

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12413

研究課題名（和文）「証拠に基づく立論」を通じた学習に対する内容的診断とそれに基づく支援に関する研究

研究課題名（英文）Support Environment for Evidence-Based Augmentation with Content-Based Diagnosis

研究代表者

平嶋 宗（HIRASHIMA, TSUKASA）

広島大学・工学研究院・教授

研究者番号：10238355

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、論理的思考能力の育成を指向して、（1）立論に関する構造的表現としての三角ロジックモデルの提案、（2）学習者による立論演習環境としての三角ロジック組み立て環境の設計開発、（3）学習者が作成した三角ロジックの自動診断・フィードバックの実現を行った。さらに、この学習環境の利用実験を行い、本環境での演習が統制群との比較において論理的思考力の向上に貢献することを示唆する結果を得た。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to find a promising new method to promote learners' logical thinking. In order to realize the method, (1) structure of augmentation is represented as triangle logic model, (2) an environment where a learner is allowed to build the triangle logic by using components as learner's augmentation were designed and developed, and (3) automatic diagnosis and feedback for triangle logic built by a learner were realized. The environment was evaluated through an experimental use. The results suggest that the use of the environment contributed to improve scores of an investigation test of logical thinking ability.

研究分野：学習工学

キーワード：立論 論理構造 三角ロジック 知的学習支援

1. 研究開始当初の背景

近年、特定の科目や対象に依存しない論理的思考力が重要視されるようになってきている。この論理的思考力の育成に関しては様々な研究が行われているが、そのほとんどが具体的な科目や対象の学習の中で、論理的思考力を育成しようというものであった。このためこれまで論理の構造を直接的に学習の対象とした研究は存在しなかったといえる。また、シーズとして、対象の構造を理解するための有力な方法として、対象の構造を構成する部品を提供し、それを学習者に組み立てさせるという方法がこれまでに提案されており、この方法を論理の構造に適用することによる演習化の可能性があった。

2. 研究の目的

本研究では、より効果的な論理的思考力の育成を目標として、まず論理の構造のモデル化を行った。そして、この構造を組み立てる活動をインタラクティブ化した演習環境を設計・開発した。さらに、この演習の学習効果を実験的に評価した。

本研究では論理的思考力とは何かを直接的に取り扱えてはいないが、論理的思考力の基礎に論理の構造に対する理解が存在し、その論理の構造に対する理解を深めることが、論理的思考力の向上に貢献とすると仮定に基づいて行ったものである。

3. 研究の方法

本研究では、論理構造のモデル一つである Toulmin モデルの簡略版である三角ロジックモデルを用いている。三角ロジックモデルでは論理の構造を三つの命題で合しており、その三つの命題は、それぞれ、根拠、理由づけ、主張の役割を担う。三角ロジックモデルでは、根拠を三角形の底辺左の頂点、理由づけを底辺右の頂点、主張を底辺に対する頂点に割り当てる。三角ロジックモデルで表現された論理の事例を図1に示した。

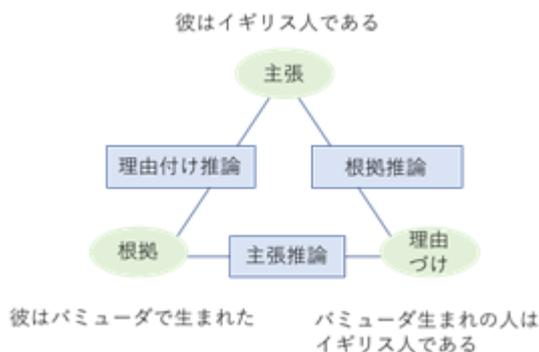


図1 三角ロジックモデルの例

本研究ではさらにこの三角ロジックモデルで取り扱う論理構造を、三段論法の中の仮言的三段論法“(A→B) ∧ (B→C) ⊢ (A→C)”と、定言的三段論法“(A→B) ∧ (B→C) ⊢ (A→C)”に限定する。この限定に

より、根拠が”A→B/A→B”, 理由づけが”B→C/B→C”, 主張が”A→C/A→C”に定まる。これら三つはそれぞれ命題となっており、ここで取り扱う論理構造は三つの命題から構成されることになる。この制限の範囲で三角ロジックを記述すれば、形式的に正誤を判定できることになる。

本研究では、教授者が正しく作成した三角ロジックを命題単位で学習者に提供し、それを学習者に組み立てさせる演習を設計・開発した。これは、学習の対象である論理構造を学習者に操作できるように提供し、学習者が対象の構造の操作を通してその構造に対する理解を深めることを期待するものとなる。このように、理解対象を情報の構造として記述し、その情報の構造を学習者による操作の対象とすることを情報構造オープンアプローチと呼ぶ。

三角ロジックモデルにおける情報構造オープンアプローチのフローを図2に示した。まず教授者が正しい三角ロジックを作成する。これは、教授者三角ロジックと呼ばれる。これを分解することで、三つの命題と、一つの三角ロジックフレームを取り出すことができる。本研究ではこれをキットと呼ぶ。このキットを学習者に提供し、学習者に再構成させる。学習者が再構成した三角ロジックを学習者三角ロジックと呼ぶ。図2の場合では、三つの命題の組み立て方は、3×2×1=6通りある。次章で述べる演習支援システムでは、3つのダミーとなる命題を含めてキットを提供しており、この場合、6×5×4=120通りの組み立て方が存在する。したがって、論理の構成を考えずに組み立てることは難しい課題となる。

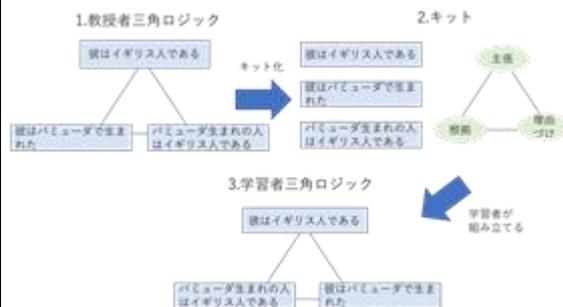


図2 情報構造オープンアプローチのフロー

4. 研究成果

(1) 演習支援システムの開発

三角ロジックモデルに基づき開発した論理組み立て演習環境について説明する。この演習環境では、(i) 提示された三角ロジックの正誤判定を行う演習(正誤判定演習), (ii) 三角ロジックを提供された部品を使って組み立てる演習(組み立て演習), の二つの演習を実装した。組み立て演習はさらに、(ii-1) 二つの命題が配置された三角ロジックと残りの一つの命題の候補集合を提供し、残りの一つの命題を選択・配置する演習(主張推論,

理由づけ推論，根拠推論に対応する) (組み立て演習 1)，(ii-2)一つの命題が配置された三角ロジックと残りの二つの命題の候補集合を提供し，残りの二つの命題を選択・配置する演習 (組み立て演習 2)，(ii-3)命題が配置されていない三角ロジックと三つの命題の候補集合を提供し，適切な命題を選択・配置する演習 (組み立て演習 3) を実装している。

図 3 に正誤判定演習の画面を示した。この演習では学習者は提示された三角ロジックの正誤を判定する。また，誤りの場合には，1 箇所だけ命題が不適切であるようにしてあるため，その 1 箇所を学習者に指定させる。提示された三角ロジックが正しい場合は，画面左側にある「あっている」ボタンを選択する。誤りの場合は，三角ロジック中の間違っている命題を選択した上で，左側の「間違っている」ボタンを選択する。具体的に図 3 の例は，根拠の「カツオは魚である」と主張「カツオは泳ぐ」の 2 つは，理由付け「魚は泳ぐ」があれば正しい三角ロジックとなるが，ここでは理由付けに「泳ぐのは魚である」が配置されているため，これが誤りとなる。この配置で一か所だけ入れ替えて正しくできるのは，理由付けだけであり，箇所の特定が可能である。診断は正誤のみで行っており，フィードバックも正誤のみになっている。間違っていた場合には，再度の回答を学習者に要求し，正解になるまで回答を繰り返させるようにしている。正解の場合は，次の問題に進む。この演習は与えられたものの正誤判定であるので，組み立て演習への導入と位置づけている。



図 3 正誤判定演習

図 4 に組み立て演習 1 の画面を示した。組み立て演習 1 では，二つの命題が与えられた三角ロジックに対して，残り 1 個の命題を与えられた命題リストから選択して配置する。三角ロジックのどこを空欄にするかによって以下の三つの演習に分けることができ，(1)主張推論：与えられた根拠と理由付けから適切な主張を選択する，(2)理由づけ推論：与えられた根拠と主張から，適切な理由付けを選択する，(3)根拠推論：与えられた理由づけと主張から，適切な根拠を選択する。図 4 は主張推論の例に相当し，根拠と理由付けに命題 (カード) がすでに配置されている三角ロジックが提示されており，主張の部分

が空欄となっている。この空欄に，左側に並べられた命題のリスト (カード) から適切なカードをドラッグ&ドロップ操作で選択・配置する。この演習は，予め配置されている命題と整合性のある論理構造となるように一つだけ命題を選択するものであり，単純化された組み立て演習と位置づけている。この演習に行っている診断は正誤だけでなく，フィードバックも正誤だけとなる。この演習においても，正解となるまで回答を繰り返させ，正解となると，次の問題が提示される。組み立て演習 2 および組み立て演習 3 は，三角ロジック中の空欄の数がそれぞれ 2，3 となっていることだけが違いであるため，説明は省略する。



図 4 組み立て演習 1

(2) ダミー命題の用意

本演習環境で用いたダミー命題は，以下のような手順で教授者三角ロジックの作成者が作成した。

(i) 教授者三角ロジックの命題を命題要素に分解し，それらを組み合わせた命題を作成した。たとえば，教授者三角ロジックが“(A→B) ∧ (B→C) ⊢ (A→C)”あるいは“(A→B) ∧ (B→C) ⊢ (A→C)”であるとした場合，A，B，C を命題要素として，教授者三角ロジックにない命題を作成し，ダミー命題候補とした。つまり，B→A，C→B，C→A がダミー命題候補となる。

(ii) 教授者三角ロジックの命題が論理的包含 (A→B) の形式であることから，前提を否定に入れ替えたもの (¬A→B)，帰結を否定に入れ替えたもの (A→¬B) をダミー命題候補とした。

(iii) 正しい命題が (A→B) の場合に，A や B の命題要素と概念的に近い命題要素に置き換えることでダミー命題候補を作成した。

なお，ダミーカードの設定によっては，複数の正しい三角ロジックを作らせる演習も設定可能である。たとえば，上記(1)の例で，C→A，C→B をダミーとして用いれば，元からある命題 A→B を用いることで，“(C→A) ∧ (A→B) ⊢ (C→B)”を作成することが可能となる。しかしながら現在の演習環境では，演習課題としての難易度が上がる，教授者三角ロジック以外を扱う必要が生じ，個々の命題の妥当性が問題となってくる，といったことから，単一の論理構造しか作成できないように

ダミーの選択を行っている。これらのダミー命題の生成、および生成されたダミー命題の中から組み立て課題に用いるダミー命題を選択する仕組み、の自動化については、今後の課題となっている。

(3) 実験評価

①手順

被験者は情報工学系の大学生・大学院生 31 名である。大学生はすべて 4 年生であり、授業としての学部教育は修了している。大学院生は全員学部においても情報工学系の学部教育を受けている。情報工学系の授業は論理的思考力の向上に有用な活動であるとされているプログラミングが重要な柱になっており、一般的な意味において論理的思考力に関する訓練を受けているとみなせる被験者群である。被験者の内訳は演習環境を利用する実験群 15 名と、演習環境を利用しない統制群 16 名である。実験群における手順は、(1)プレテスト、(2)プレテストの 7 日後の演習環境の利用、(3)演習環境利用直後のポストテストおよびアンケート・フロー調査となっている。統制群は、(1)プレテスト(2)プレテストの 7 日後のポストテストとなっている。プレ・ポストテストには、国立教育政策研究所教育課程研究センターが高校生を対象に論理的に思考する力の育成状況に着目して実施した「特定の課題に関する調査（論理的な思考）」で用いられた問題のうち、「一般的な表現形式による問題」（22 問）を用いた。今回は大学生以上に用いるということ、また事前に大学生を対象に行った問題のみを解かせる予備調査では約 40 分で回答できたことから、回答時間を 40 分に設定した。

実験群においては、(2)の演習環境の利用の前に、三角ロジックモデル自体の説明、および、演習環境の使い方の説明を約 10 分間使って行っている。三角ロジックモデルの説明は、事例を用いて、根拠、理由づけ、主張の役割を、それらの三角形の各頂点への割り当てについて説明した。この際、命題の場所を入れ替えると間違いにあることも説明した。この説明は、正誤判定演習に対応するものとなっている。演習環境の使い方としては、事例を用いて、三角形の各空欄に対して、カードを割り当てることで三角ロジックを完成させる演習を行うことを説明している。間違った場合のフィードバックについても事例を見せて説明した。なお、演習に臨む態度、たとえば、じっくり考えよ、あるいはなるべく試行錯誤を繰り返すように、といったような指示はしなかった。また、実験の最中においてシステム利用自体についての質問は出なかった。

②テスト結果の分析

プレテスト及びポストテストの結果を表 1 に示す。演習環境利用の有無を被験者間要因、テストのプレ・ポストを被験者内要

因として ANOVA4 を用いた 2 要因分散分析を行ったところ、交互作用が有意であった ($p=0.0000<.001$)。下位検定 (ANOVA4 に組み込まれた Rayn 法) を行ったところ単純主効果として、プレテストにおいて実験群と統制群の有意差はなく ($p=0.059>0.05$)、ポストテストにおいて有意差が見られた ($p=0.020<0.05$)。また、実験群においてプレテストとポストテストにおいて有意差があり ($p=0.000<0.001$)、効果量大 (Cohen's $d=1.30$) となった。統制群においてプレテストとポストテストにおいて有意差は見られなかった ($p=0.840>0.05$)。今回、プレテスト、ポストテスト共に同じテストであったが、統制群の結果より、ポストテストの成績に対するプレテストを受けた効果はないと判断できる。したがって、実験群におけるポストテストの成績向上は、演習環境の効果であることが示唆される。また、今回の実験は、他の方法との比較とはなっていないが、効果量が大きであったことから演習環境を用いた演習が有力な方法であることが示唆される。

表 1 テスト得点の分析

	プレ (SD)	ポスト (SD)	p 値	効果量(d)
実験群 (15 人)	12.6 (3.5)	16.7 (2.8)	0.000 <.001	大(1.3)
統制群 (16 人)	14.5 (2.2)	14.4 (1.9)	0.840 > .05	
p 値	0.0594 >.05	0.0203 <.05		

③演習時間とテスト結果の分析

本演習では、学習者は正解となる論理構造を組み立てるまで次の課題に進めないようになっている。したがって、演習に関してはすべての被験者がクリアできたことになるが、各被験者で演習を終了するまでにかかった時間（演習時間）は異なったものになる。この演習時間とテスト結果の関係を分析する。本実験での平均演習時間は 27.4 分 (SD=18.3) となり、比較的長時間の演習であったにもかかわらず、被験者で演習を脱落したものはなかった。

演習時間とプレテスト、ポストテスト、およびプレテストとポストテストの成績差についての相関を表 2 に示す。演習時間とプレテストの成績に有意に高い負の相関が出ており、プレテストの時点で成績が悪い場合には、演習を終了するのにも時間がかかっていることを示している。これは、演習が論理的思考を要するものになっていることを示唆する。また、成績が向上した後のポストテストにおいても同様に高い負の相関が現れており、プレテストとポストテストのスコアの差と演習時間にはほとんど相関がなかった。これらのことから、演習を短時間で完了できた（演習が簡単であっ

た) 場合でも, 演習の完了に時間がかかった(演習が難しかった)場合でも学習効果があったことが示唆される.

近畿大学・工学部・助教
研究者番号: 90735268

表2 演習時間とテスト得点の相関

N=15	プレテスト 得点	ポストテスト 得点	得点変化
システム 利用 時間	-0.71 ($p=0.003$)	-0.79 ($p=0.0005$)	0.02 ($p=0.94$)

④今後の展望

本研究では, 三段論法の論理構造についての組み立て演習を実装し, その演習を実施することが一般的な論理的思考能力に関するテストの得点の向上に貢献することを実験的に確認した. 今後は, 演習のプロセス, および利用した論理的思考能力に関するテストとの内容とその得点の変化をより詳細に分析することで, どのような意味において本演習が論理的思考能力の向上に貢献したのかを明らかにしてゆく予定である. さらに, 今回は三段論法のみを取り扱っているが, 本試みが有用であったことから, より多様な論理構造についての演習化を試みることの価値が示されたと考えており, 多様な論理構造および複合的な論理構造を取り扱う研究を今後進めてゆく予定である.

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 3件)

1. 北村拓也, 長谷浩也, 前田一誠, 林雄介, 平嶋宗: 三角ロジックモデルを用いた三段論法の直接操作型学習環境, 人工知能学会 先進的学習科学と工学研究会 (ALST) 第79回, 2017年3月8日, 函館.

2. 北村拓也, 長谷浩也, 前田一誠, 林雄介, 平嶋宗: 論理の三角モデルを用いた三方向論理組み立て活動の設計と演習システムの開発・評価, 人工知能学会 先進的学習科学と工学研究会 (ALST), 2016年11月12日, 東京

3. 北村拓也, 長谷浩也, 前田一誠, 林雄介, 平嶋宗: 論理の三角モデルを用いた三方向論理組み立て活動とその支援環境の設計・開発, 教育システム情報学会全国大会, 2016年8月30日, 宇都宮.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平嶋 宗 (HIRASHIMA TSUKASA)
広島大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 10238355

(2) 研究分担者

林 雄介 (HAYASHI YUSUKE)
広島大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 70362019

山元 翔 (YAMAMOTO SHO)