

# 5 万分の 1 地表分類 Landsat 地図の作成と その特徴について

## PREPARATION OF A 1 : 50 000 LANDSAT MAP FOR LAND CLASSIFICATION AND ITS FEATURE

田中總太郎\*・杉村俊郎\*\*・菅 雄三\*\*\*・二宮 泰\*\*\*\*  
By Sotaro TANAKA, Toshiro SUGIMURA, Yuzo SUGA  
and Yasushi NINOMIYA

### 1. 序 論

Landsat データに代表される MSS (マルチスペクトルスキャナー) によるリモートセンシングデータをそのスペクトル特性に従って分類<sup>1)2)</sup>すれば、地表面の区分<sup>3)</sup>をすることが可能である。分類方法は単一セル法<sup>4)</sup>のような比較的簡単なものから、主成分分析に基づく多変量解析<sup>5)~7)</sup>のような複雑なものまでさまざまであるが、どの方法を用いても一応の解は得ることができる。そしてその結果はラインプリンターやカラー CRT、またはフォトライタ等に比較的容易に画像として出力される。

このような状況は Landsat データ<sup>8)</sup>から土地利用図に類する地図が容易に作成できることを示唆するものであるが、それが実際に実用に供される段階に至るまでには、解決しなければならぬ技術上の問題や、従来の土地利用図<sup>9)10)</sup>と、新しく作成される地図との間に存在する分類の根拠、表現内容および表現方法の違い等の基本的概念の相違をいかに調整するかという問題が残っている。

本報告では Landsat MSS データから実用に供することができるような、次に掲げる条件を満たす地表分類図(以下、地表分類 Landsat 地図とよぶ)を作成することを目標に、技術上の検討および試作研究を行った。

① 5 万分の 1 地形図大の経線方向 15', 緯線方向 10' の枠内に囲まれる所定の領域が十分な平面精度をもって Landsat MSS CCT (Computer Compatible Tape) 原データより抽出されていること。

② 抽出された 5 万分の 1 地形図相当域の再配列データの行列は 2 分の 1 地域メッシュ統計<sup>10)</sup>データと互換性

を有すること。

③ 地表分類はスペクトル特性に従って最も確からしく行われていること。

④ 出力画像は 5 万分の 1 地形図と完全に重ね合わせが可能で、しかも各画素が鮮明に表示されていること。

さらに、土地利用図<sup>11)</sup>との定量的な比較や、旧地形図<sup>12)</sup>との比較を行うことにより、Landsat MSS データから半自動的に作成される地表分類図の特徴をある程度明らかにすることができた。

### 2. 5 万分の 1 地形図域の Landsat MSS データの抽出

#### (1) 5 万分の 1 Landsat 地図のエレメント配列仕様

ここで作成される地表分類 Landsat 地図は序論に第 2 条件として示したように、次のステップで統計解析のためのデータとして利用できることを前提とし、地域メッシュ統計配列と互換性を有するものとする。

地域メッシュ統計<sup>10)</sup>のメッシュサイズは 2 分の 1 地域メッシュ、基準地域メッシュ、10 倍地域メッシュ等が使われるが、ここでは 2 分の 1 地域メッシュまでの対応が可能のように、5 万分の 1 地形図の 1 図葉を東西方向は 600 等分、南北方向は 480 等分の配列で構成されるようにする。この配列の 1 画素単位をエレメントとよぶこととする。このとき 2 分の 1 地域メッシュに含まれるエレメントの数は 図-1 に示すように東西方向 15 列、南北方向は 12 行で計 180 となる。またエレメントの大きさは、緯度に依存するが北緯 34°08' の緯線上では 38.5 m × 38.5 m の正方形となっている。

ここで Landsat MSS 原データの 1 画素の大きさは 57 m × 79 m であるので、2 分の 1 地域メッシュごとの

\* 正会員 工博 (財) リモートセンシング技術センター

\*\* 正会員 (財) リモートセンシング技術センター

\*\*\* 正会員 工修 広島工業大学助手 工学部土木工学科

\*\*\*\* 正会員 三菱商事(株) 社会環境室

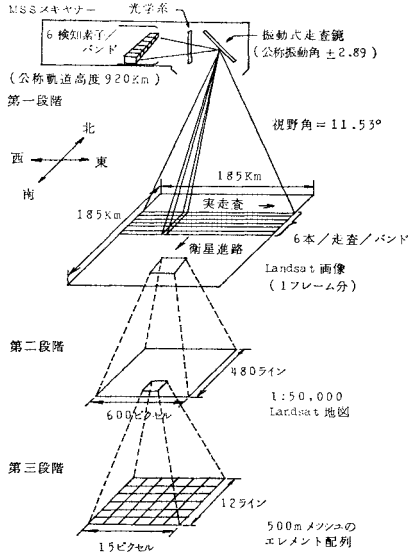


図-1 1 : 50 000 Landsat 地図の元素配列概念図

統計量としての分析能力は、面積比で約 1/60 すなわち ±1.7% である。

(2) GCP (地上基準点) の選定

Landsat MSS データの標定には地上基準点を用いる。この地上基準点の目的は、地形測量における場合と同様であるが、基準点の設定方式はまったく異なる。従来の航空三角測量で用いられる基準点は、基準点のまわりに 3 枚羽、または 4 枚羽の板を設けることにより設置され、羽の大きさは、撮影時の写真縮尺により決められる。

これに反し、Landsat MSS データの標定用基準点は、航空写真に比べてデータの解像力が著しく低いために、相応な大きさを有していなければならず、すでに地上に実在する対象物が選ばれる。このような Landsat 画像標定のための地上基準点をリモートセンシングの分野では通常 GCP (Ground Control Point) とよんでいる。

地上の対象物が GCP として選定されるべき条件は、地形図上および Landsat 画像上において同時にその位置が正確に決定できることである。そのためには、該当する対象物は、Landsat 画像上における測定のために適当な大きさを有することとともに、対称的な形をしたものであることが望ましい。対象物が小さすぎると、その確認自体が困難となるし、大きすぎると標定時の位置決め誤差が大きくなる。また非対称の対象物は、標定時に視準点を定めにくい。

実際に地上基準点として選ばれる対象物の種類は、適当な大きさとし形を有する島の中心、適当な大きさの橋と河川水域部の交点、または陸部の適当な大きさの池の中前記仕様に基づく 1 : 50 000 Landsat 地図の作成にお

心等が理想的であり、それを視準する際の視準線と対象物との幾何学的関係<sup>13)</sup>は 図-2 に示すようである。

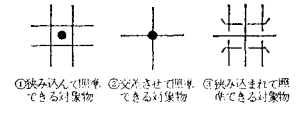


図-2 Landsat 画像標定のための地上基準点の型

(3) 座標変換の方法と再配列

いて、最初に行わなければならないのは、Landsat MSS 原データより、定義されたエレメントに対応する MSS 原データを捜し出して配分することにある。求めようとするエレメントの座標位置に対応するデータが、原データのどの座標に位置しているのかを決定するための座標変換の方法について検討した結果、5 万分の 1 地形図 1 図葉程度までは以下に述べるようなアフィン変換で十分であると考えている。

5 万分の 1 地形図の大部分の図葉は、経線および緯線により東西方向 15'、南北方向 10' で区切られている。一方 Landsat MSS データは、地表面を定義している座標とは無関係であり、スキャナの走査方向に 57 m ごとに等分したライン画像を、人工衛星が 79 m 進行するごとに 1 本ずつ発生させるという方法で定義される座標系の上ののっている<sup>14), 15)</sup>。これをここでは Landsat 座標とよぶことにする。

ここで必要な座標変換はすなわち Landsat MSS データの各画素に関する Landsat 座標 (ピクセル、ライン) と経緯度座標 ( $\lambda, \varphi$ ) の関係である。この変換は高次の多項式展開により直接求める方法<sup>16)</sup>も考えられているが、ここでは走査の線形性を考慮し、横メルカトル座標を介して次のような 2 段階に分けて定義する方法を採ることとする。

- 変換① 経緯度座標 ⇔ 横メルカトル座標
- 変換② 横メルカトル座標 ⇔ Landsat 座標

ここで変換①はガウスクリューゲル投影法において増大率を 0.999 6 に設定したものであり、測量において常用されている変換式である。

一方変換②は、変換①で得られた横メルカトル座標値を ( $u, v$ )、Landsat 座標値を ( $x, y$ ) とすると、

$$u = P_1x + P_2y + P_3$$

$$v = P_4x + P_5y + P_6$$

で関係づけられる。ここに  $P_i (i=1 \sim 6)$  は 3 個以上の対応点により決定されるアフィン変換係数である。

ここで検討しておかねばならないことは、変換②により、5 万分の 1 地形図程度の局所領域の画像を投影した場合、どの程度の平面的なひずみが発生するかである。ひずみの量は具体的に次のように求めることができる。

5 万分の 1 地形図「広島」の 4 隅の経緯度をまず UTM 座標 (第 53 帯) に変換する。このとき 4 隅の点は平行

四辺形を形成しないが、アフィン変換を使う理由は、これら4点が平行四辺形に近いという仮定に基づいている。この仮定のもとに3隅のUTM座標より残りの1隅(右下)の座標値を求め、これが実際の位置と離れている量を測ると、X方向(南北方向)で-1.3m、Y方向(東西方向)で-45.7mとなった。

Landsat MSS データの解像力は57mであるので、この平面ひずみはほぼそれに対等と考え、5万分の1地形図大の局所領域の投影には、このようなアフィン変換を用いる方法でよいと考えた。

(4) 画素からエレメントへのリサンプリング

新しいエレメントが有すべきMSSデータの数値を決定する方法をリサンプリングと称するが、このリサンプリングの方法は、次のような3種類が考えられている。リサンプリングの基本的な考え方は、原データの配列を適当と思われる関数によってたたみ込むものであり、3種類の方法<sup>17)</sup>とはすなわち、たたみ込み関数の違いによるもので、おのおの関数形は図-3に示すとおりであり、以下のように記述される。

① 最近隣法 (Nearest Neighbor Method)

Gate 関数を用いる：

$$h(u) = \begin{cases} 1 & \dots |u| < 1/2 \text{ のとき} \\ 0 & \dots \text{その他のとき} \end{cases}$$

ここにuは注目しているエレメントの中心よりの距離で原データの画素間の距離を単位とする。

② 双線形補間法 (Bilinear Interpolation)

Triangular 関数を用いる：

$$h(u) = \begin{cases} 1 - |u| & \dots |u| < 1 \text{ のとき} \\ 0 & \dots \text{その他のとき} \end{cases}$$

③ 3次たみ込み法 (Cubic Convolution)

Cubic Spline 関数を用いる：

$$h(u) = \begin{cases} 1 - 2|u|^2 + |u|^3 & \dots |u| < 1 \text{ のとき} \\ 4 - 8|u| + 5|u|^2 - |u|^3 & \dots 1 \leq |u| < 2 \text{ のとき} \\ 0 & \dots \text{その他のとき} \end{cases}$$

本報告に適用したリサンプリングは①の最近隣法であり、新しいエレメントと最も近い位置にある原画像の画素からそのまま引用するため、最も処理が簡単であるということ、他のたたみ込み法に比べて画素のスペクトル特性が、そのまま保存されているという特徴がある。しかし新しいエレメントの位置におけるスペクトル特性

を正確に反映しているかという点では他の方法に劣る場合がある。

また、②の双線形補間法は、平均化されたスペクトル特性に基づく画像を得るという利点がある。③の3次たみ込み法は、外見上はスムージングされた画像を得ることができるが、場所によっては原データのスペクトル特性と異なった画像になるという欠点があり、処理が複雑である。

3. Landsat MSS データによる地表分類の方法

地表にある物質の反射率は、その表面の物理化学的組成の違いにより、スペクトル帯域ごとに異なった値を示す。人間の目は、物質のこのような性質を、太陽光線や電灯の下では色として感ずる。そして色の違いにより眺めている対象物の種類を見分けることができるのであるが、この原理を応用したのが、マルチスペクトルデータ解析であり、判別のためにいくつかの数学的手法が考えられている。

最も初歩的なマルチスペクトルデータ解析は図-4に示すような単一セルによる特徴抽出<sup>18)</sup>である。これは対象物が有していると考えられる反射エネルギーの存在範囲をあらかじめ各帯域ごとに設定し、注目しているエレメントのスペクトルデータがその範囲の中に入っている場合に、そのエレメントは所定の対象物に属していると判別するのである。

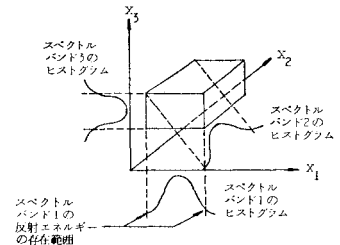


図-4 単一セルによる特徴抽出 (三次元の場合)

注目している対象物の反射率の分布状況が、他の種類の対象物の反射率の分布から明らかに孤立しているときは、この方法によって対象物を抽出することができる。しかしながら一般には分析しようとする地表の対象物の反射特性の分布は、種類ごとに完全に孤立しているのではなく、分布に広がりがあり互いに重複している部分がある。このような場合のより妥当な解析の方法として、多変量解析の一種である最尤法や主成分分析法が適用される。

(1) 主成分分析法の適用

マルチスペクトルデータは図-5に示すように対象物の種類ごとにマルチスペクトル値を成分とする多次元測定空間において群をな

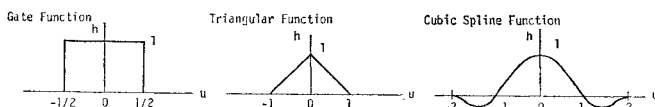


図-3 たたみ込み関数

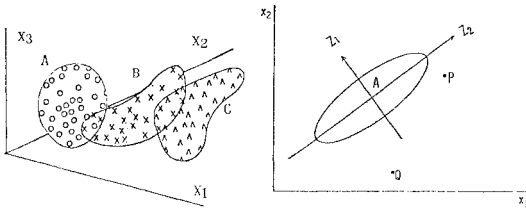


図-5 多次元測定空間 (三次元の場合)

図-6 二次元特徴空間におけるA群の分布領域

すが、注目している1組のマルチスペクトルデータがどの群に属するかを決定する最も基本的で実用的と思われる方法は、各群ごとの母集団に関する主成分分析を行い、注目しているデータが各群からどれだけのマハラノビスの距離にあるかを計算して判別する手法である。

たとえば図-6に示すように2次元の測定空間にAという種類の群が分布している場合、点Pと点Qのうちどちらが群Aに属している度合いが大きいといえるのであろうか。測定空間では点Pと点Qはともに群Aの重心より等距離にあるが、群Aの分布形状を考慮すると点Pの方が群Aに属する程度が強いと判断できる。

これを数学的に記述すると次のようになる。群Aを楕円とみなし、その長軸と短軸を新しい座標軸と考え、群Aの分布をこの新しい各軸方向に正規化するための標準偏差を求める。点Pおよび点Qからの群Aの重心に至る距離を新しい座標系上での距離として計算すれば、これらの距離は群Aの分布に対して新しい軸方向の標準偏差を単位とする値に無次元化される。この値をマハラノビスの距離と称することがある。このとき点Pの方が点Qよりも群Aの重心に近い距離にある。

ここで群Aの分布の長軸と短軸を求める方法が問題であるが、これを解くのが主成分分析<sup>9)</sup>である。新しく求められた長軸と短軸による空間を特徴空間という。原点を中心に  $X_1$  軸、 $X_2$  軸方向に対する分散がともに1となるような2次元空間上の分布について考えてみる。

長軸の方程式を方向余弦  $l_1, l_2$  を使って表わすと次のようになる。

$$x_1/l_1 = x_2/l_2 \dots\dots\dots (1)$$

$$l_1^2 + l_2^2 = 1 \dots\dots\dots (2)$$

任意の点  $(x_1, x_2)$  よりこの直線に下ろした垂線の長さの2乗は

$$x_1^2 + x_2^2 - (l_1 x_1 + l_2 x_2)^2$$

で表わされる。 $n$  個の点からこの直線に下ろした垂線の長さの2乗和を  $ns$  とすると

$$ns = \sum_{j=1}^n [x_{1j}^2 + x_{2j}^2 - (l_1 x_{1j} + l_2 x_{2j})^2] \dots\dots\dots (3)$$

長軸は  $ns$  が極値をとるところに存在すると思われるから、式(2)という制約条件式のもとに  $s$  を最小にするには、ラグランジュの未定係数を  $\lambda$  として

$$F(l_1, l_2, \lambda) = s + \lambda(l_1^2 + l_2^2 - 1) \dots\dots\dots (4)$$

の極値を求めればよい。

$$\frac{\partial F}{\partial l_1} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [-2(l_1 x_{1j} + l_2 x_{2j}) x_{1j}] + 2\lambda l_1 = 0 \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{\partial F}{\partial l_2} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [-2(l_1 x_{1j} + l_2 x_{2j}) x_{2j}] + 2\lambda l_2 = 0 \dots\dots\dots (6)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda} = l_1^2 + l_2^2 - 1 = 0 \dots\dots\dots (7)$$

式(7)は式(2)そのものであり常に成り立つから式(5)と式(6)を連立方程式として解けばよい。

$$l_1 \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{1j}^2 - \lambda \right) + l_2 \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{2j} x_{1j} \right) = 0 \dots\dots (8)$$

$$l_1 \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{1j} x_{2j} \right) + l_2 \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{2j}^2 - \lambda \right) = 0 \dots\dots (9)$$

各軸方向の分散を1としているから、式(8)と式(9)は共分散  $s_{ij}$  を使って表わせば、

$$l_1(1-\lambda) + l_2 s_{21} = 0 \dots\dots\dots (10)$$

$$l_1 s_{12} + l_2(1-\lambda) = 0 \dots\dots\dots (11)$$

式(10)と式(11)を共分散行列にまとめて表わせば

$$\begin{bmatrix} 1 & s_{12} \\ s_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (12)$$

となり、 $s_{12} = s_{21}$  であるからこれは対称行列の固有値問題に帰着することができる。

式(12)を満たす2個の固有値  $\lambda_1, \lambda_2$  を求めると、これらに対応する  $(l_1, l_2)$  が求まる。大きな固有値に対応するものが長軸、小さな固有値に対応するものが短軸であり、しかも固有値は実はそれぞれ対応する軸方向の分散となっている。一般に  $n$  次元測定空間の群の分布の形状についても同様に固有値問題として扱い解くことができる。

$n$  次元の測定空間からは最大  $n$  次元の特徴空間が導かれるが、データの解析に際しては最大次元数の特徴空間で行われる必要はない。実際のマルチスペクトルデータ解析では、4~10次元の測定空間から4次元程度の特徴空間に変換してから分類作業を行うと効率的<sup>9)</sup>である。

## (2) トレーニングエリアによる標本データの指定

地表分類調査に上記の主成分分析を適用する場合、各分類項目ごとのマルチスペクトルデータがどのような群を成すかをあらかじめ示さなければならない。この標本データを得るためにトレーニングエリアを使用する方法がとられる。

トレーニングエリアとは、注目している分類項目がマルチスペクトル画像上に明瞭に分布している領域で標本データの抽出に使用するものを指す。したがって、各トレーニングエリアは、分類項目としての均一性を有し、しかも母集団として有効な標本を作ることが可能である

表一 広島地区 GCP とその標定残差

GCP 名	経緯度座標		UTM座標(第53帯)		Landsat座標		標定残差	
	φ	λ	X(m)	Y(m)	ピクセル	ライン	ピクセル	ライン
佐波川ダム	34°16'25.9"	131°39'27.9"	3797202	192316	275.0	1806.0	-0.5	0.7
新南陽市	34°3'44.8"	131°45'15.2"	3773461	200454	524.0	2074.5	-0.6	-0.9
三田尻港	34°1'42.1"	131°35'30.3"	3770168	185327	285.5	2153.0	-0.1	-0.3
浜田港	34°52'25.6"	132°2'56.2"	3862635	230288	602.0	913.0	-0.7	-0.3
御幸橋	34°22'15.4"	132°27'49.2"	3805824	266798	1481.0	1505.5	1.5	1.1
岩国基地	34°7'48.2"	132°14'10.5"	3779652	245156	1243.5	1882.0	0.1	-0.9
玉泊貯水池	34°42'25.4"	132°19'36.9"	3843428	255208	1110.5	1080.5	-0.4	0.0
広島空港	34°21'23.1"	132°24'38.5"	3804336	261885	1406.0	1536.0	1.2	1.6
下木合	34°47'23.3"	132°52'8.9"	3851420	305066	1907.0	853.5	1.2	-0.8
新浜町	34°28'34.6"	133°24'16.3"	3815743	353499	2891.0	1159.0	-1.7	-0.3

程度以上の面積がなければならない。Landsat MSS データのように4次元成分より構成される場合の主成分分析では、標本の大きさは経験上少なくとも20画素以上含まれることが望ましい。

4. 広島市を例にとつての試作

(1) 試作領域と Landsat データの標定

広島市街が中心に収まるような5万分の1地形図は存在しないので、広島市街がほぼ中心付近に収まる図-7に示す5万分の1地形図大の領域を試作領域とした。

この領域を標定するために、周辺に10点のGCPを配置し、先に述べたように、経緯度座標、UTM座標、Landsat座標の順序で座標変換を行うこととし、交換バ

表-2 広島地表分類 1:50000 Landsat 地図の4隅の座標値

4隅の番号	経緯度座標		UTM座標(第53帯)		Landsat座標	
	φ	λ	X(m)	Y(m)	ピクセル	ライン
1	34°29'30"	132°20'00"	3819522	255164	1222.5	1370.9
2	34°29'30"	132°35'00"	3818945	278122	1610.1	1317.7
3	34°19'30"	132°20'00"	3801036	254677	1301.8	1596.6
4	34°19'30"	132°35'00"	3800460	277681	1690.2	1543.3

縮小画像:パス 120, ロウ 36, 撮影日:昭和47年10月8日

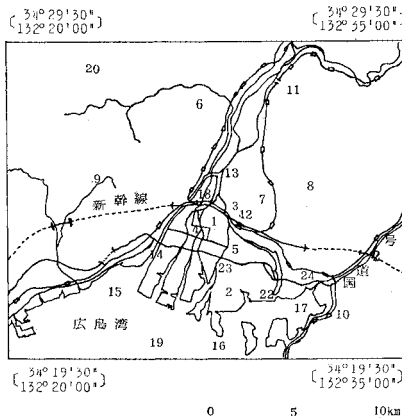


図-7 地表分類 Landsat 地図試作領域(広島)

表-3 USGS (米国地質調査所) による土地利用区分

水準 1		水準 2	
01	都市・市街地	01	住宅地区
		02	商業地区
		03	工業地区
		04	輸送通信施設
		05	商工複合地区
		06	混合地区
		07	その他
02	農地	01	畑・牧草地
		02	果樹園
		03	牧場
		04	その他
03	放牧地	01	草原
		02	サバンナ
		03	混合地
04	森林	01	落葉樹
		02	常緑樹
		03	混合林
05	水域	01	川・運河
		02	湖
		03	貯水池
		04	湾・河口
		05	その他
06	湿地	01	植生のある湿地
		02	植生のない湿地
07	荒地	01	塩原
		02	砂浜
		03	砂浜以外の砂
		04	露岩
		05	天然窟
		06	変地
		07	その他
08	ツンドラ	01	樹木のあるツンドラ
		02	草のあるツンドラ
		03	裸地のツンドラ
		04	湿地のツンドラ
		05	混合のツンドラ
09	永久氷雪原	01	永久雪原
		02	氷河

ラメーターを求めた。このパラメーターを使い、GCPにおける標定残差を計算したものを表-1に示すが、その標準偏差はピクセル方向で約1.2ピクセル(東西方向約68m)、ライン方向で1.0ライン(南北方向約79m)である。したがって試作領域は、この平面的精度で1:

50 000 Landsat 地図として再配列されることになり、4 隅の座標値を、経緯度座標、UTM 座標、および Landsat 座標で示したのが表-2 である。

Landsat データは、1972 年 10 月 8 日に Landsat-1 に よって収集された MSS データであり、撮影時の太陽高 度は 43°、太陽方位角は 144°、天候は対象地域の雲量が ゼロのものである。

(2) 分類項目の設定とトレーニングエリアによる標 本抽出

地表分類項目の設定には、米国地質調査所 (USGS) が 定めたリモートセンサデータに基づく土地利用区分<sup>9)</sup>お よび国土地理院の 1:25 000 土地利用図<sup>8),9)</sup>を参考にし た。

USGS が定めた土地利用区分は 表-3 に示すとおり であり、地球表面全域を対象とし、区分の水準を 2 段階 以上に設定したものであるが、リモートセンサデータに 基づく区分法としては、難点がいくつかみられる。たと えば水準 1 の区分において、農地、放牧地、森林、およ び湿地の 4 項目をリモートセンシングデータにより明瞭 に分類することは困難なことが多いし、都市、住宅地を 水準 2 の段階で 7 項目に分類することは、ほとんど不可 能に近い。しかしながら、この表には従来の土地利用区 分の傾向が強く反映されていると思われ、リモートセン シングデータに基づく分類項目の設定に大いに参考にな る。

一方、純粋にリモートセンシングデータの側からの分

類方法も存在するわけで、著者らの経験によれば、表- 4 のような 3 段階方式の区分方法が妥当である。水準 1 では、3 項目に大分類をしているが、これらの識別は赤 外線線の反射率に大きく依存している。水域は反射率が低 く、陸域は反射率が高い。また植生のある陸域は赤色光 の反射率が低く、植生のない陸域は高い値を示す。また 水準 2 において、森林と草地とでは赤外線線の反射率が草 地の方が大きい。

このように 表-4 は物質の反射スペクトル特性を基本 として、地表の種類を段階的に区分する方法を示したも のである。

試作地域「広島」においては、以上の表を参考にしつ つ、表-5 のように 11 項目を設定した。また従来の土 地利用図の分類項目との対応を 表-6 に示しておく<sup>18)</sup>。

表-4 3 段階方式による土地利用区分

水 準 1		水 準 2		水 準 3	
01	水 域	01	海 域	01	外洋水域
		02	河 川	02	沿岸水域
02	植生の多い陸域	01	森 林	01	流動水域
		02	草 地	02	池・湖
03	植生の少ない陸域	01	工 場	01	日 当 域
		02	市 街 地	01	日 陰 域
		03	住 宅 地	01	農 地
				02	芝 地
				01	工 場
				01	市 街 地
				01	既住宅地
				02	造成地

表-5 トレーニングエリアにおける分類項目の占有率

分類項目	トレーニング エリア	画素数	表示色 (赤緑青)	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13														
				その他	市街地	住宅地	公園緑地	森林	水田	畑地	造成地	工業地区	河川	広島湾 1	広島湾 2	広島湾 3	広島湾 4	
1 市街地	1 紙屋町	65	500	0	94	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 住宅地	2 皆実町	49	744	0	0	98	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
2 住宅地	3 牛田町	15	744	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 公園緑地	4 平和公園	17	050	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 公園緑地	5 比治山公園	21	050	0	0	0	95	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
4 森林	6 武田山	1202	030	2	0	0	5	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 森林	7 温島品	695	030	1	0	0	5	90	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 水田	8 福田	57	070	2	0	0	0	0	98	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 水田	9 石内	58	070	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 畑地	10 花上	16	770	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
7 造成地	11 高陽町	138	750	6	0	1	1	0	0	0	91	0	0	0	0	0	0	0
8 工業地区	12 広島駅	30	333	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0
9 河川	13 太田川	18	037	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
9 河川	14 太田川放水路	65	037	0	0	0	0	0	0	0	0	2	98	0	0	0	0	0
10 広島湾 1	15 広島湾 1	462	005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96	4	0	0	0
11 広島湾 2	16 広島湾 2	349	355	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	97	2	0	0
12 広島湾 3	17 広島湾 3	414	003	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	97	0	0
2 住宅地	18 三篠町	141	744	0	2	94	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
13 広島湾 4	19 広島湾 4	642	057	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	99	0
4 森林	20 沼田	383	030	2	0	0	2	97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 造成地	21 石内町	189	750	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
8 工業地区	22 仁保町	14	333	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0
7 造成地	23 皆実小学校	6	750	33	0	0	0	0	0	0	67	0	0	0	0	0	0	0
8 工業地区	24 船越町	28	333	4	0	0	0	0	0	0	0	96	0	0	0	0	0	0

これら 11 項目については、図-7 に示すトレーニングエリアを選定し、各トレーニングエリアについては現地調査を行い、実際にそこに何があるのかを確認している。代表的なトレーニングエリアの現地写真は写真-1 に示すごとくであり、その特徴は次のとおりである。

① 紙屋町：本来、都心の漸移地帯として発展してきたが電車の主要交通化に伴い現在では広島市の CBD（中央業務地区）となっており、銀行・商社などの業務中心機能が電車通りに集中している。

② 牛田町：この地区は古くより集落が発達し、平地部分はほとんど市街化され、周辺山麓、特に東側の宅地

開発が著しい。

③ 平和公園：この地区は市の中心部に位置し、原爆被災後区画整理が行われ、深い緑に囲まれた公園に整備されている。

④ 武田山：アカ松などの針葉樹を中心にした山林地帯であるが、周辺山麓は広島市の都市化の影響により宅地開発が進んでいる。

⑤ 石内：この地区は山間部の細長い稲作を中心にした水田地帯である。

⑥ 花上：白菜、大根などの混在家庭菜園が山裾付近に点在しており、山麓部では宅地開発が進行している。

⑧ 船越町：都市化が進み製鋼所、卸売市場、中小工場が多く立地している。住宅もかなり多く、住宅と工場の混在地帯である。

⑨ 太田川放水路：この放水路は治水工事により2つの川を1つの流れにしたものであり、現在では洪水の危険性もなく広島湾に注いでいる。河川敷は市民のレクリエーションの場として広く利用されている。

⑩ 宇品：広島港の棧橋があり、旅客船の発着が頻繁で広島湾の海の玄関である。

表-6 1:25 000 土地利用図と地表分類 Landsat 地図の分類項目の対応

1:25 000 土地利用図の分類項目	地表分類 Landsat 地図の分類項目	1:25 000 土地利用図の分類項目	地表分類 Landsat 地図の分類項目
一般住宅地	住宅地	供給処理施設	市街地
中高層住宅地	市街地	空地	造成地
商業地区	市街地	改変工事中の区域	造成地
業務地区	市街地	田	水田地
工業地区	工業地区	普通	畑地
公共業務地区	市街地	裸	造成地
文教地区	造成地	針葉樹林	森林
厚生地区	市街地	広葉樹林	森林
公園緑地	公園緑地	混交樹林	森林
運輸施設	工業地区		

(3) 地表分類とその達成能力の評価

試作領域「広島」の Landsat MSS データを使い、マ

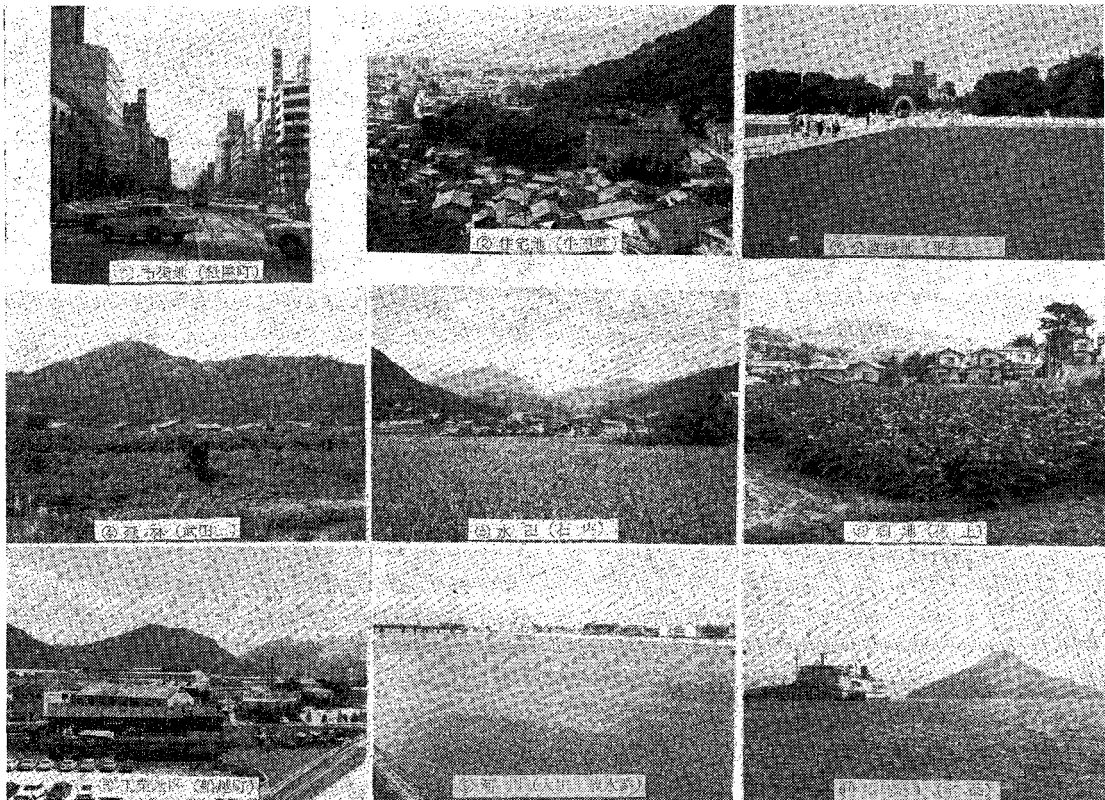


写真-1 代表的トレーニングエリアの現地写真

マルチスペクトル画像解析装置 M-DAS により、この領域の地表分類を行った。地表分類には、図-7 に示すトレーニングエリアに対応するデータを標本とし、主成分分析を基本とする多変量解析が適用された。各項目ごとのトレーニングエリアにおけるサンプル数（抽出した画素数）は表-5 に示すとおりであり、スペクトル特性は図-8 に示すようであった。図-8 における MSS デジタル出力値と対応する地上の放射（反射してくる光の強さ）の絶対値との関係は表-7 に示すとおりである。

ところで、多変量解析によって MSS データが分類された結果が正しいかどうかを、全領域の分類を行う前に検査しておく必要がある。トレーニングエリアによって決定された多変量解析の諸係数を使って分類した結果が、トレーニングエリアにおいては、やはり指示した分類項目になっているかどうかを調べることにより、分類の達成能力の指標とすることができる。これを示したのが表-5 であり、分類項目「造成地」（トレーニングエリア：皆実小学校）を除いてはほとんど 90% 以上の再分類結果となっている。皆実小学校において達成能力が低いのはサンプル数が少なすぎたことが一因と思われる。

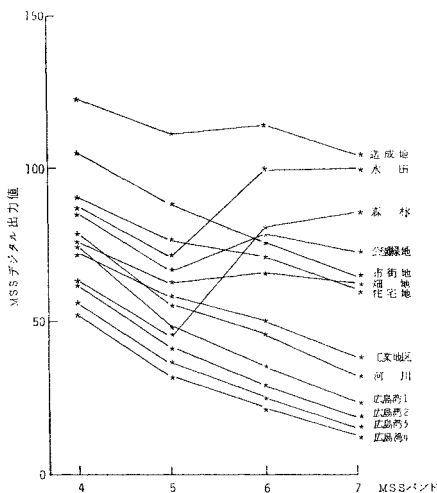


図-8 トレーニングエリアのスペクトル特性

表-7 MSS デジタル出力値の定義 (図-8 に対する)

	MSS 4	MSS 5	MSS 6	MSS 7
センサーのスペクトル応答スペクトル幅	0.5 μ~0.6 μ	0.6 μ~0.7 μ	0.7 μ~0.8 μ	0.8 μ~1.1 μ
対応する光の色	緑色光	赤色光	近赤外線	近赤外線
デジタル出力値の範囲	0~255	0~255	0~255	0~255
上記に対応する地上放射	$mWcm^{-2} sr^{-1}$ 0~2.48	$mWcm^{-2} sr^{-1}$ 0~2.00	$mWcm^{-2} sr^{-1}$ 0~1.76	$mWcm^{-2} sr^{-1}$ 0~4.00

MSS: Multi-spectral Scanner (多重スペクトル走査計)

## 5. 5 万分の 1 地形図との重ね合せ表示とその効用

### (1) 平面的精度を有する出力画像の作成

一般的に人工衛星および航空機で収集されるリモートセンシングデータを利用するうえで重要なことは、地形図と重複し、地図の情報を付加してリモートセンシングした原データや解析結果を眺めることにあると思われる。そのためには、リモートセンシングデータの画像出力が、幾何学的に地図と相似な平面形状とならなければならないが、これはハードウェアそのものに依存している。著者らが、重ね合せを行うために試みてきた画像出力のためのハードウェアと出力画像の幾何学的評価は次のようであった。

#### A. カラー CRT モニタ

これはマルチスペクトル画像解析装置 Image-100 や M-DAS 等に装備されているカラー CRT モニタ (Cathod Ray Tube Monitor) であり、モニタ画面上に出力された映像をカメラで撮影して用いる。画像の平面ひずみは CRT の特性上周辺におけるわん曲が著しい。そのひずみ率は最良に調整した状態で、約 5% 程度である。

#### B. カラー FSS

FSS (Flying Spot Scanner) 方式で作られている画像出力装置には Dicomed 社の Dicomed D-47 がある。この装置の画面は 1 画素が 25 μm の大きさで、4096 × 4096 個の画素で構成されている。カラー画像を作成するためには、投影面上にカラーフィルムを設置しておき、順番にフィルターを変えて B, G, R の単色光で重複露光する。この露光方式はカラー CRT モニタのように、電子銃からの BGR ビームの同時放出ではない点に特徴がある。

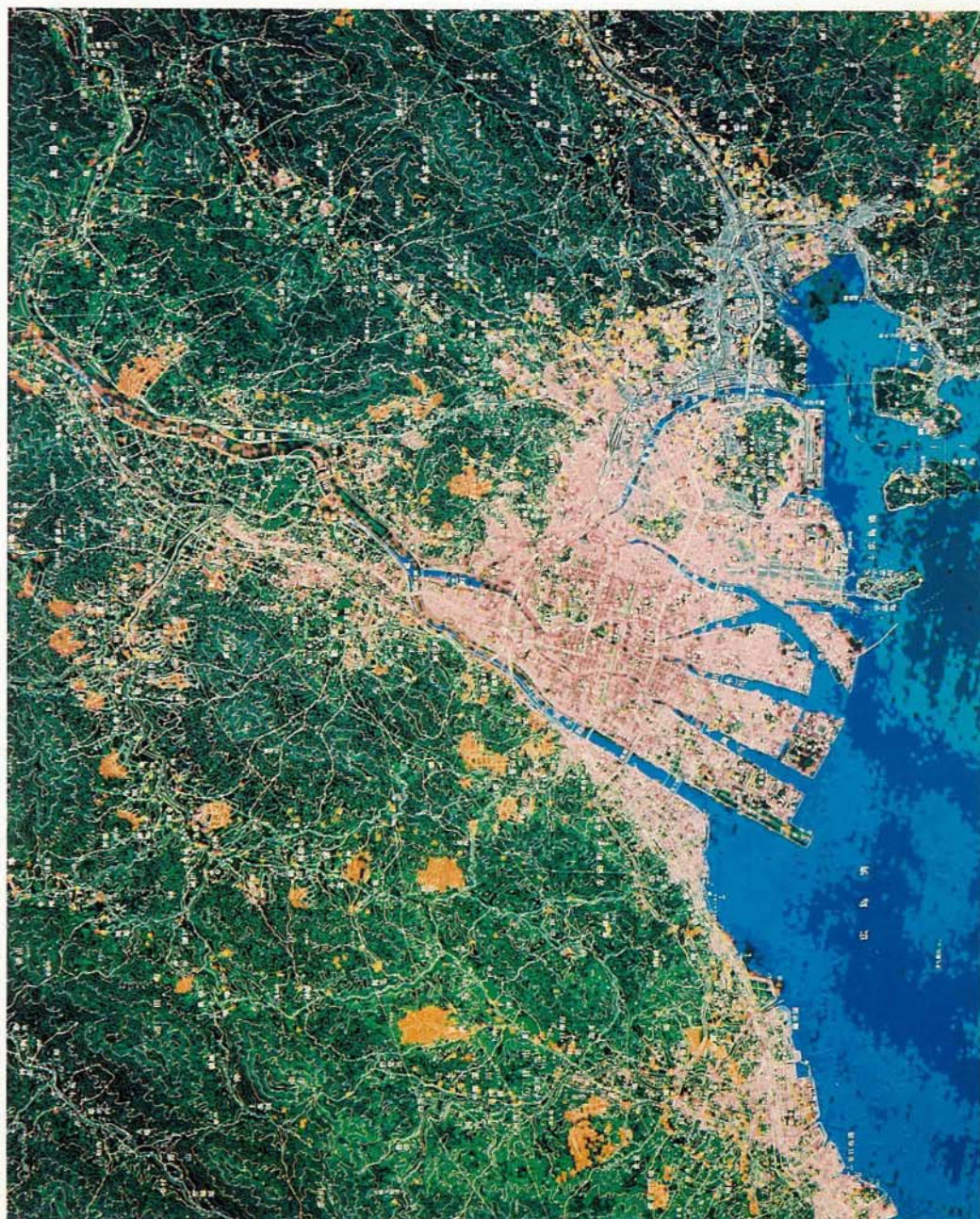
平面的精度は、CRT モニタよりはるかに優れ、本研究における検査によれば、縦横のひずみは 0.5~1% と測定されている。

#### C. ドラム式フォトライタ

これはドラム上にフィルムを巻きつけておき、横方向は回転速度に同期させ、縦方向は 1 ラインごとの光源の移動により画像を出力する方式で、幾何学的には最も安定した画像が得られるといわれている。この方法による平面的な縦横ひずみを検査したところ、約 0.2~0.3% と測定された。

本研究で実際に使用したのは、B. のカラー FSS によるものであり、機種は Dicomed D-47 であった。分類項目ごとに適当と思われる色をつけた原画と 5 万分の 1 地形図を重ね合せ、最終的に作成したのが写真-2 に示





- 凡 例
- 赤……………市街地
  - 桃……………住宅地
  - 緑……………公園緑地
  - 濃緑……………森林
  - 淡緑……………水田
  - 黄……………畑地
  - 黄土……………造成地
  - 灰……………工業地区
  - 淡青……………河川
  - 濃青1……………広島湾1
  - 濃青2……………広島湾2
  - 濃青3……………広島湾3
  - 濃青4……………広島湾4

ただし、  
Landsat Data :  
1972. 10. 8

昭54総復第793号

この地図は、建設省国土地理院長の承認を得て、  
同院発行5万分の1地形図を複製したものである。

写真-2 広島地表分類 1 : 50 000 Landsat地図



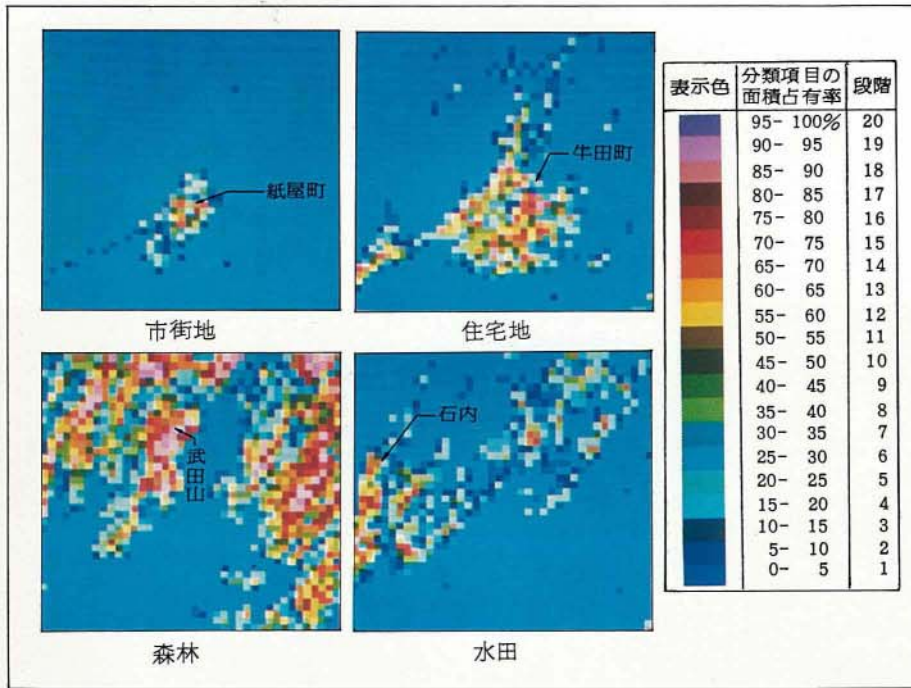


写真-3 分類項目ごとの面積占有Landsatメッシュ画像（2分の1地域メッシュ）

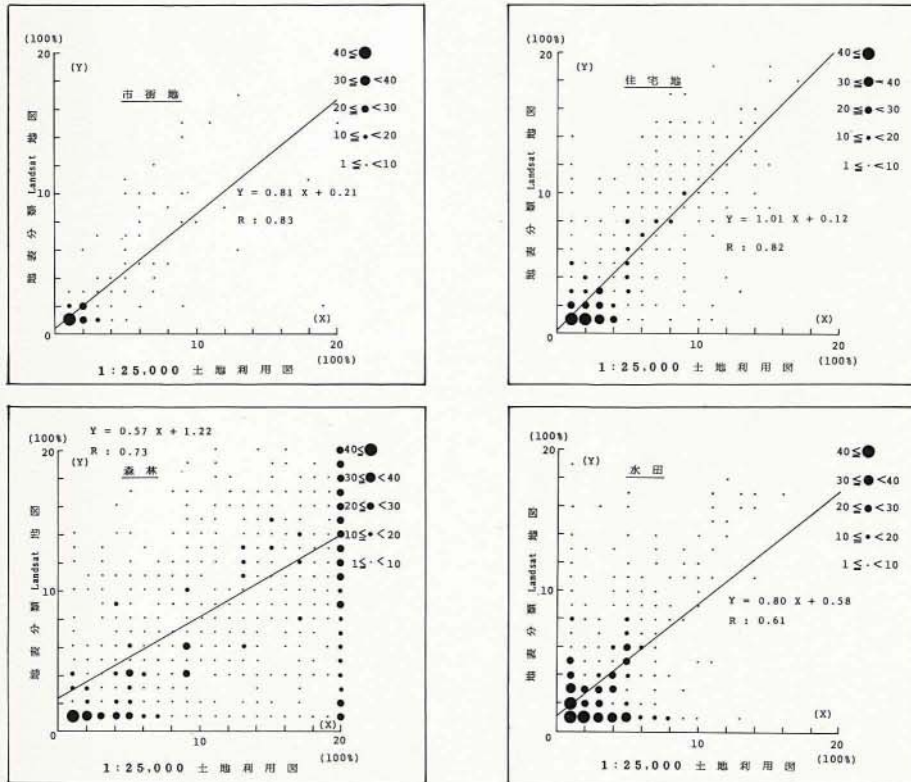


図-9 分類項目ごとの2分の1地域メッシュ占有面積の関係

(X軸、Y軸はともに該当分類項目の面積比(20段階)を表わす)

す広島 の地表分類 1 : 50 000 Landsat 地図である。

## (2) 地形図の重ね合せによる表示効果

Landsat による原画像、または解析画像をそのまま表示したもの（以下表示Aとよぶ）と、それらに地形図を重ね合わせて表示したもの（以下表示B(写真-2)とよぶ）では、表示効果がどのように違うかを検討し、次のような認識を得た。

表示Bでは Landsat 画像上で対象としている地域の地形をはじめとする地理情報を容易に読み取ることができ、表示Aに比べて現地との対応が非常にとりやすい。

上記のような表示効果は、一般的な傾向を示すものと思われ、表示Bは Landsat 画像から必要な情報を得るための重要な条件であると考えられる。

## 6. 従来の土地利用図との比較検討

著者らは当初、本研究で作成した地表分類 Landsat 地図を土地利用図として使うことができるであろうという想定をもっていた。しかしながら、結果は従来の土地利用図とかなり類似しているが、同じではないので、この新しい地図の評価およびどのような用途があるかについて以下のような比較を行った。

### (1) 土地利用図との比較

従来の国土地理院発行の2万5千分の1土地利用図と地表分類 Landsat 地図との相違を定量的に調べるために2分の1地域メッシュに含まれる分類項目の割合について比較解析を行った<sup>19)</sup>。

前に述べたように地表分類 Landsat 地図は2分の1地域メッシュまでは互換性を有しているので、分類項目ごとに2分の1地域メッシュが含んでいるエレメントの数を計数し、メッシュ面積の占有率を5%おきに20段階のクラスに分けた。これを表示したのが写真-3であり、それぞれ市街地、住宅地、森林、水田を表わしている。

一方、従来の土地利用図についても同様にメッシュデータ化を行った。具体的には一定間隔の格子線が刻まれた透明なドット・テンプレートを2分の1地域メッシュ化した2万5千分の1土地利用図上にオーバーレイし、格子の中央部に写っている土地利用区分の数をかぞえた。ドット法では1ドット当たりの面積が小さいほどデータの精度は向上するが、ここでは2分の1地域メッシュの中に5×5ドットを設定した。

このようにして両方のデータから得られた分類項目ごとの2分の1地域メッシュの占有率を対応させたのが図-9の相関図である。横軸(X軸)に土地利用図による

段階をとり、縦軸(Y軸)に、地表分類 Landsat 地図による段階をとってある。これらの4つの図面より以下のような両者の間の特性を読み取ることができる。

回帰式のY軸における切片は、いずれも正であり、また $x=20(100\%)$ の軸においては、住宅地の場合を除いて切片はいずれもレベル14~17(70~85%)の付近に位置している。

したがってこれを一般的に解釈すると、ある分類項目に関して、土地利用図には表示されていない場合でも地表分類 Landsat 地図では表示されているという結果が得られるし、土地利用図では該当するメッシュが100%ある項目で満たされていても、地表分類 Landsat 地図では、必ず他の項目が含まれていることになる。

ここで4項目についてやや詳しく検討した結果を次に示す。以下、土地利用図をA図、地表分類 Landsat 地図をB図とよぶ。

市街地について：A図において市街地でないところはB図においても同程度に市街地ではない。しかるにA図において100%市街地と認められる場合でも、B図においては約15%程度は他の分類項目が含まれていることを示している。この15%の大部分は住宅地および工場であると考えられる。たとえば、写真-1の①に示すように設定された2分の1地域メッシュ内において、紙屋町付近は都市構造物の複合地域であり、電車通りに面してビル構造物が建ち並んでいるが、その裏通りでは低層構造物や緑地が存在している。

住宅地について：A図において住宅地と認められるところはB図においても同程度に住宅地であり、両者の分布状態に相関がみられる。一方、A図で約20%住宅地と表示されていても、B図では物理的に約10%が住宅地と推定される。たとえば、写真-1の②に示されるような住宅地ではその大部分が一般低層住宅で占められているが、山あいの該当メッシュにも宅地化が進んでおり、住宅地域内にもビル構造物が点在している。

森林について：A図において森林が0%と表示されていても写真-3における森林の分布領域の外縁付近に相当する地域では、B図においては約10%程度が森林で占められ、逆に100%森林で表示されていても物理的には約70%が森林と推定される。たとえば、写真-1の④に示されるように山際付近の該当メッシュでは住宅地や農草場が隣接している。

水田および草地について：A図において水田や草地が0%と表示されていても、B図によれば約5%程度は水田や草地である。逆にA図で100%と表示されていても、B図では約85%が水田である。たとえば、写真-1の⑤に示すように、該当メッシュ内で農草場に隣接して農家などの集落が点在し、また山際付近まで農草場が

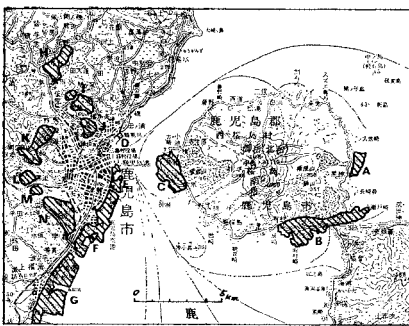
接近している。

## (2) 過去の地形図を利用した場合の用途

著者らは地表分類 Landsat 地図の幾つかの利用の途を捜そうとしている。地表分類 Landsat 地図作成の最初の意図は、Landsat 情報と地形図との重ね合せが、利用者に必要な情報を得るうえで相乗的な効果を与えるであろうということを狙ったものであった。

ここでは地表分類 Landsat 地図の1つの用途として、土地利用の変化の追跡が的確にできるということを述べてみたい。すなわちいま基図として過去に作成された地形図を選ば<sup>20)</sup>、それが作成された時期より、Landsat データが収集された日までの土地利用の変化を抽出することが可能である。

この例証を行うために、5万分の1地形図「鹿児島」の地域を選び、1902年測図の地形図<sup>19)</sup>と1972年に収集した Landsat データによる分類結果を重ね合わせた地表分類 Landsat 地図を作成し、明治から現代までの間に



図—10 鹿児島市の土地利用変化地域

表—8 地表分類 Landsat 地図により検出された土地利用変化（鹿児島 1902～1972年）

変化事由	地区名/用途等	変化面積 (km <sup>2</sup> )
溶岩原の拡大地域	A 黒神町/昭和溶岩	0.75
	B 有村町/昭和溶岩	3.31
	C 袴腰/大正溶岩	2.49
	小計	6.55
埋立地	D 祇園州付近/空地	0.11
	E 新港付近/工場	0.80
	F 鴨池港南港/工場	2.01
	G 2号3号用地付近/工場	4.80
小計	7.72	
造成地	H 伊敷団地	1.58
	I 薩摩、王里団地	1.53
	J 城山団地	0.61
	K 原良、武岡団地	2.11
	L 西郷団地	0.63
	M 田上団地	0.48
N 紫原	2.23	
小計	9.17	

大規模に変化した地域を面積的に求めることを試みた。鹿児島の場合、地表面の変化の中には、部落が溶岩に埋もれた例も含まれるため、それらの変化を土地利用の変化というよりも自然環境の変化という方が妥当かもしれない。

地表分類 Landsat 地図からは、そのような大規模な変化地域として、①桜島の溶岩原の拡大、②鹿児島市の埋立地、③鹿児島市の市街地の膨張等が明瞭に識別でき、変化地域は図—10に示す斜線の部分であった。おのおの面積をデジタイザにより測定した結果は表—8に示すとおりである。大規模団地の造成面積と変化面積を変化事由ごとに累台帳と照合比較したところ、測定誤差はほとんど10%以内であった。

## 7. 結 論

Landsat によって収集された MSS データを5万分の1地形図1図葉に合致するように再配列するには、UTM 投影法を経由しアフィン変換を使えば、計算上は最大45mのひずみに収まり、これは1画素が57m×79mの大きさの現在の Landsat MSS 画像に対する座標変換方法としては妥当であると考えられる。平面的精度を有する出力画像の作成には、ここではカラー FSS を使用しているが、実験結果より縦横ひずみが約1%認められ、地形図と重ね合せ表示するには、より精度の高いドラム走査型フォトライタが望ましい。

MSS データの分析の方法としては、主成分分析法による多変量解析を使っているが、分類の達成能力および分類結果から判断する限り、不十分な箇所は発見されない。また再配列には最近隣法を使っているが、これについても支障は生じていない。

Landsat MSS データによる地表分類と地形図の重ね合せ表示が、本報告の大きなテーマであるが、その効用は現地との対応がとりやすいこと、および現地の地形をはじめとする地理情報を同時に読み取れることであり、これらが Landsat 地図より必要な情報を得るための重要な条件となると考えられる。

従来の土地利用図との比較検討については土地利用図との回帰式を作成することによって行った。地表分類 Landsat 地図に対する著者らの展望をまとめると次のようになる。本図は従来の「土地利用図」の代用となることは難しいけれども、分類項目や分類精度を明瞭に記述したうえで、新しい使い方を考えれば、利用の見込みがある。また従来の「土地利用図」との間に作成した回帰式は、この新しい地表分類図が、地表の物理的特性を忠実に反映した現状の記述であるのに対し、土地利用図はむしろ用途地域を人為的に指定するような傾向があるこ

とが示された。

最後に本図の利用の途の1つとして、過去の地図を利用すれば、土地利用または自然環境が変化した地域を容易に的確に検出できることが例題によって示された。

本研究を進めるにあたり、航空宇宙技術研究所の森菌繁光氏には、平面精度を有する出力画像の作成に関して貴重な助言と多大なるご協力をいただいたことをここに深く感謝する次第である。

#### 参 考 文 献

- 1) 村井俊治・奥田 勉：LANDSAT データによる土地被覆分類，日本写真測量学会年次学術講演会，1977年5月。
- 2) 星 仰：航空機による MSS データの処理システム (USAS) とその適用に関する研究，土木学会論文報告集，第285号，1975年5月。
- 3) U.S. Geological Survey：Land Use Classification System for Use with Remote Sensor Data，1974。
- 4) General Electric Company, Ground Systems Department：Image 100 User Manual, June, 1975。
- 5) Bendix：BSR 4210, MDAS Technical Description, 1976。
- 6) Cooley, W.W. and P.R. Lohns：Multivariate Data Analysis, Chapter 3, John Wiley & Sons, Inc., 1971。
- 7) Kendall, M.G.：A Course in Multivariate Analysis, Charles Griffin & Co. Ltd., 1968。
- 8) 国土地理院：2万5千分の1土地利用図区分分類要項，1977。
- 9) 国土地理院：2万5千分の1土地利用図図式規定，2万5千分の1土地利用調査作業規程，1976。
- 10) 総理府統計局：地域メッシュ統計の解説，1974。
- 11) 国土地理院：2万5千分の1土地利用図「広島」，「祇園」，「中深川」，「甘日市」，「海田市」，「厳島」，「似島」，「吉浦」
- 12) 国土地理院：5万分の1地形図「鹿児島」，1902年。
- 13) 田中總太郎・狩野弘昭・菅 雄三：2万5千分の1 Landsat Map への実験的研究，写真測量とリモートセンシング，Vol. 15, No. 3, 1976。
- 14) U.S. Geological Survey：Landsat Data Users Handbook, Revised Edition, 1979。
- 15) Goddard Space Flight Center：Generation and Physical Characteristics of the Landsat 1 and 2 MSS Computer Compatible Tapes, November, 1975。
- 16) 村井俊治・前田 紘：LANDSAT MSS データの再配列，日本写真測量学会年次学術講演会，1978年10月。
- 17) TRW, Defence and Space Systems Group：Quest, Aug. 1977。
- 18) 菅 雄三：Landsat データによる広島の都市環境調査 (I)，広島工業大学研究紀要，Vol. 14, No. 18, 1980年3月。
- 19) 日高精之・杉村俊郎・田中總太郎：Landsat データから土地利用メッシュデータリストの作成とその精度について，日本写真測量学会年次学術講演会，1978年5月。
- 20) 二宮 泰・田中總太郎・中山裕則：宇宙から見た鹿児島過去の過去と現在，APA (日本測量調査技術協会)，No. 12-13, 1980年4月。
- 21) 二宮 泰・田中總太郎・杉村俊郎・木村 宏・中山裕則・関 典嗣：20万分の1地表分類 LANDSAT 地図の製作に関する研究，日本国際地図学会「地図」，Vol. 19, No. 2, 1981年。

(1981.2.23・受付)