

数学の基礎計算におけるミス防止のための ハイライト手法の比較検討

植木 里帆[†] 中村 聡史[‡]

[†] [‡] 明治大学大学院先端数理科学研究科 〒164-8525 東京都中野区中野 4-21-1

E-mail: [†] riholitigo@gmail.com, [‡] satoshi@snakamura.org

あらまし 正負の数や文字式の計算といった基礎計算は、数学学習の基盤となる。しかしこれらの計算は、算数から数学へ移行する際の概念の違いや計算ルールの覚えが曖昧なことにより計算ミスが絶えない。我々はこの問題に着目し、計算中の数式の特定期所へハイライトをすることで計算ミスを減らすシステムを提案及び実装してきた。また実験により数学記号へのハイライトが計算間違いを低減することが示唆されたが、どういったハイライトが適切かについて検討が不十分であった。そこで本研究では、計算においてどのようなハイライト手法が効果的であるかを調査するため、6種類のハイライト法を用いて、すでに計算された数式の正誤を判定する実験を行い、適切なハイライト手法について検討を行った。実験の結果、正負の数の計算ではかっこに色付けする手法が優れていることが示唆された。また文字式の計算では、複数のハイライト手法を組み合わせると同時に提示すると混乱を招く可能性が示唆された。

キーワード 数学, 基礎計算, 計算ミス, ハイライト, 視認性

Comparison of Highlighting Methods in Basic Calculations

Riho UEKI[†] Satoshi NAKAMURA[‡]

[†] [‡] School of Interdisciplinary Mathematical Sciences, Meiji University Nakano 4-21-1, Nakano-ku, Tokyo, Japan

E-mail: [†] riholitigo@gmail.com, [‡] satoshi@snakamura.org

Abstract Basic calculations, such as the computation of positive or negative numbers and literal expressions, are the foundation for learning mathematics. These calculations are often subject to calculation errors due to the confusion caused by the difference in concepts when transitioning from arithmetic to mathematics. In our past work, we proposed and implemented a system to reduce calculation errors by highlighting specific parts of mathematical expressions during calculations. However, we could not clarify what kind of highlighting is appropriate. In this study, we conducted experiments using six types of highlighting methods to investigate what kind of highlighting is effective in basic calculations. Specifically, we investigated the appropriate highlighting methods and studied them through experiments to discover errors in already-calculated formulas. Experimental results showed that the method of coloring parentheses may be superior in the calculation of positive or negative numbers. It was also suggested that combining multiple highlighting methods in the calculation of literal expressions may reduce the visibility.

Keyword Mathematics, Basic Calculations, Calculation Errors, Highlight, Visibility

1. はじめに

中学校に進学してすぐに学習する正負の数や文字式の計算といった基礎計算は、その後の数学学習の基盤となる。正負の数について柳本[1]は、「後々、数学の学習を進めていくための基礎的な内容であるから、生徒たちは確実に理解し、習熟しておく必要がある」と

している。また文字式について、三輪[2]は「文字式は、数学における思考の手段として、類のない価値高いものと言うことができる」と述べている。計算能力全般においては、Shapiro[3]は近年の学校カリキュラムでは問題解決能力の指導に重点を置いており、計算能力の指導が減少しているが、計算能力はお金、時間、測定、

幾何学などの数学スキルの基礎として役立つとしている。このように基礎計算を間違わずに解くスキルを早い段階で習得しなければ、他の複雑な計算ができなかったり、文章題等で立式しても答えまで導けなかったりする。

ここで、小学校で学習する算数と中学校以降で学習する数学では、数を捉える概念や記号の意味が異なるため、中学校に進学したタイミングで数学へ苦手意識を感じる子供は少なくない[4]-[6]。その結果、計算ルールの把握が曖昧になり、計算ミスが多発する。また、一度計算ができるようになっても期間が空いてしまったり、新しいことを覚えていくうちに計算ルールを忘れてしまったりすることもある。

数式には数字の他に符号や演算記号などの数学記号や x , y などの文字が含まれ、長い式になればなるほど複雑化する。このように複雑なものの可読性を上げ理解を促進する方法として、プログラミングのコードへ色付けがされるシンタックスハイライトが知られている。実際、テキスト中やプログラムのコードの一部の文字色を変えたり、背景色をつけたりすることで可読性が向上し、理解促進することが明らかになっている[7][8]。我々は過去の研究において、計算中の数式の特定箇所へハイライトをすると間違いやすい箇所へ注意が向き、計算ミスを防止できるのではないかという仮説を立て、数式へのハイライトをするシステムを提案した[9]。また「=」「+」「-」「×」「÷」のような数学記号に焦点を当て、手書きの計算中に数学記号へ色が付与されるプロトタイプシステムを実装し、中学生数名と理系大学生数名に利用してもらった。実験の結果、プロトタイプシステムの数式認識精度が不十分であったことにより、数学記号への色付与が計算ミス防止に及ぼす影響は明らかにならなかったものの、色付与により途中式量が増減する例が見られた。また、色数の多さから自分の書いた計算式が見えづらく感じたという意見もあり、視認性の問題が浮上するなど、数式への適切なハイライト手法についての検討が不十分であった可能性があった。

そこで本稿では、計算においてどのようなハイライト手法が効果的であるかを調査するため、6種類のハイライト手法を用意し、すでに計算された数式の正誤を判定する実験を行うことによって、最適なハイライト手法を明らかにする。

2. 関連研究

2.1. 数学の計算に関する研究

日本では中学校数学は義務教育であり、一般教養としてその知識や技能を使いこなせることが望まれている。しかし、数学の計算を苦手とする人は多い。その

実態や原因の調査、解決策を提案する研究は、教育心理学や発達神経科学などの幅広い分野で数多くされている。

Linchevski ら[6]によると、小学校の算数では身近な現象を数式化した具体的な計算が主であり、計算方法も単純で、結果が合っていればよかった。一方で、中学校に進学し学習する数学では、身近に存在しない抽象化された概念（正負の数など）やそれらを使った複雑な計算方法を学ぶため、そこで生じる認知ギャップが数学の苦手や基礎計算のつまづきを誘発するとしている。丹[10]は中学校の数学を1年学習した2年生30名に数学に対する意識調査を行い、数と式（数）、数と式（文字）、平面図形、立体図形、関数、資料の活用の中で一番小学校算数と中学校数学でギャップを感じているのは数と式（文字）であり、数と式（数）が次ぐことを明らかにしている。

荒木ら[11]は、大学生217名を対象に数学を苦手と感じる尺度についてアンケート調査を行った。また因子分析の結果、数学を学習することや数学に関わることに對して苦手意識をもつことを表す数学学習行動因子と、数学の能力を日常生活に応用する場面で感じる苦手意識を表す数学日常応用因子で構成されていることを明らかにしている。さらに、この分析結果から得られた数学苦手尺度を用いて、数学に対して苦手と感じる気持ちの方が、解けない問題に出会ったときに感じる学習性無力感よりも、数学の問題を解く際のパフォーマンスに影響を与えることを明らかにしている。

本研究はこれらの研究と同様に数学の計算を苦手とする人にも支援を行うものである。

2.2. 数学支援システムに関する研究

前節のように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ラーニングの広がりにより小学生や中学生の教育において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システムが提案されている。

古園ら[12]は、中学校数学の家庭学習管理に焦点をおき、Moodle[13]とSTACK[14]とWIRIS[15]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ラーニング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、より数学に特化した家庭学習管理システムを実装している。

森重ら[16]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ている。また、作成したプロトタイプの実験により手書き数式の誤認識などいくつかの問題点を明らかにしている。

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、自らの計算ミスを見出し、計算スキルの向上を目指すものである。

2.3. 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[17]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。実験の結果、システム利用の場合に、生徒も教師も良いスコアを示し、システムの有効性を明らかにしている。

Advait[7]は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、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が明らかにしている。同様に、Gerard[8]はプログラムの読みやすさと理解に対する色の影響を調査した。実験では、プログラム内をブロックごとに色付けしたもの、プログラム内のテキストに色付けしたもの、白黒のプログラムの 3 種類を用意し、理解度を評価した。実験の結果、被験者のプログラム理解の平均スコアは、テキストに色付けする手法が最も高く、白黒のものが一番低かった。つまり、色による強調がされている方がプログラムの理解をしやすくなること示唆された。

本研究はこれらの研究のように、数式の一部に色付けを行い、見やすくすることで理解促進をするものである。

3. 実験

3.1. 実験概要

計算ミス防止システム作成のため、最適なハイライト手法の調査を行う。

ここでシステムは計算中にハイライトするものであるが、プロトタイプシステムの認識精度が十分ではなく、その認識誤りが実験に影響を及ぼす可能性があ

る。そこで、単純にハイライトの効果を調べるため、実験ではすでに最後まで計算された計算問題の正誤を判定するものとした。なお、計算の答えが正しいと判定した場合は「正」を選択してそのまま進み、誤っていると判定した場合は「誤」を選択した後、その計算式の何行目から誤っているかを回答するものとした。問題は中学 1 年生で学習する基礎計算の正負の数の計算と文字式の計算とした。実験は PC とスマートフォンのどちらからでも参加できる。実験協力者は明治大学に通う理系大学生または大学院生の 29 名であった。

3.2. 数式のハイライト手法の検討

最適なハイライト手法を調査するにあたり、考慮すべき点が多数ある。まず、何を対象にハイライトするかである。我々の過去の研究では、符号ミスや計算順序のミスは数学記号の認識がしっかりとできていないことが要因であると考え、数学記号へハイライトをしていた。しかし実験の結果、計算ミスは分配法則のし忘れや同類項の認識など数式のまとまり意識ができていないものも見られ、数学記号へのハイライトだけではカバーしきれない可能性が示唆された。

次に考慮すべき点として、どういったハイライト手法を用いるかである。数学記号へのハイライトでは文字色を変えるというハイライト手法を用いていたが、他にもマーカーペンのように数式を囲うようなハイライト方法やアンダーラインを引くといった方法がある。どういったハイライト手法がどのような数式、あるいは計算ミスに有効なのか調査する必要がある。

最後に考慮すべき点として、視認性の問題がある。我々の過去の実験でも意見があったとおり、複数色を同時に提示すると却って見づらくなる場合がある。また、ひとつの数式に複数のハイライト方法が混在することによる影響についても考える必要がある。

ここでまず、正負の数の計算では負の概念による計算ミスや文字式の計算とは異なり、掛ける・割るの演算記号が省略されないことによる計算順序のミスが多く見られる。負の数は括弧で囲う決まりがあるため、括弧へのハイライトが有効であると考えた。また、計算順序のミスでは剰余を先に計算すべきところを忘れてしまうため、太字にすることで意識が向くのではないかと考えた。文字式の計算では、文字が登場することで同類項という概念が生まれることや、掛ける・割るの演算記号が省略されることにより、分配法則など新たな計算ルールが追加される。そのため、数式のまとまり意識がより必要となる。数式のまとまりとは、同類項や括弧で囲われた数式、多項式の分数の分子などを指す。以上のことから、文字式の計算では括弧と同類項へのハイライトが有効であると考えた。

これらの点を考慮し、著者らの合議により選定した

$8 + 9 \times (-2)$ $\textcircled{1} = 8 + (-18)$ $\textcircled{2} = 8 - 18$ $\textcircled{3} = -10$ $\frac{1}{3}(9x-15) + \frac{1}{4}(8x+12)$ $\textcircled{1} = 3x - 5 + 2x + 3$ $\textcircled{2} = 5x - 2$ <p style="text-align: center;">Baseline 条件</p>	$8 + 9 \times (-2)$ $\textcircled{1} = 8 + (-18)$ $\textcircled{2} = 8 - 18$ $\textcircled{3} = -10$ $\frac{1}{3}(9x-15) + \frac{1}{4}(8x+12)$ $\textcircled{1} = 3x - 5 + 2x + 3$ $\textcircled{2} = 5x - 2$ <p style="text-align: center;">B-color 条件</p>	$8 + 9 \times (-2)$ $\textcircled{1} = 8 + (-18)$ $\textcircled{2} = 8 - 18$ $\textcircled{3} = -10$ $\frac{1}{3}(9x-15) + \frac{1}{4}(8x+12)$ $\textcircled{1} = 3x - 5 + 2x + 3$ $\textcircled{2} = 5x - 2$ <p style="text-align: center;">B-marker 条件</p>
$\frac{1}{3}(9x-15) + \frac{1}{4}(8x+12)$ $\textcircled{1} = 3x - 5 + 2x + 3$ $\textcircled{2} = 5x - 2$ <p style="text-align: center;">L-color 条件</p>		$\frac{1}{3}(9x-15) + \frac{1}{4}(8x+12)$ $\textcircled{1} = 3x - 5 + 2x + 3$ $\textcircled{2} = 5x - 2$ <p style="text-align: center;">Mix (B-marker+L-underline) 条件</p>

図1 正負の数および文字式の計算へのハイライト条件

ハイライト手法（ハイライト条件）を図1に示す。まず **Baseline** は通常のハイライトなしのものである。また、正負の数の計算には「括弧の色を変える（**B-color**）」、「括弧でくくられた数式へマーカーをひく（**B-marker**）」の2種類のハイライト手法を選定した。なお、掛ける・割るの演算記号（「×」「÷」）に対しては太字にしている。一方、文字式の計算では正負の数の計算同様に「括弧の色を変える（**B-color**）」と「括弧でくくられた数式へマーカーをひく（**B-marker**）」に加えて「同類項の色を変える（**L-color**）」と「括弧でくくられた数式へマ

ーカーをひき、同類項へアンダーラインをひく（**B-marker+L-underline** の Mix）」の4種類を選定した。

3.3. 実験システム

実験システムは JavaScript と PHP で実装した。実験システムのスクリーンショットを図2に示す。

システムでは問題画像が表示されたら、問題下の正誤を選択しないと次の問題へ進めないようになっている。ここで、「誤」を選択した場合は、その下に最初に誤りはじめたと思う行を選択するインタフェースが出てくるようになっており、行を選択すると次の問題へ進めるようになっている。

問題は正負の数の計算を40問、文字式の計算を66問用意した。この中から計算式が正解である問題と不正解である問題が40問ずつ、各ハイライト条件が適用された状態で表示される。ハイライトは8条件各10問ずつの出題で、ランダムな順序で出題した。ここで、80問連続で回答すると集中力がもたず、不適切なデータになってしまう可能性がある。そこで16問で1セットとし、計5セットの出題形式にした。実験協力者はセットの切り替えタイミングで任意に休憩をとってよいものとした。

実験開始時点でユーザIDに加え、現在のセット数、出題問題の情報（問題の種類、ハイライト条件、正誤、問題番号）、回答にかかった時間、使用デバイスを取得した。

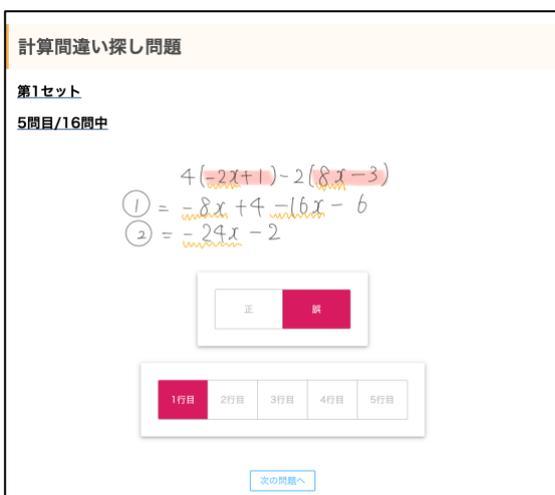


図2 計算実験画面のスクリーンショット

4. 実験結果

4.1. 分析の前処理

理系大学生及び大学院生 29 名分のデータを分析するにあたり、まずは外れ値を除外するため、全データの時間分布と条件ごとの箱ひげ図を図 3, 4 に示す。図 4 の白丸は外れ値のデータを表している。図 3, 4 から 1 問の解答時間が 60 秒以上かかったデータは外れ値であり、実験が何らかの要因で中断されたなど不適切な可能性がある。

ここで、1 問の解答時間が 60 秒以上かかったもの

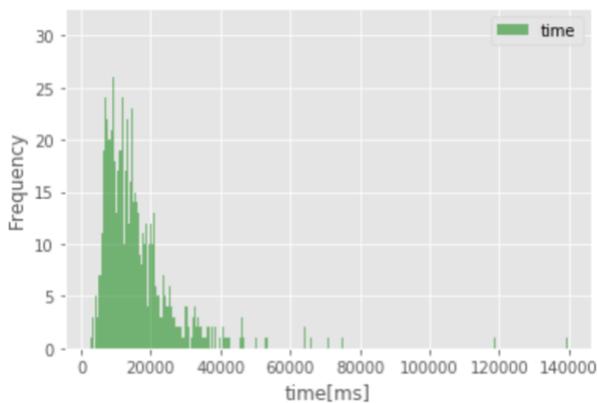


図 3 時間分布

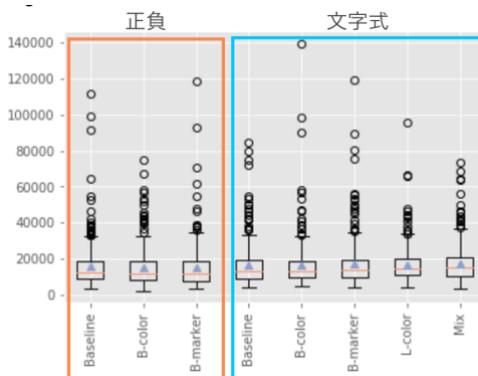


図 4 条件ごとの時間の箱ひげ図

$$\begin{aligned} & \frac{3}{7}x - 3.2 - 0.5x + \frac{7}{2} + \frac{2}{3}x - 2.9 \\ \textcircled{1} &= \frac{3}{4}x - \frac{32}{10} - \frac{5}{10}x + \frac{7}{2} + \frac{2}{3}x - \frac{29}{10} \\ \textcircled{2} &= \frac{3}{7}x - \frac{16}{5} - \frac{1}{2}x + \frac{7}{2} + \frac{2}{3}x - \frac{29}{10} \\ \textcircled{3} &= \frac{9}{12}x - \frac{6}{12}x + \frac{8}{12}x - \frac{32}{10} + \frac{35}{10} - \frac{29}{10} \\ \textcircled{4} &= \frac{11}{12}x - \frac{26}{10} \end{aligned}$$

図 5 文字式の計算 65 番

表 1 正負の数の計算における条件ごとの正答率

条件	正解提示の正答率	不正解提示の正答率	全体の正答率
Baseline	0.940	0.940	0.940
B-color	0.965	0.972	0.968
B-marker	0.928	0.935	0.932

表 2 文字式の計算における条件ごとの正答率

条件	正解提示の正答率	不正解提示の正答率	全体の正答率
Baseline	0.932	0.981	0.955
B-color	0.941	0.992	0.967
B-marker	0.926	0.991	0.956
L-color	0.948	1.000	0.972
Mix	0.957	0.952	0.955

は 28 件あり、そのうち 12 件が文字式の計算 65 番のもの（図 5）であった。この問題にのみ小数点が含まれる複雑な計算であったため、難易度として適切ではなかった可能性がある。以上のことから 1 問の解答時間が 60 秒以上かかったデータと文字式の計算 65 番のデータの計 35 件を分析対象から除外した。

4.2. 正答率の分析結果

本実験における「間違え」には、「正解している問題が提示されているのにどこかが間違えていると回答する間違え」と「不正解している問題が提示されているのに正解であると回答する間違え」の 2 種類がある。以降それぞれの間違えにおける「正答率を正解提示の正答率」と「不正解提示の正答率」と呼ぶ。

ハイライト条件ごとの各正答率の結果を表 1, 2 に示す。なお、本実験では練習フェーズを設けなかったため、本実験システムや計算に慣れておらず、またハイライトされた数式に慣れていない可能性もあった。そのため第 1 セットは練習とみなし、第 2 セット目以降を分析に用いた。

表 1 から、正負の数の計算では B-color 条件の正答率が最も高く、その他は同程度の正答率であった。正解提示、不正解提示ともに全体の正答率とほぼ同じ傾向にあった。また表 2 から文字式の計算では、B-color 条件と L-color 条件の正答率が高く、その他は同程度の正答率であった。正解提示と不正解提示では不正解提示の正答率の方が高い傾向になっており、Mix 条件のみあまり差がない結果となった。

4.3. 回答時間の分析結果

正答率分析同様に第 1 セットは練習とみなし、回答時間の分析を行った。全体の平均回答時間を図 6 に示す。図 6 から正負の数の計算では B-color 条件の平均回答時間が最も短く、その他 2 つの条件は同程度であ

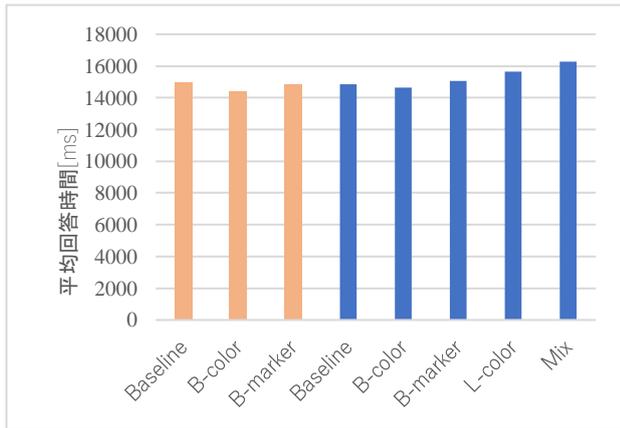


図6 条件別平均回答時間

り、正答率と同じような結果が得られたことがわかる。また文字式の計算では B-color, Baseline, B-marker, L-color, Mix 条件の順で平均回答時間が短くなっており、Baseline 以外の条件では B-color 条件のみが Baseline 条件の平均回答時間より短かった。

次にセットごとの条件別平均回答時間を図7に示す。図7から正負の数の計算における B-marker 条件と文字式の計算における B-color, B-marker 条件の平均回答時間はセット別でも比較的安定していることがわかる。また全平均はセット数が増すにつれ短くなっていることから、正誤の判定速度がだんだん速くなっていることがわかる。

5. 考察

定期考査や受験では、問題を早く正確に解くことが

望まれるため、符号や計算順序など計算中の留意すべき点を瞬時に認識するスキルは必要不可欠となる。そのため、平均回答時間は短く、正答率は高いことが望まれる。正答率と平均回答時間の結果から、正負の数の計算においては B-color 条件が最も良いことがわかった。大久保ら[18]によると、文字色を変えるより文字の背景色を変える方が目立つことが明らかになっており、本実験においてもかっこに色付けをするよりマーカーをひいた方が目立つと予想していた。しかし、数式における間違いは必ずしもハイライトをした場所にあるとは限らず、誘目性の高いマーカーの条件はマーカー外の間違えを気づきにくくした可能性がある。一方で B-color 条件は、目立たせはするものの他の部分への注意もできるほどの誘目性であることが示唆された。また掛ける・割るの記号を太字にしていたことに関してアンケートからは何も言及されていなかったため、視認性を阻害することなく注目させることができた可能性がある。ただし、掛ける・割るの記号を太字にしただけの条件がなかったため、今後の研究において追加検証を行う予定である。

文字式の計算において、正答率が最も高かった L-color 条件は、平均回答時間が2番目に遅い結果であった。それに対し、B-color 条件は、正答率が2番目に高く、平均回答時間は最も短い結果であり、総合的には B-color の条件の方が良いことが示唆された。しかし B-color 条件は Baseline 条件と正答率、平均回答時間ともに大きな差はないため、一概に良い手法とは言えない。また唯一2種類のハイライト手法を組み合わせさせた Mix 条件は、正答率が最も低く、平均回答時間は最も長い

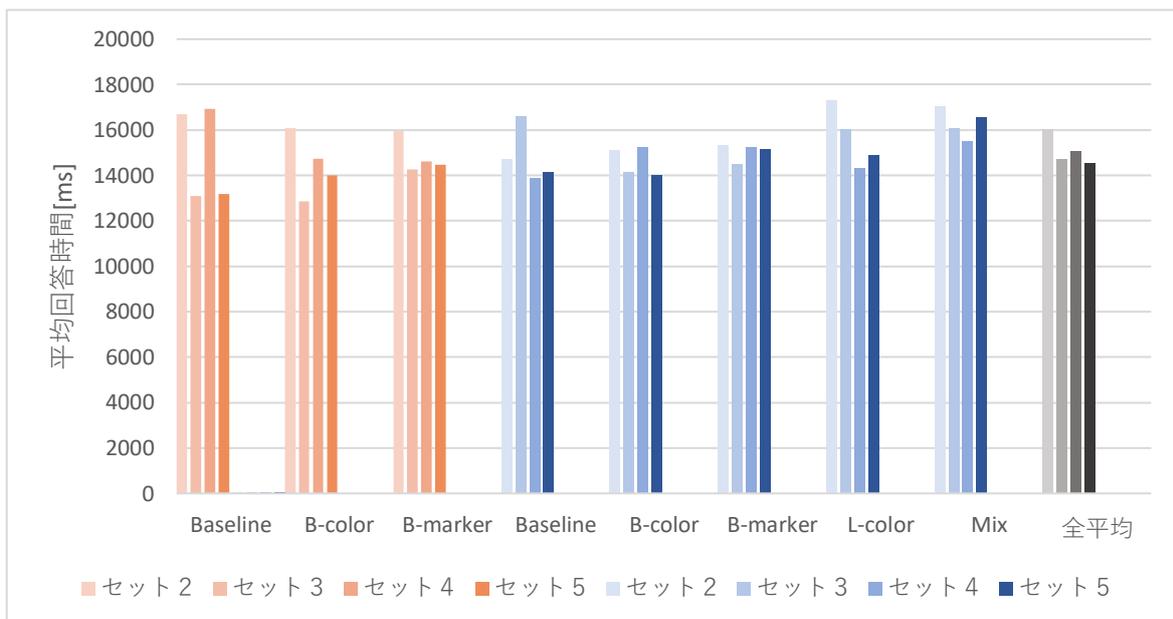


図7 セットごとの条件別平均時間

$(-4) \times 5 - (-3^2)$ ① = $-20 + (-9)$ ② = $-20 - 9$ ③ = -29 12 番不正解提示	$-1 \div 8 \times (-4)^2$ ① = $-1 \div 8 \times 16$ ② = $-1 \div 128$ ③ = $-\frac{1}{128}$ 28 番不正解提示	$27 \div (-3^2)$ ① = $27 \div 9$ ② = 3 35 番不正解提示
---	--	---

図 8 正負の数の計算における特徴のあった間違えた問題画像

$\frac{3x+1}{8} \times (-32)$ ① = $(3x+1) \times 4$ ② = $12x+1$ 25 番不正解提示	$\frac{3x-2}{5} + \frac{-2x+3}{4}$ ① = $\frac{4(3x-2)+5(-2x+3)}{20}$ ② = $\frac{12x-8-10x-15}{20}$ ③ = $\frac{2x-23}{20}$ 54 番不正解提示
--	---

図 9 文字式の計算における特徴のあった間違えた問題画像

結果であった。またアンケートからも「波線とハイライトが両方付いているものは少し見づらく感じた」という意見も得られた。これらのことから、複数のハイライト手法を組み合わせることにより注目すべき箇所に誘導されるが、その箇所が多くなってしまい混乱を招いた可能性がある。ただし、今回は同類項にアンダーラインをひいただけの条件がなかったため、アンダーラインが影響したのか、ハイライト手法を組み合わせることが影響したのかはわからない。そのため、アンダーライン手法やその他の複数ハイライト手法の組み合わせを用いて今後実験を行い、検証予定である。

全部で 107 の間違えたデータから問題の種類や間違え方によって条件がどのように影響するかを分析した。間違えた人数が 4 人以上いた問題番号を抽出し、特徴のあった問題画像を図 8, 9 に示す。これらのほとんどが間違えた問題を提示しているのに正解であると回答されたものであった。図 8 の 12 番, 28 番の問題では、ハイライト部分に注目してしまい、ハイライト外の間違えに気付きにくかった可能性がある。また図 9 のように、単なる写し間違えのようなミスはハイライト効果が薄い可能性がある。今回の実験協力者は理系大学生及び大学院生だったため、図 9 のようなミスはあまり問題数を用意していなかった。将来的にシステムによって支援したい対象としては、数学に携わりはじめてばかりの中学生や、大学生であっても数学を苦手と

する人を想定しているため、図 9 のようなミスがあることも十分に考えられる。そのため、今後はこのような単純ミスにも効果的なハイライト手法を調査することも検討している。

本実験の実験協力者は数学に慣れ親しんだ理系大学生及び大学院生であった。そのため、正答率の差や平均回答時間の差は大きく出なかったが、中学生や数学に触れる機会が減少した文系の人に実験を実施した場合は、今回とは異なった結果が得られる可能性がある。また、色については複数色を用いてのランダム提示であったため、相応しい色に関する調査ができなかった。アンケートでも「濃い色（赤など）の時は問題が見にくかった」「括弧の部分やラインマーカの色が毎回違っていて途中からそっちが気になってしまった」という意見がみられたため、適切な色については今後の研究において調査を行う予定である。

実験で提示した問題画像は、著者らによって解かれた計算式であったが、普段の自分の計算の仕方と異なっていることにより混乱させてしまった可能性がある。また、本実験は計算問題を解き終わった後の見直し作業を想定していたため、計算中におけるハイライトの効果は検証できていない。これらを考慮し、計算中のハイライトの効果を検証する実験を予定している。

6. まとめ

正負の数や文字式の計算といった基礎計算は、数学学習の基盤となる。そのため、基礎計算における計算ミスはしない方が良いが、さまざまな理由により計算ミスは絶えない。そこで、我々はこれまでの研究において計算ミス防止のため、可読性向上が期待されるシンタックスハイライトに着目し、数式へハイライトするシステムを提案及び実装してきた。しかし最適な数式ハイライト手法の調査が不十分であったため、本稿では8種類の条件を用いて計算式の正誤判定を行う実験を実施した。実験の結果、正負の数の計算ではかっこに色付けをする B-color 条件の正答率が最も高く、また平均回答時間が最も短かったことより、正負の数の計算にとってかっこに色付けをするハイライト手法が優れていることが示唆された。また文字式の計算では、2種類のハイライト手法を組み合わせた Mix 条件の正答率が最も低く、平均回答時間が最も長い結果であった。このことから複数のハイライト手法を同時に用いると、注目箇所が多くなってしまい混乱を招くことが示唆された。

本実験の実験協力者は数学に慣れ親しんだ理系大学生および大学院生であったため、数学を学びはじめたばかりの中学生や数学に触れる機会が減少した文系の人に実験を行った場合は違う結果が得られる可能性がある。そのため、今後は中高生や理系以外の人を対象とした同様の実験を行う予定である。また、今後は色に関する詳細な視認性調査や計算中におけるハイライト手法の効果の検証をしていく予定である。

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, vol. 72, no. 9, pp. 325-335.
- [2] 三輪辰郎. 改訂学習指導要領と中学校数学の指導. 日本数学教育学会誌, 1999, vol. 81, no. 3, pp. 29-38.
- [3] Shapiro, E. S.. Academic skills problems: Direct assessment and intervention (3rd Edition). New York: The Guilford Press. 2004.
- [4] 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.
- [5] Herscovics, N., Linchevski, L.. Acognitive gap between arithmetic and algebra. Educational Studies in Mathematics, 1994, vol. 27, pp. 59-78.
- [6] Linchevski, L., Herscovics, N.. Crossing the cognitive gap between arithmetic and algebra: Operating on the unknown in the context of equation. Educational Studies in Mathematics, 1996, vol. 30, pp. 39-65.
- [7] Advait, S.. 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.
- [8] Gerard, K. R.. The influence of color on program readability and comprehensibility. 1986, vol. 18, no. 1, pp. 173-181.
- [9] 植木里帆, 中村聡史. 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, 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション(HCI), Vol.2022-HCI196, No. 4, pp. 1-8, 2022.
- [10] 丹洋一. 一中学教員から見た小学校算数教育の課題. 数学教育学会誌, 2017, vol. 58, no. 1, pp. 1-9.
- [11] 荒木友希子, 山口瞳. 数学に対する苦手意識が計算問題における学習性無力感現象の生起に与える影響. 北陸心理学会, 2013, vol. 2, no. 1, pp. 29-37.
- [12] 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, vol. 68, pp. 1-10.
- [13] Moodle. <https://moodle.org/>, (参照 2021/12/17).
- [14] STACK. <https://ja-stack.org/>, (参照 2021/12/17).
- [15] WIRIS. <https://www.wiris.com/en>, (参照 2021/12/17).
- [16] 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. 126, no. 13, pp. 1-5.
- [17] Hend, S. Al-Khalifa.. A System for Decoding and Coloring Arabic Text for Language Learners. IEEE, 2019, vol. 7, pp. 104810-104822.
- [18] 大久保心織, 三末和男. 文字の視覚属性を利用した強調表現に関する研究. 筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科修士論文, 2015, pp. 1-65.