

3 現実林分のデータ把握

3.1 航空レーザ計測による森林資源解析

前章においてグルーピングを行った地域において、現実林分の樹高・蓄積の把握をするために、航空レーザデータを用いて森林資源解析を実施した。

3.1.1 既存航空レーザ計測データの整理

収集した航空レーザ計測データの一覧を表 3.1 に示す。また、計測データの分布を図 3.1 に示す。

なお、国有林のレーザ計測データについては、中部森林管理局から複製の承認を受けた航空レーザ計測データを利用したものである。民有林の各データについても、データ所有者である県等に使用の許可をいただいた上で利用した。

また、長野県民有林の森林資源解析データの一部には林齢の記載がなかったため、別途長野県の森林簿を利用し、レーザ計測時の林齢を逆算して求めた。長野県森林簿データは G 空間情報センターで公開されているオープンデータを参照した¹。

表 3.1 航空レーザ計測データ一覧

対象	計測地域	計測年度	計測面積 (km ²)	資源解析
国	長野県佐久市	令和元年	17.9	×
国	長野県木曾郡	令和元年	174.3	×
国	長野県木曾郡	令和元年	44.4	○
国	長野県信濃町黒姫山	令和 2 年	19.3	○
国	長野県木曾郡	令和 3 年	174.3	×
民	愛知県 ²	平成 30 年～令和元年	1,919.9	○
民	岐阜県 ³	平成 25 年～令和 2 年度	92.4	○
民	長野県栄村、大町市、川上村	平成 24 年度(大町市、川上村) 平成 26 年度(栄村)	15.1	○
民	長野県伊那市、上田市、飯田市	平成 24～26 年度	26.6	○
民	長野県飯山市、中野市等	平成 25 年度	176.9	○
民	富山県 ⁴ 氷見市	平成 30 年度	134.2	○

¹ 出典：長野県林務部森林政策課オープンデータより、令和 4 年 9 月 1 日時点の森林簿・森林計画図 (<https://www.geospatial.jp/ckan/organization/nagano-rinsei>)

² 愛知県より測量成果の使用承認を受けたものを使用した

³ 岐阜県に電磁的記録等複製・使用申請を行い、承認を受けた単木 GIS データ、森林資源情報 GIS データを使用した

⁴ 富山県の民有林データ 5 業務については、森林計画関係付属資料の交付申請を行い、許可を受けたデータを使用した

対象	計測地域	計測年度	計測面積 (km ²)	資源解析
民	富山県高岡市、小矢部市	令和元年度	125.6	○
民	富山県南砺市、砺波市	令和元年度	464.8	○
民	富山県中央部、東部	平成 20 年度～令和 2 年度	969	○
民	富山県富山市大山地域	平成 27 年度～平成 30 年度	48.7	○

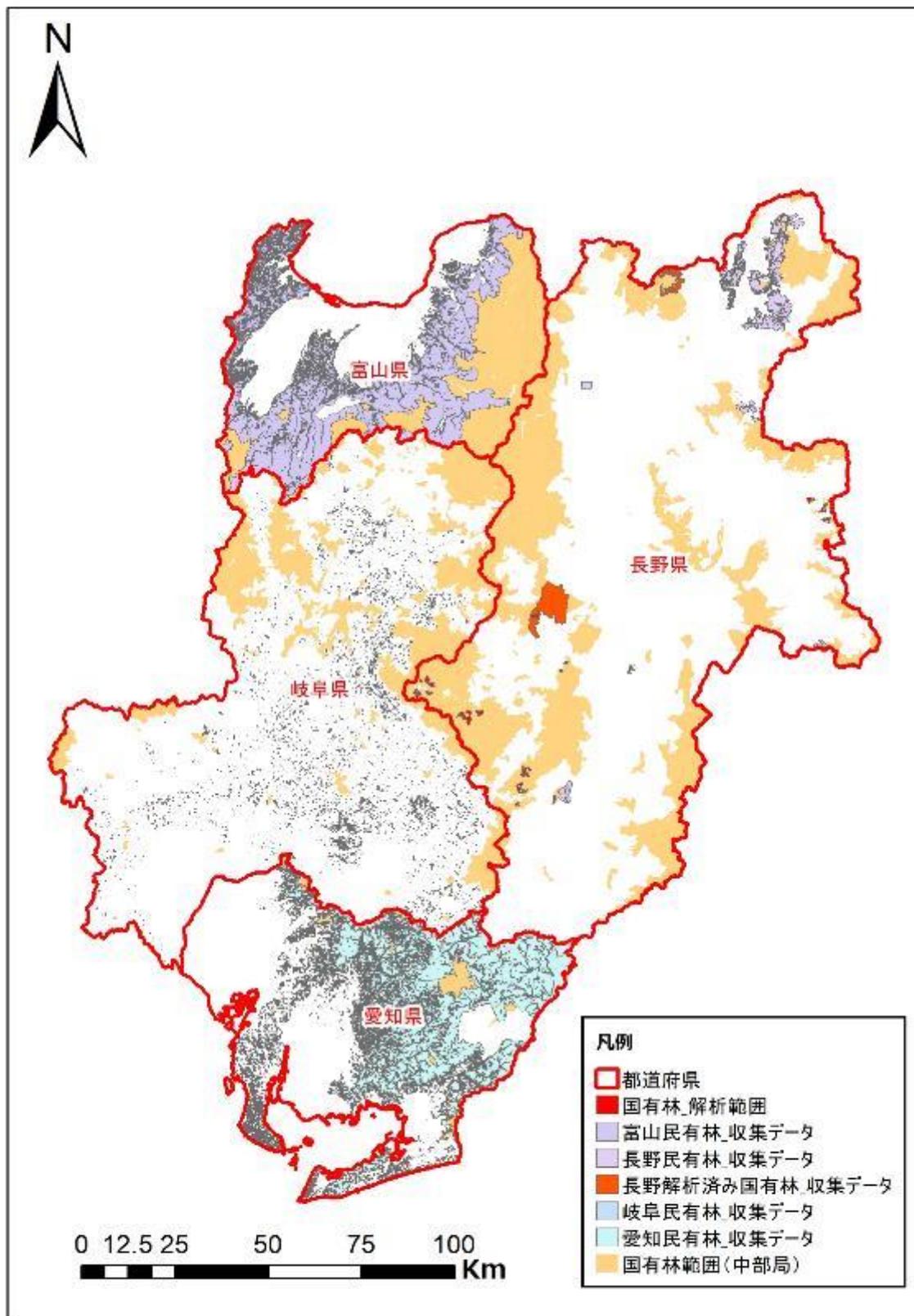


図 3.1 収集した航空レーザデータの分布

3.1.2 解析地点の選定

既存の森林資源解析まで実施された航空レーザデータの分布を確認したところ、長野県南部でデータが不足していることを把握したため、長野県内において新たに森林資源解析を実施した。

解析地点はスギ、ヒノキ、カラマツのいずれかを含む小班とし、既存の森林簿情報とオルソ写真を基に選定した。解析対象小班の西部の面積は 25.0 km²、東部の面積は 4.8 km²、合計 29.8km²であった。各地域の選定小班の位置図を図 3.2 に示す。

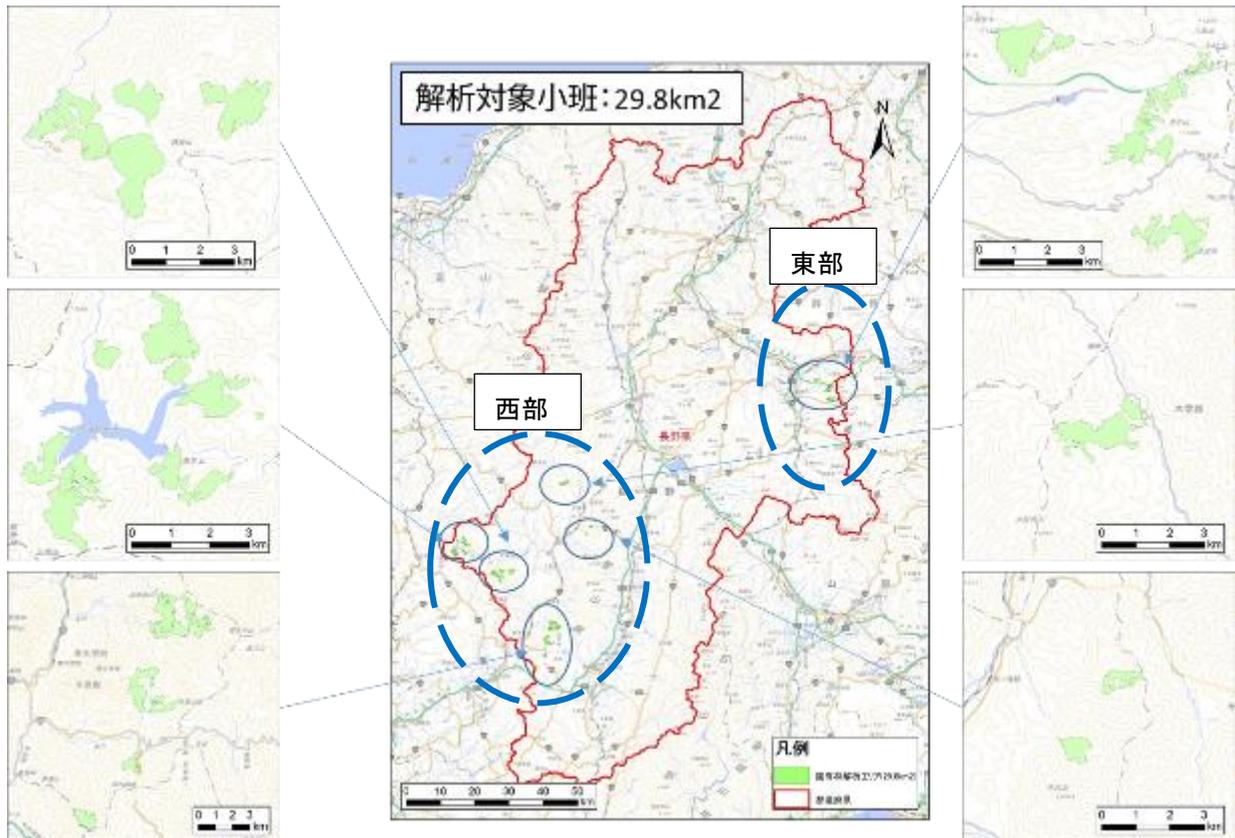


図 3.2 選定小班の位置図

3.1.3 林相判読

1) 林相識別の手法

取得した森林データと森林簿を比較した場合、小班内に複数樹種が混在しており、森林簿のみでは資源配置を詳細に検討できないことから、解析範囲内にて詳細な林相判読を行った。

林相判読は航空写真の他、航空レーザ計測データから林相識別図としてレーザ林相図（特許第5592855号）を作成した。レーザ林相図はオルソ写真等と比較すると、判読作業において以下のような利点がある。このような利点があるレーザ林相図を併用して判読することで、より精度の高い林相区分図を作成することができる。

- 撮影時の日射条件（天候や太陽方位・高度等）による画像の色合いに違いが生じず、撮影範囲を一様に判別できる。
- 植生域を緑色だけでなく、赤色、黄色、青色など多様な色で表現でき、樹種を識別するための情報量が多い。
- 地形の影響による影が生じず、谷部でも明瞭に表現される。
- 樹木や建物などの倒れ込みが生じず、より正確に境界線を判読できる。

2) レーザ林相図の作成

レーザ林相図は、以下の3つの構成要素の画像を合成して作成する。

▶ 樹冠高モデル（DCHM: Digital Canopy Height Model）

DCSM(Digital Canopy Surface Model:数値表層高モデル)とDEM(Digital Elevation Model:数値標高モデル)の差分解析により作成される樹冠高を表すモデルである。

▶ 樹冠形状モデル

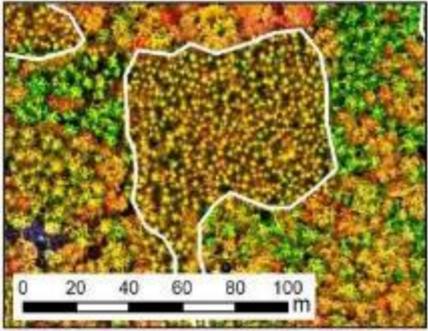
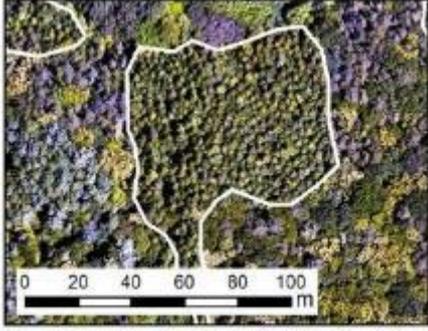
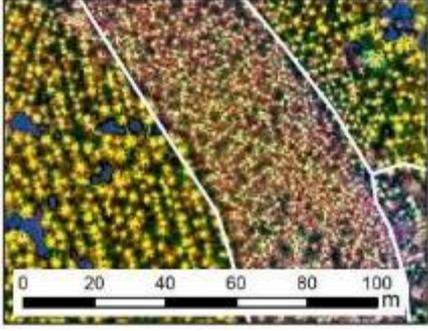
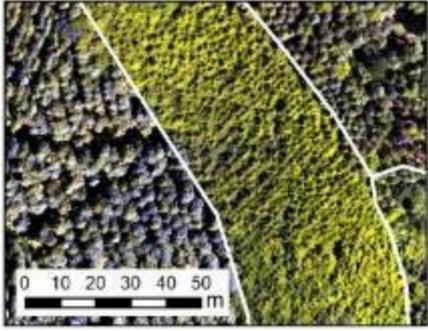
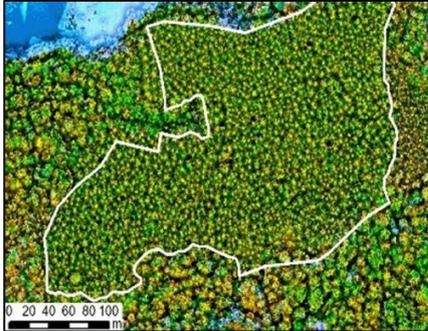
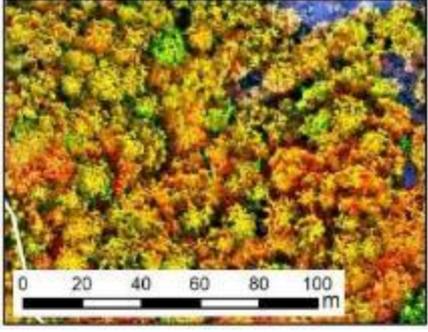
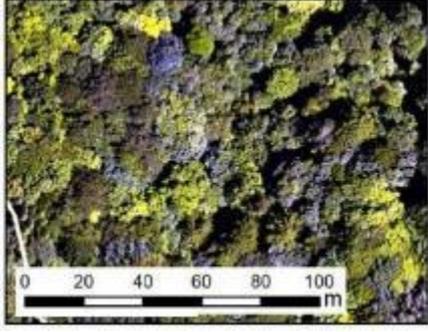
樹冠高モデルから作成される樹冠の形状、凹凸、樹木配列等を表すモデルである。

▶ レーザの反射強度モデル（DIM: Digital Intensity Model）

航空機から照射されたレーザが地表面で反射して再びセンサに検知される際の強度を表すモデルである。照射されるレーザの波長は1,064nmの近赤外波長であることから、反射したときに取得される反射強度は植生の違いを識別する指標として有効である。

樹冠高、樹冠形状、反射強度の3種類の画像を合成することで、レーザ林相図を作成した。また、各樹種の代表的な判読キーを表3.2に示す。レーザ林相図はオルソ写真と比べて、色調、テクスチャの違いが明確で、樹種や生育状況が異なる林分の分布境界の識別が容易である。

表 3.2 レーザ林相図とオルソ写真から読み取れる判読キーの特徴

林相名	レーザ林相図	オルソ写真
スギ		 <p data-bbox="885 667 1369 725">スギは、個々の樹冠が明瞭であり、青みがかった黄色～緑がかかった黄色を呈する。樹冠の密度が疎な林分では林床を示す青色が混じることもある。</p> <p data-bbox="885 667 1369 725">赤みを帯びた深緑色に見える。樹冠は円錐形で、明瞭であり、ヒノキに比べてきめが粗い。</p>
ヒノキ		 <p data-bbox="379 1115 863 1196">ヒノキは、スギと比べて、個々の樹冠がやや不明瞭である。若齢林は桃色～濃い桃色を呈し、壮齢～老齢林は赤みを帯びた橙色～赤色を呈する。</p> <p data-bbox="885 1115 1369 1196">樹冠は鈍い円錐形であり、スギに比べてきめが細かい、若齢林は薄い黄緑色、壮齢～老齢林は深い黄緑色に見える。</p>
カラマツ		 <p data-bbox="379 1563 863 1621">スギに比べて、個々の樹冠がやや不明瞭である。色味は黄緑～緑色を呈する。</p> <p data-bbox="885 1563 1369 1621">個々の樹冠が明瞭であるが、スギよりは不明瞭。薄緑色を呈し、秋季は紅葉するため橙色を呈する。</p>
その他 樹種 (広葉樹)		 <p data-bbox="379 1980 863 2031">広葉樹は、濃い赤色～濃い橙色と明るい緑色～暗い緑色を呈する。樹冠は鱗状に見える。</p> <p data-bbox="885 1980 1369 2031">針葉樹と比べて樹冠が不明瞭である。落葉広葉樹は冬の時期、葉が落ちて地面が見える。</p>

3) 林相判読

作成した判読キーの特徴を基に、レーザ林相図、オルソ写真から目視判読により林相区分図を作成した。なお、最小判読単位は 20m×20m とした。林相区分図の凡例を表 3.3 に示す。

表 3.3 林相区分図の凡例

林相 ID	林相名
1	スギ
2	ヒノキ
3	カラマツ
4	その他樹種

以上に基づき、林相判読を行った。各地域の林相判読の結果について図 3.3 に示す。

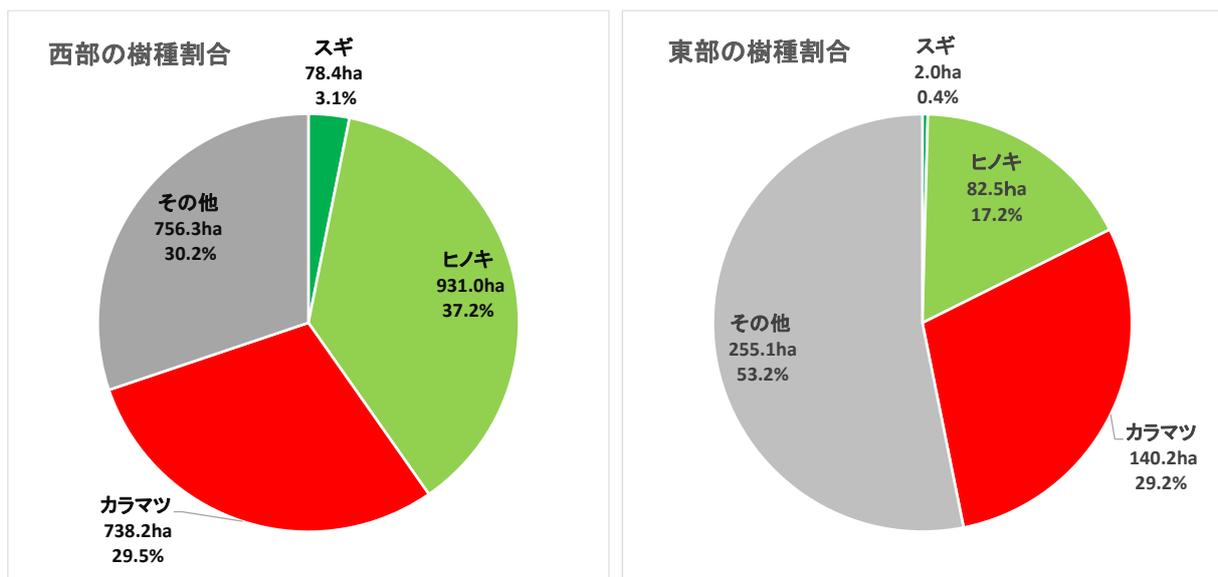


図 3.3 林相判読結果

3.1.4 樹頂点の抽出

樹頂点抽出及び樹高計測方法

本業務では、樹頂点抽出技術（特許第 4279894 号）を用いてスギ、ヒノキ、カラマツの解析を行った。手順は以下の①~③の通りである。

- ① DCHM から樹冠形状指数を計算する。樹冠形状指数とは、樹冠表層面の凹凸を表角度情報で表す指数で、凸部ほど高い値になり凹部ほど低い値を取る。梢端では凸状であり、樹冠縁は凹状となり、必ず単木ごとに高い値と低い値が含まれる。そのため画像上で単木を識別しやすくなる。
- ② 冠形状指数を用いて、樹冠部を抽出する。動的に決められる閾値以上のまとまりが樹冠部として抽出される。
- ③ 最後に樹冠部の中の DCHM を調べ、最も DCHM が高いメッシュの位置を樹頂点として抽出する。一つの樹冠に複数の凸部がある場合の過剰抽出を避けるために樹頂点間の距離に制限値を設定し、制限値以内の距離にある複数の樹頂点のうち、最も DCHM が高い樹頂点のみを抽出する。

抽出した樹頂点の位置の DCHM を樹頂点に紐付け、樹高として情報を整備した。

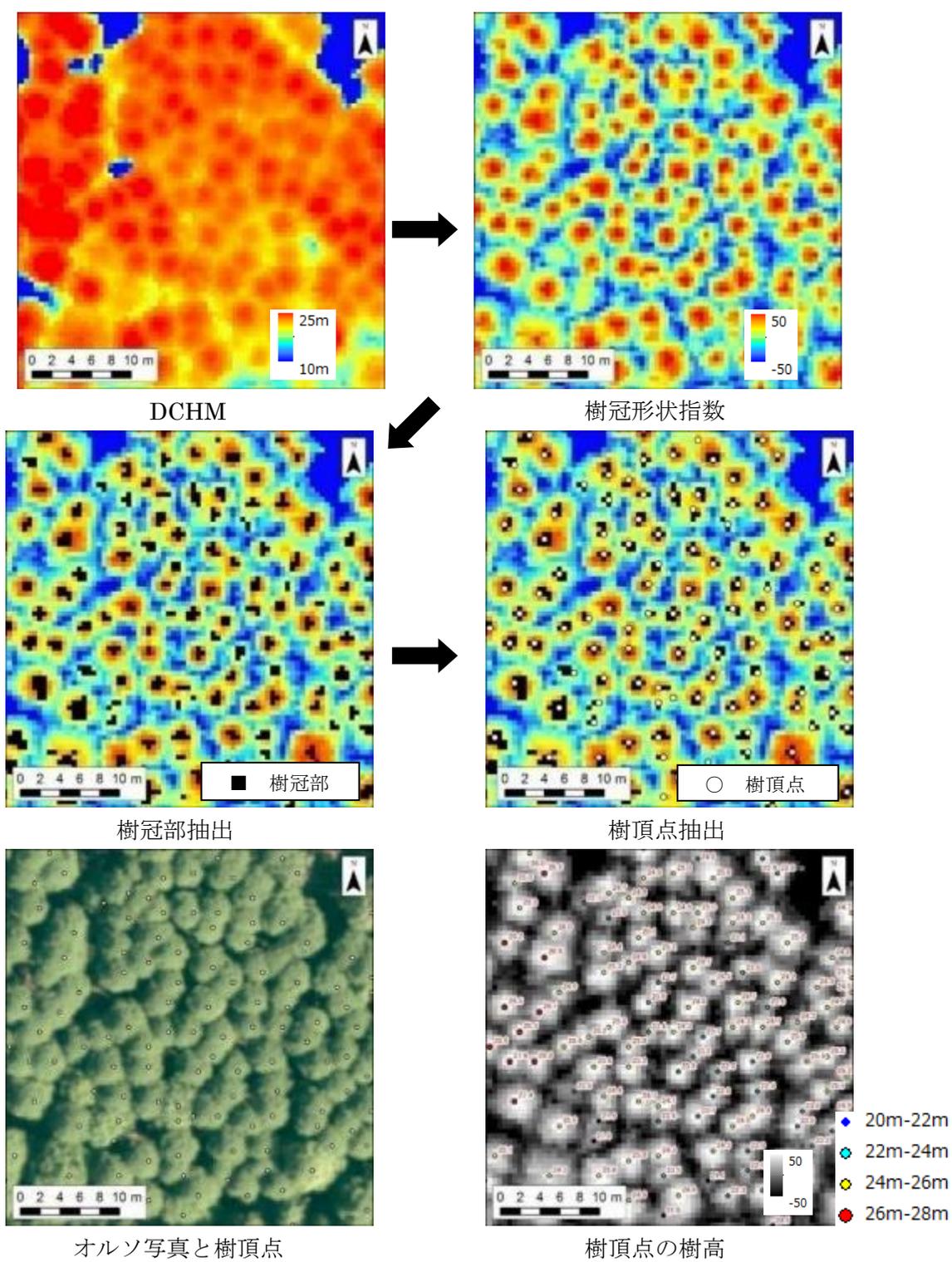


図 3.4 樹頂点の抽出過程

3.1.5 胸高直径の推定

航空計測データは上空からの形状計測となるため、胸高直径（DBH）を直接計測することはできない。航空レーザ計測データを用いた一般的な胸高直径推定の方法としては、現地調査により立木の DBH を計測し、レーザによる樹冠形状と計測 DBH の相関を検討することにより値を推定する（図 3.5）。

本業務においては、選定したエリア周辺の民有林において作成された既存の胸高直径推定式を利用して胸高直径を推定することとした。近隣の利用できる胸高直径推定式は、スギでは 1 種類のみであったが、ヒノキ、カラマツは複数存在したため、どの推定式を適用するかについて検討を行った。

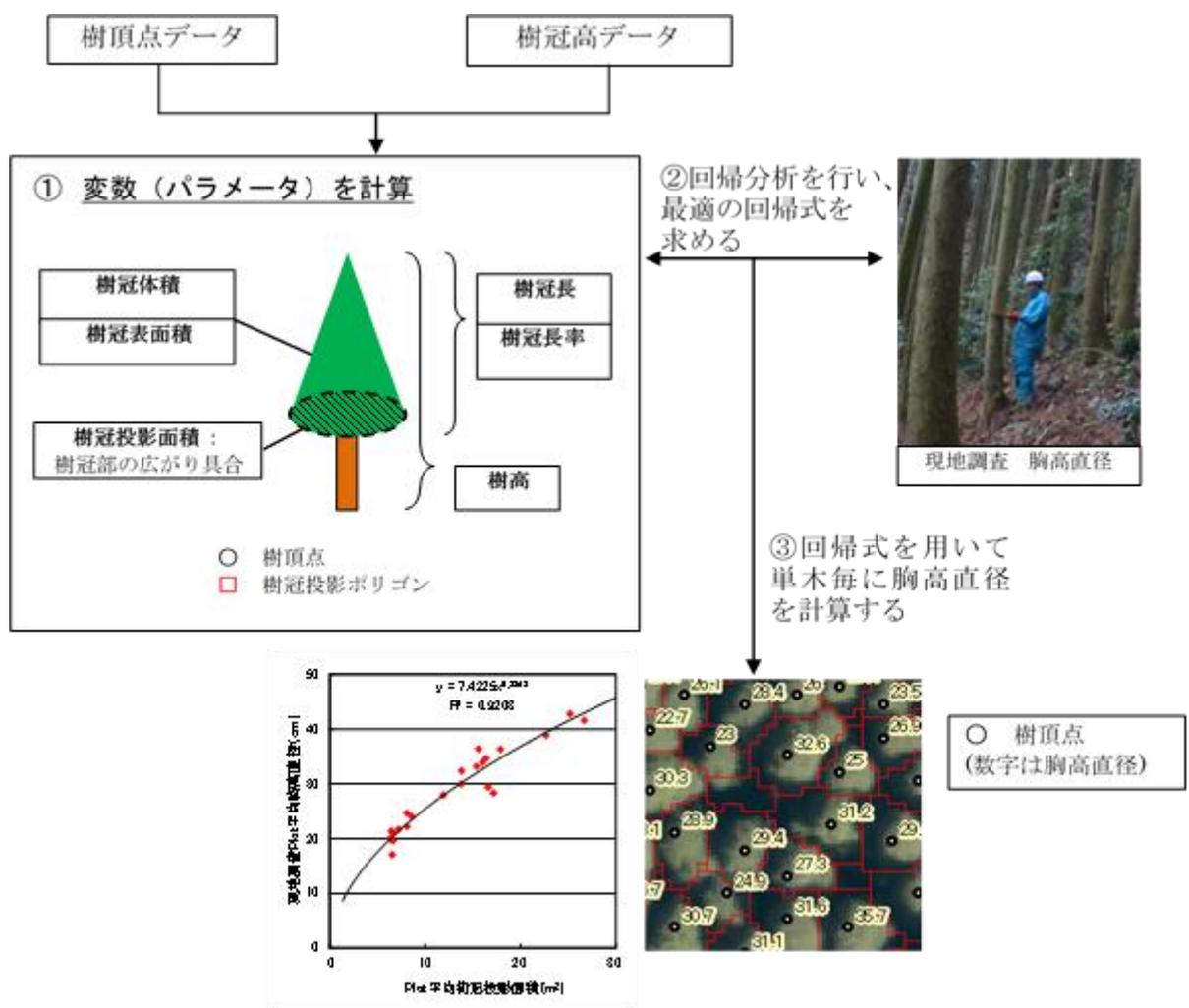


図 3.5 胸高直径推定式作成の流れ

1) 採用する胸高直径推定式の検討方法

① 各推定式を用いて資源情報の暫定算出

民有林において作成された既存の胸高直径推定式を用いて、暫定的に国有林の解析範囲における資源情報 (DBH) を算出

② 収穫調査の資源情報の整理

国有林においてどの胸高直径推定式が最も適合するか検証するため、収穫調査結果を検証データとして用いた。解析範囲内で実施された収穫調査データの単木の DBH を集計し、平均胸高直径を求めた。

③ 暫定算出結果と収穫調査の資源情報の差分値の算出

①で暫定的に算出した国有林の平均胸高直径と、収穫調査の平均胸高直径を小班単位で比較し、残差平方和を算出した。そのうち、残差平方和が最小の式が最も適合していると判断し、以降の解析に採用した。

残差平方和は以下の式で算出した。

$$\text{残差平方和} = \sum (D_1 - D_2)^2$$

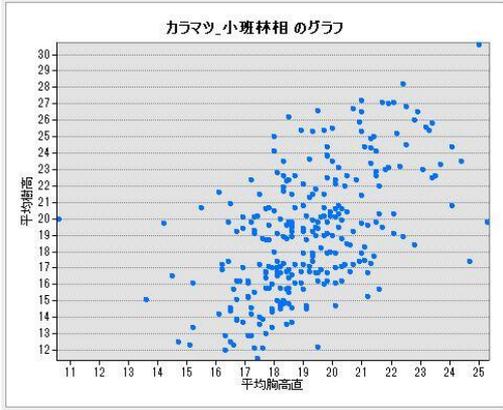
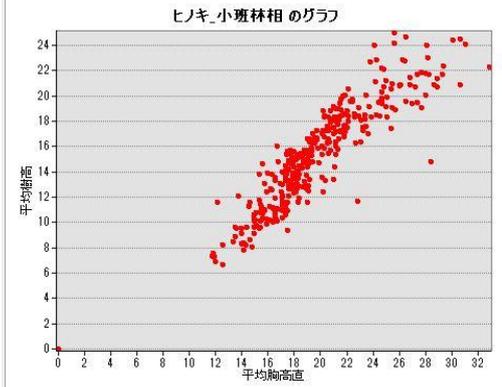
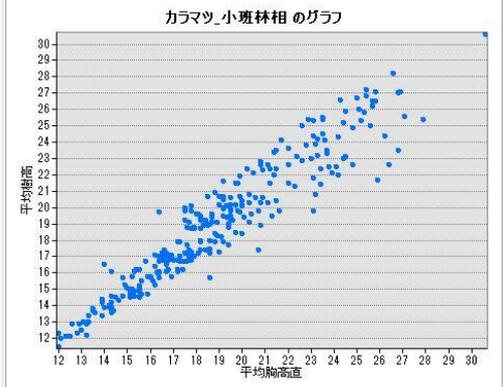
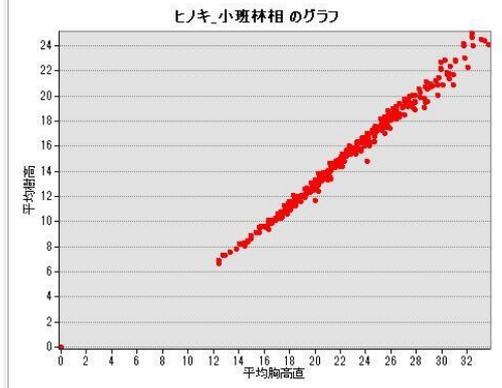
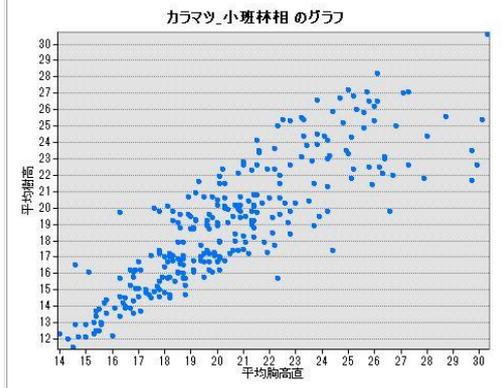
D1: 国有林の暫定平均胸高直径、D2: 収穫調査の平均胸高直径

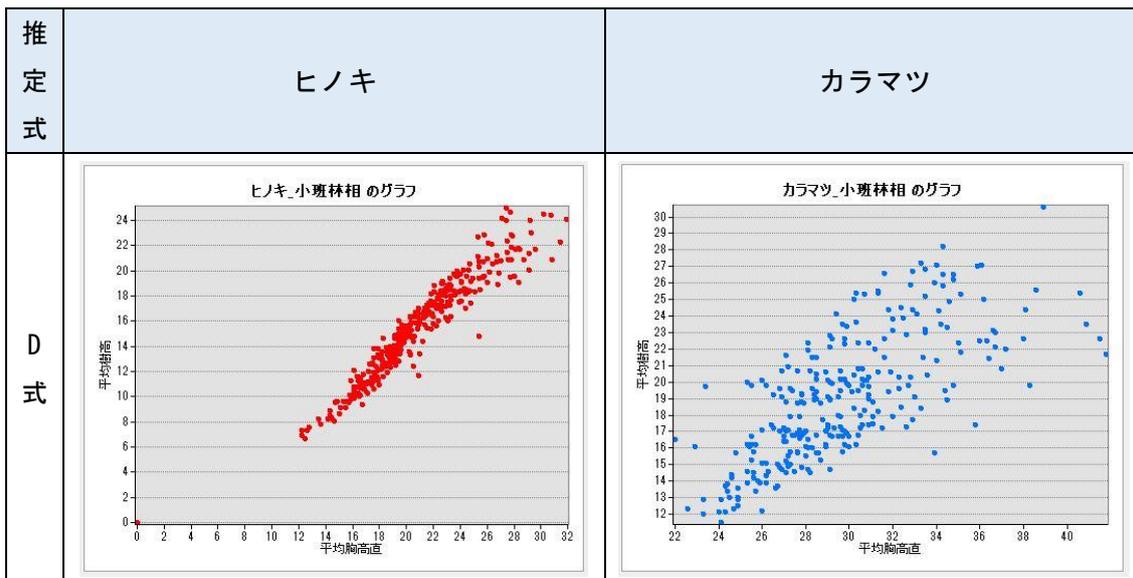
2) 各推定式での胸高直径推定結果

候補となる近隣の胸高直径推定式として、ヒノキでは A~C 式の 3 種類、カラマツでは A~D 式の 4 種類を比較した。

各推定式の特徴を把握するため、小班と林相で細分化した小班林相単位で、平均樹高-平均胸高直径関係をプロットした (表 3.4)。

表 3.4 各推定式での平均樹高－平均胸高直径関係

推定式	ヒノキ	カラマツ
A 式	なし	
B 式		
C 式		



3) 収穫調査との比較結果

収穫調査における平均胸高直径と、各推定式により推定した平均胸高直径との比較結果を、ヒノキは表 3.5 に、カラマツは表 3.6 に示す。

表 3.5 収穫調査と各推定式の平均胸高直径比較結果(ヒノキ)

No.	県市町村	計画区	林齢	収穫調査 平均DBH	B式DBH	C式DBH	D式DBH	B式残差	C式残差	D式残差
1	佐久市	千曲川上流	39	14.5	17.5	22.5	19.7	9.0	64.0	27.0
2	佐久市	千曲川上流	38	14.6	16.7	22.7	19.4	4.4	65.5	23.0
3	佐久市	千曲川上流	38	18.1	17.7	22.4	19.7	0.2	18.3	2.5
4	佐久市	千曲川上流	38	16.6	18.0	22.6	20.0	1.9	35.9	11.5
5	王滝村	木曽谷	66	23.0	22.3	27.1	23.8	0.4	17.2	0.7
6	王滝村	木曽谷	36	13.8	18.0	21.0	19.2	17.3	51.2	28.7
7	王滝村	木曽谷	98	21.7	25.0	29.5	26.7	10.6	60.3	24.6
8	王滝村	木曽谷	90	24.5	21.8	24.9	22.8	7.3	0.2	2.9
9	王滝村	木曽谷	51	19.9	15.4	17.9	16.6	20.4	4.1	11.0
10	王滝村	木曽谷	65	24.8	20.6	25.7	22.5	17.2	0.9	5.1
11	王滝村	木曽谷	305	39.1	27.2	29.1	26.7	141.2	99.7	153.4
12	王滝村	木曽谷	70	20.7	19.1	19.9	19.2	2.6	0.7	2.3
13	木曽町	木曽谷	84	26.8	20.1	24.2	21.4	44.2	6.5	28.6
14	木曽町	木曽谷	96	17.5	21.0	26.4	22.7	12.6	80.1	27.5
15	南木曽町	木曽谷	52	19.8	17.6	21.8	19.2	4.8	4.0	0.4
16	南木曽町	木曽谷	64	16.8	24.7	29.9	26.1	62.4	171.6	86.5
17	南木曽町	木曽谷	58	20.8	18.4	21.5	19.4	5.5	0.6	1.8
18	南木曽町	木曽谷	57	20.1	19.1	21.9	19.9	0.9	3.4	0.0
19	南木曽町	木曽谷	54	19.6	18.4	22.4	19.7	1.3	8.1	0.0
20	南木曽町	木曽谷	100	22.7	20.9	25.2	21.8	3.1	6.4	0.8
21	南木曽町	木曽谷	104	34.7	29.4	30.7	27.5	28.0	15.9	51.7
22	南木曽町	木曽谷	60	25.4	20.2	25.8	22.1	26.7	0.2	10.6
23	南木曽町	木曽谷	67	14.4	23.8	29.9	25.3	88.4	240.3	118.8
24	南木曽町	木曽谷	74	16.3	25.6	32.4	27.4	85.9	258.1	122.5
25	南木曽町	木曽谷	53	20.2	20.8	25.4	22.4	0.4	27.4	5.0
残差平方和								596.9	1240.3	746.9

表 3.6 収穫調査と各推定式の平均胸高直径比較結果(カラマツ)

No.	県市町村	計画区	林齢	収穫調査 平均DBH	A式DBH	B式DBH	C式DBH	D式DBH	A式残差	B式残差	C式残差	D式残差
1	佐久市	千曲川上流	69	23.6	16.6	14.8	16.3	24.8	48.5	76.8	52.8	1.5
2	佐久市	千曲川上流	54	23.7	18.7	19.2	19.8	28.2	25.2	20.4	15.3	20.1
3	佐久市	千曲川上流	57	26.9	21.3	24.2	25.1	34.1	31.2	7.2	3.2	52.0
4	玉滝村	木曽谷	67	23.0	21.6	24.2	26.7	37.2	2.0	1.4	13.5	201.0
5	玉滝村	木曽谷	53	21.2	19.8	20.7	22.8	32.7	1.9	0.2	2.6	132.4
6	玉滝村	木曽谷	53	21.3	19.6	19.1	21.4	31.3	2.8	4.7	0.0	100.4
7	玉滝村	木曽谷	47	22.3	18.5	16.2	18.0	27.0	14.7	37.6	18.8	21.8
8	玉滝村	木曽谷	68	27.6	19.8	24.1	26.2	36.3	60.1	11.9	1.8	76.5
9	玉滝村	木曽谷	53	18.5	20.0	23.7	24.9	34.2	2.2	27.0	40.9	246.3
10	玉滝村	木曽谷	62	23.6	20.1	23.9	26.3	36.7	12.3	0.1	7.3	171.6
11	玉滝村	木曽谷	65	26.4	19.2	22.3	24.2	34.0	51.3	16.5	4.7	58.3
12	玉滝村	木曽谷	69	25.2	22.2	24.4	24.8	33.5	9.0	0.6	0.2	68.9
13	玉滝村	木曽谷	68	19.3	21.5	23.6	24.2	33.1	5.1	18.9	24.5	191.8
14	玉滝村	木曽谷	63	23.3	19.4	23.1	25.1	35.1	14.8	0.0	3.4	140.4
15	玉滝村	木曽谷	54	20.1	18.5	21.2	21.9	30.4	2.7	1.1	3.1	105.4
16	玉滝村	木曽谷	69	23.6	24.1	26.2	28.0	38.1	0.3	6.8	19.4	210.3
17	玉滝村	木曽谷	51	16.7	17.6	14.2	16.5	25.9	0.8	6.2	0.0	84.9
18	玉滝村	木曽谷	65	28.3	18.3	19.9	20.1	28.1	100.7	71.1	67.8	0.1
19	玉滝村	木曽谷	52	21.5	16.7	15.5	16.9	25.5	23.5	36.5	21.6	15.6
20	玉滝村	木曽谷	51	19.1	18.3	15.5	17.8	27.3	0.7	13.3	1.8	66.5
21	玉滝村	木曽谷	61	22.2	20.0	23.5	23.2	31.3	4.9	1.7	1.0	82.7
22	玉滝村	木曽谷	80	20.0	18.9	22.9	22.5	30.3	1.2	8.4	6.3	106.1
23	玉滝村	木曽谷	69	22.3	23.4	25.3	25.6	34.3	1.1	8.8	10.7	143.2
24	玉滝村	木曽谷	69	35.4	22.5	25.4	25.2	33.5	166.4	100.0	104.0	3.6
25	玉滝村	木曽谷	70	23.0	20.7	18.6	21.2	31.5	5.3	19.4	3.2	72.3
26	木曽町	木曽谷	96	38.2	18.0	21.7	21.5	29.4	406.7	271.2	277.8	76.9
残差平方和									995.4	768.0	705.7	2450.6

残差平方和の比較結果から、胸高直径推定式としてヒノキではB式、カラマツはC式を採用した。各樹頂点データに推定した胸高直径を付与し、以降の解析に用いることのできるデータとして整備した。

最終的に使用した胸高直径推定式は以下のとおりである。

スギ：

$$d = 3.173 \times C_a^{0.354} \times h^{0.430}$$

ヒノキ：

$$d = 2.823 \times C_a^{0.391} \times h^{0.407}$$

カラマツ：

$$d = 1.889 \times A^{0.326} \times h^{0.453}$$

※樹高 h(m)、樹冠投影面積 Ca(m²)、樹冠長 Ch(m)、樹冠表面積 A(m²)