

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：34441

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12167

研究課題名（和文）子どもの書字能力の質的評価ツールの開発

研究課題名（英文）Development of a qualitative assessment tool for children's handwriting ability

研究代表者

高畑 脩平（Takahata, Shuhei）

藍野大学・医療保健学部・講師

研究者番号：20782684

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、書字困難児への個別最適な支援の提供を目指した、ICTを用いた書字の質的評価ツールの開発を行うことである。既存の評価ツールでは取得することができない、書かれた文字の判読性、書字過程、書字関連機能を包括的に評価できるツールの開発を目指して取り組んだ。本研究期間においては、評価基盤開発までを行い、書字の困難度に関連する指標が明らかになった。具体的には、書字困難の有無は、「運動の正確性」が、書字困難の重症度は「書字速度」が重要な指標であった。また、書字の困難度に直接的に影響を与える指標としては、「母指対立検査」「WAVES_形なぞり（比率）」が特に重要であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

書字困難児の特性を、書かれた文字の判読性、書字過程、書字関連機能の特徴の多方面から包括的かつ詳細に捉えた評価を行うことができるため、書字困難児の個別最適な支援に繋げることができる。また、書字困難に関連する認知機能・運動機能も含めた関連性が明らかになることで、就学前の子どもが書字困難になるリスクが明確になり、早期発見や早期支援にも繋がると想定される。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to develop an ICT-based qualitative evaluation tool for writing with the aim of providing individualized and optimal support for children with writing difficulties. We worked to develop a tool that can comprehensively evaluate (1) the legibility of written characters, (2) the writing process, (3) writing-related functions, which cannot be obtained with existing evaluation tools. During this research period, we worked up to the development of the evaluation platform, and indices related to the degree of difficulty in writing were clarified. Specifically, "accuracy of movement" was important for the presence of writing difficulty, and "writing speed" was important for the severity of writing difficulty. In addition, it was suggested that "mother-finger opposition test" and "WAVES_shape tracing (ratio)" were particularly important as indices directly affecting the degree of writing difficulty.

研究分野：特別支援教育

キーワード：書字困難 評価開発 ICT 機械学習

1. 研究開始当初の背景

書字に困難さを有する児童は多数存在し、学齢期の子どもの 10%~30%に書字困難が認められる(Feder & Majnemer, 2007)。一方で、書字困難児への評価は複雑であり体系化されていない。現状の評価においては、書字場面での文字の判読性・流暢性から書字困難に気づき、その要因となっている要素的認知機能、要素的運動機能を評価することで支援に繋げている。しかし、これには教育現場での教員の気づきに加えて、多くの専門職種の評価が必要となり、簡便性・即効性に欠ける状況にある。このような問題に対して、世界的には、ペンタブレットと機械学習アルゴリズムを組み合わせることにより自動的に診断できるシステム開発も盛んに行われている(Kunthoth, J, 2024 のレビュー論文参照)。これらを使うことで、書字障害の有無を 90%以上の確率で識別可能であることも分かっている。

このように、書字障害の有無をスクリーニングすることを、より簡便に、より高精度に行うことが可能になっている。しかし、これらのシステムを使用したとしても現状では 2 点の課題がある。1 点目は、医学的な診断基準に基づく「書字障害」に焦点が当たっているため、それよりも高頻度で存在すると想定される教育現場で教師が感じる「書字困難」の検討になっていない点である。特に、日本においては、教育現場に関連する専門職は配置されておらず、教師による書字困難の気づきや指導内容が重要となっている。先行研究では、教育現場での教師が感じる「書字困難」に焦点を当て、書字困難児が書く文字の特徴や、書く過程の特徴を明らかにしたものは存在しないため、多岐にわたると想定される書字困難児の特性を捉えることが難しい現状がある。2 点目は、先行研究では、機械学習アルゴリズムを用いることで書字障害の有無を予測する有用性が示されているが、その際に用いられる特徴量としては、書かれた文字の判読性に関する指標と、書字過程における指標のみであり、書字困難に関連すると想定される認知機能・運動機能も含めた予測・検討がなされていないことである。書字に関連する機能として、手指操作を支える姿勢バランス機能(Nicolson, 2011)、手指の細やかな操作を可能にする体性感覚機能(Danna & Velay, 2015; Ebied & Frostick, 2004)、上肢操作を先導する視覚機能(Kaiser, 2009)などが存在する。これらの指標も含めて、機械学習アルゴリズムを用いた書字困難の予測を行った研究は存在せず、書字関連機能から書字困難をどの程度予測できるのかは明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「教育現場における教師の判断基準に基づく書字の困難度」と「書字を構成する包括的な指標」との関係性を明らかにすることである。

書字を構成する指標とは、先行研究により示されている、①書かれた文字の判読性に関する指標、②書字過程に関する指標、③書字関連機能に関する指標であり、これらの複数の指標を包括的に捉えて、書字の困難度とどのように関連するかを検討することである。加えて、書字の困難度に直接的に影響を与える指標を見つけることで、書字困難児を発見する際の視点を探索することである。

これらが明らかになることで、評価基盤を開発することができ、ペンタブレットを用いた書字の質的評価ツールの開発実装につなげることができる。

3. 研究の方法

(1) 研究デザイン

対象児に対して直接評価を行い、書字を構成する要素である「書字プロセスの評価」「書かれた文字の評価」「書字関連機能の評価」の 3 つのレベルに分類し、各レベルで評価可能な 22 指標を抽出する。加えて、学級担任に対して半構造化面接を行い、書字の困難度(None, Mild, Severe)の 3 段階評価)を行う。

抽出された書字を構成する 22 指標を包括的に捉えて、書字の困難度との関連性を検討する。また、書字を構成する 22 指標の中で、書字の困難度に直接的に影響を与える指標を検討する

(2) 対象者

通常学級に在籍する小学校 2 年生の児童 145 名(男児 75 名、女児 68 名 / 右利き 142 名、左利き 3 名)が参加した。小学校 2 年生を対象とした理由は、・定型発達児の場合、筆跡の質は第 1 学年(6 ~ 7 歳)に急速に向上し、第 2 学年(7 ~ 8 歳)までに頭打ちに達し、第 3 学年(8 ~ 9 歳)では、手書きが自動化され、文章表現などの認知処理に重きを置くようになるとされている(Overvelde, Anneloes; 2011, Karlsdottir & Stefansson, 2002; Feder & Majnemer, 2007) ため、本研究に最も適しているのは文字の判読性がある程度発達したと想定される 2 年生であると判断したからである。

在籍児童の書字困難の評価を行うのは、学級担任(1 名)に加えて、同学年を担当する教員(2 名)、校長、教頭の合計 5 名で判定を行った。

(3) 児童に対する書字能力・書字関連機能の評価

書字能力・書字関連機能を「書字プロセスの評価」「書かれた文字の評価」「書字関連機能の評価」の3つの構成レベルに分類し、各レベルで評価可能な指標を抽出した。

① 書字プロセスの評価（操作レベル）

ペンタブレット（我々の研究チームで開発した iPad と Apple pencil を用いたアプリケーション）を用いて単文の視写課題時のペンの操作を評価した。課題文は「とめ・はね・はらい・結び」の4要素と、ひらがなとカタカナを含めた『こいぬのなまえがポチ』という10文字から成る単文を用いて「できるだけ速く、丁寧に書いてください」と教示を行った。取得可能なデータは、時間あたりのペン先の位置情報、ペンの傾き、筆圧であり、これらのデータを基に、「筆圧（平均・標準偏差）」「ペンの傾き X 軸（平均・標準偏差）」「ペンの傾き Y 軸（平均・標準偏差）」「書字速度（所要時間・標準偏差）」「運動フェーズ/停留フェーズ」の各指標を算出した。

② 書かれた文字の評価（表象レベル）

視写課題を行った結果、表出された文字に対して「文字の読みやすさ」の観点から評価を行った。「文字の読みやすさ」は、Feder & Majnemer (2003) を参考に「字形（平均）」「文字の大きさ（標準偏差）」「文字の間隔（標準偏差）」「文字の配置（合計）」の4つの観点から評価を行った。これらの指標の算出に関して、最終的には画像解析の技術を用いた半自動化を目指す、本研究では手計算にて算出した。

③ 書字関連機能の評価（機能レベル）

書字には正確な運筆が不可欠であり、その基盤には姿勢バランス機能・体性感覚情報の捉え・視覚関連機能が重要である (Feder & Majnemer, 2007 ; Volman et al, 2006 ; 白石ら, 2021)。そこで、姿勢バランス機能を JPAN 感覚処理行為機能検査 (The Japanese academy of sensory integration, 2016 ; R Iwanaga, 2010) の一項目である「手足を伸ばしてエクササイズ」にて、体性感覚情報の捉えを臨床観察検査法 (日本感覚統合学会) の一部である「母指対立検査」にて、視覚関連機能を Developmental eye movement test (以下 DEM) (Tassinari, J, 2005) 並びに Wide-Range Assessment of Vision-Related Essential Skills (以下, WAVES) (Okumura et al, 2020) の一項目である「線なぞり」「形なぞり」にて評価を行った。

(4) 解析

書字に関連する要素を包括的に捉えるため、22 指標を変数とした主成分分析を行い、抽出された主成分と書字の困難度との関連性を分析した。加えて、書字の困難度に直接的に関連する指標を探索するために決定木ベースの解析手法である LightGBM を用いて、書字の困難度と 22 指標の関係の解析を行った。

4. 研究成果

(1) 主成分分析の結果

22 指標を変数とした主成分分析を行った結果、2つの主成分が抽出された。抽出された主成分と固有ベクトルを図1に示す。

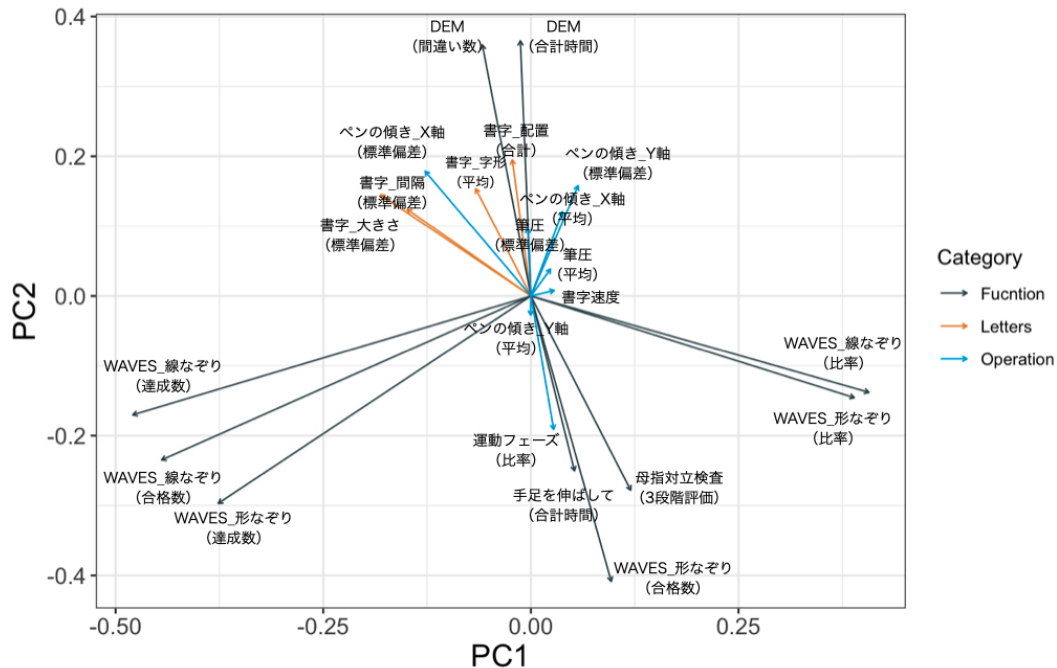


図1. 抽出された主成分と固有ベクトル

①抽出された主成分の解釈

第一主成分（以下、PC1）は「書字速度」を表す成分と解釈できる。具体的には、PC1の軸で正方向に固有ベクトルが伸びている「WAVES_線なぞり（比率）」「WAVES_形なぞり（比率）」は、課題をゆっくり丁寧に遂行することで高い得点になると想定される。PC1の軸で負方向に固有ベクトルが伸びている「WAVES_線なぞり（達成数・合格数）」「WAVES_形なぞり（達成数）」は、乱雑であっても速度があれば高いスコアになる指標である。

第二主成分（以下、PC2）は「運動の正確性」を表す成分と解釈できる。具体的には、PC2の軸で正方向に固有ベクトルが伸びている「DEM（合計時間）」「DEM（間違い数）」は、眼球運動の正確性と、正確性を基盤にした流暢性を表しており、正方向は運動の不正確さ・不器用さを示していると想定される。PC2の軸で負方向に固有ベクトルが伸びている「母指対立検査」「WAVES_形なぞり（合格数）」「手足を伸ばしてエクササイズ（合計時間）」などの指標は、「運動の正確性」を評価している項目であると想定される。加えて、PC2の軸で正方向に固有ベクトルが伸びているものとして、「書字_配置（合計）」「書字_字形（平均）」「ペンの傾き_X軸（標準偏差）」「ペンの傾き_Y軸（標準偏差）」が挙げられ、これらは運動の不正確性により起こり得る可能性が想定される。PC2の軸で負方向に固有ベクトルが伸びているものとして、「運動フェーズ（比率）」が挙げられ、運動の正確性に関連がある可能性が想定される。

②主成分と書字能力との関係性

抽出された2つの主成分と、書字能力を示す学級担任のABC評価の関係性を散布図に示す(図2)。「None」と評価された児童はPC1の正領域、PC2の負領域に主に分布し、「Severe」と評価された児童はPC1の負領域、PC2の正領域に分布する傾向が示された。

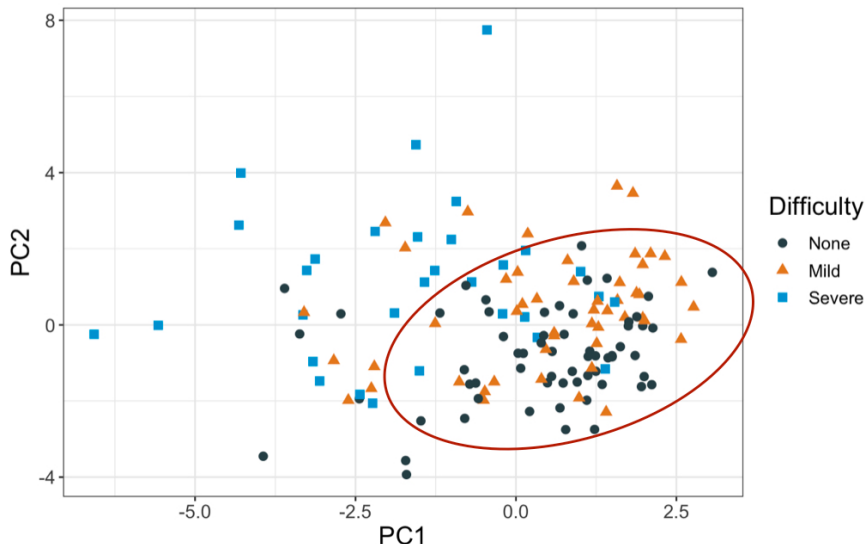


図2. 2つの主成分と、書字能力を示す学級担任のABC評価の関係性

さらに3群間での有意差の検討を行った(図3)。その結果、「None」と「Mild・Severe」を分ける指標は、PC2(運動の正確性)であり、「Mild」と「Severe」を分ける指標は、PC1(書字速度)であることが示された。つまり、「None」は運動の正確性を伴った書字に、「Mild」は運動の正確性に欠ける書字に、「Severe」は運動の正確性に欠け、速すぎて丁寧に欠ける書字になる傾向が想定される。

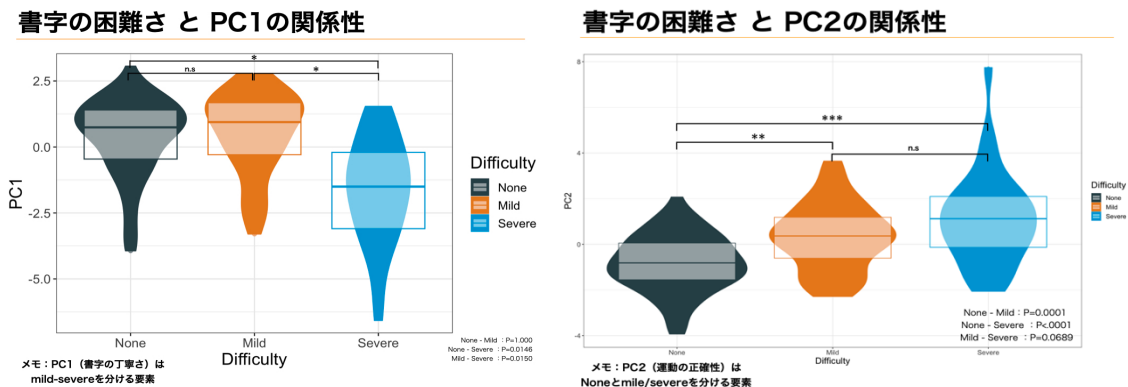


図3. 書字の困難度と主成分の関係性

(2) Light GBM の解析結果

None と Mile&Severe の 2 クラス分類では, Accuracy : 0.72, Macro F1 : 0.71 の予測精度であった. None&Mile と Severe の 2 クラス分類では, Accuracy : 0.84, Macro F1 : 0.74 の予測精度であった. それぞれの Feature Importance を図 4 に示す.

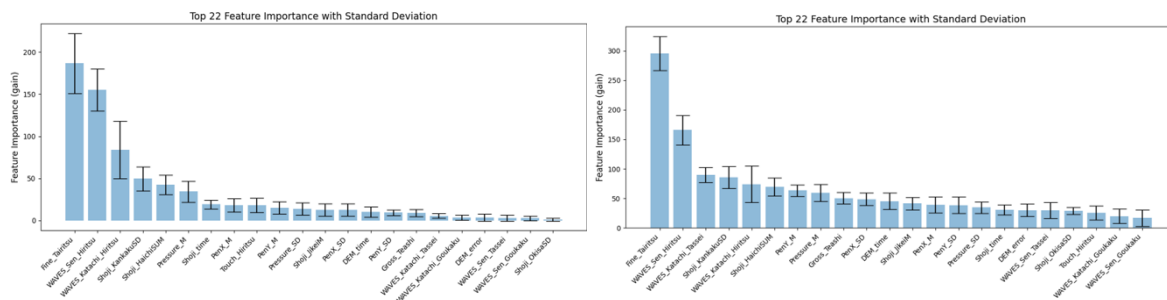


図 4. Feature Importance
(左 : None とそれ以外の分類, 右 : Severe とそれ以外の分類)

書字困難 (None とそれ以外の識別) を予測する指標に関して, 全指標においては, 「母指対立」「WAVES_線なぞり (比率)」が重要であった. 書かれた文字の評価においては, 「文字の間隔のバラツキ」「文字の配置のズレ」が重要であり「文字の概形」「文字の大きさのバラツキ」はさほど重要ではなかった. 書字プロセスの評価においては, 「筆圧 (平均)」「ペンの傾き Y 軸 (平均)」が重要であった.

Severe を予測する指標に関して, 図右に対して左で Feature Importance の値が高くなっているのは, 「WAVES_線なぞり (比率)」「WAVES_形なぞり (比率)」「書字速度」「運動フェーズ/停留フェーズ」であり, これらは速度に関連する指標であると想定される. None と Mild&Severe を分ける要素は「運動の正確性」に関する指標が多数含まれ, Severe と None&Mild を分けるのは「書字速度」に関する指標が多数含まれるており, これは PCA の解析結果と類似するものであった.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Naoto Ienaga, Shuhei Takahata, Kei Terayama, Daiki Enomoto, Hiroyuki Ishihara, Haruka Noda, Hiromichi Hagihara	4. 巻 -
2. 論文標題 Development and Verification of Postural Control Assessment Using Deep-Learning-Based Pose Estimators: Towards Clinical Applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Occupational Therapy International	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1155/2022/6952999	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 高畑 脩平, 榎本 大貴, 田村 亮太, 野田 遥, 石田 祥一, 寺山 慧	4. 巻 10(1)
2. 論文標題 読み書き困難児の包括的・網羅的スクリーニング検査の 開発にむけた予備的研究	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本発達系作業療法学会誌	6. 最初と最後の頁 15-23
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 高畑脩平, 家永直人, 萩原広道, 野田遥, 榎本大貴
2. 発表標題 画像解析を用いた書字能力の評価ツール開発に向けた予備的研究
3. 学会等名 第55回日本作業療法学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroyuki Ishihara, Hiromichi Hagihara, Naoto Ienaga, Daiki Enomoto, Haruka Noda, Kei Terayama, Shuhei Takahata
2. 発表標題 A semi-automated tablet-based assessment tool for handwriting ability
3. 学会等名 18th WFOT International Congress (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	寺山 慧 (Kei Terayama) (50789328)	横浜市立大学・生命医科学研究科・准教授 (22701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------