

令和6年度「新しい林業」に向けた林業経営育成対策
のうち経営モデル実証事業

川上と川下のデータ連携を柱とするコスト削減と山元還元の実証事業
事業成果報告書

令和7年2月

北信州森林組合

国立大学法人信州大学

精密林業計測株式会社

目 次

I 実証事業の概要

- 1 事業の名称
- 2 取組の背景
- 3 実証のテーマ
- 4 実証団体の構成
- 5 林業経営体、支援機関、実証事業関係者連関図
- 6 実証事業の内容
 - 実施場所（位置図、写真等）
 - 事業区分毎の計画内容（森林資源調査、素材生産、流通、再造林）
 - 工程表
 - その他
- 7 実証事業の目標（収支改善目標含む）

II 実証事業の実行結果及び課題

- 1 令和4年度の実施結果及び課題
- 2 令和5年度の実施結果及び課題
- 3 令和6年度の実行結果
 - ① 協議会、現地検討会の開催経過
 - ② 令和6年度の実行結果（経過）及び取組の評価と課題
 - (1) 森林資源
 - (2) 主伐
 - (3) 流通・販売
 - (4) 再造林・保育
 - (5) 経営モデル構築
- 4 実証事業の総括
 - 令和4年度から令和6年度の3年間の実証事業の総括的な取りまとめ

III 今後の事業の展開方向

I 実証事業の概要

1. 事業の名称

川上と川下のデータ連携を柱とするコスト削減と山元還元の実証事業

2. 取組の背景

北信州森林組合は、全国の森林組合の中でも先進的取組を進めてきた。集約班を組織して域内の民有林約3万7千haのうち、約6千haの森林境界明確化を行い、施業集約化して木材生産量をほぼゼロから1万m³へ増やし、ICTを活用した航空レーザ計測技術の導入、スマホによる木材検収システム、北信地区のクラウド木材在庫情報共有システムによる共同出荷体制の構築してきた。また、林野庁事業で長野県が事務局のスマート林業タスクフォースNAGANOでも中心的役割を担ってきた。

しかし、地域内森林の林齢は多くが80年を越えつつあり、主伐すべき森林が増加しているにもかかわらず、先進地である九州地方と比較して同組合の主伐量は増加していない。主要な要因は、森林所有者から見て主伐で得られた収入がほぼ再造林・育林費用で無くなってしまうためである。森林所有者は「それなら伐らなくていい」という選択をせざるを得ず、素材生産側から見ても、主伐を薦めることを躊躇する状況である。

3. 実証のテーマ

スマート林業と製材・建築のデジタル連携を柱とする流通コスト削減と受注生産による山元還元

4. 実証団体の構成

北信州森林組合、国立大学法人信州大学、精密林業計測株式会社
株式会社森林連結経営（委託）、ウッドステーション株式会社（委託）

5. 林業経営体、支援機関、実証事業関係者連関図



6. 実証事業の内容

本事業においては、ドローンやホロレンズという新技術を導入して再造林やその後の保育時のコスト削減の効果を実証すると共に、丸太需要者にとって過不足の無い、様々な長さの丸太（乱尺と呼ぶこととする）の造材指示を ICT ハーベスタへワークオーダーという形で入力し、乱尺丸太を需要者に納入したとき、主伐費用を従来と大差なく抑えることができるのか、また納入した丸太の品質的歩留まりは実用に耐えうるものなのか、を検証する。それらを明らかにすることにより、これまで需要者にとって必要ない部分を運搬したり、ごみとして処分したりしていた費用を材価に乘せることや、乱尺造材することで剰余部を別に販売する利益により、同じ森林から生産された木材でも、販売価格を増やすことで実質の材価の上昇を図り、新技術導入による保育経費の削減と合わせ所有者への還元額を増やし、主伐へのインセンティブを高めることが本事業の目的である

7. 実証事業の目標（収支改善目標を含む）

(1) 森林資源調査

信州大学と精密林業計測(株)は、2 種類のドローンレーザとモバイルレーザで計測された点群データをオリジナル統合して、主伐地の単木の精密な森林資源情報を算定する。また幹に照射された点群データから、細り表と丸太の利用材積の算定モデルを開発し、現地適用する。建築データを元に製材に必要な丸太情報を提供する委託先のウッドステーション(株)は、大型パネル製造を行っている木材店の木造大型パネル予定物件に使用する大型パネルの部材データから、木拾いデータ、製造に必要な丸太情報（造材指示）を提供する。これによって、森林の価値が見える化され、川下の製材工場にも有益な丸太情報を提供できる。森林直販事業と国産無垢材の建築使用の活性化に取り組む委託先の(株)森林連結経営は、川上と川下のデータ連携におけるコスト削減と山元還元策を提案する。

目標は、事業地の森林資源把握にドローンレーザとモバイルレーザを統合して森林調査の省力化と丸太の利用材積を算定する新技術を開発する。

(2) 主伐

北信州森林組合は、森林資源調査の結果としての造材指示（ワークオーダー）の提供を受け、ICT ハーベスタにワークオーダーをアップロードし、主伐地にて乱尺造材、大型パネルの製造に必要な丸太を山土場に集積する。ハーベスタで採材された丸太情報とレーザ計測の丸太（極積）情報を突合して精度検証する。

目標は、乱尺造材時の手間の検証、さらにはその手間を最小化する丸太生産方法のノウハウの取得である。

(3) 流通・販売

北信州森林組合は、当該丸太および造材報告をウッドステーションに納入する。販売は当該造材報告を取引データとする。目標は、StanForD2010 での商取引の実現と、一連の物流・商流における歩留まりの評価と、歩留まり 100%に至らぬ場合の余分をどのように造材・調達するかというノウハウを取得する。

ウッドステーションは、建築部材リストを基に製材と丸太の最適な木取り表を作成し、

森林と建築のデータ連携による実棟建設を行う。具体的には、国興(工務店)との打ち合わせ、大型パネル図の作成、木取り表の作成、製材の検品、大型パネル製造を行い、松本市で上棟する。

森林連結経営は、川上と川下のデータ連携におけるコスト削減と山元還元策を提案するため、林業に関する ICT 活用の実態調査を行う。

(4) 再造林・保育

信州大学と精密林業計測は、北信州森林組合と連携して令和5年度、産業総合研究所と共同開発成果である国内初のホロレンズ（複合現実）による再造林の植栽支援の実証を行う。主伐後にドローン計測で、地形情報と枝条集積箇所、植栽本数から植栽計画マップを作成する。ホロレンズに情報転送し、ホロレンズを装着した植付け作業員が植栽地にサイン表示された場所にナビゲートして植栽する。ホロレンズ装着有無による植栽作業の比較も実施する。

令和6年度、再造林時に作成した植栽計画マップをホロレンズに情報転送し、ホロレンズを装着した北信州森林組合の下刈作業員がホロレンズ表示された植栽場所の苗木を避けながら下刈りする。ホロレンズ装着有無による下刈り作業の比較も実施する。

(5) 経営モデルの構築

森林連結経営が中心となり、長野での森林産直による実棟建築まで実施した国内初の実証取組みについて、他地域で展開可能な森林直販による製材・建築と市場流通改革の経営モデル案を構築する。

II 実証事業の実行結果及び課題

1. 令和4年度の実行結果及び取組の評価と課題

令和4年度は、主伐地の確保、各種レーザ計測による資源調査と立木解析、建築部材の木取り情報、ハーベスタ用のワークオーダーの現地設計、流通・販売では森林直販の製材・建築の連携づくりを実施した。森林資源調査、主伐、流通・販売、再造林・保育の実施項目別に説明する。

(1) 森林資源調査

北信州森林組合は、主伐地のカラマツ人工林(木島平村大字上木島)約1.3haについて、所有者に事業および研究内容の説明を実施、立木買取契約およびその後の再造林・保育に関し実証事業を実施する了承を得た。

精密林業計測は、令和4年ドローンレーザによる精密森林資源調査を行った。異なる種類のセンサを搭載した2機のドローン(DJI社 Phantom4RTK、以下P4R及びDJI社 Matrice600pro、以下M600)を使用して、長野県下高井郡木島平村のカラマツ林約1.3haを対象とした計測を行った対象地上空を飛行しながら連続写真を撮影し、それらの写真をSfM(Structure from Motion)/MVS(Multi View Stereo)処理を用いて解析することでオルソ画像を作成した。また、M600にはレーザセンサであるSurveyer Ultra(YellowScan社)を搭載してレーザ計測を行った。調査では森林の形状を再現した三次元点群の表層部と地表部の点群をそれぞれ抽出して数値表層モデル(Digital Surface Model, DSM)と数値標高モデル(Digital Elevation Model, DEM)を作成した。さらに、これらの差分を取って樹冠高モデル(Canopy Height Model, CHM)を作成し、立木の樹頂点を抽出した。樹頂点位置のCHMの値を抽出して樹高を算出し、これにP4Rで取得したデータから作成したオルソ画像を重ね合わせて樹種分類を行った。これらの処理により立木位置、樹種、樹高のデータが得られる。精密森林資源調査の結果を図1に示す。なお、この結果は信州大学に提供し、モバイルレーザ計測の計画立案にも活用された。

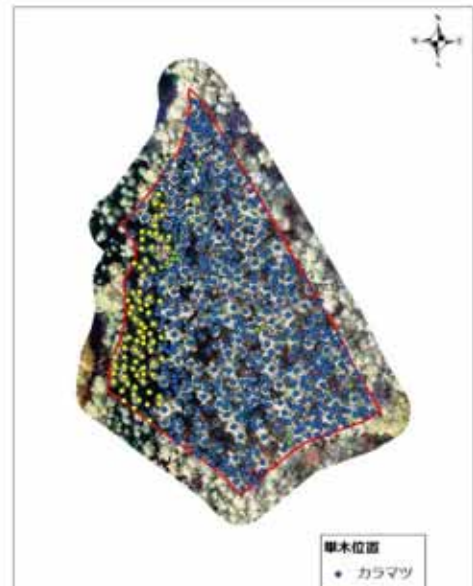


図1 精密森林資源調査の結果
(樹種情報で区分して表示)

また、M600及びSurveyer Ultraを使用した計測を同じ対象地で行った。カラマツが落葉した時期に計測を行うことで伐採計画立案時における活用を想定した詳細な地形データを取得することである。また、信州大学がモバイルレーザ計測結果の位置合わせ用に設置した標識の位置情報を面的に計測することにも利用した。この計測結果も信州大学に提供し、モバイルレーザ計測結果の処理に活用された。

信州大学は、レーザ計測と3D立木点群モデルから丸太情報の算定に関して、

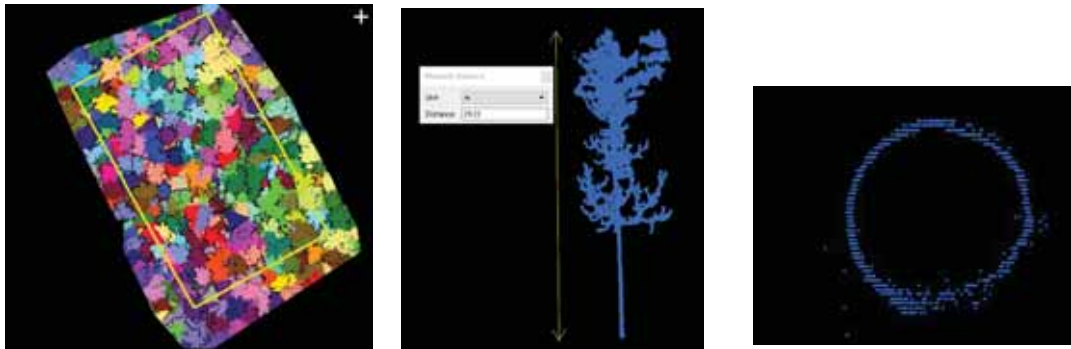


図2 3D点群データから単木抽出(左)、樹高算出(中央)、胸高直径算出(右)

①ドローンとモバイルレーザの計測範囲

- ・面積 : 約 0.5 (ha)
- ・樹種 : カラマツ
- ・本数 : 213 (本) ※ドローンからの抽出本数

②モバイルレーザの計測方法の検討および計測

- ・使用機材 : Hovermap (Emesent 社)、LiGrip (GreenValley 社)
- ・位置合わせ: 6 枚の GCP を設置
- ・ルート作成: コース間隔 10m で 2 つのルートを作成
- ・計測時期: 令和 4 年 12 月 (落葉期)
- ・下層植生: なし ※チェーンソーにより伐採
- ・抽出本数 : ・ドローンレーザ結果 213 (本) ※上層木のみ
- ・計測時間 : 1 ルートにつき 15 分

③レーザデータを使用した単木解析

主伐地のモバイルレーザ計測の 3D 点群データから単木樹冠の抽出を行い、樹高抽出と胸高直径を算出した。

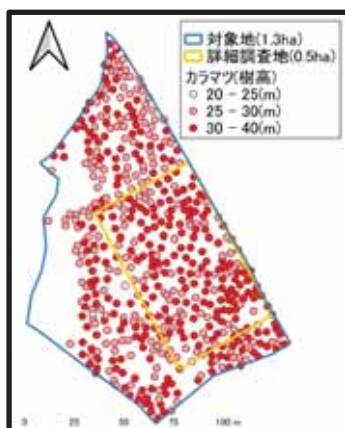


図3 主伐地のドローンとモバイルレーザ計測によるカラマツの樹高分布



図4 使用した背負子レーザ Hovermap (左) ハンディレーザ LiGrip (右)

(2) 主伐

北信州森林組合は、主伐に向けた課題検証整理を行った。

- ・主伐経費と所有者へ還元する立木単価についての妥当性の検討

これまでほぼ全量、北信州森林組合では木材生産を利用間伐により実施してきたことから、主伐に関する知識と経験がプランナー・作業員共に乏しく、妥当な経費を算出することが困難であったため、主伐の熟練者による講習と作業準備・手順の精査を組織内で実施した

- ・ICT ハーベスタの操作の習熟と StanForD2010 の入出力の整備

本事業の実証に使用する ICT ハーベスタ（北信州森林組合設備）が令和5年2月上旬に納入された。ICT ハーベスタの概念・利点等について弊社現場設計者（プランナー）の理解と造材指示の作成方法の習熟、およびハーベスタオペレータのトレーニングを実施した。

(3) 流通・販売

北信州森林組合は、ICT ハーベスタ生成造材報告データの流通プレーヤー間の共通理解を行った。

- ・大型パネル工法の要であるウッドステーションに、StanForD2010 フォーマットで生成される造材報告データの情報を提供し、概要について理解を得た。商取引での利用に関しては、カラマツ無垢材の乾燥技術の難しさから丸太引き受け先が変更となり、今後打ち合わせによって決めていく。

- ・課題として、樹種（カラマツ無垢材は住宅において梁くらいしか使うところがない）、径級（梁で使うには一定程度の太さが必要）など、素材生産側の「伐りたい」森林と、需要者側の「買いたい」森林のミスマッチが顕在化した状況。提供・公開する森林の情報の精査が必要である。

森林連結経営は、以下に取り組んだ。

- ・定期的に信州大学に来学して、川上と川下のデータ連携におけるコスト削減と山元還元策を提案するため、特に伐採丸太から製材、プレカット加工、大型パネル、上棟に至る森林産直のネットワーク構築づくりを参画機関と行った。

- ・カラマツの製材を専門に扱う小林木材（長和町）、工務店は国興（松本市）で建築物件も決定。木島平のカラマツ材を金物工法でどこまで使用できるか確認。

- ・建築図面から部材情報を拾い、必要な丸太寸法と本数の目安を算出。カラマツの無垢材を金物工法に使えるか、大型パネル工法のウッドステーションが金物メーカーでもあるタツミに検討依頼。

- ・国興・ウッドステーションが協議し建築図面が確定した段階で、ウッドステーションから正確な部材情報・想定丸太情報が、信州大学・小林木材の調整を経て、必要な丸太寸法と本数を確定、造材情報を作成。

- ・令和5年度に向けた課題として、作業のリスク管理があり、最終図面を基に、対象地の状況（木材品質）を考慮しつつ、製材方法を含めた調整を行って必要な丸太の径と長さ、本数を確定。造材時の品等、製材時の検品で困難と判明した場合の対応・予備製材の検討。地元の材を使い流通を最短に抑えたこの住宅のコスト・販売価格をどう設定するのが妥当かの検討が必要である。

(4) 再造林・保育

令和4年度は実施していない。

2. 令和5年度の実行結果及び取組の評価と課題

令和5年度は、ウッドステーションと地元工務店（株式会社国興：松本市）との連携による大型パネルの建築伏図からの建築部材の木取り情報作成、信州大学と精密林業計測がレーザ計測による品等区分と造材シミュレーションプログラムの開発、北信州森林組合が ICT ハーベスタ用を使用して、ワークオーダーによる乱尺造材を実施した。流通・販売では森林連結経営による森林直販モデルから地元製材所（小林木材株式会社：長和町）に丸太納品、製材、乾燥、養生を行った。ウッドステーションは、地元工務店の国興と連携して製材の検品、プレカット加工、大型パネル製造を行い、松本市で貸家2棟を上棟した。

(1) 森林資源調査

ドローンレーザ等による森林調査及び解析、丸太利用材積の算定技術

造材シミュレーションプログラムの開発

- ・計測範囲内の全立木(220本)で単木ごとにシミュレーションを行う
- ・単木ごとに丸太の切り出しをシミュレーションする
- ・切り出した丸太ごとに丸太情報(長さ・直径・曲がり)を計算する
- ・丸太情報を計算したものを集計し、Excel データで出力する
- ・丸太情報をもとに Excel データから丸太の検索が可能である

評価と課題 A 材丸太の製材所への納品

- ・対象地で造材された丸太は小林木材(株)(長和町)に運搬した
- ・運搬した丸太は小林社長が一本ずつ検品を行った(図5)
- ・製材所の方が曲がり、直径、木口品質から丸太の住宅対象木としての使用可否を判断した
- ・運搬した丸太の本数が30本だったのに対して、使用可能な丸太は7本のみとなった(表1)



図5 K製材での検品の様子

検品結果		
運搬丸太本数	30	本
曲がりによる欠落	9	本
直径不足による欠落	9	本
木口品質による欠落	5	本
使用可能本数	7	本

表1 丸太と製材品の検品結果

(2) 主伐

設計された住宅からの木拾い情報をもとに、信州大学において森林資源調査が実施され「どの住宅部材を森林内のどの木のどの位置から取る」という1対1の引き当てが行われた。また、信州大学によって当該丸太30本の造材指示(Excel)および現場準備が行われた。それをもとに、北信州森林組合は造材指示(Excel)を造材指示(StanForD .pin)に書き換えてアップロードした。乱尺造材の準備が整ったことから作業を行ったが、造材ミスで長さが足りないことが研究上許されないことから、実作業においてハーベスタのオペレータは当該丸太30本の造材時は鋸断前に下車して巻尺で実寸を測定・確認した上で造材した。

表 2 造材結果

StemKey	HarvestDate	StemNumber	LogKey	LogVolume m ³	LogDiameter mm,Top ub	LogDiameter mm,Butt ub	LogLength cm	材長 cm	末口径 cm	長さ差 cm	径差 mm	造材ID
505	2023-05-10T10:07:48+09:00	118	4	0.2109	277	311	317	314.0	31.5	-3	38	18
506	2023-05-10T10:26:21+09:00	119	2	0.3107	259	274	559	553.5	28.0	-5.5	21	5
507	2023-05-10T10:38:10+09:00	120	2	0.4146	291	341	528	524.0	32.5	-4	34	23
663	2023-05-12T11:07:04+09:00	276	1	0.319	263	344	528	526.5	28.0	-1.5	17	8
724	2023-05-12T15:34:07+09:00	337	3	0.3453	268	278	591	584.5	28.0	-6.5	12	11
818	2023-05-16T13:34:18+09:00	431	2	0.3436	288	339	469	468.5	33.0	-0.5	42	38
828	2023-05-16T14:54:34+09:00	441	1	0.1983	271	343	318	314.5	30.0	-3.5	29	17
831	2023-05-16T15:11:35+09:00	444	1	0.2881	322	413	318	316.0	36.0	-2	38	42
832	2023-05-16T15:28:13+09:00	445	1	0.4044	278	405	531	528.0	33.0	-3	52	25
851	2023-05-17T09:30:48+09:00	464	2	0.3245	263	278	566	553.5	28.0	-12.5	17	4
868	2023-05-17T10:12:51+09:00	481	1	0.2073	276	349	321	320.0	29.0	-1	14	15
878	2023-05-17T11:20:29+09:00	491	1	0.4776	312	428	532	528.0	32.5	-4	13	41
887	2023-05-17T13:22:22+09:00	500	2	0.292	256	273	529	527.5	27.0	-1.5	14	10
888	2023-05-17T13:26:56+09:00	501	3	0.3002	251	272	559	555.0	26.5	-4	14	20
819	2023-05-16T14:13:19+09:00	432	3	2.5855	753	782	560	557.0	28.5	-3	-468	3

1) 結果

自動送りを使って造材ができたのは、有効対象木30本に対し15本であった。自動送りできた15本の造材結果を表2に示す。「長さ差」および「径差」の平均および標準偏差を計算したところ、それぞれ以下になった。

- 長さ差

平均 $\mu = -3.75\text{cm}$ 、標準偏差 $\sigma = 3.04\text{cm}$

- 径差

平均 $\mu = 25.4\text{mm}$ 、標準偏差 $\sigma = 13.2\text{mm}$

2) 評価と課題

イ) ICT ハーベスタによって生成された造材データの流通利用

製材所へ納品する丸太の全部を自動送り→造材しなければ、ハーベスタ生成造材データは意味のある取引データとはならないことから、本実証事業の対象丸太は従来の取引方法(末口二乗法)で行った。並行して、ハーベスタ生成造材データを利用した場合の課題を検討した結果、以下のことが明らかになった。

- 長さの誤差はスリップやロストモーションが原因であることが多く、それらを測りなおす機能が必要。長さ不足は致命的だが樹種や伐採時期によっては頻発する現象であるため、作業時間の低減には自動でリトライできる機能が必要。

- 長さの誤差の平均値はハーベスタのキャリブレーションを実施することで補正が可能。概ね表示値に対し実寸が短くなる一方向誤差で、バラツキは $3\sigma = 9.12\text{cm}$ であることから、従来の流通において「伸び代 10cm」と言われている常識の範囲内に収まる。
- 末口径の誤差の平均値も長さと同様にハーベスタのキャリブレーションで補正できる。しかし、バラツキに関しては表示値に対して実寸が小さくなると従来の取引では NG であることから、ハーベスタのキャリブレーションは末口寸法を小さめに表示する設定にせざるを得ず、 $3\sigma = 39.6 \div 40\text{mm}$ となり、2 径級ばらつく可能性がある。
- 木材市場等で設備されている選木機は、末口を 2 次元測定するセンサにより径を判別する。一方、ハーベスタの径の測定は丸太を掴んだときのローラーや爪の開度をエンコーダーで測定することから、楕円形の丸太を掴んだ場合、同じ丸太でも掴み具合によって表示される径は変わる。選木機や人手による検知と比較して、ハーベスタの径の測定方法では精度に限界がある。

結論として、ハーベスタ生成造材データを従来の流通への利用を考える場合、寸法精度、特に末口径に関して現状より高い精度が求められる。StanForD2010 にはキャリブレーションデータの蓄積による精度向上の仕組みがあり、日本での運用による径の精度向上が期待される。

ロ) 本事業での利用

本事業においては、立木と住宅部材の 1 対 1 の引き当てという、従来の丸太生産よりも厳しい条件が課され、その結果以下のことが明らかになった。

- 対象木への造材 0 点マーキングおよび ID の付与は必須。実験ではなく事業として行う場合、これらの作業をコストが掛からないようにしなければ採算が合わない。ホロレンズなど、拡張現実のための設備が必要。逆に、これができれば造材指示はホロレンズへ展開し、造材データは森林資源調査と合わせた完了信号をホロレンズから送れば良いため、StanForD 規格のハーベスタは必ずしも必要ではない。ただし、拡張現実には高精度位置情報が必須で、現段階では十分とは言えないレベルであるため、技術開発が待たれる。
- 1 対 1 の引き当て（林内の「この木の、この部分」から住宅の「ここの部材」を取る）は、製材工程で内部品質が NG の場合、造材した丸太は原則として採算が合うように販売できない。従来の丸太取引は、買手は現物を確認したうえで品質リスクを負って購入する。品質諸条件の適合判定は、ハーベスタオペレータの造材時の品質チェックスクリーニングにより実現しており、本実証事業の仕組みでは、オペレータによるスクリーニングを行えず、品質諸条件をクリアできなかった丸太が多数発生したことが問題となった。
- 1 対 1 の引き当ては、素材生産の工程におけるミスやロスが考慮されていないため、立木の状態で内部品質まで確認できない限り成立せず、その技術開発が必要と思われる。1 対 1 の引き当てではなく、森林資源調査段階で「A という部材が今回

伐採の林分から〇〇本取れそう」という情報をもとに発注し、それを受けて素材生産者は対象木の品質を確認しながら造材していく、という方法が素材生産の立場から今の技術レベルでの現実的な方法といえる。

StanForD2010 に関しては、上記、生産者の立場からの現実的方法で素材生産する場合、活用の可能性がある。つまり、今回の実証事業では伐採林分・生産者（作業班）・納品先が全て1箇所であったため、丸太の搬送は単純だったが、これが多対多になった場合、建築工程における確認申請から上棟までの期間での材料調達のリードタイム短縮に役立つと思われる。StanForD ハーベスタは注文を受けて丸太にIDを付与することができ、IDを付与された丸太は発注元へのルートが自動的に定められることから、流通は人手を介さずとも自動的に行うことができる。現物が到着する前に後工程の準備にかかることができ、リードタイム短縮が期待できる。

(3) 流通・販売

1) 森林と建築のデータ連携による実棟建設

ウッドステーションは、建築部材リストを基に製材と丸太の最適な木取り表を作成し、森林と建築のデータ連携による実棟建設を行った。実際の作業としては、国興（工務店）との打ち合わせ、大型パネル図の作成、木取り表の作成、製材の検品、大型パネル製造を行い、松本市で貸家2棟を上棟した。この際、川上とのデータ連携に関する調査および国産材の流通改善に関する調査を行った。

国興（工務店）との打ち合わせでは通常よりも数か月早い段階で意匠図を確定させ、必要になる木材のおおよその数量を確認した。これはカラマツ材の乾燥に要する時間が長く、早い段階で意匠図を確定させなければ、木取り表の作成が伐採までに間に合わないためと判断したからである。木材のおおよその数量を信州大学に伝え、対象の伐採地で木材が確保できることを確認できた後、株式会社タツミ（プレカット）と打ち合わせを行い、プレカット図を確認させた。

大型パネル図の作成はウッドステーションが開発したソフト(WSPanel)を使用して行った。WSPanel はプレカット図を入力することにより、大型パネル製造の際に必要な着工指示書および建築部材リストが生成される(図 6)。建築部材リストは必要になる木材の断面寸法・長さ・数量を詳細に捕捉することができる。

木取り表の作成は早稲田大学の高口研究室と共同で行った。ここでは木材の歩留まりを最大化することを目的に製材と丸太の最適な木取りを検討した。まず、建築部材リストにある部材情報を断面寸法・長さごとに整理した。次に、カッティングストック問題というアルゴリズムを用いて、残材が少なくなるように製材の長さを最適化し(図 7)、必要な製材の数量を算出した。最後に、丸太の径級ごとに木取りを最適化し、必要な丸太の数量を算出した(図 8)。歩留まりの改善は1.0～1.6%となった。断面木取りの最適化については小林木材株式会社(製材)に聞き取りを行った。算出した丸太の径級と長さごとの数量を信州大学に伝え、森林資源データとの突合が行われた。

製材の検品では国興・タツミ・信州大学・ウッドステーションが小林木材に集まり、製材の使用可否を判断した。データ連携に基づいて伐採から製材までが行われたが、この間約9割の木材が使用不可と判断されており、残っていた14本の製材について、検品を行った。結果としては9

本が使用可と判断された。使用不可と判断された 5 本については曲がり・ヤニ袋・死節などが原因として挙げられた。

プレカットおよびパネル製造では使用可と判断された 9 本のカラマツ材に加えて、一般流通材のカラマツ材を調達した。プレカット・金物取付を実施した後、大型パネル工場に搬入し、パネル生産を行った。材の特性上、割れやヤニが生じるものがあったが、全てのパネルが検査を通過した。

上棟は 11 月 9 日に一棟目、11 月 11 日に二棟目が行われた(図 9)。2 棟ともに約 7 時間で一次防水まで終了し、同等の大型パネル物件と比較すると、施工スピードが速いと言える結果となった。

階層	施工連	枝番	種類	寸法1	寸法2	寸法3	数量	単位
1階壁	1	2	芯材1	105	30	1715	1	本
1階壁	1	2	芯材2	105	45	212.5	1	本
1階壁	1	2	芯材3	105	30	212.5	4	本
1階壁	1	2	芯材4	105	45	1715	1	本
1階壁	1	3	芯材1	105	45	705	1	本
1階壁	1	3	芯材2	105	45	2070	1	本
1階壁	1	3	芯材3	105	30	2501	1	本
1階壁	2	1	芯材1	105	45	350	1	本
1階壁	2	2	芯材1	105	45	350	1	本
1階壁	2	3	芯材1	105	45	1715	3	本
1階壁	2	3	芯材2	105	30	1715	1	本
1階壁	2	3	芯材3	105	45	644	1	本
1階壁	2	3	芯材4	105	45	391	3	本
1階壁	2	3	芯材5	105	30	1376	2	本
1階壁	2	3	芯材6	105	30	644	4	本
1階壁	2	3	芯材7	105	30	391	4	本
1階壁	2	3	芯材8	105	45	1376	3	本
1階壁	3	1	芯材1	105	45	1715	2	本
1階壁	3	1	芯材2	105	45	1615	1	本
1階壁	3	1	芯材3	105	30	1715	1	本

図 6 建材部材リスト

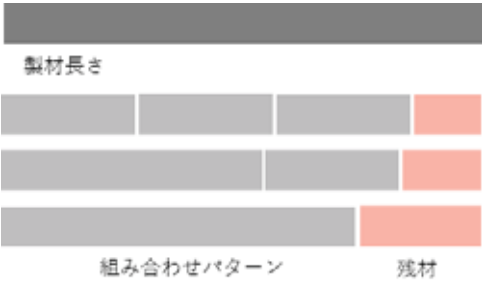


図 7 カッティングストック問題

丸太リスト		
長さ	径級	本数
〇〇mm	〇〇mm	〇本
〇〇mm	〇〇mm	〇本
・	・	・
・	・	・

図 8 丸太リストのイメージ



図9 上棟

2) 森林と建築のデータ連携による実棟建設の評価と課題

通常よりも数か月早い段階で意匠図を確定させるという制約は関係各所との調整をやや難解なものとし、従来よりも多くの打合せを要した。これについては国産材流通の改善という観点から、樹種がカラマツに絞らず、スギやヒノキに応用していけば十分解決できる課題であると考え。大型パネル図および木取り表の作成ではデータ間の連携において課題が見えた。建築サイドでは建築部材用加工機を動かすインターフェースがあり建築図面データ～加工データの連携可能だが、川上サイドではインターフェースがなく建築データとの連携は困難であった。川上から川下まで一気通貫なデータ連携が可能なソフトの開発が必要であると考え。また、歩留まりの改善は1.0～1.6%に留まったが、断面木取りにおいて辺材の活用を考慮できれば、より高い数値の改善が見られると考えられる。製材の検品では関係者から次の課題が挙げられた。カラマツ材は曲がり・ヤニ袋・死節などの欠点が要因で建築用材として敬遠され、使用する場合は無垢材ではなく欠点を除去した集成材で使用する為、無垢材として使用可能な研究と開発が必要である。また、今回製材した小林木材では丸太の産地を絞り、独自の乾燥ノウハウと時間を掛けたことで安定した品質であったが、他多くの製材所で安定した品質の材を供給できる体制を整備し、建築用材として認知されカラ松が建築用材として一般化できるかが課題と考える。これらの課題を解決され、建築データをもとに最適な木取りデータを川中・川上と連携することで、川中・川上は需要の見えないプロダクトアウト型から需要に応じたマーケットイン型の供給ができ、無駄な中間流通を介することのない新たなサプライチェーンの可能性はある。

3) 林業に関する ICT 活用の実態調査

森林連結経営は、川上と川下のデータ連携におけるコスト削減と山元還元策を提案するため、「林業に関する ICT 活用の実態調査を行った。森林組合や林業事業体に対しては、主にリモートセンシングによる森林資源調査や GIS 等を活用した森林管理がどの程度実施されているか、他に集材機や下刈り機の遠隔・無人といったその他の ICT の活用状況について聞き取りを行った。行政には、森林クラウドの機能や利用方法について聞き取りを行い、活用を進める組

織があれば紹介を依頼した。約 50 件の聞き取り調査により、多くの知見を獲得し、以下のような仮説を立てた。

イ) 林業の多面的で複雑な実態から普遍的な要素に基づくパターンを拾い出すことは可能

林業は地域によって同じ産業とは思えないほど大きく異なる。北海道・東北や九州とそれ以外の地域では、林業事業体の規模、県内の他産業との比較における位置づけ（重要性）、就業者の待遇、山主が期待できる利益などが全く異なる。例えば、1ha の杉林を皆伐して山主に還せる金額が地域によって 40 万円から 200 万円というように大きな開きがある。県内において林業の重要性が相対的に低い場合、予算や人材の制約を受けることは避けられない。更に樹木の成長量・地籍調査の進捗率・人工林と天然林の比率、など多くの要素が絡み合い、隣り合う自治体でも事情が異なるモザイク様の実態がある。しかし、詳しく調べていくと、上記のような指標から幾つかのパターンを抜き出すことは可能と考える。それぞれのパターンとその度合いに即した ICT 導入方法がわかれば、普及の有効な手段となり得る。

ロ) 大規模林業地域の ICT 導入は、当面、生産工程と流通部門に留まる

木材生産は、北海道・宮崎・岩手・秋田・大分・青森・熊本・福島の 8 道県が全体の約 54% を占めている。このような地域では既存の生産・流通システムが強固に組み立てられており、中抜きのような劇的な変化は起こりにくい。皆伐が中心のため、資源調査へのモチベーションも低い。林地が広大な上、そこで伐採する事業者が多数入り乱れているため、資源情報を管理しようとしても、実際にはそれが可能なシステムは現時点で存在しない。撮影用のドローンは多くの森林組合が購入しているが、一部で造林補助金の申請用に使われている他は、ほとんど死蔵されている。恐らく大規模林業地域では、伐採届のデジタル化が義務化され、各自治体がそれを利用して管理するような状況を作る以外、この分野の進展は望めないと思われる。

一方、人手不足もあり、集材機の遠隔化・無人化といった生産工程や、下刈り機の自走化など造林・保育における省力化に挑む組織は見られる。また、都市部での国産材需要の高まりに応える形で、中間土場以降の木材流通に関するデータ化・システム化は進むと思われる。現状、伐採時にしか売り上げが発生しないため、単木把握などのデータ化を成長後に行う傾向にあるが、植栽時から実施することで、育林のコストを抑え、その情報をクレジット化したり、伐採事業者に販売したりすることも考えられる。

ハ) 地籍調査の未了やニーズとのズレが資源情報のオープンデータ活用を阻んでいる

オルソ画像や微地形図といった資源情報を G 空間情報センター等でオープンデータ化しているのは、栃木・東京・長野・岐阜・静岡・兵庫・高知の 7 都県のみである（林野庁研究指導課より）。経済規模が比較的大きいが、木材生産量は栃木の 10 位から兵庫の 24 位まで中位クラスの都県となっている。オープンデータ化はかなりのコストがかかるが、東京は木材生産量が 42 位でも潤沢な予算があるため実施されている。一方、高知県は県内総生産で全国 46 位かつ予算規模の小さな県であるが、林業が重要産業であることから実施していると推測される。高知県では自伐型林業の就業者が増えているが、この事と関連があるかもしれない。

しかし、地籍調査が進んでいないことが、活発な利用の妨げになっている可能性が高い。例えば栃木県の場合、スマート林業推進協議会を作って資源情報を整備したにも関わらず、製材

所と資源とのマッチングを行っても、地籍調査が済んでいないため実際にはほとんど活用できないという声があった。地籍調査の進捗率は、栃木県：25% 東京都：25% 長野県：39% 岐阜県：18% 兵庫県：30% 高知県：59% 静岡県：25%となっている。

岐阜県では、県庁にオープンデータを活用する森林組合や林業事業体を紹介して欲しいと依頼したが、該当組織が無いという回答であった。飛騨市森林組合に聞き取りを行ったところ、県のデータは画像が粗いため、タワーヤーダーの設置に必要な情報を得るために市内の事業者に依頼してドローン計測を行っており、データの質が需要に合致していない可能性がある。実際、0.5m メッシュの CS 立体図を公開しているのは静岡県と兵庫県のみであることがわかった。

二) 林産クラスターの核になり得る森林組合は全国に点在している

森林組合の中には、農林中金の「森力（もりぢから）基金」などを活用し、あるいは自治体の協力を得て、航空レーザ計測を行い、森林管理に生かそうとしている組織がいくつもある。長野の北信州森林組合、山形の金山町森林組合、熊本のくま中央森林組合をはじめ、毎年実施する組合が増えつつある。組合内か行政、またはその両方に地域森林の維持管理への ICT 導入に意欲的な人材がいて、力強く推進した結果と見られる。逆に言えばまだ俗人に頼った状態であり、担当者が変わると停滞してしまう恐れも否定できない。しかし、地域資源に対する責任感と、デジタル情報の活用 to 積極的という二点において、その地域は林産クラスターの核となる素質を備えていると言える。ビジネス感覚を持った人間が、山側の立場で地元の製材所などをうまく巻き込み、森林直販の実現にこぎつける可能性はあると考える。

ホ) ICT の活用に意欲的な地域の小規模事業者が複合型経営体になっていく傾向が見られる

中国木材が山林の購入を進めるなど、林産複合型経営が注目されているが、大企業だけでなく、地域に根差した小規模な林業事業体が、山林の購入や苗木生産の開始、製材やエネルギー事業への進出など、複合的な企業になっていく事例が散見される。共通しているのは、地域で生きていこうとする若い経営者または事業継承予定者が、これまで連携していた地域の事業者の弱体化や廃業を見越して、自ら手掛けることで事業を継続、あるいはより付加価値を高めた企業経営を目指す姿である。そのような企業は ICT を活用した森林管理に意欲的な傾向がある。また、管理する山林の面積が数百 ha 規模のため、Q-GIS やアシスト Z など既存の管理システムで十分対応が可能という側面があると考えられる。

へ) 広葉樹の資源調査が広域連携実現のカギになる可能性がある

広葉樹は計画的な生産に難があり、資源調査に資金を投じてでも費用を回収しにくいという課題がある。広葉樹のまちづくりを推進する飛騨市であっても、森林組合の原木生産量は 9 割が針葉樹で広葉樹は 1 割しかない。伐採・造材の機械化が難しい上にほとんどがチップか燃料になってしまう広葉樹を、それだけで林業として成り立たせることは極めて難しい。しかし、最近では外資が求める FSC 広葉樹材の供給に向け、登米市、岩泉町など認証を取得している地域が大口取引のために広域で連携しようとする動きが見られる。精密林業計測のレーザ測量と解析を利用すれば、ある程度の樹種判定が可能なので、例えば飛騨市森林組合が所有する 1,000ha

の林を調査しておけば、各地から自然に産出される広葉樹では取引先の需要に応えられない場合、不足する樹種の多い場所を選択的に伐採するといった活用方法が考えられる。

ト) 地籍調査と ICT の活用は、地籍調査の ICT 化で道が開ける

地籍調査の未了は ICT 活用以前に全国で林業振興の妨げになっている。最近、林野庁が推奨する手法を使い、Q-GIS などのソフト上で境界線を推定表示し、現地の映像によって所有者が現地を訪れることなく境界確定を行う作業が進められるようになっている。しかし、一か所の手続きに何年も要し、5 人前後の作業班で年間に確定できる面積はわずか 20～50ha 程度である。日本全国の未了地を解消するには何十年もかかり、人出不足の時代に逆行している。微地形図、林相区分、森林簿、固定資産の支払状況、それらを勘案して AI が境界線を引く、というシステムができれば、原則としてそれを採用し、不服がある場合は私費で従来どおりの確定作業を行う、という法改正が現実味を持つと考えられる。

(4) 再造林・保育

1) 皆伐後の地拵え

皆伐実施後直ちに地拵えを行った（伐造一貫作業）。バックホーを用い、枝条やごみを縞によせる方法で機械地拵えを実施した（図 10）。

2) ホロレンズを用いた植栽

地拵え後の林地について、精密林業計測・信州大学においてドローンを用いて縞寄せした位置等を計測し、カラマツコンテナ苗 3000 本/1.3ha→2300 本/ha を過不足無く植えることができるよう、同機関において GIS 上での各苗木の植え付け場所が設計された。その結果がホロレンズにアップロードされ、それを用



図 10 皆伐後地拵え結果

いて弊社現場作業員が植え付け作業を行った。具体的には、ホロレンズを装着し、ディブル（植え付け穴掘り器）で植え付け穴を掘る作業員と、その後を追って穴にコンテナ苗を差し込む作業員の 2 人 1 組で作業を行った。ほぼ同一条件での作業比較を行うため、林地の南半分は従来の植え付け方法（赤白ポールを持ち隣接苗との距離を測りながら植え付け）、北半分はホロレンズを使用して植え付けた。また、令和 6 年夏の雑草繁茂による苗木誤伐の防止およびホロレンズの精度検証のため、ホロレンズ植栽苗木には後日目印のビニールテープを巻き付けた。



図 11 ホロレンズを用いた植栽
左：穴掘り（ホロレンズ装着） 右：植え付け

3) ホロレンズによる植栽支援

- イ) 精密林業計測は、北信州森林組合が植栽を実施する際に、MR ゴーグルを用いた植栽支援を Microsoft 社の MR ゴーグルである HoloLens2 (以下ホロレンズ) を用いて実施した。植栽対象地の全体では約 3000 本の植栽が計画されており、半分は従来の植栽方法を用い、半分はホロレンズによる植栽支援を試みた。
- ロ) ドローンレーザによる計測を令和 5 年 6 月 19 日に実施した。伐採前にもドローンレーザによる計測を実施しており、地形情報を正確に取得するために伐採後の対象地で再度実施した。
- ハ) 北信州森林組合の植栽担当者に植栽計画の立て方をヒアリングしたところ、林道面積を除外した 1ha の面積に対して 2300 本を植栽し、末木枝条集積箇所は避けて植栽することがわかった。また、従来の植栽はポールの長さを使用して、植栽を進めながら斜距離を測定し、一定の斜距離を維持したまま植栽することがわかった。北信州森林組合の植栽条件に沿った植栽計画を作成した。
- ニ) まず、対象地の正確な範囲を特定するために、GNSS 受信機のネットワーク RTK で杭位置を測位した。ドローンレーザデータから作成した地形情報とドローンで空撮したオルソ画像を用いて、GIS 上で植栽計画を作成した。対象地は緩斜面と急斜面の場所があったため、斜距離が一定となるように GIS を用いて植栽間隔を水平距離で調整した。
- ホ) 植栽対象地に複数のポールを設置し、その位置情報を測位することで位置情報の基準点とした。これらの基準点および GIS で計画した植栽位置の座標情報を解析し、植栽位置を投影する AR プログラムの開発を行った。ポールを用いることによりデバイスの絶対位置と方位角を計算し、そこを基準に植栽計画点の相対位置を計算し、オブジェクトの投影を行うプログラムである。
- ヘ) 10 月 2 日から 6 日および 9 日に北信州森林組合の植栽担当者 2 人に対してホロレンズによる植栽支援を実施した。10 月 2 日の午前中に作業者がデバイスを装着して作業を行ったところ、実作業の動作に起因する誤作動が発生した。誤作動発生時には基準点に戻って校正を行う必要があったが、当初設置していた基準点数が少なく、作業地点からの距離が遠くなってしまった。そのため、基準点に戻っての位置校正により実用性が大きく損なわれていた。

- ト) そこで、10月2日の午後から3日にかけて基準点を増設し、それに対応できるようにプログラム内での基準点番号入力方法の変更を行った。同時に、誤作動の原因となっていた位置情報校正モードの起動方法についても修正を行った。
- チ) 10月4日からは修正後のプログラムで植栽支援を実施した。精密林業計測の担当者1名がホロレンズのデバイスを装着して対象地に植栽計画点を投影しながら先導し、北信州森林組合の担当者2名が先導者の指した地点に穴をあけ、植栽を行うという手順で作業を進めた。従来作業の2倍程度となる1日400本程度のスピードで植栽を実施し、週末を挟んだ10月9日の午前中までにホロレンズ植栽の対象範囲について、予定されていたすべての苗木の植栽が完了した。



図12 ドローン空撮画像からホロレンズによる植栽計画図

4) ホロレンズによる植栽支援の評価と課題

- イ) 植栽計画を作成する際にはオルソ画像を使用して末木枝条集積箇所の範囲を特定したが、現地を確認すると必ずしも一致していなかった。性能の高いカメラを使用することや曇天に撮影することで末木枝条集積箇所と地面の変化がわかりやすい写真を取得する必要がある。
- ロ) 植栽計画を立てる際には斜距離を一定とする必要があるが、GISでは水平距離を使用するため、地形起伏が複雑な場合にも容易に水平距離から斜距離を換算して植栽計画を立てるアルゴリズムの仕組みが必要である。
- ハ) また、オブジェクトの投影を長時間続けているとデバイスの自己位置推定誤差が蓄積し、計画点と表示位置の間にずれが生じた。今回の実証では基準点を増設することで対応したが、準備に時間や労力がかかるため実用性が低下している。デバイスの精度向上を期待しながら、リアルタイムに位置補正を可能とする新たなアルゴリズムを検討する必要がある。
- ニ) 従来の植栽と異なり、植栽時の作業列が判別しづらいため、計画点が投影されているにも関わらず植栽を仕損じてしまう場合や、未植栽点だと思って近づいた点で既に植栽が完了していた

などの事象が発生し、植栽作業の効率が低下してしまう状況があった。植栽計画時に作業列を振り分け投影時に色を変更する方法や、植栽が完了した地点の表示を変更する等、プログラムの修正により、作業のさらなる効率化に向けた改良が必要である。



図 13 ホロレンズによる植栽か所の表示

5) ホロレンズ装着有無による植栽結果

皆伐地拵後の林地について、精密林業計測・信州大学においてカラマツコンテナ苗 2300 本/ha を過不足無く植えることができるよう、GIS 上での各苗木の植え付け場所を設計・ホロレンズにアップロードされ、それを用いて植え付け作業を行った（2 人 1 組作業）。結果は、表 3 に示す通り平均的な植栽速度（300 本/人日）最大でも平均的植栽速度を超えることはなかった。ホロレンズの位置精度の問題により頻繁にキャリブレーションが必要で、集中して植付作業ができなかったことが効率が上がらなかった原因と考えられる。また、ホロレンズは今のところ本作業に適した形状ではないことから、安全上の問題が残っている。

表 3 植栽本数（日別・箇所別）

	植栽本数（本）	
	北側	南側
令和5年	ホロレンズ装着	ホロレンズなし
10月2日	50	200
10月3日		400
10月4日	300	250
10月5日	500	100
10月6日	600	
10月9日	107	300
10月10日		193
小計	1557	1443
合計		3000

3. 令和6年度の実行結果

① 協議会、現地検討会の開催経過

現地検討会（7/17）は、主伐地の北信州森林組合管内木島平村カラマツ林で実施した。開発目標は、作業者が下草に隠れた植栽木の位置を把握できるので作業の効率化と頭刈りによる欠損・誤伐防止である。植林地の下刈り作業は、夏場の過酷な労働作業であり、植栽木が大型草本に覆われた場合は、植栽木の頭刈りなどの下刈り欠損木の発生も起きやすくなる。そこで、国内初のホロレンズ（複合現実）による下刈り作業支援の実証を行った。令和5年度は主伐後にドローン計測で、地形情報と枝条集積箇所、植栽本数から植栽計画マップを作成し、ホロレンズに情報転送し、ホロレンズを装着した植付け作業員が植栽地にサイン表示された場所にナビゲートして植栽した。令和6年度は、再造林時に作成した植栽計画マップをホロレンズに情報転送し、ホロレンズを装着した北信州森林組合の下刈り作業員がホロレンズに表示された植栽木位置を確認して、植栽木を避けながら下刈り作業を従来方法による下刈り作業と比較して実施した。

協議会は、事務局の信州大学から参画機関にオンライン会議の開催、メール、電話で配信した。

② 令和6年度の実行結果（経過）及び取組の評価と課題

(1) 森林資源（精密林業計測・信州大学）

令和6年8月2日にDJI社Phantom4RTK(以下P4R)を使用して、長野県下高井郡山ノ内町のスギ林約0.2haを対象とした計測を行った。P4Rは位置精度の高い可視光域画像を取得する用途で使用した。対象地上空を飛行しながら連続写真を撮影し、それらの写真をSfM(Structure from Motion)/MVS(Multi View Stereo)処理を用いて解析することでオルソ画像を作成した。

令和6年9月25日に、DJI社M350RTK(以下M350)にレーザセンサであるSurveyor Ultra(YellowScan社)を搭載してレーザ計測を行った。レーザセンサは上空からレーザ光線を森林に照射し、反射して返ってくるまでの時間と照射方向から対象物の位置を計算する。これを1秒間に数十万点繰り返すことで対象物の形状を三次元的に復元する。今回の調査においても令和4年度の解析と同様に森林の形状を再現した三次元点群の表層部と地表部の点群をそれぞれ抽出して数値表層モデル(Digital Surface Model, DSM)と数値標高モデル(Digital Elevation Model, DEM)を作成、これらの差分を取って樹冠高モデル(Canopy Height Model, CHM)を作成した。本年度得られたデータから作成したCHMを解析し、処理を行い、立木位置、樹種、樹高のデータを得た。調査地の山ノ内町のスギ林約0.2haの精密なドローンオルソ画像上に単木で樹種分類したスギ森林資源調査の結果を図14に示す。

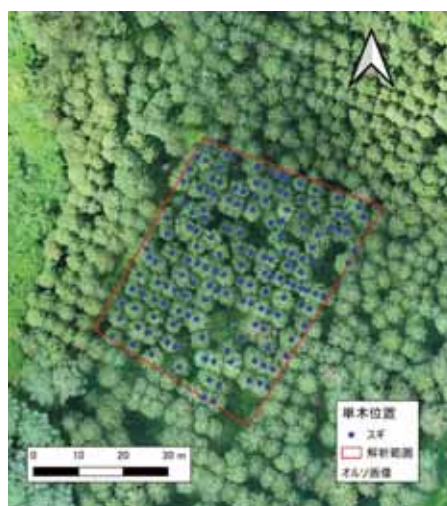


図14 スギ林対象地

モバイル（携帯用）レーザで立木の樹幹情報を取得するため、障害となる小径木の雑木を令和6年8月5日から7日に対象地内でチェーンソーを使用して下刈りを行った(図15)。



図 15 対象地伐採前(左)伐採後(中央)及び作業中の様子(右)

ドローンレーザ計測と同日に、モバイルレーザ計測を実施した。実施した内容は：

- ①反射板(GCP)5 枚を設置し、Drogger GPS を使用して反射板の位置を記録した(図 16 左)。
- ②Emesent 社の Hovermap モバイルレーザセンサを使って計測を行った(図 16 中央)。
- ③GreenValley 社の LiGrip モバイルレーザセンサを使って計測を行った(図 16 右)。



図 16 モバイルレーザ計測

取得したモバイルレーザデータは後処理を行って上で、反射板位置を使用して 3D 点群の位置合わせを実施した。処理したモバイルレーザデータとドローンレーザデータを結合し、根元から樹冠の頂点までの単木抽出を個体ごとに行い、各 10cm ごとの幹直径を計算した。

・情報収集

効率的な森林資源調査に資する情報の収集のため、令和 6 年 9 月に東京ビッグサイトで開催された FORESTRISE 2024 に「新しい林業」に関わるドローン、レーザ計測、AI のスマート林業、ICT ハーベスタなど先進的な林業機械の開発に取り組む林野庁、企業とスタートアップ、国公立森林研究機関、林業関係団体による出展・セミナー・講演があり、担当者と直接打合わせと意見交換を行った。

・森林資源調査の流れ

1) 単木点群の抽出

- ・ドローンレーザと地上レーザの計測点群から単木点群の抽出を実行

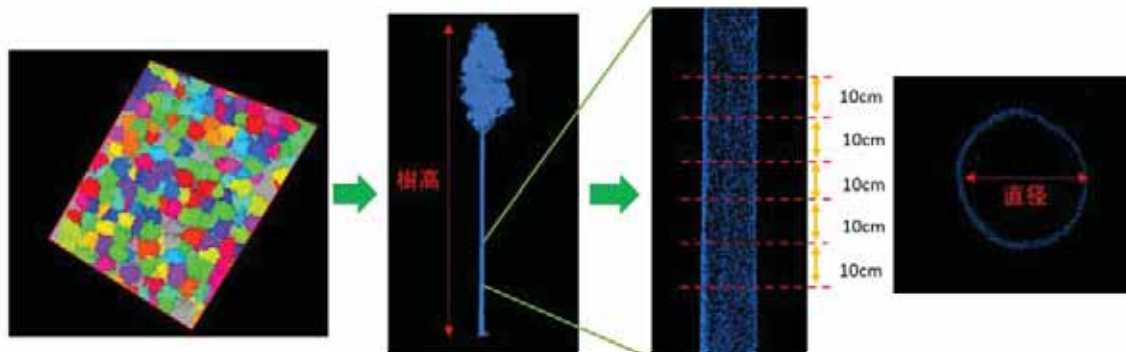


図 17 R6 対象地 3D 点群データから単木抽出 (左)、樹高算出 (中央)、各高さ直径算出 (右)

2) 幹点群の抽出

- ・単木点群の枝、ノイズを手動で分類して、幹点群のみを抽出

3) 高さごとの円盤点群の抽出

- ・幹点群から幅 10cm ごとに円盤状の点群を自動抽出 (図 17 中央)

4) 円盤点群から直径の算出

- ・円形フィッティングアルゴリズムを使用 (図 18)
- ・円盤点群から直径の算出 (図 17 右)
- ・直径の算出と同時に円の中心点の位置情報を算出 (※曲がりの算出で使用)

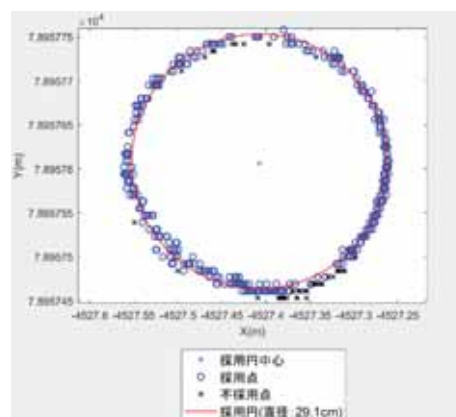


図 18 点群からの直径算出

5) スギ造材シミュレーションプログラム

- ・計測範囲内の全立木で単木ごとにシミュレーションを行う
- ・単木ごとに丸太の切り出しをシミュレーションする
- ・切り出した丸太ごとに丸太情報 (長さ・直径・曲がり) を計算する (図 19)
- ・末口直径 16cm 以下の丸太をバイオマスとして計算し (図 20)、毎木の造材シミュレーション結果を集計。範囲内全体の丸太本数と材積を取得 (表 4)

6) 評価と課題

- ・令和 4 年度のカラマツとは異なる樹種でも造材シミュレーションを行うことができた

・シミュレーションと間伐材の実測値の比較を行う予定である。



図 19 出力例

立木 No4 丸太長が 2m の場合、矢高が最小な造材は
元口 0.5m から末口 2.5mm で造材する

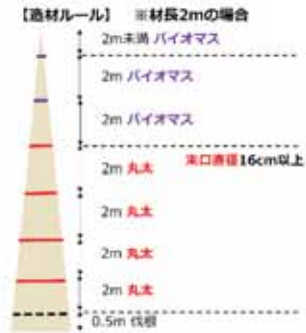


図 20 造材ルール

表 4 造材統計表

材長	材別	本数	総材積m3
2m	丸太	1166	136.4
2m	バイオマス	981	30.9
3m	丸太	763	137.6
3m	バイオマス	648	32.5
4m	丸太	536	134.0
4m	バイオマス	501	34.5
5m	丸太	441	139.7
5m	バイオマス	374	34.5

- (2) 主伐 (北信州森林組合)
令和 6 年度は実施していない。
- (3) 流通・販売 (森林連結経営)
令和 6 年度は実施していない。

(4) 再造林・保育（北信州森林組合・精密林業計測）

ア 準備（精密林業計測）

令和 5 年度に実施したホロレンズを用いた植栽事業に引き続いて、令和 6 年度はホロレンズを用いた下刈り作業を行った。植栽した苗木位置をホロレンズを通して投影して、下草に隠れた植栽木の位置を複合現実で把握することで下刈り作業の効率化の実証と検証を行った。

1) 基準点用ポールの設置

・対象地約 1.3ha 内にホロレンズをキャリブレーションするための基準点となるポールを設置。ホロレンズは屋内用に作られたデバイスであるため、位置の校正を定期的に行う必要がある。そのため、対象地内に基準点となる 32 本のポールを設置した。

2) ポールの改良

図 21 に示すように下草の背が高く、当初設置したポールがキャリブレーションに使えないことが分かった。そのため、下草より背丈が高い 3m ポールへの差し替えを行った。



図 21 繁茂した下草

3) 下刈り作業

令和 6 年 7 月 16 日からホロレンズを用いた下刈り作業を実施した。北信州森林組合の担当者 2 名が 1 名はホロレンズを装着した状態で、もう 1 名は通常の下刈りを行うという手順で作業を進めた。また、7 月 17 日には同対象地の約 0.08ha の範囲内でホロレンズによる下刈り作業と通常下刈りの比較現地検討会を行った。

4) 評価と課題

下刈り作業からホロレンズを装着することで視野が狭くなってしまい、足元や蜂の巣等が確認できず危険を伴う作業となること、投影される植栽木位置に注意して下刈り作業を進めようとする、低木等の障害物等に当たってキックバックを引き起こす危険性が高くなること、開発したプログラムは植栽木の位置をすべて表示していたため、視覚情報が過多になり作業速度の低下を招いたとの報告もあり、作業者を中心に半径 20m の植栽木のみ表示するなどプログラムを改善の希望があった。室内のゲームで使用するホロレンズを林業現場に用いた最初のトライであり、予想された課題でもある。ホロレンズを含む複合現実デバイスの小型化・高性能・屋外使用の進展と、植栽位置の DX による下刈り作業ロボットによる省力化が期待される。

イ 実際の作業（北信州森林組合）

令和5年10月に主伐跡地へホロレンズを用いて植栽を実施したが、その後、植栽木の成長を阻害する雑草が繁茂する令和6年7月中旬にホロレンズを用いての下刈作業を実施した。主伐範囲の北側半分（図22 水色範囲）はホロレンズ使用、南側半分（図22 黄色範囲）はホロレンズ不使用で植栽したため、下刈も同様に北側半分はホロレンズ有で実施、南側半分は作業速度の比較のためホロレンズ無で実施した。

作業速度の比較は、北側・南側の各エリアにおいて1日の作業終了時に下刈の完了した範囲をGNSS測量した。また、ほぼ同条件のホロレンズ有／無試験地を準備し、7/17 午後現地検討会の際に同時に作業して速度を比較した。



図 22 下刈作業エリア
(水色：ホロレンズあり、黄色：ホロレンズなし)

1) 結果

作業日毎の下刈り完了エリアを図23に示す。また、7/17 午後の現地検討会の際、およそ15分実演した際に、同時開始／終了した結果を図23の太線範囲に示す。また、同結果の値の比較を表5に示す。

まず、作業速度の比較について、7/17 午後の現地検討会の結果は

$$\text{有／無} = 188 \text{ m}^2 / 237 \text{ m}^2 \div 0.8$$

であり、参加者の実感と同様にホロレンズ有が無と比べ8割程度の速度となった。その原因として、後日作業者に聞き取りを行ったところ、以下の回答を得た。

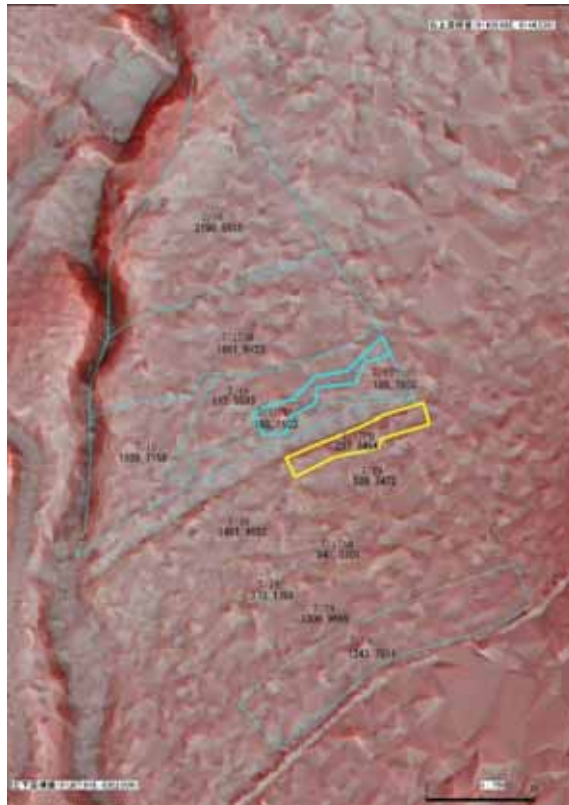


図 23 作業日毎下刈完了エリア
(太線：7/17 現地検討会実演エリア)

表 5 作業日毎下刈完了面積

			単位:m ²
	作業者A		作業者B
ホロレンズ	あり	なし	なし
7/16AM	2,190		1,481
7/16PM			
7/17AM			941
7/17PM(現地検討会)	188		237
7/18AM	812		273
7/18PM	休		休
7/19AM	1,109		1,300
7/19PM		1,243	
作業者別小計	6,100	1,243	4,232
ホロレンズ有無別合計	6,100		5,475

因として大きいと推察される。皆伐後の地拵えー植栽ー下刈作業について、工程毎の効率の追求もさることながら、前工程は後工程の効率を考えた出来形に仕上げる、ということが効率を上げるには有効と考えられる。

その他、実用化に向け作業者に聞き取りした内容を述べる。

● 植栽位置の規則性の問題：下刈は筋刈（筋状に植栽されている苗木を跨ぎながら刈る）が多く、植栽間隔が一定ならナビゲーションが無くてもおおそ苗木の位置は予測できる。一方、ホロレンズ植栽は苗木位置がランダムで、どこに現れるか予測しづらく注意を払って作業する必要がある。

● 作業手順の慣れの問題：植栽位置の規則性に関連するが、列に植栽されていれば刈払機を振る幅や体の動きも規則性があるが、ランダムに植栽されているとナビゲーションがあっても植栽位置に近づく度に刈り方を判断しなければならない。

一方、7/17 現地検討会以外の作業日においては、全般的にホロレンズ有作業の面積が無作業を上回っている。これは、作業者の能力の差もさることながら、植栽前の地拵作業の仕上がり具合の影響も大きい。表5の作業者Aは7/19 午前でホロレンズ有エリアの作業が完了したことから7/19 午後は作業者Bのサポート（ホロレンズ無）に回って作業したが、

作業者Aに聞き取りしたところ「黄色エリアは水色エリアと比べ枝や切株が多く、作業が難しかった」と述べている。

2) 評価と課題

結果から考察すると、下刈速度を評価の基準とするならば、下刈作業のナビゲーションも重要であるが、作業前の対象地がどのような状態（植わり方や地拵えの仕上がり）であるかが速度を左右する要

- ホロレンズ自体が屋内使用仕様であることによる不具合：
下刈作業は通常、梅雨～暑熱期に実施されるが、ホロレンズは防水仕様ではないため雨天時の作業が不可であること、直射日光によりオーバーヒートを起こす。
- ホロレンズの形状に伴う不具合：
ゴーグル形状であるため、汗により曇る・視野が狭く足元の石や伐根をキックバックする、ヘルメットを被ることができない、バイザーが無く跳石が危険
- 位置精度上の改善点：
ロストモーション発生に伴い、頻繁にキャリブレーションが必要。キャリブレーションのための基準点を設置する手間が必要。それでも位置がずれることから現状では苗木に印が必要。
- ソフトウェア上の改善点：
全ての苗木位置が表示されてしまうことから、近くの苗木の表示がどれかわからない。遠近がわかる表示方法が必要。

等、実用化にはデバイスの改良が待たれる。

しかしながら、作業者が装着することを前提とした場合の課題であり、キックバックやロストモーションの問題は、機械が下刈を実施することを考えた場合に当てはまらなくなる可能性がある。さらには、全自動化に向け、植栽位置を公共座標上で明らかにしておくことは必要な試みと考えられ、今後技術開発が期待される。



図 24 ホロレンズ下刈作業の様子
(左：キャリブレーション 右：ホロレンズ正面から)

経営モデル案の概要は、先端技術を武器として、山側が自ら建築の世界に足を踏み入れ、木材を建築部品として高付加価値を付けて販売することで、山に再造林と経営維持が可能な利益を還元する。既存の流通システムに頼っている、今後の住宅市場の縮小に対応できないばかりか、人手不足や燃料など各種コストの高騰による材価の低下圧力に晒され、経営の維持すら難しくなる。建築業界で開発が進む AI を活用したシステムは、建築情報を専門家の手から解放し、一般人が利用しやすい形で開示する方向に向かう。その流れを引き寄せることで、山側が自ら建築部品を作ることが可能に、容易になっていく。大規模生産・大規模流通の時代は終わり、地域内での小規模な生産、施主への直接販売が最も合理的な経済行為となることが予想される。概算見積もり AI と、木造大型パネル技術、それをリモートセンシングによる森林資源情報と結びつけることが、地域の森林と社会を守る最適モデルである。

概算見積もり AI は、ウッドステーション株式会社が開発中の工務店支援システムである。住宅建築においては、最終的に設計が固まり建築確認申請を行うまでに、設計士と施主は何度もやり取りを重ねて希望と設計上・予算上の要請をすり合わせていく。本来ならその過程で一件ずつ費用を見積もるのが理想だが、建築に要する部材の種類の多さ・複雑さから、坪単価という経験値に基づく大まかな指標を頼りに推定するしかないのが実情である。これまでは図面を読める人が、ラインマーカーを手に横架材・柱材など一本ずつ木拾いをするしかなく、人手がかかっていた。それに対し、開発中の「概算 AI」は、PDF の平面図と立面図をクラウド上にアップするだけで、短時間で必要な木材の量や寸法、実勢価格までを表示してくれる。

図 25 概算見積もり AI

このシステムは令和7年中に一般向けの会員募集を行うところまで開発が進んでおり、住宅産業の人手不足解消、また住宅コスト低減のために広く浸透していくのは必至とみられている。これを利用し、次項で解説する木造大型パネル技術を活用すれば、建築の専門家がいなくても、林業と製材が手を組んで建築部品の生産を行うことが可能になる。また、現在表示されている部材は全国に供給可能な大手メーカーの材種・価格のみだが、いずれここに「地域材」のデータを登録することが可能になる見込みである。地域材データの登録者は見積もり申請の情報にアクセスできるので、見積もり依頼件数の何割程度が実需に繋がるかというデータが出てくれば、先行需要を掴んで生産に生かすことができる。掲載する価格は自分で自由に設定でき、中間流通を省いた直送により利益を確保しやすくなる。登録者が単独の製材工場の場合は、従来どおり原木を安く買い、利益を自分だけが得ることになりやすい。掲載した製品の供給責任を果たす上でも、山側が主体的に関わり、適正価格を決めると共に生産計画に反映する仕組みを構築することが望ましい。

(イ) 森林資源情報と建築情報をつなぐハブになる木造大型パネル工場

木造大型パネルとは、簡単に言えば自由設計の在来木造建築をデジタル化&プレファブ化して施工精度を上げ、工期を短縮する技術である。これは従来から国内の大手ハウスメーカーが手掛けてきたものだが、大きく異なるのは、技術が誰にでも開かれ、オープンであることだ。この技術もウッドステーション株式会社が提供しており、住宅だけでなく倉庫やグループホーム、寺社などを含め既に数千棟の実績がある。生産パートナー会という団体に加入すれば、希望者はいつでも工場建設に関する技術移転や技能者の育成サポートを受けることができる。

大型パネルという名前でも、工場は極めて小規模で、300坪程度の上屋があれば良く、製造ラインの価格は5,000万円程度と、中山間地域でも十分に可能な投資額で済む。年間に生産できる棟数は50棟～200棟、工員は棟数により4名～12名程度が必要だが、熟練の大工がいなくても、半年程度の訓練期間でパネル図を読み、組み立てることができるようになる。

山側が自前でこの工場を持つ（製材所と共同で運営するケースを含む）意義は何か、それは木材を原木で売るのではなく、サッシや断熱材を取り付けた建築部品にまで付加価値を高めることで、取り込んだ利益を山に還せる、つまり材料の原木を高く買うことができる点にある。現在の林業はプロダクトアウトから脱却できず、需要を考えずにひたすら安く大量に供給しているが、買い手を探して遠くへ運び、地元の木材需要と全くマッチしていない。その状況を変えるのが、山側が自ら木造大型パネル工場を運営することである。

逆に、この工場が建築サイドによって建てられてしまうと、彼らは山への利益還元を考慮せず、住宅価格を安くして自分達が競争優位に立とうとする。それは森林の維持に繋がらず、いつかは資源が枯渇してサプライチェーンを回せなくなる自殺行為だが、短期的な利益のみを追求する事業者は意に介さないであろう。それを回避し、森林による持続可能な経済を成立させるためにも、山側が建築業界の足元まで進出すべきと考えられる。と言っても、実際に施主と契約を交わすのはあくまでも地元の工務店であり、大型パネル工場は彼らの仕事を奪う訳ではない。前項で記述した省エネ基準への適合や4号特例の縮小に対し、多くの工務店は自ら対応する能力を持ち合わせていないので、高品質な建築部材を提供できれば、彼らにとっての強力なパートナーになり得る。大手ハウスメーカーの建築では利益のほとんどが大都市の本社や広告代理店に吸い上げられてしまうが、地域材を使った建築は費用のほぼ全てが地域内で循環する。この事の持つ意味は、一般に考えられているよりも遥かに大きい。

(ウ) 詳細な資源情報を建築情報とリンクさせ、山を倉庫にする

近年、航空機やドローンによる森林情報の取得や解析が盛んになり、中には 0.5m メッシュの計測データを公開している県もある。樹種や本数、樹高や直径などから、相当正確な森林の蓄積量が推測でき、これに実際のサンプル調査を加えれば、ビジネスで扱うに十分な資源量の予測が可能になってきた。この情報を、先述した概算 A I や木造大型パネルの技術とリンクさせることで、木材のオンデマンド生産が初めて可能になる。

昨年、ドローン To ハウジングで試行したような、立木と建築部材の 1 対 1 の割当が実現するには、リモートセンシング技術の一層の向上を待たなくてはならないが、ある林分からどのような木材がどのくらい生産できるかという見込み量の産出は、現在の技術で十分可能である。適切な作業道の開削や、伐採後の再造林作業のし易さなどを考慮し、最適な林分を選んで伐ること、そして上棟の 2 ヶ月半前までに販売先が決まっていることが、従来の林業の生産方式とは全く異なる、「山を倉庫とし、在庫を持たない」林業への道を拓く。

(エ) 経営モデルの実現可能性に関する聞き取り結果

①自治体

山梨県中北林務環境事務所・宮崎県東臼杵農林振興局・宮崎県東京事務所・和歌山県東京事務所・うきは市役所・人吉市役所・丹波山村役場・海士町役場

各県・地域ごとに林業・木材産業の置かれた状況は大きく異なるが、共通しているのは森林組合など山側の当事者の、変化への対応意識・能力の低さへの嘆きである。行政としては、先進的なモデルを提示し、視察や研修を実施して導入できる部分からチャレンジするよう促す努力をしているが、現場は何かしら理由をつけて動かないケースが多い。ある県では山側と木材産業が互いに情報を囲い込み、連携して全体のパイを増やすという考えが全く及ばない風土があるという。しかしそのような人達を動かすのは「利益」であることを考えれば、森林資源情報を概算 AI・木造大型パネルと連携させ、大きな利益を生む経営モデルは、変化を起こすきっかけになる可能性が十分にある。うきは市・人吉市などは、もともと林業・木材産業の盛んな地域で、今後の少子高齢化、労働力不足という課題を乗り越える手法として、今回の経営モデルに注目している。両市とも、森林組合と地元の製材事業者が交流するネットワークがあり、木造大型パネル工場を設置する動きがあれば、何らかの支援が期待できる。山梨県丹波山村や島根県海士町などは、住宅不足に悩まされる現状から木造大型パネルによる公共物件の建築が進んでおり、近隣に工場ができることを望んでいる。各自治体が取得・公開する森林資源情報はレベルにかなりのバラツキがあるが、この経営モデルが実現していくにつれ資源情報の価値が認められ、UAV による独自のデータ取得なども増えていくはずである。建築の足元まで降りていくという発想は、自治体の林務担当者にとって、従来は全く考えられない取り組みであったと思う。しかし、木材の金額ベースの利用先は圧倒的に建材が占めることから、製材や住宅産業に関する知識を蓄えてきた公務員も少なくない。そのような人材には、経営モデル構築の後押しまたは下支えを期待できる。地域の木材需要を地域材で賄い、外部に資金が流出せずに循環することは、地域内の雇用を生み、林業従事者の手取りを増やす。そのような経営モデルは自治体にとって有用であり、手を上げる民間事業者がいれば、確実に行政のバックアップを受けられるという確信を得た。

②森林組合

浮羽・おおいがわ・球磨中央・北都留・南部町・佐伯広域・耳川広域

一口に森林組合と言っても、年間の出材量が 3 千 m³ 程度の北都留森林組合と、21 万 m³ を扱う佐伯広域森林組合とは全く異なる。しかし共通しているのは、その場所から動けないこと、先人の遺した森林を大切に使い、将来世代に引き継ぎたいという思いだろう。各組合とも、GIS の利用やドローンの導入は行っており、程度の差はあれ今後も利用を拡大していく方向にある。しかし彼らの多くは山の課題に対処するのに精一杯で、それを解消するために建築にリーチするという解決策はおおよそ理解の範囲を超えてしまうようだ。製材で実績を積んだ佐伯広域森林組合でさえ、大型パネルの製作に乗り出すには多くの葛藤があり、組織内の説得が必要だったと聞く。しかし、今回提案する森林直販モデルは地域にスモールサプライチェーンを確立することであり、小さな規模で始めることが可能だ。そのことを理解した山梨県の職員は製材工場を持つ南部町森林組合に、人吉市の元職員は森林資源データの整備を担う球磨中央森林組合に、それぞれ計画の検討を打診している。今やっている事からほんの少し領域を広げれば、木材を安定して高く売れる道が拓けてくる。それを概算 AI のような先端技術がサポートしてくれることを伝え、成功モデルを確立することができれば、自分達もできるかもしれない、やってみようという流れを作れるはずである。担い手が減っていく中、森林情報のデジタル化は避けられない流れなのに、現状はそのコストを上回るメリットが見えず中々普及していかない。建築データとのマッチングにより大きな利益を生むことが分かれば、情報のデジタル化が進み、将来の森林整備にも役立っていくと思われる。

③素材生産・造林事業者

サンエイ緑化・大阪林業・大澤林業（十勝）・木人舎（人吉市）

林業を営む民間事業者は生き残りのために、森林組合に比べれば遥かに日常的に、新たな技術や仕組みに挑戦している。そうでない事業者も多いが、彼らはいずれ働き手を失い、市場から退出を迫られるだろう。昨年の報告書でも指摘したように、意欲のある中小の事業者は事業領域を拡大する傾向にある。従来の事業の規模拡大だけでなく、素材生産事業者が山を買ったり、苗木生産を始めたりして、後継者難などによる地域の分業体制の崩壊に備えつつ、固定費率を下げようとしているようだ。そうした事業者は、森林と建築を結ぶ経営モデルにも関心を示し、自らの参画の可能性を検討する。経営者が高齢の場合は難しいが、代替わりした後継者や、新規に起業した経営者ならば、利益追求の観点からも冷静に実現可能性を探っていくはずだ。特に人吉市の造林事業者は、再造林の遅れという地域課題を自ら解決するために市役所を辞めて起業しており、木造大型パネル工場が地域材の地域内利用の起爆剤になることに期待して、金融機関も巻き込み、事業の検討に着手している。この地域は豪雨災害による復興需要が継続しているが、そのほとんどを県外の事業者が受注し、地元にお金が落ちないことに、彼は憤りを感じている。しかも近隣の八代市には中国木材の工場が進出予定で、地域の林業の主体性が失われ、経済的に隷属するようになる懸念もある。そのような地域にとって、この森林直販モデルは福音とも呼べるものだろう。造林のデジタル化も視野に事業展開をしようとしており、森林と建築のデータ連携とも親和性が高い。

④木材産業

平川木材工業・マルジョウ・堤木材（うきは市）・藤本製材（岩手）・サンケイ（日向市）

住宅産業の縮小を最も危機的に捉えているのは、この製材・木材加工事業者のようだ。木造住宅の着工棟数が落ち、構造材だけでなく内装材を作っていた事業者も打ち手を見出せないでいる。ウッドステーションの塩地会長がうきは市で講演した際も、多くの製材事業者が参加して

いた。彼らはある程度建築の世界を知っているだけに、自らが建築部材の生産を手掛けることには慎重な姿勢を見せる。それでも他に有効な解決策が見えないため、変化を好まない森林組合の背中を押しながら、森林直販事業の実現を模索しているようだ。その点、岩手の会社はストレートに大型パネル工場の建設を目指し、事業パートナーを見つけようと奔走している。地元の森林組合や民間の素材生産事業者など、事業に賛同し信頼できる相手が現れれば、すぐにも事業化に乗り出すと思われる。宮崎の企業は、中国木材という巨大な工場と共存するため、小径木を無駄なく加工して独特の集成材を作っている。原料の仕入れ値は安くても、手間がかかる分、少しでも高く売る工夫を重ねている。住宅部材の製造に関われば、加工の自由度を活かして内装に自社製品を供給でき、大きな利益を上げられる可能性があるので、関心を示している。

⑤自治体・林業事業体(長野県内：信州大学)

本件モデルの実証地が所在する長野県内においても、約 20 市町村（長野市、松本市、伊那市、大町市、上田市、木曽町、飯田市など）と林業事業体を訪問して、「新しい林業」経営モデル構築と長野モデルの説明と聞き取りを行った。ドローン計測による効率的な森林資源調査法、川上と川下のデータ連携による山元還元策に関心が高かった。一方で費用対効果の面から実証にはまだ課題が多いことも説明した。

⑥建築関連事業者

ほしかわ工務店・剛工務店（群馬）・森ビル・田中工務店（東京）・天野保建築（山梨）・サトウ工務店（新潟）・環境計測（京都）

ヒアリングを行った事業者は全て木造大型パネルの理解者であり、多くは発注者や施工経験のある工務店である。彼らは大工の負担を軽減し、施工精度の高い高性能な住宅を供給するため大型パネルを支持している。その上、地域材が少なくとも国産材を積極的に使おうとする事業者でもある。最近、建築側が山側に歩み寄る姿勢を感じるが増えた。群馬県の工務店は「もくしるべの会」を結成し、地元の林業・木材事業者と交流して山の事情を知ろうと努めている。群馬県は県森連が中心となって木材需給のマッチングを推進しており、山側が資源情報のデジタル化を進めれば、森林と建築のデータ連携に発展する下地となり得る。森ビルは浜松市の委託事業「天竜林業イノベーション推進事業」を静銀経営コンサルティングと共同で進めており、山側の当事者が経営管理能力を向上させるための教育機会を提供しようと考えている。従来の事業領域に留まらず、山の資源情報を整備して木材を高く売る仕組みを創ろうとする人材が育っていく期待が持てる。多くの工務店が、2025 年 4 月からの法改正が実需にどのように影響するのかが見えず、着工棟数の減少に怯える中、ここに挙げた人々は従来から高機能住宅を手掛け、新技術に果敢に挑戦してきた。そのような建築関係者が口を揃えて、概算 AI によって業界が大きく変わっていくこと、木造大型パネルが地域材の活用役に役立つことを認めている。松本で実施したような、原木と部材を 1 対 1 でマッチングさせる試みは時期尚早だとしても、リモートセンシングによってある林分の材積や品等が予測できれば、建築データを連携させ、市場に出すよりも遥かに高い価格で取引できるだろう。木材利用は住宅に限らない。環境計測という会社は、気象データなどの計測機器を設置する局舎を、これまでの鉄とアルミから木造に切り替えようとしている。全国に 2 万棟あるというその種の小屋は定期的に建て替えが必要で、地域の木材を活用することで、発注者である自治体に価値を訴求しようとしている。森林直販経営モデルが、住宅産業以外にも展開していく可能性を示す事例として紹介したい。

(6) 取組全般の評価と課題

本件事業の令和6年度取組全般に関して、7月に当該事業を主管する経営課で、概要説明と意見交換、現地検討会の内容と日程、雑誌「林野」への執筆など、助言を受けた。

10月と11月に本件事業の森林資源～経営モデル構築に関して、林野庁の小坂次長、スマート林業を推進する計画課、試験研究開発の研究指導課、森林集積の森林利用課と、長野モデルの取組概要の説明と意見交換を行った。森林情報のデジタル化の進展、ドローンとホロレンズによる再生林・保育下刈りの省力化、ICTハーベスタの乱尺造材など「新しい」林業で取り組んだドローンの森林資源調査、川上と川下のデータ連携、デジタルトランスフォーメーション(DX)について、林野庁の他事業との連携にも期待しているとの意見をいただいた。

4. 実証事業の総括

令和4年度から令和6年度の3年間の実証事業の総括的な取りまとめを記す。

(1) 森林資源 (精密林業計測・信州大学)

令和4年度から5年度にかけてはドローン to ハウジングを軸として、信州大学・精密林業計測によるカラマツ林の計測と造材シミュレーションの実施をした。レーザセンサによる計測とレーザデータによる樹皮を含めた推定は比較的精度良く推定することができたものの、実際に造材したところ、樹皮が厚く材の直径が足りない丸太が多くなってしまったこと、推定値よりも曲がり材が多かったこと、製材時のヤニ壺や心材の中心位置のズレ(偏材)による材の曲がりなどレーザ計測で測定できない材質の欠点で建築用製材との1:1対応条件で要求を満たす丸太は多くなかった。令和6年度はスギ林の造材シミュレーションを行っており、今後対象地で実際に伐採を行った際に推定データと対応比較を行うことで、造材シミュレーションの事例を増やすことができる。今後は地域ごとの樹皮のデータ、材質を推定する計測方法、樹種ごとの計測時の特性などのデータを蓄積していくことで実用に足る造材シミュレーションの実現が可能であると考えられる。

(2) 主伐 (北信州森林組合)

本経営モデルにおける収支改善の手段は、主伐および再造林・保育のコストを劇的に低下させることが容易ではないことから、主伐の際に生産される丸太の内、建築用材として用いられるA材の販売価格を、製材時の歩留まり向上と流通段階における中間マージンの最小化により上昇させ、その結果としてA~C材全体の平均販売単価を上昇させて山元還元につなげていくマーケットインの実践を柱としている。

主伐によって生産されるA材の内、より多くの丸太が本経営モデルの流通に乗ることが販売価格上昇につながるが、本実証事業においては、主伐地全体のA材供給量に対して実際に建築する住宅が2棟と需要量が少なく、さらには森林資源調査における測定誤差(曲がり・径不足)や内部品質不適合のため歩留まりが低下し、最終的には現場で生産されたA・B材丸太の内、本経営モデルを適用できた材積は全体の1.1%($2.845 \text{ m}^3 / 253.44 \text{ m}^3$)にとどまり、主伐現場の目立った収支改善は見られなかった。しかし、本事業における経営モデルのカラマツ販売価格は¥26,000/ m^3 (税抜)で、通常合板用として販売する価格¥21,500/ m^3 よりおよそ20%の値上げが実現できた。適用量が増加すれば、その分、収支改善が見込まれる。

一方、本経営モデルに対応するために丸太生産・流通の各段階において手間が上昇することがあつては、本経営モデルによる利益が相殺されてしまうことから、ICTハーベスタの造材指示機能・生産報告機能を用いて作業の簡素化を図った。結果としては、森林資源調査データと建築部材のデータの1対1対応は、レーザ計測の測定誤差や丸太の内部品質、ハーベスタの測定精度の限界やオペレータの操作ミス等、不確実な要因が多いため丸太生産においては非常に条件が厳しく、また、適用材積も少量であったことから「生産量が多くて処理しきれない状況を解決する」というStanForDの強みを発揮するにはいたらなかった。今後、1対1対応から多対多対応へと発展したとき、ハーベスタのICT機能は効果を発揮するものと期待される。

(3) 流通・販売（ウッドステーション、森林連結経営）

事業総括は令和5年度取組に記載した。

(4) 再造林・保育（北信州森林組合・精密林業計測）

ホロレンズの屋外対応・新技術を用いた位置精度向上等、「新しい林業」にはデバイスの性能向上が待たれる一方、それにより機械による植栽・下刈等の全自動化も期待できる。造林作業全体での生産性向上には、後工程の効率化に寄与する最適な前工程を見つけ出していく必要がある。

令和4年度に主伐を行ったカラマツ林での令和5年度以降の再造林、保育として Microsoft 社の HoloLens2（ホロレンズ）を用いた植栽、下刈り作業の支援を行った。レーザセンサを用いた地形計測を行い、その計測データを用いて植栽位置の決定を行った。植栽、下刈りともにホロレンズが本来屋内用デバイスであることから、定期的なキャリブレーション作業が必要となり、作業全体のネックとなってしまった。また、視界が狭くなってしまうことや乗り物酔いのような症状が出てしまうという問題もあり、これらの課題に関してはホロレンズを始めとしたデバイスの性能の向上が期待される。加えて実用に関しては、ヘルメットが被れないといった問題やフェイスガードをつけることができないといった課題も挙げられた。これらの課題に関してもハードウェアの改良やアタッチメントの拡充によって改良されることが期待される。他にも、ホロレンズに投影される植栽位置についても植栽が完了したり、下刈りが済んだ苗木に関しては色味を変更したり、見えなくなったりするといったプログラムの改良も求められる。ホロレンズを用いた再造林・保育に関しても今すぐに実用化できるとは言えないが、ソフト・ハードの両面から改良を加えていくことでよりスマートな植栽、下刈りを実現することができるようになると考えられる。

(5) 経営モデル構築（森林連結経営）

今回、森林を取り巻く様々な業種の人々に話を聞く中で、当チームが提案する経営モデルは、それが有効かどうかは既に議論の余地はなく、いつどうやって実現するかという社会実装のフェーズに移っていることを感じた。日本の森林は史上例を見ない蓄積量を抱えているが、林齢の偏りは著しく、再造林率が現状のままでは数十年ともたずに枯渇してしまうだろう。大規模林業地ではバイオマス発電の勢いが凄まじく、燃料の奪い合いで買い入れ価格が高騰し、A材まで燃やされる危機が迫っている。林業が盛んでない地域は他産業との人材獲得競争に敗れ、新しいことに挑戦する意欲を持った人が更に少なくなっていく。そのどちらにも有効なのが、リモートセンシングによる森林資源情報のデジタル化、それを概算 AI で建築側に提供し、地域に建てた大型パネル工場で建築部材として成形・販売し、その利益を山の維持管理に充てるという方法である。新しい林業に取り組んだ多くのチームがコスト削減や省力化において成果を上げているが、木材価格を上げる方向の取り組みは少ない。このモデルはその点で注目に値すると考える。

Ⅲ 今後の事業の展開方向

令和 4～6 年度に取り組んだ実証事業で得られた成果、知見を今後の経常の事業展開にどのように生かしていくか、地域での普及にどのように取り組むか、今後の「新しい林業」を定着させていくための課題や期待について記す。

(1) 森林資源 (信州大学・精密林業計測)

令和 5 年度はカラマツ人工林でのドローン to ハウジングを行ったが、北信州森林組合管内で建築構造材が出材可能な高齢級スギ人工林でドローンレーザと地上モバイルレーザ計測による単木管理のデジタル在庫のデータベースを作成する。令和 5 年度の建築情報をもとにデジタル在庫からの受注、細り表作成、採材シミュレーションの机上算定による受注生産可能な対象地（当該事業のモデル林）として活用する。

(2) 主伐 (北信州森林組合)

本経営モデルでは丸太の販売価格の上昇が収益改善の柱であるが、需要側が値上げ交渉に応じるには、提供される製品の価値が現状よりも高いと認めることが必要であり、供給側は価値を付与するための活動を行わなければならない。丸太は工業製品より生産過程において不確実な要素が多く、ジャストインタイムの実現にはかなりの困難を伴うが、海外の丸太生産状況並みに近づけなければ需要側から選ばれない。材長・径級を現状よりも細分化し、在庫を持つことが解決手段の 1 つとなるが、丸太は在庫期間が長くなれば品質は劣化していくことから、立木の状態で在庫できることが望ましい。具体的には

- 林地・立木の所有関係を整理し、いつでも、すぐに作業着手できる林分の確保、そのためのインフラ整備
 - 上記林分の資源量と共に、立木の状態での品質の把握
- を行い、現状のプロダクトアウトからマーケットインへの丸太生産・販売の割合を増やし、利益を得て再造林することが重要と考える。

(3) 再造林・保育

精密林業計測は、保育経費削減に向けて継続的なドローン空撮による造林木の生育状況モニタリングと、それによって得られる造林木位置情報を活用したホロレンズによる下草刈り補助システムの開発を行う。植栽後の造林地においてドローンの飛行を行い、得られるオルソ画像に対して自動検出プログラムを適用することで対象地内の造林木位置情報を抽出し、生育状況の確認を行う。同一対象地について定期的に空撮を行うことで経時変化のモニタリングも可能となる。抽出される造林木の位置情報をホロレンズに転送して AR として表示することで、ホロレンズ装着した下草刈り作業者が下草に隠れた造林木の位置を把握できるようになるため、作業の効率化と頭刈りによる欠損・誤伐防止効果が期待できる。通常の下刈り作業との比較を行う。

(4) 経営モデルの構築

森林資源情報のデジタル化は、少子化が進む日本で適切な森林管理を行っていくために、絶対に必要な事業である。しかしこれまでは、かかる費用に比べ利益を出しにくく、多くの組織が先延ばしにしてきたと思われる。この経営モデルは、木材を高く買うことで再造林を促進し、地元雇用を生み、施主が住宅に支払う資金を地域内で循環させる。森林組合が及び腰なら自治体や製材事業者が背中を押し、共に地域を元気にしていくという協力体制を築くことが、実現のための第一歩である。既にその道を歩み始めた地域が、森林を中心とした経済的自立と永続を目指す

志を集めて成功し、全国に知られることが必要である。今後も、本モデルに関心を持つ自治体には長野モデル実証主体が引き続き取り組み内容を説明することとしたい。