LiDARによる樹冠間の林床特性の評価に関する研究

後　藤　真太郎*　木　村　恵　輔**　木　村　篤　史**

キーワード：航空機LiDAR，森林計測，三次元測量

１．はじめに

丘陵地の微地形分類は，現地観測および測量を主とし，空中写真判読および等高線を併用し，傾斜地で地表構成物質の移動による地形の更新がほぼ連続的に行われている場所を傾斜変換の場所を特定し，これから傾斜変換線を作成し微地形の分類が行われている（田村1974，松井ほか1990）．しかし，現地観測および測量は観測範囲が限定され，空中写真判読および等高線による樹間下の微地形判読は精度の限界がある．さらに，航空機搭載型LiDAR（Laser Imaging Detection And Ranging，以下LiDARと称する）のパルスは森林中で透過性があるため森林下の地形測量が可能となり，空中写真で判読難しい微地形を見る事ができる．LiDARから生成された地表面DEM（以下LiDAR_DEMと称する）は，森林下の斜面地形の分析や地滑り地形の解析に用いられている（佐藤ほか2004；大野ほか2008；長嶺2010；平ほか2012）．しかし，LiDARのみでは，森林の毎木の位置等の特定は困難である．一方，樹冠下の地上に設置して撮影したパノラマ写真は，森林の三次元構造，毎木の位置が特定できる長所がある．

本研究は，丘陵地の微地形分類において，パノラマ写真，LiDARが樹冠の上から計測された地表面に含まれる値が，微地形と林床（以下，下層植生と称する）の判別につきパノラマ写真を併用して分類し，森林の管理が必要なパラメーターの抽出精度につき検討した．

２．研究方法

２．１　研究対象地域の概要

研究対象地域は，埼玉県の東松山市の南西部に位置する岩殿丘陵地内の石坂の森である（図１）．そして，林内に３箇所の観測地点を設置した．

Pt.1は，人工針葉樹と広葉樹の二次林が分布しており下層植生は，背丈が1.5m程のアズマネザサが繁茂していた．Pt.2は，周囲を囲むように背丈が30cm程のアズマネザサが繁茂していた．Pt.3は，植生がPt.2と同様であった．また，地形は，小高い尾根の上に設置したため東西方向を谷に挟まれるような地形が形成されていた．西側の谷は緩やかであり，東側に位置する谷は急斜面であることが確認できた．

３．LiDARによる計測

３．１　LiDARの原理とその処理方法

航空機搭載のLiDARのレーザーパルスを森林の表面に照射すると，航空機に最も近い森林の樹冠からのパルスが最初に反射し受信され，最後に森林下の地表面からのパルスが受信される．前者がファーストパルス，後者がラストパルスであり，２つのパルスの受信時間差を光速で割って距離換算すると樹冠と地表面の差，すなわち樹木の高さが推定でき，これにより森林の立体構造が計測できる．

本研究では，表１に示す2006年12月25日に計測されたLiDARデータを使用した．

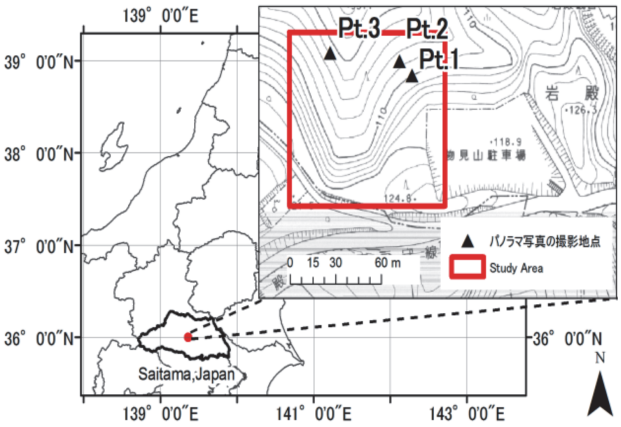

図１　研究対象地域（埼玉県東松山市岩殿丘陵地内石坂の森）

*　立正大学地球環境科学部
**　株式会社パスコ

表１　LiDARの計測仕様

項目	計測仕様
計画計測密度	約4.0m^{2}に一点
実質計測密度	約1.0m^{2}に一点
レーザーパルス頻度	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
測定時飛行対地高度	約1200m
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	セスナ404タイタン
測定データ	X,Y,Z

３．２　現地計測

LiDARデータにフィルタリング処理を行い，林床の抽出をおこなうため，トータルステーション（TS）測量を行った．毎木調査は，研究対象地域内の樹木249本を計測した．計測には，TIMBERTECH社製のレーザー距離計IMPULSE200とデジタルコンパスMapSTARⅡを用いて，毎木の緯度経度と方位角，斜距離を計測した．

パノラマ写真の撮影は，デジタルカメラFinePix Z70富士フィルム株式会社製と回転雲台Gigapanを用いて行った．

３．３　LiDAR_DTMとTS測量データの差画像の作成

LiDAR_DTMのフィルタリングは，Vosselman（2000）で記述されている，フィルタ・アルゴリズムに基づき行った．そして，フィルタリング処理後のLiDAR_DTMを実測値であるTS測量データから減算して実測値との差（以下，DDTM（Difference of Digital Terrain Model）と称する）を算出した．そして，TS測量データは，微地形の値を含むため，林床の抽出のみを行った．

３．４　林冠ギャップの抽出方法

林冠ギャップを抽出するために精度の高いDigital Canopy Model（以下，DCMと称する）の作成を試みた．LiDARの補間方法は，不規則三角形網（以下，TIN（Triangulated Irregular Network）と称する），最近隣法（以下，Nearest Neighborと称する），逆距離加重法（以下，IDWと称する）の３種類を用いて行った．これは，複数の補間方法を利用することで各補間法が樹冠の先端の推定本数変化へどの様に影響するかを検討する必要があるからである．また，LiDARによる計測データの原データを用いて局所最大値フィルタ処理を実行すると，１個の樹冠表面の起伏を複数本の梢端として抽出されるため，遮断周波数より高い周波数の成分を逓減させるフィルタとしてLowPassフィルターを使用した．さらに，実測本数とLiDARよりもとめた立木本数が近いDCMを用いて林冠ギャップの抽出を行った．

表２　各補間法を用いて抽出した推定立木本数

データ	補間法		
	TIN	IDW	Nearest Neighbor
LowPass 未処理画像	963	1478	1027
LowPass １回処理画像	398	231	403
LowPass ２回処理画像	276	158	197
現地データ	249		

３．５　林床と微地形の分類

３．４で作成したDDTMとパノラマ写真を比較して林床と微地形の分類を行った．

４．考察・結果

４．１　林冠ギャップの抽出精度の評価

表２に示す３種類の補間法とその補間した画像に対して，LowPassフィルタを複数回用いて立木本数の抽出を行った．全補間法においてLowPass未処理画像では，樹冠表面の微々たる起伏を抽出してしまい過剰抽出という結果となった．次にLowPass １回処理画像では，TINで398本，IDWで231本，Nearest Neighborで403本という結果となった．全データにおいてLowPass処理によって平滑化されて抽出本数が減少した．中でも，IDWは，現地データに近い値を示した．しかし，TIN，IDWは，共に過剰抽出の傾向が見られた．

最後にLowPass ２回処理画像では，TINが，現地データと近い値になったが，IDW，Nearest Neighborは，過小評価の値となってしまった．本研究の中で最も現地データと近い結果となったDCMは，補間法がIDW，LowPass １回処理画像であることがわかった．

４．２ 各地点におけるDDTMの評価

Pt.1の周辺において，DDTMの値が1.0m-1.9mと算出

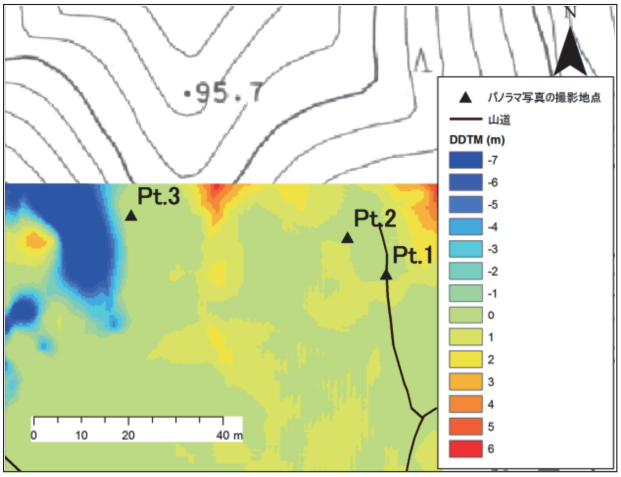

図２　TS_DEMとLiDAR_DEMの差画像

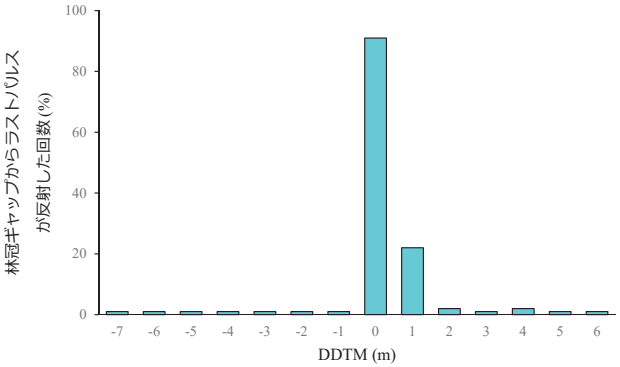

図３　林冠ギャップから反射したLiDARがDDTMに含まれる頻度

された（図２）．この場所を撮影したパノラマ写真を確認すると，背丈が1.5m程のアズマネザサが繁茂していた場所は東側のみであった．

同様に，Pt.2でも南東の方向の場所において現地調査の結果とは一致しない1.0m-1.9mの値が算出されていた．Pt.3は，30cm程のアズマネザサが繁茂していることから，0m-0.9mの値幅で算出されており，妥当な結果であることがわかる．しかし，Pt.3の西側においてDDTMの標高値がマイナスを含む場所が含まれていた．

４．３　林冠ギャップとDDTMの関係性

本研究では，林冠ギャップから反射したLiDARの標高値を真値としている．そこで，DDTMの数値に林冠ギャップから反射したLiDARデータがどれだけ含まれるかを計算した（図３）．1.0m-1.9mの区間は，91回分の計測値が含まれていた．これより，信頼できる計測値が多く含まれることがわかった．1.0m-1.9mの区間では，22回分の計測値が含まれていた．1.0m-1.9mの区間と比較すると，頻度が低い結果となったが，DDTM内に信頼できる計測値が含まれていることが推測できる．

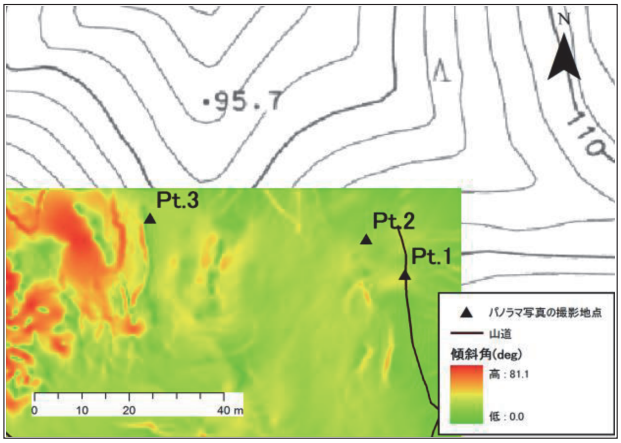

図４　Pt.3におけるDDTMと傾斜角の関係

その他の区間については，林冠ギャップからファーストパルスが反射していないことから，樹冠を透過したLiDARデータが主な計測値であることがわかった．

４．４　DDTMと現地データの結果が一致しない場所

４．３で評価したPt.1とPt.2の周辺で生じたDDTMが1.0m-1.9mの場所は，現地調査で林床が確認できなかった．横尾（2014）によると，山地斜面は，下草や樹冠が地盤計測を阻害する要因となるとの記述がある．この場所は，山地斜面であり樹冠が鬱閉している場所である．そのため，地盤計測に誤差が生じたことが考えられる．

Pt.3の西側において，DDTMの標高値がマイナスとなった．河合（2008）によると，LiDARが建物や樹木で数回反射してしまい，距離が実際よりも長く計測されてしまうことがあるとの報告がされている．これより，LiDARデータの計測長が実際の地盤面より長く計測されたことがわかる．他にも，このマイナスの標高値が計測された場所は，急傾斜であり，深い谷を形成していることからLiDARパルスが地表面まで到達するまでに時間が掛かることも推測できる（図４）．

これより，本研究で用いたLiDARデータでは，急傾斜に繁茂していた林床の抽出が不可能であったことがわかる．

５．おわりに

本研究では，LiDARで計測した地表面の値に含まれる微地形と林床の分類のために，TS測量データ，毎木調査，パノラマ写真を用いて分類を行った．その結果，TS測量データを用いてLiDARデータから林床のみの抽出を試みたが現地調査（パノラマ写真）と一致する箇所，しない箇所が含まれていた．この現地調査と一致する箇

所は，林冠ギャップが開いていることから正確に地表面の計測ができたと考えられる．一方で，一致しない場所は，林冠が鬱閉していたため，樹冠下の計測が正確におこなわれなかったことが推測できる．これより，微地形と林床の分類には，林冠ギャップの有無が関係していることが明らかとなった．このことは，林冠ギャップおよびDDTMにより，森林の管理の必要性の指標になることを示した．

引用文献

大野博之・稲垣秀輝・大久保拓郎（2008）航空レーザー測量データから作成されたDEMの解析に基づく地すべり地形発達プロセスの推定．日本地すべり学会，45(２), 118-124.

河合剛匡（2008）「図解航空レーザ計測―基礎から応用まで―」，監修 斉藤和也，日本測量技術調査協会，203.

小谷英司・粟屋義雄（2013）低密度LiDARデータによる人口針葉樹林の林分パラメータの推定．写真測量とリモートセンシング，52(２), 44-55.

佐藤　浩・関口辰夫・鴨　茂郁・中島　保（2004）現地測量の成果を用いた航空機レーザ測量DEMの高さ方向の精度検証．写真測量とリモートセンシング，43(４), 13-21.

George VOSSELMAN（2000）Slope based filtering of laser altimetry data. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXIV, Working Group III/2.

田村俊和（1974）谷頭部の微地形構成．東北地理，26(４), 189-199.

平　春・後藤真太郎（2012）LiDARにより抽出した微地形と木本植生生活型の関係評価．環環境情報科学学術研究論文集, 26, 381-386.

長嶺元二・大坂伊作・鈴木素之（2010）第三紀層地帯におけるDEM地形解析による地すべり地形斜面の最頻傾斜角．日本地すべり学会，47(１), 1-7.

横尾泰宏（2014）航空レーザ測量の概説と最新動向．フォレストコンサル，137号, 17-26.

米康　充・小熊宏之・山形与志樹（2002）レーザープロファイラー（LiDAR）によるバイオマス成長量の直接計測．日本リモートセンシング学会誌，22(５), 531-543.

Study on evaluation of forest floor characteristics among canopy by LiDAR

GOTO Shintaro*・KIMURA Keisuke**・KIMURA Atsushi**

* Faculty of Geo-Environmental Science, Rissho University
** PASCO CORPORATION

Abstract：

In this study, in order to classify the microtopography and forest floor included in the ground surface Values measured by LiDAR, we classified them using TS survey data, tree surveys, and panoramic photographs. Therefore, only the forest floor was extracted from the LiDAR data using the survey data. As a result, it was clarified that it is possible to classify the parts that do not match the field survey with panoramic photographs, and that the ground surface can be measured for the places where the canopy gap is open. This indicates that LiDAR data may be able to identify locations that do not require management such as under growth mowing, depending on the presence or absence of canopy gaps and measurement errors on the ground surface.

Key words：Airborne LiDAR，Forest Measurement，Three Dimensional Surveying