

# リモートセンシングデータを用いた都市の3次元モデルの構築

## 3D City Modeling Using Remote Sensing Data

山 岸 陽 介\*・グオ タオ\*\*・安 岡 善 文\*\*  
Yosuke YAMAGISHI, Tao GUO and Yoshifumi YASUOKA

### 1. はじめに

環境や災害の問題は、人間が持続可能な発展を続ける上で、最重要課題の一つである。そのため、自然環境に関する研究が数多く行われてきた。しかし、人間の活動領域の多くは、都市域に集中しており、その環境は我々の生活に、直接的かつ重要な影響を及ぼす。そこで、近年、都市気候解析や交通ナビゲーション、景観計画など、シミュレーションにより都市の環境や災害を予測、評価する研究が開始された。これらのシミュレーション研究では、その基盤データとしてさまざまな分野に応用可能な、都市の3次元モデルが必要とされる。

都市の3次元モデルに関する研究は数多く行われているが、このような研究の多くは、航空写真を用いて行われてきた。HaalaとBrenner(1999)はマルチスペクトル画像とレーザー高度計データを用い、建築物、樹木、草地を抽出し、さらにレーザーデータと2次元の土地利用情報から建築物の3次元化を行った<sup>1)</sup>。しかし、技術の発達に伴い、高解像度衛星画像を用いて、地物を特定することが可能になってきている。Guo Tao(2003)は、高解像度衛星画像と航空機搭載型レーザー扫描仪(ALS)データを用いて、都市の3次元モデルを構築した<sup>2)</sup>。

都市の3次元モデルの多くは、建築物のモデル化に焦点を当てている。しかし、植生も建築物同様、都市環境において重要な役割を担っており、精度の高いシミュレーションを行うためには、樹木などの植生も含めた3次元モデルの構築が必要となる。本研究では、都市環境を、都市の3次元モデルを通じて、より実際に表現するために、高解像度衛星画像とALSデータを用いて、都市域の樹木を抽出し、3次元樹木成長モデルと統合することにより都市域の樹木の3次元モデル化を行った。

### 2. データ概要

本研究で使用したデータについて表1に示す。また、対

表1 データ概要

	IKONOS	ALS
撮影日時	2001.11.4	2000.2.23
解像度	マルチスペクトル:4m/pixel パンクロ:1m/pixel	—
精度	—	±15cm(垂直)



図1 IKONOS パンクロマティック画像

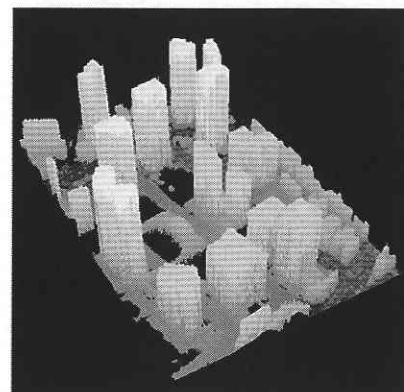


図2 ALSデータによるDSM

\*東京大学大学院 工学系研究科

\*\*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

象地域の IKONOS 画像, ALS による Digital Surface Model (DSM) をそれぞれ図 1, 図 2 に示す。

本研究においては, 対象地域を新宿区とした。この地域においては, 高層ビルなどの構造物をはじめ, 樹木など, 都市を構成する要素となるものが多く含まれている。

### 3. 手 法

本研究では, まずリモートセンシングデータから正規化植生指数 (NDVI) を算出し, NDVI の高い画素を樹木として抽出した。つぎに樹木の位置を検出し, さらに 3 次元樹木成長モデルを用いて都市域における樹木の 3 次元モデル化を行った。

樹木位置を検出するために, 本研究では樹木について, 次のような仮定を行った。

- ① 樹木の位置は, 樹木を真上から見たときの中心である。
- ② NDVI の値は, 樹木の中心に近づくほど大きくなる。この仮定は, 図 3 に示すように, 本研究で用いた画像において, NDVI が樹木の中心に近づくほど大きくなっていったことに基づいている。
- ③ 真上から見た樹木は円形に近似できる。

#### 3.1 樹木位置の検出

樹木位置検出のフローを図 4 に示す。

まず, 植生地域と非植生地域を分けるために, NDVI を算出した。一般に, 都市環境において, NDVI の値は, 植生地域では大きく, 道路や建築物などの構造物においては小さい。裸地ではその中間の値を示す。したがって, NDVI 値が大きいエリアを植生地域とした。

次に, ALS による高さのデータに閾値を設定し, 植生地域にマスクをかけた。このプロセスによって抽出された地域, すなわち, NDVI が高く, 高さが高い地域が, 樹木が存在している地域となる (図 5-b)。

こうして抽出された樹木エリアから, 個々の樹木位置の検出を行った。まず, 樹木位置は, 樹木を真上から見たときの中心にあるという仮定に基づき, 樹木エリアの中心線を求めた。図 5-b を骨格化することで, 中心線が得られた (図 5-c)。中心線上の各ピクセルに NDVI の値を与え, 仮定②に基づき Local Maximum Filter<sup>3,4)</sup> を適用し, 樹木位置を検出した (図 5-d)。

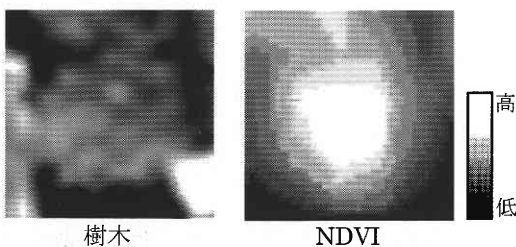


図 3 樹木の NDVI の状態

#### 3.2 樹木の 3 次元化

樹木の 3 次元化のフローを図 6 に示す。まず, natFX と 3 次元モデリングソフトウェアを用いて, 樹木の 3 次元モデルを作成した。natFX は AMAP (Atelier of Modeling of Architecture of Plants) を基に開発された樹木成長シミュレーションモデルであり, 樹齢・季節を指定し, 様々な種類

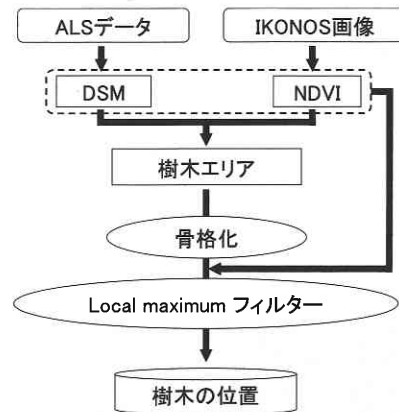


図 4 樹木位置検出フロー

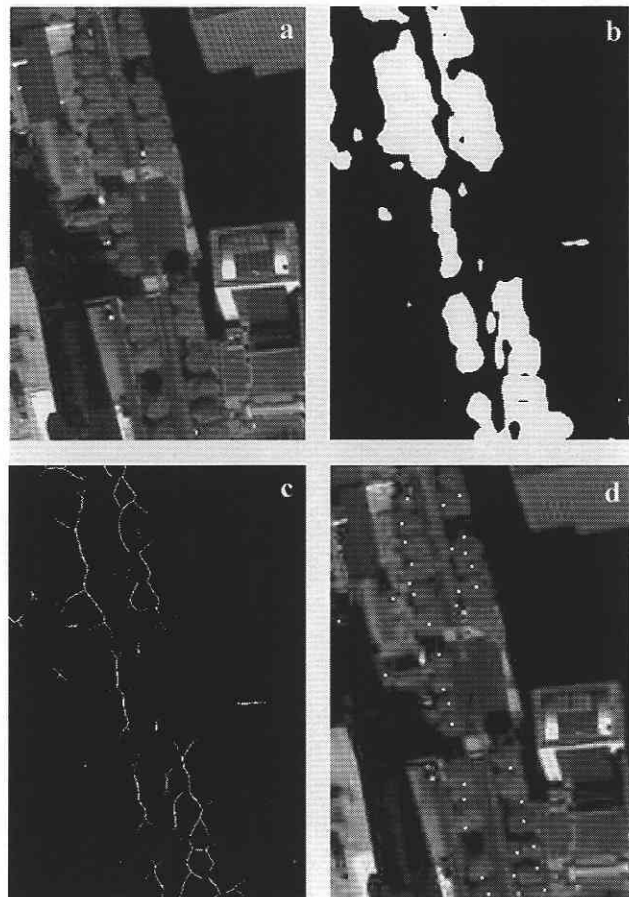


図 5 a : IKONOS パンクロマティック画像, b : 抽出された樹木エリア, c : 樹木エリアの骨格線, d : 検出された樹木位置 (白点)

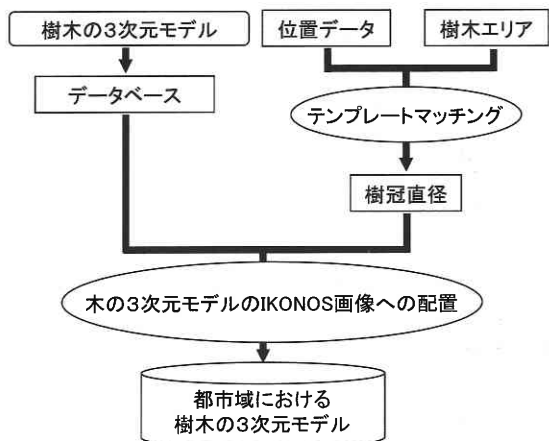


図6 樹木の3次元化のフロー

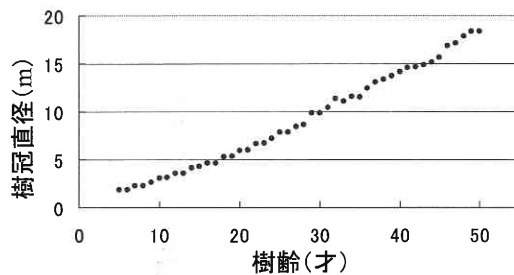
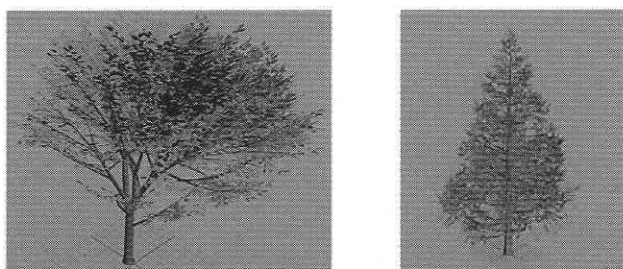


図8 ケヤキの樹冠直径と樹齢の関係



ケヤキ イチョウ

図7 生成された樹木の3次元モデル

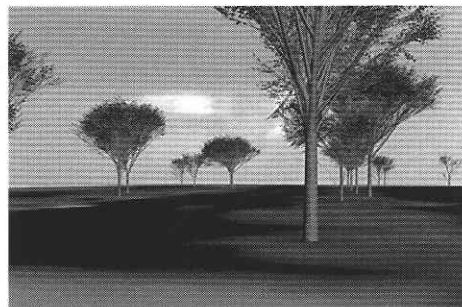


図9-a IKONOS 画像上に配置された3次元樹木モデル (eye level view)



図9-b IKONOS 画像上に配置された3次元樹木モデル (perspective view)

の植物の3次元モデルを生成することができる(図7)。

次に、仮定③に基づき、テンプレートマッチングを用いて、検出された樹木の樹冠直径を推定した。

得られた樹冠直径から、樹齢を推定するために、樹木の成長シミュレーションを行ったところ、図8のような関係が得られた。この関係を用いることで、リモートセンシングデータから樹齢を推定することができる。

さらに、樹木の3次元モデルを、検出された位置に配置した。このとき、使用した樹種のデータは、街路樹については、東京都建設局が発行している、道路緑化台帳を用いた。その他の樹木に関しては、現地調査で得られたデータを用いた。図9は、IKONOS 画像上に樹木の3次元モデルを配置したものである。3次元モデルであるため、視点を自由に変えることができる。

#### 4. お わ り に

本研究においては、高解像度衛星画像と ALS データを用いて樹木位置を検出し、さらに、3次元樹木成長モデルを用いて都市域における樹木を3次元モデル化する手法を構築した。

今後の課題として、以下の3項目が挙げられる。まず樹木位置の検出精度の向上である。街路樹のように、樹木が一定の間隔で植えられている場所においては、ある程度の精度が得られたが、公園などの樹木が密集している場所においては、精度はかなり低くなっていた。つぎに、樹木モデルのデータ圧縮である。現在のモデルでは樹木のデータ量が非常に大きくなっており、現実の都市に適用するには計算機の容量などに問題が生ずる。このデータサイズを如何に圧縮するかということが課題である。

さらに、本研究では建築物の3次元モデルとの融合に至

らなかったが、既存の都市の3次元モデルとの融合も重要な課題である。

(2004年3月11日受理)

#### 参 考 文 献

- 1) Haala, N and Brenner C., 1999. Extraction of building and trees in urban environments, *ISPRS Journal of Photography & Remote Sensing*
- 2) Guo, T., 2003. 3D City Modeling Using High-Resolution Satellite Image and Airborne Laser Scanning Data, Doctoral Thesis of the University of Tokyo.
- 3) Dralle, K. and Rudemo, M., Stem number estimation by kernel smoothing of aerial photos. *Can. J. For. Res.* 26: 1288-1236
- 4) Wulder, M., Niemann, K. O. and Goodenough D. G., 2000. Local Maximum Filtering for the Extraction of Tree Locations and Basal Area from High Spatial Resolution Imagery, *Remote Sensing of Environment*, 73: 103-114