

航空機搭載型合成開口レーダ（航空機 SAR）による浅間山火口内の観測 Observation of Summit Crater of Asama Volcano by the Airborne Synthetic Aperture Radar

測図部 浦部ぼくろう・渡辺信之

Topographic Department Bokuro URABE and Nobuyuki WATANABE

地理地殻活動研究センター 村上 亮

Geography and Crustal Dynamics Research Center Makoto MURAKAMI

要 旨

浅間山火山では、2004 年 9 月 1 日以降噴火が続いている。噴火により発生する災害を予測するためには、火口周辺の状況を観察することが重要であるが、噴火開始以来、浅間山の火口クレーター内は常時噴煙に覆われており、火口内の状況を目視や通常の光学機器によって観測することが困難な状態が続いている。

合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar: SAR）は、マイクロ波を能動的に照射して対象物の形状などを面的に計測するリモートセンシング技術である。マイクロ波の特性を利用することで夜間や雲・噴煙下でも地表の状況を把握することができるほか、航空機に搭載することにより多方向・多高度の映像が得られることから、航空機 SAR は火山観測に特に有効な技術である。

測図部では、火山活動が続いている浅間山の火口付近において航空機 SAR を用いて繰り返し観測を行った。それにより明らかになった火口内部の地形変化について報告する。

1. 航空機 SAR による地形観測

航空機 SAR は、飛行中の航空機から進行方向側方斜め下にマイクロ波を発射し、地表面からの反射電波の強度と位相を受信して画像を得る高分解能映像レーダである。国土地理院所有の航空機 SAR は、図-1 に示すように、反射されたマイクロ波を受信するための二つのアンテナがある。これにより同一の地物から反射されたマイクロ波を位置の違う二つのアンテナで受信することができ、受信マイクロ波の位相差を利用して干渉処理を行うことにより数値標高モデル（DEM）を作成できる。

SAR による地形観測には主に以下のような特徴がある。

1) 雲・噴煙下での情報取得が可能

SAR はマイクロ波を使用するため、雲や噴煙下、夜間など光学カメラでは撮影が不可能な状況下でも情報が取得できる（図-2）。このことは、噴火中の火山における火口内部の観測など、通常の写真やレーザによる地形観測が困難な状況においては大き

な利点となる。

2) 航空機搭載により機動的な観測が可能

航空機に搭載した SAR は、多方向観測が可能であることや、高頻度撮影が可能なこと、また高度など撮影パラメータの設定が比較的自由であることから、火山観測に用いられ効果をあげている（国土地理院地理地殻活動研究センター地殻変動研究室, 2002, 佐藤 他, 2002, 宮脇 他, 2002）。

3) レンジ方向歪みとレーダシャドウ領域

SAR はレーダから地上までの距離を測定し画像化するため、レンジ方向（マイクロ波送信方向）では標高が高いほどレーダに近い側に倒れこんで映るレーダ特有の歪みが生じる。しかしアジマス方向（航空機の飛行方向）には歪みが生じない。また、SAR はマイクロ波を斜め下に発射するため、山など標高差が大きい地域においてはマイクロ波が届かないレーダシャドウと呼ばれる領域が発生する。航空機 SAR の場合、多方向からデータを取得し、各データを合成する手法がこの領域を補うのに有効である。これにより、火口内部のような狭隘な地形でもシャドウ領域の少ない画像を得ることが出来る。

2. 航空機 SAR による浅間山火口クレーターの観測

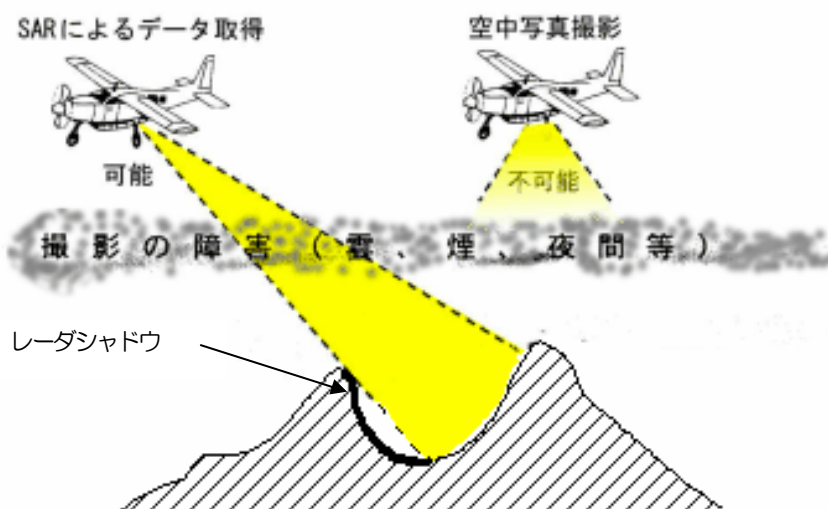
測図部では、2004 年 9 月 1 日の浅間山噴火以降、航空機 SAR による火口付近の観測を繰り返し行い、火口内部の地形変化の調査を行った。

観測は、前述の SAR の特性と浅間山火口の形状等を考慮し行い、観測データより作成した SAR 再生画像による地形判読の他、噴火前最新の DEM と観測データより 5m 間隔で作成した DEM との比較による噴出量の算出などを行った。

なお、使用した噴火前の DEM は、2003 年に国土交通省関東地方整備局利根川水系砂防事務所がレーザスキャナにより観測したデータから、国土地理院が作成したものである。



図ー1 国土地理院所有の航空機 SAR 装置(左)と航空機への搭載状況(右)



図ー2 航空機 SAR による観測の特徴

2. 1 観測概要

観測に当たって、火口内部の情報を可能な限り取得できる最適な観測方向及びオフナディア角を決定した。その上で、噴火活動による地形の変化を把握するため、2004年9月から翌年3月にかけて、使用するマイクロ波のバンドの異なる2機種(Xバンド、Kuバンド)のSARを用い計4回観測を行った。表ー1に、それぞれの観測条件を示す。

2. 2 画像判読

観測データから作成した再生画像を目視で判読し、火口内の変化を調査した。図ー3に各観測データから作成した再生画像、及び判読結果を用いて描いた模式図を示す。

表ー1 2004年浅間山噴火に伴う航空機 SAR 観測の条件

観測時期	観測方向	オフナディア角	観測高	観測バンド (周波数)	分解能
9月16日	8方向 (火口中心から2kmと3km離れた位置より 東西南北方向を観測)	55度	4,250m	Xバンド (9.5GHz)	1.5m
10月22日	4方向 (火口中心から2km離れた位置より東西南 北方向を観測)	55度	4,250m	Xバンド (9.5GHz)	1.5m
12月15日	3方向 (火口中心から2km離れた位置より西,南, 北方向を観測)	55度	4,250m	Xバンド (9.5GHz)	1.5m
3月10日	4方向 (火口中心から2km離れた位置より東西南 北方向を観測)	55度	4,250m	Kuバンド (16.7GHz)	0.3m

2. 3 画像判読結果の考察

9月16日観測の再生画像では、東西南北のどの方向から撮影した画像にも、火口クレーター内やや北東方向では同心円状の構造をもった地形が確認できた。この位置は従来はくぼ地になっていた場所であり、影のつき方から上に膨らんだ地形と考えられ、横に広がるドーム状の形をしていると考えられる。噴火前のDEMとの比較から、その形成は9月1日の噴火後である蓋然性が高い。また、反射強度がやや弱いこと、同心円状の構造が読み取れること、全体として滑らかに見えることから、粘性のやや大きいマグマが間歇的に噴出し、餅を重ねた薄いドーム状の形状が形成されたと推定される。

10月22日観測の再生画像では、9月16日時点で確認した同心円状地形のあった場所が、直径約50mのくぼ地となっていることを確認した。気象庁の観測(気象庁, 2005)によれば、9月16日のSAR観測以降2回の中爆発があり、このくぼ地はそれによって形成されたと思われる。

12月15日観測の再生画像では、依然火口底が噴出物で覆われていること、火口底の北東部に盛り上がった部分があるが、全体の形状は浅いすり鉢状となっていることを確認した。前回のSAR観測以降さらに1回の中爆発が観測されており、それによりこうした形状の変化が生じたと考えられる。

3月10日観測の再生画像では、12月15日観測画像と比べ大きな地形変化は見られないが、外輪部の影響による影の部分がやや大きくなっている。これは火口底がやや低下していることを表している。また、3月10日の画

像はKuバンドSARを使用した解像度の高い観測によるものであり、これまで判読できなかった火口中心に向かったすり鉢状の形状もかなり鮮明に確認することができる。

2. 4 火口底変動量および噴出量の解析

火口底の上下変動を確認するため、噴火前のDEMと各観測データから作成したDEMとの比較を行った。図ー4に時系列火口断面図(北東より南西方向)を示す。

9月16日の観測データでは、噴出した溶岩のピークの標高は約2,380mであり、火口外縁の最も低い所から約120m下のところまで達していた。DEMの差分を取ったところ、火口底に噴出した溶岩は約90万m³であること、最厚部で噴火前に比べ約65m盛り上がっていることが確認できた。

10月22日の観測データでは、火口底に噴出した溶岩の総量は約210万m³であり、溶岩の最厚部は約75mであった。噴出した溶岩のピークの標高は、約2,430mであり、火口外縁の最も低い所から約70m下のところまで達していた。また、9月16日から10月22日までの噴出量は約120万m³であることが分かった。

12月15日の観測では、火口底の北東部に20m程度盛り上がった部分があるが、全体としては10~15m程度低くなっていた。また、最も低い所の標高は約2,360mであり、10月22日より約10m低下していることが分かった。

浅間山火口 SAR 画像(北側から観測)

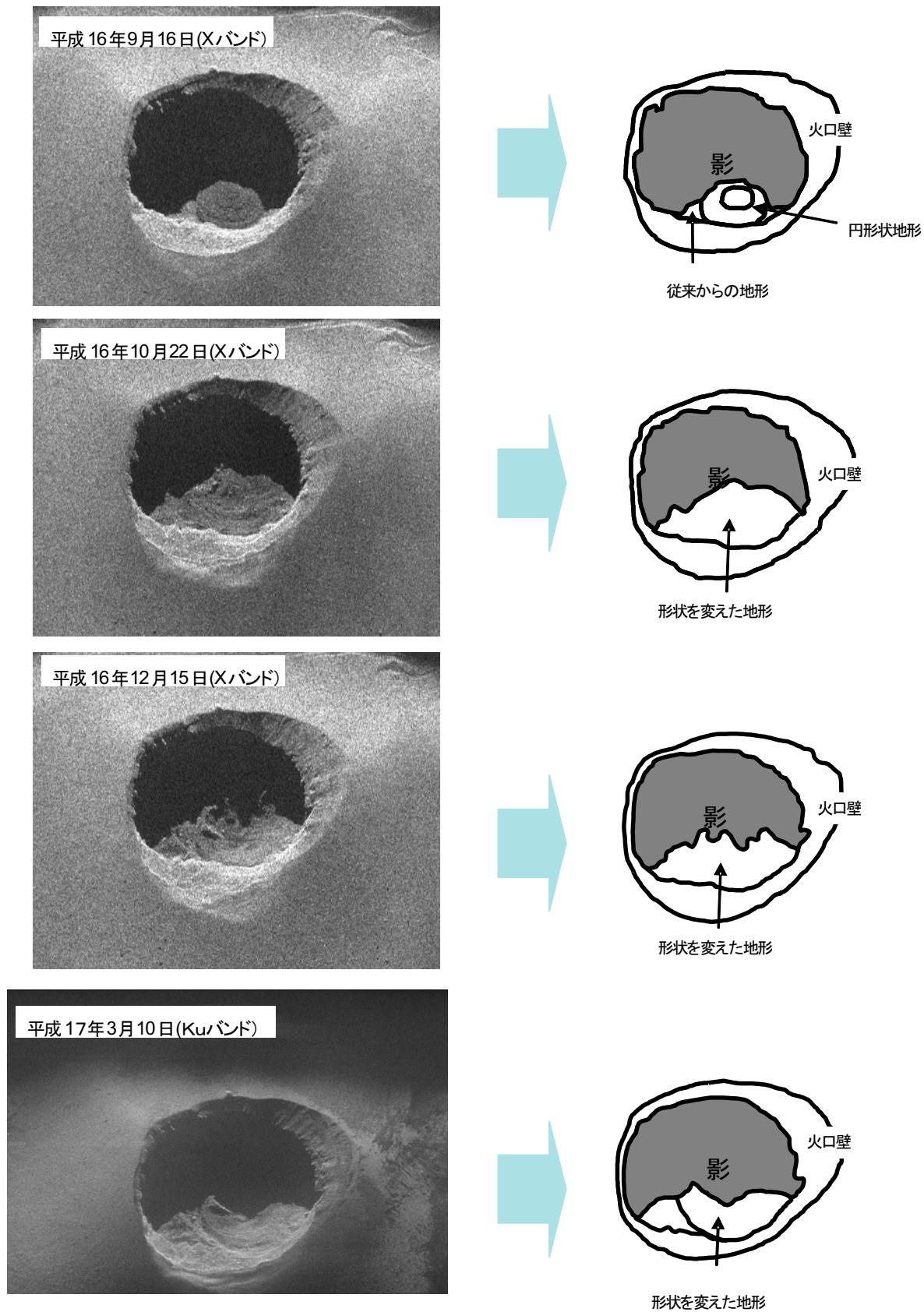


図-3 航空機 SAR 観測データの再生画像と判読結果

SAR 観測データから作成した DEM の精度については、地形変化のない山腹においてレーザ観測による DEM と比較する手法で検証を行った（3 月 10 日観測データについては未検証）。その結果を表 2 に示す（宮脇, 2005）。相対的な誤差は約 2-4m とみることができ、十分な精度で火口底内の地形変化が把握されていると考えてよい。

3. まとめ

今回の浅間山観測の結果、噴煙のため通常の写真観測が不可能な火口底の地形について、航空機 SAR により詳細に把握できることが実証された。また、比較的短期間に繰り返し観測を実施したことにより、火口底の地形変化を逐次把握することが出来、危険の兆候を予見する可

能性が示された。今回の噴火では、幸い大きな災害には至っていないが、今後も航空機 SAR による観測を続けることにより火山活動の動静を見守っていくことが必要である。

表 2 航空機 SAR による DEM と航空レーザスキャナによる DEM との比較

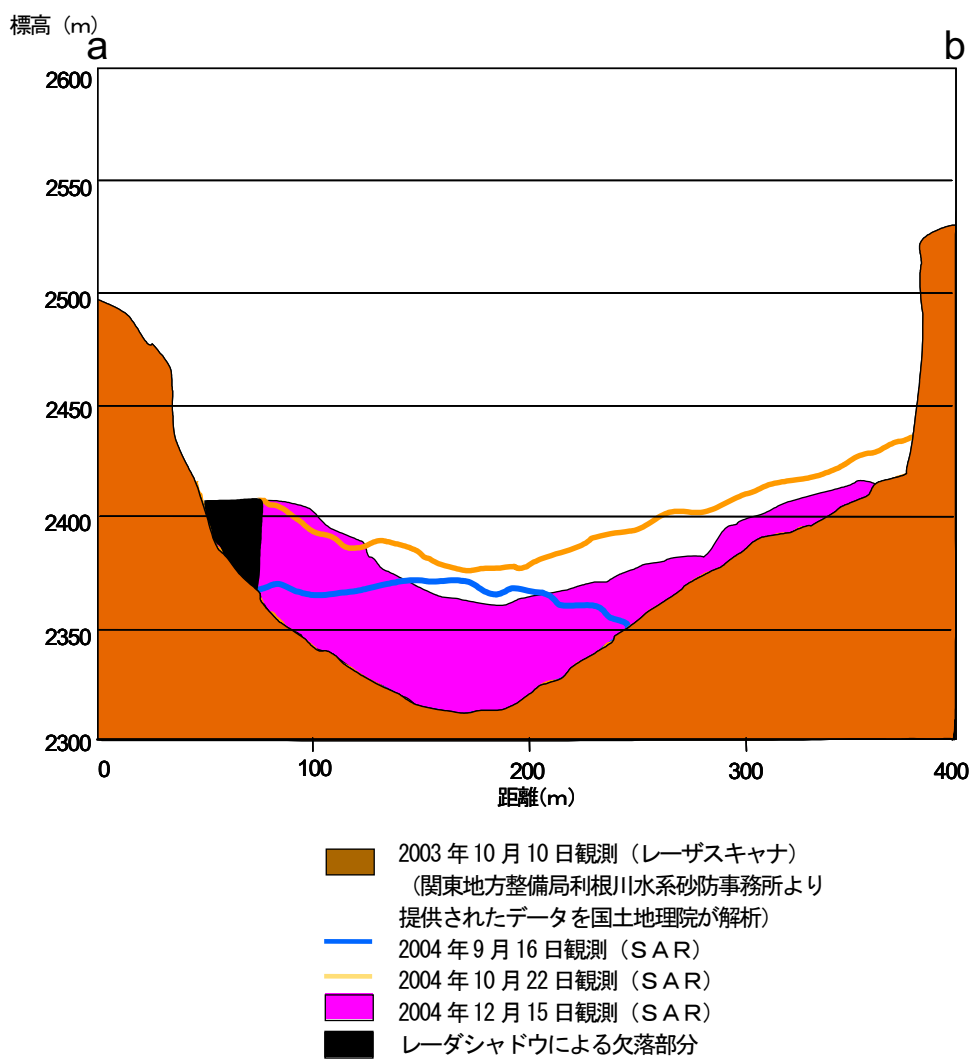
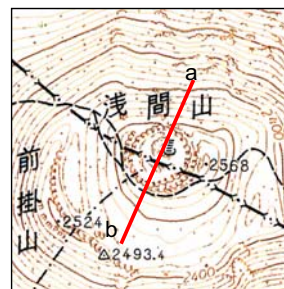
観測データ	SAR-レーザ (RMS)
9 月 16 日	2.03m
10 月 22 日	4.16m
12 月 15 日	2.91m

参 考 文 献

- 国土地理院(2000)：マイクロ波映像レーダの測量分野への利用に関する検討作業，国土地理院技術資料 C1-No. 278.
- 長谷川裕之，村上 亮，松尾 馨，政春尋志(2000)：写真測量による三宅島雄山火口の陥没量計測，日本写真測量学会平成 12 年度秋季学術講演会発表論文集，161-162.
- 長谷川裕之，村上 亮，政春尋志，松尾 馨，小荒井衛(2001)：三宅島山頂の陥没地形の計測，国土地理院時報，95，121-128.
- 飛田幹男，村上 亮，中川弘之，矢来博司，藤原 智(2001)：SAR 画像のマッチングによる有珠山周辺の面的な三次元地殻変動，変動速度，体積変化，国土地理院時報，95，37-48.
- 国土地理院地理地殻活動研究センター地殻変動研究室(2002)：干渉 SAR データの防災への有効利用に関する研究，国土技術政策総合研究所・国土地理院・土木研究所・建築研究所：『災害等に対応した人工衛星利用技術に関する研究総合報告書Ⅳ』，38-39.
- 佐藤 潤，飯田 洋，宮脇正典(2002)：地形計測における航空機搭載 SAR の活用—三宅島 2000 年噴火時の事例—，写真測量とリモートセンシング，Vol. 41 No. 4, 61-65.
- 宮脇正典，村田 稔，佐藤 潤，小荒井衛，水野時夫，渡辺信之，飯田 洋，山田陽子，津田勇介(2002)：航空機 SAR による三宅島火口の DEM 作成，SAR Workshop 2002 報告書，32-35.
- 宮脇正典(2005)：浅間山 SAR 観測による DEM 作成と精度評価について，作業レポート
- 村上 亮(2005)：GPS 連続観測結果が示唆する浅間火山のマグマ供給系，火山，浅間火山噴火特集号，投稿中.
- 大木章一，村上 亮，渡辺信之，浦部ぼくろう，宮脇正典(2005)：航空機搭載型合成開口レーダによる浅間山火口内の観測，火山，浅間火山噴火特集号，投稿中.
- 気象庁：浅間山火山活動の記録，http://www.seisvol.kishou.go.jp/tokyo/306_Asamayama/306_rireki.html (accessed 29 Jul. 2005).

浅間山火口断面図 (北東－南西方向)

2003年10月10日, 2004年9月16日, 10月22日
12月15日の4時期のデータを重ね合わせた断面図



図－4 浅間山火口の時系列断面図