

地形図の地図記号のための認識要素

星 仰*・高木 徹**

地図に内在する情報を抽出して認識することを可能にすることによって、地図情報を自由に活用することができ、種々の地理情報システム (GIS) に自由に取り入れられたり、取り除いたりすることができる。本研究は地図記号の認識をすることを目的として、地図の縮尺に影響されない地図記号の認識要素について論述する。この研究で対象にした地図記号の種類は地形図に用いられる 50 種の定型記号である。

Key Words : topographic map symbol, recognition element of map symbol, map symbol
image processing, geometric feature point

1. はじめに

情報社会において文章、画像、図形、音声といった各メディアを結合して、マルチメディアシステムを構築して各メディアの単独利用に結合情報の付加価値を追加して、メディア情報をより有効に活用しようとする社会傾向がある。土木工学の写真測量技術によってもたらされた地図作成技術も、最近では衛星技術やコンピュータによる地図のデータファイル化技術の導入が進展し、既存の地図の計算機処理による利用を考える時期にきている。本論文は既存地形図を一つのメディア情報と位置づけ、このデータファイリングシステムを構築することによってマルチメディアへの参入を遠い目標として、既存地形図の地図記号の認識の基礎研究を行う。具体的には地形図情報はあまりにも膨大かつ大容量のために、特に認識の困難とされる文字および記号のうち、規格化された地図記号の認識を可能にするため地図記号の認識要素の研究を国土地理院発行の縮尺1/25,000の地形図の地図記号を例に挙げて究明する。

地形図内の地図記号は印刷時に地図記号の一部が欠落していたり、不鮮明になったり、あるいは地図記号に他の線分が結合してしまうことがある。このため、地形図内の地図記号を直接実験資料とすると、本来の地図記号の特徴以外の要素が加味され、非常に認識処理を困難にする傾向がある。そこで、地形図の個々の地図記号の認識要素はいかなる要素を構成すれば地図記号が認識可能なのかということ本研究で究明することにした。本来、地図記号は地図縮尺に対して一定の寸法で規定されている。しかし、計算機処理による地図記号を考慮したとき、計算機処理過程では縮尺という概念はなく、たとえば、

入力装置の入力条件などで左右される要因である。これらの点を考慮して、地図記号の認識要素が縮尺に依存しないように心掛けるとともに、入力画像の品質を十分保つために、地図記号を約 10 倍に拡大し画像化して、この画像を地図記号画像とすることにした。そして、個々の地図記号画像を認識するための要素について述べる。また、この認識要素に対するクラスタリング基準を設けてクラスタリングを試み、地図記号の認識の可能性を示す。

2. 地図データファイル化の問題点

地図情報のデータファイリングシステムには既存地図をデジタル化する方法と、地図作成原資料 (航空写真、衛星画像など) から直接デジタルデータを作成する方法がある。前者では、スキャナ装置などで地図を一定速度で走査させ、一定間隔でサンプリングして通常 1 画素が 1 バイト程度のデータ容量でデータ化される。この方法では、データから地図情報の内容を認識する過程を設定しなければならないという問題がある。この問題を解決することにより各々の地図記号を分離させることができる。一方、後者は既存の地図の作成過程を活用して、図化機で地図原図を作成する過程で、地図上に描かれる標高、道路、家屋、鉄道、河川、湖沼といった点または線形情報をマンマシンシステムで人間を介してデータ化していく。また、地図の中で特に地図記号化する必要があるときには、現地調査資料とあらかじめ準備しておいた地図記号作図ルーチンと記号番号を用いて、平面 (x, y) 位置と地図記号とが関係付けられる。特に最近、国土庁や建設省国土地理院では国土基本図のデジタルマッピング¹⁾や白地図データベース²⁾の研究開発を一部の自治体 (たとえば横浜市、土浦市など) で実施し、データベースとしての活用性を試行中であるが、従来の地図作成に比べ経費面等に問題を残している。このほか、図

* 正会員 工博 茨城大学教授 工学部情報工学科
(〒316 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

** 工修 NTT データ通信株式会社

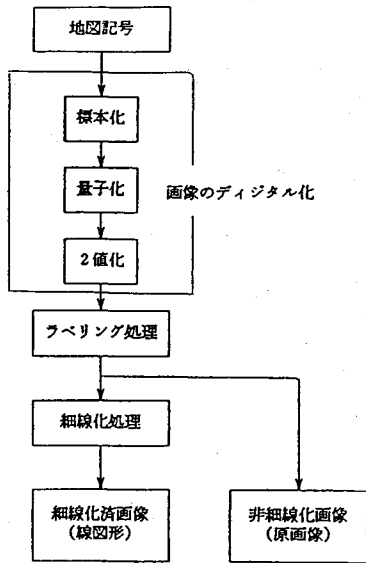


図-3.1 地図記号認識の前処理

化機を用いなくて地図作成原資料を直接スキャンしてデータ化し、標高やオルソフォトマップを作成する方法もあるが、現在のところ研究段階にあり、特定の対象以外には応用できないという問題がある。本研究では、前者の既存地図をデジタル化する方法の問題点を解決する基礎研究として地図記号の認識問題に着目し、地図記号の認識要素をまず見いだすことを研究の目的としている。とくに本研究で地図記号を認識するために考慮した主要点をまとめると下記ようになる。

- 1) 基本的には幾何学的特徴点（端点、分岐点、交点など）の個数の違いによってパターン認識することにする³⁾。
- 2) 地図記号の中で1記号1画像（1連結成分）という概念をはずし、1記号を複数画像の集合であると定義する。これにより分離している記号（たとえば三角点や茶畑など）の対応を行う。
- 3) ホールの概念を認識要素に取り入れることにより、市役所のような同心二重円の認識などに対応させる。

3. 地図記号認識のための前処理

地図記号を認識するためには、地図記号の資料をデジタル画像に変換し、この画像を加工することが必要になる。まず、地図記号のデジタル化、さらに地図記号の画像成分の属性あるいは成分間の関係を明らかにするために、この章ではその成分固有のラベルを記入するラベリング処理について述べる。そして、幾何学的特徴点の分類によって認識するための準備として行う細線化処理について述べる。処理の流れについて図-3.1に示すが、地図記号の認識において細線化処理済の画像と非細

r_4	r_3	r_2
r_5	r_0	r_1
r_6	r_7	r_8

図-3.2 r_0 の3×3オペレータ

線化処理の画像（原画像）を用意する。

(1) 地図記号のデジタル化

地図記号のデジタル化および2値化のための入力装置としては平面式スキャナを用いる。このスキャナの標本化間隔は400 bpiで、読み取りは2値で行う。画素値は、地図記号部分を（黒画素）を1、背景（白画素）を0とする。

(2) ラベリング処理法

ここでは、連結した画素の集合、すなわち画像の連結成分ごとに異なるラベルを付ける処理について述べる。2値画像Bが与えられたとき、このままでは画像がいくつの成分から構成されているかは不明である。すなわち、2値画像Bは0と1の画素の単なる集合である。したがって、このままでは各成分の大きさ、形状等の属性あるいは成分の特徴を計量することができない。そこで、複数の成分を持つ2値画像を考えることができるように、これらの1成分ごとに異なるラベルを付け、このラベル画像を用いて、その後複数の成分で構成される2値画像Bを認識する。

(3) 細線化処理法

線と線との位置関係あるいは交差のしかた等の情報により、画像の形状が明らかになる場合が多い。そのため線図形の局所的な幾何学的特徴を抽出することが必要である。幾何学的特徴の中で、地図記号を構成する線図形（心線）の連結関係は、重要な特徴となっており、認識の情報となる。このような線図形の局所的な特徴を持つ点を幾何学的特徴点ということにする。ここでは、画像を線図形に変換する方法として、細線化処理について述べる。細線化処理は線幅1の線図形（心線）にする処理と定義できる。一般の線図形に細線化処理を行うことによってデータ量の削減、グラフとしての取り扱い、線の追跡、線幅の測定、図形の伸長度の測定等に有用な手法となっている。

a) 交差数・連結数

3×3正方形格子の中心を r_0 とし、その近傍を図3.2のように $r_k(k=1\sim 8)$ と名付ける。また、 $r_k(k=0\sim 8)$ の画素値を、それぞれ $x_k(k=0\sim 8)$ とする。なお、 $x_0=x_1$ 、 $x_{10}=x_2$ である。

ここで連結性に関する定義を述べる。互いに連結している同値の画素の領域を連結成分という。一般に r_0 に対する4-近傍は $S_4=\{r_1, r_3, r_5, r_7\}$ 、8-近傍は $S_8=\{r_1,$

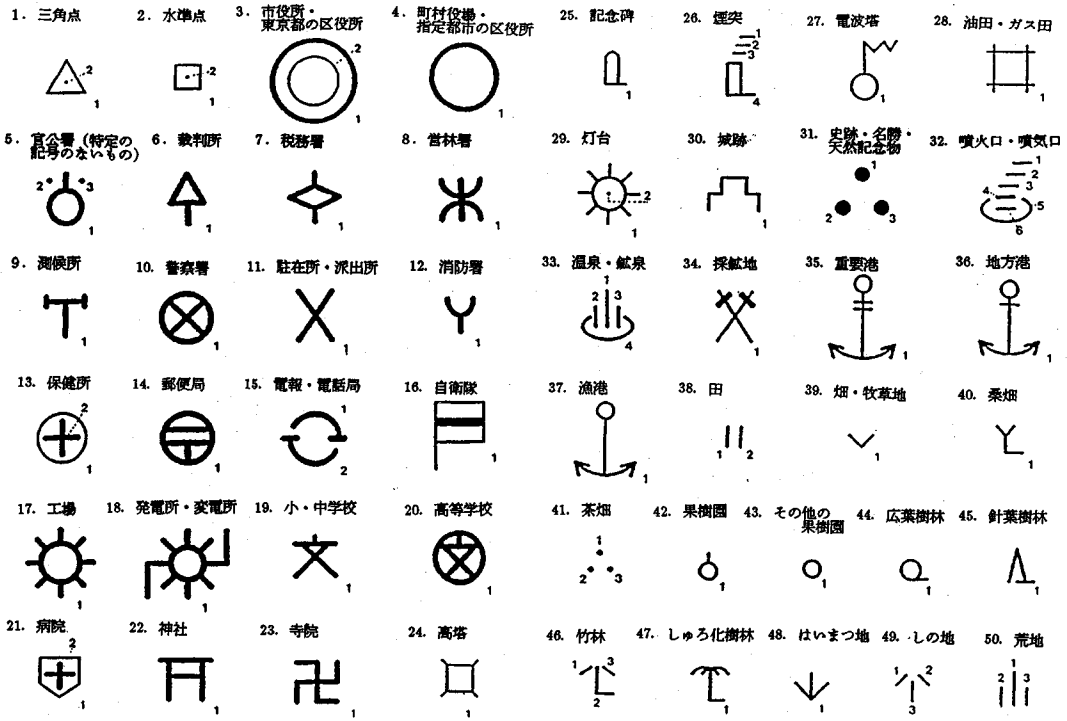


図-3.3 地形図の地図記号 50 種の原画像

$r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8$)と定義される。このとき $r_1 \sim r_8$ の各点は r_0 に 4-(または 8-)隣接しているといひ、4-(8-)隣接している 2 点がいずれも同じ画素値であるとき 4-(8-)連結しているという。さらに、この定義に基づいて距離、境界、経路、連結成分等についての 4-連結性と 8-連結性の 2 つの定義体が存在する。この定義で 4-近傍は 8-近傍の部分集合であるので、連結性については 4-連結は 8-連結より厳しい条件であり、8-連結は 4-連結を包含する広い概念である。しかし、4-連結と対比して述べるために、8-連結部分を狭義の 8-連結ということもある。

交差数は、 r_0 のまわりの画素値 0, 1 パターンの変化の回数を表す。点 r_0 における交差数と連結数はそれぞれ次のように定義される。

交差数：

$$R_c = \sum_{k=1}^8 |x_k - x_{k+1}| \dots \dots \dots (3.1)$$

連結数：

$$N_{c4} = \sum_{k \in S_1} (x_k - x_k x_{k+1} x_{k+2}) \quad (4 \text{ 連結}) \dots \dots (3.2-a)$$

$$N_{c8} = \sum_{k \in S_1} (\bar{x}_k - \bar{x}_k \bar{x}_{k+1} \bar{x}_{k+2}) \quad (8 \text{ 連結}) \dots \dots (3.2-b)$$

ここで $S_1 = \{1, 3, 5, 7\}$, $\bar{x}_k = 1 - x_k$

交差数 R_c は、 r_0 に広義の 8-連結の意味で接している成分数を数え上げたものである。

連結を構成している点から全体の連結性を保存しながら

ら点を削除することを考えるとき、何点かを除いても成分の 4-(8-)連結性が変化しないなら、その点は 4-(8-)削除可能であるといひ、その点を 4-(8-)削除可能点という。定義より、4-削除可能点は 8-削除可能点の部分集合となる。この削除可能点から定義されているのが連結数である。

4-(8-)連結成分が与えられたとき、 $N_{c4}(N_{c8})=1$ になる点は 4-(8-)削除可能である。4-(8-)削除可能点がすべて除かれた成分を完全 4-(8-)連結、そうでないものを不完全 4-(8-)連結という。したがって、4-連結部分は必ず不完全 8-連結である。4-(8-)連結数は与えられた線図形から完全 4-(8-)連結心線を得るのに用いられる。一方、交差数 R_c は、4-(8-)連結を区別せずに点のまわりの枝の数を数え上げている。したがって、 $R_c = 1$ なる点を除く細線化は、図-3.3 の原図形における狭義の 8-連結部分を保存すると 4-連結性をも保存する。この意味で R_c は、 N_{c4} と N_{c8} の折衷型であるといえる。なお、交差数または連結数 1 なる点の削除による連結性の保存は、1 点ごとの削除の場合のみ保証される。

b) 心線

心線とは線幅 1 の線図形のことである。心線の定義は式 (3.3~5) のようになる。

$$N_{c4} = N_{c8} = 1 \dots \dots \dots (3.3)$$

$$N_{c4} = 0 \quad \text{かつ} \quad N_{c8} = 1 \dots \dots \dots (3.4)$$

$$N_{c4} = 1 \quad \text{かつ} \quad N_{c8} = 0 \dots \dots \dots (3.5)$$

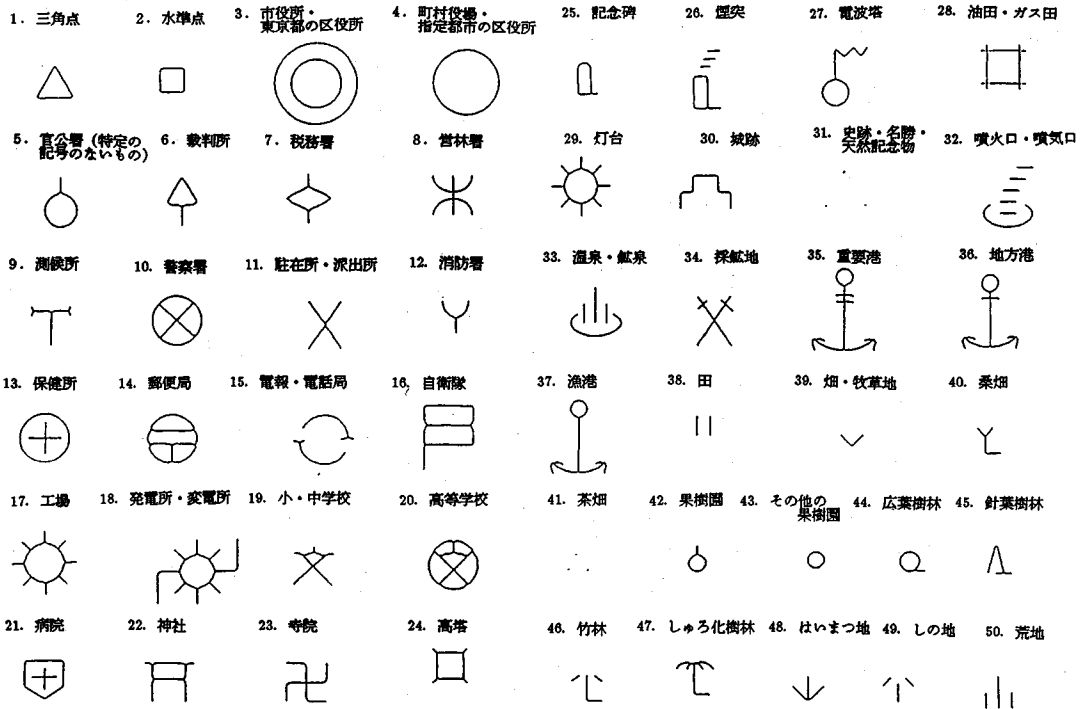


図-3.4 地形図の地図記号 50 種の細線化画像

c) 細線化処理の実現方式

細線化の基本概念は線の幅方向に両側から点を削っていくことであるが、線の方向を決定してから周辺点除去を実行することは難しい。また、対象となる画像にはいろいろな方向の線分が含まれているのが普通であるから、結局すべての方向からの周辺点除去を実行することになる。細線化の一般的処理を示すと次のようになる⁴⁾。

(1) 2値画像で線図形を1、背景を0とすると、周辺点(図形の内部境界)の中から下記に示す条件に合う境界点を除去する。

(2) 連結性保存等の条件から保存すべき点と、除去すべき点を決定する。

(3) 除去すべき点について1→0の変換を実行し、図形を細める。

(4) アルゴリズム停止の条件が満足されるまで上記項目(1)~(3)の処理を反復する。

●細線化アルゴリズム

処理方式：本研究では上記の処理手順に準じながら、下記のような処理方法の細線化アルゴリズムを用いた。このアルゴリズムはラスタースキャン型点除去条件を用いている。これは1 走査開始前と操作途中の近傍の状態を利用している。次の各条件をすべて満足する $x_0=1$ なる点を0に変換し、1 走査分の停止条件が満たされるまでこれを繰り返す。停止条件は除去すべき点が存在しないときである。

走査開始前の 8-近傍の状態を利用するもの

条件 1: $\sum_{k \in S_1} \bar{x}_k \geq 1$ (境界条件)

条件 2: $\sum_{k=1}^8 x_k \geq 2$ (端点条件)

条件 3: $\sum_{k=1}^8 x_k' \geq 2$ (孤立点保存条件)

8-近傍のうち r_2, r_3, r_4, r_5 が既走査の状態を利用するもの

条件 4: $N_{c8}=1$ (連結条件)

条件 5: $k=3,5$ に対して $x_k \neq x_k'$ または $N_{c8}(k)=1$

ここで、 x_k' は既走査の x' の値、 $\bar{x}_k=1-x_k$ である。

$N_{c8}(k)$ は x_k のみを x_k' で置き換えたときの 8-連結数とする。このアルゴリズムは、8-連結数を用いているので、完全 8-連結心線が得られる。

なお、図-3.3 は本研究で処理する地形図の地図記号 50 種を示し、図-3.4 はこれらの細線化画像を示している。

4. 地図記号構成成分の認識要素

画像認識は画像(あるいは画像に含まれる情報)を目的とする識別クラスに対応付ける操作と考えるのが普通である。画像空間からクラス空間への $n(n>1)$ 対 1 の写像の集合を考える問題となる。画像空間はクラス空間に比べて情報量が多く冗長である。冗長性を含め画像から認識に本質的な情報のみを抽出して(特徴抽出)画像を

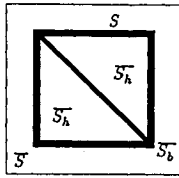


図-4.1 ホール

表現し、これを基にして対応するクラスに識別するクラスタリングが重要となってくる。そこで、地図記号画像の特徴を抽出し、それによってクラスタリングに有効な認識要素を示す。特徴抽出においては細線化処理をしない原画像と細線化処理をした結果の細線画像を用いることにする。なお、複数の成分から構成されている地図記号(分離地図記号)ではラベルによって各々の成分に分割し、それぞれを別の画像として処理した。連続したラベルを持つ画像成分の形状特徴を捉えるための認識要素をまとめて以下に $a \sim j$ で示し、次に、分離地図記号の画像についての認識要素については $w \sim z$ に示す。

(1) 原画像による認識要素

細線化処理等の画像に対する幾何学的変形処理を加えない画像を原画像と呼ぶ。原画像を使用して認識を行うことは、その画像固有の元来から持ち合わせている特徴をそのまま利用できる点で有効である。

(1) ホール数による認識要素 a :

$$a = H \quad (\text{連結成分のホールの数})$$

図-4.1のように連結成分領域 S の補連結成分領域 \bar{S} を考えると、 \bar{S} は S を完全に包含する枠に連結している白地領域(背景) \bar{S}_b と枠に連結していない \bar{S}_h (ホール)に分類することができる。このとき、 \bar{S}_h の数を H とする。

ホール数 H はラベリング処理の手法を用いて抽出することができる⁶⁾。白地領域 \bar{S}_b 、 \bar{S}_h にラベル付けをすることによって \bar{S}_b 、 \bar{S}_h の数がわかる。

(2) 面積による認識要素 b :

$$b = S/S_A$$

ここに、 S : 連結成分の面積

S_A : 連結成分の外接長方形の面積

(3) 連結成分とホールの占有面積による認識要素 c :

$$c = \frac{S + \sum_{h=1}^H S_h}{S_A}$$

ここに、 S : 連結成分の面積

$\sum_{h=1}^H S_h$: 連結成分のホールの面積の総和

S_A : 連結成分の外接長方形の面積

デジタル画像におけるある領域の面積 S_A は領域を構成する1の画素の数であると定義される。また、ここで連結成分の外接長方形を x 軸方向、 y 軸方向で連結成分に外接する図形(外接長方形)と定義する(図-4.2)と、

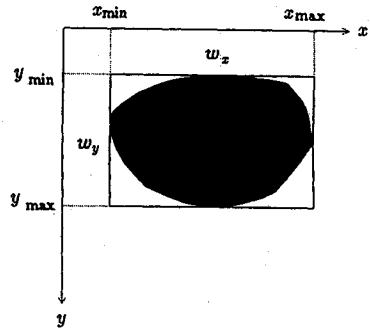


図-4.2 連結成分の外接長方形

連結成分の外接長方形の面積 S_A は次のようになる⁶⁾。

$$S_A = w_x \times w_y \dots \dots \dots (4.1)$$

ここに、 $w_x = x_{\max} - x_{\min} + 1$

$$w_y = y_{\max} - y_{\min} + 1$$

認識要素 b 、 c は外接長方形内における連結成分または連結成分とホール領域の占有率を表すものであり、その特徴量 b 、 c は0から1までの値をとる。

(4) 連結成分の伸長度による認識要素 d :

$$d = w_x/w_y$$

ここに、 w_x : 連結成分の外接長方形の x 軸方向辺長

w_y : 連結成分の外接長方形の y 軸方向辺長

外接長方形の x 軸方向、 y 軸方向のそれぞれの辺長の比によって連結成分の伸長度がわかる。

(2) 線図形による認識要素

細線化処理を施した線図形による認識要素を以下に示す。特に地図記号はもともと線から構成されているので、線構造にした線図形の解析により重要な特徴が得られ認識の決め手になることが多い。

幾何学的特徴点は図-4.3のように端点、屈折点、分岐点、交点、中間点に分類することができる。以下の認識要素においては端点、分岐点、交点を用いることにする。なお、分類に際しては画素値 x_0 が1なる対象点 r_0 の 3×3 近傍画素値 $x_k (k=0 \sim 8)$ (図-4.4)を考える。端点、屈折点、分岐点、交点、中間点は次式に示すような条件を満たす r_0 である。

端点 : $\sum_{k=1}^8 x_k = 1$

屈折点・中間点 : $\frac{1}{2} \sum_{k \in S_1} |x_k - x_{k+1}| = 2$

分岐点 : $\frac{1}{2} \sum_{k \in S_1} |x_k - x_{k+1}| = 3$

交点 : $\frac{1}{2} \sum_{k \in S_1} |x_k - x_{k+1}| = 4$

いずれも $S_1 = \{1, 3, 5, 7\}$

上記の要素を単独で用いたのでは認識率が不十分であることが予想されるので、下記の要素 $e \sim j$ を用いる。

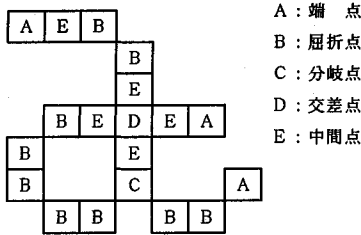


図-4.3 幾何学的特徴点

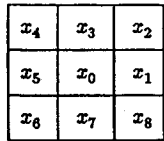


図-4.4 x_0 の 3×3 オペータ

(5) 端点数による認識要素 e : $e = (\text{端点の数 } n_1)$

(6) 分岐点・交点による認識要素 f :

$$f = n_3 + 2n_4$$

認識要素 f において分岐点の数 n_3 と交点の数 n_4 をそれぞれ別の認識要素にすることも可能である。しかし、原画像を細線化処理した場合、原画像の線幅等により、1つの交点が2つの分岐点となり、誤認識の原因となる。このような場合も考慮にいれて認識要素 f を設定する。

(7) 端点の方向性による認識要素 g :

端点を持つ線図形はそれ以外に少なくとも1つ以上の端点、分岐点、交点のいずれかが存在する。ある端点 Q から順次連結画素を追跡してゆき、最初に到達した端点、分岐点、交点のいずれか(始点 P と呼ぶ)から見た端点 Q の方向が端点の方向ということになる。しかし、始点 P と端点 Q を結ぶ連結画素のなす線分が必ずしも直線ではなく屈折、湾曲している場合がある。そのため、端点の方向性を十分導出可能な点に新たに始点 P' を設定する。端点からの線分追跡において、水平・垂直方向に隣接する連結画素間の長さを1、斜め方向に隣接する連結画素間の長さを $\sqrt{2}$ とし、端点からの長さ m を求めることができる。 $m \geq N$ となる最初の画素を始点 P' とした。ここで $N=10$ としている。 N の値を固定せず各図形の大きさ L (外接長方形の対角線長など) を用いて L に比例させた値を与えることによって、 N をより図形の大きさに起因させたものにできる。また、線分追跡途中 $m \geq N$ となる以前に始点 P に到達した場合には始点 P' は始点 P と同画素とする。始点 P' から見た端点の Q の方向指数は次のように定義する。図-4.5のような方向指数によって方向を表すとき方向指数1の方向を基準として反時計周りに θ 回転した方向を対象端点の方向とすると

$$\text{方向指数の指標 } \hat{v} = \frac{4\theta}{\pi} + 0.5$$

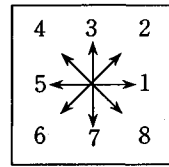


図-4.5 方向指数 \hat{v}

\hat{v} は v を越えない整数値を示す $-\frac{1}{8}\pi \leq \theta < \frac{15}{8}\pi$ となる。

\hat{v} は8方向を示すことが可能であるが、方向性のある程度の範囲を持たせて4方向に分類する。このとき、

方向指数 $k=1$ $\hat{v}=1, 2, 8$ のとき

$k=2$ $\hat{v}=2, 3, 4$ のとき

$k=3$ $\hat{v}=4, 5, 6$ のとき

$k=4$ $\hat{v}=6, 7, 8$ のとき

する。 $\hat{v}=2, 4, 6, 8$ のときには複数の方向指数 k をもつことになる。

g_k (方向指数 k をもつ端点の数)

(8) 連結成分の線幅による認識要素 h :

$$h = S_0 / l$$

ここに、 S_0 : 原画像の面積

l : 線図形の長さ

原画像の面積 S_0 と線図形の長さ l の比から原画像の線幅の近似値 h を導出する。線画像の $x_0=1$ なる点 P_k の画素間連結長を l_k , $S_1 = \{1, 3, 5, 7\}$, $S_2 = \{2, 4, 6, 8\}$ としたとき

$$l_k = \frac{1}{2} \left(\sum_{k \in S_1} x_k + \sqrt{2} \sum_{k \in S_2} x_k \right) \dots \dots \dots (4.3)$$

となり、線図形の長さ l はその総和である。

$$l = \sum_{k=1}^n l_k \dots \dots \dots (4.4)$$

ここで、 n は線図形の画素数。

(9) 連結成分による認識要素 i :

$$i = n_1 \quad (\text{細線化処理の反復回数})$$

細線化処理の反復回数 n_1 によって、画像の線幅がある程度類推可能であることから、 n_1 を認識要素とする。

(10) 斜連結度による認識要素 j :

$$j = \frac{l}{l+1-a}$$

ここに、 l : 線図形の長さ

l : 線図形の連結画素数

線図形の長さ l を線図形の連結画素数で割ることにによって n_0 からそれぞれ縦横方向、斜め方向に連結する画素の割合が求められる。 j は1から $\sqrt{2}$ までの値を取り、 j が1に近ければ縦横方向に連結する画素が多く、 j が $\sqrt{2}$ に近ければ斜め方向に連結する画素が多くなる。

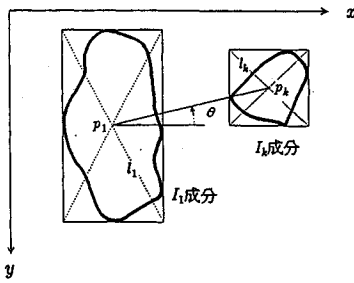


図-4.6 I_1 と I_k との関係量

(3) 分離地図記号の認識要素

分離地図記号とは記号が複数の連結成分によって構成されている地図記号である。実験対象の地図記号 50 種類の中で、分離地図記号は 17 種類である。分離地図記号の認識は、個々の単一連結成分の認識だけでは不十分なため、その連結の構成関係の認識方法を用いることにする。前節までで単一連結成分の認識要素について述べたので、本節では連結成分間の構成関係として相互位置関係や配置の状態等による認識要素 $w \sim z$ を示す⁹⁾。

認識要素の特徴量の抽出には細線化処理のされていない原画像を用いることにする。なお、 n 個の連結成分の構成関係を検討する際、各連結成分の外接長方形の対角線 l_k を比較してその長さが最大の成分を図-4.6 のように I_1 成分、それ以外のものを I_k 成分として、その両者を比較する形で相互の関係を認識する。また、各成分の中心 p_k を外接長方形の中心と定義し、 $\overrightarrow{p_1 p_k}$ の方向を θ とする。

(11) I_k 成分の方向性による認識要素 w :

$$w = \overrightarrow{p_1 p_k} \text{ の方向指数}$$

方向指数は前節の認識要素 g で示した方向指数 \hat{v} によって表す。

(12) 包含関係による認識要素 x :

$$x = (I_1 \text{ 成分のホールに包含される } I_k \text{ 成分の数})$$

ここで包含するとは、 I_1 成分のホール領域の中に I_k の成分領域がすべて含まれることをいう¹⁰⁾。記号構成要素の認識要素としても幾何学的特徴量が用いられたが、分離記号の認識では長さを利用して認識要素を設定する。基準となる長さは I_1 成分の対角線長である。

(13) 分離度による認識要素 y :

$$y = \frac{I_1 \text{ 成分と } I_k \text{ 成分の中心間の距離}}{I_1 \text{ 成分の対角線長 } l_1}$$

認識要素 y は I_k 成分が I_1 成分からどの程度はなれているのかを示す特徴量として表しているものである。

(14) 大きさ比による認識要素 z :

$$z = l_k / l_1$$

ここに、 l_k : I_k 成分の対角線長

l_1 : I_1 成分の対角線長

I_1 外接長方形と I_k 外接長方形の対角線長によって、

表-5 各認識要素によるクラスタリング基準

認識要素	クラス	クラスタリング基準
a	a	a
b	1	$0 < b \leq 0.29$
	2	$0.29 < b \leq 0.42$
	3	$0.42 < b \leq 0.70$
	4	$0.70 < b \leq 1$
c	1	$0 < c \leq 0.30$
	2	$0.30 < c \leq 0.48$
	3	$0.48 < c \leq 0.74$
	4	$0.74 < c \leq 1$
d	1	$0 < d \leq 0.64$
	2	$0.64 < d \leq 1.15$
	3	$1.15 < d \leq 4.61$
	4	$4.61 < d$
e	e	e
f	f	f
g _k	g _k	g _k
h	1	$0 < h \leq 25.3$
	2	$25.3 < h \leq 47.3$
	3	$47.3 < h \leq 105$
	4	$105 < h$
i	1	$0 < i \leq 12.3$
	2	$12.3 < i \leq 20.8$
	3	$20.8 < i \leq 31.5$
	4	$31.5 < i$
j	1	$0 < j \leq 0.54$
	2	$0.54 < j \leq 1.12$
	3	$1.12 < j \leq 1.30$
	4	$1.30 < j$
w	w	w
x	x	x
y	1	$0 < y \leq 0.19$
	2	$0.19 < y \leq 0.54$
	3	$0.54 < y \leq 1.31$
	4	$1.31 < y$
z	1	$0 < z \leq 0.24$
	2	$0.24 < z \leq 0.52$
	3	$0.52 < z \leq 0.84$
	4	$0.84 < z$

I_1 成分と I_k 成分の大きさの比で認識要素 z とする¹¹⁾。

5. クラスタリングの基準

地図記号を認識する要素としてホール数、面積、連結成分、伸長度、幾何学的特徴点、成分の方向性、包含関係、分離度と大きさの比など $a \sim j$, $w \sim z$ の 14 種を示した。これらの中で各要素の値が実数値を持つものについては整数による区分が困難であることから、どのしきい値でクラスタリングすれば認識しやすいか不明である。認識要素 b, c, d, h, i, j, y, z については実数値を持ち、 $0 < b \leq 1$, $0 < c \leq 1$, $0 < d \leq 12.0$, $0 < h \leq 246$, $0 < i \leq 41$, $0 < j \leq \sqrt{2}$, $0 < y \leq 2.2$, $0 < z \leq 1$ の範囲にあることが画像の形状・寸法などの実験結果から明らかになったので、各認識要素をさらに区分化することとし、しきい値を求めるためにあらかじめ試行錯誤的にしきい値を事前調査して、各要素とも 4 クラス程度に区分すれば各地図記号画像を分離させることができる見通しを立てた。そこで、ISODATA なる教師なし分類法を用いて¹²⁾、クラスタリングを各要素 b, c, d, h, i, j, y, z ごとに試み、最適なクラスタリングのしきい値を求めることにした。しきい値の最終的な決定に対しては各要素とも当初 5~6 のクラスになるようにしきい値を設け、その後 50 種の地図記号画像が完全に分類可能なように目視でクラス結合させた。この結果をまとめたものが表-5 である。この表-5 の中で a, e, f, g_k, w, x につ

表-6.1-1 認識要素 a-j によるクラスタリング結果

No	記号 No	ラベル No	認識要素													
			a	b	c	d	e	f	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	h	i	j	p
1	32	5	0	1	1	1	2	0	1	0	1	0	1	2	3	1
2	33	4	0	1	1	1	2	0	1	0	1	0	1	2	3	1
3	30	1	0	1	1	2	2	0	0	0	2	1	2	2	2	2
4	48	1	0	1	1	2	3	1	1	3	1	0	1	2	3	3
5	40	1	0	1	1	2	3	1	2	2	1	1	1	2	3	4
6	47	1	0	1	1	2	5	3	2	0	1	4	1	2	2	5
7	46	2	0	1	1	3	2	0	1	1	0	0	1	1	2	6
8	39	1	0	2	2	1	2	0	1	2	1	0	0	1	2	4
9	15	1	0	2	2	1	3	1	1	0	1	1	2	3	3	8
10	15	2	0	2	2	1	3	1	1	1	1	0	2	3	3	9
11	46	1	0	2	2	2	2	0	1	0	1	0	1	1	3	10
12	46	3	0	2	2	2	2	0	1	0	1	0	1	1	3	10
13	49	1	0	2	2	2	2	0	1	1	1	1	1	2	4	11
14	49	2	0	2	2	2	2	0	1	1	1	1	1	2	4	11
15	13	2	0	2	2	2	2	4	2	1	1	1	1	2	4	12
16	21	2	0	2	2	2	2	4	2	1	1	1	1	2	4	12
17	9	1	0	2	2	2	2	5	1	0	2	0	3	2	3	13
18	8	1	0	2	2	2	6	4	0	3	0	3	2	4	3	14
19	12	1	0	2	2	3	3	1	0	2	0	1	2	3	3	15
20	11	1	0	2	2	3	4	2	0	2	0	2	2	3	3	16
21	34	1	0	2	2	3	8	4	2	2	4	3	1	3	3	17
22	45	1	0	2	3	3	3	1	1	0	1	1	1	2	2	18
23	23	1	0	3	3	2	4	2	1	1	1	1	1	2	4	19
24	26	1	0	4	4	1	2	0	1	0	1	0	1	1	2	20
25	26	2	0	4	4	1	2	0	1	0	1	0	1	1	2	20
26	26	3	0	4	4	1	2	0	1	0	1	0	1	1	2	20
27	32	1	0	4	4	1	2	0	1	0	1	0	1	1	2	20
28	32	2	0	4	4	1	2	0	1	0	1	0	1	1	2	20
29	32	3	0	4	4	1	2	0	1	0	1	0	1	1	2	20
30	32	4	0	4	4	1	2	0	1	0	1	0	1	1	2	20
31	32	6	0	4	4	1	2	0	1	0	1	0	1	1	2	20
32	2	2	0	4	4	2	0	0	0	0	0	0	4	1	1	21
33	29	2	0	4	4	2	0	0	0	0	0	0	4	1	1	21
34	5	2	0	4	4	2	0	0	0	0	0	0	4	2	1	22
35	5	3	0	4	4	2	0	0	0	0	0	0	4	2	1	22
36	41	1	0	4	4	2	0	0	0	0	0	0	4	2	1	22
37	41	2	0	4	4	2	0	0	0	0	0	0	4	2	1	22
38	41	3	0	4	4	2	0	0	0	0	0	0	4	2	1	22
39	31	1	0	4	4	2	0	0	0	0	0	0	4	4	1	23
40	31	2	0	4	4	2	0	0	0	0	0	0	4	4	1	23
41	31	3	0	4	4	2	0	0	0	0	0	0	4	4	1	23

表-6.2 認識要素 w-z によるクラスタリング結果

No	記号 No	I成分ラベル No	I成分ラベル No	認識要素				
				w	x	y	z	q
1	2	1	2	0	1	1	1	1
2	29	1	2	0	1	1	1	1
3	3	1	2	0	1	1	1	3
4	38	1	2	1	0	2	4	3
5	5	1	3	2	0	2	1	4
6	33	4	3	2	0	2	2	5
7	49	3	2	2	0	3	3	6
8	32	5	6	3	0	1	2	7
9	32	5	3	3	0	2	2	8
10	32	5	4	3	0	2	2	8
11	46	3	1	3	0	2	2	8
12	33	4	1	3	0	2	3	9
13	26	4	1	3	0	3	2	10
14	26	4	2	3	0	3	2	10
15	26	4	3	3	0	3	2	10
16	32	5	2	3	0	3	2	10
17	32	5	1	3	0	4	2	11
18	1	1	2	3	1	1	1	12
19	5	1	2	4	0	2	1	13
20	33	4	2	4	0	2	2	14
21	49	3	1	4	0	3	3	15
22	31	3	1	4	0	4	4	16
23	41	3	1	4	0	4	4	16
24	46	2	1	5	0	3	2	17
25	41	3	2	5	0	4	4	18
26	31	3	2	5	0	4	4	18
27	13	1	2	5	1	1	3	19
28	50	1	2	6	0	2	3	20
29	15	1	2	7	0	2	4	21
30	50	1	3	8	0	2	3	22
31	21	1	2	8	1	1	3	23

表-6.1-2 認識要素 a-j によるクラスタリング結果

No	記号 No	ラベル No	認識要素													
			a	b	c	d	e	f	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	h	i	j	p
42	1	2	0	4	4	4	2	0	0	1	0	1	4	1	1	24
43	33	1	0	4	4	4	2	0	0	1	0	1	1	1	2	25
44	33	2	0	4	4	4	2	0	0	1	0	1	1	1	2	25
45	33	3	0	4	4	4	2	0	0	1	0	1	1	1	2	25
46	38	1	0	4	4	4	2	0	0	1	0	1	1	1	2	25
47	38	2	0	4	4	4	2	0	0	1	0	1	1	1	2	25
48	49	3	0	4	4	4	2	0	0	1	0	1	1	1	2	25
49	50	1	0	4	4	4	2	0	0	1	0	1	1	1	2	25
50	50	2	0	4	4	4	2	0	0	1	0	1	1	1	2	25
51	50	3	0	4	4	4	2	0	0	1	0	1	1	1	2	25
52	37	1	1	1	1	3	4	4	1	0	1	2	1	2	2	26
53	36	1	1	1	1	3	6	2	2	0	2	2	1	2	2	27
54	35	1	1	1	1	3	8	8	3	0	3	2	1	2	2	28
55	27	1	1	1	2	3	1	1	1	1	0	0	1	2	3	29
56	29	1	1	1	2	2	8	8	1	2	3	4	1	2	3	30
57	1	1	1	1	3	2	0	0	0	0	0	1	2	3	31	
58	28	1	1	1	3	2	8	8	2	2	2	2	1	2	2	32
59	21	1	1	1	4	2	0	0	0	0	0	1	2	2	2	33
60	3	2	1	1	4	2	0	0	0	0	0	1	2	3	34	
61	13	1	1	1	4	2	0	0	0	0	0	1	2	3	34	
62	3	1	1	1	4	2	0	0	0	0	0	2	3	3	35	
63	4	1	1	1	4	2	0	0	0	0	0	2	3	3	35	
64	7	1	1	2	2	2	2	0	1	0	1	2	3	3	36	
65	6	1	1	2	2	3	1	1	0	0	1	2	3	3	37	
66	18	1	1	2	2	2	8	8	2	4	2	4	2	3	38	
67	17	1	1	2	2	2	8	8	3	3	3	3	2	3	39	
68	44	1	1	2	3	2	1	1	1	0	0	0	1	2	3	40
69	24	1	1	2	3	2	4	4	1	0	1	2	2	3	2	41
70	22	1	1	2	3	2	4	4	2	2	2	2	1	2	2	42
71	42	1	1	2	3	3	1	1	0	1	0	0	1	2	3	43
72	5	1	1	2	3	3	1	1	0	1	0	0	2	3	3	44
73	25	1	1	2	3	3	1	1	1	0	0	0	1	2	2	45
74	26	4	1	2	3	3	1	1	1	0	0	0	1	2	2	45
75	19	1	1	3	2	2	5	5	2	1	2	2	2	3	3	46
76	2	1	1	3	4	2	0	0	0	0	0	0	1	2	2	47
77	43	1	1	3	4	2	0	0	0	0	0	0	1	2	3	48
78	16	1	2	2	3	3	1	3	0	0	0	1	1	3	2	49
79	10	1	4	3	4	2	0	2	0	0	0	2	3	3	50	
80	14	1	4	3	4	2	0	6	0	0	0	2	3	3	51	
81	20	1	6	3	4	2	0	10	0	0	0	0	2	3	3	52

表-6.3 各地図記号成分の分類結果

No	記号 No	ラベル No	クラス		No	記号 No	ラベル No	クラス	
			p	q				p	q
1	1	1	31	0	42	30	1	2	0
2	1	2	24	12	43	31	1	23	16
3	2	1	47	0	44	31	2	23	18
4	2	2	21	1	45	31	3	23	0
5	3	1	35	0	46	32	1	20	11
6	3	2	34	2	47	32	2	20	10
7	4	1	35	0	48	32	3	20	8
8	5	1	44	1	49	32	4	20	8
9	5	2	22	13	50	32	5	1	0
10	5	3	22	4					

いては整数値で区分している。これらの各要素は $a \leq 6$, $e \leq 8$, $f \leq 10$, $g_1 \leq 3$, $g_2 \leq 4$, $g_3 \leq 4$, $g_4 \leq 4$, $w \leq 8$, $x \leq 1$ の範囲にある。

6. 地図記号認識の結果

図-3.3 に示した地図記号に通し番号を付け、各記号内の分離記号の各々を区別する目的で別の一連番号を付けた。認識要素 $a \sim j$, $w \sim z$ と表-5 のクラスタリング基準によって記号構成成分の分類を行った結果を表-6.1, 6.2 に示す。まず、表-6.1, 6.2 の左端欄は地図記号の通し番号である。第2欄は本実験で使用したすべての画像に番号付けし、地図記号番号の中で複数の画像成分から成り立っているものに付いては、その各々の画像を区別するためにラベル番号を第3欄に付けている。したがって、表-6.1 の通し番号 35~37 は地図記号番号 41 (茶畑) が3画像で構成されていることを示す。第4欄の認識要素 $a \sim j$, $w \sim z$ は表-5 に示したクラスタリング基準によるクラス番号を示している。第5欄の p , q がクラス番号を $a \sim j$, $w \sim z$ の順に値の小さいものからソートしたときの番号であり、1種の地図記号が複数成分から成り立っているとき、その画像の特徴によっては必ずしも隣接して並んでいない。前出の茶畑は3画像が同一形状であるために表-6.1 でたまたま並んでいるにすぎない。表-6.3 は表-6.1 と表-6.2 をまとめ、地図記号の画像番号順にソートしたものである。すなわち、記号番号1ーラベル番号1は $p=30$, $q=0$ 、記号番号1ーラベル番号2は $p=23$, $q=12$ で示される。このほか、市役所・東京都の区役所の記号は二重の円から成っているが、外側の円と内側の円ではその線幅が異なっている。線幅の特徴量を示す認識要素 h と認識要素 i によって同形状の連結成分でも分類が可能である。この結果、81個の記号構成成分は52のクラスに分類可能となり、さらに、分離記号のクラスタリングにより50種の地図記号はすべて異なったクラスに分類可能となった。

7. 地図記号認識要素に対する考察

地図記号の各連結成分の認識要素と分離記号の認識要素について考察する。

連結成分の認識要素は大別すると幾何学的特徴点によるものと、幾何学的特徴量によるものになる。各連結成分の認識において、幾何学的特徴点は特に有用である。その成分に端点・分岐点等の形状を持つものに対しては、幾何学的特徴点を用いた認識要素を適用することによって、類似したグループに分類可能となる。しかし、同じような幾何学的特徴点を持つものも多数存在するため、違った観点から特徴を見だし認識しなければならない。幾何学的特徴量はその一つである。幾何学的特徴

量は、面積・長さのみでは形状は認識不可能であるが、外接長方形や線図形の線長などの情報を用いると、規格化された地図記号を認識することができるようになる。特に線幅の特徴量による認識要素は、同形状で一見認識不可能な記号も認識可能とする点に注目できる。また、線図形の斜連結度を用いた認識要素は正方形格子に区切ったデジタル画像特有のものである。分離地図記号の認識要素において本研究では記号を構成する成分の中で大きさが最大のものとしてそれ以外の成分との関係を用いた。すべての成分間を認識すれば、認識処理が煩雑になると予想される。

幾何学的特徴点は離散的な値を持つもので、連結成分に多少の歪みがあっても位相幾何学的性質によって個々の連結成分の持つ値が変化することはなく、その値はクラスタリングにおいてそのまま特徴量として利用できる。それに引き替え面積・線長などの幾何学的特徴量は連続的な値をとり、クラスタリングの際のそのクラスの分類基準の設定が重要になってくる。分類基準の設定を変更することによって違ったクラスに分類されることもありうる。異なったクラス間の境界付近の値をとるような場合、その認識要素によるクラスは非常に曖昧なものになってしまう。認識要素ごとの重要度を設定して認識することも可能と思われる。また、クラスタリングをせずに記号を分類することも考えられる。幾何学的特徴量を用いた認識要素により認識するためには、分類手法の考察が重要となるであろう。地図から直接地図記号を認識することに適応させようとする場合、本実験で用いられた認識要素を基本にして地形図中の記号を認識する方法もあるであろう。また、実際の地図には印刷上の関係により線が欠如していることも考えられ、幾何学的特徴点の出現数が本来の値と異なってしまっても考えられる。

8. 結 論

地図記号の認識において、原画像と細線化処理を施した線図形を用いた認識要素に関する研究を行ったが、50種類の地図記号に含まれる81の連結成分は、原画像と細線図形の利用、分離記号に対する考慮、細線化処理で幾何学的特徴点を主体にしながら画像の面積や長さの要素を付加するなどして、14種の認識要素によって52のクラスに分類可能であることを示した。さらに、分離地図記号を構成する相互の単一連結成分の関係を示す認識要素によって分離地図記号が認識され、50種類すべての地図記号が認識可能であることを示した。したがって、本研究で適用された認識要素とクラスタリング基準は地図記号の分類・認識をするために有効なものであるといえる。また、本実験で用いた認識要素の中で幾何学的特徴量を使用したものは、連結成分あるいは相互関係等の

各々に含まれる特徴量の比という形で表したため、縮尺の異なる地図記号に対しても適用可能であるので、本研究で使った地形図以外の地図記号にも適用可能であるし、地図の入力時の縮尺変動に対処可能と言えよう。ただし、データのサンプリングについては50種類の地図記号の中ではNo.41の茶畑の1つの円形の直径が0.2mmと最小のため少なくとも0.1mm以下のサンプリング間隔が不可欠であろう。

今後の課題としては、本実験で得られた各記号の特徴点・特徴量に基づいて実際の地図中の記号の認識を行うことや、地図記号の一部が他の線分と結合したり、印刷時に地図記号の変形（線の途切れなど）の影響で欠如していたり、回転した場合の認識について考慮する必要がある。最終的には、等高線等の線状図形、地名などの文字なども認識可能とし、総合的な地図記号認識システムを構築して行くことがあげられる。

この他、図形シンボル記号は商標として登録されており約3万点に及ぶ。これらのシンボル記号は本研究の実験で用いた地図記号のように記号が個々独立しているため、本研究の地図記号の認識要素のほとんどは応用できるものと思われる。

謝意

本研究は文部省科学研究（試験研究：1989.4～1992.3）によって得られた成果の一部であり、この研究を分担していただいた筑波大学電子・情報工学系の池辺八洲彦教授にお礼申し上げる。また、認識処理に対してはワークステーション（NEWSシリーズ）を使用した。当システム利用に対して筑波大学構造工学系の安達勤教授、電子・情報工学系の中山和彦教授のご協力を得た。ここに謹んでお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土地理院：大縮尺地形図のデジタルマッピングの標準化に関する研究，国土地理院技術資料，pp.11～126，1986.
- 2) 建設省建設経済局：1/2,500白地図データベース技術基準（昭和61年制定），pp.1～17，1986.4.
- 3) A. C. Show :The formal picture description scheme as a basis for picture processing systems, Inf. Control, Vol.14, pp.9～52, 1969.
- 4) J. Hilditch :Linear skeleton from square cup-boards, Edinburgh Univ. Press, pp.403～420, 1969
- 5) D. L. Waltz :Understanding Line Drawings of Scenes with Shadows, Psychology of Computer Vision, P. H. Winston(ed.), McGraw-Hill, New York, pp.19～91, 1975
- 6) 星 仰・田附智恵：地図情報のベクトル化に関する基礎研究，日本写真測量学会秋期学術発表論文集，D-4, pp.85～90, 1986.10.
- 7) 星 仰・田附智恵：コンピュータ・マッピングシステムの基礎研究—地形図の記号認識，情報処理学会全国大会講演論文集，Ⅲ-1, E-6, pp.1797～1798, 1987.3.
- 8) 手塚慶一（他）：デジタル画像処理工学，日刊工業新聞社，pp.142, 1985.
- 9) 星 仰・高木徹：分離した地図記号の特徴抽出，情報処理学会全国大会講演論文集（I），2C-1, pp.118～119, 1990.3.
- 10) 星 仰・高木徹：幾何学的特徴による地図記号認識，情報処理学会全国大会講演論文集（I），5M-8, pp.212～213, 1990.9.
- 11) 星 仰・池辺八洲彦：地図記号の認識要素の基準とその適用性，土木学会年次学術講演会講演概要集，No. IV, pp.284～285, 1990.10.
- 12) G. H. Ball and D. J. Hall :ISODATA A Self-Organizing Computer Program for Design of Pattern Recognition Preprocessing, Proc. IFIP Congress 65, Vol.2, pp.329～330, 1965.

(1992.2.14 受付)

RECOGNITION ELEMENT FOR MAP SYMBOL OF TOPOGRAPHIC MAP

Takashi HOSHI and Toru TAKAKI

It is one of the purposes to select or discard different geographical information and make it multipurpose based on the extraction and recognition of information existing in original maps by geographical information system (GIS). This study describes recognition elements of map symbols which are not affected by scale. Every map symbol is separated into single-image and separated-image to extract recognition elements and also clustering criterion is decided by the necessary recognition elements in the clustering. Therefore, 50 kinds of map symbols can be extracted and recognized with the recognition elements and clustering criterion proposed in this paper.