

先進レーダ衛星の高度利用に関する研究開発

実施期間	令和 3 年度		
測地部宇宙測地課	石倉 信広	三木原香乃	
	島崎 久実	市村 美沙	
	石本 正芳	佐藤 雄大	

1. はじめに

宇宙測地課では、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 2 パス法による 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いる (以下「全国定常解析」という.)。全国定常解析では、同じ地域の観測日の異なる 2 つ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ることができるが、①干渉画像の品質は対流圏や軌道誤差による影響を受けること、②捉えられるのは特定の観測日間の変動のみであり、変動の時間推移は捉えられないこと、③前 2 点の問題を抱えていることから、基準点の維持・管理への活用が困難である、という課題がある。これらの課題に対し、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.) を試行的に火山地域や地盤沈下地域で実施し、これまで捉えることが困難であった微小な変動とその時間推移を把握可能であることが示された。しかし、ALOS-2 による観測は年に数回であることから、高い時間分解能で時系列解析を行うことができなかった。

そのような状況の下、令和 4 年度には ALOS-2 の後継となる先進レーダ衛星「だいち 4 号」(以下「ALOS-4」という.) が打上げられる予定である。ALOS-4 の運用開始後は、観測頻度が現状の約 5 倍となることから、ALOS-4 の高頻度観測データを活用することにより、時系列解析における誤差の更なる低減と時間分解能の向上が期待できる。

本課題は、時系列解析による変動の検出精度向上や時間推移の把握、2.5/3 次元解析による 2/3 次元変動の把握などにより地殻・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。

本年度は、ALOS-4 高頻度観測データの活用を想定し、ALOS-2 データによる時系列解析を、解析対象を拡大して実施した。また、大量の観測データを効率的に処理するため、令和 2 年度に改造した干渉 SAR 高次処理ソフトウェア (以下「高次処理ソフト」という.) に後処理 (干渉画像の作成と各種補正の適用) の自動化を行ったので報告する。

2. 時系列解析

2.1 概要

時系列解析は、多数の干渉画像を統計的に処理することで、この画像に含まれている誤差を低減させ、変動検出精度を向上させるとともに、変動の時間推移を把握できる手法である。解析は干渉 SAR 時系列解析システム「GSITSA」(小林ほか, 2018) を使用し、SBAS 法により実施した。

2.2 解析方法

GSITSA は、時系列解析で使用する多数の干渉画像を準備する前処理と、時系列解析 (SBAS 法) の 2 つのフェーズで構成される。前処理では干渉画像の収集、GNSS 補正、アンラップ、位相傾斜補正

等，時系列解析の入力となる画像の準備及び調整を行う．時系列解析では，前処理で得られた多数の画像を統計的に処理し，画像中の各画素における変動の時間変化を得る処理を行う．

2.3 解析結果

令和2年度は，草津白根山，焼岳及び口永良部島の3火山で時系列解析を実施した．今年度は対象を大幅に拡大し，国内111の火山のうち38火山（表-1）を対象に，ALOS-2の過去数年分のデータを用いて時系列解析を実施した．

表-1 令和3年度に時系列解析を実施した火山

地域	火山名
北海道	アトサヌプリ 雌阿寒岳 雄阿寒岳 大雪山 十勝岳 樽前山 倶多楽 有珠山 北海道駒ヶ岳 恵山
本州	岩木山 八甲田山 十和田 秋田焼山 八幡平 岩手山 秋田駒ヶ岳 鳥海山 栗駒山 蔵王山 吾妻山 安達太良山 磐梯山 草津白根山 浅間山 焼岳 御嶽山 箱根山
伊豆諸島	伊豆大島 三宅島 硫黄島
九州・南西諸島	阿蘇山 雲仙岳 霧島山 桜島 薩摩硫黄島 口永良部島 諏訪之瀬島

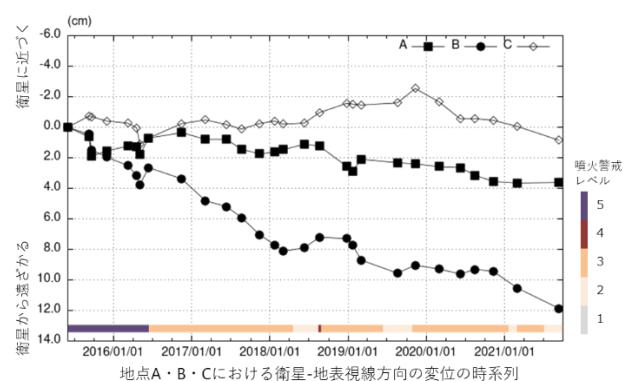
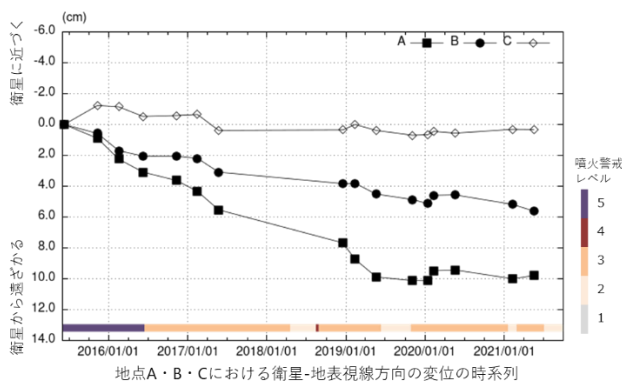
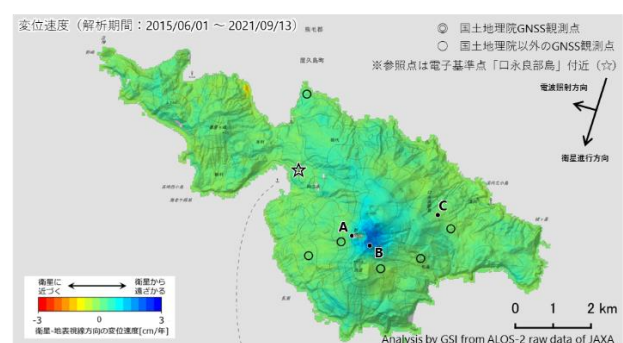
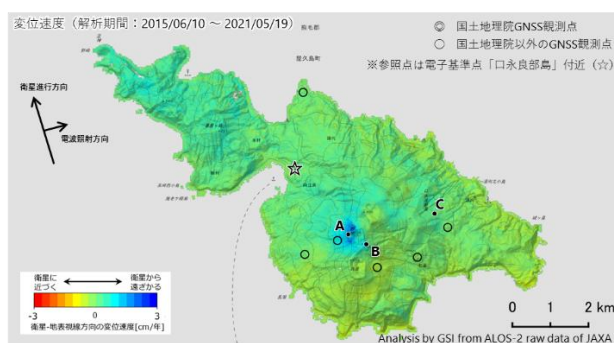


図-1 口永良部島の時系列解析結果．上段は変位速度，下段は変位速度の図中に示した地点A，B，Cにおける衛星－地表視線方向の変位の時系列を示す．左は北行軌道，右は南行軌道の観測から得られた結果．

口永良部島の時系列解析では、図-1 のように山頂付近で衛星から遠ざかる変動が見られた。地点 A, B, C の変位の時系列でも、青い領域に対応する点で衛星から遠ざかる様子が確認できた。さらに、この時系列解析で得られた変位速度から圧力源の位置を推定し、その位置を固定して体積の変化を推定した。その結果、圧力源は、新岳山頂付近の標高約 110m（火口底下約 355m）に位置し、体積は 2015 年以降継続的に減少しているが、2018 年～2019 年、2020 年に発生した爆発的噴火前後で体積の増加と減少が見られる（図-2）。

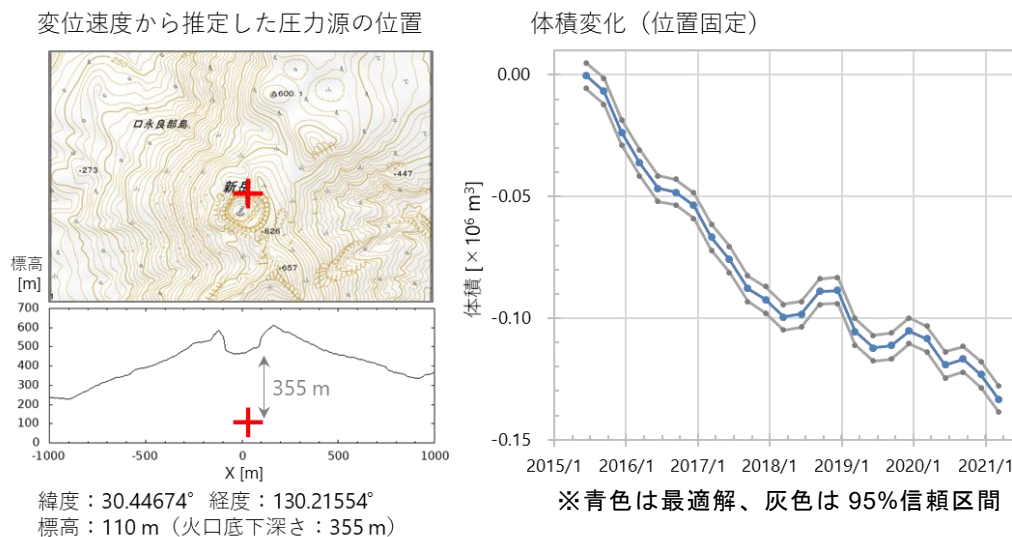


図-2 口永良部島の時系列解析で得られた変位速度から推定された圧力源の位置と体積変化

2.4 外部公開

火山地域の時系列解析結果は、第 148 回及び第 149 回火山噴火予知連絡会に提出され、第 149 回では口永良部島の時系列解析結果を用いて推定した圧力源の位置と体積変化についての資料を提供し、報道発表資料として取り上げられた。また、令和 3 年 7 月 30 日には報道発表「活火山の微小な動きが検出可能に ～地下のマグマの動きを地表で捉える 衛星画像の新たな解析結果を公開～」で火山地域の時系列解析を紹介し、地理院地図上で時系列解析の結果を一般公開した。

3. SAR 干渉解析の自動化に向けた高次処理ソフトウェアの改造

3.1 概要

令和 4 年度に打上げが予定されている ALOS-4 は、ALOS-2 と比べ観測頻度が約 5 倍となる。この高頻度観測のデータを活用して時系列解析の精度を向上させるためには、入力データとなる干渉画像は多くの組合せで多数生成する必要があることから、5 倍以上の解析を効率的に処理する必要がある。そのため、昨年度の改造により解析処理を効率化した高次処理ソフトに、干渉解析の前処理（画像再生～対流圏遅延量推定）から後処理（干渉画像作成及び干渉画像に対する各種補正）までを自動化する改造を行った。

3.2 改造の内容

令和 2 年度は、大量の解析を効率的に行うための前段階として、高次処理ソフトの計算処理やデー

タ容量の軽減を図るための改造を実施した。今年度は、実際に大量の解析を自動で実行するための改造を実施した。

3.2.1 前処理から後処理までの全自動化

前処理については、平成 30 年度の改造により、ALOS-2 データが入着した時点で自動的に解析できるようになったが、後処理については担当者が処理すべき干渉ペアを、データの観測日や観測地域がまとめられた解析管理表を見ながら選定し、解析してきた。しかし、ALOS-4 の高頻度観測データから得られる多数の組合せの解析を処理するためには後処理の自動化が必須であることから、前処理から後処理までを自動で実行する改造を行った。これまで解析管理表は Excel ファイルで管理していたが、それを高次処理ソフトに組み込み、自動的に干渉ペアを生成して解析できるようにした。また、ALOS-4 データの処理に向けて、これまでの短期（直近の観測）・長期ペア（1 年）だけでなく、指定した日間隔及び垂直基線長以下の干渉ペアを自動的に生成して解析処理できる機能も追加した。これにより、時系列解析に必要な干渉画像を多数生成することができる。

3.2.2 Web ブラウザのユーザインタフェース追加

これまでの干渉解析では、Linux のコマンドライン又は GUI のユーザインタフェースを使用していた。これらのインタフェースは維持しつつ、全自動解析の設定及び解析結果の確認を Web ブラウザ上で可能となるよう改造を行った。解析管理表は Web ブラウザから編集できるようにした。解析結果（干渉画像、各種補正を適用した画像及びアンラップ画像）も Web ブラウザ上で確認できるようにし、担当者が結果に問題ないことを確認したら、チェックを入れることによりにタイル画像を自動で生成して内部確認用の地理院地図にアップロードできる機能を追加した。これにより、解析処理における担当者の処理が Web ブラウザ上で完結し、効率的に作業を行うことができる。

4. まとめ

宇宙測地課では、ALOS-4 の打上げ後も高精度に国土の地盤・地殻変動を監視するために、解析システムの改造、解析手法等の検討を進めている。本年度は、国内の火山を対象にした時系列解析の対象を拡大し、結果を地理院地図上で一般公開した。また、SAR 干渉解析の自動化・効率化のため、前処理から後処理までの全自動化と、担当者が実施する作業で使用する Web ブラウザのユーザインタフェースを追加した。

宇宙測地課では、ALOS-4 のデータを利用した時系列解析に向けた準備のため、解析対象をさらに拡大するとともに、時系列解析の自動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

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。

三木原香乃，犬飼孝明，石倉信広，島崎久実，石本正芳，小林知勝（2021）：干渉 SAR 時系列解析による国内火山の長期的な地殻変動について，日本地球惑星科学連合 2021 年大会予稿及びポスター，http://www.jpogu.org/meeting_j2021/sessionlist_jp/detail/S-TT36.html (accessed 13 January, 2022).