

## 研究概要・成果の要旨

研究テーマ：世界初の流木流出統合モデルを用いた流木動態解析の再現性向上

研究代表者： 小森 大輔（東北大学グリーン未来創造機構）

## 【研究概要】

近年、東北地方に甚大な被害をもたらした 2016 年北海道・東北豪雨や 2019 年東日本台風豪雨の災害事例を対象に、現地調査より流木の発生、堆積・再移動、流出の動態を明らかにする。申請者が開発した流木流出統合モデル（Komori et al., 2021）を東北地方の山地河川流域に適用し、モデルの検証・高度化する。高精度化したモデルを用いて、降水量のみから流木流出リスクを評価できる手法を確立する。

## 【研究成果の要旨】

- ✓ （目的 1）流木流出統合モデルを高度化し、東北地方のダム貯水池流域に適用した結果、全てのダム貯水池流域にて Nash-Sutcliffe 係数が 0.7 以上を得られた。
- ✓ （目的 2）流木流出統合モデルをダム貯水池以外の山地河川流域である五福谷川流域に適用し、12% の誤差で 2019 年の流木流出特性を捉えることができた。
- ✓ （目的 3）流木流出統合モデルに基づき、降水量のみからリスク評価ができる実用的な手法を開発した。
- ✓ 目的 1、2、3 を全て予定通り達成できただけでなく、目的が達成できない場合の代替手法であった、斜面崩壊痕跡検出モデルや、流木を伴う二次元土石流モデルも開発できた。さらに、豪雨による過大な流木・土砂生産を緩衝させる森林帯の形成に関する知見を得ることができた。
- ✓ 8 報の査読付論文が採択され、当初の計画以上の成果が得られたと考える。

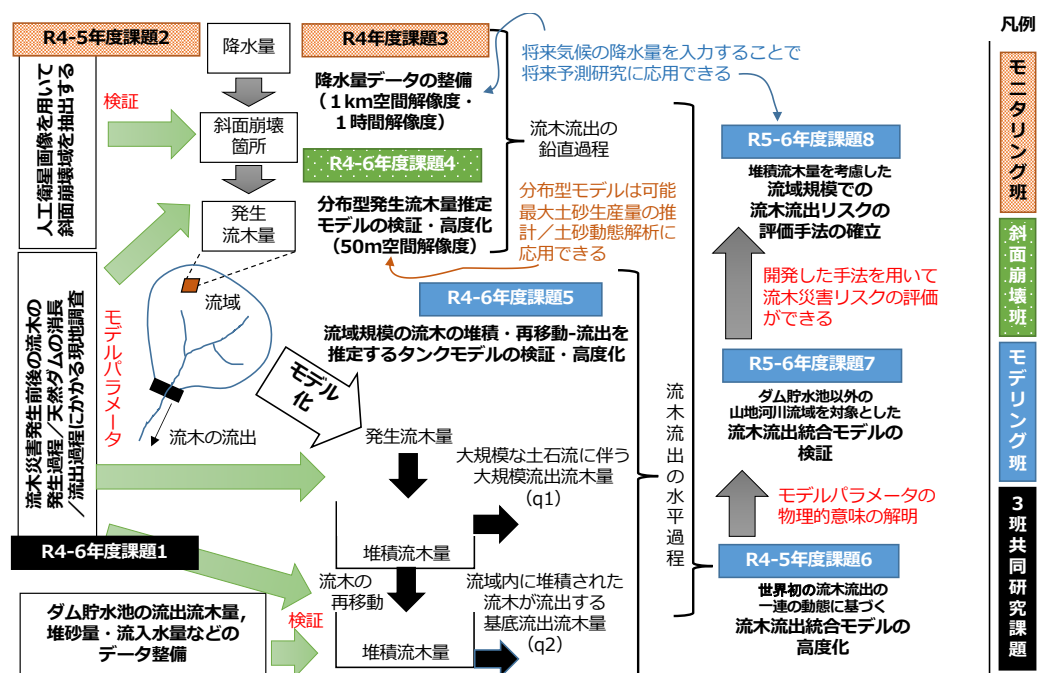


図. 本研究における各研究班の研究課題と研究全体の概要

## 河川砂防技術研究開発 【成果概要】

| 氏 名（ふりがな）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    | 所 属                                                 |               | 役 職                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------|---------------|------------------------|
| ①研究代表者                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    | 小森 大輔<br>(こもりだいすけ)                                  |               | 東北大学グリーン未来創造機構<br>特任教授 |
| ② 研究 テー マ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 名称 | F S 型<br>【テーマ名】世界初の流木流出統合モデルを用いた流木動態解析の再現性向上        |               |                        |
| ③研究経費(単位:万円)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    | 令和 4 年度                                             | 令和 5 年度       | 令和 6 年度                |
| ※端数切り捨て。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    | 2 8 6<br>万円                                         | 7 4 3.6<br>万円 | 7 4 3.6<br>万円          |
| ④研究者氏名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    | (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。) |               |                        |
| 氏 名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    | 所属機関・役職（※令和 年3月31日現在）                               |               |                        |
| 川越 清樹                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    | 福島大学 教授                                             |               |                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |                                                     |               |                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |                                                     |               |                        |
| <b>⑤技術研究開発の目的・目標</b> （様式地砂-1、地砂-2に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。）<br><b>【FS研究】</b><br><b>① 東北地方のダム貯水池流域を対象に流木流出統合モデルを適用・高度化する。モデルの再現性が良いとされるNash-Sutcliffe係数が0.7 以上を目指す。</b><br>土砂・流木災害発生前後の土砂・流木の発生／山林内や山地河川における堆積／流出動態／トラブルスポットの現地調査を実施する。また、申請者が開発した分布型斜面崩壊モデル（Thapthai and Komori et al., 2018a）と、流木流出タンクモデルを結合させた世界初の流木流出統合モデル（小森ら, 2019; Komori et al., 2021）を東北地方のダム貯水池流域に適用し、東北地方全域へのモデル適用に耐えうるか予備検証を行う。<br><b>【一般研究】</b><br><b>② 流木流出統合モデルのモデルパラメータの物理的意味を明らかにし、ダム貯水池以外の山地河川流域へ適用する。</b> モデル検証のために災害記録や現地調査から既往の大規模流出流量を推計し、 <u>±20%以内のモデル精度</u> を目指す。<br><b>③ 流木流出統合モデルに基づく堆積流量を考慮した流木流出リスクの評価を確立する。</b> 高精度化したモデルを用いることで、 <u>降水量のみからリスク評価ができる実用的な手法</u> を目指す。<br>FS研究で得られた結果を踏まえて流木流出統合モデルの高度化し、共同研究者が開発した斜面崩壊モデル（Kawagoe et al, 2010）とのマルチアンサンブルを検討する。発災分布、トラブルスポットの空間的な関係性の同定を進める。データが未整備の山地河川流域において、土砂・流木災害発生前後の人工衛星画像Landsat（30 m空間解像度）などを用いて斜面崩壊域を抽出し、検証データを整備する。流木流出統合モデルのモデルパラメータの物理的意味を明らかにし、ダム貯水池以外の山地河川流域を対象に流木流出統合モデルを検証する。そして、高精度化した流木流出統合モデルを用いて、降水量のみから堆積流量を考慮した流域規模での流木流出リスクが評価できる実用的な手法を確立する。 |    |                                                     |               |                        |

## ⑥研究成果

(具体的にかつ明確に記入下さい。4ページ程度。)

モデルの検証データを整備するモニタリング班、発生流木量の物理モデルを検証・高度化する斜面崩壊班、流木の堆積・再移動-流出量の物理モデルの検証・高度化と流木流出統合モデルを構築するモデリング班の3班で分業し研究を実施した。各研究班で取り組む8の研究課題と研究全体の概要を図1に示す。

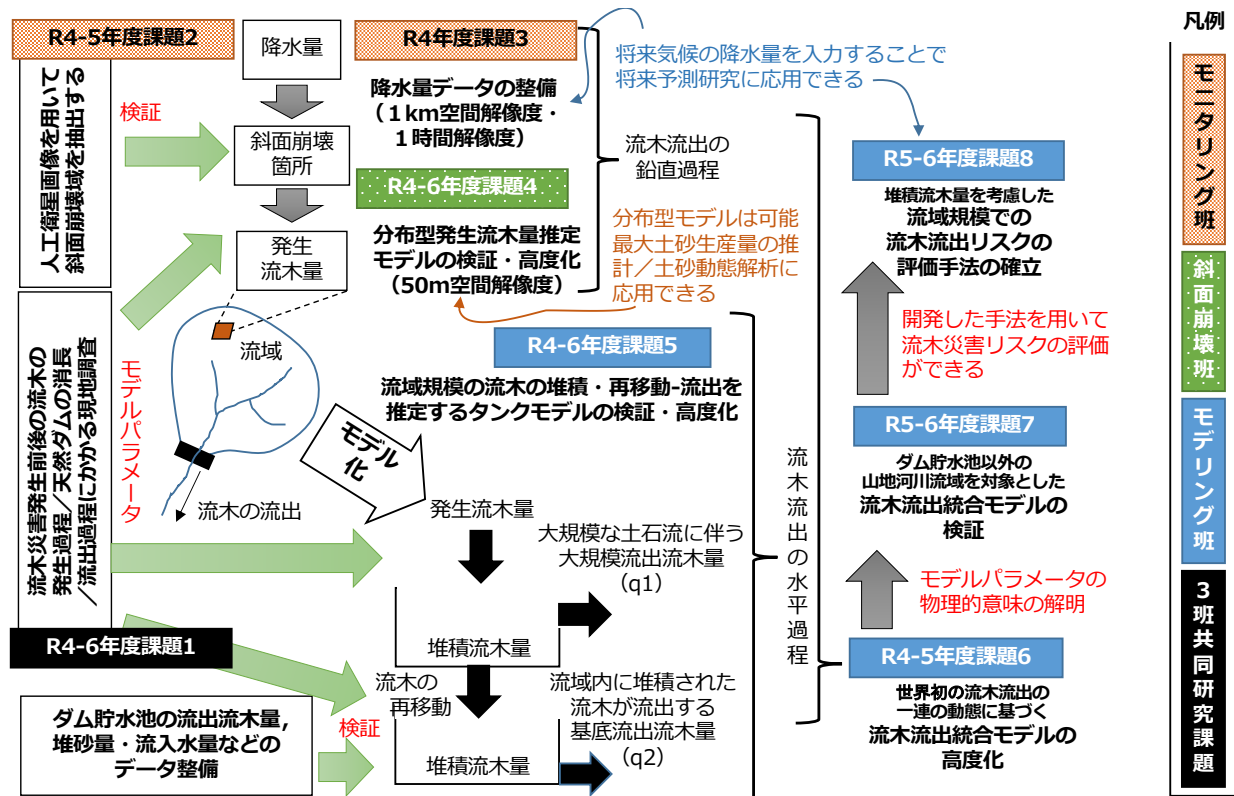


図1. 本研究における各研究班の研究課題と研究全体の概要

FS研究 (1年目) においては、**目的1: 東北地方のダム貯水池流域を対象に流木流出統合モデルを適用・高度化**にて、モデルの再現性が良いとされるNash-Sutcliffe係数が0.7以上を目指した。東北地方のダム貯水池流域 (御所ダム、湯田ダム、石淵ダム、田瀬ダム、花山ダム、寒河江ダム) を対象に、**課題4**で高度化した分布型発生流木推定モデルを用いて推計した発生流木量を用いて流木流出タンクモデルの検証を実施した結果、得られたNash-Sutcliffe係数はそれぞれ0.68、0.71、0.82、0.14、0.26、0.73であった。

一般研究 (2、3年目) においては、**目的1**を達成するために、**課題4**にて深層崩壊の崩壊特性に合わせた半球斜面安定解析モデルを新たに開発し、無限長斜面安定解析モデルと統合して高度化した (**⑦研究成果1**)。また、**課題5**にて3種類の流木流出特性がある可能性を考え、流木流出タンクモデルに3段タンクモデルを新たに構築し、2段タンクモデルと統合して高度化した (**⑦研究成果2**)。上述した東北地方のダム貯水池流域を対象に、高度化したモデルの検証を実施した結果、得られたNash-Sutcliffe係数はそれぞれ0.83、0.77、0.79、0.85、0.85、0.76であり、**目的1**を達成した。

次に、**目的2: 流木流出統合モデルのモデルパラメータの物理的意味を明らかにし、ダム貯水池以外の山地河川流域へ適用**にて、±20%以内のモデル精度を目指した。**課題6**にて高度化した流木流出統合モデルを日本全国212ダム貯水池流域に適用し、134流域 (63%) で再現性が認められた (Nash-Sutcliffe係数が0.4以上)。また、3段タンクモデルにて再現性が得られたダム貯水池流域は116流域 (55%) であり、3種類の流木流出特性がある可能性が示唆された。総じて、日本における流木流出特性は、斜面崩壊による流木発生を伴う大規模流木流出と、通常時の流域内に堆積した流木が再移動する基底流木流出の2もしくは3種類の流木流

出特性が存在する一般性が実証された（⑦研究成果2）。

上記で得られた流木流出特性に基づき対象流域をグループ分けし、流域変数との主成分解析によりモデルパラメータの特性と物理的意味を明らかにした。モデルパラメータを現地調査から得られた指標や流域変数から推計できる手法を構築し、ダム貯水池以外の山地河川流域である五福谷川流域に流木流出統合モデルを適用した。実験的に設定したパラメータZの物理的理解をさらに調べる必要はあるが、12%の誤差で2019年の流木流出特性を捉えることができ、**目的2を達成**した。

そして、**目的3：流木流出統合モデルに基づく堆積流木量を考慮した流木流出リスクの評価を確立**にて、降水量のみからリスク評価ができる実用的な手法を開発し（⑦研究成果11、21、22）、**目的3を達成**した。以下に、班毎に得られた研究成果を詳述する。

## モニタリング班

流木の発生、堆積・再移動、流出の各メカニズムを明らかにするために、2016年北海道・東北豪雨（岩手県岩泉町小本川流域）、2019年台風19号豪雨（阿武隈川水系内川流域）、2022年8月豪雨（山形県飯豊町萩生川流域・小白川流域）、2024年7月秋田・山形豪雨（山形県日向川流域）を対象に、特に申請者らが実施した発災直後の現地調査からの変化に着目して現地調査を実施した。

2019年台風19号豪雨（阿武隈川水系内川流域）においては、申請者らの既往研究（岩手県小本川流域および愛媛県肱川流域；合田・小森ら、2020）と比較し、阿武隈川水系内川流域は愛媛県肱川流域に比べ流路上に形成される流木天然ダムが多かったことが明らかとなった。また、流木の堆積に寄与する立木、倒木の樹齢や胸高直径は愛媛県肱川流域と同様であり、流木流出を堰き止める森林特性は南日本と北日本において同様であることが推察された。すなわち、南日本と北日本における流木流出の流体力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推察された（⑦研究成果23）。流木、土砂生産を緩衝した斜面崩壊領域を特定するとともに、UAV等を用いて緻密な地域情報を収集し、林相、地形の特徴を抽出した。年層の混合した樹林帯と末端に緩傾斜を含む斜面で緩衝効果が発揮された結果を得た（⑦研究成果4、10、17）。

2016年北海道・東北豪雨（岩手県岩泉町小本川流域）においては、小本川流域内での流木塊は発災直後の現地調査の状況（位置、体積）とほとんど変化しておらず、2016年以降に流木の発生、堆積・再移動、流出が生じていないことが推察された。申請者らの福岡県筑後川流域での同様の調査では流木塊は発災直後の現地調査の状況（位置、体積）から変化していることが確認されており、特に流木塊の腐食が進んでいた。

2022年8月豪雨（山形県飯豊町萩生川流域・小白川流域）においては、多量の流木生産を促す斜面崩壊と樹林帯の関係を求め、ススキ、コナラ等の低木低草の被覆斜面が起点となり流木生産される傾向を明らかにした（⑦研究成果3、9、16）。さらに、流木の発生した領域、しなかった領域を分類するとともに、発生しない領域の特徴をUAVや計測をもとに分析した。結果として樹列を千鳥配置、比較的に樹間の空いた領域で土砂、流木の堆積（緩衝効果）が現れていることが明らかにされた（図2；⑦研究成果8、24、25、27、28）。また、阿武隈川水系内川流域の樹木成長量（樹高、樹幹）は標準よりも大きいことが影響することも明らかにされた。

次に、発生流木量推計のマルチアンサンブルも兼ねた、斜面崩壊痕跡を検出することを目的として、スペクトル指標の差分と振幅比の変化を用いて、回帰木（CART）を用いた斜面崩壊痕跡検出モデルを開発した。本研究では、Sentinel-1画像を用いて振幅比変化の最小閾値

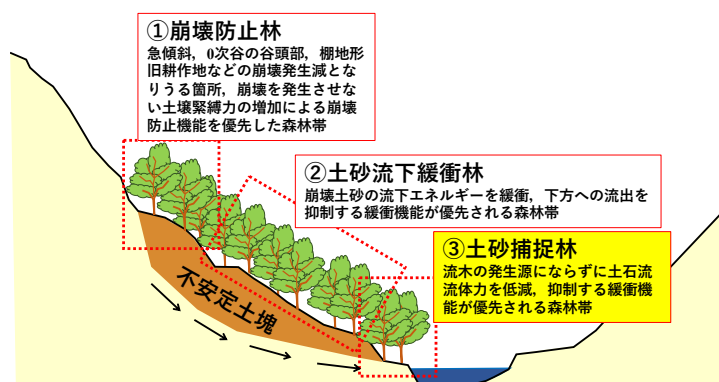


図2 樹林による土砂緩衝効果の概念図  
（⑦研究成果8）

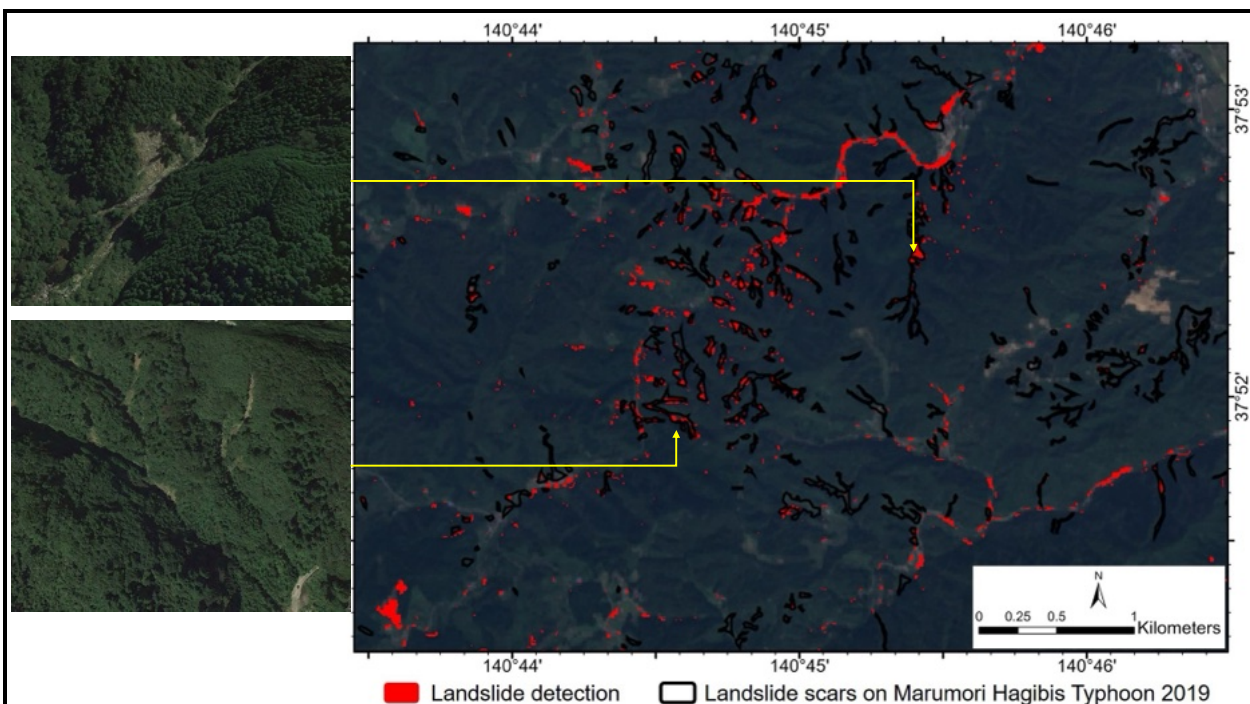


図3 2019年東日本台風（宮城県丸森町五福谷川流域）における  
斜面崩壊痕跡検出モデル適用結果

による変化検出アプローチを検討し、Sentinel-2画像を用いて正規化差分植生指数、差分裸地指数、差分輝度指数の相対差を求めた（⑦研究成果5）。また、差分スペクトル指標を用いることで、斜面崩壊発生後の崩壊物の表面変化やテクスチャを把握し、斜面崩壊の種類（深層崩壊、表層崩壊）の分類が可能である。本モデルを2019年東日本台風（宮城県丸森町五福谷川流域）に適用した結果を図3に示す。

#### 斜面崩壊班

表層崩壊と深層崩壊は、斜面崩壊における2つの主要なタイプである。表層崩壊は、湿润前線の深さに影響され、通常、深さ2～3メートル未満で発生する平面的な破壊である。対照的に、深層崩壊は楕円体や半球の形状を示し、深さ3メートルを超える平面に沿って回転破壊を起こし、湿润前線の深さと地下水涵養の両方の影響を受ける。無限長斜面安定解析モデルは、表層崩壊解析では一般的に用いられており申請者らもこれまで用いてきた（Thapthai and Komori et al., 2017）が、深層崩壊解析では深層崩壊に特徴的な楕円形や球形の崩壊面形状に適さないため、過大評価となる傾向がある。そこで、半球斜面安定解析モデルを新たに開発し、無限長斜面安定解析モデルと統合した。そして、水文モデルと連動させ、湿润前線の深さと地下水涵養過程を考慮しながら、降雨によって誘発される表層崩壊域および深層崩壊域を推計するモデルへと高度化した（図9、10；⑦研究成果1、20）。2017年西日本豪雨（愛媛県肱川流域）を対象に高度化した斜面崩壊モデルの精度検証を行った結果、この統合により適用範囲が拡大され、モデル精度が約6.77%向上した。本モデルを2019年東日本台風（宮城県丸森町五福谷川流域）に適用した結果を図4に示す。

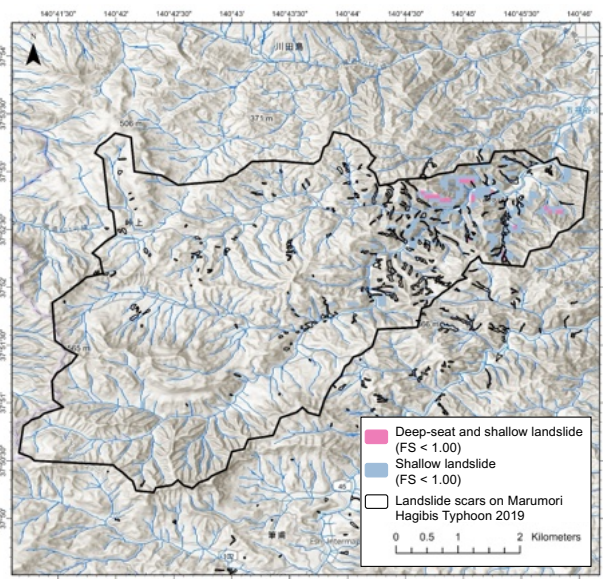


図4 2019年東日本台風（宮城県丸森町五福谷川流域）における斜面崩壊モデル適用結果

また、流木流出統合モデルの山地河川流域へ適用ができなかった場合の代替手法として、開発した表層崩壊／深層崩壊モデルに基づいた、流木を伴う二次元土石流モデルを開発した（⑦研究成果15、29）。土石流とともに流下した流木が堆積する位置も推計できるモデルであり、2021年熊本豪雨、2022年山形南部豪雨にて大規模な流木流出を伴う甚大な土砂災害が発生した地域を対象に検証し、良好な精度が得られた。本研究成果に対して、国際学会GEOMATEよりBEST Paper Awards 2024を受賞した（⑨研究成果1）。

## モデリング班

ダム貯水池以外の山地河川に流木流出統合モデルを適用するには、より多くの事例に流木流出統合モデルを適用して流木流出特性の一般性を検証するとともに、モデルパラメータの物理的意味を理解する必要がある。そこで、日本全国の212ダム貯水池流域（図5；うち東北地方は32流域）に流木流出統合モデル（図1；Komori et al., 2021）を適用した。さらに、3種類の流木流出特性がある可能性を考え、流木流出タンクモデルに3段タンクモデルを新たに構築し、2段タンクモデルと統合した。この高度化した流木流出タンクモデルは、斜面崩壊モデルと組み合わせられ、降雨によって誘発される斜面崩壊に基づく発生流木量推計値を入力値として流出流木量を推計する（⑦研究成果2）。

表1に、再現性が得られた（Nash-Sutcliffe係数が0.4以上）対象ダム貯水池流域の数を示す。再現性が得られた対象ダム貯水池流域は134流域（63%）で、上述した流木流出特性の一般性は実証された。また、2段タンクモデルにて再現性が得られた対象ダム貯水池流域は30流域（14%）、3段タンクモデルにて再現性が得られた対象ダム貯水池流域は116流域（55%）であり、3種類の流木流出特性がある可能性が示唆された。なお、東北地方の対象ダム貯水池流域では24流域（75%）で、全国の中で最も割合が高い地域であった。

図6に、釜房ダムにおける流木流出統合モデルの適用結果を示す。釜房ダムでは1999年に最大の流出流木量実測値（ $q_{obs}$ ）が記録されているが、発生流木量推計値（ $P$ ）は1998年、2007年、2015年、2018年に1999年よ

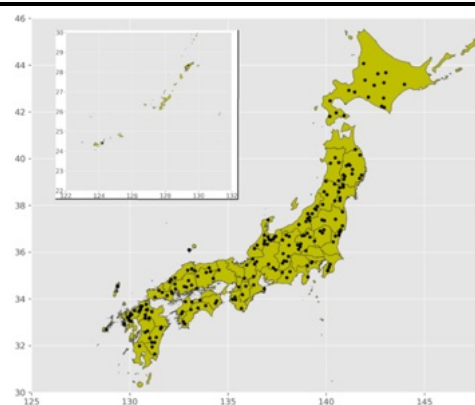


図5 対象流域（⑦研究成果2）

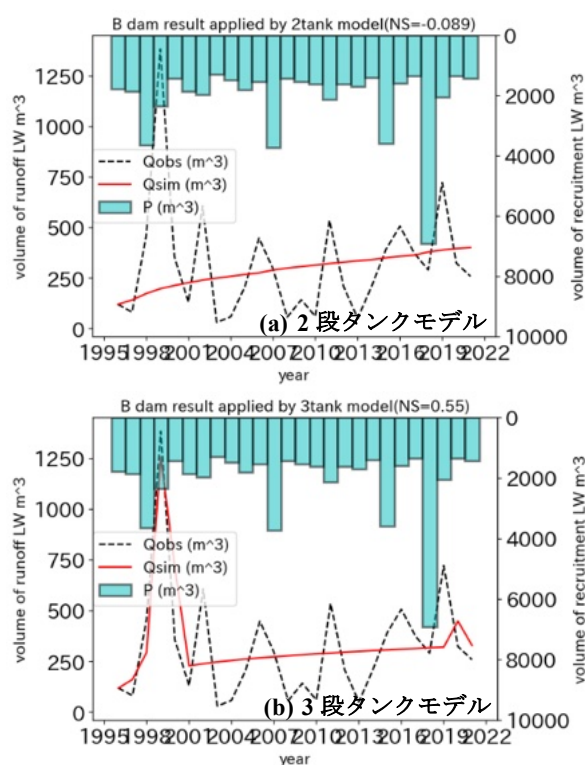


図6 釜房ダムにおける流木流出統合モデル適用結果（⑦研究成果2）

表2  $q_{obs}$ と1-6年間の累積 $P$ 値に基づく相関分析結果（⑦研究成果2）

| 地方  | 2段タンクモデル<br>再現性が得られた流域の数 | 3段タンクモデル<br>再現性が得られた流域の数 | 2段/3段タンクモデル<br>両方にて再現性が得られた流域の数 |
|-----|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 北海道 | 3 (19%)                  | 8 (50%)                  | 2 (13%)                         |
| 東北  | 8 (25%)                  | 18 (56%)                 | 2 (6%)                          |
| 関東  | 4 (17%)                  | 9 (39%)                  | 1 (4%)                          |
| 北陸  | 4 (13%)                  | 22 (69%)                 | 2 (6%)                          |
| 中部  | 0 (0%)                   | 7 (54%)                  | 0 (0%)                          |
| 近畿  | 0 (0%)                   | 8 (53%)                  | 0 (0%)                          |
| 中国  | 4 (15%)                  | 13 (50%)                 | 2 (8%)                          |
| 四国  | 0 (0%)                   | 7 (58%)                  | 0 (0%)                          |
| 九州  | 7 (16%)                  | 24 (56%)                 | 3 (7%)                          |
| 合計  | 30 (14%)                 | 116 (55%)                | 12 (6%)                         |

りも大きく記録されている。流出流木量推計値 ( $q_{sim}$ ) の増加は、3段タンクモデル (図6b) では1999年に再現できたが、2段タンクモデル (図6a) では再現できなかった。このことは、釜房ダムにおける流木流出特性は、大規模流木流出、基底流出流木量に加え、もう1つの流木流出特性が存在することを示唆している。

表2に、 $q_{obs}$ と1-6年間の累積 $P$ 値に基づく相関分析により、相関係数が閾値0.3を超えたダム貯水池流域の数と割合を示す。全対象流域では、212流域中101流域で

| $P$ 累積<br>年数 | 相関係数が閾値 0.3 を超えた流域の数と割合 |                                 |                                    |
|--------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
|              | 全流域<br>(212)            | 2段タンクモデル<br>再現性が得られ<br>た流域 (30) | 3段タンクモデル<br>再現性が得られた<br>流域の数 (116) |
| 1年           | 30 (14%)                | 5 (17%)                         | 16 (14%)                           |
| 2年           | 17 (8%)                 | 5 (17%)                         | 8 (7%)                             |
| 3年           | 19 (9%)                 | 2 (7%)                          | 13 (11%)                           |
| 4年           | 10 (4%)                 | 2 (7%)                          | 4 (3%)                             |
| 5年           | 9 (4%)                  | 2 (7%)                          | 3 (3%)                             |
| 6年           | 16 (8%)                 | 1 (3%)                          | 6 (5%)                             |
| 合計           | 101 (14%)               | 17 (57%)                        | 50 (43%)                           |

相関係数が0.3以上であった。3段タンクモデルで再現性が得られた流域と2段タンクモデルで再現性が得られた流域を比較すると、3パターン以上の値が得られる流域の数が大きく異なっている。最終的に、2段タンクモデルで再現性が得られた流域では、累積1-2年の合計 (10流域) で59%、3段タンクモデルで再現性が得られた流域では、累積1-3年の合計 (37流域) で74%となった。このことから、2段タンクモデルは1~2種類の流出特性を持つケースに、3段タンクモデルは1~3種類の流出特性を持つケースに適用されやすいことが明らかとなった。

これらの結果を踏まえて、2段タンクモデルで再現性が得られたダム貯水池流域を対象に流域変数 (例えば降水量、河川流量、森林面積、平均勾配、森林密度、土質、等) との主成分解析によりモデルパラメータの特性と物理的意味を明らかにした。モデルパラメータを現地調査から得られた指標や流域変数から推計できる手法を構築し、ダム貯水池以外の山地河川流域である五福谷川流域に流木流出統合モデルを適用し、2019年の流木流出特性を捉えることができた (図7)。

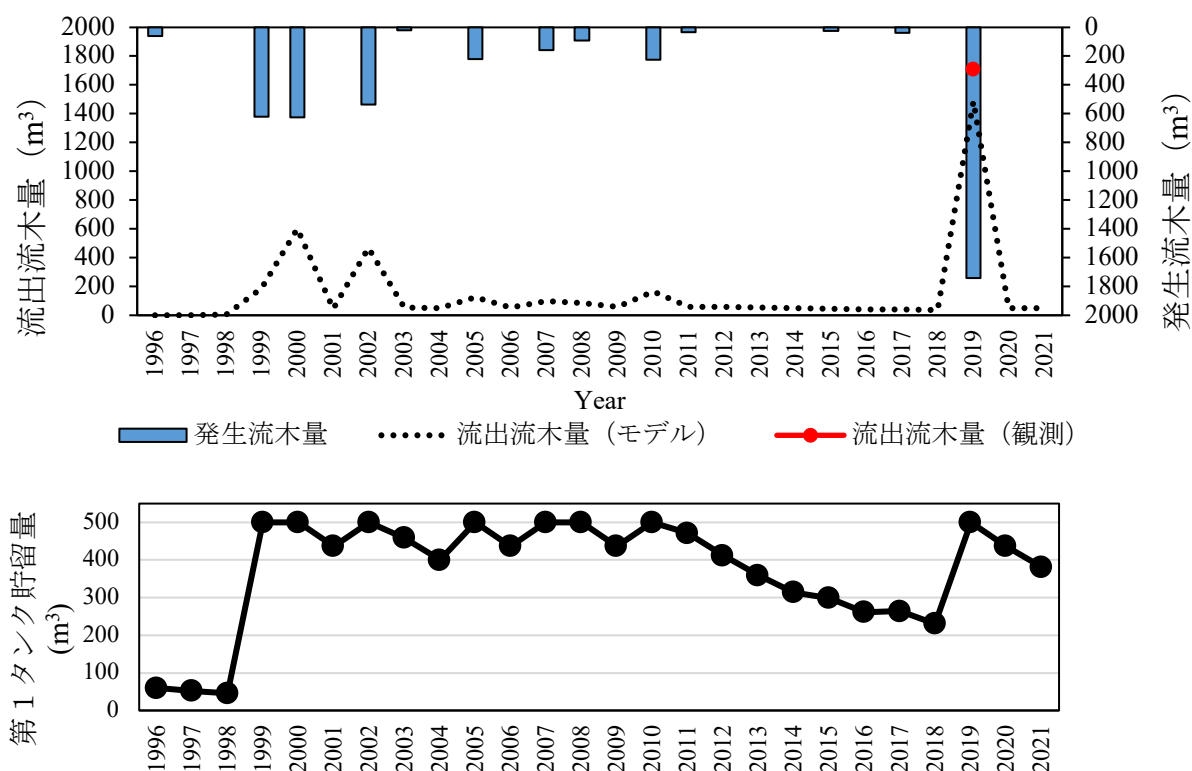


図7 五福谷川流域における流木流出統合モデルの適用結果.

2段タンクモデルで再現性が得られたダム貯水池流域を対象に、以下の二つの観点から大規模流木流出が発生するハザード評価を検討した。第一に、任意の量の流木が発生した場合における流出流木量のとり得る値の範囲を考えるため、1段目のタンクの貯留率 $r$ を定義し、 $r$ の値を変化させながら任意の発生流木量を入力値として次年度における流出流木量を計算した。なお、任意の発生流木量の与え方は、確率降水量を算定し、150年確率降水量までを範囲とした。第二に、1段目のタンクの貯留率 $r$ は、モデル検証期間（1995-2017年）で得られた平均貯留率を用いた（⑦研究成果11、21、22）。図8に、寒河江ダムおよび御所ダムにおける流木流出ハザード評価結果を示す。再現期間100年の年最大24時間降水量が生じた場合、寒河江ダムは約20000 $m^3$ 、御所ダムは約40000  $m^3$ の流出流木量が生じる可能性が示された。

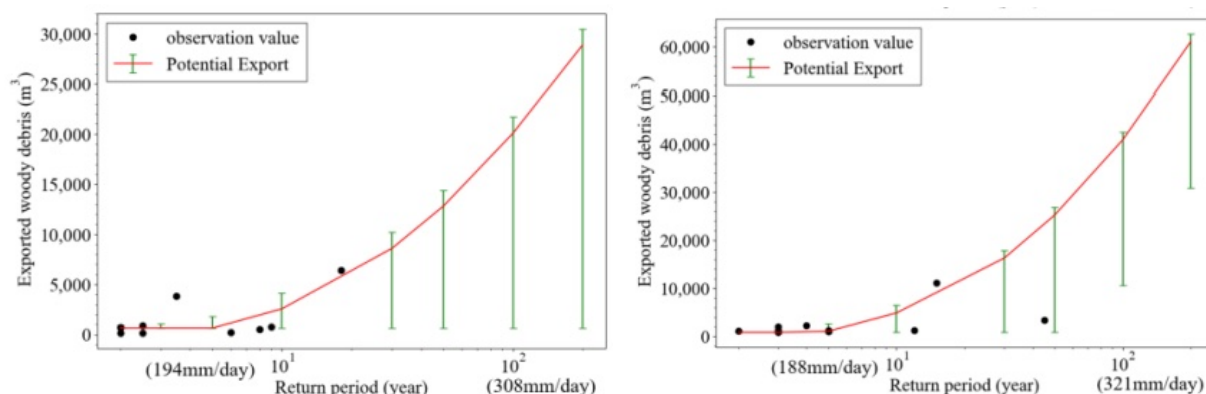


図 8. 寒河江ダムおよび御所ダムにおける流木流出ハザード評価（⑦研究成果 10, 20, 21）

総じて、世界初の流木流出の一連のプロセスに基づく流木流出統合モデルを高度化し、日本における流木流出特性には、斜面崩壊による流木発生を伴う大規模流木流出と、通常時の流域内に堆積した流木が再移動する基底流木流出の2もしくは3種類の流木流出特性が存在する一般性が実証された。高度化した流木流出統合モデルを東北地方のダム貯水池流域に適用した結果、全てのダム貯水池流域にてNash-Sutcliffe係数が0.7 以上（目的 1）を得られた。モデルパラメータを現地調査から得られた指標や流域変数から推計できる手法を構築し、ダム貯水池以外の山地河川流域である五福谷川流域に流木流出統合モデルを適用した結果、12%の誤差で2019年の流木流出特性を捉えることができた（目的 2）。そして、流木流出統合モデルに基づき、降水量のみからリスク評価ができる実用的な手法を開発（目的 3）し、目的 1、2、3 を達成した。本手法は、降水量のみから大規模流木流出ハザードが推定できることより、実社会への実装に向けて極めて有効であると考ええる。

さらに、発生流木量推計のマルチアンサンプルも兼ねた斜面崩壊痕跡検出モデルや、流木流出統合モデルの山地河川流域へ適用ができなかった場合の代替手法として流木を伴う二次元土石流モデルを開発した。また、豪雨による過大な流木・土砂生産を緩衝させる森林帯の形成に関する知見を得ることができた。8報の査読付論文が採択され、当初の計画以上の成果が得られたと考える。

## ⑦研究成果の発表状況・予定

(本技術研究開発の成果について、論文や学会への投稿等又はその予定があれば記入して下さい。)(以下記入例)

### 【査読あり論文】

- 1) Sartsin P., Daisuke K., Thapthai C., Yuta A. : Physically based model for assessing rainfall-induced deep-seated landslides using a hydrological-geotechnical model. *Annals of GIS* (IF = 2.7)., **44:11**, 3572-3606, 2023.
- 2) Y. Abe, Sartsin P., D. Komori. : The Relationship between Large Wood Export and the Long-Term Large Wood Budget on an Annual Scale in Japan, Using Storage Function with the Lumped Hydrological Method. *Water* (IF=3.530). **16(7)**, 920, 2024.
- 3) 池本海周・渡部泰介・川越清樹：2022 年 8 月の豪雨事例を用いた斜面崩壊の環境条件の比較分析, 土木学会論文集 G (環境), **80(27)**, 24-27015, 2024.
- 4) 渡部泰介・池本海周・川越清樹：数値地理と空撮の情報をを用いた樹木による土砂生産緩衝の効果の評価, 土木学会論文集 G (環境), **80(27)**, 24-27014, 2024.
- 5) Sartsin P., Daisuke K., Thapthai C. : Combination of optical images and SAR images for detecting landslide scars, using a classification and regression tree. *International Journal of Remote Sensing* (IF = 3.4)., **44:11**, 3572-3606, 2023.
- 6) 川越清樹・佐藤綺香・幡谷有翼・藪崎志穂：花崗岩類地帯のマスムーブメントの事例と化学組成の特徴の比較検証. 土木学会論文集 B1 (水工学), **78(2)**, I\_913-I\_918, 2022.
- 7) Sartsin P., M. Nakamura, Y. Abe, D. Komori. : The Sensitivity of Spatial Variation Soil Thickness and Rainfall on Shallow Landslide Triggering Patterns. 土木学会論文集 G (環境). **78(5)**, I\_117-I\_124, 2022.
- 8) 川越清樹・阿部翼・二瓶茜・佐藤大輝：令和元年東日本台風の事例を用いた土砂流出緩衝事例の検証. 土木学会論文集 G (環境). **78(5)**, I\_361-I\_370, 2022.

### 【査読なし論文】

- 9) 池本海周・渡部泰介・川越清樹：令和4年8月豪雨により被害の生じたトラブルスポット上流域の環境条件の検討, 地球環境シンポジウム講演集. **31**, 143-146, 2024.
- 10) 渡部泰介・池本海周・川越清樹：地形と林相に着目した土砂生産の緩衝効果に関する検証, 地球環境シンポジウム講演集. **31**, 147-152, 2024.

### 【国際会議、学会発表】

- 11) Y. Liu, D. Komori : Development of hazard assessment methods capable of simulating the discharge of large woody debris at dam catchments. 令和5年度土木学会東北支部技術研究発表会, 東北大学, 2025/3/1.
- 12) 中尾勝洋、壁谷大介 (2025) 地域におけるスギ樹高成長予測に基づくゾーニング. 日本森林学会大会学術講演集、136
- 13) NAKAO Katsuhiko, TSUNETAKA Haruka, MURAKAMI Wataru (2024) Adaptation strategies timeline for conservation and sustainable use of forest resources under uncertainty climate change. IUFRO World Congress 2024, T5.35
- 14) 中尾勝洋 (2024) 航空レーザデータを活用した高精度森林資源情報について. 応用森林学会大会公開シンポジウム要旨集, 75:4
- 15) Sartsin P., Daisuke K., Thapthai C. : Impact of shallow and deep-seated landslides induced by rainfall on spatial distribution of debris flow mass. *GEOMATE*, 2024.
- 16) 池本海周・渡部泰介・川越清樹：2022年8月の豪雨事例を用いた斜面崩壊の環境条件の比較分析, 第32回地球環境シンポジウム, 熊本大学, 2024.
- 17) 渡部泰介・池本海周・川越清樹：数値地理と空撮の情報をを用いた樹木による土砂生産緩衝の効果の評価, 第32回地球環境シンポジウム, 熊本大学, 2024.
- 18) 池本海周・渡部泰介・川越清樹：令和4年8月豪雨により被害の生じたトラブルスポット上流域の環境条件の検討. 第31回地球環境シンポジウム, 滋賀県立大学, 2023/9/19-21.
- 19) 渡部泰介・池本海周・川越清樹：地形と林相に着目した土砂生産の緩衝効果に関する検証. 第31回地球環境シンポジウム, 滋賀県立大学, 2023/9/19-21.
- 20) Sartsin P., Daisuke K., Yuta A. : Assessment of landslides induced by heavy rainfall in Ehime Prefecture on July 2018 in Japan. 水文・水資源学会/日本水文科学会2023年度研究発表会, 長崎, 2023/9/3-6.

- 21) 阿部 祐太・中村 雅志・小森 大輔：東北地方のダム流域を対象とした降水量に基づく斜面崩壊および大規模流木流出のハザード評価. 水文・水資源学会／日本水文科学会2023年度研究発表会，長崎，2023/9/3-6.
- 22) 中村雅志・阿部祐太・井下雄揮・Sartsin Phakudimek・小森大輔：流木流出モデルを用いた流木災害に対するリスク評価. 令和4年度土木学会東北支部技術研究発表会，オンライン開催，2023/3/5.
- 23) 阿部祐太・中村雅志・井下雄揮・Sartsin Phakudimek・小森大輔：斜面安定解析による斜面崩壊予測における雨量の感度分析. 令和4年度土木学会東北支部技術研究発表会，オンライン開催，2023/3/5.
- 24) 加藤涼成・阿部翼・川越清樹：令和4年8月豪雨の流木・土砂の流出傾向の解析. 令和4年度土木学会東北支部技術研究発表会，オンライン開催，2023/3/5.
- 25) 阿部翼・佐藤大輝・川越清樹：令和元年東日本台風における斜面樹林化による土砂流出緩衝効果の検討. 令和4年度土木学会東北支部技術研究発表会，オンライン開催，2023/3/5.
- 26) 阿部翼：Eco-DRR機能の効果を同定するための土砂流出緩衝効果の検証，第41回日本自然災害学会学術講演会. 立命館大学，2022/9/18-19
- 27) Sartsin P., M. Nakamura, Y. Abe, D. Komori. : The Sensitivity of Spatial Variation Soil Thickness and Rainfall on Shallow Landslide Triggering Patterns. 第30回地球環境シンポジウム，北海道大学，2022/8/31-9/2.
- 28) 阿部翼：令和元年東日本台風の事例を用いた土砂流出緩衝事例の検証，第30回地球環境シンポジウム. 北海道大学，2022/8/31-9/2.

【学術誌へ投稿中の論文】

- 29) Sartsin P., Daisuke K., Thapthai C. : Impact of shallow and deep-seated landslides induced by rainfall on spatial distribution of debris flow mass. GEOMATE. (Submitted)

## ⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

- 1) 小森大輔：令和6年7月秋田・山形豪雨における流木災害（山形県）について. 土木学会東北支部「防災に関するシンポジウム」，2025/02/28，約70名.
- 2) 小森大輔：日本全域を対象とした大規模流木流出災害リスク評価. 東北地方整備局令和5年度河川技術懇談会，2023/12/08，88名.
- 3) 小森大輔：東北から始める森林との共存. 日刊建設工業新聞，2023/08/09.
- 4) 川越清樹：持続可能な流域治水の実践にむけた検討について. 東北地方整備局令和4年度河川技術懇談会，2022/12/08，93名.
- 5) 建設コンサルタント協会東北支部：持続可能な流域治水の実践にむけた検討について. 河川講習会講演，2022/11/17，66名，<https://jcca-tohoku.jp/?p=2531>

## ⑨表彰、受賞歴

(単なる研究成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

- 1) BEST Paper Awards 2024  
Sartsin P., Daisuke K., Thapthai C. : Impact of shallow and deep-seated landslides induced by rainfall on spatial distribution of debris flow mass. GEOMATE, 2024.

## ⑩技術研究開発の今後の課題・展望等

(研究目的の進捗状況・達成状況や得られた研究成果を踏まえ、技術研究開発の更なる発展や砂防政策の質の向上への貢献等に向けた、研技術研究開発の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

### 今後の課題

ダム貯水池以外の山地河川に流木流出統合モデルを実用するには、より多くの山地河川流域に適用し検証をするとともに、実験的に設定したパラメータ $Z$ の物理的理解をするために、特に流木の堆積・再移動に着目した現地調査をより行うことが重要である。また、より多くの事例で流木流出統合モデルの再現性が得られるよう、流木流出統合モデルの再現性が低かったダム貯水池流域にてその原因を明らかにし、各モデルのさらなる高度化・精度検証が重要であると考ええる。

### さらなる展望

立案するモデルやハザード評価は、日本全国のダム貯水池流域や山地河川流域における流木流出ポテンシャルのみならず、表層崩壊および深層崩壊を区別して斜面崩壊域ポテンシャルを降水量のみから把握することができる実用的な手法である。さらに、高度化された分布型斜面崩壊モデルを用いた可能最大土砂生産量の推計や土砂動態解析は可能と考える。

衛星観測と機械学習を用いた斜面崩壊痕跡抽出モデルは、2024年能登半島地震や2024年7月秋田・山形豪雨に適用し、準リアルタイムでの斜面崩壊痕跡抽出に活用している。また、斜面崩壊域推計モデルに地震動の効果を組み込み、地震前後の降水状態を考慮した、準リアルタイムでの斜面崩壊ポテンシャル予測に取り組んでいる。本技術開発は、このような観測が不足する地域や緊急時の災害ポテンシャルの準リアルタイム予測に活用できると確信する。

また、豪雨による過大な流木・土砂生産を緩衝させる森林帯の形成に関する知見を得ることで、甚大な被害を軽減するEco-DRRをふまえた森林管理による適応策の方法論を確立できる可能性がある。すなわち、「森林管理のみで減災効果ができる」や、「人工構造物＋森林管理で大幅な減災効果ができる」などの地域に応じた砂防政策オプションの誘導できるモデル構築の開発が検討できると考える。

## ⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本技術研究開発で得られた研究成果の実務への反映等、砂防政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

立案するモデルやハザード評価は、日本全国のダム貯水池流域や山地河川流域における流木流出ポテンシャルのみならず、表層崩壊および深層崩壊を区別して斜面崩壊域ポテンシャルを降水量のみから把握することができる極めて実用的な手法である。さらに将来降水量に置き換えることで地球温暖化時代の防災・減災対策として森林・山地河川管理や、砂防堰堤・ダム貯水池管理に活用できる。また、主題の予測モデル向上のほか、豪雨による過大な流木・土砂生産を緩衝させる森林帯の形成に関する知見を得ることで、甚大な被害を軽減するEco-DRRをふまえた森林管理による適応策の方法論を確立できると確信する。

具体的に、申請者が委員を務めた国土交通省「ダム貯水池の流木対策等に関する検討会」や河川砂防技術開発制度・地域課題分野（河川）「流木災害対策に資する流木資源化・利用モデルの開発（代表：松下潤（中央大学研究開発機構・教授（当時））」を介して、2015年より流木流出動態にかかる東北地方整備局との合同勉強会を、現在までに16回開催（今年度は3回開催）し、現地調査成果や流木流出統合モデル開発に関して意見交換をしてきた。来年度以降も合同勉強会を継続し、研究成果の実務への反映に努める。また、2020年に東北地方整備局「東北の砂防を考えるアドバイザー会議」委員、2021年に東北地方整備局リバーカウンセラーを拝命した。申請者らはこれらの会議にて本研究成果を紹介・提供しており、今後も河川砂防政策への貢献に努める。

さらに、衛星観測と機械学習を用いた斜面崩壊痕跡抽出モデルは、現在、2024年能登半島地震や2024年7月秋田・山形豪雨に適用し、準リアルタイムでの斜面崩壊痕跡抽出に活用している。また、斜面崩壊域推計モデルに地震動の効果を組み込み、地震前後の降水状態を考慮した、準リアルタイムでの斜面崩壊ポテンシャル予測に取り組んでいる。本技術研究開発は、このような観測が不足する地域や緊急時の災害ポテンシャルの準リアルタイム予測に活用できると確信する。