

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25560110

研究課題名(和文) 問題生成と問題解決をリンクする双方向学習の支援と分析

研究課題名(英文) Support for and Analysis of Learning by Coordinating Problem Posing and Problem Solving

研究代表者

三輪 和久 (Miwa, Kazuhisa)

名古屋大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：90219832

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：問題解決と問題生成という双方向の学習活動を相互に結びつけることで、対象領域に対する多角的で、深い理解を導く学習環境を設計、開発した。2つの実践が行われた。ブレ、ポスト両作問フェーズの間に、開発された学習環境による双方向学習を実施して、その効果を検討した結果、両実践において、ブレからポスト作問フェーズに移行することによって、より複雑な問題が生成されるようになった。さらに、参加者の問題解決能力と本学習環境がもたらす学習成果との関係について議論した結果、実践1では、両者の間に明確な正の相関が認められたものの、実践2では、参加者の問題解決能力は学習成果をもたらすことの前提となっていることを支持した。

研究成果の概要(英文)：We developed a learning environment to support participants' problem posing in a formal logic system, natural deduction, by combining problem-posing and problem-solving activities. In the problem posing-phase, the participants posed original problems and presented them on a shared problem database called "Forum," which was accessible to other group members. During the problem-solving phase, the participants solved the problems presented on Forum. This first round of problem posing and solving was followed by a second round of problem posing. We performed two practices: one for undergraduates in a liberal arts college and the other for graduates in a graduate school of information science. The results showed that the participants successfully posed more advanced problems in the second round of problem posing as compared to the first. The empirical data gathered from the two practices indicated a significant relationship between problem-solving and problem-posing abilities.

研究分野：認知科学，人工知能，教育工学

キーワード：学習支援 作問 問題解決 自然演繹 覆面算

1. 研究開始当初の背景

これまで、一般に学習と言えば、問題を繰り返し解くことによる「問題解決」ベースの学習を指していた。近年、このようなスタイルの学習に加えて、「作問」による学習の有効性が指摘されている。作問(問題生成)と「問題解決」は、前者が拡散的、構成的活動であるのに対して、後者は収束的、分析的活動であるという意味において、逆方向の認知処理を伴う学習活動である。

作問に基づく学習の有効性に関しては、比較的古くからその指摘がある。これらの指摘は、数学教育に関わる研究者のみならず、数学者自身によってもなされている。これらを踏まえて、近年では「作問」に関する学習支援システム研究が盛んに行われている。加えて、International Conference on Computers in Education では、2006年以降、毎年のように作問学習のワークショップが実施されるなど、学習支援システム研究コミュニティにおける作問に基づく学習に関する関心は高い。

作問による学習に利益があることが明らかにされる一方で、作問には、特に初学者の取り組みにおいて、多くの困難が伴うことが指摘されている。例えば、大学生に対して、2元1次方程式で解決可能な例題を呈示し、その例題をベースに新たな問題を生成することを求めたところ、異なる構造を持った問題はほとんど生成されないこと、これらの傾向は、教示によって多様な問題を生成することを促すことによって改善されないことなどが明らかにされた。これらの結果は、学習者に多様な作問を行わせることの困難性を示している。

これらの実状を踏まえ、本研究では、グループ学習の枠組みに基づいて、学習者に多様な作問を生成させる学習環境を設計し、それを実現するための計算機システムを開発する。授業実践を通して、本学習環境の特性、および有効性を検証する。

2. 研究の目的

本研究では、問題解決と問題生成という双方向の学習活動を相互に結びつけることで、対象領域に対する多角的で、深い理解を導く学習環境を設計、開発し、授業実践を通してその特性、および有効性を検証する。

3. 研究の方法

本研究では、学習対象として「自然演繹」を取り上げる。自然演繹は、前提となる命題に推論規則を適用し結論となる命題を導く推論方法であり、人間の推論との親和性が高く、論理学や認知科学の授業で幅広く取り上げられ

ている。本研究では、単に学習環境の設計・開発に留まることなく、実際の授業の中での実践を重ねる。

多様な作問を実行させるという目標に関して、本論文で提案される学習環境で重要な点は、以下の2点である。まず、本学習環境では、グループメンバーが生成した問題を、相互に参照しあうことにより、問題のバリエーションを意識させる。一方で、単に他者が生成した表面的に参照するだけでは、それを自己の作問に反映させることは困難である。そこで、他者の生成した問題を実際に自分で解いて吟味させるために、本学習環境では、問題生成と問題解決を切り離さず、両者を一連の学習プロセスの中で接続させる。

これら2つの要件を充足するために、本学習環境は、LtIP (Learning through Intermediate Problems) というグループ学習のデザインを土台として構成される。

生成・解決という2つの学習活動の関係に関わる研究に関しては、認知科学、学習科学においていくつかの取り組みがある。しかし、その多くは、実験室における統制実験アプローチに基づいており、本研究のように現場の授業実践を通して取得される大量の学習データに基づく検討は過去に例がない。

4. 研究成果

4.1 システム開発

学習環境を実現する個々の支援システムの構成を図1に示す。

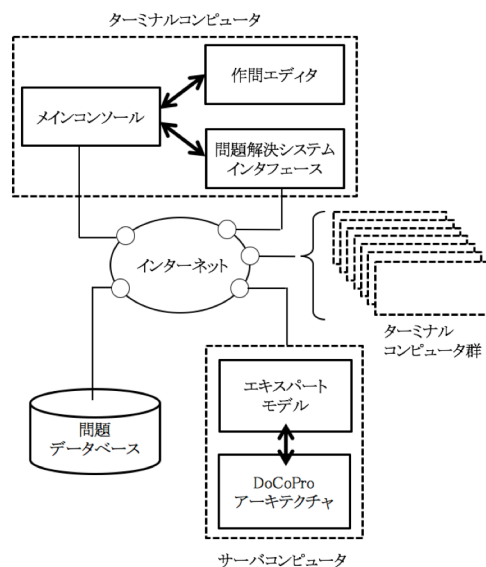
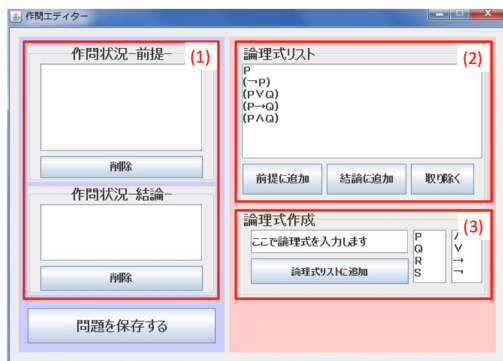
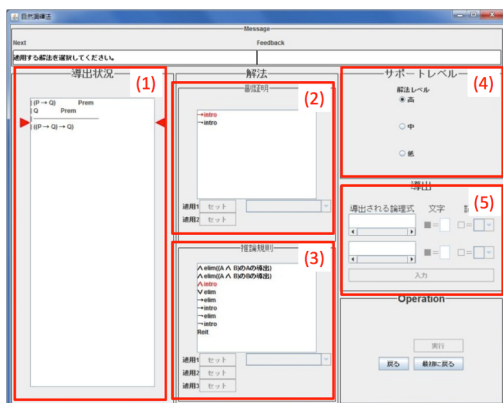


図1 学習環境を構成するシステム群

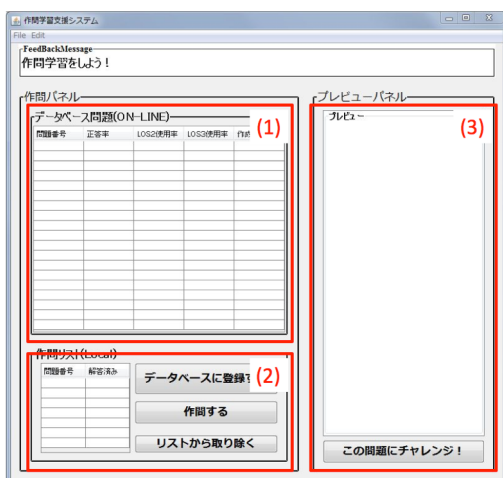
ユーザとのインタフェースを構成するシステムは、問題を生成するための「作問エディタ」、問題を解くための支援システムである「問題解決システム」、および「メインコンソール」からなり、これらはユーザが使用する



(a) 作問エディタのスクリーンショット.



(b) 問題解決システムのスクリーンショット.



(c) メインコンソールのスクリーンショット.

図 2 ユーザインタフェースのスクリーンショット. (a) 作問エディタのスクリーンショット. (1) 作問された問題が表示される. (2) リストに提示された論理式を選択することにより, 問題を生成する. (3) 命題, および論理結合子を組み合わせるとして論理式を作成し, (2) のリストに登録する. (b) 問題解決システムのスクリーンショット. (1) 導出の過程が表示される. (2) 次のステップで適用される攻略法の候補が表示される. (3) 推論規則の候補が表示される. (4) 支援のレベルを高, 中, 低のいずれかに切り替える. (5) 導出過程の論理式を入力する. (c) メインコンソールのスクリーンショット. (1) 他メンバーに公開された問題のリスト. (2) 公開される以前の自分が作問した問題のリスト. 「作問する」ボタンを押下することで, 作問エディタが起動する. (3) 問題のプレビュー画面. リストから問題を選択することによって問題 (前提となる論理式, および導出すべき結論となる論理式) が提示される. 「この問題にチャレンジ」ボタンを押下することにより, 問題解決システムが起動して, その問題を解くことができる.

ターミナルコンピュータから利用される. それぞれのインタフェースのスクリーンショットを, 図 2(a)から 2(c)に示す. 生成された問題は, インターネットを介して, 問題データベースに蓄積され, インターネットに接続された他のターミナルコンピュータから参照可能となる.

4.2 検証実験

2 つの実践を通して, 本学習環境を評価する. 第 1 の実践は, リベラルアーツ系学部に属する大学生に対して開講された授業の一環として実施された授業実践における取り組みである. その実践 1 において, 一定の成果が得られたので, より高度な実践を目指して, 情報系大学院生を参加者とする実践 2 を行った.

プレ, ポスト両作問フェーズの間に, 開発された学習環境による双方向学習を実施して, その効果を検討した.

図 3, および図 4 は, プレ作問フェーズ, およびポスト作問フェーズで生成された問題を解く際に必要となる解決ステップ数, およびルール種類数を示している. いずれの実践においても, ポスト作問フェーズで生成された問題の解決ステップ数は, プレ作問フェーズで生成された問題のそれを上回っていた. ルール種類数に関しても, ポスト作問フェーズで生成された問題を解決するための必要とされるルール種類数は, プレ作問フェーズにおけるそれを上回っていた. 以上より, プレ作問フェーズからポスト作問フェーズに移行することによって, より複雑な問題が生成されるようになったことがわかる.

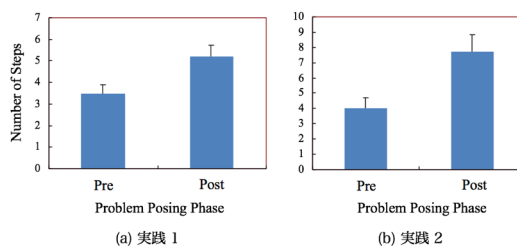


図 5 プレ作問フェーズ, およびポスト作問フェーズに生成された問題の解決に必要なとされる解決ステップ数

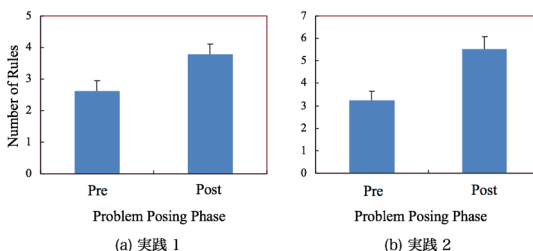


図 6 プレ作問フェーズ, およびポスト作問フェーズに生成された問題の解決に必要なとされる推論規則, および攻略法の種類数

さらに、参加者の問題解決能力と本学習環境がもたらす学習成果との関係について議論した。この点を検討するために、まず問題解決能力の指標としては、実践に先だて行われた問題解決テストの得点を用いた。一方、作問に関する学習成果の指標としては、ポスト作問フェーズにおいて生成された問題の解決に必要なステップ数と、ルール種類数を用いた。

実践の結果、実践1では、両者の間に明確な正の相関が認められたものの、実践2では、参加者の問題解決能力は学習成果をもたらすことの前提となっていることを支持した。この点は、本方法の限界を示すものでもある。本学習環境では、問題解決フェーズを通すことで、参加者の作問のレベルを向上させる。その意味で、学習成果をあげるために、参加者に一定の問題解決能力が必要とされることは、自然な結果である。一方で、本実践の結果は、一定の能力を有することによって問題解決経験を積み、それが作問能力の向上に転移することを示唆するものである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

1. 三輪和久・寺井仁・岡本翔馬. (2015) 生成と解決をリンクさせることによる自然演繹の作問支援. 人工知能学会論文誌, 30, 526-535.

[学会発表] (計4件)

1. Miwa, K., Terai, H., Okamoto, S., & Nakaike, R. (2013). A Learning Environment that Combines Problem-posing and Problem-solving Activities. Lecture Notes in Computer Science (AIED 2013), 7926, pp. 111-120. (2013年6月9日-13日, Memphis, Tennessee, USA)
2. Miwa, K., Shibayama, K., Terai, H. (2015). A learning environment for externalizing procedural knowledge in problem solving. The 8th Workshop on Technology Enhanced Learning by Posing/Solving Problems/Questions, ICCE 2015. (2015年11月30日-12月4日, Zhejiang, China)
3. Miwa, K., Terai, H., Shibayama, K. accepted. Understanding Procedural Knowledge for Solving Arithmetic Task by Externalization. Lecture Notes in Computer Science (ITS 2016). (2016年6月7日-10日, Zagreb, Croatia)

4. 柴山和哉・三輪和久・寺井仁. (2016) 手続き的知識の理解を促進するルールベース認知モデリングシステムの開発と評価. 人工知能学会 第76回 先進的学習科学と工学研究会. (2016年3月6日-7日, 神戸)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三輪和久 (Miwa, Kazuhisa)
名古屋大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号：90219832

(2) 研究分担者

戸田山和久 (TODAYAMA, Kazuhisa)
名古屋大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号：90217513