

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：13601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25560075

研究課題名(和文) 中学校数学科における証明の学習状況を改善するための「証明学習ゲーム」の開発

研究課題名(英文) Game Development for the Learning of Proof to Improve the Educational Circumstances
In Lower Secondary School Mathematics

研究代表者

宮崎 樹夫 (MIYAZAKI, Mikio)

信州大学・学術研究院教育学系・教授

研究者番号：10261760

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)：本研究では、既に開発済みの証明学習支援システムの限界を解消するために、本システムをゲームとして開発した。開発にあたり旧システムの主な変更点は次の通りである：、ユーザー登録の改良/構造化されたゴールに関する改良/全体マップの導入/報酬のしくみに関する設定/ストーリー性の導入。特に、構造化されたゴールに関する改良については、二種類の構造化が施されている。第一の構造化は、証明の特徴(根拠とその用い方)に着目し、5つのステージを設定するものである。第二の構造化は、各ステージにおいて問題場面の類似性により問題群を構成し、図形的位置関係など解決の困難さに応じ順序づけるものである。

研究成果の概要(英文)：In order to resolve the limit of the prior system for the learning of proofs, the new system was developed as a game. The main modifications are as follows: improvement of user registration, the refinements of the well-structured goals, introduction of the whole map of five stages, arrangement of rewards, insertion of an attractive story for students. Especially concerning the refinements of the well-structured goals, two manners of structural refinements are equipped. The first generates five stages of problems to be solved in accords with the characteristics of proof (theorems and their handlings). The second generates the problem groups based on the similarity of situations, and arranges the order of these groups in accordance with their complexity (ex. the locations of figures).

研究分野：科学教育学(数学教育学)

キーワード：学習ゲーム 証明 中学校 数学

1. 研究開始当初の背景

(1) 証明の学習状況の改善は国際的な課題

全国学力・学習状況調査によると、我が国の証明の学習状況が望ましくないままになっており、その改善が急務とされ続けている(国立教育政策研究所, 2009)。こうした学習状況は国際的に同様であり、証明の学習状況の改善は国際的に主要な課題として認知されている(ICMI, 2009)。

(2) 証明学習支援システムのゲーム化による改善可能性

科研費(基盤研究(B):平成18~21年度, 課題番号:18330187)により, 論証学習支援システム (<http://www.schoolmath.jp>) を開発済みであった。このシステムでは, フローチャート証明を採用する(図1)。この証明の学習が証明の学習の足場として有効であることが特定されている(湯本, 2007)。同システムには, コンテンツ20題が含まれる。また, 図形の辺などを所定の箇所ドラッグすると, 例えば"AB"と自動的に記号化され, 回答の正誤判定及び修正促進がなされる。

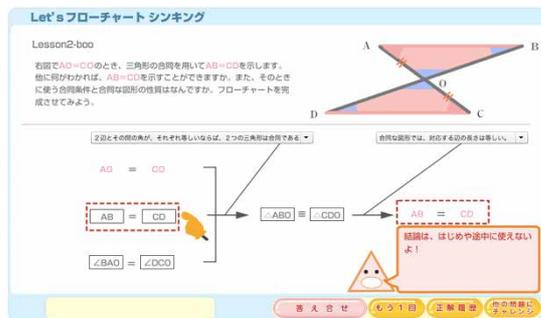


図1 証明学習支援システムのコンテンツ例
授業での学習支援システム利用に加え, 自習や家庭学習で生徒が自律的にシステムを利用することにより, 証明の学習状況が改善される可能性がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、『中学校数学科における証明の学習状況を改善するために, 証明学習支援システムをゲームとして開発する』ことである。

3. 研究の方法

(1) 中学生にとって魅力のあるストーリーの設定

市場にあるゲームにおけるストーリー展開について情報を収集するとともに, 学生の協力を得て中学生にとって身近で興味のもてる場面や展開を設定した。

(2) 証明学習としてのコースウェアの作成

中学生にとって適切な証明学習となるようにストーリーに4つのステージを設け, 各ステージに必要なコンテンツのデザインを証明問題として難易度について考案した。

(3) 獲得できるアイテムとポイント数の設定

各コンテンツでの学習問題に応じ解答レベルとともに, 解答レベルに応じ, 獲得できるアイテムとポイント数を定めた。

(4) 試用による学習ゲームの評価・改善

中学生(中学2年生)による試用の様子をビデオカメラで記録し, アンケート調査を行った。試用状況の分析及びアンケート調査の結果に基づいて, 学習ゲームの改善点を特定するとともに改善策を考案し, それに基づいて学習ゲームを改善した。

4. 研究成果

(1) 証明学習支援システムの特徴と限界の特定

現システムの特徴は, 以下の通りである。

- 図的表示から記号表示への自動変換
 - データベースによる解答の正誤判定
 - 誤りの類型に応じた組織的フィードバック
 - 正解済みの証明のレビュー
 - コンテンツの階層的編成(推論の回数/図形の位置関係/場面の質:オープン,クローズ)
 - 学習指導手引書によるシステムとの連携
- 証明学習支援システム活用のための学習指導手引書 (<http://www.schoolmath.jp>) では, 授業に対応するコンテンツがデジタル版の手引書内で操作可能となっている。

一方, 家庭学習など授業以外で学習者が主体的に利用することについて現システムでは全く考慮されておらず, ここに現システムの限界がある。

(2) ゲーミフィケーションの導入

ゲーミフィケーションとは, 「人々の関心を惹きつけ何かをしたくなるよう動機付け, 学習を促進し, 問題を解決するために, ゲーム固有の仕組み, 美的感覚, ゲーム思考を用いること」(Karl, 2012, p.10)である。ゲーミフィケーションには次の要素が必要である(ibid, pp.28-49): 構造化されたゴール, ルール, コンフリクト/競争/協働, 制限時間, 報酬のしくみ, フィードバック, レベル, ストーリー性, 関心の起伏, 美的センス, リプレイ。既に, 獲得すべき知識の質に応じたゲーミフィケーションの留意点が指摘されている(ibid, pp.167-190)。

(3) 証明学習支援システムのゲーム化

ゲーミフィケーションの視点から証明学習支援システムの変更点は次の通りである。

- ユーザー登録の改良
- 構造化されたゴールに関する改良
- 全体マップの導入
- 報酬のしくみに関する設定
- ストーリー性の導入

① ユーザー登録の改良

本学習ゲームでは, 学校での自習や家庭学習での使用が想定されている。一方, ゲームは5つのステージ, 22個のコンテンツからなるため, 短時間で完了され得るものではなく, 完了までに複数回の断片的な使用が見込まれる。そのため, ユーザーの進捗状況を保存し次回に活かされる仕組みが必要である。そこで, 通常のゲームと同様に, ユーザー登録の上, ログインをする設定を取り入れ, 解

答状況に加え取得したアイテムとポイントなどを保存できるように改良した(図2)。

なお、解答状況のデータは随時サーバーの保存されており、何らかのトラブルでゲームが中断されても、ユーザーは直前のコンテンツの解答状況から再会することができる。



図2 学習ゲームでのログイン

②構造化されたゴールに関する改良

現システムのゴールは、生徒が、三角形の合同に基づく証明のしくみを理解するとともに、解析的/総合的な推論によって証明の構成要素(性質・関係、根拠等)を選択し、証明として組み立てられるようになることである。このゴールを達成するために二種類の構造化が施されている。

第一の構造化は、証明の特徴(根拠とその使い方)に着目し、5つのステージを設定するものである。これにより、証明のしくみの理解が高められていく。

ステージ	証明の根拠とその使い方	コンテンツ数	
I	平行線と角の性質	4	
II	三角形の合同	4	
III	平行線と角の性質 →三角形の合同	6	
IV	三角形の合同 →合同な図形の性質	4	7
	平行線と角の性質 →三角形の合同 →合同な図形の性質	3	
V	平行線と角の性質 →三角形の合同 →合同な図形の性質	1	

表1 証明の特徴に基づくステージの設定

例えば、ステージIIIのコンテンツでは、平行線と角の性質を根拠に2つの角が等しいことが示され、示したことを根拠の1つとして用いて、三角形の合同が導かれる。

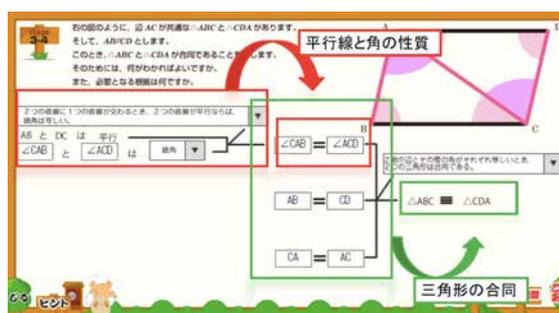


図3 コンテンツ例(ステージIII)

第二の構造化は、各ステージにおいて問題場面の類似性により問題群を構成し、図形の位置関係など解決の困難さに応じ順序づけるものである。例えば、ステージIIIは3つの問題群で構成され、難易度に応じて次のように順序づけられている。

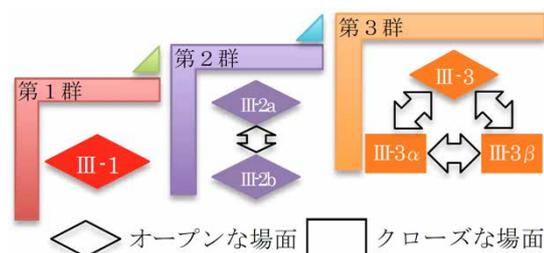


図4 ステージIIIにおける問題群の構成と問題の順序づけ

③全体マップの導入

5つのステージと各ステージにおける問題群の構成及び問題の順序づけに基づいて、全体のマップがログイン時に表示される。このマップにおいて、各円環はコンテンツに該当し、円環のつながりが問題群の構成及び問題の順序付けに対応する。

各コンテンツには解答の種類の数に応じて次のコンテンツに進むための達成条件が設けられており、全体マップでは「クリア」(一定数をみたし次のコンテンツに進むことができる:黄色の円環)と「全クリ」(全ての種類を解答し次のコンテンツに進む:旗付きの円環)が表示される。

全体マップでの表示により、ユーザーは自分の解答状況を視覚的に確認できる。必要があれば、「クリア」のコンテンツを選択し、残り解答の種類を見出し「全クリ」を目指すことも可能である。

なお、ステージVは図5の中央部分に位置し岩で隠されている。ステージIVが完了すると岩が消え、「ボスキャラ」として最終ステージVが表示される。



図5 全体マップ

例えば、ステージⅢは、3つの問題群と各問題群における問題の順序づけが次のように表示される。図6から、ユーザーはステージⅢのコンテンツ6つのうち、はじめの4つに解答し、そのうち2つは「クリア」、残り2つは「全クリア」であることがわかる。



図6 ステージⅢのマップ

④報酬のしくみに関する設定

報酬としての獲得ポイントは、表2に基づいて集計される。ステージにより証明の根拠と使い方が異なるため、正答に対する基準点に100点の差を設けている。また、各ステージのボーナス点は、全コンテンツの正答を全てみつけた場合に付加される。

ステージ	基準点	正答数	ボーナス点	合計
I	100	24	1000	3400
II	200	16	1100	4300
III	300	15	1200	5700
IV	400	23	1300	10500
V	500	9	1600	6100

表2 報酬としてのポイント

ステージVまでクリアされると、ゲーム完了とみなされ、『修了証』が表示される。



図7 ゲーム完了時に表示される『修了証』

⑤ストーリー性の導入

改良されたシステムでは、ストーリーとして“クマの夫婦がパン屋を開くために必要な材料や道具等を妖精の住む森で集める”という物語を採用している。この物語の詳細については、ログイン時に解答状況を確認する画面(図8)で「STORY」をクリックすると表示される(図9)。



図8 ログイン時の解答状況確認画面



図9 ゲームで採用されている物語の紹介
各ステージには、固有のキャラクターが設定されており(図10)、各コンテンツの解答前に、「クリア」と「全クリア」の条件がキャラクターによって告げられる(図11)。



図10 各ステージのキャラクター



図11 解答直前での到達条件の表示

各ステージで入手できるアイテムの種類には違いがある。例えば、ステージIではパン作りの材料(小麦粉、イースト等)が手に入り、ステージVでは開店に必要なもの(焼き窯、営業許可書等)が手に入る。

(4)今後の課題

- ・ゲーミフィケーションの更なる導入(コンフリクト/競争/協働/制限時間など)
- ・解答困難な状況に対するアドバイス
- ・獲得ポイントに応じた報酬の多様性
- ・HTML5 platformでの再開発
- ・英語版、中国語版の開発

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 11件)

- ① Miyazaki, M., Fujita, T. and Jones, K. (2015). Flow-chart proofs with open problems as scaffolds for learning about geometrical proofs, ZDM, 47(7), 1211-1224. (査読有) DOI: 10.1007/s11858-015-0712-5
- ② 宮崎樹夫 (2015). 学校数学における学力の顕在化:「活用する力」と「数学的に考える力」の関係から, 日本数学教育学会第3回春期研究大会論文集, 121-126 (査読無)
- ③ Miyazaki, M., Fujita, T., and Jones, K. (2014). Functions of Open Flow-chart Proving in introductory lessons of formal proof. In Liljedahl, P., Oesterle, S., Nicol, C., & Allan, D. (Eds.) Proceedings of the Joint Meeting of PME 38 and PME-NA 36, Vol. 4, pp. 225-232. Vancouver, Canada: PME. (査読有)

- ④ Jones, Keith, Fujita, Taro and Miyazaki, Mikio (2013) Learning congruency-based proofs in geometry via a web-based learning system. *Proceedings of the British Society for Research into Learning Mathematics*, 33, (1), 31-36. (査読無)

[学会発表](計 9件)

- ① 宮崎樹夫, 市川大輔, 松岡 樂, 岩永恭雄 (2015). 中学校数学における課題探究として証明することの授業化: 第2学年の内容「平行線と角の性質」, 「多角形の角についての性質」, 日本科学教育学会年会論文集 39, pp. 115-118. 山形大学, 2015/8/21-23
- ② Keith Jones, Mikio Miyazaki and Taro Fujita (2015). Aspects of scaffolding in a web-based learning system for congruency-based proofs in geometry, 12th International Conference on Technology in Mathematics Teaching, University of Algarve, Faculty of Sciences and Technology, 2015/6/24-27
- ③ 宮崎樹夫, 松岡樂, Taro Fujita, Keith Jones (2014). オープンなフローチャート証明をすることの効果と限界, 日本科学教育学会年会論文集 37, pp.333-334, 2014/9/13-15.
- ④ 宮崎樹夫, 遠藤美奈, 大島正人, 後藤稚佳子, 村上陽一, 中学校数学における, フローチャート証明学習支援システムの改良:ゲーミフィケーションの試み, 日本科学教育学会年会, 三重大学, 2013年9月18日
- ⑤ Mikio Miyazaki, Keith Jones, and Taro Fujita (2013). A WEB-BASED LEARNING SYSTEM FOR CONGRUENCY-BASED PROOFS IN GEOMETRY IN LOWER SECONDARY SCHOOL, ICTMT11, University of Bari, 2013/7/9-12.

[図書](計 2件)

- ⑥ Miyazaki, M. and Fujita, T. (2015). Proving as an explorative activity in mathematics education: new trends in Japanese research into proof. In Sriraman, B. (Eds.), First Sourcebook on Asian Research in Mathematics Education: China, Korea, Singapore, Japan, Malaysia and India (International Sourcebooks in Mathematics and Science Education), 総ページ数 1767 (pp. 1375-1407), Charlotte, NC: Information Age Publishing. (ISBN: 1623960290)

[その他]

ホームページ等

- Let's try flowchart thinking
<http://www.schoolmath.jp/game/fc/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

宮崎 樹夫 (MIYAZAKI, Mikio)
信州大学・学術研究院教育学系・教授
研究者番号: 10261760