

衛星データによる大規模地盤変動への適用性について

中電技術コンサルタント株式会社 法人正会員 ○鹿瀬 一希, 正会員 岩田 直樹
 琉球大学 正会員 藍檀 オメル, 正会員 渡嘉敷 直彦, 正会員 伊東 孝

1. はじめに

近年、衛星データの利用技術の発展により、「合成開口レーダ (SAR)」による干渉 SAR 解析を利用した地盤変動の調査や研究等が行われるようになってきた。干渉 SAR 解析は、SAR による 2 回以上の能動的な電波の送受信による観測データの位相差から衛星視線方向の地表変動量を計測するもので、過去に遡って広域に面的な変動を把握できることが特徴であり、斜面などの定期的なモニタリングに有効だと考える。これまで干渉 SAR 解析による変動検出事例はいくつか報告されているが、比較的小さな変動が発生した箇所での変動抽出事例が多く、継続して大規模な変動が確認されている箇所での適用性を検討した事例は少ない。そこで本検討では、大規模な変動が確認されているトルコのババダー地区の地すべりを対象に干渉 SAR 解析を行い、大規模変動に対する適用性について検討した。

2. 干渉 SAR 解析

干渉 SAR 解析に用いられるマイクロ波は、X バンド (波長 3cm 程度)、C バンド (波長 6cm 程度)、L バンド (波長 24cm 程度) の 3 種類である。波長が長いほど樹木などの障害物を透過しやすく、変位を検出できる分解能 (一般的に波長の 1/10~1/20 程度) が低くなる。このマイクロ波を地表に向け照射することによって、反射波の「強度」と「位相」を得ることができる。干渉 SAR 解析は、この位相の情報を用いて 2 時期の SAR 観測において受信したマイクロ波の位相差を変動量として計測する技術である。しかし、干渉 SAR 解析の結果には、変動量以外に大気中の水蒸気の影響や地表面の植生などによるノイズが含まれるため、これを如何に低減させるかが課題である。

このノイズを低減させる手法として、時系列干渉 SAR 解析がある。時系列干渉 SAR 解析は、複数枚の SAR 観測データを統計的に処理することにより、ノイズを低減することができる。代表的な手法として、干渉 SAR 解析と同様の処理を複数のペアで行い、面的な変動を捉えることができる SBAS 解析がある。本検討

では、この SBAS 解析を用いて面的な情報 (変動量、変動範囲等) を捉えることができるか検討を行う。なお、SBAS 解析に必要なデータ数は、15 枚以上と推奨されている。

3. 対象地点の概要

ババダー地区は、トルコ西部の山岳地帯に位置する。ババダーの地質構造は、流れ盤に沿って低角度で弱層が連続的に存在しており、1940 年以降、大規模な地すべりが発生している。この地すべりは、図 1 に示す範囲で 1960 年から 2000 年初頭までの約 40 年間で 6m 以上の変動が計測され、1990 年代後半には、年間最大で 40cm 程度の変動が確認された¹⁾。この影響により 2000 人の人々が立ち退きを余儀なくされた。本検討では、この地域を対象に干渉 SAR 解析を行った。



図 1 ババダー地区での地すべり箇所¹⁾

4. 使用データ

本検討では、C バンド (Sentinel-1, ESA) と L バンド (ALOS-2, JAXA) のそれぞれ波長の違う 2 種類の SAR データを用いる。それぞれのデータ諸元を表 1 に示す。Sentinel-1 は、2 週間に 1 回観測されるが、ALOS-2 は、年 2-4 回程度の観測回数である。

表 1 使用データについて

| 使用データ | Sentinel-1(C バンド) | ALOS-2(L バンド) |
|-------|------------------------------------|------------------------------------|
| 検討期間 | 2017/12/10-2019/5/22 (約 1.5 年間) | 2014/11/30-2019/3/31 (約 4.5 年間) |
| 検討枚数 | 35 シーン (おおよそ 2 週間に 1 回) | 12 シーン (年 2-4 回) |
| 価格 | 無償公開 | 1 枚当たり 8 万円 |

キーワード 干渉 SAR 解析, ALOS-2, Sentinel-1, 地盤変動, 地すべり

連絡先 〒734-8510 広島市南区出汐二丁目 3 番 30 号 原子力プロジェクト室 TEL082-256-3416

5. Sentinel-1 (Cバンド) による検討

Sentinel-1 は植生等の影響を受けやすいが、データ数が多いことから SBAS 解析の適用性を検討した。コヒーレンス分布図を図 2 に示す。コヒーレンスは、干渉のしやすさを表すもので 0 から 1.0 で表され、干渉性が良いほど高く、2 時期の間で地表面の状況が変わる（植生や大きな変動等）と低下する。コヒーレンスの低下は、計測精度に影響するため、本検討ではコヒーレンスの閾値を 0.2 とし、これ以下は解析しない。このため、赤い矢印で示している箇所については、地すべりによる地割れ等の影響によりコヒーレンスが低下したことで変動が捉えられなかった可能性がある。

次に、変動量分布図および変動抽出位置を図 3 に、時系列変動量グラフを図 4 に示す。その結果、ババダーでは、年間最大で 6cm 程度の変動が確認された。地すべり範囲内の変動を確認したところ、変動量に差は見られるが、変動傾向にばらつきがないことから、一様に地盤が変動していると考えられる。また、過去に計測された変動量とも概ね整合していることから、現在も変動が続いている可能性を示唆している。

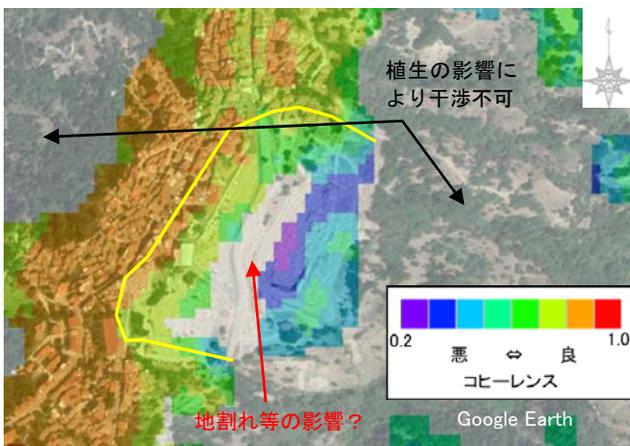


図 2 コヒーレンス分布図

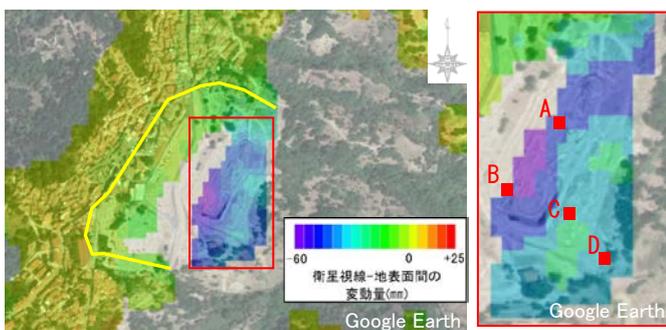


図 3 変動量分布図 (右: 赤枠内拡大図)

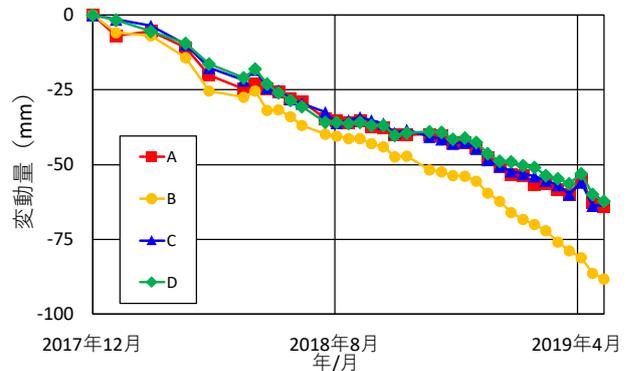


図 4 時系列変動量 (2017/12/10-2019/5/22)

6. ALOS-2 (Lバンド) による検討

ALOS-2 は、植生の影響等を受けにくいですが、取得できる期間（約 4.5 年）で 12 シーンしか取得できなかったため、SBAS 解析はできなかった。そこで、2 時期の干渉 SAR ペアを多数作成して、その変動量が 2cm 以上 (L バンドでの変動検出分解能を 2cm と仮定) となる回数を検出した (図 5)。その結果、11 回の干渉 SAR 解析の内、地すべり範囲に対応した箇所でも 7,8 回の変動が確認された。これより波長の長い L バンド (ALOS-2) は、C バンド (Sentinel-1) で捉えられなかった変動範囲を捉えられる可能性を示唆した。

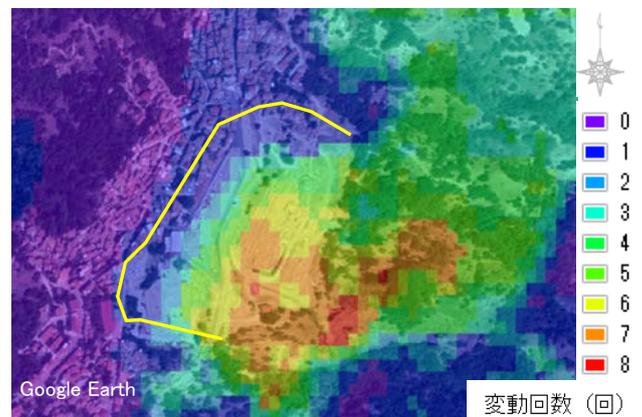


図 5 変動検出回数

7. おわりに

本検討より、大規模な変動がみられる箇所について、Sentinel-1 では、時系列干渉 SAR 解析を行うことで変動量を抽出できる可能性を示唆した。ALOS-2 は、SAR データ数が少ないため時系列解析は行えなかったが、干渉 SAR ペアによる変動回数を検出することで変動範囲を捉えられる可能性を示唆した。

参考文献

- 1) H,Kumsar et al. : An Integrated Geomechanical Inverstigation,Multi-Prameter Monitoring and Analyses of Babadağ - Gündoğdu Creep-like Landslide,Rock Mech Rock Eng.,Vol49,pp.2277-2299,2016