平成12年度修士論文

画像データベースにおける
色と形状をキーとした検索方法の研究

静岡大学大学院　　理工学研究科

システム工学専攻

5093-0228　　三上　知宏

指導教官　　若林 伸和　助教授

提出日 2000年2月16日

目 次

第 1 章　序論 **1**

第 2 章　データベース **3**

2.1　データベースの分類 3

2.2　画像データベースシステム 5

第 3 章　システムの概要 **6**

3.1　開発環境 6

3.2　システムの全体構成 7

第 4 章　画像処理 **9**

4.1　ディジタル画像処理 9

4.2　カラー画像処理 11

4.2.1　カラー画像 11

4.2.2　色度画像 11

第 5 章　特徴抽出 **16**

5.1　エッジ検出 [7] 16

5.2　２値化処理 18

5.2.1　判別分析法 19

5.3　境界線抽出処理 20

5.4　細線化処理 21

5.5　雑音除去 23

5.5.1　メディアン・フィルタ 23

5.5.2　連続性雑音除去 24

第 6 章　画像の検索方法 **25**

6.1　検索方法 25

6.2 特徴情報作成 27
6.2.1 色による領域抽出 27
6.2.2 形状領域抽出処理 34
6.3 特徴量 40
6.3.1 色情報 40
6.3.2 形状情報 41
6.4 順位付け 47

第 7 章 データベースの管理 **50**
7.1 管理方法 50

第 8 章 実験と考察 **52**
8.1 検索キーについての実験 52
8.2 検索実験 54

第 9 章 結論 **58**

謝辞 **59**

参考文献 **60**

第1章　序論

人間が画像あるいは図形を見て理解するという高度な画像認識能力を機械あるいはコンピュータによって実現しようとする画像処理技術は，近年のコンピュータの性能向上と記憶装置の大容量化に伴い，めざましい進歩を遂げ，様々な研究が行われてきた [1]．X 線撮影像や CT スキャンなどの医療画像の処理，航空機や人工衛星から撮影した地球表面の画像データからの解析，工場の自動生産での不良品の検出など様々な分野に応用されている．そして，コンピュータの性能向上，記憶装置の大容量化，画像処理技術の進歩に伴い，画像データを扱うことが多くなりコンピュータに蓄積される画像データの量が増加している．増大する画像データをコンピュータに単に蓄積するだけではデータの氾濫を招くだけである．大量に蓄積された画像データを有効に活用するために，画像データベース中からユーザが必要とする画像を検索する方法が求められている．そこで，本研究では画像データベース中より画像を検索する方法について考える．

画像データベース中から画像を検索するためには検索キーが必要である．これまでの画像検索システムにおいて検索キーとして用いているものにはテキストにより表されたキーワードが多かった．キーワードを検索キーとするシステムとして，まず画像ごとにその内容を表すキーワードを予め付与しておき，検索時にそのキーワードを検索キーとして画像検索を行う言語・言語型の画像検索システムがあった．この方法は実用的ではあるが，通常人手によりキーワードが付与されるため，大量の画像を処理する場合にはその作業には非常に労力，時間が費される．また，キーワードとしてどのようなものが付与されているかをある程度知っていなければ使用することができない．次に感性語句などを検索キーとしてそのキーワードに対応付けられた画像特徴を用いて画像検索を行う言語・画像型の画像検索システムが研究されていた．この方法では検索する人によって物の捉え方が違うためその捉え方を統一することが難しく，検索条件として用いられる表現に制約が多くなってしまうという問題がある．

画像データベース中から画像を検索するにあたり，キーワードのような言語を検索キーとして扱うことは言語と画像を結び付けることを考えなければならない．しかし，画像あるいは図形は，人間にとってもっとも基本的な情報の伝達そして理解の手段となるものである．人間が目を通して受け取る画像情報は，五感 (視覚，聴覚，触覚，嗅覚，味覚) を

通じて得る情報の約８割を占め，重要な伝達手段であるばかりでなく，文字や数字，記号だけでは説明できないことを表現可能にしている [2]．つまり，画像には言語では説明できない部分が含まれているため，言語と画像を結び付けるにはその部分が問題となる．画像の内容を説明するには言語を用いるのではなく画像を用いる方がより正確に伝えることができる．そのため，画像を検索するには検索キーとして言語を用いて行う検索システムよりは，画像そのものを用いて画像間の類似度による検索を行う画像・画像型の検索システムの方が有効であると考えられる．

画像を検索キーとするシステムとして，ユーザが検索したい対象物の概略画を描画しその概略画から得られる画像特徴を用いて画像検索を行うシステムが研究されていた [3]．この方法はユーザが検索したい対象物の概略画を描画するため，検索キーとなる概略画がユーザの描画能力に大きく影響されてしまうことになる．また，ユーザが検索したい対象物がはっきりしない場合には概略画を描画することができず有効ではない．そこで，ユーザが対象物の概略画を描画し検索キーを指定するのではなく，データベースに存在する画像中より検索キーを指定する方法を考える．

画像中より検索キーを指定するために，用いることができるものについて考えなければならない．画像データから得ることのできる情報として，画像中の色と形状の２つが考えられる．画像中の対象物はこの色と形状を合わせることで表現することが可能である．そこで，画像中の色と形状を検索キーとして用いることを提案する．本研究では，まず画像中よりユーザが望む色と形状を抜き出す方法について検討する．そして抜き出すことができた色と形状を検索キーとして画像データベースより画像を検索する方法について検討する．

実際に検索実験を行うことにより検索目標が 20 位以内に存在する割合は，提案する方法の色のみの場合は 8 割，形状のみの場合は 4 割，形状と色の場合は 8 割以上であり，色のみ，形状と色を用いた検索方法では，データベース中の画像の $\frac{13}{100}$，$\frac{8}{100}$ の画像を確認するだけで検索目標を得ることができるという結果を得た．

以下，第２章ではデータベースや画像データベースシステムについて述べる．第３章では本システムの概要を述べる．第４章ではディジタル画像処理やカラー画像処理について述べる．第５章では本システムで用いた特徴抽出の手法について述べる．第６章では検索キーの特徴の表現方法や検索方法について説明する．第７章ではデータベースを管理する方法を述べる．第８章では実際に作成したシステムを用いて画像検索を行い評価を述べる．第９章では結論を述べる．

第2章　データベース

多種多様な情報が大量に供給される現代の情報社会では，企業経営や研究開発において，膨大な情報の中から必要とするものを的確かつ迅速に把握することが必須の条件となっている．こうした要求にこたえるのが，大量の情報を集約化し，コンピュータで検索可能な形に蓄積したデータベースである．

2.1　データベースの分類

データベースに格納される情報の形式は，現在のところ文字，数値が中心であるが，画像，映像，音声なども増加してきている．

文字情報は文献・記事の全文，抄録，書誌事項 (タイトル，著者，出版社，出版年，使用言語など) を，数値情報は経済，産業・企業，社会の諸活動に関する統計データなどを，画像情報は心電図，設計図などを，映像情報は自然観察やスポーツ記録などを，また音声情報は音楽や動物の鳴き声などの自然音声などを扱う．

データベースは，そこに収納される情報の内容，形式などにより，表 2.1 に示すように，一般的にはリファレンスデータベース (文献データベースともよばれる) とファクトデータベース (ソースデータベースともよばれる) に大別される [4]．

表 2.1: データベースの分類

種類	タイプ	例
リファレンスデータベース	ビブリオグラフ	抄録，書誌事項
	ディレクトリー	所蔵目録，機関案内，台帳
ファクトデータベース	全文	全文の雑誌論文，百科辞典
	数値	各種統計，実験・観測データ
	文書・数値	新聞，調査・分析レポート
	その他	画像，映像

(1) リファレンスデータベース (referece database)
検索の最終目標となる情報そのものを提供するだけではなく，情報の案内を目的とするデータベースであり，蓄積される情報は，通常文字情報である．これは，更に次のように分けられる．

・ビブリオグラフ (bibliograph)：文献・記事の書誌事項や抄録など

・ディレクトリー (directory)：文献以外の案内で所蔵目録や機関案内など

(2) ファクトデータベース (fact database)
情報自体の提供を目的とするものであり，蓄積される情報は文字情報，数値情報，画像情報など多様である．これは，更に次のようにわけられる．

・全文：雑誌論文や法令などの全文

・数値：各種統計などの数値情報

・文書・数値：新聞などのように文字情報と数値が混在するもの

・その他：画像情報，映像情報などの情報

一般情報検索，コンピュータグラフィックス，画像処理 (医用画像，リモートセンシングなど)，パターン認識，画像転送サービスなどの分野において，多種類，多量の図形画像データおよび文字記号データとそれらの組み合わせデータを用いる処理業務，研究開発業務が多くなり，それぞれの分野の立場から画像データベースシステムの研究，開発が進められている．本研究で扱うデータベースは，ファクトデータベースのその他に分類される画像情報のデータベースである．そこで次に，画像データベースシステムについて説明する．

2.2 画像データベースシステム

画像データベースシステムとは，大量の画像データを効率良く，入力・蓄積・編集・管理でき，ユーザがいつでもどの画像データでもどのような形でも検索できるようなシステムのことである．図 2.1 に画像データベースシステムの概念構成を示す.

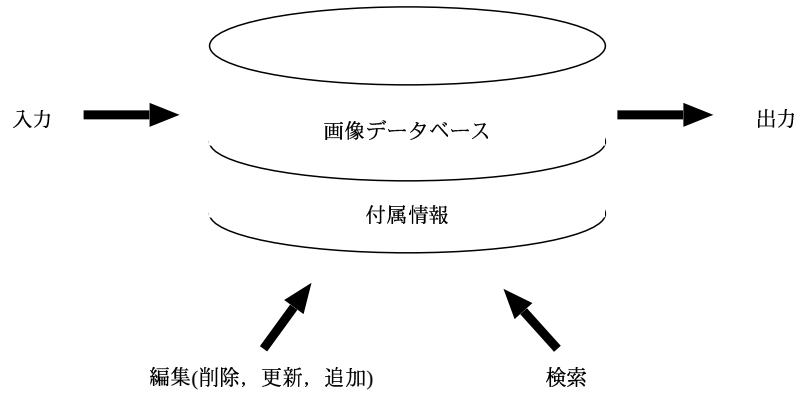


図 2.1: 画像データベースシステムの概念構成

画像データベースは，基本的には画像データファイルとその属性情報テーブルにより構成される．システムに入力されたデータおよび加工されたデータは，すべてデータベースシステムが管理する．この中には画像データとそれに付随した属性情報およびその他の数値情報が含まれている．これらのデータの管理をデータベースを用いて効率良く行うには必要最小限のデータ (属性情報) を直接管理することである．すなわち，コンピュータが直接アクセスできる環境下に必要最小限のデータを設定しておくことである．画像データは，常にそれと 1 対 1 に対応した属性情報を持つため，属性情報を登録，検索の対象とすることにより画像データを間接的に管理することが可能となる．

本研究では，画像データベースにおいてユーザーが希望する画像を検索する方法として，画像中の色と形状を検索キーとし検索を行うことについて考える．そのため，実際に色と形状を検索キーとして指定し画像の検索を行うことができるシステムを作成し評価する．そして，データベースを扱うため，データベースから検索する方法について考えるだけではなく，画像データを追加・削除・編集した場合に属性情報をどう編集するというデータベースの管理の方法について考える．

第3章　システムの概要

3.1　開発環境

本システムは，画像データの取り扱いの容易さ，画像処理に必要なプログラムの開発状況などを考慮してUNIX上でC言語を用いて作成した．本システムで扱った画像形式はSun Microsystems社のラスタファイル(Raster-file)形式であり，フルカラー画像(24bit mode)を扱った．画像処理をする際に基本的なルーチンを提供するライブラリとして，若林研究室のNoripieライブラリを使用した．このライブラリはラスタファイルの入出力やピクセル操作などを行う関数を提供するものであり，本システムではこのライブラリを使用することにより画像処理プログラムの開発を実現している．

また，実際にユーザが画像を検索することを考えた場合に，表示された画像上で検索キーをマウスを用いて指定することができ，検索を行った結果が画像として表示されることが要求されるため，GUI環境が必要となる．そのため，UNIXのX-Window systemを用いることにした．X-Window systemとは，MIT(マサチューセッツ工科大学)で開発されたUNIX上のマルチウィンドウシステムである．このシステムを採用した理由は，

- GUIを提供していること
- フリーで開発環境が提供されていること
- C言語インターフェイスが提供されていること

が挙げられる．X-Window上でプログラムを作成する際に，若林研究室で開発されたX-Window用ソフトウェア開発用のツールキットlibxntkを使用した．このツールキットは，X-Window上でソフトウェアを開発する際に頻繁に利用される処理をライブラリとして用意したものである．このツールキットを使用することにより，検索システムのウィンドウを開発する効率を上げている．

3.2　システムの全体構成

本研究で作成するシステムの全体構成を図 3.1 に示す.

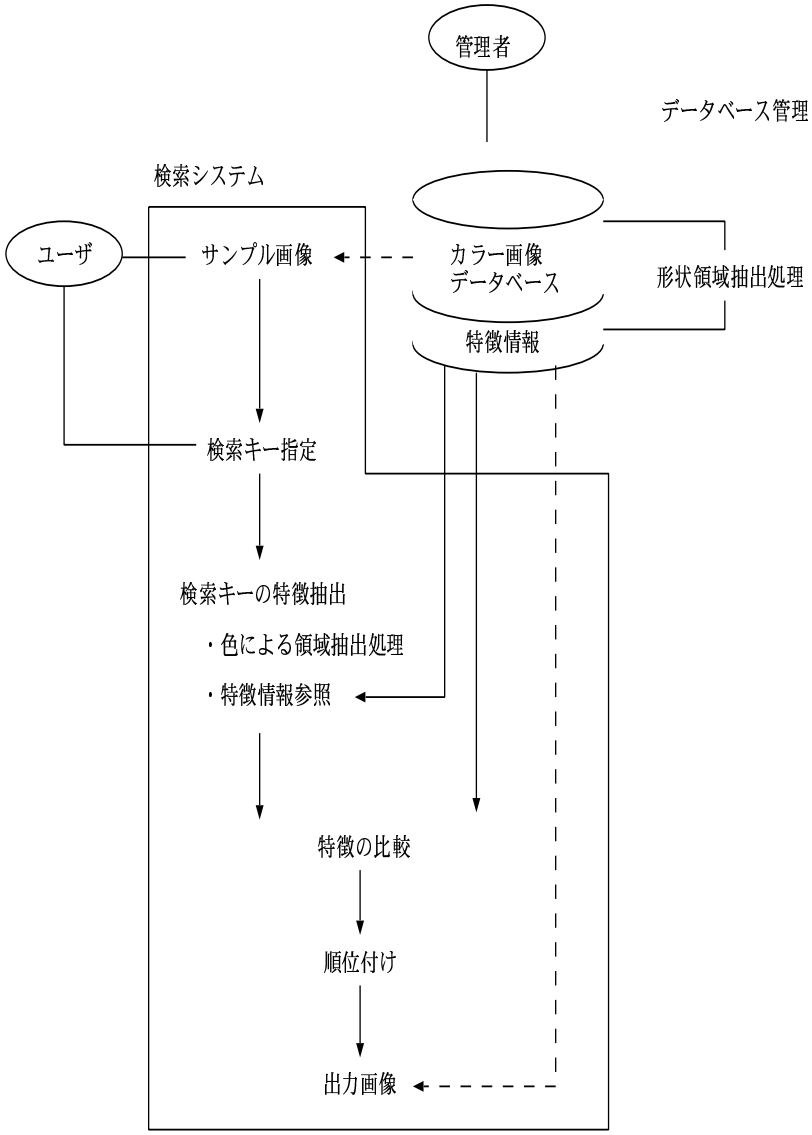


図 3.1: システムの全体構成

本システムでは，処理の対象とする画像として道路地図を取り上げる．道路地図を対象とする理由として，道路地図には様々な形が存在しそれらは色により分類されているため，本研究の目的である色と形状を用いた画像検索の方法を考慮する上で適していると考えたためである．画像データベース中の画像データは道路地図をイメージスキャナでカラー画像データとして取り込んだものである．この道路地図カラー画像をもとに処理を

行っていく．

予め画像データベース中の画像に対して形状領域抽出処理を行い対象物の形を抽出し，その対象物の形の情報とその対象物の色の情報を特徴情報としてもたせておく．ユーザは，カラー画像データベースよりサンプル画像として画像を選ぶ．そのカラー画像中よりクリックまたは枠で囲むことにより色または形状を検索キーとして指定する．その指定された検索キーをもとに検索システムは，色が検索キーとして指定された場合には色による領域抽出処理により色の特徴を抽出し，形状が検索キーとして指定された場合にはデータベースの特徴情報を参照し形状の特徴を得る．そして，得られた検索キーの特徴とカラー画像データベースの特徴情報を比較し，検索キーの特徴と近い特徴を含む画像を表示する．

データベースに画像を追加したり，データベースから画像を削除したりした場合には，管理者がデータベースを管理するコマンドを入力することにより自動的にデータベースの特徴情報を更新する．

第4章　画像処理

本研究は，コンピュータを用いてフルカラー画像の処理を行うため，ここで画像処理についての説明と，カラー画像処理についての説明をする．

4.1　ディジタル画像処理

コンピュータ処理が出現するまでの画像処理は、工学・写真処理やビデオ信号処理等のアナログ処理であった．アナログ処理では，原理的にかなり限られた処理しかできないのに対して，コンピュータによるディジタル画像処理ではプログラムで自由に多様な処理を試せるという柔軟性があり，近年のコンピュータの脅威的な発展とともにめざましい進歩をとげ，様々な研究が行われている．そして，工場の自動生産での不良品の検出や産業ロボットの制御，人工衛星からの画像や航空写真の解析，X 線像や顕微鏡像，CT スキャンなどの医用画像の処理，郵便番号の自動読み取りなど幅広い分野で応用されている．

コンピュータで画像を扱うには、写真や図面などの画像情報 (アナログ信号) をコンピュータで取り扱うことができる情報 (ディジタル信号)，すなわちディジタル画像に変換しなければならない．変換を行うためには図 4.1 に示すように，標本化，量子化という 2 つの操作 (両者を合わせてディジタル化と呼ぶ) を行う必要がある．

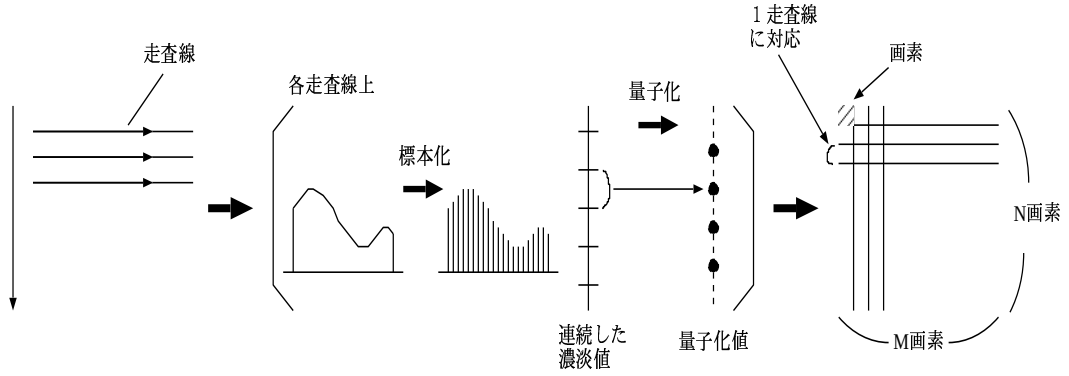


図 4.1: 標本化と量子化

標本化は，空間的に連続した画像を離散的な点 (標本点すなわち画素) の集合に変換する操作である．画像は 2 次元平面上に分布した情報形態であるため，2 次元平面上を上から順に一定間隔で，水平方向に走る直線 (走査線) に沿ってたどり，濃淡値 (濃度値) を取り出していくというラスタスキャンが最も一般的で，得られた 1 次元信号に対して一定の間隔ごとにその値を求めていくことにより，離散的な点列を得ることができる．縦横の走査線を増やして標本化を行うほど画素数が多くなり，より鮮明な画像を表現することができる．

標本化により画像は空間上で離散的に分布した画素に分解されるが，画素の値 (濃淡値) に関しては連続値となっている．この連続的濃淡値を離散的な値 (整数値) に変換する操作が量子化である．この値が 0 か 1 の白黒 2 値で量子化された場合には 1 ビットの白黒 2 値画像が得られ，0 から 255 の 256 レベルで量子化された場合には 8 ビットの白黒階調画像が得られる．

$M \times N$ 画素からなるディジタル画像は，図 4.2 に示すように各画素の濃度値を要素とした M 行 N 列の行列 $[\boldsymbol{F}]$ による表現が可能であるため，ディジタル画像をコンピュータで処理するにはこの行列 $[\boldsymbol{F}]$ に対する種々の演算操作を行うことになる．

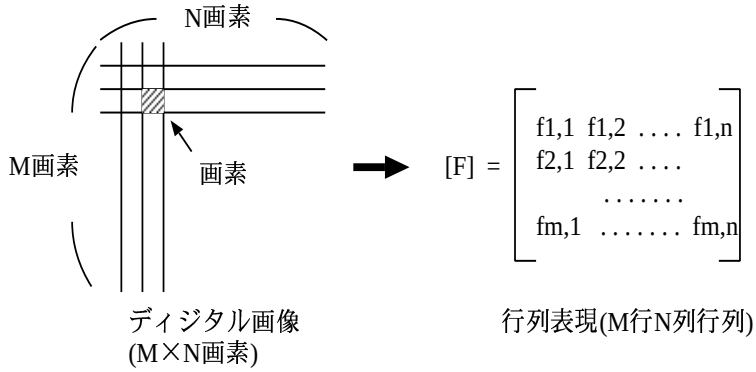


図 4.2: ディジタル画像の行列表現

4.2　カラー画像処理

カラー画像による画像処理では，位置，濃度のほかに色の情報も取り扱わなければならない．位置の情報は行列を用いて表すことができ，濃度の情報は0から255のレベルで表すことができる．色の情報について以下に説明する．

4.2.1　カラー画像

色を表す場合，モニター画面では赤(R)，緑(G)，青(B)の３色のビーム光線を画面の１点に照射して画素の色を表現している．３色のビーム光線を混ぜることにより色を表現しているため，３つのビーム光線の強さを変えることにより色を調節することが可能となる．そこで，コンピュータでは画面表示を行うときに，各画素のR，G，Bの３成分のそれぞれの強さを指定する．つまり，カラー画像はR，G，Bの３成分で構成されていることになる．それぞれの成分を0から255のレベルで表現すると，8ビットで表現できるため好都合である．３成分あるため１画素の色は24ビットで表現することになり，表現できる色の総数は約1677万色になる[5]．

カラー画像はR，G，Bの３成分で構成されているため，それぞれを分けて３枚の濃淡画像として表現することもできる．そのため，濃淡画像に対する処理アルゴリズムを３枚の画像それぞれに適用し，結果を合成するといったように濃淡画像に対するアルゴリズムを利用することも可能である．

4.2.2　色度画像

色を定量的に表現するために，色の性質を３つの要素に分けて表現することができる．明るいか暗いかを表現するための輝度，R，GやB，Ye，MgやCyなどのいろいろな色の種類を表現する色相，色の濃さを表現するための彩度である．輝度，色相，彩度の関係を図4.3に示す．

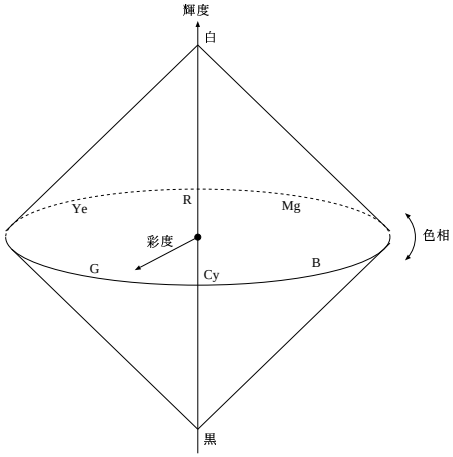


図 4.3: 輝度，色相，彩度の関係

色相と彩度をまとめたものを色度とよぶ．これにより，色の性質を輝度と色度の 2 つで考えることもできる．本研究で開発するシステムは将来的に自然画像等に対応することを考えているため，輝度による色の変化に影響されない画像処理を行うことを考えなければならない．そのため，画像から輝度を取り除いた色度画像に対して画像処理を行っていくことを考えた．

RGB 空間を用いて色を表示すると，図 4.4 に示すようになる．

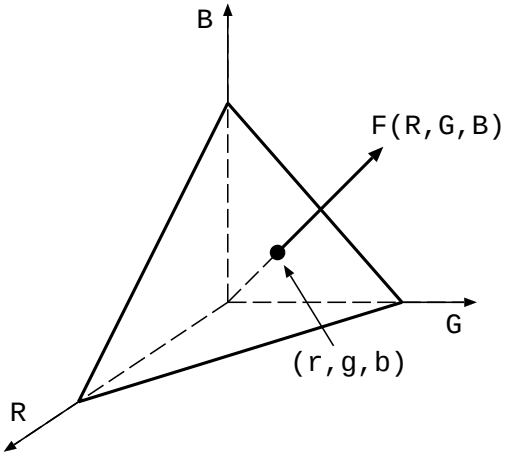


図 4.4: RGB 空間を用いた色の表現

図 4.4 では，(R, G, B) は 3 次元空間内のベクトル F で表されている．この色ベクトルの方向は色度 (色相と彩度) を表している．色度は色ベクトル F と $R + G + B = 1$ の平面

の交点で表すことができる．交点の座標を (r, g, b) とすれば，

$$T = R + G + B \tag{4.1}$$

として，

$$\begin{aligned} r &= \frac{R}{T} = \frac{R}{R+G+B} \\ g &= \frac{G}{T} = \frac{G}{R+G+B} \\ b &= \frac{B}{T} = \frac{B}{R+G+B} \end{aligned} \tag{4.2}$$

と求めることができる．T は刺激和と呼ばれ，(r, g, b) は色度座標と呼ばれる [6]．(4.2) 式を用いてフルカラー画像を色度画像に変換した画像を図 4.5 と図 4.6 に示す．

図 4.5: フルカラー画像

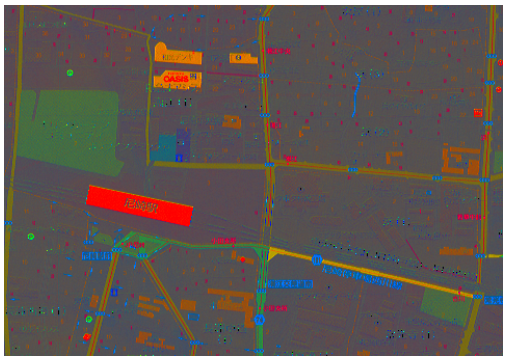


図 4.6: 色度画像

本研究では，フルカラー画像を色度画像に変換し，その変換した色度画像に対して画像処理を行っている．

色相と彩度

$R + G + B = 1$ の平面と 3 つの座標平面で囲まれる三角形 (図 4.4) において，図 4.7 のように三角形の高さを 1 とすれば，点 P から各辺に下ろした垂線の長さは r，g，b となる．三角形の重心は $r = g = b = 1/3$ で白色に対応し，辺に近付くほど彩度が大きくなる．

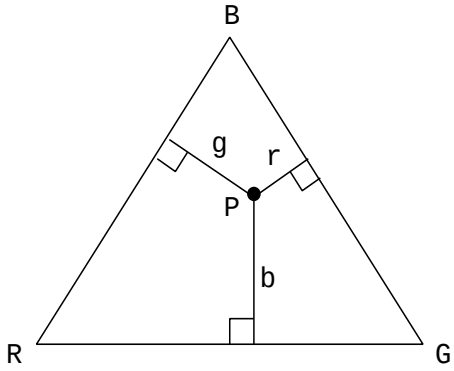


図 4.7: 色度座標

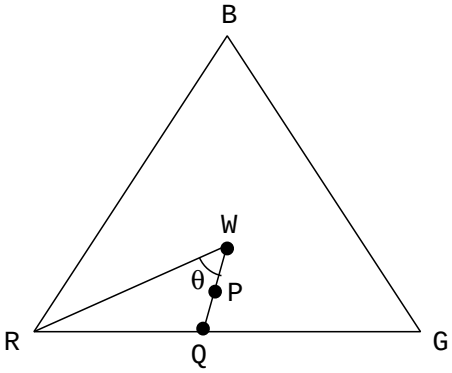


図 4.8: 色相と彩度

図 4.7 の三角形を用いて，次のように色相と彩度を定義することができる．図 4.8 において，三角形の重心 (白色) を W とすれば，点 P で表される色の色相は，WR と WP のなす角度 θ で定義され，彩度は WP と三角形の辺の交点を Q とすれば WP/WQ で定義される．点 P が (r，g，b) であれば，その色相と彩度は以下のように求めることができる．

図 4.4 において，図 4.8 の R，W，P の座標は，

$$R = (1,0,0), \quad W = (\frac{1}{3},\frac{1}{3},\frac{1}{3}), \quad P = (r,g,b) \tag{4.3}$$

となり，以下のようなベクトルが求まる．

$$\overrightarrow{R-W} = (\frac{2}{3},\frac{1}{3},\frac{1}{3}), \quad \overrightarrow{P-W} = (r-\frac{1}{3},g-\frac{1}{3},b-\frac{1}{3}) \tag{4.4}$$

(4.4) 式より，

$$|R-W| = \sqrt{\left(\frac{2}{3}\right)^2+\left(\frac{1}{3}\right)^2+\left(\frac{1}{3}\right)^2} = \frac{\sqrt{6}}{3} \tag{4.5}$$

$$|P-W| = \sqrt{\left(r-\frac{1}{3}\right)^2+\left(g-\frac{1}{3}\right)^2+\left(b-\frac{1}{3}\right)^2} \tag{4.6}$$

ここで，図 4.8 において，以下の式が成り立つ．

$$(R-W)(P-W) = |R-W||P-W|\cos\theta \tag{4.7}$$

(4.6) 式，(4.6) 式，(4.7) 式より，

$$\begin{aligned}\cos\theta &= \frac{(R-W)(P-W)}{|R-W||P-W|} \\ &= \frac{\frac{2}{3}(r-\frac{1}{3})-\frac{1}{3}(g-\frac{1}{3})-\frac{1}{3}(b-\frac{1}{3})}{\frac{\sqrt{6}}{3}\sqrt{(r-\frac{1}{3})^2+(g-\frac{1}{3})^2+(b-\frac{1}{3})^2}} \\ &= \frac{2r-g-b}{\sqrt{6}\sqrt{(r-\frac{1}{3})^2+(g-\frac{1}{3})^2+(b-\frac{1}{3})^2}}\end{aligned} \tag{4.8}$$

(4.8) 式より，

$$\theta = \cos^{-1} \frac{2r - g - b}{\sqrt{6}\sqrt{(r - \frac{1}{3})^2 + (g - \frac{1}{3})^2 + (b - \frac{1}{3})^2}} \tag{4.9}$$

(4.9) 式により求まる θ を用いて，色相 H は

$$H = \begin{cases} \theta & g \geq b \\ 2\pi - \theta & g < b \end{cases} \tag{4.10}$$

となる．また，彩度 S は

$$\begin{aligned} S &= \frac{WP}{WQ} = \frac{WQ - PQ}{WQ} \\ &= 1 - \frac{PQ}{WQ} \\ &= 1 - 3min(r, g, b) \end{aligned} \tag{4.11}$$

となる．

(4.9) 式，(4.11) 式を用いて，色相，彩度の値を求めることができ色を表す情報として用いることができる．

第5章　特徴抽出

一般に，画像には様々な種類の雑音や歪みが含まれている．そのため画像から必要な情報を取り出すためにはこの雑音や歪みが問題となってくる．画像のもつ情報を人間にとって見やすくしたり，画像をある標準的な形に変換し特徴が容易に行えるようにするために様々な画像処理の方法が存在する．また，画像を解析しそこに表現されている対象を認識するために，画像の２次元的な特徴を抽出したり，対象物を構成している部分を検出したりするための方法も多く存在する．その中で本研究で用いたエッジ検出，２値化処理，細線化処理，雑音除去，境界線抽出処理について説明していく．

5.1　エッジ検出 [7]

特徴 (濃度) が急激に変化する場所を探し，対象物の境界線を求めようとするエッジ検出は，非常によく研究されており，これまでに多くの方法が提案されている．

一般に濃度の不連続性を検出するには，微分を行えばよい．ディジタル画像の場合，微分は隣接画素との差分で表現される．注目画素 $f(i,j)$ に対する x 方向，y 方向の差分は，(5.1) 式のように定義される．

$$\begin{aligned} \Delta_x f(i,j) &\equiv f(i,j) - f(i-1,j) \\ \Delta_y f(i,j) &\equiv f(i,j) - f(i,j-1) \end{aligned} \tag{5.1}$$

このような方向性をもった差分は，画像中のエッジ方向によって値が変化するため，あまり有用ではない．ディジタル画像処理では画像における勾配がよく用いられる．ディジタル画像における勾配の大きさ $g(i,j)$ と方向 $\phi(i,j)$ は，それぞれ (5.2) 式で定義される．

$$\begin{aligned} g(i,j) &= \sqrt{(\Delta_x f(i,j))^2 + (\Delta_y f(i,j))^2} \\ \phi(i,j) &= \tan^{-1}(\Delta_x f(i,j)/\Delta_y f(i,j)) \end{aligned} \tag{5.2}$$

$\Delta_x f(i,j)$，$\Delta_y f(i,j)$ として (5.1) 式を用いればよい．しかし，この定義どおりに計算を行うと，注目画素 $f(i,j)$ のごく近傍の濃度だけを用いるので，雑音の影響を強く受けてしまう．そのため，画素間の濃度差をとるのではなく，注目画素の近傍領域内の濃度の和や

平均値の差を計算することにより雑音に対して強いエッジ検出オペレータをつくることができる．たとえば，

$$\begin{aligned}
\Delta_x f(i,j) &\equiv f(i-1,j-1)+f(i-1,j)+f(i-1,j+1) \\
&\quad -(f(i+1,j-1)+f(i+1,j)+f(i+1,j+1)) \\
\Delta_y f(i,j) &\equiv f(i-1,j-1)+f(i,j-1)+f(i+1,j-1) \\
&\quad -(f(i-1,j+1)+f(i,j+1)f(i+1,j+1)) \qquad (5.3)
\end{aligned}$$

この操作は，加重マトリクスとして表現した方がわかりやすい．近傍領域内の濃度の和を求めるのに，上下左右の画素には対角線上のものよりは大きな重みを与えたオペレータと合わせて図 5.1 示す．

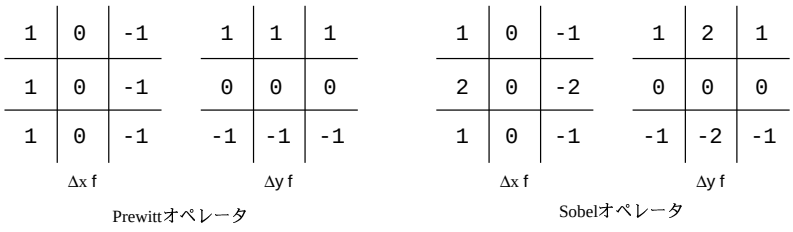


図 5.1: エッジ検出オペレータ

本システムでは，このオペレータをカラー画像に対して行った．方法としては，カラー画像は r 値の濃淡画像，g 値の濃淡画像，b 値の濃淡画像の 3 枚の画像に分けて考えることができるため，それぞれの濃淡画像に対して sobel オペレータを適用しエッジを検出し，１つの画像に戻すことにより，色の濃度変化によるエッジ検出を行った．

5.2　2 値化処理 [7]

画像の特徴を解析するには，画像から対象物を切り出し，図形と背景を分離した 2 値画像として扱うことが多い．画像の 2 値化は (5.4) 式の閾値処理によって行われる．

$$f_t(i,j) = \begin{cases} 1; & f(i,j) \geq t \text{ のとき} \\ 0; & f(i,j) < t \text{ のとき} \end{cases} \tag{5.4}$$

通常，結果の 2 値画像 $f_t(i,j)$ の中の値 1(白) の部分は対象図形を，値 0(黒) の部分は背景を表す (図 5.2)．

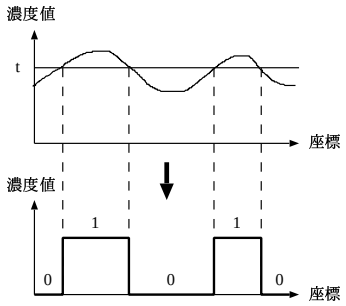


図 5.2: 閾値処理

ここで問題となるのは閾値 t の求め方である．t を決める方法は閾値選択といわれ，主な手法として，p-タイル法とモード法を説明し，本研究で用いた判別分析法について説明する．

p-タイル法は，切り出すべき対象図形の面積 (S_0) が推測できるとき，画像全体の面積 S に対する比率を $p = S_0/S$ とし，濃度値が t 以上になる画素が全画素数に対して p の割合になるように t を決める．これは，画像のヒストグラムをつくり，濃度値が低い方からの (あるいは高い方からの) 度数の和が全度数 (画素数) に対して $1-p$(あるいは p) の割合になる濃度値を求めればよい．

モード法は，与えられた画像の濃度値のヒストグラムを求め 2 つのピーク (対象図形と背景に対応する) をもつ分布になる場合，この 2 つの山の間の谷のところに t を決めればよい．

これらの方法では，対象図形の面積やヒストグラムの形がわからない場合には利用することができない．そのため，本研究では判別分析法を用いた．

5.2.1 判別分析法

画像の濃度値のヒストグラムにおいて，濃度値の集合を閾値 t で 2 つのクラス (t 以上と t 未満) に分割するとする．この t は，2 つのクラスの平均値の分散 (クラス間分散) と各クラスの分散 (クラス内分散) の比を最大にするという基準により決定する．t の決め方は

> 与えられた画像が $1, 2, \cdots, L$ の全部で L レベルの濃度値をもつとする．レベル i の濃度をもつ画素数を n_i，全画素数を N とすると，濃度の正規化ヒストグラムは
>
> $$p_i = \frac{n_i}{N} \tag{5.5}$$
>
> となる．このとき，画像の平均濃度値と分散は
>
> $$M_t = \sum_{i=1}^{L} i p_i \tag{5.6}$$
>
> $$\sigma_t^2 = \sum_{i=1}^{L} (i - M_t)^2 p_i \tag{5.7}$$
>
> 閾値を k として k 以上と k 以下の 2 つのクラス (クラス 1，クラス 2) に分ける．クラス 1, クラス 2 それぞれの画素数を $\omega_1(k), \omega_2(k)$，平均濃度値を $M_1(k), M_2(k)$，分散を $\sigma_1(k), \sigma_2(k)$ とおくと，クラス内分散は
>
> $$\sigma_w^2 = \omega_1 \sigma_1^2 + \omega_2 \sigma_2^2 \tag{5.8}$$
>
> クラス間分散は
>
> $$\sigma_b^2 = \omega_1 (M_1 - M_t)^2 + \omega_2 (M_2 - M_t)^2 \tag{5.9}$$
>
> そして
>
> $$H = \frac{\sigma_b^2}{\sigma_w^2} \tag{5.10}$$
>
> H を最大にするように k を求める．

判別分析法はヒストグラムが 2 つの山をもつときモード法として働き，山がないときにも閾値が求まるという方法である [7]．

5.3 境界線抽出処理

2 値化処理により得られた 2 値画像に対して，その境界線 (輪郭線) の情報を得る方法について説明する．この方法により得られた境界線の情報は画像中の形状の特徴の 1 つとして利用することができる．

境界線抽出処理は以下に示す操作により行うことができる [8].

(1) 画像をラスタ走査し，まだ追跡されていない境界画素が見つかればその点を出発点として以下の追跡モードへ移る．

(2) 出発点の座標を記憶し，出発点に追跡済のマークをつける (例えば，値 2 に変更する)．出発点の回りを図 5.3(a) に示す順序で調べ，最初に見つかった 1 画素へ移動し，その画素の座標も記録する．1 画素が存在しないときは，出発点は孤立点であり，(1) へ戻る．なお，図中での空白の画素はラスタ走査により 0 画素であることがわかっているため，調べる必要がない．

(3) 移動した先の画素 (注目画素とよぶ) の回りを移動する前の画素の次から反時計回りに調べる．これは，移動方向に対して相対的に図 5.3(b) または (c) に示す順序で画素を調べることになる．調べた画素 (空白の画素を含む) の中に注目画素の左隣りの画素が含まれていれば，注目画素に追跡済のマークをつける．調べた中で最初に見つかった 1 画素へ移動し，(3) を繰り返す．

(4) 出発点まで戻り，かつ (3) で決められる次に移動すべき画素が記録しておいた出発点の次の画素に一致すれば一つの境界線の追跡が終了．(1) へ戻る．

(5) ラスタ走査が終れば処理の終了である．

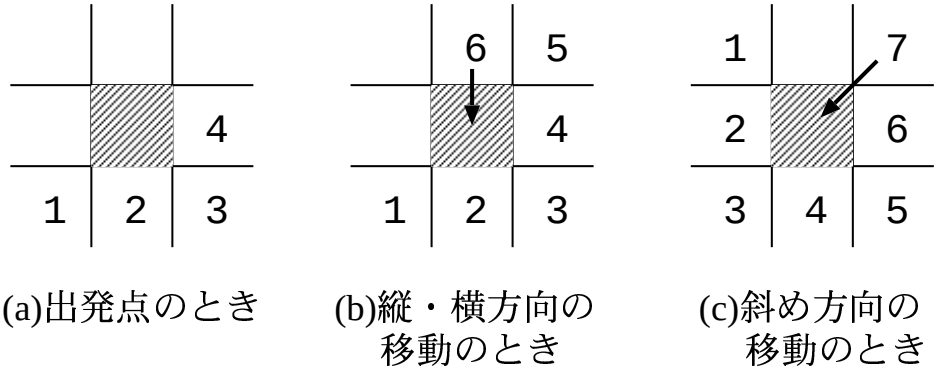


図 5.3: 回りの画素を調べる順序

5.4 細線化処理

細線化とは，比較的細い線で描かれてはいるが，幅 (太さ) が何画素かある図形を幅が１画素の線画に変換する操作である．細線化の結果からは図形の結合関係の特徴が求められるので，字や図面などの線状図形から線の構造を解析するのに不可欠の処理となっている [9].

細線化の結果得られる図形は，以下に示す条件を満たしていなければならない.

(1) 分岐点・交差点を除いては，図形の幅がどこでも１である.

(2) 原図形の中心軸に位置する.

(3) 原図形の連結性と穴を保存する.

(4) 端点を妥当と考えられる以上に縮退させない.

(5) 不要な枝が生じない.

(6) コーナーや分岐点・交差点の形が歪まない.

図 5.4 に細線化のアルゴリズムを示す．連結性保存条件は，その画素を消去しても局所的な連結性が変化しないことを意味している．つまり，細線化の条件 (3) のための条件である．端点条件は，端点を保存することによって細線化の条件 (4) を保障する．この２つの条件を具体的に定めることによりさまざまな細線化法が考案されている．図 5.4 の * 印の所まで到達したときに画像中の各画素が１回ずつ調べられ，図形の境界上にあって，かつ消去可能な画素がすべて消去されている.

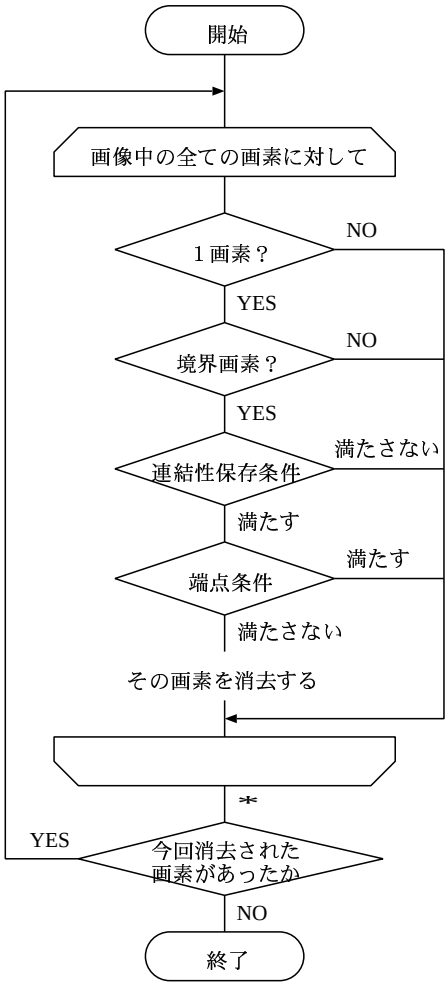


図 5.4: 細線化のアルゴリズム

画像中の各画素の１回のチェックと消去を行うために，逐次処理を用いる方法と並列処理を用いる方法がある．本研究では逐次処理型であり８連結の概念を備えもつ Hilditch の方式を採用している．ここで逐次処理とは，すでに処理済みの値を一部用いて次の画素の値を計算していく方法のことをいう．また８連結とは，注目画素の周り８近傍 (縦・横・斜め) を対象とする概念であり，注目画素の周り４近傍 (縦・横) を対象とするものは４連結という．

5.5　雑音除去

画像には多くの種類の雑音が含まれており，画像から種々の特徴を抽出する前にこうした雑音を除去する必要がある．雑音発生のモデルが予めわかっているときには，そのモデルに応じたフィルタを設計すればうまく雑音除去を行うことができる．しかし，通常は雑音発生のメカニズムが未知の場合が多く，またメカニズムがわかっていてもそのメカニズムをうまく数式的にモデル化できないこともある．こうした場合は，雑音のもつ一般的性質に基づいて雑音除去を行う平滑化の手法が用いられる．

本システムでは雑音除去を行うためにメディアン(中央値)フィルタを用いた．また，画素の連結数に着目して連結数が指定した値より小さければ消去するという連結雑音除去法を用いた．以下にそれぞれについて説明する．

5.5.1　メディアン・フィルタ

メディアン・フィルタは，局所領域中の濃度の中央値を出力濃度として与える．つまり図 5.5 に示すように 3 × 3 の領域を用いた場合，9 個の濃度値を小さい順に並べ，小さい方から 5 番目の(真中の)濃度値を求めればよい．図 5.6 からわかるように，メディアン・フィルタはエッジ部分を保存することができる．[10]

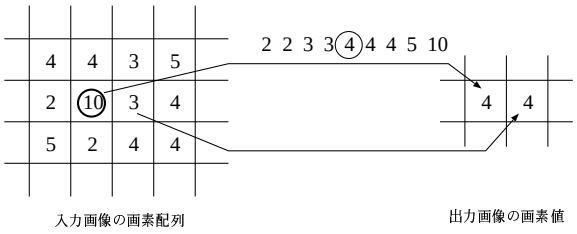


図 5.5: メディアン・フィルタ

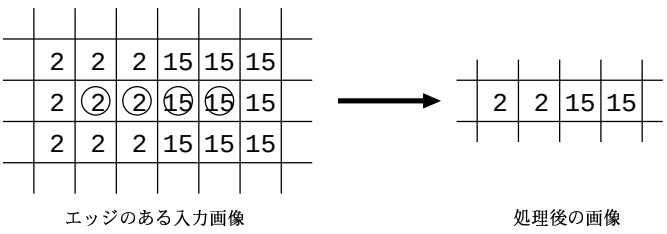


図 5.6: エッジがある場合

5.5.2　連続性雑音除去

連結性雑音除去法とは，8 連結の概念から画像中の黒画素の連結数を数え，連結数が閾値以下であれば雑音として除去する雑音除去法で，孤立点のみを除去する雑音除去法の拡張といえる．図 5.7 に閾値を 5 とした連結性雑音除去法の例を示す.

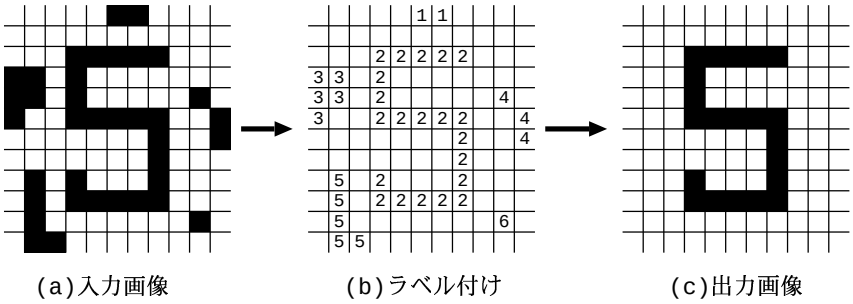


図 5.7: 連結性雑音除去法の例

まず，入力画像に対してラベリングを行いラベルを付ける．そして，同じラベルが付いている画素の数を計算し，予め決めておいた閾値より画素数が少なければ除去する．

この手法で問題となるのが，閾値の設定方法である．本研究では画像中で雑音として扱う部分の黒画素の数を調べ，その中の最大値をこの連結性雑音除去法の閾値と設定した．また，この連続性雑音除去法で用いたラベリングは画像を 2 回走査することによりラベル付けを行う．1 回目のラスタ走査では，各 1 画素 (黒画素) に対して次の操作を行う.

(a) 注目画素の左，左上，上，右上の画素の値が 0 のとき，注目画素に新しいラベルを付ける．

(b) 注目画素の左，左上，上，右上の画素のどれか 1 つが 1 画素のとき，その画素と同じラベルを付ける．

(c) 注目画素の左，左上，上，右上の画素の値が全て 1 で全て同じラベルであればそれらと同じラベルを付ける．

(d) 注目画素の左，左上，上，右上に 1 画素が 1 つ以上あり，それらが異るラベル L_1L_2 をもつとき，L_1 ラベルを付け L_1 と L_2 が等価なラベルであることを記憶する．

2 回目のラスタ走査を行う前に等価ラベル表を作成し，それをもとにラベルを変更していく．

第6章　画像の検索方法

本研究では，画像データベースからユーザの希望する画像を検索する方法として，キーワードや概略図を用いるのではなく，画像そのものを用いて検索を行う方法を提案する．そこで，画像そのものを用いてどのように検索を行うのかということについて検討する．そして，画像データベースより検索を行うため，画像データベース中の画像データの特徴を保存した特徴情報を作成しなければならない．その特徴情報について検討する．

6.1　検索方法

ユーザは画像を見てその画像中で検索キーを指定し，希望する対象物を含む画像を検索する．そこで，画像中で検索キーとして指定できるものとして以下の２つを挙げる．

- 画像中の色
- 画像中の形状

色と形状を用いることで，画像中の対象物を表現することができる．この２つを検索キーとして画像の検索を行うことを考える．検索キーを指定する方法として以下に示す３通りが考えられる．

(1) 色のみを指定する

(2) 形状のみを指定する

(3) 色と形状の両方を指定する

(3) の方法は (1) と (2) の方法を合わせることにより，指定できる．しかし，(1) と (2) を合わせて指定した場合，検索を行うユーザの考え方として以下に示す３通りの考え方ができる．

1. 指定した色をもつ対象物，または指定した形状をもつ対象物のどちらか１つを含む画像を検索したい．

2. 指定した色と形状をもつ対象物を含む画像を検索したい．

3. 指定した色をもつ対象物と指定した形状をもつ対象物の２つを含む画像を検索したい．

１はユーザがOR検索(指定した検索キーを１つ以上含む)を望んでおり，２，３はユーザがAND検索(指定した検索キーを全て含む)を望んでいる状態である．そこで，まず検索条件として，始めにAND検索を行うのかOR検索を行うのかを指定し，それから検索キーを指定することにした．この方法により上述の１と２，３を区別することができる．

次に２と３についてみてみると，２と３も区別する方法を考えなければユーザが指定した検索キーを理解することができない．そのため，検索キーを指定する時点て区別できるように考え，検索キーを指定する方法として，以下の３つを指定方法として考えた．

(1) 色のみを指定

(2) 形状のみを指定

(3) 形状とその形状の中の色を指定

この方法により，上述の２と３を区別することができる．

次に，それぞれの指定方法をどのように実現するかを考えなければならない．ユーザは画像を見ながら上述の３つの指定方法を行う．そこで，３つの指定方法を以下に示す方法で実現することにした．

(1) 画像中で指定したい色の部分をクリックする

(2) 画像中で指定したい形状を枠で囲む

(3) 画像中で指定したい形状を枠で囲み，指定したい色の部分をクリックする

本研究では，上述の３つの指定方法を行うことができるシステムを作成し，色と形状を用いた検索方法について検討を行う．

6.2 特徴情報作成

画像データベースより色と形状を検索キーとして用い検索を行うため，データベースの特徴情報として，対象物の色の情報と形状の情報をもたせることを考える．画像中より対象物の領域を抽出することができれば，その領域をもとに形状と色の情報を得ることができ，検索キーの特徴量として利用できる．そのため，色の情報を用いて領域を抽出することを考えた．

6.2.1 色による領域抽出

まず画像中で指定した 1 点つまり，指定した 1 色をもとにその色と同じとみなすことができる領域を抽出する方法を考えた．

指定した 1 色の値と画像中に存在する色の値が近いものが同じ色であるとみなすことができると考え，r，g，b 空間上における指定した 1 色 (r，g，b) と画像中に存在する色 (r_i，g_i，b_i) との距離を計算した．計算式を以下に示す．

$$d = \sqrt{(r - r_i)^2 + (g - g_i)^2 + (b - b_i)^2} \tag{6.1}$$

原画像 (図 6.1) をもとに，原画像中の水色の部分の 1 点 (1 色) を指定し (6.1) 式を用いて計算を行い，結果をグレー画像として表示したものを図 6.2 に，その画像のヒストグラムを図 6.3 に示す (画像は距離を階調値としたグレー画像であるため，指定した 1 色に近いほど黒色，遠いほど白色になっている．ヒストグラムは横軸が階調値，縦軸はその階調値の画素数である)．

図 6.1: 原画像

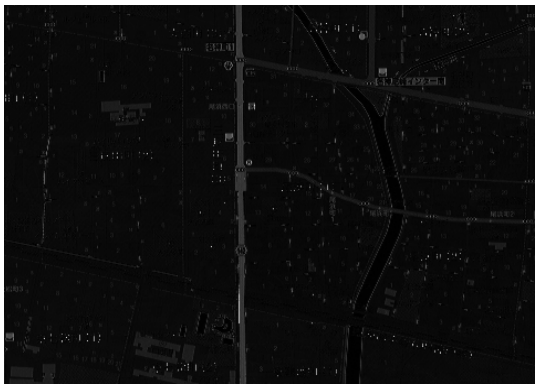


図 6.2: 距離のグレー画像

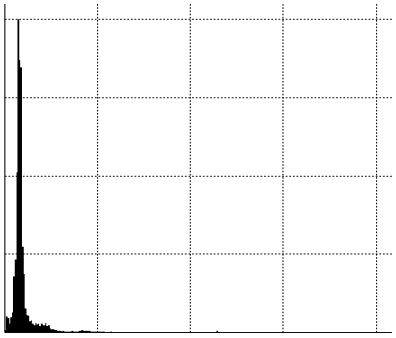


図 6.3: ヒストグラム

抽出したい色の部分は指定した色と距離が近いものであるため，ヒストグラムの値が小さい部分となる．図 6.3 のヒストグラムではピークとなっている部分の左側である．抽出したい部分に値が偏っているため，まずヒストグラムの横軸の拡大を行い抽出したい部分を拡大することを行った．

ヒストグラムの横軸の拡大を行う方法として，抽出したい色の部分はヒストグラムのピークとなる階調値より左に存在するという考えから，ヒストグラムのピークとなる階調値の値を図 6.4 に示すように最大値 255 にすることを考えた．

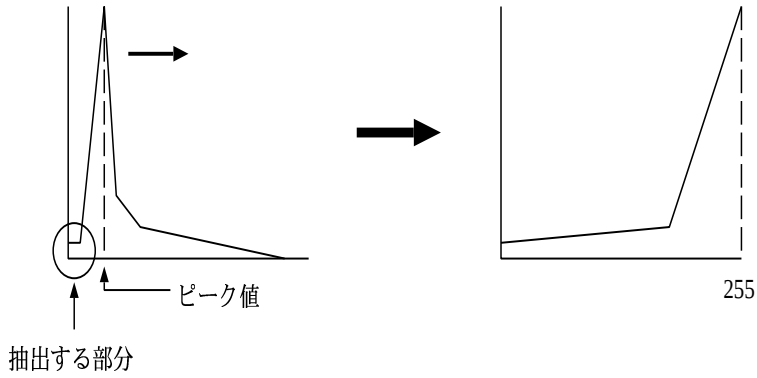


図 6.4: ヒストグラムの横軸拡大

しかし，この方法では抽出したい部分がヒストグラムのピークとなる階調値の左側に存在する場合には有効であるが，必ずしもヒストグラムのピークとなる階調値の左にあるわけではなく，抽出したい部分がピークとなる場合も存在する．そのため，2 値画像に変換する場合の閾値を決定するために用いられる判別分析法を用いて閾値 (th) を求め，その閾値の値であるヒストグラムの階調値が最大値 255 になるように横軸の拡大を行う．閾値の値より右側の階調値つまり，変換後の 255 以上の階調値は必要ないため，ヒストグラムの横軸は以下に示す式により求まる．

$$d_1 = d\frac{255}{th} \tag{6.2}$$

図 6.2 に示す画像に対して，判別分析法を用いて求まる閾値をもとに (6.2) 式を用いてヒストグラムの横軸の拡大を行った結果の画像を図 6.5 に，その画像のヒストグラムを図 6.6 に示す (ヒストグラムの横軸は (6.2) 式で求まる値 (階調値)，縦軸はその値の画素数である)．

図 6.5: 処理後の画像

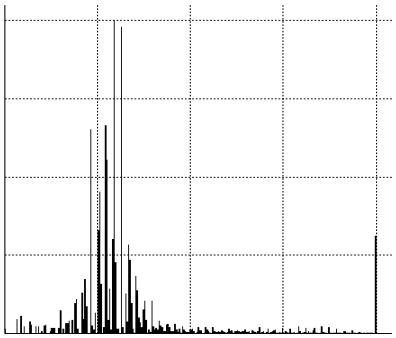


図 6.6: ヒストグラム

図 6.5 を見ると，希望する色の領域は抜き出せていない．しかし，ヒストグラムの横軸

を拡大することで，希望する色の領域が得られそうである．そのため，このヒストグラムの横軸を拡大する方法をあと何回か繰り返すことにより，希望する色の領域を得ることができるのではないかと考え実験を行った．

回数の比較実験

まず，判別分析法のみを用いて処理を行うことを考え，test1 と test2 を行う．

(test1) 判別分析法により求まった閾値をもとにヒストグラムの横軸拡大を行い，拡大を行ったものに対してまた判別分析法を用いて閾値を求める．判別分析法を最初に行うものと合わせて 3 回行い閾値を求める (図 6.7 参考)．

(test2) 判別分析法を合計 4 回行い閾値を求める．

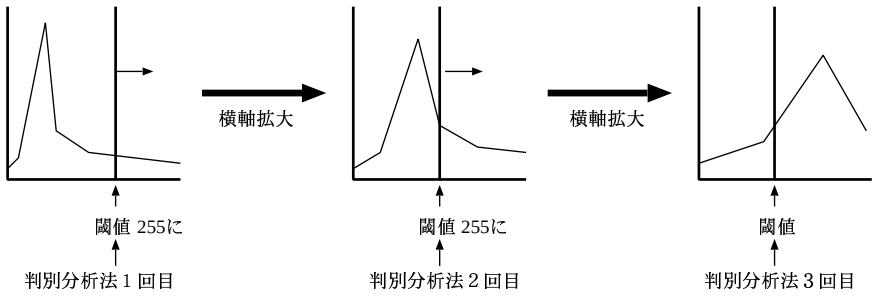


図 6.7: 繰り返しのイメージ図

次に，1 回判別分析法により処理を行ったヒストグラム (例：図 6.6) の山と閾値の位置に注目し，閾値が山の左裾に存在するもの，山の右裾に存在するもの，どちらともいえないものという 3 つのグループ (図 6.8 参照) に分けることを考えた．

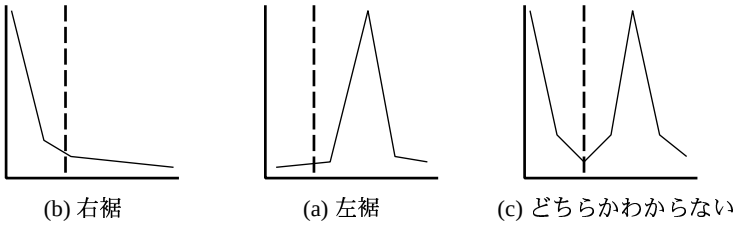


図 6.8: 3 つのグループ

ヒストグラムの山の裾の部分を求めるには，階調値の平均値と標準偏差を用いることにした．平均値はたいていヒストグラムの山となる階調値を指すため，その平均値から標準偏差の値を引くことにより，山の左裾の値を求めることができ，平均値に標準偏差の値を足すことにより山の右裾の値を求めることができる．そこで，40 枚の画像に対して色を指定し，平均値 – 標準偏差 と標準偏差の最大値，最小値を求めたものを表 6.1 に示す．

表 6.1: 右裾と左裾の 平均値 – 標準偏差 と標準偏差の値

		右裾	左裾
平均値 - 標準偏差	最大値	20	209
	最小値	-12	18
標準偏差	最大値	75	55
	最小値	33	4

表 6.1 より，平均値 – 標準偏差 の値が 20 以下にヒストグラムの山の右裾に閾値が存在すると考え，それ以外で，標準偏差の値が 55 以下であるものはヒストグラムの山の左裾に閾値が存在すると考えた．２つの条件に当てはまらないものをどちらともいえないものとした．この考えをもとに行う処理を (test3) とし，図 6.9 に示す．

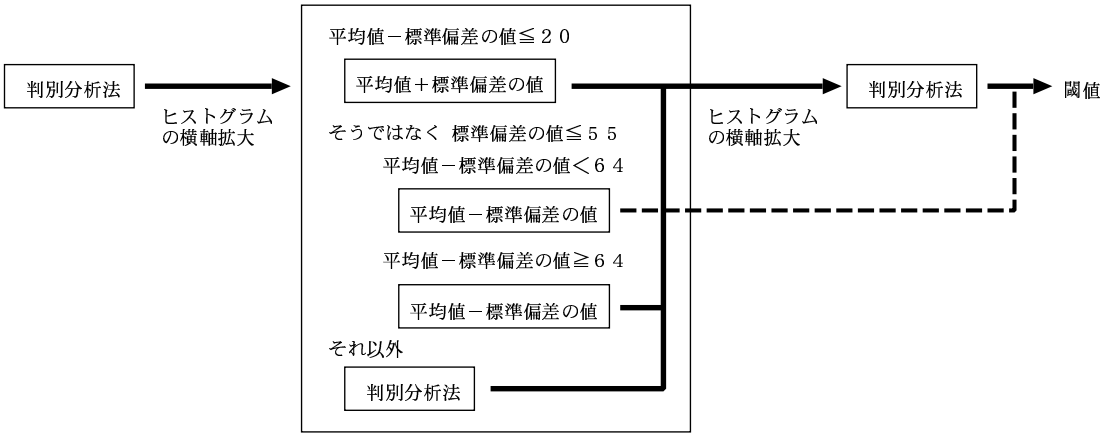


図 6.9: test3 の処理の流れ

ヒストグラムの山の右裾に閾値が存在すれば，平均値 + 標準偏差 の値を閾値とし，ヒストグラムの横軸拡大を行う．山の右裾に閾値が存在する場合，平均値 – 標準偏差 の値を閾値として処理すると抽出したい領域がうまく取り出せない場合が生じた．そのため，

さらに場合分けを行い，平均値 – 標準偏差 の値が 64 より小さい場合 (ヒストグラムの横軸の最大値は 255 であり，その 4 分の 1 に相当) は，その値を最終の値とした．平均値 – 標準偏差 の値が 64 以上の場合は 平均値 – 標準偏差 の値を閾値とし，ヒストグラムの横軸拡大を行う．全ての条件にあてはまらないものはそのまま判別分析法を用いて求まる値をもとにヒストグラムの横軸拡大を行う．最後にもう一度判別分析法を用いて閾値を求める．

この test1，test2，test3 に対して次に述べる実験を行った．

実験と結果

40 枚の画像に対しそれぞれ画像中の希望する色を指定する．そして，test1，test2，test3 の処理を行い得られる 2 値画像をもとに評価を行う．評価の方法は，得られた 2 値画像を見て以下に述べる 5 つの基準をもとに該当するものを選ぶ．

(1) 指定した色の領域が抽出できていない．

(2) 指定した色の領域が抽出されているが，余分な領域も抽出されている．

(3) 指定した色の領域が抽出されている．

(4) 指定した色の領域が抽出されているが，薄い．

(5) 指定した色の領域が消えてしまっている．

この (1) から (5) の順番は閾値処理の回数が少すぎると (1) に近くなり，処理回数が多すぎると (5) に近くなり，(3) が一番良い結果を示すことになる．実験を行った結果を図 6.10 に示す．

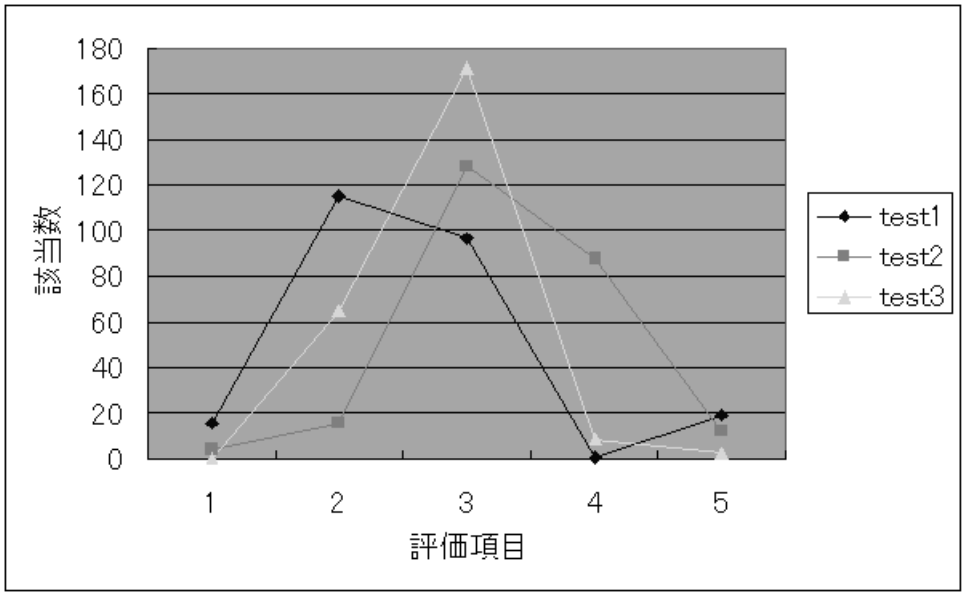


図 6.10: 実験結果

図 6.10 をみると，test1 の処理結果では評価項目 2 の該当数が多く全体的に左によっている．そのため，test1 の処理方法では処理回数が足りないことがわかる．次に，test2 の処理結果をみると，評価項目 3 の該当数が多くなっているため希望する領域が抜き出せていることになる．しかし，評価項目 4 の該当数も多くなっており全体的に右によっている．そのため，test2 の処理方法では処理回数が多すぎることがわかる．最後に test3 の処理結果についてみると，評価項目 3 の該当数が test1，test2 と比べると多くなっており，評価項目 4 の該当数も少くなっている．評価項目 2 が test2 に比べて多くなっているが，test1 よりは少くなっており，３つの処理方法の中では１番良い結果となっている．

以上より，本研究ではこの test3 の処理方法を用いて指定した１色からその色と同じであるみなすことができる領域を抽出することにした．この test3 の処理方法を用いて実際に図 6.1 の画像の１色 (水色) を指定し，処理を行った結果を図 6.11 に示す．

図 6.11: 実験結果

test3 の処理により得られる 2 値画像と原画像を比べることにより，指定した色の領域の特徴を得ることができる．

色による領域抽出を行う方法は，画像中で指定した 1 点よりその色と同じとみなすことができる領域を抽出するため，検索キーとして色を指定する場合に検索キーの特徴量を求める場合に利用することができる．

6.2.2 形状領域抽出処理

画像中より形状を抽出する方法として，エッジ検出と領域分割が考えられる．本研究では，画像中に含まれる対象物は色により分けられているため，色の差がある部分を見つけることにより，対象物の領域を抽出できるのではないかと考え，画像に対してエッジ検出を行うことを考えた．そこでまず，エッジ検出を行う方法について検討する．

エッジ検出

以下に示す 2 つの方法を用いて画像処理を行い，得られるグレー画像を比較した．(本研究では，発展性を考え，輝度による色の変化による影響を少くするため，カラー画像を色度画像に変換し，その色度画像に対して処理を行うことにしている．)

方法１　色度画像をグレー画像に変換し，そのグレー画像に対してエッジ検出を行う．

方法２　色度画像 (カラー画像) はr，g，b 値それぞれのグレー画像に分けて考えることができるため，r，g，b 値の３つのグレー画像に分け，それぞれに対してエッジ検出を行う．そして，得られた画像を１つに統合し結果画像とする．

方法１により得られるグレー画像を図6.12に，方法２により得られるグレー画像を図6.13に示す．

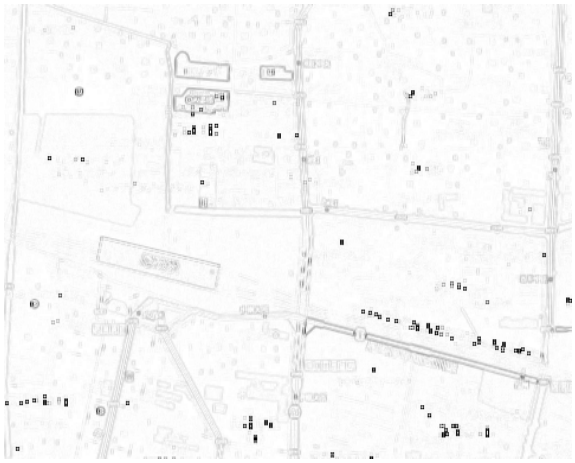


図 6.12: 方法１の処理結果

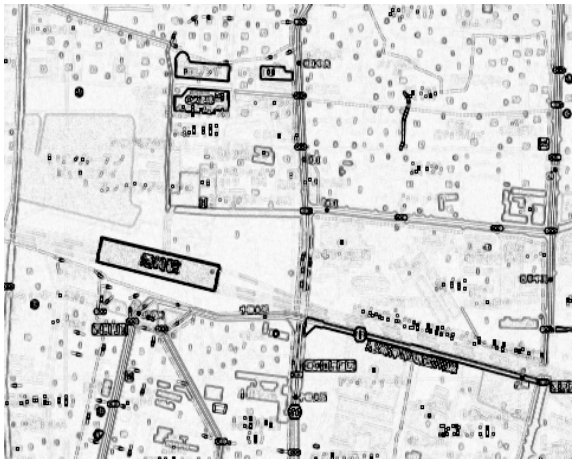


図 6.13: 方法２の処理結果

図6.12と図6.13を比べると，図6.13の方が対象物の境界がはっきりと検出されているため，この方法を用いることで，対象物の領域の境界線を得やすいことがわかる．本研究では，この方法２を用いてエッジ検出を行うことにした．

次に，エッジ検出により得られる画像はグレー画像であるため，このグレー画像を２値画像に変換し，エッジの部分だけを抽出することを考える．

画像の２値化

エッジ検出により得られ画像 (図6.13) のヒストグラムを図6.14に示す (ヒストグラムは横軸が階調値，縦軸がその階調値の画素数となっている)．

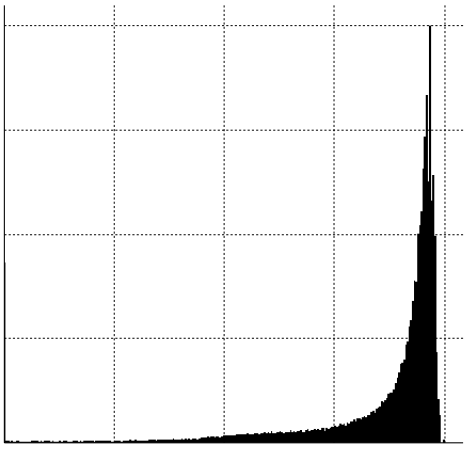


図 6.14: 図 6.13 のヒストグラム

ヒストグラムは横軸の値が大きい部分で最大値となる形になっている．このヒストグラムはグレー画像のヒストグラムであるため，階調値が 255 に近い値の画素が多いことを示している．つまり，白色が多いことを示している．エッジを示す部分はその多い部分を取り除いた部分となる．そのため，エッジの部分はヒストグラムの最大の画素数の 10 %以下の画素数をもつ階調値にあると考え，その部分を黒として 2 値化を行うことにした (図 6.15 参照)．この 10 %という値は複数枚の画像に対して行って決めたものである．

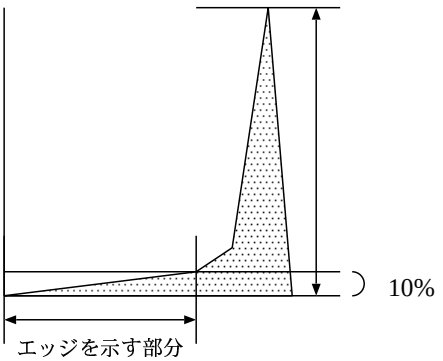


図 6.15: エッジを示す部分

この方法を用いて実際に 2 値化を行った画像を図 6.16 に示す．

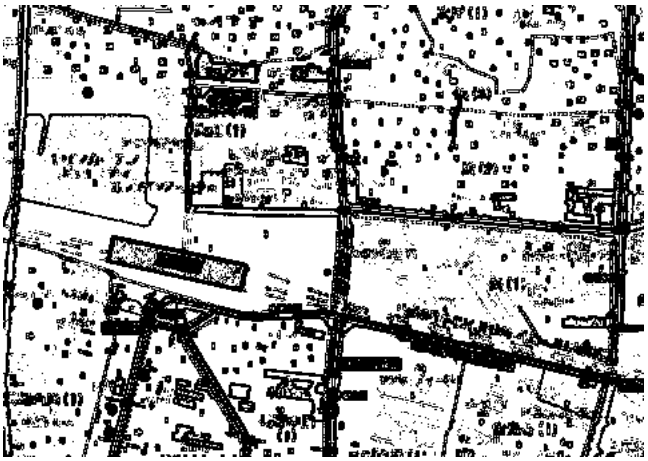


図 6.16: ２値化にした結果

図 6.16 をみると，エッジ部分が抽出されていることがわかる．しかし，エッジが太いため，領域に分けるには不都合が生じる．そのため，彩線化処理を行いエッジの細線化を行った．その細線化を行った画像を図 6.17 に示す.

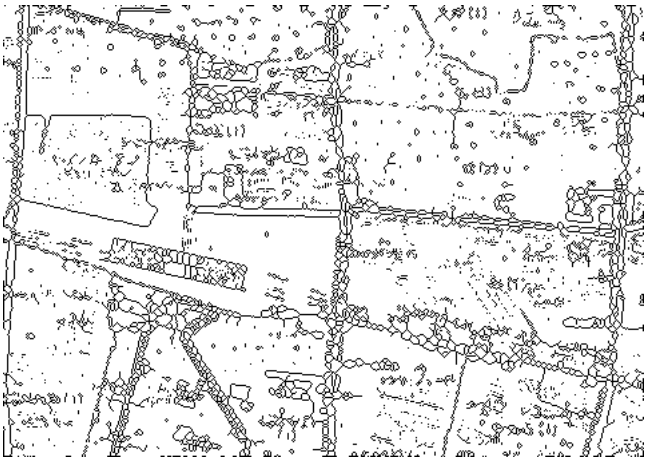


図 6.17: 細線化を行った結果

細線化を行うことにより，エッジは細くなる．しかし，雑音が多すぎるためこの雑音を除去しなければならない．そこで，エッジを構成する画素の連結数に注目し，連結数が 50 以下であればそのエッジを削除することにより，雑音除去を行った．その結果を図 6.18 に示す.

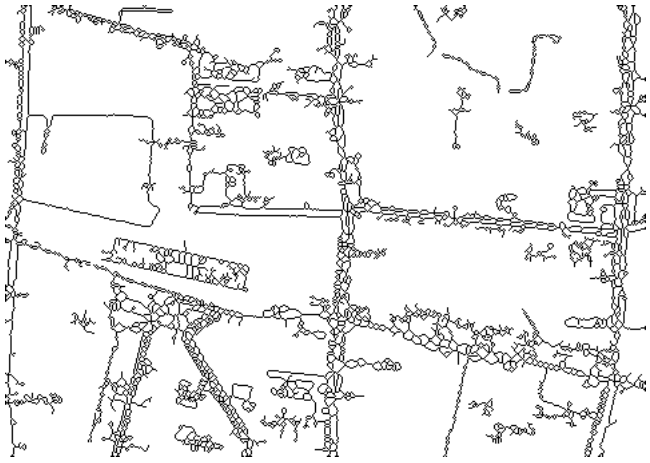


図 6.18: 雑音除去後の画像

ここまでの処理により，画像中の対象物はエッジにより囲まれている領域に存在するが，小さい領域に分割されている対象物が存在することがわかる．そのため，この小領域を統合し，領域拡張の処理を行うことを考えた．その領域拡張を行う方法として，色による領域抽出を行う方法を用いることにした．色による領域抽出処理は，ある 1 色を指定することによりその色と同じであるとみなすことができる領域を抽出するため，小領域中の色の平均値を求め，その平均値をもとに色による領域抽出処理を行えば，同じ色をもつ領域を統合できるのではないかと考えたためである．

領域拡張の方法

領域拡張の方法について以下に説明する．

(1) 雑音除去を行った画像 (図 6.18) において，各領域にラベリングを行う．
このとき，ラベル毎にそのラベルの付いた画素数と r，g，b それぞれの値の和を保存する．

(2) 若いラベルから r，g，b それぞれの平均値を計算する．(ラベル A とする)

(3) (2) で求めた r，g，b それぞれの平均値をもとに色による領域抽出処理を行う．
色による領域抽出により得られる 2 値画像とラベル付けされた画像を比べることにより，ラベル A と同じ色をもつ領域がわかる．

(4) ラベル A の領域と同じ色をもつ領域のラベルをラベル A に変える．
処理を行ったラベルにチェックを付ける．

(5) まだチェックが付いていないラベルに対して (2) から (4) の処理を行う.

(6) (5) が終了すると，同じラベルに挟まれているエッジを削除し領域を統合する.

(6) の処理で行う同じラベルに挟まれているエッジを削除し，領域を統合する処理を以下に説明する.

(1) エッジ画像をラスタ走査する.

(2) 黒画素 (エッジ部分) をみつけると，それを注目画素とし，注目画素の 8 近傍を調べる.

(3) 8 近傍の画素の中に異るラベルが存在すれば，(1) の処理に戻り，存在しなければ，注目画素の周りは同一ラベルであるので，(4) の処理を行う.

(4) 注目画素を 0(白画素) に変更し，ラベルを 8 近傍に存在するラベルと同じラベルを付ける.

(5) ラスタ走査が終了すれば，処理終了.

この領域拡張の方法により得られた結果を図 6.19 に示す.

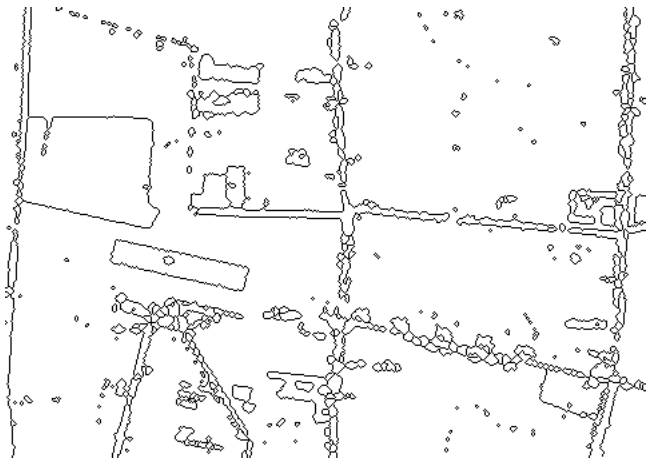


図 6.19: 領域拡張後の画像

図 6.19 を用いて，対象物の特徴情報を得る．ここで，これまで説明してきた本研究で用いる形状領域抽出処理をまとめると，以下の図 6.20 に示すようになる.

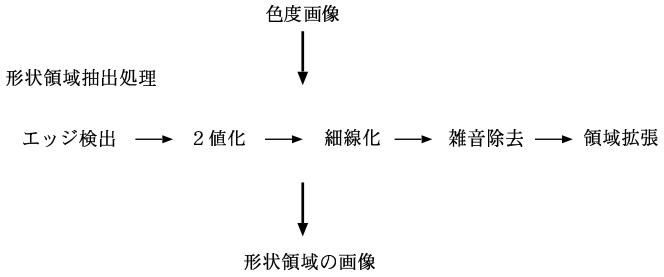


図 6.20: 形状領域抽出処理の流れ

6.3 特徴量

形状領域抽出処理により得られる画像により，対象物の形状に関する情報を得ることができる．また，処理する前の画像 (色度画像) と比較することにより，対象物の色情報を得ることができる．しかし，何を形状の情報，色の情報として用いるのかを考えなければならない．そこで，まず色情報について検討する．

6.3.1 色情報

色情報として考えられるものを以下に挙げる．

- r，g，b 値
- 色相，彩度

色相，彩度について考える．色による領域抽出処理により 2 色を指定し，それぞれ得られる色の領域において，色相と彩度を求め色相についてヒストグラムに表示したものを以下に示す (ヒストグラムの横軸は色相の値，縦軸はその色相の値をもつ画素数)．

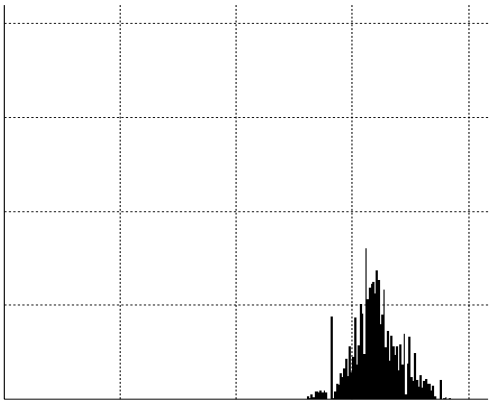


図 6.21: 彩度の値が大きい場合

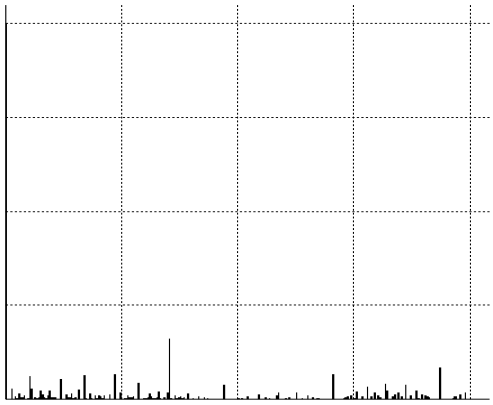


図 6.22: 彩度の値が小さい場合

図 6.21 と図 6.22 より，彩度の値が小さい場合色相の値は 1 つの値に集中せずばらつきが生じる．そのため，色相の値の最大値，最小値または平均値を求めようとしても，彩度の値が小さい場合には色相の値を決定することができない．

そこで，本研究では r，g，b 値を色情報として用いることにした．そして，r，g，b 値それぞれの最大値，最小値とそれぞれの平均値を求めることができるため，どちらを色情報としてもちいるか考えると，最大値，最小値を比較するより平均値の値を比較する方が有効であり，データベースの特徴情報として保存する場合には数ができるだけ少い方が良いため，色情報として，r，g，b 値それぞれの平均値を用いることにした．

6.3.2 形状情報

形状領域抽出処理により得られる画像には，対象物とみなすもの以外に余分な領域が存在する．そのため，対象物とみなすものとそうでないものに分けることを考え，以下に示す条件を考えた．

- 画像の端に接している領域
- 面積 (領域の画素数) が 100 以下の領域

この条件を満たす領域は対象物としてみなさないことにした．この条件により対象物としてみなす領域のみを表示した画像を図 6.23 に示す．

図 6.23: 対象物とみなす領域

次に，形状を表す特徴量について考える．形状を表す特徴量として以下に示す５つを考える．

- 面積：領域の画素数
- 周囲長：領域の輪郭線の画素数 (斜め方向は $\sqrt{2}$ 倍する)
- 重心：領域の画素の位置 $(x_i, y_i)(i = 0, ..., n-1)$ の平均値
- 円形度：領域の形状が円にどれだけ近いかを表す量
- モーメント：領域の重心に対する集まりを表す量

形状を検索することを考えると，領域の大きさ (面積) は必要ないと考えた．また，重心も必要ない．そこで，円形度とモーメントについて検討する．

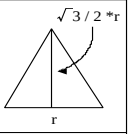
円形度

円形度は以下に示す式で求めることができる．

$$\phi = \frac{4\pi A}{L^2} \tag{6.3}$$

A は面積，L は周囲長を表す．半径 r の円の場合，周囲長 L は $2\pi r$，面積 A は πr^2 より円形度 ϕ は 1.0 となる．表 6.2 からわかるように，円形に近いほど大きく (最大 1.0)，図形が複雑になるほど小さな値となる．

表 6.2: 画像と特徴パラメータ

種類	円	正方形	正三角形
画像		r	
面積	π *r*r	r*r	√3 / 4 *r*r
周囲長	2πr	4r	3r
円形度	1.0	π / 4 = 0.79	π√3 / 9 = 0.60

モーメント

座標 (i,j) における画像 $f(i,j)$ の $(p+q)$ 次のモーメント m_{pq} は

$$m_{pq} = \sum_i \sum_j i^p j^q f(i,j) \tag{6.4}$$

で定義される．2 値画像の場合は $f(i,j)$ は領域内で 1，背景で 0 となる．(6.4) 式で 2 値画像の 0 次のモーメント m_{00} は $f(i,j)$ の総和となり，面積を表す．また，1 次のモーメント m_{01} 並びに m_{10} を m_{00} で正規化することにより，領域の重心座標 $G(i_G, j_G)$ が求められる．すなわち，

$$i_G = \frac{m_{10}}{m_{00}}, j_G = \frac{m_{01}}{m_{00}} \tag{6.5}$$

重心の周りのモーメント M_{pq} は，特に重心モーメントと呼ばれ

$$M_{pq} = \sum_i \sum_j (i - i_G)^p (j - j_G)^q f(i,j) \tag{6.6}$$

で与えられる．また，2 次モーメントは慣性モーメントとも言われる．画像 $f(i,j)$ の 2 次重心モーメントは (6.6) 式で，$p=0$，$q=2$ ならびに $p=2$，$q=0$ とおくと求められ，次のようになる．

$$\begin{aligned} M_f &= \sum_i \sum_j \left\{ (i - i_G)^2 + (j - j_G)^2 \right\} f(i,j) \\ &= M_{02} + M_{20} \end{aligned} \tag{6.7}$$

次に 2 次モーメントの形状に依存する部分だけを取り出すために，以下のように正規化する．

領域が半径 R，面積 A の円の２次モーメント M_c は

$$\begin{aligned} M_c &= \sum_i \sum_j (i^2 + j^2) f(i,j) \\ &= \int_{\theta=0}^{2\pi} \int_{r=0}^{R} r^2 r dr d\theta \\ &= \frac{\pi}{2} R^4 = \frac{A^2}{2\pi} \end{aligned} \tag{6.8}$$

となる．よって，２次重心モーメントの正規化量 M_n を

$$M_n = \frac{2\pi}{(m_{00})^2} M_f \tag{6.9}$$

で表す．正規化された２次重心モーメント M_n は，領域の大きさ，回転に関して不変特徴量をもつ．M_n は画像 $f(i,j)$ の形状が円のときに最小値 1 となり，円より変形するに従って大きい値となる．

円形度との対応から，モーメント特徴量として，M_n の逆数を用いる．$1/M_n$ は領域の重心への集まりを表すことになる．

円形度とモーメントの比較

円形度とモーメントの比較を行うために，画像データより抜き出した 157 個の形状領域に対して円形度とモーメントの値を求めた．まず，円形度の値が近い領域の代表として，４つの領域画像を図 6.24 に示す．

(a) (b) (c) (d)

図 6.24: 円形度の値が近い領域画像

それぞれの値は表 6.3 に示すようになっている．

表 6.3: 図 6.24 の領域画像の円形度とモーメント

	円形度	モーメント
(a)	0.383899	0.384711
(b)	0.382195	0.392393
(c)	0.380809	0.446243
(d)	0.379557	0.832107

円形度の値が近い領域を抜き出すと，図 6.24 の (d) の領域のように似ているとみなすことができない領域が存在することがわかる．そのモーメントの値をみると他の 3 つの領域のモーメントの値と比較すると値が離れていることがわかる．

次に，モーメントの値が近い領域の代表として，4 つの領域画像を図 6.25 に示す．

(a) (b) (c) (d)

図 6.25: モーメントの値が近い領域画像

それぞれの値は表 6.4 に示すようになっている．

表 6.4: 図 6.25 の領域画像のモーメントと円形度

	モーメント	円形度
(a)	0.650352	0.085086
(b)	0.644993	0.455354
(c)	0.648827	0.489926
(d)	0.647365	0.529716

モーメントの値が近い領域を抜き出すと，円形度で述べたことと同様に，似ているとみなすことができない領域が存在し，その円形度の値は他の３つに比べると離れていることがわかる．

そこで，それぞれの領域の円形度の値が近く，モーメントの値も近い領域が似ているとみなすことができるのではないかと考え，50 個の領域を抜き出し，１つずつ注目していき，他の領域との円形度の値の差とモーメントの値の差を計算し，似ているとみなすことができる領域との円形度の値の差とモーメントの値の差を集計した．その結果を横軸が円形度の差，縦軸がモーメントの差としてグラフにしたものを図 6.26 に示す．

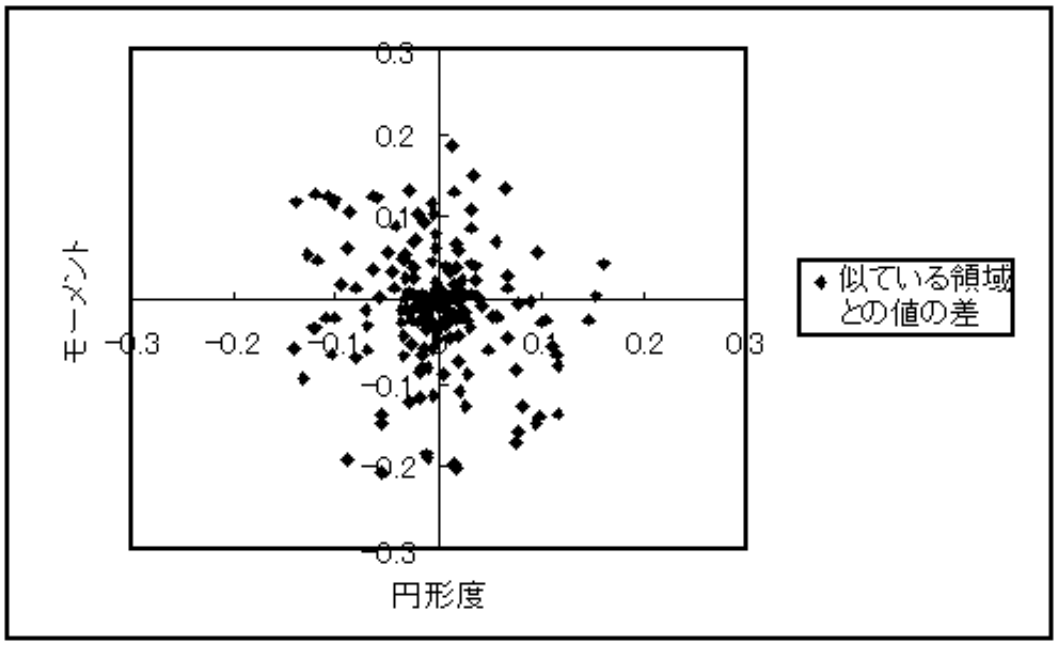
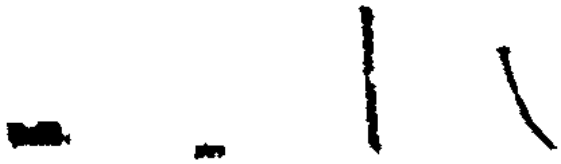


図 6.26: 円形度とモーメントの関係

図 6.26 より，似ているとみなすことができる領域との円形度の値の差とモーメントの値の差は値が 0 の近傍に集中していることがわかる．つまり，似ているとみなすことができる領域は円形度の値の差が小さく，モーメントの値の差も小さくなっているということができる．実際に円形度の差が小さく，モーメントの差も小さい領域の画像を図 6.27 に示す ((a) と (b)，(c) と (d) が似ているとみなす領域)．



(a) (b) (c) (d)

図 6.27: 領域画像

以上より，本研究では形状を表す特徴量として，円形度とモーメントの両方を用いることにした．

6.4 順位付け

検索を行い結果を出力するために，順位を付けることを行わなければならない．そのため，画像にポイントを付けることを考える．検索キーの特徴量と画像データ中に存在する対象物の特徴量の差を求め，その差が 0 であれば 100 となるように，それぞれの対象物に対してポイントを計算し，画像の中で一番高いポイントをその画像のポイントとした．

それぞれの検索キーに対する計算方法を以下に示す．

色のみ指定

検索キーが色のみの場合は，r，g，b それぞれの平均値をもとに比較を行うため，r，g，b それぞれの差を計算し，３つの差を足した値が 100 となるように計算を行う．r，g，b それぞれの差の最大値は 255 であるため，色のポイントは以下の式となる．

$$\text{色のポイント} = \frac{100}{3}(3 - \frac{r+g+b}{255}) \tag{6.10}$$

形状のみ指定

検索キーが形状のみの場合は，円形度の値の差とモーメントの値の差をもとに比較を行うため，それぞれの差を計算し，足した値が 100 となるように計算を行う．円形度とメーメントのどちらも最大で 1 の差が生じるため，形状のポイントは以下の式となる．

$$\text{形状のポイント} = \frac{100}{2}(2 - (\text{円形度の差} + \text{モーメントの差})) \tag{6.11}$$

形状とその形状中の色指定

検索キーが形状とその形状中の色の場合は，(6.10) 式と (6.11) 式を足した値が 100 となるように計算を行う．

$$\text{形状＋色のポイント} = \frac{1}{2}(\text{色のポイント} + \text{形状のポイント}) \tag{6.12}$$

本研究では，AND 検索と OR 検索を行うことができるように考えており，画像中に含まれる複数の対象物を検索したい場合は AND 検索を行い，1 つの対象物を検索したい場合は OR 検索を行う．この指定はユーザが検索システムを起動するときにオプションを指定することにより，変えることができるようになっている．デフォルトでは OR 検索となっている．

AND 検索の場合の計算は，それぞれの画像に対して指定された検索キーの数だけポイントが存在するため，それらを全て足したものを順位付けに用いる．OR 検索の場合は指定された検索キーのポイントの中で一番高いポイントをその画像のポイントとし，それをもとに順位付けを行う．

また，ある程度の範囲をもたせ，その範囲以内であればポイントを計算し結果として出力することを考える．この範囲として，以下に示すように設定した．

色のみの場合

色のみを検索キーとして指定した場合，色による領域抽出処理により指定した色が存在する領域を抜き出し，その領域と元の画像をもとに r，g，b 値の平均値を計算する．そのため，平均値だけではなく，最大値，最小値を求めることができる．よって，この最大値，最小値を色の範囲として利用し，この範囲内であればポイントを計算するようにしている．

形状のみの場合

形状のみを検索キーとして指定した場合，円形度の値の差とモーメントの値の差によりポイントを計算する．前節で示した図 6.26 より，似ているとみなすことができる領域の円形度の値の差とモーメントの値の差は 0.15 以内に存在しているものが多いため，円形度の値の差とモーメントの値の差の範囲を 0.15 とした．この範囲内であればポイントを計算するようにしている．

形状とその形状の中の色の場合

形状とその形状の中の色を検索キーとして指定した場合は，色のみの場合と形状のみの場合で指定した範囲の両方を用いている．

本研究では，このようにして検索を行った結果の順位付けを行い，結果を出力している．

第7章　データベースの管理

画像データベースは，画像データとその属性情報テーブルにより構成されている[4]．本研究で扱う画像データベースは，画像データとその画像データに対して形状抽出処理等により画像中に含まれる対象物の特徴量を抽出し保存した特徴情報テーブルにより構成されている．そのため，データベース中の画像データを削除・編集したり，新たに画像データを追加したりすると，特徴情報テーブルを変更しなければならない．新たに追加した画像データの特徴を特徴情報テーブルに書き込み，削除した画像データの特徴を削除することは，非常に労力のいる作業となる．そこで，以下に本研究で用いたデータベースの管理方法について説明する．

7.1　管理方法

画像データベースを管理する方法として，予め画像データファイルの名前とその画像データファイルの更新日を保存するためのリストを作成しておく．そして，画像データファイルの追加・削除・編集を行い，データベースを管理するコマンドを入力したとき，図7.1に示すような処理を行うことを考えた．

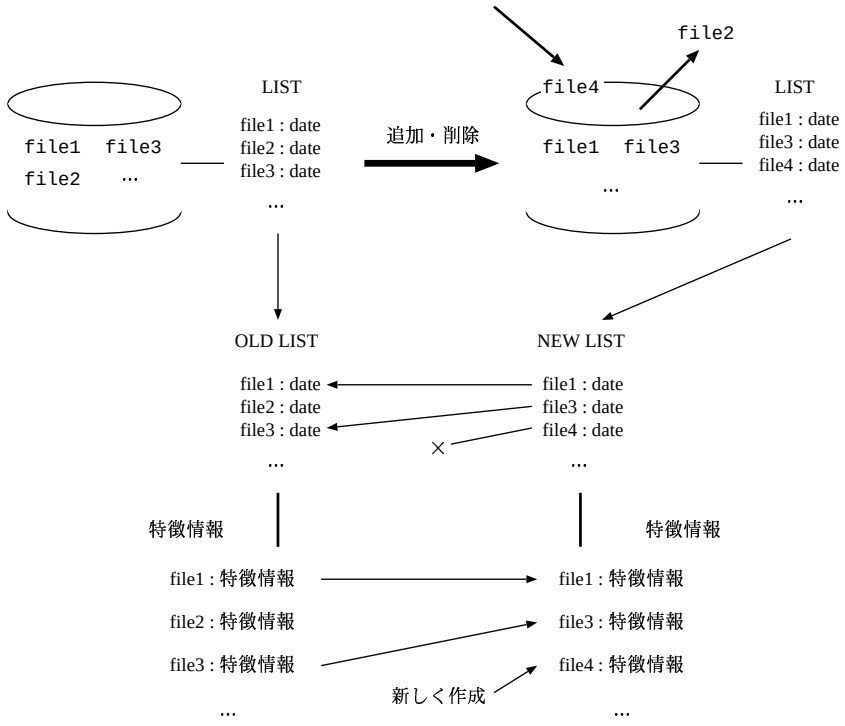


図 7.1: 管理をする処理の流れ

(1) コマンドが入力されると，予め作成しておいたリストを old list とする．

(2) 画像データファイルの名前と更新日のリストを作成し，new list とする．

(3) new list をもとに old list と一つずつ比較し，特徴情報を編集していく．

- old list とファイル名，更新日が一致すればそのファイルの特徴情報をそのままコピーする．
- old list にファイル名が無い，または更新日が違っていれば新たにそのファイルの特徴情報を書き込む．

(4) new list の最後まで行えば終了．

この方法により，画像ファイルが追加・削除されたときに特徴情報を編集することができる．また，ファイルの更新日も比較しているので，画像ファイルを編集した場合にも特徴情報を編集することができる．

第8章　実験と考察

提案した検索方法についての評価を行うために，まず検索キーについての評価を行った．そして，提案した検索方法を用いて検索実験を行い，得られた結果より評価を行った．

8.1　検索キーについての実験

指定した検索キーと検索を行い結果として出力された画像とを比較し，出力された画像の内，検索キーとして指定したものと似ているとみなすことができる対象物を含む画像が何枚存在するかを確認した．

確認方法と結果

画像データベース中の125枚の画像に対し，色のみを検索キーとして指定した場合，形状のみを検索キーとして指定した場合，形状とその中の色を検索キーとして指定した場合の3種類の検索を行い，似ているとみなすことができる対象物を含む画像の枚数を調べる．

この方法を30回繰り返し得られた結果を表8.1に示す．

表 8.1: それぞれの検索キーに対する結果

検索キー	出力枚数の平均	似ているとみなす画像を含む割合 (%)
色のみ	71.3	80.2
形状のみ	111.9	44.5
形状と色	36.9	84.5

表8.1より，色のみを検索キーとして指定した場合は80.2%と結果として出力された画像の8割に似ているとみなすことができる対象物が存在しており，目的の対象物を検索するのに有効であると思われる．形状と色を検索キーとして指定した場合は84.5%と色のみを指定した場合よりも良い結果が得られており，色のみを指定した場合と同様に有効であ

ると思われる．しかし，形状のみの場合は44.5%と似ているとみなすことができる対象物が出力結果の半分以下しか得られていない．そこで，この原因について考察してみる．

本研究で作成した検索システムでは，検索キーと似ているとみなすことができる対象物を円で囲み表示するようになっているが，実際に形状のみの検索を行う中で，結果として出力された画像において円で囲まれた領域の中に対象物が存在していない場合が多くあった．その例を図8.1と図8.2に示す．

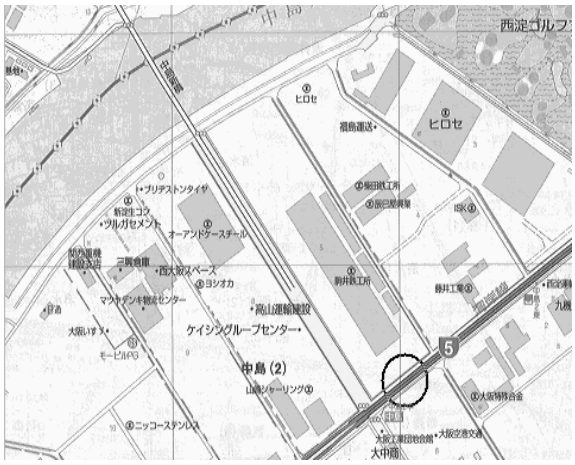


図 8.1: 存在していない場合の例１

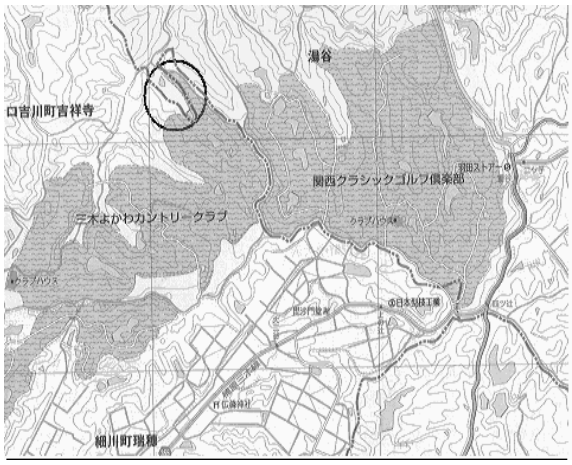


図 8.2: 存在していない場合の例２

これは，形状領域を抽出する処理を行った際にうまく領域が抽出されず，繋がっていた領域がとぎれて存在してしまっていたり，線が交差することにより枠ができている場合があり，その部分を領域としてみなしてしまっている場合が存在するために生じると考えられる．

そこで，円で囲まれた領域の中に対象物が存在していない場合には，カウントをせずに円で囲まれた領域の中に対象物が存在してる場合のみ似ているかどうかの判断をすることにし，もう１度確認を行った．その結果を表8.2に示す．

表 8.2: 形状のみの場合の結果

	似ているとみなす画像を含む割合 (%)
条件を付ける前	44.5
条件を付けた後	79.7

対象物を指定している場合のみ似ているとみなすことができるかを確認すると，表8.2より，44.5%と半分以下しか似ているとみなすことができなかったものが79.7%と色のみ

を検索キーとして指定した場合とほとんど同程度似ているとみなすことができる対象物を含む画像が存在していることがわかる．形状のみを指定した場合は，形状のみの特徴により比較を行うため，対象物とみなすことができない部分に似ているとみなすことができる領域が存在するとその部分を結果として出力してしまう．そのために，結果として出力する画像の枚数が増え，似ているとみなすことができる割合が低くなってしまったと考えられる．形状領域を抽出する処理においてもう少し改良の余地があると思われる．

8.2 検索実験

本研究で提案する色と形状を用いた検索方法についての評価を行うために，作成した検索システムを用いて実験を行った．

実験方法と結果

まず，検索者にデータベース中の画像をしばらくの間見せ，その画像中に存在する対象物を検索目標として覚えてもらう．次にその画像を見ずにデータベース中より検索キーとして指定できる画像を選び出してもらい，その画像をもとに色のみ，形状のみ，形状と色の３つの検索キーそれぞれを用いて検索を行ってもらった．

データベース中の画像の枚数は214枚であり，8人の検索者に対してそれぞれの検索キーを用いて行う検索を5回ずつ行ってもらい，それぞれの検索キーに対して30回の結果が得られた．その結果をまとめたものを表8.3に示す．10位以内と20位以内という項目は，10位以内または20位以内に検索目標を含む画像が出力された割合を示している．

表 8.3: 検索の結果

検索キー	10位以内(%)	20位以内(%)	平均順位	最悪順位
色のみ	50.0	80.0	27.6	84
形状のみ	23.3	43.3	56.0	該当無し(１回)
形状と色	60.0	86.6	17.7	該当無し(２回)

表8.3より，色のみを指定した場合と形状と色を指定した場合は20位以内に検索目標が出力される割合が8割以上あり，かなり良い結果が得られている．しかし形状のみを指定した場合には，20位以内に検索目標が出力される割合が半分以下であり，良い結果とはいえない．この原因は，検索キーについての実験のところで考察したことが当てはまる

のではないかと思われる．対象物とみなすことができない部分に領域が存在し，その領域を似ているとみなしてしまう場合が存在するために良い結果が得られないと考えられる．

色のみを指定した場合と形状と色を指定した場合を比較してみると，色のみの場合の平均順位は27.6位であり，形状と色の場合は17.7位となっており約10位分形状と色の場合の方が良くなっており，10位以内，20位以内に検索目標が出力される割合も10%，0.6%良くなっている．これは，色による指定により指定した色と似ている対象物が選択され，さらに形状によりその選択された対象物を絞り込むことができるために得られた結果だと考えられる．しかし，結果が絞り込まれることにより，時には検索者にとって希望する画像が得られない場合が生じると思われる．表8.3の形状と色の場合の最悪順位に該当無しという結果が得られてしまう原因の1つであると考えられる．

この実験において，画像データベース中の画像枚数は214枚であり，表8.3より，色のみの場合では平均順位27.6位，形状と色の場合は17.7位であり，(平均順位÷データベース中の画像枚数) を計算すると，

表 8.4: 計算した値

検索キー	平均順位	平均順位÷データベース中の画像枚数
色のみ	27.6	0.1289 ($\frac{13}{100}$)
形状と色	17.7	0.0827 ($\frac{8}{100}$)

平均して画像データベース中の $\frac{13}{100}$，$\frac{8}{100}$ の画像，つまり100枚の画像に対してそれぞれ13枚，8枚の画像を見るだけで検索目標を得ることができる．

以上より，画像そのものを用いて検索を行うにあたり，検索者が見ている画像をそのまま検索キーとして用いることができ，色のみ，形状と色を検索キーとして用いることにより，データベース中の $\frac{13}{100}$，$\frac{8}{100}$ の画像を見るだけで目的の画像を得ることができるため2つの方法は有効であると考えることができる．しかし，形状のみによる検索は優れた結果であるとは言うことができず，対象物の領域を抽出する処理に対して改良の余地が必要である．

以下に本研究で作成した検索システムの実行例を示す．

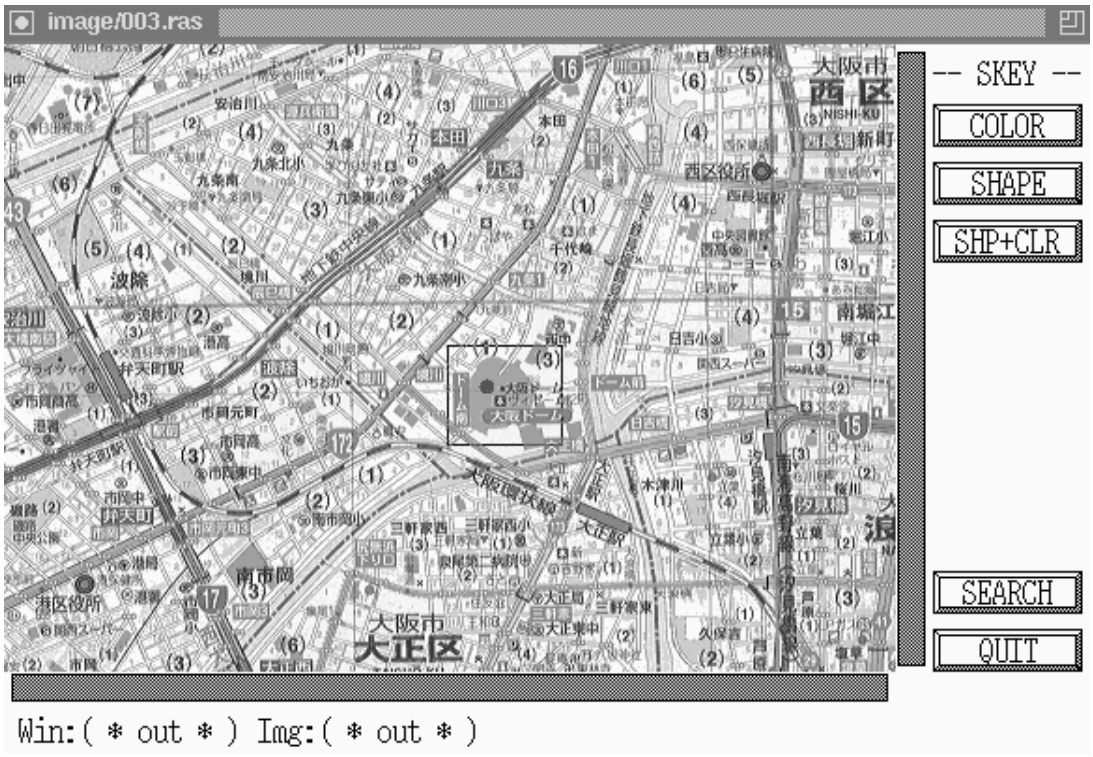


図 8.3: メイン画面

図 8.3 が検索システムのメイン画面となる．検索キーを指定するときには画面の右上にあるボタンを押してから指定することになっている．図 8.3 は形状と色を用いて検索を行う状態を示している．枠で囲み黒丸が付いている部分が検索キーとして指定したものである．検索を行うには右したの検索ボタンを押すことにより結果が表示される．その表示された画面が図 8.4 である．

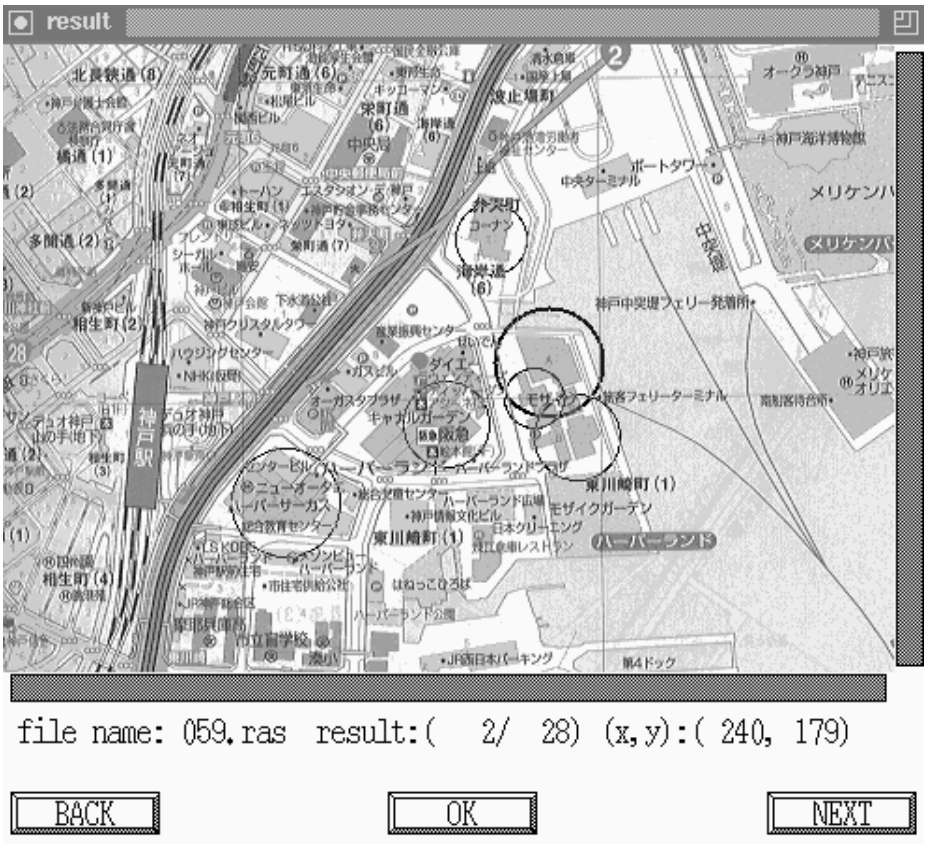


図 8.4: 結果表示画面

結果表示画面では，検索キーとして指定したものに似ている対象物を円で囲むことにより表示している．また，プログラムを実行するときに，オプションをつけて実行することにより，AND 検索を行うこともできる．

第9章　結論

本研究では，画像データベース中からユーザが望む画像を検索する方法として，画像そのものを用い，その画像中の色と形状を検索キーとして用いることで検索を行う方法について検討した．

画像を検索する方法としてキーワードなどを用いるのではなく，画像そのものを用いて検索を行うため，画像中より検索キーを指定することになる．画像中より得ることのできる情報として色と形状の 2 つを挙げ，色のみ，形状のみ，形状と色の 3 通りの検索キーの指定方法を考えた．実験を行うことにより，色と形状の両方を検索キーとして用いた場合には，20 位以内に検索目標が 8 割以上存在する結果が得られ，色のみを検索キーとして用いた場合においても，20 位以内に検索目標が 8 割存在する結果が得られており，色のみ，形状と色を検索キーとして指定した場合には平均して画像データベース中の画像枚数の $\frac{13}{100}$，$\frac{8}{100}$ の画像を確認するだけで検索目標を得ることができた．また，画像中より検索キーを指定するため，システムの利用者は見たままを検索キーとして指定することができる．そのため，画像そのものを用いて色のみ，形状と色を検索キーとして行う 2 つの方法は検索を行う際に有効であると考えられる．

しかし，形状のみを検索キーとして用いた場合には良いといえる結果が得られなかった．その原因として，画像中で対象物とみなすことができない部分に領域が存在しており，その領域も比較してしまうことが挙げられる．そのため，対象物の領域のみをうまく抽出する方法が必要であると考える．形状のみを検索キーとして用いた場合の検索結果が良くなることにより，さらに色と形状を用いた検索方法の結果が良くなると考えられる．

本研究では，データベースの管理方法についても考えた．画像データの追加，削除，変更を行う際にその画像データの特徴情報を追加，削除，変更することは労力のいる作業となる．管理者はコマンドを入力するだけで特徴情報の更新を行うことができるため，管理者の負担を減らすことができるであろう．

今後の課題として領域を抽出する方法も挙げられるが，自然画に対応した検索システムへの改良やサンプル画像の提示方法、ユーザインタフェースの改良によりさらに実用的なシステムを目指して開発すべきであろう．

謝辞

本研究を行うにあたり，適切な御指導をして頂いた若林伸和助教授に心から感謝致します．また，本論文を査読して頂いた大坪順次教授，浅井秀樹教授に感謝致します．そして，色々と有益な意見を頂いた石塚丈晴助手，若林研究室の皆様にも感謝致します．

参考文献

[1] 沓名数幸:“色情報を用いた画像処理による船体輪郭線像の抽出”,(1997 年度) 静岡大学修士論文

[2] 木戸出正継 著:『画像データベース』, オーム社 (1986)

[3] 椋木, 美濃導彦, 池田克夫:“対象物スケッチによる風景画像検索とインデックスの自動生成”, 電子情報通信学会論文誌,vol.J79-D-II,no.6,pp.1025-1033,june 1996.

[4] 中原啓一, 三次衛: 『情報の検索とデータベース』, 電子情報通信学会 (1986)

[5] ケイワーク:『JPEG-概念から C++による実装まで』, ソフトバンク パブリッシング (1999)

[6] 白井良明:『パターン理解』, オーム社 (1987)

[7] 田村秀行:『コンピュータ画像処理入門』, 総研出版 (1985)

[8] 阿部圭一:“図形の追跡”, 日刊工業出版雑誌 画像ラボ (1990.4)

[9] 阿部圭一:“距離変換と細線化”, 日刊工業出版雑誌 画像ラボ (1990.3)

[10] 井上誠喜, 八木信行, 林正樹, 中須英輔, 三谷公二, 奥井誠人:『C 言語で学ぶ実践画像処理』, オーム社 (1999)