

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06143

研究課題名（和文）落葉期／着葉期UAV空撮データを用いた広葉樹林の樹冠抽出と樹種分類

研究課題名（英文）Crown extraction and tree species classification of broadleaf forests using UAV aerial photography derived on leaf-on and -off seasons

研究代表者

村上 拓彦（Murakami, Takuhiko）

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：20332843

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：UAV空撮画像を用いた広葉樹林の単木スケールの樹種分類，樹冠抽出，樹幹抽出に取り組んだ。樹種分類では，ブナ林主体の天然林を対象にオブジェクトベース画像分類を行いKappa係数0.726で分類を実行することができた。単木スケールの樹冠抽出には，Valley following法とlidRパッケージの2つの手法を試した。それぞれについて樹冠抽出の良否について精度検証を行った。樹幹抽出は，ブナ林を対象に落葉期におけるUAV空撮を実施し，いくつかのパラメータについて樹幹の再現性を評価した。樹幹抽出では撮影方向（カメラ角度）も検討したが，直下視に加えて斜め視を採用した方が樹幹の再現率は高かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この研究ではUAVの利点がおおいに関係している。それは空間分解能の高さと柔軟な飛行時期の設定である。まず前者について，広葉樹を対象とするということは天然林を対象とすることになるが，それは単木スケールでのアプローチが必須であることを意味する。UAV空撮によってもたらされる高精細な画像データは単木スケールでの樹種分類や樹冠抽出におおいに貢献した。落葉期の画像取得は，雲の下を飛行することのできるUAVの利点であり，人工衛星，航空機では決して撮影することのできない画像が取得できた。樹幹抽出が可能になることにより，落葉期データ取得の意義を提示することができた。

研究成果の概要（英文）：Several studies were performed on individual scale tree species classification, tree crown extraction, and tree stem extraction in broadleaf forests using UAV aerial imagery. In the tree species classification, object-based image classification was performed for natural forests consisting mainly of beech forests, and classification was successfully performed with a Kappa coefficient of 0.726. For individual scale crown extraction, we tried two methods: the valley following method and the lidR package. The accuracy of tree crown extraction was verified for each. For tree stem extraction, UAV aerial photography was conducted in a beech stand during the leaf-off season, and the reconstruction of tree stems was evaluated for several parameters. The direction of the camera (camera angle) was also considered in the tree stem extraction, and the reconstruction rate of tree trunks was higher when the oblique view was employed in addition to the nadir view.

研究分野：森林リモートセンシング

キーワード：リモートセンシング UAV SfM 落葉広葉樹林 樹種分類 樹冠 樹幹 落葉期

## 1. 研究開始当初の背景

里山のような二次的環境には、多様な種がその生存のために適応・依存しており、高い生物多様性が保たれている。しかしながら、近年、日本の里山はアンダーユースによる劣化が指摘されており、我が国の生物多様性国家戦略においても、第2の危機として取り上げられている。こうした里山環境を単木レベルで捉えることが可能な航空機リモートセンシングを利用することが、持続可能な森林管理の実現のために期待されている。

本研究で着目するのは UAV (無人航空機、通称ドローン) である。UAV は近年世界的に急速に普及しており、リモートセンシングの新しいプラットフォームとして大きな注目を集めている。飛行高度や搭載できるバッテリーの制約を受けて必ずしも広域スケールをカバーできるものではないが、従来型のリモートセンシングでは得られなかった高精細な画像が取得できる。この高精細な画像データが樹冠抽出、樹種分類にどれだけの利点をもたらすのか明らかにすることが求められている。

UAV に通常搭載されているのは、可視域のみの情報が収集できるデジタルセンサであるが、衛星リモートセンシングなどで使用されてきたマルチスペクトルセンサ (可視域に加え近赤外域の情報が収集できる) の使用が UAV においても有望視されている。農地の面的な収量評価などで UAV にマルチスペクトルセンサを搭載する事例が少しずつ増えつつあるが、森林を対象に樹種分類においてもその有用性を評価することが強く期待されている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、UAV 空撮画像を用いた広葉樹林の単木スケールの樹種分類、樹冠抽出、樹幹抽出である。UAV 空撮画像から点群データ、オルソモザイクデータを取得し、広葉樹林を対象として以下の課題に取り組む。

- (a) 単木スケールの樹種分類：沼ノ平において初の試みとなる全域を対象とした UAV 空撮を実施し、得られた空撮画像を用いて樹種分類を試みたので報告する。SfM ソフトウェアを用いて沼ノ平全域の高精細なオルソモザイク画像を作成し、オブジェクトベース画像分類によって広葉樹天然林の単木単位での樹種分類を試みた。
- (b) 単木スケールの樹冠抽出：本研究の目的は、既存の樹冠セグメンテーション手法を本論の研究対象地ブナ林に適したパラメータに設定して実行し、精度検証を行うことである。
- (c) 樹幹抽出：落葉広葉樹林において、落葉期に樹幹が捉えやすくなる状況に注目する。落葉期の空撮データから樹幹の点群データを取得すれば、樹幹抽出が可能になると期待した。UAV 空撮画像より得られた点群を用いてブナ林の樹幹抽出に取り組んだ。特に、斜め視画像の有効性の是非を確認することを主たる検討課題とした。加えて、現像処理で、樹幹復元性向上に関わるファイル形式、編集パラメーターについて検討した。

## 3. 研究の方法

- (a) 単木スケールの樹種分類：福島県南会津郡只見町沼ノ平にて UAV 空撮を 2019 年、2020 年に複数回実施した。沼ノ平全域をカバーする飛行計画 (ミッション) を UAV 空撮アプリである Litchi (VC TECHNOLOGY 社) を用いて準備した。オルソモザイク画像を作成するために Pix4Dmapper を使用した。樹種分類では eCognition を用いてオブジェクトベース画像分類を実行した。単木単位での樹種分類を行うため、沼ノ平で最も広く優占するブナを基準とし、単木レベルのオブジェクトが構成されるようにセグメンテーションのパラメータを調整した。分類クラスは、ブナ、サワグルミ、トチノキ、ミヤマカワラハンノキ、ヨシ、その他植生、地面、水域、影とした。分類に使用する特徴量には、「各可視域バンドの平均値」、「標準偏差」、「各可視域のバンド比」、「オブジェクトサイズ」を用いた。精度検証のために、ランダムポイントを 500 点生成させた。精度検証の対象は、ブナ、サワグルミ、トチノキ、ミヤマカワラハンノキ、ヨシ、その他植生、非植生として判定効率表を作成し、Kappa 係数を求めた。

- (b) 単木スケールの樹冠抽出：新潟県十日町市浦田に所在するブナ林にて展葉期、紅葉期、落葉期に各1回ずつ計3回 UAV 空撮を実施した。樹冠抽出には Valley following 法と R の lidR パッケージの2つの手法を試した。Valley following 法では ArcGIS Pro において、フォーカル統計などのツールを組み合わせで実行した。lidR パッケージによる手法では、関数 `segment_trees` を使用し、アルゴリズムには `dalponte2016` を採用した。現地調査にて計測した樹冠直径のデータやオルソモザイクデータ、UAV 空中写真を基に目視によって真値として扱う樹冠ポリゴン（真値樹冠）を作成した。Valley following 法では、真値樹冠内に含まれる Valley following 法によって作成したポリゴンの重心が1つであるとき、その真値樹冠は Valley following 法によってセグメンテーションが成功していると判定した。lidR パッケージでは、`dalponte2016` によりセグメンテーションされた樹冠の内に1つだけ真値樹冠が含まれていた場合、その真値樹冠をセグメンテーションされた樹冠と対応付け、複数の真値樹冠が含まれている場合は、セグメンテーションされた樹木の高さに近い高さの真値樹冠をセグメンテーションされた樹冠と関連付けた。セグメンテーションされた樹冠の面積の60%以上が関連付けた真値樹冠内に含まれている場合、両者は一致しているとした。引数の設定により4つの組み合わせを試行した。
- (c) 樹幹抽出：落葉期の空撮を2回実施した。直下視、斜め視空撮（カメラ角度は20度、30度、45度に固定）を行った。撮影高度は50m、75m、100mである。加えて、UAV による動画撮影も実施した。検証用データは OWL にて取得した。OWL データと得られた点群データの位置合わせを行った。異なる2つの点群の位置合わせを自動で実施する CloudCompare の ICP Iterative Closest Point を用いた。位置合わせ後、地表データをセグメンテーションした。樹幹のみを表示させることにより、UAV 空撮データの樹幹再現性を確認した。

#### 4. 研究成果

- (a) 単木スケールの樹種分類：樹種分類の結果を図??に示す。特徴量には可視青色域の平均値を除く9つの特徴量が採用された。ブナは全域に存在していた。今回の分類図の全体面積は96.6ha、その内ブナは39.9haであり、ブナの占有率は41.3%であった。サワグルミ、トチノキはブナ林冠に接するかたちで散在していた。濁り沼周辺ではミヤマカワラハノキが群生している箇所が確認できるとともにその他植生が多く分布していた。精度検証の結果、全体精度は0.805、Kappa 係数は0.726であった。
- (b) 単木スケールの樹冠抽出：Valley following 法では真値樹冠内に含まれる重心の数が1つであったのは64個体中41個体であり、検出率は64.1%であった。含まれる重心の数が0である個体が8個体、2つである個体が13個体、3つである個体が2個体であった（図??）。比較的面積の大きい個体には複数の重心が含まれ、小さい個体には重心が含まれない割合が大きかった。セグメンテーションが成功していたとした樹冠であっても、真値樹冠面積に近い値をとっていない個体も見られた。一方、lidR パッケージではラスターである Canopy Height Model から樹頂点を検出するよりも点群から樹頂点を検出した組み合わせの方がセグメントされた樹冠の数は多かった。つまり点群ベースの方が樹頂点として検出された局所最大値が多かった。全体として検出率は28.1~46.9%、Omission Error は20.3~40.6%、Commission Error は27.1~49.5%だった。セグメントされた樹冠の数が多くなると、真値樹冠と一致する数も多くなったが、CEも大きくなった。一方で OE は小さくなった。
- (c) 樹幹抽出：現像処理と SfM 解析点群の位置合わせをすることにより、同位置における樹幹の復元度合いが変化することを確認した。現像処理を施した画像に SfM 解析を行うことで、樹幹の復元性が異なる点群が生成されることが明らかになった。出力ファイル形式について TIFF の方が、樹幹の再現性がわずかに高かった。カメラ角度による樹幹抽出精度の変化について、「直下視」の樹幹抽出精度が明らかに低いことが明白であった。「斜め視」と「直下視+斜め視」の全現像パターンにおける抽出精度を比較したところ、「斜め視」の精度の方がやや高い傾向にあった。

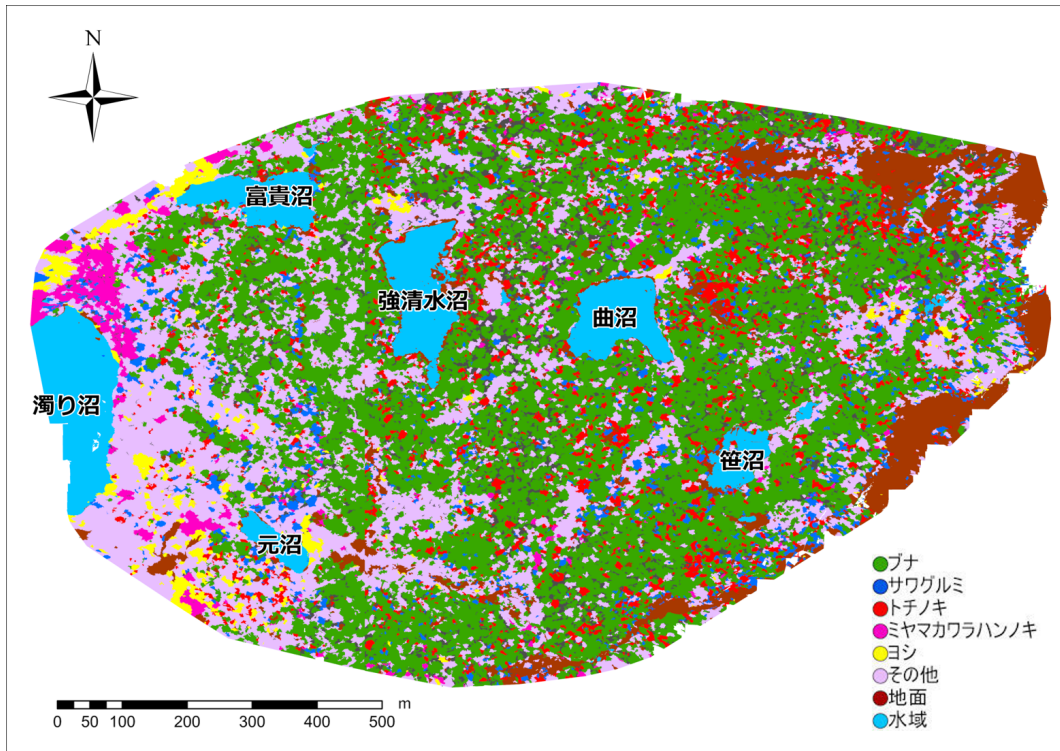


図 1: オブジェクトベース画像分類による樹種分類の結果.



図 2: 真値樹冠内に含まれる Valley following 法によってセグメンテーションされた樹冠の重心の数ごとに色分けした結果



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 村上拓彦・篠原朋恵	4. 巻 53
2. 論文標題 Litchi を用いた UAV 空撮計画の作成方法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 森林計画学会誌	6. 最初と最後の頁 89-93
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20659/jjfp.53.2_89	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 村上拓彦・吉田大智	4. 巻 10
2. 論文標題 UAV空撮データを用いた沼ノ平の樹種分類	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 只見町ブナセンター紀要	6. 最初と最後の頁 28-36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 村上拓彦・篠原朋恵
2. 発表標題 Litchi を用いた UAV 空撮計画の作成方法
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲月理央・村上拓彦
2. 発表標題 UAV を用いたブナ林の樹幹抽出における斜め画像の有効性
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田大智・村上拓彦
2. 発表標題 UAV 空撮画像を用いた落葉広葉樹林における樹種分類
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村上 拓彦・阿部正幸・紙谷智彦
2. 発表標題 落葉期ブナ林のUAV空撮データを用いた樹幹抽出
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村上拓彦・塩野谷瑞己
2. 発表標題 UAV空撮データを用いたブナ林の樹冠セグメンテーション
3. 学会等名 第133回日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲月理央・村上拓彦
2. 発表標題 UAVによる樹幹抽出を通じたブナ林の立木本数把握方法の検討
3. 学会等名 第133回日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------