

航空レーザ計測データを活用した収穫調査への適用性の検討について

東信森林管理署業務グループ主任森林整備官 ○ 坂口 博紀
朝日航洋株式会社上級主任技師 ○ 世古口 竜一

要旨

航空レーザ計測は、災害からの復旧復興や予防治山等の分野で活用が進むだけでなく、近年、森林・林業分野でも森林資源量把握のための森林情報解析の普及が進みつつあります。

今回は、収穫調査へ航空レーザ計測技術によるデータを活用し、調査データとして使用が可能か検証しました。



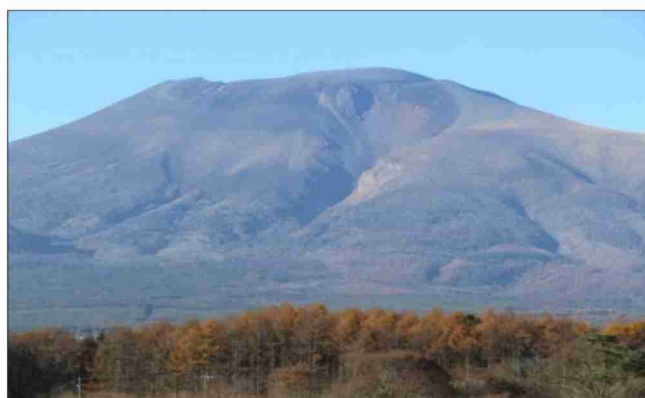
はじめに

東信森林管理署管内のカラマツ等を主体とした人工林は、木材利用期を迎えており、主伐・利用間伐事業が盛んに行われていますが、事業実行の前提となる森林資源を把握するための収穫調査業務が膨大である一方、今後収穫調査の担い手が減少することが予想されることから効率的な調査が必要となってきました。

平成28年度に朝日航洋株式会社が航空レーザ計測を浅間山国有林内にて実施したところを、航空レーザ計測データと平成28年度現地プロット調査箇所及び平成26年度収穫調査実施箇所の調査データとの比較検証を行い、効率的な収穫調査の実用化に向け、収穫調査への航空レーザ（L P）計測データの活用とその有効性について検証しました。

1. 調査地の概要

調査箇所は、長野県北佐久郡御代田町の浅間山国有林及び小諸市高峰国有林の一带です。



調査対象地である浅間山全景

2. 取組概要

平成28年6月に、東信森林管理署管内浅間山国有林にて、朝日航洋株式会社により航空レーザ(LP)測量を実施しました。10月～11月に現地プロット調査を東信森林管理署・朝日航洋株式会社の両者にて、現地プロットを設定し、アカマツ・カラマツ・その他針葉樹林分の収穫調査を実施しました。

また、高峰国有林にて、平成26年度収穫調査実施箇所の調査データとの比較検証も行ったところです。

3. 取組の経過

(1) 航空レーザ測量とは

航空レーザ測量は、21世紀になり普及してきた技術であり、航空機からレーザ光を発射し、計測対象物に当たって跳ね返ってくる時間差で距離を測ります。その際に航空機の位置をGNSS「Global Navigation Satellite System」「全地球航法衛星システム」とIMU「Inertial Measurement Unit」「慣性航法装置」により求め、レーザ光の発射から戻ってくるまでの時間と照射角度を併せて解析することで、地上などの反射位置の測量座標を算出します。

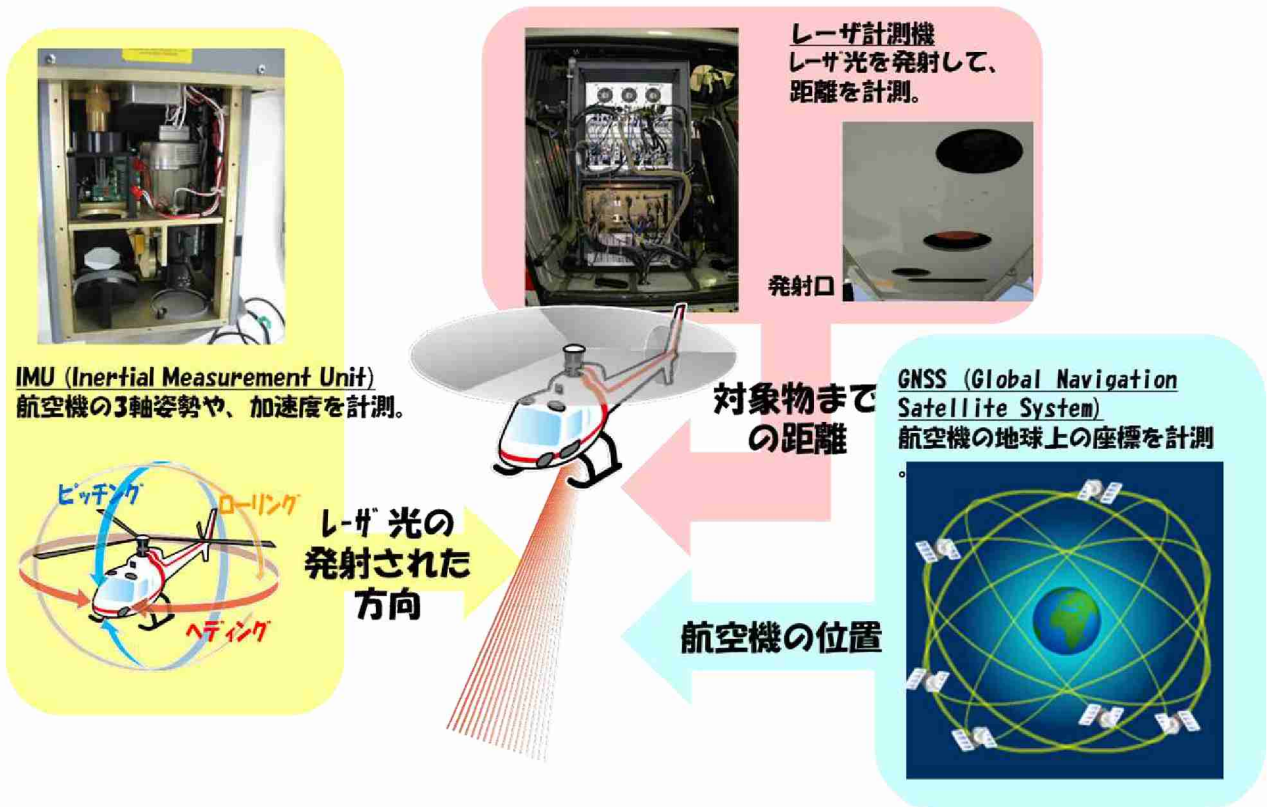


図 3.1 航空レーザ測量の仕組み

レーザ光の性質から、物体に当たると跳ね返るため、地盤だけでなく樹木や建物など様々な物の位置を測ることが可能です。

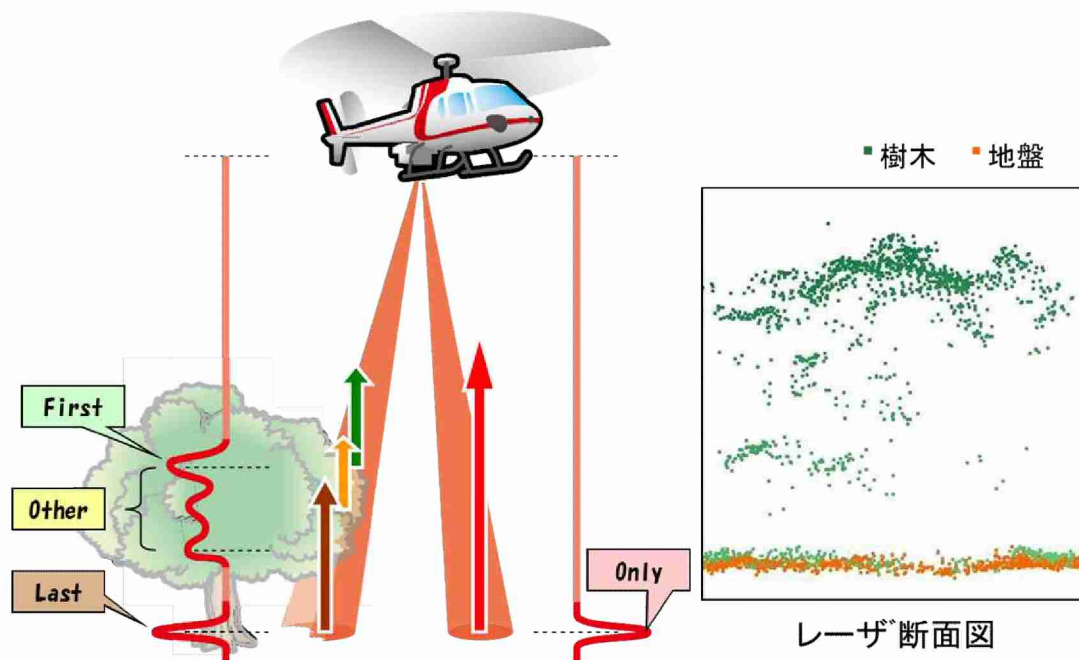


図 3.2 航空レーザ測量の特性

本検討では、航空レーザ測量技術を用いて、調査対象地の地盤高と樹木の情報から、収穫調査への適用を試みました。

(2) 調査経過

ア 航空レーザ (LP) データによる樹木解析

航空レーザ測量成果による地盤高のデータと航空レーザ計測データを解析して樹木情報 (樹高、樹木本数) を計算しました。

(ア) 樹高の算出

航空レーザ (LP) の DSM (Digital Surface Model) と DEM (Digital Elevation Model) から DCHM (Digital Canopy Height Model) を算出しました。DSM は、樹冠部等、DEM は地盤高に相当するため、樹冠高から地盤高を引いたものが、樹林高 (DCHM) となります。

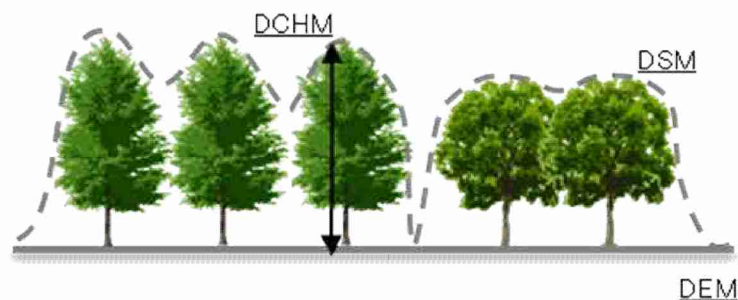


図 3.3 樹高算出のイメージ

(イ) 本数抽出

レーザ照射数が多い樹林高 (DCHM) は、樹冠形状を読み取ることができます。針葉樹の場合は、樹冠の頂点を数えることで樹木本数を把握することが可能です。また、カラマツなどの通直な針葉樹の

場合、樹頂点位置が地上での樹木位置となります。この樹頂点の抽出を自動化することで、広域の樹木本数が短時間に把握できます。

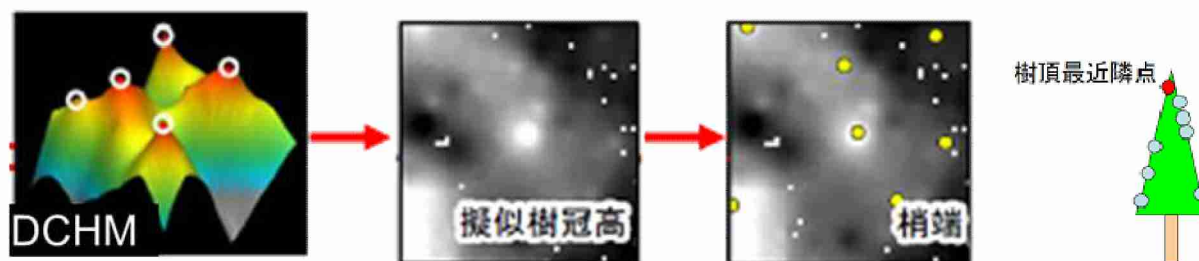


図 3.4 樹頂点抽出のイメージ

樹頂点(梢端)の抽出は、DCHM 上で最高点を抽出する画像ウィンドウを設定し、ウィンドウをずらしながら最高点を計算させる方法で実施しました。梢端抽出の精度は、樹種・樹木密度とウィンドウサイズに拠るため、現地調査結果や空中写真判読結果に基づいて、林相(樹種、樹木間隔) 毎に最適なパラメータを設定しました。

イ 現地調査による検証データの取得

レーザデータ解析による樹木情報の検証データを取得するため、現地調査を実施しました。現地調査地の選定は、主に収穫調査の対象となる人工林を対象とし、空中写真を予察して、調査プロット内においては樹種や林齢ができるだけ均一な場所を選び、調査プロット間は林齢や立木密度が多様となるように選びました。また、位置が正確な航空レーザデータと同じ場所を選定することに留意しました。

調査地は、カラマツ 5 地点、アカマツ 7 地点、その他針葉樹(シラベ)1 地点を選定しました。

調査の概要

調査プロット 面積 0.04ha 半径 11.3m の円形

調査項目：樹種、本数、樹高、胸高直径、樹冠到達木と未到達木の区分

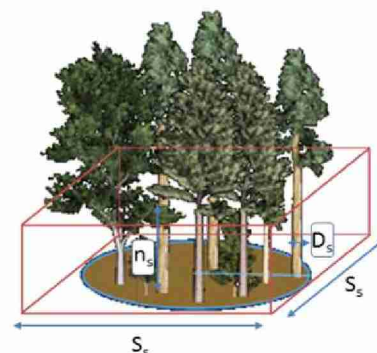


図 3.5 調査プロットイメージ

4. 実行結果

(1) 航空レーザによる樹木情報の解析

航空レーザデータを用いた樹木情報の解析は、表 4.1 のとおりです。

表 4.1 航空レーザ (LP) による解析項目と方法

項目	方法
樹高	DSM-DTM による算出
本数	樹冠形状から自動抽出
胸高直径	樹高曲線から推定
樹種	空中写真判読
材積	材積表法

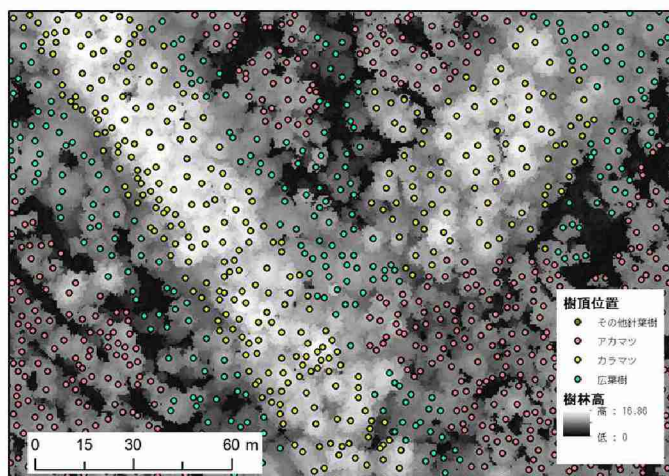


図 4.1 樹種別の樹木位置と樹高

胸高直径の推定

胸高直径は、現地調査で得られた樹高－胸高直径の関係から導きました。

アカマツは決定係数 $R^2=0.4378$ サンプル数 157、カラマツは決定係数 $R^2=0.7696$ サンプル数 180、シラベは決定係数 $R^2=0.7614$ サンプル数 30 でした。アカマツは、樹高 15～22m の樹木が多く、この高さの木の胸高直径にばらつきが大きいいため決定係数が低くなりました。カラマツは、決定係数が高く良好な結果であったと思われますが、高木で胸高直径が大きな樹木がみられました。シラベは、決定係数が高く良好な結果となりましたがサンプル数は 30 本と統計データとして適したサンプル数には達しませんでした。

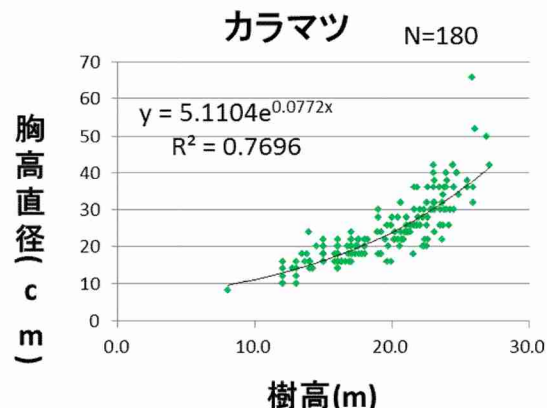
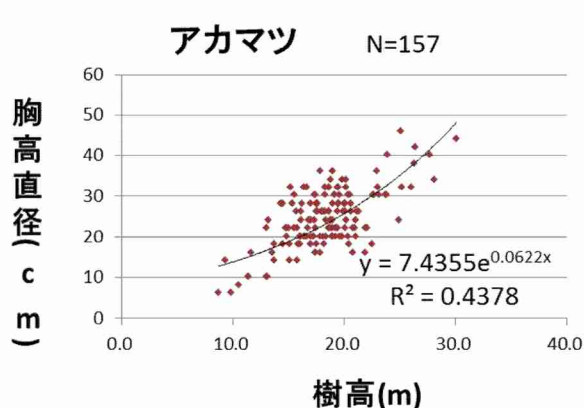
現地サンプリング調査結果から得られた樹高曲線式

アカマツ $y = 7.4355e^{0.0622x}$ $R^2=0.4378$

カラマツ $y = 5.1104e^{0.0772x}$ $R^2=0.7696$

その他針葉樹(シラベ) $y = 3.3457e^{0.098x}$ $R^2=0.7614$

y : 胸高直径 (cm) x : 樹高 (m)



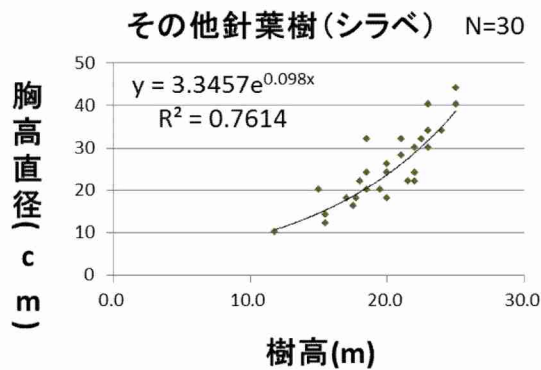


図 4.1 樹高曲線

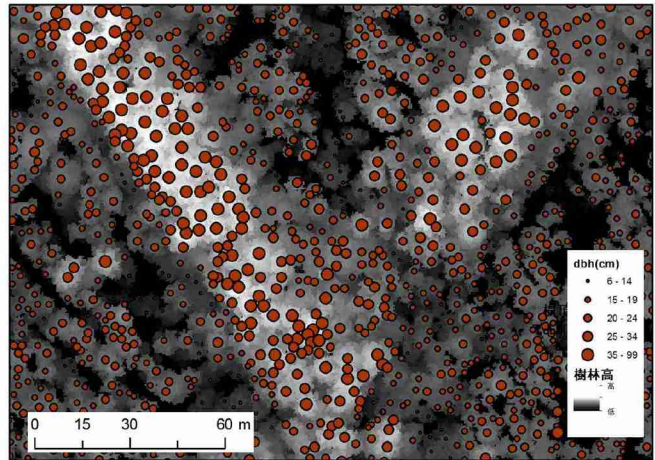


図 4.2 レーザ解析による樹木位置と胸高直径

(2) 現地調査結果との比較

現地調査で得られた樹木本数・樹高・材積と航空レーザから求められた樹木本数・樹高・材積を調査プロット毎と全体で比較しました。

調査プロット毎の比較結果を表 4.2 に例示します。

表 4.2 サンプルプロット毎の比較結果例

調査地点	カラマツ 18	本数	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	林分材積 (m ³)
現地		24.5	24.3	38.0	32.88
レーザ		28	24.4	34.1	31.36
精度 (レーザ/現地)		114%	100%	90%	95%

調査地点	カラマツ 16	本数	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	林分材積 (m ³)
現地		41	15.0	16.5	7.60
レーザ		25	14.1	15.3	3.28
精度 (レーザ/現地)		61%	94%	92%	43%

調査地点	アカマツ 15	本数	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	林分材積 (m ³)
現地		19	22.8	28.6	20.71
レーザ		20	24.8	34.8	22.84
精度 (レーザ/現地)		105%	109%	122%	110%

調査地点	アカマツ 14	本数	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	林分材積 (m ³)
現地		49	13.8	15.0	7.30
レーザ		41	13.8	17.5	6.99
精度 (レーザ/現地)		84%	100%	117%	96%

精度は、現地調査結果を正としてレーザでの算出結果を表示してあります。カラマツ 16 を除いて本数の精度は 84%~114%、材積の推定精度は 95%~110%となりました。カラマツ 16 は、樹高が低く立木密度が高いことが精度低下を招いた可能性があります。

表 4.3 調査地全体の比較結果

カラマツ 全 5 地点	本数	林分材積 (m ³)	アカマツ 全 7 地点	本数	林分材積 (m ³)
現地	158	78.27	現地	170	73.07
レーザ	138	91.41	レーザ	165	66.67
精度 (レーザ/現地)	87%	117%	精度 (レーザ/現地)	97%	91%

調査地全体では、カラマツが本数精度 87%、材積精度 117%、アカマツが本数精度 97%、材積精度 91%でした。今回の現地調査結果との比較では、カラマツ、アカマツとも高い結果が得られました。

(3) H26 標準地調査結果との比較

次に既存の標準地調査結果との比較を実施しました。標準地調査は、平成 26 年度に実施された結果を用いました。

はじめに、標準地調査と航空レーザ測量の時期が異なるため、標準地調査後に伐採等の変化がみられた場所を比較対象から除きました。

次に、航空レーザデータとの比較を行うため、標準地の位置を特定しました。標準地調査位置は、航空レーザ測量成果と整合を図るような測量座標を有していないことから現地調査記録に記された概略の位置と調査簿の樹木情報とレーザや空中写真の樹木情報から場所を推定しましたが、特定には至りませんでした。調査範囲については、現地測量により明らかであったため GIS 上に展開しました。そこで、空中写真で樹種を見ながら、調査範囲をおおよそ特定された現地調査位置及び周辺に複数配置し、調査範囲内のレーザ樹木本数を比較した結果、多少の位置ずれがあっても樹木本数に大きな影響がない調査箇所を選定し、比較対象地区としました。

表 4.4 標準地調査結果との比較

地点名	現地本数	LP 本数	率(LP/現)	樹種	area(m ²)	
2005-そ1	13	9	69%	カラマツ	507.7	(高木のみ)
2005-そ2	11	15	136%	カラマツ	462.1	(高木のみ)
2005-わ	81	49	60%	アカマツ	860.6	
2009-に	48	37	77%	アカマツ	783.2	

標準地調査との比較は、樹木本数で行いました。高木と中低木が混在する調査地では、高木のみを対象としました。また、標準地調査結果からは、今年度実施した調査プロットのように樹冠未到達木を明瞭に区分することはできませんでした。

本数の比較結果から、抽出精度は、60%~136%と調査プロットとの比較と比べ高い精度ではありませんでした。2005-そ2は、他の調査地と異なり LP 本数が多くなりました。これは、カラマツの樹形が円錐形であるものの、この円錐から突出した枝がみられることがあるため、このような枝を樹頂点と誤抽出した可能性があります。その他の地点では、LP 本数は少なくなりました。

標準地調査では、樹冠未到達木の区分がされていないことから、樹冠未到達木分の樹木本数が LP 樹木抽出では推定できなかった可能性があります。

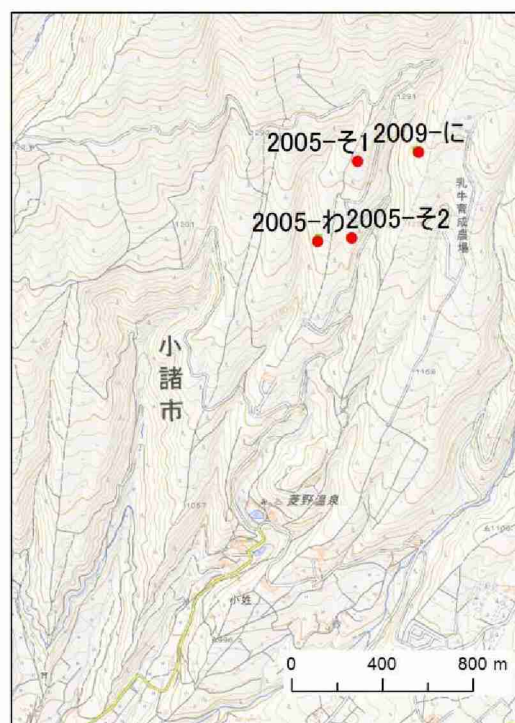


図 4.3 比較対象地

参考までに、今年度調査プロットにおける樹冠未到達木の本数割合は、カラマツ 16%、アカマツ 42%です。従って、樹冠未到達木の存在を考慮すると、本数推定結果は、それほど悪くはないと思われます。

5. 考察

- (1) 今回、航空レーザ計測と選定したプロット調査地内の毎木調査を実施した結果では、本数・材積共に航空レーザにより高い精度が算出できることを確認しました。
- (2) 航空レーザ計測では、標準地調査だけでなくレーザ測量範囲全域の調査が可能であり、時間と労力面で大幅に優位であります。
- (3) 算出可能な調査対象木は、樹冠が上空から見える高木層のみとなります。
- (4) 調査コストは、箇所数が増すにつれ航空レーザが安価となります。

表 5.1 調査コストの比較

箇所数	10	20
面積(ha)	0.625	1.250
航空レーザ手法	6	8 (人日)
データ解析	4	4
現地補足調査	2	4
従来手法	7	13 (人日)
現地調査	6	12
室内作業	1	1
1 箇所あたり 25m 四方 = 625m ² と仮定		

6. 課題

- (1) 立木の曲がり・材質等による一般材とパルプ材の区分や高品質材と販売する場合の品質区分は困難であり、現地調査が必要と考えます。
- (2) 平成 26 年度標準地調査では、樹冠未到達木が区分されていなかったため、本数の抽出精度が高くありませんでした。今後は、標準地調査結果に樹冠未到達木を記すことで、正確な比較検討が可能となると考えます。
- (3) 今回測量した航空レーザ (LP) を用いて、今後標準地調査を実施する際に検証を行うことで、実用化に向けた検討が可能となると考えます。

おわりに

航空レーザ計測は、大面積の人工林や入山困難な箇所でも情報が取得可能で有り、収穫調査の実用化として取り入れられると、有効活用できると考えます。

一方で、広葉樹の割合が高い林分や樹冠未到達木が多い林分では樹木の種類を分別・材積を把握する場合に誤差が大きく今後の課題となります。

航空レーザ計測に限らず、森林管理のための新しい技術や施業については、試行錯誤を行いながら、その優位性を発揮できる検証の積み重ねが大切です。収穫調査への実用化に向けても、技術の確立を目指し、今後とも取り組んでいきます。