

# 平成 28 年熊本地震による阿蘇地域の牧野被害把握における 空中写真判読および航空レーザ計測の統合解析

## ならびに UAV 空撮計測の利用

### Survey Using Aerial Photographs, Laser Scanning and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Techniques for Evaluating Pasture Damage in the Aso Region by the 2016 Kumamoto Earthquake

藤原和史・北浦日出世\*・鶴田克之・坂本利弘\*\*・岩崎亘典\*\*・石塚直樹\*\*

Kazufumi FUJIWARA, Hideyo KITaura, Katuyuki TSURUTA, Toshihiro SAKAMOTO, Nobusuke IWASAKI and Naoki ISHITSUKA

#### 要 約

平成 28 年 4 月 14 日および 16 日に発生した平成 28 年熊本地震によって県内では甚大な被害が発生した。地震発生後、阿蘇地域の重要な畜産経営基盤である草地の被害状況把握が求められた。しかし、総面積が 22,000 ha に及ぶ広域を短時間で現地被害調査を行うことは困難であった。そこで、地震直後に環境省九州地方環境事務所および林野庁が公表した空中写真判読や航空レーザ計測結果、両データを統合した。その結果、土砂移動および崩壊が発生した牧野は 165 牧野中 62 牧野で、被害面積は約 315.5 ha と推定された。また、亀裂が発生した牧野数は 165 牧野中 56 牧野と推定された。さらに、経時的に限られた範囲の土砂移動や亀裂発生の把握を目的に、Unmanned Aerial Vehicle (UAV) 空撮計測を用いた地形図を作成し、前述の航空レーザ計測により作成した地形図と精度比較を行った。その結果、UAV 空撮計測による地形図は航空レーザ計測を基に作成した地形図より小さな亀裂を検出した。以上のことから、災害発生後の草地の被害発生調査は、調査面積が広範囲に及ぶ場合は空中写真判読及び航空レーザ計測を組み合わせを行い、経時的で限られた面積での被害状況調査は UAV 空撮計測を用いることが有効な手法と考えられた。

キーワード：空中写真判読，航空レーザ計測，UAV 空撮計測，Geographic Information System (GIS)，阿蘇牧野，熊本地震，震災被害

#### I 緒言

熊本県北東部に位置する阿蘇地域の外輪山に広がる草原は、165 牧野組合により維持管理されている。各牧野組合で管理している面積は約 22,000 ha、採草放牧面積は約 16,000 ha に及ぶ<sup>1)</sup>。阿蘇地域の特徴は肉用牛繁殖農家が牧野組合に所属し地域内放牧を実施していることである。さらに、菊池地域などの平坦地の妊娠牛を受け入れる広域放牧も行われている<sup>2)</sup>。そのため本県の肉用牛繁殖農家にとって阿蘇地域の牧野が果たす役割は大きい。しかし、平成 28 年 4 月 14 日、16 日に発生した平成 28 年熊本地震により阿蘇地域牧野が受けた被害は甚大であり、畜産業のみならず観光業をはじめとする地域経済への影響は多大なものとなった。

そこで本研究は、これら牧野の復旧や採草放牧利用を継続するため、放牧牛や採草作業を行うトラクター等が事故を起こさないよう牧草などに隠れた小さな亀裂も含めた地震被害状況の把握を目標とした。

近年、地理的变化の把握に空中写真判読法、航空レーザ計測法、さらに UAV 空撮計測法が用いられている。

(1) 空中写真判読とは、撮影した現在の空中写真と過去の空中写真を比較し、変化が生じた箇所を抽出する方法である。地すべりの空間的分布の把握に航空機や人工衛星の画像が活用されている。これまで、田代らは新潟中越沖地震における建物倒壊の把握を空中写真判読に基づいて報告している<sup>3)</sup>。(2) 航空レーザ計測とは、航空機に搭載したレーザ測距装置、GNSS 受信機、慣性計測

\* 現 熊本県大阪事務所

\*\* 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター

装置により、地上を測量する方法である。これにより、測量困難な場所での測量が可能であり、作業人数の削減等現地作業の負担が少ないという利点がある。高精度、高密度なデータがデジタル形式で短時間かつ安価に習得できるとされている<sup>4)</sup>。環境・防災事業分野で活用され、戸田は航空レーザ計測データを用いて微地形図の作成を報告している<sup>5)</sup>。(3) UAV 空撮計測法とは、無人航空機(UAV, unmanned aerial vehicle)を活用し、人が立ち入れない場所での災害調査等を行う方法である。飛ぶことのできない人の分身として人が立ち入れない場所での調査が可能のため、近年、UAV が通称:ドローンとして、ホビー用としてのみならず、産業用へと応用分野を拡大し、運送系や測量・建築・土木分野においてドローンを活用した取り組みが活発になってきている。将来的には生育調査など精密農業におけるリモートセンシングの役割、消火作業や高所危険作業などへの応用も期待されている<sup>6)</sup>。

これまで、災害状況や森林域の地形等を1つの計測法で調査した研究は報告されている。しかし、空中写真判読では草木に覆われた土砂移動、亀裂の判読が難しいと考えられる。また、航空レーザ計測では専門機関の航空機で計測を行う必要があり、計測後の変化については、再度計測を行わなければならない。これらの問題点を解決するために上記の2種の計測法(空中写真判読と航空レーザ計測)を組み合わせ活用した事例は少ない。また、最近 UAV とレーザ計測を組み合わせ方法として、渡辺らは UAV にレーザ測量機器を搭載した計測法での河川地形の精度評価を報告している<sup>7)</sup>。しかしながら、レーザ測量機器や機器を搭載可能な UAV の導入にはコストがかかると考えられる。また、汎用型 UAV の写真を活用し、牧野における土砂移動や亀裂の認識を試みた事例はない。

そこで本研究は、地震後に公表された空中写真判読や航空レーザ計測のデータを組み合わせ活用し、平成28年熊本地震による草地の地震被害状況の推定を行った。また、汎用型 UAV を用いた UAV 空撮計測により草地の地震被害を把握し、その精度を航空レーザ計測と比較し、牧野被害把握方法の検討を行った。さらに、推定された牧野被害状況は平成28年熊本地震からの草地の復旧復興や平成28年熊本地震の牧野利用計画に資することを目的とする。

## II 材料および方法

### 1 データによる地震被害の推定

調査はオープンソース地理情報システムである QGIS を用いて行った。初めに QGIS に取り込んだ農業分野で

も活用される人工衛星 Rapid Eye の衛星画像上に、阿蘇地域の各牧野区画を電子データ化することで、電子牧野図を作成した。地震被害推定には環境省九州地方環境事務所が作成した「平成28年熊本地震による土砂移動・亀裂分布図 GIS データ」<sup>8)</sup> および林野庁が作成した「平成28年熊本地震に係る森林域における航空レーザ計測業務」の成果データ<sup>9)</sup>を使用した。これらのデータと電子牧野図を QGIS 上で重ね合わせ、平成28年熊本地震による阿蘇地域牧野の被害状況推定マップとして地震被害を推定した。

### 2 UAV (ドローン) 空撮計測による地震被害の推定

調査は平成29年4月20、21日の2日間実施した。調査場所は熊本県阿蘇市の赤水牧野の中でも特に被害が甚大な場所を中心に実施した。空撮には UAV である Phantom4 pro (DJI 製)を使用した。空撮高度は100mで行った。UAV 空撮により得られた画像は3次元モデリングソフトウェア (AgiSoft PhotoScan professional) で3次元合成処理を行った。処理後、オルソ画像 (オルソフォト画像) と数値標高モデル (Digital Elevation Model, 以下 DEM) を作成した。DEM は QGIS でプラグイン処理し、地形図の1つで長野県林業総合センターが考案した地形表現図である Curvature Slope (CS) 立体図<sup>10)</sup>を作成した。オルソ画像と CS 立体図を QGIS で重ね合わせ、UAV による被害状況マップを作成した。

### 3 航空レーザ計測と UAV 空撮計測による被害把握精度の比較

林野庁で作成された航空レーザ計測の成果と UAV 空撮計測から作成した被害状況マップから CS 立体図を比較し、亀裂の見え方を QGIS で比較検討した。

## III 結果

### 1 公表データによる地震被害推定

環境省九州地方環境事務所が実施した空中写真判読によると、土砂移動が発生した牧野は30牧野/165牧野、被害面積280haであり、亀裂が発生した牧野は35牧野/165牧野、被害面積31.9haであった(第1表)。林野庁が実施した航空レーザ計測成果によると崩壊が発生した牧野は53牧野/165牧野、被害面積91.3haであり、亀裂が発生した牧野は44牧野/165牧野で、被害面積の算出はなかった(第2表)。環境省九州地方環境事務所および林野庁のデータを統合すると、土砂移動および崩壊が発生した牧野は62牧野/165牧野、被害面積は315.5ha/22,000haとなり、亀裂が発生した牧野数は56牧野/165牧野と推定された(第3表および第1図)。

2 UAV（ドローン）空撮計測による地震被害把握

UAV 空撮計測による赤水牧野の被害状況マップを作成した（第2図）。高度 100 m で約 20 分撮影を行うことで、撮影できた面積は約 25～30 ha であった。

3 公表データと UAV 空撮計測による被害推定の比較

航空レーザ計測成果と UAV による空撮計測を比較すると、UAV による空撮計測の方がより小さな亀裂を確認することができた（第3図）。

第1表 環境省九州地方環境事務所が実施した空中写真判読による阿蘇地域の平成 28 年熊本地震の牧野被害推定値

区分	被害牧野数（牧野）	被害面積（ha）
土砂移動	35	280
亀裂	30	31.9

第2表 林野庁が実施した航空レーザ計測成果による阿蘇地域の平成 28 年熊本地震の牧野被害推定値

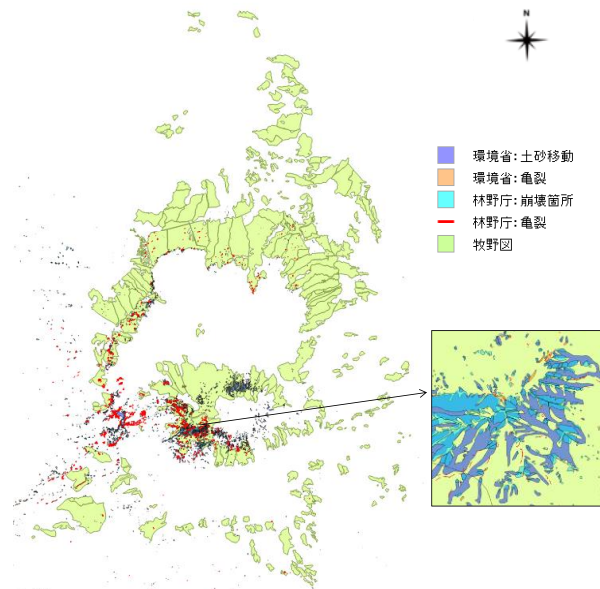
区分	被害牧野数（牧野）	被害面積（ha）
崩壊	53	92.3
亀裂	44	—

第3表 環境省九州地方環境事務所と林野庁による阿蘇地域の平成 28 年熊本地震の牧野被害推定値の統合

区分	被害牧野数（牧野）	被害面積（ha）
土砂移動		
および	65	315.5
崩壊		
亀裂	56	—（31.9）

IV 考察

今回、公表されたデータである空中写真判読、航空レーザ計測の成果を用い、平成 28 年熊本地震後の阿蘇地域の牧野の被害状況を推定した。これにより、迅速かつ簡便に被災情報を得ることができると考えられた。しかしながら、空中写真判読、航空レーザ計測にはそれぞれ短所が存在することを認識しなければならない。空中写真判読には、空中写真が撮影された時期により、亀裂等が牧草に覆われ、判読できない場合や被災前後で変化が閾値を超えないとき、被害箇所として判定されない場合があることが考えられた。航空レーザ計測には、航空機を飛ばす費用がかかることが短所と考えられた。



第1図 阿蘇地域の平成 28 年熊本地震の牧野被害推定マップ

以上のように、空中写真判読や航空レーザ計測を用いることで広範囲の被災状況推定が可能であるが、データにはそれぞれ短所が存在することも認識する必要がある。

また、UAV を用い、平成 28 年熊本地震後の牧野を上空から撮影し、崩壊や亀裂といった被害状況の把握を行ったところ、林野庁公表の航空レーザ測量成果と比較しても同等以上の被害把握が可能であった。これにより、UAV でも平成 28 年熊本地震に限らず、大雨や台風等の災害で迅速な被害把握が可能になると考えられた。

しかし、一方で課題も挙げられる。1つは、UAV の飛行航続時間により飛行 1 回の撮影可能面積に限度があることである。近年、革新的に技術が進歩している UAV ではあるが、バッテリー容量により飛行 1 回の時間は長くとも 20～30 分程度である。気象条件により差はあるが、高度 100 m で 20 分撮影を行った場合、撮影可能面積は約 25～30 ha である。阿蘇地域の牧野の大きさは大小様々ではあるが、広いところでは 1400 ha を有する牧野も存在する。その場合、一度に牧野全体を撮影することは困難である。2つ目に、3次元モデリングソフトウェアで推奨されている性能を有すハードウェアを使用しなければ、3次元合成処理に膨大な処理時間を費やすこととなり、必要なタイミングで各データを取得することが不可能である。そこで、最近では UAV 等で撮影した画像



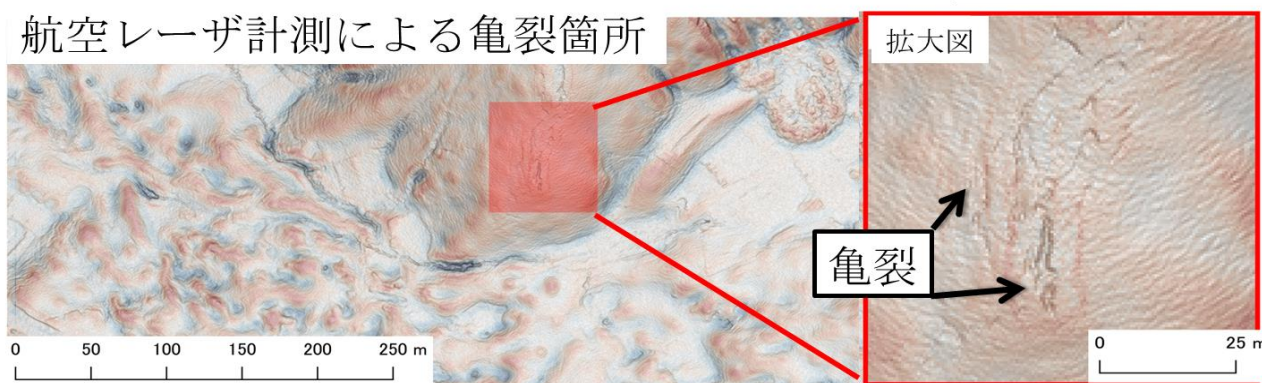
平成 28 年熊本地震前の赤水牧野の一部



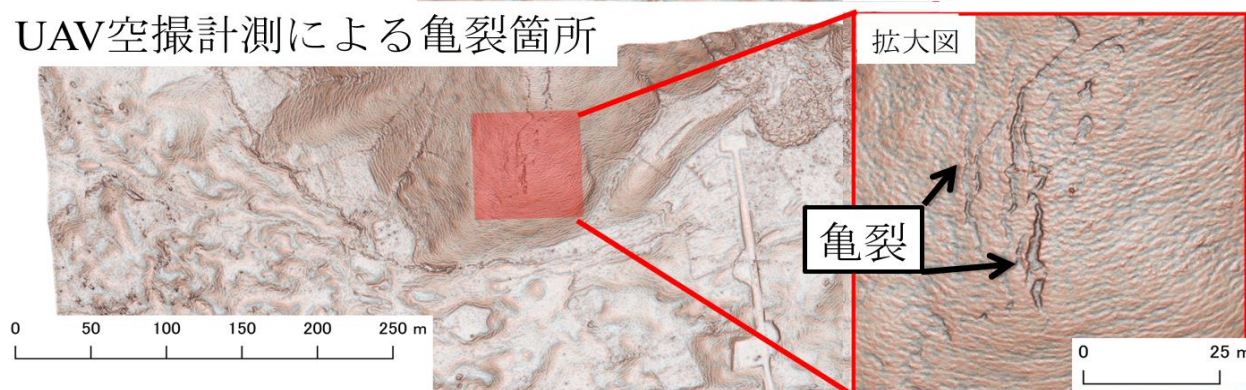
平成 28 年熊本地震後の赤水牧野の一部

第 2 図 UAV 空撮計測による平成 28 年熊本地震による赤水牧野の被害状況

### 航空レーザ計測による亀裂箇所



### UAV空撮計測による亀裂箇所



第 3 図 林野庁が実施した航空レーザ計測成果と UAV 空撮計測の CS 立体図による亀裂の見え方の比較

をクラウド上にあげることで、3次元モデルやオルソ画像等を作成してくれるサービスも存在するため、これらを活用することも有効であると考えられた。

以上のように、課題はあるが、限られた範囲を対象に画像処理環境が整う場所において、UAV 空撮計測は航空レーザ測量と同等の精度で、1つの牧野での災害による被害箇所を把握することが可能である。さらに傾斜など地形解析、牧野の利用面積状況の把握等への有効活用が可能であると考えられた。

#### IV 謝辞

本研究に対し多大なご協力をいただいた、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター、熊本県北広域本部阿蘇地域振興局に御礼申し上げます。

#### V 引用文献

- 1) 熊本県 (2016) : 草原維持再生基礎調査報告書。
- 2) 熊本県北広域本部阿蘇地域振興局 (2017) : 阿蘇地域農業・農村ビジョン～熊本地震からの復旧・復興と新たな阿蘇農業の基盤づくり～。

- 3) 田代啓・丸山喜久・山崎文雄 (2010) : デジタル空中写真測量に基づく新潟中越沖地震における建物倒壊の把握. 地域安全学会論文集 13, 379-386, <https://ci.nii.ac.jp/naid/110009484176> (平成 31 年 1 月 10 日閲覧)
- 4) 齊藤和也 (監修) (2008) : 図解 航空レーザ測量 基礎から応用まで. 公益財団法人 日本測量調査技術協会, 東京.
- 5) 戸田堅一郎 (2012) : 航空レーザ測量データを用いた微地形図の作成. 砂防学会誌, 65 (2), 51-55, [https://www.jstage.jst.go.jp/article/sabo/65/2/65\\_51/\\_article/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/sabo/65/2/65_51/_article/-char/ja) (平成 31 年 1 月 10 日閲覧)
- 6) 野波健蔵 (2017) : ドローン技術の現状と課題およびビジネス最前線. 情報管理, 59 (11), 755-763, <http://doi.org/10.1241/johokanri.59.755> (平成 31 年 1 月 10 日閲覧)
- 7) 渡辺豊・河原能久・北真人 (2017) : UAV を用いたレーザ測量の河川地形の精度評価. 土木学会論文集 B1, 73 (4), 553-558 (水理工学論文集第 61 巻) [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejhe/73/4/73\\_I\\_553/\\_article/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejhe/73/4/73_I_553/_article/-char/ja) (平成 31 年 1 月 10 日閲覧)
- 8) 環境省 (2016) : 平成 28 年熊本地震による土砂移動・亀裂分布図 GIS データ. 九州地方環境事務所, 熊本, [http://kyushu.env.go.jp/to\\_2016/28\\_2.html](http://kyushu.env.go.jp/to_2016/28_2.html) (平成 31 年 1 月 10 日閲覧)
- 9) 林野庁 (2016) : 平成 28 年熊本地震に係る森林域における航空レーザ計測業務. 森林整備部, 東京, <http://www.rinya.maff.go.jp/j/kouhou/jisin/rezakohyo2.html> (平成 31 年 1 月 10 日閲覧)
- 10) 戸田堅一郎 (2014) : 曲率と傾斜による立体図法 (CS 立体図) を用いた地形判読. 森林立地, 56 (2), 75-79, [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjfe/56/2/56\\_KJ00009647426/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjfe/56/2/56_KJ00009647426/_pdf) (平成 31 年 1 月 10 日閲覧)

### Summary

#### Survey Using Aerial Photographs, Laser Scanning and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Techniques for Evaluating Pasture Damage in the Aso Region by the 2016 Kumamoto Earthquake

Kazufumi FUJIWARA, Hideyo KITAURA, Katuyuki TSURUTA, Toshihiro SAKAMOTO, Nobusuke IWASAKI and Naoki ISHITSUKA

Japan's Kumamoto Prefecture suffered serious damage from the Kumamoto Earthquake that occurred in April 2016. At that time, the prefectural government had to immediately estimate the damage in the pastures of the prefecture's Aso region, which is important for beef cattle production. It was very difficult to conduct a manual survey of the pastures, as the pastures comprise 22,000 ha. We attempted to estimate the region's damage by using aerial photograph data and aerial laser data issued by Japan's Ministry of the Environment and the country's Forestry Agency. Co-operative pastures where landslides had occurred were 62 sites (315.5 ha) of the total of 165 sites. The number of pastures with one or more cracks/crevices due to the earthquake was 56 sites of the total of 165 sites. To obtain an immediate assessment of the occurrence of landslides and cracks in the pastures on a small scale, we created a topographic map based on photography measurements taken by unmanned aerial vehicles (UAVs). We also compared this topographic map with a map we created based on aerial laser measurements. The comparison revealed that the UAV map was able to detect smaller cracks than the aerial laser map. Our results suggest that a combined interpretation of aerial photographs and aerial laser measurement is effective for surveys of damage to wide areas, whereas measurements of UAV photography data contribute to the continuous monitoring of small-scale damage.