

## 火山噴火緊急減災の為の衛星及び航空機を用いた DEM データの作成技術とその特性

(独) 土木研究所 ○中野陽子, 清水武志, 山越隆雄, 石塚忠範  
地球観測研究センター 島田政信  
(独) 情報通信研究機構 浦塚清峰  
(株) パスコ 柴山卓史

### 1. はじめに

平成 19 年 4 月に火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドラインが発表され、火山活動が活発で火山活動による社会的影響が大きい 29 火山に対して、火山噴火に伴い発生する土砂災害による被害を、可能な限り減災するための計画策定の手引きが示された。前報<sup>1)</sup>では、火山が噴火した場合に早急を実施すべき監視手法の検討ならびに変化量計測に資する計測機器の性能に関する現地試験結果を示したが、本報においては、火山噴火時に大規模な地形変化が生じた際衛星及び航空機を用いて即時的に DEM データを作成する技術と得られた DEM データの特性に関する検討結果を報告する。

### 2. 衛星及び航空機を用いた DEM 作成技術及びその特性

火山噴火時には、その火山活動に起因した大規模な地形変化が起こりうる。例えば、2000 年の有珠山噴火の際には、噴火活動に伴う地殻変動により地形が変化し、隆起の最高値が 65m で北東から南西方向に約 1km、幅約 500m の範囲で隆起した。最も地形変化の大きいエリアを流域に含む板谷川においては、流域面積が 2.5 平方キロから 1.35 平方キロに縦断勾配が 2.4° から 6.7° に変化した<sup>2)</sup>。このような大規模な地形変化が生じると、火山灰等の火砕物の影響を受け発生する泥流の流下氾濫範囲は噴火前と異なってくるため、地形データを更新した上で、流下氾濫範囲の再検討が必要となる。また、噴火中の火山は噴火活動の影響により山体に近傍での調査は困難となるため、遠隔から観測することが可能である航空機合成開口レーダ・衛星合成開口レーダ並びに衛星光学ステレオ視センサを用いた DEM データの作成技術を検討対象とした。

また、航空機は、その運用にあたって火山灰、火山ガスの影響を受ける可能性が高いため、対象範囲に対して斜めから計測を行う合成開口レーダセンサを検討対象とした。

#### 2.1 航空機合成開口レーダ

今回用いた航空機合成開口レーダ (Pi-SAR) は、高度 12000m から地上水平距離約 10km 以上の観測幅で観測可能である。合成開口レーダの特徴上、計測対象から高度と同程度水平方向にも離れた計測が可能であり、火山噴火時の飛行制限の影響を受けずに観測できる可能性が高い。現在日本国内で運用されている DEM 作成可能な航空機合成開口レーダは、独立行政法人情報通信機構の Pi-SAR2、国土地理院のくにかぜⅢ号等がある。航空機合成開口レーダによって取得された DEM の精度評価は、岡谷ら (2001)<sup>3)</sup> 達のものがあり、標準偏差で 10m 程度の誤差値が報告されている。

#### 2.2 衛星合成開口レーダ

衛星合成開口レーダを用いて作成された DEM の精度の検証例をまとめて、表 1 に示す。衛星合成開口レーダにおいては、現在 DEM データを作成できるペアを取得するには、1 回帰分の期間において 2 回観測する必要がある。

表 1 衛星合成開口レーダ DEM 精度検証例

衛星名	波長	精度	備考
TerraSAR-X <sup>4)</sup>	X	8.25m	
JERS-1 <sup>5)</sup>	L	24.23m	運用終了
ERS-1/2 <sup>6)</sup>	C	4.085m	
SRTM C <sup>7)</sup>	C	11.1m(1σ)	運用終了
SRTM X <sup>7)</sup>	X	6.74m(1σ)	運用終了

### 2.3 衛星光学ステレオ視センサ

光学ステレオ視センサを搭載した衛星により取得されたステレオペアを用いて DEM を作成することができる。1 回の撮影でステレオペアを取得可能なステレオ衛星を用いるほか、衛星の姿勢制御によりポイント観測を行い、ステレオペアを取得する方法、異なる衛星で撮像された同一地域の画像を用いる方法がある。表 2 に主なステレオ衛星と撮影されたステレオペアを用いて作成された DEM の精度検証例の一覧を示す。

表 2 ステレオ衛星 DEM 精度検証の例

衛星名	空間分解能	DEM 精度(検証例)
ALOS <sup>8)</sup>	2.5m	5.8m
SPOT-5 <sup>9)</sup>	5m	2.2m(1σ)
IKONOS <sup>9)</sup>	1m	1.5m(1σ)
Quick Bird <sup>9)</sup>	0.61m	1.2m(1σ)

### 3. DEM データの精度検証

#### 3.1 検討対象及び DEM データ

現在活発に活動している桜島の黒神川流域を精度検証の対象とした。同河川流域は、源頭部が昭和火口であり下流には黒神堆砂地を持つ。黒神川流域を図 1 に示す。

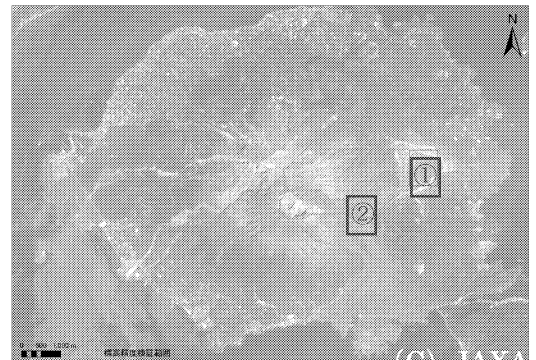


図 1 黒神川流域

航空機合成開口レーダは、2000 年に Pi-SAR の X バンドにより作成された DEM データを用い、また衛星合成開口レーダは、ドイツの X バンド合成開口レーダである TerraSAR-X 及び日本の L バンド合成開口レーダである ALOS の PALSAR センサを用いて DEM を作成した。また、ALOS の光学ステレオ視センサである PRISM センサを用いて DEM を作成した。DEM 作成に用いたデータ等の一覧を表 3 に示す。

作成された DEM データの解析処理には、ArcGIS9.3.1 を用いた。

表3 DEM作成に用いた衛星データ等一覧

衛星・センサ名	画像取得日	モード	入射角(°)	軌道	レーダ照射方向	シーンサイズ(km)	空間分解能(m)
TerraSAR-X 157m	2008/2/7	SL	52.91	DS	東から西	10×10	1.47
	2008/4/24	SL	52.90			10×10	1.47
ALOS・PALSAR 641m	2008/11/14	FBS	37.8	AS	西から東	70×35	6.25
	2009/2/14	FBS	37.8			70×35	6.25
ALOS・PRISM	2007/5/11	1B1	—	DS		35×35	2.5
Pi-SAR	2004/2/7	4Ch	35.6×1	北東	南東から北西	53.5×17.8	2.5

※1：対象範囲中心付近

### 3.2 DEMの作成状況

PRISMのような光学センサは、植生を含めた地表面の標高を表現しているため、植生繁茂域では地表面標高を表すことが不可能であることを考慮し、DEMの標高精度の評価対象には裸地部及び疎林部を対象として検討を行った。裸地及び疎林の分類は、「環境省生物多様性センター」運営の「生物多様性情報システム」から基礎調査結果データ(平成17年7月)を用いた。DEMの精度検証に用いた範囲は、図1の四角枠内である。各DEMデータは、世界測地系平面直角座標の2系にすべて変換すると共に、参照点を用いて水平位置を補正した上で比較した。作成されたDEMの諸元を表4に示す。各DEMデータの誤差の範囲は、傾斜10度内に関しては、既報告程度もしくはそれを上回る精度であったが、傾斜10度以上の傾斜地では、著しい精度の低下がみられた。これは、傾斜地では干渉SARで使用できる共通帯域幅が平地に比べて狭くなる為に、干渉度が下がり、結果として高さ精度が悪くなったと考えられる。一方、TerraSAR-Xで精度の低下が小さく、同じXバンドを使っているPi-SARで顕著な低下がみられているが、これはTerraSAR-Xでは入射角が52.9度と大きく、干渉性が確保できたために低下の程度が抑えられたことが原因として想定される。また、作成可能性に関して、TerraSAR-Xで火口付近及び植生域で干渉性が低くDEMデータを作成できない範囲が生じた<sup>10)</sup>。Pi-SARデータは軌道によりDEMデータの標高値に差が見られることが報告されているため<sup>11)</sup>、今後前後する2時期の軌道方向の異なるDEMデータを重ね合わせるの評価が必要と考えられる。

表4 作成されたDEMの誤差範囲等

項目	ALOS		TerraSA	Pi-SAR	LiDAR
	PALSAR	PRISM	R-X		(比較検証用)
DEMメッシュ サイズ(m)	42×46	2.5	10	2.5	1
標高誤差(1σ)※					
傾斜10度内①	3.3	2.5	6.33	5.32	—
傾斜10～45度②	12.1	8.8	6.48	17.52	

※植生繁茂域・火口周辺を除く各0.67km<sup>2</sup>

### 3.3 DEMのシミュレーションへの適応性評価

評価を行うに際し、各DEMラスタデータのメッシュサイズが異なるため、一番メッシュ間隔の広いALOSのPALSARセンサで作成されたDEMからポイントデータを作成し、ポイントデータの位置で各DEMラスタデータから標高値を抽出し、50mメッシュのDEMデータを作成した。座標系は世界測地系平面直角座標の2系を用い、内挿手法にはNatural Neighborをもちいた。各DEMデータを用いて算出した第一黒神川主流路勾配及び流域面積を算出し、表5に示した。算出にあたってはArcGISの水文解析機能を用いた。LiDARデータと比較すると、TerraSAR-X、ALOSのPALSARのDEMでは、流域面積・勾配共に遜色のない結果が得られた。

しかしながらPRISMのDEMでは、流域上部で他の流域への流れ込みが発生し、最長流路延長が半分以下に算出される大幅なずれが発生した。

また、Pi-SARのDEMでは、最長流路延長が長く算出され、流路の勾配が緩く算出されている。航空機合成開口レーダでは、飛行方向により、DEMデータの標高値に差が見られることが報告されているため<sup>11)</sup>、今後前後する2時期の飛行方向の異なるDEMデータを重ね合わせるの運用が必要と考えられる。

表5 各DEMにおける黒神川流域面積及び勾配

項目	ALOS		TerraSA	Pi-SAR	LiDAR
	PALSAR	PRISM	R-X		(比較検証用)
流域面積(km <sup>2</sup> )	1.85	0.56	1.75	1.61	1.64
流路勾配(度)	10.34	9.88	10.05	8.70	10.20
最長流路延長(m)	2282	865	2320	2589	2240

### 4. おわりに

今後、各DEMデータの地形形状について特徴を整理すると共に、氾濫シミュレーションへの適合性について検討を行う予定である。

また、本検討を行う上で、国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所には、現地試験サイトおよび検証に用いた航空レーザーデータをご提供いただいた。ここに記して感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 中野陽子ほか：火山噴火に伴う土砂災害の緊急減災のための新しい監視技術、平成22年度砂防学会研究発表会概要集、57、332-333、2010
- 2) 仲野公章ほか：噴火に伴う有珠山土砂災害緊急対応について、土木技術資料、43-2、34-39、2001
- 3) 岡谷隆基ほか：航空機SARを用いた急峻地形地におけるDEMの抽出とその応用、写真測量とリモートセンシング、40-4、4-13、2001
- 4) U. Sefercik, U. Sörgelb : TOPOGRAPHIC ESTIMATION BY TERRASAR-X, IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 7B, 504-510, 2010
- 5) 竹内章司：干渉SARによるDEM作成における最適ベースライン条件の検討、(社)リモートセンシング学会 第30回学術講演会論文集、161-162、2001
- 6) Zhengxiao Li, James Bethel : DEM REGISTRATION, ALIGNMENT AND EVALUATION FOR SAR INTERFEROMETRY, IAPRS, Vol. XXXVII, Part B1., 111-115, 2008
- 7) K. Becek : INVESTIGATION OF ELEVATION BIAS OF THE SRTM C- AND X-BAND DIGITAL ELEVATION MODELS, IAPRS, Vol. XXXVII, Part B1., 105-110, 2008
- 8) 田殿武雄ほか：PRISM, AVNIR-2の校正とPRISM/DSMの初期検証について、写真測量とリモートセンシング、VOL.46, NO.1, 2007
- 9) Terry Toutin : Comparison of stereo-extracted DTM from different high-resolution sensors : SPOT-5, EROS-A, IKONOS-II, and QuickBird, IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 42, 10, 2004
- 10) 柴山卓史ほか：桜島における衛星SARから作成したDEMの精度検証、平成22年度砂防学会研究発表会概要集、57、314-315、2010
- 11) 大村 誠ほか：Pi-SARによる桜島火山の地形変化の観測、Pi-SAR研究公募成果集、2007