

桜島における衛星 SAR から作成した DEM の精度検証

独立行政法人土木研究所 田村圭司、山越隆雄、清水武志、中野陽子
株式会社パスコ 〇柴山卓史、吉川和男、山根尚文

1. はじめに

火山噴火によって、火砕流やラハール等の深刻な土砂災害が引き起こされることがある。そのような火山噴火にともなう災害を軽減または予知するためには、火山砕屑物の到達範囲や地形変化を把握し、いち早く既存の火山ハザードマップを更新するなどの対策が考えられる。

一般に、多くの災害では、航空機によって、その被災状況を把握する試みがなされることが多い。しかしながら、火山噴火時に限っては、当該火山周辺を飛行することは危険をともなうばかりでなく、火口から噴出する噴煙や水蒸気等によって、空中写真等では地表面の状態を把握することは困難であるといった課題がある。

そこで、本稿では、そのような火山噴火時に安全かつ確実に地表面の状態を把握する手段の 1 つとして、人工衛星搭載型合成開口レーダ (SAR) を用いて数値標高モデル (DEM) を生成する方法ならびに鹿児島県・桜島を事例とした DEM の精度検証結果について報告する。

2. 近年の桜島の活動状況

気象庁の火山活動記録によると、桜島では 2000 年(平成 12 年)から 2001 年(平成 13 年)にかけて、年間爆発回数が 100 回を超えるなどやや活発であったが、その後の数年間は比較的静穏な状態が続いていた。その後、2006 年(平成 18 年)6 月 4 日に南岳東斜面(昭和火口)で新たな噴火が開始し、一旦は静穏な状態に戻ったものの、2008 年(平成 20 年)2 月 3 日に昭和火口で爆発的噴火、6 日には爆発的噴火に伴った火砕流が昭和火口から東側へ 1.5km 流下するなど活動が活発化した。2009 年は爆発的噴火回数が観測史上最多の 548 回を記録し、今年に入ってから、3 月 9 日には爆発的噴火回数が 300 回を超えるなど昨秋から活発な状態が続いている。

3. 使用した衛星 SAR の諸元

本検討では、文字通り X バンド波長帯のマイクロ波を用いる SAR センサを搭載した人工衛星である TerraSAR-X を用いた。同衛星は、2007 年 6 月 15 日に打ち上げられ、衛星 SAR としては現時点で世界最高クラスの空間分解能(最高 約 1m)の SAR 画像を取得することができる。

2008 年 2 月の昭和火口における噴火ならびに火砕流の発生後、数回にわたって撮影が行われた。撮影諸元等は次のとおりである。

表 1 使用した TerraSAR-X 撮影諸元

No.	撮影日	撮影モード	入射角(°)	空間分解能(グランドレンジ)
1	2008/02/07	SL	52.91	約 1.47m
2	2008/02/12	HS	40.10	約 1.85m
3	2008/02/29	HS	52.91	約 1.49m
4	2008/04/24	SL	52.90	約 1.47m

ここで、撮影モードの SL 及び HS はそれぞれ SpotLight 及び高分解能 SpotLight モードを示している。また、軌道及び偏波は全てディセンディング(下降)軌道、HH 偏波である。

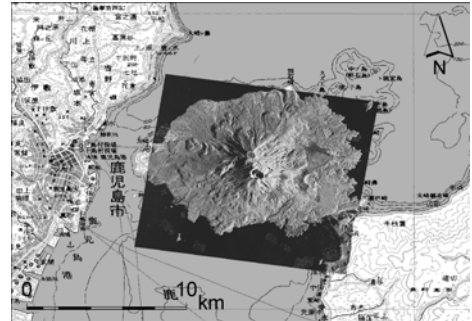


図 1 使用した SAR 画像の撮影範囲

4. SAR データを用いた DEM 作成手法

SAR データを用いて DEM を作成する手法は大きく 2 種類あることが知られている。ここでは、干渉 SAR (インターフェロメトリ; Interferometry) 及びレーダグラメトリ (Radargrammetry) について概観する。

4.1 干渉 SAR (Interferometry SAR; InSAR)

4.1.1 干渉 SAR の特徴

同じ範囲を撮影した 2 時期の SAR データを用いて DEM を生成する手法である。同じ軌道(ジオメトリ)から撮影されたデータを用いることが必要とされるため、データ取得間隔は衛星の回帰周期に依存し、TerraSAR-X の場合は 11 日周期となる。地表面に向けて照射したマイクロ波の反射波(後方散乱波)の位相情報を用いることが特徴であり、DEM が生成できる条件としては、2 時期のコヒーレンス(Coherence)が十分に高いこと、すなわち干渉のしやすさに影響を受ける。干渉性が高く、DEM を生成できる範囲においては高精度の DEM が期待できる。一方、植生や水面などは干渉性が低くなるため、DEM を生成することは困難である。

4.1.2 処理手順

処理手順は次ページの図に示すとおりである。今回、対象とした昭和火口から東側の斜面(6km×5km の範囲)の処理に要した時間は、トータルで約 3 時間であった。なお、昭和火口付

近では一部 DEM 生成が困難であったため、数値地図 50mメッシュ(標高)で補完した。

4.2 レーダグラメトリ (Radargrammetry)

4.2.1 レーダグラメトリの特徴

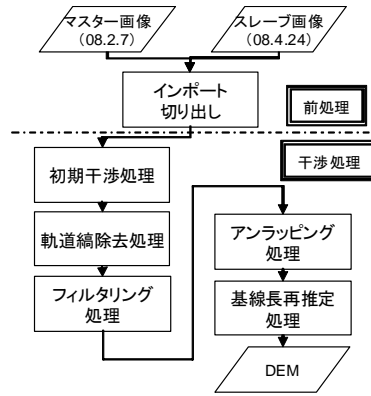
同じ範囲を異なる軌道(ジオメトリ)から 2 回撮影したデータを用いて

DEM を生成する手法であり、空中写真等におけるステレオペア画像を用いて高さ情報を得る手法と類似している。データ取得間隔は干渉 SAR と異なり、衛星の回帰周期(TerraSAR-X の場合は 11 日)より短くなる。また、利用する情報は後方散乱波の強度である点も干渉 SAR とは異なっている。

一般に精度は干渉 SAR よりも劣る場合が多いとされるが、植生等の土地被覆に関わらず、2 時期の画像のマッチングができれば、欠損なく DEM を生成することができる。

4.2.2 処理手順

処理手順は右図に示すとおりであり、干渉 SAR と同じく、前処理とその後の処理に分けられるが、処理時間はトータルで 3 時間程度であり、干渉 SAR と大きな違いはない。干渉 SAR による DEM と異なり、対象範囲全域の DEM データを生成することができた。



RMSE	19.37 m
平均残差	-17.94 m
最大残差	-46.00 m
最小残差	0.00 m

5.2.2 定性的評価

上記のように、InSAR-DEM は平均的に 20m 近い残差が確認された。しかしながら、火砕流数値シミュレーション等においては、集水面積や流下方向が重要であり、InSAR-DEM においても概ね稜線の位置・形状や河道網については再現が可能であることが確認されたため、数値シミュレーションに用いる DEM としては大きな問題はないものと考えられた。

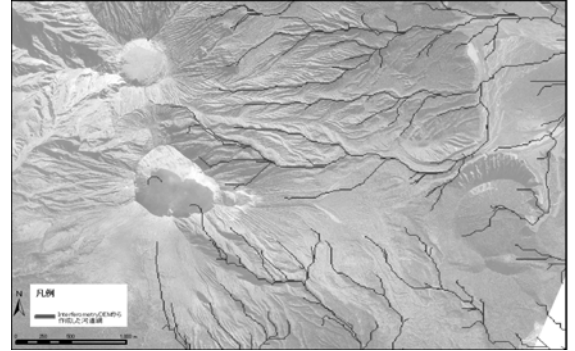
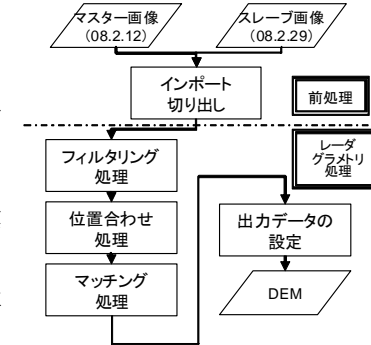


図 2 InSAR-DEM から作成した河道網再現図



6. 技術的課題の考察

InSAR-DEM に関して、残差の大きな箇所やデータの欠損は植生及び斜面勾配が影響していると考えられる。入射角(オフナディア角)と斜面勾配との関係についても検討する必要がある。

レーダグラメトリによって精度良く DEM を作成するためには適切な入射角の差(視差)が必要であるが、今回用いたデータではその差は約 13° であり、小さ過ぎた可能性がある。

7. まとめ

近年、活動が活発化している桜島・昭和火口周辺を対象として、高分解能衛星 SAR (TerraSAR-X) データを用いた DEM の作成及びその精度評価を行なった。手法の特性から、DEM の欠損部分が発生する等の課題はあるものの、火山噴火直後の火砕流の流下シミュレーション等を実施する上で不可欠な地形情報を安全に、かつ必要とされる精度で取得できる手段として人工衛星搭載型 SAR の有効性が示唆されたものと考えられる。

ただし、衛星レーダグラメトリ、InSAR いずれの手法を用いるにしても、2 枚の画像取得が必要であり、即時に DEM を得ることは現状ではできない。しかし、2 機同時撮影による干渉 SAR 処理が実現できれば、技術的には撮影日と同日に DEM が得られるようになると期待され、ハザードマップの迅速な更新が可能になると考えられる。

謝辞

航空機レーザ測量データの利用にあたっては、国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所に便宜を図っていただいた。

参考資料

- 1) 福岡管区気象台火山監視・情報センター・鹿児島地方気象台 (2010): 桜島の火山活動解説資料(平成 22 年 2 月)
- 2) 飛田幹男ほか(2006): InSAR の干渉条件, 東京大学地震研究所研究集会「新世代の干渉 SAR」

5. 精度検証(航空機レーザ測量データとの比較)

上記の 2 つの手法で作成した DEM のうち、レーダグラメトリは後述する課題が確認されたため、ここでは干渉 SAR による DEM (InSAR-DEM) の精度検証結果を記載する。

5.1 航空機レーザ測量データの諸元

航空機レーザ測量データ(LP データ)は、平成 18 年 2 月 16 日及び 18 日に国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所によって計測されたものを用いた。グラウンドデータのメッシュサイズは 1m であるが、SAR データから作成した DEM の空間分解能(メッシュサイズ)が 10m であるため、10m メッシュに変換して用いることとした。

5.2 精度検証方法及び結果

上記の LP データを正とし、InSAR-DEM と LP データとの標高値の差分を求めて、その残差を評価することとした。

5.2.1 定量的評価

昭和火口の東側に位置する標高 295m~580m 範囲(東西 90m×南北 1,440m)の範囲における LP データと InSAR-DEM との残差は次のとおりである。