

スギ人工林における航空機LiDARデータから作成したDTMの精度評価

高橋興明 (森林総研)・山本一清 (名大院生命農)・千田良道 (中日本航空)

要旨: 10齢級の樹冠閉鎖したスギ人工林を対象に、フットプリント直径が約40cmと20cmの航空機LiDAR計測をした場合に、フットプリント直径の違いがレーザーの林冠透過率に与える影響の解析、およびそれぞれのデータで作成されたDTMの精度比較を行った。その結果、それぞれのデータにおけるレーザーの林冠透過率は約15%と20%であり、その差は有意に異なっていた ($p < 0.001$)。しかしながら、作成されたDTMの精度はどちらも高く、RMSEは0.8m以下であり、樹高推定の際に問題となるほどの誤差ではないことがわかった。

キーワード: DTM, LiDAR, レーザー

I 背景

近年、航空機LiDARによる物体の三次元計測技術が、国内外を問わず広く利用されるようになってきた。森林を対象とした航空機LiDAR技術の利用目的として林内地形を表すDigital Terrain Model (DTM) の作成および樹高推定が挙げられる。中でもDTMに関しては、通常樹高を推定する際に必要とされるため、林冠表面の標高をあらわすDigital Surface Model (DSM) 同様、その復元精度が樹高推定値の精度に大きな影響を与えたと考えられる。

ところで、樹高推定を目的とした航空機LiDAR計測に関し、その計測パラメータ設定 (レーザー照射密度、フットプリント直径、スキャン角など) には明確な指針があるわけではない。原理的にはLiDARから発射した近赤外レーザーパルスが林冠を透過し地表に到達できたパルスの数およびその空間位置によってDTMの精度がほぼ決まると考えられる。既存研究によるとレーザーパルスの林冠透過性は、樹種特性(3)、林冠部の着葉密度や閉鎖度(1)、などの違いの影響を受けると考えられているが、フットプリント直径の違いが、林冠透過性に与える影響および作成されるDTMの精度に与える影響を調べた研究は少ない。そこで本研究では、ある壮齢スギ人工林を対象に同一林班内の樹冠閉鎖した林分において、フットプリント直径が約40cmと20cmのレーザー計測をした場合、1) フットプリント直径の違いが、レーザーの林冠透過率に与える影響の解析、および2) それぞれのデータで作成されたDTMの精度比較、を行うことを目的とする。

II 材料と方法

1. 現地観測データとリモートセンシングデータ 本研究の対象地は、名古屋大学大学院生命農学研究科附属稲

武演習林内の10齢級のスギ人工林 (約1250本/ha) である。2003年冬季にDTM精度検証用の50m方形プロットを1つ設置した。プロット内の全立木 (262本) についてその根元位置の三次元位置を測量した。プロット内の地形の傾斜角は3.3-47.8度、標高は943-978mであった。

航空機LiDARデータは、2004年11月4日に中日本航空(株)により取得した。本研究の目的により、フットプリント直径が40cmと20cmの計測 (それぞれのデータをC1, C2と称す) を行ったが、パルス発射頻度 (50kHz)、スキャン回数 (70Hz)、スキャン角 ($\pm 4.9^\circ$)、ビームの広がり角 (0.19mrad)、飛行速度 (約75m/s) は、両計測で共通とした。フットプリントの大きさを決定するのは、航空機の対地高度 (m) とビームの広がり角であるため、本研究では対地高度をC1では2100m、C2では1080mにすることで地上でのフットプリント直径を約40cmと20cmに調節した。これらの計測パラメータ設定で、飛行方向のレーザーポイント間隔は両飛行とも約1mであったが、スキャン方向の間隔はC1が約1m、C2が約50cmであった。本研究の目的として、フットプリント直径の違いのみに焦点を絞る必要があったため、C2のスキャン方向のデータを偶数番目のデータ (C2 evenと称す) と奇数番目のデータ (C2 oddと称す) の2つに分けることで、C1, C2 even, C2 oddの三種類のデータは全てレーザー照射密度約1 point/m²となり、本研究の目的に適したデータとなった。なお、本研究の解析は、付随的にC2も含めて行うこととする。また、航空機LiDAR計測と同時に解像度約50cmのRGBデジタルカメラオルソ空中写真も撮影し、解析に使用した。

2. フットプリント直径の違いがレーザーの林冠透過性に与える影響の解析 まず、オルソ空中写真を利用して、対象林班内の樹冠閉鎖した場所を写真判読により選定し、GIS上で半径10mの円形の仮想プロットを18個設置した。

Tomoaki TAKAHASHI¹, Kazukiyo YAMAMOTO^{2,3}, Yoshimichi SENDA⁴ (¹Forestry and Forest Products Research Institute, 1, Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687, ²Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa, Nagoya, Aichi, 464-8601, ³Japan Science and Technology Agency/CREST, Kawaguchi, 332-0012, ⁴Nakanihon Air Service Co., Ltd., 2, Tonogama, Ho-jo-aza, Toyoyamatyo-oaza, Nishikasugai, Aichi, 480-0202)

次に、各プロット内のレーザーのLast Pulse (First Pulseとの差が5m以上のもの) を林冠を透過したデータとみなし、

$$\text{林冠透過率 (\%)} = \frac{\text{Last Pulse数}}{\text{First Pulse数}} \times 100$$

として林冠透過率を定義し、その値を求めた。

最後に各プロット内の全データセット (C1, C2 even, C2 odd, C2) からそれぞれ算出した林冠透過率の平均値の差を二元配置分散分析により検定した。

3. DTMの精度比較 まず、50m方形プロット内のDTMを全データセットについて作成した。作成方法は(2)に従った。その手順は、50cmメッシュ内に入るLiDARデータの最小値の選択、ノイズフィルタリングによる樹木データの除去、地表データを利用したSpline関数での補間、である。なお、全ての工程で設定したパラメータは全データセットに対して共通とした。DTMを作成後、全立木の根元位置の実測標高値とDTM標高値の差について、Friedman検定と多重比較、回帰分析、および系統誤差、偶然誤差、絶対誤差 (RMSE) の算出によってDTMの精度を評価した。

III 結果と考察

分散分析の結果、林冠透過率の平均値の差に関して、フットプリント直径40cmのC1 (約15%) と直径20cmのC2 even, C2 odd, C2 (全て約20%) との間に有意差が認められた ($p < 0.001$)。すなわちC1の林冠透過率の方が約5%有意に低かった。フットプリントの単位面積あたりのエネルギーは、C1の方が小さいと考えられるため、あるレーザーパルスが隣接する樹冠と樹冠の空隙付近に当たった場合に、Last Pulseが検出される際のエネルギーはC2と比較して小さいため、センサに検出されたLast Pulseの数はC1の方が小さくなった可能性が考えられる。しかしこれに関しては、レーザーの反射強度データも含めて更なる解析を行い、その上で透過率の違いの原因を分析する必要があると考えられる。また、各プロット間には有意差が認められる組み合わせが多数存在した。このことは、同一林班内の樹冠閉鎖したスギ人工林であっても、314m²程度のプロットスケールにおける樹冠間の空隙の合計面積は、ばらつきが大きいことを示唆していると考えられる。

表-1に実測標高値と4種類のDTM標高値の間でFriedman検定 (有意差検定) と多重比較をした結果を示す。また表-2に回帰分析と3種類の誤差の結果を示す。まず、実測値と有意差が認められなかったのはC1のみであったが、表-2の回帰分析の結果から実測標高値とDTM標高値とは高い相関関係にあることが確認できた。次に、表-2の系統誤差に着目した場合に、C2 even, C2 odd, C2の系統誤差はC1の約2倍であることから、この違いが表-1の有意差検定の結果を表して

表-1 Scheffeの対比較(*, **はそれぞれ危険率5%,1%を表す)

水準1	水準2	X2乗値	P値	判定
実測	C1	2.39389313	0.6637	
実測	C2even	111.392366	0.0000	**
実測	C2odd	64.1984733	0.0000	**
実測	C2	192.369466	0.0000	**
C1	C2even	81.1267176	0.0000	**
C1	C2odd	41.7984733	0.0000	**
C1	C2	151.844275	0.0000	**
C2even	C2odd	6.4610687	0.1673	
C2even	C2	10.9923664	0.0266	*
C2odd	C2	34.3083969	0.0000	**

表-2 回帰分析および実測標高値との誤差の結果

	C1	C2even	C2odd	C2
傾き	1.03	1.03	1.03	1.03
切片	-27	-24	-29	-24
決定係数	0.997	0.997	0.998	0.997
系統誤差	-0.28	-0.53	-0.47	-0.42
偶然誤差	0.58	0.59	0.58	0.55
絶対誤差	0.65	0.79	0.75	0.69

いるものと考えられる。更に表-2の偶然誤差 (誤差の標準偏差) に着目した場合、各データセット間に違いがほとんどないことがわかった。すなわち、系統誤差と偶然誤差の結果からC1とC2 even, C2 odd, C2とは、正確度 (accuracy) は異なるが精度 (precision) は同程度ということが考えられた。また、RMSEは全て0.8m以下と比較的小さいことから、少なくとも本研究対象林分においては、フットプリント直径40cmと20cmの違いが樹高推定の際に問題となるほどの違いを生じさせる可能性は低いことがわかった。

引用文献

- (1) REUTEBUCH, S.E., MCGAUGHEY, R.J., ANDERSEN, H.-E., CARSON, W. W. (2003) Accuracy of a high-resolution lidar terrain model under a conifer forest canopy. *Can. J. For. Res.*29 : 527-535.
- (2) TAKAHASHI, T., YAMAMOTO, K., SENDA, Y., TSUZUKU, M. (2005) Estimating individual-tree heights of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations in mountainous areas using small-footprint airborne LiDAR. *J. For. Res.*10 : 135-142.
- (3) TAKAHASHI, T., YAMAMOTO, K., MIYACHI, Y., SENDA, Y., TSUZUKU, M. (2006) The penetration rate of laser pulses transmitted from a small-footprint airborne LiDAR: a case study in closed canopy, middle-aged pure sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) and hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc.) stands in Japan. *J. For. Res.*11 : 117-123.