

令和 6 年 6 月 9 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K21763

研究課題名（和文）マンガ教材学習過程の生体情報解析に基づく個別適応型学習システムの構築

研究課題名（英文）Creation of an Adaptive Learning Environment based on Biological Information Analysis when Learning with Comic Books

研究代表者

白井 詩沙香（Shirai, Shizuka）

大阪大学・サイバーメディアセンター・講師

研究者番号：30757430

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、漫画教材を用いた学習において個別最適化された学習支援を実現することを目的に、漫画教材読書時の視線特徴量を用いた主観的難易度推定モデルの構築に取り組んだ。VR空間での漫画教材を用いた学習を対象に、漫画教材読書時の視線特徴量として「視線停留点と視線の交点の距離」、「コマ間・エリア間の視線移動のパターン」に着目した新たな3種類の特徴量を含む28種類の視線特徴量を用いて、コマ単位で主観的難易度推定を行う手法を提案し、その有効性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マンガの教育的利用に関する歴史はまだ浅く、これまでは教育実践による有用性の評価に力が注がれていた。本研究課題では、新しい試みとして、マンガ教材学習時の視線データに基づく学習行動解析に取り組み、視線データに基づく主観的難易度推定モデルを提案することができた。また、VR空間での学習支援の観点からも新たな可能性を示すことができた。

研究成果の概要（英文）：This study has developed a subjective difficulty estimation model using eye-tracking data while reading educational comics with the aim of realizing adaptive learning support in learning with educational comics. We examined the effectiveness of 28 features, including the proposed three new features called "Variance in Gaze Convergence," "Movement between Panels," and "Movement between Tiles." As a result of the experiment, we found the effectiveness of the proposed model in estimating subjective difficulty in learning with educational comics in Virtual Reality space.

研究分野：教育工学、学習支援システム、ラーニングアナリティクス

キーワード：漫画 ラーニングアナリティクス 視線解析 学習支援システム

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

世界的な新型コロナウイルス感染症拡大に伴い、教育のデジタル化が加速するなか、ポストコロナ期の新しい学びとして、個別最適な学びの実現が求められている。多様な学習者に個別最適化された学びを提供するためには、学習者の状態に応じて必要な情報を適切なタイミングで提供することが重要である。

学習者の状態を把握するためには、学習プロセスで生成されたデータを収集・分析する必要があり、一般的に学習管理システム利用中の様々なログデータ（講義動画の視聴やテストなどのイベント生起タイミングやインターバル等）が活用されることが多い。しかし、こうしたシステムのログデータのみでは、細やかな学習者の行動や状態を把握することは難しい。

システムのログデータだけでは学習者の状態把握が難しい学習の一つに、本研究が対象とする「マンガ教材を用いた学習」がある。マンガ教材とは、マンガ表現が用いられた学習教材であり、1990年代以降、科学からビジネスまで様々な分野で広く活用されている。マンガ教材の利点として、長期記憶の保持に効果があることや学習者のモチベーション向上に有効であることなどが先行研究で報告されている。一方で、個別最適化された学びを提供するためには、リアルタイムで学習プロセスと紐付けながら学習者の状態を把握する必要があるが、マンガ教材はマンガ特有の表現方法である吹き出しやコマ、テキストや画像（キャラクターや図表等）などが1つのページに複雑に配置されているため、学習分析で利用されてきた従来のログデータだけでは解析が難しく課題となっている。

### 2. 研究の目的

以上のような背景を踏まえ、本研究ではマンガ教材を用いた学習における個別最適化された学習支援の実現に向け、マンガ教材読書時の視線特徴量を用いた学習者の状態推定手法を確立することを目的とする。具体的には、(1) 推定すべき学習者の状態や最適な推定の単位（ページ、コマ、学習トピック等）を明らかにすること、(2) マンガ教材を用いた学習時のユーザの状態推定に有効な視線特徴量を明らかにすること、(3) マンガ教材読書時のリアルタイム難易度推定に向けた視線ヒートマップの分解能の検討に取り組む。

### 3. 研究の方法

#### (1) 学習者の状態推定に用いる指標の検討

はじめに、推定すべき学習者の状態や推定の単位（ページ、コマ、学習トピック等）を明らかにするために、マンガ教材読書時の学習者の状態推定に用いる指標を検討する。実験では、推定すべき学習者の状態を「理解度」と仮定し、客観評価（小テストの成績）と主観評価（カテゴリ単位での自己申告）と視線特徴量の一つである瞳孔径との関連を調査する。実験環境は、外乱光の影響を考慮し、バーチャルリアリティ (Virtual Reality, VR) 環境に構築し、Head Mounted Display (HMD) には、アイトラッカーが搭載された HTC Vive Pro Eye を使用する。11 名の実験協力者は VR 空間上でマンガ教材を読み、1 ページ単位で当該ページを読んだ直後に、図 1 のようなユーザインタフェースを用いて、主観的な理解度を自己申告してもらおう。また、瞳孔径のデータはマンガ教示読書時を対象に収集し、10 フレームの瞳孔径の変化量の平均 (Net Change) と変化量の絶対値の平均 (Total Change) を算出する。

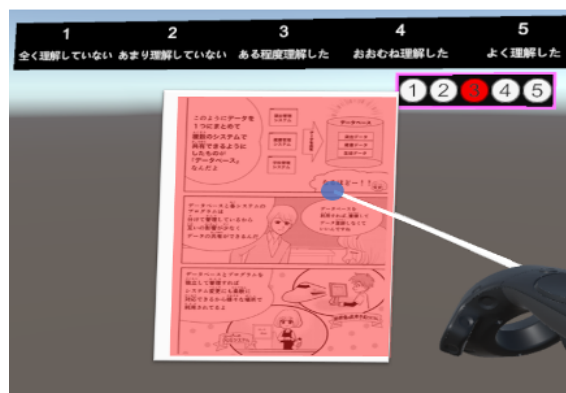


図 1 主観評価用ユーザインタフェース

#### (2) 主観的難易度推定モデルの構築

続いて、(1) で得られた結果に基づき、推定すべき学習者の指標を「主観的難易度」、推定の単位は学習トピックより粒度が細かい「ページ単位」、「コマ単位」として、マンガ教材を用いた学習時のユーザの状態推定に有効な視線特徴量を明らかにする。実験では、実験協力者（12 名）に VR 環境でマンガ教材を読んでもらい、漫画教材読書時の視線データと自己申告による主観的難易度を取得する。収集したデータから新たな 3 つの提案特徴量である「注視点と視線の交点の距離」、「コマ間の移動」、「タイトル間の移動」を含む 28 種類の視線特徴量を抽出する。これらの特徴量を用いて学習者の主観的な難易度をページ単位とコマ単位を推定する。評価実験では、ユーザー依存モデルとユーザー非依存モデルの設定で、サポートベクターマシン (Support Vector Machine, SVM) による推定を行う。

### (3) リアルタイム難易度推定に向けた視線ヒートマップの分解能の検討

最後に、学習支援システムでの実利用を想定したマンガ教材読書時のリアルタイム難易度推定に向け、推定までの速度の改良と十分な推定制度を得られる視線ヒートマップの分解能を検討する。(2)の実験で取得したデータを利用し、対象のページを読み終わった瞬間(次のページに移動する直前)までのFixation(注視)におけるデータを用いてカーネル密度推定で視線ヒートマップを生成する。図2のように視線ヒートマップの分解能を1/50倍刻みに変化させ、Fixation中の注視点の位置のヒートマップの値をフレームごとに取り出し、最大・最小・平均を算出する。これらを用いて、ユーザ非依存モデルの設定で、SVMで推定を行い、推定精度の変化とヒートマップ作成から推定までにかかる時間を比較し、リアルタイム難易度推定に向けた最適なヒートマップの分解能を検討する。

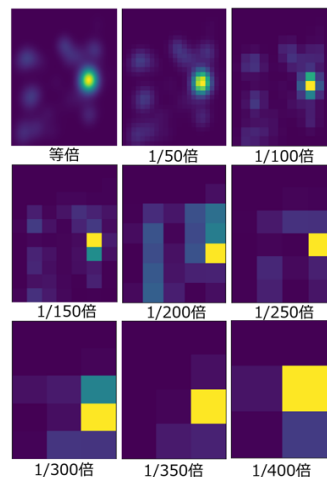


図2 分解能を変えたヒートマップ

## 4. 研究成果

### (1) 学習者の状態推定に用いる指標の検討 (引用文献 ①)

Spearmanの順位相関係数を調べた結果、主観評価と瞳孔径(Net/Total change)には有意な相関は見られなかった。具体的には、瞳孔のサイズ変化と主観的理解度との間には、相関が-0.24から0.20の範囲でばらつきがあり、明確な傾向は確認されなかった。図3はNet change, Total changeを主観評価の段階ごとに算出した結果であるが、Net changeは分散が大きく、Total changeは分散小さいが、各値も小さいことがわかる。

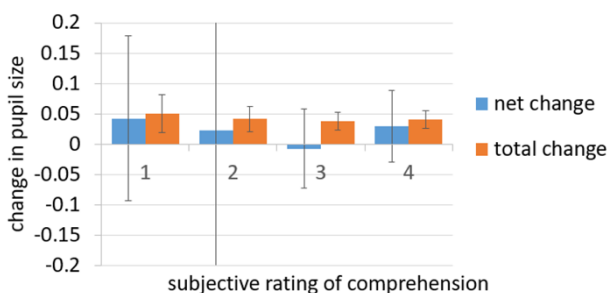


図3 主観評価と瞳孔径変化の関係

また、事前と事後のテストスコアの改善と瞳孔径のデータとの間にも一貫した関連性は見られなかった。事前テストの平均正答率は47%であったのに対し、事後テストでは82%に向上したが、このスコアの変動が瞳孔データと直接関連することは示されなかった。このことから、理解度を評価するためには、より細分化された分析や異なる評価方法が必要であることが示唆された。さらに、理解度には「難しくなかったが理解できた」、「簡単に理解できた」といった様々な段階があり、それぞれ異なる眼球運動や瞳孔の拡張を伴う可能性も考えられる。学習支援システムでの利用を考えた際、理解の程度によらず、学習者が難しいと感じた際に学習者が支援情報にアクセスできることが望ましく、主観的難易度が推定すべき学習者の状態であると考えられる。

推定の単位については、学習トピック単位での分割は同じ学習トピック内に簡単なコマと難しいコマが含まれていた可能性があり、適切ではなかった可能性が推察された。推定の単位はコマ単位、ページ単位等、学習トピックより細かい単位が適切であることがわかった。

### (2) 主観的難易度推定モデルの構築 (引用文献 ②)

(1)の実験結果から、本研究で推定すべき学習者の状態は主観的難易度であると判断し、主観的難易度推定手法に有効な視線特徴量の検討を行った。新たに提案する視線特徴量を含む28種類の特徴量を8カテゴリーに分類し、 $2^8$ の組み合わせをユーザ依存・非依存の2種類の条件、コマ・ページの2種類の推定単位で評価実験を行った。表1は上位10位までのF1値の結果をまとめたもので、新たな提案特徴量を含む組み合わせがいずれもF1値が最も高く、パネル単位・ユーザー依存モデルでの実験では平均F1スコアが0.721、ユーザー非依存モデルでは0.742を達成した。以上の結果から、パネル単位で提案視線特徴量を用いた主観的難易度の推定が有効であることを確認した。

### (3) リアルタイム難易度推定に向けた視線ヒートマップの分解能の検討 (引用文献 ③)

比較実験の結果、視線ヒートマップの分解能が1/100倍の条件時に最も高い結果が得られることが分かった(精度:0.67, F値:0.66)。また、1/50倍から1/200倍の分解能において、マンガ教材と同じ分解能よりも高い精度、F値が示された。これは、分解能を下げることでノイズに対して頑健性が向上したためと考えられる。一方で、図4に示す通り、1/100倍の分解能をピークとして、精度・F値ともに徐々に低くなり、分解能が1/400倍になると精度とF値が大きく低下することがわかった。

表 1 主観評価と瞳孔径変化の関係

units	Fix	Bli	GM	Time	HM	VGC	MP	MT	F1	Fix	Bli	GM	Time	HM	VGC	MP	MT	F1
Page	✓			✓			✓		0.697			✓	✓	✓		✓	✓	0.733
	✓			✓	✓				0.694	✓			✓	✓		✓	✓	0.729
	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.694			✓	✓	✓		✓	✓	0.726
	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	0.689				✓	✓		✓	✓	0.724
	✓			✓	✓		✓	✓	0.687	✓	✓		✓	✓		✓	✓	0.724
	✓	✓		✓	✓			✓	0.687	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	0.723
	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	0.686	✓		✓	✓	✓		✓	✓	0.723
	✓		✓	✓	✓		✓	✓	0.683	✓		✓	✓	✓		✓	✓	0.723
	✓			✓	✓	✓	✓	✓	0.683	✓		✓	✓	✓		✓	✓	0.723
	✓				✓	✓		✓	0.680	✓			✓	✓	✓	✓	✓	0.720
Panel		✓	✓	✓	✓	✓	✓		0.721				✓	✓			✓	0.742
	✓	✓		✓	✓	✓	✓		0.714			✓	✓	✓			✓	0.740
		✓	✓	✓	✓			✓	0.711			✓	✓	✓				0.739
	✓		✓	✓	✓	✓			0.710			✓	✓	✓		✓		0.738
				✓	✓		✓		0.709				✓	✓				0.738
	✓			✓	✓	✓			0.708			✓	✓	✓	✓			0.738
			✓	✓	✓	✓			0.707				✓	✓	✓	✓		0.738
	✓	✓		✓	✓	✓	✓		0.706			✓	✓	✓		✓	✓	0.737
	✓			✓	✓	✓	✓	✓	0.704			✓	✓	✓	✓		✓	0.737
				✓	✓	✓	✓	✓	0.702				✓	✓	✓	✓	✓	0.736

さらに、ヒートマップの作成時間の平均値、推定時間の平均値、これらの合計値を実験に使用した Vive Pro Eye のサンプリングレートと比較した結果、合計値がサンプリングレートを下回っているのは 1/200 倍の分解能であることがわかった。図 5 に結果を示す。このことから、1/200 倍以下の分解能であれば、Vive Pro Eye のリフレッシュレート内でヒートマップの作成と推定を行うことが可能であることがわかった。これらの結果から、VR 空間でマンガ教材読書中にリアルタイムで学習者の主観的難易度推定を行う際の毎フレーム推定には、1/200 倍の分解能が精度・F 値・実行時間の観点で最適であることがわかった。

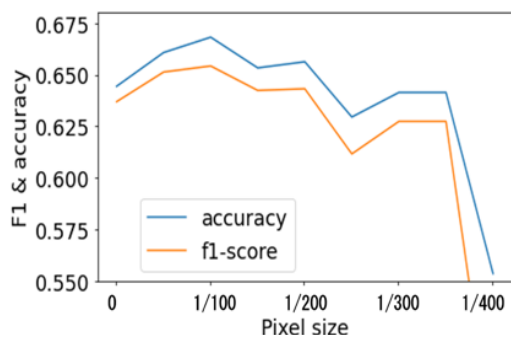


図 4 分解能の違いによる精度と F 値の推移

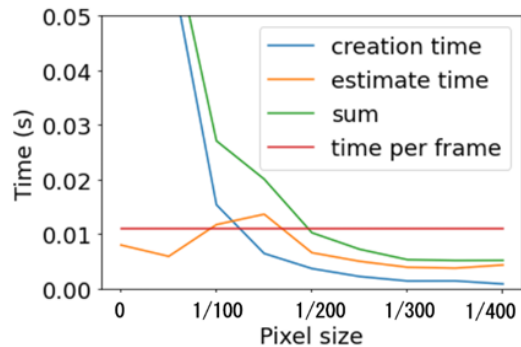


図 5 ヒートマップ作成から推定までにかかる時間の平均値

<引用文献>

- ① K. Sakamoto, S. Shirai, J. Orlosky, H. Nagataki, N. Takemura, M. Alizadeh and M. Ueda, “Exploring Pupillometry as a Method to Evaluate Reading Comprehension in VR-based Educational Comics,” in 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW), Mar. 2020, pp. 422-426.
- ② K. Sakamoto, S. Shirai, N. Takemura, J. Orlosky, H. Nagataki, M. Ueda, Y. Uranishi and H. Takemura, “Subjective Difficulty Estimation of Educational Comics Using Gaze Features,” IEICE Transactions on Information and Systems, vol. E106-D, no. 5, pp. 1038-1048, 2023.
- ③ 坂本賢哉, 白井詩沙香, 武村紀子, Orlosky Jason, 長瀧寛之, 上田真由美, 浦西友樹, 竹村治雄, “マンガ教材読書時のリアルタイム難易度推定に向けた視線ヒートマップ分解能の検討,” 第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 3F1-5, Sep. 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kenya Sakamoto, Shizuka Shirai, Noriko Takemura, Jason Orlosky, Hiroyuki Nagataki, Mayumi Ueda, Yuki Uranishi, Haruo Takemura	4. 巻 E106.D
2. 論文標題 Subjective Difficulty Estimation of Educational Comics Using Gaze Features	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1038 ~ 1048
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transinf.2022EDP7100	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 白井 詩沙香, 長瀧 寛之, 竹中 一平, 武本 康宏, 田邊 則彦, 兼宗 進	4. 巻 5(3)
2. 論文標題 情報システムにおけるデータベースの仕組みを学ぶ共通教科「情報」授業の提案と実践	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌 教育とコンピュータ (TCE)	6. 最初と最後の頁 23-34
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 坂本賢哉, 白井詩沙香, 武村紀子, Orlosky Jason, 長瀧寛之, 上田真由美, 浦西友樹, 竹村治雄
2. 発表標題 マンガ教材読書時のリアルタイム難易度推定に向けた視線ヒートマップ分解能の検討
3. 学会等名 第27回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂本賢哉, 白井詩沙香, 武村紀子, 長瀧寛之, 上田真由美, 浦西友樹, 竹村治雄
2. 発表標題 視線情報に基づくVR空間でのマンガ教材読書時の主観的難易度推定
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会 第64回複合現実感研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kenya Sakamoto, Shizuka Shirai, Jason Orlosky, Hiroyuki Nagataki, Noriko Takemura, Mehrasa Alizadeh, Mayumi Ueda
2. 発表標題 Exploring Pupillometry as a Method to Evaluate Reading Comprehension in VR-based Educational Comics
3. 学会等名 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石塚 裕之, 坂本 賢哉, 白井 詩沙香, Jason Orlosky, 平尾 悠太郎, Monica Perusquia Hernandez, 磯山 直也, 内山 英昭, 清川 清
2. 発表標題 視線, 表情, 心拍, 脳波を用いたVR空間でのマンガ教材読書時の主観的難易度推定
3. 学会等名 電子情報通信学会 メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	武村 紀子  (Takemura Noriko)  (60733110)	九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授    (17104)	
研究分担者	ORLOSKY JASON  (Orlosky Jason)  (10815111)	大阪大学・サイバーメディアセンター・特任准教授(常勤)    (14401)	
研究分担者	長瀧 寛之  (Nagataki Hiroyuki)  (20351877)	大阪大学・スチューデント・ライフサイクルサポートセンター・教授    (14401)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	上田 真由美  (Ueda Mayumi)  (30402407)	流通科学大学・経済学部・教授    (34522)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	Augusta University			