火山-2501「地殻変動分布の評価への適用手法検討」

PI:国土地理院地理地殻活動研究センター飛田幹男CI:国土地理院測地部宇宙測地課森下遊・山中雅之・鈴木啓・大坂優子CI:国土地理院地理地殻活動研究センター地殻変動研究室小林知勝

1.はじめに

国土地理院では、全国 46 地域の火山の地殻変動監視を目的として、ALOS/PALSAR データを使用 して定常的に SAR 干渉解析を実施する高精度地盤変動測量を 2006 年から実施しており、これまで数 多くの変動が検出されてきた。SAR 干渉解析結果は Web で公開し、2010 年度及び 2011 年度にはそ の成果をまとめた監視年報を発行した(http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/result/result.html)。また、 第 107 回(2007 年 6 月)~第 120 回(2011 年 6 月)火山噴火予知連絡会へ最新の解析結果をまとめ た資料を提出した(http://www.seisvol.kishou.go.jp/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/ccpve\_bulletin. html)。

2011 年 5 月に ALOS が運用を終了してからは、最新のデータを使用した地盤変動監視のための定 常解析はできなくなった。そのため、ALOS の後継機である ALOS-2 のデータを使用したより高度な 定常解析の再開を目指し、計測精度向上のための解析手法に関する研究を中心に実施してきた。

本稿では、ALOS 運用終了前に捉えられた新燃岳の火山活動に伴う地殻変動、伊豆大島を対象にした干渉 SAR 時系列解析の精度評価及び九州地方の火山への干渉 SAR 時系列解析適用事例について述べる。

2.新燃岳の火山活動に伴う地殻変動

本章の内容は小林ほか(2011)を簡潔にまとめたものである。詳細については小林ほか(2011)を 参照されたい。

(1)新燃岳の火山活動

新燃岳では、2011 年 1 月 19 日から小規模な噴火、同月 26 日午後から連続的な噴煙の放出が始ま り、翌 27 日には爆発的な噴火に発展した。周囲の GEONET 観測点では、2009 年 12 月頃から深部 のマグマ蓄積過程を反映していると考えられる山体の膨張及び噴火活動に伴う収縮が観測されていた。 しかし、GEONET 観測点の点間距離は約 20 km もあり、新燃岳近傍の変動を捉えることは不可能で ある。面的な観測が可能な干渉 SAR であれば、新燃岳近傍の変動を高空間分解能で捉えることがで きるため、SAR 干渉解析を実施し、さらに圧力源の推定を行った。

(2) SAR 干涉解析

新燃岳を含む観測データを対象に数多くの干渉ペアの解析 を実施したが、ここでは良好な結果が得られた北行軌道の4 つの干渉ペアを示す(表1)。(1) ~ (3) は噴火前の膨張過程 における干渉ペア、(4) は噴火前後の干渉ペアである。解析 の過程で、数値気象モデルを使用して対流圏誤差を低減する 処理(以下、「対流圏誤差低減処理」という。)を適用した。

表1 十渉ペア一覧						
番号	観測日1	観測日2	備考			
(1)	2008/02/12	2010/11/20				
(2)	2010/02/17	2010/11/20	噴火前			
(3)	2010/02/17	2010/04/04				
(4)	2010/11/20	2011/02/20	噴火前後			

噴火前の SAR 干渉解析結果において、新燃岳の西北西の領域に共通して衛星 - 地表間距離(以下、「LOS」という。)が短縮する変位が観測された(図 1 (1) ~ (3))、干渉ペア(1)及び(2)の最大 変位量はほぼ同様に約4 cm であり、2009 年 12 月以降の山体の膨張を捉えていると考えられる。干 渉ペア(3)は観測期間が短いため変位量が相対的に小さいが、変位の領域は他と調和的である。噴火 前後の SAR 干渉解析結果においては、同様の領域に最大約4 cm の LOS 伸長の変位が見られた(図 1 (4))



図1 新燃岳の SAR 干渉解析結果

# (3)球状圧力源の推定

干渉ペア(3)及び(4)のSAR 干渉解析結果から球状 圧力源を推定した(表2)。推定した球状圧力源から計算 される変位量と観測変位量との残差は、一般的にSAR 干渉解析結果に含まれる誤差レベル以下であった。山体 の膨張及び収縮は1つの圧力源で良く説明でき、体積変 化量は両者とも10×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>と推定された。新燃岳周辺 のGNSS観測点による地殻変動データから推定した圧 力源の位置との比較においても、調和的な結果であった。

表2 推定された球状圧力源のパラ
------------------

番号	経度 (1σ) [度]	緯度 (1σ) [度]	深さ (1σ) [km]	体積変化長 (1σ) [m <sup>3</sup> ]×10 <sup>6</sup>
(3)	130.835	31.930	6.8	10.6
	(0.003)	(0.004)	(0.5)	(0.8)
(4)	130.824	31.920	6.1	-10.2
	(0.003)	(0.003)	(0.4)	(0.8)

3.伊豆大島における干渉 SAR 時系列解析の精度評価

伊豆大島は、火山噴火予知連絡会によって選定された 47 の「火山防災のために監視・観測体制の 充実等の必要がある火山」のうちの一つであり、気象庁や国土地理院により、密な観測網が敷かれて きた。高精度地盤変動測量の対象にもなっており、これまでに三原山の沈降・収縮が検出されている (例えば、国土地理院、2012)。GNSS連続観測点も計9点(国土地理院6点、気象庁3点)が設置 されており、島全体の長期的な伸長及び短期的な周期を持つ短縮・伸長、並びに三原山における局所 的な沈降・収縮が観測されている(気象研究所、2013)。

干渉 SAR 時系列解析とは、従来の2枚の SAR 画像を使用する干渉 SAR(以下、「差分干渉 SAR」 という。)とは異なり、大量のデータを統合的に解析することでさまざまな誤差を低減し、変動時系列 や平均変動速度を高精度に検出できる解析技術である。国土地理院では、計測精度向上のため、干渉 SAR 時系列解析の手法の一つである Persistent Scatter Interferometry(以下、「PSI」という。)に 関する調査研究を実施してきた。本章では、密な GNSS 連続観測データ及び非定常な変動が存在する 伊豆大島を対象にした PSI の適用及び GNSS 観測結果との比較による精度評価について述べる。

(1) PSI の適用

伊豆大島は高頻度に ALOS/PALSAR による観測が実施されており、2006 年 4 月~2011 年 2 月に おいて北行及び南行の両軌道方向ともに 20 枚を超えるデータが存在した。垂直基線長が顕著に大き く干渉性が低下したデータを除いて、北行軌道で 21 枚、南行軌道で 24 枚のデータを使用した。解析 には StaMPS/MTI ver3.2.1 を使用した。

解析の過程で、GNSS 補正を実施した(飛田ほか、2005; 福島・Hooper、2011)。GNSS 補正とは、 地上における GNSS 観測によって得られた変位量と SAR 干渉解析結果とを比較することによって、 SAR 干渉解析結果に含まれる衛星軌道推定値の誤差に起因する系統的誤差(位相傾斜平面)や標高に 相関して現れる対流圏誤差を推定・除去する手法である。GNSS 補正には国土地理院の 6 点の GNSS 連続観測点のみを使用し、気象庁の 3 点は使用しなかった。変位量の固定点は、93051(大島1)と した。

(2)結果と精度評価

図2は、北行及び南行のPSI結果(平均変動速度)である。両軌道方向で共通して、三原山付近で LOS 伸長の変動が見られる。また、2.5次元解析(Fujiwara et. al.、2000)により準上下・準東西方 向を分離した結果からは、三原山付近で沈降、島全体で東西方向に膨張する変動が見られる(図3)。 これらは GNSS 連続観測の結果とも調和的である。

次に、PSI 結果の各観測日の変位量と GNSS 連続観測(灰色のプロット)の結果を時系列で比較した(図4、図5)。比較のため、GNSS 連続観測結果は3次元から LOS 方向の1次元に投影したものを表している。089075(M 三原山火口 A)では継続的に顕著な LOS 伸長の変位が検出されており、 PSIとGNSS 連続観測の結果は良く一致している。019055(T泉津)や960594(大島3)では、GNSS 連続観測結果に見られる非定常な変動が PSI 結果でもよく再現されている。



図 2 PSI 結果(平均変動速度) (左) 北行(右) 南行



図3 2.5 次元解析結果(平均変動速度) (左)準上下方向(右)準東西方向





灰色のプロットは GNSS 観測値(図5も同様)。





GNSS 補正の効果を検証するために、GNSS 補正の有無に よる結果の違いを比較した(表3)。GNSS 補正により、多く の観測点で RMSE が減少した。一部の観測点で RMSE が増 加しているが、それらの観測点は補正無しの場合でも RMSE が4~6 mm 程度と十分小さくなっており、元々誤差が小 さかったためであると考えられる。また、GNSS 補正は干渉 SAR の結果を GNSS 観測結果に適合させる補正であるため、 補正により両者の一致が良くなるのは当然ではあるが、ここ では補正に使用しなかった気象庁の GNSS 観測点において も RMSE の減少が見られる。これは GNSS 補正の有効性を 示していると考えられる。

(3)まとめと課題

PSI により、GNSS 観測結果と調和的な変動が検出され、 その RMSE は全体で約6 mm であった。また、GNSS 補正 により、RMSE が減少し、計測精度が向上するという結果が 得られた。これらのことから、PSI は差分干渉 SAR よりも

高精度に火山地域の変動を検出する能力があるといえる。一方で、植生のある地域では結果が得られていない。この問題を解決するためには、PSIとは異なる干渉 SAR 時系列解析手法を検討する必要がある。

4.九州地方の火山における PSI の適用

伊豆大島での精度検証の結果、PSI により差分干渉 SAR よりも高精度に変動が検出できることが わかった。本章では、PSI を九州地方の火山に適用して検出された火山性の変動を示す。使用したデ ータは 2006 年 8 月~2011 年 4 月のもので、全て北行である。なお、以下の解析では全地域で対流圏 誤差低減処理を、姶良カルデラについては GNSS 補正を実施した。

(1)九重山

星生山山頂付近で最大約 6 cm/year の LOS 伸長の変動が検出された(図6)。近傍には気象 庁が設置したGNSS連続観測点が3点存在する が、今回検出された変動の空間スケールは約 1 km と観測点間距離より小さいため、GNSS で 検出するのは困難である。当該地域の変動は差 分干渉 SAR でも検出されていたが、計測精度 が低く、変動量は高精度には得られていなかっ た。



図6 九重山における PSI 結果(平均変動速度)

表 3 PSIと GNSS 連続観測との RMSE。 括弧内数字は GNSS 補正無しの場合。

GNSS 観測点		RMSE (mm)	
		北行	南行
田	019055 T 泉津	6.51 ( 8.58 )	6.45 (6.39)
	089075 M 三原山火口 A	8.32 (9.96)	6.34 ( 9.23 )
土地理	93055 大島 2	3.09 (6.41)	2.74 (3.17)
垤院	960594 大島 3	5.35 ( 7.22 )	6.01 (7.01)
	960595 大島 4	5.11 (7.97)	5.71 (5.16)
気象症	J560 北西外輪	6.00 ( 10.55 )	6.25 ( 8.85 )
		7.11 ( 9.42 )	5.14 ( 4.20 )
11	J562 津倍付	7.00 (10.58)	6.96 (6.44)
全体		6.02 (8.50)	5.67 ( 6.46 )

(2) 雲仙岳

雲仙岳はパス番号 424 及び 425 の観測範囲の重複する地域に位置する。そこで、独立するデータで ある両パスそれぞれで PSI を適用した。その結果、両者において、平成新山付近で最大約 2 cm/year の LOS 伸長の変動が検出された(図7)。当該地域の変動は差分干渉 SAR でも検出されていたが、そ の計測精度は限定的であった。本結果は、独立なデータ同士で変動速度の分布が mm/year オーダー で一致しており、従来よりも高い精度が得られていることがわかる。



図7 雲仙岳における PSI 結果(平均変動速度) (左)パス番号 424(右)パス番号 425

(3) 姶良カルデラ

姶良カルデラでは、長期的な膨張の傾向が GNSS 連続観測により捉えられており、マグマ の蓄積が進んでいると考えられている(国土地 理院、2013)。しかし、観測点は必ずしも沿岸 部に位置しているわけではなく、得られる地殻 変動情報は限定的である。

差分干渉 SAR でも姶良カルデラの膨張と整 合する変動は検出されてきたものの、予想され る変動と干渉 SAR に含まれる対流圏誤差の空 間スケール及び位相変化量は同様であるため、 それらを区別することは困難であった。

PSIの結果、当該地域で推定されている茂木 ソースと調和的な膨張性の変動が検出された (図8)。PSIでは多量のデータを使用すること により、平均変動速度では時間的にランダムに 発生する対流圏誤差の影響が低減される。さら



図8 姶良カルデラにおける PSI 結果(平均変動速度)

に本解析では対流圏誤差低減処理も適用している。よって、本結果における対流圏誤差の影響は大き く低減されており、信頼性の高い結果であると考えられる。この結果では、沿岸部まで変動が検出さ れており、GNSSよりも多くの空間的情報量が含まれていることがわかる。

## 5.まとめ

これまで ALOS/PALSAR により多くの火山性の変動が検出されてきた。また、PSI を適用するこ とにより、差分干渉 SAR よりも高い計測精度が達成できることが示された。火山性の変動は局地的 かつ地上に観測点を設置できない地域で発生することが多く、GNSS のみでは検出できない変動も干 渉 SAR により捉えることが可能であり、干渉 SAR の有用性は高いといえる。ALOS-2 は ALOS より もさらに良質なデータを提供できる見込みであり、干渉 SAR による火山監視へ大きく貢献すること が期待される。

## 謝辞

本研究で用いた PALSAR データは、火山噴火予知連絡会・衛星解析グループを通じて提供を受け たもの及び国土地理院と宇宙航空研究開発機構(JAXA)の「陸域観測技術衛星を用いた地理空間情 報の整備及び高度利用に関する協定書」に基づいて購入したものです。PALSAR データの所有権は JAXA 及び経済産業省にあります。数値気象モデルは、国土地理院と気象庁とのオンライン防災情報 の相互交換に関する協定に基づいた提供を受けています。この場を借りて、御礼申し上げます。

## 参考文献

- 小林知勝、飛田幹男、今給黎哲郎、鈴木啓、野口優子、石原操(2011):「だいち」SAR 干渉解析によ り捉えられた霧島山(新燃岳)の火山活動に伴う地殻変動とその圧力変動源の推定、国土地理院時 報、121、195-201.
- 国土地理院(2012):伊豆大島の地殻変動、火山噴火予知連絡会会報、109、47-56.
- 気象研究所(2013):伊豆大島における地殻変動観測、気象研究所技術報告書、69、16-52.
- 飛田幹男、宗包浩志、松坂茂、加藤敏、矢来博司、村上亮、藤原智、中川弘之、小澤拓(2005): 干 渉合成開口レーダの解析技術に関する研究、国土地理院時報、106、37-49.

福島洋、A. Hooper (2011): PS 干渉解析による 2004 年新潟県中越地震後の地殻変動、測地学会誌、 57、195-214.

- Fujiwara, S., T. Nishimura, M. Murakami, H. Nakagawa and M. Tobita (2000): 2.5-D surface deformation of M6.1 earthquake near Mt Iwate detected by SAR Interferometry, Geophysical Research Letters, 27, 2049-2052.
- 国土地理院(2013): 桜島周辺の地殻変動、火山噴火予知連絡会会報、111、189-196.

# 火山-2502「南方諸島海底火山の監視」

- PI:海上保安庁海洋情報部海洋調查課長 岩渕 洋
- CI:海上保安庁海洋情報部海洋調査課 笹原 昇
- CI:海上保安庁海洋情報部海洋調査課 小野 智三
- CI:海上保安庁海洋情報部技術·国際課 伊藤 弘志

### 1. はじめに

海上保安庁では、航空機等により海域火山(海底火山及び火山島)の監視・観測を行っている。 しかし、南方諸島等遠方に位置する海域火山については常時の監視が困難であり、衛星リモート センシングを有効活用することが望まれる。これまで海上保安庁は「だいち」の画像を用いて海 域火山の活動のバロメーターである変色水の色調、規模に関する観測可能性についての実証実験 を行ってきており、福徳岡ノ場等活発に変色水を湧出している火山においては、衛星画像が有効 な観測手段になりうることを明らかにしてきた。

その後、平成23年5月に「だいち」の運用が終了した後も引き続き MODIS 等の画像を活用して 海域火山の監視・観測を行い、迅速な火山活動状況の把握に努めている。これまで硫黄島、青ヶ 島、西之島において衛星画像による観測を行ってきたため、その成果について報告すると共に、 航空機等による観測結果との比較検討を行う。

# 2. 概要

南方諸島海域の海域火山において火山活動が認められる場合には、MODIS 画像等(可能であれ ば他の衛星画像も利用)により火山活動の推移を適宜モニターした。また、MODIS 画像はこれま で検証してきた「だいち」の画像に比べ分解能が低いため、どの程度の規模の変色水まで検知で きるかについても検討した。

## 3. 衛星リモートセンシングによる海域火山監視

#### (1)硫黄島

小笠原諸島硫黄島において変色水が発生し、2012年4月に MODIS による衛星画像(図1)、5月 に航空機(図2)による画像が得られた。MODIS 画像からは北東海岸から東方へ変色水が流出して いるのが確認でき、航空機による画像においても同様の傾向が確認できた。



図1 2012 年 4 月 30 日 硫黄島周辺の変色水 TERRA/MODIS による撮影された光学画像 (分解能 500m チャンネル RGB 合成)(宇宙航空研究開発機構、2012a)



図 2 2012 年 5 月 16 日 硫黄島の北の鼻付近の変色水 第三管区海上保安本部航空機による撮影

# (2)青ヶ島

2012 年 8 月 26 日、当庁航空機により青ヶ島南東海域にて変色水(図 3)が観測された。しかし 翌日 27 日の衛星画像(図 4)では、青ヶ島周辺海域に変色水を確認することができなかった。こ れは、変色水の規模が小さく、色も薄かったためであると考えられる。



図3 2012 年 8 月 26 日 青ヶ島南東海域の変色水(南岸から南東方約 1300m の 位置を中心に円形(直径約 900m)海域、薄緑色) 当庁航空機による撮影



図 4 2012 年 8 月 27 日 青ヶ島周辺海域 Aqua/MODIS により撮影された光学画像 (分解能 250m 近赤外・赤チャンネル合成)(宇宙航空研究開発機構、2012b)

# (3) 西之島

2013 年 11 月 20 日に、西之島で噴火が起き新島が形成されていることが海上保安庁の航空機 による観測で明らかになった。以降、海上保安庁では航空機による観測のほか、JAXA 提供の FORMOSAT-2 衛星による光学画像(図 5)などを用いて継続的な監視、観測を行っている。



図 5 2008 年 4 月 8 日と 2014 年 1 月 8 日の FORMOSAT-2 衛星による光学画像の比較。 島の形状や噴火口の位置などがはっきりと分かる。(宇宙航空研究開発機構、2014a)

また、西之島の噴火がいつから始まったのかを検証するため、MODIS 画像を用いて検討を行った。用いた画像は JAXA 地球観測研究センターが公開している 1km 分解能の海面水温と海面放射輝 度画像である。西之島付近の海域を拡大すると、島の南側に高温異常や海面の変色が認められる (例えば 2014 年 1 月 2 日 ; 図 6)。

これは、他の海水温の分布と比較すると非常に局所的でかつ変化量が大きいため、高温の火山 噴出物そのものあるいは火山活動により熱せられた海水による異常であると考えられる。ただし 計測された海面水温はおよそ 25~30℃程度とそれほど高くはない。これは分解能が低いため周囲 の海水温と平均されて温度が低くみえるか、あるいは熱水が周囲の海水と混合することにより実 際に温度が低くなっている可能性がある。また、高温異常域とほぼ同位置に海面放射輝度の高い 領域があり、これは変色水、あるいは溶岩の存在を反映していると考えられる。比較のため、1 月3日の航空機による観測において撮影された西之島の画像を図7に示す。

噴火が確認された11月20日からさかのぼって海面水温・海面放射輝度画像を調べると、11

月7日までは断続的に今回の噴火位置付近に高温域・変色域が確認できるものの、11月4日以前には認められない。雲に遮られてデータが得られていない日があるため詳細なことは分からないが、遅くとも、11月7日には高温かつ輝度の高い物質が海面上に現れるような活動が始まっていたと考えられる。



- 図 6 MODIS により撮影、分解能 1km、中央の黒い四角が西之島、白色は雲
  - (a) 2014年1月2日 海面水温 南西方向に高温域(茶色)が認められる
  - (b) 2014年1月2日 海面放射輝度 南西方向に変色域が認められる



図7 海上保安庁の航空機により1月3日に撮影された西之島の様子。 西之島本島の南部に溶岩流が拡がっており、これが熱源であると考えられる。



図8 MODISにより撮影、分解能1km、中央の黒い四角が西之島

- (a) 2013 年 11 月 19 日 海面水温 南方向に高温域(茶色)が認められる
- (b) 2013 年 11 月 19 日 海面放射輝度 南方向に変色域が認められる
- (c) 2013 年 11 月 15 日 海面水温 南西方向に高温域(茶色)が認められる
- (d) 2013 年 11 月 15 日 海面放射輝度 西と南方向に変色域が認められる
- (e) 2013 年 11 月 14 日 海面水温 南西方向に高温域(茶色)が認められる
- (f) 2013 年 11 月 14 日 海面放射輝度 南西方向に変色域が認められる



図9 MODISにより撮影、分解能1km、中央の黒い四角が西之島、白色は雲

- (a) 2013 年 11 月 11 日 海面水温 高温域は認められない
- (b) 2013 年 11 月 11 日 海面放射輝度 変色域は認められない
- (c) 2013 年 11 月 10 日 海面水温 南西方向に高温域(茶色)が認められる
- (d) 2013 年 11 月 10 日 海面放射輝度 南西方向に変色域が認められる
- (e) 2013 年 11 月 09 日 海面水温 高温域は認められない
- (f) 2013 年 11 月 09 日 海面放射輝度 変色域は認められない



図10 MODISにより撮影、分解能1km、中央の黒い四角が西之島、白色は雲

(a) 2013 年 11 月 07 日 海面水温 南西方向に高温域(茶色)が認められる

(b) 2013 年 11 月 07 日 海面放射輝度 南西方向に変色域が認められる

- (c) 2013 年 11 月 04 日 海面水温 高温域は認められない
- (d) 2013 年 11 月 04 日 海面放射輝度 変色域は認められない
- (e) 2013 年 11 月 03 日 海面水温 高温域は認められない
- (f) 2013 年 11 月 03 日 海面放射輝度 変色域は認められない

# 4. まとめ

## (1) MODIS 光学画像

MODIS 光学画像の分解能が 250m (赤チャンネルと赤外チャンネル)、500m (緑チャンネルと青 チャンネル)と「だいち」のセンサーに比べて低いため、硫黄島の事例のように規模の大きな活 動であれば検知可能であるが、青ヶ島のように変色水の規模が小さく色も薄い場合、その活動を 見出すことは困難である。

## (2) MODIS 海面水温・海面放射輝度画像

西之島の事例のように溶岩流など高熱や規模の大きな変色水を伴う火山活動の場合、分解能が 低くても周辺との物理量の差が非常に大きいため、海面水温画像や海面放射輝度画像から火山活 動を検知することができた。

## 参考資料

宇宙航空研究開発機構(JAXA)(2012a): MODIS による硫黄島の海洋変色水観測結果(2012年4月26,27,29,30日,5月1日).
宇宙航空研究開発機構(JAXA)(2012b): 衛星による青ヶ島変色水の観測について(速報).
宇宙航空研究開発機構(JAXA)(2014a): だいち防災 WEB, https://bousai.jaxa.jp
宇宙航空研究開発機構(JAXA)(2014b): MODIS Near Real Time Data, http://kuroshio.eorc.jaxa.jp/ADEOS/mod\_nrt\_new/index.html 火山-2503「測地観測との結合による火山性地殻変動解析および制約火山の火山活動評価」

PI:北海道大学大学院地震火山研究観測センター 大島 弘光

CI:北海道大学大学院地震火山研究観測センター 村上 亮

CI:北海道大学大学院自然史科学部門 古屋 正人

CI:北海道大学大学院地震火山研究観測センター 森 済

1. InSAR および GPS 観測による有珠山の収縮性地殻変動解析

有珠山では2000年4月、西側山麓に位置する西山および金比羅山周辺において噴火活動が始まった.約80mの大規模な隆起を伴った活発な噴火活動後,西山周辺では火山活動の沈静化後も顕著な収縮・沈降が地上測地観測により指摘されてきた.本研究では,ALOS/PALSAR センサにより撮像された SAR 画像を用いて干渉解析を行うことにより,噴火後の収縮・沈降変動を面的に獲得した.解析の結果,2000 年噴火口域,山頂外輪内,および昭和新山において明瞭な収縮性地殻変動を検出することに成功した(図-1,図-2 参照).複数の独立したペアで変動が確認され,特に 2006/09/12-2008/09/17 の下降軌道の画像ペアでは非常に良好な干渉図が得られた.その変動量は約2年間の観測期間に,2000年噴火口域,山 頂域,および昭和新山でそれぞれ最大10cm,7cm,3cmの衛星視線方向距離の伸張を示す.我々はさらに 2008年5月・11月にGPS 観測を実施し,前回の観測(2006年11月)からの変位量を調べた.外輪および有珠新山で数 cm の変動が観測される一方、山麓の観測点(CHO)では変動はほぼゼロで, 変動域が山頂外輪内に局在している InSAR の結果と調和的であった.全観測点とも上下動成分は沈降を示し,水平ベクトルは大有珠付近を指した.InSARとGPSとの間には各観測点とも1cm 程度の差しか見られず,両者は調和的な観測量となっている.

2006/07/28-2009/05/05 のディセンディング InSAR データを用いて,変動の大きかった西山付近 (2000 年噴火)と大有珠付近(1977 年噴火)の地下の収縮量の推定を行った(図-3 参照).地下の貫 入マグマの単純な熱収縮では説明が困難であるが,メカニズムの推定は今後の課題である.

以上のように,溶岩/潜在ドームの生成の際に貫入したマグマの収縮性変動が,噴火活動後も数十年間 継続していることが明らかにされた.

2. 択捉島の InSAR 解析

北方領土・択捉島における火山活動評価のため干渉 SAR 解析を行った. 有意な火山性地殻変動は検出 されなかった.

3. 十勝岳 62-11 火口周辺の局所的膨張変化の検出

+勝岳は北海道中央部を北東-南西に連なる十勝岳火山群の中央に位置する標高 2077m の活火山であ リ,20 世紀以降約 30 年周期での火山噴火を行っている.現在最も活動的な火口である 62 - 火口周辺 では、間歇的な膨張現象が 2006 年末以降繰り返されていることが、GPS 観測によって確認されており、 火山活動との関連性が注目されている.地殻変動を発生させている地下の力学的状況を詳細に理解する ためには、地殻変動の空間分布の確実な把握が重要である.GPS や傾斜及び伸縮観測は、時間的分解能 は優れているが、地上測量手法だけで十分な空間的なカバレッジを確保しようとすると、非現実的な密 度で観測点を設置する必要があり、その実現は困難であることが多い.したがって、GPS など地上観測 と InSAR との相補的な利用が望ましい.本テーマでは、ALOS の観測期間中に計測された十勝岳を含

36

むシーン(アセンディング 18 ペア,ディセンディング 20 ペア)の全てについて干渉処理を試みた.+ 勝岳の山頂部付近は,10 月頃から 6 月頃までの期間,雪氷に覆われる.実際に,干渉結果を調査した ところ,積雪期に係る多くのペアについては山頂部付近のコヒーレンスが劣化し,最終的に地殻変動の 検討が可能なペアは,アセンディング,ディセンチングともにそれぞれ4ペアであった(図-4 および図-5 参照).干渉性が良好であった全ての干渉図において,62-II 火口周辺の局所的な膨張性の地殻変動の存 在が,系統的に確認された.これらの力源を推定するにあたって,今回は,ALOSのInSARによって, (1)地殻変動の分布が 62-II 火口周辺に集中していること,(2)地殻変動のパターンが,球状圧力源に 類するような比較的単純な圧力源の膨張を示唆するような形状であることが確認できるため(図-6 参照), これによって構築する力源モデルの信頼性確保に関して,InSARは重要な役割を果たしている.仮に, GPSのみの観測結果しかない場合は,GPS 観測網を外れた領域の地殻変動は不明であるので,力源の 組みあわせや形状の可能性を見落とす危険性があるが,InSAR が併用される場合は,この可能性をゼロ に近づけることができる.一方,変動の時間的推移の把握は,GPS,傾斜,伸縮などの連続地殻変動が 果たす役割が大きい.

最も干渉性の高かった 2008/06/30-2009/10/03 の結果に,半無限弾性体の茂木モデルを仮定し、体積 変化量と圧力源の深さを変化させるグリッドサーチから、最適値を求めた。その結果、体積変化量は 1.1x10\*\*5m\*\*3、地表からの深さは 650m と求まった。

### 4.まとめ

北海道の活動的火山である,有珠山と十勝岳について,現在進行中の地殻変動について InSAR 解析 を実施し,地殻変動メカニズムの推定,膨張や収縮の規模について推定した.いずれの場合でも,ALOS の InSAR によって,地殻変動の分布が,球状力源に類する比較的単純な圧力源の膨張・収縮を示唆す るようなパターンであることが確認できたため,構築する力源モデルの信頼性確保に果たす InSAR の 役割が実証された.GPS のみの観測結果では,GPS 観測網を外れた領域の地殻変動は不明であるので, 力源の組みあわせや形状の可能性を見落とす危険性があるが,InSAR が併用される場合は,この可能性 をゼロに近づけることができる.一方,十勝岳では積雪による干渉性低下の影響が大きく,ペアを成立 させるデータ量が大幅に低下する.なお,高緯度に行くに従い振幅が増加した ALOS の軌道間距離振動 も干渉性劣化に拍車をかけた可能性がある.

## 謝辞

本解析で用いた, ALOS/PALSAR Level 1.0 データについては火山噴火予知連絡会が中心となって進 めている防災利用実証実験(火山 WG)に基づいて, JAXA にて観測・提供されたものである.また, 一部の ALOS/PALSAR Level 1.0 データは, PIXEL (PALSAR Interferometry Consortium to Study our Evolving Land surface)で共有しているものであり,宇宙航空開発研究機構(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.ALOS/PALSAR に関する原初 データの所有権は経済産業省及び JAXA にある.





図-1 有珠山周辺の ALOS 干渉結果(2006/09/12-200//09/17)



# ●地下圧力源の推定



図-3 有珠山周辺の地殻変動の体積変化量推定結果(球状圧力源を仮定)



図-4 十勝岳の ALOS アセンディングデータ干渉画像



図-5 十勝岳周辺の ALOS ディセンディングデータの干渉画像



図-6 2008/06/30-2009/10/03のALOS 干渉結果と変動量の2次元プロファイル

火山-2504「ALOS 画像による活火山地形・地質判読とその噴火解析への応用」

PI: 東京大学地震研究所 金子隆之

CI:東京大学地震研究所 青木陽介・安田敦

1.はじめに

本研究期間中,各火山の活動状況をリアルタイムで捉えるための手法の検討を行った.噴火状況の詳細を捉えるためには,既存の複数衛星データも含め,異なる性格をもつインデックスをリアルタイムで時系列比較することにより,単独では得られないより有効な情報を引き出せる可能性がある.このような解析手法の開発は,ALOS による東アジア主要活火山の地形・地質の解析によって得えられる知見を土台として,最近の活動状況や噴火推移の分析を進める上で,重要な鍵となる.

2.現在のリアルタイム観測システムとその問題点

現在我々が運用している MODIS と MTSAT に基づく東アジアの活火山観測システム(REALVOLC(http://vrsserv.eri.u-tokyo.ac.jp/REALVOLC/index.html)) にはいくつかの問題点がある.その大きなものの一つに分解能が低いことが挙げられる.MODIS と MTSAT の赤外チャンネルの分解能はそれぞれ1km,4kmであり,熱的状況の大まかな時間変化を捉えることは可能であっても,火口域での噴火状況を捉えるには,これらの分解能では明らかに不十分である(図1).例えば,霧島火山新燃岳の火口は直径約600m であるが,この内部および近傍で進行している現象をこれらの分解能で捉えることは不可能である.噴火の発生している場所,噴火のタイプや規模といった情報は,噴火の基本的な情報であり,噴火の推移の予測や防災対策を考える上で重要となる.ALOS 等の高分解能衛星の画像を利用すれば,詳細な噴火状況を読み取ることも可能となるが,このようなタイプの画素は,観測間隔が長く時間分解能の高い高頻度の高いデータ入手が困難で,短時間で急激に喧嘩する可能性のある噴火プロセスの解析には適合していない面もある.また,防災面での利用を考慮すると,リアルタイムで関係情報が得られる必要がある.

我々は噴火状況に関するより詳しい情報を捉えるために,2つのアプローチを検討している.この一 つがリアルタイムで得ることできる高分解能赤外画像データの利用であり,いま一つが,いくつかの異



図1 現在の観測システムとその問題点.

なる性格のインデックスを組合せて解析する統合的解析である.本研究は後者の手法についてのもので ある.



図2 現在の観測システムの問題点とパラレルタイムラインチャートの有効性.

3.パラレルタイムラインチャートによる比較

現在の我々のリアルタイム観測システムでは,各インデックスは独立に閲覧する仕組みになっており, 相互の関係が捉えにくい(図2 左).リアルタイム相互比較のためには,パラレルタイムラインチャー トをリアルタイムで生成するシステムを開発し,現在のシステムに組込むことが効果的と考えられる.



図3 パラレルタイムラインチャート.

このメリットとして,例えば MODIS で高い熱異常が観測された場合,これだけで噴火の中身は不明であ るが,併せて MTSAT による噴煙の発生状況のデータを検討することにより,爆発のほとんどない溶岩を 噴出するような穏やかな噴火(図2,火山A)であるか,プリニー式噴火を繰り返し発生するような激 しい噴火(火山B)であるのかを,リアルタイムで識別できるようになる.現在,パラレルタイムライ ンチャートに組込むインデックスとしてどのようなものが必要なのか,整理,検討を進めている.

一方,パラレルタイムラインチャートで観測されるデータがどのような活動状況を示しているのかを 知るためには,各インデックスと実際の噴火プロセスの関係に関するデータベースを構築することが欠 かせない.このデータベースのデザインについて,サリチェフ2008年噴火,新燃2011年噴火等をモデ ルケースとして検討を行った(継続中).



図4 熱異常の時間変化パターンと噴火推移.

4. データベースの意義とその応用研究

このようなデータベースは,リアルタイム観測データの解釈・解析への利用に加え,噴火推移の類型 化研究,推移予測にとっても重要である.これは,ALOS等の高分解能画像から読み取った地形・地質の データを組合せて統合的な検討を行うためのベースとなる.

噴火推移の類型化研究は火山学における重要な研究テーマの1つであるが,パラレルタイムラインチャートを軸に,様々なインデックスと実際の噴火プロセスを並べ,データベース化することが,このような研究を進める上で効果的と考えられる(図3).図4にはMODIS 3.7µmチャンネルの熱異常の時間 変化の例を示す.サリチェフ 2009 年噴火は非対称の鋭いピークを示す.これは,前兆現象がほとんどないバックグラウンドレベルから,突然プリニー式の噴火が始まり,数日間のクライマックス期を経て 急速い活動レベルが低下していったという推移パターンを示していると考えられる,メラピ 2006 年噴 火は,ブロードなピークを示す.これは,溶岩ドームがゆっくり成長したという推移パターンに対応し ていると思われる.一方,ベズビアーニは多数のスパイクを繰り返して発生するパターンを示す.これ はブルカノ式噴火が繰返し発生したことによると推定される.このように異なる噴火推移タイプは異な る熱異常パターンを示す.このことから逆に,このような熱異常パターンの違いに基づいて,噴火推移 の類型化を行うことができる可能性がある.この際,パラレルタイムラインチャートを構成する様々な インデックスを使い,規模の違いや火砕流等イベントの発生状況等に関する情報も抽出し多角的な検討 を行う.当然のことながら,このようなデータベースの整備が進めば,観測への利用もでき,観測デー タのパターンから,どのような噴火が起き,どのように推移してるか,ある程度推定することが可能と なる.

データベースの推移予測への応用としては,あるインデックスの特徴的な変化時期に噴火が発生する ものがあり,観測でインデックスの変化を注視することにより,噴火の発生をある程度予見することが できる可能性がある.例えば,浅間2004年噴火や南米チリ・ラスカ1985-1994年噴火では,MODISの 3.7µmの熱異常の時系列変化において,熱異常が数ヶ月~数年の間隔のパルスを示し,そのパルスが低 下し,最低レベルとなったタイミングに爆発的噴火が発生している(図5).MODISの3.7µmの熱異常 の観測から,その低下状況を監視する等の方法により,爆発的噴火の発生を予見へと繋げることができ る可能性がある.データベースの構築を進める中で,このような予測に利用可能な推移の類型を見出し, 複数のインデックスで多角的に変化を捉え,より角度の高い推定に繋げられるようにする必要がある.



図5 データベースの噴火予測への応用.