

5. 地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの活動

1. 設置の目的と経緯

「地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループ（以下「地震 SAR 解析 WG」という.）」は、地震予知連絡会において、国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構（以下「JAXA」という.）の協力のもと陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号」（以下「だいち 2 号」という.）及び陸域観測技術衛星「だいち」（以下「だいち」という.）の観測データを用いた防災利用実証実験を行い、SAR データの有効性の調査・検討等を実施するために設置されたグループであり、2014 年 2 月の第 202 回地震予知連絡会において設置が承認された。

地震 SAR 解析 WG の活動の目的は、次のとおりである。

- ①日本域及び海外を対象とした「だいち 2 号」の SAR 観測データによる詳細な地殻変動・地盤変状・災害状況の把握、及びその手法の高度化に関する調査・検討
- ②地震発生時や異常な地殻活動が検出された場合における、地殻変動等の把握・解析を通じた地震発生機構の解明、及び災害対応・災害軽減への応用についての SAR データの有効性の調査・検討
- ③「だいち 2 号」解析結果の地震予知連絡会や地震調査委員会等に対する報告

地震予知連絡会の事務局を担当する国土地理院は、2014 年 4 月に地震 SAR 解析 WG の活動に関することを盛り込んだ「陸域観測技術衛星 2 号に関する国土地理院と宇宙航空研究開発機構の間の協定書」を JAXA との間で締結した。2014 年 5 月の第 203 回地震予知連絡会において実験協力者を募集し、同年 8 月に実験協力者（9 機関）が決定した。2014 年 10 月には、「陸域観測技術衛星 2 号（ALOS-2）に関する国土地理院と宇宙航空研究開発機構の実施計画書」において、「だいち 2 号」打上げから 3 年間（2014 年 5 月 24 日～2017 年 5 月 23 日）にわたる防災利用実証実験の実施計画を定め、地震 SAR 解析 WG の活動が本格的に開始した。3 年の期間中に平成 28 年（2016 年）熊本地震、2015 年に発生したネパールの地震をはじめ、多数の地震において SAR データから詳細な地殻変動が捉えられ、地震予知連絡会において報告と議論が行われた。また、解析結果は、政府の地震調査研究推進本部地震調査委員会（以下「地震調査委員会」という.）にも提出され、地震に伴う地殻変動の評価に活用されている。

上述のとおり、地震 SAR 解析 WG において「だいち 2 号」打上げからの 3 年間に SAR データで得られた成果は地震活動の評価等に活用され、防災利用において

有用なデータを提供できることが分かってきた。このことを踏まえ、2017 年 2 月の第 214 回地震予知連絡会において、地震 SAR 解析 WG の活動の継続（2 年間）が認められた。2 年間の延長期間中、平成 30 年北海道胆振東部地震、2017 年に発生したイラン・イラク国境付近の地震、台湾・花蓮の地震、2018 年に発生したキラウエアの地震、インドネシア・ロンボク島の地震、インドネシア・スラウェシ島の地震等、多数の地震において SAR データから詳細な地殻変動が捉えられた。SAR データは地震に伴う地殻変動の迅速な把握や評価において不可欠なツールとなりつつあり、今後も地殻変動を議論する上で有益な数多くの成果が期待できる。このことから、2019 年 2 月の第 222 回地震予知連絡会において、地震 SAR 解析 WG のさらなる活動の継続が認められ、地震 SAR 解析 WG の活動は、2019 年 5 月以降も継続されている。

2. 枠組み及び参加機関

地震 SAR 解析 WG 事務局（国土地理院）は、実験協力者の観測要求や成果を取りまとめ、JAXA に報告する役割を担う（図 1）。2019 年 12 月末時点での実験協力者及び研究課題を表 1 に示す。

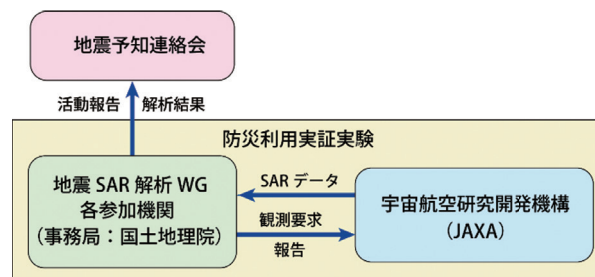


図 1 地震 SAR 解析 WG の枠組み

地震 SAR 解析 WG は、地震発生時に実験協力者からの観測要求を取りまとめたうえで、JAXA に対して緊急観測を提案することができる。JAXA は、地震 SAR 解析 WG からの提案を受けて競合する観測の有無を調査するとともに提案された観測の実現可能性を検討し、可能と判断した場合は緊急観測を実施し、観測データを実験協力者に提供している。この際、SAR 干渉解析が可能となるよう、JAXA は必要な地震発生前の観測データも合わせて提供する。実験協力者は、提供された観測データの解析を実施し、解析結果に基づいて検出された地殻変動に関する議論を電子メールにより行う。その上で、有意な解析結果が得られた場合には、地震予知連絡会や地震調査委員会等に報告され、地震活動の評価、地震

研究等に利用されることになる。

また、JAXA から配信される緊急観測データ以外に、実験協力者は課題研究実施のため、「だいち 2 号」及び「だいち」の観測データをそれぞれ年間最大 50 シーンまで無償で取得できる。課題研究の成果は、緊急観測の解析結果とともに課題別成果報告票及び成果報告書にまとめられ、地震 SAR 解析 WG のウェブページ (https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/about_EQWG.html) にて公開されている。

3. 活動報告

地震 SAR 解析 WG は、原則として、地震予知連絡会の関係機関で構成されており、「だいち 2 号」または「だいち」の観測データを用いて地震予知連絡会の活動に貢献する課題研究を実施する。研究は、機関毎に課題を設定して行われ、期間中に 9 課題が実施された（表 1）。

3.1 「だいち 2 号」の改善による地震 SAR 解析 WG の成果

実験協力者にアンケート調査を実施したところ、2006 年から 2011 年まで運用された「だいち」から 2014 年に運用を開始した「だいち 2 号」になったことで良くなった点として下記が挙げられた。

- ・空間分解能の向上
- ・リピートパスの軌道間距離が短くなったことによる干

渉性の向上

- ・高分解能モードに加えて広域観測モードでも干渉処理が可能
- ・左右両方向による観測
- ・緊急観測要求の受付時間の延長

そこで「だいち 2 号」の性能を生かして地震 SAR 解析 WG の目的を達成するため、各研究課題を実施した。また、「だいち」の運用中に得られたアーカイブデータを用いた研究課題も併せて実施した。

これらの取組によって得られた結果は、地震予知連絡会及び地震調査委員会において地殻変動の検討及び評価に活用された。

平成 28 年（2016 年）熊本地震をはじめ、長野県北部の地震（2014 年 11 月 22 日、M6.7）、鳥取県中部の地震（2016 年 10 月 21 日、M6.6）、茨城県北部の地震（2016 年 12 月 28 日、M6.3）といった内陸の活断層で発生する地震において、地震波形による解析や GNSS 観測網からは把握できない局所的な詳細な変動を捉えた点で地震 SAR 解析 WG の貢献は大きい。地震 SAR 解析 WG の貢献が拡大した要因としては、「だいち 2 号」は、1) 回帰日数が短い、2) 左右両方向の観測、3) 広域観測モードによる高品質な観測データの取得、を達成したことで、「だいち」に比べて地震発生後により迅速かつ詳細に SAR 干渉画像を得ることが可能となったことが挙げられる。

表 1 実験協力者一覧（2019 年 12 月末時点）

管理番号	代表研究者	所属機関	研究課題名
01	矢来 博司	国土地理院	地殻活動に伴う地殻変動とその時空間変化の詳細把握
02	小澤 拓	防災科学技術研究所	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
03	原田 智史 ^{※1}	気象庁	地殻変動の詳細把握
04	橋本 学	京都大学	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
05	古屋 正人	北海道大学	陸域プレート境界周辺の地殻変動様式の解明
06	中尾 茂	鹿児島大学	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
07	大木 真人 ^{※2}	宇宙航空研究開発機構	PALSAR-2 による地殻変動検出
08	田中 明子	産業技術総合研究所	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
09	福島 洋 ^{※3}	東北大学	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

※1 気象庁の代表研究者は、中村浩二（2015 年度～2016 年度）、尾崎友亮（2017 年度～2018 年度）から原田智史（2019 年度）に変更

※2 宇宙航空研究開発機構の代表研究者は、島田政信（2014 年度）、夏秋嶺（2015 年度～2016 年度）から大木真人に変更（2017 年度～2019 年度）

※3 東北大学の代表研究者は、三浦哲（2014 年度～2016 年度）から福島洋（2017 年度～2019 年度）に変更

以上から、地震 SAR 解析 WG の活動による成果は、着実に増加してきたといえる。

その後、国内では平成 30 年北海道胆振東部地震（2018 年 9 月 6 日、M6.7）が発生した。この地震は内陸で発生し、GNSS 観測網のみでは捉えきれない局所的な詳細な変動を捉えることができた。また、この地震に伴って実施された緊急観測は、前回観測がいずれも 2 週間前（1 回帰）という極めて近い時期に実施されたことで高い干涉性が得られ、高精度な変動検出を捉えたことが特筆すべき点である。「だいち 2 号」の後継機として 2020 年度に打ち上げ予定の先進レーダ衛星（ALOS-4）では、観測頻度が高くなるため、定常的に高い干涉性が確保されることが期待される。

海外では 2017 年にイラン・イラク国境付近の地震（Mw7.3）、台湾・花蓮の地震（Mw6.4）、2018 年にパプアニューギニアの地震（Mw7.5）、キラウエアの地震（Mw6.9）、インドネシア・ロンボク島の地震（Mw6.4、6.9、6.9）、インドネシア・スラウェシ島の地震（Mw7.5）等、多数の地震が発生した。これらの地震に伴う詳細な地殻変動を捉えるとともに、震源断層モデルを推定することでメカニズムの解明に寄与することができた。特にキラウエアの地震では、C バンド衛星である Sentinel-1 による観測で非干渉であった領域でも変動を捉えることができ、植生を透過できる L バンド衛星の優位性が示された。また、海外で発生した地震では現地の関係機関に情報が提供され、特にイラン・イラク国境付近やインドネシアの地震では災害対応に役立ったとして関係機関より感謝の意が示された。

3.2 SAR 解析手法の高度化

手法の高度化については、2.5 次元解析、MAI 法、ピ

クセルオフセット解析、干渉 SAR 時系列解析といった高度な解析手法が定着しつつある。これらは SAR の解析技術や知見の蓄積に加え、「だいち 2 号」の観測データの蓄積によって実現されたものである。

一方、電離層擾乱・対流圏擾乱・RFI（Radio Frequency Interference）などに起因するノイズが地殻変動を詳細に捉える際の障壁となる場合があった。例えば、2018 年のパプアニューギニアの地震（Mw7.5）や大阪府北部の地震（M6.1）では、電離層に起因すると見られる位相変化が存在し、実際の地殻変動の有無や範囲を直ちに判断することが困難であった。電離層起因のノイズは Split spectrum 法の適用が有効であり、ノイズの低減手法の標準化に組み込まれつつある。

今後、「だいち 2 号」の観測データの利活用を拡大するためには、引き続き大規模な地震時における観測データと解析事例を蓄積していくことが必要である。特に、「だいち 2 号」の観測データの蓄積が進むことで、今後は多数の観測データを使用して定常的な変動を検出する干渉 SAR 時系列解析が重要な研究項目の 1 つとなると考えられる。先進レーダ衛星（ALOS-4）は日本周辺で年 20 回の観測が実施される予定であり、干渉 SAR 時系列解析により余効変動のような変動速度の小さい変動を継続的かつ高精度に捉える強力な手段となることが期待される。

4. 地震予知連絡会への報告

国内外で発生した地震について、地震 SAR 解析 WG が「だいち 2 号」の観測データを用いた解析結果を地震予知連絡会へ行った報告は、以下の表 2、表 3 のとおりである。

表 2 地震予知連絡会への解析結果報告一覧（国内）

No.	報告した事象	年月日	規模
01	長野県北部の地震	2014 年 11 月 22 日	M6.7
02	平成 28 年（2016 年）熊本地震	2016 年 4 月	最大 M7.3
03	鳥取県中部の地震	2016 年 10 月 21 日	M6.6
04	茨城県北部の地震	2016 年 12 月 28 日	M6.3
05	大阪府北部の地震	2018 年 6 月 18 日	M6.1
06	平成 30 年北海道胆振東部地震	2018 年 9 月 6 日	M6.7
07	北海道胆振地方中東部の地震	2019 年 2 月 21 日	M5.8
08	山形県沖の地震	2019 年 6 月 18 日	M6.7

表 3 地震予知連絡会への解析結果報告一覧（海外）

No.	報告した事象	年月日	規模
01	ネパールの地震	2015 年 4 月 25 日	Mw7.8
02	中国・新疆の地震	2015 年 7 月 3 日	Mw6.4
03	チリの地震	2015 年 9 月 17 日	Mw8.3
04	タジキスタン共和国の地震	2015 年 12 月 7 日	Mw7.2
05	台湾の地震	2016 年 2 月 6 日	Mw6.4
06	エクアドルの地震	2016 年 4 月 17 日	Mw7.8
07	イタリア中部の地震	2016 年 8 月 24 日	Mw6.2
08	イタリア中部の地震	2016 年 10 月 26 日	Mw6.1
09	イタリア中部の地震	2016 年 10 月 30 日	Mw6.6
10	ニュージーランドの地震	2016 年 11 月 13 日	Mw7.8
11	イラン・イラク国境付近の地震	2017 年 11 月 12 日	Mw7.3
12	台湾・花蓮の地震	2018 年 2 月 6 日	Mw6.4
13	パプアニューギニアの地震	2018 年 2 月 25 日	Mw7.5
14	ハワイ島の地震	2018 年 5 月 4 日	Mw6.9
15	インドネシア・ロンボク島の地震	2018 年 7 月 28 日	Mw6.4
16	インドネシア・ロンボク島の地震	2018 年 8 月 5 日	Mw6.9
17	インドネシア・ロンボク島の地震	2018 年 8 月 19 日	Mw6.9
18	インドネシア・スラウェシ島の地震	2018 年 9 月 28 日	最大 Mw7.5
19	インドネシア・クラカタウ火山の噴火	2018 年 12 月 22 日	-
20	米国・カリフォルニア州中部の地震	2019 年 7 月 6 日	最大 Mw7.1