

デジタルペンの筆圧による濃淡表現の有無が 筆算の正答率に及ぼす影響

小林 沙利[†] 植木 里帆[†] 関口 祐豊[†] 中村 聡史[†] 掛 晃幸[‡] 石丸 築[‡]

[†] 明治大学総合数理学部 〒164-8525 東京都中野区中野 4 丁目 21-1

[‡] 株式会社ワコム 〒349-1148 埼玉県加須市豊野台 2-510-1

E-mail: [†] ev200572@meiji.ac.jp

あらまし 教育のデジタル化により、タブレットなどを用いて手書きをする機会も増えている。ここで手書きのデジタル化がどのような影響をおよぼすのか、どのような点を考慮することが重要なのかは明らかになっていない。そこで本研究では、手書きを形成する一要素である筆圧に着目し、筆圧の有無による手書きの表現が問題を解くうえでどう影響するのかについて明らかにする。具体的には、四則演算の筆算について、筆圧の調整ができる状態と筆圧が二値化であり調整できない状態で筆算の問題の正答率にどのような影響をおよぼすのかを実験し、割り算において正答率に変化がでることを明らかにした。

キーワード 筆圧, 正答率, 筆算, デジタル手書き, タブレット, 教育

The Effect of Presence or Absence of Grayscale Expression with Digital Pen Pressure on Calculation by Writing

Sari KOBAYASHI[†] Riho UEKI[†] Yuto SEKIGUCHI[†] Satoshi NAKAMURA[†]

Akiyuki KAKE[‡] and Kizuku ISHIMARU[‡]

[†] Meiji University Nakano 4-21-1, Nakano-ku, Tokyo, Japan

[‡] Wacom Co. Ltd. 2-510-1 Toyonodai, Kazo-shi, Saitama, 349-1148 Japan

E-mail: [†] ev200572@meiji.ac.jp

Abstract The digitalization of education has increased the opportunities for students to write by hand using tablets and other devices. It is not yet clear how the digitalization of handwriting affects handwriting and what points are important to take into consideration. In this study, we focus on writing pressure, which is one of the factors that form handwriting, and clarify how the expression of handwriting with and without pressure affects while solving problems. Specifically, we conducted experiments to clarify the effects of adjustable and non-adjustable pressure on the percentage of correct answers to calculation by writing of the four arithmetic rules and found that the percentage of correct answers in division with presence of grayscale expression was higher.

Keyword Writing Pressure, Correct Answer Rate, Calculating on Paper, Digital Writing, Tablet, Education

1. はじめに

スマートフォンやタブレットなど手書き入力可能なデバイスが広く普及している。これらのデジタル手書き入力が可能なデバイスは教育現場にも普及し始めており、生徒がデジタル手書きを行う機会が増えてきている。2021年に文部科学省によって行われたGIGAスクール構想の実現に向けた端末の利活用等に関する状況調査[1]によると、全国自治体の96.2%が全ての児童もしくは生徒が学習用端末を利用できる環境

を整備している。具体的には、学習用アプリケーションを用いた板書の転写や、問題の解答などに利用されている。しかし、手書きのデジタル化が教育においてどのような影響を及ぼすのか、どのような点を考慮することが重要かは十分に明らかになっていない。

ここで、デジタル手書きの影響を調査するにあたり、手書きを構成する要素を考えると、手書きの特性には筆圧、筆記速度、ペンの傾き、点密度などがあげられる。本研究で着目する筆圧は、その強弱をコントロー

ルするだけで、濃淡や太さなどを変更することができるという特徴がある。しかし、教育機関で配布されるタブレット用ペンまたはソフトウェアは、予算の都合などにより筆圧を検知できないものも珍しくなく、ペンがデバイス上に触れたか触れていないかのみで判断し、一定の濃さで描画される状態となっている。例えば、株式会社ベネッセコーポレーションが提供している小学1年生用タブレットの「チャレンジパッドネクスト」[2]では、筆圧による表現ができない。一方、鉛筆を用いたアナログ手書きでは筆圧によって線の太さや濃淡を自由に調整できる。

教育において筆圧による表現ができない場合に考えられる問題として、国語の書写における字の練習があげられる。平澤ら[3]は運筆学習における理解のしやすさを向上させるために、タブレット上で計測した筆圧を手書きした文字上に表現する手法を提案し、運筆時の力加減を理解しやすくしているが、筆圧を検知することができないこうした手法も利用できない。また字の練習において筆圧が無いと線の太さを表現できず、とめ・はね・はらいの筆記に影響が出る可能性がある。

一方国語以外においても、算数の筆算において繰り上がりまたは繰り下がり、数学の図形問題に解答する際に、辺や角の大きさに自信があるものを濃く書き、自信がないものを薄く書いたりする場合がある。そのため、書きたい字の濃さを手軽にコントロールできなければ、見づらさやストレスに繋がり、問題の解きやすさに悪影響を与えるのではないかと考えられる。

そこで本研究では、デジタル手書きにおける筆圧が算数の計算に及ぼす影響を調査する。我々は、「筆圧によって線の濃淡が変わると濃淡が変わらない場合と比べ問題の正答率が高くなる」という仮説のもと、筆圧の有無による筆算問題への影響を調査する。本研究により、デジタル手書きにおける筆圧の重要性を調査することができると思われる。

2. 関連研究

学習と筆圧の関係については、様々な研究がなされている。

Schraderら[4]は、ペン型タブレットを用いた日本語文字学習における学習者の感情と学習意欲および筆記能力との関連性を調査するため、学習者の感情と筆圧パラメータの関係を調べている。その結果、最小筆圧、最大筆圧、平均筆圧のすべてが楽しさや苛立ちと関係しており、学習者の苛立ちが高いほど筆圧が高くなることを明らかにしている。

Yuら[5]は、手書き文字の認知負荷を評価するため

に、筆圧を含む筆記特性について分析した。実験では20人を対象に、ランダムに表示された単語群から文章を作成するタスクを行った。実験の結果、筆記者の認知負荷の変化は局所最大筆圧と筆記速度の変化と関連性があることを明らかにしている。また、ペンの筆圧は筆記速度とある程度相関性があり、筆記速度が速いほどペン先の筆圧が低くなることを明らかにしている。

福林ら[6]は、筆記情報に基づく認知負荷の推定により、取り組み姿勢や心的状態に応じた学習支援を行うことを目指し、筆記情報計測アプリを開発している。実験では認知負荷の異なる計算問題遂行中の筆記情報を取得することで、筆記情報と認知負荷の関連性を検証した。その結果、認知負荷が相対的に高い計算問題に取り組んでいる際に、筆記速度と筆圧の値が減少傾向にあることを明らかにした。

浅井ら[7]は、数学の問題における学習者のつまずきのリアルタイム検出を目指し、筆記情報に注目した研究を行っている。実験の結果、時系列上のペンの使用状態（筆記、未筆記、消しゴム使用）と学習者のつまずき状態に関連があることを明らかにした。一方で、各経過時間におけるストロークごとの筆圧筆記速度は、つまずき状態や非つまずき状態において大きな差異は確認できていない。つまり、この実験環境における認知負荷と筆圧の関連性は現れなかった。

丸市ら[8]は、英単語の学習においてたまたま正解してしまった英単語も復習に含めるため、その解答に関する解答者の確信度を推定する提案をしている。提案手法では、英単語解答時の手書きの特徴量に着目していたが、問題ごとの筆圧の平均は確信の有無と相関が無いことを明らかにしている。一方、確信が無い場合は思考時間が長くなり、筆圧を含む手書きに関するパラメータが低くなることを示した。ただ丸市らの研究で対象とする英単語の学習タスクは、記憶していたかどうかの方が重要であったため筆圧の影響が出にくかった可能性がある。本研究で対象とする学習タスクはより筆圧の影響がでると予想されるものであり、筆圧による濃淡表現の有無が学習に及ぼす影響を明らかにするものである。

これらの研究は、筆圧といくつかの手書きに関する要素と学習の効果を検証している。本研究では、筆圧の有無を比較要素として、学習における筆圧の重要性について検証するものである。

3. 実験方法

3.1. 実験概要

本実験では、「筆圧によって線の濃淡が変わると濃淡が変わらない場合に比べ問題の正答率が高くなる」という仮説を検証する。本来は実験対象となるユーザ

は小中学校の生徒であるが、今回はその初期検討として、まずは大学生を対象とした実験を行う。ここで筆圧と問題正答率の関係を明らかにする実験として、大学生であれば新たに習得が不要で練習も要しないタスクを用意し、筆圧によってユーザが手書きした線の濃淡変化がある条件と変化がない条件とで比較を行う。以後、前者を筆圧あり条件、後者を筆圧なし条件と呼ぶ。

3.2. タスク設計

本実験では大学生であれば新たに習得が不要で、練習も要しないタスクとして、四則演算の筆算を選定した。四則演算の筆算を選定した理由は計算過程のメモとして繰り上がりや繰り下がりの数値を書く際に、小さな数字を記入したり、斜線により消したりするなど、線の濃さを調整する可能性があるためである。

使用した四則演算のセットを図 1 から図 4 に示す。各問題セットの問題数はそれぞれ足し算 10 問、引き算 10 問、掛け算 10 問、割り算 8 問である。問題の難易度は本来小学生を対象とするが、実験の都合により実験協力者は大学生となったため、大学生向けに筆算は基礎レベルより高くなっている。なお、割り算において割り切れない計算は上位 3 桁とその余りを解答とした。

問題は解くスペース以外の余白が無いように配置している。これは、テストや模試等の学力試験では狭いスペースに筆算を書く状況が想定され、そうした状況において筆圧による濃淡の表現が重要であると考えたためである。

3.3. 筆記アプリケーションの実装

実験用の筆記アプリケーションを JavaScript, PHP, MySQL を用いて実装した。また手書き入力デバイスとしては、ワコム社のモバイル端末である Wacom MobileStudio Pro を使用した。この端末は 3840×2160 ピクセルのディスプレイを搭載している。また、筆記には Wacom Pro Pen2 を使用し、8192 段階で筆圧を取得した。

実験に用いたアプリの操作画面を図 5 に示す。画面には問題セットを選択するラジオボタン、計測開始ボタン、計測終了ボタン、ペンと消しゴムの筆記モードを変更するボタン、1280×720 ピクセルの枠で区切られた筆算問題と解答欄が表示される。

なお筆圧 $pressure$ は 0~1 の値を取り、筆圧が大きくなるほど色が濃くなるように設計した。具体的には、ある筆圧 $pressure$ のときの RGB 値がそれぞれ

$$R = (1 - pressure) \times 255$$

$$G = (1 - pressure) \times 255$$

$$B = (1 - pressure) \times 255$$

となるように線形に変化させるものとした。

168 +274	609 +996	374 +877	984 +888	231 +685
757 +794	455 +163	434 +728	351 +687	778 +337

図 1 足し算の問題セット

767 -297	840 -609	828 -292	557 -419	923 -114
892 -749	770 -339	253 -125	223 -48	908 -582

図 2 引き算の問題セット

199 ×875	697 ×957	706 ×129	820 ×787	916 ×247
549 ×626	737 ×175	668 ×649	296 ×511	982 ×237

図 3 掛け算の問題セット

2.27)9.045	0.33)3.447	1.94)4.716	9.59)9.501
5.58)7.618	1.99)0.806	0.51)8.763	7.83)9.918

図 4 割り算の問題セット

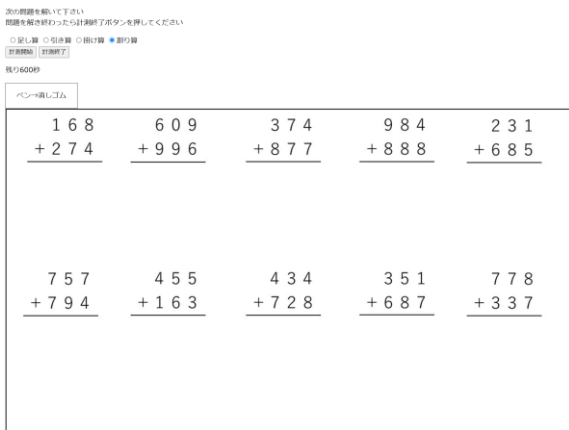


図 5 実験に用いたアプリの操作画面

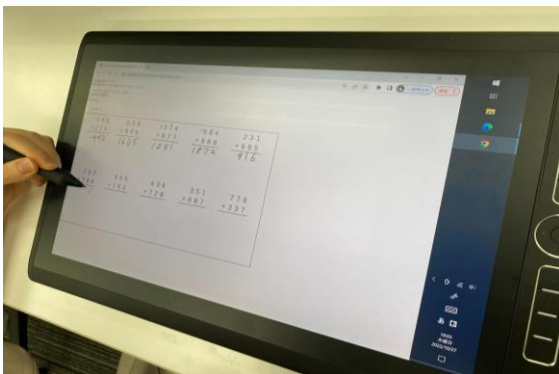


図 6 実験中の様子

計測開始ボタンを押すと制限時間が 600 秒からカウントダウンを開始し、筆記が可能となる。解答者は問題を示した画像の上にペンを用いた筆記を行い、その間システムは各ストロークの筆圧と解答時間を収集する。消しゴムモードと筆記機能は筆記モード変更ボタンで随時変更が可能である。計算終了後、計測終了ボタンを押すとカウントダウンが止まり、筆記が出来なくなるとともに、すべてのストロークの筆圧を csv 形式で保存する。またそのタイミングでシステムは、解答欄のスクリーンショットを自動的に保存する。こうした情報を利用することにより、実験の様子が分析可能となっている。

3.4. 実験手順

実験では、各問題セットについてそれぞれ制限時間は 600 秒とした。実験協力者にはまず問題を解き始める時点で計測開始ボタンを押してもらい、解答欄内に解答を書いてもらった。その後、実験協力者が問題を解き終わって計測終了ボタンを押すか、制限時間の 600 秒が経過すると解答を終了とした。実験では、この一連の流れが「足し算」「引き算」「掛け算」「割り算」の順で行われるようにし、問題の提示順は全員統一した。実験中の様子を図 6 に示す。

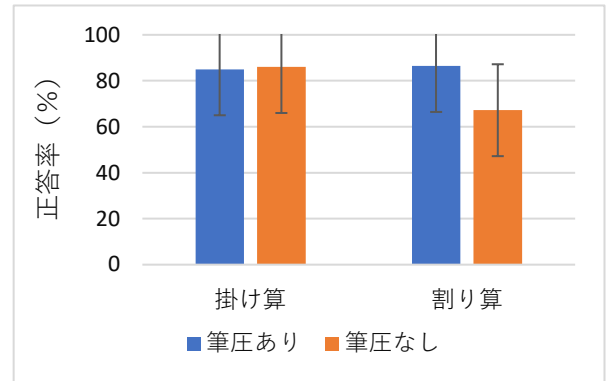


図 7 実験協力者ごとの平均正答率

本実験では、大学生と大学院生 20 人（男性 15 人、女性 5 人）を筆圧あり条件 10 人と筆圧なし条件 10 人に分け、実験に取り組んでもらった。

4. 結果

4.1. 条件ごとの正答率

正答率の算出において、時間切れにより未解答の問題がある実験協力者がいたため、未解答の問題を除外して正答率を計算した。これは、タスクの目的が計算の正確性を問うことであり、個人間の計算の速さによる未解答問題が正答率に影響を与えるのは好ましくないと判断したためである。また、割り算において筆算のルールを勘違いしている解答が 1 問あったため、その解答は除外した。さらに、割り算について、指定した範囲の解答をしなかった 2 人分のデータを分析対象から除外した。

筆圧あり条件と筆圧なし条件の平均正答率はそれぞれ 92.2%と 87.9%となり、筆圧あり条件の正答率が高かった。

4.2. 計算の種類ごとの平均正答率

計算の種類ごと、筆圧ありなし条件ごとの平均正答率を比較するにあたり、まず足し算と引き算に関しては 20 人中 17 人が全問正解しており、正答率は筆圧あり条件、筆圧なし条件ともに 99.0%となった。足し算と引き算において条件による差が見られなかったのは問題の難易度が低すぎたことが考えられる。そこで、以降は掛け算と割り算のみを分析対象とする。

筆圧あり条件と筆圧なし条件で、掛け算および割り算の正答率を示した結果を図 7 に示す。ここで、掛け算について、筆圧あり条件の正答率は 85.0%、筆圧なし条件の正答率は 86.4%と差はなかった。一方、割り算について、筆圧あり条件の正答率は 86.0%、筆圧なし条件の正答率は 67.2%となり、筆圧あり条件の方が正答率は高くなった。ここで、対応のない t 検定を行った結果、筆圧あり条件と筆圧なし条件において有意

水準 5%の有意差が認められた。

4.3. 解答時間

筆圧あり条件と筆圧なし条件の 1 問あたりの平均解答時間を図 8 に示す。図の縦軸は平均解答時間を示している。

この結果より、筆圧あり条件における掛け算の平均解答時間は 42.4 秒、筆圧なし条件の平均解答時間は 44.1 秒と差はなかったが、筆圧あり条件における割り算の平均解答時間は 74.5 秒、筆圧なし条件の平均解答

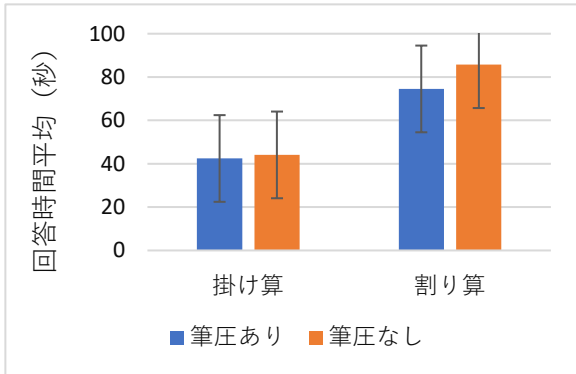


図 8 1 問あたりの平均解答時間

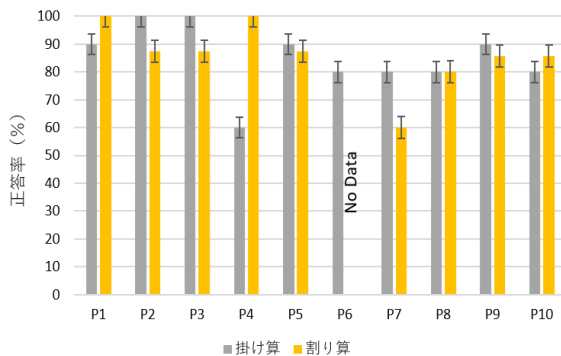


図 9 筆圧あり条件における実験協力者ごとの問題正答率

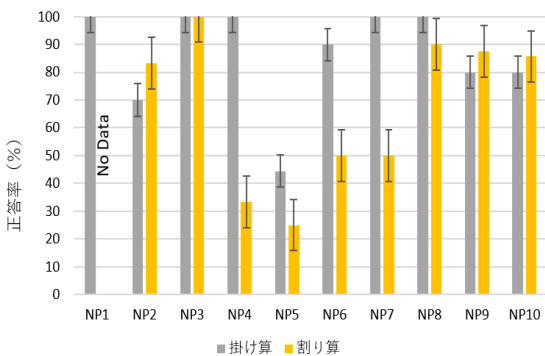


図 10 筆圧なし条件における実験協力者ごとの問題正答率

時間は 85.7 秒となり、筆圧なし条件の方が解答時間は長くなった。ただし、対応のない t 検定を行ったところ、有意水準 5%の有意差が認められなかった。

4.4. 実験協力者ごとの平均正答率

実験の結果、実験協力者による差が観察されたため、実験協力者ごとの分析を行う。ここで実験協力者のうち筆圧あり条件で問題を解いた人を P1, P2, …, P10 と表し、筆圧なし条件で問題を解いた人を NP1, NP2, …, NP10 と表す。

筆圧あり条件における実験協力者ごとの正答率と、筆圧なし条件における実験協力者ごとの正答率を図 9, 10 に示す。この結果より、筆圧あり条件において割り算の正答率は掛け算の正答率より 0.43%高くなり、筆圧なし条件において割り算の正答率は掛け算の正答率より 17.7%低くなった。この結果より、筆圧なし条件では掛け算の正答率に関わらず割り算の正答率が低くなるのが分かる。

4.5. 筆圧の平均分布

条件ごとの全実験協力者の筆圧の平均分布を図 11, 12, 13 に示す。図 11 は筆圧あり、筆圧なし条件におけるすべての実験協力者の筆圧の頻度を示したものである。また図 12 は掛け算に限定、図 13 は割り算に限定して筆圧あり、筆圧なし条件における全実験協力者の筆圧の分布を示したものである。図の横軸は筆圧の度合いを、縦軸はその筆圧における全実験協力者による頻度を表している。

結果より、筆圧あり条件では筆圧なし条件に比べ、筆圧が広く分布していることがわかる。一方、筆圧なし条件では尖度が大きく、個人間の筆圧の差が現れにくくなっている。特に図 13 より、筆圧なし条件では、割り算の筆圧の平均分布は他条件のグラフより尖度が大きいことが分かる。

5. 考察

実験結果より、筆圧の有無による正答率は足し算、引き算、掛け算では差が無く、割り算では差がみられた。また、実験協力者ごとの問題正答率より、筆圧なし条件は筆圧あり条件より掛け算と割り算の正答率の差が大きかった。これらのことから、筆圧の有無は計算の種類によって正答率と解答時間に影響を与えることが明らかになり、「筆圧によって線の濃淡が変わると濃淡が変わらない場合に比べ問題の正答率が高くなる」という仮説はある程度支持された。

また、筆圧の分布に関して、図 13 から、特に割り算については筆圧なし条件が筆圧あり条件より尖度が大きいことがわかる。これは、濃淡が統一され、内容によって力の加減をすることができなくなった結果、筆圧をコントロールする意欲が減少した可能性がある。

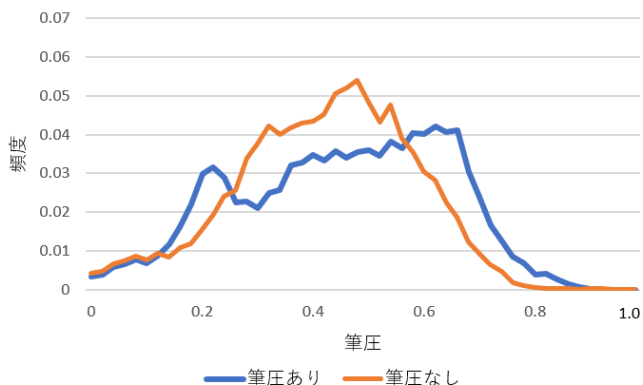


図 11 条件ごとの筆圧分布

表 1 各誤答理由の条件ごとの割合

	誤答割合 筆圧あり	誤答割合 筆圧なし
計算ミス	0.48	0.32
繰り上がり・下がり	0.30	0.25
見間違い	0.15	0.25
その他	0.07	0.18

可能性があると考えられる。

筆圧による表現の有無が不正解に及ぼす影響について調べるため、各解答者の不正解となった理由の分類結果を以下に示す。

- 計算ミス: 計算する数値自体は合っているが答えが違う
- 繰り上がり・繰り下がり: 繰り上がり（下がり）の際に、余計に繰り上げ（下げ）してしまったり、繰り上がり（下がり）を忘れてりする
- 見間違い: 本来掛けるべきではない数字を掛ける、メモした繰り上がりを別の計算でも使う
- その他: 位を下すときの書き間違い、位ずれ（掛け算の筆算における位の位置ずれ）、その他理由が不明なもの

以上の分類を踏まえて、各誤答理由の条件ごとの割合を表 1 に示す。この結果より、各条件で最も多い誤答理由は計算ミスであり、2 番目に多い間違いは、筆圧あり条件では繰り上がり・下がり、筆圧なし条件では繰り上がり・下がりと見間違いであることが分かる。

筆圧なし条件における間違いの例を図 14, 15, 16 に示す。図 14 では、223.5 から 204.3 を引いた結果で 19.2 とすべき箇所を 9.2 と計算ミスをしている。解答者は赤丸で示した部分で繰り下がり（下がり）をメモしているにもかかわらず引き算を間違えていた。図 15 では、904.5 の百の位である 9 を余計に繰り下げている。この間違いが筆圧なし条件の影響によるものかは明らかでないが、誤答理由のうち繰り下がり（下がり）の占める割合が、筆圧あり条件では 0.07、筆圧なし条件では 0.14 だったことから、濃淡表現の有無が誤答の原因となっていることが十分考えられる。図 16 では、商の 2 桁目を求める箇所について、本来 227 に商の 9 をかけて 2043 とするのが正しい解答であるが、2015 となっている。これは、227 の一の位である 7 に、9 の直下にある 5 を掛け、35 を導出したことが原因として考えられる。この間違いが起きた理由のひとつとして、筆圧なし条件での手書きの色の濃さが問題の色の濃さと近く、また筆圧によ

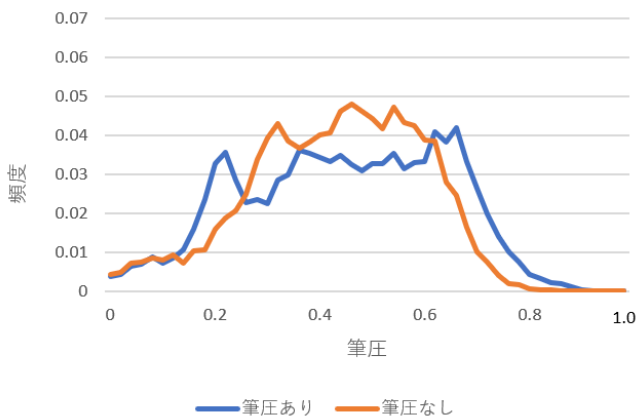


図 12 掛け算における各条件の筆圧分布

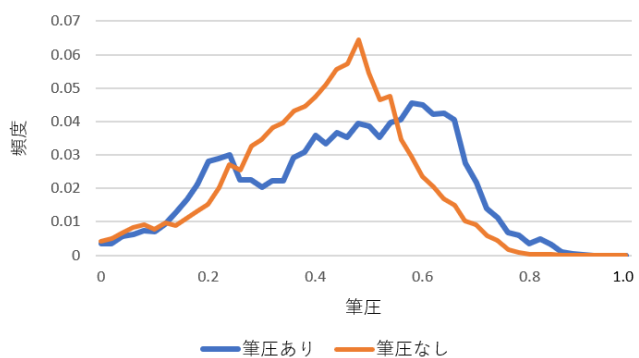


図 13 割り算における各条件の筆圧分布

また、筆圧の平均分布において最も尖度が大きかった筆圧なし条件における割り算は、正答率が低く解答時間が長かった。このことから、筆圧をコントロールする意欲が減少すると、問題の成績に悪い影響を及ぼす

$$\begin{array}{r}
 3.94 \\
 2.27 \overline{) 9.045} \\
 \underline{681} \\
 2235 \\
 \underline{2043} \\
 1920 \\
 \underline{1802} \\
 112
 \end{array}$$

図 14 計算ミスによる間違いの例

$$\begin{array}{r}
 3.54 \\
 2.27 \overline{) 9.045} \\
 \underline{681} \\
 1235 \\
 \underline{1125} \\
 110
 \end{array}$$

図 15 繰り上がり・繰り下がりによる間違いの例

$$\begin{array}{r}
 3.99 \\
 2.27 \overline{) 9.0450} \\
 \underline{681} \\
 2235 \\
 \underline{2021} \\
 2140 \\
 \underline{2043} \\
 97
 \end{array}$$

図 16 見間違いによる間違いの例

る濃淡表現が反映されないため、咄嗟に計算すべき数字に対して自身が書いた字だと識別が出来ず、図 16 のような間違いを起こしたものと考えられる。この点は、筆圧による濃淡表現がない手法にとって悪影響を及ぼした可能性があるため、今後の実験においては濃淡を調整し、再検証予定である。

図 17, 18 は同じ問題についてそれぞれ筆圧なし、筆圧あり条件で回答したものである。図 17 の筆圧なし条件では 471.6 の十の位である 7 を 1 繰り下げるメモが見つらなくなっていたり、打ち消し線を書いた 7 に関して、7 に線を書いたことが分かりにくくなっていたりしている。一方、図 18 の筆圧あり条件では、繰り下がりの打ち消し線を薄く書き、問題にどの文字を書いたか分かりやすくなっている。例えば、600 から 582 を引いた結果を計算する際に、600 に打ち消し線を足したことがはっきりと分かる。このような視認性の良さが正答率と解答時間に影響を与えている可能性が考えられる。

本実験では、繰り上がりや繰り下がりの数値を書く際に薄く書いたことが特徴的な実験協力者はいなかった。これは、筆圧あり条件におけるペンの色の濃さについて、筆圧の最大値である 1.0 を筆圧なし条件と同じ濃さとしていたが、その筆圧を出すのが容易ではなかったことが原因として考えられる。鈴木ら[9]が示すように、ペンを握る力によって筆圧の範囲は決まっているため、今後は濃淡に対する適切な筆圧設定を行い、より手軽に表現の差を出せるようにすることで、検証を行っていく予定である。

誤答理由から除外した時間切れについて、時間切れになった解答者の未解答問題数を図 19 に示す。未解答問題数は、筆圧あり条件に関して P7 が 5 問中 3 問を占めており、筆圧なし条件では、NP6 と NP7 が 15 問中 8 問を占めている。そのため、本実験では必ずしも筆圧の有無と計算の速さの関連性が現れたとは言えない。また、解答時間は実験協力者によって差があり、

$$\begin{array}{r}
 2.43 \\
 1.94 \overline{) 4.716} \\
 \underline{388} \\
 836 \\
 \underline{776} \\
 600 \\
 \underline{582} \\
 18
 \end{array}$$

図 17 筆圧なし条件における繰り上がり・繰り下がりメモの例

$$\begin{array}{r}
 2.43 \\
 1.94 \overline{) 4.716} \\
 \underline{388} \\
 836 \\
 \underline{776} \\
 600 \\
 \underline{582} \\
 18
 \end{array}$$

図 18 筆圧あり条件における繰り上がり・繰り下がりメモの例

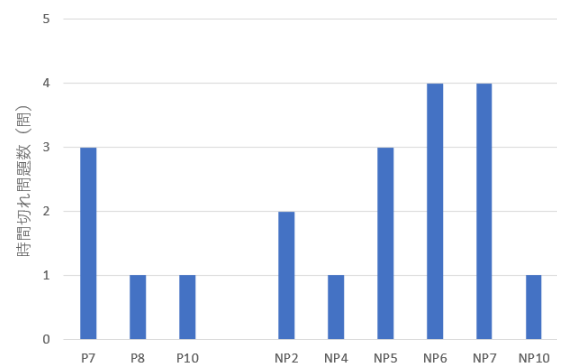


図 19 時間切れになった解答者の未解答問題数

解答者の筆算に対する得手・不得手が正答率に出た可能性も考えられる。今後は協力者内における筆圧の有無による解答時間の変化を検証する予定である。

以上より、デジタルペンの筆圧による濃淡表現は、計算の正確性を高めたり、見間違いによる誤答を減らしたりする点において重要である可能性が示唆された。しかし、実験における各種の問題が明らかとなったため、その点については今後検証予定である。

今回注目した筆圧による濃淡表現は、筆算以外にも様々な場面で利用される。例えば、数独やパズルなどにおける一時的に予想の値として書き入れるようなものや、算数の問題における自信のある箇所や重要な箇所を濃く書きこむようなものがある。そのため、デジタル手書きにおいても筆圧は学習を行ううえで重要な要素と考える。

6. おわりに

本研究ではデジタル手書きについて、「筆圧によって線の濃淡が変わると濃淡が変わらない場合に比べ問題の正答率が高くなる」という仮説のもと、デジタルペンを用いて四則演算の筆算を解いてもらう実験を行い、筆圧による線の濃淡表現の有無が正答率、解答時間、筆圧分布に及ぼす影響について検証した。実験の結果、割り算において筆圧による表現があると正答率が高くなり、解答時間が短くなることが明らかになった。また、ペンの色の濃淡によって計算間違いを防ぐことができる可能性が示唆された。しかし、解答者の筆算に対する得手・不得手が現れた可能性や、筆圧あり条件におけるペンの色の設定が不適切といった問題もあった。

今後の課題は、誤答理由に着目したより詳細な調査である。また、同一の実験協力者に筆圧あり・筆圧なしのそれぞれの条件で問題を回答してもらう実験を行っていくことにより、正答率と解答時間に差が出るかを検証する予定である。さらに、本来の対象者は小中学校の生徒であるため、そうした年齢層の実験協力者に依頼し、実験を行うことで影響について調査していく予定である。

文 献

- [1] "文部科学省 端末利活用状況等の実態調査（令和3年7月末時点）（確定値）”。
https://www.mext.go.jp/content/20211125-mxt_shuukyo01-000009827_001.pdf, (参照 2022-10-24)。
- [2] “ベネッセコーポレーション 新1年生にぴったりの、学びが充実する新タブレット”。
https://www.mext.go.jp/content/20211125-mxt_shuukyo01-000009827_001.pdf, (参照 2022-10-24)。
- [3] 平澤義人, 荒井勇人, 越後宏紀, 石丸築, 掛晃幸, 五十嵐悠紀. “筆圧のビジュアル提示による運筆支援システム,” WISS 第29回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2021), 2021.
- [4] Claudia Schrader, Slava Kalyuga, “Linking students’ emotions to engagement and writing performance when learning Japanese letters with a pen-based tablet: An investigation based on individual pen pressure parameter,” International Journal of Human-Computer Studies. Vol.135, March 2020, 2020.
- [5] K. Yu, J. Epps and F. Chen, “Cognitive load evaluation of handwriting using stroke-level features,” Proc. of Int’l Conf. on Intelligent user interfaces, pp.423-426, 2011.
- [6] 福林侑也, 永井孝幸. “ペンタブレット筆記情報を用いた計算問題遂行中の学習者の認知負荷推定手法の提案,” 情報処理学会研究報告, Vol.36, No.11, 2022.
- [7] 浅井洋樹, 野澤明里, 苑田翔吾, 山名早人, “オンライン手書きデータを用いた学習者のつまずき検出,” DEIM2012, pp.1-7, 2012.
- [8] 丸市 賢功, 黄瀬 浩一, “対数正規分布を用いた英単語筆記時の確信度推定手法の提案,” 情報処理学会研究報告 Vol.2020-HCI-186 No.1, pp.1-7, 2020.
- [9] 鈴木優, 三末和男, 田中二郎, “ペンを握る動作を利用したインタラクション手法の検討,” 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.4, pp.1552-1561, 2011.