

肱川流域の山地溪流における 流木の堆積特性に関する研究

A STUDY ON CHARACTERISTICS OF WOOD DEBRIS DEPOSITION IN MOUNTAIN STREAMS IN HIJIKAWA BASIN

合田 明弘¹・小森 大輔²・横山 光³・山本 道³・
森田 陽³・板倉 健太⁴・山田 正⁵

Akihiro GODA, Daisuke KOMORI, Hikari YOKOYAMA, Tao YAMAMOTO,
Akira MORITA, Kenta ITAKURA and Tadashi YAMADA

¹学生会員 中央大学大学院理工学研究科 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

²正会員 東北大学大学院工学研究科准教授 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)

³学生会員 東北大学大学院工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)

⁴非会員 東京大学大学院農学生命科学研究科 (〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1)

⁵フェロー会員 中央大学理工学部教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

In recent years, wood debris disasters have been increasing in Japan. Therefore, elucidation of the mechanism of wood debris runoff is required. It is suggested that wood debris sedimentation in mountains is important for understanding the mechanism of wood debris runoff. In this study, we investigated the wood debris dams closely related to wood debris runoff and investigated its structural characteristics and formation factors in the Hijikawa basin.

As a result, examining the trees forming the wood debris dams, it was found that most of the trees were young and small in diameter at breast height. As a formation factor, there were many types where wood debris was clogged in the standing trees beside the flow channel.

Key Words : *Wood Debris Deposition, Wood Debris Dams, Structural Characteristics, Formation Factor, Hijikawa Basin*

1. 緒言

我が国では、梅雨前線や台風等による集中豪雨によって土砂災害が毎年のように発生しており、特に近年は、緑化運動から森林の整備が行き届かなくなり、山地流域で発生した流木が土砂と混ざること、流木混じり土石流となり、河川を流下し、狭窄部や橋脚に詰まることがある¹⁾。これにより、氾濫被害の拡大を引き起こしている。例えば、2016年8月台風10号、2017年7月九州北部豪雨、2018年7月西日本豪雨では、発生した流木が橋脚に引っかかり、河道を閉塞させたことで、橋梁上流側の水位が堰上がり、氾濫被害を拡大させる被害が生じた。今後の気候変動による洪水外力の増加および、森林管理が行き届かず、森林荒廃が進行している我が国の現状を考慮すると、このような流木の大量流出による流木災害の増加が示唆されている²⁾。こうした観点から、流木の発生・流下・堆積・再移動とい

う流木流出の一連のプロセスの理解が重要である³⁾。

河川における流木は、上述したように豪雨時に発生した斜面崩壊や土石流により発生するものもあるが、枯死、風倒、河岸侵食、及び森林施業といった生物的・物理的・人為的要因が複合的に作用し発生する⁴⁾。豪雨時における流木の発生要因に着目した既往研究として、佐藤ら⁵⁾、鈴木ら⁶⁾は、2003年に北海道に被害をもたらした台風10号を対象として調査を行っている。佐藤ら⁵⁾は流木の堆積状況や流出した樹種、発生源の推定を行い、山腹崩壊由来の流木が河岸林由来に比べて2倍程度多いことを示した。鈴木ら⁶⁾は河畔林の倒伏状況や流木堆積状況の踏査、航空写真と踏査による流木発生源の推定を行い、発生源が特定可能な流木は山地の渓畔林や山腹斜面を発生源とするものが河畔林由来と比較して3倍程度多いことを示した。さらに、国土交通省⁷⁾は、平成29年九州北部豪雨の際に、斜め写真等を基に判読を行い、流木発生量の調査を実施し流木発生域を分類した。その結果、流木発生量は、山林由来が最

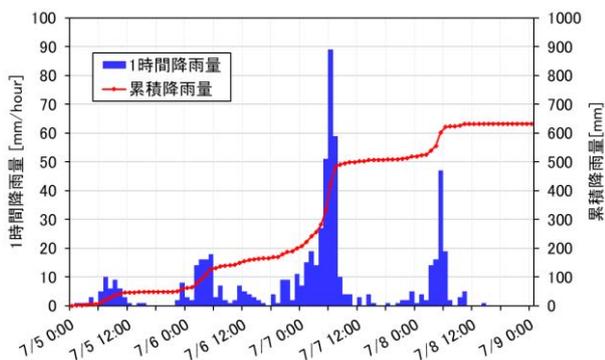


図-1 調査地点周辺（観測所：野村ダム）における西日本豪雨時の1時間降雨量および累積降雨量（出典：国土交通省「水文・水質データベース」）

も多く、全体の約63%を占め、溪畔林由来の流木は全体の約28%、河畔林由来の流木は全体の約6%であることが明らかになった。このように、既往研究から流木の発生要因として、山地流域における斜面崩壊や土石流が重要であると考えられる。

上述したように、流木の発生要因や河川における流木の流出動態に関する様々な研究⁸⁾¹¹⁾はこれまでに行われてきたが、発生した流木が河川へ流出するまでの動態（山地流域における流木の堆積）は未だ明らかにされていない。佐藤ら⁹⁾は、大規模洪水後に行った流木調査により、山間部において相当量の流木堆積があると推測している。また、小森ら¹²⁾は、流木の流出メカニズムの理解にあたり山地での流木堆積が重要であることを示唆している。

山地における流木堆積に関する研究として、Seo et al.¹³⁾は、北日本の3流域と南日本の3流域の現地調査より北日本は台風や集中豪雨が稀であり堆積流木量が多く堆積流木量が流出流木量の制限要因であること、南日本では北日本と比較して堆積流木量が少ないため発生流木量が流出流木量の制限要因であることを示した。清水³⁾は北海道沙流川支流パラダイ川における長期モニタリング調査から、山地で発生した流木は山林内や沢の狭窄部で塞ぎ止められ、流木天然ダムを形成（堆積）し段階的に流出することを示した。

これらの文献整理から、山地流域における流木堆積が流木の流出プロセスに与える影響が大きいことが示唆されているが、山地溪流を対象とした流木堆積に関する調査研究は極めて少なく、研究の余地がある。特に、流木の流出プロセスに密接に関係している流木天然ダムに関する研究例は、著者の知る限り、清水³⁾のみである。山地溪流における流木天然ダムの形成要因や構造特性を明らかにすることは、流木の流出メカニズムを明らかにする一助になり、流域の森林管理を行う上でも、重要な研究であると言える。

そこで本研究では、平成30年西日本豪雨により、斜面崩壊や土石流に伴う大量の流木流出が見られた愛媛

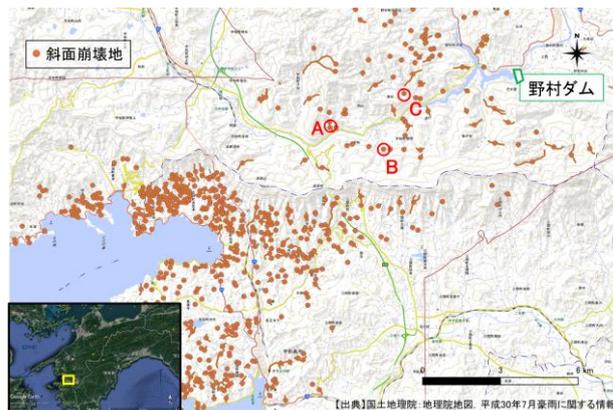


図-2 調査対象地（愛媛県西予市・野村ダム周辺）とH30西日本豪雨時の斜面崩壊箇所（出典：国土地理院「平成30年7月豪雨に関する情報」）

県西予市を流れる肱川に流入する山地溪流において、流木天然ダムに関する現地調査を行った。本調査は、山地流域における流木天然ダムの形成要因と構造特性の把握を試み、それらの結果から、肱川流域における流木堆積の特性を明らかにするものである。

2. 調査方法

(1) 調査地域の概要

図-1は、西日本豪雨における調査地点周辺の累積雨量および時間強度である。調査地点周辺では、600 mmを超える累積降雨量、約90 mm/hourの最大時間降雨強度を観測した。これら記録的な豪雨により、斜面崩壊や土石流に伴う流木が発生したと考えられる。図-2は、調査対象地と調査地周辺の平成30年西日本豪雨による斜面崩壊発生箇所である。斜面崩壊の発生箇所を見ると、調査地から南西に約5 km離れた宇和島市沿岸域において、斜面崩壊が多発していることがわかる。本研究では、山地流域において斜面崩壊が発生した流木の堆積に関する調査を行うため、砂防堰堤や道路などの人為的改変が行われていない地点（図-2の地点A, B, C）を選定し、調査を実施した。野村ダム周辺の山地溪流では人為的に流木が取り除かれた場所が少なく、自然の状態であったため、野村ダム周辺を調査対象に選定した。以下、調査対象地の特徴である。

a) 植生

図-3は、調査地周辺の植生図である。調査地点とその上流域の植生は概ね、スギ・ヒノキ植林地であることがわかる。また、林野庁¹⁴⁾によると、愛媛県における伐期に達した人工林（10齢級以上）は、約7割であり、人工林の森林蓄積量は377 m³/haである。

b) 地質

チャートや砂岩が主となる秩父帯である。

c) 土質



図-3 調査地点周辺の植生図
(出典：環境省「植生調査(植生自然度調査)」)

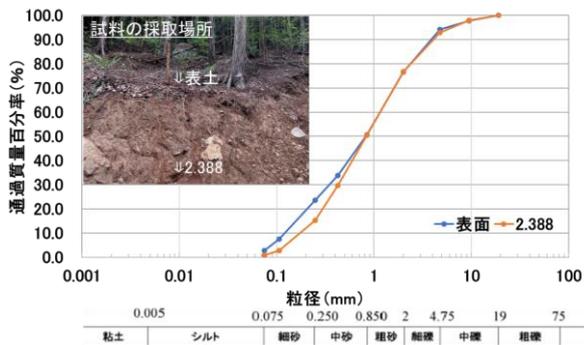


図-4 粒度試験の結果

図-4は、地点Aにおいてサンプルした土を用いて粒度試験を行った結果である。得られた粒径加積曲線の結果から、土質は工学礫質砂であることが分かった。

(2) 調査項目

本調査では、流木天然ダムを形成する立木と倒木を対象に、樹種の特定制および樹齢、胸高直径の計測を行い、流木天然ダムの構造特性を調査した。本調査において、流木天然ダムとは、流木が狭窄部や立木に詰まることで堆積し、上流側で土砂や流木を捕捉している構造である。立木とは、発生した流木混じりの土石流を捕捉した樹木とする。倒木とは、斜面崩壊や土石流により流木となり、流路上の狭窄部に堆積、または、流路脇の立木に捕捉されて流木天然ダムを構成している樹木とする。立木および倒木のサンプル例は、写真-1(a)に示すとおりである。樹種は、針葉樹と広葉樹の2種類で分類を行った。樹齢は、成長錘(インクリメントポア)を用いて、計測を行った(写真-1(b))。胸高直径は、巻尺を用いて測定した(写真-1(c))。樹齢、胸高直径の測定については、調査員の胸高に当たる樹木の位置において行った。また、流木天然ダムについては、大きさの計測と形成位置を記録した。大きさは、高さについてレーザー距離計を用いており、計測部位は、写真-1(a)に示すとおりである。流木天然ダムの形成位置については、GPSを用いて特定を行った。



(a) 立木および倒木のサンプル例と流木天然ダムの高さの計測部位



(b) 成長錘を用いた樹齢の計測



(c) 巻尺を用いた胸高直径の計測

写真-1 計測要領

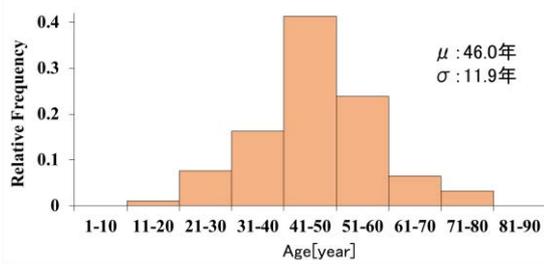
3. 調査結果

(1) 流木天然ダムの構造特性

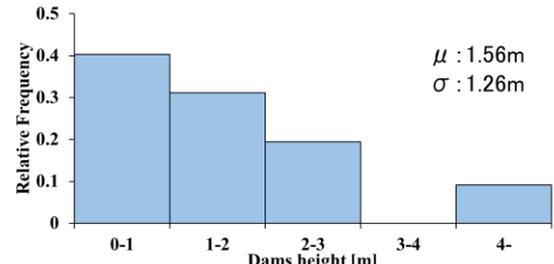
本調査で得られたサンプル数は、立木が91本、倒木が63本であり、合計154本である。倒木については、樹皮の残り方や流木の外観から、概ね新しい流木であることから、対象豪雨によって発生したものと推察された。以下、調査項目ごとの結果である。

a) 樹種

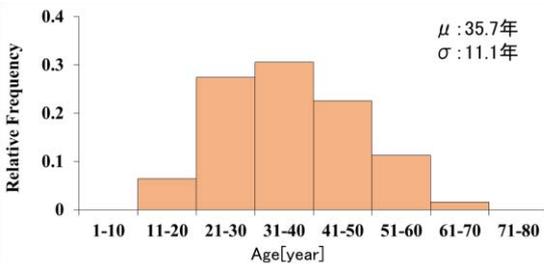
樹種の特定制は、針葉樹と広葉樹に分類して行った。



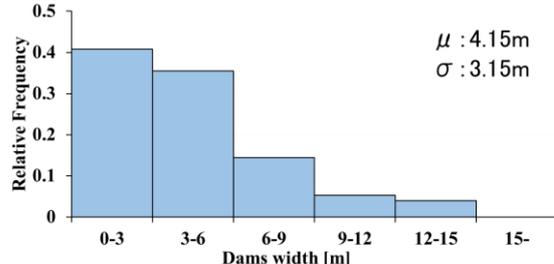
(a) 立木



(a) 高さ



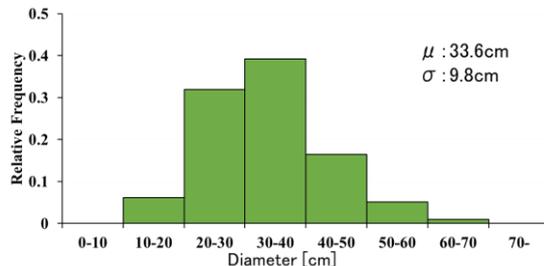
(b) 倒木



(b) 幅

図-5 樹齢のヒストグラム

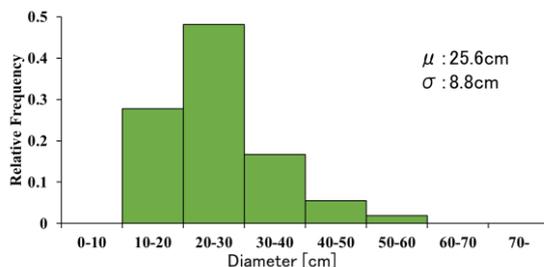
図-7 流木天然ダムの大きさ



(a) 立木



写真-2 大規模な流木天然ダム



(b) 倒木

図-6 胸高直径のヒストグラム

立木では、サンプル数91本中、針葉樹が85本、広葉樹が6本であり、90%以上が針葉樹であった。倒木では、サンプル数63本中、針葉樹が52本、広葉樹が5本、不明が6本であり、80%以上が針葉樹であった。図-3の植生図を見ると、調査地点の上流域は概ねスギ・ヒノキ植林であり、サンプルした樹種のほとんどが針葉樹であったことから、植生図と一致する結果となった。

b) 樹齢

成長錘を用いて採取した樹齢のサンプル数は合計で154本であったが、倒木のうち、サンプルの状態等により樹齢の計測不可能なサンプルが1本あったため、有効サンプル数は153本となった。図-5は、(a)立木と(b)倒

木それぞれの樹齢のヒストグラムである。立木の平均樹齢は46.0年、倒木の平均樹齢は35.7歳であり、倒木は立木よりも平均樹齢で約10歳若いことが分かった。助川¹⁵⁾は岩手県小本川周辺において同様な調査を行い、広葉樹と針葉樹共に若い個体が倒木になりやすいことを示しており、本調査と同様な結果であった。

c) 胸高直径

図-6は(a)立木と(b)倒木の胸高直径のヒストグラムである。立木の平均胸高直径は33.6 cm、倒木の平均胸高直径は25.6 cmであり、倒木は立木よりも平均胸高直径で8 cm小さいことが分かった。樹齢の結果と合わせると、樹齢が若く、胸高直径が小さい個体は流出しやすく流木天然ダムの形成に寄与することが示唆された。

d) 流木天然ダムの大きさ

図-7は流木天然ダムの(a)高さと(b)幅のヒストグラムを示している。高さについては2 mを超えると、相当に大規模であるが、本調査では約30%が2 mを超える大規模な流木天然ダム(写真-2)を形成していた。これ



(a) 側岸タイプ



(b) 流路タイプ



(c) 流路脇タイプ

写真-3 流木天然ダムの形成要因

らの流木天然ダムの後ろには、大量の流木や土砂が堆積しており、大規模な流木天然ダムは流木流出に大きな影響を与えることが示唆された。

(2) 流木天然ダムの形成要因とその特徴

清水³⁾はダムの形成要因を以下2つに分類している。

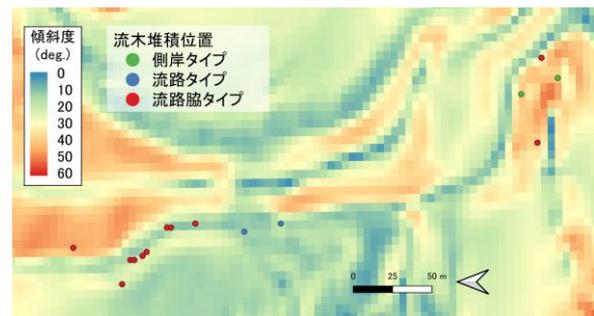
- a. 側岸の斜面崩壊から供給された倒木と土砂が直下の流路を閉塞し、その場にダムを形成したタイプ（以下、側岸タイプ）（写真-3(a)）
- b. 流路を移動した流木が途中で集積して流路を閉塞し、ダムを形成したタイプ（以下、流路タイプ）（写真-3(b)）

本調査では流路上を閉塞するダム形成は少なかったが、流路脇の立木に流木が堆積してダムを形成したタイプが多かった。そこで、清水³⁾の分類に加えて本研究では、c.タイプを加えて、ダムの形成要因を分類した。

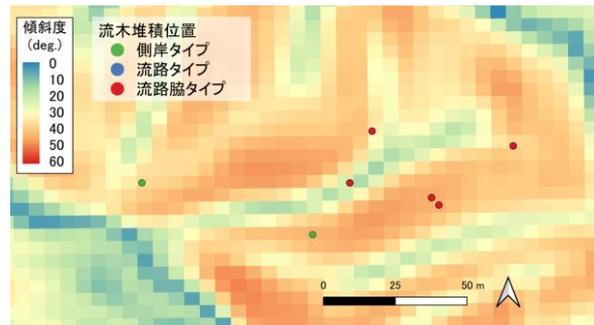
- c.側岸から流出した流木や上流から流下した流木が、流

表-1 流木天然ダムの形成要因の説明と割合

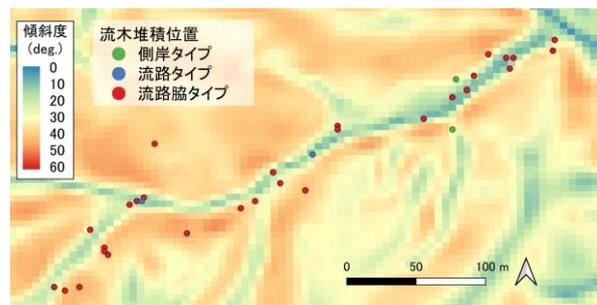
TYPE	説明	割合
a.	側岸の斜面崩壊から供給された倒木と土砂が直下の流路を閉塞し、その場にダムを形成したタイプ	10.9%
b.	流路を移動した流木が途中で集積して流路を閉塞し、ダムを形成したタイプ	7.3%
c.	側岸から流出した流木や上流から流下した流木が、流路脇の立木に堆積してダムを形成したタイプ	81.8%



(a) 地点A



(b) 地点B



(c) 地点C

図-8 各地点の流木天然ダムの形成位置と傾斜度

路脇の立木に捕捉・堆積してダムを形成したタイプ（流路脇タイプ）（写真-3(c)）

表-1は流木天然ダムの形成要因を分類した結果である。清水³⁾の北海道沙流川支流パラダイ川における調査結果では、a.側岸タイプが10例、b.流路タイプが11例と同等であり、助川¹⁵⁾の岩手県小本川支流の調査結果では、

a.側岸タイプが6例, b.流路タイプが68例であり, b.が90%以上を占めた. 本調査では, a.側岸タイプが6例, b.流路タイプが4例, c.流路脇タイプが45例であり, c.が80%以上を占めた. つまり本調査では流路上の流木天然ダムは豪雨によって流され, 流路脇のダムの多くが残存したと考えられる. この堆積特性は, Seo et al.¹³⁾が指摘しているように, 南日本では豪雨の頻度が高いため, 北日本に比較して流木堆積量が少ないことに関係していることを示唆している.

図-8は, 各地点における流木天然ダムの形成箇所並びに傾斜度である. 形成箇所は, 形成要因タイプごとに色分けされている. 傾斜度はDEMデータ5mメッシュ(出典:国土地理院)から作成した. 流木天然ダムは, 全ての地点において谷部を中心に分布していることが分かった. また傾斜度の大きな斜面付近で, 流木天然ダムが形成されており, そのほとんどが流路脇タイプであることが分かった. 急斜面では, 斜面崩壊により流木が流出しやすいこと, さらに川幅が狭い区域における急斜面地は洪水時に流路端の水位が高くなり, 流下してきた流木を流路脇の立木が捕捉したことで流路脇タイプが多くなったことが考えられる.

4. 結 言

本研究では, 平成30年西日本豪雨により, 斜面崩壊や土石流に伴う大量の流木流出が見られた愛媛県西予市を流れる肱川に流入する山地溪流にて流木天然ダムに関する調査を行い, 流木天然ダムの形成要因と構造特性の把握を試みた. 得られた知見を以下に示す.

- 1) 流木天然ダムを構成に寄与している立木, 倒木の樹齢と胸高直径の測定の結果, 樹齢が若く, 胸高直径が小さい個体は流出しやすく流木天然ダムの形成に寄与することが示唆された.
- 2) 大規模な流木天然ダムの背後には, 大量の流木や土砂が堆積しており, 大規模な流木天然ダムは流木流出に与える影響が大きいことが示唆された.
- 3) 流木天然ダムの形成要因について, 既往研究^{3),15)}に比べて, 流路上に形成されるダムが少ないことが分かった. 既往研究では, 北海道と岩手県での調査, 本調査は愛媛県であり, Seo et al.¹³⁾が指摘している通り, 南日本と北日本における豪雨の発生頻度の違いが流木天然ダムの形成要因に影響を与えていることが示唆された.
- 4) 本調査で多く見られた流路脇タイプの流木天然ダムは, 急斜面で多く形成されていることが分かった.

近年, 気候変動による洪水外力の増加, さらに森林荒廃が進行し, 流木災害が多発している中で, 流木の流出メカニズムの解明のニーズが高まってきている. しかし, 流木に関する調査研究は極めて少ない状態である. 今後は, 現地調査を継続して実施し, 流木の流

出プロセスにおける流木堆積の重要性を明らかにする.

謝辞: 一般財団法人河川情報センター, 科学研究費補助金(代表:小森大輔:19H02395)の支援により実施された. ここに謝意を表する.

参考文献

- 1) 小松利光, 山本晃一: 流木と災害—発生から処理まで—, 技報堂出版, 2009.
- 2) 社会資本整備審議会河川分科会: 水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について(答申), 社会資本整備審議会, pp.55,2008.
- 3) 清水収: 山地流域における天然流木ダムの形成・破壊と流木の流出過程, 砂防学会誌, Vol.62, No.3, pp.3-13, 2009.
- 4) 芳賀弘和, 坂本康, 小川滋: 森林流域からの倒木や流木の流出, 日本水環境学会, Vol.29, No.4, pp.207-213, 2006.
- 5) 佐藤創, 長坂有, 浅井達弘, 寺澤和彦: 2003年台風10号災害における厚別川流域の流木の堆積量と組成, 砂防学会誌, Vol.58, No.6, pp.11-17, 2006.
- 6) 鈴木優一, 渡辺康玄: 沙流川での台風10号における流木の挙動, 水工学論文集, 第48巻, 2004.
- 7) 国土交通省: 平成29年7月九州北部豪雨による土砂災害の概況速報版>Vol.6, 2017.
- 8) Lienkaemper, G.W. and Swanson, F.J.: Dynamics of large woody debris in streams in old-growth Douglas-fir forests. Can. J. For. Res., 17: pp.150-156, 1987.
- 9) Nakamura, F. and Swanson, F.J.: Effect of coarse woody debris on morphology and sediment storage of a mountain stream system in western Oregon, Earth Surface Process and Landforms, Vol.18, pp. 43-61, 1993.
- 10) Moulin, B. and Piégay, H.: Characteristics and temporal variability of large woody debris trapped in a reservoir on the river Rhone implications for river basin management, River Research and Applications, 20, pp.79-97, 2004.
- 11) Jung II Seo, and Futoshi Nakamura.: Scale-dependent controls upon the fluvial export of large wood from river catchments, Earth Surface Process and Landforms, Vol.34, pp.786-800, 2009.
- 12) 小森大輔, 助川友斗, Thapthai CHAITHONG, 風間聡: 流域スケールでの流出流木量の推計モデルの構築, 河川技術論文集, Vol.25, pp.639-644, 2019.
- 13) Jung II Seo, Futoshi Nakamura, Kun Woo Chun, Suk Woo Kim, Gordon E. Grant: Precipitation patterns control the distribution and export of large wood at the catchment scale, Hydrological Processes, DOI:10.1002/hyp.10473, 2015.
- 14) 林野庁四国森林管理局: 四国4県の森林の概要2018.
- 15) 助川友斗: タンクモデルを用いた流木流出メカニズムの解明, 東北大学修士学位論文, pp.39-64, 2018.

(2020. 4. 2受付)