

特別研究報告書

医学教育用解説図の
差分特徴に基づく関連付け

指導教官 美濃 導彦 教授

京都大学工学部情報学科

清水 智行

平成 11 年 2 月 12 日

医学教育用解説図の 差分特徴に基づく関連付け

清水 智行

内容梗概

本研究では、医学教育用解説図の視覚的な相違と教材の説明目的の相関性に着目し、説明目的に基づいて教材間の関連付けを行う手法を提案する。

近年、教育の分野では、訴求力や視認性の向上への期待から教材のマルチメディア化への要求が強い。教材のマルチメディア化により、文章や図表、写真の他に、音声や動画など、より多彩で豊富なメディアを組み合わせるようになるため、より理解しやすい教材ができることが期待されている。

このようなマルチメディア教材を作成するには、説明目的に即して素材を収集し組み合わせる必要がある。大量の素材の中から適切なものを探し出す作業を自動化するには、個々の素材の意味する内容に基づいてそれらを予め構造化しておく必要がある。

しかし、ピクセルの配列で表現されている画像データの場合、計算機がそれだけの情報から意味内容を理解し、分類や検索を行うことは困難である。

これまでに提案されてきた、画像の内容に基づく検索の手法としては、画像の表現する物体の種類や名称などを属性として与える手法や、ピクセルデータの解析によって得られる、画像の形状や色などの情報を属性として用いる手法があるが、いずれも個々の画像固有の属性を記述するのみである。

実際は、素材の意味内容は個々の固有の属性だけではなく、他の素材との間の文脈的な関係によって決定される。また、人間がある事柄の説明のために複数の素材を組み合わせる場合は、説明目的に即して素材の組み合わせを決定する。このとき、説明目的をより明確に表現するために、それぞれの素材の持つ意味の違いを、意図的に素材の視覚的な特徴の違いに表す場合が多いと考えられる。

そこで本研究では、医学教育用教材を対象として、同じ教材中の複数の素材に関する視覚的な相違の特徴を、教材が意図する意味内容を知る手掛かりとして利用し、これに基づき教材間、及び教材中での素材間の意味的関連を求めることを試みる。

医学教育では、人体をありとあらゆる角度から精密に解析し説明するために、素材として大量の解説図を必要とする。ここでは、同じ解説図が目的の異なる複数の教材で利用される場合が多い。

これらの解説図では、各部分に対して名称や役割を指示する文字列が書かれており、同じ教材内で複数の素材に同じ文字列を付与することにより素材同士の対応関係が示されていることが多い。

そこで本研究では、医学教育用教材に用いる複数の解説図について、そのうち任意の2つ解説図の対応関係を文字列による対応関係から導き出し、解説図の文字列の指し示す位置や色、図の大きさの差と対応する文字列の組の数を差分特徴ベクトルとして表現することによって、教材同士を、その説明目的に基づいて関連付けることを提案する。

差分特徴ベクトルは2つの解説図の関係を特徴化したものであり、解説図ペアの説明目的と少なからず相関性がある。そこで、解説図ペアを、差分特徴ベクトルに基づいて3次元空間上に配置することによって、解説図ペア同士の関連性を3次元空間上の距離として表現する。

このような差分特徴ベクトルが教材同士の関連付けに有効であることを示すため、医学教育用の解説図を用いて差分特徴ベクトルと教材の説明目的の相関性を確認する実験を行った。

その結果、差分特徴ベクトルと説明目的の相関性は確認できたが、教材の説明目的に対応する差分特徴ベクトルの分布状況にはある程度の曖昧さがあり、解説図ペア間の説明目的に基づいた関連付けは、あまり明確には行なえない。このため、前述の3次元空間による表現によって視覚的に明確な関連を得るのは難しいということが判明した。

Relating Figures for Medical Education to Each Other by Their Difference

Tomoyuki SHIMIZU

Abstract

In this paper, we propose a method to relate multimedia teaching materials to each other for medical education based upon the intentions of authors of them that seem to be closely related to their differences in their appearance.

Multimedia teaching materials attract attention in the field of education because they are useful for us to see and learn better. They not only consist of documents, but also consist of figures, photographs, audios, videos, and many other kinds of materials so that each topic can be described from various aspects.

In order to develop teaching materials, we have to arrange some materials based on our intentions. If those materials are assorted by their meaning in a database, computers can automatically find materials that are most suitable to our intentions. However, it is very difficult for computers to understand the meaning of multimedia data, especially that of an image, which consists of an array of pixel data.

Some methods of image retrieval have been proposed so far. One of them is to add the meaning of each image as one of its attributes including the name, the type, etc., and another is to use information of the shape and the color of each area, which can be obtained by analyzing pixel data of the image.

These two methods only consider inherent attributes of each image, while not only those attributes of the image but also its contextual relations to other materials are important to determine its meaning. Furthermore, when we place some materials side by side to explain something, we usually express their difference in the meaning as their difference in the appearance in order to show our intention more clearer. In this paper, we employ the difference between a pair of materials in the appearance in order to estimate the intention of authors of them, and to relate teaching materials based on it.

In the medical education, many figures give detailed explanation of a whole human body and its organs, and not a few figures can be shared.

Explanatory words are attached on most figures. These words indicate the

attributes including the role and the name of the part of figures. When the same words are written on different figures, the words characterize their relations.

We propose a method of relating figures for the medical education to each other based on their meaning implied by their authors, which is expected to be characterized as the difference in appearance of explanatory words. The difference between a pair of figures is characterized with explanatory words shared by the pair, using the positions and the color of the pixel pointed by the explanatory word as well as the ratio of the image size and the number of the explanatory words between the pair.

A “difference feature vector” of each pair of figures is defined to represent the relation between the pair of figures. Then, we place each pair of figures in 3D space at the position according to its different feature vector, so that the relation between two pairs is represented as the distance between the positions of the pairs in the space.

In order to verify that the difference feature vector is valid to relate pairs of figures each other, we evaluated correspondence between the vector and the implied meaning of each teaching material through experiments with figures for the medical education.

As the result, we could see the correspondence between the difference feature vector and the implied meaning, but the variation of the vectors corresponding to the same meaning is not small enough to show the correspondence among the pairs of figures very clear. It shows the difficulty to express relation among the pairs of figures based on the difference feature vector visually in the 3D space.

医学教育用解説図の 差分特徴に基づく関連付け

目次

1	緒論	1
2	医学教育用解説図	3
2.1	解説図の構造	3
2.2	解説図の利用事例	4
3	説明語ラベルに基づく解説図の関連付け	8
3.1	解説図の引出線に関する特徴量	8
3.2	差分特徴量と説明目的との相関性	8
3.3	差分特徴ベクトルの生成	9
4	教材間の関連性の表示	12
4.1	差分特徴ベクトルに基づく教材間の関連性の表示	12
4.2	VRML を用いた表示システム	12
5	実験と評価	16
5.1	実験用解説図サンプル	16
5.2	解説図ペアの分布図の表示実験	16
5.2.1	実験の手順と結果	16
5.2.2	評価と考察	20
5.3	解説図ペアの関連付け実験と評価	21
6	結論	22
	謝辞	24
	参考文献	24

1 緒論

近年、記録メディアの大容量化や低価格化、そしてコンピュータの処理能力の飛躍的な向上にともない、テキストに留まらず、画像や音声等のような比較的大きな記録容量と処理能力を必要とする複数のメディアを同時に扱うことが容易なものとなりつつある。これによって、例えば百科事典を文字や画像、動画、音声などの様々なメディアを利用して電子化することが可能となっている。

教育の分野では、訴求力や視認性の向上への期待から教材のマルチメディア化への要求が強い。教材のマルチメディア化により、従来からの紙の教材においても取り扱われてきた文章や図表、写真の他に、音声や動画など、より多彩で豊富なメディアを組み合わせて利用できるようになるため、より理解しやすい教材が作成できることが期待されている。

このようなマルチメディア教材を作成する際には、その素材として、文章や図表、写真、動画、音声等からなるデータを組み合わせる必要がある。大量の素材が存在する場合には、その中から適切なものを探し出す必要があり、この処理を自動化するには個々の素材の意味する内容に基づいてそれらを予め構造化しておく必要がある。

しかし、素材の中でも特に、図や写真、動画などの画像データはピクセルの配列として記述されており、この内容を計算機で認識・理解することは非常に難しい。このため、計算機を利用して画像の内容に基づく分類や検索を行うことは非常に困難である。画像データを内容に基づいて検索する方法としてこれまでに提案されてきた主な手法としては、

- 画像の内容を記述したインデックスなどのデータの属性を予め付与しておく手法
- ピクセルデータから形状や色などの情報を抽出し、属性とする手法

がある。前者の例としては、画像中に描かれている物体の種類や名称、位置関係などを記述して属性として与えるもの [1] や、図中に含まれる用語と、図形要素の構造のパターンを属性として用いるもの [2] 等があり、後者の例としては、画像の形状特徴をベクトルによって表現して属性とするもの [3] 等がある。前者の手法では画像の内容に関する情報をより詳細に記述しておくことによって、それに基づくより高度な検索が可能となるが、属性はすべて人手によって与える必要があり、データの数と属性の詳細さに比例して、属性を記述する手

間が増大する。後者の手法では属性の抽出は自動的に行われるが、必ずしも画像の意味内容を反映したものとなっているとは限らないため、内容や意味に基づく検索への利用については制限が強い。

また、前述の2つの手法は、いずれも個々の素材に対する固有の属性を与えようとするものであるが、素材の内容を理解するには、個々の素材固有の属性だけではなく、同時に用いられる他の素材との間の関係などによって決定される、素材の役割を知ることが必要である。例えば、素材としてある成人男性の人体の写真を考えると、これは子供や乳児の写真と比較することによって、ヒトの成長過程の説明に使われることもあれば、成人女性の写真と比較する形で、男女差の説明のために利用される場合もある。さらに、進化の過程の説明のために類人猿や猿の写真と並べられて利用されるということも考えられる。これらの例では、データの的には全く同一の写真が、それぞれ「大人」、「男性」、「現代人」という意味を持つ素材として利用されている。このように、個々の素材が意味する内容は、同じ教材で利用される他の素材との文脈的な関係によって大きく左右される。

実際、人間がある事柄の説明のために複数の素材を組み合わせて提示する場合、その素材の組み合わせ方は説明すべき意味内容(以後、説明目的と呼ぶ)に基づいて決められるが、説明目的がより明確に理解できるようにするために、それぞれの素材の持つ意味の違いを素材の視覚的な特徴の違いに表わすことによって、素材の関係の特徴を強調する場合が多いと考えられる。例えば、ヒトの成長過程の説明に利用される人体の写真の組み合わせにおいては、時刻と共に変化する人体の大きさの変化が、実際の画像の大きさの違いとして表現される。

そこで本研究では、医学教育用教材を対象として、同じ教材中の複数の素材間の視覚的な相違の特徴を、教材が意図する意味内容を知る手掛かりとして利用し、これに基づいて教材間、及び教材中の素材間の意味的関連を求めることを試みる。

医学教育では、発生学のように主に器官の発達や人体あるいは胎児の成長過程などを学ぶ分野や、解剖学のように人体の各部分・各器官の構造を調べる分野などがあり、模式図や実物の写真、レントゲン写真や超音波心エコー図、顕微鏡写真など様々な素材を大量に利用してヒトを様々な角度で精密に解析し説明する。この過程では、同じ素材が目的の異なる複数の教材で利用される場合が多い。例として、健康的な心臓の正面の写真を考えると、同じ心臓の背面図

との組み合わせでは心臓の各部分を解説する教材となり、心臓の正面の模式図との組み合わせでは心臓の正面をより詳細に解説するための教材となる。

これらの写真や模式図等では各部分に対して名称や役割を指示する文字列(以後、説明語ラベルと呼ぶ)が書かれており(以後、このような写真や模式図等を総称して解説図と呼ぶ)、同じ教材内で複数の素材に同じ説明語ラベルを付与することにより素材同士の対応関係が示されていることが多い。例えば、同じ心臓の正面図と背面図を考えると、大動脈や肺動脈など、双方に共通して出現する部分には同じ説明語ラベルが与えられ、これによって2つの図の間の対応関係が示される。従って、同じ教材中の任意の2つの解説図に共通して出現する説明語ラベルに注目することによって部分毎の対応関係を知ることができる。このようにして対応づけられた2つの解説図中のそれぞれの説明語ラベルの特徴差を総合することによって、2つの解説図間のデータの差異を特徴づけることができる。

そこで本研究では、医学教育用教材に用いる複数の解説図について、解説図中に出現する部分名称を表わす説明語ラベルに基づいて、同じ教材中の任意の2つの解説図の対応関係を導き出し、説明語ラベルに対応する解説図中の位置及びその位置のピクセル情報から得られる特徴量の差分を用いて解説図間の共通点や相違点を特徴量化することによって教材同士を関連付けることを提案する。以下、2章ではまず医学用解説図の構造や利用形態について述べる。次に3章では説明語ラベルの対応関係に基づいて用いられる解説図の関連性を記述する特徴量の導出方法を示し、続く4章では、この特徴量に基づいて互いに関連づけられた解説図の表示及び探索の為のインターフェースについて述べる。さらに、5章で実験結果とそれに対する評価・考察を述べる。最後に6章で結論と今後の課題について述べる。

2 医学教育用解説図

2.1 解説図の構造

医学教育では人体の各器官や各細胞等の説明にあたって、各部の名称を示すことが重要であるため、大半の写真や図表には、必要に応じて名称を表わす文字列(説明語ラベル)が書かれている。

このような解説図は以下のような特徴を持つ。

- 各部分に対して名称などを示す説明語ラベルが書かれている。

- 説明語ラベルとその説明する部分の位置は引出線で関連づけられているか (図 1)、あるいは説明対象となる部分自体に説明語ラベルが書かれている (図 2)。

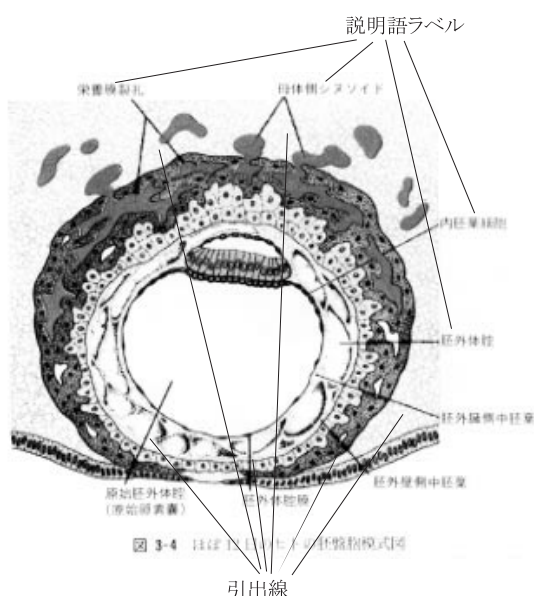


図 1: 説明語ラベルと引出線

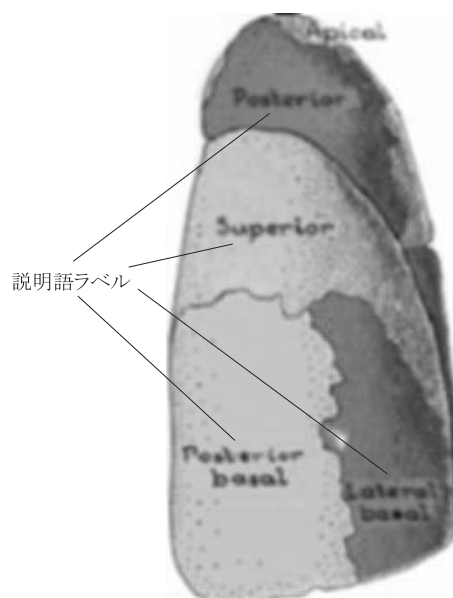


図 2: 引出線の無い例

なお本稿では、このような説明語ラベルの指し示す解説図中の位置をそのラベルの参照点と呼ぶ。

2.2 解説図の利用事例

緒論で述べたように、同じ解説図が目的の異なる複数の教材で利用されることが多い。例えば、心臓の正面の写真を使う教材とその目的・説明内容の例には次のようなものがある。

- 心臓の全体の構造を示す教材
側面図や背面図と組み合わせることによって、全体の各部分が理解出来るように示すことが目的である。
- 心臓の表面の血管をより詳しく説明する教材
写真では非常に見にくい心臓の血管を血管の部分強調して描いた模式図と組み合わせることによって、血管の構造をより分かりやすく示すことが目的である。

このように、教材としてどのような解説図をどのように組み合わせるかは、個々の素材の持つ特徴と教材の説明目的に基づいて決まる。例えば、心臓の動く様子に関する教材を作るときには心臓の動きに伴う形状変化の各段階を表現した図を時間軸に沿って並べる必要がある一方、心臓の形状や構造を解説する教材では心臓の正面図や側面図など、同じ心臓を異なる視点位置から見たときの見え方を記述した図を利用することになる。

一方、学習者は、教材中に複数の解説図が連続して並べられているとき、解説図の各部分間の対応関係を把握し、共通点や相違点などを理解することによってそれらの教材の作成者が意図した情報を読み取るものと考えられる。このため、教材を分かりやすくするためには、学習者のこの過程を容易にする必要がある。通常は対応する部分に同じ説明語ラベルを配したり、その部分を同じ色で着色する一方、相違を強調したい部分は異なる色で着色するなど、解説図間の対応関係や共通点、相違点を意図的にデータ表現に反映させる。従って、同じ教材で用いられる複数の解説図について説明語や色などの共通点や相違点を調べれば、教材の説明目的がどのようなものであるかをある程度推定することが可能である。

実際、医学教材の説明目的の例として以下のようなものがあり、これらにはそれぞれ次に述べるようなデータ上の違いがみられる。

1. 視点変化によって全体の構造を説明しようとする場合

(例：肺の正面図、背面図、底面図(図3))

物体は、視点、位置によって見える部分や隠れる部分が異なるため、物体全体の形状や構造を説明しようとする場合には、異なる視点からの見え方の解説図を組み合わせる提示することが多い。この場合、各部位の位置は解説図毎に異なるため、解説図間で同じ部分の対応関係を明確にするために、同じ説明語ラベルや同じ色の領域によって示される場合が多い。

2. 成長過程上での変化

(例：胎児の上肢・下肢の成長過程(図4))

胎児の成長過程の説明などのように、時間に伴う形状や大きさの変化の様子を説明しようとする場合には、異なる時刻における状況の解説図を時間軸に沿って並べて提示することが多い。この場合、各部位の位置がやはり解説図毎に異なるため、前項と同様に、同じ部分の対応関係を同じ説明語ラベルや、同じ色によって示すと共に、サイズの変化については、解説図

自体のサイズに反映させて表示する。

3. 実物写真と模式図

(例：着床した卵細胞の顕微鏡写真と模式図(図5))

実物写真において説明したい領域の構造などが、見た目には複雑すぎて分かりにくい場合、全体の構造を模式化して描き、かつ異なる領域を異なる色で着色することによって分かりやすく表現した模式図と組み合わせて提示することがよく行われる。このような場合、2つの解説図において、同じ部分が異なる色で描かれるため、それらの間の対応関係を示すために、同じ部分をほぼ同じ位置に配し、かつ同じ説明語ラベルをつけることが多い。

4. 同一の部分で、着目する要素の異なる組み合わせ

(例：神経の構造と血管の構造を表わす筋肉の図)

解剖学では、人体の同一部分の構造をより子細に説明するために、同一の視点に対して神経や血管など注目すべき器官を変えた図を複数個用意して、多角的な説明を加えることがある。このときそれぞれの解説図間において注目すべき器官によって説明語ラベルの付け方が異なる。共通して出現する説明語ラベルの参照点の位置や色は殆んど変わらないが、片方の解説図にのみ出現する説明語ラベルの数が多い。

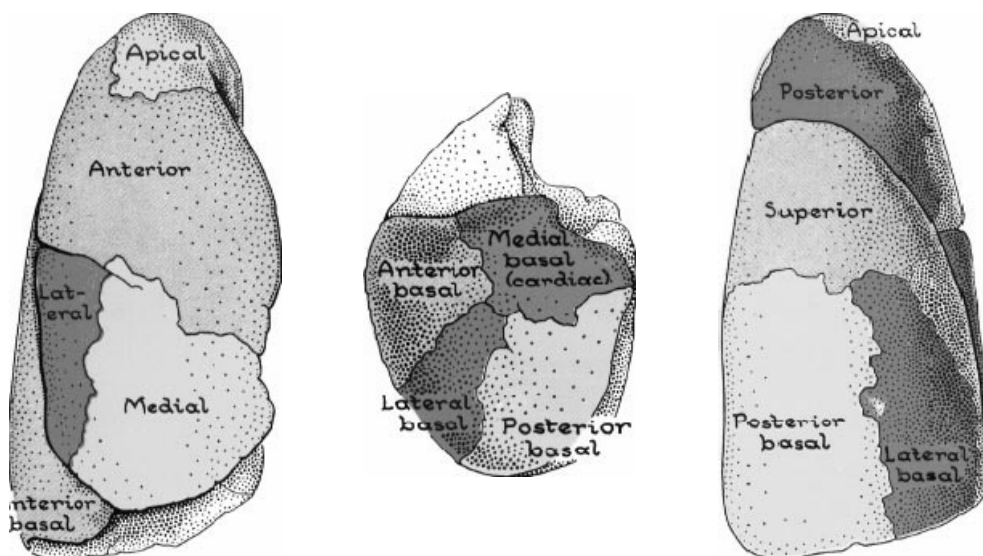


図3: (左から) 肺の正面図、底面図、背面図

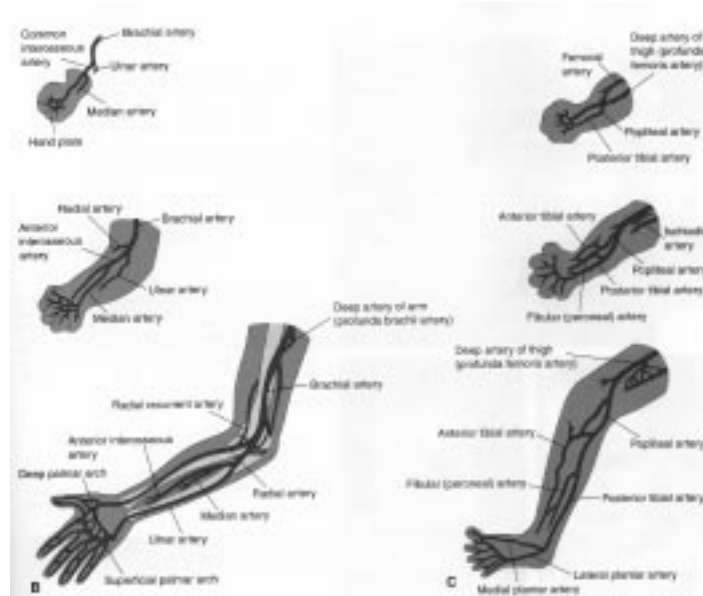


図 4: 胎児の上肢・下肢の成長過程

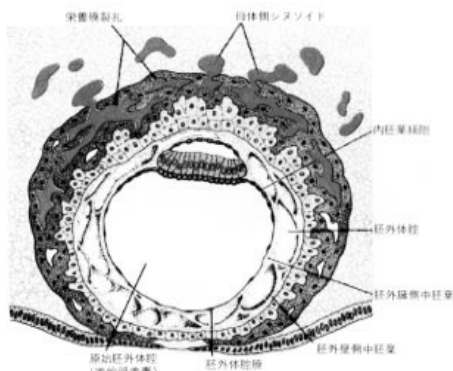


図 3-4 14日 12 日のヒトの胚盤模式図

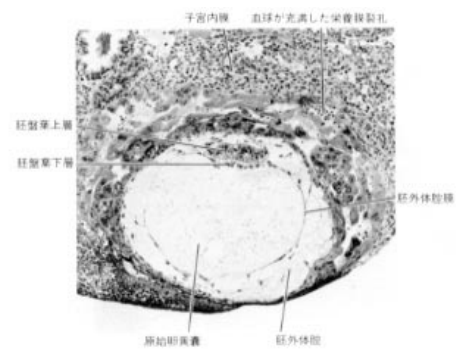


図 3-5 十分着床したヒト 12 日胚盤模の切片標本 (×100)

図 5: 着床した卵細胞の顕微鏡写真と模式図

そこで、次章ではこのような教材の説明目的とデータ上の相違の關係に着目して、解説図のデータ上の相違を特徴量化して表現し、特徴量と教材の説明目的の対応關係に基づいて解説図を互いに関連付けることを試みる。

3 説明語ラベルに基づく解説図の関連付け

3.1 解説図の引出線に関する特徴量

前章で述べた解説図間の対応關係や共通点、相違点の把握には、2つの解説図に共通して出現する説明語ラベルが大きな役割を果たすと考えられる(図6)。

そこで本研究では、解説図の特徴として以下に述べる点に注目することにより、同一教材中で用いられる解説図間の相違を特徴化する。

- 同一の説明語ラベルの組み合わせ(図6において、A-A, B-B, C-C, D-D, F-F, H-H)の数
- 片方の解説図にのみ出現する説明語ラベルの(図6ではE, G, I)の総数
- 同一の説明語ラベルのそれぞれの参照点の位置(図6では $P_a^{k_1}-P_b^{l_1}, \dots, P_a^{k_6}-P_b^{l_6}$)や色の变化

但し、この参照点の色としては、引出線のある説明語ラベルの場合は引出線の近傍、引出線の無い場合は文字列の近傍の(すなわち図・写真の該当する部分の)色をそれぞれ利用する。

- 2つの解説図の大きさの変化

以上はいずれも2つの解説図の特徴の相違に関する特徴量である。以後、これを差分特徴量と呼ぶ。

3.2 差分特徴量と説明目的との相関性

前節で述べた説明語ラベルの特徴に注目すると、2.2節で述べたそれぞれの説明目的を持つ教材には、次のような特徴が表われると予想される。

- 成長過程(2.1の2.に対応)
図の大きさが変化し、参照点の位置や色は殆んど変化しない。また、片方の図にのみ出現する説明語ラベルの数が多くなる。
- 視点位置の移動(2.1の1.に対応)
参照点の色の变化はないが、位置は大きく変化する。また、片方にのみ出現する説明語ラベルの数が多くなる。

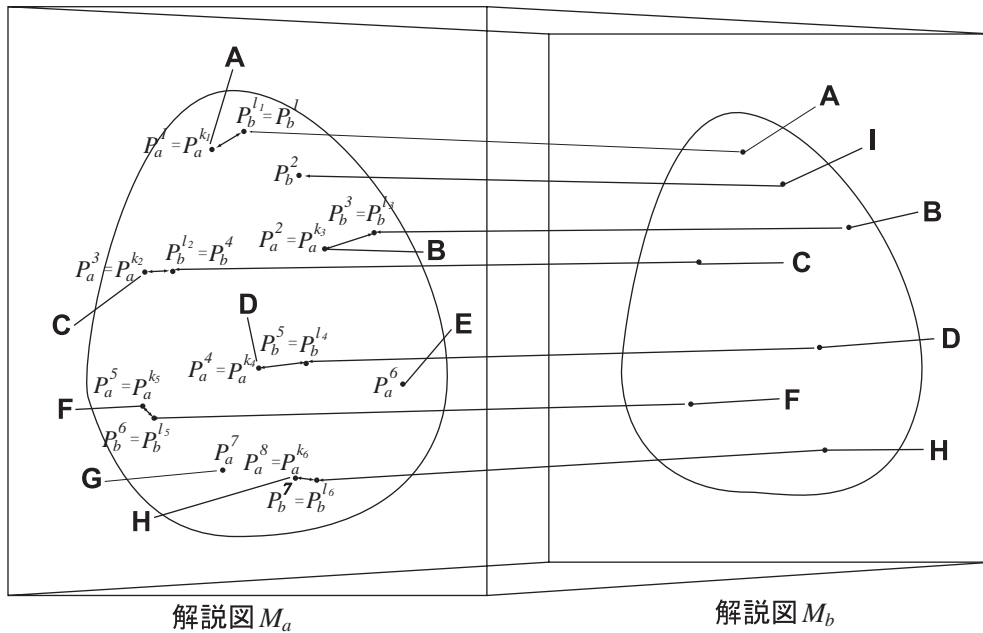


図 6: 共通の説明語ラベルの対応付けによる比較

	説明語ラベル		参照点		画像サイズ の変化
	同一の組	片方のみ	位置の差	色の差	
成長過程	やや多い	教材による	小さい	小さい	大きい
視点位置の移動	やや少ない	多い	大きい	小さい	教材による
実物と模式図	多い	教材による	小さい	やや大きい	小さい
強調する要素の違い	やや少ない	多い	小さい	小さい	小さい

表 1: 説明目的と差分特徴量の相関性

- 実物写真と模式図 (2.1 の 3. に対応)
参照点の位置の変化は小さいが、色の変化は大きい。
- 同一の部分で、着目する要素の異なる組み合わせ (2.1 の 4. に対応)
対応する参照点同士での位置や色の変化は小さいが、片方にのみ出現する参照点の数が多い。

以上を整理すると表 1 のようになる。

3.3 差分特徴ベクトルの生成

3.1 で述べた差分特徴量の要素をベクトル表示したものを以後、差分特徴ベクトルと呼ぶ。

教材中の解説図 $M_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 上に存在する n_i 個の説明語ラベルの参照点をそれぞれ $P_i^j (j = 1, \dots, n_i)$ とする。また、 M_i の左上端を $(0, 0)$ 、右下端を $(1, 1)$ として定められる点 P_i^j の座標を (x_i^j, y_i^j) 、その点の色の RGB 値を $(R_i^j, G_i^j, B_i^j) (0 \leq R_i^j, G_i^j, B_i^j \leq 1)$ とする。

2 つの解説図 $M_a, M_b (1 \leq a, b \leq N)$ に関する差分特徴ベクトル \vec{f}_{ab} は以下に示す手順で求める。

1. 解説図 M_a と M_b の両方に共通して出現する説明語ラベルの組を調べ、その数を N_{ab} とする。また、共通の説明語ラベルに対応する M_a 及び M_b 上の参照点を $P_a^{k_i}, P_b^{l_i} (1 \leq k_i \leq n_a, 1 \leq l_i \leq n_b, i = 1, \dots, N_{ab})$ とする。
2. 以下のパラメータを求める。

- f_{same} : 全ての説明語ラベルのうち、両方の解説図に出現するものの割合

$$f_{same} = \frac{N_{ab}}{n_a + n_b - N_{ab}}$$

- f_{differ} : 全ての説明語ラベルのうち、片方の解説図にのみ出現するものの割合

$$f_{differ} = \frac{n_a + n_b - 2N_{ab}}{n_a + n_b - N_{ab}} = 1 - f_{same}$$

- f_{distav}, f_{distv} : 共通の説明語ラベルに対応する参照点の位置の差の平均と分散

$$f_{distav} = E(D_{ab})$$

$$f_{distv} = V(D_{ab})$$

$$\left(D_{ab}^i = \sqrt{(x_a^{k_i} - x_b^{l_i})^2 + (y_a^{k_i} - y_b^{l_i})^2} \right)$$

但し、 X_1, \dots, X_n の平均を $E(X) = \frac{1}{n} \sum_i X_i$ 、分散を $V(X) = \frac{1}{n} \sum_i (X_i - E(X))^2 = E(X^2) - E(X)^2$ で表わす。

ここで平均の他に分散を用いるのは、平均のみを用いると、対応する参照点の組み合わせの集合のうち一部だけが位置の差が大きい場合とそれぞれの組の位置の差が同じ程度である場合の区別が難しいため、それらの場合の区別が付けられるようにするためである。

- f_{colav}, f_{colv} : 共通の説明語ラベルに対応する参照点の色度の差の平均と分散

画像のピクセルデータから得られる RGB 値は人間の目にとっての色の違いを表現するには適していない。このため、人間の目にとっての色の違いが反映されるように RGB 値を UCS 表色系の色度 [4] に関するパラメータに変換し、平均と分散を求める。平均と分散の両方を求める理由は、位置の差の場合と同様である。

- (a) $R_a^{k_i}, G_a^{k_i}, B_a^{k_i}$ を次式で XYZ 表色系に変換する。

$$\begin{bmatrix} X_a^{k_i} \\ Y_a^{k_i} \\ Z_a^{k_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.490 & 0.310 & 0.200 \\ 0.177 & 0.813 & 0.011 \\ 0.000 & 0.010 & 0.990 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_a^{k_i} \\ G_a^{k_i} \\ B_a^{k_i} \end{bmatrix}$$

また、同様にして $R_b^{l_i}, G_b^{l_i}, B_b^{l_i}$ を XYZ 表色系に変換し、 $X_b^{l_i}, Y_b^{l_i}, Z_b^{l_i}$ を求める。

- (b) $X_a^{k_i}, Y_a^{k_i}, Z_a^{k_i}$ を用いて UCS 表色系の色度を表すパラメータ $(u_a^{k_i}, v_a^{k_i})$ を求め、同様にして $(u_b^{l_i}, v_b^{l_i})$ を求める。

$$u_a^{k_i} = \frac{4\bar{X}_a^{k_i}}{-2\bar{X}_a^{k_i} + 12\bar{Y}_a^{k_i} + 3}$$

$$v_a^{k_i} = \frac{6\bar{Y}_a^{k_i}}{-2\bar{X}_a^{k_i} + 12\bar{Y}_a^{k_i} + 3}$$

$$\left(\bar{X}_a^{k_i} = \frac{X_a^{k_i}}{X_a^{k_i} + Y_a^{k_i} + Z_a^{k_i}}, \bar{Y}_a^{k_i} = \frac{Y_a^{k_i}}{X_a^{k_i} + Y_a^{k_i} + Z_a^{k_i}} \right)$$

- (c) f_{colav}, f_{colv} を次式に従って求める。

$$f_{colav} = E(C_{ab})$$

$$f_{colv} = V(C_{ab})$$

$$\left(C_{ab}^i = \sqrt{(u_a^{k_i} - u_b^{l_i})^2 + (v_a^{k_i} - v_b^{l_i})^2} \right)$$

- f_{brtav}, f_{brtv} : 共通の説明語ラベルに対応する参照点の明度の差の平均と分散

f_{colav}, f_{colv} を求める過程で導出されたパラメータ $Y_a^{k_i}, Y_b^{l_i}$ は明度を表す値として用いることができる。なお、 XYZ 表色系におけるパラメータ

Y は、 YIQ 表色系における明度を示すパラメータ Y と同じ値を示す [4]。

$$f_{brtav} = E(L_{ab})$$

$$f_{brtv} = V(L_{ab})$$

$$(L_{ab}^i = |Y_a^{k_i} - Y_b^{l_i}|)$$

- f_{size} : 解説図の面積比

解説図 M_a, M_b の画像の総ピクセル数をそれぞれ S_a, S_b として、以下の式で求める。

$$f_{size} = \begin{cases} 1 - \frac{S_b}{S_a} & (S_a \geq S_b) \\ 1 - \frac{S_a}{S_b} & (S_a < S_b) \end{cases}$$

3. 以上により、解説図 M_a, M_b の関連性を表現する差分特徴ベクトル \vec{f}_{ab} は次のような形で与えられる。

$$\vec{f}_{ab} = (f_{same}, f_{diff}, f_{distav}, f_{distv}, f_{colav}, f_{colv}, f_{brtav}, f_{brtv}, f_{size})$$

4 教材間の関連性の表示

4.1 差分特徴ベクトルに基づく教材間の関連性の表示

前章で示した差分特徴ベクトルは、教材の説明目的のデータの特徴を表現したものである。従って、解説図間の差分特徴ベクトル同士の距離によって教材間の説明目的の近さをある程度表現することが可能である。差分特徴ベクトルに基づいて解説図の組み合わせを 3 次元空間上に分布させて表示することによって、説明目的に基づく教材間の関連性を視覚的に表示することを考える。

このために、解説図をテクスチャとして張り付けたボックスを差分特徴を座標軸とする 3 次元空間中の差分特徴ベクトルに対応する位置に配置して表示する。

3 次元空間の座標軸は、9 次元ある差分特徴ベクトルの要素のうち 3 つをユーザーが選択する。

4.2 VRML を用いた表示システム

4.1 で述べたような解説図ペア同士の関連性を表示するためのシステムを VRML2.0 を用いて作成した。このシステムの要求する入力データは次の通りである。

- 解説図のピクセルデータ
- 説明語ラベルの文字列と参照点の座標を記述したテキストファイル (以後、引出線情報ファイルと呼ぶ)

以上のデータが入力として与えられるとシステムは以下の順序で処理を行う。

1. 解説図のピクセルデータと、対応する引出線情報ファイルを読み込む。
2. 説明語ラベルの対応関係を調べ、対応する組み合わせを求める。
3. 3.3 で述べた手順に従って、対応する参照点の位置・色に関する特徴量と対応する説明語ラベルの組み合わせの数、ピクセル数の比から差分特徴ベクトルを求める。
4. 差分特徴ベクトルの分布状況の表示に必要な VRML ファイル及び HTML ファイルを生成し、出力する。



図 7: 差分特徴ベクトルに基づく解説図ペアの関連性の表示 : 初期画面

以上の過程により生成される出力の内容をブラウザによって表示すると、次のようになる。

初期画面 (図 7): 解説図ペアの分布図が 3 次元表示される。解説図ペアの差分特徴ベクトルに対応する 3 次元空間上の位置に、隣接したボックスが 2



図 8: 第 2 画面

個配置され、ボックスにはそれぞれ各解説図の画像がテクスチャとして張り付けられる。

ユーザーはブラウザ上で 3 次元空間内を自由に移動できる。空間上のボックスをクリックすると、テクスチャとして張り付けられた画像に対応する解説図に関する第 2 画面に切り替わる。

第 2 画面 (図 8): ブラウザの左側には、初期画面で選択した解説図の画像が表示される。右側には、初期画面と同様に解説図ペアの差分特徴ベクトルに対応する 3 次元空間上の位置に、1 個のボックスが配置された、解説図ペアの分布図が表示される。但し、このときに表示されるボックスの外観は次のようになる。

- 初期画面で選択された解説図を含むペアに対応するボックスには、それぞれのペアにおいて、選択された解説図と対をなすもう一方の解説図の画像のみがテクスチャとしてボックスに張り付けられる。
- 前項に該当しないボックスに関しては、対応する説明語ラベルの組の数だけ小球がボックス表面に表示され、ボックスと小球による次のようなアニメーションによって、解説図間が差分特徴量を視覚的に表現

される (図 9)。

- 2つの解説図間における説明語ラベルの参照点の位置の間を小球に往復移動させることによって、参照点の位置の変化を表現する。
- 小球の色を、参照点の一方の解説図間での色からもう一方の解説図での色へ連続的に変化させることによって、参照点の色の変化を表現する。
- ボックスを囲む位置に半透明のボックスを表示し、2つの解説図の大きさの比に応じてこれを膨らんだり縮んだりさせることによって、解説図の画像サイズの変化を表現する。

これによって、差分特徴ベクトルの近い解説図ペア集合の視覚的な特徴の傾向が把握しやすくなる。

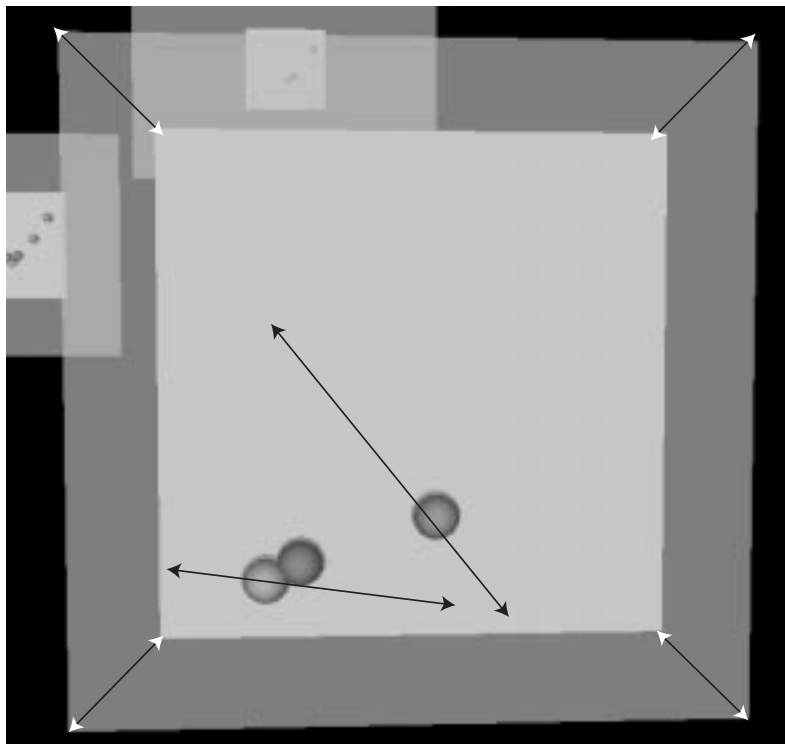


図 9: アニメーションによる解説図ペアの差分特徴の表現

説明内容	解説図ペアの数
成長過程	25
視点位置の移動	19
実物と模式図	12
強調する要素の違い	5

表 2: 解説図ペアのサンプルの内訳

5 実験と評価

本章では、説明目的に基づいた教材、及び教材中の解説図の関連付けのための差分特徴ベクトルの有効性を評価する。初めに、実験に用いた医学教育用解説図ペアのサンプルについて説明し、次にこれに対して3章で述べた差分特徴ベクトルを解説図から求め、4章で示した表示システムを使用して教材間の関連性の3次元表示を行なって各差分特徴量の有効性を評価し、最後に解説図ペアの説明目的に基づく関連付けを行ない、結果について評価する。

5.1 実験用解説図サンプル

医学教育のための解剖学、発生学、心エコーなどの解説書中に出現する解説図ペアを用いて、教材の説明目的に基づく関連付けの実験を行なった。

実験に用いた解説図ペアのサンプルと、その説明目的の内訳を表2に示す。

実験にあたって、以下のデータファイルを予め用意した。

解説図の画像ファイル 医学解説書からイメージスキャナで取り込み、画像ファイルとして保存した。画像の解像度は全て均一にし、書籍中での解説図のサイズの比率を画像の大きさの比率として図ることができるようにした。

引出線情報ファイル 説明語ラベルの文字列と参照点の座標はテキストファイルとして記述した。このときの参照点の座標としては、周囲の空白を除いた状態での座標系を採用した。

5.2 解説図ペアの分布図の表示実験

5.2.1 実験の手順と結果

はじめに、差分特徴ベクトルの特徴と、対応する説明目的との相関性を検証するために、解説図ペアのサンプルを用いて差分特徴ベクトルを求め、説明目

説明目的	f_{distav}	f_{distv}	f_{colav}	f_{colv}
成長過程	0.154532	0.005061	0.002742	0.000004
視点位置の移動	0.387825	0.032341	0.001834	0.000004
実物と模式図	0.086351	0.002131	0.019274	0.000320
強調する要素の違い	0.239039	0.032072	0.004421	0.000015

説明目的	f_{brtav}	f_{brtv}	f_{same}	f_{differ}	f_{size}
成長過程	0.111807	0.006098	0.362687	0.637313	0.369959
視点位置の移動	0.110062	0.003738	0.460374	0.539626	0.268338
実物と模式図	0.284712	0.005271	0.869823	0.130177	0.051931
強調する要素の違い	0.194503	0.012283	0.355677	0.644323	0.082919

表 3: 説明目的毎の差分特徴ベクトルの平均

的毎に平均を求めた。結果を表 3 に示す。

次に、差分特徴ベクトルの各成分について、どのような説明目的の識別に有効かを検討するために、各成分に対する解説図ペアの分布状況を調べた。

まず、差分特徴ベクトルの各成分毎の解説図ペアの分布状況の概観を図 10-18 に示す。

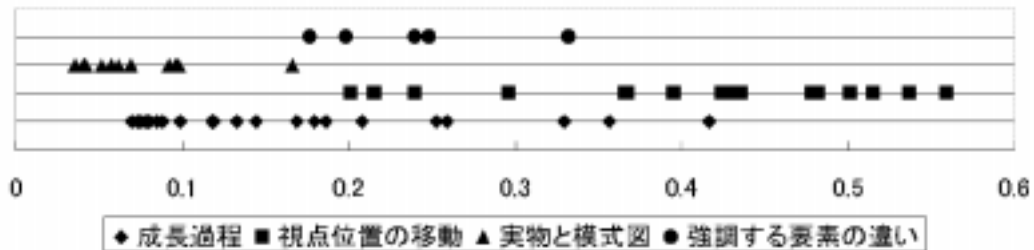


図 10: f_{distav} に基づいた解説図ペアの分布状況

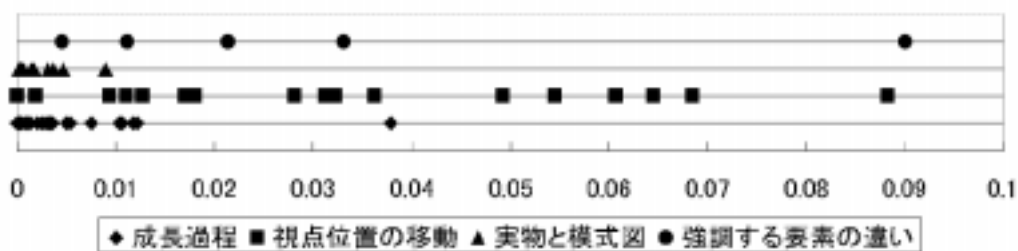


図 11: f_{distv} に基づいた解説図ペアの分布状況

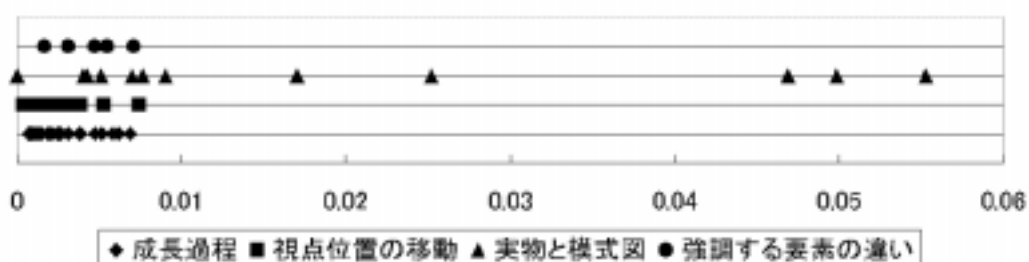


図 12: f_{colav} に基づいた解説図ペアの分布状況



図 13: f_{colv} に基づいた解説図ペアの分布状況

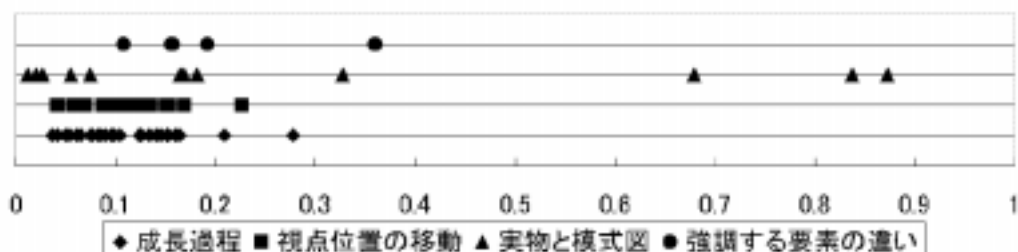


図 14: f_{brtav} に基づいた解説図ペアの分布状況

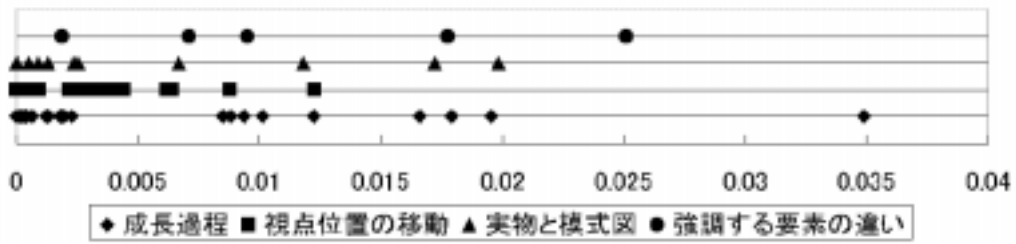


図 15: f_{brtv} に基づいた解説図ペアの分布状況

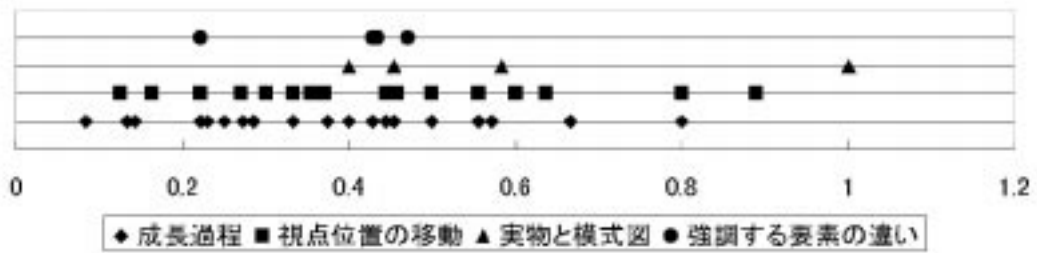


図 16: f_{same} に基づいた解説図ペアの分布状況

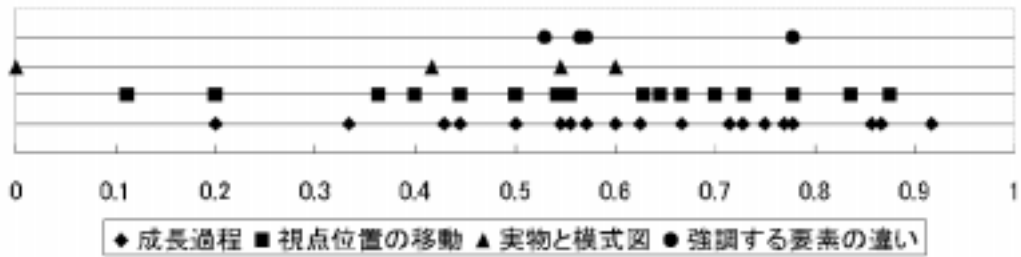


図 17: f_{differ} に基づいた解説図ペアの分布状況

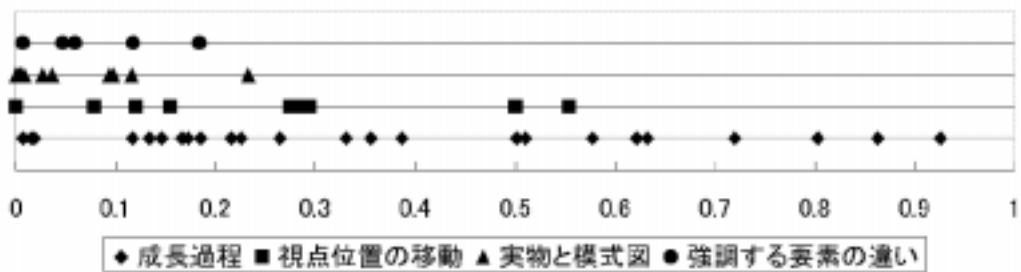


図 18: f_{size} に基づいた解説図ペアの分布状況

5.2.2 評価と考察

解説図ペアの説明目的と差分特徴ベクトルの相関性を検証するために、表 1 と表 3 を比較した。その結果、次のようなことが分かった。

成長過程 表 1 で示したように、「同一の説明語ラベルの組がやや多い」と予想されたが、表 3 の値 f_{same} を見れば分かるように、実際は予測に反して、同一の説明語ラベルの組は少ないという結果になっている。これは、利用したデータにおいて、成長するにつれて器官が増えていくような場合が多かったためであると考えられる。

また、表 3 によると、表 1 における「画像サイズの変化が大きい」「参照点の色の差が小さい」という予測と適合しているのが分かる。

視点位置の移動 表 1 で示したように、「参照点の位置の差が大きく、色の差が小さい」と予想されたが、実際に、表 3 における f_{distav}, f_{colav} の値を見れば分かるように、予測と適合しているのが分かる。

実物と模式図 表 1 で示したように、「同一の説明語ラベルの組が多い」「参照点の位置の差が小さく、色の差は大きい」「画像サイズの変化が小さい」と予想されたが、実際に、表 3 における $f_{distav}, f_{colav}, f_{same}, f_{size}$ の値を見れば分かるように、予測と適合しているのが分かる。

強調する要素の違い 表 1 で示したように、「参照点の位置の差が小さい」と予想されたが、表 3 における f_{distav} の値を見れば分かるように、実際には参照点の位置の差が大きいという結果となっている。これは、実際のデータでは参照点として血管や神経等がよく扱われ、これらは参照点として指示するのに適する範囲が細長く伸びており、このため参照点の決まり方が曖昧なものとなっていることが原因と思われる。

次に、表 3 と図 10-18 から、各差分特徴量のばらつきについて評価する。

f_{distav} (図 10) 0.35 より大きくなると、殆んど「視点位置の移動」の解説図ペアだけが分布している。また、0.06 より小さくなると、「実物と模式図」の解説図ペアだけが分布している。しかし、0.2 から 0.35 の間においては複数の説明目的の解説図ペアが混在しており、説明目的間の境界が明確になっていない。

f_{distv} (図 11) 0 から 0.015 の間において、複数の説明目的の解説図ペアが混在している。また、0.02 から 0.09 の間においては、「視点位置の移動」の解

説図ペアと「強調する要素の違い」の解説図ペアが混在しており、分布が重複している。従って、この成分においては説明目的間の境界は定められない。

f_{colav} (図 12) 0 から 0.009 の間においては、複数の説明目的の解説図ペアが混在しているが、0.009 より大きくなると、「実物と模式図」の解説図ペアだけが分布している。従って、説明目的間の境界は明確にはならないが、「実物と模式図」の解説図ペアと、それ以外の解説図ペアの区別には利用可能であると考えられる。

f_{colv} (図 13) ごく一部の解説図ペアが極端に大きな値をとっているのを除けば、殆んど全ての解説図ペアが 0 付近に集中しており、説明目的間の境界は定められない。

f_{brtav} (図 14) 殆んどの解説図ペアが 0 から 0.25 の間に集中しており、説明目的間の境界は定められない。

f_{brtv} (図 15) 殆んどの解説図ペアが 0.1 から 0.7 の間に混在しており、説明目的間の境界は定められない。

f_{same} (図 16) 殆んどの解説図ペアが 0.1 から 0.7 の間に混在しており、説明目的間の境界は定められない。

f_{diff} (図 17) 殆んどの解説図ペアが 0.3 から 0.9 の間に混在しており、説明目的間の境界は定められない。

f_{size} (図 18) 0 から 0.2 の間においては、複数の説明目的の解説図ペアが混在しているが、0.25 より大きくなると殆んど「成長過程」の解説図ペアだけが分布している。

以上をまとめると、説明目的の境界ははっきりしないが、 f_{distav} , f_{colav} , f_{size} に関してはそれぞれ「視点位置の移動」、「実物と模式図」、「成長過程」という説明目的の解説図ペアにおいては他の解説図ペアとは大きく異なる値を取るようにになっている。

5.3 解説図ペアの関連付け実験と評価

前節の考察に基づき、説明目的の違いを最も反映したものとして、差分特徴ベクトルの成分のうち、 f_{distav} , f_{colav} , f_{size} を座標軸に選び、この成分に基づく解説図ペアの分布表示を行ない、同じ説明目的を持つ解説図ペアが 3 次元空間上の近い位置に配置されていることを実験によって確かめた。

各説明目的毎に一組ずつ解説図ペアを選択し、初期画面において片方の解説図のボックスをクリックして、第2画面を表示させた(図19)。第2画面において画像テクスチャの張られたボックスの周辺のアニメーションを観察することによって、選択した解説図ペアと周囲の解説図ペアとの説明目的に基づく関連性が調べられる。

図19を見れば分かるように、解説図ペアの分布は、境界は曖昧ではあるが、説明目的の分布の傾向は視覚的にある程度反映されているのが分かる。

6 結論

本研究では解説図間の特徴の差を、説明語ラベルによって対応づけられる参照点の視覚的な特徴に基づいて特徴量化した。これによって、解説図ペアの説明目的の近さが、差分特徴ベクトルの距離の近さとして表現され、説明目的に基づく解説図ペアの関連性が2つのペアの距離として表現することが可能となった。

しかし、分布状況を観察する限りでは、説明目的毎に空間を区切ることが困難であり、解説図ペアの関連付けはあまり明確には行なえない。一見するとどの説明目的に近いのかという判断が困難なものも少なくはない。例えば、「視点位置の変化」の場合、確かに参照点の位置の変化の大きさが特徴として表われるが、解説図ペア毎にその大きさには差があるため、分布に大きなばらつきがある。

従って、説明目的に基づく解説図ペアの関連付けの為には、特徴軸をさらに工夫し、説明目的間の境界がより明確になるようにしなければならない。

また本研究では、説明語ラベルの対応付けは同一の文字列の組に対して行なったが、実際は、同一の部分に対して名称に修飾語を付け加えて違いを表現する場合などのように、文字列に違いはあるが対応づけるべき組み合わせも存在する。このような組み合わせを得るには、用例やシソーラスに基づいて文字列の意味解析を行なう必要がある[5]。さらに、解説図のキャプションに対して意味解析を行なうことも解説図の役割の理解に大いに役立つと考えられる。

今後の課題として、教材の説明目的に基づくより明確な関連付けの実現のために、説明語ラベルの文字列に意味解析を適用することと、説明目的に基づく解説図の適切な組み合わせの検索に利用できるようにするために、表示インターフェースを改良することを検討している。

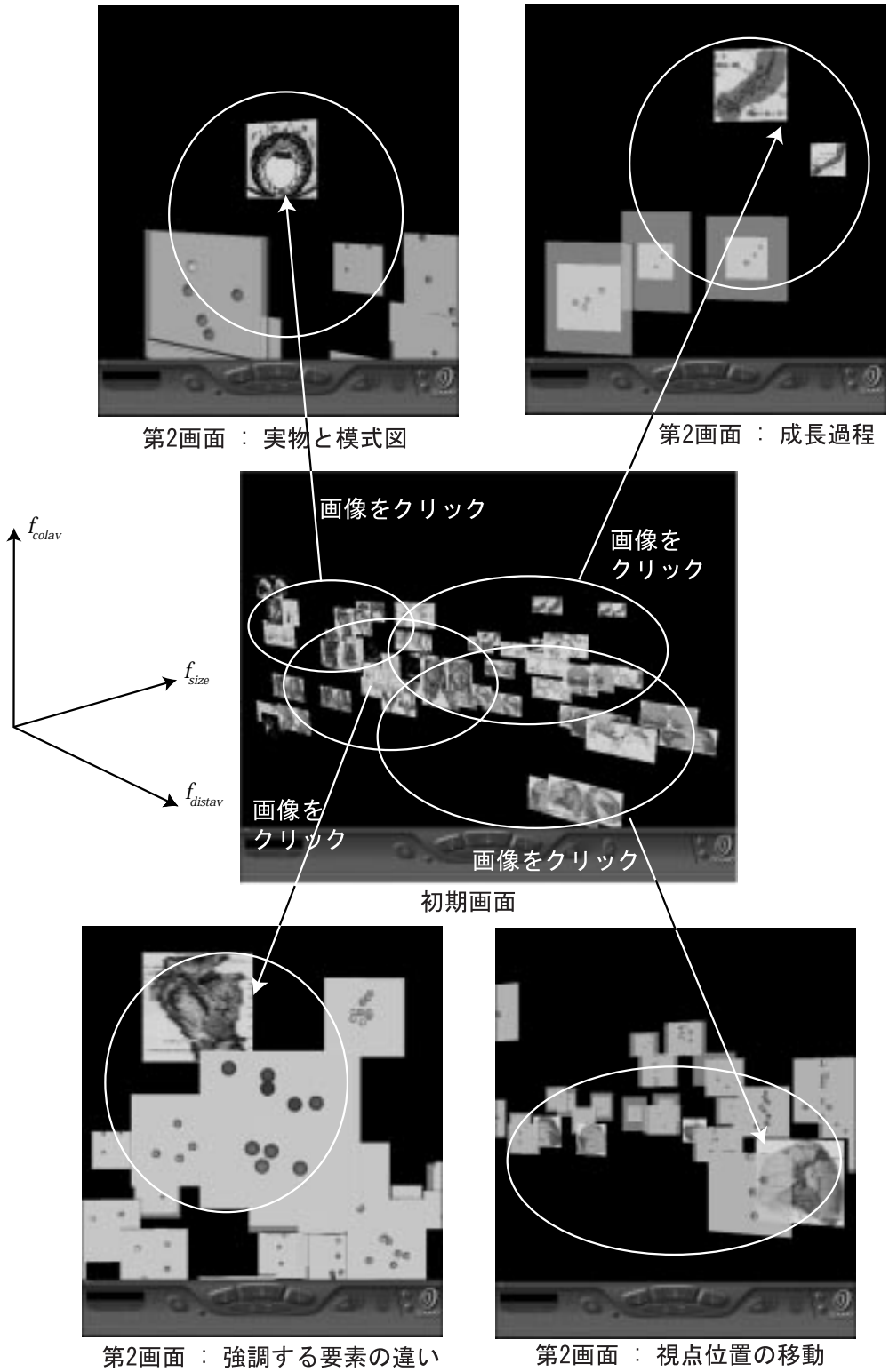


図 19: 解説図ペアの関連性と空間上の位置の相関性

謝辞

本研究を行なうにあたり多くの御教示、熱心なご指導を賜りました美濃導彦教授に深く感謝致します。また、貴重な助言を数多く頂きました角所考助教授、亀田能成助手に深く感謝致します。そして、医学教育用解説図の実験データの収集について数々の助言を頂きました入江秀和助手に心より感謝致します。最後に、様々な面で協力して頂いた美濃研究室の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Lahlou, Y.: Modeling complex objects in content-based image retrieval, *SPIE*, Vol. 2420, pp. 104–115 (1995).
- [2] 渡辺靖彦, 長尾眞: パターン情報と自然言語情報の統合による植物図鑑の図の理解, *人工知能学会誌*, Vol. 11, No. 6, pp. 888–895 (1996).
- [3] Han, K.-A. and Myaeng, S.-H.: Image Organization and Retrieval with Automatically Constructed Feature Vectors, *SIGIR 96*, pp. 157–163 (1996).
- [4] 谷内田正彦, 他: コンピュータビジョン, 丸善 (1990).
- [5] 長尾 眞編: 自然言語処理, 岩波講座 ソフトウェア科学, Vol. 15, 岩波書店 (1996).