# 地震予知連絡会

# SAR 解析ワーキンググループ (地震 SAR 解析 WG)

# 成果報告書

(平成 29 年 5 月~令和元年 5 月)

# 令和元年5月

# 地震 SAR 解析 WG 事務局 国土地理院

# 地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループ

# (地震 SAR 解析 WG)

# 成果報告書

# (平成 29 年 5 月~令和元年 5 月)

# 目次

<b>1</b> . 地創	§ SAR 解析 WG の概要	3
1.1.	設置の目的と経緯	3
1.2.	枠組み及び参加機関	4
2. 活重	助報告	6
2.1.	総括	6
2.2.	地震予知連絡会への報告	7
2.3.	地震調査研究推進本部地震調査委員会での活用	10
2.4.	観測要求	11
2.5.	データ取得実績	15
2.6.	会合開催状況	15
2.7.	外部公表実績	16
3. 個牙	課題研究の成果報告	21
	01国土地理院	
	02防災科学技術研究所	35
	03 気象庁	36
	04 京都大学	44
	05 北海道大学	52
	06 鹿児島大学	53
	07 宇宙航空研究開発機構	57
	08 産業技術総合研究所	61
	09 東北大学	63

#### 1. 地震 SAR 解析 WG の概要

#### 1.1. 設置の目的と経緯

地震予知連絡会は、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(以下、「だいち2号」という.)及び陸域観測技術衛星(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通じ、SARデータの活用等を調査・検討するため、平成26年2月の第202回地震予知連絡会において、「SAR解析ワーキンググループ(以下、「地震SAR解析WG」という.)」の設置が承認された.

地震 SAR 解析 WG の活動目的は、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・解析を通し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、平成 26 年 4 月に地震 SAR 解析 WG の活動について盛り込んだ「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.平成 26 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、平成 26 年 8 月に実験協力者(9 機関)が決定した.平成 26 年 10 月には、「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実施計画書」において、だいち 2 号打上げから 3 年間(平成 26 年 5 月 24 日~平成 29 年 5 月 23 日)にわたる実施計画を定め、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 年熊本地震、平成 27 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 データから地殻変動の詳細が捉えられ、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.

上記で述べたように、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、平成29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、平成29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、平成30年に発生したキラウェアの地震、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データから地殻変動の詳細が捉えられた.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とから、平成31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、平成 31 年 5 月以降も継続される予定である.

本報告は、地震 SAR 解析 WG が作成を提案し、JAXA 及び各実験協力者の同意と協力を得て、 活動を延長した平成 29 年 5 月から 2 年間の実施内容と成果を取りまとめたものである.

なお,だいち2号打上げから3年間の実施内容と成果(成果報告書(平成26年5月~平成29 年5月))については,以下のURLから閲覧することができる.

http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/215/SAR.pdf

#### 1.2. 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). 平成31年3月末時点での実験協力者及び研究課題を表1 に示す.

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て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データも合わせて提供する. 実験協力者は、提供され た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または成果報告書にまとめられ、地震SAR 解析 WG のウェブページ (http://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/about\_EQWG.html) にて公開される.



図 1. 地震 SAR 解析 WG の枠組み

管理 番号	参加機関	代表研究者	研究課題名
01	国土地理院	矢来 博司	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	防災科学 技術研究所	小澤 拓	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	気象庁	尾崎 友亮 <sup>※1</sup>	地殻変動の詳細把握
04	京都大学	橋本学	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	北海道大学	古屋 正人	陸域プレート境界周辺の地殻変動様式の解明
06	鹿児島大学	中尾 茂	干渉 SAR 解析を用いた変位速度急変帯の地震発生ポテンシャル の評価に関する研究
07	宇宙航空 研究開発機構	大木 真人 <sup>※2</sup>	PALSAR-2 と PALSAR の地殻変動検出能力の比較
08	産業技術 総合研究所	田中明子	合成開ロ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	東北大学	福島 洋 <sup>※3</sup>	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

表 1. 実験協力者一覧

※1 気象庁の研究代表者は、中村浩二(平成 27~28 年度)から尾崎友亮(平成 29~30 年度)に変更

※2 宇宙航空研究開発機構の研究代表者は、島田政信(平成 26 年度)、夏秋嶺(平成 27~28 年度)から大木真
 人に変更(平成 29~30 年度)

※3 東北大学の研究代表者は、三浦哲(平成 26~28 年度)から福島洋(平成 29~30 年度)に変更

#### 2. 活動報告

本章では、活動を延長した平成29年5月から2年間について述べる.

#### 2.1. 総括

国内では平成 30 年北海道胆振東部地震(平成 30 年 9 月 6 日, M6.7) が発生した. この地震 は内陸で発生し, GNSS 観測網のみではとらえきれない局所的な変動の詳細を捉えることがで 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渉性が得られ, ひいては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 号の後継機として平成 32 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ので, 定常的に高い干渉性が確保されること が期待される.

海外では平成29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), 平成30年にパプアニューギニアの地震(Mw7.5),キラウェアの地震(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地殻変動の詳細を捉えるとともに,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.特にキラウェアの地震では,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.

手法の高度化については、第3章に示したとおり、2.5次元解析, MAI法, ピクセルオフセット解析, 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,平成 30 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.

6

#### 2.2. 地震予知連絡会への報告

各回の地震予知連絡会で地震 SAR 解析 WG の活動報告を行うとともに,国内外で発生した比較的に規模が大きい地震について,だいち2号の観測データを用いた解析結果を報告した.各回の地震予知連絡会で行った報告は,以下のとおりである.

表 2-1. 第 215 回地震予知連絡会(平成 29 年 5 月 19 日)

番号	地震名	タイトル	機関名
1		地震 SAR 解析 WG の活動状況	事務局

表 2-2. 第 216 回地震予知連絡会 (平成 29 年 8 月 21 日)

番号	地震名	タイトル	機関名
1		地震 SAR 解析 WG の活動状況	事務局

表 2-3. 第 217 回地震予知連絡会(平成 29 年 11 月 22 日)

番号	地震名	タイトル	機関名
1	イラン・イラクの地	2017 年 11 月イラン・イラクの地震に関する SAR 干渉	国土地理院
	震 (2017/11/12,	解析結果	
	Mw7.3)		
2		地震 SAR 解析 WG の活動状況	事務局

表 2-4. 第 218 回地震予知連絡会 (平成 30 年 2 月 23 日)

番号	地震名	タイトル	機関名
1	台湾・花蓮の地震	2018 年 2 月台湾・花蓮の地震に関する SAR 解析結果	国土地理院
	(2018/2/6, Mw6.4)		
2		ALOS-2 の SAR で見つかった平成 28 年熊本地震による	国土地理院
	平成 28 年熊本地震	地表断層群	
3	(2016/4 最大 M7.3)	平成 28 年 (2016 年) 熊本地震の余効変動~SAR 観測が	国土地理院
		捉えた広域・局所変動の詳細~	
4		地震 SAR 解析 WG の活動状況	事務局

表 2-5.	第 219 回地震予知連絡会	(平成 30 年 5 月 25 日)

番号	地震名	タイトル	機関名
1	パプアニューギニア	2018 年 2 月パプアニューギニアの地震に関する SAR 干	国土地理院
	の地震(2018/2/25,	涉解析結果	
	Mw7.5)		

2	ハワイ島の地震	2018 年 5 月ハワイ島の地震と火山活動に関する SAR 干	国土地理院
	(2018/5/4, Mw6.9)	涉解析結果	
3		地震 SAR 解析 WG の活動状況	事務局

番号 地震名 タイトル 機関名 1 大阪府北部の地震 大阪府北部の地震「だいち2号」による SAR 干渉解析 国土地理院 (2018/6/18, Mw6. 1) 結果 インドネシア・ロン 2 2018 年 7 月~8 月にインドネシアのロンボク島の地震 国土地理院 ボク島の地震 に関する SAR 解析結果 (2018/7/28, Mw6. 4) (2018/8/5, Mw6.9) (2018/8/19, Mw6. 9) 3 地震 SAR 解析 WG の活動状況 事務局

表 2-6. 第 220 回地震予知連絡会(平成 30 年 8 月 24 日)

表 2-7. 第 221 回地震予知連絡会(平成 30 年 11 月 30 日)

番号	地震名	タイトル	機関名
1	平成 30 年北海道胆	平成 30 年北海道胆振東部地震の震源断層モデル(暫	国土地理院
	振東部地震の地震	定)	
	(2018/9/6, Mw6.7)	平成 30 年北海道胆振東部地震「だいち2号」による	国土地理院
		SAR 干涉解析結果	
		平成 30 年北海道胆振東部地震「だいち2号」による地	国土地理院
		設変動分布図(2.5次元解析)	
2	インドネシア・スラ	2018 年 9 月インドネシア・スラウェシ島の地震に関す	国土地理院
	ウェシ島の地震	る SAR 解析結果	
	(2018/9/28, Mw7. 5)		
3		地震 SAR 解析 WG の活動状況	事務局

表 2-8. 第 222 回地震予知連絡会(平成 31 年年 2 月 22 日)

番号	地震名	タイトル	機関名
1	インドネシア・クラ	2018 年 12 月インドネシア・クラカタウ火山の噴火に	国土地理院
	カタウ火山の噴火	関する SAR 干渉解析結果	
	(2018/12/22)		
2	北海道胆振地方中東	胆振地方中東部の地震(2月21日 M5.8)「だいち2号」	国土地理院
	部の地震	による SAR 干渉解析結果	

	(2019/2/21, M5.8)		
3		地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの活動期	事務局
		間の延長について(案)	
4		地震 SAR 解析 WG の活動状況	事務局

#### 2.3. 地震調査研究推進本部地震調査委員会での活用

地震 SAR 解析 WG の取組によって得られた成果は、地震調査委員会に報告され、地震の評価 に活用された. だいち2号の成果に基づく評価文は、以下のとおりである.

表 3-1. 平成 30 年北海道胆振東部地震の評価(抜粋)

平成 30 年北海道胆振東部地震の評価(抜粋)

GNSS観測の結果では、地震に伴って、日高町の門別(もんべつ)観測点が南に約5cm、 苫小牧市の苫小牧観測点が東に約4cm移動するなどの地殻変動が観測された。また、陸域観 測技術衛星2号「だいち2号」の合成開口レーダー干渉解析の画像によると、震央周辺で最 大約7cm(暫定値)の隆起及び、隆起域の東側で最大約4cm(暫定値)の東向きの地殻変動 が観測された。

(平成 30 年 10 月 12 日 地震調査研究推進本部 地震調査委員会)

表 3-2. 2019 年 1 月 3 日熊本県熊本地方の地震の評価(抜粋)

2019年1月3日熊本県熊本地方の地震の評価(抜粋)
<u>GNSS観測の結果及び陸域観測技術衛星2号「だいち2号」の合成開ロレーダー干渉解析</u>
の画像によると、今回の地震に伴う有意な地殻変動は観測されていない。
(平成 31 年 1 月 15 日 地震調査研究推進本部 地震調査委員会)

表 3-3. 2019 年 2 月 21 日北海道胆振地方中東部の地震の評価(抜粋)

2019年2月21日北海道胆振地方中東部の地震の評価(抜粋)
<u>GNSS観測の結果(速報)及び陸域観測技術衛星2号「だいち2号」の合成開口レーダー</u>
<u>干渉解析の画像によると、今回の地震に伴う有意な地殻変動は観測されていない。</u>
(平成 31 年 2 月 22 日 地震調査研究推進本部 地震調査委員会)

#### 2.4. 観測要求

地震 SAR 解析 WG は、以下の地震等の発生に伴い、JAXA に緊急観測を要求した.

<国内>

長野県南部の地震(平成 29 年 6 月 25 日, M5.6, 表 4-1) 島根県西部の地震(平成 30 年 4 月 9 日, M6.1, 表 4-2) 大阪府北部の地震(平成 30 年 6 月 18 日, M6.1, 表 4-3) 平成 30 年北海道胆振東部地震(平成 30 年 9 月 6 日, M6.7, 表 4-4) 熊本県熊本地方の地震(平成 31 年 1 月 3 日, M5.1, 表 4-5) 北海道胆振地方中東部の地震(平成 31 年 2 月 21 日, M5.8, 表 4-6)

<海外>

中国四川省の地震(平成29年8月8日, Mw6.5, 表4-7)

メキシコの地震(平成 29 年 9 月,最大 Mw8.2,表 4-8)

イラン・イラク国境付近の地震(平成 29年11月12日, Mw7.3, 表 4-9)

台湾の地震(平成 30 年 2 月 6 日, Mw6.4, 表 4-10)

パプアニューギニアの地震(平成 30年2月25日, Mw7.5, 表 4-11)

ハワイ島の地震(平成 30 年 5 月 4 日, Mw6.9, 表 4-12)

インドネシア・ロンボク島の地震(平成 30 年 7 月 28 日, Mw6.4, 平成 30 年 8 月 5 日, Mw6.9, 平成 30 年 8 月 19 日, Mw6.9, 表 4-13)

インドネシア・スラウェシ島の地震(平成 30 年 9 月 28 日,最大 Mw7.5,表 4-14) インドネシア・クラカタウ火山の噴火(平成 30 年 12 月 22 日,表 4-15)

観測日時(JST)		観測モード・分解能		衛星進行 方向	電波照射 方向	観測
2017/06/25	11 時 55 分頃	高分解能	3m	南行	右	0*

表 4-1. 長野県南部の地震(平成 28 年 6 月 25 日, M5.6)

※地震 SAR 解析 WG の緊急観測要求による観測ではないが、データ提供要請をした。

表 4-2. 島根県西部の地震(平成 30 年 4 月 9 日, M6.1)

観測日時(JST)		観測モード・分解能		衛星進行 方向	電波照射 方向	観測
2018/04/09	13 時 05 分頃	高分解能	3m	南行	左	0

観測日時(JST)	観測モード	観測モード・分解能		電波照射 方向	観測
2018/06/18 23時5	7 分頃 高分解能	3m	北行	右	0

表 4-3. 大阪府北部の地震(平成 30 年 6 月 8 日, M6.1)

表 4-4. 平成 30 年北海道胆振東部地震(平成 30 年 9 月 6 日, M6.7)

相測口味 (107)	毎週エード。ノ	観測モード・分解能		電波照射	先日 3月1
(5,○) (3,\circ) (	観測モート・カ			方向	<b>崔兄</b> 决]
2018/09/06 11 時 41 分均	高分解能	3m	南行	右	0
2018/09/06 22時 37分り	[ 高分解能	3m	北行	左	0
2018/09/08 23時18分頃	[ 高分解能	6m	北行	右	0
2018/09/13 22時25分頃	[ 高分解能	3m	北行	右	0
2018/09/20 11 時 41 分均	高分解能	3m	南行	右	0

表 4-5. 熊本県熊本地方の地震(平成 31 年 1 月 3 日, M5.1)

観測日時(JST)		観測モード・分解能		衛星進行 方向	電波照射 方向	観測
2019/01/03	23 時 23 分頃	高分解能	3m	北行	左	0

表 4-6. 北海道胆振地方中東部の地震(平成 31 年 2 月 21 日, M5.8)

観測日時(JST)		観測モード・分解能		衛星進行 方向	電波照射 方向	観測
2019/02/21	22 時 37 分頃	高分解能	3m	北行	左	0*

※地震 SAR 解析 WG の緊急観測要求による観測ではないが、データ提供要請をした。

表 4-7. 中国四川省の地震(平成 29 年 8 月 8 日, Mw6.5)

観測日日	侍(JST) 観測モード・分解能		衛星進行 方向	電波照射 方向	観測	
2017/08/12	13 時 58 分頃	高分解能	10m	南行	右	0
2017/08/16	01 時 54 分頃	高分解能	10m	北行	右	0

観測日時(JST)		観測モード・分解能		衛星進行 方向	電波照射 方向	観測
2017/09/10	03 時 05 分頃	広域観測	100m	南行	右	0
2017/09/10	15 時 25 分頃	広域観測	100m	北行	右	0
2017/09/20	15 時 38 分頃	高分解能	10m	北行	右	0

表 4-8. メキシコの地震(平成 29 年 9 月,最大 Mw8.2)

表 4-9. イラン・イラク国境付近の地震(平成 29 年 11 月 12 日, Mw7.3)

 観測日時	(JST)	観測モード	・分解能	衛星進行 方向	電波照射 方向	観測
 2017/11/15	05 時 59 分頃	広域観測	100m	北行	右	0
2017/11/15	17 時 49 分頃	広域観測	100m	南行	右	0

表 4-10. 台湾の地震(平成 30 年 2 月 6 日, Mw6.4)

観測日時(JST)		観測モード・分解能		衛星進行 方向	電波照射 方向	観測
2018/02/08	13 時 21 分頃	高分解能	3m	南行	左	0
2018/02/11	00 時 50 分頃	高分解能	6m	南行	右	0
2018/02/11	09時48分頃	高分解能	10m	南行	右	0

表 4-11. パプアニューギニアの地震(平成 30 年 2 月 25 日, Mw7.5)

粗測日時 (IST)		趙 当 ナ ー ド・ 分 解 能		衛星進行	電波照射	<b>年11</b> 11	
					方向	方向	F/6/77]
2018/0	2/26	23 時 46 分頃	広域解能	100m	北行	右	0
2018/0	3/01	11 時 05 分頃	広域観測	100m	南行	右	0

表 4-12. ハワイ島の地震(平成 30 年 5 月 4 日, Mw6.9)

観測日時	(JST)	観測モード・分解能		衛星進行 方向	電波照射 方向	観測
2018/05/08	19 時 22 分頃	高分解能	10m	北行	右	0
2018/05/13	07 時 09 分頃	広域観測	100m	南行	右	0

観測日時	i (JST)	観測モード	・分解能	衛星進行 方向	電波照射 方向	観測
2018/07/29	12 時 57 分頃	広域観測	100m	南行	右	O*
2018/08/07	12 時 50 分頃	高分解能	3m	南行	右	0*
2018/08/12	12 時 57 分頃	広域観測	100m	南行	右	0
2018/08/21	12 時 50 分頃	高分解能	3m	南行	右	0
2018/08/26	12 時 57 分頃	広域観測	100m	南行	右	0

表 4-13. インドネシア・ロンボク島の地震(平成 30 年 7 月 28 日, Mw6.4, 平成 30 年 8 月 5 日, Mw6.9)

※地震 SAR 解析 WG の緊急観測要求による観測ではないが、データ提供要請をした。

表 4-14. インドネシア・スラウェシ島の地震(平成 30 年 9 月 28 日, 最大 Mw7.5)

観測日時	(JST)	観測モード	・分解能	衛星進行 方向	電波照射 方向	観測
2018/10/02	12 時 46 分頃	広域観測	100m	南行	右	0
2018/10/04	01 時 15 分頃	高分解能	10m	北行	右	0
2018/10/11	12 時 40 分頃	高分解能	10m	南行	右	×
2018/10/13	01 時 09 分頃	高分解能	10m	北行	右	0
2018/10/16	12 時 46 分頃	高分解能	10m	南行	右	0
2018/10/25	12 時 40 分頃	高分解能	10m	南行	右	0

表 4-15. インドネシア・クラカタウ火山の噴火(平成 30 年 12 月 22 日)

観測日時(JST) 観測		観測モード	・分解能	衛星進行 方向	電波照射 方向	観測
2018/12/25	02 時 13 分頃	高分解能	10m	北行	右	0

#### 2.5. データ取得実績

645 TEL		平成 29 年度			平成 30 年度			#0.88
官理	機関	ALOS	ALOS-2		ALOS	ALOS-2		別印
留方		PSR	PSR-2	計	PSR	PSR-2	計	
01	国土地理院		32	32		4	4	36
02	防災科学 技術研究所			0			0	0
03	気象庁	41	33	74		45	45	119
04	京都大学		16	16	21	32	53	69
05	北海道大学			0			0	0
06	鹿児島大学	4	20	24			0	24
07	宇宙航空 研究開発機構			0			0	0
08	産業技術 総合研究所			0			0	0
09	東北大学			0		49	49	49
	計	45	101	146	21	130	151	297

表 5. AUIG-2 からのデータ取得実績

※ALOS:だいち, ALOS-2:だいち2号, PSR: PALSAR, PSR-2: PALSAR-2 を表す.

# 2.6. 会合開催状況

- 第5回 日時 平成29年5月22日(月)18:45~19:45
  - 場所 幕張メッセ国際会議場 106
  - 議題 1. 今後のスケジュール(事務局)
    - 2. JAXA からの報告事項 (JAXA)
    - 3. 議論
      - ・COSMO-Skymed(CSK)の利用について
      - ・時系列解析について
      - ・CSK のアーカイブについて
      - ・各 WG の CSK の観測枠について
      - ・CSKの利用と報告書の作成について
      - ・各WGでのCSKデータのシェアについて
- 第6回 日時 平成 30 年 5 月 22 日 (火) 18:45~19:45
  - 場所 幕張メッセ国際会議場 101
  - 議題 1. 成果公開方法の変更について(事務局)

- 2. 昨年度に実施した緊急観測について(事務局)
- 3. 今後のスケジュール(事務局)
- 4. JAXA からの報告事項 (JAXA)
- 5. 議論
  - ・依頼表提出の形式ついて
  - ・緊急観測の提案に関して
  - ・ALOS-2の観測対応について

# 2.7. 外部公表実績

国土地理院(表 6-1),防災科学技術研究所(表 6-2),気象庁(表 6-2),京都大学(表 6-3), 東北大学(表 6-4)が成果の外部公表を行った.

表題	発表先	発表日
人工衛星のLバンド SAR による地震・火山活動に伴う	2017年電子情報通信学	2017/3/23
地殻変動の監視	会総合大会	
干渉 SAR が捉えた小さな地表変位 一熊本地震を例に-	土砂災害予測に関する研	2017/3/31
	究集会 -熊本地震とそ	
	の周辺-	
ALOS-2 contributions for detection of crustal	連合大会 2017 年大会	2017/5/22
deformation associated with earthquakes		
SAR 干渉解析による斜面変動検出-四国山地、朝日山地	日本地球惑星科学連合大	2017/5/24
_の事例	会 2017	
2011 年と 2016 年に茨城県北部で発生した正断層型の地	日本地球惑星科学連合大	2017/5/25
震について −InSAR 観測により捉えられた瓜二つの地	<b>会</b> 2017	
震		
3-D crustal deformation detected by SAR	FIG WORKING WEEK	2017/5/29
interferogramsof ALOS-2 satellite	2017	
防災対応における地理空間情報の役割	防災学術連携体意見交換	2017/6/2
Crustal Deformation Caused by Large Earthquakes in	Fringe 2017	2017/6/6
Japan, Italy and New Zealand in 2016 Observed by		
ALOS-2		
ALOS-2 SAR データで捉えた 2016 年熊本地震の地殻変	京都大学防災研究所平	2017/7/7
動と断層破壊の詳細	成 29 年度一般研究集会	
	「リモートセンシング技	
	術の進展と活断層・内陸	
	地震研究」	
ALOS-2 の SAR で見つかった平成 28 年熊本地震による	京都大学防災研究所 平	2017/7/7
地表断層群と阿蘇谷での大きな変動	成 29 年度一般研究集会	
	「リモートセンシング技	
	術の進展と活断層・内陸	
	地震研究」	
Case Study of Japan: Crustal deformation monitoring	TECHNICAL	2017/7/29
with GNSS and InSAR	SEMINAR ON	
	REFERENCE FRAME	
	IN PRACTICE	
Normal-faulting earthquakes in the northern area of	IAG-IASPEI 2017	2017/8/1
Ibaraki Prefecture, Japan in 2011 and 2016		
Duplicate events detected by InSAR observations -		

表 6-1. 外部公表実績(国土地理院)

表題	発表先	発表日
Detailed crustal deformation and fault ruptures of the 2016 Kumamoto Earthquake revealed by ALOS-2 SAR data	IAG-IASPEI 2017	2017/8/2
Crustal deformation of the 2016 Kaikoura earthquake, New Zealand, revealed by ALOS-2	IAG-IASPEI 2017	2017/8/2
InSAR analysis all over Japan by ALOS-2 (Daichi- 2)/PALSAR-2 data	IAG-IASPEI 2017	2017/8/3
The leveling net adjustment with a correction for altitude variations obtained from GNSS-based control stations data	IAG-IASPEI 2017	2017/8/3
Crustal deformation of the 2016 Kumamoto earthquake sequence (1) - Foreshocks -	IAG-IASPEI 2017	2017/8/3
2016 年熊本地震の地殻変動(3)-だいち2号 SAR に よる小変位の地表断層群の抽出-	IAG-IASPEI 2017	2017/8/3
Non-tectonic liquefaction-induced large surface displacements in the Aso Valley, Japan, caused by the 2016 Kumamoto earthquake, revealed by ALOS-2 SAR	Earth and Planetary Science Letters	2017/8/7
Dynamic rupture propagation on geometrically complex fault with along-strike variation of fault maturity(走向方向の断層成熟度のばらつきに伴った幾 何学的に複雑な断層面上における動的破壊伝播)	Earth, Planets and Space	2017/9/18
だいち 2 号干渉 SAR による地盤沈下検出性能の評価-九 十九里平野の事例-	日本測地学会第 128 回講 演会	2017/10/4
全国定常解析で得られた活火山域の SAR 干渉画像の抽 出・公開	日本測地学会第 128 回講 演会	2017/10/4
2014 年長野県北部の地震の複雑な地殻変動と断層滑り	日本測地学会第 128 回講 演会	2017/10/4
2016年熊本地震に伴う地表断層群及び阿蘇谷での水平 変位の成因は何か?	日本測地学会第 128 回講 演会	2017/10/4
だいち 2 号 (ALOS-2) の干渉 SAR で検出された雌阿寒 岳周辺の地殻変動	日本測地学会第 128 回講 演会	2017/10/4
2014 年長野県北部の地震の複雑な地殻変動と断層滑り	日本地震学会 2017 年度 秋季大会	2017/10/27
2011 年と 2016 年に茨城県北部において再来期間6年で 発生した正断層型の地震について	日本地震学会 2017 年度 秋季大会	2017/10/27
2016 年熊本地震に伴う地表断層群及び阿蘇谷での水平 変位の成因は何か?	日本地震学会 2017 年度 秋季大会	2017/10/27
Complex Crustal Deformation of the 2016 Kaikoura (New Zealand) Earthquake Revealed by ALOS-2	Bulletin of the Seismological Society of America	2017/11/7
2017 年 11 月 12 日イラン・イラク国境付近の地震に伴 う地殻変動 The 2017 Iran-Iraq Earthquake: Crustal deformation detected by ALOS-2 data	国土地理院地殻変動研究 室 HP	2017/11/15
2017 年 11 月イラン・イラクの地震に関する SAR 干渉 解析結果	第 217 回地震予知連絡会	2017/11/22
だいち 2 号が捉えた熊本地震の地殻変動	土木学会 2016 年熊本地 震被害調査報告書	2017/12/1
SAR-revealed complex fault rupture of the 2014 Northern Nagano earthquake at the northern Itoigawa-Shizuoka tectonic line	Earth, Planets and Space	2017/12/7
2017 年 11 月イラン・イラクの地震に関する SAR 干渉 解析の結果第 311 回地震調査委員会	第 311 回地震調査委員会	2017/12/11
草津白根山の火山活動に関するだいち2号の SAR 強度 画像に基づく推定火口位置	国土地理院 HP	2018/1/26
SAR 衛星が明らかにする世界中の大地の動き	SAT テクノロジー・ショ ーケース 2018	2018/2/13

表題	発表先	発表日
2018 年 2 月台湾・花蓮の地震に関する SAR 解析結果	第 218 回地震予知連絡会	2018/2/23
ALOS-2 の SAR で見つかった平成 28 年熊本地震による 地表断層群	第 218 回地震予知連絡会	2018/2/23
2016 年熊本地震の余効変動 ~SAR 観測が捉えた広 域・局所変動の詳細~	第 218 回地震予知連絡会	2018/2/23
2018年2月25日パプアニューギニアの地震に伴う地殻 変動	国土地理院地殻変動研究 室 HP	2018/3/1
InSAR-derived Crustal Deformation and Reverse	国土地理院報告	2018/3/5
Fault Motion of the 2017 Iran-Iraq Earthquake in the Northwest of the Zagros Orogenic Belt	(Bulletin of the GSI)	
2018 年 2 月台湾・花蓮の地震に関する SAR 解析結果	第 314 回地震調査委員会	2018/3/9
2018 年 2 月パプアニューギニアの地震に関する SAR 干 渉解析結果	第 314 回地震調査委員会	2018/3/9
平成 30 年 4 月 9 日 島根県西部の地震「だいち 2 号」 による SAR 干渉解析結果	第 315 回地震調査委員会	2018/4/10
国土地理院の地形計測 これまでとこれから	シンポジウム「高精度地 形データの地すべり調査 での活用と方向性」	2018/4/16
2018 年 5 月ハワイ島キラウエア火山活動に関する SAR	国土地理院地殻変動研究	2018/5/9
解析結果 The 2018 Kilauea volcanic activity of Hawaii: SAR analysis result by ALOS-2 data	室 HP	
SAR 観測で捉えられた熊本地震の余効変動について	日本地球惑星科学連合 2018 年大会	2018/5/20
だいち2号を活用した日本国内の地表変動の継続的な監 視	日本地球惑星科学連合 2018 年大会	2018/5/21
世界の大地震(2014-2016年)の ALOS-2 SAR 干渉画	日本地球惑星科学連合	2018/5/21
像カタログ(A Catalog of ALOS <sup>-2</sup> SAR Interferograms Associated with Global Large Earthquakes in 2014- 2016)	2018 年大会	
<u>2016</u> 干渉 SAR で見る火口周辺の火砕物の堆積 ~新燃岳、 諏訪之瀬阜~	日本地球惑星科学連合 2018 年大会	2018/5/21
	日本地球惑星科学連合	2018/5/22
と九州中部の活断層の形態の類似性	2018年大会	2010/0/22
熊本地震に伴う地殻変動 ~水前寺付近の地表断層群と	日本地球惑星科学連合	2018/5/22
阿蘇谷での大きな水平変位~	2018年大会	
2018 年 2 月パプアニューギニアの地震に関する SAR 干 渉解析結果	第 219 回地震予知連絡会	2018/5/25
2018 年 5 月ハワイ島の地震と火山活動に関する SAR 干 渉解析結果	第 219 回地震予知連絡会	2018/5/25
Crustal deformation and fault models of the 2016 Kumamoto earthquake sequence - Foreshocks and	International Association of Geodesy	2018/6/29
<u>Main shock</u> 宇宙から地震を見る人工衛星搭載合成開口レーダーが明	Symposia 電気評論 2018.7	2018/7/1
らかにする地殻変動 Nationwide Deformation Monitoring in Japan by	COMET Annual Maating	2018/7/2
ALOS-2 INSAR and Future Plan 大阪府北部の地震「だいち 2 号」による SAR 干渉解析	第 319 回地震調査委員会	2018/7/10
COSEISMIC SURFACE DEFORMATIONS OF GLOBAL LARGE EARTHQUAKES IN 2014-2016 DETECTED BY ALOS-2 INSAR	2018IGARSS	2018/7/24
平成 30 年北海道胆振東部地震「だいち 2 号」による SAR 干渉解析結果(暫定)	第 321 回地震調査委員会	2018/9/6
平成 30 年北海道胆振東部地震に関する情報	国土地理院 防災関連 web サイト	2018/9/8

表題	発表先	発表日
	第 399 同地雲調本禾昌会	2018/0/11
十次50年北海道超級未能地展「たいろ2号」による地 熱変動公布図(95次元解析)(斬完)	为 522 回地展调重安良云	2010/3/11
	第 399 同地雲調杏委員会	2018/9/11
日土地理院「次50中北海道虐派未能地展び展祢胡信」	A 022 CREMEYRA	2010/0/11
	第 399 同批零調杏委員会	2018/9/11
	A 022 CREMEYRA	2010/0/11
	第 399 同批零調杏委員会	2018/9/11
		2018/0/26
務局田 2017-2010 牛噴入に件 ノ地版変動		2010/3/20
	<u>- 子八云</u> 国土地理院地設変動研究	2018/10/5
2010 中十21 中シング バランエン島の地震に中ノ地波 変動 The 2018 Sulawesi Island Indonesia	室 HP	2010/10/0
Earthquake: Crustal deformation detected by ALOS-2	±	
data		
ALOS-2のSAR 干渉画像で見る北海道胆振東部地震で	日本地震学会 2018 年秋	2018/10/10
現れた地盤変動	季大会	
ALOS-2 干渉 SAR による大阪府北部の地震に伴って発	日本地震学会 2018 年秋	2018/10/10
生した有馬-高槻断層帯に沿う地表変位の検出	季大会	
平成 30 年北海道胆振東部地震「だいち 2 号」による地	第 323 回地震調査委員会	2018/10/12
殻変動分布図(2.5 次元解析)(暫定)		
国土地理院 平成 30 年北海道胆振東部地震の震源断層モ	第 323 回地震調査委員会	2018/10/12
_ デル(暫定)		
平成 30 年北海道胆振東部地震「だいち 2 号」による	第 323 回地震調査委員会	2018/10/12
SAR 干涉解析結果(暫定)		
霧島山 2017~2018 年噴火に伴う地殻変動	日本測地学会 130 回講演	2018/10/16
	会	
ALOS-2 干渉 SAR による大阪府北部の地震に伴って発	日本測地学会 130 回講演	2018/10/16
生した有馬-高槻断層帯に沿う地表変位の検出	会	
干渉 SAR の全国定常解析における電離層位相の除去に	日本測地字会 130 回講演	2018/10/16
		2010/10/21
Crustal deformation and fault model of the 2018	The 12th Joint Meeting	2018/10/24
nokkaldo Eastern Iburi earthquake	of the UJNK Panel on Earthquako Bosoarch	
Local surface deformation of 2018 Hokkaido Eastern	The 12th Joint Meeting	2018/10/24
Iburi earthquake detected by ALOS-2 SAR	of the UJNR Panel on	2010/10/21
	Earthquake Research	
Crustal deformation of the 2016 Kumamoto	The 12th Joint Meeting	2018/10/24
earthquake sequence (3) - Small displacement linear	of the UJNR Panel on	
surface ruptures detected by ALOS-2 SAR -	Earthquake Research	
Crustal deformation of the 2016 Kumamoto	The 12th Joint Meeting	2018/10/25
earthquake sequence (1) - Foreshocks -	of the UJNR Panel on	
Curvetel deformation of the 2016 Kumamata	The 19th Joint Meeting	2012/10/25
oarthquaka sequence (4) - Postegismic deformation -	of the UJNR Papel on	2016/10/20
eartinquake sequence (4) Tosiseisinic deformation	Earthquake Research	
Crustal deformation of the 2016 Kumamoto	The 12th Joint Meeting	2018/10/25
earthquake sequence (5) - Main shock -	of the UJNR Panel on	
	Earthquake Research	
2018 年大阪府北部の地震に伴って有馬-高槻構造線断	日本活断層学会 2018 年	2018/11/23
層帯で観測された地表変位	度秋季学術大会	
SAR 干渉画像に基づき阿蘇外輪山で確認した新たな地表	日本活断層学会 2018 年	2018/11/23
地震断層	度秋季学術大会	
阿蘇外輪山北西部・的石牧場 I 断層の活動履歴	日本活断層学会 2018 年	2018/11/24
교육 90 도라는 경미년국 현대를 수립견해 모두 국내 /환	度秋期字術大会	0010/11/00
+ 𝕂 30 + 𝚛ノ# 𝒵 𝕮 𝔅 𝑘 𝑘 𝔅 𝔅 𝑘 𝑘 𝑘 𝑘 𝑘 𝑘 𝑘 𝑘 𝑘 𝑘 𝑘 𝑘 𝑘	57 221 凹地底ア知建裕会	2018/11/30

表題	発表先	発表日
2018 年 9 月インドネシア・スラウェシ島の地震に関す	第 221 回地震予知連絡会	2018/11/30
る SAR 干渉解析結果		
Analysis of the 25th February 2018 Mw7.5 Papua New	AGU 2018 fall meeting	2018/12/11
Guinea Southern Highland Fold-and-Thrust Belt		
Earthquake using ALOS2 and GNSS Observations		
A Fractal Future for Earthquake Slip Inversions	AGU 2018 fall meeting	2018/12/11
Tsunami potential of the 2018 Sulawesi earthquake	AGU 2018 fall meeting	2018/12/11
from GNSS constrained source mechanism		
平成 $31$ 年 $1$ 月 $3$ 日 $18$ 時 $10$ 分の熊本県熊本地方の地震	国土地理院 干渉	2019/1/11
_に伴う地殻変動(第2報)	SARweb サイト	
熊本県熊本地方「だいち2号」による SAR 干渉解析結	第 327 回地震調査委員会	2019/1/15
_ 果		
熊本県熊本地方「だいち2号」による SAR 干渉解析結	第 328 回地震調査委員会	2019/2/12
果		
胆振地方中東部の地震(2月 21日 M5.8)「だいち 2	第 329 回地震調査委員会	2019/2/22
号」による SAR 干渉解析結果		
2018 年 12 月インドネシア・クラカタウ火山の噴火に関	第 222 回地震予知連絡会	2019/2/22
する SAR 解析結果		
胆振地方中東部の地震(2月21日 M5.8)「だいち2	第 222 回地震予知連絡会	2019/2/22
号」による SAR 干渉結果		
平成 31 年 2 月 21 日 21 時 22 分の北海道胆振地方中東	国土地理院 干涉	2019/2/22
部の地震に伴う地殻変動(第2報)	SARweb サイト	
胆振地方中東部の地震(2月21日 M5.8)「だいち2	第 330 回地震調査委員会	2019/2/22
号」による SAR 干渉解析結果		

表題	発表先	発表日
ALOS-2/PALSAR-2 で検出された 2016 年にイタリアで	日本地球惑星科学連合大	2017/5/22
発生した地震の地殻変動	<b>会</b> 2017	
InSAR 解析によるフィリピンレイテ島で発生した M6.5	日本測地学会第 128 回講	2017/10/4
地震に伴う地殻変動	演会	
InSAR 解析で検出された非地震性の地殻変動	平成 29 年度 東京大学	2017/12/19
	地震研究所共同利用(研	
	究集会)「地表変動メカ	
	ニズムの解明に向けた新	
	世代 SAR の活用」	
InSAR 時系列解析による御前崎、潮岬、室戸岬、足摺岬	日本地球惑星科学連合	2018/5/21
周辺の定常的な地殻変動	2018 年大会	

表 6-2. 外部公表実績(気象庁)

表 6-3. 外部公表実績(京都大学)

表題	発表先	発表日
Spatial variation of creep rate of the Philippine fault	日本地球惑星科学連合	2018/5/21
on Leyte Island and its relation with the 6 July 2017	2018 年大会	
earthquake (Mw 6.5) revealed by SAR interferometry		
2018年6月18日大阪府北部の地震の震源域周辺の	第 319 回地震調査委員会	2018/7/10
Sentinel-1 干涉解析結果		

表 6-4. 外部公表実績(東北大学)

表題	発表先	発表日
Early recurrence of M~6 intraplate earthquake (5.8	連合大会 2017 年大会	2017/5/21
years) observed in northern Kanto region, Japan		
Spatial variation of creep rate of the Philippine fault	日本地球惑星科学連合	2018/5/21
on Leyte Island and its relation with the 6 July 2017	2018 年大会	
earthquake (Mw 6.5) revealed by SAR interferometry		
Extremely early recurrence of intraplate fault rupture	Nature Geoscience	2018/8/6
following the Tohoku-Oki earthquake		
同一活断層における地震の連続発生と活断層長期評価に	第 330 回地震調査委員会	2019/2/22
与える示唆		

# 3. 個別課題研究の成果報告

次ページ以降参照.

地震-01

# 地殻活動に伴う地殻変動とその時空間変化の詳細把握

PI: 国土地理院・地理地殻活動研究センター 矢来博司

CI: 国土地理院・地理地殻活動研究センター 藤原智・

小林知勝·森下遊·山田晋也(H30)

CI:国土地理院・測地部 飛田幹男 (H29)・本田昌樹・

山下達也· 撹上泰亮 (H29) · 林京之介 ·

上芝晴香 (H29) · 桑原將旗 (H30)

#### 1. はじめに

本課題では、地殻活動に伴う地殻変動や地表面変動の詳細な把握を通じて、地震発生メカニズムの解 明、地震・地盤被害の把握・軽減に資することを目的とし、国内外で発生した地震について ALOS-2/PALSAR-2 データを利用した SAR 干渉解析等により地殻変動や地表面変動を詳細に把握、震源断層 のモデル化を通じて発生メカニズムの解明等を行う.また、地殻変動が大きく地震発生が危惧される地 域(新潟県内ひずみ集中帯、御前崎地区など)や、地震後の余効変動が見られる地域について、干渉 SAR 時系列解析等により地殻変動の時空間変化の把握を試みることとしている.

2014年のALOS・2(だいち2号)の打ち上げ以来,2014年の長野県北部の地震や平成28年(2016年)熊本地震,2015年のネパールの地震など、国内外で発生した大規模な地震について、ALOS・2により観測されたデータを早急に解析し、震源断層モデルの推定を行ってきた.本報告書が対象とする2017年度以降に限っても、2017年のイラン・イラク国境付近の地震、パプアニューギニアの地震や、2018年の平成30年北海道胆振東部地震、インドネシア・ロンボク島の地震、スラウェシ島の地震など多数の地震について解析を実施している。これらの解析結果や推定された震源断層モデルについては、地震予知連絡会や地震調査委員会に報告を行い、現状評価等に活用された.本稿では、本課題で2017年以降に実施したSAR干渉解析等により把握した地殻変動と、推定した震源断層モデルについて報告する。

#### 2. 地震に伴う地殻変動の解析

地震 SAR 解析 WG から緊急観測要求を行ったデータについては,全て SAR 干渉解析を行った. 2017 年度以降で解析対象となった国内及び海外の地震のうち地殻変動が検出された地震は表1のとおりであ る.表1に記載された地震のうち,国内では平成30年北海道胆振東部地震,海外では2017年に発生し たイラン・イラク国境付近の地震について震源断層モデルの推定を行った.また,2018年のハワイ島キ ラウエア火山周辺での地震・火山活動に伴う地殻変動から貫入ダイクの推定を行った.

#### 2.1 国内の地震

#### 2.1.1 平成 30 年北海道胆振東部地震(2018/09/06, M6.7)

2018年9月6日3時8分頃、北海道胆振地方中東部でM6.7の地震が発生し、最大震度7を記録した。気象庁はこの地震を「平成30年北海道胆振東部地震」(以下,「胆振東部地震」という)と命名した. 胆振東部地震の震源近傍には石狩低地東縁断層帯が分布しており,今回の地震と断層帯との関係を把握することは,地震活動の評価や断層帯への影響を検討する上で重要である.

発生日	発生地	地震規模 (国内は気象庁 M、海 外は USGS による Mw)	震源断層モデル
2017/11/12	イラン・イラク国境付近	Mw7.3	0
2018/2/6	台湾	Mw6.4	
2018/2/25	パプアニューギニア	Mw7.5	
2018/5/4	ハワイ島キラウエア火山周辺	(Mw6.9)	(O)
2018/7/28	インドネシア・ロンボク島	Mw6.4	
2018/8/5	インドネシア・ロンボク島	Mw6.9	
2018/8/19	インドネシア・ロンボク島	Mw6.9	
2018/9/6	平成 30 年北海道胆振東部地震	M6.7	0
2018/9/28	インドネシア・スラウェシ島	Mw7.5	

表 1. 地殻変動を検出した地震

胆振東部地震では、地震発生当日に ALOS-2 により 2回の緊急観測が行われ、地震に伴う詳細な地殻 変動を迅速に把握することができた.これらのデータを用いた解析結果を図 1 に示す.北行、南行のそ れぞれの軌道から観測が行われており、いずれも震央の南側を中心とした領域で衛星に近づく変動が見 られる.

図2は、図1の干渉画像から長波長成分を除去し、局所的な変動を抽出した結果である. 厚真町から むかわ町にかけての平野部で局所的な変動が多数見られることがわかる.



図 1. 平成 30 年北海道胆振東部地震前後の SAR 干渉解析結果

×:震央,赤線:活断層線(1/2.5万活断層図),黒線:活褶曲線(1/2.5万活断層図)



図2.図1の干渉画像から長波長成分を除去して得られた残差画像の拡大図.白破線内で局所的な変動が見られる.



図 3. (a) 2018/08/23-2018/09/06 11:41 と(b) 2018/08/25-2018/09/08 の 2.5 次元解析結果 左:準上下成分 右:準東西成分の変位量 等量線の間隔は 1cm.



図 4. 平成 30 年北海道胆振東部地震後の SAR 干渉解析結果

図3は、図1の干渉解析結果を用いて、2.5次元解析により地震に伴う地殻変動の準東西成分と準上 下成分の分布を求めた結果である. 震央周辺で最大 7cm 程度の隆起,その隆起域の東側では最大 4cm 程度の東向きの変動が見られる.

図4は、地震後のみのデータを解析して得られた SAR 干渉画像である. 地震後2ヶ月間ではノイズ レベルを超える変動は見られないことがわかる.

SAR 干渉解析で得られた地殻変動と、GNSS 連続観測で得られた地殻変動に基づき、一様すべりの矩 形断層を仮定して震源断層モデルの推定を行った.得られた震源断層パラメータを表1に示す.また、 推定された断層面の地表投影位置を図4及び図5中に矩形で示した.震源断層の走向はほぼ南北で傾斜 角が74度と高角の断層面での逆断層運動が推定された.断層の長さは約14km、幅は約16kmですべり 量は約1.3mと推定された.断層面の上端の深さは約16kmで、陸域で発生した地震としてはやや深い という特徴がある.推定された震源断層モデルの概念図を図6に示す.推定された断層パラメータから 計算されるモーメントマグニチュード(Mw)は6.56(剛性率30GPaを仮定)となり、地震波形から推 定されたマグニチュードと調和的な結果が得られた.

<b>経度</b> [°]	<b>緯度</b> [°]	上端深さ [km]	長さ [km]	幅 [km]	走向 [ ° ]	傾斜 [°]	滑り角 [°]	滑り量 [m]	Mw
141.976	42. 586	16.2	14. 0	15.9	358	74	113	1.3	6. 56
(0. 021)	(0. 017)	(1.7)	(3. 9)	(3.5)	(3.5)	(4. 4)	(7. 2)	(0. 4)	

表 1. 震源断層モデルパラメータ

※矩形断層1枚での推定結果。位置は断層の左上端を示す。()内は誤差を示す(1)。



図 5. GNSS データの観測値と計算値.(左)水平成分,(右)上下成分.図中の矩形は震源断層モデルの地表投影位置を示し、太い実線が断層上端.





#### 2.2 海外の地震

#### 2.2.1 イラン・イラク国境付近の地震(2017/11/12、Mw7.3)

2017 年 11 月 12 日 (UTC) にイラン・イラク国境付近で Mw7.3 (USGS) の地震が発生した (図 8). この地震につい て、ALOS-2 による緊急観測データを用いて SAR 干渉解析を 行った。解析結果を図 9 に示す。震央周辺で地震に伴う地殻 変動を示す顕著な位相変化が見られる。また、地震の断層運動 による変動の他にも局所的な位相変化が山地斜面で多数見ら れる (図 10)。これらは、地震の揺れによって誘発された変動 である可能性がある。

図 9 の解析結果から、2.5 次元解析により地殻変動の準東西 成分と準上下成分の分布を求めた(図 11)。震央の南で最大約 90cm の隆起及び最大約 50cm の西向きの変動が見られるな ど、直径約 80km の範囲で 10cm 以上の地殻変動が生じたこ とが分かった。

SAR 干渉解析で得られた地殻変動に基づき、震源断層モデ



ルの推定を行った。USGS によるメカニズム解を参考に、震源を通り、東北東に低角(16°)に傾き下 がる断層面とし、走向はアラビアプレートの境界線に沿う方向(335°)として、この断層面上の滑り 分布を推定した。推定結果を図 12 に示す。推定された滑りはやや右横ずれ成分を含む逆断層運動で、 震源よりも浅い側で主要な滑りが見られ、最大約 3m の滑りが推定された。モーメントマグニチュード

28

は 7.36 (剛性率 30GPa を仮定) となった。

なお、これらの解析結果を、迅速な被害状況の把握や復旧に役立てられるよう、イラン国立地図セン ター(NCC: National Cartographic Center of Iran)に情報提供を行った。その情報提供に対し、NCC から、「災害の全体像が見えない初期段階において、イランの災害対応局が災害対応のためのリソース (救援物資、救助隊など)をどこに投入すべきかを判断する材料として役立った」として感謝の意が表 された。



図 9. ALOS-2/PALSAR-2 データの SAR 干渉解析により得られた干渉画像。(a) 北行右視、(b) 南行右視。図中の黒枠は、図 3 の範囲を示す。





図 11. 2.5 次元解析で得られた (a) 準上下成分、および (b) 準東西成分



図 12. 干渉解析結果から推定された震源断層モデル。星印は震源位置。

## 2.2.2 ハワイ島キラウエア火山周辺の地震・火山活動(2018年5月)

2018 年 5 月 4 日 (UTC) に米国ハワイ島付近で Mw6.9 (USGS) の地震が発生した。この地震に先立ち、5 月 3 日からキラウエア火山で噴火が発生しており、キラウエア山頂から東に伸びる East Rift Zone では、溶岩の流出が生じた。

この地震及び火山活動に伴う地殻変動を把握するため、 ALOS-2 の観測データを用いて SAR 干渉解析及び Multiple Aperture Interferometry(MAI)法による解析を行った。

図 14 は南行軌道からの広域観測モードの SAR 干渉解析結 果,図 15 は北行軌道からの高分解能観測モードのデータの解 析結果で,左が SAR 干渉解析,右が MAI 解析の結果である. キラウエア東側山腹及び East Rift Zone 沿いの帯状の領域で 衛星から遠ざかる向きの変動が見られ,特に溶岩が流出した



図 13. ハワイ島の解析範囲

領域周辺では大きな地殻変動が見られる. 図 14 の南行軌道(右観測)では、変動領域の北側で衛星から遠ざかる向き、南側で衛星に近づく向きの変動が見られる。一方、図 15 の北行軌道(右観測)では、 北側と南側の両方で衛星に近づく向きの変動が見られる。溶岩が流出した領域では、MAI 解析により、 南北に開くような地殻変動が捉えられた. 変位量は最大で約 2.5m(北側:約1m,南側:約1.5m)で ある。また,キラウエア火山の山頂では,収縮と考えられる変動が見られる(図 14). このように,マ グマの動きによる地殻変動の影響が大きく,地震に伴う地殻変動は明瞭ではないと考えられる.

溶岩が流出している領域周辺の地殻変動に基づき,鉛直の開口割れ目を仮定して開口量を推定した. 推定されたパラメータを表 2 に示す.観測値と推定されたモデルからの計算値の比較を図 16 及び 17 に,モデルの概念図を図 18 に示す.開口量は 3.9m と推定され,体積変化量は 4.9×10<sup>7</sup>m<sup>3</sup>と求まった.

経度	緯度	深さ	長さ	幅	走向	傾斜	開口量	体積変化量
(°)	(°)	(km)	(km)	(km)	(°)	(°)	(m)	(m³)
-154.925	19.455	0.1	7.4	1.7	60	90	90	4.9×10 <sup>7</sup>

表 2. 推定されたパラメータ(位置はダイク上端中心)



図 14. 南行右観測ペアの SAR 干渉画像



図 15-1. 南行右観測ペアの SAR 干渉画像

図 15-2. 南行右観測ペアの MAI 解析結果







図 17. MAI 法解析結果と推定されたモデルで計算した地殻変動との比較



図18. 推定されたモデルの模式図

### 3. まとめ

2017年以降に国内外で発生した大規模な地震について, ALOS-2により観測されたデータを解析し, 震源断層モデルの推定を行った.解析結果や震源断層モデルの推定結果は地震予知連絡会や地震調査委員会に報告し,現状評価に活用された.

特に平成 30 年北海道胆振東部地震では、地震発生当日に 2 回の緊急観測が実施され、詳細な地殻変 動把握を迅速に行うことができた.地震像の把握に ALOS-2 による SAR 観測の有用性がますます向上 しているといえる.

なお、本報告に掲載した地震の解析結果については地震予知連絡会会報に掲載されているほか、主な 地震については、国土地理院防災関連ページ(http://www.gsi.go.jp/bousai.html)及び国土地理院地理 地殻活動研究センター地殻変動研究室の web サイト (http://www.gsi.go.jp/cais/crust-index.html) にも 掲載されているので、そちらも参照されたい.

## 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

PI:防災科学技術研究所·火山防災研究部門 小澤 拓

CI:防災科学技術研究所,火山防災研究部門 宮城 洋介

#### 1. はじめに

本課題は、国内の火山近傍で被害が生じる規模の地震が発生した場合に、ALOS-2 による緊急観測 が行われた時には、本WGから提供される緊急観測データを解析し、地震・火山活動評価等に役立つ 情報を得ることを目的とする。平成29年度から平成30年度の期間においては、平成30年9月6日 に北海道胆振地方で発生した地震(Mj6.7)についての解析を行った。

2. 北海道胆振地方で発生した地震(Mj6.7)に関する干渉解析

北海道胆振地方で発生した地震(Mj6.7)に伴う地殻変動を調査するため、地震WGを通して提供 されたPALSAR-2による緊急観測データを解析した。解析したデータは、2018年8月23日と2018 年9月6日に南行軌道の右方向視によってSM1モードで観測された。解析においては、防災科研が 開発したSAR干渉解析ツール(RINC)を使用し、大気誤差の軽減においては、数値気象モデルに基 づく大気遅延推定法を用い、電離圏遅延誤差の軽減においては、スプリットスペクトル法を用いた。 本解析で得られたスラントレンジ変化量分布を図1に示す。震央付近においては、非干渉領域が広が り、地表変動を得ることができなかったが、その南東域において、最大で7cm程度のスラントレンジ 短縮変化が求まった。



図 1. PALSAR-2の 2018 年 8 月 23 日と 2018 年 9 月 6 日のデータペアを解析して得られたスラントレンジ変化分布。

## 地殻変動の詳細把握

PI: 気象庁・地震火山部管理課	尾崎友亮
CI: 気象研究所·地震津波研究部	安藤忍
CI:気象研究所・火山研究部	奥山哲
CI: 気象庁·地震火山部地震予知情報課	山内崇彦・田中美穂(H29)・
	棚田理絵・甲斐玲子
CI:気象庁・地震火山部火山課	坂井孝行 (H29)・木村一洋 (H29)・

影山勇雄(H29)·中橋正樹(H29)

#### 1. はじめに

本課題の目的は、「規模の大きな地震による地殻変動の詳細な把握を通じた、地震の発生メカニズムの解明」及び「南海トラフ周辺地域における地殻変動の詳細な把握を通じた、長期的な地殻活動の把握」である.地震に伴う地殻変動を検出するため、地震発生時に実施された PALSAR-2 の緊急観測データを解析した.さらに、検出された地殻変動と地震波形データから推定されたモデルの比較等を行った.また、南海トラフ周辺の地域の長期的な地殻変動の把握のため、東海から四国にかけての岬周辺における PALSAR データの時系列解析を行った.これらの結果について報告する.

#### 2. 成果

#### 2-1. 大規模地震に伴う地殻変動

国内および海外で発生した地震について, 地震 WG 経由で提供された緊急観測データ (PALSAR-2) などを用いて, 干渉 SAR 解析, 相関解析, 2.5 次元解析, ピクセルオフセット解析, MAI 解析を行い地震に伴う地殻変動を検出した.また, フォワード計算による断層モデル推定, 近地強震波形または遠地実体波を用いた震源過程解析による地殻変動から推定した干渉画像との比較を行った.主な結果を以下に示す.

○2017年4月5日イラン北部で発生した地震(Mw6.1(USGS))

震央付近でどちらの軌道からも衛星視線方向(以下,LOS)短縮の位相変化が検出された(図1-1). 2.5次元解析では,震央付近で東向き隆起,南西側で西向き沈降の地殻変動を得られた(図1-2).

#### ○2017年7月6日フィリピン諸島 レイテ島で発生した地震(Mw6.5(USGS))

震央からセントロイド位置の間で,位相逆転が生じており(図 2-1),フィリピン断層上(北西・南東 走向)がずれたことを示している.南行軌道右観測の解析結果(図 2-1(右))で明らかな位相ギャップ が見られる場所を断層上端とした3枚の矩形断層を仮定し,フォワード計算により断層モデルを推定 した(図 2-2).大局的には観測された干渉縞を説明できており,左横ずれ断層運動に伴い地殻変動が生 じたといえる. 2.5 次元解析(図 2-3)では,断層近傍では鉛直方向よりも水平方向の変動量が大きく, 左横ずれ断層を支持する結果が得られた.

○2017 年 8 月 8 日中国 カンスー(甘粛)省で発生した地震(Mw6.5(USGS))

観測範囲の境界付近のため不明瞭であるが,震央の北側で東向き,南側で西向きの右横ずれ断層を 示唆する位相変化が検出された(図3).

○2017年8月9日中国 シンチャン北部で発生した地震(Mw6.3(USGS))

北行軌道では,震源球の南西側でLOS 短縮(約 6cm)(図 4(左)),南行軌道では,震央付近でLOS 短縮(約 3cm)の位相変化が検出された(図 4(右)).

○2017年9月20日メキシコ中部で発生した地震(Mw7.1)

震央の南側で LOS 伸長の位相変化が検出された(図 5).

○2017年11月13日にイラン/イラク国境で発生した地震(Mw7.3)

震央からセントロイド中心付近を境に位相変化が検出された(図 6-1, A:7 サイクル短縮, B:1 サイクル短縮, C:3 サイクル短縮, D:3 サイクル伸長). 2.5 次元解析(図 6-2) では,セントロイド中心の南西側で西向きに最大 60cm 程度,90cm 以上の隆起,震央付近では,30cm 程度の西向き及び沈降の変動が検出された.

○2018年2月4日~8日台湾付近で発生した地震(4日 Mw6.2,7日 Mw6.3,8日 Mw5.7)

震央ではなく、セントロイド中心位置付近に位相変化が検出された(図 7-1).

図 7-1 の拡大図を図 7-2 に示す. AおよびCで LOS 短縮, Bで LOS 伸長位相変化が, Dで LOS 伸長, EおよびFで LOS 短縮位相変化が検出された.

○2018年2月26日パプアニューギニア,ニューギニアで発生した地震(Mw7.4)

震央からセントロイド位置を中心に 180km×50km 程度の範囲で地殻変動が検出された(図 8). どちらの軌道からも LOS 短縮の位相変化が検出されており,主に隆起の地殻変動が生じたと考えられる.特に南行軌道(図 8(右))のA領域では,約 1m 短縮の位相変化が検出された.

○2018年4月9日島根県西部の地震(Mw5.7) 特段の変化は認められなかった(図9).

○2018 年 5 月 5 日ハワイ諸島の地震(Mw6.9)を含む期間 干渉性が高い位相変化が検出された(図 10).

○2018年6月18日大阪府北部の地震(Mw5.6)

ノイズレベルを超えるような位相変化は認められなかった(図 11).

○2018年7月29日インドネシア、スンバワの地震(Mw6.4(USGS))

北行軌道 (図 12-1(左)) では, 震央付近で約 20cm の LOS 短縮の位相変化, 南行軌道 (図 12-1(右)) では, 震央付近で約 16cm の LOS 短縮の位相変化が検出された. 2.5 次元解析 (図 12-2) では, 震央 付近で最大約 5cm の西向きおよび最大約 15cm の隆起が検出された. ○2018年8月5日インドネシア,スンバワの地震(Mw6.9)

北行軌道(図 13-1(左))では, 震央からセントロイド位置にかけて約 36cm の LOS 短縮の位相変化, 南行軌道(図 13-1(右))では, 震央からセントロイド位置にかけて約 36cm の LOS 短縮の位相変化が 検出された. 2.5 次元解析では, 震央東側で最大約 15cm の東向き(図 13-2(左)), 震央西側で最大約 45cm の隆起(図 13-2(右))が検出された.

○2018年8月19日インドネシア,スンバワの地震(Mw6.9(USGS))

約2 サイクルの LOS 短縮の位相変化が検出された(図 14).

#### ○平成 30 年北海道胆振東部地震(Mw6.6)

北行軌道(図 15-1(左))では、震央の南東を中心に最大約 8cm の LOS 短縮の位相変化、南行軌道(図 15-1(右))では、震央の南東を中心に最大約 6cm の LOS 短縮の位相変化が検出された. 2.5 次元解析では、震央周辺は約 5~10cm の東向き、その外側は西向き(図 15-2(左))、震央の東で約 5~10cm の隆起,沿岸部は沈降(図 15-2(右))の変動が検出された. 相関画像はどちらの軌道においても GNSS 厚真の東側から震央およびセントロイド位置にかけての範囲が低相関度領域(直径 20km)となった(図 15-3).近地強震波形を用いた震源過程解析結果(図 15-5)から計算した位相変化(図 15-4)と比較すると、南行軌道でやや過剰(SAR 干渉解析結果の方が位相変化量小)であった.

○2018年9月28日インドネシア,スラウェシ,ミナハサ半島の地震(Mw6.1(USGS), Mw7.5)

両軌道の干渉画像により、地表変位は震央の北から Palu の南南東 50km 程度まで拡がっていると 推察される(図 16-1). ピクセルオフセット解析では、アジマス方向(図 16-2)で、最大 7m 強の左 横ずれ断層を示唆する結果となったが、レンジ方向では明瞭なパターンは検出されなかった.また、 MAI 解析でもピクセルオフセット解析を支持する結果が得られた.

○2018年10月11日パプアニューギニア,ニューブリテンの地震(Mw7.0)

北行軌道(図 17-1(左))から, 震央からセントロイド位置にかけて LOS 短縮の位相変化が検出された. 南行軌道(図 17-1(右))から, セントロイド位置付近位に LOS 短縮の位相変化が確認できるが, 周辺の干渉パターンからノイズの可能性もある. 遠地実体波を用いた震源過程解析結果から計算した 位相変化と比較すると,北行軌道(図 17-2(左))でやや過小(SAR 干渉解析結果の方が位相変化量大), 南行軌道(図 17-2(右))でやや過大(SAR 干渉解析結果の方が位相変化量小)であった. 2-2. 南海トラフ周辺の地域の長期的な地殻変動

2006 年から 2011 年頃の PALSAR データを用いて、東海から四国にかけての主に岬周辺における 時系列解析を行った(図 18-1). 定常的な地殻変動を検出するため、deramp 処理を無効にして解析を 行った結果、太平洋プレートが沈み込む方向に感度の良いパスにおいて有意な位相変化が検出された. 得られた 2 方向の変位速度を使って 2.5 次元解析 (Fujiwara et.al.,2000) を行った結果(図 18-2), 各 岬周辺において沈降+西向き成分の変位を検出した. これらについて GNSS 結果と比較を行ったとこ ろ、特に四国の東西成分でやや差が大きくなったが、御前崎と潮岬では概ね調和的な傾向であった.

謝辞

本解析で用いた PALSAR および PALSAR・2 データの一部は、国土地理院が中心となって進めてい る防災利用実証実験(地震 WG)に基づいて観測・提供されたものである.また、一部は PIXEL で 共有しているものであり、宇宙航空研究開発機構(JAXA)と東京大学地震研究所との共同研究契約 により JAXA から提供されたものである. PALSAR および PALSAR・2 に関する原初データの所有権 はそれぞれ経済産業省(METI)/JAXA および JAXA にある.また、差分干渉解析には、RINC (Ozawa et al., 2016)を、時系列解析には、StaMPS (Hooper et al., 2004)を使用した.なお、干渉画像の 処理過程においては、国土地理院発行の数値地図 10m メッシュ(標高)または、CGIAR-CSI

(Consortium for Spatial Information of the Consultative Group for International Agricultural Research)から提供された SRTM4.1 を元にした DEHM を使用し、地図の描画には GMT を用いた. さらに、図中で使用した震央分布については、海外は USGS、国内は気象庁一元化震源、震源球は Global CMT 解を用いた. 関係者各位には、ここに記してお礼申し上げる.



図 2-3. 2017 年 7 月 6 日フィリピン諸島 レイテ島で発 生した地震の 2.5 次元解析. (左)準東西成分,(右)準上 下成分.

図 3. 2017 年 8 月 8 日中国 カンスー(甘粛)省で発生 した地震の干渉画像. (左)北行軌道, (右)南行軌道.

**賣** ,70

☆ 6.0





図 10.2018 年 5 月 5 日ハワイ諸島で発生した地震を含む期間の干渉画像.



図 12-1. 2018 年 7 月 29 日インドネシア, スンバワで 発生した地震の干渉画像. (左)北行軌道, (右)南行軌道.



図 13-1. 2018 年 8 月 5 日インドネシア, スンバワで発 生した地震の干渉画像. (左)北行軌道, (右)南行軌道.



図 14. 2018 年 8 月 19 日インドネシア, スンバワで発 生した地震の干渉画像. (左)北行軌道, (右)南行軌道.



図 11. 2018 年 6 月 18 日大阪府北部で発生した地震の 干渉画像.



図 12-2. 2018 年 7 月 29 日インドネシア,スンバワで 発生した地震の 2.5 次元解析(左)準東西成分,(右)準上 下成分.



図 13-2. 2018 年 8 月 5 日インドネシア,スンバワで発 生した地震の 2.5 次元解析. (左)準東西成分,(右)準上 下成分.



図 15-1. 平成 30 年北海道胆振東部地震の干渉画像. (左) 北行軌道, (右)南行軌道.



図 15-5. 平成 30 年北海道胆振東部地震の近地強震波形を用いた震源過程解析結果.(左)地図上に投影したすべり 量分布,(右)南北断面上でのすべり量分布.赤星は 2018/09/06 M6.7の,黒点はそれ以降の DD 法による震源.緑 星は 2019/02/21 M5.8の,緑点はそれ以降の DD 法による震源を示す(気象庁作成).



図 16-2. 2018 年 9 月 28 日インドネシア,スラウェシ,ミナハサ半島で発生した地震のピクセルオフセット解析. 左から,北行軌道アジマス方向,北行軌道レンジ方向,南行軌道アジマス方向,南行軌道レンジ方向,MAI 解析.



図 17-1. 2018 年 10 月 11 日パプアニューギニア, ニュ ーブリテンで発生した地震の干渉画像.





図 18-1. 東海から四国の太平洋沿岸地域における時系列解析. 左から,足摺岬,室戸岬,潮岬,御前崎. 上段は 北行軌道,下段は南行軌道.



は準東西成分,下段は準上下成分.

### 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

PI:京都大学·防災研究所 橋本 学

1. はじめに

平成 29~30 年度, ALOS-2/PALSAR-2 を用いて京阪神地方の地盤変動と熊本地震の余効変動の 解析を行った.この間,世界各地で M6 以上の被害地震が多数発生した.この内,2018 年 9 月 4 日の北海道胆振東部地震(Mw6.5),2018 年 9 月 28 日のインドネシア・スラウェシ島の地震等によ る地殻変動の解析を行った.2018 年 6 月 18 日の大阪府北部の地震については ALOS-2/PALSAR-2 および Sentinel-1 のデータを用いて地殻変動の検出を試みた.

以下に、結果の概略を示す.

#### 2.2017~2018年度の成果

1) 京阪神地方の地盤変動および 2018 年 6 月 18 日の大阪府北部の地震

これまで PI は, 1990 年代の ERS-1/2 および Envisat の時代からの京阪神地方の地盤変動を追跡している. 2006 年から 2010 年までの ALOS-1 の観測により,有馬・高槻構造線断層帯や京都 盆地南部の隆起を検出した (図 1 (a)). 2014 年から 2017 年に取得された ALOS-2 画像を解析し, ALOS-1 で検出された変動が継続しているかどうかを中心に調べた.

ALOS-2の南行パス 20 フレーム 2920 (入射角 42.9°, 2014 年 10 月 5 日から 2017 年 7 月 23 日 までの 9 画像),パス 21 フレーム 2910-2920 (入射角 32.4°, 2015 年 3 月 27 日から 2017 年 8 月 11 日までの 12 画像)と北行パス 127 フレーム 680-690 (入射角 32.4°, 2014 年 8 月 13 日から 2017 年 5 月 17 日までの 7 画像)を干渉解析した.得られた干渉画像をアンラップ,スタッキング



図 1. (a) ALOS-1の PS-InSAR 解析結果. 南行および北行軌道のデータから, 疑似上下変位速度に変換したもの. 太 実線が(b)のプロファイルを取った測線の位置. 負の値は視線距離伸長を示す. (b) ALOS-2の 2014 年から 2017 年 半ばまでの干渉画像から作成した疑似上下変位速度. 負の値は沈降を示す. ×印は, 合成の際の参照点. 黒実線は活断 層の地表トレース. (c) (a) 中の直線に沿った疑似上下変位速度分布. 赤が ERS-1/2, 緑が Envisat, 青が ALOS-1, 紫 が ALOS-2 のデータ. 黄色実線は, 活断層地表トレースの位置を示す. 上から伊丹市・西宮市付近, 豊中市付近, 高槻 市付近を通るプロファイル.

44

した後,2.5 次元解析を行って疑似上下変動を得た.ただし,特に北行軌道の干渉画像には電離層 擾乱の影響が大きい画像が含まれており,擾乱の小さいもののみをスタッキングに用いた.

図1(b)に南行パス21と北行パス127から合成した疑似上下変位速度を示す.元の画像の対流 圏補正が不十分なところがあるため、一部対流圏擾乱の影響と考えられる変動が見える(生駒山地 や、大阪平野北部淀川周辺).一方、有馬・高槻構造線断層帯周辺には沈降が認められない.図1(c) は東経135.404°E、135.449°E、および135.618°Eに沿った疑似上変動のプロファイルである(プ ロファイルは図1(a)中の細実線).これを見る限り、2010年まで伊丹市・西宮市や豊中市付近に 見られた沈降は、完全には終息していないものの、かなり速度が小さくなっていることがわかる. ALOS-1 でのみ観測された高槻市付近の局所的な沈降は、顕著な変化は観測されなかった.ただ、 小さなステップが認められるので、減衰して継続している可能性は否定できない.一方、京都盆地 南部には約10mm/yrの隆起が認められる.ただし、前記のとおり対流圏擾乱の補正をする必要が あり、時系列解析手法の適用も含めて改めて解析したい.

2018年6月18日の大阪府北部の地震前後のSAR 画像の解析結果について報告する. ALOS-2 画像の解析も行ったが,直近の観測が少なかったため,ここではSentinel-1のSAR 画像の干渉解 析結果を報告する. Sentinel-1は,欧州宇宙機関が打ち上げた地球観測衛星で,現在2機が運用さ れている. 1機の再来周期は12日で,同じ軌道を周回しているために,最短6日間の間隔で干渉 画像を得ることができる.使用しているマイクロ波がCバンド(波長5.6 cm)のため, Lバンド に比べ電離層擾乱の影響が小さいが,山間部や森林地帯での干渉性が低い.しかし,今回の対象領 域が都市域であるため,十分なコヒーレンスが得られると期待される.北行および南行軌道からの 地震前2シーン,地震後2シーンの画像を入手し,Gamma®を用いて干渉処理を行った.地震前 後4シーンの画像から,地震を挟む独立のペアが2つずつできる.これらの干渉画像をスタックす ることで,大気遅延等の影響を低減できる.ここでは地震直近の5月末から6月末までの画像を利 用した.2方向それぞれ2ペアずつ計4つの干渉画像をアンラップ処理し,軌道毎に平均を計算し た.



図 2. Sentinel-1 の 2 つの独立のペアのアンラップ干渉画像の平均.(a) 北行軌道の干渉画像.(b) 南行軌道の干渉画像. 負の値は視線距離伸長を示す.赤い星印は気象庁による震央.

図 2(a) は北行軌道,図 2(b) は南行軌道のアンラップ干渉画像の平均である.北行軌道の干 渉画像では視線距離変化は-4~+2 cm, 南行軌道では 0~+4 cm の範囲に収まっている.しかし ながら,震央周辺には地震性地殻変動と考えられる視線距離変化のパターンは認められない.今回 の地震は震源が深く,規模も小さいため, SAR での地表変位の検出は困難であったと考える.

2) 熊本地震の余効変動

2016年4月15日から発生した熊本地震の余効変動を調べた.南行パス23フレーム2950-2960 (入射角36.2°)の2016年4月18日から2018年12月10日までの28画像,北行のパス131フ レーム640(入射角39.7°)の2016年4月29日から2018年8月28日までの13画像,およびパ ス130フレーム650(入射角36.2°)の2016年6月16日から2018年3月22日までの7画像を 解析した.全てのパスについて,地震後最初の画像をマスターとし,その後の画像との2パス干渉 処理を行い,時間変化を追跡した.北行軌道の画像については,観測回数がパス23の半分以下で あり,さらに電離層擾乱の影響が,特にパス131で大きい.長波長の電離層擾乱の中に,パス23 で認められた領域に変動が見られるが,断定するまでには至らない.

図3(a)は、パス23の2018年3月までのアンラップ干渉画像をスタッキングしたものである. 阿蘇中央火口丘の北側、布田川断層と出ノ口断層に挟まれた帯状の領域、布田川断層と日奈久断層 の交差点のやや東、布田川断層と日奈久断層の交差点の西、布田川断層の西延長部、布田川断層か ら北西に熊本市内に延びる帯状の領域などで顕著な視線距離伸長が確認できる.一部は、平均で10 mm/yrを超えている.また、断層を境に明瞭に変化している.なお、2018年12月までの干渉画像 をスタックすると、これらの変動速度は小さくなる.2018年3月までに主要な変動は終息してい ることを示唆する.

図3(b)は図3(a)中の6つの測線のうち,布田川断層と出ノロ断層に挟まれた領域を横切る 測線に沿った変位の分布を示したものである.地溝上にこの領域が変形しており,しかも時間の経 過とともに大きくなっている.2017年8~11月には積算変位が10cmを超える.この帯状領域内 の変位のサンプルを取って時系列を見ると,時定数は約200日前後の指数関数的に変化しているこ とがわかる.この他,熊本市内の北西に延びる変動帯と布田川断層と日奈久断層の交差点付近を通 る測線では,熊本市内の変動帯の変位が見える.熊本市内の変動は地震直後は1つに見えるが,1 年経過すると明瞭に2つのステップが見えてくる.こちらの変位も2017年8~11月には5cmを超 えている.布田川断層と日奈久断層の交差点付近では,変位がばらつくものの,最大変位はやはり 10 cm 程度に達する.

2018 年 4 月までの北行・南行のスタッキング干渉画像から,疑似東西・上下変位速度を求めた (図 4). ただし,北行軌道の画像には電離層擾乱によると考えられる長波長の変化が認められるの で,これを GMT の多項式近似を用いて除去したものを使用している.また,パス 131 と 130 の画 像はオーバーラップ領域がないため,境界で不連続になっている.さらに,境界の西側には局所的 な変化が認められるが,北行軌道からの観測回数が少ないため,大気擾乱等による見かけの変動が 十分低減されていないものと考えられる.布田川・日奈久断層帯周辺を除いて,概ねフラットな変 化になっていることから,余効変動が抽出されていると判断される.東西変位において,布田川・ 日奈久断層の南東側で西向きの変位が大きく,しかも断層がシャープな境界になっていることが印 象的である.これは,布田川・日奈久断層の浅部において余効すべりが生じていたことを示唆する.

46

ただし,布田川断層と出ノロ断層が併走している領域においては,西向き変位が布田川断層の北方



図 3. (a) 南行軌道パス 23 の 2016 年 4 月 18 日から 2018 年 3 月 5 日までのデータを用いたスタック干渉画像. 直線 は、プロファイルを取った測線. 赤い星印は、気象庁による 2016 年 4 月 16 日の本震の震央. 細い実線は産総研活断層 データベースに基づく活断層の地表トレース. (b) 測線#1 に沿った視線距離変化. カラーは本震 2018 年 4 月 16 日か らの経過日数による. 下は測線に沿った地形断面.



図 4. 2018 年 4 月までの北行および南行軌道からのスタック干渉画像より構成した(a) 疑似東西変位速度および(b) 疑似上下変動. 北行干渉画像がオーバーラップしないため, 阿蘇地域と熊本市周辺の間に不連続が残っている. また, 境界近くの変化は大気擾乱等による影響と考えられる.

にも及んでいる一方で、出ノロ断層がその南限になっている.したがって、この地域では余効すべ りが出ノロ断層で生じている可能性が高い.この領域の北、菊池市の一部で、わずかであるが西向 き変位が認められるのが興味深い.また、阿蘇カルデラ内においても西向き変位が認められる.震 源断層の東端に関する情報を含んでいると考えられる.上下変動では、いくつかの地域で沈降が顕 著である.布田川断層と出ノロ断層に挟まれた領域、その西の布田川断層と日奈久断層の交点周辺、 熊本市内とその西方、および阿蘇カルデラ内で、6 mm/yr を超える変位速度が検出されている.特 に熊本市内にみえる北西一南東走向の沈降領域は、地震時変位分布にも認められ、この地域の伏在 断層のすべりが誘発されたものと考える.

3) 2018年9月6日北海道胆振東部地震(Mw6.6)

2018 年 9 月 6 日に発生した北海道胆振東部地震後に実施された ALOS-2 の観測データを 用いて地殻変動,コヒーレンス変化の検出を試みた.地震直後,ALOS-2 による観測が,南行軌道 で 1 回,北行軌道で 3 回なされた.それぞれ Gamma®と飛田氏・小澤氏による国土地理院 10m メ ッシュの Digital Ellipsoidal Height Model を用いて干渉処理を行なった.干渉画像は Flattening 処理を行い,アンラップした後,2 方向からの画像を用いて,東西および上下成分に変換した.

第5図は、南行軌道8月23日と9月6日のペアと北行軌道8月25日と9月8日のペアの干渉 画像から作成した上下変動図である.厚真町の東側、震央のすぐ南を中心に楕円形の隆起域が認め られる.最大隆起量は約8cmである.石狩低地東縁断層帯の南部を境に、西側が沈降しているが、 この地域の軟弱な地盤の影響も考えられる.東西成分については、震央の東側に東向き、西側に西 向きの変位が見られる.これらの変位は北北西-南南東方向の逆断層により説明可能であるが、主 要な断層すべりは余震分布より浅く推定される.モデル化の問題なのか、それとも震源断層の本質 的な問題なのか、今後より深い検討が必要である.



図 5. ALOS-2 の 2 方向の干渉画像を合成して得られる(a) 東西変位と(b) 上下変位. 星印は気象庁による震央.

この地震に伴って、厚真町での地すべりと札幌市清田区における液状化など深刻な地盤災害が発生した. SAR はこのような地盤災害の面的な分布を得るために最適のツールである. この目的には、後方散乱波強度の変化と後方散乱波の位相のコヒーレンスの変化が主として用いられる. 強度の変化からは、厚真町の土砂災害被災地域が同定できた. 厚真川中流域両岸の約 200 km<sup>2</sup> にわたって、山地の尾根部に顕著な強度変化が見られた. ただし、観測方向の異なる画像で検出される領域が異なることから、一つの強度変化画像から検出される土砂災害発生地域は空中写真判読結果と比較して狭いことは否めない. 第6図は、地震前の2期間のペアの干渉画像から得られる平常時のコヒーレンスと地震を挟むペアのコヒーレンスから作成したコヒーレンス変化の分布と、フィルターを施していない干渉画像である. 地震前の平均コヒーレンスをγave, 地震時のコヒーレンス変化をγcoとすると、

# $\frac{\gamma_{ave} - \gamma_{co}}{\gamma_{ave} + \gamma_{co}}$

を図示したものである.清田区役所の西方と美しが丘地区に顕著なコヒーレンス変化を示す赤い帯 が認められる.また、フィルターを施していない干渉画像では、同じ領域に周囲と異なる位相変化 が認められ、両者ともに地表面変動を捉えていると考える.これらの地域では甚大な液状化被害が 発生しており、その地域と概ね重なる.さらに、これらの領域の形状が谷地形に沿っているように 見えることから、液状化の発生と地形に相関があることが示唆される.ただし、山地や緑地にもコ ヒーレンスの低下が見られ、これらと実際の液状化被害地域との判別について課題が残る.



図 6. ALOS-2 の北行軌道の干渉画像から得られる(a) コヒーレンス変化の分布と(b) フィルターをかけていない干渉 画像(コヒーレンス 0.7 以上). 口は清田区役所と美しが丘地区,および JR 平和駅

4) 2018年9月28日インドネシア・スラウェシ島パル地震

2018年9月28日10時27分43秒(UTC),インドネシア・スラウェシ島において,Mw7.5 (USGSによる)の地震が発生した.この地震による震動・津波・液状化等により,死者1,400 名(10月4日現在)を超える甚大な被害が生じた.地震後のALOS-2の観測は,10月2日に南 行軌道から広域観測モード(WD-1;パス26,フレーム3600-3650,右観測)の観測が行われ た.地震前の画像は、8月21日と9月4日(ただし,フレーム3650のみ)がある.続いて10 月3日に北行軌道から高分解能モード(F2-7;パス127,フレーム7160-7180,右観測),10月 11日に南行軌道からの広域観測モード(パス25,フレーム3650,右観測),12日に北行軌道か ら高分解能モード(パス126,フレーム7150-7190,右観測)の観測が行われた.地震前の画像 は、それぞれ8月8日、9月27日、8月17日に取得されている.

第7図は、北行(パス126及び127)・南行(パス25)の干渉画像とアジマスオッフセットから作成した変位3成分の分布である.東西および上下成分の推定にはパス126と25の干渉画像を用いたが、南北成分はパス126および127と25のアジマスオフセットから推定した.活断層はパルをとおり北北西-南南東方向にあると推定されている.パルの東側は西へ最大1m以上、北へ5m以上移動している.また、パルのすぐ南に1m程度の沈降も見られる.大局的には、北北西-南南東走向の鉛直断層の左横ずれ運動で説明できる.しかし、変動域が100km以上に及ぶものの、波長の短い局所的な変動は見られない.極めてスムーズな破壊が生じたことが示唆される.ただし、干渉画像を子細に見るとブロック状の細かな変動がパル湾の沿岸に認められる. 局所的な地すべりが発生し、津波生成に寄与した可能性も考えられる.



図 7. ALOS-2 の干渉画像およびアジマスオフセット画像から推定したスラウェシ・パル地震の変位 3 成分. (a) 南行パ ス 25 と北行パス 126 の干渉画像より推定した東西成分と(b) 疑似上下成分,(c) 南行パス 25 と北行パス 126 と 127 のアジマスオッフセットから推定した南北変位.カラースケールが異なることに注意.赤い星印は, USGS による震

- 央.
- 5) その他の地震・地殻活動

上記に紹介した地震・地殻活動の他,2017~2018年の間に発生した顕著な地震・地殻活動に際して 取得された ALOS-2/PALSAR-2 画像も解析に,変動の検出を試みた.2017年7月6日フィリピン・ レイテ島の地震(Mw6.5)<sup>1)</sup>,2017年9月8日のメキシコの地震(Mw8.2),2018年2月6日台 湾・花蓮の地震(Mw6.4),2018年7~8月のインドネシア・ロンボク島の地震(Mw6.4,6.9, 6.9)である.また,2016年10月21日の鳥取県中部の地震についても再解析した<sup>2)</sup>.さらに は,2018年12月22日に発生したインドネシア・クラカタウ火山噴火に伴う山体崩壊について ALOS-2/PALSAR-2の強度画像変化から検出した.一部は,下記のとおりすでに論文公表済みで ある.

- Yang, Y.-H., M.-C. Tsai, J.-C. Hu, M. A. Aurelio, M. Hashimoto, J. A. P. Escudero, et al. (2018): Coseismic slip deficit of the 2017 Mw 6.5 Ormoc earthquake that occurred along a creeping segment and geothermal field of the Philippine Fault, Geophys. Res. Lett., 45, doi:10.1002/2017GL076417.
- Meneses-Gutierrez, A., T. Nishimura, and M. Hashimoto, (2019). Coseismic and postseismic deformation of the 2016 Central Tottori earthquake and its slip model. J. Geophys. Res.: Solid Earth, 124, doi.:10.1029/2018JB016105.

#### 3. まとめ

以上, ALOS-2/PALSAR-2 は, 地震や地殻活動に伴う地表面変動・地殻変動の検出には極めて 有効であることを確認した. 熊本地震の余効変動観測結果に見られるように, 2 年間にわたってコ ヒーレンスを維持できる観測手段は他には見当たらず, 今後もL-バンド SAR の優位性は動かな い. しかし, ここでは紹介しなかったが, インドネシア・ロンボク島の地震では M6~7 前後の地 震が連続して発生したため, ALOS-2 ではこれらの分離が困難であった. ところが, 観測頻度の 高い Sentinel-1 では, 3 つの顕著な地震による変動を分離することができた. 次期先進レーダー 衛星には高頻度の観測を期待する.

#### 4. 謝辞

本研究で使用した ALOS-2/PALSAR-2 画像は,JAXA「陸域観測技術衛星の防災利用実証実 験」地震 SAR 解析 WG(事務局:国土地理院)の活動の一環として提供されました.Digital Ellipsoidal Height Model は,東京大学地震研究所共同利用特定共同研究「SAR を用いた多角的 な地殻・地表変動研究」(課題番号 2018-B-02,研究代表者:高田陽一郎)において提供されま した.関係の方々に感謝いたします.

### 陸域プレート境界周辺の地殻変動様式の解明)

PI:北海道大学大学院理学研究院 古屋正人

CI:北海道大学大学院理学研究院 高田陽一郎

1. はじめに

陸域プレート境界における地殻変動の観測を通じて、地震発生ポテンシャルの評価や地殻や上部マ ントル物質の変形のレオロジー特性を解明する.地震時,地震後、地震間の地殻変動を高空間分解能 な干渉合成開口レーダによって観測し、地殻変動の物理モデルの構築をめざした.

#### 2.成果概要

H29 年度:

SAR 干渉法を用いて台湾南西部の非地震性地殻変動について調査し、この変動は Meinong 地震後も隆起が 続いていることを発見した。

2011 年東北地方太平洋沖地震後について SAR 干渉解析を実施し、地震後に見られる関東地方南部の数 + km スケールで発生した局所的な地表変動の解析を行った。この地表変動域は複雑な形状をしており、地 下水位変化との相関もあることが分かった。

知床半島の遠音別岳で発生している地すべりについて JERS1, ALOS, ALOS2 のデータを用いた解析を行 い、その活動が 20 年間継続していることを見出した。

H30年度:

2018年7月、8月にインドネシアのロンボク島で発生した地震に伴う地震時地殻変動を検出した。図1は 前震(July 27, Mw6.4)、図2は本震(Aug 5, Mw6.9)に伴う地震時地殻変動である。共に Path 129, Frame 7020 で得られている。





図1:2018年5月12日と同年8月4日の 図2:2018年8月4日と同年8月18日の Ascending 軌道の SM3 モードデータを用い た.

Ascending 軌道の SM3 モードデータを用い た.

この地震に関する詳細な解析は、2019 年の JpGU で Sumanjaya & Furuya がポスター発表を予定し ている。

### 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

PI: 鹿児島大学理工学研究科地球環境科学専攻 研究者氏名 中尾 茂

#### 1. はじめに

1996年4月にGEONET が運用を開始され、日本列島でのさまざまな地殻変動が明らかにされてきた. 九州では南九州における変位の急変帯を上げることができる. この急変帯の西部では, 1997年3月と5月に鹿児島県北西部地震(M6.6とM6.4)が発生した. 現在まで急変帯の東部では大きな地震は発生していないが, 今後この領域で地震が発生しるかどうかを判断するためにもこの急変帯がどのようなものかを明らかにすることは非常に重要である. ここでは, 干渉 SAR 解析を用いて急変帯およびその周辺の地殻変動を求めることを試みる.

#### 2. GPS による急変帯

九州に展開された GEONET 観測点と九州大学、京都大学、鹿児島大学が共同で九州内に設置して いる GPS 連続観測点のデータを GPS 解析ソフトウェア Bernese V. 5.2 (Dach et al., 2015)で解析し, 2004 年1月~2014 年 12 月までの各観測点の座標変化から変位速度を求めた. 図1は変位速度のベ クトルを示す. 東西成分の変位速度を GMT コマンド surface(Wessel et al., 2013)で内挿した結果を 図1にコンターとカラーで示す. 北緯 32 度付近では反時計回りの変位の回転がみられ, 東西方向の 変位に着目すると北から南にいくにつれ, 西方向から東方向へ変位が反転し, 変位の急変帯となって いる.



図 1. 九州の変位速度. 解析期間は 2004 年 1 月~2014 年 12 月. 固定点は GEONET950457 (美津島) 観測点.

### 3. 干涉 SAR 解析

小澤(2018)による干渉 SAR 解析プログラム RINC を用いて鹿児島県, 宮崎県の干渉 SAR 画像を

ALOS のデータを使って求めた. このとき, RINC に対応した GUI ソフトウェア RINC\_GUI (奥山, 2018) を用いた. ALOS によるパス 423, フレーム 620 の撮影画像 2 1 枚を使って, すべてのペアについて干 渉 SAR 画像を計算した. すべての干渉画像をチェックし, 画像全体が干渉し大きなトレンドがみられ ない表 1 に示す 9 ペアについて, Takada et al. (2018)が行った GPS の変位を使い干渉 SAR データを 補正する方法を用いて解析した. 標高に関係する成分を干渉画像から取り除いた. その後 snuphu プロ グラム (Chen and Zbker, 2002)を用いてアンラップした. 作成した干渉画像の領域内にある GEONET 観測点 7 点 (940095, 950481, 950482, 950483, 960715, 021086, 02198)の変位速度を用いて, GEONET 観測点と干渉画像データの変位の差から長波長の変動を推定し, 取り除いた. このとき GEONET 観測点 の 950482 を固定点とした. 干渉 SAR で得られた視線方向の変位をd<sub>i</sub>, GPS で求めた水平変位の視線方 向の変位をd<sup>GPS</sup>とすると両者の差は

$$d^{diff} = d_i - d_i^{GPS}$$

となる.この差を

 $d^{diff} = s + px_i + qy_i$ 

である平面で表し、干渉画像を補正した.3つの係数は最小二乗法で推定した.



図 2. (左) 2010 年 1 月 31 日と 2010 年 5 月 3 日撮像画像の干渉 SAR 解析結果. 下面左上にアンラップできていない 領域がある. (中央)長波長の干渉 SAR 解析による変位と GPS による変位の視線方向の差. 丸印は GPS 観測点を示

し、色は差の大きさを示す.(左)長波長の差を取り除いた干渉図.

図2に解析例を示す.2010年1月31日と2010年5月3日に撮像されたデータの干渉SAR解析の結果である.図2左は干渉SAR解析結果である.アンラップ不調の領域が左上に見受けられる.図2中央はGPSと干渉SARで求めた視線方向の変位の差を平面として考え,領域全体の差を示したものである.丸印示したGPS観測点のうち領域内の一番西にある観測点を固定点(950482)とした.図2右は干渉SAR解析結果から長波長の差を差し引いた結果である.InSAR解析とGPS解析の差を取り除くことにより,領域北側では視線が短くなる,すなわち衛星に近づく変位が,逆に領域南側では衛星から遠ざかる変位が観測されていることがわかる.

#### 4. GPS と干渉 SAR の変動の比較

InSAR 解析と GPS 解析の差を取り除いた干渉データから平均変位速度を求めるため, InSAR 画像のペ アの時間差から各 InSAR 画像の1年間の変位速度を求め、それを平均した. 図3左に求めた1年間の 視線方向の平均変位を示す. 領域のほぼ北半分が衛星に近づき、南半分が遠ざかる変位が得られた. 北西に変位が連続的ではない領域があるが、これは図2に示したアンラップができていない影響と考 えられる.

図3右はGPSの観測結果から各観測点における視線方向の変位を求め,GMTの surface(Wessel et al., 2013)で内挿した視線方向の変位の空間分布である. 領域の北半分が衛星に近づき,南半分が当座かる変位となった. これは InSAR 画像から求めた傾向と同じである. しかし、変位が反転する境界は InSAR 画像では北東一南西であるのに対し,GPS から求めた空間分布は西北西一東南東と異なっている. 変位量はおよそ一桁程度 InSAR 解析から求めたものが大きくなっている. 今回干渉画像が求まったペア(表1)は,撮像間隔がほぼ2~3ヵ月で,長くても約4ヵ月であった. また,GPSの観



図 3. (左) 9 つの GPS と InSAR 解析の差を補正した干渉画像の1年間の視線方向の変位.(右) GEONET 7 観測点

の年間の変位から内挿した視線方向の変位.中央の太線は七條(2019)が推定したブロック境界.黒丸は領域内にある GEONET 観測点を示す. どちらの図も GEONET 観測点 950482 を固定点とした.

測結果から推定される視線方向の変位(図3右)からもわかる通り,期待される変位は最大でも4 mm であり,非常に小さい.このため,今回の InSAR 解析の結果を検討する必要がある.

5. まとめ

鹿児島県,宮崎県の県境に GPS 観測により明らかにされた変位の急変帯における変動の詳細を調 べるために InSAR 解析を行った. Takada et al. (2018)が行った GPS データを使って長波長変動を取 り除いたあと、1年間の視線方向の変動を求めた.変動の空間パタンとしては、解析領域の北部で衛 星に近づき、南部で遠ざかるという GPS 観測から想定される空間パタンと同じ結果となった.しか し、定量的には約一桁 InSAR 解析で求まった変位が大きい.今回使用した InSAR 解析結果について 再度検討する必要がある.また、撮像期間が一年に近い InSAR 画像解析が成功しなかった理由を検 討し、より大きなシグナルが得られるデータを得る必要がある.

#### 参考文献

Chen, C. W. and H. A. Zebker, Phase Unwrapping for large SAR interferograms: Statistical segmentation and generalized network models, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40, 1709-1719, 2002.

Dach, R., S. Lutz, P. Walser and P. Fridez, Bernese GNSS Software Version 5.2, Astronomical Institute, University of Bern, 852pp, 2015.

奥山 哲, Graphical User Interface For RINC, 2018.

小澤 拓, RINC の使用方法, 2018.

七條彰啓, ブロック断層モデルにおける鹿児島—熊本・宮崎県境界付近のブロック境界の検討, 鹿児島大学理学部地 球環境科学科卒業論文, 41pp, 2019.

Takada, Y., T. Sagiya and T. Nishimura, Interseismic crustal deformation in and around the Atotsugawa fault system, central Japan, detected by InSAR and GNSS, Earth, Planets and Space, doi: 10.1186/s40623-018-0801-0, 2018.

Wessel, P., W. H. F. Smith, R. Scharroo, J. F. Luis and F. Wobbe, General Mapping Tools: Improved version released, EOS Trans. AGU, 94, 409-410, 2013.

56

# PALSAR-2 による地殻変動検出

PI:宇宙航空研究開発機構・地球観測研究センター 大木真人
 CI:宇宙航空研究開発機構・地球観測研究センター 阿部隆博
 宇宙航空研究開発機構・地球観測研究センター 本岡毅
 東京電機大学理工学部 島田政信

## 1. はじめに

ALOS-2/PALSAR-2 は、ALOS/PALSAR と比較し分解能、軌道保持精度、軌道決定精度等が向上し ており、理論上は高い干渉 SAR 解析性能を得ることができる。本研究では、いくつかの地震の事例に ついて差分干渉 SAR、MAI、オフセット・トラッキング等の手法を用いて地殻変動量の推定を行ったほ か、コヒーレンスやポラリメトリ解析等による変化抽出手法を用いて地震にともなう変状(土砂崩れ等) も検出した。

表1に PALSAR-2 データの解析を行った地震事例の一覧を示す。これらのうち、※印を付した地震 については本稿2章に解析結果の例を示す。

本震の発生日	名称
2017年6月25日	長野県地震
7月6日※	フィリピン・レイテ島地震
8月8日	中国・四川省地震
9月20日	メキシコ地震
11月13日	イラン・イラク地震
2018年2月6日※	台湾・花蓮地震
6月18日	大阪府北部地震
7月29日、8月5日・19	インドネシア・ロンボク島地震
日	
9月6日※	北海道胆振東部地震
9月28日※	インドネシア・スラウェシ島地震

表 1. PALSAR-2 データ解析を行った事例(2017~2018 年度)

※…本資料にて解析結果例を示す

#### 2. 解析事例

(1) フィリピン・レイテ島地震

図1にフィリピン・レイテ島の地震(Mw6.5, USGS)の視線方向の地殻変動を示す。使用した PALSAR-2データはディセンディング右観測の 2017 年 7 月 15 日と 6 月 3 日の高分解能 10m モードで観測され たものである。東側の変動域では衛星から遠ざかる方向に 40~50cm、西側の変動域では衛星に近づく 方向に 20~30cm の変位が見られた。



図 1. フィリピン・レイテ島地震の地殻変動

(2) 台湾·花蓮地震

図2に台湾・花蓮の地震(Mw6.4, USGS)の事例を示す。図2(a)は PALSAR-2 アセンディング右 観測の2018年2月10日と2016年11月5日の10mモードデータによる視線方向の地殻変動であり、 図中Aでは衛星から遠ざかる方向に10cm程度の変動、Bでは近づく方向に25cmの変動が見られる。 図2(b)はディセンディング右観測の2018年2月11日と2017年6月18日の10mモードデータによ る視線方向の地殻変動であり、図中Cでは衛星に近づく方向に40cm程度の変動が見られた。いずれの 変動図にも、点線で示した変位の不連続があり、地表断層が表れている可能性がある。



#### (3) 北海道胆振東部地震

図 3 に 2018 年北海道胆振東部地震(Mw6.6, USGS)の視線方向の地殻変動を示す。ここでは、 PALSAR-2 アセンディング右観測の 2018 年 8 月 25 日と 2018 年 9 月 8 日の高分解能 6m モードデー タ(HH 偏波)を使用している。この地殻変動図では、衛星に近づく方向に最大 5cm 程度の変位と、厚

地震-07

真町付近の平野部で最大 10cm 程度の衛星に遠ざかる方向の変位が見られる。図 4(a)は、2018 年 9 月 8日のデータでポラリメトリ解析を行った画像(パウリ画像; R:G:B=HH-VV:HV:HH+VV)、図 4(b)に はポラリメトリ解析画像の差分から抽出した土砂崩壊箇所(赤色部分)を示す。



図 3. 北海道胆振地震の地殻変動



(a) 地震後のポラリメトリ解析画像

図 4. 北海道胆振地震に伴う土砂崩壊

(b)土砂崩壊箇所抽出画像

(4) インドネシア・スラウェシ島地震

図5にインドネシア・スラウェシ島地震のアジマス方向の変動量を示す。ここでは、PALSAR-2ア センディング右観測の2018年8月17日と10月12日の10mモードデータを使用している。変動方向 がほぼアジマス方向に一致しており、視線方向の変動を抽出する通常の差分干渉SAR 画像では変動を 十分に捉えることができないが、オフセット・トラッキングによってアジマス方向に最大5m程度の顕 著な変位が検出された。



### 3. まとめ

本研究では、ALOS・2/PALSAR-2 による観測データを用いて多くの地震の事例について地殻変動量抽 出を行い、干渉 SAR、MAI、オフセット・トラッキングの各手法の有効性を確認できた。また、偏波 SAR データを用いた土砂崩壊箇所の抽出手法も有効であった。今後は、引き続き ALOS・2 を用いた地 殻変動抽出・変化抽出を実施し、それらの知見を JAXA の行う校正検証等の活動にフィードバックする 予定である。

### 外部発表

- R. Natsuaki, M. Ohki, H. Nagai, T. Tadono, M. Shimada, S. Suzuki "Emergency observation and disaster monitoring performed by ALOS-2 PALSAR-2", IGARSS 2017.
- T. Tadono, M. Ohki, T. Abe: "Summary of Natural Disaster Responses by the Advanced Land Observing Satellite-2 (ALOS-2)", International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS, Vol. XLII-3/W7, pp.69-72, 2019.

# 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

PI: 産業技術総合研究所・活断層・火山研究部門 田中 明子

1. はじめに

衛星搭載の InSAR 解析の地殻変動の量と質は、過去 20 年間あまりに劇的に増加した(例えば、 Elliott et al., 2016). 当初、InSAR を用いた地殻変動への利用は研究段階であった. それは垂直基 線長が長いことが多く、干渉解析可能なデータが限られていたことなどによる. また、現在に比べ、 回帰日数が長く、空間分解能が低いため、変動量の大きな現象に限られていた. ERS-1/2 (1991-2000/1995-2011)、JERS-1 (1992-1998)、RADARSAT-1 (1995-2013) がこれらの段階に該当す る. また、計算機資源が貧弱かつ高価であり、解析者の技量が問われたところも多々あった. ただし、 ERS-1 による Landers 地震に伴う地殻変動が明らかにされた図が Nature の表紙を飾って (Massonnet et al., 1993) 以来、この手法が注目されることになり、干渉 SAR を主な目的の一つと される衛星の計画が次々と実施されることにつながり、安定して干渉 SAR 解析を行うことができる ようになり、火山噴火や地震などのイベントが起こった際に、それに伴う地殻変動をとらえることは ある意味当然となった. また、時系列解析により sub-cm/yr 程度の地殻変動速度が得られるように なった. ENVISAT (2002-2012)、ALOS-1 (2006-2011)、ALOS-2 (2014-)、RADARSAT-2 (2007-)、 TerraSAR-X (2007-)、Cosmo-SkyMed (2007-) などがこの段階に含まれる. 今後計画されている衛星 搭載の SAR は、広域の時系列解析を実現しようとしている. これらには、Sentinel-1 (2014-)、ALOS-4 (2020?-)、NISAR (2020?-)、Tandem-L (2022?-) などが想定される.

最近は, 自動解析も進み, LiCS (Looking inside the Continents from Space) [http://comet.nerc.ac.uk/COMET-LiCS-portal/], G-TEP (Geohazards Thematic Exploitation Platforms) [https://geohazards-tep.eo.esa.int/], SARVIEWS (SAR Volcano Integrated Early Warning System) [http://sarviews-hazards.alaska.edu/] などにおいて, その結果が公開されている.

干渉 SAR は、GNSS などと比較して、観測時間間隔の長さが問題とされることが多い.しかし、
2017 年 6 月 26 日の時点では、レーダが搭載された衛星により赤道では 8 時間、緯度 78 度では
1.68 時間に1度程度は観測することが可能とされている(Sag-Ho Yun, personal comm.).2014 年 8
月 17 日ではこの期待値は 9 時間であった.

#### 直近2年間の成果

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.

来年度以降も、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実施して行きたい.また、アーカイブデータを利用した時系列解析や、PALSAR-2 の ScanSAR モードや Sentinel-1a のデータとの相補的な利用も考慮する.

#### 3. 引用文献

Elliott, J. R., Walters, R.J., and Wright, T.J. (2016) The role of space-based observation in understanding and responding to active tectonics and earthquakes. *Nat.* 

Commun. 7, 13844 doi: 10.1038/ncomms13844.

Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K., and Rabaute, T. (1993) The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. *Nature*, **364**, 138-142.

# 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

PI: 東北大学·災害科学国際研究所 福島 洋

CI: 東北大学·理学研究科 三浦 哲

CI: 東北大学·理学研究科 太田 雄策

## 1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震発生前のひずみ解析により,東北地方の奥羽脊梁山脈沿いで東西短縮 ひずみが集中していることが明らかにされている.このひずみ集中域では,定常的な微小地震活動の集 中や過去の大地震の多発が知られており,また,地震波の速度構造や減衰構造にはひずみ集中域の下部 に不均質があることが指摘されている.当該地域では,東北沖地震の断層すべりによる応答としてやは り局所的なひずみが生じたことが InSAR や GNSS データ解析から明らかとなっている.

本研究では、ひずみ集中機構および地殻内地震の発生メカニズムの解明のために、データの蓄積に伴いより長期的な変動が捉えることができるようになった ALOS-2 のデータを活用した InSAR 時系列解析を実施した.

#### 2. 使用データ

本研究では、地震 SAR 解析 WG を通じて提供された奥羽脊梁山脈の一部を含む ALOS-2/PALSAR-2 シーン 20 枚を用いた(表1,2).

観測日				
2014/08/28	2017/03/09			
2015/01/15	2017/06/15			
2015/02/12	2017/08/24			
2015/09/24	2017/11/16			
2015/12/03	2018/01/25			
2016/03/10	2018/03/08			
2016/05/19	2018/06/14			
2016/06/16	2018/08/23			
2016/08/11	2018/11/15			
2016/11/17	2019/02/07			

表 1. 使用したデータの観測日

パス	18
フレーム	2830
シーンシフト	+2
運用モード	SM1
軌道	ディセンディング
観測方向	右
偏波	HH
オフナディア角	32. 4°

表 2. 使用したデータの諸元

#### 3. 解析方法

InSAR 時系列解析の手法としては、短基線長法を用いた.この手法は、干渉性が良好な短基線のペアの干渉画像を多数計算し、衛星視線方向の変位時系列を求めるというものである.短基線ペアの選定基準としては、垂直基線長(perpendicular baseline) 200m 以内、時間基線長(temporal baseline, 撮像

間隔) 500 日以内とした. 選定された 42 個のペアを図1に示す.



図 1. 使用した干渉ペア. 丸が撮像, 線が干渉ペアを示す.

InSAR 解析には, RINC (Ozawa et al., 2016)を用いた.地形縞の除去には,小澤拓・飛田幹男両氏により国土地理院数値標高モデルを基に作成された数値楕円体高モデルを用いた.位相アンラッピングには, SNAPHU(Chen and Zebker, 2000)を用いた.

#### 4. 結果

得られた 42 枚の干渉画像を図2に示す.良好な干渉性が視認されるとともに,長波長のシグナル(シ ーン広域にまたがる位相変化)が目立つ.これらの大部分は,軌道決定誤差や電離層擾乱による見かけ のもの(ノイズ)と推測される.ディセンディング軌道からの右観測での撮像なので,東上空からの観 測ということになる.

個々の干渉画像は長波長ノイズが卓越しているものの,変位時系列を解いた結果(図3,4)は、最初の撮像日(2014年8月28日)を基準とすると、時が進むにつれて解析領域の西側に衛星から遠ざかる変位(黄色)、東側に衛星に近づく変位(青色)が卓越していくのがわかる.本解析期間には、国土地理院のGNSS観測網GEONET等のデータから、2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動として東西伸長の変形が生じたことが明らかとなっているが、本解析結果はこの余効変動のパターンと調和的である.

#### 5. まとめと展望

解析対象地域において撮像された ALOS-2/PALSAR-2 データを使った干渉 SAR 解析は,撮像季節に 依らず,(短基線長であれば)良好な干渉性を示した.また,InSAR 時系列解析により長期間(4年以 上)の変位を推定したところ, 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動パターンと調和的な長波長の シグナルが得られた. 今後は, 今回の結果を受け, GNSS 変位場を用いて InSAR 時系列解析結果にお ける長波長ノイズを低減し,より短波長な変位を調べる必要がある.



図 2. 得られた干渉画像. 各干渉画像上の数字は、ペアの撮像日と撮影日間隔を示す. 色の一周期の変化が 12cm の衛星 と地面の距離変化を表す. シアンーマゼンター黄ーシアンの色の変化が距離増加(西下方向の変位)を表す.



図 3. InSAR 時系列解析結果. 2014 年 8 月 28 日を基準とし,図に付与されている日付(yymmdd フォーマット)までの 視線方向の積算変位(衛星と地面の距離変化量)を示す.青が東または上方向の変位,黄が西または下方向の変位に対応 する.



図4. 解析期間内(2014年8月28日~2019年2月7日,1624日間)に発生した衛星視線方向の積算変位.

# 6. 参考文献

Chen, C. W., and H. A. Zebker (2000) Network approaches to two-dimensional phase unwrapping: intractability and two new algorithms, J Opt Soc Am A, 17: 401-414, doi:10.1364/Josaa.17.000401.

Ozawa, T., E. Fujita, and H. Ueda (2016) Crustal deformation associated with the 2016 Kumamoto Earthquake and its effect on the magma system of Aso volcano, Earth Planets Space, 68, doi:10.1186/s40623-016-0563-5.