ダムや発電などの利水専用ダムなどさまざまな形態があり、洪水時のゲート操作、流木捕捉用の網場の設置の有無が大きく異なり、近年では、黒部川の連携排砂のような一時的な貯水位低下や、流水型ダムや排砂バイパスのような新たなダムの形態が存在し、これらが流木の捕捉や流出に与える影響については十分に解明されていない。特に、排砂では流出する流木の処理が大きな課題となっている（石川 2014）。

一方、全く違った観点からは、流木流出は流域から海域への炭素供給源として物質循環を担っている事実や、河道内に堆積した流木がさまざまハビタットを形成して生物多様性に貢献している事実など、生態系の面からの重要性を指摘する報告もある（Seo, Nakamura ら 2012）。

以上のように、流木流出現象については、平成 9 年より本格化してきた「水系一貫の総合土砂管理」と同様に「水系一貫の総合流木管理」として体系化することが求められる時代と考えられる。

このような背景のもと、平成 26 年 10 月 3 日に京都大学防災研究所において、流木の流出、災害、生態機能、ダム管理、河道管理の各課題の現状を整理し、学際的な議論と今後の総合管理に向けた方向性を明らかにすることを目的として、「流域一貫の総合流木管理に向けて」と題する研究集会が水資源環境研究センター主催のもと開催された。ここでは、全国のダム貯水池への流木流入の実態と課題整理、洪水時のダム操作方法による貯水池～洪水吐きを通じた流木の流出形態の相違、河道における流木の流下・堆積過程と災害リスク、河道における流木の生態的機能の評価、流域スケールでのマクロな流木流出量の実態把握などについて現状の知見を取りまとめるとともに、今後の総合管理に向けた課題について議論を行った。本稿では、この研究集会で報告された現状の知見を紹介しながら、流域一貫の総合土砂と総合流木管理を進めるための現状の課題および今後の展開について考察する。

2. 流木災害に関する既往の調査研究と研修集会の狙い

(1) 既往の調査研究事例

これまでの流木災害に関する総括的な調査研究としては以下の 2 つがあげられる。

(A) ダム貯水池における流木流入災害の防止対策検討調査（林野庁森林整備部、国土交通省河川局、H19.3）

(B) 流木災害軽減対策と河川樹木管理に関する総合的研究（(財)河川環境管理財団、H20.11）

このうち、(A)の報告書によれば、流木発生メカニズム、流木災害の状況、流木対策の状況が以下のように整理されている。

1) 流木発生メカニズム

【流木の発生原因】

石川（1994）によれば、流木の発生原因は、大きく「立木の流出」「過去に発生した倒木等の流出」「伐木、原木の流出」「用材の流出」の4種類に分類される（表-1）。立木の流出は、山腹崩壊や土石流による立木の滑落や、溪岸・溪床侵食による立木の流出などがあり、供給源は流域の特性や降雨イベントの状況によって異なることが考えられる。過去に発生した倒木は、過去に病虫害や台風、雪崩などによる倒木であり、過去に河床に堆積した流木なども含む。伐木、原木は、人為的に集積された伐木や原木を指し、用材は、家屋、橋、電柱などの人工物が破壊されることで発生する流木である。なお、流木の発生原因の一つである山腹崩壊と間伐の実施との関連については、間伐により健全な森林を育成し、その健全な森林が持つ崩壊防止力によって崩壊を未然に防止できると考えることができるものの、間伐の実施そのものによる崩壊防止効果は限定的であることが指摘されている。

表-1 流木の発生原因と形態（Aの報告書より転載）（石川 1994）

流木の起源	流木の発生原因と形態	主な発生場所		
		上流域	中流域	下流域
立木の流出	斜面崩壊の発生に伴う立木の滑落	○	○	
	土石流発生に伴う立木の滑落	○		
	土石流の流下に伴う溪岸・溪床侵食による立木の流出	○		
	洪水による河岸・河床の侵食による立木の流出	○	○	
過去に発生した倒木等の流出	病虫害や台風等により発生した倒木等の土石流、洪水による流出	○	○	
	過去に流出して河床上に堆積したり、河床堆積物中に埋没していた流木の土石流、洪水による再移動	○	○	
	雪崩の発生・流下に伴う倒木の発生とその後の土石流、洪水による下流への流出	○	○	
	火山の噴火に伴う爆風による倒木の発生とその後の土石流、洪水による下流への流出	○	○	
伐木、原木の流出	放置された伐木や間伐材の斜面崩壊、土石流、洪水による流出	○	○	
	集積された木材の洪水による流出	○	○	○
	洪水による椎茸原木の流出	○	○	
用材の流出	土石流、洪水による家屋の損壊とそれに伴う破損材の流出		○	○
	土石流、洪水による木橋の流出		○	○
	土石流、洪水による電柱の流出		○	○

具体的な事例としては、今井、鈴木（2006）は、2004年7月の福井豪雨における流木の発生形態を以下の4種類（図-1）に分類し、洪水による河床・河岸の侵食による立木の流出箇所（下記の（c））が最も多く、山腹崩壊に伴って立木が溪流や河川まで流出した被害箇所は少なかったことを報告している。足羽川の洪水時の写真を図-1に示すが、河岸に成長した主に杉の立木が大量に存在し、数十年振りの大きな洪水で、そのまま下流河道に流出したものと考えられた。

- 溪流の縦浸食に伴う溪岸崩壊：縦浸食による溪床の低下に伴う溪岸崩壊により立木流出
- 溪岸の横浸食に伴う溪岸崩壊：溪岸部が浸食され、横浸食に伴う溪岸崩壊により立木流出
- 河岸部の横浸食など：河川の河岸部や河床が洪水により浸食され、河岸崩壊などに伴い立木流出
- 山腹崩壊：河川または溪流の上部斜面（壁斜面）が崩壊、立木が流出部まで滑落し流出

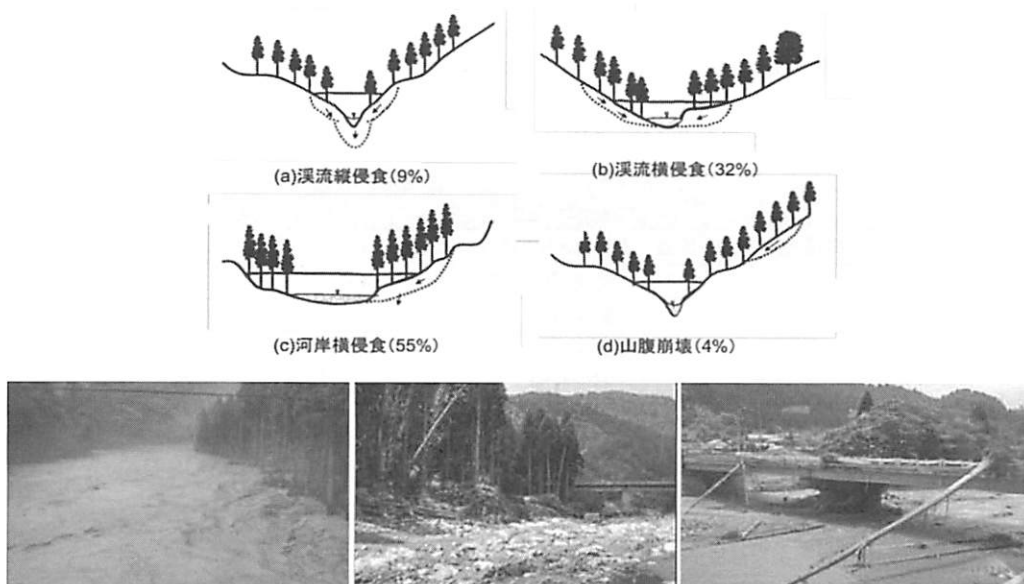


図-1 福井豪雨時の足羽川からの流木発生原因と割合（上）（今井，鈴木 2006）および足羽川の状況（下）（洪水時（左），洪水直後（中央），橋梁を乗り越えた立木（右））

【流木の流下状況】

流下の際の折損により，流下するにしたがって流木が短くなる傾向にある．また，土石流では土砂と流木が混じって一体となって流下するが，洪水時には流木が水面付近を浮いた形で流下する．

【流木の堆積・捕捉状況】

流木は流出の過程で，様々な要因により捕捉され，堆積する．構造物による捕捉・堆積，溪畔林・河畔林による捕捉・堆積，水位の低下による河床との摩擦による堆積，ダム貯水池による捕捉などである．構造物のなかでも透過型のスリットダムによる流木の捕捉効果は大きく，不透過型砂防ダムの約 1% に対して，透過型砂防ダムは約 20% の流木捕捉効果を有する．なお，森林は流木の発生源となるが，一方では土石流や土石流に含まれる流木を堆積させる効果があることが確認されている．

2) 流木災害の状況

【流木災害の区分】

流木による被害は，橋脚などにひっかかった流木により河川がダムアップされ，洪水が河道から溢れて周辺の人家等に被害を与える他，人工構造物の機能低下や破壊の原因となること等が挙げられる．

【全国のダム貯水池における流木発生状況】

アンケート調査によると単位流域面積あたり年間流木流入量は， $0.1 \sim 2\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ のダムが比較的多い．流木処理はダム管理の大きな負担となっている．また，電力ダムでは網場の設置率は 30% である．

【海への流入状況】

海域では主に流木により海岸保全施設の機能低下，船舶の係留不能，船舶のスクリュー破損，漁網への巻き込みといった被害がある．なお，廃棄物処理法改正前には野焼きが可能であり，また薪等への利用といった生活の一部として住民や事業者を持ち去られていたことから，かつては長期間，大量の漂着物が沿岸に残ることは少なかった．

3) 流木対策の状況

【ダムにおける対策】

ダム貯水池に流入した流木はダムサイト直上に設置された網場で捕捉され，陸地に引き上げられて処理される．

【治山事業およびその他の対策】

流木の対策施設としては，治山ダム工，護岸工，スリットダム，土留工等，河道内の流木捕捉施設等がある．

(2) 研究集会で取り上げた課題

研究集会で対象とした今後取り組むべき事項を、A、Bの報告書の項目と対比させて表-2に示す。

表-2 研究集会で対象とした事項と既往研究との関係

流木に関する種々の観点		(A)	(B)	研究集会 (2014.10.3)
流木生産域(主に山地・溪流)	発生メカニズム	○	○	
	対策(発生・流下抑制)	○		
ダム貯水池域	動態解明	○	○	○
	対策(捕捉)	○	○	○
河川域(主に橋梁)	動態解明		○	○
	対策(閉塞防止)		○	○
河川域(主に河道)	動態解明・対策		○	○
	動態解明・対策		○	
海岸域	動態解明・対策		○	
流木処理・資源利用	対策	○	○	
環境(主に生息場形成)	機能解明			○
環境(主に物質循環)	動態解明			○

特に、研究集会で問題提起した流木管理に関する課題は下記のようなものであった。

- ダム形態(多目的/利水、網場の有無など)により流木捕捉率は変化するか?
ダム排砂・通砂時に流木対策は可能か?
- ダムによる流木捕捉は、洪水災害リスクをどれだけ低下しているか?
洪水調節により下流河道からの発生も抑制されていないか?
- 河道や沿岸域にとって流木流出・堆積はマイナス影響のみか?

a.に関して、既存のダムの分類と流木捕捉率を概念的に整理したものを表-3に示す。ダムには洪水調節を行う多目的ダムや発電などの利水専用ダムなどさまざまな形態があり、洪水時のゲート操作、流木捕捉用の網場の設置の有無が大きく異なり、近年では、黒部川の連携排砂のような一時的な貯水位低下や、流水型ダムや排砂バイパスのような新たなダムの形態が存在し、これらが流木の捕捉や流出に与える影響については十分に解明されていない。

b.に関しては、平成16年の福井豪雨時に、大災害の発生した足羽川流域と隣接する真名川流域においては大きな災害にならなかったことから、角、谷崎(2007)は、真名川ダムを始めとする流域に配置された構造物の複合的な効果(表-4)により、下流河川における洪水リスクが軽減されたものと指摘した。同様に、平成25年台風18号時の日吉ダムのように、ダムによる流木の捕捉と洪水調節が下流河道の水害軽減にどのような効果をもたらしたかを推定する手法の確立が重要である(図-2)(角、田中、本間2013)。このような複合的な効果がこれまで定量化されたことはなく、その手法論を開発・提示することが強く求められている。

表-3 ダムの分類と流木捕捉特性

分類	常時湛水	通常の洪水時 ゲート操作	網場など	流木捕捉
貯水ダム (多目的、発電)	○	コンジットゲート	網場	ほぼ全量 捕捉
河道ダム (主に調整池式 発電)	○	クレストゲート	なし	通過
通砂(スルーシ ング)	○	クレストゲート	なし	通過
フラッシング 排砂	○	クレストゲート 排砂ゲート	一時期あり	通過
流水型ダム	なし	河床位コンジット ゲート	流木捕捉工 スクリーン	一部通過

表-4 福井豪雨時の真名川上流における各施設の効果（角，谷崎 2007）

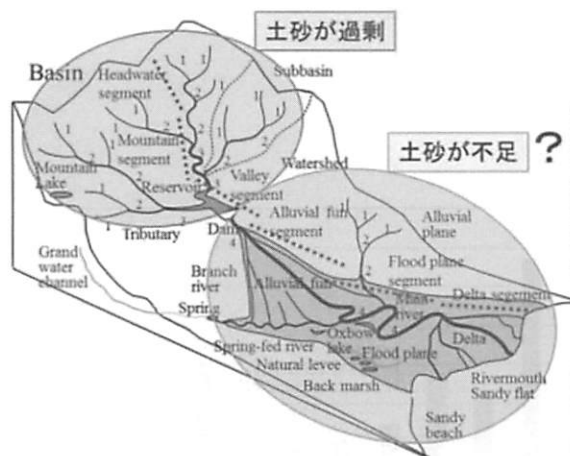
	砂防ダム(23基)	雲川ダム	笹生川ダム	真名川ダム
洪水量の調節 (ピーク流量→ピーク 流量時放流量) 洪水調節総量 (洪水調節相当雨量 ／流域平均雨量)	—	—	○ (400→10m³/s) 7,381千m³ (104mm/251mm)	○ (1,033→15m³/s) 14,720千m³ (96mm/280mm)
流出土砂の調節・捕捉 調節・捕捉量 比流砂量	○ 184千m³ (200～3,500m³/km²)	○ 29千m³ (519m³/km²)	○ 72千m³ (1,020m³/km²)	○ 1,080千m³ (7,060m³/km²)
渓床・河床勾配の緩和 による縦横侵食の防止	○	○	○	○
流木の捕捉	△	△	○	○ 500m³



図-2 日吉ダムにおける流木災害に伴う洪水氾濫の防止効果（角，田中，本間 2013）

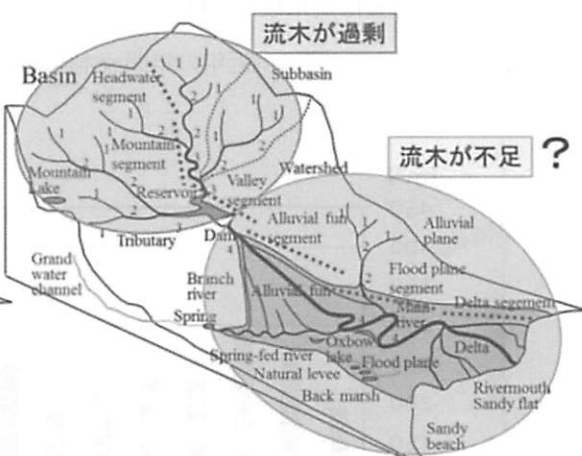
最後に，c.の観点が本研究集会の大きなハイライトであり，「水系一貫の総合土砂管理」（角哲也（2013））と同様に「水系一貫の総合流木管理」として流木問題を考える必要性の整理とその体系化の可能性を明らかにすることである．土砂問題と対比させて整理したものを図-3 に示す．

・河川管理の課題(土砂問題)



	土砂
上流	土砂生産域 ・土石流等の土砂災害 ダム貯水池 ・堆砂による有効貯水容量の減少 ・取水口の閉塞
↓	ダム下流河川 ・河床低下 ・河床のアーダー化
下流	海岸 ・海浜の後退

・河川管理の課題(流木問題)



	流木
上流	土砂生産域 ・洪水時の流木災害 ダム貯水池 ・流木除去費用の増大 ・取水口の閉塞
↓	ダム下流河川 ・有機物量の減少 ・カバーの減少
下流	海岸 ・港湾への流入

図-3 総合土砂管理と総合流木管理の必要性と課題整理（寺田 2013）

3. 全国のダム貯水池への流木流入の実態と河川・ダム管理上の課題整理

(1) 全国のダムへの流木流入の実態（若林 2014）

ダムに流入する流木に関するデータ分析は重要であるが、堆砂量の分析に比べて事例は限定される。例えば、牧ら（2007）は、全国の199ダムにアンケート調査を行って流木量と洪水量、堆砂量などとの分析を行った。本研究集会では、若林（2014）により全国のデータに関して詳細な報告がなされた。全国の国土交通省管理ダム、水資源機構管理ダム、道府県管理ダム及び電力会社管理ダムについて、年間流木回収量の経年変化を整理したものを図-4、5に示す。この中では、2004年の流木回収量が突出して多く、これは全国のダムの洪水調節回数の変動とも一致している。また、流域規模の相違はあるものの、1ダム平均で年間220m³の流木回収量があったことがわかる。なお、これら流木の処理に要した費用は、①収集～仮運搬までの単価2,500～14,300（平均6,100）（円/m³）、②処分にかかる単価4,000～23,000（平均10,600）（円/m³）であり、合計で12,100～30,200（平均16,700）（円/m³）を要している。これに1ダムあたりの処理量で単純計算すれば、200～600万円ほどの処理コストがかかっていることになり、今後は資源利用を含めたコスト合理化のアプローチが重要である。



※流木等回収量は流木以外の塵芥を含んだ流木等の回収量のこと

図-4 近年の年間流木回収量の経年変化（若林 2014）

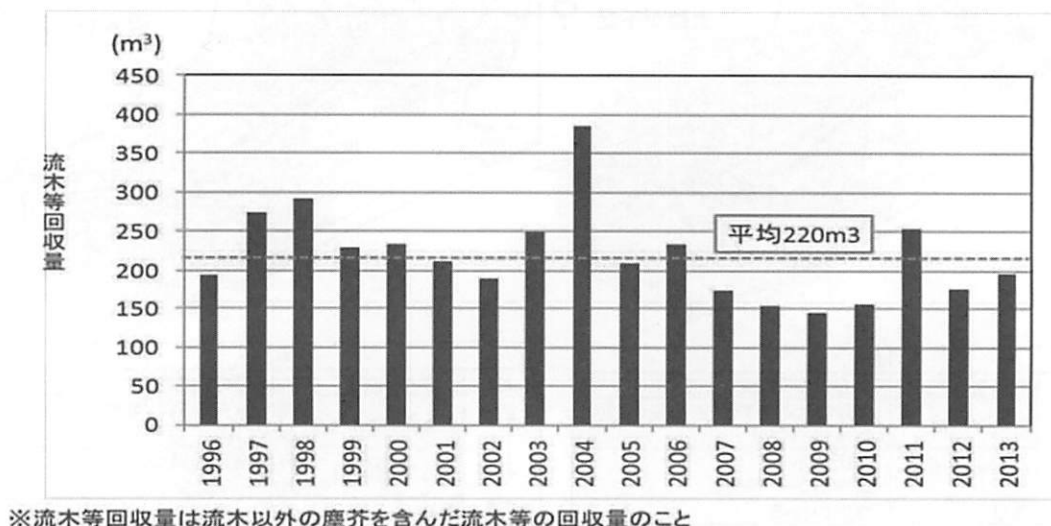


図-5 近年の1ダムあたりの年間流木回収量流入量の経年変化（若林 2014）

次に、直接流域面積（A）に対する年平均流入流木量（注：実際には回収量）（Vg）の関係を示したものを図-6に示す。これまでも、砂防流域でこのような分析が行われてきたが（建設省砂防部砂防課 2000）、ダム流域で分析されたのは初めてである。両対数グラフであり大きなばらつきはあるものの、概ね正の相関があり、また、流域面積に対して $V_g = 0.1 \sim 10A$ ($0.1 \sim 10 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{年}$) の範囲に多くのダムが分布していることがわかる。これは前述の既往のデータ ($0.1 \sim 2 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{年}$) よりもやや高い数値である。

一方、年平均堆砂量（Vs）に対する年平均流入流木量（Vg）の関係を示したものを図-7に示す。この分析も同様に砂防流域で行われてきているが、ダム流域では初めてである。同様にばらつきがあるものの、概ね、 $V_g = 10^{-4} \sim 10^{-1} V_s$ の範囲に分布することがわかる。ダム堆砂量との相関がみられる原因としては、流木の流出時にはその基盤となる土砂の流出が伴うことが考えられる。また、図-7より、他のダムに比べて電力ダムの場合に堆砂量に対する流木流入量が多いダムが散見され、すでに満砂していたり、もともと回転率が高いために土砂捕捉率が小さいダムにおいても、流木の方は発電管理上、頻繁に捕捉・回収されている場合があるためではないかと推察される。

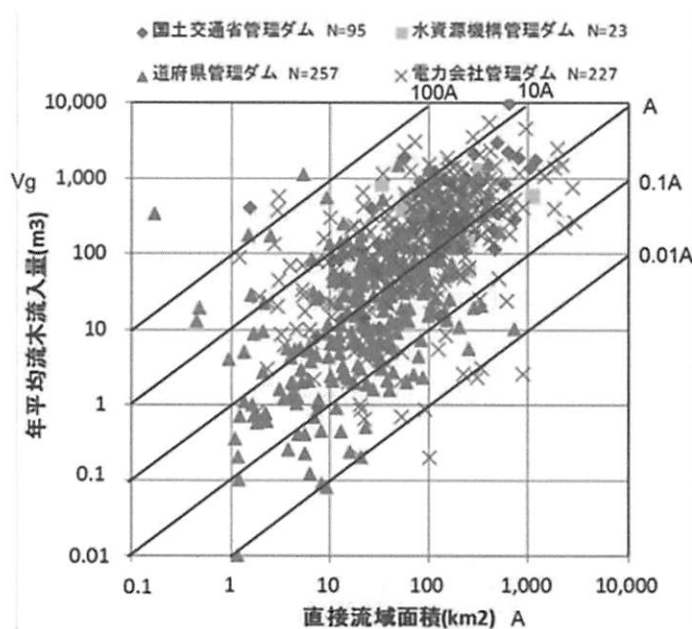


図-6 年平均流木流入量と直接流域面積の関係（若林 2014）

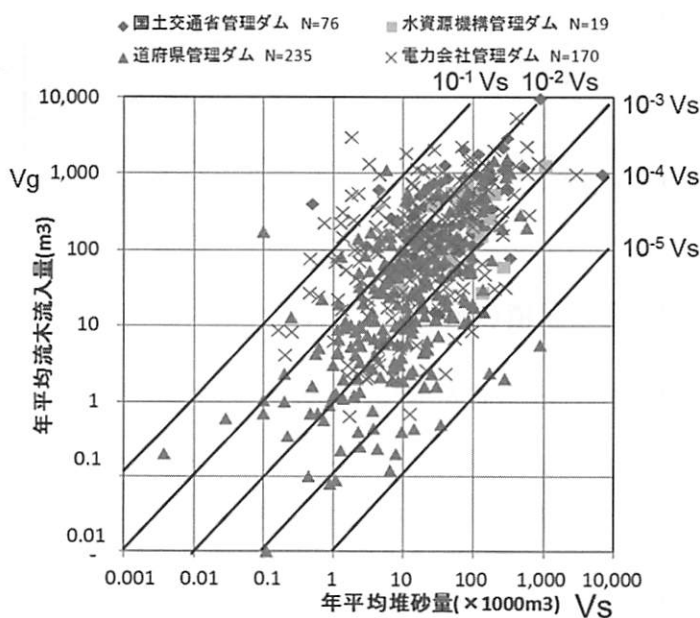


図-7 年平均流木流入量と直接流域面積の関係（若林 2014）

(2) 大規模洪水に伴う流木捕捉事例と効果 (若林 2014)

これまで、大規模洪水時には通常にも増して大量の流木が一度に流入する事例が報告されており、ダム安全管理上 (たとえば、洪水吐ゲートの安全な操作) の課題となっている一方で、表-4、図-2 で示したように、ダムにこれら流木が捕捉されることによる下流河道における洪水リスクの低減効果が発揮されているものと考えられる。

研究集会で報告されたのは、二風谷ダム (沙流川水系: 北海道, 2003 年 8 月台風 10 号, 流木捕捉量 $50,000\text{m}^3$)、御所ダム (北上川水系: 岩手県, 2013 年 8 月低気圧, 流木捕捉量 $26,000\text{m}^3$)、矢作ダム (矢作川水系: 愛知県・岐阜県, 2000 年 9 月東海豪雨, 流木捕捉量 $35,000\text{m}^3$)、日吉ダム (淀川水系: 京都府, 2013 年 9 月台風 18 号, $13,000\text{m}^3$)、松原・下笠ダム (筑後川水系: 大分県・熊本県, 1993 年 6 月梅雨前線, $77,000\text{m}^3$) の事例であり、いずれも下流へ大きな効果を発揮したものと考えられる。

いずれのダムも、洪水調節による下流河川の水位低下効果に加えて、流木捕捉による被害軽減効果が具体的にどの程度あったのかは定量的に算定できていないのが現状である。なお、いずれのダムも流木処理に多大な費用を要しているが、他用途への活用や無料配布等により、処理費用削減に努めていること、また、松原・下笠ダムは、台風による風倒木の大量流入を予測し、事前に流木処理計画を作成することで、迅速に対応したことが報告された。

なお、このような大規模洪水に伴う流木流入は、ダムの安全面から極めて大きな課題である。日本のダムの場合、非常用洪水吐にゲートを有する場合のゲート全開時のゲート下端や、ゲートレスの場合の天端橋梁の桁下からのクリアランスを十分確保するように設計されているが、今後、温暖化による降水量の増大により深層崩壊などの大規模土砂流入の増加が予想されるのであれば、当然のことながら大規模な流木流入量そのものを想定する必要がある。そのような観点から、既往の大規模洪水時の流木流入量の記録をもとに、図-6 に相当する形で流域面積あたりの流木流入量を整理したものが図-8 である。これを見ると、これまでの顕著な大規模災害時には、 $V_g=50\sim100A$ 規模の流木が流入していることがわかる。図には、最近の事例である日吉ダム (47A)、御所ダム (37A) もプロットしている。

V_g (流木量(m^3))

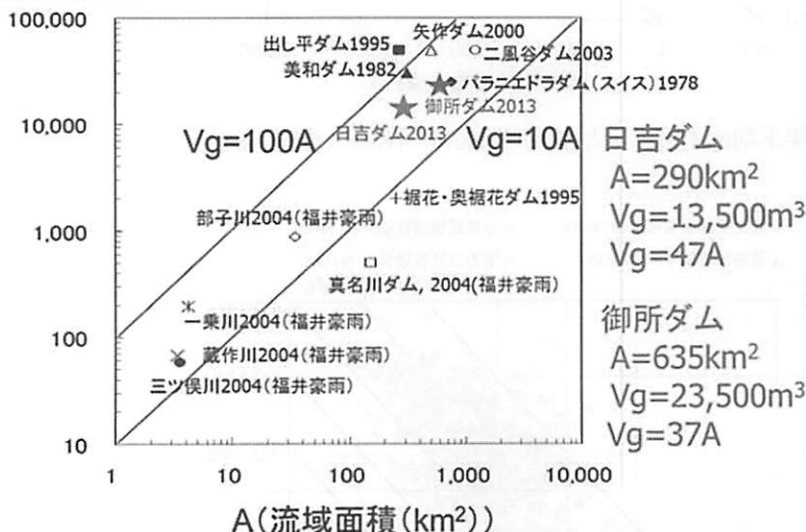


図-8 大規模洪水時の流木流入量と直接流域面積の関係 写真-1 パラニエドラダムに集積した流木 (Boes 2014)

なお、図-8 にあるパラニエドラダムはスイス南部のティチーノ州 (イタリア語圏) のダムであり、1978 年の大水害による流木が天端橋梁と自由越流頂の間に詰まったために、洪水がダムをオーバートップングした事例である (写真-1)。幸いダムの決壊には至らなかったが、その後、天端橋梁を撤去して、ダムの下流に橋を架け替える工事が行われるとともに、スイスにおいては、流域の樹木の樹高、天端橋梁の径間長および桁下高の 3 つのパラメータをもとに、閉塞リスクをチェックすることが制度化されており、日本においても今後の検討課題である。なお、

洪水調節専用の流水型ダムにおいては常用洪水吐の閉塞防止対策が必須であり、研究集会でも櫻井(2014)によって報告が行われた。

(3) フラッシング排砂に伴う流木の流下と下流河道への堆積(石川 2014)

大規模ダムで網場を洪水時にも維持し続けられない限り、ダムから流木が下流に流出することはある意味防ぎえない。ところが、水位低下を伴うフラッシング排砂を行っている場合の下流からの受け止め方はやや複雑である。

富山県東部に位置する一級河川黒部川は、日本有数の急流河川であるとともに、上流域からの流出土砂量が非常に多いという特徴を有する。このため、河道の安定的な維持や海岸の保全を図る総合的な土砂管理及びダム機能の維持を図る上でダム下流に土砂を積極的に供給する排砂が必要である。平成13年に完成した宇奈月ダムでは、上流の関西電力(株)出し平ダムと同様、排砂ゲートが設置されており、両ダムでは我が国初となる連携排砂を毎年実施している。連携排砂を行うことにより、土砂のみならず流木もダムを通過する状態となるが、下流域において流木被害(特に漁港への流入や海域での魚網への影響)に対する漁協関係者の懸念もあることから、連携排砂実施前後において、ダム及び下流河川における流木の回収が積極的に行われている。研究集会では、黒部川における連携排砂とそれに伴う流木の実態について、石川(2014)より報告が行われた。写真-2に宇奈月ダム、出し平ダム、下流河道、漁港への流入状況などの概要が示されている。

図-9に黒部川における流木処理量の経年変化を示すが、最上流に位置する出し平ダムでの捕捉回収量が全体の約半分を占めており、以下、宇奈月ダムから下流区間まで均等に分布している。なお、海岸部が少ないのは、排砂実施直後に海岸まで流下する前に流木を回収しているためと考えられる。年最大流量と流木処理量とは正の相関が見られるが、黒部川にとっては $1,000\text{m}^3/\text{s}$ 程度の流量では上流域から莫大な流木が発生するレベルではない。なお、流量が大きかった2013年では、下流河道(特に、中・下流部)での回収量が増大しており、流木がより下流域まで到達したことと、流量増に伴って河岸浸食や流路変動が生じて河道内から流木が発生した可能性が示唆される。

なお、流木処理量は、2ダムおよび下流河道で平均 $3,000\text{m}^3$ であり、図-5と比較して格段に多い。下流域の関係者との十分な協議が必要となるが、流木処理コストの適正化が求められる状況である。なお、下流河道で回収している場合は、ダムで回収した場合よりも輸送コストが軽減されたと考えることもできる。

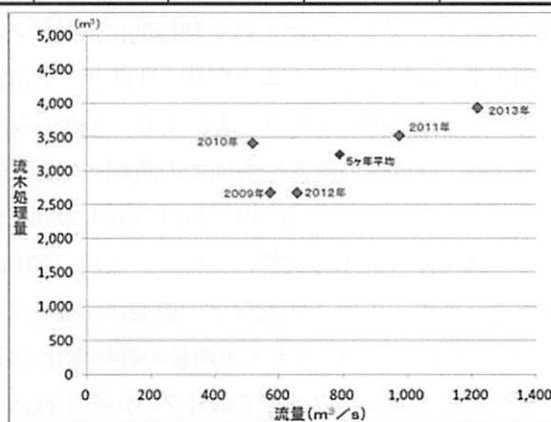
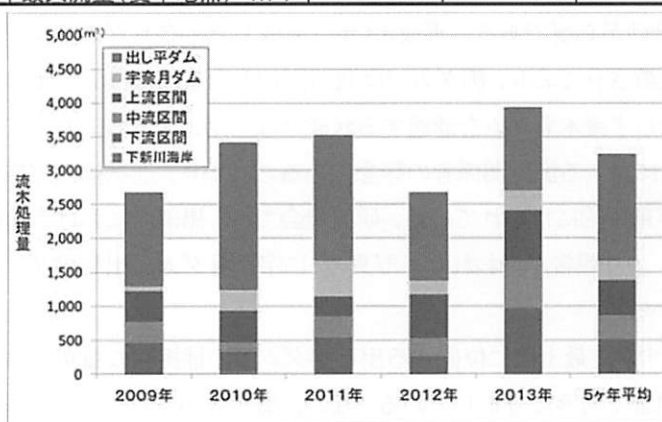


写真-2 黒部川連携排砂に伴う流木の流下状況(石川 2014)

流木処理量及び年最大流量(愛本地点)

単位: m^3

事業	区間	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	5ヶ年平均	備考
海岸	下新川海岸	4.5	38.1	0.3	2.9	3.0	9.8	
河川	河口 ~ 7.0k	461.0	293.0	541.0	256.9	962.6	502.9	下流区間
	7.0k ~ 13.0k	311.6	137.3	314.4	276.1	699.4	347.8	中流区間
	13.0k ~ ダム下流	448.0	463.4	281.5	630.8	740.0	512.7	上流区間
	河川小計	1,220.6	893.6	1,136.9	1,163.8	2,402.0	1,363.4	
ダム	宇奈月ダム	75.3	311.1	534.4	206.5	302.9	286.0	
	出し平ダム	1,374.0	2,164.0	1,849.0	1,301.0	1,223.0	1,582.2	関西電力
黒部川水系		2,674.4	3,406.9	3,520.5	2,674.1	3,930.9	3,241.3	
年最大流量(愛本地点) m^3/s		574	519	976	658	1,220	789	



箇所別の流木処理量

流木処理量と年最大流量との関係

図-9 黒部川における流木処理量の経年変化 (石川 2014)

(4) 流木による河川・ダム管理上の主な課題と今後の方向性

研究集会では、主に河川・ダム管理の観点から以下の課題および流木対策の方向性が提起された。

【ダム管理】

- ・網場を通過した流木によるゲート機能の阻害 (開口部の閉塞, 流木の挟み込み, 水密ゴムの破損等)
- ・網場の破損
- ・巡視船の航路阻害
- ・流木が滞留・沈降することによる水質悪化の懸念
- ・景観の悪化
- ・湖面利用への影響
- ・処理費用の発生

【河川・海岸等】

- ・流木が橋梁に詰まることによる橋梁の破壊
- ・流木が橋梁等に詰まり, 洪水が河道から溢れ浸水被害が発生
- ・取水堰の取水口の閉塞による取水機能の低下
- ・流木の衝突による河川構造物等の破壊
- ・海に流出して船舶の航行の阻害
- ・海岸漂着ゴミの発生

【流木対策の方向性】

- ・関係機関と連携したダム流域における流木発生ポテンシャルの把握
- ・大量の流木が発生することを前提とした流木処理計画の立案
(流入流木量の想定, 仮置き場の候補地・必要面積, 処分方法等)

- ・流木供給量が不安定であることを前提とした有効活用法策の検討と関係機関・産業との連携強化
- ・ダムによる流木捕捉効果の定量的算定手法の開発

なお、河川砂防技術基準 維持管理編（ダム編）[2014 年 4 月 1 日] では、既に流木対策について以下の記述がなされており、これを確実に実行していくとともに、さらに拡充していくことが求められる。

<考え方>

流木対策は、洪水時に貯水池に流入する流木・塵芥等による放流設備の損傷や閉塞のほか、貯水池の水質及び景観上の問題の発生を防止又は軽減することを目的として行う。流木対策においては、巡視により流木・塵芥等の流入状況を把握することが重要であり、洪水後は特に留意する必要がある。

<必 須>

ダム管理者は、ダム施設及び貯水池の機能を維持するため、流木止設備により貯水池に流入する流木・塵芥等が堤体近傍へ流下することを防止するとともに、適切な時期に貯水池に流入した流木・塵芥等を処分するなど、必要な措置を講じるものとする。

<推 奨>

貯水池から除去した流木は、必要に応じて、地域や関係機関と連携し、有効活用を図ることが望ましい。また、流木対策の検討の基礎資料とするため、除去した流木の処理量等はできるだけ計測を行い、記録の保存に努めるとともに、流域の山林等の状況や貯水池への流入河川の樹林化等の状況を、可能な範囲で情報収集することが望ましい。

4. 河道部における流木対策

河道部での流木対策は、橋梁部における閉塞リスクの評価が重要であるが、ここでは研究集会で報告された河道内の流木捕捉施設について紹介する。

(1) スイスにおける事例（Weitbrecht 2014）

チューリッヒ市街に流入する Sihl 川の流木対策として、スイス連邦工科大学により、水理模型実験によってバイパス流を用いた流木滞留の方法に関する検討された。洪水時において浮遊した流木は蛇行外側のバイパス水路へと導流され、流木はバイパス水路と平行に設置された柵状構造物で捕捉される（図-10（左））。水理模型実験では、洪水時に水が横越流堰を越流し、バイパス水路を蛇行外側にすることで流木のみが外湾側に越流し、蛇行内側を流れる掃流砂と振り分けることが可能であることが確認された（図-10（右））（左のコンセプトの図と右の図は上下逆であることに注意）。なお、横越流堰は、計画図にあるように 10 年確率洪水（ HQ_{10} ）以上で越流するように計画されている。水理模型実験の写真は、300 年確率洪水後にバイパス水路に流木が大量に捕捉された状況である。

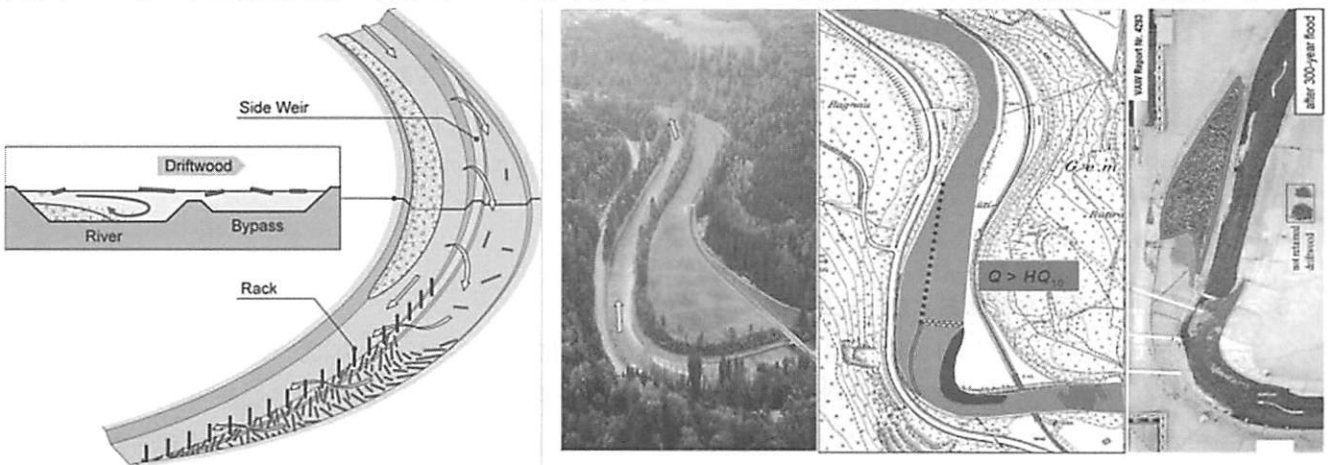


図-10 バイパス水路による流倒木の捕捉

（左：コンセプト、右（現地写真、計画図、水理模型実験））（Weitbrecht 2014）

(2) 日本における事例 (矢野 2014)

平成 24 年 (2012 年) 7 月九州北部豪雨では、熊本・大分・福岡・佐賀の 4 県で死者・行方不明者 33 名を出すなど、甚大な災害をもたらした。その中で、流木の関係する被害として、多数の河川で氾濫被害の助長や橋梁の破壊、また、海域への流出による漁港の機能停止や干潟域への大量漂着など、水・土砂災害に加えて流木災害とも呼べる状況が発生した。これに対して、研究集会では、矢野 (2014) より、本災害において見られた、流木の橋梁への集積による氾濫、橋梁の破壊、堤内地への流入による家屋の破壊、海域への流出、などの状況について概要が報告されるとともに、特に甚大な土砂災害が発生した熊本県の黒川における流木発生量と平成 7 年に建設された遊水地における流木捕捉工についても紹介がなされた。



写真-3 九州北部豪雨の被災状況 (左：流木流出 (筑後川水系高瀬川)，右：流木集積 (玉来川)) (矢野 2014)

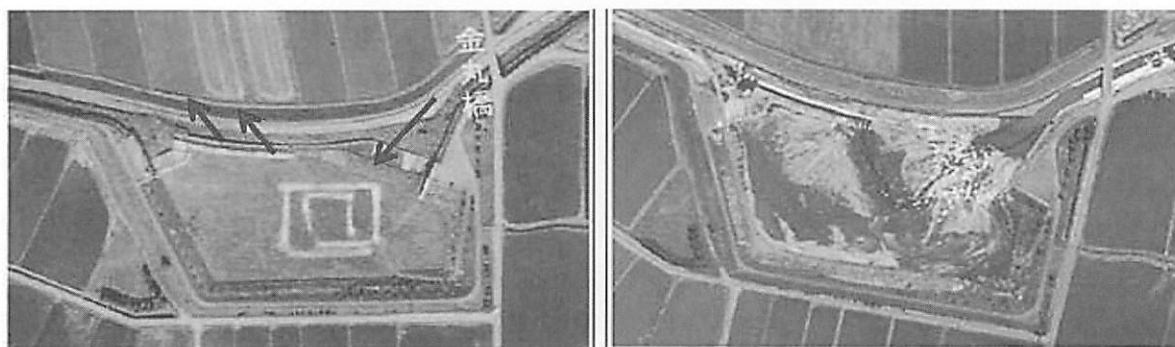


写真-4 流木捕捉工 (白川水系黒川 (平成 7 年設置)) の機能 (左：洪水前，右：洪水後) (矢野 2014)

写真-3 (左) に、筑後川水系高瀬川における流木発生を示すが、福井豪雨時の足羽川と同様に、河岸ぎりぎりまで植林された杉が根こそぎ流出している様子が確認される。一方、写真-3 (右) は、大野川水系玉来川 (竹田市) において流木が橋梁を乗り越えて集積した状況である。その結果、竹田市では市街地に甚大な越水被害がもたらされた。なお、玉来川では、現在、この被害も契機となり、建設が一時中断していた玉来ダムの建設工事が進められている。写真-4 は、熊本県阿蘇の白川水系黒川に平成 7 年に設置された流木捕捉工が、今回の洪水時に初めて流木捕捉効果を発揮したものである。同様な流木捕捉工は、平成 7 年の水害を契機に新潟県関川にも設置されている。

5. 河道における流倒木動態および生態的機能

ここまで、流木の流出・流下に伴う治水上のマイナス面を中心に見てきたが、一方で、流木は河川システムにとって欠かせない存在であり、河道の動態や生態系に重要な役割を果たしており (例えば、阿部, 中村 1999), この環境上のプラス面を明らかにすることが本研究集会のもう一つの狙いであった。そこで、流木の水利的動態から生態的機能までのトピックスを順次紹介する。

(1) 流倒木動態に関するタリメント川および水理模型実験における知見 (Bertoldi 2014)

研究集会では、網状流で礫床の大河川（ヨーロッパ最後の原始河川とも呼ばれるイタリアのタリメント川 (Tagliamento River) (写真-5), アルプスの標高 1195m を源流としアドリア海に流れ込む全長 170km, 流域面積 2580 km² の急峻な河川) を対象に行った一連の研究, 流倒木の野外分布調査, 流倒木の発生と滞留に関する水路実験により得られた知見が Bertoldi (2014) から報告された。

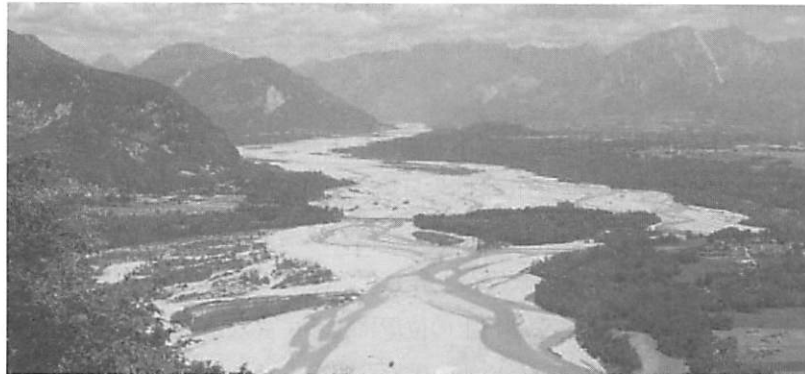


写真-5 イタリア・タリメント川の全景（背後はイタリア・アルプス）(Bertoldi 2014)

タリメント川の調査対象地点では、植生化した中州が出水の度に浸食を受けており、一定間隔で自動撮影されるインターバルカメラ (写真-6) および現地での補足調査により、流倒木の移動・堆積過程, および、流出滞留した木の数と平面的な位置の時間的な変化が明らかとなった。流木は、網状河川の複雑な河床形状に関わる特異的な滞留パターンを示し、ほとんどの木は発生場 (中州の縁) の近辺で滞留し、残りの木は下流へ広く分散し滞留した。単一流路の河川と比較すると、木は広く分散するだけではなく、積み重なって集積になるというよりは一本一本単独で滞留していた。このことは、網状流河川においては浸水エリアがちょっとした水位変化で拡大・伸縮し、流倒木の 1 つ 1 つが網状流の表面のいたるところに取り残される事実を反映していると考えられる。

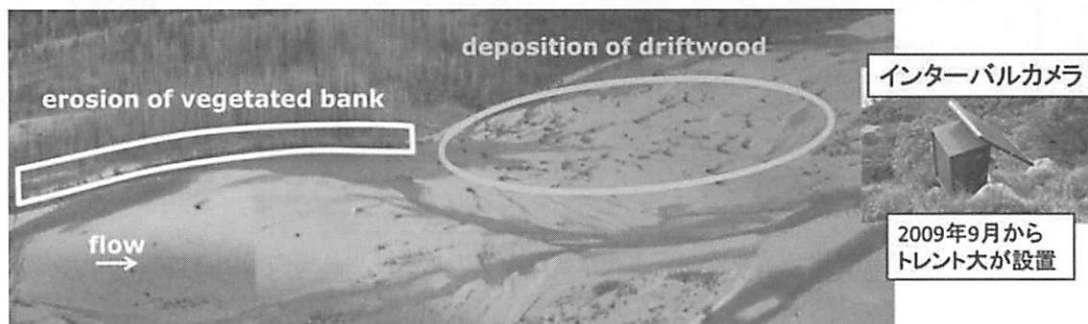


写真-6 タリメント川の調査対象地（側岸侵食による流倒木の発生域と下流の堆積域）(Bertoldi 2014)

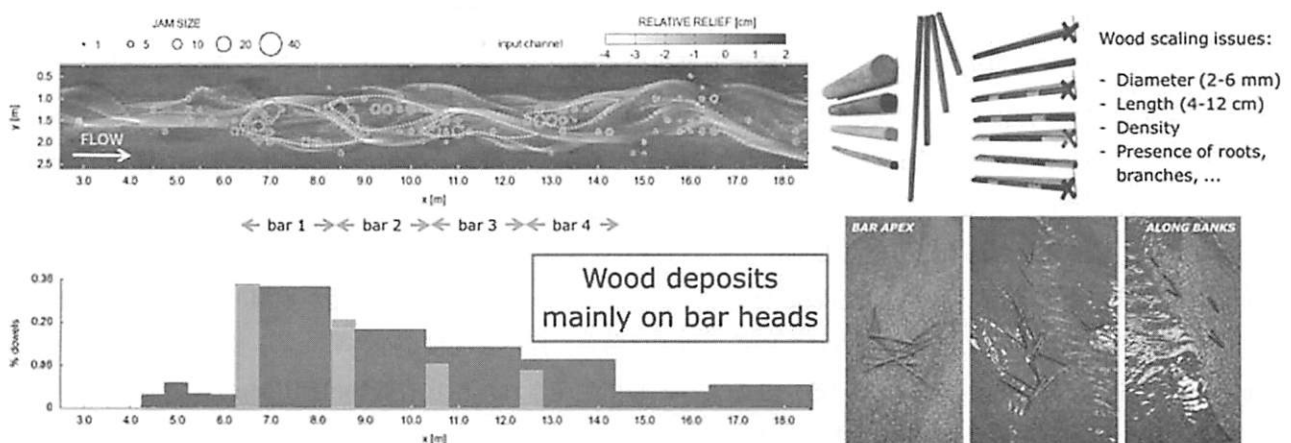


図-11 水理模型による網状砂州上の流木の堆積位置の再現実験（左上：流木模型）(Bertoldi 2014)

こうした流木の流下・堆積現象を水理模型実験（幅 3m×長さ 25m, 流量 0.9-1.8 l/s, 河床材料 $d_{50}=0.75\text{mm}$, 流木模型（図-11 参照））で再現することが試みられた。まず、木の特性（太さ、長さ、根茎の有無）と流量が流倒木の堆積パターンに及ぼす影響について検討した結果、木の流下距離は河床形状と関係が深く、特に流倒木の空間分布は砂州の有無や形状により決まることが明らかとなった。図-11（左）に、網状砂州が形状されている場合の流倒木の堆積位置を示すが、多くが砂州の前縁（砂州頭）にトラップされていることがわかる。他に、流木供給量を増加させた実験や、砂州上に植生がある場合の影響に関する実験などが行われたが、特に植生化した中州は流倒木を捕捉し易く、より安定した流倒木の積み重なりを形成することが示された。

（2）タリメント川における止水性生息場と流木の関係、生態的機能（竹門 2014）

河道内に形成されるワンドやたまりなどの止水性生息場（図-12）は、流下有機物をトラップし、止水環境を好む水生動物群集や魚の稚魚の生息場、さらには鳥類や哺乳類の餌場となるなど、生物多様性に大きく貢献していることが知られている。また、たまりは本流の水位が上昇した際に本川と接続するが、その冠水頻度はたまりの比高（たまりの標高と本川の水面標高との差）や砂州上の位置によって異なっている。このため、高水敷にある比高の高い「高水敷たまり」はめったに冠水しないため池のような環境となり、本流に近い低水路にある「低水路たまり」は頻繁に河川水が流入する環境となる。また、ワンドも比高が低く、本川と接続しているたまりであると見做すこともできる。このことから、比高の違いがたまりの環境や生物相に大きな影響を与えることが考えられる。特に、止水性生息場は攪乱によって生成と消滅を繰り返しており、この頻度がたまり環境に大きな影響を与えている。

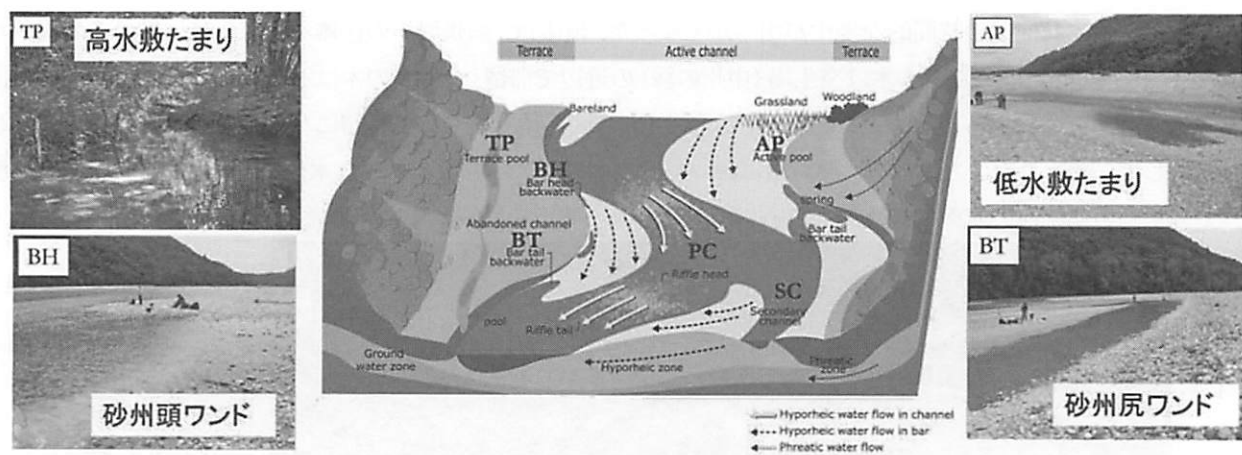


図-12 河道内に形成されるワンドやたまりなどの止水性生息場の類型（竹門 2014）

次に、河道内の流木は治水上ないしは利水施設の障害となる一方で、各種の生態機能を担っている。例えば、栄養起原として直接物質循環に組み込まれるほか、動植物の生息基盤や隠れ家を提供する役割を果たしている。このため、流木管理の方針として、河床からすべてを取り除くのではなく、治水・利水上の制約を考慮しつつ、河川生態系維持を考慮した一定量の存在を許容する管理も必要である。

そこで重要となるのは、上記の止水性生息場と流木の有無の関係である。形成された止水性生息場に流木がトラップされているか否かで、生態的機能に差が生じているかどうかを実証する必要がある。生態学的な流木の価値は流木そのものの有機物としての価値と生物のカバーとしての価値の2つがある。河川を流れる有機物はサイズによって図-13のように分類される（吉村ら 2006）。流木は最も大きな有機物として分類され、河川内で微生物や無脊椎動物による分解や破碎及び流水による破壊を受け、小型化する。この小型化の速度が水温・栄養塩濃度・流木の化学的性質の影響を受けることが報告されている。流木は落葉に比べ表面積が小さいため、分解速度が $0.5\sim 11\text{mm/year}$ と非常に遅い事が知られている。このようにして生産された粒状有機物は河川内の有機物循環において大きな役割を果たしている。Allan は粒状有機物と生物の主な関係を図-14 のように示しており、流木が止水性生息場に存在することで、このような物質循環が促進されることが期待される。

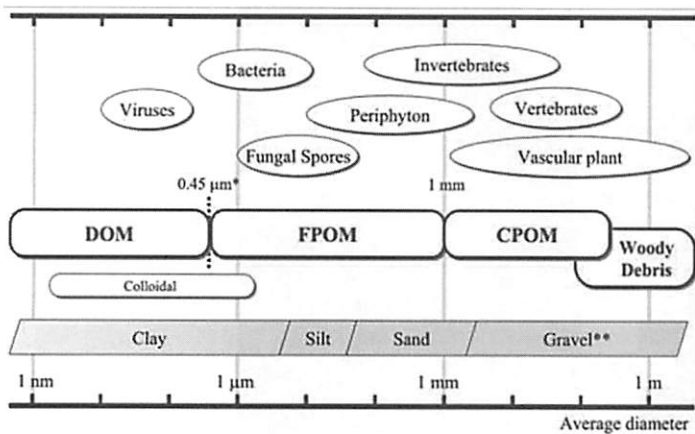


図-13 有機物のサイズによる分類(吉村ら 2006)

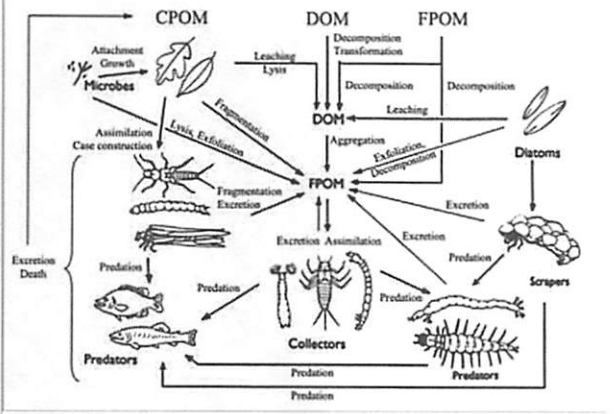


図-14 河川内の粒状有機物と生物の関係(Allan 1995)

以上のような背景により、止水性生息場、流木、およびそれらが複合的に存在した場合の生態的機能の解明は重要であることが推定されるが、課題は、そのような止水性生息場と流木の空間的な存在割合と、その時間的な存続時間(生息場寿命)が生態機能に与える影響を知る必要がある。研究集会では、竹門(2014)よりタリアメント川の2箇所の調査サイト(Flagogna および Cornino)(写真-7)において、砂州上のワンドやたまりなどの止水性生息場(写真-7の凡例は図-12参照)と流木の空間分布と増水に伴う変化様式、さらには、止水性生息場の分類ごとに、水生動物群集の種組成から流木の生態機能を分析した結果が報告された。



写真-7 インターバルカメラで撮影された調査地点ごとの止水性生息場の存在密度と分類(寺田ら 2013)

インターバルカメラに加えて、航空写真も活用された。これを用いて流木の砂州上での分布様式を分析した結果、流木の供給源に近い寄り州で流木密度が高く、中州上で低いことがわかった。これは、流木の多くが河道内の河畔林から供給され、かつ平均年最大洪水クラスのイベント時の流木は比較的近傍にトラップされるためと考えられる。

一砂州上の流木の分布は砂州地形における堆積位置と個々の流木の散らばり具合から図-15に示す4つの類型に分類された。これらの類型ごとの砂州上の存在割合を分析すると、以下のような結果が得られた。

- 1) 主流越流型：砂州上流部の広域に低密度で分布する
- 2) 二次流路越流型：砂州下流部の広域に低密度で分布する
- 3) 主流沿岸型：砂州下流部の主流沿岸に高密度で分布する
- 4) 二次流沿岸型：砂州下流部の二次流沿岸に高密度で分布する。

これらタリアメント川の複数の砂州(Bar 1~Bar 7)で分類したものを図-16に示す。堆積した流木のうち、止水性生息場を伴うものの割合は主流沿岸型及び二次流沿岸型が多く、主流越流型および二次流越流型は水生生物の生息場形成にはあまり寄与していないことがわかった。

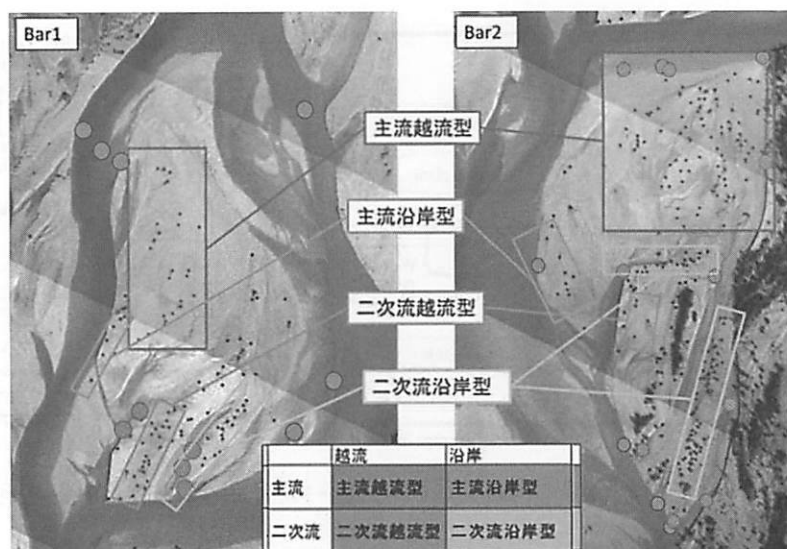


図-15 砂州地形上の堆積位置による流木の分類 (寺田 2014)

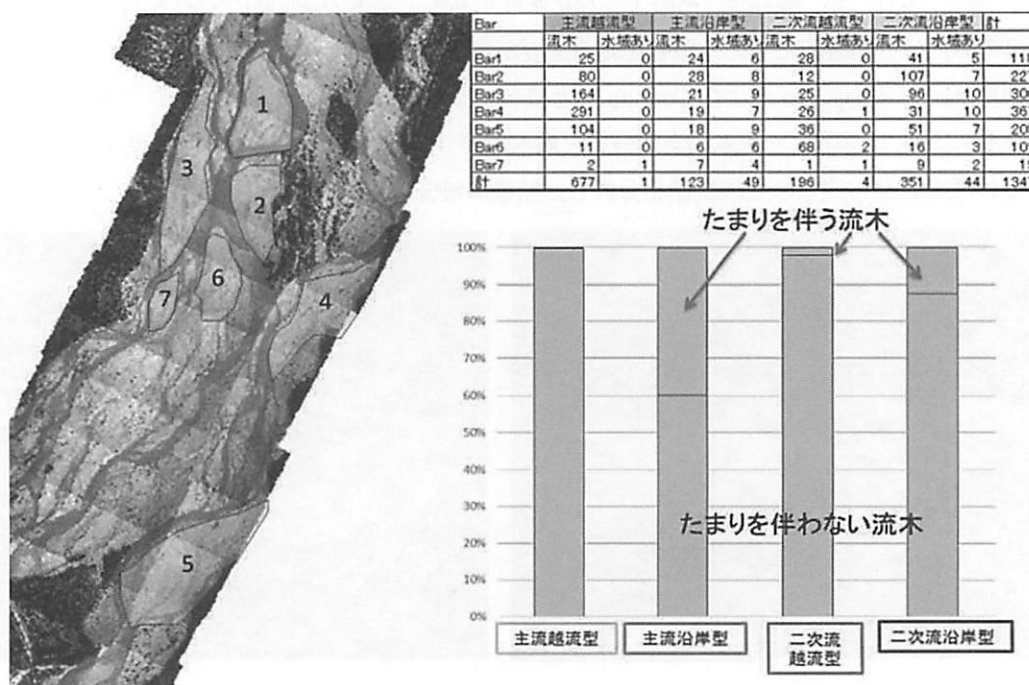


図-16 砂州ごとの流木の存在数と堆積位置による分類・たまりの有無 (寺田 2014)

次に、流木の有無による生物の特性を分析すると、図-17 に示すように、流木があることによって有機物性の底質を好む種が増加し、止水性生息場の多様性が向上すると考えられる。さらに、止水性生息場におけるさまざまな物理環境と生物群集の関係について CCA 分析を行った。この手法は環境要因のデータ群と生物群集のデータ群というデータ群同士の比較を行うことが可能であり、矢印の大きさが影響の大きさ、方向がある生物に対して正の影響か負の影響を示している。図-18 に示すように、これを見ると、有機物性の底質を好む種は、カバー量（流木）と Habitat Age（生息場寿命）の両者と関係が深いことが示された。

次にインターバルカメラを用いて、砂州上の流木の動態を追跡した。図-19 は、河川水位の変化に対する概ね 3 ヶ月ごとに観測された新規および既存の流木の動態と存在位置を示す。これによれば、中小の出水では消滅する流木や新規流木が少なく、年 1 回程度の出水（2012.11 発生）で流木の多くが更新されることがわかった。止水性生息場の水生動物相を現地調査した結果、河畔林内のたまり（TP（高水敷たまり））の種組成が他と違って特異であり、これは、たまりの存続期間が長いために止水性種ならびに流木依存種が増加するためと考えられた。

流木の有無による生物の特性

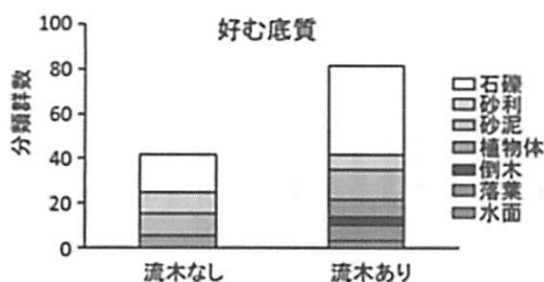


図-17 止水性生息場における流木の有無による水生動物の種数の変化 (寺田 2014)

CCA分析 Canonical Correspondence Analysis :正準対応分析

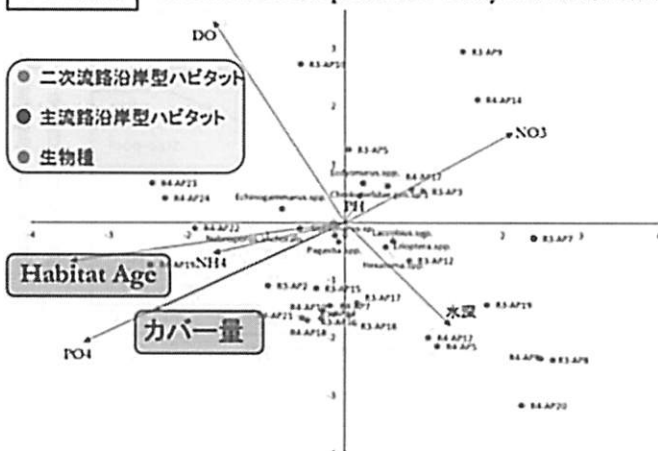


図-18 止水性生息場に関する CCA 分析結果(寺田 2014)

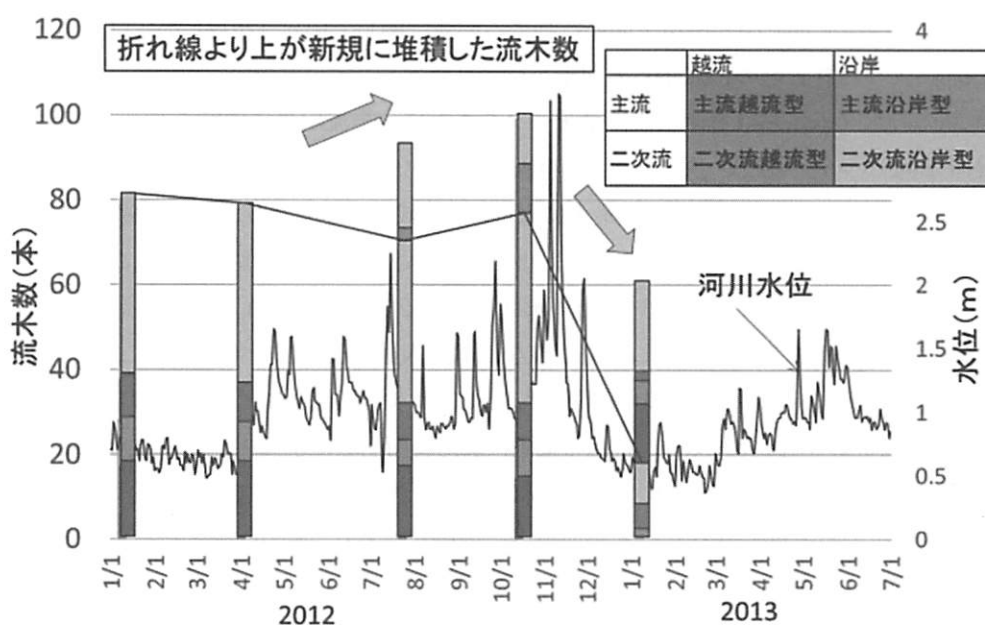


図-19 インターバルカメラ画像の分析結果 (流木の生息場寿命) (寺田 2014)

(3) 流木がもたらす生物多様性への影響 (渡辺 2014)

次に、タリメント川の流域スケールでの種多様性を他の近隣の3河川と比較し、特に流木による影響を詳細に調査した結果が渡辺 (2014) より報告された。調査対象の41リーチのうち、流木の出現頻度割合(=0-83%)は標高(=4-1704 m)が低いリーチほど高まり、リーチ内では淵(平均=21%)と早瀬(14%)で特に高く、平瀬(4%)と小滝(5%)で低い傾向が見られた。図-20(左)に流域スケールの流木の分布の模式図を示す。次に、流木と流木が影響しない河床から別々に採取した水生昆虫ユスリカ群集の種数を比較した結果、流域内に出現した全280種のうち、41種(=15%)は流木のみに特異的に出現した。また、種数と種の環境特異性に基づいて、DNA分析(Watanabe et al. 2010)により推定した流域全体の種多様性(=280種)に対して流木の貢献度を抽出した結果、29.7%(=83.1種相当)と高い値を示した。特に、流木の出現頻度が高いリーチやハビタットほど流木の貢献度が高く、図-20(右)に示すように中・下流域での流木の存在が、河川さらには河口～沿岸域における生物多様性に大きく影響する可能性が大きいことがわかる。以上より、1) 流木の種多様性への貢献度の定量化が可能であり、2) 貢献度に応じたリーチやハビタットごとのメリハリのある流木分布の管理が望ましいことが考えられる。

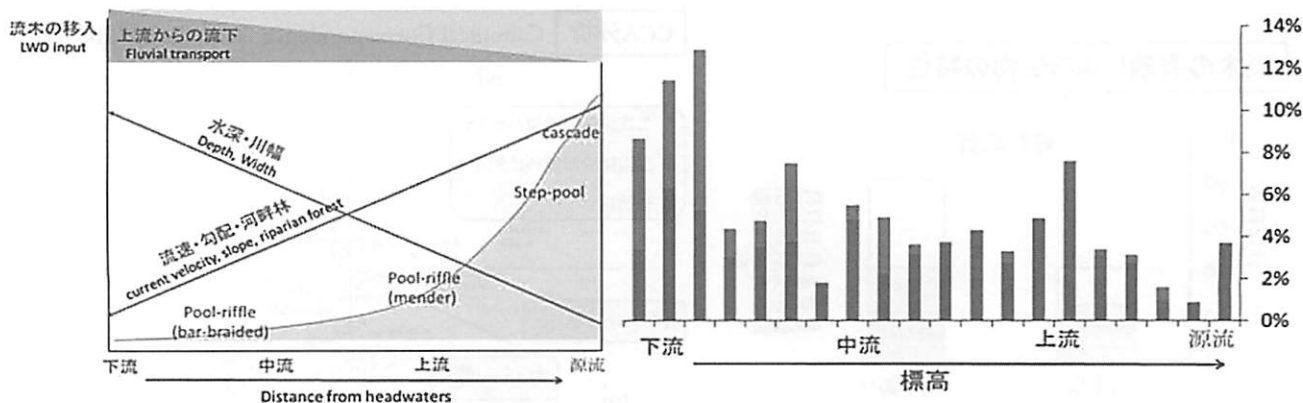


図-20 流域スケールの流木の分布 (左) とリーチごとの流木の貢献度 (右) (渡辺 2014)

4. おわりに

本稿では、「流域一貫の総合流木管理に向けて」と題して実施された研究集会でのさまざまな視点からの報告をもとに、現状の知見と、特にタリメント川を調査対象とする環境の観点の考え方を紹介した。研究集会では最後に、流域スケールにおける流木流出と河川生態系に与える影響に関して中村 (2014) から以下のような総括的な報告が、また、松浦により森林管理の視点からの討議が行われた。

日本全国 131 基の貯水ダムにおける流木流出量データをもとに、全流出量に影響を与える変量を検討した結果、流域面積が最も重要なパラメータで、次に降雨量が重要である (Seo, Nakamura ら 2008)。単位流域面積当たりの流木流出量は、小流域で比較的高く、中流域で最大になり、大流域で小さくなり、この理由は、流木の生産、滞留、輸送の違いから起こると推測される (図-21)。なお、図-6 との関係は、ダム流域の場合に、電力ダムの一部を除いて 1,000km² を超える流域が含まれていないことが影響していることと、これだけの大流域になった場合には洪水量も大きく、網場による流木の捕捉が難しく、正確な流木流入量を反映できていないことも考えられる。

また、日本列島をブロック分けした場合の単位面積当たりの流木流出量と降雨パターンを調べた結果についても報告された。これによれば、南西日本では、台風や豪雨、また斜面崩壊によって流木が生産されるが、大量の降雨によって常に掃き出されるため供給制限の状態になっており、一方で東北日本では、台風や豪雨が発生する頻度は低く、河岸浸食や風倒によって供給された流木が河道内に堆積しており、流出制限になっていることが考えられる (Seo, Nakamura ら 2012)。

流木が生態系に与える影響は図-22 のように総括することができる。小流域では、有機物や土砂、栄養塩の貯留が重要な役割として考えられる。中流域河川では、集合状態の流木群が河川内生息場所の多様性を形成し、魚類や底生動物の種多様性に貢献している。下流域網状・蛇行大河川では、多くの流木は河川内ではなく砂礫堆や氾濫原に堆積し、河畔植生の種多様性に貢献していると考えられる。

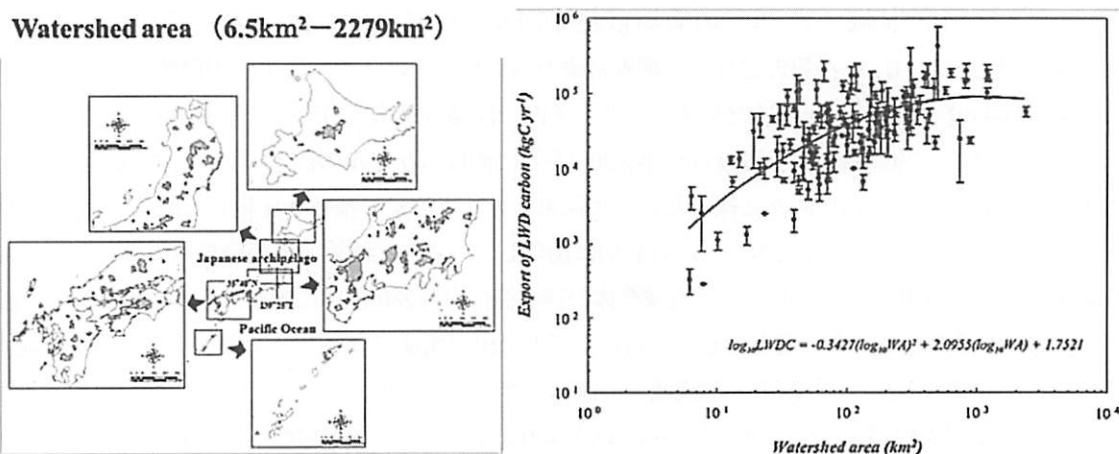


図-21 流域面積に対する流木流出量 (Seo, Nakamura ら 2008)

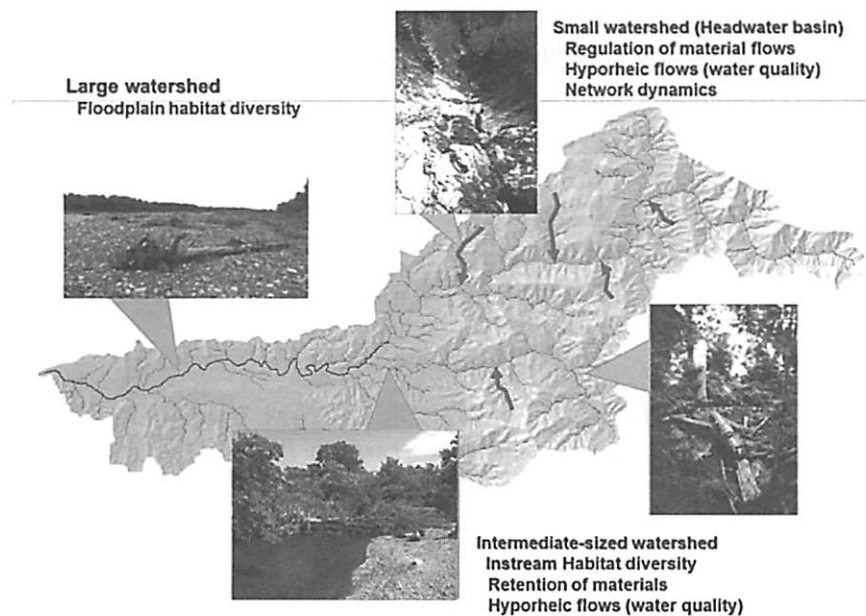


図-22 流域スケールにおける流木が河川生態系に与える影響（中村 2014）

なお、本稿では取り上げなかったが、米国の Trinity 川では、サケの産卵床再生を主目的とする土砂還元、フラッシュ放流の取り組みの中で、流倒木を効果的に活用した河道整備が行われていることも紹介された（玉 2014）。

最後に、総合討論として提起された水系一貫の総合流木管理に向けた今後の連携のあり方と、取り組むべき研究テーマや方向性について、以下の事項がとりまとめられた。

- －流木管理における河川、林野、農水（環境）の連携の重要性
- －流木災害のリスク評価やダム効果の評価の研究
- －2次元流や流木浮遊特性を利用した流木除去技術の発展
- －気象変化や森林発達（斜面、河道）が流木発生に及ぼす影響の研究
- －流木のサイクル（移動、滞留、寿命）の研究、モニタリング
- －生物多様性や生態系サービスに果たす流木の役割の研究
- －生態系のバランスを保つために必要な倒木の分布や状態の研究

総合的な流木管理については、まだ研究の緒についたばかりであるが、総合土砂管理とともに、より一層の取り組みの実践が期待され、本稿がその一助になれば幸いである。

謝辞

本稿は、平成 26 年 10 月 3 日に京都大学防災研究所において開催された、平成 26 年度水資源セミナー「流域一貫の総合流木管理に向けて」における報告と討議内容の主要な事項を再録したものである。発表者と討議者の皆様にこの場を借りて謝意を表す。また、本研究は京都大学防災研究所拠点研究（一般推進）の補助を得たものである。

参考文献

- 1) 角 哲也, 谷崎 保 (2007) 2004 年福井豪雨における九頭竜川上流ダム群の洪水調節効果, 大ダム, 198, pp.114-124.
- 2) 角 哲也, 田中茂信, 本間基寛 (2014) 京都・滋賀における 2013 年台風 18 号の豪雨の特徴と桂川流域被害調査, 京都大学防災研究所年報第 57 号 A, pp.1-16
- 3) Seo, J.I., Nakamura, F., Nakano, D., Ichianagi, H., and Chun, K.W. (2008), Factors controlling the fluvial export of large woody debris, and its contribution to organic carbon budgets at watershed scales, Water Resources Research 44, W04428, DOI: 10.1029/2007WR006453

- 4) Seo, J.I., Nakamura, F., Akasaka, T., Ichiyangi, H., Chun, K.W. (2012) Large wood export regulated by the pattern and intensity of precipitation along a latitudinal gradient in the Japanese archipelago, *Water Resources Research*, VOL.48, W03510, doi:10.1029/2011WR010880
- 5) 林野庁森林整備部, 国土交通省河川局 (2007) ダム貯水池における流木流入災害の防止対策検討調査, 平成 18 年度社会資本整備事業調整費報告書.
- 6) (財)河川環境管理財団 (2008) 流木災害軽減対策と河川樹木管理に関する総合的研究報告書.
- 7) 石川芳治 (1994) 溪流における流木の発生, 流下と災害, *水利科学* 38(1), pp.51-77.
- 8) 今井三千穂、鈴木昌一 (2006) 「福井豪雨における森林災害—下—流木発生原因等と対策の方向について」 *山林* 2006.11.
- 9) 建設省砂防部砂防課 (2000) 「流木対策指針 (案) 計画編、設計編」
- 10) 角哲也 (2013) 水系一貫の土砂管理について, 土木学会水工学に関する夏季研修会講義集.
- 11) 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*, 1999. 2(2), pp.179-190.
- 12) 牧孝憲, 高橋正人, 落修一, 三宅且仁, 尾崎正明 (2007) 全国のダム流木発生量調査. *土木学会論文集G*, 63(No.1), pp. 22-29.
- 13) Bertoldi, W., Gurnell, A.M. and Welber, M. (2013) Wood recruitment and retention: The fate of eroded trees on a braided river, *Geomorphology*, 180–181(0), pp.146-155.
- 14) 吉村千洋, 谷田一三, 古米弘明, 中島典之 (2006) 河川生態系を支える多様な粒状有機物, *応用生態工学*, 9(1), pp. 85-101.
- 15) Allan, J.D. and Castillo, M. M. (1995) Structure and function of running waters, *Stream Ecology*, pp. 436.
- 16) 寺田匡徳, 渡辺幸三, Bertoldi, W., Gurnell, A.M., Tockner, K., 竹門康弘, 角哲也 (2013) タリアメント川における定点カメラ画像を用いた止水性生息場の履歴と水生生物群集の解析, *京都大学防災研究所年報*, 56(B), pp. 691-698.
- 17) 寺田匡徳 (2013) 砂州上の流木が形成する止水性生息場の評価に関する研究, 京都大学工学研究科都市社会工学専攻, 修士課程学位論文.
- 18) Watanabe, K. et al. (2010) DNA Sequence-based Assessment of Chironomidae (Diptera) in the Tagliamento River, Italy. *Proceedings of 8th International Symposium on Ecohydraulics, (High Sediment Load and High Biodiversity)*: pp. 812-816.
- 19) 若林伸幸 (2014) 全国のダム貯水池への流木流入の実態と課題整理, 平成26年度京都大学防災研究所水資源セミナー, 流域一貫の総合流木管理に向けて, pp.1-10.
- 20) 櫻井寿之 (2014) 流水型ダムにおける流木閉塞対策, 平成26年度京都大学防災研究所水資源セミナー, 流域一貫の総合流木管理に向けて, pp.11-20.
- 21) 石川 伸 (2014) 黒部川ダム連携排砂と流木の実態, 平成26年度京都大学防災研究所水資源セミナー, 流域一貫の総合流木管理に向けて, pp.21-28.
- 22) 矢野真一郎 (2014) 九州北部豪雨での流木災害と流域内の流木リスク評価の試み, 平成26年度京都大学防災研究所水資源セミナー, 流域一貫の総合流木管理に向けて, pp.29-38.
- 23) Weitbrecht, V. (2014) スイス・チューリッヒの治水安全度向上のための流木捕捉対策, 平成26年度京都大学防災研究所水資源セミナー, 流域一貫の総合流木管理に向けて, pp.39-46.
- 24) Bertoldi, W. (2014) 大河川における流木捕捉と動態: 現地観測と実験的検討から, 平成26年度京都大学防災研究所水資源セミナー, 流域一貫の総合流木管理に向けて, pp.47-56.
- 25) 竹門康弘 (2014) イタリア・タリアメント川における流木の動態と生態的機能, 平成26年度京都大学防災研究所水資源セミナー, 流域一貫の総合流木管理に向けて, pp.57-64.
- 26) 渡辺幸三 (2014) 流木がもたらす生物多様性への影響, 平成26年度京都大学防災研究所水資源セミナー, 流域一貫の総合流木管理に向けて, pp.65-70.
- 27) 玉 基英 (2014) カリフォルニア・トリニティ川における河川地形再生のための流木管理, 平成26年度京都大学防災研究所水資源セミナー, 流域一貫の総合流木管理に向けて, pp.71-78.
- 28) 中村太士 (2014) 流域スケールにおける流木流出と河川生態系に与える影響, 平成26年度京都大学防災研究所水資源セミナー, 流域一貫の総合流木管理に向けて, pp.79-84.