

先進レーダ衛星の高度利用に関する研究開発（第2年次）

実施期間	令和4年度		
測地部宇宙測地課	古居 晴菜	三木原香乃	
	市村 美沙	雨貝 知美	
	石本 正芳	佐藤 雄大	

1. はじめに

宇宙測地課ではこれまで、陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2) (以下「ALOS-2」という.) に搭載された合成開口レーダー (SAR) のデータを用いた SAR 干渉解析を実施し、日本全国の地殻変動を定常的に監視してきた (以下「全国定常解析」という.)。全国定常解析では、観測日が異なる2つの同じ地域の衛星画像から干渉画像を作成することで、この期間に発生した地表の動きを捉えている。しかし、干渉画像の品質が対流圏や電離層の影響を受けること、干渉画像では変動の時間推移が捉えられないことなどから、国家座標の維持・管理への活用は困難であった。そのため宇宙測地課では、令和2年度から干渉 SAR 時系列解析 (以下「時系列解析」という.) を火山地域や地盤沈下地域において試行的に実施し、これまで検出が困難であった微小な変動とその時間推移の検出に時系列解析が有効であることを確認した。時系列解析では、観測データが多いほど誤差を低減でき、変動の時間推移も把握することができる。今後上げが予定されている ALOS-2 の後継機である先進レーダ衛星「だいち4号」(ALOS-4) (以下「ALOS-4」という.) は、観測頻度が現在の約5倍となりデータ数も大幅に増加することから、時系列解析の更なる誤差低減や時間分解能の向上が期待される。

本課題は、時系列解析や2.5/3次元解析等により、変動の検出精度の向上、変動の時間推移や2.5/3次元変動の把握を可能とすることで、地殻・地盤変動監視を高度化し、さらにその成果を国家座標の維持・管理に活用することを目的として、ALOS-4の利用に関する研究開発を実施するものである。昨年度までに、火山監視へ時系列解析を導入するとともに、ALOS-4の高頻度観測データを用いた時系列解析に必要な大量の干渉解析を実行可能とするため、干渉 SAR 高次処理ソフトウェア (以下「高次処理ソフト」という.) の改造を行った。本年度は、時系列解析の対象を火山地域から全国に広げるため、千葉県房総半島の地盤沈下地域で時系列解析の精度検証を実施した後、ALOS-2の観測データを用いた全国時系列解析を開始した。また、干渉解析から時系列解析までの一連の処理を効率的に実施するため、高次処理ソフトに時系列解析機能を追加した。本報告では、全国時系列解析の概要及び高次処理ソフトの改造内容について報告する。

2. 全国時系列解析

2.1 精度検証

全国時系列解析に向けた精度検証として、千葉県の地盤沈下地域において時系列解析結果と水準測量成果との比較を行った。水準測量成果は千葉県が毎年実施し公開している成果のうち、時系列解析の解析範囲内のものを抽出し使用した (図-1左)。比較を行ったのは、ALOS-2の2015年から2021年までの観測データを用いた時系列解析による準上下方向の変位速度と、水準測量の成果から算出した上下方向の変位速度である。時系列解析と水準測量の変位速度をプロットした散布図では、相関係数が0.96、回帰直線の傾きが1.05となり、両者の結果が整合的であることがわかった (図-1右)。

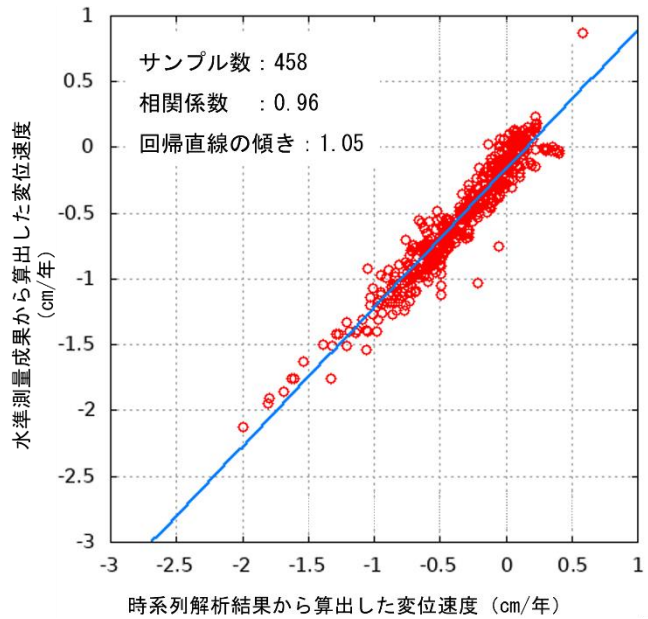
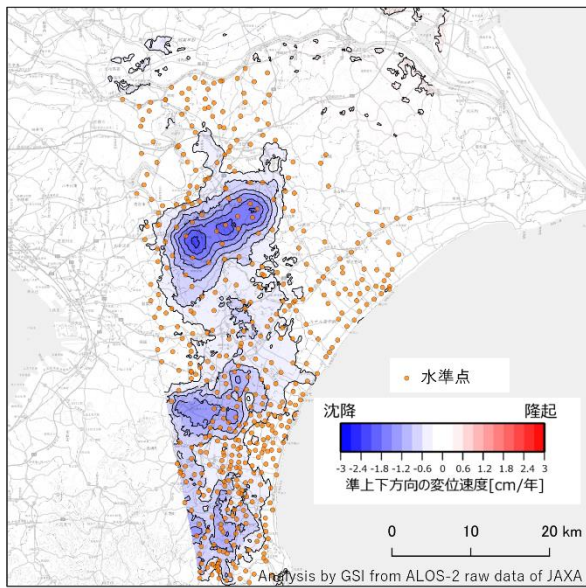


図-1 時系列解析結果と水準測量成果の比較結果。左は時系列解析から算出した準上下方向の変位速度及び時系列解析の解析範囲内にある水準点の位置を示した図。右は各水準点における時系列解析（準上下方向）と水準測量（上下方向）の変位速度の散布図。

2.2 全国時系列解析の概要

全国時系列解析は ALOS-2 の打上げから 8 年間のデータを使用し、干渉 SAR 時系列解析システム「GSITSA」（小林ほか，2018）を用いて SBAS 法によって実施した。解析に使用した観測データの諸元を表-1 に示す。

全国時系列解析は、全国の地盤・地殻変動の把握のほか、国家座標の維持・管理などへの活用を目的としている。そして、国家座標の維持・管理には、電子基準点では把握することが困難な局所的な変動を捉えることが求められる。したがって全国時系列解析では、長期間に生じた局所的で微少な変動を抽出するため、プレート運動による広域の地殻変動や地震によって短期間で生じる大きな変動等を除去している。広域の地殻変動は、電子基準点などの GNSS データを用いて長周期の変動を推定し除去した。地震時変動は、SBAS 法で位相最適化された各観測日の変動量を用いて、変位速度と地震時変動を同時推定し除去した。さらに、全国時系列解析では解析範囲が複数のパスにわたるため、パス毎に得られる結果を重み平均により結合することで、シームレスな結果を得た。

表-1 全国時系列解析に使用した観測データ

衛星進行方向	北行	南行
観測期間	2014年8月8日～2022年12月19日	2014年8月6日～2022年9月3日
電波照射方向（方位）	右（東）	右（西）
観測モード	U：高分解能（3 m）モード	
データ数	8-26（全 823）	11-31（全 909）
ピクセルスペース	90 m	
垂直基線長の上限	200 m	
観測間隔の上限	1095 日	730 日
冬季の観測データ	（北海道・東北）含まない	（関東以南）含む

2.3 公開状況と活用に向けた取組

時系列解析結果を早期に周知し活用促進につなげるため、解析が完了した地域から地理院地図を通じて一般に先行公開し（令和4年6月に北海道地域、令和5年1月に東日本地域）、令和5年3月28日に西日本を加えた全国の解析結果を公開した（図-2）。地理院地図で公開しているものは、北行軌道における衛星視線方向の変位速度及び準上下・準東西方向の変位速度の分布図である。現在は閲覧のみであるが、令和5年度には測量成果としてデータ提供も開始する予定である。

また、国や地方自治体に時系列解析結果を活用してもらうことを目的として、地理院 SAR マップ（国土地理院で解析した SAR 干渉画像などを関係機関向けに公開しているサイト）において、地理院地図から公開している結果に加えて2種類の表示ツールを公開した。一つは、選択した経路上における変位速度の断面図（図-3 左）、もう一つは選択地点の時系列グラフを表示させるものである（図-3 右）。これらは地盤沈下防止協議会等の関係会議でも紹介し、活用の促進を図った。

今後は、測量成果となる全国時系列解析結果を公共測量などで活用できるよう、測量マニュアル等を整備する予定である。

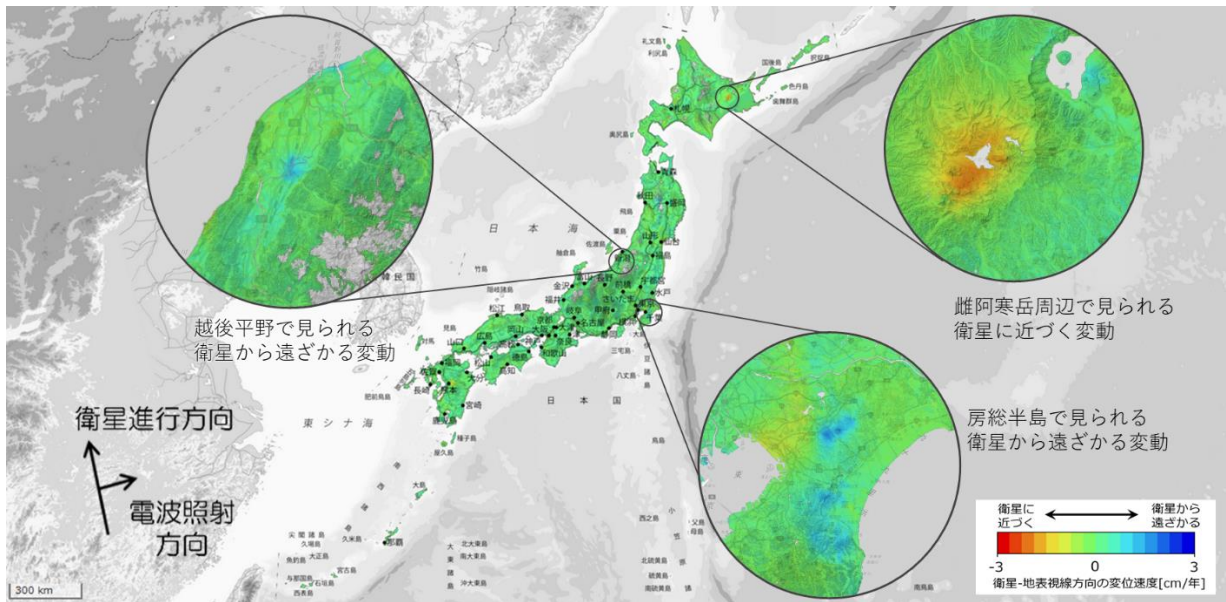


図-2 地理院地図にて公開されている全国時系列解析結果。北行軌道における衛星視線方向の変位速度を地図に合成表示したものと、解析結果で見られる変動の例を示している。

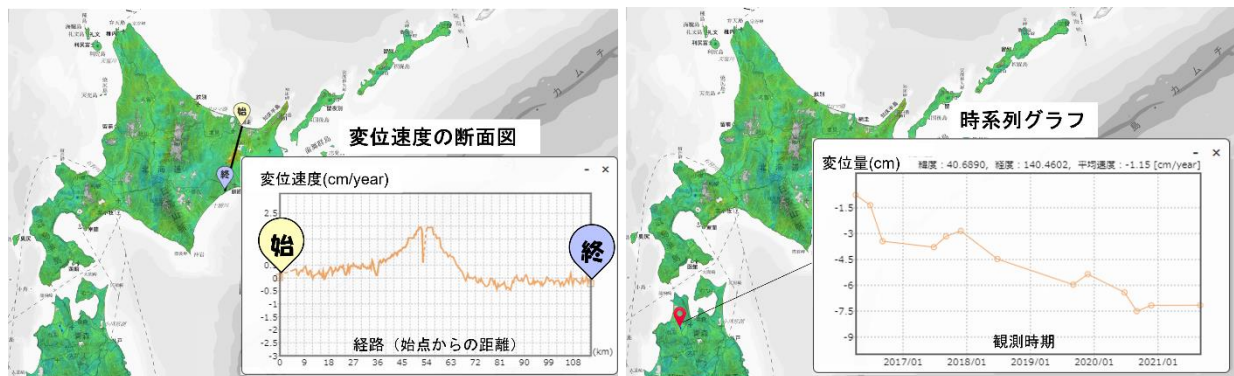


図-3 地理院 SAR マップにて公開されている表示ツールのイメージ。左は変位速度の断面図のグラフ、右は時系列グラフの表示例。

3. 時系列解析の自動化に向けた高次処理ソフトウェアの改造

これまで時系列解析は、手動で解析を行ってきたために膨大な時間を要していた。ALOS-4 の高頻度観測データを活用して全国を対象とした時系列解析を実施するには、時系列解析の自動化・効率化が必要不可欠である。そこで、時系列解析システム GSITSA（小林ほか，2018）を用いた時系列解析を高次処理ソフトへ組み込み、解析結果の確認を除く一連の処理を自動で実施可能とする改造を行った。これにより、あらかじめ設定した解析条件に従った解析が自動で実施可能となる。また、解析結果の確認については GUI による効率化を図った。加えて、複数台の解析サーバを利用して効率的に処理を行うため、ジョブ割振り機能を構築する改造も行った。今回の改造により、解析処理が高速化し、効率的に作業を行うことが可能となる。

4. まとめ

宇宙測地課では、ALOS-4 の打上げ後も高い精度で国土の地殻・地盤変動を監視し、将来的には時系列解析を国家座標の維持・管理に活用することを目的として、解析システムの改造や解析手法等の検討を進めている。本年度は、水準測量との比較により時系列解析の精度を検証したうえで、全国の時系列解析を実施した。この全国時系列解析の結果は、令和 5 年度には「衛星合成開口レーダー地盤変動測量」の基本測量成果として提供を開始する予定である。今後は、この成果を地盤沈下監視のための水準測量などに活用する仕組みの検討を行う。また、時系列解析の効率化のため、解析条件設定等の解析管理、解析結果確認及び再処理を除く処理の自動化・高速化と、解析結果確認の GUI による効率化も実施した。今後は、解析管理機能を向上させるなど、時系列解析の更なる効率化に向けた改造を実施する予定である。

謝辞

「だいち 2 号」の原初データは、国土地理院と宇宙航空研究開発機構（JAXA）の間の協定に基づき提供されました。「だいち 2 号」の原初データの所有権は、JAXA にあります。

参考文献

千葉県：千葉県水準測量成果表，<https://www.pref.chiba.lg.jp/suiho/jibanchinka/torikumi/seikaomote.html> (accessed 22 Feb. 2023).

小林知勝，森下遊，山田晋也（2018）：干渉 SAR 時系列解析プロトタイプシステムの開発，国土地理院時報，130，123–133.