

# 樹木の巻き込みによる雪崩の密度変化が森林の倒壊に与える影響

信州大学大学院 ○小松崎隼, 福山泰治郎, 堤大三

## 1. はじめに

2017年2月, 南アルプス小仙丈ヶ岳東北東斜面で大規模な雪崩が発生した。この雪崩により, シラビソやダケカンバが優占する亜高山帯の森林 4.8 ha が倒壊した。森林被害をともなう雪崩では, 倒木を巻き込みながら流下することで密度が大きくなり, 森林や構造物などの被害に繋がる恐れがある。そこで本研究では, 雪崩に巻き込まれた倒木量を現地調査から推定し, 倒木の巻き込みにもなう雪崩の密度変化が森林の倒壊範囲の予測に与える影響を検討した。

## 2. 雪崩に巻き込まれた倒木量の推定

森林被害地 (図-1) にて斜距離 10 m×10 m のプロット (以下倒木調査プロット) を雪崩の流下方向に 5 箇所設け, プロット内に堆積している直径 2 cm 以上の倒木の直径・長さ・樹種を全数調査した。また, 雪崩前の立木材積を推定するために, 森林被害地の林縁にて斜距離 10 m×10 m のプロット (以下毎木調査プロット) を倒木調査プロットと同標高地点に 5 箇所設け, 樹高 1.4 m 以上の立木の DBH・樹種を全数調査した。倒木調査プロットでは倒木を円柱形とみなし, 直径と長さから倒木の体積を求めた。また, 毎木調査プロットでは, Chapman-Richards (von Bertalanffy) 式に小林ら (2021) によるパラメータを代入して DBH から樹高を算出し, 幹材積計算プログラム (細田ら, 2010) により幹材積に変換した。さらに, 倒木調査プロットと毎木調査プロットの総材積 (以下前者を「堆積倒木量」後者を「森林の総幹材積」) を求め, 100 m<sup>2</sup>あたりの総材積に補正した (図-2)。

次に, 雪崩の走路の中心線 (図-1) 上における倒木の流下・巻き込み・堆積過程における量的な変化を推定した。プロットごとに森林の総幹材積と堆積倒木量の差として流出倒木量を求め, 流出倒木量が連続的に変化するものとして, プロットごとの流出倒木量から走路の中心線上の流出倒木量の縦断変化を推定した。ここで, 雪崩に巻き込まれた倒木は走路の中心線と平行に流下し, 森林被害地外に流出した倒木はその場で堆積すると仮定した。さらに, 巻き込まれた倒木が雪崩の先頭 10 m に集中すると仮定して, 100 m<sup>2</sup>あたりの巻き込み倒木量  $V_{el}$  [m<sup>3</sup>] の, 走路の中心線上における縦断変化を推定した (図-3)。



図-1 森林被害地とプロット設置地点

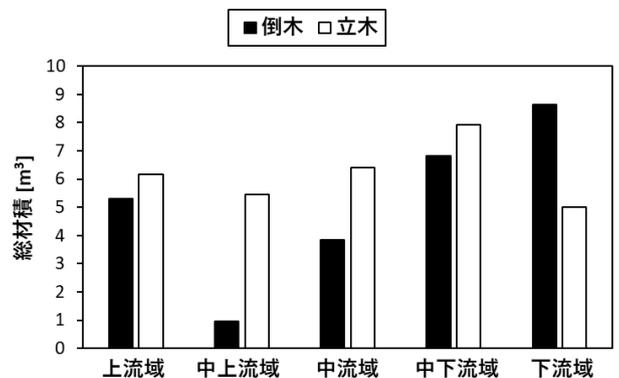


図-2 100 m<sup>2</sup>あたりの総材積

### 3. 巻き込みによる密度変化を考慮した雪崩流体圧力の推定

雪崩の流体圧力 $P$  [Pa]は、雪崩の流体力を樹木などが雪崩を受ける投影面積で除して、以下の式より求められる。

$$P = \frac{1}{2} \rho C_d v^2$$

ここで、 $\rho$ は雪崩の密度 [kg/m<sup>3</sup>]、 $C_d$ は抗力係数、 $v$ は雪崩の速度 [m/s]を示す。この式に、雪崩シミュレーション RAMMS で求めた雪崩高さ と巻き込み倒木量から求めた、倒木を含む雪崩の密度、RAMMS で求めた雪崩の最大速度、抗力係数 1.2 (樫山, 1967) を入力し、倒木の巻き込みがある場合とない場合の流体圧力 $P$  [Pa]を求め、両者を比較した (図-4)。その結果、巻き込みを考慮すると流体圧力が平均 1.3 倍、最大 1.6 倍になると見積もられた。

### 4. 巻き込みが森林の倒壊範囲に与える影響

雪崩の流体圧力から森林の倒壊範囲を推定するために、倒木境界値 (図-4) を設定した。木村 (2024) は雪崩に対する立木の抵抗力を算定し、最大のシラビソ (DBH=42 cm) を倒壊させる下限値を 28 kPa と試算している。すなわち、この値を下回ると倒壊しない樹木が出現し始めると考えられるため、30 kPa を倒木境界値とした。図-4 より、巻き込みありの場合では森林被害地末端まで倒木境界値を下回ることがないのに対し、巻き込みなしの場合では発生区上端から距離 1,020 m の地点で倒木境界値を下回っており、巻き込みを考慮しないと森林の倒壊範囲が過小評価されることが示唆された。また、雪崩が減速して流体圧力が 30 kPa を下回るようになると立木の倒壊が停止する、と仮定すると、実際に倒木を巻き込みながら流下したと考えられる雪崩は流下距離 1,420 m の地点で森林の倒壊が停止しているため、巻き込みの影響により森林被害地が流下方向に 400 m 延長することが推察される。

### 参考文献

Bartelt, P, Stöckli, V (2001) : The influence of tree and branch fracture, overturning and debris entrainment on snow avalanche flow, ANNALS OF GLACIOLOGY, Vol.32, p.209-216

細田和男・光田靖・家原敏郎 (2010) : 現行立木幹材積表と材積式による計算値との相違およびその修正方法, 森林計画学会誌, Vol.44, No.2, p.23-39

樫山徳治 (1967) : 林木のなだれ被害と暴風被害との関係, 雪氷, Vol.29, No.4, p.107-109

木村温・福山泰治郎・堤大三 (2024) : 雪崩による倒木の被害形態に関する力学的検討, 令和6年度砂防学会研究発表会概要集, p.83-84

小林勇太・堀内颯夏・鈴木紅葉・森章 (2021) : 日本の主要樹種 75 種の樹高と胸高直径の関係, 日本森林学会誌, Vol.103, No.2, p.168-171

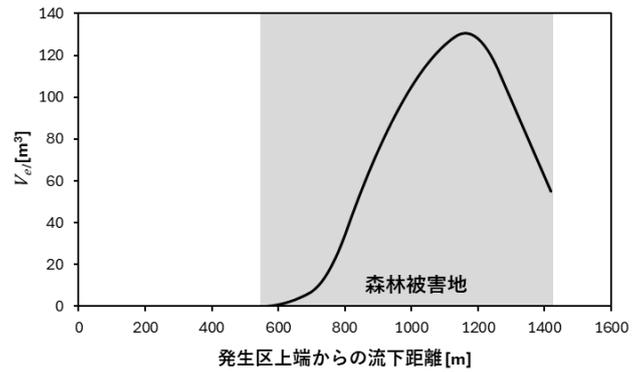


図-3 100 m<sup>2</sup>あたりの巻き込み倒木量

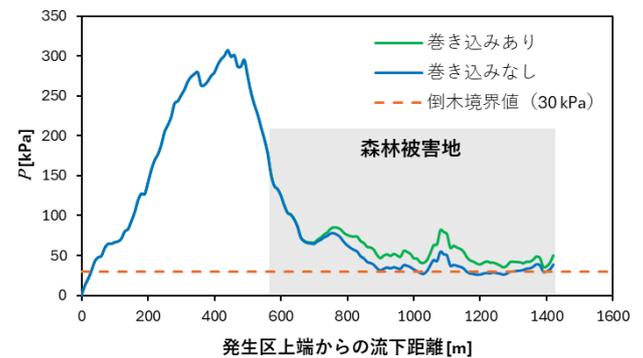


図-4 倒木の巻き込みを考慮した流体圧力