

視線情報を用いた図形特徴の読み取り順序理解支援システム

上田 航司^{*1}, 小尻 智子^{*1}

Reading Priority Understanding Support System of Figure Features Using Gaze Information

Koushi Ueda^{*1}, Tomoko Kojiri^{*2}

^{*1} Graduate School of Science and Engineering, Kansai University

^{*2} Faculty of Engineering Science, Kansai University

The diagram drawer determines the figure features, such as color and size, so as to convey the contents to readers. However, if the order of the figures that readers read is different from the order assumed by the drawer, the diagram will be difficult for the readers to understand. The order of reading the figures is determined by the figure features. The figures that have salient features tend to be read first. The priority of features can be inferred from the movement of the readers' gaze when they look at the figure. Therefore, this paper proposes a system that collects the priority of figure features from the readers' gaze information while they are reading diagrams. Furthermore, based on the collected priority, the system displays the estimated readers' eye movement toward the diagrams drawn by the drawer, to support drawing easy-to-read diagram.

キーワード: 図描写支援, 読み取り順, 視線データ

1. はじめに

図は伝達したい内容を二次元空間上に視覚的に表現したものである。伝えたいことを図形とその関係で表現することで直感的に伝達が可能であるため、知的障碍児向けのコミュニケーションツール[1]や問題を解決するためのヒント[2]等日常の様々な場面で用いられる。

図は直感的な伝達ツールであるため、伝達したい内容を正確に伝えられるだけでなく、理解が容易になるように描かれている必要がある。そのため、描き手は描いた図に対し、内容が正確に伝わるかだけでなく、読みやすいかも考慮して何度も図を確認し、洗練していくことが望ましい。しかし、描いていた際の先入観が働くため自身の図を客観的に見直すことは困難である。

伝え手が生成した物に変形を加え、生成したものの不十分さに気づかせる研究がある。高橋らは描き手が

描いたイラストの一部を遮蔽して、描き手に遮断箇所を描くべき理想的なイメージを想像させ、そのうえで遮蔽していたところを見せることで実際のイラストと描き手が描いたイラストの相違を発見させるシステムを提案した[3]。この研究では、伝え手が描きたいイラストのイメージを持っているため、生成物を遮蔽するだけで不正確な点に気づくことが可能である。本研究で対象としている図の読みやすさは、伝え手が感じる読み方と読み手が感じる読み方が異なるため、伝え手がイメージしても読み手が読みやすいかは確認することができない。

読み手の代わりにシステムが読み手の理解を表出化することで、生成物の不十分さを教える研究も存在する。国近らは英作文の学習において、システムが提示した正解の英文に登場する人／ものとその行為に対応したアニメーションをあらかじめ用意しておき、学習者の英文の誤りの種類に応じてアニメーションを変化させることで、英文が意図したとおりに読まれないこ

とに気付かせるシステムを構築した [4]。この研究では、英文の誤りパターンを伝えるためのアニメーションが定義できているが、本研究では読み手が図をどのような順番で読み取るかがわからないため、システムが読み手の読み方を生成させることができない。

人が生成物を解釈するときどのような順番で見ると、その物を見る際の視線から取得することができる。視線の動きを人の理解や考え方が反映したものと捉え、視線の動きを学習支援に活用する研究も見られる。Okutsu らは知識構造が位置情報に対応づけられた Web 学習教材において、学習者の視聴している画面の位置から、学習者の学習単元の知識に関する理解とその理解過程を推定するシステムを開発することを目的としている [5]。本研究グループでも英文読解問題の回答時における学習者自身と他人の視線情報を比較して提示することで、解を導出する際に考えるべきことを学習者自身に考えさせる環境を構築した [6]。これらの研究では視線情報を対象への理解と関連づけている。一方で、視線から人が無意識に行っている対象物の読み取り方を抽出し、図の見方として知識化を試みている研究はない。

図が提示されたときの視線の動きは、個々の図形の特徴を持つ見やすさの順番を反映している。そこで、本研究では人が図を見るときの視線の動きから図形が着目される順番を取得し、抽出された図形の順序とそれらの属性値から属性値に対する注目の順序を特定する。

図形には色や形など様々な属性がある。図形はそれらを総合して見やすい順番に着目される。様々な属性を加味した優先度を理解するためにはまず個々の属性において属性値の着目されやすさの関係を明らかにする必要がある。本研究では図の読み取り順序の理解の第一段階として、描き手に個々の属性の属性値の優先度を理解させることを目的とする。

本研究では一つの属性のみが変化した図を複数用意し、それを提示したときのユーザの視線を取得して属性値の優先順位を取得するシステムを構築する。また、取得した優先順位を用いてユーザの描いた図に想定する読み手の視線の動きを、ユーザが想定している視線の動きと並べて見せることで、図形の読解順序に応じて割り当てべき属性値を理解させるシステムを構築

する。

2. アプローチ

2.1 図の描写と読解

本研究では、複数の図形で構成され、属性とその関係で内容を表現している図を対象とする。図形は形状や色、大きさ等の属性を持つ。図を描くときは、伝えたい内容やその関係に加え、見やすさを考慮して各図形の属性を決めていくこととなる。

例として、A (女)、B (男)、C (男) という人に対するお金の貸貸関係を図で表現した図を描写する。表現したい内容は人とその性別の違い、お金の流れとその量であるとする。これらを図で表現した例を図 1 に示す。人を楕円で表現し、同じ性別の人が同じ色になるようにすることで、性別の違いを表現した。お金の流れは楕円間の矢印で表現し、その太さが量を示すようになっている。

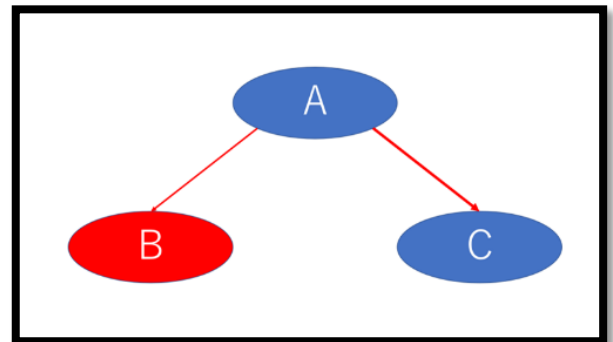


図 1 図の例

このような図を描写する際の図の描き手のステップを図 2(a)に示す。描き手はまず、伝えたい内容に含まれる要素とその特徴を整理する。次に要素とその特徴に対して、要素間の関係が分かりやすいように図形とその属性を割り当てる。一方、読み手の読解のステップを図 2(b)に示す。読み手は図から図形とその属性を読み取る。その後それらが意味する要素とその特徴を解釈し、描き手が伝えたかった内容を推測する。

図を読み取る際、読み手は目立つ属性を持つ図形から見ることが多い。図に割り当てられている属性の見やすさが読み取ってもらいたい順番と異なっていれば、意図が理解されなかったり理解するのに時間がかかったりする。例えば、図 1 で円の方が楕円より見やすい

とする。描き手が楕円で人の存在を理解したあとでその流れを理解してもらうことを想定して図を描いていた場合、読み手が矢印から見てしまうと矢印が何を表しているのか理解できない。その場合、矢印の意味を理解できないまま楕円を見たのちに、再度矢印を見て初めて図全体を理解できることとなる。このような図としないために、描き手は各属性の属性値の気づきやすさを理解したうえで、読み手が円滑に意図を読みとれる属性値を割り当てる必要がある。

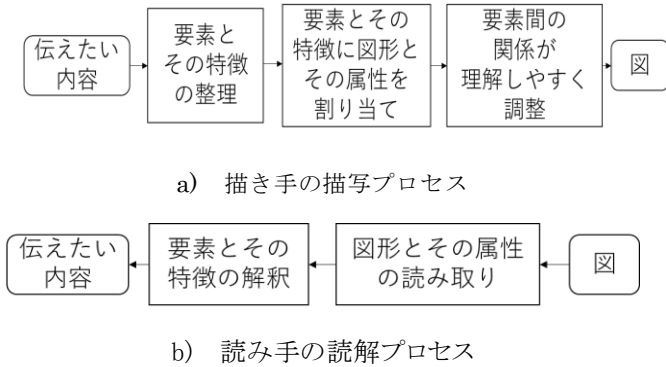


図 2 図の描き手と読み手のステップ

2.2 視線情報を用いた読解方針獲得環境の概要

描き手は他者の図を読み取る時は読み手となる。描き手が属性値の読み取りやすさを理解するためには、自身が他の図の読み手の時の読み取り方を理解すればよい。本研究では、描き手が他の図を見たときの視線の動きを収集し、各属性の属性値の読み取りやすい順番を明らかにする。そのうえで、描いた図に対して読み取ってほしい順番と、明らかになった順番に基づいた視線の動きを表示することで、人の読み取り方の理解を促進するシステムを構築する。自身が図を読み取ったときの図の見方を図の描写時に活用することで、読み手にとって読み取りやすい図を生成できるだけでなく、描き手自身が他者の図を見る時の見方を活用しようという意識を得ることができる。

図 3 に本研究で構築するシステムの構成図を示す。本システムは 2 種類のサブシステムで構成される。見方収集システムは、図を提示し、視線の動きから特定の属性の属性値の着目されやすさの順序（見方）を収集する。見方適用システムは、ユーザが描いた図に視線を反映したものを可視化し提示するシステムである。ユーザが図の描画時に想定した図形の着目順序と、見

方データベース中の見方に沿った図形の着目順序との 2 種類を表示する。

本システムは、個々の属性の属性値の着目順序を見方として収集する。したがって、図データベースは一つの属性以外の属性の値が統一された図を保持している。取得した属性値の優先度は見方データベースに格納される。見方適用システムでは見方データベースに格納された優先度を用いて、ユーザの指定した属性ごとに図形の着目順序を提示する。

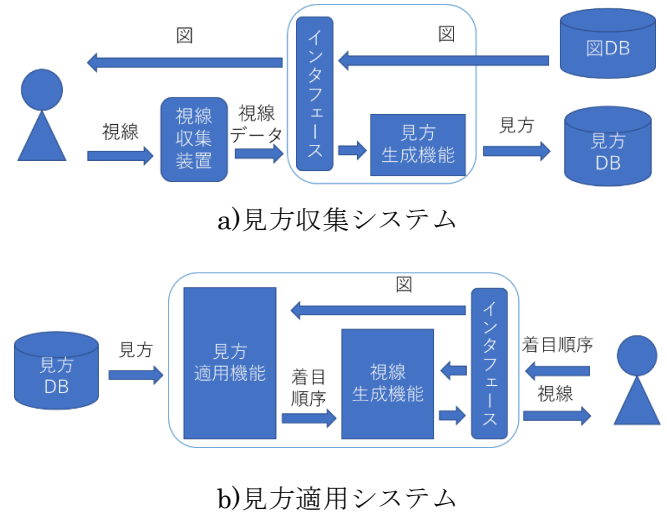


図 3 システム構成図

3. 見方収集システム

3.1 見方の収集方法

見方の収集システムは、個々の属性内の属性値の着目順序を見方として取得する。例えば、図 4 の図が提示され、ユーザが図形 3、1、2 の順で着目したとする。この図は色のみが異なる図であるため、色の見方を収集することができ、この図の場合は着目する色の順序が赤、青、緑の順であることがわかる。

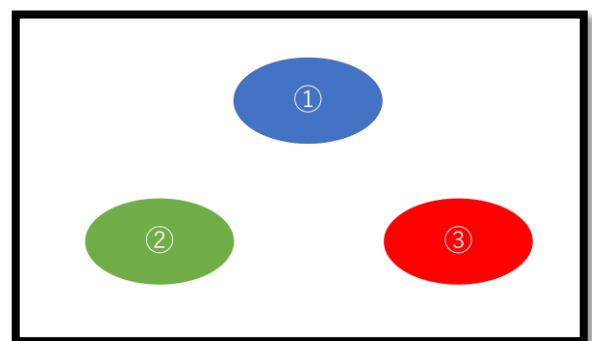


図 4 図の例

このような特定の属性値の着目順序を取得するためには、図4のように、特定の属性以外の属性値が統一された図を見せ、その時の視線の動きから図形の着目順序を取得し、着目順序を属性値の順序とすればよい。図データベースでは形状、色、大きさを対象の属性とし、対象とする属性以外の属性値が統一された図形から成る図を保持する。図形の位置による見やすさの影響を防ぐため、同じ属性値を持つ図形の組に対してこれらの場所が異なる図を数枚用意する。属性値が見られる順序は、個々の図を見たときに着目順序の合計が小さいものから割り当てる。

図4の図形で構成される図を3つ用意したとする。赤、青、緑の図形を見たときのユーザの着目順序が表1のようであったとする。これらの順序の合計は、(赤、青、緑) = (4, 6, 8)となる。したがって、色の着目順序は(赤、青、緑) = (1, 2, 3)となる。

表1 色が異なる図形の着目順序の例

	赤	青	緑
1枚目	1	3	2
2枚目	1	2	3
3枚目	2	1	3

3.2 プロトタイプ・システム

提案した見方収集システムをC#で実装した。本システムでは、パワーポイントで作成されたスライドを図として扱う。なお、視線収集装置としてtobiiのTOBII PRO NANOを使用した[7]。

システムを起動すると視線を収集するための視線収集インターフェースが表示される(図5)。設定ボタンを押すとtobiiが提供しているディスプレイエリア設定及びキャリブレーション設定を行うアプリケーションが起動する。スタート/ストップボタンを押すと、図表示エリアに図データベースに保持されている図が表示され、ユーザによる図の読み取りが行われている間、視線収集装置によって読み取り時の視線情報が収集される。読み取りが終わったタイミングでスタート/ストップボタンを押すと、図の表示が停止され視線特性が見方データベースに格納される。全ての図の読み取りが完了すると、見方生成機能により抽出され属性毎の属性値と属性値の着目順序が見方データベースに保存

され、システムは終了する。

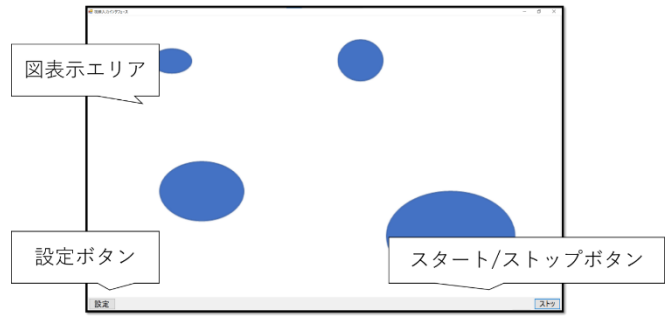


図5 視線収集インターフェース

4. 見方適用システム

4.1 見方適用機能

見方適用機能では、見方収集システムで収集した見方を用い、ユーザが入力した図中の図形に着目順序を付与する。着目順序はユーザが指定した属性ごとに割り当てる。

ユーザが属性を指定すると、見方適用機能は図中の全ての図形の識別子と属性値を取得し、見方データベースに格納されている着目順序に沿ってオブジェクトに順序を付与する。付与された順序の順番に、図形の中心から直線をひいたものを、視線の動きとして生成する。例えば、見方データベース内の色の着目順序が緑、赤、青であったとする。このときユーザが図4の図形を描いたとすると、着目される順番は2, 3, 1となり、表示される視線は図6ようになる。緑の楕円のうえの赤い丸は視線の始点を表している。

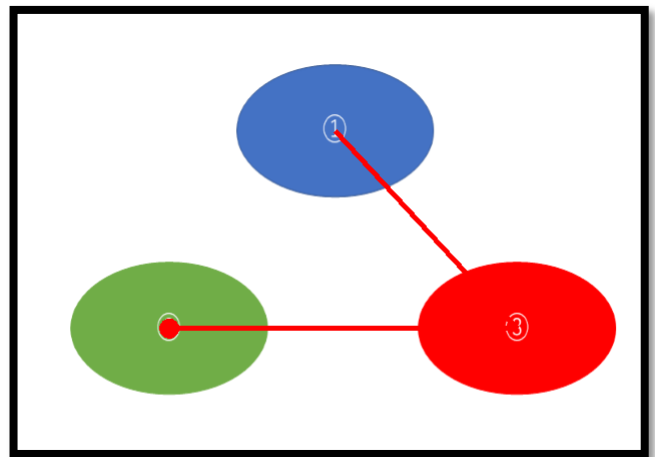


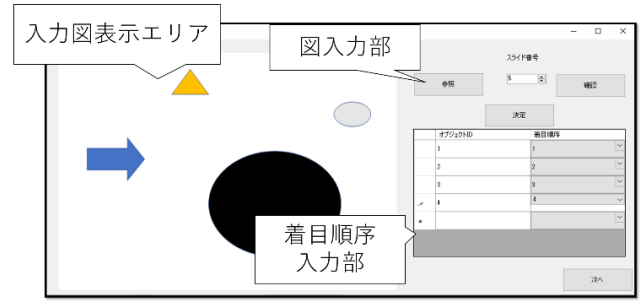
図6 視線の例

4.2 プロトタイプ・システム

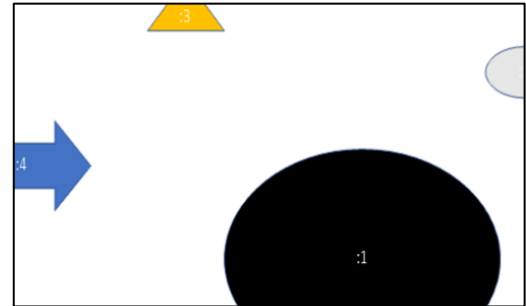
提案した見方適用システムをC#で実装した。本システムでは、パワーポイントで描かれた図を対象とする。

システムを起動すると図・着目順序入力インターフェースが表示される。図入力部で図が描かれている pptx 形式のファイル名と、そのファイル中のスライド番号を入力し、確認ボタンを押すと、入力図表示エリア内に指定されたスライドが表示される（図 7-a）。決定ボタンを押すと入力した個々の図形に識別子が付与されたスライドが新たに表示される。図 7-b に図形に識別子が付与されている入力図表示エリアの一部を拡大したものを示す。着目順序入力部に想定する着目順序を入力し、次へボタンを押すと視線表示インターフェースが表示される（図 8）。

視線表示インターフェースでは、入力した図にシステムが視線に対応する赤線を付与した 2 種類の図を提示する。左はシステムの見方適用機能によって決定した図形の着目順序を表す視線であり、右はユーザが着目順序入力インターフェースに入力した着目順序を表す視線となっている。左の視線は、属性選択部により色、形状、大きさの属性から 1 つ選択すると、選択した属性における視線が表示されるようになっている。また、属性値表示エリアでは、左と右それぞれの図のオブジェクトの属性値が着目順序に沿って表示される。



a) 決定ボタン押下前



b) 決定ボタン押下後の入力図表示エリアの一部の拡大図

図 7 図・着目順序入力インターフェース

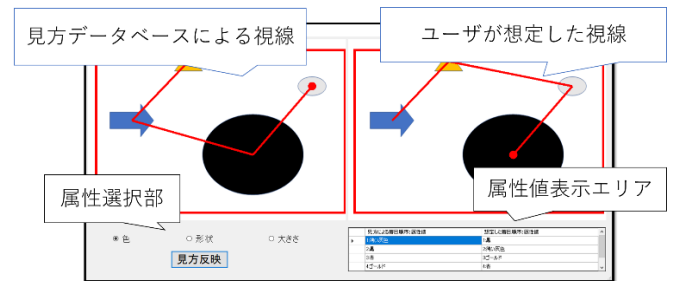


図 8 視線表示インターフェース

5. 評価実験

5.1 実験概要

構築したプロトタイプ・システムを用いて評価実験を行った。本実験では、システムを用いることで、属性値を割り当てる際に協力者自身の見方を意識するようになるかを評価する。協力者は大学生 10 名であった。

手順を図 9 に示す。まず、筆者があらかじめ図データベースに用意しておいた図を方収集システムを用いて読み取ってもらった (Step 1)。用意した図は 8 種類の形状の図形で構成された図が 6 枚、12 種類の色が付与された図形で構成された図が 9 枚、4 種類の異なる大きさから成る図形で構成された図が 3 枚の計 18 枚

である。次に、図の要件が書かれた用紙を基に、パワーポイントを用いて2つの図（図A、B）を描画してもらい、その際に意識したことをそれぞれ記述してもらった（Step 2）。その後、見方適用システムを使用して図Aを修正してもらった（Step 3）。最後にシステムを使用せずに図Bを修正してもらい、その際新たに意識したことを追記してもらった（Step 4）。

システムにより新たな図を描く際の意識が変化したかどうかは、システムを使用する前後の図Bに対する意識（Step 2と Step 4）の数によって評価する。

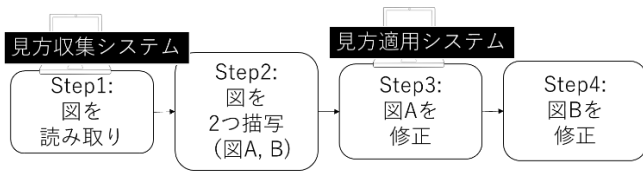


図 9 実験手順

5.2 実験結果

表 2 に図 B に対する見方に関する意識の増加数（Step2 と Step4 の差分）を示す。

表 2 図 B に対する見方に関する意識の増加数

協力者	見方に関連した意識の増加数
a	2
b	1
c	0
d	0
e	2
f	0
g	2
h	1
i	0
j	2

表 2 より、協力者 10 名中 6 名が、システム終了後に見方に関連する意識の数が増加していた。新たに意識された内容は全て、Step3 でシステムにより提示された協力者自身の意識であった。例えば、協力者 a は Step3 でシステムを使用していた時に、形状については（楕円、正方形/長方形、四角形（角を丸くする）、下

向き矢印、二等辺三角形、右向き矢印）の順に、大きさについては（とても大きい、中くらい、大きい）の順に注目するということが表示されていた。その結果、Step4 では「（注目してほしい）A 君を楕円にして、大きくした」という、着目してほしいものを表す図形の形状と大きさに関する修正がなされ、A 君を表す図形の形状が角の取れた四角形から楕円に、大きさが大きく変化していた。また、協力者 g は Step3 でシステムを使用していた時に、色については（黒色、ゴールド、赤、紫、緑）の順にみることが表示されていた。協力者 g が想定していた着目順序を図 10 に、協力者 g によるシステム使用前後の図 B を図 11 に示す。協力者 g の矢印の着目順序は他の図よりも下の方であったにもかかわらず、システム使用前は一番着目する黒色を使用していた。システム使用後の、Step4 では矢印が灰色で目立ちにくくなっており、「黒色の矢印は目立つので色を薄く（灰色に）した」というような意識が記述されていた。このように、10 名中 6 名がシステムの使用後にシステムによって提示された見方について意識することができるようになっていたことから、協力者はシステムの使用前は自身の見方を意識して自身の図を描けておらず、システムによって自身の見方が提示されることで、システムに提示された自身の見方のみを獲得し自身の図に取り入れるように意識が変化したことが分かる。

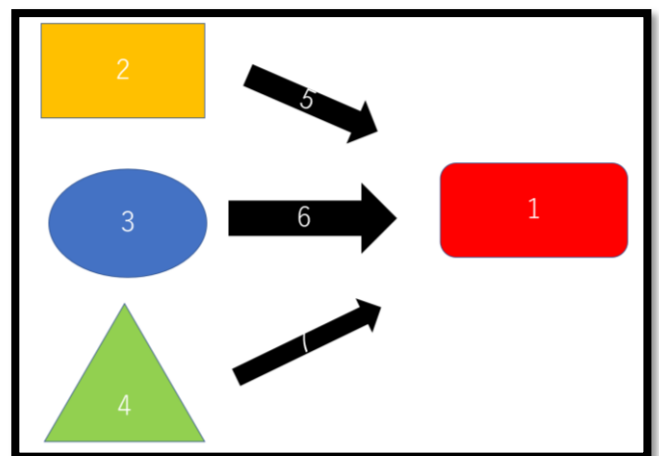
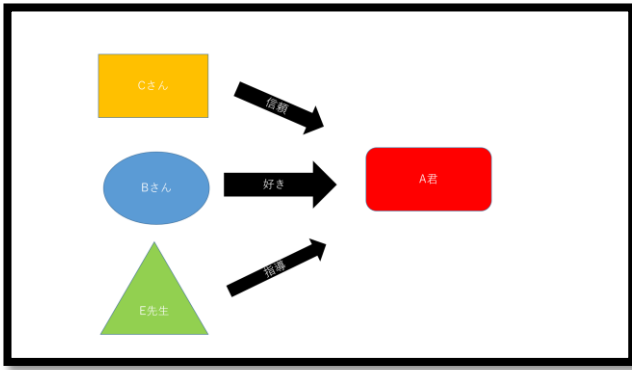
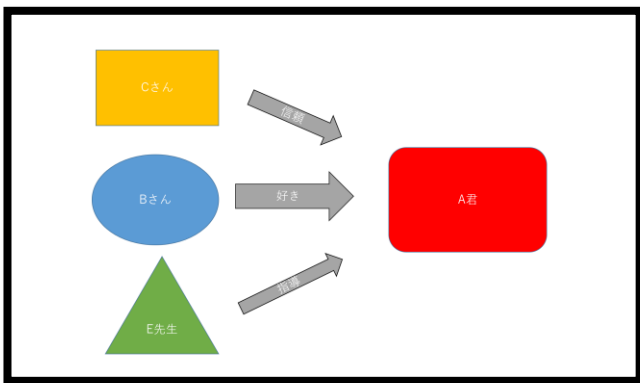


図 10 協力者 g が想定した着目順序



a)システム使用前



b)システム使用后

図 11 協力者 g が描いた図 B

6. おわりに

本研究では、図の属性値による図形の読み取り順序の理解を支援するシステムを構築した。描き手自身が提示された図を読む際の視線の動きから属性値の着目順序を取得する見方収集システムと、収集した見方で図形を見る順番を描き手の図に対して提示する見方適用システムを構築した。見方適用システムでは、見方データベースより生成した視線の動きと、描き手自身が想定していた視線の動きの相違を見せることで、図形の属性値の割り当て方を改善させることを狙っている。システムを用いた評価実験の結果から、ユーザが想定している視線の動きと想定している読み手の視線の動きの差異を見、かつ想定している読み手が着目する属性の順番を知ること、図を描く際に読みやすい属性を図形に割り当てることができるようになることが明らかになった。

現時点のシステムでは、個々の属性における属性値

の着目順序のみを対象としている。しかし、実際の図は複数の属性が異なる図形で構成されていることが普通である。このような図に適切な属性値を割り当てるためには、複数の属性の組み合わせによる着目順序を理解する必要がある。今後は個々の属性値内での着目順序と属性の組み合わせによる着目順序の関係を明らかにするとともに、その関係を描き手に理解させるシステムを構築したい。

参考文献

- (1) 藤原和子, 清田公保, 中山典子:「視覚シンボルを使用した知的障害児のための電子メールの開発と実践」, 日本教育工学会論文誌, Vol.29, No.4, pp.597-606 (2005)
- (2) M. Beveridge, E. Parking : “Visual Representation in Analogical Problem Solving”, Memory&Cognition, Vol.15, No.3, pp.230-237 (1987)
- (3) 高橋拓, 中村聡史:「作画ミス見落としに関する基礎調査とその防止のためのイラストの自動遮蔽システムの実現」, 情報処理学会研究報告, Vol.2021-HCI-191, No.9, pp.1-8 (2021)
- (4) 國近秀信, 古賀崇年志, 出山大誌, 村上卓見, 平嶋宗, 竹内章:「誤りの可視化による英作文学習支援」, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J91-D, No.2, pp.210-219 (2008)
- (5) A. Okutsu, Y. Hayashi, K. Seta : “Gaze-and Semantics-aware Learning Material To Capture Learners’ Comprehension Processes” , Proceeding of the 29th International Conference on Computer in Education. Asia-Pacific Society for Computers in Education, pp.81-86(2021)
- (6) 久乗皓大, 上田航司, 大鳥雄司, 秦弘和, 小尻智子 :「視線情報を用いた読解方針獲得環境の構築」, 電子情報通信学会研究報告, Vol. ET2021-72, pp. 117-122 (2022)
- (7) <https://www.tobii.com/ja/products/eyetrackers/screen-based/tobii-pro-nano#form>