

研 究 報 告

令和 8 年 4 月 1 6 日

公益財団法人 前田記念工学振興財団

理 事 長 岸 利 治 殿

研究代表者

所 属 : 弘前大学大学院理工学研究科

氏 名 : 道家涼介

研究課題名 : 人工衛星データの活用による斜面モニタリングおよび評価手法の確立

助成金額 : 100 万円

研究実施期間 : 自 令和 7 年 4 月 1 日 ~ 至 令和 8 年 3 月 3 1 日

人工衛星データの活用による斜面モニタリングおよび評価手法の確立

Establishment of slope monitoring and assessment methods using satellite data

弘前大学大学院理工学研究科 准教授 道家涼介

（研究計画ないし研究手法の概略）

地すべりは、急傾斜した山地斜面においてクリープ的に変位が進行する現象である。地すべり性の変位は、定常的な変位や、将来の大規模斜面崩壊によりインフラ等に被害を与える可能性があり、十分監視がなされる必要がある。しかしながら、地すべりが発生するような山地斜面においては、地上にその変位を計測するための観測点の設置が困難な場合や、設置に適さない場合が多い。また無数に存在する地すべりを全てモニタリングすることは困難である。人工衛星搭載の合成開口レーダー（SAR）の干渉解析では、地上の観測点を必要とすることなく地表面の変位を面的に捉えることができるため、無数に存在する地すべりを見逃すことなく検出が可能であり、近年、多くの研究がなされている。一方で、地すべりの発生メカニズムの解釈については、既存の地下構造などのデータがあるところに限られており、未知の地すべりを検出した場合に、その評価について十分に行われているとは言えない。

そこで、本研究では、干渉解析で得られた地すべり性変位の評価手法を確立することを目的とした。具体的には、下記による変位の抽出手法もしくは評価手法の検討を実施した。

- (1) 地すべり（大規模盛土造成地）を対象とした干渉解析及び時系列解析の実施
- (2) 地すべりによる変形集中箇所検出手法の検討
- (3) 地下における変形集中箇所の検討
- (4) 局所変位を検出するためのフィルタの検討

研究対象としたフィールドは、A) 愛媛県西条市（千町地すべり）、B) 青森県津軽地方（岩木山西側斜面）、C) 神奈川県川崎市である。このうち、A)、B) は地すべりを、C) は大規模盛土造成地を対象としている。A) では、上記手法の(1)、(2)を、B) では、(1)～(3)を、C) では、(1)、(4)について適用し、検討を行った。

（実験調査によって得られた新しい知見）

(1) 地すべりを対象とした干渉解析及び時系列解析の実施

本研究でテストフィールドとした全ての地域において、SAR データを用いた変位もしくは変位速度の推定を行った。変位速度を得る手法については、先行研究で適用されているものを適用している（例えば、Berardino et al., 2002）。したがって、ここで新たに得られた知見は、各フィールドにおける変位の実態である。以下にその概要を示す。

A) 愛媛県西条市の千町地すべりにおいては、JAXA が運用するだいち 2 号のデータを用いて 2014 年～2025 年 3 月までの変位の推定を行った。その結果、斜面の傾斜方向である西向きに年間 10mm 超の速度で変位していることが明らかとなった。この変位速度は、同箇所でも GNSS により計測された変位速度及び方向と概ね一致していることを確認しており、妥当な結果が得られているものと判断された。また、変位が、2018 年の西日本豪雨を契機とし加速し、数年間継続したことも明らかとなった。

B) 青森県津軽地方に位置する岩木山の西側斜面において、だいち 2 号にて 2020 年およ

び 2023 年の夏に観測されたデータを用いた干渉解析を実施した。その結果、西向きに 5~7 cm, 下向きに 1~2 cm の変位を検出した (図 1)。これは斜面の傾斜方向への変位であり, 地すべり性のものと判断される。また, 時系列解析の結果からは, 2022 年の夏に大きく変位をしていることが明らかとなり, 同時期にあった大雨の影響により変位が加速したものと解釈された。

C) 神奈川県川崎市には, 1,093 箇所の大規模盛土造成地が分布しており, これらの盛土群の変位を検出するため, 欧州宇宙機関 (ESA) の Sentinel-1 衛星を用いた時系列解析を実施した。時系列解析から推定した上下変位速度マップと, 大規模盛土造成地の分布域のデータを GIS 上で重ね合わせ, 各盛土における沈下速度を抽出した。その結果, 73 箇所の盛土地が 2 mm/yr 以上, 16 箇所の盛土地が 3 mm/yr 以上の速度で沈降していることを明らかにした。なお, この変位速度は, (4) にて後述するフィルタリングを適用した結果として抽出されたものである。

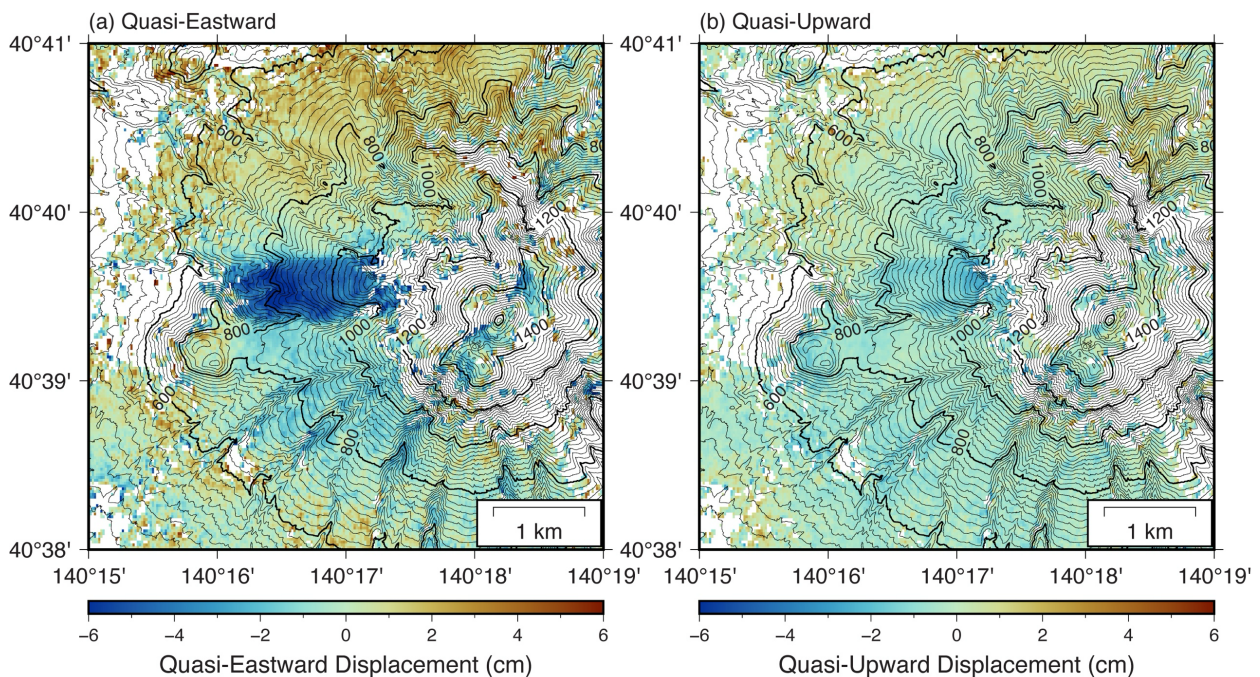


図 1 岩木山西側斜面における変位。2 方向の干渉解析結果に 2.5 次元解析を適用し, (a) 準東西成分および (b) 準上下成分を推定したもの。各図において, 正の値 (暖色系) は東向き方向および上向き方向, 負の値 (寒色系) は西向きおよび下向き方向の変位を示す。

(2) 地すべりによる変形集中箇所検出手法の検討

地すべり性の変位はブロック上に進展する。したがって, 地すべりによる変形が集中するのは, ブロックの内部ではなく, その縁辺部である。本研究では, 地すべりによる変形が集中する箇所を干渉解析結果から可視化する方法を検討し, A) 千町地すべりと B) 岩木山西側斜面に適用した。検討した手法は, 変位 (もしくは変位速度) の空間微分をとるものであり, 特定の方向への変位の変化率 (勾配) を求めることで変形が集中している箇所を抽出するというものである。図 2 には岩木山に適用した結果, 図 3 には千町地すべりに適用した結果を示す。これらの図では, 値の絶対値が大きくなるほど変位の勾配が大きい, すなわち変形が集中していることを示す。本手法を適用することにより, 地すべりの側方崖や上端, 下端における変形の集中が可視化されたと考えている。手法の妥当性を確認するため, B) 岩

木山西側斜面では微地形判読を行い、地表における崖地形や亀裂などの変形集中箇所が対応することを確認した。また、A) 千町地すべりでは、現地確認を行い、変形集中箇所において地表面の変状が認められることを確認した（図 3）。

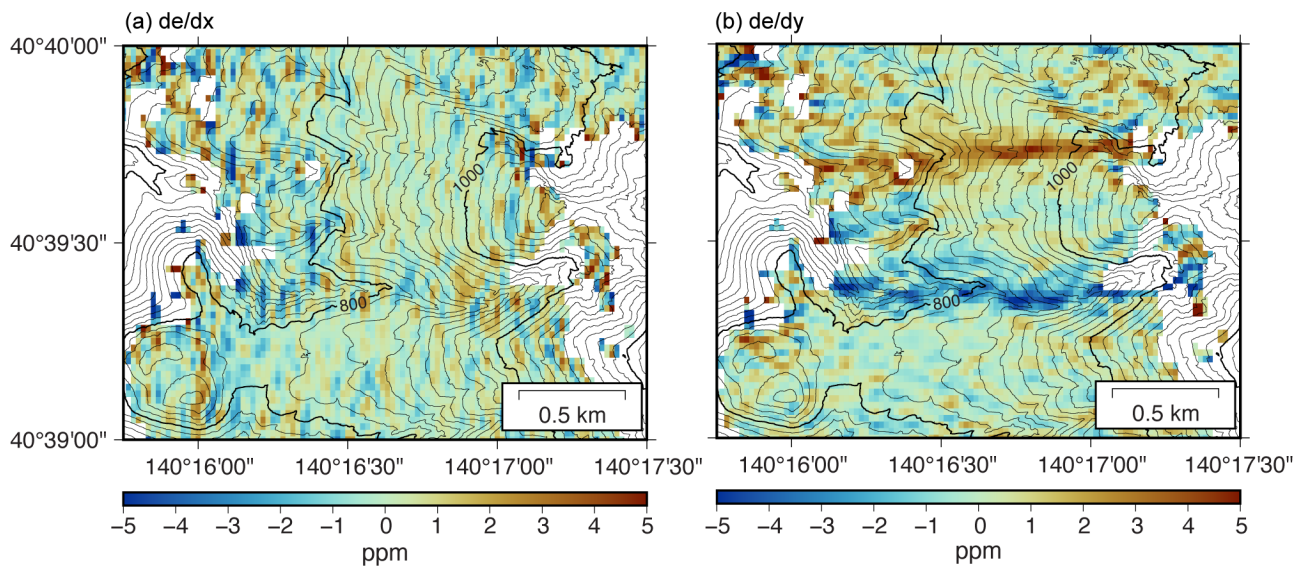
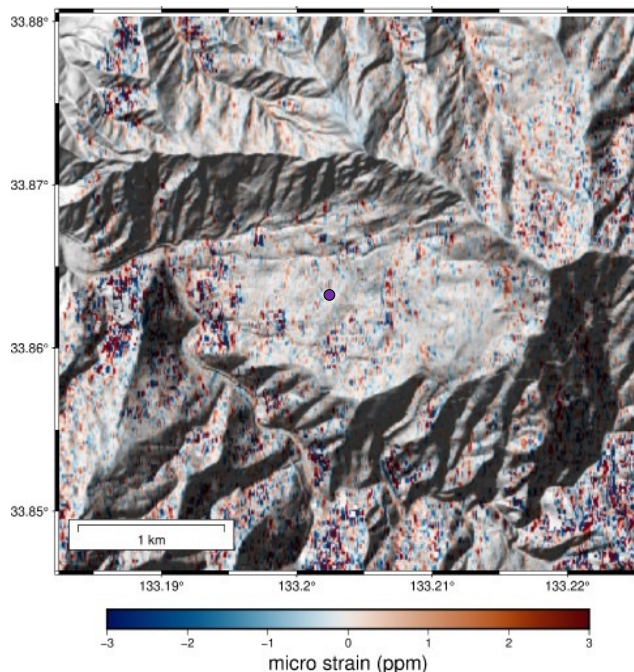


図 2 岩木山西側斜面において準東西成分および準上向成分の空間勾配を推定した結果。(a) 準東西成分の東西方向勾配 (de/dx)。 (b) 準東西成分の南北方向勾配 (de/dy)。 正の値（赤）は、東向き成分が東側（北側）でより大きな値を取ることを示す。 負の値（青色）は、東向き成分が、東側（北側）でより小さい値を取ることを示している。

(a)



(b)



図 3 (a) 千町地すべりにおいて準東西成分の東西方向勾配 (de/dx) を推定した結果。 本図における正負の値が示す意味は、図 2 と同じである。(b) (a) 中央付近の紫色の丸の箇所における地表の変状。 道路に約 15 cm の段差が認められ、石垣に隙間が生じている。

(3) 地下における変形集中箇所の検討

B) 岩木山における事例では，有限要素法を用いた逆解析による地下における変形集中箇所推定手法（Doke et al., 2024 により提案した手法）を適用した．図 4 において，暖色系ほど，初期に与えた剛性率（10GPa）からの低下率が大きいことを示している．剛性低下率が大きい箇所は，地表からの深さ数 10 m から 100 m 付近で，円弧上の形状を呈していることが明らかとなり，地すべり面の存在を示唆している可能性がある．

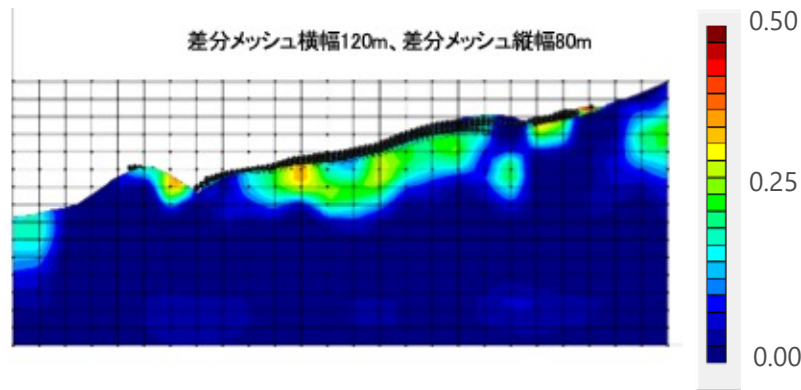


図 4 岩木山を対象とした有限要素法逆解析結果．色は初期値からの剛性低下率を示す．

(4) 局所変位を検出するためのフィルタの検討

C) 川崎市の大規模盛土造成地の変位は局所的であることから，その抽出にあたり，広域的な変動を除去する必要があるため，そのためのフィルタリング手法について検討を行った．時系列解析の結果（準上下成分）に対し，中央値フィルタを適用し長波長成分を推定し，それを元の解析結果から差し引くことにより局所的な変位を推定した．その際のフィルタのサイズについては，沈降速度が大きい 10 地点を選定し，フィルタサイズを 150～1,500 m の間で 10 段階に変化させ，その中から，十分に広域の変位を示し，なおかつ過剰にフィルタサイズが大きくなならない値として 900 m を最適値として選択し，適用した．図 5 には，フィルタを適用した結果および，それを差し引いて得られた最終的な準上下変位速度成分を示している．これにより広域の変位が除去され，十分に盛土の変位が捉えられていることがわかる（図 6）．この方法については，地すべり密集地域で適用できる可能性があり，今後，より適切な方法・手順を検討する予定である．

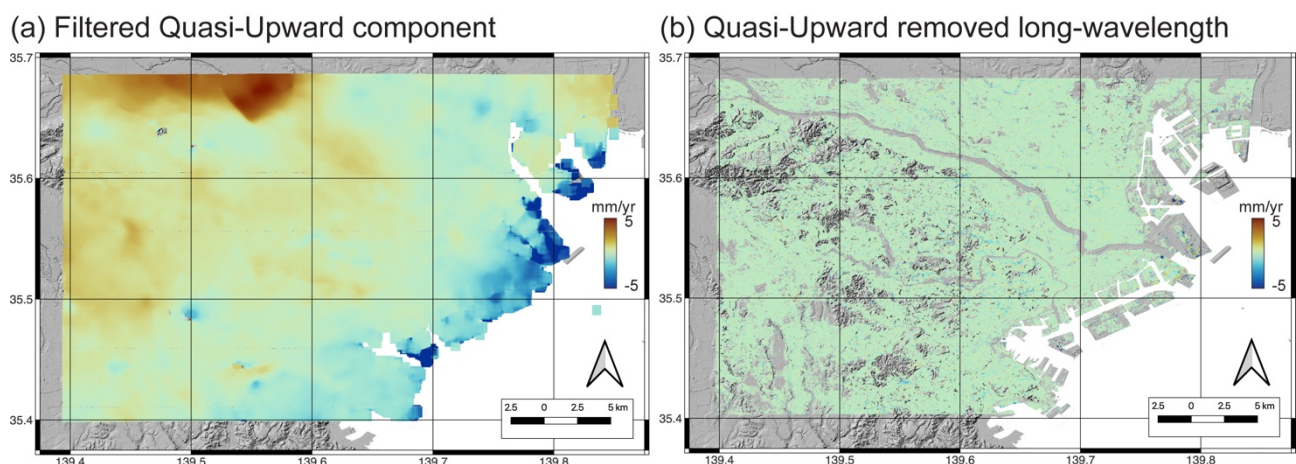


図 5 (a) 神奈川県川崎市の解析結果（準上下成分）にフィルタを適用した結果．(b) 元の解析結果から長波長成分を除いた準上下成分の結果．

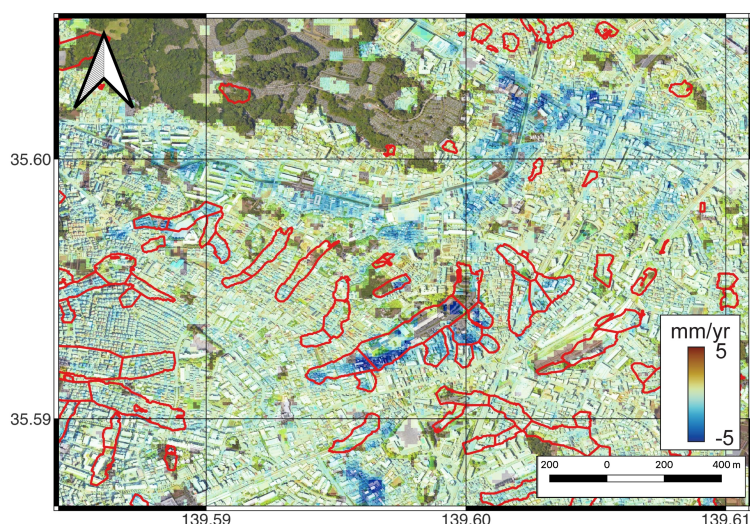


図 6 図 5 (b) の結果について，特定の地域を拡大し，大規模盛土造成地の分布（赤線）と比較したもの．

引用文献

- Berardino P, Fornaro G, Lanari R, and Sansosti E (2002) A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 40: 2375–2383. doi: 10.1109/tgrs.2002.803792
- Doke R, Sanoki S, Iwanaga S, Sato M, Hosono K, and Tominaga E (2024). Monitoring of landslide displacements in Owakudani, Hakone volcano, Japan, using SAR interferometry. *Landslides* 21: 1207–1219. doi: 10.1007/s10346-024-02224-w

（ 発 表 論 文 ）

- Doke R, Narumi T, Satomura M, Ueda S, and Hara T (2025). Detecting deformation of artificial embankment using InSAR time series analysis of Sentinel-1 data, an example from Kawasaki City, Kanagawa Prefecture, Japan. 2025 9th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR), pp 1–4. doi: 10.23919/APSAR64635.2025.11392209
- 三井 洸・道家涼介・山崎新太郎（2026）干渉 SAR 解析による愛媛県千町地すべりの挙動とメカニズム，東北地域災害科学研究，62，59-64.