

デジタルペンの筆圧による濃淡表現の有無が 観察学習時の観察力に及ぼす影響の調査

江森 柊哉¹ 津田 紗宮良¹ 宮崎 勇輝¹ 小林 沙利¹ 中川 由貴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っているが、手書きの特徴の一つである筆圧が表現できないことによる、学習効果への懸念がある。そこで本研究では、理解度が重要になる観察学習における筆圧表現の影響に着目し、筆圧の有無による手書き表現が観察対象への理解度にどのような影響を及ぼすかを調査した。実験の結果、筆圧表現の有無で観察力、自己効力感の差は見られなかったが、筆圧による表現がある場合に、構造への理解が向上することが明らかとなり、意欲的にスケッチを行う学習者に対しては観察力の向上に効果的である可能性、適切に濃淡表現を使用した場合に観察力の向上を促す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、教育現場においても活用されている。また、2023 年に文部科学省が公表した GIGA スクール構想の実現に向けた整備・利活用等に関する状況 [1] によると、日本の全自治体 1812 において義務教育段階における 1 人 1 台端末の整備が完了したことが報告されている。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。

ここで、紙と鉛筆における手書きの特性の一つとして、筆圧の強弱により色の濃淡や太さを調整可能であることが挙げられる。この特性を踏まえ、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。一方、教育機関で配布されているタブレットは、コストを削減するためにペンが同梱されていないことや、同梱されていても安価な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、第 6 著者の長女の通う小学校では iPad が配布されたが、ペンは同梱されておらず、各自で自費購入であった。また、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かった。

我々はこうした教育におけるデジタル手書きの問題に着目し、筆圧による濃淡表現がない場合に問題を解くうえで

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、筆圧表現がない条件では正答率が低い回答者が増える傾向、試行錯誤が必要となる初見問題の正答率の低下が明らかとなった [5]。さらに、解法を学習した図形問題については、筆圧による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など、理解度が低下する可能性が示唆された [6]。これらの研究により算数や数学においては、紙と鉛筆を用いた学習がデジタルデバイスに置き換えられていく際に、安価なものを採用することの教育や学習への影響、考慮すべき点などが明らかになりつつある。しかし、その他の学習についてはまだ十分にその影響が明らかになっていない。

そこで本研究では、小学校や中学校などで重視されている観察学習に着目し、H1「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、観察対象のテクスチャや構造への理解度、自己効力感が低下する」、H2「筆圧が多様な変化幅を見せる学習者は対象をより詳細に観察している」という 2 つの仮説のもと、筆圧表現の有無が観察力および学習に及ぼす影響の調査を行う。

2. 関連研究

2.1 筆圧と学習の関係に関する研究

手書きにおける筆圧や筆記速度などの特徴量と、学習者の認知的・情意的状態との関係については、これまでに多くの研究がなされている。

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

日本語文字学習における学習者の感情と筆記の関係を調査した研究 [7] では、筆圧の最小値・最大値・平均値のいずれもが「楽しさ」や「苛立ち」と関連しており、特に苛立ちが大きいほど筆圧が強くなる傾向が示されている。同様に、Yu ら [8] および福林ら [9] は、筆記行動と認知負荷との関連性を検討している。Yu らは、20 名の実験協力者に単語を提示し、それらを用いて文章を作成する課題を実施した結果、筆記者の認知負荷が局所最大筆圧や筆記速度の変化と関係することを示し、さらに筆記速度が速いほど筆圧が低くなる傾向を明らかにしている。一方、福林らは、認知負荷の異なる計算課題中の筆記情報を分析し、認知負荷が高いタスクほど筆記速度が低下し筆圧値が減少する傾向があることを示した。

また、筆記行動から学習過程や状態を推定する研究も行われている。浅井ら [10] は、数学問題の解答時に得られるオンライン手書きデータを用い、学習者の「つまずき」を検出する手法を検討した。その結果、筆記・未筆記・消しゴム利用といったペンの使用状態がつまずきと関連する一方で、各時点におけるストローク単位の筆圧や筆記速度には有意差が見られなかったことを報告している。笠野ら [11] は、ペンタブレットによって得られる筆記情報と解答時間が、学習者自身の主観的難易度を推定する有効な指標となり得ることを示した。

さらに、筆記特徴量を学習者の確信度推定に応用した研究も行われている。丸市ら [12] は、英単語学習における解答確信度を手書きデータから推定する手法を提案し、筆圧を含む筆記特徴量と確信度の間には強い相関が見られないことを明らかにしている。

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をしている。本研究では、筆記情報を得ることによる学習状況の観測の有用性、筆圧の有無を比較要素として、観察学習における筆圧の重要性を検証するものである。

2.2 理科教育における観察学習の研究

理科教育における観察学習の研究についても、様々な研究がなされている。

Haydock [13] は、科学学習における描画が持つ役割と潜在的な影響について議論し、描画能力を自覚することが自己エンパワーメントへの効果的な手段であり、観察力、理解力、コミュニケーション能力、創造性を高めることによって科学的リテラシーを向上させると主張した。また、生徒が目前にある実物を観察しながら描画しようとする行為は、単に見ているだけでは行わない多くの観察、比較、分析を強制し、それによって観察力が向上すると論じた。

松原 [14] は、理科の観察スケッチの評価を支援する自己組織化マップとそれを補助する画像フィルタ処理システムの開発を行うとともに、開発したシステムから観察視点の

特徴を類推し、観察における指導上の示唆を得ることを目的とした。その結果、フィルタのあるシステムでは、90% 近くの観察スケッチが適切に配置されており、システムの妥当性を明らかにした。また、岡崎ら [15] は携帯ゲーム機 (Nintendo DS) がもつ携帯性、操作の容易さ、親しみやすさといった特徴に加えて、タッチペンによる直接操作を学習に応用することで、理科の実験・観察学習を支援する新しいシステムの構築に取り組んだ。開発したシステムを用いることで、機材や安全面などの制約から気軽に実施できない観察学習を、場所や時間にとらわれずに何度でも繰り返し行えることの意義を論じた。

これらの研究は、理科教育における観察スケッチの効果の重要性やそれらを支援するシステムについての可能性を検証している。本研究においても、観察スケッチとそれらを支援するシステムの可能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、H1「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、観察対象のテクスチャや構造への理解度、自己効力感が低下する」、H2「筆圧が多様な変化幅を見せる学習者は対象をより詳細に観察している」という2つの仮説を検証する。ここで、筆圧と観察学習における観察力の関係を明らかにする実験として、顕微鏡で岩石を観察しながらスケッチをするタスクを用意し、筆圧によって実験協力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、筆圧表現の有無が観察学習時の観察力に及ぼす影響を調査するため、実験協力者に対象を観察しながらスケッチを行ってもらい観察力を測る。そのために、個人のスケッチ能力や集中力による差が大きくなるような対象を選定する必要がある。対象は構造が複雑すぎず、かつ短時間で全体像を描くことが可能であること、質感や色に違いが見られるため濃淡表現が使われる可能性が高いことから、中学校理科の学習でも題材となる火成岩を用いることにした。観察する火成岩の種類については一般的な学習で用いられる6種類（火山岩3種類、深成岩3種類）を対象とした。観察終了後に、火成岩の観察をするにあたって着目すべき特徴を基盤とした観察力チェックテストに回答してもらい、観察力を定量的に計測した。

本実験で使用した火成岩6種類を図1に示す。[16]で比較によって共通点と相違点を見つけることが推奨されているため、斑れい岩と玄武岩、花崗岩と流紋岩、閃緑岩と安山岩、それぞれをペアとした2種類を比較しながらスケッチを行ってもらった。なお、これらのペアは火山岩と深成

岩によって構成され、ペアとなる 2 種類は有色鉱物の割合が近いものとなっている。

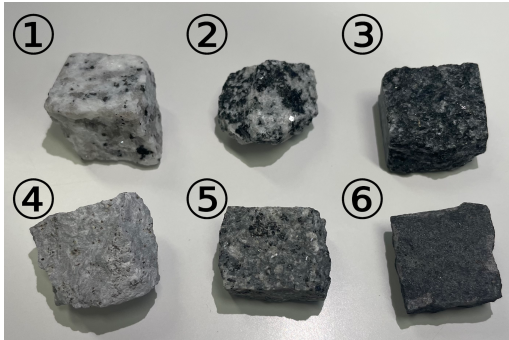


図 1 実験で用いた岩石 (1: 花崗岩, 2: 閃緑岩, 3: 斑れい岩, 4: 流紋岩, 5: 安山岩, 6: 玄武岩)

また、肉眼での観察では特徴を捉え切ることが難しいため、本実験では、PC 接続タイプの 2 つの顕微鏡と 2 つのノート PC を利用し同時に火成岩 2 種類を表示し観察を行ってもらった。実験環境を図 2 に示す。



図 2 実験環境

3.3 実験筆記用アプリケーション

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 ファイルとして筆記ログを記録した。実際の操作画面を図 3 に示す。

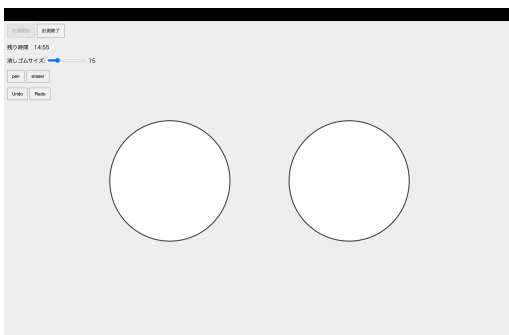


図 3 実験に用いたアプリケーションの操作画面

画面には制限時間を表示するタイマー、計測開始ボタン、計測終了ボタン、消しゴムの太さを変更するスライダー、ペンと消しゴムの筆記モードを変更するためのボタン、Undo、Redo ボタン、半径 200 ピクセルの円からなる描画区域が表示される。なお、2 種類の火成岩を比較しながらスケッチを行うため、1 つの描画区域に 1 つの火成岩を描けるよう描画区域は 1 つの画面に 2 つ用意した。計測開始ボタンを押すと、タイマーが作動し、タイマーが切れるまで筆記が可能になるようにした。本実験では練習を含め 3 回スケッチのタイミングがあるが、全てのページを同じ画面構成にした。

筆圧あり条件において筆圧値 $pressure_{now}$ 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。実験協力者ごとに弱い筆圧 ($pressure_{min}$) と強い筆圧 ($pressure_{max}$) を事前に取得し、それらを以下の式を用いて 0~1 に正規化することで、個人に合わせた筆圧調整を行った。なお、正規化後の値 $pressure_{norm}$ を求める際に、 $pressure_{now}$ 値によって 0 以下になる場合は $pressure_{norm}$ の値は 0 に、1 以上になる場合は 1 とした。

$$pressure_{norm} = \frac{pressure_{now} - pressure_{min}}{pressure_{max} - pressure_{min}}$$

その後、これまでの研究 [6] において、濃淡表現の差を出すために使用されていた関数をベースに、スケッチ用の中領域域での変化をより緩やかにした関数を本実験では利用した。数式は以下の通りであり、濃淡の値を *Gradation* と表記する。

$$Gradation = 3 pressure_{norm}^2 - 2 pressure_{norm}^3$$

実験協力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スケッチへの取り組み時間を収集した。また、計測終了ボタンが押されると、筆記不可の状態にし、描画区域に書かれた内容を画像及び JSON 形式で自動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 Wacom One と Wacom One スタンダードペンを使用し、8192 段階で筆圧を取得したうえで 0~1 の値に変換した。

3.4 観察力チェックテスト

本実験では、スケッチの後に行われる観察力チェックテストから観察力を測定した。実際に用いたチェックテストの問題を表 1 に示す。問題は全 15 問からなり、問 1~10 までは火成岩のテクスチャに関する問題、問 11~15 が火成岩の構造に関する問題となっている。これらの問題は、濃淡表現によって似たような色の識別が行いやすくなる可能性、奥行き表現が行いやすくなる可能性から、地学教育に関する研究 [17, 18] を参考にテクスチャと構造に関する問題に分類し作成した。

実験協力者には、観察したそれぞれの火成岩の特徴に当

表 1 観察力チェックテストの問題一覧

問題 1	観察した岩石の粒は、全体としてどのくらいの大きさか（非常に小さい／小さい／中くらい／大きい／非常に大きい）
問題 2	粒の大きさのばらつきはどうか（ほとんどない／少しある／かなりある／非常にばらつきが大きい）
問題 3	粒の形は（丸みを帯びている／やや丸い／不規則／角ばっている）
問題 4	粒の輪郭は（はっきりしている／ややはっきり／ぼんやり／非常に不明瞭）
問題 5	隣り合う粒の境目は（明確／やや明確／不明確／ほとんど区別できない）
問題 6	明るい部分と暗い部分の割合は（明るい方が多い／やや明るい方が多い／同じくらい／暗い方が多い）
問題 7	見える色の種類は（1 種類／ 2 種類／ 3 種類／ 4 種類／それ以上）
問題 8	部分的に光って見える鉱物があるか（ある／ややある／ほとんどない／全くない）
問題 9	透き通って見える部分があるか（全くない／少しある／明らかにある）
問題 10	模様は（一様／やや一様／まだら／非常にまだら）
問題 11	粒の並び方は（方向性がある／やや方向性がある／方向性は見られない／完全にランダム）
問題 12	小さな穴や空洞は（ほとんどない／少しある／目立つ／非常に多い）
問題 13	結晶は立体的に見えるか、それとも平面的に見えるか（平面的／やや立体的／立体的／非常に立体的）
問題 14	粒が互いに重なって奥行きを感じさせる部分はあるか（見られない／少しある／多く見られる／非常に多い）
問題 15	岩石に割れ目やヒビのような線が見られるか（見られない／少しある／多くある／非常に多い）

表 2 自己効力感アンケート項目

Q1	岩石の細かい粒の大きさの違いを自分でスケッチで表現できると思う。
Q2	岩石の色の微妙な違い（薄い色の差など）をスケッチで捉えられると思う。
Q3	岩石の構造的パターン（層や方向性など）をスケッチで再現できる自信がある。
Q4	粒の輪郭や粒界のはっきりさをスケッチに反映できると思う。
Q5	スケッチ中に自分の観察を他人と比べても恥ずかしくないと思う／見られる自信がある。
Q6	自分が見た岩石の特徴を間違えることを恐れずにスケッチできる。
Q7	光沢や透明感など視覚で見える微細な質感（光の反射や透ける部分）をスケッチに反映できる自信がある。
Q8	スケッチを早く描く・ある程度時間制約があっても（制限時間があっても）質を保てると思う。
Q9	スケッチをする前に、どの部分を強調すべきか自分で判断できる自信がある。
Q10	完成したスケッチを見て、自分が観察した「粒度・構造・模様」について他人に説明できると思う。

てはまると思う項目に、観察する火成岩ごとに割り振られた番号を記載していく方式で問題に回答してもらうようにした。また、回答する上で同じ項目に複数の火成岩を割り振ることも可能とした。

問題ごとの点数の付け方に関してはあらかじめ用意した正解データの順序と、回答におけるペアとした火成岩の番号の順序が合っているかどうかで相対的に判断をし、正解データと順序が一致しているものは 2 点、回答の順序を 1 つずらして正解データと一致するものは 1 点、どちらにも当てはまらないものは 0 点とした。

3.5 実験手順

本実験ではまず、可能な限り強い筆圧と弱い筆圧で文字を描画するタスクを行ってもらい $pressure_{min}$ と $pressure_{max}$ を求め、筆圧による濃淡表現を実験協力者ご

とに調整した。次に、ペンの操作、画面の操作、顕微鏡の使い方を説明し、2つの火成岩を比較しつつ、3分間スケッチの練習をしてもらった。練習ののち、本番でも同様に2つの火成岩を比較しながらスケッチをすることを説明し、15分間という制限時間の下スケッチを行ってもらった。なお、スケッチをする箇所および拡大率（1倍から300倍まで指定可能）に関しては指定せず、図4に示すような手本を提示し、実験協力者自身に顕微鏡で火成岩の特徴が現れていると感じる箇所を自身で選定してもらった。また、制限時間以内でも実験協力者自身が描けることがないと感じた場合にはその時点でスケッチを終了し、次の手順に移ってもらった。スケッチの後は、スケッチの対象とした火成岩について観察力チェックテストに回答してもらった。軽い休憩を取ったのち、別の2種類の火成岩を用いてスケッチ、観察力チェックテストを同様の手順で再び行ってもらった。

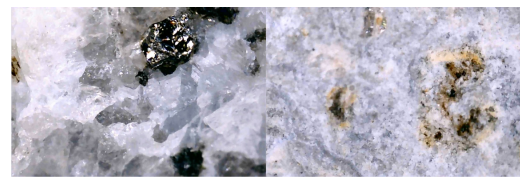


図 4 手本とする参考画像

練習で用いる火成岩は全ての実験協力者で統制し、本番のスケッチで用いる火成岩に関しては2回あるスケッチの順序を筆圧あり条件、筆圧なし条件のそれぞれで交互に実施した。全てのスケッチ、観察力チェックテスト終了後、スケッチに対する自己効力感のアンケートに回答してもらった。アンケートは先行研究 [19, 20] を参考に作成をした。アンケートの内容を表2に示す。

実験協力者は大学生と大学院生 40 人（男性 32 人、女性 8 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。

4. 結果

観察力チェックテストの得点によって検証するにあたり、実験前に行った全 11 問からなる岩石の知識を問うテストにおいて、7 点以上の点数だった実験協力者については、観察から得られた知見ではなく元々の知識によってチェックテストを解いている可能性があるため、データから除外することにした。その結果、1 人が除外対象となり、分析対象の実験協力者は 39 人（男性 31 人、女性 8 人）となった。

筆圧あり条件と筆圧なし条件の観察力チェックテストの合計得点の得点率を図 5 に示す。また、得点率の平均、1 回目の得点率の平均、2 回目の得点率の平均、自己効力感アンケートの平均を表 3 に示す。観察力チェックテストの得点率が、筆圧あり条件は 56.4%、筆圧なし条件は 55.6% という結果より、条件間で得点に差は見られなかった。また、チェックテスト 1 回目の得点率が、筆圧あり条件は 57.3%、筆圧なし条件は 57.2%、チェックテスト 2 回目の得点率が、筆圧あり条件は 57.3%、筆圧なし条件は 54.0% と条件間で得点に差は見られなかった。自己効力感アンケートについても 50 点中、筆圧あり条件は 26.6 点、筆圧なし条件は 26.5 点と条件間で差は見られなかった。

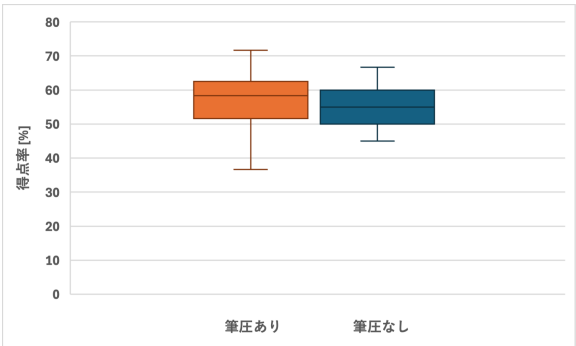


図 5 手法ごとの得点率

表 3 チェックテストの得点率と自己効力感アンケートの得点平均

	筆圧あり	筆圧なし
合計得点の得点率 (%)	56.4	55.6
1 回目のテストの得点率 (%)	57.3	57.2
2 回目のテストの得点率 (%)	57.3	54.0
自己効力感アンケートの平均	26.6	26.5

観察力チェックテストの項目をテキストと構造に関する問題にわけ、それぞれの筆圧あり条件と筆圧なし条件の得点率を図 6 に示す。テキストに関する問題の得点率が、筆圧あり条件では 49.6%、筆圧なし条件では 53.1% となった。構造に関する問題の得点率が、筆圧あり条件では 70.0%、筆圧なし条件では 60.5% となった。テキストと構造のそれぞれの得点に対して t 検定を行ったところ、構

造に関する問題においては筆圧あり条件の方が筆圧なし条件に比べて得点が高いこと ($p < 0.05$)、テキストに関する問題においては筆圧あり条件の方が筆圧なし条件に比べて得点が高いことがわかった。

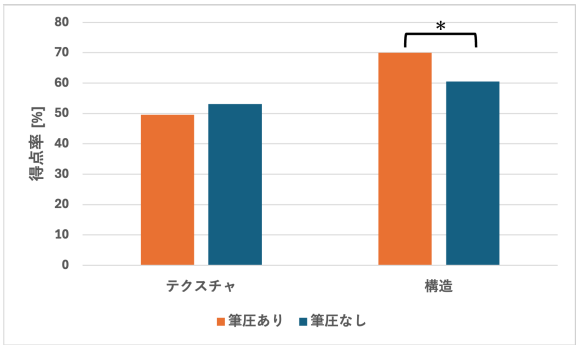


図 6 手法およびテキスト・構造に関する得点率の平均

仮説 H2 を検証するため、筆圧の変化幅を示す標準偏差を実験協力者ごとに求め、標準偏差の高い群および低い群にわけたうえで総合得点、ストローク数、描画時間を求めたものを表 4 に示す。標準偏差を求める際に使用した筆圧値は、操作ミスなどで誤って触れてしまった場合があることを考慮し、ストロークの長さが 10 ピクセル以上のストロークから抽出したものに限定している。なお、筆圧変化幅の大きい群の実験協力者 1 人のストローク数が著しく多かったため、ストローク数の平均を求める際にデータから除外し、19 人のデータを用いて分析した。この結果より、筆圧の変化幅が高い群 (N=20) と低い群 (N=19) との間で総合得点と描画時間に関しては差が見られなかったが、ストローク数に関しては筆圧の変化幅が高い群の方が多い ($p < 0.05$) ことがわかった。

表 4 筆圧の変化幅と得点率、スケッチ時間、ストローク数との関係

	筆圧の変化幅	
	大きい (N=20)	小さい (N=19)
合計得点の得点率 (%)	56.7	55.3
スケッチ時間の平均	800.4	793.3
ストローク数の平均	1514.5*	957.8*

* $p < 0.05$ (筆圧変化幅の高低間で有意差あり)

観察力チェックテストの問題ごとの平均点を筆圧あり条件と筆圧なし条件で並べたものを図 7 に示す。各問題は 4 点満点であり、問題 7、13 では筆圧あり条件の方が筆圧なし条件より得点が高いこと、問題 1、5、6 では筆圧なし条件の方が筆圧あり条件より得点が高いことがわかる。

自己効力感に関するアンケートの設問ごとに分けた結果について図 8 に示す。結果としては、問題 8 については、筆圧なし条件の方が筆圧あり条件より点数が高いということがわかる。Q8 は表 2 に示したように、スケッチに制限時間があつた場合に自身のスケッチの完成度がどのように

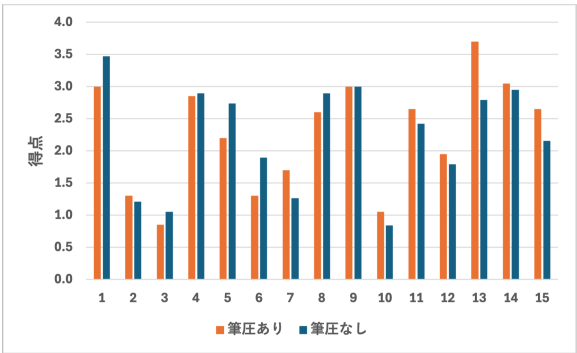


図 7 問題ごとの得点の平均

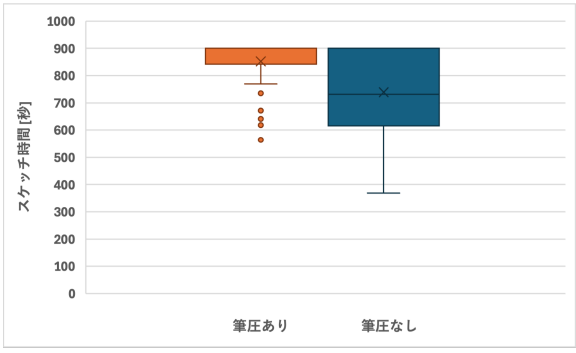


図 10 手法間のスケッチへの取り組み時間

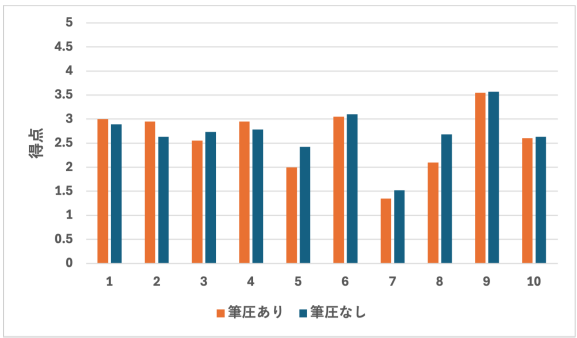


図 8 自己効力感アンケートの各項目の値の平均

影響されると考えるかについての設問である。

筆圧の分布を図 9 に示す。また、本実験において正規化が正しく行えていなかった可能性があったため、今回扱う筆圧値は正規化前の値とする。ストロークの最初と最後はタブレットの性質上 0 に近い値が検出されるがスケッチに関係する値ではないため、図に示す分布はストロークの最初の 2 点と最後の 2 点を除いている。筆圧あり条件と筆圧なし条件を比較すると、筆圧あり条件の方が広く筆圧を使っていることがわかる。

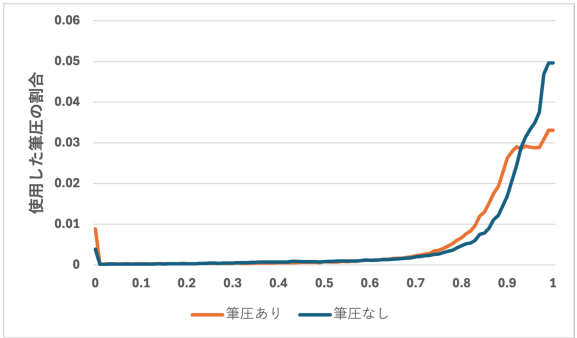


図 9 手法間の筆圧の分布

スケッチに取り組んだ時間の条件ごとの分布を図 10 に示す。この結果より、筆圧あり条件の方が筆圧なし条件に比べ、平均的にスケッチに取り組んだ時間が長く、制限時間 15 分 (900 秒) 一杯を使って書き続けた人が多いことがわかる。

5. 考察

5.1 筆圧の有無と観察力について

実験結果より、筆圧の有無による観察力チェックテストの総合得点の差は見られなかった。しかし、筆圧あり条件が優位に作用する問題項目と、そうでない問題項目による差がある可能性が示唆された。構造とテクスチャに関する問題ごとに結果を見ると、構造に関する設問 (問題 11～15) が全体として、筆圧あり条件の方が筆圧なし条件に比べて得点が高くなり H1 の仮説通りであった。問題別に見た時にも立体的に見えるかどうかという設問 (問題 6) において筆圧あり条件の得点が高かった。一方、テクスチャに関する設問では、筆圧なし条件の方が得点が高い傾向にあり、H1 の仮説とは逆の結果となった。このことから、構造に着目した観察は、テクスチャに着目した観察に比べ筆圧表現がある方がより詳細に観察できている可能性が示唆された。

火成岩の色による得点の違いが出ると考えられるため、火成岩の色別の得点率について表 5 に示す。この表において白色は有色鉱物の割合が低い花崗岩と流紋岩のペア、黒色は有色鉱物の割合が高い閃緑岩と安山岩のペアを表している。白色と黒色を比較すると、筆圧あり条件の方が筆圧なし条件よりも黒色の得点が高くなっており、白色の得点との差も少ないことがわかる。また、図 7 で示した通り、問題 7 の見える色の種類についての問題に関しても、筆圧あり条件の方が得点が高いことがわかる。これらのことから、筆圧あり条件の方が筆圧なし条件よりも黒色が主体で、色の差を表現しづらい場合においてスケッチを通した色の識別が行いやすい可能性が考えられる。

表 5 火成岩の色別得点率 (%)

	筆圧あり	筆圧なし
白色	57.0	58.9
黒色	55.8	52.2

一方、図 7 で示すように問題 1, 6 における得点が筆圧あり条件で低く、テクスチャに関して差が出なかった要因として、スケッチ時間の不足があると考えられる。時間が

足りず、全体を描くことができなかったために、全体を見て比較する必要がある項目では低い得点になってしまった可能性がある。そのため、時間を十分にとった観察について今後検証を行う必要がある。

5.2 スケッチへの取り組みと観察力

表 4 に示すように、H2 の仮説の検証を行ったところ、筆圧の変化幅によるチェックテストの結果に差は見られなかったが、筆圧の変化幅が大きい実験協力者はストローク数が多くなることが明らかとなった。また、筆圧の変化幅が大きい実験協力者の人数を条件ごとに求めたところ、筆圧あり条件では 8 人、筆圧なし条件では 11 人であり筆圧なし条件の方が多いということがわかった。しかし、図 9 からは、筆圧あり条件の方が筆圧値を広い範囲で用いていることがわかる。これらのことを踏まえると、筆圧あり条件では全体として用いている筆圧の変化幅が大きいのではなく、一部の書き込みの量が多い人の用いている筆圧の変化幅が大きいということが考えられるため、意欲的にスケッチに取り組む人は筆圧による濃淡表現をより用いている可能性がある。

また、図 10 から、筆圧あり条件の方が筆圧なし条件より、最後までスケッチに取り組んだ実験協力者が多いことがわかる。制限時間以内にスケッチを終えた実験協力者と、制限時間ギリギリまでスケッチをしている実験協力者とに群分け（完成群と未完成群）し、そのスケッチに対する点数を筆圧あり条件と筆圧なし条件で比較したものを表 6 に示す。それぞれ完成群と未完成群の実験協力者で比較し得点率に関して t 検定を行ったところ、未完成群においては筆圧あり条件の方が筆圧なし条件と比べ有意にその得点率が高いことがわかった ($p < 0.05$)。同様に制限時間以内に描き切った実験協力者（完成群）のみで比較をすると、筆圧なし条件の方が得点率が高い傾向にあるなど逆転していることがわかる。

表 6 スケッチ完成群と未完成群ごとの得点率 (%)

	筆圧あり	筆圧なし
完成群	53.0	57.5
未完成群	57.8*	52.6*

* $p < 0.05$ (筆圧ありと筆圧なしの間で有意差あり)

また、自己効力感の総得点に関しては有意な差はないが、Q5, 8 においては筆圧あり条件の方が筆圧なし条件よりも低い傾向にあるということがわかる。このことから、筆圧あり条件では自身のスケッチをより良いものにしようとする意識が高くなっている可能性が考えられる。

これらの結果と、図 5 に示すように筆圧あり条件では総合得点のばらつきが大きくなっていることから、筆圧あり条件ではスケッチへの取り組みが意欲的な学習者に対しては、筆圧表現を適切に用いることによる観察力の向上、よ

り精巧なスケッチへの取り組みを支援する可能性が考えられる。一方、時間内にスケッチを終えている実験協力者の方が筆圧あり条件で得点率が低いのは、時間が足りないことで観察が雑になったのではと考えられる。

5.3 条件間のストローク量

平均ストローク数の分布を図 11 に示す。なお、ここにおいてもストローク数が著しく多かった実験協力者 1 人を分析から除外している。図 11 から、筆圧なし条件ではストロークの長さが短いストロークが多く、筆圧あり条件の方がストロークの長さが長いストロークが多いことがわかる。

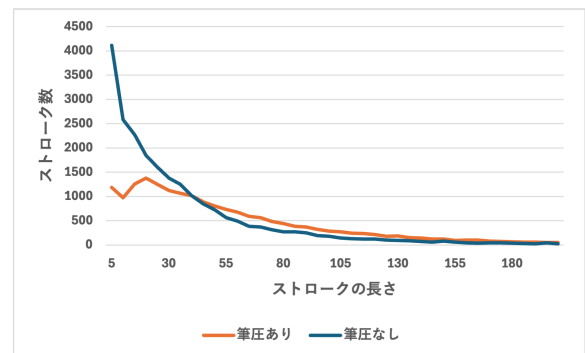


図 11 手法ごとのストローク数の分布

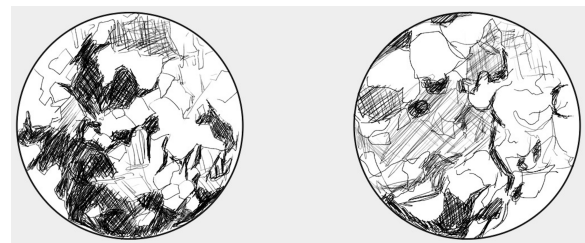


図 12 筆圧あり条件のスケッチ



図 13 筆圧なし条件のスケッチ

総ストローク数に関しては筆圧あり条件では 1123.7、筆圧なし条件では 1231.7 と筆圧なし条件と差がないが、長いストロークが多く、筆圧なし条件では短いストロークが多い点とはとても興味深い。筆圧なし条件において短いストロークが多いのは、色を調節するにあたって重ねて描くという選択肢がないため余白を埋めるような形で書き進めて

いくからであると考えられる。また、筆圧あり条件において長いストロークが増えるのは、線を重ねることで色の調節が可能であるため、スケッチ終盤になっても短い線で余白に描く以外の表現ができたからであると考えられる。図 12 は筆圧あり条件のスケッチの例、図 13 は筆圧なし条件のスケッチの例を示している。この結果からも、そうしたストロークの傾向が現れていることがわかる。

これらのことから、筆圧による濃淡表現がある場合、すでに描き込まれている箇所にも追加で線を描くという選択肢が生まれ、観察者は同じ箇所を 1 度見るだけでなく何度も見ると、観察力の向上を促す可能性が考えられる。

6. おわりに

本研究ではデジタル手書きについて、H1「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、観察対象のテクスチャや構造への理解度、自己効力感が低下する」、H2「筆圧が多様な変化幅を見せる学習者は対象をより詳細に観察している」という 2 つの仮説のもと、デジタルペンを用いて火成岩を観察しながらスケッチを行ってもらった実験を行った。実験の結果より、仮説通りの結果にはならなかったものの、筆圧による濃淡表現の有無が対象物の構造への理解、スケッチに取り組む時間に影響を及ぼすことが明らかとなった。また、筆圧による濃淡表現を適切に用いた場合、観察力の向上を促す可能性も示唆された。これらの客観的な指標に加えて自己効力感に関するアンケートによる主観的なスケッチへの評価から、濃淡表現の有無は意欲的にスケッチに取り組む人に対してより良い効果を発揮する可能性が示唆された。

今後は、スケッチの時間を長めに設定したうえで、筆圧の有無が、個人の中ではどのような影響を及ぼすのかについて検証する予定である。具体的には、実験者間での比較で行っていた実験を実験者内での比較にし、個人のスケッチに対する意欲や能力を考慮した結果を得ることで、筆圧の有無による影響がどのような特徴を持つ学習者に効果的であるかを確認する。また、今回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、主に観察学習を行うのは小学生、中学生である。そのため、小学生、中学生を実験対象者とし授業の一環とした実験を行うことで、仮説を検証する予定である。

参考文献

- [1] 文部科学省: GIGA スクール構想の実現に向けた整備・利活用等に関する状況について, https://www.mext.go.jp/a_menu/other/mext_00921.html (2023). 令和 4 年度末時点/義務教育段階 1 人 1 台端末整備状況.
- [2] 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)」タブレットの仕様, <https://sho.benesse.co.jp/to uch/spec/> (2024). 参照 2025-08-08.
- [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/> (2024). 参照 2025-08-08.
- [4] 小林沙利, 植木里帆, 関口祐豊, 中村聡史, 掛晃幸, 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, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2022, No. C-5-5, pp. 1-8 (2022).
- [5] 宮崎勇輝, 小林沙利, 中村聡史, 掛晃幸: 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, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2023, No. B-1-6, pp. 1-8 (2023).
- [6] 津田紗宮良, 宮崎勇輝, 小林沙利, 中村聡史, 掛晃幸: 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, 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. 2025-HCI-211, No. 28, pp. 1-8 (2025).
- [7] 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).
- [8] Yu, K., Epps, J. and Chen, F.: Cognitive load evaluation of handwriting using stroke-level features, *IUI'11: Proceedings of the 16th international conference on Intelligent user interfaces*, pp. 423-426 (2011).
- [9] 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, 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).
- [10] 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を用いた学習者のつまずき検出, *DEIM Forum* (2012).
- [11] 笠野孝志, 平野靖, 梶田将司, 間瀬健二: 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).
- [12] 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).
- [13] Haydock, K.: Observation and Drawing in Learning Science, pp. 398-402 (2001).
- [14] 松原道男: 理科学習における観察スケッチの評価を支援するシステムの開発, 日本教科教育学会誌, Vol. 42, No. 1, pp. 57-63 (2019).
- [15] 岡崎泰久, 永江由依, 田中久治, 渡辺健次: タッチペンによる直接操作を活用した携帯ゲーム機による実験観察学習支援システムの開発, 情報科学技術フォーラム論文集 (FIT), Vol. 9, pp. 619-622 (2010).
- [16] 文部科学省: 中学校学習指導要領解説 理科編, https://www.mext.go.jp/content/20210830-mxt_kyoiku01-100002608_05.pdf (2011). 参照 2025-08-08.
- [17] 寺戸真, 廣木義久: 高等学校の地学基礎で使用する岩石鑑定のためのマニュアルと授業の開発, 地学教育, Vol. 70, No. 4, pp. 145-158 (2018).
- [18] 瀧本家康, 佐藤鋭一: 中学生の火成岩鑑定能力の実態に関する調査と火成岩学習における効果的な学習方法の一考察, 地学教育, Vol. 73, No. 1, pp. 1-14 (2020).
- [19] Jaison, D., Merzdorf, H. E., Williford, B., White, L. L. A., Watson, K., Douglas, K. A. and Hammond, T. A.: Assessing Drawing Self-efficacy: A Validation Study Using Exploratory Factor Analysis (EFA) for the Drawing Self-efficacy Instrument (DSEI), *Proceedings of the American Society for Engineering Education Annual Conference* (2021).
- [20] 谷田良子, 前田基成: 美術科に対する自己効力感尺度作成, 神奈川工科大学研究報告 A (人文社会科学編), Vol. 44, pp. 17-21 (2020).