

## 山地上流域における流木ダム形成箇所の特定と地形要因の評価：平成29年7月九州北部豪雨の事例

東京農工大学 ○宮崎仁・宇田川理奈・五味高志

## 1. はじめに

山地上流域での豪雨やそれに伴う斜面崩壊によって流木が発生する。発生した流木は、滞留を繰り返しながら下流へと輸送される(清水, 2009)。流木の滞留において、土砂と流木の集積物である流木ダムは重要な要素である(Andreoli et al., 2007)。アルゼンチンのTierra del FuegoにあるBuena Esperanza流域(12.9 km<sup>2</sup>)では、滞留している流木の40%が流木ダムとして存在していたことが報告されている(Mao et al., 2008)。また、清水(2009)は流木ダムの高さが4mであったことを報告している。

流木ダムの形成は、地形的な特徴とそれに関連する山地上流域内の流木の生産と輸送に依存している。流木ダムの位置は、流木の生産源となる斜面崩壊の位置に依存する(清水, 2009)。福岡県の赤谷川流域では、流木の生産源となる斜面崩壊の70%が斜度20°以上の斜面で発生したことが報告されている(矢野ら, 2018)。また、長崎県の山地上流域(59ha)の狭谷では、発生した流木が溪岸の立木に捕捉されて停止し、流木が滞留したことが報告されている(水山ら, 1985)。

LiDARリモートセンシングは、地形の変化や特徴を把握するのに有効である。Abalharthら(2015)は、米国のElwha川下流域で航空機LiDARを用いて流木の滞留箇所を抽出した。Chen and Yu(2011)は、LiDARデータを用いて土石流の発生に関する特性を評価し、Stream Power Index (SPI) と地形湿潤指数(TWI)が土石流の主因であることを特定した。したがって、LiDARリモートセンシングは、流域内に存在する多数の山地上流域における流木ダムの形成とその地形的要因の特定にも適用可能である。

本研究では、(1) LiDARリモートセンシングによる流木ダム形成箇所の特定、(2) 流木ダム形成のための地形要因の評価を目的とする。その後、山地上流域の地形的特徴に基づく流木ダムの形成確率を提案する。

## 2. 調査地概要と研究手法

本研究は、平成29年7月九州北部豪雨で多量の流木が発生した福岡県朝倉市の乙石川流域(596ha)および赤谷川上流域(625ha)を対象とした。流域内に存在する143個の山地上流域を選定した。1515箇所の斜面崩壊を確認し、崩壊面積率は6.8%であった。

本研究は、GIS解析、現地調査、統計解析から構成されている。流木ダムによる地形変化箇所を特定するため、災害後に撮影したPost-LiDAR(2017/7/13~8/2)と災害前に撮影したPre-LiDAR(2017/1/26~2/3)を用いて1mデジタル標高モデル(DEM)の差(DoD)を算出した。DoD $\geq$ 0を堆積箇所、DoD $<$ -1を侵食箇所として、流路沿いの地形変化を把握した。また、堆積箇所では、最大差分を算出した。その後、ArcGIS ver.10.6のポリゴン体積ツールを用いて、堆積量または侵食量を算出した。

各山地上流域の地形パラメータは、1mDEMを用いて算出した。地形パラメータには、斜面および河道における次のものが含まれる。起伏量、傾斜、Stream Power Index (SPI)、地形湿潤指数(TWI)、谷幅、谷幅の変動係数(谷幅CV)、屈曲度、流域の形状係数、河道長、河道勾配である。

流木ダムを現地で確認するために、6つの山地上流域を選んで流木ダムの寸法を測定した。各流木ダムでは、高さ、幅、長さを測定した。流木ダムを構成する流木の体積を推定するために、各流木の直径と長さを測定した。現地調査は、2021年9月25日から27日に実施した。

統計解析は、以下の3つのステップで構成されている。①相関分析、②線形回帰分析、③ロジスティック回帰分析の3段階である。相関分析では、地形パラメータ間の多重共線性を確認した。次に、崩壊面積率を流木生産量として、流路長さ当たりの侵食量を流木輸送量として関連付けるパラメータを、AIC(赤池情報量規準)を用いたステップワイズ選択法に基づいて検討した。山地上流域における流木ダムの形成確率をロジスティック回帰分析により検討した。線形回帰分析で選択されたパラメータを説明変数としてモデルに使用した(式1)。選択は、AICに基づくステップワイズ選択により行った。その後、式(2)を用いて流木ダムの発生確率を算出し、確率が0.5を超えた場合、流木ダムが形成されたと仮定した。すべての解析は、R.ver.4.1.0を用いて95%信頼区間に基づいて行った。

$$y_{WD\ dam} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_r x_r \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{1 + \exp(-y_{WD\ dam})} \quad (2)$$

$\beta_0$ : 切片、 $\beta_r$ : 偏回帰係数、 $x_r$ : 説明変数、 $P$ : 流木ダム形成確率である。

### 3. 結果

LiDAR データに基づく堆積箇所のうち、8箇所において、流木と土砂の堆積を確認した。流木ダムを構成する流木の本数は、6~330本（平均：107本、SD：99本）であった。また、流木ダムは、0.1~135m<sup>3</sup>（平均：31m<sup>3</sup>、SD：41m<sup>3</sup>）であった。流木の平均直径は15.2~24.5cm（平均：21.8cm、SD：3.0cm）、平均長さは1.2~7.0m（平均：3.9m、SD：2.1m）であった。流木ダムの堆積土砂量は53~2890m<sup>3</sup>（平均：856m<sup>3</sup>、SD：916m<sup>3</sup>）であった。

DoDの最大差分が大きいほど、流木ダムの背後にある堆積土砂量が増加した。また、DoDが大きいほど、流木の本数が多かった。西井ら（2019）によると、DoDは±1m以下の時に誤差があるため、本研究ではDoD≧1mの堆積地を流木ダムとして検出できると定義した。143の山地上流域のうち、65の山地上流域に流木ダムがあり、各山地上流域の流木ダムは最大5箇所、最小1箇所であった。

線形回帰分析によると、流木の生産量と関連する崩壊面積率は、流域の形状係数、起伏量、TWIと関連していた（R<sup>2</sup>=0.36）。流木の輸送量と関連する河道の侵食量は、河道勾配と谷幅CVに影響された（R<sup>2</sup>=0.48）。流木ダムの有無は、起伏量、河道勾配、谷幅CVによって表現された。94個の山地上流域（全山地上流域の66%）では、流木ダムの形成確率が50%以上であった（図1）。このモデルに基づく流木ダムの判別率的中率は71%であった。

### 4. 考察と結論

LiDARリモートセンシングによる流木ダムの抽出によって、豪雨後の流木ダムを特定することができた。既往研究では、流木の本数が多いほど、大きな流木ダムを形成できることが示されている（Mao et al., 2008）。また、1m以上の段差は、平均で15本の流木によって形成されていることが報告されている（Mao et al., 2008）。高さ1.5~2.7mの流木ダムは、17~63個の流木で形成されることが報告されている（Andreoli et al., 2007）。一方、本研究では、流木ダムを構成する流木の平均本数（155本）が既往研究よりも多いことが示された。これは、斜面崩壊による流木の発生量が多いことと、流木の直径が小さいことが原因であると思われる。

流木ダム形成確率のモデルでは、斜面崩壊の発生と流木の輸送が流木ダム形成の重要な要因となる。起伏量が大きくなると斜面勾配が増加し、せん断応力が大きくなることで斜面崩壊の発生が誘発され（三森, 2006）、結果として流木の生産量が増加することが考えられた。

流木の輸送では、河道勾配と谷幅CVが流木ダム形成の重要な要因である。勾配10°以上の流路では、一般的に土石流の発生を伴う高い物質輸送能力を持つ（国土交通省, 2016）。オレゴン州のMark川（6.0km<sup>2</sup>）では、高出水時、谷幅より短い流木は10m以上流下したが、長い流木はその場に留まったことが報告されており（Lienkaemper and Swanson, 1987）、谷幅も流木の輸送に影響を与える。さらに、宮崎県の山地上流域（86ha）では、水深の減少によって谷幅が減少することで、流木が流れなくなることが報告されている（Haga et al., 2002）。

広域スケールでの流木ダムの形成位置とその地形的要因を明らかにした。本研究で開発した手法は、山地上流域から下流への流木の流出度合いを把握するのに役立つと思われる。このような情報は、流木が流出しやすい山地上流域における下流域での流木災害対策に役立つと思われる。なお、本研究は令和3年度（公社）砂防学会若手研究助成を受けている。

### 5. 引用文献

- 国土交通省. 2016. 国土技術政策総合研究所資料 904.
- Abalharth M et al., 2015. *Geomorphology* 246(1): 531-541.
- Andreoli A et al., 2007. *Earth Surface Processes and Landforms* 32(11): 1675-1692.
- Chen CY, Yu FC. 2011. *Geomorphology* 129(3-4): 387-397.
- Haga H et al., 2002. *Water Resource Research* 38(8): 1-1-1-16.
- Lienkaemper GW, Swanson FJ. 1987. *Canadian Journal of Forest Research* 17(2): 150-156.
- Mao L et al., 2008. *River Research and Applications* 24(3): 249-266.
- 水山高久ら. 1985. 砂防学会誌 38(1): 1-6.
- 西井稜子ら. 2019. 日本地すべり学会誌 56(2): 87-94.
- 三森利昭. 2006. 森林科学 47 15-21.
- 清水収. 2009. 砂防学会誌 62(3): 3-13.
- 矢野真一郎ら. 2018. 土木学会論文集 B1(水工学) 74(5): I\_1063- I\_1068.

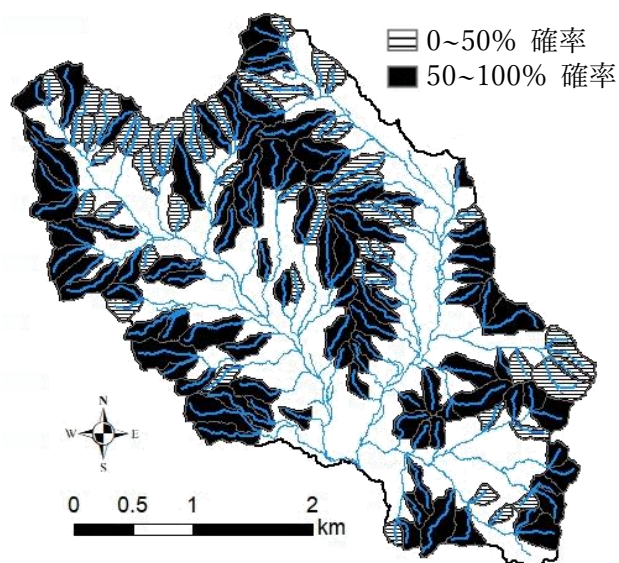


図1. 流木ダムが形成される可能性のある山地上流域の推定