

4. 航空レーザ計測データを活用した収穫調査

4.1 収穫調査の実施

従来手法と航空レーザ手法の両方で収穫調査を実施し、調査対象小班の森林資源情報を比較して精度検証を行った。また、レーザ計測データは、計測から現地調査の期間の成長量を補正し、同様に比較した。さらに、航空レーザでは計測できない被圧木についても、現地調査に基づく補正を行った。なお、成長量補正と被圧木の補正手法は、昨年度事業の手法を踏襲した。

航空レーザ計測データによる収穫調査実証のフローを示す。

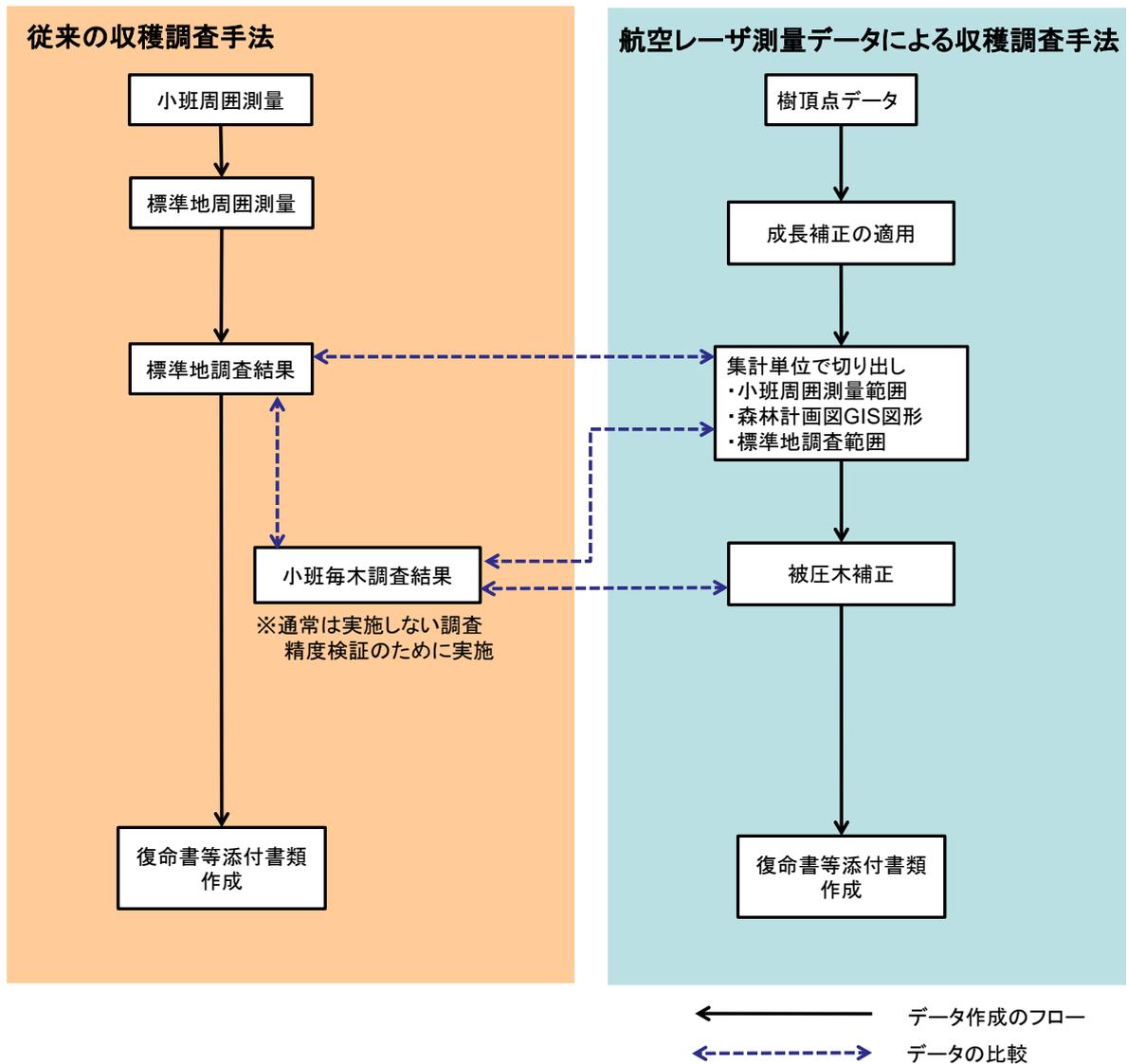


図 4-1 航空レーザ計測データによる収穫調査実証のフロー

4.2 従来手法による収穫調査の実施

4.2.1 従来法の収穫調査手法

従来法として、対象小班の面積の2%を対象に、標準地調査を実施した。また、資源量比較の参考とするため、小班内の毎木調査も実施した。これらの調査結果を、既定の様式にとりまとめを行った。各調査の条件を以下に示す。

1) 標準地調査の調査条件

- ・標準地調査対象範囲で周囲測量（コンパス）を実施する
- ・各林小班の面積の2%以上を対象に調査箇所を設定する
- ・外縁木に赤テープで表示し、伐採木は白テープで表示する
- ・伐採木、保残木の樹高と胸高直径、品質を調査（毎木調査のナンバーテープを利用した）
- ・上層木か否かを記録する

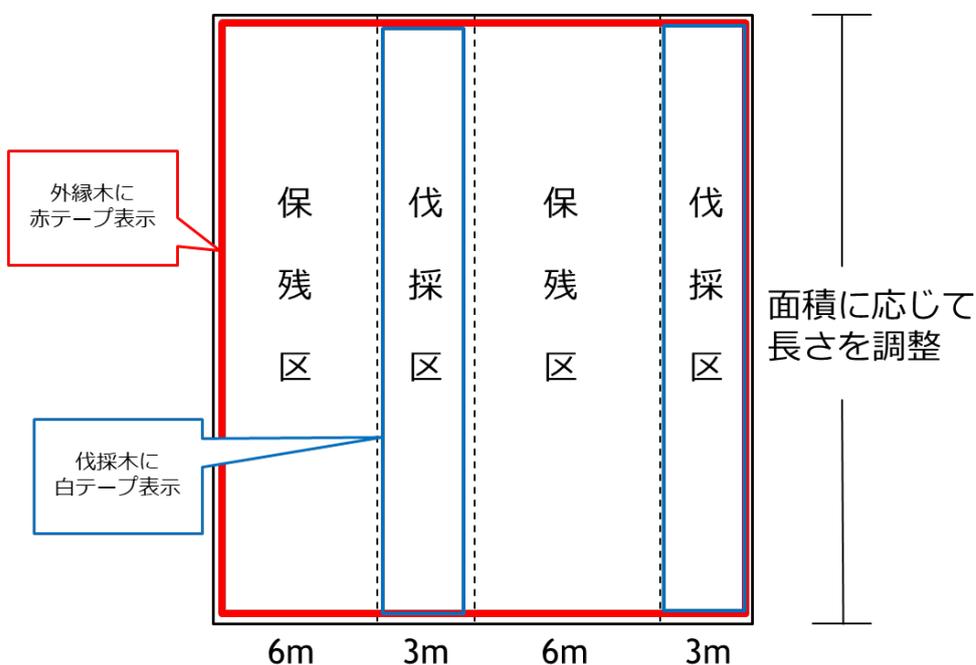


図 4-2 標準地調査の表示イメージ

2) 小班内の毎木調査の条件

- ・対象小班について、周囲測量（コンパス測量）を実施する
- ・対象小班の外縁木に黄色テープを巻いて表示する
- ・樹高と胸高直径、品質を記録する

4.2.2 従来法の収穫調査結果

本検証は 1220 ろ小班および 1220 り小班を対象として実施した。対象小班の位置図を図 4-3 に示す。

収穫調査報告書の様式へのとりまとめ結果は資料編に掲載した。

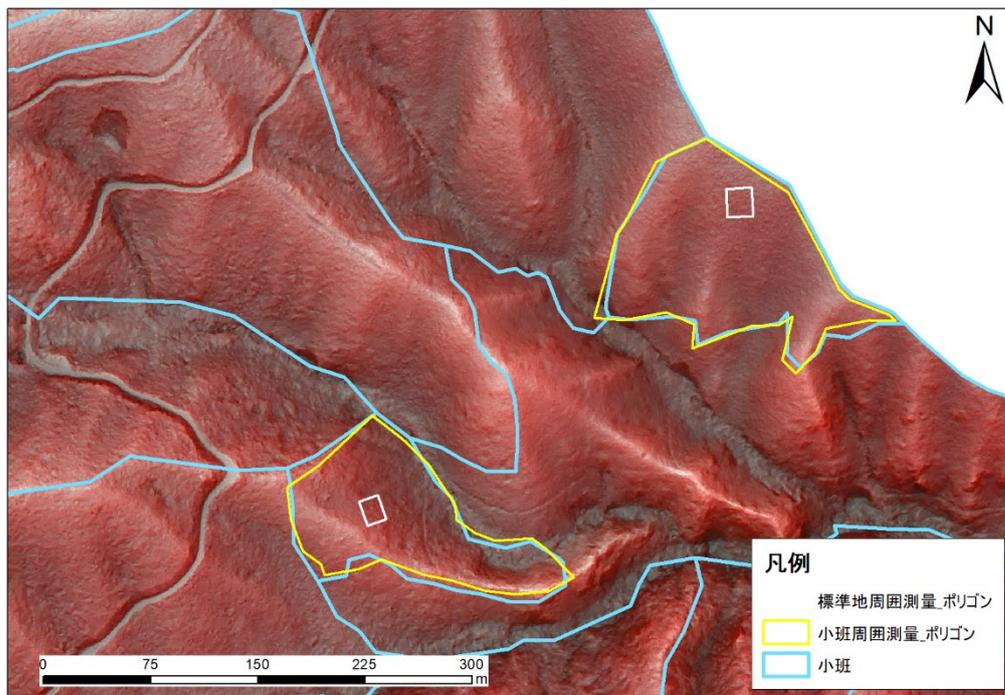


図 4-3 収穫調査対象小班および標準地の位置図

小班の毎木調査では上層木か否かを記録していないため、航空レーザによる上層木の資源量と同条件で比較することができない。そこで、主林木であるカラマツとそれ以外の樹種で樹高のヒストグラムを作成し、2区間の移動平均の交点から上層木かどうかを二分する閾値を設定した。作成したヒストグラムと閾値を図 4-4, 図 4-5 に示す。

この結果より、1220ろ小班では樹高 14m 以上、1220り小班では樹高 16m 以上を上層木とみなした。

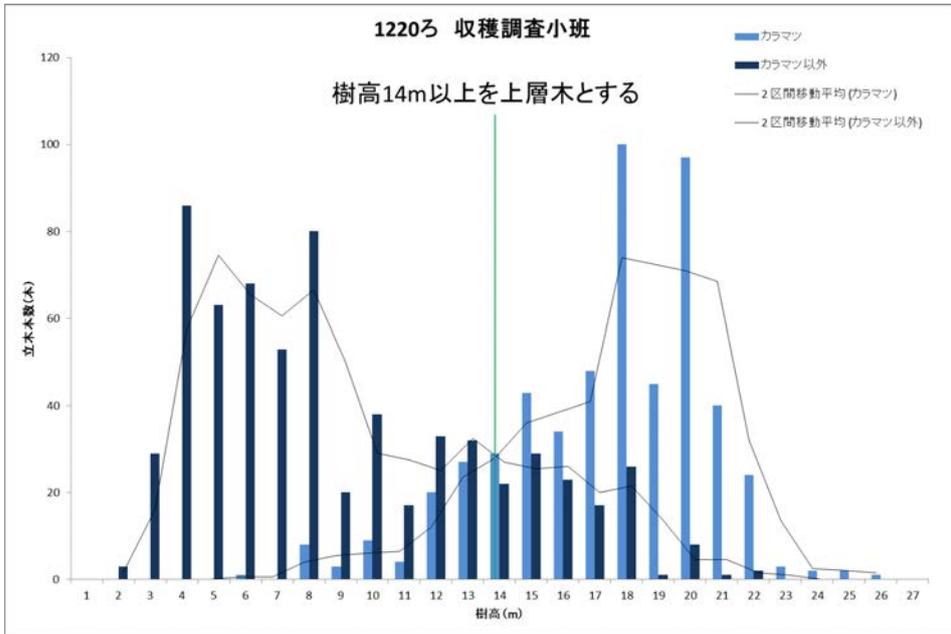


図 4-4 上層木閾値の設定 (1220ろ小班)

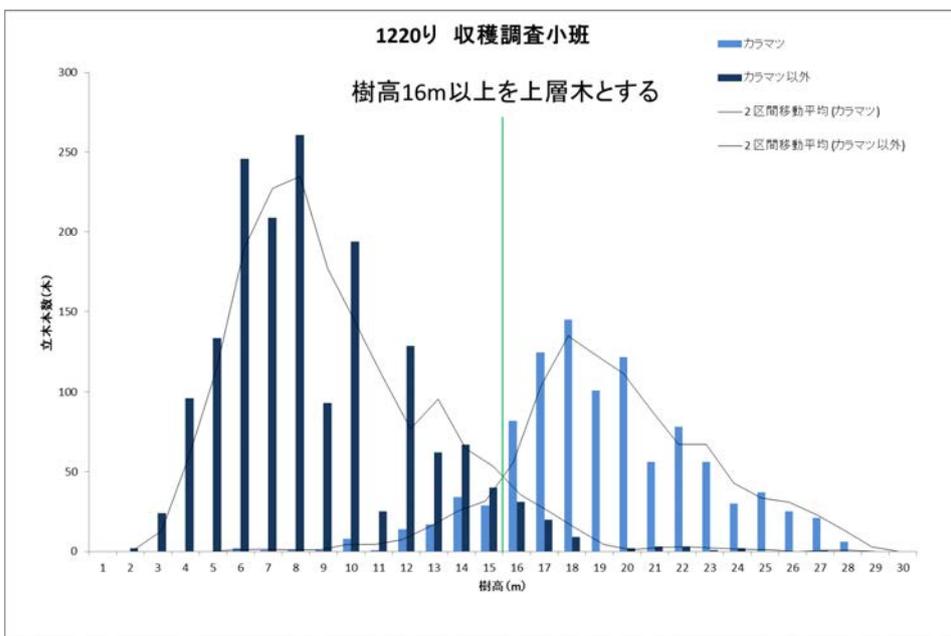


図 4-5 上層木閾値の設定 (1220り小班)

前項の手法で調査した結果の各調査範囲を図 4-6,図 4-7 に、範囲内の森林資源量を 表 4.1, 表 4.2 に示す。また、各表には同一範囲内の航空レーザ解析結果を列挙して、現地調査上層木に対する航空レーザ上層木の誤差率を記載した。

1) 1220 ろ小班的の調査結果

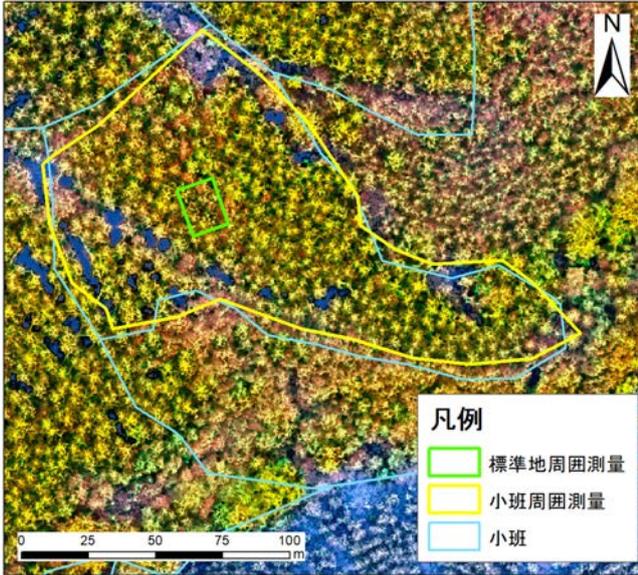


図 4-6 調査範囲位置図 (1220 ろ小班)

表 4.1 収穫調査の結果(1220 ろ小班)

小班周囲測量	現地調査		航空レーザ	誤差率
	毎木	上層木	上層木	
立木本数(本)	1,191	597	573	104.2%
立木密度(本/ha)	1,001	502	482	104.2%
平均樹高(m)	12.8	17.9	23.4	76.3%
平均胸高直径(cm)	19.2	26.1	27.7	94.2%
合計材積(m ³)	344.66	303.11	429.95	70.5%
平均単木材積(m ³)	0.29	0.51	0.75	67.7%

標準地	現地調査		航空レーザ	誤差率
	毎木	上層木	上層木	
立木本数(本)	37	23	21	109.5%
立木密度(本/ha)	1,468	913	833	109.6%
平均樹高(m)	13.6	16.0	23.8	67.2%
平均胸高直径(cm)	21.7	27.4	23.7	115.4%
合計材積(m ³)	12.63	11.49	11.72	98.1%
平均単木材積(m ³)	0.34	0.50	0.55	90.1%

2) 1220 り小班的の調査結果

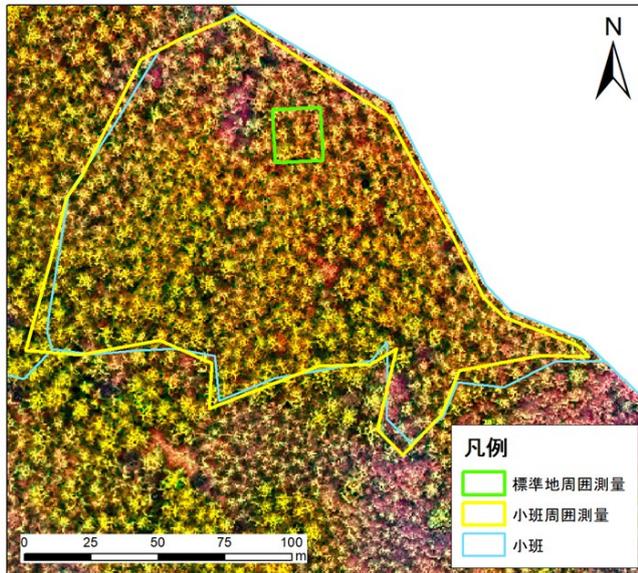


図 4-7 調査範囲位置図 (1220 り小班)

表 4.2 収穫調査の結果(1220 ろ小班)

小班周囲測量	現地調査		航空レーザ	誤差率
	毎木	上層木	上層木	
立木本数(本)	2,646	956	874	109.4%
立木密度(本/ha)	1,566	566	517	109.4%
平均樹高(m)	12.6	19.8	24.4	81.0%
平均胸高直径(cm)	18.7	30.0	27.5	109.2%
合計材積(m ³)	825.34	691.57	666.48	103.8%
平均単木材積(m ³)	0.31	0.72	0.76	94.9%

標準地	現地調査		航空レーザ	誤差率
	毎木	上層木	上層木	
立木本数(本)	57	28	26	107.7%
立木密度(本/ha)	1,583	778	722	107.7%
平均樹高(m)	12.2	17.4	23.7	73.2%
平均胸高直径(cm)	18.9	28.4	25.3	112.4%
合計材積(m ³)	16.45	15.33	16.52	92.8%
平均単木材積(m ³)	0.29	0.55	0.63	86.2%

4.3 航空レーザ手法による収穫調査の実施と精度比較

航空レーザ手法の特徴として、航空レーザ計測時期と現地調査時期に差異がある場合があることと、上層木のみ解析結果となることあげられる。

収穫調査においては、調査提唱地の素材生産量の把握や、委託時の積算数量に被圧木伐採も含めることから、現地状況に即した補正が重要である。

よって、計測時点からの経過年数に応じた成長率から、樹高と胸高直径に補正を行い、現状の資源量を推定することが必要である。また、被圧木については現地調査から被圧木の出現率を利用して、本数や平均胸高直径、材積に補正を行う必要がある。

本事業では、昨年度事業で検証された手法を用いて、立木の成長補正および被圧木の補正を行った。

4.3.1 樹高と胸高直径の成長補正

1) 成長補正の手法

昨年度事業の報告書より、航空レーザ手法には、使用する胸高直径回帰式の種類と現地調査の実施状況により、3通りの補正パターンが考えられる(図4-8)。本事業では、②-1汎用の胸高直径推定式(既存式)と②-2新たな胸高直径推定式を利用していることから、②-1では樹高と胸高直径を補正し、②-2では樹高のみを補正した。

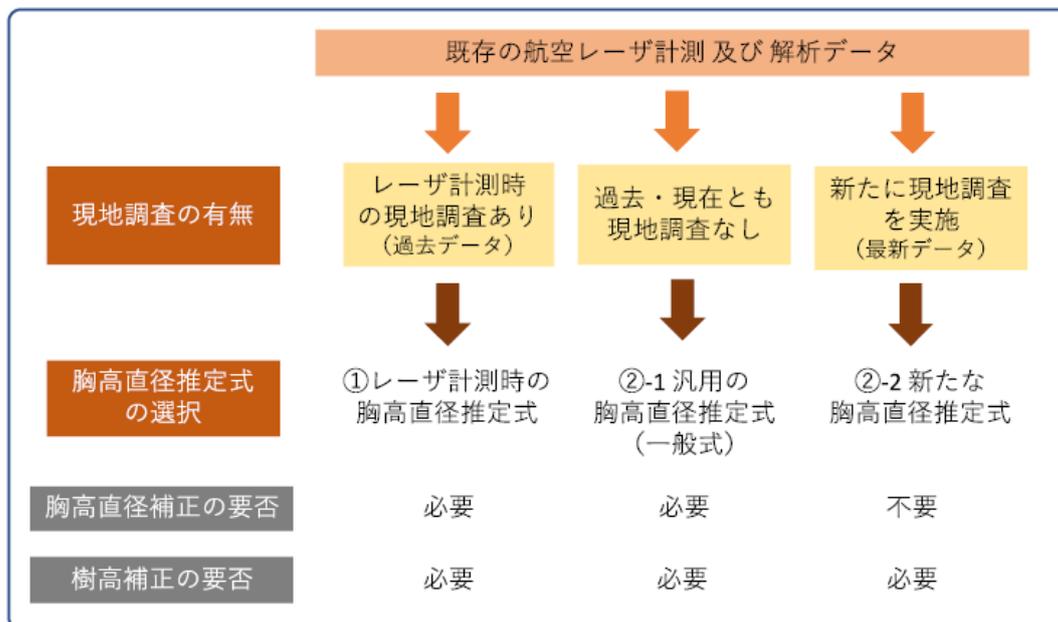


図 4-8 既存の航空レーザデータ仕様における成長補正の場合分け

成長補正には「木曾地方ヒノキ林分収穫表」および「信州地方カラマツ林収穫表」から樹高と胸高直径の成長曲線を作成した(図4-9,図4-10)。ここから得られる成長量から、それぞれの成長率を目的変数とし林齢を説明変数とする近似式を作成した(図4-13)。この近似式で算出された値を、現在の樹高および胸高直径に乗ずることで補正後の値を算出した。

本事業で用いた航空レーザ計測データは2019年6月～9月に計測されており、2020年10月～12月の現地プロット調査の実施までに約1年が経過していることから、1年毎の成長量から成長率を算出している。

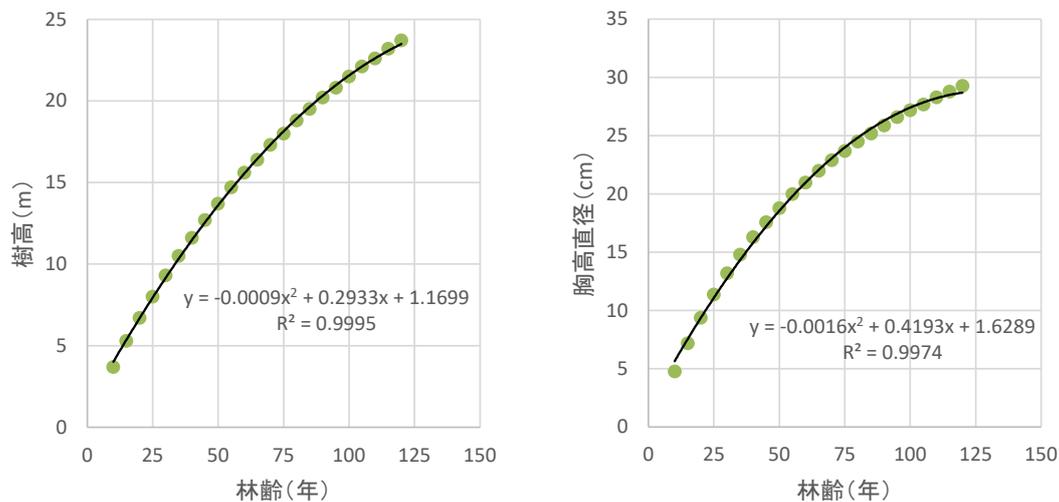


図 4-9 収穫表から得たヒノキの成長曲線(左：樹高、右：胸高直径)

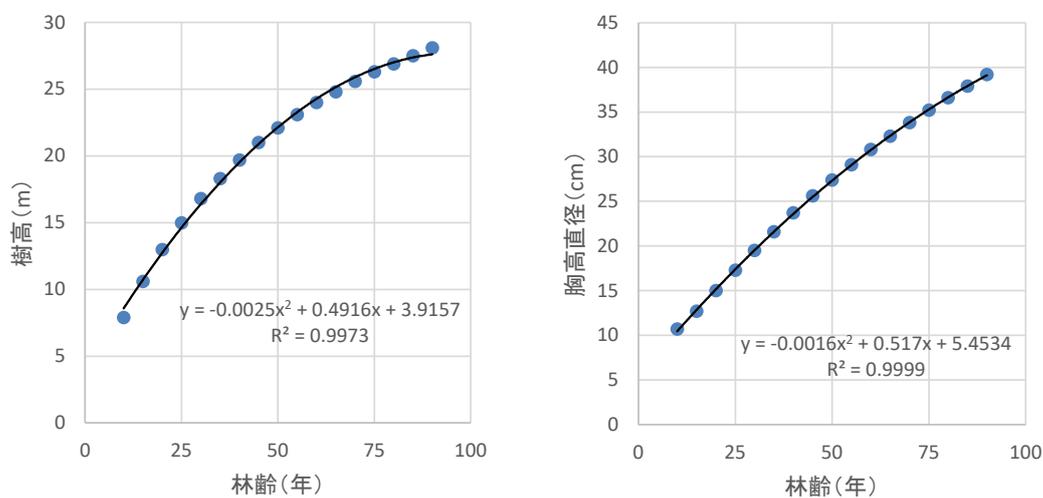


図 4-10 収穫表から得たカラマツの成長曲線(左：樹高、右：胸高直径)

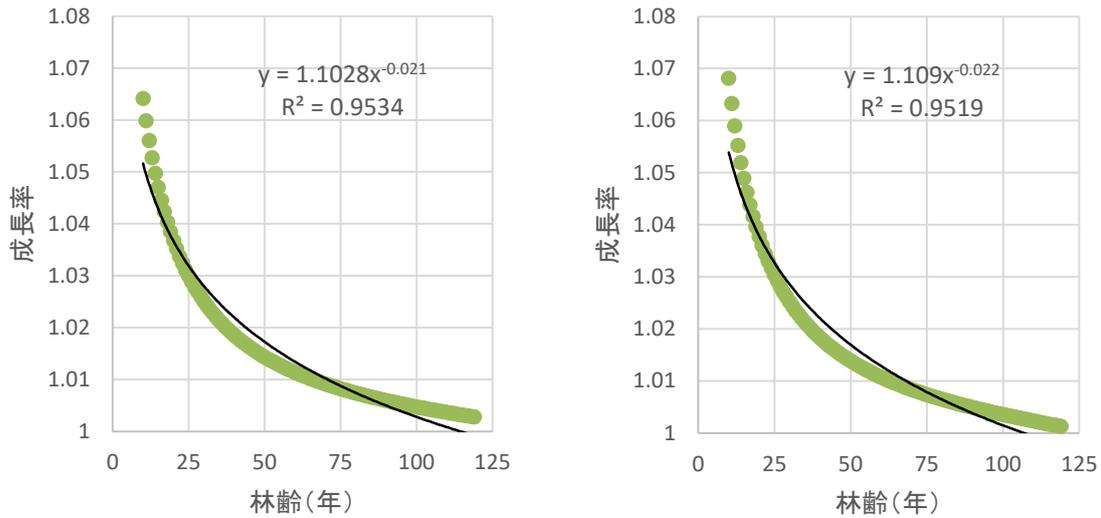


図 4-11 1年毎の成長量から近似したヒノキの成長率(左：樹高、右：胸高直径)

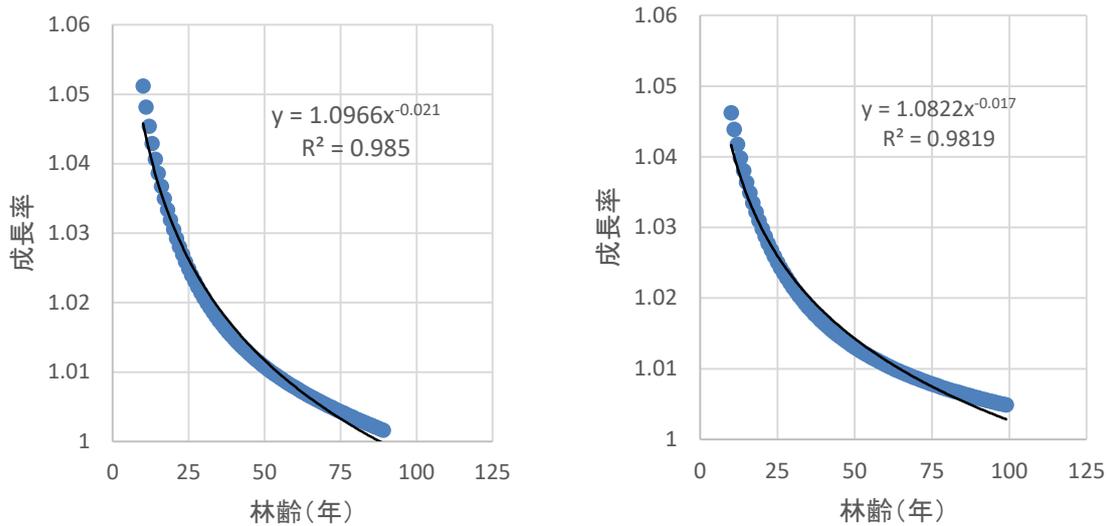


図 4-12 1年毎の成長量から近似したカラマツの成長率(左：樹高、右：胸高直径)

・ヒノキの成長率算出近似式

樹高 $h' = 1.1028 \times A^{-0.021}$

(h':樹高成長補正率 A:林齢)

胸高直径 $d' = 1.109 \times A^{-0.022}$

(d':胸高直径成長補正率 A:林齢)

・カラマツの成長率算出近似式

樹高 $h' = 1.0966 \times A^{-0.021}$

(h':樹高成長補正率 A:林齢)

胸高直径 $d' = 1.0822 \times A^{-0.017}$

(d':胸高直径成長補正率 A:林齢)

図 4-13 ヒノキ、カラマツの成長率算出近似式

2) 成長補正前後の解析精度の比較

前項の式を現地プロット調査結果に反映し、R02 式、既存式の樹高、胸高直径、合計材積を比較した結果を図 4-14～図 4-15 に示す。

表 4.3 各精度検証結果の比較結果(左：ヒノキ、右：カラマツ)

プロット名	現地調査 平均樹高 (m)	レーザ解析 平均樹高 (m)	レーザ解析 平均樹高 成長補正 (m)	誤差率	誤差率 成長補正
H01	14.3	12.1	12.4	15%	13%
H02	13.1	11.2	11.4	15%	13%
H03	19.6	20.8	21.0	6%	7%
H04	24.6	22.9	23.0	7%	6%
H05	14.3	14.1	14.4	1%	0%
H06	12.9	12.8	13.0	1%	1%
H07	14.1	12.7	12.9	10%	8%
H08	13.0	13.4	13.6	2%	4%
H09	10.6	10.3	10.4	2%	2%
H10	22.6	23.4	23.5	3%	4%
H11	24.5	25.2	25.3	3%	3%
H12	12.3	10.7	11.0	13%	10%
H13	14.5	14.8	15.0	2%	4%
H14	16.1	16.4	16.6	2%	4%
H15	21.9	22.6	22.7	3%	4%
平均	16.6	16.2	16.4	5.7%	5.5%
R		0.98	0.98		
RMSE		1.12	1.05		

プロット名	現地調査 平均樹高 (m)	レーザ解析 平均樹高 (m)	レーザ解析 平均樹高 成長補正 (m)	誤差率	誤差率 成長補正
K01	30.4	29.1	29.3	4%	4%
K02	31.3	30.9	31.0	1%	1%
K03	26.5	28.8	28.8	9%	9%
K04	25.2	25.0	25.2	1%	0%
K05	22.0	22.9	23.1	4%	5%
K06	26.1	23.9	24.1	8%	8%
K07	20.8	21.5	21.8	4%	5%
K08	23.0	21.9	22.2	5%	3%
K09	22.2	23.6	23.8	6%	7%
K10	26.9	25.5	25.7	5%	4%
K11	20.6	20.3	20.4	2%	1%
K12	22.5	22.0	22.2	2%	1%
K13	17.7	18.8	19.1	6%	8%
K14	16.8	15.7	16.0	6%	5%
K15	28.1	27.9	28.0	1%	0%
平均	24.0	23.8	24.0	4.3%	4.1%
R		0.96	0.96		
RMSE		1.19	1.16		

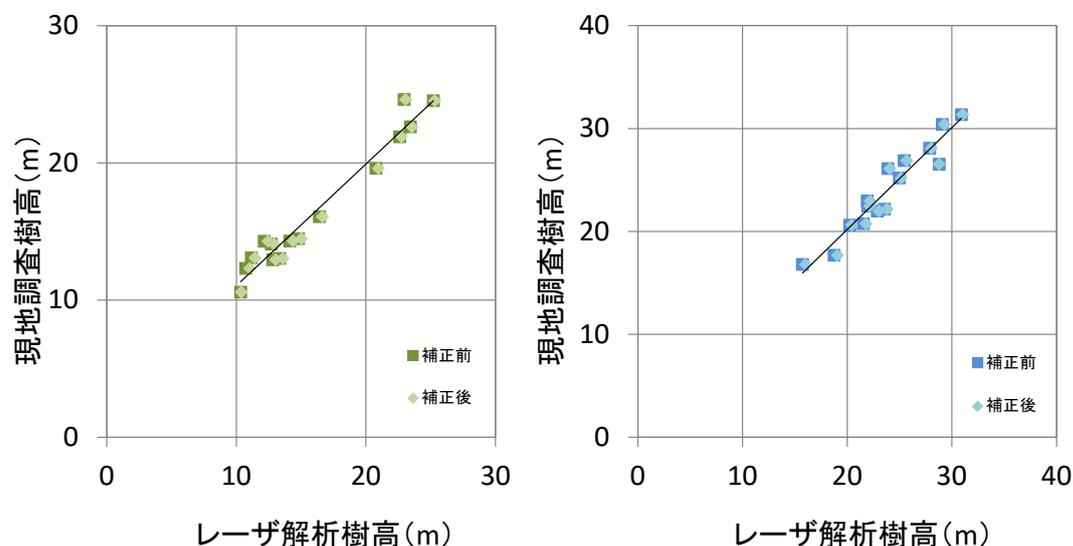


図 4-14 成長補正前後の樹高精度(左：ヒノキ、右：カラマツ)

表 4.4 各胸高直径の精度検証結果および比較 (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 R02式 (cm)	レーザ解析 平均胸高直径 R02式成長補正 (cm)	レーザ解析 平均胸高直径 既存式 (cm)	レーザ解析 平均胸高直径 既存式成長補正 (cm)	現地比 R02式	現地比 R02式成長補正	現地比 既存式	現地比 既存式成長補正
H01	21.3	18.6	18.6	21.5	22.2	12.5%	12.3%	1.3%	4.3%
H02	19.0	16.8	16.9	20.2	20.8	11.3%	11.0%	6.6%	9.7%
H03	24.4	26.0	26.4	28.2	28.5	6.4%	8.3%	15.5%	16.7%
H04	38.0	36.7	36.9	35.3	35.4	3.3%	2.8%	7.1%	6.9%
H05	21.9	20.2	20.3	22.5	23.0	8.1%	7.4%	2.5%	4.7%
H06	16.4	19.8	19.8	23.2	23.8	21.1%	21.3%	42.1%	45.3%
H07	20.9	18.8	18.9	22.0	22.5	10.0%	9.6%	5.2%	7.4%
H08	19.6	19.5	19.6	22.3	22.8	0.5%	0.0%	13.7%	16.1%
H09	14.8	15.7	15.8	19.1	19.2	6.2%	6.5%	28.9%	29.5%
H10	31.1	28.4	29.0	29.8	29.8	8.4%	6.5%	4.2%	4.0%
H11	30.6	29.6	30.4	30.6	30.6	3.2%	0.9%	0.2%	0.0%
H12	17.8	17.1	17.0	20.1	20.6	4.0%	4.2%	12.9%	16.1%
H13	21.7	20.7	20.9	23.6	24.1	4.5%	3.6%	9.0%	11.2%
H14	22.0	23.0	23.2	25.2	25.6	4.4%	5.3%	14.4%	16.5%
H15	27.6	28.2	28.7	29.6	29.7	2.1%	4.0%	7.2%	7.6%
平均	23.1	22.6	22.8	24.9	25.2	7.1%	6.9%	11.4%	13.1%
R		0.96	0.96	0.95	0.95				
RMSE		1.76	1.71	2.86	3.15				

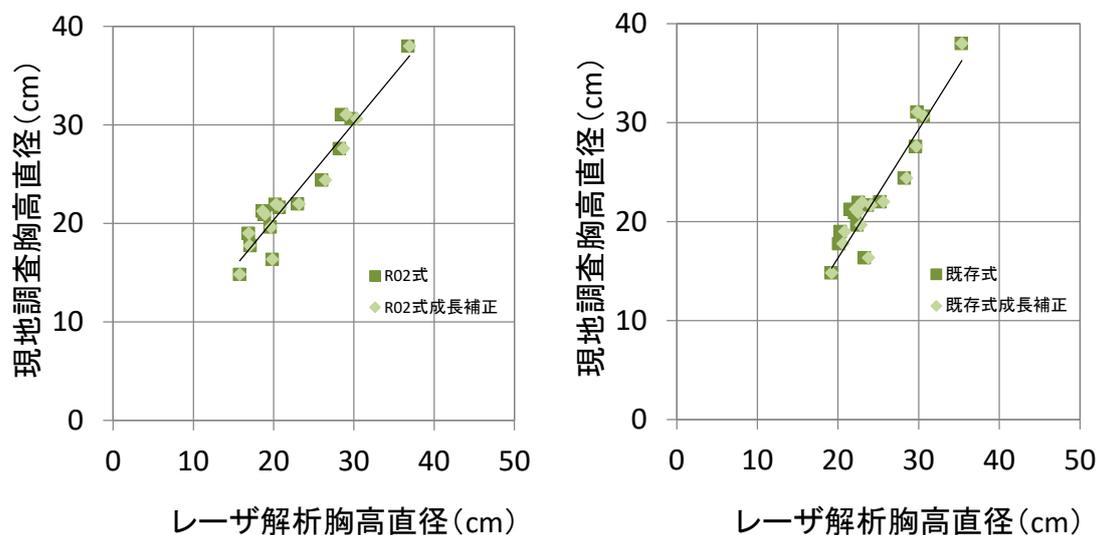


図 4-15 成長補正前後のヒノキの胸高直径精度(左：R02式、右：既存式)

表 4.5 各胸高直径の精度検証結果および比較(カラマツ)

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 R02式 (cm)	レーザ解析 平均胸高直径 R02式成長補正 (cm)	レーザ解析 平均胸高直径 既存式 (cm)	レーザ解析 平均胸高直径 既存式成長補正 (cm)	現地比 R02式	現地比 R02式成長補正	現地比 既存式	現地比 既存式成長補正
K01	31.7	33.6	33.6	37.0	37.3	5.9%	6.0%	16.6%	17.5%
K02	31.6	30.7	30.7	32.9	33.0	3.0%	3.0%	4.0%	4.5%
K03	30.8	33.6	33.7	37.3	37.3	9.3%	9.3%	21.2%	21.2%
K04	27.6	27.6	27.5	27.7	28.0	0.2%	0.2%	0.5%	1.4%
K05	27.0	26.2	26.2	25.6	25.8	2.7%	2.7%	5.0%	4.2%
K06	38.3	29.1	29.2	30.0	30.3	24.1%	23.9%	21.7%	20.9%
K07	25.3	23.5	23.5	22.0	22.3	7.3%	7.3%	13.1%	11.9%
K08	27.0	25.3	25.3	24.4	24.7	6.3%	6.3%	9.6%	8.4%
K09	27.0	26.1	26.2	25.8	26.1	3.5%	3.1%	4.6%	3.4%
K10	32.1	29.7	29.7	30.7	31.1	7.7%	7.7%	4.3%	3.3%
K11	27.0	27.3	27.4	26.9	27.2	1.0%	1.4%	0.5%	0.6%
K12	25.8	26.3	26.3	25.7	26.0	2.1%	2.0%	0.3%	0.7%
K13	22.0	22.3	22.3	20.1	20.5	1.0%	1.0%	8.7%	7.0%
K14	20.7	21.1	21.1	18.5	18.8	1.9%	1.9%	10.8%	9.1%
K15	36.0	34.1	34.5	38.4	38.7	5.2%	4.3%	6.7%	7.5%
平均	28.7	27.8	27.8	28.2	28.5	5.4%	5.3%	8.5%	8.1%
R		0.82	0.83	0.82	0.82				
RMSE		2.78	2.75	3.45	3.37				

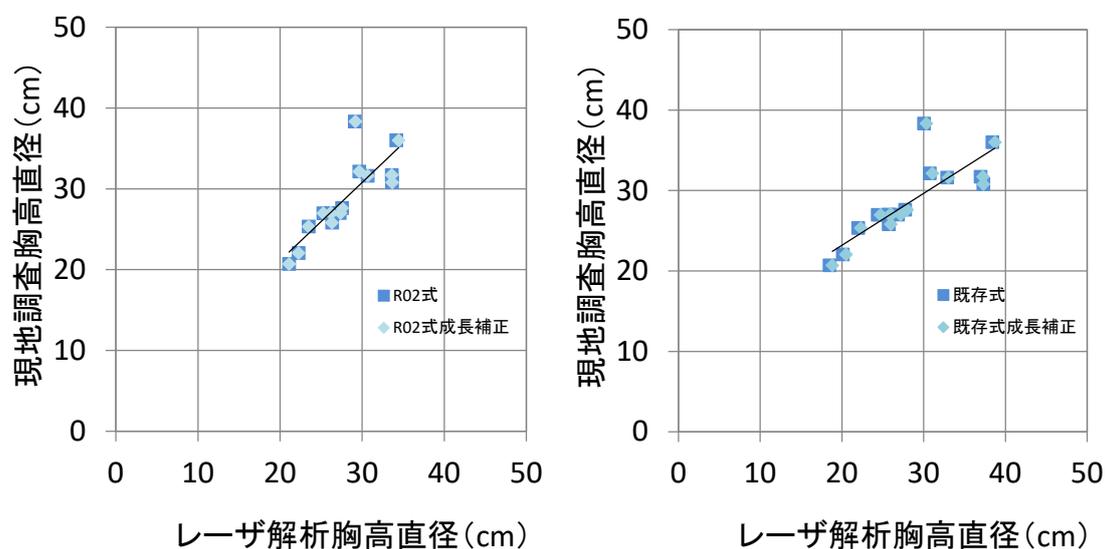


図 4-16 成長補正前後のカラマツの胸高直径精度(左 : R02 式、右 : 既存式)

4.3.2 被圧木の補正

被圧木の補正についても昨年度事業の手法を踏襲した(図 4-18)。昨年度の事例では1つの小班内で15%以上の標準地を取る場合に推定誤差率が最小となっている。本年度の調査は2%であったが、小班内において標準地を複数箇所を設置することで、被圧木本数の推定精度が向上する可能性があることが示唆された。

本事業では、事業対象地全域で実施した現地プロット調査の結果と、収穫調査対象小班内で実施した標準地調査の結果のそれぞれから補正係数を算出し、補正結果を比較した。

表 4.6 調査区における立木本数の結果

調査区	名称	1 (伊豆)	2 (伊豆)	3 (伊豆)	4 (茨城)	5 (茨城)
	区域面積	2.43 ha	2.17 ha	2.16 ha	1.91 ha	1.73 ha
林分全体	毎木調査本数	1,550 本	2,220 本	1,056 本	2,033 本	1,152 本
	目視判読本数	1,496 本	2,171 本	950 本	1,924 本	1,118 本
	本数誤差率	-3.48 %	-2.21 %	-10.04 %	-5.36 %	-2.95 %
5%抽出	標本本数	80 本	109 本	59 本	107 本	56 本
	うち被圧木本数	6 本	3 本	10 本	5 本	0 本
	補正総本数	1,617 本	2,232 本	1,144 本	2,018 本	1,118 本
	本数誤差率	4.32 %	0.54 %	8.33 %	-0.74 %	-2.95 %
10%抽出	標本本数	159 本	215 本	111 本	213 本	119 本
	うち被圧木本数	9 本	3 本	16 本	10 本	6 本
	補正総本数	1,586 本	2,202 本	1,110 本	2,019 本	1,177 本
	本数誤差率	2.32 %	-0.81 %	5.11 %	-0.69 %	2.17 %
15%抽出	標本本数	230 本	331 本	161 本	321 本	174 本
	うち被圧木本数	11 本	7 本	19 本	17 本	6 本
	補正総本数	1,571 本	2,218 本	1,077 本	2,032 本	1,158 本
	本数誤差率	1.35 %	-0.09 %	1.99 %	-0.05 %	0.52 %
20%抽出	標本本数	308 本	442 本	209 本	426 本	233 本
	うち被圧木本数	16 本	7 本	19 本	19 本	9 本
	補正総本数	1,578 本	2,206 本	1,045 本	2,014 本	1,163 本
	本数誤差率	1.81 %	-0.63 %	-1.04 %	-0.93 %	0.95 %

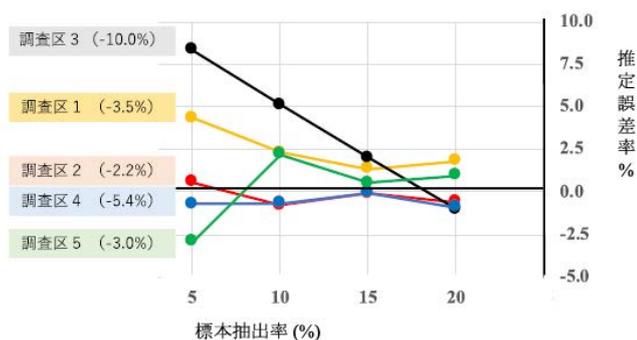


図5.4.3 被圧木本数調整後の立木本数の推定誤差率と標本抽出率の関係
 () 内は被圧木の本数調整なしの推定誤差率(%)で、いずれもマイナスである。
 本数調整後の推定誤差率は、標本抽出率が大きくなると推定誤差率は0に収束する。

図 4-17 被圧木本数調整後の立木本数の推定誤差率と標本抽出率の関係

本事業では、図 4-18 に示す 4 種類の調査を実施している。補正精度の比較は①毎木調査を基準値とし、②標準地調査（従来法）の精度を検証しつつ、③レーザ解析結果をプロット調査（対象小班以外の調査地）から補正した場合と、④レーザ解析結果を標準地調査から補正した場合を比較した。ここでは、特に③と④に着目し、現地調査結果から被圧木の補正係数を算出して適用した際の適合性について精度検証を行った。

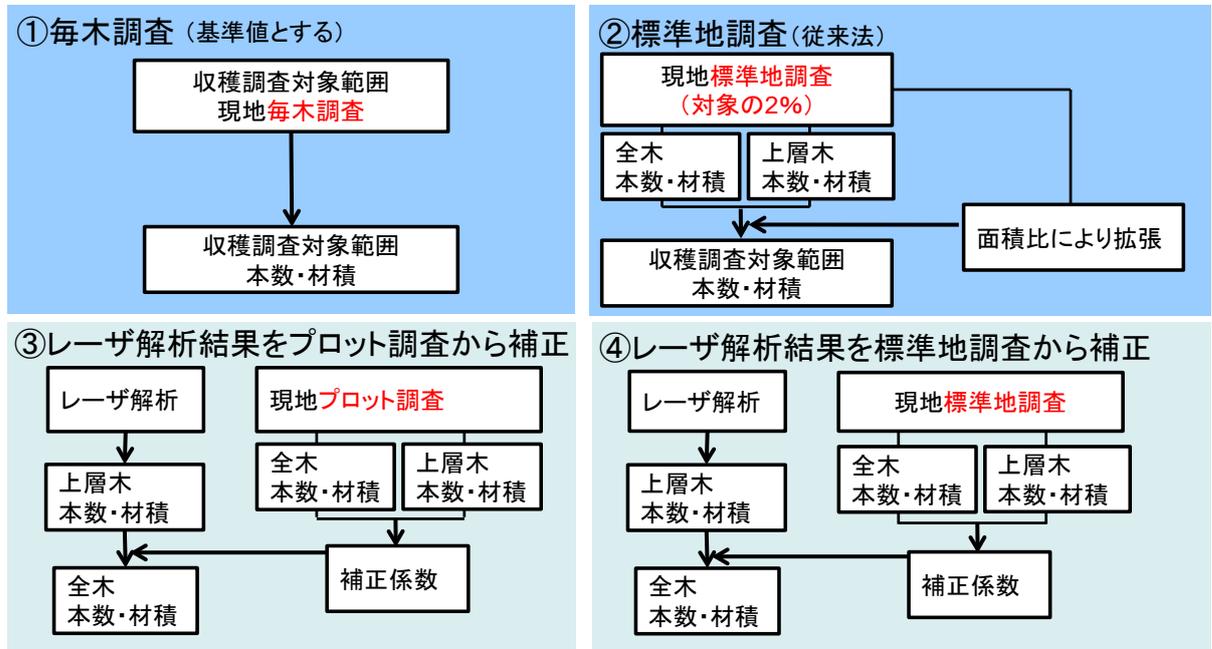


図 4-18 本事業で行った調査ごとによる全木本数・材積算出フロー

③レーザ解析結果をプロット調査から補正する場合

胸高直径推定回帰式の作成のために実施した現地調査結果より、プロットごとのレーザ解析結果の補正係数を算出した。これらの平均値を被圧木の補正係数として利用した。この手法の特徴として、事業範囲全域を対象としたプロット調査結果の平均的な値から算出された係数であることから、特定小班の補正に適さない場合がある。

表 4.7 各補正係数の算出(現地プロット調査より)

プロット名	面積 (ha)	現地調査 全木本数 (本)	レーザ解析 樹木本数 (本)	本数 補正係数	現地調査 全木平均樹高 (m)	レーザ解析 平均樹高 (m)	樹高 補正係数	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)	胸高直径 補正係数	現地調査 全木合計材積 (m ³)	レーザ解析 合計材積 (m ³)	合計材積 補正係数
K01	0.04	15	14	1.071	29.2	29.2	0.999	30.8	33.6	0.916	17.7	18.4	0.965
K02	0.04	18	18	1.000	31.3	30.9	1.013	31.6	30.7	1.031	23.4	21.7	1.081
K03	0.04	20	14	1.429	25.2	28.8	0.876	30.1	33.7	0.893	18.8	18.4	1.025
K04	0.04	25	25	1.000	25.2	25.1	1.004	27.6	27.5	1.002	19.5	19.4	1.002
K05	0.04	26	26	1.000	22.0	23.0	0.956	27.0	26.2	1.028	17.0	16.7	1.023
K06	0.04	13	15	0.867	26.0	24.0	1.084	37.1	29.2	1.271	17.7	12.5	1.414
K07	0.04	28	28	1.000	20.8	21.8	0.951	25.3	23.5	1.079	15.3	14.0	1.093
K08	0.04	30	28	1.071	22.2	22.2	1.002	26.6	25.3	1.052	19.4	16.6	1.171
K09	0.04	28	26	1.077	21.8	23.8	0.916	26.7	26.2	1.020	18.4	17.6	1.042
K10	0.04	16	17	0.941	26.9	25.7	1.048	32.1	29.7	1.083	17.8	15.4	1.159
K11	0.04	20	20	1.000	20.6	20.4	1.010	27.0	27.4	0.986	12.0	12.0	0.998
K12	0.04	26	26	1.000	22.5	22.2	1.013	25.8	26.3	0.980	16.0	16.1	0.988
K13	0.04	36	29	1.241	17.2	19.1	0.903	20.4	22.3	0.918	11.2	11.2	1.000
K14	0.04	49	37	1.324	16.2	16.0	1.012	18.9	21.1	0.895	12.1	11.0	1.105
K15	0.04	20	12	1.667	24.8	28.0	0.884	29.1	34.5	0.843	19.8	15.9	1.244
平均	0.04	24.7	22.3	1.113	23.5	24.0	0.978	27.7	27.8	1.000	17.1	15.8	1.087

本数補正係数	1.113
樹高補正係数	0.978
胸高直径補正係数	1.000
合計材積補正係数	1.087

④レーザ解析結果を標準地調査から補正する場合

標準地調査の上層木・全木の資源情報から、レーザ解析結果の補正係数を算出した。実際の収穫調査対象小班内の標準値を利用していることから、この手法で算出された補正係数は対象小班への適合性が高い。

表 4.8 各補正係数の算出(標準地調査より)

1220ろ小班 標準地	全木 (直径6cm以上)	上層木	補正係数
立木本数(本)	36	23	1.565
平均樹高(m)	13.6	16	0.850
平均胸高直径(cm)	21.7	27.4	0.792
合計材積(m ³)	12.63	11.49	1.099

1220り小班 標準地	全木 (直径6cm以上)	上層木	補正係数
立木本数(本)	55	28	1.964
平均樹高(m)	12.2	17.4	0.701
平均胸高直径(cm)	18.9	28.4	0.665
合計材積(m ³)	16.45	15.33	1.073

本数の補正係数は、プロットと標準地で差異が大きいが、材積補正については同程度の補正係数を示した。本数の補正係数が大きく異なる理由として、プロット調査と標準地調査で調査対象とする林分の条件が異なることが考えられる。プロット調査では広葉樹を含まないような純林で行っているが、標準地は林分を代表するように広葉樹も含む場合があることが影響したと考えられる。

各補正係数を 1220 ろ小班および 1220 り小班的レーザ解析結果に適用した結果を表 4.9、表 4.10 に示す。

表 4.9 被圧木補正の結果(1220ろ小班)

1220ろ		①毎木	②標準地	レーザ解析結果を ③プロットから補正	レーザ解析結果を ④標準地から補正	誤差率		
						②	③	④
上層木	本数(本)	597	1,086	573	573	82%	4%	4%
	樹高(m)	17.9	16	23.3	23.3	11%	30%	30%
	平均胸高直径(cm)	26.1	27.4	27.7	27.7	5%	6%	6%
	合計材積(m ³)	303.11	542.58	427.43	427.43	79%	41%	41%
全木	本数(本)	1,191	1,747	638	897	47%	46%	25%
	樹高(m)	12.8	13.6	22.8	19.8	6%	78%	55%
	平均胸高直径(cm)	19.2	21.7	27.7	21.9	13%	44%	14%
	合計材積(m ³)	344.66	596.42	464.80	469.84	73%	35%	36%

表 4.10 被圧木補正の結果(1220り小班)

1220り		①毎木	②標準地	レーザ解析結果を ③プロットから補正	レーザ解析結果を ④標準地から補正	誤差率		
						②	③	④
上層木	本数(本)	956	1,314	874	874	37%	9%	9%
	樹高(m)	19.4	17.4	24.4	24.4	10%	26%	26%
	平均胸高直径(cm)	28.8	28.4	27.5	27.5	1%	5%	5%
	合計材積(m ³)	691.57	719.66	665.75	665.75	4%	4%	4%
全木	本数(本)	2,646	2,676	972	1,717	1%	63%	35%
	樹高(m)	12.6	12.2	23.9	17.1	3%	89%	36%
	平均胸高直径(cm)	18.7	18.9	27.5	18.3	1%	47%	2%
	合計材積(m ³)	825.34	772.24	723.96	714.39	6%	12%	13%

4.4 搬出系統図の作成

4.4.1 微地形表現図の作成

航空レーザ計測で得られたグリッドデータより、地上開度・地下開度・斜度を計算し、尾根谷度・傾斜度に応じた色づけを行い、微地形が表現された詳細地形表現図として赤色立体地図（特許第 3670274 号）を作成した。

赤色立体図は、レーザ計測による高密度・高精度な標高データの表現目的で開発されたものである。傾斜の急であるほどより赤く、谷底ほど暗くなるように色調整しているために立体感が得られ、微地形の判読に極めて有効である。赤色立体地図の概念図を図 4-19 に示す。

この赤色立体地図においては、微地形データがより視覚的にかつ立体的に表現され、特に訓練を必要とすることも無く地形の形状を把握することが可能となり、等高線図から分かりづらい地形なども容易に判読することができるため、崩壊地などの判読にも適している。

凡例として、同一箇所の赤色立体地図と航空写真の拡大図を図 4-20 に示す。

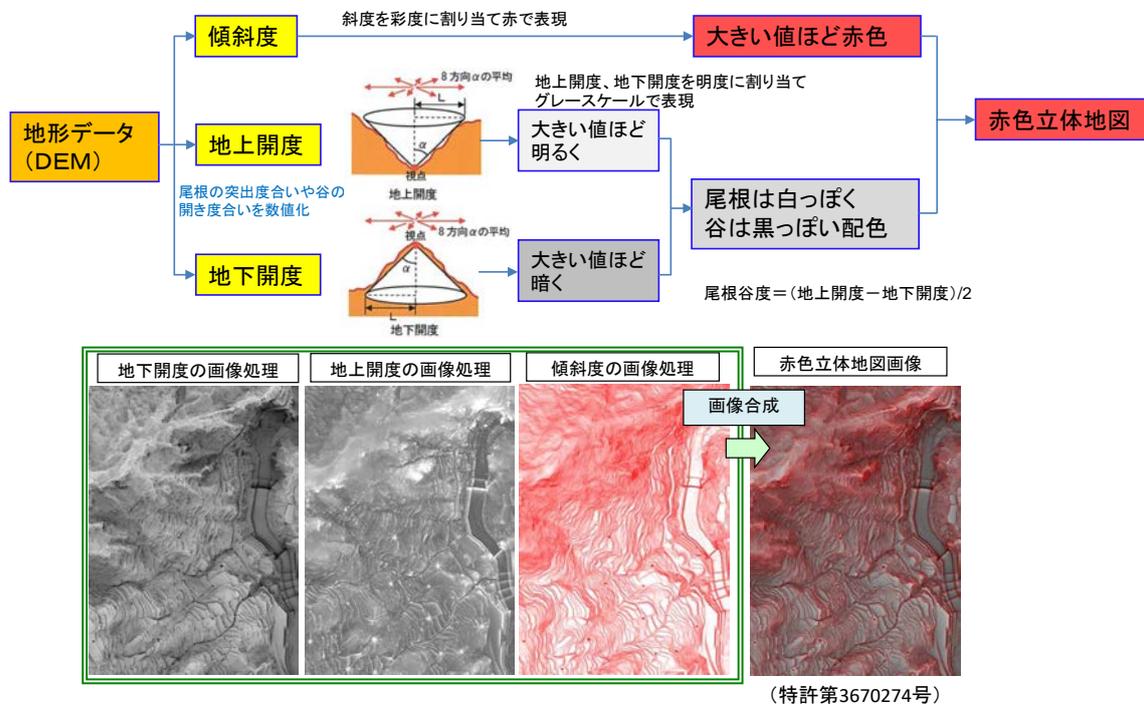


図 4-19 赤色立体地図の概念図

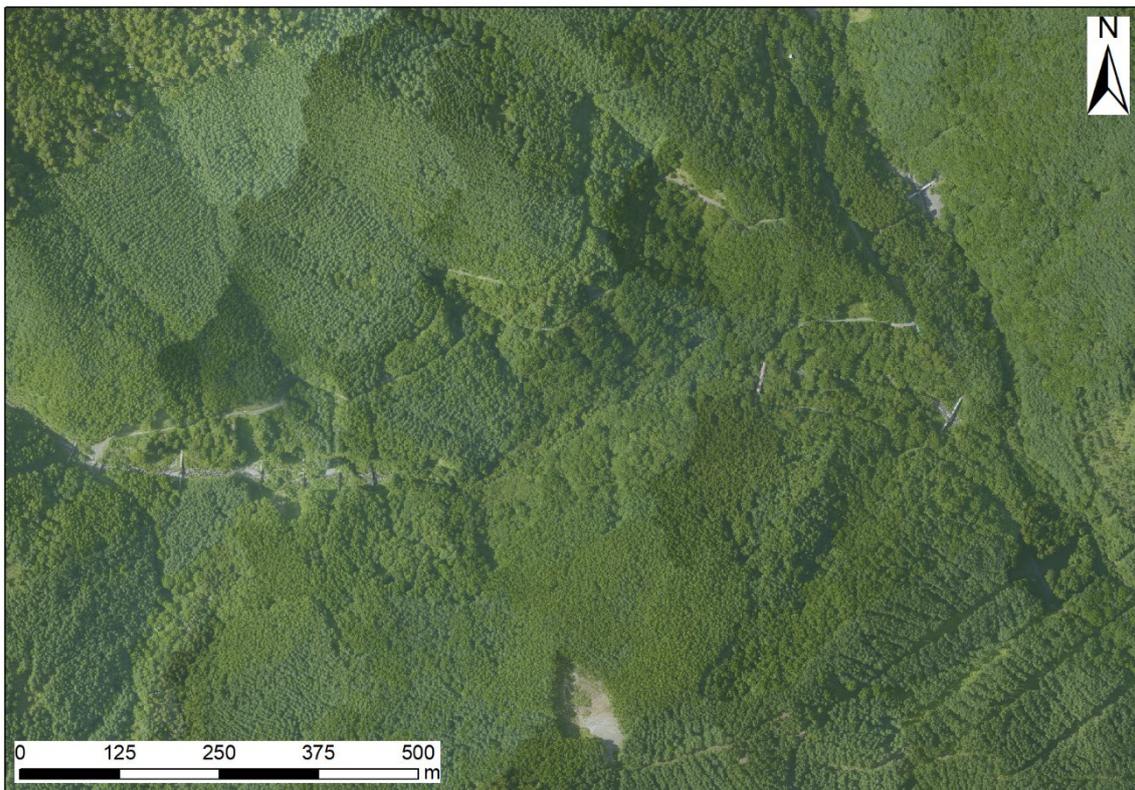
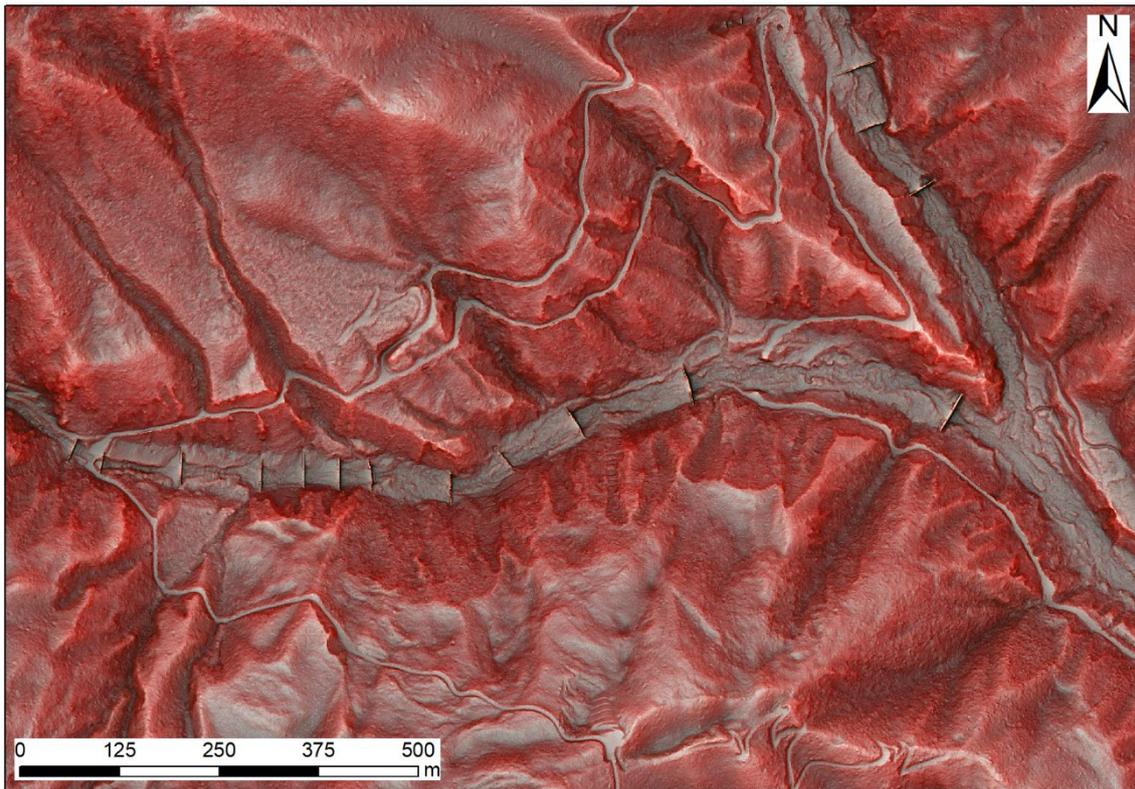


図 4-20 赤色立体地図と航空写真の同一箇所为例