

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：50101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16109

研究課題名(和文) 論理的思考を指向した記述表現力を育む学習支援環境の開発

研究課題名(英文) Development of a study support environment to nurture the power of description and expression orientated toward logical thinking

研究代表者

倉山 めぐみ (KURAYAMA, Megumi)

函館工業高等専門学校・生産システム工学科・准教授

研究者番号：20710867

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：近年、論理的思考力に注目が与えられている。論理的思考力を育成するものとして証明問題の解決があげられる。証明問題は、分かっていることから分きたいことを論理的に順序立てて考えていくことができる。この考えを基に、論理的思考力の定着を促進し、記述表現できることを目的とする証明問題解決支援システム的设计・開発を行った。証明問題の出題方式として、「カード選択方式」を利用することで、部分から構造を考え、証明を学習していくことができると考えた。
三角形合同の証明問題を対象とし、証明の構造の分析、分析に基づき設計した、カード選択方式の証明問題解決支援システムの開発について行った。

研究成果の概要(英文)：In recent years, the power of logical thinking has received much attention. In the case of proof questions, things (i.e., assumptions or conditions) that one already knows about a given problem lead to conclusions that one wants to know, and the assumptions, conditions, and conclusions are already given. Therefore, this is believed to be easier for nurturing logical thinking when compared with other methods. It was considered possible to learn proofs through utilizing the "card selection method" proposed by Yokoyama et al. and thinking of the structure from the part. Since, in the card selection method, it is essential to examine the cards prepared beforehand, the structure of the proof needs to be clear and it is vital to build a system. In this study, we conducted an analysis of the structure of the proof question regarding the congruence of triangles. On the basis of this analysis, we constructed a solutions-support system that utilized the card selection method.

研究分野：学習支援システム

キーワード：学習支援システム カード選択 証明問題 利用検証

1. 研究開始当初の背景

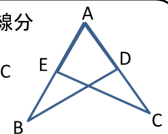
現在、論理的思考力が弱ってきている(1)といわれており、プレゼンテーションや文章の記述といったさまざまな方法を用いて論理的思考力の定着を図っている。この論理的思考力の定着を狙う学習として証明問題もあげられる。証明問題の中でも、中学生が学習する図形の証明は、図1のように、結論を導くのに必要な条件とその条件を使うために必要な要素(仮定等)との関係が明確であり、さまざまな証明問題の基礎となるものといえる。しかしながら、中学2年生を対象とした証明問題の記述に関する調査では、約42%の生徒が何も記述することができず、約18%の生徒が記述はあるが正しく記述できていないことが報告されている。そのため、何も記述していない学習者に向けた図形シミュレーションを利用した支援システムの開発は行われている。しかし、記述しているものの正しく記述することができない学習者に向けた支援システムの開発は行われていないことから、正しく記述できない学習者への支援システムの開発が重要であると考えられる。

そこで、論理的思考力の定着を促進し、証明の記述表現を支援するための2つの手法とその課題を挙げる。

まず、穴埋め方式である。図1に示すように、四角で囲った空欄内に記号や数値部分を穴埋めさせて証明の道筋を示す穴埋め方式は、答えに行きつかせるためには有効である。しかし、問題全体を読まずとも空欄の前後を読むことで答えに行きついてしまうことがあり、結果として目的とする論理的思考力の定着(問題理解から記述表現まで)には至らない場合もある。

次に、カード選択方式である。上記に示した穴埋め方式の欠点を踏まえて、行われるのがカード選択方式である。この方式は、複数の情報を記載したカード(例えば単文が書かれているなど)を組み合わせることで、記述式の答案を完成させていくものである。この方式は穴埋め方式よりも高い学習効果が得られることが知られている。これは学習者が各カードの書かれている内容を把握して、それらを組み合わせて答えを導いていく必要があるためである。しかし、問題に対して組

右の図において、点D,Eをそれぞれ線分AC, AB上の点としたとき、
 $AD=AE$, $\angle ADB=\angle AEC$ ならば $AB=AC$ であることを証明しなさい。



証明:
 $\triangle ADB$ と $\triangle AEC$ において
 仮定から $AD = AE$ ①
 $\angle ADB = \angle AEC$ ②
 共通な角であるから $\angle BAD = \angle CAE$ ③
 ①, ②, ③より、1辺とその両端の角がそれぞれ等しいから
 $\triangle ADB \cong \triangle AEC$
 合同な図形では対応する辺の長さは等しいから
 $AB = AC$

図1:証明問題の例

み合わせる適切な文章が記述されたカードを用意することが大変であるため広く普及していない。

すでに、他の学習内容において、学習支援のためにコンピュータを導入することによって「カード選択方式」を実施し、学習効果を検証する研究に取り組んでいる。その中で、このカード選択方式を利用し、「問題そのものをカードの取捨選択で実施する」研究に取り組んでいる。問題そのものを作れることにより、「問題文の構造を理解し、児童自身が問題文を書くことが可能になった」といえる。以上より、この方法をより複雑な思考を必要とし、構造が複雑な中学の証明問題の記述に適用するための研究である。

2. 研究の目的

近年、論理的思考力に注目が与えられている(1)。論理的思考力を育成するものとして、プレゼンテーションや作文などがあげられるが、その中に、証明問題の解決もあげられる。証明問題は、分かっていることから分かっていけることを論理的に順序立てて考えていくことができることから、他の方法に比べ、論理的思考力を育成しやすいと考えている。この考えを基に、論理的思考力の定着を促進し、記述表現できることを目的とする証明問題解決支援システムの設計・開発を行った。

証明問題の出題方式として、横山ら(2)によって提案されている「カード選択方式」を利用することで、部分から構造を考え、証明を学習していくことができると考えた。カード選択方式は、あらかじめ用意されているカードについて、吟味する必要があるため、証明の構造を明確にした上で、システムの構築が必要となる。

三角形合同の証明問題を対象とし、証明の構造の分析結果、分析に基づき設計した、カード選択方式の証明問題解決支援システムについて報告する。

3. 研究の方法

本研究では、下記の段階を経て研究を行った。

- 図形証明問題の構造と関係性
- 論理的な思考の流れに沿う解決支援システムの設計開発
- 支援システムの利用検証

4. 研究成果

4.1 図形証明問題の構造と関係性

証明問題は、「仮定」と「結論」から成り立っており、結論を導くための条件とその条件を利用するために必要な要素を見つけ、それらを順序に従い記述していくことで解決している。そこで、証明問題、特に三角形の合同条件を利用した証明について図2のように、丸と線を使った表面的な構造について分析を行った。三角形の合同は、3つの仮定から1つの結論が得られるため、図3のように

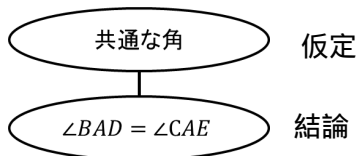


図2 基本構造

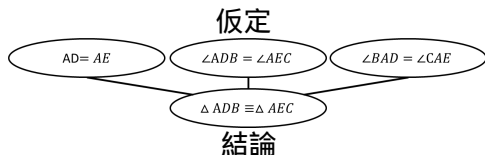


図3 三角形の合同の基本構造

右の図において、点D、Eをそれぞれ線分AC、AB上の点としたとき、 $AD=AE$ 、 $\angle ADB = \angle AEC$ ならば、 $AB=AC$ であることを証明しなさい。

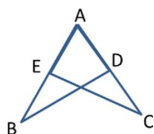


図4 証明問題の例

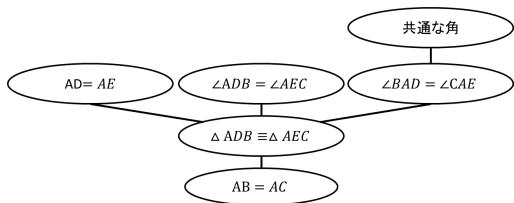


図5 図3の証明の構造

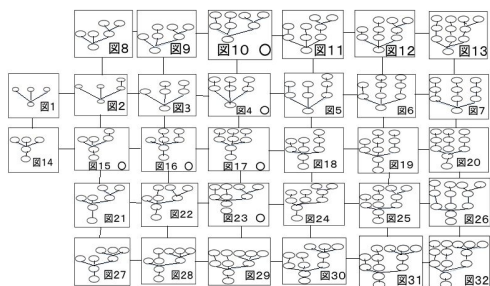


図6 三角形の合同証明の分布図

示すこととした。例えば、図4の問題の証明を構造化すると、図5のようになる。ただし、問題文中で与えられている仮定については省略している。

この記述方法を使い、三角形の合同条件を利用した証明問題について、教科書と問題集に記載されていた問題54問を基本に、図5の分布図を作成した。この分布図は、三角形の合同の証明の基本である3つの仮定と1つの結論を基本の形とし、1つ仮定を増やすことで分布図の作成を行った。そのため、現在調べた証明問題の中で、分布図と合致する構造を保持しているものについては、図中に「が」記されており、合致していないものについて

は、何も記載されていない。また、表面的な構造のみを扱っているため、1つの階層に収まっているが、三角形の合同条件や仮定として与えられている条件によって、さらに分類する必要がある。そのため、今後も分布図の詳細化を行う予定である。

4.2 論理的な思考の流れに沿う解決支援システムの設計開発

カード選択方式を用いた証明問題解決支援システムの実行画面を図6,7に示す。システムが起動するとまず学習者は表示された問題文を読み、ランダムに配置されたカード群からカードを取捨選択し、証明部分の空欄にマウスのドラッグアンドドロップで移動させて当てはめていく。空欄を全て埋めて解答ボタンを押すとシステムは正誤判定を行い、正解の場合は正解メッセージを、不正解の場合は不正解メッセージを表示する。その後、正解の場合は次の問題へボタンが終了ボタンを選択でき、次の問題へボタンを押すと次の問題を表示し先に述べた順序で学習者は問題を解いていき、終了ボタンを押すとシステムを終了する。不正解の場合はカードを選択する場面に戻る。

また、本システムでは、カード群を用意するために正解カードの自動生成を行った。あらかじめデータベースに追加していた中から正解文を読み込み、その文を仮定、条件、結論の三つの型に当てはめる。そして条件にはその前の仮定の情報、結論には条件の情報を付加情報として与える。このことによりそのカードが何を示しているかを明確にした。

段階的な学習をさせるために、カード選択方式の利点を活かし、最初は仮定と条件のみを空欄にして、簡単な問題を解けるようにす

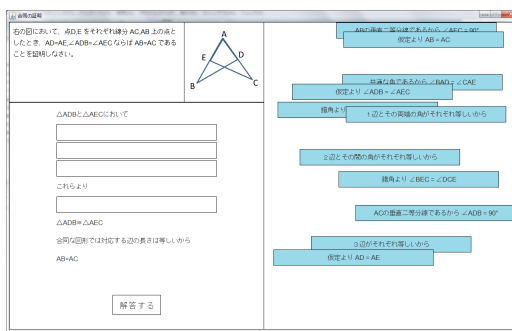


図6 システムの画面 その

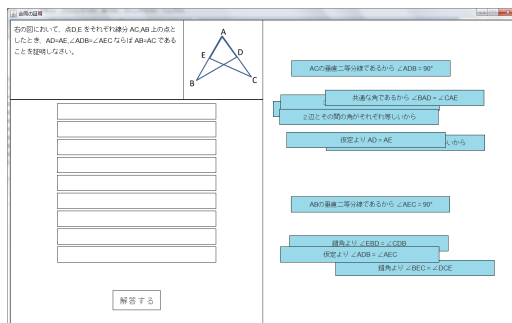


図7 システムの画面 その

る。学習者が学習を進めていくとまずは「与えられた図形が合同である」といった結論、次に結論から導き出される結論を空欄にしていく(図 6)。次々に空欄を増やし、最終的には証明すべてを空欄にする(図 7)。仮定と条件のみを探すのではなく、与えられたカードを自分で並び替えて証明を解くことで、学習者の段階的な学びを促す。学習者が作成した証明の診断では、以下のように行っている。カードにはそれぞれ番号が振り分けてあり、各カードにはその番号を情報として持たせている。空欄番号は正解となるカードの番号と一致するので、空欄にはめ込まれたカードの番号と比較すると正誤判定が行われる。また、仮定から導かれる 3 つの要素のように順番を問わない部分に関してはどの順番でカードがはめ込まれていても正しければ正解と判定を行う。

4.3 支援システムの利用検証

高専 3 年生の学生、計 9 名に対して、システムを利用してもらう実験を行った。実験でははじめに 5 分間のプレテストを行った。問題数は穴埋め式 1 問、記述式 2 問であり、どれも基本的な問題を出題した。仮定 3 つ、合同条件 1 つを採点対象とし、各 4 点、計 12 点満点として採点した。次に、システムを用いて 15 分間学習を行ってもらった。本実験において、システムには中学生の教科書に記載されているレベルに相当する問題 7 問を登録しており、仮定と合同条件のみが空欄となっている。続いて、ポストテストとして、プレテストと同様の設定でテストを実施した。最後に表 1 に示す内容について 3 段階で評価するアンケートを実施した。

表 1 アンケート項目

数学について	
Q1	数学が好きですか？
Q2	証明問題の解き方は覚えていましたか？
学習内容について	
Q3	問題は簡単でしたか？
Q4	論理的に問題に取り組めるようになりましたか？
システムについて	
Q5	システムを使った学習は楽しかったですか？
Q6	またこのシステムを使ってみたいですか？
Q7	操作はしやすかったですか？
実験全体について	
Q8	意見や感想などがあれば自由にお書き下さい。

表 2 にテストの結果を示す。Mann-Whitney の U 検定で両群の成績を比較したところ、有意水準 5%のもとで有意な差があると認められた ($U=67.5, p=0.17$)。このことから、本システムの利用によって証明問題に対する理解が深まり、点数が伸びたと考えられる。次に、図 8 にアンケートの結果を示す。この結果から、このシステムを使った学習自体は

楽しく、また論理的に問題に取り組めるようになった学生の割合は多いことが分かる。一方で、このシステムを使って再度学習したいと考えている学生の割合は少ない。以下に、Q8 の回答の一部をまとめる。

- ・解答を順不同にしてほしい。
- ・図に書き込めるようにしてほしい。

このように、ユーザインターフェース面に対する指摘が多かった。現状のシステムでは、選択しているカードは合っても順番が規定通りでなければ正解とはならない。このようなシステムの煩雑さがこのシステムを用いた学習に対する意欲を削いでいると思われる。

表 2 テスト結果

		プレテスト	ポストテスト
試験成績	4 点	1 人	0 人
	~		
	8 点	2 人	0 人
	9 点	1 人	1 人
	10 点	4 人	2 人
	11 点	1 人	0 人
	12 点	0 人	6 人
平均点		8.89	11.22

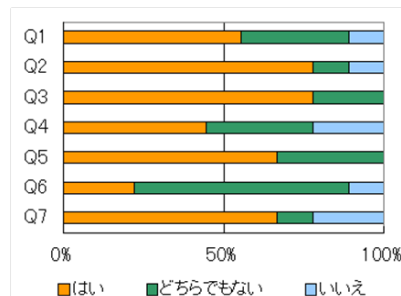


図 8 アンケート結果

<引用文献>

- (1) 牧野智彦, “中学 2 年生による証明の記述に関する研究: 記述された証明の分析を通して”, 日本科学教育学会研究会研究報告, 19(6), pp.29-34, (2005)
- (2) 横山琢朗, 平嶋宗, 岡本真彦, 竹内章: 単文統合としての作問を対象とした学習支援システムの設計・開発, 教育システム情報学会誌, Vol.23, No.4, pp.166-175, (2006)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 5 件)

Megumi Kurayama, “Developing a Geometric Proof Problem-Solving Support System Utilizing Card Selection”, ICCE2017, accept(2017), 査読有
金沢 萌実, 倉山めぐみ, “証明問題解

決支援システムにおけるカード群の自動生成 - 正解カードと証明文の生成 - ”, 教育システム情報学会 2017 年度学生発表会, pp.13 -14 (2018, 3)

金沢 萌実, 倉山めぐみ, “ 証明問題解決支援システムにおけるカード群の自動生成 ”, 教育システム情報学会第 42 回全国大会論文集, pp.423-424 (2017, 8)

倉山めぐみ, 浜本風花, 中村香織, “ 段階的学びを促す証明問題解決支援システムの開発 ”, 教育システム情報学会第 41 回全国大会論文集, pp.353-354(2016, 8)

中村香織, 浜本風花, 倉山めぐみ, “ 証明問題解決支援システムの利用実験 ”, 教育システム情報学会 2015 年度学生発表会予稿集, pp.143-144(2016, 3)

6. 研究組織

(1)研究代表者

倉山 めぐみ (KURAYAMA, Megumi)

函館工業高等専門学校・准教授

研究者番号：20710867