

# 数学学習における解法の構造理解と再利用を可能とする 学習手法の提案と学習支援システムの開発と評価

内山 裕太<sup>\*1</sup>, 白髭 虹輝<sup>\*1</sup>, 古池 謙人<sup>\*1,2</sup>, 東本 崇仁<sup>\*1</sup>  
<sup>\*1</sup> 千葉工業大学, <sup>\*2</sup> 東京理科大学

## Proposal of a Learning Method for Understanding the Structure of Solutions and Reuse in Mathematics Learning, and Development and Evaluation of a Learning Support System

Yuta Uchiyama<sup>\*1</sup>, Koki Shirahige<sup>\*1</sup>, Kento Koike<sup>\*1,2</sup>, Takahito Tomoto<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Chiba Institute of Technology

<sup>\*2</sup> Tokyo University of Science

本研究では、プログラミング学習における「部品」の概念を数学学習へ転用し、解法の一部を部品として獲得・再利用することで構造理解を深める手法を提案する。ある問題の解法を学習者が構造化し、その一部を部品として他の問題で再利用することで解法の構造理解を促す学習支援システムを開発した。評価実験の結果に対して t 検定 ( $p < .05$ ) を行ったところ、構造化と部品の考え方が解法の構造理解および再利用のために有効であることが示唆された。

キーワード: 数学, 学習支援システム, 構造理解, 部品の再利用, 部品の段階的拡張手法

### 1. はじめに

数学学習における「解法」とは、ある問題に対して既知の数値と、適用可能な数式を用いて解答を導くまでの過程を示したものである。解法はいくつかの部分に分解可能である。例えば「 $xy$ 平面上の $\triangle ABC$ の面積を求めよ」という問題においては、「 $\triangle ABC$ の底辺を求めよ」、「 $\triangle ABC$ の高さを求めよ」、「底辺と高さを公式に代入して $\triangle ABC$ の面積を求めよ」のように解法をステップとして分解できる。学習者が問題をステップごとに分解できるようになれば、「自身が理解できていない箇所」を明確にし、解ける問題を増やすことができると考えられる。また、学習者がこのような解法が部分的なステップの構造でできているという考え方を持たない場合、わからない問題に対して「模範解答の確認」で学習を終えてしまうことがある。その結果、

解答の導出過程を理解できないままとり、実際の場面で類似した問題に直面した際に、同様の解法（やその部分）を適用することが難しくなる可能性が高い。そのため、問題を部分ごとに分解し、構造を理解、そして再利用できるようになるための支援は重要である。

古池ら<sup>(1)</sup>はプログラミングの分野において、構造理解を促す学習手法として“部品の段階的拡張手法”を提案した。本研究では、数学における問題でも、構造の一部を部品として獲得・拡張することができると考え、数学学習に部品の段階的拡張手法を転用できると考えた。

そこで本研究では、解法の一部を部品として獲得し、解法の構造理解を深めつつ、再利用を行える能力の習得を目指す学習手法を提案する。また、本提案手法による学習活動を促す支援システムの開発と学習効果の評価を行った。

理系大学生 18 人を対象とした評価実験を行った。被験者を「部品を用いたシステムを使用する群」, 「部品を用いないシステムを使用する群」に分けて行った。実験の結果, 本提案システムによる学習が解法の構造理解に有効であることが示唆された。また, 部品の獲得・再利用を行うことが, 解法の再利用性の向上に有効である可能性についても示唆された。

## 2. 先行研究

プログラミング学習において, 学習者がプログラム中に存在する処理について理解を深めることは重要である。そのために, 一連のコードとそれらの処理内容を関連付けて理解し, 繰り返し再利用する必要がある。

古池ら<sup>(4)</sup>は, プログラム中の機能的に有意義な一連のコードを, 一つのまとまりとして理解することを重要とした。そこで, 機能的に有意義な一連のコードを“部品”と定義した。また, 部品を用いてより大きな部品を構築する段階を“部品の段階的拡張手法”と定義した(図 1)。

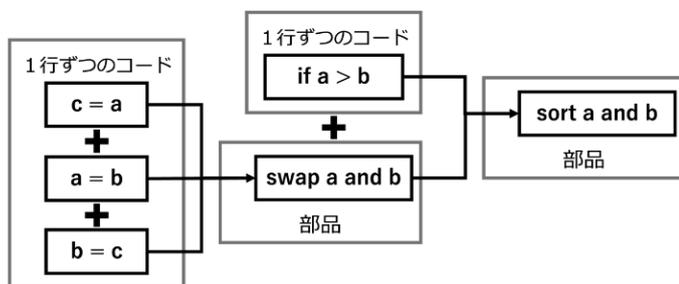


図 1 部品の段階的拡張手法

数学学習では, 問題が少し異なるだけで解法が変わることがある。例えば「直線  $y = 2x + 1$  上で, 点  $x = 1$  における  $y$  の値を求めよ」, 「点  $(2, 3)$  を通り, 傾きが 2 の直線の式を求めよ」という 2 つの問題では「直線に関する問題」といった共通点がある。しかし, 与えられた情報が異なり, 解法も異なる。このように, 数学では問題の条件が変わると解法も異なることが多い。

プログラミング学習では, 問題の条件が変わっても同様の解法を用いることができる。例えば「配列  $[5, 3, 8, 1]$  を昇順にソートせよ」, 「配列  $["りんご", "ばなな", "みかん"]$  を昇順にソートせよ」という 2 つの問題を考える。2 つの配列はデータの種類は異なるが,

同様のソートアルゴリズムを用いて解くことができる。このように, 与えられた情報が異なる場合でも, 同様の解法を用いることができる。

上記のように, 数学学習とプログラミング学習の差分として「解法の抽象化」が考えられる。そのため, 数学学習では構造を抽象化し, 他の問題で再利用できるようにする必要がある。そこで本研究では, 部品の考えに抽象化を取り入れる。

## 3. 提案手法

本研究では, 数学を対象に学習者が複数のステップで構築された複雑な問題を解けるようなことを目指し, 問題の解法を部品に分解して他の問題に再利用する学習手法を提案する。本研究では, ある問題の解法を複数のステップからなる構造として表現しており, その構造を導出する過程を「構造化」と呼んでいる。はじめに学習者は, 提示された問題の構造化を行う。学習者が構造化した各ステップを部品として獲得・拡張する。次に, 獲得した部品を他の問題にも利用できる形に抽象化する。そして, 抽象化した部品を他の問題を構造化する過程で再利用する。以上の構造化(部品の獲得・拡張), 抽象化, 再利用からなる一連の学習手法を提案する。

### 3.1 部品の獲得・拡張

本研究における部品の構造化(および獲得・拡張)について図 2 を用いて説明する。はじめに, 学習者は提示された問題の解法を部分化する。例えば「 $xy$  平面上の 2 点間の距離を求めよ」という問題を考える。2 点間の距離を求めるためには, 「点 A の座標」や「点 B の座標」を入力要素として, 「2 点間の距離を求める」という操作に与える必要がある。その結果「線分 AB の長さ」が出力要素として得られる。この入力要素から出力要素までの 1 セットを 1 つの部品として獲得する。今回の場合は「2 点間の距離を求める」という部品を獲得する。

また, 上記のように獲得した部品を他の問題の中で拡張する。例えば「 $xy$  平面上の辺 AB を底辺とする  $\triangle ABC$  の面積を求めよ」という問題を考える。三角形の

面積を求めるためには底辺や高さを求める必要がある。 $\triangle ABC$  の底辺を求めるためには 2 点間の距離を求める必要があるため、事前に獲得済みの部品である「2 点間の距離を求める」を用いて「 $xy$ 平面上の三角形の面積を求める」という部品へと拡張することができる。

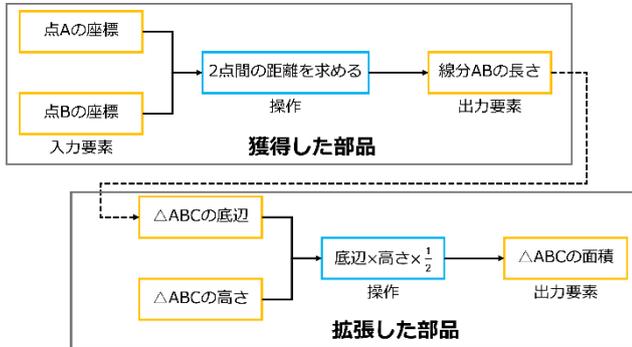


図 2 本研究における部品の例

### 3.2 部品の抽象化

3.1 節で獲得・拡張した部品について、他の問題で再利用するためには抽象化を行う必要がある。例えば、3.1 節で示したような問題の場合、実際には「点 A(2,4)」や「点 B(-1,-2)」のような具体的な数値を用いる。しかし、具体的な数値が入った要素のまま部品を獲得してしまうと、数値が異なる他の問題などで再利用することが難しくなる。そのため、「点の座標」や「直線の式」などのように各要素を抽象化することで、他の問題で部品を再利用できるようにする必要がある。

### 3.3 部品の再利用

抽象化まで終えた部品については、他の問題で再利用することが重要である。学習者が部品を繰り返し再利用することで、問題固有の理解から部品の知識の定着へと促すことが可能である。また、学習者が部品の再利用を繰り返すことで、同じ部品を複数の問題で利用できることに気付くことができる。このような気付きから、学習者が「別の部品も使えるのではないかと考えるようになり、獲得済みの部品のみで解答できる可能性に気付けるようになる。その結果、初見の問題に対して「既存の知識でも解けるかもしれない」と考えられるようになり、わからない問題にも挑戦するようになると考えられる。

## 4. 提案システム

本研究では、関数学習における解法の構造理解と解法の再利用を促すシステムを開発した。本システムは大きく分けて「解法の構造化」、「部品の抽象化」、「部品の再利用」の 3 つで構成されている。これらの各工程とシステム画面の構成について詳しく説明する。

### 4.1 システム画面の構成

システムを起動すると図 3 のような画面が表示される。画面左上には学習者が解答する問題文 (図 3(a)) が表示され、画面右上には問題に対応したグラフが描画される (図 3(c))。問題文のすぐ下には構造化を行うスペース (以下、構造化エリア) が用意されている (図 3(b))。学習者は構造化エリアと画面右下の各種ボタン (図 3(d)) を用いて構造化を行う。また、問題開始時にその問題で求める要素 (以下、解答ラベル) が、あらかじめ構造化エリアに用意される。

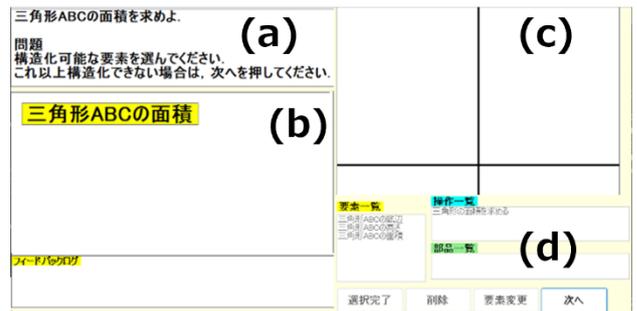


図 3 システムの画面構成

### 4.2 解法の構造化 (部品の獲得・拡張)

システム学習が始まると、ステップに分解された問題が学習者に出題される。出題された問題に応じた解答ラベルが構造化エリアに出力され、学習者が解答ラベルを選択する。すると、解答ラベルの色がピンク色に変化し、学習者は解答ラベルに対する構造化を始める。解答ラベル選択後、画面右下の「操作一覧」、「部品一覧」が選択可能になる。操作一覧には「2 点を通る直線の式を求める」、「2 直線の式の交点の座標を求める」などの選択肢があらかじめ用意されている。学習者は解答を求めるために必要だと考える操作を選択する。すると、選択した操作が構造化エリアに出力さ

れる。同様に学習者が必要だと思う要素を任意の数だけ要素一覧から選択する。要素一覧には「点 A の座標」、「点 B の x 座標」などの問題文から得られる要素が用意されている。要素一覧の内容に関しては、問題に応じた内容に変化するようになっている。操作の時と同様に、学習者が選択した全ての要素が構造化エリアに出力される。この時、学習者に対していくつの要素が必要であるかは明記していない。

例えば「三角形の面積を求める問題」を例として考える。三角形の面積を求める場合、底辺や高さを要素として選択する必要がある。そのため、要素として「三角形の底辺」、「三角形の高さ」を選択し、操作として「三角形の面積を求める」を選択する。実際にシステム内で選択した状態が図 4 である。

操作と要素の選択がすべて終わった学習者は、画面右下の選択完了を押す(図 4(d))。すると、選択した操作と要素が矢印で接続され、1 つの構造が作成される。このように、1 つの構造作成を繰り返すことで、問題全体の構造化を行う。

学習者が、システムから出題された問題を解くために必要だと考える操作や要素を自ら選択することで、解法の構造化を行うために何が必要なかを考えることができるようになると予測できる。そして、構造化の理解を深めていく中で、問題の解法を構造的に理解することができるようになると予測できる。

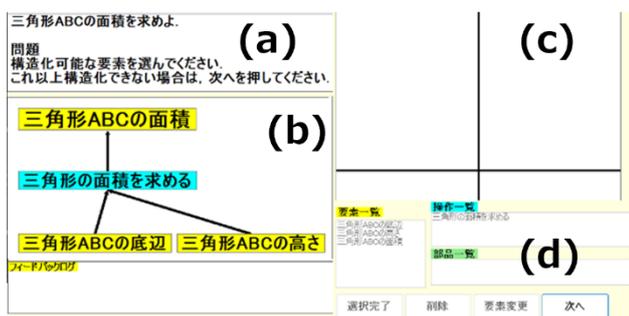


図 4 構造化終了後の画面

### 4.3 部品の抽象化

学習者が 4.2 節で作成した構造が、獲得済みの部品に存在しない場合、学習者は構造の抽象化を行う。例えば、構造の中に「点 A の座標」や「直線 AB」などの要素が含まれている場合「点の座標」や「直線の式」

のような表現に抽象化する。まず、学習者が抽象化したい要素を選択する。抽象化の選択肢から任意のものを選択する。この時、抽象化に用いる表現はあらかじめシステム側で用意されており、選択肢の中から任意のものを選択して抽象化を行う。抽象化を終えると、抽象化した構造が部品として部品一覧に保存され、次の問題へ進む。

学習者が作成した構造を、学習者自身が抽象化することで、具体的な問題としての理解から、一般的な公式のような抽象的な理解へと繋がると考えられる。抽象的な理解をすることで、数値や表現が異なる問題であっても、同じ内容の計算を用いている問題などに気付けるようになると考えられる。

### 4.4 部品の再利用

学習者が 2 問目以降に解答する際、状況に応じて獲得済みの部品を使用する。学習者が獲得済みの部品と同様の構造を作成したい場合、4.3 節で抽象化を行った状態の構造をそのまま呼び出すことができる(図 5(d))。しかし、呼び出される部品は抽象化された状態(図 5(b))であり、問題に応じた表現に具体化する必要がある。そのため、部品を呼び出した後に、画面右下の要素変更が操作可能となる。要素変更を押すことで、抽象化された状態の構造を、要素一覧の表現を用いた状態に具体化することができる(図 5(d))。

学習者によっては、部品を使用できる問題であっても部品を用いずに構造を作成してしまう可能性がある。その場合は、システム側から「構造は正しいですが、部品を使用できる箇所があります」というフィードバックを与える。そのため、学習者が部品を用いることなく学習を終えることがないようになっている。

学習者がより多くの部品を獲得することで、対応できる問題の種類は増える。そして、学習者が獲得した部品の再利用を繰り返すことで、各部品に対する表層的な理解から本質的な理解へと繋げることができると考えられる。学習者が部品を本質的に理解することで、ある特定の問題に対してだけでなく、様々な問題に対して部品の再利用を考えることができるようになる。そして、複数のステップを含むような複雑な問題に対

しても、解法の構造を考えることができるようになる  
と予測できる。

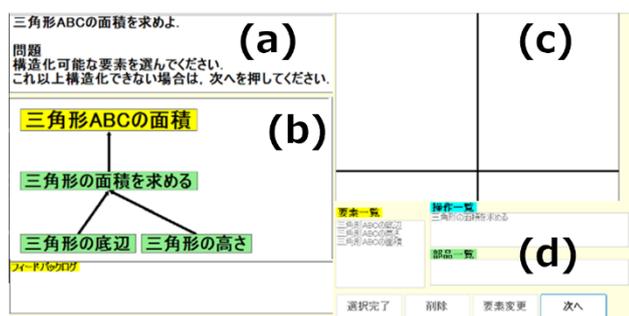


図 5 部品を用いた構造化

## 5. 評価実験

### 5.1 実験概要

大学数学までを学習済みの理系大学生 18 名を対象として評価実験を行った。18名の被験者を「本提案システムを用いた学習を行った群（以下、実験群）」、「本提案システムから部品の再利用を取り除いたシステムを用いた学習を行った群（以下、統制群）」の 2 群に分けて行った。各群の人数は、実験群 10 名、統制群 8 名で実施した。

実験の流れとしては、最初に事前テストとして「構造化の能力を問うテスト（以下、構造化テスト）」、「解法の再利用性を問うテスト（以下、再利用テスト）」の 2 つを実施した。解答時間は、共に 10 分間とした。

事前テスト終了後は、システムを用いた学習を行った。最初にシステムの操作説明を行いながら、チュートリアル問題に解答してもらった。その後、実験群と統制群で異なるシステムを用いて、それぞれ 40 分間の学習を行った。学習終了後、事前テストと同様の内容、同様の時間を用いて事後テストを行った。

また、事後テスト終了後にアンケートを行った。アンケートは 6 件法（1：全くそう思わない、6：とてもそう思う）による選択式と記述式のものがあ、時間制限は設けずに回答してもらった。

### 5.2 テスト結果

構造化テストでは「入力要素」、「操作」、「出力要素」のセットで 1 つの構造とし、構造が完答の状態を 5 点

とした。要素が誤っている場合は 1 点減点、操作を誤っている場合は 2 点減点として採点を行った。また、操作が書かれていない場合などについても、操作が誤っているものとして採点を行った。

再利用テストでは、解答が正しい場合は 2 点を与えた。理由記述については、各選択肢の解法を示している場合はそれぞれに対して 2 点、各解法の差分を示している場合は追加で 2 点を与えた。

構造化テストの結果を表 1 に、再利用テストの結果を表 2 に示す。また、Cohen の効果量  $d$  を求めた結果についてもそれぞれの表に示す。構造化テストの効果量は、実験群が 0.99、統制群が 1.72 であり、どちらも効果量大を確認できた。再利用テストの効果量は、実験群が 1.27、統制群が 0.72 であり、実験群では効果量大、統制群では効果量中であった。

表 1 構造化テストの平均点（標準偏差）

	事前	事後	効果量 $d$
実験群	22.50(13.26)	35.30(12.50)	0.99
統制群	24.38(4.87)	36.13(8.34)	1.72

表 2 再利用テストの平均点（標準偏差）

	事前	事後	効果量 $d$
実験群	12.60(4.53)	19.80(6.63)	1.27
統制群	11.75(7.13)	16.00(4.41)	0.72

### 5.3 アンケート結果

本実験の最後に 4 種類のアンケートを行った。具体的には「システムに関するアンケート（以下、システムアンケート）」、「構造化に関するアンケート（以下、構造化アンケート）」、「部品に関するアンケート（以下、部品アンケート）」、「数学に対する意識や興味についてのアンケート（以下、興味アンケート）」である。本節では、システムアンケート以外の結果について示す。なお、6 件法（1：全くそう思わない、6：とてもそう思う）の質問については、各群の回答の平均値を載せている。システムアンケートの結果については、6 章で今後の課題として触れる。

### 5.3.1 構造化アンケート

構造化アンケートの質問内容と回答の平均値を表 3 に示す。「本システムによる学習が解法の構造理解に繋がるか」といった項目では平均値が 5.5 であった。また、「解法の構造理解が重要であるか」という項目については平均値が 5.7 を上回っていた。解法の構造理解が重要だと思う理由としては「中身の数値だけが異なるだけのことが多いから」、「解法の構造を理解することで複雑な問題でも解きやすくなると思うから」などがあった。「解法の一部を他の問題で応用する力は重要だと思うか」についても平均値が 5.5 を超えていた。理由として「すべての応用問題は下に基礎問題が存在すると考えているから」、「毎回 1 から考えるよりも早く楽に問題が解けると思うから」などがあった。また、本システムを用いた学習で構造化のスキルが身につくといった回答が多く確認できた。「定期試験前の学習方法」についての項目では、実験群では平均値が 2.8、統制群では平均値が 1.8 となった。理由としては「短期的な記憶となり、知識として定着しない」、「数値が変更されただけでも対応できない可能性がある」といった回答が多く見られた一方で「答えがあてれば点数をくれるようなテストなら悪くないと思う」という回答も見られた。これは学習方法の問題もあるが、現代の数学教育の問題点も挙げていると考えられる。「計算過程を目で見えるように残すこと」については「頭の中だけでは処理の量に限界があり、ど忘れなどによる誤りの原因になる」、「誤っていた時に振り替えることで、誤りの原因に気付きやすくなる」という回答が多く、自身の解答を目に見えるように残すことが重要であると考える人が多いことが分かった。「他の分野に部品の考え方を使えると思うか」に対しては、多種多様な回答が得られた。具体的には「チェスや将棋などのボードゲーム」、「物理や化学などの理系科目」、「歴史などの社会科系の科目」などが得られた。また「順序が関連するものであれば、どのような分野でも応用することが可能だと思う」、「考えるときに段階を踏むものであれば構造化できると思う」のように、分野に対してではなく、特徴を踏まえた回答もいくつか見られた。

表 3 構造化アンケートの質問と回答平均

質問内容	実験群	統制群
システム学習を通して「特定の問題における解法の構造理解」が定着すると思うか。	5.5	5.5
数学学習において「解法の構造理解」は重要だと思うか。	5.7	5.9
システム学習を通して「解法の一部を他の問題で応用する力」が習得できると思うか。	5.6	5.5
数学学習において「解法の一部を他の問題で応用する力」は重要だと思うか。	5.6	5.8
本システムの学習を通して「解法を構造化するスキル」を身につけられると思うか。	5.5	5.6
定期試験前などに、参考書類の答えを丸暗記する学習法は役立つと思うか。	2.8	1.8
今回のシステムのように「目で見えるように途中経過を残すこと」が重要だと思うか。		
「解法の構造化」を別の科目や分野に応用できると思うか。		

### 5.3.2 部品アンケート

部品アンケートの質問内容と回答の平均値を表 4 に示す。部品アンケートについては、用いたシステムの都合により実験群のみに行った。「抽象化の理解が深まるか」に対しては平均値が 5.3 となり、本システムが抽象化の理解を促している可能性が示唆された。また、実際に抽象化を行えたという回答も多く見られた。Q5 では「他の問題に活用できないと意味がないから」、「抽象化することで応用が効き、大量に記憶しておくより楽だから」といった回答が見られた。「公式を学ぶことと抽象化ではどちらの方が有効か」に対しては「抽象化の方が、公式を忘れてしまったとしても、自身で再構築できる」、「作成済みの公式を見るよりも、自分で抽象化して公式を作った方が理解が深まると思う」の

ように、理解度に着目した回答が多く見られた。部品の再利用に関する項目ではどちらも平均値が 5.5 となった。理由としては「既修の内容を再確認でき、理解を深められるから」、「再利用しないならば、部品を獲得する意味がないから」などがあつた。「公式をうまく扱えない理由」に対しては「公式を使うための条件などがわかっていない」、「公式を利用した練習が不足していることが多いから」のように、公式の理解が不足している点や、理解するための過程に対する意見が多く見られた。それに対して「システムでは自分で抽象化するため、どのように使うのかわかる」、「システムでは部品の再利用をしなければならないため、強制的に身につくと思う」といった回答が見られた。

表 4 再利用アンケートの質問と回答平均

質問内容	実験群	統制群
システム学習で「抽象化」について理解が深まると思うか。	5.3	
システム学習で「構造の抽象化」を行うことができたか。	5.3	
数学学習で「解法の抽象化」は大切だと思うか。	5.4	
参考書などで公式を学ぶことと今回の抽象化ではどちらの方が理解を深めると思うか。		
システム学習で「部品の再利用」の理解が深まると思うか。	5.5	
数学学習で「部品の再利用」は大切だと思うか。	5.5	
公式を暗記してもうまく使えない場合、どのような原因が考えられるか。		
上記の事例と本システムによる学習ではどのような差があると思うか。		

### 5.3.3 興味アンケート

興味アンケートの質問内容を表 5 に示す。数学に対する印象では「理解するまでは困難だが、理解できる

と楽しい」、「どのように解を導くのかを考えるのが楽しかった」などの意見が見られた。逆に「高校数学から公式が難しくなって追いつけなかった」などの意見も見られた。「数学が好きか」に対しては回答の平均値が 4 を超えた。また、嫌いになった理由としては「公式を教えるだから」、「授業に追いつけない」などの学校の授業に関する回答が多かった。「数学が得意か」では平均が 3 を越えたが、苦手寄りの回答が多かった。苦手な理由として「答えを見て理解した気になっていたから」、「一度躓くと戻りづらい」などがあつた。「数学教育の問題点」としては「できない人が取り残される」、「理解状況を考慮せずに先に進む」などがあり、改善策として「理解状況に応じた授業」、「個人に適切なフィードバック」などが挙げられていた。また、「本システムが数学学習に有効だと思う」という回答が半数以上を占めていた。理由としては「解答を導く過程が理解しやすい」、「自分のペースで進められる」などがあつた。

表 5 興味アンケートの質問と回答平均

質問内容	実験群	統制群
数学学習に対する印象を記述。		
数学は「好き」か。	4.2	4.0
「数学が嫌い」と答える人が最も挫折すると思う単元は何か。		
数学は「得意」か。	3.5	2.8
数学教育における問題点は何か。		
上記の問題点を解決するための対策はあるか。		
今回のシステム学習は「中学生に対して」有効だと思うか。	5.6	5.6
今回のシステム学習は「数学を学ぶ初学者」に有効だと思うか。	5.0	5.3

## 5.4 考察

### 5.4.1 テスト結果に対する考察

テスト結果を分析した結果について述べる。実験群においては、システム学習を通して構造化テスト、再利用テストの結果が大きく向上していた。結果について

て t 検定を行ったところ、有意な差が確認できた ( $p < .05$ )。また、効果量についても構造化テスト、再利用テストの両方で効果量大 ( $d > .80$ ) であった。そのため、本システムが解法の構造理解、解法の再利用性の向上に有効である可能性が示唆された。

統制群においても、システム学習を通して構造化テスト、再利用テストの結果が向上していた。結果について t 検定を行ったところ、有意な差が確認できた ( $p < .05$ )。また、効果量については構造化テストでは効果量大 ( $d > .80$ )、再利用テストでは効果量中 ( $d > .50$ ) であった。そのため、部品の考え方が解法の再利用性の向上に有効である可能性が示唆された。

構造化については統制群の効果量が実験群の約 2 倍となった。統制群では、部品の再利用がない分、多くの回数の構造化を行ったためであると考察する。一方で、部品の再利用性については実験群の方が向上したため、再利用を通じた学習支援の有効性も示唆された。

また、標準偏差に着目すると、2 倍以上の差が確認できる箇所があったことから、実験群と統制群の間に能力的な差があった可能性が考えられる。この点については、今後被験者数を増やし、学習効果の妥当性を確保する必要があると考えている。

#### 5.4.2 アンケート結果に対する考察

アンケート結果から、本システムが解法の構造理解や解法の再利用に対して有効であるといった回答が多く見られた。また、本システムでは構造化と抽象化をメインに扱っており、具体的な数値の計算などは行わせていない。そのため、数学的な能力を問うことが少なく、学習者の負担が小さかったことから学習効果が得られた可能性も考えられる。しかし、実際の回答から「基礎知識が抜けている学習者が使うには難しいと思う」とような回答が得られたことも事実である。確かに本システムが支援している学習者は、数学の基礎知識を備えていることを前提としている。そのため、基礎知識が抜けている学習者や初学者に対しても支援できるように改良する必要があるが、基礎知識を定着させるためには、別の手法を考える必要がある。

## 6. おわりに

本研究では、プログラミング学習における部品の考え方を数学学習に転用した。中学数学の関数分野を対象とし、解法の構造理解と解法の再利用を促す学習支援システムの開発と評価を行った。本システムを用いた評価実験の結果、本システムは学習効果を有しており、構造の理解に対して有効であることや、部品の考え方が解法の再利用を促していることが示唆された。

アンケートの結果から、本システムによる学習が数学学習に有効である可能性が示唆されると同時に、数学初学者に対しても有効である可能性が示唆された。しかし、数学の基礎知識を持ち合わせていない学習者に対しての支援は行えておらず、別のアプローチを考えることは今後の課題である。また、システムアンケートの結果から「操作難易度の高さ」が確認できた。操作難易度の高さは、学習者の負担を増やし、学習効果に影響を与える可能性が高いため、改善が必要だ。

今後の展望としては、高校数学への応用や他分野への転用を考えている。構造的な考え方をを用いる分野であれば、様々な分野に転用できると考えている。

## 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP22K12322, JP24H00454 の助成による。

## 参考文献

- (1) 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗: “プログラミングの構造的理解を指向した部品の段階的拡張手法の提案と支援システムの開発・評価”, 教育システム情報学会誌, Vol.36, No.3, pp.190-202 (2019)
- (2) 平嶋宗, 東正造, 柏原昭博, 豊田順一: “補助問題の定式化”, 人工知能学会誌, Vol.10, No.3, pp.413-420 (1995)
- (3) 平嶋宗: “学習課題の内容分析とそれに基づく学習支援システムの設計・開発: 算数を事例として”, 教育システム情報学会誌, Vol.30, No.1, pp.8-19 (2013)
- (4) 内山裕太, 古池謙人, 東本崇仁: “中学数学の関数分野における解法の構造理解と部品の知識の獲得・再利用を指向した学習支援システムの提案”, 第 49 回教育システム情報学会全国大会 (2024)