

# 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

宮崎 勇輝<sup>†</sup> 小林 沙利<sup>†</sup> 中村 聡史<sup>†</sup> 掛 晃幸<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 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

<sup>‡</sup> 株式会社ワコム 〒349-1148 埼玉県加須市豊野台 2-510-1

E-mail: <sup>†</sup> ev210589@meiji.ac.jp

**あらまし** デジタルデバイスを使用したデジタル手書きを用いる場面が増えているが、手書きのデジタル化がどのような影響を及ぼすかはいまだに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り筆記中に調整可能な筆圧に着目し、筆圧の有無における手書き表現が図形描画の際どう影響するのかについて明らかにする。具体的には、平面図形問題や立体図形問題について、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解率や解答時間、筆圧値の比較検証を行ったところ、筆圧なし条件において正答率が下がり立体図形問題の解答時間が長くなった。また、解法が初見の場合は試行錯誤があるためか、筆圧あり条件が良い成績となる傾向が示唆された。

**キーワード** 筆圧, 正答率, 解答時間, 図形問題, デジタル手書き, タブレット, 教育

## The Effect of the Presence or Absence of Grayscale Expression by Pen Pressure of Digital Pens on the Answers to Graphic Problems

Yuki MIYAZAKI<sup>†</sup> Sari KOBAYASHI<sup>†</sup> Satoshi NAKAMURA<sup>†</sup> and Akiyuki KAKE<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Meiji University Nakano 4-21-1, Nakano-ku, Tokyo, Japan

<sup>‡</sup> Wacom Co. Ltd. Toyonodai 2-510-1, Kazo-shi, Saitama, 349-1148 Japan

E-mail: <sup>†</sup> ev210589@meiji.ac.jp

**Abstract** The use of digital handwriting with digital devices is increasing. However, it is still unclear how the digitalization of handwriting affects the handwriting. In this study, we focused on writing pressure, one of the handwriting characteristics that can be adjusted during writing. We will clarify how handwritten expressions with and without pressure affect the drawing of figures. Specifically, we compared the percentage of correct answers, the time required to solve problems with and without adjustable pressure, and the pressure values for problems involving two-dimensional and three-dimensional figures. As a result, the percentage of correct answers decreased, and the time required to solve the three-dimensional figure problem increased in the no-pressure condition. Furthermore, when the solution method was new to the user, the results suggested that the condition with writing pressure tended to score better, perhaps because of the trial-and-error process.

**Keyword** Pen Pressure, Correct Answer Rate, Answer Time, Graphic Problems, 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ジタルデバイスが広く普及しており、これらの手書き入力可能なデジタルデバイスは教育現場にも導入されている。児童生徒がデジタル手書きを行う場面も増えてきており、令和3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、公立小学生等の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使用者数は今後も増加すると考えられる。

デジタルデバイスを用いた教育では、デジタルデバイスならではの教育ももちろんあるが、板書や書き取り練習、配布資料への書き込みや問題への解答など、紙と鉛筆による手書き教育と同様のことも行われている。しかし、手書きのデジタル化が教育において良い面でも悪い面でもどのような影響を及ぼすのか、また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、紙と鉛筆における手書きの一つの特性として、筆圧の強弱により色の濃淡や太さを調整できることがある。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おり、活用されている。しかし、筆圧検知機能が搭載されているデジタルデバイスは搭載されていないものに比べ高価であるため、教育機関で配布されているタブレットでは予算の関係上筆圧検知機能が搭載されていないものがある。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「チャレンジパッドネクスト」[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[4]において、筆圧表現がない場合に算数や数学に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などの悪影響を明らかにした。しかし、筆算以外の状況においてどのような影響があるかについては明らかにならなかった。例えば、図形問題に解答する際に、補助線や角度、奥行き表現などを、筆圧で濃淡を制御しつつ表現している。こうした状況において筆圧が無いことは、正答率を低下させることにつながるのではと考えられる。

そこで本研究では、デジタル手書きにおける筆圧が図形問題への解答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らない場合には変わる場合に比べ、問題の正答率が低くなり解答時間が長くなる」という仮説のもと、筆圧の有無による図形問題への影響の調査をする。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期待される。

## 2. 関連研究

筆圧と学習の関係については、様々な研究がなされている。

Schrader ら[5]は、ペン型タブレットを用いて日本語文字学習者の楽しさ、イライラ、退屈などの感情と学習意欲及び筆記能力との関連性を調査する実験を行なった。その結果、筆圧の最小値、最大値、平均値の全てが楽しさとイライラに関係していたが、退屈には有意な関係は見られなかった。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と明らかにしている。

Yu ら[6]は、手書き文字の認知負荷を評価するために、筆圧、筆記速度、ストローク長、ストローク間の動きなどの筆記特徴を分析した。20人の被験者にランダムな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高い相関があると示された。また、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[7]は、筆記時の認知負荷を評価するために、認知負荷の異なる計算問題遂行中の筆記情報を計測した。その結果、認知負荷が相対的に高いタスクでは、複雑な思考が要求されることで、筆記速度の低下と筆圧値の減少が確認された。

浅井ら[8]は、数学の問題における学習者のつまずき検出に解答時のオンライン手書きデータを利用した。実験の結果、筆記中や未筆記、消しゴム利用中などの時系列上のペンの利用状態と学習者のつまずきに関連性があることを示し、オンライン手書きデータからつまずきを検出可能であることを明らかにしている。その一方で、各経過時間におけるストロークごとの筆圧筆記速度は、つまずき状態と非つまずき状態において有意差は確認されなかった。

丸市ら[9]は、英単語学習時においてたまたま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。提案手法では、確信度推定のために英単語解答時の手書きログによる筆記特徴量に着目したが、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より筆圧の影響が出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、図形問題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らない場合には変わる場合に比べ、問題の正答率が低くなり解答時間が長くなる」という仮説を検証する。ここで筆圧と問題正答率や解答時間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なタスクを用意し、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、今回対象とする理工系の大学生であれば新たに習得が不要で、仮に忘れていてもすぐに解法を思い出せるようなタスクとして、平面図形問題と立体図形問題を選定した。選定理由としては、図形内の角度や補助線、線の長さなど様々な情報を問題解答の

表 1. 問題一覧

問題 1 平面	点 A,B,C,D,E,F,G は円 O 上にある, $\angle DAE=60^\circ$ $\angle CGE=40^\circ$ $\angle AFD=70^\circ$ $\angle BEG=40^\circ$ $\angle GCF=35^\circ$ $\angle CFD=30^\circ$ $\angle BGC=40^\circ$ $\angle ACD=100^\circ$ $\angle BEA=10^\circ$ 円上の点は A から G まで時計回り, もしくは反時計回りで配置されており, 三角形の内角の和は $180^\circ$ である. $\angle GBE$ を求めよ.
問題 2 平面	点 A,B,C,D,E は円 O 上にある, $\angle BAC=30^\circ$ $\angle CAD=40^\circ$ $\angle EBD=20^\circ$ $\angle ACD=40^\circ$ $\angle BEC=10^\circ$ $\angle CED=40^\circ$ $\angle ADE=60^\circ$ 円上の点は A から E まで時計回り, もしくは反時計回りで配置されており, 三角形の内角の和は $180^\circ$ である. $\angle BDE$ を求めよ.
問題 3 平面	点 A,B,C,D,E は円 O 上にある, $\angle BAD=35^\circ$ $\angle AEB=40^\circ$ $\angle CDE=100^\circ$ $\angle AED=80^\circ$ $\angle BEC=30^\circ$ 円上の点は A から E まで時計回り, もしくは反時計回りで配置されており, 三角形の内角の和は $180^\circ$ である. $\angle DCE$ を求めよ.
問題 4 平面	A,B,C,D,E は円 O 上にある, $\angle CBD=20^\circ$ $\angle CBE=80^\circ$ $\angle BCE=60^\circ$ $\angle BEC=40^\circ$ $\angle BDE=60^\circ$ 円上の点は A から E まで時計回り, もしくは反時計回りで配置されており, 三角形の内角の和は $180^\circ$ である. $\angle CED$ を求めよ.
問題 5 立体	球面上に点 A,B,C,D,E,F があり, 点 ABCD は同一平面上にあり, 点 BEDF も同一平面上にある. ここで, $\angle ABC=30^\circ$ $\angle BFC=30^\circ$ $\angle DCF=40^\circ$ $\angle ACB=60^\circ$ $\angle EDB=30^\circ$ $\angle BFD=60^\circ$ $\angle BDF=40^\circ$ $\angle BED=120^\circ$ 以下の画像は問題における球と点の配置である. $\angle EBF$ を求めよ.
問題 6 立体	球面上に点 A,B,C,D,E,F,G,H,I,J があり, 点は $\triangle ABC$ $\triangle HIJ$ と四角形 DEFG を形成する. また, ACHJ は同一平面上にある. ここで, $\triangle ABC$ と $\triangle HIJ$ は平行で, $HI=HJ$ である. ここで, $\angle BAC=30^\circ$ $\angle CAE=50^\circ$ $\angle DGF=120^\circ$ $\angle ACH=40^\circ$ $\angle HJI=60^\circ$ $\angle FJI=50^\circ$ 以下の画像は問題における球と点の配置である. $\angle CHJ$ を求めよ.

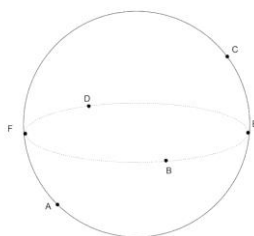


図 1 問題 5 の立体補助図

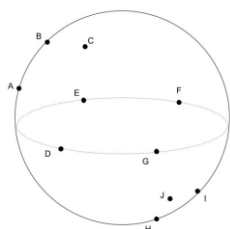


図 2 問題 6 の立体補助図

際に図に書き入れるものであり, 補助線や角度, 平行など各種情報の記入において, 線の濃さを調整する可能性があるからである.

著者らが作成した平面図形問題と立体図形問題を表 1 に示す.

問題 1 から問題 4 は平面図形問題で, 問題 5 と問題 6 は立体図形問題である. 予備実験を繰り返すことにより, 問題の難易度は図形を正しく描画することができれば小学生程度の知識で答えを求めることができるレベルに設計した. 具体的には三角形の内角の和や平



図 3 実験に用いたアプリケーションの操作画面

行線の錯角の性質を使用する問題である. また, 問題 5 と問題 6 の立体図形問題では難易度調整のため, 事前に球と点の配置を記した図を解答欄に用意した. 図 1 に問題 5 の補助図, 図 2 に問題 6 の補助図を示す.

問題を提示する際に, 問題文を全て同時に提示すると図形描画の途中で答えを計算してしまう, もしくは図形全く描画せずに解答してしまうという可能性が考えられたため, 図形に関する記述と求めるべき答えを分けて提示した. なお, 求めるべき答えを提示するタイミングは図形に関する記述を全て描画した後にボタン操作により提示した.

### 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, ローカル環境にファイルとして操作ログを記録した. 実験のため実装したアプリケーションの操作画面を図 3 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, 描画終了ボタン, 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解答欄が表示される。

筆圧値 *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。ここでこれまでの研究[4]では、RGB 値を  $RGB = (1 - pressure) \times 255$  となるように線形に変化させるものとしていたが、全ユーザで同じ設定としていたため、筆圧による濃淡表現の差が顕著に現れなかった。

そこで本研究では、ユーザごとに筆圧による濃淡の出力を調整し、そのユーザの中で筆圧値が低い場合は薄い色を、筆圧値が高い場合は濃い色を表示する関数で濃淡を変化させた。図 4 にシステムで使用した筆圧値関数を示す。

$$\begin{cases} X = 8(pressure)^4 & (pressure \leq 0.5) \dots \textcircled{1} \\ X = \left(1 - \frac{(-2pressure+2)^4}{2}\right) & (pressure > 0.5) \dots \textcircled{2} \\ RGB = X \times 255 \end{cases}$$

実験協力者が計測開始ボタンを押すと、筆記が可能なモードに遷移し、問題文が表示されるようにした。また、実験協力者は解答欄に自由に図形や途中式を記述可能であり、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した。また、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とした。実験協力者が計算終了後に計測終了ボタンを押すと、システムは筆記をできなくし、全てのストロークの筆圧を csv 形式で自動保存することとした。

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。

### 3.4. 実験手順

実験ではまず、筆圧による濃淡表現を可能とするため、実験協力者になるべく強い筆圧と弱い筆圧で線を描画してもらい筆圧調整を行った。次に、計測開始ボタンを押す、解答欄内に図形を描くように伝えた。図形描写が全て完了したら描画終了ボタンを押す、解答すべき問題を表示して解いてもらった。実験では、この一連の流れが問題 1 から 6 の順で行われるようにし、問題の提示順は全員統一した。なお、問題 1 の平面図形問題は問題設計や解法に慣れてもらう練習問題であると教示した。実験中の様子を図 5 に示す。

実験協力者は大学生と大学院生 40 人（男性 33 人女性 7 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。なお、両条件ともに 1 人ずつ実験データに欠損があったため、最終的に各条件 19 人ずつが実験協力者となった。

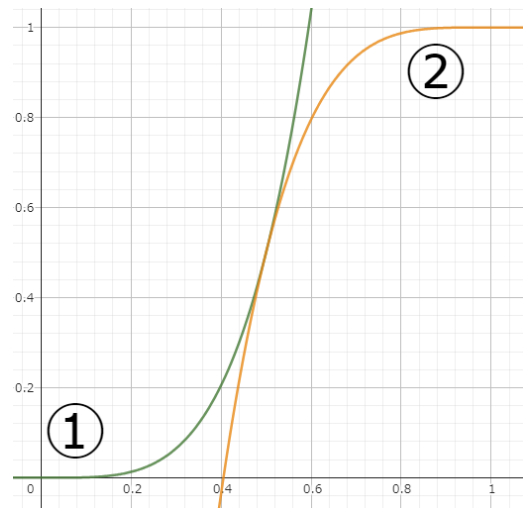


図 4 筆圧値関数

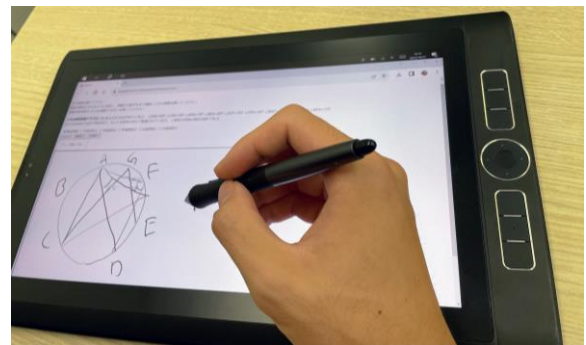


図 5 実験中の様子

## 4. 結果

### 4.1. 正答数と正答率

筆圧あり条件と筆圧なし条件の正答数を図 6 に示す。筆圧あり条件の第一四分位数は 4 で中央値は 4.58、筆圧なし条件の第一四分位数は 3 で中央値は 4.42 であった。また、筆圧あり条件と筆圧なしの平均正答率はそれぞれ 76.3%と 73.7%であった。以上のことより、両群において大きな違いは見られなかった。

問題ごとに筆圧あり条件と筆圧なし条件の正答率を比較したものを図 7 に示す。図の縦軸は正答率を意味している。この結果より、問題 1（練習問題）と問題 5（立体の 1 問目）では、筆圧あり条件が筆圧なし条件に比べ正答率の方が高いことがわかる。一方、問題 2, 3, 4 では筆圧なし条件の方がやや正答率が高いことがわかる。なお、問題 6 に関しては差が見られなかった。

### 4.2. 問題ごとの平均解答時間

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 8 に示す。図の縦軸は平均解答時間を意味している。この結果より、問題 1（練習問題）、2, 3 では筆圧あり条件の解答時間が長かった。一方、問題 4,

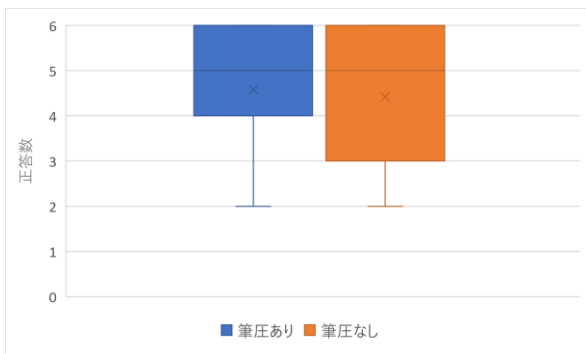


図 6 実験協力者ごとの平均正答数

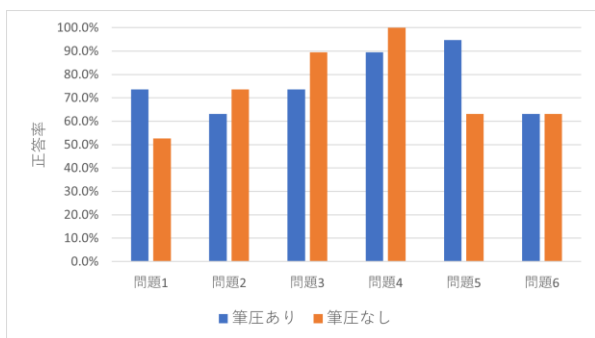


図 7 問題ごとの正答率

5, 6 では筆圧なし条件の解答時間が長かった. 対応のない t 検定を行ったところ, 問題 5 においてのみ, 有意基準 5% の有意差が認められた.

### 4.3. 筆圧の平均分布

筆圧あり条件, 筆圧なし条件の全実験協力者の筆圧がどのように分布していたかをまとめたものが図 9 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. この結果より, 筆圧あり条件では筆圧なし条件に比べて 1 付近の特に強い筆圧値を使う頻度が多く, 弱い筆圧の頻度が少ない傾向にあることがわかる.

正解と不正解とで解答行動に違いが生じると考えたため, 筆圧あり条件における正解と不正解の筆圧の平均分布の違いを筆圧の頻度分布で比較したものを図 10 に示す. 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. この結果より, 正解だった問題では, 筆圧の偏りが少なく, 強い筆圧も使用しているため, 筆圧による濃淡表現を活用していることがわかる. 対して, 不正解だった問題では特定の筆圧値に頻度が偏り, 筆圧による濃淡表現を正解した問題に比べて使用していないことがわかる. また, 筆圧値 1 付近の特に強い筆圧に関しても, 不正解だった問題ではほとんど使用していないことがわかる.

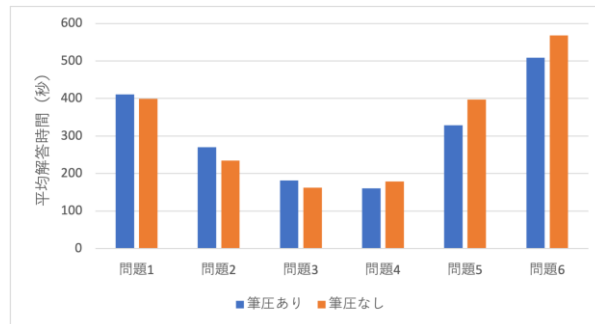


図 8 問題ごとの平均解答時間

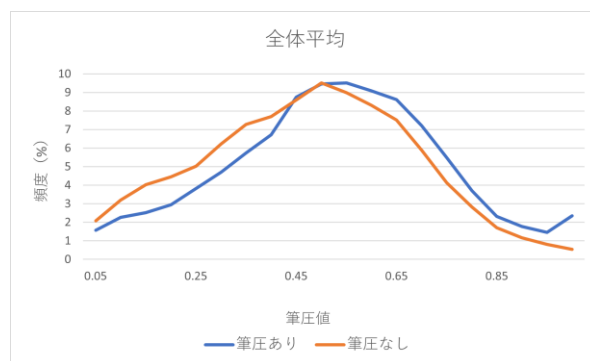


図 9 全問題における各条件の筆圧分布

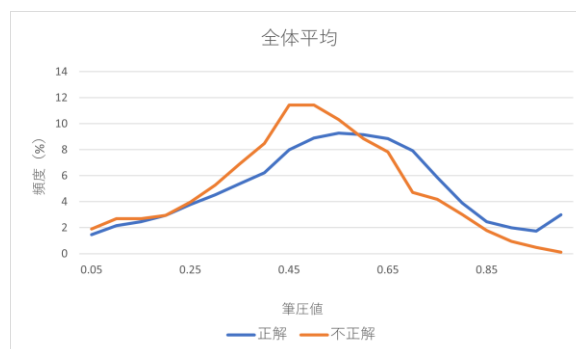


図 10 筆圧あり条件における正解と不正解の筆圧分布

## 5. 考察

### 5.1. 筆圧の有無が正答に及ぼす影響

実験結果より, 筆圧の有無による正答数は平均値や中央値ではほぼ差が見られなかったが, 第一四分位数は筆圧なし条件の方が低かったことから, 筆圧なし条件では実験協力者によっては正答率が下がってしまうことが考えられる. 実際, 図形問題をほぼ解けなかった実験協力者が筆圧あり条件で少なく, 筆圧なし条件では多かった.

問題ごとの正答率を比較すると, 平面問題の初見問



題にあたる問題 1 (練習問題) と、立体問題の初見問題である問題 5 において、筆圧なし条件での正答率が低かった。また、平均解答時間が長い問題では正答率が低く、平均解答時間が短い問題では正答率が高いという傾向が表れた。このことより、解法を模索しなければならない初見の問題では解答の際に試行錯誤するため、筆圧の重要性が高くなるのではないかと考えられる。一方、問題 2~4 についてはわずかであるが筆圧なし条件の方が良い結果となっていたため、これが何に起因するものか今後明らかにしていく予定である。

以上より、「筆圧によって線の濃淡が変わらない場合には変わる場合に比べ、問題の正答率が低くなり解答時間が長くなる」という仮説は支持されなかったものの、解法を模索するような状況においては、仮説が支持される可能性が示唆された。

筆圧の分布に関して、図 10 から筆圧あり条件の中でも正解した問題では筆圧値の頻度が分散しており、濃淡表現を使用していることがわかる、また不正解だった問題では特定の筆圧値に頻度が集中しており、正解した問題に比べ濃淡表現を使用していなかった。このことより、解法に自信がない場合には筆圧に差が出てくる可能性があり、こうしたことをリアルタイムに取得することによって、学生の理解度を推定できる可能性がある。

図 11 は、筆圧による濃淡表現の有無によって描画する図形の大きさが異なるのではないかという仮説のもと、それを分析するために、実験協力者が平面図形問題で描画した円の直径の大きさを示したものである (立体図形問題は立体補助図が与えられているため、大きさが一致)。この結果より、問題 2~4 において筆圧あり条件の直径の大きさが筆圧なし条件に比べて大きいことがわかる。これは、濃淡表現がある場合には、筆圧制御を行うため、筆圧なし条件に比べて円を丁寧に描画し、大きな円を描画したと考えられる。

## 5.2. 筆圧表現の有無が不正解に及ぼす影響

筆圧による濃淡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解答を深く分析したところ、下記のような理由に整理できた。

- 計算ミス：図形問題に関係なく計算間違いした
- 描画ミス：描画するも描画自体を間違えた
- 解答ミス：本来求める角度とは異なる角度を求めた又は、解法を間違えた
- 見間違い：描画は正しいが解答時に間違えた
- その他：わからないと解答した

以上の分類を踏まえて、各誤答理由のごとの筆圧なし条件における間違いの例を図 12~14 に示す。図 12 では、 $180^\circ$  から  $120^\circ$  を引いた結果で  $60^\circ$  と解答する

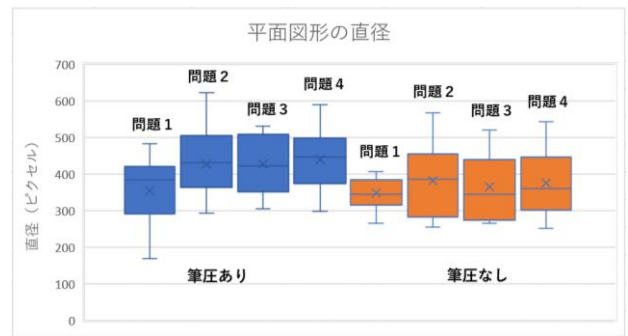


図 11 平面図形の直径の大きさ

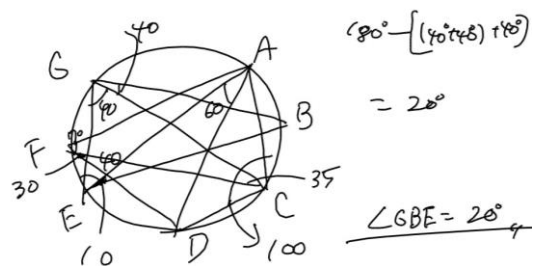


図 12 計算ミスによる間違いの例

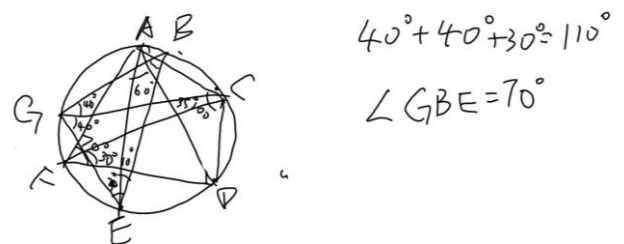


図 13 描画ミスによる間違いの例

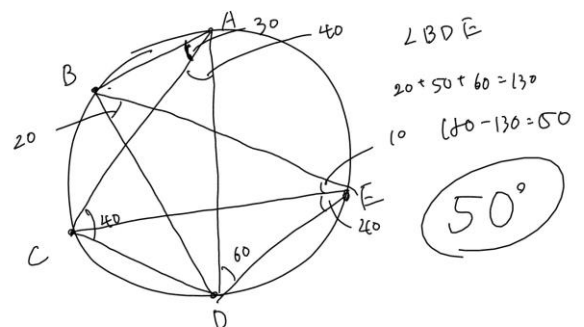


図 14 解答ミスによる間違いの例

べき箇所を、単純な計算ミスにより  $20^\circ$  と解答してしまった。ここでは筆圧による濃淡表現の有無だけがこの計算ミスの原因であるとは考えづらいが、計算式が長く複雑になると筆圧による濃淡表現が無い場合、引き算するべき箇所や括弧の優先度などを間違えるミス

が生じやすいという可能性はある．図 13 では  $\angle BEG$  は本来  $40^\circ$  であるが  $30^\circ$  としてしまい間違えていた． $\angle AEB=10^\circ$  という情報は与えられているため，角度の重なりによる視認性悪化を防ぐために  $\angle AEG$  と  $\angle AEB$  の 2 つを描画しようとしたが，結果として  $\angle BEG=30^\circ$  と描画してしまった．このように解答してしまった原因として，本来は  $\angle AEG$  内に留めておきたい情報が  $\angle BEG$  内にはみ出てしまったことが考えられる．このような間違いは筆圧による濃淡表現がある場合には，はみ出た箇所の色を薄くするためこのような間違いは起きにくいと考えられる．図 14 では  $\angle BDE$  を求めるのに不要な  $\angle ADE=50^\circ$  を  $180^\circ$  から余計に引いてしまって間違えていた．同様の間違いが筆圧あり条件 3 個と筆圧なし条件 3 個も計測され，多くの人々が求める角度を間違えた．条件によらず間違えているので，この間違い方には筆圧の有無は関係がないと考えられる．

図 15, 16 は同じ問題についてそれぞれ筆圧なし，筆圧あり条件で解答したものである．図 15 の筆圧なし条件では，角度情報や平行記号などが辺と同じ濃さで見づらく，補助線は立体の手前にあるのか奥にあるのかが分かりにくくなっている．一方，図 16 の筆圧あり条件では，角度情報を辺とは異なる筆圧で描画してどこが辺なのか分かりやすくなっており，薄く描画している補助線は立体の手前にあるのか奥にあるのかが判断しやすくなっている．これらによって解答の際に情報を整理しやすく，視認性を向上させ，正答率と解答時間に良い影響を与えている可能性が考えられる．

### 5.3. 発展と応用

これまでの研究[4]では筆算の繰り上がりや繰り下がり数値を意識的に薄く書いたことが特徴的な実験協力者はいなかった．その原因として，筆圧の最大値を筆圧なし条件と同じ濃さとしていたがその筆圧を使用する実験協力者がいなかったことが挙げられている．本実験では濃淡に対する適切な筆圧設定を行い，手軽に表現の差を出せるようにした．その結果，図形の補助線や角度情報を意識的に薄く書く実験協力者が多数おり，正答率の増加や解答時間の短縮に繋がったと考えられる．今後は，こうした筆圧調整を行ったうえで，再度筆算の繰り上がりや繰り下がりなどについての検証を行っていく必要がある．

今回注目した筆圧による濃淡表現は，図形描画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を薄く書き入れるようなものや，算数や数学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．

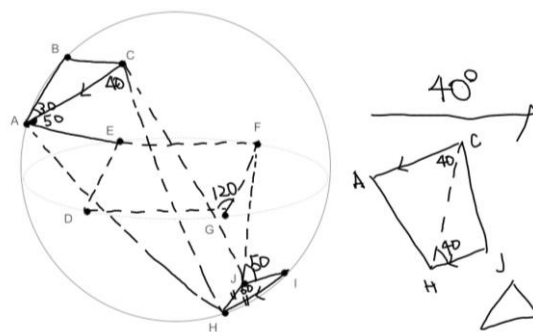


図 15 筆圧なし条件における補助線や角度メモの例

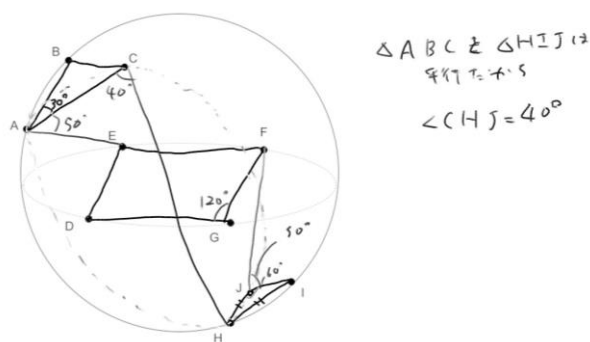


図 16 筆圧あり条件における補助線や角度メモの例

### 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には変わる場合に比べ，問題の正答率が低くなり解答時間が長くなる」という仮説のもと，デジタルペンを用いて図形問題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，筆圧による表現がないと正答率が低い解答者が増える傾向があり，また試行錯誤が必要な初見問題の正答率が低くなることがわかった．一方，筆圧による表現がない場合に，立体問題の解答時間が長くなる傾向が示唆された．また，ペンの色の濃淡によって作図の視認性を向上し間違いを防ぐことができる可能性が示唆された．

今後は，より試行錯誤が必要な問題に着目した詳細な調査を検証している．実験協力者によっては比較的簡単に解ける問題設計であったため，背景知識を必要としない，かつ解答時間がかかり試行錯誤が重要な問題を解答してもらう実験を行うことにより，正答率と解答時間に差が出るかを調査する予定である．

## 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](https://www.mext.go.jp/content/20210827-mxt_jogai01-000017383_10.pdf), (参照 2023-10-13).
- [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](https://www.mext.go.jp/content/20211125-mxt_shuukyo01-000009827_001.pdf), (参照 2023-10-13).
- [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 2023-10-13).
- [4] 小林沙利, 植木里帆, 関口祐豊, 中村聡史, 掛晃幸, 石丸策, “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] 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.
- [6] 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,” IUI '11: Proceedings of the 16th international conference on Intelligent user interfaces, pp.423-426, 2011.
- [7] 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, pp.1-8, 2022.
- [8] 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, A8-4, pp.1-7, 2012.
- [9] 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.