

奈良県における流木発生ポテンシャルの調査検討について

寺中 希海¹

¹奈良県 県土マネジメント部 砂防・災害対策課 (〒630-8501 奈良県奈良市登大路町30)

近年、豪雨の頻発化により、土石流に流木を伴う災害が各地で発生しており、対策の重要性が高まっている。従来は、現地調査を通じて対策の優先順位を検討する必要があり、特に広範囲において検討する場合には、多大な労力と時間を要していた。本稿では、航空レーザー測量やAI解析を活用し、現地調査をほとんど行わずに流木発生ポテンシャルを評価し、対策の優先度を検討できることを示す。特に、その一環として実施した流出流木量の算出および設定方法を詳細に報告する。

キーワード 防災, IT, AI

1. はじめに

近年、豪雨の頻度・強度の増加により、人的被害・物的被害が大きい災害が増加している¹⁾。特に、伊豆大島を中心に被害をもたらした平成25年台風第26号においては、溪流から土石流とともに流出した樹木（以下、流木）により、広範囲に被害が及んだ²⁾。このような背景から、全国的に流木災害への備えが検討されつつある³⁾。

流木対策としては、既存の砂防堰堤に流木止めを新設することや、流木捕捉効果の高い透過型鋼製砂防堰堤を新たに整備などが挙げられる。しかし、どの溪流に対してどのような対策を講じるべきか、また、どの溪流から詳細な調査を進めるべきかといった優先度を決定するためには、従来はすべての溪流について現地調査を行う必要があり、多大な労力と時間を要するものであった。

このような課題に対応するため、林野庁では航空レーザー測量を活用し、現地調査を実施せずに流木災害のリスクを特定する手法として「流木災害対策の必要な森林を抽出する手法 手引き書（案）」（平成28年3月）（以下、流木災害対策の手引き）を示されているところである。流木災害対策の手引きは、国土交通省の砂防部等でも利用を推奨しており、奈良県においても、流木災害対策の手引きを活用して、県内の全ての土砂災害警戒区域および土砂災害特別警戒区域に指定された溪流（以下、土石流危険溪流）の3,745溪流を対象として、山腹崩壊危険度および森林の土砂崩壊防止機能を評価し、流木発生の危険性がある斜面（以下、流木発生ポテンシャル）の抽出を実施した。さらに、流出流木量、土砂量、保全対象の有無等を評価因子として、流木対策の優先度評価

を行った。

都道府県全域の土石流危険溪流を対象として、このような調査を実施した事例は、全国的にも少ないと考えられる。本稿では、その一部として、流出流木量の算出および設定方法について、考察を加え報告する。

2. 発生流木量の算出の流れ

発生流木量の算出にあたっては、土石流発生時に想定される溪流の浸食幅内に存在する材積量（樹木の体積）を求める必要がある。材積量は一般に、現地調査で得られた「胸高直径（根元から高さ1.2 mにおける樹木の直径）」および「樹高（樹木の高さ）」を用い、各都道府県または林野庁が定めている立木幹材積表から導出される。

本稿では、前章で述べたように奈良県内全ての土石流危険溪流が、3,745溪流存在することから、従来のように現地調査を実施するのではなく、まず、全県の航空測量写真及び航空レーザー測量を実施した。その航空写真に人工知能（AI）を用いて、対象溪流の林相区分図を作成し、樹種ごとに分類を行った。次に、胸高直径および立木密度について換算式を導出し、材積算出に必要な値を推定した。さらに、樹高については航空レーザー測量の成果を活用して算出した。また、溪流の浸食幅についても、既存の基礎調査の成果を用いて机上で算出した。

以下では、これらの各手法について順に詳述する。

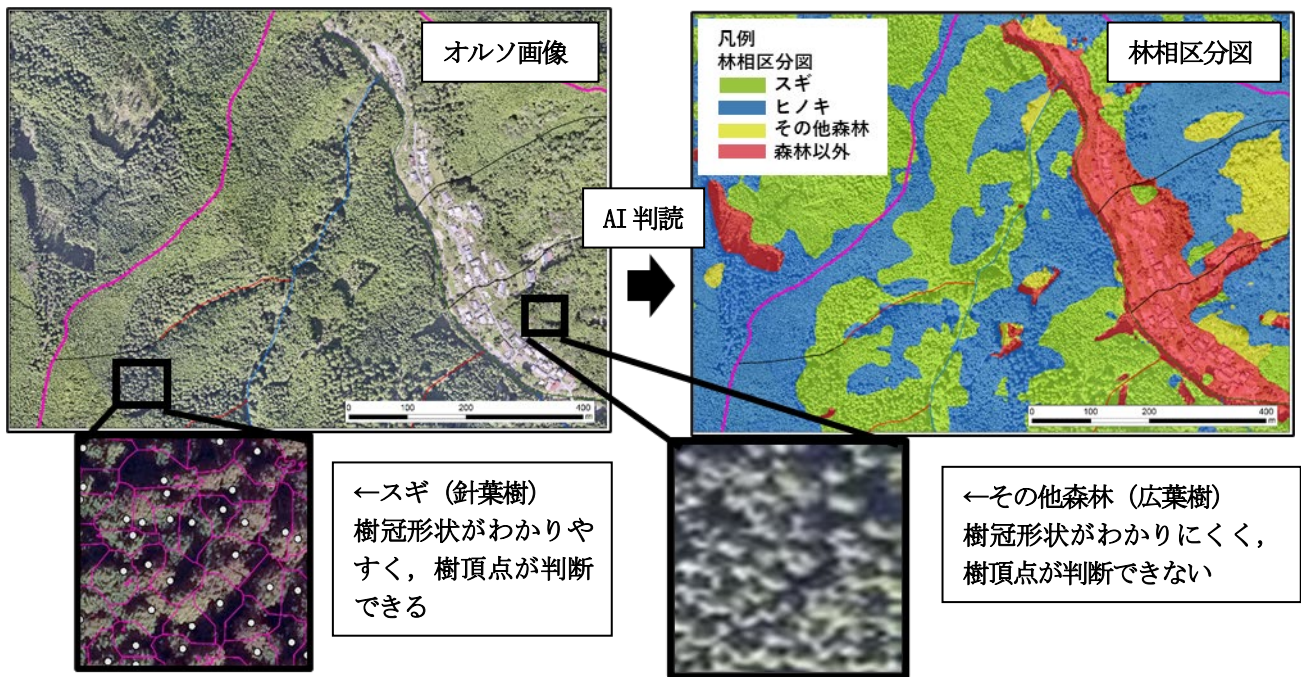


図-1 林相区分図の作成イメージ

3. 発生流木量算出に伴う因子の設定

(1) 林相区分図の作成

針葉樹と広葉樹では、発生流木量の算出に必要な樹高や胸高直径、材積などの特性が異なるため、林相区分図を作成し、針葉樹・広葉樹を分類する必要がある。

林相区分図の作成にあたっては、当初、森林計画図（地域森林計画の対象となる民有林の位置を森林基本図に林班界として示した図）および森林簿（森林の所在地、所有者、面積、森林の種類、材積、成長量などを記載した台帳）を活用できると考えていた。しかし、内容を確認したところ、森林計画図と森林簿の情報に不一致が見られるなど、樹種を特定することが困難であった。

そこで本調査では、全県で統一した基準による林相区分を漏れなく実施することを目的とし、対象溪流において、オルソ写真解析を人工知能（AI）を用いて実施した。

今回使用したAIは、日本国内で多数の樹種を把握した既存のオルソ写真を用いて深層学習（ディープラーニング）を行ったものであり、これにより「スギ」「ヒノキ」「その他森林」「森林以外」に分類した、全県統一基準による林相区分図を作成した。

さらに、作成した林相区分図の精度を検証するため、一部の溪流において現地調査を実施した。その結果、全体としては大きな誤差がないことを確認できたが、樹種が混在する箇所では判定に誤差が生じる事例が見られた。この要因としては、AIの教師データに全国的な汎用データを使用していることが挙げられる。奈良県や紀伊山地に特化した教師データを用いることで、地域ごとの植生の特性を反映することが可能となり、樹種が混在する

箇所においても、精度向上が見込まれる。

(2) 航空レーザー測量成果を用いた樹高の推定

樹高の算出には、航空レーザー測量成果を用いて樹頂点（樹木の最上部）を特定する必要がある。針葉樹は樹冠（樹木上部の枝葉が密集する部分）形状が明瞭であるため、樹頂点を判別しやすい。一方、広葉樹は樹冠の形状が複雑であり、樹頂点の判別が困難である。そのため、広葉樹については、流木災害対策の手引きのとおり、樹高の算出は行わず立木材積の推定を行う方法を採用した。広葉樹に関する内容は後の項で述べることにし、本項では針葉樹に関する結果のみを報告する。

針葉樹の樹高は、流木災害対策の手引きを基に、航空レーザー測量成果より求めた。

樹高は、航空レーザー測量のオリジナルデータ（ランダムポイント）であるDSM（航空レーザー測量で直接得られる標高データ（建物や樹木の高さを含む）と、そこから0.5mメッシュのDEM（建物や樹木の高さを取り除いた地表面の標高データ）の差分よりDCHM（樹冠表層の高さデータ）を作成した。そのDCHMデータを画像処理することで、DCHMのピークを求め、そのピークまでの地表面からの高さを樹高とした。

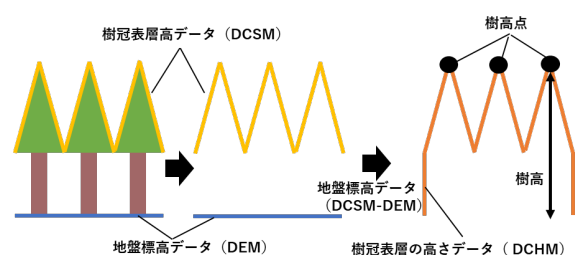


図-2 森林解析イメージ

(3) 胸高直径の推定

胸高直径は、航空レーザー測量成果からは枝葉の影響により直接計測することが困難である。そのため、流木災害対策の手引きにおいても、樹高から胸高直径を推定する換算式を導出する必要があるとされているため、本稿では、令和2年度から4年度にかけて奈良県内で実施された既往業務による現地調査347地点から得られた森林データを利用して、樹高と胸高直径の関係を整理し、換算式を導出した(図-3)。この換算式に前項で求めた樹高を代入することで、各単木の胸高直径を推定した。

今回の調査では、図中の赤色線の平均的な回帰式を全県で適用したが、プロットの分布をみると、例えば樹高20mの樹木でみると胸高直径はおおよそ20cmから最大60cmの範囲に散らばっている。胸高直径が2倍違うと材積量は4倍の違いとなるので流出流木量に大きく影響があり、今回の方法はばらつきが反映できていない。

なお、流木災害対策の手引きに示されている胸高直径の推定式についても、決定係数が0.713であり(図-4)、今回算出された決定係数と比較すると高いが、同じ樹種でも胸高直径が同じで樹高のばらつきがあるのは考えられることであり、サンプル数を増やした影響と考えている。

このように判断しているものの、サンプル数を増やして検討した事例が少ないことから、今後は、圏域ごとの林相(樹種・樹高分布)や森林簿の林齢等を参考に、圏域ごと(奈良県では、大和川圏域、紀の川圏域、淀川圏域、新宮川圏域)にサンプルを分類・集計したうえで関係式を圏域ごとに作成することで精度向上できるのではないかと考えている。なお、サンプルの収集については、今後の砂防事業において実施される現地調査の成果を用いることで、効率的に圏域ごとのデータを得ることができると考える。

また、関係式の形についても、流木災害対策の手引きにおいて示されている1次関数としたものの、実測データの傾向に応じて2次関数や他の近似式と比較検討することが有効であると考えられる。

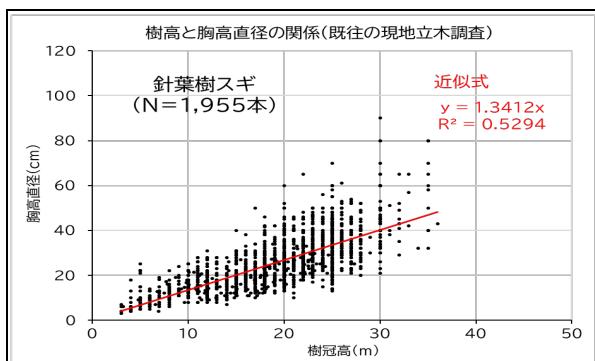


図-3 樹高と胸高直径の関係(針葉樹)

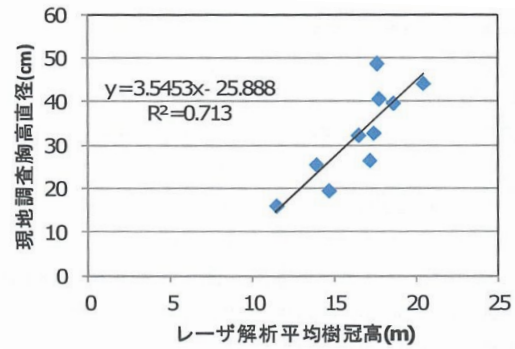


図-4 樹高と胸高直径の関係(流木災害対策の手引き)

(4) 材積量の算定

針葉樹については、前章で推定された胸高直径に基づいて、流木災害対策の手引きが示す計算式(式1)により単木ごとの立木材積を算出し、流域または溪流単位で集計を行った。

$$V_{wy2} = \pi \cdot H_w \cdot R_w^2 \cdot \frac{K_d}{4} \quad (\text{式1})$$

V_{wy2} : 単木材積 (m^3) H_w : 樹高 (m)
 R_w : 胸高直径 (m) K_d : 胸高係数

一方、広葉樹については、樹冠形状が不明瞭で単木の識別が困難なため、流木災害対策の手引きに基づき、調査プロット(10mメッシュ)内のDCHMの合計(総体積)と、現地調査により得られた単位面積あたりの立木材積(100 m^2 あたり)との関係を求め、DCHMから樹高を用いることなく、直接立木材積を推定する換算式を作成した。この総体積法により、10mメッシュごとに立木材積を算出した。

換算式の作成にあたっては、針葉樹と同様に、奈良県内で過去に実施された既往業務の成果から得られた森林データをサンプルとして活用した。ただし、広葉樹林は天然林が多く、針葉樹と比較して樹種・樹齢・樹形が多様であるため、今後は、針葉樹と同様に広葉樹についても圏域ごとにサンプルを分類・集計した上で、圏域単位で換算式を作成することにより、各流域における林相の特性を反映した推定が望まれる。

4. 発生流木量の算出

前章で作成した林相区分図および単木ごとの位置情報、樹高、胸高直径、立木材積を用いて、針葉樹と広葉樹を区別して発生流木量を算出した。

針葉樹については、谷次数区分と林相区分、樹頂点を重ね合わせ、谷次数別に設定された侵食幅内に含まれる

樹頂点を抽出した。抽出された各単木について、前章で求めた材積を用い、流木災害対策の手引きが示す計算式(式2)により発生流木量を算出した。

$$V_{wy} = \frac{B_d \cdot L_{dy13}}{100} \cdot \Sigma V_{wy2} \quad (\text{式2})$$

V_{wy} ：発生流木量 (m^3)

B_d ：土石流発生時に侵食が予想される平均溪床幅 (m)

L_{dy13} ：発生流木量を算出する地点から流域の最遠点である分水嶺までの流路に沿って測った距離 (m)

広葉樹については谷次数区分と林相区分、10m メッシュごとに算出した単木材積を重ね合わせ、土石流発生時に侵食が予想される平均溪床幅内にかかる 10m メッシュ内の単位体積当りの発生流木量を算定した。

5. 流出流木量の算出

流出率については、流木災害対策の手引きにおいて、治山施設等が未整備の溪流における標準的な上限値として0.9が示されている

そのことから、流出流木量は、前章で算出した発生流木量に対して、流出率である0.9を乗じることにより算出した。

流出率を0.9とした場合の結果は、流出流木量が0～25, 100 m^3/km^2 の範囲で分布しており、特に県北東部において高い傾向が確認された。(図-5)

6. おわりに

本稿では、奈良県内のすべての土石流危険溪流を対象として、現地調査をほとんど行わずに流出流木量の算出を実施した。今回は事例が少ないことから現地調査を行ったものの、現地調査なしに実施できることがわかった。広域にわたる調査において、航空レーザ測量成果を活用した本手法は、従来のように溪流ごとに実施してきたサンプリング調査と比較して効率的であり、調査者による判断のばらつきが生じにくいことから、全県一律の評価が可能となり、溪流間の比較に適している。

本稿の林相区分図の作成に用いたAIについては、全国的な一般データを教師データとして使用したが、奈良県および紀伊山地の地域特性を反映したデータを用いることで、さらなる精度向上が期待される。また、胸高直径や材積の推定に用いた換算式については、ばらつきの反映が課題である。今後は、砂防全体計画策定時に実施される現地調査の結果を蓄積して、圏域ごとの特性を反映

した換算式とすることで、より現地の実態に即した推定が可能になると考えられる。

本稿で示した方法は、広範囲においての流木災害対策の優先度を検討する際の基礎資料として有効であるといえる。本県においては、今回の結果を活用して流木対策を進めて行きたいと考えている。

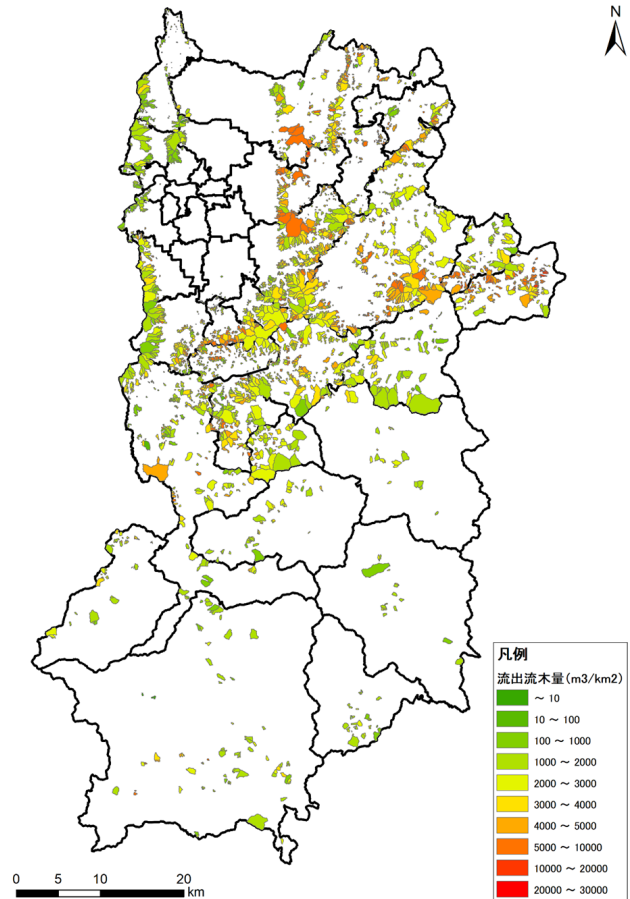


図-5 土石流溪流における単位面積当たりの流出流木量 (m^3/km^2)

参考文献

- 1) 気象庁：「災害をもたらした気象事例」，気象庁ウェブサイト，<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index.html>，
- 2) 砂防・地すべり技術センター：「平成25年 台風26号による伊豆大島土砂災害の現地調査報告」，『砂防学会誌』
- 3) 国土交通省砂防部：「土砂災害対策の強化に向けて 提言」，平成26年7月，『土砂災害対策の強化に向けた検討会』
- 4) 林野庁：「森林・林業白書 令和5年度」