

カラー航空写真による土地利用解析

辻 秀一

三菱電機(株)・中央研究所

1. はじめに

リモートセンシング画像の計算機処理による、土地利用分類を含めた種々の分類処理において、従来よりスペクトル情報の統計的な処理が行われている。この処理においては、事前に分類しようとする各クラス毎にトレーニング領域をいくつか選び、この領域内の画素単位スペクトル特徴量の統計量を計算して識別(分類)関数を決定し、この関数により画像データの分類を行なっている。最近においては、さらに次のような多くの試みが行われている。まず、画素毎のスペクトル量による処理においては、画像データのスペクトル特徴量の統計処理により自動的に分類クラス(の候補)を抽出するクラスティング処理がある。次に画素単位の特徴量の処理ではなく、領域単位の特徴量である図形模様(テクスチャ)や形状による分類処理があり、さらにリモートセンシング画像に特有の図形構造を知識として持ち、これを参照しつつ分類処理を行う試みもなされている(4)。

当研究所においても、主としてカラー航空写真を処理対象として、画素単位のスペクトル(カラー)処理、領域単位のテクスチャ処理、領域間関係処理の三つの処理による土地利用分類処理を行なっているが(6),(7)、本報告では主としてカラー処理とテクスチャ処理について述べることにする。この処理においては、カラー特徴量、テクスチャ特徴量の特徴空間を用いたクラスティング処理を採用している。これまでのクラスティング処理においては(1),(2),(3)、処理の複雑さや計算機のメモリ容量の関係より、一次元特徴空間の分割処理を組み合わせている場合が多かったが、ここでは多次元(二次元)特徴空間上頻度分布を用いた処理を行っており(8),(9)、高精度な分類処理が期待される。処理対象としては、カラー航空写真の他に、赤外カラー写真やマルチスペクトルスキャナ(MSS)画像に対しても同様な処理が行えるが、画像データの解像度としては、1~10m/画素程度のものを想定している。なお、これらの処理の具体的実行は、画像データの専用入出力装置を含む画像処理用計算機システム上の(5)、対話型処理ソフトウェアによって行われる。

2. 土地利用分類処理の概要

2.1 分類クラスと処理方式(6),(7)

分類のクラスとしては、住宅地、団地、森林、畑地(草地)、裸地、水域の6クラスとする。入力画像データの解像度を10m/画素とすると、画像内の個別住宅はほぼ一点で表わされており、住宅の集合地域は家の点模様を持つことになり、この点模様はしばしば色の点模様になる。森林は比較的濃い緑色でおおわれており、畑地は草地とも区別がつかず緑色になっている。裸地については、もともとの裸地なのか、畑地に作物が植生していない状況であるのか区別がつかないが、これは両方とも同じ裸地と判定する。処理手順の概略は図1に示すが、このような状況より、住宅地、(森林)はテクスチャ処理により、森林、畑地、裸地、水域はカラー処理により抽出される。団地(高い建物)については、ここでは言及しないが、影領域と太陽光の方向情報を用いた領域間関係処理により抽出

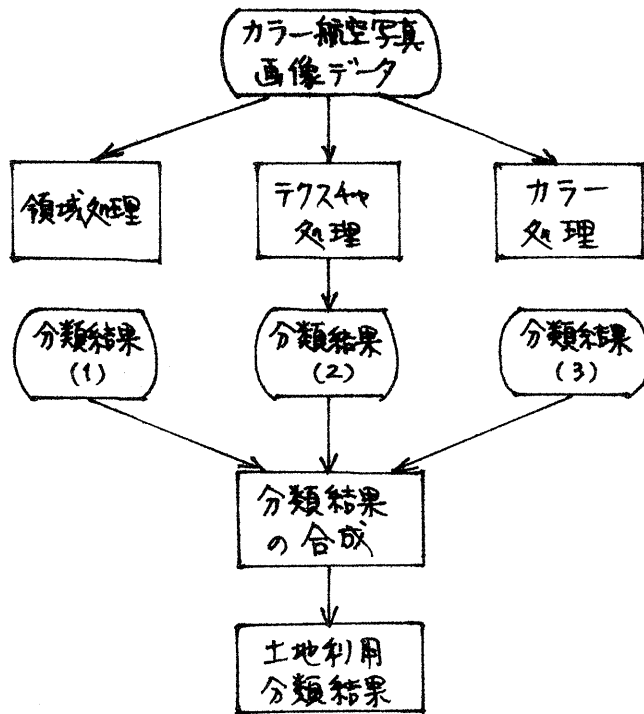


図1 土地利用分類の処理手順

される。これら三つの処理による中間段階の三つの分類結果は、領域処理、テクスチャ処理、カラー処理のそれぞれの処理結果の順に優先順位をつけて合成処理が行われ、最終的な土地利用分類結果が得られる。また、この分類結果より土地利用変化の検出処理も試みているが、これについては言及しない。

2.2 カラー処理、テクスチャ処理における特徴量

カラー（スペクトル）データ処理においては、R、G、Bなどのスペクトルデータより、一番良く特徴が現われるクラス間の分離の度合いが大きい特徴量に変換して、この特徴空間が処理に用いられる。カラー写真データの場合、人間の眼の特性に近い、色相、彩度、明度の特徴量へ変換する場合が多い。テクスチャ処理においては、この特徴量がかもとと領域に関するものであるもので、これを点単位の量に変換する必要がある。特徴量の変換方式は種々あるが、ここでは画像の差分を各画素について計算し、つぎに適当な小領域をとりこの領域内の平均、分散を算出して、これをテクスチャ特徴量とする。この差分処理においても、単色濃淡量やカラー量の差分処理を行うものもある。このように、カラー処理のみでなく、テクスチャ処理においても画素単位の特徴量を用いることができる。

3. クラスタリングによる分類処理

カラー処理, テクスチャ処理のいずれにおいても, 特徴量の統計的分布をもとにして分類処理を行うのであるが, ここではトレーニングエリアを用いずに, 自動的に分類クラス(の候補)に画像を分割するクラスタリング手法を用いる。さらに直接多次元の特徴空間における処理により画像を分割する方法を提案しており, 分類処理の手順の概略は以下のようである。

(1) 特徴量の計算 画像のストロム量による分類を行なう場合には, ストロムデータの交換を行なって, 処理対象に対して一番良く特徴が現われる特徴量を抽出する。また, テクスチャ量などの領域単位の特徴量については, 点単位の多次元特徴量に変換しておく。

(2) 画像の分割処理 まず初めに, 特徴量に変換された画像データより, 多次元(二次元)特徴空間上の画像点の頻度分布を求める。つぎに得られた分布関数の形, 特に分布のピーク部分に注目して特徴空間を分割する。分割された特徴空間と, 画像の各点特徴量データとにより画像面の領域分割を行なう。

(3) 分類処理 分割された領域について, 自動的にあるいは対話的な処理により統合を行ない, 最終的な分類結果を得る。

3.1 多次元特徴空間による画像分割

3.1.1 特徴空間上の頻度分布計算

画像点の多次元特徴量データを用いて, 各画像点を特徴空間上へ写像することにより, 特徴空間上の頻度分布を計算するのであるが, 小領域の分割クラスが大領域のクラスにまぎれ込まないように, 実際には次のように画像面を小領域に分割して頻度分布を計算する。全体の画像面を適当な大きさで L 個の小領域に分割し, 多次元(二次元)の特徴空間を $x-y$ 空間とする。この小領域内の画像点を一点ずつ $x-y$ 空間へ写像することにより $x-y$ 空間上頻度分布 $g_i(x, y)$ が得られる。ここで i は小領域の領域番号に対応する。すべての領域について頻度分布を求めた後, これらの最大値分布を計算したものを $f(x, y)$ とし, これを以下の処理において用いる頻度分布とする。

$$f(x, y) = \max\{g_1(x, y), g_2(x, y), \dots, g_L(x, y)\}$$

3.1.2 特徴空間分割の方法論

空間分割の基本方式は, 分布関数かなめらかで, 分布関数の山(ピーク)位置の周辺に分割されるべき分割クラスが存在するという仮定のもとで, 分布のピーク部分を抽出し, これを中心に空間全体をピーク部の個数に分割するものである。一次元特徴空間の場合を例にとると(図2), 山(ピーク)と谷(ボトム)により, ピーク P_1, P_2, P_3 に対応する領域 B_1, B_2, B_3 に分割すれば良いが, 多次元(二次元)特徴空間上分布の場合には, 谷(ボトム)の情報以外に, 鞍点, 尾根線, 谷線などの種々の情報を総合的に用いる必要がある。これらに基づいた空間分割の定義を行う必要がある。説明の簡単化のためにピークが二つ (P_1, P_2) と鞍点一つ (H) が存在する場合をとりあげると(図3), 鞍点 H によってピーク P_1, P_2 をそれぞれ含む二つの分布の山部に分け, これら二つの山部を $x-y$ 平面に写影した領域をそれぞれ R_1, R_2 とする。この R_1, R_2 を用いて, $x-y$ 平面を次のように α_1, α_2 の二つに分割する(図4)。鞍点が複数個存在する場合, 及びピーク部が3個以上存在する場合も同様な分割方法とする。

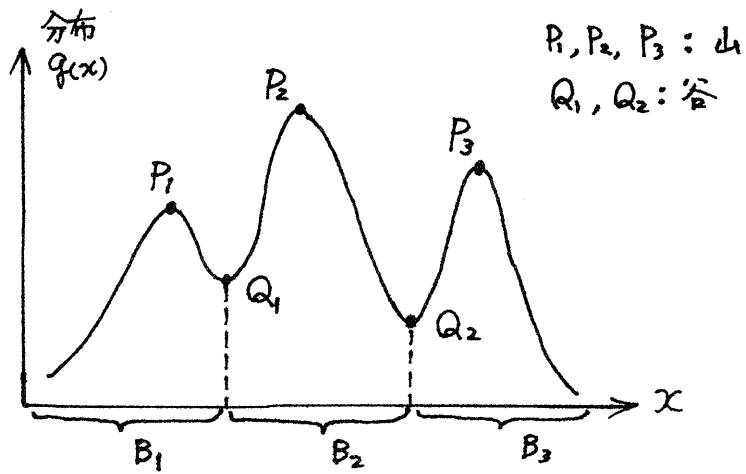


図2 一次元空間の分割

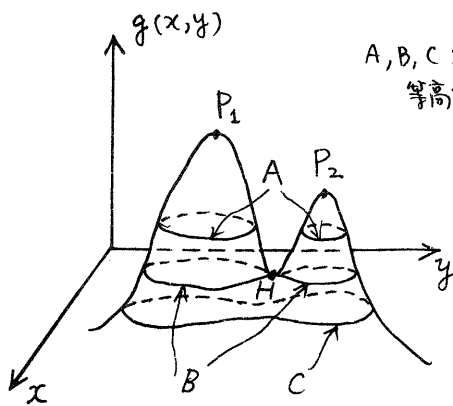


図3 分布関数 $g(x, y)$ の説明図

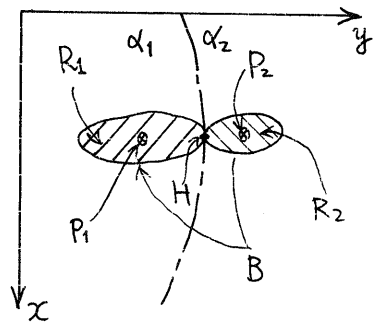


図4 $x-y$ 空間分割の説明図

$$(i) \alpha_1 \supset R_1, \quad \alpha_2 \supset R_2$$

$$(ii) p \notin R_1, \quad p \notin R_2 \quad \text{となるすべての } x-y \text{ 空間上の点 } p(x, y) \text{ について,}$$
$$p \in \alpha_i^*, \quad r_{i^*} = \min(r_1, r_2), \quad h(R_i, p) = r_i \quad (i=1, 2)$$

$h(R, p)$: 領域 R と点 $p(x, y)$ の距離関数

距離関数 h としては以下のようなものである。すなわち、領域 R_i 上の点を $p_{ij} = (x_{ij}, y_{ij})$ とする。また、点 $p(x, y)$ と点 p_{ij} との距離関数を e とする。

$$e(p, p_{ij}) = e_{ij}$$

$$\text{ここで, } e_i = \min_{p_{ij}} (e_{ij}), \quad S_i : \text{領域 } R_i \text{ の面積}$$

とすると、距離関数 $h(R_i, p)$ は以下のように定義される。

$$h(R_i, p) = \frac{e_i}{S_i}$$

3.1.3 特徴空間分割処理

分布関数 $g(x, y)$ は、デジタル化された $x-y$ 平面上で、画像データから計算されて得られるが、まず初めに前処理（イノズ処理）が行われる。この処理においては、なめらかな分布関数を仮定しているので次の二つの前処理を行う。まずオ一に、具体的な対象画像について処理を行う場合、ノイズの影響で必ずしも滑らかな分布にならないので、適当な大きさのウィンドウで分布関数の平滑化処理を行なう。オ二に、大きい分布値を持つ分布の山部分の周辺部に、ごく小さい分布値を持つ部分があるか、この部分はノイズによる影響が強く、分類クラスに入れられない方がよいので、分布関数 $g(x, y)$ から一定の値 θ_1 を差し引いたものを新たに分布関数 $g(x, y)$ とする。分布関数 $g(x, y)$ の前処理が行われた後、ピーク部 (P_1, P_2, \dots, P_n) が抽出される。鞍点 H については抽出するのが困難で、また必ずしも利用されないという理由で、ここでは以下のような繰り返し法によって、 n 個の領域 $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ に空間分割を行う。なお、ピーク P_i については次のように仮定する。

$$P_i = (x_i, y_i), \quad p_i = g(x_i, y_i), \quad (i=1, 2, \dots, n), \quad p_1 > p_2 > \dots > p_n$$

(1) ステップ1 : まずピーク P_i のみを含む n 個の領域を定める。

$$R_i \ni (x_i, y_i) \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

(2) ステップ2 : $\theta = p_2$ とし、連結領域 R_i を新に定める。

$$R_1 \ni (x, y) \quad \dots \quad g(x, y) > \theta$$

(3) ステップ3 : $\theta \leftarrow (\theta - \Delta)$ とし、以下のように新たに連結領域 R_1, R_2, \dots, R_n を決定する。ここで Δ は適当に小さい値である。

(i) 領域 Q を抽出 : $Q \ni (x, y) \quad \dots \quad g(x, y) > \theta$

(ii) Q 内の連結領域 Q_1, Q_2, \dots, Q_l を抽出する。 ($l \leq n$)

(iii) R_1, \dots, R_n により、以下のように Q_1, \dots, Q_l を分割して、 A_1, A_2, \dots, A_n とする。(図5)

(a) Q_i がただ一つの R_j を含む場合 $A_j = Q_i$

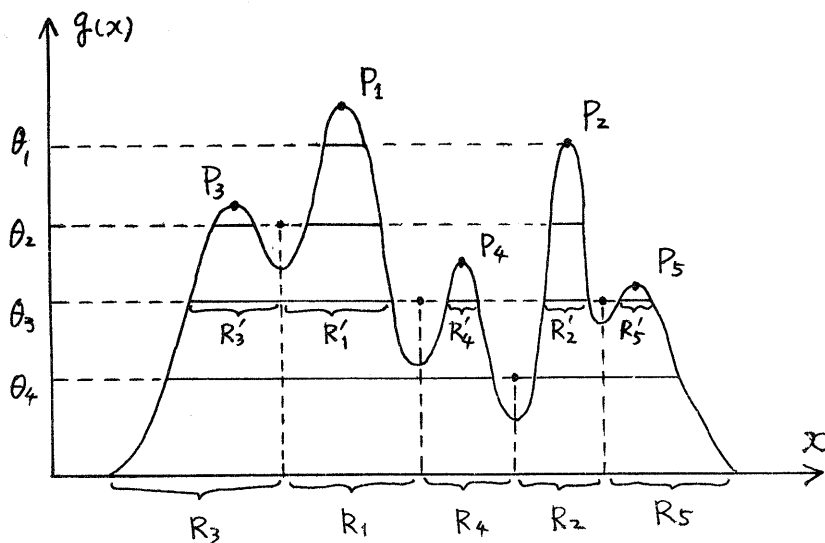


図6 逐次分割処理の説明図

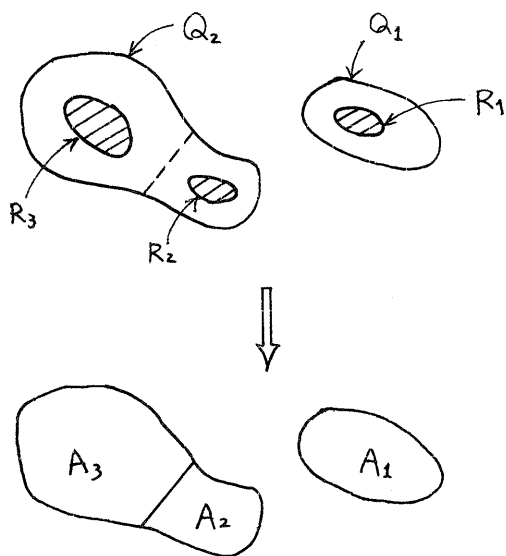


図5 領域 Q_i の R_i による分割の説明図

(b) Q_i が一つ以上の R_{j_1}, \dots, R_{j_m} を含むとき, Q_i を R_{j_1}, \dots, R_{j_m} を用いて次のように分割し, A_{j_1}, \dots, A_{j_m} とする。

◦ $A_{j_k} \supset R_{j_k}$

◦ $\forall k, (x, y) \notin R_{j_k}$ の場合

$$(x, y) \in A_{j_k}, r_{j_k} = \min(r_i), r_i = h(R_i, (x, y))$$

(iv) ステップ4: ステップ3の処理を $\theta < 0$ となるまでくり返して分割処理を完了し, ピーク部 P_1, \dots, P_n に対応した分割領域 R_1, \dots, R_n が得られる。(図6参照) ここで R_1, \dots, R_n は分割結果 $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ である。

3.1.4 画像面の分割

分割された x - y 特徴空間上の画像の各点データを写像することにより, 画像平面を対応する n 種の領域に分割するのであるが, ここでピーク部が分割クラスを代表するという内容をもう一度調べなおすことができる。すなわち, 特徴空間上の分布のピーク $P_i = (x_i, y_i)$ ($i=1, 2, \dots, n$) において, その分布値の大きさ $t_i = f(x_i, y_i)$ と, きわめて近い位置にある他のピーク $P_j = (x_j, y_j)$ との距離とによって, このピーク P_i によって代表される分割クラスをピーク P_j による分割クラスに吸収させることができる。これにより, 分割クラス数があらかじめ指定された数 m になるように, 画像を自動的に分割することも可能である。この処理で, 多次元(二次元)特徴空間による画像の分割処理を終了するが, もとの特徴空間が三次元空間である場合, 異なる二次元特徴空間を選び, この特徴空間を用いて, すでに分割された画像を同様の方法で再分割することができる。

3.2 分類処理

分割された領域について統合処理を行うのであるが, 具体的な統合処理は大別して次の2種類がある。

(1) 分割クラスとして大変その面積が小さく, 無条件に他のクラスに統合されるべきもの

(2) 分割クラスとしてある一定以上の面積を持ち, 最終分類クラスになりうるものの統合処理

(1)に関しては, 大きい面積値を持つ分割画像クラスのうちに, 特徴空間上で距離の最も近いクラスに統合させる。(2)については, 特徴空間上に互に距離の近い分割クラスに統合処理を行ってもよいが, 最終分類結果を土地利用図などのグランドトレースとつぎ合わせて得るために対話型処理を行う。また最終分類結果としては, 孤立点状のノイズや, 未判定点の処理も後処理として行っておく必要がある。

4. 処理ソフトウェアの構成

画像の分類処理は, 図7に示す画像処理用計算機システム上で動作する各種のソフトウェアによって実行される。処理ソフトウェアの全体構成は図8に示すようであり, 特徴量計算部, 画像分割部, 統合処理部の三つの部分に大別されている。画像分割部, 統合処理部は対話型で処理が行えるようになっていいる。

(1) 特徴量計算

カラー処理の場合, 入力データ (R, G, B) に対して以下のような変換が選

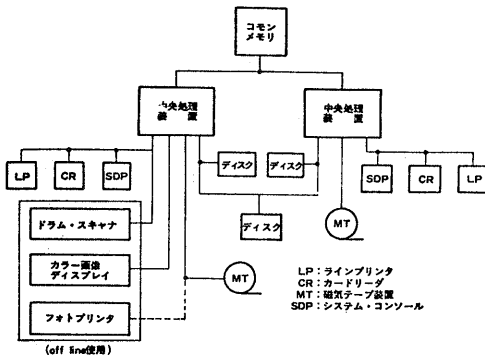


図7 画像処理用計算機システムの構成図

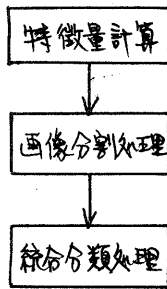


図8 ソフトウェアの全体構成

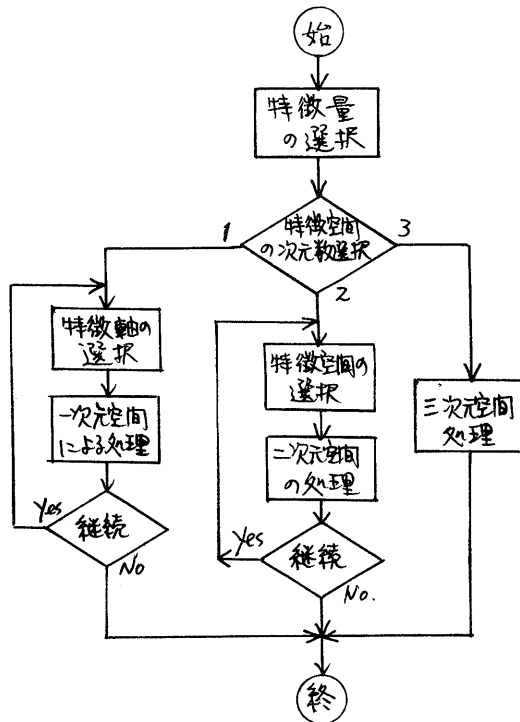


図9 画像分割ソフトウェアの構成

択して実行される。

(i) (R, G, B) データより逆 \log -変換を行って、 (R', G', B') データとする。

(ii) (R, G, B) データより逆 \log -変換を行った後、色相、彩度の特性が現れる x, y データと明度情報の z データを計算して (x, y, z) データとする。

テクスチャ処理の場合、単色濃淡データや色相量、彩度量を用いた差分処理をまず行ない、次に適当な小領域をとり、この小領域内の各画素の差分量の平均、分散を算出してこれをテクスチャ特徴量とする。

(2) 画像分割処理

カラー処理の場合、特徴空間を三次元としており、それ以外一次元、二次元、三次元の特徴空間処理が選択でき、一次元、二次元の特徴空間処理では、異った空間を選んでくり返し分割画像の再分割を行うことができる。これらの処理の各段階において、特徴空間選択などの各パラメータの選択は、対話型で人間が指示できるようにになっている。テクスチャ処理の場合も同様である。

(3) 統合分類処理

分割した領域クラスを順に番号付けし、そのすべてのクラスについて、特徴空間上での各クラス間情報をすべて計算して距離の近い順に表示出力し、これをもとにして対話的又は自動的に統合処理を行う。(図9)

5. おわりに

カラー航空写真を用いた土地利用分類処理における、カラー処理、テクスチャ処理について述べた。この処理においては、自動的に画像を分割(分類)するクラスタリング手法を用い、かつ多次元の特徴空間上での処理による高精度の画像分割方式を採用したので、トレーニングエリアを用いるなどの人間の操作手順が簡略化され、また画像の分割、分類の精度も自動的に解析されるなどのいくつかの利点がある。この処理は、カラー航空写真だけでなく、MSS データなどの種々のリモートセンシング画像データに対しても適用できる。また、このようなクラスタリング手法による分類方法は、リモートセンシングデータ処理の分野において今後とも研究されるべき重要な問題である。

なお、本研究は通産省大型プロジェクト「パターン情報処理システムの研究開発」の一環として行われた。

文献 (1) R. Ohlander : Analysis of Natural Scenes, Ph.D. Thesis, Carnegie-Mellon Univ., 1975

(2) Y. Ohta : A Region-Oriented Image-Analysis System by Computer, Ph.D. Thesis, Kyoto Univ., 1980.

(3) 横天地 : SPIDER 開発を通して見たデジタル画像処理プログラムの現状(5)-領域分割, 情報処理学会, コンピュータビジョン研究 8-4, 1980.

(4) 長尾地 : 航空写真の構造解析, 情報処理, Vol. 21, No. 5, 1980年.

(5) 秋田地 : フォームウェアによる効率化をはかた色彩図形認識システム, パターン情報処理学会講演会論文集 1980年10月.

(6) 龍田, 辻, 渡辺地 : 画像処理による国土現況調査システム, 同上.

(7) 辻, 池端 : カラー航空写真画像の処理による土地利用変化の検出, 情報学会, 人工知能と情報処理 12-1, 1979.

(8) 辻 : 多次元特徴空間におけるマルチアングル画像の分割方法について, 情報学会 全大, 555.

(9) 松下 : 2次元ヒストグラム法による画像のセグメンテーション, 情報学会, コンピュータビジョン研究 2, 1980.