



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of Early Warning Method for Snowmelt-Induced Landslides Based on Mesoscale Meteorological Data [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	松永, 隆正
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第15773号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/92633
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	MATSUNAGA_Takamasa_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称： 博 士（農学）

氏名 松 永 隆 正

学 位 論 文 題 名

Development of Early Warning Method for Snowmelt-Induced Landslides Based on Mesoscale Meteorological Data

（メソスケール気象データに基づく融雪地すべり早期警戒手法の提案）

積雪地域では、降水の一部が積雪として地表面に貯留された後、3~5月の融雪期に融け出すことで、融雪を起因とした地すべり（融雪地すべり）が多発し、大きな被害をもたらしている。融雪地すべりは融雪水の浸透により地下水位が上昇し、すべり面に作用する間隙水圧が上昇することで発生する。融雪地すべりの発生に伴う亀裂や段差等の地表面の変状が発見されると、地すべりの移動状況の監視を開始し、移動が加速してきた場合に避難が行われる。そのため、融雪地すべりの被害の防止・軽減には、融雪地すべりに伴う地表面の変状が発生する可能性の高い期間・場所を特定し、早期警戒につなげることが重要であるが、早期警戒指標や基準の設定手法は確立されていないのが現状である。これまで、河川水位やダム流入量を早期警戒指標として用いる手法が提案されてきたが、これらの指標は観測箇所が限られている上、取排水等の人為的な影響を受ける地域への適用に課題があるため、広域的な運用は困難である。したがって、降水量など面的に得られる気象データから算定可能な指標が早期警戒指標として有効である。そうした気象データから融雪による災害発生の危険性を判断する指標として現在、気象庁により融雪注意報が運用されている。しかし、融雪注意報は市町村単位で発表されるため、融雪地すべり発生の危険性が高まっている場所の特定が困難な上、融雪注意報の発表基準は日射量といった放射収支に関する要素を考慮していないため、基準を満たしていない場合でも融雪地すべり発生の危険性が高い日があることが指摘されている。近年、数値予報モデルの高度化により、時間解像度が1時間、空間解像度が1~5kmのメソスケール気象データが運用されており、日射量を含む全国各地の気象要素を高解像度で面的に把握することが可能となっている。そこで本研究では、メソスケール気象データを用いた融雪地すべり早期警戒手法の提案を行うことを目的とした。

まず、気象庁が提供するメソスケール気象データ（解析雨量・メソ数値予報モデル・DSJRA-55）を用いて、地表面に到達する融雪水も含めた全水量（地表面到達水量 MR ）を、積雪深、積雪水量とともに1時間単位で推定するモデル（ MR 推定モデル）を構築した。積雪地域における降水は積雪層の形成とその後の融解など様々な過程を経て、時間的な遅れや強度の変化を伴い地表面に到達することから、 MR 推定モデルでは、降水過程、積雪・圧密過程、融雪過程、浸透過程の4つの過程を考慮する。降水過程では、気温・相対湿度に基づき雨雪判別を行う。積雪・圧密過程では、粘性圧縮理論に基づき積雪深を推定する。融雪過程では、熱収支法を用いて日射量等の放射収支も考慮しながら融雪水量を推定する。浸透過程では貯留関数モデルに基づき積雪の貯留効果を考慮した上で MR を推定する。最後に、1時間前の積雪水量にその1時間の降水量を加え、 MR を減ずることで、積雪水量を計算する。 MR 推定モデルを新潟県妙高市内の積雪観測所に適用し、積雪観測結果と比較することでモデルの妥当性を評価した。積雪観測所では2017-18年から2020-21年の冬期に MR 、積雪深、積雪水量が観測されている。観測値と MR 推定モデルの計算値を比較した結果、年ごとの積雪の多寡に関わらず、計算値は観測値を精度よく再現していることが示された。

地すべり地の地下水位変動は地すべりの発生と密接な関係があるため、 MR 推定モデルによる MR から地下水位変動を再現できれば、融雪地すべり早期警戒手法の提案に有効である。そこで、半減期を適切に設定することで地下水位変動を良好に再現できる実効雨量法により、北海道芦別市野花南地区の地すべり地で観測された地下水位変動を MR から再現できるか検証した。まず、

MR 推定モデルを本地区に適用し、計算された積雪深、積雪水量を観測値と比較した。その結果、本地区においても MR 推定モデルの精度は高いことが確認された。実効雨量の計算式において降雨量の代わりに MR を用いることで実効 MR を算出し、地区内の 2 か所の観測孔において 1 時間ごとに観測した地下水位を最もよく再現するように半減期をそれぞれ求めた。その結果、実効雨量法による地下水位の計算値は観測値を精度よく再現していることが示された。ただし、既往研究や本研究の結果を整理したところ、地質等の情報から半減期を決定することは困難であり、実効 MR を融雪地すべり早期警戒指標へ活用するには、多数の融雪地すべりの発生状況と様々な半減期の実効 MR を比較し、最も対応の良い半減期を設定する必要があると考えられた。

以上を踏まえ、最後に、既往の融雪地すべり発生事例を解析することにより、実効 MR に基づく融雪地すべり早期警戒指標および基準の設定を行った。対象地は日本有数の豪雪地帯かつ地すべりの多発地帯として知られる新潟県上越・中越地方である。解析の対象とする地すべり発生事例は、1988 年~2021 年の 3~5 月に発生し、発生日・発生場所が特定可能な 416 事例である。なお、発生日とは、地すべりを起因とした地表面の変状が発見され、監視が必要と判断された日を指す。対象地内において地すべり発生事例のある地すべり防止区域の重心座標を当該地すべり防止区域の代表地点、その地点の標高は基盤地図情報数値標高モデル(10m メッシュ)による当該地すべり防止区域内の平均値とした。代表地点に対し、メソスケール気象データを標高補正等した上で MR 推定モデルを適用し、様々な半減期(1, 3, 6, 12, 24, 48, 120, 240, 480, 960 時間)の実効 MR を 1 時間ごとに算出した。続いて実効 MR の標準化を行い、標準得点を 1 時間単位で地すべり防止区域ごとに求めた。対象とした地すべり発生事例の 7 割を捕捉する標準得点を早期警戒基準、標準得点が早期警戒基準を超過した期間を地すべり早期警戒期間とし、地すべり早期警戒期間が最も短くなる半減期を求めたところ、早期警戒基準 1.00、半減期 240 時間が得られた。対象地内で特に地すべり発生事例が多い上越市・妙高市・十日町市について、本手法による融雪地すべりの捕捉率(各市で発生した地すべり事例のうち、当該地すべり事例が発生した地すべり防止区域における地すべり早期警戒期間に当該事例が発生した割合)・地すべり早期警戒期間(各市に位置する全地すべり防止区域における早期警戒期間を平均した値)を融雪注意報の捕捉率・発表日数と比較すると、本手法の捕捉率は 3 市平均で 73.6%と融雪注意報より 17.9%高い一方で地すべり早期警戒期間は年平均 25.7 日と融雪注意報より年平均 6.1 日短い結果となった。

以上から、本研究では、個々の地すべり防止区域に対し、メソスケール気象データを標高補正等した上で MR 推定モデルにより MR を計算し、半減期 240 時間の実効 MR を標準化した標準得点が 1.00 を超過している期間を地すべり早期警戒期間として設定する手法を提案することができた。地すべり早期警戒期間は融雪地すべりに伴う地表面の変状が発生する可能性が高い期間であるため、地すべり早期警戒期間に当該地すべり防止区域の巡視点検を行い、地表面の変状を発見したらただちに地すべりの移動状況の監視を開始するなど、融雪地すべりに対する早期警戒への活用が期待される。