

# 衛星データを用いた都市化の定量評価に関する研究

日大生産工（院） 森脇 隆一 日大生産工（院） 小林 麻里子  
日大生産工 工藤 勝輝 日大生産工 岩下 圭之

## 1. はじめに

都市化の及ぼす影響効果として、その周辺の生態系や経済に与えるファクタは非常に大きい。そのため、都市化を定量的に把握し、適切な都市計画を立てることは必要不可欠である<sup>1)</sup>。これら広範囲にわたる都市化を定量的に評価する手法として衛星データの有効利用が以前より提唱されてきた。この衛星リモートセンシング技術を活用した都市域の評価手法は、新しい都市計画のための基礎資料としてだけでなく、都市環境の整備や維持・管理の面でも役立つことが予想される。しかしながら、都市化を定量的に評価するためには、より正確な地被物の分類抽出が不可欠であり、また、一口に衛星データから都市域を抽出するといっても、「都市」の定義によって評価の尺度が変化することからそれに応じて様々な手法が用いられている。

これまでの衛星データから都市域を分類抽出する方法として、土地被覆分類解析や都市化指標（Normalized Differential Building Index：NDBI）<sup>2)</sup>を利用してオートマチックに都市域を抽出する方法があるが、ことさら「都市域における1画素」に含まれる情報には、純粋な人工構造物に植生や土壌が混合していることもあるため、ひとくくりに優先地被物を抽出してしまうことで『誤判読』情報と片付けられることもある。

本研究では、ハイパースペクトル測定の室内実験において「都市部におけるミックス・スペクトルパターン」をシミュレーションし、ピュアピクセルからミクセルまでの閾値を考察するとともにLandsat/TM データから都市域をより正確に判読できる手法『NDBI』の改良構築へのアプローチを行った。最終的には、多時期の衛星データから導出される演算データによる宅地を含めた経年的な都市化の定量評価を目的とした。

## 2. 研究対象地域

本研究では県内でも人口推移の著しい千葉市と市原市を研究対象地域とした。（Fig.1 および Fig.2）

千葉市は1921年に市制が施行され、周辺町村との合併を行い、1992年には政令指定都市に移行した。千葉市は中心市街地、幕張新都心、蘇我臨海



Fig.1 研究対象地域:千葉市



Fig.2 研究対象地域:市原市

地地区開発の3地区を都市構造の拠点としている。また、千葉市は県内交通の要衝であり、主要鉄道としては総武線、京葉線が走っており、1988年には千葉都市モノレールが開業した。道路網としては国道16号、国道357号、東関東自動車道が走っており、東京の都心部と繋がっている国道14号や京葉道路等が通学・通勤を始めとする交通環境を良くしている。

市原市は1963年に市原、五井、姉崎、市津及び三和の5町合併により市制が施行された。県の中央部に位置し、北は東京湾に面しており、南は房総丘陵に連なる山間部で、市を南北に貫くように養老川が流れている。東京湾側の臨海部は昭和32年より埋め立て造成が行われ、日本有数の石油化学工業地帯である京葉工業地帯が展開している。中・南部は農業地帯であり、ゴルフ場も数多く点在している。

主要鉄道としては、内房線、小湊鉄道が走っており、道路網としては館山自動車道、国道297号が通っている。

### 3. 都市域の抽出

Zha et al<sup>3)</sup>は、Landsat/TM データを利用し、0を境界値として正值と負値とで2値化した『都市化指標：NDBI (Normalized Differential Building Index)』と『植生指標：NDVI』との差分から都市域(BA: Built-up Area)を抽出する方法を提案している。

$$BA : \text{Built-up Area} = NDBI - NDVI$$

しかし、この手法は都市域をひとくくりに抽出してしまうため、ミクセルによる影響評価が把握できない。しかしながら、都市域の算出方法はスペクトルレスポンスを利用した指標を用いるため、非常にシンプルであるというメリットも有している。

本研究では、NDBIとNDVIとの差分について着目し、コンクリート、アスファルト、葉、土壌の混合率を変化させたときの可視域から中間赤外域までのLandsat/TMと同期した波長帯におけるスペクトルパターンについて分析した。さらに、複数のラジオメトリックを施したLandsat/TMデータを用いて、地表面反射率から算出したNDBIとNDVIとの差分値によってミクセル状態となっている都市部の閾値について評価した。

### 4. 地被物へのハイパースペクトル

#### 4-1. 予備実験

Field Spec:350nm-2500nm (ASD社製)を利用し、ハロゲンランプを光源とした室内実験においてスペクトルパターンの理論検証を行った。コンクリートとアスファルトを都市域と見立て、葉と土壌

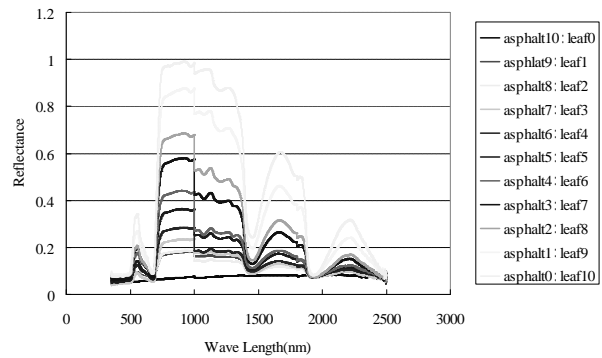


Fig. 3 スペクトルパターンの比較 (アスファルト+葉)

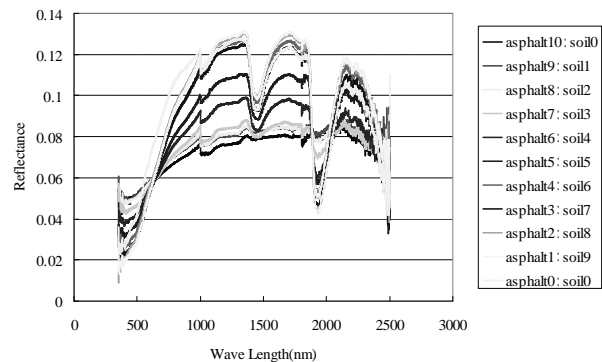


Fig. 4 スペクトルパターンの比較 (アスファルト+土壌)

の混合率を故意に変化させてスペクトル測定を行った。混合率は、Field Specの瞬間視野面積の78.5cm<sup>2</sup>(視野角25°、高さ22.5cm)に対する面積比として、それぞれの占有面積を10%ずつ変化させることにした。

#### 4-2. ハイパースペクトルの検証

スペクトル検証実験の結果の一部をFig. 3からFig. 6に示す。Fig. 3はアスファルトと葉、Fig. 4はアスファルトと土壌、Fig. 5はコンクリートと葉、Fig. 6はコンクリートと土壌の混合率を変化させた場合のスペクトルパターンである。それぞれの結果は、同一条件のもと実験を3回繰り返したときの平均値である。全てのデータからNDBIおよびNDVIを算出し、それらの差(BA: Built-up Area)を求めると、BAが正值を示した場合90%以上の確率で人工構造物である可能性が強く、また、BAが負値を示した場合は、その負値が大きくなるにつれてミックスパターン人工構造物から純粋に植生域である可能性があることがわかった。(Table 1)「コンクリートまたはアスファルト」と「土壌」の混合状態については、BAの値は0を中心として正負共に微小で限りなく0に近く±0.1以下のオーダーであることがわかった。

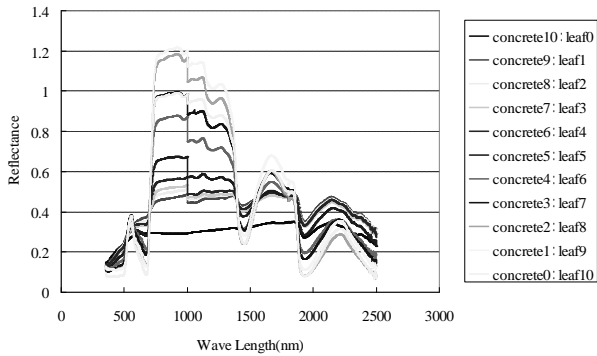


Fig. 5 スペクトルパターンの比較  
(コンクリート+葉)

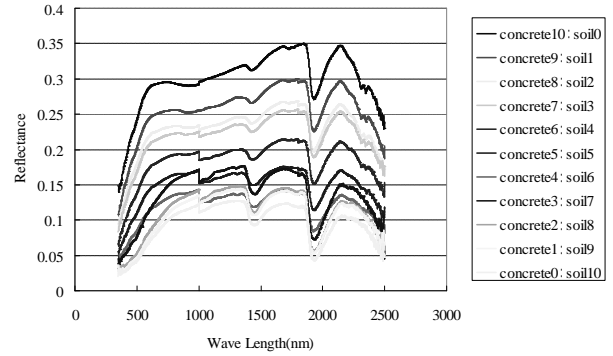


Fig. 6 スペクトルパターンの比較  
(コンクリート+土壌)

## 6. 都市化評価のための画像解析 (NDBI ベース)

衛星データについては、1987年7月24日、1997年7月3日、2004年6月4日観測のLandsat/TMデータ(Path-107 Row-35およびPath-107 Row-36)を利用し、前処理として国土地理院発行の数値地図およびDEMデータを利用したオルソ幾何補正ならびに、6scodeを利用した大気補正を施した。この前処理済みのLandsat/TMの地表面反射率データからNDBIとNDVIを算出し、BA評価画像を作成した。(Fig. 7およびFig. 8)

本研究ではスペクトル実験の結果より都市域の閾値を-0.25と定めた。

### 6-1. 千葉市

千葉市においては1987年から1997年にかけては千葉都心および蘇我副都心周辺をベッドタウンの中心として、千葉市の主要鉄道の総武線・京葉線、東京の都心部と繋がっている国道357号線沿いに都市域が拡大しているのが判読できる。また、千葉市は1997年までにかけて臨海地域の蘇我副都心を中心とした都市化はほぼ完了していることが判読できる。

若葉区、緑区は千葉市の都市計画より『東千葉近郊緑地保全区域』と定められ、植生域が残っており、千葉市の他の地域に比べ、都市化は大きく進んではないことがわかる。

### 6-2. 市原市

市原市は西部の臨海地区及び五井地区および姉崎地区、東部の市原地区・八幡地区を中心とした都市化を計画しており、これらの地域の都市化を衛星画像から判読する事ができる。対して、南部は、都市計画区域外であることと市原市都市計画により『水と緑のやすらぎ軸』として、植生域を保全・活用しており、大きな都市化が進んでいない事がわかる。

Table 1 各混合率のBA値

	NDVI	NDBI	Built-up
asphalt	0.0643	0.0779	0.0136
concrete	-0.0008	0.0772	0.0780
leaf	0.7928	-0.2694	-1.0622
soil	0.1414	0.0481	-0.0932
asphalt9:leaf1	0.4300	-0.1455	-0.5756
asphalt8:leaf2	0.4666	-0.2152	-0.6818
asphalt7:leaf3	0.5953	-0.2878	-0.8830
asphalt6:leaf4	0.5615	-0.3413	-0.9028
asphalt5:leaf5	0.6593	-0.3660	-1.0253
asphalt4:leaf6	0.6550	-0.4155	-1.0704
asphalt3:leaf7	0.7347	-0.3930	-1.1277
asphalt2:leaf8	0.7447	-0.3919	-1.1366
asphalt1:leaf9	0.7733	-0.3336	-1.1069
asphalt9:soil1	0.0718	0.0763	0.0045
asphalt8:soil2	0.0793	0.0751	-0.0042
asphalt7:soil3	0.0977	0.0772	-0.0205
asphalt6:soil4	0.1219	0.1017	-0.0202
asphalt5:soil5	0.1462	0.1286	-0.0176
asphalt4:soil6	0.1714	0.1421	-0.0293
asphalt3:soil7	0.1841	0.1301	-0.0540
asphalt2:soil8	0.1864	0.1247	-0.0617
asphalt1:soil9	0.1933	0.1337	-0.0597
concrete9:leaf1	0.1094	0.0210	-0.0884
concrete8:leaf2	0.1651	-0.0114	-0.1765
concrete7:leaf3	0.2135	-0.0425	-0.2559
concrete6:leaf4	0.2414	-0.0680	-0.3094
concrete5:leaf5	0.3961	-0.1520	-0.5481
concrete4:leaf6	0.5745	-0.2479	-0.8225
concrete3:leaf7	0.6520	-0.2756	-0.9276
concrete2:leaf8	0.7642	-0.3516	-1.1159
concrete1:leaf9	0.7752	-0.3092	-1.0844
concrete9:soil1	0.0083	0.0726	0.0643
concrete8:soil2	0.0139	0.0636	0.0497
concrete7:soil3	0.0186	0.0629	0.0443
concrete6:soil4	0.0297	0.0457	0.0160
concrete5:soil5	0.0435	0.0230	-0.0205
concrete4:soil6	0.0584	0.0112	-0.0472
concrete3:soil7	0.1024	0.0317	-0.0707
concrete2:soil8	0.1326	0.0526	-0.0800
concrete1:soil9	0.1440	0.0703	-0.0737

## 6. おわりに

本研究より以下の知見を得た。

- 1) コンクリートと葉の混合を宅地とその周辺の緑化と仮定すれば，BA が約0.25 以下であればピクセルの半分以上が植生と混合している状態であり，アスファルトと葉の混合を道路と街路樹と仮定すれば，BA が約0.50 以下であればピクセルの半分以上が植生と混合している状態であると考えられる。
- 2) 千葉市は千葉新都心・蘇我副都心を中心に，開発が進んでおり，これらの地域は1987年にはほぼ都市化が完了している。また，市原市に関しては，京葉工業地帯である臨海地域を中心に都市化が進み，1997年には現在の都市域とほぼ同じ形状となっている。
- 3) 画像より，千葉市と市原市の都市化を比較すると千葉市は湾岸域から内陸にかけて都市化が進んでおり，対する市原市は臨海地域を中心とした都市化が進んできた。千葉市については，典型的な政令指定都市の開発パターンで工業と商業が共に開発が進行してきたことに対し，市原市は従来より工業に大きく依存している都市であることから臨海地区に開発は集中してきた。
- 4) Table 2 より，千葉市，市原市共に1987年から1997年にかけて約30km<sup>2</sup>都市域が増加していると判読されているが，これは1988年の千葉都市モノレールの開業，また1989年の幕張メッセの開業の影響で市中心部ならびに海浜臨海新都心埋立地が大きく開発されたことによるものである。また，市原市においては，1995年に館山自動車道が開通し，臨海地区への物流の利便性の向上により同域の開発に拍車がかかったが，内陸部においても京成線がちはら台駅まで開通したことにより，これに伴い周辺宅地と商業地区がポイント的に開発された様子が判読できる。
- 5) 衛星データの広域観測性を利用することにより，今後『環境を考慮した都市化』の立案のための有効な資料になりうると考えられる。
- 6) 今後の課題として，さらに正確な都市域抽出のために，追加的な混合オプションとして針葉樹/広葉樹などの樹種の違い，また，コンクリート・アスファルト・宅地屋根・土壌・植物等を再混合したケースなど，実際のパターンに近づくように混合パターンを変化させた実験を行う必要性がある。

参考文献：

- 1) 尾島俊雄：リモートセンシングシリーズ 都市，朝倉書店，1980.11.
- 2) Remote Sensing Change Detection, Ross S. Lunetta, 1998
- 3) ZHA, Y., GAO, J., NI, S., 2003, . Use of normalized difference built up index in automatically mapping urban areas from TM imagery, International Journal of Remote Sensing, 24 (3) 583-594

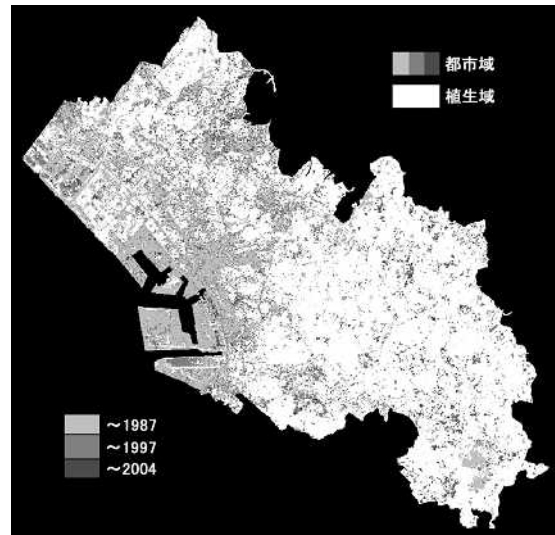


Fig. 7 BA 抽出画像:千葉市

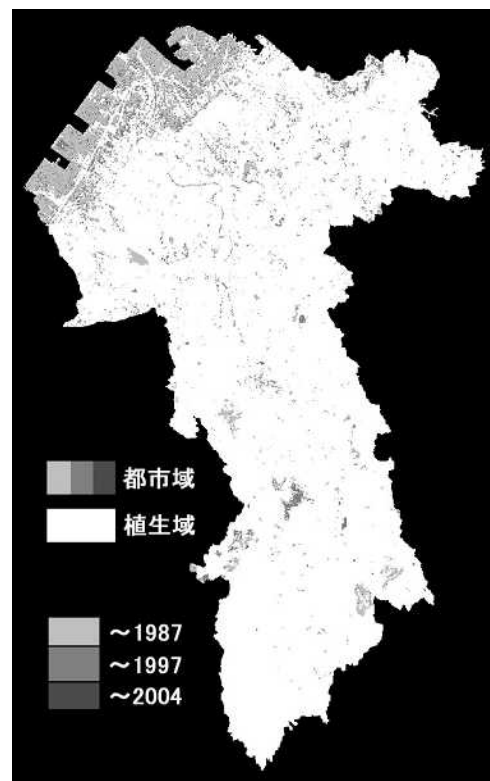


Fig. 8 BA 抽出画像:市原市

Table 2 Built-up Area の検証

	千葉市	市原市
市全体面積(km <sup>2</sup> )	272.08	368.20
1987 都市域(km <sup>2</sup> )	166.71	106.91
1997 都市域(km <sup>2</sup> )	199.42	144.81
2004都市域(km <sup>2</sup> )	214.21	170.03