

《研究ノート》

ユニバーサルパターン展開法の Landsat/MSS への適用

青 井 麻 美

(奈良女子大学・大学院人間文化研究科)

村 松 加奈子・古 海 忍

(奈良女子大学・共生科学研究センター)

醍 醐 元 正

(同志社大学経済学部)

1 はじめに

1970年代から陸域を主とした地球の衛星による観測が始まっている。これらのデータを用いて、都市化による植生や地表面温度、植生の二酸化炭素固定量などの変動を把握し、人口、消費エネルギーなどの統計データとを比較する事で、自然環境変動と人間活動との関わりを広い視野で把握していくことができる。

そこで、本研究では、衛星 Landsat データの処理を行い、1970年代から現在までの土地被覆分類を行なうことを目的とし、衛星データの土地被覆の特徴を抽出する解析手法であるユニバーサルパターン展開法 (UPDM¹) を 1970年代に搭載されたセンサである Landsat/MSS への適用を試みる。

2 使用データ

Landsat 衛星では、1970年代から現在に至るまでの観測が行なわれており、広域における観測が瞬時に行なえるため地域の季節変化や経年変化の把握が可能となる。しかし、搭載されているセンサはその打ち上げ時期により変化しており、MSS, TM, ETM センサなどがある。これらのセンサは観測波長帯が異なっており、MSS センサでは観測波長帯は4つしかなく、近赤外までの比較的短い波長しか観測されていなかった。しかし、TM センサでは観測波長帯は7つに増え、中間赤外、熱赤外線まで観測を行なっている。MSS, TM センサの観測波長帯については表1に示す。また、参考までに各センサの観測波長帯と代表的土地被覆物の反射率を図1に示す。本研究では、UPDM の Landsat/MSS への適用性を調べるために、MSS と TM の

表1 MSS センサと TM センサの観測波長帯とバンド幅

バンド	MSS		TM	
	波長領域(μm)	バンド幅(μm)	波長領域(μm)	バンド幅(μm)
1			0.45–0.52	0.07
2			0.52–0.60	0.08
3			0.63–0.69	0.06
4	0.495–0.605	0.11	0.76–0.90	0.14
5	0.603–0.6098	0.095	1.55–1.75	0.2
6	0.701–0.813	0.112	10.4–12.5	2.1
7	0.808–1.023	0.215	2.08–2.35	0.27

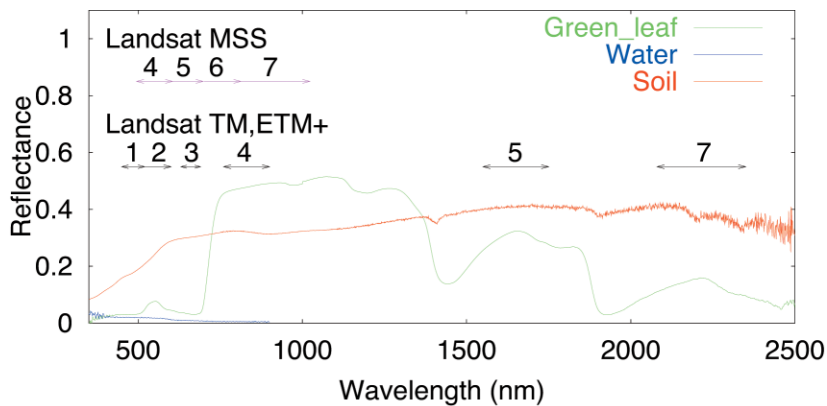


図1 各センサの観測波長帯と代表的土地被覆物の反射率

両方のセンサを搭載していた、1985年6月5日のLandsat 5号のデータを使用した。MSS センサの空間分解能は約57 m、TM センサの空間分解能は約28.5 mである。TM センサのデータは検証用として使用した。

2.1 解析データ

本研究で使用した解析用衛星データは1985年6月5日の日本の関西地区をとらえたデータである。今回使用したデータはLandsat衛星1から5号に搭載されたMSS センサ (Multispectral Scanner) でとられたものである。このデータの空間分解能は57 mである。図2 (a) に本研究で使用した解析用衛星データ画像を示す。

2.2 検証用データ

検証には、解析用衛星データと同じく1985年6月5日の日本の関西地区をとらえたデータで、Landsat衛星4, 5号に搭載されたTM センサ (Thematic Mapper) でとられたものを使用した。このデータの空間分解能は28.5 mである。図2 (b) に本研究で使用した検証用衛星データ画像を示す。

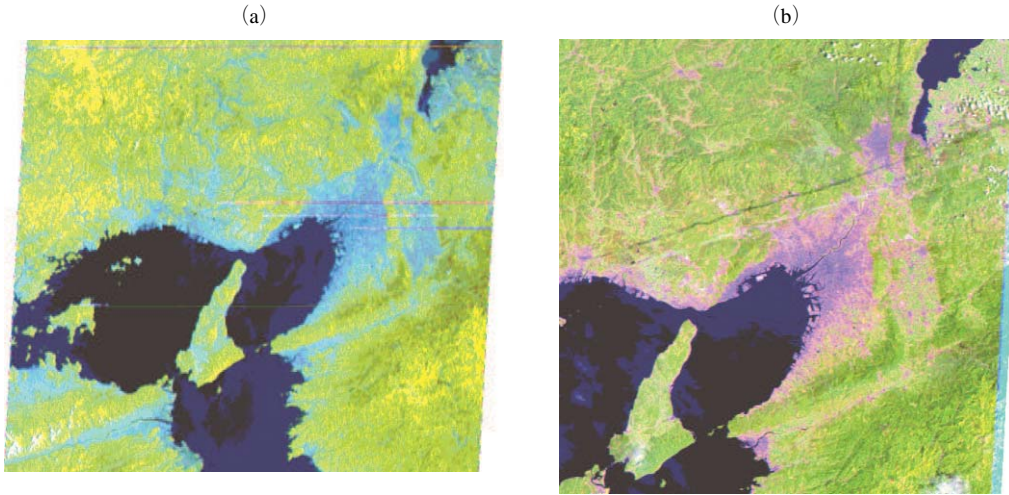


図 2 (a) 1985 年 6 月 5 日 日本の関西地区の Landsat/MSS 衛星データ画像
 (b) 1985 年 6 月 5 日 日本の関西地区の Landsat/TM 衛星データ画像

3 データ処理

本研究では、まずデジタル値で提供されている Landsat 衛星データを (1) 式を用いて放射輝度へ変換する。

$$R = \frac{V}{D_{max}}(R_{max} - R_{min}) + R_{min} \quad (1)$$

$$D_{max} = 127 (MSS) \text{ or } D_{max} = 255 (TM)$$

ここで、 V は補正済 CCT のデジタル値、 $(R (W/m^2/sr))$ はその時の絶対放射輝度、 R_{max} 、 R_{min} は検出器の最大および最小放射輝度であり、デジタル値 D_{max} および 0 にそれぞれ対応している。表 2 に今回使用した Landsat 衛星 5 号の MSS, TM に対する R_{max} 、 R_{min} の値を示す。

この絶対放射輝度 R を大気圏外の太陽輝度で割ることで反射率を求める。ここで、TM センサの地球と太陽の間の平均的な太陽照度は公開されている。しかし、MSS センサの太陽照度は公開されていないため、理科年表³で示されている大気圏外における地球と太陽の平均距離での太陽放射エネルギーの波長分布の値 $r (W/m^2/\mu m)$ から MSS センサの観測波長帯に応じた地球と太陽の平均距離での太陽照度 ($E0$) を求める。(2) 式に地球と太陽の平均距離での太陽照度 $E0 (W/m^2/\mu m)$ を求めるための式を示す。

$$E0 = 10^7 \times 6.8 \times 10^{-8} (MSS: r = 10.43, 10.365, 10.269, 10.075) \quad (2)$$

表2 MSS センサと TM センサの最小と最大の放射輝度

バンド	MSS (mW/cm ² /sr)		TM (mW/cm ² /sr)	
	R _{min}	R _{max}	R _{min}	R _{max}
1			-0.0099	1.004
2			-0.0227	2.404
3			-0.0083	1.410
4	0.04	2.38	-0.0194	2.660
5	0.04	1.64	-0.00799	0.5873
6	0.05	1.42		
7	0.12	3.49	-0.00375	0.359

表3 MSS センサと TM センサの地球と太陽の平均距離での太陽照度

MSS		TM	
バンド	太陽照度 E0 (W/m ² /μm)	バンド	太陽照度 E0 (W/m ² /μm)
4	1830.24	1	1957
5	1574.20	2	1829
6	1262.43	3	1557
7	808.18	4	1047
		5	219.3
		7	74.52

今回使用した、太陽放射エネルギーより求めた MSS センサの地球と太陽の平均距離での太陽照度と、公開されている TM センサの地球と太陽の平均距離での太陽照度を表3に示す。

MSS, TM ともに、大気圏外での太陽照度は (3) 式によって表せる。

$$E' = (E0 \times \cos \theta_0) / d^2 \tag{3}$$

ここで、E' は大気圏外での太陽照度、θ₀ は太陽天頂角、d は地球と太陽の距離を1天文単位で表したものである。この大気圏外での太陽照度 E' を輝度値 E に変換する。変換式を (4) 式に示す。

$$E = E' / \pi \tag{4}$$

以上より、反射率は (5) 式のように表される。

$$\text{観測地点の反射率} = R / E \tag{5}$$

このようにして求めた反射率から、パスラディアンズとして、レイリー散乱を反射率にしたものを差し引く。MSS センサでは公開されていないため、表3で示した太陽照度から (6) 式を用いて求めた。

$$L = \frac{1}{4\pi} \times \frac{\mu_0}{\mu + \mu_0} \times \{1 - e^{-t(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\mu_0})}\} \times P(\varphi) \times \frac{E0}{d^2} \tag{6}$$

$$\mu_0 = \cos \theta_0$$

$$\mu = \cos \theta$$

$$t = 0.00879 \lambda^{-4.09}$$

$$P(\varphi) = \frac{3}{4}(1 + \cos^2 \theta)$$

$$\varphi = 180 - \theta_0$$

L はレイリー散乱のセンサで観測される単位波長あたりの放射輝度 ($W/m^2/\mu m/sr$), θ_0 は太陽天頂角 (Landsat 衛星では定数), また, センサ角度 θ は真上から観測しているとし, $\theta=0$ で計算を行なった。t はレイリー散乱で光学的厚さ, P はレイリー散乱の phase function, d は太陽と地球の距離を天文単位で表したものである。レイリー散乱の放射輝度 ($W/m^2/\mu m/sr$) をアルベドにするためには L を太陽天頂角=0, 地表の反射率=1 を仮定した場合のセンサで観測される放射輝度で割る。この値は, センサの単位波長あたりの太陽照度を π で割ったものであり, アルベドは (7) 式のように計算できる。

$$A = \frac{L}{E_s/\pi}$$

$$E_s = E_0 \cos \theta_0 / d^2 \quad (7)$$

表4にそれぞれのバンド毎のパスラディアンズとして差し引いてる量を示す。

このようにして衛星データをデジタル値から反射率に変換し, UPDM で解析を行なう。

4 解析手法

今回, 土地被覆の条件決めにはパターン展開法 (PDM) を発展させた, ユニバーサルパターン展開法 (UPDM) を用いた。この手法は, 多次元の衛星観測データを解析するために開発された, 季節や年代・地域への依存度の少ないデータ解析法である。これは, Landsat から得られるデータの情報を代表的な土地被覆物である, 水, 植生, 土壌, 補足の4次元によるスペクトルで表現する手法である。そのため土地被覆分類を容易に行うことができる。

4.1 パターン展開法 (Pattern Decomposition Method)

パターン展開法は, 任意の画素の多重分光データが, そこに含まれる複数の土地被覆物の面積比を係数としたそれぞれの多重分光データの線形結合で表されるという概念に基づいている。ユニバーサルパターン展開法の基となる解析手法である。

また, パターン展開法では任意の画素の多重分光データに含まれる情報の95%程度を3つの基本的な土地被覆物である水, 植生, 土壌のスペクトルパターンで展開できることを示すことにより, 多次元データを3次元データに変換することを可能にしている。したがって, パターン展開法による植生の展開係数が植生の特徴の全体像を捉えた係数であることを示してい

表4 各バンドでのレイリー散乱の値 (アルベド)

バンド	MSS	TM
1		0.0623
2		0.0362
3		0.0212
4	0.034718	0.0082
5	0.018452	0.0005
6	0.010184	
7	0.004011	0.0002

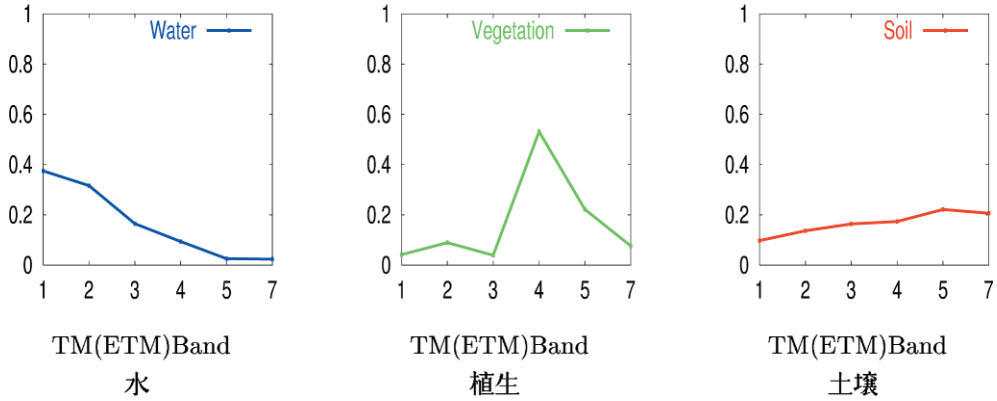


図3 PDMの基本パターン

る。

パターン展開法では、水、植生、土壌の3つの基本的な土地被覆物の n 個の波長の換算データが作るスペクトルの形を抽出するために、衛星データから得た代表的なサンプルの換算データを規格化する。この3つの規格化したスペクトルの形のことを3つの基本パターンと呼ぶ。3つの基本スペクトルパターンは、それぞれの特徴がもっとも顕著に現れる季節、地域から分光反射率データをサンプリングし、それらの各換算データの平均から求める。

サンプリング場所は以下のようにになっている。

- 水の基本スペクトルパターン…和歌山県加太港の海
- 植生の基本スペクトルパターン…アラカシの葉を10枚重ねたもの
- 土壌の基本スペクトルパターン…中国の敦煌・鳴沙山の砂

3つの基本スペクトルパターンを図3に示す。

この3つの基本パターンを用いて、任意の画素のアルベドスペクトルを展開する。この際、水(C_w)、植生(C_v)、土壌(C_s)の3つの展開係数は非負条件付きで最小二乗法を使って決める。

任意の画素の n バンドの換算データ (A_1, \dots, A_n) を、水の基本パターン (P_{w1}, \dots, P_{wn})、植生の基本パターン (P_{v1}, \dots, P_{vn})、土壌の基本パターン (P_{s1}, \dots, P_{sn}) に3つの展開係数 (C_w, C_v, C_s) を乗じた線形結合で表す。使用バンドは熱赤外バンドを除いた6バンドを使用する。

$$A_{(1)} \simeq C_w P_{w(1)} + C_v P_{v(1)} + C_s P_{s(1)}$$

$$A_{(2)} \simeq C_w P_{w(2)} + C_v P_{v(2)} + C_s P_{s(2)}$$

$$A_{(n)} \simeq C_w P_{w(n)} + C_v P_{v(n)} + C_s P_{s(n)} \tag{8}$$

$$[\text{条件}] C_w \geq 0, C_v \geq 0, C_s \geq 0 \tag{9}$$

$$\sum P_{il} = 1 (l = w, v, s) \tag{10}$$

3つの基本パターン P_{wi} , P_{vi} , P_{si} はそれぞれ水・植生・土壌の基本パターンのバンド i の換算データを式 (10) のように土地被覆物ごとの和が 1 になるように規格化したものである。式 (8), 式 (9) より, 式 (8) における誤差がほとんど 0 の場合, 3つの展開係数は, 画素内の土地被覆物のアルベド和, つまり明るさを含んだ形になっている。そのため, 山陰などにおける入射光量の違いは, 3つの展開係数をそれぞれ3つの展開係数の和で割ることで補正できる。

4.2 ユニバーサルパターン展開法 (Universal Pattern Decomposition Method)

観測波長の異なる衛星センサを用いても, 土地被覆分類に用いる判定条件をそれぞれの衛星に合わせて変えることなく, 同一の条件にすることができる解析手法である。

パターン展開法からの改良ポイントとして, 必要な時につける「補足パターン: C4」が付け加わり, 基本パターンの規格化の方法が変わっただけであり, その基本的な考え方は変わらない。

補足パターンは例えば, 黄色い葉のような, 植生の詳細な変化の解析などに用いられる。ユニバーサルパターン展開法では, 式 (8) は次のように変化する。

$$\begin{aligned} A_{(1)} &\simeq uC_w P_{w(1)} + uC_v P_{v(1)} + uC_s P_{s(1)} + uC_4 P_{4(1)} \\ A_{(2)} &\simeq uC_w P_{w(2)} + uC_v P_{v(2)} + uC_s P_{s(2)} + uC_4 P_{4(2)} \\ A_{(n)} &\simeq uC_w P_{w(n)} + uC_v P_{v(n)} + uC_s P_{s(n)} + uC_4 P_{4(n)} \end{aligned} \quad (11)$$

UPDM では, バンド i の水・植生・土壌・黄色い葉の基本パターンの換算データは, 式 (12) のように波長 350~2500 nm の連続したスペクトルを用いて規格化される。

$$\int |P_k(\lambda), d\lambda| = \int d\lambda \quad (k=w, v, s) \quad (12)$$

$P_k(\lambda)$ は式 (13) のように定義される。

$$P_k(\lambda) = \frac{\int d\lambda}{\int |R_k(\lambda)| d\lambda} R_k(\lambda) \quad (k=w, v, s) \quad (13)$$

それぞれのバンドでの基本パターンは,

$$P_{ik} = \frac{\int_{\lambda_{si}}^{\lambda_{ei}} P_k(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_{si}}^{\lambda_{ei}} d\lambda} \quad (k=w, v, s) \quad (14)$$

で定義される。 λ_{si} はバンド i の最短波長, λ_{ei} は最長波長を表し, $\int_{\lambda_{si}}^{\lambda_{ei}} d\lambda$ は波長幅を表す。

黄色い葉の基本パターンは、次のように定義される。

$$P_4(\lambda) = \frac{r_4(\lambda) \int d\lambda}{\int |r_4(\lambda)| d\lambda} \quad (15)$$

$r_4(\lambda)$ は、バンド i での黄色い葉の値である。

$$r_4(\lambda) = R_4 - \{uC_w P_w(\lambda) + uC_v P_v(\lambda) + uC_s P_s(\lambda)\} \quad (16)$$

ここで、 $R_4(\lambda)$ は黄色い葉のサンプルで測定された値、 $r_4(\lambda)$ は余りの値から計算できる。式 (14) から PDM と同様にして求めたパターン展開係数 $uC_w \cdot uC_v \cdot uC_s \cdot uC_4$ を水・植生・土壌・黄色い葉の係数として地上被覆物の指標にする。なお、MSS センサでは観測波長帯が4つしかないことから、補足パターンは除き、3つのパターンで展開する。

本研究では、このユニバーサルパターン展開法を使って、奈良県の土地被覆の分類条件を決める。

5 ユニバーサルパターン展開法の MSS への適用

前項で説明したユニバーサルパターン展開法を用いて、各土地被覆毎の展開係数の特徴を調べるために、サンプリングを行なう。今回サンプリングは植生域、市街域、水域、雲について行ない、MSS, TM で同時期、同領域をとっている。植生域については2つの項目に分け、植生域1と、植生域2とした。(植生域1は、山林など、植生域2はゴルフ場などの芝地等に対応する)

すでにユニバーサルパターン展開法への適用性が確認されている TM センサでの分類条件をもとにして地上被覆物の分類条件を決め、MSS への適用性を確かめる。

分類のカテゴリーは以下のものとした。

- 植生域
- 市街域
- 雲
- 水域

5.1 TM センサでの土地被覆分類条件

分類条件はそれぞれの分類項目の展開係数の特徴を最も良く抽出できる値で区切られている。表5に具体的な値を示す。ただし、判定の優先度は表の上部ほど高い。また、どの観測点もいずれかのカテゴリーに分類される。

表 5 TM での土地被覆物分類の条件

分類項目	Cw	Cv	Cw+Cv+Cs	植生指標 (MVIUPD)
雲	$0.00663 \leq Cw$		$0.161 \leq Cw + Cv + Cs$	
水域		$Cv \leq 0.035$	$Cw + Cv + Cs \leq 0.059$	
植生域				$0.458 \leq MVIUPD$
市街域				$MVIUPD < 0.458$

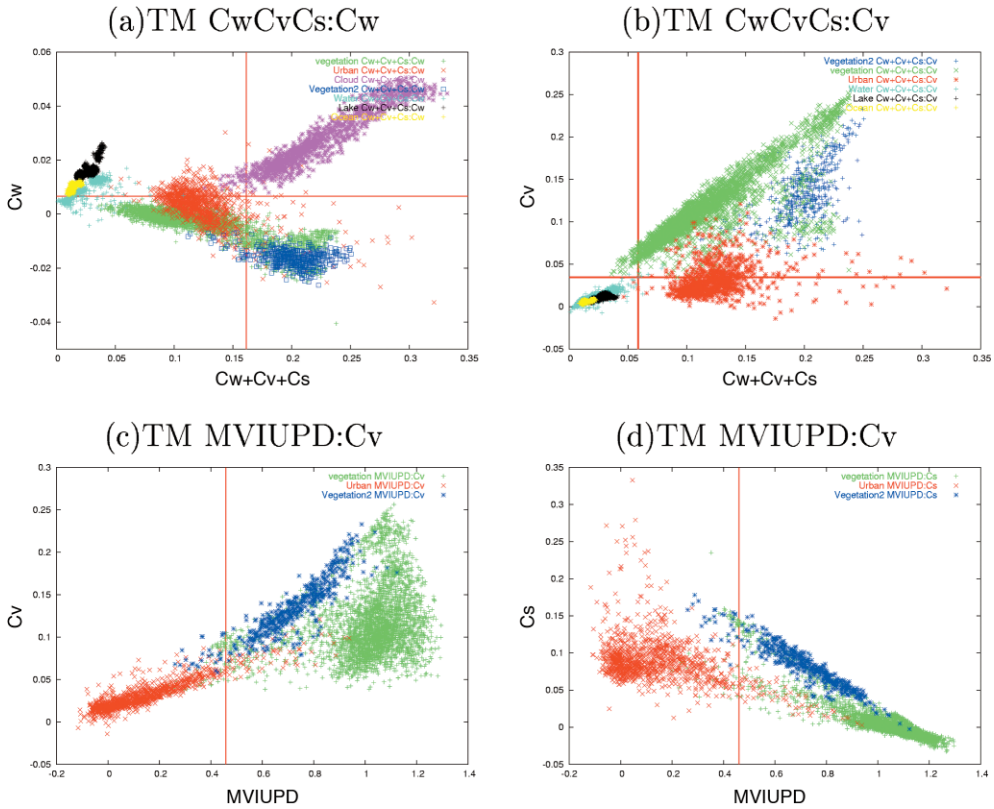


図 4 TM センサでの代表的土地被覆物の展開係数の分布を特徴的に表す散布図

また、この分類条件を植生域 1、植生域 2、市街域、雲、水域 の分布を特徴的に表す散布図にのせると図 4 のようになる。

図 4 中の緑色のプロットは植生域 1 を、青色のプロットは植生域 2 を、赤色のプロットは市街域を、ピンク色のプロットは雲のプロットを、水色のプロットは水域を、黒色のプロットは琵琶湖を、黄色のプロットは大阪湾を表す。図 4 (a) は $Cw+Cv+Cs$ 対 Cw の関係を表す。赤いラインは雲とその他の領域を分ける境界線、 $Cw=0.00663$, $Cw+Cv+Cs=0.161$ を表す。図 4 (b) は $Cw+Cv+Cs$ 対 Cv の関係を表す。赤いラインは水域とその他の領域を分ける境界線、 $Cv=0.035$, $Cw+Cv+Cs=0.059$ を表す。図 4 (c) は 植生指標 (MVIUPD) 1 対 Cv の

関係を表す。赤いラインは植生域と市外域を分ける境界線、MVIUPD=0.458を表す。図4(d)はCw+Cv+Cs対Cvの関係を表す。赤いラインは植生域と市外域を分ける境界線、MVIUPD=0.458を表す。

図4(a)からみてとれるように、雲域では、Cw, Cv, Csの和の値が市街域、水域に比べて高く、Cwの値が植生域1、植生域2、市街域に比べて高い事がわかる。また、図4(b)をみてわかるように、水域はCw, Cv, Csの和の値が植生域、市街域に比べて低く、Cvの値も植生域に比べて低いことがみてとれる。さらに、図4(d)をみると、植生域1、植生域2ではMVIUPDが高くなり、Csが低くなる傾向がみられる。反対に市街域ではCvが低くなり、Csが高くなる傾向がみられる。このような各土地被覆物の展開係数の特徴を利用して分類条件は決められている。

5.2 展開係数と植生指標(MVIUPD)についてのMSSとTMの相関関係

MSS センサと TM センサで観測された同じ日の衛星データから同じ領域をサンプリングし、それぞれのセンサでの展開係数と植生指標ごとに相関を調べた。この際、植生域2、雲など1つの領域の塊が小さく、両データで同領域を確実にサンプリングできない場所は相関関係をみる際には外した。図5(a)に水(Cw), (b)に植生(Cv), (c)に土壌(Cs)の展開係数, (d)に植生指標(MVIUPD), (e)に水(Cw)+植生(Cv)+土壌(Cs)についてMSS対TMの相関図を示す。図5では、横軸にTM、縦軸にMSSそれぞれの展開係数、植生指標をとる。緑色のプロットは植生域を、赤色のプロットは市街域を、黒色のプロットは大阪湾を表す。このときの回帰係数をaとおく。また、横軸にMSS、縦軸にTMそれぞれの展開係数、植生指標をとったときの回帰係数をcとおく。回帰係数aとcより、MSSとTMの展開係数、植生指標の相関係数 $r(r = \sqrt{a \times c})$ を求める。それぞれの係数の回帰係数は、Cw=0.722, Cv=0.910, Cs=0.855, MVIUPD=0.970, Cw+Cv+Cs=0.897となっており、TMとMSSの係数の間に相関関係があることがわかる。表6に展開係数Cw, Cv, Csと植生指標MVIUPDそれぞれのTMとMSSの相関係数rを示す。

表6 85/6/5のデータについてTMとMSSの相関係数

	r
Cw	0.722
Cv	0.910
Cs	0.855
MVIUPD	0.970
Cw+Cv+Cs	0.897

5.3 MSS センサでの土地被覆分類条件

図5の相関図のフィッティングを行ない、TMの展開係数からMSSの展開係数への変換係数を求める。この変換係数を用いて、TM用の分類条件をMSS用に変換する。TMからMSSへの変換係数を表7に示す。変換した分類条件とMSSでのそれぞれの展開係数の特徴を示した散布図を図6に示す。図6中の緑色のプロットは植生域1を、青色のプロットは植生域2

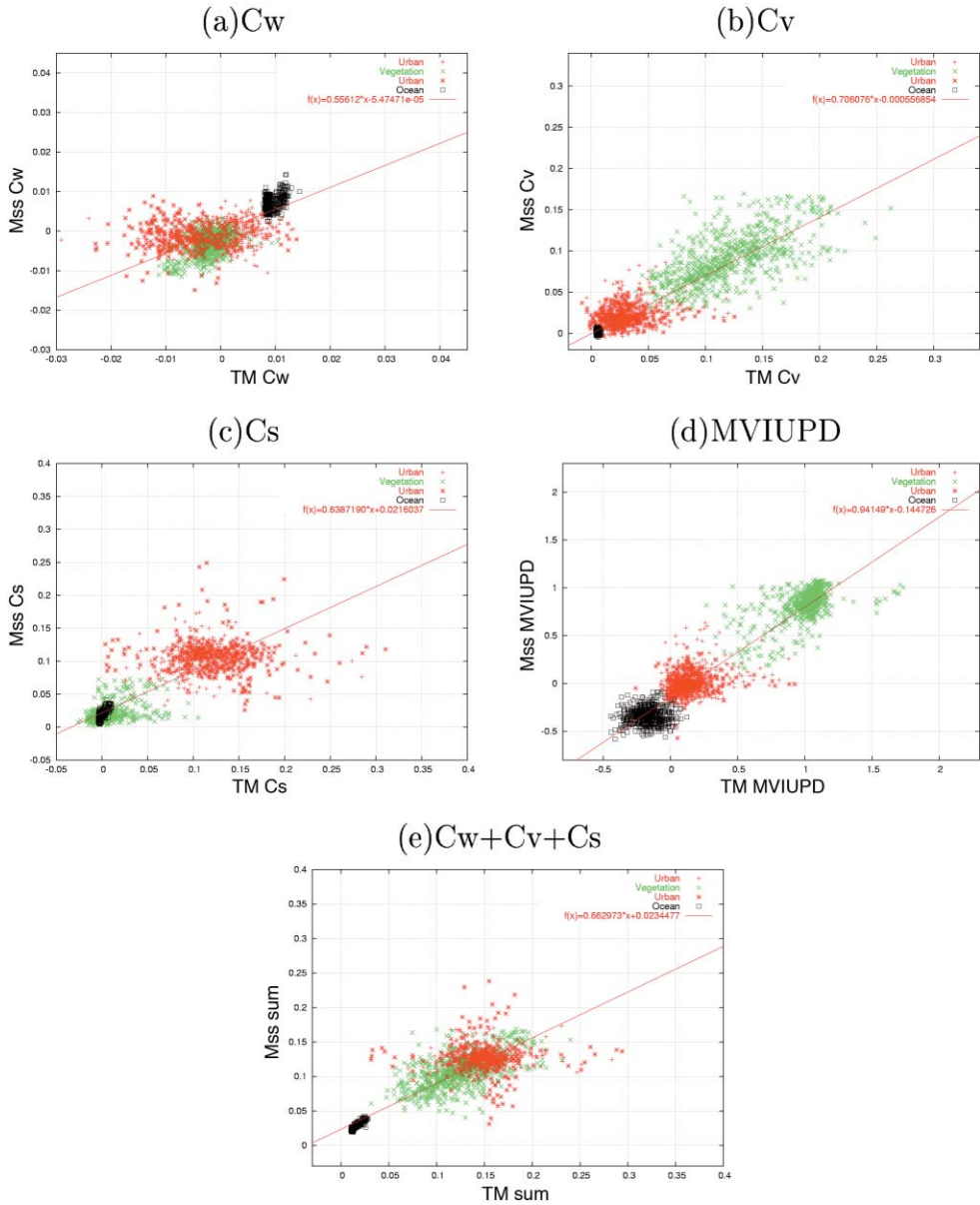


図5 植生域1(緑), 市街域(赤), 大阪湾(黒)の展開係数, 植生指標(MVIUPD)についてのMSS対TMの相関図

表7 TMからMSSへの変換係数

MSS = a × TM + b	a	b
Cw	0.556	0.547×10^{-5}
Cv	0.706	0.557×10^{-4}
Cs	0.639	0.022
MVIUPD	0.941	-0.145
Cw+Cv+Cs	0.663	0.023

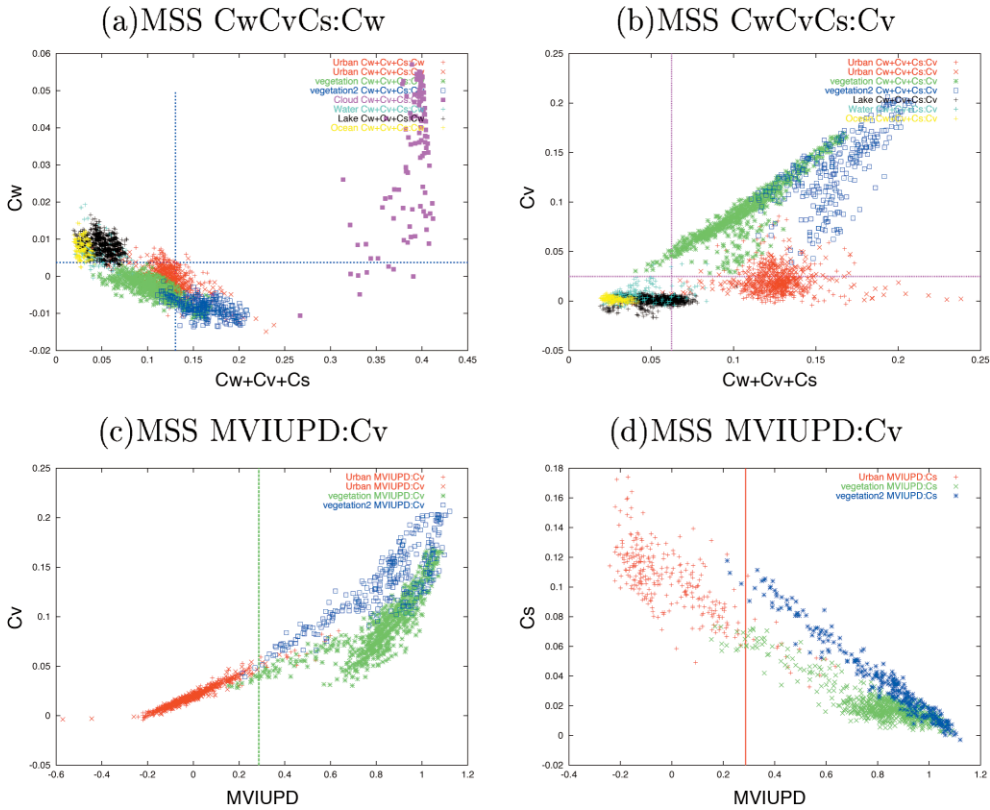


図6 MSS センサでの代表的土地被覆物の展開係数の分布を特徴的に表す散布図

表8 MSS での土地被覆物分類の条件

分類項目	Cw	Cv	Cw+Cv+Cs	MVIUPD
雲	$0.00374 \leq Cw$		$0.130 \leq Cw + Cv + Cs$	
水域		$Cv \leq 0.025$	$Cw + Cv + Cs \leq 0.062$	
植生域				$0.286 \leq MVIUPD$
市街域				$MVIUPD < 0.286$

を、赤色のプロットは市街域を、ピンク色のプロットは雲のプロットを、水色のプロットは水域を、黒色のプロットは琵琶湖を、黄色のプロットは大阪湾を表す。図6 (a) は $Cw+Cv+Cs$ 対 Cw の関係を表す。青いラインは雲とその他の領域を分ける境界線、 $Cw=0.0037$ 、 $Cw+Cv+Cs=0.130$ を表す。図6 (b) は $Cw+Cv+Cs$ 対 Cv の関係を表す。ピンクのラインは水域とその他の領域を分ける境界線、 $Cv=0.025$ 、 $Cw+Cv+Cs=0.062$ を表す。図6 (c) は $MVIUPD$ 対 Cv の関係を表す。緑のラインは植生域と市外域を分ける境界線、 $MVIUPD=0.286$ を表す。図6 (d) は $Cw+Cv+Cs$ 対 Cv の関係を表す。赤いラインは植生域と市外域を分ける境界線、 $MVIUPD=0.286$ を表す。また、TM 用の分類条件から MSS 用の分類条件へ変換したものを表8に示す。

図4と同様に、図6(a)からは、雲域の C_w , C_v , C_s の和の値が市街域、水域に比べて高く、 C_w の値が植生域1、植生域2、市街域に比べて高い事がわかる。ここで、雲域の C_w , C_v , C_s の和の値が同じような値で飽和しているのは、MSS センサでは、観測されるデジタル値は TM センサと比べて半分の0から127までとなっているため、どの波長に置いても放射輝度の高くなるような、雲域ではデジタル値が飽和し易くなり、どのデジタル値も飽和していると放射輝度の相対的な関係が、土壤の放射輝度とてくるため、 C_s が高くなる。この C_s は皆、同じ値に飽和しているため雲域の C_w , C_v , C_s の和の値が同じような値をとる。また、図6(b)から、水域は C_w , C_v , C_s の和の値が植生域、市街域に比べて低く、 C_v の値も植生域に比べて低いことがみとれ、さらに、図6(d)から、植生域1、植生域2では MVIUPD が高くなり、 C_s が低くなる傾向がみられる。反対に市街域では C_v が低くなり、 C_s が高くなる傾向がみられる。つまり、TM での展開係数等の分布を表した図4と、MSS での展開係数の分布を表した図6を見比べると、土地被覆ごとの展開係数等の分布は類似しており、両図中のラインでうまく被覆物が分類できることがわかる。

6 分類条件の検証

MSS センサへの分類条件の適用性をみるために、MSS と TM の土地被覆分類条件の比較を行なう。どちらのセンサのデータも揃っている奈良市について比較検討を行なった。ここで、今回使用した Landsat/MSS センサの衛星データの空間分解能が 57 m なのに対し、Landsat/TM センサの衛星データの空間分解能は 28.5 m である。そこで、MSS データ 1 画素に対し、TM データ 2×2 画素が対応するようにした。TM データに対しては、2×2 画素中 50% 以上（4 画素中 2 画素）の植生域が含まれる画素を植生域とし、対応する MSS 1 画素と比較した。

6.1 分類結果の差

図7に1985年6月5日の奈良市上の Landsat/MSS センサの衛星データと Landsat/TM センサの衛星データを、先に決めた分類条件で分類したものの差画像を示す。

図7の色分けの項目は表9に記す。

TM の分類結果をもとにして、MSS との違いを正当率とし以下の式より求めた。

$$\text{正当率} = \frac{\text{両データが同じ分類項目と判定した画素数}}{\text{TM データがその分類項目と判定した画素数}}$$

結果、植生域の正当率は 90.1%、市街域の正当率は 70.6%、水域の正当率は 2.5% となった。

6.2 奈良市の分類結果の検証

正当率についてみてみると、植生域の正当率が高いのに対し、市外域の正当率は低めであ

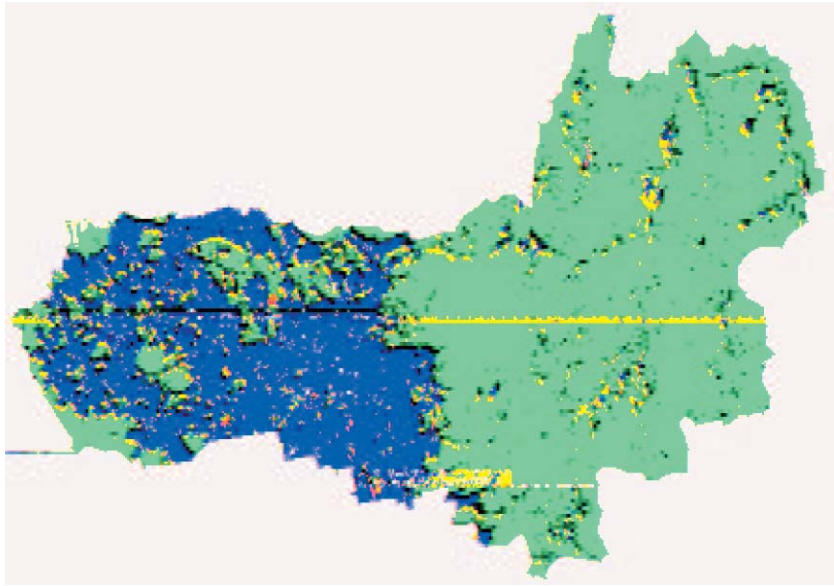


図7 1985年6月5日 Landsat/MSS, TM センサでの奈良市分類結果の差画像

表9 図7の色分けの項目

	TM	MSS
緑	植生域	植生域
黄	植生域	市街域
青	市街域	市街域
黒	市街域	植生域
濃ピンク	植生域 or 市街域	水域
赤	水域	水域
オレンジ	水域	植生域 or 市街域
ピンク	雲	雲
明水色	雲	植生域
水色	雲	市街域
濃オレンジ	雲	水域
白	植生域 or 市街域 or 水域	雲
淡ピンク	各1 pixel ずつ植生, 市街, 水, 雲	
白		市外

り、水域の正当率はさらに低い値となっている。市外域、水域の正当率が低めである理由として考えられるのは、TM のデータで土地被覆物を判定する際に、MSS と対応させるために TM 4 画素の塊で1つの被覆物を判定している。このとき、TM で2画素以上植生域と判定されたら他2画素がたとえ市外域であってもその一塊は「植生域」と判定されている。全ての分類項

目において「植生域」が優先され、次に「市外域」、「水域」、「雲」の順に優先順位がさがる。よって、TM では植生と他のものが隣接しているような場所では「植生域」と判定され易くなっているためではないかと考えられる。また、この他に不一致の原因として考えられることは MSS と TM のデータを重ね併せる際に、x, y 座標系で表されている MSS データを、一度 UTM 座標 (Universal Transverse Mercator system) に変換し、また TM の x, y 座標系に変換していることから、ずれが生じ、正確に同じ領域をとらえることができていないのではないかと考えられる。実際に図7をみてみると図中左よりの植生域と市外域の境目では、MSS で市外域、TM で植生域と判定された黄色の不一致が多くみられ、図中央よりの植生域と市外域の境目では、MSS で植生域、TM で市外域と判定された黒色の不一致が多くみられる。つまり、全体に TM を基準として考えたとき、MSS は左にずれているとみられる。同様の理由で、水域の正当率が低いのは奈良市内には広い水域がないため、今の重ね合わせの精度、空間分解能の違いでは正確に同じ水域をとらえられないためと考えられる。この他に、図2(a)を見てわかる通り、もとの MSS 衛星データ自身にエラーが含まれていたため、差画像として図7のように表示したさいに、分類の不一致として表示され、また、正当率を下げる原因にもなっている。つまり、ほとんどの不一致が、MSS と TM データの重ね合わせの精度、空間分解能の違いからくるものである。よって、分類条件の設定は妥当なものであったといえる。

7 まとめと今後の課題

今回の研究では、1985年6月5日の Landsat/MSS 衛星データにて奈良県の各土地被覆ごとのユニバーサルパターン展開係数の特徴を調べた。そして、1985年6月5日の Landsat/TM 衛星データの展開係数と比べることにより、MSS データでの各土地被覆を分類することのできる条件を決め、精度の検証を行なった。これにより、MSS センサの搭載されている1970年代や、TM センサの搭載されている80年代90年代の土地被覆分類行ない、経年変化をみるのが可能となる。

今後は、Landsat 衛星の観測が始まった、1970年代から現代までの土地被覆分類行ない、経年変化や、季節変化を見ていくことで、広い視野で、自然環境変動を把握していきたい。

謝辞

本研究で使用した Landsat データは、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) より、研究用として提供されたものである。また、本研究は文部科学省フロンティア推進事業 (平成11年～平成20年度) により行われた。ここに感謝の意を表したい。

注

- 1 植生指標 ($MVIUPD$) =
$$\frac{u_{Cv} - u_{Cw} - 0.2 \times u_{Cs} - u_{C4}}{u_{Cw} + u_{Cv} + u_{Cs}}$$

参考文献

- [1] L. F. Zhang, S. Furumi, K. Muramatsu, N. Fujiwara, M. Daigo and L. P. Zhang 「Sensor-independent analysis method for hyper-multispectral data based on the pattern decomposition method」. Department of Economics, Doshisha University, Working Paper No. 17 2004
- [2] 宇宙開発事業団 地球観測センター編集 「地球観測データ利用ハンドブック ランドサット編 改訂版」財団法人リモートセンシング技術センター 1990
- [3] 国立天文台 「理科年表」. 天 23(109), 丸善株式会社 2000
- [4] Daigo, M., Ono, A., Urabe, R., and Fujiwara, N. 「Pattern decomposition method for hyper-multispectral data analysis」. Int. J. Remote Sensing, 25(6), 1153–1166. 2004.
- [5] Fujiwara, N., Muramatsu, K., Furumi, S., Hazumi, T., and Ochiai F. 「Pattern expand method for satellite data analysis. (In Japanese)」. J. of Remote Sensing Soc. Japan, 16(3), 17–34 1996
- [6] Muramatsu, K., Furumi, S., Hayashi, A., Fujiwara, N., Daigo, M., and Ochiai F. 「Pattern decomposition method in the albed space for landsat/TM and MSS data analysis」. Int. J. Remote Sensing, 21, 99–119. 2000
- [7] 古海 忍, 林 礼美, 塩野由美子, 村松加奈子, 藤原 昇. 「Landsata/MSS, TM データを使ったパターン展開法による関西地域の植生変動解析」. 日本リモートセンシング学会誌 Vol. 17, No. 4, pp. 34–49, 1997.
- [8] L. F. Zhang, S. Furumi, K. Muramatsu, N. Fujiwara, M. Daigo and L. P. Zhang 「A New Vegetation Index Based on the Universal Pattern Decomposition Method」. Department of Economics, Doshisha University, Working Paper No. 18 2004
- [9] Yan XIONG 「人工衛星データによる全球陸域純一次生産量の推定手法に関する研究」. 博士学位論文, 奈良女子大学, 2005