

カラー航空写真画像の処理による土地利用変化の検出

辻 秀一, 池端重樹

(三菱電機(株)・中央研究所)

1. はじめに

本報告においては、リモートセンシング画像データの解析における、知識情報を用いた、カラー航空写真から土地利用状況を認識し、土地利用の変化を検出する方法について述べ、さらに向題点などについても検討・考察を行なう。

リモートセンシング画像の計算機による処理・認識においては、従来からマルチスペクトルの画像データの画像点単位の統計的な処理が行なわれており、最近においては、点単位ではなく、ある一定の大きさの領域単位の処理による図形模様(テクスチャ)の識別処理が行なわれ、さらに航空写真などの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、これを参照しつつ各種の形状処理や領域間関係処理を行なう認識方式も行なわれつつある⁽¹⁾。

本報告においては、まず高々度カラー航空写真からの低解像度の画像データに対して、スペクトルデータ(カラーデータ)の画像点単位による処理⁽²⁾、ごく小さい領域を処理単位としたテクスチャ処理⁽³⁾、影領域と太陽光の方向情報による領域間の関係処理⁽⁴⁾の三つの識別処理により土地利用状況を認識する。つぎに、撮影時期の異なる二つの航空写真からの土地利用状況分類の二つの結果を用いて、土地利用変化の生じた地域を総合的に判断して抽出する。

高々度で低解像度の航空写真画像を用いる背景としては、次の二つがある。すなわち、広域をカバーするのである特定領域の処理については短時間でごく簡単に行なえること、高解像度のものから低解像度のものと階層的に処理を行なう場合の一つの段階に対応することである。またここでは、カラー航空写真の処理ということ、赤外バンドの画像データを用いることについては言及していないが、赤外データを用いる場合にも同様に処理が行なえる。

ところで、土地利用分類や変化検出の処理において、総合的な処理の観点から種々の知識情報を用いる必要がある。これらは対象物の構造に関するもの、航空写真の撮影時の諸々の状況に関するもの、地理情報、土地利用変化の一般的性質等々である。

画像処理の為の計算機システムとして、当研究グループにおいて開発された、対話型処理ができ、高速演算の為のマイクロプログラムが利用できる、色彩図形認識用計算機システムが用いられる。

2. 土地利用変化検出システムの概要

画像入出力用装置を含む対話型色彩画像処理計算機システム及び全体の処理方式について、その概要を以下に述べる。

2.1 対話型色彩画像処理計算機システム

当研究室において、色彩画像の対話型処理が実現でき、高性能カラー画像ディスプレイ装置を備え、かつ柔軟な高速処理が可能なマイクロプログラム方式の計算機を中核とするシステムを、すでに開発している。システムの構成は図1に示すようであり、その特徴は以下のようである。

- (1) 高性能色彩画像入出力機能：カラーフィルムリーダー、カラー画像ディスプレイ
- (2) 画像処理ファームウェア、画像バッファメモリ、コモンメモリによる処理速度、データ転送効率の大幅向上
- (3) 高精度カラー画像ディスプレイを用いた対話型処理
- (4) MELCOM-COSMO 500 2台からなるマルチプロセッサ・システム
- (5) 大容量磁気ディスクによる大画面画像データの管理

2.2 全体処理手順の概要

カラー航空写真からデジタル化して入力されたカラー画像データを二つ（互いに撮影時期の異なる写真より入力したもの）を用意する（解像度10m/点）。分類のクラスとしては、住宅地、団地、山林、畑地（草地）、裸地、海などとする。ここで入力画像を見ると個別住宅はほぼ1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（屋根に赤、青などの色がついている）。また比較的大きい（高い）建物、ビルディングは、比較的明度の高い屋根とこれに隣接した影部分とで成り立っている。

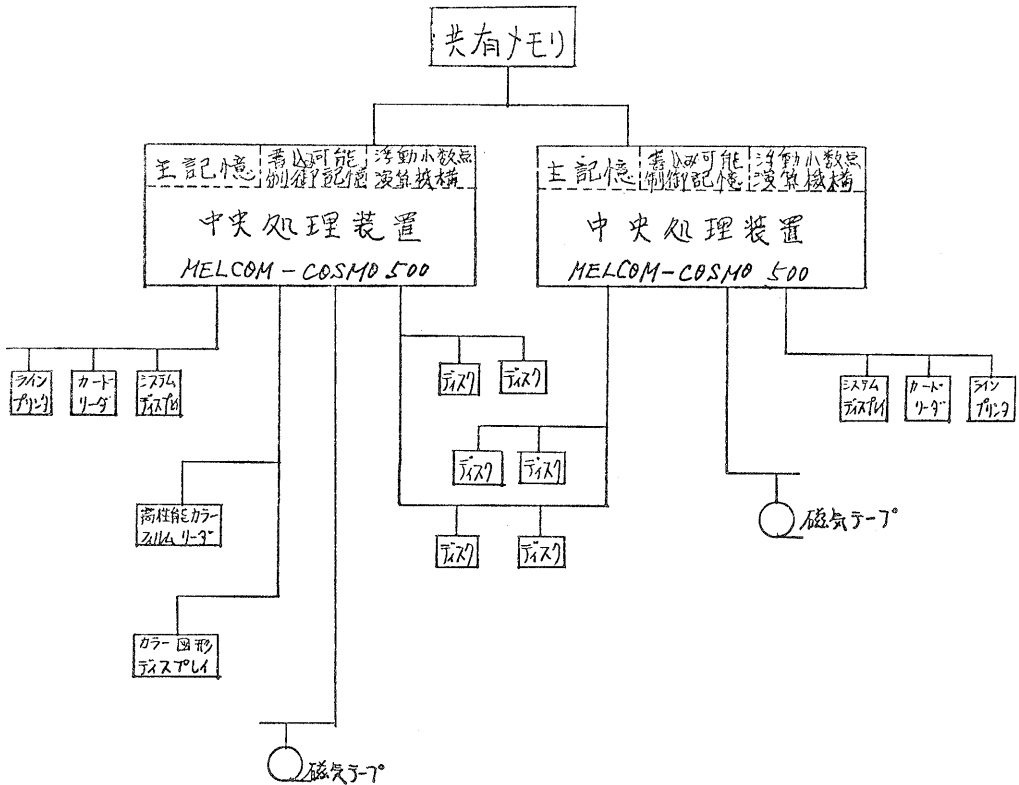


図1 対話型色彩画像処理計算機システム

山林は比較的濃い緑色又は茶色におおわれており、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る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ことにする。

処理手順の概略は、図2、図3に示すように、撮影時期の異なった（現在と過去の）カラー航空写真画像をそれぞれ土地利用分類し、この二つの土地利用分類結果を用いて土地利用変化の検出を行なう。土地利用分類処理においては、三つの処理、領域処理、テクスチャ処理、カラー処理、を個別に行ない、それぞれの分類結果を統合して最終的な土地利用分類を得る。

ここで団地地域（建物領域）は領域処理により、住宅地、山林はテクスチャ処理により、畑地、裸地、海はカラー処理により、それぞれ抽出される。また、それぞれの処理手法は、ごく簡単な高速処理が可能なものを採用した。

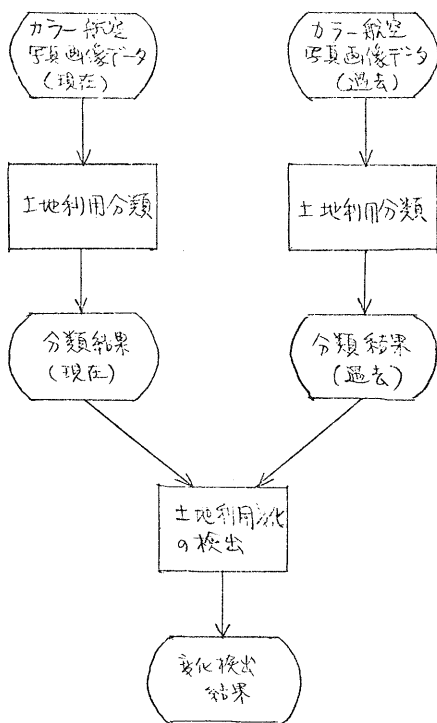


図2 土地利用変化検出処理の手順

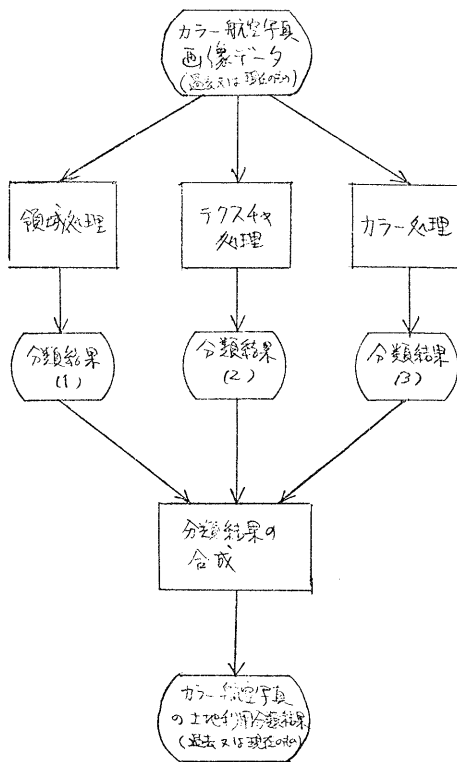


図3 土地利用分類処理の手順

3. 個別処理手法

3.1 領域処理 (建物領域抽出処理)

比較的大きい (高い) 建物, 影領域, 太陽光の方向の三つの関係 (図4) により, 図5に示すように, まず影領域を抽出し, これと太陽光の方向情報とを用いて影と隣接する領域を決定し, この領域が建物であるかどうかを判定することにより建物領域 (団地) を抽出する。

(1) 影領域の抽出

適当な明度情報の単色化された画像データから, データ値の頻度分布を求め, これにより, 閾値処理 (2値化) の為の閾値を求める。この閾値により2値化を行なうと影部分のデータ点を得られ, これらのデータ点に対して 3×3 点, 又は 5×5 点のウィンドウによるノイズ処理 (4-近傍処理) を行なう。次にこの2値画像に対して4-近傍で連結している連結領域を抽出し, 小面積領域を除去したものを影領域とする。これにより比較的大きい影領域が抽出されたことになる。

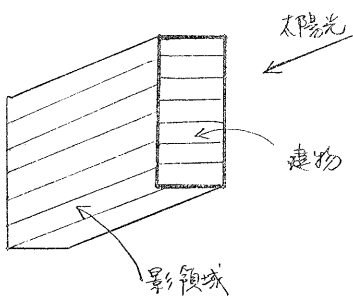
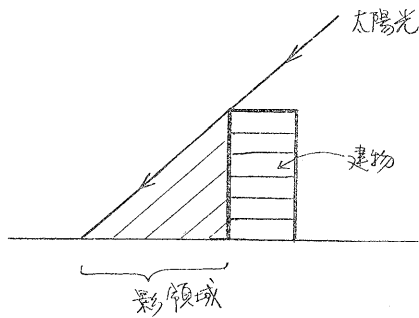


図4 建物と影領域との関係

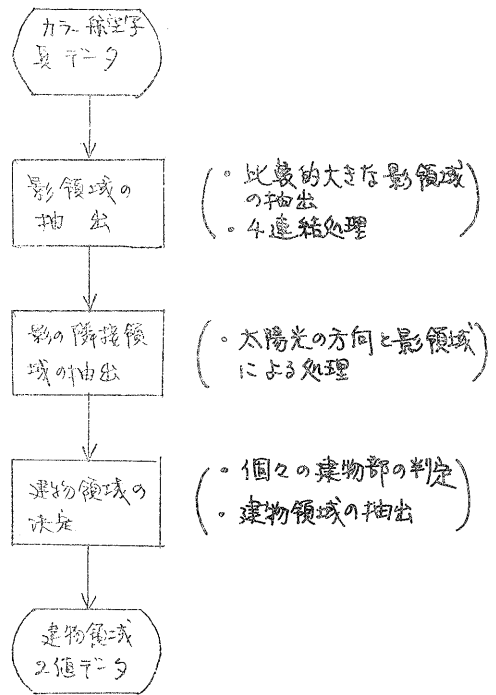
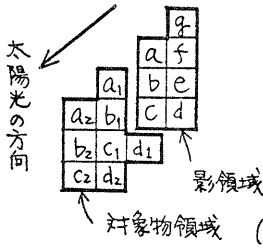


図5 領域処理の手順



$a, b, c, d,$: 影領域内
 e, f, g : データ点

x_1, x_2 : データ点 x より
 作られた点

(ここで, $x = a, b, c, d$)

図6 影と太陽光の方向とによる対象物領域の決定

ここで、2値化処理の閾値を求めるための明度値分布を計算する際に、距離1で画像の差分をとり、差分値の絶対値がある特定の値以上になるデータ点について明度値分布を求めた方がよい。なぜなら、明度が大変低い影領域と明度が比較的高い建物部とが隣接しているからである。

(2) 影の隣接領域の抽出

前節の結果より比較的大きな影領域が得られるが、これらは山林、山地、建物によって得られたものと推定できる。ここでは、影を生成した対象物の領域を、影領域と太陽光方向に隣接した特定の領域とする。具体的には、太陽光の方向を「8」方向とし、影領域内のデータ点の延長点数(対象領域の中)を「2」とすると、デジタル画像データ平面上では図6のようになる。

(3) 建物領域の決定

影を作った対象物の領域は、前節において抽出されるが、ここでは、対象物領域内の画像点の明度情報や色彩情報を用いて、対象物が建物であるかどうかを決定する。建物の色は白っぽく(明度が高く、無彩色)、山林の色は濃い緑である(明度が低く、彩度が中程度)。ここでは、建物のみを検出する、明度情報のみによる処理手法を紹介する。

(i) 対象物領域の建物検出

パラメータ $\theta_1, \theta_2, N_1, N_2, N_3$ を以下のように定める。

θ_1 : 建物点決定閾値(明度が高い)

θ_2 : 非建物点決定閾値(明度が低い)

N_1 : 対象物領域内建物点の個数(建物点は閾値 θ_1 により決定される)

N_2 : 対象物領域内非建物点の個数(非建物点は閾値 θ_2 により決定される)

N_3 : 対象物領域内の全点数

これらのパラメータを用いて、次のようにして建物部を抽出する。

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{N_1}{N_3} > \theta_3 \quad \text{かつ} \quad N_2 < \theta_4 & \text{--- 対象物は建物である} \\ \text{その他} & \text{--- 対象物は建物でない} \end{array} \right.$$

ここで、 θ_3, θ_4 は適当な定数である。

(ii) 建物領域の抽出

①において建物部と決定された対象物の領域と対応隣接する影領域とを合わせ

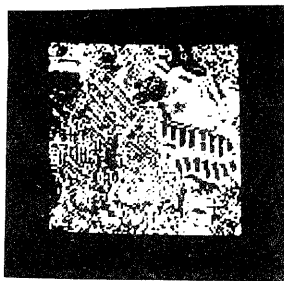
て、まず個別建物領域とする。つぎに個別建物領域が互いにある距離(たとえば「4」)以内に隣接しているものを一つの建物領域に統合する。具体的な処理方法としては、個別建物領域を周囲に2点膨張させて、4-連結で連結領域を求めて、これを建物領域とする。つぎに一度も統合されなかった(個別)建物領域、面積の極端に小さな建物領域を削除して、残された建物領域を最終的な処理結果とする。

以上(1)~(3)の処理により、領域処理による建物領域抽出方法について説明したが、処理実験例を図7に示す。

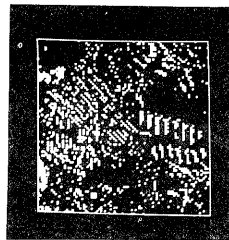
3.2 テクスチャ処理

航空写真画像の解像度が約10m/点であるので、家並、山林は粒状の模様を持っている。この場合の粒の大きさは1画像点に対応している。ここで、テクスチャ特徴量としては、適当な単色画像面を用いるか、適当なカラー情報量を用いた処理にするかの二通りがある。またテクスチャ処理手法としては、従来からいくつかあるが、ここでは画像の差分値をとって局所平均を行なうごく簡単な処理方式を採用する。具体的には、距離「1」で8-近傍点の隣接点との差分値の絶対値のうちで、最大値を持つものを差分値とする。

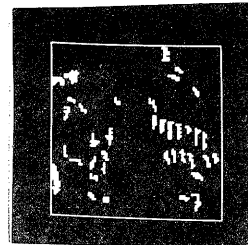
ここで、二つの画像点a, bの差分オプレータ(Δ , \square)として、次のようなものがある。



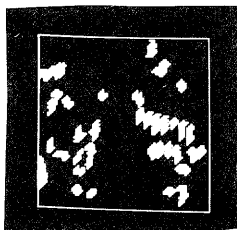
(a) 原画像



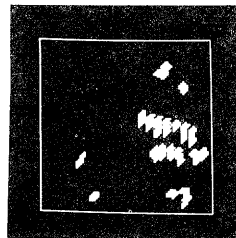
(b) 2値化画像



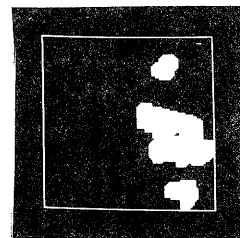
(c) 影領域



(d) 影と対象物領域



(e) 個別建物部



(f) 建物領域

図7 領域処理の実験例

(1) 単色画像面 (G 画面) を対象とした場合

$$\Delta(a, b) = |G_a - G_b|$$

ここで, G_a, G_b は画像点 a, b 上の画像データ値である。

(2) 二次元データによる場合 ($x-y$ 空間)

$$\Delta(a, b) = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}$$

(3) 色相量, 彩度量による場合

色相, 彩度の情報量が現われる二次元空間上において, 色相量, 彩度量は, それぞれ極座標の角方向 θ , 半径 r で表わされることが多いが, 色相量を θ とした場合, 彩度量 r が小さい時には, 色相量に大きな処理上の誤差が生じてしまうので, ここでは色相量を $r \cdot \theta$ で代表する。具体的には差分オペレータとして以下のようになる。

$$\square(a, b) = \alpha \cdot \Delta h + \beta \cdot \Delta s \quad \text{or} \quad \max(\Delta h, \Delta s)$$

$$\Delta s = |r_a - r_b|$$

$$\Delta h = \min(r_a, r_b) \cdot \|\theta_a - \theta_b\|$$

$(0 \leq \|\alpha\| \leq \pi, \|\alpha\| = \alpha \pm \pi)$

以上の差分値の局所平均処理によりテクスチャ特徴量を抽出し, これらの特徴量により, 住宅地, 山林などのクラスを分類抽出する。

3.3 カラー処理

まず, カラー航空写真画像を図8に示す手順でいくつかのカラークラスに領域分割し, その後分割された各領域のカラー情報量と事前に与えた係数により色彩分離し, 畑地, 裸地, 海に分類する。

カラー領域の分割は, 色相, 彩度の情報量が現われる二次元 $x-y$ 空間と, 明度情報量が現われる一次元空間の二つの特徴空間上の分布を用いて行なうものである。ここでは, 二次元カラー空間上の処理について詳述するが, 一次元空間上における処理も同様の手法を用いている。

二次元色度空間による領域分割は次のようである。色彩画像入力装置より入力されたカラー画像 (R, G, B) データを, X, Y, Z 値に変換し, さらにこれを正規化した二次元 $x-y$ 空間をカラー特徴空間として用いる。 $x-y$ 空間 ($0 \leq x, y \leq 1$) は, 101×101 点の二次元配列として表現されている。

(1) まず, 全体画像を適当な大きさの (N 個の) 小領域に分割し, この小領域内のデータ点をすべて $x-y$ 空間上へ写像して $x-y$ 空間上頻度分布 $h_i(x, y)$ ($i=1, 2, \dots, N$) を求め, 適当に小さい閾値 θ_1 により次のように二値化する。

$$g_i(x, y) = \begin{cases} 1 & \dots & h_i(x, y) \geq \theta_1 \\ 0 & \dots & h_i(x, y) < \theta_1 \end{cases}$$

これをすべての小領域について行ない, N 個の $g_i(x, y)$ の論理「OR」を計算して $f_1(x, y)$ とする。

$$f_1(x, y) = g_1(x, y) \vee g_2(x, y) \vee \dots \vee g_N(x, y)$$

(2) (1)と同様にして, 適当な閾値 θ_2 ($\theta_1 < \theta_2$) によって求められた $x-y$ 空間上二値関数を $f_2(x, y)$ とする。

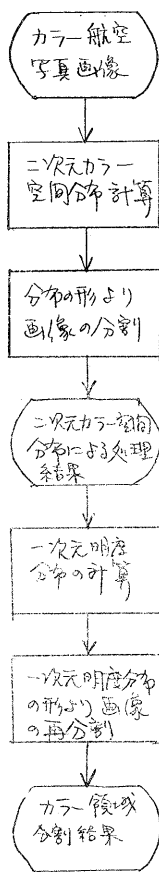


図8 色彩領域分割の手順

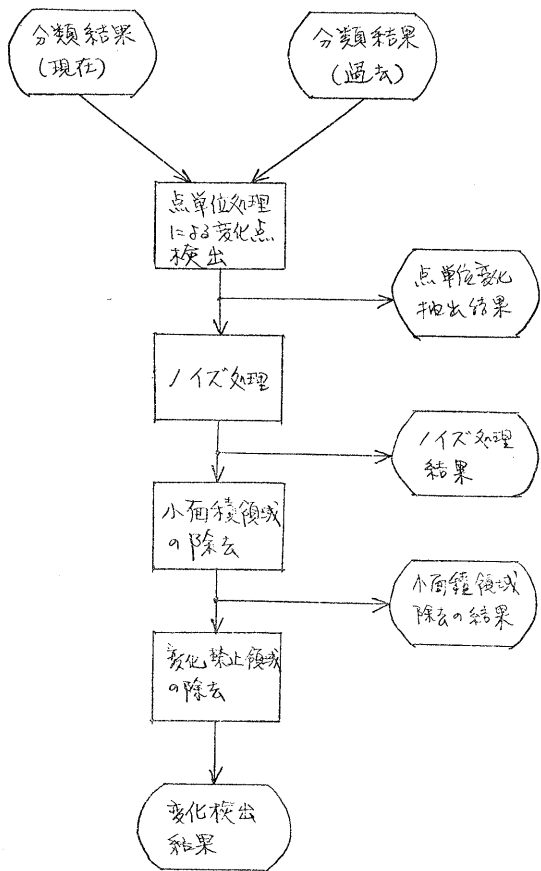


図10 変化検出処理の手順

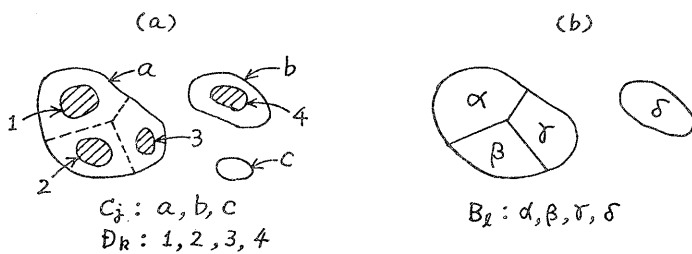


図9 x-y空間における領域分割例

(3) ここで、 $f_1(x, y)$, $f_2(x, y)$ のデータ「1」の領域をそれぞれ R_1 , R_2 とする。すなわち、 $R_1 = \{(x, y) | f_1(x, y) = 1\}$, $R_2 = \{(x, y) | f_2(x, y) = 1\}$ 。ここで、 $\theta_1 < \theta_2$ より、明らかに集合 R_1 と R_2 との間には式 $R_1 \supset R_2$ が成立する。この処理ステップでは、 R_2 を用いて R_1 を以下のように分割する。

領域 R_1 の 8 近傍連結領域を C_j ($j=1, 2, \dots, j^*$) とし、領域 R_2 のものを D_k ($k=1, 2, \dots, k^*$) とすると、 $\forall k, \exists j$, $C_j \supset D_k$ が成立する。ここで、(i) $\exists k_1, k_2, \dots, k_n, j$; $C_j \supset D_{k_1}, C_j \supset D_{k_2}, \dots, C_j \supset D_{k_n}$ の場合、領域 C_j は領域 $D_{k_1}, D_{k_2}, \dots, D_{k_n}$ を核として n 個に分割し、(ii) $\exists j, \forall k$, $C_j \not\supset D_k$ の場合、領域 C_j を消去する。すべての C_j について (i) 又は (ii) の処理を行ない領域 B_l ($l=1, 2, \dots, l^*$) を得る (図 9 参照)。

(4) $x-y$ 空間上領域 B_l ($l=1, 2, \dots, l^*$) について、各連結領域ごとに色彩コードを割り当て、画像面上の各点を $x-y$ 空間上に写像し、特定領域に写像された点に、対応する色彩コードを割り当てることにより、画像面を l^* 種の色彩領域に分割する。

3.4 分類結果の合成

領域処理、テクスチャ処理、カラー処理の三つの処理による分類結果をつぎのように合わせて総合的な分類結果とする。すなわち、領域処理による分類結果 (田地領域) をオ一の優先クラスとし、テクスチャ処理による分類結果 (住宅地、山林) をオニの優先クラスとし、これら二つの優先クラスで画像面の対応する部分を領域分類し、残りの画像面をカラー処理による分類結果 (畑地、裸地、海) で領域分類する。

3.5 変化検出処理

図 10 に示すように、過去の写真からの分類結果、現在の写真からの分類結果の二つより、以下のように変化検出を行なう。

(1) まず、過去から現在への土地利用変化内容をコード化して、画像点単位で変化検出を行ない、各点に変化検出コードを割り当てる。

(2) ノイズ処理の後、同一コードの小面積領域の除去を行なう。

(3) 事前に与えられた知識により、変化が起りえないと定められた領域を消去する。

4. 考察

ここでは、とくに知識情報の各処理の段階での使いかた、処理方式全般に関する事項とについて考察する。

(1) 知識情報について

(i) 航空写真撮影時の情報：撮影日時、飛行機の高度、方向などがあるが、本処理において利用している太陽光の方向情報は、これらの情報から与えることができる。また、ここでは撮影時期の異なる二つの写真画像を用いているので、その二時期の経過年数、日日の差なども重要な情報である。

(ii) 地図、地理情報：ごく大まかな地理情報 (土地利用情報、地名、その他) や、地図情報 (川の位置データ、海岸線の位置図形など) なども、処理過程において利用可能である。

(iii) 先験的情報：もともと航空写真画像については、図形の構造などに関する明確な先験的法則が少ないが、たとえば「つぎ」のようなものがある。

- ・ 太陽光と影と対象物(山, 建物など)との位置関係
- ・ 土地利用変化の生じる方向に関しては, 畑地, 山林が宅地に変化することがあっても, その逆はめったにない, などの特徴がある。

(2) 処理方式全般

- i) テクスチャ処理, 領域処理については, 撮影日時の変った写真による影響が少ないが, カラー処理の場合には直接影響を与えるので, 工夫を要する。
- ii) カラー写真の上に, さらに赤外写真も用いると, 識別能力は大きく増大する。特に水域, 植生の詳細が明らかになる。

5. おわりに

本報告では, カラー航空写真データに対して, いくつかの知識データを利用して, 領域処理, テクスチャ処理, カラー処理の三つの処理を中心に行なって土地利用分類を行ない, 過去と現在の二つの土地利用分類結果より, 土地利用変化を検出する方法について述べた。

なお, この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」の一環として行なわれたものである。

最後に有益な御討論, 御助言をいただいた, 電子技術総合研究所の棟上昭男博士, 白井良明博士に感謝する。

文献

- (1) M. Nagao et al., : "Region and shape analysis of aerial photographs", Proc. 4-th IJCPR, 1978.
- (2) 辻 : 「二次元及び一次元カラー空間を用いた色彩領域分離」, 情処学会論文, 昭53.
- (3) 辻, 池端 : 「カラー航空写真のテクスチャ処理」, 情学会論文, 昭54.
- (4) 辻 : 「カラー航空写真画像の建物領域抽出処理」, 情処学会論文, 昭54.