

# 自然災害が多発する阿蘇地域における防災・減災のための 無人航空機を用いた時空間地形情報システム (162310004)

Measurement system of topography considering time and space by a drone for prevention and reduction of natural disaster in the Aso region

## 研究代表者

尾原祐三 熊本大学

Obara Yuzo Kumamoto University

## 研究分担者

水本郁朗<sup>†</sup> 公文誠<sup>†</sup>

Mizumoto Ikuro<sup>†</sup> Kumon Makoto<sup>†</sup>

<sup>†</sup>熊本大学

<sup>†</sup>Kumamoto University

研究期間 平成 28 年度～平成 30 年度

## 概要

本研究は、無人航空機を用いて斜面の画像・レーザ測距データを取得し、3次元形状を把握し、形状が時間的に変化することを検出する方法を確立し、地域の安全・安心な生活に資する情報技術の活用を目指し、つぎの3つの目的を定めて、研究を実施した。

- 1) 斜面表面を遠隔撮影するカメラ・レーザ測距装置システムの開発
- 2) マルチロータヘリコプタの高性能な飛行制御手法の実現
- 3) 観測データの時間差分に基づく斜面形状の時間変化の検出手法の確立および斜面形状の変化の可視化・呈示システムの構築

## 1. まえがき

平成28年4月の熊本地震で熊本県の阿蘇山を含む一帯は、土砂崩れ等の大きな被害を受け、地形形状を精密かつ連続的に観察することが防災上重要であることは論を待たない。本研究では、無人航空機を用いて斜面の画像・レーザ測距データを取得し、3次元形状を把握し、形状が時間的に変化することを検出する方法を確立し、地域の安全・安心な生活に資する情報技術の活用を目指すものである。しかしながら、広域な地形が時間とともに変化する事象を、広域空間データの時間変化データとして取得した場合、それらデータ間の対応を得るのは容易ではない。そこで、本研究では空間と時間双方を考慮したモザイクング技術を開発し、3次元地形データベースを構築することを技術的最終目標とする。

そこで、つぎの3つの目的を定めて、研究を実施した。

- 1) 斜面表面を遠隔撮影するカメラ・レーザ測距装置システムの開発
- 2) マルチロータヘリコプタの高性能な飛行制御手法の実現
- 3) 観測データの時間差分に基づく斜面形状の時間変化の検出手法の確立および斜面形状の変化の可視化・呈示システムの構築

## 2. 研究開発内容及び成果

- 1) 斜面表面を遠隔撮影するカメラ・レーザ測距装置システムの開発

開発した基本システムを図1に示す。CMOS センサ付きカメラに加えライン型レーザ距離計を搭載し、カメラ画像と同時に測定した測距データを加味して3次元再構成することでスケール推定を行う簡易な方法を開発した。

この結果、レーザ距離計のライン数の増加は測定精度には寄与しないものの、複雑な形状や影など測定の難しい領

域を含む場合でも安定した結果を与えることを示唆する結果を得た。さらに、この基本システムをバッテリーを含め1kg程度で、ドローン搭載可能なレベルを達成し、小型・軽量の可搬型とするとともに、小型化に伴って増大したスケール推定誤差を、開発した校正手法で0.3%以下に低減させた。

レーザ測距センサ



図1 基本システム

- 2) マルチロータヘリコプタの高性能な飛行制御手法の実現

鉾山における岩盤斜面に沿って航行可能で、風外乱や機体形状の不確かさに対して頑健(ロバスト)な自動制御器(無人飛行制御アルゴリズム)を有する飛行システムの制御技術の開発を行った。

開発したシステムを図2に示す。システムは、姿勢情報を用いなくとも目標軌道に十分追従し、さらに、任意の目標ヨー角に機体を制御することができる制御系が完成していることを明らかにした。



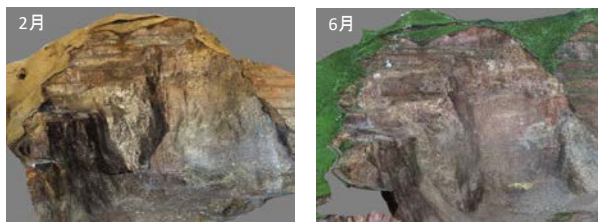
図2 開発した制御器を実装したマルチロータヘリコプタ

### 3) 観測データの時間差分に基づく斜面形状の時間変化の検出手法の確立および斜面形状の変化の可視化・呈示システムの構築

ドローンによって撮影された画像解析により、岩盤斜面の時間変化の抽出法、呈示法などを示すとともに、それを用いた崩壊メカニズムを推定する方法を含んだ岩盤斜面観測システムを構築した。

このシステムを阿蘇採石場に適用し、図 3 に示すように、熊本地震前後の 3 次元モデルを撮影し、斜面の形状変化を分析した。

この結果、図の右側部分が地震によって崩壊し、その体積は約 21 万  $m^3$  であることを明らかにするとともに、断面形状の変化を明らかにした。



(a) 2016年2月撮影 (b) 2016年6月撮影  
図3 熊本地震前後の採石場の3次元モデル

さらに、地震による斜面の崩壊前後の断面図を持つ有限要素モデルを用い、図 4 に示すように、震度法による弾塑性解析によって得られた斜面の塑性領域と崩壊領域を比較し、岩盤斜面の破壊強度パラメータを推定した。また、エリア B における斜面の大規模崩壊は熊本地震により斜面下部が最初に崩壊し、それに伴い上部の岩盤が崩壊して現在の斜面形状に変化したと推論した。

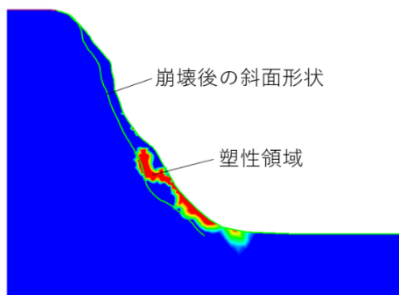


図4 崩壊後の斜面形状と崩壊前の斜面形状のもとで解析された塑性領域

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取組

画像解析の精度は使用した画像の枚数に依存しないこと、対象との距離に近い画像を用いることで斜面の細かい凹凸をとらえることができるなど解析精度に関する知見を得ることができた。しかし、ドローンを岩盤斜面に近づけることは危険が伴う。今回はドローンの飛行をマニュアル操縦したが、ドローンにはすでに水平面内での自動航行ができるシステムが導入されているので、これを利用すると同じ位置から撮影を行うことができ、常に同程度の精度の 3 次元モデルの作成ができ、高品質データとして保管が可能となる。しかし、斜面表面に沿うような自動航行システムの構築が急務であり、特に斜面に近づいた時の風に対する制御を確実にすることが重要であるとともに、鉱山の操業の進行とともに斜面形状が変化するので、分析項目に適合した自動航行の経路や位置の選定、修正を逐次行うことが必要で、その完成にむけて研究を進める。

天候、植生などが測定精度に影響を及ぼすので撮影に際しては留意する必要がある。岩盤斜面は裸地であるので表面の状況を直接撮影できるが、周辺の植物が画像に入ると、

植物の高さまでもが解析されることとなり、撮影時に風があって、植物がそよぐような場合の測定精度は低下する。とくに、植生と裸地との境界付近などでは十分な精度は得られないが、植生領域から離れた裸地の測定精度は所定の精度は持っていると考えられる。また、画像の画素数が増えると 1 ピクセルの実サイズが小さくなり、測定精度は向上する。しかし、1 画像の容量が大きくなり、解析に要する時間が増大する。したがって、適切な測定精度が得られるような条件を設定することが重要である。

このような課題があるが、ドローンを用いた岩盤斜面観測は鉱山や採石場の状況把握や安全管理の有力なツールであることは明らかで、導入は推進されるものと期待される。また、トンネルや橋脚のように GPS の電波が届かない場所での計測への展開も可能と考えられる。

また、飛行制御に関しては、本課題で開発した制御アルゴリズムは、汎用的なものであり、軌道追従を必要とする各種のドローンの制御にも適用が可能であると考えられる。今後は、既存のドローン制御系に提案した制御系設計概念を付加することでロボаст性を補完する制御系設計への展開も予定している。

平成 30 年度には、経済産業省、石灰石鉱業協会、資源・素材学会と連携し、資源・素材学会全国大会（福岡）にて企画セッション「鉱山保安のための新技術」を開催した。この中で、ドローンについての講演を行って、その有用性について議論した。令和元年においても、資源・素材学会全国大会（京都）において、ドローン新技術に注目した企画セッション「鉱山における操業・保安・管理へのドローン最新技術の応用」の開催を予定しており、現在プログラム編成中である。これらの取り組みを通して、経済産業省、石灰石鉱業協会と協力して、日本全国にある石灰石鉱山や採石場における操業・保安・管理へのドローン新技術の導入を推進する。

### 4. むすび

平成 28 年度に発生した熊本地震のために、研究の立ち上げが遅くなったことはいなめないが、研究期間内で基本的な設計、開発はできたと確信している。今後、ドローンなどの無人航空機の新しい要素技術が開発されると考えられるので、それらに注目して研究への取り組みながら、社会へ技術展開する。また、本研究で得られた研究成果は国際会議や論文誌への発表を通して開示する。

#### 【誌上发表リスト】

- [1] 尾原祐三, 吉永徹, 濱地亮, “ドローンを用いた岩盤斜面観測システムの測定精度とその適用”, *Journal of MMIJ*, 134(12), pp. 222-231 (発表 2018 年 12 月)
- [2] Hiroshi Nonaka, Eiji Mori1, Makoto Kumon and Ikuro Mizumoto, “Control System Design for Linearized System of a Quadrotor by a Combination of ASPR Based Output Feedback and Back-Stepping Strategy”, *Proceedings of SICE International Symposium on Control Systems*, Sa21-2 (発表 2018 年 9 月)
- [3] 桑野修至, 鷺崎海, 公文誠, “カメラ画像を用いた 3 次元復元像のスケール推定における 1 ラインレーザスキャナの利用”, *ロボティクス・メカトロニクス 2018 講演会論文集*, 2A1-I15, 北九州 (発表 2018 年 6 月)

#### 【報道掲載リスト】

- [1] “ドローンを用いた岩盤斜面監視システムとその適用”, *ドローンを用いた岩盤斜面監視システムとその適用* (発表 2018 年 12 月)