

ドローンを用いた生物多様性研究のための モザイク画像作成に関する検討

安川 雅紀[†] 喜連川 優^{‡§}

[†] 東京大学地球観測データ統融合連携研究機構 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

[‡] 国立情報学研究所 〒101-8430 東京都千代田区一ツ橋 2-1-2

[§] 東京大学生産技術研究所 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

E-mail: [†] yasukawa@iis.u-tokyo.ac.jp, ^{‡§} kitsure@tkl.iis.u-tokyo.ac.jp

あらまし 生物多様性の研究分野において空間的な解析を行う場合、対象領域の地表面を上空から撮影した画像を必要とする場合が多い。上空から画像を得る方法はいくつかあるが、衛星画像は対象領域が曇っている、所望の期間の画像がない等の問題がある。また、航空写真は航空機を所望の時期・天候に飛ばすことができるが、費用が非常に高い問題がある。最近では、カメラを搭載したドローンなどの無人航空機(UAV)が低価格で販売され、手軽に上空から静止画や動画を撮影できるようになった。そこで、本研究では、ドローンを用いた生物多様性研究に利用可能なオルソモザイク画像作成の指針をまとめることを目指して、当該画像作成のながれについて検討する。実際に作成した画像について考察し、当該画像の活用例について紹介する。

キーワード ドローン、オルソモザイク画像、生物多様性

1. はじめに

近年、健全な生態系を維持して持続可能な社会を築くためのキーワードとして「生物多様性」という言葉が多く使われてきた。生物多様性を評価し生態系の保全計画を立案するには、生物多様性の現況や傾向を知る必要があり、生物のモニタリングが不可欠である[1]。モニタリングの方法は、ターゲットとする生物によって異なる。例えば、昆虫類は、虫取り網やトラップで捕獲し、標本あるいは画像を保存する。また、鳥類は目視、音声録音、画像撮影等を行う。さらに、生物の分布等を知るには、専門家だけでなく市民も参加して空間的に密度の高い大量データを取得する[2],[3]。領域内における植生の分布や特徴量等、植生を空間的に解析する場合、リモートセンシングによって上空から地表面画像を撮影する。上空から画像を撮影する方法はいくつかあるが、地球観測衛星の画像は対象領域が曇っている、所望の時期の画像がない等、データが揃っていない問題がある。また、解像度が低い短所もある。航空写真は航空機を所望の時期・天候に飛ばすことができるが、費用が非常に高い欠点がある。最近では、カメラを搭載したドローンなどの無人航空機(UAV)が低価格で入手でき、静止画や動画を手軽に撮影できるようになり、防災、工事現場、道路管理、農作業等、様々な分野で利用されるようになった。しかし、画像を空間解析に利用するためには、レンズや姿勢による幾何学的歪み、対象物の3次元形状を考慮し、どの地点からも真上から見たような画像(オルソ画像)を生成し、それらを繋ぎ合わせてモザイク画像を作成する必要がある。

そこで、本研究では、生物多様性研究に利用できるよう、ドローンを用いたオルソモザイク画像作成の指針をまとめることを目指して、当該画像作成のながれについて検討する。具体的には、気象条件、ドローンの自律飛行における飛行計画、デジタルカメラの撮影条件について検討した。実験として、前述の条件に基づいて実際に飛行および撮影を行い、画像セットからオルソモザイク画像を作成した。作成した画像を考察して画像作成方法の議論を行い、当該画像の活用例について紹介する。

2. 関連研究

リモートセンシングによって得られる画像から地図化する方法は、写真測量の分野で何十年にも渡って研究されてきた。

衛星に搭載されたセンサによるリモートセンシングで得られる画像は、そのままでは地図に対応しておらず、衛星の位置や姿勢、センサによる幾何学的な歪みを含んで地表面を斜めから見ている画像になっている。このため、歪みに関するデータを用いて幾何学的な歪みを補正して地図に投影する手法が開発されてきた。たとえば、気象衛星 NOAA の AVHRR データについては、軌道情報や姿勢データ、センサの機構を用いて理論式を立て、歪みを補正(システム補正)し、さらに海岸線などの地上基準点(GCP)を用いて高精度な補正を行う手法を実現した[4]。また、Landsat 衛星の MSS データについては、前述と同様なシステム補正の後に、場所の異なる複数のシーンを繋ぎ合わせて大きな一枚の画像を作成するモザイク処理法も開発された[5]。現

在，購入することが可能な商用衛星画像で最高の分解能は，WorldView-3 の 30cm である．この場合，植生の概観の理解や土地利用図作成等に利用可能である．

最近では，ドローンをはじめとする UAV が普及しつつあり，空中から多視点の画像を撮影することが容易になった．ドローンの普及と共に，多数のステレオ画像からカメラの撮影位置を推定し，3 次元モデルを復元する画像処理技術 Structure-from-Motion (SfM) の開発も進んできており [6]，ドローンで取得した画像セットから数値標高モデル (DEM; Digital Elevation Model) を作成でき，そこにテクスチャを貼り水平面に投影することでオルソモザイク画像を作成することが可能である．

3. 要件および指針

ドローンを用いて地表面被覆のモザイク画像を作成するにあたり，以下を要件とした．

- ① 対象領域内をドローンで上空から走査する
- ② 隣り合う画像が重なるよう撮影を行う
- ③ 画像セットからオルソモザイク画像を作成する
- ④ モザイク画像は樹冠が視認できる

①において対象領域内をくまなく走査しなければならないが，ドローンのプロポを用いて手動で走査する場合，非常に高い操作技術を要す．特に領域が広いときは，操縦者の疲労による事故が懸念される．したがって，ドローンは自律飛行できることが望ましく，自律飛行のためのアプリケーションを導入する．また，ドローンの飛行可能時間はバッテリーの容量に依存し 1 個のバッテリーで長時間飛行は不可能であるため，対象領域が広い場合は領域を分割し複数回に分けて飛行・走査を行う．

②はドローンに搭載したカメラを用いて，ドローンを前進させながら画像撮影を行う．隣り合う画像が離れすぎる場合，画像間で撮影範囲が重ならなくなり，モザイク画像に欠損が生じてしまう．また，画像の縁はカメラレンズによるコマ収差があり画質が悪く，この部分はモザイク画像に適していない．以上のことから，画像間で重なる部分がやや多くなるよう時間間隔を短くしてインターバル撮影を行う．

③は画像同士を結合させる作業である．ドローンを用いて撮影した画像は，GPS による位置情報が含まれているが，姿勢情報がなく，高解像度の DEM も存在しないため，幾何補正を行うことができない．したがって，画像セットから 3 次元モデルを復元できる SfM を用いることとする．具体的には，画像セットのアライメントを行って各画像の位置と方向等を推定し，ポイントクラウド (3 次元空間内の点群) を構築し，3 次元

モデルを復元 (メッシュ化) して DEM を作成し，これとテクスチャを用いて水平面に投影してオルソモザイク画像を出力する．

④はモザイク画像の解像度について述べており，個々の樹冠 (樹木の茎，葉，花等が茂っている部分) が視覚的に認識できるような解像度で撮影する必要がある．生物多様性研究における植生の領域的な解析では，ピクセルの集合体であるオブジェクト毎，つまり森林では樹冠毎に分割や分類等を行ってから植生分布図作成や特徴量抽出を実施するため，解像度の基準を樹冠とした．モザイク画像の解像度は，カメラの仕様とドローンの高度に依存するが，カメラの仕様は固定なので，前述の解像度の基準を考慮してドローンの高度を設定する．

4. 実験方法

対象領域は，鹿児島県奄美市浦上の山中とした．この領域は，タンカン畑，畑の生け垣および二次林 (自然林が伐採された後または焼失した後に自然に生えてきた樹林) で構成されており，900m×300m である．

前章の指針に基づき，表 1 の機器およびソフトウェアを使用して，下記の流れでオルソモザイク画像を作成する．

A 飛行計画作成

対象領域，飛行回数，飛行高度等を決定する．1 回の飛行あたり，経験的に 300m×300m の走査が可能であるため，領域を 3 分割し，3 回に分けて飛行することとした．樹冠が認識出来るようモザイク画像の解像度を 1 画素あたり約 6cm とするため，カメラの仕様から飛行高度は 80m とした．

B 気象確認

現場での地上の天候 (雨が降っておらず，強風でないこと) および GPV 気象予報を確認し，ドローンの飛行が可能か判断する．

C ドローンの準備および自律飛行の設定

B で問題がなければ，ドローンを組み立てて機器 (ドローン本体，プロポ，タブレット端末) の通信接続を確認して飛行の準備を行う．タブレット端末にインストールした自律飛行ソフト上で，A の飛行計画に基づいて飛行設定を行う (図 1)．さらに，画像同士のオーバーラップ率を設定すると，撮影インターバル時間が自動的に設定されるようになっている．カメラの向き (今回は鉛直方向) も設定し飛行設定を保存する．ドローン本体に飛行情報をアップロードし，飛行設定を完了する．

D 自律飛行の実行

周囲の安全を確認して，自律飛行ソフトの実行ボタンをタップすると，ドローンは離陸を始め，走査の開始点へ移動する．走査を開始するとインターバル撮影

が自動的に開始される．走査を終了するとインターバル撮影は終了し、ドローンはホームポイントへ戻り着陸する．

(複数回飛行をおこなう場合は、バッテリーを交換し、CとDを繰り返す)

E SfM ソフトでオルソモザイク画像作成

撮影した画像セット(約 200 枚)を PC に取り込み、SfM ソフトで画像セットを読み込む．画像セットのアライメント、ポイントクラウド構築、3 次元モデル復元、DEM 作成、オルソモザイク画像出力の順に処理を行ってモザイク画像を作成する．

表 1 実験機器およびソフトウェア

ドローン	DJI Inspire 1, DJI Matrice 100
カメラ	DJI Zenmuse x3 (1/2.3" CMOS, 焦点距離 20mm, 視野角 94°, 4000*3000 画素)
ドローン自律飛行ソフト	NSi 真岡 GS-ACS v1.0.5.2 (Android アプリ)
タブレット端末	Sony Xperia Z4 Tablet
SfM ソフト	Agisoft PhotoScan, Professional edition 1.2.6

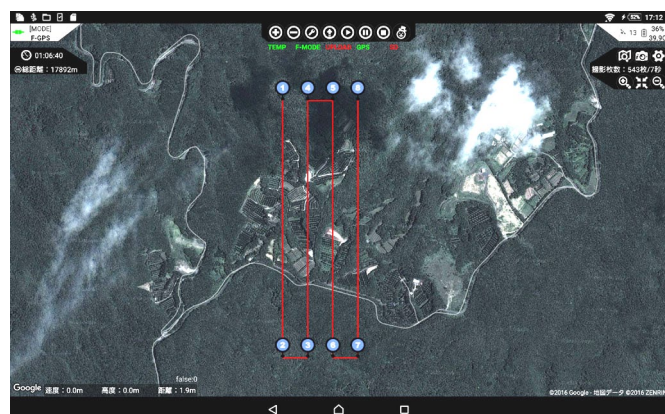


図 1 自律飛行のための設定

5. 実験結果

本章では、前章に沿って作成したオルソモザイク画像の作成結果について述べる．撮影日は 2016 年 4 月 7 日である．

図 2 にインターバル撮影で取得した画像を示す．画像の上が進行方向で、青の屋根が画像毎に少しずつ下に移動しているのが見て取れ、画像間で撮影範囲が重なって取れていることを確認した．

図 3 にモザイク画像の全体を示す．約 200 枚の画像で構成されており、1 枚の大きな画像(19,358*24,430 画素)を作成できた．処理時間は約 2 時間(CPU:1 * Xeon E3-1220, Memory:16GB, GPU:NVIDIA GeForce GTX650)であった．飛行領域(900m×300m)とカメラの

画角(94°)のため、モザイク画像の範囲は縦が約 1,200m, 横が約 600m となった．このような飛行領域外の撮影部分において、高い木でカメラから影になる場所は原理的に見えないので、そのような場所はデータ欠損が生じる(図 4 の白い部分)．

図 5 は図 3 の一部分を拡大したものであるが、図 5(a)では樹冠の様子が見えるように撮影でき、当初の要件を満たした．しかし、葉まで分解した画像は得られなかった．また、撮影時の風速は 10m/s 前後のやや強い風だったため、図 5(b)のようにカメラぶれと被写体ぶれが起きており、3 次元モデル化の精度を悪くしていることが分かった．



図 2 インターバル撮影



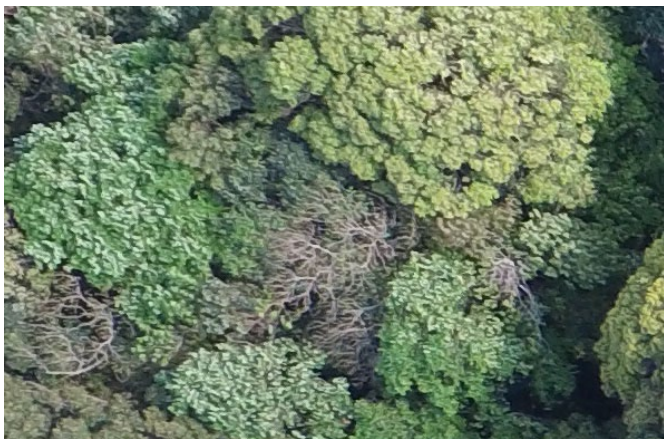
図 3 オルソモザイク画像



図 4 データ欠損



(a) 樹冠の様子



(b) 風によるぶれ

図 5 モザイク画像拡大

6. 考察

本研究では、ドローンを用いて空中から土地被覆を撮影しオルソモザイク画像の作成を行った。得られたモザイク画像について、樹冠の様子が分かりやすく撮影できており、要件を達成することができた。

一方で、葉の様子まで分解して撮影できなかったことから、より高解像度の撮影を行うためには、飛行高度を下げて撮影する必要があることがわかった。ただ

し、この場合には一枚あたりの範囲が狭くなるため、ドローンの高密度の走査が必要であり、多くの飛行時間を要することになる。また、撮影枚数も多くなるため、SfM ソフトの処理時間が増加すると予想される。

撮影の被写体が植物の場合、やや強い風の際は植物が揺れるため、風速がモザイク画像の結果を大きく左右することが分かった。ドローンはこのような風でも飛行は可能であるが、本研究のような生態学研究向けモザイク画像の作成を行う際は、静穏から弱い風の時にドローンを飛行させることが望ましいと考えられる。

7. モザイク画像を活用した研究例

本研究で作成したモザイク画像を活用した研究例として、ニホンミツバチの訪花位置の解析について紹介する。

モザイク画像は GPS による位置情報が付加されているため、この画像を図 6 のように地図に貼ることができる。この領域ではニホンミツバチが見られ、ニホンミツバチが集めた花粉を調べることでどの種の花を利用したかを調べるができるが、ニホンミツバチの訪花における位置について詳細な解析は行われてこなかった。そこで、ニホンミツバチは 8 の字ダンスで仲間に花の位置を伝えるということに着目して、訪花位置の推定を行いモザイク画像と重ね合わせることで、訪花位置の傾向について解析を行った。

図 6 の領域内にはニホンミツバチの巣箱があり、ニホンミツバチの 8 の字ダンスを 2016 年 4 月 7 日の 16 時から 1 時間観測し、訪花場所(巣箱からの方向・距離)を推定した。10 個のデータが得られ、10 ヶ所の訪花位置を推定した(図 6 の赤のマーカー)。

ほとんどの場合は巣箱から 1km 以内であることがわかった。また、特定の場所に集中していないこともわかった。図 7 は、マーカー付近のモザイク画像の一部である。この画像にはスダジイの花が咲いており(図 7 右上の明るい緑色)、ニホンミツバチはこの花を利用していると考えられる。撮影日の対象領域では主にスダジイの花が所々咲いており、他の推定位置においてもスダジイの花と考えられる樹冠を見つけることができた。したがって、この時期のニホンミツバチは、主にスダジイの花を利用していると考えられる。今回は行えなかったが、8 の字ダンスをしたニホンミツバチに付いた花粉を採取できれば、より正確な訪花位置解析が可能となる。

このモザイク画像を活用した上記以外の研究例として、植生分布、樹冠サイズを利用した生物多様性評価が挙げられる。

撮影日: 2016-04-07 16:18-16:53
調査地: 奄美市浦上(本茶峠付近)
機材: DJI Matrice 100 + Zenmuse X3

☒ ドローンモザイク画像を表示・非表示



図6 ニホンミツバチの訪花推定位置マップ



図7 訪花推定位置の周辺画像

8. まとめ

本研究では、生物多様性研究に利用できるような、ドローンを用いたオルソモザイク画像作成の指針をまとめることを目指して、当該画像作成のながれについて検討した。ドローンの自律飛行およびインターバル撮影により、操縦者の作業負担を軽減して対象領域の画像を撮影し、SfMソフトによって画像セットからオ

ルソモザイク画像が作成できることを確認した。また、作成したモザイク画像は樹冠を認識出来る画質を持っており要件を満たせたことを確認した。

今後は、生物多様性研究のためのモザイク画像作成の指針をまとめるにあたり、飛行計画の作成、地上分解能を考慮した飛行高度設定等の方法についてツール開発を含めて検討する予定である。

謝辞

本研究では、以下の方にご協力と有益なご助言をいただきました。中央大学人間総合理工学学科の鷲谷いづみ教授には、撮影場所の選定、モザイク画像の利用例について検討いただきました。また、株式会社 NSi 真岡の水沼和幸様には、ドローンの自律飛行について整備いただきました。なお、本研究は、環境省環境研究総合推進費プロジェクト「自然保護地域における協働管理のための情報交流システムの開発：奄美大島をモデルとして」(課題番号:4-1409)の支援を受けました。ここに記して、深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- [1] Convention on Biological Diversity (CBD), “Report of the Tenth Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity”, <http://www.cbd.int/doc/meetings/cop/cop-10/official/cop-10-27-en.pdf> , pp. 118-120, 2010.
- [2] 安川雅紀, 前角達彦, 須田真一, 中原美理, 鷺谷いづみ, 喜連川優, “蝶モニタリングのためのデータ管理システム”, DEIM2011, C8-6, 2011.
- [3] ケンムン広場, <http://kenmun.dias.nii.ac.jp/> , 2016.
- [4] 張堯棟, 高木幹雄, “気象衛星 NOAA の AVHRR データにおける精密な幾何補正”, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 34, No. 2, pp. 25-35, 1995.
- [5] 福江 潔也, “ディジタルモザイク処理による日本列島衛星地図の作成”, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 32, No. 3, pp. 12-20, 1993.
- [6] M. J. Westoby, J. Brasington, N. F. Glasser, M. J. Hambrey and J. M. Reynolds, “‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications”, *Geomorphology*, No. 179, pp. 300-314, 2012.