

(32) 浪江町溪流を対象とした UAV 空撮画像の利用 による 3D 溪流地形と藻類付着面積の推定

竹高 慎祐¹・中里 亮治²・樽井 美香³・桑原 祐史⁴

¹学生会員 茨城大学大学院 理工学研究科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

E-mail: 19nm822n@vc.ibaraki.ac.jp

²非会員 茨城大学 広域水圏環境科学研究センター (〒311-2402 茨城県潮来市大生 1375)

E-mail: ryoji.nakazato.cwes@vc.ibaraki.ac.jp

³非会員 茨城大学 広域水圏環境科学研究センター (〒311-2402 茨城県潮来市大生 1375)

⁴正会員 茨城大学 広域水圏環境科学研究センター (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

E-mail: yuji.kuwahara.rs@vc.ibaraki.ac.jp

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震は、広大な範囲に被害をもたらした。また、直後に起こった東京電力福島第一原子力発電所事故により、周辺の環境中に多量の放射性物質が放出され、福島県浪江町は甚大な被害を受けた。空間線量の高い帰宅困難区域の溪流において、環境中の放射能強度が高い地点ほど、溪流魚の¹³⁷Cs濃度が有意に高かったことが分かっている。溪流魚の¹³⁷Cs濃度が基準値まで低下する時間の推測には、餌である藻類の面積の定量化が必要であるが、現状では、藻類の面積は経験に基づいて推測され、正確に藻類の箇所を把握し推定するのは困難である。

そこで、本研究では、溪流調査で定量化が難しいとされている“藻類面積”の定量化に展開することを目標に、UAVを用いた溪流調査の課題整理および、藻類面積抽出可能性について検討する事とした。

Key Words: UAV, SfM(Structure from Motion), image classification, mountain stream

1. はじめに

福島県浪江町では、2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震と、その時に発生した大規模な津波の襲来で、甚大な被害を受けた。さらに、東京電力福島第一原子力発電所では、原子炉の冷却が不可能となったことから、炉心溶融(メルトダウン)が発生し、大量の放射性物質が漏洩したことで、重大な原子力事故に発展した¹⁾。この事故により、浪江町は全町避難となり、震災発生後、地震による全壊等の大きな被害は免れた住宅でも、長期に渡り町内への立ち入りが制限された。このような住宅では、動物の侵入等に見舞われて損傷し、多くの住民が住宅を解体抹消することとなった。浪江町は2013年に、空間線量に基づき、避難指示解除準備区域、居住制限区域、帰宅困難区域が指定された。避難指示解除準備区域と居住制限区域では、2018年に避難指示が解除されたが、豊かな森林と溪流が分布する北西部の帰宅困難区域では、未だに避難指示は解除されておらず、解除までにどの程度の時間を要するのかは、科学的知見が必要とされている。そこで、関連プロジェクトでは溪流の魚類について

注目した。

樽井らの研究では、帰宅困難区域における空間線量率の異なる4地点の溪流において、溪流魚のヤマメやイワナの¹³⁷Cs濃度をモニタリングしている。この研究によると、ヤマメとイワナに含まれる¹³⁷Cs濃度は、2魚種ともに環境中の放射能強度が高い地点ほど有意に高かったことが分かっている。また、4地点のうち、最も空間線量率の高い地点で採取した2魚種の¹³⁷Cs濃度は、2016~2017年度の2年間で、ヤマメが855~27,738 Bq/kg、イワナが651~18,865 Bq/kgの範囲にあった²⁾。厚生労働省が2012年に定めた食品中の¹³⁷Cs基準値が100 Bq/kgであることから、非常に濃度が高いことが分かる。この¹³⁷Cs濃度が基準値まで低下する時間を推測するには、魚類の餌である藻類の面積の定量化が必要である。しかし、藻類の面積は経験によって推定されている現状にある。

このような中、本研究では、溪流調査で定量化が難しいとの声がある“藻類面積”の定量化に貢献することを考えた。方法としては、地図作成が必要となることから、衛星、空中写真、UAVの高度別に3つの観測手段が考え

られる。しかし、多くの溪流では河道上部が樹林で覆われたトンネル状になっているため、躯体としては UAV 以外の選択肢はない。

本研究は、その基礎検討として、UAV を用いた溪流調査の課題整理と、藻類抽出の可能性について検討することを目的とした。

2. 使用データ・使用機器等

(1) 使用データ

本研究では2018年10月30日、31日に浪江町の某溪流にて UAV を用いて撮影した画像と、同日に TS 測量及び GNSS 測量で得られた座標データを使用し、SfM ソフトウェアにてオルソ画像を生成した。

(2) 使用機器等

a) PHANTOM4 PRO³⁾

本研究では溪流の撮影に PHANTOM4 PRO を使用した。従来の PHANTOM シリーズに比べ、よりパワフルな動画処理性能を持ち、1インチ2000万画素の CMOS センサを搭載し、4k/60fps の静止画の連続撮影が可能である。機体の本体にチタン合金とマグネシウム合金構造を採用しており、機体の敏捷性が高まり、軽量化されている。後方にデュアル・リア・ビジョンセンサー、左右に赤外線センサーがあり、障害物を認識するため、GPS 電波を取得できなくても障害物を回避しながら安定した飛行が可能である。

b) AgiSoft PhotoScan Professional⁴⁾

本研究では、UAV で撮影した画像から、3D モデルやオルソ画像を生成する際、既往研究で最も使用率の高い SfM ソフトであり、多くの業界で使用されていることから、本ソフトウェアを採用した。本ソフトウェアは Agisoft LLC によって開発された商用ソフトウェアであり、複数のデジタル写真から 3D オブジェクトを高精度に復元できる機能を持つ。航空写真から高解像度の DSM データおよびテクスチャ付きのポリゴンモデルと、GCP を含む 5cm 以内の精度を持ったオルソ画像を生成することができる。

c) Raspberry Pi Zero WH

溪流における GPS 測量を可能にするために小型 GPS センサを作成した。センサの作成の際、Raspberry Pi Zero WH を使用した。寸法が 65×31×5mm で重さが 9.0g と、非常に小さく、軽量の仕様となっており、これに秋月電子の GPS モジュール（みちびき対応）を接続した。

d) ENVI

ENVI は、リモートセンシング画像を元に、様々な情報を読み取り、多彩な処理や解析機能を持った画像解析

ソフトウェアである。本研究では、PhotoScan を使用して生成したオルソ画像を、クラスタリングや教師付き最尤法といった画像分類を行う際に ENVI を使用した。

3. 推定の手順

(1) UAV を用いた溪流の撮影

UAV を用いて 13 の評定点が映るように地形の撮影を行った。範囲が広いので、3 回に分けてフライトし、GPS 衛星電波の取得が困難であるため、自動航行ではなくマニュアル航行により画像撮影を行った。

(2) 溪流の測量

上空に木が茂っていない箇所に Base 点を設置し、スタティック測位による GNSS 測量を行った。得られたデータと、福島県南相馬市にある小高の電子基準点データを使用し、GNSS Solutions で補正を行ったデータを、Base 点の座標とした。次に 13 点の評定点の TS 測量を行い、各評定点間の南北方向、東西方向の変位と高低差を計算した。結果を平面上にプロットしたものを図-1 に示す。

(3) PhotoScan によるデータ解析⁵⁾

PhotoScan を使用して、撮影した画像から 3D モデルと DSM、オルソ画像を生成した。生成されたオルソ画像を図-2 に示す。

(4) ENVI による画像分類

PhotoScan で生成したオルソ画像を、ENVI の K-Means 法による、教師なしのクラスター分析及び、教師付き最尤法による画像分類にて藻類箇所の抽出を試みた。

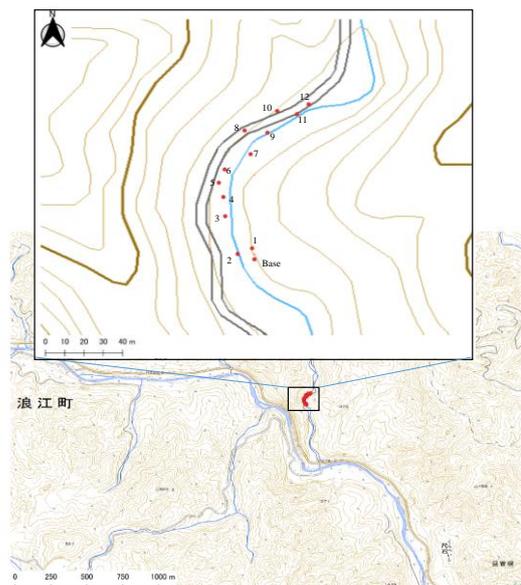


図-1 測量結果



図-2 溪流のオルソ画像

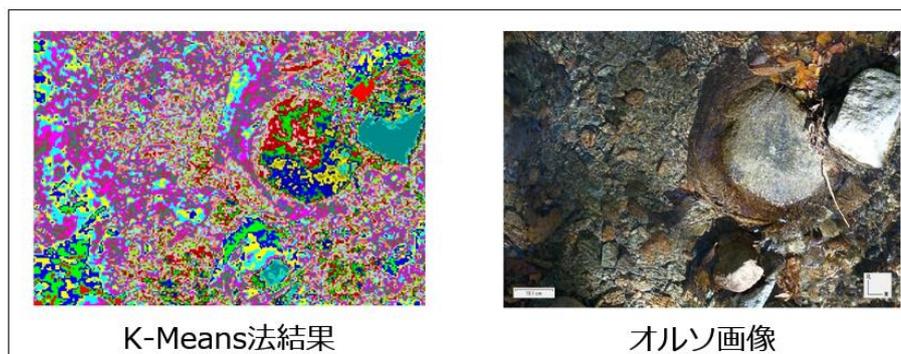


図-3 オルソ画像と K-Means 法分類結果

4. 結果と考察

PhotoScan で生成したオルソ画像と K-Means 法による画像分類結果を図-3 に示す。K-Means 法による画像分類の際、スタージェスの式により、分類クラス数を 30 に決定した。生成したオルソ画像の解像度が非常に高く、画素数が多いため、近接する画素同士の類似性が低くなってしまい、藻類が特徴的に分類されなかったと考えられる。この後、教師付き最尤法による画像分類にて藻類箇所抽出を試みたが、誤分類が非常に多い結果となった。

そのため、画像分類に断層型クラスタリングが可能な、AI のディープラーニングや、e-cognition の使用が必要になると考えられる。また、水面反射や木の陰などの影響が大きく、水面反射を抑えるために PL フィルタを使用したり、影が生じないように曇天の日に撮影を行ったりなどの対策も必要になると考えられる。

5. UAV を用いた溪流調査における課題

多くの溪流は木々に囲まれており、衛星や航空写真から情報を得ることが困難であるため、画像の撮影方法としては、UAV が最適である。UAV を用いて撮影した画像を用いて写真測量をする際、座標を得るために GNSS 測量や TS 測量が必要となる。前述の通り溪流の多くは、上空が高木で囲まれており、十分な数の衛星電波を受信することが難しいため、従来の方法による GNSS 測量は非常に困難である。また、TS 測量で広範囲に渡って座標を求めることは、時間と作業量が大幅に増えるため、現実的でない。

一方、ラズベリーパイを用いた GPS 測量機材は、非常に小型かつ軽量であるため、棒などを用いて高さ 10 m まであげることで、このような条件下でも、GPS 測量が可能になると考えられる。そこで、ラズベリーパイを用いた GPS センサを作成した。作成したセンサを図-4 に示す。また、作成したセンサが持つ精度を、日立市の日立研究所下にある一等水準点にて検証した。

2018年12月22日13時～14時頃の約1時間スタティック測位によりデータを取得し考察した。表-1 および図-5 に結果を示す。



図-4 作成した GPS センサ

表-1 精度検証 (一等水準点を原点とした)

	Promark100	ラズベリーパイ	
	残差	残差	標準偏差
x (m)	0.275	3.532	0.588
y (m)	-1.352	3.165	0.290
xy 距離 (m)	1.379	4.751	0.592
z (m)	0.342	-0.958	0.461

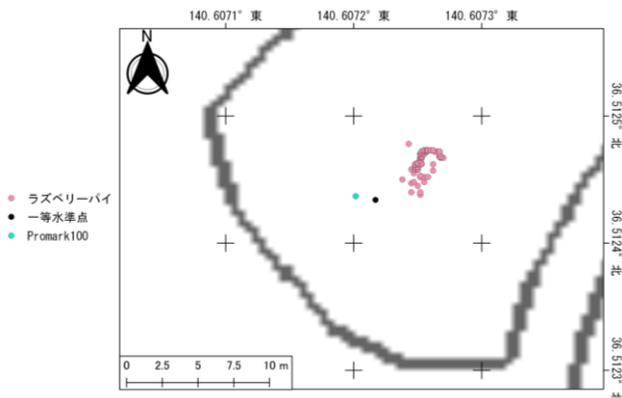


図-5 GNSS 測量機器精度検証

実験より、約4分経過してから位置データが安定することが分かった。応用する際は測定開始から4分間位置データは棄却するのが望ましいと考えられる。表-1は、基準点の測量成果をもとに Promark100 と開発したセンサの、水準点に対する残差および標準偏差を示したものである。後者の結果は xy 距離に着目すると、前者よりも約 3.4 倍残差が大きくなった。ただし、標準偏差は、±0.6 m 程度に収まっている。残差は比較的大きくなったが、この要因として、極近傍に設置された Promark100 のアンテナがあり、特定方向からの衛星電波を受信できなかったことが挙げられる。検討課題として、特定方向にデータが偏ってしまうという点があるが、ばらつきが小さいことが確認できたため、今後、追加検証をすることで、実用可能性は十分にあると考えられる。

6. おわりに

対象領域で行った画像撮影は可視光のみで行ったが、近赤外カメラを UAV に搭載して画像撮影を行うと、より精度の高い分類結果が求められると考えられる。さらに、サンプリングした藻類の反射特性を、マルチスペクトルスキヤナを用いて計測し、その波長帯のみが通過するフィルタを UAV カメラに装着するのも有効であり、より精度が上がると考えられる。また、本研究では、座標取得のために TS 測量を行ったが、対象範囲が広がるにつれて、時間と労力が莫大にかかってしまうため、ラズベリーパイを使用した GNSS 測量機器を用いて座標データを取得することが望まれる。今後、測定方法と誤差補正の方法を工夫する事が重要と考えている。

参考文献

- 1) 内閣府：特集東日本大震災，
<http://www.bousai.go.jp/khou/kouhobosai/h23/63/spcial_01.html>，（入手 2018.07.25）。
- 2) 樽井美香ら（共著 10 名）：帰宅困難区域に生息する溪流魚の放射性セシウムモニタリングと標識放流実験による溪流魚の 137Cs 蓄積速度の推定，17th World Lake Conference Lake Kasumigaura, pp.603-605, 2018.
- 3) DJI：PHANTOM4 PRO 製品概要，
<<https://www.dji.com/jp/home>>，（入手 2018.7.25）。
- 4) 株式会社オーク：PhotoScan Professional Edition，
<<https://oakcorp.net/agisoft/professional/>>，（入手 2018.7.25）。
- 5) Fangning He and Ayman Habib：Automated Relative Orientation of UAV-Based Imagery in the Presence of Prior Information for the Flight Trajectory, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.82, No.11, pp.879-891, 2016.