

グラフを用いた問題解決プロセスを導入した 論理的思考力育成システム

田中鈴乃¹ 内田智之^{2, a)} 川本佳代^{2, b)} 宮原哲浩^{2, c)} 鈴木祐介^{2, d)}

概要: 近年、急速な情報化やグローバル化といった社会の変化に対応した人材を育成するために、効果的な論理的思考力の育成方法が必要とされている。文章問題の本質を直感的に捉えやすい図またはグラフで表現し抽象化(モデル化)するプロセスは、問題の論理構造を考えることのできる作業であるため、論理的思考力の育成が期待できる。そこで、本研究では、問題の本質をグラフで表現して問題解決へ導くプロセスを用いて論理的思考力の育成を行うシステムを提案する。さらに、Android 端末上のアプリとして実装した提案システムの評価実験とアンケート調査を用いて提案システムの有効性を示す。

キーワード: 論理的思考力, グラフ理論, 学習支援

A System for Fostering Logical Thinking Abilities by Introducing Problem Solving Processes Using Graphs

Suzuno Tanaka¹ Tomoyuki Uchida^{2, a)} Kayo Kawamoto^{2, b)}
Tetsuhiro Miyahara^{2, c)} Yusuke Suzuki^{2, d)}

Abstract: In order to develop human resources who can respond appropriately to rapid social changes such as computerization and globalization, an effective method of fostering logical thinking abilities is necessary. A graph is known to be a useful expression tool for grasping intuitively the essence of a problem. This fact suggests that the process of creating graphs that express the essence of a problem can be useful to foster logical thinking abilities effectively. Therefore, in this paper, we propose a system that fosters logical thinking abilities using a process of creating graphs expressing the essence of a given problem and solving the problem. Then, in order to show the effectiveness of the proposed system for fostering the logical thinking abilities, we report the results of evaluation experiments and questionnaires obtained using the proposed system implemented as an application on Android tablets.

Keywords: Logical Thinking Ability, Graph Theory, Study Support

1. はじめに

論理的思考力とは、道理や筋道に沿って思考を巡らせて結論を導いたり、複雑な事象を分かりやすく説明したりすることができる能力のことである。現代社会において、論理的思考力は最も重要な能力の一つである。例えば、21世紀の市民に必要な力である批判的思考の中に「証拠に基づく論理的に偏りのない思考」として論理的思考が挙げられている[1]。また、大学生が卒業するまでに最低限身につけなければならない学士力の中の汎用的スキルの一つとしても、論理的思考力が挙げられている[2]。とりわけ最近の急速な情報化やグローバル化といった社会の変化に対応した人材を育成するために、効果的な論理的思考力の育成方法が必要とされている。この現状をふまえ、川本ら[3]は平面

図形問題を用いた論理的思考力育成支援システムを開発した。図形を用いて表現された問題は、その論理構造を直感的に捉えやすく、図形の性質や関係を論理的に考察し表現することを通して論理的に考える力や表現する力を育成することに適している。同様に、文章問題の本質を直感的に捉えやすい図またはグラフで表現し抽象化(モデル化)するプロセスは、その問題の論理構造を考えることのできる作業である。いろいろな問題を用いてこの作業を繰り返す行うことで、論理的思考力の育成が期待できる。

本研究の目的は、グラフ理論に基づき問題の本質をモデル化するプロセスが、論理的思考力の育成に有効であることを示すことである。問題の本質を抽出し、モデル化する力の育成を目指す。この目的を達成するため、問題文から問題の前提や結論を認識したあと、満たすべき条件や対象間の関係を論理的に整理した上で、グラフとして表現し、問題解決するプロセスを論理的思考力の育成に導入したシ

1 広島市立大学情報科学部

Faculty Information. s. ciences, Hiroshima City University

2 広島市立大学情報科学研究科

Graduate School of Information. s. ciences, Hiroshima City University

a) uchida@hiroshima-cu.ac.jp

b) kayo@hiroshima-cu.ac.jp

c) miyares20@hiroshima-cu.ac.jp

d) y-suzuki@hiroshima-cu.ac.jp

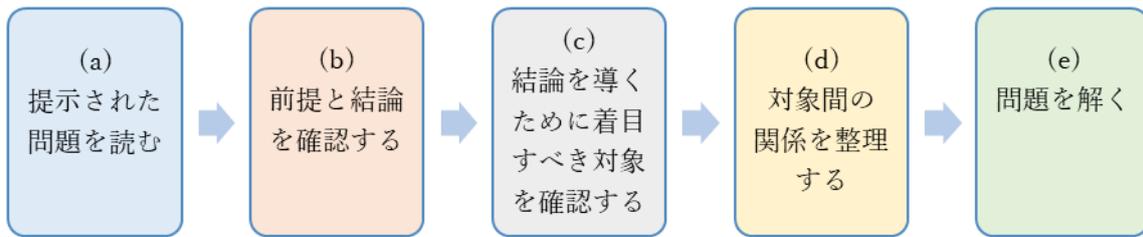


図 1：グラフを用いた問題解決プロセス

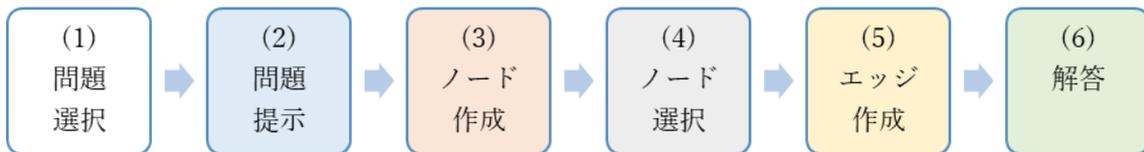


図 2：提案システムの流れ

システムを開発する。さらに、システムの有効性を示すために評価実験を行ったので、その報告を行う。

本論の構成は以下の通りである。第 2 節で提案システムの説明、第 3 節で評価実験と考察、第 4 節で本稿のまとめを行う。

2. 提案システム

本節では、グラフを用いた問題解決プロセスを導入した論理的思考力育成システムについて説明する。

2.1 システム設計

グラフを用いて問題の本質を簡潔に表現するためには、問題の本質を抽出し整理する過程が必要である。グラフを用いて問題の本質を表現した上で問題を解答する過程を図 1 に示す。

まず、(a) 文章で提示された問題を読む。次に、(b) 文章から問題の前提と結論となる状態や対象をそれぞれ確認する。次に、(c) 結論を導くために着目すべき状態や対象を確認する。次に、(d) それらの状態や対象間の関係を論理的に整理する。最後に、(e) 整理された関係を用いて問題を解く。この問題解決プロセスに沿って設計を行った。提案システムの流れを図 2 に示す。まず、(1) 問題選択画面で、解答する問題を選択する。次に、(2) 問題提示画面で、提示された文章問題を読む。次に、(3) ノード作成画面で、問題より与えられた前提や結論からグラフのノードとして表現すべき対象を認識する。問題の初期状態や終了状態、解答のために着目すべき対象をノードとして作成する。次に、(4) ノード選択画面で確認した状態や対象を参考に、互いに関係がある状態や対象を選択する。次に、(5) エッジ作成画面で、状態や対象間の関係を論理的に整理し、ノード間にエッジを作成する。以上の作業により、問題の本質を表すグラフを作成することができる。最後に、(6) 解答画面で、作成したグラフを用いて問題を解く。このよ

うに、文章問題を解くときに、問題の本質をグラフで表現する過程を意識して行うことで、論理的思考力を育成する。

2.2 システム構成

提案システムで学習できる問題は、遷移できる状態をグラフのノード（点）に見立てる問題として「川渡り」、関係をグラフのエッジ（辺）に見立てる問題として「先輩と後輩」、図からグラフのノード（点）とエッジ（辺）を作成する問題として「地図」の 3 種類である。本稿では、「川渡り」の操作画面を例にして説明していく。

- (1) 問題選択画面（図 3 参照）では、解答者が解答する問題を選択することができる。問題名が表示されているボタンを押すことで、それぞれの問題提示画面に移ることができる。

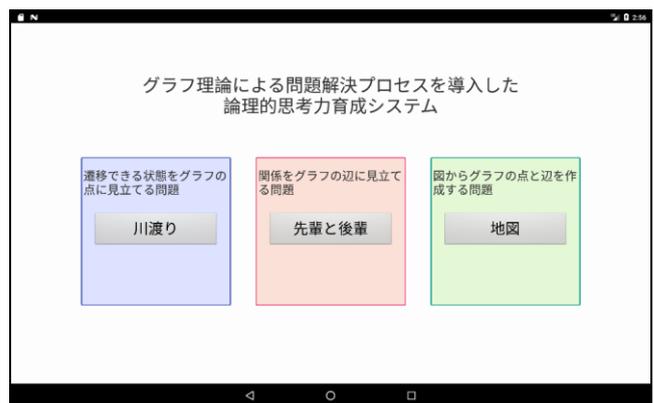


図 3：問題選択画面の例

- (2) 問題提示画面（図 4 参照）では、問題が文章で提示される。川渡りの問題と問題の条件を表しているイラストが提示される。

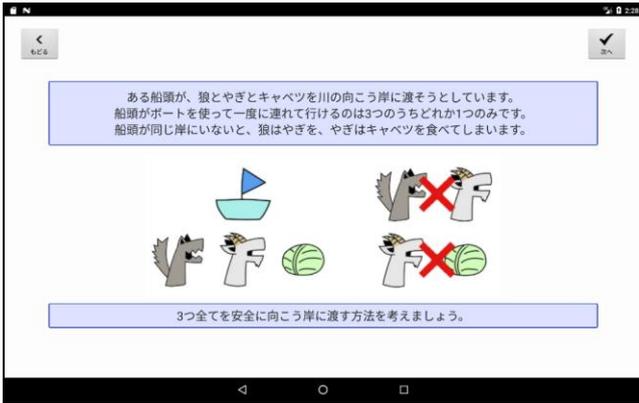


図 4：問題提示画面の例

- (3) ノード作成画面 (図 5 参照) では、問題より与えられた前提や結論からグラフのノードとして表現すべき対象を認識する。川を渡る前の状態と渡った後の状態を作成する。

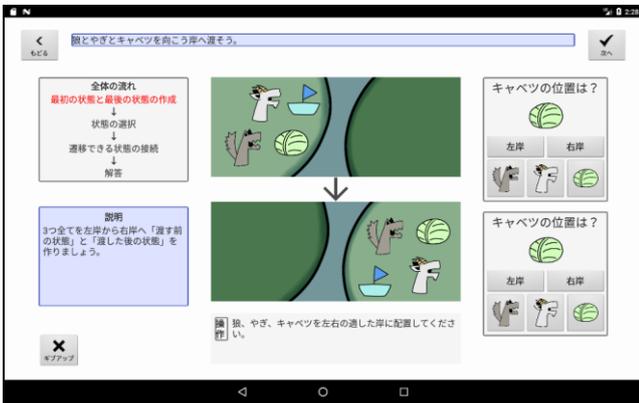


図 5：ノード作成画面の例

- (4) ノード選択画面 (図 6 参照) では、問題の満たすべき条件を論理的に整理し、ノードで表現すべき対象を列挙する。川を渡るときに条件に当てはまる状態を全て列挙する。



図 6：ノード選択画面の例

- (5) エッジ作成画面 (図 7 参照) では、対象間の関係を論理的に整理し、ノード間にエッジを描画する。1 回の川渡りで移ることができる状態を繋ぐ。初期状態から終了状態へ到達することができる道筋を最低限繋ぐことができているら、次の画面へ移ることができる。



図 7：エッジ作成画面

- (6) 解答画面 (図 8 参照) では、作成したグラフを用いて問題に解答する。川を渡る前の状態から渡った後の状態へ移るために必要な状態を順番に選択する。選択した状態は左側のフローチャートに表示される。

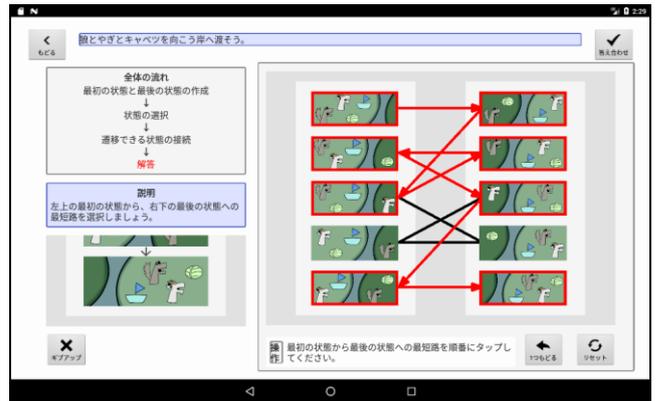


図 8：解答画面の例

2.3 開発環境

Android Studio version 3.5.3 上で、プログラミング言語 Kotlin version 1.3.60 を用いて、タブレット端末 Asus ZenPad10 (Android version 7.0) 上で動作するアプリとして提案システムを実装した。

3. 評価実験と考察

3.1 実験概要

実験協力者は、情報科学を専攻する学部生と大学院生 13 名である。なお、実験の過程で不完全なデータとなった 1 名を除外した 12 名を評価の対象とした。これは、該当者が後述する事後テストを行った際、事前テストで解くことが

できていた問題に全く着手していなかったため実験の本意である学習効果を正しく測ることが不可能であるからである。実験は以下の手順で行った。まず、実験協力者に(1)事前アンケート・事前テスト(45分)を行い、テストの結果が均等となるように提案群と比較群に分けた。次に、(2)提案群は提案システムを、比較群はグラフ理論の教科用図書を用いた学習(30分)を行った。次に、(3)事後アンケート・事後テスト(50分)を行った。最後に、(4)提案群は教科用図書を、比較群は提案システムを使用後、比較アンケート(50分)を行った。

事前アンケートは、協力者の特性を測ることを目的として行った。事前テストは、協力者の学習前の能力を測ることを目的として行った。テスト問題としてグラフに関する問題を4問出題し、両群同じものを使用した。比較群の学習に用いた教科用図書は「アルゴリズムパズル-プログラマのための数学パズル入門-」[4]である。事後アンケートは、協力者の学習を評価することを目的として行った。事後テストは、両群の学習効果の比較を目的として行った。テスト問題として事前テストと同じ問題を4問出題し、両群同じものを使用した。比較アンケートは、提案システムと教科用図書の比較を目的としておこなった。

3.2 テストの結果と考察

提案群・比較群(要因A)に対する事前テスト・事後テスト(要因B)の結果を表1と図9に示す。

表1: テスト結果

要因 A	要因 B	N	Mean	S.D.
提案群	事前テスト	6	40.33	11.44
提案群	事後テスト	6	59.33	9.78
比較群	事前テスト	6	49.83	13.92
比較群	事後テスト	6	56.00	16.57

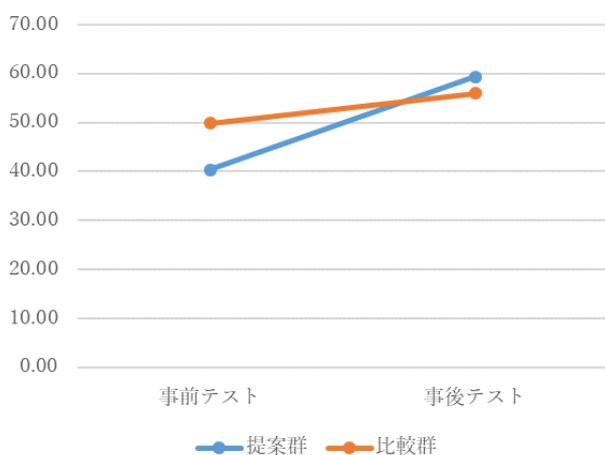


図9: 提案群 A1・比較群 A2×事前テスト B1・事後テスト B2の交互作用

分散分析の結果、交互作用が有意であった ($F(1, 10) = 6.46, p < .05$)。各要因の単純主効果を分析した結果を表2に示す。表2より、事前テストにおける提案群と比較群との間に差は見られず ($F(1, 10) = 1.39, n. s.$)、事後テストにおける提案群と比較群との間にも有意差は認められなかった ($F(1, 10) = 0.15, n. s.$)。一方、比較群における事前テストと事後テストの間には有意差は認められなかった ($F(1, 10) = 2.98, n. s.$) が、提案群における事前テストと事後テストの間には有意差が見られた ($F(1, 10) = 28.32, p < .01$)。以上の結果より、教科用図書を用いて学習をおこなった比較群よりも提案システムを用いて学習を行った提案群の方が、事前テストと比べて事後テストの得点が上昇していることがわかる。よって、グラフを用いた問題解決プロセスを導入した論理的思考力育成システムは論理的思考力の育成に有効であると考えられる。

表2: テスト結果における要因A×要因Bの交互作用の分析表

S.V	SS	df	MS	F
A at B1	270.75	1	270.75	1.39 n. s.
(s at B1)	1948.17	10	194.82	
A at B2	33.33	1	33.33	0.15 n. s.
(s at B2)	2221.33	10	222.13	
B at A1	1083.00	1	1083.00	28.32 **
B at A2	114.08	1	114.08	2.98 n. s.
(s × B)	382.42	10	38.24	

* $p < .05$, ** $p < .01$

3.3 アンケート結果と考察

3.3.1 事後アンケートの結果と考察

事後アンケートは、(1)学習方法を評価する質問、(2)フロー経験・重要性認知に関する質問から構成される。

(1) 学習方法を評価する質問

提案群に対して実施した事後アンケートのうち、提案システムを評価する質問は、6段階の選択肢から最もあてはまるものを選択してもらったものである。1・2・3を否定の意見、4・5・6を肯定の意見として該当する人数を集計し、二項検定を行った。提案システムによる学習に関する質問のうち有意性が見られた質問を表3に示す(二項検定, $p < .05$)。比較群に対して実施した事後アンケートのうち、教科用図書を評価する質問も同様である。教科用図書による学習に関する質問のうち有意性が見られた質問を表4に示す(二項検定, $p < .05$)。

表3の質問1-6より、提案群の学習者は、事前テストのような問題を解く際や日常生活の際に、論理的思考力が必要であると認識しており、提案システムによる学習は論理的思考力の育成に有効であると考えている可能性がある。

また、質問7-15より、提案システムの操作性やGUIが使いやすいと受け入れやすいものであったと考えられる。表4の質問1より、教科用図書による学習では指示された解法以外での問題へのアプローチは考えづらいと感じていることがうかがえる。また、質問2より、比較群の学習者にとって論理的思考力は日常生活において重要な力ではあるが、教科用図書を用いた学習によって論理的思考力が育成できるとは感じないと考えた可能性がある。

表3：提案システムを評価する質問の結果（提案群）

質問番号	質問	否定	肯定
1	システムを用いた学習を通して、事前テストのような問題を解く力が身についたと思いますか。	0	6
2	論理的思考力とは「物事を筋道立てて考える力及び説明する力」のことですが、事前テストのような問題を解くために論理的思考力は重要だと思いますか。	0	6
3	システムを用いた学習によって、論理的思考力が身につくと思いますか。	0	6
4	日常生活において、論理的思考力は重要だと思いますか。	0	6
5	事前テストのような問題を解く際、システムを用いて学習することは有効だと思いますか。	0	6
6	論理的思考力を身につける際、このシステムを用いて学習することは有効だと思いますか。	0	6
7	操作（例：ボタンを押すと次のページに移る）はわかりやすかったですか。	0	6
8	ボタン操作をしたとき、システムは思い通りに動きましたか。	0	6
9	問題を解き進めていく過程はわかりやすかったですか。	0	6
10	問題選択画面の使い方はわかりやすかったですか。	0	6
11	エッジ作成画面の使い方はわかりやすかったですか。	0	6
12	システム画面のレイアウトは良いと思いますか。	0	6
13	システム画面の文字の色は見やすいと思いますか。	0	6
14	全体的なシステムの配色（背景色と文字色のバランス、重要な部分のハイライト）は適切だと思いますか。	0	6
15	システム画面のボタン配置は適切だと思いますか。	0	6

表4：教科用図書を評価する質問の結果（比較群）

質問番号	質問	否定	肯定
1	教科書を用いて学習する際、教科書に載っている方法以外の解法があるか考えましたか。	6	0
2	日常生活において、論理的思考力は重要だと思いますか。	0	6

(2) フロー経験・重要性認知に関する質問

提案群に対して実施した事後アンケートのうち、フロー経験に関する質問は7段階、重要性認知に関する質問は6段階の選択肢から最もあてはまるものを選択してもらうのである。この質問は学習者が真剣に学習に取り組んだかどうかを調べるために行った[5]。選択肢の数字に該当する人数をかけたものをアンケートの実施人数で割り、最後に総質問数で割った値を、それぞれフロー経験の値、重要性認知の値とした。フロー経験の値は活動に対する没入度合いを表し、重要性認知の値は活動の重要性の認識度合いを表す。その結果を表5に示す。

表5より、活動に対する没入度合いを表すフロー体験の値がより高かったのは提案群である。紙媒体の教科用図書を読む作業よりもタブレット上の提案システムを使用する作業の方がより能動的に学習を行うことができ、熱中して取り組めたからだと考えられる。また、活動の重要性の認識度合いを表す重要性認知の値がより高かったのは比較群である。提案システムを使用する学習がタブレットを用いた活動であるのに対し、教科用図書を読む学習は紙媒体を読む活動であるため、より学習したという実感を得られるのは比較群であったからだと考えられる。

表5：フロー経験・重要性認知に関する質問の結果

	フロー経験	重要性認知
提案群	4.91	3.72
比較群	2.88	4.11

3.3.2 比較アンケートの結果と考察

比較アンケートは、提案システムを用いた学習と教科用図書を用いた学習を比較する質問により構成される。1・2・3を提案システムの方があてはまるという意見、4・5・6を教科用図書の方があてはまるという意見として該当する人数を集計し、二項検定を行った。アンケートは両群同じものを使用した。提案群に実施した比較アンケートのうち有意性が見られた質問を表6に示す（二項検定, $p < .05$ ）。比較群に実施した比較アンケートのうち有意性が見られた質問を表7に示す（二項検定, $p < .05$ ）。

表6の質問1より、提案群の学習者にとって、問題解決プロセスをより意識して学習に取り組めたのは提案システ

ムであると考えられる。また、質問2より、教科用図書を読む学習よりも提案システムを使用する学習の方が、学習者と教材との間にやりとりが生まれ、理解を深めやすくなっていると考えられる。

表7の質問1より、比較群の学習者にとって、提案システムの方がより学習しやすいと考えられる。質問2より、問題解決プロセスをより意識して学習に取り組めたのは提案システムであると考えられる。質問3, 4より、教科用図書を読む学習よりも提案システムを使用する学習の方が、学習と教材との間にやりとりが生まれ、より自発的に学習に取り組むことができると考えられる。

表6: 学習を比較する質問の結果 (提案群)

質問番号	質問	提案システム	教科用図書
1	「システムを用いた学習」と「教科書を用いた学習」では、どちらの方が問題の解法の過程を意識すると思いますか。	6	0
2	「システムを用いた学習」と「教科書を用いた学習」では、どちらの方が教材との双方向のやりとりがあると思いますか。	6	0

表7: 学習を比較する質問の結果 (比較群)

質問番号	質問	提案システム	教科用図書
1	「システムを用いた学習」と「教科書を用いた学習」では、どちらの方がより学習しやすいと思いますか。	6	0
2	「システムを用いた学習」と「教科書を用いた学習」では、どちらの方が、内容を理解するのが難しいと思いますか。	0	6
3	「システムを用いた学習」と「教科書を用いた学習」では、どちらの方が問題の解法の過程を意識すると思いますか。	6	0
4	「システムを用いた学習」と「教科書を用いた学習」では、どちらの方が教材との双方向のやりとりがあると思いますか。	6	0
5	「システムを用いた学習」と「教科書を用いた学習」では、どちらの方がアクティブに学習すると思いますか。	6	0

4. おわりに

本研究では、グラフを用いた問題解決プロセスを導入した論理的思考力育成システムを開発した。評価実験の結果より、提案システムが論理的思考力の育成に有効であることを示した。

今後の課題として、システムのGUIや画面の指示を表す文章の改善、問題の前提や条件の再確認ボタンの実装などが挙げられる。また、今回開発したシステムは、遷移できる状態をグラフの点に見立てる問題、関係をグラフの辺に見立てる問題、図からグラフの点と辺を作成する問題をそれぞれ1題ずつ作成している。さらなる論理的思考力の育成を図るためには、学習に用いることができる問題を追加していくことや難易度を変更した問題の実装などが必要である。さらに、学習者がどの段階で間違えたかを記録し、問題の正答率を表示したり問題をモデル化するにあたり苦手な段階を見極められるようにしたりする機能も追加できるように改善する必要がある。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP19K03059 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 楠見 孝. 良き市民のための批判的思考, 心理学ワールド, Vol. 61, 日本心理学会, 2013, pp. 5-8.
- [2] 中央教育審議会. 学士課程教育の構築に向けて, 文部科学省, 2008.
- [3] 川本佳代, 佐々木崇大, 内田智之, 林雄介, 平嶋宗. 平面図形を用いた論理的思考力育成支援システムの開発, 先進的学習科学と工学研究会(SIG-ALST), 2019, pp. 18-23.
- [4] Levitin, M., Levitin, M. (著) 黒川洋, 松崎公紀 (訳). アルゴリズムパズル-プログラマのための数学パズル入門-, オライリー・ジャパン, 2014, pp. 1-35.
- [5] Rheinberg, F., Vollmeyer, R., and Engeser, S.. Measuring Components of Flow: The Flow-short-scale. In Poster presented at the first international positive Psychology Summit, Washington, DC, 2002.