

干渉 SAR による 2015 年 9 月から 2016 年 9 月の大涌谷の地表面変位

道家涼介^{*1}・原田昌武^{*1}・竹中 潤^{*2}

InSAR analysis of surface displacements in Owakudani from September 2015 to September 2016

by

Ryosuke DOKE^{*1}, Masatake HARADA^{*1} and Jun TAKENAKA^{*2}

1. はじめに

箱根山では、2015 年 4 月下旬より地震活動が活発化し、それにともない傾斜計や GNSS により山体の膨張を示す地殻変動が観測された（板寺ほか、2015；原田ほか、2015）。また、5 月 3 日頃から、箱根火山最大の噴気地帯である大涌谷にある蒸気井が暴噴状態となり、5 月 6 日には、噴火警戒レベルが 2 に引き上げられた。これを受けて、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）の地球観測衛星だいち 2 号（ALOS-2）搭載の合成開口レーダー（PALSAR-2）による緊急観測が 5 月 7 日以降、複数回実施された。その結果、大涌谷において、局所的な隆起の存在が明らかとなった（例えば、道家ほか、2015）。6 月 29 日～7 月 1 日にかけては、この局所的な隆起域の極近傍で小規模な水蒸気噴火が発生し、新たに火口と噴気孔が形成されたことが確認された（萬年ほか、2015；萬年、2016）。

2015 年 8 月までに取得された ALOS-2/PALSAR-2 による大涌谷を対象とした干渉 SAR 解析結果については、道家ほか（2015）にて報告済みである。本稿は、それ以後の大涌谷の地表面変位について、ALOS-2/PALSAR-2 データの干渉 SAR 解析結果を提示するものである。

2. 使用データと解析方法

解析に使用したデータを図 1 及び表 1 に整理した。ALOS-2/PALSAR-2 により取得されたデータは衛星の観測軌道（Path）毎に番号が振られている。2015 年 9 月～2016 年 9 月までの間、箱根山を観測範囲に含み且つ干渉解析が可能な ALOS-2/PALSAR-2 による観測データは、4 つの観測条件によるものが存在する。それらは、東側上空より観測する、南行軌道・右観測の

Path18、19、西側上空より観測する、北行軌道・右観測の Path125、126 である。なお ALOS-2 の回帰日数は 14 日間であり、同一観測条件による観測は最短で 14 日間隔で可能である。ただし、複数の観測モードがあることから、同一観測条件による観測は、緊急時を除いて数ヶ月に一回の頻度である。各観測条件における観測間隔は、Path 18、19 では、およそ 2～3 ヶ月に一回、Path125 では、3～7 ヶ月、Path126 では、3～9 ヶ月となっている。

データの解析は、防災科学技術研究所が開発した SAR 干渉解析ツール（RINC）を使用し、道家ほか（2015）と同様の方法で行った。ただし、解析ツールのバージョンアップにともない、大気 - 地形相関の推定が可能となり、標高に依存する位相の変化を補正できるようになった。2015 年 12 月以降の解析結果には、これを適用している。ただし、本研究の対象としている大涌谷の地表変位は局所的なものであることに加え、各観測日における変位を比較するため、変位の中心付近から N60E 方向に 200m の地点を仮の不動点とし、解析結果の描画を行っていることから、補正の影響は殆どないと考えられる。干渉解析を行ったペアは、各観測日のデータに対し、同一観測条件における直近の観測日のデータとした（表 1 を参照）。

なお、干渉 SAR による誤差は、一般的に数 cm 程度とされている。それよりも小さい変位量（数 mm～2 cm 程度未満）については、ノイズの可能性がある。

3. 解析結果

3.1 Path 18（南行軌道・右観測）

本観測条件では、大涌谷において、2015 年 5 月中に約 0.9cm/day の速度で、衛星視線方向へ近づく変位が

*1 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586

*2 気象庁地震火山部火山課 〒100-8122 東京都千代田区大手町 1-3-4

報告, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第 48 巻, 25-32, 2016

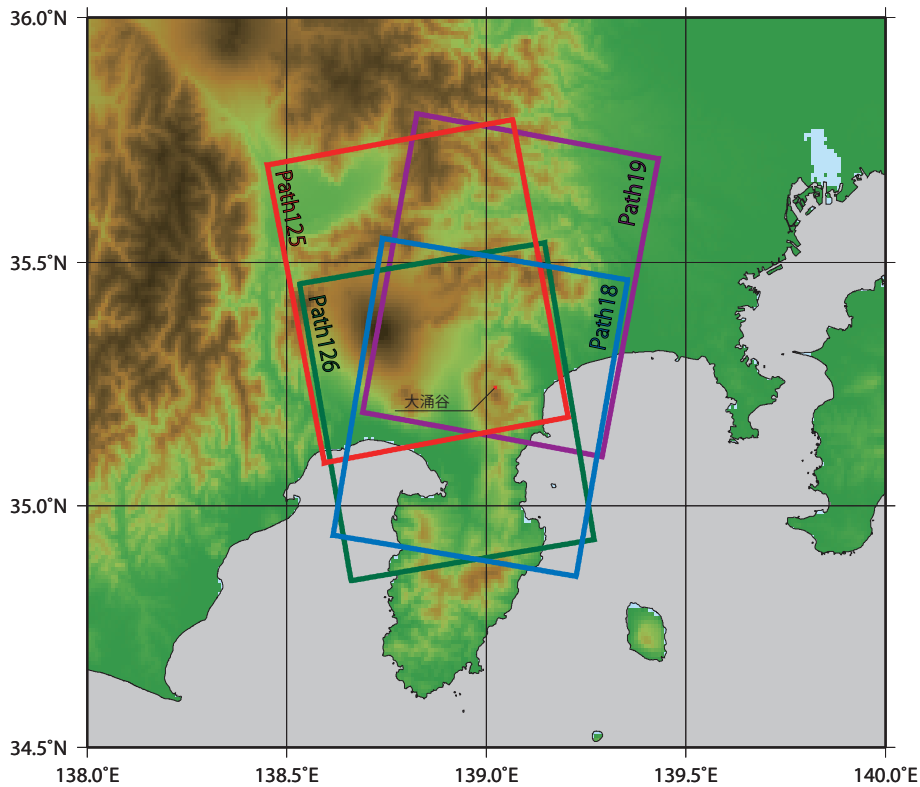


図1 本研究で使用した ALOS-2/PALSAR-2 データ。図示したフレームの範囲に対し、箱根火山が中心にくるように衛星進行方向の前後にシーンシフトしたデータについても一部の Path で使用している。

表1 各 Path の概要および観測日

観測Path	Path 18	Path 19	Path 125	Path 126
軌道・観測方向	南行軌道・右観測	南行軌道・右観測	北行軌道・右観測	北行軌道・右観測
オフナディア角	38.2°	29.1°	29.1°	38.2°
入射角(大涌谷付近)	42.8°	32.3°	33.4°	43.6°
最初の解析結果 の干渉ペア	2015/8/27	2014/12/23	2015/7/5	2015/7/24
		2015/9/1		
観測日	2015/10/22		2015/11/8	
		2015/11/10		
	2016/1/14	2016/2/16		2016/4/1
	2016/4/21	2016/5/24	2016/6/5	2016/7/8
	2016/7/14	2016/8/2		
	2016/9/22			

観測されていた(道家ほか、2015)。その後は、一旦、変位が鈍化したものの、水蒸気噴火発生後の同年7月2日の観測において、同年6月18日の観測との間で、衛星視線方向に7~8cm 近づく変位が観測された(道家ほか、2015)。その後はやや衛星視線方向から遠ざかる変位が観測されていた。

2015年10月22日の観測では、同年8月27日に対し、火口および噴気孔群の西側、15-4 噴気孔付近をピークに2~3cm 程度衛星に近づく変位が観測された(図2a)。また、火口および噴気孔群の東では、15-10 噴気孔の東をピークに衛星からやや遠ざかる変位がみえる

が、その変位量は1cm 未満とノイズレベル以下であった(図2a)。

2016年1月14日の観測では、2015年10月22日に対し、15-4 噴気孔周辺をピークに2~3cm 程度衛星に近づく変位が観測された(図2b)。また、火口および噴気孔群の東で衛星から遠ざかる変位が観測され、そのピーク位置(15-10 噴気孔の東)での変位は2~3cm であった(図2b)。

2016年4月21日の観測では、同年1月14日に対し、15-4 噴気孔周辺をピークに2~3cm 程度衛星に近づく変位が観測された(図2c)。また、火口および噴気孔群

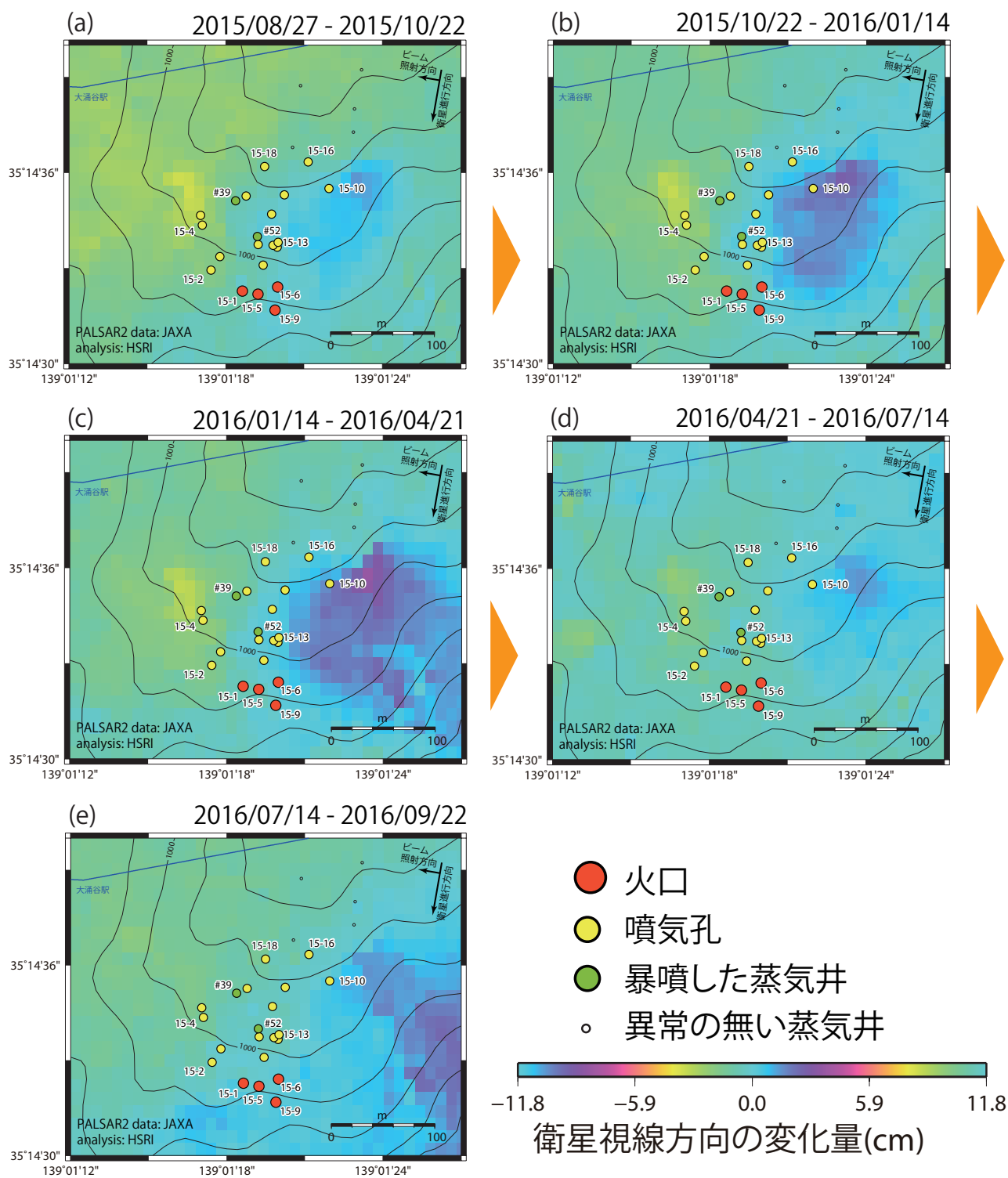


図2 Path 18 (南行軌道・右観測)における干渉 SAR 解析結果。オフナディア角は 38.2° 、大涌谷付近における入射角は 42.8° である。図中の等高線の間隔は 25m。青線は箱根ロープウェイの索道を示す。火口および噴気孔の位置は、神奈川県温泉地学研究所・伊豆ジオパーク推進協議会 (2015) による。凡例の正が衛星から遠ざかる変位 (水色→紫色→黄色の順に変化)、負が衛星に近づく変位 (水色→黄色→紫色の順に変化) を示す。カラースケールは位相を変位に直したものであるため、 $\pm 2\pi$ (±約 11.8cm) を超える変位が生じた場合は、同一のカラースケールを繰り返す。

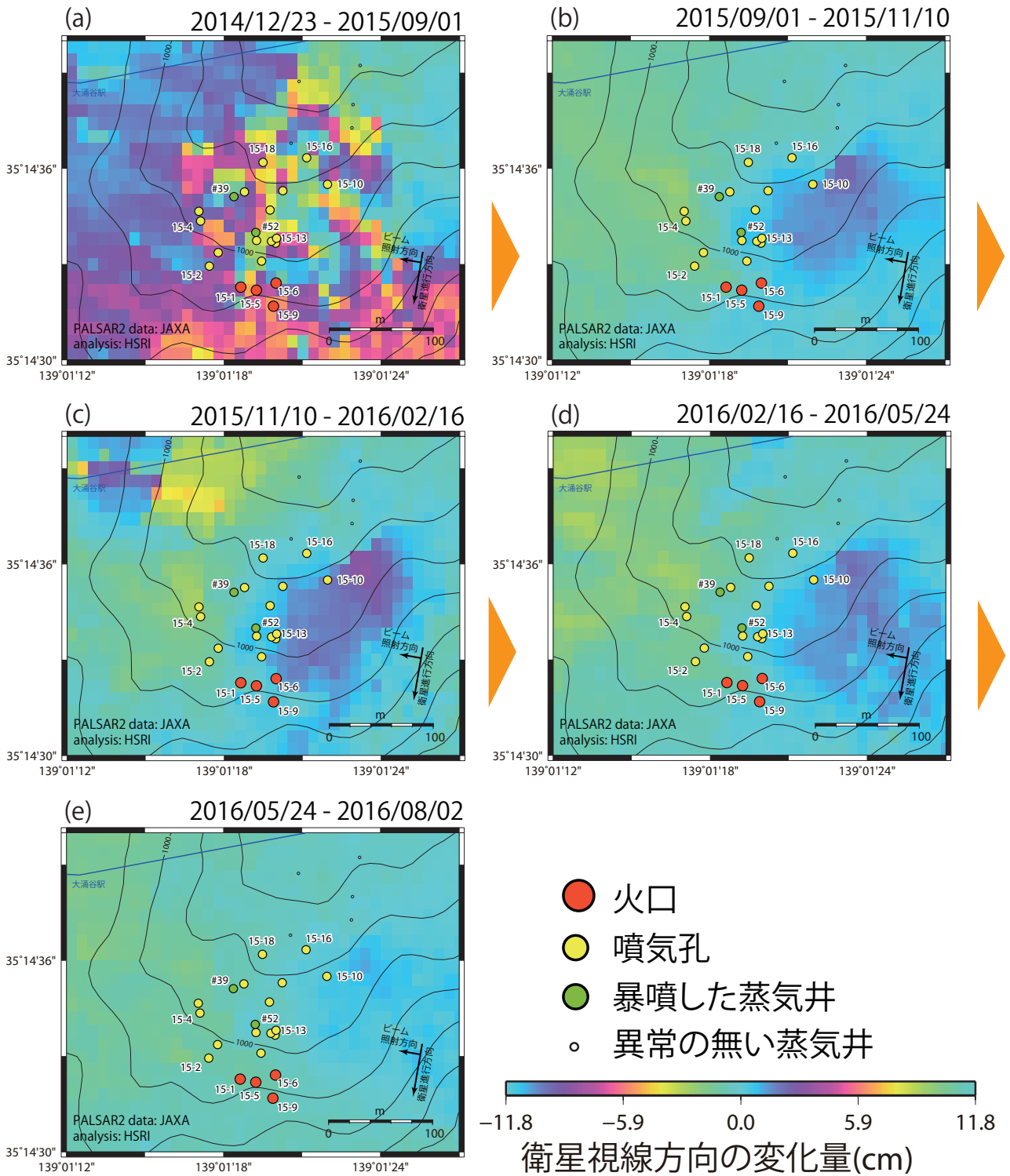


図3 Path 19 (南行軌道・右観測)における干渉 SAR 解析結果。オフナディア角は 29.1°、大涌谷付近における入射角は 32.3°である。

の東で衛星から遠ざかる変位が観測され、そのピーク位置(15-10 噴気孔の東)での変位は 3 ~ 4cm であった(図 2c)。

2016 年 7 月 14 日の観測では、同年 4 月 21 日に対する変位は非常に小さく、ノイズレベル以下であった(図 2d)。

2016 年 9 月 22 日の観測では、火口および噴気孔群

周辺の変位はノイズレベル以下であるが、その東側の尾根部において衛星から遠ざかる変位が認められる(図 2e)。この変位が有意なものかどうかは不明である。

3.2 Path 19 (南行軌道・右観測)

本観測条件においては、2014 年の 12 月 23 日に最初の観測が実施されているが、その後、2015 年の火山

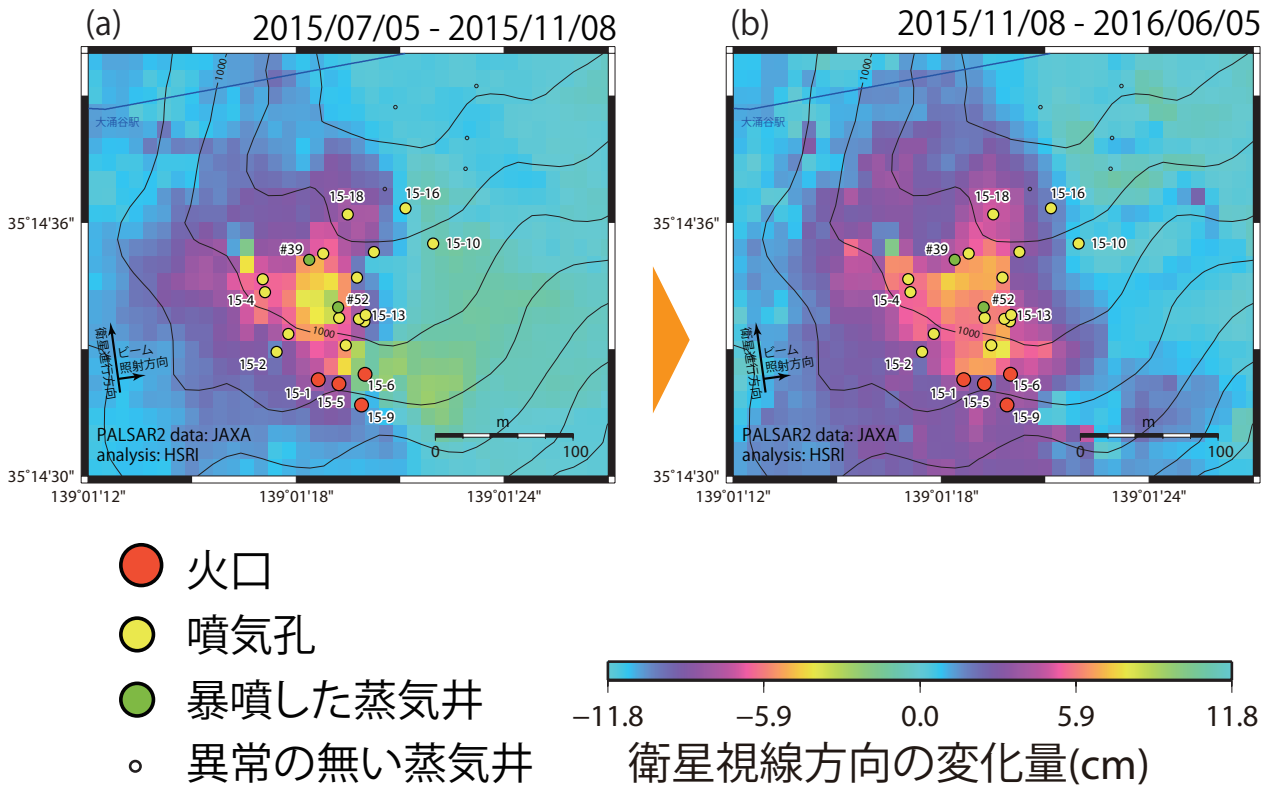


図4 Path 125 (北行軌道・右観測)における干渉 SAR 解析結果。オフナディア角は 29.1° 、大涌谷付近における入射角は 33.4° である。

活動活発化による緊急観測は実施されなかった。水蒸気噴火発生後の最初の観測は、2015年9月1日であった。

2015年9月1日の観測では、2014年12月23日に対し、大きく変位している様子が捉えられている(図3a)。これは、上記の通り、2015年の火山活動活発化に伴う、大涌谷の変位が累積して現れているためである。その変位量については、カラースケール(11.8cm)の2周ないしは3周分以上の変位(20~30cm以上)とみられ、他の観測条件で観測されている火山活動活発化中の大涌谷の累積変位(道家ほか、2015)と同程度の変位量である。

2015年11月10日の観測では、同年9月1日に対し、15-4噴気孔周辺をピークに2cm程度衛星に近づく変位が観測された(図3b)。また、火口および噴気孔群の東で衛星から遠ざかる変位が観測され、そのピーク位置(15-10噴気孔の東)での変位は2~3cmであった(図3b)。

2016年2月16日の観測では、2015年11月10日に対し、15-4噴気孔周辺をピークに2~3cm程度衛星に近づく変位が観測された(図3c)。また、火口および噴気孔群の東で衛星から遠ざかる変位が観測され、そのピーク位置(15-10噴気孔の東)での変位は3~4cm

であった(図3c)。なお、箱根ロープウェイ大涌谷駅東側の谷底で衛星視線方向に近づく変位(最大で4~5cm)、駅周辺で衛星から遠ざかる変位(3~4cm)が認められる(図3c)。これらの変位については、他の観測条件・観測日では、観測されておらず、有意であるかは不明である。

2016年5月24日の観測では、同年2月16日に対し、火口および噴気孔群の西側で2~3cm程度衛星に近づく変位が観測された(図3d)。ただし、変位分布については、明確なピークは認められなかった。また、火口および噴気孔群の東で衛星から遠ざかる変位が観測され、そのピーク位置(15-10噴気孔の東)での変位は1~2cmであった(図3d)。

2016年8月2日の観測では、同年5月24日に対する変位は非常に小さく、ノイズレベル以下であった(図3e)。

3.3 Path 125 (北行軌道・右観測)

本観測条件では、大涌谷において、2015年5月中に約0.7cm/dayの速度で、衛星視線方向へ近づく変位が観測されていた(道家ほか、2015)。その後は、一旦、変位が鈍化したものの、水蒸気噴火発生後の同年7月5

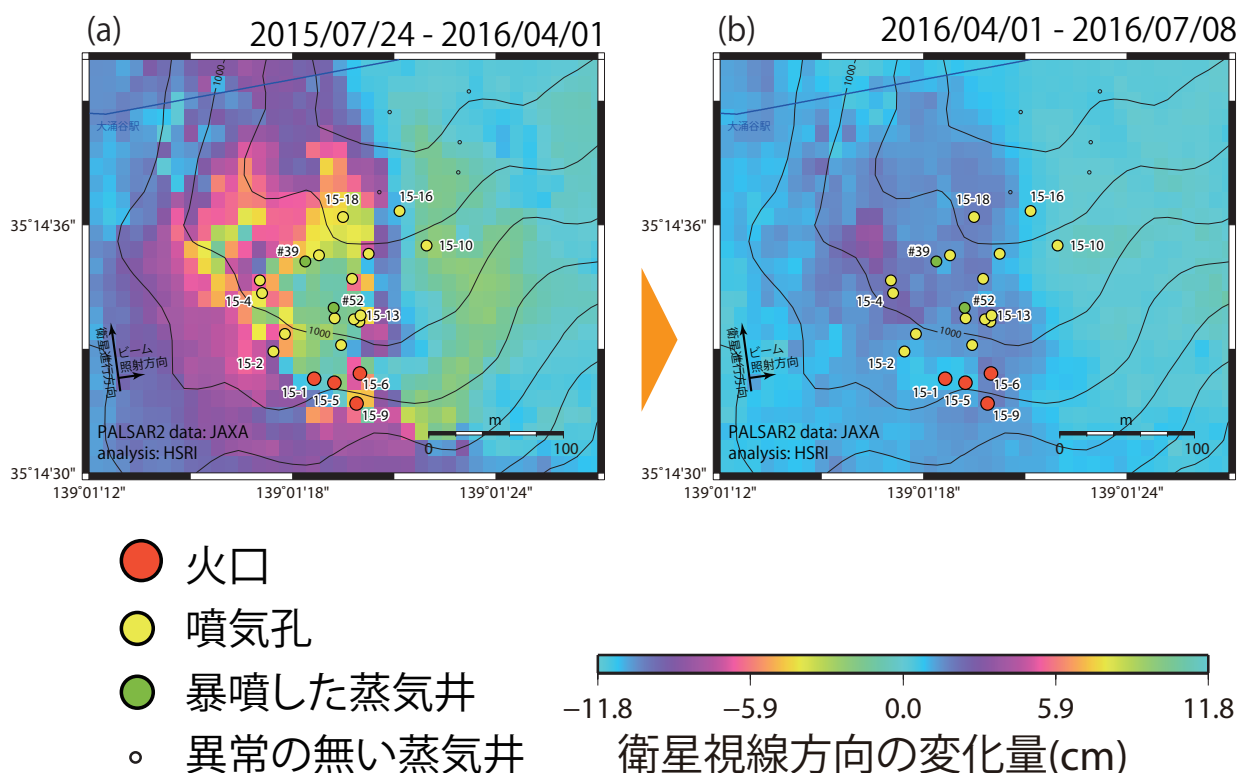


図5 Path 126（北行軌道・右観測）における干渉 SAR 解析結果。オフナディア角は 38.2° 、大涌谷付近における入射角は 43.6° である。

日の観測において、同年 6 月 7 日の観測との間で、衛星視線方向に 8 ~ 9cm 近づく変位が観測された（道家ほか、2015）。

2015 年 11 月 8 日の観測では、同年 7 月 5 日に対し、火口および噴気孔群を中心に衛星から遠ざかる変位が観測された(図 4a)。変位のピークは第 52 号蒸気井付近で、8 ~ 9cm であった (図 4a)。

2016 年 6 月 5 日の観測では、2015 年 11 月 8 日に対し、火口および噴気孔群を中心に、最大で約 8cm 程度衛星から遠ざかる変位が観測された (図 4b)。

3.4 Path 126（北行軌道・右観測）

本観測条件では、2015 年の火山活動の活発化に伴い、大涌谷において局所的に衛星視線方向へ近づく変位が観測されていた（道家ほか、2015）。また水蒸気噴火後の同年 7 月 24 日の観測では、同年 7 月 10 日に対し、明瞭な変位は認められなかった（道家ほか、2015）。

2016 年 4 月 1 日の観測では、2015 年 7 月 24 日に対し、火口および噴気孔群を中心に、衛星から遠ざかる変位が観測された (図 5a)。その変位量は、カラースケールにして 1 周分程度 (約 12cm) であった (図 5a)。また、火口および噴気孔群より東の広い範囲では、衛星にやや近づく変位が観測され、その変位量は約 2cm 程

度であった (図 5a)。

2016 年 7 月 8 日の観測では、同年 4 月 1 日に対し、火口および噴気孔群周辺で、やや衛星から遠ざかる変位が観測された (図 5b)。変位のピークは、第 39 号蒸気井の西に位置し、その変位量は 3 ~ 4cm であった (図 5b)。

4. まとめ

2015 年の火山活動以降の大涌谷における地表面変位について、箱根山を観測範囲に含む ALOS-2/PALSAR-2 による観測データの干渉 SAR 解析を実施した。

大涌谷では、2015 年 9 月以降、衛星から遠ざかる変位が認められた。ただし、その変位分布は、東側上空からの観測(Path18、19)と西側上空からの観測(Path125、126)で異なる。東側上空からの観測では、火口および噴気孔群の東で衛星から遠ざかる変位が観測されたのに対し、西側上空からの観測では、火口および噴気孔群を中心に衛星から遠ざかる変位が観測された。加えて、西側からの観測で衛星から遠ざかる変位が捉えられた領域では、東側からの観測でわずかに衛星に近づく変位が捉えられ、逆に、東側からの観測で衛星から遠ざかる変位が捉えられた領域では、西側からの観測ではわずかに衛星に近づく変位が捉えられた。このような変位分布パタ

ーンは単純な沈降では無く、水平の変位を含むような変位を示唆するものである。なお、この変位について、2016年7月中旬以降の観測では、ノイズレベル程度まで減少しており、鈍化傾向にある。

謝辞

ALOS-2/PALSAR-2による観測データは火山噴火予知連絡会衛星解析グループを通してJAXAから提供されたものです。データの所有権はJAXAにあります。解析には、防災科学技術研究所の小澤拓氏が開発したSAR干渉解析ツール(RINC)および気象研究所の奥山哲氏が開発したrinc_guiを使用しました。本稿で使用した図はGMT(Wessel *et al.*, 2013)を使用し作成しています。査読者のコメントにより本稿は改善されました。ここに記して感謝します。

参考文献

道家涼介・原田昌武・竹中 潤 (2015) 干渉SARによる2015年箱根火山の活動に伴う大涌谷の地表面変位, 神奈川県温泉地学研究所報告, 47, 23-29.
原田昌武・板寺一洋・本多亮・行竹洋平・道家涼介 (2015)

2015年箱根火山活動に伴う地震活動と地殻変動の特徴(速報), 神奈川県温泉地学研究所報告, 47, 1-10.

板寺一洋・本多 亮・原田昌武・行竹洋平・道家涼介・竹中 潤 (2015) 神奈川県箱根火山における活発な群発地震活動 (2015), 日本水文科学会誌, 45, 47-49.

神奈川県温泉地学研究所・伊豆ジオパーク推進協議会 (2015) 箱根山2015年噴火の火口・噴気孔群(暫定版), 火山噴火予知連絡会提出資料(平成27年7月21日), http://www.onken.odawara.kanagawa.jp/files/Hakone2015/20150721_onken.pdf.

萬年一剛 (2016) 箱根火山の観測・研究と2015年噴火, 地質と調査, 145, 26-31.

萬年一剛・道家涼介・原田昌武・本多 亮・板寺一洋・菊川城司・行竹洋平・竹中 潤 (2015) 箱根火山2015年噴火の推移, 日本火山学会講演予稿集2015年秋季大会, A3-12.

Wessel P., Smith W. H. F., Scharroo R., Joaquim L. and Florian W. (2013) Generic Mapping Tools: Improved Version Released, Eos, Trans Am Geophys Union, 94, 409-410.

