

デジタルペンの筆圧による濃淡表現の有無が 算数問題の理解に及ぼす影響の調査

津田 紗宮良¹ 宮崎 勇輝¹ 小林 沙利¹ 中村 聡史¹ 掛 晃幸²

概要: GIGA スクール構想により、デジタルデバイスが教育現場において一層身近となり、デジタルデバイスを用いたデジタル手書きを行う機会も増えている。しかし、デジタル上で手書きが行われることによる学習への影響は明らかになっていない。そこで本研究では、手書きの特徴の一つである筆圧に着目し、筆圧の有無による手書き表現が学習における理解に対してどのように影響を及ぼすかについて明らかにする。具体的には、新たに解法を学習した図形問題について、筆圧の調整が可能な場合と不可能な場合における問題の正答率や解答時間、解法説明の正確性、筆圧値の比較検証を行ったところ、筆圧による濃淡表現がない場合に問題の正答率や説明の正確性が低下することが明らかとなり、理解度が低下する可能性が示唆された。

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ジタルデバイスが広く普及しており、これらのデバイスは教育現場においても利用されている。児童や生徒が授業内にデジタル手書きを行う場面も増えてきており、2021年に文部科学省から公表されたGIGAスクール構想に関する各種調査の結果 [1] によると、公立小学校などの96.1%、また公立中学校の96.5%で全学年または一部の学年でデジタルデバイスの利用を開始している。こうした教育現場におけるデジタルデバイスの利用者数は今後も増加すると考えられる。しかし、これまで主であった紙と鉛筆を用いた学習が、デジタルデバイスを用いた学習に置き換えられていくことによる教育や学習への影響、考慮すべき点などについては十分に明らかになっていない。

ここで、紙と鉛筆における手書きの特性の一つとして、筆圧の強弱によって手軽に色の濃淡や太さを調整可能であることが挙げられる。そのため、デジタル手書きにおいても筆圧検知可能なペンとソフトウェアが開発されている。その一方で、コスト削減のために、筆圧検知機能が搭載されているデジタルデバイスが採用されないことも多い。実際に、教育機関で配布されているタブレットは、予算の関係で筆圧検知機能が搭載されていないものが使用されるケースがある。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生用タブレットの「チャレンジパッド3」 [2] や北九州市が導入しているタブレット [3] には筆圧検知機能が搭載されていない。

我々はこうした教育における問題に着目し、これまでの研究において、筆圧による濃淡表現がない場合に算数や数学の問題を解くうえでどのような影響があるかを調査してきた。その結果、タブレット上で算数の筆算を行った際、特に割り算において、筆圧表現がない条件では筆圧表現がある条件に比べて正答率が下がることを明らかにした [4]。また、図形問題においては、筆圧表現がない条件では正答率が低い解答者が増える傾向があることや試行錯誤が必要となる初見問題の正答率が低くなることを明らかにした [5]。

濃淡表現の有無によって初見問題の正答率が低下したことから、筆圧が画面に反映されるかどうか、試行錯誤を行ううえでの思考に影響を及ぼしている可能性が考えられる。思考に影響を及ぼすのであれば、それにより理解度の低下が引き起こされているのではないかと考えられる。そのため、筆圧表現の有無が理解度に影響を及ぼすかを明らかにすることが重要である。

そこで本研究では、「筆圧によって線の濃淡が変わらない場合は変わる場合に比べ、学習における理解度が低下する」「理解度が低下することによって、問題解答時の正答率低下や解答時間増加、解法説明時の正確性低下を引き起こす」という仮説のもと、筆圧表現の有無による学習における理解に対する影響の調査を行う。

¹ 明治大学
Meiji University
² 株式会社ワコム
Wacom Co., Ltd.

2. 関連研究

2.1 筆圧と学習の関係に関する研究

筆圧と学習の関係について、様々な研究がなされている。

Schrader ら [6] は、ペン型タブレットを用いて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係を調査する実験を行った。その結果、筆圧の最小値、最大値、平均値の全てが楽しさやイライラという感情に関係していた一方で、退屈という感情に対しては有意な関係が見られなかった。また、学習者のイライラが高いほど筆圧が強くなる傾向があることを明らかにしている。

Yu ら [7] は、手書き文字の認知負荷を評価するために、ストローク内およびストローク間の筆記特性について分析を行った。20人の実験参加者にランダムに表示された単語から文章を作成するタスクを実施した結果、筆記者の認知負荷は局所最大筆圧と筆記速度の変化と関連があることが示された。また、ペンの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 [8] は、筆記情報と認知負荷の関連性を検証するために、認知負荷の異なる計算問題遂行中における筆記情報の計測を行った。その結果、認知負荷が相対的に高いタスクにおいて、複雑な思考が要求されることにより、筆記速度が低下し、筆圧値が減少する傾向になることが確認された。

浅井ら [9] は、数学の問題における解答時のオンライン手書きデータを利用することによって、学習者のつまづきを検出する手法の検討を行った。その結果、演習時の筆記中、未筆記、消しゴム利用中などの時系列上のペンの使用状態と学習者のつまづきに関連性があることを明らかにしている。一方で、各経過時間におけるストロークごとの筆圧と筆記速度は、つまづき状態と非つまづき状態において有意差は確認されなかった。

笠野ら [10] は、ペンタブレットを用いて得られる筆記情報と解答時間が、学生自身が感じる難易度を推定するために有効な指標であるかの検討を行った。その結果、半数の実験参加者について筆圧と解答時間が主観的難易度を推定する指標として有効であることが示された。

丸市ら [11] は、英単語の学習時において偶然正解してしまった問題も復習に含めるために、その解答に関する解答者の確信度を推定する手法を提案した。提案手法は、英単語解答時の手書きの筆記特徴量に着目することで確信度推定を行うものであったが、問題ごとの筆圧を含む筆記特徴量は確信度の有無と強い相関がないことを明らかにしている。

ここで、丸市らの研究で対象としていた英単語の学習タスクは、その単語を記憶していたかが重要であったために、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

する学習タスクは試行錯誤を行うため、より筆圧の影響が出ると予想される。

2.2 手書きのメモと学習の関係に関する研究

手書きのメモと学習の関係についても、複数の研究がなされている。

Kiewra ら [12] は、講義のノートテイキング行動と学力の関係を調査するために、講義中に取られたノートや講義に関連したテストの点数などについての分析を行った。その結果、ノートの筆記量は講義別のテストや複数の講義を網羅したコース別のテストの成績と正の相関があることを明らかにしている。

吉岡ら [13] は、大学生のノートテイキングと教員の教授行動を時系列的に評価するために講義のノートテイキング場を対象として、大学生の筆記量についての調査を行った。その結果、板書とノートテイキングの追従関係が定量的に示された。また、筆記量が少ないと成績が下がる傾向にあるが、筆記量の多さは必ずしも高得点と結びつかないことが示唆された。

高橋ら [14] は、タブレット端末から取得できるオンライン筆記データを用いて、筆記時の書き写し行為と創作的行為を推定する手法の検討を行った。その結果、作業時間を用いるよりも筆記速度とストローク間の重心移動距離を組み合わせることで高精度に識別できることが示された。

これらの研究は、筆圧を含むいくつかの手書きに関する要素と学習の効果や関連について検証している。本研究では、筆圧の有無を比較要素として、学習における理解に対して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

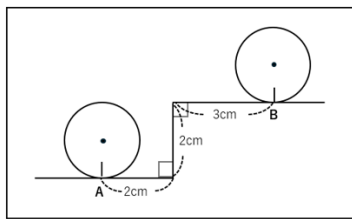
本実験では、「筆圧によって線の濃淡が変わらない場合は変わる場合に比べ、学習における理解度が低下する」「理解度が低下することによって、問題解答時の正答率低下や解答時間増加、解法説明時の正確性低下を引き起こす」という仮説を検証する。ここで、筆圧と学習における理解の関係を明らかにする実験として、大学生であっても初見であれば解法を学ぶ必要のあるタスクを用意し、筆圧によって実験参加者が手書きした線の濃淡変化がある条件と変化がない条件とで比較を行う。以後、前者を筆圧あり条件、後者を筆圧なし条件と呼ぶ。

3.2 タスク設計

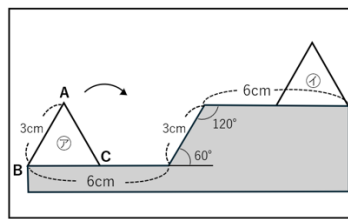
本実験では、学習における理解について調査するため、実験参加者に新たに学習を行ってもらい、その学んだ情報への理解度を測る必要がある。そのため、個人差が大きくなりすぎないように、高度な知識は用いず、かつ実験参加者となる大学生が解法を知らないタスクとして、中学受験用の算数の問題を用いることにした。中学受験用の問題は、小学

表 1 問題一覧

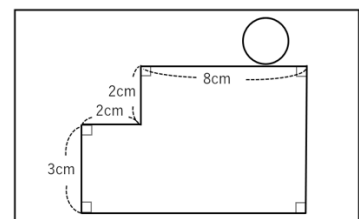
| | |
|------|--|
| 問題 1 | 図のような折れ線を、直径 2cm の円が A から B まで滑らず移動するとき、円が通った部分の面積を求めて下さい。 |
| 問題 2 | 図のように、台の上のアの位置にある 1 辺 3cm の正三角形 ABC が、矢印の向きに滑らないように回転し、イまで移動したとき、点 B が動いた距離を求めて下さい。 |
| 問題 3 | 図のように、長方形から 1 辺 2cm の正方形を切り取った図形の外側を、直径 2cm の円が辺に沿って 1 周するとき、円の通る部分の面積を求めて下さい。 |
| 問題 4 | 図のように、直径 4cm の円が、1 辺の長さが 6cm の正三角形の周りを 1 周するとき、円が通った部分の面積を求めて下さい。 |
| 問題 5 | 図のように、1 辺 4cm の正方形の周りを 1 辺 4cm の正三角形 ABC が滑らないように回転し、アからイまで移動したとき、点 B が動いた距離を求めて下さい。 |
| 問題 6 | 図のように、長方形 ABCD (AB=6cm, BC=8cm, AC=10cm) が直線 l 上を滑らないように回転し、再び辺 AB が直線 l 上に来るまで回転したとき、点 A が動いた距離を求めて下さい。 |



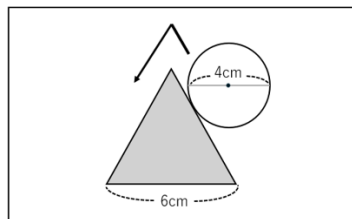
問題 1



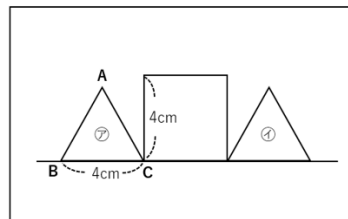
問題 2



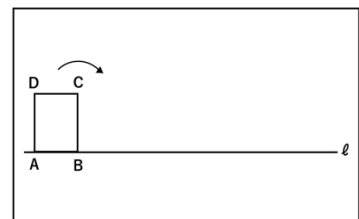
問題 3



問題 4



問題 5



問題 6

図 1 問題図形

校までで学習する算数を出題範囲としており、高度な知識は必要としない。一方で、難易度を上げるためにひらめきが必要であったり、解法パターンを知っていたりしなければ解くことが難しい問題が多く扱われており、理系大学生でも解き方を知らない状態では解答することが困難なものもある。本実験では理解度を計測するため、ひらめきを重視した問題ではなく、パターンを覚えることで解答が可能な問題を採用した。さらに、様々な情報を整理する必要のある作図作業が伴う図形問題をタスクとして選定することで、算数の他の単元の問題を用いるよりも線の濃淡表現が使われると考えた。

本実験で使用した全 6 問の問題文を表 1 に示し、問題 1 から問題 6 までの問題図形を図 1 に示す。これらの問題は、複数の中学受験用の問題集を参考にしたものである。問題 1 は円の回転移動についての問題であり、この類題として問題 3 と問題 4 を用いた。また、問題 2 は多角形の回転移動についての問題であり、この類題として問題 5 と問題 6 を用いた。

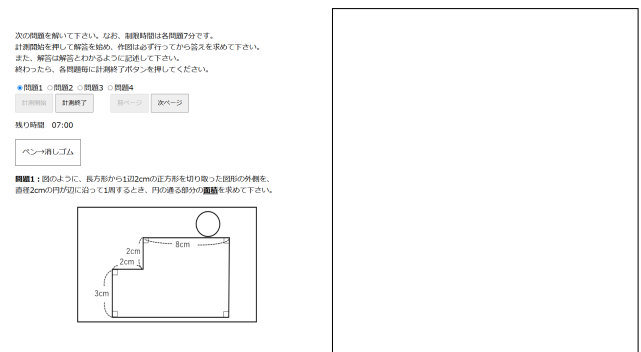


図 2 実験に用いたアプリケーションの操作画面

3.3 実験用筆記アプリケーション

実験用の筆記アプリケーションを JavaScript にて実装し、ローカル環境に JSON ファイルとして操作ログを記録した。実際の操作画面を図 2 に示す。画面には問題選択のためのラジオボタン、計測開始ボタン、計測終了ボタン、解答欄のページを前後に移動するためのボタン、ペンと消しゴムの筆記モードを変更するためのボタン、制限時間を

表示するタイマー、750 × 850 ピクセルの枠で区切られた解答欄が表示される。計測開始ボタンを押すと、筆記が可能になるとともに画面の左側に問題文と問題図形が提示され、問題に解答することができるようにした。また、解答欄が右半分のみとなり、作図や計算のスペースが不足するという問題を解消するために、解答欄を複数ページにしてボタン操作で自由にページ移動ができるようにした。

筆圧値 pressure は 0 ~ 1 の値を取り、筆圧値が大きくなるほど色が濃くなるように設定した。実験参加者ごとに弱い筆圧 (Min) と強い筆圧 (Max) を事前に取得し、それらを以下の式を用いて 0.3 ~ 0.8 に正規化することで、個人に合わせた筆圧調整を行った。

$$Pressure = 0.3 + \frac{(pressure - Min)}{Max - Min} \times 0.5$$

その後、これまでの研究 [5] において、濃淡表現の差を出すために使用された関数を本実験でも利用した。使用した筆圧値の関数を図 3 に示す。数式は以下のとおりである。

$$X = \begin{cases} 8 \times (Pressure)^4 & (Pressure \leq 0.5) \quad \dots (1) \\ 1 - \frac{(-2 \times Pressure + 2)^4}{2} & (Pressure > 0.5) \quad \dots (2) \end{cases}$$

$$RGB = (1.0 - X) \times 255$$

実験参加者が計測開始ボタンを押してから計測終了ボタンを押すまでの間、システムでは各ストロークの筆圧や解答時間を収集した。また、計測終了ボタンが押されると、筆記不可の状態になったうえで、解答欄に書かれた内容を画像として保存し、全ストロークの筆圧や座標など筆記に関するデータを JSON 形式で自動的に保存するようにした。

なお、手書き入力デバイスとしては、ワコム社の MobileStudio Pro と Pro Pen2 を使用し、8192 段階で筆圧を取得した。

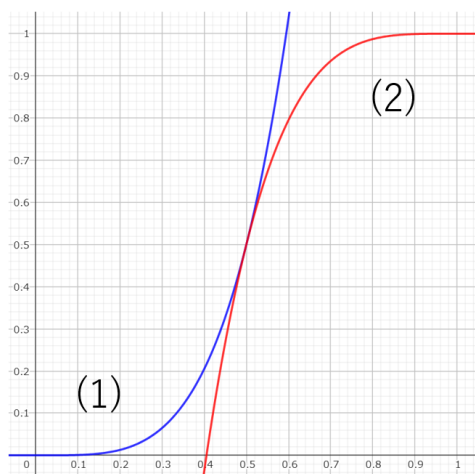


図 3 筆圧値関数

3.4 解説動画

本実験では、塾講師経験のある著者が制作した問題 1 と問題 2 についての解説動画を解法の学習に使用した。各解説動画の時間は、問題 1 が 4 分 20 秒、問題 2 が 3 分 30 秒となっており、動画では作図における考え方や重要なポイントについて説明を行った後に、計算方法について説明を行った。大学生が視聴することを考慮して、計算方法ではなく作図方法に重点を置き、類題にも応用できるように汎用性のある説明を意識して動画を制作した。

実験参加者には、それらの動画を視聴しながらデバイス上手書きでメモを取ってもらい、実際に手を動かしながら思考の流れを可視化することで、解法を学習してもらうようにした。また、動画視聴後に学習した解法を使用する問題が出題されることを伝えたくて、自由に動画を止めながらメモを取るように指示した。制限時間については、動画を止めたりメモをしたりする時間を考慮し各 10 分以内にした。制限時間を設けることで、短時間に複数の情報を整理し理解しなければならない状況を作り、算数の問題であっても大学生に合った負荷のタスクになるように調整した。

3.5 理解度の指標

本実験における理解度の評価は、問題の正答率および解答時間だけではなく、実験参加者に自身がどのように解いたのかを説明してもらった内容も踏まえて行う。問題を解くという作業は、なんとなく正解してしまう場合や分かっていたのに問題を読み間違えてしまう場合、単純な計算ミスをしてしまう場合など、理解とは別の要素も多く含まれる。そのため、類題への解答の正誤や解答時間のみでは理解度が十分に測れないと考え、解法を本人に説明してもらうことにより、思考のプロセスを明確化するとともに正しく理解をして問題が解けているかどうかを判断できるようにした。

また、実験の最後に実施した各問題に関するアンケートも理解度評価に使用する。このアンケートでは 5 段階のリッカート尺度を用いて、解説動画を視聴した前後での理解度変化や類題を解いた際の難易度などを回答してもらい、実験参加者自身による主観的な評価と、正答率や説明の正確性などの客観的な指標の両方から理解度への評価を行うことができるようにした。

3.6 実験手順

実験ではまず、可能な限り強い筆圧と弱い筆圧で数字を描画するタスクを行い、筆圧による濃淡表現を実験参加者ごとに調整した。次に、解法の学習および理解のため、問題 1 と問題 2 の図形問題について、5 分ずつ解法を考えてもらった後に、著者が制作した解説動画を視聴しながらメモを取ってもらった。そして、類題として問題 3 から問題

6 までの計 4 問を制限時間 7 分ずつで解いた後、自身の解法について口頭で説明をしてもらった。最後に、各問題に関する主観的な理解度や難易度に関するアンケートに回答してもらった。問題 1 から問題 6 までの問題の提示順はすべて統一した。また、動画視聴時に作成したメモは類題を解く際には参照できないようにすることで、個人のメモの上手さが解答へ影響を及ぼさないようにした。さらに、各類題の解答時間に制限を設けることで、学習した解法以外で時間をかけて解いたり、解法が分からず 1 問に長時間かけてしまったりする状況が発生しないようにした。実験中の様子を図 4 に示す。

実験参加者は大学生と大学院生 40 人（男性 26 人女性 14 人）であり、20 人を筆圧あり条件、20 人を筆圧なし条件に分け、実験に取り組んでもらった。

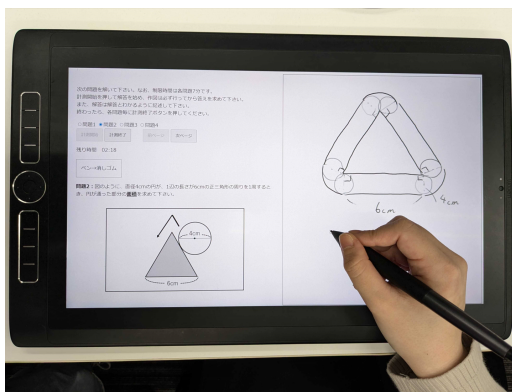


図 4 実験中の様子

4. 結果

理解度について検証するにあたり、実験後のアンケートで解説動画を視聴する前に解法を「全て分かっていた」と回答した人や動画視聴後に解法が「あまり理解出来なかった」と回答した人は、本実験において理解という過程を経ない可能性があるためデータから除外することにした。その結果、分析対象となる実験参加者は問題 1, 問題 3, 問題 4 が筆圧あり条件 18 名、筆圧なし条件 20 名となり、問題 2, 問題 5, 問題 6 が筆圧あり条件 14 名、筆圧なし条件 15 名となった。

4.1 問題ごとの正答率

筆圧あり条件と筆圧なし条件の問題ごとの正答率を図 5 に示す。この結果より、問題 3 から問題 6 までの全ての問題において、筆圧あり条件の方が筆圧なし条件に比べて正答率が高いことが分かる。

4.2 解法説明の正確性

解法説明の正確性は、説明時に扇形の半径や中心角などの答えを導くために重要な部分において、思考のプロセスが明確である場合に正確性があると定義した。そのため、

解答の正誤にかかわらず、説明時に間違いに気づき訂正することができた場合は正確性があると判断した。また、解法が分からない場合のみならず、間違いに気づかず説明を続けている場合や根拠がない状態で値を仮定していた場合は説明の正確性がないと判断した。

筆圧あり条件と筆圧なし条件で問題ごとに正確性のある説明をした人数の割合を図 6 に示す。この結果より、問題 3 から問題 6 までの全ての問題において、筆圧あり条件の方が筆圧なし条件に比べて説明の正確性が高いことが分かる。

4.3 平均解答時間

筆圧あり条件と筆圧なし条件の問題ごとの平均解答時間を図 7 に示す。この結果より、問題 3 から問題 6 までの全ての問題において、筆圧あり条件と筆圧なし条件で解答時間に大きな差は見られなかった。

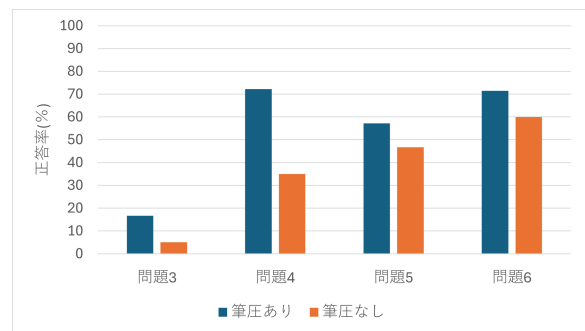


図 5 問題ごとの正答率

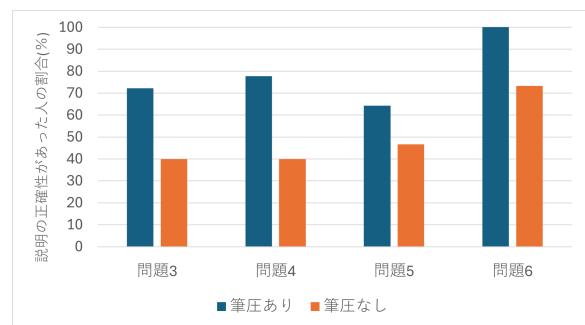


図 6 問題ごとの説明の正確性があった人の割合

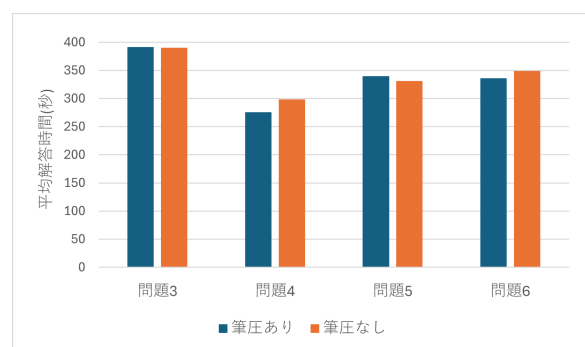


図 7 問題ごとの平均解答時間

4.4 筆圧分布

筆圧あり条件と筆圧なし条件の全問題における筆圧分布を図8に示す。この結果より、筆圧あり条件は筆圧なし条件に比べて強い筆圧を使う頻度が高い傾向があることが分かる。

また、問題3から問題6までの類題解答時における筆圧あり条件での説明正確性の有無別の筆圧分布を図9に示す。この結果より、筆圧あり条件における説明の正確性がある場合と無い場合において使われる筆圧の頻度に大きな差は見られなかった。

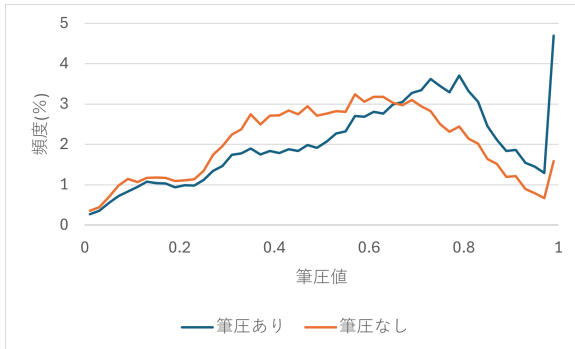


図8 全問題における筆圧分布

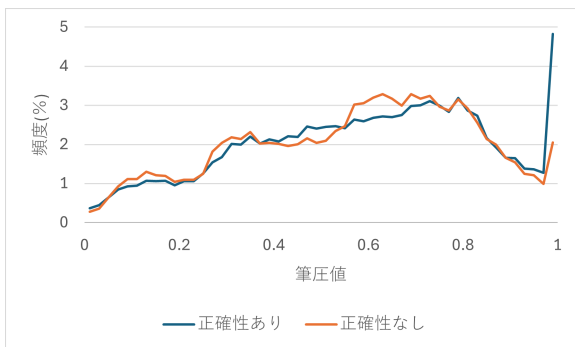


図9 筆圧あり条件における説明正確性の有無別の筆圧分布

5. 考察

5.1 筆圧表現の有無と理解度について

実験結果より、筆圧表現の有無による平均解答時間の差は見られなかったが、問題ごとの正答率や説明の正確性は、全ての問題について筆圧あり条件の方が筆圧なし条件に比べて高い値が得られた。このことから、筆圧表現の有無は正答率や説明の正確性に影響を及ぼすことが明らかとなり、筆圧なし条件では筆圧あり条件に比べて理解度が低下する可能性が示唆された。解答時間において差が無かった原因としては、制限時間内であれば実験参加者自身に計測終了ボタンを押してもらって解答完了とする形式にしていたため、一度問題の解答が求められた場合でも間違いが無い見直しをしたり、再度作図をして自身の解答が

正しいかどうかを確認したりするなどしていたことが影響した可能性が考えられる。

また、実験参加者自身による類題ごとの難易度評価のアンケートの結果について、「非常に簡単だった」または「少し簡単だった」と回答した人の割合を図10に示す。この結果より、問題3、問題4、問題6については筆圧あり条件の方が筆圧なし条件に比べて簡単だと回答した人の割合が高いことが分かる。一方で、問題5については、筆圧なし条件の方が筆圧あり条件よりも割合が高いことが分かる。さらに、筆圧あり条件における問題ごとの割合に注目すると、問題5のみ割合が低く、筆圧あり条件の主観的な評価が図5や図6で示された正答率や説明の正確性といった客観的な指標の結果と大きく異なっており、他の問題に比べて自信が無い状態で解答していた可能性が考えられる。4問中3問について筆圧あり条件の方が筆圧なし条件に比べて問題を簡単と感じた人の割合が高かったことから、主観的な評価と正答率や説明の正確性などの客観的な指標の両方において、筆圧表現の有無によって理解度の差があることが明らかになった。

以上より、「筆圧によって線の濃淡が変わらない場合は変わる場合に比べ、学習における理解度が低下する」「理解度が低下することによって、問題解答時の正答率低下や解答時間増加、解法説明時の正確性低下を引き起こす」という仮説は、解答時間の増加を除いて概ね支持された。

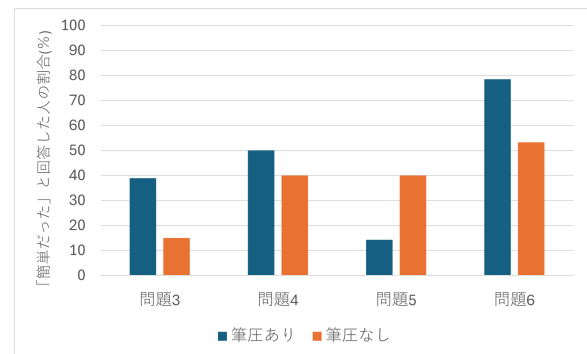


図10 問題ごとの難易度評価アンケートに「簡単だった」と回答した人の割合

5.2 時間ごとの平均筆圧の推移

実験結果で扱った筆圧分布は、時間内に使用された筆圧値を全てまとめ、頻度を比較するものであった。そこで、条件ごとの使用された筆圧の違いにより注目するために、時間ごとの平均筆圧の推移についての分析を行った。時間経過に伴って解答を終了する実験参加者が増加することで、筆圧のデータに偏りが生じることを考慮し、100秒ごとに筆圧値の平均をとることにした。なお、問題3から問題6までの4問については制限時間を420秒としていたため最後のみ120秒間の平均をとることにした。

図 11 に問題 1 と問題 2 について解法を考えたもらった 5 分間（動画視聴前）、図 12 に動画を視聴しながらメモを取ってもらった 10 分間（動画視聴中）、図 13 に問題 3 から問題 6 までの類題を解答してもらった 7 分間（類題解答中）についての 100 秒ごとの平均筆圧の推移を示す。これらの結果より、動画視聴前においては、筆圧あり条件では大きな変化は見られず、筆圧なし条件では後半に筆圧が弱くなる傾向が見られた。動画視聴中においては、400 秒までは筆圧あり条件と筆圧なし条件の両条件において筆圧が強くなる傾向が見られた一方で、400 秒以降からは筆圧なし条件の方が筆圧が強くなる傾向が見られた。これは、動画視聴時間を最大 10 分と提示していたが、6 分程度で終了する実験参加者が多く、人によってメモをし始めるタイミングも異なるため、動画視聴前や類題解答中に比べて後半に個人差の影響を強く受けた可能性が考えられる。また、類題解答中においては大きな変化は見られなかった。

図 11, 図 12, 図 13 の全ての時間ごとの平均筆圧値において筆圧あり条件の方が筆圧なし条件に比べて平均筆圧値が高い結果となった。このことから、個人差の影響以外に筆圧あり条件の方が筆圧なし条件に比べて意識的に書くという動作を行っていたために筆圧が強くなる傾向が見られた可能性も考えられる。筆圧なし条件では、力を入れなくとも常に濃い色で線が表示されるが、筆圧あり条件ではある程度力を加えなければ薄い色の線が表示されないように意識的に筆記を行っていた可能性が考えられる。実際に、実験後のアンケートで筆圧について「とても意識した」または「少し意識した」と解答した実験参加者の人数は、筆圧あり条件では 20 名中 14 名であったのに対し、筆圧なし条件では 20 名中 3 名であった。

さらに、問題 3 から問題 6 までの類題解答時における筆圧あり条件での説明正確性の有無別の 100 秒ごとの平均筆圧の推移を図 14 に示す。説明の正確性があつた場合は正確性がなかった場合に比べて後半に筆圧が高くなる傾向が見られた。これは、解法が分かり自信をもって解答したことによる影響や、思考の過程と確定事項の見分けに筆圧による濃淡表現を利用したことによる影響などが考えられる。筆圧表現を用いて問題を解く際に、「理解したことによって筆圧が強くなるのか」「理解をするために筆圧を調整するのか」については今後明らかにしていく予定である。

5.3 今後の展望

本研究における考察を踏まえ、筆圧を意識する行為そのものが問題の解答や理解への集中を促し、理解度向上に影響を及ぼすかの検証を行う予定である。

これまでの研究 [4] [5] では、筆算や図形の角度問題における正誤について着目していたが、本研究では算数の図形問題における解法の学習から類題の解答に至るまでの過程

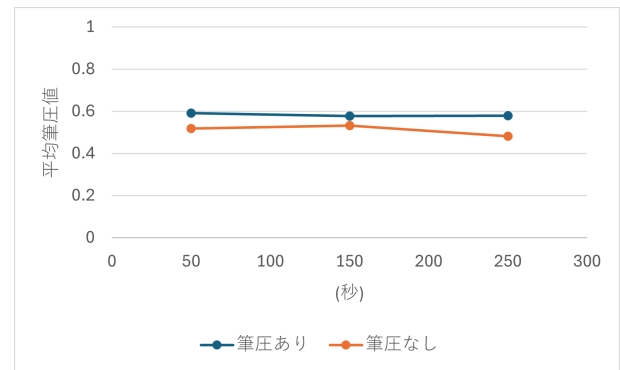


図 11 動画視聴前の 100 秒ごとの平均筆圧の推移

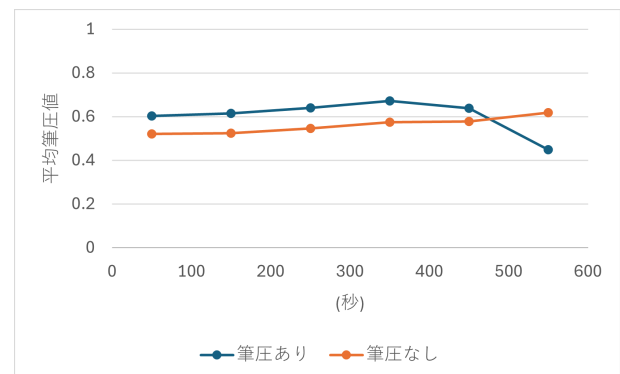


図 12 動画視聴中の 100 秒ごとの平均筆圧の推移

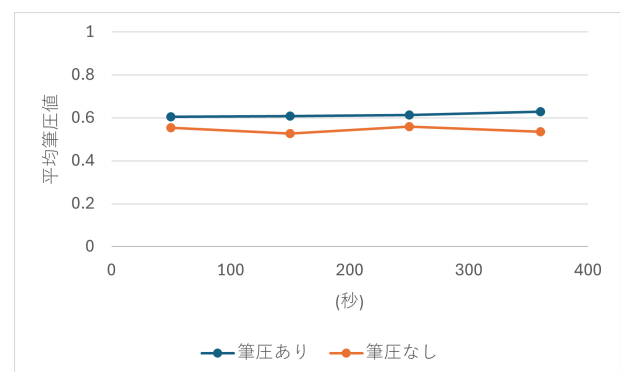


図 13 類題解答中の 100 秒ごとの平均筆圧の推移

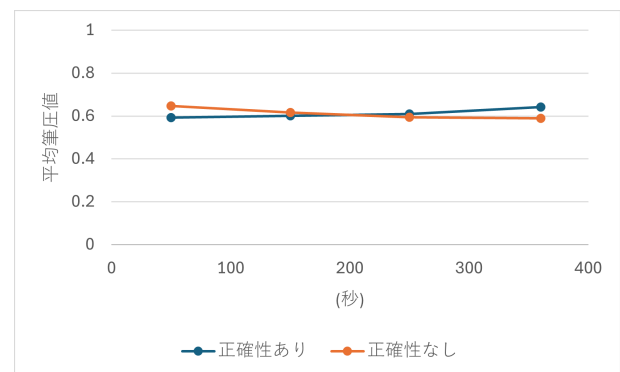


図 14 筆圧あり条件における説明正確性の有無別の 100 秒ごとの平均筆圧の推移

にも着目し、筆圧による濃淡表現の有無が学習に及ぼす影響について検証を行った。しかし、これらの研究は全て、筆圧による濃淡表現が算数や数学などの答えが一意に定まる課題に対して及ぼす影響について検証したものであった。そのため、今後は国語などの答えが一意に定まっておらず、創造的かつ独創的な思考が求められる課題に対する影響についても検証を行い、筆圧による濃淡表現の有無が学習へ及ぼす影響をさらに検証する必要がある。

また、これまで筆圧表現の要素として濃淡表現に着目して検証を行ってきたが、線の太さも筆圧表現の要素として挙げられる。そのため、今後は濃淡表現のみならず、線の太さが筆圧によって変化することによる学習への影響についても検証を行う予定である。

さらに、これまでの実験では大学生を対象として筆圧実験を行ってきたが、筆記を行った経験が豊富であるため筆圧の使い方に慣れていたり、学習という面において新規のタスクを提示することが困難であったりする可能性が高い。そのため、小学生を実験対象者とすることで、筆圧の使い方に慣れていない段階での特徴的な筆圧パターンの検出や学習過程における筆圧表現の影響の検証などを行うことができるかと期待される。

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らない場合は変わる場合に比べ、学習における理解度が低下する」「理解度が低下することによって、問題解答時の正答率低下や解答時間増加、解法説明時の正確性低下を引き起こす」という仮説のもと、デジタルペンを用いて中学受験用の算数問題の解法を学習してもらった実験を行った。筆圧による濃淡表現の有無が問題の正答率や解答時間、解法説明の正確性、筆圧分布に及ぼす影響について検証した結果、濃淡表現がない場合に問題の正答率や説明の正確性が低下することが明らかとなった。これらの客観的な指標に加えてアンケートによる主観的な評価の結果より理解度が低下する可能性が示唆された。また、筆圧による濃淡表現がある場合に使用される筆圧が強くなる傾向が見られ、時間ごとの平均筆圧の推移においても後半に筆圧が強くなる傾向が見られた。

今後は、筆圧が強くなった要因について調査するとともに、算数や数学以外のより思考が求められる科目や課題に対して、筆圧による濃淡表現が及ぼす影響の調査、濃淡表現以外の筆圧表現での検証、小学生を対象とした実験の実施などについても行っていく予定である。

参考文献

- [1] 文部科学省: GIGA スクール構想に関する各種調査の結果, https://www.mext.go.jp/content/20210827-mxt_jogai01-000017383.10.pdf. 参照 2024.12.13.
- [2] 株式会社ベネッセコーポレーション: 「チャレンジパッド」(小学生向け)の仕様, <https://sho.benesse.co.jp/to uch/spec/>. 参照 2024.12.13.
- [3] 北九州市教育委員会: GIGA たんホームページ, <https://www.kita9.ed.jp/giga/>. 参照 2024.12.13.
- [4] 小林沙利, 植木里帆, 関口祐豊, 中村聡史, 掛見幸, 石丸築: 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, 情報処理学会研究報告, No. C-5-5, pp. 1-8 (2022).
- [5] 宮崎勇輝, 小林沙利, 中村聡史, 掛見幸: デジタルペンの筆圧による濃淡表現の有無が図形問題の解答に及ぼす影響の調査, 情報処理学会研究報告, No. B-1-6, pp. 1-8 (2023).
- [6] Schrader, C. and Kalyuga, S.: Linking students' emotions to engagement and writing performance when learning Japanese letters with a pen-based tablet: An investigation based on individual pen pressure parameters, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 135, p. 102374 (2020).
- [7] Yu, K., Epps, J. and Chen, F.: Cognitive load evaluation of handwriting using stroke-level features, pp. 423-426 (2011).
- [8] 福林侑也, 永井孝幸ほか: 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, 研究報告教育学習支援情報システム (CLE), Vol. 36, No. 11, pp. 1-8 (2022).
- [9] 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づき検出, *DEIM Forum* (2012).
- [10] 笠野孝志, 平野靖, 梶田将司, 間瀬健二ほか: 筆跡を用いた学習者状態推定システムに関する基礎研究, 第 69 回全国大会講演論文集, Vol. 2007, No. 1, pp. 467-468 (2007).
- [11] 丸山賢功, 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, 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. 2020-HCI-186, No. 1, pp. 1-7 (2020).
- [12] Kiewra, K. A. and Benton, S. L.: The relationship between information-processing ability and notetaking, *Contemporary Educational Psychology*, Vol. 13, No. 1, pp. 33-44 (1988).
- [13] 吉岡昌子, 藤健一, 佐藤敬子: 大学生による講義のノートテイキングと教員の教授行動の時系列評価—手書き行動の測定装置を用いて—, 行動分析学研究, Vol. 35, No. 1, pp. 30-41 (2020).
- [14] 高橋梓帆美, 井本和範, 山口修ほか: オンライン筆記データを用いた書き出し行為の推定, 研究報告コンピュータと教育 (CE), Vol. 2015, No. 17, pp. 1-8 (2015).