

地球環境の衛星モニタリングに関する研究

Research on the satellite monitoring technology for the global environment

(研究期間 平成 14~16 年度)

環境研究部 緑化生態研究室
Environment Department,
Landscape and Ecology Division

室長 藤原 宣夫
Head Nobuo Fujiwara
主任研究官 山岸 裕
Senior Researcher Yutaka Yamagishi

When investigating the trees in urban area, we have used aerial photographs until now, because the trees were too small for an artificial satellite sensor to pick them up. But the new artificial satellite sensor has high resolving power; it is expected to use the satellite image for the investigating. Against these background, we aimed to develop techniques for quantifying the atmospheric CO₂ stocked by trees in urban area, using the IKONOS images and airborne-laser-scanner data. We chose a method using the height and number of trees as the promising one from various methods of the quantifying CO₂. And we tried to calculate the height and the number of trees in Tokyo metropolitan Koganei Park. As a result, following tendencies were confirmed; the height of trees, which were calculated with the IKONOS images and airborne-laser-scanner data, was lower; and the number of trees was less.

〔研究目的及び経緯〕

都市の緑地は、生活にうるおいやすらぎを与える資源として重要である。近年は、植物の CO₂ 吸収による地球温暖化防止への寄与、植物の蒸発散作用等によるヒートアイランド現象の緩和、避難空間の形成や延焼防止等による防災性の向上など都市緑地のもつ多様な機能が注目されてきており、とくに、植物の CO₂ 吸収による地球温暖化防止への寄与は、気候変動枠組み条約締約国会議の動向と絡み、大きな期待が寄せられている。

植物による CO₂ の吸収を施策として進めるためには、植生のモニタリングによる CO₂ 固定量の算定が必要とされるが、住宅地等の小規模緑地が多く面積をしめる都市緑地においては、調査精度との関係から CO₂ 固定量算定に航空機以外のリモートセンシングデータを用いることは困難とされていた。しかし、近年、航空写真に匹敵する画像が得られる高分解能人工衛星画像や、航空機搭載型レーザープロファイラー（以下、「航空機 LP」という。）が実用化され、緑地を三次元的に計測することが可能になってきているなど、リモートセンシング技術の発展はめざましく、その利用が期待されるようになった。

このような背景のもと、本研究では、衛星データ利用に向けた検討の一環として、高分解能人工衛星 IKONOS 画像等の利用による都市緑地の CO₂ 固定量モニタリング技術の開発に着手した。

CO₂ 固定量の算定には、樹冠面積、材積、樹高と本数などに原単位を乗じる方法や、植生指標 NDVI などから直接算出する方法が提案されているが、都市内緑地に適用する方法としては、樹高と本数、植生指標

NDVI から算出する方法が有望と考えられる。ここでは、IKONOS 画像と航空機 LP データから樹高と本数の算定を試行し、その精度を検証した。

〔研究方法〕

調査のフローチャートを、図-1 に示す。調査対象地域は、図-2 に示す東京都小金井公園の開園区域（77ha）とした。図中の A~L は、公園管理上のブロック区分、St.1~5 は、現地調査地点である。

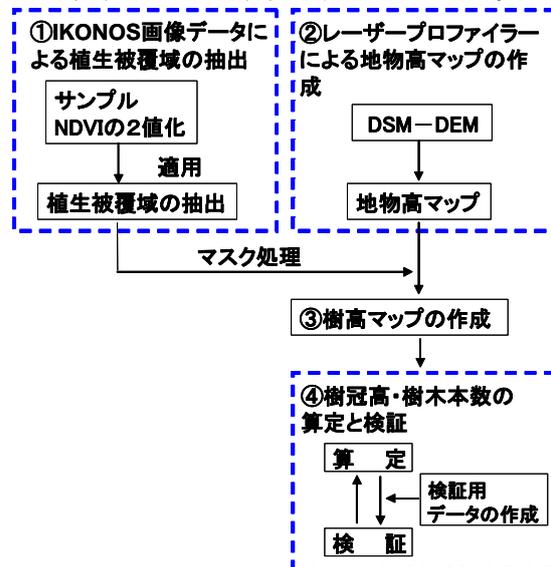


図-1 調査のフローチャート

〔研究結果及び考察〕

(1) IKONOS 画像データによる植生被覆域の抽出

IKONOS 画像（デジタルオルソ・ライト）データを入力し、赤色域と近赤外域の比演算処理によって植生指標 NDVI を算出し、二値化することによって植生被覆域を抽出した（図-3）。

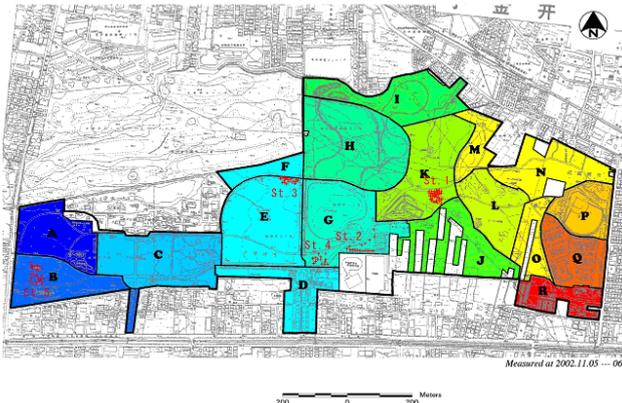


図-2 調査対象地域

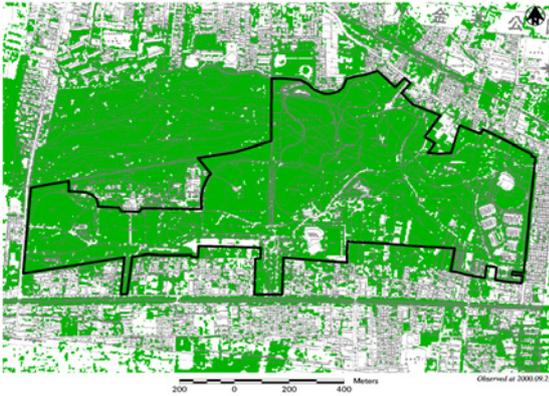


図-3 植生被覆域の抽出

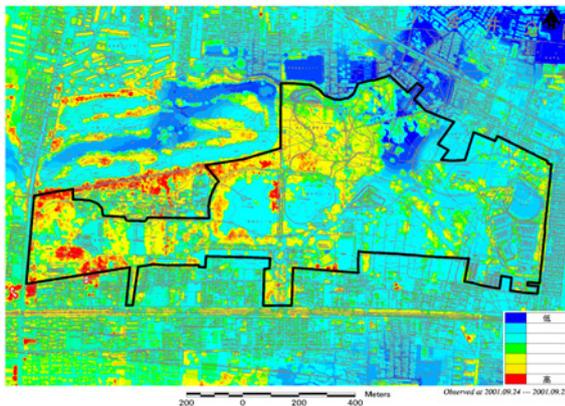


図-4 DSM (2m メッシュの例)

(2) レーザープロファイラーによる地物高マップの作成

航空機 LP データ^{注)}より作成された市販の 1m メッシュ及び 2m メッシュの DSM : Digital Surface Model (図-4) と DEM : Digital Elevation Model (図-5) を入手し、DSM と DEM の差分処理によって地物高マップ (図-6) を作成した。

(3) 樹高マップの作成

地物高マップを (1) で得られた植生被覆域でマスクすることによって樹木とそれ以外の地物に分離し、樹高マップ (図-7) を作成した。なお、樹高マップは、1m メッシュと 2m メッシュそれぞれにおいて作

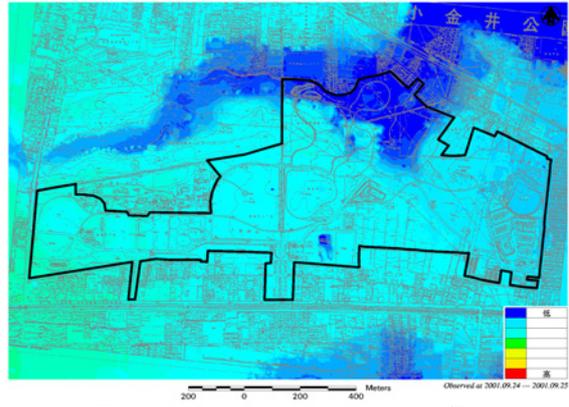


図-5 DEM (2m メッシュの例)

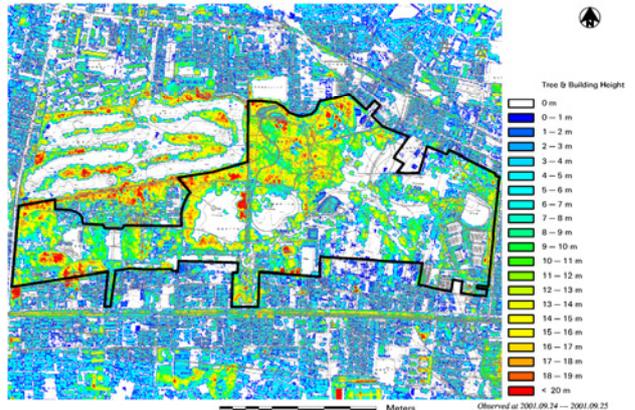


図-6 地物高マップ (2m メッシュの例)

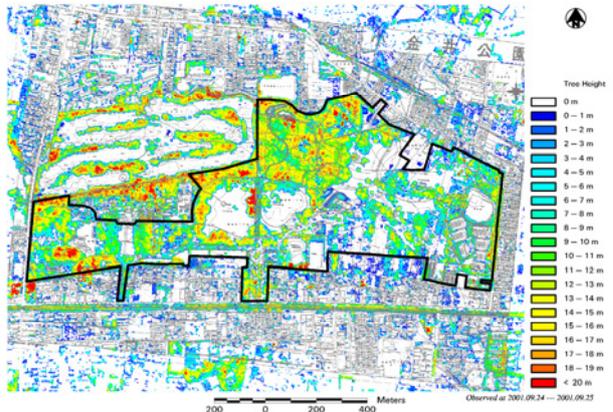


図-7 樹高マップ (2m メッシュの例)

成した。

(4) 樹木本数・樹冠高の算定と検証

①検証用データの作成

検証用データは、各 St. における現地調査結果に加え、公園管理者が有している公園台帳に記載されている毎木データを用いた。ただし、台帳データは、作成後年数が経過していたため、現地調査により、樹高について補正を行い各調査ブロックの検証用データとした。また、現地調査結果は、樹高マップと比較可能なように GIS データ化した。

②樹高の算定及び検証

樹高の算定と検証は、現地調査による単木単位の樹

注) 航空機 LP によりレーザーを照射し、樹冠表面で反射して最初に戻ってくるものを first pulse、地表面で反射して最後に戻ってくるものを last pulse とよび、first pulse データを用いて作成されたものを DSM、last pulse を用いて作成されたものを DEM という。

表-1 樹林形態区分(樹高)

対象	サンプル	針葉樹	広葉樹		複層林	
			高密度	低密度	高密度	低密度
単木樹高	現地調査地点	St.3	St.5	St.4	St.1	
平均樹冠高	ブロック	F7ブロック	B、D7ブロック	A、C、E、Gブロック	H、I、J、L7ブロック	K7ブロック

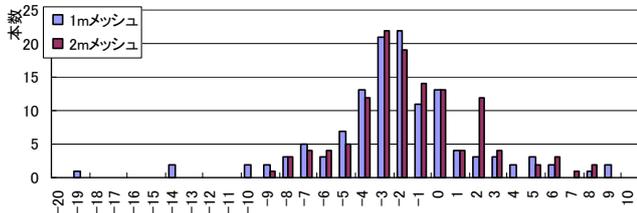


図-8 樹高マップにより得られた樹高の誤差(N=125) 実測値との誤差(m)

	1mメッシュ	2mメッシュ
平均	-2.30	-1.48
標準偏差	4.13	3.32
平均の標準誤差	0.37	0.30
平均の上側95%信頼限界	-1.56	-0.89
平均の下側95%信頼限界	-3.03	-2.07
N	125	125

高と台帳データによるブロック単位の平均樹冠高の2つを対象として行った。平均樹冠高の算出方法については後述する。

・単木樹高

単木樹高については、現地調査で得られた毎木の樹高値を真値として、IKONOS 画像及び航空機 LP から得られた樹高マップと比較した。また、樹林形態による比較を行うために、各現地調査地点を針葉樹、広葉樹(高密度・低密度)、複層林の4つの樹林形態に分類し、比較した(表-1)。

その結果、樹高マップでは、低めに計測される傾向にあり、実測値との誤差は、平均で、1mメッシュでは-2.30m、2mメッシュでは-1.48mであり、1mメッシュの方がより低めに計測される傾向にあった。標準偏差は、1mメッシュは4.13、2mメッシュは3.32と1mメッシュの方がばらつきが大きかった。しかし、平均値の標準誤差はNが125本と比較的大きいこともあり、1mメッシュ、2mメッシュ、それぞれ、0.37、0.30と比較的安定しており、95%の信頼区間でも平均値がマイナス側にあることが確認された(図-8、表-2)。このような傾向は、レーザーが樹頂にあたらないうちに生じるものと考えられる。

樹林形態による比較では、1mメッシュでは、針葉

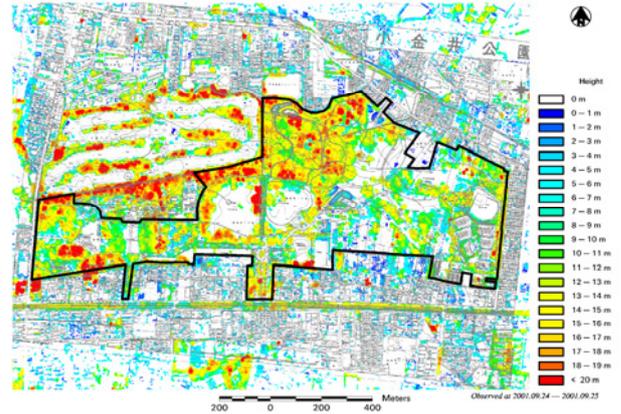


図-9 Maximumフィルタ処理結果(2mメッシュの例)

樹の計測誤差が小さく、低密度の広葉樹の計測誤差が大きかった。2mメッシュでは、針葉樹の計測誤差が大きく、広葉樹の計測誤差が小さかった。なお、複層林において、誤差が小さくなっているが、これは、高木層の樹冠に遮られて反射し、高めに計測される低木層の誤差が、高木層の低めに計測される誤差を打消しあつたにすぎないと考えられる(表-3)。

・平均樹冠高

平均樹冠高とは、樹高マップの樹木域について、Maximumフィルタを適用し、各調査ブロック毎に全画素の樹高の和を画素数で除したものである。これは、検証用データとする公園台帳には、樹木位置の正確なデータの記載がなく、現地調査地点以外は、樹木位置データによる樹高マップとの比較ができないため、台帳補正値の平均樹高と比較するためにつくり出した指標である。Maximumフィルタとは、画像処理ソフトEARDAS IMAGINEの機能の一つであり、nxn画素(nは奇数)のマトリクスで構成される窓領域を走査し、中心画素を窓領域内の最大画素値に置き換える処理である。この操作をすべての画素について行ったものが図-9であり、この処理により各画素の値は、窓領域内の樹林の最高値に置き換えられる。ただし、この値は、Maximumフィルタの窓領域のサイズに大きく左右される。ここでは、窓領域を、現地調査結果から得られた平均の樹冠径5.8mより少し大きく設定し、1mメッシュでは7画素×7画素(7m×7m)、2mメッシュでは3画素×3画素(6m×6m)とした。

表-3 樹高マップにより得られた樹高の誤差(樹林形態別)

対象	使用データ	検証データ	全樹木	樹林形態別(誤差の平均)					特徴
				針葉樹	広葉樹		複層林		
					高密度	低密度	高密度	低密度	
単木樹高	LP1m	現地調査結果 St.1~5	平均-2.30m過小評価 標準偏差4.13 N=125	-2.52m	-3.19m	-7.07m	-0.18m		・複層林の低木は計測が困難 ・針葉樹の計測精度が高い ・低密度の広葉樹の計測精度が低い ・複層林の低木は計測が困難 ・針葉樹の計測精度が低い ・広葉樹の計測精度が高い
	LP2m	台帳補正の毎木データA~L	平均-1.48m過小評価 標準偏差3.32 N=125	-4.62m	-2.04m	-0.93m	+0.62m		
平均樹冠高	LP1m	台帳補正の毎木データA~L	平均1.13m過大評価 標準偏差1.55 N=12	+0.7m	+1.1~1.6m	-1.4~0.8m	+1.0~4.6m	+0.3m	・ブロック単位での傾向は台帳補正値と整合 ・低木が計測困難なため、高密度複層林で過大評価する傾向 ・ブロック単位での傾向は台帳補正値と整合
	LP2m	台帳補正の毎木データA~L	平均0.12m過大評価 標準偏差1.52 N=12	+0.1m	+0.2~1.2m	-2.4~0.1m	-0.8~+3.3m	-0.9m	

表-4 平均樹冠高の誤差

使用データ	調査ブロック (単位:m)												平均	標準偏差	平均の標準誤差	N
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L				
1mメッシュ	-0.41	1.08	0.81	1.63	-1.39	0.70	0.57	1.58	4.59	1.04	0.28	3.10	1.13	1.55	0.45	12
2mメッシュ	-1.31	0.24	-0.10	1.21	-2.36	0.07	0.06	-0.75	3.32	-0.08	-0.91	2.11	0.12	1.52	0.44	12

表-5 樹林形態区分(樹木本数)

項目	手法	サンプル	単層林		複層林	
			高密度	低密度	高密度	低密度
樹木本数	自動抽出	ブロック	B、D、F、I、J、L	A、C、E、G	H、I、J、L	Kブロック



図-10 樹高マップに基づく樹頂抽出図(2mメッシュの例)

検証では、ブロック毎に求めた平均樹冠高を台帳補正值から求めたブロック毎の平均樹高と比較した。また、樹林形態による比較を行うために、各調査ブロックを針葉樹、広葉樹(高密度・低密度)、複層林(高密度・低密度)の5つの樹林形態に分類し、比較した(表-1)。

全ブロックの結果を単純に平均すると、1mメッシュでは1.13m、2mメッシュでは0.12m高めに計測された。標準偏差は、それぞれ、1.55、1.52と誤差の少ない計測が可能であった(表-4)。樹林形態による比較では、複層林での低木の計測が困難であることを反映し、高密度複層林で大きな値を示す傾向にあった(表-3)。

③樹木本数の抽出及び検証

樹木本数の抽出は、以下の手順により行った。まず、樹高マップ(a)と樹高マップのMaximumフィルタ処理後画像(b)を比較し、a=bであれば1を返し、a<bであれば0を返す(消去する)という処理を行った。次に、画素値「1」の画素を抽出し樹頂とし、画像数をカウントし、樹木本数とした(図-10)。

検証では、1mメッシュ及び2mメッシュ毎に、上述の結果と台帳に記載される本数と比較した。また、樹林形態による比較を行うために、各調査ブロックを単層林(高密度・低密度)、複層林(高密度・低密度)の4つの樹林形態に分類し、比較検討を行った(表-5)。なお、ここで、樹高の場合と樹林形態の分類がこ

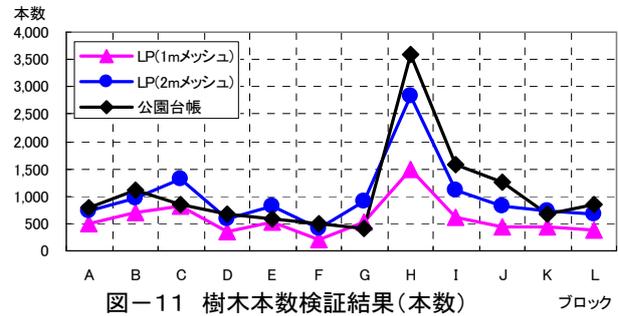


図-11 樹木本数検証結果(本数) ブロック

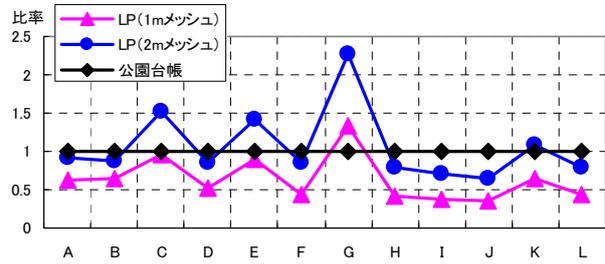


図-12 樹木本数検証結果(比率) ブロック

となるのは、本数の抽出においては、針葉樹と広葉樹の樹形の違いは問題とされないと考えたからである。

比較の結果、2mメッシュは、台帳値に比較的近い値を示したが、1mメッシュは、少なめに算出された(図-11)。台帳の本数を1として、ブロック毎で比較すると、2mメッシュは0.64~2.28、1mメッシュは0.36~1.34と、2mメッシュは、ブロック毎にばらつきが大きかった(図-12、表-6)。

樹林形態による比較では、メッシュサイズに関わらず、C、E、G、Kブロック等樹木密度の低いところでは高めに、樹木密度が高い複層林のH、I、J、Lブロックでは過小抽出する傾向が認められた。(図-12、表-5、表-6)。

[今後の課題]

IKONOS画像と航空機LPを用いた樹木本数及び樹高の計測は、一定の傾向の誤差があることが確認された。抽出精度を向上させるためには、樹林形態毎に誤差の傾向が異なるため、Maximumフィルタ処理において、樹木密度や平均樹冠径に応じて窓領域サイズを変化させるなどの手法改良や現地調査地点等サンプル数を増やした検討が必要であると考えられる。

表-6 樹木本数抽出の結果

使用データ	検証データ	全樹木	樹林形態別(抽出率)				特徴
			単層林		複層林		
			高密度	低密度	高密度	低密度	
LP1m	台帳補正の 毎木データA ~L	抽出率36~134%	44~64%	62~134%	36~44%	64%	・樹木密度の高い(平均樹冠径の小さい)樹林で過小抽出する傾向
LP2m		抽出率64~228%	85~87%	92~228%	64~79%	109%	・樹木密度の高い(平均樹冠径の小さい)樹林で過小抽出する傾向