ランドサット TM データによる土地被覆変化の抽出に関する研究

EXTRACTION OF LAND COVERING CHANGES BY LANDSAT TM DATA

斉藤 郁雄*, 朴 明 浩**, 石原 修***

Ikuro SAITO, Minghao PIAO and Osamu ISHIHARA

When a secular change of land covering is examined by using remote sensing data, a degree of solar radiation in the observation day and a difference in the growth conditions of the plant cause a trouble. In this paper, the method of getting rid of the influence that occurs by the difference in the weather condition is proposed, and a secular change of NVI(Normalized Vegetation Index) is examined. Furthermore, the new index NUI (Normalized Urban Index) to distinguish green covering and non-green covering without influences of solar radiation and the growth conditions of the plant is proposed. Secular changes in land covering of Kumamoto City is made clear by using NUI.

Keywords: Land covering distribution, Secular changes, Landsat TM data, Normalized vegetation index, Normalized urban index

土地被覆分布, 経年変化, ランドサットTMデータ, NVI, NUI

1. はじめに

人工衛星ランドサットに搭載されたTM (Thematic Mapper) センサは可視3バンドの他に近赤外1、中赤外2、遠赤外1バンドを観測しており、解像度も28.5m (遠赤外のみ120m)と比較的高いため、これまで都市域のさまざまな環境解析に用いられてきた^{1)~5)}。また、TMセンサは1982年7月に打ち上げられたランドサット4号以降、現在使用されている7号(センサはETM+)まで約20年に亘るデータの蓄積があるため、都市環境の長期モニタリングの一手法として今後も様々な分野での活用が可能であると考えられる。

従来、リモートセンシングデータを用いて土地被覆の変化を求めする方法としては、NVI (Normalized Vegetation Index) などを用いて各年度のスペクトルを直接比較する方法^{6) 7)}や年度毎に土地被覆分類を行い、その結果を比較する方法⁸⁾などが提案されている。しかし、土地被覆変化を求める場合、以下の2つの問題点があり、解析精度の面で十分な結果が得られるとは限らない⁹⁾。

①観測日によって放射照度が異なる。

②観測日、特に季節によって緑の生育具合が異なる。

本研究は、リモートセンシングデータを用いて都市域における土地被覆変化を継続的に長期に亘ってモニタリングすることを前提としており、特に土地開発や都市緑化等に伴う緑被変化を客観的・定量的に抽出する方法の確立を目的としている。

本報告では、まずデータ数の確保のしやすさについて検討するためにランドサットTMデータの観測状況について調べている(第2章)。次に、気象条件の違いによって生じる放射照度等の影響の除去方法について提案する(第3章)とともに、正規化植生指標NVIによる経年変化抽出の問題点について検討している(第4章)。また、放射照度や緑の生育具合の影響を除去した上で、緑被と非緑被を判別するための新しい指標NUI (Normalized Urban Index)を提案し、土地開発などに伴う土地被覆変化の抽出の可能性について検討している(第5章)。

2. 土地被覆変化抽出のためのデータ数確保の可能性について

人工衛星ランドサットは地球を16日周期で周回している。従って、同じ地域の観測回数は年間20回程度である。図-1は1984年から1998年の約15年間に観測された4地域(九州:パス112, ロウ37, 236 シーン, 関東:パス107, ロウ35, 272 シーン, 北海道:パス107, ロウ30, 272 シーン, 関西:パス110, ロウ36, 246 シーン)における雲量別の観測頻度である。各地域とも観測時の雲量が0である頻度は5%以下であり、雲量2まで含めても全体の1割を超える程度である。解析対象エリアの大きさにもよるが、使用可能な観測データは年間に数シーンであることが分かる。

* 八代工業高等専門学校土木建築工学科 教授・博士(工学)

** 熊本大学大学院自然科学研究科 大学院生

*** 熊本大学工学部環境システム工学科 教授・工博

Prof., Dept. of Civil Eng. and Architecture, Yatsushiro National College of Technology, Dr. Eng.
Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University
Prof., Dept. of Architecture and Civil Eng., Fac. of Eng. Kumamoto University, Dr. Eng.

土地被覆の経年変化を抽出するためには季節に伴う緑の生育状況が同じであることが望ましい。図-2は観測時の雲量が2以下の場合を月別に集計した結果であるが、各地域とも夏場の雲量が大きく、雲の無い画像が得やすいのは3月から4月であることが分かる。従って土地被覆変化を定期的に継続して調べたい場合、3月から4月を中心に収集する方がデータ数が確保しやすいと考えられる。

3. 気象条件に伴う放射照度等の影響の除去

3.1 観測年度に伴うヒストグラムの変化

表-1に、本章で利用したTMデータの観測概要と観測日の気象条件を示す。季節の違いによる緑の生育状況の違いの影響を小さくするために4月の終わりから5月の始めにかけてのデータを使用している。ただし、各年度の画像データは、相対的な比較を容易にするために、1985年の画像座標に合わせて幾何補正を行っている。

図-3は各バンドのヒストグラムを年度別に比較したものである。各バンドとも年度により分布傾向が異なっている。従来、このような異なる年度の画像データから土地被覆変化を求める場合、各年度毎に土地被覆分類等を行いその比較を行うことが多かった。しかし、土地被覆分類に用いる教師データは各年度の放射照度や緑の生育状況の違いに伴ってシーン毎に抽出・解析する必要があり、年度に伴う土地被覆変化を客観的・定量的に評価することは困難であった。

3.2 リモートセンシングにより観測される放射輝度

リモートセンシング観測においてセンサーに入射する電磁波（遠赤外域を除く）のエネルギー L は、一般に次式で与えられる。

$$L = \tau E \rho + R \quad (1)$$

ただし、 L ：センサーに入射する分光放射輝度
 τ ：反射光の大気中における透過率
 E ：地表面における分光放射照度
 ρ ：地表面の分光反射率
 R ：パスラディアン

ここで、大気の透過率 τ 、分光放射照度 E 、パスラディアン R が等しければ同一被覆物の放射輝度 L は等しいと考えられる。特に、水面や人工被覆物の表面反射率 ρ は季節や年度に伴う変化が小さく、 L の変化は主に分光放射照度 E 等の気象条件の違いが反映されるも

図-1 雲量別の観測頻度

図-2 月別の観測頻度（雲量2以下）

表-1 TMデータの観測概要及び観測日の気象条件

観測年	1985年	1987年	1989年	1990年
観測月日	5月2日	5月8日	4月27日	5月16日
観測時刻	10:17	10:17	10:17	10:17
日平均気温 (°C)	20.5	18.5	18.1	20.8
日平均雲量 (1/10)	0.0	1.0	0.8	9.5
降水量 (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0
日照時間 (h)	11.3	12.2	11.0	5.5
06時-18時天気	晴れ	晴れ	快晴	晴後曇

図-3 各年度のヒストグラムの比較

のと考えられる。一方、緑の反射率 ρ は生育状況によって変化する。

水面および人工被覆物のように表面反射率 ρ が季節や年度に伴って変化しないと考えた場合、シーンaとシーンbで観測される放射輝度 L_a および L_b は次式で表される。

$$\begin{cases} L_a = \tau_a E_a \rho + R_a \\ L_b = \tau_b E_b \rho + R_b \end{cases} \quad (2)$$

ただし、 τ_a, τ_b : シーンa, b 観測時の大気の透過率
 E_a, E_b : シーンa, b 観測時の分光放射照度
 R_a, R_b : シーンa, b 観測時のバズラディアンズ

式(2)より L_a と L_b の関係は次のような1次式で表される。

$$L_a = AL_b + B \quad (3)$$

ここで、

$$A = \frac{\tau_a E_a}{\tau_b E_b} \quad \text{また} \quad B = R_a - \frac{\tau_a E_a}{\tau_b E_b} R_b$$

従って水面および人工被覆物のエリアの放射輝度 L_a および L_b の関係を調べることで、式(3)を用いて気象条件の違いによる放射照度等の影響を除去することが可能であると考えられる。

3.3 放射照度等の影響の除去

式(3)に基づいて、土地被覆分類により抽出した水面および人工被覆物における各バンドの累積度数5%値と95%値により放射照度等の影響を除去する方法について検討する。

まず、1985年の画像を基にユークリッド距離法を用いた土地被覆分類により水面、樹木、田畑・草地、裸地、人工被覆物の5項目に分類する。次に水面および人工被覆物に分類された全ピクセル(画像全体の19.2%)における各年度の各バンドの累積度数から5%値と95%値を求めている。1985年と1987年における各バンドの累積度数5%値と95%値の関係を図-4に示す。ただし、図-4

には各年度の画像全体から抽出した累積度数5%値と95%値の関係も合わせて示している。

図-4において、バンド4を除く他のバンドでは水面および人工被覆物から抽出した5%値と95%値の関係は全体から抽出した5%値と95%値の関係とほぼ一致している。しかし、バンド4では水面および人工被覆物から抽出した95%値と全体から抽出した95%値が大きく異なっており、5%値と95%値を結ぶ直線の傾きも異なっている。バンド4は植生の活性度を反映するバンドであり、水面および人工被覆物のエリアから抽出した5%値、95%値に基づいて式(3)で補正する方法を樹木や田畑などに適用した場合、誤差が大きくなるものと考えられる。

そこで、画像全体から抽出した各バンドの累積度数5%値と95%値の関係に基づいて、式(3)により気象条件に伴う放射照度等の影響の除去を行うことにする。ただし、各年度の画像は1985年度の画像に規準化するものとして表-2に示す係数を用いる。また、式(3)は、本来可視域や近中赤外域について成り立つと考えられるが、バンド6(遠赤外域)についても同様に適用して検討している。

前節での方法により放射照度等の影響の除去を行い、1985年の画像に規準化した結果を図-5に示す。補正前の図-3と比べると各年度の頻度分布が一致していることが分かる。

表-2 放射照度等の影響の除去のための変換式(3)の係数

	1987年→1985年		1989年→1985年		1990年→1985年	
	A	B	A	B	A	B
バンド1	0.919	4.824	0.928	16.294	0.961	15.385
バンド2	0.893	6.687	0.886	8.117	0.910	8.568
バンド3	1.075	3.192	0.862	8.465	0.932	6.735
バンド4	1.036	2.340	1.014	3.796	1.056	0.541
バンド5	1.023	4.898	0.968	3.935	1.108	-1.384
バンド6	1.360	-37.606	0.798	21.284	0.898	12.379
バンド7	1.016	2.032	0.904	1.963	1.152	-1.762

図-4 1985年と1987年の各バンドの累積度数5%値と95%値の関係

図-5 放射照度等の影響除去後の各年度のヒストグラムの比較

図-6 1985 年から 1990 年にかけての NVI の差画像

4. NVI による土地被覆変化の抽出

前章で提案した方法により放射照度の影響の除去を行い 1985 年の画像に規準化した各年度のバンド 3 (BAND3°) とバンド 4 (BAND4°) のデータを使用して次式により NVI を算出している。

$$NVI = \frac{BAND4^\circ - BAND3^\circ}{BAND3^\circ + BAND4^\circ} \times 100 + 100 \quad (4)$$

ただし、1989 年と 1990 年の画像には雲および雲の影が見られたため、下記の判断基準に基づいて水面、雲および雲の影をあらかじめ除去している。

雲：バンド 1>135 かつ バンド 6<140
雲の影：バンド 5<60 かつ バンド 6>140
水面：バンド 5<40

図-6 に 1985 年と各年度の NVI の差画像を示す。ここで、NVI の差が負の値を示す地域は緑の活性度が低下した地域、すなわち、土地開発が進み緑が人工被覆物に変化した地域や田畑において緑から裸地等へ変化した地域である。

図-6 によると、いずれも市街地の周辺部、特に南部から東部において NVI が低下していることが分かる。また、表-3 に示すように熊本市全域で見した場合、NVI の低下している割合が年度に伴って大きくなっている。

ただし、図-6 (c) に示すように 1985 年から 1990 年にかけては熊本市南部で NVI が大きく低下している。これは、1990 年の観

表-3 熊本市全域における NVI の変化の割合 (%)

	水面 雲	20 以上 増加	10~20 増加	増減 なし	10~20 減少	20 以上 減少
1985→1987 年	11.34	0.75	5.45	75.07	5.95	1.44
1985→1989 年	13.32	1.13	5.99	71.20	6.72	1.64
1985→1990 年	11.37	0.62	6.20	61.10	12.96	7.75

測日が他の観測日に比べて一番遅い時期であり、田植えに伴って田畑に水が張られたことが原因であると考えられ、土地開発による土地被覆変化との区別は困難である。

5. 正規化都市指標 NUI

前章までの結果より放射照度の影響を除去した上で、NVI を比較する方法は土地被覆の変化状況を把握するための一つの方法であると考えられる。しかし、先に述べたように土地開発等に伴う土地被覆の経年変化を把握した場合、NVI は緑の生育具合の影響を受けることになり、客観的・定量的な評価は困難である。そこで、本章では、緑被と非緑被をより客観的に評価し、その経年変化を抽出する手法について検討を行う。

表-4 は本章での解析に使用したランドサット TM データの観測概要である。シーンを増やすとともに季節による緑の生育状況の影響を比較するために新たに 9 月のデータ (シーン 6) も加えている。

5.1 NVI のヒストグラムの経年変化

図-7 に 1985 年から 1997 年の各シーンにおける NVI の累積度数分布を示す。ただし、凡例のカッコ内は NVI の平均値である。NVI はバンド間

の比演算処理の1つであるので、観測日時の放射照度の影響はある程度除去できると考えられるが、1990年9月や1997年4月の値が大きくなっている。熊本市周辺の水田では、4月の終わり頃から田植えの準備のために田おこしや水張りが始まり5月の終わり頃からの田植えの後10月に稲刈りが行われる。そのため、5月の水田は4月や9月に比べて植生の活性度低く、観測日による植生の生育状況の違が分布傾向に現れているものと考えられる。また、NVIの度数分布は正規分布に近く分散も小さいため、これを元に、緑被と非緑被を半別しようとしても閾値の設定が難しいことが分かる。

5.2 正規化都市指標NUI

樹木や田畑などの緑被と市街地や裸地などの非緑被における各バンドのCCT値は一般に表-5のような傾向を示すと考えられる。そこで、緑被と非緑被の判別を目的として次式で示す正規化都市指標NUI (Normalized Urban Index) を提案する。式(5)は表-5の関係より非緑被は緑被に比べてバンド3、6では値が大きくなり、バンド4、5では値が小さくなるものと考え、その傾向を総合的に表すために定義した式である。

$$NUI = \frac{\overline{BAND3} + \overline{BAND6}}{\overline{BAND4} - \overline{BAND5}} \quad (5)$$

ただし、 $\overline{BAND3} \dots \overline{BAND6}$ は式(6)により正規化した各バンドの値である。

$$\overline{BANDn} = \frac{BANDn - AVE_{BANDn}}{SD_{BANDn}} \times 50 + 100 \quad (6)$$

ただし、 $BANDn$: バンドnのCCT値

AVE_{BANDn} : バンドnの平均

SD_{BANDn} : バンドnの標準偏差

図-8は各シーンにおけるNUIの累積度数分布である。図-7と比較すると観測日の違いによる分布傾向の差は小さく、観測日の季節が異なる1990年9月についても他のシーンとはほぼ同様の傾向を示している。また、分布が均一で分散が大きいため緑被と非緑被の閾値の設定が容易であり、各シーンに共通の閾値を設定しても判別結果に大きな差は出ないことが分かる。

5.3 NUIによる熊本市の土地被覆変化の抽出

前節の結果を元に、熊本市における土地被覆の経年変化について調べる。ただし、緑被と非緑被の半別基準は現地調査や住宅地図などのグラントルースデータを基に以下のように設定している。

緑被 : $NUI < 200$

非緑被 : $NUI \geq 200$

図-9に各シーンの半別結果を示す。各シーンともほぼ同様の結果となっており、年度による増減は多少あるもののその差は5%以内である。シーン6 (1996年9月) やシーン7 (1997年4月) など緑の生育状況の異なるシーンの半別結果も含めて、特に大きな違いは見られない。全シーンを同じ閾値で半別することが可能であることから、NUIが緑被と非緑被の半別に有効であることが分かる。

シーン1 (1985年5月) とシーン7 (1997年4月) の画像を元に緑被から非緑被へ変化した地域を抽出する。ただし、変化ピクセルの判断基準は下記のように設定する。

変化ピクセル : $(NUI_{97} \geq 200) \cap (NUI_{85} \geq 50)$
非変化ピクセル : 上記以外

表-4 5章における使用データ

項目	観測日	パス・ロウ・サブシーン	備考
シーン1	1985年5月2日	112, 37, C	
シーン2	1986年5月12日	113, 37, D	
シーン3	1987年5月8日	112, 37, C	
シーン4	1989年4月27日	112, 37, C	雲あり
シーン5	1990年5月16日	112, 37, C	雲あり
シーン6	1990年9月21日	112, 37, C	
シーン7	1997年4月24日	112, 37, C

図-7 各シーンにおけるNUIの累積度数分布 (凡例カッコ内は平均値)

図-8 各シーンにおけるNUIの累積度数分布 (凡例カッコ内は平均値)

表-5 土地被覆とCCT値の一般的关系

土地被覆		BAND3	BAND4	BAND5	BAND6
緑被	樹木	小	大	中	小
	畑・草地	中	中	中	小
	水田	中	小	小	中
非緑被	市街地	大	小	中	大
	裸地	大	中	大	大
水面		小	小	小	小

緑被から非緑被への変化地域を図-10に示す。また、図-11は熊本市役所を中心に16方位、2km間隔で変化率を算出した結果である。市南部及び東部で変化地域が大きく、市中心部および北西の金峰山では変化がほとんど見られない。近年、開発が進んだ南部の平成町、流通団地周辺では特に変化率が高くなっており、現地調査においてもその状況が確認された。

6. まとめ

ランドサットTMデータを用いて土地被覆の経年変化を抽出する場合に問題となる放射照度等や緑の生育具合の影響について検討しその除去方法について提案した。

本報告で明らかになった点を整理すると下記の通りである。

1) ランドサットTMの観測時に雲量が0である頻度は5%程度で

図-9 NUIによる緑被・非緑被の判別結果

あり、土地被覆の経年変化の抽出を目的としてランドサットTMデータを収集する場合は3月から4月のデータを中心に収集する方がデータ数が確保しやすい。

- 2) 気象条件の違いによって生じる放射照度の影響は、度数分布より求めた1次式により概ね除去することが可能である。
- 3) NUIを用いて土地被覆変化を求める方法は、水田など季節による緑の生育具合の影響を受けるため、土地開発などの状況の抽出が困難な場合がある。
- 4) 本報告で提案したNUIは放射照度や緑の生育具合にあまり影響されることがなく、緑被と非緑被の判別において異なる年度及び季節のデータを用いてもほぼ同様の判別結果となる。
- 5) NUIは度数分布が均一で分散が大きいため緑被と非緑被の閾値の設定が容易であり、各シーンに共通の閾値を1個設定するだけで緑被から非緑被への土地被覆の変化を求めることが可能である。
- 6) 熊本市における1985年から1997年の土地被覆変化の状況をNUIを用いて定量的に明らかにした。その結果、熊本市では市の南部から東部にかけて緑被から非緑被へ変化しており、現地調査で確認された土地開発の状況と一致した。

NUIは従来の土地被覆分類の結果を比較する方法に比べて計算方法が簡単であり、また、教師の抽出など経験を必要とする作業も行わずに土地被覆の経年変化を求めることが可能である。しかし、その精度に関しては、まだ十分な評価をしておらず、今後さらに詳細な検討を進めるとともに、他の都市の経年変化や、都市同士の比較についても適用可能であるか検討していく予定である。

参考文献

- 1) 渡辺浩文, 依田浩敏, 尾島俊雄: リモートセンシングデータと数値情報利用による広域都市の地表面温度分布図の作成に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 443, pp. 21-29, 1993.1
- 2) 森山正和, 鈴木和弘, 宮崎ひろ志: ランドサットデータを用いた夏季の広域的熱環境評価に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 482, pp. 51-56, 1996.4
- 3) 宮崎ひろ志, 森山正和: 阪神・淡路大震災における地震火災規模と緑被率, 建ぺい率等市街地特性との相関解析, 日本建築学会計画系論文集, No. 520, pp. 77-81, 1999.6
- 4) 北澤秀吉, 高木直樹: リモートセンシング画像のテクスチャを利用した市

図-10 1985年から1997年における緑被から非緑被への変化地域の推定結果

図-11 1985年から1997年における距離および方位別の緑被変化の割合(%)

- 街地形態の推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 222-223, 1999.9
- 5) 森山正和, 竹林英樹: 正規化植生指標(NVI)と一次元熱収支モデルに基づいたクライマトプ図の作成手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 518, pp. 61-65, 1999.4
- 6) 宮崎ひろ志, 森山正和: 都市開発に伴う自然環境変化に関する研究ーリモートセンシング手法による緑被率変化の解析ー, 第16回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp. 277-281, 1993.12
- 7) 平野勇二郎: 都市域における植生指標NVIとその季節変化の土地利用形態による特性, 日本建築学会計画系論文集, No. 548, pp. 75-82, 2001.10
- 8) 佐々波清夫, 磯部邦昭, 中山裕則: ランドサットデータによる関東平野中央部の土地被覆変化, 日本リモートセンシング学会誌, pp. 35-44, 1988.3
- 9) 大林成行編著: 実務者のためのリモートセンシング, フジ・テクノシステム, 1995.8

(2002年1月7日原稿受理, 2002年8月23日採用決定)