

高分解能衛星と航空機搭載型レーザスキャナを用いた 都市の緑地総量の計測

Measurement of Total Urban Green Space Using High-Resolution Satellite and Airborne Laser Scanner

瀬戸島 政博*
Masahiro SETOJIMA

はじめに

都市への人口集中により、日本の都市の緑は大きく減少し、欧米に比べて極めて低い水準にある。近年、都市緑地保全法の改正（1994年）によって緑の基本計画の位置づけが明確になったことを受け、定期的に緑の調査、保全計画がなされてきた。

都市内にある緑地は、災害時の避難地や避難路として機能するだけでなく、都市の気象緩和を含めた公益的な機能を持っている¹⁾。身近な緑の空間と快適な環境の創出を求めて、とくに日常生活に密着した都市公園などがそのような場として期待されている。都市公園などの緑地が持つ公益的な機能を分析するには、都市公園内の緑地の分布を把握する必要がある。その場合、平面的な分布だけでなく、垂直的な分布を加えた緑地総量として把握することが必要とされる^{2,3)}。

そこで、本研究では東京都立川市の国営昭和記念公園およびその周辺を対象として、高分解能衛星 IKONOS による画像データと航空機搭載のレーザスキャナによる高さデータとを併用し、都市公園内の緑地総量を把握した。

2. 高分解能衛星 IKONOS と航空機レーザスキャナ (LS)

IKONOS は、1999年9月に打ち上げられた商業用の高分解能衛星であり、パンクロマティックデータの地上解像度が1m、マルチスペクトルデータの地上解像度が4mである。パンクロマティックデータは、可視～近赤外線領域(0.45～0.90 μm)までを1バンドのデータとして記録し、マルチスペクトルデータでは、可視～近赤外線領域までを4バンドに分けて記録している(表1)。

航空機レーザスキャナ(以下、航空機LS)は、図1に示すように航空機などのプラットフォームから地上に向けてレーザパルスを送り、地上から反射してくる光を受光盤で捉え、その往復時間によって機体と計測対象物までの距離を測定す

表1 IKONOS の諸元

項目		諸元
打ち上げ年月日		1999年9月25日
軌道要素	飛行高度	680km
	回帰日数	11日
地上分解能	パンクロマティック	1m
	マルチスペクトル	4m
観測幅		11km×11km
観測波長帯域	パンクロマティック	0.45～0.90 μm 青色～近赤外
	マルチスペクトル	0.45～0.52 μm 青色
		0.52～0.60 μm 緑色
		0.63～0.69 μm 赤色
	0.76～0.90 μm 近赤外	

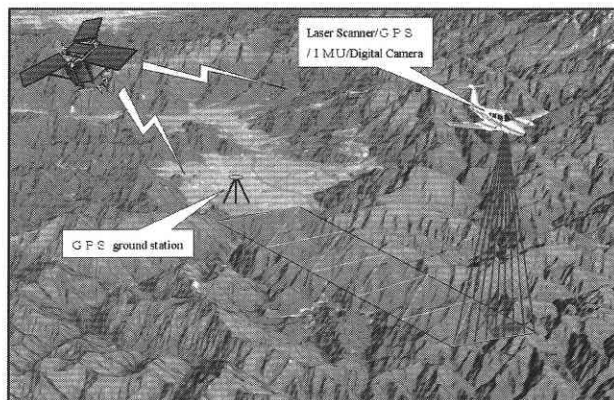


図1 航空機LSの概念

る機器である。上空での機体位置は機体内に装備されているGPSと慣性装置から同時に求められる。したがって、空間上の計測位置と計測対象物までの距離が分かれば、計測対象物の地上位置が求められることになる。使用した航空機LSの機器仕様を表2に示す。

レーザスキャナ部からは近赤外線レーザが15 kHzのパルスレートで発信され、対象物に当たって反射してくるレーザ光を受信する。観測測定高度は300～3,000 mまで可能で、スキャナの走査角は5°～45°まで、走査幅は80～2,000 mまで可変である。スキャナの測定精度は、水平方向が±30 cm、垂直精度が±15 cmである。

*東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター 客員教授

表2 航空機LSの諸元

レーザ スキャナ	測定方法	近赤外線レーザ	デジタル カメラ	画素数	約1,670万ピクセル
	測定高度	300~3,000m		焦点距離	f=50mm・90mm
	スキャン角度	5°~45°		写真解像度	10~30cm
	スキャン幅	80~2,000m	航空機	機体	11.46m (全長)
	パルスレート	15kHz			15.88m (全幅)
	水平精度	±30cm			4.32m (全高)
	垂直精度	±15cm	巡航速度	200~340km/h	

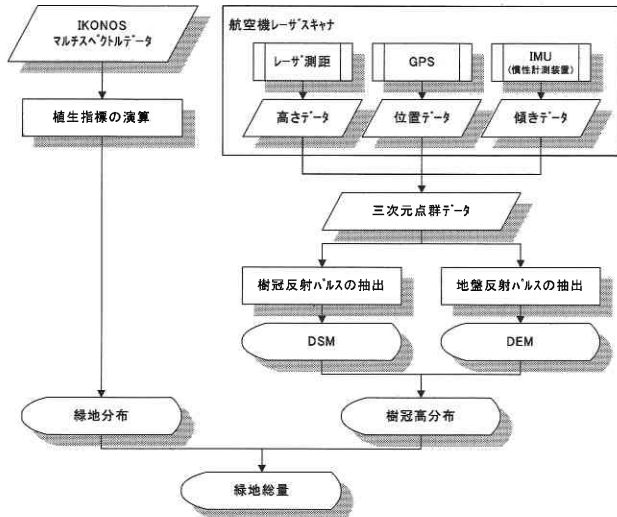


図2 解析フローチャート

3. 解析方法

IKONOS による画像データと航空機レーザスキャナによる樹冠高データを併用した緑地総量把握のための流れを図2に示す。

(1) IKONOS マルチスペクトルデータを用いた緑地の抽出

IKONOS データのマルチスペクトルデータ (1999年9月25日観測) を用いて、植生被覆域を抽出した。衛星データから植生の有無を判別する代表的な指標として植生指標が挙げられる。植生指標にはいくつかの計算式があるが、一般的には正規化植生指標 NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) が多用されている。

ここでは、IKONOS データのうち、バンド3とバンド4を用いて、次式から NDVI を求めた。

$$NDVI = (\text{band4} - \text{band3}) / (\text{band4} + \text{band3})$$

その結果を図3に示す。

(2) 航空機LSによる樹冠高の計測

航空機レーザスキャナによる計測データは、1パルスごとの地表のXYHであるため、樹木や建物等がある場合、その高さを含んだデータとなる。計測されたデータから地表面のXYHを格子状に再配列したものをDSM (Digital Surface Model: 数値表面モデル)、地盤面で反射したデータのみを抽出して格子状に再配列したものをDEM (digital Elevation Model: 数値標高モデル) と称している。DSM

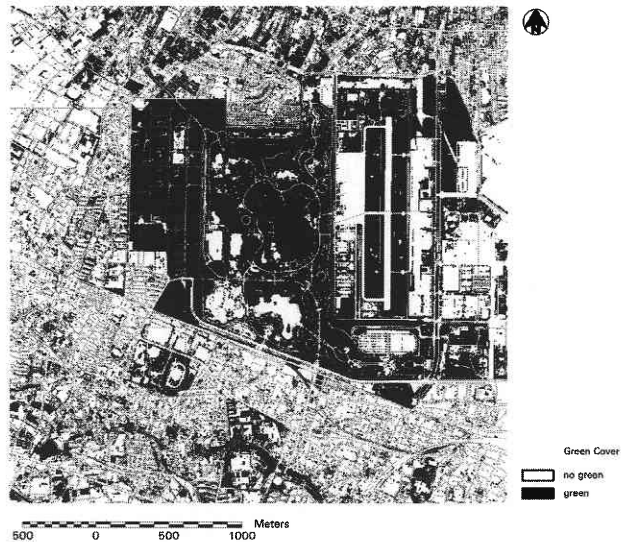


図3 IKONOS データによる緑地の抽出

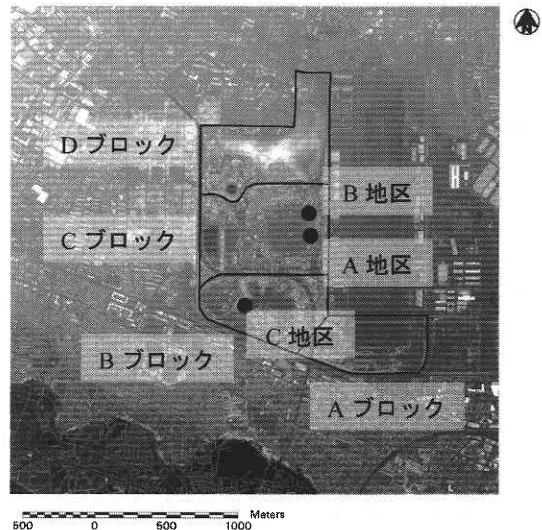


図4 航空機LSによるDSM

とDEMとの差をとることによって、樹高や建物高を計測することができる。

図4には航空機LSによるDSMを、図5には航空機LSによるDEMを示す。図6は、DSMとDEMの差分による樹冠高・建物高分布を示す。

(3) 緑地総量の把握

(1) で作成した緑地分布画像を (2) で作成した樹冠高・建物高分布画像に重ね合わせ、建物高分布エリアと樹冠高のない緑地分布エリア (草地など) を除去し、緑地総量分布マップを作成した。緑地総量分布マップから国営昭和記念公園内の緑地総量を把握するとともに、周辺市街地内の緑地総量も把握した。

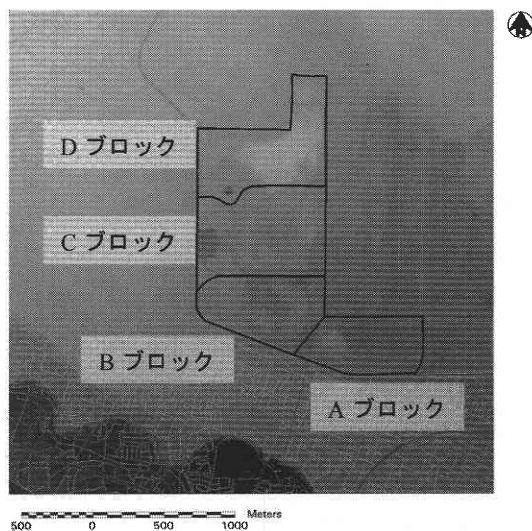


図5 航空機LSによるDEM

表3 航空機LSによる樹冠高の誤差

地区	測定本数	RMSE(m)	誤差±1m以内の比率(%)
A	54	1.94	64.8
B	67	2.49	56.7
C	24	2.92	45.8

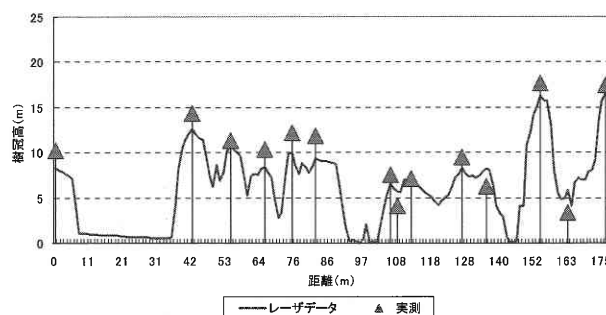


図7 A地区における樹冠高と計測樹高の関係

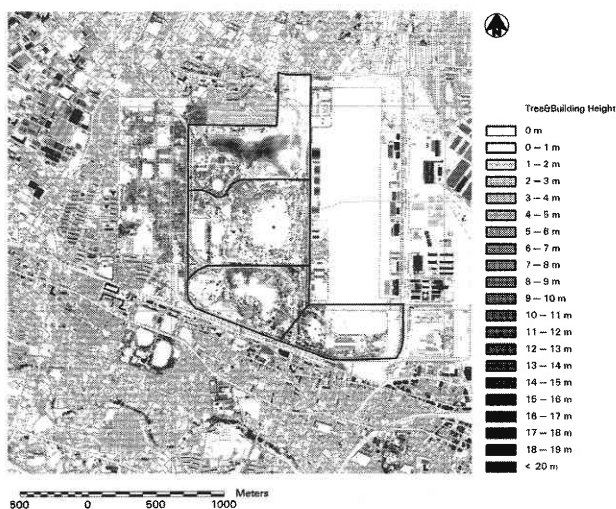


図6 樹高・建物高分布マップ (DSM-DEM)

4. 樹冠高計測結果の検証

航空機LSによる樹冠高計測の結果を検証するために現地での計測を実施した。現地実測箇所は、図4(前掲)に示すA地区～C地区までの3箇所で行った。

- ① A地区：高木・低木から構成される常緑・落葉広葉樹の混交林地区
- ② B地区：比較的樹高の整った広葉樹からなり、低密度な植栽間隔からなる樹林地区
- ③ C地区：樹頂が鮮明な高木のメタセコイアが一定間隔に植栽されている地区

現地実測には、簡易型ディファレンシャルGPS(DGPS：Trimble社製Pathfinder)と簡易型レーザー測距儀(Timbertech社製LaserAce300)を用いた。なお、調査に用

いた簡易型DGPSでは、調査時のGPS衛星の配置状況によって計測誤差を生じる場合もあり、予め既設三角点においてGPS測量を行い、既知の座標値との間で補正した(既設三角点には、東京都国立市甲州道中南236に所在する三等三角点「青柳」を用いた)。実測樹高に対する航空機LSによる樹冠高との誤差を表3に示す。

4.1 A地区での検証結果

A地区では、検証用として54本の測定木を対象に現地計測した。その結果、RMSE誤差で1.94mであった。実測値に比較して±1m以内の誤差範囲のものが測定木の65%に相当していた。

次に、地区内に設定した特定な断面で見た場合の両者の計測結果を比較したものが図7である。同図を見ると、ほとんどの測定木では、実測樹高に比べて、航空機LSによる樹冠高が1～2m低く計測されていることが分かる。これは、現場での樹高計測では、樹木の樹頂部を同定したうえで、その部分までの高さ(樹木)を測っているのに対し、航空機LSでは、パルス間隔などの計測時の設定条件により、必ずしも樹頂部を測れず、樹冠部表面の平均的な高さ(樹冠高)を計測しているためによる差である。既往研究からも実測樹高に対する航空機LSによる樹冠高との誤差が指摘されている⁴⁾。高木間や密集した樹木間に生育している垂高木や低木では、その前後にある高木層の樹冠等の影響により、レーザー光が樹冠部まで届かないうちに反射しているため、実測樹高よりも高い樹冠高を示している。

4.2 B地区での検証結果

B地区では、検証用として67本の測定木を対象に現地計測した。その結果、RMSE誤差2.49mで、実測値に比較して±1m以内の誤差範囲のものが測定木の57%であり、A地区よりも誤差が大きい。これは、B地区の樹林がA地区に比べて、疎林であり、他の地目等の影響を受け易

いためと考えられる。

次に、地区内に設定した特定な断面で見た場合の両者の計測結果を比較したものが図8である。同図を見ると、比較的樹高が整っている箇所では、航空機LSによる樹冠高との差異は小さい。しかし、樹高の差が大きな箇所では、航空機LSから求めた樹冠高との差異が大きい。また、高木間に挟まれた亜高木や低木の育成箇所では、航空機LSによる樹冠高の差が大きい。これは(1)の場合と同様に、高木間や密集した樹木間に生育している亜高木や低木では、その前後にある高木層の樹冠・枝張り等の影響により、レーザ光が樹冠部まで届かないうちに反射しているために、実測樹高よりも高い樹冠高を示している。

4.3 C地区での検証結果

この地区は、樹頂部が鮮明な落葉性針葉高木のメタセコイアが植栽されている箇所である。測定木24本に対するRMSE誤差は2.92mで、3検証地区で航空機LSによる樹冠高計測の誤差が最も大きい。加えて、実測値に比較して±1m以内の誤差範囲のものが測定木の46%である。

図9に示す特定の断面で見ると、全ての測定木とも実測値に比べて、航空機LSによる樹冠高が低い値を示している。これは、航空機LSでは、計測時の設定条件(パルス間隔や計測密度など)により樹頂部を必ずしも正確に計測できず、樹冠部を捉えているために、このような差異を生じたものと考えられる。

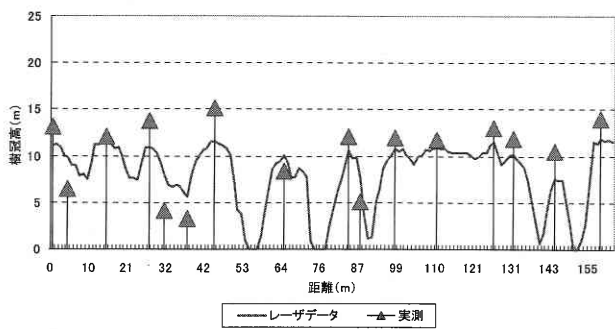


図8 B地区における樹冠高と計測樹高の関係

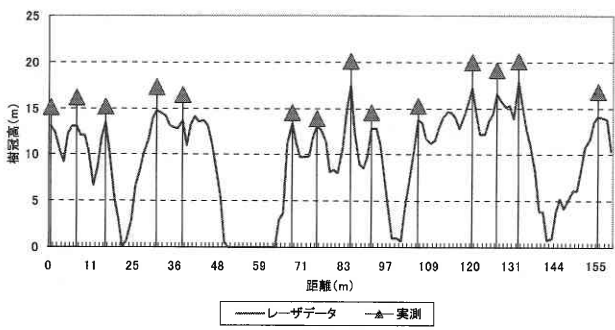


図9 C地区における樹冠高と計測樹高の関係

5. 緑地総量の把握

ここでは、緑地(樹木)分布とその樹冠高から緑地(樹木)総量の算定を試みた。緑地総量の算定にあたっては、国営昭和記念公園内とこれを含む3.4km×3.4kmの範囲での緑地総量を算定した。

公園内では、図4(前掲)に示すA~Dブロックの4箇所に区分して緑地総量を算定した。

- ①ブロック：この箇所は、ふれあいの森・ふれあい広場・駐車場・大小噴水を配した水の流れ(カナル)などで構成され、イチヤウ並木をはじめとして、大きな樹冠面積を持つ高木林から形成されている。展示施設ゾーンと呼ばれている箇所である。
- ②ブロック：この箇所は、水鳥の池・バードサンクチュアリー・花木園・ハーブ園・プール・水遊び広場から構成されている。水鳥の池を取り囲むように、大きな樹冠面積を持つ高木林が分布し、また、メタセコイアなどの高木林も一定間隔で植栽されている。水のゾーンと呼ばれている箇所である。
- ③Cブロック：公園のほぼ中央に位置する箇所で、みんなの原っぱ・桜の園・トンボの湿地・溪流広場・運動広場・ニュースポーツ広場・林間広場などを取り囲むように樹林が分布している。高密度に生育している広葉樹高木林、低密度に疎ら分布している広葉樹高木林、高木や低木からなり常緑樹と落葉樹の混交する樹林などが分布する。広場ゾーンと呼ばれている。
- ④Dブロック：この箇所は武蔵野の雑木林の景観を残し、こもれびの里・こもれびの丘・こもれびの池などから構成され、地区全体が豊富な樹林で形成されている。大小さまざまな樹林が生育し、関東地方特有の北風を遮る防風林としての機能も果たすように計画されている。森のゾーンと呼ばれている。

表4には、公園内外の緑地総量を示す。Aブロックは、4地区内で緑地面積(0.127km²)および緑地総量(0.796km³)とも最も小さく、次いでBブロックが緑地面積0.174km²、緑地総量1.183km³である。CブロックとDブロックは、緑地面積がほぼ同じであるが(0.263km²、0.266km²)、緑地総量で見ると、Cブロックが1.466km³であるのに対し、Dブロックでは1.787km³である。Dプロ

表4 公園内外の緑地総量

エリア	緑量	緑地面積 (km ²)	緑被率 (%)	緑地総量 (km ³)	単位面積あたり緑地総量 (km ³ /km ²)
公園内	Aブロック	0.127	41.3	0.796	2.582
	Bブロック	0.174	47.0	1.183	3.195
	Cブロック	0.263	48.1	1.466	2.680
	Dブロック	0.266	55.0	1.787	3.697
全体 (3.4km×3.4km)		2.648	22.9	14.428	1.248

研究速報

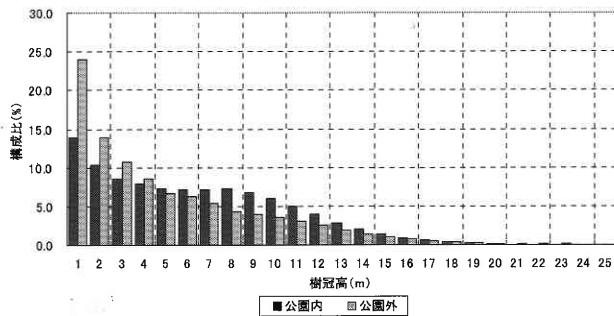


図10 公園内外の緑地総量ヒストグラム

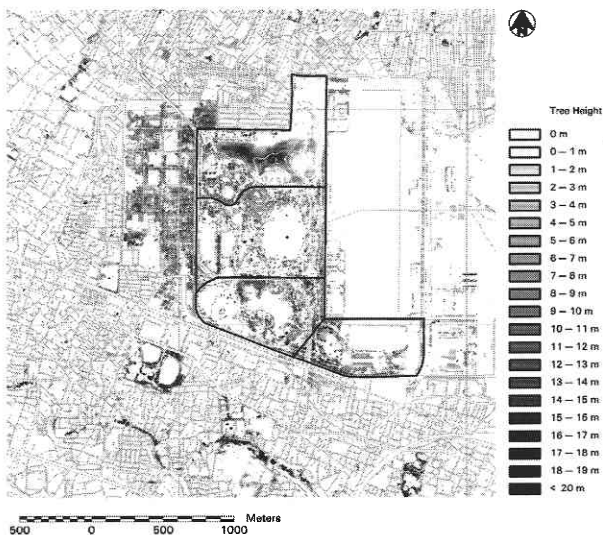


図11 緑地総量分布図

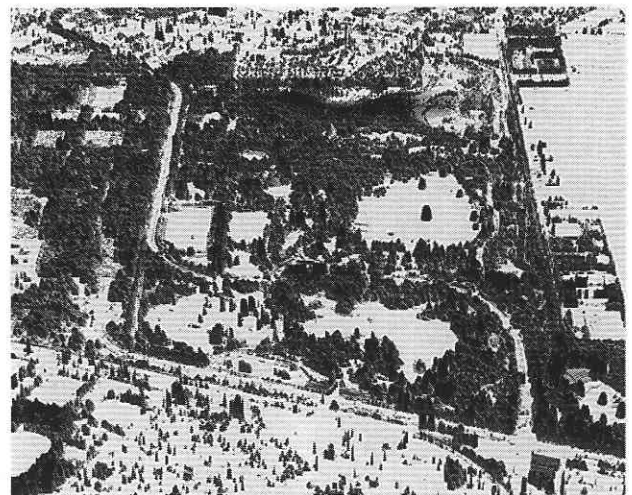


図12 緑地総量の鳥瞰図

トアイランド現象の緩和、避難空間の形成や延焼防止による防災面での向上など、多面的で公益的な諸機能が以前にも増して注目されている。このような動向の中、緑地の持つ公益的な機能を分析するには、従来から利用されてきた航空写真による平面的な緑地分布だけでなく、垂直的な分布を加えた緑地総量として把握する必要がある、そのための試みを本研究では実施した。

航空機LSデータから、より精度の高い樹冠高を取得していくためには、データ取得密度の検討や中間反射パルスデータの利用（本研究では、航空機LSで取得した5パルスデータ中のファーストおよびラストの2パルスを使用）などが急務な研究課題と考えている。

(2004年3月10日受理)

参考文献

- 1) 重松敏則, 朝廣和夫, 瀬戸島政博, 牧田史子 (1997): 現存植生環境動態図の作成とその活用に関する基礎的研究, 日本造園学会誌 60 (5), pp. 527-530
- 2) 瀬戸島政博 (2003): 異なる時期に観測した航空機レーザースカナデータを用いた都市近郊の樹林計測, 東京大学生産技術研究所生産研究, Vol. 55, No. 2, pp. 98-103
- 3) 瀬戸島政博, 今井靖晃, 船橋学, 岡崎亮太, 天野正博 (2003): 落葉前後の航空機レーザースカナデータを用いた里山の樹高計測と落葉広葉樹の林分把握に関する基礎的検討, 日本造園学会誌 66(5), pp. 503-508
- 4) 瀬戸島政博, 赤松幸生, 船橋学, 今井靖晃, 天野正博 (2002): 航空機レーザースカナによる森林域の計測とその適用性, 写真測量とリモートセンシング 41 (2), pp. 15-26

ックは、Cブロックに比べて樹冠高の高い高木林が多く分布することを示している。

また、図10には、緑地総量の算定の基礎となる樹冠高別ヒストグラムを公園内外で見たものである。公園内では、樹冠高15m以下の樹木からほとんど構成され、とくに3~10mの樹冠高を持つ樹木が多いことが分かる。それに比べて公園外では、1~3mの樹冠高からなる樹木が圧倒的に多いことが分かる。

図11には、本研究で作成を試みた緑地総量分布図であり、さらに、これを鳥瞰的に表現したものが図12である。

6. おわりに

都市緑地は、都市生活への潤いや安らぎと言った精神面での役割はもちろんのこと、近年は樹木のCO₂吸収による地球温暖化防止への寄与、植物の蒸発散作用によるヒ-