

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20421

研究課題名（和文）マルチモーダル学習活動情報を用いた教科書難易度推定に基づく教科書改善システム

研究課題名（英文）Textbook Refinement Based on Difficulty Estimation Using Multimodal Learning Logs

研究代表者

峰松 翼（Minematsu, Tsubasa）

九州大学・システム情報科学研究所・助教

研究者番号：00838914

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、学習者にとってわかりにくい箇所に着目した教科書改善システムを実現するための技術として、(1)デジタル教科書閲覧中の視線情報を活用した教科書難易度推定手法(2) デジタル教科書閲覧システムの学習ログを活用した学習者の理解度推定手法を開発した。(1)は、教材閲覧中の視線情報から各ページの難易度を推定し、わかりにくい箇所を推定することを可能とした。(2)は、デジタル教科書閲覧時の学習活動から教科書の各ページの理解度を推定することを可能とした。(1)と(2)の成果を組み合わせることによって、どのページのどの部分で学習者がわかりにくいと感じているのかを可視化するためのシステム実装が可能となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

効率よく人材を育成するためには、学習者にとってわかりやすい教育を提供することが求められる。特に、講義形式の授業や自習で用いられる教科書の改善は高い教育改善効果が期待できる。しかし、これまでの教科書改善は教育者に一任されている部分が多く、学習者にとって意味のある改善であるかは明らかではなく、わかりにくい箇所の特定も容易でない。本研究の成果は、データに基づいた改善と教材改善にかかる負担の軽減につながるため、教育改善の効率化の観点から意義深い。

研究成果の概要（英文）：We developed (1) a method for estimating the difficulty level of a textbook using eye movement information while reading a digital textbook and (2) a method for estimating learners' comprehension using the learning logs of a digital textbook system as technologies for improving textbooks. In (1), the proposed method estimates the difficulty level of each page based on eye movement information during browsing textbooks and visualizes the parts of the page where learners feel difficult. In (2), the proposed method estimates the comprehension level of each page of digital textbooks based on learning logs during browsing textbooks. Combining (1) and (2) makes it possible to implement a system to visualize which part of a page a learner finds difficult to understand.

研究分野：ラーニングアナリティクス

キーワード：マルチモーダルデータ分析 機械学習 教育データ分析 視線分析

1. 研究開始当初の背景

効率よく人材を育成するためには、学習者にとってわかりやすい教育を提供することが求められる。特に、講義形式の授業や自習で用いられる教科書の改善は高い教育改善効果が期待できる。しかし、これまでの教科書改善は教育者に一任されている部分が多く、学習者にとって意味のある改善であるかは明らかではない。小規模の講義であれば、学習者への教科書の難易度調査によって学習者の意向を反映可能であるが、大規模な授業での運用には至っていない。

一方、近年、注目を集めているラーニングアナリティクス(LA)研究では、デジタル学習環境を用いた大規模な授業を対象に、教材にアクセスした日時・教材名・ページ番号・そのページでの操作などの学習履歴として、数百人規模の学習活動を自動的に収集し、教育データ分析が行われている。LA研究ではエビデンスに基づいた教育改善が期待できるが、学習者にとってわかりにくい箇所を提示するための手法は確立されていない。

2. 研究の目的

学習者がわかりにくいと感じている箇所を特定し、教員や教材開発に関わる者に提示することは、教育改善において有用である。しかし、現状のLA研究において、学習者の難易度推定を教材のわかりにくい箇所と関連付けて行う手法はない。そこで、本研究では、学習者にとってわかりにくい箇所に着目した教科書改善システムを実現するための技術開発を目的とする。

3. 研究の方法

本研究はデジタル教科書を対象に、デジタル教科書閲覧中の学習活動の分析を行う。デジタル教科書の難易度を推定する場合、教科書閲覧時の学習活動中に「教科書の内容が難しいことを表現する学習活動特徴(難易度特徴)」が含まれているかを分析し、教科書の難易度を判定することになるが、人手で難易度特徴を定義することは極めて困難である。そこで、本研究の教科書改善システム実現のためには、学習者が難しいと感じた際に現れる特徴を自動的に発見する機構が必要となる。本研究では、下記の2項目について研究を遂行し、教科書改善システムに資する技術を開発する。

- (1) デジタル教科書閲覧中の視線情報を活用した教科書難易度推定手法
- (2) デジタル教科書閲覧システムの学習ログを活用した学習者の理解度推定手法

4. 研究成果

- (1) デジタル教科書閲覧中の視線情報を活用した教科書難易度推定手法

デジタル教科書の各ページにおいて、学習者にどの箇所がわかりにくいのかを詳細に調査することで、デジタル教科書の改善すべき箇所を検討することは可能である。しかし、調査そのものや調査で得られたデータの分析にかかる負担は大きく、自動的に教科書の各ページでわかりにくい箇所を特定する技術が必須である。本研究成果では、教材閲覧中の視線情報から各ページの難易度を推定し、わかりにくい箇所を推定する手法を提案した。

図1に本研究提案手法の全体像を示す。まず、学習者にデジタル教科書を閲覧してもらい、デジタル教科書閲覧中の視線データを収集した。また、ページを移動する際に、学習者には教科書の各ページに含まれる内容の難易度を数値で回答してもらった。本研究では、15人の学習者から得られた視線データを用いた。次に、各学習者の視線データと難易度の関係を深層学習モデルによって学習した。本研究で用いた深層学習モデルは、視線データと難易度の関係を学習しており、視線データを入力として与えられるとその視線データの学習者

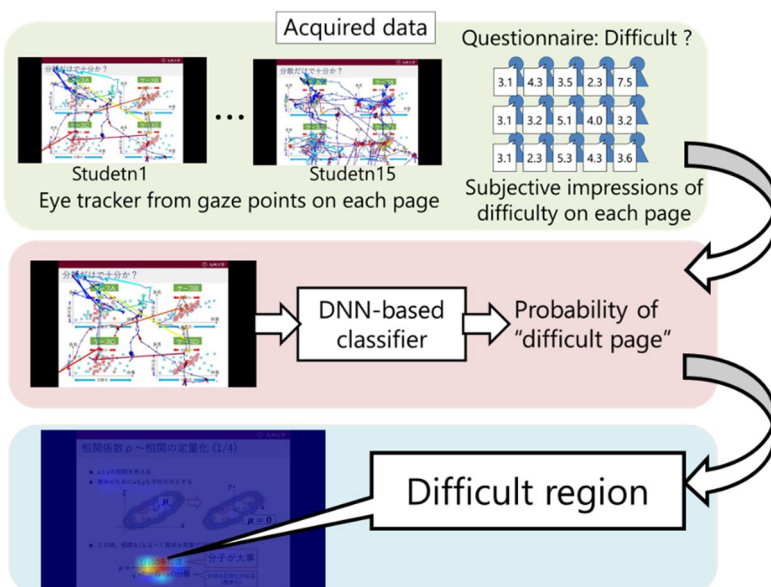


図1: 視線情報を用いた教科書難易度推定手法。上段: データ収集。中段: 深層学習モデルによる難易度推定。下段: 深層学習モデルの入出力関係の逆分析による Difficult region の可視化。

が感じていた難易度を出力する。最後に、視線データと難易度の関係を逆方向に分析し、難易度推定に関係のあった視線データを抽出し、わかりにくい箇所（図1中 Difficult region）として可視化した。本研究では、深層学習モデルの逆分析手法に Layer-wise relevance propagation[1]を用いた。

本実験では、デジタル教科書閲覧後に、学習者にわかりにくいと感じた箇所をハイライトしてもらい、それらのハイライトされた箇所を学習者がわかりにくいと感じた箇所の正解データとして、提案手法の結果との比較に用いた。図2に実験結果として、学習者が難しいと回答した上位のページにおける、ハイライトデータ（図2中 Highlight）、提案手法の結果（図2中 Relevance）、学習者が凝視していた箇所の可視化結果（図2中 Gaze）を示す。図中の色は赤色ほど値が大きいことを示しており、Highlight では多くの学習者が同じ箇所にハイ

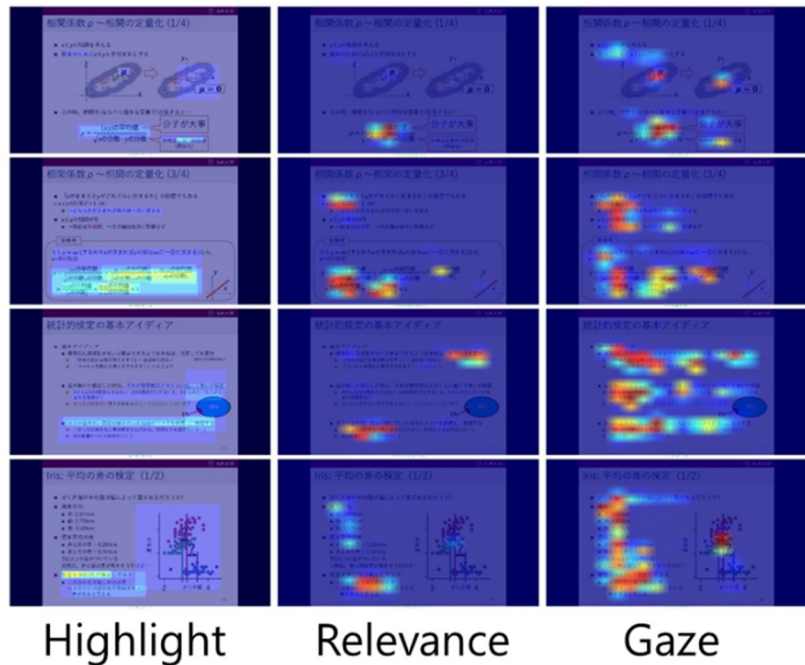


図 2: 提案手法によるデジタル教科書の難易度推定の結果と比較

ライトをしたこと、Relevance では推定された“わかりにくさ”が高いこと、Gaze では多くの学習者が同じ箇所を凝視していたことを意味している。学習者が凝視していた箇所の可視化(Gaze)では、学習者の教科書改善には利用できないが、提案手法により推定されたわかりにくい箇所(Relevance)は実際に学習者がわかりにくいと感じた箇所(Highlight)に近いことを確認した。また、実際に同じデジタル教科書を利用した講義において、学習者がハイライトした箇所との比較も行った。図2の結果と同様に、Gaze と比べて、提案手法のほうが精度よく、学習者がわかりにくいと感じている箇所を抽出可能であることを確認した。

本研究の実験結果は、これまでは学習者が自発的に残さなければ気づくことができなかった教科書のページ中のわかりにくい箇所を視線情報から推定可能であることを示唆している。ノート PC やスマートホンなどに搭載されているカメラによって、精度よく視線推定可能となった将来において、本提案手法は学習者がわかりにくいと感じている箇所を提示する基礎技術として活用できる。本研究成果は[2][3]で報告した。

(2) デジタル教科書閲覧システムの学習ログを活用した学習者の理解度推定手法

デジタル教科書閲覧システムでは、学習者のアクセスしていた時間やページ、そのページで行ったハイライトやメモなどの操作履歴が自動的に記録される。特に、本研究で利用したデジタル学習閲覧システム BookRoll [4]では、学習者がそのページを「わかった」「わからなかった」のかを記録するためのボタン（わかった・わからなかったボタン）が実装されている。このボタンは各ページの難易度を調べる上で有用であるが、必ずしもすべての学習者がそのボタンを利用するとは限らないのが現状である。そこで、本研究では、学習者のデジタル教科書閲覧時の学習ログから各ページをわかったのか、わからなかったのかを推定する手法を開発した。

本研究で開発した学習者の理解度推定器の概略を図3に示す。理解度推定器は学習者のデジタル教科書閲覧時の学習ログと教科書の各ページの画像とテキストを受け取り、その学習者が「わかった」「わからなかった」のかを推定する。本研究では、学習者が閲覧したページの内容を利用するために、各ページに含まれる画像とテキストから情

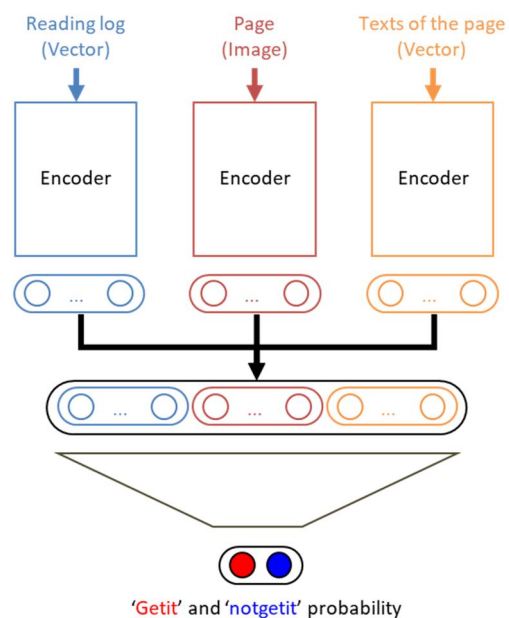


図 3: 理解度推定器

報を抽出することで、推定精度の向上を試みた。図3中の Encoder は各入力情報から推定に必要な情報を自動的に抽出する。また、提案手法全体は深層学習モデルによって実装した。本研究では、研究提案者の所属大学の講義でデジタル教科書閲覧中の学習ログを収集し、それらの学習ログを利用して、図3の理解度推定器を学習した。

本研究の実験において、提案手法である理解度推定器は、ランダムに理解度を推定するシミュレーターよりも精度よく学習者ごとの理解度を推定できることを確認した。また、教科書改善においては、ページごとにどのぐらいの割合の学習者が内容を理解できたと感じたのかを把握できると、どのページを改善すべきかの指標となると考えられる。そこで、ページごとに理解度の割合の推定精度を評価した。本評価において、学習ログのみを利用した理解度推定器、各ページの画像とテキストのみを利用した理解度推定器を比較手法として用いた。学習ログのみ・各ページの画像とテキストのみを利用しただけでは、十分にページごとの理解度の割合を推定することができなかったが、本研究で用いたすべての入力を組み合わせることで、比較手法よりも精度よく推定できることを確認できた。

本研究の実験結果は、デジタル教科書閲覧中の学習ログと教科書の内容を組み合わせることで、各ページでの学習者が感じている理解度を推定できる可能性を示したものである。(1)での成果と(2)の成果を組み合わせることで、どのページのどの部分で学習者が難しいと感じているのかを可視化するためのシステム実装が可能となると考える。本研究の成果は[5]で報告した。

<引用文献>

[1] Lapuschkin, S. et al., 2016. The LRP Toolbox for Artificial Neural Networks. The Journal of Machine Learning Research, Vol. 17, pp. 3938-3942

[2] Minematsu, T. (2019). Region-wise page difficulty analysis using eye movements. Proceedings of 16th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (CELDA 2019).

[3] Minematsu, T., Shimada, A., Taniguchi, R., Analytics of Multimodal Learning Logs for Page Difficulty Estimation, The 10th International Conference on Learning Analytics & Knowledge (LAK20).

[4] Ogata, H., Yin, C., Oi, M., Okubo, F., Shimada, A., Kojima, K., & Yamada, M. (2015). E-Book-based learning analytics in university education. Proceedings of the 23rd International Conference on Computer in Education (ICCE 2015), pp. 401-406.

[5] Minematsu, T., Shimada, A., Taniguchi, R., Student Response Estimation using E-book Reading Logs with Textbook Information, The 11th International Conference on Learning Analytics & Knowledge (LAK21).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Tsubasa Minematsu, Atsushi Shimada, Rin-ichiro Taniguchi
2. 発表標題 Visualization and Analysis for Supporting Teachers Using Clickstream Data and Eye Movement Data
3. 学会等名 The 22nd HCI International Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tsubasa Minematsu, Atsushi Shimada, Rin-ichiro Taniguchi
2. 発表標題 Student Response Estimation using E-book Reading Logs with Textbook Information
3. 学会等名 The 11th International Conference on Learning Analytics & Knowledge (LAK21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tsubasa Minematsu, Atsushi Shimada, Rin-ichiro Taniguchi
2. 発表標題 Analytics of Multimodal Learning Logs for Page Difficulty Estimation
3. 学会等名 The 10th International Conference on Learning Analytics & Knowledge (LAK20) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tsubasa Minematsu
2. 発表標題 Region-wise Page Difficulty Analysis Using Eye Movements
3. 学会等名 16th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (CELD 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019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
研究協力者	島田 敬士 (Shimada Atsushi)		
研究協力者	谷口 倫一郎 (Taniguchi Rin-ichiro)		

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
---------	---------