

研究終了報告書

「教材内容理解に基づく教育の形を変える安定的な教材推薦技術基盤の創出」

研究期間：2020年11月～2024年3月

研究者：江原 遥

1. 研究のねらい

本研究では、想定した学習効果が得られないという、学習失敗リスクを低減する、人工知能による教材推薦の枠組みを、提案する。ここで、学習失敗リスクとは、通常とは異なる教育背景を持っているため基礎知識がなく、推薦された教材を理解して学習効果を上げることができないリスクである。学習に失敗し続けると、通常は学習者の動機にも悪影響を与えるが、理解できないリスクが高いことがわかっているならば、稀に学習失敗リスクの高い教材に取り組めば、学習者は挑戦的な課題と捉えるかもしれない。学習者は、まだ知らない内容についてこうしたリスクを考慮しながら、「何を学ぶべきか」を決定していかなければならない。

本研究提案では、教材の内容を自然言語理解技術によって理解し、個々の学習者の能力状態を推定しながら、学習者が安定的に能力を伸ばすことができ、かつ内容的に信頼できる教材を選択して、学習者に提示していく手法を、研究開発する。これにより、長年、ほぼ唯一の教育方法として行われてきた「講義」の形式を超えて、学習者が自習によって安定的に能力を向上させる教育の形式が、可能になると考える。このような教育形式ができれば、教育の歴史を大きく変えうると思われる。教材の内容を吟味して学習者に逐次的に提示してくれる人間がいなくとも、自習のみによって学習者が安定的に自己の能力を向上させることができれば、多くの人々が高度な知識を得られることに貢献するだけでなく、今後技術発展によってますます必要になってくる生涯教育や再教育にも貢献できる。教員にとっても、理解しやすい教材の作成や研究だけに労力を集中することができる。教育形式を変えることは、知識集約型社会の実現にとって、非常に有効な手段となりうると考える。

自然言語理解部分では、近年著しい性能向上を見せる事前学習+ファインチューニングアプローチによる深層学習による自然言語理解技術により、教材ごとのリスクや難度を推定する技術を開発する。事前学習では、大規模コーパスから教師なしでTransformerなどの深層モデルに基づく自然言語理解モデルを訓練する。教材の大部分は自然言語で書かれているため、どちらの教材を先に学習すべきかの判定は、現状の自然言語理解の技術を発展させることで、研究期間内に実用的な精度に達することが十分見込まれる。

リスク考慮型教材推薦については、リスク考慮型強化学習を参考としたモデル化を行う。システムによる教材推薦を強化学習における「行動」とみなす。そして、自然言語理解部分で推定した教材の難度やリスクを用いて、学習者がその教材の学習に成功した時の学習効果を、強化学習の「報酬」とみなす。学習効果を推定するための人手の教師データが少量しか入手できない場合でも、事前学習+ファインチューニングアプローチでは、自然言語理解モデルについては大規模コーパスで訓練されているため、難度やリスクの推定がある程度正確に可能であると考えられる。そこで、こうしたデータを弱教師として使い、自然言語理解モデルとリスク考慮型教材推薦モデルを end2end に訓練することで、従来は学習効果の

教師データが少なすぎてなしえなかった、教材の内容と学習者の状態を同時に考慮した強力な推薦が行えるようになると期待される。

2. 研究成果

(1) 概要

まず、自然言語理解のために、テキストの難しさを意味・内容を考慮して、第二言語学習者にとってのリーダビリティ(可読性、読みやすさ)を測定する手法の研究を行った。既存研究[Martinc 他、2021]のテストデータが公開されていないため直接比較できないものの、既存研究を超える精度を達成する教師ありリーダビリティ測定器の構築を行った。また、語彙テストデータを使って、(テキストのリーダビリティのラベルを使用しないという意味で)教師なしリーダビリティ測定器を構築した。語彙テスト中の平均的な能力の学習者が、所与のテキスト中の各文中の全ての単語を知っている確率をリーダビリティのスコアとして出力する手法を提案した。一連の研究は、まず、AI の中堅国際会議 IEEE ICTAI に full paper として採録された他、様々なトップ会議で第二言語学習者にとってのリーダビリティ測定を行った研究を発表した: ラーニングアナリティクスのトップ会議 LAK2022 (poster)、認知科学のトップ会議 CogSci2022 (poster full paper)などである。

以上は語学教師から見た学習者にとってのリーダビリティ測定の研究であるが、学習者側本人がテキストをどの程度理解しているかという、近年は学習支援アプリケーションのログなどから比較的容易に入手可能な情報を直接活用した手法の研究も行った。具体的には、多義語の各語義の ESL 学習者にとっての難しさを測定するデータセットを初めて作成し、これを教師あり、教師なしの2種類の新しい手法を提案し、それぞれ、トップ国際会議 AIED 2022 full paper と、EDM 2022 short paper に採録された。具体的には、教師なし手法は、テキストの意味をベクトル化できる BERT に深層外れ値検知手法を組み合わせて、意味的外れ値に当たるテキストが難しいと判定する事で、多義語の難しさを教師なし測定する手法を提案した。また、BERT は通常、テキストのみを入力とするので、学習者ごとに異なる結果を出力する必要がある、個々の学習者が(外国語の)問題文を理解できるかを識別するタスクに適用させることは、工夫を必要とする。学習者 ID を表す単語を組み入れることによって、BERT をこのタスクに対応させる研究を行った。この手法では、学習者 ID に対応する単語埋め込みベクトルの第一主成分から学習者の能力値に相当する値を抽出できることも示し、解釈性と識別性能をあわせもった手法を提案したという事で、高く評価された。この手法は、FIT 奨励賞も受賞した。

リスクを考慮した推薦手法として、学習者が獲得できる語彙をリスクを考慮して予測する手法を提案し、この研究が教育データマイニングのトップ会議 EDM の poster になったほか、教育システム情報学会の大会奨励賞を受賞した。この手法は、強化学習の1ステップを行っているものとみなせる。

さらに語彙学習支援以外の研究については、2022 年 11 月から盛んに研究されるようになった生成 AI を用いて、計算機科学の講義で教えるべき概念を推測する研究が EDM2023 の poster に採録された。

(2) 詳細

【内容を考慮したリーダビリティによる自然言語理解の研究】、【適応的学習支援のための自然言語理解の研究】、【語彙学習支援以外の研究】などを遂行した。具体的内容は、論文の図表等を含むため省略する。

3. 今後の展開

リスクを考慮して学習者に適した学習事項を推薦させるだけでなく、大規模言語モデルの技術を活用して、リスクを考慮した学習事項を生成する事を視野に入れていくことが、今後の展開の1つである。

また、今回は、やはり、申請者の専門である語学学習支援の研究が主になってしまった。これは、語学については「単語」や「語句」といった学習事項の単位が明瞭に定まっているのに対して、科学分野の学習事項の単位は語学ほど明瞭ではないためである。すなわち、科学全般に対して本研究のような技術を適用するためには、科学に関するテキストの中にどのように知識が織り込まれているのか、その構造を明らかにしなければならない。その有力な方法の1つが大規模言語モデルと申請者は考えており、大規模言語モデルの中の科学の知識構造を明らかにする研究も今後の展開の1つである。

4. 自己評価

教育 AI のトップ国際会議である AIED、教育データマイニングのトップ会議である EDM を中心に、国際的に評価される業績をあげた。さらに、これらの研究をもとにした研究が国内でも複数件受賞した。したがって、研究全体としては十分な成果を挙げられたと考える。

5. 主な研究成果リスト

(1) 代表的な論文(原著論文)発表

研究期間累積件数: 27 件

1. Yo Ehara. Selecting Reading Texts Suitable for Incidental Vocabulary Learning by Considering the Estimated Distribution of Acquired Vocabulary. In Proceedings of Educational Data Mining 2022 (poster).

外国語語彙学習では、未習語の辞書引きを避け語義を文意から推測して用例と共に獲得していく多読法がある。多読で読む文章の選択は投機的性格を持つ。簡単すぎれば既習語ばかりで獲得語彙量は少なく、獲得語彙量増加を狙い文章の難度を上げれば、辞書引きなしでは読めず多読の意義を損なうリスクが上がる。本稿ではこの投機的な問題を数理的に定式化し、許容可能なリスクの範囲で予想獲得語彙最大の文書を選ぶ手法を提案する。**この論文を基にした論文が、教育システム情報学会 2022 年度全国大会奨励賞を受賞した。**

2. Yo Ehara. No Meaning Left Unlearned: Predicting Learners' Knowledge of Atypical Meanings of Words from Vocabulary Tests for Their Typical Meanings. In Proceedings of Educational Data Mining (short paper).

学習反応予測のため、設問の文意を考慮し項目の難しさを考慮したい。BERT 等の深層言語モデルは文意の考慮に有用だが、能力等の学習者特性の考慮が難しい。本稿では、学習者を表す特殊な語、学習者トークンを導入し、深層言語モデルを適応的学習支援に適応させる簡便な手法を提案する。外国語語彙学習支援で評価し、提案法の高い予測性能と、提案モデルから抽出した能力値が項目反応理論の能力値と有意に相関する事を確認した。**この研究をもとにした論文が、国内では FIT2022 奨励賞を受賞した。**

3. Yo Ehara. An Intelligent Interactive Support System for Word Usage Learning in Second Languages. In Proceedings of the 23rd International Conference (AIED 2022). pp. 453-464.

この研究では、用例に対して、意味的多様性を考慮した「主要度」を自動付与する手法を提案する。学習者は、主要度の高い順に用例を学ぶだけで、その語の多様な意味を学ぶことができる。提案手法は教師データを必要としないため、様々なドメインや言語に適用できる利点がある。

まず、事前学習済言語モデルと転移学習の考え方をを用いることで、語の出現(用例)ごとの意味を捉える文脈化単語埋め込みベクトル集合を語ごとに作成する。次に、各用例の文脈化単語埋め込みベクトルが外れ値である度合い(異常度)を計算する事で、各用例がどの程度重要な用例かを計算する。実際に日本語を母語とする英語学習者に対して、英語母語話者により妥当性が確認された多義語の語彙テストを行うことで知る限り初めて第二言語学習者の多義語の語彙知識に関する公開データセットを作成した。評価の結果、有望な結果を得た。**この論文は、FIT2023 のトップコンファレンスセッションに招待され発表した。**

(2)特許出願

研究期間全出願件数： 0 件(特許公開前のものは件数にのみ含む)

(3)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

- 1) 2022 年情報処理学会 HCI 研究会 HCI 研究会貢献賞
- 2) 2022/09 江原遥講師が大会奨励賞を受賞しました 東京学芸大学 News
- 3) 2022 年 9 月 FIT 奨励賞 第 21 回情報科学技術フォーラム(FIT2022)
江原遥
- 4) 2022 年 8 月第 47 回教育システム情報学会全国大会 大会奨励賞 外国語多読学習のための獲得語彙の推定分布を考慮した効率的なテキスト選択 教育システム情報学会
江原遥
- 5) 2021 年 12 月 HCI 研究会貢献賞 一般社団法人 情報処理学会 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会 江原遥
- 6) 2021 2021/09 科学技術振興機構 サイエンスインパクトラボ 2021 Future Sessions 江原 遥