

も く じ

■開催日時：2016年12月10日（土）10:25-15:00

於：近畿大学（東大阪キャンパス）

■テーマ：「身体知・経験知に関わる学習支援／一般」

- 1) 遠隔でAR物体を共有可能なデザイン学習のためのインタフェース……………1
○片平怜士（和歌山大学大学院），曾我真人（和歌山大学）
- 2) 動画や動的オブジェクトを含む数学のCBT問題の試作……………7
○高木和久（高知工業高等専門学校）
- 3) デジタル環境下での効率的な色識別能力向上支援システムの研究……………13
○大坪 誠，長谷川忍（北陸先端科学技術大学院大学）
- 4) A Prototype Virtual Learning Platform for Teaching Skills of Designing
and Producing OVLs in Classrooms……………21
○Mohamed Elsayed Ahmed Mohamed，長谷川忍（北陸先端科学技術大学院大学）
- 5) 物語文における意図理解支援のための擬似力覚呈示とその評価……………25
○梅津和朗，柏原昭博（電気通信大学大学院）
- 6) 多様な手本動作をリアルタイムに提示する動作学習支援システムの提案と構築……………33
○吉永稔弘（和歌山大学大学院），曾我真人（和歌山大学）

遠隔で AR 物体を共有可能な デザイン学習のためのインタフェース

片平 怜士^{*1}, 曾我 真人^{*2}

^{*1} 和歌山大学大学院システム工学研究科

^{*2} 和歌山大学システム工学部

The Interface for the Design Learning with Remote Shareable AR Object

Reiji Katahira^{*1}, Masato Soga^{*2}

^{*1} Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

^{*2} Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

We developed a system that can share virtual design objects on a server. Several learners on the network can design a virtual object by AR collaboratively and the system can display the object with shade matching the light source direction with each learner's real environment. Furthermore, each learner can grasp and move the AR objects by their fingers apparently. We expect that the system will help learners to learn more various designs in future.

キーワード: 協調作業, 協調学習, 遠隔, 拡張現実感, 3DCG

1. はじめに

1.1 協調作業について

近年, 電子会議の一般化により遠隔地のユーザ間でのネットワークを通じたコミュニケーションが容易になった。それに伴い, 遠隔で行うユーザ間での協調作業への支援のニーズが高まっている。また, この協調作業を通してスキルの向上を目指す協調学習へのニーズも高まっている。

本研究で取り扱う協調作業および協調学習はネットワークを用いて遠隔で行うものとし, 岡田氏の「複数の人が協力することにより, 一人ではなし得ない, あるいはなすことが非常に困難な新しい価値を創造すること」を定義とし(1), 具体例として物の組み立て, 物のデザイン(彩色・形状の変更), 資料をもとにした議論があげられる。また, 協調作業を行うには各ユーザ間で情報の共有・作業の共有・意識の共有の三つが不可欠とされており, 支援環境の構築にはこれら三つの要件を全て満たしている必要がある。この共有におけ

る, 情報は「事前に持ち寄った資料や周りの環境」のことを意味し, 作業は「協調作業中のお互いの状況」を, 意識は「協調作業を行う最終の目的」をそれぞれ意味する。

1.2 既存研究

これまでの協調作業を支援する研究では, 主に大型ディスプレイやスクリーンを用いて, 映像をリアルタイムに共有する手法を用いて作業支援を行っていた。しかし, この手法ではディスプレイによってユーザ間の空間が物理的に分断されてしまい, 没入感が大きく欠如していた。また, 相手側の物体に直接干渉することができないため, 協調作業における物体の三次元的な提示や操作が困難であった。

この問題を受け, 2011年に岡本らが開発したシステムでは, HMDを用いた複合現実感を利用することで, 実空間・仮想空間でシームレスに三次元的な提示を再現していた(2)。このシステムではリアルタイム性を重視されており, ユーザ間で遅延によるストレスの少な

い環境を構築していた。しかし、岡本らが開発したシステムでは、三次元的な提示という作業の共有は実現されたが、協調作業の支援のための情報の共有と意識の共有が行われておらず、協調作業としての必要要件が満たされていなかった。また、物体を直接操作することはできず、ユーザ間での物体の指示や位置確認のみの設計だった。

1.3 研究目的

前記した研究背景から、本研究の目的は協調作業の要件である、情報の共有・作業の共有・意識の共有すべてを満たし、かつ直接仮想物体を操作できる協調作業支援環境を構築し、その有用性を示すことである。

2. 提案手法

本研究では、研究目的を果たすために要件ごとに以下の手法を用いる。

- ① 情報の共有：事前に持ち寄った資料や周りの環境
 - 互いの作業環境の光源の位置を前計算で推定し、システム使用前に入力・反映する。詳細は3章にて後述する。
- ② 作業の共有：協調作業中のお互いの状況
 - サーバでAR上の物体を同期し、遠隔地にいるユーザ間で位置関係を共有する。同時に、相手ユーザを視認しながら作業を行える。
- ③ 意識の共有：作業の最終目的
 - 目的となる結果の状態を別窓で表示し、いつでも確認できるようにする。表示する窓で視覚的に作業が阻害されることを考慮して、表示のON/OFFの切り替えが行える。

以上の内容を今回のシステムに組み込み、協調作業支援の環境を構築する。ただし、情報の共有において事前に持ち寄る資料については、対象がデザインのため本システムでのサポートはしない。また、本システムでは位置の整合性とシステムのリアルタイム性において、位置の整合性を重視してシステムを構築する。理由として、リアルタイム性が損なわれて起こる問題に対し、位置の整合性が損なわれて起こる問題が、ARを用いた本システムにおいて回避すべき内容なためである。

3. システム

3.1 構成

本研究のシステムでの、システムの構造を以下に示す(図1, 図2)。各ユーザの作業環境における光源の位置を画像の影の情報からシステムを使用する前に計算で求め、VRPN (Virtual Reality Peripheral Network) サーバでリアルタイム同期したAR上の仮想物体のレンダリング時に平行光源として光源の設定を適用する。この時、光源は各ユーザのどちらを適用するか、ユーザが選択できるようにし、自身の見え方と相手の見え方の両方を切り替えて確認できる。これにより、ARで表示する仮想物体と実環境との光学的整合性が保たれ、協調作業としての没入感の要因となる。また、当たり判定を与えた仮想物体を直接手で操作することができ、一方のユーザが操作した際、もう一方のユーザにもサーバ経由で反映され、位置の整合性を保った状態でHMDを通してユーザの視界に描画される。これは既存研究ではなされていなかった、物体への三次元的な操作を可能にしたものである。さらに、協調作業における目標とする作業結果を別窓で表示する。これにより、協調作業を行う両ユーザともに意識の共有が行える。時間的整合性については、検証実験にて精度とともに検証を行う。

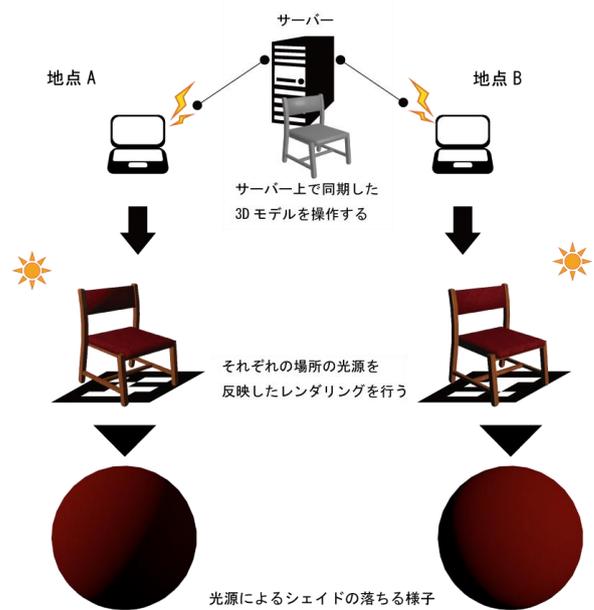


図1 光源とサーバ同期のイメージ

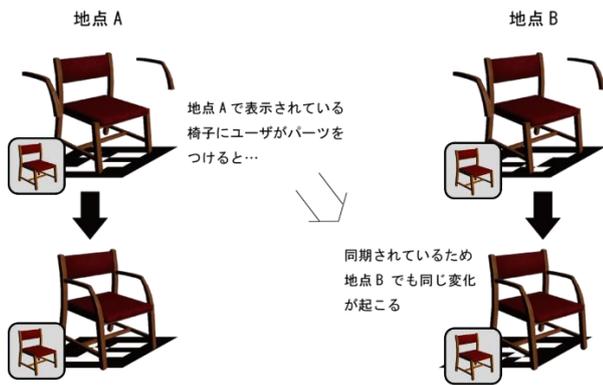


図 2 AR 仮想物体の位置の同期イメージ

3.2 AR におけるオクルージョン

AR を用いるにあたって、没入感や三次元的な提示をより正確に行うために、手指などによるオクルージョンの問題を解決する必要がある。この問題は AR で描画される仮想物体は実画像に後から重ね合わせで描画されるため、いかに仮想物体 (AR マーカ) とカメラの間にユーザの手指があろうと、仮想物体が最前面に描画されるというものである。このオクルージョンの問題については 2014 年に提案したシステムを活用する(3)。このシステムでは全ての三次元情報を一つの座標系にまとめるため、モーションキャプチャー機器である Leap Motion Controller 利用することにより、手指の位置情報を取得している。取得した指位置に、あらかじめ準備しておいた透過した (Alpha 値を 0 にした) 手指形状に合わせた 3D モデルを配置し、手指の動きに常に追従させることで、AR で表示される仮想物体と透過された 3D モデルを三次元的に処理し、見たと同じ、物理的に正しく処理が行われ、オクルージョンの問題を解決している(図 3, 図 4)。

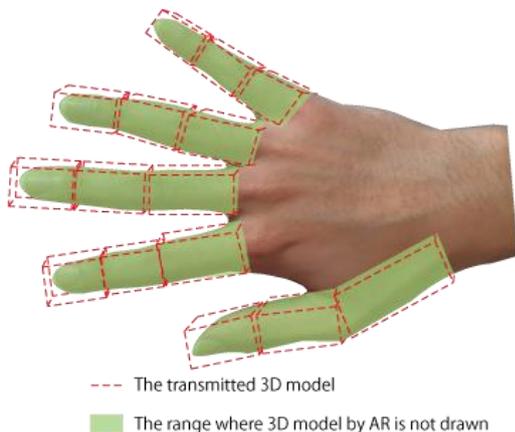


図 3 隠蔽の影響を受けない範囲

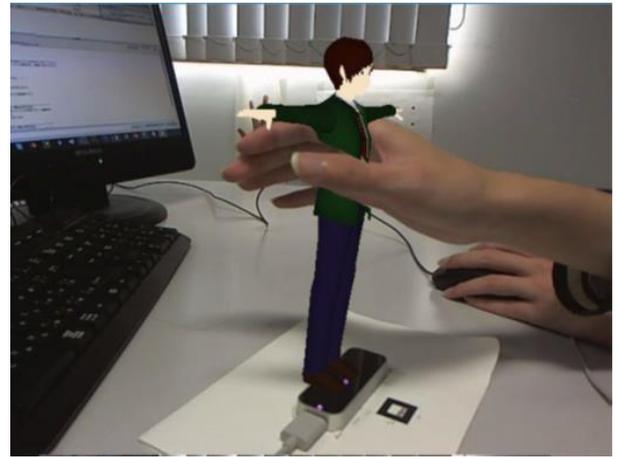


図 4 処理後のレンダリング結果

3.3 人物画像生成

協調作業をする相手ユーザの AR 上での表示は、まず外部固定カメラでユーザを含めたカラー画像を撮影する。カラー画像と距離画像から人の領域を推定し、背景となる部分を除いた人の領域分を切り出す。その後、画像の平滑化を行い、カラー画像・距離画像から推定したユーザの相対位置にマッピングする。これにより、協調作業をしている相手ユーザを仮想のユーザ像として HMD 上に描画でき、協調作業している両ユーザは相手ユーザと擬似的に同じ空間で協調作業をしているかのような空間を作ることができる。

3.4 環境光の取得

レンダリングのための環境光の位置は、システムを使用する実環境の画像から影の向きと長さで推定する。この時、環境光推定のための実環境の画像はシステムを使用する前に 3 方向の画像を準備する。

画像から光源位置の推定をするには画素の RGB 情報およびエッジの情報をを用い、画像内のシャドウ(影)を見つけ、シャドウの始点から終端までの位置および向きの情報を取得する。この情報から、環境光の位置をおおよその位置で推測することができ、推定した位置に平行光源を設置してレンダリング時の環境光として使用する。

4. 検証実験

検証実験として精度検証と実用検証の 2 種類を行う。精度実験では AR 物体の位置の整合性と同期による時間的整合性等の確認を行い、実用検証では実際にユー

ずに協調作業をしてもらい、システムの有用性を測るものを検討している。また、協調作業ための3つの共有に関する事項や実環境の光源を考慮したことが、いかにユーザの没入感や操作性に効果があったのかなど検証するためにアンケート調査を行う。

4.1 精度検証

精度検証では以下の項目を確認する。

- AR 物体の位置の整合性
- AR 物体の同期の時間
- レンダリングされた AR 仮想物体と、実環境の物体の見目の比較

同期時間の確認は、既存研究で紹介した岡本らの研究の実験をもとに行う。

レンダリングされた仮想物体と実環境の物体の見目の比較では、実環境にある物体と同じ形状の仮想物体を準備して、システムを使ってレンダリングされたものと実環境の物体のシェイド（陰）のかかり具合を画像ベースで比較する。それぞれ同じ環境下でレンダリングおよび Web カメラで静止画を取得し、両画像で二乗誤差をとることで差を数値化する。

4.2 実用検証

今回の実験の対象動作を、パーツの組み合わせで、家具などの物体を組み立てる作業とする。

被験者は2人で一組を作り、実験中はこの2人で協力して作業をしてもらう。被験者の全体は実験群と統制群、さらにその中で実光源による処理あり・なしで分けており、この時の実験群は、ユーザの手で直接仮想物体を操作できる本システムを使用してもらい、統制群は岡本らのシステムを拡張してキーボードで仮想物体を操作できるものを使用する。実験群および統制群の中でさらに実光源による処理あり・なしで分ける理由は、協調作業において実光源を考慮することの有用性を見るためである。

検証の流れは、実験群統制群ともに実験の説明から機材の装着、協調作業の実践、機材の着脱後アンケート、という流れになっている（図5、図6）。アンケートでは、協調作業に必要な3つの要件、情報の共有・作業の共有・意識の共有に関連した内容と、実光源考慮による効果を確認する内容を設問とする。

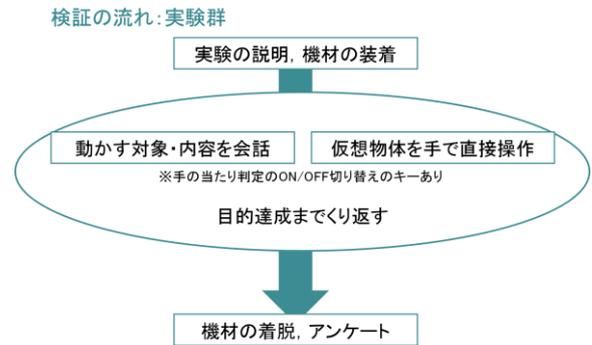


図5 実験群の検証の流れ

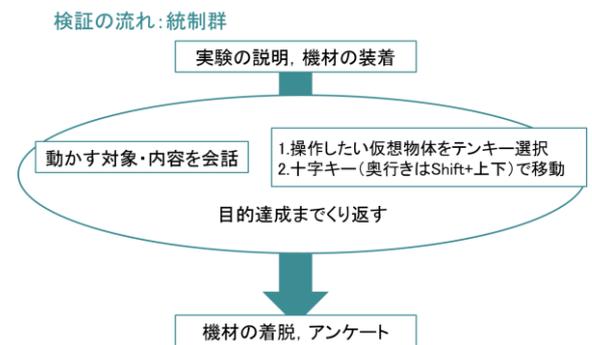


図6 統制群の検証の流れ

5. 今後の展望

今回、遠隔での協調作業および協調学習の既存研究の課題を解決した、デザイン学習のためのインタフェースを提案した。今後、このシステムに対し精度と実用に関する検証を行い、有用性と示していく。

また、本システムではAR上の仮想物体を直接ユーザが操作できるように構築しているが、物体に触れた際の触覚は今回サポートしていない。今後の発展として椅子のモックアップなどの実環境下の物体にARによる仮想物体を投影し、ARに触覚を付与したタンジブルユーザインタフェースへの拡張が考えられる。このタンジブルユーザインタフェースを実現できれば、実環境の光源を考慮したレンダリングによる没入感とともに触覚による操作した実感を付与した、協調作業および協調学習の支援になると考えられる。

参 考 文 献

- (1) 岡田謙一, 慶應義塾大学, “協調作業におけるコミュニケーション支援”, コミュニケーション支援小特集, p213, 電子情報通信学会誌, (2006)
- (2) 岡本祐樹, 北原格, 大田友一. “遠隔協調型複合現実感における作業空間表現のための立体人物提示”, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム J94-D(5), 830-838, (2011)
- (3) 片平怜士, 曾我真人. “Leap Motion controller を利用した把持動作に適合する AR 描画システムの構築”, 電気学会(2015)

動画や動的オブジェクトを含む 数学の C B T 問題の試作

高木和久
高知工業高等専門学校

Computer-based testing of mathematics with dynamic objects

Kazuhisa TAKAGI
National Institute of Technology, Kochi college

Two years ago, Central Council for Education advocated that all high school students should take Computer-Based Testing. In foreign countries such as United States, CBT of mathematics often use short movies or dynamic objects. On the other hand, few Japanese high school students have experienced such kind of tests.

In this paper some kinds of mathematics problems for CBT with short movies or dynamic objects are shown.

キーワード:CBT, 動的オブジェクト, 高等学校基礎学力テスト, 大学入学希望者学力評価テスト

1. はじめに

CBTとはComputer-Based Testingの略で、問題の提示や回答を全てコンピュータを用いて行う試験である。2016年現在で日本ではITパスポート試験などの多くの資格試験がCBTで行われている。

ところで、中央教育審議会の平成26年12月22日の答申([1])では、高等学校および大学の教育に関して次のような改革が提言されている。

- 現行の大学入試センター試験を廃止し、大学入学希望者学力評価テスト(仮称)を新たに実施する。この試験はCBT方式での実施を前提に、

出題・解答方式の開発を行う。

- 全ての高校生について、身に付けるべき資質・能力を確実に育み、生徒の学習意欲の喚起、学習の改善を図ることができるよう、高等学校段階の基礎学力を評価する新テスト「高等学校基礎学力テスト(仮称)」を導入する。
- 対象教科・科目については、実施当初は「国語総合」「数学I」「世界史」「現代社会」「物理基礎」「コミュニケーション英語I」などの高等学校の必修科目28を想定して検討する。
- CBT方式での実施を前提に、出題・解答方式の開発等を行う。

- 「高等学校基礎学力テスト（仮称）」と「大学入学希望者学力評価テスト（仮称）」について一体的な検討を行い、「高等学校基礎学力テスト（仮称）」については平成31年度から、「大学入学希望者学力評価テスト（仮称）」については平成32年度から段階的に実施する。
- 「大学入学希望者学力評価テスト（仮称）」における思考力・判断力・表現力を問う問題については、求められる力を、「教科型」において他教科の内容を掛け合わせつつ評価する問題と、「合教科・科目型」「総合型」として教科・科目の枠を越えて評価する問題の両方について、国が主導して検討を行い、平成28年度中を目途に作問イメージを公表し、平成32年度から実施すること。

今年度中に作問イメージが公表され、CBT試験実施に向けて本格的な動きが始まることになる。数学のCBT試験についてはアメリカでは既に行われており、動画や動的オブジェクトを利用して受検生に問題を解かせるものもある。〔2〕

しかし国内では数学のCBT試験を実施している学校はごくわずかであり、その中でも動画や動的オブジェクトの利用はほとんど見られないのが実情である。

また、高等学校において普通の授業の中で動画や動的オブジェクトを利用しながら問題を解く実践例が日本ではほとんどない。つまり多くの生徒がCBT試験を受検して初めて動的オブジェクトを体験することになり、この点の改善も急務である。

CBT試験の利点は複数回受検ができることであるがそれは問題作成者側からすると、用意する問題の数が従来の紙ベースの試験の数倍必要になるということでもある。社会全体の変革が急激に行われようとする中で、数学教育に関して今、日本で最も必要とされているのはCBT試験に対応した問題の数を増やすことである。

紙による出題と回答には長い歴史と問題の蓄積があるが、動画や動的オブジェクトの利用に関しては高等学校はもとより大学等でも実践例がほとんどないのが現状である。本研究では、これまでの紙ベースの試験では出題されなかった新しいタイプの問題を色々と考案し、CBT試験の利点を生かす教育方法を検討する。

2. 動的オブジェクトを利用する意義

これまでの数学のテストは紙に問題を印刷したものをを用いて行われた。例えば、放物線に関する次の問題を見てみよう。

例題1 頂点が原点で、焦点が点(1,0)である放物線の方程式を次の選択肢の中から選べ。

1. $y^2 = 4x$
2. $y^2 = -4x$
3. $x^2 = 4y$
4. $x^2 = -4y$

解答 焦点がx軸上の点であることからこの放物線の軸はx軸である。よって正解は1と2のどちらかである。2ではxの値は0以下に制限され、焦点のx座標が正になることはない。よって正解は1である。 (終)

将来的に全ての高校生が到達度試験を受けることになるが、上記の説明では理解できない生徒も多数いることが予想される。低学力の生徒のためには視覚的、直観的に理解できる解説が必要とされる。

図1はJavaScriptを用いて作成した動的オブジェクトである。点Aを頂点、点Bを焦点とする放物線が描かれている。

点A,Bはマウスまたは指でドラッグすることにより位置を変える事ができ、放物線も点A,Bの移動に伴って動的に再描画される。(図2)

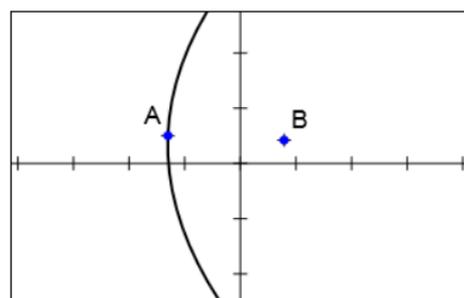


図1. 例題1の動的オブジェクト

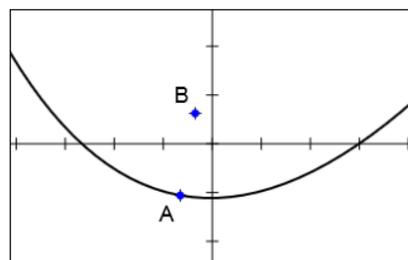


図2. 2点A,Bの位置を変えることができる

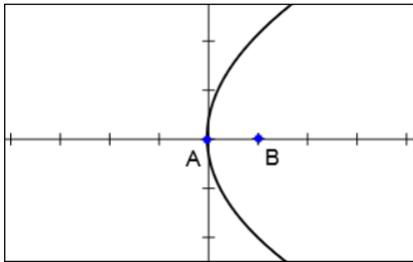


図 3. 頂点が原点で、焦点が点(1,0)である放物線

$$\therefore S(t) = \frac{3}{7}t^2$$

5 角柱の体積は

$$\int_0^7 S(t) dt = \left[\frac{3}{7}t^3 \right]_0^7 = 7^2 \cdot 3 = 147$$

(終)

2 点 A, B を問題に指定された場所に移すことにより、方程式がわからなくても題意を満たす放物線のグラフ (図 3) を見ることができる。図 3 の放物線のグラフは点(1,2)を通っているように見える。選択肢 1~4 の中でグラフが点(1,2)を通るものは 1 のみであるので正解が 1 であることがわかる。

従来の紙によるテストでは正解できなかった生徒でも動的オブジェクトを利用することで正解に辿りつくことができた。このような能力は従来のペーパーテストでは測ることができないためこれまで考慮されてこなかったが、動的オブジェクトを含む CBT 試験の導入により、新たな問題解決能力として今後研究の対象になることが考えられる。

立体の切断図は Cabri3D v2 という有料のソフトウェアを用いて作成した。このソフトウェアにはアニメーションの機能があり動画を作成することができるが、この動画はソフトウェアをインストールしたパソコンでしか再生できない。そこで Cabri3D で動画を再生させてパソコンの画面をキャプチャすることにより、MP4 形式の動画を作成した。(図 5)

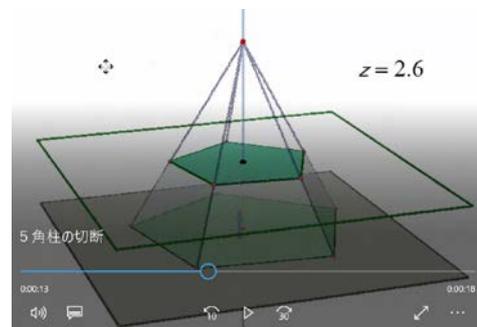


図 5. 動画の 1 画面

3. 動画を含む問題の例

角柱の体積を定積分を用いて求める次の問題のために動画を作成した。(図 4)

例題 2 図 4 の 5 角柱は高さが 7、底面の面積が 21 である。この角柱の体積を定積分を用いて求めよ。

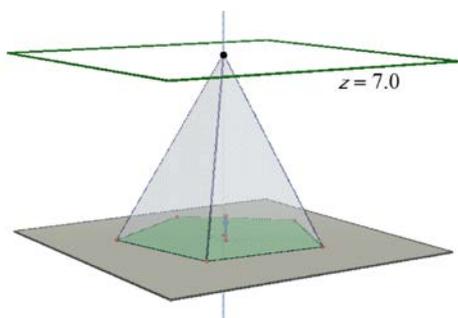


図 4. 平面による角柱の切断

解答 角柱を xy 平面に水平な平面 $z = 7 - t$ で切った切り口の面積を $S(t)$ とおくと、

$$t^2 \cdot 7^2 = S(t): 21$$

次の問題は多くの教科書が採用している標準的な問題である。

例題 3 原点を中心とする半径 a の円を底面とする円柱がある。この円柱と平面 $z = y$ および xy 平面ではさまれてできる立体の体積を求めよ。

解答 2 点 $(-a, 0, 0)$, $(a, 0, 0)$ を結ぶ線分と平面 $x = t$ との交点を P とすると、点 P の座標は $(t, 0, 0)$ である。また、 P から円 $x^2 + y^2 = a^2$ におろした垂線の足を Q 、2 平面 $z = y, x = t$ の交線と円柱との交点を R とすると $PQ = QR$ が成り立つ。よってこの立体を平面 $x = t$ で切った切り口は直角二等辺三角形である。(図 6) $OQ = \sqrt{a^2 + t^2}$ であるから三角形 PQR の面積は

$$\frac{1}{2}(\sqrt{a^2 + t^2})^2 = \frac{1}{2}(a^2 + t^2)$$

となるので、この立体の体積は

$$\int_{-a}^a \frac{1}{2}(a^2 + t^2) dt = 2 \int_0^a \frac{1}{2}(a^2 + t^2) dt = \frac{2}{3}a^3$$

(終)

この問題は立体の形状がわかりにくい。そこで3方向から見た立体の図を作成し、点Pを動かしたときの図を同時に表示する動画を作成した。(図6)

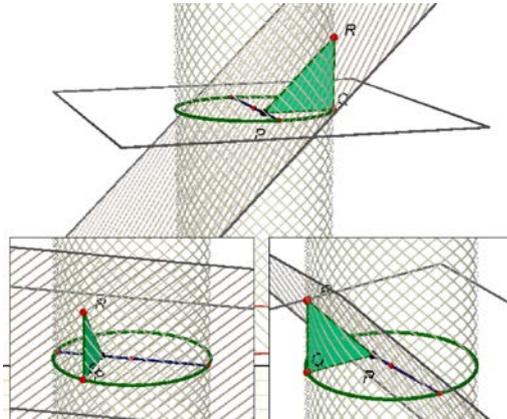


図6. 動画の1画面

4. 数学教育に関する論文に基づく問題例

この章では、過去に執筆された数学教育に関する論文に基づく、通常は考えつかない内容の動的オブジェクトの例を挙げる。2つの正の実数 a, b に対して、 $\frac{a+b}{2}$ を a, b の算術平均、 $\frac{2ab}{a+b}$ を a, b の調和平均という。不等式 $\frac{2ab}{a+b} \leq \frac{a+b}{2}$ を算術平均と調和平均の関係と呼ぶ。この不等式は $a = b$ のときに限り等号が成立する。この不等式の証明は通常は式変形のみで行われるが、直線と双曲線を用いて視覚的に証明することができる。([9])

例題4 a, b を正の実数とし、座標が (a, b) である点を P とする。

1. 直線 $x + y = k$ が点 P を通るとき、この直線と直線 $y = x$ との交点 Q の座標を求めよ。
2. 曲線 $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{k}$ が点 P を通るとき、この曲線と直線 $y = x$ との交点 R の座標を求めよ。
3. $x, y > 0$ のとき、条件 $(x + y)\left(\frac{1}{x} + \frac{1}{y}\right) = 4$ を満たす点 (x, y) の軌跡の方程式を求めよ。

解答 (1) $\left(\frac{a+b}{2}, \frac{a+b}{2}\right)$ (2) $\left(\frac{2ab}{a+b}, \frac{2ab}{a+b}\right)$ (3) $y = x, x > 0$

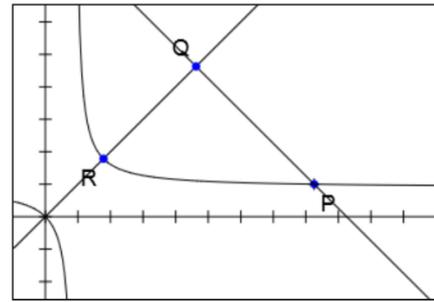


図7. 点Pが直線 $y = x$ にないとき

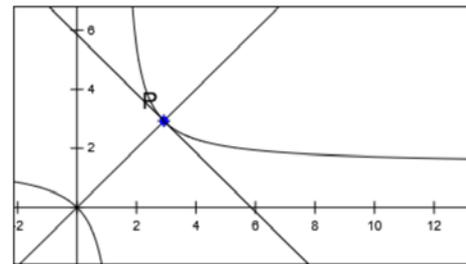


図8. 点Pが直線 $y = x$ にあるとき

Q, R は直線 $y = x$ 上の点である。点 P が直線 $y = x$ にないときは Q は R よりも右上にあり、 $\frac{2ab}{a+b} < \frac{a+b}{2}$ が成り立つ。また点 P が直線 $y = x$ にあるときは3点 P, Q, R は一致し、 $\frac{2ab}{a+b} = \frac{a+b}{2}$ が成り立つ。点 $P(a, b)$ をドラッグして移動させることにより算術平均と調和平均の関係を生徒が能動的に確かめることができる。(図7, 8)

別の例を見てみよう。 $\sin \theta = \frac{1}{2}$ のような三角方程式は単位円を用いて幾何的に解くのが普通であるが、 $\sin 2\theta = \sin \theta$ のような三角方程式は式の変形のみで解く。しかし、このような三角方程式も円と直線を用いて幾何的に解くことができる。

単位円上の点は $P(\cos \theta, \sin \theta)$ と表すことができ、円 $x^2 + y^2 = 2x$ 上の点は $Q(2 \cos^2 \theta, \sin 2\theta)$ と表すことができる。 P と Q の y 座標が一致する点を探すことにより、方程式 $\sin 2\theta = \sin \theta$ の解を求めることができる。([5], [6])

例題5 (1) 直線 $y = x \tan \theta$ と円 $x^2 + y^2 = 2x$ の交点のうち、原点でない方の座標を求めよ。

(2) $\sin 2\theta = \sin \theta$ の解を $0 \leq \theta < 2\pi$ の範囲で求めよ。

(3) $\sin 2\theta > \sin \theta$ の解を $0 \leq \theta < 2\pi$ の範囲で求めよ。

解答 (1) $(2 \cos^2 \theta, \sin 2\theta)$ (2) $\theta = 0, \frac{\pi}{3}, \pi, \frac{5}{3}\pi$

(3) $0 < \theta < \frac{\pi}{3}, \pi < \theta < \frac{5}{3}\pi$

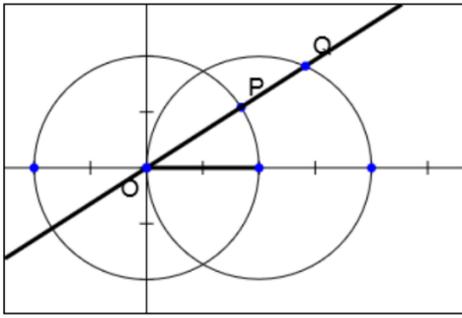


図 9. 直線 $y = x \tan \theta$ と 2 円

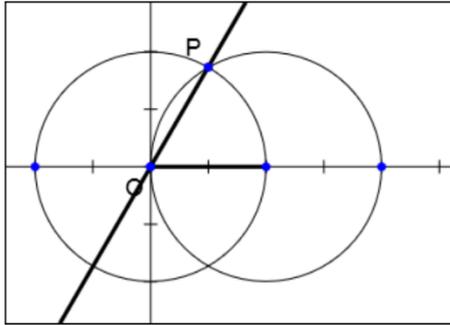


図 10. $\sin 2\theta = \sin \theta$ が成り立つとき

ところで、ラグビーの人気の高まるにつれて、そのルールもよく知られるようになってきた。図 11 では A, B はゴールの両端を表す。点 C の位置にトライが決まったとき、次に行われるコンバージョンキックは $\angle APB$ が最大である地点を探して行われる。([11]) 動的オブジェクトを操作して点 P の位置を動かすことにより、最適な位置を見つけることができる。(図 12)

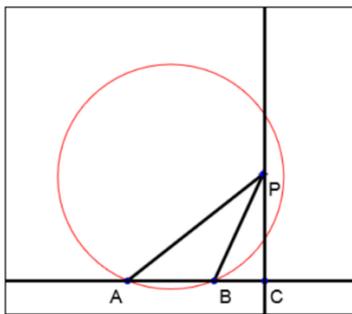


図 11. 点 P の位置と円の半径を変えられる

例題 6 x 軸上に 3 点 A, B, C がこの順に並んでいる。点 P は点 C を通り x 軸に垂直な直線 l 上にある。 $\angle APB$ が最大になるときの点 P の位置を求めよ。

解答 点 A, B を通り直線 l と接する円を考える。点 P が接点の位置にあるとき $\angle APB$ が最大になる。

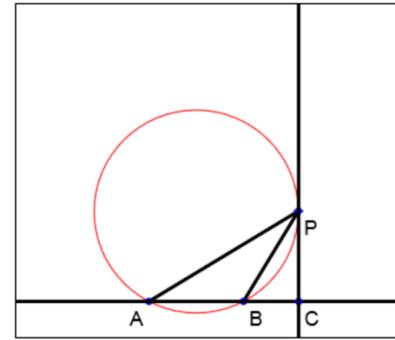


図 12. $\angle APB$ が最大になる点

5. 考察

数学の問題には複数の解法が存在することが多い。次の例題で考えてみよう。

例題 7 x, y を実数とする。点 $P(x, y)$ が領域 $D = \{(x, y) | x^2 + y^2 \leq 1\}$ 内の点である時、 $x + y$ の最大値、最小値とその時の x, y の値を求めよ。

解答 $x + y = k$ とおくと k は直線 $y = -x + k$ の y 切片に等しい。平面上の点 $P(x, y)$ を通る傾き -1 の直線を考えてこの直線の y 切片が $x + y$ の値に等しい。(図 13)

点 P が領域 D 内の点である時、 y 切片が最大になるのは点 P が直線 $y = -x + k$ と円の接点になっている時で、このとき点 P は直線 $y = x$ 上にある。(図 14) 連立方程式 $x^2 + y^2 = 1, x = y$ を解くことにより、 $x + y$ は $x = y = \frac{1}{\sqrt{2}}$ のとき最大値 $\sqrt{2}$ をとる。同様に $x = y = -\frac{1}{\sqrt{2}}$ のとき最小値 $-\sqrt{2}$ をとる。

(終)

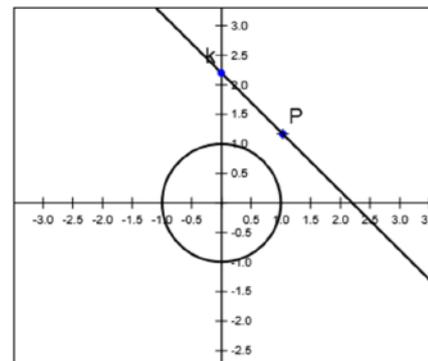


図 13. 単位円と直線 $y = -x + k$

図 13 はこの例題のための動的オブジェクトである。点 P の位置を単位円の周および内部を動かして y 切片が最大または最小になる場所を探ることができる。

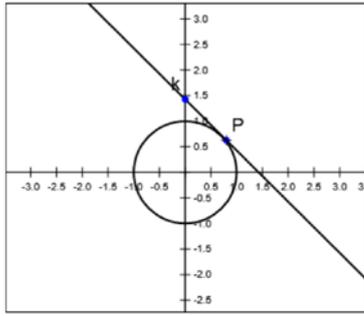


図 14. $x + y$ の値が最大になる点 P の位置

通常、教科書や問題集ではこの解法を採用している。しかしこの問題は平面ベクトルの内積を用いて次のように解くことができる。

別解 座標が $(1,1)$ である点を A とする。平面上の任意の点 $P(x,y)$ に対して、 $\vec{OP} \cdot \vec{OA} = x + y$ が成り立つから、 $x + y$ が最大になるのは \vec{OP} と \vec{OA} が同じ向きの時、即ち $y = x$ のときであるから、 $x + y$ は $x = y = \frac{1}{\sqrt{2}}$ のとき最大値 $\sqrt{2}$ をとる。また、 $x + y$ が最小になるのは \vec{OP} と \vec{OA} が反対向きの時、即ち $y = -x$ のときであるから、 $x + y$ は $x = y = -\frac{1}{\sqrt{2}}$ のとき最小値 $-\sqrt{2}$ をとる。(終)

別解に基づく動的オブジェクトを作ると図 15、図 16 のようになる。この解法の方が条件 $x = y$ を自然に導くことができる。

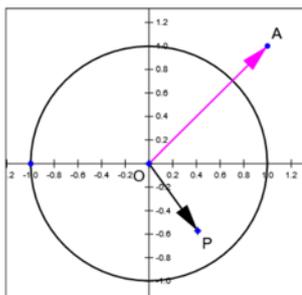


図 15. 2 つのベクトル

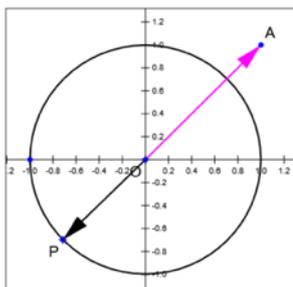


図 16. $x + y$ が最小になる点 P の位置

従来の紙ベースの試験の場合は問題のみの出題であったから解答者は自由に解法を選ぶことができた。CBT 試験で動的オブジェクトが使えるようになったことには色々なメリットがあるが、その一方で動的オブジェクトをどのように作るかによって、特定の解法を解答者に強要することになるというデメリットも生じることを認識する必要がある。

6. おわりに

ここで紹介したものは作成した問題のごく一部である。なお、本研究は日本学術振興会の科学研究費(課題番号 16K00993)“スマートデバイスによる動画再生を活用する高専数学の実践的研究”の補助を受けて行われた。

参考文献

- (1) 中央教育審議会答申:新しい時代にふさわしい高大接続の実現に向けた高等学校教育、大学教育、大学入学選抜の一体的改革について、平成 26 年 12 月 22 日
- (2) Pearson Education Mathematics Practice Tests: <https://parcc.pearson.com/practice-tests/math/>
- (3) 高木和久: 三角関数の加法定理のエlegant な証明、数研通信 No. 70 P. 21、数研出版、2011
- (4) 高木和久:動的幾何ソフトを用いた単相交流回路の解説、教育システム情報学会研究報告 vol. 26 No. 4, PP. 32-37, 2011
- (5) 高木和久:点と直線の符号付き距離を用いた三角方程式の新解法、平成 24 年度全国算数・数学教育研究(福岡)大会総会特集号 P.621, 2012
- (6) 高木和久:点と直線の符号付き距離と三角方程式・不等式、高知高専学術紀要第 58 号、PP. 39-49、2013
- (7) 高木和久:関数のグラフの双方向的なアニメーションの作成について、日本高専学会第 19 回年会講演会講演論文集 P. 35-36、2013
- (8) 高木和久:対称性を用いた 2 次形式の標準化、初等数学第 73 号、PP. 61-64、2014
- (9) 高木和久:スーパーだ円を用いた QM-AM-GM-HM 不等式の証明、第 19 回高専シンポジウム講演論文集 P. 162、2014
- (10) 高木和久:座標軸の追加による 2 次形式の標準化について、高知高専学術紀要第 59 号、PP. 31-39、2014
- (11) 松田康雄:有利なキックは、初等数学第 71 号 PP. 45-47, 2013

デジタル環境下での 効率的な色識別能力向上支援システムの研究

大坪 誠^{*1}, 長谷川忍^{*1, *2}

*1 JAIST 情報科学研究科, *2 JAIST 情報社会基盤研究センター

Research on an efficient support system for improvement of color recognition skill in digital environment

Ootsubo Makoto^{*1}, Hasegawa Shinobu^{*1, *2}

*1 JAIST School of Information Science, *2 JAIST Research Center for Advanced Computing
Infrastructure

パーソナル・コンピュータ等の普及によりデジタル・コンテンツを注視する機会は増加した。また一般のユーザがデジタルでのコンテンツを作成する機会も増加している。これに伴ってデジタル環境における作成したものを目的の色に見えるように色を識別、選択することの重要性が高まっている。しかし、デジタル環境におけるこの能力をトレーニングするためのツールは少なく、また個人向でない、非効率、といった問題が考えられる。この問題に対して本稿ではデジタル環境における色識別能力を効率良く上昇させるトレーニングシステムの開発を目指す。提案する手法では学習領域全体を色の三属性、色の系統、難易度を組み合わせたオーバーレイモデルで表現する。このオーバーレイモデルの達成度をもとに、学習者へ不得意部分である学習優先度の高い問題の提供を行うことで、従来の学習と比較して時間効率の良い学習を目指す。

キーワード: 色識別能力, スキル学習, オーバーレイモデル, 適応的トレーニング

1. はじめに

パーソナル・コンピュータの普及やタブレット端末、スマートフォンの普及によりディスプレイ・デバイス内でデジタル・コンテンツを注視する機会は増加している。またユーザ中心にコンテンツの作成と発信が行われるコンシューマー・ジェネレイテッド・メディアコンテンツ(CGM)の発展⁽¹⁾やコンテンツ作成ツールの普及等により、プロにとどまらず一般のデジタル環境の利用者にも制作機会が増加している。こういったデジタル環境でのコンテンツ作成では、絵具を用いて描くのに比べてコストや画材の管理に気を使わなくてよい。このためアナログ環境に比べ色の扱いが容易で、豊富な色を自由に使うことが可能である。

一方で絵を描く等の色を使ったコンテンツを作成際には自分の感覚として見た色を再現したいという欲求

が存在する。このため色の選択がしやすいデジタル環境では、作成したものが目的の色に見えるよう色を識別、選択する能力の重要性は高まっている。例えば、デジタル・サイネージ上に表示されるコンテンツの色を任意の色と同じようにしたい、デジタル・イラストレーションで特定の色を再現したい、等である。しかしこういった能力を向上させるための学習を個人で行いたいと考えたとき、どのような学習を行えばいいのかわからないといった問題がある。

この問題に対し本研究では、見た色を理解しそれを再現できるようになることを目標として、デジタル環境下で個人が行う色識別能力向上トレーニングを検討する。したがって、本稿におけるトレーニングとは、色を見た時にその色を再現するために必要な要素を認識する力を向上させるものを指す。

本研究では色識別能力を、色を再現する際に必要となるパラメータの色相、彩度、明度がどのようなかを理解する能力と定義する。この能力があることで理想とする色と実際作成されたものとの間に発生した色の違いに対して適切な修正方針を与えることが可能となるものである。この色識別能力は人ごとに持つ能力に差がある⁽²⁾が、トレーニングによって向上させることが可能でありトレーニング用のツールも存在している。

しかし、既存のトレーニングツールは道具としての部分が大きく、どういった学習を行うかは学習者に任せられるものである。このため学習者自身が自分の能力を把握しにくく、学習すべきポイントを絞りにくい。さらに学習自体も総当たりのに行わなければならない、学習者の能力を向上させるという目的を考えた時に非効率となることが考えられる。

そこで、本研究では一般のユーザがデジタル環境で効率よく色識別能力を向上させるため、スキル学習という視点からデジタル環境下でのトレーニングを行えるシステムを検討する。また色識別能力を評価するテストも開発する。これにより、従来のもとは比較少ないトレーニング回数でテスト成績の上昇が期待できるシステムを開発することを目標とする。

2. 色識別能力

2.1 定義

色を再現するには色の性質を構成する要素を知る必要がある。HSV 色空間や HSL 色空間での色表現は人の色を認識する感覚に近く⁽³⁾⁽⁴⁾、色を再現するという本研究の目的に適している。ここではデジタルイラストレーションツールで良く用いられることから、HSV 色空間を利用した色表現に注目する。

HSV 色空間において色の性質は色相、明度、彩度(図(1))の3要素(以下色の三属性)から構成される⁽⁵⁾。これらのパラメータを変化させることで色の性質が変化する。

この色の三属性がわかれば任意の色を再現することが可能となる。このことから本研究で向上を目指す「色識別能力」は、色を見たときに色の三属性にどのような違いがあるかを識別する能力とみなす。

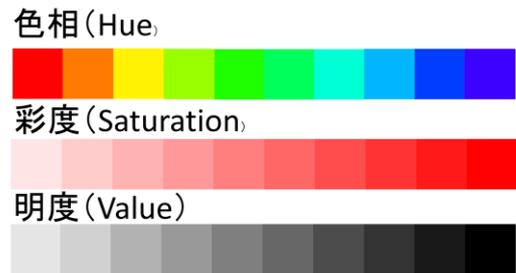


図 1 色の三属性

2.2 既存手法

既存の方法で色識別能力を向上させること、および学習を行うことについて整理する。

2.2.1 関連研究

色識別能力の向上に関する先行研究は少ない。先行研究の一つ⁽⁶⁾では明度の識別トレーニングを行うデジタルのトレーニングツールの研究が行われている。紙媒体でのトレーニングに伴うツールの劣化や、数が必要なこととその保有の難しさを解決するため、コンピュータのディスプレイ上でのトレーニングツールを提案している。このようにツールのデジタル化にとどまっており、トレーニング者がどのような学習を行うかといったことに焦点が向けられているものはない。また後述するように近年にはデジタル版のトレーニングツールも既に存在しており、今後の研究が必要となるのはデジタル環境下でいかに学習を行うかということになるのではないかと考えられる。

2.2.2 HVC 色感トレーニングカード

HVC 色感トレーニングカード⁽⁷⁾では色の三属性に対してそれぞれの視点からトレーニングが可能である。これにより色の三属性のそれぞれの属性内での識別能力を向上させることができる。トレーニング方法は、カードを並べることで正しい表を完成させるものである。それぞれ色相は色相環の再現、明度はグレースケールの明度のグラデーション、彩度は等色相断面を色のついたカードを並べ完成させることを繰り返してそれぞれの要素を識別する能力を向上させる。

2.2.3 新版色彩能力テスト

色彩能力テスト⁽⁸⁾では微少な色の差の識別を行う能力判定、またそれを繰り返すことでの能力向上が可能である。テスト内容は3種存在し、それぞれ微小な色差を識別するもの、色の三属性の識別を行うもの、色

の変化の尺度の識別を行うものである。

これらのテストを行うことで、自身がどの色相の系統だと色の差を識別出来ないか、色相、明度、彩度のどの変化が識別できないか、どの色の属性の変化が識別できないかといった、自身の能力をより詳細に把握することが可能である。

2.2.4 デジタル版 HVC カラートレーニング

デジタル版 HVC カラートレーニング⁽⁹⁾では紙媒体でなくデジタル環境でのトレーニングを行うことが出来る。HVC カラートレーニングと色彩能力テストのトレーニングのうち、微小な色差の識別以外をデジタル環境で行うことが可能である。

2.2.5 解決すべき課題

既存の学習ツールで色能力を向上させるということについてはおおよそ十分なものが揃っていると考えられる。ただし実際の色の要素は一つの属性に注目すれば良いというわけではなく属性がいくつか複合しているため、明度と彩度が複合して変化しているもののトレーニング等も必要な可能性がある。

また既存のツールで能力向上は十分だが、効率的な学習ということを考えて際には不十分な点が考えられる。まず同じテスト問題を用いた繰り返し等の総当たりの学習が必要になることが挙げられる。効率よく学習を行うためにはトレーニング者が必要としている問題をより多く、得意としている問題をより少なくするような、問題の提供が必要である。また自身でテスト結果を記録して能力を把握しても、そこから学ぶ問題も自身で選択しなくてはならないといった課題がある。自分のできていない部分に対しての学習を自身で用意するのは難しく、出来ていない問題を繰り返し解くことになりがちである。出来ていなかった問題は見直してもわからないままのことが多く、変化のわからないものをカンで並べるような意味のないトレーニングになってしまう可能性がある。したがってトレーニング者のできている部分とできていない部分の境界を探り、段階を追って問題を提示するようなことが必要である。

3. アプローチ

色認識能力を効率よく学習し、能力を向上させるための手法を検討する。

3.1 スキル学習

足し算や引き算といった、学習対象を記号で表現可能なものを学習するものは形式知学習と呼ばれる。この学習ではトレーニング者が大脳内で記号の操作を繰り返し、記憶することによって学習が進む。これに対し絵や音楽、スポーツのような学習対象の記号表現が困難なものを学習するものはスキル学習と呼ばれる⁽¹⁰⁾。

色認識能力の学習は色そのものを記号で表すことは可能だが、その記号部分の記憶で能力を向上させるものではない。実際にそこに見える色がどんな色であるかということを記号表現することは困難であり、この学習はスキル学習に当てはまると考えられる。よって、この研究ではスキル学習を行うトレーニングシステムという考え方でシステムを検討する。

スキル学習では知覚認識、認識結果に応じて最適な行動の選択、行動、成果といった4つの相互作用で学習が行われる⁽¹⁰⁾。色認識にこれを当てはめると順に、対象の色の知覚、知覚した色に応じて調整する要素を決定

パラメータの操作、色の表示となる。これらのどこで誤りが発生しているのかを発見し、それを修正することがスキル学習の支援には求められる。

したがってトレーニング者がこのどこで誤りを行っているのか、といったことがわかる問題を作成し誤りを発見することでトレーニング者の今後の取り組む問題の方針を決定することができる。特に色の学習において誤りが発生しやすい部分は対象の色の知覚と知覚した色に応じて変更する要素を決定の部分と思われる。

本研究では知覚した色に応じて変更する要素を決定する部分に注目し、これをトレーニング可能な問題を作成する。

3.2 トレーニング

トレーニングではそれぞれの要素についての問題を5問3セットで行う。これはアナログでのトレーニングツールで紹介した「新版 色彩能力テスト」で行うテスト兼トレーニングを参考に設定している。

同ツールで行う測定の中に能力の測定用の問題群15問を回答することを3セット繰り返すものがある。ここでの問題群は色相、彩度、明度の3要素すべてを含むものである。また1問あたりで問われるのは一つ

の要素のみで、要素が複合したものは無い。この測定自体がトレーニングを兼ねており、これを繰り返すことによって学習者の能力を向上させる。

このことから今回行う1つの要素のみに着目したトレーニング問題は、前述の5問3セットに設定した。時間は1問当たりの回答時間20秒とし、合計300秒でのトレーニングを行う。

トレーニング問題の例を以下の図(2)に示す。図は色相の異なる2つの色と回答のボタンを表示している。トレーニング問題ではある色2つと、その色の今回トレーニングする要素が異なった色1つもしくは同じ色の3つの色を表示する。学習者はこの中からどれが要素の異なっているのかを答える。回答は同様に選択式で、学習者は「左」、「中央」、「右」、「すべて同じ」、「わからない」の5つのうちから回答を選択する。ここではすべて同じ色の表示を含むのは、勘による回答でオーバーレイモデルが学習者の能力に対して正確に更新されない可能性を減らすためである。

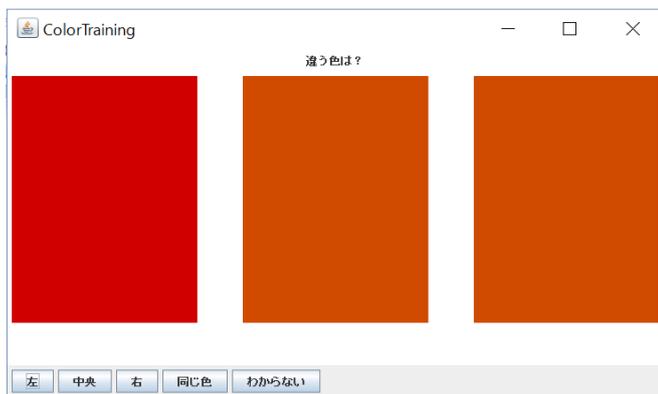


図 2 トレーニング問題例

3.3 優先度の高い問題の提供

効率的な学習のためには学習者に対してその個人の必要な問題を提供する必要がある。^{*(11)}では形式知学習における学習者の不得意分野をシステムが同定し、学習者が次に必要な問題を決定する研究が行われている。このような学習者が得意な部分の学習を減らし、不得意な部分を重点的にトレーニングすることはスキル学習についても有効だと考えられる。

^{*(11)}の形式知学習では学習対象に学習領域の分類区分を設定し、木構造で表している。これは学習領域が包

含関係に基づいて階層的に分類できるものを対象としているため可能であるが、本研究で行う色識別の学習は包含関係で表すことが出来るのは一部であり、全体を木構造で表現することは不可能である。これに対し本研究では図(3)のように色相、明度、彩度の変化という三属性、色の系統、難易度の組み合わせを構成要素とするオーバーレイモデルで学習対象全体を表現し、その達成度から優先して学習すべきものを決定することを考える。難易度は今回1、2、3の3段階を用意することを予定している。

トレーニングでの結果は全てオーバーレイモデルに反映され、トレーニング終了ごとに次に提示するトレーニング問題がオーバーレイモデルに基づいて決定される。

	R系統			G系統			B系統			スコア
	難易度1	難易度2	難易度3	難易度1	難易度2	難易度3	難易度1	難易度2	難易度3	
色相変化										
明度変化										
彩度変化										
スコア										

図 3 オーバーレイモデル

3.4 難易度

本システムで扱う問題の難易度は、学習要素の分割の細かさで決定する。以下の図(4)は色相における難易度の例である。

色相全体を255段階とし、これを分割する幅によって難易度が決定される。

彩度及び明度も同様にして分割幅が細くなるほど難易度は上がり、分割幅が大きくなるほど難易度は下がる。



図 4 難易度例

3.5 プレテスト

最初の学習開始時にはプレテストを行う。ここで行うテストは正確な能力を測る目的のものではなく、このテスト結果に基づいてオーバーレイモデルの初期値を決定し、今後のトレーニング問題の出題に利用するためのものである。したがって、システムを用いた学習に際して長時間のテストが必須になることで時間当たりの学習が非効率になることや、テスト自体がトレーニングになり総当たりの学習と差が無くなるといった問題の起きない、短時間で全体の傾向を見ることが出来るテストを開発する。

プレテストではオーバーレイモデルで用意した難易度 1~3 のうち、すべての要素について難易度 2 のもののみ行う。また出題する問題数はそれぞれの要素 1 つにつき 1 問である。ここで問題に正解した場合、その要素に対してはトレーニングで難易度 3 の問題を提示し、誤答した場合は難易度 1 の問題を提示する。難易度 2 のトレーニングについては、プレテスト後のトレーニングによってオーバーレイモデルが更新された時に選択される場合がある。

問題は 1 問あたり 20 秒の回答時間とし、計 9 問で 180 秒=3 分間のテスト時間を想定する。

テスト問題の例を以下の図(5)に示す。テスト問題は

ある色とそれの色の三属性いずれかが異なっているものの 2 つの色を表示し、これに対して学習者が二つの色の間での違いが何かを答える。回答は選択式で、学習者は「色相」、「彩度」、「明度」、「わからない」の 4 つのうちから自身の回答を選択する。

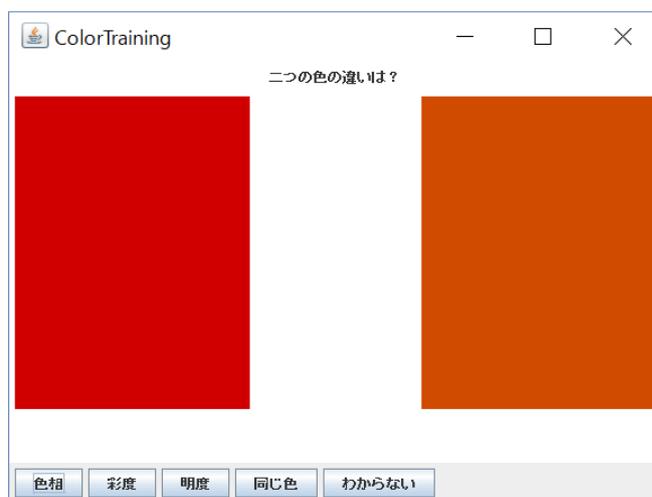


図 5 テスト問題例

4. システムの設計

本研究で開発するシステムの設計について述べる。

4.1 対象とする利用者

本システムでは、色識別に関するトレーニングを受けたことがない学習者を対象とする。ユーザ登録を行うことによって複数人での利用が可能だが、同時に複数人での学習は行わない。

4.2 ユースケース図

本システムのユースケース図を以下の図(6)に示す。学習者名の入力では、学習者が本システムを起動した際にログインまたはユーザ登録を選択する。データベースにユーザ情報を登録し、ログインを行った場合はユーザをログイン状態にする。

学習者は初回であればプレテストを選択し、そうでなければトレーニングを選択することで学習を開始する。

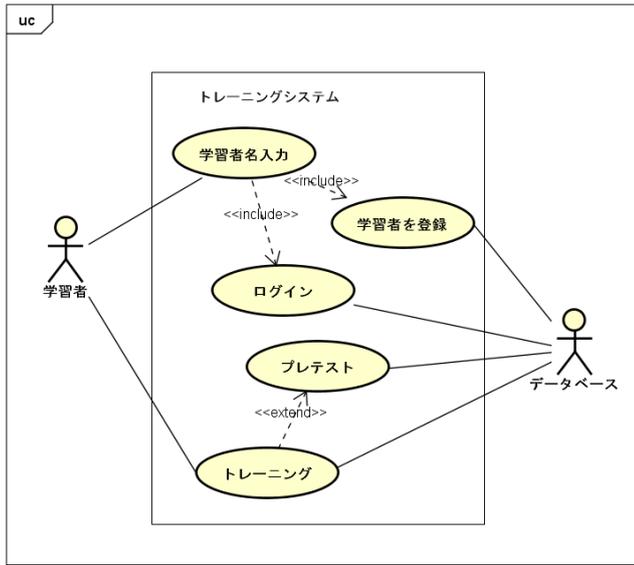


図 6 ユースケース図

持つ。テストセットはこの問題を複数(「問題数」の数)持つ。

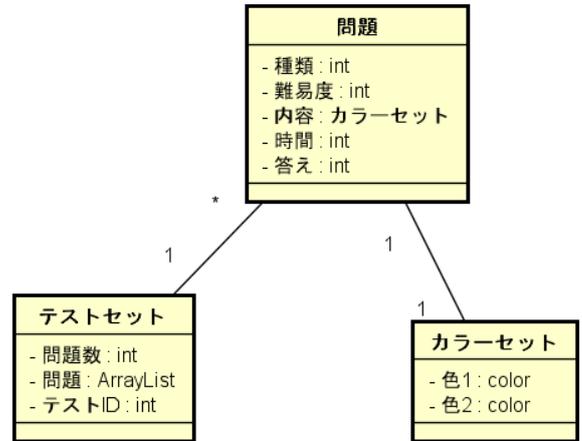


図 8 オーバーレイモデルとユーザ

4.3 クラス図

本システムのクラス図の一部を示す。図(7)は、ユーザとオーバーレイモデルを表している。オーバーレイモデルクラスは、オーバーレイモデルの各要素に対しての中身を持つ属性の「要素」と、このオーバーレイモデルがプレテストの実行によって初期状態が決定されているかを示す属性の「状態」を持つ。要素は二次元の配列で、オーバーレイモデルの中身と、各トレーニングを行う要素についての学習回数を記録する。

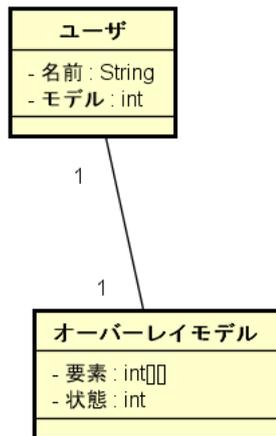


図 7 オーバーレイモデルとユーザ

4.4 アクティビティ図

本システムを用いての学習の流れのアクティビティ図を次の図(9)に示す。図は学習者とシステムの動きの流れを示している。学習が開始した時、プレテストが未受験であればプレテスト問題を表示する。学習者はこれに回答を行い、終了後オーバーレイモデルを更新する。プレテスト受験済、もしくは受験終了後、システムはオーバーレイモデルに基づいてトレーニング問題の表示をする。学習者がこれに回答し、トレーニングの終了後、オーバーレイモデルを更新し学習を終了する。

図(8)は問題について表している。カラーセットは 2 つの色の組み合わせを持つ。問題はテストかトレーニングかを示す属性の「種類」、難易度を示す「難易度」、問題に使う色の組み合わせである「内容」、この問題の回答時間を示す「時間」、問題の正解を示す「答え」を

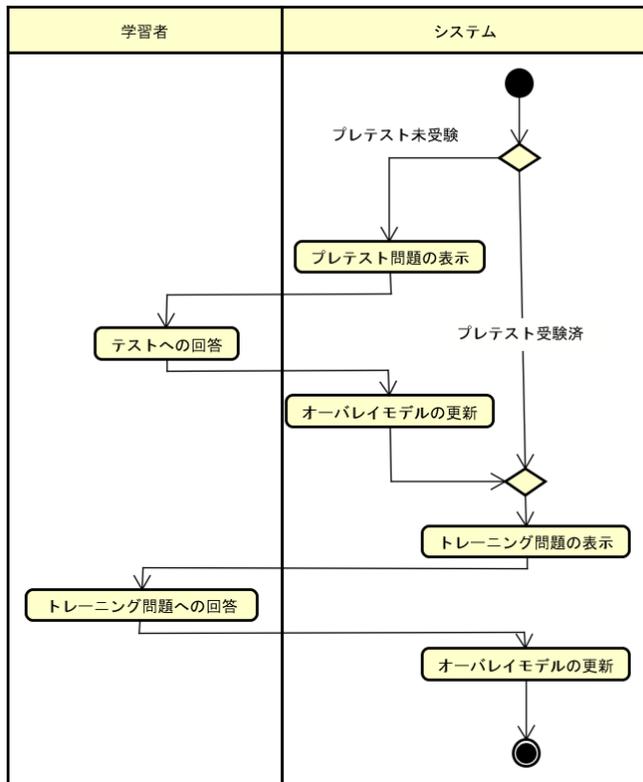


図 9 学習部分についてのアクティビティ図

5. 評価

提案手法の評価は学習時間に関する効率性を比較することで行う。本研究ではトレーニング時間あたりのテストの点の上昇率を効率性と定義する。

はじめに色認識能力を確認するプレテストを行う。その後テストの点に偏りがないような2つの組に分かれて同時間の既存のツールを用いたトレーニングとシステムを用いたトレーニングを行う。トレーニング後再びプレテストを行い、そのテストの点とトレーニング時間を用いて効率性を計算、比較を行う。

また本研究では色覚異常の場合の能力向上といったことに考慮していないため、被験者はあらかじめ色弱であるかの確認テストを行い、該当する場合は実験には参加しない。

6. おわりに

本研究では、個人がデジタル環境での色識別能力を効率よく向上させる環境を作成することを目的に、スキル学習の支援を行うという観点からトレーニング問題を作成し、それを用いた誤りの発生する部分を特定、学習者の必要な問題を提示するシステムを開発する。このシステムを利用することにより既存の学習方法と

比較して短い時間での能力向上が期待される。

また今回開発するシステムではトレーニング時に使用したモニタ内で、学習者が色の再現ができるようになることを目標としている。よってトレーニングできる色の範囲は学習に使用したモニタが再現できる色の範囲に限られる。そのため異なったモニタ等でこのシステムを用いた場合適切な成果が得られないことが考えられる。このことから、今後の課題としてシステムを他の環境で扱う場合にモニタごとの色域や表示の設定について対応する方法の検討が考えられる。

加えて、今回作成するシステムではオーバーレイモデルを用いた優先度の高い問題の提供の効果を見るためのものになっている。このため、学習をより効果的なものにするためにはフィードバックの設定なども課題である。

参考文献

- (1) 柏原 剛, 市川 衛, 豊原 正智, 松井 桂三: “絵を描くことを主体とした疑似同期型 CGM サイトの構築”, 情報処理学会研究報告(CD-ROM), 3号, ROMBUNNO.EC-17,NO.15 (2010)
- (2) 赤澤 智津子: “色相と彩度の異なる2色間における明度識別”, 千葉大学学位申請論文 (2009)
- (3) HSV色空間: 研究開発: 日立
http://www.hitachi.co.jp/rd/portal/glossary/en%E_h/hsv%E_irokuukan.html(2016年9月5日確認)
- (4) John C. Russ: “The IMAGE PROCESSING Handbook Third Edition”, CRC Press, Boca Raton (1998)
- (5) 内田広由紀: “7日間でマスターする配色基礎講座”, 株式会社視覚デザイン研究所, 大阪 (2000)
- (6) 軽部 貴之, 赤澤 智津子: “ディスプレイを用いた明度識別トレーニングツールの研究”, 日本デザイン学会研究発表大会概要集 58, pp.210-210 (2011)
- (7) <改訂版>HVC色感トレーニングカード
<http://www.jcri.jp/JCRI/seihin/KYOUZAI/hvc2/hvc2-1.htm> (2016年8月10日確認)
- (8) 新版色彩能力テスター
<http://www.jcri.jp/JCRI/seihin/KYOUZAI/jcat/jcat-1.htm> (2016年8月10日確認)
- (9) デジタル版HVCカラートレーニング
<http://www.jcri.jp/JCRI/seihin/KYOUZAI/digital-HVCtr/dhvctr-1.htm> (2016年8月10日確認)

- (10) 曾我真人: “スキルの診断と学習支援”, 第38回教育システム情報学会全国大会 (2013)
- (11) 金子 真也, 上之菌 和宏, 橘 知宏, 佐藤 彰紀, 橋立 真理恵, 古宮 誠一: “学習者の不得意分野を同定する CAI システム : 学習者モデルと教授ロジックの提案”, 電子情報通信学会技術研究報告. KBSE, 知能ソフトウェア工学 108(384), pp.25-30 (2009)

A Prototype Virtual Learning Platform for Teaching Skills of Designing and Producing Online Virtual Labs in Classrooms

Mohamed Elsayed Ahmed*,**

Shinobu Hasegawa***,*

School of Information Science, JAIST*

Educational Technology Department, South Valley University**

Research Center for Advanced Computing Infrastructure, JAIST ***

Integration of ICT into classrooms has assisted to enhance students' learning process with interactivity and good performance. The main purpose of this paper is to present the main features and services of our virtual learning platform (VLP) as a prototype web application system for teaching the skills of designing and producing online virtual labs in the classroom. We implemented several functions and contents of VLP for the undergraduate students majoring in educational technology. We conducted an experiment with thirty participants who learned by the VLP system in a lecture. The implementation outcomes indicated that the VLP system as a teaching tool has a positive impact in developing the target skills. The VLP as an ICT application would help instructors to raise efficiency of learning environment in classrooms.

Keywords: Virtual Learning Platforms, ICT in Classroom, Designing and Producing Online Virtual Labs, Educational Technology Students.

1. Introduction

Recently, educational systems have expanded in integrating the information and communication technology in schools and universities. Some of these educational systems established a specialized department for educational technology to enhance students' learning process with ICT applications in such institutions.

The educational technology field aims to provide the students with skills of designing, producing, utilizing, integrating, and evaluating modern ICT applications in order to improve traditional schooling. An online virtual lab (OVL) is one of the modern applications used in the future learning institutions. Most of these OVLs have been approved a positive impact on the enhancement of learning outcomes in various domains (1), (2), (3).

However, current students who study in educational technology departments do not have skills of designing and producing OVL as a new ICT application in education. There are a couple of barriers to teach such skills as follows. At first, there are no suitable educational contents for standard skills for designing and producing OVL without dependence on domains. Second, there are also no online tools which help the students learn the skills without technical and programming difficulties.

In order to overcome these issues, our study presented a prototype VLP system to teach the educational technology students how to design and produce OVLs in a standard way. The prototype VLP system includes several tools and contents for teaching the skills for designing and producing OVL. Especially, a couple of specialized tools provide them with a standard template to acquire a suitable form of OVL.

We implemented the VLP system with thirty students majoring in educational technology. The evaluation results showed the significant impact of the developed VLP in the teaching the target skills successfully.

2. VLP system overview

The scope of the VLP was to design and produce OVLs at educational technology students. This system has provided interactive tools and contents for teaching not only in the ICT classroom but also through distance learning. This system was developed by using CakePHP framework, PHP, JavaScript, CSS, and MYSQL. The present version of the system supports two languages; Arabic and English.

The VLP system consists of two modes; instructor mode for system administrator and student mode. On instructor mode as shown in figure 1, the instructor has full authority for administration of the VLP tools. The student mode provides the students with the interactive contents and specialized tools for designing and producing OVLs.



Figure 1. Instructor mode GUI of VLP system

3. VLP system tools description

3.1 Innovative tools for OVLs

OVL design tool: It enables the students to design their own OVLs with a group of ready-made templates as shown in figure 2. The detail of the templates are as follows:

- Template for OVL framework: It includes; OVL name, target users, domain of course, topics, and general objectives.
- Template for OVL platform: It specifies management tools, communication tools, content display tools to be used in learning session. This design is limited to the proposed tools in the current VLP.
- Template for virtual experiment: It describes seven components of virtual experiment, i.e. educational objectives, theoretical explanation, instructions and procedures of experiment, simulation components and objects, activity, evaluation, and experiment summary.
- Template for overall evaluation: It defines type of evaluation tools like quiz, and description of the tools.

This tool provides the instructor with management function which gathers all OVL designs of the students as learning outcomes.



Figure 2. OVL Design screen shot as an example

OVL creator tool: It provides the students with a template based production function for OVLs without any code programming. It also has a management function for the instructor to assess the produced learning outcomes.

- Template for OVL framework: It includes; OVL name, target users, domain of course, topics, and general objectives.
- Produce platform functions tools of OVL were performed automatically after OVL was created.
- Template for virtual experiment: It imports all components of the virtual experiment. For simulation, contents made by Adobe Photoshop and Adobe Animate CC with ActionScript 3.0 are uploaded and published.
- Template for quiz: It has a template for quiz

generation which arranges question items and options.

- Template for forums: It provides templates for forum generation which add topic and comment post.

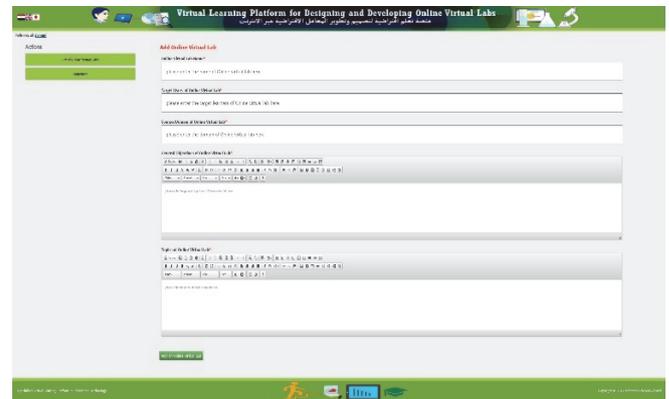


Figure 3. Create OVL framework screen shot

Educational image library tool: It enables the instructors to manage image categories and educational images which help the students in preparing simulation on diverse domains without copyright problem. The students download these images and embed them to their simulation objects.

3.2 Learning tools

Course tool: It enables the instructors to manage course contents, information of units and lessons using ready-made templates without coding. It also displays such contents to the students.

Online Response tool: It enables the instructor to make online responses with two types of questions; true and false and single choice. It also displays such online responses to the students who input a feedback about his progress during learning session in the classroom. Moreover, it provides the instructors with statistical results about the students' responses. This gives the instructors an indicator about his teaching method efficacy in the classroom.

WebQuests tool: The concept of WebQuest is "an inquiry-oriented activity in which some or all of the information that learners interact with comes from resources on the internet." introduced by Bernie Dodge at San Diego State University⁽⁴⁾. It provides the instructors with a ready-made template including six essential parts; introduction, task, process, resources, evaluation, and conclusion⁽⁵⁾. It also displays such Webquests to the students.

Assignments tool: It enables the instructors to manage assignments. It also displays such assignments to the students and it accept to submit their answer files to the instructors. Furthermore, it enables the instructor to download the student's answer files.

Glossaries tool: It provides two ready-made templates for glossary and terms. The first one

includes the glossary name and descriptions. The second one contains a text explanation and image /instructional drawing, video/audio clips for each term. This tool also displays such online glossaries to the students.

3.3 Communication tools

Video conference tool: It enables the instructors to manage video conference sessions. It also displays such video conference sessions to the students. This tool is realized by BigBlueButton open source system.

Messages tool: It supports communication between the instructors and a specific student with a direct message.

Forums tool: It provides the instructors and the students with a discussion forum for diverse topics with ready-made templates for forums, topics, and posts. It provides the students to publish posts with attachments.

3.4 Evaluation tools

Quiz tool: This tool provides the instructor with ready-made templates to create quizzes with two types i.e. true or false and single choice questions in order to ask questions include image/instructional drawing, video, audio. It also displays such quizzes to the students.

Questionnaire tool: It enables the instructors to manage online questionnaires with closed questions according to 5-Likert scale grade (1 to 5). It also displays such questionnaires to the students. Moreover, it enables the instructor to ask open questions.

Performance observation card/product evaluation card tool: It enables the instructors to manage performance observation cards and product evaluation cards with closed questions with rubric subscale three scores (0 to 2) for VLP students. It also displays such performance observation cards and product evaluation cards to the students.

3.5 Management tools

User management tool: It enables the instructors to manage the target students. It also allows them to login the VLP system. This tool contains ready-made templates for registration of their data.

Teacher information tool: It enables the instructors to manage their information such as academic data, contact data. It also displays such information to the students.

Announcements tool: It enables the instructors to manage educational announcements. It also displays such announcements to the students.

Learning download center tool: It enables the instructors to manage learning files that help to facilitate learning for the students like extra explanation files, presentation files. The students can download them in their learning session.

Cloud Storage files tool: It enables the instructors and the students to store and manage their files in the server. It also displays such files to them anytime anywhere.

Reports tool: It enables the instructors to generate reports about all students' activities in the VLP system such as login activity reports, quiz reports, questionnaire reports, and performance observation card /product evaluation reports.

3.6 Help tool

It enables the instructors to manage the help cases about how to use the VLP system. It provides ready-made template for adding help cases include; help title, help text explanation, and video/audio clips. It also displays such help cases to the students.

4. Experiment setting

4.1 Participants

The VLP system was implemented with thirty participants on the fourth grade in faculty of specific education at South Valley University, Egypt. They were majoring in educational technology. The age of participants ranged from 21 to 24 (Mean = 21.7, SD = 0.65). They took part in the VLP in the second term of academic year 2015-2016 and were taught by the same instructor.

4.2 Experiment procedure

A computer lab with internet connection at the college was provided to the participants as an ICT classroom. At the first, an orientation session was conducted about the purpose of study. The students were registered as learners in the VLP system. Each student was accessed on VLP website (<http://dlc-vm09.jaist.ac.jp:30080/users/login>) with username and password. The students were asked to learn with the developed VLP. The learning process composed of learning the course content about the skills of designing and producing OVLs, participating in discussion forums for topics in enhancing learning, performing online formative evaluation during learning, preparing and submitting assignments, making a design for OVLs, constructing an OVL product. Finally, they were asked to respond one open question via forum tool about "what is your opinion on a VLP system for designing and producing OVLs?"

The main role of the instructor was to facilitate learning with the VLP through observing student performance and to conduct online formative evaluation of online response tool for all students in the classroom. In addition, the instructor created online activities such as forums for discussing learning topics, and supported the students to reach mastery learning. Moreover, the instructor was provided responses to student's inquiries.

5. Overall experiment outcome

5.1 Pros of VLP from the perspective of educational technology students

The VLP system was implemented with 30 students majoring in educational technology in the experiment. 27-student of the participants sent a feedback about their opinions after learning from the VLP system, how to design and produce OVLs. Almost of the participants' opinions were indicated that the VLP has a good solution for teaching skills of designing and producing OVLs. The students' opinions were concluded as below.

The participants stated that the VLP is easy to use, clearness, attractive, good color of design, simple, flexible, and multi-lingual user interface. The VLP organization is easy to navigate by students. It does not require their experience in the use of computers since it is easy and simple platform structure. It does not also require their experience in the field of programming. They only focus on the tasks that the VLP performs.

In addition, they stated that the VLP is considers as an economic tool and it can be used without the guidance of the instructor. It provides enough explanation with suitable grouped tools, which help the students to learn by themselves. They try it several times and communicate with the instructor by forums and messages.

Finally, they reported that the VLP helps them in designing and producing OVLs. It provides theoretical explanation and videos of all the basic skills and professionalism. Such system is useful in learning gradually step by step from novice to advanced level in the creation of OVLs. The platform provides tools, which a assists to create OVLs in diverse domains. It has allowed adding many of virtual experiments for any courses. It is possible to make design of virtual experiments with the simplest by students. It is provided ready-made template to create quizzes and forums.

The results showed that the VLP prototype version had many pros. However, two students reported some cons. One student referred to inconvenience in creating quiz through many steps and pages. In addition, the student stated the user interface is nice design but the other pages not like its design. Another student stated that the explanation of video did not include sound in the developed VLP.

6. Conclusion

In this paper, we presented a VLP solution as a web application system to teach educational technology student's skills of designing and producing OVLs. The present study investigated by thirty students interested in integrating ICT in education. They reported that the VLP is considered as a positive solution for teaching skills of designing and producing

OVLs. In the future, we will conduct improvement for the current version of VLP regarding the technical design of functions. The improving version of VLP will test again in developing the target skills for designing and producing OVLs at postgraduate students.

Acknowledgement

This research is supported and funded by a scholarship provided by the Egyptian Government (Cultural Affairs and Missions Sector, Ministry of higher education). We thank them for their priceless contribution of knowledge to this research.

References

- (1) Yang, K. Y., and Heh, J. S.: "The impact of internet virtual physics laboratory instruction on the achievement in physics, science process skills and computer attitudes of 10th-grade students", *Journal of Science Education and Technology*, Vol.16, No.5, pp. 451–461 (2007).
- (2) Sun, K., Lin, Y., and Yu, C.: "A study on learning effect among different learning styles in a Web-based lab of science for elementary school students", *Computers & Education*, Vol.50, No.4, pp. 1411–1422(2008).
- (3) Cheesman, M. J., Chen, S., Manchadi, M.L. et al.: "Implementation of a Virtual Laboratory Practical Class (VLPC) module in pharmacology education" *Pharmacognosy Communications*, Vol4, No.1, pp. 2–10(2014).
- (4) Dodge, B.: Some Thoughts About WebQuests, http://webquest.org/sdsu/about_webquests.html (accessed at 27 Oct. 2016).
- (5) What are the essential parts of a WebQuest?, http://www.thirteen.org/edonline/concept2class/webquests/index_sub3.html (accessed at 27 Oct. 2016).

物語文における意図理解支援のための擬似力覚呈示とその評価

梅津 和朗^{*1}, 柏原 昭博^{*1}

^{*1} 電気通信大学情報理工学研究科

Evaluation of Pseudo-Haptic Feedback for Promoting Narrative Comprehension

Kazuaki UMETSU^{*1}, Akihiro KASHIHARA^{*1}

^{*1}Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications

今日、日本人の読解力が低下し、考えて文章を読むことに苦手意識を持っていることが指摘されている。中でも物語文は心情などの行間に潜む概念を汲み取る必要があり、より考えて読解することが要となる。そこで、「行間を読む行為」に焦点を当てた支援手法を提案する。物語文中の概念と、行間の概念を関連付けた物語マップ作成により、行間とマップ中の意図を表現する構造から意図理解を促進する。しかし、読解力の低い学習者はマップ中において意図を理解するのに重要な概念や構造に自力で気づくのは困難であると考えられる。そこで、マップ作成操作に擬似力覚を呈示し、行間概念・意図を表す構造の顕在化を行う。擬似力覚とは、操作によるオブジェクトの視覚的動作に対する違和感から生じる力覚的な錯覚であり、様々な認知的示唆を行うことが期待されている。これらの手法を導入したシステム開発を行い、擬似力覚呈示による意図理解支援の有効性の検証を目的とした評価実験について報告する。

キーワード: 物語文、読解力、物語マップ、擬似力覚、iPad

1. はじめに

近年、日本人の読解力低下が OECD の PISA 調査により指摘されている[1]。中でも、考えて文章を読み解き、その意図を理解することに対して苦手意識があることが示されている。特に、文章中に内在するような概念を汲み取ることが困難であると考えられる。

一般的に、文章には説明文と物語文の2種類がある。説明文の場合、通常文章中に記述された概念だけで意図を理解することができる場合が多い。一方、物語文の場合、意図の理解を行うためには行間に潜む概念(例えば、登場人物の心情や背景など)を読み解くことが要となる。熟考を伴う読解に苦手意識を持つ日本人にとって、こうした物語の意図理解は難しく、その支援は読解力向上に向けての重要課題といえる。

そこで、本研究では物語文の読解における「行間を読む行為」に焦点を当て支援を行う。これまで文章の内容理解を支援する手法として、文章中の概念同士の関連付けを行う概念マップがある。物語に明記されて

いる概念をノード、その関係をリンクとして文章の内容を図的に表現することで、概念間の関係を整理・明瞭化することができる。学習者は文章を読みながら予め用意されたノードをリンクで結んでいき、正解マップを目標にマップの作成を行う。誤ったマップができていた場合、改めて文章を読み直し、正解マップが完成するまで繰り返し作成を行う。

こうしたマップ作成は、物語文の内容を理解することに有効であるが、物語意図の理解を行うために不可欠な「文章中に明記されていない行間の概念」が不足している。そこで、本研究では物語意図に関連する概念(行間概念)を含むマップ(物語マップと呼ぶ)作成を提案する。

物語マップは、物語文の内容に応じて、文中で明記されている概念と物語意図を表す行間概念を関連づけ、或いは明記されている概念同士を関連づけすることで構成される。また、物語意図は、物語マップの部分構造(意図構造)として表現される。一般に、物語意図

は読む人によって多様な解釈が可能であるため、読解支援として物語意図の解釈を一意に決めておくことが望まれる。

本研究では、物語マップ作成時に「物語を読む観点」を提示し、物語意図を一意に決め、その意図を読み取る手がかりとなる行間概念1つを物語マップ中に与える。このような物語マップ作成により、「行間概念」と「意図構造」に対する気づき（認知的示唆）が得られて、物語意図の理解が促進されることが期待できる。しかしながら、読解力の低い学習者は「行間概念」や「意図構造」に気づくことなく学習が終了する場合も考えられる。

そこで、物語マップ作成過程において、擬似力覚を呈示し物語マップ中の行間概念と意図構造の顕在化を行う。擬似力覚とは、オブジェクト操作とその視覚的動作の間の違和感から生じる錯覚のことである。擬似力覚を概念マップ作成過程に呈示することで、特定のノードやリンクが重要な情報であるという認知的示唆を与えることができるという知見が先行研究から得られている [2]。本研究では、マップ作成中の擬似力覚呈示を通して行間概念、意図構造に関する認知的示唆を与え、学習者の意図理解を支援する。

本稿では、iPad上で動作する擬似力覚呈示機能を有した物語マップ作成支援システムとそのシステムを用いたケーススタディについて述べる。本ケーススタディでは、擬似力覚呈示により物語意図に関与する行間概念・意図構造の理解が促進される可能性を確認した。

2. 物語文における意図理解

物語文とは、登場人物によるイベントが、時間の経過や場所の変遷を伴って進行していく文章である。このような物語文の読解を通して著者が伝えたかった意図を想像・理解することは、人として生きていく上で大切な知見を得ることにつながる重要な認知的活動であり、文部科学省からも言語文化を学ぶ上で大切なことと示されている [3]。

また、物語文の大きな特徴として行間に潜む概念が意図を理解する上で欠かせないことが挙げられる。例えば、説明文であれば基本的に文章中に明記されている概念を読み解くことで著者の意図の理解を行うこと

できる。それに対し、物語文の場合、意図を理解する上で登場人物の感情や背景を考慮することが不可欠となる。登場人物は感情を有し、何かを考えながら物語中で行動している。そのような概念は文章中に直接明記されておらず、行間中に存在している場合が多い。読者は物語文を読む中で、そのような行間の概念を汲み取り、それを手がかりに意図を解釈・理解していく必要がある。文章を普通に読むだけでは内容の理解はできても、行間概念を汲み取るのは容易ではない。特に、近年の日本人学生は考えて文章を読むことに対して苦手意識があるため、物語の意図理解支援は重要であると考えられる。

そこで、本研究では「行間を読む行為」に焦点をあて、物語文の読解支援方法を検討している。次章以降、その支援方法について具体的に述べていく。

3. 物語マップ

文章の内容理解の手段の1つとしての概念マップは、文章中で記述された概念をノード、概念間の関係をリンクとし、図的に文章の内容をノードとリンクのネットワークとして表現する。通常、文章中で着目すべき概念がノードとして予め用意され、またノード間のリンク関係を表すラベルも同様に準備される。学習者は、教材となる文章を読みながらその内容に適したリンクとラベルをノード間に与え、事前に定義された正解マップが得られるように概念マップの作成を行う。作成したマップに誤りがあった場合は再度文章を読み、正しいリンクが結ばれているか確認を行い、改めてマップの作成を行う。これらの工程を繰り返し、視覚的に概念の整理を行い、概念間の関係を明瞭化させることで文章の内容理解を促進することができる。

しかし、概念マップは、通常明記されている概念のみを与えて支援を行っているが、物語文の場合、心情や背景などの明記されていない行間概念が意図を理解する上で必要になるため、概念マップの作成だけでは物語文の意図理解をするのは困難であると考えられる。

そこで、物語文中に明記されている概念に加え、行間概念をノードとして与えた物語マップの作成を支援手法として提案する。また、行間概念を含む物語マップの部分構造（意図構造と呼ぶ）として物語意図を表

現することで、マップ作成から意図理解を促すことが期待される。

さらに、物語文の意図や行間概念は人によって解釈が多様である。そこで、意図を一意に決めて行間概念も1つに定める方法を取る。例えば、国語の試験問題では、解釈が多様な物語に対して一つの解答を用意しているが、これは問題文の中で解答者に文章を読む観点を与えることで、一つの解答に対して整合性を持たせている。これに従い、物語マップ作成時に物語を読む観点を学習者に提示し、その観点からみて妥当な物語意図や行間概念の理解を促す。

図1に、「オツベルと象（宮沢賢治）」[4]を例とした物語マップを示す。マップ中のほとんどのノードは、文章中に明記されている概念から予め取り出されていたものだが、「罪悪感」というノードだけ、文章の行間中に潜む概念となっている。この物語文の最後で「白い象」が「寂しく笑う」。そこで、マップを作成する際に「寂しく笑った原因をオツベルの死に着目して考えましょう」という観点を与える。「寂しく笑う」原因というのは物語中に明記されておらず、「オツベル」を「潰す」という行為の「罪悪感」がその原因として解釈可能であることから、物語マップにおいて行間の概念として現れ、「潰す→罪悪感」が因果関係を持つことを表現している。また、与えた観点から、「形はどうであれ主従関係にあたる人を殺してしまったことにより罪悪感が生まれる」という意図を汲み取ることができる。図1中の赤枠内の部分構造によって、その意図を表現することができる。

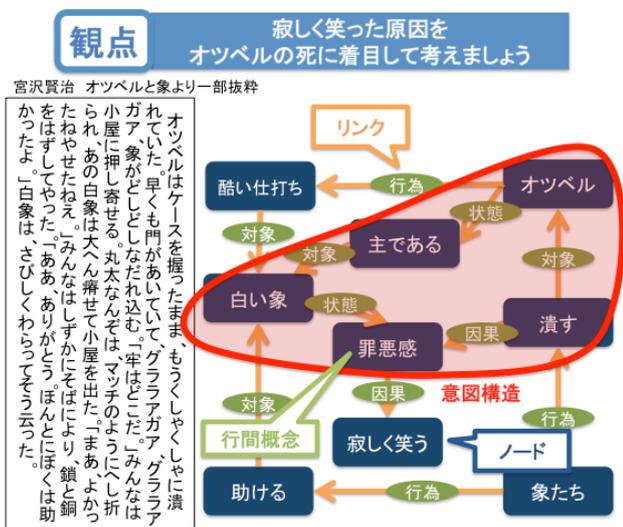


図1. 物語マップの例

一方、物語マップ作成の問題点として読解力の低い

学習者は、そもそも行間概念を文章の読解から自力で1から汲み取るのは困難であるというのが挙げられる。そこで、本研究では文章中に明記されている概念と同様に、行間概念のノードも予め与えるようにする。行間概念のノードと物語中で明記された他のノードを関連づける中で、マップ中に行間概念が存在する理由を概念間の繋がりや文章との比較から考えさせ、与えた行間概念の理解を促進する。

さらに、与えられたノードのうち、どのノードが行間概念になるのか、完成したマップ中のどこに意図構造があるのかを読解力の低い学習者は自力で気づくことができないと考えられる。そこで、学習者が物語マップにおいて行間概念、意図構造を表現する箇所を操作した際に擬似力覚を呈示する。擬似力覚については次章で述べていく。

4. 擬似力覚

オブジェクトに対する身体的操作とその視覚的動作情報とのずれによって、力覚を生じる錯覚を擬似力覚と言う。例えば、図2のように、タブレットデバイスにあるオブジェクトを指で動かしている際、画面上に表示されているオブジェクトは通常指の動きに追従して動くが、指の動きに対して遅れて動くとそのオブジェクトに摩擦が生じているかのように感じられる。そのためオブジェクトに「重さ」があるような感覚を与えることができる。

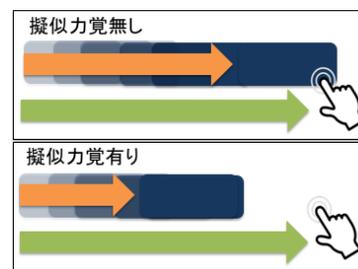


図2. 擬似力覚の例

また、文献[2]では概念マップ中の重要なノードやリンクの操作に対して擬似力覚を呈示することで、文章の内容理解を促進することが期待されている。擬似力覚による顕在化は、視覚的な顕在化（色・大きさを変える等）と異なり、学習者が操作を行うことで初めて他のノードとの差異が顕在化する。そのため、学習者は操作から生じる違和感を通して自ら疑問を持ち、自

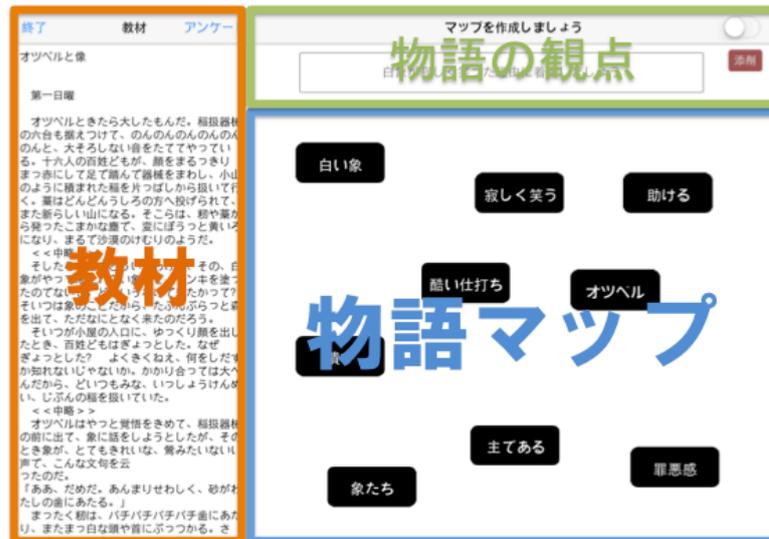


図3. システムのユーザインタフェース

発的に学習プロセスに対して積極的な関与を示す可能性が示されている。

本研究では、擬似力覚を前節で述べた物語マップ中に導入し、行間概念のノード、物語マップ中の意図を表す部分構造に呈示することで顕在化を行い、物語文の意図理解への認知的示唆を与える方法について検討している。具体的な呈示方法については次章で詳しく述べる。

5. 物語読解支援システム

5.1 システムの実装方式

擬似力覚呈示を伴う物語マップを作成する操作は身体的であることが望ましい。例えば、あるオブジェクトを操作する場合、マウスカーソルを用いてドラッグ操作を行う場合よりも、タブレットメディアを用い、指でドラッグ操作を行うほうがより身体的であるため、擬似力覚の効果がより顕著に出ると考えられる。更にタッチ操作に対する擬似力覚呈示可能性が確認されていることから[5]、本システムは指によるタッチ操作を行えるタブレットメディア iPad 上で動くアプリケーションとして実装した。

図3に、本システムのユーザインタフェースを示す。システムは iPad を横向きにして使用する。画面左半分に教材となる物語文を表示する。画面右半分では、ノードとして物語の内容を理解する上で着目すべきキーワードを準備し、システム起動時にランダムで配置する。ノード数は扱う教材によって異なるが、およそ10個程度提示される。ノードは基本的には文章中に

記述された概念と行間概念を表現しており、行間概念ノードについては1マップ中に1つ存在するようになっている。2種類のノードには視覚的な違いは無く、両ノードとも黒色のノードで表現されている。ノード間の正しい関係はあらかじめシステム中で定義されており、正解マップは教材ごとに定められている。

また、物語意図を表現する上で重要と定義されたノード・リンクに対する学習者の操作に擬似力覚を呈示する。行間概念のノードを移動した場合、「重さ」の力覚を呈示、行間概念のノードと関係を持つノード間にリンクを生成・移動した際に「引力」の力覚を呈示する。また、意図構造中のノードを移動した際には「硬化」の力覚の呈示を行う。誤ったマップが作成されていた場合、「結合の喪失」「不安定さ」といった誤りがあったことを示唆する擬似力覚を呈示する。

画面右上部では物語の観点が表示されるようになっている。これも教材ごとに異なる観点が出るようになっており、学習者はその観点に従い物語マップの作成を進める。

5.2 マップ作成の枠組み

学習者は教材を読み物語文の内容を確認する。その後、提示された物語の観点に従い、物語マップの作成を開始する。予め配置されているノードを移動させ、ノード間にリンクを生成し、システム中で定義されている正解マップの完成を目標に作業を進める。マップ作成中に、学習者の各操作に応じた擬似力覚の呈示を行い、物語意図への理解を深める。学習者はマップが完成したと感じた時に、添削ボタンを押すことで、正

しいマップができていたか確認することができる。作成したマップが誤っていた場合、誤りがあったことを示唆する擬似力覚を呈示する。学習者は再度教材を読み直し、物語マップの修正を行う。正解マップが完成するまで、教材の確認、マップの作成（修正）を繰り返す。

5.3 実装機能

(1) ノードの移動 (図 4)

iPad 上のタッチによるドラッグ操作によってノードの移動を行うことができる。例えば、「オツベル」と書かれたノードを移動する場合、指でそのノードに触れてドラッグして移動を行う。



図 4. ノードの移動

(2) リンクの生成 (図 5)

タップとドラッグ操作によってリンク生成を行う。リンクを結びたいノードからノードへ矢印を伸ばすことで生成される。例えば、「オツベル」と書かれたノードから「酷い仕打ち」と書かれたノードへリンクを付与したい場合、最初に「オツベル」と書かれたノードをタップする。「オツベル」のノード上にスコープが生成されるので、スコープをドラッグし、「酷い仕打ち」のノードの上で指を離すことで「オツベル」と「酷い仕打ち」の間にリンクが生成される。リンクが生成されると矢印上に関係の名称を表すラベルが生成される。

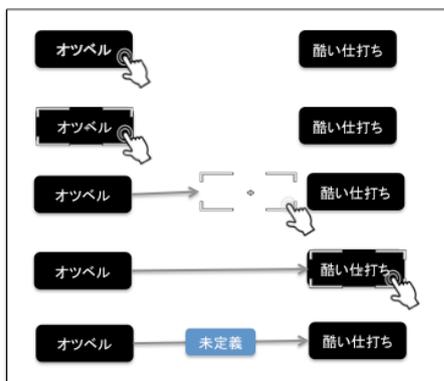


図 5. リンクの生成

(3) ラベルの付与

生成したリンクにノード間の関係を表すラベルを付与することができる。学習者はラベルをタップすることで以下に示す 6 種類のラベルから 1 つ選んでリンク

名を変更する。なお、ほとんどのリンクは矢印の向きによって意味が変わってくるが、「同値」のリンクに関しては、向きに関係なくリンクを結んでも良い。

- **因果**
ノード間に因果関係があることを表現する。例えば「罪悪感→寂しく笑う」のようなリンクの場合、「罪悪感」が原因で「寂しく笑った」ことが表現される。
- **行為**
ある主体がある行為をすることを表現する。例えば「オツベル→酷い仕打ち」のようなリンクの場合、「オツベル」が「酷い仕打ち」をしたことが表現される。
- **経過**
行為から行為への移り変わりを表現する。「自転車に乗る→電車に乗る」のようなリンクの場合、「自転車に乗った」後に「電車に乗った」ことが表現される。
- **同値**
ある 2 つの概念が等しいものであることを表現する。ノード「人」と「人間」間の場合、「人」と「人間」が同じものであることが表現される。
- **対象**
ある行為とその対象の関係を表現する。「酷い仕打ち→白い象」のようなリンクの場合、「酷い仕打ち」を「白い象」に対して行ったことが表現される。
- **状態**
ある主体とその状態の関係を表現する。「白い象→罪悪感」のようなリンクの場合、「白い象」が「罪悪感」を感じた状態であることが表現される。

(4) リンク方向の反転 (図 6)

リンクを誤った向きでつけた場合、リンクの向きを修正する必要がある。例えば、「助ける→象達」といったリンクの方向を反転するには、リンク上のラベルを長押しして出てくるメニューから「リンクの反転」を選択することでリンクの矢印の向きを逆にし、「象達→助ける」といったリンクに変更することができる。

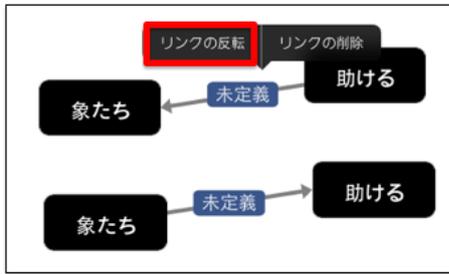


図 6. リンクの反転

(5) リンクの削除 (図 7)

誤ったリンク生成を行ったことに気づいた場合、リンクを削除する必要がある。例えば、「助ける→象達」といったリンクを削除するには、リンク上のラベルを長押しして出てくるメニューから「リンクの削除」を選択することでリンクを削除することができる。

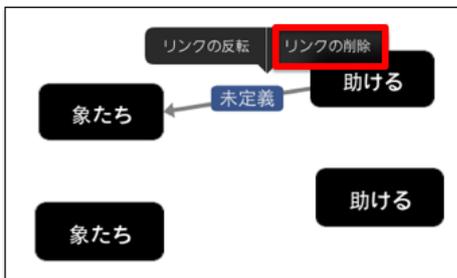


図 7. リンクの削除

(6) 物語の観点の表示

学習者は教材を読み終わった後に、物語の観点にしたがってマップの作成を行う。教材を読み終わる前から物語の内容を知られてしまうのを防ぐために、最初から物語の観点は表示せず、画面右上のスイッチを押すことで表示させる。観点は教材ごとに1つ決められている。

(7) 擬似力覚の呈示

物語の意図理解を促進させるために、物語マップ作成中に呈示する擬似力覚について述べる。

(a) 重さ

マップ上のノードは、学習者の意思に従い移動させることができる。そこで、行間概念のノードに対して、指に遅れて追従する視覚効果を与える。他ノードの移動と比較することにより、「重さ」の錯覚を学習者に認知させ、物語理解上重要なノードであることを示唆する。

(b) 引力

行間概念のノードを含むリンクが生成された時に、リンクの短縮が行われる視覚効果を与える。これによって、行間概念と特定のノード間の関係が重

要であることを示唆する。

(c) 硬化

リンクに対する操作には、通常両端ノードの移動に応じてリンクの長さを伸縮させるが、意図構造中のリンクについては、ノードの位置に応じて伸縮を行わず、リンクが「硬化」したかのように見せる。これにより、リンク操作に対して意図構造全体が鈍く追従するような視覚効果を与え、物語マップ中の部分構造を顕在化し、マップ中において重要な部分構造であることを示唆する。

(d) 結合力の喪失

iPad を振ることでリンクとなる矢印が落下する視覚効果を与える。それにより「結合力の喪失」を学習者に認知させ、特定の2つのノード間のリンクが誤った関係であることを示唆する。

(e) 不安定さ

iPad を振ることでノードが振動する視覚効果を与える。それによりノードの「不安定さ」の錯覚を学習者に認知させ、特定のノードに不足した関係があることを示唆する。

(8) 添削

マップが完成したと学習者が判断した場合、画面右上の添削ボタンタップすることで正解マップが作成されたかどうかを確認することができる。正しいマップが作成されていた場合、アラートで正解マップができていたことを表示する。誤ったマップが作成されていた場合、アラートで iPad を振るよう指示を出す。iPad を振ることにより、マップ上のノードやリンクに「結合の喪失」、「不安定さ」の擬似力覚が呈示され、どこを間違えたのか学習者に考えるきっかけを与え、そのきっかけをもとに、学習者はマップの修正を行う。

6. ケーススタディ

前節で述べたシステムを用いてケーススタディを実施した。以下では、その詳細について論じる。

6.1 実験目的

本ケーススタディでは、提案する擬似力覚呈示手法の有効性を検証することを目的として、物語マップ中において重要である「行間概念」「意図構造」への認知的示唆を「重さ」「硬化」の擬似力覚から得られるかどうか

かを評価した。

6.2 実験条件

理系大学生及び大学院生 5 人を対象に実験を実施した。教材は「賢者の贈り物（オー・ヘンリ）」[6]と「罪と覚悟（オー・ヘンリ）」[7]のオリジナルの文章を一部省略したものを扱った。各被験者は、2つの物語文に対しシステムを用いて学習してもらい、1人あたり計2回の実験を実施した。また、被験者ごとに学習する教材の順番（実施した順に教材1、教材2とする）を変更し、順序効果を考慮した。

6.3 実験手順

実験は1人あたり1時間で行った。実験の概要・システムについて説明した後に、システムを用いて教材1に対して、正解マップが完成するまで、或いは実験開始から25分が経過するまで実験を実施した。学習終了後、教材1に関するアンケートに答えてもらい、教材2に対しても同様に実験を行った。

6.4 評価方法

一回の実験が終了する度にアンケートを実施し、その結果をもとに評価を行った。

アンケートは、(1) 文章中において意図を理解する上で重要なキーワードはどれか、(2) 文章中において意図を理解する上で重要な構造はどこか、といった「認知的示唆」に関する設問と、(3) 操作中に重さを感じたノードがあったか、あればそれはどのノードか(4) リンクの硬化から塊のように動いていたノードがあったか、あればそれはどのノードか、といった「擬似力覚」に関する設問の計4問で構成されており、(1)と(3)の設問と(2)と(4)の設問は回答が同じになることを想定して作られている。ほとんどの設問が、マップ中に存在する全てのノードが選択肢として与えられ、その中から適したものを選択して回答していくものだが、(2)に限り作成したマップ中の部分構造を描かせて回答させる形式にしている。教材ごとにアンケートの内容は変わらず、選択式のノード一覧が教材に応じたものになっている。アンケート回答中は作成したマップの確認のみを許可し、教材の読み直し、マップへの操作は禁止した。

6.5 実験結果

アンケートの回答が、正解マップ・システム中で定義されたものに近いかどうかを判定し採点を行った。想定していた回答ができていた場合、或いは想定していた回答+余分に回答していた場合「○」とし、想定していた回答より不足があった場合「△」とし、想定していた回答が部分的にも表れていない場合、「×」とした。被験者をA~Eとし、その結果を教材ごとに表1・2にまとめた。

表1. アンケートの正誤結果（賢者の贈り物）

	賢者の贈り物			
	(1)	(3)	(2)	(4)
A	×	○	○	○
B	○	○	○	○
C	○	○	△	△
D	×	×	○	○
E	×	×	○	○

表2. アンケートの正誤結果（罪と覚悟）

	罪と覚悟			
	(1)	(3)	(2)	(4)
A	○	○	○	○
B	○	○	△	△
C	○	○	△	△
D	○	○	○	△
E	○	○	△	△

次に、正誤を問わず、認知的示唆を擬似力覚から獲得しているか確認するため、認知的示唆に関する回答結果と擬似力覚に関する回答結果が含有関係になっているかまとめたものを表3とした。今回は複数のキーワードを回答する設問(2)(4)間の回答結果に着目して集計を行った。

「認知=力覚」は認知的示唆・擬似力覚の設問ともに同様のキーワードを回答することができていたこと、

「認知<力覚」は擬似力覚の設問の方がキーワードを多く回答しており、その一部と認知的示唆の設問の回答が一致していたこと、「認知>力覚」は認知的示唆の設問の方がキーワードを多く回答しており、その一部と擬似力覚の設問の回答が一致していたことをそれぞれ表現している。

表 3. 設問 (2) (4) の回答における含有関係

	賢者の贈り物	罪と覚悟
A	認知<力覚	認知>力覚
B	認知=力覚	認知=力覚
C	認知<力覚	認知=力覚
D	認知>力覚	認知>力覚
E	認知=力覚	認知<力覚

6.6 実験考察

表 1・2 より、認知的示唆の設問 ((1) 及び (2)) の正誤と擬似力覚の設問 ((3) 及び (4)) の正誤がほぼ一致している結果が得られていることが確認できる。具体的に見てみると、表 1 の結果で言えば、被験者 A のみ設問 (1) (3) 間の正誤が不一致だが、それ以外の設問 (1) (3) 間と設問 (2) (4) 間における正誤は全て一致していることが確認できる。表 2 においても、被験者 D の設問 (2) (4) 間以外のケースでは、全て認知的示唆の設問と擬似力覚の設問の正誤が一致していることが確認できる。更に詳細な結果は表 3 から確認できる。両教材において被験者 5 人中 3 人 (B、C、E) が「認知=力覚」の結果になっている。そのため、硬化の力覚の呈示が、意図を表す重要な構造であることを示唆したことが考えられる。これらの結果を踏まえると、重さ・硬化といった擬似力覚を呈示し、学習者がそれを認識することで、そのノード・構造に対し行間概念、及び意図構造であるといった認知的示唆を行うことができていた可能性が示された。

また、表 3 中の両教材において被験者 5 人中 3 人 (A、C、E) が「認知<力覚」の結果になっている。これは、力覚の呈示された構造を自分なりに切り出して回答し

た可能性が考えられる。そのため、力覚を与えた構造をベースに、被験者が独自に考えて更に重要な箇所を切り出すことを誘発することができたと言える。

逆に被験者 A と D は「認知>力覚」の結果になっていることも確認できる。これは力覚をベースに自分なりの解釈も交えて構造を回答したと考えられる。

7. まとめ

本稿では、擬似力覚呈示を伴う物語マップ作成支援を提案し、物語意図を理解する上で重要な概念・構造の理解を促す可能性について論じた。また、物語マップ作成支援システムの具体的な利用方法や擬似力覚の呈示例を説明し、評価実験の結果と考察を述べた。

今後の課題として、本システムが視覚情報のみを呈示した場合と比較して有効か、または、意図を理解する上で有効であるか検証を行うための評価実験を実施する必要がある。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費挑戦的萌芽研究 (No.15K12408) の助成による。

参考文献

- (1) 文部科学省. “読解力向上プログラム” (参照 2016-10-26).
- (2) 塩田剛, 柏原昭博: “概念マップ作成における擬似力覚呈示効果評価”, 電子情報通信学会教育工学研究会技術研究報告, ET2012-101, pp.111-116 (2013).
- (3) 文部科学省. “現行学習指導要領・生きる力 第 2 章 各教科 第 1 節 国語” (参照 2016-10-26).
- (4) 青空文庫. “宮沢賢治 オツベルと象- 青空文庫” (参照 2016-10-26).
- (5) Lecuyer.A : “Simulating Haptic Feedback Using Vision” ,A Survey of Research and Applications of Pseudo-Haptic Feedback, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol.18, No.1, pp.39-53, MIT Press, February (2009).
- (6) 翻訳の部屋. “オー・ヘンリ作 結城浩訳 賢者の贈り物” (参照 2016-10-26).
- (7) 青空文庫. “オー・ヘンリ作 大久保ゆう訳 罪と覚悟- 青空文庫” (参照 2016-10-26)

多様な手本動作をリアルタイムに提示する 動作学習支援システムの提案と構築

吉永稔弘^{*1}, 曾我真人^{*2}

^{*1} 和歌山大学大学院システム工学研究科, ^{*2} 和歌山大学システム工学部

Proposal and Development of a Motion Learning Support System showing Various Model Motions in Real Time

Toshihiro YOSHINAGA ^{*1}, Masato SOGA ^{*2}

^{*1} Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

^{*2} Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

Most traditional motion learning support systems only have one coach's motion data as a model motion, although the data is not always the best one. We propose a system which has many coaches' motion data, and shows one of them in real time according to learner's request. Specifically, the system supports the following functions: (1) showing a coach's motion whose motion speed is synchronized with yours, (2) setting a coach's motion speed, (3) showing a coach's motion whose body is most similar to learner's body, (4) showing a coach's motion whose body is fitted to learner's body, (5) showing a leading line, (6) marking bones which have errors.

キーワード: 動作学習支援, スピード同期, 体格, サポート線, スポーツ

1. 背景と目的

近年, Kinect や Leap Motion などのモーションキャプチャデバイスを用いて身体動作を取得し, 初心者の動作学習を支援しようとする研究が盛んに行なわれている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾. 例えば, 仮想空間内において熟練者の動作を学習者の動作に重畳表示し, 効果的な自主練習を支援するようなシステムが構築されている⁽⁷⁾. ただし, それらのシステムの多くは, 単一の熟練者の動作しか参照できない仕様になっていたり, 学習者の習熟度に応じて指導内容を調整することができなかつたりする.

本研究では, 各個人に適応した動作学習を支援するようなシステムを構築する. 例えば, 学習者が複数の熟練者の動作データを目的に応じて選択できたり, 体格差や動作スピードの差などを考慮した指導を受けられたりするような機能を備える. このうち, 複数の熟練者の動作データを目的に応じて選択できる機能に関

しては, 以前筆者らによって同様の機能が構築されているが⁽⁸⁾, 今回のシステムは, 学習者のリアルタイムの動きに合わせて手本動作を重畳するように仕様を刷新し, 更にもその仕様に適応した新機能を複数提供するものである.

本稿では, システムの概要および各機能実現のためのアルゴリズムを述べる.

2. システム

提案システムの概要および機能について述べる.

2.1 概要

システムは, Kinect v2 を利用して学習者の動作を取得し, 画面上に 3D 表示することが可能であると同時に, 熟練者動作のうち 1 件を手本動作として表示することが可能である. つまり, 同じ画面にリアルタイムに取得した学習者の動作とあらかじめ保持してある手本動作とを重畳表示することが可能である.

学習者は手本動作の骨格に自分の骨格を重ね合わせることによって学習を行なう。

2.2 機能

スピード同期機能，スピード変更機能，体格一致機能，類似体格例選出機能，サポート線表示機能，誤りマーク機能などを備える。

2.2.1 スピード同期機能

手本動作が学習者の動作に自動でシンクロする機能である。すなわち，学習者の動作スピードが手本動作よりも速い場合は，手本動作のスピードもまた学習者に合わせて速くなり，学習者の動作スピードが手本動作よりも遅い場合は，手本動作のスピードもまた学習者に合わせて遅くなる。さらに，学習者が任意の時点で身体を静止した場合，手本動作もその対応時点の姿勢を維持したまま一時停止状態となる。以上の処理はリアルタイムに行なわれ，一連の動作の中に速い期間と遅い期間とが交互に現れたとしても，ある程度は対応可能である。なお，動作を途中まで巻き戻して任意の時点からのやり直しを許すような機能も提案する。

利用場面として，各タイミングにおける姿勢の学習をするために利用することを想定している。従来，学習者は所与の手本動作を追従することによって学習を行っていたが，この機能では手本動作のほうが学習者のスピードに合わせてやってくるため，各タイミングにおける姿勢の学習が容易であるといえる。

問題点として，学習者が支離滅裂な動作を行なった場合，時系列のマッチングが破綻してしまうおそれがある。

2.2.2 スピード変更機能

手本動作の再生速度を任意に変更することができる機能である。再生速度は，速くすることも遅くすることも可能である。

利用場面として，動作に不慣れな初心者が 0.5 倍速や 0.8 倍速の手本動作を参考にするために利用することを想定している。

問題点として，動き方が速度に依存するような動作に対してこの機能を適用した場合，不適切な手本を提示することになるおそれがある。

2.2.3 体格一致機能

手本動作の体格が学習者の体格に合うように，自動

一致処理を施す機能である。つまり，手本動作の各骨の長さを学習者の各骨の長さに応じて拡大または縮小し，両者の全身の体格が一致するように加工する仕組みである。

利用場面として，学習者が自身の動作と手本動作とを容易に比較するために利用することを想定している。従来，学習者は手本動作として体格の異なる熟練者の動作を参考にすることがあったが，その場合，たとえ同じ姿勢をとったとしても，自分と手本とで各関節の位置や角度が異なってしまうという問題点があった。本機能はその問題点を解消し，動作の容易な比較を支援している。

問題点として，各骨の拡張処理のためにオリジナルの動作の均整が崩されてしまい，不適切な手本を提示することになるおそれがある。

2.2.4 類似体格例選出機能

複数の熟練者の動作データの中から，学習者の体格に最も近いデータを探し出し，手本動作として提示する機能である。つまり，2.2.3 のように体格を加工して自動一致するのではなく，既存の熟練者データの中から学習者の体格に類似したものを自動で選び，オリジナルの体格のまま手本動作として提示する仕組みである。図 1 に例を示す（白い骨格が学習者であり，黄色い骨格が手本動作である）。

利用場面として，学習者が自身の体格に適した動作を学ぶために利用することを想定している。

問題点として，必ずしも学習者の体格に近いデータが見つかるとは限らないおそれがある。

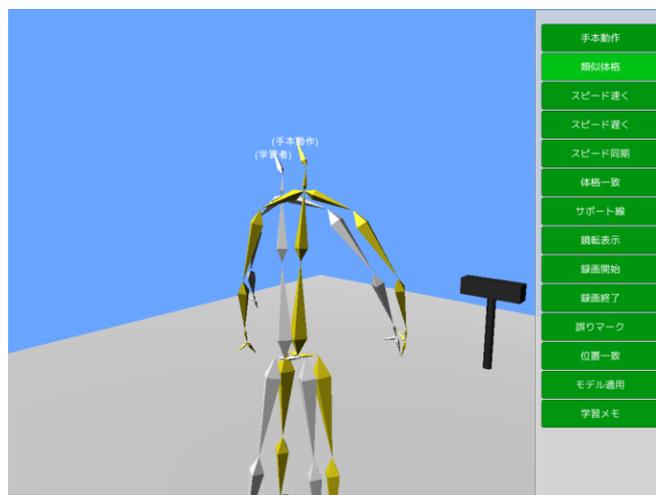


図 1 類似体格例選出機能利用時のシステム画面

2.2.5 サポート線表示機能

次にとるべき動きの流れを視覚的に指示する機能である。図 2 に腰の移動に注目した場合の例を示す。

利用場面として、動きの流れを十分に把握していない初心者が動作をスムーズに行うために利用することを想定している。

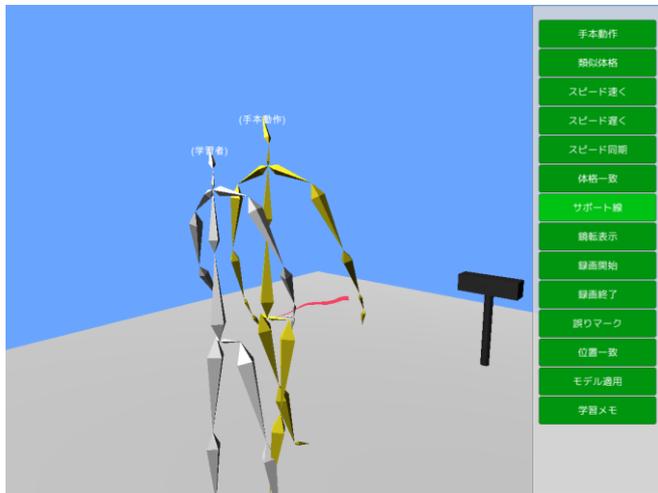


図 2 サポート線表示機能利用時のシステム画面

2.2.6 誤りマーク機能

手本動作との差異が大きい身体部分を色付けして示す機能である。図 3 に例を示す。

利用場面として、学習者が自身の動作と手本動作との差異を一目で把握するために利用することを想定している。

問題点として、部位によっては小さな差異が重大な意味を持つ場合や、たとえ差異が大きくても重大視する必要のない場合があるが、それらが色付けに考慮されないおそれがある。

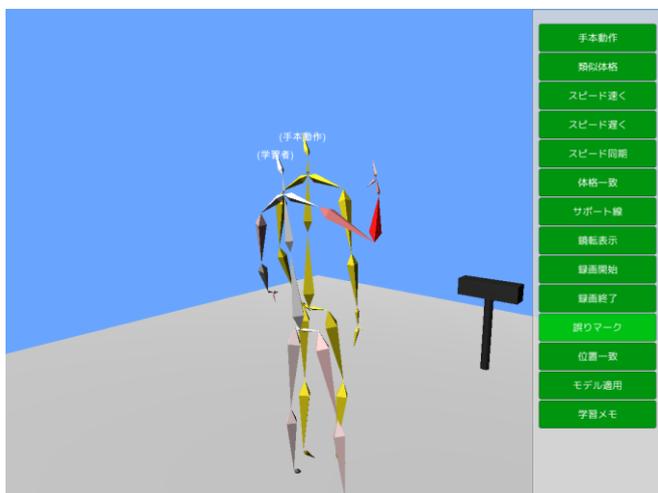


図 3 誤りマーク機能利用時のシステム画面

2.2.7 その他

その他の機能として、学習者の動作と手本動作の腰の位置を自動一致させる位置一致機能、学習者の動作または手本動作を左右反転表示する鏡転機能、気付いたことを文章で書き留めておくことが可能な学習メモ機能などを備える。

3. 機能実現のためのアルゴリズム

各機能を実現するためのアルゴリズムを示す。

3.1 スピード同期機能

DP マッチング(Dynamic Programming Matching)を利用して学習者動作の時系列と手本動作の時系列との対応関係を求め、その都度学習者の姿勢に対応する手本動作の姿勢を提示する。まず、全体を通して位置変化の豊かな関節を調べ、特徴点(特徴関節)とする。次に、ある学習者動作時刻における学習者動作の特徴関節と、ある手本動作時刻における手本動作の特徴関節との間の距離を求めるための式を立てる(式 1)。式 1 は式 2 の中で使用される。今回はリアルタイムで処理するため、時刻が 1 単位(Kinect v2 の仕様が 30fps であるため、ここでの 1 単位とは 1/30 秒である)進むごとに式 2 を計算する。式 2 において、D の値をもたらす式が 2.a である場合、手本動作を 1 時刻進めた後、再び式 2 を計算する。D の値をもたらす式が 2.b である場合、学習者動作を 1 時刻進めて、現時刻までのマッチング結果とする。D の値をもたらす式が 2.c である場合、学習者動作および手本動作時間を 1 時刻進めて、現時刻までのマッチング結果とする。

$$d(s, S) = \sqrt{(x_s - X_S)^2 + (y_s - Y_S)^2 + (z_s - Z_S)^2} \quad (1)$$

ただし、学習者動作のサンプリング時刻を s 、手本動作のサンプリング時刻を S 、サンプリング時刻 s における学習者動作の特徴関節の座標を (x_s, y_s, z_s) 、サンプリング時刻 S における手本動作の特徴関節の座標を (X_S, Y_S, Z_S) とする。

式 1 を利用して、

$$D = \min \begin{cases} w d(s-1, S) & \text{--- (2.a)} \\ w d(s, S-1) & \text{--- (2.b)} \\ W d(s, S) & \text{--- (2.c)} \end{cases} \quad (2)$$

ただし、 w および W は重み付け係数である。

3.2 スピード変更機能

再生速度の係数をインタフェースから調節可能にする。

3.3 体格一致機能

熟練者の各骨の長さを学習者の各骨の長さに合わせて拡大または縮小する。この処理によって、各関節位置も連動して変化することになるが、動作を表現するための各関節角度は変化しない。

3.4 類似体格例選出機能

式 3 において、 p が最小となるような熟練者動作データを学習者の体格に近いデータとして認定する。

$$p = \sum_{i=1}^n |L_i - l_i| \quad (3)$$

ただし、 n は全身の骨数、 l_i は学習者動作データの骨 i の長さ、 L_i は熟練者動作データの骨 i の長さである。

3.5 サポート線表示機能

直後の一定時間にわたって熟練者の関節がとる座標の軌跡を調べ、空間内に線として示す。

3.6 誤りマーク機能

学習者動作データの骨と熟練者データの骨とのなす角の大きさに基づいて色の濃さを定義し、学習者の骨を色付けする。なす角の大きさが大きければ大きいほど色の濃さは強くなり、なす角の大きさが 0 ならば色の濃さも 0 になるようにする。

4. まとめ

各学習者に適応した動作学習を支援するために、手本動作として複数の熟練者の動作データを保持し、さまざまな機能を備えてリアルタイムに重ね表示可能な動作学習支援システムを提案および構築した。

本稿では、システムの概要と各機能の解説およびアルゴリズムなどを示した。

今後はシステムの機能やインタフェースを調整または改善する必要があるほか、ユーザビリティ評価を実施して有用性を確認する必要がある。

参 考 文 献

- (1) 佐藤優太, 廣田一樹, 曾我真人, 瀧寛和: “全身動作と手指動作を統合表示可能なモーションナビゲータ II”, 教育システム情報学会関西支部学生研究発表会, pp. 33-34 (2013)
- (2) 西野友泰, 曾我真人, 瀧寛和: “学習者が熟練者の視点で熟練者の動作を追従できる拡張現実感を用いたモーションナビゲータ”, 教育システム情報学会第 36 回全国大会講演論文集, pp. 492-493 (2011)
- (3) 岩峪和真, 曾我真人, 瀧寛和: “データグローブを使用した指文字動作スキル学習支援システムの構築”, 信学技報, Vol. 114, No. 305, pp. 13-18 (2014)
- (4) 飯田大介, 後藤淳, 高田宗樹, 平田隆幸: “Kinect を用いた剣道の基本技自動判別システムの構築 —非専門家にも優しい剣道指導支援システムへ—”, 福井大学大学院工学研究科研究報, Vol. 63 (2014)
- (5) 越智洋司: “Kinect を利用した縄跳び運動認識システムの開発”, 信学技報, Vol. 113, No. 67, pp. 51-54 (2013)
- (6) 平野光正, 越智洋司, 井口信和: “ドラム練習者のための自主練習システムにおける判定結果の表示方法に関する検討と実装”, 信学技報, Vol. 114, No. 305, pp. 19-24 (2014)
- (7) 高良貴博, 曾我真人, 瀧寛和: “学習者の動作を鏡像の手本動作にリアルタイムに重ね表示可能な動作学習支援環境”, 教育システム情報学会, pp. 127-128 (2015)
- (8) 吉永稔弘, 曾我真人: “複数の熟練者の動作データを目的に応じて参照できるインタフェースの提案と構築”, 教育システム情報学会, pp. 129-130 (2015)