

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：13601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12375

研究課題名(和文) 家庭学習のための、ゲーミフィケーションに基づく課題解決型証明ゲームの開発

研究課題名(英文) Development of Learning game of Explorative Proving based on Gamification for Homeschooling

研究代表者

岩永 恭雄 (Iwanaga, Yasuo)

信州大学・教育学部・名誉教授

研究者番号：80015825

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、課題解決型証明の学習ゲームを開発するために、はじめに、開発済みの証明学習ゲームを分析し、その限界と改善の方向性を特定した。次に、新ゲームの基本設計として主に次の2点を採用した：証明に必要な定理を証明構成の単位(“定理ブロック”)とすること/フローチャート証明のフレームを構築するために、定理ブロックの連結、不要な定理ブロックの消去を実現すること。最後に、この基本設計に従って、定理ブロック2つを連結するコンテンツと、定理ブロック3つを連結するコンテンツを製作するとともに、検証によって基本設計に改善を加えた。

研究成果の概要(英文)：In order to develop a learning game of explorative proving, this study firstly analyzed the ready-made game for proof learning, and specified its limitations and the direction of its improvement. Next, the basic design of the game adopted two issues as follows; a theorem was regarded as a unit of proof construction (“Theorem Block”), connecting theorem blocks and deleting a unnecessary block were capable. Finally, according to this design, the digital contents that enable to connect two theorem blocks, and the ones enable to connect three theorem blocks were produced, and then the basic design was improved in accordance with the results of verification.

研究分野：数学

キーワード：課題探究 証明 ゲーミフィケーション 家庭学習

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

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
PISAにより欧州での証明力の低下が注目されるようになり、我が国の証明研究及び授業実践が強い関心を集めている(ICMI, 2009)。しかし、全国学力・学習状況調査によると、我が国における証明の学習状況は決して望ましいものではなく、その改善が喫緊の課題とされている(国立教育政策研究所, 2010)。

(2)次期学習指導要領改訂における「課題解決力」の育成重視に込める

国内では、次期学習指導要領改訂に向けて資質・能力として課題解決力「構想を立て実践し評価・改善する力」の育成が求められており、中学校数学科の証明学習を課題解決型として展開する研究が日本数学教育学会で行われている。課題解決型証明学習の実現には、学習者が主体的に取り組むことができる学習コンテンツが必要であり、その開発が強く求められている。

2. 研究の目的

本研究では、家庭での中学生による証明の学習を改善・充実するために、開発済みの証明学習コンテンツを、課題解決型証明の学習ゲームとして開発することを目的とする。

3. 研究の方法

前記の目的を達成するために、ソフトウェア開発方法論のウォーターフォール・モデルを採用し、具体的に次のように進めた。

- 課題解決型証明の学習ゲームの概念規定
- 概念規定に基づく課題解決型証明学習ゲームの基本設計の確定
- 基本設計に基づくコンテンツの製作
- 検証による基本設計の改善
- 改善された基本設計に基づくコンテンツの制作
- 検証による基本設計の再改善

4. 研究成果

(1)旧学習ゲームの分析

①フローチャート証明の採用

フローチャート証明は、普遍例化と仮言三段論法を区別して、前提と結論の演繹的な関係をフレームで図解したものである(図1)。形式的証明の導入期で、証明のしくみを捉えるために用いられている(Miyazaki, Fujita, & Jones, 2015)。

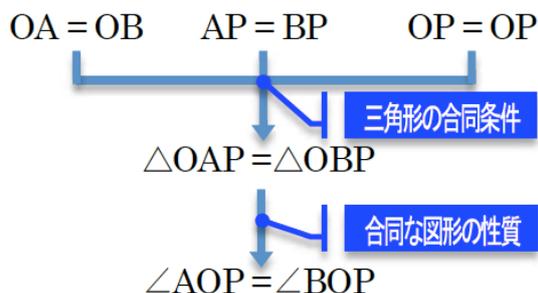


図1 フローチャート証明(例)

②旧学習ゲームの特徴：フレーム固定型

開発済みの学習ゲームでは、20個の学習コンテンツからなり、そ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
- 正解済みのフローチャート証明のレビュー
- 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)

開発済み学習ゲームは、ゲーミフィケーションの概念(「人々の関心を惹きつけ何かをしようとするよう動機付け、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))に基づいて、前記の学習コンテンツを編成したものであり、その特徴は次の通りである。

- 学習コンテンツの再構造化
- 報酬のしくみの採用
- ストーリー性の導入

③旧学習ゲームの限界と改善の方向性

旧学習ゲームでは、フローチャート証明のフレームがはじめから表示されている(図2)。これにより、証明を構想すること、即ち、証明の前提と結論を結びつけるために、演繹的な推論をどのように組み合わせればよいかについて学習者が自分で検討・考察する可能性が制限されている。

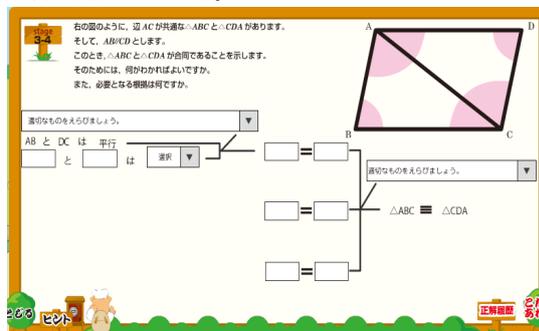


図2 旧システムのコンテンツ(例)

証明を構想し構成する学習を充実し、課題解決型証明学習を実現するためには、フローチャート証明のフレームそのものを学習者が構築できるようにすることが必要である。ここに学習ゲームを改善する方向性を見出すことができる。

(2)新学習ゲームの基本設計

①“定理ブロック”

証明を構想するには、結論から前提に向かって解析的に推論することと、前提から結論に向かって総合的に推論することが必要である。いずれの推論も普遍例化に基づくため、ある命題の十分条件/必要条件を探る際、定理(全称命題)が基軸となる。そこで、新学習ゲームでは、フローチャート証明のフレームを画面に提示せず、学習者が証明に必要な定

理を組み合わせることで、フレーム自体を構築できるように設計した。

定理は前件と後件からなり、その定理に応じて一定の型を有している。例えば、定理「3組の辺が、それぞれ等しいとき、2つの三角形は合同である。」は3つの前件と1つの後件からなるので、図3の型を有している。

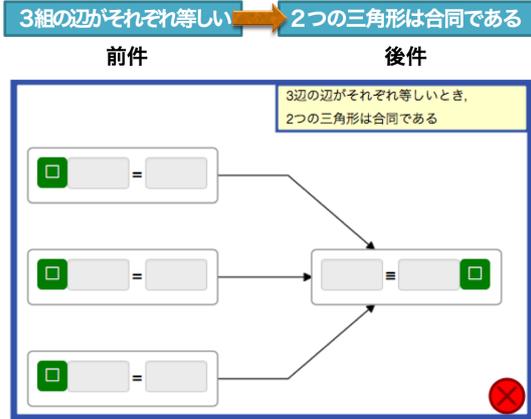


図3 定理ブロックの例（その1）

また、定理「合同な図形では、対応する角の大きさは等しい。」は1つの前件と1つの後件からなるので、図4の型を有している。

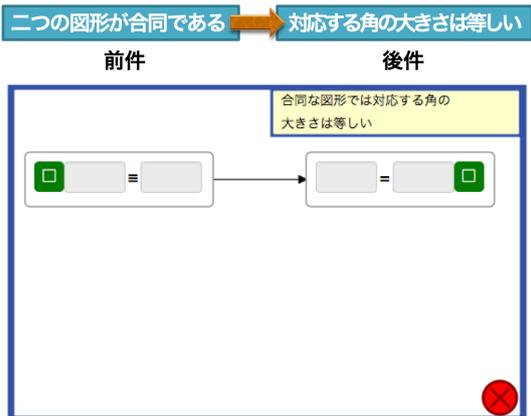


図4 定理ブロックの例（その2）

こうした様々の型の定理を組み合わせて証明を構想・構成していくことから、新システムでは、これを“定理ブロック”と呼ぶことにした。

②定理ブロックによるフレームの構築

フローチャート証明のフレームを構築する過程では、定理ブロックの連結とともに、不要な定理ブロックの消去が必要となる。そこで、定理ブロックの両端にボタン(緑□)を設定し、定理の前件/後件を結合点として新たな定理を連結できるようにする。また、定理ブロックの隅にボタン(赤×)により、不要となった定理ブロックを消去できるようにする。

例えば、証明問題「 $AB=AC$, $\angle DAB=\angle DAC$ のとき、 $\angle ABD=\angle ACD$ を示します。次のフローチャート証明を完成させてみよう！」では、はじめに定理ブロック「合同な図形では対応する角の大きさが等しい」が追加され、次に必要な角と三角形を図から自動変換で入力されている(図5)。

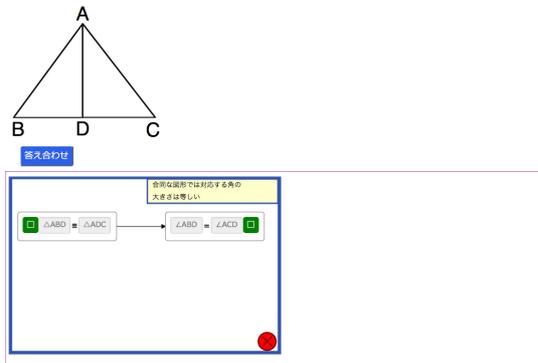


図5 定理ブロック（合同な図形の性質）

続いて、この定理ブロックの前件「 $\triangle ABD \cong \triangle ADC$ 」を導くために、ボタン(緑□)により定理ブロック（三角形の合同条件（三辺相等））が、定理ブロック（合同な図形の性質）の左側に連結されている(図6)。

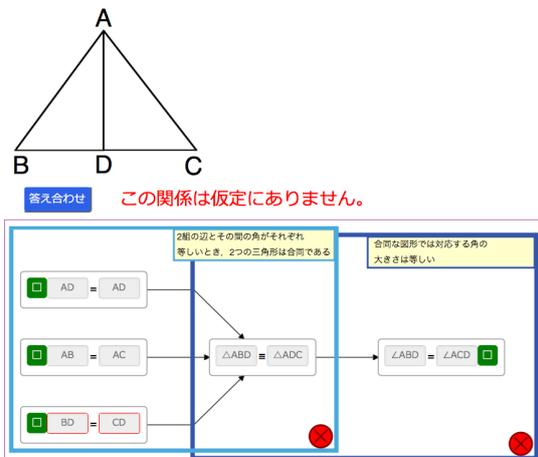


図6 2つの定理ブロックの連結

この証明問題では、三角形の合同条件として三辺相等を用いると仮定「 $\angle DAB=\angle DAC$ 」が用いられなくなる。そこで、合同条件を二辺挟角相等に変更するために、定理ブロック（三角形の合同条件（三辺相等））の消去が必要となる。この消去は、この定理ブロックのボタン(赤×)により実行可能となる。

(3)基本設計に基づくコンテンツの制作

①定理ブロック2連結型コンテンツの制作

基本設計に基づいて、証明問題「 $AB=AC$, $\angle DAB=\angle DAC$ のとき、 $\angle ABD=\angle ACD$ を示します。次のフローチャート証明を完成させてみよう！」について、フローチャート証明のフレーム構築に定理ブロック2つの連結を要するコンテンツを制作した。(図6参照)

②定理ブロック3連結型コンテンツの制作

基本設計に基づいて、証明問題「直線 AB と直線 DC が平行、 $AB=DC$ のとき、 $DA=CB$ を証明します。フローチャート証明を完成させてみよう。」について、フローチャート証明のフレーム構築に定理ブロック3つの連結を要するコンテンツを制作した。

なお、3連結型コンテンツでは、操作の簡潔性を高めるために消去ボタン(×)が定理ブロックの名称の右隣に移動された(図7)。

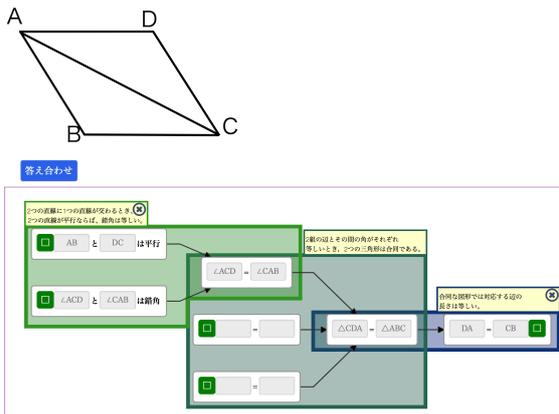


図7 定理ブロック3連結型コンテンツ

(4) 検証による基本設計の改善

製作したコンテンツを検証したところ、定理ブロック2連結型コンテンツについては、フィードバックのメッセージを微調整する必要はあるものの、順調に動作した。これに対し、定理ブロック3連結型コンテンツについては、フローチャート証明のフレームを構築する過程で、3つの定理ブロックのうち中間のブロックの変更が必要となることがあり、この状況にコンテンツが十分対応できていないことが明らかになった。

そこで、定理ブロックの名称の右隣に、消去ボタン(×)とともに、定理を変更するボタン(丸矢印)を付すことにした。なお、中間の定理ブロックについては、この消去によりフレーム全体が壊れてしまうため、定理を変更するボタンのみを付すことにした。

(5) 改善された基本設計に基づくコンテンツの制作

基本設計に基づいて、証明問題「直線 AB と直線 DC が平行、 $AB=DC$ のとき、 $DA=CB$ を証明します。フローチャート証明を完成させてみよう。」について、フローチャート証明のフレーム構築に定理ブロック3つの連結を要するコンテンツを再制作した。

このコンテンツでは、定理ブロックの名称の右隣に、消去ボタン(×)と、定理を変更するボタン(丸矢印)がある(図8)。また、中間の定理ブロックには、定理ブロックの名称の右隣に定理を変更するボタンのみがある(図9)。

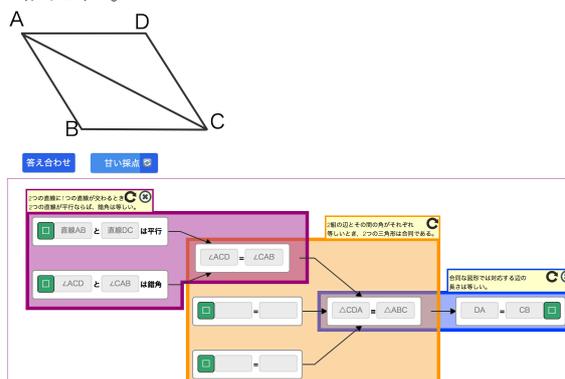


図8 再制作されたコンテンツ

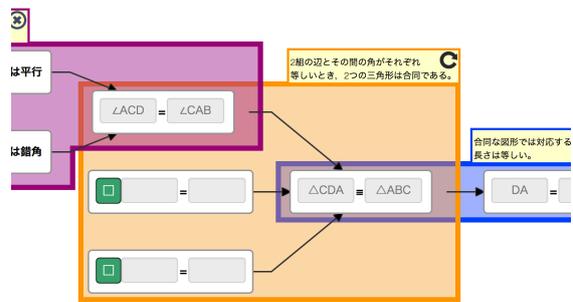


図9 定理を変更するボタン

(6) 残された課題

- ・ フレーム構築型コンテンツの量産
- ・ フレーム構築型コンテンツによる学習ゲームの構成
- ・ フレーム構築型学習ゲームによる学習効果の特定

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計15件)

- ① Miyazaki, M., Fujita, T., Jones, K., & Iwanaga, Y. (2017). Designing a Web-based Learning Support System for Flow-chart Proving in School Geometry. Digital Experiences in Mathematics Education, 3(3), 233-256. doi:10.1007/s40751-017-0034-z (国際共著, 査読有)
- ② Muramatsu, H. (2017). Trends of Technology Education in Compulsory Education in Japan, Journal of Robotics and Mechatronics, 29(6), 952 - 956. (査読有)
- ③ Miyazaki, M., Fujita, T. and Jones, K. (2017). Students' understanding of the structure of deductive proof, Educational Studies in Mathematics, 94(2), 223 - 239. (国際共著, 査読有) DOI: 10.1007/s10649-016-9720-9
- ④ 宮崎樹夫 (2016). 数学的事象に関する課題探究を実現する学力の特定: 事柄/証明/体系の生成に着目して, 日本数学教育学会 第4回春期研究大会論文集, 237 - 242. (査読無)
- ⑤ 村松浩幸, 原山千秋, 原山康則 (2016). 中学生に栽培技術におけるトレードオフの理解を促すシナリオゲーム教材の開発, 日本教育工学会論文誌, 40, 173 - 176. (査読有)
- ⑥ 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. (国際共著, 査読有) DOI: 10.1007/s11858-015-0712-5

[学会発表] (計23件)

- ① 宮崎樹夫, 清水静海, 岩永恭雄, 市川大輔 (2017). 課題探究として証明することを実現する指導法開発: 指導法開発の意味, 日本数学教育学会 第5回春期研究大会, 2017.
- ② Miyazaki, M., Fujita, T., Jones, K. and Ichikawa, D. (2017). Identifying Local Proof

‘Modules’ during Proving, the 41th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (国際会議). 2017.

- ③ 藤牧泰輔・林康成・村松浩幸・蛭田直 (2017). 小学校を対象とした理科においてプログラミングを導入した授業の開発, 日本産業技術教育学会技術教育分科会研究会. 2017.
- ④ Miyazaki, M., Nagata, J., Chino, K., Fujita, T., Ichikawa D., Shimizu, S, & Iwanaga Y. (2016). Developing a Curriculum for Explorative Proving in Lower Secondary School Geometry, Proceedings of the 13th International Congress on Mathematical Education (国際会議). 2016.
- ⑤ 宮崎樹夫, 村松浩幸, 岩永恭雄 (2016). 中学校数学における, 証明学習支援システムの刷新: “定理ブロック”の活用による, 証明を構想する活動の充実, 日本科学教育学会第40回年会. 2016.
- ⑥ 村松浩幸, 門田和雄 (2016). 教員養成学部におけるデジタルクラフト導入モデルの提案, 日本産業技術教育学会, 2016.
- ⑦ 宮崎樹夫, 岩永恭雄, 松岡樂 (2015). 課題探究として証明することのカリキュラム開発: 我が国の中学校数学科全領域における開発枠組みの構築, 日本数学教育学会第3回春期研究大会. 2015.
- ⑧ Muramatsu, H., Shimada, H., Tanaka, S., Hirouchi, D., Yatsuka, M., Mizuguchi, T. (2015). Development of a Disaster Prevention Education Database Based on the Objectives Taxonomy of Disaster Prevention Education, International Conference on Industrial Technology (国際会議). 2016.

[図書] (計3件)

- ① 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) (pp. 1375–1407), Charlotte, NC: Information Age Publishing. (ISBN: 1623960290) 総ページ 924 pp (査読無)
- ② 村松浩幸 (2016). 9.2 体験的知的財産学習によるロボット製作学習. In 『イノベーション力育成を図る中学校技術科の授業デザイン』 (pp. 271 – 280), ジーアス教育新社. (ISBN978-4-86371-357-4) 総ページ 312pp (査読無)

[その他]

- ・定理ブロック2連結型コンテンツ
サンプル (二等辺三角形の性質)
<http://shinshu-u-math-proof.jsl.co.jp/20180305/>

- ・定理ブロック3連結型コンテンツ
サンプル (平行四辺形の性質)
<http://shinshu-u-math-proof.jsl.co.jp/20180305/#shapeV-5.svg>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩永 恭雄 (IWANAGA, Yasuo)
信州大学・教育学部・名誉教授
研究者番号: 80015825

(2) 研究分担者

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

村松 浩幸 (MURAMATSU, Hiroyuki)
信州大学・学術研究院教育学系・教授
研究者番号: 80378281