

リモートセンシングを活用した 新たな生物生息環境の評価手法の検討

(一財)九州環境管理協会環境部計画課 賀茂 祐也

要 旨

本研究は、ドローンの環境分野へのさらなる利活用を目指して、多方向からの航空写真撮影が容易に行えるドローンの特性を活かし、航空写真の3Dモデル化による河川水面への日影を推計し、ホタルの生息環境の評価を検討したものである。3Dモデル化では、約8万㎡の範囲に生える河川植生を多方向から撮影して166枚の航空写真を得て、画像解析により河畔の樹林を3D化した。この樹林の高さ情報をGISソフトで処理し、樹林による河川水面への日影範囲を定量的に推計することができた。この日影の推計により、水中に生息するホタル幼虫の生息環境を定量評価することができ、生物生息環境の評価手法としてドローン利活用の可能性が見出された。

1. はじめに

近年、ドローン(UAV)の高性能化と普及により、様々な業界でその活躍を見ることができている。当協会においても、業務への付加価値や、効率的・効果的な調査手法として、ドローン技術の確立に取り組んでいる。前号の「環境管理」では「ドローンの環境分野への適用可能性に関する基礎検討」¹⁾として、ドローンに関する情報を収集し、業務への適用性を検討したところである。

ドローンはリモートセンシングのプラットフォームにすぎず、ドローンで撮影した画像をいかに活用するかで付加価値が左右される。ここで、リモートセンシングとは、人工衛星による観測のように「物を触らずに調べる」技術のことで²⁾、広義には撮影した複数枚の写真を3Dモデルに変える技術も含まれる。この技術により、効率よく広範囲の敷地に存在する立体形状を測量することができるようになった。

本研究の調査地点として選定した矢部川では、河川に沿って樹林が成長したことで、水面に対する日影時間が長くなり、ホタルの生息環境が変化し、生息数が減少しているのではないかと懸念されている。高木化による生息環境への影響を定量的に評価するためには、樹高を測り日照条件を算定する必要があるが、従来法による樹木

ごとの高さの測定では、重なり合う樹木がどの程度水面に影を落としているかを計算することは難しく、多くの時間と労力を要する。

そこで、本研究ではリモートセンシングを利用した測量結果から河川植生を3Dモデル化し、水面への日影範囲の推計し、ホタルの生息環境を定量評価することを試みた。なお、本報告では、今後の技術展開に寄与するため、調査・解析手順についても紙面の許す範囲で詳しく解説することとした。

2. 調査方法

2.1 ドローンによる現地撮影

モデルケースとなる地点として、河岸に高木樹林の発達した福岡県みやま市瀬高町の矢部川沿いを選定した(図1)。

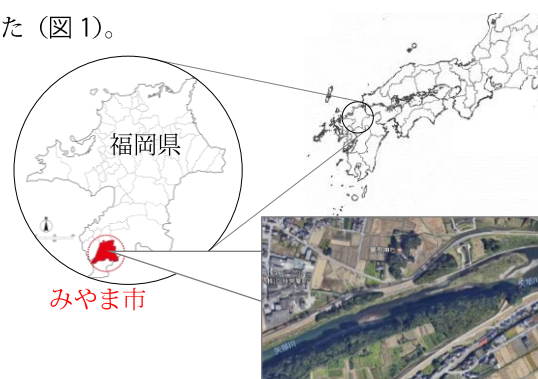


図1 調査地点

撮影に使用したドローン機体は Phantom 4 で、自動航行ができる汎用性の高い機体として、環境調査分野では広く使用されている。自動航行には、自動航行ソフト Litchi を用いた。事前にフライトプランを作成し、自動操縦で撮影した。今回は標高の絶対値を求めるキネマティック測位を必要としないため、対空標識は設置せず、ドローン内蔵の GPS を用いた縮尺合わせおよび 2m の測量用ポール 2 本を用いた縮尺合わせにより測量精度を確保することとした。その他の設定は次の通りとした。

(1) 飛行高度

樹林の標高は目測で約 18~20m であった。飛行高度が樹林に近いと 3D の精度は上がるが、撮影枚数・撮影時間・接触リスクが増加するため、今回の撮影では撮影高度を 100m とした。なお、国土交通省の改正航空法（2015 年 12 月施行）により、同省の承認許可なしに飛行できるドローンの最高高度は 150m に制限されている。

(2) 写真のオーバーラップ率

正確な 3D モデルを作成するために、ドローンの進行方向の前後・左右ともに 80% の重複割合（オーバーラップ率）を確保しながら写真を撮影した。

(3) 撮影範囲

調査地点の河道内の全域を網羅する 200m×400m の範囲とした（図 2）。

(4) 飛行経路

ドローンによる撮影の視野角は 90° であり、高度 100m の場合は撮影範囲が 200m 四方となる。オーバーラップ率 80% を確保するために、飛行ルートの間隔を $200m \times (1 - 0.8) = 40m$ とした（図 3）。

(5) シャッター間隔

ドローンの飛行速度を 5.6 m/s (= 20km/h) とし、飛行ルートの間隔 $40m \div 5.6m/s = 7.14s$ であるため 7 秒間隔でシャッターを切る設定とした。

以上の設定により対象範囲を 166 枚撮影した。図 2 の赤枠の範囲では、カメラアングルを傾けて樹木の幹の撮影も行った。



図 2 撮影範囲



図 3 飛行経路の設定

2. 2 河川植生の 3D モデル化

(1) SfM ソフトウェア

3D モデルの作成には SfM (Structure from Motion) と称されるソフトウェアの中で代表的な Agisoft 社の Photoscan Professional edition (以下 Photoscan と略す) を使用した。SfM とは複数枚の画像のオーバーラップ部分を解析し、撮影位置を推定することで 3D モデルを復元する技術である。このソフトは、従来の写真測量では困難であった多量の画像を一括でオートマチックに解析可能なことと、解析に熟練の技術を要せずに 3D モデルが得られることが特徴である。また、元の画像をテクスチャ(3D モデル表面に貼り付ける模様)として使用することでリアリティのある表現が得られる³⁾。

(2) 処理フロー

Photoscan を使用した 3D モデル作成までの主な流れは次の通りである。各工程における設定は文献 4) を参考にした。

- (a) ドローンによる写真撮影位置の解析
- (b) Point Cloud (粗い点群データ) の作成
- (c) Dense Cloud (高密度な点群データ) の作成
- (d) Mesh (面データ) の作成
- (e) テクスチャの貼付

2. 3 日影範囲の推計及び生息環境の評価

Photoscan の機能を利用し、3D モデルの DEM(Digital Elevation Model) とオルソ画像を出力する。DEM とは数値標高モデル(高さ情報を持つ点群データ)のことである。オルソ画像とは、写真上の像の位置ズレをなくし、空中写真を地図と同じく、真上から見たような傾きのない正しい大きさと位置に表示される画像に変換したものである⁵⁾。DEM とオルソ画像を組み合わせることで、高さ情報を持ったオルソ画像となり、GIS ソフトウェアの機能を利用し、日影範囲を推計することができる。本研究ではオープンソースソフトウェアの QGIS プラグイン ”r.sunmask.datetime”を使用し、河川植生の日影範囲を求めた。

本研究の対象調査地点におけるホタルの生息環境の状況として、2017 年の春分・夏至・冬至の日影を推計し、河川水面における日影範囲の広がりから、河川植生の高木化に伴う生物生息環境の変化を評価した。

3. 河川植生の 3Dモデル化

撮影した 166 枚の写真を Photoscan に取り込み、3D モデルを作成した。処理過程を以下に示す。

(a) ドローンによる写真撮影位置の解析

Photoscan を使用し、写真の撮影位置を解析した。青く表示されている部分に写真がそれぞれ配置されている(図 4)。

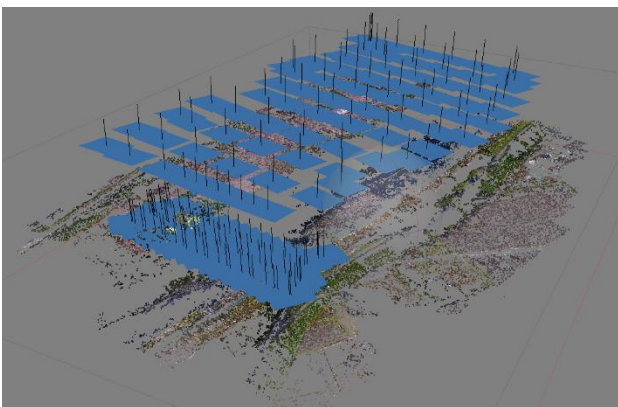


図 4 写真撮影位置

(b) Point Cloud (粗い点群データ) の作成

(a) と同時に Point Cloud が自動で作成される。この段階ではまだデータが粗く、物体が何か判断できない(図 5)。

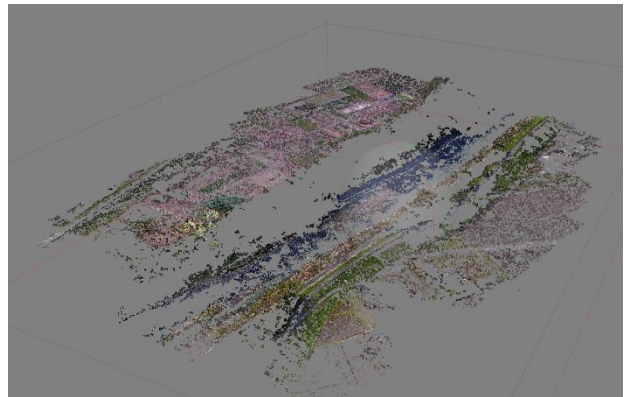


図 5 Point Cloud

(c) Dense Cloud (高密度な点群データ) の作成

(b) Point Cloud のデータを Photoscan で更に解析し Dense Cloud を作成した。この Dense Cloud を作成することで 3D 座標を持った高密度の点群データが作成されることとなる。既に 3D モデルのようにも見えるが、ズームアップすると点の集合であることがわかる(図 6)。川沿いの樹木にはまだ隙間があるが、おおよその形が出来上がった。樹木部分に隙間が多いのは、風によって揺れ動いていて様々な方向から撮る写真で認識されにくいためと考えられる。

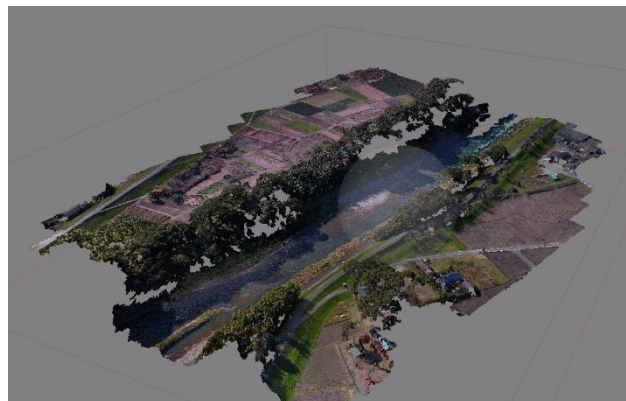


図 6 Dense Cloud

(d) Mesh (面データ) の生成

(c) の高密度の点データをもとに、Mesh (面データ) を作成した。(c) で隙間が空いていた部分は補正によって繋がり、3D モデルがほぼ完成した(図 7)。

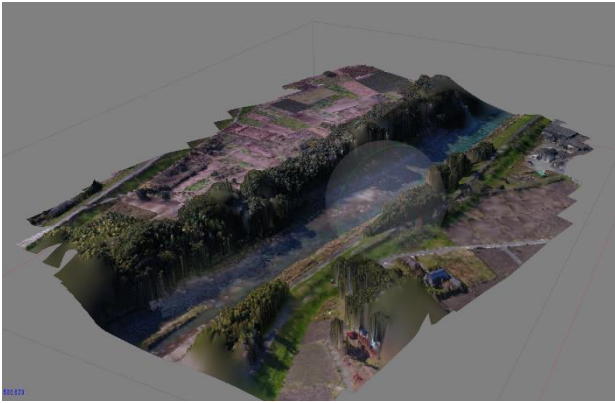


図7 Mesh

(e) テクスチャの貼付

(d) で作成したモデルに、写真をもとに作成されたテクスチャを貼り付けると、水面や地形をよりリアルティのある3Dモデルに仕上げることができる(図8)。

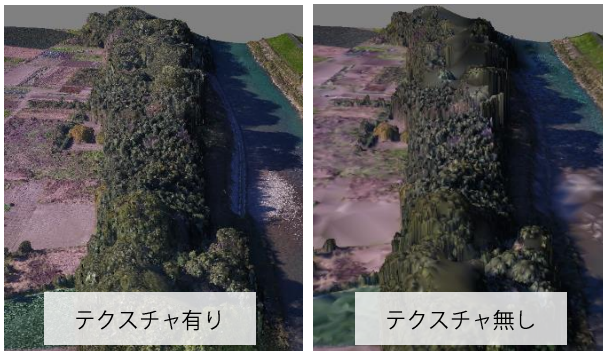


図8 テクスチャの有無による比較

以上(a)～(e)により河川植生を3Dで再現した(図9)。

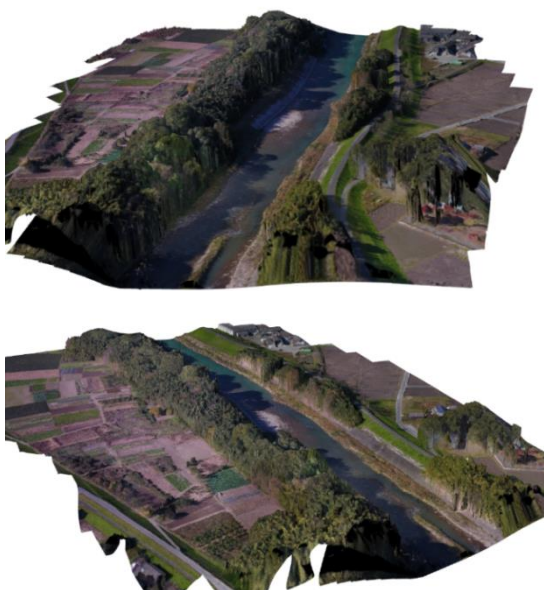


図9 河川植生の3Dモデル

4. 日影範囲の推計に基づく生息環境の評価

4. 1 DEM、オルソ画像の出力

Photoscan で出力した3DモデルのDEM(数値標高モデル)とオルソ画像をGISソフトで組み合わせ、高さ情報を持ったオルソ画像を作成した(図10)。



図10 オルソ画像

4. 2 モデルによる日影範囲の推計の妥当性の検証

高さ情報をもとに、撮影した2016年12月7日11時30分の日影を推計し、4.1で作成した画像と比較することで、この手法の妥当性を確認した。図11の青色の範囲が日影の推計結果であり、撮影された実際の日影(水面の赤線が実際の日影線)とほぼ一致していた。

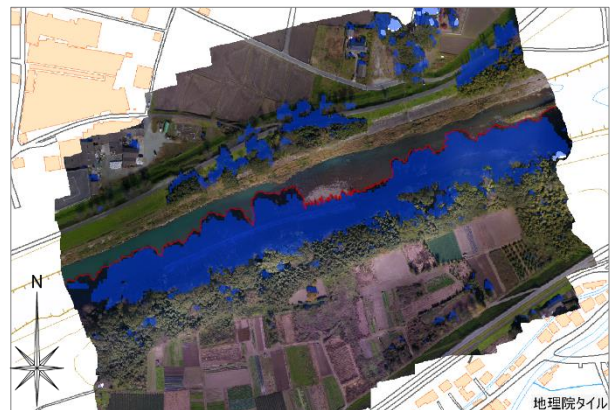


図11 オルソ画像と日影推計の比較

4. 3 日影範囲の推計

生物生息環境を評価するため、2017年の春分・夏至・冬至の日影を推計した(図12)。なお、図ではそれぞれ9時・12時・15時の日影を示している。秋分の

日影は春分とほぼ同じであるため省略する。

推計の結果、太陽高度の高い夏至では、河川沿いの樹林が高木化したにもかかわらず、河川水面への影はわずかであった。一方、春分（秋分）には樹林側の水際がほぼ日中を通して影になり、冬至には河川水面の樹林側のほぼ半分の範囲が日中を通して影になった。



図 12 季節ごとの日影推計

4. 4 生息環境の評価

ホタルは孵化後すぐ水中に入り、8月～4月の幼虫期には水中でカワニナという巻貝を食べて成長する。5月に陸地の土中でさなぎになり、6月に成虫になり飛

翔し始める（表 1）。4.3 の日影推計結果より、8月～4月の幼虫期には樹林側を中心に水面に樹林の日影が広がるが、幼虫は夜行性のため日影がホタルの幼虫の行動に影響することはないと考えられる。さらに、ホタルが成虫になる夏至は樹林の根本以外の水面は日影になっておらず、高木化による水面への日影影響はほとんど生じないと考えられる。

一方、ホタル幼虫の主な餌生物であるカワニナは、水中のコケや水草を食べて成長する。そのため水中のコケや水草の生育に必要な日射量が確保できていないと、カワニナの生育環境が悪化する。ホタル幼虫が水中生活をする秋季から春季において、樹林側を中心に日影が広がると推計されたため、植物の生育不良によりカワニナの生息環境が悪化し、これに伴いホタル幼虫の生息環境の変化が生じている可能性がある。

このように、河川植生の 3D モデルを活用して、ホタルが生息する河川における水面の日影範囲を推計した結果、秋季から春季において樹林の高木化が河川水面への日影範囲を広げており、ホタルの生息環境の変化が間接的に生じている可能性があると評価された。

表 1 ホタルの生活史⁶⁾

1月～4月	5月	6月	7月	8月～12月
幼虫（水中）	さなぎ	成虫・産卵	孵化	幼虫（水中）

5. おわりに

本研究では、多方向からの航空写真撮影が容易に行えるドローンの特性を活かし、ドローンで撮影した航空写真とその画像解析ソフトを組み合わせた、生物の生息環境の評価手法を検討した。その結果、航空写真と画像解析ソフトを組み合わせることで、日影範囲を容易に推計することができた。また、推計した日影範囲により、生物の生息環境への影響を評価することができ、ドローンの新たな活用の可能性が見いだされた。

今後は、得られた知見を他の業務に活用していくことが重要である。例えば、本研究のように作成した複雑な地形の 3D モデルと建築予定物の 3D モデルを合わせれば、従来法より容易に日影を評価でき、環境アセスメント等に活かすことができる。そのためには、ドローンの撮影

方法や高精度な 3D モデル作成方法などを更に検証し、推計誤差の分析を行って、精度を明らかにしなければならない。表現方法においても、3D モデル上での日影推移や樹木のボリュームの将来予測・過去予測ができると更にドローンの活用範囲が広がっていくと考えられる。

謝辞：本研究に際して、様々なご指導を頂きました九州大学大学院工学研究院環境社会部門の島岡隆行教授、中山裕文准教授、ドローン研究会（当協会内自主研究会）のメンバーの方々に深謝いたします。

参考文献

- 1) 元村充希, 石岡記由「ドローンの環境分野への適用可能性に関する基礎検討」環境管理第 45 号 51-55 (2016) .
- 2) 一般財団法人リモート・センシング技術センター
ホームページ
<https://www.restec.or.jp/knowledge/sensing/sensing-1>
- 3) 味岡収, 渡邊弘之「画像解析による 3 次元形状復元の可能性についての再考」日本建築学会学術講演梗概集 (近畿) 791-792 (2014) .
- 4) 内山庄一郎, 井上公, 鈴木比奈子「SfM を用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究」防災科学技術研究所研究報告 第 81 号 37-60 (2014) .
- 5) 国土交通省国土地理院ホームページ
<http://www.gsi.go.jp/gazochosa/gazochosa40002.html>
- 6) 特定非営利活動法人 朝倉川育水フォーラム
<http://www.asakuragawa.net/html/hotaru/cycle.html>