

Sentinel-1 衛星データを用いた PS-InSAR 解析の地表変動監視への適用に関する研究

九州大学	学生会員	○小城 直也	九州大学大学院	正会員	三谷 泰浩
九州大学大学院	正会員	谷口 寿俊	九州大学大学院	正会員	本田 博之
九州大学大学院	学生会員	成清 哲平	九州大学大学院	学生会員	潘 若琳
九州大学大学院	正会員	Ibrahim Djameluddin			

1. はじめに

地下の開発に伴って発生する地表変動を監視するための変動計測は、水準測量や GNSS 測量が主として用いられている。しかし、コストや労力の制約から、計測点には限りがあるため、局所的な変動が見落とされる可能性がある。そこで、広域かつ経時的なモニタリングとして、人工衛星に搭載される合成開口レーダ (SAR : Synthetic Aperture Radar) を用いた PS-InSAR (Persistent Scatterer InSAR) 解析が注目されている。PS-InSAR 解析は、干渉 SAR (InSAR) 解析における誤差要因を除去し、精度の良い解析が可能となるため、九十九里地域などで適用された事例が報告されている。

本研究では、広域かつ面的な地表変動監視を目的に、PS-InSAR 解析を実施し、解析結果の 2.5 次元解析を行い、水準測量結果と比較することで、PS-InSAR 解析の広域地表変動監視への適用可能性を検討する。

2. 解析手法

2.1 対象領域と使用データ

本研究の対象領域は、1975 年から現在に至るまで天然ガスの開発が実施されている宮崎県沿岸部の南北約 20km、東西約 10km の領域とする。また、精度検証には、当地域で毎年実施されている水準測量のデータを用いる。解析に使用する衛星データは表 1 に示す Sentinel-1 衛星²⁾から取得されたものである。解析には、2017 年 1 月から 2020 年 12 月までの 4 年間で観測された衛星データ (S1A:113 枚, S1B:93 枚) を使用する。

2.2 PS-InSAR 解析

PS-InSAR 解析は、PS 点と呼ばれる干渉性の良いピクセルのみを抽出することで、InSAR 解析における誤差を統計的に抽出・除去する手法である³⁾。本研究では StaMPS (Stanford Method for Persistent Scatterers) を用いて解析を実施する。また、4 年間の変動を解析するにあたり、1 年ごとに解析を実施し、年間変動量を蓄積することで 4 年間の変動速度を求める手法 1 と、4 年間のデータを全て一度に解析することで 4 年間の変動速度

表 1 使用した Sentinel-1 データ

衛星	センサ	解像度	観測モード	オフナディア角	偏波	軌道方向	観測方向
S1A	Cバンド合成開口レーダ	5m	IWS	26.00°	VV	南行	右側
S1B	(波長約5.5cm)	20m		~40.40°		北行	左側

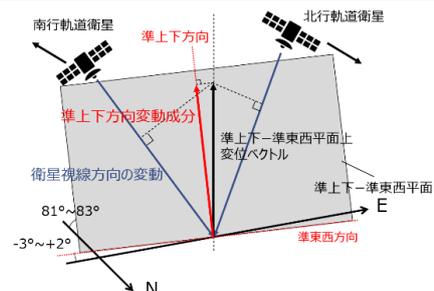


図 1 2.5 次元解析における変位ベクトル分解図

を求める手法 2 の 2 通りで解析を実施する。

2.3 2.5 次元解析

PS-InSAR 解析では、衛星視線方向の 1 次元変動を取得し、その後 2.5 次元解析⁴⁾により、鉛直方向の変動を算出する。具体的には、図 1 のように、異なる 2 方向の衛星軌道における衛星視線方向の変位ベクトルを、準上下、東西方向に分解することで準上下方向の変動を求める。この準上下方向の変動を鉛直方向変動とみなすことで、水準測量との比較を行う。本研究では、20m × 20m のグリッドを用いて、同グリッド内に 2 方向からの PS 点が含まれるグリッドに対して 2.5 次元解析を行う。

3. 解析結果と精度検証

3.1 2つの手法による解析結果の比較

2.5 次元解析の結果、手法 1 では 14,939 点、手法 2 では 16,885 点で 4 年間の変動速度を算出できた。水準測量点の約 150 点と比べると、PS-InSAR 解析により、広域かつ網羅的に地表変動の把握ができることが確認された。

手法 1、手法 2 によって得られた 4 年間の変動量から年間変動速度に換算し、Spline 内挿を実施した結果を図 2 に示す。その結果、対象領域全体で、両手法とも地表変動に同様の傾向が確認できるが、手法 1 は手法 2 に比べ沈下や隆起が大きく算出されることがわかる。ここで、水準測量結果との変動速度の誤差の絶対値の

平均は、手法1では2.77mm/年、手法2では1.97mm/年となっている。以上のことから、解析期間を分割せずに、一度に解析を実施する方が精度の高い解析を実施できることが明らかとなった。

3.2 解析結果と水準測量の比較

ここで、年間変動速度が水準測量と近い手法2と水準測量の比較を行い、適用性の検証を行う。ここでは比較のために、各水準測量点に対し、最も近い位置の解析点のみを対象とし、水準測量点と同数の年間変動速度の解析結果を用いてコンター図を作成する。図3に水準測量点における年間変動速度と、各水準測量点から最も近い解析点における年間変動速度に対し Spline 内挿を実施した結果を示す。水準測量で沈下している沿岸部北部の傾向は解析結果においても捉えられているが、その沈下領域は水準測量結果に比べ大きい傾向を示す。その他にも解析結果では、南部における局所的な沈下や隆起が発生しており、水準測量結果と比べ、地表変動の傾向を捉えられていない箇所が存在する。

また、図4に水準測量点近傍の地点の解析結果による変動速度を縦軸、水準測量結果による変動速度を横軸とした散布図を示す。図中の点線は、解析結果が水準測量結果と一致する線である。水準測量において沈下方向に変動速度が大きい点の多くは、解析結果においても変動速度が沈下方向に大きくなるよう分布しており、解析結果は水準測量結果とほぼ同様の傾向を捉えている。さらに、水準測量結果との変動速度の誤差の絶対値は平均1.74mm/年であり、平均2mm/年以下の精度で変動が検出できることが明らかになった。一方で、水準測量による変動速度が沈下方向に大きい地点において、解析結果の沈下方向変動速度は水準測量より大きく算出されていた。このような解析結果の誤差原因として土地利用や衛星の軌道の影響が考えられるため、植生の影響を受けにくいLバンド衛星のデータを用いた解析や別の解析手法など、実際の適用に際しては、さらなる検討が必要であると考えられる。

4. おわりに

本研究では、Sentinel-1 衛星データを使用し、PS-InSAR 解析の広域地表変動監視への適用可能性の検討を目的に、PS-InSAR 解析並びに2.5次元解析を実施した。その結果、解析に使用する全てのデータを用いて一度に解析を実施することで、期間を分割する手法と比

較して精度よく地表変動を把握できることが確認された。また、解析による変動速度は、水準測量の傾向を完全に捉えられてはいないものの、誤差2mm/年以下の精度で計測が可能であることが明らかになった。

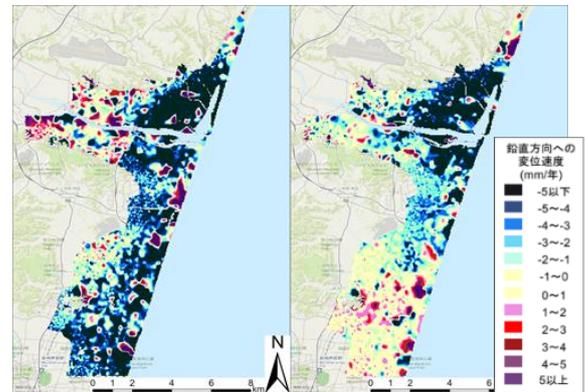


図2 2.5次元解析により算出した年間変動量 (左図：手法1，右図：手法2)

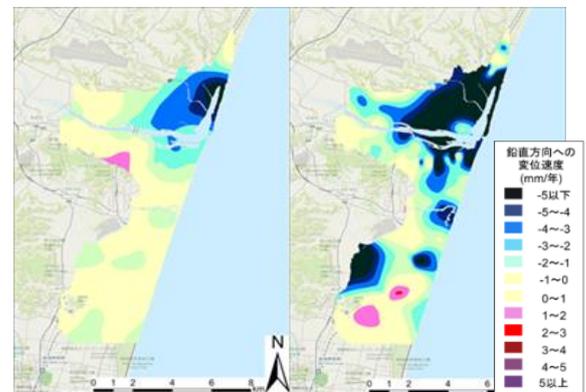


図3 鉛直方向の年間変動速度から作成したコンター図 (左図：水準測量結果，右図：解析結果)

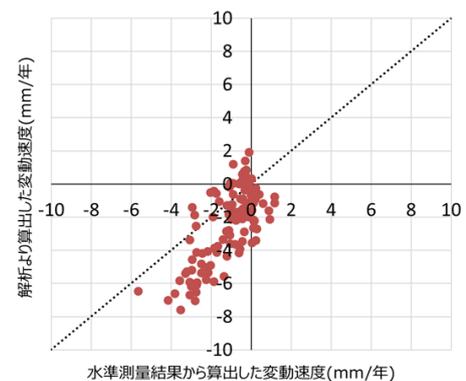


図4 解析結果と水準測量結果の変動速度の散布図

<参考文献>

- 1) 石塚 師也, 松岡 俊文: 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, Vol.36, No.4, pp.328-337, 2016.
- 2) Noura Darwish *et al.*: Assessing the Accuracy of ALOS/PALSAR-2 and Sentinel-1 Radar Images in Estimating the Land Subsidence of Coastal Areas: A Case Study in Alexandria City, Egypt, *Remote Sens.*, Vol.13, No.9, 2021.
- 3) Hooper, A., P. Segall, and H. Zebker: Persistent scatterer InSAR for crustal deformation analysis, with application to Volcan Alcedo, Galapagos, *J. Geophys. Res.*, Vol.112, No.B7, 2007.
- 4) Satoshi Fujiwara *et al.*: 2.5-D surface deformation of M6.1 earthquake near Mt Iwate detected by SAR interferometry, *Geophysical Research Letters*, Vol.27, No.14, pp.2049-2052, 2000.