

平成 29 年 8 月 9 日現在

機関番号：72692

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06843

研究課題名(和文) PSInSAR解析を用いた高精度地表変動推定手法の開発と複合的地表変動現象の解明

研究課題名(英文) Development of algorithms to increase estimation accuracy of surface displacement using PSInSAR analysis, and understanding complex surface displacement phenomena

研究代表者

石塚 師也 (Ishitsuka, Kazuya)

公益財団法人深田地質研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：90756470

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：PSInSAR解析は、衛星データを用いて地表変動の空間分布および時系列変化を推定する手法であり、防災や持続的な資源開発の観点から有効であると考えられる。当該研究期間内にこの手法を用いて以下の成果を挙げることができた。(1)日本のSAR衛星であるALOSのSARデータを用いたPSInSAR解析の理論的な精度を明らかにした。(2)従来地表変動の推定が難しい地域で地表変動の推定を可能とする手法を開発した。特に従来は用いられなかった偏波データを活用した手法を開発した。(3)従来は解析が難しかった広域の地表変動量(関東平野一帯)および山岳地帯の地すべり地表変動量(白山甚之助谷)を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Persistent scatterer interferometry (PSInSAR) is a satellite-based method to estimate time-series surface displacement with high spatial density. During the series of researches, I revealed the complex surface displacement phenomena and underlying mechanism. Moreover, I developed a new algorithm that increase the estimation accuracy and spatial density of surface displacement. (1) We clarified estimation accuracy of surface displacement by PSInSAR analysis of Japanese SAR satellite, ALOS/PALSAR. (2) We developed a new computer algorithm that increase estimation accuracy and spatial density of surface displacement compared with conventional PSInSAR algorithm. (3) We revealed ground subsidence and uplift around large areas of the Kanto plain (100\*100 km<sup>2</sup>), and clarified spatial distribution of surface displacement. We also revealed landslide displacement around the southwest side of Mt. Hakusan. Based on spatial distribution of surface displacement, we identified active landslide blocks.

研究分野：地質工学、リモートセンシング

キーワード：地表変動 PSInSAR解析 偏波 推定精度 関東平野 地すべり 地盤沈下

### 1. 研究開始当初の背景

社会活動に大きな影響を与える地表変動を観測し、その原因を解明することは、国土強靱化の観点から重要である。衛星搭載 SAR データを用いた PSInSAR 解析では、条件が良ければ地表変動をミリメートル精度で空間的に高解像度に決定できる。この利点を生かして、これまで詳細に捉えることの難しかった複合的なメカニズムで発生している地表変動(複合的地表変動)を明らかにし、メカニズムの解明をできる可能性がある。ただし、当手法は任意の地点で高精度に変動推定を可能にするまでには至っていない。特に、植生の多い地域や大気の水蒸気量の多い地域では、観測される位相変化にこれらの影響が表れるため、精度よく推定することが難しい。さらに、広域(数 10km 四方)の変動を長期間(10 数年)解析する際の計算コストが大きいという課題がある。広域かつ長期間に渡って取得された SAR データは、データ容量が大きく、計算コストを下げる解析プログラムやアルゴリズムが必須となる。

### 2. 研究の目的

本研究では、従来、PSInSAR 解析の適用が困難であった山間部および広域地域での地表変動解析に適用し、悪条件の地域に対しても、地表変動をミリメートル精度で推定出来るかの検証を行う。具体的には、近年頻発している地すべり災害の低減の適用性の検証のため、「白山甚之助谷の地すべり地域」に適用する。また、国内外の大都市がある堆積平野の広域地盤変動への適用可能性の検証のため、「関東平野一帯の地盤変動地域」への適用を考える。これらの結果を基に、複数の変動メカニズムが発生している場合、これらの相互作用を明らかにする。これによって、地球上のより多くの地点で地表変動を高精度に推定することを可能とするとともに、地表変動メカニズムの解明を行い、我が国の国土強靱化に寄与する。

### 3. 研究の方法

まず、我が国の衛星 SAR で取得されたデータを用いた PSInSAR 解析によってどの程度の精度で地表変動量を推定することができるか理論的な考察を行う。また、従来は用いられなかった偏波データを用いた解析アルゴリズムを開発することで、地表変動の推定精度を向上させる。さらに、PSInSAR 解析を国内最大の堆積平野である関東平野一帯および山岳での地すべり地帯である白山南西斜面に適用し、地表変動を明らかにするとともに、地表変動メカニズムの解明を行う。

### 4. 研究成果

(1) 日本の SAR 衛星である ALOS の SAR データを用いた PSInSAR 解析の理論的な誤差は、年間地表変動量で約 2 mm/年、時系列地表変動量で約 1 cm であることを明らかにした。

今後より精度を向上させる必要はあるものの、この精度は微小な地表変動量を観測することが可能であると言える。また、本研究で開発した PSInSAR 解析の精度評価手法は、汎用性がある方法であり、他の衛星や他地域の精度検証に用いることが可能となる。

(2) 従来地表変動の推定が難しい地域で地表変動の推定を可能とする手法を開発した。特に従来は用いられなかった偏波データを活用し、最尤法によって各偏波データのノイズ量に応じて重みを付け、地表変動量を推定する手法を開発した。開発したアルゴリズムは、理論的な精度検証を行うとともに、青森県弘前市周辺の地盤沈下域に適用し、手法の効果を検討した。従来の手法より地表変動推定可能なピクセル数が約 1.8-3.8 倍も増加し、地表変動域をより明瞭に捉えられることを可能とした(図 1 および図 2)。また、通常の直線偏波基底から円偏波基底に変換することで、地表変動の推定精度を向上できることを示した。この知見は、今後衛星 SAR データの取得モードを検討する際に有効であると考えられる。

(3) 従来は解析が難しかった広域の地表変動量(関東平野一帯)および山岳地帯の地すべり地表変動量(白山南西斜面)を明らかにした。その結果、関東平野では、北部や東部等複数の地域で年間 10 mm 程度の沈下が発生していることを捉えた(例えば図 3)。これらの地盤沈下地点は、既に水準測量等で知られているものではあるが、本研究によって初めて詳細な沈下域が明らかになったと言える。推定した地表変動量と地下構造を比較した結果、地盤沈下が地質構造に対応して発生していることを明らかにした。また、白山南西斜面では活動的な地すべりブロックをマッピングした(図 4)。また、GNSS や水準測量等の地点での観測と比較して、地すべりブロックの特徴がより詳細に特定できることを示した。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 9 件)

石塚師也・松岡俊文・高橋亨・相澤隆生 (2016): PS 干渉 SAR 解析を用いた関東平野北部の地盤沈下域の推定, 材料, 65(5), 384-390.

K. Ishitsuka, Tsuji, T., Matsuoka, T., Nishijima, J. and Fujimitsu, Y. (2016): Heterogeneous surface displacement pattern at the Hatchobaru geothermal field inferred from SAR interferometry time-series, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 44, 95-103.

石塚師也・辻 健・松岡俊文 (2016): 2016 年熊本地震に伴う江津湖・水前寺周辺の

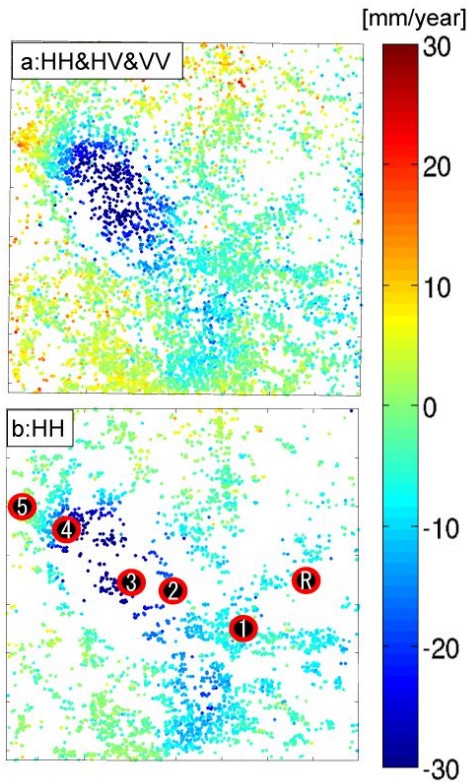


図1: (a) HH、HV、VV偏波を組み合わせて推定した年間地表変動、(b) HH偏波データのみを用いて推定した年間地表変動。

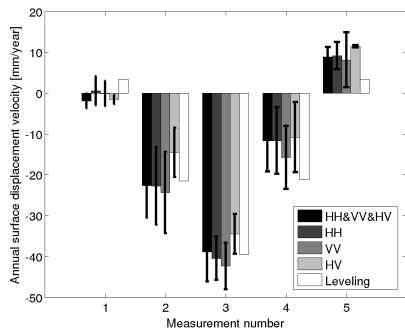


図2: (a) 各偏波データの解析結果と水準測量結果の比較。横軸の1から5は、図1の番号の位置に対応し、Rを基準点として変動を推定した。

局所的な地表変動，日本リモートセンシング学会誌，36(3)，218-222.

石塚 師也・松岡 俊文 (2016) : ALOS/PALSAR データを用いた PS 干渉 SAR 解析の精度評価 - 千葉県九十九里地域の地表変動を例として，日本リモートセンシング学会誌，36(4)，328-337.

K. Ishitsuka, T. Tsuji, T. Matsuoka (2016): Pixel-based interferometric pair selection in InSAR time-series analysis with baseline criteria, Remote Sens. Lett., 7(7), 711-720.

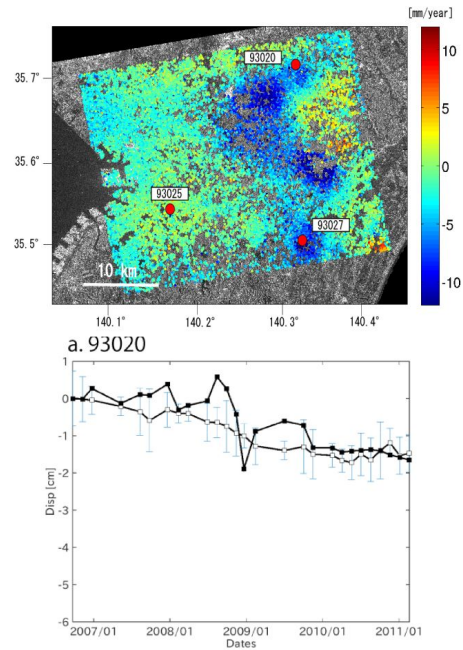


図3: (a) 関東平野南東部で推定された2007年から2010年にかけての年間地表変動量。(b) GPSとPSInSAR解析の比較結果。黒四角がPSInSAR結果を表し、白四角はGPSの値を表す。

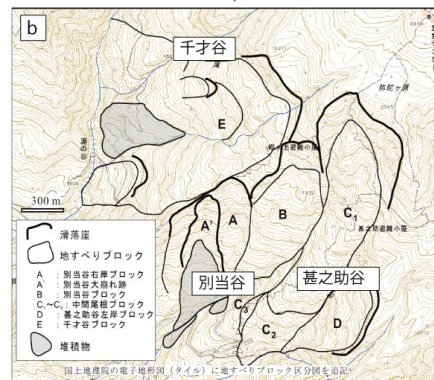
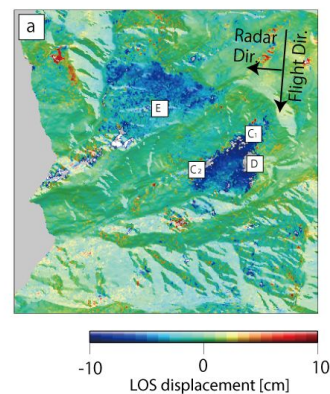


図4: (a) 推定された白山南西斜面の地表変動量 (2015年9月-2016年6月)。(b) 航空写真を元に判別された当該地域の地すべりブロック区分。

石塚師也 (2017): 干渉 SAR 解析を用いた地表変動量のモニタリングと地下の可視化, 地盤工学会誌.

K. Ishitsuka, T. Matsuoka, M. Tamura (2017): Persistent scatterer selection incorporating polarimetric SAR interferograms based on maximum likelihood theory, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 55(1), 38-50.

T. Tsuji, J. Ishibashi, K. Ishitsuka, R. Kamata (2017): Horizontal sliding of kilometre-scale hot spring area during the 2016 Kumamoto earthquake, Scientific Reports., 7, 4297.

石塚師也・藤井幸泰・金子誠・高橋亨・松岡俊文 (2017): 干渉 SAR 解析によって推定した地表変動と地すべりブロックの関連 白山甚之助谷周辺の地すべりを例に , 応用地質 , 57(6) , 289-294 .

[学会発表](計 7 件)

K. Ishitsuka, Prats-Iraora, P. and Nannini, M. (2015): ALOS/PALSAR and TerraSAR-X persistent scatterer interferometry around Tokyo: Interferometric phase evaluation and validation, 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGRASS 2015), Milano, Italy.

K. Ishitsuka, Prats-Iraora, P. and Nannini, M. (2015): Recent surface displacement around the Kanto plain, Japan: insight from persistent scatterer interferometry, the 12th SEGJ international symposium, Tokyo, Japan.

石塚師也・松岡俊文・田村正行 (2015): 多偏波 SAR データを用いた PS 干渉 SAR 解析手法の開発, 日本リモートセンシング学会第 59 回学術講演会, 長崎.

石塚師也・高橋亨・相澤隆生 (2016): ALOS および ALOS-2 データを用いた斜面崩壊地域の検出 - 富士山を例として, 日本地球惑星科学連合大会, 千葉.

石塚師也・辻 健・松岡俊文 (2016): InSAR 時系列解析における推定精度を考慮したピクセル毎の基線長閾値の選定法、日本リモートセンシング学会第 60 回学術講演会, 千葉.

石塚師也・辻 健・松岡俊文 (2016): PS 干渉 SAR 解析を用いた非都市域の地表変動モニタリング ニュージーランド・オハアキ地熱開発地域への適用, 第 134 回物理探査学会学術講演会, 東京.

石塚師也・高橋亨・松岡俊文・相澤隆生 (2016): 干渉 SAR 解析を用いた富士山における斜面崩壊モニタリング, 地盤工学会講演会, 岡山.

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石塚 師也 (ISHITSUKA Kazuya)

公益財団法人 深田地質研究所・研究員

研究者番号: 90756470