

類似性の区別に基づくデザイン学習支援

Learning Support for Graphic Design based on the Distinctions of Similarity

森田純哉^{1*} 永井由佳里¹ 田浦俊春^{1,2}

Junya MORITA Yukari NAGAI Toshiharu TAURA

¹ 北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科

School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

² 神戸大学大学院自然科学研究科

Graduate School of Science and Technology, Kobe University

Abstract: One of the basic skills in design work is the space compositions that control the attributes of objects in constructing wholly consistent figures. One way to acquire this skill is through case-based learning. Generally, communicating spatial information with words is difficult. Therefore, observational learning is more effective than verbal instruction for space composition. Analogical reasoning has also been intensively investigated in the research field of cognitive science. Cognitive scientists usually distinguish analogical reasoning based on surface similarity from analogical reasoning based on structural similarity. In this paper, we describe a learning system for space composition, one that presents the learner with a case and prompts him/her to compose a novel visual space. Once the learner completes the task, the system automatically calculates the scores of similarity between the space composed by the learner and the case presented by the system. Then, it gives the scores to the learner as part of learning feedback. This feedback helps the learner extract abstract principles from the presented case.

1 はじめに

本論文では、美術、あるいはデザイン分野における学習支援の方法を提案する。特に「構成力」を育成する方法に焦点を当てる。構成力とは、そこに含まれるオブジェクトの属性を調整し、全体として美しいグラフィックを描く能力である。この能力は、美術・デザインにおける専門性の基盤となる。たとえば、ポスターの図案を考えること、食器や絨毯の模様を描くことは、構成力に基づく。

従来、構成力を育成する手段として、視覚的な事例の参照が重視されてきた。たとえば、美術教育では、しばしば、名画が模写される。また、三井は、優れた作品の鑑賞により、構成力が身に付くとしている[三井 96]。この分野において、事例に基づく学習が重視される背景には、言語的教示の困難さがあると考えられる。「百聞は一見に如かず」ということわざがあるように、視

覚的事例は、言語化の困難な情報を容易に伝達する。

しかしながら、事例に基づく学習にも問題点がある。たとえば、事例を提示された学習者は、そこから何を観察すればよいのであろうか。視覚的な対象には、無数の特徴が潜む。よって、この分野における事例に基づく学習には、特徴を選択するための観点・制約が必要になる。

本論文では、この問題を、認知科学における類推に関する知見に基づいて考える。類推とは、既知の事例(ベース)を直面する状況(ターゲット)へ対応付ける推論である。従来の研究では、類推の制約として、次のような2つの類似性が指摘されている [Forbus 95]。

- 表層的類似性: ベースとターゲットで、オブジェクトの属性がどの程度類似するか。
- 構造的類似性: ベースとターゲットで、オブジェクト間の関係がどの程度類似するか。

さらに、類推に関する心理学的実験により、これらが、人間の思考に異なる影響を及ぼすことが確かめら

* 森田 純哉

〒 923-1292 石川県能美市旭台 1-1

Tel: 0761-51-1707, Fax: 0761-51-1149,

E-mail: j-morita@jaist.ac.jp

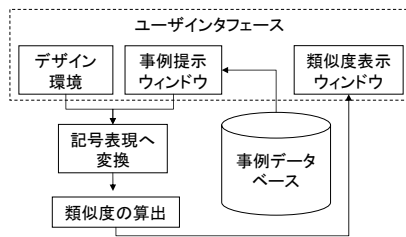


図 1: 学習支援プロトタイプシステムの構成。

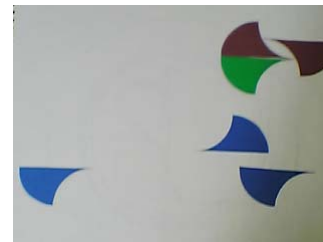


図 3: 平面構成の作品。

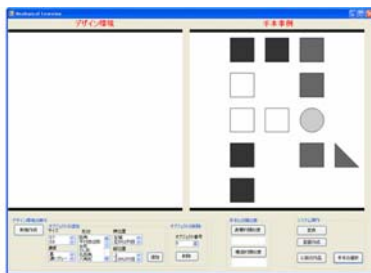


図 2: 学習支援プロトタイプシステムのユーザインタフェース。

れてきた。すなわち、通常、人間は事例の表層的特徴に目を奪われる。しかし、熟慮の機会が与えられれば、構造的類似性に基づく類推を良いものと判断する [森田 05]。

我々は、美術・デザイン分野における学習支援の方法を検討するうえで、上記の類似性を考慮する必要があると考える。さらに、従来の研究を参考にすれば、以下のような仮説を設定することができる。

- 学習者は、事例の表層的特徴（オブジェクトの色・形状など）に目を奪われる傾向がある。
- 構成力の学習に重要な特徴は、事例の表層的特徴ではなく、構造的な特徴（オブジェクト間での距離のとり方、オブジェクト間での色のバランス、形状の組み合わせなど）である。

我々は、この仮説に基づき、構成力の学習を支援するシステムを試作した。本システムの狙いは、事例に対する学習者の観点を、表層的特徴から構造的な特徴へシフトさせることである。次節では、試作したシステムの概要を示す。その後、システムの妥当性を評価する実験を示す。

2 構成力の学習支援プロトタイプシステム

本システムにおいて、学習者は、システムから手本となる事例を提示される。その事例を参考に、学習者は新たなグラフィックを描く。描画後、学習者は、自身

の作品と事例との表層的類似度、構造的類似度を受け取る。これらの類似度は、事例に対する学習者の観点を表すとみなせる。さらに、前節の仮説に従えば、表層的類似度、構造的類似度は、それぞれ構成力の育成に対する負と正のフィードバックになる。これらのフィードバックを受けた結果、学習者は、構成力に関する抽象的な原理を学習すると考える。

図 1 と図 2 は、それぞれシステムの構成とユーザインタフェース部を示したものである。システムには、(1) デザイン環境、(2) 事例の提示機能（事例提示ウィンドウ、事例データベース）、(3) 記号表現への変換機能、(4) 類似度の算出、表示機能が含まれる。以下、それぞれの機能を説明する。

2.1 デザイン環境（ターゲット）

ユーザは、システム中のデザイン環境を使用し、グラフィックを描く。描くべきグラフィックは、複数の図形オブジェクトを組み合わせたものである。ユーザは、以下の属性について値を設定し、オブジェクトをデザイン環境に配置する。

- 位置: x 軸（横方向）、y 軸（縦方向）の値を指定する。それぞれの軸につき、5 つの値から選択できる。なお、本環境では、2 つのオブジェクトを重複した位置に置くことはできない。
- サイズ: オブジェクトの大きさを指定する。5 つの値から選択できる。最も小さい値が 175pt、最大が 250pt である。
- 濃度: オブジェクトの色の濃さを指定する。黒から白までの 5 つの値から選択できる。
- 形状: オブジェクトの形状を指定する。四角、円、直角三角形、平行四辺形などを含む 16 種類のタイプから選択できる。

なお、本システムにおけるデザイン環境は、「平面構成」と呼ばれる課題を参考にしている。平面構成とは、幾何図形などの単純なオブジェクトを平面上に配置す

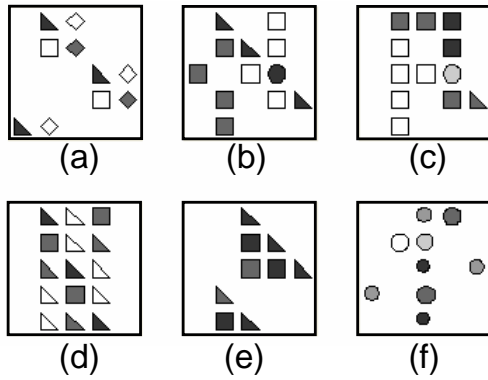
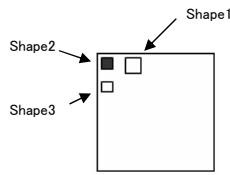


図 4: 事例データ.



```

::属性を述語とする命題
;Shape1の属性
2x (Shape1), 1y (Shape1), 4size (Shape1), 5darkness (Shape1), rectangle (Shape1)
;Shape2の属性
1x (Shape2), 1y (Shape2), 1size (Shape2), 1darkness (Shape2), rectangle (Shape2)
;Shape3の属性
1x (Shape3), 2y (Shape3), 1size (Shape3), 5darkness (Shape3), rectangle (Shape3)

::関係を述語とする命題
;Shape1とShape2の関係
horizontal (Shape1, Shape2), 1distance (Shape1, Shape2), 4dens_difference (Shape1,
Shape2), 3size_difference (Shape1, Shape2), same_shape (Shape1, Shape2)
;Shape1とShape3の関係
right_up (Shape1, Shape3), 1distance (Shape3, Shape1), 0dens_difference (Shape3, Shape1),
3size_difference (Shape1, Shape3), same_shape (Shape3, Shape1)
;Shape2とShape3の関係
vertical (Shape2, Shape3), 1distance (Shape3, Shape2), 4dens_difference (Shape3, Shape2),
0size_difference (Shape3, Shape2), same_shape (Shape3, Shape2)

```

図 5: 記号表現への変換.

る課題である。幾何図形の適切な配置によって、全体として美しいグラフィックが構成される。平面構成は、構成力を育成する課題として、美術・デザインの教育場面で多用される。図3はその具体例を示す。これは、陶芸専門学校の実習で制作された作品である。

2.2 事例の提示 (ベース)

ユーザは、事例提示ウィンドウを通して、手本となるグラフィック事例を観察する。図4にシステムが積む事例を示す。これらの制作は、美術大学の出身者に依頼した。なお、製作者は、現在、陶芸家として活動している。図3の作品もこの製作者によるものである。

2.3 記号表現への変換

提示事例 (ベース) とユーザによって制作されたグラフィック (ターゲット) を、記号表現 (命題) へ変換する。まず、グラフィック中の各オブジェクトについて、その属性 (位置、濃度、形状) を述語とする命題を構

成する。さらに、オブジェクト間の可能な組み合わせについて、関係 (位置関係、距離関係、濃度の関係、大小関係) を述語とする命題を構成する。

変換された記号表現の例を図5に示す。図5のグラフィックには、3つのオブジェクト (Shape1, Shape2, Shape3) が含まれる。そして、それぞれのオブジェクトに関する「属性を述語とした命題」が示される。また、オブジェクト間の組み合わせについて、「関係を述語とした命題」が示される。

図に示されるように、本システムでは、値を述語の引数として扱う “x(Shape1, 2)”, “distance (Shape1, Shape2, 1)” のような記法を採用しない。そうではなく、本システムにおける命題の記述では、述語が値を直接指示する。たとえば “2x(Shape1)” は、“Shape2” が x 軸 “1” の位置にあることを示す。また、“1distance(Shape1, Shape2)” は、“Shape1” と “Shape2” の間の距離が 1 であることを示す。これによって、属性を表現する命題と関係を表現する命題を明確に区別できる。つまり、属性を表現する命題は、常に単一の引数を取るものとして記述される。また、関係を表現する命題は、常に 2 つの引数を取るものとして記述される。

2.4 類似度の算出

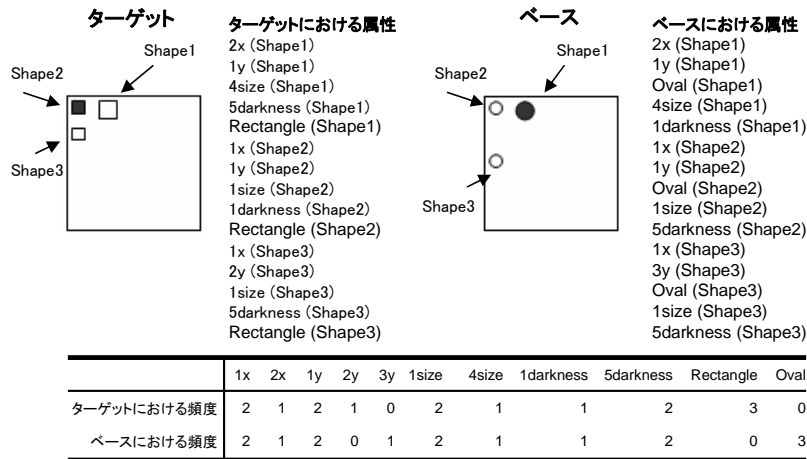
ベースとターゲットの記号表現をもとに、グラフィック間の類似度を算出する。算出の方法は、[Forbus 95] を参考にする。以下、表層的類似度、構造的類似度のそれぞれについて、算出の方法を示す。

2.4.1 表層的類似度の算出

図6を参照しつつ、表層的類似度の算出方法を説明する。図6には、2つのグラフィックが示される。一方は、図5と同じものである。これをターゲットとし、それとは別のグラフィックをベースとして用意した。

表層的類似度の算出においては、まず、記号表現に含まれる属性の頻度を、種類ごとにカウントする。図6には、ベース、ターゲットに対応する記号表現 (属性を述語とする命題のみ) が、グラフィックの右に示される。また、属性の種類をカウントした結果は表によって示される。表頭に属性の種類が示され、表側にターゲットとベースの区別が示される。

ここで、この表におけるベースとターゲットの各行をベクトルとみなす。表層的類似度は、これらベクトル間の内積として数値化される。図6に示される2つのグラフィックの場合、その値は 17 となる。なお、括弧内は、単位ベクトル化後の内積を示す。この場合、表層的類似度は、0 (完全に一致しない) から 1 (完全に一致) までの範囲を取る。



表層的類似度 = 17 (0.62)

図 6: 表層的類似度の算出。

2.4.2 構造的類似度の算出

構造的類似度の算出には、認知科学における代表的な類推エンジンである SME (Structure-Mapping Engine [Falkenhainer 89]) を使用する。SME のアルゴリズムは、以下 2 つの段階を含む。

ローカルマッチの構成 ベース中に含まれる個々の要素（述語・オブジェクト）とターゲット中に含まれる要素の可能な対応を列挙する。ここで構成される対応をローカルマッチと呼ぶ。なお、対応付けられる述語は、同じ種類のものに限られる。また、ここでは、属性を表す述語は対応付けられない。

グローバルマップの構成 ベースとターゲットの全体的な対応を構成する。ここで構成される対応をグローバルマップと呼ぶ。グローバルマップは、以下 2 つの原則に従うローカルマッチの結合として、構成される。

- 並列結合性の原則: 述語が対応付けられた場合、その引数を必ず対応付ける。また、述語の引数に順序関係がある場合、それを保持した状態で対応付ける。つまり、第 1 引数は第 1 引数と対応付けられ、第 2 引数は第 2 引数と対応付けられる。
- 一対一対応の原則: ベース中の単一の要素を、ターゲット中の複数の要素へ対応付けない。あるいは、ターゲット中の複数の要素を、ベース中の単一の要素へ対応付けない。

構造的類似度は、上記の手続きに従って構成されるグローバルマップ（共通構造）の大きさである。図 7 は、構造的類似度に関する図的な説明である。視認性のために、記号表現をネットワークとして示す。図 7 における上段と中段のネットワークは、それぞれ図 6 に

におけるターゲットとベースに対応する。ネットワークの中で、述語は、楕円で囲まれ、引数となるオブジェクトとリンクで結合する。単一のオブジェクトと結合する述語が属性を表し、2 つのオブジェクトと結合する述語が関係を表す。なお、リンクには、実線のものと同点線のものがある。これらによって、引数の順序関係が区別される。実線が第 1 引数、点線が第 2 引数を表す。ただし、引数の順序に意味がない述語の場合は、ともに実線で結合している。

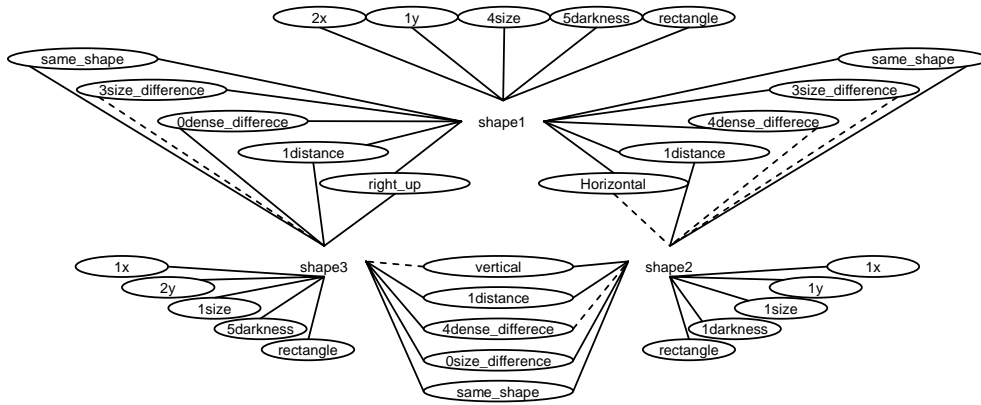
図 7 の下部に示されるネットワークは、ベースとターゲットのグローバルマップである。そこに属性は含まれない。また、述語の種類が異なる対応も含まれない（たとえば、ターゲット中の “1distance”，ベース中の “2distance” に対応する述語は含まれない）。さらに、同じ種類の述語であっても、引数の順序が異なるものは含まれない（たとえば、“shape1” と “shape2” を結合する “4dense_difference” は含まれない）。

図 7 の場合、構造的類似度の値は 10.89 になる。括弧内の数値は、この値を 0（完全に一致しない）から 1（完全に一致する）の範囲に変換したものである。これは、ベース自身、あるいはターゲット自身の構造的類似度によって、得られた類似度を除すことで得られる。

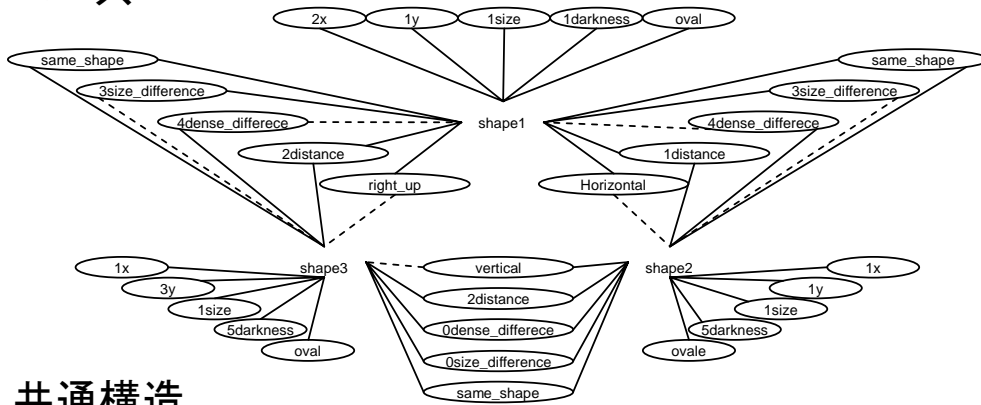
3 評価実験

システムの妥当性を評価する 2 つの実験を実施した。それぞれの実験は、システムの異なる機能を検討したものである。

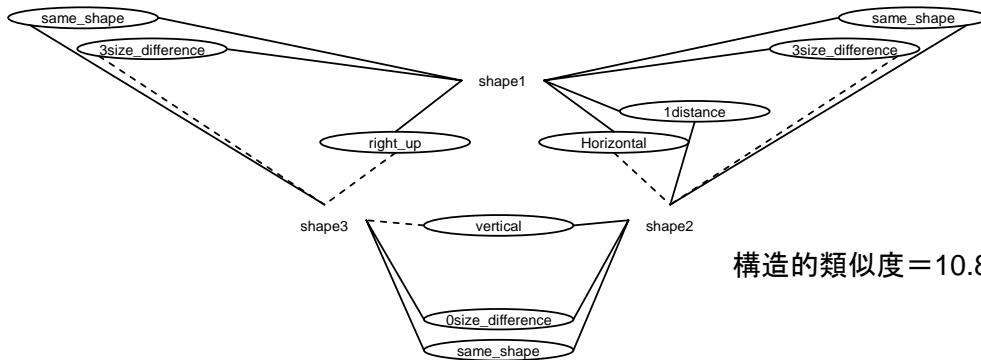
ターゲット



ベース



共通構造



構造的類似度 = 10.89(0.73)

図 7: 構造的類似度の算出.

3.1 実験 1

3.1.1 目的

本システムによって算出される類似度が、どの程度、人間による類似度評定と一致するか検討した。

3.1.2 方法

実験の材料は、10枚のグラフィックの45通りのペアであった。グラフィックの作成は、次の手順に従った。まず、グラフィック中のオブジェクト数を5に定めた。そして、それら各オブジェクトの属性をランダムに選択した。この手順によって、偏りのないグラフィックのサンプルが得られた。

評定者は、認知科学を専門とする大学院生・大学教員16名であった。評定者は、2枚のグラフィックが上下に印刷されたA4の用紙を配布された。そして、印刷されたグラフィックのペアが、どの程度類似するか、直感的に評定するように求められた(5段階評定)。被験者1人当たり、2から3のグラフィックペアを評定した。

3.1.3 結果と考察

前節で説明したシステムを使用し、45通りのペアの表層的類似度と構造的類似度を計算した。そして、それらの値と評定値との相関を検討した。その結果、それぞれの類似度と評定値との間に有意な相関が認められた[評定値と表層的類似度との相関係数 $r = 0.33$ ($p < .05$), 評定値と構造的類似度との相関係数 $r = 0.34$ ($p < .05$)]。このことから、2つの類似度が、人間による類似度評定と無関係でないことが示された。ただし、この相関係数の値は評定値を説明する上では十分ではない。今後、より精度の高い類似度の算出方法を探る必要がある。

3.2 実験 2

3.2.1 目的

課題設定の妥当性を評価するために実施した。本システムを使用したグラフィックの描画を無理なく遂行できるか、事例を参考にしたグラフィックの描画を自然に行えるか検討した。

3.2.2 方法

前節で説明したシステムを実験環境として使用した。使用した事例は図4における(b)と(f)である。

被験者は、大学院生3名であった。被験者は、2つの事例のそれぞれを参考に、2枚のグラフィックを描いた。その際、必ず事例を参考にしてグラフィックを描くようにと教示された。また、できるだけ、創造的で美しいグラフィックを描くように求められた。課題の制限時間は30分であった。

3.2.3 結果と考察

被験者へ提示したベースと各被験者が制作したグラフィックを図8に示す。いずれの被験者も、事例を参考

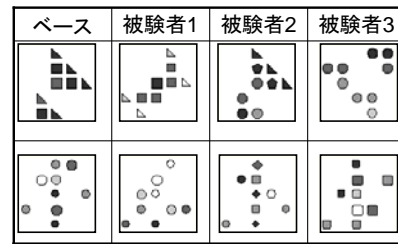


図 8: 実験 2 において制作されたグラフィック。

にしつつ、オリジナリティのあるグラフィックを描画できた。このことは、本研究における課題設定が妥当なものであることを示す。

なお、本来であれば、ここに、各被験者が制作したグラフィックとベースとの類似度を示すべきである。しかし、現段階では、図8のようなグラフィックについて、構造的類似度を算出することができない。SMEのアルゴリズムでは、対応付けるオブジェクト数が多い場合に、メモリの不足が生じる。今後、より効率的な類似度の算出方法を探る必要がある。

4 まとめ

本論文では、構成員力を育成する学習支援の仮説と方法を提案した。そして、その提案に即して、学習支援プロトタイプシステムを試作した。さらに、システムの妥当性を評価する2つの実験を実施した。

実験によって、本研究における課題設定と類似度算出の方法がある程度支持された。同時に、本システムについて、改善すべき課題も明らかになった。今後、類似度の算出方法を見直し、より妥当で信頼のできるシステムの開発を目指す。将来的には、学習者へ類似度をフィードバックする実験を実施し、本論文で提案した仮説と学習方法を評価する。

参考文献

- [Falkenhainer 89] alkenhainer, B., Forbus, K., and Gentner, D.: The Structure-Mapping Engine: Algorithm and Example, *Artificial Intelligence*, Vol. 41, pp. 1.63 (1989)
- [Forbus 95] Forbus, K., Gentner, D., and Law, K.: MAC/FAC: A model of similarity-based retrieval, *Cognitive Science*, Vol. 19, pp. 141.205 (1995)
- [Gentner 93] Gentner, D., Rattermann, M., and Forbus, K. D.: The role of similarity in transfer: Separating retrievability for inferential soundness, *Cognitive Psychology*, Vol. 25, pp. 524-575 (1993)
- [三井 96] 三井秀樹: 美の構成学 パウハウスからフラクトルまで. 中央公論新社 (1996)
- [森田 05] 森田純哉, 三輪和久: 計算機モデルによる Openend な状況での認知の分析, *人工知能学会論文誌*, vol.20, no.4, pp.306-317 (2005)