

先進レーダ衛星の高度利用に関する研究開発（第4年次）

実施期間	令和3年度～令和6年度		
測地部宇宙測地課	田中 もも	市村 美沙	
	中島 正寛	上芝 晴香	
	石本 正芳	栗原 忍	

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、観測日が異なる二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、変動の時間推移も詳細に把握することができる。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 ALOS-2 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。

本研究は、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 の高度利用に関する研究開発を実施するものである。第1年次には、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の改造を行った。第2年次では、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 (石本ほか, 2024) を開始した。第3年次では、時系列解析を安定して効率的に実施するため、干渉画像のアンラップエラー修正の効率化を行った。第4年次となる本年度は、令和6年7月1日に ALOS-4 が打ち上げられたことから、実観測データの校正検証を行った。また、ALOS-4 の大量の観測データを使用した全国定常解析及び時系列解析を効率的に実施するため、干渉 SAR 高次処理ソフトウェアの改造を行った。本報告では、校正検証の概要及び検証事例と解析システムの改造内容について報告する。

2. ALOS-4 データの校正検証

2.1 校正検証の概要

ALOS-4 は令和6年7月1日の打上げ後、衛星や搭載機器の機能を確認する初期機能確認運用、観測データの校正検証を行う初期校正検証運用を経て、定常運用が開始される。宇宙測地課では、ALOS-4 の初期機能確認運用期間から宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 及び地理地殻活動研究センターと協力し、観測データの校正検証を行った。校正検証として、ALOS-4 の高分解能モード、広域観測モード、

スポットライトモードの各モードについて、干渉解析を行い正常な結果が得られるか確認を行った。本報告では、実施した検証のうち、高分解能モードの観測データを用いた事例を紹介する。

2.2 検証事例

2.2.1 ALOS-4 と ALOS-4 の干渉解析

干渉 SAR 高次処理ソフトウェアを用いて ALOS-4 同士の干渉解析を行い、正常な干渉画像が得られるか確認を行った。ALOS-4 の観測幅は 200 km であるが、観測データはレンジ方向（電波を照射する方向）に 4 シーンに分割されて提供される。そのため、まず 1 シーンのデータを用いて干渉解析を行った。その結果、正常な干渉画像が得られた。

次に、200 km 幅での干渉画像を得るため、レンジ方向に画像を結合（以下「画像結合」という。）したデータを用いて干渉解析を行った。その結果、結合部分の周辺で異常な位相変化が生じるという問題が発生した。観測データの調査や結合手法の見直し等を行った結果、この問題は、結合前の画像の端に異常なデータが含まれていたことが原因と判明した。そこで、画像の端を削除して結合するように処理を修正したところ、正常な干渉画像を得ることができた。

2.2.2 ALOS-2 と ALOS-4 の干渉解析

ALOS-4 は ALOS-2 のデータと干渉解析が可能な設計となっており、ALOS-2 のデータとの組合せにより、SAR による長期間の継続的な地殻・地盤変動の把握が可能になると期待される。そこで、実際に ALOS-2 と ALOS-4 の干渉解析が可能であるか検証を行った。検証は、2024 年 4 月以降、火山活動が活発化しており、ALOS-2 同士の干渉解析により地殻変動が検出されていた岩手山周辺の観測データを用いて行った。その結果、大地獄谷周辺において、ALOS-2 のみによる干渉解析結果と整合的な衛星に近づく変動が捉えられ、地殻変動の検出に成功した（図-1）。この結果は ALOS-4 で検出された初めての地殻変動であることから、JAXA と協力し 2024 年 10 月 16 日に国土地理院及び JAXA のウェブページで同時に公開した（宇宙航空研究開発機構，2024；国土地理院，2024）。

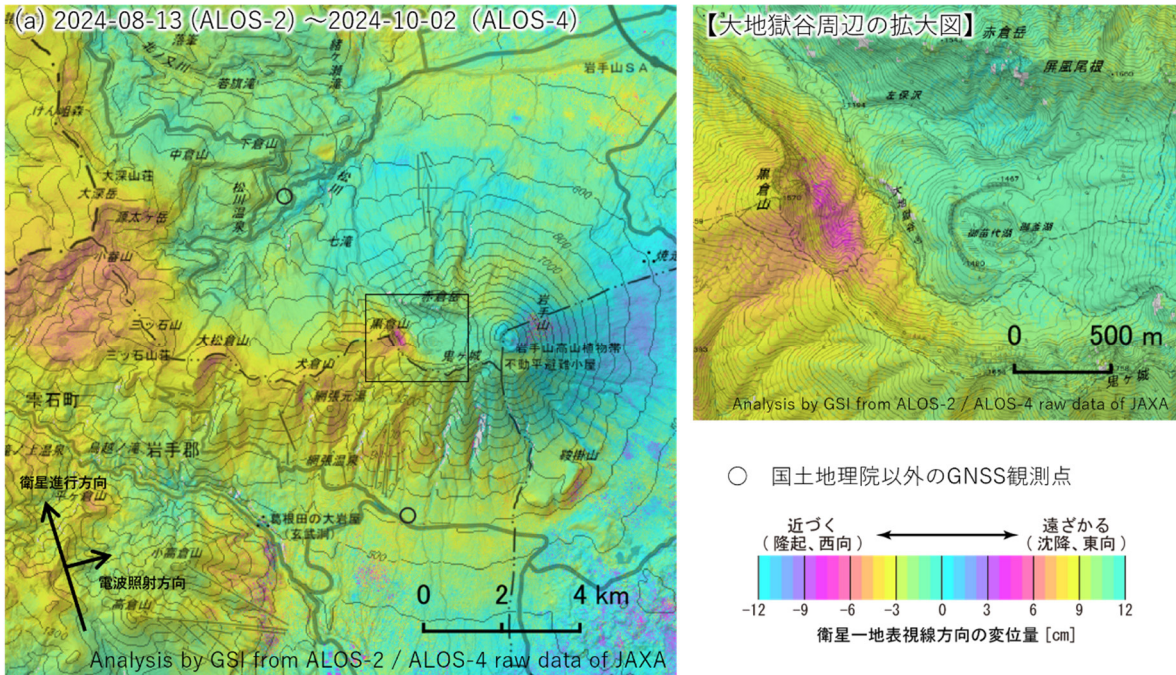


図-1 ALOS-2 及び ALOS-4 データによる岩手山の SAR 干渉解析結果
(2024 年 8 月 13 日～2024 年 10 月 2 日)

3. 解析の効率化及び高速化に向けた干渉 SAR 高次処理ソフトウェアの改造

3.1 アンラップエラーの検出・修正の効率化

時系列解析では、アンラップ（位相連続化）後の SAR 干渉画像が必要である。宇宙測地課では、時系列解析の精度を担保するため、数千枚に及ぶ干渉画像を 1 枚ずつ目視で確認し、手作業でアンラップエラーの修正を行ってきた。ALOS-4 では ALOS-2 と比べて観測頻度が約 5 倍となるため、大量の SAR 干渉画像に対して効率的にアンラップエラーを検出・修正する必要がある。そこで、干渉 SAR 高次処理ソフトウェアにおけるアンラップ処理機能に、令和 5 年度に開発した、①空間フィルタを用いたアンラップモデル作成、②干渉画像全体の位相傾斜から推定した位相オフセットの自動修正を実装した。

①空間フィルタを用いたアンラップモデル作成では、繰り返し空間フィルタ処理を行った干渉画像に対してアンラップしたものを基準モデルとして、元の干渉画像のアンラップを行う。この手法を用いることで、特にアンラップエラーが発生しやすい島嶼部や半島の先端部では、アンラップエラーの発生頻度が低減される。②干渉画像全体の位相傾斜から推定した位相オフセットの自動修正では、画像全体の傾斜を多項式近似平面によって推定し、推定された平面に合わせるように島や飛び地の整数オフセットを決定する（服部ほか、2024a；服部ほか、2024b）。上記①②を組み合わせた本改造により、これまで膨大な時間と労力を要していたアンラップエラーの検出・修正が大幅に効率化された。

3.2 補正処理及び画像結合の高速化

大量の SAR 干渉画像作成の効率化を実現するためには、処理の高速化の課題が残されている。干渉 SAR 高次処理ソフトウェアにおいて処理時間を要しているもののうち、電離層誤差低減処理、フィルタ処理及び位置合わせの処理について並列化の見直し等によりそれぞれ高速化を実現した。

また、前述のとおり、ALOS-4 では画像結合を行うことで、ALOS-2（観測幅 50 km）の 4 倍の空間範囲を一度に解析することができるが、画像結合処理に時間を要するため、全体の解析時間が増大す

る。そこで、画像結合処理の高速化の可能性について検証を進めており、プログラムの改造により高速化が実現できる見込みである。画像結合処理の高速化のための干渉 SAR 高次処理ソフトウェアの改造及び実装は、来年度実施する予定である。

4. まとめ

宇宙測地課では、ALOS-4 の高度利用を目的として、効率的な解析手法の検討や解析システムの改造を進めてきた。本年度は、ALOS-4 のデータの校正検証及び干渉 SAR 高次処理ソフトウェアの改造を行い、ALOS-4 データの実利用が可能な環境の整備を進めた。今後は、引き続き解析処理の更なる高速化及び効率化を進めるとともに、ALOS-4 データを用いた全国定常解析及び時系列解析を実施し、国家座標の維持・管理への活用を進める予定である。

謝辞

「だいち 2 号」及び「だいち 4 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」及び「だいち 4 号」の原初データの所有権は、JAXA にあります。気象庁数値気象モデルは、「電子基準点等観測データ及び数値予報格子点データの交換に関する細部取り決め協議書」に基づき、気象庁から提供されました。

参考文献

- 服部晃久, 三木原香乃, 田中もも, 雨貝知美, 石本正芳, 小門研亮 (2024a): 先進データ衛星の高度利用に関する研究開発 (第 3 年次), 国土地理院令和 5 年度調査研究年報, 32-36.
- 服部晃久, 石本正芳, 三木原香乃, 雨貝知美, 田中もも, 小門研亮, 小林知勝 (2024b): 干渉 SAR 時系列解析の効率化に向けたアンラップエラーの検出・修正の取組, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会.
- 石本正芳, 三木原香乃, 市村美沙, 古居晴菜, 服部晃久, 雨貝知美, 佐藤雄大, 小門研亮 (2024): 干渉 SAR 時系列解析による全国変動分布図の公開とその活用, 国土地理院時報, 137, 13-20.
doi: 10.57499/JOURNAL_137_03
- 国土地理院 (2024): 「だいち 4 号」で初めて地殻変動を検出 (2024 年 10 月 16 日発表), <https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/uchusokuchi20241015.html> (accessed 12 Feb. 2025).
- 宇宙航空研究開発機構 (2024): 先進レーダ衛星「だいち 4 号」(ALOS-4) による初の地殻・地盤変動の観測に成功しました!, <https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/news/2024/10/16/9967/> (accessed 12 Feb. 2025).