地球資源衛星データを用いた緑地環境分析

An Analysis on Vegetation Cover by using LANDSAT Data

村 井 俊 治*
建 石 隆太郎*
河 崎 和 明**

by *Shunji Murai, Ryutaro Tateishi and
Kazuaki Kawasaki*

Abstract: The study deals with two types of mathematical models for estimation of vegetation cover in Tokyo Districts from LANDSAT MSS digital data. Two types of models, multi-regression model and parametric model were applied to the test area with ground surveyed data of vegetation cover collected in 1973 by the Ministry of Construction and geographically corrected LANDSAT MSS digital data, taken on 26th Nov. 1972. Multi-regression model is based on the average data in the unit area of so called "500 meters mesh", while parametric model is based on each of pixels in the unit area.

From the results of the study, accuracies of the estimation for these two model were not remarkably different. Vegetation cover could be well estimated with the accuracy of 0.87 in multi-correlation coefficient, and $\pm 15\%$ in standard deviation.

和文梗概

本研究は、地球資源衛星 (LANDSAT) の MSS デジタルデータから、首都圏の緑地比率を推定することが可能か否かを研究したものである。本研究では、昭和48年に建設省が行った緑地現況調査で得られた500メートルメッシュの緑地比率データと、昭和47年11月26日にとられた LANDSAT データを用いて、2種類の数字モデルにより、緑地比率を推定した。これら数字モデルは500メートルメッシュの中に属す LANDSAT データの平均値を用いた重回帰モデルと、500メートルメッシュ内に属すデータの1点1点を用

いた画素毎に判定するモデルの2つを用いた。数多くの異なる説明変量の組み合わせによる分析の結果、最良推定の精度は、上記2つのモデルともに大差はなく、重相関係数で0.87、標準偏差で約 $\pm 15\%$ の推定が可能であった。また緑地比率の定義を、スペクトル特性の観点から行う方が実態とあっていることが指適された。

1. はじめに

都市および都市近郊の緑地環境は、都市の健全な姿を監視するための一つの指標となっている。昭和48年には、建設省が「首都50km圏緑地保存整備計画調査」を行ない、首都圏の緑地現況図および緑地環境に関する500mメッシュの数値データを作成した。この調査においては、航空写真が基礎資料として用いられ、多大の費用と作業が必要とされた。

*東京大学生産技術研究所

**建設省北陸地方建設事務所

「写真測量とリモートセンシング」 Vol. 15 No. 4, 1976

本研究では、地球資源衛星（LANDSAT）の MSS デジタルデータのスペクトル特性とその広域同時性に着目して、LANDSAT データから首都圏の緑地比率を求めるための数学的モデルを作成しようとした。本研究の成果によれば、緑地比率は、LANDSAT データから実用的に十分な、高い精度で求めることが可能であることがわかった。

2. 使用データ

2.1 テスト地域

図1に示した5万分の1の地図の「八王子」および「東京西南部」をあわせた地域をテスト地域とした。東西約45km、南北約18kmである。この地域の西部は高尾および津久井の山岳部を含み、東部は品川および川崎の市街地を含み、中間部には丘陵や田畑などを含んでおり、緑地環境を検討するのに適当な内容をもっている。

2.2 緑地比率の観測データ

昭和48年の建設省による「首都 50km 圏緑地保存整備計画調査」では、表1に示されるような16項目の緑地現況区分のデータが、500m メッシュごとに数値データとして計測された。ここでいう 500m メッシュと

は5万分の1の地図（経度間隔15分、緯度間隔10分）を縦横ともに40等分して得られる長方形のメッシュで面積が約 0.25 km² ある。「八王子」および「東京西南部」の地域をあわせると3,200個の500m メッシュがあるが、一部に120個の欠落データがあるので、3,080個の緑地比率データが用いられた。データ値は%単位で0から100までの整数がある。

建設省が定義した緑地比率は、表1に示されるように16項目のうちから「市街地」、「自然破壊地」、「並木」、「その他」が除かれたものの占める面積率をいう。しかし、この緑地比率は、例えば「水部」を含んでおり、スペクトル特性から見て緑地として扱うことは妥当ではない。そこでスペクトル特性から見てより妥当な緑地比率データをつくる必要がある。本研究では表1に示した補正緑地比率データが用いられた。

補正緑地比率は、建設省の定義した緑地比率からつぎのように補正された。

- (1) 「水部」のデータを除いた。
- (2) 「緑の多い市街地」（緑被率30%以上の市街地）には少なくとも30%の緑地があるとして、この分をつけ加えた。
- (3) 「荒地」の中には緑地がないものもあるので、「荒地」の平均緑地被率が50%であると仮定して補正した。

図1 テスト地域（5万分の1地図「八王子」および「東京西南部」、左下の斜線部は緑地比率データの欠落しているところを示す）

2.3 地球資源衛星データ

本研究で利用した地球資源衛星（LANDSAT）データは、昭和47年11月26日に撮影されたものである。このデータは、本テスト地域において、452×184個の100mメッシュデータとして既に地理補正がなされている。その精度は最大誤差が約1画素、約100mである。緑地比率観測データの500mメッシュとLANDSATデータの100mメッシュとは区画が一致しないため、LANDSATデータの100mメッシュが緑地比率観測データの500mメッシュの境界にきたときは、その半分以上が属する方の500mメッシュに含まれるとした。このため緑地比率観測データの500mメッシュはLANDSATデータの100mメッシュにして、20～30個に対応する。

ここではLANDSATのMSSバンドのデジタルデータ $\mathbf{X}(x_4, x_5, x_6, x_7)$ を500mメッシュ毎に再編集して、つぎにのべるモデルに入力できるようにした。

3. 緑地比率を推定するためのモデル

3.1 重回帰式による推定

LANDSATの4バンドのデータ $\mathbf{X}$ から導かれた P 個の変数 $\mathbf{u}(u_i; i=1, P)$ 例えば x_4 それ自身あるいは x_5/x_4 などの値を500mメッシュ毎に平均値をとり500mメッシュの緑地比率データ y に対応させる。このとき、

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^P a_i u_i + \varepsilon$$

a_0 : 定数
 a_i : 偏回帰係数
 ε : 誤差

なるモデルを設定し、重回帰分析の結果から

$$\hat{y} = \hat{a}_0 + \sum_{i=1}^P \hat{a}_i u_i$$

をもって、緑地比率を推定する。

3.2 画素毎の判定による推定

画素毎の判定のモデルではまず最初にLANDSATデータ $\mathbf{X}$ から、緑地の有無を表現していると考えられる変数 u を導き出す。つぎにこの変数があるパラメータ k の値を境として、緑地であるか否かを画素毎に識別し500mメッシュの中に緑地であると判定された画素数の比率をもって緑地比率の推定量とする。このとき、 k の値を変えてみて、テスト地域における推定値

表1 緑地現況区分と緑地比率の定義
(係数を乗じた総和の面積率を緑地比率とする)

緑地現況区分 \ 緑地比率	建設省 緑地比率	本研究 補正緑地比率
1. 針葉樹林（人工）	1	1
2. 針葉樹林（天然）	1	1
3. 広葉樹林	1	1
4. 針広混交林	1	1
5. 竹林	1	1
6. 公園緑地	1	1
7. 水田	1	1
8. 畑	1	1
9. 園芸樹林	1	1
10. 緑の多い市街地	0	0.3
11. 緑の少ない市街地	0	0
12. 並木	0	0
13. 水部	1	0
14. 荒地	1	0.5
15. 自然破壊地	0	0
16. その他	0	0

と観測値との残差の2乗和を最小とするような k の値を求め、この k に対応する緑地比率を最良推定値とする。

3.3 モデルの優良性の評価基準

本研究ではモデルの優良性を統一的に評価するのに、平均2乗誤差の平方根 Z を用いた。

$$Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n}}$$

n : サンプル数

一般に重回帰分析において、そのあてはめ精度の評価に重相関係数が用いられる。同一サンプルにおいて、目的変数を変えずに、説明変数をいろいろ変えて重回帰分析を行うとき、重相関数が大きくなれば Z は小さくなり、またその逆も言える。そこで重回帰モデル内の評価基準には主として重相関数を用いて相対的な評価を行い、それ以外では Z を用いた。

図2 植物の典型的なスペクトル特性

4. 重回帰式による推定

4.1 最適な説明変数

植物は図2に示すような反射特性をもっている。地上の地物を水・植物・無機物の3つに大きく分類したとき、LANDSAT データにおいてこれらの地物は図3に示すような典型的な特徴をもつ。端的にいうと、植物のスペクトル特性のパターンは、4、5バンドから6、7バンドにかけての傾きが大きいといえる。

以上のことに注目して9種類の変数をえらび55組の異なる説明変数の組合わせに対して重回帰分析を行った。結果の良かった組だけを10組とりだし表2に示す。

これらの結果を見ると、特にすぐれた説明変数の組はなく、いずれも重相関係数が0.87以上である。もっとも重相関係数の高かった説明変数の組は $(x_7/x_4, x_5, x_6)$ であった。この場合の緑地比率の推定値を図5に、20%ごとの5段階に分けて示した。図4は緑地比率の観測値を同様に示したものである。

4.2 残差の主要原因

説明変数 $(x_7/x_4, x_5, x_6)$ の場合の推定において、残

図3 LANDSAT データの輝度レベルにおけるスペクトル特性

表2 重回帰分析において選ばれた説明変数の組

説 明 変 数	重 相 関 係 数	評 価 基 準 z
x_4, x_5, x_6, x_7	0.875	15.52*
$x_7/x_4, x_5$	0.878	
$x_7/x_4, x_5, x_6$	0.878	15.16**
$x_7/x_5, x_4, x_7$	0.875	
$x_6+x_7/x_4+x_5, x_3, x_7$	0.877	
$x_6/x_5, x_4, x_5, x_7$	0.876	
$x_7/x_5, x_4, x_5, x_7$	0.876	
$x_6+x_7/x_4+x_5, x_4, x_5, x_7$	0.877	
$x_6/x_5, x_4, x_5, x_6, x_7$	0.876	
$x_7/x_5, x_4, x_5, x_6, x_7$	0.877	

* 説明変数 (x_4, x_5, x_6, x_7) のときの重回帰式

$$\hat{y} = -3.34 \times x_4 - 5.23 \times x_5 + 3.24 \times x_6 + 6.34 \times x_7 + 83.42$$

** 説明変数 ($x_7/x_4, x_5, x_6$) のときの重回帰式

$$\hat{y} = 175.6 \times x_7/x_4 - 4.35 \times x_5 + 1.68 \times x_6 + 8.42$$

図4 緑地比率の観測値

図5 重回帰による推定値 説明変数： $x_7/x_4, x_5, x_6$

差（観測値－推定値）の絶対値が31以上のメッシュは3,080個中123個（約4％）あった。これらのメッシュについて調べてみると次のことが指摘される。

- (1) 公園、田畑、山岳部では推定値が観測値より小さい値を示す傾向がある。これは公園、田畑においては、緑がない部分があるにもかかわらず緑地比率の定義上、緑地比率の観測データに算入されているためである。山岳部においては、山の影がスペクトルデータ LANDSAT に影響を与えて、緑であるにもかかわらず、LANDSAT データでは緑として認識されなかったためである。
- (2) 自然破壊地においては、推定値が観測値より大きい値を示す傾向がある。これは自然破壊地には若干の緑があるにもかかわらず、緑地比率の定義上、緑地比率の観測データに算入されなかったためである。

建設等で定義された緑地比率はスペクトル特性的に妥当でないため、本研究では補正した緑地比率を観測データとして用いた。しかし、補正した緑地比率でも、なおスペクトル特性的に妥当でない部分があった。すなわち、植物があるにもかかわらず緑地比率に算入されていない、また逆に、植物がないにもかかわらず

らず緑地比率に算入されている。上の(1)(2)でもわかるように、残差の主要原因は、緑地比率の定義に起因している。したがって LANDSAT データから推定された緑地比率の方がむしろ緑地の現況に近い緑地比率を示しているといつてよい。図 6 は、緑地比率の観測値と推定値の比較を行うために描かれた断面図である。この図を見ると以上の説明が良くわかるであろう。

5. 画素毎の判定による推定

5.1 最適な説明変数

この推定方法においては、「3. 2」で述べたように緑地の有無を表現していると考えられる変数を選び出すことが必要である。そこで図2、図3の植物の反射特性に注目して表3に示した7種類の変数を採用した。これらの各々の変数において最良パラメータ k を求め、モデルの優良性を評価した結果、説明変数 (x_6/x_3) が最適な説明変数であることがわかった。この場合の緑地比率の推定値を図7に、20%ごとの5段階に分けて示した。

5.2 残差の主要原因

説明変数が (x_6/x_5) の場合において、残差を調べた

図6 緑地比率の観測値と推定値の断面図

表3 「画素毎の判定による推定」におけるパラメータ k の決定と評価基準 z

説明変数	パラメータ k	評価基準 z
x_6/x_4	0.94	20.05
x_7/x_4	0.45	18.13
x_6/x_5	1.14	15.36
x_7/x_5	0.57	16.12
$x_6 + x_7/x_4 + x_5$	0.76	16.66
$x_4 + x_5 - x_6 - x_7/x_4 + x_5 + x_6 + x_7$	0.14	16.75
u	-0.1	16.58

ここで u は説明変数 (x_4, x_5, x_6, x_7) による緑地比率の重回帰推定式である。

$$u = -3.34 \times x_4 - 5.23 \times x_5 + 3.24 \times x_6 + 6.34 \times x_7 + 83.42$$

図7 画素毎の判定による推定値 説明変数： x_6/x_5

が、大きな残差の内容は、重回帰式による推定の場合と同じ傾向を示した。その大部分は、緑地比率の観測データが正しく植物の有無を示していないことに起因する。

6. 「重回帰式による推定」と「画素毎の判定」による推定との比較

つぎに「重回帰」方式と「画素毎の判定」方式との特徴や相違を考察してみよう。

- (1) 「重回帰」方式では、LANDSAT データを500 m メッシュの緑地比率の観測データに対応させるために、500mメッシュ内の平均値を用いている。これに対し、「画素毎の判定」方式では、画素(100 mメッシュデータ)ごとに緑地か否かを判定している。
- (2) 「重回帰」方式では説明変数を観測データのメッシュに対応させる必要があるため、より解像力の高いリモート・センシング・データが得られてもそれを生かしきれない。この点、「画素毎の判定」方式では、リモート・センシング・データの解像力に応じて精度を上げることができる。
- (3) 両方式による推定精度はほぼ同等である。また

大きい残差の傾向も同じで、原因は緑地比率の定義による。

7. まとめ

- (1) LANDSAT データから求められた緑地比率は、緑地の現況をきわめてよく表現している。
- (2) 従来の緑地比率の定義を再考する必要がある。リモートセンシングデータの有効利用をはかる上で、スペクトル特性から緑地を定義することを提言したい。すなわち、本研究によれば、放射輝度レベルで近赤外バンド (MSS 6) が赤バンド (MSS 5) より大となる点 (LANDSAT の CCT データでは $x_6/x_5 > 1.14$ なる点) を緑地と認めてよい。これは植物の有するクロロフィルの赤バンドにおける吸収と近赤外バンドにおける反射の特性からも十分合理性をもっていると考えられる。すなわち、CCT データ x を輝度レベルに変換したとき、赤外バンド (MSS 6) と赤バンド (MSS 5) の比は、 $1.76 x_6/2.00 x_5$ で与えられ、この比が 1 になるときの CCT データの比は
- $$x_6/x_5 = 2.00/1.76 = 1.14$$
- となり、最良パラメータ k の値と一致する。結局、輝度レベルで、MSS 5 と MSS 6 で正の勾配を有するとき緑地であると考えて妥当である。

(3) 本研究では、季節による影響を考慮しなかったが、植物にクロロフィルの多く含まれている夏には精度が高く、逆に冬には精度が低くなることは

容易に想像できる。季節ごとの LANDSAT データが入手できれば、緑地比率を推定する上で最適な季節が決定できるだろう。