

## 北京市市街地緑被調査手法とPM2.5減衰効果の考察

○佐藤 充\*1

キーワード：GIS RS（リモートセンシング） 緑被 大気汚染

### 1. はじめに

地球温暖化の原因は大気中に存在する温室効果ガス（二酸化炭素、メタン、N<sub>2</sub>O）の増加による気温上昇とされ、1992年2月リオデジャネイロ地球サミットで155カ国が条約に調印し1990年代末までに1990年初期の温室ガス濃度レベルまで低減させることを目標に設定され、その後、1997年締約国会議（COP3）が京都議定書として2012年目標を設定、2009年コペンハーゲンでCOP15が開催され2050年に全世界の温室効果ガスを50%削減、先進国は80%削減の目標が設定されている。このように、地球温暖化抑制対策は温室効果ガスとりわけ二酸化炭素削減が主流となり、京都議定書17条で二酸化炭素排出権取引が制度化されている。

表1に示される各国の森林率を考慮すれば二酸化炭素排出大国となる米国、中国やインドにおいては緑地全般を捉えた二酸化炭素吸収方策が重要と考えられる。都市に存在する緑地は都市計画法や都市緑地保全法に基づく緑被率調査で面積、樹種等を経年的に把握されている事例が多い。

緑被率調査の課題として、①人力による現地調査を伴うため大規模面積調査においては調査費用が高額になること。②土地利用変化が激しい大都市においては最新の緑被率データを随時整備する必要があるが、安価で迅速な調査手法がほとんど存在しない。といった課題があり、本研究では衛星データを利用するリモートセンシング技術とGIS技術を活用する簡易な調査手法として提案を行う。

表1. 各国の森林率

国名	陸地面積 (10,000km <sup>2</sup> )	森林面積(10,000km <sup>2</sup> )				森林率			
		1990	2000	2005	2010	1990	2000	2005	2010
中国	943	157	177	193	207	16.7%	18.8%	20.5%	21.9%
日本	36	25	25	25	25	69.3%	69.1%	69.3%	69.4%
インド	297	64	65	68	69	21.5%	21.9%	22.9%	23.2%
フランス	55	15	15	16	16	27.3%	27.3%	29.1%	29.1%
ドイツ	35	11	11	11	11	31.5%	31.5%	31.5%	31.5%
イタリア	29	8	8	9	9	27.2%	27.2%	30.6%	30.6%
英国	24	3	3	3	3	10.7%	11.5%	12.0%	12.0%
カナダ	909	310	310	310	310	34.1%	34.1%	34.1%	34.1%
米国	916	296	300	302	304	32.3%	32.7%	33.0%	33.2%
オーストラリア	768	155	155	154	149	20.2%	20.2%	20.0%	19.4%
ブラジル	833	575	546	531	520	69.1%	65.6%	63.8%	62.5%
世界総面積	13,011	4,168	4,085	4,061	4,033	32.0%	31.4%	31.2%	31.0%

出典：FAO（Food & Agriculture Organization of UN）

### 2. 研究概要及び分析手法（システム構成）

#### 2.1. 前提条件

##### （1）システム構築の基礎指標の選択

植生二酸化炭素吸収量算定の対象となる指標として植

物の光合成生産量NPPを選択し、本システム構築は対象地域における植物の光合成生産量（純一次生産NPP: Net Primary Production）を迅速かつ効率的に算定するモデル構築を行うものとする。

##### （2）システムの構成要素

①リモートセンシング技術による植生（一団の植物群）の抽出

光学系衛星データを使用し、赤波長（R）と近赤外波長（NIR）の反射強度を組み合わせて得られる下記の代表的な植生指標である正規化植生指標NDVI（Normalized Difference Vegetation Index）を利用し対象地域の植生を抽出する。

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

NDVIは、一年中の植生の生育期間において、その値も変化している。春から夏の生育期間には、葉の成長に伴い、赤の光をより強く吸収し、近赤外の光はより強く反射するようになり、NDVI値はだんだん増加する。逆に、生育末期になると、葉は緑色から黄色に変わり、赤の反射は強くなり、近赤外の反射は弱くなるため、NDVI値は著しく下がる。また、異なる種類の植生は、そのNDVI値、および、時系列変化パターンもそれぞれ異なる。NDVIの季節変化は植生のフェノロジーを反映しており、この情報を活用することによって、より精度の高い植生分類が可能になると考えられる。本システムは、植生領域抽出は植物の活性度や農作物の作付け時期等を勘案し、多時期の光学リモートセンシングデータを使用する。なお、植生抽出の精度を向上させるために、衛星のパンクロ画像の空間情報とマルチスペクトル画像のスペクトル情報を融合して生成したパンシャープン画像を利用する。

GISエンジンにはNDVIを自動作成する機能が備わっており簡単に対象地域のNDVIを取得することができ、-1～+1の範囲が植生領域を表している。

##### ②植物高さの推定

植生の分類は植物の高さに着目し分類を行う。

植物高さの推定方法は、数値地形モデル（DTM: Digital Terrain Model）及び数値表面モデル（DSM: Digital Surface Model）を使用し、両モデル間の標高差Δhを算出することにより、効率的に植物群の高さを得ることが可能となる。本システムでは以下の3分類とする。

草地は植物高1m以下、農地農作物は植物高1～3m以下、

樹林地は樹高 3m 以上

### ③植生二酸化炭素吸収シミュレーション

#### 1) 基準図面の設定 (基準図面縮尺の設定)

対象地域の種類および面積規模により都市レベルは 1:10,000 以上、地域レベルは 1:2,500~1:5,000、敷地レベルは 1:1,000 を基準縮尺と設定する。

表 2. 日本国土地院「公共測量作業規定」図面縮尺別誤差規定

図面縮尺	平面位置の標準偏差	標高点の標準偏差	一般的な用途
1:1,000	0.7m以内	0.33m以内	大規模開発実施設計図
1:2,500	1.75m以内	0.66m以内	都市計画図
1:5,000	3.50m以内	1.66m以内	同上
1:10,000	7.0m以内	3.33m以内	同上

#### 2) 調査手法の比較

人力による現地調査方法は 500 万円/km<sup>2</sup> と高額となり、航空測量は 30 万円/km<sup>2</sup> となる。

一方、衛星データは高分解能の場合で 2,100 円/km<sup>2</sup>、中分解能 (日本国 ALOS (だいち) 衛星) の場合は 10 円/km<sup>2</sup> と極めて安価に必要なデータ入手が可能となる。

中分解能の ALOS (だいち) 衛星データは中国国家測絵研究院「日本地球観測衛星 ALOS 映像試験概況」によれば、水平精度の標準偏差は 5.0m と検証され樹冠 5m 以下の植生判読が可能となるため、大面積をローコストで分析する利用方法に適する。

したがって、本研究では中分解能衛星 ALOS を利用する緑被率抽出方法を構築する。

一団の大規模開発敷地に該当する図面縮尺 1:2,500 以下は人工衛星データ利用が精度不足となるため航空測量データの利用となる。

表 3. 衛星データの分解能と各種調査単価

衛星名	パンクロ分解能 (m)	カラー分解能 (m)	単価 (円/km <sup>2</sup> )	分解能区分
Geoeye-1 (米)	0.41	1.65	2,100	高分解能
IKONOS (米)	0.82	3.28	2,100	同上
ALOS (日)	2.5	10	10	中分解能
航空測量	分解能 0.1m		300,000	カラー撮影
流木調査	実測		5,000,000	林野庁歩掛

### 3) 植生二酸化炭素の吸収量原単位

植生二酸化炭素吸収量 NPP 算定の吸収量原単位は独立行政法人環境再生保全機構「大気浄化植樹マニュアル 2005 年」を採用する。

表 4. 植生分類別二酸化炭素吸収量原単位

植生区分	NPP (t/ha/年)
田・特殊田	11
普通畑	12
牧草地	8
針葉樹林 (人工林)	14
針葉樹林 (自然林)	11
常緑広葉樹	20
落葉広葉樹	9
草地	8

### 4) 植生二酸化炭素吸収量算定モデルのフローチャート

中分解能衛星 ALOS データを利用し、  
 ・植生領域抽出  
 衛星データの NDVI から対象都市の植生領域を抽出する。  
 NDVI から植生領域を抽出する際に、既存資料を基に明確な非植生領域と考えられる屋上緑化が想定出来ない建築物、道路路面、河川を除外する。

\*屋上緑化が想定出来ない建築物とは、屋根面積 100m<sup>2</sup> 以下と設定。

#### ・一団の植生分類

対象都市の植生領域から一団性、連続性のある植生領域をグルーピングする。

#### ・植生高さの分類

衛星データを基に DTM と DSM を作成し高さの差分から植生の高さを求め、草地は植物高 1m 以下、農地農作物は植物高 1~3m 以下、樹林地は樹高 3m 以上に分類する。

#### ・植生別緑被面積

植生高さ分類を基に植生別 (草地、農地農作物、樹林地) 緑被面積を算出する。

#### ・植生別緑被面積

植生高さ分類を基に植生別 (草地、農地農作物、樹林地) 緑被面積を算出する。

#### ・二酸化炭素吸収量

種類別緑被面積を基に吸収源単位を乗じて対象植生の二酸化炭素吸収量を算出する。

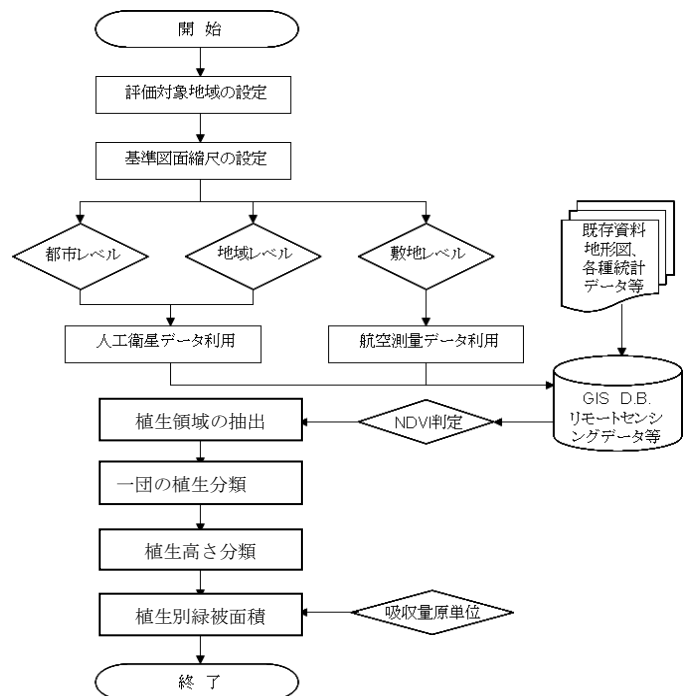


図 1. 植生二酸化炭素吸収量算定モデルのフローチャート

3. 植生二酸化炭素吸収量算定モデルのケーススタディ

3.1. 北京市中心市街地（中心8区）における植生二酸化炭素吸収量算定

(1) 対象都市の概要

北京市は北緯 41°（秋田市と同緯度）に位置し中華人民共和国の首都である。

- 面積：16,410.54km<sup>2</sup> と日本の四国の面積 18,806.36km<sup>2</sup> に近い広大な市域面積となるが、山地面積が市域面積の約 62%を占める 10,417.5km<sup>2</sup>となっている。
- 行政区分：14 区、2 県で構成されており、中心市街地（中心 8 区）の面積は 1,378km<sup>2</sup>と市域面積の約 8%となる。2010年7月1日に崇文区と宣武区は東城区と西城区と新設合併したが本研究では旧 8 区分のデータを使用する。
- 都市構造：5つの環状道路で構成され、第 2 環状線以内が旧市街地、第 3 環状線以内が中心市街地、第 4 環状線周辺が新市街地、工業地という土地利用になっている。
- 人口：北京市では経済成長が続き出稼ぎ労働者などの流動人口によって人口増加が続き 2012 年 12 月全市人口は 2,069 万人。中国国務院は 2002 年に北京市将来人口ガイドライン（2020 年までに人口 1800 万人に制限）を公表しているが実情はガイドライン人口を大きく上回り、北京市 12 次 5 年計画（2011 年～2015 年）に人口抑制策を盛り込むとともに加熱する不動産投資を規制するために 2011 年 2 月 16 日に「住宅ローン規制」を実施した。

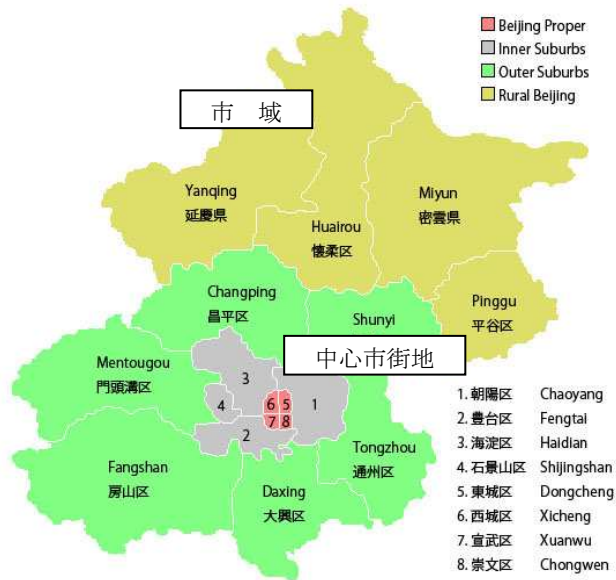


図 2. 北京市市域図



図 3. 北京市中心市街地

(2) 調査データ作成方法及び時期

北京市の特徴は、内陸性亜寒帯冬季少雨気候に属し降水量が少なく夏季は比較的高温となるため、中解像度衛星 ALOS のアーカイブデータ撮影時期から 2010 年 3 月（発芽前）と 8 月（繁茂期）を採用し植生抽出精度の向上を図る。

3.2. 北京市中心市街地における植生二酸化炭素吸収量算定

(1) 植生二酸化炭素吸収量原単位の設定

「表 4. 二酸化炭素吸収量原単位」を基に、北京市の植生状況を国家農業研究院及び林業研究院に聞き取り調査を行い以下に二酸化炭素吸収量を設定する。

- 農地：普通畑（12t/ha/年）を採用する。
- 樹林地：気候区分から針葉樹林地（自然林：11t/ha/年）を採用。

(2) 植生二酸化炭素年間吸収量の試算

北京市中心市街地（中心 8 区）における

- 植生面積：28,124ha
  - 緑被率：20.4%
  - 二酸化炭素吸収量：312,365 トン/年
- と試算される。

2011 年度緑被率調査データ東京 23 区 22%、大阪市 7% となり

北京市中心市街地における緑被率は東京 23 区とほぼ同様な水準にあることがわかる。

中分解能衛星 ALOS は水平誤差 5m のため一団の樹木や街路樹等連

続性がある水平投影 5m 以上の植生は抽出可能となり、図 4 現況写真の施設内植生等が抽出でき都市内における様々な植生面積を算定することができる。

さらに費用面での優位性（現地調査方法 500 万円/km<sup>2</sup>、航空撮影 30 万円/km<sup>2</sup>、ALOS データ 10 円/km<sup>2</sup>）は中分解能衛星利用が優れる。

表 5. 中心 8 区における植生二酸化炭素吸収量算定

区分		草地	農地	樹林	合計
朝陽区	緑地面積 (ha)	117	1,428	5,391	6,936
	Co2吸収量 (t)	936	17,137	59,297	77,369
	区域面積 (ha)	46,350			
	緑地率 (%)	0.3%	3.1%	11.6%	15.0%
豊台区	緑地面積 (ha)	99	810	2,295	3,204
	Co2吸収量 (t)	790	9,723	25,243	35,756
	区域面積 (ha)	30,529			
	緑地率 (%)	0.3%	2.7%	7.5%	10.5%
海淀区	緑地面積 (ha)	58	2,912	6,927	9,897
	Co2吸収量 (t)	463	34,949	76,192	111,605
	区域面積 (ha)	43,312			
	緑地率 (%)	0.1%	6.7%	16.0%	22.9%
石景山区	緑地面積 (ha)	299	313	3,255	3,867
	Co2吸収量 (t)	2,393	3,752	35,805	41,950
	区域面積 (ha)	8,397			
	緑地率 (%)	3.6%	3.7%	38.8%	46.0%
東城区	緑地面積 (ha)	58	0	888	946
	Co2吸収量 (t)	461	0	9,767	10,228
	区域面積 (ha)	2,541			
	緑地率 (%)	2.3%	0.0%	34.9%	37.2%
西城区	緑地面積 (ha)	76	0	1,355	1,430
	Co2吸収量 (t)	606	0	14,903	15,508
	区域面積 (ha)	3,151			
	緑地率 (%)	2.4%	0.0%	43.0%	45.4%
宣武区	緑地面積 (ha)	49	0	988	1,036
	Co2吸収量 (t)	389	0	10,863	11,252
	区域面積 (ha)	1,903			
	緑地率 (%)	2.6%	0.0%	51.9%	54.5%
崇文区	緑地面積 (ha)	65	0	743	808
	Co2吸収量 (t)	524	0	8,173	8,697
	区域面積 (ha)	1,652			
	緑地率 (%)	4.0%	0.0%	45.0%	48.9%
区部緑地面積計	ha	820	5,463	21,840	28,124
区域面積	ha	137,835			
	緑地率 (%)	0.6%	4.0%	15.8%	20.4%
Co2吸収量計	t	6,562	65,561	240,242	312,365
吸収量構成比	%	2.1%	21.0%	76.9%	100.0%



図 4. 中関村地区施設内植生、街路樹、大きな独立樹

### 3. まとめ

本研究は RS 及び GIS 技術を利用することで簡便、迅速かつ安価に都市緑地を抽出する技術方法を構築し、現地調査や航空測量に比較し圧倒的に安価で緑被率を把握することが可能となる。

また、現地調査や航空測量に比較し精度は劣るが都市レベルを対象とする調査手法としては有効な技術手法と考えられる。

とくに RS 及び GIS 技術を利用し中分解能衛星データから自動的に植生を抽出する方法はマシンオンデマンド方式のため初期設定を適正に実施すれば水平投影 5m 以上の一団かつ連続性のある植生を抽出可能となるため都市緑

地を経年的に把握する最適な方法といえる。

北京市は M2.5 発生源を隣接の天津・河北省から越境汚染 25%、自動車排ガス 22%、石炭燃焼 17%、粉塵 16%、工業噴射 15%、農村等 5%との調査結果を公表、2013 年 1 月～10 月の PM2.5 発生状況を見ると冬季暖房期間以外でも高濃度な発生を呈しており、特に幹線道路調査地点が高い濃度を示していることから有鉛ガソリンや低品質ディーゼル燃料の改善が望まれる。

### 参考文献：

- 1) 国連気候変動リオデジャネイロ会議報告書 1992 年
- 2) 京都議定書 1997 年
- 3) 京都議定書改訂作業部会報告書 (AWG-KP) 2002 年
- 4) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 「1996 年改訂版温室効果ガスの排出・吸収に関する国家目録作成のためのガイドライン」
- 5) 国土地理院、測量作業規定
- 6) 国土地理院、高分解能衛星画像を利用した地図作成に関する研究報告書 2010 年 3 月
- 7) 特定行政法人国立環境研究所、日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2009 年 4 月
- 8) 独法環境再生保全機構「大気浄化植樹マニュアル」2005 年
- 9) 三宅「植物生産力に基づく緑地の大気浄化機能評価」1990 年
- 10) 中国国家測絵研究院「ALOS データ精度検証報告書」2008 年
- 11) Chen Panqin, Huang Yao, Yu Guirui. Carbon cycle of earth system [M]. Beijing: Science Press, 2004:277.
- 12) Vitt DH, Halsey LA, Bauer IE, et al. Spatial and temporal trends of carbon sequestration in peatlands of continental western Canada through the Holocene [J]. Canadian journal of earth science. 2000, 37: 683-693.
- 13) Foody G M, Palubinskas G. Identifying Terrestrial Carbon Sinks: Classification of Successional Stages in Regenerating Tropical Forest from Landsat TM Data [J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 55: 2052216.
- 14) Bolin B. Changes of Land Biota and Their Importance for the Carbon Cycle[J]. Science, 1977, 196: 6132615.
- 15) 日本リモートセンシング研究会編：改訂版 図解リモートセンシング
- 16) 栗屋善雄・露木聡・田中邦宏、1998. 高地上分解能衛星データの効用と問題点. 森林計画学会誌, 31
- 17) 伊藤史彦・喜多晃平・長澤良太・日野彰彦・浅井樹・中島尚子、2007. 相観植生図作成における ALOS 画像の利用可能性. 景観生態学, 11,

\*1 パスコチャイナ董事長、中国測絵地理情報学会理事