

写真を用いた DEM 作成試験と作成過程の教材利用

Application tests for creating DEM by photographs and use the creating processes for teaching materials

黒 木 貴 一

Takahito KUROKI

(福岡教育大学社会科教育講座)

黒 田 圭 介

Keisuke KURODA

(西南学院大学)

(平成27年8月18日受理)

要 約

様々な条件下で撮影された写真データを用いて 3D モデル及び DEM を作成する実験を行った。デジタルカメラでの撮影実験や空中写真での実験から、DEM 作成には、異なる色調が多く、中程度の光の反射があり、対象を高角度で撮影した写真が、また対応点を取りやすいカラー写真、計算可能な範囲で解像度の高い写真が必要と分かった。次に対空標識が判別できる撮影高と、写真が適切に重複する移動速度を考慮した撮影間隔を見極める必要性を確認した。また UAV からの空中写真と SfM を利用し効率的に現実的に DEM を得られるが、この過程では自然地理学実習に組み込める要素が多く、空中写真撮影を通じて実習内容の理解向上が進められることも分かった。

キーワード：デジタルカメラ, UAV, SfM, GCP, DEM

I. はじめに

自然地理学的な課題を持つ現場の微地形を表現可能な 3D データすなわち DEM (デジタル標高モデル) 作成技術は、簡易レーザー測量機器の低廉化と GPS や GIS 技術の普及に伴って近年開発が進んだ^{1,2)}。一方、図化機による空中写真からのアナログ的な標高計測技術は、コンピュータによる 3D データの自動取得にまで進展している。例えば小荒井ほか (2001)³⁾ では、有珠山の噴火に伴う地盤変動を LH システムズ社製の特別なソフトで解析している。当時は測量に特化した機関で、スペックの高いハードと特殊なソフトを利用した解析が主流で、一般の教育機関での利用は難しかった。しかし近年、デジタルカメラで撮影した画像データを 3D 化し、GCP を用いて DEM に加工できる一般のパソコンで稼働する SfM (Structure from Motion) ソフト (Agisoft PhotoScan) が登場した。このソフトは、小型 UAV (Unmanned Aerial Vehicle) に搭載したデジタルカメラによる空中写真撮影と連携させることで、自由度の高い DEM 作成が今日実現できる⁴⁾。さらにデジタルカメラに GNSS (Global Navigation Satellite System, 以前は GPS と呼ぶ) 機能を付加し、作業を効率化できることも示された⁵⁾。

これまでこのソフトで解析したデジタルカメラによる写真は、活断層地形判読⁶⁾、サンゴ礁分布⁷⁾、植物活性度評価⁸⁾ などへの適用が試され、学術的な有用性が多く示されている。ただ大学での業務や教材作成を考え、どのような適用場面でどのように活用できる

かを検討したものが見られない。そこで本報告では、本学の業務や教材作成場面で、このソフト利用がどう活用可能かを検討した結果を整理する。

II. 適用試験方法

1. 解析ソフト

写真の解析ソフトとして Agisoft Photoscan Professional を使用した。これはデジタルカメラの焦点距離や画像 1 ピクセルでのカメラのセンサ (撮像素子) サイズを入力設定の上で、複数枚の写真画像をソフトに取り込み解析する過程で、対応点を自動的に読み取り 3D データを作成できる。

2. 写真媒体別の 3D 画像の特性確認

NIKON の COOLPIX L6 にて建物内部として附属幼稚園の園舎内 (2014 年 6 月 25 日)、建物外部として人文社会教棟 (2014 年 7 月 31 日) の事例写真を撮影した。空中写真として福岡県宗像市赤間地区を中心とする米軍 1948 年撮影のモノクロ空中写真 (R211-24, 25)、国土地理院 2010 年撮影のカラー空中写真 (CKU20102-C23-19, 20) を事例とした。

3. 模擬空中写真の撮影

運動場隅で樹木間にロープを渡し、それにカメラ (RICOH, CX-2) を吊り下げた (2014 年 8 月 4 日)。カメラはソフトケースに封入しレンズ部を露出させた。ソフトケースはロープに渡した段ボール紙からタコ紐により吊り下げた。段ボール紙には牽引ロープを結索した。カメラを移動させつつ 15 秒インターバルの撮

影を実施した。高千穂の峰の南東麓の谷で、樹木間にロープを張って同カメラによる5秒インターバルの谷底の模擬空中写真撮影を実施した(2014年8月19日)。

4. UAVによる撮影と教材化

UAVとしてDJIのPhantom2を使用した。撮影にはGoPro HERO3 Silver Edition(以後GoPro 3と記載)を使用した。搭載にはDJI 3軸ジンバルのZenmuse H3-3Dを使用した。飛行練習をキャンパス東部の空き地で重ねた。音楽教棟東の空き地に基準点を設置した後に、UAV搭載のGoPro3による撮影を実施した。この過程で、自然地理学の関連講義等に教材化できる内容を模索した。

Ⅲ. 写真媒体別の3D画像特性

1. 通常のデジタルカメラによる撮影

附属幼稚園の園舎内写真では、教室と通路が再現できた(図1)。中でも通路に置かれた書棚、参観中の父兄の姿までも再現できた。しかし物体の影に3Dモデルが作成できないことに加え、模様が無く色調の近い壁に対してはモデルが作成できず穴が開く結果となった。

人文社会教棟の入口写真では、階段が正確に再現できた(図2)。しかし、3Dモデルは樹脂製の手すりは途切れ、ガラス扉は湾曲する結果となった。この不自然さの要因には、前者は色調が単一である点、後者は光が反射せず透過する点で対応点が取得できなかったと考えられる。また階段最上位の床面はめくれ上がった。この不自然さは対象に対し撮影が低角度となり対応点が少なく誤ったモデルを得たことが要因と考えら

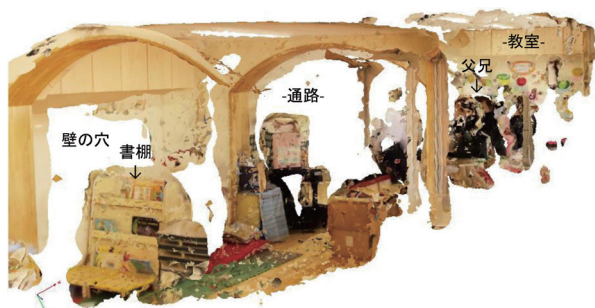


図1 附属幼稚園の園舎内の3Dモデル

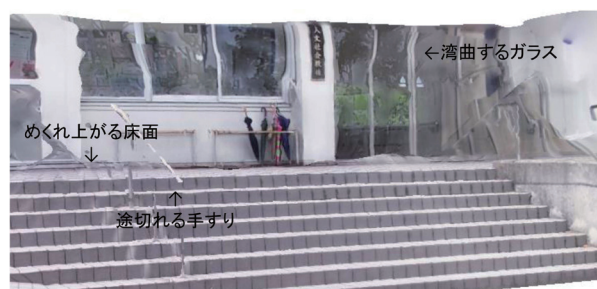


図2 人文社会教棟入口の3Dモデル

れる。

このように同じ色調、弱すぎる光の反射、対象との低角度で対応点を取りにくい場合に3Dモデル形成は難しいことを確認した。

2. 空中写真による撮影

国土地理院撮影のカラー空中写真では、建物や森林を示す凸部、赤間宿にある唐津街道の微高地、そして福岡教育大学キャンパスの大凡の地形が適切に表現できた(図3)。ただ使用した写真画像データの解像度が低かったため建物形状など丸みを帯びている。

一方、米軍撮影のモノクロ空中写真では、城山や赤間宿にある唐津街道の微高地はある程度表現できた(図4)。しかし不自然な凸部や凹部が多数形成された。これは解像度が低いことに加え、カラー空中写真がRGBの濃淡情報を3バンド持つことに対し、モノクロ空中写真の濃淡情報は1バンドしかなく、画像間の対応点を判別しにくかったことが原因と考えられる。

したがって使用する写真は、可能ならばカラーとし、パソコンの性能に対し可能な範囲で解像度を高くする必要がある。

Ⅳ. 一般のデジタルカメラによる空中写真の撮影と解析

1. キャンパス内でのカメラ吊り下げ試験

写真1はロープへのカメラ吊り下げ部である。カメラはソフトケースに封入する。ソフトケースにはレンズを露出させる穴を開けている。ソフトケース4隅はタコ紐により吊り下げる。別途、ロープを跨ぐように谷折りした段ボールに、ソフトケースをタコ紐で吊り下げる。撮影時の安定度を確保するために、ソフトケー

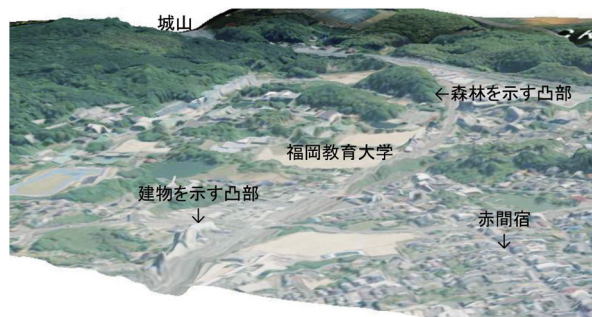


図3 カラー空中写真による3Dモデル

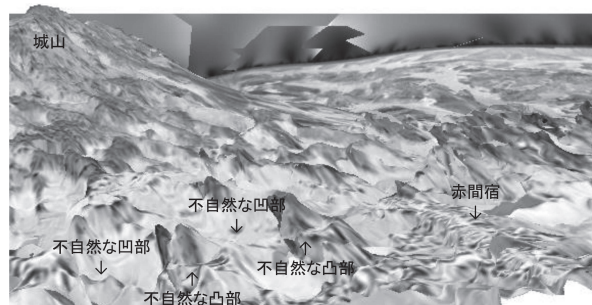


図4 モノクロ空中写真による3Dモデル

ス 4 隅はそれぞれ段ボールに結索する。段ボール中央両隅の 2 つの穴は牽引ロープの結索用である。

写真 2 は吊り下げ撮影試験の様子である。吊り下げ用と牽引用のロープを樹木に結索して、カメラ吊り下げ部を移動させながら撮影試験を実施した。通常、谷にロープを張る場合、同標高に適切な雑木があること



写真 1 カメラ吊り下げ部の工夫

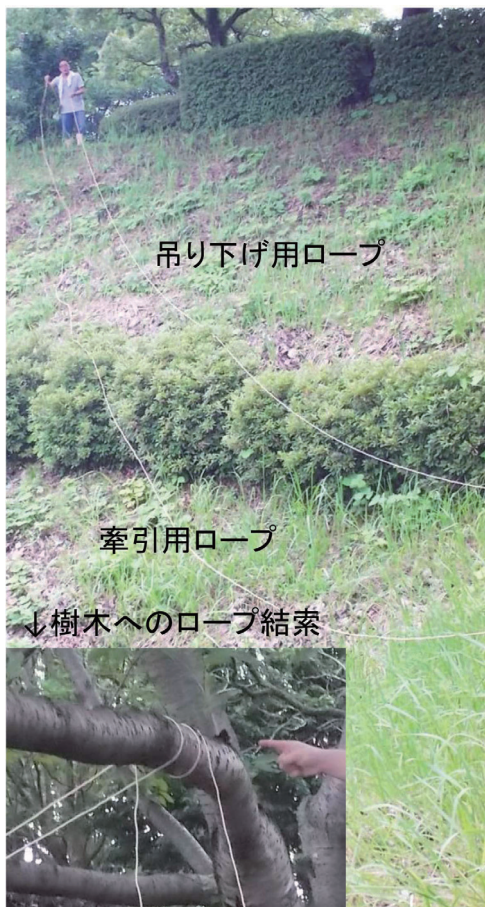


写真 2 吊り下げ撮影試験状況

は稀なため、カメラ吊り下げ部を自在に移動させるには、2 方向からの牽引が必須であることを確認した。またカメラの安定はロープの適切な緊張で確保できるため、樹木への結索では自在結びが有効と分かった。カメラ独自の画角があるため、現地ではロープの地表高に対する適切な撮影移動距離及び撮影間隔を確認する必要があることも分かった。

2. 模擬空中写真の撮影と 3D モデル

写真 3 は高千穂の峰南東麓の谷幅約 30 m の試験地における模擬空中写真の撮影試験状況である。谷底から高さ約 5 m の樹木に自在結びで吊り下げ用ロープを張り、牽引用ロープでカメラ吊り下げ部を移動させながら撮影した。549 枚撮影したが、そのうち安定し画像ブレが無く、光反射が強すぎない等条件の良い使用可能な 33 枚で 3D モデルを作成した。

図 5 は、焦点距離 5 mm、ピクセルサイズは縦横が 0.00170718 mm, 0.00169753 mm として作成した試験地の 3D モデルである。上空の列状の四角は推定



写真 3 試験地での撮影状況

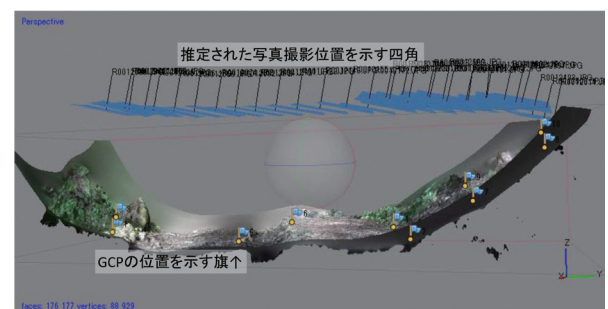


図 5 試験地の 3D モデル

された写真撮影位置，地表の旗は幾何補正で使
した GCP（地上基準点）の位置を示す。このモデル
から DEM やオルソ画像を作成した（図 6）。(1) DEM
は，GIS で試験地に合わせて WGS84 の N52 帯から，
JGD2000 直交座標系 2 系への投影変換やグリッドサ
イズ調整を行った上で，(2) 陰影図や等高線図化した。
(2) では，ガリ，崖錐，段丘崖，巨礫など 1 m 程度
の地形単位を十分に読み取ることができた。また川底
の数 cm 深の溝，段丘崖の数 cm の段差も良く表現で
きており，通常の測量では得られない精度の DEM を
形成できていることが分かった。しかし直線的な不自然
な段差も生じた。夫々が試験地の縁辺に多くあり，
段差の境界は写真境界にある。これは対応点が少な
かったため試験地縁辺部で 3D モデル作成が難し

たことを示す。(3) のオルソ写真では，雑木，草，落
葉の被覆状況，谷壁斜面の土層層相，谷底の堆積土砂
の礫形状，サイズ，色調を詳しく読み取れる。白色の
四角は GCP を示す対空標識である。

したがって雑木間の吊り下げロープからの写真撮影
では，斜面及び谷底の微地形，植生，土壌判読が十分
に可能な DEM 及びオルソ画像を取得できた。ただ，
写真密度が少ない場合，不自然な 3D モデルが形成さ
れる難点のあることも分かった。

V. UAV 搭載用のデジタルカメラによる空中写真の撮 影と解析

1. 撮影条件の検討

GoPro3 を 5 m 長の窓ふきに吊り下げ自動撮影を
行い，さらにタブレット端末と
Wi-Fi で通信させ撮影画像の短
辺長を試験計測した（写真 4）。
この結果，1 m 高では 1.3 m，2
m 高では 3.2 m，3 m 高では 4.2
m，4 m 高では 5.6 m，5 m 高で
は 6.6 m だった。したがって写
真撮影時の高さに対し，半分程
度の移動に要する時間間隔で，
3D データ作成に必要な 2/3 重複
の画像を得られることが分かっ
た。

本学の野球場南の広場で，
GoPro3 を搭載した UAV を GPS
キャリブレーション後，離陸，
飛行，着陸を繰り返し試行した
（写真 5）。また 10 m 間隔の 6 枚
の対空標識を配置し，高度約 10
m から 2 秒間隔での撮影試験を
行った（写真 6）。この際，撮影
範囲幅が高度の約 2 倍になるこ

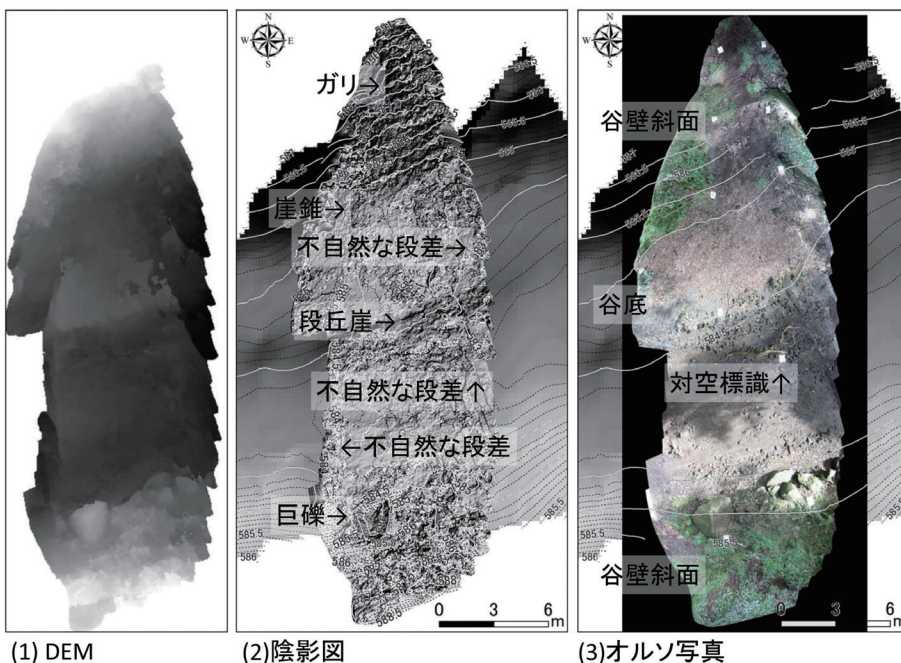


図 6 霧島の試験地の解析結果



写真 4 GoPro3 の吊り下げ試験



写真 5 GoPro3 搭載の UAV 試験



写真6 GoPro3 高さに対する撮影範囲

とを確認した。また撮影対象によって Phantom2 用のアシスタントソフトウェアによりジンバルのチルト角調整を必要とすることが判明し後日対応した。さらに、微風でも UAV が流されやすいことも確認した。

2. 空中写真撮影

音楽教棟北の広場で GoPro3 を搭載した UAV で、高度約 20 m から 2 秒間隔で空中写真撮影を実施した。条件の良い写真 8 枚を選定し 3D データを作成した。対空標識をそれぞれ設置した GCP (No.1-5) 5 点を準備し、樹木で死角となった No.2 を除き 4 点を使用して 3D モデルを幾何補正した。

図 7 (1) は取得した DEM による陰影図で、(2) はそのオルソ写真である。基盤地図情報による音楽教棟と元建物の外形を示した。両者を比較すると、A 付近の高さ約 3 m の急斜面や B 付近の花壇の凹凸が示されており正確な地形表現ができた。また C 付近のような雑草群落が散在する荒れ地、D 付近のサザンカ

生垣による列状の微高地も表現できている。ただ、サザンカ生垣で死角となる南側急斜面は、ソフトが自動で補間計算したため実際と異なる地形形状になった。

このように求めた 3D データは正しくは DEM ではなく数値地表モデル (DSM : Digital Surface Model) だが、植生を除いて考えれば現実的な地形データになっていることが分かった。

VI. UAV による空中写真撮影の教材化

今回の 3D データ作成試験は、自然地理学実習の受講生の支援を得て進められた。その過程で、学習進度を確認し、教育効果を上げられる工夫をした。

表 1 は、2014 年度実習の期、回、課題を示し、その課題に 3D データ作成に関連する内容を対応付けた。前期 2 回に地図記号の基準点を説明し、3 回に基準点設置方法を説明して実際に現地観察を行った。前期 4 回に空中写真の撮影方法と原理を説明した。前期 8 回にハンドレベルによる高さ計測に続き、10 回にレーザー測量の練習 (写真 7 (1)) を行った。10 回では、練習前に視通確保のための伐木 (写真 7 (2)), 枝打ち、草刈を実施させ、基準点に杭を打設させた (写真 7 (3))。レーザー測量の結果を用いて、黒木ほか (2012)²⁾ の手法で座標を求めた。後期に ArcView による GIS 練習を進める過程で、グリッドデータの理解と作成 (3 回)、空間補間法の理解と解析 (6 回) を経て、8 回に 3D データの利用練習を行った。

後期 8 回までに、5 章 2 節の UAV による空中写真撮影を音楽教棟北の広場で、自然地理学実習の受講生とともに実施し、実習で設置した GCP を用いて、撮影写真から DEM を解析した。この解析の SfM ソフトは全学共用パソコンにインストールされていないため、解析結果の DEM を教材として後期 8 回に準備し、それを GIS で投影させ既存 DEM と同様に利用できるように確認させた。尚、UAV 使用は操作に習熟が必要なため、2015 年度同実習では吊り下げ型の空中写真撮影を試行させた (写真 8)。

このように UAV と SfM を用いた 3D データ作成に必要な作業には、既存の GCP 理解・設置及び GIS 練習に組み込める教材の多いことが分かった。

VII. まとめ及び今後の活用

UAV, SfM, デジタルカメラを使用し、様々な実験を重ね DEM 作成を試みた結果、以下の内容を確認した。

1) 良い DEM を得られる写真条

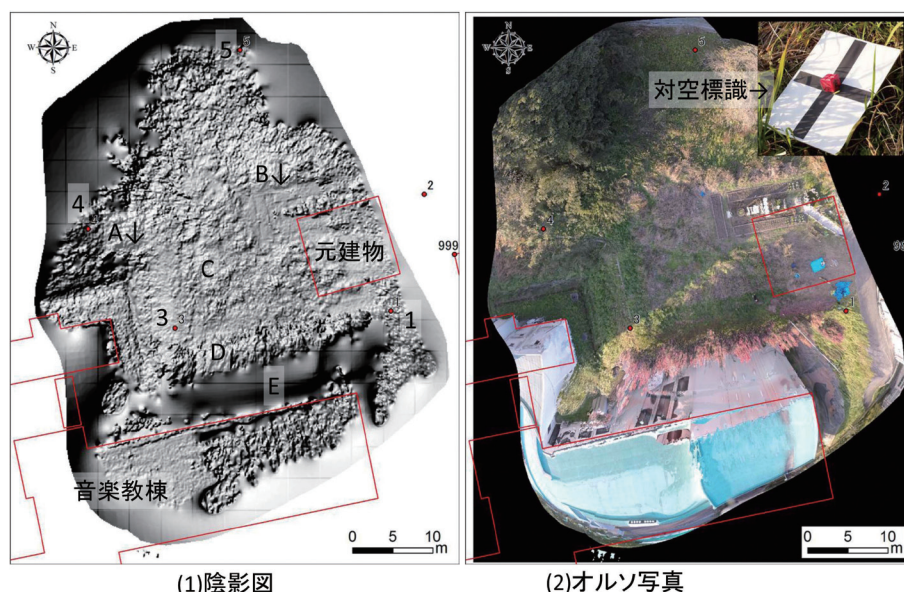


図7 学内の試験地の解析結果

表 1 2014 年度実習と 3D データ作成

期	回	課題	3Dデータ作成に関連する内容
前	2	地形図	基準点の存在
前	3	基準点	基準点設置方法の説明、現地観察
前	4	段丘地形	空中写真の撮影と原理
前	8	高さ測量	ハンドレベルの使用練習
前	10	レーザー測量	伐木、基準点の設置、測量
後	3	GIS練習3	グリッドデータの理解と作成
後	6	GIS練習4	空間補間法の理解と解析
後	8	GIS練習6	3Dデータの利用



写真7 レーザー測量の練習

件は、異なる色調が多く、中程度の光の反射があり、対象を高角度で撮影した場合に、ペア写真間の対応点を取りやすく、現実的な DEM を形成しやすい。

2) DEM 作成に使用する写真は、可能な限りカラーで対応点を取りやすくし、可能な範囲で解像度を高める必要がある。

3) 雑木間の吊り下げロープから撮影した写真でも、重複が適切な写真が十分あれば、斜面及び谷底の微地形、植生、土壌判読が可能な DEM 及びオルソ画像を取得できる。

4) DEM が作成可能な写真データを UAV 搭載のデジタルカメラから得るには、対空標識が判別できる撮影高と、写真が適切に重複する移動速度を考慮した撮影間隔を見極める必要がある。

5) UAV 搭載のデジタルカメラで撮影した写真と SfM で作成した DEM は、植生を除き考えれば現実的な DEM として取扱いできる。

6) UAV 搭載のデジタルカメラで撮影した写真と SfM を用いた DEM 作成の過程では、自然地理学実習に組み込める教材が多い。

今後、環境変化を量的に評価する為、2 時期間の DEM 変化を捉える手法と精度確認が残る。

謝 辞

本研究は、平成 26 年度福岡教育大学研究推進支援プロジェクト「火山噴火後の環境変化の効率的な情報取得方法の開発」の経費を使用した。キャンパスでの空中写真撮影では大濠高校の松田先生に、UAV 操作

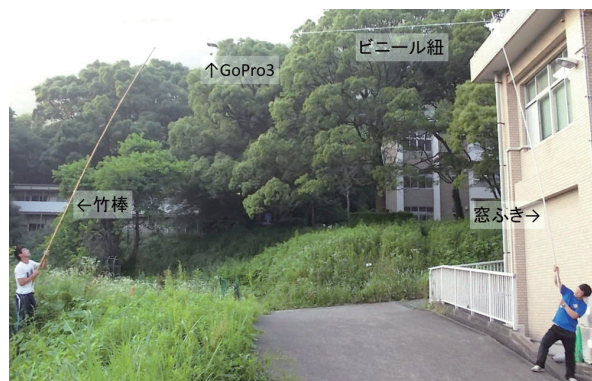


写真8 吊り下げ型の空中写真撮影

及び空中写真撮影では平成 26、27 年度自然地理学実習受講生に支援協力を得た。また広島大学の後藤先生に吊り下げによる撮影方法に関する情報を頂戴した。ここに記して謝意を表す。本報告内容の一部は、福岡地理学会 2015 年 1 月例会⁹⁾で発表した。

参考文献

- 1) 早川裕一・津村宏臣 (2008) : LRF と DGPS を用いた野外調査における地形測量：トルコ、ハジトゥール・テペ遺跡における適用事例。地形, 29-4, 421-434.
- 2) 黒木貴一・塚本嵩史・黒田圭介 (2012) : 簡易レーザー距離計を用いた斜面崩壊地形の計測方法。地図, 49-4, 1-6.
- 3) 小荒井衛・渡辺信之・松尾馨・飯田洋・長谷川裕之 (2001) : デジタル写真測量による有珠山の面的な地表変動の時系列把握。国土地理院時報, 95, 57-62.
- 4) 小花和宏之・早川裕式・ゴメス クリストファー (2014) : UAV 空撮と SfM を用いたアクセス困難地の 3D モデリング。地形, 35, 283-294.
- 5) 小花和宏之・早川裕式・加藤顕・ゴメス クリストファー (2015) : 小型無人航空機および単独測位 GNSS 搭載カメラを用いた簡易的な地形測量手法。地形, 36, 87-106.
- 6) 石黒聡士・渡辺満久・熊原康博・中田高・後藤秀昭・北野志歩・宮内崇裕・楮原京子・2014 年神城断層地震地形調査グループ (2015). 日本地理学会発表要旨集, 87, p271.
- 7) 長谷川均・磯谷達宏・小野勇 (2014) : UAV (自律飛行体) を使った空中写真の活用。日本地理学会発表要旨集, 85, p313.
- 8) 田中圭 (2014) : UAV の可能性 - 地域調査の有効なツールに成り得るか。日本地理学会発表要旨集, 85, p314.
- 9) 黒木貴一 (2015) : 地理教材のための 3D データ取得方法の検討と課題。福岡地理学会 2015 年 1 月例会発表要旨。