

合成開口レーダ (SAR) を用いた雲仙岳の地形計測

建設省土木研究所 ○石川芳治、矢澤昭夫、小山内信智、矢島重美
(財)砂防・地すべり技術センター 安江朝光、阿部宗平
NEC 友田英助、篠原博、宮脇正典

1. はじめに

1991年以来雲仙岳で発生している火砕流は基本的には溶岩ドームの崩壊に起因するものであり、溶岩ドームの正確な形状、体積、位置、方向を知ることが火砕流の発生、流下予測を行う上で極めて重要である。しかしながら、溶岩ドームは標高約1,400mの雲仙岳山頂部にあるため雲が掛かりやすく、さらに常時噴煙が生じているため、可視光ではその全体を観測できる日数は限られており、特に梅雨期では溶岩ドーム全体を観測できる日は極めて僅かである。このため、従来から用いられている空中写真を用いた地形計測では、溶岩ドームの地形を随時計測することはできない。このような、従来の計測手法の問題点を解決する手法として、航空機に搭載した合成開口レーダ (SAR: Synthetic Aperture Radar) を用いて雲仙岳の地形計測を行い、我が国で初めて成功した。

今回用いた合成開口レーダ (SAR) では航空機に搭載した小さなアンテナ (開口が約30cm×10cm) から飛行しながら次々と地表に向けて電磁波 (波長が約3.2cmのマイクロ波) を発射し、同時に地表面からの反射波を2個のアンテナで受信して地表の各地点に関するデータを得た。得られた2つの反射波の位相のずれを用いてコンピュータ上で干渉させて、干渉縞画像を作成し、これをもとに地表面の標高を計測した。

2. 合成開口レーダの概要

合成開口レーダ (SAR) はマイクロ波を上空から地上に発射し、その反射波を受信することにより地球表面の起伏や特性を観測するために用いられる、能動型マイクロ波センサである。光学センサに比べて夜間、雨天または雲に覆われた地上でも鮮明な高分解能な画像が得られる。

レーダを搭載するプラットフォームとしては衛星や航空機が用いられ、進行方向の真横斜め下方の地上に電磁波を照射し、移動しながら受信した信号を位相まで含めて記録・処理することにより、仮想の長大なアンテナのレーダを用いて観測したのと同様の効果を得ることができる (図-1) 1)。

合成開口レーダは飛行経路の左側あるいは右側の画像を撮るものであり、側方を見るという意味からサイドルッキング・レーダの一つである。

鉛直下方からアンテナ軸までの角度をオフナディア角と呼んでいるが、オフナディア角を大きくとると、すなわち、より遠くの地表を水平に近い角度で見るときには、高い山などによる影 (シャドウ) の影響が大きくなる。また、オフナディア角を小さくとると、すなわち、より近くの対象を真上から見る状態では、高い山などが手前に倒れ込んで見えるフォアショートニング効果が生じる。フォアショートニングに関しては補正処理が可能である。SARによる計測の場合は、これらの効果を考慮して、適切なオフナディア角を決める必要がある。

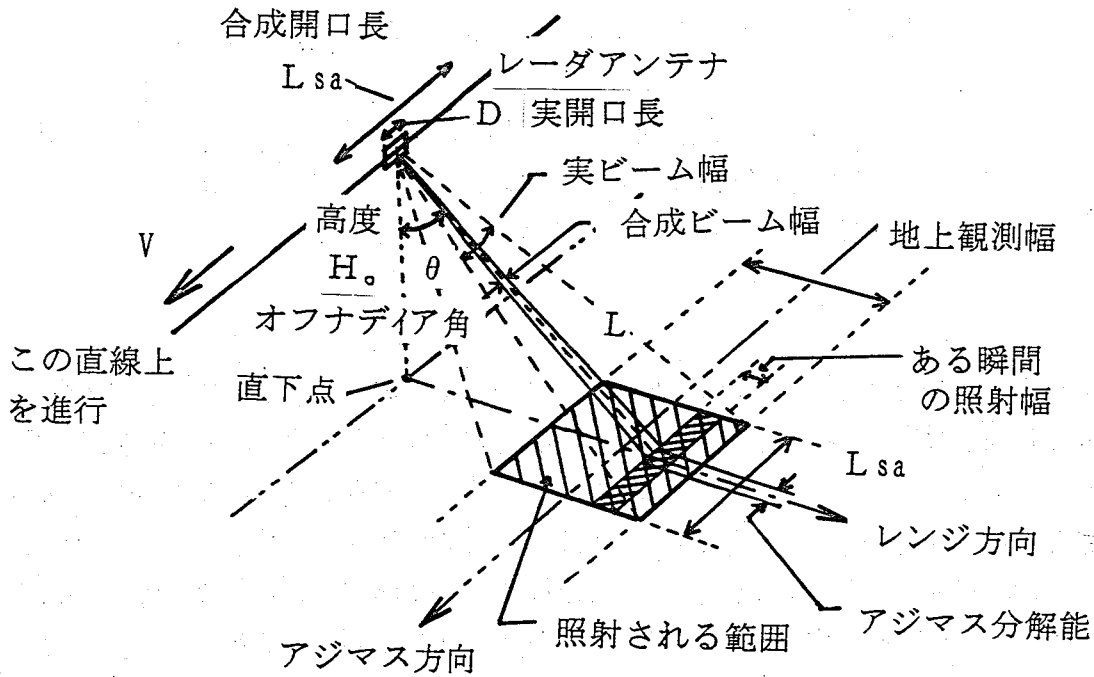


図-1 合成開口レーダ (SAR) の原理

3. 航空機に搭載した合成開口レーダによる雲仙岳地形計測

今回はアンテナを小型の航空機 (セスナ機) に搭載することにより、低価格化し、さらに迅速に観測できるようにして機動性を高めた。このシステムではGPSによる位置情報を利用し、ソフトで航空機の動揺を補正処理している。また、マイクロ波としては、周波数9.53GHz (波長3.2cm) のXバンドを用い、バンド幅は50MHz、パルス幅 (繰り返し周波数) は1200Hzとした。

観測時の飛行高度は約3,000m、飛行速度は約280km/hとし、オフナディア角は約 $55^{\circ} \sim 75^{\circ}$ を用いた。データ取得範囲は、1画像で約5km x 5kmであり、1ピクセルは約2.5m x 2.5m、分解能は約5mメッシュである。また、地形計測のために干渉画像を得る必要があり、受信に2個のアンテナ (アンテナ間距離約58cm、各アンテナの開口約30cm x 10cm) を搭載した。なお、発信は1個のアンテナから行った。受信されたデータは航空機上でテープレコーダに記録されSAR生データとして次に述べるSAR処理システムの入力データとして用いた。

観測は1993年5月31日と6月1日に行った。航空機の撮影ルートは、山頂付近の影の部分無くして雲仙岳山頂部の溶岩ドーム全体を解析するために、溶岩ドームの斜め上方の東西南北4方向から行った。なお、天候は5月31日は曇りで山頂付近には雲がかかっており、6月1日は快晴であったが、火口付近は噴煙により肉眼では一部見えなかった。

地形データを得るためのSARデータ処理システムの流れは次のとおりである。まず、2個のアンテナにより得られたSAR生データを処理して、未補正の2種類のSAR画像データを得る。この2つのSAR画像データを干渉処理することにより、干渉縞画像データを得る²⁾。この干渉縞画像データに対して標高変換処理を行いDTMを作成する。一方、未補正のSAR画像データのいづれか一つに対して、ラジオメトリック補正 (遠近による受信電波の強さの補正)、ジオメトリック補正 (斜め上空から見た画像を真上から見た画像に補正) を行い、SAR画像を得る。

干渉縞画像（図-2）をもとにDTMは5mメッシュで作成し、これを用いて等高線図（図-3）および鳥瞰図（図-4）を作成した。なお、これらのデータ解析・処理は全てコンピューターとその附属機器上で行われた。

4. 標高精度の検討

干渉縞画像を基にして得られたDTMをもとに算定した標高（SARによる標高値）と、国土地理院発行の1/2万5千地形図に記載されている標高点の標高との比較を行った。この結果今回計測したSARによる標高値と実測値の誤差は、約±3～5m程度であることが判明した。

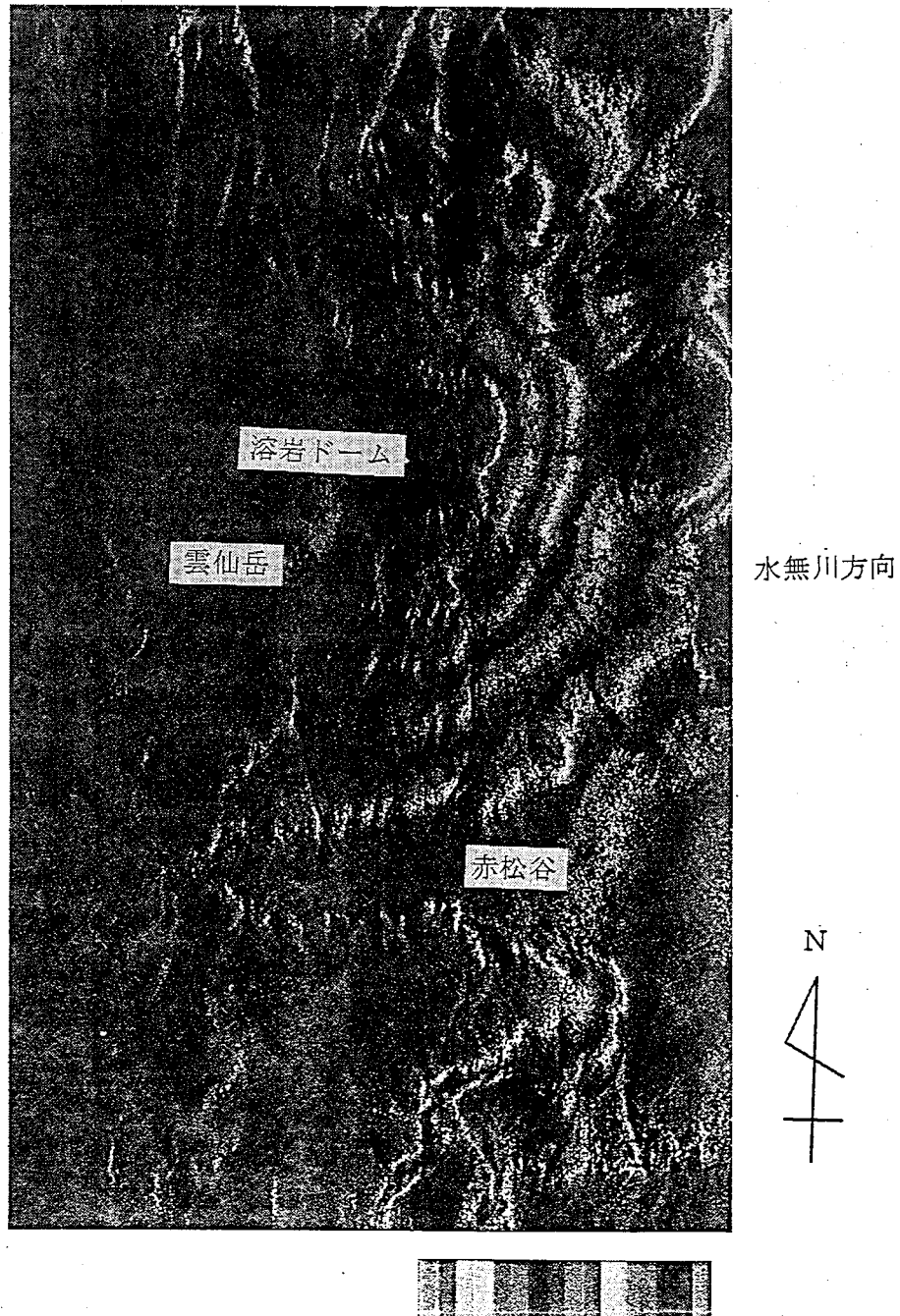


図-2 干渉縞画像データ（雲仙岳東側山麓）

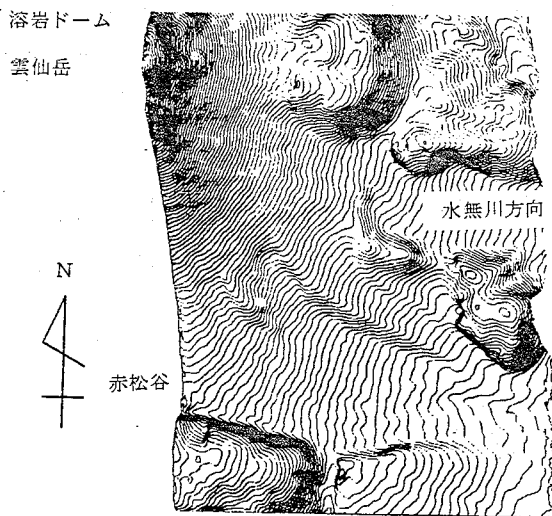


図-3 SAR画像を基に作成した等高線図
(雲仙岳東南山麓)

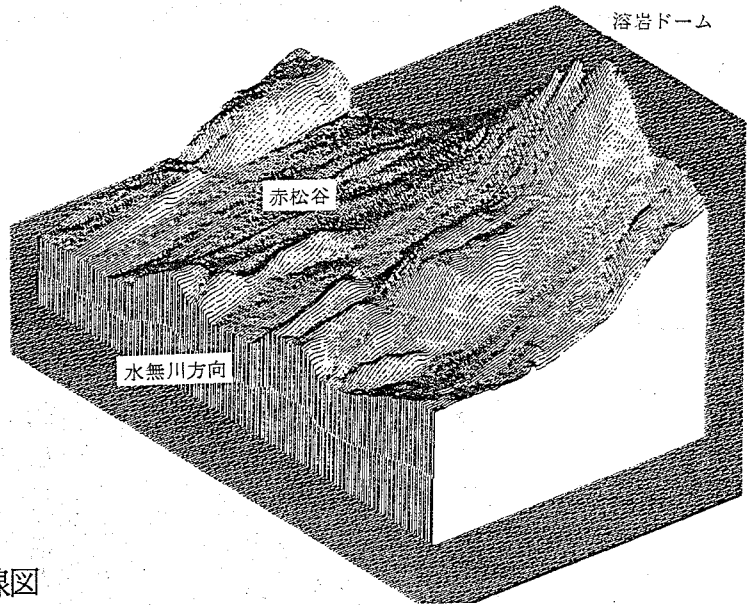


図-4 SARを基に作成した鳥瞰図
(雲仙岳東側山麓)

5. 結論

- ①小型航空機に搭載した合成開口レーダにより雲仙岳の地形計測を行うことが可能であることが証明された。
- ②2個のアンテナを持った合成開口レーダにより得られた画像を干渉処理することにより3次元のDTMを作成することができた。
- ③得られたDTMのメッシュは5m×5mで、地表標高精度は約±3～5mであり、溶岩ドームの崩壊予測、火砕流、土石流のシミュレーション計算等に利用するには十分な精度である。
- ④雲仙岳山頂部を覆う雲や噴煙に影響されずに鮮明な画像を得ることができ、全天候型の観測が可能である。
- ⑤DTMの作成、SAR画像の作成、地形図作成、鳥瞰図作成は全てコンピューター上で行うため、将来的には処理の時間短縮が可能となるものと考えられる。

6. おわりに

今後のSARによる地形計測の課題としては処理速度をより早くし、標高の計測精度をさらに向上させて行く必要がある。この技術を利用することにより火山活動時の広域の地表標高の変化や地滑り地の地表面の変化等を測定して火山噴火予測や地滑りの移動予測に活用することが期待できる。また、大規模な土砂災害の発生直後に、迅速に被災地を調査して、精度の高い地形図を作成することができ、二次災害の防止、災害復旧の迅速化に利用することも期待できる。なお、今回の検討においてはNECの合成開口レーダを用いた。

参考文献

- 1) 日本リモートセンシング研究会：図解リモートセンシング，(社)日本測量協会、pp.70-83,1992
- 2) Didier Massonnet, Marc Rossi, Cesar Carmona, Frederic Adragna, Gilles Peltzer, Kurt Feigl & Thierry Rabaute: The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry, Nature, Vol.364, No.6433, pp.138-142, 1993