

以上の結果から、標本木調査を行う際は、品質区分（一般材、低質材）の判定と併せて被圧木の判定をしておくことによって、被圧木割合から立木本数を補正して、立木本数の精度を高めることが可能である。図 5.4.4 は、5つの調査区について、目視判読後の調整済み全立木の位置図である。調査区 1 については地上レーザ計測（OWL）で立木位置を突合しており、画像判読の結果とほぼ一致することが確認されている。したがって調査区 2～5 についても適切に立木位置図が再現されていると判断される。

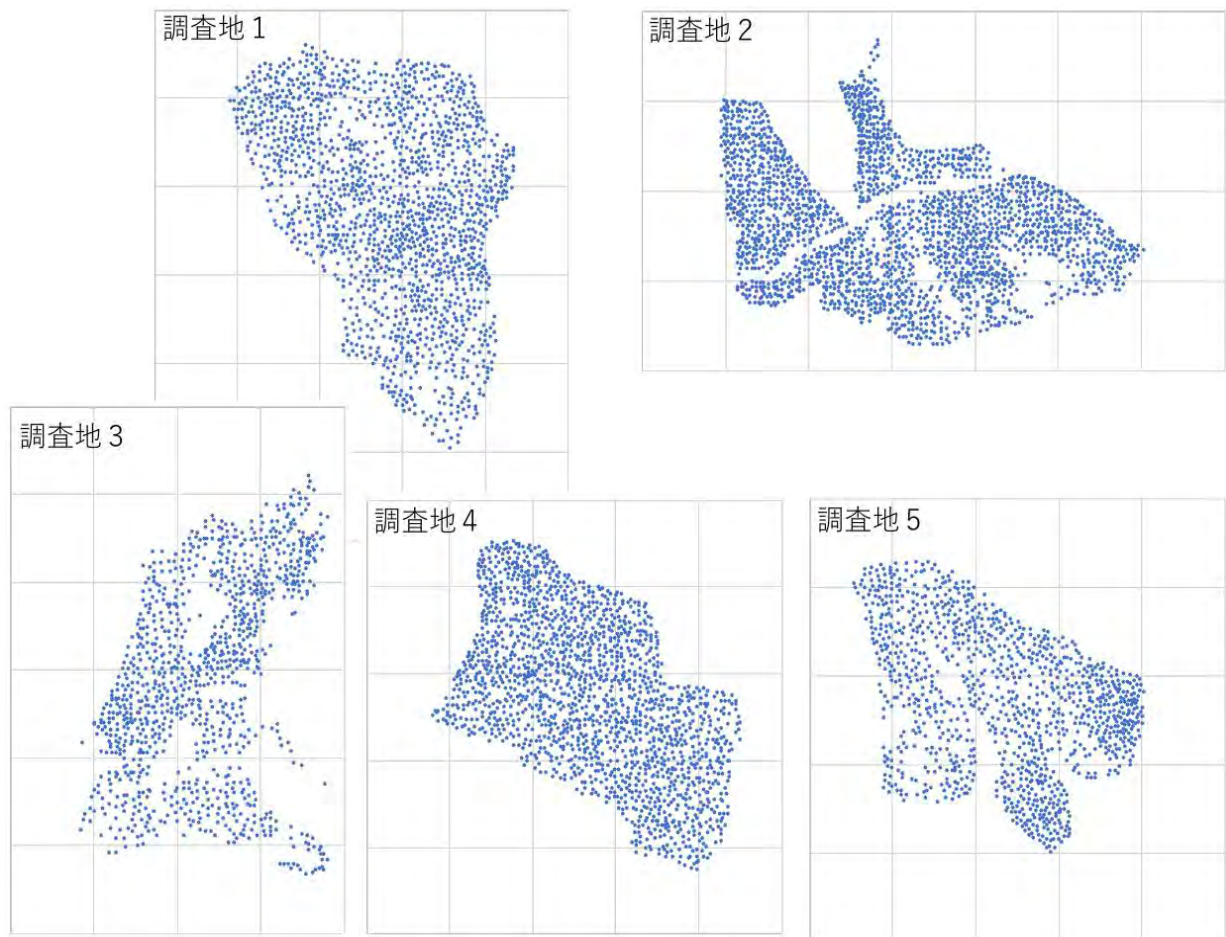


図5.4.4 目視判読で識別された調査区 1～5 の立木位置

5.5 簡易画像解析法による標本木調査

収穫調査の対象林分について、適切な推定結果を得るためには、サンプル調査すべき区域において立木サイズや林分密度等に偏りが生じず、調査対象林分を代表するような調査区を抽出・設定することが求められる。しかし現実には、事前の踏査で対象林分を隈無く確認するのは困難であり、適切なサンプル調査区の位置決めを判断する客観的な基準があるわけではなく、担当者の主観に頼らざるを得ないのが実態である。

簡易画像解析法では、前節 5.4 で述べたように、GIS 上でオルソ画像を解析して得られる全立木の配置図(図 5.5.1)をもとに調査対象木を抽出し、PC 上のオルソ画像を見ながら林分全体の状況を俯瞰し、地形や立木の混み具合等を吟味した上で、調査対象となる「**標本の選定**」を行うことが可能である。このことは、調査対象木のサイズあるいは林相の偏りを回避できるという点で、標本調査における大きなメリットと考えられる。なお「**標本の選定**」と表現した理由は、林内でバラバラに標本木を選定することではなく、後述するように、対象林分をメッシュ化した上で、メッシュ単位で標本木を選定していくことを想定しているためである。

本節 5.5 では、簡易画像解析法で実施する、標本木の抽出方法、現地調査の作業手順、林分材積等の推定精度について、従来法と比較検証しつつ、本調査法の有効性について検討する。

簡易画像解析法の妥当性検証のための試験区として、調査区 1 を**精密調査区**とし、全立木の三次元位置、胸高直径、樹高、材積、品質区分等のすべてのデータセットを準備した。その上で、個体サイズとその空間分布あるいは林分密度等との関係性等についてパソコン上で統計的な解析が行える。今回提案する簡易画像解析法については、この精密調査区での分析結果に基づいて、調査手法ならびにデータ解析等の方法論を検討した。

その精密調査区で実施した調査内容及び統計分析等の詳細については**巻末資料**として取りまとめ、その概要のみを次ページ【参考 5.1】**巻末資料の概要**に集約した。

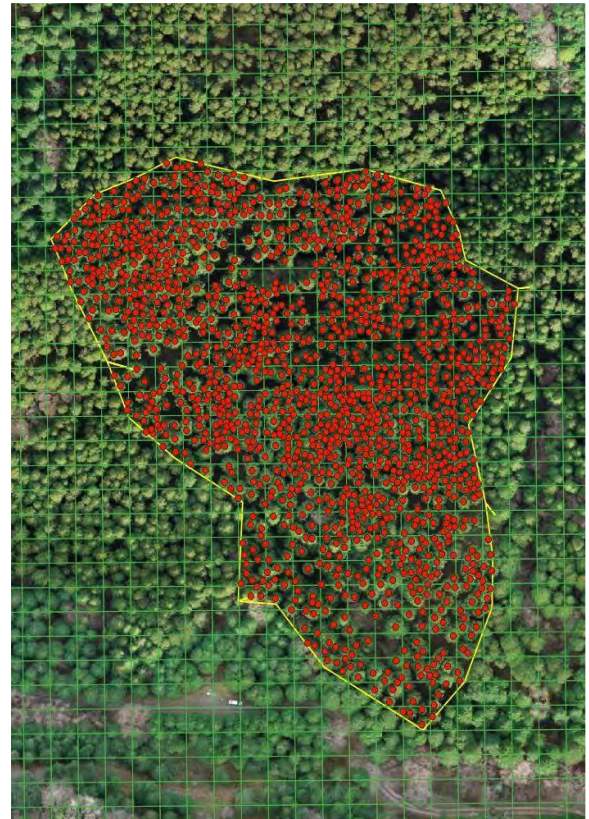


図5.5.1 オルソ画像の目視判読によって抽出された樹頂点(調査区 1)

●：立木ごとの樹頂点
—：調査区域界

5.5.1 層化抽出の有効性

森林の場合、地位の違いや攪乱の有無など様々な要因が絡んで、同一林分内であっても林内が均質と見なせることは稀である。立木配置や地形条件等の構造的な違いを内包した「林相」は不均質であることが一般的である。本事業の検証のために設定した精密調査区においても、【参考5.1】のとおりの結果が得られている(**巻末資料**参照)。しかしながら、森林で標本調査区を設定する際の一般的な留意点としては、斜面の位置関係、立木の混み具合、下層植生の有無などを考慮して判断することになるが、現実にもそうした条件を客観的に判断するのは必ずしも容易ではない。

【参考 5.1】 巻末資料の概要

(1) 林内の不均質性

精密調査区（2.43ha）はスギ人工林（68 年生）ではあるが、微地形や傾斜による立地環境・地位は一樣ではなく、過去の間伐履歴や作業道の影響等もあって、立木の混み具合、サイズ（胸高直径、樹高、単木材積）に関しては、対象区域内でバラツキがあり不均質であることが確認された。

(2) 無作為抽出の信頼性

円形プロット（100m²、200m²、300m² の 3 パターン）を想定した無作為抽出の数値実験を行った。樹高や材積の推定値を、期待される精度で得るために必要なサンプル数は、林況が不均質であるため、予想以上に多くなることが判明した。林内の不均質さが影響するため、円形プロットのような標本の無作為抽出法で森林調査を行うことは必ずしも適切ではないと判断された。

(3) 立木サイズの林分密度に対する依存性

調査区のメッシュ（10m、20m、30m のメッシュ）に分割して、平均胸高直径と平均樹高について林分密度との関係を分析したところ、有意なべき乗関係（ $Y=aX^b$ ）が認められた。林分材積については林分密度と正の相関が認められた。ただし、いずれについてもメッシュサイズが大きくなると有意な関係ではなくなる。

(4) 林分密度による層化

森林のような不均質な対象について標本調査を行う場合は、一般には層化抽出が望ましいとされる。上記 (1), (2), (3) の結果を踏まえると、今回の調査区についても、林分材積や立木サイズの推定に際しては 10m メッシュで平均化された林分密度を層化抽出の指標とし得ることが示唆された。

林分が構造的に一樣でない状況で適切な標本調査を行うためには「層化抽出」が有効とされる（大隅1987, Pearsonら2005, 森林総研2012 ほか）。つまり、『母集団が相異なる部分集団（部分集団内は同質）で構成されることが事前にわかっている場合、それぞれの部分集団を基準として標本抽出することで、より少ないサンプル数で推定精度を上げることができる（「森林の場合、地位の違いや攪乱の有無などで森林の状態は様々であり、このような場合いくつかの均質な層に区分することが有効である。」（REDD-plus Cookbook (2012)）。林相を構成するいくつかの要因を指標として森林を層化（パターン化）し、層ごとに調査プロットの必要数や配置を考慮して分類・集約し、その層ごとに抽出することで、森林調査が効率的となり、推定精度の向上も図られるという考え方である。

以上の結果を踏まえ、今回提案する調査法の骨子を考案・整理した。その基本的な特徴は以下の通りである。

① UAV空撮画像からのオルソ画像を利用

オルソ画像によって対象林分が俯瞰的に把握され、立木配置が数値データ化される。

② 林分密度を指標とした層化抽出法を採用

不均質な構造の森林調査では、層化抽出が効率的かつ適切なサンプリング法である。今回容易に得られる指標として林分密度を層化区分の指標とする。

③ 資源量の換算手法として本数比例法を採用

層化区分の指標として立木密度を用いること、簡易画像解析法の特性を活せること、解析作業が効率的であること、推定精度の点でも効果的と考えられる。

以下、具体的な調査手法および精度検証等について取りまとめた。

5.5.2 標本木調査の基本的考え方

サンプリング調査を実行する場合、標本区を帯状に連続させることによって、現地調査の作業効率を向上させるという実務上のメリットがある。一方で、帯状に標本抽出するということは、ランダムサンプリングによる抽出効率の低下を回避し、林地の地形的凹凸や立木の斜面位置等の不均質さを包含するように、層化サンプリングできるという意味でも有効と考えられる。

簡易画像解析法での標本抽出では、調査効率も考慮した上で、帯状標準地と同様の標本区域を設定して、その内部の立木を標本木とする調査方法である。ただし、サンプリングの基本的な考え方としては、サンプリングの「区域」を設定するというよりは、「地形的凹凸や立木の斜面位置等の不均質さ」を包含するように**標本ライン**を決めて（図 5.5.2A）、そのラインに沿った**標本木**を連続的に抽出する（図 5.5.2B）、という考え方である。標本ラインについては、パソコンのモニターに表示されるオルソ画像で目視判読された全立木の GIS データをもとに選定する。

用語の定義 従来の標準地調査と区別するため、今回使用する用語を定義しておく。

標本ライン：オルソ画像から目視判読された樹頂点（立木位置）の分布状況から、現地調査の対象区域を選定するための基準となるライン（図 5.5.3 参照）

標本区：標本ラインに沿って一定幅（基本は 10m 幅）を持つ帯状の調査区域

標本木：標本区内のすべての調査対象立木

標本木調査：標本ラインおよび標本区の設定、標本木の現地調査（胸高直径、樹高、品質区分）を含めた一連の調査

本調査法のポイント

- 林分の全立木の胸高直径と樹高の分散を保ったまま標本を抽出する（胸高直径、樹高、品等区分、被圧木）。
- 立木密度と地形（地位）に着目して、層化抽出による標本調査を行い、目視判読で得られた立木本数によって、本数比例で資源量を推定する。ただし、被圧木の占める割合で本数補正を行う。
- このための手法として、UAV 空中写真で得られたオルソ画像およびオルソ画像から目視判読で得られた立木の分布情報を活用する。
- 簡易かつ比較的正確な調査方法であると判断される。

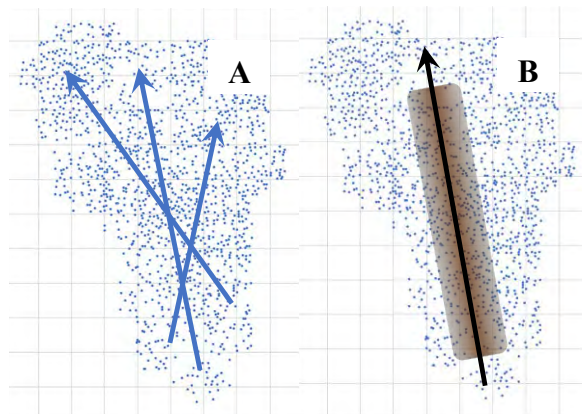


図5.5.2 標本ライン選定と立木計測範囲（イメージ図）

A：目視判読で得られた立木配置図をもとに、立木密度や地形等を考慮しながら、いくつかの標本ライン候補を検討する。

B：選定された標本ラインに沿って10m幅の帯状標本区を設定して、階層区分（立木密度）の割合等から標本区としての適合性を吟味し、標本区を判断する。

5.5.3 標本ラインおよび標本木の選定

標本木の選定にあたっては、立木密度の分散が偏りなく反映されている必要があること、樹高に影響する地位が偏りなく反映されていることなどが求められる。また、带状標本区の選定が GIS 上で容易に検討でき、実際の外業調査時においても容易に位置が特定できるような工夫が必要である。推定精度が良好であることはもちろんだが、できるだけ簡便かつ省力になるよう配慮する必要がある。

(1) 標本区設定の作業手順

- ① GIS 上でオルソ画像を 10m×10m メッシュで区画を作成し、各メッシュの立木密度を 3～5 段階程度に階層区分して、階層ごとのヒストグラムを作成する（本事業では 3 階層とした（図 5.5.3））。
- ② 10m メッシュに沿った標本ライン上に 10m 幅の带状標本区を設定し、メッシュごとに階層区分（3～5 段階）の割合が、区域全体の階層区分の割合（図 5.5.4 のメッシュあたりの本数ヒストグラム）と合致するように带状標本区の位置と延長を確定する。
- ③ 带状標本区の設定にあたっては、樹高に影響する地位についても偏りが生じないように留意する（図 5.5.5）。具体的には、標本区が尾根から谷、標高の高い箇所と低い箇所がバランス良く配置されるように GIS 上の標高データや国土地理院の基盤地図ダウンロードサービス、あるいはオルソ画像作成で得られる DSM データ等を利用できる。
- ④ 上記①～③で設定した带状標本区を現地調査するためには、標本区の位置を容易に探し出せるように、区域標示の標識あるいはオルソ画像上の立木または測量杭等の位置情報を事前に取得しておく必要がある。

標本木調査に関する詳細な手順等は別添「マニュアル」に取りまとめているが、収穫調査を念頭に留意すべき事項を、以下、整理しておく：

- ・ 標本区の立木密度は、調査対象区域全体の平均立木密度と同程度となるように設定する。
- ・ 標本区の立木密度の分布は、全体の立木密度の分布と同様になるよう設定する。
- ・ 現地調査の作業効率を考慮し、標本区は幅 10 m（左右各 5m）の带状に設定する。調査対象となる立木本数の抽出率を適宜調整できるよう、必要に応じて標本区域の分割も想定しておく。
- ・ 標本区域については、斜面上部から下部にかけて、その面積割合にも配慮して設定する。
- ・ 標本木調査では、対象木の品質区分ならびに樹冠の被圧状態も記録する。

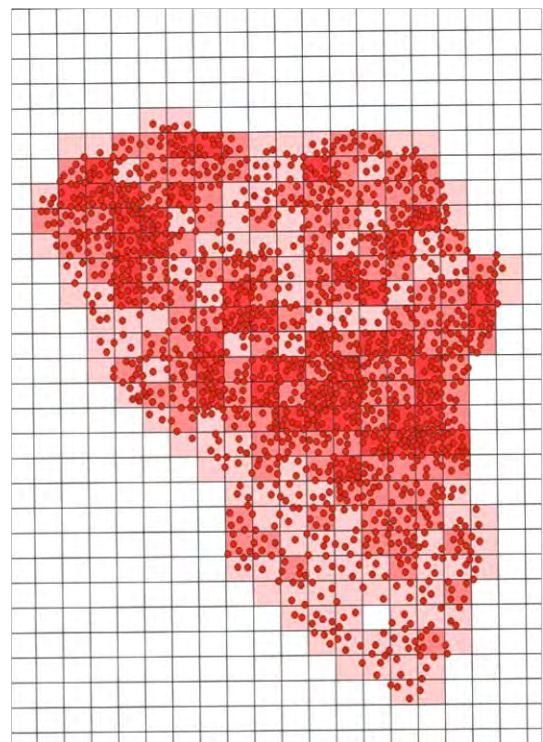


図5.5.3 目視判読された全立木の10mメッシュ分布密度

●は樹頂点を表わす。10mメッシュの色の違いは立木密度の違いで
■疎、■中、■密である。