

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03192

研究課題名(和文) 学習者モデルに基づくドメイン横断型教授支援システムと授業モデルの構築と検証

研究課題名(英文) Development and evaluation of a cross-domain learning environment and teaching model based on a learner model

研究代表者

山元 翔 (Yamamoto, Sho)

近畿大学・情報学部・講師

研究者番号：90735268

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)：本研究は、AIを用いて学習者の状態を推定し、その結果を教師が把握し、授業に活かせる仕組みを構築することが目的である。しかし初年度にCOVID-19の影響で授業実践が困難になり、オンラインでもきめ細やかな授業支援をする仕組みが求められた。これを踏まえて、本研究では、1-6年生のシステム利用を実現し、このログを踏まえて学習者モデルのプロトタイプ構築と、ドメイン横断型のシステム開発を終えることができた。授業モデルの構築は困難であったが、オンラインでもきめ細やかに学習状態を推定して適切な支援をするシステムとして、生体情報を用いた新規なフィードバックの仕組みを提案し、国際的な評価を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義は、算数文章題を対象としてAIを用いた学習支援システムにおいて、次のような知見を得たことである。まず、1-6年生までの利用実践を実現し、実際の学習者の振る舞いを明らかにしたことである。次に、このデータも踏まえつつ、ドメイン間で接続の不十分なシステム構築と、現場教員による評価を行った。学習者の推定モデルを試験的に構築した。また、オンライン学習においても、演習中に学習者が行き詰まると、システムが自動で支援するフレームワークを提案した。社会的意義としては、総合的な授業モデルには至らずとも、ICTを用いた授業を実現する上での知見や、導入のためのスポット的利用の仕組みを提案している。

研究成果の概要(英文)：The three objectives of this research are. (1) To use AI to estimate the learner's state across domains. (2) To build a system for teachers to understand the results of estimation. (3) To build a system that allows the results of (2) to be used in the classroom. However, in the first year of implementation, COVID-19 made it difficult to implement educational practices, and a system was required to provide detailed educational support, even online. As a result of the study based on these background, the study realized the use of the system for grades 1-6 in elementary school, and based on this log, the construction of a prototype learner model and the development of a cross-domain system were completed. Although it was difficult to construct a lesson model for (3), a novel feedback mechanism using biometric information was proposed as a system to estimate learning status in detail and provide appropriate support, even online, and was internationally acclaimed.

研究分野：教育工学

キーワード：学習支援システム 学習工学 ITS ラーニングアナリティクス

1. 研究開始当初の背景

本研究に関連する学術的な背景は AI (Artificial Intelligence; 人工知能) を用いた学習支援システム研究であり、社会的な背景は教育現場における学習支援システムの利用と適用である。前者に関して ITS(Intelligent Tutoring System)というフレームワークが提案されており、これを実装したシステムは、学習者モデルとドメインモデル、教授モデルを保持しており、これらが相互に作用しながら、適切な教授を適切なインタフェース上で実現、学習者に適応的な学習を実現している。ITS における学習者モデルによって推定された学習者の学習状態を提示することは有用だとされているが、現在は学習者主体であり、教師への提示はまだ十分に検討されているとは言えない。

次に、我々の開発している作問学習支援システム「モンサクン」は、算数文章題の加減・乗除・四則を対象として、その学習対象のドメイン構造の部品を提供し、学習者がそれを試行錯誤しながら組み立てることで、学習対象の構造を学習可能なシステムとなっている。このシステムは教師用システムも合わせて開発しているが、1-6年生全体をシームレスにカバーできるようになっているかどうかは十分に検討できておらず、教師用システムも診断結果をグラフとして提示しているのみであった。よってドメイン横断システムの構築と、学習者モデルの推定、それに基づく教師用システムの構築が必要である。

また、社会的な課題も存在する。それは問題視されている教員の学生に対する指導力不足と、ITS、すなわちコンピュータを用いた授業運用に関するスキルである。教科担任制ではない多くの小学校においては、こういったシステムを導入する際には、教員の負荷も増大するため、検討が十分に必要である。よってこのようなシステムを用いた授業運用についても蓄積が十分ではない。加えて、2019年度からは COVID-19 が流行しており、実践を主体とする本申請研究は、主にモデル構築と検証の点で実施の困難さが生じた。このことから、学習者モデル自体も、教師が不在であっても対応できるようなモデル構築が必要となった。これはオンライン学習で、学習支援システムを扱っていても、そのフィードバックからは学習を改善できない Wheel-Spinning という問題に取り組むものとなる。

以上の背景から、本研究では、ITS を組み込み、ドメイン横断型（ここでは 1-6 年生を通したシームレスな授業）を実現するためのシステム構築とその授業運用のための授業モデルを構築することで、AI を用いた学習支援システムを教育現場に導入する上で重要な知見を提供できると考え、本研究に取り組んでいる。

2. 研究の目的

申請当初の研究目的としては、継続して開発してきている 1-6 年生の一連の算数文章題を対象とした作問学習支援システムを、1-6 年生でドメインを横断してシームレスに利用し、そこで得られた学習者の情報を教師が授業に活用することができる仕組みを提案することである。この実現のために、(1) 現場において利用しやすいシステムへの改良、(2) 学年間の連携機能の開発、(3) システムを用いた授業モデルの構築と検証を実施する。さらに研究当初の目的として、(4) オンラインのような教師の介入が困難な状況でも円滑に学習できるフィードバックの開発も求められた。

(1) は現場において実際に 1-6 年生での実施を行い、不十分な点をログの分析結果や現場教員の意見や抽出・分析することが目的である。(2) は(1)の分析に基づいて、各種システムを拡張、あるいは開発することが目的である。このシステムは現場教員とも連携して設計する。(3) は(2)のシステムを利用するための授業モデルを構築し、それを検証する実践利用の実施となる。(4) はシステムのフィードバックは理解が難しく、演習に行き詰まってしまう学習者を支援する新たなフィードバックの開発が目的となる。

3. 研究の方法

(1) 全体の計画

本研究では、加減・乗除・四則混合のさまざまなタイプの算数文章題の作問学習支援システムと、その学習結果を可視化する教師用システムを対象としている。これらの仕組みをそれぞれの学習において独立に扱うのではなく、それぞれのドメインの学習を横断して扱えるようにすることが目的である。また、COVID-19 の影響を受けてオンライン授業が主体となってしまったため、その授業にも適用できるような学習者モデルの構築も重要となる。

よって 2020 年度にシステムの現場利用のログを収集し、学習者モデルの構築や、学習支援システムをドメイン横断で利用する上で不足している演習を補うための機能の拡張を検討した。その上で、オンライン授業における学習支援システム運用の問題である Wheel-Spinning (フィードバックが学習者にとって適切ではなく、演習が進まなくなる問題) の解決にも着手した。2021 年度は実際に機能の拡張を行い、ドメイン横断でもシームレスに演習ができるようにシステムの改良や拡充を実施し、前年度の成果報告も進めた。また教師向けに提示する学習者モデル

の構築も並行して進めた。2022年度は、ドメインを横断するために構築したシステムを現場教員に評価してもらうことができた。また、このようなシステムを現場、特に学級担任制の小学校を対象とした実践利用における、システムの導入プロセスに関して取りまとめた。

(2) 利用システムの概説

本研究で取り扱うシステムについて、各種モデルを踏まえて説明する。図1は加減、乗除、四則の各システムの演習画面である。本研究では対象となる算数文章題の構造を三文構成モデルにより定義しており、一つの文章は「数量」、「(数量を表す)概念」、「(存在か関係のいずれを表す数量かを示す)述語」によって量概念として成立している。そして数量の存在を表す文章2つと、それらの関係を表す文章1つが揃い、概念などの対応が取れた際、その算数文章題は成立するというモデルである。図1に示す加減・乗除のシステムはこのモデルに基づいて構築されている。システムはそれぞれの文章(単文)が画面右部に与えられており、ここから3文を取捨選択し、並び替えることで、算数文章題を作成できる。また、これらの3文は、1つの量概念を共通項として組み合わせることで、四則演算も表現することが可能である。よって文章題に対してこれらの概念を組み立てる活動が、図1の四則演算のシステムになる。これらのシステムは学習者が回答時にその回答のフィードバックを自動で生成できる。また、図2に示す教師用システムでは、学習者用システムの正誤や誤りの種類を学習者ごと、クラスごとに確認できるものになっている(実際の学習者のデータであるため、黒塗り)。

本研究の開始時点では、図1のシステムは個別に用意されており、接続課題やその課題の検討などは十分に行われていなかった。また、システムのフィードバックも学習者が回答した際のみであり、フィードバックを得てもわからない学習者は教師が対応する形であった。そのため、学習者の状態推定のためのモデルも、フィードバック時に一時的なもののみを生成するのみであった。



(加減) (乗除) (四則)

図1 加減・乗除・四則のモンサクン学習者用システム



図2 教師用システム

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

研究成果は次の4つに分けられる。(a) ドメイン横断のためのシステム的设计・開発と検証、(b) 教師用システムのための学習者モデル構築、(c) 学習支援システム利用時の学習者の行き詰まり推定と解消のためのフィードバックの開発、(d) 授業へのシステム導入のためのモデル構築である。

まず(a)に関しては、小学校1-6年生の授業実践を実施し、新たにログの収集と現場の演習状況のデータを収集した。そしてこのログの分析結果から、システムを取り扱うのに適当な学年や、モデルに基づく具体的な学習内容の検討などを行なった。また、これらの結果を受けつつ、現場教員との議論も踏まえ、モデル間の接続を行うシステム的设计・開発と教員による評価を実施した。こちらはJSiSEの研究会にて成果報告をしている。

次に(b)に関しては、過去のログと(a)で収集したログに基づき、機械学習等も検討しながら、

学習者の理解状態の推定を進めた。その結果、従来モデルのみでは学習者の振る舞いを厳密にはトレースできないことがわかり、他のパラメータの検討やどの程度の精度が現場での利用において適当かを検討した。これらの結果は人工知能学会（JSAI）の研究会にて継続して成果報告を行なった。

(c) においては、生体情報を用いて学習者の行き詰まりを検出し、行き詰まり時の学習者の状態と学習対象のモデルを組み合わせることで、学習者の行き詰まった理由を推定・フィードバックを返すという新規なフレームワークを提案した。こちらは **International Conference on Computers in Education** という国際会議で報告し、**Best Overall Paper Award** を受賞している。また、**Research and Practice in Technology Enhanced Learning** という国際論文としても採録されている。また、(b)のモデルを用いてより学習者の理解を詳細に捉えるため、学習者が作問をシステムに教えるという形式の学習支援システムも構築しており、こちらは JSAI の研究会で報告している。

(d) に関しては、(a)でも述べた小学校での実践とその分析結果が該当する。この点はシステムを小学校に導入する目的に対する成果であり、教育システム情報学会（JSiSE）にて学術論文として報告している。また、別途学級担任制の小学校におけるシステム導入のための実践利用の知見もまとめており、こちらも教育システム情報学会（JSiSE）にて学術論文として報告している。

(2) 得られた成果の国内外における位置付けとインパクト

我々の開発しているシステムは分野としても新規なものであり、授業現場において広く取り入れられているとは言い難いものであった。よって成果の(a)や(d)で述べたように、1-6年生まで教材ドメインを横断して利用可能な一連のシステムを準備することができたこと、および幾つかの授業導入のための知見が得られたことは、AIを用いた個別学習支援システムを広げていく上で有用な成果が得られたと考えている。加えて、ここで得られたログを用いながら構築している学習者モデルも、同様の取り組みが見られないものとなっている。これは成果の(b)に関連する。

また、**Wheel-Spinning** の解決も踏まえた(c)の成果に関しては、生体情報と教材ドメインのモデルを組み合わせた新規なフィードバック構築のフレームワークであり、国外において国際会議で表彰される評価を得ている。COVID-19の影響もあり普及したオンライン学習において、学習者の個別指導の質を向上させることは重要な課題であることを踏まえると、このようなフレームワークの提案は、今後の学習支援システムの構築においても有用であると考えている。

(3) 今後の展望

本研究を通じて、算数文章題のモデルを中心として、小学校の1-6年生に対応可能な一連のシステムを構築できたことと、システムの小学校導入のための知見を提供できた。また、学習者モデルの構築やその洗練のための演習・フィードバックも実現している。しかし、COVID-19の影響で横断型のシステムの運用はできておらず、教授モデルの構築も、その導入の困難さから実現できていない。そして教師用システムは学習者モデル構築の困難さが残っている。よって今後はこれらの課題に取り組んでいく必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamamoto Sho, Tobe Yuto, Tawatsuji Yoshimasa, Hirashima Tsukasa	4. 巻 18
2. 論文標題 In-process feedback by detecting deadlock based on EEG data in exercise of learning by problem-posing and its evaluation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Research and Practice in Technology Enhanced Learning	6. 最初と最後の頁 028 ~ 028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.58459/rptel.2023.18028	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 -

1. 著者名 平嶋 宗、前田 一誠、岩井 健吾、山元 翔、松本 慎平、林 雄介	4. 巻 39
2. 論文標題 量命題を部品とした算数単的文章題組立作問学習ソフト「モンサクン」の小学校全学年での試験的利用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 教育システム情報学会誌	6. 最初と最後の頁 357 ~ 367
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14926/jsise.39.357	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山元 翔、平嶋 宗、前田 一誠、林 雄介	4. 巻 40
2. 論文標題 単文統合型の作問学習支援システムのスポット的実践利用と学習効果の測定	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 教育システム情報学会誌	6. 最初と最後の頁 48 ~ 53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14926/jsise.40.48	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Sho Yamamoto, Yuto Tobe, Yoshimasa Tawatsuji and Tsukasa Hirashima
2. 発表標題 In-process Feedback by Detecting Deadlock based on EEG Data in Exercise of Learning by Problem-posing
3. 学会等名 The 29th International Conference on Computers in Education (ICCE2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山元翔, 田和辻可昌, 平嶋宗
2. 発表標題 算数文章題における定性・定量モデルを融合した知識状態推定手法の提案
3. 学会等名 人工知能学会 第93回 先進的学習科学と工学研究会(SIG-ALST)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sho YAMAMOTO; Hiroyoshi ENOMOTO; Yusuke HAYASHI; Tsukasa HIRASHIMA
2. 発表標題 Learning by Problem-Posing as Kit-Building for Structure Understanding of Polynomial Factorization
3. 学会等名 The 28th International Conference on Computers in Education (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山元翔, 田和辻可昌, 平嶋宗
2. 発表標題 算数文章題における意味モデルと理解度更新モデルに基づく問題空間の探索プロセスの提案
3. 学会等名 人工知能学会 第96回 先進的学習科学と工学研究会(SIG-ALST)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松野 祐也, 山元 翔, 田中 一基
2. 発表標題 算数文章題の作問学習におけるLearning by Teachingの設計・開発
3. 学会等名 人工知能学会 第96回 先進的学習科学と工学研究会(SIG-ALST)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾坂隆児, 清水拓海, 守山映見里, 平嶋宗, 林雄介, 前田一誠, 山元翔
2. 発表標題 モンサクンと三角ブロックの差分を対象とした接続教材に関する研究
3. 学会等名 教育システム情報学会 2022年度学生研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sho Yamamoto, Yuto Tobe, Yoshimasa Tawatsuji and Tsukasa Hirashima
2. 発表標題 In-process Feedback by Detecting Deadlock based on EEG Data in Exercise of Learning by Problem-posing
3. 学会等名 The 23rd International Conference on Artificial Intelligence in Education (招待講演)
4. 発表年 2022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	平嶋 宗 (Hirashima Tsukasa) (10238355)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授 (15401)	

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