

学 位 論 文 題 名

SPATIAL AND TEMPORAL VARIATIONS IN
FLUVIAL EXPORT OF LARGE WOODY DEBRIS
AT THE WATERSHED SCALE

(流域スケールにおける倒流木の流出に関する広域解析)

学位論文内容の要旨

河川生態系は物理的・化学的・生物的に陸上生態系と密接な関係を持っている。森林から河川へ供給された樹木個体は倒流木 (Large Woody Debris ; LWD) となり、生産、移動および分解される過程で、さまざまな役割を果たす。一方で、人間生活圏に流木被害を及ぼす災害要因としても広く認識されている。LWD の生態学的役割の維持、ならびに災害防止の観点から、総合的な流域管理に資するため、流域スケールにおける LWD の空間的・時間的な流出量変化を定量的に把握した。

一般的に、LWD は洪水によって突発的に流出するため、小流域における水文施設で観測することは不可能である。しかし日本では、貯水ダム管理事務所において、ダム上流に貯まる LWD 量を毎年計測している。第2章では、LWD の流出量に影響を与える地形・水文要因を解析し、流域スケールにおける LWD 流出量および LWD の全有機炭素量への寄与率を明らかにすることを目的とした。まず、日本列島全域にわたって存在する 131 ヶ所のダムを対象として LWD の年間流出量を調査した。また、アメリカ合衆国、カナダおよび日本の温帯地域を対象として、先行研究のデータを用い、有機炭素流出量に占める LWD の寄与率を明らかにした。その結果、LWD 流出量に最も強く影響を与える要因は流域面積であり、年間総降雨量も LWD 流出量を変化させる一つの誘因であった。単位面積あたりの LWD 流出量は、小流域においては流域面積が大きくなるに従ってやや増加し、中規模流域においてピークに達し、大流域においては減少することが示された。小流域では、流域面積に対して LWD の生産域が広く分布し、溪流への供給量が下流河川とくらべて多いと考えられる。しかし、川幅が狭いため、生産された LWD の多くは、溪流内および河道周辺に長く滞留する。一方で、急勾配の溪流源頭部から集中豪雨や台風に伴い発生する土石流が、滞留している LWD を集合運搬によって輸送する可能性もある。土石流の発生頻度は低いが、小溪流において LWD を運搬する重要なプロセスである。従って、LWD 流出量は中規模流域には劣るものの、比較的高い値を示したと考えられる。中規模流域では、河床拡幅部で発達する氾濫原に成立している河畔林が侵食されることにより LWD が生産・供給される。この流域の川幅は LWD の長さ以上に発達しており、洪水時には LWD を運搬するのに十分な流量が確保される。従って、単位面積あたりの LWD 流出量は最大に達すると考えられる。大流域においては、流域面積に対して LWD を生産することが可能な河畔林面積が小さいため、河川への LWD 供給量は相対的に少なくなる。大流域の河川は、洪水時 LWD を輸送するのに十分な流量を保持しているものの、広い氾濫原や扇状地などの貯留域が多く分布しており、下流域への LWD 輸送は制

限され、単位面積あたりの LWD 流出量は少なくなったと考えられる。有機炭素流出量に対する LWD の寄与率も、小流域では流域面積の増加に伴って増え、中規模流域でピークに達し、大流域で急激に減少する傾向を示し、LWD 流出変化の影響を強く受けることが分かった。溶存炭素も含めた全炭素流出量に占める LWD の寄与率は、最大化する中規模流域で 8.5% 程度であるが、粒状有機物に限定すれば 36.8% に及ぶ。

第 3 章では、LWD 流出量に影響を与える一つの誘因であった降雨量に着目し、ダム管理所が直接降雨量を観測している 35 ヶ所のダム流域を対象として、LWD 流出量に与える降雨強度について、日本列島の緯度傾度の違いを考慮しながら解析を行った。一般化線形混合モデルを用い、AIC によるモデル選択を行った結果、40mm 以上の日降雨量の年間合計、緯度、ならびにこれらの相互作用が説明変量として選択された。LWD は、40mm 以上の日降雨量による水位上昇によって浮上し、遠い生産地からも移動できると考えられる。また、LWD の浮上に関与する 40mm 以上の日降雨量が連続的に発生すると、LWD 流出量も増加すると考えられる。一方、日本は南北に長い国であり、台風、低気圧を伴う集中豪雨の発生頻度、ならびに降雪の分布に関して大きな地域差を有している。台風の通過や集中豪雨の発生が頻繁な西南日本では、強風や大雨によって多くの LWD が生産されるが、一方で頻繁な降雨発生によって流域内に溜まっている LWD 量が常に除去され、河道内滞留量は低いと考えられる。このため、同じ降雨強度で比較すると、緯度の高い地域とくらべて、LWD 流出量は少ないと考えられる。これとは反対に、降雨量が全体的に少なく、台風の通過や集中豪雨の発生頻度が少ない北日本では、強風や大雨による LWD の生産より、河岸侵食、風倒・枯死によって生産された LWD 量が多いと推定される。40mm 以上の日降雨量の発生頻度も少なく、LWD の流域内滞留量は多く、長期間貯留される。従って、同じ降雨強度で比べると、LWD の流出量は高く推移すると考えられる。

第 4 章では、第 2 章で議論した LWD 流出量の変化を検証するため、北海道沙流川水系額平川流域を対象とし、流域面積の異なる地点における LWD の生産、輸送、滞留および小片化・腐朽プロセスの変化を定量的に把握した。小流域においては、LWD 生産域の割合が相対的に高い。特に、降雨によって発生する斜面崩壊は、河岸侵食による生産量よりも多くの LWD を生産する。しかし、川幅に対して相対的に長い LWD は、溪流の両岸に保持されて下流へ輸送されることは少ない。また洪水時にも大きな LWD を輸送する十分な運搬能力は存在しないため、生産された LWD の多くは溪流内に長く滞留し、LWD 現存量はきわめて多い。一方、額平川流域の場合、上流域で山地崩壊によって多くの LWD が生産されたが、下流域での現存量も相対的に多いことが特徴である。これは土石流によって多くの LWD が下流へ輸送され、その後洪水によって運搬された結果であると考えられる。中規模流域では、斜面からの LWD 供給量が減少し、氾濫原からの供給量が増加する。また川幅も LWD の長さ以上に発達し、洪水時には LWD を運搬するに十分なストリームパワーを持つため、LWD は洪水時、容易に下流へ輸送される。さらに洪水時の川幅に滞留している LWD が、氾濫原に滞留している LWD より多いため、水位上昇に伴って下流へ流出される量が多くなると考えられる。大流域においては、氾濫原の面積割合は高いが、流水沿いに分布する河畔林の多くが幼齢林であるため、LWD の供給量が少なくなる。また LWD の長さより川幅は十分に大きい、氾濫原や二次流路などの滞留区間が多く形成されており、浅い緩い流れによって LWD が貯留される可能性は高い。流出されるのは腐朽が進んだ小片であり、LWD の大きさ以下の粒状有機物として流下する可能性も高いと考えられる。従って、大流域では LWD の生産だけではなく、下流への流出量も少なくなると推定できる。

以上のように、本研究は、流域スケールにおける LWD 流出の空間的・時間的な変動を明らかにした。これらの成果は、流域生態系における物質循環、ならびに生物生息場の形成・破壊過程を理解する上で、多くの重要な知見を提供した。また、人間生活圏における流木災害防止の観点

からも、具体的な数値目標を提示することが可能となり、流域保全のためにも重要な情報を提供
すると考える。

学位論文審査の要旨

主査	教授	中村	太士
副査	教授	丸谷	知己
副査	教授	笹	賀一郎
副査	教授	全	謹雨

学位論文題名

SPATIAL AND TEMPORAL VARIATIONS IN FLUVIAL EXPORT OF LARGE WOODY DEBRIS AT THE WATERSHED SCALE

(流域スケールにおける倒流木の流出に関する広域解析)

本論文は、図 14、表 10 を含む総頁数 114 の英文論文であり、他に参考論文 4 編が添えられている。

河川生態系は物理的・化学的・生物的に陸上生態系と密接な関係を持っている。森林から河川へ供給された樹木固体は倒流木 (Large Woody Debris ; LWD) となり、生産、移動及び分解される過程で、様々な役割を果たす。一方で、人間生活圏に流木被害を及ぼす災害要因としても広く認識されている。本研究は、生態系の維持ならびに災害防止を考慮した総合的な流域管理に資するため、流域スケールにおける LWD の空間的・時間的な流出量変化を定量的に把握し、その制御要因を広域に解析することを目的としている。

1. 流域スケールにおける倒流木流出の変化と、有機物炭素量への寄与に関する広域解析

LWD は洪水によって突発的に流出するため、小流域における水文施設で観測することは不可能である。しかし日本では、貯水ダム管理事務所において、ダム上流に貯まる LWD 量を毎年計測している。まず、日本全域にわたって存在する 131 ケ所のダムを対象として、LWD の年間流出量を調査し、さらに影響を与える地形・水文要因について解析を行った。その結果、LWD 流出量に最も強く影響を与える要因は流域面積であり、年間総降雨量も LWD 流出量を変化させる一つの誘因であった。単位面積あたりの LWD 流出量は、小流域においては流域面積が大きくなるに従ってやや増加し、中規模流域においてピークに達し、大流域においては減少することが示された。また、温帯地域で実施された先行研

究のデータを用い、有機炭素流出量に占める LWD の寄与率を明らかにしたところ、溶存炭素も含めた全炭素流出量に占める LWD の寄与率は、最大化する中規模流域で 8.5% 程度であるが、粒状有機物に限定すれば 36.8% に及ぶことを明らかにした。

2. 日本列島の緯度によって異なる降水パターンと倒流木流出の関係

LWD 流出量に影響を与える一つの誘因である降雨量に着目し、直接降雨量を観測している 35 ヶ所のダム流域を対象として、日本列島の緯度傾度を考慮しながら解析を行った。その結果、LWD は 40mm 以上の日降雨量による水位上昇によって流出し、40mm 以上の日降雨量が連続的に発生するのにしたがって LWD 流出量も増加すると結論している。また、同じ降雨強度で比較すると、緯度の違いによって LWD 流出量は異なっていた。日本は南北に長い国であり、台風の通過や集中豪雨の発生が頻繁な西南日本では、強風や大雨によって生産される多くの LWD が頻繁な降雨発生によって常に除去されるため、その流出量は少ないと論じている。これとは反対に、降雨量が全体的に少なく、台風の通過や集中豪雨の発生頻度が少ない北日本では、40mm 以上の日降雨量の発生頻度も少ないため、LWD の流域内滞留量は多く、その流出量も高く推移すると論じている。

3. 流域スケールにおける倒流木流出量の違いとその要因解析

第 2 章で議論した流域スケールにおける LWD 流出量の変化を検証するため、流域面積の異なる地点における LWD の生産、輸送、滞留及び小片化・腐朽プロセスの変化を定量的に把握した。その結果、小流域においては、LWD 生産域の割合が相対的に高く、特に斜面崩壊によって生産される LWD 量が多いことが明らかになった。一方で、川幅に対して LWD は長く、洪水時にも大きな LWD を運搬する流量はないため、生産された LWD の多くは溪流内に長く滞留すると結論している。また、土石流によって多くの LWD が下流へ輸送され、その後洪水によって運搬される可能性があることも指摘している。中規模流域では、斜面からの LWD 供給量が減少し、氾濫原からの供給量が増加する。また川幅も LWD の長さ以上に発達し、洪水時には LWD を運搬するのに十分なストリームパワーを持つため、LWD は洪水時、容易に下流へ運搬されると述べている。大流域においては、氾濫原の面積割合は高いが、流水沿いに分布する河畔林の多くが幼齢林であるため、LWD の供給量が少なくなる。一方で、氾濫原や二次流路などの河道内滞留区間が広く分布しており、これらの地形面に LWD が貯留されるため、下流への流出量も少なくなると論じている。

以上のように、本論文は、流域スケールにおける LWD 流出の空間的・時間的な変動を明らかにした。これらの成果は、流域生態系における物質循環、ならびに生物生息場の形成・破壊過程を理解する上で、多くの重要な知見を提供し、学術・応用両面から高く評価される。また、人間生活圏における流木災害防止

の観点からも、具体的な数値目標を提示することが可能となり、流域保全のためにも重要な情報を提供すると考える。よって審査員一同は、徐正一が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格があるものと認めた。