

委託プロジェクト研究課題評価個票（中間評価）

研究課題名	脱炭素・環境対応プロジェクト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	H31～R 5（5年間）	総事業費（億円）		1.1億円（見込）
研究開発の段階	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。将来には年最大日雨量や年最大時間雨量が現在よりも数十%増加すると予想されるとともに、集中的な崩壊・崖崩れ・土石流等が頻発すると予想されている（「気候変動適応計画」（※1）より抜粋）。こうした中、平成29年の九州北部豪雨被害等に見られたように、山腹崩壊等に伴い流木（※2）が多く発生し、河道（※3）を閉塞するなどして被害を拡大する要因となっている。このため、これまで実施してきた森林の土砂崩壊・流出防止機能に関する研究等に加えて、流木による被害を軽減するためには事前の発生源対策だけでなく、被害の拡大を防止する技術開発が必要となっている。これを踏まえて、課題①を実施して、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、効果的な流木捕捉手法の開発や捕捉施設の計画・配置手法の開発を実施する。

<課題①：流木災害防止・被害軽減技術の開発（平成31～令和5年度）>

・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、効果的な流木補足手法の開発や補足施設の計画・配置手法の開発等を実施する。

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。これにより流木の発生や治山施設（※4）による流木捕捉等の支配的な指標を明らかにし、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し、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

中間時（2年度目末）の目標	最終の到達目標
・土石流に伴う流木の堆積挙動を予測するシミュレーション手法の開発	・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の開発

2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題全体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（※5）で示されている治山事業（※6）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。

【項目別評価】

1. 社会・経済の諸情勢の変化を踏まえた研究の必要性

ランク：A

①農林水産業・食品産業、国民生活の具体的なニーズ等から見た研究の重要性

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。将来には年最大日雨量や年最大時間雨量が現在よりも数十%増加すると予測されるとともに、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）。こうした中、昨年の九州北部豪雨災害等に見られたように、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、現在「山地災害

リスクを低減する技術の開発」で実施中の森林の土砂崩壊・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、発生後の対策が必要であり、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。

このことから、引き続き本研究を推進することが重要である。

②引き続き国が関与して研究を推進する必要性

山地災害は国民の生活・経済に大きな影響を及ぼすことから、そのリスク低減に国が取り組む必要がある。また、本研究は国や都道府県が策定する土石流・流木関係の対策技術指針等に反映することを目的としており、公益性が高く収益を生む事業にならないことから、民間独自で実施することは困難である。さらに、「農林水産省気候変動適応計画（※7）」の中で、災害リスクに対応するための施設整備について検討をおこなう（P19）こととしていること、「森林・林業基本計画」（※8）の中で政府が講ずべき施策として、温暖化の進展に伴い懸念される集中豪雨等に起因する山地災害への対応（P22）などの適応策を推進することとしていることから、国が主体的に取り組む必要がある。

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

①中間時の目標に対する達成度

中間時の目標は「土石流に伴う流木の堆積挙動を予測するシミュレーション手法の開発」であり、これまでに次の成果を得ている。

- ・ 流木を効果的に捕捉するには流木が集積（※9）した状態で流れていることが重要である。このため水路実験を行い流木の先端部集積過程に関する検討を進め、流木が周囲の流下する水・土砂から受ける摩擦駆動力（※10）の大きさと流木が溪床（※11）面等から受ける摩擦抵抗力（※12）が、流木が集積に関する支配条件であることを明らかにした。また溪床勾配が小さく土砂濃度が小さいと摩擦抵抗力の影響が大きくなり、集積した流木が再度分散することも明らかにした。これにより溪床勾配が大きい流下区間において流木が集積した状態で流下することで効率的に流木を捕捉できる可能性を得た。
- ・ 水路実験で明らかにした摩擦力の影響を評価するために、粒子法（※13）を用いた流木混じり土石流の数値計算手法を構築した。粒子を連結して流木を再現したうえで接触摩擦力（※14）を直接的に与えることによって、実験結果と同様の流木の堆積挙動の再現を可能とした。
- ・ 最終的に開発する流木捕捉予測ツールのベースとなる格子法（※15）によるシミュレーション手法の開発を進め、格子法で流木の先端部集積を再現するための支配方程式を新たに導出した。

以上のように、土石流に伴う流木の堆積挙動に関する支配指標を水路実験に基づいて解明し、その結果に基づいてシミュレーション手法を開発しており、中間時の目標を達成した。

②最終の到達目標の今後の達成可能性とその具体的な根拠

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ついて検討を進める。これらの成果により、流木の発生や治山施設による流木捕捉等の支配的な指標を明らかにし、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流木捕捉の予測ツールを開発し、効率的に流木を捕捉するための施設計画技術を開発することを最終の到達目標としている。それぞれこれまでに下記の成果を得た。

- (1) については、流木の発生要因となる山腹崩壊による流木量と土砂量を推定するための画像による計測手法を開発し、その結果から流木量や土砂量を推定する関係式を導出した。また崩壊土砂の流下域における流木量が、崩壊上端と到達地点の標高差に比例することや、既存の不透過型治山えん堤（※16）に捕捉された流木は、災害発生後に記録上2～3番目となる豪雨を経験してもほぼ再移動しない実態があること等の流木の発生や捕捉に影響する条件に繋がる特性を解明した。
- (2) については、水路実験（※17）に基づいて流木の先端部集積に関する支配指標の解明を進めた。また流木が集積過程を詳細に再現するための粒子法による計算手法を開発した。
- (3) については、流木捕捉量予測モデルを検討するために必要な格子法と粒子法の結合モデルを開発するために、格子法による流木要素の計算結果を粒子法の計算入力条件として受け渡す手法を構築した。また予測ツールのベースとなる格子法に適応した流木運動の支配方程式（※18）を新たに導出したうえで、格子法による二次元シミュレーションプログラムを開発した。

以上のように、研究は順調に進みそれぞれ目標の中間段階となる成果を得ている。今後、更に現地で

収集したデータの解析や施設による捕捉過程に関する水路実験を実施し、流木捕捉のための支配指標を解明し、その知見に基づいて数値計算手法に基づいた流木捕捉量予測モデルを開発することが可能となっている。これらの結果を統合して、効率的な流木捕捉のための予測ツールの開発と検証を具体的に進めていくことが可能であり、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を対象とした土石流混じりの流木の発生、流下・堆積の実態解明やこれに基づく流木捕捉予測ツールを開発し、治山施設の適正配置や機能強化のためのツールを活用した効果的な流木捕捉技術の開発を行う。開発する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、流木捕捉のための治山施設の効果的な配置や施工計画など効率的な治山対策の実施に貢献する。その結果の評価を基に流木捕捉技術を改良し、他地域への適用拡大を目指す。そのプロセスと平行して林野庁の治山関係部署と連携し、流木対策の治山施設の機能強化技術として技術指針等に成果をフィードバックすることで、全国の治山事業計画量達成に向けた貢献につなげアウトカム目標を達成する結果として流木災害の防止・被害軽減が可能となる。

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

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、支援機関でもある兵庫県農林水産局治山課が実施したひょうご式治山ダム（※19）による流木補足効果実証実験研修の中で本研究成果についても紹介し、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。また流木調査の試験地として山腹崩壊・流木の被害地を試験地に設定し、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の事業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、本研究の一部を紹介すると共に流木対策に関して各地域での課題等広く情報交換を行った。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性を有する。

③ 他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

本課題で開発するUAV（※20）等を用いた立木や流木の判別や崩壊土量の推定等の様な画像を用いた山地災害把握技術は、林野庁が実施する森林技術国際展開支援事業等の委託調査研究の中で、詳細な現地調査データが未整備な海外地域の治山技術の展開に関する研究にも応用できるなど、本研究の成果が他の研究へ波及する可能性が高い。

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

6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2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随時開催し、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 研究課題の妥当性（以後実施する研究課題構成が適切か等）

山腹崩壊や土石流に伴う流木の発生・捕捉の特性把握の小課題1、流木の流下・捕捉の力学的要因解明の小課題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、運営委員会からの指摘を踏まえて修正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、研究課題は妥当である。

④ 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

各課題の進捗状況や研究成果の有用性を踏まえた予算配分の重点化を行っている。それぞれの中課題は計画通り進捗しており、最終目標の達成も見込まれることから、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の継続の適否に関する所見

- ・気候変動の影響がますます深刻化しており、短時間の豪雨の発生頻度が増している中、流木災害の防止、軽減に向けた技術開発は非常に重要である。
- ・研究の進捗についても、順調に進んでいると評価する。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・アウトカム目標について、どれくらい被害を軽減できるか、可能な限り定量的な目標を示すように検討いただきたい。
- ・本研究の成果は、気候変動というグローバルな変化の中で、総合的な取組として展開していく必要がある。ケーススタディで終わらずに、今後は全国の森林に展開するところもしっかりと視野に入れて、技術を高めていく取組を進めていただきたい。
- ・将来的・長期的には、発生源対策のような、そもそもの土砂崩壊や流出を防止する機能を高めるといった、森林再生や林相転換のような技術と連携した総合的な適用策、森林保全策に向けて進めていただきたい。

[研究課題名] 脱炭素・環境対応プロジェクト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
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。気候変動の影響に帯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勘案した地域気候変動適応計画の策定を努力義務化した。	1
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って流木が流下する場合が多い。土石流に流木が混じった状態で施設や構造物に衝突すると被害が大きくなるのが問題となっている。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。	2
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。	3
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で、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、溪流の底が水流で削り取られることを抑制することで溪流に面した山腹斜面の不安定化を抑制する等の機能を持つ。	4
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であり、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。	5
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。	6
農林水産省気候変動適応計画	気候変動による農林水産分野への影響に関する施策を強力に推進するために、農林水産省が、政府全体の「気候変動の影響への適応計画」に先立って平成27年8月に制定したもの。この中で、既に気候変動の影響が大きいとされる品目への重点的な対応、将来影響の知見が少ない人工林等に関する予測研究や技術開発の推進等が記載されている。	7
森林・林業基本計画	政府が、森林・林業に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るため、①施策の基本的な方針、②森林の多面的機能の発揮及び林産物の供給・利用に関する目標、③計画的に講ずべき施策、④その他必要な事項、を定めたもの。	8
（流木の）集積	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溪流内に柵状の構造物を設置した時に、流木が単体で流下すると水と一緒に柵状構造物の間をすり抜けて下流へ流れ去る可能性があるが、流木が集積（集合）した状態で柵状構造物に衝突すると、流木がお互いに絡み合っ大量に流木が捕捉される可能性が高くなる。	9
摩擦駆動力	土砂混じり洪水流で運搬される流木は、流木本体の自重に作用する重力による斜面方向の力だけではなく、流木が周囲の土砂や水と一体となって運搬される力が作用する。流木が周囲の土砂や水と一緒に流下するには流木表面と周囲の水・土砂と	10

	の間の接触部分に摩擦が働くことで必要である。本研究では、この流木表面の摩擦により流木が周囲の水・土砂に引き摺られ運ばれる力を摩擦駆動力と呼ぶ。	
溪床	山地の谷間を流れる比較的小さい川である溪流の川底。山地の溪流は河川の上流に位置し、下流の河川とは異なり一般に勾配が急で水量も少ない場合が多く、大雨のときだけ水流が発生する場合もある。溪床には不安定な土砂や倒木、立木などが存在する場合もある。	11
摩擦抵抗力	流下する洪水流の底面付近では、溪床面との間で摩擦が働くため流下速度が低下する。洪水流の流速が低下すると洪水流で運搬される流木も流下速度が低下する。更に流木本体が溪床面に接触すると強い摩擦が働き、流木本体の流下速度が低下し、最終的には速度の停止、堆積となる。本研究ではこの様な溪床部分における洪水流や流木の接触による摩擦を摩擦抵抗力と呼ぶ。	12
粒子法	数値計算方法の1つで、例えば形が大きく変化する水の様な液体の運動等を表す方程式を、必要な条件を与えて近似的に解く（解法する）技術である。大きな変形にも追従できるように計算対象を小さな粒子の集まりとして表して計算を行うことから粒子法と呼ぶ。粒子法では、小さな粒子の数量分だけ計算を行うことが必要であることから膨大な計算負荷と計算時間が必要となる。このため溪流全体のような広範囲の大規模モデルを計算するには不向きである。その一方で水・土砂と流木や構造物との接触や分離など詳細な検討にも対応することから、本研究では主に、土砂混じり洪水流（土石流）と流木の運動や流木捕捉施設との相互作用などの詳細な検討のために使用する。	13
接触摩擦力	ここでは流木の表面と流木に接触している周囲の水や土砂との間で働く摩擦力を指す。	14
格子法	粒子法と同じく運動や変形、圧力等の物理量を表す方程式を近似的に解くための数値計算方法の1つで、粒子法とは異なり対象範囲を格子状に区分して格子の交点（節点）を代表点として計算を行う。対象範囲が大きいほど計算負荷が大きくなるが、適切なサイズの格子を設定することで計算量を減らし実質的に計算が可能となる。計算点となる節点の間はなめらかに変化すると仮定することから、格子サイズが大きくなると節点の間の細かい変化は計算できない。本研究では、溪流全体を対象としても計算が可能であることから治山施設配置効果予測ツールとして格子法をベースに用いることにしている。	15
不透過型治山えん堤	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、えん堤に切り欠きを入れたり、柵状の構造にすることで、平常時には水や土砂を貯めずに通過させ、災害発生時に流下する巨大な岩石や流木を主に捕捉する様な形状を持った透過型のえん堤も作られる様になった。このため透過型のえん堤との対比として、本課題では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。	16
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様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模型的に再現する調べる。これを本課題での水路実験と呼ぶ。水路実験は条件を変えて繰り返し流木の動きを調べることができるが、自然界の複雑な条件を人工的にすべて同時に反映させることは出来ないため、実験時に反映できる条件を明確にすることが重要である。	17
支配方程式	物理現象の数理モデルを構築するために、その現象を記述する物理法則を数学的な方程式で表したもの。	18
ひょうご式治山ダム	兵庫県により検討開発された山地溪流内で流木を捕捉するための治山えん堤（治山ダム）。えん堤の中央部分には、流木捕捉のためのスリットによる透過部を設け	19

	<p>、えん堤の両側には、周囲の山腹斜面と溪流との接合部である山脚の浸食を抑制し山腹斜面の不安定化を抑制する不透過部の構造を併せ持つ流木捕捉式の治山ダム。流木災害が発生する前までは通過部に土砂が貯まらないため、災害発生時に流下してきた流木等を主に通過部で捕捉することができる。流木や土砂を捕捉し堆積すると透過部が閉塞するため、その後は不透過型治山えん堤と同様の機能が維持できることを期待する構造となっている。</p>	
UAV	無人航空機「Unmanned Aerial Vehicles」の略称。	20

① 森林・林業、水産業分野における気候変動適応技術の開発 【継続】

流木災害防止・被害軽減技術の開発

研究期間：令和元年度～令和5年度

背景と目的

- 平成29年7月の九州北部豪雨や平成30年7月豪雨にもみられるように、豪雨の増加による山地災害や流木災害の激甚化が近年著しい。人命や公私有の財産にも直結することからその対策は喫緊の課題であり、本災害を受け林野庁は国土交通省と連携して流木災害防止へ向けた取組を開始したところである。
- 現在、森林の土砂崩壊・流出防止機能に関する研究等、山地災害の発生源対策に関する研究開発が進められているが、これに加えて、山地災害発生に伴う流木災害による被害の防止・軽減のため、発生した流木混じり土石流の効果的捕捉手法等、森林内の流下区域における対策に係る技術開発が必要である。

研究内容

- ・ 山地災害の規模と流木発生量に関する実態の解明
- ・ シミュレーションや模型実験による効果的な流木捕捉手法の開発
- ・ 森林内の流下・堆積区域における流木被害低減に向けた流木捕捉施設の計画手法の開発



流木捕捉施設の計画手法の開発 流木の効果的な捕捉手法の開発

到達目標

- ・ 流木混じり土石流の効果的な捕捉手法の開発
- ・ 流下・堆積区域における流木被害低減のための捕捉施設計画手法の開発

期待される効果

- ・ 国や都道府県が策定する土石流・流木関係の対策技術指針等に研究成果を反映
- ・ 流木の流下量減少による下流地域の被害軽減

【ロードマップ（中間評価段階）】

流木災害防止・被害軽減技術の開発



