

SAR 干渉画像を用いた地すべり変動の抽出

静岡大学大学院総合科学技術研究科

○西口尚希

静岡大学農学部

今泉文寿 土屋智 逢坂興宏

1. はじめに

合成開口レーダー (SAR) は航空機や人工衛星に搭載し、移動しながら観測を行うことで一度に数十 km から数百 km 四方の地表面を観測することができるレーダーである。干渉 SAR の技術を用いることで理論的には地すべりや地盤沈下のような小スケールの地表変動を捉えることができる。しかし、実際には観測条件やノイズの影響等により必ずしもすべての観測で精度よく地表変動を抽出できるわけではない。そこで本研究では現地観測結果である GPS 観測による変動量と SAR 干渉画像から得られた変動量を比較することにより干渉 SAR の地表変動検出精度の検証を行った。さらに、観測精度と各種観測条件との関係性についても考察した。

2. 解析データおよび解析方法

静岡県口坂本地すべり及び長野県小塩地すべりにおいて定期的に取得されている GPS 観測から得られた変動量と、異なる 2 時期の ALOS2 観測データから作成した SAR 干渉画像より得られた変動量を比較した。作成した SAR 干渉画像の諸元を表 1 に示す。

表 1 作成した SAR 干渉画像の諸元

(a)口坂本地すべり(パス-フレーム:126-690)		
期間(YMMDD)	観測期間(日)	垂直基線長(m)
140919~141128	70	115.8
140919~150403	196	176.7
140919~150626	280	52.0
141128~150403	126	292.5
141128~150626	210	63.8
150403~150626	84	228.6

(b)小塩地すべり(パス-フレーム:126-700)		
期間(YMMDD)	観測期間(日)	垂直基線長(m)
140919~141128	70	114.1
140919~150403	196	177.7
140919~150626	280	50.5
141128~150403	126	291.9
141128~150626	210	63.7
150403~150626	84	228.2

SAR 干渉画像から得られる地表変動量は人工衛星と地表面を結ぶ衛星視線方向の成分であるが、GPS 観測から得られる地表変動量は X, Y, H 座標成分の変化量であるため純粋に比較することはできない。そこで、干渉 SAR 変動量と GPS 変動量を比較するために (1) 式を用いて GPS 観測データによる変動量を衛星視線方向の変動量に変換した。

$$d_{los} = d_n \cos\theta - \sin\theta \{d_n \cos(\alpha - 3\pi/2) + d_e \sin(\alpha - 3\pi/2)\} \quad (1)$$

d_{los}, d_n, d_n, d_e はそれぞれ衛星視線方向, 上下方向, 北南方向, 東西方向の変動量を示す。 θ 及び α はそれぞれ入射角, 衛星進行方向の方位角である。

口坂本地すべりでは GPS 観測 3 箇所 (図 2 の左図) での観測結果に対して 6 時期の SAR 干渉画像を対比させ (合計 18 事例)、小塩地すべりでは GPS 観測 11 箇所 (図 2 の右図) での観測結果に対して 6 時期の SAR 干渉画像を対比させた (合計 66 事例)。

3. 干渉 SAR 観測精度の検討

GPS 観測から得た衛星視線方向の地表変動量と SAR 干渉画像から得られた衛星視線方向の地表変動量の関係を図 1 に示す。

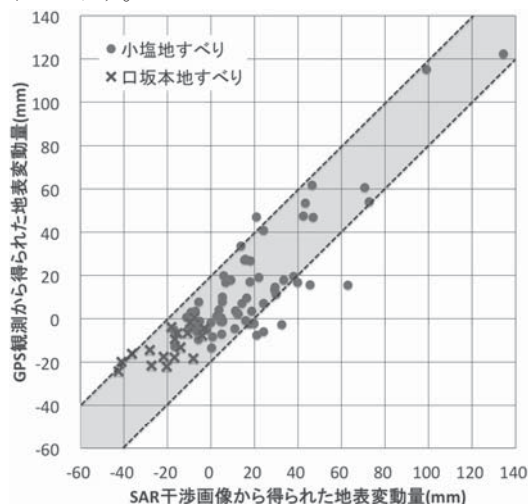


図 1 GPS 観測による地表変動量と SAR 干渉画像による地表変動量の関係 (変位方向は衛星視線方向)

破線内の灰色部分は GPS 観測による変動量と SAR 干渉画像による変動量の残差が $\pm 20\text{mm}$ 以内の範囲を示しており、地表変動量の大小に関わらず、多くのプロットが $\pm 20\text{mm}$ の範囲に入っている。口坂本地すべりでは 18 プロット中 16 プロットが、小塩地すべりでは 66 プロット中 58 プロットが $\pm 20\text{mm}$ の範囲に入った。図 1 において口坂本地すべりにおけるプロットの変動量の絶対値が 30mm 以内であるのに対し、小塩地すべりにおけるプロットの変動量は 100mm を超えるものも存在する。その理由として、地すべりそのものの活動性に加え、口坂本地すべりでは地すべり変動が比較的活発ではない斜面西側に GPS 観測地点が位置 (図 2 の左図) しているのに対して、小塩地すべりでは地すべり変動の活発な箇所にも GPS 観測地点が位置 (図 2 の右図) しているためであると考えられる。

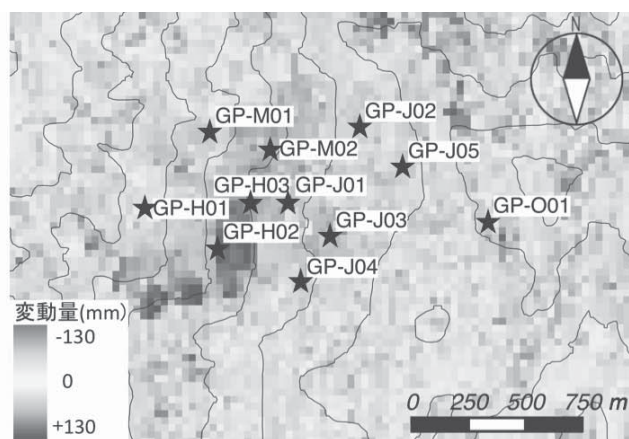
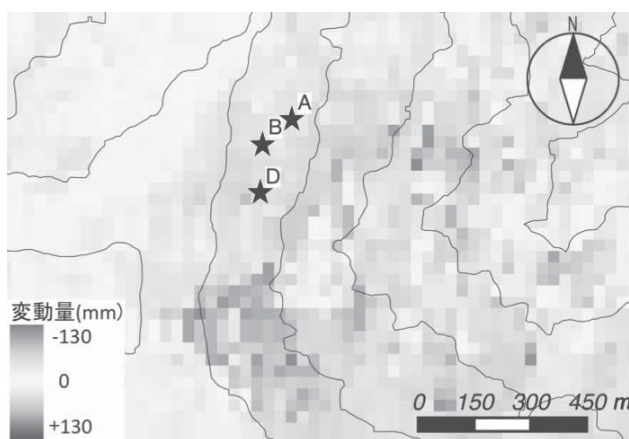


図2 GPS観測地点位置図及びSAR干渉画像の例(図中の★はGPS観測地点を示す 等高線は100mごと)

左図: 口坂本地すべり 観測期間 2014/09/19~2015/06/26

右図: 小塩地すべり 観測期間 2014/09/19~2015/06/26

4. 干渉SAR観測精度と観測条件との関係の検討

SAR観測において誤差が大きくなる原因の一つにコヒーレンスの低下が考えられる。コヒーレンスとは干渉のしやすさを表す指標であり、2回の観測期間の長さや2回の観測における衛星間の垂直基線長などに影響されると考えられている。そこで、干渉SAR解析における観測精度と、各種観測条件との関係性について検討した(図3・図4)。

などに起因する地表状態の改変や電離層の電子密度の季節変化に伴う電波伝播速度の変化が発生することが主な原因であると考えられる。

また、残差が±20mmを超えるものの割合が多くなった観測期間196日以上のSAR干渉画像を対象として、残差と垂直基線長の関係について検討したところ、決定係数は0.13となった(図4)。この結果から本解析のように垂直基線長が300m以下である場合は、垂直基線長と残差の間に明確な関係はないと考えられる。

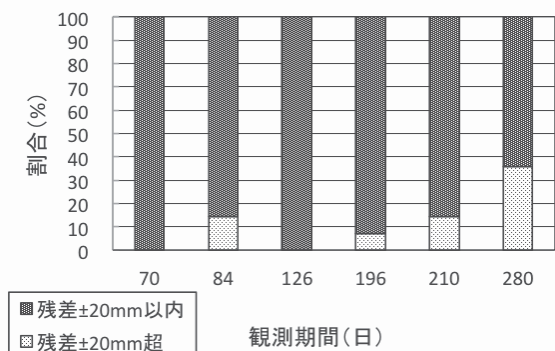


図3 地表変動量の残差が±20mmを超えるものの割合と観測期間の関係

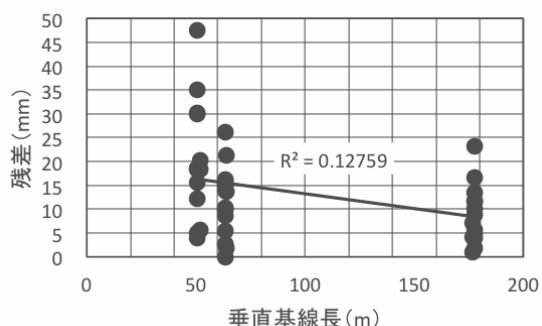


図4 観測期間が196日以上のSAR干渉画像における地表変動量の残差と垂直基線長の関係

GPS観測と干渉SAR解析の残差が±20mmを超えるものの割合と観測期間との関係を検討した結果、196日以上において観測期間が長くなると残差が±20mmを超えるものの割合が増える傾向が見られた(図3)。これは2回の観測の期間が長くなると、下層植生の成長や落葉

5. まとめ

口坂本地すべりおよび小塩地すべりにおいて、ALOS2データを用いたSAR干渉画像から得た地表変動量とGPS観測から得られた地表変動量を比較することにより干渉SARの精度検証を行った結果、観測箇所の多くで±20mm以内の高精度で地表変動を捉えたことがわかった。また、残差が±20mmを超えたものについて観測期間及び垂直基線長との関係を検討した結果、観測期間が長くなると干渉SARの観測精度が小さくなる傾向が見られた。このことから、観測期間の短いペアを用いて干渉SAR解析を行うことで比較的正確かつ広範囲の地すべり変動の観測をおこなえる可能性が示唆された。

参考文献

- 佐藤ら (2012): SAR干渉画像を用いた地すべり地表変動の検出について, 日本地すべり学会誌, Vol. 49-2, P. 61-67
- Hanssen (2001): Radar Interferometry, Kluwer Academic Publishers, P. 162-163, 5.1

謝辞

本研究において、静岡県及び林野庁により取得されたGPSデータを使用させて頂いた。また、本研究の一部は東京大学地震研究所特定共同研究(B)で行われた。感謝の意を示します。