

7-7. リモートセンシング技術による都市緑地環境のモニタリング手法の構築

市販の LIDAR データを用いた都市内樹木の樹高計測

今井靖晃*・瀬戸島政博*・船橋学*・藤原宣夫**
山岸裕***・松江正彦****・藤本信明****

1. はじめに

我が国の都市内樹木は欧米に比べて低い水準にあり、その保全と創出が叫ばれている。

都市内樹木の保全や創出を図るためには、樹木の現況を継続的に調査し、適切な緑化施策を講じることが重要である。樹木の増減や成長量などを面的にモニタリングする上で LIDAR（航空機搭載型レーザスキャナ）は有効な手法であり、とくに都市部は取得された LIDAR データが市販されているため、利用性は高いと考えられる。

本稿では、都市内樹木調査に対する LIDAR データの利用可能性を探ることを目的として、市販の LIDAR データによる都市内樹木の樹高計測特性について検討を行った結果を報告する。なお、本検討では、プラットフォーム（回転翼、固定翼）によってデータ密度が異なる市販 LIDAR データの特徴を考慮して検討を行った。

2. 市販の LIDAR データについて

LIDAR の運用は、プロジェクト毎に計測を行うものが主流であるが、保有機関が独自に取得したデータをライブラリデータとして整備し、ユーザの要求に応じていち早く安価にデータを提供するサービスも行われている。本稿では、これを「市販データ」と称する。

主な市販 LIDAR データを表 1 に示す。表 1 より、市販 LIDAR データのデータ密度は提供機関によって若干異なることがわかる。これは、主にプラットフォームによるものであり、回転翼（ヘリコプタ）による計測からは密なデータが提供されており、固定翼（セスナ）による計測からは疎なデータが提供されている。また、市販 LIDAR データは、提供機関を問わず都市部を中心に整備されている点が大きな特徴である。

* 国際航業株式会社

** 愛知県建設部

*** (独) 環境再生保全機構

****国土交通省国土技術政策総合研究所

表 1 主な市販 LIDAR データ ¹⁾²⁾³⁾⁴⁾

提供機関	名称	主な商品	データ密度	整備エリア
国土地理院	数値地図5mメッシュ(標高)	DEM	5m	埼玉東南部、東京都区部、名古屋
国際航業株式会社	RAMS-E	DSM	2m	政令指定都市、中核市の周辺(約30,000km ²)
		DEM	2m	
		デジタルオルソ	約30cm	
朝日航洋株式会社	good-3D	DSM	1m	関東・中部・関西圏の主要エリア及び一部政令指定都市(約10,000km ²)
		DEM	1m	
株式会社バスコ	レーザープロファイラーデータ	DSM	2.5m	不明
		DEM	5m	

3. 対象地域と使用データ

本検討は、東京都小金井公園（77ha）および小金井市内の住宅地（0.7km×1.4km）を対象として実施した。対象地域は大規模公園、住宅、街区公園、寺社、農地など都市部の一般的な土地利用で構成されている。また、小金井公園内から 12 箇所（St.1～St.12）、住宅地から 3 箇所（St.13～St.15）の検証地区を設定した（図 1）。

使用データは、回転翼と固定翼で取得したデータ密度の異なる市販データとした（表 2）。

回転翼のデータは、朝日航洋株式会社保有の ALMAPS によって 2002 年 7 月 26 日～27 日に取得され、1m メッシュの DSM (Digital Surface Model) 点群と DEM (Digital Elevation Model) 点群に加工されたデータである（以下、「1m データ」）。計測時の諸元を表 3 に示す。

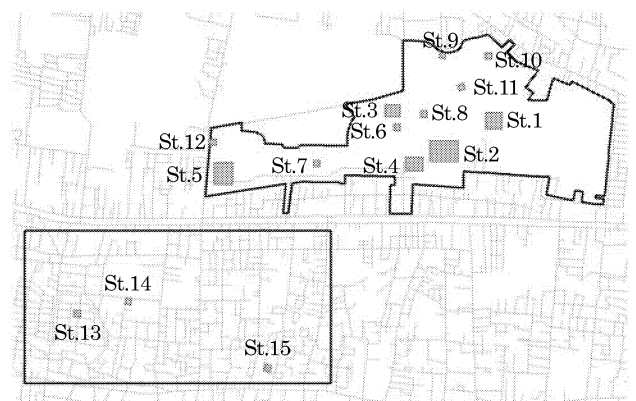


図 1 研究対象地域

固定翼のデータは、国際航業株式会社保有の RAMS によって 2001 年 9 月 24 日～25 日に取得され、2m メッシュの DSM 点群と DEM 点群に加工されたデータである(以下、「2m データ」)。計測時の諸元を表 3 に示す。

また、樹林と人工構造物を区分するために、近赤外バンドを有する IKONOS データを併用した(表 2 前掲)。

表 2 使用データ

データ種別	名称	処理レベル	解像度	データ取得年月日
衛星画像	IKONOS	デジタルオルソ・ライト	4m	2000/9/21
LIDAR	ALMAPS	DSM	1m	2002/7/26～27
		DEM	1m	2002/7/26～27
	RAMS	DSM	2m	2001/9/24～25
		DEM	2m	2001/9/24～25

表 3 使用した LIDAR データの計測諸元

		ALMAPS	RAMS
プラットフォーム		回転翼	固定翼
対地高度 (m)		1,000	2,590
パルスレート (Hz)		25,000	24,000
スキャンレート (Hz)		25	24
フットプリント径 (cm)		20	66
測定精度 (メーカー提示)	水平方向	±50cm	±30cm
	垂直方向	±15cm	±15cm

4. 研究方法

4.1 IKONOS データによる植生被覆域の抽出

IKONOS の赤色バンドと近赤外バンドを用いて NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) を求め、植生被覆域を抽出した(図 2)。植生被覆域と非植生被覆域のしきい値は、NDVI=0.1 とした。

4.2 LIDAR データによる地物高の抽出

LIDAR データの DSM 点群データと DEM 点群データに対し、TIN (Triangulated Irregular Network) による補間を行い 1m メッシュおよび 2m メッシュのグリッドデータに変換した。その上で DSM グリッドと DEM グリッドの差分処理を行った。処理結果を DHM (Digital Height Model) と称する。DHM は地物および樹木の高さを示すモデルである。1m メッシュの DHM を図 3 に、2m メッシュの DHM を図 4 に示す。

4.3 樹高の抽出

IKONOS によって抽出された植生被覆域を 1m メッシュおよび 2m メッシュに再配列し、DHM をマスクすることによって地物と樹木の分離を行った。処理結果を

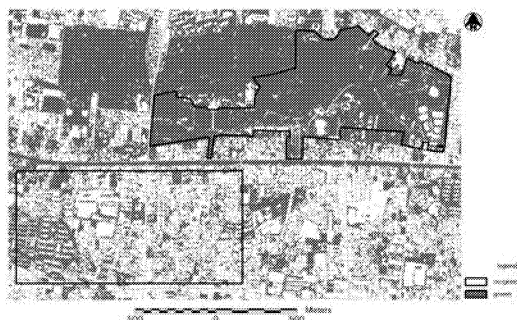


図 2 IKONOS に基づく植生被覆域

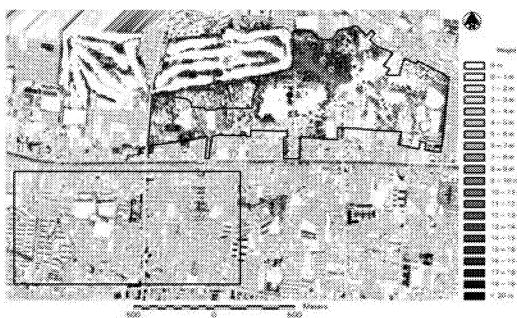


図 3 1m メッシュの DHM

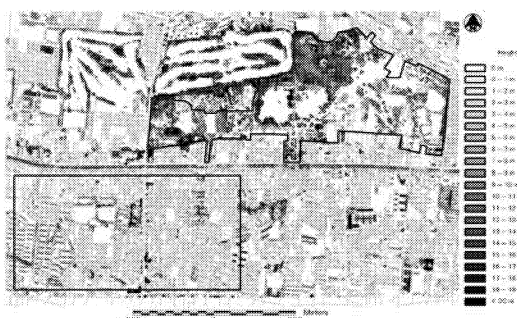


図 4 2m メッシュの DHM

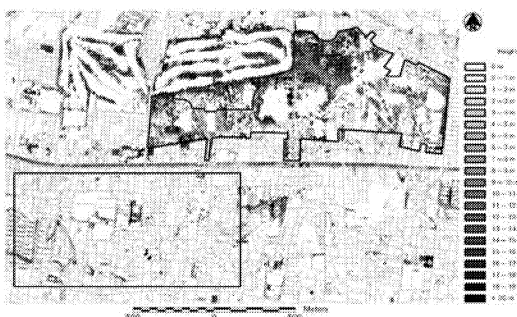


図 5 1m メッシュの DCHM

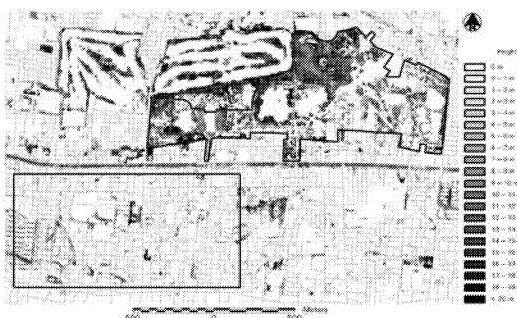


図 6 2m メッシュの DCHM

DCHM (Digital Canopy Height Model) と称する。DCHM は樹冠高を示すモデルである。1m メッシュのDCHMを図5に、2mメッシュのDCHMを図6に示す。

4.4 現地調査

15箇所の検証地区において、2002年11月5日～6日および2003年12月10日～11日に現地調査を行った。樹木位置、樹高はDGPS (GPS Pathfinder Pro/XR) とレーザー測距儀(LaserAce300)を用いて計測した(表4)。

4.5 樹高計測結果の比較検討

DCHM と実測樹高を検証地区ごとに比較し、樹高計測結果の比較を行った。さらに、計測誤差と樹林形態、データ密度との関係を考察した。

表4 現地調査結果

St.No.	立地	本数	aveH (sdH)	aveD (sdD)	樹種数	樹林形態
St.1	大規模公園	45	10.8 (5.0)	35.0 (17.2)	8	広, 複, 密
St.2	大規模公園	18	16.5 (3.2)	49.4 (12.5)	3	広, 単, 疎
St.3	大規模公園	21	20.6 (5.3)	55.1 (15.4)	3	針, 単, 密
St.4	大規模公園	14	13.8 (4.2)	51.5 (15.1)	2	広, 単, 疎
St.5	大規模公園	27	13.5 (3.7)	56.1 (17.2)	1	広, 単, 密
St.6	大規模公園	31	25.4 (5.7)	50.5 (15.9)	2	広, 単, 疎
St.7	大規模公園	21	18.9 (7.1)	41.0 (16.6)	7	針, 複, 密
St.8	大規模公園	28	9.9 (0.9)	24.6 (7.4)	2	広, 単, 密
St.9	大規模公園	29	14.8 (3.9)	28.3 (8.4)	5	広, 複, 密
St.10	大規模公園	45	18.1 (3.7)	35.9 (10.8)	4	針, 単, 密
St.11	大規模公園	33	18.5 (6.1)	29.2 (12.8)	3	広, 単, 密
St.12	大規模公園	23	12.0 (5.4)	33.9 (19.2)	4	混, 複, 密
St.13	街路樹	9	15.5 (2.1)	52.0 (4.9)	1	広, 単, 疎
St.14	街区公園	18	12.2 (4.6)	36.1 (13.7)	3	広, 単, 密
St.15	社寺林	56	9.2 (5.0)	22.2 (17.9)	12	混, 複, 密

aveH: 平均樹高 (m), sdH: 樹高標準偏差 (m), aveD: 平均胸高直径 (cm), sdD: 胸高直径標準偏差 (cm), 広: 広葉樹林, 針: 針葉樹林, 混: 混交林, 複: 複層林, 単: 単層林, 密: 樹冠密度 高, 疎: 樹冠密度 低

5. 結果および考察

5.1 樹林形態別、データ密度別の樹高計測特性

検証地区ごとにみると、1mデータでは14箇所で、2mデータでは13箇所で平均誤差は負の値をとり、実測よりやや低めに樹高を計測する傾向が確認された(表5)。これは、森林域における知見と一致する傾向である。

樹林形態別に誤差を集計した結果を表6に示す。樹種別には、広葉樹林よりも針葉樹林の方がやや低めに計測される傾向が強く、データ密度別には2mデータの方が顕著であった。これは、主に点間隔の違いによるものと考えられる。すなわち、梢端が先鋭化している針葉樹の

場合、広葉樹と比べてレーザーが梢端に当たりにくく、とくに2mデータは点間隔が広いいため梢端に当たる確率が低いものと考えられる。

階層構造別には、複層林の方が単層林よりも平均誤差が小さくなった。しかし、高木・低木別に検証すると、複層林の低木層は平均誤差が正の値を示しており、適切に計測されていないことがわかる。複層林内の低木はレーザーが高木層の樹冠に遮られるためであると考えられる。また、データ密度別の顕著な違いは認められなかった。

樹冠密度別には、高密度林よりも低密度林の方がやや低めに計測される傾向が強く、データ密度別には1mデータの方が顕著であった。これは、主にフットプリント径の違いによるものと考えられる。すなわち、樹冠密度の低い樹林はレーザーが梢端に当たりにくく、とくに1mデータはフットプリント径の小さいため枝間を透過しやすいものと考えられる。

表5 検証地区別の樹高計測誤差

St.No.	本数	平均誤差 (m)		RMSE (m)	
		1mデータ	2mデータ	1mデータ	2mデータ
St.1	45	-0.18	0.62	3.74	3.23
St.2	18	-2.28	-2.67	2.72	2.91
St.3	21	-2.52	-4.62	4.45	5.78
St.4	14	-7.07	-0.93	8.58	2.02
St.5	27	-3.19	-2.04	4.59	3.11
St.6	31	-3.55	-2.35	5.21	3.92
St.7	21	-1.66	-1.59	7.98	6.68
St.8	28	-2.04	-0.96	2.91	1.45
St.9	29	-0.81	-0.24	1.52	1.46
St.10	45	-2.10	-2.39	2.89	3.54
St.11	33	-1.85	-1.69	4.75	5.30
St.12	23	0.08	1.14	5.91	4.45
St.13	9	-4.02	-4.80	4.62	5.21
St.14	18	-0.82	-1.12	2.17	1.95
St.15	56	-1.07	-0.88	2.86	2.69
計	418	-1.86	-1.37	4.35	3.74

表6 樹林形態別の樹高計測誤差

樹林形態	本数	平均誤差 (m)		RMSE (m)			
		1mデータ	2mデータ	1mデータ	2mデータ		
樹種	広	309	-1.89	-0.93	4.68	3.58	
	針	109	-2.32	-3.40	4.09	5.65	
階層構造	複	高	174	-0.66	-0.14	4.39	3.79
		低	104	-1.98	-1.52	4.04	3.55
	単	70	1.36	1.92	4.87	4.13	
樹冠密度	密	244	-2.96	-2.61	4.63	4.51	
	疎	346	-1.55	-1.37	4.32	4.32	
All	72	418	-1.86	-1.37	4.35	3.74	

広: 広葉樹林, 針: 針葉樹林, 複: 複層林, 単: 単層林, 高: 高木 (10m以上), 低: 低木 (10m未満), 密: 樹冠密度 高, 疎: 樹冠密度 低

5.2 DSM, DEM の比較

1m データと 2m データの DSM, DEM の比較を行い、データ密度別の違いの要因を検討した。

結果を表 7 に示す。全体に DEM は高い相関係数を示し、RMSE と標準偏差が 1m を下回っていることから、生データから DEM を生成するプロセスは 1m データと 2m データの間に大きな差はないと考えられる。

樹林形態別に比較した場合、DSM と DEM に大きな違いが見られたのは樹種と樹冠密度であった。樹種別には針葉樹において、樹冠密度別には低密度林において DSM の相関係数が低い値を示した。これは表 6 に示される特性と一致する傾向であり、樹高計測特性には DSM の特性が反映されていることが示唆された。

1m データの DSM と 2m データの DSM の差分を図 7 に示し、1m データの DEM と 2m データの DEM の

表 7 異なるデータ密度の DSM および DEM の関連性

樹林形態	点群数	相関係数		RMSE (m)		標準偏差 (m)		
		DSM	DEM	DSM	DEM	DSM	DEM	
樹種	広	34,905	0.87	0.95	4.05	1.02	3.49	0.87
	針	6,402	0.79	1.00	4.49	0.47	4.14	0.22
階層構造	複	9,897	0.90	0.99	3.56	0.56	3.18	0.38
	単	31,410	0.84	0.94	4.29	1.05	3.72	0.89
樹冠密度	密	24,729	0.86	0.97	3.92	1.12	3.43	0.95
	疎	16,578	0.55	0.84	4.41	0.62	3.84	0.49
All	41,307	0.86	0.96	4.12	0.95	3.60	0.80	

広: 広葉樹林, 針: 針葉樹林, 複: 複層林, 単: 単層林, 高: 高木 (10m 以上), 低: 低木 (10m 未満), 密: 樹冠密度 高, 疎: 樹冠密度 低

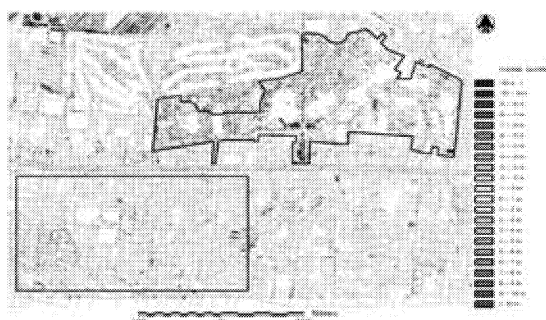


図 7 1m データと 2m データの DSM の差分

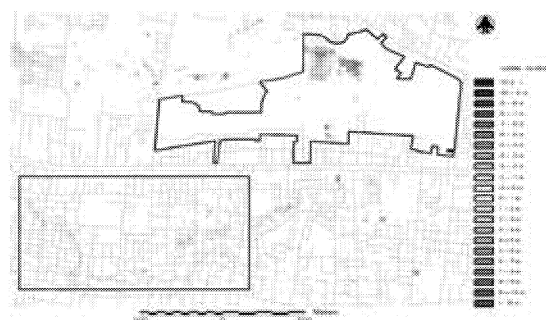


図 8 1m データと 2m データの DEM の差分

差分を図 8 に示す。1m データと 2m データの乖離は DSM の方が DEM より大きいことがわかる。また、図 7 から、DSM は 1m データの方が低い値を示す領域が多いことが認められた。これは、フットプリント径の違いに伴う枝間透過特性を反映しているものと考えられる。

6. おわりに

本稿では、市販の LIDAR データによる都市内樹林の樹高計測特性について検討を行った。今後は、樹林形態ごとの計測特性を考慮した手法改良が課題としてあげられる。また、市販の LIDAR データに基づく他の情報抽出技術を検討し、普及促進を図っていきたい。

参考文献

- 1) 国土地理院ホームページ, “数値地図 5m メッシュ (標高) について”
<http://www.gsi.go.jp/MAP/CD-ROM/dem5m/index.htm>
 (accessed 1 Nov. 2005)
- 2) 国際航業株式会社ホームページ, “RAMS-e - 国際航業株式会社”
<http://www.ramse3d.com/index.php>
 (accessed 1 Nov. 2005)
- 3) 朝日航洋株式会社ホームページ, “朝日航洋株式会社 | 空間情報事業 | good-3D”
<http://www.aeroasahi.co.jp/good-3d/index.html>
 (accessed 1 Nov. 2005)
- 4) 株式会社パスコホームページ “DTM, DSM 「レーザープロファイラーデータ」 | 三次元データ | GIS 総合企業 | 株式会社パスコ”
http://www.pasco.co.jp/products/3d_data_solution/rp_data/index.html
 (accessed 1 Nov. 2005)
- 5) 今井靖晃, 瀬戸島政博, 山岸裕, 藤原宣夫: 市販の航空機レーザスキャナデータを用いた都市公園の樹高計測, 日本写真測量学会平成 16 年度年次学術講演会発表論文集, pp.183-186, 2004
- 6) 今井靖晃, 瀬戸島政博, 船橋学, 藤原宣夫, 山岸裕, 松江正彦, 影本信明: 市販の航空機レーザスキャナデータを用いた市街地の樹木被覆地における樹高計測, 日本写真測量学会平成 17 年度年次学術講演会発表論文集, pp.71-74, 2005