

ベクトル型検索手法による絵画データベースの検索

安形 輝

増田 美子

上田 修一

慶應義塾大学文学部図書館・情報学科
〒108 東京都港区三田2-15-45

itasan@slis.flet.mita.keio.ac.jp

ueda@slis.flet.mita.keio.ac.jp

索引語を用いる画像の検索にベクトル空間モデルを応用し、論理型検索手法との比較を試みた。西洋絵画212点からなる絵画データベースを作成し、絵画に描かれた「対象」、その「特徴」、「関係」を索引語で表現し、これを3レベルまで作成した。被験者から得られた検索質問とその質問に対するレlevance判定を用いて、一定の条件下で検索手法の評価を行った。作成された6つの質問に対して、ベクトル空間モデルによる検索手法と論理型による検索手法を用いて検索を行い、比較を行った。この結果、ベクトル型検索手法は、論理型検索手法に比べ、レlevanceとされる画像が上位で検索される結果となった。さらに、索引語の簡素化をはかった場合についても検索結果を検討した。画像の特色にもよるが、「関係」や3レベル目の索引語を省略しても、結果に大きな変化は見られなかった。

Pictorial Images Retrieval by Vector Space Model

Teru AGATA

Yoshiko MASUDA

Shuichi UEDA

School of Library and Information
Science, Keio University
2-15-45 Mita, Minato-ku, Tokyo, 108 JAPAN

itasan@slis.flet.mita.keio.ac.jp

ueda@slis.flet.mita.keio.ac.jp

The vector space model is used for pictorial images retrieval by indexing terms to and is compared with the Boolean logic technique. Pictorial Image database contains 212 pictures and these pictures are indexed by Leung's PDL(Pictorial Description Language) which is used three facets(object, characteristic, relationship). The results of retrieval experiments reveal that the performance of the vector space model technique is higher than Boolean logic technique.

1 はじめに

現在、一般的に使われている絵画の検索システムは、作品名、作者、年代、流派等の固有名をブール演算子を用いる論理型検索手法で検索しようとするものが大半を占める。ここで、試みようとしているのは、画像に描かれた事物を語によって表現し、検索する手法である。例えば、「大きな木の下で語り合う男女」「テーブルの上におかれているヴァイオリン」などといった探索要求に応えることを目的とした検索システムを開発しようとしている。絵画データベースには、教育から研究、趣味にいたるまで様々な用途が考えられるが、できるだけ広い利用に耐えられる索引、検索システムを考える。

こうしたアプローチの理論的基盤となっているのはパノフスキー(Panofsky, E.)のイコノロジーに関する三段階のレベル設定である¹⁾、これは、誰にとっても理解できる日常の経験の領域で判断できる「事実的主題」と心理的な意味「表現的主題」からなる第一段階の「イコノグラフィ以前」の解釈、ある文明独特の伝習や文化的伝統という、実際的な世界を越えた世界のレベルで解釈する第二段階の「伝習的主題」解釈、それに加えて、描かれた対象あるいは作者の置かれた固有の環境についての知識によって解釈できる第三段階の「内的主題」を設定したものであり、この最後の段階の絵画解釈がパノフスキーのいう「イコノロジー(iconology)」である。

パノフスキーのいう絵画の「イコノグラフィ以前」(第一段階)の記述は、絵画のモチーフである線と色が構成する純粋な「形」を人間・動物・家屋・道具などの自然な対象の表現として認めること、またそれらの相互関係を「出来事」として認めることによって把握される「事実的主題」、それらの姿勢や身振りが悲しげであるとか、鬱悶気が和やかであるとかいうような表現的な特質を知覚することによって把握される「表現的主題」である。

こうしたパノフスキーの三段階の解釈を応用

した索引法は現在までにいくつか提案されており、これらの評価を行った結果、ロイング(Leung, C.H.C.)²⁾らによって提案されたPDL(Picture Description Language)に基づく方法は、比較的客観性が高く、索引作成者と検索者の経験や感情のずれに影響されることが少なく、他の手法に比べ比較的良好な結果が得られた³⁾。

そこで、次に検索手法を検討することにした。これまで実用化されている多くの画像データベースでは、画像の属性を示すデータをANDやORなどのブール演算子を使って組み合わせる論理型の検索手法を採用している。しかし、情報検索研究においては、このような論理型以外の検索手法が数多く提案されてきた。特に文献を対象とした検索手法のうち、画像の検索にも応用できる手法をまず検討したい。

ベルキン(Belkin, N.J.)とクロフト(Croft, B.)の行った文献と質問の合致手法の違いによる情報検索手法の分類⁴⁾は、情報検索分野ではよく知られている。まず、大きく完全照合手法(exact match)と部分照合手法(partial match)とに分かれる。完全照合手法は、検索式中のすべての索引語が指定された論理関係で存在する情報のみを検索する従来からの合致手法のことで、論理型の検索手法はこれにあたる。

部分照合手法では、検索質問は検索質問中の重要語から構成される検索式と見なされる。部分照合手法は、文献型(individual)とネットワーク型(network)の二つに分けられる。文献型は個々のテキストの特質に基づくテキスト単位の手法で、ネットワーク型はテキスト間の相互関連を考慮したテキスト集合単位の手法である。前者には形式モデル、例えばベクトル空間モデル、ファジイ集合モデル、確率モデルが含まれる。後者は、クラスター法、ブラウジング法、活性化伝搬法のように、複数のテキストのネットワークを対象に操作を行うものである。

この中から、文献を対象とした検索実験では良い結果をあげ、画像への応用可能な検索手法の一つであるベクトルモデルに基づく検索手法

を取り上げる。

2 検索実験

2.1 データベース

エルミタージュ美術館所蔵の西洋絵画 117件とロンドンのナショナルギャラリー所蔵の西洋絵画 95件の計112件から構成される実験用データベースを作成した。絵画の種類は、宗教画、肖像画、風俗画、風景画、静物画などであり、主題に片寄りがないように選択した。

画像は索引語や作者名、作品名、製作年とともに Microsoft Accessに入力した。また、類似度の計算などは、Access BASICを用いている。

2.1 索引法

個々の絵画に対しては前述のPDLを変形した索引法で索引作成を行った。この方法は、一つの画像に索引語を数多く付与するために、個々の画像ベクトルに差をつけやすいという利点があり、さらに、ベクトル型の文献の検索手法を画像に応用する際に、PDLのレベルを利用することができる。

PDLでは画像に描かれた一つ一つの対象に対して、対象物、対象物の特徴、対象物の関係という三つの項目を使って記述する。これらはロイングラによれば、名詞、形容詞、動詞に一致している。実際の索引作成においては、まず絵画に描かれた対象物を名詞で記述するが、対象物が複数である場合には、中心となるものから三つまでを選択した。次に、それらの特徴を形容詞形で表わし、行っている動作を他動詞か自動詞の進行形で索引語化した。なお、同じ対象物が複数存在する場合で特徴や関係にさほど差がなければ、対象物のあとに“(複)”と記入する。このように、個々の画像には「対象」、「特徴」、「関係」の三点から索引語が付与される。フランチェスカ(Fancesca, Piero della)の『キリストの誕生』に与えた索引語の実例を表1に示した。なお索引語の選択にシソーラス等を用いていな

いが、表記は用語集を作って統制している。

表1 索引の事例

PDL 1	対象	女：母親：聖母マリア
	特徴	青い服を着た
	関係	祈っている： ひざまづいている
PDL 2	対象	子供：赤ん坊：キリスト
	特徴	裸の： 青いマントにのせられた
	関係	横たわっている
PDL 3	対象	女(複)：天使(複)
	特徴	
	関係	楽器を弾いている： リュートを弾いている

2.3 重み付けの方法

文献検索システムによる検索実験では、索引語の重みの算出方法として、文献中での語の出現頻度、文献集合全体の中での語の出現文献数、文献のベクトルの正規化という三つの要素を用いている。ここでは画像を対象とするので、この文献を対象とした重み付けの方法を参考に、これを画像に置き換えて使用した。

以下に重みの算出方法を示す。

$$Weight(T_i) = \frac{tf_i}{\max tf_i} \times \log \frac{N}{n} \times \frac{1}{\log N}$$

文献の場合は、 tf_i は語 t の文献 i 中での出現頻度、 N は総文献数、 n は語 t がデータベース全体の中で現れる文献数を表わしている。この実験では、文献中での語の出現頻度の代わりに、PDL法のレベルを利用し、逆文献頻度の代わりに逆画像頻度を用いた。対象物が複数描かれている場合、中心となるものから三つまで選ぶというPDL法の特性を利用した。対象物が複数描かれている場合、絵画の最も中心となる対象をPDL 1とすると、PDL 1の対象、特徴、

関係の三項目に最も重い「3」の重みを与えた。以下、PDL 2を「2」、PDL 3を「1」とした。逆画像頻度は、 $\log N/n$ で表わされ、Nは総画像数、つまり212件であり、nはある特定の語がデータベース全体の中での出現画像数を表わしている。また、 $1/\log N$ と画像i中での最大lv値の逆数である $1/\max lv$ ($\max lv$ は3)を語の重みを $[0,1]$ 区間にするための正規化因数として用いた。

以下に具体的な重みの算出例を示す。

【重みの算出例】

総画像数100件であるデータベース上に、画像番号1という画像が次のような語を持って出現している。

		lv	n
T1	聖母マリア	3	12
T2	子供を抱いた	3	8
T3	キリスト	2	15
T4	授乳している	2	5
T5	聖ヨセフ	1	3
T6	十字の杓を持った	1	1

この画像番号1中の各語の重みは次のように算出される。

$$Weight(T1) = \frac{3}{3} \times \frac{\log 100}{12} + \log 100 = 0.460409$$

$$Weight(T3) = \frac{2}{3} \times \frac{\log 100}{15} + \log 100 = 0.274636$$

$$Weight(T4) = \frac{1}{3} \times \frac{\log 100}{3} + \log 100 = 0.253813$$

論理型とベクトル型の二つの検索システムを作成した。手順に従って、検索式の検索語を入力すると、ベクトル型の場合は適合した画像が200件まで順位付けされ、画像の番号と重みが表示される。論理型の場合は適合画像の番号だけが表示される。

2. 4 検索実験手順

検索実験の実験手順を図1に示す。被験者には

最初にデータベースの全絵画を簡単に見せ、検索されることを望む絵画についてのイメージを持たせた。次にその絵画のイメージを言葉で表現させ、文章として記述させた。そして、被験者がその質問文に適合していると思う画像を選択させ、それらの順位付けを求めた。被験者は、美術に関する専門知識を持たず、データベース検索の経験があるという条件を満たす者とした。一人に二つの質問文を記述させ、三人を被験者に選び、合計6つの質問について検索実験を行った。

次に実験者が被験者に面接しながら、被験者のイメージに合う検索式をたてた。項目別の用語集の中から、検索語を選択した。論理型での検索を行う場合は、この検索語を論理積で掛け合わせたものを検索式とした。検索されなかった場合でも数件検索された場合でも、この最初の式を修正前の論理型の検索式1とした。検索式1では検索結果がない場合が多いので、続けて検索語を減らして検索を行った。これらを修正後の論理型の検索式2とした。

被験者

実験者

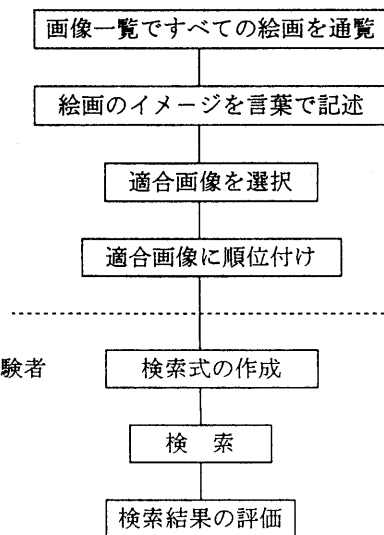


図1 検索実験の手順

ベクトル型の検索システムでの検索実験の場合は、最初に選択した検索語を検索式の語とした。検索式中の語には逆画像頻度によって重み付けを行い、画像ベクトルに対応する検索ベクトルを構築した。検索は画像ベクトルと検索ベクトルとの間の類似度を算出することによって行い、検索結果は類似度の値に応じて順位付け出力を行っている。類似度の値の計算には、ベクトルの内積を用いている。具体的には、画像ベクトルを $P(P=\{p_1, p_2, p_3 \dots p_i\})$ 、検索ベクトルを $Q(Q=\{q_1, q_2, q_3 \dots q_i\})$ とすると以下のようになる。

$$\text{内積} : \text{sim}(P, Q) = \sum_{k=1}^i p_i \cdot q_i$$

2. 5 結果

212件からなる画像データベース中の索引語数は以下のものであった。

	延べ語数	異なり語数	1 画像平均
対象	1,141語	181語	5.4語
特徴	1,192	415	5.6
関係	639	80	3.0

被験者によって設定された表2のような6種類の検索質問について検索実験を行い、その結果の要約を表3に示した、以下、実例に基づいて具体的手順と結果について述べることにする。

検索質問の4番目は、「楽器を弾いている男が中心に描かれている絵、周りの人々に音楽を聞かせている」というものであった。この検索質問を考えた被験者が、データベース中の画像の一覧から質問に合致すると考える画像7件を選び出した。さらに、被験者は選び出した画像を質問に適合すると考える順に、並べ替えた。表3の質問4の「被験者」の行にその画像番号を1位から7位まで記載している。

次に、実験者が検索を行った。データベース中で使われている索引語を集めた用語集をもとに、この質問に対して、「男」、「楽器を演奏している」、「座っている」、「女」、「演奏を聴いている」、「囲んで」の6つの索引語を選択した。

論理型の検索では、まずこれら6語をANDで組み合わせて検索した。この結果(検索式1[出来る限り検索質問を反映させた検索式])、51と184の画像が検索された。次に6の「囲んだ」を除いた5語で検索した(検索式2[検索結果がある程度得られるように検索式1を修正した検索式])。この結果、新たに188,190,191の画像が検索された。なお、これらには順位はつかない。これら5つの画像は、表2の質問4の「被験者」の行中の画像番号に下線を付した。検索式1の結果は太線である。

ベクトル型の検索では、上記6語を用いて検索した。検索結果は順位付けされているが、1位から7位までを表3の質問4の「V-A」の

表2 被験者が作成した検索質問

番号	検索質問	適合件数
1	大勢の人々が酒を飲み、楽しそうにしている絵	9
2	上半身裸のキリストのまわりに複数の人々がいる絵	8
3	高貴な男性と女性と犬の絵(男性と女性を中心に描かれている)	8
4	楽器を弾いている男が中心に描かれている絵、周りの人々に音楽を聞かせている	7
5	聖母子の周りを他の人々が囲んでいる絵	6
6	白い服を着た女性が一人だけの肖像画	6

表3 結果の要約

質問	順位	1位	2位	3位	4位	5位	6位	7位	8位	9位	注									
1	被験者	38	67	192	193	194	184	183	79	188	67はベクトルで19位 184は31位, 183は 132位									
	V-A	38	79	193	194	192	52	188	84	76										
	V-B	38	194	193	192	84	52	25	33	35	204	206	207	208	209	210				
	V-C	38	79	193	194	192	52	25	33	35	204	206	207	208	209	210				
2	被験者	139	142	15	118	119	66	138	120	15はベクトルでは9位										
	V-A	142	139	119	32	120	138	7	66											
	V-B	142	139	119	32	120	138	66	7											
	V-C	119	120	138	139	142	32	7	15											
3	被験者	179	181	182	177	175	190	91	84	190はベクトルでは79位, 91は85位, 84は78位										
	V-A	181	179	182	175	177	149	173	174											
	V-B	181	179	182	175	177	149	173	174											
	V-C	181	175	182	177	179	149	173	174											
4	被験者	184	51	191	190	183	188	24	183はベクトルでは18位, 24は10 位 論理型はこの他に186を検索											
	V-A	51	184	188	186	191	185	190												
	V-B	51	184	38	85	4	16	30	31	133										
	V-C	188	51	184	38	190	191	186												
5	被験者	133	137	136	130	30	128	30はベクトルで7位												
	V-A	133	31	128	130	136	137													
	V-B	133	31	130	128	136	137													
	V-C	30	128	130	133	136	137	9	10	28	29	30	60	81	122	123	124	125	126	127
6	被験者	157	107	155	153	187	21	155はベクトルで9位, 153は16位, 187 は42位, 21は14位。論理型では他に 91, 105,178,182を検索												
	V-A	152	182	107	157	70	122													
	V-B	152	70	122	182	107	157	90												
	V-C	152	182	107	157	70	122													

行に示した。なお1位は51と184の2件であった。このベクトル型の検索結果と被験者により選択された画像を比べるために、「被験者」とベクトル型の「結果」が一致する画像番号に網掛けを施している。この例では、被験者の選んだ7件の画像のうち、論理型では5件、ベクトル型でも5件が検索されている。いずれでも検索されなかった画像番号183はベクトル型では18位であり、画像番号24は10位だった。論理型では、検索式を修正して、繰り返して検索を行っているが、ベクトル型は1回だけ検索した。

3 絵画データベースへのベクトル手法の応用

質問別の検索結果(表3)を見ると、ベクトル型は全体的に検索された適合画像数が多く、論理型は検索された画像数が少ないことがわかる。またベクトル型の検索結果には論理型で検索されていない絵画が数多く含まれている。また、論理型で検索された画像は全て適合画像であり、しかも被験者が上位にランクした画像である。

しかし、全体としては、ベクトル型による検索は、適合する画像をよく検索していることが明らかである。質問4と質問6は、論理型とベクトル型の結果が同じであるが、それ以外の検索質問については、ベクトル型の検索結果は明らかに論理型を上回っているのは明らかであろう。特に、質問5に関しては、6位までに検索されなかった画像番号30は7位であるので、ほぼ全てが検索されているということができよう。

以下、それぞれのモデルについて検討したい。

(1) 論理型モデル

論理型モデルによる検索結果では、検索件数は極めて少ない。これは検索質問から論理型の検索式を作成する際、論理積を多用しているためである。しかし、検索された画像はいずれも被験者の与えた順位で上位に位置する適合画像が検索されている。これはPDLによる索引語付与が寄与しているとみなすことができる。

論理型モデルの検索は、検索式を変えて二度行っている。論理型では、一つの語の有無で検索結果が大幅に変わってしまうことがあり、そのために、適切な検索式を確立するまでにかなりの手間を要するという検索式作成についての大きな問題がある。この実験では、実験者が検索式の修正を行っているが、一般利用者の場合には、検索式の作成と修正とにかなりの困難が予想される。

さらに言えば、検索式をどのように修正してもいずれの質問においても適合画像のみを検索することはできなかった。

(2) ベクトル空間モデル

ベクトル空間モデルでは検索される範囲を広げると適合画像がすべて検索される。これは順位付けされているからである。以下に、検索質問ごとに、ベクトル型の検索結果を検討する。

ある索引語の出現画像数が少ないと、逆画像頻度は高くなり、その語は非常に特定性が高くなる。質問1では被験者の順位8位の絵画には「グラスを持った」という索引語が与えられていないにもかかわらず、この画像は検索結果では2位になった。これはこの画像に索引語「話している」が付与されているからである。この索引語「話している」は、他の画像にはほとんど付与されていないため、特定性が高くなっている。つまり、ベクトル型の検索式に、特定性の高い索引語を含めると、その索引語が与えられている画像は他の画像に比べて、上位にランクされる傾向がある。

実験に用いている絵画データベースでは宗教画が43件含まれており、「男」「キリスト」「聖人」などの質問2に与えられる語は宗教画に数多く付与されている。そのために質問2の結果では、3位と5位にはそれぞれ二つの画像が位置づけられている。このような特定性の低い語から検索式を構成すると、ベクトル型では検索ベクトル-画像ベクトル間の類似度の差異がなくなるといった傾向が見られた。

質問3では、検索式に語「犬」を用いたが、被験者が順位を付した画像では、4位以下の画像には犬は描かれていない。論理型の検索式に「犬」を含めると、3件しか検索されないが、ベクトル型においては、「犬」を用いても、「犬」が付与されていない画像が上位で検索されている。

質問4では被験者の質問文は「男が楽器を弾いている」であり、検索式には「男」「楽器を弾いている」「演奏を聴いている」「女」を用いているが、ベクトル型による検索結果10件のうち5件は「女が楽器を弾いている」画像となった。これは「男」「楽器を弾いている」という二つの語を検索式の中で関連づけることができないからである。この解決法として考えられるのは索引語だけでなく検索語にも重みを付ける方法である。例えば、検索式の中で「男」「楽器を弾いている」という語に「女」「演奏を聴いている」という語よりも重みを付けることにより、「男が楽器を弾いている」画像が上位にランクされたであろう。

以上から、画像データベースにも文献データベースを対象とした検索手法が応用可能であることが明らかになった。そして、文献を対象とした場合と同様、ベクトル型モデルによる検索手法は、従来の論理型の検索手法より、検索効率の面で優れているということができよう。さらに、ベクトル型は、検索式を修正せずとも利用者の順位付けに近い検索結果が得られており、この点でほとんどの場合に検索式の修正が必要な論理型よりも利用者に使いやすいと言える。

また、ここでは、深く検討していないが、ベクトル型の検索結果の順位が被験者の与えた順位とかなり近似していることは、注目される点であろう。

4 索引法の簡素化の効果

この実験ではデータベースの規模は、約200件と小さく、また、主題の明確な絵画以外の画像は使っていないという制約がある。そして、さ

らに大きな課題となるのは、ここで用いている索引法の評価とその改善である。この索引法では、3つのファセットを3レベルまで用いているが、実用化するには、複雑である。そこで、ファセットの一つ「関係」を省略した結果(表2の「V-B」)と3レベル目(PDL3)を省略した結果(表2の「V-C」)を検討した。

索引法の簡素化の結果として全体的には、順位付けの基準となる類似度の値に差異がなくなるために、同順位の画像が増える傾向にある。例えば、質問1の「V-B」「V-C」の7位にはそれぞれ9件の画像が入っている。しかし、検索性能自体は索引法を簡素化したことによって大きく変化しているとはいえない。

また、逆に3ファセット3レベルすべてについての重みを変化させた場合、つまり若干索引法を複雑化した場合についても実験を行ったが、性能上の大きな変化は見られなかった。

画像検索にベクトル型手法を応用する場合には、ベクトル型の利点である順位付け出力を生かしつつ、どの程度まで索引法の簡素化が可能であるか、さらなる詳細な実験が必要であると考えられる。

[引用文献]

- 1) Panofsky, E. イコノロジー研究：ルネサンス美術における人文主義の諸テーマ。浅野徹ほか訳，東京，美術出版社，1971，374p.
- 2) Leung, C.H.C.; Hibler, D.; Mwaru, N. Picture Retrieval by Content Description. Journal of Information Science. Vol.18, No.2, p.111-119(1992)
- 3) 守田奈緒子，上田修一。絵画の索引法：段階的絵画解釈を応用した三つの索引法によるデータベースの作成と評価。アート・ドキュメンテーション研究。No.4, p.3-16(1995)
- 4) Belkin, N.; Croft, W.B. Retrieval Techniques. Annual Review of Information Science and Technology. Vol.22, p.109-145. (1987)