



Title	A Study on the Effectiveness of Eye Tracking Data in Virtual Reality Based Adaptive Learning with Educational Comics
Author(s)	坂本, 賢哉
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/96222
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (坂本賢哉)	
論文題名	A Study on the Effectiveness of Eye Tracking Data in Virtual Reality Based Adaptive Learning with Educational Comics (バーチャルリアリティ空間でのマンガ教材を用いた適応学習における視線追跡データの有効性に関する研究)
論文内容の要旨 メタバースとは、「超(Meta)」と「宇宙(Universe)」の合成語で、小説の中で仮想空間サービスの名称として1992年に誕生した。2021年にフェイスブック社がメタに社名を改めたことで、広く認知されるようになった。このメタバースを実現するための主要な要素技術は、人工現実感(VR)である。教育目的のメタバースはEdu-Metaverseと呼ばれており、メタバースの創造性と没入型VR体験を組み合わせることで、教育への応用が期待される。加えて、近年のバイオセンシングと機械学習技術の進歩によって、Edu-Metaverseの中で適応学習を促進することに期待が高まっている。 VRでの適応学習は、学習者の状態を把握することと、最適なインタラクションによって学習支援情報を提供することによって実現できる。学習者の状態を把握する上で、先行研究でよく用いられているのが、主にeラーニングにおける学習管理システムにおいて、システムログを参照する方法である。しかし、この方法は、マンガ教材を用いた学習やVR空間での学習など、システムログの収集が困難な文脈での学習には適用できない。また、学習支援情報は、最適なインタラクションによって提供される場合、アクセスしやすく、学習の妨げにならないものでなければならない。しかし、VR教育では、主に3次的に作成された学習教材が中心であり、本研究で使用したマンガ教材のような平面的な教材を用いて、VR空間で学習支援情報を提示する最も効果的な方法に関する包括的な探求はまだ不足している。そのため、本論文では、適応学習における視線情報の有効性を検証する。これらの課題を解決するために、本研究では視線情報に着目した。視線情報は、学習者の注意や知覚、混乱を正確に捉えることができる唯一の情報源である。視線情報を利用することで、学習者の状態を把握し、学習を妨げないインタラクション手法を実現することができる。また、本研究では、学習者のモチベーションを高めることが報告されているマンガ教材を扱う。 まず、支援を必要とする学習者の状態を検出するための適切な指標を決定するために行った被験者実験について述べる。教育支援を行う場合、学習者の理解度テストの結果をもとに、誤解している教材について指導を行うのが一般的である。そのため、視線情報から理解度を把握できれば、この手順をスキップした効率的な学習が可能となる。そこで、マンガ教材を学習内容ごとに分類し、認知指標の判定に有効であると報告されている瞳孔測定法を用いて、理解度テスト結果や自己申告との相関を検討した。参加者の事前事後テストの結果、平均正答率は47%から82%に改善したが、瞳孔径測定と自己申告の理解度の間には相関がなく、瞳孔径の変化と自己申告の間には統計的に有意な差は見られなかった。これは、推定対象が理解度であり、カテゴリー分けが学習トピックに基づくものであったためと考えられる。理解された学習内容の中には、難解であったが時間の経過とともに理解されたものもあったかもしれない。さらに、私が分けた学習内容には複数のページやコマが含まれ、その中には理解しやすいものと難しいものが含まれていたかもしれない。 この実験結果から、理解度を学習内容に基づいて推定するのではなく、マンガのコマに基づいて自己申告の難易度を収集し、マンガのレイアウトを基にして学習者の主観的難易度を推定の対照することとした。第二の研究では、主観的難易度を推定するために、「注視点と視線の交点の距離」、「パネル間の移動」、「タイトル間の移動」という3つの特徴量を提案した。特徴量は、ページ単位とコマ単位の2つの単位レベルで抽出し、各パターンの精度をユーザ依存設定とユーザ非依存設定でそれぞれ評価した。提案特徴量と既存の特徴量を組み合わせ、コマ単位のユーザ依存モデルとユーザ非依存モデルにおいてサポートベクターマシンで学習させることで、それぞれ平均0.721と0.742のF1分類スコアを達成した。提案特徴量はマンガ教材読書時の主観的難易度推定に有効であり、VRでの学習者の状態推定の実現可能性を示した。 後者の課題である、補足情報を提示する際のインタラクションは、eラーニングのようなディスプレイベースの環境では広く取り組まれているが、バーチャル学習環境ではあまり取り組まれていない。学習プロセスを中断させることなく、迅速なアクセスを保証し、教育補足情報を最適に提示するために、2つの実験を行った。最初の実験は、補助的な情報にアクセスするための最適な入力モダリティを探ることを目的とした。この実験では、適応学習プラットフォーム上で選択課題を実施し、コントローラ、視線、およびそれらの組み合わせの3つのインタフェースを比較した。その結果、テストした入力モダリティ間で、経過時間、ユーザビリティ、精神的作業負荷に有意差はなく、視線ベースのUIがVRにおける適応学習に適切に使用できることが示された。2つ目の実験は、学習者に補足的な教育情報を推奨するための最も効果的なインタラクション方法を特定することを目的とした。この実験では、3つのインタラクション手法を比較した：固定的な手法、視線に基づく規則的な動きを伴う手法、視線とコンテンツの両方に基づく動的な動きを伴う手法。その結果、固定的なインタラクションがユーザビリティと主観的満足度の両面で最も高い評価を受け、提示位置が容易に予測可能なインタラクションを実装すべきであることを示した。 本論文は、学習者の状態推定モデルや補足情報を提示する際の最適なインタラクションなど、視線情報を用いたVRベースの適応学習の実装に関する示唆と洞察を提供する。これらの知見は、より個別最適化された効率的な教育支援につながる。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (坂 本 賢 哉)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	竹村 治雄
	副 査	教授	土屋 達弘
	副 査	教授	増澤 利光
	副 査	准教授	浦西 友樹

論文審査の結果の要旨

教育のデジタル化が進む中、学習者に個別最適化された学習支援を提供するための適応学習（アダプティブラーニング）に注目が集まっている。バーチャルリアリティ（VR）空間における学習においても、アダプティブラーニングの導入が期待されているが、アダプティブラーニングシステムの構築に必要な学習者の状態推定手法や学習支援情報を提供する際の最適なインタラクション手法については確立されておらず、課題が残る。

本論文は、VR空間におけるアダプティブラーニングの実現に向けた基礎研究として、マンガ教材による学習を対象に、ヘッドマウントディスプレイに搭載されたセンサーから取得可能な視線計測情報を用いた学習者の状態推定手法と学習支援情報の提示手法に関する研究に取り組み、その研究成果をまとめたものである。主要な研究成果は以下の通りである。

1. 学習者が支援を必要としている状態を検出するための指標を特定することを目的とし、VR空間におけるマンガ教材読書中の学習者の瞳孔径を測定し、自己申告による主観的理解度と理解度テストによる客観的理解度との相関を調査した結果を報告している。調査の結果、学習者の状態を推定するための適切な指標として主観的難易度が適切であることを明らかにした。さらに、推定単位については、学習トピック単位ではなく、ページ単位やコマ単位が適していることが示している。
2. VR空間におけるマンガ教材読書時の学習支援を目的に、視線計測情報に基づく主観的難易度推定手法を提案している。先行研究で使用されている視線特徴量に加え、教材読書時特有の特徴量として「コマ間の移動」と「タイル間の移動」、VR空間特有の特徴量として「注視点と視線の交点の距離」を抽出し、合計28種類の特徴量を用いて学習者の主観的な難易度を推定している。実験の結果、コマ単位でのSVMによる推定において、提案特徴量を含むユーザ依存モデルではF1値で0.721、ユーザ非依存モデルでは0.742を確認している。
3. 学習支援情報を提供する際の最適なインタラクション手法を明らかにするために、支援情報にアクセスする際の選択・決定方法と支援情報を提供する際のインタラクション手法に関する2種類の調査を行っている。選択・決定方法に関する調査では、コントローラ、注視、コントローラと注視を組み合わせた手法を比較した結果、経過時間、ユーザビリティ、メンタルワークロードのいずれにおいても有意な差は認められず、注視を用いた選択・決定手法の可能性を示している。一方で、支援情報を提供する際のインタラクション手法に関する実験では、視線計測情報に基づく動的なインタラクション手法より色変化で補足情報の提供を示す静的な手法の方がユーザビリティと主観評価において有意に高い評価が得られ、VR空間におけるマンガ教材を用いたアダプティブラーニングシステムでは、任意のタイミングで補足情報にアクセスできる手法が好まれることを明らかにした。

以上のように、本論文における研究成果は、VR空間におけるアダプティブラーニングシステムの実現に向け、視線計測情報を用いた学習者の状態推定モデルと学習支援情報の提示のためのインタラクション手法に関する重要な知見を提供しており、情報科学に寄与するものである。よって、本論文は博士（情報科学）の学位論文として価値あるものと認める。