

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 4 月 19 日現在

機関番号：12501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12480

研究課題名(和文) 無人小型ヘリに搭載した熱カメラによる夜間の災害把握

研究課題名(英文) Observation and modelling affected areas from thermal cameras on board UAVs

研究代表者

山崎 文雄 (Yamazaki, Fumio)

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50220322

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、地震や津波の被災地域を小型無人ヘリコプター(UAV)から撮影し、得られた画像からSfM(Structure from Motion)手法により3次元モデルの構築を試みた。2011年東日本大震災に関しては倒壊建物、2016年熊本地震に関しては地表地震断層、墓石の転倒、斜面崩壊、被災橋梁、倒壊建物などを空撮し、3Dモデルを構築した。これらにより、詳細に視覚的な被災状況の把握を行うことが可能であることを確認できた。また、3Dモデルに地上基準点の座標を与え、位置情報を追加する前後でのモデル精度を比較した。

研究成果の概要(英文)：In this study, the observations of affected areas due to earthquakes and tsunamis were carried out from unmanned multi-copters (UAV or drone). The Structure-from-Motion (SfM) technique was then used to model structures in the areas from the acquired videos and still photographs. Overturned buildings due to tsunamis in the 2011 Tohoku-Oki earthquake, and the surface ruptures, collapsed tombstones, landslides, damaged bridges and buildings due to the 2016 Kumamoto earthquake were observed from a UAV and their three-dimensional (3D) models were developed. The damage situations could be captured from the developed models in detail. By adding the coordinates of ground control points from GPS data, the accuracy of the 3D models were validated.

研究分野：都市システム安全工学

キーワード：ドローン 構造物 3次元モデル 地震被害 建物 斜面崩壊 断層 熊本地震

## 1. 研究開始当初の背景

リモートセンシングによる災害把握は、近年、国内外ともに非常に盛んになってきている。とくに人工衛星に搭載された光学センサや合成開口レーダ(SAR)の高解像度化が進むとともに、センサの首振り機能などによって、災害直後における撮影機会も増大している。しかし、衛星による緊急観測は最短でも1～3日後であり、大規模災害に見舞われた発展途上国(例えば2004年インド洋大津波や2010年ハイチ地震)では極めて有用であるが、我国における役割はさほど大きくない。日本での緊急観測にはヘリテレ映像や空中写真が多用されているが、夜間には撮影できず、夕刻や夜間に災害が発生した場合、約半日の「情報空白」が生じる。

夜間にも機能する航空機搭載センサとしては、合成開口レーダ(SAR)と熱赤外センサなどがあるが、前者はいまだ研究開発レベルで普及までには時間がかかる。一方、後者は単バンド画像であるため、従来、災害への利用は火山噴火の温度把握などが主であったが、画像処理と地図情報を組合せて、「夜間の情報空白」を埋める手段とすることを着想した。またセンサを搭載するプラットフォームとして、最近急激に進歩し、GPS信号による自立飛行可能で、低空から災害現場に近づくことができる小型UAV(ドローン)を採用し、機動性を高めることを企画した。

これまで、光学センサ画像やSAR画像を用いた災害検出に関する研究は、多数行われてきた。一方、熱赤外画像は、衛星搭載型の場合60m～90mと極めて解像度が荒く、浸水域の抽出などは可能だが、建物損壊などの把握は困難であった。本研究では、有人ヘリおよび小型UAVから撮影した解像度0.2m～3m程度の熱赤外画像を用いて、建物被害の抽出法を開発することを目指している。また、この成果により、今後に更新・配備される防災ヘリコプターなどに熱赤外カメラが搭載され、とくに夜間の早期被害把握に貢献することが期待される。

## 2. 研究の目的

地震などの自然災害が発生した場合、被害範囲・程度の早期把握は、緊急対応をとるために極めて重要である。我国は国土が狭いこともあって、災害状況の早期把握にはヘリテレ映像や空中写真による航空リモートセンシングが多用されており、広域にわたる大災害やアクセス困難地域の被害把握に力を発揮している。しかし、空撮による映像・画像は、可視域および近赤外域の太陽光を利用しているため、夜間においては基本的に情報収集が困難となる。一方、熱放射を観測する熱赤外センサは、夜間でも利用が可能である。本研究では、最近、小型化・高性能化してきた熱赤外センサによる空撮画像を用いて、建物損壊などの災害状況を把握する手法を開発する。しかし、熱赤外画像は解像度が低い

ため、低空を飛行しGPS信号を受信して自立飛行も可能な無人小型ヘリコプター(UAV)に熱カメラを搭載して、試験撮影を実施する。

本研究では研究期間内に、熱赤外線カメラで空撮した熱画像を用いて、地震・津波などの災害によって生じた建物損壊等の被害を検出する手法を開発する。主に夜間を対象としているため、災害発生後に得られる情報は、熱赤外の1バンド画像である。これのみで被害の有無を判別するのは困難と考えられるため、事前の可視画像やGISデータによって、解析対象領域を絞り込む。この領域について、事後の熱赤外画像に対するエッジ抽出などの画像処理を用いた、被害検出手法を提案する。提案手法は、有人機・UAVからの空撮熱画像と地上撮影の熱画像の事例解析により検証する。

## 3. 研究の方法

本研究の提案時点では、無人小型ヘリコプター(UAV, ドローン)に熱赤外カメラを搭載し、GPS信号の受信によって事前設定したルートを自立飛行し、これにより撮影された熱画像の画像解析によって建物損壊等を検出する手法を開発することを計画した。とくに、熱画像は夜間でも取得が可能のため、夜間に発生した災害における情報の空白を埋めることを考えた。

しかしながら、本研究が採択されて以降、ドローンの飛行に対する国の規制が定められ、基本的に夜間の飛行は不可となった。これにより、解像度が低い熱カメラをドローンに搭載する優位性が大きく低下した。そこで本研究では、ドローンに通常の可視域カメラを搭載して構造物や地表面を撮影し、構造物の詳細な形状寸法や状態の把握、さらには3次元モデルの構築を行うこととした。撮影した画像に基準点座標を与えるために、GPS受信機を撮影範囲に設置して、UAVの飛行と同期した観測も行う。

## 4. 研究成果

### (1) 熊本地震の被災地でのUAV空撮

本研究では、2016年8月9、10日に熊本地震の被災地域の現地調査を行い、以下の5地点を対象としてUAV観測飛行を実施した。

- a. 益城町堂園 : 断層, V
- b. 西原村小森 : 墓地, V
- c. 西原村小森 : 大切畑大橋・斜面崩壊, P
- d. 南阿蘇村河陽 : 倒壊建物, P
- e. 阿蘇市山田 大観峰 : 斜面崩壊, V/P

ここでVは動画の撮影を、Pは静止画(写真)の撮影を表している。撮影対象地の選定にあたっては、図1に示す通り航空法を順守し、飛行可能な区域や高度を確認した。また、益城町堂園地区の断層調査に当たっては、同町教育委員会に申請し許可を得た。

使用したUAVは、4回転翼の小型ヘリコプターPhantom 3 Professional (DJI社製)を用い

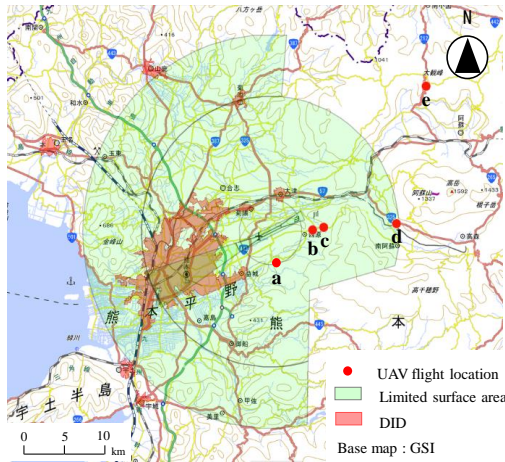


図1 UAVの観測調査地点と飛行制限区域

た. 総重量は 1280g, 搭載カメラは Sony EXMOR 1/2.3” で, 4K 動画または 12.4M ピクセルの高画質静止画の撮影が可能である. 静止画の場合は, 機体に搭載された GPS 受信機による機体位置情報が, 画像ファイルに記録される. 飛行高度は地上約 40m, 撮影角度は鉛直下方及び斜め下方とし, 手動操縦による空撮を行った.

撮影された画像による 3次元モデル構築には, SfM による商用ソフトウェア Agisoft PhotoScan を使用した. SfM では, 対象物を複数の視点から撮影した画像を用いて, カメラの撮影位置と 3次元幾何学形状を同時に算出する. ここで, 動画から作成する場合は, 1秒ごとに静止画をビデオキャプチャし, 地理院地図を用いて地上基準点(GCP)を与えた. また, 静止画から作成する場合は, 5秒ごとに自動撮影された画像を用い, 搭載 GPS データのみを用いる場合と, 地理院地図からの GCP を追加する場合の 2 ケースを試みた.

## (2) 観測結果

熊本地震では, 益城町, 西原村, 南阿蘇村などで, 地表地震断層が出現した. 益城町堂園地区に出現した最大約 2m の右横ずれ変位は, その最大のものである.

堂園地区の地表地震断層を UAV で撮影した結果を図 2 に示す. 動画をキャプチャした合計 154 枚の画像を使用し 3D モデルを構築した. また, モデルには地理院地図からの GCP を 4 点追加した. 自動推定されたカメラ姿勢情報を(a)に, オルソ画像を作成したものを (b)に, さらに国土地理院が 4 月 29 日に撮影したオルソ航空写真を(c)に示す. これらと比較すると, 撮影時期は 4 か月近く異なるが, ともに地表地震断層を確認することができる. 飛行高度は UAV では約 40m, 地理院の有人機では千 m 程度と考えられるため, 解像度は UAV 画像の方がはるかに高いことが分かる. したがって, 詳細な地表断層の状況把握には UAV の方が優れているといえよう.

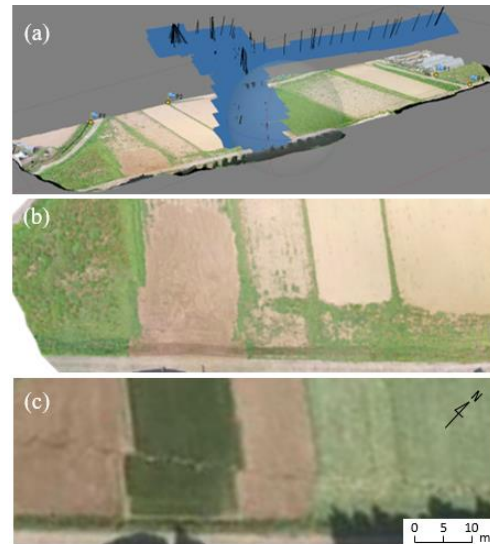


図 2 益城町堂園地区の地表地震断層を写した UAV 画像(a, b)と航空写真(c)の比較

大切畑大橋は県道 28 号線に架かる全長 265m の 5 径間連続橋梁である. 熊本地震によって積層ゴム支承が損傷し, 桁が支承から脱落するなどの甚大な被害を受け, 地震発生以来通行止めの状況が続いていた. 現地調査では, 西原村側から徒歩で橋梁を渡り, 大切畑貯水池の状況を観測するとともに, 大橋上から UAV を飛ばして, 橋に隣接する斜面の崩壊状況などを撮影した.

UAV から撮影した高分解能静止画の例を図 3 に示す. 3D モデル構築には合計 51 枚の静止画像を使用した. 構築した 3D モデルとカメラ姿勢情報を (b)に, 数値表層モデル (DEM)を(c)に示す. この観測では静止画撮影

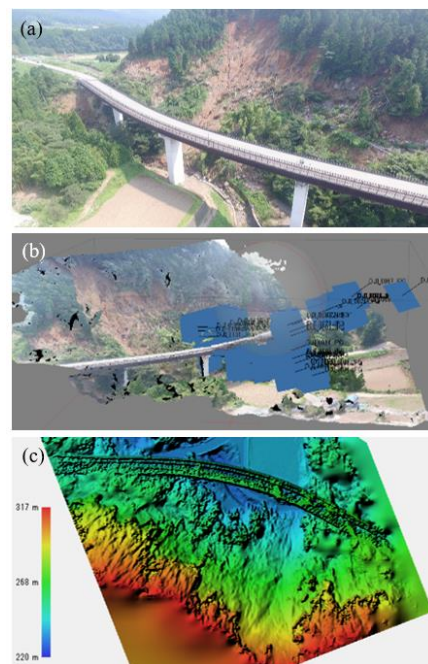


図 3 大切畑大橋付近の空撮画像, 3D モデル及び自動推定されたカメラ位置情報, DSM 画像



を行ったため、機体搭載の GPS データも取得され、カメラ位置の探索の初期値として利用できた。有人航空機より撮影された航空写真に比べ崩壊斜面に接近できるため、地形変化や植生の変化を観測しやすい。また、DEMにより斜面の上方から下方に向けて、土砂が流出している様子が確認できる。

南阿蘇村河陽地区は、阿蘇大橋の崩落、アパート倒壊による人的被害、地表地震断層の出現など、様々な被害が集中した地区である。現地調査では、倒壊して残された建物の上空を道路上から UAV を飛行させて観測した。河陽地区における倒壊建物の 3D モデル及び自動推定されたカメラ位置・姿勢情報、DSM 画像を図 4 に示す。3D モデル構築には 5 秒間隔で自動撮影された 172 枚の空撮画像を使用した。また、3D モデルには GCP を 5 点追加した。表 1 には、GCP を置いた各点間の距離を計測し、3D モデルに GCP を与えていないものと与えたものを比較した結果を示す。

図 5 に GCP として追加する標定点(P1-P5)の配置と現地での設置の様子を示す。2 ケースの 3D モデルを比較した結果、GCP を与えていない 3D モデルでは最大誤差が 0.35m、GCP を与えた場合では -0.28m となり、GCP を与えた場合の方がやや良い結果となった。PhotoScan では、GCP を追加する過程において、画像に写る標定点に手で GCP を合わせる必要がある。今回は標定点としてカラーコーンを使用したため、空撮画像内でその倒れ込みが生じたことや、巻尺による距離測定の精度にも問題があったことなどが誤差を小さくできなかった要因と考えられる。

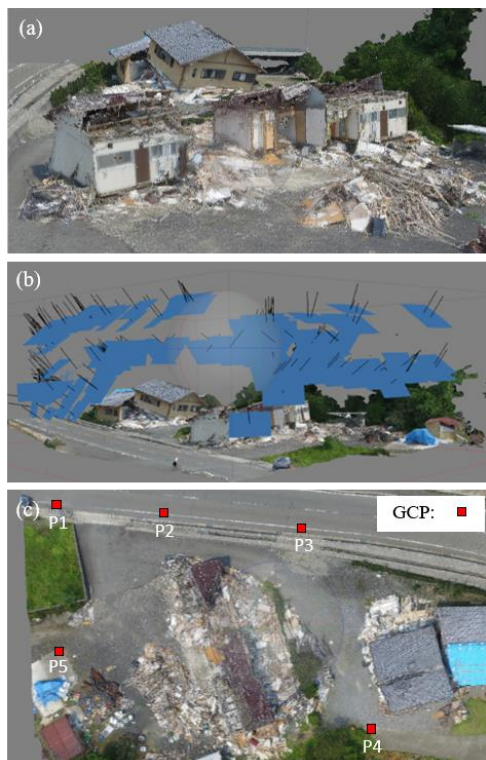


図 4 倒壊建物付近の 3D モデル及び自動推定されたカメラ位置情報、DSM 画像

表 1 GCP 追加前後の地点間距離の誤差(m)

	現地測定 距離(m)	GCP追加前		GCP追加後	
		3Dモデル	誤差	3Dモデル	誤差
P1-P2	15.08	15.26	0.18	14.97	-0.11
P2-P3	19.68	19.86	0.18	19.50	-0.18
P2-P5	24.08	24.43	0.35	23.98	-0.10
P3-P4	30.03	30.31	0.28	29.75	-0.28



図 5 GCP の配置図と使用した標定点

### (3) まとめと今後の展望

本研究では、2016 年熊本地震により発生した地表地震断層、墓石の転倒被害、斜面崩壊、被災橋梁、建物倒壊被害などを実際に UAV で空撮し、取得した空撮画像から SfM 手法による 3D モデルの構築、及びオルソ画像と DSM の作成を行った。これらにより、詳細に視覚的な被災状況の把握を行うことが可能であると確認できた。また、3D モデルに GCP を与え、位置情報を追加する前後でのモデル精度を比較した。

今回は GCP を追加する際に使用した標定点の不備が精度に影響し、誤差の大幅な改善には至らなかった。SfM 手法による 3D モデル構築の際は、GCP を与える過程でモデルの精度が決まるため、精度の向上には、空撮によって倒れ込みが生じず、画像上で標定点の中心を押さえやすい模様もしくは印の標定点を使用する必要がある。

今後の課題としては、UAV に搭載されたカメラの撮影設定や、標定点の形状・設置方法の改善を行うこと、より迅速な 3 次元データの取得を目指し、少ない画像枚数で高精度な 3D モデルの構築を行うための UAV 操縦方法について検討していきたい。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 6 件)

- ① 久保佳澄, 田邊諒士, 山崎文雄, UAV 空撮による 2016 年熊本地震の被害把握と 3 次元モデル作成, 第 61 回学術講演会論文集, 日本リモートセンシング学会, pp. 115-118, 2016 年 11 月 1-2 日, 新潟テルサ (新潟県新潟市)

- ② F. Yamazaki, W. Liu, Remote sensing technologies for post-earthquake damage assessment: A case study on the 2016 Kumamoto earthquake, 6th Asia Conference on Earthquake Engineering, 13p, 2016. 9.22-24, Marco Polo Hotel, Cebu City (Philippines) (招待講演)
- (3) 連携研究者  
なし
- (4) 研究協力者  
なし
- ③ 田邊諒士, 松田薫元, 中西慶, 劉ウエン, 山崎文雄, ドローン空撮画像を用いた消防訓練塔の3次元モデル構築, 第60回学術講演会論文集, 日本リモートセンシング学会, pp. 95-98, 2016年5月12-13日, 日本大学(千葉県習志野市)
- ④ 田邊諒士, 松田薫元, 傳田真也, 中西慶, 劉ウエン, 山崎文雄, UAV空撮画像を用いた3次元建物モデルの精度評価, 第59回学術講演会論文集, 日本リモートセンシング学会, pp.105-106, 2015年11月26-27日, 長崎大学(長崎県長崎市)
- ⑤ F. Yamazaki, T. Matsuda, S. Denda, W. Liu, Construction of 3D models of buildings damaged by earthquakes using UAV aerial images, Proc. of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 204, 8p, 2015.11.6-8, Sydney (Australia)
- ⑥ 傳田真也, 松田薫元, リュウ ウエン, 山崎文雄, UAV空撮画像を用いた構造物の3次元モデル構築, 地域安全学会梗概集, No.36, pp.71-74, 2015年5月29-30日, 大島町開発総合センター(東京都大島町)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

山崎・劉研究室ホームページ

<http://ares.tu.chiba-u.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山崎 文雄 (YAMAZAKI, Fumio)

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 50220322

### (2) 研究分担者

なし