

# 航空機 LIDAR データに含まれる森林構造の 影響評価に関する研究<sup>#</sup>

平 春\* 平 沼 竜 一\*\*  
後 藤 真太郎\* 范 海 生\*

キーワード：LIDAR、森林構造、地形、断面図、DEM

## 1 はじめに

日本の丘陵地には、古くからクヌギ・コナラ林やアカマツ林などの二次林が広がっている。二次林は、薪炭林や農用林としての利用のため、定期的な下草刈りや伐採といった持続的な管理が行われることにより遷移途中の状態を、長い間維持してきた（武内，1980）。

しかし、1950年代頃からの燃料革命以後、薪や炭の利用が減少したことや、堆肥の化学肥料化などにより、二次林はそれまでの役割を失い、多くが放置されるようになった。また、都市近郊の丘陵地では、1960年代以降盛んになった大規模住宅用地の造成により、二次林そのものが減少していった（三浦ほか，1990）。このような丘陵地二次林の減少や荒廃が進む一方で、拡大した市街地に近接して残った林地が身近な自然として注目されるようになり、その一部は公園や学習の場などとして、行政やボランティアなどにより保全や管理がされている。しかし、今まで森林を管理してきた人々の高齢化や、過疎、材木を利用する場面の減少などにより、管理の行き届かない森林は増えてきている。このような放置された森林の管理をどのように行っていくのかということが社会の重要なキーワードとなっている。広域な森林を管理するために、森林に関するさまざまな情報を収集する必要がある（白石，2007）。

樹高や成長量など森林パラメータは、これまで現地計測を中心として行っていたが、航空機搭載型 LIDAR (Laser Imaging Detection And Ranging) を用いた森林計測は、森林の三次元構造をとらえるのに有効な手段とし、LIDAR データを用いた毎木の位置や高さ、樹冠の大きさや形状を測定する技術の開発により単木単位で森林パラメータを取得が可能であると期待されている（瀬戸島，2001；加藤，2004；斎藤，2008）。

そこで本研究では、広範囲の森林の情報を得るための手段として航空機 LIDAR により取得したパルスデータを用いて、森林の管理に必要な森林内部の構造が LIDAR データに反映されているかを明らかにし、そこから森林管理に生かす指標を抽出することを目的とした。

## 2 調査域

### 2.1 対象地域

埼玉県東松山市岩殿観音付近にある森林は、管理されている森林と管理されていない森林の2種類が隣接している。そのため本研究では、その条件を満たす森林として2つの小流域を対象とした（図1）。

2つの小流域の内、西側の流域は定期的な管理が行われており、東側の流域は管理が放棄されている。本研究では西側の小流域をN地点、東側の小流域をH地点とした。



図1 調査域

### 2.2 調査地概要

#### 2.2.1 地形概観

調査地の岩殿丘陵は、埼玉県東松山市南西部から鳩山町を中心に広がる丘陵地であり、「比企丘陵」や「比企南丘陵」とも呼ばれる。岩殿丘陵は、南北に荒川の支流

\* 立正大学地球環境科学研究科

\*\* 中赤沢測量設計株式会社

# 21年度立正大学大学院地球環境科学研究科オープンリサーチセンターの業績

である越辺川と都幾川の沖積低地が広がり、東には高坂台地が位置する、東西約9.5km、南北の約8kmの丘陵地である。その標高は70~140mで、同じ埼玉県内でも南に位置する狭山丘陵や加治丘陵と比べると低い(埼玉県農林部林務課, 1999)。

調査地は、岩殿丘陵の北東部に位置する、東西に並んだ北向きの2つの小流域に設定した。2つの小流域のうち西側に位置する流域では、幅・深さともに約1mの水路が存在し、普段は水流が見られないものの、降雨のあった翌日などには水流が見られる。これに対し、東側の流域は上流部には水路が存在せず、下流部では、水路は存在するものの西側の流域に比べ浅く、水流はまとまった降水後に見られる程度である。N地点、H地点の双方とも、谷になっているため傾斜が急になっているところが多く、地すべりが起きた形跡なども見られる。

### 2. 2. 2 植生概観

調査地として選んだ2つの小流域は、アカマツやコナラ、ヤマザクラが主となる二次林であり、両流域の下流部と東側流域の谷頭の上部には、スギが点在している。

丘陵地の地形は長さ、傾斜、曲率、向きなどが異なる多様な斜面である微地形の集合からなっている。微地形とそこに生育する植生の対応関係についてはこれまでに様々な研究がなされており、丘陵地斜面の植生は、微地形に規定される地表面の安定性や土壌水分などを含む土壌条件、光条件などの影響を受け、生育していると考えられている。

### 2. 2. 3 植生管理の状況

調査地とした東西に並ぶ2つの小流域のうち、N流域上流部は、東松山市により「市民の森」として、定期的

な管理がされている範囲内に位置する。

「市民の森」は、東松山市の南西部、鳩山町との市境に位置する公有林で、1986年(昭和61年)に国有林の払い下げにより東松山市が32haを買い上げ、管理している。「市民の森」の植生管理については、東松山市は造園業者に委託しており、「市民の森」で行われている植生管理は、主に下草刈りで、樹木については倒木処理を行うのみである。最近は、「市民の森」全体を6つのブロックに分け、毎年1箇所ずつ下草刈りを行っているが、それ以前からも管理自体は行っていた。また、遊歩道周辺10mについてのみ、毎年、下草刈りが行われている。下草刈りは、秋に行われており、斜面上部を中心に、林床を一様に刈り取る。

これに対してH流域では、N流域のように定期的な管理が行われておらず、常緑低木や背の高いアズマネザサが茂っている。しかし、二次林が成立していることや、萌芽したコナラが見られることから、以前は管理が行われており、その後、放棄されたと考えられる。

### 2. 3 使用データ

使用した航空機 LIDAR データは Laica 会社製 ALS 50により収集した(表1)。LIDAR データの精度を検証するには、東松山市役所で販売している1/2500国土基本図を使った。

## 3 研究方法

### 3. 1 LIDAR データの分布図の作成

ArcGIS を用いて、N地点とH地点それぞれの流域内で南北方向に縦断面を取り(図2)、その断面から1mバッファ内の LIDAR データを抽出し、Excel で散布図

表1 計測仕様 (2006/12/25)

項目	計測仕様
計画計測密度	おおよそ4.0m <sup>2</sup> に一点
実質計測密度	おおよそ1.0m <sup>2</sup> に一点
レーザパルス頻度	65,000Hz
スキャン角度	±18度
スキャン頻度	45Hz
レーザービーム径	0.3mrad (対地高度1200m時地上で40cm程度)
測定時飛行対地高度	約1200m (地表面の凹凸による)
測定時飛行速度	252km/h
計測コース間ラップ率	40%
計測コース間隔	180m
測定プラットフォーム	固定翼 セスナ404タイタン (JA5257)

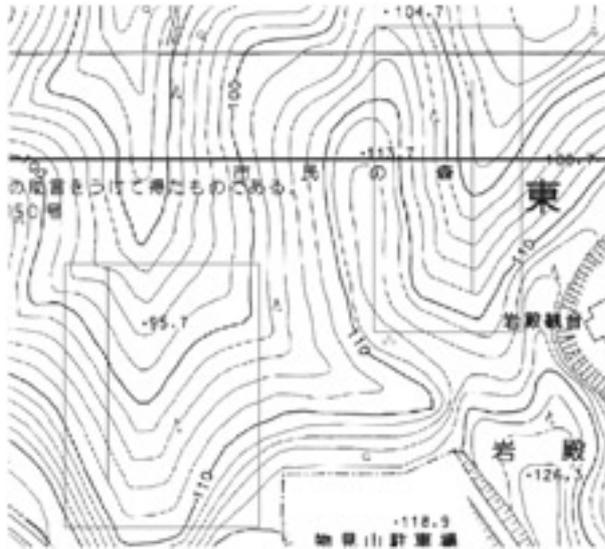


図2 両流域の縦断面

のグラフとして表示した。また、重なり合うファーストパルスとラストパルスとを、ファーストパルスからラストパルスの距離によって5つの区間に分類し、それぞれを比較するために、各分類ごとに表示した。距離は20~30m、15~20m、10~15m、5~10、0~5mの5つで、距離の検索と表示には ArcGIS を用いた。

### 3. 2 LIDAR データの精度検証

#### 3. 2. 1 地形図から DEM データの作成

LIDAR データのラストパルスが正しく地表面を表しているかを調べるために、ArcGIS を用いて、地形図の等高線から、等高線の shape ファイルを作成し、その shape ファイルに内挿処理を施して DEM データを作成した。作成した DEM データの精度を検証するために、いくつかの場所で断面図をとり、LIDAR データとの比較を行った。

#### 3. 2. 2 トータルステーションを用いた地盤測量

N流域から東南東に約200mほどの所にある物見山展望台の二等三角点から閉合トラバース測量を行い、N流域周辺に10箇所の基準点を作った。基準点の標高値はトラバース測量とは別にアルミ製ロッドとオートレベルを使って水準測量を行い、それによって得た数値を使用した。その基準点から、放射トラバース測量によって、N流域内の地形を測量した。

### 3. 3 現地観測と全天写真による開空度の算出

現地観測は影に行く前に、ArcGIS と Excel を用いて、LIDAR データに特徴的なばらつきが発生している点の

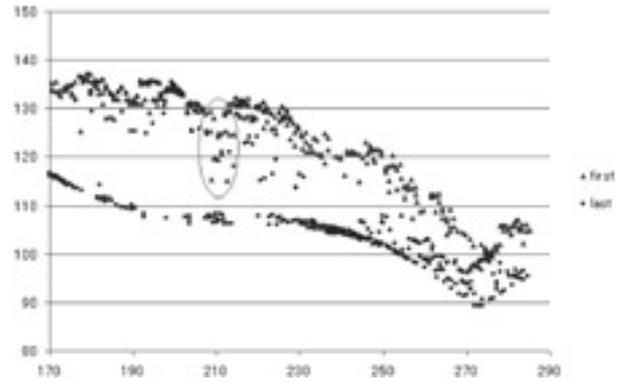


図3 地点1

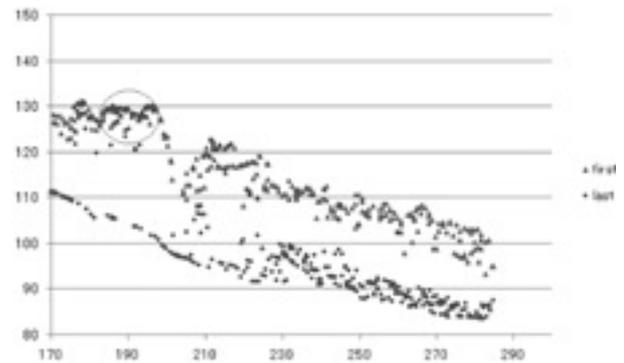


図4 地点2

位置を調べ、撮影ポイントとして設定した。そのうち、ファーストパルスがばらつきを見せている点を「地点1」(図3)、ラストパルスが樹冠でほとんど止まっている点を「地点2」(図4)、管理されていない森林内の点を「地点3」とし、三か所の全天写真を撮影した。

現地では、メジャーとクリノメーターを使い、おおよその位置を取った。そこで、クリノメーターの水準器を使って地面と水平に設置した三脚の上にデジタルカメラと魚眼レンズをセットし、撮影した。撮影した写真を全天写真解析ソフト「CanopOn 2」で解析し、開空度の違いを比較した。

## 4 結果

### 4. 1 LIDAR データの分布図

N流域の LIDAR データの分布図(図5)は、X軸で250m以上の部分から管理が行き届いていない部分に入ってしまった。

グラフ左半分の管理されている森林の断面を見ると、ラストパルスが地表面までたどりついているものと、樹冠で止まってしまっているものの2つにわかれている。反対に、右半分の管理されていない森林では、樹冠で止

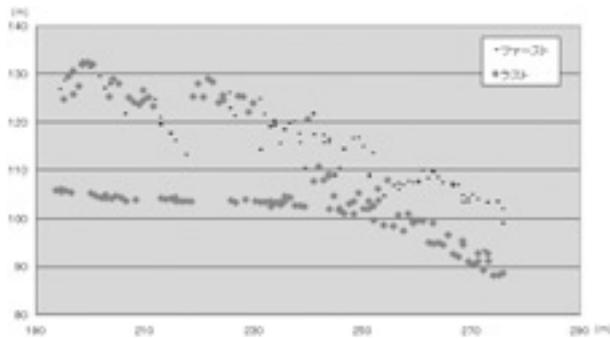


図5 N流域のLIDARデータの分布図

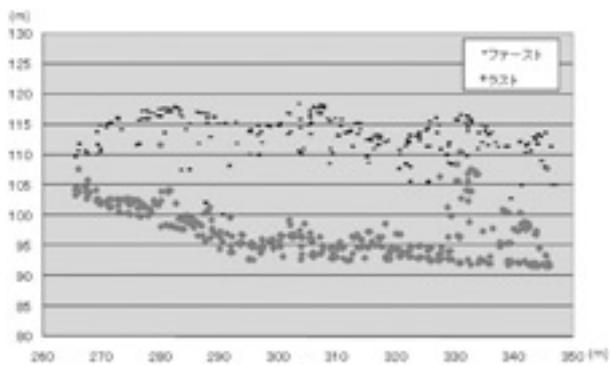


図6 H流域のLIDARデータの分布図

まっているラストパルスは少ないが、地表面まで届かずに樹冠と地表面の間に表示されているラストパルスが多く見られる。

次に、H流域のLIDARデータの分布図(図6)だが、H流域もN流域のグラフの右半分に見られたのと同じように、ラストパルスが地表面と樹冠の間に多く表示されている。この地表面から離れたラストパルスはほとんどが地表面から3m程度までの距離に収まっていることもわかる。また、ファーストパルスに関しても、N流域に比べてH流域のほうが上下のばらつきが大きいように思える。

#### 4.2 現地観測結果

N流域の植生は、木本類はアカマツが最も多く、次いでヤマザクラやコナラが多い。流域内の木本はほぼこの3種で占められている。アオキなどの低木はほとんど見られず、5m以下の木本は、成長途中のコナラなどが少し見られる程度である。草本類はアズマネザサが優先しており、ほぼ一面アズマネザサが生えているが、間隙を縫うようにシダ類やジャノヒゲなども見られる。一番背の高い草本はアズマネザサであり、一番高いもので約30cmほどである(図7, 8)。

H流域の植生は、木本類はコナラやシラカシ、マルバ



図7 N流域の相観



図8 N流域の下層植生

アオダモなどの落葉広葉樹や常緑広葉樹が多く、N流域で最も多かったアカマツはH流域では少なく、生育場所も尾根を中心とした狭い範囲に限られていた。低木に関しては、斜面ではヒサカキ、谷底付近ではアオキがほぼ一面を覆っていた。ヒサカキとアオキは平均して2m程度の全長だった。その他には、立ち枯れの木がH流域より多く見られた。草本類は、ヒサカキやアオキが光りをほとんど遮ってしまっているため、ほぼアズマネザサしか見られず、ところどころに30cm~100cm程度のアズマネザサが群生していた(図9, 10)。

4.3 ファーストパルスとラストパルスの距離別分布  
以下に、各距離帯20~30m(図11)、15~20m(図12)、10~15m(図13)、5~10m(図14)、0~5m(図15)の分布を示す。

特徴的な結果としては、距離が20m~30m離れているところは谷になっているところが多かったこと、10m~15mと5m~10mのところではN流域周辺にあまり分布



図9 H流域の相観



図12 ファーストパルスからラストパルスの距離が15m ~ 20mの点



図10 H流域の下層植生



図13 ファーストパルスからラストパルスの距離が10m ~ 15mの点



図11 ファーストパルスからラストパルスの距離が20m ~ 30mの点



図14 ファーストパルスからラストパルスの距離が5m ~ 10mの点

が見られないこと、0 m ~ 5 mのところではN流域周辺に多く分布しており、逆にH流域周辺にはあまり見られないことなどが言える。

#### 4. 4 DEMデータの表示と精度検証

このDEMとラストパルスのずれが全体に及ぶものなのかを調べるために、谷、尾根、窪地の三か所で断面図を取り、表示した(図16)(図17)(図18)。結果は三か所それぞれにDEMとラストパルスのズレが見られ、地



図15 ファーストパルスからラストパルスの距離が 0 m ~ 5 m の点

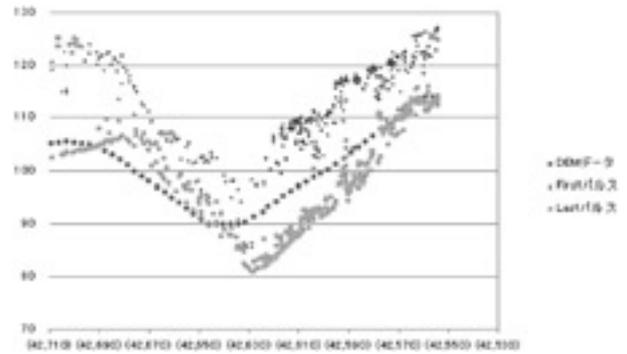


図18 窪地の断面図

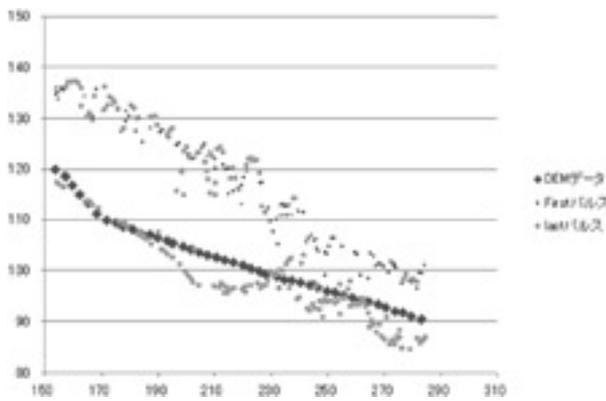


図16 谷の断面図



図19 基準点と地形測量点

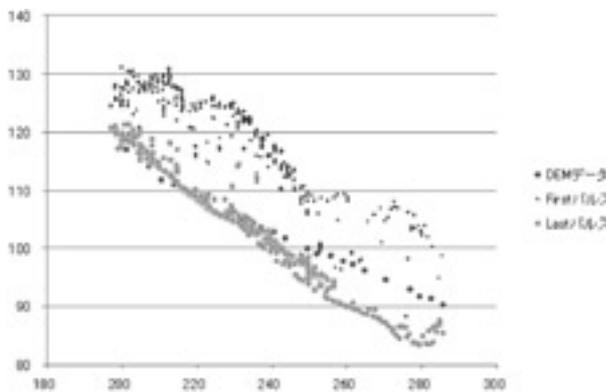


図17 尾根の断面図

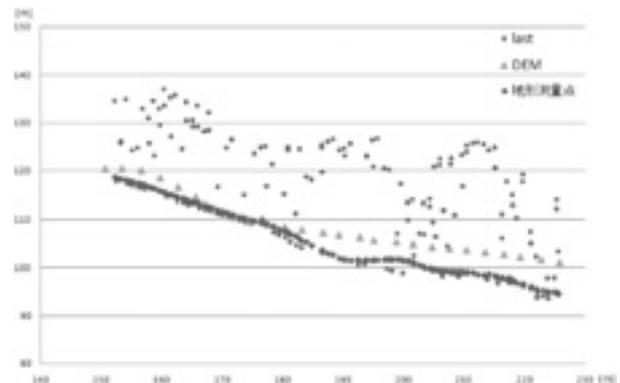


図20 測量点とDEMとラストパルスの分布図

形図から作製した DEM では、LIDAR データのラストパルスが正しく地表面を表しているかを検証することは不可能だということがわかった。

#### 4.5 地形測量結果と LIDAR データとの比較

閉合トラバース測量によって定めた基準点と、放射トラバース測量によって取得した地形測量点を ArcGIS によって表示した (図19)。紫色の点が基準点、緑色の点

が地形測量点である。

地形測量によって得られた標高データと、地形図から作製した DEM、ラストパルスを重ねて、断面図を取り分布を表示した (図20)。

ラストパルスと DEM の比較では、ラストパルスの地表面データと DEM データに大きなズレが生じていたが、ラストパルスの地表面データと地形測量データは近い値を示した。このことから、ラストパルスの地表面データ

は実際の地形をよく反映している可能性が高く、反対に地形図から作製した DEM は信頼性が低いことが判る。

#### 4. 6 開空度

撮影した全天写真から、全天写真解析ソフト CanopOn 2を用いて開空度を算出した。開空度は、全天写真のあるしきい値で白と黒に二値化して、画像全体における白い部分の割合から出すことが出来る。(表 2) が各地点の開空度であり、Exposure というのはしきい値である。Exposure の値が小さいほど画像に白い部分が増え、値が大きくなれば黒い部分が増える。

結果は、地点 2 が最も開空度が高く、次いで地点 1 が高かった。三か所で唯一管理されていない森林で撮影した地点 3 は、地点 1、地点 2 よりも開空度が低かった(図 21)。また、しきい値を上下してもそれぞれの地点の関係はほとんど変わらなかった。

### 5 考 察

本研究で明らかにしたことは以下の通りである。

地表付近で LIDAR データのラストパルスのばらつきが発生するときは低木層が繁茂している可能性が高いということである。地表付近での LIDAR データのばらつきというのは、図 7に見られるような、ラストパルスが帯状に分布している状態を指す。H 流域は、現地観測でほぼ全域をヒサカキやアオキなどの低木が覆っていることを確認している。その低木層の高さが

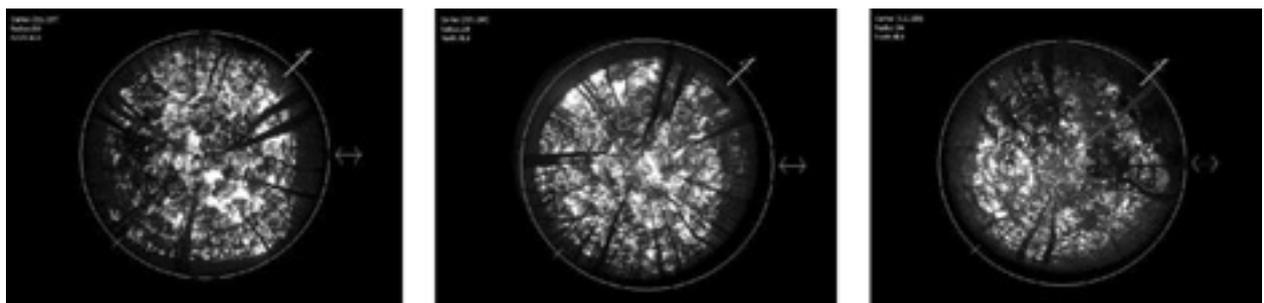
おおよそ 2 m ~ 3 m であり、ラストパルスのばらつきも約 3 m ほどの中に収まっていることから、ラストパルスのばらつきは低木層によって引き起こされていると考えられる。また、図 6 の左半分のようにラストパルスが一本の線のような分布を示しているところでは、低木層はほとんど確認されなかった。

ラストパルスが樹冠で止まる地点は、森林を構成する樹種が要因になっているのではないかと考えている。図 6 の左半分に見られるように、ラストパルスの多くが樹冠で止まってしまっているところは、管理されている森林に多かった。この理由として、最初は森林内の開空度が影響を与えているのではないかと考えた。開空度が低ければ、その分パルスが地表面まで届くのを阻害されると考えたからである。しかし、結果は、管理されている森林では開空度が高く、管理されていない森林では開空度が低かった。さらに、管理されている森林の中でも、ラストパルスが樹冠で止まっていない地点より、ラストパルスが樹冠で止まっている地点のほうが開空度が高く、事前の予想とは正反対の結果が出た。最も開空度が低かったのは H 流域内で撮影した画像であり、H 流域内ではラストパルスが樹冠で止まることはほとんど見られないため、開空度はほとんど影響を与えていないということになる。

別の原因として考えられるのは、植生の違いである。図 12 を見てみると、樹高 20 m を超える樹木が N 流域の南側に多く生えていることがわかる。これは、N 流域の管理されている部分とほぼ一致する。また、図 16 ではファーストパルスからラストパルスの距離が 0 m ~ 5 m の点を表示しているが、これは、ラストパルスが樹冠で止まっているか、ファーストパルスが地表まで届いている点を表した図ということになる。その図 16 の点の分布を見てみると、H 流域よりも N 流域のほうに多く分布していることが分かる。このことから、ラストパルスが樹冠で止まる地点では樹高の高い樹木の

表 2 各地点の開空度 (%)

	Exposure 0.500	Exposure 0.198	Exposure 0.802
地点 1	17.9	35.2	11.6
地点 2	19.9	42.8	13.4
地点 3	12.0	30.4	8.4



地点 1

地点 2

地点 3

図 21 全天写真

割合が高く、N流域に多いということは現地観測の結果から該当する樹種はアカマツである。よって、ラストパルスが樹冠で止まるという現象には、針葉樹や広葉樹などといったような樹種が影響していると考えられる。

ファーストパルスが地表面まで届いている点は、樹木の密度が低いのではないかということである。上でも説明した通り、図16は、ラストパルスが樹冠で止まっているか、ファーストパルスが地表まで届いている点を表した図である。この図16を見ると、管理されているN流域に多く分布しているのがわかる。ここで、表2を見てみると、H流域で撮影した地点3に比べて、N流域で撮影した地点1, 2のほうが開空度の値が大きくなっている。このことから、開空度が高い森林は、ファーストパルスが地表面まで降りてくる割合が高いと考えられる。

ラストパルスを断面的に見たときに、各地点で一番低いところを取っている点は、地形を表している可能性が高いということである。

図22を見ると、測量した地形の形と、ラストパルスの最も低い値はほとんど同じ軌道を描いている。このことから、ラストパルスの全てをDEMとして考えてしまうとかなりのノイズが発生するが、上手く樹冠や樹冠と地表面の間で止まってしまった点だけを取り除くことが出来れば、かなり高精度な数値地形モデルを作ることが可能になると思われる。しかし、樹冠で止まってしまいうラストパルスが集中している地点や、低木が生い茂り地表面まであまり届いていない地点などでは、管理が行き届いている地点に比べて精度に差が発生してしまう可能性がある。

上述をまとめると、LIDAR データのラストパルスには、草本や低木の密度というかたちで森林の管理の有無による違いが表れることがわかった。ラストパルスの地表面付近でのばらつきは、背の高い下層植生や低木の状況などを写し出すので、ラストパルスの状態を見ることによって、下草刈りの必要性の検討や、作業を行うにあたっての優先順位を事前につけることなどが可能になると思われる。また、ファーストパルスについては、ファーストパルスが地表面までどの程度届いているかを調べ

ば、そこに生えている樹木の密度を知ることができると思われるので、間伐や枝打ちを行うにあたって、必要なパラメータと言えらる。

#### 参考文献

- 岩橋純子・小荒井衛・横尾泰広・大石哲・向山栄 (2008) : 山地斜面におけるDEMデータの精度検証. 日本写真測量学会平成20年度年次学術講演会発表論文集, 183 - 186
- 三浦修・田村俊和・菊池多賀夫 (1990) : 丘陵地の利用と二次的自然の形成. 丘陵地の自然環境 その特性と保全, 古今書院, 20 - 35
- 宮下香織 (2007) : 関東地方中央部の丘陵地斜面における二次林の立地と植生管理, 立正大学大学院地球環境科学研究科修士学位請求論文
- 瀬戸島政博, 赤松幸生, 船橋学 (2001) : 森林域での航空機レーザーキャナによる計測調査への可能性, 測量, 10月号, 21 - 25
- 瀬戸島政博・今井靖晃・船橋学 (2002) : 森林計測への航空機レーザーキャナの利用 - 落葉前後の航空機レーザーキャナデータを用いた地盤高・樹高の計測, 写真測量とリモートセンシング小特集「新しいエアボーンリモートセンサ」, 141(5), 41 - 45
- 瀬戸島政博・今井靖晃・天野正博 (2003) : 落葉前後の航空機レーザーキャナデータを利用した林分構造の推定. 森林航測, 第199号, 6 - 11
- 瀬戸島政博・今井靖晃・天野正博 (2005) : 落葉後に観測した航空機レーザーキャナによるDSMを用いた落葉広葉樹林内の階層構造の把握, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 44, No. 2, 43 - 53
- 斎藤和也 (2008) : 図解航空レーザー計測・基礎から応用まで. 財団法人日本測量調査技術協会
- 白石貴子 (2007) : リモートセンシング画像を用いた林分構造の抽出に関する基礎的研究, 立正大学大学院地球環境科学研究科修士学位請求論文
- 武内和彦 (1980) : 多摩丘陵の緑地現況に関する植生学の考察. 総合都市研究, 10, 59 - 68
- 張馳・袁翀・史中超 (2008) : 航空レーザーデータから数値標高データを作成するための高精度フィルタリング手法の開発. 日本写真測量学会平成20年度年次学術講演会発表論文集, 175 - 178
- 全天写真解析プログラム CanopOn 2  
<http://takenaka-akio.cool.ne.jp/etc/canopon2/>

## 要 旨

本研究では、広範囲の森林の情報を得るための手段として航空機 LIDAR データ（以下 LIDAR データとする）に着目し、LIDAR データから森林管理に生かすことのできる指標を抽出することを目的とした。

まず、ArcGIS ソフトウェアを用いて、現地の地形や森林の断面を取り、LIDAR データのパルス分布図、ファーストパルスとラストパルスの距離別分布の作成し管理されている地区と管理されていない地区の森林下部構造の違いを議論した。また、トータルステーションを用いた形地盤測量点、1/2500地形図の等高線により DEM データとグラフ作成し、LIDAR データの精度検証した。

その結果、森林管理に生かすことのできる指標として、地表付近で LIDAR データのラストパルスのばらつきが草本や低木の密度というかたちで森林の管理の有無による違いが表れることがわかった。管理されていない場所ではラストパルスのばらつきが発生するときは低木層が繁茂している可能性が高いということや、管理されている場所ではラストパルスが樹冠で止まる地点は、森林を構成する樹種が要因になっているのではないかということ、ファーストパルスが地表面まで届いている点は、樹木の密度が低いであろうことなどが判明した。また、LIDAR データの精度検証結果によると LIDAR データのラストパルスは地形測量点とよく一致し、信頼性が高いことが分かった。

## Study on the Evaluation of Influence from the Forest Canopy in Air Borne LIDAR Data

BORJIGIN Habula\*, HIRANUMA Ryuichi\*\*, GOTO Shintaro\*, FAN Haisheng\*

\*Rissho University

\*\*Akazawa Survey & Planning

### Abstract:

In this study, using the Laser Imaging Detection And Ranging (LIDAR), which is able to obtain wide area forest information. extracted from the forest management related indicators for research purposes. Firstly, using ArcGIS software to generate the sections for the terrain and forest separately in the research area. Producing the first pulse and last pulse sectional distribution graphs for the LIDAR data. According to the distance of the first pulse and last pulse in the distribution graph, the forest-lower-layer-structure of the management and non management areas were discussed. Also, the total station was used to conduct field elevation measurements and produce DEM data, 1/2500 topographic maps produced by DEM data to create sectional maps that verified the accuracy of the LIDAR data. The results show that the sectional distribution graph of the first pulse and last pulse from the LIDAR data can objectively reflect the lower layer structure of the forest. The fact of the number of last pulse that reached the surface in the management areas was significantly more than the non-management areas, which illustrates that non-management areas have dense forest lower layer vegetation.

Keywords: LIDAR, Forest Vegetation, Landform, Sectional map, DEM