

# 中学基礎計算の途中計算を促進する記号ハイライト手法の提案

植木里帆<sup>1</sup> 中村聡史<sup>1</sup>

**概要:** 中学校数学において、正負の数や文字式といった中学校1年生の初頭に学習する基礎計算は重要であり、この基礎計算での計算ミスを防止するために、途中計算を通分や、正負の割り算をするたびに書くことが有効である必要である。しかし、途中式を書くのは時間がかかるため敬遠したり、暗算で答えを出す方が良いと思いつく生徒は一定数いる。こういった生徒に途中式の重要性を感覚的に理解してもらうことを目的とし、記号を主にハイライトする手法を提案する。具体的には、プログラミングのシンタックスハイライト機能のように、タブレットで計算練習をする際、リアルタイムで+×などの計算記号に色を自動付与するものである。この手法により、視覚的に計算の方針を立てやすくなること、計算ミスが減少することを理解し、途中計算を書くようになることと仮説を立てた。このような途中計算を促進するための数学記号ハイライトのプロトタイプシステムを実装し、実験により提案手法の有効性を検討し、実験から問題点の洗い出しを行い、改善点を整理した。

**キーワード:** 中学校数学, 基礎計算, 途中計算, シンタックスハイライト

## 1. はじめに

中学校数学において、基礎計算の習得は必要である。ここでいう基礎計算とは、中学校1年生で学習する正負の数や文字式の計算のことを示している。正負の数や文字式の計算の重要性を述べている研究は多く[1]-[3]、この基礎計算でつまづいてしまうとその後の数学学習に影響を及ぼす可能性がある。しかし、基礎計算の習得でつまづく生徒は多い[4]-[6]。これは算数と数学の考え方の違いが大きいことに起因する[7]。例えば、小学校では「 $3+5=?$ 」のようにイコール記号は式と結果を結ぶものという認識で学習するが、中学校では同値関係を示す記号であるという認識をしなければならない。Herscovicsら[8]によると、このイコール記号の意味を正しく理解できないと、計算順序の誤解が頻繁に起こると示されている。また、Linchevskiら[9]によると、小学校では「+」や「-」は「足す」「引く」を表す演算記号の認識であったが、中学校では「正の数」「負の数」を表す符号として解釈する必要があり、ここで認知ギャップが生じるとしている。そのため、小学校から中学校に進学した際に数学に対して苦手意識をもつ生徒は多く、こういった生徒は基礎計算において計算ミスを多発してしまう。数学学習でつまづかないためには、早い段階でこのような計算ミスをしないように訓練する必要がある。

基礎計算の計算ミスが起こる原因のひとつとして、計算の途中過程を書かないことが挙げられる。田中ら[10]は符号や通分時のケアレスミスは見直しによって軽減できるとし、見直しのために途中式を書くことは重要であるとしている。また、途中式を書くことによって脳にかかる負担を減らし、次の計算ステップを視覚的に捉えて考えられることや、次回以降、途中式が同じような問題に出会った時に気をつけることができるようになるなど、途中式を書くことの重要性を説いている。

このように計算の途中過程を書くことは重要であるにもかかわらず、途中式を書かない生徒は多い。船越ら[11]は

中学1年生の男子生徒にペーパーテストを実施したところ、計算問題の不正解は全て筆算や途中式を書かないことによるケアレスミスが原因であったとしている。また、男子生徒はペーパーテスト後の感想に「途中式を書かずに計算できた」と書いており、むしろ途中式は書かずに暗算したほうが良いと認識していることがわかった。筆頭著者も塾講師として中学生を対象に数学を教えているが、途中式を書くようにとの指示をしても書かない生徒は一定数いる。このような事例や経験を含め、途中式を書かない理由をまとめると、

- (ア) 途中式の書き方がわからない
- (イ) 問題用紙に十分に途中式がかける余白がない
- (ウ) プリントは汚してはいけないという意識がある
- (エ) 途中式を丁寧に書くと時間がかかり面倒である
- (オ) 暗算でできた方が良いと思っている

などが考えられる。本研究では、この中から最も人数が多いと思われる(エ)、(オ)のように途中式を書くことを面倒であると認識している、または、むしろ書かない方がよいという誤った考えをもつ生徒に着目した。(エ)や(オ)の原因は、途中式の重要性を生徒たちが十分に理解していないことであると推測される。しかし、生徒たち一人一人に途中式の重要性を理解し、納得してもらうには限界がある。

そこで本研究では、中学校1年生の初めに学習する正負の数や文字式といった基礎計算を対象に、感覚的に途中式の重要性を理解してもらうことを目的とした途中計算支援システムを提案する。具体的には、符号や演算子、括弧などの記号をメインに自動で色付けを行うものである。これにより、「書けば色がついて見やすくなる」ことを感覚的に理解し、途中式を書くようになることが期待される。また、記号に色がつくことでミスのしやすい符号や計算順序に意識が向きやすくなり、見直しをするときの要点を押さえることができるようになることを考えた。

本稿では、このような途中計算を促進するための数学記号ハイライトのプロトタイプシステムを実装し、実験により提案手法の有効性を検討する。また、実験から問題点の洗い出しを行い、改善点を整理する。

## 2. 関連研究

### 2.1 数学支援システムに関する研究

数学の計算を苦手とする人は多く、様々な解決策が検討されている。また、近年は e-learning の流行により小学生や中学生でもタブレット端末を用いた授業スタイルが主流になりつつある。そのため、電子的な数学の補助を目的としたアプリケーションやシステムが登場するようになった。

Microsoft Math Solver[12]や Photomath[13]というアプリはカメラで計算問題を認識し、読み込み、計算をして答えを提示する。また、計算の仕方をステップごとに表示する機能も搭載している。しかしこれらのアプリでは答えが自動で計算されて提示され、計算の仕方を直接的に教えるものであり、自分で考えて計算する力がつきにくいことが問題点としてある。一方、数学トレーニング[14]というアプリでは計算問題に回答する際にメモ欄があり、自由に筆算や途中式を書くことができる。しかしこのアプリは途中式を書くこと自体への支援をするものではない。

古園ら[15]は、中学校数学の家庭学習管理に焦点をおき、Moodle[16]と STACK[17]と WIRIS[18]を組み合わせた学習管理システムを提案した。Moodle とはオープンソースの e-learning プラットフォームであり、生徒の学習をオンライン上で管理することができる。そこへ STACK という数式の正誤判定に重点をおいたオンラインテスト評価システムと WIRIS という手書き数式認識評価システムを組み合わせることで、より数学に関する分野を充実させることが可能になった。課題として、実際にシステムを生徒や教員に使用してもらい、システムの有用性評価をすることなどが挙げられている。

森重ら[19]は手書きの計算過程について、行単位で正誤判定し即座に正誤のフィードバックを行うシステムのプロトタイプを作成した。このシステムにより、学習者の習熟度によらない正誤フィードバックが可能となり、問題設定についても複雑な問題設定ツールを用いない設計にすることで問題設定の負担軽減を目指した。また、作成したプロトタイプの試行により手書き数式の誤認識などいくつかの問題点を発見した。

本研究はこれらのアプリケーションやシステムとは異なり、途中式を書くことに焦点をおいた自らの計算スキル向上を目指すものである。

### 2.2 色付けによる支援に関する研究

テキストの色変更やハイライトをつけて強調することにより、文書やプログラムコードの理解を促進する研究は数多く行われている。

Hendら[20]は、アラビア語の単語を分解（デコード）して単語の理解をしやすくするため、アラビア語のテキストに自動で色をつける Web ベースのシステムである Arcode を実装した。実験では 10 人の生徒と 5 人の教師に白紙を配布し、与えられたアラビア語のテキストのすべての接頭語と接尾語を書き出すように指示し、システムを利用した場合と利用していない場合で比較した。その結果、システムを利用した場合に、生徒と教師双方が良いスコアを示し、システムの有効性を明らかにしている。

Beelders ら[21]はプログラムコードのシンタックスハイライトによって学生のソースコードの理解に影響を及ぼすかを調査した。シンタックスハイライトとは、プログラムコードの一部を規則に応じて色分けする機能である。実験の結果、主観的に学生はシンタックスハイライトのされたプログラムのコードの方がシンタックスハイライトのされていないコードより読みやすいことを明らかにしている。同様に、Advait[22]はシンタックスハイライトがプログラム理解に与える影響について、シンタックスハイライトありとシンタックスハイライトなしのコードについてタスクを用意し、被験者内で比較した。実験の結果、シンタックスハイライトありの方がシンタックスハイライトなしの方よりタスク完了時間が大幅に短縮したことを示している。また、この効果がプログラミングの経験の増加とともに弱まることも明らかにしている。

これらの研究のように、言語やプログラムコードにおける色付けによる効果が明らかになっており、数式の一部においても色付けしてハイライトすることで自身の数式が理解しやすくなると考えられる。

## 3. 数式ハイライトシステム

### 3.1 提案手法

中学生が間違えやすい計算として、符号間違いや計算順序の誤り、数字と文字のまとまりに対する意識の不足などがあげられる。例えば、交換法則で数式の順番を入れ替えたり、負の数を分配したりするなどは間違えやすいものである。そのため、こうした間違いを低減すること重要である。

ここで IDE などを用いてプログラムを書いている際、括弧や予約語などに自動で色がつくシンタックスハイライトされる。こうしたシンタックスハイライトは、プログラミングにおいて欠かすことができないものである。本提案手法では、シンタックスハイライトを数式にも応用し、先述のようなミスを減らすことを目的としている。

$$\begin{aligned} & \textcircled{1} (4b+2)-2(6-2b) \\ & = (4b+2) - 2(6-2b) \\ & = 4b+2 - 12 + 4b \\ & = 4b + 4b + 2 - 12 \\ & = 8b - 10 \end{aligned}$$

図1 提案手法 (数式ハイライトシステム)

図1はその数式にシンタックスハイライトを行っているもののイメージ図である。ここではイコールの位置を揃えさせるためイコールを緑色で、また交換法則でプラスとマイナスが入れ替わらないようにするためプラスを赤色、マイナスを青色で提示している。また、括弧の展開(分配法則)におけるミスを防ぐため、括弧で囲まれた領域を蛍光ペンのような装飾をすることにより、どこがグループ化されているかをわかりやすくしている。

この手法により、自らが記述した数式が見やすくとともに、気をつけるべき箇所を意識できるようになると期待される。また、途中式を書かない生徒に感覚的に途中式の重要性を理解してもらい、途中式を書いていくのではと期待される。

### 3.2 プロトタイプシステム

プロトタイプシステムの実装にあたり、計算間違い全てをしないようにハイライトすると、様々な色が混在してしまい、却って混乱を招く原因となりうる。

そこで本研究では、「=」「+」「-」「×」「÷」のような数学記号に焦点を当て、まずは数学記号にのみ色がついた場合にどのような結果になるかを検証する。具体的には、「=」は途中式の「=」を縦に揃えて書くようになり、「+」「-」は符号に意識が向き、「×」「÷」は計算順序に気をつけるようになると期待される。

以上を踏まえ、生徒がタブレットでペンを利用して計算問題を解いている最中に、生徒が書いた数式(途中式)をシステムが認識し、その認識結果に数学記号「=」「+」「-」「×」「÷」があった場合に、それぞれの記号へ異なる色にペンの色を変えていくプロトタイプシステムの実装を行った。プロトタイプシステムの実装は p5.js を用い、数式の認識には myscript の API[23]を用いた。

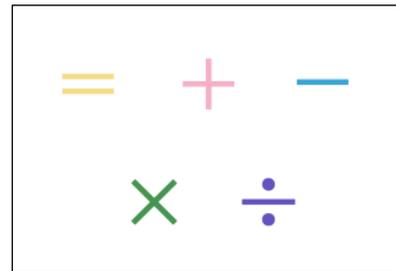


図2 数学記号の色

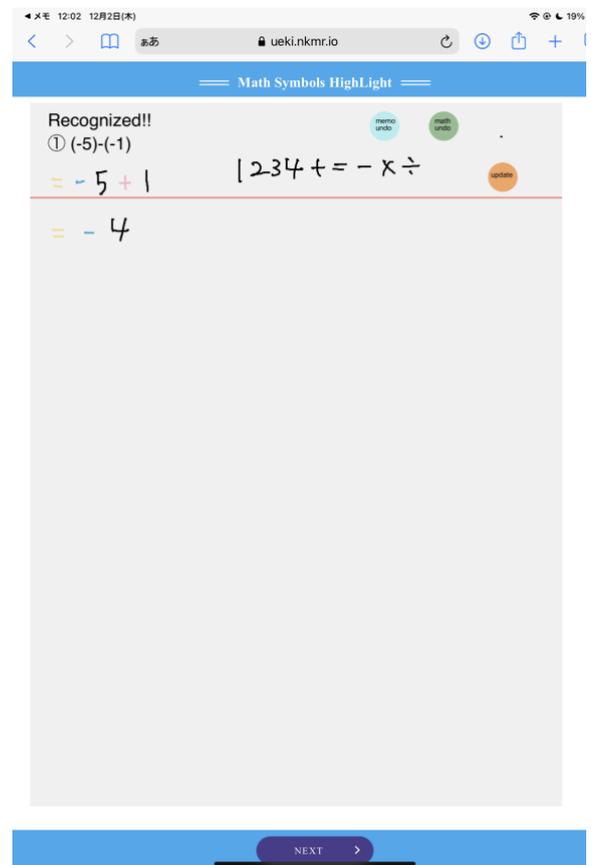


図3 プロトタイプシステム

なお、本システムでは、ユーザがストロークを書くたびに、そのストローク情報を myscript の API 側に送信し、認識結果を取得する。この認識結果とストローク情報から、どのストロークが数学記号であるかを判別し、数学記号に色をつけるものとなっている。色をつける数学記号は、今回は「=」「+」「-」「×」「÷」に限定し、図2のような色で示すこととした。なお、色の設定においては、頻繁に使用する記号「=」「+」「-」ができるだけ似通った色にならないように著者が注意した。

プロトタイプシステムの画面図を図3に示す。

### 3.3 プロトタイプシステムの利用方法

ユーザがシステムにアクセスすると、数式を認識するための通信が始まる。通信が正常に始まったことを確認してから、計算問題の表示がされる。計算問題が表示されると、

システム内に赤いライン、「memo undo」という水色のボタン、「math undo」という緑色のボタン、「update」という橙色のボタンが表示される。

本システムでは、ユーザは赤いラインの下に随時計算を記述していくことになり、随時認識結果に応じてハイライトされていく。一方、赤いラインより上に書いた文字や数式、メモ書きについては認識が行われなくなっており、システム利用者は赤いラインの上側には自由にメモを取ることができる。

画面上部の「memo undo」ボタンは、ボタンを押すごとに赤いラインの上側に書いたメモ書き、「math undo」は、ボタンを押すごとに赤いラインの下側に書いた数式をそれぞれ一画ずつ戻すことができる。また「update」は、プロトタイプシステムの都合で、行を変えて数式を書いてしまうと認識がうまくいかない問題をなくすために用意しており、このボタンを押すことで、これまで書いた数式のすぐ下に赤いラインが移動し、認識がリセットされるようになっている。

システムの都合上、あとから書いた数式に付け足しを行うと認識がうまくいかないため、数式を書き間違えたことに気づいた際は「math undo」で1画戻すか、「update」を押してその下の行に最初から書き直すように指示した。

数式を書いている際には、問題の上に数式が認識中であることを示す「recognizing...」か、認識が終わったことを示す「Recognized!!」のどちらかが表示されるようになっている。なお、プロトタイプシステムでは実装の都合上、「recognizing...」表示中に「update」を押すと、認識結果が返ってくる前に認識をリセットすることになってしまうため、「recognizing...」表示中は「update」を押さないようにした。

計算終了後、一番下の「NEXT」を押すと画面のスクリーンショットが保存され、次の問題にすすむ。最終問題では「NEXT」が「FINISH」に変わり、「FINISH」を押すと終了となる。

## 4. 実験

### 4.1 実験概要

本提案手法に関連して、「数学記号に色をつけると自らの数式が見やすくなることや気をつけるべき箇所の意識がしやすくなることで、途中式を書くようになる」という仮説を立て、その仮説について検証する。ここではまず、プロトタイプシステムが途中式の書き込みにどのような影響を及ぼすのか調査を行う。

各実験協力者が、どの程度途中式を書くのか把握するため、実験ではまず、数学記号に色がつかないようにしたシステムで5問解答してもらった。その後、プロトタイプシステムの説明をし、練習をしてもらった後、プロトタイプ



図4 メモアプリの画面

システムを用いて10問の計算に解答してもらった。以降、色がつかないシステムを「ベースラインシステム」、プロトタイプシステムを「提案システム」と表記する。

実験ではApple Pencilの利用ができる10.9インチのiPad Air (第4世代)、12.9インチのiPad Pro (第3世代)、12.9インチのiPad Pro (第1世代)を利用した。

実験の参加者は、中学1年生4名(男子2名、女子2名)であった。

### 4.2 実験の手順

実験前に、iPadのメモアプリにテストと提案システム、アンケートへのリンクをそれぞれ用意した(図4)。実験協力者はこのメモの名前記入欄に名前を記入し、①のリンクからベースラインシステムにアクセスしてもらった。アクセス後、Apple Pencilを用いて5問のテスト問題に解答してもらった。

次に提案システムの利用方法や注意事項が記載された仕様書(図5)を紙で配布し、口頭で説明しながら②のリンクから提案システムを利用し練習をしてもらった。なお、練習では計算問題を3問設定していたが、使用方法を理解するまでは何度でも練習可能とした。練習の後、③のリンクから提案システムにアクセスし、分析対象となる10問の計算問題に解答してもらった。解き終わった実験協力者は監督者にその旨を伝え、監督者は結果の画像を見て答え合わせをし、間違っていた問題に関しては、解き直し用紙を紙で配布する「解き直し用紙」にするよう実験協力者に求めた。その後、④のリンクからアンケートに回答してもらい、実験は終了となる。

### 4.3 計算問題

最初のテストの問題とシステムの問題を表1,2に示す。問題は中学1年生の初頭で学習する正負の数と文字式の計

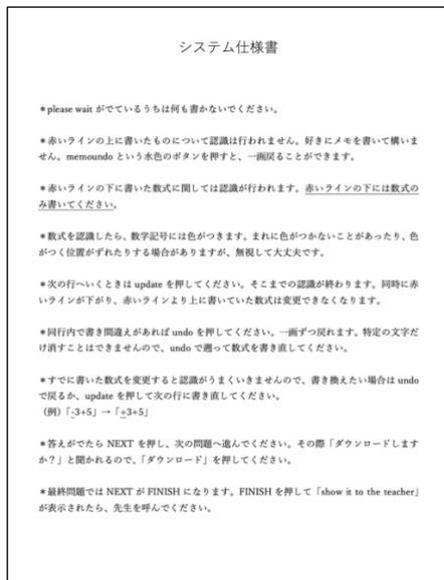


図5 プロトタイプシステムの仕様書

表1 ベースラインシステム1回目の計算問題

	ベースラインシステム
1 問目	$(-6) - (+9)$
2 問目	$(2a+6) - (3a-2)$
3 問目	$5a \times (-2)$
4 問目	$(12a-6) \div (-2)$
5 問目	$15 - (-21) \div (-3/4)$

表2 システム1回目の計算問題

	システム
1 問目	$(-5) - (-1)$
2 問目	$(-4) + (-10)$
3 問目	$(a+5) - (-2a-5)$
4 問目	$(3b+7) - (-4b-6)$
5 問目	$(-8b) \times (-7)$
6 問目	$6a \times (-2b)$
7 問目	$(24a-9) \div (-3)$
8 問目	$(25k-15) \div 5$
9 問目	$1 - (-6) \div (-3/4)$
10 問目	$3 - (-8) \div (-2/5)$

算から出題した。ベースラインシステムの問題数は5問、システムの問題数は10問である。システムの問題はベースラインシステムの問題の類似問題を2問ずつ出題した。なお、文字式の計算の文字には一般的に「x」や「y」が用いられるが、「x」の誤認識が頻繁に生じてしまうため今回は「a」と「b」を用いた。

#### 4.4 結果

実験の参加者は、中学1年生4名(男子2名, 女子2名)であった。

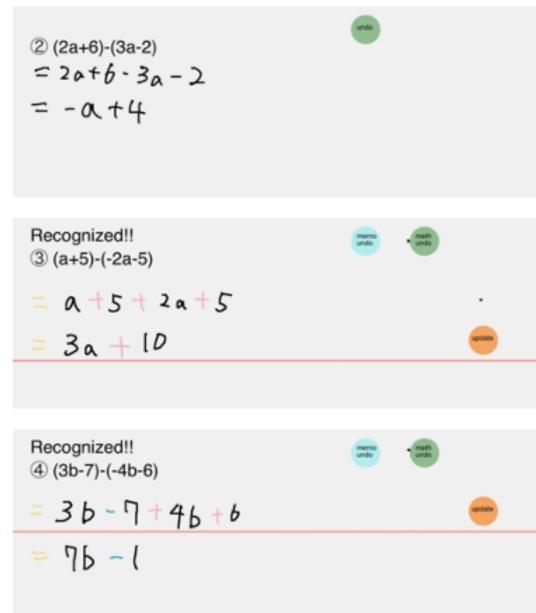


図6 生徒Aの計算画面

ここで、プロトタイプシステムの認識精度が不十分であったことや、実験環境でのネットワークの不調などにより、数学記号以外に色がついてしまったことがあった。またプロトタイプシステムに制約があったことや、途中式をできるだけ書かず一気に答えを書こうとする実験協力者がいたことから、我々の予想とは異なり、実験参加者3名についてはシステムの利用により差はなく、効果がなかった。そこで、唯一特徴があった生徒Aについて着目し分析を行う。

ここで生徒Aのテスト用の2問目と提案システム用の3問目、4問目の計算結果の画面を図6に示す。この生徒のテスト2問目を見ると、後半の括弧の前にマイナスがあるため、括弧を外す際に符号を変えなければならないところを2行目の途中式で間違えていた。一方で、テスト用の2問目の類似問題である提案システム用の3問目と4問目を見ると、テスト2問目で間違えていた符号を正しく変えており、問題に正解していた。

一方、テスト用の5問目とその類似問題である提案システム用の9問目、10問目の計算画面の一部を図7に示す。図7から、計算の誤答が多く見られ、この問題の解き直しに正解することができていなかったことから、本システムがサポートできないレベルで難易度が高かったことが推察される。

アンケートについて、途中式を書くことについてどう思うかという設問に対して、ほとんどが途中式の重要性や必要性を感じていた。中には「大切だけど面倒くさくて省いてしまう」という意見が2名、「必要ないと思う」という意見が1名見られた。また、提案システムの数学記号に色がつくことについてどう思うかという設問に対して、「邪魔、面倒くさい、意味ない」3名、「気にならない」1名、その

他は「いいと思う、見やすい、まとまりがわかりやすい、符号ミス減りそう」という回答が得られた。また、提案システム使ってみた感想について、「また使ってみた、よかった」という感想がある一方で、「認識が遅い、色が付きづらい」という回答も得られた。

#### 4.5 考察

テストでは符号を変え忘れていたのに対し、提案システムでは符号を変えていた生徒 A は、数学記号への色の付与がうまく行われ、数学記号に色が付与されることで符号へ意識が向き、気をつけるようになる可能性が示唆された。しかし、テストと提案システムの問題を比較すると、提案システムの問題では後半の括弧のあとすぐに負の数がある問であり、これにより符号を変えた可能性がある。

テスト 5 問目とその類似問題である提案システム 9 問目、10 問目の正答率が著しく低く、この生徒は解き直しに正解することができなかった。この問題は四則計算の順番を理解し計算できるかをみる問題であり、ほとんどの間違いは割り算から計算すべきところを引き算から計算している計算順序による間違いであった。

このことから、実験協力者の学力レベルにおいて、複雑な四則計算は難易度設定として適切ではなかった恐れがある。また、図 6 にあるテスト 2 問目のような掛け算を一回すれば答えが導けるような問題では、数学記号に色がついて見返す機会がなく、提案システムではあまり意味がないようであった。さらに、今回の実験協力者は中学 1 年生であるが、正負の数や文字式の計算を学習してからだいぶ時間が経っていたため、一部問題は簡単であったことや、問題の  $\frac{3}{4}$  という分数表記が「 $4/3$ 」のようになっており、一般的に中学校の計算問題では表記しない表記法だったことが混乱を招いた可能性がある。

アンケート結果からは数学記号に色がつくことで数式のとまりが見やすくなる、符号に意識が向くなどの意見が多く、主観的にはポジティブな印象があるという結果が得られた。一方で、邪魔であったという意見も見られ、このような意見を寄せた実験協力者の計算画面をみると、数学記号にうまく色が付与されていなかった。そのため、システムの認識精度向上が必要である。

### 5. システムの改良に向けた追実験

#### 5.1 追実験概要

これまでの結果を踏まえ、またシステムの改善点を洗い出すため、より途中式を書く必要性があり、計算ミス誘発しそうな計算に問題を見直し (表 3, 4)、追実験を行った。追実験では、中学 1 年生男子 3 名と、大学生・大学院生 8 名 (男性 5 名、女性 3 名) に同様の手順で実験を依頼した。なお、4 章での実験に参加していた生徒 A にも、追実験に参加してもらった。

表 3 ベースラインシステム 2 回目の計算問題

	ベースラインシステム
1 問目	$(-6) - (-11) + 3$
2 問目	$(-4) - (+21) - (-7)$
3 問目	$(5a+4) - (3a-9)$
4 問目	$(2b+2) - 4(3-5b)$
5 問目	$-3(3a-7-8a+1)$
6 問目	$2a \times 7 - 5a \times (-2)$
7 問目	$(19a-3) \times (-5) + 3a$
8 問目	$3(7k-4) - 5k$
9 問目	$23-5a-15+4a-3-8a$
10 問目	$4 - (-7b) \times (-8)$

表 4 システム 2 回目の計算問題

	システム
1 問目	$(-8) - (-12) + 5$
2 問目	$(-5) - (+12) - (-4)$
3 問目	$(2a+5) - (3a-7)$
4 問目	$(4b+2) - 2(6-2b)$
5 問目	$-3(2a-5-3a+4)$
6 問目	$4a \times 2 - 8a \times (-3)$
7 問目	$(24a-8) \times (-4) + 3a$
8 問目	$3(8k-6) - 2k$
9 問目	$15-9a-19+3a-2-7a$
10 問目	$3 - (-9b) \times (-3)$

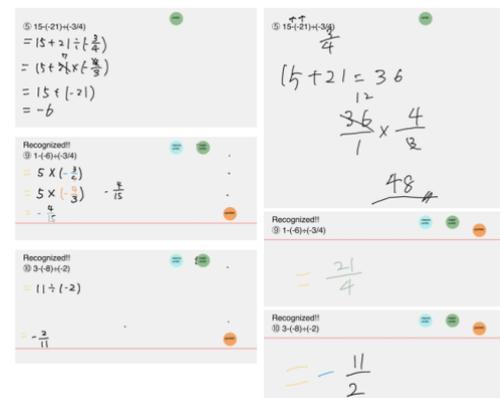


図 7 正答率の低い問題の計算画面

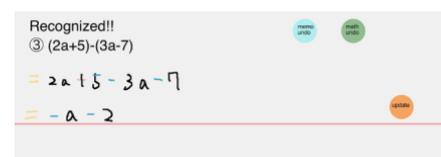


図 8 生徒 A の提案システム 3 問目の計算画面

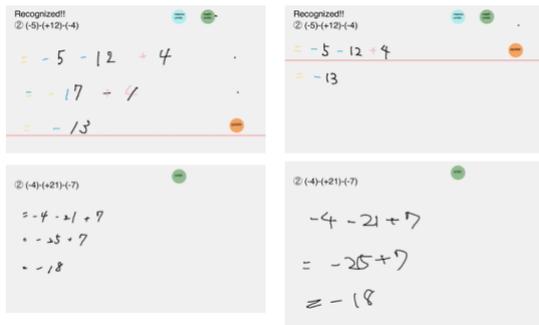


図9 大学生・大学院生の計算画面

## 5.2 追実験結果と考察

ここでも、提案システムの利用の有無によって効果は見受けられなかった。そこで、実験協力者の間違いに着目しながら結果について分析を行う。

生徒Aの提案システム3問目の計算画面を図8に示す。提案システム3問目も本実験のテスト2問目と同様に、後半の括弧のあとすぐにきていたのは正の数であり、符号ミスが見られたため、括弧のすぐ後ろにマイナスがない場合には後半の括弧の中身の符号を全て変えなければいけないことを忘れていた。そのため、数学記号に色が付与されることで符号へ意識が向き、気をつけるようになるというわけではなかった。

ベースラインシステム、提案システムともに、実験協力者が解いた計算問題からさまざまな計算ミスのパターンがみられた。今回、括弧をはずす際に、括弧の前にマイナスがあるのに符号を変え忘れる、「-」×「-」を負の数にするような計算ミスが見られた。これらのミスは問題の解き始めて生じており、色が付与されていない段階での計算ミスである。そのため、最初の計算問題にハイライトをするか、問題文を写してシステムにハイライトしてもらってから問題を解き始めさせるような仕組みが必要である。

また、本実験のベースラインシステム4問目のように後ろから割り算の分配をしなければならぬのに、括弧の一番後ろの項しか計算していないという計算ミスが見られた。このようなミスを防ぐためには括弧で括られた数式のまとまりを意識させる必要がある。括弧の中身の数式にマーカーのようにハイライトすることで数式のまとまりがより意識できるようになると考えられる。

一方、四則計算の順序を取り違え、前から順に計算してミスしている例が見られた。これには「×」と「÷」を「+」と「-」より目立つ色に設定することで、計算順序に意識が向くと思われる。他に、括弧の中に同類項があるのに計算せずに分配しているミスや文字式と数字を足している計算ミスが見られた。これは文字式の認識がしっかりできていないことが理由として考えられる。そのため、この問題については同じ文字式の項を同じ色にすることで改善できると考えられる。

なお大学生・大学院生は全体的に中学生よりも途中式を丁寧に書いており、計算ミスもほとんど見られなかった。ここで一部問題について、テストと比較して提案システムで途中式の量が増減していたケースがあった(図9)。そこで該当する2人の実験協力者に理由を尋ねたところ、「数学記号に色がついているため認識しやすかったから」と、「色ありは識別までに時間かかるから早く終わらせようと頭の中で計算して書いた。色なしはそういったことがなく、あまり考えずに解くため、メモ程度で書いたから途中式が多い」とのコメントが得られた。このことより、認識によるハイライトは効果的であるものの、十分な速度で行わなければ問題があることが推察される。

学校のテストといった通常の計算問題を解く際に、システムに慣れてしまったことで色が付与されないと計算ミスをするといったことが起こる懸念がある。今回のような1回の実験ではシステムの慣れ具合は測れないため、長期的な実験を行うことにより明らかにする必要がある。

## 6. 課題と展望

アンケート結果や実験の様子を見ても、システムの色が付くまでの遅延と誤認識によって、思い通りに色が付かないことによりフラストレーションがあるようであった。このことから、認識速度と認識精度の見直しが課題点としてあげられた。また、システムの使い方が複雑であったことも課題点としてあげられた。具体的には赤いラインの下にメモを残すと認識がうまくいかないと伝えたが、筆算などを赤いラインの下に書く実験協力者が見られた。また、「update」を押し忘れたり、すでに書いた数式に後から付け足しをして認識がうまくいかなかったりする様子も見られた。このことからメモをとる際は、赤いラインで線引きをするのではなく、計算スペースとは別にメモスペースを用意するなどの工夫が必要である。

今回実験に協力してもらった中学1年生は基礎計算を学習してからだいぶ時間が経っていたため、十分なレベルに達していた可能性がある。そこで、基礎計算を学習し始めた生徒を対象に実験を行うことが重要であると考えられる。また、計算問題の分野を方程式に拡張する、色の付与の仕方を変えることも検討している。

一方、中学生はあまり提案システムで色がうまく付与されない場面が多かったが、一部途中式量の増加が見られた。また、イコールの位置が揃う傾向があった。これは、「update」を押して一行ずつ認識する必要があったため、途中式が増加するとともに、「update」を押すという手続き的な処理により位置合わせが促された可能性がある。ただし、途中式量の増加はiPadでの計算練習に慣れたことによるものである可能性も拭いきれない。そのため、ベースラインシステムと提案システムの使用順序を変えて再度実験を行い、

比較するとともに、効果がある場合はそうしたデジタルならではの工夫を行っていくことも考えられる。

## 7. まとめ

本稿では、中学校1年生の初頭に学習する正負の数や基礎計算において、途中式を書かない生徒に途中式の重要性を感覚的に理解させるための数式ハイライト手法を提案した。具体的には、生徒がタブレットで計算問題を解いている最中に数学記号を認識すると自動で色を付与するものであり、その一部機能をプロトタイプシステムとして実装し、実際に中学1年生と大学生・大学院生に実験を依頼した。実験の結果、自動で数学記号に色付けをすることによる効果は、認識精度の悪さや途中式の高速筆記、ハイライトの仕方が不適切であった可能性などから、良い結果を得ることができなかった。そのため、今後はシステムの認識精度の向上や手法の見直しを行う予定である。また、アンケート結果からは数学記号に色がつくことで、数式のまとめ意識や、符号への注意ができるという意見が多く得られた。このことから工夫次第によっては数学記号への色付与は有効であることが示唆されたが、今回のハイライト手法は不十分であったため、改良を行う必要がある。

今後、実験協力者の計算間違いをもとにシステムをさらに改善し、そもそもどういったハイライトが認識しやすいかなどを検討していく予定である。また、長期的な実験を実施することによりその有用性についても検討を行っていく。さらには、我々が目指している途中式を書くことを促すことができるかについても、検討を行っていく予定である。

## 参考文献

- [1] 柳本成一. 正の数・負の数の四則—3つの指導法の比較—. 日本数学教育学会誌, 1990, 72(9), pp.325-335.
- [2] 岡崎正和. 全体論的視座からの正負の数の加減の単元構成に関する研究—教授学的状況論と代数的思考のサイクルの視点から—. 数学教育学研究, 2003, 9, p.1-13.
- [3] 三輪辰郎. 文字式の指導序説. 筑波数学教育研究第15号, 1996, p.1-14.
- [4] 鈴木敬介. 中学校における文字式指導に関する基礎的研究—文字式が本当にわかって、使えるために何が大切か—. 上越数学教育研究, 第21号, 上越教育大学数学教室, 2006年, pp.147-160.
- [5] 浅井昭四, 奥村敏夫, 坂野孝彦, 野々山親, 安田典正, 岡崎徹. 分かりやすい授業を目指した計算指導つまずきの実態調査を踏まえて. 日本数学教育学会誌, 1987年, 69巻, 3号, p. 13-20.
- [6] 戸谷亜希子. 正負の数の加法・減法の教科書分析と認知的研究からみえる算数と数学の乖離の様相について. 上越数学教育研究, 第22号, 上越教育大学数学教室, 2007年, pp.163-174.
- [7] 小山正孝. 算術から代数への移行に関する認識論的考察. 日本数学教育学会, 第21回数学教育論文発表会論文集, 1988, pp.52-57.
- [8] Herscovics, N. and Linchevski, L.(1994). A cognitive gap between arithmetic and algebra. Educational Studies in Mathematics, 27, pp.59-78.
- [9] Linchevski, L. and Herscovics, N.(1996). Crossing the cognitive gap between arithmetic and algebra: Operating on the unknown in the context of equation. Educational Studies in Mathematics, 30, 39-65.
- [10] 田中紗枝子, 池田丈世, 岡直樹, 宮谷真人. 数学の学習に困難を示す中学生への認知カウンセリング: 計算問題に関する援助を通して. 学校教育実践学研究, 2013, 第19巻, pp.29-36.
- [11] 船越咲, 岡直樹, 森田愛子. 図形問題や文章題に困難を示す中学生への学習支援. 学校教育実践学研究, 2016, 第22巻, pp.35-43.
- [12] Microsoft. Math Solver. <https://math.microsoft.com/ja>, (参照 2021/12/08).
- [13] Photomath, <https://photomath.com/>, (参照 2021/12/08).
- [14] 数学トレーニング. <https://apps.apple.com/jp/app/数学トレーニング/id1070817345>, (参照 2021/12/08).
- [15] 古園憲一郎, 葛崎偉. Moodle を用いた中学校数学の学習支援. 山口大学教育学部研究論叢, 2019, 第68巻, pp.1-10.
- [16] Moodle. <https://moodle.org/>, (参照 2021/12/08).
- [17] STACK. <https://ja-stack.org/>, (参照 2021/12/08).
- [18] WIRIS. <https://www.wiris.com/en>, (参照 2021/12/08).
- [19] 森重湧太, 中川正樹. 手書き数式認識を用いた計算過程の正誤フィードバック. 研究報告コンピュータと教育 (CE), 2014, vol.2014-CE-126, No.13, pp.1-5.
- [20] Hend S. Al-Khalifa. A System for Decoding and Coloring Arabic Text for Language Learners. IEEE, 2019, vol.7, p. 104810-104822.
- [21] Beelders, T.R. & du Plessis, J.-P.L. Syntax highlighting as an influencing factor when reading and comprehending source code. Journal of Eye Movement Research, 2016, vol.9, No.1, p.1-11.
- [22] Advait Sarkar. The impact of syntax colouring on program comprehension. Proceedings of the 26th Annual Conference of the Psychology of Programming Interest Group (PPIG 2015), 2015, pp.49-58.
- [23] Myscript Developer. <https://developer.myscript.com/docs/apis>, (参照 2021/12/08).