

## 輪郭線抽出における色情報の利用†

山崎 一生<sup>††</sup> 勝野 進 一<sup>†††</sup>

本稿では、赤( $R$ ) 緑( $G$ ) 青( $B$ )の3色の信号として与えられる色画像の輪郭線抽出について述べる。 $RGB$ 空間から明度・色度面空間と擬 Munsell 空間とを定義する。これらの三つの空間において、ある特定の物質からの反射光の分布が原点を中心とする分散1の分布となるように白色変換を施す。原点を中心とするある半径の(同定)球内に含まれる反射光を、注目している物質からのものとみなして領域分けを行って、その輪郭線を抽出する。画像処理研究用の標準的画像「GIRL」の肌の輪郭線抽出を試みたところ、明度・色度面空間あるいは擬 Munsell 空間への変換の有効性、白色変換による領域分割の可能性が明らかとなった。

## 1. ま え が き

与えられた画像から、その中に存在するあるものの輪郭を抽出することは、画像処理のなかで最も基本的な課題の一つである。白黒の濃淡画像に対する輪郭線抽出法は微分演算法、テンプレートマッチング法、領域分割法の三つに大別できる。

微分演算法は輪郭線と垂直方向の濃度傾斜が大きいことを利用して輪郭線を抽出する方法である。テンプレートマッチング法は Hueckel オペレータに代表される方法で、対象物の標準的なマスクあるいはモデルを用意しておいて、与えられた画像との相関あるいはパラメータを計算して輪郭線を抽出する方法である。領域分割法は、与えられた画像の中の明るさの様な領域に分割して輪郭線を領域の境界として抽出する方法である<sup>1)</sup>。

一般の画像において、複雑な背景の中にある対象物の輪郭線を抽出することは、白黒の濃淡画像ではきわめて困難である。このため、従来は微分演算法等で得られた輪郭線から、対象物についての知識情報を利用して輪郭線を得る方法が一般的である。

一方、色画像に領域分割法を適用した例に太田らの研究がある<sup>2)</sup>。彼らは赤( $R$ ) 緑( $G$ ) 青( $B$ )空間を  $K-L$  (Karhunen-Loève) 展開したヒストグラムから閾値を決めて領域分割を行っている。また、微分演算法、Hueckel オペレータを色画像に拡張して輪郭線を抽出した例もある<sup>3)</sup>。

本稿では、色情報を用いて対象物の輪郭線を抽出する方法について述べる。すなわち、与えられた  $R, G, B$  の3色の画像空間を変換することによって、ある特定の物質の輪郭線を抽出する方法について検討する。次の2章では色画像を3次元空間に表現する三つの方法について述べる。3章ではある特定の物質に注目したとき、その反射光の分布が原点を中心とする分散1の分布となるように白色変換を施し、原点からある一定距離内にある反射光を、その注目している特定物質からのものとみなして領域分割を行う方法について述べる。4章では人物画像の処理例を示し<sup>4)</sup>、その吟味を行う。

## 2. 色画像の空間表現

与えられた画像は  $256 \times 256$  の基盤目状の点でサンプリングされていて、1点の情報は  $R, G, B$  の三つの色の256レベルの信号で表されている。それぞれの信号は独立なものではなく、相互に強い相関があるが<sup>5)</sup>、ここでは  $R, G, B$  を独立の3軸と考えて構成した3次元空間を **RGB 空間**と呼ぶこととする。

$RGB$ 空間の原点は黒を表している。画面上のある点の色は図1に示すように  $RGB$ 空間内の点  $P'$ 、あるいは原点  $O$  からその点  $P'$  へ向かうベクトル  $OP'$  と考えることができる。

$R, G, B$  の各軸の座標1を頂点とする正三角形の平面は Maxwell の三角形あるいは色度面と呼ばれている。白色(無彩色)では  $R=G=B$  であるので、白色ベクトルはこの三角形の中央  $W$  を通り抜けることとなる。色は色度面と色ベクトル  $OP'$  との交点  $P$  として、色度面内の位置によって表される。

いま、色度面内の点  $P$  の座標を図2に示すように  $(r, g, b)$  で表現することとすれば、 $r, g, b$  は

† Use of Color for Contour Extraction by ISSEI YAMASAKI (Faculty of Engineering, Niigata University) and SHIN'ICHI KATSUNO (Nagano Japan Radio Co., Ltd.)

†† 新潟大学工学部情報工学科

††† 長野日本無線(株)

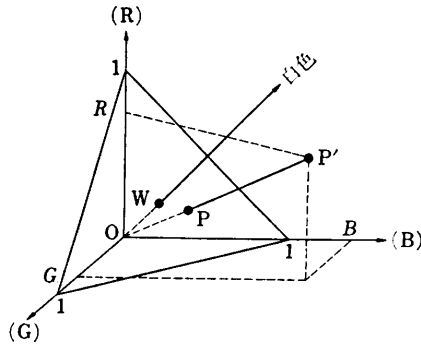


図1 RGB空間と色度面

Fig. 1 (R, G, B)-tristimulus space and Maxwell color triangle.

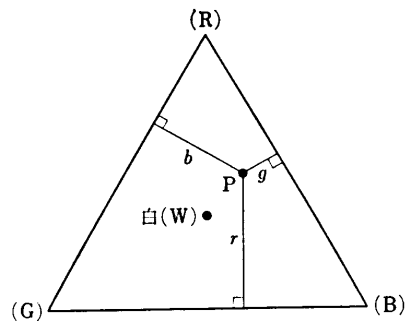


図2 色度面とその座標

Fig. 2 Maxwell color triangle and its chromaticity coordinates.

$$\begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} = \frac{1}{R+G+B} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

と表され、これらの間には

$$r+g+b=1 \quad (2)$$

という関係式が成立している<sup>6)</sup>。すなわち、独立量は二つである。

さて、色度面に図3に示すように直交座標軸  $\xi$ ,  $\eta$  を導入することとしよう<sup>7)</sup>。すなわち、白色の点Wを原点とし、辺(G)(B)に平行に  $\xi$  軸、これに垂直に  $\eta$  軸をとるものとする。そうすると  $\xi$ ,  $\eta$  と  $r$ ,  $g$ ,  $b$  との間には、

$$\begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{3} \\ 2/3 & -1/3 & -1/3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad (3)$$

という関係式が成立する。

色度面の中央の白色Wからある色を表す点Pへ向かうベクトルの向きはMunsel表色系の色相に対応し、WからPまでの長さは彩度に対応していると考えることができる。そこで、ここでは、これらの量を

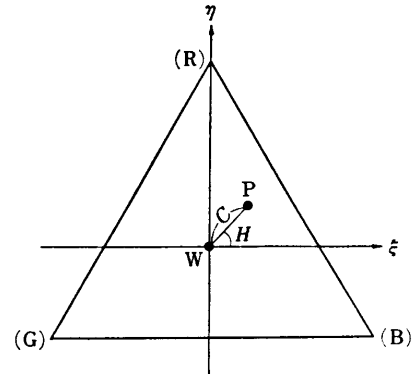


図3 色度面への直交座標系の導入

Fig. 3 Maxwell color triangle and rectangle coordinate system.

それぞれ色相、彩度と呼ぶこととする。いま、 $\xi$  軸の正の向きを色相の基準にとるものとするれば、色相  $H$  は図3において  $\xi$  軸の正の向きとベクトル  $WP$  とのなす角であるから、

$$H \equiv \tan^{-1}(\eta/\xi) \quad (4)$$

で定義される。また、彩度  $C$  は図3においてベクトル  $WP$  の長さであるので

$$C \equiv \sqrt{\xi^2 + \eta^2} \quad (5)$$

で定義される。

色度面に導入した直交座標( $\xi$ ,  $\eta$ )、あるいはこの座標から定義された色相  $H$ 、彩度  $C$  によって画面上のある点の色を表現することは可能であるが、明るさを表現することはできない。明るさはRGB空間内の色ベクトル  $OP'$  の長さと考えることができるので、ここでは、明度  $V$  を

$$V \equiv \sqrt{R^2 + G^2 + B^2} \quad (6)$$

で定義することとする。

上の式(3)、(6)で定義された  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $V$  をそれぞれ独立の3軸と考えた場合の空間を明度・色度面空間と呼ぶこととする。また、式(6)、(5)、(4)によって定義された  $V$ ,  $C$ ,  $H$  をそれぞれ独立の3軸と考えた場合の空間を擬Munsel空間と呼ぶこととする。なお、式(3)で定義される  $\xi$ ,  $\eta$ 、式(4)、(5)で定義される  $H$ ,  $C$  は、それぞれ式(1)、(3)を用いて  $R$ ,  $G$ ,  $B$  から直接求める形に換えられる。

### 3. 輪郭線抽出法

#### 3.1 特定物質の反射光分布の球形への変換

ある特定の物質(たとえば肌)の反射光の分布を色空間内において球形に変換し、これを利用して特定の物質の領域を切り出すことによって輪郭線を抽出する

ことを考えよう。ここでは、注目している特定物質の反射光の色空間における分布は正規分布であると仮定するものとする。

注目している特定の物質の反射光の分布を球形に変換するためには、その特定の物質の色空間における分布の情報—平均値、共分散行列—を用意することが必要である。画面内の特定物質の領域から適当にとった  $n$  点の反射光の標本を  $x_i^{(k)}$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ ;  $k=1, 2, 3$  とする。ここで  $k=1, 2, 3$  は  $R, G, B$  三つの信号に対応する。これらの標本データから平均値  $m \equiv (m^{(1)}, m^{(2)}, m^{(3)})^T$  と共分散行列  $\Sigma = (s_{ij})$ ,  $i, j=1, 2, 3$  とはそれぞれ次式によって計算される (ここで  $T$  は転置を表す)。

$$\begin{cases} m^{(k)} \equiv E[x_i^{(k)}], & k=1, 2, 3 \\ s_{ij} \equiv E[(x_i^{(k)} - m^{(k)})(x_j^{(l)} - m^{(l)})], & i, j=1, 2, 3 \end{cases} \quad (7)$$

ここで  $E[\cdot]$  は  $i=1, 2, \dots, n$  について期待値をとる操作を表す。

上で求めた平均値  $m$  を用いて、原点と平均値とが一致するように、色空間におけるある色ベクトル  $x$  を平行移動したものを  $y$  とすると、 $y$  は

$$y \equiv x - m \quad (8)$$

と表される。また、上で求めた共分散行列の固有値を  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  とし、これらに対応する固有ベクトルを  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  とすれば、 $y$  が球形の分布となるように白色変換した後の値  $z$  は、

$$z = A^{-1/2} \Phi^T y \quad (9)$$

ここで

$$\begin{cases} A \equiv \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{bmatrix} \\ \Phi \equiv (\phi_1 \ \phi_2 \ \phi_3) \end{cases} \quad (10)$$

によって与えられる<sup>8)</sup>。

### 3.2 領域分割 (輪郭線抽出)

前節 3.1 の手順によって変換された色空間では、注目している特定の物質の反射光は、原点を中心とする分散 1 の球形の分布となる。そこで、原点を中心とする半径  $r$  の球に含まれる色ベクトルを、その特定の物質からの反射光であるとみなすものとする。すなわち、白色変換された色空間内における、ある点の反射光の色ベクトルが、この球の内側にあれば、その色ベクトルの点は特定物質の領域であるとする。このような操作を画面全体の各点について行うことによって、

特定物質の領域をとり出すことができる。輪郭線は分割された領域の縁の線として得られることとなる。領域分割の際に使用される球のことを同定球と呼ぶこととする。

上の 3.1 節, 3.2 節で述べた方法による実際の画像の処理手順の概略は次のとおりである。処理は準備と領域分割との二つに大別される。まず第 1 は、特定物質の反射光についての白色変換を行うための準備で、標本データから分布の平均値と共分散行列とを求め、さらに共分散行列からその固有値と固有ベクトルとを計算する。次は領域分割の処理で、入力データに白色変換を施したうえで、画像の各点が注目している特定物質からの反射光か否かを同定球をもとに判定して領域分割を行う。輪郭線は得られた領域の境界線として自動的に抽出される。

## 4. 処理例とその検討

### 4.1 処理例

ここで取り扱う画像は南カリフォルニア大学で作成された画像「GIRL」である<sup>9)</sup>。入力画像を図 4(a), (b) に示す。図 4(a) は濃淡画像で、(b) はその色合の大略を示したものである。この画像は部屋の中の人物を撮ったものであるが、背景には壁、カーテン、窓、外の様子その他が写っている。この画像の中の人物の顔(肌)の部分の輪郭線を抽出することを検討するものとしてしよう。

与えられた画像は  $256 \times 256$  の基盤目状に標本化されていて、各点は  $R, G, B$  の 3 色に分解された信号である。各信号の濃度レベルは 8 ビットすなわち 256 である。各色の生のデータは微小部分における変化が急峻であるので、ここでは各色の信号ごとに  $4 \times 4$  のマスクで平均をとって 1 点の値とする処理を行って高周波成分を除いた信号に変換して用いる。

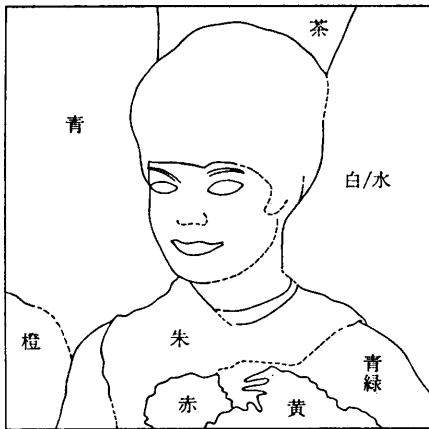
先の 2 章で述べた  $RGB$  空間、明度・色度面空間、擬 Munsel 空間に 3 章で述べた白色変換を施して肌の輪郭線を抽出した結果をそれぞれ図 5(a), (b), (c) に示す。ここで、肌の部分の標本データとして鼻を含む 400 点を取り、分布の平均値と共分散行列とを求め白色変換を行っている。また、色空間における特定物質の反射光の分布が正規分布であると仮定すれば、同定球の半径  $r$  を  $r=3$  に選ぶことによって、特定物質からの反射光の約 99.73% がこの球の中に含まれることとなる。そこで、同定球の半径  $r$  を 3 に選ぶものとする。



(a) 濃淡画像  
(a) Gray level picture.



(a) RGB 空間の場合  
(a) (R, G, B)-tristimulus space.



(b) 入力画像の大略 (破線部分は不鮮明)  
(b) Outline drawing of input image.  
(Broken lines are vague portions.)

図 4 入力画像

Fig. 4 An input image.



(b) 明度・色度面空間の場合  
(b) Lightness-chromaticity space.



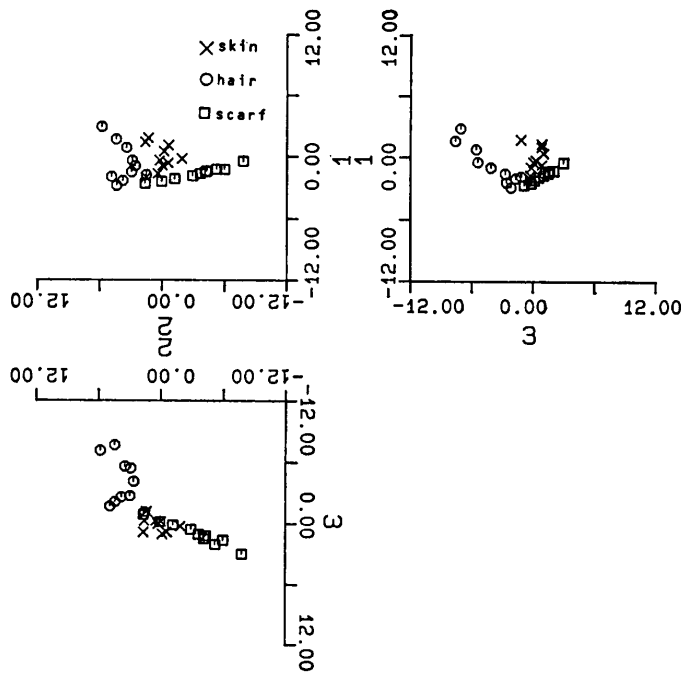
(c) 擬 Munsel 空間の場合  
(c) Pseudo-Munsel space.

図 5 抽出された肌の領域の輪郭 (同定球の半径  $r$  は  $r=3$ )

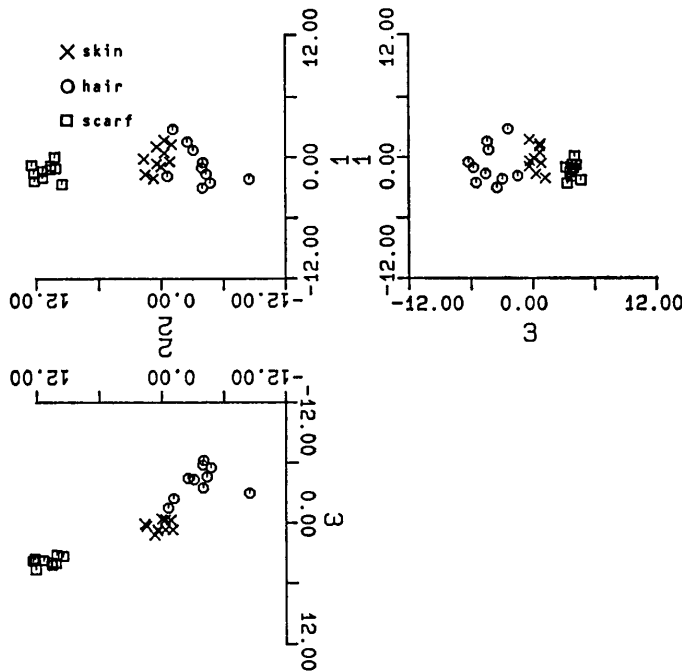
Fig. 5 Detected contours of the skin. (The radius  $r$  of the identifying sphere equals three.)

RGB 空間における結果よりも、明度・色度面空間あるいは擬 Munsel 空間における結果のほうが肌の領域が的確に抽出されている。また、明度・色度面空間と擬 Munsel 空間とにおける結果にはほとんど差がないが、前者のほうが少し良好な結果を与えている。三つのいずれの空間の結果においても上瞼の部分が肌の領域とはみなされていないのは、化粧(アイシャドウ)の影響によるものと思われる。

RGB 空間における結果を見ると、肌以外の襟巻の部分が多く抽出されていること、顎の影となっている首の部分が肌の領域とはみなされていないことがわかる。一方、明度・色度面空間と擬 Munsel 空間とにおける結果では、後方から光が当たっている左頬の部分



(a) RGB空間 (白色変換後)  
(a) (R, G, B)-tristimulus space.



(b) 明度・色度面空間 (白色変換後)  
(b) Lightness-chromaticity space.

図 6 RGB空間と明度・色度面空間とをそれぞれ白色変換した後の肌、髪、襟巻の反射光の分布

Fig. 6 Distribution of the reflected light from the skin (x), hair (o), and a scarf (□) in the (R, G, B)-tristimulus space and the lightness-chromaticity space after the whitening transformation.

と顎の影となっている首の部分とが肌の領域とはみなされていない。つまり、極端に彩度あるいは明度の低い部分は、これら二つの空間では抽出されていない。

#### 4.2 結果の検討

明度・色度面空間と擬 Munsel 空間とでは結果にほとんど差が認められないが、RGB空間から明度・色度面空間への変換のほうが、擬 Munsel 空間への変換よりも形式が簡単であるので、明度・色度面空間のほうが処理量が少なく済む利点がある。そこで、明度・色度面空間について、色空間の変換の効果を検討しよう。

RGB空間と明度・色度面空間とにおいて、それぞれ白色変換を施した後の肌、髪の毛、襟巻の反射光の分布を図6(a), (b)に示す。これらの図には肌の部分および肌と混同して分割される髪の毛と襟巻との部分からそれぞれ10点ずつサンプリングしてプロットしてある。白色変換後は肌からの反射光の分布は平均値がゼロで分散が1となるように正規化されているので、各色空間においてそれぞれの軸の長さは一定に揃えてある。同定球の半径  $r$  を  $r=3$  にとった場合、同定球の直径は図の1目盛分の大きさとなる。

与えられた RGB空間から明度・色度面空間へ変換したあと白色変換することにより、同一物質からの反射光はまとまって分布するようになり、互いに異なる物質からの反射光はより離れて分布するようになることが、図6(b)からわかる。すなわち、RGB空間から明度・色度面空間への変換はクラスタリング効果をもつこととなる。したがって、RGB空間を直接白色変換した場合よりも、明度・色度面空間へいったん変換してから白色変換した場合のほうがよい結果が得られたものと考えられる。

注目している特定物質の反射光の分布の平均値と共分散行列とを求めるときに使用される標本データのとり方と、同定球の半径の決め方とは、領域分割の結果に大きな影響を及ぼす。標本データは、注目している特定物質の領域の反射光から最も明るい部分、最も暗い部分、最も彩度の低い部分を含むように数

100点とればよいことを予備的な実験において確認している。

標本データが、注目している特定物質の領域からの反射光を代表するように適正にとられていて、しかもその分布が正規分布であるという仮定が成り立てば、同定球の半径  $r$  を  $r=3$  とすることには妥当性がある。RGB 空間を直接白色変換した場合よりも、RGB 空間から明度・色度面空間へ変換後さらに白色変換を施した場合のほうが、同定球の半径  $r$  を  $r=3$  として、注目している物質の領域をよりの確に分割できることから次のことがいえる。各物質それぞれの反射光の分布は、RGB 空間の場合よりも明度・色度面空間の場合のほうが正規分布に近くなっている。すなわち、RGB 空間から明度・色度面空間に変換することにより、各物質ごとの反射光の分布は結果的に正規分布に近くなる。

## 5. あとがき

与えられた RGB 空間の情報から明度・色度面空間あるいは擬 Munsel 空間を定義し、これらの三つの空間それぞれにおいて、ある特定の物質の反射光の分布が原点を中心とする分散 1 の球状の分布となるように白色変換を施し、原点を中心とする半径  $r$  の同定球内に分布する反射光を特定物質からのものとみなすことによって領域分割(輪郭線抽出)する方法について述べた。画像処理研究用の標準的なデータ「GIRL」の肌の領域の抽出を試みたところ、明度・色度面空間あるいは擬 Munsel 空間に変換したうえで白色変換を行って領域分割する方法は有効であることがわかった。

4章においては肌の領域の輪郭線抽出の結果のみを示した。明度・色度面空間において、他の部分—赤い花、黄色い花、朱の襟巻、青緑の服—については、同定球の半径  $r$  を  $r=3$  にとって、肌の場合と同等あるいはそれ以上の処理結果を得ている。髪の毛の領域については、頭在天辺に強い光が当たっているために極端に明度が高く彩度が低くなっているため、満足のいく結果は得られていない。

ここで述べた領域分割による輪郭線抽出法では、ある特定の物質の領域内における凹凸部—顔の場合には鼻など—を分離することはできない。これらの部分の輪郭は反射光量の相違を利用して検出できると考えら

れるので、領域分割した後でこの領域内において微分法等を適用することによって抽出できるであろう。

前節 4.1 の処理結果を見ると、注目している物質以外の部分も抽出されてしまっているが、これらの箇所は抽出しようとしている物質の領域に比較して、その面積が小さいこと等を利用して削除することが可能である。ここでは 2 章で述べた三つの色空間を白色変換することによって、注目している物質の領域がどこまで抽出できるかということに焦点を絞って述べた。

画像「GIRL」以外の一般の色画像に対して本稿で述べた方法を適用する場合には、注目している物質からの反射光の分布は正規分布をしているものと仮定することとなる。この仮定については、本稿で実験に用いた画像「GIRL」の場合をも含め検討の余地がある。

謝辞 ここで用いた画像処理研究用の標準的なデータ「GIRL」をご提供いただいた電子技術総合研究所主任研究官・田村秀行氏、種々ご検討いただいた新潟大学工学部助教授・宮村勲氏、同大学院生・入山徳夫君に感謝する。

## 参 考 文 献

- 1) 坂根, 田村: 画像処理アルゴリズムの概観(3) —エッジと線の検出—, 電総研彙報, Vol. 44, No. 7/8, pp. 464-483 (1980).
- 2) 太田, 金出, 坂井: 領域分割処理によるカラー画像情報の構造化, 情報処理, Vol. 19, No. 12, pp. 1130-1136 (1978).
- 3) 金出: デジタル画像における線の扱い, テレビジョン, Vol. 31, No. 5, pp. 385-392 (1977).
- 4) 勝野, 山崎, 宮村: 輪郭線抽出における色情報の利用について, 昭和 59 年度信学総全大, 1255 (1984).
- 5) Pratt, W. K.: *Digital Image Processing*, p. 78, John Wiley & Sons, New York (1978).
- 6) 池田: 色彩工学の基礎, pp. 28-34, 朝倉書店, 東京(1980).
- 7) 伊藤: コンピュータによる色彩画像処理, 日経エレクトロニクス, No. 124, pp. 76-103 (1975).
- 8) Fukunaga, K.: *Introduction to Statistical Pattern Recognition*, pp. 26-36, Academic Press, London (1972).
- 9) 田村: パターン情報処理研究のための画像データベースとその管理, 信学技報, PRL 77-73/IE 77-84 (1978).

(昭和 59 年 9 月 14 日受付)  
(昭和 59 年 12 月 20 日採録)