

流域スケールにおける流木流出ポテンシャル評価手法の提案： 流量変動・流路地形・発生流木サイズの相互作用

Proposal of a method for evaluating large woody debris runoff potential at the watershed scale:
Interactions among water level fluctuation, channel morphology, size of large wood and landslides
名古屋大学生命農学研究科 ○中島啓太・五味高志・猪越翔大・赤羽澄香・鯉江知樹・小谷亜由美

1. 研究背景と目的

近年、流木が引き起こす災害は顕在化し、2017年九州北部豪雨（流木流出量：21万 m^3 ）、2024年の能登半島豪雨（1万 m^3 ）などで被害が報告されている（国土交通省, 2017；国土交通省, 2024）。森林面積率が高い山地上流域では多量の流木が流出し、河道閉塞や洪水氾濫を引き起こす事例が発生している（Comiti et al., 2012）。流木は降雨流出時の、流量増加に伴う水位上昇や川幅の拡大により発生する（Haga et al., 2002）。そのため河川地形に対して流木の長さが流動性を左右する因子である。Abbe et al (2003) は、アメリカ合衆国ワシントン州クイーツ川における調査から山地上流域において川幅 50m より小さい区間では川幅より短い流木は下流へ流出しやすいことを流木サイズと川幅を比較することによって報告している。

しかし、これらの研究の多くは、流木と河川地形の関係を流域の一部区間や小規模な流域で扱っており、流域スケールでの川幅と流木流出の関係を体系的に評価したものは少ない。流木は流域内において、山地斜面での生産、河道での滞留を経て最終的に流出するという連続的なプロセスをたどるため（Nakamura et al., 2000）、その動態を把握するには、区間的な視点ではなく流域全体を通じた一貫したプロセスの理解が不可欠である。また、流域内には上流・下流および支流ごとに川幅の空間的多様性が存在し、その違いが流木の滞留・移動に大きな影響を及ぼす（Nakamura & Swanson, 1994）ため流域スケールにおける川幅の評価は重要である。

したがって本研究では流域スケールでの高水時の川幅の空間的多様性を流量と航空機 LiDAR による河床形状の計測を行うことで評価することを目的とする。

2. 調査地概要と研究方法

本研究は、2017年九州北部豪雨で斜面崩壊が多発した、福岡県朝倉市筑後川水系佐田川上流の寺内ダム集水域（面積 51 km^2 、スギ林 57%、ヒノキ林 33%）を対象とした。崩壊面積率は 1.38% であり、寺内ダム流域から 26,660 m^3 の流木流出が確認されている。本流域は佐田川（流域面積：32 km^2 ）、黒川（13 km^2 ）、疋目川（6 km^2 ）で構成されている。九州北部豪雨時の寺内ダムの総降雨量は 1000mm（気象庁, 2017）であるが、12 時間降雨では南側で 400～500mm/12h、北側で 150～200mm/12h となり降雨量に違いがあった（気象庁, 2017）。黒川の崩壊面積率は 3.39% であり、佐田川 0.63%、疋目川 1.11% と異なる。その結果、支流毎の流木発生量は黒川 17100 m^3 、佐田川 7900 m^3 、疋目川 2300 m^3 となった（中島ら, 2024）。赤羽ら（2024）は、航空機 LiDAR の解析結果から発生流木の胸高直径と樹高の中央値は 23cm と 19m と報告している。樹高が 19m 以上の流木は発生流木の 58% を占めていた。

長期的な流木量と流出量の評価は、2011 年～2020 年までの年最大流量と年流木流出量のデータを取得した（水資源機構, 2020）。詳細な流路地形の解析は、2017 年に撮影された航空機 LiDAR データ（1 点/ m^2 ）を用いた。データは水平方向で、約 $\pm 0.3\text{m}$ 程度、鉛直方向で

$\pm 0.15\sim 0.3\text{m}$ の誤差である（国土地理院, 2020）。佐田川（15000m）についてはダム湖を終点とし、黒川（9000m）と疋目川（4500m）は佐田川との合流点を終点として流路 100m 間隔の流路断面を ArcGIS Pro 3.3.0 を用いて計 300 地点計測した。

流域内の各流路断面における流量は、ダム貯水地で記録された最大流量を、流域に対する各地点の流域面積の比として以下の式で計算した。

$$Q_i = Q_{out} \frac{A_i}{A_{out}} \quad [1]$$

次に計測された流路断面と流量から、マンニング則を用いて各流路断面における最大水位と川幅を計算した。データ取得期間である 2011 年から 2020 年の各年の最大流量を用いて 300 地点で最大水位と川幅の計算を行った。

3. 結果

3.1. 最大流量と流木流出量の関係（図-1）

2011 年～2020 年までの年最大流量の平均は 265 m^3/s 、流木流出量の平均は 1217 $\text{m}^3/\text{年}$ であった。2017 年には当該期間で最大の最大流量（889 m^3/s ）と流木流出量（8563 m^3/s ）を記録し、2015 年には当該期間で最小の最大流量（57 m^3/s ）と流木流出量（29 m^3/s ）を記録した。また、災害後（2018～2020）は最大流量と流木流出量が大いことがわかった。

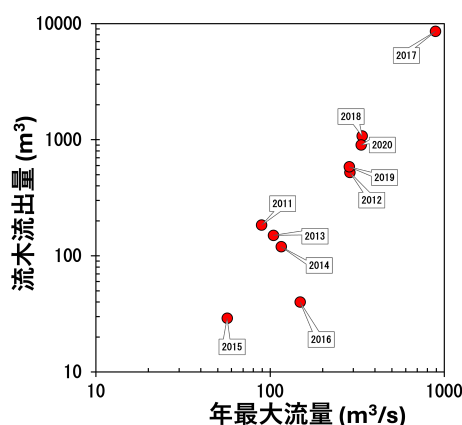


図-1 年最大流量と流木流出量

3.2. 最大水位と高水時川幅の関係

図-2 は航空機 LiDAR より取得した河道断面と最大流量から推定した水位・高水時の川幅の関係としてダムから佐田川の 14100m 離れた地点 a と 12800m 離れた地最大流量が最も少ない 2015 年と最大流量が最も多い 2017 年で地点 a では最大水位に 1.3m、川幅に 20m の差があり、地点 b では最大水位に 5.0m、川幅に 10m の差があった。

また、流域全体（300 地点）の最大水位と高水時川幅の関係を支流ごとに分類して表したものが図-3 である。年

最大流量が最小であった2015年は川幅が60m以内、水位が3m以内に3支流の多くが存在した。支流ごとに水位と川幅の平均と四分位範囲が類似し、水位に関しては佐田川(平均1.5m:四分位範囲0.7m)、黒川(平均0.7m:四分位範囲0.6m)、疣目川(平均0.9m:四分位範囲0.5m)であり、川幅に関しては、佐田川(平均19m:四分位範囲7m)、黒川(平均20m:四分位範囲8m)、疣目川(平均13m:四分位範囲7m)であった。年最大流量が最大であった2017年は、ばらつきが大きく支流ごとに水位と川

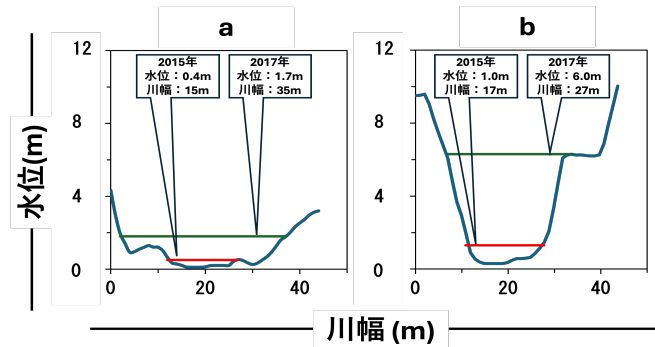


図-2 河道断面と最大水位・川幅

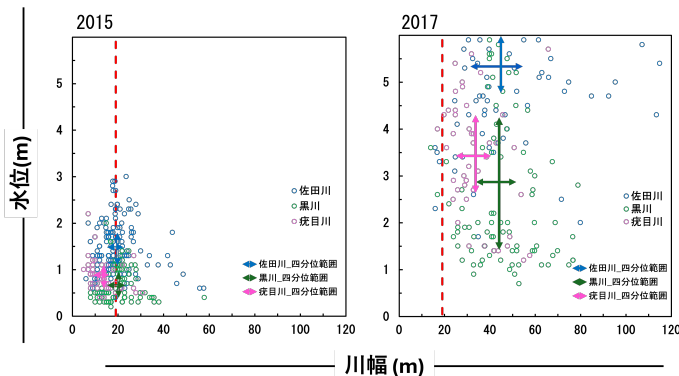


図-3 最大水位と川幅

幅の四分位範囲が大きく異なり、水位に関しては佐田川(平均5.3m:四分位範囲1.3m)、黒川(平均2.9m:四分位範囲2.9m)、疣目川(平均4.3m:四分位範囲1.7m)であり、川幅に関しては、佐田川(平均46m:四分位範囲23m)、黒川(平均44m:四分位範囲18m)、疣目川(平均34m:四分位範囲15m)であった。また、赤い点線は2017年に生産された流木の樹高の中央値を表しており、2017年はほとんどの測定点で樹高中央値より川幅が大きい地点であることが確認できた。

4. 考察

4.1. 最大流量と流木流出量の関係

図-1に示されるように、最大流量が高い年ほど流木流出量も多く、特に2017年の九州北部豪雨時には大量の流木が流出した。この結果は、流量が大きいイベント時に流木の輸送が加速的に進行することを示した先行研究(Seo et al., 2012; Comiti et al., 2012)と同様の結果を示した。また、流木は一定の水深や流量を超えると閾値的に動きだすことが知られている(Braudrick & Grant, 2000; Abbe & Montgomery, 2003)。年最大流量が大きい2017年は、この閾値を大幅に上回る状況が形成され、河道内外に存在していた流木が一気に流下した可能性

が考えられる。

4.2. 最大水位と高水時川幅の関係

たとえば地点aのような浅く開けた谷では、流量増加に対して横方向の水の広がりが顕著であり、川幅が大きく変化する一方、水位の上昇は比較的緩やかであった。一方、地点bのような谷地形では、水位が急激に上昇するものの、川幅の拡大は限定的であった。このような河道断面の違いが高水時の川幅の変動に違いをもたらし、結果として流木の移動や流出に大きな影響を与えると考えられる。また、2015年のような低流量時には、川幅および水位のばらつきが小さく、支流間で川幅と水位に明瞭な違いはなかった。したがって、低流量時には支流間で同程度の割合で流木が流出した可能性が高く、流木動態に与える河道地形の影響は相対的に小さいと考えられる。一方で、2017年のような高流量時には、支流間で川幅および水位の変動幅が大きく異なり、河道形状の違いが流木流出に強く影響していたことが確認された。さらに、高流量時には流域全体での川幅と水位のばらつきが増大することから、流量が増加した際の河道挙動は空間的に一様ではないことが示唆される。したがって、こうした高水時の川幅拡大を適切に評価するためには、単一断面の情報だけではなく、流域スケールで多数の河道断面を計測・解析する必要があることが示唆された。

5. まとめ

本研究では、2011~2020年の年最大流量と流木流出量の観測結果、ならびに航空機LiDARを用いた河道形状解析を組み合わせることで、高水時の川幅変化と流木流出の関係を流域スケールで評価した。高流量時の川幅拡大や水位上昇の程度は、各支流の谷地形や河道の特徴によって大きく異なり、流木流出の形態や量に明確な差を生むことが確認された。また、このような支流間の違いは、低流量時には顕在化しにくい、高流量時には顕著になり、流木流出リスクを左右する要因になると考えられた。

本要旨では高水時の流量変化に伴う川幅と水位の空間的多様性を把握することを試みた。発表では高水時の川幅変動に加え、流路地形と発生流木サイズの相互作用を踏まえた流域スケールでの流木流出ポテンシャル評価を報告する。

引用文献

- Abbe, T. B. & Montgomery, D. R. (2003). *Geomorphology*, 51(1-3), 81-107.
- Braudrick, C. A. & Grant, G. E. (2001). *Geomorphology*, 41(4), 263-283.
- Comiti, F., Mao, L. & Lenzi, M. A. (2012). *Geomorphology*, 169-170, 1-12.
- Haga, H., P. R. Hibbert, R. D. Wood-Smith & J. L. Drake (2002). *Canadian Journal of Forest Research*, 32(4), 687-701.
- Lane, S. N., Westaway, R. M. & Hicks, D. M. (2003). *Progress in Physical Geography*, 27(1), 50-79.
- Nakamura, F., & Swanson, F. J. (1994). *Canadian Journal of Forest Research*, 24(12), 2395-2403.
- Nakamura, F., Swanson, F. J., & Wondzell, S. M. (2000). *Hydrological Processes*, 14(16-17), 2849-2860.
- Seo, J. I., Nakamura, F., Chun, K. W. & Nakano, D. (2012). *Landscape and Ecological Engineering*, 8(1), 21-34.