

ICT ハーベスタの径級精度を検証する

利用部 資源・システムグループ 酒井 明香

■はじめに

スマート林業 EZO モデル構築協議会（以下「協議会」）は、北海道で平成 31 年 2 月に設立された任意団体です。構成員は北海道水産林務部や市町村のほか、森林組合、木材関連団体、大学、研究機関など多岐に渡っています。同協議会は、デジタル情報を用いた生産情報の管理や検知省略の試行など、北海道各地で実証に取り組んできました。その実証の中心となる新技術が ICT ハーベスタです。

ICT ハーベスタは、造材した丸太の直径と長さや細りをデジタル情報として記録し、その情報を活用する機能を搭載した造材機械です。例えば、複数の工場から指定された径級・本数を事前にインプットしておけば、その数量の丸太生産が完了した段階でオペレータに知らせてくれます。さらにクラウド上で工場側にも通知されます。山の造材状況をリアルタイムで工場と共有しているため、工場側が「長さ〇m の丸太が不足。配送希望」とクラウド上で入力すれば、直ちに山側が丸太の配送手配に入れるシステムも開発されました。このようにデジタル情報を共有することで、丸太の納期を短縮できるため、ICT ハーベスタの普及が丸太の流通に革新をもたらすことが期待されています。

ICT ハーベスタにより径級が検知された丸太（以下「ICT ハーベスタ検知（材）」）は、木口に径級が書かれていないという特徴があります。北欧で開発された ICT ハーベスタは、丸太材積全体のデジタル管理を前提としており、日本のように山土場で作業員が 1 本 1 本検尺し木口に径級を書き込む過程（以下「人力検知」）は想定していません。



写真 1 ICT ハーベスタ検知材の例

ICT ハーベスタ検知材は「16～20cm 下」「20～26cm 下」といった径級幅ごとにカラーズプレーで色分けされた外観の丸太となります（写真 1）。このように従来の丸太と異なる特徴を持つ ICT ハーベスタ検知材は、どのくらい径級測定が正確なのか、受け入れ側の製材工場等に不安が大きいことも確かです。

同様に、工場側の最新技術である自動選木機による検知（以下「選木機検知」）も、その検知方法や精度がわかりづらく、山側の不安が大きく受け入れられづらい状況が続いています。結果として、山と運材と工場の各部門で、同じ丸太に対し 2 回～4 回の検知を繰り返す、最終的には人力検知の結果を最も信頼するケースが多いようです。

この丸太検知に関わる省力化と時短化のためには、山側と工場側の双方が納得する“検知情報の正確さ”について検証が求められます。そこで林産試験場では、カラマツおよびトドマツを伐採した際の ICT ハーベスタ検知と選木機検知、そして従来の人力検知の 3 種類の径級の計測結果の差を測り、互いにどのくらいのズレがみられるかの精度検証を行いました。

■ICT ハーベスタ検知材と選木機検知材の検証

供試材として、2022 年 6 月から 7 月に伐採した厚岸町有林のカラマツ間伐材より丸太 139 本、同様に 2022 年 9 月に伐採した下川町有林のトドマツ主伐材より丸太 104 本を用いました。カラマツ伐採には KESLA 社、トドマツ伐採には Waratah 社と、各町に導入された ICT ハーベスタが用いられました。

ICT ハーベスタ検知の後に人力検知を行い、その後、丸太を紋別市に輸送し、佐藤木材工業(株)の協力を得て選木機検知試験を行いました（エノ産業製自動選木機）。伐採から検知の流れを図 1 に示します。



図 1 山から工場までの 3 種類の検知の流れ

前半部分のデータ収集は林業試験場が担当し、後半部分は林産試験場が担当しました。3種類の検知結果は、材積ではなく末口径で比較します。

選木機検知は、丸太の製材工場到着と同日に実施しました。山から工場までの運材には1か月～1か月半の時間を要したため、最初のICTハーベスタ検知から、最後の選木機検知までに大きなタイムラグがありました。そこで、選木機を通す直前にもう一度、人力検知を行い、比較にはその検知結果を用いました(図1の人力検知②)。

試験の前提として、人力検知、ICTハーベスタ検知、選木機検知は、丸太の木口が完全な円(正円)でない限りは、それぞれ計測している箇所が異なります。そのため、試験前に次のように「径級」を再定義しました(写真2)。まず人力検知による径級は、一般的な検知作業の方法を踏襲し、「樹皮なし最短径」としました(写真2の黒い実線①)。次にICTハーベスタによる径級は、協議会で設定した基準に基づき、「最短径と直交する径の平均値」としました(写真2の黒い実線と点線②)。次に選木機検知は、「レーザー測定された最小の内接円の樹皮なし最短径」としました(写真2の青い実線③)。これは今回の供試機の計測システムによります(木口付近より5箇所の断面形状をレーザー測定し、木口断面の各内接円の直径のうち最も短い径を検知する計測システム)。

通常ICTハーベスタ検知材は、木口に数字が書かれていませんが、今回の試験では、元口と末口に通り番号を記載しました。選木の工程をデジタルビデオにて2か所で撮影し、ヒューマンエラー(人為的なミスによる誤差)が起こりづらい試験体制を取りました。



写真2 3種の径級検知の再定義
(丸太末口に書かれた数字は通り番号の25番)

■カラマツ試験結果

カラマツの3種類の検知の基本統計量を示します(表1)。径級の平均値は人力検知224mmに対しICTハーベスタ検知が246mm、選木機検知が216mmでした(表1)。同様に中央値では、人力検知230mmに対しICTハーベスタ検知が252mm、選木機検知が222mmとなり、いずれもICTハーベスタ検知が最も大きく、選木機検知が最も小さいという結果になりました。これを2cm括約にして、箱ひげ図で示しました(図2: ICTHVはICTハーベスタの略)。

表1 3種類の検知の基本統計量(カラマツ:n=139)

	人力	ICTハーベスタ	選木機
平均	224	246	216
不偏分散	2984	3713	2806
標準偏差	55	61	53
中央値	230	252	222

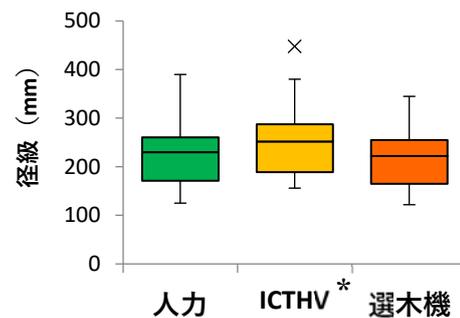


図2 3種類の検知の径級分布(2cm括約)
(* ICTハーベスタの略)

次にICTハーベスタ検知と人力検知による径級の比較を示します(図3)。2種類の検知の結果は $R^2=0.8832$ と高い相関が見られました。

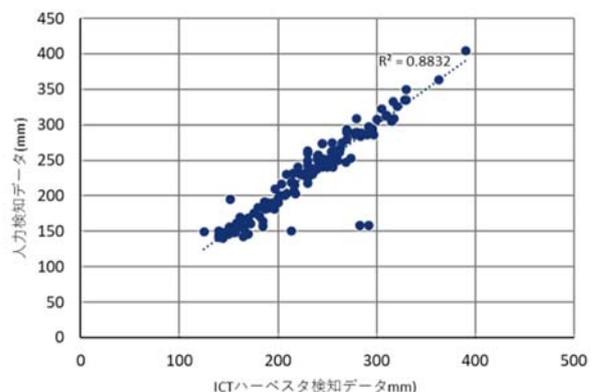


図3 ICTハーベスタ検知と人力検知による末口径級の比較(カラマツ:n=139)

■トドマツ試験結果

続いてトドマツの3種の検知の基本統計量を示します(表2)。径級の平均値は人力検知267mmに対しICTハーベスタ検知が258mm, 選木機検知が259mmでした。同様に中央値では, 人力検知266mmに対しICTハーベスタ検知が249mm, 選木機検知が258mmとなり, いずれも人力検知が最も大きく, ICTハーベスタ検知が最も小さくなり, カラマツと異なる傾向が見られました。

表2 3種類の検知の基本統計量(トドマツ:n=104)

	人力	ICTハーベスタ	選木機
平均	267	258	259
不偏分散	2474	2060	2406
標準偏差	50	45	49
中央値	266	249	258

続いて3種類の検知の2cm括約後の径級分布を箱ひげ図で示しました(図4)。

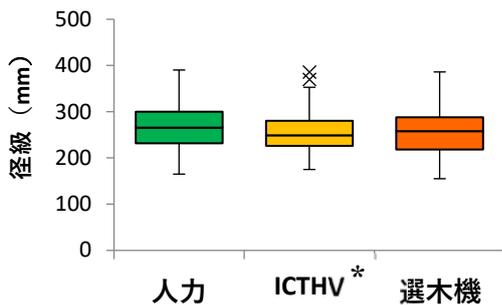


図4 3種類の検知による径級分布(2cm括約)
(*図2参照)

ICTハーベスタ検知と人力検知の相関は $R^2=0.9405$ と高く(図5), カラマツと同様の傾向でした。

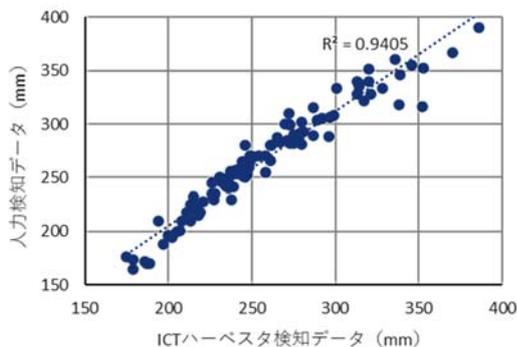


図5 ICTハーベスタ検知と人力検知による
末口径級の比較(トドマツ:n=104)

■考察

ICTハーベスタ検知と選木機検知による径級は, 十分に相関係数が高く, 分散も人力検知と大きく変わらないという結果になりました。

カラマツについては, ICTハーベスタ検知の径級が最も大きく, これは図3に示した計測箇所の違い(ICTハーベスタ検知のみ最短径でなく“最短径に直交する径との「平均径」”が出る)から鑑みても妥当な結果と考えられます。逆にトドマツについては, ICTハーベスタ検知の径級は最も小さく出ており, この原因は不明です。樹種差によるものか, ICTハーベスタの機種別の検知機構によるものかは, 今回の試験では判断ができませんでした。

ICTハーベスタ検知と選木機検知の相関は高いものの微妙な差異が生じる原因については, 現時点では次の要因が考えられます。

【樹皮厚による検知のずれ】

山土場での丸太保管期間, あるいは工場土場での保管期間が長期化し, タイムラグが大きくなるほど, 樹皮の部分的な脱落や反り返りが生じ, 検知結果に影響すると推察されます。木口付近の樹皮が脱落した場合は, 特に選木機検知では樹皮厚が自動的に差し引かれる分, 径級が小さく検知されるでしょう。逆に反り返りの場合は, 径級が大きくなるケースがあると考えられます。

【木口の形状によるずれ】

トドマツでは木口の形状が, 正円から遠く複雑な場合には, 3種類の検知による径級差が開く傾向にありました(写真3)。人力検知では短時間に最短径を見つけるのは困難であることが影響し, ICTハーベスタ検知や選木機検知と差が広がりやすいと推察されます。

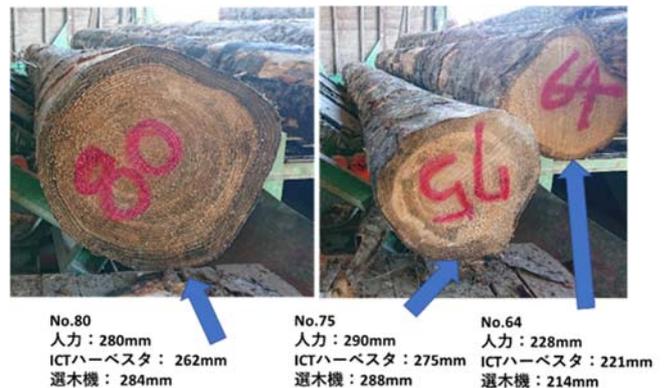


写真3 3種類の検知の径級差が開いた丸太の例

■まとめと北海道スマート林業の現在

本稿では ICT ハーベスタ検知と選木機検知、人力検知は、互いにどのくらいのズレがみられるかの精度検証を行いました。結果として、単木で見ると差が大きい丸太もありますが、全体として ICT ハーベスタの検知結果は係数で補正することで人力検知や選木機検知と同様に扱うことができそうです。スマート林業の実証事業を実施した地域の山や工場においても、「やはり精度が悪い」との感想を持つ企業もあれば、「このレベルの差なら問題ない」と判断する企業も出てきました。

今回は径級を取り上げましたが、現実の丸太の取引においては径級だけでなく、曲がりや節など形質のチェック、製材工場によってはアテや水喰いなどの材質

のチェックが必要となります。現段階の ICT ハーベスタにそれらの全てを検知する機能はないため、そこは従来どおり人の目で選木して補う必要があります。

2025年2月現在では、ICT ハーベスタの検知材積を用いた現実の取引が道北地域で開始されています。2024年11月には枝幸町で現地検討会が行われ、関係者が実際の ICT ハーベスタ造材と検知材を見学しました(写真4)。新技術を導入するには、このように実際の作業工程を関係者が共有することで相互理解が促進されるでしょう。

今後は林産試験場で径級検知以外にも、ICT ハーベスタの他の機能が丸太のサプライチェーン全体にもたらす効果を検証していく予定です。



写真4 ICTハーベスタによるトドマツ造材と山土場選木の現地検討会
(2024年11月 枝幸町)