

類似画像検索システム構築の フレームワークとしての階層モデル

北本 朝展

学術情報センター

〒112 東京都文京区大塚 3-29-1

03-3942-8590

kitamoto@rd.nacsis.ac.jp

高木 幹雄

東京理科大学

〒278 野田市山崎 2641

0471-20-1750

あらまし 本論文では、類似画像検索システムを構築するためのフレームワークとなる「階層モデル」を提案する。このモデルでは「画像内容」というものを意味的な観点から分割された複数の階層で表現する。階層的な構造を基礎とすることにより、類似画像検索システムの全体的な構造がより明確となり、また各レイヤに適切な処理手法を独立に「プラグイン」することにより、システムのフレームワークを崩すことなしに幅広い問題領域への応用が可能となる。本論文では2種類の衛星画像および風景画像という異なる種類の画像に対して階層モデルに基づいた類似画像検索システムを構築し、本論文のモデルが複数種類の画像に対しても有効であるという結果を得た。

キーワード 類似画像検索・階層モデル・画像内容・フレームワーク・マッチング・衛星画像

Hierarchical Model as a Framework for Constructing Similarity-Based Image Retrieval Systems

ASANOBU KITAMOTO

National Center for Science Information Systems

3-29-1, Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112

+81-3-3942-8590

MIKIO TAKAGI

Science University of Tokyo

2641, Yamazaki, Noda-shi, Chiba 278

+81-471-20-1750

Abstract This paper proposes a “hierarchical model,” used as a framework for constructing similarity-based image retrieval systems. This model represents “image content” as a set of layers divided from a viewpoint of meaning. The proposed hierarchical architecture grasps lucid perspective structure of similarity-based image retrieval systems, and it becomes possible to apply the system, without changing the framework, to a wide range of problem domains by virtue of the design to independently “plug in” appropriate methods to each layer. Similarity-based image retrieval systems based on the hierarchical model are constructed for different types of imagery, namely two types of satellite imagery and landscape imagery, and the result shows that the proposed model works effective for multiple types of imagery.

key words similarity-based image retrieval, hierarchical model, image content, framework, matching, satellite imagery

1 はじめに

画像データベースを有効に活用するためには強力な画像検索機能が不可欠であるが、中でも類似画像の検索機能はその重要な機能の一つである。そのためこれまでも多くの研究が類似画像検索の問題を扱ってきた。しかし類似画像検索という問題は非常に複雑な問題であるため、システムの構成は必然的に複数の処理手法を組み合わせた複雑な構成とならざるを得ない。ではこのとき、各処理手法はいかなる処理目的のもとで選択され、また相互にどのような関係を持っているのだろうか。従来の研究の問題点は、これらの点を明確にすることなしにシステムが構築されていること、つまり類似画像検索システムを構築するためのパースペクティブが十分に考慮されていないことにあると考える。

そこで本論文では、類似画像検索システムを構築するためのフレームワークとなる「階層モデル」を提案する。このモデルでは「画像内容」というものを意味的な観点から分割された複数の階層で表現する。階層的な構造を基礎とすることにより、類似画像検索システムの全体的な構造がより明確となり、また各レイヤに適切な処理手法を独立に「プラグイン」することにより、システムのフレームワークを崩すことなしに幅広い問題領域への応用が可能となる。本論文では2種類の衛星画像および風景画像という異なる種類の画像に対して階層モデルに基づいた類似画像検索システムを構築し、本論文のモデルが複数種類の画像に対しても有効であるという結果を得た。

2 従来の研究

類似画像検索の代表的な研究としては、電総研で構築された画像データベースである、商標・意匠データベース TRADEMARK や電子美術館 ART MUSEUM [1, 2]、また IBM において研究されている QBIC [3, 4] などがある。前者の研究では、画像特徴量として比較的処理が簡単でロバストな特徴量を用い、画像から抽出された画像特徴量ベクトルを多変量解析の手法を用いて適切な空間に写像することにより、人間の感性をも考慮した類似画像検索を可能としている。また後者の研究では、自動または半自動的な方法で抽出された画像特徴量が画像検索のためのインデックスとして用いられ、多数の画像を蓄積した画像データベースに対しても実用レベルの高速な画像検索を実現している。これらの他にも、風景画像から画素単位対象物ラベル付け手法を用いたシステム [5] や、プリミティブ分解に基づくシステム

[6] など、ここ十年ほどの間に数多くの研究がなされてきた。

これらのアプローチに対し、キーワードを検索インデックスとして用いるという伝統的なアプローチの研究も依然として盛んである。例えば放送用画像データベースにおいて、木構造化されたシソーラスに基づいて画像をキーワード付与ベクトルで表現し、このベクトル同士の内積によって画像間の類似度を計算するシステム [7]、状態遷移モデルを用いて画像に自動的にキーワードを付与するシステム [8] などがその例である。

しかしこれらの研究では、システムごとに検索対象となる画像の種類をかなり限定しており、そのため各システムの総合的な評価を相互に比較することは難しい。このとき、各システムの内部で組み合わせられ用いられている各処理手法が、類似画像検索システムという全体構造の中でどのような位置を占めているか、またシステムが全体としてどのような構成になっているか、といった点を把握するのが困難となるところが問題である。本論文が提案する階層モデルは、このような問題点に対する一つの解決策として提示するものである。

3 階層モデル

3.1 階層モデルという方法論

階層モデル (Hierarchical Model) という用語は二つの異なる意味に使われる。まずは階層という用語を「解像度の観点」から捉える用法がある。この場合は、ピラミッド構造や四分木などの階層的なデータ構造によって画像が表現され、このときの階層モデルの使用目的は種々の画像処理の高速化である。しかし本論文ではもう一つの意味 — 全体としては複雑な問題を複数の階層 (部分問題) に分割して考えることにより問題構造の把握を容易とする方法論 — を指す用法として用いる。このように「意味的な観点」から画像内容を複数の階層に分割して表現することで、個々の階層で処理すべき内容も明確にしやすい、また個々の階層での処理手法の実装とシステムの全体的な構造とを分離して考えやすくなる。

このような階層モデルという方法論は決して新しいものではなく、すでにさまざまな分野で使用されている。通信分野での中心的な概念である OSI の参照モデルはその代表的な例であり [9]、またコンピュータビジョンで用いられる代表的なモデル [10] や動画の表現モデル [11] にも同様の階層表現が用いられている。そこで本論文では、この階層モデルという方法論を類似画像検索システムに適用する。

The Architecture of the Hierarchical Model

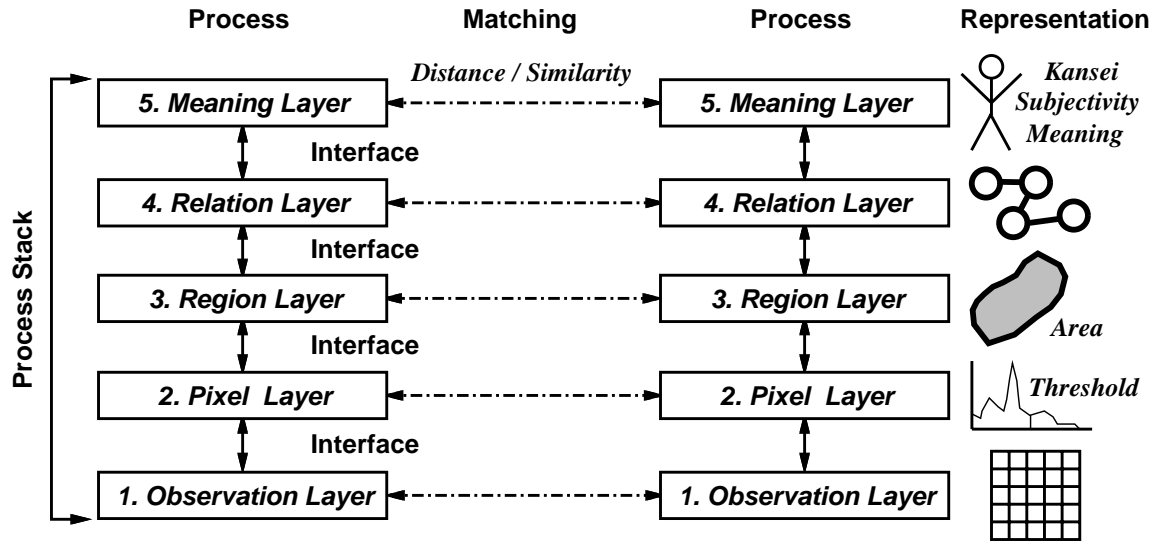


図 1: 階層モデルの概念図。垂直方向に 5 個のレイヤ、水平方向に 3 個の要素から構成されている。

3.2 階層モデルのアーキテクチャ

まず階層モデルの概念図を図 1 に示す。本論文で用いる階層モデルは、垂直方向から眺めると、観測レイヤ・画素レイヤ・領域レイヤ・関係レイヤ・意味レイヤの 5 層 (レイヤ) から構成され、また水平方向から眺めるとプロセス・表現・マッチングの 3 個の要素から構成されるというモデルである。このモデル全体を「アーキテクチャ」と呼ぶ。以下では、垂直方向から眺めた 5 レイヤの役割、および水平方向から眺めた 3 要素の役割について説明する。

3.2.1 垂直方向から眺めた 5 レイヤの役割

観測レイヤ (Observation Layer) センサを通して実世界を観測した結果を画素値配列という形に記録し、さらに画素値配列を前処理し以後の処理に使える形式の画像に変換する方法を定めるレイヤである。したがってこのレイヤでは、どのようなセンサを用いるかという問題だけではなく、センサを通して観測された画素値配列に対して画像の再生・復元・補正などの処理を行なう問題や、雑音除去などの前処理を行なう問題などがこのレイヤに含まれる。具体的には、衛星観測画像の幾何補正処理や、雑音除去のための平滑化処理などが含まれる。

画素レイヤ (Pixel Layer) 画像の最小単位である、画素を単位とした処理方法を定めるレイヤである。このレイヤは、注目画素と非注目画素とを分離する問題や、各画素を分類クラスに分類する問題など、以後のレイヤの基礎となる処理を行なうことを

目的としている。具体的には、画像ヒストグラムなどの画素を単位とした統計量を計算する処理や、統計量を用いた画素単位の画像分類、画像空間上の局所的な演算を用いたエッジ検出などが含まれる。

領域レイヤ (Region Layer) 画素レイヤで抽出された画素単位の処理結果を用いて、同一クラスに属し相互に隣接する画素の集合である領域という概念を考え、領域を単位とした処理方法を定めるレイヤである。具体的な処理では、領域に対して形状特徴量やテキスチャ特徴量を計算する処理が一般的に用いられるが、さらに進んで形状分解 (領域に基づいた方法) や多角形近似 (輪郭線に基づいた手法) などの領域構造を抽出できる複雑な処理も用いられる。

関係レイヤ (Relation Layer) 領域レイヤで抽出された領域間の関係を計算する方法を定めるレイヤである。ここで本論文で用いる関係という用語は、最も単純でほぼ自明な関係である隣接関係から、隣接していない領域間に何らかの遠隔作用を仮定する関係までを含む幅広い用語として捉える。例えば、上下左右などの位置関係、物理法則のアナロジーに基づいた関係、主観的輪郭など知覚的な計算モデルに基づいた関係などを定義することができる。なお、このレイヤまでに抽出された情報を総合し、画像表現モデルを構築する処理も含まれることがある。

意味レイヤ (Meaning Layer) 画像の意味や人間の感性・主観などを計算論に基づいて処理する方法を定めるレイヤである。つまりこのレイヤは、「人間」という要素を含めた柔軟な検索を実現するため

表 1: 階層モデルにおける各レイヤの役割。

レイヤ	処理の目的
5. 意味レイヤ	画像の意味や人間の感性・主観に基づいた処理
4. 関係レイヤ	領域間の関係の構築および画像表現モデルへの構造化
3. 領域レイヤ	領域の形状的特徴や構造的特徴の抽出
2. 画素レイヤ	画素単位での注目画素の分離や分類クラスへの画素分類
1. 観測レイヤ	センサを通じた物理世界の観測および種々の画像補正

に重要な役割を果たすものとなる。具体的には、画像検索に対するユーザの観点を反映する問題や、画像に付与されたキーワードの意味的な類似性を計算する問題、さらには人間の画像に対する印象などを用いた感性情報処理などが問題となる。これらの処理手法は、人間の認知モデルや言語モデルなどから演繹的に導くことができれば理想的だが、現実には人間が与えた例示データなどから帰納的に学習する処理が必要となることが多い。

3.2.2 水平方向から眺めた3要素の役割

プロセス (Process) 階層モデルのアーキテクチャを決定するためには、まず各レイヤに対して、下位レイヤから受けとった情報を処理して上位レイヤへと渡すために必要な処理手法を定める必要がある。このように各レイヤに実装する処理手法のことを本論文では「プロセス」と呼ぶ。各レイヤに実装するプロセスの垂直的な集合(プロセス・スタック)は問題領域に応じて適切に定める必要があり、そのよしあしが類似画像検索システム全体の総合的な性能を決定する。

表現 (Representation) 各レイヤのプロセスによって処理された後、データベースに蓄積され検索インデックスに用いられる情報の表現形態を指す用語である。表現は各レイヤに実装されるプロセスに強く制約されるが一意には定まらない。また各レイヤの間に設けられた「インタフェース」は、下のレイヤの表現を出力として受け取り、上のレイヤの入力に渡す役割を果たす。表現によって記述された情報のみが検索インデックスとして使用されることを考えると、検索性能を向上させるためには画像検索の目的に応じて適切な表現を採用することが重要である。

マッチング (Matching) 類似画像検索とは、ユーザによって与えられた検索キーとデータベースに蓄積されたインデックスとの間で距離(類似度)を次々と計算し、距離が小さい(類似度が大きい)順に蓄積画像を出力する処理である。この中で距離を計算する処理を指す用語がマッチングである。マッチングも各レイヤに実装されるプロセスに強く制約されるが一意には定まらない。さてマッチングでは、検索キーと蓄積インデックスの間で「同位レイヤ」の記述を比較して距離(類似度)が算出される。このとき、一致に基づくマッチング(exact matching)ではマッチングのアルゴリズムは比較的単純となるものの、非一致に基づくマッチング(inexact matching)ではマッチングのアルゴリズムによって検索結果が大きく変動しうる。そのためアルゴリズムの選択は検索性能の向上に重要な意味をもつ。また、グラフ構造などの構造をもつ表現のマッチングはアルゴリズムが複雑になり計算コストが増大しがちであるため、アルゴリズムの選択は検索時間の高速化にも重要な問題となる。

3.3 プロセス・スタックの設計

画像検索システムを構築するためには、まず検索対象画像や検索目的を考慮して適切なプロセス・スタックを決定する作業が必要となる。そこでまず、各レイヤで用いられるプロセスの一例を表2に示す。このようなプロセス候補の中から構築するシステムに適切なプロセスを各レイヤに対して選択し実装するという流れで類似画像検索システムが完成する。ここで、通信分野でも通信ネットワークの用途に依り多くの規格が提唱され、複数のプロトコル・スタックが使用され続けていることを考えると、類似画像検索の場合にも検索対象画像や検索目的に応じて異なるプロセス・スタックが用いられるのはむしろ当然のことと考えてよい。

また階層モデルでは、すべてのレイヤが完全に独立し任意のプロセスを各レイヤに組み込める設計が理想的である。ただし現実には、各レイヤのプロセスがこのように自由にプラグインできるという設計は難しい。なぜなら、各プロセスはインタフェースに依存しており、なおかつプロセスから独立した形で各レイヤ間のインタフェースを定めるのが困難であるからである。そこで、レイヤ間の相互作用を弱めることと、普遍的でありかつ有用な情報を失わないというインタフェースの定義とが、プロセス・スタックの設計に必要な指針となる。こうして有用なプロセスを複数のプロセス・スタックで共用できれば、システムの構築はより簡単になるう。

表 2: プロセス・スタックで用いられるプロセスの一例。

層	プロセス
5. 意味レイヤ	多変量解析・ニューラルネットワーク・遺伝的アルゴリズムなどの教師つき学習アルゴリズム
4. 関係レイヤ	物理法則のアナロジーに基づいたモデル、ルールに基づいたモデル、ゲシュタルト法則など人間の視覚特性に基づいたモデル
3. 領域レイヤ	形状特徴量・テキストチャ特徴量などの計算、形状分解・骨格線抽出・多角形近似などの構造抽出
2. 画素レイヤ	物理世界や画素値空間の統計的性質を用いたヒストグラム解析や統計的分類手法、人間の視覚特性や近傍画素の画素値分布などを用いたエッジ抽出など
1. 観測レイヤ	物理世界の観測に最適なセンサの選択、センサの補正、得られた画像の幾何学的な補正など

表 3: 意味的に水準の異なる検索要求の例。

検索要求	マッチング
雲の割合が高い画像を検索せよ	画素レイヤ
ある地域内で雲の割合が高い画像を検索せよ	領域レイヤ
検索キーとして提示した雲の形に似た雲を含む画像を検索せよ	領域レイヤ
検索キーとして提示した雲のパターンに似た気圧配置(印象)の雲パターンをもつ画像を検索せよ	意味レイヤ

3.4 水準の異なる検索要求に対するマッチング

階層モデルには、意味的な水準が異なる検索要求にも対応しやすいという、もう一つの特長がある。画像データベースに対する検索要求の形態は、いくつかの意味的に異なる水準に分類して整理することが可能である。例えば気象衛星画像に対する表3のような検索要求を考える。最初の検索要求を処理するのに必要なのは画素単位の情報だけであるので、これは画素レイヤのマッチングで検索処理が可能である。同様に第二の検索要求に対しては領域レイヤのマッチングで検索処理が可能である。

つまり、意味的に異なる水準の検索要求を階層モデルの各レイヤに対する検索要求であるとみなすのである。すると階層モデルでのマッチングとは、下位レイヤから上位レイヤへと遡る過程で検索処理に必要なレイヤまで到達した時に、その同位レイヤ間でマッチングを行なう処理と考えればよい¹。このような方法は、検索要求の明確化ばかりではなく、検索時間の高速化にも有効であると考えられる。

¹ ただしどのレイヤでマッチング可能かは、現段階ではユーザが明示的に指定する必要がある。

4 類似画像検索システムの構築

4.1 従来の研究のアーキテクチャ

さて本論文で用いるアーキテクチャを具体的に定める前に、まず従来の研究で構築されたシステムのアーキテクチャを検証することにより、階層モデルの概念をより明確にするとともに各システムの全体的な構成を比較してみる。まず最初は、商標図形を対象とした類似画像検索システムの TRADEMARK [1] を取り上げる。表4(a)のプロセス・スタックの特徴は意味レイヤに実装されている多変量解析のプロセスである²。そしてもう一つの特徴は画素レイヤが Void になっていることであるが、この措置はヒストグラム解析などに起因する認識誤りを防ぎロバストな処理を実現するという積極的な意味をもつと考えられる。一方表4(b)のQBIC [3, 4]においては、実装されているレイヤはかなり少なくなっており、このことからこの研究の主眼は、むしろマッチングに関する高速なインデックス手法にあると分析できる。

次に表4(c)では、ニューラルネットワークによる画素単位対象物ラベル付け手法が意味レイヤに採用されている点が特徴である³。また画素単位のラベルの比較という高速なマッチングが可能である。最後に表4(d)のシステムは、統制キーワードによる画像検索を可能としている。キーワードは領域に関する情報と関係に関する情報とを総合して人間が付与していると解釈できるため、これは領域レイヤと関係レイヤにまたがるプロセスであると考えてよいだろう。しかしコンピュータ処理の面からは、このシステムの実質的な主眼は意味レイヤにある。すなわち、

² この特徴は ART MUSEUM [2] でさらに明確であり、種々の感性情報処理が多変量解析に帰着することが示されている。

³ このプロセスは画素レイヤ相当のプロセスとも解釈できるが、単純なクラス分類ではなく各画素に意味のあるラベル付け処理を行なっていることから意味レイヤに分類した。

表 4: 従来の研究で用いられてきたアーキテクチャ。表中の Void はプロセスが何も実装されていないレイヤを示す。

(a) TRADEMARK [1, 2]

層	プロセス	マッチング
5	多変量解析による属性ベクトルの写像	重みつきユークリッド距離
4	メッシュ間の局所相関・局所コントラスト、部分図形への分節による階層的な特徴表現	
3	メッシュ内の濃淡分布・濃淡変化(エッジ)、周波数分布の属性ベクトル	
2	Void	
1	Void	

(b) QBIC [3, 4]

層	プロセス	マッチング
5	Void	
4	Void?	
3	粗さや方向性などのテクスチャ特徴量、円形度などの形状特徴量の計算	重みに分散の逆数を用いる重みつきユークリッド距離(高速化のためのインデックス手法)
2	(R, G, B) およびマンスセルのカラーヒストグラム計算	二次形式による距離(高速化のためのインデックス手法)
1	Void	

(c) 画素単位対象物ラベル付け [5]

層	プロセス	マッチング
5	ニューラルネットワークによる画素単位対象物ラベル付け	ラベル付け画像のテンプレートマッチング
4	Void	
3	共起行列(テクスチャ特徴量)の計算	
2	(R, G, B) 画素値などの属性ベクトル	
1	平滑化	

(d) 木構造シソーラスによるキーワード方式 [7]

層	プロセス	マッチング
5	木構造化されたシソーラスによるキーワード付与ベクトルの生成	キーワード付与ベクトルの内積
4	統制キーワードの付与(人手による)	
3		
2	Void	
1	Void	

キーワードの意味的な距離を考慮するための木構造化されたシソーラスを用いることにより、キーワード間の意味的な類似度を計算するプロセスである。

4.2 本論文で用いるアーキテクチャ

本論文で用いる検索対象画像は衛星画像および風景画像である。まず衛星画像は、NOAA 衛星画像および GMS 衛星画像である⁴。GMS に関しては、毎時の観測画像を蓄積した短期型データベースと、毎日正午の観測画像を蓄積した長期型データベースの二つを構築する。これらは類似画像の出現頻度に差があり、より難しく応用価値があるデータベースは長期型の方である。次に風景画像としては写真アルバムへの応用を念頭に置き、市販の CD-ROM に収められた画像コレクションの中から、さまざまな建築

物が撮影されている画像を抜きだした。各画像データベースに含まれる画像の例を図 2 に示す。

次にこの 3 種類の画像に対する類似画像検索システムを構築する。すなわち対象画像の特性を考慮した上で各レイヤに適切なプロセスを実装する。本論文で実際に用いたアーキテクチャの一部を表 5 に示す。以下では各レイヤのプロセスについて概説し、その詳細はページ数の制約上省略する。なお、マッチングは任意のレイヤに実装可能であるものの、本論文では最も興味深い問題である意味レイヤにのみマッチングのアルゴリズムを実装した⁵。

1. 観測レイヤ 衛星画像の場合は一部に幾何補正処理を行なった。衛星画像のセンサは赤外および可視である。風景画像の場合は平滑化のみである。

⁴ NOAA はアメリカ海洋大気局の気象衛星。GMS は Geostationary Meteorological Satellite の略。通称は「ひまわり」。

⁵ ただし将来的には各レイヤにマッチングのアルゴリズムを実装し、水準の異なる検索要求にも対応可能とする。

表 5: 本論文で用いられるアーキテクチャの一部。繁雑さを防ぐため「表現」については省略している。

レイヤ	二値画像 NOAA 衛星雲画像	濃淡画像 GMS 衛星雲画像	カラー画像 風景画像	マッチング
5. 意味レイヤ	遺伝的アルゴリズム、模擬育種法			階層化属性つき関係グラフのグラフマッチング (その高速化に A* アルゴリズム)
4. 関係レイヤ	平面的な引力モデル	階層的な引力モデル	隣接関係	
3. 領域レイヤ	形状分解 (楕円)		領域特徴量の計測	
2. 画素レイヤ	ヒストグラムを用いた二値化	ミクセルを含む混合密度推定による画素分類手法	Ohlander に基づいた方法	
1. 観測レイヤ	Void	幾何補正	平滑化	

2. 画素レイヤ 基本的には、ヒストグラムに基づいた統計的なプロセスを用いた。NOAA 衛星画像に適用したのはヒストグラムの形状を活用するプロセス、GMS 衛星画像に適用したのはミクセルを含む混合密度推定によるプロセス [12]、最後に風景画像に適用したのは Ohlander に基づくプロセス [13] である。

3. 領域レイヤ 衛星画像に適用したのは変形モデルに基づいた形状分解のプロセス、また風景画像では比較的単純な形状特徴量を測定した [13]。

4. 関係レイヤ 衛星画像では物理法則のアナロジーに基づいた引力モデル、また風景画像では単純な隣接関係 (4 または 8 隣接) を用いた。なおこのレイヤの表現に階層化属性つき関係グラフ (Hierarchical Attributed Relational Graph) を用いる。

5. 意味レイヤ 類似画像検索の検索キーとしては例示画を指定する方法を用いる。まず検索者の検索目的を事前に学習しておくため、検索キーに類似した画像を検索者に選択してもらってこれを例示データとし、その画像を上位に検索するように重み係数を最適化した。最適化する重み係数は 20 数個であり、最適化には遺伝的アルゴリズムを用いた [14]。またこのレイヤへの入力グラフ構造 HARG であるため、マッチングにはグラフマッチングを用いる [15]。

4.3 類似画像検索の実験結果

重み係数に最適化された重み係数を用いた場合の類似画像検索の実験結果を図 2 に示す。なおこの結果の定量的な評価については省略する。ここで 0 位に表示されている画像が検索キーの画像であり、上

位に検索された画像が右に向かって並んでいる。まず図 2(a) では、検索者が前もって選んだ類似画像を上位に検索できており、類似画像検索に本論文の方法論が有効であるという結果を示している。次に (b) では、毎時観測という特性から類似画像がデータベース中にもともと多く含まれており、上位にはかなり類似している画像が多数検索されている。一方の (c) には類似画像はもともとそれほど多く含まれてはいないが、それでも「南に渦型の雲、北に帯状の雲」という画像が検索されており、気象パターンの検索などへ応用可能であると考えられる。最後に (d) では「海の中にそびえる灯台」に類似した画像が検索されている。風景画像の類似検索は現段階ではまだまだ困難な面が大きいですが、階層モデルを活用して相対的に弱点となっているレイヤを検出し、そこを重点的に改良していくことで、さらに強力な画像検索システムを構築できると考えている。

5 まとめ

本論文では類似画像検索システムのフレームワークとして「階層モデル」を提案した。このモデルには類似画像検索システム全体の構成を明確化するという利点がある。また問題領域の変更に柔軟に対応するための方法論として、問題領域に応じた適切なプロセスを各レイヤにプラグインするという構成を基本としている。本論文ではこの階層モデルに基づき 3 種類の画像に対して類似画像検索システムを構築し、例示画検索には有効であるという結果を得た。しかし階層モデルがどの程度の応用可能性を持つかを確かめるためには、今後もさまざまな問題領域に対してシステムを応用していく必要がある。

参考文献

- [1] 加藤俊一. 類似検索機能を持った画像データベースとその設計法. *O plus E*, Vol. 142,143, pp. 141-165, 1991.
- [2] 加藤俊一, 栗田多喜夫. 画像の内容検索 — 電子美術館への応用 —. *情報処理*, Vol. 33, No. 5, pp. 466-477, 1992.
- [3] Faloutsos, C., Barber, R., Flickner, M., Hafner, J., Niblack, W., Petkovic, D., and Equitz, W. **Efficient and Effective Querying by Image Content**. *Journal of Intelligent Information Systems*, Vol. 3, pp. 231-262, 1994.
- [4] Flickner, M., Sawhney, H., Niblack, W., Ashley, J., Huang, Q., Dom, B., Gorkani, M., Hafner, J., Lee, D., Petkovic, D., Steele, D., and Yanker, P. **Query by Image and Video Content: The QBIC System**. *Computer*, Vol. 28, No. 9, pp. 23-32, 1995.
- [5] 棕木雅之, 美濃淳彦, 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, 1996.
- [6] 金原史和, 佐藤真一, 浜田喬. プリミティブ分解による多様な検索条件を扱うカラー画像検索. *情報処理学会論文誌*, Vol. 37, No. 11, pp. 1989-2000, 1996.
- [7] 柴田正啓, 井上誠喜. 画像データベースの連想検索方式. *電子情報通信学会論文誌*, Vol. J73-D-II, No. 4, pp. 526-534, 1990.
- [8] Yamane, J. and Sakauchi, M. **A Construction of a New Image Database System which Realizes Fully Automated Image Keyword Extraction**. *Transactions of IEICE*, Vol. E76-D, No. 10, pp. 1216-1223, 1993.
- [9] Tanenbaum, A.S. *コンピュータネットワーク*. 丸善, 第2版, 1992.
- [10] デビッド・マー. *ビジョン*. 産業図書, 1987.
- [11] 君山博之, 清未悌之, 大庭有二. 動画の自動記述方法の検討. *電子情報通信学会技術報告*, Vol. IE91-110, pp. 25-32, 1991.
- [12] Kitamoto, A. and Takagi, M. **A Stochastic Model of Mixels and Image Classification**. In *Proc. of 13th International Conference on Pattern Recognition*, pp. 745-749, Wien, 1996.
- [13] 高木幹雄, 下田陽久 (編). *画像処理ハンドブック*. 東京大学出版会, 1991.
- [14] 北本朝展, 高木幹雄. **パイプライン型遺伝的アルゴリズムによる模擬育種法を用いた類似画像検索規準の学習**. *電子情報通信学会技術報告*, Vol. HIP96-4, pp. 17-22, 1996.
- [15] 北本朝展, 高木幹雄. **類似画像検索への応用を目的とした階層化属性付きグラフマッチングの高速化**. *画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'96)*, Vol. II, pp. 331-336, 1996.

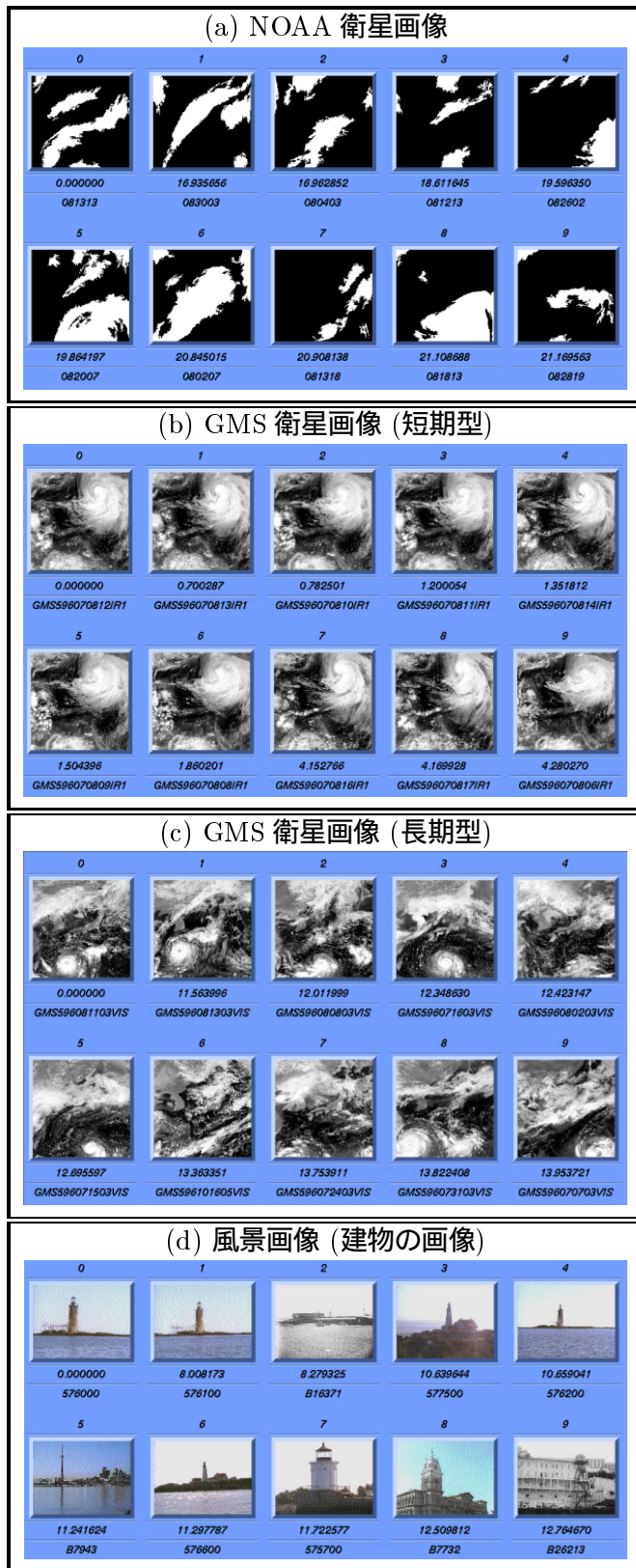


図 2: 例示画を与えた場合の類似画像検索結果。0 位の画像が検索キーとなる例示画であり、そこから右に向かって検索結果の上位 9 枚を表示している。それぞれの画像データベースに含まれる画像の枚数は、(a) 163 枚、(b) 132 枚、(c) 331 枚、(c) 950 枚となっている。