

地震リスク評価のための活断層とその直近の建物の小型 UAV 低空空撮

井上公¹、杉田暁²、石黒聡士³、田中圭⁴、中田高⁵、福井弘道²、井筒潤²

¹防災科学技術研究所社会防災システム研究部門、²中部大学国際 GIS センター、

³愛知工業大学地域防災研究センター、⁴日本地図センター、⁵広島大学名誉教授

1. はじめに

2016 年 4 月の熊本地震でも明らかなように、内陸の活断層地震では断層近傍に建物被害とそれによる人的被害が集中する。断層の活動履歴を正確に把握してハザード評価の精度を高め、断層近傍に建つ住宅のリスクを住民が理解して耐震補強や移転を促進することが、将来の地震による被害の軽減策として求められている。本課題では大規模地震災害の軽減という問題複合体へのアプローチとして、小型 UAV を用いた低空空撮画像を用いた断層地形モデリングを行った(1)。また、断層の近傍に建つ住宅の高解像度写真のデータベース化を試みた。用いた手法は、我々がこれまでに実施した活断層空撮技術を踏襲している (2, 3, 4)。

2. 空撮調査

撮影にはマルチコプターの DJI Phantom 3/4 (図 1) と、自作固定翼機の Skywalker X-5 (図 2) を用いた。前者は操縦が容易で、カメラは 12Mpixel、対角画角 94 度、ジンバルを有し、高解像度斜め写真を撮影できる (図 3)。自作固定翼機には、12Mpixel で対角画角 149 度の GoProHero4 を下向きに搭載した(1)。固定翼機は狭い場所での着陸には技術が必要であるが、マルチコプターに比べて巡航速度が 2 倍程度、滞空時間は 3 倍程度あり、広範囲の撮影に適している。また機体が発泡スチロール製のため万一の墜落時にも安全性が高い。(図 4)



図 1 DJI Phantom



図 2 自作固定翼機 Skywalker X-5



図 3 DJI Phantom の運用風景



図 4 自作固定翼機 Skywalker X-5(右)の運用風景

調査対象は全国の活断層の中でも推定将来活動率が最も高い糸魚川静岡構造線の牛伏寺断層・松本盆地東縁断層・大沢断層および阿寺断層の坂下付近の 4 か所を選んだ (図 5)。断層近傍の幅 200~500m の領域の上空を対地高度 50m と 100m で、目視範囲内の距離で自律飛行させ、合計数千枚の静止画を撮影した (図 6)。



図5 牛伏寺断層中山付近の固定翼機の飛行ルートと Phantom4 による断層崖と住宅の低空斜め写真

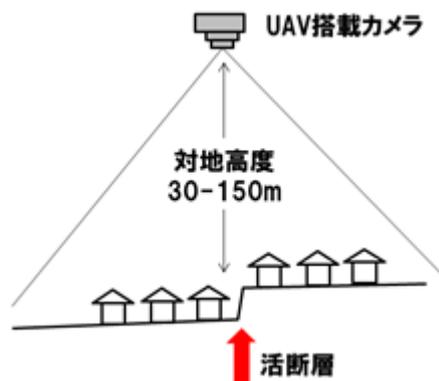


図6 活断層空撮の概念図

図7は松本市中山台の固定翼機の空撮ルート（左）、および Phantom による牛伏寺断層の断層崖と住宅の斜め空撮写真の例である。中山台は断層によってできた丘の頭を削って造成された新興住宅地である（図8）。



図7 牛伏寺断層中山付近の飛行ルート



図8 Phantom4 による断層崖と住宅の低空斜め写真

図9左は長野県富士見町の大沢断層上空からの固定翼機による空撮写真の例である。対地高度は 100m、秒速 16m、毎秒 1 枚の間隔で撮影している。超広角レンズの GoPro を用いているため周辺部分は大きく歪んでおり、遠方のため解像度が著しく落ちるが、周辺部が斜め写真になっていることは利点の一つである（図10）。

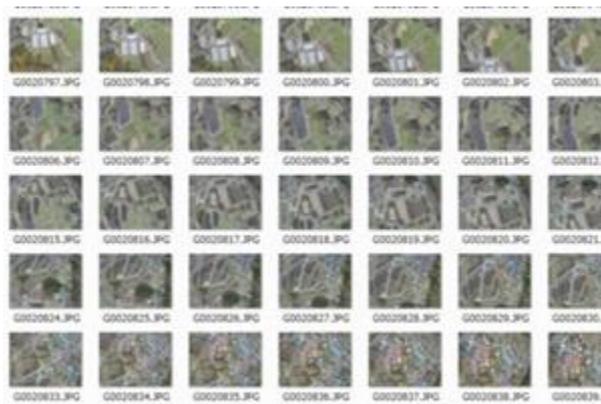


図 9 長野県富士見町の大沢断層周で撮影した多数の空撮画像



図 10 長野県富士見町の大沢断層周周辺の集落

図 1 1 は岐阜県坂下町付近の阿寺断層上空における固定翼機の飛行ルート、図 1 2 は得られた空撮画像である。



図 1 1 岐阜県坂下町の阿寺断層上空の飛行ルート



図 1 2 岐阜県坂下町の阿寺断層の空撮写真。赤点線は断層線。

3. 解析結果

得られたそれぞれの断層近傍の画像を Photo Scan™ で解析し、解像度数 cm の数値表層モデル (DSM) とオルソ画像を得た。国土地理院が公開している基盤地図情報数値標高モデルの 5m メッシュデータと地形断面を比較し、断層崖の形状はるかに高精細に再現されていることを確認した (図 1 3、図 1 4)。

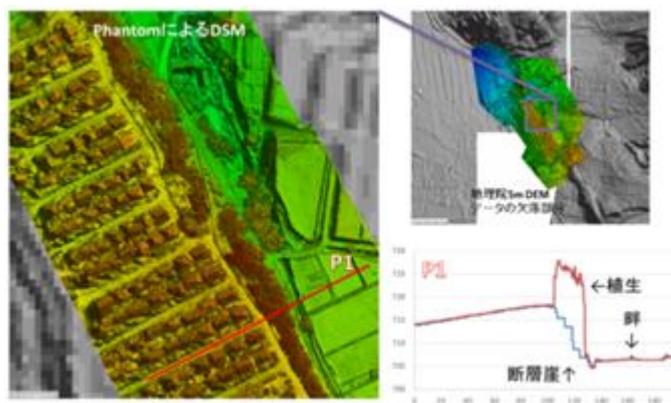


図 1 3 左：牛伏寺断層中山台付近の地表モデル、右：断面図、国土地理院の 5m DEM (青) と本研究の 2.5cm DSM (赤)

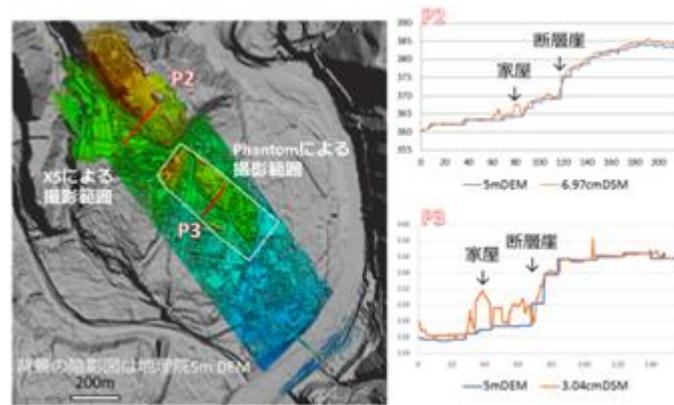


図 14 左：阿寺断層坂下付近の地表モデル、右：断面図、国土地理院の 5m DEM(青)と本研究の 7cm/3cm DSM(赤)

4. データベース構築

作成したオルソ画像と地表モデルを ArcGIS Desk top でタイルパッケージ作成後、中部大学国際 GIS センターの ArcGIS Online で公開した。図 1 5 のデータは「撮影場所：牛伏寺断層中山台付近、撮影日時：2016 年 11 月 9、10 日、撮影者：X5 (井上)、Phantom 4 (石黒)、Phantom 3 (杉田)、後処理：杉田」の属性データを有する。

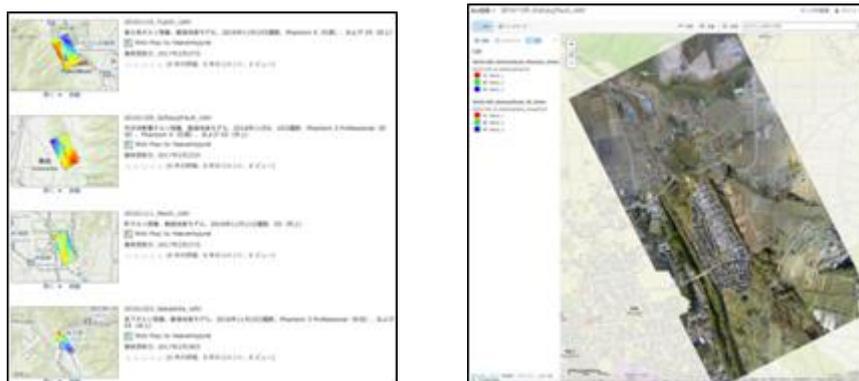


図 1 5 活断層低空空撮データベース (オルソ写真)

図 1 6 は「場所：阿寺断層 (坂下)、日時：2016 年 12 月 23 日、撮影者：X5 (井上)、Phantom 3 (杉田)、後処理：杉田」のデータである。

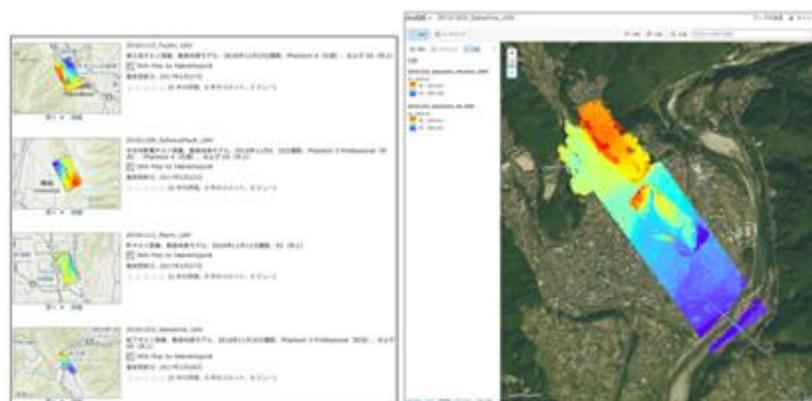


図 1 5 活断層低空空撮データベース (オルソ写真) の例

採択課題番号：IDEAS201615

また、元画像は暫定的に KML 形式でデータベース化した。サムネイルをクリックして、さらにウィンドウをクリックすると元画像が表示される。高解像度のためプライバシーの観点から公開せず、自治体による活用と研究目的にのみ供する（図 1 6）。



図 1 6 活断層低空空撮データベース（元画像）の例

撮影された大量の斜め写真を効率的に閲覧するための「斜め写真ビューワー」のプロトタイプを作成した（図 1 7）。

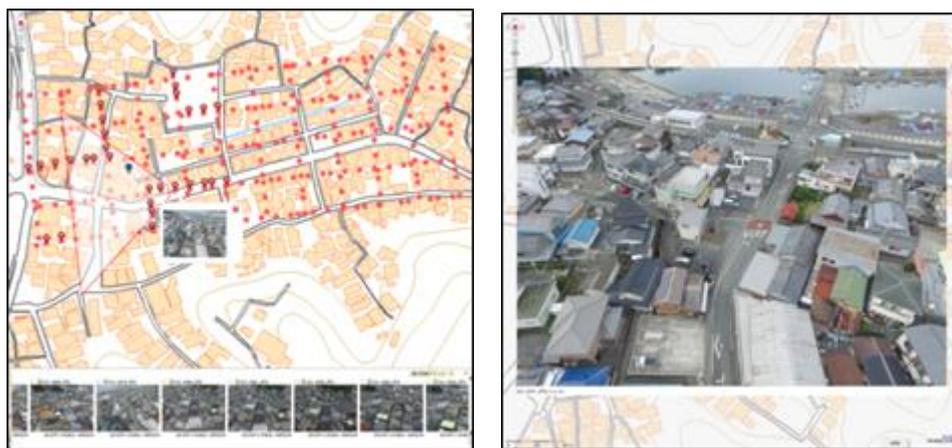


図 1 7 斜め写真ビューワーのプロトタイプ

5. まとめと今後の課題

将来地震発生確率の高い糸魚川静岡構造線の 3 か所と、阿寺断層の 1 か所で、小型 UAV 空撮を実施し、活断層の高解像度 3 次元 DSM と、低空空撮写真データベースの作成を試みた。活断層の低空空撮は、断層の位置・形状の詳細な記述と分析を可能とする。建物の画像は自治体の被害予測・把握・復旧復興計画の策定に貢献できる。住民が自宅近傍の活断層をより理解し、防災対策推進の助けとなり得る。

本研究で得た空撮、処理、データベース化のノウハウを活用し、目視外飛行による効率化、斜め写真ブラウザの改良、災害前後の差分抽出に堪える高精度モデリングの処理系とデータベースの仕様の検討、自治体との利活用方法に関する協議を行い、日本全国の主要活断層の低空空撮データベースをデジタルアース上で展開するための道筋を明らかにする予定である。

今後の課題としては、全国に多数存在する活断層と膨大な数の「断層直近住宅」を撮影、モデル化するためのデータ収集と処理作業の効率化、目視外飛行の承認取得による撮影効率の向上、安全かつ人口集中地域で飛行許可が不要な 200g 未満 UAV の実用化、データ処理の最適化と高速計算サーバーの導入等があげられる。また、低空空撮画像の用途は活断層マッピングにも防災に限らず、分野を超えた活用方法があるため、活断層・防災研究者だけでなく多分野の研究者が協力してデータの収集とアーカイブを行えるようなシステムの開発と体制の構築が望まれる。そのためには対地高度、位置・角度情報、等の手法の標準化が必要であ

採択課題番号：IDEAS201615

る。このようなデータベースは地震防災分野における、デジタルアースの目指す情報共有とコミュニケーションプラットフォームとなる。

6. 謝辞

本研究は中部大学問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究 IDEAS201615 の助成を受けたものです。

参考文献・データ

1. 井上公・内山庄一郎・鈴木比奈子、2014、自然災害調査研究のためのマルチコプター空撮技術、防災科学技術研究所研究報告、81、61-98.
2. 内山庄一郎・中田高・井上公・熊原康博・杉田暁・井筒潤・後藤秀昭・福井弘道・鈴木比奈子・谷口薫、小型 UAV と SfM ソフトウェアを用いた断層変位地形把握の試み — 根尾谷断層水鳥断層崖を例に — 、2014、活断層研究、40号
3. 田中圭・中田高・松多宣久・楮原京子・竹竝大士・隈元崇・森木ひかる、2016、2016年熊本地震による阿蘇軽では北部低地にみられる亀裂と地震断層 — 地上調査と低空撮画像の解析による検討、地球惑星連合大会、2016年5月
4. 石黒聡士・松多信尚・井上公・中田高・田中圭・石山達也・箕田友和・竹竝大士・森木ひかる・廣内大助、UAV を用いた平成 28 年熊本地震の地表地震断層の撮影と地形モデル作成、日本リモートセンシング学会誌 36(3), 214-217, 2016-07