

# 試行錯誤を促すフィードバックを導入した プログラミング的思考育成支援システムの開発

宮崎海斗<sup>1</sup> 川本佳代<sup>1</sup> 内田智之<sup>1</sup> 池田徹志<sup>1</sup>

**概要:** プログラミング的思考には、「効率的な方法で問題を解決する」ためにはどうすべきか試行錯誤する能力が必要である。論理クイズを題材とすることで、試行錯誤を繰り返しながら論理的で筋道の通った効率的な解法を求める経験ができる。この経験をより効果的に行える環境を提供することで、プログラミング的思考の育成を目指すことができると考えられる。本論文では、プログラミング的思考の育成を目指し、論理クイズを題材にし、試行錯誤を促す学習システムをタブレット端末上に構築した。提案学習システムの評価実験結果を用いて、その有用性を示す。

**キーワード:** 学習支援, 教育支援, 教材開発

## Development of a Computational Thinking Support System with Feedback to Encourage Trial and Error

KAITO MIYAZAKI<sup>1</sup> KAYO KAWAMOTO<sup>1</sup>  
TOMOYUKI UCHIDA<sup>1</sup> TETSUSHI IKEDA<sup>1</sup>

**Abstract:** Computational thinking requires the ability to iterate and experiment to efficiently solve problems. By engaging with logic puzzles, learners gain experience through repeated trial and error, helping them develop logical, coherent, and efficient solutions. Providing an environment that enhances this experience is believed to foster computational thinking. In this paper, we aim to cultivate computational thinking by developing a tablet-based learning system that encourages trial and error through logic puzzles. We demonstrate the effectiveness of the proposed system based on the results of evaluation experiments.

**Keywords:** Learning Support, Educational Support, Instructional Material Development

### 1. はじめに

現代社会において、プログラミング的思考は重要な能力の一つである。プログラミング的思考とは、物事を考えるときにその物事の動作や順序を理解し、効率的に意図した動作や結果を導くための過程を論理的に考えることである[1]。言い換えれば、物事を筋道立てて考え合理的に判断する能力である論理的思考に基づき、効率的な方法で問題を解決する能力である。このため、小学校の教育課程においてもプログラミング的思考の育成が重要視され、小学校のプログラミング教育、高等学校におけるコンピュータを用いた問題解決のためのプログラミング教育へとつながっている。

プログラミング的思考のベースをなす論理的思考力の向上を目指した学習システムとして、筆者らは(1)数論問題を証明する過程[2]、(2)平面図形問題を解く過程[3]、(3)四コマ漫画を用いた論理組み立ておよび論理構造の読解と作成を行う過程[4]、および(4)論理パズルにおける論理構造をグラフで表現する過程[5]などに着目した学習システムを提案してきた。また、プログラミング的思考の育成を目指し、(6)フローチャートを組み立てる過程[6,7]、(7)

ヒューマノイドロボットを用いたジェスチャーやラジオ体操などの動きをフローチャートで表現する過程[8,9]などに着目した学習システムを提案してきた。他にも、小学校の教科学習にプログラミング的思考を導入した学習教材[10]やキャラクターにプログラミングをさせることでダンジョンを攻略していくゲームを題材とした学習システム[11]などがある。これらの学習システムでは、与えられた課題を解く過程は重要視されているが、より効率的な解法を希求しかつ簡潔に表現することを求めている。大森ら[12]は、問題解決にあたり、試行錯誤を行うことや複数の解を考えることは重要であると述べている。

そこで、本論文では、複数解が存在する論理クイズを題材とし、解答までの過程にフィードバック機能を導入して試行錯誤を促し、論理的で筋道の通った効率的な解法を求める学習システムを構築することを目的とする。

### 2. 準備

#### 2.1 プログラミング的思考

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能力のことであり、現代社会において最も重要な能力の

<sup>1</sup> 広島市立大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

一つである。

プログラミング的思考は論理的思考と深い関係がある。文部科学省による小学校の学習指導要領[1]では、プログラミング的思考とは、「自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力」であるとしている。また、プログラミング的思考に関する概念として、「抽象化」、「パターン認識」、「分解」、「一般化」、「評価」の5項目がある[12]。

**抽象化**：不要な部分を分離して複雑な事象をわかりやすくすること

**パターン認識**：複雑な問題の解決を効率的に行うため、類似性とパターンを発見すること

**分解**：理解と点検をしやすくするため、問題をより小さな単位に分けること

**一般化**：合理化した手順とするため、規則化・定型化すること

**評価**：一連の手順を振り返り、必要に応じて修正・改善を行い、次の問題解決に生かせるようすること

## 2.2 論理クイズ

論理クイズとは、問題を読み、論理的に思考することで答えを導くことができるクイズであり、論理パズルとも呼ばれる。「なぞなぞ」とは異なり、「ひっかけ」や「言葉遊び」がなく、論理的に考えながら問題を解いていく必要がある。論理クイズに取り組む上で一般に専門的な知識は必要なく、日常生活で使う知識のみで取り組むことができる。また、試行錯誤を繰り返しながら論理クイズの問題に取り組む活動は論理的思考力の育成に有効であると考えられる。さらに、論理クイズを解くためには、論理的に筋道を立てて思考していく論理的思考力だけでなく、解き方を見出し、考察し、解き方を検討し改良していく力も必要である。これより、論理クイズを題材とすることでプログラミング的思考の育成を行えると考えられる。

## 3. 提案システム

### 3.1 設計方針

本論文では、プログラミング的思考の育成を目指し、論理クイズを題材とし、フィードバック機能を導入した試行錯誤を繰り返す活動を促す学習システムを設計する。

試行錯誤を促すフィードバック機能を導入することで、解答を導く過程の効率性に注目させることができる。つまり、論理クイズを解く過程で、学習者は試行錯誤を繰り返して最適な解を見つけ出すまたは自身が導いた解が最適であると確信を持つことでプログラミング的思考が育成できると考える。

### 3.2 学習題材とした論理クイズ

本論文で提案する学習システムでは、次に示す3つの論理クイズ「3人の村人」、「4Lの水」、「数取りゲーム」を学習題材とした。

#### 3人の村人：

「天使は必ず真実を言い、悪魔は必ず嘘を言い、人間は真実も嘘も言う」という条件のもとで3人の村人の正体が天使か、悪魔か、人間かを発言から言い当てる論理クイズである。

#### 4Lの水：

最大で5Lと3Lの水が入る容器から、4Lの水を量るにはどうすればよいかを答える論理クイズである。

#### 数取りゲーム：

ある数字  $a$  を決め、一度に言える数は連続した3つの数字までという条件下で、1から  $a$  までを順番に数えあい、数字  $a$  を数えた方が負けという二人で遊ぶゲームである。

### 3.3 学習の流れ

#### [1] 論理クイズ「3人の村人」を題材とした学習の流れ

論理クイズ「3人の村人」を解くことで試行錯誤しながら問題の論理構造を見出す力の育成を目指す。

「3人の村人（ステップ1）画面」を図1に示す。この画面では、問題文の中から必要な3人の発言「私は天使ではない」（Aさん）、「私は悪魔ではない」（Bさん）、「私は人間ではない」（Cさん）と3つの条件「天使は常に真実を言う」、「悪魔は常に嘘をつく」、「人間は嘘をついたりつかないか」に注目し、それぞれの9つの組み合わせで矛盾しているかいないかを調べ表にまとめる作業を行う。

左下の（発言）と（条件）の部分を変更し、3つずつある発言と条件のうち1つずつの組み合わせごとに矛盾しているかを検討し、それぞれ可能性があるかないかを決定する。その作業を繰り返すことで右下の表を完成させる。その後、解答ボタンを押し、表の正誤判定を行う。表が正解の場合、画面上に正解と表示され「次に進む」というボタンが表示される。学習者は「次に進む」のボタンを押し、次のステップへと進む。もし、表が不正解の場合、画面上に×が表示され、試行錯誤を繰り返しながら表を完成させるよう促す。

正解した後に表示される「次へ」ボタンを押すと次のステップ2（図2参照）に進む。この画面では、3人の村人（ステップ1）で作成した表をみながら、中央でA、B、Cそれぞれの正体を当てはめ正誤判定を行う。正解だった場合、画面に○と表示され、「top」ボタンを押して「問題選択



図1 3人の村人 (ステップ1) 画面



図2 3人の村人 (ステップ2) 画面



図3 4Lの水 (ステップ1) 画面I

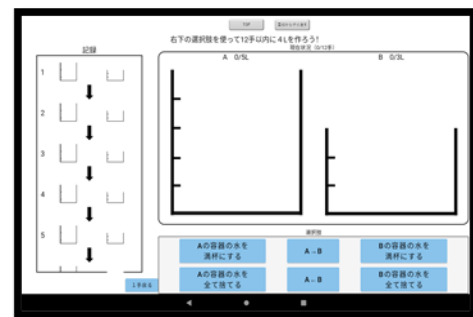


図4 4Lの水 (ステップ1) 画面II

画面」に戻るよう促す。不正解だった場合、表を確認して再度 A, B, C の正体を検討するように促す。

## [2] 論理クイズ「4Lの水」を題材とした学習の流れ

複数の解が存在する論理クイズである「4Lの水」を試行錯誤しながら解くことで最短の手順で解を見出す力の育成を目指す。

「4Lの水 (ステップ1) 画面」を図3, 図4に示す。図3の画面では、最初に2ページの問題に取り組むための説明がある。学習者はこの問題の要点を理解し、「スタート」ボタンを押すことで、実際に問題に取り組み始める。

図4の画面では、画像の現在の状況と記録を参考に試行錯誤を繰り返しながら、最大12手以内で4Lを作る方法を探していく。学習者は右下の(選択肢)にある6つのボタンから行う処理を選んで進めていく。押した選択肢により記録の画像、現在の状況の画像および容器Aの状況(0/5L)、容器Bの状況(0/3L)、手数(0/12)を変更する。また、「1手戻る」ボタンを押すと、記録と現在の状況を1手前の状態に戻すことができ、「最初からやり直す」ボタンを押すと、記録と現在の状況がリセットされる。これらのボタンを活用することで学習者は12手以内に4Lの作成を目指す。4Lが完成できた場合、画面に「次へ」ボタンが表示され、「4Lの水 (ステップ2) 画面」(図5参照)に進む。

図5の画面では、4Lの水(ステップ1)で見つけた4Lを作るまでの過程をフローチャートで示す。4Lの水(ステッ

プ1)と同様、学習者は左側の(選択肢)にある6つのボタンから行う処理を選んで進めていく。押した選択肢により、中央のフローチャート部分と右側の画像およびテキストが変更される。「1手戻る」ボタンを押すと、記録と現在の状況を1手前の状態に戻すことができ、「最初からやり直す」ボタンを押すと、記録と現在の状況がリセットされる。これらの処理を用いて試行錯誤を繰り返しながら4Lの作成を目指す。4Lができると「次へ」ボタンが表示され、押すと次のステップ3(図6参照)に進む。ここではステップ1の記録と異なり、文章で流れを見ることで他の視点から考えることができる。これにより、繰り返しになっている部分を発見でき、より少ない手順を発見できるようになると考えられる。また、フローチャートの「順次」のみの表現をすることで分かりやすく説明する方法を体験できる。

「4Lの水(ステップ3)画面」(図6参照)では、ステップ2までで試行錯誤を繰り返しながら出した解答が正しかったのかを全てのパターンを表示して確認する。学習者が画面中央のいずれかの場面を選択すると選択した場面のボタンが赤くなる。その後、選択した場面で変化が起きる処理を(選択肢)の中から選ぶ。選び終わったら「解答」ボタンを押して、正誤判定を行う。正解だった場合画面に○と表示され、選択した処理が行われた後の場面のボタンと下向き矢印が表示され、下につながる。全ての状況で試行錯誤を繰り返しながら同様の手順を行うことで全てのパターンを一つの図に示す。全ての場面が出そろったら「次へ」ボ

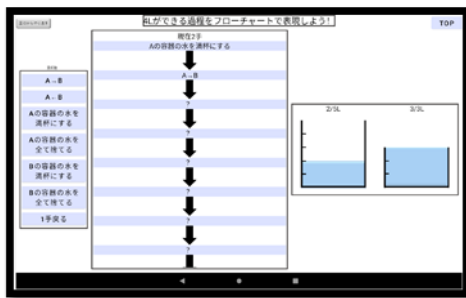


図5 4Lの水 (ステップ2) 画面

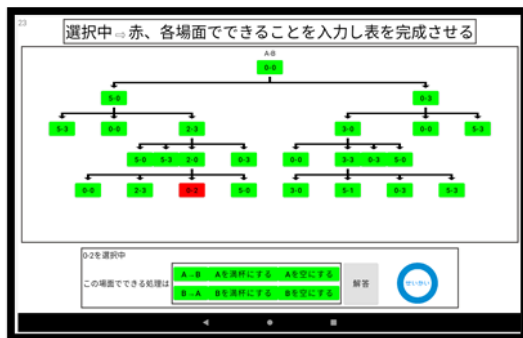


図6 4Lの水 (ステップ3) 画面

タンが表示され、確認問題に進む。確認問題では作成した図を見ながら最少の手順を考え、解答をする。正解の場合、画面に○と表示され、最短の流れに沿った場面のボタンが黄色に変化し、「終了」ボタンが表示される。学習者は「終了」ボタンを押すことでこの問題は終了となる。不正解の場合、画面に×と表示され、学習者に再度解答を検討するように促す。もし、選択したボタン以外が青になった場合、スタートしてからより少ない手順で同じ状況を作り出すことが可能となりその分岐部分は終了する。中央の図からいずれかの場面を選択すると選択した場面のボタンの表示が赤になる。「Aを満杯にする」、「Bを満杯にする」、「Aを空にする」、「Bを空にする」、「A→B」、「A←B」の6つのボタンのいずれかを押すと選択した処理のボタンの表示が赤になる。「解答」ボタンを押すと選択した場面と選択した処理で正誤判定を行い、正解だったら画面に○、不正解だったら画面に×を表示する。「次へ」ボタンを押すと確認問題が表示される。

確認問題では4択のいずれかのボタンを押す、「解答」ボタンを押す正解の場合、画面に○と表示され、最短の手順の場面の表示が黄色になる。

### [3] 論理クイズ「数取りゲーム」を題材とした学習の流れ

論理クイズ「数取りゲーム」を、設定を変えながら幾度も解くことで勝つための法則を見出す力の育成を目指す。「数取りゲーム (ステップ1) 画面」を図7, 図8, 図9に示す。図7の画面では、数取りゲームの簡単な説明

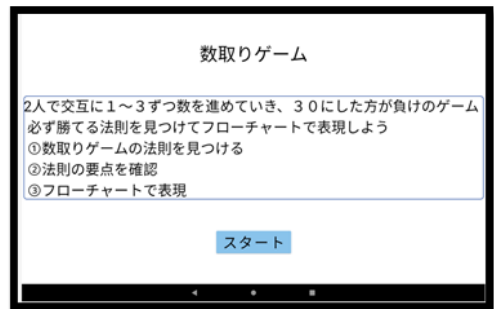


図7 数取りゲーム (ステップ1) 画面I

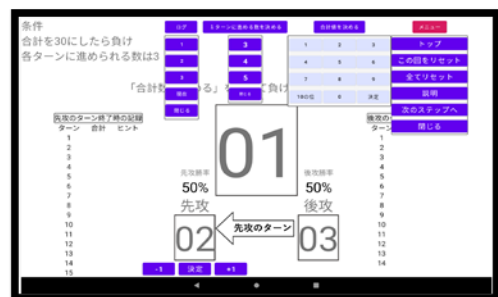


図8 数取りゲーム (ステップ1) 画面II



図9 数取りゲーム (ステップ1) 画面III

と学習の流れを理解し、「スタート」ボタンを押す、次の画面 (図8参照) に進む。

図8の画面では、メニューの中の「説明」ボタンを押す、この画面の使い方の説明を読み理解する。その後、「1ターンに進められる数」ボタン、「合計を決める」ボタンを押す、指定された条件に設定する。設定が完了したら図9のように先攻からゲームを始める。

図9の画面では、学習者は先攻と後攻両方とも操作を行う。「+1」ボタンや「-1」ボタンを押す、進める数を決め、「決定」ボタンを押す。「決定」ボタンを押すと、各プレイヤーの記録にその時の画面中央の数字が記録され、ヒント欄に○または?が表示される。学習者はゲームを進めていき、勝敗がついたら「メニュー」ボタンを押す、「この回をリセット」ボタンを押す、新しくゲームを始める。



図 10 数取りゲーム (ステップ 2) 画面

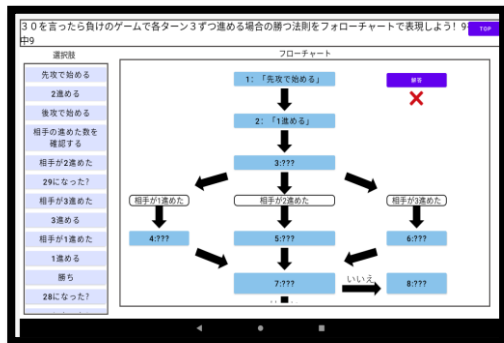


図 11 数取りゲーム (ステップ 3) 画面

2 回目以降は、「ログ」ボタンを押し、記録されている過去 3 回までのゲームの過程を参考にしながらヒント欄の○の数を増やすように試行錯誤を繰り返す。学習者は、この試行錯誤を繰り返していくうちに法則を見つけたと思ったら「メニュー」ボタンの「次のステップへ」ボタンを押し、次のステップ 2 (図 10 参照) へ進む。図 10 の画面では、数取りゲーム (ステップ 1) で試行錯誤を繰り返し見つけた法則があるのかどうかを確認する。学習者は各設問で適切な解答を選択肢から選び、「解答」ボタンを押し正誤判定を行う。正解の場合は画面に○が表示され、「次へ」のボタンを押して次に進む。一方、不正解の場合は×が表示され再考を促す。わからない場合はステップ 1 に戻るよう促す。

要点確認の設問は

- Q1. どの数字を言えば勝てる？
- Q2. 勝つ法則が存在するのは先攻？後攻？
- Q3. 次のうち注目した場所はどこ？
- Q4. 勝つために重要な数字はどこ？

の 4 問である。Q1 は勝つための数字を理解しているかの確認問題である。Q2 は勝つ法則はどちらにあるのかの確認問題である。Q3 は学習者の注目した場所を問う設問である。この設問はどちらを選んでも正解であり、学習者の思考の外化を促す。Q4 はヒントが○となった数字がどこなのかをまとめるための設問である。ステップ 1 での学習が足りない場合、この設問を正解することは困難である。

数取りゲーム (ステップ 3) 画面 (図 11 参照) では、ステップ 1, ステップ 2 で試行錯誤を繰り返しながら理解を深めた勝つための法則をフローチャートで表現する。選択肢からパーツを選び、フローチャートの適切な部分に当てはめていく。フローチャートが完成したら「解答」ボタンを押しフローチャートの正誤判定を行う。正解の場合、画面に○と表示され、この問題は終了である。不正解の場合、画面に×と表示され、再考を促す。

#### 4. 実験

提案システムの有用性を示すために評価実験を行った。高校生～成人 20 名の実験協力者を、事前テストの結果に基づき実験群 10 名と統制群 10 名に分けた。

実験群 10 名に対しては、次の期間に実験を行った。

事前アンケート(5 分)・事前テスト(20 分): 令和 6 年 12 月 17 日～令和 6 年 12 月 25 日のいずれか 1 日

学習(60 分)・事後テスト(40 分)・事後アンケート(20 分): 令和 6 年 12 月 18 日～令和 6 年 12 月 30 日のいずれか 1 日

統制群 10 名については、次の期間に実験を行った。

事前アンケート(5 分)・事前テスト(20 分): 令和 6 年 12 月 17 日～令和 6 年 12 月 24 日のいずれか 1 日

学習(60 分)・事後テスト(40 分)・事後アンケート(20 分): 令和 6 年 12 月 19 日～令和 6 年 12 月 28 日のいずれか 1 日

事前アンケートは、実験協力者の特性を知ることが目的とし、実験協力者全員に対し同一のものを行った。

事前テストは、学習者の学習前の能力を知ることが目的とし、実験協力者全員に 2 つの論理クイズ「8 枚のコイン」と「4 つのボート」の問題を解いてもらった。テストの配点は、各 10 点満点で採点した。配点の内訳は問 1 の論理クイズの解答が 2 点、問 2 の解答までの過程の説明が 6 点、思考中に記したメモが 2 点である。

事前アンケートと事前テストを行った後、実験群では、提案システムを実装したタブレット端末上で「3 人の村人」、「4L の水」、「数取りゲーム」の 3 つの論理クイズを各問 20 分計 60 分で解いてもらった。一方、統制群では、6 つの論理クイズ「200 本の空き缶」、「狼とヤギとキャベツの川渡り」、「10 回のじゃんけん」、「3 人の村人」、「4L の水」、「数取りゲーム」を各問 10 分計 60 分で解答用紙に解答するように学習を行った。解答時間終了後、簡単な解説書を渡し、答え合わせをしてもらった。

事後テストは、学習者の学習後の能力を測ることを目的とし、実験協力者全員に対し、事前テストと同一の論理クイズである「8 枚のコイン」、「4 つのボート」の 2 問と学習で用いた「数取りゲーム」の条件を変更した 1 問の合計 3

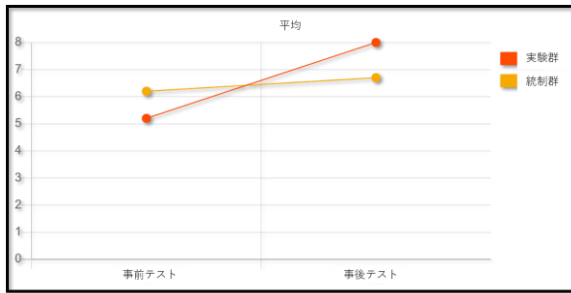


図12 「8枚のコイン」の得点の平均

問を解いてもらった。配点は、各問題10点満点とし、配点の内訳は、問1の解答が2点、問2の解答までの過程の説明が6点、思考中に記したメモが2点である。

事後テストの後、実験群と統制群それぞれ同一の事後アンケートを実施した。

### 5. 実験結果と考察

両群が事前・事後テストで行った「8枚のコイン」の得点を比較した。「8枚のコイン」における得点の平均のグラフを図12に示す。また、分散分析結果を表1、表2、表3に示す。

分散分析の結果、表2の通り交互作用が有意であった ( $F(1,18) = 11.31, p < .01$ )。そこで、各要因の単純主効果を分析した結果、表3の通り、実験群における事前・事後テストの単純主効果については表3に示したとおり、事前テストと事後テストの平均の差のみ有意であった。これより、提案システムを使用した学習が、プログラミング的思考育成において有効であると考えられる。この問題の取り組み過程を調査したところ、プログラミング的思考の5つの概念のうち、主に「パターン認識」、「分解」、「評価」の活動が見られた。

両群が事前・事後テストで行った「4つのポート」の得点比較を行った。「4つのポート」において平均のグラフを図13に示す。図13において、事後テストでは統制群と比べて実験群の平均点が見た目は高いが、統計的に有意ではなかった。実験後のインタビューにおいて、20名中7名が「解答時間が足りない」と回答した。十分な時間があれば結果は変わっていただろうと考えられる。この問題では、プログラミング的思考の5つの概念のうち、主に「パターン認識」、「一般化」、「評価」の活動が見られた。

事後テストで行った「8枚のコイン」、「4つのポート」において、事後テストで他の方法を考慮しているかについて比較を行った。結果を表4に示す。表4より、直接確率計算法の結果、人数の偏りは有意であった ( $p < .01$ )。統制群では一度求めた解法以外の方法を検討するように促していないが、実験群では一度求めた解法が最適なものか他の方法を検討するように促したことで他の方法を検討するようになったためだと考えられる。

表1 「8枚のコイン」データ

	実験群		統制群	
	事前テスト	事後テスト	事前テスト	事後テスト
<i>N</i>	10	10	10	10
$\bar{X}$	5.2	8.0	6.2	6.7
<i>SD</i>	1.25	2.14	2.27	2.10

表2 「8枚のコイン」分散分析表

要因	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i> ( <i>SS/df</i> )	<i>F</i>
A(実験群/統制群)	0.23	1	0.23	0.03 n.s.
S(個人差)	136.25	18	7.57	
B(事前/事後テスト)	27.23	1	27.23	23.28 **
A×B	13.23	1	13.23	11.31 **
S×B	21.05	18	1.17	
全体	197.98	39		

\*\*  $p < .01$

表3 「8枚のコイン」交互作用の分析表

水準	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i> ( <i>SS/df</i> )	<i>F</i>
事前テストにおける両群の得点	5.00	1	5.00	1.34
事後テストにおける両群の得点	8.45	1	8.45	1.69
実験群における事前・事後テスト	39.20	1	39.20	33.52 **
統制群における事前・事後テスト	1.25	1	1.25	1.07

\*\*  $p < .01$

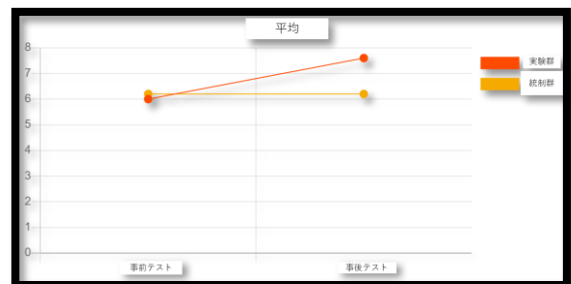


図13 「4つのポート」の得点の平均

事後テストの数取りゲームの問題の結果を表5に示す。

表4 事後テストで他の方法を考慮したか

	した	しなかった	合計
実験群	16	4	20
統制群	5	15	20
合計	21	19	40

表5 事後テスト 数取りゲームの結果 (t 検定)

	平均	標準偏差	t 検定(両側検定)
実験群	7.4	2.65	t(17) = 1.361 .10 < p
統制群	5.7	2.65	

事後テストの数取りゲームにおいては、実験群と統制群の得点に有意差はなかった。正解者を比較しても、実験群が10名中9名、統制群が10名中8名であった。どちらの学習でも異なる数値で類似問題である数取りゲームで解説まで経験しており、その経験が活かされたと考えられる。また、法則をはっきりと理解して取り組んだ人数は実験群が10名中8名、統制群が10名中5名だった。カイ二乗検定の結果、こちらも有意でなかった ( $\chi^2(1) = 2.143$ , n.s.)。

事後アンケートの結果と考察を示す。実験群に実施した事後アンケートにおいて、二項検定を行った結果を表6に示す。事後アンケートは紙に記入し、適宜口頭にて質問を行い、回答をしてもらった。自由記述の部分を除き、アンケートは4段階で評価され、「非常にそう思う」、「そう思う」を肯定的意見、「あまりそう思わない」、「そう思わない」をその他の意見とし、該当する人数を集計した。その後、二項検定を行った（肯定回答の発生確率を50%とした）。

表6 実験群に実施した事後アンケートの結果(二項検定)

\	質問	肯定	その他	二項検定
【「3人の村人」について】				
1	最後まで進んで解答をすることができましたか。	9	1	$p < .05$
2	最後まで諦めずに取り組むことができましたか。	9	1	$p < .05$
3	解き方を理解することができましたか。	8	2	.10 < p
4	アプリを用いることで取り組みやすくなると思いますか。	10	0	$p < .01$
【「4Lの水」について】				
5	最後まで進んで解答をすることができましたか。	10	0	$p < .01$
6	最後まで諦めずに取り組むことができましたか。	10	0	$p < .01$

7	解き方を理解することができましたか。	10	0	$p < .01$
8	アプリを用いることで取り組みやすくなると思いますか。	10	0	$p < .01$
【「数取りゲーム」について】				
9	最後まで進んで解答をすることができましたか。	8	2	.10 < p
10	最後まで諦めずに取り組むことができましたか。	10	0	$p < .01$
11	解き方を理解することができましたか。	8	2	.10 < p
12	アプリを用いることで取り組みやすくなると思いますか。	10	0	$p < .01$
【学習について】				
13	今回の学習を通してプログラミング的思考が身につくと思いますか。	9	1	$p < .05$
14	今回の学習では問題の解答だけでなく、過程や解説も含め理解できましたか。	9	1	$p < .05$
15	解けなかった問題でも進んで学習することができましたか。	9	1	$p < .05$
16	今回の学習では最後まで学習意欲高く取り組むことができましたか。	9	1	$p < .05$
17	今回の学習を通して事後テストでは過程を説明する時の考え方は変わりましたか。	8	2	.10 < p

実験群について行った事後アンケート(実験群)において、「あなたは進んで学習を行うことができましたか」という質問に肯定的な回答が多かった(肯定9, その他1, 二項検定  $p < .05$ ,  $N = 10$ )。肯定的な回答の理由に、「状況が簡単に可視化できたから」、「何をすればいいのかが分かりやすかったから」とあったことから、学習者は、提案システムを利用することで積極的に学習を行うことが期待できる。また「解き方を理解することができましたか」という質問に対しても肯定的な回答が多かった(肯定9, その他1, 二項検定  $p < .05$ ,  $N = 10$ )。肯定的な回答の理由に、「解答までを考える必要があったから」、「解答以外も正解する必要がある、考えたから」とあったことから、提案システムを利用することで試行錯誤しながら解答する姿勢が期待できる。

「プログラミング的思考が身につくと思いますか」という質問に対しても肯定的な回答が多かった(肯定9;その他

表7 追加した事後アンケートの結果

質問	アプリ	問題用紙	二項検定
1	12	8	$p > .10$
2	12	8	$p > .10$

- 「どちらで学習するほうがプログラミング的思考力が向上すると思いますか。」
- 「どちらの環境で学習したいですか。」

表8 追加したアンケートのデータ

	アプリ群	問題用紙群
<i>N</i>	12	8
$\bar{X}$	10	14.5
<i>SD</i>	2.94	1.58

1, 二項検定  $p < .05$ ,  $N = 10$ ). 肯定的な回答の理由に, 「最適な解を考えるための考え方を学べると思うから」, 「自分の考え方とは異なる方法を考えることが必要だったから」とあることから, 提案システムを利用することで, 最適な解を求めるために試行錯誤を繰り返しながら学習しようとしていたことがわかる. これより, プログラミング的思考の育成に対し, 提案システムが有効であると考えられる.

また, 実験協力者 20 名全員に追加で行った質問の結果を表 7 に示す. なお, 全員が質問 1 と質問 2 において同じ回答を返している. 「問題用紙がよい」と回答をした理由に, (アプリ学習では)「考え方をアプリに合わせないといけないから」, (問題用紙学習では)「自由に考えていくことができるから」とあった. また, 「アプリがよい」と回答をした理由に, (問題用紙学習では)「何をすればいいのかわからないと何も進まないから」, (アプリ学習では)「最初わからなくても理解して徐々に正解に近づいていることが楽しかったから」とあった. さらに, 表 7 の質問の回答によってアプリ群, 問題用紙群に分け, 表 8 の通りそれぞれの事前テストの得点を分析した. *t* 検定の結果, 問題用紙群の方がアプリ群より有意に事前テストの得点が高かった ( $t(17) = 4.2048$ ,  $p < .01$ ). このことから, プログラミング的思考力が比較的高い学習者は問題用紙の方を好みまた有効であると考え, 比較的低い学習者は提案システムを好みまた有効であると考えられるようである.

## 6. おわりに

本論文では, 次の 3 つの力の向上を通してプログラミング的思考の育成を目指した学習システムを構築した:

(1) 論理クイズ「3人の村人」を解くことで試行錯誤しながら問題の論理構造を見出す力, (2) 論理クイズ「数取りゲーム」を, 設定を変えながら幾度も解くことで勝つための法則を見出す力, (3) 複数の解が存在する論理クイズである「4Lの水」を試行錯誤しながら解くことで最短の手順で解を見出す力. さらに, 提案した学習システム

を Android タブレット上のアプリとして実装し, 評価実験を行い, 提案した学習システムの有用性を示した.

今後の課題として, 論理クイズの数を増やすこと, フィードバックの適正化や難度の設定により, より効果的な学習システムへと改良することが挙げられる.

**謝辞** 本研究の一部は JSPS 科研費 19K03059 の助成を受けたものである.

## 参考文献

- 1) 文部科学省, 【総則編】小学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説, ([https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/1387014.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1387014.htm)) (参照 2025-02-13).
- 2) 川本 佳代, 古谷 美夏他, 数学証明問題を用いた論理的思考力育成システムの開発, 人工知能学会全国大会論文集 (JSAI2018), 1L301 (2018).
- 3) 川本 佳代, 佐々木 宗大他, 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, 人工知能学会研究会資料 第 86 回先進的学習科学と工学研究会, SIG-ALST-B901-04 (2019).
- 4) Kayo Kawamoto, Yusuke Hayashi, Tsukasa Hirashima, An Open-ended and Interactive Learning Using Logic Building System with Four-Frame Comic Strip, Human Interface and the Management of Information: Applications and Services. HIMI (2016).
- 5) 田中 鈴乃, 内田 智之他, 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, 情報処理学会研究報告 火の国情報シンポジウム 2020, C4-3 (2020).
- 6) 日浦 美咲, 川本 佳代他, キットビルド方式に基づくフローチャート組み立て課題を導入した論理的思考力育成システム, 人工知能学会全国大会(JSAI2020), 2B6-GS-12-0 (2020).
- 7) 川本 佳代, 出口 直輝他, 論理的思考力育成を指向したフローチャート活用学習システムと小学校児童による実験の評価, 教育システム情報学会誌, Vol.32, No.3, pp.214-219 (2015).
- 8) 日浦 美咲, 川本 佳代他, プログラミング的思考の育成を目指すヒューマノイドロボットを導入した学習システムの構築, 情報処理学会研究報告, 火の国情報シンポジウム 2022, A22-6 (2022).
- 9) 宮崎 海斗, 平原 梓他, プログラミング的思考の育成を目指すヒューマノイドロボットを用いた学習教材の開発, 第 75 回電気・情報関連学会中国支部連合大会, R23-27-04 (2023).
- 10) 星 千枝, 後藤 義雄他, 教科学習を横断するプログラミング的思考のパタン, STEM 教育研究, 1 巻, pp.19-30 (2018).
- 11) 齋藤 大輔, 坂本 一憲他, Ramzi Ramzi, プログラミング的思考力を育成するためのゲームの提案, 日本デジタルゲーム学会 夏季研究発表大会, pp.3-6 (2021).
- 12) 大森 康正, 磯部 征尊他, 小学校プログラミング教育の発達段階に沿った学習到達目標とカリキュラム・マネジメント, 上越教育大学研究紀要, 第 37 巻, 第 1 号, pp.205-215 (2017).
- 13) 国立教育政策研究所, 特定の課題に関する調査(論理的な思考) 調査結果~21 世紀グローバル社会における論理的に思考する力の育成を目指して~, (2013)