

次世代 SAR 衛星を用いた地殻変動監視（第 1 年次）

実施期間	令和元年度
測地部宇宙測地課	桑原 將旗 三木原香乃 本田 昌樹 島崎 久実 山下 達也 酒井 和紀 宗包 浩志

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) のデータを用いて SAR 干渉解析を実施し、日本全国の地盤変動を定期的に監視している (以下「全国定常解析」という.)。SAR 干渉解析で得られる画像 (以下「SAR 干渉画像」という.) には、様々な原因で見かけの位相変化が生じることがあり、信頼度の高い変動検出を実現する上で障害になっている。本研究では、特に「SAR 干渉画像における地形に関係する見かけの位相変化の低減」について報告する。また、先進レーダ衛星 (ALOS-4) (以下「ALOS-4」という.) 打上げに伴う全国定常解析の作業量増加に備えて実施した「SAR 干渉解析の自動化の推進」についてもあわせて報告する。

2. SAR 干渉画像における地形に関係する見かけの位相変化の低減

2.1 概要

SAR 干渉解析では、様々な原因で見かけの位相変化が生じることがある。その中でも地形の取扱いに関連したものとして、「レイオーバー」や、「DEM (数値標高モデル)」に起因するものが挙げられる。前者は国土地理院が独自に開発した SAR 干渉解析ソフトウェア (以下「新 GSISAR」という.) の地形縞シミュレーションプログラム SimDem10 (飛田, 2009) のアルゴリズムの特性上発生するものであり (山下ほか, 2019), 後者は使用する DEM と実際の地形との乖離がある場合に発生する。これらの要因で発生する見かけの位相変化は、他の要因で発生する見かけの位相変化より空間波長が短く、実際の地表変動と誤解されやすい。このため、これらの要因による見かけの位相変化を低減することが信頼度の高い地表変動検出を実現する上で重要になる。

上に挙げた 2 つの要因による見かけの位相変化のうち、前者については山下ほか (2019) において SimDem10 にレイオーバーモードを実装することで見かけの位相変化を低減できる目処が立っている。今回は後者について、DEM の改良による低減を図るとともに、全国定常解析において使用される「地形縞データベース」について両者の要因を考慮した更新をすることで、全国定常解析における地形に関係する見かけの位相変化の低減を実現した。

2.2 DEM の誤差による見かけの位相変化について

SAR 干渉解析により最初に得られる画像 (初期干渉画像) には、地表の変動による位相変化に加え、干渉画像のペア 2 期間の衛星の軌道が完全には一致しないために生じる位相変化も含まれる。後者の位相変化は、軌道縞と地形縞に分けられる。軌道縞は地形がないと仮定した際、標高 0m の地球表面と衛星との距離の変化によって生じる縞模様であり、地形縞は地表の標高に比例して生じる縞模様である。軌道縞は 2 期間の衛星の軌道間距離である基線値を元に消去でき、地形縞は DEM からシミュレートすること (以下「地形縞シミュレーション」という.) により消去できる。この処理で作成される地形縞に相当する画像を

地形縞シミュレーション画像と呼ぶ。この際に、DEMと実際の地表面に差があると、見かけの位相変化として SAR 干渉画像に表れる。DEMの精度が影響するところもあるが、DEM作成後の土地の造成等の地形改変によるものが含まれる。

2.3 DEMの改良について

全国定常解析において DEMは「GSII0mDEHMJapan」（飛田，2009）を基にしている。これは、「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ（標高）」（以下「地形図 DEM」という。）及び「日本のジオイド」を元に作成した 10m 間隔標高、楕円体高データセットとそれらデータへのアクセスライブラリからなる。地形図 DEMは 1/25,000 地形図（以下「地形図」という。）の等高線データ等を基に作成されるため、地形図が整備された後に人工・自然の地形改変が生じている箇所では SAR 干渉画像に見かけの位相変化が生じることが問題になっていた。このため、地形図整備後の航空レーザ測量により作成された「基盤地図情報 数値標高モデル 5m メッシュ（標高）」（以下「航空レーザ DEM」という。）をデータが存在する領域に導入した。「dem10b2dem5a.c」というプログラムを作成し、10m メッシュヘリサンプリングを行い、元の地形図 DEMと同じ形式の XML データ（以下「航空レーザ on 地形図 DEM」という。）を出力した。これを「GSII0mDEHMJapan」に組み込むことで、全国定常解析の DEMの基となる日本全域の新たな 10m 間隔標高、楕円体高データセットを作成した。また、地形図 DEMと異なり航空レーザ DEMは順次更新される頻度が多いことから、更新された部分のみを容易に修正できるシステムを構築した。

システム構築後、SAR 干渉画像において DEMに起因する見かけの位相変化とみられる変動が確認できる箇所において、地図や空中写真で地形改変を確認した上で、それぞれ「地形図 DEM」と「航空レーザ on 地形図 DEM」を用いて SAR 干渉解析を実施し、DEMに起因する見かけの位相変化の低減効果を調査した。図-1の左図が「地形図 DEM」による SAR 干渉画像であり、枠で囲まれた部分が DEMに起因する見かけの位相変化とみられる変動である。図-1の右図は「航空レーザ on 地形図 DEM」による SAR 干渉画像である。両者を比較すると DEMに起因する見かけの位相変化が低減できていることがわかる。航空レーザ DEM作成時期と地形改変時期が異なることもあり、全てではないが、他の地点でも同様の効果が表れていることを確認した。

2.4 地形縞データベースの更新

全国定常解析で使用している解析ソフトウェア「新 GSISAR」は GSISAR の実行形式のプログラムを核とし日本語 GUIによる制御が取り入れられている、宇宙測地課が 2004 年に作成したプログラムであり、現在も改良が進められている。2013 年には、時系列解析ソフトウェアの 1 つである StaMPS での後続処理を可能にするため、「シングルマスター処理」の機能を追加した。ここで「シングルマスター処理」とは 1 つの画像を共通のマスター（以下「グランドマスター」という。）として干渉画像のペアを作成する干渉 SAR 時系列解析処理のうち、画像再生から位置合わせ、地形縞シミュレーション、干渉画像の作成までを行う一連の処理を指す。さらに、2014 年には「シングルマスター処理」の中に、2 つのスレーブに対してグランドマスターを介することで、どちらかをマスターにして「新 GSISAR」による後続処理が可能になる機能を追加した。この機能を追加したことにより、従来 SAR 干渉解析において時間を要していた地形縞シミュレーションの処理がグランドマスターに対して 1 回行うことで終了するため、解析時間の短縮に貢献した。地形縞シミュレーションにおいて地形縞シミュレーション画像の作成はマスター・スレーブ間の基線値の情報が必要で、本来はスレーブと併せて解析を行う必要がある。一方、グランドマスターの衛星軌道と DEMの情報からグランドマスター画像の各点の緯度経度、楕円体高、オフナディア角といった地形縞シミュレーションに必要な情報が求められるが、それらはスレーブに依存しない。そこで、「シングルマスター処理」

においては、それらを求めるところまでを地形縞シミュレーションの処理とし、地形縞の作成は後続作業に任せることで、グランドマスターだけで処理を可能にしている。

「シングルマスター処理」の導入により、グランドマスターの地形縞シミュレーションの結果を繰り返し用いて全国定常解析が行われるようになった。このように、グランドマスターに対して地形縞シミュレーションを行った結果、出力されたデータの集まりを「地形縞データベース」と呼ぶ。

山下ほか(2019)によると、「レイオーバー」に起因する見かけの位相変化は SimDem10 のアルゴリズムの特性から発生し、地形縞シミュレーション画像にその位相変化が蓄積された結果、出現している。「DEM」に起因する見かけの位相変化も同様である。そのため、全国定常解析で生じる「レイオーバー」や「DEM」に起因する見かけの位相変化は地形縞データベースに蓄積されている情報によって出現する。当然のことながら、地形縞データベースは解析時のソフトウェアの状況や DEM の情報が反映される。本研究前の地形縞データベースは SimDem10 に「レイオーバーモード」が実装される前に作成されており、「地形図 DEM」の情報を利用していた。したがって、こうした見かけの位相変化低減を全国定常解析に導入するためには、DEM を「航空レーザ on 地形図 DEM」に変更した上で、レイオーバーモードを実装した SimDem10 を用いた地形縞シミュレーション（以下「レイオーバーモードを実装した地形縞シミュレーション」という。）を行い、地形縞データベースを更新する必要がある。

そこで、「航空レーザ on 地形図 DEM」により DEM を更新した後、レイオーバーモードを実装した地形縞シミュレーションを実行する計画を立てた。全国定常解析が滞りなく実行できるよう、ALOS-2 の基本観測シナリオの定常観測の空白期間を狙い、2019 年 4 月頃から開始した。途中、地形縞シミュレーションと全国定常解析を並行して行う期間があったものの、2019 年 9 月中旬頃に作業を終えることができた。更新作業に約 5 ヶ月かかったことから、今後は航空レーザ DEM の更新頻度の兼ね合いからどのくらいの間隔で DEM を更新し、地形縞データベースを更新するか検討が必要である。

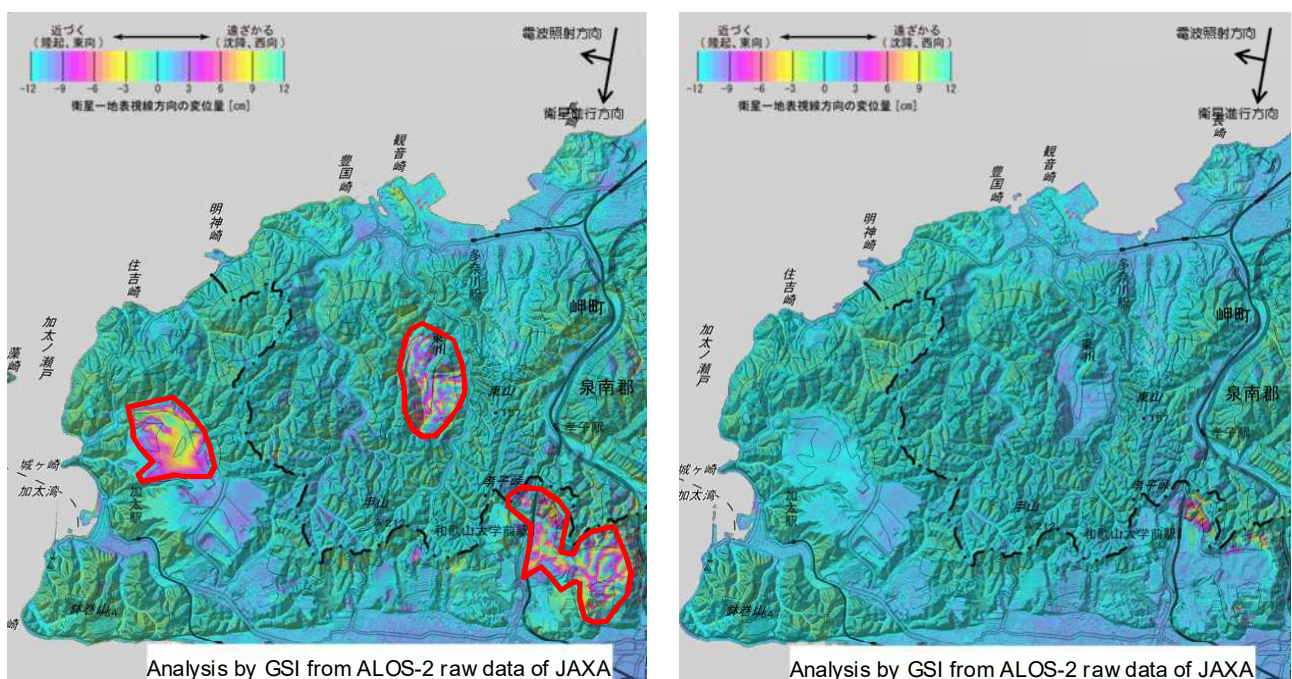


図-1 「航空レーザ on 地形図 DEM」の導入により DEM に起因する位相変化が低減された例（和歌山市）。左図が DEM を更新する前の SAR 干渉画像。右図が DEM を更新した後の SAR 干渉画像。

3. SAR 干渉解析の自動化の推進

3.1 概要

令和元年度現在、ALOS-2 の後継機である ALOS-4 の開発が進められている。ALOS-4 は ALOS-2 と比較して高分解モードでの観測幅が 50km から 200km と 4 倍に増加し、日本域での観測回数は年 4 回から年 20 回へとより高頻度で観測されるようになる。その結果、全国定常解析の作業量増加が予想されるため、SAR 干渉解析の自動化を進める必要がある。令和元年度は干渉画像作成までの前処理全自動化を実現した。

3.2 前処理全自動化の実施について

前処理全自動化とは、全国定常解析における「シングルマスター処理」に相当する処理の自動化を指す。従来、全国定常解析で解析者は、観測データのセットがそろっていることを確認し、「シングルマスター処理」を起動、各種設定を入力後、処理を走らせていた。

前処理全自動化を行うため、データの有無や解析の実行状況を PostgreSQL データベースに格納し、そのデータベースの内容を元に自動で「シングルマスター処理」の各種設定を登録し、処理を走らせるシステムを構築した。また、CUI 上で解析の実施状況を逐次確認できるようにした。この自動化により、画像再生から干渉画像の作成まで、シームレスに実行できるようになり、業務負担の低下に貢献した。

4. まとめ

SAR 干渉画像に含まれる DEM 起因による見かけの位相変化に対して、航空レーザ測量により作成された地形改変後の DEM を導入することで、土地の造成等に伴う地形改変の影響が解消されるようになった。また、更新後の DEM を用いたレイオーバーモード実装の地形縞シミュレーションを実行し、全国定常解析における地形縞データベースを更新した。

さらに、ALOS-2 の後継機である ALOS-4 の観測開始に伴う全国定常解析の作業量増加に対応するため、前処理全自動化を導入した。

宇宙測地課では、引き続き SAR 干渉画像に含まれる見かけの位相変化を低減し、より信頼度の高い変動検出に取り組むとともに、解析の自動化に取り組んでいく。

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

飛田幹男 (2009): 地殻変動計測のための SAR 画像分析の高度化に関する研究 (第 3 年次), 平成 21 年度調査研究年報, 109-110.

山下達也, 林京之介, 桑原將旗, 本田昌樹, 酒井和紀, 宗包浩志, 飛田幹男 (2019): 干渉 SAR 成果の利用拡大に関する研究開発 (第 5 年次), 平成 30 年度調査研究年報, 42-45.