

平成 26 年 5 月 22 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650536

研究課題名(和文)サーバ・クライアント型学習支援システムの全国展開による足場かけ学習の探求

研究課題名(英文) Investigation of scaffolding learning by the development of a server-client-based intelligent learning system.

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、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：自然演繹を学部学生に教えるための知的学習支援システムを開発した。システムは、学習者に対するscaffoldingとして、次の問題解決ステップにおいて適用すべきルールや、そのルールを適用した結果導かれる推論結果を呈示する。実験を通して、支援の程度を上げてゆくと、課題の遂行成績は上昇してゆく一方、学習効果に関しては、ある一定のところで最大効果を示すと共に、それを超えると逆に効果は減少してゆくことを確認した。

研究成果の概要(英文)：We developed an intelligent tutoring system that teaches undergraduate students Natural Deduction. The system gives students, as scaffolding, recommended inference rules for the next inference step, and inferred results drawn by the applications of the rules. Through experimental investigation, we confirmed that as the levels of support increased, the problem solving performance was raised; but the learning gains reached the maximum at a certain support level, and then decreased with the further extreme learning supports.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・教育工学

キーワード：学習支援 自然演繹 足場かけ アシスタンスジレンマ

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究プログラムの中心概念である Scaffolding は、教育現場の実践の中から生まれてきた支援方法であるといった経緯もあってか、その効用に関する実証的データの多くは、授業実践の中で得られた観察データである。さらなる解明には、Scaffolding に関与すると考えられる要因を仮説的に取り上げ、それらの要因を操作した認知心理学的実験を行い、それらの要因と学習効果との因果関係を同定するといった仮説検証スタイルに基づく実験的検討が不可欠である。

(2) 一方、学習支援システムの設計においても、Scaffolding は重要な理論的基盤を提供している。実際に、Scaffolding という観点から支援の程度を段階的に調整するいくつかの学習支援システムが実現されてきている。しかしながらそのほとんどは、プロトタイプ的試験システムの域に留まっている。現実的な教育課題に対応し、実際の授業の中で実用に供される Scaffolding ベースの学習支援システムを開発し、現実の学習の文脈の中でその機能の効用に関する検討を行うことは、この分野の発展において価値ある挑戦である。

## 2. 研究の目的

学習支援において、“Scaffolding” は 1 つのキー概念となっている。Scaffolding は、「足場かけ」を意味し、学習時の問題解決を自律的に行うことができない学習者に対して、学習が停滞しないように、補助的、過渡的に、問題解決の支援を行うことを意味する。必然的に、Scaffolding においては、「支援のレベルの調整」(多くの場合、徐々に支援のレベルを落としてゆく“fading”と呼ばれる過程を辿る)が重要な意味を持つ。本申請課題では、一般教養の哲学や論理学で広く教えられている「自然演繹」の学習支援を題材として、目的 1: Scaffolding のレベルを調整できる学習支援システムを開発し、大学での授業、および学習者個人に提供すると同時に、目的 2: 実験と実践の両面から、Scaffolding の効用を最大化する条件を明らかにする。挑戦的萌芽研究として、「学習・研究協調型研究」のモデル研究を目指す。すなわち、目的 1 において全国規模で運用されるサーバ・クライアント型の学習支援システムは、目的 2 において Scaffolding 研究のための学習データ収集システムとしても機能する。実験室で行われる要因統制実験によって得られる信頼性の高いデータと、全国をフィールドとして支援システムを媒介して獲得される学習データの大規模データベースを組み合わせることにより、Scaffolding の様相を多角的に明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1) Scaffolding 調整型・自然演繹学習支援シ

ステムを開発する。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応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、一般教育の哲学や論理学の授業で幅広く取り上げられている。本申請課題では、自然演繹を教示する学習支援システムを開発する。システムには、支援の Scaffolding のレベルを多段階で自由に調整できる機能を実現する。開発されたシステムを用いて、実習を通して自然演繹を教える授業実践を行う。

本学習支援システムは、プロトタイプ of 試験システムの域を越えて、自然演繹の実習を行う授業で幅広く使用されることを目指す。そのためには、計算機資源に依存せずシステムが稼働することや、特別なソフトウェアのインストールを必要とせず、素の計算機の上で稼働するシステムであることなどが、実用上極めて重要な要件となる。一方で、自然演繹のような高次の推論をサポートしようとする時、そこには、プロダクションシステムのような適用的な推論を実行できる AI システムが必要とされる。それらの専門的システムは、ハイスペックな計算機資源を必要としたり、特定の OS でしか稼働しない特殊性を持つ場合が多い。関連する複数のシステムモジュールのインストールの煩雑さも、実用上の大きな障害となる。安定稼働のために、様々なメンテナンスが必要となることも少なくはない。

上記のような相反する条件を同時に満たすため、本システムはサーバ・クライアント型のシステムとして実装される。自然演繹の推論支援に関わる処理は、高性能のサーバ上に実現されたプロダクションシステムが担当し、クライアント側は、ブラウザの上で実現されるインタフェースに関わる処理のみを行う。インターネットに接続された計算機環境であれば、特別なソフトウェアのインストールなどの事前準備を一切行うことなく、メンテナンスフリーで利用できる。新旧の計算機が混在している演習室での授業や、性能や OS が異なる個人所有のノートパソコンを持ち寄って行われる普通教室での授業、さらに教室外での自習にも対応する。

(2)

本システムは「演習」を支援することに限定して開発されるシステムである。従って、演習の前提となる推論規則や攻略法の座学を通しての学習が必須である。そのための教科書としては、戸田山の「論理学をつくる」を用いる。同教科書に掲載された 60 余問の例題、演習問題をすべてシステムに搭載し、教科書と演習システムの対応を取る。

その上で、まずは、Scaffolding の効用を、実験的に検討する。開発される学習支援システムは、Scaffolding のレベルを多段階で操作できる機能を有する。従って、この学習支援シ

システムは、同時に実験システムとして機能し、Scaffolding のレベルを操作した多様な実験を行うことが可能になる。本システムを用いて、Scaffolding のレベルを第 1 要因、学習者の推論能力、学習の進度、問題の難易度などの要因を第 2 要因として操作した実験を行い、それらの要因に関する学習の効果を明らかにする。加えて、実際の授業実践を通して、Scaffolding が有効にはたらくための要件を探る。実践は、申請者である三輪の授業で行われる。そこで得られた学習データは、回収され、詳細に分析、検討される。

(3) 本システムは、プロダクションシステムに実装された推論システムが自律的に問題を解決する。従って、システムに最初から用意された演習問題だけではなく、学習者自身が作成・追加した問題をも扱うことができる。以上の特性を生かし、与えられた問題を解く学習から、学習者自身が問題を作りながら学ぶ学習へと展開する。開発されたシステムに、そのための機能を追加し、予備的な実験を行う。

#### 4. 研究成果

(1) 自然演繹を学部学生に教えるための知的学習支援システムを開発した。システムは、学習者に対する scaffolding として、次の問題解決ステップにおいて適用すべきルールや、そのルールを適用した結果導かれる推論結果を、ヒントとして呈示する。学習者は、ヘルプのレベルを調整できる。評価の結果、システムは学習フェーズにおける学習者の問題解決パフォーマンスを改善すると同時に、そこでの改善がポストテストに転移することが示された。また、能力が高い学習者は低い学習者に比して、より低いレベルのヘルプを使用する傾向にあること、また簡単な問題に対しては高度な問題に比して、より低いレベルのヘルプを使用する傾向があることなど、学習者のヘルプ参照の適応行動が観察されることを示した。

(2) 近年の知的学習支援システムは、高度なインタラクティブ性を有し、その支援は多岐にわたる。そのような学習支援において、学習効果を最大化するために、どこまで支援を提供し、どこから支援を保留にすればよいのかという、支援バランスに関わるジレンマ (Assistance Dilemma) が生まれることが指摘されている。このジレンマの発生は、学習志向活動と解決志向活動という学習時に生じる認知活動の二重性に起因する。学習者は、限られた作業記憶の容量を、問題解決を遂行しつつ (解決志向活動)、同時にスキーマ生成のための資源に割り当てなければならない (学習志向活動) という困難な課題に直面し、そこに支援ジレンマの問題の核心が存在する。本論文では、この問題を、主に教育心理学において長年議論されてきた達成目

標理論と、認知科学や学習科学において展開されてきた認知負荷理論という 2 つの理論に基づき再解釈すると同時に、ジレンマ解消という観点から、この 2 つの理論の概要をレビューした。

(3) 支援の程度を大きくして、課題の遂行成績をあげることは、学習支援において重要なテーマであった。一方で、支援を増大させると、問題解決のパフォーマンスは高くなり、課題の「遂行」に関わる認知的活動には正の効果が見られる一方で、知識の機械的適用などが増大し、「学習」を志向する活動が抑制される場合が生じる可能性がある。その状況を示したものが、以下の図である。

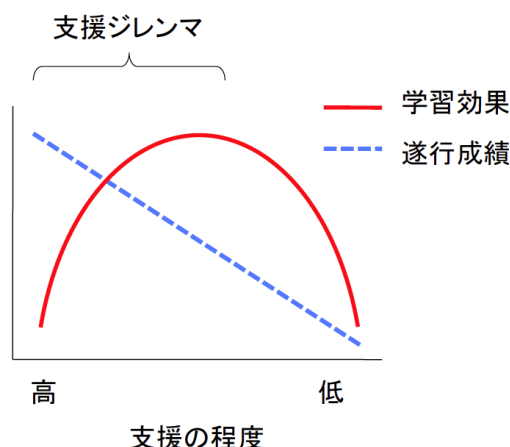


図 Scaffolding における支援ジレンマ

支援の程度を上げてゆくと、課題の遂行成績は上昇してゆく。一方、学習効果に関しては、ある一定のところで最大効果を示すと共に、それを超えると逆に効果は減少してゆくことになる。実験を通して、実際に学習支援の場面で、このような現象が生じることを確認した。これは、学習支援システムにおける Scaffolding を考えるにあたって、その設計原則の土台を与える知見である。

#### 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 3 件)

Miwa, K., Terai, H., Kanzaki, N., & Nakaike, R. in press. An Intelligent Tutoring System with Variable Levels of Instructional Support for Instructing Natural Deduction, Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence.

三輪和久・寺井仁・松室美紀・前東晃礼 in press. 学習支援の提供と保留のジレンマ解

消問題. 教育心理学研究.

Kojima, K., Miwa, K., & Matsui, T. (2013). Supporting Mathematical Problem Posing with a System for Learning Generation Processes through Examples. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 22, 161-190.

〔学会発表〕(計 12 件)

Miwa, K., & Terai, H. accepted. Disuse atrophy based on computer support for cognitive tasks. Lecture Notes in Artificial Intelligence (HCII 2014).

Kojima K., Miwa, K., & Matsui, T. accepted. How Should Examples be Learned in a Production Task? An Experimental Investigation in Mathematical Problem Posing. Proceedings of 36th annual conference of the cognitive science society (CogSci 2014).

Miwa, K., Terai, H., Okamoto, S., & Nakaïke, R. (2013). A Learning Environment that Combines Problem-posing and Problem-solving Activities. Lecture Notes in Computer Science (AIED 2013), 7926, pp. 111-120.

Miwa, K., Terai, H., Kanzaki, N., & Nakaïke, R. (2013). Stoic Behavior in Hint Seeking when Learning using an Intelligent Tutoring System. Proceedings of 35rd annual conference of the cognitive science society (CogSci 2013), pp. 3068-3073.

Miwa, K., Terai, H., & Nakaïke, R. (2012). Tradeoff between Problem-solving and Learning Goals: Two Experiments for Demonstrating Assistance Dilemma. Proceedings of 34rd annual conference of the cognitive science society (CogSci 2012), 2008-2013. [こちら]

Miwa, K., Terai, H., Kanzaki, N., & Nakaïke, R. (2012). Empirical Investigation on Self Fading as Adaptive Behavior of Hint Seeking. Proceedings of the 11th international conference on Intelligent Tutoring Systems, 645-646.

Miwa, K., Terai, H., Kanzaki, N., & Nakaïke, R. (2012). Development and Evaluation of an Intelligent Tutoring System for Teaching Natural Deduction. Proceedings of the 20th International Conference on Computers in Education (ICCE 2012), 41-45.

Miwa, K., Terai, H., Uno, T., and Nakaïke, R. (2011). Empirical Investigation of Assistance Dilemma with a Tutoring System that Can Control Levels of Support. Proceedings of the 19th International Conference on Computers in Education, pp. 55-59.

Kojima, K., Miwa, K., and Matsui, T. (2011). Study on the Effects of Learning Examples through Production in Problem Posing. Proceedings of the 19th International Conference on Computers in Education, 86-90.

〔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〕  
特になし。

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