

SAR衛星データに基づく斜面の地表変動の定量的な抽出とその評価方法に関する研究

王, 雪琛

<https://hdl.handle.net/2324/7363752>

出版情報 : Kyushu University, 2024, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名 : 王 雪琛

論 文 名 : SAR 衛星データに基づく斜面の地表変動の定量的な抽出とその評価方法
に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

地すべりや斜面崩壊などの斜面災害は、破壊的な自然災害の一つであり、住民の生命や財産、さらには重要な社会基盤インフラに多大な被害をもたらす。近年、地球規模の気候変動に伴い、極端な降雨イベントの頻度や強度が増加しており、これらを誘因として発生する斜面災害のリスクはさらに高まっている。特に日本では山地が国土の約 75%を占めることから、豪雨の発生に伴い、広範囲で斜面崩壊が発生する事例も多く発生しており、斜面に対する効率的なモニタリングや斜面災害のリスク評価、その予測技術の開発は、防災・減災における重要な課題となっている。

本研究では、九州北部地域を対象に、衛星技術である合成開口レーダ (Specific Absorption Rate: SAR) データによる後方散乱解析と SBAS-InSAR (Small Baseline Subset Algorithm-Interferometric SAR) 技術を活用し、斜面災害の早期特定や防災・減災対策のための情報を提供することを目的として、斜面災害のモニタリング・解析技術について検討を行う。具体的には、地形、水文、土地利用などの環境因子を統合した斜面変動箇所の定量抽出方法の提案と斜面変動箇所の予測モデルの構築を行い、豪雨による斜面崩壊と地表変動の時間・空間分布特性を明らかにし、衛星データによる斜面の安定評価方法の確立を目指す。

本論文は、以下のように構成される。

第 1 章では、豪雨による斜面崩壊による災害をもたらす脅威について示し、斜面の持続的な変動状況を把握することが防災・減災において重要であることを明らかにした。そして、本研究で検討すべき課題と研究目的を提起し、本論文の構成について述べる。

第 2 章では、既存の衛星技術の理論およびその先行研究について概説し、主に①災害発生時に被害状況を把握する方法；②斜面変動状況を把握する方法；③SAR 衛星データを用いた解析手法を整理するとともに現状の課題を明らかにした。

第 3 章では、豪雨による斜面崩壊地域を斜面ユニットに基づいて定量的に抽出する 2 つの方法を提案し、その適用性を検討する。従来の人為的な判定や局所的なセンサー監視では、広範囲での斜面災害の迅速な特定やモニタリングが困難であるが、近年の SAR 衛星技術は、地表変動モニタリングの分野で大きな進展を遂げている。SAR 衛星は、能動的にレーダ電波を発信し地表からの反射波を解析することで、全天候・終日で高解像度の観測が可能である。この特性により、複雑な地形や悪天候下での斜面崩壊のモニタリングに適しており、特に後方散乱信号の変化を分析することで、斜面崩壊箇所の迅速な特定が可能となる。この特徴を生かし、斜面崩壊が発生した場所を定量的に抽出するための 2 つの新しい手法を開発する。1 つは、土地利用や衛星観測条件などの要因に基づいて閾値を設定し、斜面崩壊箇所の抽出を行う方法であり、もう 1 つは、崩壊前と崩壊後の密度比を計算して斜面崩壊箇所の抽出を行う手法である。これらの手法は、適用の過程において災害前の

データを使用する必要があるという特徴を有しており、災害発生後に撮影される衛星の緊急観測データを組み合わせて使用することで、迅速に斜面崩壊の発生箇所を抽出することが可能である。その結果として、2つの手法による崩壊抽出の再現率は、それぞれ 66%と 72%に達し、さらに両手法で得られた閾値は他の被災地域にも直接適用できる汎用性を持つことが示され、災害後の迅速な被災地域の抽出、災害対応の実施、および二次災害防止のための効果的なデータ支援を提供することが可能となった。

第4章では、SAR データによる時系列干渉解析を実施して、道路沿線斜面の変動状況を検出する手法について検討を行う。影響因子として、地形、水文条件および土地利用などを選定し、それらと変動箇所の相関性の SHAP (Shapley Additive exPlanations) 分析を行う。SBAS-InSAR 解析は、複数時期の干渉画像を活用して地表変形を効率的に抽出し、時系列モニタリングを可能にする手法であり、斜面災害の長期的なリスク評価に適している。解析の結果、研究対象地域全体の変形速度は -26mm/年から 36mm/年の範囲にあることが示された。そして、SBAS-InSAR 解析結果を地形因子（傾斜角、傾斜方向など）や水文データ、土地利用データと統合することで、包括的な災害予測モデルの構築が可能となることから、斜面変動のリスクが高い地域の特定や潜在的な災害箇所の予測を行うために、変動が発生した地域の様々な特性について相関分析を行った。その結果、最近接河川までの直線距離、標高、および土地利用・土地被覆（Land-use and Land-cover: LULC）が地表変動との相関性が最も高いことが明らかとなり、各因子が独立して地表変動に寄与するだけでなく、複数因子が相互に作用して地表変動に影響を与えていることが明らかとなった。

第5章では、衛星データの解析結果、地形、水文などの影響因子を基に機械学習によるモデルを構築し、そのモデルを用いて研究対象地域内の斜面変動箇所の予測を行う。ここでは、豪雨によって発生した斜面崩壊の発生前1年間の衛星データの解析結果を使用し、他の影響因子と組み合わせて時空間的な動態分析を行い、斜面変動の予測モデルを構築した。その結果、モデルの予測精度は 87.3%、再現率は 89.2%で地表面変動の予測が可能となった。本モデルはリモートセンシング解析と機械学習アルゴリズムを統合しており、高い操作性と実用性を備えており、開発したモデルを活用することで、人為的な判定にかかる時間を削減し、異なる作業員間の判断のばらつきを低減し、効率的かつ定量的な結果を提供することが可能となる。そのため斜面災害の監視および予防において広範な応用が期待され、関連分野における技術支援となると考えられる。

第6章では、本研究の総括を行った。