

UAVによる間伐施業評価法の開発

名古屋大学農学部 4年

○成田 周平
やまもと かずきよ
山本 一清

名古屋大学大学院 生命農学研究科

要旨

様々な立木密度の林分において、UAV空撮画像から単木検出を行い、検出精度を検証しました。その結果、特に間伐前の立木密度の高い林分においては、被圧木の多くを検出できないことが分かりました。また、間伐が行われた林分において、間伐前後の空撮画像から間伐木の抽出を試みた結果、間伐前の単木検出率が高かった林分では、間伐木の抽出精度が良いことが分かりました。

はじめに

現在の日本には間伐遅れの人工林が数多く存在しています。間伐は森林の有する多面的機能を維持する上で不可欠な作業であり、また地球温暖化防止のためのCO₂吸収源を確保する上でも重要です。そのため間伐等の森林整備を推進するため、国や都道府県などは様々な補助事業を実施していますが、補助金の給付に必要な間伐後の間伐木の確認などの検査に多大な労力を要しており、労力の省力化が求められています。

UAVは近年、森林・林業の分野においても注目を集めており、空撮画像をSfM(Structure from Motion)ソフトウェアで処理することで、対象物の3次元モデルを作成することができます。航空機LiDARに比べて費用が安く、高頻度なモニタリングが可能であることから、毎年行わなければならない間伐施業評価への利用に適しているのではないかと考えました。そこで本研究は、UAVの間伐施業評価への利用可能性を明らかにすることを目的とし、UAV空撮画像から間伐木の抽出が可能かどうか等について検討しました。

1 対象地

本研究では、愛知県豊田市稲武町の名古屋大学大学院生命農学研究科附属フィールド科学教育研究センター稲武フィールドを対象地(空撮地)とし、対象地内のスギ林に5つ(①~⑤)、ヒノキ林に2つ(①~②)の円形プロットを設定しました(図1)。各プロットの詳細は表1の通りです。なお、スギプロット①、②とヒノキプロット①では、2018年の秋に間伐が実施されたため、間伐前後の詳細を載せておきました。

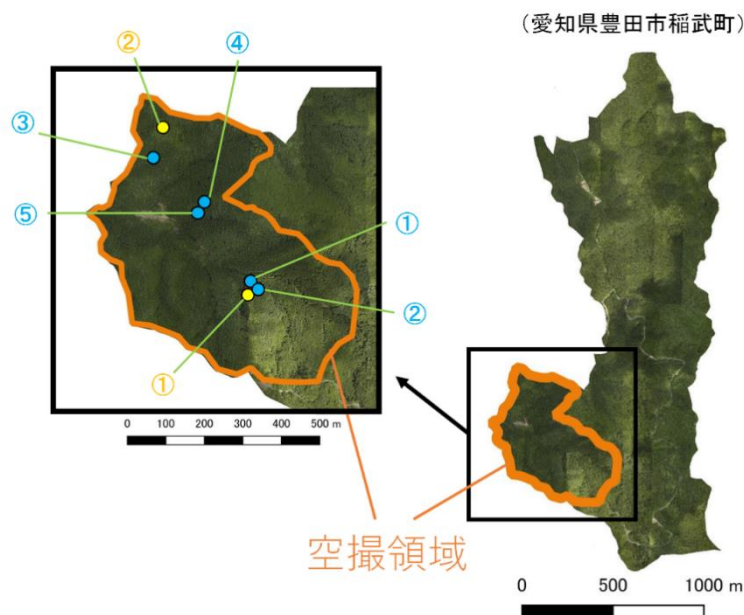


図1 対象地およびプロット位置
(青：スギプロット 黄：ヒノキプロット)

表1 プロット詳細

	プロット半径 (m)	立木本数 (本)	立木密度 (本/ha)	平均傾斜 (°)
スギプロット①(間伐前)	10	49	1560	24.5
スギプロット①(間伐後)		32	1019	
スギプロット②(間伐前)		39	1241	28.5
スギプロット②(間伐後)		20	637	
スギプロット③	8	27	1343	18.6
スギプロット④	10	46	1464	24.9
スギプロット⑤		45	1432	37.4
ヒノキプロット①(間伐前)		61	1942	35.1
ヒノキプロット①(間伐後)	30	955		
ヒノキプロット②	8	34	1691	25.9

2 空撮概要

本研究では、UAV に Phantom4 Professional (DJI 社製, 中国) を使用しました。Phantom4 Professional の仕様は表2の通りです。空撮は2018年9月28日に3回、11月30日に1回の計4回行いました。各回の撮影条件を表3に、飛行ルートを図2～5に示します。空撮の実施にあたっては、飛行支援ソフトGS Pro (Ground Station Pro) (DJI 社製, 中国) を使用しました。GS Pro では、撮影高度や重複率等の撮影条件を設定することで、効率的な飛行経路が自動的に作成され、機体はこの経路に沿って自動飛行します。

表2 Phantom4 Professional 仕様

機体		カメラ	
機体重量 (バッテリーとプロペラを含む)	1388 g	f 値	2.8~11
対角寸法 (プロペラを含まず)	350 mm	視野角	84°
最大風圧抵抗	29~38 km/h	画素数	2000 万画素
最大飛行時間	30 分	ISO レンジ	100~3200 (自動)
最大速度	72 km/h	焦点距離	24 mm (35mm 判換算)

表3 撮影条件

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目
撮影日 (2018 年)	9 月 28 日	9 月 28 日	9 月 28 日	11 月 30 日
オーバーラップ率	90%			
サイドラップ率	60%			
飛行開始場所 からの高度	50m	50m	100m	50m
写真枚数	450 枚	370 枚	167 枚	411 枚
飛行時間帯	12:20~12:36	13:42~13:48	14:10~14:16	11:49~12:37
撮影時の天候	晴れ			
空撮対象プロット	スギ①(間伐前)	スギ③	スギ①(間伐前)	スギ①(間伐後)
	スギ②(間伐前)	スギ④	スギ②(間伐前)	スギ②(間伐後)
	ヒノキ①(間伐前)	スギ⑤	スギ④	ヒノキ①(間伐後)
		ヒノキ②	スギ⑤	
			ヒノキ①(間伐前)	

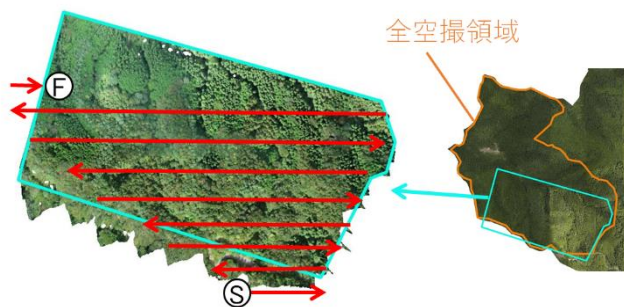


図2 1回目の空撮の飛行ルート
(S：撮影開始点 F：撮影終了点)

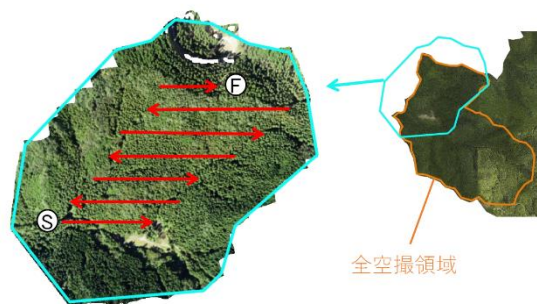


図3 2回目の空撮の飛行ルート
(S：撮影開始点 F：撮影終了点)

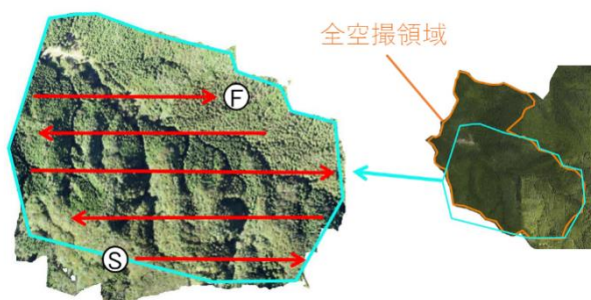


図4 3回目の空撮の飛行ルート
(S：撮影開始点 F：撮影終了点)

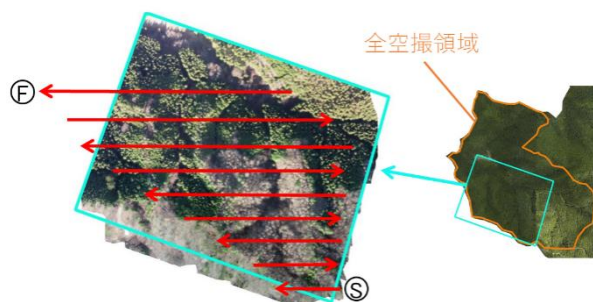


図5 4回目の空撮の飛行ルート
(S：撮影開始点 F：撮影終了点)

3 研究の流れ

(1) 画像解析

空撮画像は3次元モデリングソフトウェア(SfM解析ソフト)Photoscan Professional 1.4.1(Agisoft社製, ロシア)に取り込み解析を行いました。Photoscanでは、SfMによってまず写真撮影位置を推定すると同時に、3次元モデルとなるポイントクラウド(点群データ)が生成されます。その後、生成された点群データに高密度処理を施し、その高密度点群データに基づいて、3次元モデル、オルソモザイク画像、数値地表モデル(Digital Surface Model: DSM)が作成されます。本研究では「写真のアライメント」の精度を「高」、「高密度(Dense)クラウド構築」の品質を「高」に設定して解析を行いました。

また、Photoscanにより作成された高密度点群データは、単木樹冠抽出システムdrone2cw(山本ら, 未発表)に取り込みさらに解析を行いました。drone2cwでは、林冠復元解析手法による樹冠抽出方法(山本ら, 2015)を応用し、SfM解析ソフトによって生成された点群データからDSMを生成し、単木樹冠および樹頂点の抽出を行います。

(2) 現地調査

各プロットでは、プロット内の立木位置座標を取得するために現地調査を実施しました。立木位置座標の取得には森林3次元計測システムOWL(アドイン社製, 日本)を、OWLで取得したデータの処理にはOWL Manager 1.4.2.2(アドイン社製, 日本)を使用しました。なお、2018年の秋に間伐が行われたスギプロット①、②とヒノキプロット①では、間伐実施前に、OWLを用いて間伐前の立木位置座標を取得した後、間伐実施後に再び現地へ行き、間伐木の確認を行うことで、間伐前・間伐後それぞれの立木位置を把握しました。

(3) 空撮画像からの単木検出精度の検証

drone2cwにより抽出された樹頂点の位置座標および現地調査により取得した立木位置座標を、QGIS Desktop2.18.11 (QGIS Development Team)上に表示し

重ね合わせ、各プロットで単木検出精度を検証しました。なお、単木検出精度の検証は以下の3つの指標、

- 1) 正しく検出された立木個体 (Correct : %)
- 2) 検出できなかった立木個体 (Omission Error : %)
- 3) 対応する立木個体がない樹頂点 (Commission Error : %)

により行いました (図6)。

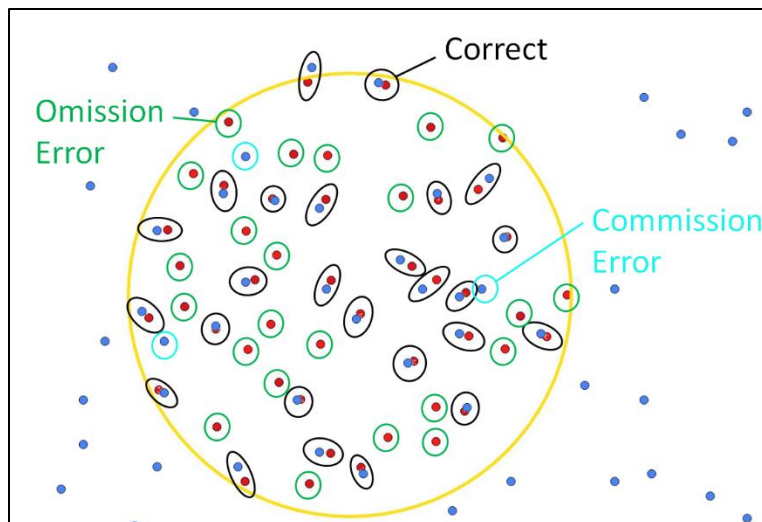


図6 検出精度の判読例

(青：検出樹頂点 赤：実測立木位置)

(4) 間伐前後の単木検出結果の比較による間伐木の抽出および精度検証

2018年の秋に間伐が行われたスギプロット①、②とヒノキプロット①において、間伐前後の空撮画像からそれぞれ drone2cw により検出された樹頂点の位置座標を QGIS 上に表示し位置合わせを行いました (なお、間伐前の空撮画像には、3回目の空撮により取得したものを用いました)。そして、間伐前の空撮画像からは検出されたものの、間伐後の空撮画像からは検出されなかった立木を間伐木と推定しました (図7)。さらに、推定した間伐木の位置座標を、現地調査により把握した実際の間伐木の位置座標と比較することにより、各プロットで間伐木の抽出精度を検証しました。なお、抽出精度の検証は、(3)と同じく、

以下の3つの指標、

- 1) 正しく推定された間伐木 (Correct : %)
- 2) 推定できなかった間伐木 (Omission Error : %)
- 3) 対応する間伐木がない樹頂点 (Commission Error : %)

により行いました (図8)。

4 結果および考察

各プロットでの単木検出結果を表4に、また間伐が行われたプロットにおける間伐木の抽出結果を表5に示します。表4から、間伐前のプロットでは検出率が41.0%~74.4%であるのに対し、間伐後のプロットでは70.0%~81.3%であったことから、間伐前より間伐後の方が検出率が高い傾向にあ

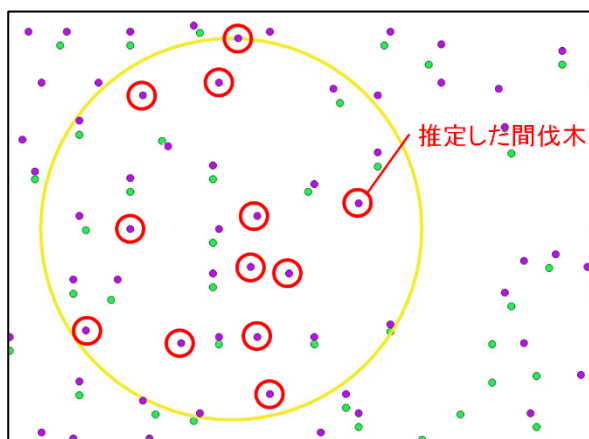


図7 間伐木推定の様子(スギプロット②)

(紫：間伐前に検出された樹頂点

緑：間伐後に検出された樹頂点)

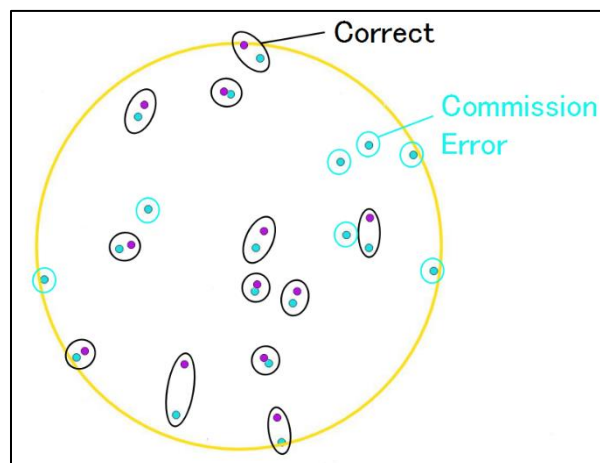


図8 間伐木抽出精度の判読例

(紫：間伐木と推定した樹頂点

水色：実際の間伐木の位置)

ることが分かりました。また、全体的に立木密度が高くなるほど単木検出率が低下する傾向にありました。このような傾向が見られた要因としては、立木密度が高くなるほど樹木間競争が激しくなり被圧木が多く存在するようになることが考えられます。したがって、特に間伐前の立木密度の高い林分においては、空撮画像から被圧木を検出するのは困難であることが示唆されました。

また、表5を見ると、スギプロット②においては、60%以上の間伐木を正しく推定できましたが、それ以外のプロットでは約20%の間伐木しか推定できませんでした。本研究では、間伐前の空撮画像からは検出されたものの、間伐後の空撮画像からは検出されなかった立木を間伐木と推定したため、間伐木の抽出精度が低かったプロットでは、間伐前に検出された立木と間伐後に検出された立木があまり変わっていなかった可能性があります。実際、表4を見ると、スギプロット①では間伐前後の検出立木本数の差が1本、ヒノキプロット①では4本しかないことがわかります。一方、間伐木の抽出精度が高かったスギプロット②では、間伐前後の検出立木本数の差が14本もあることから、間伐前の空撮画像からより多くの立木を検出することが、間伐木の抽出精度の向上につながると考えられます。実際、表4から、スギプロット②では、間伐前の単木検出率が他のプロットよりも高いことがわかります(スギプロット①:55.1%、スギプロット②:74.4%、ヒノキプロット①:41.0%)。したがって、間伐前後の単木検出結果の比較から間伐木を抽出するためには、特に間伐前の単木検出率を高める必要があることが示唆されました。

表4 各プロットでの単木検出結果

	立木密度	立木本数	Correct		Commission Error		Omission Error	
	(本/ha)	(本数)	(本数)	(%)	(本数)	(%)	(本数)	(%)
スギ①(間伐前) ^{※1}	1560	49	26	53.1	3	6.1	23	46.9
スギ①(間伐前) ^{※3}			27	55.1	0	0	22	44.9
スギ①(間伐後)			26	81.3	5	15.6	6	18.8
スギ②(間伐前) ^{※1}	1241	39	26	66.7	0	0	13	33.3
スギ②(間伐前) ^{※3}			29	74.4	0	0	10	25.6
スギ②(間伐後)			15	75.0	0	0	5	25.0
スギ③	1343	27	27	100	0	0	0	0
スギ④ ^{※2}	1464	46	27	58.7	1	2.2	19	41.3
スギ④ ^{※3}			24	52.2	0	0	22	47.8
スギ⑤ ^{※2}	1432	45	23	51.1	3	6.7	22	48.9
スギ⑤ ^{※3}			22	48.9	0	0	23	51.1
ヒノキ①(間伐前) ^{※1}	1942	61	26	42.6	0	0	35	57.4
ヒノキ①(間伐前) ^{※3}			25	41.0	2	3.3	36	59.0
ヒノキ①(間伐後)			21	70.0	3	10.0	9	30.0
ヒノキ②	1691	34	24	70.6	0	0	10	29.4

※1：1回目の空撮からの単木検出結果 ※2：2回目の空撮からの単木検出結果

※3：3回目の空撮からの単木検出結果

表5 間伐木の抽出結果

	間伐木 本数	Correct		Commission Error		Omission Error	
	(本数)	(本数)	(%)	(本数)	(%)	(本数)	(%)
スギプロット①	17	3	17.6	0	0	14	82.4
スギプロット②	19	12	63.2	0	0	7	36.8
ヒノキプロット①	31	7	22.6	4	12.9	24	77.4

おわりに

本研究では、UAVの間伐施業評価への利用可能性を明らかにすることを目的とし、UAV空撮画像から間伐木の抽出が可能かどうか等について検討しました。

「間伐前後の単木検出結果の比較による間伐木の抽出」の結果から、間伐前後の空撮画像から単木単位での間伐木の抽出を行うためには、特に間伐前の単木検出率を高める必要があることがわかりました。

しかし、これはあくまで、今回対象とした間伐遅れ林分等の森林整備が長期間行われていない林分が間伐される場合であります。間伐は通常、主伐期に至るまでに期間を空けて数度にわたり実施されるものであり、今後2回目、3回目の間伐が実施される時などは、間伐前後の空撮画像から単木単位で間伐木の抽出を行える可能性があり、UAVを間伐施業評価へ利用することが有効となるかもしれません。

参考文献

廣瀬裕基，沼本晋也，松村直人．(2017)．UAVを用いた空撮による森林資源情報の把握－三重大学平倉演習林の事例－．中部森林研究，65，87-90

伊那市．(2017)．ドローンを活用した林業の効率化に向けて．

(http://www.inacity.jp/sangyo_noringyo/noringyo/ringyo/oshirasshe-ivent/Drone_forestry.html，2018年12月10日閲覧)

伊藤拓弥，松英恵吾，内藤健司．(2009)．航空機LiDARによる樹冠の再現性．日本森林学会誌，91，326-334

山本一清，梅藤幸太郎，宇野女草太，吉田夏樹，都竹正志．(2015)．早期森林資源利用判断システムの開発－林冠復元解析によるLiDARデータ解析システムの構築－．第126回日本森林学会大会，2015年3月26日～2015年3月29日，北海道大学