

SAR 干渉解析を用いた地震及び火山の地殻変動に関する研究

実施期間	令和 7 年度		
地理地殻活動研究センター	宗包 浩志	川畑 亮二	
地殻変動研究室	姫松 裕志	林 京之介	

1. はじめに

地殻変動研究室では、GNSS や SAR など得られた地殻変動を解析することによって、地震や火山活動に伴う地殻変動の駆動メカニズムの解明に関する研究に取り組んでいる。特に大規模な災害が発生する際には、複雑な断層破壊や解析範囲が長大に及ぶことがあることから、自動の定常的な解析戦略では対応できないような解析に関する高度な知見が必要とされる。また、公表された成果が速報として国内外のメディアに取り上げられることは、世界各地からの注目度が高いことの証左である。国外の測地観測網が十分に整備されていない地域においても、衛星 SAR の解析により高い空間分解能で地殻変動の描像を明らかにできる点は、メカニズム研究においても重要なデータセットの一つになりうる。また、他機関の研究者に解析結果を活用してもらうことを期待して、取扱いが容易なファイルフォーマットで研究データ公開サイトを通じた公開も進めている。

2. 研究内容

本研究では、①衛星 SAR による地殻変動監視に関する解析技術の高度化、②大規模な災害が発生した際の解析パラメータや解析手法の検討を目的として、主に国外で発生した事象を対象とした SAR データを解析した成果について報告する。

本年度は、①2025 年 3 月 28 日に発生したミャンマーの地震(M7.7)、②2025 年 7 月 30 日（日本時間）に発生したカムチャツカ半島付近の地震(M8.8)を対象とした衛星 SAR の解析を実施した(USGS, 2025a, 2025b)。SAR データはいずれも ALOS-2/PALSAR-2 データを使用し、GSISAR を用いて解析を行った。いずれも地震活動 SAR 解析ワーキンググループ（以下「地震 WG」という。）の枠組みで緊急観測によって取得されたデータを使用し、広域観測モードで取得したデータである（表-1, 2）。地震 WG は、宇宙航空研究開発機構が主体となって実施している地球観測衛星を用いた防災利用実証実験に属するワーキンググループであり、令和 7 年度に国土地理院のもとに設置され、事務局を国土地理院として、実験協力者とともに地殻・地盤変動の異常検出や災害時の被害状況把握等の活動を行っている。①の事例ではピクセルオフセット法と SAR 干渉解析を適用し、②の事例では SAR 干渉解析を適用した。

3. 得られた成果

①ミャンマーの地震

ALOS-2/PALSAR-2 データにピクセルオフセット法を適用した結果は、ミャンマーを南北に縦断するザガイン断層に沿って、およそ 600 km にわたって変位の不連続が生じていることを示した（図-1, 2）。変位の不連続は震源付近から主に南方向に進展していた。元の解析結果はレンジ及びアジマス方向いずれの結果にも streak 状のノイズが認められ、変位の不連続が生じている他は地殻変動の判読は不可能であった。そこで長波長のノイズを補正するハイパスフィルターを適用し、変位の不連続を含む短波長のシグナルのみを残す処理を施した。その結果、アジマスオフセットの結果から断層の東側

がおおむね南向き,断層西側がおおむね北向きに動く変位の空間的特徴を抽出することに成功した(図-2 左).これは地震波解析の結果から横ずれ成分に卓越する傾向と整合的である(USGS, 2025a).一方,レンジ方向には変位の不連続周辺に変位及び不連続が認められるものの,明瞭な空間的特徴は認められなかった(図-2 右).SAR 干渉解析にもピクセルオフセットと同様にザガイン断層に沿って,地殻変動に伴う位相変化が認められた.しかし,解釈につながるような明瞭な特徴は認められず,判読は困難である(図-3).これは,今回の地震が横ずれ成分が支配的で,上下成分が微小であることを示唆している.この特徴は地震波解析の結果とも整合的である.さらに本解析では長波長の強いノイズを補正するためにハイパスフィルターを適用したことにより,一定の空間相関を有するシグナルも同様に補正してしまった可能性もある.したがって,本解析では断層の不連続の分布について言及するにとどめる.

ザガイン断層周辺における地震履歴を遡ると,震源に近いマングレー周辺では M7 を超える地震が過去およそ 100 年は発生していないと考えられており,いわゆる空白域と言われている地域であった(Hurukawa and Maung Maung, 2011).また,ザガイン断層周辺で過去に発生した地震の規模(マグニチュード M)と断層破壊長の関係に照らし合わせると,経験則上は M7.7 であれば断層破壊長は 200 km 程度であることが期待される.一方,今回の解析で明らかになった変位の不連続が全て地表付近の断層破壊によって生じたと考ええると,およそ倍程度の差異が生じていることがわかる.本解析の結果はハイパスフィルターを適用したため,断層モデルの推定に用いることは適切でないものの,地震観測から見積もられたマグニチュードと断層破壊長の関係から,断層破壊が深さ 10 km より浅い領域に集中していたと推測できる.また今回の解析結果に現れた長波長のノイズは,強度画像にも強い濃淡が認められるほどの強いノイズであったことから,電離層擾乱由来であると推測できる.これほどまで強い外的要因の影響を受けた場合には,従来の補正手法では対応が難しい.赤道域周辺では様々な地磁気現象の存在が知られているが,こういった現象との関連についても引き続き情報収集を進める必要がある.

表-1 ミャンマーの地震を対象とした解析で使用した ALOS-2/PALSAR-2 データの諸元

ペア	観測日時	観測時間 (UTC)	衛星進行方向	レーダー照射方向	観測モード	基線長垂直成分
Pair1	2025-02-16 2025-03-30	05:26 頃	南行	右	広域 (350 km)	+266.7 m
Pair2	2025-02-11 2025-04-08	17:41 頃	北行	右	広域 (350 km)	-175.0 m

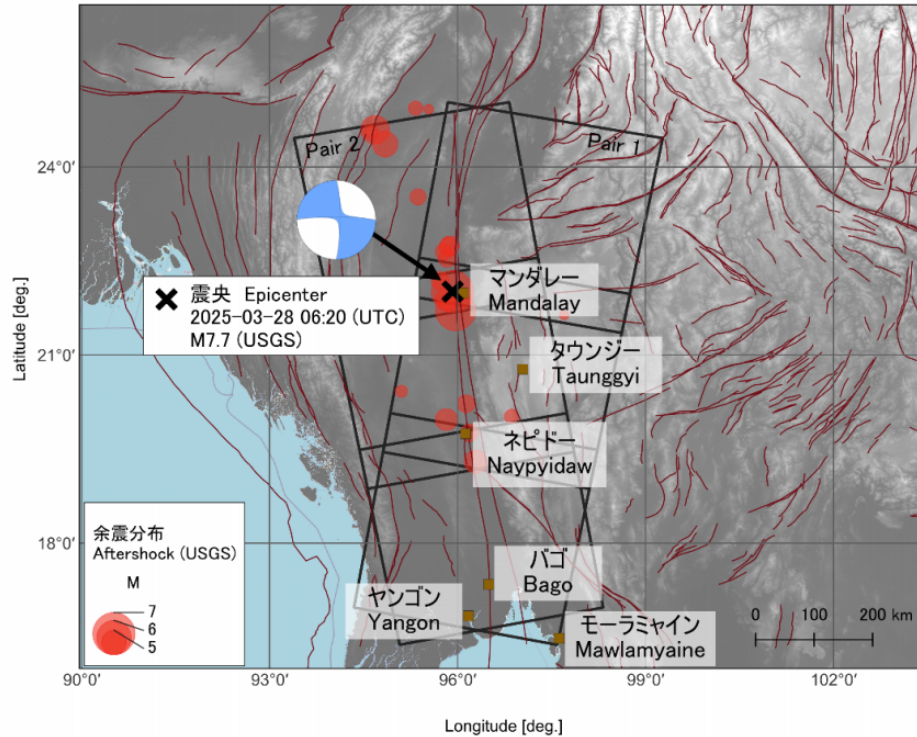


図-1 SAR データ撮像範囲。斜め黒十字は 2025 年 3 月 28 日の震央位置を示す。赤丸は余震（M>5）の震央を示す。黒枠線は SAR の撮像範囲を示す。CMT 解は米国地質調査所ウェブサイトに掲載された情報を基に作成した（USGS, 2025b）。断層線（赤線）は Styron and Pagani (2020)より。

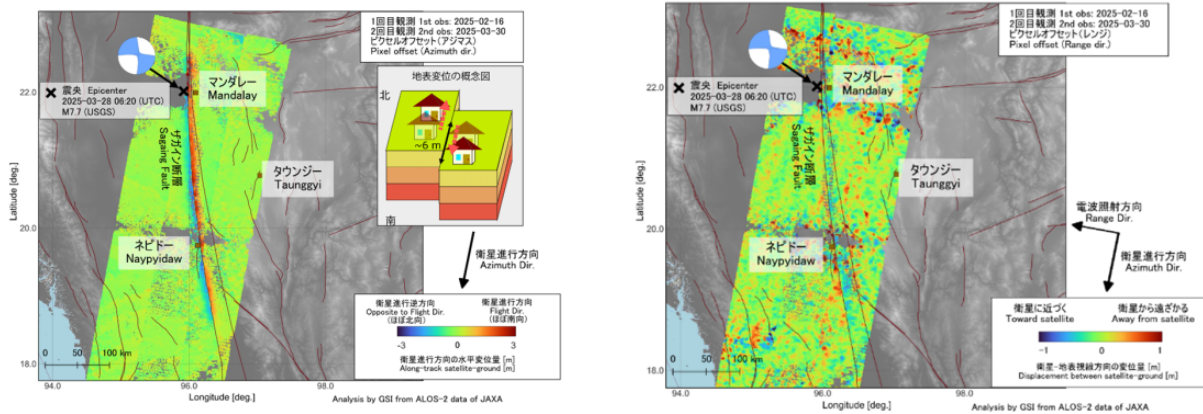


図-2 ピクセルオフセット法の結果（ペア 1）。（左）アジマス方向，（右）レンジ方向。CMT 解は米国地質調査所ウェブサイトに掲載された情報を基に作成した。断層線（赤線）は Styron and Pagani (2020)より。長波長のシグナルを補正するためにハイパスフィルターを適用した。

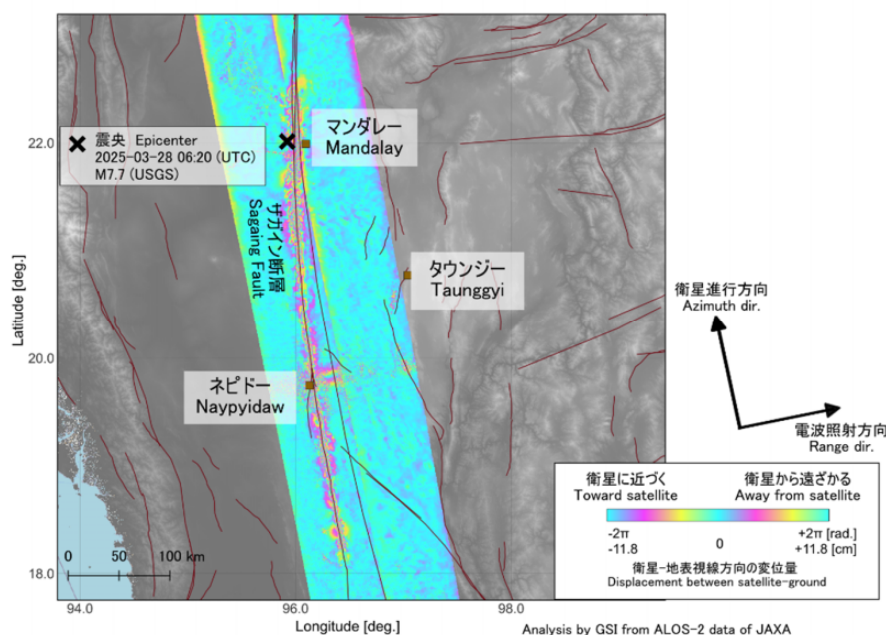


図-3 SAR 干渉解析の結果（ペア 2）．長波長のシグナルを補正するためにハイパスフィルターを適用した．断層線（赤線）は Styron and Pagani (2020)より．

②カムチャツカ半島付近の地震

ALOS-2/PALSAR-2 データに SAR 干渉解析を適用した結果は，カムチャツカ半島南部を中心に 1 m を超える視線距離変化を示した（図-4， 5， 6）．異なる 2 方向からの SAR 干渉解析の結果を用いて，準東西及び準上下方向の変位に分解したところ，カムチャツカ半島南部を中心に最大 1 m を超える東向き変位が生じていたことを明らかにした（図-7）．一方，準上下成分は 20 cm 以下の隆起が認められた程度であった．検出された地殻変動は主に震源から南の領域に集中して分布しており，プレート間のすべりも震源から南方向に伝搬したことを示唆している．また，震源域に近いクラシェニンニコフ火山周辺においても，局所的な地殻変動が生じていた（図-8）．

本解析では ALOS-2 の広域観測モードにより，カムチャツカ半島南部の広い範囲で地殻変動が生じていることを明らかにした．ALOS-2 の広域観測モードの観測幅は 350 km 程度であり，例えば Sentinel-1 の Interferometric Wide (IW) swath モードが有する 250 km と比較しても，1 度の観測で広い範囲を観測することができる．これは少ない観測回数で地殻変動が生じた範囲を捉えることができるので，迅速に状況を把握できることを意味する．また，モデル推定をする際に複数のデータを扱う煩雑な操作を回避できるほか，早期の余効変動の影響を抑えて地震時の変動を反映した解釈が可能になる．したがって，大規模地震発生時における地殻変動観測のために，広域の観測モードによる観測が有用であることを示唆している．

表-2 カムチャツカ半島付近の地震を対象とした解析で使用した ALOS-2/PALSAR-2 データの諸元

ペア	観測日時	観測時間 (UTC)	衛星進行方向	レーダー照射方向	観測モード	基線長垂直成分
1	2023-09-13 2025-07-30	13:20 頃	北行	右	広域 (350 km)	-135.6 m
2	2024-09-14 2025-08-02	1:40 頃	南行	右	広域 (350 km)	25.9 m
3	2024-09-15 2025-08-03	13:05 頃	北行	右	広域 (350 km)	-311.1 m

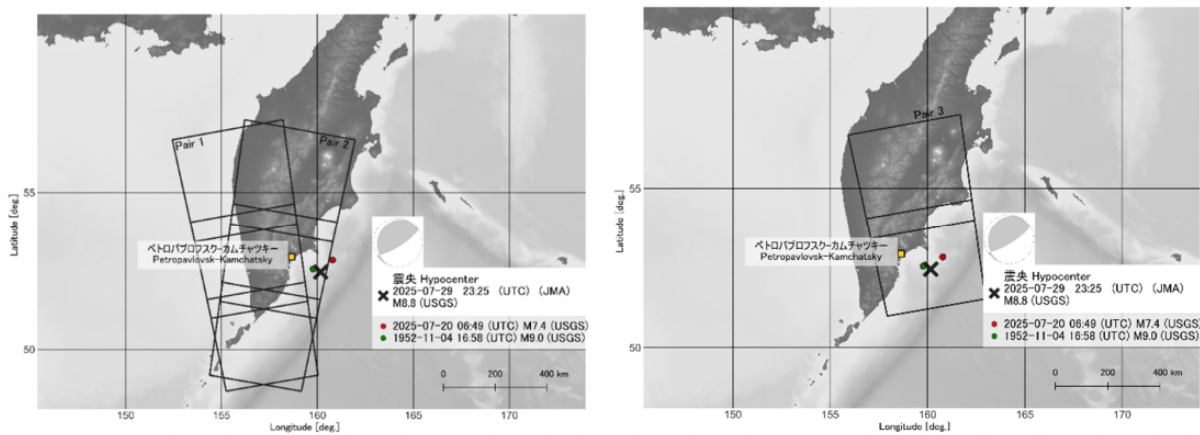


図-4 カムチャツカ半島付近の地震を対象とした ALOS-2/PALSAR-2 の撮像領域。(左) ペア 1 及び 2, (右) ペア 3。詳細は表-2 を参照のこと。斜め黒十字は 2025 年地震の震央, 赤丸と緑丸はそれぞれ 2025 年 7 月 20 日 (M7.4), 1952 年の地震 (M9.0) の震央を示す (USGS, 2025b)。黒枠線は SAR 撮像範囲を示す。

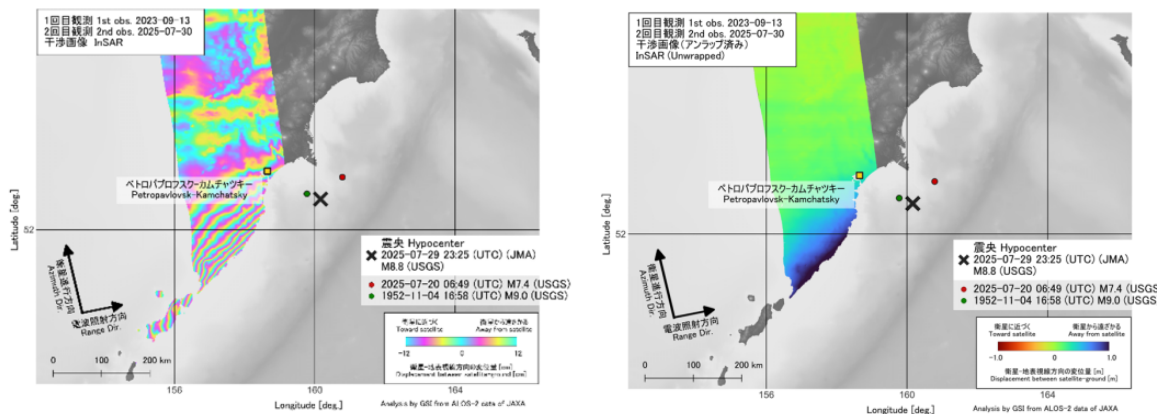


図-5 SAR 干渉解析の結果 (ペア 1)。(左) Wrapped 画像, (右) Unwrapped 画像。

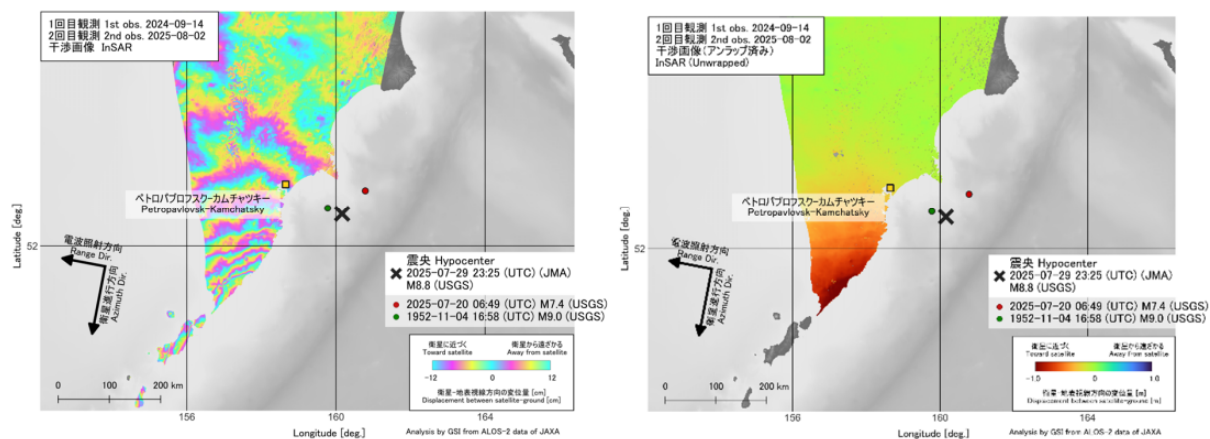


図-6 SAR 干渉解析の結果（ペア 2）.（左）Wrapped 画像，（右）Unwrapped 画像.

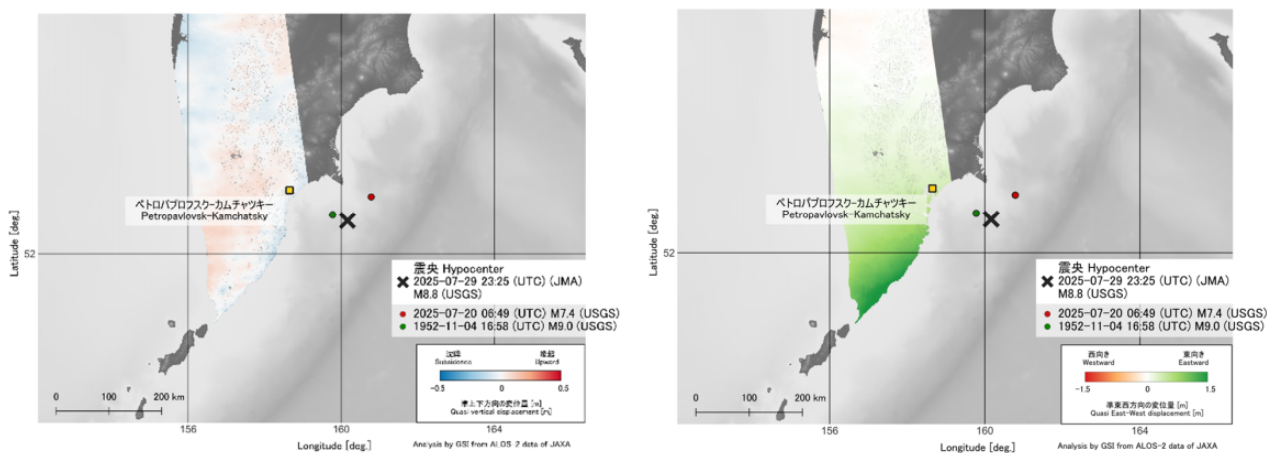


図-7 2 方向の視線距離変化から推定した準上下・準東西変位.（左）準上下変位，（右）準東西変位.

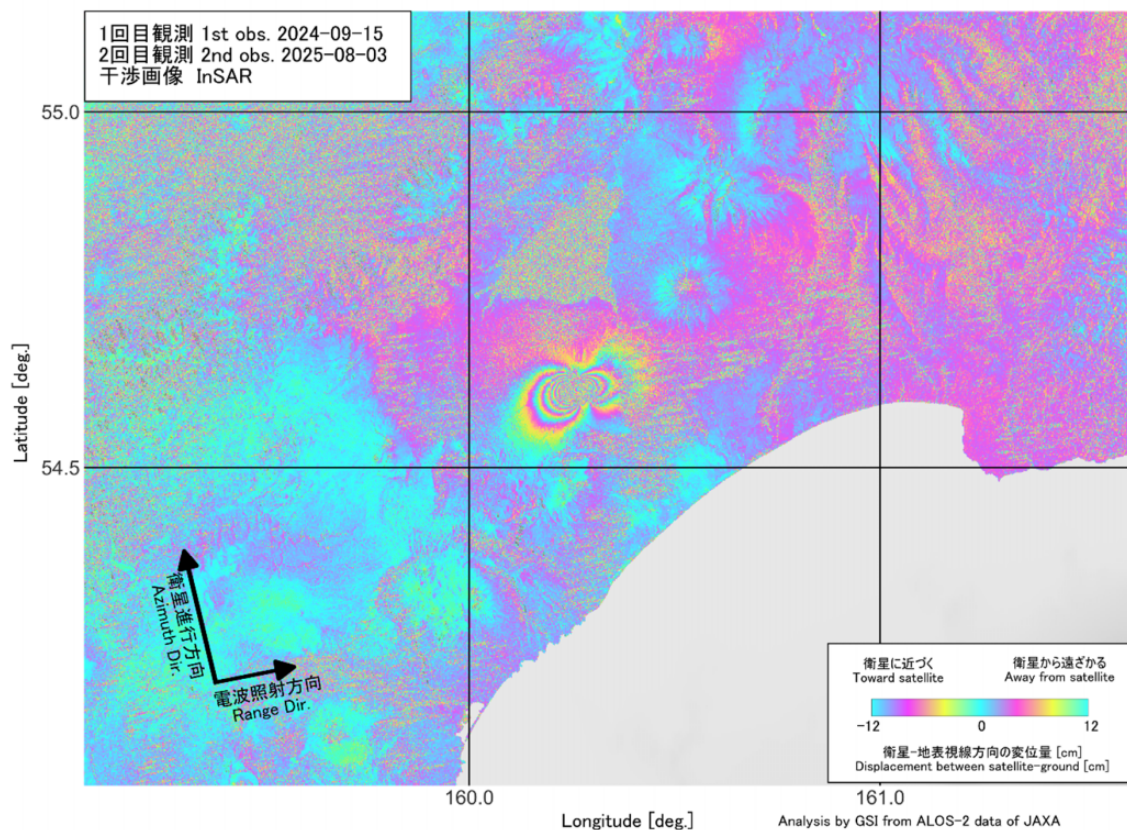


図-8 クラシェニンニコフ火山周辺における位相変化（ペア 3）.

4. まとめ

2025 年 3 月 29 日に発生したミャンマーの地震と 2025 年 7 月 30 日（日本時間）に発生したカムチャツカ半島の地震に伴う地殻変動を検出することを目的として、ALOS-2 が緊急観測で取得した SAR のデータを解析した結果について報告した。L-band SAR は電離層の影響を受けやすく、ミャンマーの事例では精緻に地殻変動量を抽出することが困難であった。画像の幾何に歪みが生じるほど強い影響を受けてしまうと、従来の電離層の影響に対する補正手法で対処することが難しい。補助的なデータとして光学衛星によるデータによる大規模地殻変動の検出も視野に入れる必要があるかもしれない。今後も引き続き国内外で発生する地震や火山活動に伴う地殻変動の検出に係る知見の蓄積、及び発生メカニズムの解明に資するデータの一つを得ることを目的として、SAR データの解析を行う。

謝辞

本研究で用いた ALOS-2 データは、SAR 解析ワーキンググループ（地震 WG）を通じて、（国研）宇宙航空研究開発機構（JAXA）から提供を受けた。原初データの所有権は JAXA にある。

参考文献

- Hurukawa, N. and Maung Maung, P. (2011): Two seismic gaps on the Sagaing Fault, Myanmar, derived from relocation of historical earthquakes since 1918, *Geophysical Research Letters*, 38, L01310.
doi: 10.1029/2010GL046099
- Styron, R. and Pagani, M. (2020): The GEM Global Active Faults Database, *Earthquake Spectra*, 36, 160–180.

doi: 10.1177/8755293020944182

The United States of Geological Survey (2025a): M 7.7 - 2025 Mandalay, Burma (Myanmar) Earthquake, <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000pn9s/executive> (accessed 3 Apr. 2026).

The United States of Geological Survey (2025b): M 8.8 - 2025 Kamchatka Peninsula, Russia Earthquake, <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/pt25210002/executive> (accessed 3 Apr. 2026).