

富士山大沢崩れにおける凍土の季節変化と土石流発生の関係

山本一樹・今泉文寿・逢坂興宏（静岡大農）・池田敦（筑波大学）

富士山では大沢崩れなどにおいて度重なり土石流が起きてきた。土石流の発生時期は他の多くの地域で土石流の確認される梅雨～台風ではなく、春と晩秋に発生しており、この特性には凍土が関係するとされている。本研究では大沢崩れを対象に、地温の季節変化の観測と積雪の写真画像判読の結果に基づき、凍土形成時期の推定手法を導いた。その手法を用い過去の降雨イベント時の凍土の有無を推定した結果、秋から春にかけて凍結が進行する時期には最も小さい雨量で土石流が発生し、地表面から融解のすすむ初夏にはより大きな降雨が発生に必要となることが分かった。凍土のない時期には土石流の発生に最も大きな降雨を必要とすることがわかった。

キーワード：富士山，土石流，凍土，季節変化

I はじめに

一般的に日本における土石流は台風や集中豪雨の影響を受ける夏から秋において発生リスクが高いとされる。一方、富士山における土石流は秋から春にかけての、寒冷で大規模な降雨イベントの少ない期間において多発している。この時期の土石流の発生には凍土が関係するとされており、透水性の高い土層が凍結することにより難透水層と化し、土石流発生リスクを高めるとされている(1)。しかし、既往研究では凍土の形成についての把握が十分になされておらず、凍土と土石流との正確な関係を明らかにしているとは言いがたい。本研究は、富士山における土石流発生条件の季節変化の説明を目的とし、現地観測により凍土の形成状況の把握を行った。そのうえで過去の土石流発生時における凍土形成の有無を推定し、土石流の発生条件の季節的な変化の説明を試みた。

II 方法

1. 研究対象地概要

調査対象地は、富士山西側斜面の大沢崩れ斜面とした。大沢崩れは、流下方向に約2.1km、最大幅約500m、最大深さ約150m、面積約1km²の崩壊斜面である。地質は火山砕屑物と玄武岩質溶岩の互層である。

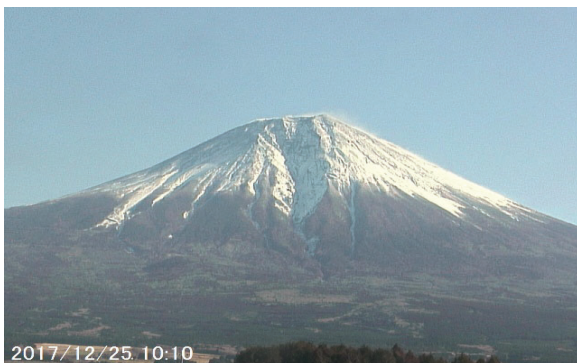


図-1 ライブカメラ富士山ビュー写真例

2. 凍土形成期間の推定式の作成

凍土の形成期間には積雪による断熱効果が大きく関わるため、まず本研究では富士山における積雪期間の推定を行った。大沢崩れ右岸側崩壊斜面内標高2,380mを対象に、静岡県が1時間おきに定点撮影しているライブカメラ富士山ビューの写真画像(2017年11月から2018年5月)を判読し積雪期間を調べた(図-1)。そしてその結果をもとに、以下のdegree-day法(式①)における融雪係数を求めた(2)。

$$SWE_i = SWE_{i-1} + SF_i - SM_i \quad \dots \textcircled{1}$$

$$SM_i = T_i K$$

ここに SWE_i : 積雪水当量 (mm), SWE_{i-1} : 前日の積雪水当量 (mm), SF_i : 降水量 (mm), SM_i : 融雪量 (mm), T_i : 日平均気温 (°C), K : 融雪係数である。また、右岸側崖上斜面標高3,200m地点において深度0.03m, 0.1m, 0.25m, 0.5m, 0.75m, 1.0m, 1.25m, 1.5m, 1.75m, 2.0mに地温計を設置し2017年10月1日から2018年10月3日の期間で観測を行った。各深度において閾値を0°Cとして凍結の有無の判定を行うことで、凍結深および凍土消失深の変化を調べた。その結果から、積算寒度をもとに最大凍結深を求める式②の凍結係数、および積算暖度をもとに凍土消失深さを求める式③の融解係数を求めた(3)。

$$D_{max} = \alpha \sqrt{F} \quad \dots \textcircled{2}$$

$$D_b = \beta \sqrt{T} \quad \dots \textcircled{3}$$

ここに D_{max} : 最大凍結深(cm), α : 凍結係数, F : 積算寒度, D_b : 凍土消失深さ(cm), β : 融解係数, T : 積算暖度である。

3. 凍土の季節変化と土石流の関係の検討

前節で求めた推定式(式①~③)を用いて、過去の土石流発生域の集中する傾向のあると観測される標高3,000mを想定発生域とし、同標高帯における凍土の有無を推定した。推定には富士山頂のアメダスの気温

YAMAMOTO-Kazuki*, IMAIZUMI-Fumitoshi, OHSAKA-Okihiro (Shizuoka University), IKEDA-Atsushi (Tsukuba University) mt.book.a.tree@gmail.com

Relationship formation of frozen soil and occurrence of debris flows at Osawa-kuzure Mt.Fuji

データから遞減率 $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ を用いて推定した気温と、国土交通省富士砂防事務所から提供された御中道観測所（標高 $2,350\text{m}$ ）における降水量データを用いた。春季の積雪水当量がゼロとなった日を③式における融解の開始日とした。1996年から2016年の期間に富士砂防事務所が観測した流下距離の長い土石流を対象とし、凍結期間（凍結開始後から地表面の融解開始までの期間）、融解期間（地表面の融解開始から凍土が完全に消失するまでの期間）、無凍結期間それぞれにおいて土石流を発生させる降雨条件を求めた。

III 結果

1. 凍土推定式の作成

図-2は融雪係数 $K=17$ （①式）として推定された積雪水当量の推移を示す。写真判読から得られた積雪の存在する期間を白、存在しない期間をグレーとした。2月後半に見られる風の影響等による積雪の一時的な消失は反映できていないものの、凍土融解の開始となる積雪の消失日をおおよそ再現できている。

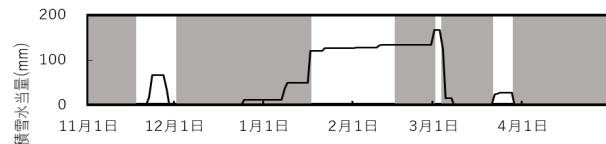


図-2 積雪判読結果と推定積雪水当量の比較 (2017/11~2018/4)

図-3は観測によって得られた深度ごとの凍土存在期間と推定式（凍結係数 $\alpha=5.5$ （②式）、融解係数 $\beta=5.9$ （③式））から観測地点の凍結深を推定した結果を比較したものである。地表付近の凍土は下層の凍土が融解しても存在しているが、日周期の凍結融解によるものであり、土石流の発生には関与しないと考えられる。深度 1m 以下の深度については地下水の浸透によると考えられる融解が起きており、観測結果と推定結果が一致していない。凍土が最も遅くまで残るのは深度 1m であるため、本研究では深度 1m が融解したタイミングをもって融解期間が終了したものとする。

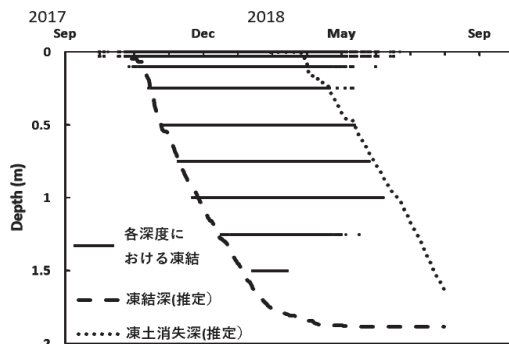


図-3 観測により確認された各深度の凍結と推定による凍結融解の比較 (2017/10~2018/10)

2. 凍土の季節変化と土石流の関係の検討

凍結期間、融解期間、無凍結期間それぞれにおける、土石流発生降雨と非発生降雨を図-4に示す。本研究

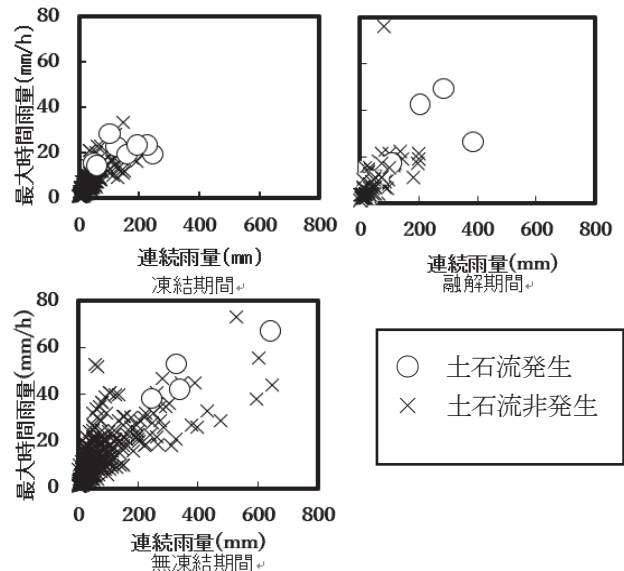


図-4 各凍土状態における降雨条件の比較

では土石流発生に関する降雨条件の指標として、最大時間雨量および連続雨量に注目した。凍結期間において、最大時間雨量 20mm h^{-1} 前後、連続雨量 200mm 程度の降雨で土石流の発生が見られた。無凍結期間では最大時間雨量 40mm h^{-1} を超える比較的大規模な降雨で土石流の発生がみられたが、 50mm h^{-1} を超える降雨時であっても土石流が発生しないという事例も多くみられた。融解期間は凍結期間において土石流発生の多い $20\sim 40\text{mm h}^{-1}$ 程度の降雨での土石流発生は少なく、最大時間雨量 40mm h^{-1} を超える降雨ではほぼ確実に土石流が発生している。このように、融解期間の降雨条件は凍結期間と無凍結期間の中間的なものとなった。

IV 結論

富士山大沢崩れにおいて凍土の観測および推定式の作成を行い、凍土の季節変化に伴う土石流発生条件の変化を検討した。その結果、土石流発生条件は凍土の状態の影響を大きく受けて変化することが明らかとなった。今後も観測を継続していくことで推定式の精度を上げ、推定の対象とする期間を広げることでより詳細な土石流発生条件と凍土の関係についての検討を行う必要がある。

謝辞

本研究にあたりデータを提供していただいた、国土交通省富士砂防事務所の方々、関係各所に深く御礼を述べさせていただきます。

引用文献

- (1) 安間 荘 (2007) 富士山で発生するラハール・スラッシュ・ラハール. 富士火山. 285-301
- (2) 小島賢治, 本山秀明, 山田芳則 (1984) 気温等単純な気象要素による融雪予測について. 低温科学物理篇. 42: 101-110
- (3) 原田裕介・土谷富士夫・武田一夫・宗岡寿美 (2009) : 長期観測に基づく積雪下の土の凍結融解特性. 雪氷 71: 241-251