

論文

列状間伐地における UAV 撮影画像からの間伐本数の判定*¹上野 綾*²・重田行洋*²・加治佐剛*³・寺岡行雄*³

上野 綾・重田行洋・加治佐剛・寺岡行雄：列状間伐地における UAV 撮影画像からの間伐本数の判定 九州森林研究 75：31－34，2022 2020年4月より植付・下刈り・間伐等の森林整備事業の申請と検査に UAV の活用が可能となり，リモートセンシング技術の活用が進んでいる。間伐の場合は間伐前後での空撮画像を SfM 処理して作成したオルソ画像から伐採状況を確認することになっているが，未だ間伐地における活用事例は少なく鹿児島県でも取り組まれていない。そこで本研究では，UAV 撮影画像から列状間伐における間伐本数の判定精度を明らかにすることで，今後の普及に備えて UAV 活用の現況を調査するとともにその課題点などについて考察した。

キーワード：Unmanned aerial vehicle (UAV)，Structure from Motion (SfM)，列状間伐，オルソ画像

I. はじめに

林業就業者の慢性的な人材不足や高齢化，高い労働災害の発生率，低コスト化の必要性，そして不十分な森林管理といった林業特有の課題に対処すべく，ICT 等の先端技術を駆使し，生産性や安全性の飛躍的な向上，需要に応じた高度な木材生産を可能とする「スマート林業」が推進されてきた（林野庁）。そしてデジタル化の推進に伴い，ここ数年で森林 GIS や UAV（Unmanned Aerial Vehicle，無人航空機）の導入が活発化し，2020年4月には，植付や下刈，間伐等における造林補助事業の申請や検査に UAV の利用が可能となった。申請を受け付けた都道府県は，オルソ画像・シェーブファイルを GIS に読み込み，施業地の位置や形状・面積を確認，また間伐の場合は，間伐前と間伐後のオルソ画像を比較して伐採状況を確認することになる（諏訪，2020）。ここでの状況確認とは画像上での目視判定であり，確認ができない場合は現地にて地上調査が実施される。また令和3年4月14日に改定された「森林環境保全整備事業実施要領の運用」においてはオルソの活用が明記され，施業地の位置，区域，面積，施業状況がわかるオルソ画像等を提出する場合はそれらの書類を省略することができる（林野庁，2021）。

鹿児島県の森林面積は，県土の約6割を占めており，県土の保全や水源の涵養，また木材の生産等の多面的機能の発揮により県民生活に大きく貢献している一方，林業を取り巻く環境は依然として厳しい状況にある（鹿児島県，2021）。林野庁からの通達により申請や検査に UAV の活用が可能となった今，作業の効率化や労務低減が期待できるが，鹿児島県では依然として取り组まれておらず，UAV の活用自体さほど普及していない。

現在，間伐事業の形態としてはほとんど主流となっている列状間伐だが，列状間伐地では伐採前後の変化が明瞭であることから，間伐本数（または間伐率）を画像上から把握することは可能と考えられている（林野庁，2020）。それでは，造林補助事業の検査において UAV 画像の目視で行われるという伐採状況の判定は，実際の程度の精度で確認できるのだろうか。



図-1. 間伐事業地位置図

本研究では，列状間伐事業地を利用して伐採前後の UAV 撮影を実施し，SfM 処理を施したオルソ画像から目視により間伐本数（間伐率）の判定を行いその精度を明らかにする。そして UAV の間伐木の把握手法としての実用化について考察した。

II. 調査地

研究は，鹿児島大学農学部附属高隈演習林 101 林班（鹿児島県垂水市海湯 31° 52′ 41″ N 130° 80′ 21″ E）で実施した。この事業地は，上野物産株式会社の間伐業務請負地であり，今回の施業面積 7.01 ha のうち北側の約 1 ha を研究対象区として設定した（図-1）。高隈演習林は急傾斜が多く起伏の激しい地域であり，スギ・ヒノキ人工林や天然の広葉樹林を中心とした二次林が占められている。

III. 調査方法

1. 撮影手順

今回撮影する UAV には MAVIC 2 PRO（DJI 社製）を用いた。カメラ性能は 829 万画素，焦点距離は 28 mm（35 mm 換算），視野角（FOV：field of view）は約 77° である。飛行ルートは自動空撮アプリの GS PRO（DJI 社製）を用いて研究対象地上に撮影

*1 Ueno, A., Shigeta, Y., Kajisa, T. and Teraoka, Y.: Interpretation of the Number of Line Thinning Trees by UAV Images Analyses

*2 上野物産株式会社 Ueno Bussan Co., Ltd., Kimotsuki, Kagoshima 863-1205, Japan

*3 鹿児島大学農学部 Fac. Agric., Kagoshima Univ., Korimoto, Kagoshima 890-0065, Japan

範囲を作成しルートを指定した。飛行高度は40 m, 50 m, 60 mの各高度にて事前に検証したところ、単木を目視で判定する上での画像解像度には飛行高度によって大差無かった。撮影枚数・撮影時間ともに最も少なく、実際の現場での作業効率を考慮して飛行高度を60 mに設定した。飛行速度は4.1 m/s, オーバーラップ率はF 90 % S 85 %, カメラ方向はコースと平行、撮影モードはホバリング撮影とした。

UAV撮影は、事業班の作業スケジュールに合わせて、2021年9月4日に間伐前の撮影、対象地の間伐と集材作業が完了した10月14日に間伐後の撮影をそれぞれ実施した(表-1)。天候は散乱光になる曇天時の状態が最も樹冠の上層部から樹冠間の下層部まで明確に撮影できると予測し、なるべく曇天時を狙って撮影を行った。なお、一連のUAV撮影は航空法に基づく無人飛行機の飛行に係る承認(目視外飛行)を受け、飛行マニュアルを遵守して実施した。

表-1. 施業・調査内容日程

年月日	調査内容
2021年8月5日	事前調査
2021年8月15日	作業道開設開始
2021年8月30日	作業道開設終了, GCP 設置
2021年9月4日	UAV 撮影 (作業前), GNSS 測量
2021年10月10日	間伐, 集材終了
2021年10月14日	UAV 撮影 (作業後)

2. 対空標識の設置

間伐前後の伐採状況を目視により確実に比較判定するには、GISに読み込む2枚のオルソ画像を正確に一致させる必要があるため、撮影区域に対象標識(GCP)を設置した。GCPは作業道沿いに約20 m間隔で研究対象地全体を囲うように配置し、計9箇所のGCPを設置することができた(図-2)。



図-2. GCP 設置箇所・研究対象範囲図

GCPは耐久性を重視し、プラス型の対空標識(450 mm×450 mm)にベニヤ板を接着して550 mmにカットした測量用木杭を打ち込み、地面と水平になるよう水平器を用いながら設置した。また画像処理を行う際、GCPを判別しやすくするため設置方位を統一した。

3. 画像解析

間伐前後で撮影した各空撮画像をSfM (Structure from Motion) ソフトウェアであるPix 4D mapper (Pix 4D 社) にて処理し、オルソ画像を作成した。また今回は画像上のGCPの位置座標を指定し、通常の処理工程に加えて手作業で画像上のGCPをマークした。解析は図-3の手順で進めた。



図-3. 解析処理手順

4. 林分調査

オルソ画像上での目視による判定結果と現地の実態を比較対照する為、作成したオルソ画像による上空からの情報と現地での地上での情報を合致させながら間伐前の対象林分で事前調査を行った。その結果、研究対象林分全体でオルソ画像上の情報からだけでは判別できなかった20本の被圧木と11本の二又木が確認できた(図-4)。また伐採列においては、間伐対象木のサイズ(樹高Hと胸高直径DBH)と形質(被圧木や二又木)を計測した(表-2)。

表-2. 林分調査結果

列	調査項目	標高上								下	
		1	2	3	4	5	6	7	8		9
1	胸高直径 (DBH)	48	60	21	53						
	樹高 (H)	20	20	15	22						
	形質	優	優	被	二						
2	胸高直径 (DBH)	37	37	45	40	53					
	樹高 (H)	23	22	25	24	23					
	形質	優	優	優	優	優					
3	胸高直径 (DBH)	33	23	22	26	29	59	17	31	34	
	樹高 (H)	21	18	16	18	16	21	10	19	21	
	形質	二	優	優	優	優	二	被	優	優	
4	胸高直径 (DBH)	25	37	27	16	37					
	樹高 (H)	18	20	17	12	20					
	形質	優	優	優	被	優					
5	胸高直径 (DBH)	38	42	28	37						
	樹高 (H)	18	21	22	23						
	形質	被	優	優	優						
6	胸高直径 (DBH)	32	34	25	36	35	34	35			
	樹高 (H)	19	22	22	24	22	22	23			
	形質	優	優	優	優	優	優	優			
7	胸高直径 (DBH)	27	31	44	44	49	41	41	48		
	樹高 (H)	22	20	16	19	23	20	23			
	形質	優	優	優	優	優	優	優	優		
8	胸高直径 (DBH)	14	20	13	37	25	41				
	樹高 (H)	17	17	7	21	19	16				
	形質	優	優	被	優	優	優				
9	胸高直径 (DBH)	34	28	27	13	34	18	37			
	樹高 (H)	17	17	16	10	15	17	19			
	形質	優	優	優	被	優	優	優			
10	胸高直径 (DBH)	20	22	27							
	樹高 (H)	17	17	17							
	形質	優	優	優							
11	胸高直径 (DBH)	34	28	28							
	樹高 (H)	15	22	17							
	形質	優	二	優							

なお形質は優勢木：優，被圧木：被，二又木：二と示す

表-3. UAV による間伐木抽出結果のまとめ

列状間伐列	判読間伐本数 (本)	列内伐採本数 (本)	未抽出本数 (本)	抽出率 (%)	原因
1列目	3	4	-1	75	被圧木, 樹高差5m 以上
2列目	5	5	0	100	
3列目	10	9	3	110	多く数えたものと見えなかったものが混在している
4列目	4	5	-1	80	被圧木, 樹高差5m 以上
5列目	3	4	-1	75	広葉樹が樹冠に被さり見えなかった
6列目	7	7	0	100	
7列目	7	7	0	100	
8列目	5	6	-1	83	被圧木, 樹高差10m 以上
9列目	5	7	-2	71	被圧木の樹冠が合体していた
10列目	3	3	0	100	
11列目	3	4	-1	75	被圧木, 倒木
総数	55	61	10	90	

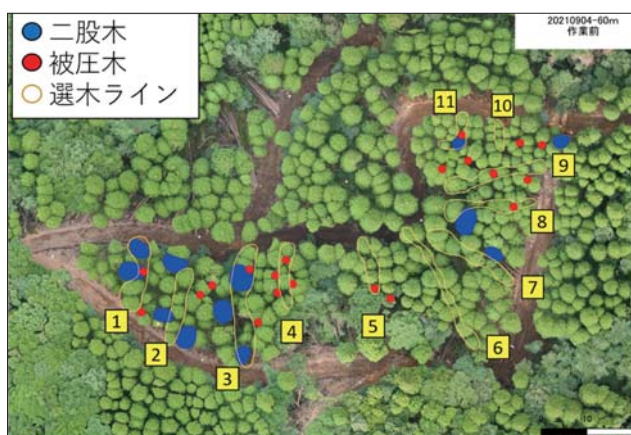


図-4. 林分調査の結果



図-5. 間伐木抽出結果

IV. 結果

上記に UAV 空撮画像からの間伐木抽出結果をまとめた(表-3)。ここでの抽出率(%)は次の計算式で算出した。

$$\text{抽出率}(\%) = \frac{\text{判読間伐本数}}{\text{列内伐採本数}} \times 100$$

列状間伐地での列内伐採本数61本のうち、UAV オルソ画像上から判読抽出できたのは55本であり、抽出率は90%となった。一方で列内伐採本数のうち未抽出木は10本あり、列内伐採本数に対する未抽出木の割合は16%となった。

図-5に間伐木の抽出判定状況を示す。伐採列1列目と4列目では、それぞれ間伐木を1本ずつ抽出できなかった。これは周辺の樹木と被圧木の樹高差が5mあったためであった。伐採列3列目では二又木を2本と判読してしまったことに加えて、画像上では見えなかった被圧木と倒木が抽出できなかったため、抽出できた個体と出来なかった個体が混在し、結果として未抽出木が3本であった。5列目では広葉樹が樹冠に被さり見えなかったため、1本が未抽出となった。8列目では被圧木の周囲との樹高差が10m以上あったため、抽出できなかった。9列目では被圧木同士の樹冠が合体していたため2本を抽出できなかった。11列目では被圧木であった個体と倒木であった個体を抽出できなかった。

V. 考察

列状間伐での間伐木の抽出をオルソ化した UAV 画像上で目視判定を行い、その判定精度を検証した。結果としては、判読による間伐木抽出精度は90%であった。そして特に、樹高差が5m以上ある場合の被圧木の抽出は困難であることがわかった。また二又木を2本と判読してしまうケースがあった。さらに、上空から撮影する UAV 画像では被圧木や倒木を認識することは困難であった。林冠を構成しない被圧木はオルソ画像上では抽出出来ず過小に抽出したが、二又木では画像からの情報だけで過剰に本数抽出をしてしまった。したがって、UAV 画像からの間伐本数判定には、画像からだけでなく、判定のための工夫が別に必要となると考えられた。

間伐前後で同じGCPを設定して UAV 飛行撮影を行ったが、オルソ化処理後の画像を完全に一致させることは困難であった。今回は列状間伐であったことから、間伐箇所の判定は容易であったが、定性間伐の場合には、間伐木の抽出はより困難になると考えられた。現時点では、定性間伐の場合は間伐前後のオルソ写真から間伐木の抽出と間伐率の判読を行うことは困難である事が示唆された。したがって、画像処理の自動化による間伐木の抽出には、新たな工夫が必要となるだろう。

林業界での労働力不足はより深刻になると考えられ、補助事業の申請や検査業務の効率的な実施が必要になる。本研究で取り組んだ UAV による事業実施状況の把握はより必要性が高まってくる。特に間伐における検査が、信頼性の高い方法で UAV 画像から実施できることが望まれる。今後は、間伐木の抽出と間伐率の判定を実用へ向けて、地形や林齢、立木密度の異なる林分での調査事例や分析事例を増やす必要がある。

謝辞

本研究は上野物産株式会社と鹿児島大学農学部森林計画学研究室との共同研究として実施した。調査に利用させていただいた鹿児島大学演習林の関係者の皆様、また研究を行うに当たり多大なご協力を頂きました森林計画学研究室の皆様に心より感謝の意を表します。

引用文献

- 林野庁. スマート林業の推進
https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/smartforest/smart_forestry.html (2021年11月14日確認)
- 諏訪実 (2020) 日本リモートセンシング学会誌 vol.40:26-31.
林野庁 (2021)
https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sinrin_seibi/attach/pdf/index-52.pdf (2021年12月20日確認)
- 鹿児島県 (2021) 鹿児島県林業労働力の確保の促進に関する基本計画
https://www.pref.kagoshima.jp/ad12/documents/58252_20210324133614-1.pdf (2021年11月14日確認)
- 林野庁 (2020)
https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sinrin_seibi/attach/pdf/sinsei_kensa-16.pdf (2021年11月14日確認)
(2021年11月14日受付; 2021年12月24日受理)