

# 航空レーザスキャナ計測による波形記録情報を用いた森林構造の把握に関する検討

環境リモートセンシング研究室 修士2年 10333691 田子彰大

## 1.背景

森林群落の密生状況の把握を行うためには、航空写真や現地調査による目視判読といったものがある。その手法では、樹高や胸高直径等の森林パラメータの抽出が可能である。しかし、その手法の問題点は、群落内の調査において下草の繁茂状況に左右され、また森林の3次元的空间の把握が難しいことである。これらの問題点を解決するため、現在は航空レーザスキャナ計測データを活用することが多い。航空レーザスキャナ計測データを用いた森林構造の把握は、点群データを使った様々な手法があり、長橋らの既往の研究<sup>1)</sup>では、航空レーザスキャナ計測データを林床から何層かに区切り算出した各層点群比率を用いて、森林構造の把握を行っている。既往の研究で用いた解析データは、計測範囲に対して十分な点群データの取得を行うため、複数のコースから計測されたデータを合成したものであった。そのため、森林群落をとらえた点群データを割合でしか表現できず、相対的に評価することが問題点であった。

今井ら<sup>2)</sup>は、波形記録方式の航空レーザスキャナ計測データが現在主流で、従来の航空レーザスキャナ計測データと比べて、地物や地表面に関するより多くの情報を有していることを報告している。波形記録方式とは、地上の地物を波形で計測する方式である。波形記録方式の航空レーザスキャナ計測データは、地表面からの微弱な反射強度も記録されるため、地形計測の高精度化が期待され、主に森林域において利用に関する検討が進みつつある。波形記録方式の航空レーザスキャナ計測データを用いた研究では、前田ら<sup>3)</sup>の波形記録方式の航空レーザスキャナデータに基づく地盤計測精度の評価や、中野ら<sup>4)</sup>の波形記録方式の航空レーザスキャナを用いた地盤抽出に関する基礎的検討について等で、地盤抽出に用いるケースは多い。しかし、波形記録方式の航空レーザスキャナ計測データを用いた森林域への研究が少ないことが挙げられる。

## 2.目的

本研究では、新潟県長岡市の信濃川に沿って計測

した航空レーザスキャナ計測データの波形記録情報に着目して森林構造の把握を行った。波形記録情報では、群落内部まで詳細なデータが得られることから、森林群落の把握に役立つと考えられる。

長橋は、航空レーザスキャナ計測データを林床から高さ毎に区切った点群データにより算出した各層点群比率で解析し、森林構造の把握を行っているが、1つのレーザ経路での点群分布で解析がなされていない。また、点群データは点の情報としか扱われていない。

そこで本研究では、波形記録方式のレーザスキャナデータを用いた森林域への有用性から、波形データを用いた森林域への基礎的な活用法の開発することを目的とし、以下のことについて解析を行う。レーザスキャナ計測データの波形記録情報である1つのレーザ経路の空間位置情報と反射強度を用いて、森林構造を把握する。まず、空間位置情報を用いて、樹木の透過特性と樹木内部の鉛直分布を解析し、群落の疎密状態を把握する。反射強度を用いて、葉面の空間占有状態を把握する。

## 3.航空レーザスキャナ計測諸元

使用した航空レーザスキャナの観測諸元を表1に示す。

表1 航空レーザスキャナ観測諸元

航空レーザ計測システム	SAKURA <small>中日本航空(株)</small>
計測日	平成23年10月12日
解析対象地区	長岡市釜ヶ島 <small>信濃川河川敷</small>
スキャン角	±30°
ビーム広がり角	0.5mrad
対地高度	500m

## 4.解析対象範囲

図1に、解析対象区域である新潟県長岡市の信濃川河川公園脇を計測したデータと航空写真を示す。そのデータの信濃川堤外地の樹木群落に着目した。対象樹木は、図の1.オニグルミ、2.シロヤナギ、3.ハリエンジュの3樹種とした。

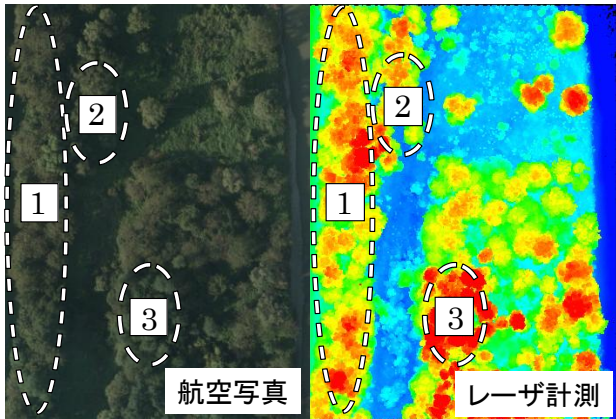


図1 解析対象範囲と対象樹木

### 5. 着目樹種の森林構造

図2に、樹種毎のレーザ反射点分布の概念図を示す。図2は、信濃川河川敷に存在する主要3樹種であり、オニグルミとハリエンジュは樹冠上部と地盤に反射点が多い。シロヤナギは樹冠長が長く、反射点がまばらに分布するなど樹種によって森林構造が違ふ。

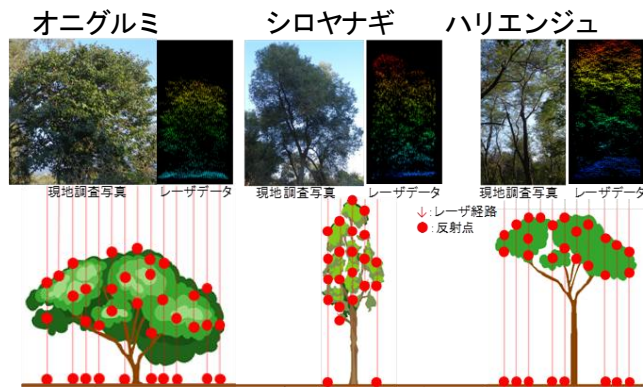


図2 森林構造とレーザ経路上の反射点分布概念図

### 6. 航空レーザスカナによる森林構造把握の考え方

#### 6-1. 波形記録情報を用いた森林構造把握

まず、本研究では、中日本航空株式会社から1コースで計測された航空レーザスカナ計測データを取得した。そのデータは、波形記録方式で計測されたもので、従来式よりも詳細なデータを取得することができる。波形記録方式とは、地上の地物を波形でとらえるため、一度のレーザ照射に対して無数に反射したデータを取得することができる。また、航空機の低高度計測と合わせることで、より高密度・高詳細に計測される。図3に、波形記録方式の概念図を示す。図の〈データサンプル〉は、下草・地盤までデータが存在する。

また、波形記録情報には、空間位置情報と反射強度がある。波形記録方式で計測された場合、森林のように鉛直構造が複雑な形状でも、詳細なデータを取得することができるため、森林の内部構造の把握が可能と考えた。

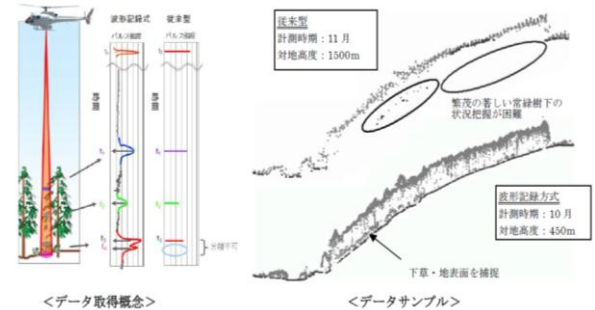


図3 波形記録方式の概念図

#### 6-2. レーザ反射点の位置情報を用いた森林構造把握

波形記録情報には、空間位置情報がある。図4に、1つのレーザ経路で計測された反射点を有するレーザ経路の概念図を示す。森林構造の把握は、反射点の空間位置情報を用いることで可能と考えた。

図2より樹種毎の森林構造が違ふため、空間位置情報を用いて解析することで、透過特性、鉛直分布により森林構造の把握が可能と考えた。

#### 6-3. レーザ反射強度情報を用いた森林構造把握

反射点は、レーザ経路途中にある障害物の葉面等で遮断されて記録される。また、反射強度は、遮断される葉面に応じて記録される。図5に、葉面遮断の概念図を示す。図5は、葉面等により最初（ファーストパルス）のレーザスポット面で一次遮断が生じ反射点が記録され、遮断されたレーザスポット面を維持した状態で二次遮断が生じ反射点が記録される。反射強度は、レーザスポット面の面積に応じて記録される。葉面のサイズは樹種毎で異なり、その違いを把握することで樹種判別が可能と考えた。

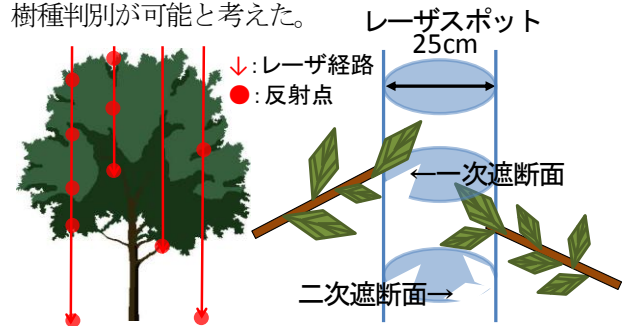


図4 レーザ経路概念図 図5 葉面遮断概念図

## 7. 地面点を考慮した空間分布

### 7.1 解析方法

樹木鉛直分布の把握は、地盤と下草のデータ（3m以下）を取り除き、点群データの位置情報（Z値の中央値、四分値）を用いて、樹種毎の鉛直分布をみた。図5にその概念図を示す。1つの経路毎に、Z値の中央値とZ値の四分値を算出し、図6はグラフの横軸にZ値の中央値、縦軸にZ値の上位四分値（中央値から上位25%）と下位四分値（中央値から下位25%）をとった。樹木鉛直分布は、45度線とZ値の上位四分値とZ値の下位四分値との差が小さければ、樹冠長が短く、反射点が密になる。また、45度線とZ値の上位四分値とZ値の下位四分値との差が大きければ、樹冠長が長く、反射点が疎になる。Z値とは、地盤からの高さを示す（式（1））。

$$Z = h - g \quad (1)$$

Z: Z値, h: 標高値, g: 地盤高

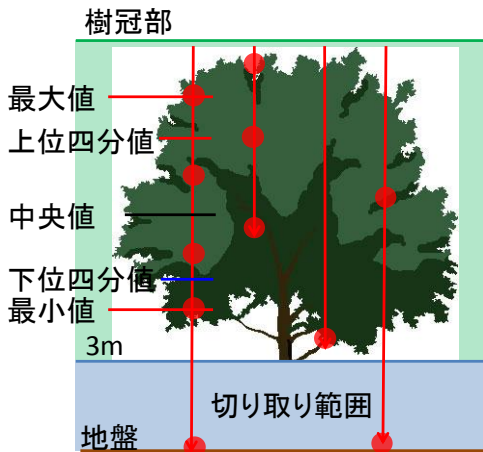


図5 樹木解析の概念図

### 7.2.解析結果と考察

反射点数 4、5 について比較すると、オニグルミの場合、Z 値の上位四分値の近似曲線は傾きが緩やかで、Z 値の下位四分値は傾きが急であることと、5m 以上から Z 値の中央値と Z 値の四分値との差が小さくなることから、鉛直分布として樹冠長が短く、反射点が密になっていることがわかった。ハリエンジュは、オニグルミと同じ傾向にあることがわかった。また、シロヤナギは、他の森林構造と違い、Z 値の上位四分値の近似曲線は傾きが急で、Z 値の下位四分値は傾きが緩やかであることと、3m から樹頂点まで反射点が存在し、Z 値の中央値と Z 値の四分値との差が大きくなることから、鉛直分布として

樹冠長が長く、反射点が疎になっていることがわかった。また、表 1 より、シロヤナギの標準偏差は、他の樹種と比べ大きいことから反射点がバラついて

表 1 樹種毎の反射点数による標準偏差

樹種/反射点数		4	5
オニグルミ	上位四分値	0.9	0.8
	下位四分値	1.3	1.2
シロヤナギ	上位四分値	3.1	2.6
	下位四分値	2.2	1.9
ハリエンジュ	上位四分値	2.1	1.9
	下位四分値	2.7	2.8

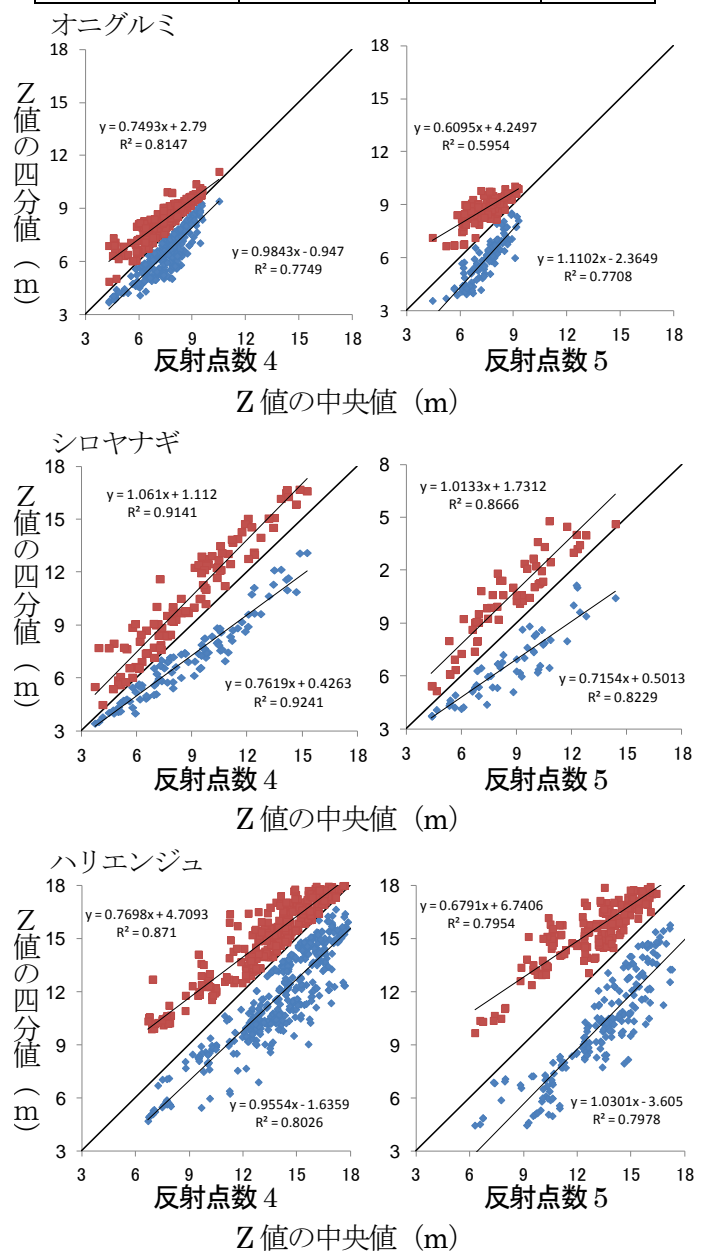


図 6 樹種毎の鉛直分布図



## 8. 反射強度を用いて葉面を想定した空間占有特性

### 8.1 解析方法

葉面空間占有特性の把握は、ファーストパルスの反射率の平均では、複数の葉面が重なり、合成面積が広がり反射率が大きくなる影響がある。本研究では、葉面の離散的に存在する領域で比較を行えば、樹種による違いが把握できるのではないかと考えた。そのため、地盤から10m以上の樹冠の末梢部分をとらえたファーストパルスに着目した。ファーストパルスの反射率が低い値から並べ、そのZ値の上位四分値で解析を行った。Z値の上位四分値をとることで、1枚の葉面を想定し、群落単位で葉面占有率の比較を行った。

### 8.2 葉面占有率

中日本航空株式会社から提供されたデータの反射強度という出力値を用いて、葉面を想定した空間占有特性の把握のため、葉面占有率の導出を行った。まず、基準面(図7)を設定し、分光器で計測を行った。図8に計測結果を示す。変換係数の算出方法として、航空レーザスキャナのレーザ波長1550nmの反射強度と現地調査で得た反射率(図8の赤枠)を用いて、式(2)に従い算出した。算出した変換係数は、0.018(一定値)となり、変換係数と2m×2mのメッシュデータ内の反射強度を用いて、みかけの反射率を式(3)に従い算出した。基準面は、レーザデータと現地調査の計測時期が異なるため、経年変化が小さく、平らなアスファルトに設定した。

次に、葉面占有率の算出方法を示す。分光器を用いた実験では、スポット径に対して植生の葉面で満たされた状態で反射率の算出を行った際、葉面占有率100%に対して、反射率42%であった(図9a))。それを用いて、各メッシュデータ内の葉面占有率(図9b))を式(4)に従い算出した。

$$TC = \frac{R_s}{RI_s} \quad (2)$$

$$R_A = TC \times RI_{FP} \quad (3)$$

$$S_V = \frac{R_A}{R_V} \times 100 \quad (4)$$

$R_A$  : みかけの反射率 (%)、 $S_V$  : 葉面占有率 (%)

$R_S$  : 基準面の反射率 (%)、 $RI_S$  : 基準面の反射強度

$RI_{FP}$  : ファーストパルスの反射強度

$TC$  : 変換係数、 $R_V$  : 植生の反射率 (%) = 42%

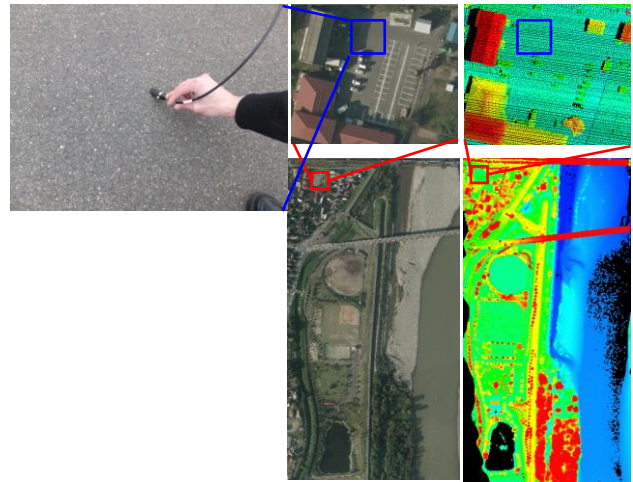


図7 アスファルト基準面  
(オルソ画像、レーザスキャナ計測データ)

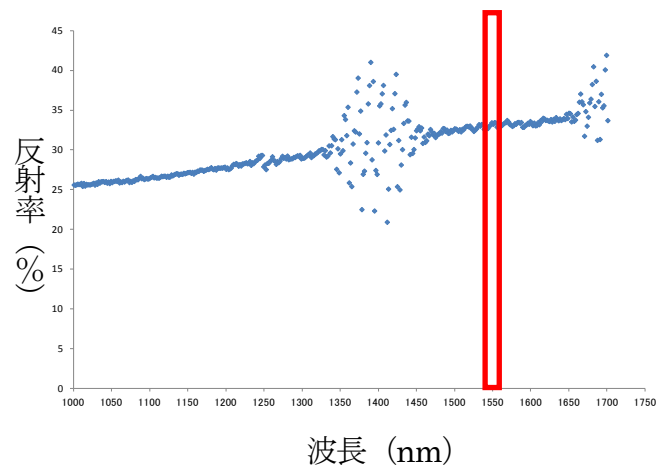
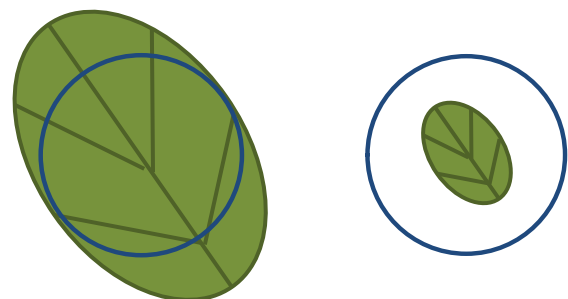


図8 道路面の反射率



a)100%葉面

b)葉面

図9 葉面で占めるスポット径

### 8-3.解析結果

図1は、解析対象範囲であり、葉面占有率0.1-5%：紫、5-10%：濃い青、10-15%：青、15-20%：水色、20-25%：緑、25-30%：黄緑、30-35%：黄色、35-40%：オレンジ、40-45%：赤、45%以上：赤褐色を示す。図10の白について、地面や下草が繁茂する箇所を示す。レーザスポット径に対して単数の葉を表現できたと仮定した場合、シロヤナギは葉面占有率が低い値を示し、オニグルミは葉面占有率が高い値を示す。ハリエンジュの葉面占有率は、シロヤナギよりは高くオニグルミより低い値を示す。

10m以上のデータを扱うことで群落単位を捉えた図の作成が行えた。表2に、図の枠毎に算出した平均葉面占有率とそのときの標準偏差を示す。オニグルミとハリエンジュはスポット径に対して1/4程度、葉面で占める結果となり、シロヤナギはスポット径に対して1/6程度、葉面で占める結果となった。シロヤナギ群落は均一に葉面占有率が低いのがわかる。

表2 樹種毎の平均葉面占有率と標準偏差

樹種群落	平均葉面占有率 (%)	標準偏差
オニグルミ	24.4	20.3
シロヤナギ	17.7	9.2
ハリエンジュ	22.5	11.9

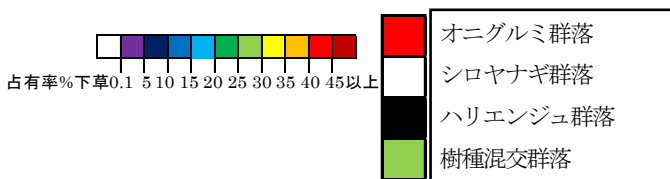
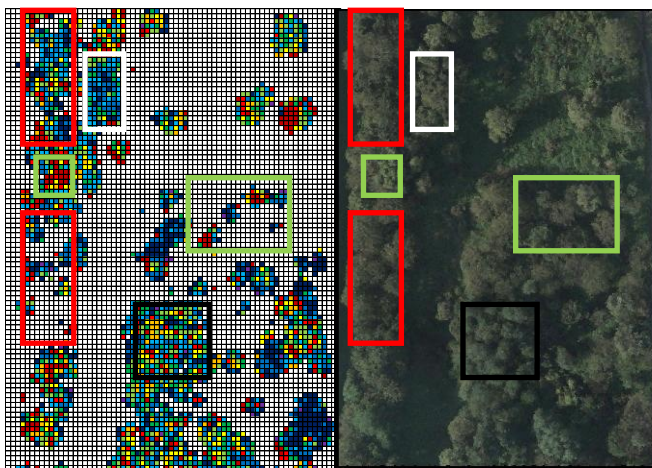


図10 樹木上層の葉面を想定した空間占有特性図

### 8-4.考察

図10より、群落の樹冠、単木についても表現した図の作成ができたと考えられる。対象樹木であるオニグルミ、シロヤナギ、ハリエンジュについて、葉面サイズに差があることからレーザスポット径に対する葉面占有率に影響が生じると考えた。その結果、一部で葉面占有率に差が生じ、樹種分類の可能性が示唆された。樹種混交の箇所については比較的高い葉面占有率であった。これは、ファーストパルスのZ値の上位四分値の平均をとっているが、複数の樹種の場合、鉛直分布の違う樹木が混ざっているため、Z値の上位四分値をとったとしても、複数の葉面を有している可能性があるため葉面占有率に影響が出たと考えられる。

また、葉面サイズ<sup>3)</sup>を用いて、式(5)、(6)から1枚あたりの葉面占有率の算出を行った。その結果を表3に示す。1枚あたりの葉面占有率は計測値の10~20%程度であった。これは、計測値の場合、隣接する小葉の影響でZ値の上位四分値のデータでも1枚に分離できないことがわかった。しかし、反射強度と10m以上のファーストパルスの四分値以下のデータを用いることで葉面把握が行えることを示唆したものであった。

$$A_v = \frac{1}{4} \pi \times L \times W \quad (5)$$

$$S_v = \frac{A_v}{A_{sd}} \times 100 \quad (6)$$

$A_v$ ：植生の面積、 $S_v$ ：葉面占有率

$L$ ：長さ、 $A_{sd}$ ：スポット径の面積 (490.9cm<sup>2</sup>)

$W$ ：幅、スポット径の半径 (12.5cm)

表3 樹種毎の葉面占有率

樹種	葉面サイズ		1枚あたりの葉面占有率 (%)	平均葉面占有率 (%)
	L (cm)	W (cm)		
オニグルミ	6~18	3~8	3.8~23.0	24.4
シロヤナギ	5~11	1~2	0.8~3.5	17.7
ハリエンジュ	2.5~5	4~7	1.6~5.6	22.5

## 9. まとめ

上記のことから、1つのレーザ経路の空間位置情報を用いることで、レーザの透過特性と樹種の鉛直分布の把握の可能性が示唆された。しかし、オニグルミとハリエンジュは似たような森林構造であることがわかった。反射強度を用いることで、葉面の面積分布情報を抽出することができ、樹種判別の可能性が示唆された。波形記録情報を用いることで、透過特性・鉛直分布では樹木内部構造、葉面占有特性といった森林域への活用性が示唆された。

反射点数 4、5 について比較すると、オニグルミの場合、Z 値の上位四分値の近似曲線は傾きが緩やかで、Z 値の下位四分値は傾きが急であることと、5m 以上から Z 値の中央値と Z 値の四分値との差が小さくなることから、鉛直分布として樹冠長が短く、反射点が密になっていることがわかった。ハリエンジュは、オニグルミと同じ傾向にあることがわかった。また、シロヤナギは、他の森林構造と違い、Z 値の上位四分値の近似曲線は傾きが急で、Z 値の下位四分値は傾きが緩やかであることと、3m から樹頂点まで反射点が存在し、Z 値の中央値と Z 値の四分値との差が大きくなることから、鉛直分布として樹冠長が長く、反射点が疎になっていることがわかった。また、表 4.1 より、シロヤナギの標準偏差は、他の樹種と比べ大きいことから反射点がバラついていていることがわかる。上記のことから、各樹種の鉛直分布を反映した特性が抽出されていると考えられる。しかし、オニグルミとハリエンジュに違いが見られず、2 樹種は似たような形状をしていることがわかった。

群落の樹冠、単木についても表現した図の作成ができたと考えられる。対象樹木であるオニグルミ、シロヤナギ、ハリエンジュについて、葉面サイズに差があることからレーザスポット径に対する葉面占有率に影響が生じると考えた。その結果、一部で葉面占有率に差が生じ、樹種分類の可能性が示唆された。樹種混交の箇所については比較的高い葉面占有率であった。これは、ファーストパルスの Z 値の上位四分値の平均をとっているが、複数の樹種の場合、鉛直分布の違う樹木が混ざっているため、Z 値の上位四分値をとったとしても、複数の葉面を有している可能性があるため葉面占有率に影響が出たと考えられる。

また、葉面サイズ<sup>3)</sup>を用いて、式(5)、(6)から1枚あ

たりの葉面占有率の算出を行った。その結果を6に示す。1枚あたりの葉面占有率は計測値の10~20%程度であった。これは、計測値の場合、隣接する小葉の影響でZ値の上位四分値のデータでも1枚に分離できないことがわかった。しかし、反射強度と10m以上のファーストパルスの四分値以下のデータを用いることで葉面把握が行えることを示唆したものであった。

## 参考文献

- 1) 長橋優、レーザスキャナ観測データによる森林構成の特徴把握に関する検討、第30回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集、pp.296-297、2013
- 2) 今井靖晃・本田謙一・鈴木久美子・中村三友・高橋勇・武田浩志：波形記録式航空機 LiDAR データの土地被覆別波形特性に関する検討、平成 24 年度秋季学術公演会発表論文集、pp.39-42、2012
- 3) 前田佳子・本田謙一・今井靖晃・横尾泰広・井田憲吾：波形記録式航空機 LiDAR データに基づく地盤計測精度の評価、平成 25 年度秋季学術公演会発表論文集、pp.121-124、2013
- 4) 中野一也・近津博文：波形記録式航空レーザスキャナを用いた地盤抽出に関する基礎的検討について、平成 25 年度秋季学術公演会発表論文集、pp.127-130、2013
- 5) 山本敏夫、新潟県樹木図鑑、新潟日報事業社、1994