

森林資源管理のみらいチャレンジ研究会

最終評価報告書

令和5年3月

近畿中国森林管理局

目次

1. 本会の概要、目的及び実施事項	2
(1) 本会の概要及び目的	2
(2) 実施事項	2
2. 組織及び会員	2
(1) 組織体制	2
(2) 会員	2
3. 運営委員会における検討	2
(1) 運営委員会の設置	2
(2) 実施事項	2
4. 本会 実証プロジェクト一覧	3
5. 成果報告会要旨	6
6. 最終評価	25
No. 1 廉価・高性能な GNSS 機器による森林測位の実用性検証	26
No. 2 福井県民衛星「すいせん」の衛星データを用いた森林資源量推定	28
No. 3 森林資源量推定 (UAV 活用)	30
No. 4 広葉樹資源量推定・樹種判別	32
No. 5 マルチ GNSS による後処理解析やマルチパス除去等の測位精度向上の検証	34
No. 6 森林資源量推定 (UAV・3次元レーザ測量)	36
No. 7 成長予測	38
No. 8 森林管理の効率化 (UAV・SLAM)	40
No. 9 航空画像解析を用いた再造林時の最適樹種選定手法や獣害対策手法の開発	42

【付属資料一覧】

- 別紙 1 参考資料 (プレスリリース付属資料)
- 別紙 2 会員名簿
- 別紙 3 運営委員会 委員名簿
- 別紙 4 森林資源管理のみらいチャレンジ研究会 規約

1. 本会の概要、目的及び実施事項

(1) 本会の概要及び目的

近畿中国森林管理局では、令和2年度に、デジタル情報を活用した効率的かつ精度の高い森林資源管理手法の実用化に向けた実証に取り組み、森林資源管理のスマート化を推進するとともに、その普及により、林業の成長産業化や森林資源管理の高度化に幅広く貢献していくことを目的として、関連分野の企業、研究機関、行政機関などからなる「森林資源管理のみらいチャレンジ研究会」(以下、本会とする。)を立ち上げた(別紙1・2)。

(2) 実施事項

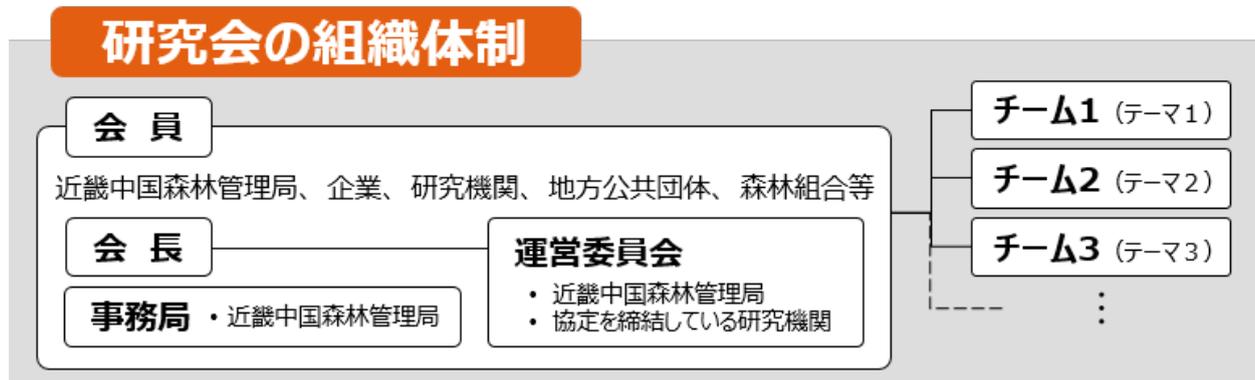
本会では規約第3条に基づき、次の各号に掲げる活動を行った。

- ① 森林資源管理スマート化に関する情報収集
- ② 森林資源管理のスマート化に資する実証プロジェクトの実施
- ③ 本会の活動成果に関する情報発信及び普及啓発
- ④ 本会の目的を達するために必要なその他の活動

2. 組織及び会員

(1) 組織体制

本会の組織体制は以下のとおりである。



(2) 会員

令和2年度に公募を行い、計39団体の参画が決定した(別紙3)。

3. 運営委員会における検討

(1) 専門委員会の構成

規約第7条に基づき、本会の適正かつ円滑な運営を図るため、運営委員会を設置した(別紙4)。

(2) 実施事項

規約第7条第2項に基づき、次の各号に掲げる活動を行った。

- (1) 本会の運営方針に関する事項
- (2) 全体会議(全会員を対象とする会議)の開催に関する事項
- (3) 実証プロジェクトの実施に関する事項
- (4) 知的財産の取扱いに関する事項
- (5) その他本会の運営に必要な事項

4. 本会 実証プロジェクト一覧

令和3年8月より、本会構成会員の提案により設定した9つの実証プロジェクトを開始し、2年間にわたる実証を行った。実証プロジェクトについては以下のとおり。

No・テーマ	取組内容・目的	構成会員
No. 1 廉価・高性能なGNSS機器による森林測位の実用性検証	民有林の境界測量や伐採照査等に役立てることを目的とし、廉価・高性能なGNSS機器（衛星測位システム）と携帯通信網による森林内RTK測位（衛星測位データを基地局で補正する高精度な位置測位）技術について、使用性や精度の検証を行う。	（株）パスコ（関西事業部、事業統括本部） 京都府立大学 新見市森林組合 伊賀森林組合 三重県（農林水産部 森林・林業経営課）
No. 2 福井県民衛星「すいせん」の衛星データを用いた森林資源量推定	中程度の分解能を持つ福井県民衛星「すいせん」の衛星データを用いた森林資源量把握（樹種分類等）の可能性について研究・検証を行う。	福井県民衛星技術研究組合 朝日航洋（株） 福井県池田町
No. 3 森林資源量推定（UAV活用）	UAV（ドローン）による空撮とSfM（複数写真での測量）解析技術を活用した資源量推定に取り組む。現場ユーザーが日常利用できるUAV測量を目指し、利活用の可能性を検証する。	ESRI ジャパン（株） スマートシティサーベイ（公社）ひょうご農林機構 （株）インテグリティエナジー

No・テーマ	取組内容・目的	構成会員
<p>No. 4 広葉樹資源量推定・ 樹種判別</p>	<p>クヌギの分布を広域かつ効率的に把握する手法の開発を目的として、最新の衛星画像や解析手法を活用し、従来は困難であった広葉樹の種別判別の可否を検討する。</p>	<p>日本スペースイメージング（株） 島根大学（生物資源科学部 農林生産学科 森林学コース 米研究室） 鳥取県八頭町 和歌山県（森林・林業局 林業振興課）</p>
<p>No. 5 マルチ GNSS による 後処理解析やマルチ パス除去等の測位 精度向上の検証</p>	<p>森林内では衛星からの電波が乱反射（マルチパス）するため測位精度が低下する。この課題解決を目的とし、マルチ GNSS（GPS の他みちびき、BeiDou など複数の衛星による測位）をベースに後処理解析等を用い、マルチパス除去手法について検討を行う。</p>	<p>（株）竹谷商事 京都大学 ジオサーフ（株） （株）百森</p>
<p>No. 6 森林資源量推定 （UAV・3次元レー ザ活用）</p>	<p>UAV 空撮システムにより取得する林冠データと、3次元地上レーザシステムにより取得する林内データの結合により、包括的・高精度な森林の3次元データを効率的に作成するための技術実証に取り組む。 ※No. 7 と一部連携してプロジェクトを実施。</p>	<p>（株）小松製作所（建機ソリューション本部 グリーン事業（林業・農業）推進部） （株）アドイン研究所 近畿大学（農学部環境管理学科） （一社）日本森林技術協会（ICT 林業推進室） （一財）日本森林林業振興会（大阪支部）</p>

No・テーマ	取組内容・目的	構成会員
No. 7 成長予測	森林資源量の将来予測の精度を向上させることを目的とし、地上レーザ測量技術によって得られる立木1本1本の位置、胸高直径や樹高等のその土地固有の高精度のデータを活用した信頼性の高い成長予測シュミレーションに取り組む。 ※No. 6 と一部連携してプロジェクトを実施。	(株) アドイン研究所 近畿大学
No. 8 森林管理の効率化 (UAV・SLAM)	障害物を避けて飛行可能な Visual SLAM (カメラ画像から自分の位置等を推定する技術) 搭載の UAV が、林内で安全に自律飛行できるかを検証する。また、UAV で撮影したデータと徒歩でのレーザ SLAM 計測による 3D データとの比較検証を行い、森林管理の効率化・高度化に取り組む。	アジア航測 (株) 福井県池田町 島根県奥出雲町
No. 9 航空画像解析を用いた再造林時の最適樹種選定手法や獣害対策手法の開発	造林コストの低減及び造林後の成林率向上を目的とし、UAV 空撮画像を用いた土壌状況把握や獣道等の特定を行うことによって、再造林時の最適樹種選定や獣害対策等について検証を行う。	住友林業 (株) 京都大学 和歌山県 (森林・林業局 林業振興課) (株) 中川

※構成会員の () 内は担当部署

4. 成果報告会要旨

No. 1

廉価・高性能な GNSS 機器による森林測位の実用性検証

- (株) パスコ (関西事業部、事業統括本部)
- 京都府立大学
- 新見市森林組合
- 伊賀森林組合
- 三重県 (農林水産部 森林・林業経営課)

1 プロジェクトの概要

森林資源の有効な活用のためには、森林の現況を把握することが必要であり、航空レーザー測量及び森林資源解析による方法の技術が確立し普及しつつある。一方、森林の現地調査測量についてはコンパス測量や高価な GNSS に依存している現状である。

特に、境界明確化は施業を進めるうえでも喫緊の課題となっており、座標を直接観測できる廉価で高精度な現地調査用ツールの開発が期待されている。本実証プロジェクトでは、開発中の廉価で高精度な現地調査用機材 (SmartSOKURYO POLE) を、ユーザによるフィールドテストと評価を通じて「林業従事者の現地調査のスマート化」を実現することを目的とする。

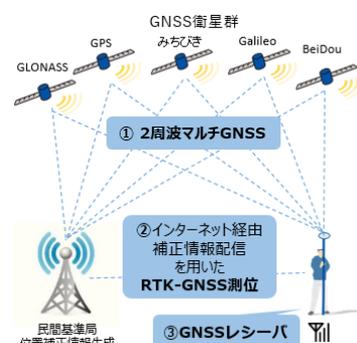


図-1 測量の仕組み

2 今年度の取組状況

(1) 昨年度の課題

昨年度の検証では、操作性については概ね良好な意見が得られたが、携帯電話通話エリア外や上空視界が得られない場所での精度劣化、造林事業完了検査要領への適用で課題が残った。

表-1 昨年度の課題

検証者	検証結果
伊賀森林組合	携帯電話通話エリア外であったため D-GNSS モードでの観測となった。コンパス測量を対象とした辺長・高低角の精度基準に入らなかった。
新見森林組合	精度は良好であったが、岡山県 GNSS 測量機使用基準に求められる項目がアウトプットできず実用面での課題が残った

(2) 今年度の取り組み

伊賀森林組合では、GNSS 点検精度を検証するため三重県森林・林業経営課と合同で実地検証を実施した。また、新見森林組合では、岡山県基準に見合うようソフトウェア改良を行い、実務で利用できるか検証を行った。

表-2 今年度の実施事項

検証者	検証結果
三重県 森林・林業経営課 伊賀森林組合	伊賀森林組合にて GNSS で計測した施行地について、三重県森林・林業経営課と合同で同一点の観測を行い、所定精度内に収まるかを確認した
新見森林組合	新見森林組合にてコンパス測量 GNSS 観測を行ない精度確認を行なったうえ、岡山県基準に適合するか確認を行った

3 最終成果

(1) 三重県との合同検証

三重県造林補助事業完了検査要領第 22 条(3)にある座標値誤差の限度 3 メートルを許容するか現地で検証をした。検証地は、名張市長瀬地内のヒノキ林 2.3ha とした。

伊賀森林組合が 7 月 20 日にコンパス及び GNSS 計測した境界点で、再度 GNSS 観測を行い座標較差の確認をした。観測モードが GNSS、D-GNSS、FLOAT 及び FIX のそれぞれについて比較した。座標較差は以下のとおり、FLOAT 解以上が求めれば十分に精度基準内で観測できることが分かった。

表-3 観測モードによる観測値較差

既往観測モード	今回観測モード	水平較差 m
GNSS, 3D DGNSS	3D DGNSS	6.8 ~ 10.3m
3D DGNSS FLOAT	3D DGNSS FLOAT	0.6 ~ 1.9m
3D DGNSS FIXED	3D DGNSS FIXED	0.2 ~ 1.1m

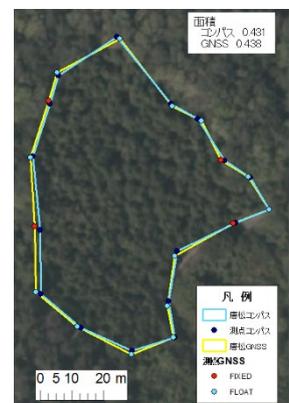
(2) 新見森林組合

新見市唐松の人工林で、コンパス測量と GNSS 観測での比較を行った。また、岡山県造林事業における GNSS 測量機使用基準にある観測基準に適合するか確認を行った。

面積はコンパス測量と 2%弱の差となりほぼ同面積であった。座標差は最大で 2m 弱であり平均では 1.1m と良好な結果であった。

岡山県基準では、16 測点中 1 箇所まで基準（10 エポックで誤差 1.0m 以内）を超える箇所が発生した。

図-2 コンパスと GNSS の比較図



4 成果の展開（予定）

本研究の成果について、精度及び使用性の側面で評価し今後の展開について考察を行った。

(1) 精度

FLOAT 解が得られれば十分な精度が得られることが分かった。ただし、上空視界が遮られる谷底部では DGNSS となる事が多く誤差が大きくなる課題が残った。

(2) 使用性

機械の使用性は、初めてでも問題なく操作ができた。機材もスマホと GNSS アンテナであり小型かつ可搬性能にも優れ一人での観測が可能となる。2 人 1 班でのコンパス測量と作業時間を比較すると作業時間は倍となった。これは、10 秒観測を 3 セット行ったため、1 測点で 1 分弱の観測時間が必要となったからである。

(3) 成果の展開について

面積のみが必要な施行地の測量では、使い慣れたトランシットコンパスの方が早く作業ができるものの、境界観測など座標値を求めたい場合は GNSS のほうが効率的な測量を行うことができる。このため、施行地境界が境界であるようなケースでは GNSS 観測を採用することで座標値として成果を残すことも出来る。

ただし、基準局情報が受信できない携帯電話サービス外の区域や、谷底など上空視界が悪い箇所では精度が出ないため観測値の扱いに留意が必要となる。

RTK-GNSS 観測は、今回使用した機材のように使用性を改良した製品を使用すれば即活用できる。また、GNSS レシーバーやアンテナなど単体でも販売されており手作りも可能である。原価低減が求められる林業では、手軽に安価に利用できる技術であり広く利用されることを期待する。

福井県民衛星「すいせん」の衛星データを用いた森林資源量推定

○福井県民衛星技術研究組合
朝日航洋（株）
福井県池田町

1 プロジェクトの概要

福井県では令和2年3月に「福井の森林・林業基本計画」を策定し、「育てる林業から、儲ける林業・稼げる林業に」の基本理念の下、利用期を迎える森林資源の有効活用とそれを支える循環型林業経営の推進を行っている。

また、町土の90%以上が森林である福井県池田町では令和2年度より「木望の森100年プロジェクト」をスタートさせ、町内の森林を木材生産機能林、多面的機能林、保護保全林に分類し使いながら守る森林資源の有効活用と循環型林業経営を積極的に推進している。これらの事業の推進には、基盤となる森林情報を適切かつ精度高く把握することが必要である。

森林情報の取得は大型人工衛星による画像や航空レーザ測量により可能であるが、1回の撮影・計測にかかる費用が高額であるため高頻度のモニタリングには適しておらず、コストを押さえながら如何に森林情報を精度よく把握出来るかが課題である。

福井県民衛星「すいせん」は、地上分解能2.5mと中程度の分解能を有し、福井県全域を定期的に撮影している。大型人工衛星や航空レーザ測量と比較して、安価にデータを入手することができ、森林情報把握の高度化・効率化のための一助として期待される場所である。

本プロジェクトでは中程度の分解能を持つ「すいせん」のデータを用い森林資源量把握（樹種及び裸地の判別）の可能性について研究／検証を行う。

2 今年度の取組状況

- (1) 昨年度の研究結果を元にプロジェクトで意見交換を行い新たに分類対象として裸地（下層植生有り・無し）を追加した。池田町内の森林を実証地とし、福井県池田町の協力を得て複数の伐採地について現地調査を行った。伐採地は伐採直後と伐採後数年が経過し灌木や草が茂っている箇所の種類を確認した。



図1 現地調査を行った伐採地

- (2) 2時期の「すいせん」と同仕様の衛星画像（2021年04月11日撮影、2022年05月08日撮影）を解析し分類を実施した。分類対象は従来の樹種（杉・松・檜・広葉樹）に裸地（下層植生有り・無し）を加えている。学習データはマルチスペクトル画像とNDVI解析画像、及び2時期のNDVI画像の比演算画像を使用した。教示データは現地確認成果と空中写真を参考に作成し、学習と試行を繰り返しながらより高い精度の分類結果が得られるようにチューニングを行った。
- (3) 研究成果をプロジェクトメンバーが提供するアプリケーションに搭載し自治体を持つデータと組み合わせて実業務での利用と評価を行った。評価においては具

体的な利用業務を明らかにするとともに必要な精度や頻度、費用感をヒアリングし実利用とビジネスに繋げていくための情報として整理を行った。

3 最終成果

SVM (Support-Vector-Machine) を用いて2時期の衛星画像を解析した結果、1時期の画像のみで解析した場合よりもより高い精度の分類結果を得ることができた。全体精度は97.6%で、特に今回分類対象としている「杉」、「広葉樹」、「伐採跡地」でユーザ精度が90%以上となっている。一方で、「松」については1時期の画像で解析するよりも精度は向上したがユーザ精度69.82%に留まっているほか、「檜」については福井県池田町では十分な学習データを取得するエリアが存在せず分類対象や精度のところで更に精度向上の余地がある。

表1 精度検証結果

Class	ユーザ精度	ユーザ精度
	1時期画像	2時期画像
スギ	98.98%	99.20%
マツ	46.55%	69.82%
広葉樹	98.12%	98.16%
伐採跡地(下草無し)	90.64%	99.69%
伐採跡地(下草有り)	79.17%	90.35%
全体精度	95.90%	97.60%

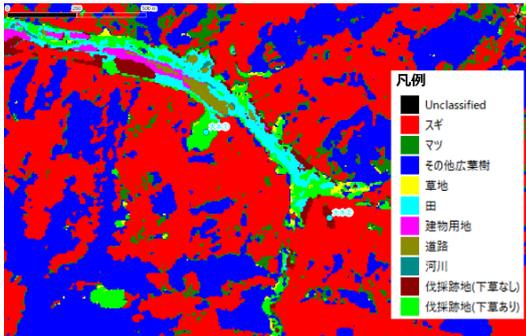


図2 分類結果

今回の研究結果を福井県池田町にて利用・評価いただいた結果、樹種分類については市町村が5年毎に10年計画で立案する「市町村森林整備計画」や、事業者が立案する「森林経営計画」において「森林のゾーニング」や林道や作業道の「路網計画」で計画の見直しや新たに立案する際に現況を把握する情報として利用可能であると評価いただいた。一方で解析結果のみでは面的な拮がりしか把握出来ない為、「地形図や既設の林道・作業道の情報と組み合わせることで、木の切り出し易さや搬出のし易さが分かり、効果的・効率的な計画に有効となる」、というコメントもいただき、他の空間情報や既存の航空レーザ測量実績との組み合わせが実利用において必要不可欠であることを理解できた。裸地の分類についても同様で、森林のモニタリング業務(森林伐採、違法伐採、山地災害)にて現地確認する必要性や優先度の決定する際の情報として利用可能であると評価いただいたが、解析結果単独では不十分で、「森林計画図等の情報と組み合わせることで境界や所有者の情報と紐づけが分かると有効」とコメントいただき、樹種分類同様その他の空間情報との組み合わせが実利用では重要となることが分かった。

4 成果の展開(予定)

今後は福井県池田町をモデルユーザとして利用と評価を継続しながら、今回の成果を元に福井県や福井県内の市町村に対してアプローチを行う。アプローチの際は業務での使い方まで意識した提案を行うことが重要と理解し、本研究で得られたユーザからのコメントを元に「どう使うか」まで網羅した形で提案を行う。今回課題として残った「松」の分類精度や、「檜」の分類へチャレンジするには、新たな実証フィールドが必要であるため、研究とビジネスの両面で活動を行い、安定した「地域の分類モデル」構築を目指す。

森林資源量推定（UAV 活用）

○ESRI ジャパン（株）

（一社）スマートシティサーベイ

（公社）ひょうご農林機構

（株）インテグリティエナジー

1 プロジェクトの概要

汎用型の UAV（ドローン）に搭載されている可視光カメラを用いて取得した画像を元に森林資源量の推定、GIS での活用が可能かを実証する。

林業では経験と勘による業務が多く、資源量や材積といった一般の業種では在庫管理に相当する部分も数値化や可視化が遅れている。UAV（ドローン）による空撮と SfM（複数写真での測量）解析技術を活用し、現場ユーザーが日常利用できる森林資源量把握手法の確立を目指す。

本プロジェクトでは以下の制約条件における森林資源量把握手法を整理し、どのような業務・場面で適応可能か検証する。

- 資源量の推計式等のモデルは、公開されている研究成果のみを利用。
- 解析に利用するソフトウェアは汎用的なものを利用し、専門的な GIS 解析スキルが伴う処理は行わない。

■実証内容

1. UAV（ドローン）を利用した森林資源量解析のパターンを整理し、各プロセスにおける具体的な解析手法の手順と特徴等を分析。
2. 森林資源量解析手法の内、どのような場所でも利用できる可能性のある手法（汎用性の高い手法）を整理。特に汎用性が高い手法についてモデル林で実証。

2 今年度の取組状況

今年度は下記のモデル林で実証を行っている。

■モデル林

姫路市夢前町寺 ヒノキ人工林、スギ人工林（ひょうご農林機構が管理）

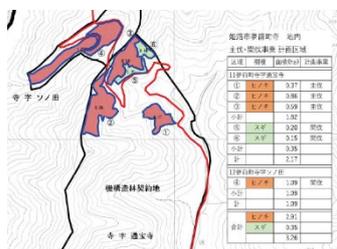


図 1. 姫路市夢前町



図 2. UAV のセッティング（左）、飛行（右）

2022年12月5日に UAV にて写真撮影を行い、画像を取得した。今後、画像を元に SfM 解析を行い、DSM データを作成する。別途用意している航空レーザー測量による点群 LAS データや主伐地のシェープファイルなどを元に解析を行う予定である。

現時点では解析手順を考慮した撮影方法の工夫(フライトごとに SD カードを分ける)などの実務面での改善点も明らかになってきている。



図 3. UAV で取得した写真

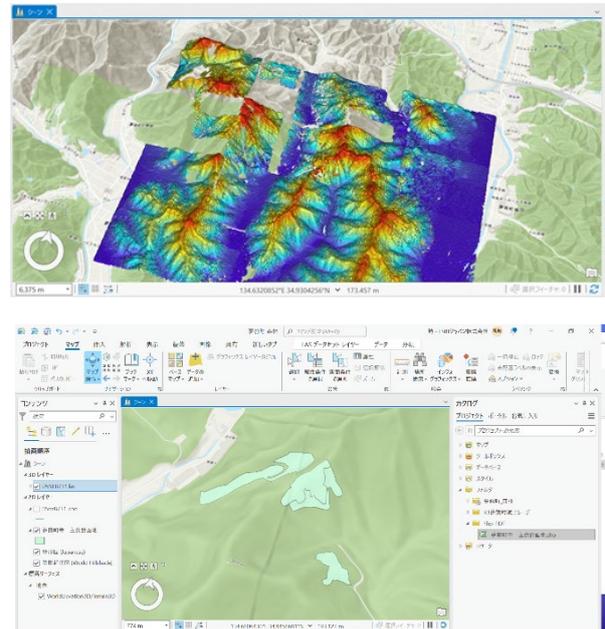


図 4. モデル林周辺の LAS データ (上)、シェープファイル (下)

3 最終成果

最終成果としてはモデル林の森林資源量が推定でき、他のデータとともに GIS で活用できる姿を目指している。

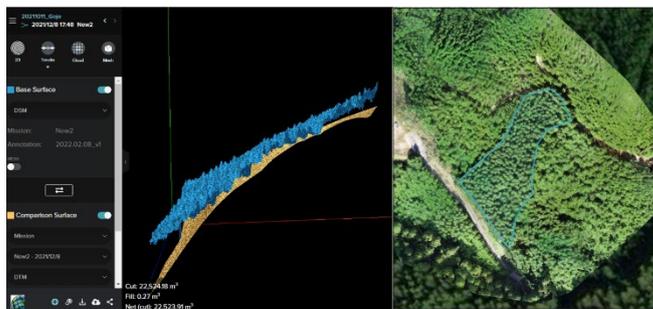


図 5. SfM 解析のイメージ図 (図は前年度の実証 2022 年 2 月のもの)

4 成果の展開 (予定)

汎用型の UAV (ドローン) に搭載されている可視光カメラでの森林資源量の推定、GIS での活用の手法を確立し、より多くのフィールドで業務の効率化や可視化を進めたい。

広葉樹資源量推定・樹種判別

○日本スペースイメージング（株）

島根大学（生物資源科学部農林生産学科森林学コース 米研究室）

鳥取県八頭町

和歌山県（森林・林業局 林業振興課）

1 プロジェクトの概要

シイタケの原木栽培に用いられるクヌギ林の分布状況について、広域把握が可能であれば探索の効率が大幅に向上する。本プロジェクトでは、衛星画像を用いて、ある程度まとまった(概ね 0.1ha 程度以上)クヌギ領域を推定する手法確立のための検討を行う。

従来、森林分野では主に 4 バンドの衛星画像が利用されてきた（赤～近赤外の波長帯域の観測値が格納：植生の量や種類、生育状況との関連が高い）。4 バンド画像を用いた場合、一般に針葉樹（スギ、ヒノキ）、広葉樹の判別が可能であるが、広葉樹内の種別を判別することは困難である。そこで、本プロジェクトでは、8 バンド画像の活用により、クヌギ領域の抽出に関する検討を行う。

Maxar 社の 8 バンド衛星画像データ（マルチ 2m、パンクロ 50cm 解像度）を用いることで、植生解析の中でも樹種（クヌギ）の判別に効果があるかどうかを検証する。Maxar 社衛星画像データの 8 バンド画像には、赤～近赤外の波長に対して更に 4 つのバンドが追加されているので、きめ細かな植生解析が可能となることが期待される（図 1）。

既往の研究についても調査を進めているが、クヌギのフェノロジーに関する報告⁽¹⁾、⁽²⁾があるものの、衛星画像によるクヌギの判別に有効な報告は見当たらない。

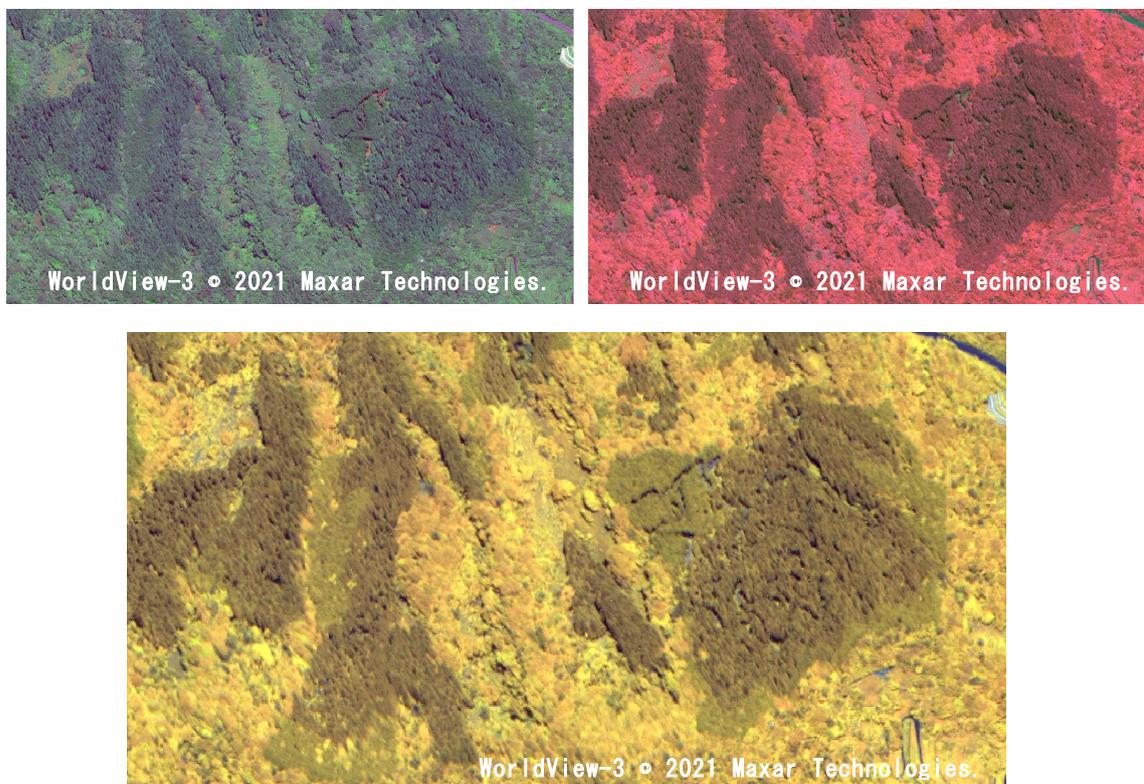


図1 Maxar 社の衛星画像データ（左上：3 バンドトゥルーカラー[R:G:B]，
右上：4 バンドフォルスカラー[NIR1:R:G]，下：8 バンドフォルスカラー[NIR2:RE:R]）

2 今年度の取組状況

定例会を開催し打合せを行うとともに、八頭町内の実証フィールドにおいて、衛星画像解析を行う上での教師エリアの選定作業を行った。具体的には、八頭町の空間情報（レーザー林相区分図、林班他）や衛星画像ベースマップ、現地調査の結果等から、クヌギとクヌギ以外の広葉樹がある程度まとまっている領域（教師エリア）を候補地として選出した。必要なアーカイブ画像の選定と調達を行った上で、これら候補地に関して現地調査を実施し、衛星画像と現地状況の対応関係を確認した。

クヌギ領域の抽出手法として3種類（KNN:K近傍法、SVM:サポートベクターマシン、Bayes:ベイズ分類）を比較し、Bayesが比較的優れた手法であると推察された（図2）。

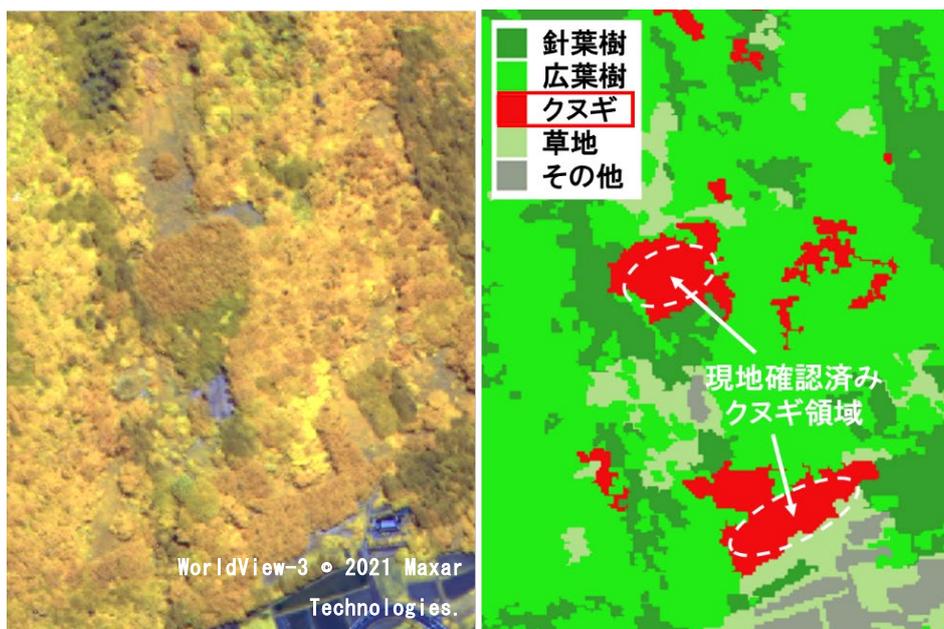


図2 抽出例（右：衛星画像、左：ベイズ分類による抽出の例）

3 最終成果

8バンドの衛星画像からクヌギ林が存在する可能性が高い候補地を推定する手法を提案した。本成果を改良・活用することで、クヌギ林の実態把握に関する現地調査の手間を大幅に削減することが可能となる。

今後の課題としては、クヌギ候補地の更なる絞り込み方法や、推定されたクヌギ候補地の現地での確認、より高い分解能を有する衛星画像の活用等の検討が挙げられる。

4 成果の展開（予定）

本研究の成果は、シイタケの原木栽培に注力している自治体の生産者向けの情報提供としての展開が期待される。林野庁等の事業として、5年毎の森林情報の更新とあわせて本情報を整備すれば、実用的かつ先進的な活用事例となる。

また、クヌギとは別の特定樹種の把握にも、本研究の成果が展開できる見込みである。例えば、備長炭の原料であるウバメガシを対象に、衛星リモートセンシングを活用した効率的な探索への展開等も期待される。

参考文献

- 1) 永井 信・遠藤拓洋・奈佐原顕郎 高頻度・高空間分解能：SENTINEL-2A/B 衛星による自然教育園の植物季節観測：自然教育園報告 第52号、19-24、2020。
- 2) 永井 信・関川清広・小林秀樹・友常満利 神奈川県におけるクヌギ・コナラのフェノロジー—海洋研究開発機構横浜研究所と玉川大学キャンパスの比較—：玉川大学農学部研究教育紀要 第5号、15-22、2020。

マルチ GNSS による後処理解析やマルチパス除去等の測位精度向上の検証

○(株) 竹谷商事
 京都大学
 ジオサーフ(株)
 (株) 百森

1 プロジェクトの概要

近年、森林管理・林業・防災などの分野において高精度な位置を計測することは、近年の ICT を想定した効率的なアプリケーションを実現するためには重要度が高い。その計測方法の代表的なツールとして 2000 年頃から米国の GPS (Global Positioning System : 全地球測位システム) が利用され、今日に至っている。また米国の GPS とロシア GLONASS に加えて EU の Galileo や中国の Beidou、日本の QZSS といった多衛星の活用が始まっており、複数の衛星測位システムを併用するマルチ GNSS 測位が一般的になっている。

しかし森林内においてはマルチ GNSS 衛星を使っても位置測位計算に利用される直接波の受信が難しく、測位衛星からの搬送波は樹冠内の枝葉、幹などの障害物が存在する空間を

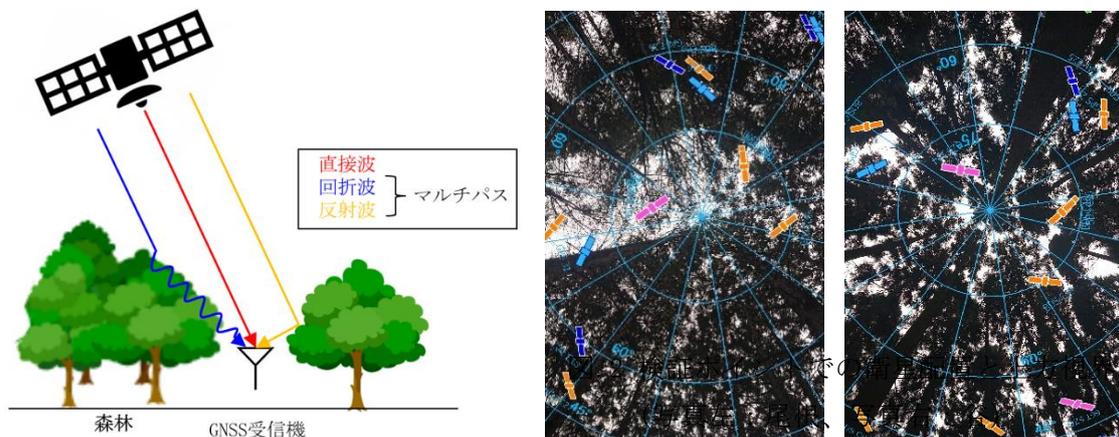


図.1 森林におけるマルチパスモデル

通り抜けて地上に伝播する。その際に電波は一部樹体に吸収され、それ以外の電波は反射・回折を繰り返しながら地上の受信機に伝播 (図.1) し、測位精度に影響 (誤差) を及ぼす。衛星数増加による衛星配置 (DOP) が改善され、基本的に精度は向上 (参考文献 1) し、地形により隠れる衛星が多く (北側斜面など)、精度が担保できないなどの影響は少なくなった。しかし、マルチパス等の影響は削減できないため高精度には至っていない。

従来法のコンパス計測と比べても未だ同等の計測精度が実現しているとは言えず、精度管理手法が確立されていない（参考文献 2）。

以上より弊社グループでは長年のマルチパス除去性能が付与された GPS・GNSS 機材を開発・普及することで森林分野に寄与してきた経験から（参考文献 2,3,4）、GNSS 利用をさらに進めるべく森林内で精度を向上させるため、衛星配置、樹冠密度、森林内の樹木（立木）密度等と関連した電波環境の変化をモニタリングし、マルチパスを除去するための補正方法を検討、構築する。現状までのデータ解析はコード GNSS 測位を中心に行う。

2 今年度の取組状況

GNSS 衛星からの電波に対してマルチパスの影響を与える代表的な要因（参考文献 5）は、受信機の設定から変更可能である。低仰角から到達する電波、信号強度を表現する SNR（Signal to noise ratio：信号対雑音比）が低い電波は制御してマルチパスを抑制する方法が一般的に有名である。各受信機においてそれら設定条件から測位最適化を実施しながら、さらにはそれらを踏まえて電波解析によるマルチパスの影響を定量的に算出することにより、森林域でマルチパス抑制が可能かどうかについても検証することを今年度の目的とした。

3 最終の成果

多周波対応低コスト受信機を使って、箕面国有林において設定した 3 環境（オープンスカイ、尾根、谷）の定点位置において GNSS 観測を実施。そのオープンスカイの計測値から図. 2 において仰角と SNR の関係を示した。仰角が高角度の場合は高い強度の SNR の

みが存在し、マルチパスの影響が少ないと推測される。確認のため RTKLib(参考文献 6)によりマルチパス (MP) を計算すると図. 3 、図. 4 の様に仰角 40 度以上、および SNR が約 40 以上からマルチ

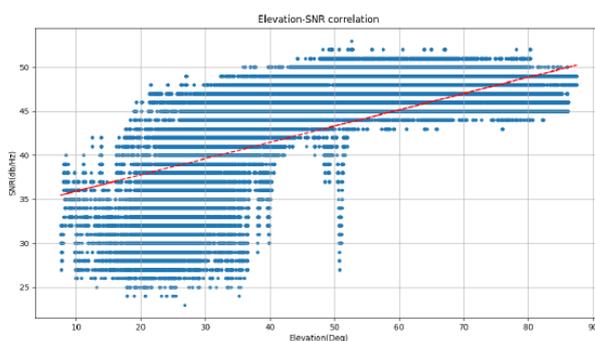


図. 2 仰角 VS SNR

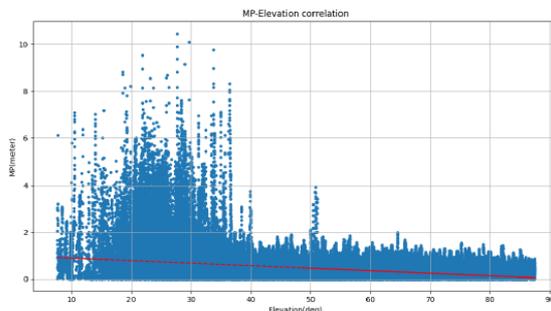


図. 3 MP VS 仰角

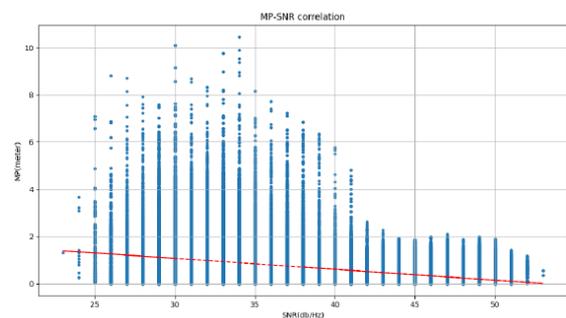


図. 4 MP VS SNR

パスが低減している。しかし、それぞれの仰角、SNR 条件から算出した精密度（誤差）を比較すると（図. 5）、マルチパスが低減されている高仰角、高 SNR では衛星数が少なくなり衛星配置係数も悪化して測位精度自体が悪くなる傾向にあった。まずは測位自体を正確にするための仰角、SNR の最適設定（例えば仰角：30～40° SNR：30～40）をし、その後マルチパスを定量的に計算し、その数値を測位結果からダイレクトに除去することで高精度化を検討した。発表では以上のように、マルチパスの定量化によるマルチパス除去の基礎試験を実施しているので説明する予定である。

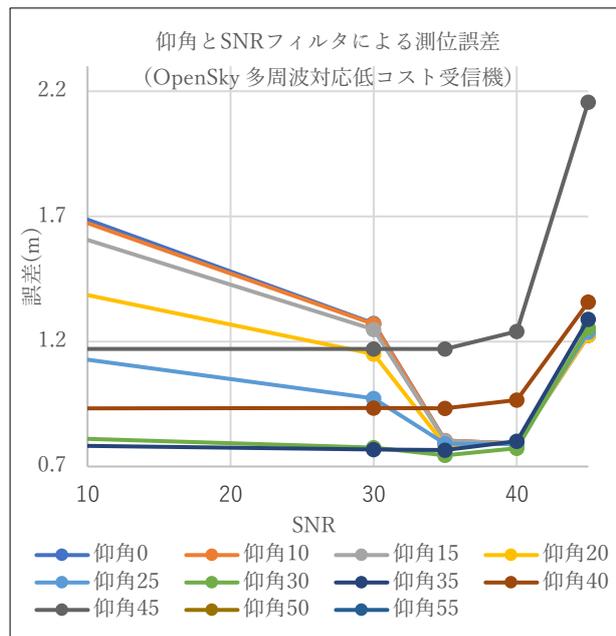


図. 5 測位誤差と仰角・SNR の関係

4 今後の展開

さらに、様々な森林環境下におけるマルチパスの 3 次元空間環境の影響を抽出することで電波減衰の傾向を分析すること、定量的にマルチパスを算出する計算整合性の解析を進めること、信号の遮断によって生じる GNSS 受信機のサイクルスリップ現象の解析などを鋭意研究し、誤差除去のスキームを確立する。最後にそれらを統合することで、各種 GNSS 受信機に適合したマルチパス除去ソフトを開発し、森林内で高精度が必要な様々なアプリケーションに向けて展開することを目標とする。

5 参考文献

1. 森林におけるマルチ GNSS の利用可能性 長谷川尚史ほか第 22 回森林利用学会学術研究発表会、2015. 12
2. GPS 機器およびソフトの紹介 土井康裕 平成 21 年度関東森林管理局 業務・林業技術発表集 53 号、PP128-135、2010. 8
3. 高感度なハンディ型 GPS を使用した森林内での計測比較 河合剛匡ほか 応用測量論文集 17、PP115-123、2008. 11
4. 林業分野における携帯型 GPS の活用について 樽谷宣彦ほか機械化林業 No. 629、PP9-17、2006. 4
5. 森林内における RTK-GNSS 測量の水平誤差およびその低減に向けた受信機選定の検討 井貝紀之 日本森林学会誌(2021) 103:395-400
6. RTKLIB : https://www.rtklib.com/rtklib_document.htm

森林資源量推定（UAV・3次元レーザ活用）

- （株）小松製作所（建機ソリューション本部グリーン事業（林業・農業）推進部）
- （株）アドイン研究所
- 近畿大学（農学部環境管理学科）
- （一社）日本森林技術協会（ICT 林業推進室）
- （一財）日本森林林業振興会（大阪支部）

1 プロジェクトの概要

森林を適正に管理する上で、その資源量を正確に把握するための調査は不可欠である。しかし、森林の調査には多大な時間と労力がともなうため、その省力化を進めることが望まれる。このような背景を受け、本グループでは、UAV（ドローン）と3次元レーザを活用した森林資源量の効率的な調査方法について検討している。

2 今年度の取組状況

昨年度の発表では、UAV 空撮システムにより取得する林冠データと3次元地上レーザシステムにより取得する林内データの結合により、包括的・高精度な森林の3次元データを効率的に作成するための技術実証に取り組んだ。しかし、その中で、樹高と立木本数（林分密度）については、UAVによって直接に計測できる反面、胸高直径と幹材積については直接には計測できないため、間接的な推定方法が必要であろうと考えた。そこで本年度においては、UAVによって計測された平均樹高と林分密度をもとに、平均直径を推定するための「林分スケール」でのモデルを開発し、その妥当性を検証した。

3 最終成果

【モデルの誘導】

平均直径の推定モデルを誘導するために、以下の3つの仮定を設けた：① 過密林分における ha あたり樹幹表面積合計の値は、林分密度 ρ によらず一定となる（樹幹表面積の保存則；Inoue and Nishizono 2015），② 保存則によって定義される最大樹幹表面積合計（ S_{max} ）に対する対象林分の樹幹表面積合計の比率を「相対樹幹表面積」と定義すると、相対樹幹表面積と相対幹距比との関係はべき乗式によって回帰できる（Inoue unpublished data），③ 樹高と胸高直径との積と樹幹表面積との関係は、原点を通る直線式によって回帰できる（Inoue 2004; Inoue et al. 2021）。以上3つの仮定より導かれる数式を平均直径 D の陽関数として整理すると、次のように書ける。

$$D = \frac{\alpha S_{max}}{kH\rho} \left(\frac{100^2}{H\sqrt{\rho}} \right)^\beta$$

ここで、 H は平均樹高、 α 、 β および S_{max} は地域と樹種ごとに異なる係数であり、 k は針葉樹の場合、一定の値となる（ ≈ 1.93 ）。

【モデルの検証】

誘導したモデルを検証するために、森林総合研究所によって公開されている収穫表調製業務資料のうち、スギ 14 地域 1457 林分、ヒノキ 11 地域 959 林分のデータを用いた。樹種と地域ごとに、パラメータを決定するためのモデリングデータと誤差を評価するためのテ

ストデータに、すべてのデータを区分した。

収穫表調製業務資料（地上調査データ）に基づくモデルの検証結果を図1に示す。ここでは、スギでの結果のみを示すが、ヒノキについても結果は同様であった。誘導したモデルの誤差を分析した結果、いずれの地域と樹種においても平均相対誤差は±5%以内、相対RMSEは最大でも20%、多くが10%以下と小さかった。しかし、いずれの樹種と地域においても、平均直径が40 cm以上になると過小推定となった。

【実証試験】

和歌山森林管理署管内の高野山国有林内のスギ5林分において実証試験を行った。各林分において、コマツ専用カスタムドローン（EXPLORE 1）を用いて、樹高と林分密度の情報を取得した。また、アドイン研究所のOWLを用いて、各林分の胸高直径、樹高および林分密度を計測した。次に、UAVとOWLによって得られた各林分の平均樹高と林分密度の計測値を紀州地方スギ林のモデルにそれぞれ代入し、平均直径を推定した。そして、OWLによる平均直径の計測値を真値として、モデルの妥当性を評価した。

平均直径の推定値と真値との比較を図2に示す。OWLによって計測した平均樹高と林分密度を用いた場合（●）、平均直径の真値と推定値は良く一致した。このことは、平均樹高と林分密度がUAVによって正確に計測できれば、平均直径を正しく推定できることを示唆している。しかし、UAVによって計測した平均樹高と林分密度をモデルに代入した場合（○）、平均直径は過大推定となった。この過大推定には、UAV計測による林分密度の過小評価（昨年度の中間報告会において発表済み）が影響している可能性がある。今後においては、UAVによる林分密度の計測をより正確にしていくことが望まれる。

4 成果の展開（予定）

本グループでは、今年度、UAVによって計測される平均樹高と林分密度の情報をもとに平均直径を推定するモデルを作成した（第134回日本森林学会において発表予定）。これにより、平均樹高と林分密度が正確に計測できれば、平均直径を正確に推定できる体制が整った。今後においては、UAVによる林分密度の計測をより正確にするとともに、林分レベルでの平均直径の推定値を単木レベルでの直径へと変換するモデルを作成することを予定している（モデルは作成済み、今後、モデルを検証の予定）。さらに、UAV画像のオルソ化を行うことなく、平均樹高を効率的に計測する方法の確立に取り組むことも計画している（この方法の概要は第78回九州森林学会において発表済み）。

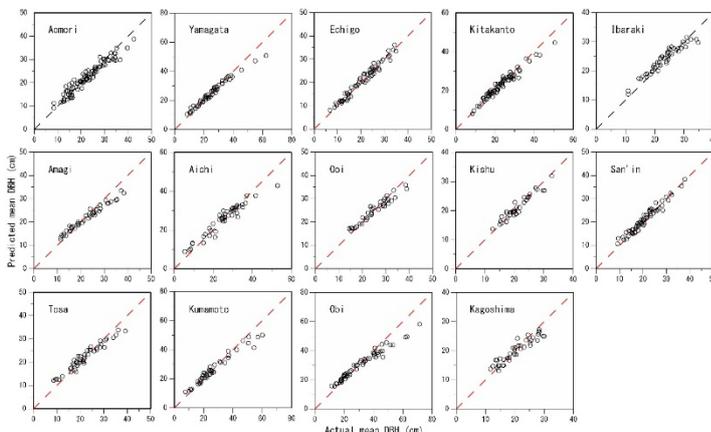


図1 収穫表調製資料に基づくモデルの検証（スギ）

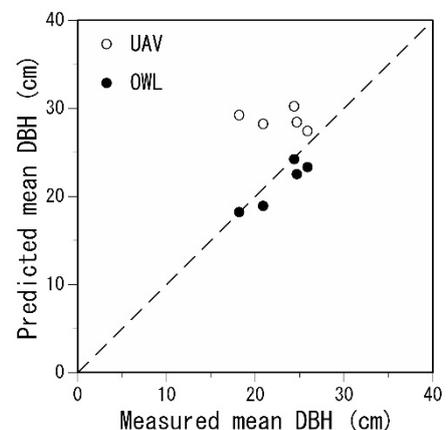


図2 UAVとOWLによるモデルの検証（紀州スギ）

成長予測

○(株) アドイン研究所 (製品サービス事業部)
近畿大学 (農学部環境管理学科)

1 プロジェクトの概要

森林経営では森林資源量の将来予測が必要であり、森林資源の把握とその経年変化を計測する手法、ならびに信頼性の高い成長予測モデルの構築が必要である。本プロジェクトでは、地上レーザ計測技術によって得られる精密な立木位置、胸高直径や樹高等のデータを活用した成長予測技術の開発を目的としている。

具体的には、地上レーザ計測機器として「森林三次元計測システムOWL」(アドイン研究所社製)を用い、その計測データを元にした成長予測手法の検証を行う。

2 今年度の取組状況

昨年と同様、和歌山森林管理署内の高野山国有林地のスギ人工林を対象として、10月27～28日に追加計測を実施した。最も林齢が高い112年の林分も計測することができた。樹高が30m以上のため、昨年度は行わなかった直径巻尺とバーテックスによるサンプリング計測を行い、OWLManagerの樹高補正機能にその実測値を入力して補正樹高を求めた。林齢26年～112年の地点(7地点)のデータを元に、本プロジェクトの目的である林分成長を予測するためのパラメータの検証を行った。

3 最終成果

3.1 幅広い林齢のデータ取得

プロジェクト期間が2年間と短く、同一林地の成長経過を追跡することはできないため、地位が同等とみなせるエリア内で、林齢の異なる林分で立木調査を行った。現地調査日数が限られている中で、プロット数は少ないが、OWLにより効率的かつ再現性の高い立木データが得られ、紀州地方スギ高齢林を含めた幅広い林齢のデータが収集できた。

表1 高野山国有林地：OWL計測結果

対象箇所	林班番号	小班名	林齢(年)	面積(m ²)	斜度(度)	本数(本)	林分密度 ρ (本/ha)	平均DBH(cm)	枝下高(m)	補正樹高H(m)(※1)	樹冠長CL(m)	材積(m ³)	材積/ha(m ³)	同一地位級
1	234	れ	26	240.6	31.4	52	2161	18.2	15.2	16.0	0.8	10.4884	435.9268	1
2	231	る	32	466.0	29.1	44	944	25.9	16.0	17.0	1.0	17.9608	385.4249	
3	224	と	45	391.6	28.7	95	2426	20.9	13.7	18.5	4.8	28.5000	727.7835	2
4	226	と	50	390.9	35.8	60	1535	24.7	14.5	20.7	6.2	27.3060	698.5418	1
5	224	ほ	64	448.0	31.5	71	1585	20.9	12.2	22.0	9.8	25.1100	560.4911	
6	224	ち	72	425.2	30.2	47	1163	27.8	12.2	23.5	11.3	30.1082	708.0950	2
7	234	た	112	353.1	46.8	23	651	44	14	30.8	16.8	44.4728	1259.4959	1

※1：No.1～2:実測値測定による補正が必要、No.3～5：補正必要無し

No.6：ドローン樹高による補正、No.7:バーテックスによる補正

3.2 成長予測の検証

(1) 林分密度との関係及び樹高成長曲線

表1のデータを用いて、平均DBHと林分密度 ρ 、樹冠長CLと林分密度 ρ がべき乗式

で近似され（図 1 左、図 1 中央）、立木サイズが林分密度に依存することが確認された。

- ・ 平均 DBH = $a \rho^b$ ($a = 2,000$ 、 $b = -0.6$)
- ・ 樹冠長 CL = $a \rho^b$ ($a = 8,000$ 、 $b = -0.95$)

樹高は、林齢に対してミッチャーリッヒ式で近似できた（図 1 右）。

- ・ 平均樹高 $H = a (1 - \exp(b/a \text{ 林齢}))$ ($a = 36$ 、 $b = -0.7$)

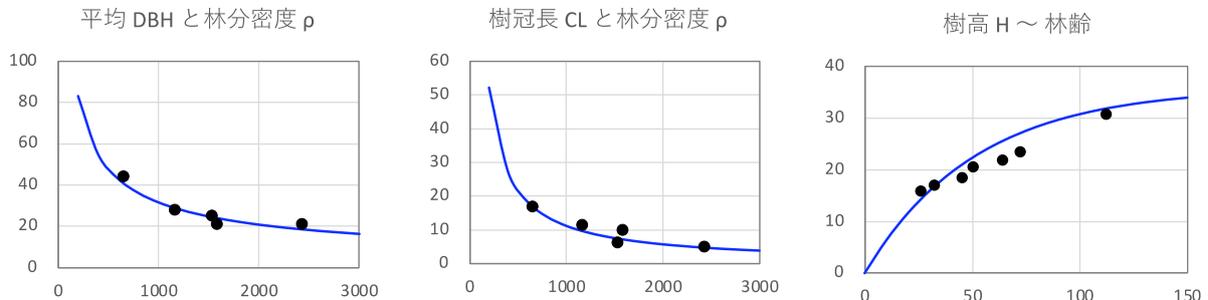


図 1 林分密度との関係（平均 DBH・樹冠長 CL）・樹高成長曲線

(2) 成長予測

成長予測では、対象地域の樹高成長曲線（地位指数曲線とほぼ同義）が適切に近似されている必要があり、その上で、各林分の間伐パターン（林分密度の変化）に応じた成長反応が予測される。

今回、上記樹高成長曲線を用いて、間伐パターンを 3 通り（一般的な間伐、無間伐、低密度間伐）を想定して成長予測の妥当性を検討した。図 2 は、一般的な間伐パターン（ha あたり 3,000 本植栽、間伐を繰返し、150 年生で 280 本/ha）による成長経過である。

平均 DBH は、図 1 左の「べき乗式」に、樹高曲線（樹高と DBH の関係）を加味した近似式（平均 DBH = $0.68(1 + (720/\text{林分密度 } \rho)^{0.65}) * \text{樹高 } H$ ）を適用した。図 2 右に示したように、林分材積の成長経過をほぼ適切に再現できていることが確かめられた。

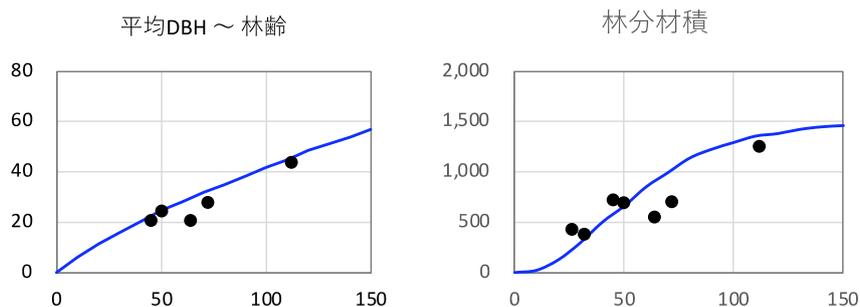


図 2 平均 DBH と林分材積の成長予測

※ 2 : 上記解析は、農林水産技術会議委託事業 e-forest で森林総研（千葉幸弘氏（現 日本森林林業振興会））との共同研究成果をもとにした。

4 成果の展開（予定）

本プロジェクトでは、データ数は少ないが、OWL を活用することで、林分成長を予測するためのパラメータが設定できること、成長予測のための考え方を示すことができた。今後は、本手法を他の地域でも展開すると共に、OWL で取得できる樹幹形データの活用による成長予測や、3 次元点群情報を含む単木レベルの位置情報を用いたモデルを構築することも視野に入れている。

森林管理の効率化（UAV・SLAM）

○アジア航測（株）
福井県池田町
島根県奥出雲町

1 プロジェクトの概要

本プロジェクトは、森林管理の効率化を目的として、自動飛行機能搭載の UAV や、レーザ SLAM 機器の適用を検証した。実証フィールドは、箕面国有林（大阪府箕面市）の人工林内、林道・森林作業道沿いとした。

UAV は、障害物を避けて飛行可能な Visual SLAM（Simultaneous Localization and Mapping：カメラに撮影された画像から自分の位置や姿勢を推定する技術）搭載型を用いて、林内でも安全に自律飛行できるかを検証した。

UAV で撮影した林内画像から SfM 処理により三次元データを作成し、徒歩にて Laser SLAM 機器による三次元データと比較検証した。

これら三次元データから、林内の様々な状況を把握することで、調査結果の伝達や共有、事前調査、事後の検査を効率的、高度に行うことが可能かどうか明らかにした。

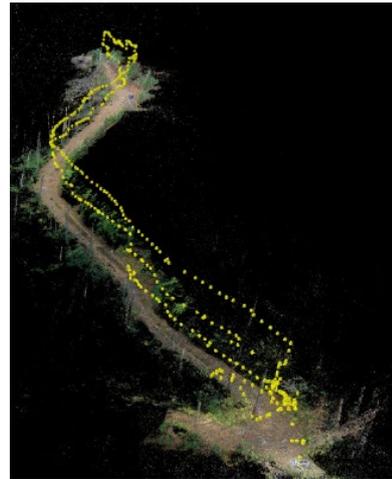


図 1. 林内の UAV 飛行経路

2 今年度の取組状況

(1) V-SLAM、L-SLAM による三次元モデルの作成

- ・V-SLAM の画像データから、林内の三次元モデルをレーザ計測と同等に再現できた。
- ・V-SLAM の特徴として、点群モデルに色調を正確に反映できることから、林冠の色調も含め、臨場感の高い三次元モデルを構築することができた。
- ・作業道の、侵食や細かな轍も確認することができた。

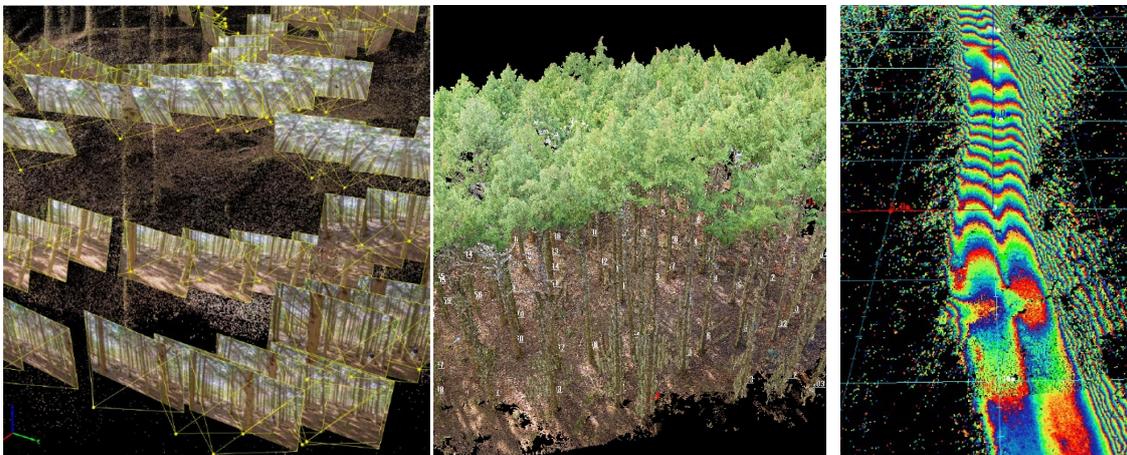


図 2. V-SLAM による SfM 処理のイメージと三次元データ

図 3. 作業道の侵食や轍を再現

2 精度検証

三次元データから、スギ・ヒノキの大きさを机上で計測した。この結果が、森林管理の実務上、どの程度の精度を有するかについて、現地の毎木調査との結果を比較検証した。

V-SLAM、L-SLAM のいずれの手法でも、DBH、樹高ともに、現地との平均誤差率は 10%未満であった。DBH の RMSE は、V-SLAM で 2.15、L-SLAM で 1.68、樹高の RMSE は、V-SLAM で 0.93、L-SLAM で 1.01 となっており、これまでの毎木調査を机上計測に置き換えることも想定できる精度を示した。

表 1. 三次元データの精度検証結果

V-SLAMと現地計測結果の比較

地区	DBH			樹高		
	平均誤差率	R	RMSE	平均誤差率	R	RMSE
箕面1地区 ヒノキ、N=55	7.5%	0.84	2.28	3.1%	0.65	0.98
箕面2地区 スギ、N=26	6.5%	0.96	3.45	4.0%	0.96	1.11
全体 N=81	7.2%	0.98	2.15	4.5%	0.96	0.93

L-SLAMと現地計測結果の比較

地区	DBH			樹高		
	平均誤差率	R	RMSE	平均誤差率	R	RMSE
箕面1地区 ヒノキ、N=55	7.0%	0.9	2.08	4.4%	0.64	0.94
箕面2地区 スギ、N=22	4.8%	0.98	2.31	5.0%	0.93	1.30
全体 N=77	6.3%	0.99	1.68	4.6%	0.96	1.01

3 最終成果

- ・V-SLAM や L-SLAM といった新たな三次元計測技術が、森林管理に有効に活用できることを確認できた。
- ・それぞれ、計測の簡便さや成果の臨場感などに特徴がある。実施主体の技術や計測目的に応じて、適切な計測手法を選択することで、これまで得られなかった多様な林内情報を蓄積することが可能となる。

表 2. 計測技術の特徴

項目	V-SLAM (林内飛行 UAV)	L-SLAM
計測精度 (大きさ)	必要十分 (※ややノイズが多い)	必要十分
計測方法	計測準備が必要 自律飛行に課題	林内を歩くだけ 短時間で完了
イニシャルコスト	○	△
特徴	臨場感の高い色付き点群モデルを構築可能。林内 AR など、施業管理や所有者説明などに有効。	短時間で広範囲の計測・解析が可能。施業前後の検査や、災害時の初期調査に有効。

4 成果の展開 (予定)

- ・現地データの検証データの蓄積し、現地調査の置き換えを推進
- ・データ活用の応用展開 (作業道管理や検査、災害調査)
- ・自律飛行の実証や、計測データの取り扱いなど、実務上の課題の把握

航空画像解析を用いた再造林時の最適樹種選定手法や獣害対策手法の開発

○住友林業（株）

京都大学

和歌山県（森林・林業局 森林整備課）

（株）中川

1 プロジェクトの概要

日本の国土面積の約7割を占める森林において、その約4割を占めているのが、人の手によって造成された人工林である。その多くは収穫期を迎え、適切な更新を行うための伐採および伐採後の植林や保育が急務となっている。しかし、伐採後の再造林・植生回復については課題も多い。

特に、

(1). 植林を行う際の適切な樹種の選定

(2). 植林後の野生動物等による被害抑制

の二点については、成林率（植林した苗木が育って森になる確率）を決める大きな要素である。これらは、現場の作業者による経験則や、獣害防止柵等によって対処されてきたが、より成林率を高めるための科学的・合理的な手法が必要である。

今回の検証では植林地での上記1, 2の対策について、ドローン空撮技術を用いて、より成林率を高めるための手法を模索するものである。

2 今年度の取組状況

(1). 植林を行う際の適切な樹種の選定

和歌山県上富田町の植栽予定地において、LiDAR ドローンにより高度100mで測量を行い、詳細な地形データを取得した。取得データから植栽予定地の傾斜分類と地形湿潤指数等の算出を行った。

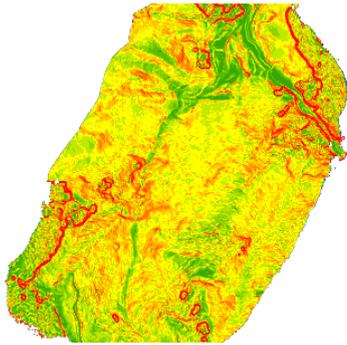
(2). 植林後の野生鳥獣等による被害抑制

兵庫県神崎郡神河町や津山市内の獣害防止柵に囲まれた植林地において、野生動物の侵入経路を確認するために、(1) LiDAR ドローン（高度100m）による詳細な地形データの取得と、(2) 高度50mにおけるドローンの写真測量による降雪後の足跡の確認、の2種類の調査を行った。

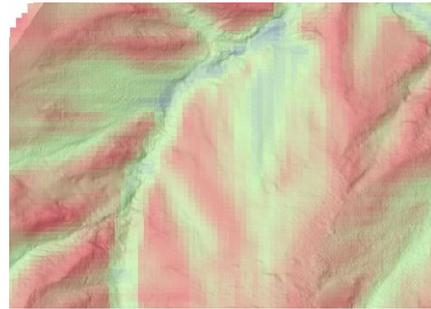
3 最終成果

(1). 植林を行う際の適切な樹種の選定

植栽予定地の詳細な地形データに基づき、斜度を10度ごとに分類した（赤 50度以上、オレンジ 40～50度、黄 30～40度、黄緑 20～30度…）（図-1）。この分類により赤色は危険箇所として作業除地、オレンジ色は搬出が困難な非経済林として扱う等のゾーニングが可能である。また周水域や斜度から計算される地形湿潤指数により、土壌水分が少ない場所を赤色で表示し、土壌水分が多い場所を緑から青で表示した（図-2）。この分類により湿潤環境にはスギ、乾燥環境にはヒノキ・広葉樹を植栽するなど、適切な植栽樹種の選定を行える。



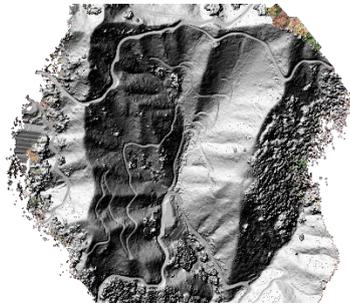
図－1 傾斜分類



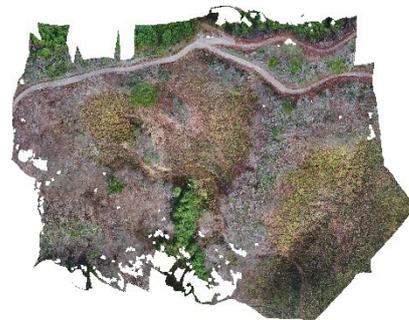
図－2 地形湿潤指数

(2) 植林後の野生鳥獣等による被害抑制

LiDAR による詳細な地形データによっても、動物の足跡や獣道を見つけることは困難であった(図－3)。また、高度 50m からの空撮画像でも足跡や侵入口は確認できなかった(図－4)。一方で、降雪後に撮影した空撮画像からは動物の足跡が明確に判読することができ、シカ柵を横切っている足跡(侵入口)も検出できた。



図－3 神河町地形データ



図－4 神河町オルソ写真



図－5 獣道が確認できる



図－6 足跡がネットを横断している

4 成果の展開(予定)

植栽樹種の選定については、地形湿潤指数により、スギ、ヒノキを含め様々な樹種に適用可能であり、現場経験が少ない人でも、山に適した樹種を植栽できるようになると期待される。また、詳細な傾斜分類により、これまでの地形図では評価できていなかった危険箇所を予め把握することが可能になり、労働災害防止につながる。

野生動物の被害抑制のためのネット設置においては、事前に降雪後に確認された足跡をもとに、獣道を把握し、その通路を確保しつつ、獣害防止ネットを効果的に設置できる。これにより、動物がネットに体当たりして不必要に倒壊させる確率を下げられるのではないかと考えられる。また、設置後のネットに関しても、柵外から柵内への足跡を検出し(侵入口)、わなの設置や重点的に巡視を行う等の対策を行うことが可能である。

6. 最終評価

令和5年1月に開催した成果報告会を踏まえ、今般、最終評価報告書を事務局で取りまとめるにあたり、以下の各評価項目について本会運営委員よりコメントをいただいた。各プロジェクトへの具体的な最終評価については以下のとおり。

【評価項目】

1 実証内容及び活動計画

- ① 実証プロジェクトの目的、趣旨との整合性
- ② 実証内容の妥当性・独創性・技術の先進性
- ③ 活動計画の妥当性・効率性
- ④ 実証プロジェクトの達成度（進捗）

2 開発（実証）可能性・実用可能性

- ① 実用化に向けた課題の有無と解決方法
- ② 具体的な市場や現場ニーズの把握
- ③ 実用化・普及の見込み

No. 1 廉価・高性能なGNSS機器による森林測位の実用性検証

【評価項目】

1 実証内容及び活動計画

① 実証プロジェクトの目的、趣旨との整合性

コメント

- スマート林業の推進にはGNSSの測量精度が鍵を握ると思われる。廉価・高性能なGNSS機器と携帯通信網による森林内RTK測位技術についての検証であり、整合性はとれている。
- 適切なものである。

② 実証内容の妥当性・独創性・技術の先進性

コメント

- 試験地での検証を経ての組合などのユーザによる検証であり、妥当と言える。
- 境界管理、施業地確定のために測量は必要であり、実証内容は妥当なものである。

③活動計画の妥当性・効率性

コメント

- 携帯電話の電波を利用できる場合とそうでない場合での比較検証、フィールドでの実施ができており、妥当であると考ええる。
- 実証項目及び実証方法は概ね妥当なものと思われる。但し、調査箇所数が少ないように思われる。

④実証プロジェクトの達成度（進捗）

コメント

- Float解以上が得られれば、精度基準内で観測が可能であること、逆にGNSSまたはDGNSSでは水平較差が6.8~10.3mとなることが明らかになったことは非常に有用と考える。
- 概ね着実に進んでいるように思われる。但し、従来方法との比較については早期に実施する必要があるように思われる。

【評価項目】

2 開発（実証）可能性・実用可能性

① 実用化に向けた課題の有無と解決方法

コメント

- その場で精度確認できる点は魅力的である。谷部での精度低下について、どのくらいの開空度であれば実用に耐えうるのか。このような適応限界が示されると、より即効性のある技術になりうると考える。
- 現時点での電波状況等を鑑みれば、谷部や上空視界の悪い箇所では精度が出ないのは、ある意味仕方ないことであるが、それらを留意した上での利用になることの明示が必要である。
- 携帯電話が繋がらない場所、特定の地形条件では利用が難しいように思われる。利用可能な条件を明確にする必要があるように思われる。

② 具体的な市場や現場ニーズの把握

コメント

- 境界明確化や造林補助事業の測量など具体的な現場での利用を想定しており、現場のニーズにも合致すると思われる。
- 人工林についてあらゆる場所で使うことを想定しているように見えるが、携帯電波が確実に入る場所で、地形条件が有利な場所での利用をめざしてはどうか。また、人工林に限定せず人工林・天然林とも利用可能になると、集落に近いところでの境界確定において利用可能になるように思われる。

③ 実用化・普及の見込み

コメント

- 境界明確化や造林補助事業の測量など具体的な現場での利用を想定しており、実用性は高いと思われるが、一方、観測精度が出ない谷部は、スギの適地であることも多く、これらがどのくらい、想定している事業において影響をするのか、今後の検討が必要と思われる。
- 携帯電波が入り、地形条件が良い場所での測量について、当面は従来方式と同時に実施することで実用化に向けたデータ収集が可能になるように思われる。また、従来方式による測量と新方式による測量の適切な組み合わせという考え方もあるのではないかと。
- GNSSの長所・短所を把握し、長所を活かす方向に特化した研究開発もありではないかと。

No.2 福井県民衛星「すいせん」の衛星データを用いた森林資源量推定

【評価項目】

1 実証内容及び活動計画

① 実証プロジェクトの目的、趣旨との整合性

コメント

- 一度航空レーザ等でデータを取得した後のモニタリング手法は課題があり、その目的は重要。タイトルは森林資源量推定とされているが、実際は樹種分布＝林相区分図の作成と言える。レーザデータ取得後の施業による林相の変化の把握には有効と思われる。

② 実証内容の妥当性・独創性・技術の先進性

コメント

- 自治体主導の人工衛星の活用を試みており、その優位性を十分活用できれば、非常に有効な手段となると思われる。それには樹種判別だけでは十分とは言えず、やはり当初の目的のように樹高の把握などが必要になると思われる。

③ 活動計画の妥当性・効率性

コメント

- まずは樹種判別から、と現実的な目標設定に変更している点は評価できる。より詳細な資源量の把握へと発展することに期待する。

④ 実証プロジェクトの達成度（進捗）

コメント

- 池田町で利用・評価を実施できており、達成はできているものの、「資源量把握」という面からは、樹種判別にとどまってしまっているので、今後の発展に期待したい。

【評価項目】

2 開発（実証）可能性・実用可能性

① 実用化に向けた課題の有無と解決方法

コメント

- 国内の他地域における衛星データも取得できているとのことで、他地域への波及効果の期待できる成果として評価できる。
- 自治体主導の人工衛星であることから、広葉樹林での季節別の高頻度の画像からより細かい樹種分類の可能性があるが、自治体主導の人工衛星の強みをより活かせる活用方法を模索しても良いかもしれない。
- 誤判定の理由と場所についての検討が必要なのではないか。

② 具体的な市場や現場ニーズの把握

コメント

- 衛星画像の林業・森林管理への用途はこれまでも多岐に渡る。伐採検知など、変化抽出の方が継続的な需要があるのではないか。他の衛星画像との複合利用も期待される。
- 航空レーザなどが一度撮影されている地域での「モニタリング」を目的とする場合は、林相が変わったことを把握することは可能であるが、樹種判別だけではニーズは大きいとは言えない。本数、材積などの情報との組み合わせが重要となる。
- 樹種判別に対するニーズは必ずしも高くはないのではないか。あえていえば、本プロジェクトでは重視されていないものの、「タケ」や「伐採跡地」の位置を明らかにすることには民有林行政面でニーズがあるように思われる。

③ 実用化・普及の見込み

コメント

- 福井県以外の他地域・他自治体への波及効果、実用化の見込みについての説明が欲しい。
- 樹種の判別については精度が達成できれば実用化は可能と思われる。しかし樹種判別のみでは普及までは難しいかもしれない。本数や材積の情報とどう組み合わせるかが課題と言える。
- 県の衛星を使うため豊富なデータを低価格で入手できる点が強みである。その強みを活かしたチャレンジ及び成果の活用を期待したい。

No. 3 森林資源量推定（UAV活用）

【評価項目】

1 実証内容及び活動計画

① 実証プロジェクトの目的、趣旨との整合性

コメント

- 方法、パラメータ、精度の開示により、手法の普及と第三者による高精度化の可能性がある。
- 現場での活用を意識したプロジェクトとなっており評価できる。
- 適切なものである。汎用性という点では有料ソフトの使用に問題はないと考える。

② 実証内容の妥当性・独創性・技術の先進性

コメント

- ドローンデータの処理において問題が発生していることが残念。SfMの処理が適切にできるドローンによる撮影手法の提案があっても良いと思われる。

③ 活動計画の妥当性・効率性

コメント

- 姫路市での実証研究にてフローの提案はなされているが、課題も多く、手法が確立されているとは言えない。今後の課題の改善に期待したい。
- 本プロジェクトが使用している「針葉樹の蓄積推定式」が適用可能な地域の条件がまず検討されるべきと考える。

④ 実証プロジェクトの達成度（進捗）

コメント

- ドローンによる撮影方法など、専門的な知識がなくても日常的に実施できる手法の開発に取り組み、材積推定の精度検証とともに、現場の人の手で実際に同じ作業が実施できるのかの検証も行ってほしい。
- 令和4年度スケジュールの資源量推定が樹種判別ではなく「樹頂点の抽出、樹冠、胸高直径の推計」の場合、樹種判定が不十分な状況で実施しても資源量把握には繋がらない可能性がある。

【評価項目】

2 開発（実証）可能性・実用可能性

① 実用化に向けた課題の有無と解決方法

コメント

- プロジェクトのめざす部分には強く賛同する。一方、資源量の推定式について、昨年度の間接報告会でも指摘したように、現在の推定式では、すべての林分の胸高断面積合計が一定となるため、式の変更が望まれる。
- 実用化に向けては課題の解決が不可欠。
- 「針葉樹の蓄積推定式」の利用に問題はないのか、針葉樹一括で良いのかについて、検討が必要である。

② 具体的な市場や現場ニーズの把握

コメント

- 技術的に現場の人が実際に同じフローで作業ができるのかの検証が必要。提案されたフローそのものは、材積推定精度によっては活用の可能性が考えられるが、現場での活用では本数の情報も欲しくなると思われる。今後の発展に期待したい。
- 「針葉樹の蓄積推定式」の利用が可能な地域で利用可能性がある。それでは、このような地域がどこなのか、についての検討が必要となる。

③ 実用化・普及の見込み

コメント

- 本数密度が判明すれば、1本あたりの材積や間伐による収穫量の推定も可能になるので、より実用的になると思われる。
- 「針葉樹の蓄積推定式」のみを使った資源量把握である以上、得られる資源量は参考値に過ぎないように思われる。参考値ということであれば、例えば民有林の場合、森林簿に計上されている。少なくともこれより実態に近いことを示す必要がある。また、参考値を得るには少し手間がかかりすぎるように思われる。
- この分野の他のグループの研究開発に遅れることなく本研究の技術開発が進展することを期待する。

No. 4 広葉樹資源量推定・樹種判別

【評価項目】

1 実証内容及び活動計画

① 実証プロジェクトの目的、趣旨との整合性

コメント

- 特にクヌギに着目して、8バンドの画像により抽出しており、整合性は図られている。
- 適切なものである。

② 実証内容の妥当性・独創性・技術の先進性

コメント

- これまでの4バンドではなく、8バンドの衛星画像を用いてクヌギのスペクトル特性を把握して、クヌギの分布を把握しようとしており、妥当であると考ええる。
- 判別手法としては妥当なものと考えられる。但し、町内でクヌギ林がまとまっている領域が限られているようだが、この場合、これ以上町内でクヌギ林の所在箇所を探索する実用上の意義がよくわからない。

③ 活動計画の妥当性・効率性

コメント

- 当初の計画通り、スペクトル特性をもとに、クヌギの抽出までは実施できており、妥当であると考ええる。
- 妥当なものである。

④ 実証プロジェクトの達成度（進捗）

コメント

- クヌギが確認されているところが本研究によって抽出されているということで一定の成果が得られていると判断する。クヌギがあると赤く抽出された場所に本当にクヌギがあるのか、あるいは別の樹種であったのかについて、確認することによる精度検証が必要である。

【評価項目】

2 開発（実証）可能性・実用可能性

① 実用化に向けた課題の有無と解決方法

コメント

- リモートセンシング技術の広葉樹への応用事例は少なく、貴重な成果として評価できる。今後、しいたけ原木への応用を考える上では、クヌギの直径情報も重要と考える。この点について、今後の展望を知りたい。
- 画像取得時期の検討が必要。Maxar社の画像は一般的に林業事業者には高価と思われる。
- スペクトル特性の把握で「クヌギ」とそれ以外の「広葉樹」の分類であると、有意差がでない可能性も考えられる。「クヌギ」に似たスペクトル特性を示す樹種も、本研究で把握ができると、抽出された林分が「クヌギ」1つに絞ることはできなくとも、数種までに絞ることは可能と思われる。また、季節変化もどのくらいの時期のものを利用するのか、スパンなどによって把握できる場合とできない場合があり得るので、詳細に検討が必要と思われる。
- 町内でクヌギ林を探索するにあたり、教師エリアも町内に求める必要はないのではないかと考える。

② 具体的な市場や現場ニーズの把握

コメント

- クヌギだけとなると、限定的になるので、他樹種についても分類ができると、よりニーズが高まると思われる。
- 町内のクヌギ原木需要の動向把握が必要と考える。

③ 実用化・普及の見込み

コメント

- 検証データによる精度の確認結果によると考える。
- 本研究をクヌギ林探査に活用すると共に、他の樹種への展開を期待する。

No. 5 マルチGNSSによる後処理解析やマルチパス除去等の測位精度向上の検証

【評価項目】

1 実証内容及び活動計画

① 実証プロジェクトの目的、趣旨との整合性

コメント

- マルチパス除去によるGNSS測量の精度向上を目指しており、マルチパスの軽減方法が開発できれば、画期的なものになると思われる。
- 適切なものである。

② 実証内容の妥当性・独創性・技術の先進性

コメント

- マルチパスの効果的な除去手法を、現地調査の測位データと誤差要因の抽出のみ把握することでは、なかなか難しい。RTK等の活用など拡張を試みており、妥当であると思われる。
- 妥当なものである。

③ 活動計画の妥当性・効率性

コメント

- まだまだ手探りな状況であると思われるので、さまざまな手法を活用しながら、開発を進めることに期待。
- 妥当なものである。

④ 実証プロジェクトの達成度（進捗）

コメント

- 地形などとの関係からマルチパスの低減傾向を一定把握できており、基礎的実験として評価ができる。

【評価項目】

2 開発（実証）可能性・実用可能性

① 実用化に向けた課題の有無と解決方法

コメント

- 基礎的研究であり、実用化に向けては、地形以外の要因との関係性など、多くのデータの取得と検証が必要。すでにこれらのことも視野に入れて今後を考えているということで、発展に期待したい。
- 森林管理局や県庁の職員が使用するマニュアルの作成が必要である。

② 具体的な市場や現場ニーズの把握

コメント

- 目的とする技術開発が進めば、林内のさまざまな位置情報の把握に用いることができると思われる。
- 新しい方法による測量を国有林・民有林に導入する際、精度の確認が求められ、その際に必要となるように思われる。

③ 実用化・普及の見込み

コメント

- 実用化にはまだまだ多くの情報収集が必要であり、今後の研究の発展に期待する。
- 一般的に普及するような技術ではないように思われる。今後、現場で導入する新たな測量手法について、森林管理局や県林務部局などが精度を検討する上で必要とされる技術ではないかと思われる。
- 他の競合手法との優位性を見極めた上で研究開発を継続されたい。

No. 6 森林資源量推定 (UAV・3次元レーザ測量)

【評価項目】

1 実証内容及び活動計画

① 実証プロジェクトの目的、趣旨との整合性

コメント

- さまざまなニーズに対応した森林資源量推定の可能性を把握するために、UAV及び地上レーザを活用した検証を実施しようとするものであり、整合性が図られている。
- 適切なものである。

② 実証内容の妥当性・独創性・技術の先進性

コメント

- 複合的な手法による材積推定の高度化であり、各段階での評価の学術的な開示を期待する。林分レベルでの密度管理図を個体サイズの推定に適用することは想定されていない使用法であり、その精度・バイアスが明らかになることを期待する。
- UAVの解析結果と地上レーザの本数密度や材積とを比較した上で、UAVのみで簡易に人工林の資源量推定の技術を開発しようとしており、先進性は高いと言える。
- 妥当なものである。2つの手法の長所を組み合わせる点が実用面で優れている。

③ 活動計画の妥当性・効率性

コメント

- 計画の手順や内容について、目的に適切であり、妥当であると考えられる。

④ 実証プロジェクトの達成度 (進捗)

コメント

- 平均樹高と林分密度によって平均直径の推定モデルを構築している点は画期的。高く評価できる。

【評価項目】

2 開発（実証）可能性・実用可能性

① 実用化に向けた課題の有無と解決方法

コメント

- UAVによる平均樹高と林分密度を用いた平均直径が過大となっている原因を、現地調査結果と照合し、検証をしておく必要がある。
- 複数の調査方法を併用すると、調査に要する時間がかかるように思われる。両方の方法での現地調査と分析全体で、どれくらいの時間がかかるのかについての情報が必要と考える。

② 具体的な市場や現場ニーズの把握

コメント

- 得られている平均直径のモデルは、UAVだけでなく航空レーザでも応用ができるので、精度が確保できればニーズは高い。
- 複数の調査方法を併用することで、本数、樹高ともより適切な数値となるのであれば、伐採予定地の調査に活用可能なのではないかと。あとはどれくらいかかるのかといった調査コスト次第と考える。

③ 実用化・普及の見込み

コメント

- 精度が確保できれば、実用性は非常に高いと言える。
- 比較的小面積の場合であれば、実際の伐採予定地で試行可能である。
- オルソ化せずに樹高を評価する手法が計算コストや時間の削減に繋がるのであれば、有益な成果となる。

No. 7 成長予測

【評価項目】

1 実証内容及び活動計画

① 実証プロジェクトの目的、趣旨との整合性

コメント

- 地上レーザを用いて成長モデルを新たに構築する目的に対し、可能な情報を活用して現地調査・データ収集が行われており、整合性が図られている。
- 適切なものである。

② 実証内容の妥当性・独創性・技術の先進性

コメント

- 同一林分での成長を追えないことから、林齢の異なる林分で実施しており、有効な手法であると考えられる。一方、「施業の多様化」に対応したシステム収穫表の構築を目指すには、「施業履歴」が重要となる。林分密度を指標として用いることで一定施業履歴が考慮できているとも考えられるが、施業との関係性の検証もしてほしい。
- 同一国有林内で林齢をもとに調査を行い、林齢別の直径、樹高、材積の変化を定式化するという方法は妥当なものと考えられる。

③ 活動計画の妥当性・効率性

コメント

- 施業履歴との関係性は現時点では判明しないものの、地上レーザデータを活用した成長モデルについては、異なる林齢の林分での調査を実施することで、成果が一定出ており、評価できる。一方、今回取り扱わなかった地位での研究も期待される。
- 計画自体は妥当なものであるが、樹高と枝下高の逆転が解消された結果を示す必要がある。

④ 実証プロジェクトの達成度（進捗）

コメント

- 成長モデルの提案がなされており、評価できる。一方、60年生あたりで一旦DBHも材積も値が下がっていることが気になる。施業履歴の影響なのか、対象地の地位が実は異なっているのかなど、原因を究明する必要がある。

【評価項目】

2 開発（実証）可能性・実用可能性

① 実用化に向けた課題の有無と解決方法

コメント

- 今後さらに優れた材積推定モデルの開発を期待する。
- 提案された成長モデルが、今後データの蓄積と精度検証によりブラッシュアップされ、高い精度が確保できれば、実用化の可能性があると考える。

② 具体的な市場や現場ニーズの把握

コメント

- 施業計画を立てる上で、提案の成長モデルは有用であり、ニーズはあると思われる。
- 成長モデルの作成・予測も重要であるが、その基礎となる「調査状況データ」記載事項も重要である。国有林・民有林で使用されているデータとの照合が可能になるものと考ええる。

③ 実用化・普及の見込み

コメント

- 地上レーザで構築された成長モデルがどのくらい汎用性が高いかが鍵となる。かなり多くの調査地を利用したモデルが必要となると考えられるので、構築されたモデル以外が必要となると考えられ、構築されたモデル以外での他地域での検証など、実践をしてほしい。
- 実測データとの照合結果が良好で、作業に要する時間が許容範囲内であれば、現在、国有林・民有林で使用しているデータ・収穫表との比較という次の作業段階に移行可能と考える。
- 社会的に重要なデータの話であり、データを検証しながら慎重に進める必要がある。

No. 8 森林管理の効率化 (UAV・SLAM)

【評価項目】

1 実証内容及び活動計画

① 実証プロジェクトの目的、趣旨との整合性

コメント

- 目的別に調査林分も選定されており、適切である。
- 適切なものである。条件の異なる4箇所で行っている点は、実用性を検討する上で有効と考える。

② 実証内容の妥当性・独創性・技術の先進性

コメント

- 林内自律飛行UAVの活用の検証であり、先進的である。
- 実証内容は妥当である。実現すれば成長データを定期的に推計可能となる。

③ 活動計画の妥当性・効率性

コメント

- V-SLAM、L-SLAMの誤差、精度が実測値と比較されており、妥当と言える。
- 活動計画は妥当なものである。成長量について「95%の精度で合致」という目標を設定している点を評価する。

④ 実証プロジェクトの達成度 (進捗)

コメント

- V-SLAMで林内や路網も状況をどこまで把握できるかを検証し、下層植生の有無の違いも考慮された評価ができており、第1段階の目標は達成していると思われる。
- 実証スケジュールの項目が「データ解析」・「検証」と大括りのため、評価が困難である。自律飛行に関する「データ解析」・「検証」がどこに含まれているのかわからず、実施の有無を含め評価が困難である。

2 開発（実証）可能性・実用可能性

① 実用化に向けた課題の有無と解決方法

コメント

- 今回は道に近いところでの林内自律飛行であるが、より大面積で実施できるのかなどの技術的な課題が必要となる。
- 例えば、森林管理署の職員が特に予備知識がなくともマニュアルに従って分析可能なか否か、という点が不明である。

② 具体的な市場や現場ニーズの把握

コメント

- 現場で簡便にデータの取得・処理・結果が得られるのか、さまざまな条件の森林でも活用できるのか、これらの課題を克服できれば、十分現場レベルでのニーズはあると思われる。
- 風倒などで短期間に森林の状況を把握する必要がある場合、様々な理由で緊急に伐採を必要とする場合などに有用と考える。

③ 実用化・普及の見込み

コメント

- さまざまな展開の期待できる技術のように感じた。一方で、技術の普及に当たっては、解析の自動化がポイントとなるように思われる。
- 2②でも示したように、現場で簡便にデータの取得・処理・結果が得られるのか、さまざまな条件の森林でも活用できるのかなどの課題がどこまで解決できるのかによると思われる。
- 簡単な研修やマニュアルに従って使えるようにしないと普及しない。また、事前準備から最終的な資源量把握まで、トータルに見てどれだけの時間を要する作業なのかに関する情報も重要である。
- 測定時間の短縮が肝であり、この技術が短縮に対しどこまで貢献できるかが普及へのポイントとなると考える。今後の技術開発を期待したい。

No. 9 航空画像解析を用いた造林時の最適樹種選定手法や獣害対策手法の開発

【評価項目】

1 実証内容及び活動計画

① 実証プロジェクトの目的、趣旨との整合性

コメント

- さまざまな樹種の成長特性が地形や土壌条件と関係していることは判明しており、造林の樹種選定について、地形に着目していることは非常に良いと思う。また獣害対策でもシカの通り道を妨げないことで、結果的にパッチディフェンスのような分割した防鹿柵の設置となり、侵入頻度の低減にも貢献する可能性があることから、整合性が図られている。
- 適切なものである。

② 実証内容の妥当性・独創性・技術の先進性

コメント

- 植栽樹種の選定において、土壌水分で評価し、湿潤地にスギ、乾燥地にヒノキ・広葉樹という大まかな分類となっているのが残念である。ドローンレーザで得られる他の地形解析結果とそれぞれの樹種の成長との関係から、より具体的な提案がなされるとさらに良い。獣道の把握については、ドローンレーザの細かい地形データでも把握しようとした試みは先進的である。
- 妥当なものである。特に獣害対策への応用は新たな方法の提案であり、興味深い。

③ 活動計画の妥当性・効率性

コメント

- 樹種選定については、さらに成長と地形などとの関係を吟味した追加的な取り組みが必要と思われる。防護柵の設置では、計画と施工後の検証と実施内容は明白で、妥当であると思われる。

④ 実証プロジェクトの達成度（進捗）

コメント

- 各々のテーマで一定の成果が出ていると言えるが、本来目標としているところまではまだ到達していないと感じる。

【評価項目】

2 開発（実証）可能性・実用可能性

① 実用化に向けた課題の有無と解決方法

コメント

- 樹種選定については、取り扱う地形要素などの検討が必要であるとともに、どのぐらいのメッシュサイズで評価を行うのが妥当なのか検証が必要である。獣道についても、ドローンレーザの地形解析を工夫することで、抽出の可能性があるのか、更に検討できると良い。
- 新たなシカ柵設置方法によりシカ柵の損傷や侵入が減るか否かの調査が必要となる。また、シカ柵の総延長、シカ柵の規格を含めたコスト分析も必要である。

② 具体的な市場や現場ニーズの把握

コメント

- 防護柵の設置について具体的な線形の提案をすることはほとんどないと思われるので、効果が確かめられれば、ニーズは高いと思われる。樹種選定については手法や対象樹種が明確となり、結果の信頼性などが担保されれば、現場での参考となると思われる。
- 獣害対策への応用が実現すれば、造林面積が増える時期には有効である。

③ 実用化・普及の見込み

コメント

- もっとも実装に近い成果のように感じる。一方、獣害対策手法については、積雪のない時期、どのようにすれば良いのか、改良に向けての方向性を知りたい。
- 実用化に向けては、さまざまな検討が必要である。今後の研究成果に期待したい。
- 獣害対策について試験研究を実施しながら本技術の普及を図ることを期待する。