

斜め写真とSfmによる三次元地形モデルの構築と土砂災害調査への適用

国際航業株式会社 ○鳥田 英司 前川 哲志

株式会社アミューズワンセルフ 富井 隆春 馬渡 純

1 はじめに

火山噴火や大規模土砂災害の応急対策を検討するためには、迅速な地形変状の規模を把握することが重要である。本研究では、発災直後にいち早く現場に到着が可能な有人ヘリコプターから撮影した斜め写真に着目、GPSと連動したカメラシステムで撮影した斜め写真を用いてSfMの解析処理により作成した三次元地形モデルが、火山の噴火による山体変動や斜面崩壊の現況把握に十分な精度を有するか、その可能性を検討した。

2 実験サイト

佐賀県の佐賀空港を飛行基地として、基地の近傍で、火山噴火に由来する特異な裸地斜面を有し、現在では火山活動が停止し安全な撮影が実施可能であると共に、比較用の高精度の航空レーザ測量が実施されている長崎県の雲仙普賢岳の溶岩ドームを実験サイトとした(図1)。

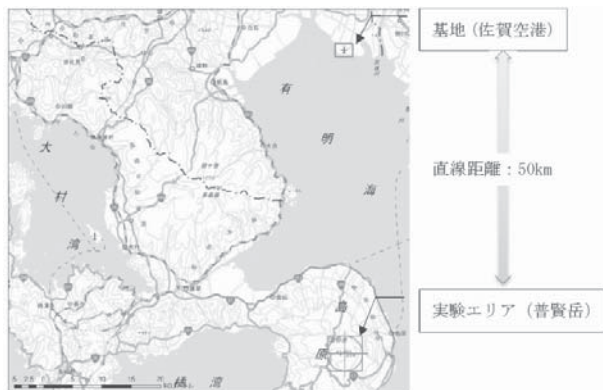


図1 実験サイト位置

3 検討の手順

実験の手順を以下のフロー図に示す(図2)。

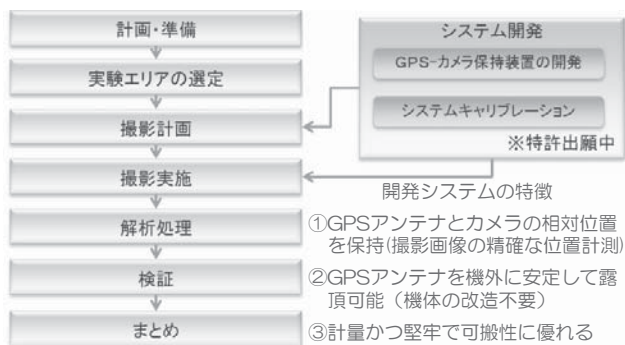


図2 検討の手順

4 撮影計画検討と撮影の実施

4.1 使用機器

実験に使用した撮影機器は、以下のとおりである。

- カメラ：α7R II (ソニー社製)
- レンズ：Sonnar T 135mm F1.8 (ソニー社製)
- GPS：2周波GPSシンクロ撮影システムGVSv3 (アミューズワンセルフ社製)

表1 カメラCMOSセンサー基本諸元

	横	縦	解像度
ピクセル数	7,952	5,304	4.5μ/pixel
サイズ(mm)	35.9	24.0	

4.2 撮影計画

前提条件を噴火警戒レベル3とし、対象より2km以上離れた空域からの撮影を想定し、目標精度はレベル2,500(標高標準偏差0.66m以内、地上画素寸法23.0cm以内)相当とした。撮影距離と高度は、上記機器を使用した場合に、2km以上の可能な限り遠距離からこの地上画素寸が確保できる距離3,000m、高度3,200mとした(表2)。

表2 斜め写真撮影距離と画像解像度の関係

水平距離	対地高度	射距離	撮影縮尺	解像度
2,000m	1,150m	2,310m	1/17,100	7.7cm/p
<b>3,000m</b>	<b>1,730m</b>	<b>3,460m</b>	<b>1/25,600</b>	<b>11.5cm/p</b>
4,000m	2,310m	4,620m	1/34,200	15.4cm/p

撮影コースは半径3,000mの円周状とし、撮影画像に一定のサイドラップを確保するために、同一コースを3段階の飛行高度(300mピッチ、3,500m、3,200m、2,900m)で撮影する計画とした(図3)。

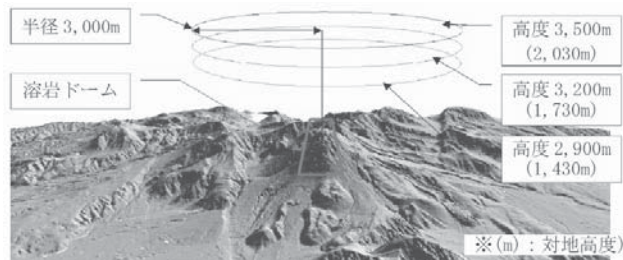


図3 計画撮影コースイメージ

4.3 撮影実施

平成27年10月7日、Euro Copter AS350型機を使用して撮影を実施した。当日は快晴だったが、上空では強い北よりの風が吹いており、飛行コース維持が困難だったため、当初計画よりも遠距離からの撮影となった(表3)。

表3 斜め写真撮影結果

周回数	撮影枚数	撮影距離	撮影高度	解像度
1	215枚	7,600m	3,500m	26.2 cm/p
2(修正前)	199枚	5,100m	3,200m	18.0 cm/p
<b>2(修正後)</b>	<b>77枚</b>	<b>3,500m</b>	<b>3,200m</b>	<b>13.0 cm/p</b>
3	179枚	3,900m	2,900m	13.8 cm/p

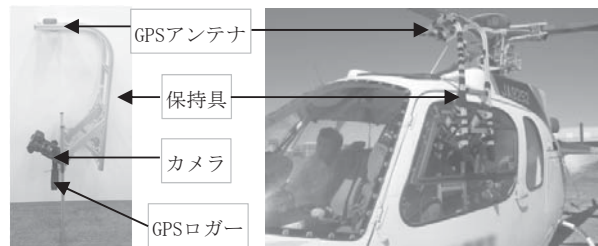


図4 GPS連動カメラシステムの搭載状況

#### 4. 4 解析処理

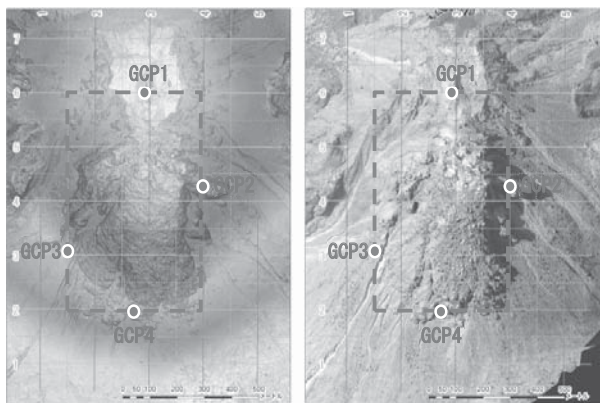
計画に近い撮影が実施できた2周目と3周目の斜め写真の内、溶岩ドームを画郭中央に捉えている写真105枚を用いて、Sfm(Structure from Motion)解析ソフトによりDSM(1m×1m, Digital Surface Model)を作成した。

解析処理は、はじめにGPSロガーに記録した1枚毎の斜め写真の撮影時の位置(緯度・経度・高度)情報(水平位置精度:±10mm+1ppm(メーカー推定値))をパラメータとして付与し、Pix4Dを用いてGCP(Grand Control Point)がない場合とある場合の二ケースで実施した。

溶岩ドーム及びその周辺には、GCPに適した構造物等の不動点はなかった。そこで、通常の出水等では動かないであろう尾根上の巨岩等を目標物として4点を選定し、比較検証用の航空レーザ測量成果(オルソフォト)を用いてGISによる座標計測を行い、GCPを設定した(図5)。

#### 4. 5 適用性の検証

航空レーザ計測DEM(Digital Elevation Model 国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所 平成26年)を正として、今回作成した二つのDSMと、①縦横断面図による地形再現性比較、②差分の比較(GCPなし-LP, GCPあり-LP)という二項目で災害調査への適用性を評価した(図5)。



ELSSMap(レーザ成果) オルソフォト(SfM解析)  
図5 GCP及び縦横断面測線配置

##### 1) 縦横断面図による地形再現性評価結果

GCPありは、縦横断面共に良好な地形再現性を示した。特にGCP設定範囲内では標高標準偏差は2m以内と、目標精度にはおよばないが、レベル5,000(1.66m以内)に近い精度であった。GCPなしでは、地形形状は概ね再現できたが、誤差は3m以上であった(表4、図6、図7)。

表4 縦横断面図による地形再現性評価結果

区分	誤差	エリア全体		GCP範囲内	
		GCPなし	GCPあり	GCPなし	GCPあり
縦断	最大	34.19m	34.86m	13.54m	9.59m
	最小	0.00m	0.01m	0.00m	0.01m
	平均	5.63m	5.44m	5.17m	2.94m
	標準偏差	4.68m	5.05m	<b>3.24m</b>	<b>1.99m</b>
横断	最大	37.98m	26.91m	22.02m	9.59m
	最小	0.02m	0.01m	0.02m	0.02m
	平均	6.88m	3.44m	6.01m	3.11m
	標準偏差	5.37m	3.98m	<b>3.64m</b>	<b>1.98m</b>

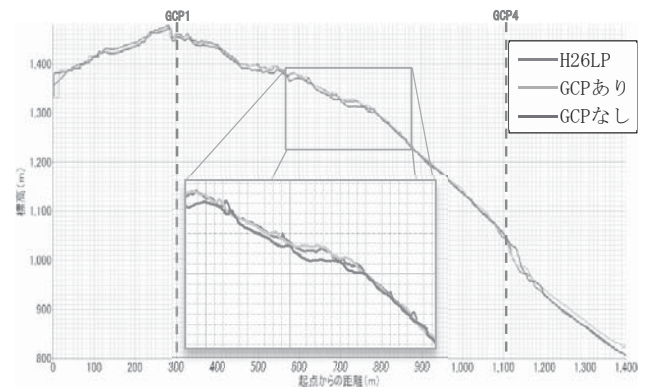


図6 比較縦断面図

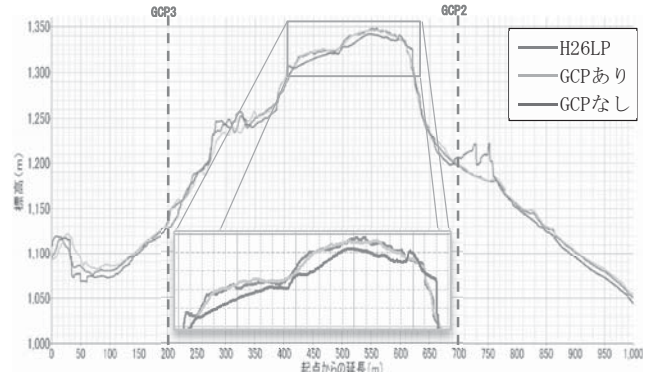


図7 比較横断面図

##### 2) 差分比較による評価結果

GCP範囲内全メッシュを対象とした場合の標準偏差はGCPありの場合で3.50mであった。これは、レベル10,000(3.33m以内)に相当する値である。

レーザDEMを元に各メッシュの方位と勾配を求め、撮影位置に対する地物の方向が解析精度に与える影響について検討した。その結果、方位と勾配を撮影方向にある程度限定した場合、GCPあり・なし共に精度は20%程度改善し、GCPありで2.75m、なしで3.47mとなった(表5)。

表5 差分解析結果による計測誤差評価結果

誤差	全メッシュ		方位限定		方位・勾配限定	
	GCPなし	GCPあり	GCPなし	GCPあり	GCPなし	GCPあり
最大	61.43m	54.63m	59.93m	54.63m	49.63m	37.74m
最小	0.00m	0.00m	0.00m	0.00m	0.00m	0.00m
平均	6.22m	3.95m	5.23m	3.88m	5.19m	3.65m
標準偏差	<b>4.56m</b>	<b>3.50m</b>	<b>4.44m</b>	<b>3.31m</b>	<b>3.47m</b>	<b>2.75m</b>

#### 5 おわりに

GPSと連動したカメラシステムで撮影した高い位置精度を持つ斜め写真をSfMで解析することで、3km以上の遠距離から撮影した斜め写真より、レベル5,000~10,000相当の地形モデルを作成できた。大規模土砂災害の初動時の崩壊規模の推定等に適応が可能と考えられる。

また、地形とカメラの位置関係が解析に影響することも把握できた。より近距離から対象地形に適したコースで撮影を行うことで、作成モデルの精度向上が可能と考えられ、中小規模の土砂災害への適応も期待される。

今後は、実験データの蓄積と評価を重ねると共に、現象や地形別の撮影・解析手法の確立に努め、各種災害現場の初動対応への適応性向上を図りたい。