みんぱくリポジトリ
国立民族学博物館学術情報リポジトリ National Museum of Ethnolo

色情報に基づいた画像の類似検索

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2010-02-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 井岡, 幹博 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15021/00003555

色情報に基づいた画像の類似検索

井　岡　幹　博*

要旨

色情報に基づいた画像の類似検索として，画像の色特徴からその画像に類似している画像を検索する方法と，色の選択によって指定された色を含む画像を検索する方法を提案する。画像の色特徴による検索について，まず，色に関する類似度を定義し，その定義式によって画像間の類似度距離を算出し，検索に用いる方法などを事例とともに報告する。色の選択による検索では，人間にとって色の指定が容易な方法を提示し，関係型データベースを用いた簡単な検索例を報告する。実験は，すべて国立民族学博物館所有の仮面の標本画像143点を使用した。

1　はじめに

類似検索は，画像データベースシステムにおける画像特徴による検索技術の1つとして位置付けられる。内容依存型の検索とも呼ばれ，一般的にその必要性は強調されてはいるが，検索キーをどのようにユーザーがシステムに与えるかという問題，また，画像間で類似したものを検索するという類似度の定義の問題，さらに，システムが自動的に画像を検索するためには画像処理機能が不可欠であるが，現実では実時間での大量の画像処理は困難であるという点などから，一般的な検索は極めて困難である。画像内容に基づく検索実験例として以下の報告があげられる。

LANDSAT 画像を対象とした REDI (RElational Database system for Image) では，画像内の線構造（道路）に基づいて類似検索が可能となっている [Chang and Fu 1981]。名刺画像を対象とした例では，文字パターンの特徴パラメーターから類似検索が実現されている [大田 他　1981]。また，天気図のデータベース検索システムを実現している例もある [山守 他　1985]。色情報による検索としては，織物パターンに対する検索システムがあげられる [岡田 他　1987]。これは，画像を領域という単位に分割し，その領域に対しての特徴量(位置，面積，色など)の属性記述を行ない，その属性情報によって検索を行なおうとするものである。画像の個々の部分の記述が

* 日本アイ・ビー・エム(株) 東京基礎研究所

可能である反面，画像処理に要する負担が大である。いずれも，ある限られた種類の画像に対して（ほとんどが線構造）特徴記述を行なうというもので，色の情報を利用している例は上記以外見当たらない。色を対象とした例がこのように少ないのは，正確な色の入力，表現，表示などが技術的にも容易なものではなく，感覚的にも曖昧さが残るためといえよう[1)]。

画像の内容検索を主たる目的とする画像データベースシステムでは，蓄積系と検索系の2つの処理系に分かれる。蓄積系においては，以下の処理手順を踏むものと考えられる。

画像入力 → 特徴抽出 → 特徴の記述 → データベースへの格納

検索系においては，ユーザーが対象とする画像の特徴記述をなんらかの形で計算機に与え，計算機はその特徴記述に基づいてデータベース上で照合し，結果を出力する。特徴記述の段階で画像処理が介在する必然性はなく，視覚による判断で人間が特徴を入力すれば，計算機による自動入力よりも高度なデータベースとなりうる。しかし，計算機が介在する利点としては，以下のものがあげられる。

1. 特徴の抽出，記述，格納が自動的に行なわれる。従って，人間はわずらわしい視覚による判断の仕事から解放される。
2. 人間が正確には記述しにくい形や色といった，曖昧な特徴を特徴量として記述できる可能性がある。

これらの利点は対象とする画像のモデルが正確に定義でき，しかもその特徴が計算機によって抽出可能な場合効果的である。

画像処理による特徴抽出は，次の3つのレベルがあると考えられる。

1. 画像の信号レベルの特徴を記述する。
2. 画像のセグメントレベルでその特徴を記述する。
3. 対象とするモデルに基づいて画像全体を記述する。

画像の内容検索というテーマにおいては3.が最終目標となるが，現実では対象とするモデルを一般に定義することは不可能である。

本稿で提案する手法は，画像の色分布から各画像間の類似度を定義し，その距離でもって検索を行なおうとするものである。画像の特徴を色の分布という特徴量に置き

1）本書「標本資料画像の色検索――問題点と今後の課題――」参照。

換えている点で，特徴記述は1.のレベルである。また，色指定のインターフェースを与えることによって，色といった曖昧な特徴量を簡単に指定できるようにした。実験は，国立民族学博物館（民博）所有の仮面の標本カラー画像[2]を用いて行なった。

2　類似度による画像の検索

ある画像を例として，その画像と似たような色調を持つ画像を選ぼうとした場合，人間が画像を毎度視認して判断するのは，画像が大量になればなるほど困難になり，機械による自動的な絞りこみが必須となる。しかしながら，色などの曖昧なものの記述を機械で定義するのは困難である。ここで提案した手法は，比較的簡単な統計量で画像全体を特徴付けすること，画像間の類似度を距離として定義したことに特徴がある。画像全体の色分布をもとに画像間の類似度を距離として定義しているので，自動的な絞りこみが可能となる。また，距離計算がされているので順位付けが可能である。

まず，提案する手法において主要な部分を占める各画像の統計量計算と距離定義の考え方を示し，最後にシステムの構成を示す。

2.1　各画像の統計量計算

画像の類似度を定義する場合，画素対画素の類似を調べるよりは，画像をある特徴空間へ変換して，その空間での特徴量（数値）として類似度を定義する方が計算量の面からも精度の面からも現実的である。ここでは，特徴空間として $L^*u^*v^*$ 空間を N 分割したものを用いる[3]。$L^*u^*v^*$ 空間は人間の色知覚に最も近似した色空間の1つである。この空間内の一定距離は，どの色の領域でも知覚的に等歩度の差を持つように定められている。この空間において画素がとりうる範囲を N 分割し，N 個の相互に隣接した領域を考える（図1）。画像はRGB系からXYZ系へ，さらに $L^*u^*v^*$ 系へと変換され，最終的に L^*, u^*, v^* の3つの値を持つ。この L^*, u^*, v^* 値に基づいて画像における全画素が先に分割された N 個の領域のどれに入るかヒストグラムをとる。これは，表1のようになり各画像がそれぞれ N 個の特徴量を持つ。これらの数値を N 次元の特徴量として次に述べる類似度尺度の計算に用いる。

2）本書資料編D「標本画像自動処理装置」参照。
3）本書「画像の表示とその圧縮」参照。

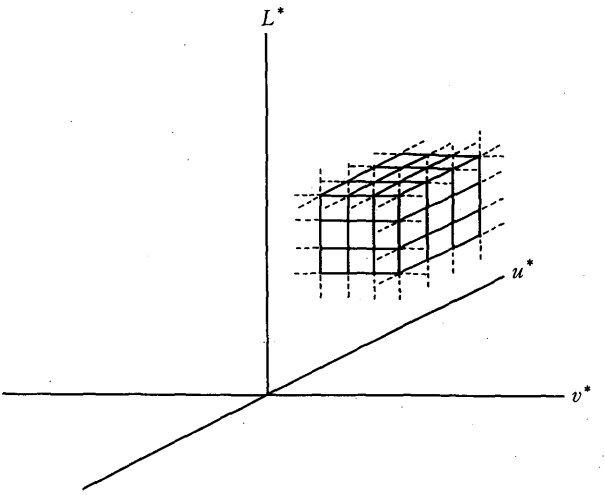


図1　$L^*u^*v^*$ 空間の分割

表1　画像の統計量例

画像番号＼領域番号	1	2	3	…	N
1	0.00	0.10	0.05	…	0.00
2	0.00	0.20	0.10	…	0.00
3	0.05	0.34	0.21	…	0.11
・	・	・	・	・	・
・	・	・	・	・	・
・	・	・	・	・	・
m	0.22	0.00	0.00	…	0.40

2.2　類似度の定義

先に述べた N 次元空間において類似度を定義する。一般に N 次元の特徴空間における2点間の距離を定義するのに最も一般的なものは，ユークリッド距離を採用することである。しかし，ここでは各 N 個の領域それぞれが距離的な関係を持っているので，N 次元の斜交軸を定義した。

画像 i と画像 j の距離 D_{ij} を以下のように定義する。

$$D_{ij}=(\boldsymbol{x}_i-\boldsymbol{x}_j)^t\begin{pmatrix} 1 & \cos A_{12} & \dots & \cos A_{1n} \\ \cos A_{21} & 1 & \dots & \cos A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \cos A_{n1} & \cos A_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}(\boldsymbol{x}_i-\boldsymbol{x}_j) \qquad (1)$$

ここで，

$x_i=(x_{1i}, x_{2i}, \ldots, x_{Ni})^t$：画像 i におけるヒストグラム

$x_j=(x_{1j}, x_{2j}, \ldots, x_{Nj})^t$：画像 j におけるヒストグラム

$i, j=1, \ldots, m$

m：画像の数

である。

A_{pq} は第 p 特徴軸と第 q 特徴軸のなす角とする。A_{pq} は実際には定義できないので以下の式で相対的に定義する。

$$\cos A_{pq}=1-\frac{D_{Luv_{pq}}}{D_{Luv_{\max}}} \qquad p, q=1, \ldots, N \tag{2}$$

つまり各領域間で距離の最大のものを $A=\pi/2$ とし，最小のものまで相対的な $\cos A_{pq}$ を定義する。

$D_{Luv_{pq}}$ は $L^*u^*v^*$ 空間での領域 p と領域 q の距離で，以下の式で表現される。$D_{Luv_{\max}}$ は $D_{Luv_{pq}}$ の中で最大のものとする。

$$D_{Luv_{pq}}=\sqrt{(L_p^*-L_q^*)^2+(u_p^*-u_q^*)^2+(v_p^*-v_q^*)^2} \tag{3}$$

$$D_{Luv_{\max}}=\max(D_{Luv_{pq}}) \tag{4}$$

$\cos A_{pq}$ のマトリックスはあらかじめ求めることができるので，前処理の段階で計算しておく。

2.3　システム構成

以上の方法をもとに構築した試験用のシステム構成は前処理，蓄積系，検索系に分けられる（図2）。前処理は斜交軸を形成するための計算である。蓄積系では，画像を入力して各々の画像に関する色分布のヒストグラム表を作成する。検索系では，前処理において求められた斜交空間で例示画像と各画像との距離を求め，結果をディスプレイなどに出力する部分である。

2.3.1　前処理

先に定義した $\cos A_{pq}$ のマトリックスをあらかじめ計算しておいて，以下の順番に従って処理する。

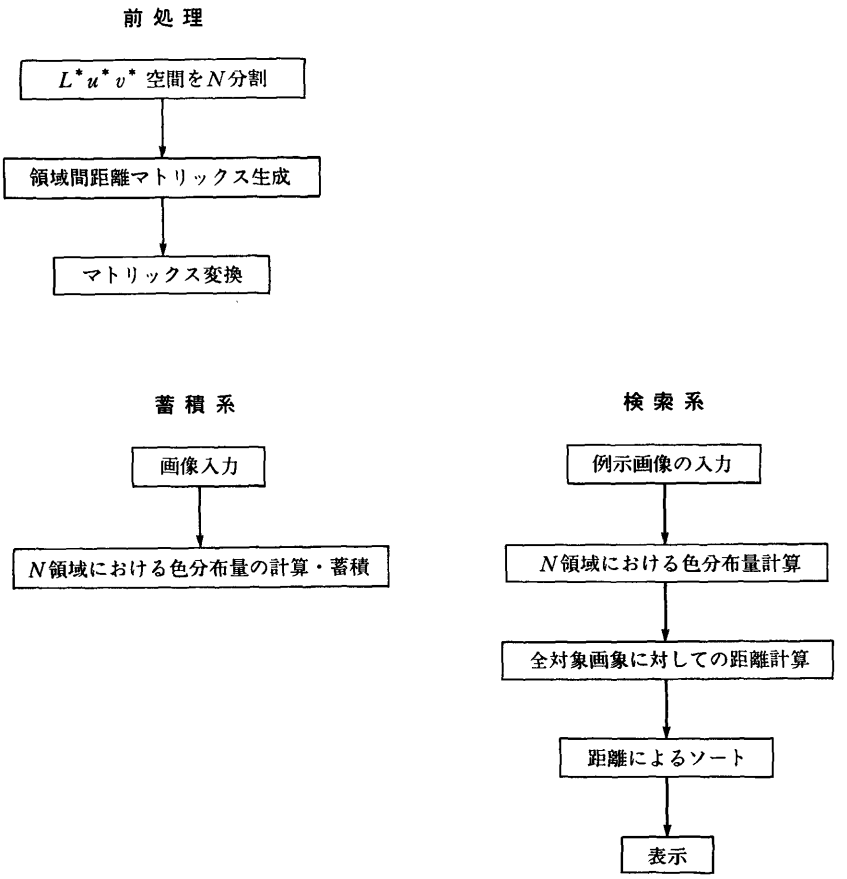


図2　類似画像検索処理手順

1. **$L^*u^*v^*$ 空間を N 分割**

画像がとりうる $L^*u^*v^*$ 空間の範囲で所望の個数 N に分割された領域を定義する。N は経験的に通常256程度でよいが，それより少なくてもよい。

2. **領域間距離マトリックスの生成**

領域間距離マトリックスは式 (3) で計算される。

3. **マトリックスの変換**

領域間距離マトリックスから式 (2) で相対的な $\cos A_{pq}$ マトリックスに変換する。以下の距離計算では，この相対的な $\cos A_{pq}$ マトリックスを用いる。

2.3.2 画像の蓄積系

入力画像の各画素を RGB 系から XYZ 系へ，さらに $L^*u^*v^*$ 系に変換する。$L^*u^*v^*$ 系において，2.3.1節で分割した各領域にどれだけの画素が含まれるかヒストグラムを計算して，各領域における度数分布率を計算機内に蓄積する。

2.3.3 検索系

以下の順番で検索処理を行なう。

1. **例示画像入力とヒストグラム計算**
   例となる画像を入力しそのヒストグラムを計算する。これは，蓄積系と同じ手順で計算する。
2. **全検索対象画像に対して距離計算**
   2.3.2節で蓄積された各画像のヒストグラム表から式 (1) を用いて，それぞれの画像と例示画像との距離を計算する。
3. **距離によるソート**
   2. の結果を最小のものから順位付けする。
4. **表示**
   距離の小さいものから，類似度が大であるとして順番に表示する。

2.4 考　察

民博所有の標本画像データ143点を用いて，検索結果に対して視覚判断による主観

表 2　類似度検索評価結果（カッコ内の数値は%）

画像番号	人間の希望する類似画像の数	第 n 位までに合致した数	第 $2n$ 位までに合致した数
1	7	4 (57.1)	6 (85.7)
2	5	5 (100.0)	
3	6	6 (100.0)	
4	4	3 (75.0)	3 (75.0)
5	3	3 (100.0)	
6	6	5 (83.3)	5 (83.3)
7	3	3 (100.0)	
8	5	3 (60.0)	4 (80.0)
9	2	2 (100.0)	
平均		(79.8)	(91.6)

評価を行なった。使用した計算機は汎用の大型計算機 IBM3081-K32，検索のための入力と表示は IBM5080 グラフィックス表示装置である。ここでは，9つの例示画像による類似度検索結果に対する評価を数値として表わした。評価手順は以下の通りである。すなわちある例示画像に対して，類似した画像としてシステムに選んでほしい画像（例示画像も含む）を，視覚判断であらかじめ選んでおく。人間が選んだ類似画像の数を n とし，評価を以下の数値で表現する。

1. $$\frac{\left(\begin{array}{c}\text{第 } n \text{ 位までにシステムが選択した画像のうち，}\\ \text{人間の希望する類似画像の数}\end{array}\right)}{n}$$

2. $$\frac{\left(\begin{array}{c}\text{第 } 2n \text{ 位までにシステムが選択した画像のうち，}\\ \text{人間の希望する類似画像の数}\end{array}\right)}{n}$$

結果を表2に示す。平均して，第 n 位までに人間の希望する80%が候補としてあげられ，第 $2n$ 位までに92%があげられている。また，写真1には例示画像による検索結果の例を示す。実験結果はほぼ良好な精度を示しているが，例えば，第 $2n$ 位までの候補の中には人間の感覚にはそぐわないものも含まれている。原因として考えられることは，検索が色の全体としての分布に基づいて行なわれており，色の画像内における位置的な分布を考慮していないことである。人間の類似度に関する感覚は，形，部分の配置などに大きく影響されていると考えられる。今後の方向として，色の画像内の位置的な分布を考慮した類似度尺度の定義，画像のある一部分に焦点を当てた検索方法などが考えられる。

3　色の選択による画像の検索

色に関する画像の内容検索のもう1つの手法として，検索対象となる色をユーザーが計算機に指定して検索する方法が考えられる。しかしながら，ユーザーが自分の要求する色を計算機に正確に伝えることは，以下の点から困難である。まず，自分の要求する色が何であるかを，ユーザーが正確に知っていない点である。ユーザーは，例えば赤っぽい色とか，渋い紫色などと感覚的な表現で色を理解している。また，ある人の赤と別の人の赤とは同じでないことの方が多い。次に，たとえ自分の要求している色がわかっても，それを計算機に正確に伝える手段を持っていない場合がほとんどである。例えば，要求している色がマンセル表色系で 5R5/12 と正確に指定できたと

しても，そのコードをその都度インプットするのは煩雑である。ここでは，ユーザーに様々な色を提示し，ユーザーがその色を指定することによって上記の不正確性，煩雑性を軽減している。

3.1 色の提示

知覚的な色モデルに関しては従来いろいろな提案がなされている。そのほとんどが色相，明度，飽和度（彩度）の3属性から構成されている。実用的な色モデルとしてSmithの提案したHSV（H: Hue, 色相; S: Saturation, 飽和度; V: Value, 明度）がある。図3に示すように六角錘の形をしており，頂点で明度が0，上面で1になってい

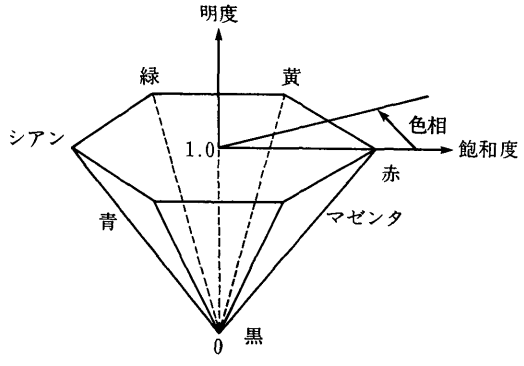


図3　HSV色モデル [David　1985]

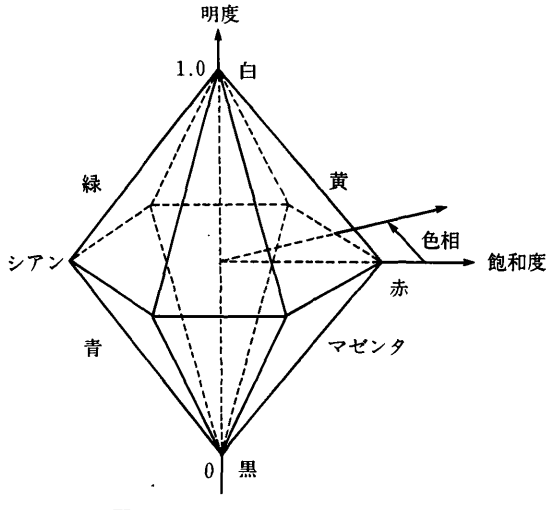


図4　HLS色モデル [David　1985]

る。六角錘のモデルを拡張したのが HLS（H: Hue, 色相; L: Lightness, 明度; S: Saturation, 飽和度）である。図4に示すように六角錘を2つ張り合わせたような形をしており，下の頂点は $L=0$（黒）を，上の頂点は $L=1$（白）を表わす。ほかに HSI モデルなどがある [DAVID 1985]。

ここでは，人間が感覚的にわかりやすい HLS モデルを採用した。表示方法としては，まず，写真2に示すように色相環を提示する。ユーザーは，提示された24個の色から自分が要求する色を選ぶ。次に計算機は，選択された色相における明度—飽和度空間を表示する。写真3に赤の色を選択したときの明度—飽和度空間を示す。縦軸が明度，横軸に飽和度をとっている。ユーザーは，この色空間の断面から所望の色を選択することができる。また，色相方向に自由に移動することができる。

ここで紹介した色モデルは，色の精度という面からは厳密ではない。しかしながら，人間が記憶している色というものも曖昧なものであることから，色の指定には十分と考える。

3.2　蓄積系

「2　類似度による画像の検索」で使用した $L^*u^*v^*$ 空間での N 次元特徴量をデータベースで管理し，その値を使用する。つまり，データベースは $L^*u^*v^*$ 空間を N 個（今回は $N=256$ とした）の均等空間に分割した箱における画素の分布の表である。この表を関係型データベースの SQL/DS [IBM 1984] に管理させ，融通性の高い検索を実現しようとした。

3.3　検索系

「3.1　色の提示」によってユーザーは色を選択し，計算機は指定された色によって検索を開始する。ユーザーは単色で検索することもできるし，色の組合せで検索することもできる。色の組合せにおいては4つまでの色の AND または OR 条件で検索をかけることができる。選択された色をデータベースにおける領域番号（表1参照）に変換し，該当する領域において画素分布がある一定量以上の分布を示す画像を検索することとなる。ここで可変となるパラメーターとして，以下の2点があげられる。

1. 該当する領域は1つであるが，それに隣接する領域まで検索の範囲を広げるとき，その範囲をどのように設定するか。
2. 該当する領域における画素の分布のしきい値をどう設定するか。

これらのパラメーターは現在経験的に定めている。検索条件は，SQL の SELECT 文の形で自動的に生成され SQL/DS に送られる。検索条件は，上記の条件を満たす簡単な 1 次結合の式となっている。条件に合う標本番号が SQL/DS から返され，結果を画像として表示する。結果である候補画像は，ユーザーが指定した色のうち最初の色の占める比率の多い順に順位付けされ表示される。写真 4 に簡単な検索例をあげる。写真 4 の (a) は選択された色を示している。この場合，少しくすんだ赤を選択している。この色を条件として検索した結果が写真 4 の (b) である。結果は，選択さ

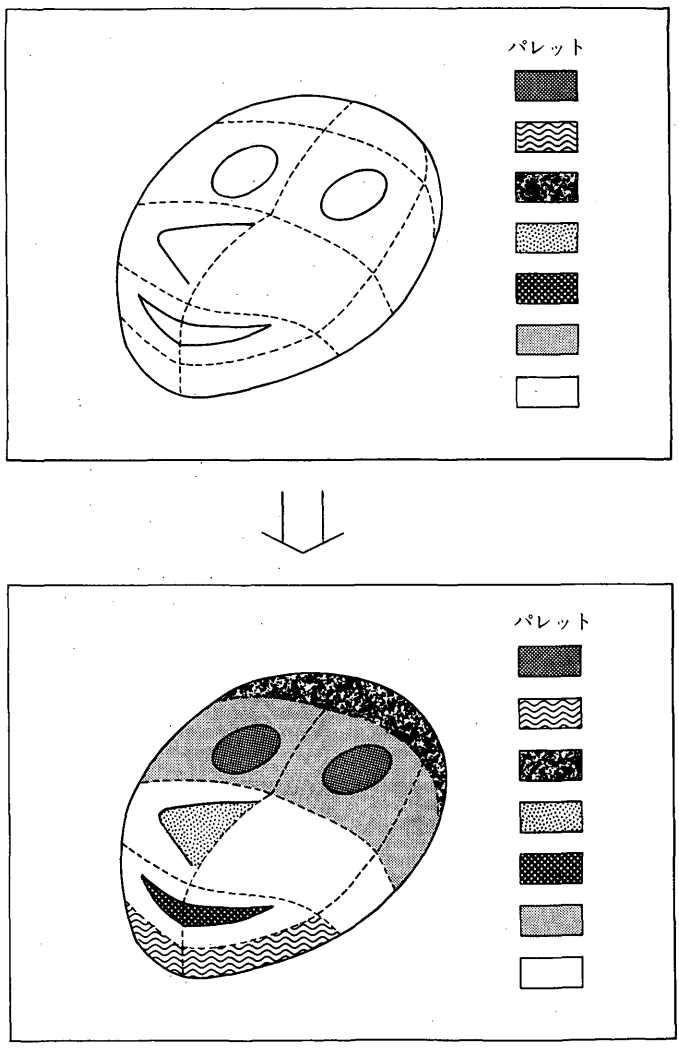


図 5　対話的画像検索条件の作成

れた「くすんだ赤」の占める割合の多い順に表示されている。写真5は虎の仮面を想定して，黄色と黒の2色のAND条件で検索した条件と結果である。

3.4 考　察

写真4と5の検索結果は比較的良好な例である。しかしながら，写真6に示すように，検索条件によっては思わぬ画像を候補として検索している場合もある。写真6の場合は，黒と白の2色のAND条件によって検索した結果である。いずれの画像も2つの色の要素を持っており，このシステムの制約条件，つまり指定された色がある一定以上画像に含まれているか否かでの検索では，この結果が正解となってしまう。将来的には，単なる色の指定だけではなく，位置までも指定できるような検索条件構築法が考えられるべきであろう。例えば，図5に例示するように，モンタージュを対話的に作成できるような仕組みを考える。検索は，できあがった画像の特徴をもとに行なえるようになれば，より人間の感覚に近づいた内容検索となるであろう。

4 おわりに

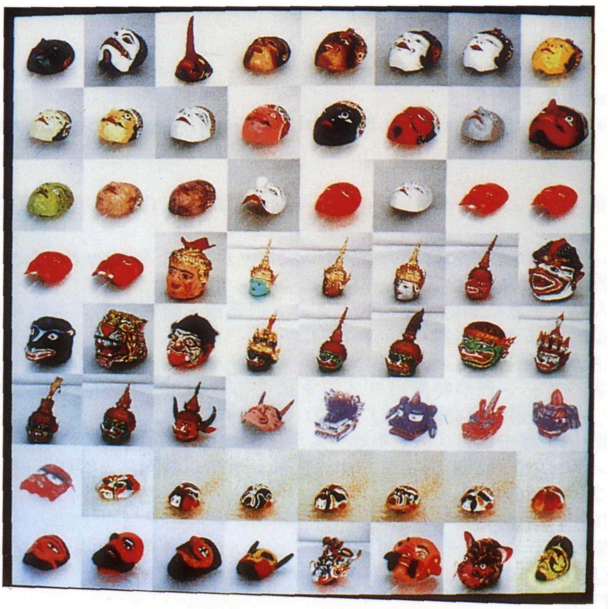
色情報に基づいた画像の類似検索について，画像の色特徴からその画像に類似する画像を検索する方法と，色の選択によって指定された色を含む画像を検索する方法を提案した。いずれの方法も画像が持つ色分布量のみから検索するもので，原理は比較的簡単なものである。しかしながら，検索結果を検討すると期待以上の精度で所望の画像を検索できることがわかった。今後は，それぞれの考察の中でも述べたが，単なる色の分布量だけではなく，色の画像内における位置的な分布をも考慮にいれた検索条件の構築方法，類似度の定義，それに伴う特徴量の抽出方法，データベースへの格納法などを検討しなければならない。

また，色情報という面から考えると，比較しようとしている色が本当に同じ色であるのか，すなわち正確な色の入力及び正確な色の計算機内での表現といった色に関する基本的な点を，今一度考えてみる必要がある[4]。今回使用した標本画像の中にも，入力条件が一定していないため，明るすぎたり，逆に暗すぎたりして，本来標本が持っていた色と違って計測されていると思われるものが少なからず見受けられた。入力時の色の補正とデータの絶対的な座標への変換，絶対座標での色の比較を考える必要があると考える。

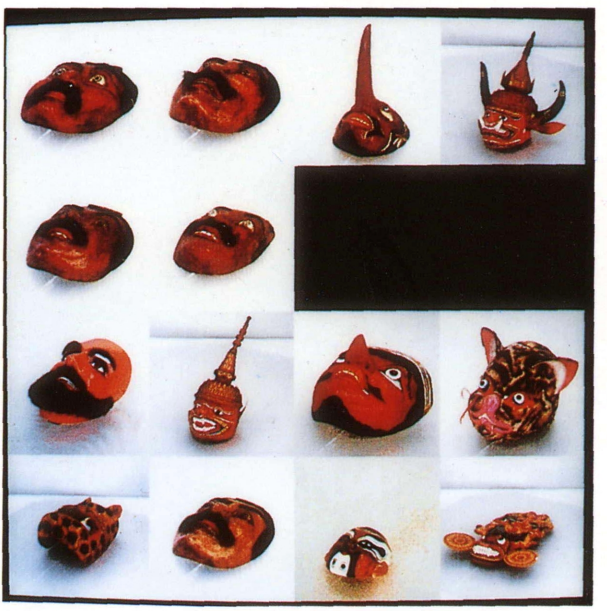
4）本書「標本資料画像の色検索――問題点と今後の課題――」参照。

文　献

CHANG, N.S. and K.S. FU
1981 Picture Query Languages for Pictorial Data-Base Systems. *IEEE Computer* 14(11): 23–33.
DAVID, R.R
1985 『実戦コンピューターグラフィックス』山口富士夫（監修），日刊工業新聞社。
IBM Corp.
1984 *SQL/DS System Application Programming for VM/System Product*. SH24-5068.
岡田至弘・荒川賢一・坂井利之
1987 「個人の色感覚に適応する織物パターンの蓄積・対話検索システム」『電子情報通信学会論文誌』J70-D(12): 2563–2574。
大田友一・森良哉・坂井利之
1981 「漢字パターン列の特徴パラメータによる検索——名刺画像における姓名の場合——」『電子通信学会論文誌』J64-D(11): 997–1004。
篠田英範・近藤隆志・澤田順夫・沼上英雄・木戸出正継
1983 「ランドサット MSS 画像データベースシステムの開発と評価」『情報処理学会論文誌』24(6): 867–876。
山守一徳・吉田雄二・福村晃夫
1985 「天気図の符号化とその天気図データベース・システム実現への応用」『情報処理学会誌』26(6): 1049–1056。
横矢直和・田村秀行
1981 「画像データベース研究の動向」『電子技術総合研究所会報』45(9,10): 451–465。



(a) 対象とした例示画像



(b) 類似検索結果（最上段左端の画像が例示画像，他は検索された画像。上2段が第1グループ候補，下2段が第2グループ候補。）

写真1　例示画像に基づく画像検索例

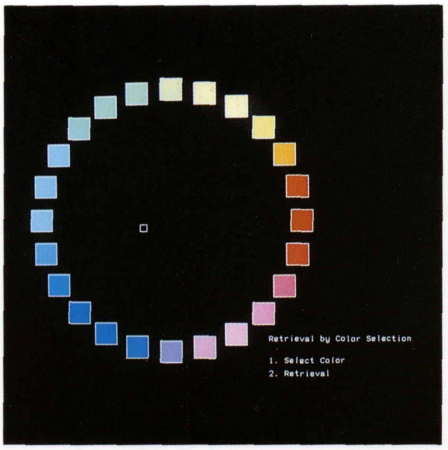


写真 2　色相環

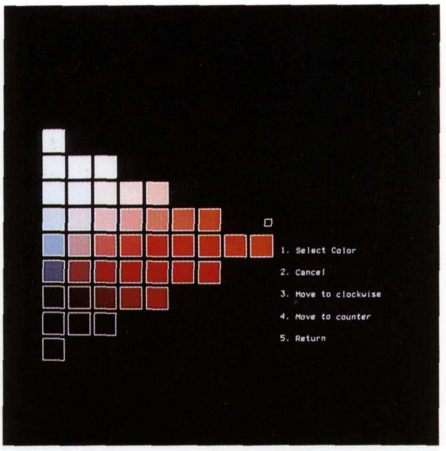
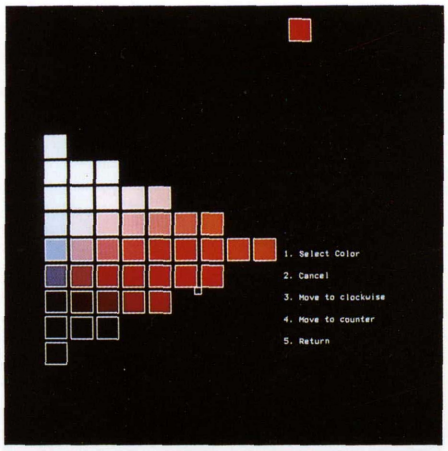


写真 3　明度—飽和度空間の提示例



(a) 選択された単色

(b) 選択色に基づく検索結果

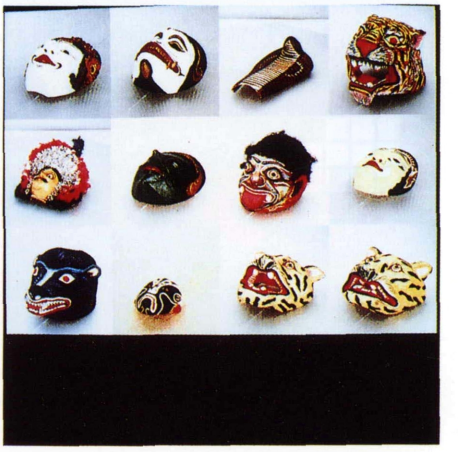
写真 4　色の選択による類似画像検索例

(a) 選択された 2 色（AND 条件）

(b) 選択色に基づく検索結果

写真 5　色の選択による類似画像検索例

(a) 選択された 2 色（AND 条件）



(b) 選択色に基づく検索結果

写真 6　色の選択による類似画像検索例