

- 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かい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、目的変数と無関係である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）が成立する確率である。本解析では、目的変数である胸高直径と説明変数である樹高、樹冠投影面積などが無関係である確率を示している。p 値が小さければ、「目的変数と説明変数は無関係ではない」ことになり、目的変数と説明変数には関係があると判断することができる。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。

R² 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。

② 使用する推定式

胸高直径の推定式は、説明変数の p 値がすべて 0.05（5%）未満である回帰式を選び、その中で補正 R² 値が高く、RMSE が小さい式を選定した。

なお、和歌山県で令和 2 年度に実施された「令和 2 年度和歌山県森林資源解析及び危険箇所抽出調査業務（その 2）」業務（以下、「R2 和歌山県業務」）においても同様の現地調査がされている。本業務で実施した現地調査はプロット数が限られており、適用可能な範囲が限られている可能性があるため、上記業務で実施した現地調査のデータを元に作成した胸高直径推定式もあわせて比較した。

後述する精度検証の結果、スギにおいては「R2 和歌山県業務」のデータを用いて作成した胸高直径推定式を、ヒノキについては本業務で作成した胸高直径推定式を採用した。

表 2-5 本業務及び R2 和歌山県業務の現地調査データから作成した胸高直径推定式

業務名	樹種	回帰式	採否
本業務	スギ	$d = 20.791A^{-0.226} \times h^{0.314}$	
	ヒノキ	$d = 9.511Ca^{0.391}$	採用
R2 和歌山県業務	スギ	$d = 2.299A^{0.162} \times h^{0.637}$	採用
	ヒノキ	$d = 4.614C_a^{0.179} \times h^{0.372} \times C_h^{0.205}$	

※d: 胸高直径、Ca: 樹冠投影面積、A: 樹冠表面積、h: 樹高、Ch: 樹冠長

5) 材積の推定

スギ、ヒノキについて、算出した樹高と胸高直径を用いて、立木幹材積式により単木毎の材積を算出した。

材積は、近畿・中国・石川・福井地方の材積式（林野庁計画課編 立木幹材積表・西日本編 -）を用いて算出した。材積の算出に使用した材積式を以下に示す。なお、 d は胸高直径、 h は樹高を表す。

○スギ（人工林）

$$\log V = -5 + 0.80793 + 1.82696 \log d + 0.99227 \log h$$

○ヒノキ

$$\log V = -5 + 0.68899 + 1.83546 \log d + 1.10655 \log h$$

6) 精度検証

レーザ計測データを用いたスギ、ヒノキの資源解析結果について、現地調査で得たデータと比較してどの程度相違があるのかを検証した。精度検証に使用した指標を以下に示す。

1. 現地比 (%)

- 現地調査結果に対する森林資源情報解析結果の比率である。数値が 100% 以下の場合、解析結果は現地調査結果に比べて過小となり、数値が 100% 以上の場合、解析結果は現地調査結果に比べて過大となる。各プロットでの比較に使用する。

$\text{現地比} = \frac{\hat{y}}{y}$ レーザ計測による解析結果: $\hat{y}$現地調査結果: y

例：森林資源解析結果の樹高 22m で現地調査結果の樹高 20m の場合

$$\text{現地比} \quad 22/20=110\%$$

2. 誤差率 (%)

- 森林資源解析結果と現地調査結果の差に対する現地調査結果の比率である。数値が大きいほど、誤差が大きいことを示す。

$\text{誤差率} = \left \frac{\hat{y} - y}{y} \right $ レーザ計測による解析結果: $\hat{y}$現地調査結果: y
--

例：森林資源解析結果の樹高 22m で現地調査結果の樹高 20m の場合

$$\text{誤差率} \quad |22-20|/20= 10\%$$

3. RMSE

- 二乗平均平方根誤差（Root Mean Squared Error）のことである。森林資源解析結果が現地調査結果からどの程度かい離しているかを表し、0に近い値であるほど誤差が小さいことを示す。平均誤差率が相対的な誤差の比率であるのに対し、RMSEは誤差の絶対値である。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\hat{y}_k - y_k)^2}$$

例：すべての現地調査プロットで、森林資源解析結果と現地調査結果の樹高の差が2m（-2m）の場合、RMSE=2

4. R（相関係数）

- 2つのデータ群の相関の強さを表す。相関係数は-1.0～+1.0の値をとり、マイナスの場合は負の相関、プラスの場合は正の相関を示す。精度に明確な基準はないが、「絶対値0.7以上：強い相関がある、絶対値0.4以上：比較的強い相関がある、絶対値0.2以上：弱い相関がある、絶対値0.2未満：ほとんど相関がない」と考えられている。

① 立木本数精度の検証

現地調査はスギ 5 箇所、ヒノキ 5 箇所を実施した。レーザ解析の立木本数は、上層木のみの本数である。これと現地調査結果の立木本数を比較するのに、本業務では現地調査結果の全木本数と上層木本数の 2 つを用いた。上層木本数は梢端が林冠表層に達している立木の本数であり、全木本数はそれ以外の林冠表層に達していない立木（林冠未到達木）も含んだ本数である。この 2 つを精度検証するのは、現地において林冠未到達木が多い林分では、林冠表層への梢端の到達の有無の判断にレーザ解析と現地調査で相違が発生する可能性があり、これについて確認するためである。上層木と林冠未到達木のイメージ図を図 2.29 に示す。

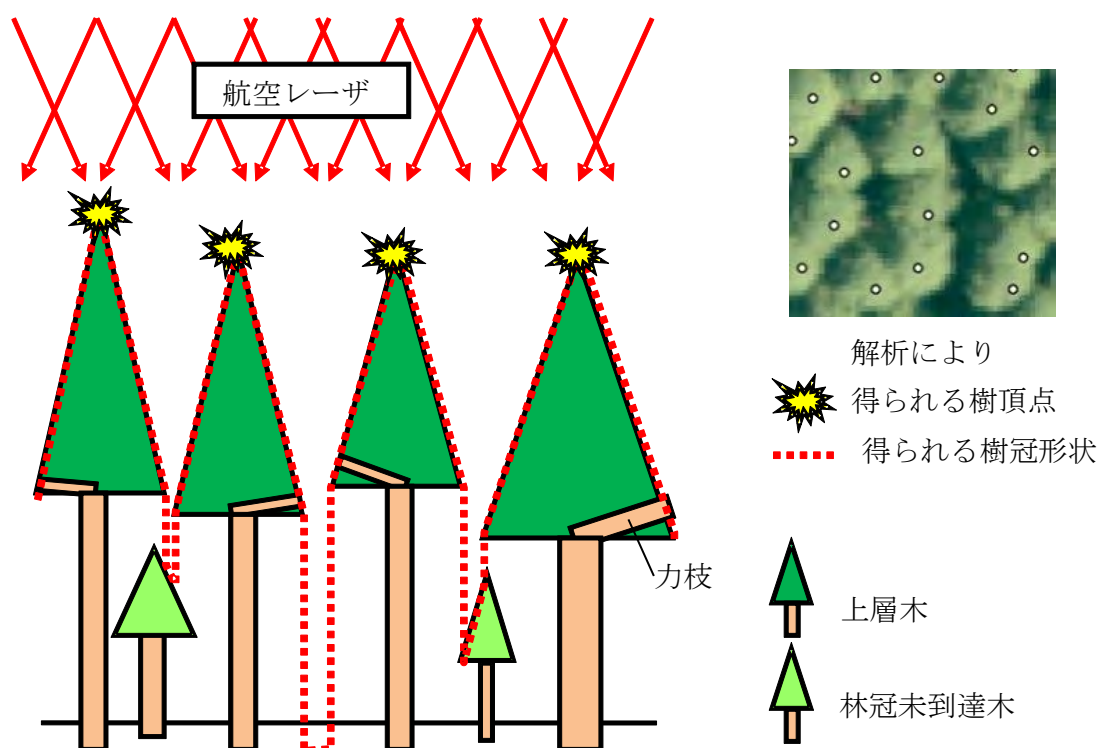


図 2.29 上層木と林冠未到達木のイメージ

スギの現地調査地点における上層木本数（以下、上層木）・全木本数（以下、全木）とレーザ解析本数の比較結果を表 2-6、図 2.30 に示す（1プロットあたり）。

スギの誤差率の平均は上層木では 9.5%、全木では 12.3%であった。上層木の RMSE は平均 40.8 本に対し 5.04 本、全木の RMSE は平均 42.8 本に対し 8.57 本であった。

表 2-6 現地調査結果とレーザ解析結果のスギ立木本数の比較（プロットあたり）

プロット名	現地調査 上層木本数 (本)	レーザ解析 樹木本数 (本)	現地比	誤差率	プロット名	現地調査 全木本数 (本)	レーザ解析 樹木本数 (本)	現地比	誤差率
S01	53	45	85%	15%	S01	62	45	73%	27%
S02	27	26	96%	4%	S02	27	26	96%	4%
S03	51	48	94%	6%	S03	51	48	94%	6%
S04	50	43	86%	14%	S04	51	43	84%	16%
S05	23	25	109%	9%	S05	23	25	109%	9%
平均	40.8	37.4		9.5%	平均	42.8	37.4		12.3%
	R		0.98			R		0.95	
	RMSE		5.04			RMSE		8.57	

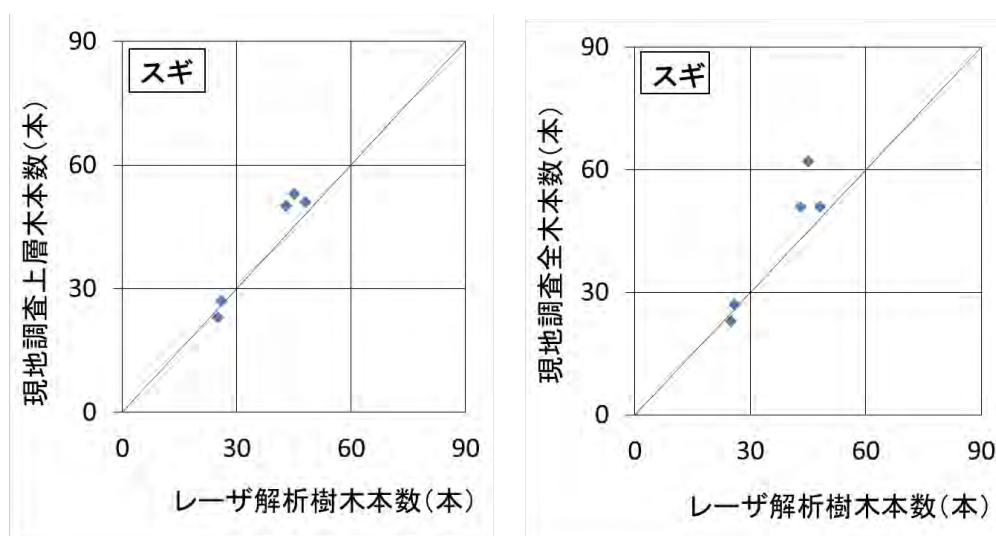


図 2.30 現地調査結果とレーザ解析結果のスギ立木本数の比較（プロットあたり）

ヒノキの比較結果を表 2-7、図 2.31 に示す。

ヒノキの誤差率の平均は上層木では 3.1%、全木では 1.9%であった。上層木の RMSE は平均 26.0 本に対し 0.89 本、全木の RMSE は平均 26.6 本に対し 1.00 本であった。

表 2-7 現地調査結果とレーザ解析結果のヒノキ立木本数の比較（プロットあたり）

プロット名	現地調査 上層木本数 (本)	レーザ解析 樹木本数 (本)	現地比	誤差率	プロット名	現地調査 全木本数 (本)	レーザ解析 樹木本数 (本)	現地比	誤差率
H06	33	34	103%	3%	H06	34	34	100%	0%
H07	25	24	96%	4%	H07	25	24	96%	4%
H08	19	19	100%	0%	H08	19	19	100%	0%
H09	17	18	106%	6%	H09	18	18	100%	0%
H10	36	35	97%	3%	H10	37	35	95%	5%
平均	26.0	26.0		3.1%	平均	26.6	26.0		1.9%
		R	0.99				R	1.00	
		RMSE	0.89				RMSE	1.00	

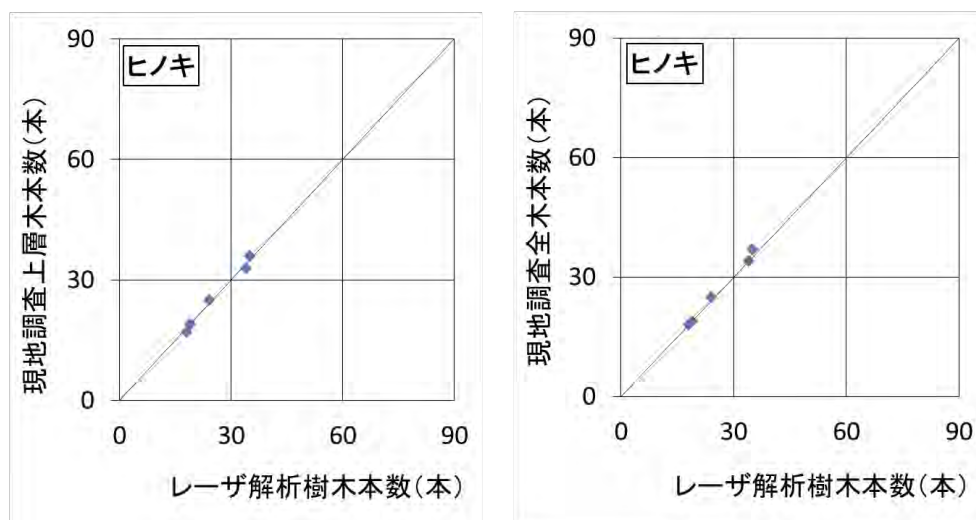


図 2.31 現地調査結果とレーザ解析結果のヒノキ立木本数比較（プロットあたり）

② 本数の誤差原因

樹頂点が多く算出される場合と少なく算出される場合があるが、二又や幹折れ等の樹木の異常以外にも、樹冠表層面のデータ（DCSM）を正確に取得できなかった場合が考えられる。

樹頂点の抽出精度は、樹冠表層面の形状が大きな要因となる。そのため、航空レーザ計測による DCSM が不正確な場合、DCSM と DEM の差分から算出した DCHM を元に抽出した樹頂点の抽出誤差が大きくなる可能性がある（DCSM, DEM, DCHM の関係については図 2.24 参照）。

樹頂点の抽出で生じる誤差は、主に以下の 2 つの場合が考えられる。

A. 樹頂点が現地調査の結果より多く抽出

航空レーザ計測のレーザパルスが樹冠の表層ではなく樹冠内部の枝葉で反射してしまった場合、その測量データでは 1 つの樹冠に複数の凹凸（樹冠縁と梢端）が生じてしまうため、その樹頂点の抽出結果は数が過剰になってしまう（図 2.32）。

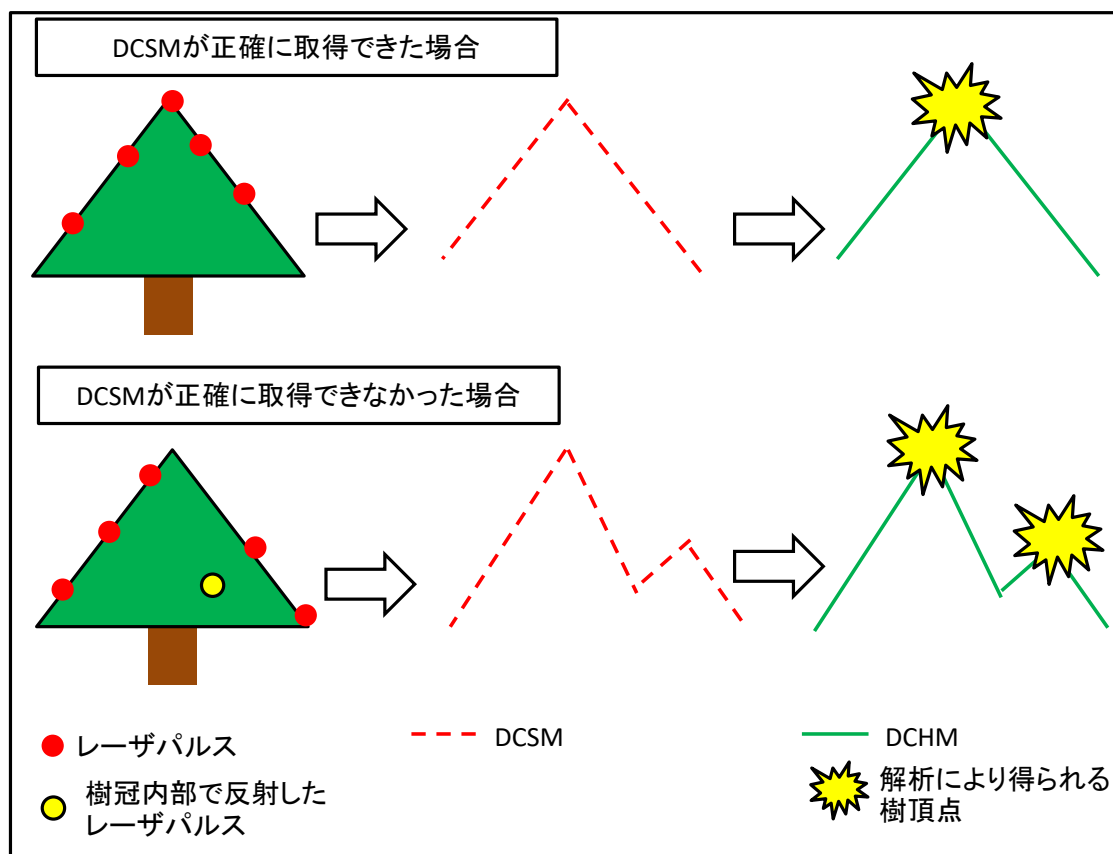


図 2.32 DCSM が正確に取得できず樹頂点が多く抽出される例のイメージ図

B. 樹頂点が現地調査の結果より少なく抽出

隣接する上層木の距離が近く、個々の樹冠縁（凹部）でうまくレーザパルスが反射しなかった場合、その測量データでは複数の樹冠が1つの樹冠に合わさってしまうため、その樹頂点の抽出結果は数が不足してしまう（図 2.33）。立木密度が高い林分で発生しやすい事象である。

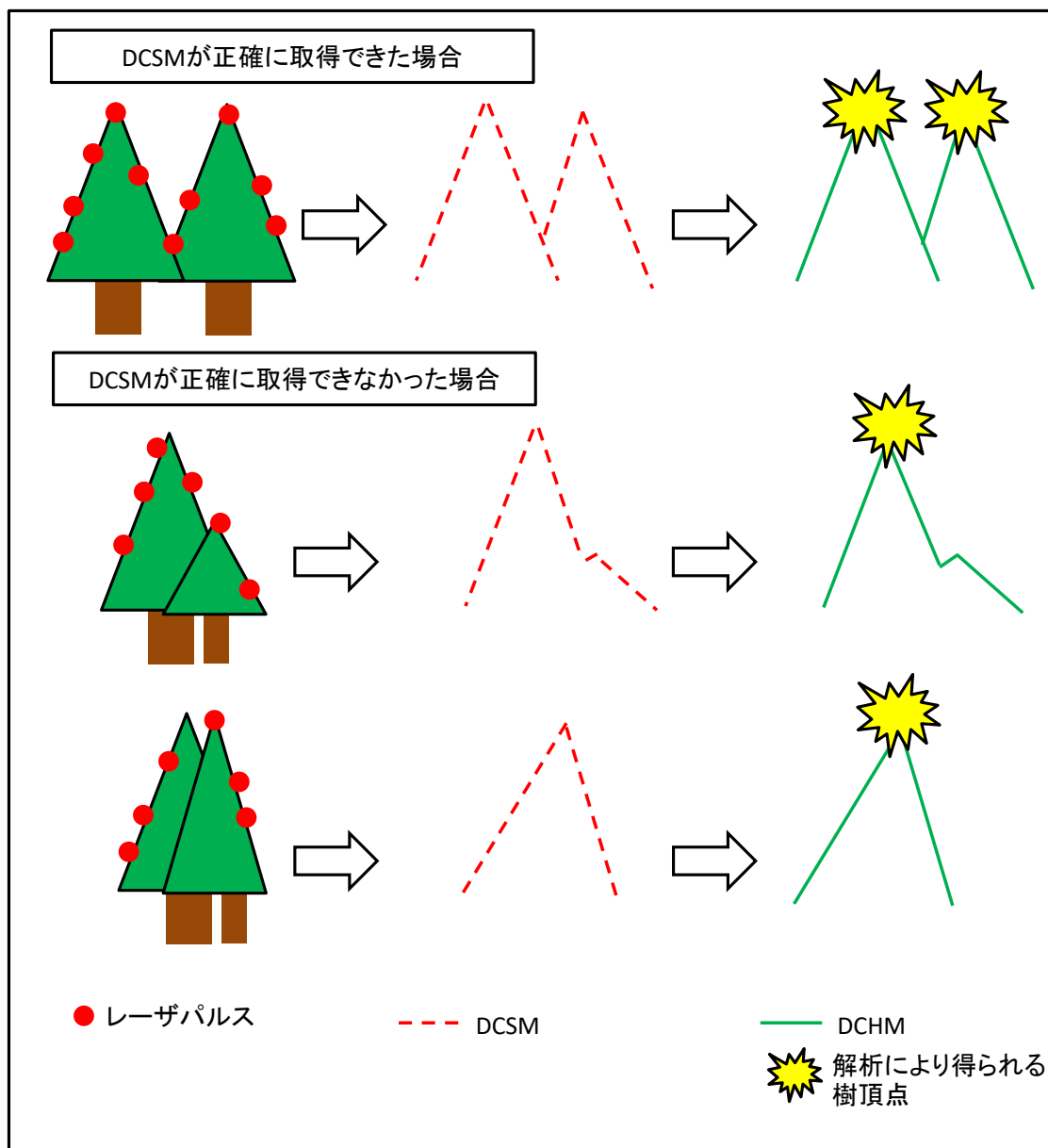


図 2.33 DCSM が正確に取得できず樹頂点が少なく抽出される例のイメージ図

③ 樹高精度の検証

レーザデータから樹頂点抽出法により樹頂点を抽出し、樹頂点の樹高を DCHM より算出した。現地調査平均樹高とレーザ解析平均樹高との比較を表 2-8 と図 2.34 に示す。

スギの平均樹高の誤差率の平均は 4.6%であり、現地の平均樹高 16.9m に対し RMSE は 1.12m であった。ヒノキの平均樹高の誤差率の平均は 3.9%であり、RMSE は現地の平均樹高 14.7m に対し 0.68m であった。

表 2-8 現地調査結果とレーザ解析結果の比較（樹高）（上：スギ、下：ヒノキ）

プロット名	現地調査 平均樹高 (m)	レーザ解析 平均樹高 (m)	現地比	誤差率
S01	18.2	20.5	112%	12%
S02	18.3	18.5	101%	1%
S03	17.0	18.0	106%	6%
S04	17.1	17.1	100%	0%
S05	13.6	14.1	104%	4%
平均	16.9	17.6		4.6%
R			0.93	
RMSE			1.12	

プロット名	現地調査 平均樹高 (m)	レーザ解析 平均樹高 (m)	現地比	誤差率
H06	15.1	15.9	106%	6%
H07	15.6	16.0	103%	3%
H08	12.7	13.2	104%	4%
H09	15.2	16.2	107%	7%
H10	15.1	15.1	100%	0%
平均	14.7	15.3		3.9%
R			0.95	
RMSE			0.68	

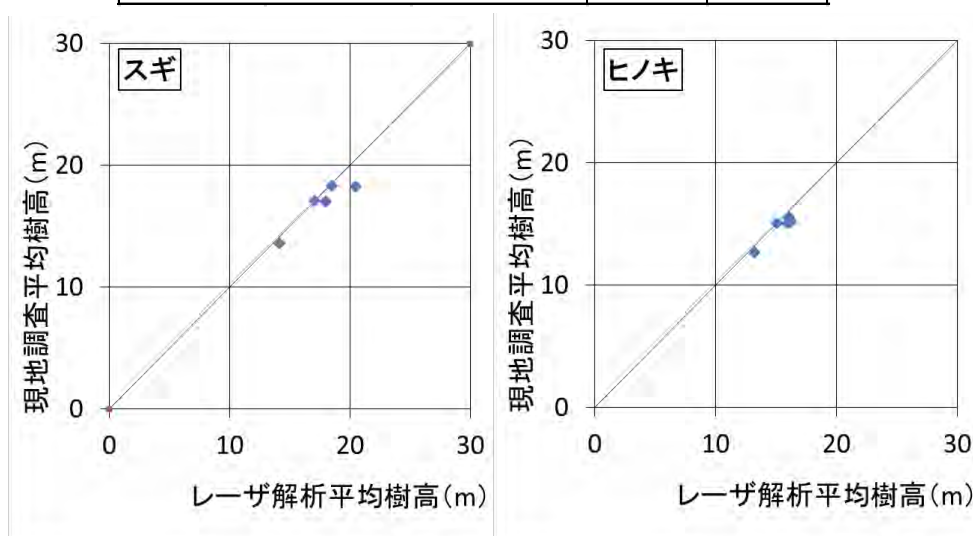


図 2.34 現地調査結果とレーザ解析結果の比較（樹高）

④ 胸高直径精度の検証

前々項において、胸高直径推定式として本業務の現地調査データから作成した回帰式及び R2 和歌山県業務の現地調査データから作成した回帰式の 2 つを採用候補とした。

ここでは、それぞれの回帰式を用いて胸高直径を推定し、本業務範囲における現地調査データの平均胸高直径と比較した。現地調査平均胸高直径と、本業務の現地調査データから作成した回帰式によるレーザ解析平均胸高直径の比較を表 2-9、図 2.35 に、R2 和歌山県の現地調査データから作成した回帰式による比較結果を表 2-10、図 2.36 に示す。

RMSE はスギが本業務データによる結果で平均胸高直径 24.7cm に対して 1.78cm、ヒノキが平均胸高直径 23.3cm に対して 1.06cm であった。R2 和歌山県データによる結果ではスギの RMSE が 1.89cm、ヒノキが 5.78cm であった。スギは本業務データによる結果と、R2 和歌山県データによる結果とで大きな違いはなかったが、ヒノキでは R2 和歌山県データによる結果で大きく精度が低下した。

表 2-9 本業務回帰式による現地調査結果とレーザ解析結果の比較（胸高直径）（上：スギ、
下：ヒノキ）

プロット名	現地調査 平均胸高直径 (cm)	レーザ解析 平均胸高直径 (cm)	現地比	誤差率
S01	24.8	27.2	110%	10%
S02	25.4	26.9	106%	6%
S03	25.7	27.0	105%	5%
S04	24.4	26.2	107%	7%
S05	22.9	24.8	108%	8%
平均	24.7	26.4		7.1%
R			0.92	
RMSE			1.78	

プロット名	現地調査 平均胸高直径 (cm)	レーザ解析 平均胸高直径 (cm)	現地比	誤差率
H06	22.6	21.5	95%	5%
H07	23.1	22.5	97%	3%
H08	21.6	20.9	97%	3%
H09	24.2	23.6	97%	3%
H10	24.9	23.2	93%	7%
平均	23.3	22.3		4.1%
R			0.93	
RMSE			1.06	

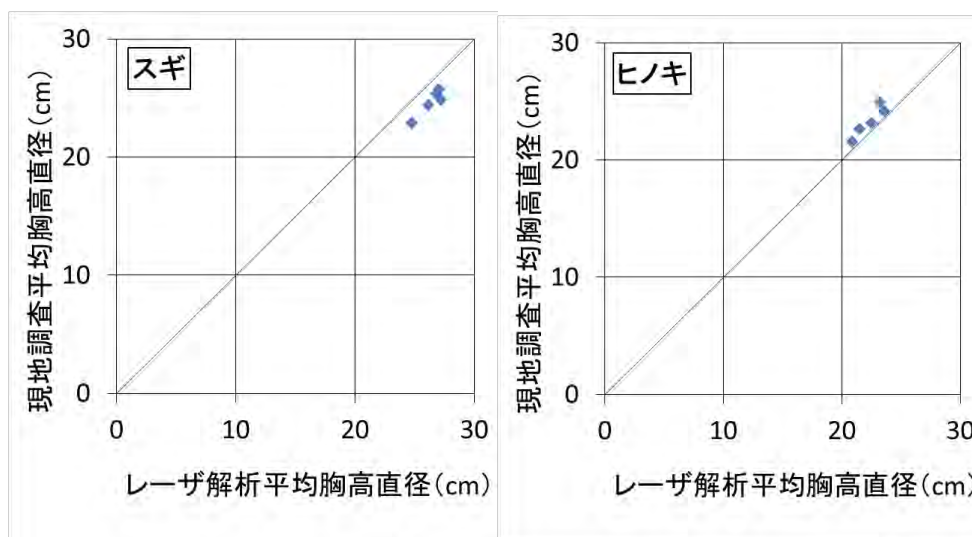


図 2.35 本業務回帰式による現地調査結果とレーザ解析結果の比較（胸高直径）

表 2-10 R2 和歌山県業務の回帰式による現地調査結果とレーザ解析結果の比較（胸高直径）（上：スギ、下：ヒノキ）

プロット名	現地調査 平均胸高直径 (cm)	レーザ解析 平均胸高直径 (cm)	現地比	誤差率
S01	24.8	26.1	105%	5%
S02	25.4	24.5	96%	4%
S03	25.7	23.3	91%	9%
S04	24.4	22.8	93%	7%
S05	22.9	20.3	89%	11%
平均	24.7	23.4		7.3%
R			0.71	
RMSE			1.89	

プロット名	現地調査 平均胸高直径 (cm)	レーザ解析 平均胸高直径 (cm)	現地比	誤差率
H06	22.6	30.1	133%	33%
H07	23.1	28.0	121%	21%
H08	21.6	26.8	124%	24%
H09	24.2	30.1	124%	24%
H10	24.9	29.9	120%	20%
平均	23.3	29.0		24.6%
R			0.72	
RMSE			5.78	

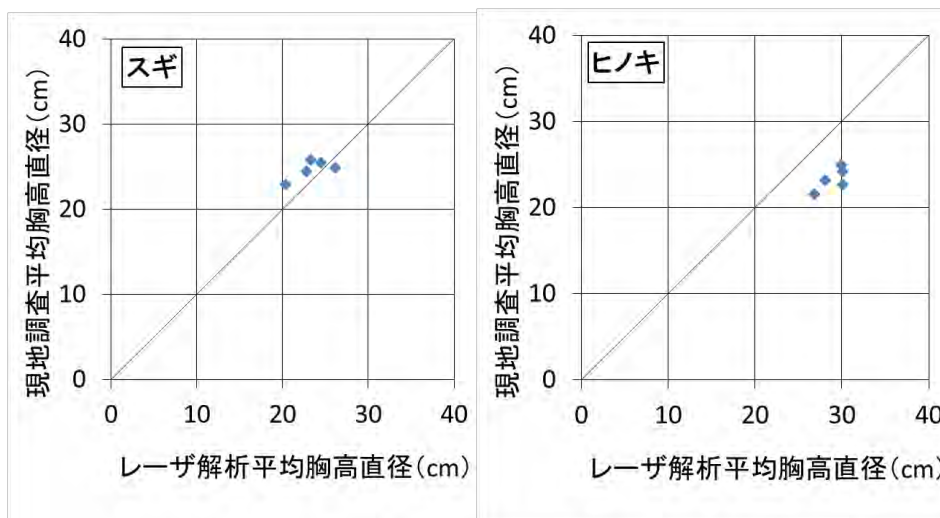


図 2.36 R2 和歌山県業務の回帰式による現地調査結果とレーザ解析結果の比較（胸高直径）

⑤ 材積精度の検証

レーザ解析によって取得した樹高と胸高直径から二変数材積式によりスギ、ヒノキの材積を推定し、現地調査プロット内の樹木の平均単木材積とレーザ解析による平均単木材積との比較を行った。なお、ここでも本業務の現地調査データから作成した胸高直径回帰式を採用した場合及び R2 和歌山県業務の現地調査データから作成した回帰式を採用した場合とで比較した。

現地調査平均単木材積と、本業務の現地調査データから作成した回帰式によるレーザ解析平均単木材積の比較を表 2-11、図 2.37 に、R2 和歌山県業務の現地調査データから作成した回帰式による比較結果を表 2-12、図 2.38 に示す。平均誤差率はスギが 15.7%、ヒノキが 3.4%であった。RMSE はスギが本業務データによる結果で平均単木材積 0.39 m^3 に対して 0.07 m^3 、ヒノキが 0.32 m^3 に対して 0.02 m^3 であった。R2 和歌山県データではスギの RMSE が 0.05 m^3 、ヒノキが 0.19 m^3 であった。

また、現地調査プロットとレーザ解析結果との合計材積の比較を行った。合計材積は単木材積の推定誤差に加え、本数推定の誤差も含まれるものであり、単木材積の誤差よりも大きくなる。本業務の現地調査データから作成した回帰式による結果を表 2-13、図 2.39 に、R2 和歌山県業務の現地調査データから作成した回帰式による比較結果を表 2-14、図 2.40 に示す。RMSE はスギが本業務データによる結果で平均合計材積 16.2 m^3 に対して 1.36 m^3 、ヒノキが 8.5 m^3 に対して 0.78 m^3 であった。R2 和歌山県データではスギの RMSE が 2.87 m^3 、ヒノキが 5.11 m^3 であった。

以上の結果から、スギでは本業務の現地調査データから推定した胸高直径回帰式を用いた材積推定結果と、R2 和歌山県データを用いた推定結果とで精度に大きな違いはなかった。一方でヒノキでは R2 和歌山県データを用いると大きく精度が低下した。

推定に用いた現地調査データの汎用性を考慮すると、スギについてはより幅広い現地調査データから求めた R2 和歌山県データによる推定式の方が適していると考えられるため、スギについては R2 和歌山県データによる推定式を採用することとした。ヒノキについては本業務の現地調査データによる推定式の方が推定精度が高いため、本業務の現地調査データから求めた推定式を採用することとした。

表 2-11 本業務回帰式による現地調査結果とレーザ解析結果の比較（平均単木材積）

プロット名	現地調査 平均単木材積 (m^3)	レーザ解析 平均単木材積 (m^3)	現地比	誤差率
S01	0.43	0.55	128%	28%
S02	0.44	0.48	109%	9%
S03	0.42	0.47	112%	12%
S04	0.38	0.42	111%	11%
S05	0.27	0.32	118%	18%
平均	0.39	0.45		15.7%
		R	0.93	
		RMSE	0.07	

プロット名	現地調査 平均単木材積 (m^3)	レーザ解析 平均単木材積 (m^3)	現地比	誤差率
H06	0.31	0.31	102%	2%
H07	0.33	0.33	100%	0%
H08	0.23	0.24	102%	2%
H09	0.36	0.38	104%	4%
H10	0.37	0.34	91%	9%
平均	0.32	0.32		3.4%
		R	0.94	
		RMSE	0.02	

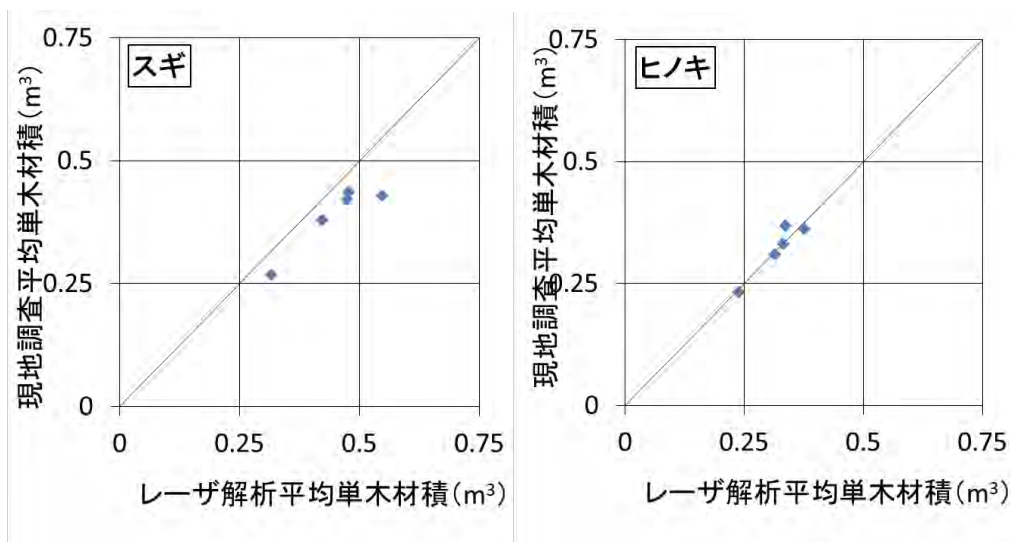


図 2.37 本業務回帰式による現地調査結果とレーザ解析結果の比較（平均単木材積）

表 2-12 R2 和歌山県回帰式による現地調査結果とレーザ解析結果の比較（平均単木材積）

プロット名	現地調査 平均単木材積 (m^3)	レーザ解析 平均単木材積 (m^3)	現地比	誤差率
S01	0.43	0.51	119%	19%
S02	0.44	0.41	94%	6%
S03	0.42	0.36	86%	14%
S04	0.38	0.33	88%	12%
S05	0.27	0.23	84%	16%
平均	0.39	0.37		13.6%
	R		0.86	
	RMSE		0.05	

プロット名	現地調査 平均単木材積 (m^3)	レーザ解析 平均単木材積 (m^3)	現地比	誤差率
H06	0.31	0.56	182%	82%
H07	0.33	0.50	152%	52%
H08	0.23	0.37	159%	59%
H09	0.36	0.58	161%	61%
H10	0.37	0.53	144%	44%
平均	0.32	0.51		59.7%
	R		0.86	
	RMSE		0.19	

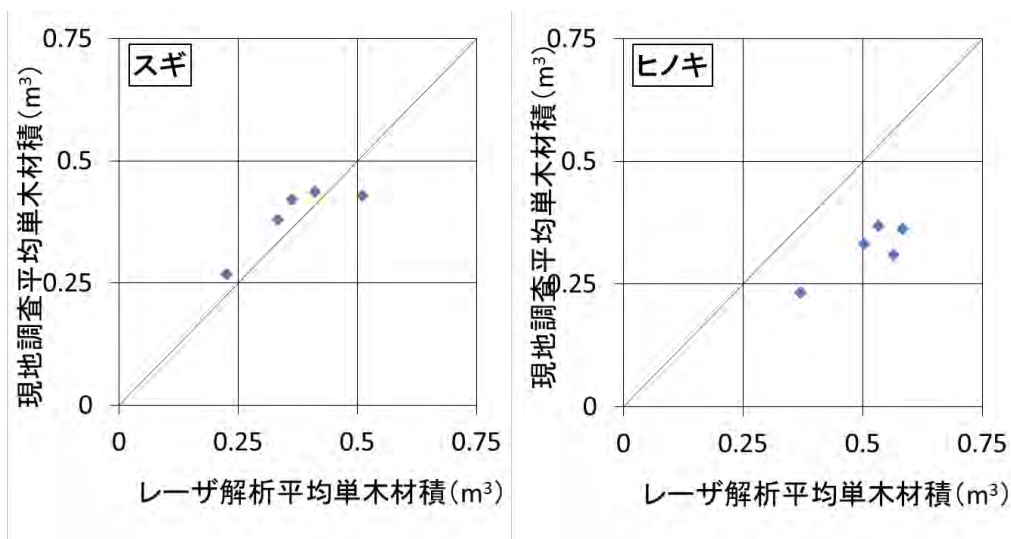


図 2.38 R2 和歌山県回帰式による現地調査結果とレーザ解析結果の比較（平均単木材積）

表 2-13 本業務回帰式による現地調査結果とレーザ解析結果の比較（合計材積）

プロット名	現地調査 合計材積 (m^3)	レーザ解析 合計材積 (m^3)	現地比	誤差率
S01	22.7	24.6	108%	8%
S02	11.8	12.4	105%	5%
S03	21.5	22.7	106%	6%
S04	19.0	18.1	96%	4%
S05	6.2	7.9	128%	28%
平均	16.2	17.2		10.3%
R			0.99	
RMSE			1.36	
プロット名	現地調査 合計材積 (m^3)	レーザ解析 合計材積 (m^3)	現地比	誤差率
H06	10.2	10.7	105%	5%
H07	8.3	8.0	96%	4%
H08	4.4	4.5	102%	2%
H09	6.2	6.8	110%	10%
H10	13.3	11.8	88%	12%
平均	8.5	8.3		6.4%
R			0.98	
RMSE			0.78	

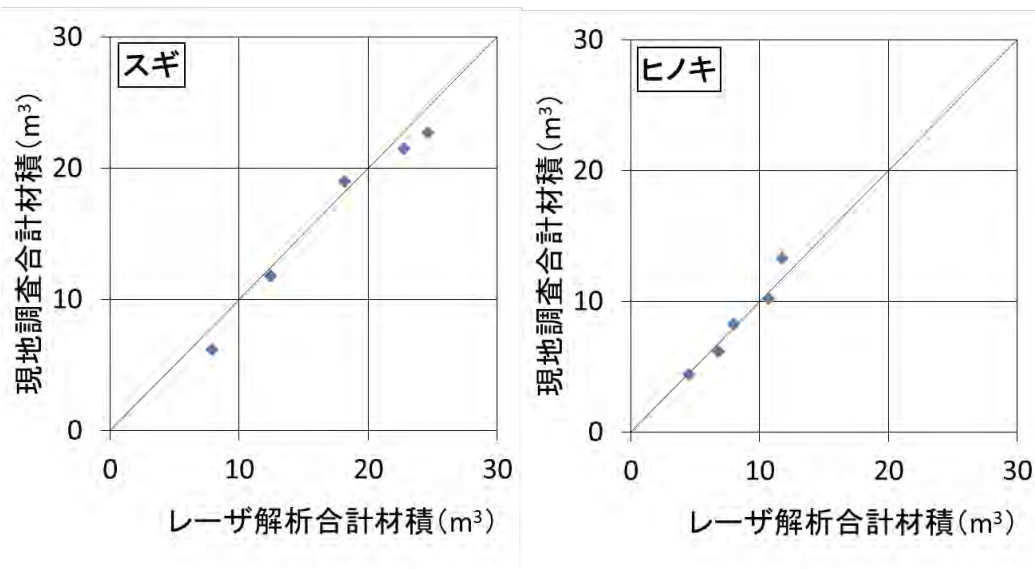


図 2.39 本業務回帰式による現地調査結果とレーザ解析結果の比較（合計材積）

表 2-14 R2 和歌山県回帰式による現地調査結果とレーザ解析結果の比較（合計材積）

プロット名	現地調査 合計材積 (m^3)	レーザ解析 合計材積 (m^3)	現地比	誤差率
S01	22.7	23.0	101%	1%
S02	11.8	10.3	87%	13%
S03	21.5	17.4	81%	19%
S04	19.0	14.3	75%	25%
S05	6.2	5.6	91%	9%
平均	16.2	14.1		13.4%
R			0.95	
RMSE			2.87	

プロット名	現地調査 合計材積 (m^3)	レーザ解析 合計材積 (m^3)	現地比	誤差率
H06	10.2	18.0	177%	77%
H07	8.3	12.1	146%	46%
H08	4.4	7.0	159%	59%
H09	6.2	10.5	170%	70%
H10	13.3	18.7	140%	40%
平均	8.5	13.3		58.5%
R			0.96	
RMSE			5.11	

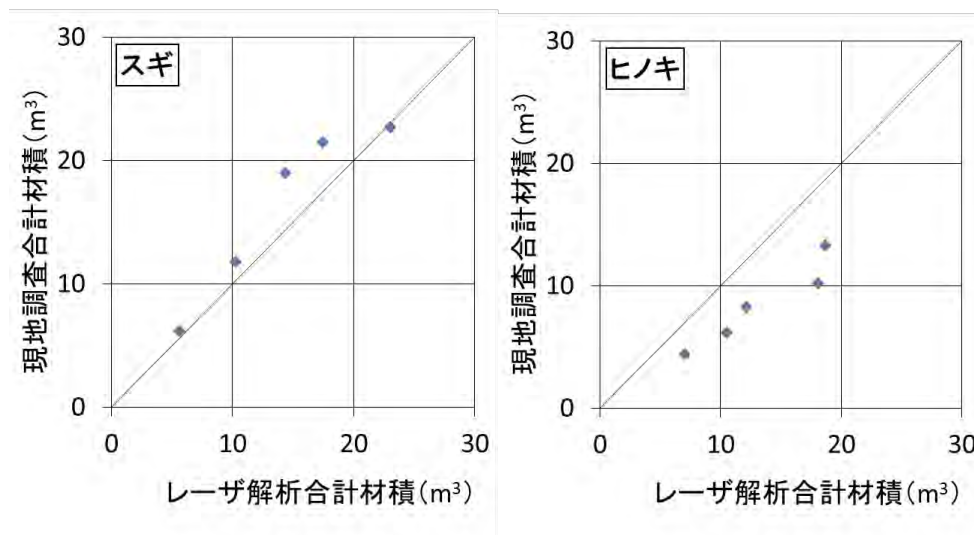


図 2.40 R2 和歌山県回帰式による現地調査結果とレーザ解析結果の比較（合計材積）

(2) 林内 UAV レーザ計測データの立木情報検出

林内 UAV レーザ計測データは LAS1.2 フォーマットでデータが作成されており、株式会社アドイン研究所が開発した森林 3 次元計測システム OWL 用のソフトウェアである Owl Manager に取り込むことができる。本事業では、OWL Manager を用いて立木位置および胸高直径、樹高等の情報を算出した。

立木情報の検出結果を図 2.41, 図 2.42 に示す。なお、林内 UAV 計測データは現地座標を持たないデータであるため、路網形状と林縁木の配置関係を参考に GIS 上で幾何補正を行った。

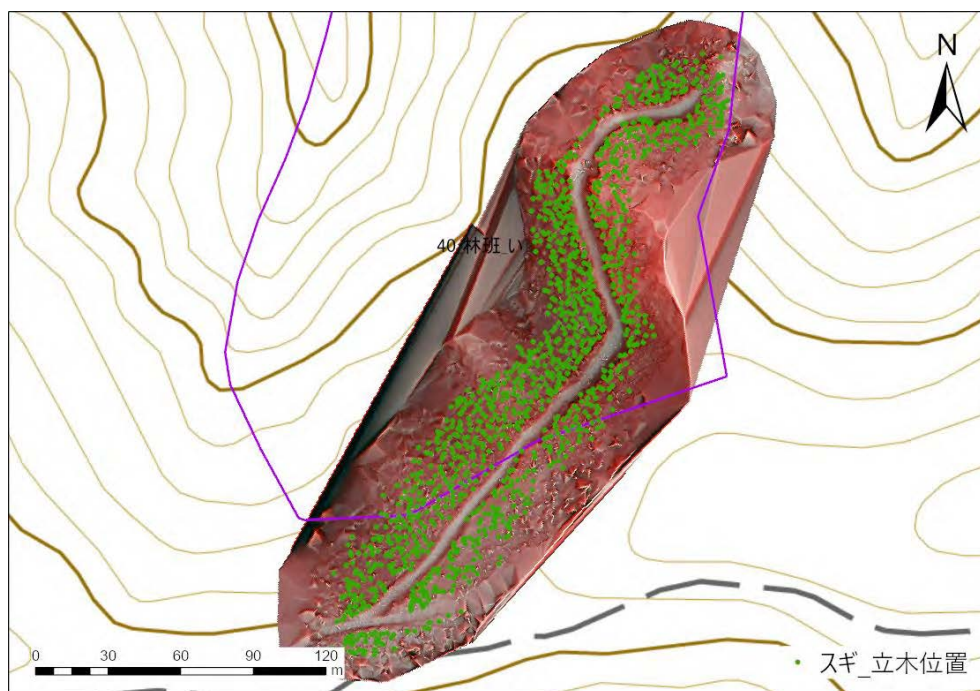


図 2.41 立木位置の検出結果（40 林班い小班）

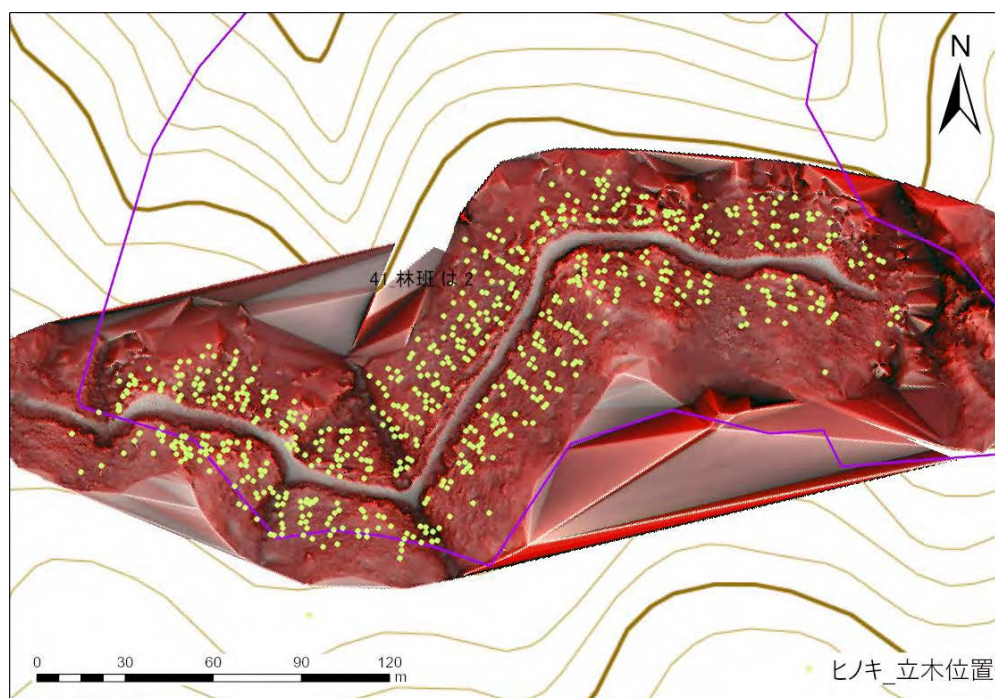


図 2.42 現地調査結果とレーザ解析結果の比較（41 林班は小班 2）

(3) 現地毎木調査結果と林内 UAV レーザ計測データの比較

林内 UAV レーザ計測データから検出した立木本数および樹高、胸高直径、材積を、現地毎木調査結果と比較した。

① 立木本数精度の検証

林内 UAV レーザ計測データの立木本数と、現地調査の立木本数の比較を表 2-15、図 2.43 に示す。データの特性上、現地調査の立木本数は、未到達木を含む全木本数と比較している。

スギの誤差率の平均は全木で 1.8%であった。全木の RMSE は現地平均 42.8 本に対し 1.10 本であった。

ヒノキの誤差率の平均は全木で 29.1%であった。全木の RMSE は現地平均 26.6 本に対し 14.19 本とスギ林に比べ誤差が大きくなった。特に H10 地点では誤差率が 81%となり、大きな誤差を示した。

表 2-15 現地調査と林内 UAV レーザ解析の全木本数の比較（プロットあたり）

プロット名	現地調査 全木本数 (本)	レーザ解析 樹木本数 (本)	現地比	誤差率	プロット名	現地調査 全木本数 (本)	レーザ解析 樹木本数 (本)	現地比	誤差率
S01	62	61	98%	2%	H06	34	27	79%	21%
S02	27	28	104%	4%	H07	25	18	72%	28%
S03	51	51	100%	0%	H08	19	16	84%	16%
S04	51	49	96%	4%	H09	18	18	100%	0%
S05	23	23	100%	0%	H10	37	7	19%	81%
平均	42.8	42.4		1.8%	平均	26.6	17.2		29.1%
		R	1.00				R	-0.13	
		RMSE	1.10				RMSE	14.19	

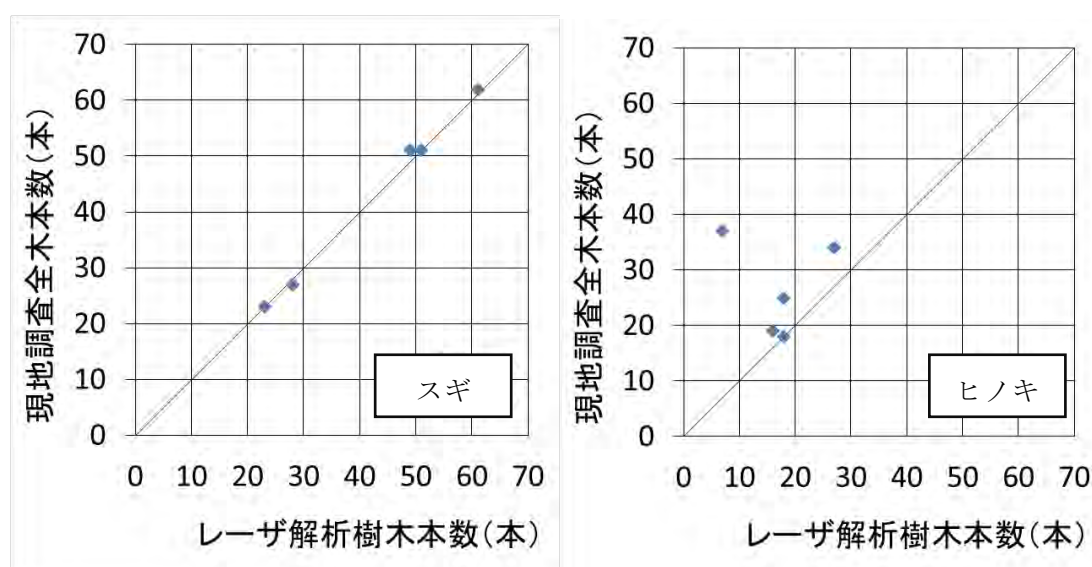


図 2.43 現地調査と林内 UAV レーザ解析の立木本数の比較（プロットあたり）

② 樹高精度の検証

調査プロット内において、現地調査の樹高の平均値と、林内 UAV レーザ計測データから検出した樹高の平均値を比較した。現地調査平均樹高とレーザ解析平均樹高の比較を表 2-16、図 2.44 に示す。

スギの誤差率の平均は全木で 6.7%であった。全木の RMSE は現地平均 16.8m に対し 1.44m であった。

ヒノキの誤差率の平均は全木で 8.5%であった。全木の RMSE は現地平均 14.7m に対し 1.35m であった。

ヒノキの樹高の R が低く、かつ負の相関を示しているが、調査範囲が限られたことから、似通った林分での調査となり、正の誤差が出る箇所や負の誤差が出る箇所などばらつきが生じたことが原因である。ただし RMSE の結果から、絶対値としての誤差自体は大きくなかった。

表 2-16 現地調査結果とレーザ解析結果の比較（樹高）

プロット名	現地調査 全木 平均樹高 (m)	レーザ解析 平均樹高 (m)	現地比	誤差率	プロット名	現地調査 全木 平均樹高 (m)	レーザ解析 平均樹高 (m)	現地比	誤差率
S01	17.9	17.6	98%	2%	H06	15.0	14.3	95%	5%
S02	18.3	16.1	88%	12%	H07	15.6	13.5	87%	13%
S03	17.0	15.1	88%	12%	H08	12.7	13.8	109%	9%
S04	17.0	15.9	93%	7%	H09	15.1	14.2	94%	6%
S05	13.6	13.4	99%	1%	H10	15.0	13.4	90%	10%
平均	16.8	15.6		6.7%	平均	14.7	13.9		8.5%
		R	0.86				R	-0.03	
		RMSE	1.44				RMSE	1.35	

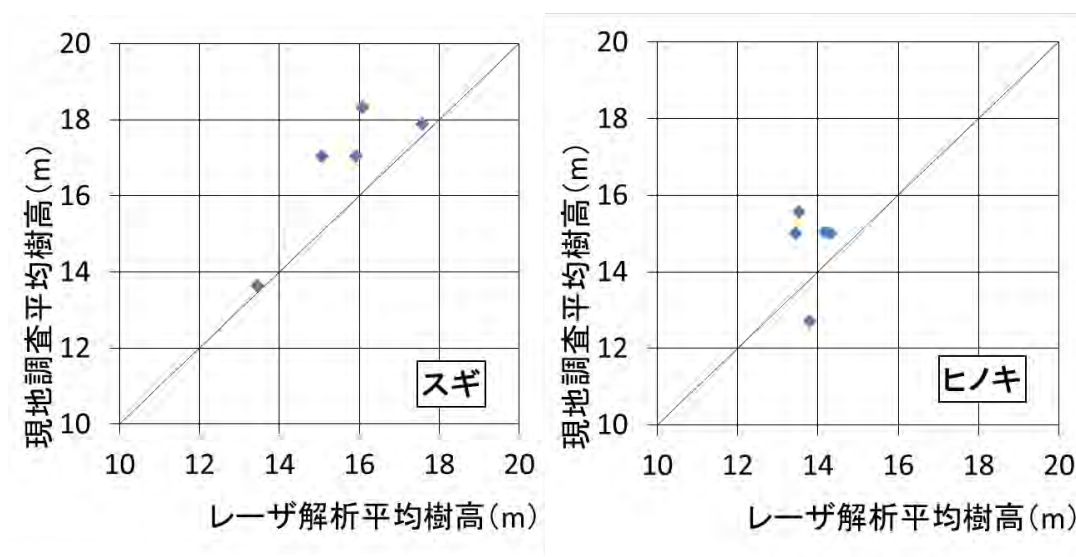


図 2.44 現地調査結果とレーザ解析結果の比較（平均樹高）

③ 胸高直径精度の検証

調査プロット内において、現地調査の胸高直径の平均値と、林内 UAV レーザ計測データから検出した胸高直径の平均値を比較した。現地調査平均胸高直径とレーザ解析平均胸高直径の比較を表 2-17、図 2.45 に示す。

スギの誤差率の平均は全木で 13.4%であった。全木の RMSE は現地平均 24.4cm に対し 4.44cm であった。

ヒノキの誤差率の平均は全木で 19.3%であった。全木の RMSE は現地平均 23.1cm に対し 5.18cm であった。

胸高直径の R が低く、かつ負の相関を示したのは、樹高と同様の原因によるものである。

表 2-17 現地調査結果とレーザ解析結果の比較（胸高直径）

プロット名	現地調査全木 平均胸高直径 (cm)	レーザ解析 平均胸高直径 (cm)	現地比	誤差率	プロット名	現地調査全木 平均胸高直径 (cm)	レーザ解析 平均胸高直径 (cm)	現地比	誤差率
S01	23.6	21.8	92%	8%	H06	22.4	17.5	78%	22%
S02	25.4	25.0	98%	2%	H07	23.1	18.7	81%	19%
S03	25.7	18.9	73%	27%	H08	21.6	20.6	96%	4%
S04	24.3	17.4	72%	28%	H09	23.7	20.1	85%	15%
S05	22.9	22.3	97%	3%	H10	24.7	16.0	65%	35%
平均	24.4	21.1		13.4%	平均	23.1	18.6		19.3%
			R	-0.07				R	-0.62
			RMSE	4.44				RMSE	5.18

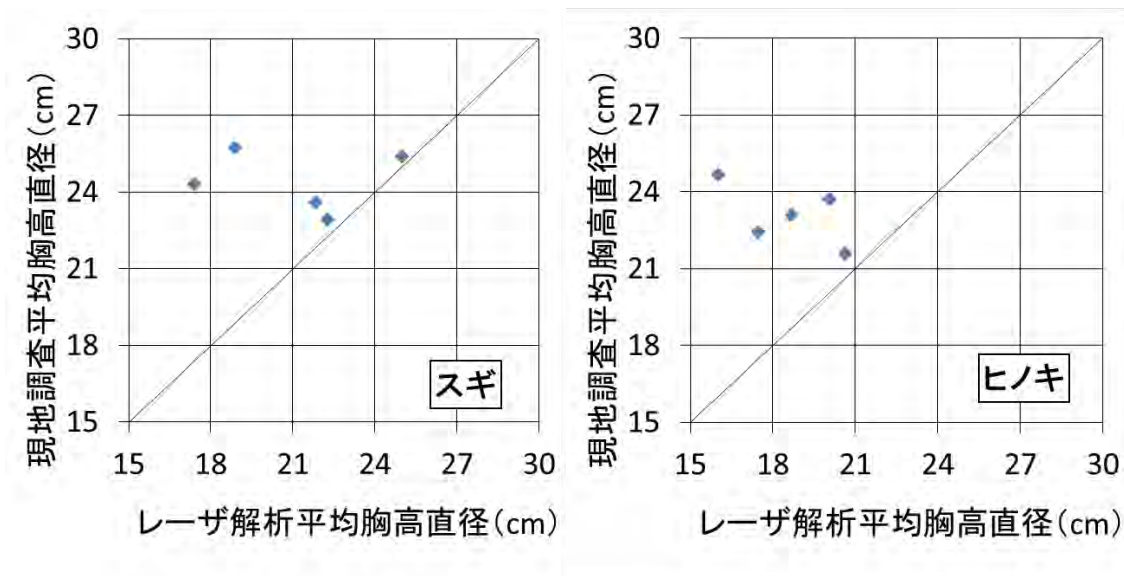


図 2.45 現地調査結果とレーザ解析結果の比較（平均胸高直径）

④ 平均単木材積の検証

調査プロット内において、現地調査の平均単木材積と、林内 UAV レーザ計測データから検出した平均単木材積を比較した結果を表 2-18、図 2.46 に示す。

スギの誤差率は全木で 24.9%であった。全木の RMSE は現地 0.38 m³に対し 0.12 m³であった。

ヒノキの誤差率は全木で 31.6%であった。全木の RMSE は現地 0.32 m³に対し 0.12 m³であった。

平均単木材積の精度は、材積の算出には立木幹材積式を用いているため、樹高と胸高直径の精度に影響される。

表 2-18 現地調査結果とレーザ解析結果の比較（平均単木材積）

プロット名	現地調査全木 平均単木材積 (m ³)	レーザ解析 平均単木材積 (m ³)	現地比	誤差率	プロット名	現地調査全木 平均単木材積 (m ³)	レーザ解析 平均単木材積 (m ³)	現地比	誤差率
S01	0.39	0.35	89%	11%	H06	0.30	0.20	65%	35%
S02	0.44	0.37	85%	15%	H07	0.33	0.23	69%	31%
S03	0.42	0.22	52%	48%	H08	0.23	0.26	112%	12%
S04	0.38	0.20	53%	47%	H09	0.35	0.25	71%	29%
S05	0.27	0.26	96%	4%	H10	0.36	0.18	49%	51%
平均	0.38	0.28		24.9%	平均	0.32	0.22		31.6%
		R	0.30				R	-0.56	
		RMSE	0.12				RMSE	0.12	

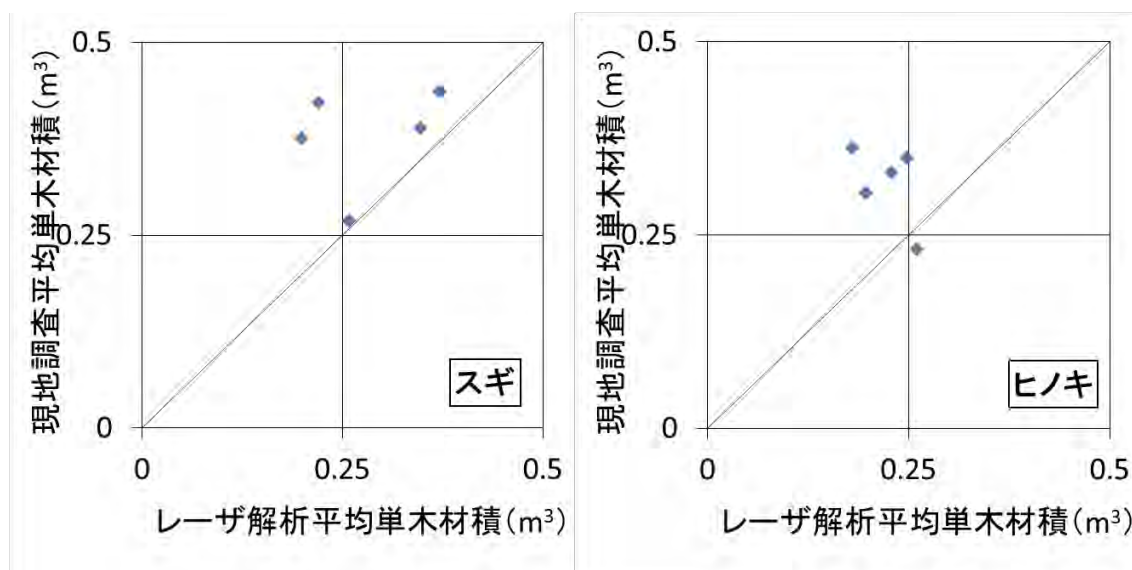


図 2.46 現地調査結果とレーザ解析結果の比較（平均単木材積）

⑤ 合計材積の検証

調査プロット内において、現地調査の合計材積の平均値と、林内 UAV レーザ計測データから検出した合計材積の平均値を比較した。結果を表 2-19、図 2.47 に示す。

スギの誤差率は全木で 25.0%であった。全木の RMSE は現地 16.6 m³に対し 6.40 m³であった。

ヒノキの誤差率は全木で 44.9%であった。全木の RMSE は現地 8.6 m³に対し 6.23 m³であった。

合計材積の精度は、立木本数の誤差を含んでいる。また材積の算出には立木幹材積式を用いているため、樹高と胸高直径の精度に影響される。

表 2-19 現地調査結果とレーザ解析結果の比較（合計材積）

プロット名	現地調査 全木 合計材積 (m ³)	レーザ解析 合計材積 (m ³)	現地比	誤差率	プロット名	現地調査 全木 合計材積 (m ³)	レーザ解析 合計材積 (m ³)	現地比	誤差率
S01	24.1	21.2	88%	12%	H06	10.3	5.3	51%	49%
S02	11.8	10.4	88%	12%	H07	8.3	4.1	50%	50%
S03	21.5	11.2	52%	48%	H08	4.4	4.2	94%	6%
S04	19.2	9.7	51%	49%	H09	6.3	4.5	71%	29%
S05	6.2	5.9	96%	4%	H10	13.4	1.3	9%	91%
平均	16.6	11.7		25.0%	平均	8.6	3.9		44.9%
		R	0.78				R	-0.59	
		RMSE	6.40				RMSE	6.23	

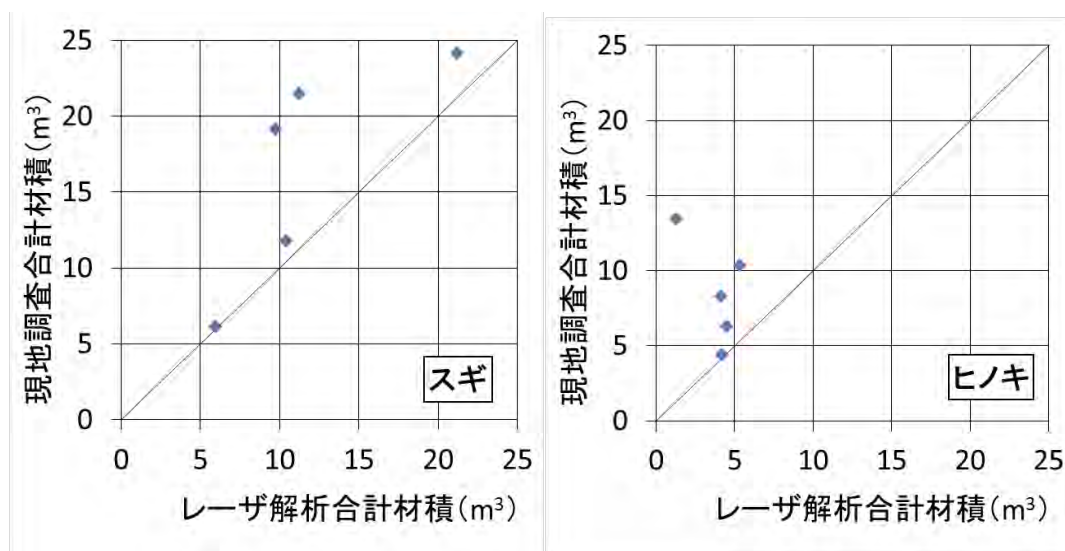


図 2.47 現地調査結果とレーザ解析結果の比較（合計材積）

(4) 林内 UAV レーザ計測データの立木情報検出結果に関する考察

前項の結果のうち、特に 41 林班の H10 プロットで立木本数の誤差が大きく生じた。H10 の計測条件や、レーザ点群データの取得状況から考察した。

1) 林内 UAV の計測方法について

過年度の事業で、林内 UAV のレーザ計測は、作業道沿いに 2m、10m、20m の高さで飛行・計測が行われた（図 2.48）。この計測は、水平方向で ± 15 度までスキャン角を変更できる Velodyne VLP-16 が用いられた。図 2.48 のように、地面と水平方向に照射したレーザ光は、基本的には飛行する高さより上方向では、樹冠部を計測しており、下方向が立木の胸高直径を計測できる範囲になることが想定された。

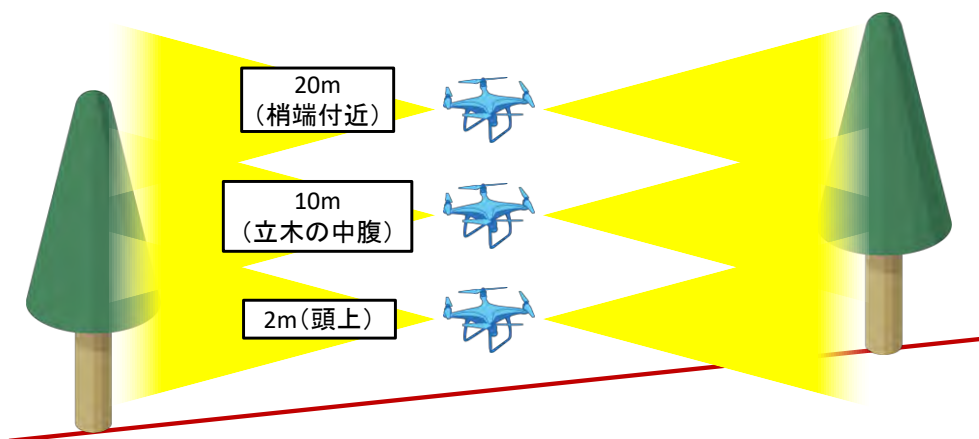


図 2.48 多段計測のイメージ図

図は、令和 2 年度森林資源情報整備技術実証事業（国有林）報告書より引用