

■第65回森林計画研究発表大会 特別講演■

ドローンの活用によるICTスマート精密林業

信州大学教授 加藤 正人

1 はじめに

ドローンは先進技術であり、急速に多分野で普及し、ビジネスやイノベーションとして利用が進んでいる。自動操縦、各種センサ搭載で、安全・短時間・科学的に森林の様子を全数把握できる。森林分野でのイノベーションが期待されている。

「スマート林業」は森林施業の効率化と省力化、需要に応じた高度な木材生産等を可能にするICTを利用したクラウドサービスによる情報共有、木材サプライ・チェーンの構築に向けた取り組みである。筆者らは平成28年度から農水省農研機構の革新的技術開発事業（地域戦略プロ）でレーザセンシング（LS）情報によるスマート精密林業「長野モデル」を産学官連携コンソーシアムで開発している。当該事業の2年目となり、参画機関の個別取組みを体系化して、日本初のスマート精密林業のイメージを具体化した。現地検討会でこれら開発した技術を公開した。

当該事業の概要、ドローンLSによる精密林業技術、普及型ドローンによる収穫木の確認、日本初のICTスマート精密林業、スマート林業のモデル、林業の強化策、技術普及、林業イノベーションと地域ビジネスについて提案する。

2 LSによるスマート精密林業技術「長野モデル」の開発

(1) 革新的技術開発事業（地域戦略プロジェクト）

LSは森林管理の世界標準の革新的技術であり、

安全・短時間・科学的に三次元での精密な森林資源と地形を把握できる。航空機・ドローン・バックパックのLS情報の要素技術を合わせた統合技術により、森林情報の高度化、作業の省力化と持続的な木材生産性を向上させたスマート精密林業「長野モデル」を産学官連携で開発している。本研究は平成28～31年までの農水省農研機構革新的技術開発・緊急展開事業（地域プロジェクト）の大型事業である。体系図を図-1に示す。

ア 高精度のLS情報

航空機LS情報で広域の森林資源の基盤情報をつかみ、ドローンLS情報で森林の見回りと森林調査、間伐木の確認や森林被害に活用する。バックパック（歩行携帯）LS情報で幹曲がりの品質等の地上での収穫調査や素材生産量の算定に活用する。

イ 高精度情報の整備と運用体制の確立

信州大学とアジア航測で持つ知財技術を活用して、資源管理の四次元情報（立木位置・樹高・時間）の一元管理、単木レベルの資源量把握（樹高・胸高直径・材積）、施業履歴、更新情報の精密LS情報を林業事業体に提供する。

ウ 収穫と素材生産

北信州森林組合では、精密なLS情報の在庫管理から選別した収穫木にセンサーマンとIoT機能のハーベスタ（高性能林業用機械）をナビゲートして、伐採、測尺・玉切り作業のアシストと素材生産量の自動集計計算による木材生産性の向上と収穫情報の見える化を行う。

レーザーセンシングによるスマート精密林業の開発

研究開発の内容：航空機・ドローン・バックパックのレーザーセンシング（LS）情報をかけ合わせた統合技術により、一体的な統合技術として実証研究することで、国際競争力のある地域イノベーションを目指したスマート精密林業を開発する。

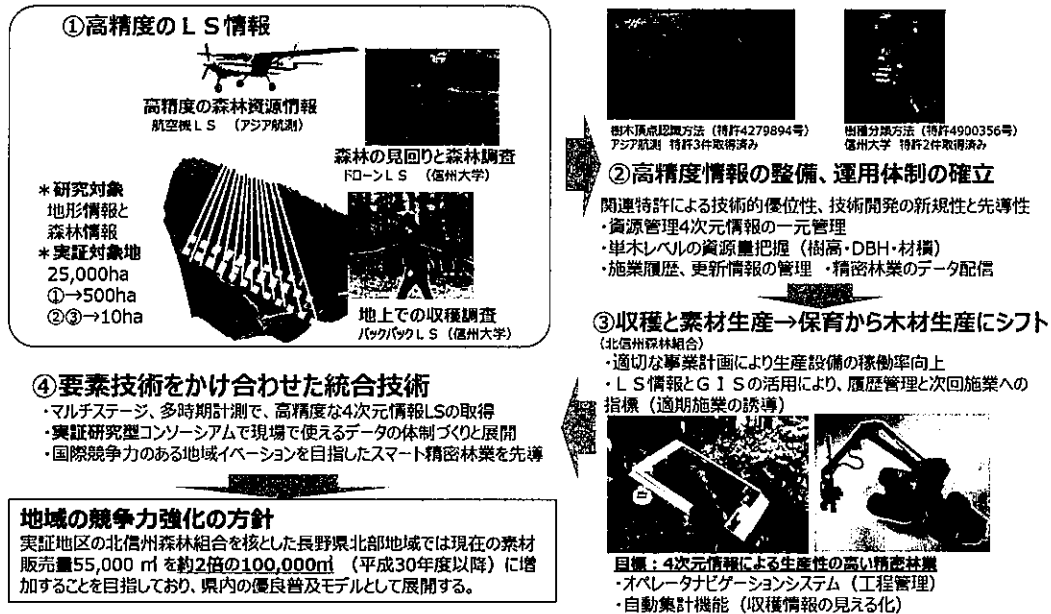


図-1 レーザセンシングによるスマート精密林業の体系図

エ 要素技術をかけ合わせた統合技術

これらの技術組み合わせによる一体的な統合技術として実証研究することで、国際競争力のある地域イノベーションを目指したスマート精密林業を先導する。

コンソーシアム（実証研究型）の参画機関は、信州大学、北信州森林組合、アジア航測、コマツ（協力機関）と、普及担当機関は長野県、長野県森林組合連合会、中部森林管理局（連携）であり、産学官が連携して行う実証事業である。

実証研究の実施場所は、スマート精密林業の導入に熱心な北信州森林組合管内で民有林モデルを、中信森林管理署管内で国有林モデルを提案する。

期待される効果は、LS技術による森林の見回りから木材生産までのICTによる精密化と自動化により、省力化と木材生産性を向上させ、木材

生産の安定供給に貢献できること、現場（山で働いている人）に先進技術を使ってもらい、林業成長産業化への貢献と林業イノベーションである。

3 ドローンLSによる精密林業技術の開発

ドローンLSによる森林の見回りと精密な森林資源算定について、中信森林管理署 奈良井国有林の事例を紹介する。目的は森林を対象に先端的なドローンLSで、全域又は任意の範囲において安全かつ短時間に全数調査での森林資源を提供することである。調査地は奈良井国有林1542い林小班、更新伐で50%伐採予定の63年生カラマツ人工林に設定した。

使用したドローン用レーザーセンサはYellowScan社（フランス）のSurveyer、国産ドローンの

enRouteM's の産業用ドローンを使用して、(株)みるくると(株)Ace-1と連携して撮影とデータの前処理を行った。

計測したドローンレーザのデータは点密度50点/m²と高密度であることから、表層モデルと樹高モデル(CHM)は高分解能で作成できる。ドローン10cmのオリジナルの樹冠判読用の解析図を図-2に示す。林道、林床の笹の様子、カラマツの単木ごとに詳細な枝ぶりが把握できる。

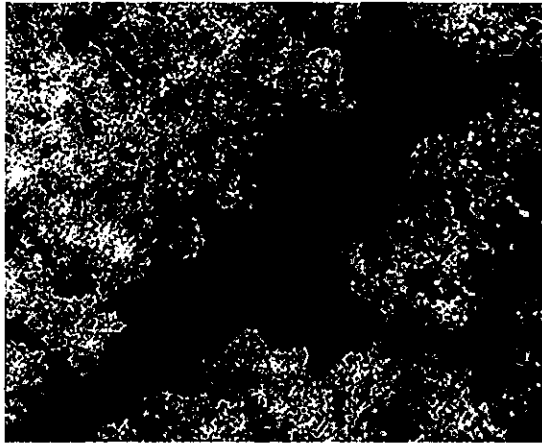
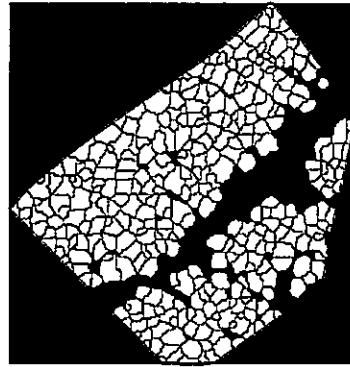


図-2 ドローンレーザの樹冠判読用の解析図
離陸場所周辺の拡大図

計測された生のレーザデータはセンサ、撮影条件、調査地の森林状態によって多様なノイズが発生する。これらノイズを一つ一つ除去することで、単木ごとに精密な樹冠を自動抽出する技術を開発した¹⁾。図-3は植栽木のカラマツ上層木と中層木の全ての樹冠を正確に抽出している。樹高は樹冠内で最高値のCHMを樹高値とすることで、単木ごとの森林資源量を算定することができる。図-4は単木ごとの樹木情報を林分ごとにEXCELで集計し、本数357(344/ha)本、材積406.9(294.9/ha)m³を算出した。これらはドローンレーザ計測のみで算出した全数調査による森林資源情報である。



0 50 100 200メートル

図-3 精密樹冠の自動抽出 林道や下層植生を除去して植栽木のカラマツのみ表示

359	355	-59953.05	-16124.11	4.5	16.3	26.8	21.1	0.595																																					
357	356	-59951.31	-16112.83	4.4	15.5	30.5	23.0	0.827																																					
358	357	-59951.83	-16117.55	3.6	10.3	26.3	20.8	0.564																																					
359	中信森林管理署 奈良井国有林1542林道 い小道 4.44haの一部を解析																																												
360	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>本数</th> <th>樹冠直径</th> <th>樹冠面積</th> <th>DBH</th> <th>樹高</th> <th>材積</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平均</td> <td>5.4</td> <td>25.1</td> <td>34.1</td> <td>24.5</td> <td>1.1</td> </tr> <tr> <td>最小</td> <td>2.2</td> <td>3.8</td> <td>14.8</td> <td>12.0</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>最大</td> <td>10.3</td> <td>83.3</td> <td>57.5</td> <td>32.6</td> <td>3.7</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>357</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>406.9</td> </tr> <tr> <td>361</td> <td>360</td> <td>344</td> <td></td> <td></td> <td>294.9</td> </tr> </tbody> </table>									本数	樹冠直径	樹冠面積	DBH	樹高	材積	平均	5.4	25.1	34.1	24.5	1.1	最小	2.2	3.8	14.8	12.0	0.1	最大	10.3	83.3	57.5	32.6	3.7	合計	357				406.9	361	360	344			294.9
	本数	樹冠直径	樹冠面積	DBH	樹高	材積																																							
平均	5.4	25.1	34.1	24.5	1.1																																								
最小	2.2	3.8	14.8	12.0	0.1																																								
最大	10.3	83.3	57.5	32.6	3.7																																								
合計	357				406.9																																								
361	360	344			294.9																																								
362																																													
363																																													
364																																													
365																																													
366																																													
367																																													

図-4 精密な単木情報から森林資源量を集計

4 日本初のICTスマート精密林業

当該事業の2年目となり、参画機関が個別取組みを体系化してスマート精密林業のイメージを具体化した。平成29年10月10日に現地検討会を北信州森林組合管内中野市の牛首カラマツ人工林で開催し、開発技術を公開した²⁾。航空LSを利用した森林施業の優先度の広域ゾーンニングと団地作成システム、地上LSによる精密立木位置図の作成、ドローンLSによる精密計測、間伐基準にもとづいた定性間伐による自動選木、タブレット端末のナビゲーションシステム、検尺機能付きIoTハーベスト(コマツ)の運用、オペレータは運転席のディスプレイに表示されるマシン位置と間伐木へのナビゲーション、伐採を実施した。

ドローンLSによる単木の資源情報をもとに定

性（点状）間伐による全層間伐，35%の材積と本数の間伐率で残存木の適正配置の間伐基準で，オリジナルプログラムから自動選木した（図-5）。

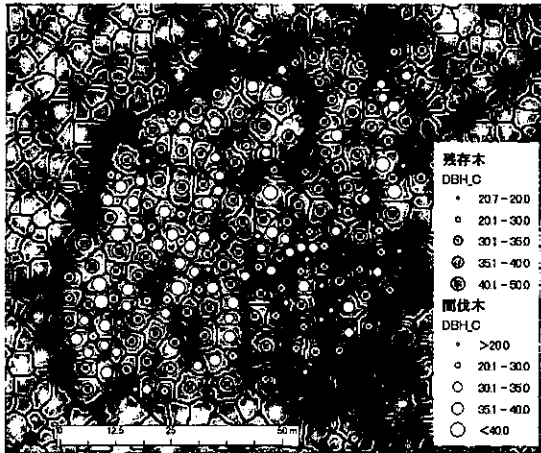


図-5 間伐基準にもとづいた定性（点状）間伐の自動選木結果

選木した間伐木の位置情報をセンサーマンが持つタブレット端末でのナビゲーションと，GNSSと検尺機能付きIoTハーベスタの間伐木へのナビゲーションと伐採を行う（図-6）。運転席のディスプレイにマシン位置と赤色立体図上にドローンの選木結果が表示され，誘導して，伐採する。図-7は伐倒・枝払い，玉切りの造材作業でのハーベスタの検尺機能の表示画面である。「樹種」「長さ」「径級（末・元）」「曲り」情報がハーベスタヘッドのセンサにより自動集計される。



図-6 GNSSと検尺機能付きIoTハーベスタの間伐木へのナビゲーションと伐採

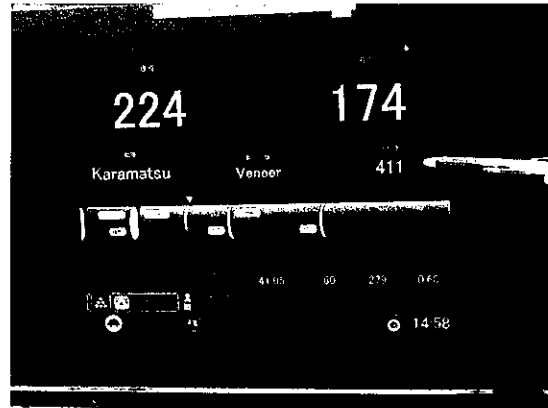


図-7 ハーベスタ運転席の丸太の検尺機能の表示画面「樹種」「長さ」「径級（末・元）」「曲り」情報がハーベスタヘッドのセンサにより自動集計



図-8 ICTでジャストインタイムの丸太生産

この情報をICTにより，インターネットによるメール転送・クラウド処理で，採材情報はディスプレイ表示で，運転者と同じ情報を共有した（図-8）。透明な丸太情報がICTにより，伐採現場から事務所や川下の製材工場と共有されることで，ジャストインタイムでの木材生産，林業ビジネスが可能になる。目標としていた林業サプライチェーン³⁾の姿が具体化した。

5 普及型ドローンによる収穫木の確認

ドローンレーザで開発した精密な森林資源情報

算定技術は林業に有効な技術であるが、コストが高いと生産現場に導入できない。そこで、安価な普及型ドローンのカメラ画像から、オリジナルな階層別の樹高算定方法をもとに、1本単位での精密な森林資源情報を開発した。

普及モデルは、約15万円の安価な普及型ドローンを使用して、調査地のモザイク画像とオルソ画像の作成、単木の森林資源情報が必要な場合は撮影済の航空LSデータ（国交省砂防航空レーザ）や国土地理院の数値地図5mメッシュ（標高）と組み合わせて活用する。

図-9は伊那市長谷浦団地のカラマツ人工林で、国内初のドローンによる収穫木確認の実証試験結果である。間伐前と間伐後に2回撮影して、重ね合わせて差分をとることで、間伐された収穫木を高精度で抽出できた⁴⁾。

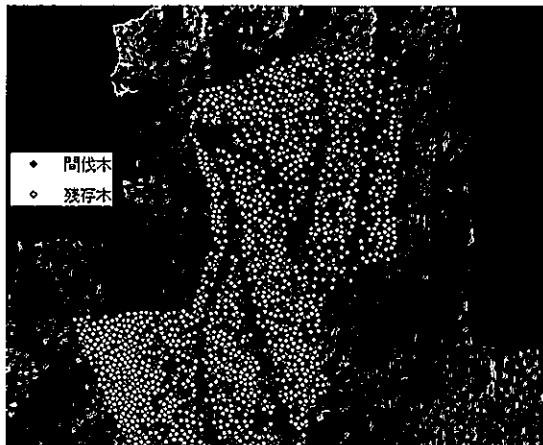


図-9 ドローンによる収穫木確認

6 スマート林業のモデル

(1) 先進モデルは単木管理のスマート精密林業

日本は島国で多様な山岳森林と小規模所有の森林所有者が特徴である。日本人はきめ細かく、木の文化と伝統を守り育ててきた。戦後の人工林は長期間の補助金も含めた投資がされてきた地域の財産である。森に立つ1本の木に森林所有者や森

林管理者、先祖の思いが詰まっている。また、世界のLS研究と実利用はLSセンサの高機能化と技術革新により、単木管理にシフトしている。先進モデルは産地や森林所有者の姿が見える単木管理のスマート精密林業である。全国統一の航空レーザが整備するまでは、従来の森林調査簿と標準地調査による林分単位での森林施業も共存する。

森林官や地方自治体の職員はレーザ計測を含むリモートセンシングで全数調査の単木管理、情報の見える化で産地情報、立木の位置情報と資源情報をGISで管理する。森林組合や林業事業者の職員は見える化で産地情報、立木の位置情報と資源情報を使い、間伐や主伐計画の立案、収穫作業はGNSS機能IoTハーベスタで、収穫木へのナビゲーション、伐倒、検尺し、インターネットで事務所に木材情報を転送する。

(2) 林業の強化

単木管理のスマート精密林業が出来あがることによって、川上の森林の単木資源情報は在庫情報となり、ICTやクラウド情報で透明な木材情報を川下と共有することで対等な商い、ジャストインタイム生産、山元還元の持続可能な森林経営を目指すことができる。木材生産性を向上させたスマート精密林業をツールにして、世界初の林業サプライチェーン構築³⁾で、日本林業の成長産業化を目指す。

(3) 技術普及 使える仕組みと体制確立

モデルの全国展開には自治体や林業事業者の体制や技術レベル、職員の意識等を理解した上で、意欲ある組織に導入して、人材を育て運用体制を確立する。

基盤データは航空機LSである。都市域、農地、森林を含めた国土の基盤情報として10年おきに定期的に撮影し、海外と同様に誰もが無料でダウンロードできるようにする。森林伐採や転用、人為的改変や自然災害などの経年変化や三次元情報で

の解析に有効である。収穫や現場確認は小回りの利くドローンや地上型LSを使用する。森林調査と測量、収穫調査、伐採確認と検査業務、更新検査業務において、省力化と精度向上によるデータベース化が進む。補助金を含めた制度設計の改革と検査要領の改定が必要である。

(4) 林業イノベーションと地域ビジネス

国産木材の需要増加も見込まれ、若い世代の林業への就労割合が増えていることに呼応して、即戦力となる人材の育成を目的に全国で林業大学の設立が相次いでいる。日本と同様の森林資源と面積を持ち、森林産業が国の基幹産業にもなっている林業先進国の北欧と北米などを訪問し、林業を学ぶ学生や若手の林業従事者と歓談すると、目を輝かしながら「林業は魅力ある職業である」と異口同音に発する。日本林業の成長する余地（伸び代）は大きい。若者が魅力を感じる講義科目として、スマート林業やドローンなどの新技術を取り入れていくことも必要であろう。

信州大学学術研究・産学官連携推進機構の支援を受けて、知的財産を生かした新産業創出の大学発ベンチャー、精密林業計測㈱を研究指導する学生たちが起業した。森林・林業県である長野の特徴を生かした地域ビジネスで若者を雇用し、社会に貢献していく。全国の林業大学校や森林科学科のある大学で林業ベンチャーが起業していくことが、林業が魅力ある産業や職業として、地域社会に認められ、貢献していくと考える。

7 おわりに

技術開発の基礎から一步一步取り組んできた長野モデルは、国内外に情報発信することで産学官連携コンソーシアムの枠組みが大きくなっている。現場に先進技術を使ってもらい、使える仕組みと体制確立、役立ててもらおう努力と担い手や受け皿となる人材育成は重要である。普及機関の長野県と連携して、ドローンの現地検討会と解析結果の

報告会を行っている（図-10）。

林業先進国の北欧や北米、ニュージーランド、豪州では、高精度のLSによる単木情報取得、IoTハーベスタと伐木情報のクラウド展開、GISによる伐採した収穫木の地図化により、森林調査から収穫、作業工程管理、販売に至るスマート林業で先行している⁵⁾。技術レベルを世界標準にすることで、国内外への情報発信を行い、林業イノベーションを目指していく（図-11）。

本研究は生研支援センター革新的技術開発・緊



図-10 ドローンの現地検討会（佐久穂町）



図-11 世界No.1のレーザ計測技術を持つフィンランド研究所との国際共同研究（信大演習林）

第65回森林計画研究発表大会 特別講演

急展開事業（地域プロ）の支援を受けています。

参考文献

- 1 加藤正人, トウソウキュウ (2016) 森林資源情報算定方法及び森林資源情報算定装置, 特願2016-227207, 特許出願人: 国立大学法人信州大学
- 2 日刊木材新聞 (2017) 国内初スマート精密林業を公開 木材サプライチェーン構築へ 信大など共同事業体, 2017年10月12日, 8面
- 3 椎野潤 (2017) 「林業ロジスティクスゼミ」ロジスティクスから考える林業サプライチェーン構築, 林業改良普及双書 No. 186, 全国林業改良普及協会, 184pp, 東京
- 4 長野日報 (2018) 「ドローン」間伐省力化有効 伊那市実用化へ, 2018年2月23日, 1面
- 5 Wilson Ian (2018) Effective use of Harvesting machinery data. Proceeding of ForestTECHX, Vancouver Canada, Mar06-07