

印象語による絵画データベースの検索†

栗田 多喜夫^{††} 加藤 俊一^{††}
 福田 郁美^{†††} 坂倉 あゆみ^{††††}

利用者の主観を反映させた印象語からの絵画データベースの検索法を提案する。「ロマンチックで暖かい」というような視覚的印象は、利用者の好み、文化的背景などの違いにより個人ごとに異なっていると考えられるので、そうした要求からの検索を実現するためにはシステムはその利用者にとって「ロマンチックで暖かい」とはどのようなことなのか評価できなければならない。このとき、データベースに蓄えられるすべての絵画に対して、利用者ごとの主観的属性をあらかじめ登録することは困難である。本稿では、各利用者に学習用の絵画に対して印象語を付けてもらい、その結果から正準相関分析により印象語と画像特徴との相関関係を学習し、それを検索に利用する方法について述べる。各利用者の印象語と画像特徴との主観的な対応関係を学習しておく、印象からの検索はもちろん、類似画検索や未知の絵画に対して印象語を推定することなども可能となる。印象派の絵画を対象とした画像データベースに対して、提案した手法による検索実験を行い良好な結果が得られた。

1. はじめに

近年、ハードウェア技術の目覚ましい発展にともない、文字、数字などの情報だけでなく、画像、音声などの多種多様な形態の情報を処理・蓄積・通信することが期待されるようになってきた。こうしたマルチメディア情報を誰もが簡単に使いこなせるようにするためには、利用者システムとの対話の新しいスタイルを実現しなければならない。

画像データベースの検索においても、胸部X線写真データベース検索のためのスケッチ画像の利用¹⁾、天気図や地図の検索^{2),3)}、商標・意匠図形を対象とした例示画からの類似画検索⁴⁾⁻⁶⁾、類似形状の検索⁷⁾⁻⁹⁾、放送番組製作用の画像データの連想的検索¹⁰⁾、山を含む風景画の検索¹¹⁾など新しいスタイルを求める研究が活発に行われている。

また、高度なマンマシン対話を実現するためには利用者が対象世界をどのように主観的に解釈しているかをシステム自身がモデル化する必要があるという認識から、利用者の主観的な情報を取り込もうとする試みも行われている。藤田らのイメージファイリングシステムでは、人間の視覚心理を構成する空間を形容詞を用いて定義し、形容詞間の相関を分析して幾つかの因

子に縮約し、その因子に基づいた検索が試みられている¹²⁾。平林らは、索引作成者の感性を多くの利用者に伝える立場から、検索作成者のイメージ空間を種々の観点の座標軸で作られた空間に射影し、画像データの分布を利用者に視覚的に提示している¹³⁾。

本論文では、著者らが開発しているフルカラー絵画データベースシステム ART MUSEUM (Multimedia Database with Sense of Color/Composition upon the Matter of Art^{14),15)}を例に、利用者の主観を反映した印象語からの画像検索の方法について述べる。印象派の絵画を対象として本論文で提案する手法を用いた検索実験を行い、良好な結果が得られた。

2. 印象語による絵画データベースの検索

例えば、利用者が「ロマンチックで、ソフトで暖かい感じ」の絵画を鑑賞したい場合を考えよう。システムがこうした要求から利用者の望んでいる絵画を検索できるためには、「絵画」という画像メディアと「ロマンチック」、「ソフト」、「暖かい」という言語メディア(印象語)を内容レベルで比較する必要がある。また、このような視覚的印象は、好み、文化的背景などの違いにより個人ごとに異なっていると考えられるので、システムはその利用者にとって「ロマンチック」とはどのようなことなのか評価できなければならない。ただし、そのためにあらかじめデータベースに蓄えられるすべての画像に対して各利用者ごとの主観的属性を登録することは、索引作成の労力からも困難である。

以上をまとめると、印象語からの画像検索のために

† Sense Retrieval on a Image Database of Full Color Paintings by TAKIO KURITA, TOSHIKAZU KATO (Electrotechnical Laboratory), IKUMI FUKUDA (University of Library and Information Science) and AYUMI SAKAKURA (Fujitsu Ltd.).

†† 電子技術総合研究所

††† 図書館情報大学

†††† 富士通(株)

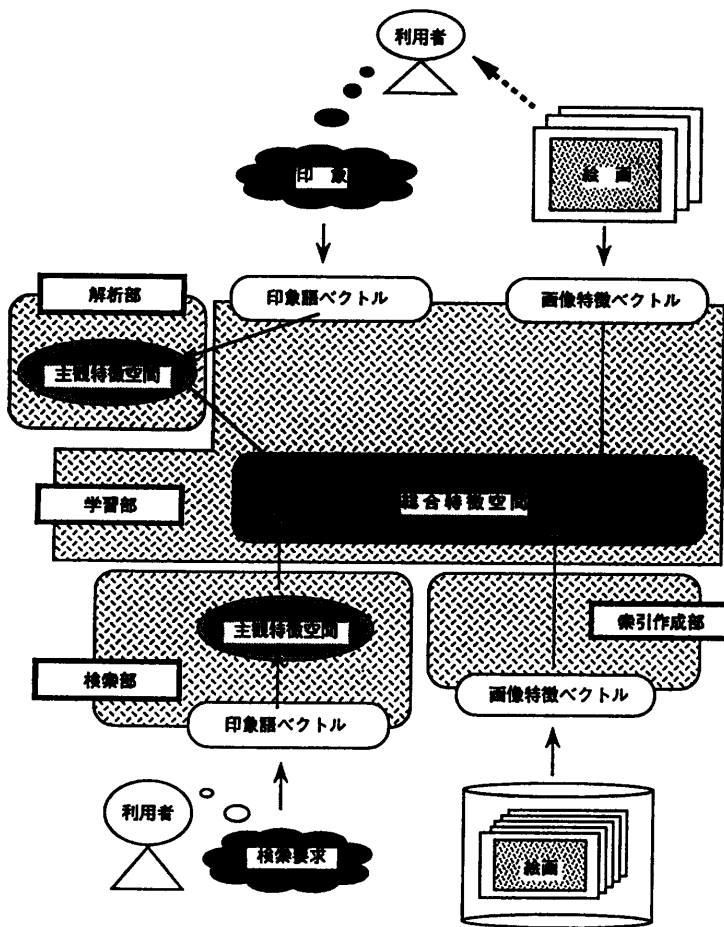


図1 システムの概要
Fig. 1 Overview of the system.

は、少なくとも

1. 画像メディアと言語メディアを関連付けること
 2. 画像から受ける印象を各利用者ごとに適応的に評価できること
 3. 利用者ごとのカスタマイズが簡単にできること
- という要求を満足しなければならないといえる。

ART MUSEUM の印象語からの画像検索では、30個の形容詞を印象語とし、画像の色調・配色に関する特徴（画像特徴）と印象語の正準相関分析^{16), 17)}により、各利用者の印象語と画像特徴との主観的な対応関係を学習し、それを検索に利用している。システムの概要を図1に示す。

3. 画像特徴と印象語

3.1 色彩と印象語

一般に、絵画に対して持つ印象は、色彩、構図、タッチ、テーマ、描かれているものなどの要因から受け

ると考えられるが、特に色彩による影響は大きい¹⁸⁾。このことは、絵画に対して持つ印象を言葉で表現する時、「暖かい」とか「鮮やかな」などのように色彩に影響された言葉がよく使われることから分かる。また、印象派の画家モネの連作に「積み藁」という同じ構図で色彩の異なる風景画があるが、これらの絵はそれぞれ異なる印象を与える。この例からも色彩と印象との相関は高いと考えられる。以下では、視覚的印象として色彩のみを扱うことにする。

3.2 画像特徴

画像から色彩に関するどのような特徴（画像特徴）を抽出するかによってシステムの性能が大きく左右されるため、画像特徴の選択は非常に重要な問題である。大津らは高次局所自己相関特徴と多変量解析手法を組み合わせることにより、さまざまな二値画像の認識や計測が可能であることを示した^{19)~24)}。高次局所自己相関特徴は、対象の並行移動に関して不変で、しかも、画面に関する加法性を持つ。こうした性質は、画像の認識や計測にとって有効に働くことが示されている。また、栗田らは、それを濃淡画像にまで拡張し、顔画像の認識に適用している^{25), 26)}。

ここでは、カラー画像に対する1次までの局所自己相関特徴を用いることにする。今、デジタルカラー画像を $\{f(i, j) = (r(i, j), g(i, j), b(i, j))^T \mid i \in I, j \in J\}$ とする。ただし、 $r(i, j)$, $g(i, j)$, $b(i, j)$ は、それぞれ、画素 (i, j) における赤、緑、青成分を表す。

カラー画像に対する0次の自己相関は、

$$\begin{pmatrix} \bar{r} \\ \bar{g} \\ \bar{b} \end{pmatrix} = \frac{1}{IJ} \sum_{i \in I, j \in J} f(i, j) \quad (1)$$

で定義される。これらは画像の赤、緑、青成分の平均を表す。これにより3個の特徴が得られる。

1次の自己相関特徴は、変移方向を $\mathbf{a} = (a_i, a_j)$ とすると、

$$\begin{pmatrix} \sigma_r & \sigma_{rg} & \sigma_{rb} \\ \sigma_{rg} & \sigma_g & \sigma_{gb} \\ \sigma_{rb} & \sigma_{gb} & \sigma_b \end{pmatrix} = \frac{1}{IJ} \sum_{i \in I, j \in J} f(i, j) f(i+a_i, j+a_j)^T \quad (2)$$

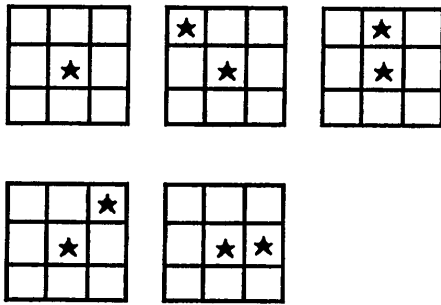


図2 局所自己相関の変位パターン

Fig. 2 Patterns of displacements of local autocorrelation.

で定義される。変移方向 α の取り方により、無数の可能性が考えられるが、ここでは、簡単のため、それを 3×3 の局所領域に限定する。局所領域のソフトにより同じになる変移方向を除くと、可能な変移方向のパターンは、中心点に参照点として、図2に示す5種類に限定される。各パターンに対して、6個の独立な特徴が計算されるので、合計30個の1次の局所自己相関特徴が得られる。

したがって、0次と1次の特徴を合わせると、各画像から全体として33個の特徴が得られる。これを、画像特徴 y とする。

3.3 印象語

色彩に対する印象を表現するには、言葉(印象語)を用いるのが最も基本的かつ簡単である。ART MUSEUMでは、あらかじめ用意した30個の印象語(形容詞)の組合せによって視覚的印象を表現することとした。

効率的な印象語からの検索を可能にするためには、

表1 絵画検索のための印象語
Table 1 Adjectives for image retrieval.

すがすがしい (clear)	華麗な (gorgeous)
若々しい (fresh)	エスニックな (ethnic)
洗練された (refined)	躍動的な (dynamic & active)
モダンな (modern)	柔らかな (soft)
格調のある (authentic)	重々しい (heavy)
ダンディーな (dandy)	暖かい (warm)
クラシックな (classic)	クールな (cool)
ナチュラルな (natural)	地味な/落ち着いた (sober)
シックな (chic)	明るい/輝かしい (bright)
清雅な (elegant/tasteful)	静かな (quiet)
優雅な (elegant/relaxed)	固い (hard)
甘美な (romantic)	清潔な/新鮮な (clean)
かわいい (pretty)	スポーティー (sporty)
なごやかな (casual/relaxed)	日本的 (Japanesque)
楽しい (casual/pleasant)	田舎風の (country)

利用者が色彩に対して感じる印象をうまく表現するような形容詞を印象語として選ばなければならない。ここでは、色彩と色彩に対する印象語の関係について書かれている幾つかの文献^{27), 28)}において、色に対して良く使われている言葉を参考にして、表1にあげる30個の形容詞を印象語とすることにした。

利用者は、これらの形容詞の中から検索したい絵画の視覚的印象を表すのに適当と思われるものを幾つか選択することによって、視覚的印象を表現する。それは、システムの内部では、対応する形容詞が選択されたかどうかによって0か1の値を持つ30次元のベクトルとして表現される。さらに、このベクトルは、1の個数で正規化され、印象の表現ベクトル x とされる。

4. 正準相関分析による検索空間の構成

4.1 主観的印象からの検索

学習用の絵画に対する印象を利用者に答えてもらったデータに対して、正準相関分析を適用すると、その利用者の印象ベクトルと画像特徴ベクトルとの相関が最も大きくなるような写像が構成される(付録参照)。これにより、そのままでは比較することができなかった印象ベクトルと画像特徴ベクトルとの比較が可能となる。もちろん、有効な検索のためには、正準相関分析のための学習用のデータはデータベースに蓄えられる絵画の特性を十分反映するように選ばれていなければならない。

また、絵画の検索を高速に行うには、検索空間の次元 L は小さいほうがよい。正準相関分析を用いると、印象ベクトルと画像特徴ベクトルの相関の大きい(固有値の大きい)成分から順番に正準主成分が構成されるので、検索空間の次元を減らすことができる。検索空間の次元は検索時間に直接的に関係するので、この次元を減らすことは、検索時間の短縮につながる。

一度、正準相関分析により各利用者の印象と絵画の色彩特徴との相関関係を学習しておく、次のようにして、その利用者の主観的印象に基づいた印象語からの絵画の検索を行うことができる(図3)。

1. あらかじめデータベースに蓄えられているすべての絵画から画像特徴 y_i を抽出し、 $t_i = B^T y_i$ を計算しておく。
2. 利用者の主観的印象を表す印象ベクトル x に対して $\tilde{t} = A A^T x$ を計算する。

3. \tilde{t} との距離が近いものから対応する絵画を検索する。

印象語と画像特徴との関係を学習するためには、回帰分析などの多変量解析手法を用いることも可能であるが、正準相関分析では相関が大きくしかも低次元の

検索空間が構成できる。また、以下で示すように、その空間を類似画検索や絵画への自動的な印象語の付与にも利用することができる。

4.2 主成分空間からの検索

印象ベクトルの主成分分析を行った後で正準相関分析を行うと、利用者の印象をシステムに入力するためのインタフェースとして主成分空間を利用することが可能となる。つまり、印象ベクトルの主成分分析によって得られた主成分空間内で位置を指定することにより絵画を検索するのである(図4)。この空間上には印象語間の関係が点の配置として表されるため、利用者はそれを検索のための手がかりとすることができ、印象を言葉で表現するよりも直観的にわかりやすいインタフェースが実現できる。印象語の空間配置を得るためには、数量化Ⅲ類などの手法を利用することも可能であるが、以下では主成分分析を用いた。

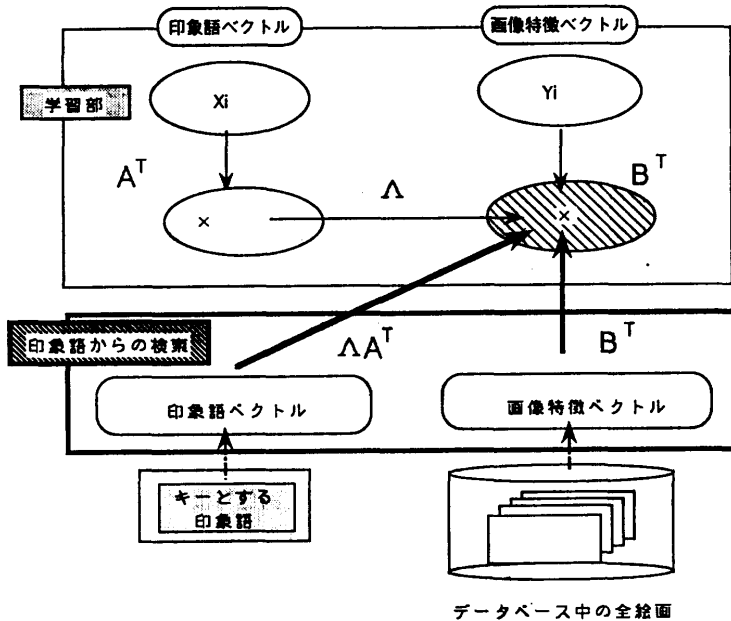


図3 印象語からの検索
Fig. 3 Retrieval from adjectives.

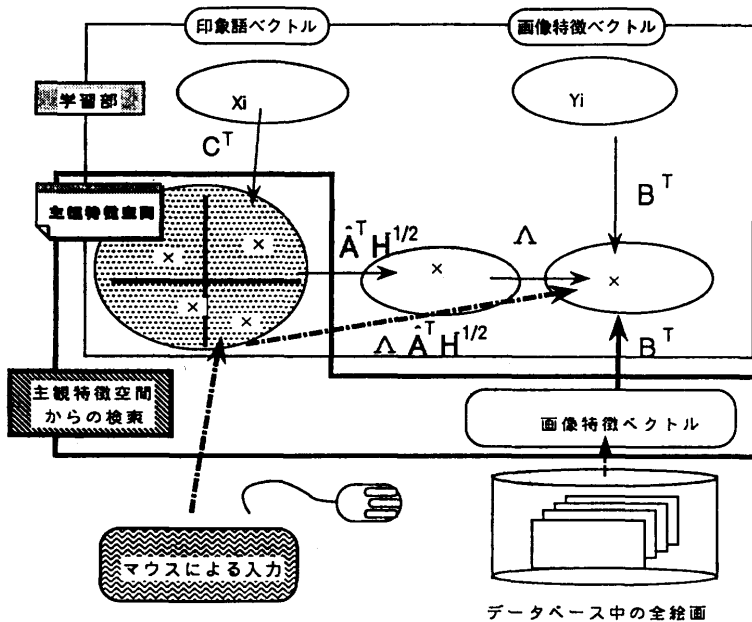


図4 主成分空間での検索
Fig. 4 Retrieval using the principal component space.

検索空間を構成できる。また、以下で示すように、その空間を類似画検索や絵画への自動的な印象語の付与にも利用することができる。

主成分空間で位置を指定することによる絵画の検索のための具体的なアルゴリズムは、以下のようになる。

1. あらかじめデータベースに蓄えられているすべての絵画から画像特徴 y_k を抽出し、 $t_k = B^T y_k$ を計算しておく。
2. 利用者の印象を表す主成分空間の位置 u を取り込み、 $\tilde{t} = \Lambda \hat{A}^T H^{-1/2} u$ を計算する。
3. \tilde{t} との距離が近いものから対応する絵画を検索する。

4.3 類似画検索

正準相関分析による各利用者の印象と絵画の色彩特徴との相関関係の学習結果は、絵画を直接キーとして印象の似た絵画を検索するために利用することもできる。絵

画の色彩特徴と印象との相関関係の学習は、各利用者ごとに行われるので、各利用者の主観的な印象の意味で近い絵画が検索できる。具体的な検索の手順は次のようになる (図5)。

1. あらかじめデータベースに蓄えられているすべての絵画から画像特徴 y_i を抽出し、 $t_i = B^T y_i$ を

計算し、検索のための索引とする。

2. キー画像から画像特徴 y を抽出し、 $t = B^T y$ を計算する。
3. t との距離が近いものから対応する絵画を検索する。

この操作を繰り返せば、利用者の主観的印象に基づいた似た絵画をブラウジングすることなども可能となる。

4.4 絵画への自動的な印象語の付与

さらに、正準相関分析の結果は、未知の絵画に対してその利用者が感じるであろう印象語を推定するために利用することもできる。これは、自動的な索引付けと考えることもできる。印象語を推定するための具体的な手順は次のようになる (図6)。

1. 絵画の画像特徴 y を抽出する。
2. $\hat{x} = CH^{1/2} \hat{A} \hat{B}^T M^{-1/2} D^T y$ により印象ベクトルを推定する。

もし、正規化空間の次元が full-rank まで取られており、しかも、正準相関分析の次元も full-rank まで取られているとすると、これは、学習用のデータに対して最小 2 乗法により y から x を推定するための回帰式を構成したことに同じになる。

5. 検索実験

提案した手法の有効性を確かめるために、主として印象派の絵画 (風景画と肖像画) 200 枚を対象に以下のような検索実験を試みた。各画像は、RGB 各 8 ビットのフルカラー画像である。画像の大きさは絵画の大きさにより異なるが、 600×400 画素程度である。各画像の画像特徴は、画像データを 8 分の 1 の大きさに圧縮した画像に対して計算した。また、利

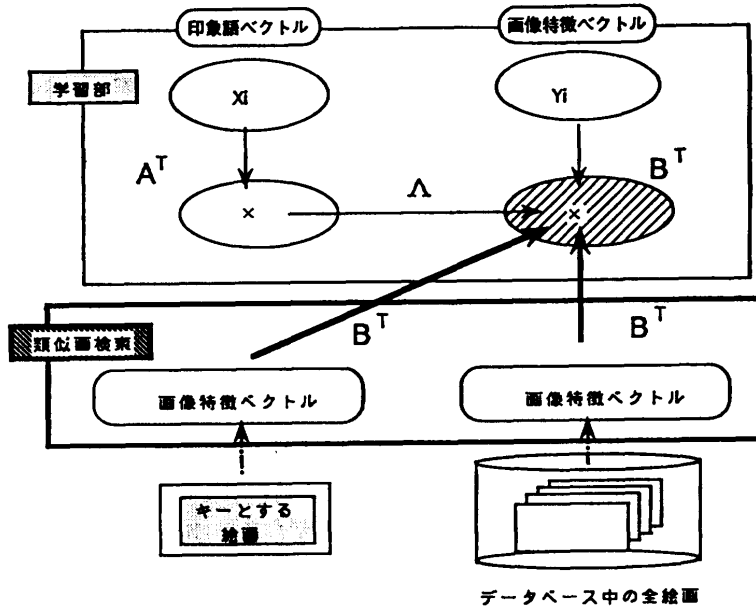


図5 類似画検索
Fig. 5 Retrieval of similar images.

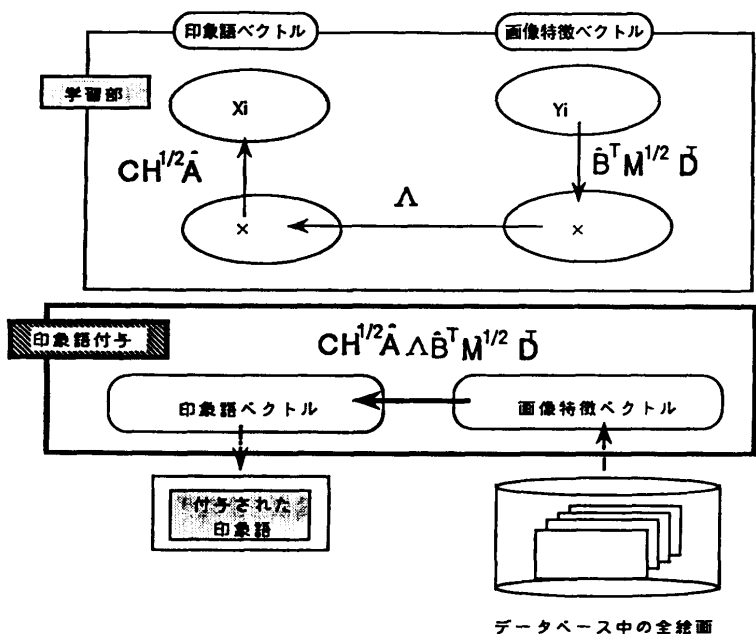


図6 印象語の推定
Fig. 6 Estimation of adjectives from images.

表 2 正準相関係数
Table 2 Canonical correlation coefficients.

被験者 A	0.900686	0.830771	0.773707	0.745646	0.618262	0.605652
被験者 B	0.888773	0.825796	0.791602	0.780863	0.610354	0.425877
被験者 C	0.937768	0.919293	0.839306	0.793678	0.753366	0.619575
被験者 D	0.906393	0.870002	0.814571	0.705807	0.549077	0.475311
被験者 E	0.924728	0.899985	0.832478	0.719729	0.673248	0.583511
被験者の平均	0.907171	0.876530	0.846983	0.725717	0.622447	0.462366

用者の絵画に対する印象のデータを得るために、5人の被験者に学習用の50枚の絵画を見てもらい、各絵画に対して表1に示す30個の印象語(形容詞)の中から当てはまるものを3つ選んでもらった。

5.1 印象ベクトルの主成分分析

まず、各被験者の絵画に対する印象を分析するため、印象ベクトルの主成分分析を被験者ごとに行った。ある被験者に対する結果を図7(a)に示す。この空間上では、主観的に類似する印象語は近く、対立する印象語は遠くに配置される。また、図7(b)には、5人分のデータをまとめて主成分分析した結果を示す。これは、ある意味でこれらの被験者の平均的な印象を表す空間配置とみなすことができる。そこでは、「甘美な」と「暖かい」、「田舎風の」と「静かな」が近いところに配置され、「モダンな」と「田舎風の」が対立するところに配置されるなど、常識的な結果となっている。

5.2 印象語と画像特徴との相関関係

次に、印象語と画像特徴との間にどれくらいの相関関係があるかを調べるため、各被験者の学習用の50枚の絵画に対する印象のデータと絵画から抽出した画像特徴に対して正準相関分析を行った。また、5人の被験者の平均的な印象と画像特徴との相関関係を調べるために、5人分の平均データと画像特徴との正準相関分析を行った。結果を表2に示す。

この結果から、印象語と画像特徴の間の相関はかなり高いと言える。また、5人分の平均データと画像特徴との正準相関分析で得られる検索空間の次元は、寄与率99%で3次元であり、もとの特徴空間の約10分の1の次元である。これは、検索のスピードが約10倍高速化できることを意味する。

5.3 印象語からの検索

まず、予備実験として、正準相関分析に用いた学習用の絵画に新たに50枚の絵画を加えて、合計100枚の絵画からなるデータベースを作成し、各被験者の50枚の絵画に対する印象からの検索を行った。理想

表 3 印象からの検索の再現性
Table 3 Recall ratio of retrieval from adjectives.

	第1候補として検索される割合	第3候補までに検索される割合
被験者 A	80%	92%
被験者 B	78	90
被験者 C	100	100
被験者 D	88	100
被験者 E	88	94
被験者の平均	92	100

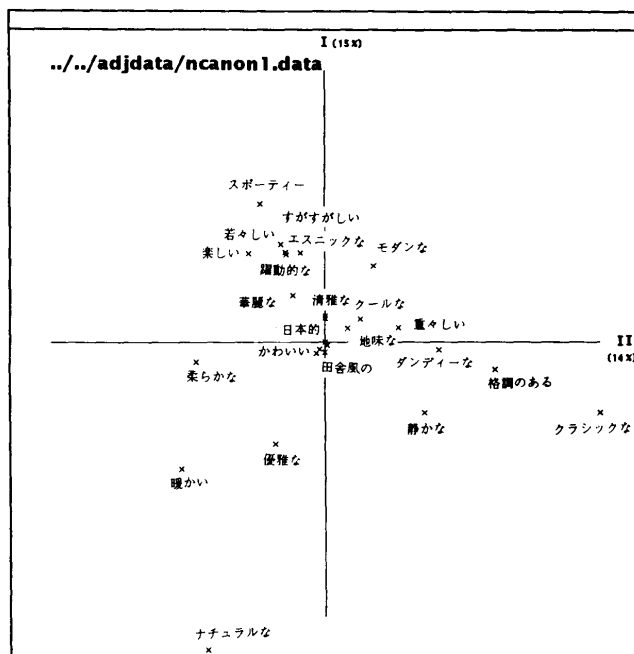
的には、未知の絵画を含む100枚のデータベースからでも、その印象を受けた絵画が検索されなければならない。表3に検索結果を示す。

ほとんどの絵画に対して、受けた印象からもとの絵画が第1候補として検索されている。

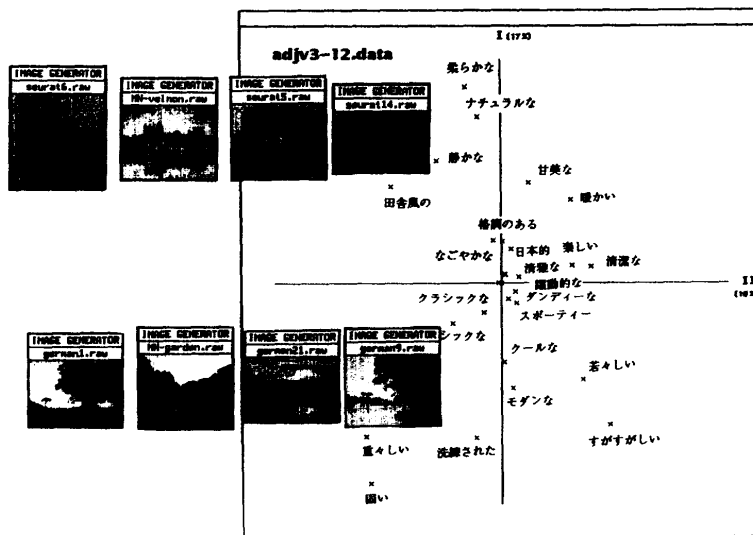
次に、画像データを200枚にし、3つの印象語をキーとした検索実験を行った。検索結果を図8に示す。図8(b)は、「クールな」、「すがすがしい」、「清潔な／新鮮な」という印象語で検索した絵画である。上段の左側が第1候補として検索された絵画で、右側が第2候補である。下段は、左から第3候補、第4候補の順番で表示してある。また、画像の名前が大文字ではじまる画像(MN-ship, Y-sannowa, MN-road, G-sheat)は、学習に用いた画像である。学習用以外の画像も上位の候補と似た印象を与えるものが検索されている。一方、図8(a)は、「暖かい」、「甘美な」、「柔らかい」という印象語で検索した結果である。この場合には、暖色系の色彩の絵画が検索されている。

5.4 主成分空間からの検索

4.2節で示した手法を用いると、主成分空間上の位置をマウスで指定して絵画を検索することが可能である。印象語からの検索と同様に、200枚の画像データに対して、検索実験を行った。検索結果の例を図7(b)に示す。主成分空間上で「田舎風な」という印象語のあたりを指定した場合の検索結果が左上に示されている。また、「すがすがしい」のあたりを指定した

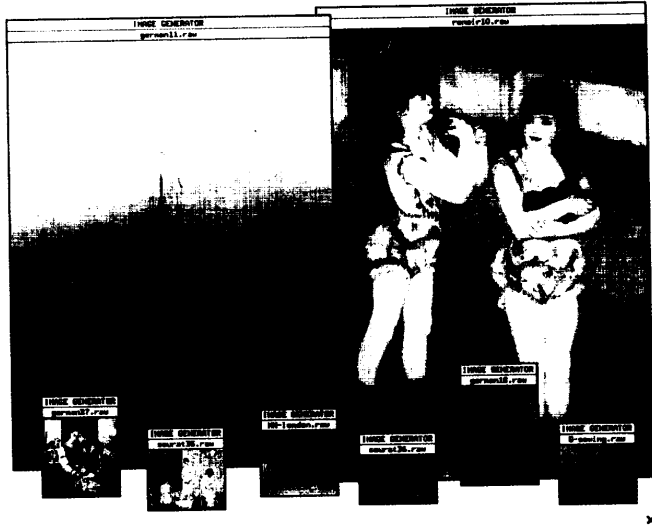


(a) 被験者1
 (a) Person 1.

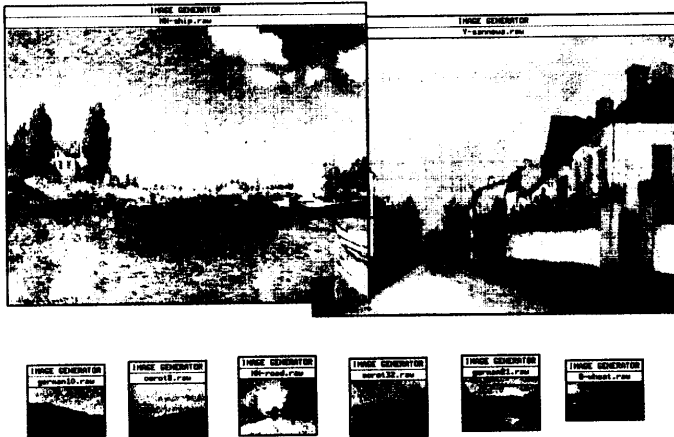


(b) 5人の平均
 (b) Average of 5 persons.

図 7 主成分分析の結果
 Fig. 7 Results of principal component analysis.



(a) 「暖かく、甘美で、柔らかい」(5人の平均)
 (a) [warm, romantic, soft]
 (Average of 5 persons).



(b) 「クールで、すがすがしくて、新鮮な」
 (5人の平均)
 (b) [cool, clear, clean]
 (Average of 5 persons).

図 8 印象語からの検索結果
 Fig. 8 Retrieval results from adjectives.

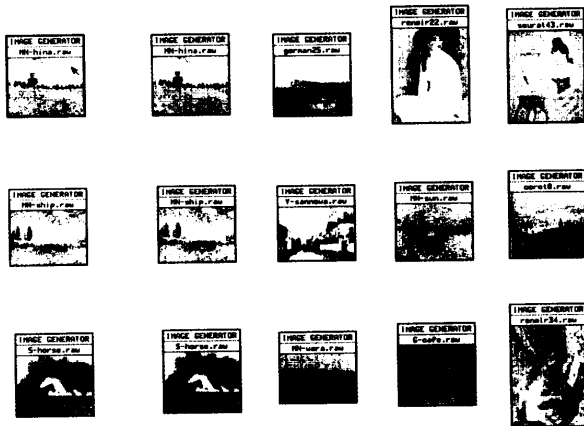


図 9 類似画検索結果
 Fig. 9 Retrieval results of similar images.

場合の検索結果が左下に示されている。左端から第1候補, 第2候補の順である。主成分空間上で「田舎風な」のあたりを指定した場合には, 緑色系の色彩の絵画が検索され, 「すがすがしい」のあたりを指定した場合には, 寒色系の色彩の絵画が検索されている。このような2次元空間上の位置を指定する絵画検索は, 用意された印象語の中から当てはまるものをいくつか選んで検索する方法に比べてより直感的でわかりやすいインタフェースを与えることができる。

5.5 類似画検索

4.3節で示した手法を用いると, データベースから似た画像を検索することが可能となる。印象語からの検索に用いたと同じ200枚の絵画を含むデータベースに対して, システムにキーとなる絵画を提示し, 印象の類似する絵画を検索した。学習用のデータとしては, 5人の被験者の平均を用いた。検索結果を図9に示す。左端の画像がキー画像である。左から2番目より右が検索された類似画像である。左から2番目にはキー画像と同じ画像が第1候補として検索されている。第2候補以降もキー画像と似た色彩の絵画が検索できていることがわかる。

5.6 自動的な印象語の付与

最後に, 4.4節に示した手法を用いて, 与えられた絵画に対して自動的に印象語を付与する実験を行った。まず, 100枚の絵画に対して, 印象語を選択するという心理実験を1人の被験者に対して行い, そのうちの50枚分のデータを学習に用い, 残りの50枚に対して自動的に印象語を付与し, その結果を被験者があらかじめ付与した印象語と比較した。その結果, 推定した印象語の候補の第5位までに被験者があらかじめ付与した印象語が含まれている割合は77%であった。

6. おわりに

本稿では, 印象派の絵画のデータベースを例に, 利用者の主観を反映させた印象語からの絵画データベースの検索法を提案し, 検索実験によりその有効性を示した。それは, 正準相関分析により印象語と画像特徴との相関関係を利用者ごとに学習し, それを検索に利用するものである。本稿では, 画像特徴として印象に大きな影響を与える色彩に関する特徴のみを用いたが, 実際には絵画から受ける印象は色彩だけでなく, 絵画のタッチ, 構図, 描かれている内容などにも影響される。画像からどのような特徴を抽出すべきかについ

てはさらに検討が必要である。また, 本稿では印象派の絵画に対する検索実験のみしか行っていないが, 同様な手法が印象派以外の絵画や絵画以外の画像データに対しても有効に働くかどうかについての評価も今後の課題である。

さらに, 利用者の主観的印象に基づく検索結果の評価法には, 現在確立したものがない。そうした評価法そのものも今後の研究課題であろう。

また, ここでは, 絵画のデータベースに対する検索について考察したが, 提案した手法は一般的なものであり, 「悲しいイメージの曲」とか「ほのぼのとしたイメージの曲」といったキーでBGMを検索するなど画像以外のメディアにも適応できると考えられる。そうした研究もまた今後の課題である。

謝辞 本研究の機会を与えてくださった電子技術総合研究所情報アーキテクチャ部弓場敏嗣部長, 情報科学部田村浩一郎部長, 知能情報部大津展之部長に感謝します。また, ご討論くださる対話システム研究室, 情報数理研究室の皆様にも感謝します。さらに, 岩坪秀一大学入試センター教授からは多変量解析手法に関してご教授いただきました。また, 査読者の方々からは, 論文を読みやすくするための貴重なご意見を頂きました。ここに記して感謝します。

参考文献

- 1) 長谷川, 福島, 鳥脇: 胸部X線写真データベースのためのスケッチ画像の作成と利用, 電子通信学会論文誌, Vol. J-65-D, No. 9, pp. 1121-1128 (1982).
- 2) 中林, 吉田, 福村: 天気図検索システムと等圧線図検索システムの統合, 電子通信学会技術報告, PRL-85-81 (1985).
- 3) 林, 河合, 上原, 豊田: 画像データベースの意味検索の試み—道路地図データベースの略地図による検索—, 情報処理学会研究会資料, AI 44-2 (1986).
- 4) Kato, T., Shimogaki, H., Mizutori, T. and Fujimura, K.: TRADEMARK: Multimedia Database with Abstracted Representation on Knowledge Base, *Proc. of 2nd International Symposium on Interoperable Information Systems*, pp. 245-252 (1988).
- 5) 加藤, 下垣, 藤村: 画像対話型商標・意匠データベース TRADEMARK, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J-72-D-II, No. 4, pp. 535-544 (1989).
- 6) 栗田, 下垣, 加藤: 主観的類似度に適応した画像検索, 情報処理学会論文誌, Vol. 31, No. 2, pp. 227-237 (1990).

- 7) 田辺, 大谷: 形状類似画像検索における類似尺度の検討, 電子情報通信学会技術報告, PRU-88-68 (1988).
- 8) 関田, 栗田, 大津: 複素自己回帰モデルによる類似形状の検索, 電子情報通信学会技術報告, IE 89-7 (1989).
- 9) 栗田, 関田, 大津: 複素自己回帰モデルに基づく輪郭形状間の距離, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J73-D-II, No. 9, pp. 1493-1503 (1990).
- 10) 柴田: 連想的な検索が可能な画像データベース, 電子情報通信学会技術報告, IE 88-117 (1988).
- 11) 美濃, 岡崎, 坂井: 対象物の属性特徴による画像検索法, 情報処理学会論文誌, Vol. 32, No. 4, pp. 513-522 (1991).
- 12) 藤田, 古郡, 畑: 視覚心理空間を利用した画像検索法, 情報処理学会研究会資料, CV-51-4 (1987).
- 13) 平林, 的場, 笠原: 感覚的・情緒的情報の蓄積と検索, 電子情報通信学会技術報告, DE 88-34 (1989).
- 14) 栗田, 加藤, 坂倉: 画像と色彩感の相関による絵画の検索-絵画データベース ART MUSEUM-, 第38回情報処理学会全国大会論文集 (1989).
- 15) 加藤, 栗田, 坂倉: フルカラー絵画データベース ART MUSEUM-色彩感と略画による画像対話-, 電子情報通信学会技術報告, IE 88-118 (1989).
- 16) 竹内, 柳井: 多変量解析の基礎, 東洋経済新報社 (1972).
- 17) 奥野ほか: 統多変量解析法, 日科技連出版社 (1976).
- 18) 千々岩: 色彩学, 福村書店 (1983).
- 19) 大津, 島田, 森: N次自己相関マスクによる図形の特徴抽出, 電子通信学会技術報告, PRU 78-31 (1978).
- 20) 大津: パターン認識における特徴抽出に関する数理的研究, 電総研研究報告, 第818号 (1981).
- 21) Otsu, N. and Kurita, T.: A New Scheme for Practical, Flexible and Intelligent Vision Systems, *Proc. IAPR Workshop on Computer Vision*, pp. 431-435 (1988).
- 22) 大津: 適応学習型高速画像計測認識システム, 映像情報, Vol. 21, No. 5, pp. 41-46 (1989).
- 23) 大津, 栗田: 並列学習型高速画像理解の一方式, 画像理解の高度化と高速化シンポジウム講演論文集 (1989).
- 24) 栗田, 大津: 高次局所自己相関特徴に基づく適応的画像計測, 第4回産業における画像センシング技術シンポジウム講演論文集, pp. 41-46 (1989).
- 25) 栗田, 大津, 佐藤: 高次局所自己相関特徴を用いた顔画像の認識実験について, 電総研研究速報, TR-92-5 (1992).
- 26) Kurita, T., Otsu, N. and Sato, T.: A Face Recognition Method Using Higher Order Local

- Autocorrelation and Multivariate Analysis, Proc. of 11th IAPR Inter. Conf. on Pattern Recognition, Vol. II, pp. 213-216 (1992)*
- 27) 渋谷, 高橋: 配色辞典2, 河出書房新社 (1987).
- 28) 日本カラーデザイン研究室: 配色イメージブック, 講談社 (1984).

付 録

1. 正準相関分析

いま, p 個の変量を含む変数群 $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_p)^T$ と q 個の変量を含む変数群 $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_q)^T$ があるとす。印象語からの絵画の検索の場合には, \mathbf{x} が印象の表現ベクトルに対応し, \mathbf{y} が画像特徴ベクトルに対応する。学習用のデータ $\{(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i) | i=1, \dots, n\}$ に対して, 正準相関分析では, 線形変換

$$\begin{aligned} \mathbf{s}_i &= A^T \mathbf{x}_i \\ \mathbf{t}_i &= B^T \mathbf{y}_i \end{aligned} \quad (3)$$

で写された2つの新変量群間の相関が最大となるような係数行列 A および B が求められる。最適な係数行列は, 固有値問題

$$R_{xy} R_y^{-1} R_{yx} A = R_x A \Lambda^2 \quad (A^T R_x A = I_L) \quad (4)$$

あるいは,

$$R_{yx} R_y^{-1} R_{xy} B = R_y B \Lambda^2 \quad (B^T R_y B = I_L) \quad (5)$$

の解として求まる。ただし, Λ^2 は, 固有値を対角要素とする対角行列であり,

$$\begin{aligned} R_x &= \sum_{i=1}^n \mathbf{x}_i \mathbf{x}_i^T \\ R_y &= \sum_{i=1}^n \mathbf{y}_i \mathbf{y}_i^T \\ R_{xy} &= \sum_{i=1}^n \mathbf{x}_i \mathbf{y}_i^T = R_y^T R_x \end{aligned} \quad (6)$$

である。また, L は, 正準主成分 \mathbf{s}_i および \mathbf{t}_i の次元で, 係数行列として固有値の大きいものから順に L 個取られる。

2. 正規化空間での特異値分解

次に, \mathbf{x} および \mathbf{y} の主成分分析を考えよう。係数行列を, それぞれ, C および D とすると, \mathbf{x}_i および \mathbf{y}_i の主成分は,

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_i &= C^T \mathbf{x}_i \\ \mathbf{v}_i &= D^T \mathbf{y}_i \end{aligned} \quad (7)$$

により与えられる。ここで, 係数行列は, 固有値問題,

$$\begin{aligned} R_x C &= C H \quad (C^T C = I_p) \\ R_y D &= D M \quad (D^T D = I_q) \end{aligned} \quad (8)$$

の解として求まる。

さらに, 主成分 \mathbf{u}_i および \mathbf{v}_i を,

$$\begin{aligned}\hat{u}_i &= H^{-1/2}u_i \\ \hat{v}_i &= M^{-1/2}v_i\end{aligned}\quad (9)$$

のように写像すると、その空間では、相関行列が単位行列となる。

次に、この無相関化された変量 \hat{u}_i と \hat{v}_i の間の正準相関分析

$$\begin{aligned}\hat{s}_i &= \hat{A}^T \hat{u}_i \\ \hat{t}_i &= \hat{B}^T \hat{v}_i\end{aligned}\quad (10)$$

は、簡単化され、対応する固有値問題は、

$$\begin{aligned}R\hat{O}\hat{V}R\hat{O}\hat{V}\hat{A} &= \hat{A}\hat{\Lambda}^2 (\hat{A}^T \hat{A} = I_L) \\ R\hat{O}\hat{V}R\hat{O}\hat{V}\hat{B} &= \hat{B}\hat{\Lambda}^2 (\hat{B}^T \hat{B} = I_L)\end{aligned}\quad (11)$$

となる。これは、 $R\hat{O}\hat{V}$ の特異値分解にはかならない。また、前段の主成分分析において、主成分を full-rank まで取ると、正規化空間での正準相関分析 ($R\hat{O}\hat{V}$ の特異値分解) は、もとの空間での正準相関分析に一致することが示せる。

(平成 4 年 3 月 5 日受付)
(平成 4 年 9 月 10 日採録)



栗田多喜夫 (正会員)

昭和 56 年名古屋工業大学電子工学科卒業。同年通産省電子技術総合研究所入所。以来、多変量解析の理論と応用の研究に従事。平成 2 年カナダ NRC 招聘研究員。現在、同所情報科学部情報数値研究室主任研究員。電子情報通信学会、日本行動計量学会各会員。



加藤 俊一 (正会員)

昭和 55 年京都大学工学部情報工学科卒業。昭和 60 年同大学院博士課程修了。同年同大学研究生。現在、同所知能システム部対話システム研究室主任研究員。昭和 61 年より通産省電子技術総合研究所勤務。平成 4 年 3 月より英国 University College London 客員研究員。画像理解、並列処理、マルチメディアデータベース、ヒューマンインタフェース等の研究に従事。工学博士。電子情報通信学会、人工知能学会各会員。



福田 郁美

1992 年図書館情報大学図書館情報学部図書館情報学科卒業。同学部在学中に、マルチメディアデータベースの研究を行う。現在、同大学院図書館情報学研究科修士課程在学中。



坂倉あゆみ (正会員)

平成元年図書館情報大学図書館情報学部卒業。同年、富士通(株)入社。在学中、画像処理の研究に従事。現在に至る。