

手本との類似を利用した観点の発見支援

森田 純哉, 永井 由佳里

北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科

概要: これまで、熟達化により対象への観点が変化すること、新たな観点はメタ認知や反省的思考により発見されることが指摘されてきた。しかし、観点発見のスキルを育成する方法は、十分に検討されてこなかった。このような背景から、計算機による観点発見支援システムの構築を目指した。その際、本研究では、対象領域として美術・デザインにおける平面構成を選択した。そして、平面構成における事例に基づく学習に関連する観点を、類似性の計算によって推定することを試みた。さらに、その結果を、学習者へフィードバックする機能を実装した。その狙いは、計算機による客観的な出力との対比により、学習者の暗黙的な観点を浮き彫りにすることである。本論文では、2つのケースを通して、実装されたシステムの出力を示す。

はじめに

初心者から熟達者へ至るプロセスにおいて、外界に存在する対象の見方(観点)は大きく変化する。知覚学習の実験室研究では、長期的なトレーニングにより、カテゴリ化に利用される特徴が変化することが示され(Goldstone et al., 2000)、実世界における熟達化を対象とした研究でも、熟達者と初心者で、知覚される特徴が大きく異なることが示されている(Morita et al., 2008)。

近年、このような変化を促す要因として、メタ認知、あるいは反省的な思考に注目が集まっている。たとえば、諏訪(2005)は、熟達化を、自己と外界とを関係付ける新たな変数を発見することととらえ、メタ認知的言語化がそれを促すと主張している。諏訪の検討する領域は、カラオケやスノーボーディングなど、身体的スキルに関わるものが主であるが、自己の保持する暗黙的な観点を客観化し、多様な観点を発見することは、領域に関わらない熟達化支援の手法といえそうである。

しかし、このような観点発見スキルを育成する方法は、未だ十分に検討されていない。もちろん、観点の発見を促す要因は既に研究されている。知覚学習の分野では、観点の発見に影響するフィードバック方法が検討され(Goldstone et al., 2000)、データマイニングなどの自動分析手法によって新たな観点を発見する試みもなされている(古川, 2008)。だが、これらは、学習者の主体的な観点発見を促すものではない。

この問題を踏まえ、本研究は、観点の主体的な発見を支援する方法を構築する。特に、本論文では、その枠組みの提案と、プロトタイプ的なシステムを示す。

観点発見スキル育成の枠組み

観点発見スキルの育成を支援するにあたり、本研究では、類似性に関わる学習者の振る舞いに着目する。その理由は、そこに人間の暗黙的な観点が顕著に反映されるからである。文脈や状況、あるいは個人の保持する経験により、何と何が類似しているのか、どこが、どの程度、類似しているのかに関する判断は変化する。

類似性に関する研究では、表層的類似性と構造的類似性の区別が、繰り返し指摘されてきた(Forbus et al., 1994; Gentner, 1983)。ここで、表層的類似性

は、要素が保持する属性の共有を意味し、構造的類似性は、要素間の関係構造の共通性を意味する。この枠組みに従う実証研究は、個人の経験により、それぞれの類似性から受ける影響が変化することを示してきた。通常、初心者は表層的な特徴に影響を受け、熟達者は構造的特徴に基づいて類似性を認知する(Novick, 1987)。

さらに、この分野の過去の研究は、表層的類似性と構造的類似性を区別する計算機モデルを構築してきた(Forbus et al., 1994)。人間と異なり、計算機モデルは、経験や状況に由来する暗黙的な観点を持たない。その出力は、アルゴリズムやパラメータの設定によって決定される。つまり、計算機の出力を変化させる要因は、人間のそれに比べ、明示的である。よって、類似性の認知をめぐる人間と計算機の対応により、人間の観点を客観的に推定することが可能になる。このような考えに従い、本研究では、類似性のモデルを応用した観点推定を試みる。

ただし、本研究は、計算機によって、個人の振る舞いを正確にシミュレートすることは目指さない。一般に、人間の振る舞いは、複数の認知的要因により説明される。そのため、実際には、全ての人間の観点を正確に推定する計算機モデルを構築することは困難である。多くの場合、計算機による観点の推定は、学習者本人にとって違和感を与えるものになると考える。

本研究における観点発見スキルの育成支援は、このような計算機による観点推定の違和感を前提とする。違和感のある出力を、あえて学習者に提示し、学習者の反省的な思考を促すことを試みる。つまり、計算機モデルによる観点の推定を手がかりとし、学習者自身に、自分の観点を発見させる。観点の規範的な推定結果が参照されることで、学習者の暗黙的な観点は意識化され、観点のコントロールスキルが身につくと考える。

課題領域

本研究では、具体的な対象課題として、美術・デザイン領域における平面構成を扱う。平面構成とは、幾何図形などの単純なオブジェクトを、平面上に配置することでグラフィックを描く表現技法、ないし課題である(三井, 1996)。

平面構成において、制作者が行う操作は、類推研究における先の知見と整合的である。制作者は、作

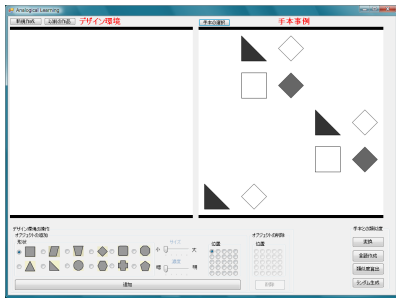


図 1: 事例に基づく制作の環境。

品に配置するオブジェクトの属性を選択し、その関係構造を調整する。作品に含まれる複数のオブジェクトが適切な関係をもつことで、統一感のあるグラフィックが構成される。

類似性の計算機モデルをこの課題に適用するために、本研究では、学習者に、手本に基づく平面構成の創作を行なわせる。より具体的に言えば、本研究では、手本事例に含まれる「何らかの特徴」を取り入れたオリジナル作品の構成を想定する。ここで、学習者は手本とまったく同じ作品を構成することも、手本とまったく共通点のない作品を構成することも許されない。学習者は、手本の特徴を自由に受け入れ、その受け入れ方を工夫することで、作品を彼らのオリジナルのものとする。このような制作は、プロの芸術家が頻りに行なう「ずらしによる創作」(岡田ら, 2007)と対応している。そして、このような状況を設定することで、手本との類似性を利用した学習者の観点推定が可能になる(森田ら, 2007)。

観点の発見支援システム

本節では、著者らが提案・実装した観点の発見支援システムを示す。提案するシステムは、事例に基づく平面構成の制作環境と構成された作品の分析環境から構成される。図 1 と図 2 にそれぞれのスクリーンショットを示す。本研究では、学習者が、この 2 つの環境を循環的に利用する状況を想定する。つまり、制作のプロセスの中で、学習者は自身の制作物を分析することが求められる。以下、それぞれの環境を説明する。

制作の環境

ここで用いる環境は、森田ら (2007) において構築されたものである。この環境において、ユーザは、提示される手本事例 (右パネル) を参考に、自身の作品 (左パネル) を構成する。グラフィックは、幾何図形を平面に配置することで構成される。平面上には、最大で 25 の図形を配置できる。幾何図形の属性は画面下のメニューによって選択される。ここで選択可能な属性は、x 軸方向の位置、y 軸方向の位置、サイズ、濃度、形状の 5 次元である。

分析の環境

制作環境の右下に配置される「類似度計算」ボタンを押すと、分析環境が立ち上がる。この環境において、学習者は、自身の制作したグラフィックと手本事例との表層的類似度と構造的類似度を受け取る。別の言葉を用いれば、学習者は、制作において、自

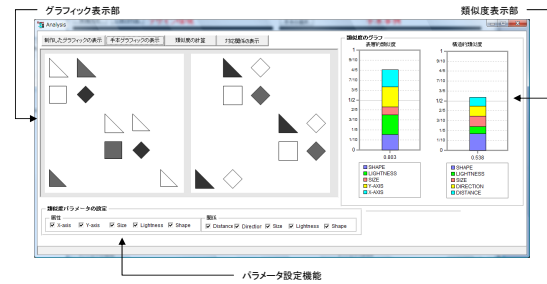
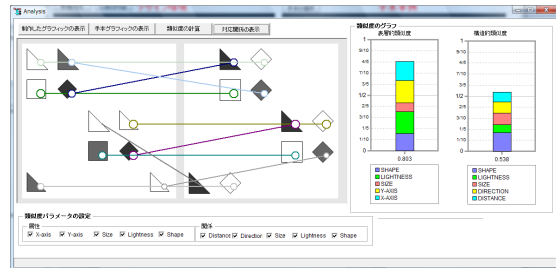


図 2: 制作されたグラフィックを分析する環境。

a. パラメータの初期設定における対応関係



b. パラメータ変更後の対応関係

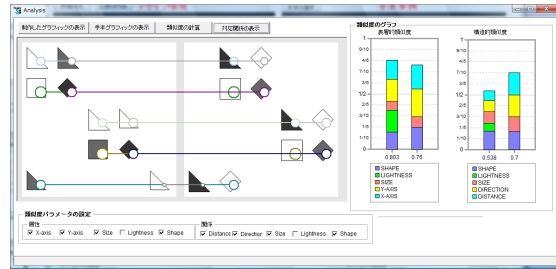


図 3: 分析環境における対応関係の表示。

分がどのように手本を参考にしたのか (手本に対する観点) を、計算機によって推定される。なお、ここで計算される類似度は、森田ら (2007) において開発されたものと基本的に同じである。本論文では、この環境のユーザインタフェース部を主に説明する。

a. グラフィック表示部 制作環境上で表示されるものと同一グラフィックが表示される。

b. 類似度表示部 分析環境の右側に、グラフィック間での表層的類似度と構造的類似度が、積み重ね棒グラフの形で表示される。2 つの類似度ともに、0 から 1 の範囲で値をとる。それぞれの類似度の計算は、次のようになされる。

- 表層的類似

グラフィック中のオブジェクトは、X 軸の位置 (X-AXIS)、Y 軸の位置 (Y-AXIS)、サイズ (SIZE)、濃度 (LIGHTNESS)、形状 (SIZE) の 5 次元の属性において値を持つ。本システムにおける表層的類似度とは、それぞれのグラフィックの制作において選択された値の共有度を表すものである。グラフ上では、属性値の共有度が、属性の各次元で色分けされて示される。

- 構造的類似

グラフィック中で、任意の 2 つのオブジェクトは、距離 (DISTANCE)、方向 (DIRECTION)、サイズ

の差 (SIZE), 濃度の差 (LIGHTNESS), 形状の異同 (SHAPE) という 5 次元の関係において値を持つ。構造的類似度の算出では, グラフィックの全オブジェクト (ノード) が, これらの関係 (エッジ) によって, 相互に連結されたグラフ構造を仮定する。そして, 2 つのグラフ構造の間で, オブジェクトが 1 対 1 に対応付けられる最大の共通構造を推定する。構造的類似度とは, 推定された共通構造の大きさである。グラフ上では, 推定された共通構造に, 各関係の次元が含まれる度合いが色分けされて示される。また, 構成されたオブジェクト間の対応は, 「対応関係の表示」ボタンを押すことで, グラフィック表示部に表される。図 3a, b に示されるスクリーンショットは, 対応関係の表示例である。ここで, オブジェクトの上におかれた円の大きさは, オブジェクト間での対応の強度を示している。たとえば, 図 3a のスクリーンショットにおいて, 制作したグラフィックの中央に位置するオブジェクトと手本事例の左下部に位置するオブジェクトの対応は, 他の対応に比べ, 強度が低いものになっている。

c. パラメータ設定機能 分析環境下部に並ぶチェックボックスにより, 類似度の計算に利用されるパラメータが設定できる。特に, このシステムでは, 類似度の計算に含める次元を変更することができる。これにより, たとえば, X 軸の位置 (X-AXIS) を除いた表層的類似度, 方向 (DIRECTION) を除いた構造的類似度が計算される。なお, パラメータの初期設定は, 全ての次元を表層的類似度と構造的類似度の計算に含めるものである。

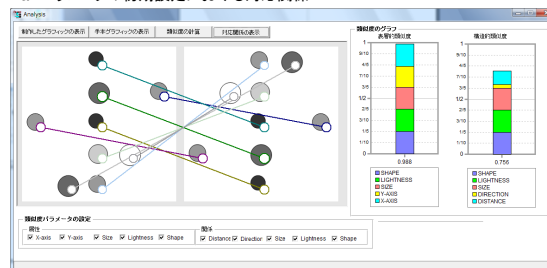
パラメータを変更した後, 画面上部の「類似度の計算」ボタンを押すと, 類似度表示部に, 新たな積み重ね棒グラフが追加される。図 3a は, 初期状態において計算される分析環境の状態, 図 3b は, 明るさ (LIGHTNESS) のチェックを外した後の分析環境の状態を示している。図 3a に比べ, 図 3b は, 表層的類似度が低下し, 構造的類似度が増加したことがわかる。さらに, 構造的類似度に基づくオブジェクト間の対応も, 方向や距離などの位置情報を反映するものに変化している。

期待される効果

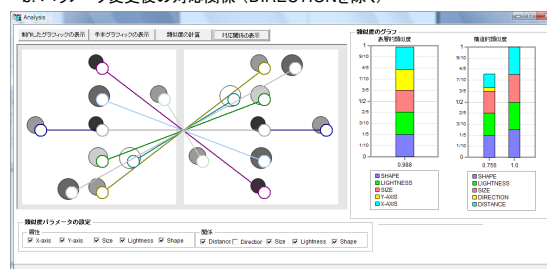
ここまで示したように, 本研究で提案する分析環境は, 類似度を詳細に視覚化する機能を備える。これにより, 学習者は, 自身が制作したグラフィックが, 手本とどのように類似していたのか, あるいはどのような観点で手本を参考にしたのかを理解することができる。

また, 表示される類似度に違和感を抱いた場合, パラメータ設定を変更することで, その原因を主体的に探索することができる。その結果, 学習者は, 自身の作品, あるいは手本事例の新たな特徴を見ることができるようになる。たとえば, 図 3a の出力に違和感を抱いた学習者が, 図 3b の出力を受け, それを自分の意図通りの出力と考えた場合, その学習者は, 自身の制作に, 明るさに対する注意が欠けていたことに気づく。

a. パラメータの初期設定における対応関係



b. パラメータ変更後の対応関係 (DIRECTIONを除く)



c. 回転の認識がうまくいかない例

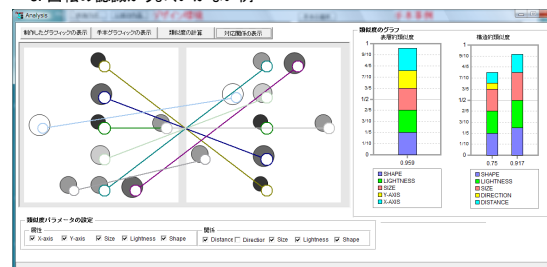


図 4: 対称性の計算

ケーススタディ

本節では, ここで提案したシステムによって観点の発見へ至る道筋を具体的に示す。

回転の認識

美術領域におけるデッサンの練習方法に, 絵画を反転させて模写する「回転模写」と呼ばれるものがある (例えば, 東海, 2007)。回転模写は, 見慣れない角度から絵画を観察することによる, 新たな特徴への気づきを導くとされる。このような効果は, 違和感を通して観点が発見されるという本研究の狙いと整合する。では, 本システムは, 回転模写に対して, どのような支援を提供するのであろうか。

図 4a, b は, 手本事例を 180 度回転させたグラフィックを制作し, 類似度の計算を行った結果である。図 4a は, 初期設定のパラメータで構造的な対応を計算した結果を示す。ここでは, 回転を反映したオブジェクト間の対応がとられていない。

そこで, 方向 (DIRECTION) を除いた構造的類似度を計算した。図 4b にその結果を示す。構造的類似度は最大の値となり, オブジェクト間の対応を示す直線は, グラフィックの間で収束的に交差した。

この結果は, 本システムが, 図の回転に対応した類似性を計算することができることを示す。さらに, 著者らは, このことが, 回転模写の支援に繋がるとも考えている。例えば, 回転模写をした結果, 誤ったオブジェクトの配置が行われた場合, 方向のチェックを外しても交差する対応はとられない。

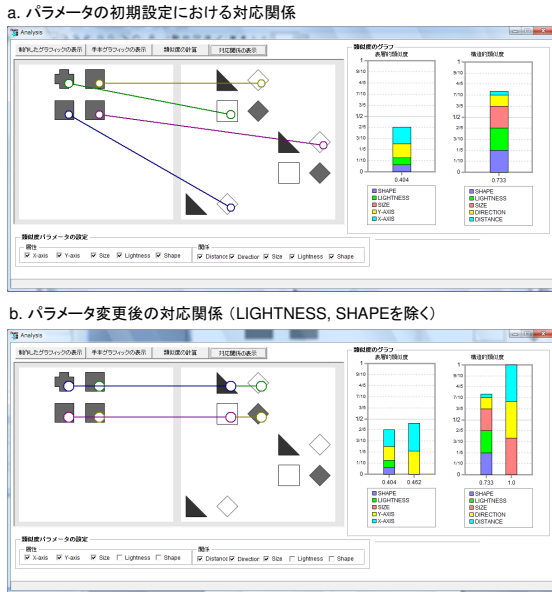


図 5: 制作途中での計算 .

図 4c において制作されたグラフィックは、図 4a, b から、右側 2 つのオブジェクトを入れ替えたものである。つまり、このグラフィックは、図 4a, b におけるグラフィックと属性の値は変わらない。よって、表層的類似度の値に変化はない。しかし、構造的類似度は、パラメータ初期設定においても、パラメータ変更後（方向 (DIRECTION) を除く）においても、その値が低くなっている。また、オブジェクトの対応も中央で交差するものではない。学習者は、このような出力を得ることで、自分の見方の偏りに気づくことができる。

制作の途中段階における計算

本システムは、制作の任意の段階で類似性の計算ができる。制作が完了していない場合、制作途中のグラフィックに含まれるオブジェクトは、手本事例に比べ少ないことが普通である。そして、一般に、2 つのグラフィックにおけるオブジェクト数が不均等なとき、競合する共通構造が多くなり、制作者の意図と整合しない出力が得られる機会が増加する。

図 5a, b は、制作途中の計算結果を示している。ここで、制作者が、手本事例を、位置的に隣接した 4 つのオブジェクトが、ユニットとして、反復されるものと見たとする。そして、この構造（ユニットの反復）を流用したグラフィックを描くことを試みたと考える。このように考えれば、図 5 における制作途中のグラフィックは、単一のユニットを完成させた状態となる。この意図に合致する出力は、制作途中のグラフィックにおける 4 つのオブジェクトが、手本事例における単一ユニット内のオブジェクトと対応付けられるものである。

図 5 のスクリーンショットのうち、図 5a は初期設定のパラメータで計算される類似度をあらわしている。ここで見られる対応は、上記の意図とは異なる。制作途中のグラフィックに含まれるオブジェクトは、手本事例における複数のユニットのオブジェクトと対応付けられている。制作の意図に従う対応をとる

ためには、明るさ (LIGHTNESS) と形状 (SHAPE) を除いた構造的類似度を計算する必要がある。図 5b は、パラメータ修正後のスクリーンショットである。制作の意図に従うように、ユニットとユニットが対応付けられている。

ここで、著者は、図 5b に示される対応関係が意味のないものであるとは捉えない。この対応は、制作の意図に従うものではないが、定められたルールで計算される最適なものである。その意味で、図 5 のケースは、意外なものであると同時に、手本事例に隠されていた特徴を気づかせるものということができる。

おわりに

本論文では、著者らが開発を進める観点発見支援システムを示した。本研究は、未だ、システムの支援効果を評価する段階に至っていない。だが、前節に示したケースから、提案するシステムが観点発見を支援する道筋は示せたと考える。今後、システムの評価実験を実施することで、観点発見支援の体系的な枠組みに繋げる予定である。

なお、著者らは、ここで示した制作環境は、あくまでトレーニング用の環境と考えている。つまり、この環境により、芸術的に価値のあるものが生み出されるとは考えていない。その代わりに、外界に存在する特徴を主体的に探索するという転移可能な観点発見スキルが身につくことを期待している。将来的には、本論文で提案したシステムの効果を、何らかの転移課題を通すことで検討しなければならない。

文献

- Forbus, K. D., Gentner, D., & Law, K. (1994). MAC/FAC: A model of similarity-based retrieval. *Cognitive Science*, 22, 347–364.
- 古川 康一. (2008). スキルサイエンスにおける発想推論の役割. 第 5 回知識創造支援システムシンポジウム予稿集, 164–169.
- Gentner, D. (1983). Structure mapping: Theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 155–170.
- Goldstone, R. L., Steyvers, M., Spencer-Smith, J., & Kersten, A. (2000). Interactions between perceptual and conceptual learning. In E. Diettrich & A. B. Markman (Eds.) *Cognitive Dynamics: Conceptual Change in Humans and Machines* (pp. 191–228).
- 諏訪 正樹. (2005). 身体知獲得のツールとしてのメタ認知的言語. *人工知能学会誌*, 20, 525–532.
- 三井 秀樹. (1996). 美の構成学 パウハウスからフラクタルまで. 中央公論社.
- Morita, J., Miwa, K., Kitasaka, T., Mori, K., Suenaga, Y., Iwano, S., Ikeda, M., & Ishigaki, T. (2008). Interactions of perceptual and conceptual processing: Expertise in medical image diagnosis. *International Journal of Human-Computer Studies* 66, 370–390.
- 森田 純哉・永井 由佳里・田浦 俊春. (2007). 認知モデルを利用したデータ解析: グラフィックデザインにおける類推. *日本認知科学会第 24 回大会*, 476–481.
- Novick, L. R. (1988). Analogical transfer, problem similarity, and expertise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 14, 510–520.
- 東海 孝尚. (2007). 美術の基礎・基本が身に付く指導法の工夫～右脳で見る・描く～. 第 22 回東書教育賞入賞論文集, 37–43.