

委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	革新的環境研究プロジェクトのうち森林・林業分野における気候変動適応技術の開発のうち流木災害防止・被害軽減技術の開発	担当開発官等名	研究開発官(基礎・基盤、環境)					
		連携する行政部局	林野庁森林整備部 治山課（施設計画班） 計画課（設計基準班） 研究指導課（研究班）					
研究期間	R元年～R5年（5年間）	総事業費（億円）	1.0億円（見込）					
	<table border="1"> <tr> <td>基礎</td> <td>応用</td> <td>開発</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"> </td> </tr> </table>	基礎	応用	開発				
基礎	応用	開発						

研究課題の概要

過去30年程度で50mm/時間以上の短時間強雨の発生頻度が増加し、森林の土砂崩壊・流出被害が発生している。こうした中、平成29年の九州北部豪雨被害等に見られるように、山腹崩壊等に伴い流木（※1）が多く発生し、河道（※2）を閉塞するなどして被害を拡大する要因となっている。流木による被害を軽減するためには、これまで実施されてきた森林の土砂崩壊・流出に関する事前の発生源対策だけでなく、発生後の流木による被害拡大を防止する技術開発が必要である。これを踏まえて、以下の課題1を実施する。

<課題1：流木災害防止・被害軽減技術の開発（令和元～令和5年度）>

山腹崩壊等に伴い発生する流木の下流域への流出量を減少させて被害を防止・軽減するための効果的な流木捕捉手法の開発や捕捉施設の計画・配置手法の開発を行う。

具体的には、(1)流木の発生及び捕捉に影響を及ぼす条件の解明、(2)流木の流下・捕捉の力学的要因の解明、(3)流木災害軽減手法の開発について研究を進める。(1)と(2)により流木の発生や治山施設（※3）による流木捕捉等の支配的な指標を明らかにし、(3)により流木の捕捉過程を再現する数値シミュレーション手法を開発するとともに効果的な流木捕捉のための治山施設による流木捕捉の予測ツールを開発することにより、効率的に流木を捕捉するための施設設計計画技術を開発する。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

令和5年度末までに、流木対策施設による流木捕捉量のシミュレーションプログラムと、その活用方法や効率的、効果的な流木対策施設の配置計画の考え方のマニュアルがセットになった流木捕捉予測ツール一式を開発する。

2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題としてのアウトカム目標（R11年）

国や都道府県が施策する土石流・流木関係の対策技術指針等に反映し、その後に建設される治山施設の機能を強化すると共に、より効果的な配置・施行規模の選択を可能とすることで、全国森林計画（※4）で示されている治山事業（※5）計画量（令和11年度における治山事業施工地区数（34,150地区）の達成に貢献し、流木災害の防止・被害軽減に貢献する。

【項目別評価】

1. 研究成果の意義

ランク：A

① 研究成果の科学的・技術的な意義、社会・経済等に及ぼす効果の面での重要性

過去30年程度の間で50mm/時間以上の短時間強雨の発生頻度が増加し、森林の土砂崩壊・流出被害が発生している。将来には年最大時間雨量が現在よりも数十%増加して集中的な崩壊・崖崩れ・土石流等が頻発すると予測されている（「気候変動適応計画」※6より抜粋）。こうした中、平成29年の九州北部豪雨災害等に見られるように、山地災害発生に伴い流木が多く発生し、河道を閉塞するなどして被害が拡大する要因となっている。流木による被害を軽減するためには、これまで実施された森林の土砂崩壊・流失防止機能に関する研究等の事前の発生源対策だけでなく、発生後に被害拡大を防止する対策として、流木を効果的に捕捉して下流への被害を低減させる技術等を開発する必要がある。

流木を伴う土砂流出に関する研究例は少なく、その実態やメカニズムに関する知見・技術は未解明・未発達な点が非常に多い。本研究において現地調査や水路実験（※7）により解明した流木の集積・捕

捉（※8）メカニズムはこれまでにない知見であり、今後の流木動態研究の発展に寄与するもので、科学的な意義が大きい。また、本研究で開発した流木を含む土砂流出の数値シミュレーション技術は、治山施設周辺のみを詳細に分析するための高精度手法と、流域全体の施設配置計画を分析するための汎用的手法の両者から成り、成果を一般に活用できるツールに落とし込んだ点で技術的な意義が大きく、今後の普及・実証を通じた問題点の改良により更なる技術の発展が見込める。さらに、本研究で開発した効率的に流木を捕捉するための施設設計計画技術は、国や都道府県等による既設の治山施設の改良や新たな治山施設の設置の際の配置と規模をより効率的にすることで、施設設置のコスト削減と効率化による防災機能の向上を実現するため、費用対効果という観点から経済的な意義が大きい。また、この施設設置のコスト削減と効率化は、全国森林計画に示されている治山事業計画量の達成に貢献するものであり、気候変動による山地災害増加への対策として必須となる技術であると言え、社会的な意義が大きい。以上のように、本課題における研究成果は、独創性や革新性等科学的意義は高く、また、社会・経済等に及ぼす効果の面でも重要性は高い。

2. 研究目標（アウトプット目標）の達成度及び今後の達成可能性

ランク：A

本課題では、(1) 流木の発生及び捕捉に影響を及ぼす条件の解明、(2) 流木の流下・捕捉の力学的要因の解明、(3) 流木災害軽減手法の開発により、効率的に流木を捕捉するための施設設計計画技術を開発することを最終の到達目標としている。

- (1) では、これまで明らかにされていなかった溪流沿いの立木の影響について、溪流が立木で密に覆われている場合に土石流の流下距離が減少し、土砂と流木の流出量が低下することを明らかにした。また、流域内で複数の土石流が合流して流下する場合、支流から合流する土砂量が多いほど、主流の土砂・流木の移動距離が増加する危険性が高くなることを定量的に明らかにした。
- (2) では水路実験等から、土石流中の流木が流れの先端部に集積しやすい条件として、枝が流木の摩擦力が小さく、土砂濃度が大きいほど流木が先端部に集積しやすいことを明らかにした。また、塊状に集積した状態の流木の方が分散した状態の流木よりも治山堰堤による捕捉率が高いことを明らかにした。
- (3) では、汎用性の高い計算手法を用いた、流木対策施設による流木捕捉量のシミュレーションプログラムを開発し、東広島市の事例検証により再現性が高いことを確認した。また、開発したプログラムによって、不透過型治山えん堤と透過型えん堤（※9）のいずれでも流木捕捉量を定量的に評価できることを明らかにした。

以上のように、各課題とも当初計画通りの研究成果がこれまでに得られており、最終到達目標に対する達成度は高い。

① 最終の到達目標に対する今後の達成可能性とその具体的な根拠

- (1) について、最終年はこれまでに明らかにした土砂・流木の流下危険度の高い溪流の特徴に関して、今後、立木や合流の現地条件を定量化した指標に基づく判定手順を取りまとめ、流木捕捉量予測ツールを使用する際に現地で事前に取得すべき情報に関する手引きを作成する。
- (2) について、最終年はこれまでに実施した水路実験結果、数値実験結果をもとに、流木の流下・捕捉の力学的要因に関する重要指標を取りまとめ、流木捕捉量予測ツールを使用する際の流木材料のパラメータ設定や施設の設定に関する手引きを作成する。
- (3) について、最終年は流木の集積・分散過程の再現手法に関して細部の検討を実施することにより、流木対策施設による流木捕捉量のシミュレーションプログラムにおける流木挙動の再現性を高める。また、事例検証によるツールの適用性の検討を進めることにより、流木捕捉量予測ツールを用いた施設設計計画に関する手引きを完成させる。

以上によって、効率的に流木を捕捉する施設設計計画技術の開発は達成されると考えられることから、最終到達目標の達成可能性は高い。

3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム）の目標の今後の達成可能性とその実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の妥当性 **ランク：A**

① アウトカム目標の今後の達成の可能性とその具体的な根拠

本課題では、山地溪流での土石流に伴う流木の発生、流下・堆積の実態解明に基づく流木捕捉予測ツールの開発とツールを活用した効果的な流木捕捉技術の開発を行う。開発後3年を目途に、開発した流木捕捉技術をまず甚大な災害が発生した地域の復旧対策に適用し、当該地域の治山設計計画を担当する行政担当者による効果的な流木捕捉施設の配置計画や施工計画の策定に貢献する。その後2年を目途に、その結果の評価を基に流木捕捉技術を改良し、国や都道府県が施策する土石流・流木関係の対策技術指針等に反映する。反映にあたっては、林野庁の治山関係部署と連携して行う。以上の取組により、全国の治山事業計画量の達成に貢献するというアウトカム目標の達成は可能であると考えられる。

② アウトカム目標達成に向け研究成果の活用のために実施した具体的な取組内容の妥当性

治山事業実施主体にとって実効性のあるツールの開発のため、支援機関でもあり流木捕捉施設の研究開発に先駆的に取組んでいる兵庫県農林水産局治山課による流木補足効果実証実験研修において本研究成果を発表し、兵庫県で独自に実施してきた研究開発の成果と本研究成果の相互進化に向けた情報交換を実施した。また、山腹崩壊・流木の被害地を流木調査試験地に設定し、山腹崩壊・土石流、流木被害の復旧事業を担当する森林管理局に研究成果の一部を受け渡して流木対策技術に関して情報交換を行うなど、行政の現場との連携を進めた。

また、林野庁業務課や全国の森林管理局の治山技術者が参集した流木対策の推進に係る現地検討会に参加し、本研究の成果を発表するとともに流木対策に関する各地域の個別課題について情報収集・情報交換を行った。加えて、2021年度森林計画学会春季シンポジウム「森林・林業におけるUAV（※10）利用の現状とその展望」や2022年度分野横断型研究集会「地球表層における重力流のダイナミクス」で招待講演を行い、治山のみならず森林や河川の管理に関わる研究者や技術者に開発した技術の発信・普及を行った。さらに、行政や民間企業、大学等研究機関から計122名が参集した、シンポジウム「豪雨災害軽減に向けた流木動態研究の最前線」を主催し、開発した技術を発信・普及するとともに、流木災害軽減を見据えた溪流周辺の森林管理に関して意見交換を行った。これらの具体的な研究成果活用のための取組は、アウトカム目標達成に向けて妥当である。

③ 他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度（研究内容により該当しない場合は、除外して評価を行う。）

本課題で開発する、UAV等を用いた立木・流木の判別や崩壊土量の推定等の画像を用いた山地災害把握技術は、詳細な現地調査データの乏しい地域で有効な技術であるため、林野庁が実施する森林技術国際展開支援事業など、詳細な現地調査データが未整備な海外地域に治山技術を支援する事業等において大いに貢献できる技術であると考えられる。

以上の様に、①から③の全てを十分に有しており、達成可能性及びその道筋の妥当性は高い。

4. 研究推進方法の妥当性 **ランク：A**

① 研究計画（的確な見直しが行われているか等）の妥当性

3名の外部専門家と、関係する行政部局で構成する運営委員会を設置し、行政ニーズや各課題の進捗状況を踏まえて、実施計画の見直し等の適切な進行管理を行っている。

② 研究推進体制の妥当性

上記の運営委員会を年1回開催し、進捗状況の確認、研究計画・推進体制の見直し、研究成果の共有と公表等について、助言指導等を行っている。また、研究コンソーシアムの自主的な推進体制として、中間検討会や推進会議を定期的に開催し、コンソーシアム内の情報共有や意見交換、推進体制の検討等を行っていることから、研究推進体制は妥当である。

③ 研究の進捗状況を踏まえた重点配分等、予算配分の妥当性（選択と集中の取組など）

山腹崩壊や土石流に伴う流木の発生・捕捉の特性を把握する小課題1、流木の流下・捕捉の力学的要

因を解明する小課題2、小課題1、2の成果を取り入れた流木災害軽減手法を開発する小課題3の課題構成となっており、最終成果に対する各課題の重要性に関する運営委員会からの指摘等を踏まえた予算配分の重点化を行いながら各小課題とも予定した成果を創出していることから予算配分は妥当である。

【総括評価】

ランク：A

1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見

- ・流木による被害拡大防止のための技術開発に関する課題であり、短時間強雨の発生頻度が高まる中、その成果は研究開始時と同様の意義を有する。
- ・主たる研究成果が出そろっており、順調に進捗していること、アウトカム目標の達成可能性の根拠が明確で、具体的な取組の妥当性も確認できる。精力的なアウトリーチ活動、学会発表も評価できる。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・これまで実施された事前の発生源対策と合わせた総合的な被害低減技術として整備していただきたい。

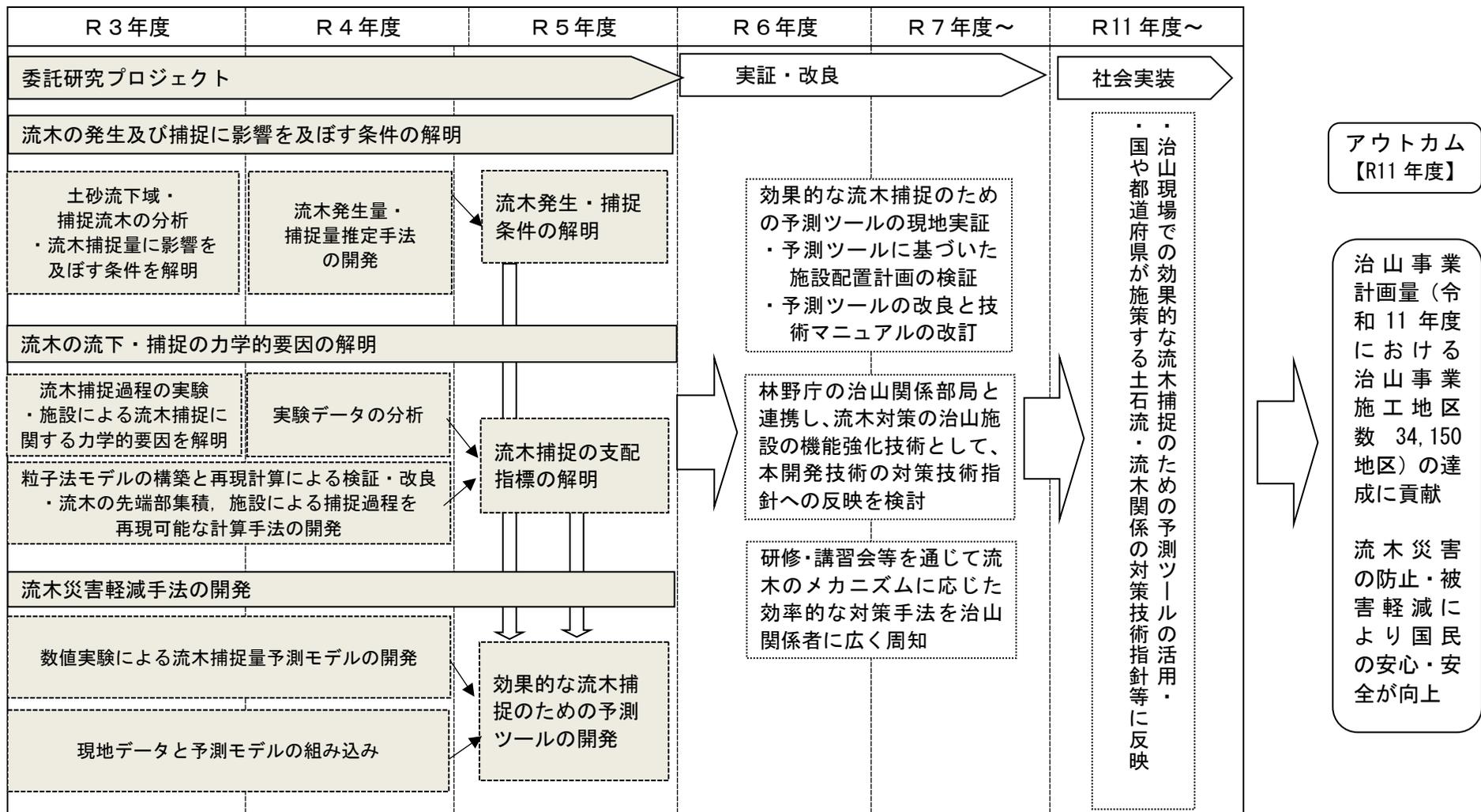
[研究課題名]革新的環境研究プロジェクトのうち森林・林業分野における気候変動適応技術の開発のうち流木災害防止・被害軽減技術の開発

用語	用語の意味	※番号
流木	本課題では山地斜面の立木が、山腹崩壊などに伴って倒木したものが、土砂や水流に運搬されて流れ下っている状態の樹木を流木と呼ぶ。下流の河川では流木は大量の河川水に浮遊して流れている場合が多いが、上流の山地の川では一般に急勾配で河川水の量も多くないため、土石流等のように土砂と水が混合したものと伴に流木が流下する場合が多い。このため山地地域で流木への対策を行うためには土石流等の土砂流下も合わせて検討することが必要である。	1
河道	河川の流水が流れ下る部分で、河川の川底と岸とで囲まれた範囲。平時は河川水が通過するが、大規模な災害発生時に大量の土砂や流木が流れ込み、これらが何らかのきっかけで例えば橋脚など河道内の特定の場所に一度に大量に堆積すると河道を塞ぎ、その結果河川水が河道外へ氾濫するきっかけとなる場合もある。	2
治山施設	一般に治山事業推進のため国土保全を目的として設置する人工構造物を指す。本課題では主に河川や溪流（山地の上流の小さい川）の中に設置するダムのような形状を持つ治山えん堤（治山ダムと同義）を対象とする。治山えん堤は満砂するまでは上流から流下する土砂を受け止めることもできるが、土砂が貯まった後にも溪流の地形の中に階段の踊り場のような勾配の緩やかな場所を作ることによって、溪流内の不安定な土砂の再移動の抑制や上流から流れ下ってきた土砂や流木の流下する速度を減らす等の機能を持つ。	3
全国森林計画	森林法第4条の規定に基づき、農林水産大臣が、15年を1期の計画期間として5年ごとに定める計画。森林の整備及び保全の目標、伐採立木材積や造林面積等の計画量、施業の基準等を示すものであり、都道府県知事がたてる地域森林計画等の指針となる。	4
治山事業	森林の維持造成を通じて、山地災害から国民の生命・財産を保全するとともに、水源の涵養（森林の土壌が、降水を貯留し、河川へ流れ込む水の量を平準化して洪水を緩和し、雨水が森林土壌を通過することにより水質を浄化する機能）、生活環境の保全・形成等を図る国土保全政策。	5
気候変動適応計画	気候変動適応法（平成30年法律第50号）に基づき策定する。気候変動の影響に対する適応の総合的推進のため、政府に農業や防災等の各分野の適応を推進する気候変動適応計画の策定を義務付けた。また、地域での適応の強化のため、都道府県及び市町村に当該計画を勧奨した地域気候変動適応計画の策定を努力義務化した。	6
水路実験	本課題では土石流に混じった流木の流下中の運動様式を調べる必要があるが、これを自然界で具体的に調べることは困難である。本課題ではその代替措置として人工的な大型の雨どいのような構造を持つ水路を作り、その中に土砂や流木の小型モデルを設置して、水路を斜めに傾けて水を流すことで、人工的に土砂や流木の流下の状況を再現して調べる。これを本課題での水路実験と呼ぶ。水路実験は特定の条件のみを変えて繰り返し流木の動きを調べることができるため、その条件の影響を詳細に検討することが可能になる。	7
流木の集積・捕捉	土砂災害発生時に渓流水が土砂混じりの洪水や土石流となって流下する際に運搬される流木は、周囲の水や土砂との比重の違い等の理由で流下中に徐々に洪水の先頭部分に集まる傾向がある。この様な洪水流の中で周囲に比べて特に流木の数が多く集まって集合状態で流れている状態を本研究では流木の集積と呼ぶ。流木を捕捉するために渓流内に柵状の構造物を設置した時に、流木が集積した状態で柵状構造物に衝突すると、流木が単体で流下する場合に比べ、流木がお互いに絡み合っただけで大量に流木が捕捉される可能性が高くなる。	8

不透過型治山 えん堤と透過 型えん堤	<p>一般にえん堤はダムと同じ河川のせき上げを目的とする施設でありダムよりも規模の小さいものをえん堤と呼ぶ。しかし治山ダムは基本的には規模が小さいため治山えん堤とほぼ同じ意味で用いる。治山えん堤は土砂を貯留して河川に段差を作り、緩勾配面を作ることで、土石流の流下速度軽減や河川内の不安定土砂の再移動抑制、周辺の山腹斜面の不安定化抑制など機能を果たす。このためえん堤上流に土砂が堆積する様にえん堤を不透過の構造とすることが一般的である。その一方で近年、えん堤に切り欠きや柵状の構造を有し、平常時には水や土砂を通過させ、災害発生時には流下する巨大な岩石や流木を捕捉する透過型のえん堤も作られる様になった。本課題では、透過型のえん堤と対比するため、従来様式の平常時の土砂を通過させない治山えん堤を不透過型治山えん堤と呼ぶ。</p>	9
UAV	無人航空機「Unmanned Aerial Vehicles」の略称。	10

【ロードマップ（終了時評価段階）】

流木災害防止・被害軽減技術の開発



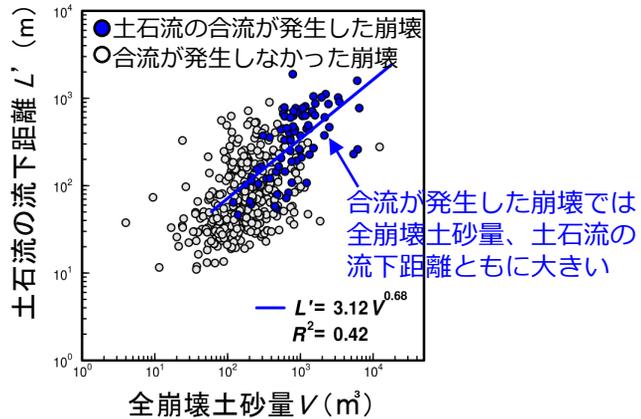
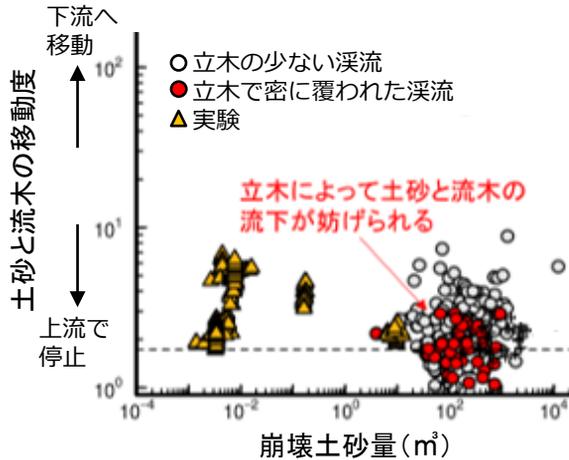
流木災害防止・被害軽減技術の開発

研究概要

・山地災害に伴い発生する流木の下流域への流出量を減少させて被害を防止・軽減するため、効率的な流木捕捉手法の開発や捕捉施設の計画・配置手法の開発等を実施する

主要成果

土砂および流木の発生量推定手法の開発



土砂と流木の移動度が高い溪流を判定する重要指標を解明

成果の受け渡し

流木の集積・流下・捕捉に関する力学的要因の解明と数値計算技術の開発

流木の摩擦力が大きく土砂濃度が小さい
流木が先端部に集積しにくい

流木の摩擦力が小さく土砂濃度が大きい
流木が先端部に集積しやすい

図中の赤い部分が流木要素

分散状態 流木の捕捉率が低い
流木捕捉率
・実験：約10%
・計算：12.9%

集積状態 流木の捕捉率が高い
流木捕捉率
・実験：約35%
・計算：38.7%

成果の受け渡し

流木のシミュレーション手法を開発

流木捕捉量予測ツール開発

流木量小
流木量大

無施設
堰堤(満砂)
堰堤(空)

流木の流出量が18%減少
流木の流出量が46%減少

流れの方向

(c)

予測ツールを開発し、施設の流木捕捉効果を実際の事例で検証

今後の方針

流木捕捉量予測ツールを用いた施設配置計画の手引き・留意点の作成