

# 観測時期の異なる地球観測衛星データを用いた不透水面率の推定

熊谷樹一郎, 植松恒

## Estimation of Impervious Surface Fraction Using Multi-temporal Satellite Data

Kiichiro KUMAGAI and Hitoshi UEMATSU

**Abstract:** Currently, it is required to investigate impervious surface area distribution for the analysis of the city environmental problems such as heat island effect, etc. In this study, we estimated impervious surface fraction from remotely sensed data observed in 1984 and 2000 using spectral mixture analysis. We compared the results of impervious surface fraction from multi-temporal satellite data and discussed the applicability of the analysis results.

**Keywords:** 混合スペクトル分析(spectral mixture analysis), 不透水面(impervious surface area), 地球観測衛星データ(remotely sensed data), MNF法(minimum noise fraction transformation)

### 1. はじめに

現在, ヒートアイランド現象や都市型洪水などの都市環境問題が注目されている。これらの現象は長期間にわたった都市化にともなうコンクリートやアスファルトなどの不透水面の増加と深く結びついていると指摘されており(環境省, 2004), 現象を調査・分析するための基礎データとして, 不透水面の分布状況を広域的に把握することが望まれる。

長期的・広範囲に不透水面を推定する方法として, 地球観測衛星データ(以降, 衛星データと呼ぶ)を用いた試みがある。一般に使われる手法として最尤法などを用いた土地被覆分類が挙げられる。これ

---

熊谷 : 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8

摂南大学 工学部 都市環境システム工学科

TEL & FAX : 072-839-9122

E-mail : kumagai@civ.setsunan.ac.jp

らの方法では, 画素ごとに土地被覆項目が割り当てられ, 原単位法によって不透水面が推定されるが, 土地被覆が混在する画素において誤分類が起こる可能性が指摘されている。一方, 画素内の土地被覆を分析する方法として, 衛星データを混合スペクトル分析に適用することで, 画素ごとの不透水面の占有率を推定した不透水面率推定法がある(Wu・Murray, 2003)。筆者らは, この推定法が土地被覆・土地利用の混在した地域で適用された例が見られないことに着目し, 日本国内での適用性を検討してきた(熊谷・伊勢木・植松, 2008)。

これまでの研究では, 広域的に不透水面の分布状況の把握を試みてきたが, 不透水面は長期間にわたって累積したものであり, 不透水面分布の現状を把握することに加え, その推移を調査することが必要である。そこで本研究では, 観測時期の異なる

1984 年と 2000 年の衛星データに混合スペクトル分析を適用し、2 時期で推定した不透水面率を検証するとともに、得られた結果から不透水面率の変化した箇所の把握を試みた。

## 2. 対象領域と対象データ

本研究では、広範囲にわたる不透水面の分布状況を把握するため、対象領域として大阪府全域を選定した。対象領域は土地利用データなどが長期間にわたり整備されており、2 時期での比較の検証に適した地域である。対象データには、大阪府を含む約 185km 四方を 1 シーンとして同時に観測できることから、Landsat TM データ（1984 年 9 月 6 日観測）、Landsat ETM+ データ（2000 年 8 月 25 日観測）を採用した。また、後の処理に備え、MODTRAN に基づいた大気補正処理を実施し、DN 値を反射率に変換した後、幾何補正を行っている。加えて本研究では、Landsat TM データ、Landsat ETM+ データを幾何補正した際に生じた位置誤差の影響を除くために、注目する画素を中心とする周辺 3 画素 × 3 画素の値を平均化している。

## 3. 不透水面率推定法の導入

### 3. 1 混合スペクトル分析を用いた不透水面率の推定について

衛星などのイメージセンサから都市域を観測すると、1 画素内に複数の土地被覆が混在する。混在した土地被覆状態を分析する手法として、画素内の反射率を構成する代表的な要素の面積占有率を推定するアプローチがあり、混合スペクトル分析と呼ばれている。ここでは、ある構成要素が 1 画素内に一様に敷き詰められた際の反射率をエンドメンバーとしている。混合スペクトル分析では、衛星データのあるバンド  $b$  での反射率  $R_b$  はこの画素を構成する各要素のエンドメンバー  $R_{ib}$  とその面積占有率  $F_i$  を掛け合わせ総和によって表現できる。

$$R_b = \sum_{i=1}^N R_{ib} F_i + e_b \quad (1)$$

ここで、 $N$  は構成要素の数、 $e_b$  は残差を表す。ただ

し、式(1)は式(2)の制約条件を持つ。

$$\sum_{i=1}^N F_i = 1, \quad 0 \leq F_i \leq 1, \quad (2)$$

Wu・Murray(2003) は、反射率の構成要素を植生面・土壤面・ハイアルベド面・ローアルベド面の 4 つとし、混合スペクトル分析を適用することで個々の面積占有率を算出している。ハイアルベド面はコンクリート構造物表面、ローアルベド面はアスファルト舗装面を想定していることから、この 2 面の占有率の総和を求めて不透水面率を推定している。本研究では、式(1)で定義される混合スペクトル分析を最小 2 乗法の考え方を用いて実施した。

### 3. 2 エンドメンバーの選定

混合スペクトル分析を用いて不透水面率を算出するには、各構成要素のエンドメンバーを選定する必要がある。本研究では、MNF(Minimum Noise Fraction) 法の適用により得た散布図を参考に、各エンドメンバーの分光反射特性を考慮して選定した。MNF 法とは、信号ノイズ比を最小にするように新しい成分を選ぶことで、画像の質の高い順に新成分を出力する方法である(Green et al., 1988)。具体的には Landsat TM データ、Landsat ETM+ データに MNF 法を適用し、信号とノイズ成分に分離させるとともに、上位の信号成分を用いて各衛星データにつき、3 種類の散布図を作成した。作成した散布図の例を図-1 に示す。これまでの研究成果では、各散布図は三角形分布に近い形を形成し、三角形の頂点付近は植生面・土壤面・ハイアルベド面・ローアルベド面

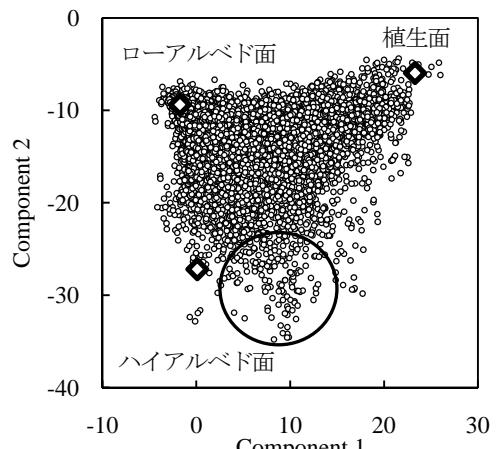


図-1 MNF 法より得た散布図

のエンドメンバーを示すことがわかっている。本研究では、作成した散布図を基に、構成される三角形でなるべく多くの点群を含むものをエンドメンバーの候補点とし、既往の研究成果と候補点の分光反射特性を比較することでエンドメンバーを決定している。図-1の散布図では、植生面・ハイアルベド面・ローハルベド面を選定できるが、本研究で設定した領域では、グラウンドなどの裸地を示す土地被覆がハイアルベド面に影響していることを確認した。そこで、図-1中の円で囲まれたグラウンドの土地被覆を示す点群を考慮し、ハイアルベド面のエンドメンバーを選定している。

### 3. 3 不透水面率の算出

準備したエンドメンバーのバンドごとの反射率を混合スペクトル分析に適用し、それぞれの構成要素の面積占有率を算出した。算出したハイアルベド面とローハルベド面の面積占有率の総和をもって不透水面率(以降、衛星不透水面率と呼ぶ)を算出した。

## 4. 結果と考察

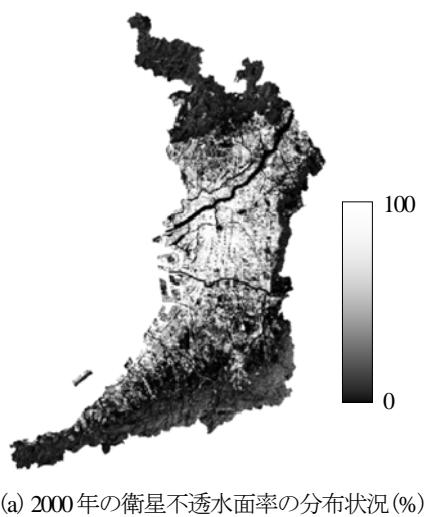
### 4. 1 推定精度の検証

衛星不透水面率の推定精度を検証するために、テストエリアとして土地被覆が混在する寝屋川市高宮町を含む地域( $3\text{km} \times 3\text{km}$ )を選定した。テストエリアの QuickBird データ(空間分解能  $0.6\text{m} \times 0.6\text{m}$ )を目視判読することで作成した検証用不透水面率と 2000 年の衛星不透水面率との RMS 誤差を算出することで、不透水面率推定法の精度を検証した。その結果、RMS 誤差 12.3%を得た。目視判読には 10% 程度の誤差を有する可能性が指摘されている(Wu・Murray, 2003)ことや、対象範囲は広範囲であることを考慮すると、得られた不透水面率推定法は妥当な精度を有していることが示唆された。図-2 に対象領域における 2 時期の衛星不透水面率の分布状況を示す。図-2 (a), (b) 共に都市域で高い値を示し、山岳部などで低い値を示していることがわかる。

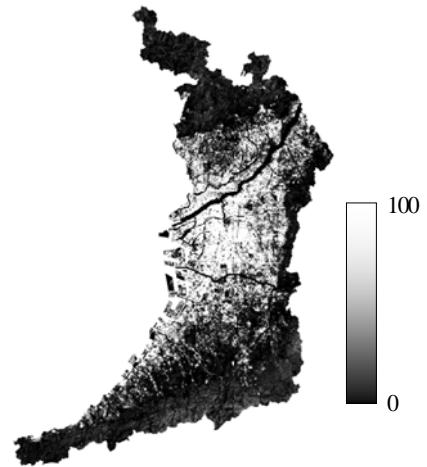
### 4. 2 2 時期の不透水面率の比較

#### 4. 2. 1 2 時期での不透水面率の検証

土地利用の変化が比較的穏やかだと考えられる大阪府の中心部を含む地域で、数値地図 5000(土地利



(a) 2000 年の衛星不透水面率の分布状況(%)



(b) 1984 年の衛星不透水面率の分布状況(%)

図-2 対象領域における衛星不透水面率の分布状況

用)と細密数値情報(10m メッシュ土地利用)の土地利用分類項目の大分類を用いて検証を行った。2 時期の土地利用別の衛星不透水面率を算出し、各々を比較することで、異なる観測時期での不透水面率推定法の適用可能性を検討した。その結果を図-3 に示す。図-3 は各土地利用別の衛星不透水面率の平均値、標準偏差を表している。2 時期を比較すると、衛星不透水面率の平均値では  $0 \sim 16\%$ 、標準偏差では  $3 \sim 16\%$  の違いが見られた。特に、季節変化などの影響が土地被覆状態に表れやすい「山林・農地等」や「造成地」、さまざまな土地利用形態が含まれる「公共公益施設用地」では 2 時期の差の大きくなる傾向がある。その一方で、各項目間での平均値の大小は 2 時期間でほぼ同様のパターンを示すとともに、土地利用状態に比較的バラつきの少ない「宅地」に

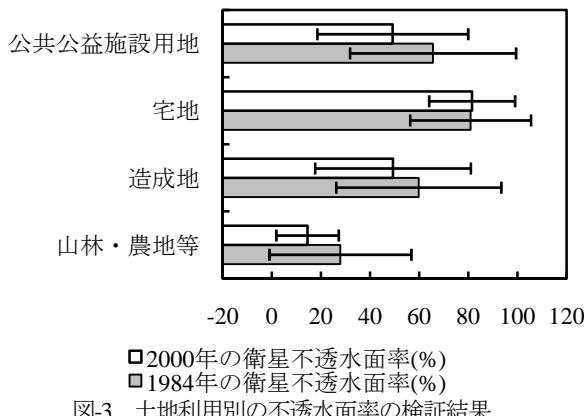


図3 土地利用別の不透水面率の検証結果

においては、平均値 1%，標準偏差 7%程度の差となっている。不透水面率は主に「宅地」の土地利用で議論されることが多いことから、本研究では 2 時期での比較を実施することとした。

#### 4. 2. 2 不透水面率変化箇所の把握

1984 年、2000 年の衛星不透水面率を用いて、不透水面率の変化箇所の把握を試みた。具体的には、2 時期の衛星不透水面率の差を算出し、閾値を用いて不透水面率の変化箇所を把握した。本研究では 1984 年の推定結果の誤差が 2000 年の RMS 誤差 12.3% と同程度と仮定し、衛星不透水面率の差分に含まれる誤差の最大値を 24.6% とした上で、閾値として+24.6%，-24.6%を採用した。

ここでは、不透水面率の高く変化した箇所が広く分布する地域を把握した。具体的には、不透水面率が閾値以上の平均値 41.5%以上増加した箇所で、一般に大規模開発と区分される面積 20ha 以上の地域を抽出した。抽出結果を図4 に示す。同時に土地利用上で、自然的な土地利用項目から人工的な土地利用項目へ変化した 20ha 以上の箇所を抽出し、比較した。対象領域では衛星不透水面率、土地利用とともに不透水面率が増加したとされる箇所がそれぞれ 30 箇所、41 箇所抽出された。抽出結果が重複する地域は 14 箇所で、それぞれ半数以上の相違箇所があった。そこで、土地利用項目を用いて相違箇所の傾向を確認した。詳細については発表時に譲るが、植栽を含む透水面を維持しやすい「道路用地」に変化した箇所は、自然的な土地利用から人工的な土地利用に変化しながらも衛星不透水面率には大きな変化として表れてないケースが多く見受けられた。一

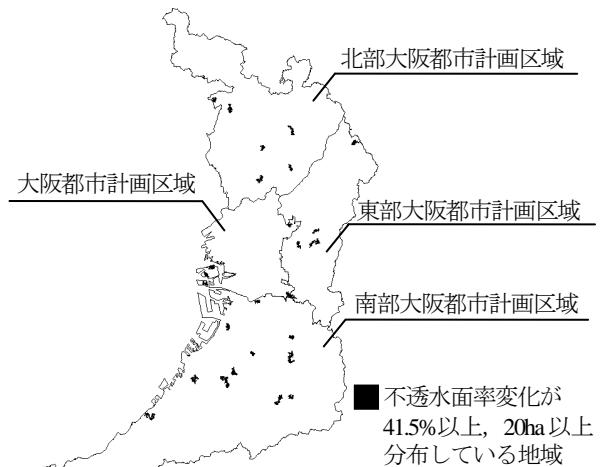


図4 増加箇所の分布状況

方で、「工業用地」から「商業・業務用地」へ変化するなど、人工的な土地利用項目間で変化した箇所において、衛星不透水面率のみが増加する傾向が顕著であることを把握できた。

#### 5. おわりに

本研究では、混合スペクトル分析を用いた不透水面率推定法に観測時期の異なる 2 時期の衛星データを適用した。その結果、土地利用分類項目の変遷では判別できない不透水面率の変化を把握できる可能性が示唆された。

#### 【参考文献】

- 環境省 ヒートアイランド対策関係府省連絡会議 (2004), ヒートアイランド対策大綱, 18.
- 熊谷樹一郎, 伊勢木祥男, 植松恒 (2008) 混合スペクトル分析を用いた広域的な不透水面率推定法の適用性について、「平成 20 年度土木学会関西支部年次学術講演概要集(第IV部門)」, IV-85.
- Green, A.A., Berman, M., Switzer, P., and Craig, M.D. (1988) A transform for ordering multispectral date in terms of image quality with implications for noise removal, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 26, 1, 65-74.
- Wu , Changshan. , Murray , A.T.(2003) Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis, Remote Sensing of Environment, 84, 4, 493-505.