

# 衛星画像データの 카테고리分類と解析精度向上のための手法

## A Proposal on the Evaluation Improvement for the Category Classified Satellite Image Data

○田中 昇、小比類巻孝幸

○Noboru Tanaka, Takayuki Kohiruimaki

八戸工業大学

Hachinohe Institute of Technology

キーワード：衛星画像データ(Satellite Image Data)、土地被覆分類法(Land Cover Mapping Method) 画像解析(Image Analysis)

連絡先：〒031 八戸市妙字大開88-1 八戸工業大学情報システム工学研究所 田中 昇  
Tel.:0178-25-8141, Fax.:0178-25-1048, E-mail:tano@hi-tech.ac.jp

### 1. はじめに

広域にわたる市街地等の土地被覆状況の調査には人工衛星画像データの活用は欠かせない。利用できる地球観測衛星データには、Landsat, Noaa, Mos1等があるが、解像度も高く手軽に入手できることからLandsat衛星データが最も利用されている。しかし、衛星データの利用にあたっては、土地被覆状況のカテゴリ分類がどの程度の精度でできるか、分類手法の開発も含めて問題となる。

これらの問題の要因としては、

- ①衛星データ(特性バンド)をどのように組み合わせたら、土地被覆状況に関する情報がより詳細に得られるか。
  - ②現地調査によって得られるトレーニングデータの信頼性と代表性。
  - ③衛星データのカテゴリ分類における統計的手法。
- 等が重要である。①に関しては、複数の

データ(バンド)の合成によって情報量を増す目的で、多時季にわたるデータの合成によって得られる多次元空間の解析も試みられている。②に関しては、トレーニングデータそれ自身の精度を問題とする研究や、多次元特徴空間の次元を減少させて個体の分布状態を視覚的に表現し、トレーニングデータの代表性を改善しようとする研究も試みられている。<sup>4,8)</sup> ③に関しては、最短距離法や最尤法、BDTやニューロコンピュータ等<sup>9-13)</sup>の手法が広く用いられている。

我々は、これまで<sup>1-3)</sup>、LANDSAT衛星画像データ利用により、土地被覆状況がどの程度の精度で解析できるか探ってきた。その結果、各土地被覆項目に所属する輝度を色度・明度3D分布図で表現することが、土地被覆状況の解析に有効な手段であることを見い出した。本研究では、この色度・明度3D分布図を用いて解析精度を向上させる方法を提案し、その検証を行う。

## 2. 方法

### 2.1 衛星画像データの組み合わせ

LANDSAT衛星は、MSSとTMの二つのセンサを搭載している。観測波長帯は7つあり、それぞれがバンドと呼ばれている。TM (Thematic Mapper: セマティックマップパー) の分解能は28.5mである。表1にそれぞれのバンドの特性を示す。画像合成は、この7つのバンドのうち、3つを選びそれぞれを赤、緑、青に対応させて行う (RGB合成)。RGB合成のためのバンドの選択においては、なるべく多くの土地被覆項目が視覚的に識別できるようにバンドを組み合わせることが重要である。

表1 衛星画像データ	
バンド	特性
1	濁水分布、針葉樹と広葉樹の区別
2	地表構造物の識別、濁水分布
3	地表構造物の識別、植生調査
4	水域と陸域の境界線抽出、植物の活力度
5	地表構造物の識別、雪と雲の区別
6	水温分布、地熱分布、都市環境温度
7	岩石変質地域の識別

ランドサット衛星TMデータ、分解能は28.5mである。

### 2.2 トレーニングエリアの設定と輝度値のクラスタリング

画像を構成する画素の輝度値がどの土地被覆項目を表すかを検討するために、地図・現地調査・航空写真などを参考に、トレーニングエリアを設定する。トレーニングエリアの設定するにあたっては、①単一の土地被覆項目が比較的広い地域に及んでいる、②現地調査が行える等、場所の選定に留意する必要がある。①については、この後抽

出される輝度値の中に、その土地被覆項目以外の項目を示す輝度値や1画素の中に複数の土地被覆項目の情報が混在しているMixel、等の混入を防ぐためである。②については、地図などで調べた土地が本当にその土地の被覆状況を示しているのかを実測により確かめる意味と、より詳細な被覆の状況を調査するためである。

トレーニングエリアの設定後、各トレーニングエリア内の土地被覆項目を調べ、その結果を参照しながら、衛星画像上の同じ領域でそれら項目の輝度値を解析する。各土地被覆項目ごとに属する輝度値をまとめ、輝度クラスを作成する (初期輝度クラス)。

### 2.4 色度・明度3D分布図

初期輝度クラスには、Mixelやいくつかの項目に重複して属している等、不適切な輝度値が含まれている。また、どの項目にも含まれていない未所属の輝度値が多数存在する。このため、それら不適切な輝度値を取り除き、未所属の輝度値がどの項目に属するかを統計的な手法等によって決定する必要がある。しかし、輝度値の分布 (初期輝度クラス) そのものは、お互いに分布範囲が交差しているなど、分布状態が明確でなく統計処理などでの解析は困難である。

本研究では、輝度値を色度・明度に変換し3次元の分布図として表すことによって、視覚的に被覆項目の分布状態や不適切な輝度値を識別できることを見いだした。この「色度・明度3D分布図」によって、分布の規則性が見いだされ、未所属の輝度値のクラスタリングも統計的処理によって可能となる。

色度・明度3D分布図は、輝度値を以下のように色度・明度に変換する事によって得られる。

輝度値を輝度表を用いてR,G,B (インデックスカラー) に変換し、その値を次式に代入すると、三刺激値X, Y, Zが得られる。

$$X=(0.6067R+0.1736G+0.2001B) a,$$

$$Y=(0.2988R+0.5868G+0.1144B) a,$$

$$Z=(0.0661G+1.1150B) a \quad (1)$$

ただし、 $a=(100/255)$ 。ここで、 $Y$ は明度である。この三刺激値から色度 ( $x, y$ ) が、

$$\begin{aligned} x &= X / (X+Y+Z), \\ y &= Y / (X+Y+Z) \end{aligned} \quad (2)$$

により求められる。(1)式と(2)式を用いて、輝度値を土地被覆項目ごとに色度・明度 ( $x, y, Y$ ) に変換して3次元分布図を作成する。3次元分布図によって、一見バラバラな値を示していた輝度クラスがまとまった分布を形成していることや不適切な輝度値を、視覚的に確認できる。

## 2.5 最尤法によるクラスタリング

初期輝度クラスには不適切な輝度値が混在しているので、まず、それらを取り除き、「洗練輝度クラス」を作成する。次に、その洗練輝度クラスを教師として、全輝度値のクラスタリングを行い、各カテゴリーに所属する輝度値を決定する(新輝度クラスの作成)。以上のことは、輝度値の変換によって得られる色度・明度3D分布に統計的な処理を施すことによって行う。統計的な手法としては、以下に述べる最尤法を用いる。

最尤法は、 $n$ 次元のデータ群からなる $l$ 個のクラスの確率分布が与えられているとき、未知の点を尤度が最大のクラスに属させる方法である。今、 $k$ 番目の輝度クラスのデータが $m$ 個ある時、輝度値から変換される色度・明度 ( $x, y, Y$ ) 3次元のデータ  $X$  によって、 $k$ クラスへの尤度は次式で表される。

$$f_k(X) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} |\hat{S}_k|^{3/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(X - \bar{X}_k)' \hat{S}_k^{-1} (X - \bar{X}_k)\right\} \quad (3)$$

ここで、 $\hat{S}_k$ は $k$ クラスの分散-共分散行列

$$\hat{S}_k = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (X_{ik} - \bar{X}_k)(X_{ik} - \bar{X}_k)' \quad (4)$$

である。実際の計算では、(3)式の対数とって得られる式、

$$g_k(X) = \log|\hat{S}_k| + (X - \bar{X}_k)' \hat{S}_k^{-1} (X - \bar{X}_k) \quad (5)$$

を計算し、マハラノビスの距離

$$(X - \bar{X}_k)' \hat{S}_k^{-1} (X - \bar{X}_k) \quad (6)$$

によってクラスタリングを行う。

## 2.6 新輝度クラスの作成

最尤法によって、不適切な輝度値を「初期輝度クラス」から取り除き「洗練輝度クラス」を得る。さらに、最尤法によって、洗練輝度クラスを教師として未所属の輝度値のクラスタリングを行い「新輝度クラス」を作成する。「新輝度クラス」を色度・明度3D分布図に表すことによって、不適切なデータを選定する誤りが避けられ、分類(分布)状況を視覚的に確認することができる。

## 2.7 グラントゥールスによる占有率の検証

新輝度クラスからは、各土地被覆項目(カテゴリー)の占有率が求められる。占有率は、各カテゴリーの画素数を画像解析によりもとめ、

$$\text{占有率 (\%)} =$$

(カテゴリーの画素数/総画素数) × 100  
の式によって計算する。

カテゴリー分類がどの程度の精度で行えたかを検証するためには、この占有率をグラントゥールスによる実測結果と比較して行う。グラントゥールスは、

- ①カテゴリーが明確に分類されている場所、
  - ②測定のし易い場所、等を考慮して行う。
- 測量結果を画像として表し、画像解析によって占有率を求める。

### 3. 結果

#### 3.1 衛星画像データの組み合わせ

人間の目でみた自然な色調で表現させるために、観測波長帯（バンド）が可視域にある衛星画像データを、RGBにそれぞれ対応させられるような3つのバンドを選ぶ。図1は、RGBにそれぞれバンド3、バンド2、バンド1を対応させて得られたトゥルーカラー合成画像である。この画像は、地表構造物の判別や植生調査等の解析には適している。しかし、この画像をより多くの土地被覆項目に分類しようとする場合、例えば針葉樹と広葉樹の識別が難しい等、分類が制限される。また、土地被覆項目に対応する輝度値をクラスタリングする場合、類似の輝度値をどの項目に所属させるかを決める時に困難な場合が多く、これは分類精度を下げる大きな原因となる。

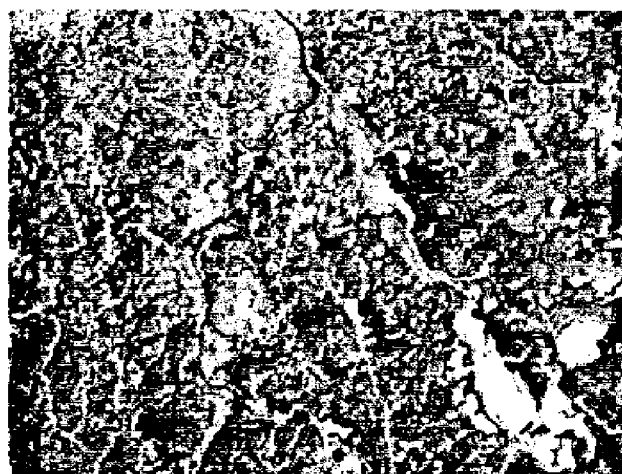


図1 トゥルーカラー合成  
(RGBにそれぞれバンド3、  
バンド2、バンド1を対応)

より多くの土地被覆項目を精度良く分類するために、春と秋の画像データを組み合わせて情報量を多くし、被覆項目がより識別分類可能な画像が得られるようにバンドの組み合わせを検討した。図2は、Rに夏のバンド7を、GとBにそれぞれ秋のバンド5とバンド3を対応させて得られた合成画像である。この画像では、図1では区別のつ

きにくかった土地被覆項目でも、視覚的に識別可能となっている。

図2からは9つの土地被覆項目、空き地・裸地・石灰採掘場・住宅地域・田・畑・広葉樹林・針葉樹林・牧草地・河川、を識別することができた。識別する項目を決定するにあたっては、土地利用図分類区分表（国土地理院発行）を参照した。



図2 夏秋衛星データの合成画像（Rに夏のバンド7を、GとBにそれぞれ秋のバンド5とバンド3を対応）

#### 3.2 トレーニングエリアの設定

分類した9つの土地被覆項目に属する輝度値を探し出すために、トレーニングエリアの設定を行った。設定にあたって使用したのは昭和55年国土地理院発行の土地利用図である。この地図を参考に、トレーニングエリアとしての条件を満たす地域を各土地被覆項目ごとに選んだ。これに加え、衛星画像データを測定した年（1984年）と土地利用図を測量した年（1973年）とは隔たって且つ古いため、画像と地図を見比べ視覚的に土地被覆状況の変化のない場所、さらに、現地調査もおこない、顕著に単一の土地被覆項目が広く分布しているところを選ぶように留意した。なお、牧草地については狭い範囲で分布している場所より見つからなかったため、2カ所に渡って設置した。図3は、土地利用図にトレーニングエリアを設置した画像である。図4は、衛星画像の同位置にトレーニングエリアを書き込んだものがある。

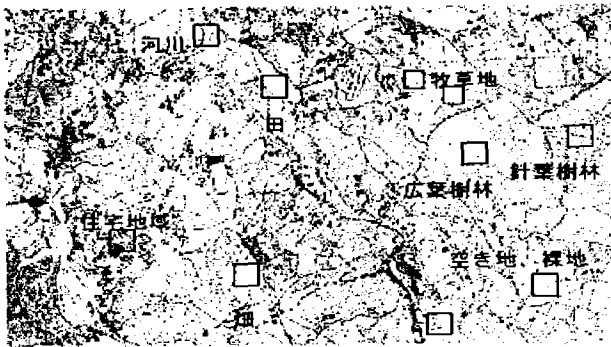


図3 トレーニングエリア  
(土地利用図)

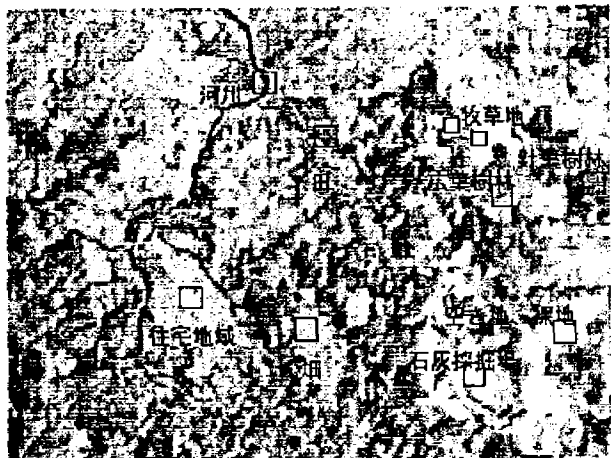


図4 トレーニングエリア  
(衛星画像)

### 3.3 土地被覆項目と輝度クラス

図3と図4の各トレーニングエリア内において、分類した9つの土地被覆項目を比較することにより、各土地被覆項目に属する輝度値を調べた。表3は、各トレーニングエリアで土地利用図と衛星画像を重ね合わせ、各エリア内の画素の輝度値を抽出し初期輝度クラスとしてまとめたものである。

### 3.4 色度・明度 3D分布図

表3の初期輝度クラスで各土地被覆項目に属する輝度値を見ると、同じ輝度値が複数の土地被覆項目に含まれていたり、また、どの項目にも属さない輝度値が多数存在する。このような不適切な輝度値や未所属の輝度値の所属を定めるためには統計的な扱いによるが、表3に見られるように分布する範囲が各項目でお互いに重複しており、

このように分布が明確でない場合には統計的な処理が難しくなる。以上の問題は、本研究で提案する「色度・明度 3D分布図法」によって避けられる。図5は、表3の各土地被覆項目の輝度値を色度・明度に変換し3次元の分布図として表したものである。図5から、各土地被覆項目ごとにクラスを形成していることや不適切な輝度値を視覚的に確認できた。

表3 初期輝度クラス	
土地被覆項目	所属輝度値
空き地、裸地	0、1、6、7、8、12、13、42、43
石灰採掘場	18、19、20、54、55、93、96、99、134、138、141、170、175、177、178
住宅地域	48、49、54、55、84、85、90、91
田	3、4、10、39、40、41、45、46、47、52、53、76、82、83、88、89
畑	78、79、84、114、115、120、121、126、127、131、156、162、163
広葉樹林	36、74、75、76、81、82、111、117、
針葉樹林	120、129、130、135、136、166、171、172、178、214
牧草地	39、72、73、74、75、79
河川	93、94、98、135、140、142、143、178、179

いくつかの項目に重複して所属している輝度値が存在する

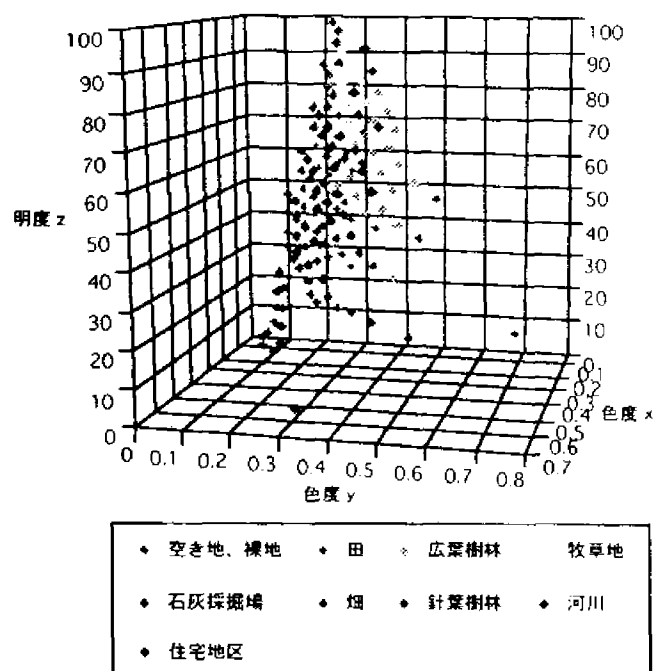


図5 色度・明度 3D分布図

### 3.5 教師の作成

色度・明度3D分布を用いて、土地被覆項目に重複して含まれている輝度値や、本来はその土地被覆項目に含まれるはずのない輝度値を、統計的手法によって取り除いた。表4は、輝度値を色度・明度に変換し、最尤法によって洗練された輝度クラスである。この洗練輝度クラスを未所属の輝度値をクラスタリングするための教師とする。

土地被覆項目	所属輝度値
空き地、裸地	0、1、6、7、8、12、13、42、43
石灰採掘場	18、19、20、96、138、175、177
住宅地域	48、49、54、55、84、85、90、91
田	3、4、10、40、41、45、46、47、52、53、82、83、88、89
畑	114、115、120、121、126、127、156、162、163
広葉樹林	76、81、111、117、118、123、124
針葉樹林	130、136、166、171、172、214
牧草地	39、72、73、74、75、79
河川	93、94、135、142、143、178、179

輝度値を色度・明度に変換し最尤法により不適切な輝度値を取り除いた

### 3.6 最尤法によるクラスタリング

表4の洗練輝度クラスを教師として、最尤法によって未所属の輝度値のクラスタリングをおこなった。表5は得られた新輝度クラスである。図6は、新輝度クラスを色度・明度3D分布図として表したものである。図5と比較すると、どの土地被覆項目においても、最尤法によってクラスタの密度が増え、範囲も広がっていることがわかる。

土地被覆項目	所属輝度値
空き地、裸地	0、1、2、6、7、8、9、12、13、36、42、43
石灰採掘場	15、18、19、20、21、22、24、25、26、27、50、56、57、60、61、62、92、96、97、98、132、133、138、139、140、174、175、176、177
住宅地域	48、49、54、55、84、85、90、91
田	3、4、5、10、11、16、17、40、41、45、46、47、51、52、53、82、83、88、89
畑	86、87、108、114、115、120、121、122、126、127、128、129、156、157、162、163
広葉樹林	76、80、81、109、110、111、112、116、117、118、119、123、124、125、161、167
針葉樹林	28、95、130、131、136、137、151、152、153、154、155、158、159、160、164、165、166、167、168、169、170、171、172、173、207、208、209、214
牧草地	39、72、73、74、75、79
河川	93、94、98、135、140、142、143、178、179

未所属の輝度値を色度・明度に変換し最尤法によって所属を定める

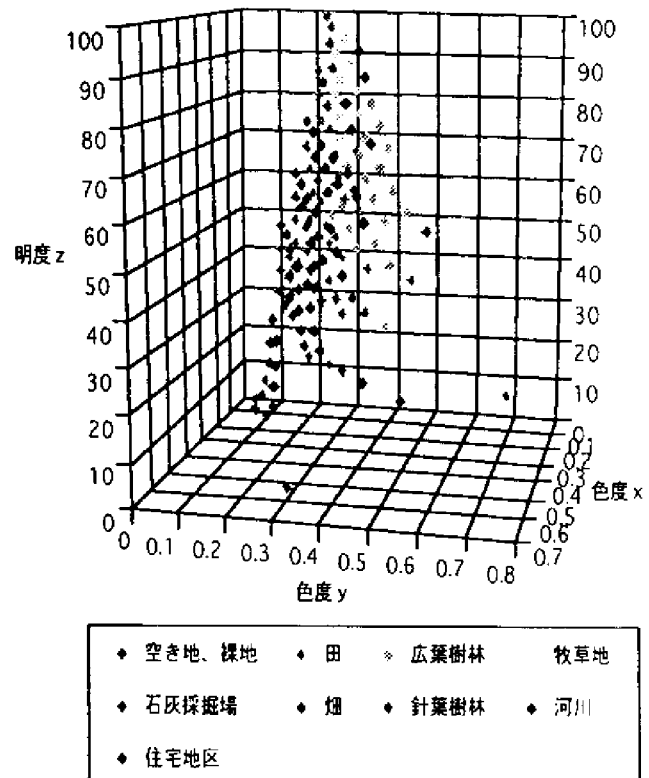


図6 新輝度クラスの色度・明度3D分布図

### 3.7 占有率

新輝度クラスを用いて画像全体の占有率を求める前に、検証するエリアを設けて占有率を確かめる必要がある。比較するための実測値は、グランドトゥルースのデータを利用した。図7にグランドトゥルースをおこなった3つのエリアを示す。図8には3つのエリアのグランドトゥルースの結果を示す。

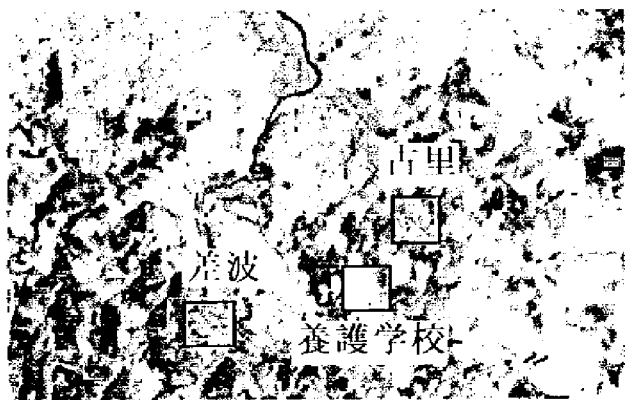


図7 グランドトゥルース検証地域

表6には先の3つのグランドトゥルースデータと、それに対応した画像上の占有率を比べたものを示した。ここでは、住宅地域、空き地・裸地、石灰採掘場を合わせて開発地域としている。また、草原は畑に含めた。古里については、ほぼグランドトゥルースの結果と一致した。グランドトゥルースデータで、左上にはしる細い空き地の部分は地図上では河川である。このことから、河川が認められていても問題はない。差波については、値こそずれてはいるが、占有率の順位は同様である。養護学校については、グランドトゥルースでは広葉樹は認められなかったものの、衛星画像では存在している。これは、グランドトゥルースでは測定しきれなかった広葉樹が表れたものとみられる。グランドトゥルースの占有率の値を真の値として、そこから衛星画像の占有率の値を引いたものを誤差とすると、どの地域においても、 $\pm 15\%$ の誤差で一致していることがわかった。

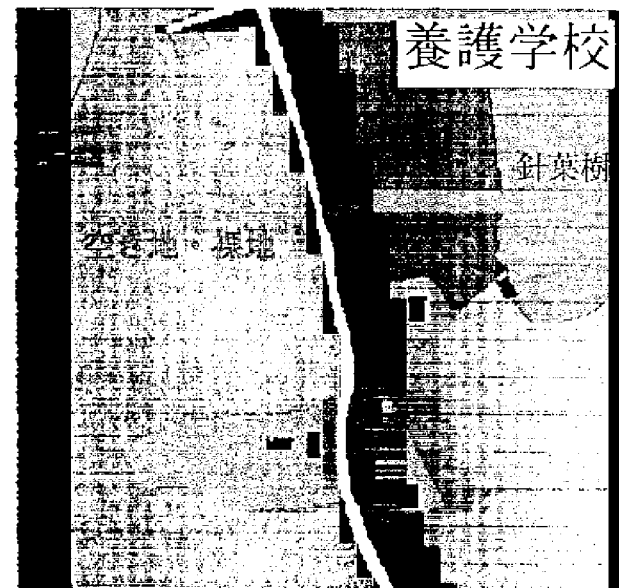
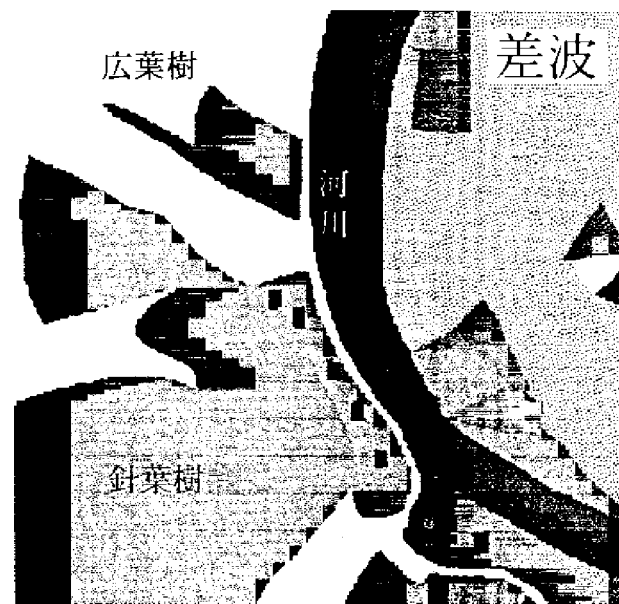
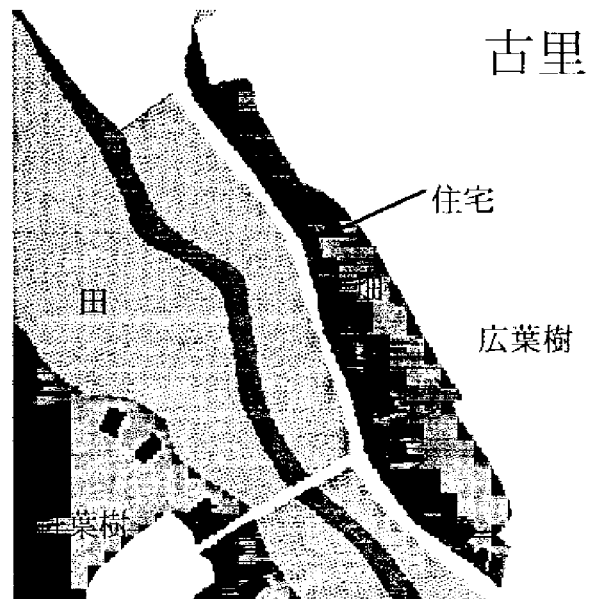


図8 グランドトゥルースデータ

表6 占有率の比較

古里

土地被覆項目	グランドトゥルスデータ		衛星画像		占有率の差
	画素数	占有率(%)	画素数	占有率(%)	
田	23434	26.21	201	24.36	1.85
畑	1309	1.46	21	2.55	-1.08
広葉樹	39350	44.02	304	36.85	7.17
針葉樹	11941	13.36	106	12.85	0.51
河川	0	0.00	105	12.73	-12.73
開発地域	13367	14.95	88	10.67	4.29
計	89401	100.00	825	100.00	0.00

差波

土地被覆項目	グランドトゥルスデータ		衛星画像		占有率の差
	画素数	占有率(%)	画素数	占有率(%)	
田	18972	20.94	148	17.41	3.53
畑	699	0.77	19	2.24	-1.46
広葉樹	18318	20.22	241	28.35	-8.13
針葉樹	29134	32.16	312	36.71	-4.55
河川	10510	11.60	39	4.59	7.01
開発地域	12968	14.31	91	10.71	3.61
計	90601	100	850	100	0.00

第二養護学校

土地被覆項目	グランドトゥルスデータ		衛星画像		占有率の差
	画素数	占有率(%)	画素数	占有率(%)	
田	0	0.00	1	0.12	-0.12
畑	1E+05	60.58	415	48.82	11.76
広葉樹	0	0.00	127	14.94	-14.94
針葉樹	31347	17.44	102	12.00	5.44
河川	0	0.00	0	0.00	0.00
開発地域	39514	21.98	205	24.12	-2.14
計	2E+05	100.00	850	100.00	0.00



## 4. まとめ

ランドサット衛星データの利用による土地被覆状況のカテゴリー分類法について、「色度・明度3D分布図による分類法」を提案した。また、この方法による解析結果の精度についても検証した。

精度に及ぼす因子、①衛星データの合成法、②トレーニングデータの信頼性、③分類における統計処理、については

①では、多時期にわたるデータの合成が有効であることが分かった。②では、グランドトゥールズを実施する場所を増やし、くり返し測定することで信頼できるトレーニングデータとした。③については、輝度値を色度・明度3D分布に変換することによって、視覚的に確認しながら統計処理を可能とした。

本研究で行った衛星データの画像解析は、平成4年度私立大学教育研究装置施設整備費補助金によって購入した分子設計支援装置の機能を使って行った。ここに、ご協力いただいた皆様に感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 田中昇：土地被覆分類における、衛星マルチデータの組み合わせ手法、八戸工業大学紀要、15、145-152 (1996)
- 2) 田中昇、小比類巻孝幸、飯澤拓也、大槻宣行：衛星データを利用した環境評価、化学系7学協会東北地方大会、講演予稿集、188 (1995)
- 3) 田中昇、葛西准也、小比類巻孝幸：色度・明度3D分布図によるランドサット衛星データのクラスタリング、日本リモートセンシング学会、第18回学術講演会論文集、139-140 (1995)
- 4) 野口俊郎、近津博文：土壌と植物の反射が混在する地表面における植披率の定量表示、農業土木学会誌、第59巻、145-148 (1991)
- 5) 野口俊郎、菊地岳夫：日本リモートセンシング学会誌、Vol.12、47 (1992)

- 6) 小島尚人、大林成行：日本リモートセンシング学会誌、Vol.13、15 (1993)
- 7) 小島尚人、大林成行：日本リモートセンシング学会誌、Vol.14、50 (1994)
- 8) 樋口一茂、稲村寛、小林幸夫：日本リモートセンシング学会、第16回学術講演会論文集、77 (1994)
- 9) 弥田健太郎、高木直樹：日本リモートセンシング学会、第17回学術講演会論文集、91 (1994)
- 10) Dony Kushardono、他：日本リモートセンシング学会、第17回学術講演会論文集、95 (1994) ; 97 (1994) ; 第18回学術講演会論文集、141 (1995)
- 11) 大林成行、小島尚人、望月賢一、山森英俊：日本リモートセンシング学会、第17回学術講演会論文集、95 (1994) ; 99 (1994)
- 12) 中山裕則、他：日本リモートセンシング学会、第18回学術講演会論文集、135 (1995)
- 13) 佐久間桂吾、飯倉善和：日本リモートセンシング学会、第18回学術講演会論文集、147 (1995)