

航空機レーザスキャナデータを用いた樹木の三次元パラメータの抽出

環境リモートセンシング研究室 飯濱 真人
指導教員 力丸 厚、高橋 一義、坂田 健太

1. はじめに

近年、樹木の自然環境における効用が社会的に重要視されている。ARD 活動に加え、ダムなどといった人工物を使わずに雨水を貯蓄することができる森林の貯蓄能力など、樹木に対する需要が多様化したことが要因と考えられる。それに伴い、市街地及び森林において、林分因子を対象とし、計測学的な測定項目である樹木資源量のモニタリングが活発に行われている。

資源量を調査する際に、広域を短時間で細密にモニタリングすることが求められる。これまで行われていた、現地に出向いての資源量調査では、人員、時間、コストがかかるといった問題もあり、広域のデータを短時間で正確に取得することは困難であった。また、空中写真画像を用いた解析では、広域のデータを分析することが可能ではあるが、樹高や樹冠形状といった鉛直方向の解析を行うことは困難であった。さらに、航空機レーザ測量による樹木資源量調査も行われていたが、調査対象領域を森林全域とするものが多く、単木でのモニタリングを行っている事例は少ない。

2. 研究目的

航空機レーザスキャナ測量により取得された航空機レーザスキャナデータ(以後、LiDAR データ)は、細密な三次元点群により地表面を表現可能である。本研究は、鉛直方向の樹冠の変化に着目し、樹木の輪郭形状を表現する樹木輪郭パラメータと樹木の内部を表現する樹冠内部パラメータを設定した。樹木の三次元パラメータの抽出を行うことで、樹木資源量の推定に繋がると考え、LiDAR データから樹木の三次元形状パラメータを抽出することを目的とした。図 1. に本研究の研究フローを示す。

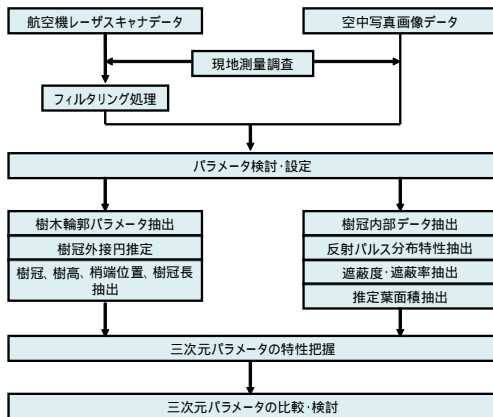


図 1. 研究フロー

3. 樹木三次元パラメータの設定

樹木三次元パラメータは樹木輪郭パラメータと樹冠内部パラメータの大きく二つに分けて設定した。本研究では、樹木輪郭パラメータは樹木の外部形状に関するパラメータのことを示し、樹高、樹冠、樹冠長、梢端位置により構成される。樹冠内部パラメータは樹木の内部に関するパラメータのことを示し、樹木の反射パルス分布特性、遮蔽能力、葉面積により構成される。樹木輪郭パラメータ設定図を図 2、樹冠内部パラメータ設定図を図 3 に示す。

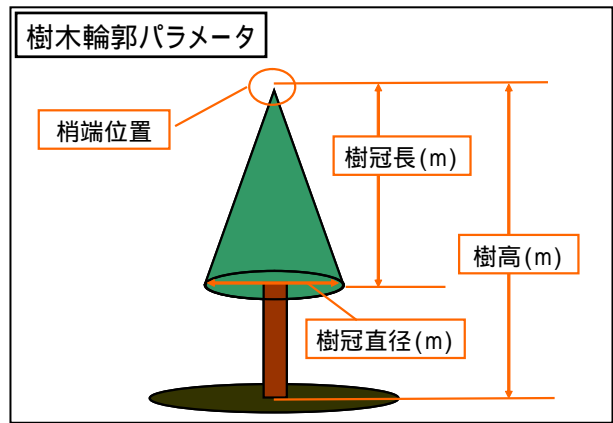


図 2. 樹木輪郭パラメータ

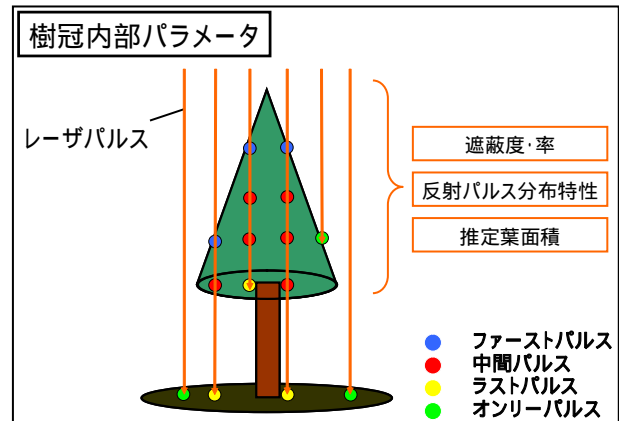


図 3. 樹木内部パラメータ

4. 解析対象領域・解析対象木及び使用データ

4-1. 解析対象領域・解析対象木

新潟県長岡市越路中沢地区を研究対象領域に設定し、形状の異なるユリノキ、サクラ、スギの三種類を解析対象木とした。解析対象木は隣接樹木と密接して存在せず、単木として解析が可能であるものを選定した。

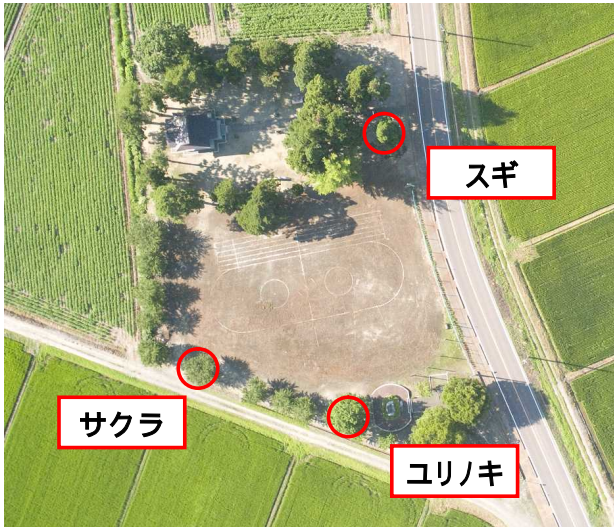


図 4. 解析対象領域

4-2. 使用データ

平成 20 年 7 月 21 日に対象領域において航空機レーザ測量によって取得した、航空機レーザ測量データと、平成 21 年 9 月 4 日から 9 月 25 日にかけて、地上測量調査、現地写真撮影によって取得した現地調査データを使用した。表 1. に航空機レーザ測量計測諸元を示す。

表 1. 航空機レーザ測量計測諸元

使用レーザ波長	1.550nm
レーザビーム幅	0.5mrad
フットプリント	0.15m
スキャン角	最大 ± 30°
スキャン速度	10 ~ 160Hz

4-3. 反射パルスについて

レーザを発射してから一番初めに反射信号強度が強くなった時間を基に算出されるものがファーストパルスである。そして最後に反射強度が強くなった時間をもとに計算されるのがラストパルスである。また、レーザが地表面まで到達するまでに一度も障害物に接触しない場合や樹木の葉が密集している樹冠部では反射信号強度は一度しか表れず、オンリーパルスとして表現される。ファーストパルスとラストパルスの間で反射強度が強くなった時間を基に算出されるものを中間パルスと言い、本研究で用いたレーザスキャナは高さ方向 50cm 間隔で取得することが可能である。

5. 樹木輪郭パラメータの抽出

5-1. 樹冠算出

LiDAR データを高さにごとにラスタ化した

DSM(Digital Surface Model : 数値表層モデル)を作成し、地面点を除いた各高さの DSM に対し外接円を求め、その直径をその高さにおける樹冠とした。

5-2. 梢端、樹高、樹冠長算出

各樹木の LiDAR データの内、最大高度値を示す点を抽出し梢端位置とした。そして、梢端位置と地面の高度差を樹高とした。同様に梢端位置と樹冠の最低高さにあたる高さ位置の高度差を求めることで樹冠長さを算出した。算出結果を表 2 に示す。

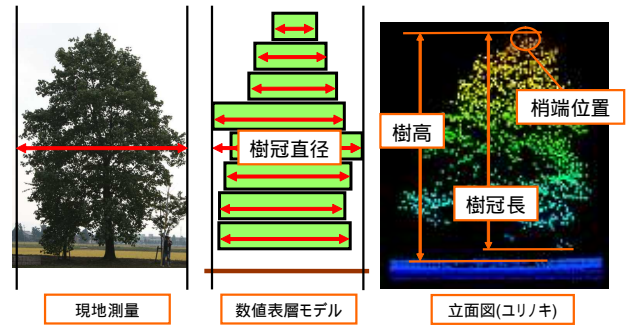


図 5. 樹木輪郭パラメータ抽出概念図

表 2 樹木輪郭パラメータ抽出結果

樹木名(梢端位置)		樹高(m)	樹冠直径(m)	樹冠長(m)
ユリノキ (26421.9,156625.0)	LiDARデータから抽出	12.70	12.70	12.02
	現地調査	12.90	9.50	-
サクラ (26387.3,156630.0)	LiDARデータから抽出	5.60	10.10	4.32
	現地調査	6.00	7.40	-
スギ (26420.9,156683.0)	LiDARデータから抽出	17.60	9.90	14.79
	現地調査	17.80	6.50	-

6. 樹冠内部パラメータの抽出

6-1. 樹木内反射パルス分布特性

樹木内における反射パルス分布特性について樹木上部、下部及び樹木全体の三項目に区分し、検証を行った。表 3. に樹木内パルス分布特性図を示す。

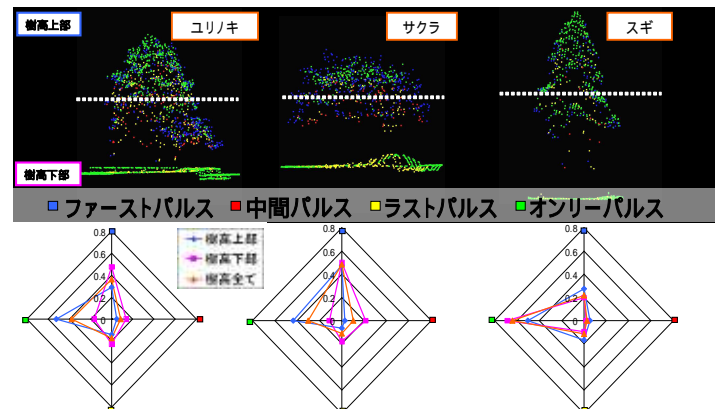


図 6. 樹木内反射パルス分布図

表 3. パルス分布特性図

パルス分布特性				
ユリノキ				
パルス名	ファースト	中間	ラスト	オンリー
上部	0.288	0.050	0.141	0.521
下部	0.474	0.135	0.226	0.165
全体	0.362	0.084	0.175	0.379
樹木上部でオンリーパルスの割合が多い。 樹木の葉や枝が密生				
サクラ				
パルス名	ファースト	中間	ラスト	オンリー
上部	0.475	0.026	0.066	0.433
下部	0.498	0.213	0.179	0.110
全体	0.485	0.102	0.112	0.301
樹木上部でオンリーパルス、ファーストパルスの割合が多く、ほぼ同じ割合である。 ユリノキに比べ樹高が低く、樹冠が大きいため、レーザが中に進入しやすい。 樹木全体の遮断能力は低い。				
スギ				
パルス名	ファースト	中間	ラスト	オンリー
上部	0.275	0.054	0.168	0.503
下部	0.199	0.020	0.095	0.687
全体	0.218	0.028	0.113	0.641
圧倒的にオンリーパルスの割合が多い。 樹高が高く、樹冠が小さいことに加え樹冠長が長いためレーザが内部に侵入し難い。				

樹木全体で比較すると、落葉樹であるユリノキとサクラは樹冠が大きいという樹木形状からレーザが樹木に当たる表面積は広くなり、ファーストパルス、オンリーパルスが多く検出され、同じようなパルス分布の傾向が表れた。スギは樹高が高く、樹冠が小さいことに加え樹冠長が長いという形状から、入射されたレーザパルスが樹木内部まで進入することができず、レーザパルスの多くがファーストパルスではなく、オンリーパルスになって取得された。そのためスギのパルス分布はオンリーパルスの割合が圧倒的に多いという傾向が表れた。またはスギの樹木上部で葉や枝が密生しており、遮蔽能力が高く、レーザが樹木内部に侵入することができなかったということも考えられる。

6-2. 樹木の遮蔽能力の抽出

6-2-1. 反射レーザパルスの分布特性を用いた樹木の遮蔽特性抽出

ファーストパルスとラストパルスは原理上同じ個数が存在する。樹木のレーザパルスに対する遮蔽能力が高ければ樹木内で取得されたファーストパルスと対になるラストパルスは樹木内で取得される。また、樹木内の遮蔽能力が低ければ樹木内で取得されたファーストパルスと対になるラストパルスは樹木を透過し、地面点として取得される。樹木に辺り反射した点群データのみに着目し、ファーストパルス、ラストパルス、オンリーパルスの分布特性から、樹木の遮蔽度を算出した。遮蔽度算出に用いた式を以下に示す。

$$\text{遮蔽度} = \frac{\text{LP点数}}{\text{LP点数} + \text{FP点数}} \quad \dots \text{式 1}$$

$$\text{遮蔽度} = \frac{\text{LP点数}}{\text{OP点数} + \text{FP点数}} \quad \dots \text{式 2}$$

$$\text{遮蔽度} = \frac{\text{LP点数}}{\text{OP点数} + \text{FP点数}} \times (\text{FP} + \text{LPの割合}) \quad \dots \text{式 3}$$

(FP:ファーストパルス,LP:ラストパルス,OP:オンリーパルス)

6-2-2. Beer-Lambert 則を用いた樹木の遮蔽特性の抽出

レーザの透過率が光の垂直方向の透過と同様であると仮定し、Beer-Lambert 則(式 4)を用いて、樹木に入射したレーザ点数と樹木を透過したレーザ点数から、樹木の遮蔽率を算出した。

$$\text{遮蔽率} = -\log_{10} \left(\frac{I_1}{I_0} \right) \quad \dots \text{式 4}$$

(I_0 :入射レーザ点数, I_1 :透過レーザ点数)

6-2-3. 遮蔽結果

6-2-1.6-2-2.で抽出した結果を図 7、図 8 に示す。

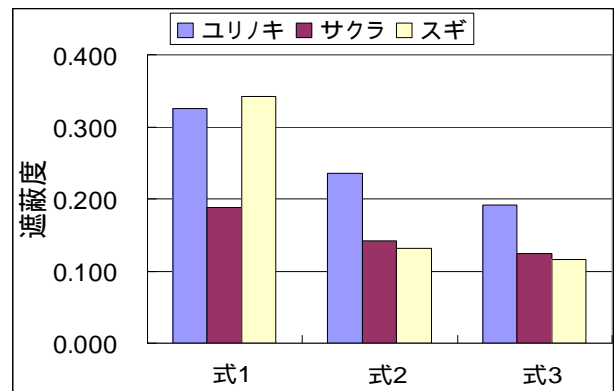


図 7. 遮蔽度抽出結果

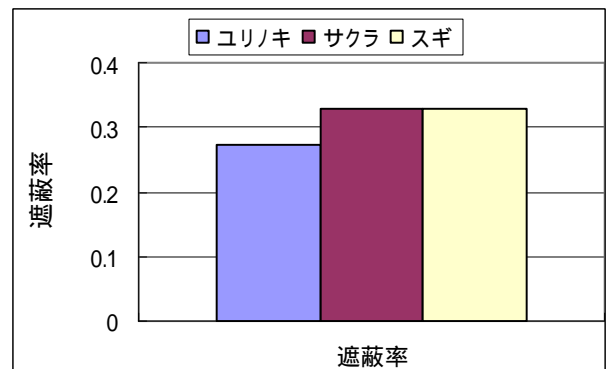


図 8. 遮蔽率抽出結果

反射パルスの分布特性及び Beer-Lambert 則から、樹木の遮蔽能力を算出した。図 7 より、樹種による遮蔽度の違いを算出することができた。また、オンリーパルスを考慮したことにより、式 2 と式 3 を用いて算出した遮蔽度は似た傾向が表れることがわかった。式 2 と式 3 を用いて算出した遮蔽度はユリノキが最も遮蔽度が高く、次いでサクラ、スギといった順番で遮蔽度が高いことがわかった。また、図 8 より樹種による遮蔽率の違いを算出することができた。遮蔽率はスギ、サクラはほぼ同等の値を示し、ユリノキが最も遮蔽率が低いことがわかった。

6-3. 遮蔽率と推定葉面積の関係について

図 9、図 10 より、樹木断面 1m 毎の遮蔽率と数値表層モデルから算出した推定葉面積及び、LiDAR データより算出した推定葉面積の樹高方向への増減のパターンはおおよそ似た傾向であることが分かった。また、LiDAR データより算出した推定葉面積と数値表層モデルから算出した推定葉面積では増減パターンに若干の違いが表れた。これは、数値表層モデルから算出した断面面積は 1m² 辺りに一点でも LiDAR データが存在すれば 1m² と表示するのに対し、LiDAR データより算出した推定葉面積では LiDAR データ一点に対して、それぞれを面積に較正しているためである。

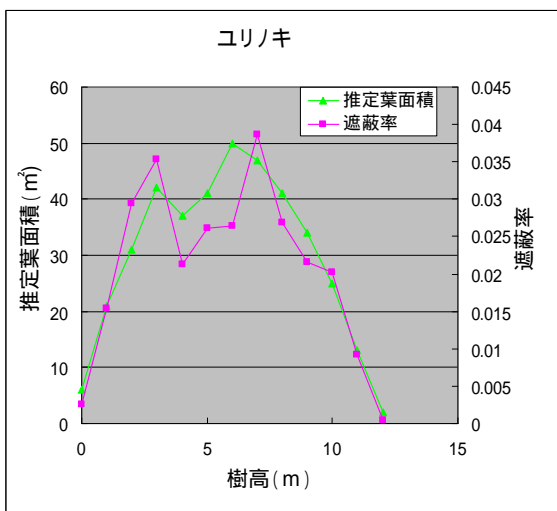


図 9. 遮蔽率と推定葉面積比較図(ユリノキ)

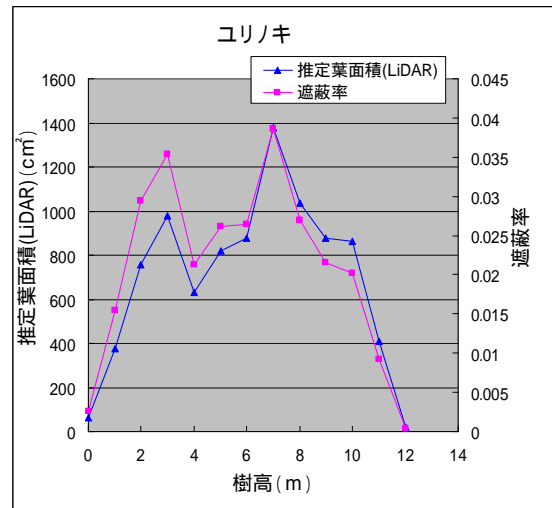


図 10. 遮蔽率と推定葉面積(LiDAR)比較図(ユリノキ)

7. まとめ

樹木の輪郭の形状特性を表現するために、樹木輪郭パラメータを設定し、抽出を行った。樹高は現地調査データとほぼ同等の値になったが、樹冠は現地調査データよりも、大きな値を示した。これは対象木が楕円であるため、現地調査の際、樹冠の最大幅となる箇所を推定し、計測を行うことができなかったためであると考えられる。航空機レーザスキャナデータを用いることにより、計測地に左右されることなくパラメータを抽出することができた。

樹木の内部情報を表現するために、樹冠内部パラメータを設定し、抽出を行った。樹木内の反射パルス分布特性を抽出することにより、樹木の特性を把握することができた。また、反射パルスの分布特性及び Beer-Lambert 則から樹木の遮蔽能力を抽出することにより、樹木の特性の違いによる差を検出することができた。そして、推定葉面積を抽出することにより、高さ毎の推定葉面積の変化を抽出することができた。

以上のことから LiDAR データを使用することにより、樹木の三次元形状パラメータを抽出することが可能であることがわかった。