

高齡級人工林の資源量推定に関する研究（Ⅱ）

牧本 卓史

Prediction of timber volume on mature artificial forest（Ⅱ）

Takushi MAKIMOTO

要 旨

牧本卓史：高齡級人工林の資源量推定に関する研究（Ⅱ）岡山県農林水産総合センター森林研究所研報 39：27-34（2025） ドローン空撮により取得された画像を用いて、スギ・ヒノキ人工林の立木密度及び樹高を解析した時の、林況による推定精度の特性と、この解析結果を用いた林分材積の推定精度についてそれぞれ検証を行った。空撮を行ったスギ・ヒノキ人工林において、図上で設定した任意のサブコドラートにおいて、画像解析による立木密度の解析結果を地上レーザ計測装置による実測結果と比較したところ、立木密度が概ね1,500本/ha以下の林分では、高精度に密度推定ができることが明らかとなった。また、樹頂点抽出の精度が高い解析結果を使用することで、樹高についても高い精度で推定できることが示唆された。立木密度と樹高を使用して林分材積を算出できる「人工林林分密度管理図」の数式を用いて算出した林分材積においても、森林簿や過去に再調整した成長モデルと同等かそれ以上の精度で、現状の林分状態を調べることができた。このことにより、齢級が高く立木密度の低い人工林においては、撮影方法や解析の手法を工夫することで、ドローン画像に基づく森林調査が適用可能であることが示された。

キーワード：ドローン、高齡級人工林、GIS、資源量推定

I はじめに

全国的な傾向と同様に、岡山県でも、スギ・ヒノキ人工林は12齡級前後がピークであることから、若齡林が少ない齡級構成の平準化が求められている（岡山県林政課 2023）。最近では、木材需要の高まりから、皆伐の動きが活発になっているが、実効的な森林管理計画や施業の実施に当たっては、事前に林分の収穫予測を正確に行うことが極めて重要である。

人工林の資源管理については、これまでも用いられてきた森林簿や林分収穫予想表による林分状態を参照して計画的に行う必要があるが、これらの資料に使用されている成長モデルを用いた資源量推定値については、個々の林分に対する精度が必ずしも高いとは言えない。とりわけ、齡級の高い人工林では、成長モデルを調整した際の信頼区間の幅が、若齡時に比べて相当程度広く、その精度は編成時に各林分に与えられた地位級の正確性にも依存する。また、現在に至るまでの管理履歴が、標準的な人工林施業に依らない林分などでは、前述の成長モデルの信頼区間からも逸脱する林分が多くなる点も、高齡級人工林の特徴であると言える。

前報（牧本 2023）では、LiDARによる地形情報に基づいて算出した立地環境ごとに、過去に調整した成長モデルを補正することによって、精度を高める手法の検討を行った。しかし、実際の施業の設計或いは短期的な経営管理のためには、個々の林分について、極力現況に近い資源量の推定値が必要となる場合が多い。その場合、現状では、森林経営計画の策定時や施業提案に当たって、調査員が現地に赴き、標準地の毎木調査を行うのが一般的である。しかし、施業団地の集約化等に際して、標準地調査を実施することは、非常に大きな労力を要する。加えて、広大な林地の全容があいまいなまま、その施業地の標準的な調査区を見出すには、一定の知見と技術を要することから、結果的に施業前の資源量予測と実際の出材量の間に乖離が生じることがままあると考えられる。そういった状況にあって、省力的かつ効果的な標準地調査の方法の確立は、効率的な林業経営を行う上で喫緊の課題となっている。

最近では、ドローンを活用した森林調査が注目されていて、民間事業者等においてもドローンの導入が進んでいる。これらの比較的安価なドローンでは、レーザ計

測等は行えず、専ら空撮のみの機能を有するものが主流であり、森林の現況記録や、オルソモザイク画像にしてGIS上での境界管理や簡易な面積計測に用いられることが多い。しかし、人工林に成立する立木の情報については、ドローン空撮による簡易な調査方法が普及しておらず、専門の測量業者等によるレーザー計測と森林解析に依るところが大きい。従って、林木の成長や施業に伴って頻繁に変化する人工林の情報を、累次更新するためには、コスト面や即応性に課題があると考えられる。

そこで、本研究では、有人航空機による計測のような大面積の調査ではなく、ドローンを活用した比較的小面積の森林空撮画像から、目的的林分の現況を簡易に調査する手法の検討を行った。

なお、本研究は、2019～2023年度の期間で実施した単県課題「高齢級人工林の資源量推定に関する研究」の中で行ったものであり、今回の研究報告は、主にドローンをを用いた簡易な森林調査の方法について取りまとめたものである。

II 調査方法

1 調査地及び供試データ

調査は、岡山県北西部の新庄村地内のヒノキ人工林で実施した。2023年及び2024年の夏から秋に、ドローン（Matrice 300 RTK, Mavic II zoom, いずれもDJI製）で、ヒノキ人工林の空撮を行った。撮影方法は、主に国土地理院が定めた公共測量の準則に従ったが、現地の地形等によりこれに依りがたい場合は、縦横のラップ率が80%以上を下回らないように配慮して撮影した。併せて、撮影した林分の立木を、地上レーザー計測装置（OWL, アドイン研究所製、以下OWLという）で計測した。ドローンで一度に撮影する面積は、概ね3～4 ha程度とし、撮影範囲の中心付近でOWLによって0.5ha前後の毎木調査を複数実施した。撮影した画像は、SfMソフト（Pix4D mapper, Pix4D(株)製）を用いて、GSD（Ground Sampling Distance）の解像度で、オルソモザイク画像およびDSM（表面モデル、Digital Surface Model、以下DSMという）を作成した。OWLによる毎木調査データは、OWL Managerで主林木以外の不要木を除去した後、立木位置及び等高線を作成した。

解析に供する地表面モデルとしては、2018年に新庄村が実施した航空レーザー計測調査の成果を、新庄村から提供を受け、当該成果に含まれる1 mメッシュのDEM（Digital Elevation Model、以下DEMという）を用いた。

作成したオルソモザイク画像、DSM及びOWLの調査データを、QGISに読み込み、DSMとOWLデータの双方が重複するエリアから、任意に20m×20m（400m²）のコードラート60箇所を図上で設けた。DSMの持つ高さの

情報をDEMと合わせるために、道路や土場などの地表面が写る箇所の高さをそれぞれサンプリングし、その差分に応じてDSMの高さを調整した。調整後のDSMからDEMを減じて、DCHM（林冠高モデル、Digital Canopy Height Model、以下DCHMという）作成し、QGISのプラグインTree Density Calculatorで樹頂点を抽出した。

2 樹頂点抽出条件の検討

Tree Density Calculatorでは、設定したメッシュの範囲内で、最も輝度の高い地点にポイントを落としたシェープファイルが作成される。DCHMの解像度が低ければ、モデルの表面の形状は実際の林冠よりも平滑になり易く、頂点部分の明瞭さが低下する。また、樹冠が近接する林木の頂点は、抽出漏れとなる傾向が強い。逆に、解像度が高すぎる場合、林冠の形状の中に、個々の樹冠の凹凸が多く含まれ、過大に抽出される傾向が強くなる。そこで、最適なDCHMの解像度とTree Density calculatorの解析メッシュサイズのパラメータを検討するため、DCHMの解像度を5cm/px, 20cm/px, 50cm/px, の3段階に区分し、それぞれ樹頂点の抽出精度を比較した。また、Tree Density calculatorのメッシュサイズを、その林分の密度から逆算した立木の平均占有面積の0.5倍、0.8倍、1.2倍の3段階とし、次式により決定した。

$$S = \sqrt{\left(\frac{10000}{D}\right) \times p}$$

ただし

S：メッシュサイズ（Sliding window size）

D：想定立木密度（本/ha）

p：平均占有面積に対する倍率

なお、パラメータの入力に当たっては、計算結果の小数点第2位を四捨五入した。また、同一林木の重複抽出を避けるため、抽出範囲の概ね4分の1を「Snap Distance」として設定した。

まず、解像度の異なるDCHM別に、それぞれ上式の条件により抽出された樹頂点による立木密度を、GIS上で目視により判読した立木密度と比較した。

次に、抽出結果の最も良好であった解像度のDCHMについて、それぞれ10コードラートを抽出し、各コードラートからランダムに10個体の樹頂点の位置について、前述の各倍率により抽出された樹頂点と目視による樹頂点との距離を計測し、樹頂点抽出の際に設定した抽出範囲の別に、樹頂点抽出位置の精度を比較した。この時、Tree Density calculatorで樹頂点として付されたポイントが、樹冠の内側にあるものだけを当該林木の樹頂点と判断し、同一林木の樹冠内に複数のポイントがある場合においては、実際の樹頂点に近いポイントだけ

を計測した。

3 樹高推定精度の検証

前項までの解析により、最も抽出精度の良好であった解像度のDCHMを用いて、それぞれの倍率で抽出された樹頂点について、DCHMのラスター値からサンプリングした樹高を、OWLによる計測結果と比較した。位置精度の検証と同様に、樹頂点として付されたポイントが、樹冠の内側にあるものだけを当該林木の樹頂点と判断し、同一林木の樹冠内に複数のポイントがある場合においては、実際の樹頂点に近いポイントだけを計測し、その他のポイントは計測から除外した。また、OWLの計測結果と樹頂点抽出の結果による立木位置には若干の誤差があるが、配置等から同一とみなせる立木を決定して行った。なお、OWLには樹高を補正する機能が搭載されているが、本研究では樹高補正を行っていない。樹頂点の抽出位置と樹高の推定精度の関係を比較するため、樹頂点抽出範囲として設定したパラメータの内、最も実際の樹頂点と平均距離が大きかった条件と最も小さかった条件の2者を比較した。

4 林分材積の推定

中国・北近畿地方のヒノキ人工林林分密度管理図（森林技術協会）から参照した次式により、林分材積を算出し、OWLによる計測結果との比較を行った。

$$V=(0.0390819H-1.147348+8524.5H3.102942)/D$$

ただし

V： 林分材積（ $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ）

H： 上層樹高（m）

D： 立木密度（本・ ha^{-1} ）

なお、上層樹高は、「被圧木と枯死木を除く林冠木の平均」とされているが、本研究では、齢級の高い一

斉林であることから、林冠に達していない被圧木は無いものとみなし、全立木の平均値とした。

III 結果と考察

1 立木密度の推定

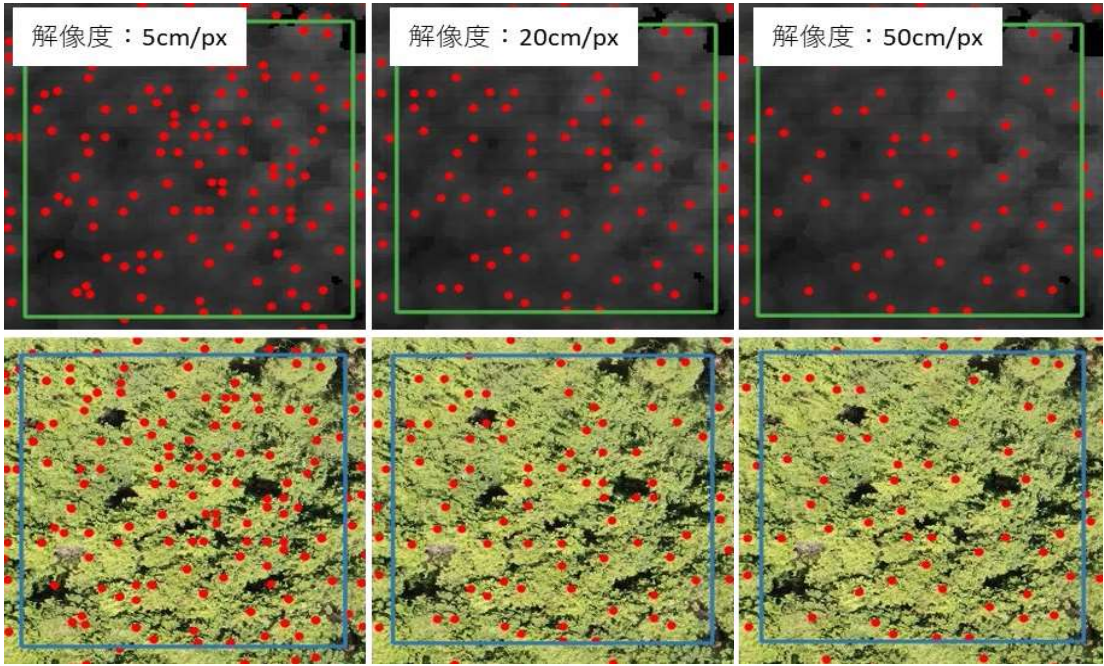
DCHMの解像度を変えて樹頂点抽出した結果を表1及び図1、2に示す。解析に供したコドラートには、平均50本の林木が出現し、その範囲は33本から72本であった。これをha当たりの立木密度に直すと、850～1,800本/haに相当する。解像度別の平均本数誤差を比較すると、解像度5cm/pxが0.8本で最も小さく、次いで、20cm/pxの-1.9本、50cm/pxの-7.0本となった。しかし、本数誤差の範囲は、解像度5cm/pxが-10～16本であったのに対し、解像度20cm/pxでは、-7～4本に留まった。最大誤差率についても、解像度5cm/pxの30.0%に対し、解像度20cm/pxでは、14.8%であった。

解像度5cm/pxで作成したDCHMでは、立木密度の多寡にかかわらず全体的にばらつきが大きく、最大30%程度の誤差が生じた。この解像度では、過大抽出となる傾向がやや強いと考えられた。また解像度50cm/pxでは、全体的に抽出漏れが多く、過小評価となる傾向が認められた。特に、立木密度が高い林分では、その傾向が顕著であった。一方、解像度20cm/pxの場合、全体的に誤差が小さく、特に立木密度が1,200本/ha程度以下の林分では、非常に推定精度が高いことが分かった。この場合においても、立木密度が高い林分では、やや抽出漏れが多くなる傾向が認められた。

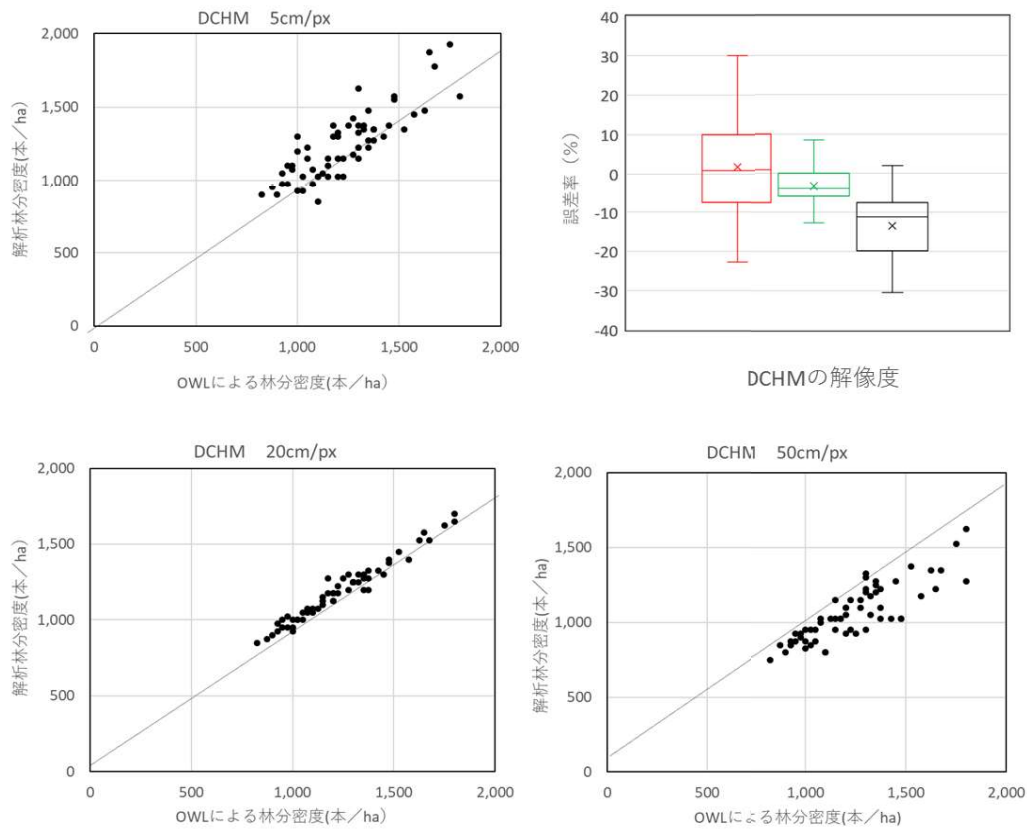
解像度が高いDCHMの場合、樹冠形状の小さな変化点を樹頂点として過誤認識する場合があるほか、主林木が存在しないギャップ等に樹頂点を付す事例が散見された。後者の点については、抽出後の樹頂点から、平均樹高よりも相当程度低い点を選択して削除することで錯誤抽出を除外できる。また、DCHMの解像度にかかわらず、立木位置の近い個体の抽出能は低いことが

表-1 DCHMの解像度別樹頂点抽出本数と抽出誤差

	コドラート内の解析平均本数				換算平均立木密度				平均本数誤差(下段：範囲)			平均誤差率(下段：最大)		
	OWL				DCHMの解像度				DCHMの解像度			DCHMの解像度		
	OWL	5cm	20cm	50cm	OWL	5cm	20cm	50cm	5cm	20cm	50cm	5cm	20cm	50cm
全体	50	50	48	43	1,239	1,258	1,192	1,064	0.8 (-10~16)	-1.9 (-7~4)	-7.0 (-21~1)	1.8 (30.0%)	-3.3 (14.8%)	-13.4 (30.5%)
1,000本/ha未満	37	40	38	34	922	1,003	939	861	3.2 (0~6)	0.7 (-1~2)	-2.4 (-4~-1)	8.7 (15.8%)	1.8 (5.4%)	-6.7 (11.1%)
1,000≦1,500本/ha	49	49	47	42	1,224	1,228	1,177	1,051	0.2 (-10~13)	-1.9 (-7~4)	-6.9 (-18~1)	0.5 (30.0%)	-3.6 (12.7%)	-13.9 (30.5%)
1,500本/ha以上	67	68	62	55	1,675	1,703	1,556	1,363	1.1 (-9~16)	-4.8 (-7~-3)	-12.5 (-21~-4)	1.3 (22.2%)	-7.1 (14.8%)	-18.6 (29.2%)



図－1 DCHMの解像度別の樹冠抽出結果の画像



図－2 DCHMの解像度別の立木密度推定精度と誤差率（上右図）。直線は $y=x$ 。

分かったが、解像度20cm／pxの解析では、ある程度立木密度の低い林分において、過大に抽出される傾向が

大幅に解消された。このことは、林冠形状のモデルをある程度単純化することで、林冠の凹凸の情報を維持

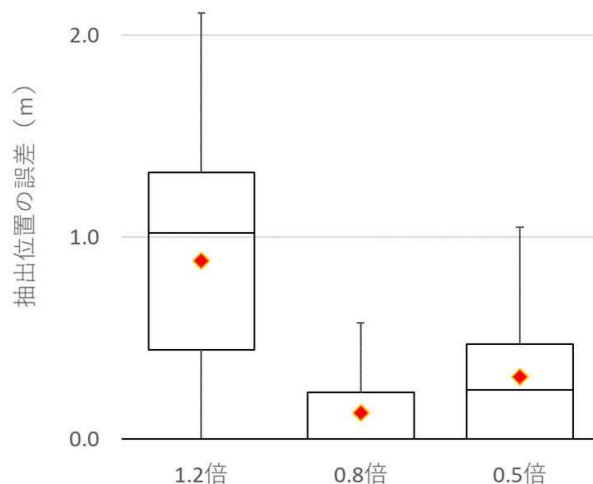
表－2 抽出条件別の抽出位置の誤差

	抽出メッシュサイズ		
	1.2	0.8	0.5
位置の平均誤差(m)	0.87 ±0.58	0.15 ±0.21	0.31 ±0.26
最大誤差(m)	2.64	0.75	1.18
誤差無しの割合(%)	20	63	31
n	114	118	114

しながら、錯誤抽出の要因となり易い細かな変化点やノイズが除去された効果であると考えられた。

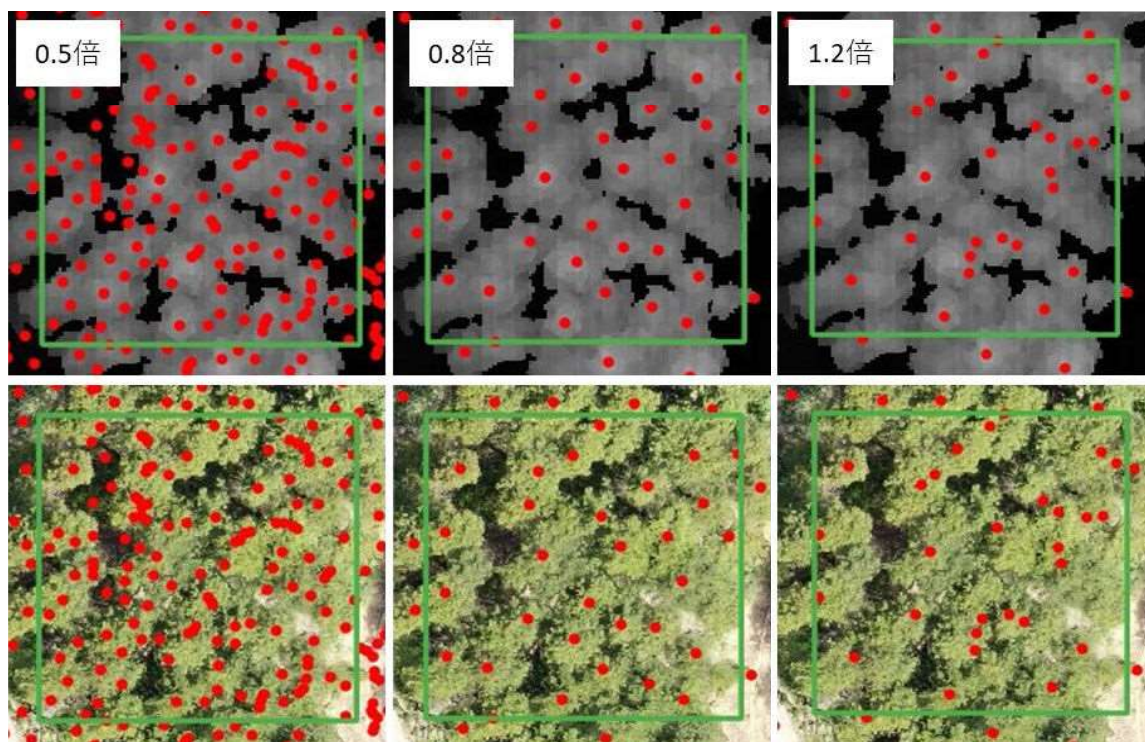
次に、Tree Density calculatorの抽出パラメータの設定による、樹冠抽出位置の誤差を表－2及び図－3に示す。Tree Density calculatorの解析メッシュサイズを、想定される立木密度から算出した林木の平均占有面積の0.5倍及び1.2倍の範囲で抽出した場合には、位置の平均誤差が比較的大きくなる傾向が示された。同時に、0.5倍で抽出した時には、樹頂点は過大に抽出される傾向があった。このことは、抽出メッシュに全く立木の頂点がない場合であっても、その範囲で最も輝度の高い点にポイントが付すことから、予め想定されたことであった。一方、林木の平均占有面積の1.2倍の時には、抽出漏れが多くなる傾向があったが、抽出範囲に複数の立木を含む場合、周囲のいずれの立木よりも樹高の低い個体が抽出漏れとなることが多かった。

林木の平均占有面積の0.8倍のメッシュで抽出した

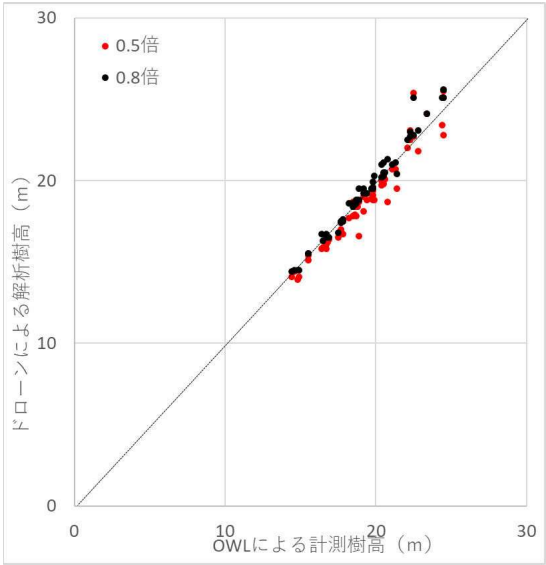


図－3 抽出条件別の抽出位置の誤差

場合、63%の立木を誤差のない正確な位置で抽出することができ、平均誤差についても0.13mであった。林木の平均占有面積の0.8倍となる設定値は、900本/haの想定時で3.0m、1,500本/haの想定時で2.3mである。同じく0.5倍となる設定値が2.3mになるのは、立木密度が



図－4 抽出条件別の抽出結果の画像（倍率は、林木の平均占有面積に対するもの）



図－ 5 抽出条件別樹高の解析精度

950本/ha前後の時であり、同じく1.2倍となる設定値が3.0mになるのは1,350本/ha前後の時である。従って、おおよその立木密度の想定をしない状態で解析を始める場合、2.5程度の設定で解析を行い、その時の抽出結果から、設定値を増減させて、最も精度の高い値に調整するのが望ましいと考えられた。乾 (2023) は、供試林分の密度とDCHMの解像度については言及がないが、設定値を1 mから5 mまで、1 m毎に変えた解析により、設定値2 mの時に本数の計数結果が最も良好で、位置の誤差は設定値を大きくするほど相対的に大きなずれの少ない結果が得られることを示した。本研究により、抽出漏れが少なく、位置の誤差も小さい解析結果を得るための、最適な解析手順が明らかとなったと考えられる。

2 樹高の推定

DCHMの解像度が20cm/pxで、樹頂点の抽出漏れが少なかった2種の抽出条件による樹高の推定精度を比較検証した。いずれの試験区においても、概ねOWLによる実測値に近い解析結果が得られた(図－ 5)。想定立木密度から逆算した、各立木の平均占有面積の0.8倍の範囲を抽出条件とした場合、樹高の平均誤差は、0.1 m(範囲：-1.0～2.6m)であった。同じく0.5倍で抽出した場合の平均誤差は、-0.5m(範囲：-2.3～2.9m)であった(表－ 3)。

前述のとおり、0.8倍の場合、位置の誤差が極めて小さいことが分かったが、樹頂点を正確な位置で推定できたことが、樹高の推定精度に寄与していると考えられた。一方、解析された樹頂点の位置が、実際の樹頂点の位置からずれていると、必ずそのポイントのモデル

表－ 3 樹高の推定精度

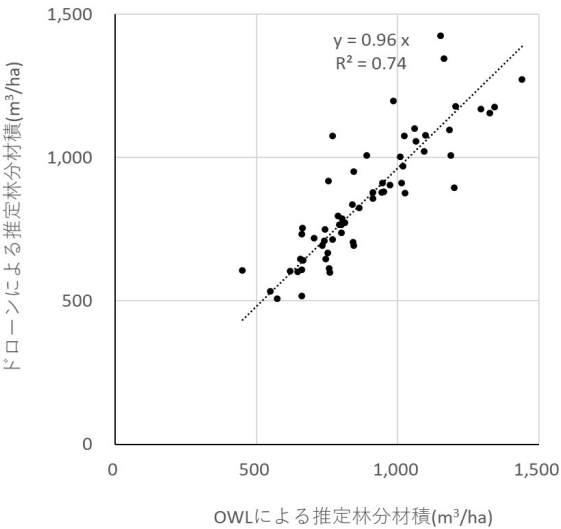
	UAV_0.5倍	UAV_0.8倍
平均誤差	-0.5 ± 0.8	0.1 ± 0.5
最大	2.9	2.6
最小	-2.3	-1.0
平均誤差率	-2.7 ± 3.6	0.3 ± 2.4

の持つ高さ(DCHMのラスター値)は小さくなる。このことが、0.5倍区の平均誤差が相対的に小さくなることに由来していると考えられた。なお、本研究で調査したヒノキ人工林の樹高は、最大でも25m程度であるが、比較対照として用いた地上レーザー計測装置OWLについては、樹高が高い林分では、樹高測定精度が低下することが知られている(西園ら 2019, 北原ら 2020)。このことから、DCHMが正確に作られており、ほぼ正確な位置で樹頂点抽出ができていている場合にあっては、本研究による樹高推定の結果の方が、OWLによる調査結果よりも正確であることも考えられる。

3 林分材積の推定

前項までで、立木密度及び樹高については、ドローン空撮による画像から作成したDCHMから、高精度に推定できることが明らかとなった。そこで、立木密度と上層樹高から林分材積を推定できる「中国・北近畿地方のヒノキ人工林林分密度管理図」に記載された数式を用いて、林分材積を推定した結果を図－ 6に示す。

本研究で調査した60コドラートの平均誤差率は、-



図－ 6 林分材積の解析精度

3.6%±12.7であり、誤差の範囲は、-25.4～40.0%であった。各コドラートのOWLによる推定林分材積は450.3～1440.2m³/haであったが、材積の多寡による誤差の生じ方には、明確な傾向は認められなかった。

人工林林分密度管理図には、この推定式は「8割の林分について、±20%以内の誤差で推定できる」と記載されている。本研究で解析した60コドラートのうち、誤差が-20%を下回ったのは3コドラート、20%を上回ったのが5コドラートであり、全体の約86%が、±20%以内の誤差で推定できた。本研究では、標準地調査に準じた調査方法を念頭に、400m² (20×20m) のコドラートを図上で設けて解析を行った。コドラート設ける際には、スギ林や混交した他樹種を含まないことはもとより、極力林相が均一で、林縁部等を含まない区域を設定している。また、ヒノキ林の場合、尾根部等の斜面上部で相対的に樹高が低い林分が多い傾向があるが、20m四方という限られたエリアの中では、そういった立地の変化も限定される。このことが、林分材積の解析結果に優位に働いた可能性が考えられた。即ち、この方法を林分調査に適用する場合、これらの点に留意して解析区域を絞ることで、良好な解析結果が得られることが示唆された。

IV おわりに

本研究は、ドローン空撮画像から生成したDSMを用いて作成した林冠モデル (DCHM) から、ヒノキ人工林の成立本数、樹高をGIS上で計数し、林分材積を算出することで、簡易に森林調査を行う手法を検討した。本県では、ヒノキ人工林が最も多く、再造林においてもヒノキの植栽が主流となっている。本研究では、ヒノキ人工林を供した解析を行ったが、筆者の印象では、比較的林齢の高い人工林の場合、スギの林冠の方がヒノキと比べて個々の林木の分解能が高く、ヒノキ林で良好な解析結果が得られる場合、スギ人工林でも同様の精度が期待できる。従って、この方法は、スギ及びヒノキ人工林の、双方で適用できると考えられる。

近年、林業分野では、林業DXの社会実装を目指して、森林情報のデジタル化の推進が求められ、森林解析にも用いることができる空撮画像の取得や保存の重要性は益々高まっている。本県においても、県の支援策等により、民間事業者等で撮影用ドローンの導入が急速に進みつつある。一方で、撮影用ドローンの用途は、空撮画像に基づくオルソモザイク画像の作成と、それらのGIS上での利用が主流であり、森林の資源解析に活用する向きは必ずしも多いとは言えない。一方、森林のドローンによる空撮

画像は、市販の森林解析ソフトウェアを所有していない場合や、本報告の方法などによる森林解析に直ちに用いない場合でも、それらを保存しておくことで、将来、資源量解析を行う時や各種情報をデジタル化したい時に、時を遡って活用することができるものである。本報告で示すような、有人航空機の調査よりも密度が高く、質の高い生の情報をデジタルで保存することは、林業DXの重要なファーストステップとして有益であると考えられる。

本研究は、ドローンに搭載できるレーザー計測装置等を使用せず、誰もが、必要な時に、何度でも簡単に行える調査方法の検証と普及を目的として行った。本報に示す方法は、立木密度と樹高を計測し、林分材積を推定する手法を検討したものであるが、さらにQGISによる画像解析と既存の関数を使用した統計処理を発展させれば、市販の森林解析ソフトウェアが算出するレベルの精度で、単木の胸高直径の値も求めることができる見込みがある。本報告で示したような手法を用いた、人工林資源量の調査を目的とする、森林情報の取得と保存の動きが広がり、林業DXに繋がるデジタル化の基盤が整うことを期待するものである。

謝辞

本研究に当たって、貴重な航空機レーザー計測成果を快く提供して下さった新庄村に心から謝意を表します。

参考文献

- 千葉幸弘(2018) 可搬型レーザー計測装置による森林調査の計測精度, 関東森林研究69(2):195-198.
- 千葉幸弘(2017) 地上レーザー計測による森林調査のこれから, 森林科学80:32-35.
- 古川修平, 長島恵子(2020) 地上型レーザースキャナを用いて算出した樹冠量指数と胸高直径, 材積の関係, 森林計画学会誌54(1): 3-11.
- 平田泰雅 (2005) 航空機レーザースキャナーデータを用いたヒノキ人工林における樹高と地形の関係, 日本森林学会誌87(6):497-503.
- 乾偉大 (2023) ドローンによる空中写真を使った立木本数確認方法の検討, 奈良県森林技術センターセンターだより140: p7.
- 伊藤拓弥, 松英恵吾, 内藤健司 (2008) 航空機LiDARによる森林資源量推定—スギ・ヒノキの樹高・樹冠量による立木幹材積推定式の検討—, 写真測量とリモートセンシング47(1):26-35.
- 伊藤拓弥, 松英恵吾, 内藤健司 (2006) 航空機LiDARに

よる森林資源量推定－密度の異なるスギ・ヒノキの
林分パラメータ推定－，写真測量とリモートセンシ
ング45(1):4-13.

伊藤拓弥，松英恵吾，執印康裕，内藤健司 (2011) 本数
密度の異なるスギ・ヒノキ林における航空機LiDAR
による単木の立木幹材積推定，写真測量とリモート
センシング50(1):18-26.

北原文章，西園朋広，細田和男，小谷英司 (2020) 2機
種の地上型レーザースキャナを用いた森林計測精度
の比較，森林計画誌54(1)：63－66.

牧本卓史 (2023) 高齢級人工林の資源量推定に関する研
究 (I)，岡山県農林水産総合センター森林研究所研
究報告38：22-29.

森山誠，瀧誠志郎 (2024) 小型無人航空機とソフト
ウェアによる立木本数計測の省力化の評価，森林利
用学会誌39(1):31-40.

根本光，加藤顕，小林達明 (2012) 航空機レーザー測量
を用いた異なるスケールアプローチでのスギ・ヒノ
キ林材積の推定，日本緑化工学会誌38 (1):79-84.

西園朋広，細田和男，高橋正義，齋藤英樹，北原文章，
小谷英司 (2019) TLSを用いた林分構造の計測：間伐
履歴の異なるヒノキ人工林での事例，関東森林研究
70(1)：109－110.

岡山県林政課 (2018) 岡山県の森林資源，p7.

李定洙，箕輪光博 (2005) 森林簿情報とリモートセンシ
ング情報などを併用した林分材積の推定，森林計画
学会誌39(1):9-21.

辻貴文，石井弘明，金澤洋一 (2007) 京都府北部の無間
伐ヒノキ高齢林における斜面位置と林分構造の関係，
日本森林学会誌89(3):160-166.