

3.1.4 樹頂点の抽出

1) 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、必ず単木毎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。

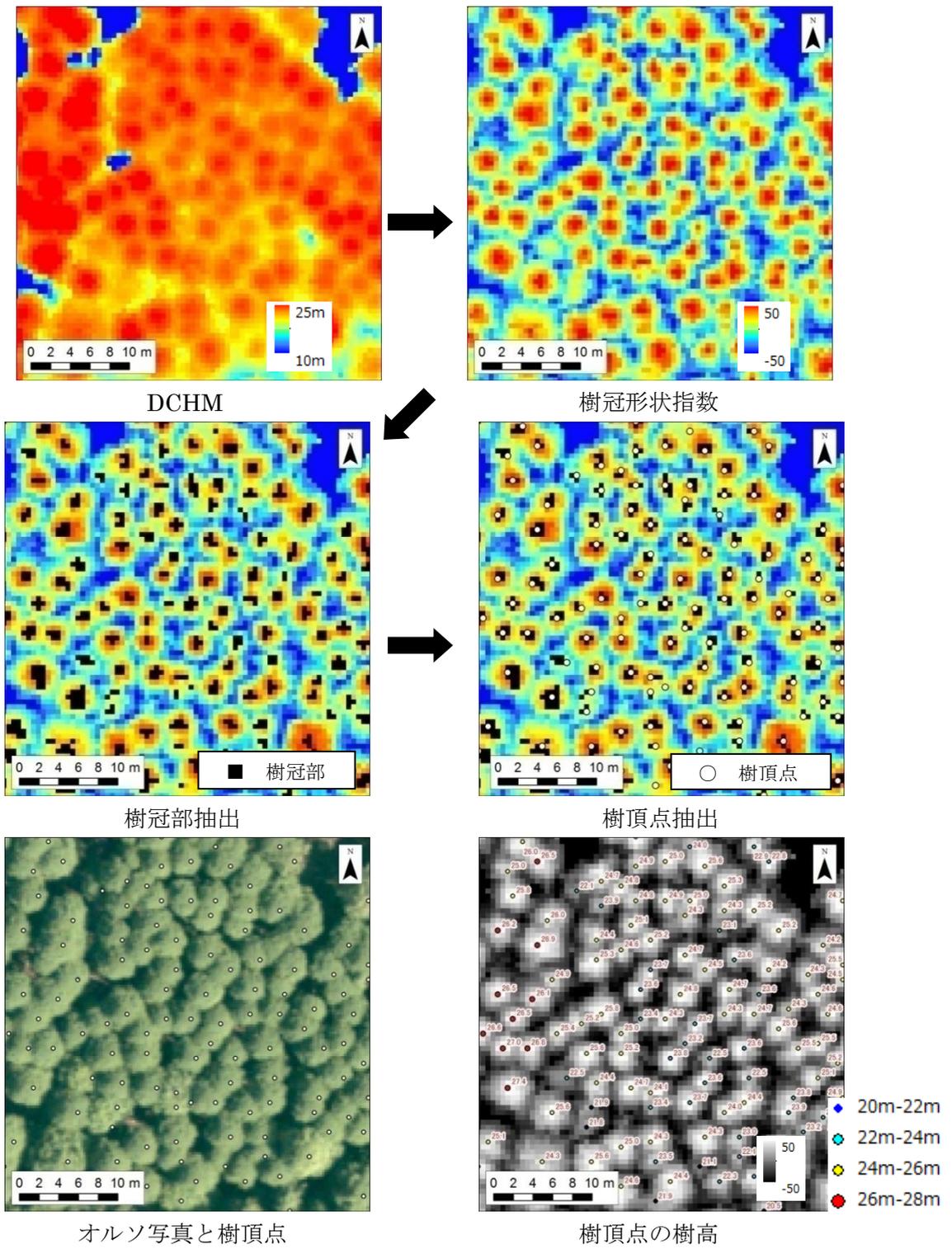


図 3-13 樹頂点の抽出過程

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、DBHのような側面からの計測が必要なものは、現地調査により計測樹の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。

本業務においては、選定したエリア周辺の民有林における調査成果の現地調査結果と抽出樹頂点の結果から重回帰分析を実施し、胸高直径推定式を用いて推定を実施した。重回帰分析のイメージを図3-14に、地域毎の重回帰分析結果及び胸高直径推定式を表3-6～表3-9に示す。

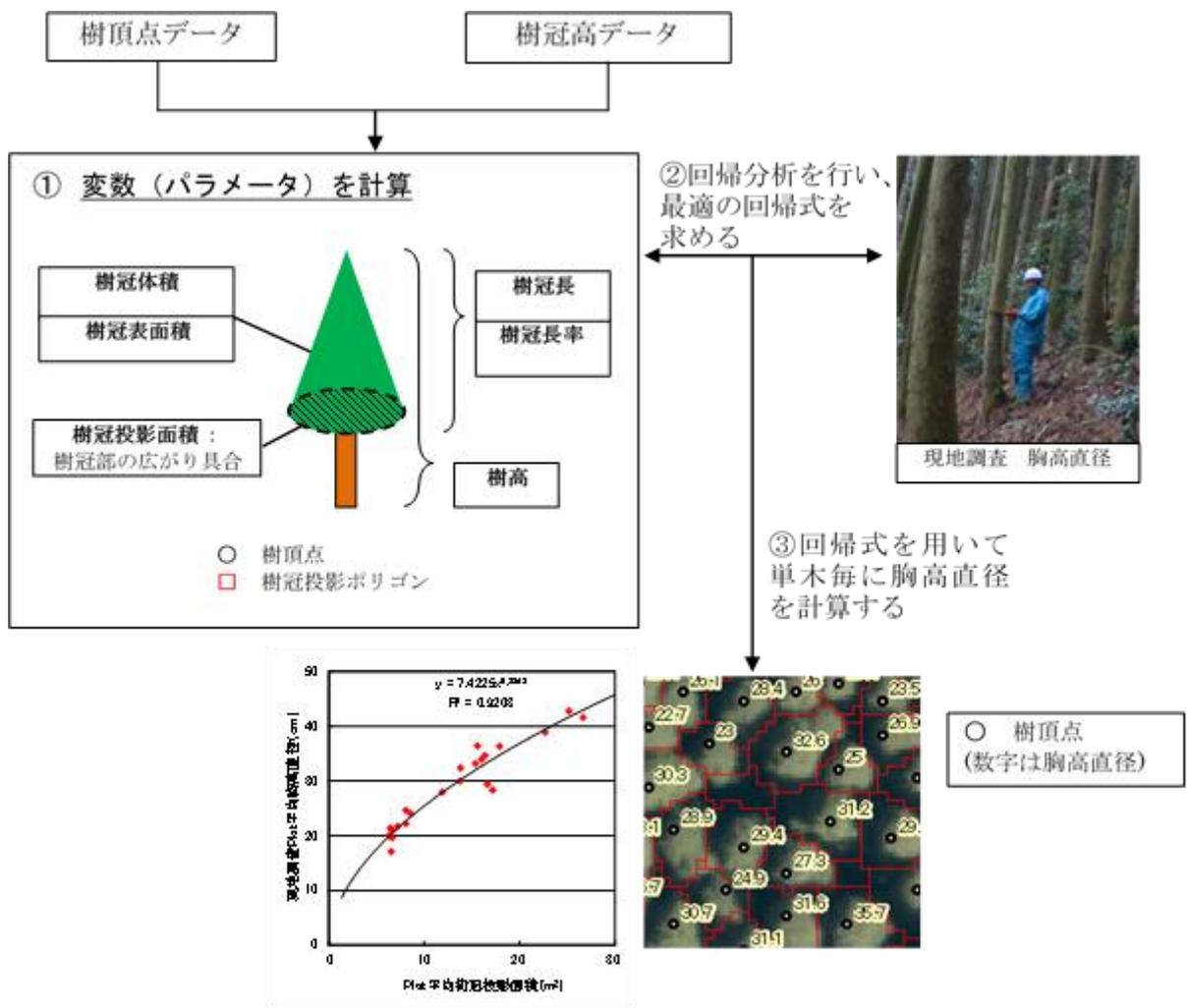


図 3-14 重回帰分析の流れ

【回帰分析に使用する用語】

- 補正 R^2 値…回帰式を評価する場合、一般的に R^2 値が使用される。しかし、重回帰分析において説明変数の数が違う場合、 R^2 値から式の良否を評価することはできない（説明変数の数が大きいほど R^2 値は良好な値を示す）。このような説明変数の数の影響を取り除き、見かけ上の当てはまりの良さを差し引いた数値が補正 R^2 値である。この数値が高いほど、回帰式から求められる予測値が目的変数に近く、回帰式の当てはまりが良いことを示す。自由度調整済決定係数ともいわれる。
- RMSE…2乗平均平方根誤差（Root Mean Squared Error）。回帰式から求められる予測値が真値からどの程度乖離しているかを示す。0に近い値であるほど誤差が小さいことを示す。
- p 値…回帰分析の場合、目的変数と関係がない説明変数を加えても回帰式は作成される。例えば体重を目的変数とした場合、身長や腹囲など体重と関係がある説明変数の他に、視力という全く関係ない説明変数を加えて回帰分析すると、作成された回帰式に視力の係数も設定される。しかし、その係数は偶然その値になっただけで、視力と体重に関係があることを示しているわけではない。このような目的変数と説明変数の関係を判断するために p 値が用いられる。
p 値は帰無仮説（ある仮説に対して真逆の仮説）が成立していると仮定した場合、帰無仮説が成立する確率である。本解析では、樹冠投影面積、樹高などの説明変数が胸高直径と全く関係がないと仮定した場合、回帰式の係数が得られる可能性を示している。p 値が小さければ、「目的変数と説明変数の関係が全くないということはありません」といえることになり、目的変数と説明変数に関係があると考えられることができる。この p 値の判断基準として、一般的に 0.05（5%）未満が用いられる。

R^2 値や、RMSE が回帰式から求められる予測値を評価するものであるのに対し、p 値は回帰式の説明変数の使用の可否を判断するものである。

胸高直径の推定に使用する回帰式を決定する際、まず説明変数の p 値が全て 0.05（5%）未満である回帰式を選び、その中で補正 R^2 値が高く、RMSE が小さい式を選定した。

すなわち、目的変数（胸高直径の実測値）と説明変数（樹冠投影面積、樹高など）の関係が強く、回帰式の当てはまりが良く、回帰式から求められる予測値（胸高直径の推定値）と真値（胸高直径の真値）の誤差が小さい回帰式を良好な胸高直径の推定式として選定した。

現地で計測した平均胸高直径 d (cm) と、航空レーザ計測より求められた 6 つの変数との比較を行い、最も関係の強い変数を使用することで、平均胸高直径を推定する回帰式を求めた。6 つの変数は、樹高 h (m)、樹冠投影面積 Ca (m^2)、樹冠長 Ch (m)、樹冠長率 Cp (%)、樹冠表面積 A (m^2)、樹冠体積 V (m^3)である。回帰式を求める際には、6 つの変数から強い関係が予想される変数の組み合わせを 11 パターン試行し比較を行った。回帰式の基本型は以下の式となる。

$$d = \alpha \times X_1^{\beta_1} \times X_2^{\beta_2} \times X_3^{\beta_3}$$

(α :定数 $X_1 \sim X_3$:説明変数 $\beta_1 \sim \beta_3$:説明変数の係数)

各県のスギ・ヒノキにおける回帰式は民有林の周辺地域のものを用いた。

なお、回帰式の選択の際は、1 変数による影響を抑えるために、基本的に 2 つ以上の変数を用いることを原則とした。

本業務で解析したエリアにおける回帰分析結果を表 3-6～表 3-9 に示す。

表 3-6 重回帰分析結果(福島県 スギ)

回帰式	説明変数の組合せ	α	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 3$	補正R ²	RMSE
1	X ₁ 樹冠投影面積	5.765 ***	0.642 ***			0.634	4.39
2	X ₁ 樹冠表面積	7.526 ***	0.331 ***			0.332	6.02
3	X ₁ 樹冠体積	10.243 ***	0.279 ***			0.409	5.99
4	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高	2.236 ***	0.295 ***	0.597 ***		0.880	2.87
5	X ₁ 樹冠表面積 X ₂ 樹高	1.803 ***	0.142 ***	0.721 ***		0.854	3.18
6	X ₁ 樹冠体積 X ₂ 樹高	2.240 ***	0.117 ***	0.696 ***		0.858	3.23
7	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長	6.198 ***	0.842 ***	-0.260 **		0.687	3.81
8	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長率	14.480 ***	0.694 ***	-0.280 ***		0.810	3.17
9	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長	2.309 ***	0.327 ***	0.582 ***	-0.030	0.878	2.85
10	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長率	2.575 **	0.322 ***	0.560 ***	-0.025	0.878	2.86
11	X ₁ 樹高	2.419 ***	0.818 ***	0.000	0.000	0.8038	3.55

† p値<0.1 * p値<0.05 ** p値<0.01 *** p値<0.001

・スギの回帰式

$$d = 2.236 \times Ca^{0.295} \times h^{0.597} \quad (Ca : \text{樹冠投影面積} \quad h : \text{樹高})$$

(平成30年度福島県民有林の森林資源解析結果で得られたもの)

表 3-7 重回帰分析結果(群馬県 上:スギ、下:ヒノキ)

回帰式	説明変数の組合せ	α	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 3$	補正R ²	RMSE
1	X ₁ 樹冠投影面積	5.765 ***	0.642 ***			0.634	4.39
2	X ₁ 樹冠表面積	7.526 ***	0.331 ***			0.332	6.02
3	X ₁ 樹冠体積	10.243 ***	0.279 ***			0.409	5.99
4	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高	2.236 ***	0.295 ***	0.597 ***		0.880	2.87
5	X ₁ 樹冠表面積 X ₂ 樹高	1.803 ***	0.142 ***	0.721 ***		0.854	3.18
6	X ₁ 樹冠体積 X ₂ 樹高	2.240 ***	0.117 ***	0.696 ***		0.858	3.23
7	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長	6.198 ***	0.842 ***	-0.260 **		0.687	3.81
8	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長率	14.480 ***	0.694 ***	-0.280 ***		0.810	3.17
9	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長	2.309 ***	0.327 ***	0.582 ***	-0.030	0.878	2.85
10	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長率	2.575 **	0.322 ***	0.560 ***	-0.025	0.878	2.86
11	X ₁ 樹高	2.419 ***	0.818 ***	0.000	0.000	0.8038	3.55

† p値<0.1 * p値<0.05 ** p値<0.01 *** p値<0.001

回帰式	説明変数の組合せ	α	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 3$	補正R ²	RMSE
1	X ₁ 樹冠投影面積	6.380 ***	0.579 ***			0.686	2.67
2	X ₁ 樹冠表面積	5.754 ***	0.458 ***			0.590	3.01
3	X ₁ 樹冠体積	10.441 ***	0.326 ***			0.613	3.28
4	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高	2.323 ***	0.315 ***	0.563 ***		0.891	1.70
5	X ₁ 樹冠表面積 X ₂ 樹高	1.914 ***	0.240 ***	0.623 ***		0.882	1.71
6	X ₁ 樹冠体積 X ₂ 樹高	2.697 ***	0.173 ***	0.610 ***		0.886	1.90
7	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長	6.267 ***	0.615 ***	-0.055		0.676	2.66
8	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長率	13.133 ***	0.636 ***	-0.292 ***		0.794	2.17
9	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長	2.328 ***	0.256 **	0.577 ***	0.080	0.890	1.65
10	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長率	1.611	0.256 **	0.657 ***	0.080	0.890	1.65
11	X ₁ 樹高	2.023 **	0.844 ***	0.000	0.000	0.7704	2.62

† p値<0.1 * p値<0.05 ** p値<0.01 *** p値<0.001

・スギの回帰式

$$d = 2.236 \times Ca^{0.295} \times h^{0.597} \quad (Ca : \text{樹冠投影面積} \quad h : \text{樹高})$$

・ヒノキの回帰式

$$d = 2.323 \times Ca^{0.315} \times h^{0.563} \quad (Ca : \text{樹冠投影面積} \quad h : \text{樹高})$$

(平成30年度福島県民有林の森林資源解析結果で得られたもの)

表 3-8 重回帰分析結果(新潟県 スギ)

回帰式	説明変数の組合せ	α	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 3$	補正R ²	RMSE
1	X ₁ 樹冠投影面積	4.206 ***	0.751 ***			0.832	3.28
2	X ₁ 樹冠表面積	5.091 ***	0.466 ***			0.483	5.49
3	X ₁ 樹冠体積	8.629 ***	0.360 ***			0.567	5.37
4	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高	2.093 ***	0.445 ***	0.478 ***		0.926	2.29
5	X ₁ 樹冠表面積 X ₂ 樹高	1.243	0.242 ***	0.725 ***		0.912	2.53
6	X ₁ 樹冠体積 X ₂ 樹高	1.870 ***	0.182 ***	0.686 ***		0.912	2.71
7	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長	4.420 ***	0.926 ***	-0.283 ***		0.879	2.71
8	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長率	8.292 ***	0.746 ***	-0.205 ***		0.909	2.46
9	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長	1.998 **	0.409 **	0.506 ***	0.030	0.925	2.30
10	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長率	1.799	0.415 **	0.526 **	0.025	0.924	2.29
11	X ₁ 樹高	1.807 *	0.894 ***	0.000	0.000	0.8063	3.83

† p値<0.1 * p値<0.05 ** p値<0.01 *** p値<0.001

・スギの回帰式

$$d = 2.093 \times Ca^{0.445} \times h^{0.478} \quad (Ca : \text{樹冠投影面積} \quad h : \text{樹高})$$

(令和元年度新潟県長岡市の民有林の森林資源解析結果で得られたもの)

表 3-9 重回帰分析結果(静岡県 上:スギ、下:ヒノキ)

回帰式	説明変数の組合せ	α	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 3$	補正R ²	RMSE
1	X ₁ 樹冠投影面積	9.981 ***	0.441 ***			0.713	2.94
2	X ₁ 樹冠表面積	14.729 ***	0.213 ***			0.343	4.23
3	X ₁ 樹冠体積	18.358 ***	0.169 ***			0.405	4.28
4	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高	2.474 **	0.223 ***	0.604 ***		0.855	2.07
5	X ₁ 樹冠表面積 X ₂ 樹高	1.601	0.084 *	0.826 ***		0.813	2.27
6	X ₁ 樹冠体積 X ₂ 樹高	1.886 *	0.067 *	0.801 ***		0.817	2.31
7	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長	8.631 ***	0.608 ***	-0.199 **		0.797	2.36
8	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長率	13.298 ***	0.530 ***	-0.185 ***		0.838	2.20
9	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長	3.023 **	0.337 ***	0.490 **	-0.087	0.862	2.02
10	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長率	4.476 **	0.336 ***	0.405 *	-0.086	0.862	2.03
11	X ₁ 樹高	1.442	0.946 ***	0.000	0.000	0.7745	2.57

† p値<0.1 * p値<0.05 ** p値<0.01 *** p値<0.001

回帰式	説明変数の組合せ	α	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 3$	補正R ²	RMSE
1	X ₁ 樹冠投影面積	6.010 ***	0.683 ***			0.669	2.60
2	X ₁ 樹冠表面積	8.684 ***	0.392 ***			0.372	3.63
3	X ₁ 樹冠体積	14.885 ***	0.259 ***			0.385	4.10
4	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高	2.721 ***	0.453 ***	0.427 ***		0.796	2.20
5	X ₁ 樹冠表面積 X ₂ 樹高	2.123 *	0.245 ***	0.606 ***		0.738	2.46
6	X ₁ 樹冠体積 X ₂ 樹高	3.060 ***	0.159 ***	0.599 ***		0.734	2.77
7	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長	4.884 ***	0.899 ***	-0.301 **		0.739	2.20
8	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長率	9.445 ***	0.725 ***	-0.223 ***		0.792	2.13
9	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長	2.874 ***	0.563 ***	0.360 **	-0.102	0.795	2.15
10	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長率	4.626 *	0.566 ***	0.254	-0.104	0.795	2.15
11	X ₁ 樹高	2.733 **	0.740 ***	0.000	0.000	0.6091	2.83

† p値<0.1 * p値<0.05 ** p値<0.01 *** p値<0.001

・スギの回帰式

$$d = 2.474 \times Ca^{0.223} \times h^{0.604} \quad (Ca : \text{樹冠投影面積} \quad h : \text{樹高})$$

・ヒノキの回帰式

$$d = 2.721 \times Ca^{0.453} \times h^{0.427} \quad (Ca : \text{樹冠投影面積} \quad h : \text{樹高})$$

(令和元年度静岡県志太榛原地域の民有林の森林資源解析結果で得られたもの)

また、参考情報として、その他の地域の航空レーザ計測データから作成された胸高直径推定式を以下に示す。なお、茨城県の民有林で作成された胸高直径推定式については作成方法などの情報が得られなかった。

(福島県 国有林)

平成26年度「森林における除染等実証事業」のうち「航空レーザ計測業務」

・スギの回帰式

$$d = 8.0718 C_a^{0.5214} \quad (C_a : \text{樹冠投影面積})$$

※相関係数R 0.97, RMSE 2.20

・ヒノキの回帰式

$$d = 6.0718 C_a^{0.6262} \quad (C_a : \text{樹冠投影面積})$$

※相関係数 R 0.99, RMSE 1.77

(栃木県 民有林)

平成27年度栃木県素材供給力強化等業務委託 森林資源調査 (航空レーザ計測・解析)

・スギの回帰式

(全地区)

$$d = 3.500 \times C_a^{0.406} \times h^{0.347} \quad (C_a : \text{樹冠投影面積} \quad h : \text{樹高})$$

※相関係数R 0.93, RMSE 3.03

・ヒノキの回帰式

(那須町、鹿沼市)

$$d = 6.904 C_a^{0.508} \quad (C_a : \text{樹冠投影面積})$$

※相関係数 R 0.91, RMSE 2.02

(矢板市)

$$d = 10.694 C_a^{0.362} \quad (C_a : \text{樹冠投影面積})$$

※相関係数 R 0.91, RMSE 1.38

(神奈川 民有林)

①平成31年度水源林林況等基礎調査業務委託(航空レーザ計測・解析)

計測地域；県西地域

・スギの回帰式

$$d = 4.238 \times C_a^{0.343} \times h^{0.377} \quad (C_a : \text{樹冠投影面積} \quad h : \text{樹高})$$

※相関係数R 0.93, RMSE 2.65

・ヒノキの回帰式

$$d = 1.721 \times h^{0.961} \quad (h : \text{樹高})$$

※相関係数R 0.91, RMSE 2.44

②令和元年度航空レーザ測量及び山地災害重点地域全体計画策定業務委託(航空レーザ計測・解析)

計測地域：相模原市(緑区)

- ・スギの回帰式

$$d = 2.506 \times Ca^{0.196} \times h^{0.659} \quad (\text{Ca: 樹冠投影面積} \quad h: \text{樹高})$$

※相関係数R 0.93, RMSE 2.19

- ・ヒノキの回帰式

$$d = 2.943 \times Ca^{0.408} \times h^{0.390} \quad (\text{Ca: 樹冠投影面積} \quad h: \text{樹高})$$

※相関係数R 0.93, RMSE 1.56

③令和2年度水源林林況等基礎調査業務委託(航空レーザ計測・解析)

計測地域；県央地域

- ・スギの回帰式

$$d = 2.965 \times Ca^{0.347} \times h^{0.473} \quad (\text{Ca: 樹冠影面積} \quad h: \text{樹高})$$

※相関係数R 0.96, RMSE 3.04

- ・ヒノキの回帰式

$$d = 2.570 \times Ca^{0.348} \times h^{0.529} \quad (\text{Ca: 樹冠投影面積} \quad h: \text{樹高})$$

※相関係数R 0.97, RMSE 2.38