

基礎計算のミス防止に向けた2種類の数式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 基礎計算は数学学習の基盤となるため、符号間違えのようなケアレスミスは早い段階で修正したほうが良い。我々はその支援を目的とし、計算中の数式の特定期間へハイライトをすることで計算ミスを減らす手法を提案してきた。また、計算においてどのようなハイライト法が効果的であるかを調査するため、5種類のハイライト法を用いて、すでに計算された数式から間違えている箇所を見つけ出す実験を行った。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や、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。しかし、実験では手法を混在させる形で実施したため、その効果を十分に検証できなかった。そこで本研究では、実験協力者ごとに手法を固定しつつ、カリキュラムの都合で数学に触れる機会が減少している人文系の大学生を対象に2種類のハイライト手法を用いた実験を行った。その結果、2種類のハイライト手法間に差は見られず、ハイライトに頼った正誤判定をして正答率が下がってしまう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

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いうことができる」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の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

へ色付けするシンタックスハイライトが知られている。また、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]。我々はこれまでの研究において、計算中の数式の特定期間へハイライトをすると間違えやすい箇所へ注意が向き、計算ミスを防止できるのではと考え、数式へのハイライトをする手法を提案し、手書き計算中に数学記号へ色を付与するプロトタイプシステムを実装した[9]。また、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、5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った[10]。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や、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。しかし、実験ではひとりの実験協力者がランダムに提示される5種類全ての手法について解答する形で実施したため、各手法の効果を十分に検証できなかった。

そこで本稿では、手法を2種類に限定し実験協力者ごとに提示する手法を固定する。また、これまでの研究では理工系の大学生を対象としており、正答率が高すぎるという問題があったため、今回はカリキュラムの都合で数学に触れる機会が減少している人文系の大学生を対象に実験を行い、適切なハイライト手法について検討を行う。

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している。丹[11]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[12]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[13]は、中学校数学の家庭学習管理に焦点をおき、Moodle[14]とSTACK[15]とWIRIS[16]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[17]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行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、自らの計算ミスを発見し、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[18]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いたことが示唆された。

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。

$8 + 9 \times (-2)$ $\textcircled{1} = 8 + (-18)$ $\textcircled{2} = 8 - 18$ $\textcircled{3} = -10$ $\frac{1}{3}(9x-15) + \frac{1}{4}(8x+12)$ $\textcircled{1} = 3x - 5 + 2x + 3$ $\textcircled{2} = 5x - 2$ <p>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>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>B-marker 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

3. 実験

3.1. 実験概要

どのようなハイライト手法が計算ミスを防止できるかを、実験により検証する。

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解答するものとした。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。また、実験協力者はカリキュラムの都合上、理工系大学生に比べ数学との接点が少ない人文系大学生を対象とした。

3.2. 比較するハイライト手法

我々のこれまでの実験[10]では、最適なハイライト手法を調査するため、視認性の問題を考慮し、著者らの合議により以下に示す5条件を選定していた。

- Baseline 条件：ハイライトなし
- B-color 条件：括弧の色を変える（正負の数のみ）
- B-marker 条件：括弧でくくられた数式へマーカーをひく（正負の数のみ）
- L-color 条件：同類項の色を変える（正負の数、文字式の計算）
- B-marker+L-underline の Mix 条件：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（正負の数、文字式の計算）

なお、正負の数においては掛ける・割るの演算記号（「×」「÷」）に対しては太字にしていた。これらの条件全てを各実験協力者に提示していたが、B-color と L-

color のようにハイライトする対象が違う手法が混在しており、単純に比較することが難しかった。また、1問ごとにランダムで違う条件が提示されるため、連続的に同じ手法が提示された際の学習効果や慣れの影響が調査できなかった。そこで本実験では、過去の実験結果を踏まえハイライト対象を括弧に固定し、B-color 条件と B-marker 条件に限定した。各条件と Baseline 条件を図1に示す。なお、数式の手書きは筆頭著者によるものとした。

3.3. 実験の流れ

まず実験協力者を、B-color 条件を利用する B-color 群、B-marker 条件を利用する B-marker 群に分ける。ここで、実験実施にあたり、基礎的な数学の力による差が大きくなってしまふことが予想されたため、B-color 条件や B-marker 条件の手法を提示する前に、実験協力者全員に固定の問題を Baseline 条件で解いてもらうことにより、基礎的な数学力を測ることとした。各群の実験流れは図2のとおりである。

本実験では明治大学に通う、理工系に比べカリキュラムの都合で数学の講義が少ない人文系大学生30名に実験協力を依頼した。実験協力者30名のうち、15名を B-color 条件を利用する B-color 群、残りの15名を B-marker 条件を利用する B-marker 群とした。

B-color群



B-marker群



図2 実験の流れ

3.4. 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 3 に示す。

実験システムが問題画像を表示すると、実験協力者は正誤を選択しないと次の問題へ進めない。ここで、「正」を選択した場合はそのまま次の問題へ進めるようになっているが、「誤」を選択した場合は、その下に最初に計算をどの行から誤りはじめたかを選択するインター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。この中から正負の数、文字式の計算を 10 問ずつ選定し、実験協力者全員に固定で Baseline 条件を提示した。その後 Baseline 条件で提示した問題以外から正負の数、文字式の計算を 20 問ずつ、各ハイライト条件が適用された状態で表示するようにした。また、正解の問題と不正解の問題が半数ずつ、ランダムな順序で出題されるようにした。

ここで、60 問連続で解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 20 問で 1 セットとし、計 3 セットの出題形式にした。実

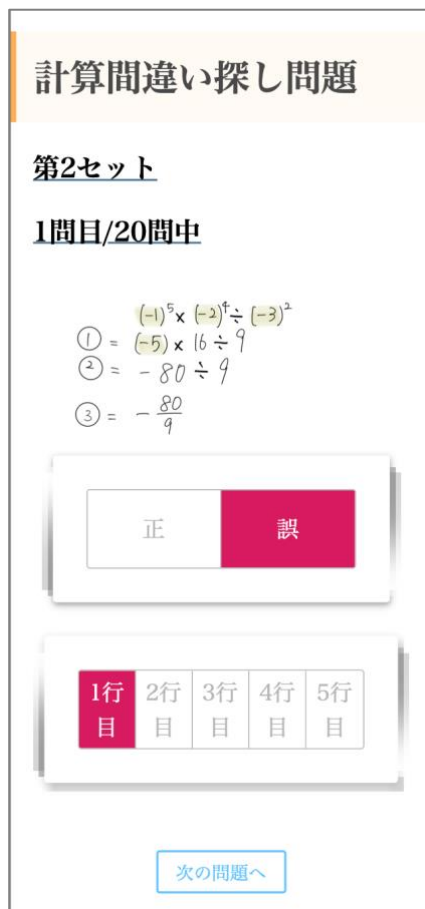


図 3 計算実験画面のスクリーンショット (iPhone 12 mini)

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)、解答にかかった時間、使用デバイスを取得した。

なお、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ようにしたが、ほとんどの実験協力者が自身のスマートフォンから実験に参加した。

4. 実験結果

4.1. 分析の前処理

実験協力者 30 名分のデータを分析するにあたり、まず各実験協力者の解答時間を求めた。その結果、B-color 群の 1 名の実験協力者の解答時間が著しく長かったため、この実験協力者のデータは分析対象から除外した。その結果、B-color 群 14 名、B-marker 群 15 名が分析対象となった。

4.2. Baseline 条件の結果

Baseline 条件における B-color 群、B-marker 群の平均正答率の箱ひげ図を図 4 に示す。この結果より、B-color 群の平均正答率より B-marker 群の平均正答率の方が

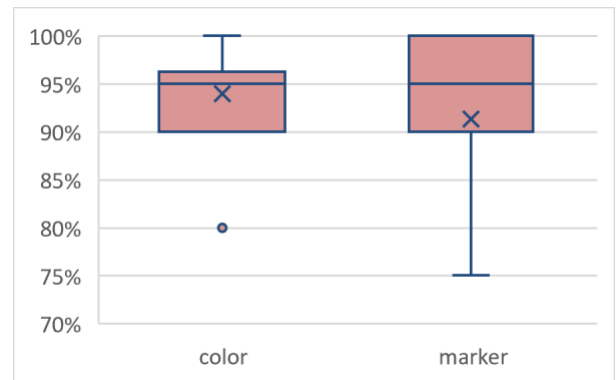


図 4 各群の平均正答率の箱ひげ図

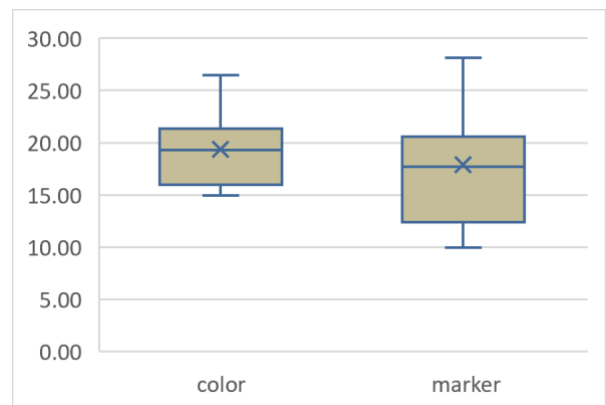


図 5 各群の平均解答時間の箱ひげ図

低いことがわかる。具体的な数値としては、B-color 群の平均正答率は 93.9%，B-marker 群の平均正答率は 91.3%であった。また、B-marker 群の分散は大きいこともわかる。なお、この 2 群において対応のない t 検定を行ったところ、両群の平均正答率に有意な差は認められなかった($t(22)=0.93, p=.36$)。

次に、ベースライン条件における B-color 群、B-marker 群の実験協力者ごとの平均解答時間（秒）の箱ひげ図を図 5 に示す。この結果より B-color 群の平均解答時間は B-marker 群の平均解答時間より長いことがわかる。なお、平均解答時間において対応のない t 検定を行ったところ、有意な差は認められなかった($t(27)=0.87, p=.39$)。

4.3. B-color 条件と B-marker 条件の結果

B-color 群と B-marker 群のセットごとの平均正答率を表 1 に示す。ここで、第一セットは Baseline 条件、第二セットと第三セットは B-color 条件や B-marker 条件のハイライト手法を提示していたため、第一セットは Baseline、第二セットと第三セットはハイライト手法の set1, set2 としている。表 1 から、B-color 群の set1 と set2 の平均は B-marker 群のそれよりやや高い結果となった。また、Baseline の平均正答率は set1, set2 より高くなっていることがわかる。各群内で Baseline, set1, set2 の 3 群間における多重比較をボンフェローニ法を用いて行ったところ、B-marker 群の Baseline と set1 において有意な差が見られた ($p=.047$)。

B-color 群と B-marker 群のセットごとの平均解答時間を表 2 に示す。表 2 から B-color 群の set1, 2 の平均解答時間は B-marker 群のそれよりやや長いことがわかるが、差はわずかであった。また、両群において

表 1 B-color 群と B-marker 群の
セットごとの平均正答率

	Baseline	set1	set2	Avg (set1,2)
B-color 群	0.939	0.911	0.904	0.907
B-marker 群	0.913	0.877	0.887	0.882

表 2 B-color 群と B-marker 群の
セットごとの平均解答時間

	Baseline	set1	set2	Avg (set1,2)
B-color 群	19.32	17.86	16.84	17.35
B-marker 群	17.88	17.33	16.07	16.70

Baseline→set1→set2 の順に平均解答時間が短くなっていることがわかる。正答率と同様に各群内で Baseline, set1, set2 の 3 群間における多重比較をボンフェローニ法を用いて行ったところ、B-color 群の Baseline と set2 に有意な差が認められた ($p=.030$)。

5. 考察

4.2 節の Baseline 条件の結果より、B-color 群、B-marker 群の両群間における平均正答率と平均解答時間に大きな差は見られなかった。一方、B-marker 群は分散が大きいため、その点に留意する必要がある。

ここで、これまでの実験[10]では、理工系大学生の Baseline 条件における平均正答率は 94.8%であったが、今回対象とした人文系大学生の平均正答率は 92.6%とそれよりやや低い結果であった。しかし、満点の学生も数名おり、カリキュラム上数学に触れる機会が少ない人文系大学生にとっても本実験で扱った基礎計算は簡単であった可能性がある。

表 1 から B-color 群の方が B-marker 群に比べ、set1, set2 の平均正答率が高いという結果となった。しかし、4.2 節の Baseline 条件の平均正答率においても B-color 群の方が 2.6%ほど高い結果となっており、その影響が出ている可能性がある。解答時間についても同様のことが言える。また、B-color 群は Baseline から set2 にかけて平均正答率は減少しており、B-marker 群は Baseline と set1, 2 で平均正答率が減少していることがわかった。この結果から、Baseline 条件のようにハイライトがされていない数式と B-color 条件や B-marker 条件のようにハイライトされている数式では、ハイライトされていない方が良い可能性がある。我々がハイライト手法が数式の計算ミス防止につながると考えたのは、プログラミングで可読性の向上のために用いられるシンタックスハイライトに着目したからであった。これまでの実験[10]に参加した理工系の学生は、大学の授業のカリキュラムにプログラミングの講義があり、プログラミングのコードや数式にハイライトされている場面を経験していたため、ハイライト条件が計算ミス防止に効果的に働いたことが考えられる。

表 2 の結果より、B-color 群、B-marker 群ともに Baseline から set2 にかけて平均解答時間が短くなっていることがわかった。これは数式にハイライトがされることで正誤の判定速度が上昇した可能性が考えられる。一方、ハイライトに頼った正誤判定になってしまったため、正答率が Baseline 条件に比べ低くなった可能性がある。

全部で 121 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。B-color 群では正負の数の計算において間違えた問題

$4 - (-6) \div 2$ $= 4 + 6 \div 2$ $= 10 \div 2$ $= 5$	$(-4) \times 5 - (-3^2)$ $= -20 + (-9)$ $= -20 - 9$ $= -29$
問題番号 3 (正負)	問題番号 12 (正負)

図 6 特徴のあった間違えた問題画像

の総数は 32 問、文字式の計算においては 18 問であった。一方、B-marker 群の間違えた問題の総数は、正負の数では 36 問、文字式の計算では 35 問であった。図 6 に特徴のあった間違えた問題画像を示すが、正負の数の問題番号 3 では、B-color 群には間違えた人が 5 名いたのに対し、B-marker 群では 2 名しかいなかった。また、問題番号 12 では、B-color 群には間違えた人が 2 名しかいないのに対し、B-marker 群では 5 名が間違えていた。問題番号 12 はこれまで同様、ハイライトされた部分の誘目性が高いことによりハイライト外の間違えに気付きにくくなった可能性や書き写しミスのような間違えには気づきにくい可能性が考えられる。また、今回 B-color 条件で間違えやすい問題として問題番号 3 (正負) があがったが、これは割り算を先に計算することを示すために割る演算記号を太くしたことで、「4+6」がグループ化されて見えてしまった可能性がある。こうしたグループ化の問題については今後さらに検証予定である。

6. まとめ

我々はこれまでの研究において基礎計算における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が、これまでの実験ではハイライト手法の効果を十分に検証できなかった。そこで本稿では、カリキュラムの都合で数学に触れる機会が減少している人文系の大学生を対象に、手法を 2 種類に限定し実験協力者ごとに提示する手法を固定した実験を行った。実験の結果、正答率や解答時間において B-color 群と B-marker 群の間に差は見られなかった。これは B-marker 群内で基礎的な数学力に差があったことが一つの要因として考えられる。

そこで今後は、人数を増やし、群間で数学力の差がないように実験協力者を集めて実験することを検討している。また、Baseline 条件から B-color 条件や B-marker 条件のようなハイライトされる環境に移ると、解答時間が短くなり、また正答率が下がる傾向があった。これは、ハイライトに頼って正誤判定をしてしまったことが原因として考えられる。そこで、B-color 条件や B-marker 条件の問題数を増やし、慣れの及ぼす影響など

について分析を行う予定である。また、これまでの理工系大学生と人文系大学生の Baseline 条件における正答率は高く、大きな差はなかったことから、複雑な数式を用いてより問題難易度を上げた実験や、筆頭著者の手書きではなく、速記による読みにくい字や実験協力者本人の筆跡を用いた実験を予定している。

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, vol.72, no.9, pp.325-335, 1990.
- [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, vol.81, no.3, pp.29-38, 1999.
- [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, pp.52-57, 1988.
- [5] Herscovics, N., Linchevski, L.. Acognitive gap between arithmetic and algebra. Educational Studies in Mathematics, vol.27, pp.59-78, 1994.
- [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, vol.30, pp.39-65, 1996.
- [7] Advait, S.. The impact of syntax colouring on program comprehension. Proceedings of the 26th Annual Conference of the Psychology of Programming Interest Group (PIIG 2015), pp.49-58, 2015.
- [8] Gerard, K. R.. The influence of color on program readability and comprehensibility. vol.18, no.1, pp.173-181, 1986.
- [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] 植木里帆, 中村聡史. 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. HCG シンポジウム 2022, no.C-5-3, pp.1-8, 2022.
- [11] 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, vol.58, no.1, pp.1-9, 2017.
- [12] 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, vol.2, no.1, pp.29-37, 2013.
- [13] 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, vol.68, pp.1-10, 2019.
- [14] Moodle. <https://moodle.org/>, (参照 2023/8/21).
- [15] STACK. <https://ja-stack.org/>, (参照 2023/8/21).
- [16] WIRIS. <https://www.wiris.com/en/>, (参照 2023/8/21).
- [17] 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), vol.126, no.13, pp.1-5, 2014.
- [18] Hend, S. Al-Khalifa.. A System for Decoding and Coloring Arabic Text for Language Learners. IEEE, vol.7, pp.104810-104822, 2019.