ALOS「だいち」により観測された霧島山新燃岳山頂火口の変化について

Change in the Shinmoedake Crater of Kirishimayama Volcano Observed by ALOS / DAICHI

安藤 忍1

Shinobu ANDO¹

(Received July 23, 2012: Accepted March 7, 2013)

1 はじめに

2011 年 1 月 19 日, 鹿児島・宮崎県境に位置する 霧島山新燃岳で始まった噴火活動は, 26 日には約 300 年ぶりの本格的なマグマ噴火に移行し, 28 日に は山頂火口内において溶岩が噴出し蓄積, その後山 頂火口内に生成された溶岩ケーキは直径 600m の大 きさまで成長した.

一般的に、火山活動を評価する上で地殻変動の推 移を把握しモニタリングすることは非常に重要であ る.しかし、地殻変動のモニタリングや目視観測は、 活発な噴煙活動を伴うような火山活動初期には困難 な場合が多い.地殻変動をモニタリングする手段に ついては、有効な手段のひとつとして GPS (Global Positioning System)による観測が挙げられるが、観 測を行うためには、あらかじめ対象となる地表に受 信機を設置する必要があり、噴火開始後に火口近傍 に多点展開するのは容易ではない.火山活動初期の 目視観測については、これまで航空機などを使った 観測が行われてきたが、観測時の天候などにも左右 され、やはり火口近傍の状態を把握することは容易 ではなかった.

このため、気象研究所では、火山活動評価手法の 高度化の研究のひとつとして、前述の欠点を補うこ とが可能な衛星を使った観測に取り組んでおり、噴 火前後に得られた観測データを用いて霧島山(新燃 岳)周辺における解析を行った。

2006年1月24日に種子島宇宙センターで打ち上 げられた陸域観測技術衛星<u>A</u>dvanced<u>L</u>and<u>O</u>bserving <u>S</u>atellite(日本名:だいち,以下,「ALOS」という.) は,災害監視や地図作製等を目的に全地球規模で観 測が行われている.ALOS は 2 つの光学センサ <u>P</u>anchromatic <u>R</u>emote-sensing <u>Instrument</u> for <u>S</u>tereo <u>Mapping</u>(以下,「PRISM」という.)及び Advanced <u>Visible and Near Infrared Radiometer type 2</u> (以下, 「AVNIR-2」という.) と 1 つのマイクロ波センサ Phased Array-type L-band Synthetic Aperture Radar (以 下,「PALSAR」という.)を搭載しており,その主 な諸元は Table 1 の通りである. 2.5m の高分解能を 持つ PRISM は、パンクロマチック立体視センサと呼 ばれ,前方視,直下視,後方視の3方向のデータを 組み合わせることで高精度の地形データを取得する ことが可能である.また,10mの分解能を持つ AVNIR-2の光学センサは、可視から近赤外域までの 4 つの観測波長帯を有しているため、これらの組み 合わせにより土地被覆分類図などの作成が可能であ る. AVNIR-2 で得られたデータは、波長帯の組み合 せによりカラー画像で表示できることから, その画 像は直感的に理解することができるが、PRISM で得 られたデータとパンシャープン処理を行うことで, 擬似的な高分解能カラー画像を得ることも可能であ る.一方, PALSAR は、マイクロ波センサ特有の性 質から斜め上空から観測する必要があり、得られた 画像は光学センサと違い、画像化しても直感的には 理解しにくい.しかしながら,天候や昼夜の時間帯 に左右されることなく対象地域のデータを取得でき る能動型センサであるため、観測時における制約が 少ない.特に、マイクロ波の特徴の1つであるコヒ ーレント(可干渉)性の高さを利用した SAR 干渉解 析は、衛星方向の変化を数 cm の精度で検出するこ とが可能であり,地殻変動観測に非常に有効な手法 である(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2011).

「ALOS データによる火山活動の評価及び噴火活動の把握に関する共同研究」について JAXA と協定

¹ 気象研究所地震火山研究部, Seismology and Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute

を締結している火山噴火予知連絡会の衛星解析グル ープ(通称:火山ワーキンググループ)は,霧島山 新燃岳における一連の火山活動を受けて,霧島山周 辺における ALOS 緊急観測を提案し,直ちに計画さ れ山頂火口周辺の撮像が行われた.今回の一連の噴 火が始まった 2011 年 1 月 19 日以降,ALOS が衛星 の電力異常で停止する 4 月 22 日までの間に,光学セ ンサについては 36 回,SAR センサについては 28 回 の撮像機会があった.このうち光学センサについて は,天候や噴煙などの影響により火口周辺の観測が できなかった事例を除く 17 回について,また SAR データについてはすべてのデータについて以下に 述べる.

2 光学センサによる画像判読解析

ALOS には 2 つの光学センサが搭載されている. 光学センサはその性質上,マイクロ波センサと異な り,日中のみ観測可能である(夜間も観測可能であ るが,光源がないため実質的に画像として認識でき ない).このため,光学センサの観測は ALOS の軌 道上,南行軌道のみでの観測となる.PRISM は前方 視,直下視,後方視の 3 方向の観測が可能であるが, これらの組み合わせによる観測モードが 9 通り存在 し,どの観測モードを使うかについては,JAXA の オペレータにより制御されている.一方,AVNIR-2 は,4 つの波長帯を同時に使用して観測することに より,画像処理の段階で得られたデータを組み合わ せ、画像解析の目的に応じたカラー画像を得ること が可能である.また、大規模災害などの緊急時には、 衛星の進行方向に対して 90 度の方向にカメラを向 けることのできるポインティング機能(最大±44°) を使い、最短で2日以内に災害発生後の該当地域を 撮像することが可能である.

霧島山(新燃岳)周辺において 2008 年 3 月から 2011 年 4 月中旬までに撮像された PRISM 及び AVNIR-2 のデータを Table 2 に示す. 先に述べた通 り, AVNIR-2 データは波長帯の異なる4つのセンサ を有しているので、各データを合成処理することに よりカラー画像で表示することができ、得られた画 像は直感的に理解することが可能である.また、そ の画像は単独でも 10m の解像度を有しているため, 十分に画像判読に耐え得るが,本報告では,噴火前 と噴火後について各々2 時期のデータに対して, HSV パンシャープン処理を適用し、新燃岳周辺の詳 細な画像判読についても試みた. HSV パンシャープ ン処理とは、マルチスペクトル画像 RGB(赤,緑, 青)をHSV(色相,彩度,明度)に変換した後,V (明度)成分を高分解能データ(PRISM)に置換し、 再び RGB に逆変換処理する手法であり、詳細な衛

星画像判読に有効な手段の一つである. なお, これらの処理には汎用ソフト ENVI (Ver 4.7)を使用した. また, AVNIR-2 データについては近赤外波長帯を使用した False Color 画像 (R:band4, G:band3, B:band2)による表現方法を用いた. これらの結果をFig. 1 に示す.

Sensor	Wavelength (μ m)	Spatial Resolution (m)	Swath Width (km)	Pointing Angle (degree)	
PRISM	0.52 to 0.77	2.5 (at Nadir)	70 (Nadir only) 35 (Triplet mode)	-1.5 to +1.5 (Triplet Mode, Cross-track direction)	
AVNIR-2	Band1:0.42 to 0.50 Band2:0.52 to 0.60 Band3:0.61 to 0.69 Band4:0.76 to 0.89	10 (at Nadir) 20 (at – 44 or + 44)	70 (at Nadir) 160 (at – 44 or + 44)	- 44 to + 44	
PALSAR	Chirp Bandwidth (MHz)	Range Resolution (m)	Observation Swath (km)	Incident angle (degree)	
Fine mode	28 14	7 to 44 14 to 88	40 to 70	8 to 60	
Polari metric	14	24 to 89	20 to 65	8 to 30	

Table 1 Main ALOS features.

Sensor	Path	Frame	Date and Tir	me (UTC)	Pointing angle	Sun Angle Elevation	Memo
AVNIR-2	83	2960	2008 03 28	2.05	0.0°	56 0°	Fig 1 ①
PRISM	83	2955	2008.03.28	2.05	0.0	50.0	Fig. 1-(])
AVNIR-2	83	2960	2008 11 12	2.06	0.00	20.00	Fig 1
PRISM	83	2955	2008.11.15	2.00	0.0	39.0	1 ig. 1-(2)
AVNIR-2	90	2940	2011.01.31	2:19	+27.0°	38.0°	Fig. 1-(3)
AVNIR-2	74	2980	2011.02.04	1:45	-31.0°	36.0°	Fig. 1-④
AVNIR-2	93	2940	2011.02.05	2:25	+35.0°	40.0°	Fig. 1-(5)
AVNIR-2	85	2950	2011.02.07	2:08	+10.0°	39.0°	Fig. 1-6
AVNIR-2	83	2960	2011 02 10	2:04	0.0°	42.0°	F: 1 @
PRISM	83	2955	2011.02.19				F1g. 1-(7)
AVNIR-2	78	2970	2011.02.26	1:53	-18.0°	43.0°	Fig. 1-(8)
AVNIR-2	84	2960	2011.03.08	2:05	+6.0°	48.0°	Fig. 1-(9)
AVNIR-2	76	2970	2011.03.10	1:48	-25.0°	47.0°	Fig. 1-10
AVNIR-2	95	2930	2011.03.11	2:29	+40.0°	52.0°	Fig. 1-(1)
AVNIR-2	98	2920	2011.03.16	2:35	+44.0°	54.0°	Fig. 1-(12)
AVNIR-2	71	2980	2011.03.17	1:38	-38.0°	48.0°	Fig. 1-(13)
AVNIR-2	90	2940	2011.03.18	2:18	+28.0°	53.0°	Fig. 1-(14)
AVNIR-2	88	2950	2011.03.30	2:13	+20.0°	58.0°	Fig. 1-(15)
AVNIR-2	83	2960	2011.04.06	2.02	0.08	50.09	Ein 1 @
PRISM	83	2955	2011.04.06	2:03	0.0*	59.0*	Fig. 1-(16)
AVNIR-2	94	2930	2011.04.09	2:26	+38.0°	63.0°	Fig. 1-①
AVNIR-2	86	2950	2011.04.11	2:09	+14.0°	62.0°	Fig. 1-(18)
AVNIR-2	97	2930	2011.04.14	2:32	+44.0°	65.0°	Fig. 1-(19)

Table 2 AVNIR-2 and PRISM data used in this study.

2008 年 3 月及び 11 月には, 霧島山(新燃岳)の 山頂火口内において,火口湖の存在が明瞭に確認で きるが,大量の降灰や噴石を伴う中規模噴火に移行 した後の 2011 年 1 月 31 日の画像からは、山頂火口 から噴出する激しい噴煙が確認できる一方で、この 噴煙のために山頂火口内の様子は確認できない状態 であった. さらに, 2月4,5日の画像からも,引き 続き山頂火口から噴煙が激しく上がっていることが 確認できるが、その噴出孔は、主に山頂火口の中心 部及び東寄りに位置していることが判読できた. 噴 煙の少ない2月7日の画像では、山頂火口において 溶岩が蓄積されていることが判読でき,噴火前に存 在していた火口湖は完全に消滅していることが分か った.また、2月19日の画像からは、蓄積されてい た溶岩が山頂火口内をほぼ満たしている様子が確認 でき, 噴気の位置については, 山頂火口の北北西, 西南西, 南東の3か所が中心となっていることが判 読できた.この状態は2月26日に撮像された画像で は、さほど明瞭ではないが、3月前半に撮像された

画像からも勢いは2月上旬に比べて幾分弱くなった ものの噴煙が確認された.3月後半から4月にかけ ての画像においては,引き続き3か所から噴煙が出 ていることが確認できるが,南東側の火孔が一番活 発な噴煙活動を伴っており,西南西の火孔は弱い噴 気程度になっていることが判読できた.

3 SAR 強度画像による画像判読解析

PALSAR を使って得られる SAR 強度画像は,衛星 から発射されたマイクロ波が対象物で反射する後方 散乱強度に比例して,明暗の画像が得られる.これ ら後方散乱強度の変化はマイクロ波の波長,入射角, 偏波に依存しており,特に地表面の凹凸の影響を強 く受ける.即ち,マイクロ波の入射方向に対して対 象物が滑らかであれば,前方散乱成分が強くなり, 得られる画像は暗くなるが,逆に対象物に粗い面が 卓越していれば,後方散乱成分が強くなるため,結 果として明るい画像が得られることになる.

験震時報第77巻第3号



Fig. 1 Satellite images of the descending orbit by ALOS (AVNIR-2 and PRISM). Numbers indicate AVNIR-2 and PRISM data in Table 2. Numbers in parentheses indicate the pointing angle. The pointing angle of AVNIR-2 is from -44.0 to +44.0 degrees. Short and long white arrows in each image indicate the look direction (range) and the flight direction (azimuth), respectively. Each image is a false color composite of AVNIR-2 bands 4, 3, and 2.

Sensor (Orbit)	Path	Frame	Date and Time (UTC)		Off-nadir angle	Mode	Memo
	424	620	2010.11.20	13:45	34.3°	FBD	Fig. 2-(1)
	428	620	2011.01.27	13:53	43.4°	FBS	Fig. 2-(2)
	420	630	2011.01.29	13:35	21.5°	FBS	Fig. 2-③
	431	610	2011.02.01	13:59	47.8°	FBS	Fig. 2-④
	423	630	2011.02.03	13:42	30.8°	FBS	Fig. 2-(5)
	426	620	2011.02.08	13:48	38.8°	FBS	Fig. 2-6
DALCAD	421	630	2011.02.15	13:37	25.8°	FBS	Fig. 2-⑦
PALSAR (Ascending)	432	610	2011.02.18	14:00	50.0°	FBS	Fig. 2-(8)
(Ascending)	424	620	2011.02.20	13:43	34.3°	FBS	Fig. 2-(9)
	427	620	2011.02.25	13:50	41.5°	FBS	Fig. 2-10
	422	630	2011.03.04	13:39	28.8°	FBS	Fig. 2-11)
	428	620	2011.03.14	13:51	43.4°	FBS	Fig. 2-12
	420	630	2011.03.16	13:34	23.1°	PLR	Fig. 2-13
	431	610	2011.03.19	13:58	47.8°	FBS	Fig. 2-(14)
	424	620	2011.04.07	13:42	34.3°	FBS	Fig. 2-15
	73	2980	2011.01.18	1:43	34.3°	FBS	Fig. 3-(1)
	71	2980	2011.01.30	1:39	38.8°	FBS	Fig. 3-②
	74	2970	2011.02.04	1:45	30.8°	FBS	Fig. 3-(3)
	66	2990	2011.02.06	1:28	47.8°	FBS	Fig. 3-④
	77	2970	2011.02.09	1:51	21.5°	FBS	Fig. 3-(5)
	69	2980	2011.02.11	1:34	43.4°	FBS	Fig. 3-6
	64	2990	2011.02.18	1:23	50.0°	FBS	Fig. 3-⑦
	67	2990	2011.02.23	1:30	46.6°	FBS	Fig. 3-(8)
PALSAR	70	2980	2011.02.28	1:36	41.5°	FBS	Fig. 3-(9)
(Descending)	73	2980	2011.03.05	1:42	34.3°	FBS	Fig. 3-10
	65	2990	2011.03.07	1:25	49.0°	FBS	Fig. 3-(1)
	68	2980	2011.03.12	1:31	43.4°	FBS	Fig. 3-(12)
	71	2980	2011.03.17	1:38	38.8°	FBS	Fig. 3-(13)
	77	2970	2011.03.27	1:50	21.5°	PLR	Fig. 3-(14)
	69	2980	2011.03.29	1:33	41.5°	FBS	Fig. 3-(15)
	67	2990	2011.04.10	1:28	46.6°	FBS	Fig. 3-16
	70	2980	2011.04.15	1:35	41.5°	FBS	Fig. 3-17)
	73	2980	2011.04.20	1:41	34.3°	FBS	Fig. 3-(18)

Table 3 PALSAR data used in this study.

Fig. 2 (北行軌道, Ascending) 及び Fig. 3 (南行軌道, Descending) に噴火前後における SAR 強度画像を示した.また,各々の撮像日時及びオフナディア角などを Table 3 に示す.

2章で触れたように、1月26日に始まった本格的 マグマ噴火以前には、新燃岳山頂火口内に火口湖が 存在していた.ため池や河川など、比較的表面が穏 やかな水面にマイクロ波が入射した場合、一般的に 後方散乱は弱くなり画像化した時に暗く表現される. このことを裏付けるように、噴火前の2010年11月 20日(北行軌道)及び2011年1月18日(南行軌道) のSAR強度画像においては、山頂火口内に火口湖の 存在を示す暗い円形の部分が確認できる.しかし, 本格的マグマ噴火後の1月27日(北行軌道)の SAR 強度画像では,その部分が確認できず,火口湖が消 滅していることが判読でき,中央部には新たに強度 の強い部分が出現していることが確認できる.これ は光学画像などの結果も併せて解釈すると,この段 階で,溶岩の噴出が始まったことを示唆している.

さらに、2日後の1月29日(北行軌道)の画像で は、その大きさが徐々に拡大していることが確認で き、1月30日(南行軌道)及び2月1日(北行軌道) の画像からは、火口内に埋められた溶岩ケーキの直 径は約500mの大きさまで成長したことが判読でき る. この期間中,火山噴火予知連絡会の衛星解析グ ループからの提案により,可視センサによる緊急観 測が実施されたが,火山活動の推移に伴う活発な噴 煙活動のために,火口内及び周辺の詳細な可視画像 は得られていない (例えば, Fig. 1-③).

1月26日の鹿児島県の協力によるヘリコプターか らの上空観測では、火口内が噴煙で充満しているた め火口内の詳細については不明との報告がされてお り、その後の1月31日の海上自衛隊第72航空隊鹿 屋航空分遣隊の協力によるヘリコプターからの上空 観測まで、天候不良などの影響も含め可視による観 測はできていない.これらの事実は、火山噴火の発 生時に火口あるいはその周辺を詳細に把握する手段 として、噴煙などを透過して地表の状態を観測でき る SAR センサによる観測手法が非常に有効な手段 であることを示している.なお、気象庁はこれらの 解析結果をもとに火口からの警戒区域を 2km から 3kmに拡大する噴火警報を1月31日01時35分に 発表した.

その後, SAR 強度画像や光学画像の判読により, 山頂火口内に蓄積された溶岩は直径 600m 程度まで に成長し,火口壁の上端近くまで埋め尽くされたこ とが確認されている.また,2月中旬以降の画像で は、山頂火口内に蓄積された溶岩の表面において不 均質さが目立つようになり、2月上旬に火口壁近く まで蓄積されていた溶岩量はやや少なくなり、画像 からは火口内が陥没しているように見える.さらに, 3 月以降の画像からは、火口内南東縁部に反射強度 の強い部分が確認でき、光学画像との比較から解釈 すると、おそらく噴火活動の過程で生じた火孔を検 知していると考えられる.この火孔は3月以降,最 も活発な噴気活動をしているひとつであり, SAR 強 度画像では3月中旬にはかなり明瞭に確認でき、4 月にかけての画像を判読するとその大きさは徐々に 大きくなっていることが判読できる. なお, 溶岩ケ ーキが確認されて以降,2月上旬を中心に3月1日 まで爆発的噴火が計13回発生しているが、爆発的噴 火直後に撮像された SAR 強度画像では,山頂火口内 において画像に大きな変化はなく, 例えば, 蓄積さ

れた溶岩が大きく吹き飛ばされるなどの現象は発生 していないと考えられる.

2011 年 3 月 16 日には, ALOS の特徴のひとつで あるポラリメトリモードによる観測も行われた. 一 連の噴火活動前の 2009 年 6 月 10 日に撮像された画 像と同一範囲の画像を比較した結果を Fig. 4 に示す. ポラリメトリ解析は衛星から送信される水平偏波 (H)と垂直偏波(V)のマイクロ波を用いて、対象 物で反射されるマイクロ波の偏波やその散乱強度に より、受信される反射波から対象物の表面状態を判 読し、対象域の分類を行う解析手法である. ALOS の場合,一度の撮像で衛星におけるマイクロ波の送 受信の組み合せにより4つのデータが得られる.即 ち送信受信の順に HH, HV, VH, VV である.得ら れた観測データを2回散乱,体積散乱,1回散乱の 成分に分け、各々の成分を RGB に割当ててカラー 合成画像化(Pauli カラー合成)することで対象域に おける散乱強度の違いを表現することができる.Fig. 4 に示した通り画像範囲中のほとんどの部分で体積 散乱を示す緑色が検出され,植生域が広く分布して いると解釈できる.しかし,噴火後の山頂火口の南 東側では,噴火前に比べて1回散乱を示す青色の部 分が拡大しているのが分かる.これは、おそらく噴 火活動に伴う降灰による影響で、表面状態に変化が 起きたためと考えられる. なお, 噴火前の画像にお いても尾根沿いを中心に同様の1回散乱を示す部分 が検出されているが、これは比較的植生の少ない状 態(例えば登山道など)を示していると考えられる. また,噴火前の山頂火口内では,火口湖の存在のた め全反射を示す黒色の部分が確認できるほか、その 周辺においては, 非植生域が原因と考えられる青色 の部分が目立つ.これに対して,噴火後の画像から は溶岩の蓄積により火口湖が消滅し、体積散乱を示 す緑色の部分に変化していることが判読できる. も ちろん、溶岩が蓄積した直後の火口内において、植 生があるとは考えられないことから、これらの変化 は蓄積された溶岩の表面が粗い状態であることや表 面付近の誘電率が低いことが原因で、結果的に体積 散乱を起こしていると考えられる.



Fig. 2 SAR amplitude images in the ascending orbit by ALOS/PALSAR. Numbers indicate PALSAR data in Table 3. Numbers in parentheses indicate the off-nadir angle. The off-nadir angle indicates the angle between the nadir direction from the satellite and the slant range direction. Short and long white arrows in each image indicate the look direction (range) and the flight direction (azimuth), respectively. Yellow arrows indicate the new hole in the crater rim.

験震時報第77巻第3号



2011. 04. 15 (41. 5°)

2011.04.20 (34.3 $^\circ$)

Fig. 3 SAR amplitude images in the descending orbit by ALOS/PALSAR. Numbers indicate PALSAR data in Table 3. Numbers in parentheses indicate the off-nadir angle. The off-nadir angle indicates the angle between the nadir direction from the satellite and the slant range direction. Short and long white arrows in each image indicate the look direction (range) and the flight direction (azimuth), respectively. Yellow arrows indicate the new hole in the crater rim.



Fig. 4 SAR polarimetric image in the ascending orbit by ALOS/PALSAR. Both images are composed of Red: double bounce scattering, Green: volume scattering, Blue: surface scattering. These images are called "Pauli image" and indicate the surface scattering characteristics change before and after the eruption. In general, surface scattering components are prevalent in ponds and rivers. Double bounce scattering components are excellent for detecting buildings. Volume scattering components are prevalent in forest areas.

4 SAR 干涉解析

噴火前後に撮像されたデータを使って、干渉解析 を行い火山活動に伴う地殻変動の検出を試みた.解 析には SIGMA-SAR (Shimada, 1999)を使用し、干 渉縞から地形の影響(地形縞)を除去するための数 値標高モデル(DEM:Digital Elevation Model)につい ては、国土地理院から有償販売されている 50mメッ シュ標高を使用した.なお、解析ソフトの都合上、 新しい方の画像データを Master、古い方の画像デー タを Slave とした.Table 4 に示す干渉ペアから作成 した干渉画像を Fig. 5-1 及び Fig. 5-2 に示す.その結 果,2008 年 2 月 12 日と 2010 年 11 月 20 日の北行軌 道及び 2008 年 5 月 27 日と 2011 年 1 月 18 日の南行 軌道のペアでは、韓国岳から西南西約 5km の場所 (防災科学技術研究所の GPS 観測点「万膳」付近) までを中心に最大 4cm から 5cm 程度の衛星に近づく 方向の位相差が認められた.また、本格的なマグマ 噴火となった 2011 年 1 月 26 日を挟む 2010 年 11 月 20 日と 2011 年 2 月 20 日の北行軌道及び 2011 年 1 月 18 日と 2011 年 3 月 5 日の南行軌道のペアでは、 やはり同じ場所を中心とした最大 5cm から 6cm 程度 の衛星から遠ざかる方向の位相差が認められた.な お、これらの干渉処理では水蒸気補正の処理を行っ ていないため、マイクロ波遅延などの影響による見 かけ上のノイズ(誤差)が含まれる可能性があるこ とには注意したい.

Image No.	Scene Path-Frame	Orbit	Slave-Master (yyyy.mm.dd)	Span (days)	Bperp (m)	Cross-Track (degree)	Incident Angle (degree)
Fig. 5-1(1)	424-620	А	2008.02.12-2010.11.20	1012	-94	N80E	37.9
Fig. 5-1(2)	73-2980	D	2008.05.27-2011.01.18	966	144	N80W	37.1
Fig. 5-2③	424-620	А	2010.11.20-2011.02.20	92	1277	N80E	37.9
Fig. 5-2④	73-2980	D	2011.01.18-2011.03.05	46	396	N80W	37.1
Fig. 7	424-620	А	2008.02.12-2011.02.20	1104	1210	N80E	37.9

Table 4	Interferometric	pairs	used	in	this	study.
---------	-----------------	-------	------	----	------	--------

A: Ascending, D: Descending



Fig. 5-1 SAR interferograms generated from the ALOS/PALSAR before the eruption in late January (①: Ascending orbit, ②: Descending orbit). Symbols: orange circles, red circles, blue circles, black circles, and open triangle represent GPS observation stations of JMA, GSI, NIED, ERI, and mountain peaks, respectively.



Fig. 5-2 SAR interferograms generated from ALOS/PALSAR before and after the eruption in late January (③: Ascending orbit, ④: Descending orbit). Symbols: same as Fig. 5-1.

SAR 干渉解析結果から,霧島山の山体の西側を中 心に火山活動に伴う地殻変動が発生している可能性 が高いことから,より感度の高い北行軌道のペアで 得られた,本格的噴火前及び前後における干渉解析 結果を使って,火山用地殻変動解析ソフト MaGCAP-V(福井ほか,2010)を用いたグリッドサ ーチによる増圧源及び減圧源の推定を行った.この 結果についてFig. 6-1及びFig. 6-2 に示す.各々の期 間において球状圧力源(Mogi, 1958)を仮定した場 合,新燃岳山頂の西北西約 5km の場所において, 各々深さ約 6km, 6.2×10⁶m³の体積増加と,深さ約 7km, 1.2×10⁷m³の体積減少で干渉縞の説明が可能 なことが分かった.これらの結果は,国土地理院 (2012)や防災科学技術研究所(2012)で報告され ているように霧島山新燃岳周辺に展開されている GPS 観測網のデータを使った圧力源推定結果と概ね 調和的である.



Fig. 6-1 Pressure source of point calculated for Fig. 5-1-① of InSAR results. According to SAR interferogram generated from ALOS/PALSAR before the eruption, and when a Mogi-type point source was assumed, the forecasted volume of inflation was about 6.2×10⁶m³ at 6km depth according to MaGCAP-V (Fukui et al., 2010). Symbols: orange circles, red circles, blue circles, and pink cross represent the GPS observation station of JMA, GSI, NIED and the pressure source point, respectively.



Fig. 6-2 Pressure source of point calculated for Fig. 5-2-(3) of InSAR results. According to SAR interferogram generated from ALOS/PALSAR before and after the eruption, and when a Mogi-type point source was assumed, the forecasted volume of deflation was about $1.2 \times 10^7 \text{m}^3$ at 7km depth according to MaGCAP-V (Fukui et al., 2010). Symbols: same as Fig. 6-1.

また,噴火前の2008年2月12日と2011年2月 20 日の北行軌道のペアでは新燃岳火口の南東側の 尾根沿いを中心に急激な位相変化が認められた (Fig. 7の赤破線で囲んだ付近).通常, SAR のような長波 長域のマイクロ波は,砂地などの対象物の場合,反 射が定まらずコヒーレント性が維持できない.また, 噴火前後など大きく地形変化が生じた場合にも干渉 しない.しかし、降り積もった火山灰などが、雨な どの影響により一時的に固形化していて、地形その ものが大きく変化していない場合に限って干渉処理 が成功する場合もある(松島ほか,2008).霧島山新 燃岳の一連の活動中に撮像されたデータを用いた干 渉解析では、本ペアでのみ明瞭な位相差を得ること ができた、このことから、本格的なマグマ噴火に伴 う大量の火山灰が風下側である南東側に降り積もり, 一時的に蓄積した結果、擬似的な地殻変動として検 出された可能性が考えられる.なお、ほかのペアで これらの位相変化が検出できなかったのは、干渉解 析を行う上での条件(例えば,軌道間距離や大気ノ イズなど)が整わなかったことなどが原因として考

えられる.

5 まとめ

噴火活動が活発な状態の場合には,現地観測は危 険を伴うため、衛星などを使ったリモート観測が有 効な手段である.本報告では、2011年1月に噴火し た霧島山新燃岳について, ALOS を使った解析を行 い,その結果を取りまとめた.光学センサを使った 解析では、得られたデータを合成することで、高解 像度で山頂火口周辺の詳細な状態を把握することが できた. さらに, SAR 強度画像を用いることにより 夜間や天候の悪い場合や噴煙活動の活発化などで火 口内を目視出来ない場合においても,刻々と変化す る山頂火口周辺の状態を把握することが可能となり, 噴火警報の発表に資する情報として利用された.ま た,山頂火口内に新しく生じた火孔についても明瞭 に検知され、火山活動の推移を把握する上で有効な 手段であることが分かった. さらに, SAR 干渉解析 では,噴火前,噴火前後のペアにおいて,火山活動 に関連した地殻変動が検出された. グリッドサーチ

による圧力源推定では、新燃岳山頂の西北西約 5km を中心とした体積の増加・減少が推定され、GPS デ ータなどによる解析結果と整合的であることが確認 された.



Fig. 7 SAR interferograms generated from ALOS/PALSAR before and after the eruption in late January. White triangles indicate the summits of volcanoes around Kirishimayama. The full color scale represents a displacement of 11.8cm in the line of sight (LOS). Ground deformation was detected in the direction toward the satellite in its LOS at the southeast area of Shinmoedake. Red dashed ellipses which indicate the phase change may have been detected by the accumulation of ash. Symbols: same as Fig. 5-1.

謝辞

本解析で用いた 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. また, ALOS/PRISM 及び AVNIR-2 データと一部 の 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(火山ワーキンググループ)に基づいて、JAXA に て観測・提供されたものである. ALOS/PRISM 及び AVNIR-2 データに関する原初データの所有権は JAXA にある. 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. PALSAR の解析には、JAXA の島田政信氏により開発された"SIGMA-SAR"を, ALOS/PRISM 及び AVNIR-2 データの解析については, ENVI (Ver.4.7) をそれぞれ使用した. ここに記して御 礼申し上げる. また, 今回の霧島新燃岳噴火に際して は、ALOS の緊急観測及び FTP サーバを使った観測デ ータの即時提供など多大な御協力を頂いた. JAXA を はじめとした関係者の皆様に深く感謝する. なお,本 稿を改善するにあたり1名の匿名査読者及び編集委員 会の内藤宏人氏,坂井孝行氏,長岡 優氏から頂いた 御意見は、本稿の改善にあたり非常に有益であった. ここに記して御礼申し上げる.

文献

- 国土地理院 (2012): 霧島山周辺の地殻変動, 火山噴火予知 連絡会会報, **108**, 197-220.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2011): 合成開口 レーダーによる地震活動に関連する地殻変動観測手法 について, 106pp.
- 福井敬一・安藤 忍・高木朗充・鬼澤真也・新堀敏基・山 里 平・大須賀弘 (2010): 火山用地殻変動解析支援ソフ トウェアの開発 (3) -EDM, InSAR データ解析機能, 簡 易版動的解析機能の組み込み, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集, SSS014-P02.
- 防災科学技術研究所 (2012): 2011 年霧島山(新燃岳)噴火 に対応した地殻変動,火山噴火予知連絡会会報,108, 221-226.
- 松島 健・田部井隆雄・渡部 豪・加藤照之・中田節也・ 森田裕一・前野 深・渡邉篤志・及川 純 (2008): 北マ リアナ諸島アナタハン火山における測地観測,日本火山 学会 2008 年秋季大会予稿集, P59.

Mogi, K. (1958): Relations between the eruptions of various

volcanoes and the deformations of the ground surfaces around them, Bull. Earthquake Res. Inst., **36**, 99-134.

Shimada, M. (1999): Verification processor for SAR calibration and interferometry, Advances in Space Research, 23, 8, 1477-1486.

(編集担当 坂井孝行・長岡 優)