

GNSS 受信機の計測に基づく SfM の写真解析試験

黒木貴一*・後藤健介**・池見洋明***

*福岡教育大学、**大阪教育大学、***九州大学

1. はじめに

数値標高モデル(DEM)は詳細になれば、紙地図上の等高線以上に、地形形状やその形成過程の理解が進む。DEMは空中写真や航空レーザー計測で作成されたものが今日、基盤地図情報で自在に活用できるが、研究者独自でも取得できるようになった。例えば簡易レーザー距離計による三辺測量¹⁾、地上型レーザーでの計測²⁾、UAVで撮影した写真の解析³⁾、GNSS計測によるキネマティック測量⁴⁾などがある。地形形成過程の議論では、地形形状からは十分な理解に至らず、標高変化量の把握が必要となる。このため広範囲に対し空中写真や衛星データなどリモートセンシング技術が採用され⁵⁾⁶⁾、狭範囲に対し現地測量など各種計測が適用され⁷⁾⁸⁾⁹⁾、その変化が明らかになれば、各種の防災等対策に活かされてきた。ただ広範囲に合わせた各手法で、その時点の地形形状の把握はできても、地形変化の激しい対象では継続的な基準点(GCP)の設置が難しく、標高変化量の把握に臨時設置するGCP座標の精度に影響を受ける。近年、氾濫や斜面崩壊等の自然災害が生じ、時には数十年を隔てて再来し、激しい標高変化を伴う地形変化を生じる。その標高変化量の把握は精度良いGCP座標が不可欠である。またテフクロロロジーや年代測定では評価しにくい10³年程度の再来間隔を持つ標高変化量の把握でも同様の問題がある。

そこでGNSS受信機のGCP座標計測の精度を確認し、それによる地形形状や標高変化量の把握の課題と議論の限界を確認する試験を実施した結果を報告する。計測は各GCPで6分間とし、座標解析には国土地理院提供の電子基準点データ提供サービスや基準点成果等閲覧サービスを利用した。

2. 実験方法

本研究でのGNSS受信機はTrimble R2を、GCPの座標計算には座標計算ソフト(SPSO : Spectra Precision Survey Office)を、空中写真撮影にはDJIのUAV(Unmanned Aerial Vehicle)を、3Dモデル計算ではAgisoft社のPhotoScan Professionalを利用した。

2.1 三角点の座標計測

宗像市内の三角点2点の計測を行い、解析結果を公表された座標値と比較して計測精度を確認した。

2.2 遺跡発掘現場の地形把握

福岡県東峰村の埋没樹木発掘現場でGCP6点の計測を行い、さらにUAVによる写真撮影を行ってトレンチの3Dモデルを作成するまでに要する作業時間を確認した。

2.3 雲仙東麓での標高計測

島原市の雲仙東麓で、GCP12点の計測で座標を求め、空中写真からの3Dモデルを作成する過程で、基盤地図情報で得たGCP座標を用いた場合との精度の比較を行った。空中写真は、国土地理院の1975年1-2月撮影と2015年5月撮影を使用した。

2.4 火砕流等堆積地での標高変化の検討

雲仙東麓の火砕流及び土石流堆積地で、溶岩上に置いたGCP8点の計測から座標を求め、UAVによる写真撮影を行って3Dモデルを作成する過程で、簡易GPSと二辺測量で得たGCP座標を用いた場合との精度比較を行った。さらに標高変化の要因を分析した。

3. 実験の結果

3.1 三角点の座標計測と精度

宗像市内の三等三角点(城山), 四等三角点(三郎丸)で計測した。水平精度と垂直精度はそれぞれ, 1.4cm と 3.0cm, 1.9cm と 2.1cm だった。この精度を持つ計測の座標と三角点の公表値との xyz 座標差の二乗平方根はそれぞれ約 11cm(x 方向: 西に約 2.5cm, y 方向: 南に約 10cm, z 方向: 下に約 3.5cm), 約 10cm(x 方向: 西に約 5cm, y 方向: 南に約 8.5cm, z 方向: 下に約 4.5cm)だったため, 有意にずれている。この内, 差を xy 平面(図 1)で見ると, 両者ともに南西方向に移動していると判断され, これは 2005 年福岡県西方沖地震の影響を示している可能性がある。このように GNSS 受信機では公表の座標より正しい値を数 cm 誤差で計測できる。



図 1 三角点の計測結果と公表値との水平差

3.2 遺跡発掘現場の地形把握と地図表現

東峰村で砂礫層下の阿蘇 4 火砕流堆積物中に埋没樹木が発見されたため, 天然記念物指定を念頭に埋没状況を確認するトレンチ調査が進められた。樹木上部が露出した際に, トレンチ形状の把握を試行した。トレンチ外に設置した GCP の座標を計測し, UAV で空中写真を撮影するのに約 1 時間 30 分を要した。

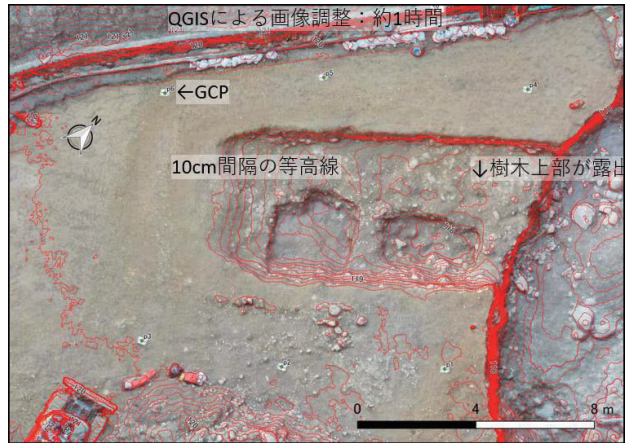


図 2 遺跡トレンチのオルソ写真と等高線

座標計算ソフトによる計算に約 30 分を要し, その際, 水平精度約 1.2cm, 垂直精度約 2.4cm だった。3D モデル計算ソフトによる DEM 等の計算に約 1 時間を要し, その誤差は 1.9cm だった。今日では, フリー GIS による計算結果の 3D 地形モデルの地図表現(図 2)も容易である。このよう

座標計算ソフトによる計算に約 30 分を要し, その際, 水平精度約 1.2cm, 垂直精度約 2.4cm だった。3D モデル計算ソフトによる DEM 等の計算に約 1 時間を要し, その誤差は 1.9cm だった。今日では, フリー GIS による計算結果の 3D 地形モデルの地図表現(図 2)も容易である。このよう

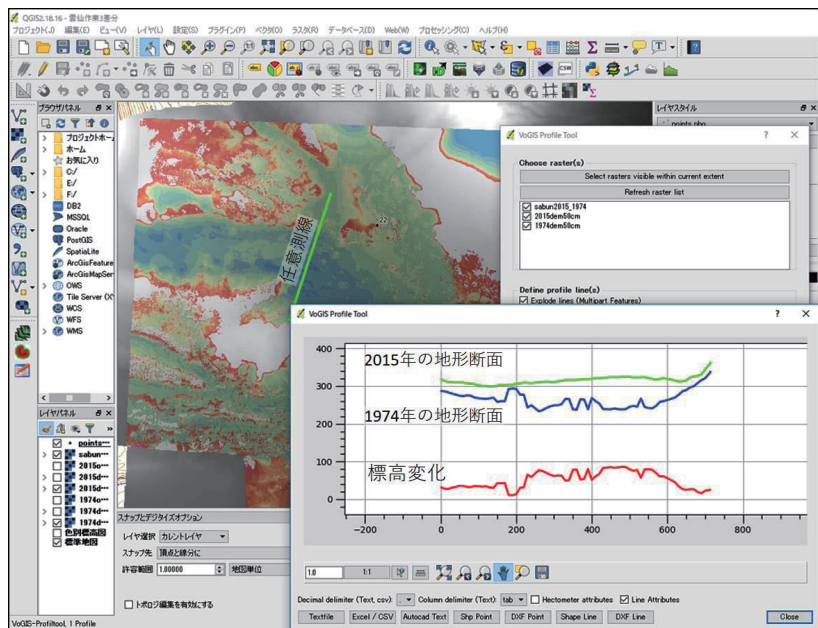


図 3 QGIS で求めた地形断面と標高変化

に、高精度のGCP座標により精度良い3D地形モデルを短時間で作成できる。

3.3 雲仙東麓での空中写真による標高計測と解析

雲仙普賢岳の火山活動(1990-1995)に伴う火砕流と土石流により、その東山麓では地形や植生が著しく変化した。また災害復旧の対策工事及び利用放棄に伴うそれら変化も続いている。既に当該地に対し、基盤地図情報に基づくGCP座標を使った空中写真による標高変化からの地形変化分析¹⁰⁾が行われたが、GNSS受信機のGCP座標計測に基づく分析を再び実施し、当該地の標高変化を再確認した。

座標計算ソフトによる座標計算の精度は、水平1.2-5.1cm、垂直約2.2-15.3cmとなった。ただ荒地化した樹林内計測を余儀なくされた1点の精度が極端に悪いだけで、それ以外は約3cm以下の精度を持つ。また3Dモデル計算ソフトでのDEM等の計算では、誤差が2015年写真

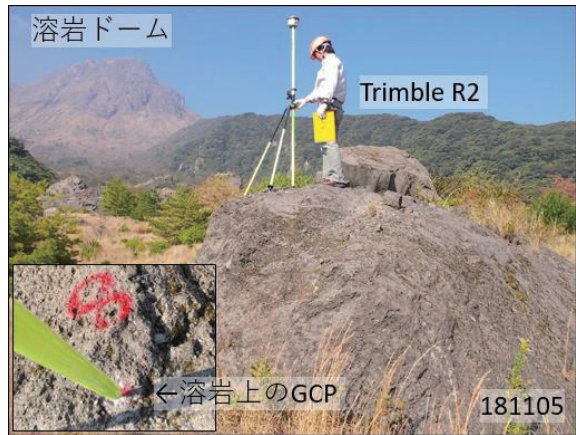


写真1 GNSS受信機(Trimble R2)

1.86mから0.16mへ、1974年写真では1.96mから0.62mへと大幅に改善された。図3はフリーGISによる任意測線の、現地地形及び現在の地形の地形断面や埋没深が読める標高変化曲線を例示した。このように、高精度のGCP座標を用いた空中写真解析では、基盤地図情報を使用する以上の精度で、大凡0.5m単位での標高変化が議論できる。

3.4 火砕流等堆積地でのUAVで撮影した写真による標高変化の検討と分析

雲仙普賢岳の火山活動の終息後、火山山麓ではガリ侵食等の地形変化や植生変化が続いている為、砂防工事の影響の及ばない狭い範囲に対する調査に基づき、侵食、運搬、堆積による微地形分化の進行が報告された¹⁰⁾。ここでは2016年秋に、動きにくい溶岩上に設置したGCP8点の座標を、簡易GPSと簡易レーザー距離計で計算し、

DJIのphantom2搭載のGoPro HERO3で撮影した写真から3D地形モデルが作成された。2018年秋にGNSS受信機で再度GCP8点の座標計測を行い(写真1)、DJI Inspire 2 Droneで撮影した写真から3D地形モデル(図4)が作成された。座標計算ソフトによる座標計算の精度は、水平精度約1.2cm、垂直精度約2.5cmだった。また3Dモデル計算のソフト

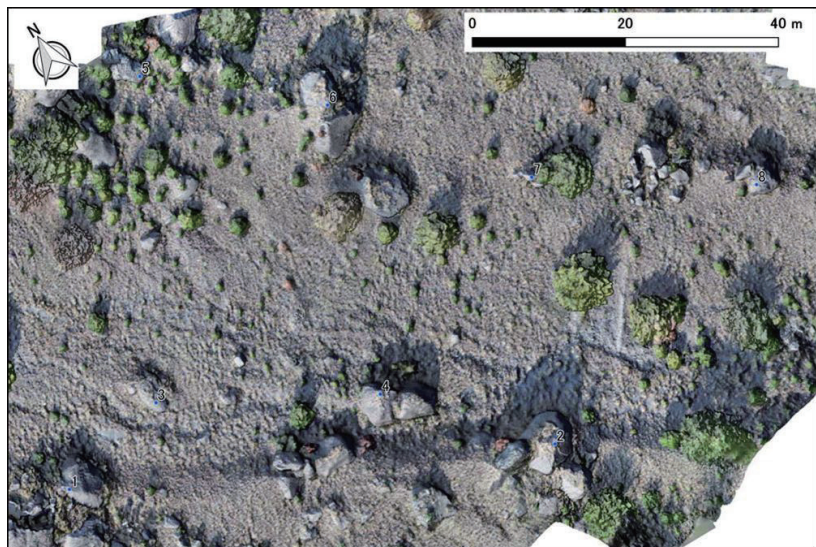


図4 3D地形モデルで作成されたオルソ写真

でのDEM等の計算では、2018年の写真では誤差1.1cm、2016年の写真では2.8cmとなった。この結果、2時期間の標高変化は、大凡数cm単位での議論のできることが分かった。

まず両時期のオルソ写真の比較から2016年以降2年間の植生変化(樹木や雑草の成長、樹勢の低下、樹木の枯死、草本の衰退など)は明瞭に読み取れた。さらに両3Dモデルの差分をGISで求め、標高変化傾向と微地形との関係を調査した。その標高変化の原因には土砂の侵食・堆積・流出及び植生変化が想定された。そこで標高変化量を地図化しその分布を検討した。例えば微地形分布から判別できる開析前線の位置が標高減少域の上方限界線に一致すること等を確認した。したがって、高精度のGCP座標を用いたUAV撮影の空中写真解析から数年という短期間の標高変化を把握できることが分かった。

4. まとめ

測量専用のGNSS受信機によるGCP座標を用いた標高やその変化情報の解析の実用性を確認した。

- 1)公表された座標値より正しい値を数cm誤差で計測できる。
- 2)計測したGCP座標により精度良い3D地形モデルを作成できる。
- 3)計測したGCP座標を用いた空中写真解析から、基盤地図情報を使用する以上の精度を持つ標高及び50年程度のその変化を示せる。
- 4)計測したGCP座標を用いたUAV撮影の空中写真の解析から、精度良い標高、数年の短期間のその変化を示し、微地形や植生等の環境変化を議論できる。

謝辞

本研究では、基盤研究B「120年雨量データベース構築と地理空間情報の統合化による水害常襲地のリスク評価」(代表：山本晴彦)及び基盤研究C「未離水面認定の再検討と高精度化に関する評価・展開」(代表：黒木貴一)を使用した。現地調査では九州大学大学院2年生の馬場様、4年生の津山様に支援いただいた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1)黒木貴一・塚本富史・黒田圭介(2011)：簡易レーザー距離計を用いた斜面崩壊地形の計測方法。地形, 49-4, 1-6。
- 2)高山知美・早川裕弐・小口高(2013)：3次元レーザースキャナーを用いた鍾乳石の空間分布と形状の解析。地形, 34, p88。
- 3)齋藤仁・内山庄一郎・小花和宏之・早川裕弐(2016)：平成24年(2012年)7月九州北部豪雨に伴う阿蘇火山地域での土砂生産量の推定-UAVとSfM多視点ステレオ写真測量を用いた高精細地形データの活用。地理学評論, 89, 347-359。
- 4)小岩直人・高橋未央・大高明史・伊藤晶文・武田開(2016)：通常の潮汐・波浪条件下で進行する砂嘴形成プロセスタイ南西部パカラン岬における2004年インド洋大津波後の事例。日本地理学会発表要旨集, 90, p102。
- 5)広瀬典昭・井上公夫(1984)：ピナツボ火山噴火後の地形変化と土砂災害。地形, 20, 431-448。
- 6)西田顕郎・小橋登治・水山高久(1998)：雲仙普賢岳における火砕流堆積とガリー侵食の相互作用による地形変化。地形, 19, 35-48。
- 7)山本博(1984)：有珠山の一斜面における1977-1978年降下火砕堆積物の侵食。地形, 5, 111-124。
- 8)土井康弘・山越隆雄・若林栄一・小山内信智・西本晴男(2004)：三宅島における噴火後の谷地形変化。地形, 25, 284-285。
- 9)黒木貴一・磯望・宗建郎・黒田圭介・出口将夫(2016)：2011年新燃岳噴火後5年間の開析谷の地形変化と降下テフラ移動。第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 13-18。
- 10)黒木貴一・出口将夫(2017)：雲仙東麓の1993年以降の標高変化から見た地形発達。号外地球, 68, 48-56。