

多様な現場に応じた森林計測技術の構築

～様々な林相における立木検出～

一　はじめに

近年、ドローンや地上レーザ等を活用した森林計測・解析技術の開発が進み、特にスギ人工林では高い精度で森林資源（立木本数、樹高、材積等）の調査が可能になってきました。しかし、森林は樹種や林齢、地形などで様相が異なり、多様な林相があることから、現場に応じた森林計測・解析技術が必要です。そこで、多様な森林に対応した森林計測・解析技術の構築に向け、アカマツ林、広葉樹林、スギ・ヒバ複層林を対象とした実証試験を行い、森林資源調査の精度や計測・解析の方法を検討しました。本報告では、各林相における実証試験の成果の中から、立木検出の精度を向上させる解析方法について紹介します。

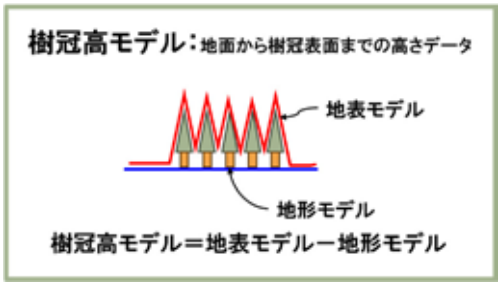
ドローンによる森林計測では、スギやカラマツなど梢端が明瞭な樹冠をしている樹種は、立木検出が比較的簡単で、検出精度は高いです。しかし、アカマツや広葉樹など梢端がはっきりしない、複層林下層木のように上空から視認できないなどの場合、立木本数の検出精度は低くなります。そこで、ドローンレーザやドローン写真のデータを用いて、立木検出精度を向上させる解析方法について検討しました。

なお、本報告の内容は青森県の令和5年度「スマート林業現場実装推進事業」、令和6・7年度「林業・木材産業デジタルシフト推進事業」において、株式会社興和（八戸市）との共同研究として実施したものです。

二　スギなどの立木検出方法

スギなどの梢端が明瞭な樹種を対象とした一般的な立木検出は、ドローンレーザやドローン写真から得られる標高データ【図1】（樹冠高モデル）を用いて、局所最大値法（Ｗｕｌｄｅｒら、２０００）などにより樹頂点を検出することで行われます。局所最大値法による立木検出は、種々のＧＩＳソフトや、最近では森林資源解析専用ソフトがリリースされており、それらのソフトを用いることで解析が可能です。林業研究所では令和4年に、フリーのＧＩＳソフトであるＱＧＩＳを用いた解析方法を整理した「ＵＡＶ写真を活用した森林資源把握マニュアル」を作成し、概要版を林業研究所のホームページで公開しています【図2】。

【図１】樹冠高モデル



【図２】マニュアル概要版



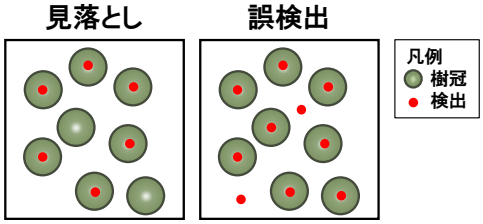
三　実証試験結果

ドローンで取得したデータの解析結果を評価するため、プロット調査により立木位置を計測してドローン解析結果の立木位置と個体対応させたうえで、抽出率（どれだけ見落としが少ないか）と正確率（どれだけ誤検出が少ないか）を算出しました【図3】。それぞれの計算式は以下のとおりです。

・抽出率＝ドローン解析で正確に検出された本数／プロット調査の本数

・正確率＝ドローン解析で正確に検出

【図３】ドローン解析による検出結果の評価



された本数／ドローン解析の本数

⑴ アカマツ林

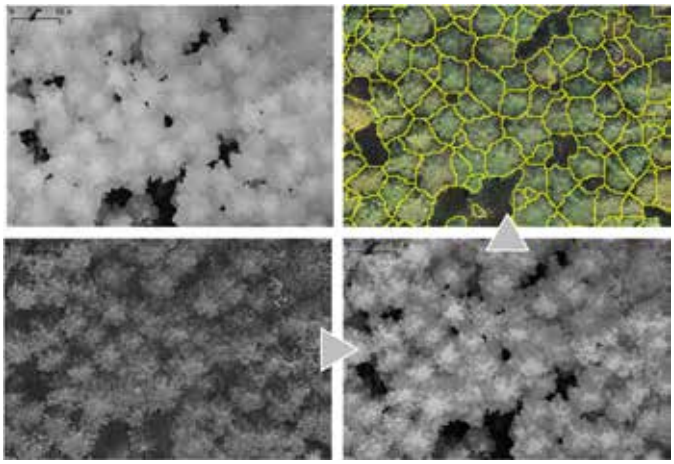
試験は、三戸郡南部町剣吉に位置する、アカマツ林（１・８ｈａ、７１年生、人工林、平均樹高２５ｍ、立木密度１９９本／ｈａ、令和５年調査時点、【図４】）で実施しました。なお、本試験地における試験結果については、林業会報第２８８号において報告していますが、本報告では立木本数のより詳細な精度評価結果を記載しています。

立木検出方法は、ドローンレーザ計測により得られた０・１ｍメッシュの樹冠高モデルに、ドローン写真計測により得られた０・０２５ｍメッシュのオルソ写真の青バンドを乗算して樹冠のコントラストを高めて、Ｗａｔｅｒｓｈｅｄ法（Ｖｉｎｃｅｎｔら、１９９１）により樹冠分割して行いました【図５】。ドローンレーザ計測にはＴｅｒｒａＬｉｄａｒ（ＴｅｒｒａＤｒｏｎｅ社）、ドローン写真計測にはＰｈａｎｔｏｍ　４ＲＴＫ（ＤＪＩ社）を使用しました。なお、以降の試験においても同様の機器を使用しています。解析にはＱＧＩＳを使用しました。また、精度評価用のデータを取得するために２０ｍ×２０ｍの方形プロットを３か所調査しました【図４】。

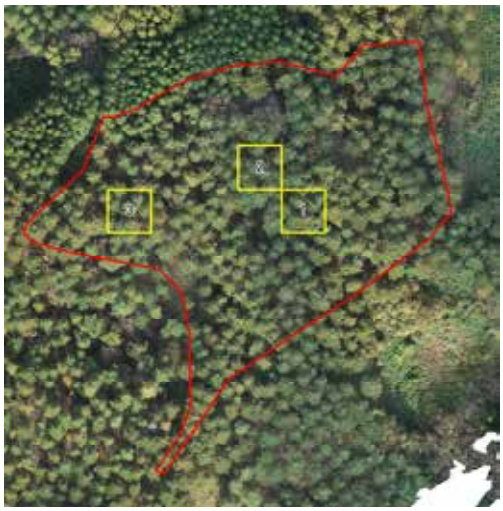
試験の結果、立木検出精度は抽出率が１００％、正確率が９２％でしたが【表１】。見落とし本数はゼロでしたが、樹冠が細かく分割され過ぎたことによる誤検出があり、正確率を低下させました。

以上から、アカマツ林においては、樹冠分割に用いる樹冠高データをどう処理するかがポイントとなり、今回、ドローンレーザの標高データとドローン写真のＲＧＢデータ（青バンド）を組み合わせることが有効ということが分かりました。また、今回のように立木密度が低い林分では上層木はほぼ見落としなく検出できると考えられます。しかし、樹冠が細かく分割されすぎたことによる誤検出がみられたため、真値よりも過大評価になりやすいと考えられます。

【図５】樹冠分割（左上：樹冠高モデル、左下：青バンド、右下：樹冠高×青バンド、右上：樹冠分割結果）



【図４】アカマツ林試験地



【表１】アカマツ林の立木検出結果

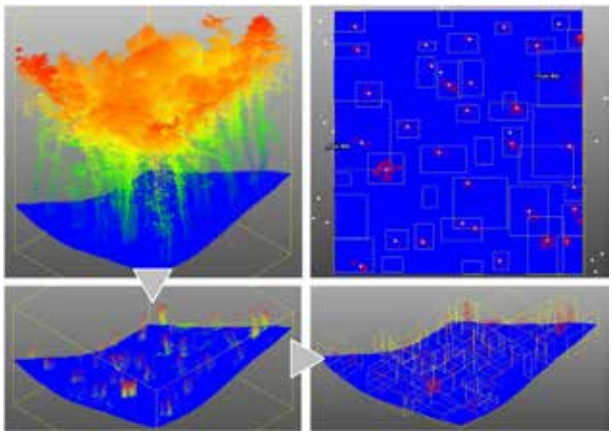
プロット	プロット調査の本数	ドローン解析の本数	誤検出本数	見落とし本数	正確に検出された本数	抽出率	正確率
1	13	13	0	0	13	100%	100%
2	10	11	1	0	10	100%	91%
3	10	12	2	0	10	100%	83%
合計	33	36	3	0	33	100%	92%

⑵ 広葉樹林

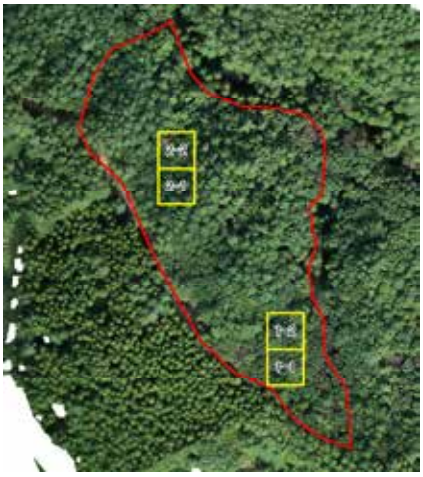
試験は、五所川原市飯詰に位置する、広葉樹林（１・７ｈａ、６３年生、天然生林、平均樹高２３ｍ、立木密度６８１本／ｈａ、令和６年調査時点、図６）で実施しました。主な樹種はミズナラ、コナラ、サクラ、アカマツです。

立木検出方法は、落葉期にドローンレーザ計測により得られた点群から地上高０～３ｍを切り出し、ＴｒｅｅＩｓｏ　Ｐｌｕｇ-ｉｎ（Ｘ-ｉら、２０２２、Ｃｌｏｕｄ　Ｃｏｍｐａｒ

【図７】立木検出（左上：ドローンレーザ点群、
左下：地上高０～３ｍ点群、右：立木検出結果）



【図６】広葉樹林試験地



【表２】広葉樹林の立木検出結果

プロット	プロット調査の本数	ドローン解析の本数	誤検出本数	見落とし本数	正確に検出された本数	抽出率	正確率
1-1	25	23	0	2	23	92%	100%
1-2	18	16	0	2	16	89%	100%
2-1	39	33	2	8	31	79%	94%
2-2	27	25	0	2	25	93%	100%
合計	109	97	2	14	95	87%	98%

ｅ内で使用可能）を用いて、立木検出しました【図７】。ＴｒｅｅＩｓｏＰｌｕｇｉｎは、点群の距離によって立木同士を分けるため、立木同士の点群間に一定の距離が必要ですが、今回解析に用いたドローンレーザの点群は、立木同士の樹冠の点群の距離が極めて近く、分離が難しかったことから、樹冠部を含まない地上高０～３ｍを切り出しました。解析にはフリーの点群解析ソフトのＣｌｏｕｄ Ｃｏｍｐａｒｅを使用しました。また、精度評価用のデータを取得するために２０ｍ×２０ｍの方形プロットを４か所調査しました【図６】。

試験の結果、立木検出精度は抽出率が８７％、正確率が９８％でした【表２】。二又など樹幹同士の距離が近い場合は１本として検出されたため、見落とし本数が多く抽出率が低く評価されました。また、誤検出は少なかったですが、下草など立木以外のものが誤検出されました。

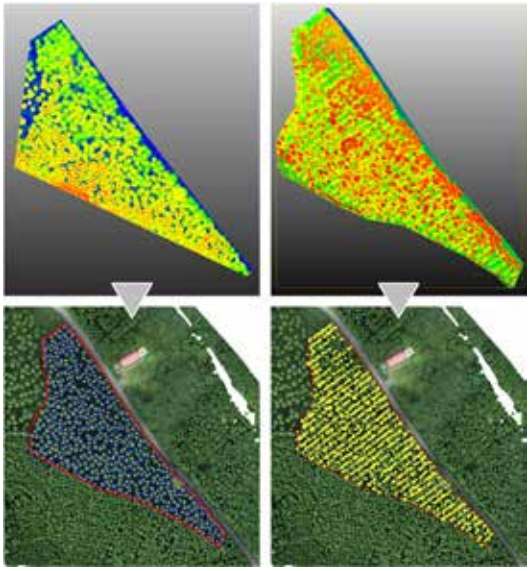
以上から、広葉樹林においては、落葉期にドローンレーザ計測を行い、地上付近の樹幹の点群データを取り出すことがポイントとなり、取得した樹幹点群データを用いて立木検出解析が可能であることが分かりました。計測時期としては、雪解け直後に行うことで下草などによる誤検出を減らすことが可能と考えられます。また、見落としを減らすためには、より精度の高い点群データを得ることや、立木検出解析のパラメータを詳細に検討することが有効と考えられます。

(3) スギ・ヒバ複層林

試験は、東通村大利に位置する、スギ・ヒバ複層林（２･２ｈａ、上層スギ７５年生、下層ヒバ２７年生、人工林、平均樹高上層２８ｍ、下層７ｍ、立木密度上層２７５本／ｈａ、下層６１４本／ｈａ、令和７年調査時点、【図８】）で実施しました。

立木検出方法は、上層のスギについては、ドローレーザ計測（地形モデル）とドローン写真計測（地表モデル）により得られた０･１ｍメッシュの樹冠高モデルを用いて、局所最大値法で樹頂点を検出しました。下層のヒバについては、ドローンレーザ計測により得られた点群データから地上高０～１１ｍを切り出し、梢端部が視認できるようにノイズを除去して、局所最大値法で樹頂点を検出しました【図９】。下層木点群の切り出しにはフリーの点群解析ソフトのＣｌｏｕｄ Ｃｏｍｐａｒｅを使用し、樹頂点の検出には、解析手順が少なく作業効率が高い統計パッケージＲのＦｏｒｅｓｔＴｏｏｌｓライブラリ（Ｐｌｏｗｒｉｇｈｔ、

【図９】樹頂点検出（左：上層、右：下層、
上：ドローンレーザ点群、下：樹頂点）



【図８】スギ・ヒバ複層林試験地



【表３】スギ・ヒバ複層林の立木検出結果

階層	プロット	プロット調査の本数	ドローン解析の本数	誤検出本数	見落とし本数	正確に検出された本数	抽出率	正確率
上層スギ	1	9	9	0	0	9	100%	100%
	2	18	18	0	0	18	100%	100%
	3	23	23	0	0	23	100%	100%
	4	23	23	0	0	23	100%	100%
	5	13	14	1	0	13	100%	93%
	合計	86	87	1	0	86	100%	99%
下層ヒバ	1	14	17	4	1	13	93%	76%
	2	21	17	3	7	14	67%	82%
	3	58	52	8	14	44	76%	85%
	4	35	34	6	7	28	80%	82%
	5	19	19	4	4	15	79%	79%
	合計	147	139	25	33	114	78%	82%

２０１８）を使用しました。また、精度評価用のデータを取得するために下層木の列に合わせた幅８ｍのラインプロットを５か所調査しました【図８】。

試験の結果、上層のスギについては、プロット単位の抽出率は１００％、正確率は９９％でした。下層木については、プロット単位の抽出率は７８％、正確率は８２％でした【表３】。下層木は、上層木の下枝などのノイズによる誤検出が多かったほか、レーザが上層樹冠に遮られたことで点群が得られなかった部分の見落としがみられました。

以上から、スギ・ヒバ複層林においては、ドローンレーザ点群から下層木を抽出し樹頂点検出することは可能ですが、上層木の下枝等のノイズによる誤検出が確認されたうえ、点群が取得できていない部分があり見落としが発生することから、抽出率、正確率ともに８割程度になると考えられます。今回のような複層林で下層木を検出する際のポイントとしては、ドローンを低速で飛行させたりするなどにより、高い密度の林内点群を取得するなどの工夫が必要と考えられます。

四　まとめ

県内のアカマツ林、広葉樹林、スギ・ヒバ複層林を対象にドローンによる森

林計測を行い、立木検出の解析方法を検討した結果、それぞれの林相に応じて樹冠分割の処理やレーザ点群データの切り出し方を工夫することなどで、一定の精度が得られることが分かりました。

しかし、これらの解析方法は複数のソフトやプログラムを組み合わせて行う必要があるうえ、現場の森林（林相）に合わせて調整と工夫が必要なことから、技術の習得・普及にはハードルが高いと考えられました。

このような中、青森県では今年度より新たに「企業と取り組む『新しい再造林』推進事業」を開始しました。林業研究所では、同事業の一環として「ドローンやＡＩを用いた森林資源解析技術に関する試験・研究開発」に取り組んでいます。

これまでの知見を活かしドローンによる森林計測技術を現場へ普及・定着させられるよう、引き続き取組を継続していきたいと考えています。

結びに、本報告の試験の実施に際しては、三八地方森林組合、北津軽森林組合、東通村森林組合の皆様に森林所有者への調査の許諾、現地案内、毎木調査データの提供等に協力いただきました。この紙面をお借りして心より感謝申し上げます。

地方独立行政法人青森県産業技術センター林業研究所
主任研究員　土屋慧

引用文献

・Plowright, Andrew,『R Package: ForestTools.』CRAN. https://github.com（2018）.

・Vincent, Luc, and Pierre Soille.『Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations.』IEEE Transaction on Pattern Analysis & Machine Intelligence 13・06（1991）: 583―598.

・Wulder, Mike, K. Olaf Niemann, and David G. Goodenough.『Local maximum filtering for the extraction of tree locations and basal area from high spatial resolution imagery.』Remote Sensing of environment 73・1（2000）: 103―114.

・Xi, Zhouxin, and Chris Hopkinson.『3D graph―based individual―tree isolation（Treeiso）from terrestrial laser scanning point clouds.』Remote Sensing 14・23（2022）: 6116.

こちらから林業研究所ホームページがご覧いただけます。

こちらから青森県産業技術センターが開設した公式YouTubeチャンネルがご覧いただけます。

令和８年度主要研究課題について

林業研究所は「地方独立行政法人青森県産業技術センター中期計画（令和６～１０年度）」における重点課題研究として、次の６つの課題に取り組んでいます。

1　ドローンやＡＩを用いた森林資源解析技術に関する試験・研究開発
　航空レーザ地形データを活用する森林計測技術の開発など

2　林業用優良林木の育種及び種苗生産技術に関する試験・研究開発
　無花粉スギの挿し木品種やヒバ着果促進技術の開発など

3　地域環境に適した早生樹等の森林施業技術に関する試験・研究開発
　早生樹の初期保育手法の開発など

4　森林病害虫の総合的対策技術に関する試験・研究開発
　ナラ枯れ被害拡大に対応する森林調査や抵抗性クロマツの開発など

5　生産過程のデータ化による効率的な木材乾燥技術と広葉樹の活用技術に関する試験・研究開発
　含水率のモニター化やナラ枯れ被害材の利用技術など

6　きのこ品種育成とＩｏＴ技術活用の栽培技術に関する試験・研究開発
　青森きくらげの品種改良など

このほか、県施策への支援や基礎的な調査研究などに取り組んでいます。