

代表研究者 氏名（所属機関）：宗包浩志（国土地理院）

支援研究者 氏名（所属機関）：矢来博司、桑原將旗、小林知勝、森下遊、藤原智、佐藤雄大、石本正芳、島崎久実、三木原香乃、石倉信広、市村美沙（国土地理院）

課題名称：地殻活動に伴う地殻変動とその時空間変化の詳細把握

今年度の成果概要：
緊急観測が行われた4地震（国内1、海外3）について解析を行った。これらの解析結果について報告する。

- （1）中国青海省の地震（2021-05-21, Mw7.3）
- 2021年5月21日(UTC)に中国・青海省でMw7.3（USGS）の地震が発生した。この地震について、ALOS-2（だいち2号）による緊急観測データを用いてSAR干渉解析及びSBI法による解析を行った。解析においてはSplit Spectrum法（Gomba et al., 2016）による電離層誤差低減処理を用いた。解析結果を図1、図2、図3に示す。図1、3はSAR干渉解析、図2はSBI法による解析結果である。また、解析に用いたデータの諸元を表1に示す。
- 得られた結果は以下の通り。
- 顕著な地殻変動が東南東—西北西方向の帯状に分布している。
 - 最大で1mを超える変位の不連続が見られる。不連続は変動域の西側では既知の活断層に沿って見られ、東側では既知の活断層から北側に分岐した東延長上に見られる。地表地震断層が現れた可能性がある。
 - 変動域の北側では地面が衛星から遠ざかり、南側では衛星に近づいている。（図1）
 - 変動域の北側では地面が衛星に近づき、南側では衛星から遠ざかっている。（図2、3）

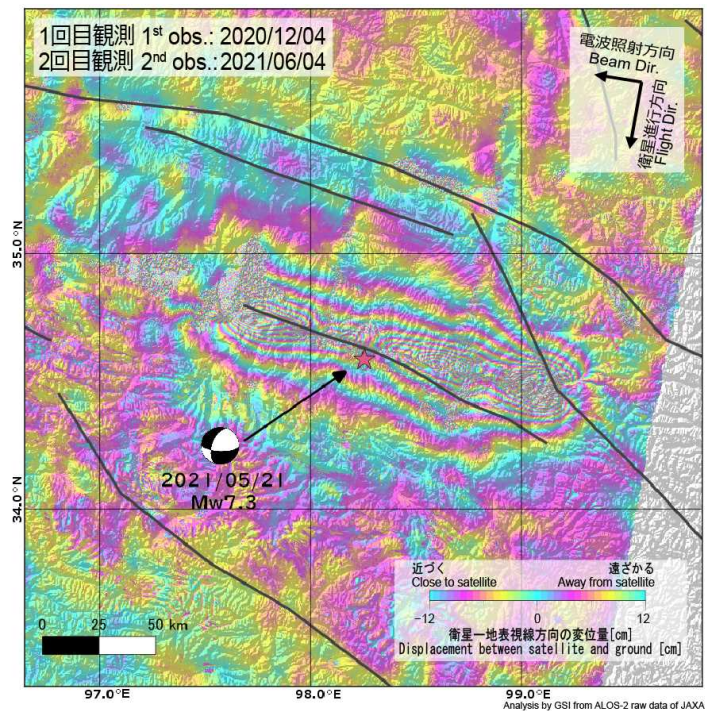


図1. 中国青海省の地震のSAR干渉解析結果（2020年12月4日～2021年6月4日）

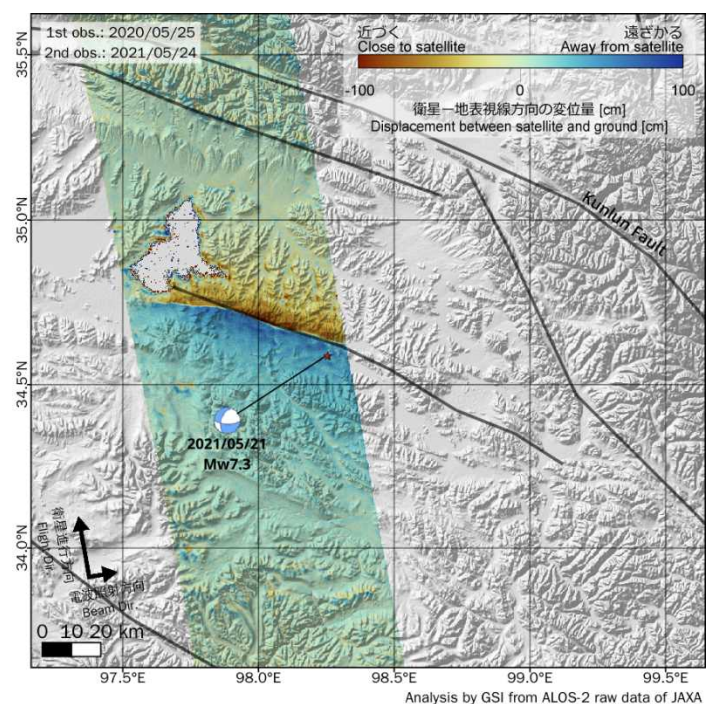


図 2. 中国青海省の地震の SBI 法の結果（2020 年 5 月 25 日～2021 年 5 月 24 日）

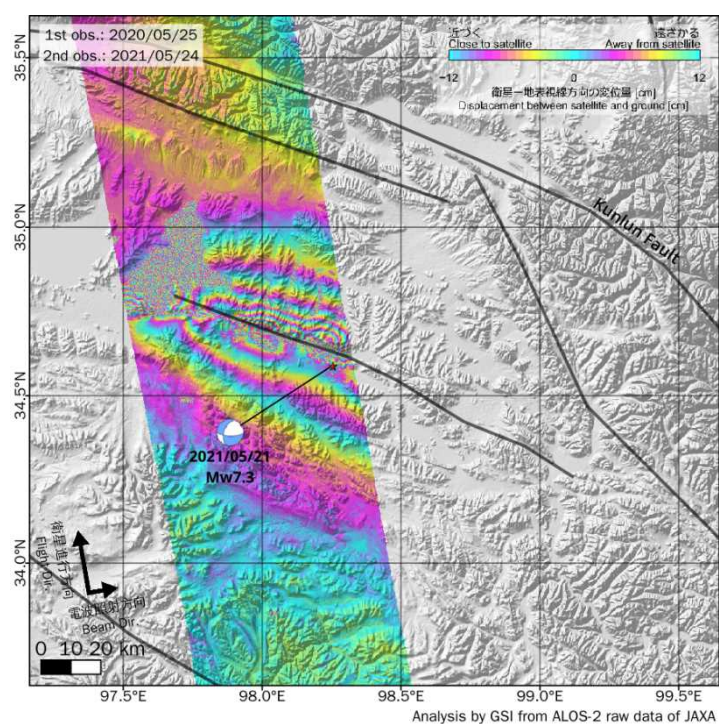


図 3. 中国青海省の地震の SAR 干渉解析結果（2020 年 5 月 25 日～2021 年 5 月 24 日）

表 1. 解析に使用したデータ

図番号	観測日	観測時間 (UTC)	衛星進行 方向	電波照射 方向	観測モード	入射角 (震央付近)	垂直 基線長
1	2020-12-04 2021-06-04	5 : 29 頃	南行	右	広域観測 (350km)	40°	173m
2,3	2020-05-25 2021-05-24	17 : 23 頃	北行	右	高分解能 (10m)	37°	-196m

(2) 石川県能登半島地方の地震活動 (最大地震 2021-06-26, Mj4.1)

2021 年 6 月 26 日に能登半島地方で発生した Mj4.1 の地震を中心として、一連の地震活動が発生した。この地震活動について、ALOS-2 (だいち 2 号) による緊急観測データを用いて SAR 干渉解析を行った。解析に用いたデータの諸元を表 2 に示す。

解析の結果 (図 4)、ノイズレベルを超える変動は見られなかった。

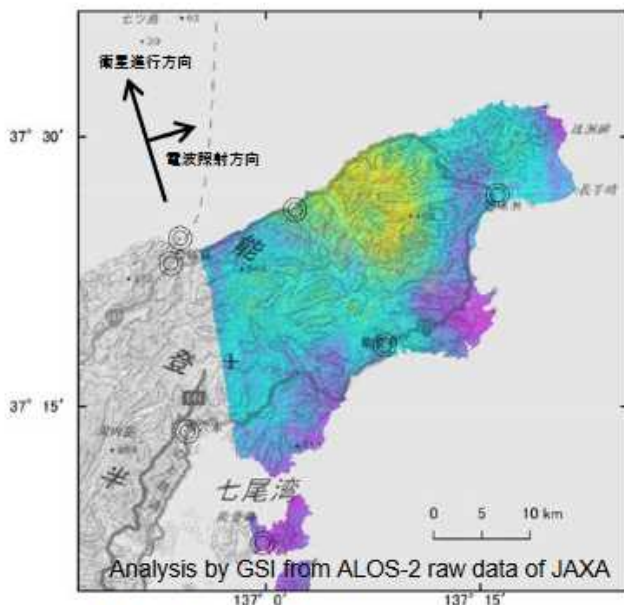


図 1 SAR 干渉解析結果 (短期)
2021 年 5 月 21 日～2021 年 7 月 16 日 23:45

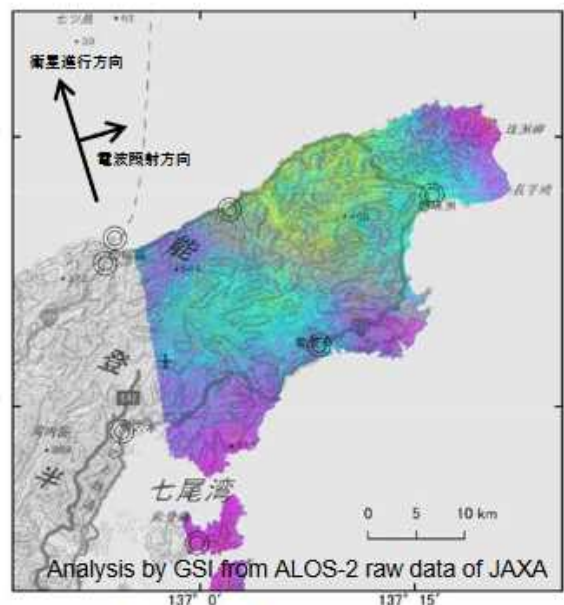


図 2 SAR 干渉解析結果 (長期)
2020 年 5 月 22 日～2021 年 7 月 16 日 23:45

衛星進行方向 北行、電波照射方向 右、入射角 36.2°
© 国土地理院 GNSS 観測点

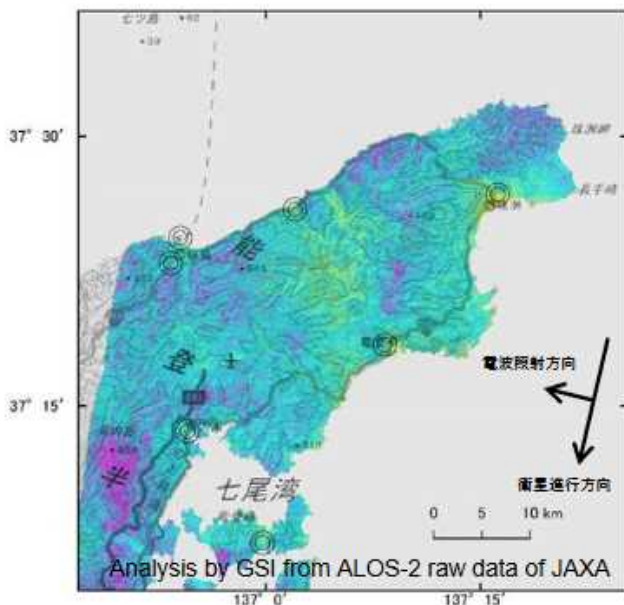
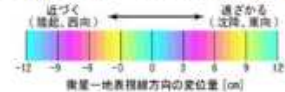


図 3 SAR 干渉解析結果 (短期)
2021 年 2 月 28 日～2021 年 7 月 18 日 11:56

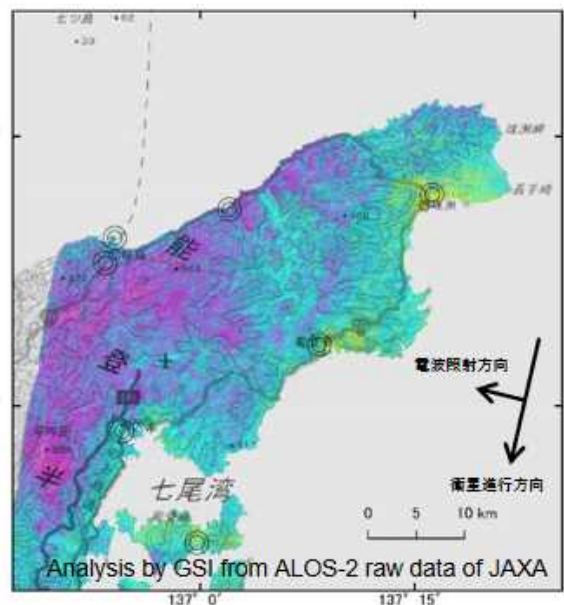


図 4 SAR 干渉解析結果 (長期)
2020 年 11 月 8 日～2021 年 7 月 18 日 11:56

衛星進行方向 南行、電波照射方向 右、入射角 36.5°
© 国土地理院 GNSS 観測点

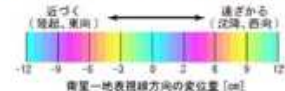


図 4. 能登半島地方の SAR 干渉解析結果
【第 232 回地震予知連絡会資料より抜粋】

表 2. 解析に使用したデータ

図番号	観測日	観測時間 (UTC)	衛星進行 方向	電波照射 方向	観測モード	入射角 (中心)	垂直 基線長
4-1	2021-05-21 2021-07-16	23 : 45 頃	北行	右	高分解能 (3m)	36.2°	-79m
4-2	2020-05-22 2021-07-16	23 : 45 頃	北行	右	高分解能 (3m)	36.2°	+90m
4-3	2021-02-28 2021-07-18	11 : 56 頃	南行	右	高分解能 (3m)	36.5°	-77m
4-4	2020-11-08 2021-07-18	11 : 56 頃	南行	右	高分解能 (3m)	36.5°	+64m

(3) アラスカ沖の地震 (2021-07-29, Mw8.2)

2021 年 7 月 29 日 (UTC) にアラスカ州沖で Mw8.2 (USGS) の地震が発生した。この地震について、ALOS-2 (だいち 2 号) による緊急観測データを用いて SAR 干渉解析を行った。解析においては Split Spectrum 法による電離層誤差低減処理を用いた。解析結果を図 5、解析に用いたデータの諸元を表 3 に示す。

解析の結果 (図 5)、アリューシャン半島中央部で最大 30cm の衛星から遠ざかる変動が観測された。

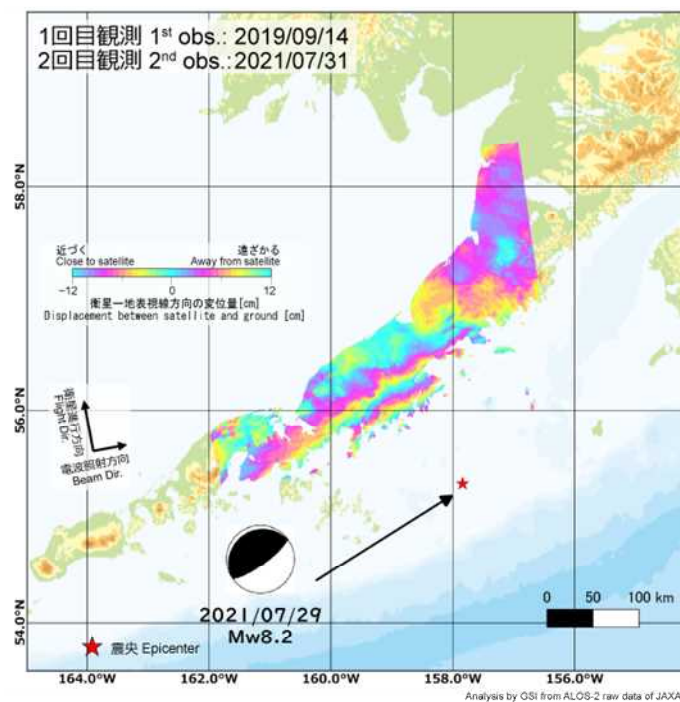


図 5. アラスカ沖の地震の SAR 干渉解析結果 (2019 年 9 月 14 日～2021 年 7 月 31 日)

表 3. 解析に使用したデータ

図番号	観測日	観測時間 (UTC)	衛星進行 方向	電波照射 方向	観測モード	入射角 (中心)	垂直 基線長
5	2019-09-11 2021-02-14	10 : 19 頃	北行	右	広域観測 (350km)	42°	+86m

(4) ハイチ共和国の地震 (2021-08-14, Mw7.2)

2021 年 8 月 14 日 (UTC) にハイチ共和国で Mw7.2 (USGS) の地震が発生した。この地震について、ALOS-2 (だいち 2 号) による北行軌道と南行軌道の 2 つの緊急観測データを用いて SAR 干渉解析、2.5 次元解析、PixelOffset 法による解析及び 3 次元解析を行った。解析においては Split Spectrum 法による電離層誤差低減処理を用いた。解析結果を図 6、図 7、図 8、図 9 に示す。図 6 は SAR 干渉解析結果、図 7 は 2.5 次元解析、図 8 は北行軌道での PixelOffset 法による解析結果、図 9 は PixelOffset 法で求めたアジマス方向ベクトル、北行と南行軌道の LOS 方向ベクトルの 3 成分から算出した 3 次元解析結果である。また、解析に用いたデータの諸元を表 4 に示す。

得られた結果は以下の通り。

- ハイチ共和国の南部を東西に走る Enriquillo-Plantain Garden 断層帯に沿って地殻変動が見られる (図 6～図 9)
- 断層帯の南側に比べて北側で変動量が大きくなっている。(図 7、図 9)
- 西側の変動域では、地表断層に対応する可能性がある非干渉領域が見られる。(図 6)
- 西側の変動域では、最大 80cm 以上の衛星に近づく向きの地殻変動が観測された (図 7、図 9)

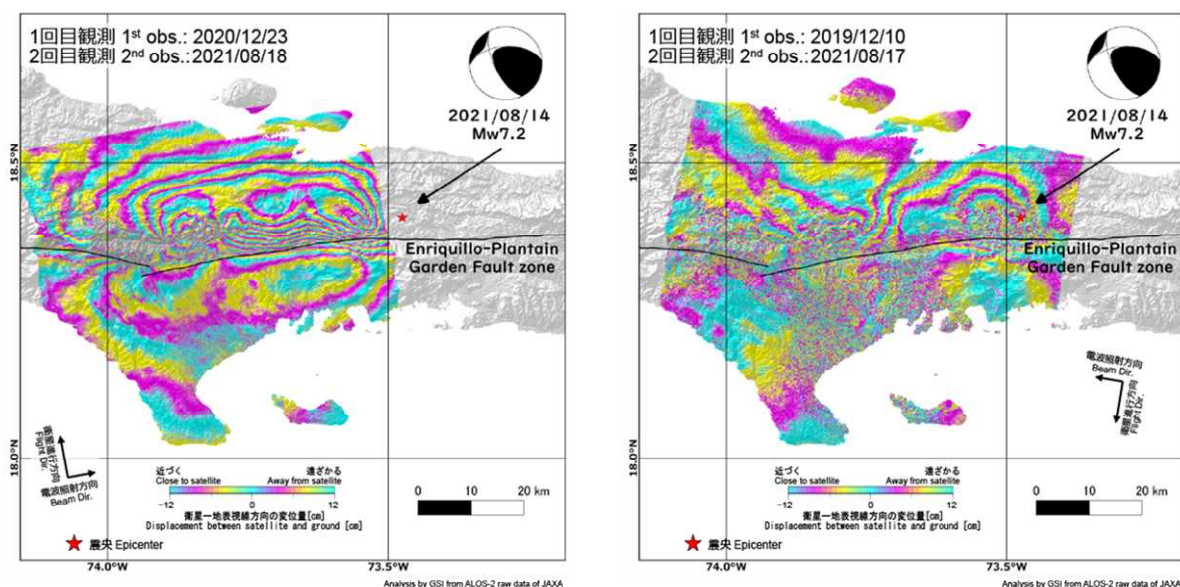


図 6. ハイチ共和国の地震の SAR 干渉解析結果(左図：北行軌道，右図：南行軌道)

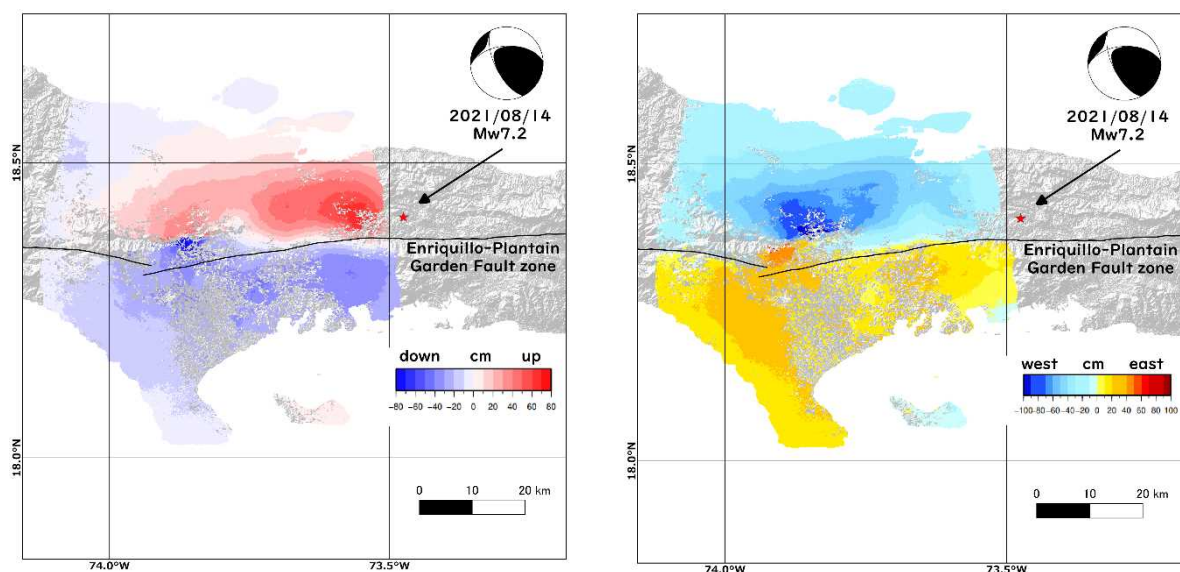


図 7. ハイチ共和国の地震の 2.5 次元解析結果(左図：準上下成分，右図：準東西成分)

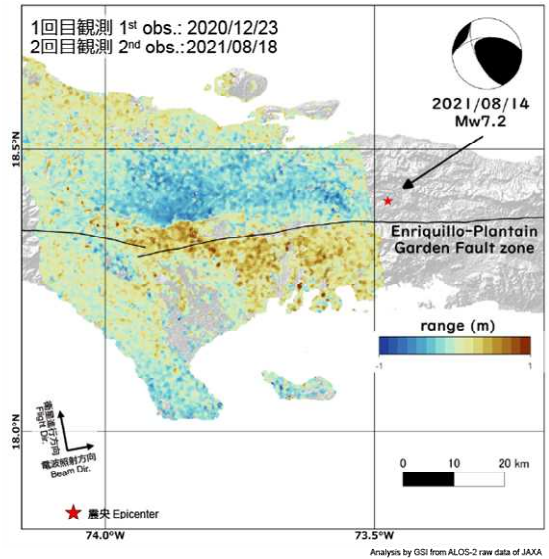
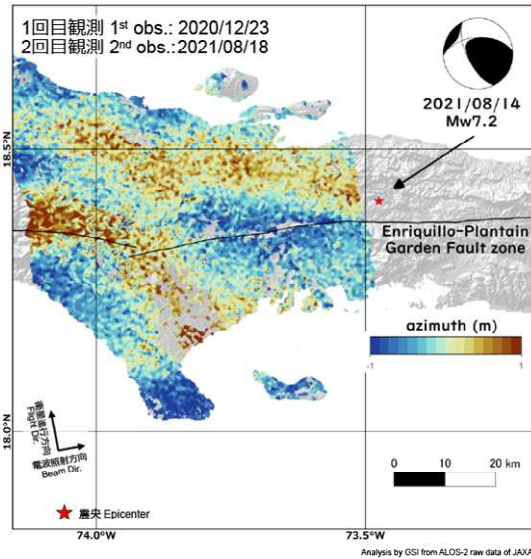


図 8. ハイチ共和国の地震の PixelOffset 法の結果(左図：アジマス成分, 右図：レンジ成分)

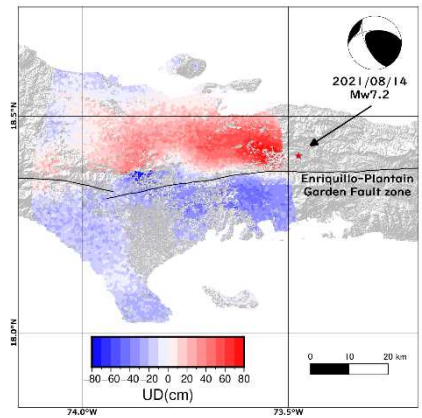
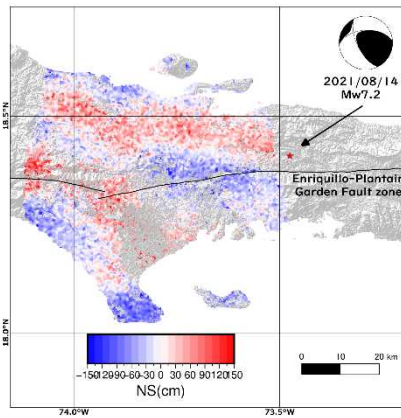
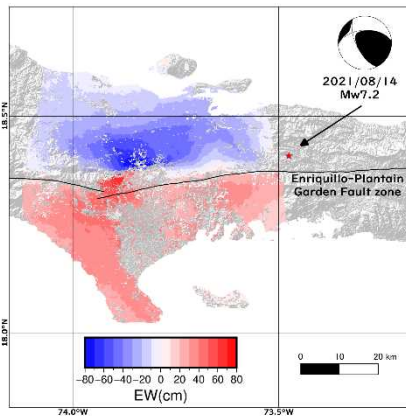


図 9. ハイチ共和国の地震の 3 次元解析の結果(左図：東西成分, 中央：南北成分, 右図：上下成分)

表 4. 解析に使用したデータ

図番号	観測日	観測時間 (UTC)	衛星進行 方向	電波照射 方向	観測モード	入射角 (震央付近)	垂直 基線長
6,7,8,9	2020-12-23 2021-08-18	5 : 02 頃	北行	右	高分解能 (10m)	43°	+8m
6,7,9	2019-12-10 2021-08-17	16 : 42 頃	南行	右	広域観測 (350km)	46°	+165m

成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）：

○地震予知連絡会

- ・国土地理院（2021）石川県能登地方の地震活動(最大地震 6月26日 M4.1)「だいち2号」による SAR 干渉解析結果，第232回地震予知連絡会資料
- ・国土地理院（2021）2021年8月14日ハイチ共和国の地震 だいち2号 SAR 干渉解析結果（暫定），第232回地震予知連絡会資料

○地震調査委員会

- ・国土地理院（2021）2021年5月21日中国青海省の地震 だいち2号 SAR 干渉解析結果，第359回地震調査委員会
- ・国土地理院（2021）石川県能登地方の地震活動(最大地震 6月26日 M4.1)「だいち2号」による SAR 干渉解析結果，第361回地震調査委員会
- ・国土地理院（2021）2021年8月14日ハイチ共和国の地震 だいち2号 SAR 干渉解析結果（暫定），第362回地震調査委員会

○Web

- ・国土地理院（2021）2021年5月21日 中国青海省の地震に伴う地殻変動，
<https://www.gsi.go.jp/cais/topic20210521.html>(accessed 11 Mar. 2022)
- ・国土地理院（2021）2021年8月14日ハイチ共和国の地震に伴う地殻変動（暫定），
<https://www.gsi.go.jp/cais/topic20210814.html>(accessed 11 Mar. 2022)

来年度以降の課題・計画：

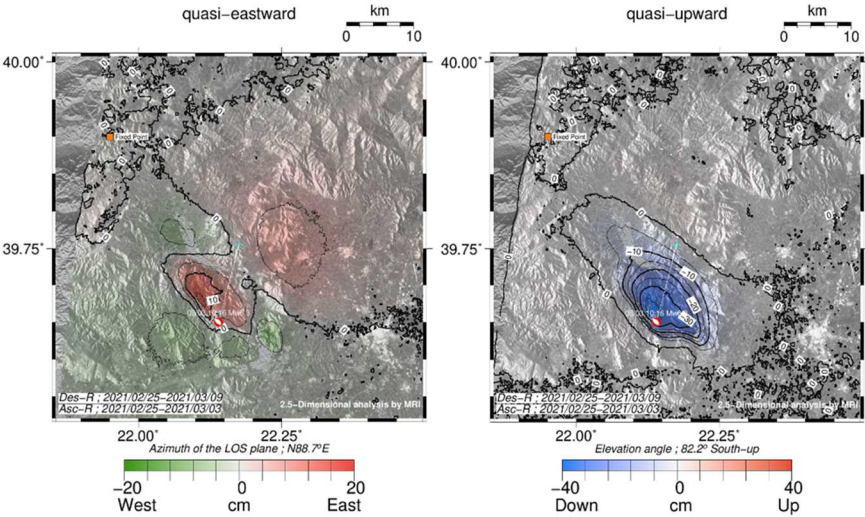
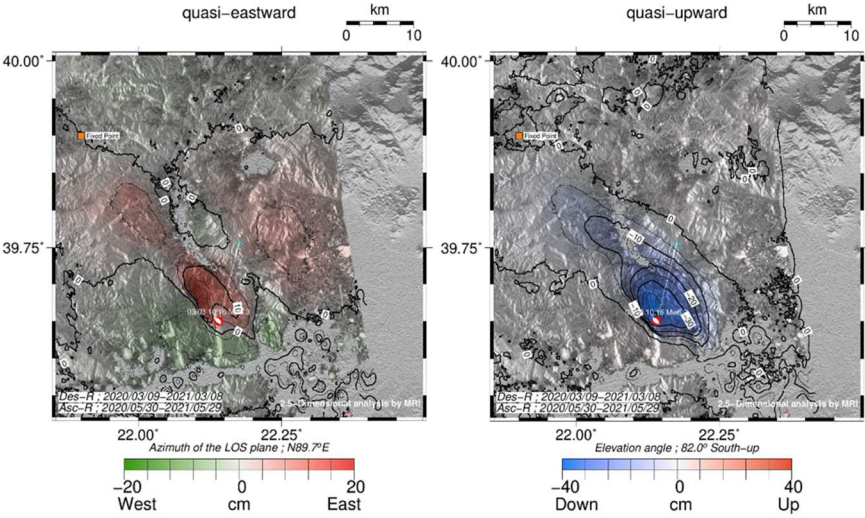
引き続き、国内外で大規模な地震が発生した場合、観測されたデータを早急に解析し、地殻変動、地表面変動の詳細な把握を行う。

その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望：

特になし。

令和3年度地震 SAR 解析 WG 課題別成果報告票 地震-0302

代表研究者 氏名（所属機関）：小澤 拓（防災科学技術研究所 火山防災研究部門）
支援研究者 氏名（所属機関）：姫松 裕志（防災科学技術研究所）
課題名称：地震に伴う地殻変動の検出を目的とした緊急観測データの解析
今年度の成果概要： 令和3年度は、地震に関する成果はありません。
成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）： 特になし
来年度以降の課題・計画： 未定
その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望： 特になし

代表研究者 氏名（所属機関）：宮岡 一樹（気象庁地震火山部管理課）
支援研究者 氏名（所属機関）：安藤 忍、奥山 哲（以上、気象研究所火山研究部）、長谷川 浩、吉本 昌弘、岩村 公太、森脇 健（以上、地震火山部地震・火山技術調査課）
課題名称：地殻変動の詳細把握
今年度の成果概要： 海外で発生した地震について、地震 WG 経由で提供された ALOS-2/PALSAR-2 データなどを用いて干渉 SAR 解析を行い、地震に伴う地殻変動を検出した。以下に位相変化が検出された主な地震イベントの解析結果を示す。なお、日時は UTC で記載している。 ・2021 年 3 月 3 日 ギリシャの地震（Mw6.3、深さ 10km（USGS 震源による）） Sentinel-1 および ALOS-2/PALSAR-2 について、各々南行軌道と北行軌道の解析結果を用いて 2.5 次元解析を行った。その結果、北西-南東方向に走向を持つ正断層を示唆する結果が得られた。  図 1 2021 年 3 月 3 日にギリシャで発生した地震の Sentinel-1 データを用いた干渉画像から計算された 2.5 次元解析結果（左：準東西方向、右：準上下方向）。図中の星印は震央、震源球は Global CMT を使用。  図 2 2021 年 3 月 3 日にギリシャで発生した地震の ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた干渉画像から計算された 2.5 次元解析結果（左：準東西方向、右：準上下方向）。図中の星印は震央、震源球は Global CMT を使用。

・ 2021 年 5 月 21 日 中国青海省南部の地震 (Mw7.3、深さ 10km (USGS 震源による))

Sentinel-1 について、北行軌道および南行軌道の解析を行った。その結果、北行軌道では、今回の地震の活動域 (概ね西北西-東南東方向に分布する震央) の北側で衛星へ近づく方向、南側で衛星から遠ざかる方向、南行軌道では、北側で衛星から遠ざかる方向、南側で衛星へ近づく方向の位相変化が検出された。

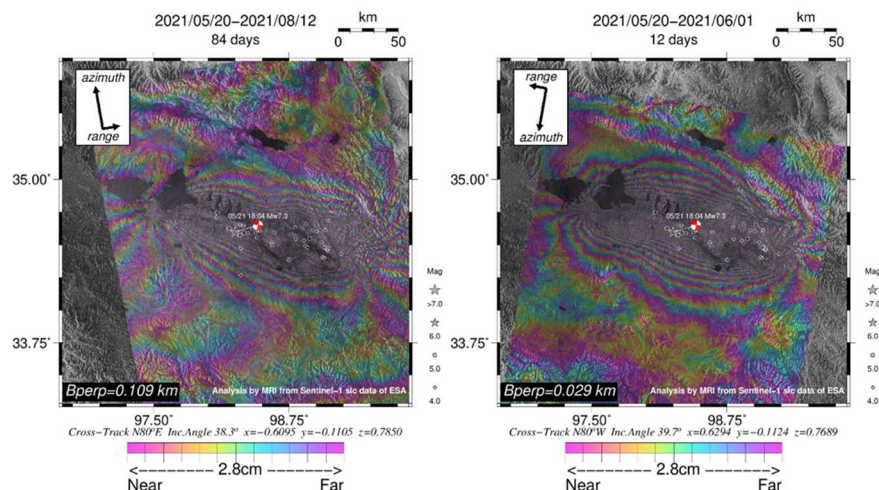


図 3 2021 年 5 月 21 日に中国青海省で発生した地震の Sentinel-1 データを用いた干渉解析結果 (左 : 北行軌道、右 : 南行軌道)。図中の星印は震央、震源球は Global CMT を使用。

・ 2021 年 8 月 14 日 ハイチの地震 (Mw7.2、深さ 10km (USGS 震源による))

ALOS-2/PALSAR-2 について、北行軌道および南行軌道の解析を行った。その結果、北行軌道では断層の北側で衛星へ近づく方向、南側で衛星から遠ざかる方向、南行軌道では、震央付近の北側で衛星へ近づく方向、北西側で衛星から遠ざかる方向の位相変化が検出された。

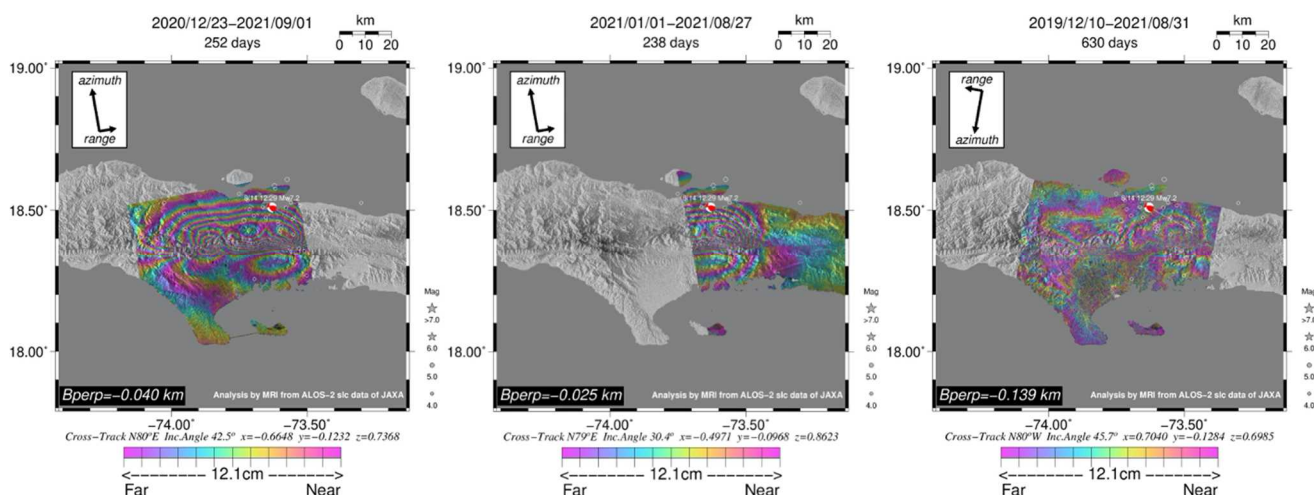


図 4 2021 年 8 月 14 日にハイチで発生した地震の PALSAR-2 データを用いた干渉解析結果 (左と中 : 北行軌道、右 : 南行軌道)。図中の星印は震央、震源球は Global CMT を使用。

・ 2021 年 11 月 14 日 イラン南部の地震 (Mw6.0 および 6.4、深さ 8km および 10km (USGS 震源による))

Sentinel-1 について、北行軌道および南行軌道の解析結果を用いて、2.5 次元解析を行った。その結果、東北東-西南西に走向を持つ逆断層を示唆する結果が得られた。

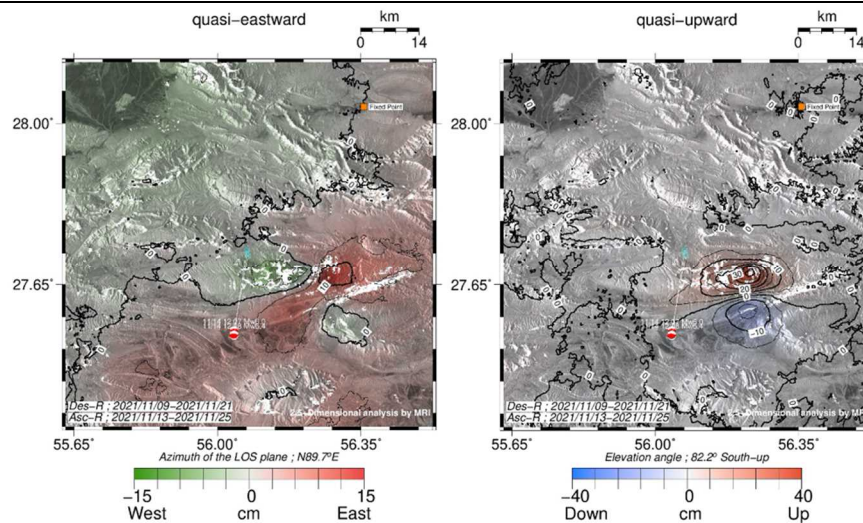


図5 2021年11月14日にイラン南部で発生した地震の Sentinel-1 データを用いた干渉画像から計算された 2.5 次元解析結果（左：準東西方向、右：準上下方向）。図中の星印は震央、震源球は Global CMT を使用。

・2022年1月7日 中国青海省北部の地震（Mw6.6、深さ8km（USGS 震源による））

Sentinel-1 について、北行軌道および南行軌道の解析結果を用いて、2.5 次元解析を行った。その結果、東南東-西北西に走向を持つ左横ずれ断層を示唆する結果が得られた。

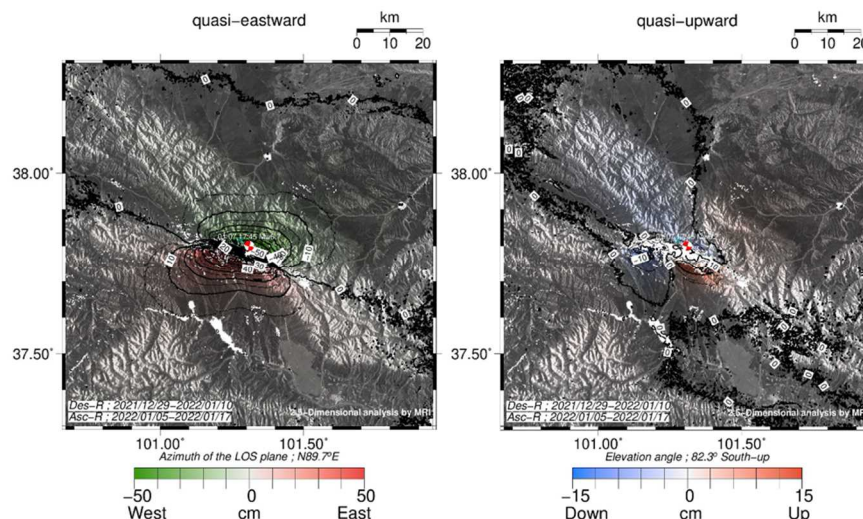


図6 2022年1月7日に中国青海省北部で発生した地震の Sentinel-1 データを用いた干渉画像から計算された 2.5 次元解析結果（左：準東西方向、右：準上下方向）。図中の星印は震央、震源球は Global CMT を使用。

成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）：

・「5月22日* 中国、チンハイ（青海）省の地震（SAR 干渉解析）」、第359回地震調査委員会、2021/6/9. （*地震調査委員会資料では日本時間で表記）

来年度以降の課題・計画：

引き続き規模の大きな地震について解析を行い、地震の全体像解明を実施する。

その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望：

気象庁では頻繁な人事異動により解析経験者が少ないため、引き続き新たな人材に対する研修などのサポートをお願いしたい。

代表研究者 氏名（所属機関）： 橋本 学（京都大学防災研究所）

支援研究者 氏名（所属機関）：

課題名称：ALOS-2/PALSAR-2を用いた活断層帯周辺の地震前・時・後の地殻変動の研究

今年度の成果概要：

2021 年度には、ALOS-2/PALSAR-2 および Sentinel-1 データを用いて、主として近畿地方の地盤変動の時系列解析を実施した。平野部が多くを占める京阪神～奈良盆地においては Sentinel-1 データが有用であったが、山地が多い和歌山地方においては C バンドの Sentinel-1 データが有効でなく ALOS-2 のみの解析である。

ALOS-2 データの解析には Gamma®を用い、電離層補正を施した干渉画像を作成した。フラットニングとフィルタリングの後アンラップし、時系列解析ソフトウェア LiCSBAS(Morishita et al., 2020) 用のフォーマットに変換した。Sentinel-1 データについては、Leeds 大による Sentinel-1 解析結果の公開サイト LiCSAR(Lazecský et al., 2020)より干渉画像を取得し、LiCSBAS にて時系列解析を行った。いずれのケースについても北・南行両軌道からの画像を解析し、得られた平均視線距離変化速度図を合成して、疑似東西および上下変動図を作成した。

下記にそれぞれの特徴を概説する。

1. 京阪神および奈良盆地

使用した ALOS-2/PALSAR-2 画像は、北行軌道は P127-680-690, 南行軌道は P20-F2920 の Beam2_8 および 9 である。南行軌道の解析結果には画像の境界で不連続が生じる（図 1 中赤実線）。この例では東西成分に顕著である。ALOS-1 の期間では沈降していた宝塚付近の領域が、今回隆起に転じた。また、大阪平野がほぼ全域にわたり隆起である。上町断層を挟んで東側で隆起速度が大きい。千里丘陵に沈降が顕著となり、その西端が上町断層の延長に一致する。京都盆地南部の巨椋池干拓地や木津川沿いの地域で沈降が認められた。注目すべきは奈良盆地南部の広陵町～田原本町～天理市付近に 5mm/年を超える隆起が認められることである。この隆起域の北限が直線的であるので、地下に直線的な構造が存在することが示唆される。ALOS-1 で京都盆地南部に見つかった隆起域は長岡京市周辺にのみに縮小し、変動率も減少した。一方、有馬高槻断層帯に沿った沈降域は認められる。

Sentinel-1 データについて、2017 年末でデータセットを分けて解析した。2018 年以降、大阪平野中央部の隆起が顕著となり、ピークが大阪市と八尾市の間付近に移動した。淀川の両岸でも隆起が加速した。箕面市から宝塚市にいたる地域は沈降から隆起に転じた。奈良盆地において、広陵町～田原本町～天理市付近の隆起速度が大きくなった。一方、観測期間中、高槻市～箕面市間の有馬高槻断層帯に沿った沈降、生駒市～奈良市にいたる隆起、京都盆地南部の巨椋池干拓地や八幡市～京田辺市～木津川市の領域の顕著な沈降、長岡京市付近の隆起などは継続している。

2018年には大阪北部地震や西日本豪雨・台風21号などの災害が相次いだことから、これらの影響が考えられる。すでに重光他(2021)が、大阪北部地震との関連性を議論している。Sentinel-1の南行軌道のデータの時系列を見ると、上記の2018年で変化が見られた地点では地震前から変化しているところや、9月以降にステップ的な変化が認められるところもある。奈良盆地でも同時期に変化が認められるので、必ずしも地震の直接的な影響だけではなく、近畿全域にわたる降雨の影響や地盤構造等も考慮すべきである。

2. 和歌山県北部

2014年～2020年のALOS-2のデータから 紀ノ川市南方に最大約3 mm/年の隆起を検出した長経約20 kmの拵がりがあり、大きな河川もないので、地殻内の力源による変動と考えられる（図2）。試みに、隆起域の直下深さ5kmに15 x 10 km²の矩形のシルを置き、5 cm/年の速さの開口変位を与えると、3 mm/年の隆起速度が得られ、概ね観測変位を説明できる。2007年～2010年のALOS-1のデータからも、この一部が観測されており、町域的に継続した現象である可能性がある。

和歌山市北東部水準点J271付近や、紀ノ川北岸のGEONET950368より東の領域に、2 mm/年程度の隆起が検出されていることが注目される。

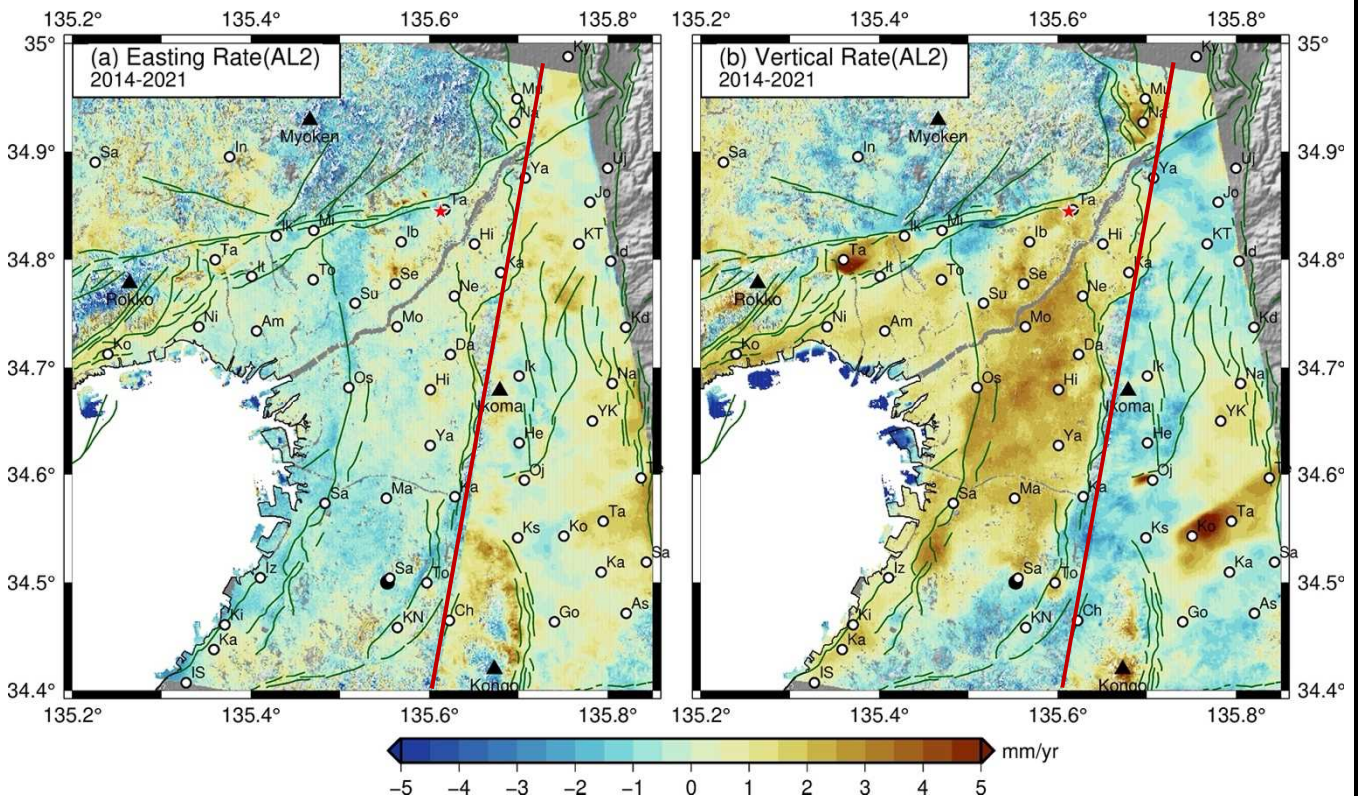


図 1. ALOS-2/PALSAR-2 データの時系列解析から得られた 2014 年から 2021 年の間の京阪神地方および奈良盆地の地盤変動。(a)疑似東西成分、(b)疑似上下成分。赤実線は南行 ALOS-2/PALSAR-2 画像の境界を示す。○は主な市町村、●は変動の参照点、★は 2018 年 6 月 18 日大阪府北部の地震の震央を示す。緑実線は産総研活断層データベースによる活断層の地表トレース。▲は主要な山頂。

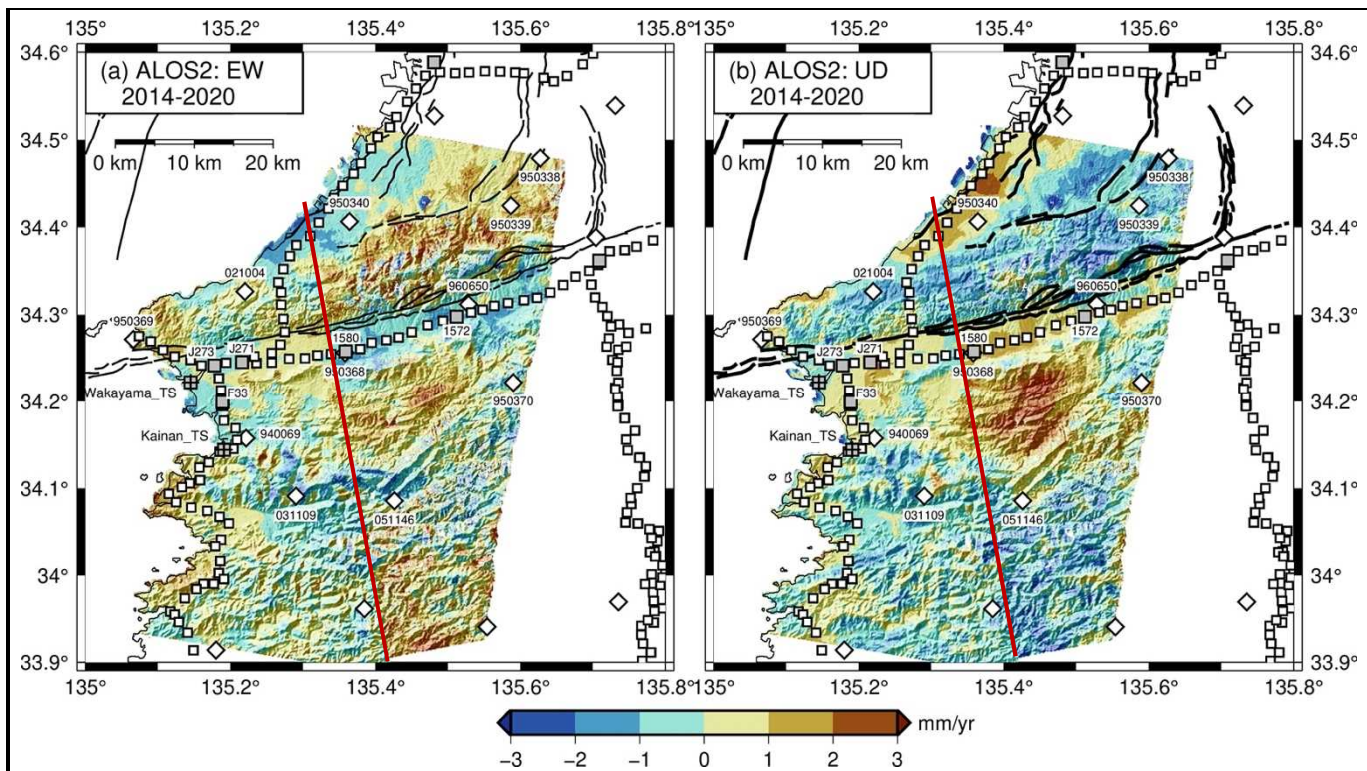


図 2. ALOS-2/PALSAR-2 データの時系列解析から得られた 2014 年から 2021 年の間の和歌山県北部の地盤変動。(a)疑似東西成分, (b)疑似上下成分. 赤実線は北行 ALOS-2/PALSAR-2 画像の境界を示す. ◇は GEONET 観測局, □は一等水準点を示す. ■は基準水準点/交点/験潮場附属水準点などを示す. 黒実線は産総研活断層データベースによる活断層の地表トレース.

成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）：

【学会発表】

Hashimoto, M. (2021) Postseismic deformation following the 2016 Kumamoto earthquake detected by Sentinel-1 and ALOS-2, Fringe2021, Online, 2021 年 6 月 3 日

橋本学 (2021) 京都盆地と大阪平野の地盤変動：その後，第 40 回日本災害学会学術講演会，オンライン，2021 年 9 月 12 日．

Hashimoto, M. (2021) Ground deformation in the central Kinki area with time series analysis, The Joint PI Meeting of JAXA Earth Observation Missions FY2021, 2021 年 11 月 11 日

橋本学 (2021) 和歌山県北部のエピソード的な地盤変動，日本測地学会第 136 講演会，オンライン，2021 年 11 月 19 日

橋本学 (2022) InSAR 時系列解析で得られた 2014 年以降の近畿地方の地盤変動，令和 3 年度京都大学防災研究所研究発表講演会，B209，オンライン，2022 年 2 月 22 日

【論文】

1)橋本学(2021) 和歌山県北部の隆起, 京都大学防災研究所年報, 64B, 48-56, <https://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no64/ronbunB/a64b0p05.pdf>

来年度以降の課題・計画：

引き続き「ALOS-2/PALSAR-2 を用いた活断層帯周辺の地震前・時・後の地殻変動の研究」を実施したいと思います。ただし，関東平野を対象に加えたいと思います。

その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望：

解析手法の情報共有，公開プログラム情報の交換など，進めて頂けると幸いです。

令和3年度地震 SAR 解析 WG 課題別成果報告票 地震-0305

代表研究者 氏名（所属機関）： 古屋 正人（北海道大学 大学院 理学研究院 地球惑星科学部門 地球惑星ダイナミクス分野）
支援研究者 氏名（所属機関）： 高田陽一郎（北海道大学 大学院 理学研究院 地球惑星科学部門 地球惑星ダイナミクス分野）
課題名称：陸域プレート境界周辺の地殻変動様式の解明
今年度の成果概要： 令和3年度は、地震に関する成果はありません。
成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）： 特になし
来年度以降の課題・計画： 未定
その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望： 特になし

代表研究者 氏名（所属機関）：	中尾 茂 （鹿児島大学大学院理工学研究科）
支援研究者 氏名（所属機関）：	

課題名称：干渉 SAR 解析を用いた変位急変帯の地震発生ポテンシャルの評価に関する研究

今年度の成果概要：

GNSS の連続観測により、鹿児島県と宮崎県の県境付近を境にして北側では西方向、南側では東方向の変異が観測されている。西方の鹿児島県と熊本県県境付近では 1997 年鹿児島県北西部地震が発生しており、この付近の地殻変動を明らかにすることは、地震発生を評価するうえで重要である。下図では、2007 年 8 月 8 日と 2007 年 11 月 8 日に撮像された干渉 SAR 画像である。計算は小澤（2021）が開発した解析ソフトウェア RINC を用いた。左図は電離層遅延及び大気伝搬遅延の補正をしていない。約 3 か月の機関にもかかわらず、3 radian を超える位相変化があることがわかる。GNSS による観測によると年間数 cm の地殻変動であるため、地殻変動以外の変動が含まれていると考えられる。そこで、RINC を用いて Split-Spectrum 法で電離層遅延を推定し、また、撮像前後の京大生存圏研究所データベースから数値気象モデル MSM データを取得し、レイトレーシングにより大気伝搬遅延を推定し、両者を補正した。右図はその結果である。補正なしの場合に比べて位相変化の大きい領域が大幅に減少したことがわかる。変動量が小さいと考えられる地殻変動の検出を試みる際には、電離層による遅延、大気伝搬による遅延について、推定を行い検討することが重要である。

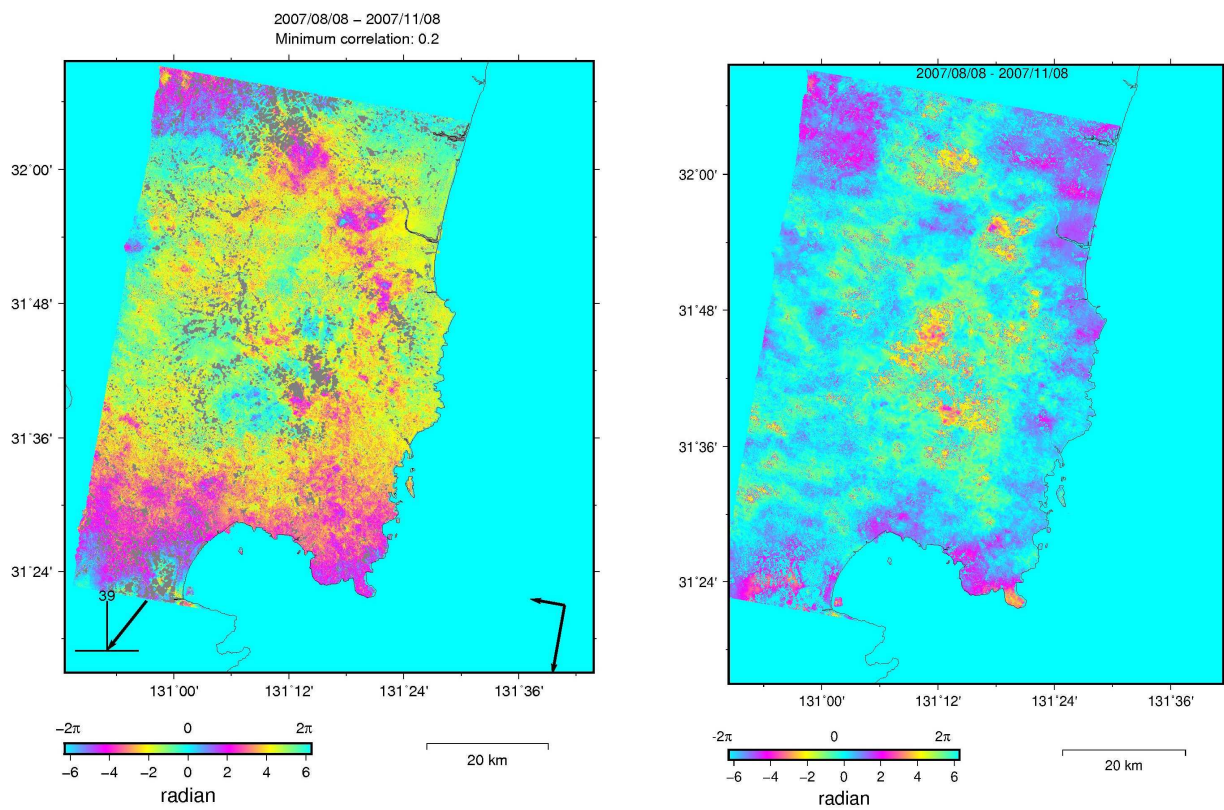


図. 2007 年 8 月 8 日と 2007 年 11 月 8 日に撮像されたデータによる干渉 SAR 画像。左：大気伝搬遅延、電離層遅延の補正なし。右：待機伝搬遅延、電離層遅延の補正あり。

成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）：

なし

来年度以降の課題・計画：

鹿児島県と宮崎県の県境付近の地殻変動の急変帯の空間分布を明らかにするために、これまで推定した干渉 SAR 画像に加えて、電離層による遅延および大気伝搬による遅延を推定し、干渉 SAR に及ぼしている影響を検討し、必要であれば補正を行う。これにより、ノイズが低減された干渉 SAR 画像を得ることができる。GNSS の観測点を基準として様々な期間の干渉 SAR 画像を求め、地殻変動の空間分布を明らかにする。

その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望：

なし

令和3年度地震 SAR 解析 WG 課題別成果報告票 地震-0307

代表研究者 氏名（所属機関）：大木 真人（宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター）

支援研究者 氏名（所属機関）：田殿 武雄（宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター）、島田 政信（東京電機大学 理工学部）

課題名称：Lバンド合成開口レーダによる地殻変動検出

今年度の成果概要：

【概要】

ALOS-2/PALSAR-2 は、ALOS/PALSAR と比較し、分解能、軌道保持精度、軌道決定精度、再訪周期等が向上しており、干渉 SAR 解析を始めとした地殻変動の解析に適している。本研究では、差分干渉 SAR 等を用いて地震に伴う地殻変動の変位量等を抽出した。対象とする地震としては、主に今年度発生した地震に対する緊急的な解析を行い、必要に応じて防災機関等に情報提供を行った。

結果として、本年度は国内で大きな地震の発生は少なく、2022 年 1 月 4 日小笠原諸島の地震、2022 年 1 月 22 日の日向灘の地震については、ALOS-2 の干渉 SAR 解析のノイズレベルを超える顕著な地殻変動は見られなかった。2021 年 8 月 14 日のハイチ共和国における Mw7.2（USGS）の地震では、顕著な地殻変動が見られた。

【ハイチ地震の解析事例】

ハイチ共和国で 2021 年 8 月 14 日 12 時 29 分頃（UT）に Mw7.2（USGS）の地震が発生した。図 1 は ALOS-2 の差分干渉処理で得られた本地震に伴う地殻変動図である。図 1 左は 2021 年 8 月 18 日および 2020 年 12 月 23 日の昇交軌道・右側観測の高分解能 10m モード、図 1 右は 2021 年 8 月 17 日および 2019 年 12 月 10 日降交軌道・右側観測の広域観測モード（第 5 スキャン）のデータによるものである。この結果から、東西方向の長大な断層に沿って 50cm 程度以上の顕著な地殻変動があったことが分かった。

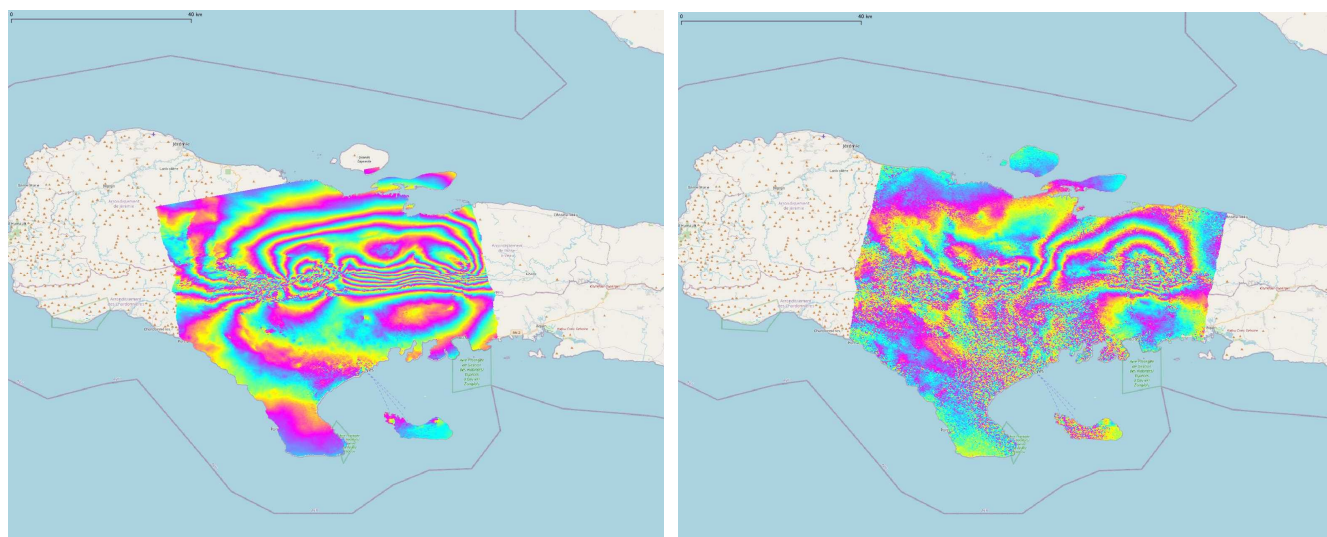


図 1 ALOS-2 による 2021 年 8 月のハイチ共和国の地震に伴う地殻変動図。（左）昇交軌道・右側観測の高分解能 10m モード、（右）降交軌道・右側観測の広域観測モードのデータによる。

成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）：

今年度は報告事項なし。

来年度以降の課題・計画：

主に当該年度に発生した地震に対する緊急的な解析を行い、必要に応じて防災機関等に情報提供を行う。解析手法としては、差分干渉 SAR 解析による変位抽出や、コヒーレンス等を用いた被害状況の解析などを行う。

その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望：

特になし。

代表研究者 氏名（所属機関）：田中 明子（産業技術総合研究所）
支援研究者 氏名（所属機関）：
課題名称：合成開口レーダを用いた地震活動に伴う地殻変動のモニタリング
今年度の成果概要： 緊急調査により衛星解析グループを通じてご提供頂いた PALSAR-2 データなどを使用し，ISCE (InSAR Scientific Computing Environment, https://github.com/isce-framework/isce2/) を用いて SAR 干渉解析を実施した．他機関で迅速に公開された結果と調和的な結果は得られた．

成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）：

特に無し.

来年度以降の課題・計画：

衛星搭載の SAR データを用いて，地表変動を捉えることのできる可能性のある事例についての解析を行う．アーカイブデータを利用し，時系列解析にも取り組む．また，LiCSAR (Sentinel-1 自動干渉解析システム, <https://comet.nerc.ac.uk/COMET-LiCS-portal/>) および 時系列解析パッケージである LiCSBAS (<https://github.com/yumorishita/LiCSBAS/>) など活用し，Sentinel-1a のデータを相補的に利用する．

その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望：

代表研究者 氏名（所属機関）：福島 洋（東北大学災害科学国際研究所）

支援研究者 氏名（所属機関）：

三浦 哲（東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測 センター）

太田 雄策（東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測 センター）

課題名称：SAR 及び GNSS データ解析に基づく奥羽脊梁山脈沿いのひずみ 集中機構に関する研究

今年度の成果概要：

本研究では、ALOS-2 データを用いた InSAR 時系列解析を実施し、GNSS による変位データや Sentinel-1 等の他の衛星データを用いた InSAR 時系列解析結果と組み合わせながら、当該地域のひずみ集中機構および地殻内地震の発生メカニズムを解明することを最終目標としている。

今年度は、InSAR 時系列解析の計算コードについて、改良の取り組みを行うとともに、ALOS-2 データを用いて大阪平野での InSAR 時系列解析を進めた上、GNSS 変位時系列と比較した。

また、2021 年 8 月 14 日にハイチ共和国で発生した M7.2 の地震について、地震 SAR 解析 WG から緊急観測要求を行い撮像された ALOS-2 データを用いて地震時および地震後の震源域周辺の InSAR 解析を行った。その結果、地震時においては、ハイチ南西部を横断するエンリキロ断層沿いに同断層の北側に卓越する変動が捉えられた。地震後については、5 ヶ月の間に余効変動と考えられる変動が捉えられた（図 1）。さらに、国際共同研究チームの一員として、現地観測データを用いた地震解析、Sentinel-1 データも用いた断層モデル推定などの結果を統合し、当該地震の震源断層は北側に傾斜した左横ずれ成分を含む逆断層で、二つの主要な震源域があること・それらの周囲に余震が集中していること等が明らかとなった（Calais et al., 2022）。

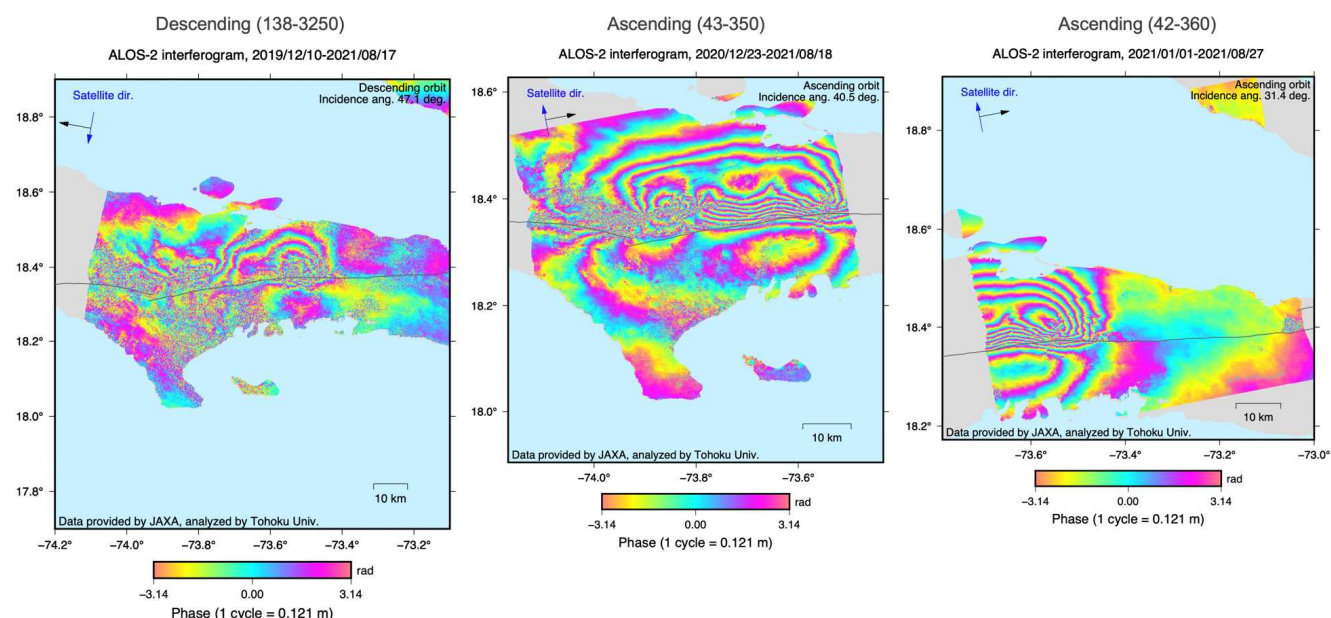


図 1 InSAR による 2021 年 8 月 14 日ハイチ地震（Mw 7.2）に伴う地殻変動。

成果発表の状況（今年度の予知連や学会を含めた成果発表の状況をお書き下さい。）：

[学会発表]

Automatic error-term estimation approach for improving the accuracy of InSAR time-series analysis - Example on the Arima-Takatsuki Fault Zone, Japan, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 日本, 2021 年

福島洋, 2021 年 8 月 14 日ハイチ地震 (Mw7.2) の InSAR 解析による地殻変動の特徴, 第 136 回日本測地学会講演会, 日本, 2021 年

Eric Calais, Steeve Symithe, Tony Monfret, Bertrand Delouis, Anthony Lomax, Francoise Courboux, Jean-Paul Ampuero, Pablo Eduardo Espioza Lara, Quentin Bletery, Jerome Cheze, Anne Deschamps, Bernard Mercier De Lepinay, Bryan Raimbault, Romain Jolivet, Sylvert Paul, Sadrac ST Fleur, Dominique Boisson, Yo Fukushima, Zacharie Duputel, Liuwei Xu, and Lingsen Meng, Citizen seismology helps decipher the 2021 Haiti earthquake, アメリカ地球物理学連合 2021 年秋季大会, アメリカ, 2021

Bryan Raimbault, Romain Jolivet, Eric Calais, Zacharie Duputel, Yo Fukushima, Complex Fault Rupture Geometry and Slip Distribution of the Mw7.2 Nippes Earthquake, Haiti, アメリカ地球物理学連合 2021 年秋季大会, アメリカ, 2021

Yo Fukushima, Automatic error-term separation approach in InSAR time-series analysis and application to Arima-Takatsuki Fault Zone, western Japan, アメリカ地球物理学連合 2021 年秋季大会, アメリカ, 2021

[査読付き論文]

E. Calais, S. Symithe, T. Monfret, B. Delouis, A. Lomax, F. Courboux, J.P. Ampuero, P.E. Lara, Q. Bletery, J. Chèze, A. Deschamps, B. de Lépinay, B. Raimbault, R. Jolivet, S. Paul, S. St Fleur, D. Boisson, Y. Fukushima, Z. Duputel, L. Xu, and L. Meng, “Citizen seismology helps decipher the 2021 Haiti earthquake”, Science, March 10, 2022.

来年度以降の課題・計画：

InSAR 時系列解析コードの検証を進め、当該研究対象領域のデータに適用する。

その他希望する支援（研修・サポート・ソフトウェア等）、地震 SAR 解析 WG への要望：

特になし