

## SBAS-InSAR 解析による広域地盤変動のモニタリングに関する研究

九州大学 学生会員 ○窪津 裕貴 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 潘 若琳

### 1. はじめに

地下水の汲み上げや資源開発に伴う地盤変動は主に水準測量や GNSS 測量を用いて監視を行う。しかし、測量による長期間の地盤変動監視は、コストや労力の制約から計測点数に限りがあるため、広域での地盤変動の把握が難しい。そこで、継続的かつ高密度で面的な広域の地盤変動の把握が可能な SAR (合成開口レーダ) 衛星データを用いた観測が注目されている。衛星データを用いた解析手法の 1 つに、時系列干渉 SAR 解析があり、地盤変動分析の事例も報告されているが、精度検証を含め、地盤変動監視における適用性の検討が十分とはいえない。本研究では、時系列干渉 SAR 解析の SBAS-InSAR (Small Baseline Subset Interferometric SAR) 解析を実施し、水準測量結果との精度検証を行い、広域の地盤変動監視への適用可能性を検討する。

### 2. 使用データと解析手法

#### 2.1 対象領域と使用データ

本研究では、宮崎県沿岸部の南北約 20km、東西約 10km の天然ガスの開発地域を対象とする。精度検証には、当地域で毎年 2 回実施されている水準測量結果を用いる。解析には、表 1 に示す Sentinel-1 衛星の 2017 年 1 月から 2021 年 12 月までの 5 年間に観測された衛星データのなかで、コヒーレンス (干渉性) の良いデータ (S1A:63 枚, S1B:61 枚) を使用する。

#### 2.2 SBAS-InSAR 解析と 2.5 次元解析

SBAS-InSAR 解析とは、空間的・時間的に近い 2 枚の衛星データを組み合わせる手法であり、衛星データ同士の時間間隔が小さく、軌道間距離 (垂直基線長) が小さい干渉ペアを使用する (図 1)。これにより、大気や軌道誤差に起因するノイズを除去し、干渉性低下の影響を最小限に抑え、時系列の変動を算出できる<sup>2)</sup>。また、1 つの衛星から得られる SBAS-InSAR 解析の結果は、衛星視線方向の 1 次元変動で、鉛直方向の変動を計測する水準測量と比較ができないため、異なる 2 方向の衛星軌道からの解析結果を合成し、変動量を鉛直方向と東西方向の成分に分離する 2.5 次元解析<sup>3)</sup>を行

う。解析には、ENVI 5.6.1 の SARscape を使用する。本研究では、SBAS-InSAR 解析と 2.5 次元解析を組み合わせ、鉛直方向変動を算出し、水準測量結果と直接比較する。

### 3. 解析結果と精度検証

#### 3.1 解析結果

SBAS-InSAR 解析および 2.5 次元解析によって得られた解析結果と水準測量点の分布を図 2 に示す。解析点は合計 231,380 点であり、水準測量点以外の変動を面的に確認できる。特に北部沿岸部では隆起傾向、一ツ瀬川周辺では沈下傾向を確認できる。一方、解析点

表 1 使用した衛星データの概要

衛星	センサ	解像度	回帰	軌道方向	観測方向
S1A	Cバンド	5m×20m	12日	南行	右側
S1B	合成開口レーダ			北行	右側

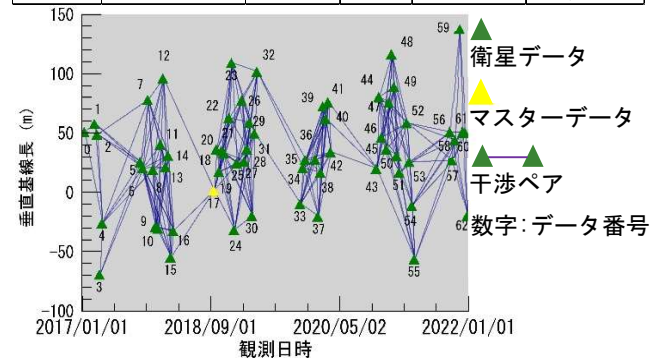


図 1 垂直基線長と観測日時の関係 (17 番のマスターデータを基準に各衛星データをプロット)

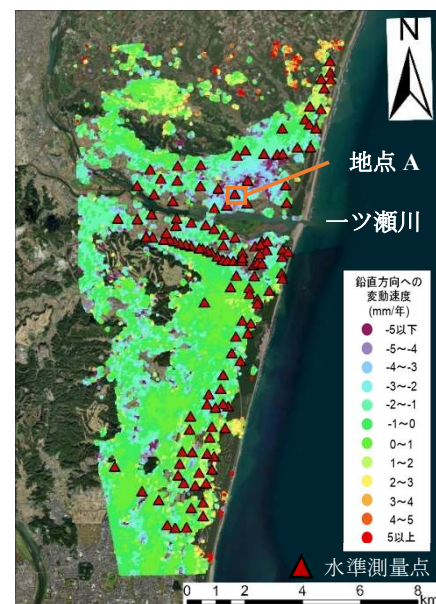


図 2 鉛直方向の変動速度分布と水準測量点

が存在しない箇所は、植生が支配的な地域であり、波長の短いCバンドでは観測が難しいと考えられる。

### 3.2 水準測量による精度検証

実施した SBAS-InSAR 解析の精度検証のために、水準測量結果 (131 点) との比較を行った。比較に際し、解析点は水準測量点と同位置であるとは限らないため、各水準測量点に対して 40m 以内にある最も近い解析点との比較を行う。その結果、水準測量結果との年間変動速度の誤差の絶対値の平均は 1.18mm/年であった。ここで、解析結果と水準測量結果の年間変動速度の比較結果を図 3 に示す。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り、直線は誤差 ±1mm/年の線である。解析結果は、全体的に水準測量結果よりもやや大きな値を示す傾向で、誤差 ±1mm/年以内の点が 66 点 (50.4%)、誤差 ±3mm/年以上の点は 5 点存在する。

次に、面的な変動を比較するために、図 4 に水準測量結果のコンター図と SBAS-InSAR の解析結果を示す。コンター図の作成に際しては、Spline 内挿を行う。図に示す通り解析結果では、水準測量が実施されていないエリアでの地盤変動が広域で捉えられている。また、水準測量結果で沈下傾向の一ツ瀬川周辺は、変動速度にやや差はあるものの解析結果においても捉えられており、沈下領域もほぼ一致する。南部でも、両結果ともやや隆起傾向を示し、変動の傾向を捉えられている。一方で、北部や南部の一部地域では、水準測量結果と異なる結果が見られたが、この原因については今後検討する。

さらに、時系列の変動を比較するために、図 5 に図 2 の地点 A での水準測量点と解析点の変動を示す。両結果とも 2017 年 1 月 1 日を基準として累積変動量を算出する。解析結果は、部分的に差違があるものの沈下や隆起を繰り返しながら、5 年間を通して緩やかに沈下している。また、水準測量結果も沈下傾向にあり、累積変動量もほぼ同値を示している。年間変動速度は、解析結果が -3.03mm/年、水準測量結果が -3.28mm/年とほぼ同じ値を示す。

### 4. おわりに

本研究では、宮崎県沿岸部を対象に Sentinel-1 衛星を用いた SBAS-InSAR 解析の広域地盤変動監視への適用可能性の検討を目的に、SBAS-InSAR 解析および 2.5 次元解析を実施した。解析結果は水準測量点以外の箇

所で変動を観測でき、水準測量結果との誤差 1.18mm/年の精度で地盤変動を把握できた。また、変動の傾向や累積変動量も精度よく把握できることから、SBAS-InSAR 解析は広域地盤変動監視への適用可能性が高いといえる。

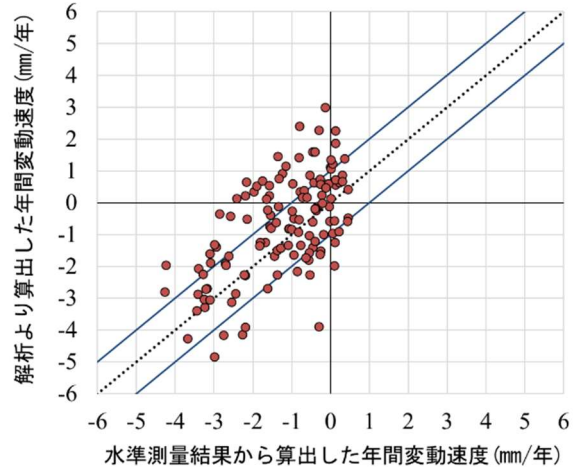


図 3 水準測量結果と解析結果の散布図

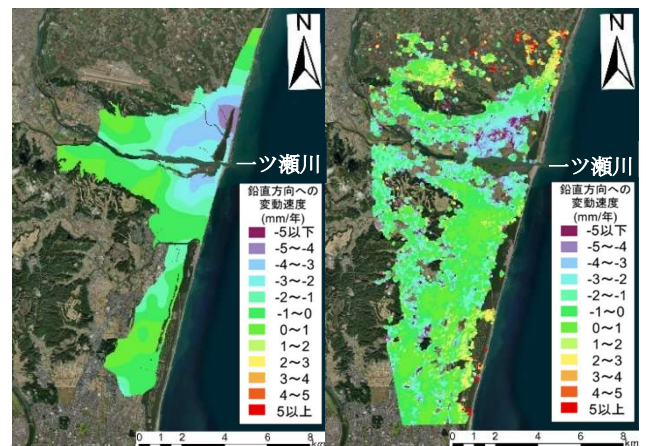


図 4 鉛直方向の年間変動速度による比較図 (左図：水準測量結果のコンター図、右図：解析結果)

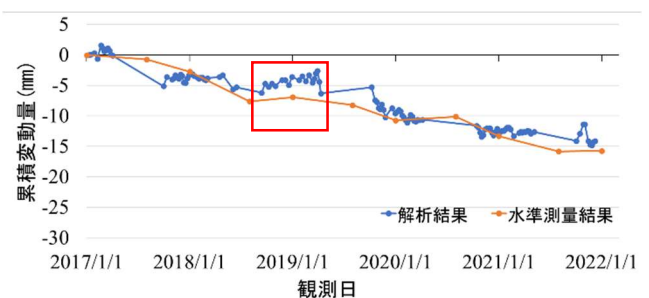


図 5 地点 A の水準測量結果と解析結果の累積変動量

#### <参考文献>

- 1) Takashi Nonaka *et. al.* : Evaluation of the Trend of Deformation around the Kanto Region Estimated Using the Time Series of PALSAR-2 Data, *Sensors*, Vol.20, 339, 2020.
- 2) 山中雅之, 森下遊, 森下優子: 干渉 SAR 時系列解析による地盤沈下の検出, 国土地理院時報, No.124, pp.1-13, 2013.
- 3) 環境省 水・大気環境局土木環境課 地下水・地盤環境室: 地盤沈下観測等における衛星活用マニュアル, < <https://www.env.go.jp/content/900509384.pdf> > (参照 2022.12.01) .