

先進レーダ衛星の高度利用に関する研究開発（第5年次）

実施期間	令和3年度～令和7年度		
測地部宇宙測地課	室山 怜太郎	市村 美沙	
	中島 正寛	上芝 晴香	
	雨貝 知美	若杉 貴浩	

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・管理への高度な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。令和6年7月に打ち上げられた、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（以下「火山時系列解析」という。）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年次では、ALOS-4実観測データの校正検証を行ったほか、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。第5年次となる本年度は、干渉 SAR 高次処理ソフトウェアにおける干渉解析及び全国・火山時系列解析へのALOS-4観測データの組込みを実施した。また、従来から引き続き、干渉 SAR 高次処理ソフトウェアの改造を実施し、解析処理・管理の更なる効率化を行った。さらに、災害時の観測機会の確保のため、海外の SAR 衛星データの解析ソフトウェアの開発を実施した。本報告では、本年度実施したこれらの取組について報告する。

2. 干渉 SAR 高次処理ソフトウェアの改造

2.1 ALOS-4 実観測データの組込み

これまでの干渉 SAR 高次処理ソフトウェアの改造では、ALOS-4の高頻度観測データに対応するた

め、ALOS-4 データも解析可能となるよう処理機能を拡張してきた。昨年度の校正検証では、ALOS-2 と ALOS-4 から正常な干渉画像が得られることを確認した。本年度は、ALOS-2 の観測データを用いて実施している干渉解析及び全国・火山時系列解析に、令和 7 年 4 月に定常運用が開始された ALOS-4 の実際の観測データを組み込むため、更なる干渉 SAR 高次処理ソフトウェアの改造を行った。

まず、干渉解析において、ALOS-4 データの画像再生処理の改造を行った。ALOS-4 データは ALOS-2 データと比べて画像長が短くなっており、画像再生範囲が異なっていた。後続の時系列解析では、同じ領域に対して同じ画像サイズの干渉画像が必要となるため、ALOS-4 データの再生位置へオフセットを加えることで、両者の画像再生位置を合致させるようにした。また、ALOS-4 は現在、パルス繰り返し周波数（以下「PRF」という。）を固定した固定 PRF による観測が実施されている。これは、観測中に PRF を変化させる可変 PRF による観測の場合、特に市街地においてアジマスアンビギュエティに由来するノイズが発生する可能性がある一方で、固定 PRF 観測ではこのノイズを低減できるためである。しかし、固定 PRF 観測では、撮影範囲に帯状にデータが欠測するブラインド領域が発生する（宇宙航空研究開発機構、2025）。特に、画像ニア側の端にブラインドが発生する場合、ALOS-4 画像幅が狭くなる。この事象についても、設定した範囲で画像再生が処理されるように、処理プログラムを改造した。

次に、時系列解析においては、ALOS-4 の組込みに当たり、ALOS-4 固定 PRF 観測におけるブラインドによって欠測となる領域においても変位速度を得るために、時系列解析における位相最適化処理を改造した。干渉 SAR 高次処理ソフトウェアの時系列解析機能では、解析結果の確認を除く一連の処理を自動化する解析システム（以下「自動解析システム」という。）で実施することが可能である。全国時系列解析では、既に自動解析システムによる解析を実施しているが、本年度は、火山時系列解析についても、自動解析システムによる解析への移行を開始した。

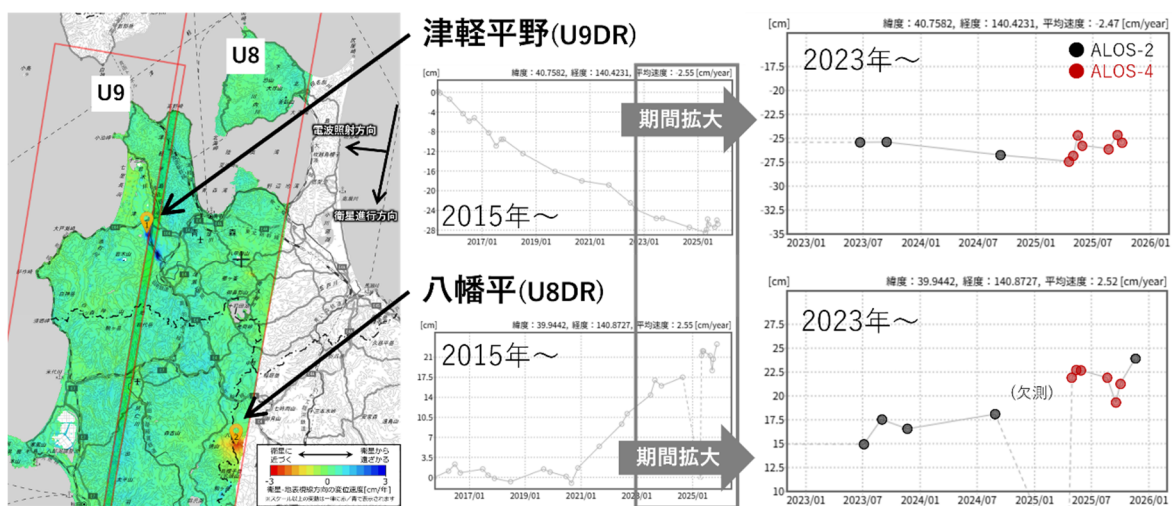


図-1 全国時系列解析結果の例：左は U8DR・U9DR 観測の 2015 年以降の変位速度，中央は，上が津軽平野，下が八幡平における 2015 年以降の衛星-地表視線方向の変位の時系列グラフ，右は同様に，2023 年以降の変位の時系列グラフを表示している（南行軌道，津軽平野：2015 年 5 月 7 日～2025 年 10 月 3 日，八幡平：2015 年 10 月 8 日～2025 年 11 月 20 日）。右のグラフにおいて，黒い点が ALOS-2，赤い点が ALOS-4 による観測である。

全国時系列解析については、既に ALOS-2 を対象に自動解析システムによる解析を実施してきた。本年度は、ALOS-2 に加え、令和 7 年 11 月までの ALOS-4 を含むデータを解析に使用した。本年度得られた全国時系列解析結果は、基本測量成果として提供予定である。また、火山時系列解析では、昨年度まで ALOS-2 を対象に手動の解析を実施してきた。本年度は、自動解析システムにより、ALOS-2 及び ALOS-4 データを用いた時系列解析を実施した。得られた解析結果は火山調査委員会へ提出した。ALOS-4 観測データを組み入れたことで、従来よりも時間分解能の高い地殻・地盤変動の解析結果を得ることができた。全国時系列解析では、津軽平野を例に挙げると、2023 年は ALOS-2 による 2 観測だった一方、2025 年は ALOS-4 による 7 観測へと増加し、時間分解能が向上した（図-1）。火山時系列解析においても、図-2 の時系列グラフのように、ALOS-4 を使用した令和 7 年 4 月以降の変位の時間分解能が向上した。

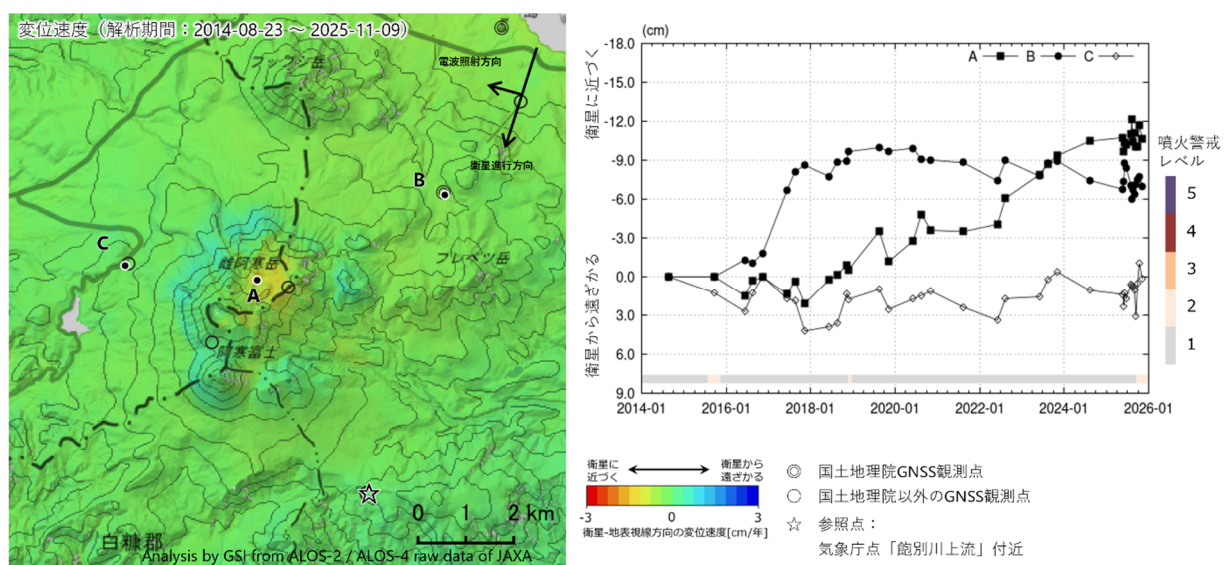


図-2 火山時系列解析結果の例：ALOS-2 及び ALOS-4 データによる雌阿寒岳の干渉 SAR 時系列解析結果（南行軌道，2014 年 8 月 23 日～2025 年 11 月 9 日）。左は雌阿寒岳周辺の変位速度分布，右は点 A～C における衛星-地表視線方向の変位の時系列グラフ。

2.2 解析処理の高速化・管理の効率化

ALOS-4 の大量の観測データについて、解析や結果確認、測量成果公開に至るまでの一連の処理を滞りなく適切に実行するためには、干渉 SAR 高次処理ソフトウェアにおける解析処理の高速化や管理の簡便化・効率化が必要である。そこで、本年度は以下の改造を行った。

解析処理の高速化として、地形縞除去と電離層誤差低減の処理を改造した。地形縞除去では、処理方法を大幅に変更した新規プログラムを開発し、地形縞シミュレーションの処理時間を短縮した。電離層誤差低減処理では、これまで各観測日同士の多数のペアに対して実施していた一部処理について、各観測日データに対する前処理として実施する方針へと変更したことで、実施すべき処理数が減少し、誤差低減処理が高速化した。また、干渉解析・時系列解析における処理時間や使用データ容量を縮小するため、データ格納サーバへのファイルの読み書き構成を変更した。さらに、管理の簡便化・効率化として、干渉ペア作成時における GUI 画面の改造や干渉解析及び時系列解析の補正確認画面における機能の改修を実施した。

3. 海外の SAR 衛星データ解析ソフトウェアの開発

地震や火山活動などの災害発生時には、被災状況の早期把握のため、衛星 SAR による迅速かつ詳細な地殻変動の把握が求められる。しかし、干渉解析で得られる変動量は、地表-衛星視線方向の 1 次元の値であり、そのままでは上下・水平方向の詳細な変動を把握することはできない。一方、東側と西側の二つの異なる方向からの観測結果があれば、2.5 次元解析により準上下方向と準東西方向の変動量を得ることができる。令和 6 年能登半島地震では、発災直後に東側と西側の異なる方向から緊急観測が実施されたことで、地震翌日には最大約 4 m の隆起を明らかにし、早期の変動情報の提供が可能となった。しかし、衛星 SAR による観測は衛星の飛来時期に依存するため、災害発生時に迅速かつ詳細に地殻変動を把握するためには、複数の衛星を活用し、観測機会を確保する必要がある。そのため、ALOS-2/ALOS-4 に加え、海外の SAR 衛星も加えた監視体制の整備を進めている。

本年度は、アメリカ航空宇宙局（NASA）とインド宇宙研究機関（ISRO）が共同開発し、令和 7 年 7 月に打ち上げられた SAR 衛星「NISAR」を対象に、干渉解析を行うソフトウェアの開発を実施した。NISAR は、ALOS-2/ALOS-4 と同様に、L バンド SAR を搭載している。また、ALOS-4 が右観測を基本としているのに対し、NISAR は左観測固定の仕様となっているため、ALOS-4 との併用により、異なる方向からの観測機会の増加が期待できる。さらに、ALOS-2/ALOS-4 の解析結果と組み合わせた 2.5/3 次元解析を可能とするため、本年度開発した解析ソフトウェアにより、出力される干渉画像は ALOS-2/ALOS-4 から得られるものと同じファイル形式として取り扱えるようにした。今後は、実データを用いた干渉解析の検証作業を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、自動解析システムによる全国・火山時系列解析に ALOS-4 を組み込み、干渉 SAR 高次処理ソフトウェアの改造を実施した。さらに、災害時の地殻変動監視の迅速化に向けた取組として海外の SAR 衛星データの解析ソフトウェアの開発を実施した。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、2.5/3 次元解析を含む地殻・地盤変動監視の高度化に向けた取組を進めていく予定である。

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

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，小林知勝（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
宇宙航空研究開発機構（2025）：可変 PRF/固定 PRF の 2 種類の画像について，
https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/alos-4/pdf/ALOS4ProductNotes01_VPRF_Ja_20251212.pdf (accessed 2 Mar. 2026).