

書字動作の不均一性からの視覚運動協応能力の予測

大森幹真^{†1} 唐亀健大^{†2} 豊浦正広^{†2}
早稲田大学人間科学学術院^{†1} 山梨大学^{†2}

1. はじめに

教育現場において、児童・生徒・学生が板書す、ことは授業内では一般的に行われている。McHale and Cermak [1]によると、学校生活において1日の約50%の時間が書き課題が費やされている。これまでの研究によると、日本国内の小学校1～4年生の中に約10%の書き困難児が存在するという報告もある[2,3]。一方で、書きの支援ではいまだに、何度も繰り返し書くことを求める「反復書字」が多く行われているが、書き困難な子どもにとっては、効果的な学習につながらないことも多い。

書くことは複雑な運動・認知・知覚機能により構成されている。例えば、鉛筆の把持や、腕を動かして線を引くといった微細運動を含む書字運動スキルの発達 [4]や、書く対象を視覚的に捉える視知覚[5]、さらには視覚情報を運動反応に統合させる能力である視覚運動協応の発達が必要になる[6]。しかし、学習支援を行うためには、支援内容やそれを構成する行動に直接的な支援を行う *direct teaching* が必要となるが、視覚運動協応のスキルは一般的に質問紙や発達検査により評価されており、定量的な評価方法は確立されていない。

視覚運動協応能力の定量的評価方法の確立の一つに、デジタルペンを用いての書字動作解析がある。平林・河野・中邑[7]は、小学校1年生から6年生の615名を対象に、デジタルペンを用いて文章の視写を行ったときの、書字における停留時間を書字行動として分析した。その結果、学年が上がるほど1文字当たりの視写における停留時間が減少し、書字行動パターンとしても、1文字ずつ刺激を見比べながら書く粒書きから、刺激を繰り返し見返さない単語の連続書字を獲得していく過程が明らかになった。また恵・鈴木・慎・安村[8]は書き困難が見られる自閉スペクトラム症(ASD)傾向もしくは注意欠陥多動性症(ADHD)傾向のある大人と子どもを対象に、ペンタブレットを使用した書字場面における筆圧や握り方に特徴が見られるかを検討した。その結果、障害間の差異は見られなかったが、大人に比べて子どもの方がペン角度の水平成分が大きくなることを示した。また、大人においては筆圧の強さがコミュニケーション困難につながりやすいことも示唆するものとなったが、ADHD 傾向と書字行動との間に相関関係は見られなかった。

しかし、平林他[7]と恵他 [8]の結果では、書字パターンの変化により微細運動と、視覚運動協応の発達を類推してお

り、実際にどのように刺激を見ていたかについての言及はない。他の方法として、大森 [9])は大学生が文章を視写しているときの視線機能について、参加者の視覚運動協応能力の高低により分類して検討した。その結果、書字速度には両群の差異は見られなかったが、文章への注視回数や、手元の見返し回数の多さが、視覚運動協応の低さにつながることを示した。一方で、運動機能面での評価は限定的であった。

さらには映像を通した事後解析により書き困難児の方が定型発達児よりも腕部分の垂直方向の運動のバラつきが大きいという報告がある[10]。また、書き困難児は目を開けて書字を行う場合と閉じた場合とでは、閉眼時の方が身体動作に安定性が増すという報告もあり、視覚的フィードバックの困難さが視覚運動協応の困難さにつながるという考えもある[10]。一方で日本語の視写の場合には書き困難が起きる場合に視知覚としての形状を捉える能力の欠如がある可能性は低いとされている。加えて、教育現場での早期発見につなげるためには、発達検査や視線機能計測といった事後的な評価からのフィードバックでは支援提供までの時間遅延が発生する。さらにはそれらの評価方法から解釈をするためには、専門的な知識や解析を理解する必要があることが多く、現場での実装化が困難になる可能性も高い。そのため、より多くの現場支援者が気づきやすい運動面からの評価方法の確立や解析、支援アプローチの構築が必要となる。その際には、先行研究のような事後解析ではなく、より素早い支援の意思決定を行うためのリアルタイムでの書き困難評価方法の開発が必要となる。そのため、リアルタイム計測による運動の不均一性を測定し、*direct teaching* の観点から実際の書字行動場面での計測に適した3軸加速度計を使用した書き困難児の評価方法開発を着想した。

そこで本研究では、子どもの書き手と着席している椅子に3軸加速度計をそれぞれ装着し、書字・運筆を行っている際の運動の不均一性を評価することを目的とした。さらには、子どもたちの視覚運動協応得点が、運動の不均一性から予測可能かを検討することも目的とした。また、子どもたちの運動の不均一性から ASD 傾向や ADHD 傾向を、それぞれ予測可能かを検討することも本研究の目的とした。本研究は早稲田大学研究倫理委員会(承認番号: 2021-152)の承認を得た上で実施した。

^{†1} MIKIMASA OMORI, Waseda University
^{†2} KENTA KARAKAME, University of Yamanashi

^{†2} MASAHIRO TOYOURA, University of Yamanashi

2. 方法

2.1 参加者

発達障害児 9 名と定型発達児 19 名が研究に参加した。各群の平均年齢はそれぞれ 10.50 歳と 8.47 歳であった。参加者は研究の開始前に研究参加については、研究参加は自由意志であることや不参加によって何ら不利益を被らないことなどを中心としたインフォームドコンセントを、研究参加者本人に口頭と文面の両方で行い、同意の得られた上で研究を開始した。

2.2 刺激と装置

刺激：書字・運筆により視覚運動協応の発達を評価するために Beery-VMI6[11]を行った。Beery-VMI6 では同一図形を複数の選択肢の中から 1 つ選択することを求める視知覚 (VP)課題と、線つなぎや図形のなぞり等で構成されている運動協応(MC)課題の 2 種類があった。また、参加者の言語発達能力を評価するために、絵画語彙検査(PVT-R)[12]を使用した。PVT-R は 1 つの図版に 4 つの絵刺激が提示され、実験者が音声提示した刺激に対応する絵を選択していただくものであった。さらには、保護者の方々から参加者の発達障害傾向を評価する質問紙として、SRS-2(日本語版社会応答性尺度第 2 版)[13]と、SNAP-IV[14]を用いた。SRS-2 は、子どもの自閉症特性の 65 項目の保護者による報告評価尺度であり、各項目について 4 件法で回答をしていただくものであった。65 項目は社会的認識、社会的認知、社会的コミュニケーション、社会的動機付け、興味の限局と反復行動、および総合スコアを含む 5 つの下位尺度を反映しており、各下位尺度の T 得点のいずれかが 60 点以上の場合は、自閉傾向アリと判断した。SNAP-IV については、子どもの ADHD 傾向を 26 項目で評価する質問紙であり、4 件法で回答を求めるものであった。そのうえで、不注意項目、多動・衝動性項目、反抗挑戦性項目の 3 つの下位項目に分類し、各項目で 9 点以上取った子どもは ADHD 傾向アリと判断した。**装置：**書字場面の運動機能を評価するために 3 軸加速度計(WT901BLECL, WitMorion)を 2 台使用し、書き手の手首付近と着席している椅子の座面下にそれぞれ装着し、その様子を図 1 に示した。



図 1. 書字場面における 3 軸加速度計の装着位置
註. 白抜きの四角形の部分が加速度計を表す

2.3 手続き

- (1) 標準化検査：視覚運動協応の発達を評価するために Beery-VMI6 の課題を 2 種類行った。まず VP 課題から開始し、その後制限時間 5 分以内として MC 課題を行った。その後 PVT-R により言語得点を算出した。
- (2) 運動機能計測：参加者は書き手にセンサーを装着したうえで、センサーが装着されている椅子に着席して、MC 課題を行った。書き始めの時点から合図で計測を開始し、最後の問題が終了した際に計測を停止した。今回の参加者はすべて右利きであった。
- (3) 従属変数：①VP 課題、MC 課題の標準得点、②質問紙検査の評価得点、③書き手および椅子の xyz 軸方向への加速度の変動係数、④書き手および椅子の xyz 軸方向への角速度の変動係数、⑤書き手および椅子の xyz 軸方向への回転角度の変動係数を求めた。
- (4) 結果の処理法：まず記述統計として、①から⑤の従属変数について、対応のある t 検定、または 2 要因(参加者×下位項目)、3 要因(参加者×測定位置×方向)の分散分析を行うこととした。さらには、その後、①を目的変数として、ステップワイズ法による重回帰分析を行い、運動の不均一性から視覚運動協応能力が予測可能かを検討することとした。さらには診断の有無を問わず、ASD 傾向と ADHD 傾向を従属変数として、運動の不均一性が障害傾向に与える影響を検討するロジスティクス重回帰分析実施することとした。

3. 結果

3.1 記述統計

表 1. 両群の各検査得点

参加者群	発達障害児群	定型発達児群	p 値
N	9	19	
生活年齢	10.50 (1.99)	8.35 (2.50)	0.01
PVT-R 評価点	9.56 (5.77)	12.16 (2.69)	0.12
PVT-R 言語年齢	9.55 (2.64)	8.89 (2.98)	0.28
VMI_VP	103.33 (9.82)	109.58 (16.65)	0.12
VMI_MC	95.33 (13.43)	101.32 (18.45)	0.18
SRS-2 総合得点	66.11 (14.09)	49.00 (8.92)	0.00
不注意傾向	14.78 (5.83)	10.26 (5.28)	0.03
多動・衝動性傾向	7.78 (6.08)	4.05 (4.19)	0.06
ASD 傾向アリ n=	7	8	
ADHD 傾向アリ n=	9	14	

注. SRS-2 のカットオフ値は 60 点であり、不注意傾向と多動・衝動性傾向のカットオフ値は 9 点である。

表 1 に発達障害児群と定型発達児群の各検査得点を示した。生活年齢は発達障害児群が有意に高くなっていたが、言語年齢については両群に差が見られなかったため、以下の解析は両群を言語年齢でマッチさせて実施することとした。また VMI の両得点には差が見られず、視覚運動協応能力に

表 2. 書字場面での書き手・椅子に対しての変動係数

		発達障害児群			定型発達児群			
従属変数	方向	書き手	椅子		書き手	椅子		
加速度	水平(x)	<u>0.52</u> (0.32)	0.09 (0.05)		<u>0.75</u> (0.21)	0.05 (0.13)		
	垂直(y)	0.06 (0.05)	<u>0.74</u> (0.38)		0.08 (0.11)	<u>0.01</u> (0.01)		
	奥行(z)	<u>0.75</u> (0.26)	<u>0.50</u> (0.28)		<u>0.49</u> (0.25)	<u>0.97</u> (0.05)		
角速度	水平(x)	0.21 (0.23)	0.03 (0.17)		0.28 (0.22)	0.09 (0.14)		
	垂直(y)	0.46 (0.43)	0.03 (0.02)		0.49 (0.41)	0.12 (0.22)		
	奥行(z)	0.60 (0.80)	0.03 (0.02)		0.56 (0.60)	0.09 (0.14)		
回転角度	水平(x)	4.58 (5.16)	112.28 (4.12)		11.91 (13.79)	153.24 (55.80)		
	垂直(y)	34.63 (23.97)	5.17 (2.74)		52.88 (19.36)	3.05 (7.94)		
	奥行(z)	66.45 (32.50)	59.63 (11.89)		66.65 (20.15)	76.24 (55.94)		

注. 斜字体かつ下線の部分は参加者間の有意な主効果もしくは交互作用があったことを表す。

両群間の差は見られなかった。さらには、定型発達児群においても、障害傾向を示す子どもが ASD 傾向では 8 名, ADHD 傾向では 14 名いたことも示した。

3.2 運動の不均一性

表 2 に書字場面での両群間の書字・椅子の動きに対する変動係数を示した。角速度や回転角度については、参加者要因に関連した主効果や交互作用は見られなかった。一方で、加速度については 3 要因の分散分析を行ったところ参加者×位置×方向要因間に有意な交互作用が見られた [$F(2, 52)=31.35, p<.001, \eta^2=.55$]。下位検定を行ったところ、参加者要因の書き手における水平方向 [$F(1, 26)=5.40, p<.05, \eta^2=.17$] と奥行方向 [$F(1, 26)=5.30, p<.05, \eta^2=.19$] および椅子における垂直方向 [$F(1, 26)=70.77, p<.001, \eta^2=.73$] と奥行方向 [$F(1, 26)=51.40, p<.001, \eta^2=.66$] の変動係数に有意な単純・単純主効果が見られた。つまり、書き手においては発達障害児群の方が水平方向における変動性が小さく、奥行方向での変動性が大きいことを示した。さらには、椅子においては発達障害児群の方が垂直方向における変動性が大きく、奥行方向での変動性が小さいことを示した。

3.3 視覚運動協応能力の予測

まず VP 得点を目的変数として、ステップワイズ法による重回帰分析を行った。その結果、VP 得点では [$y = -4.86 \times \text{生活年齢} - 27.49 \times \text{書き手の水平方向の角速度} + 0.98 \times \text{PVT-R の評価得点} + 0.22 \times \text{書き手の奥行方向の回転角度} + 0.71 \times \text{不注意得点} + 125.36$] という式が得られ、図 2 に縦軸を VP 得点の観測値、横軸に標準予測値を用いた散布図を示した。また回帰式における分散分析においても有意差が見られ、調整済み R^2 は .73 であり当てはまりの良い回帰式が得られた。さらには、回帰式内における説明変数において多重共線性を示すものはなかった。

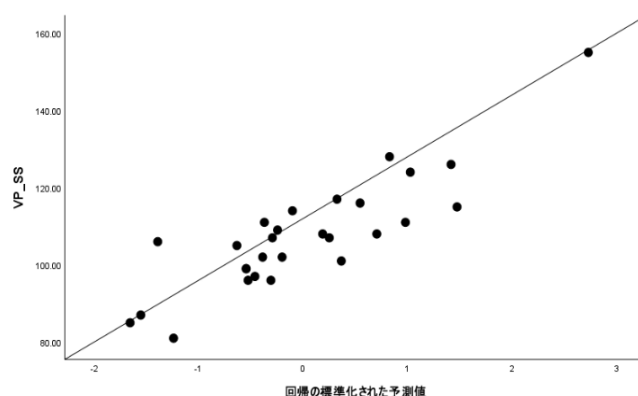


図 2. VP 得点と回帰の標準化された予測値による散布図

次に、MC 得点においても同様に重回帰分析を行った。その結果、 [$y = 30.757 \times \text{書き手の水平加速度} - 29.35 \times \text{書き手の水平角速度} + 13.71 \times \text{書き手の垂直角速度} + 78.93$] という式が得られ、図 3 に MC 得点の散布図を示した。また回帰式における分散分析においても有意差が見られ、調整済み R^2 は .40 であり当てはまりの良い回帰式が得られた。

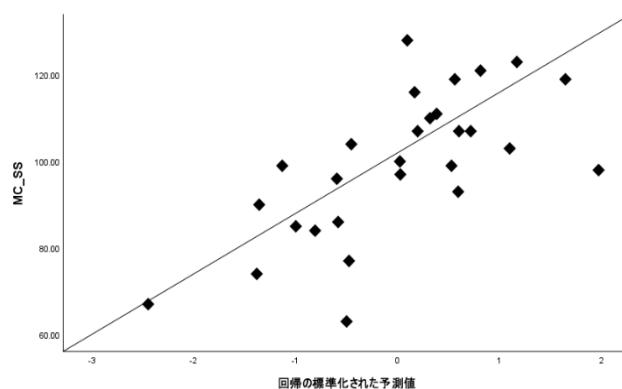


図 3. MC 得点と回帰の標準化された予測値による散布図

表 3. 障害傾向に影響を及ぼすロジスティクス回帰分析

従属変数	独立変数	偏回帰係数	有意確率(p)	オッズ比	オッズ比の95% 信頼区間
ASD傾向	書き手の奥行加速度	-3.94	0.04	0.02	0.01~0.76
	書き手の奥行回転角度	-0.05	0.09	0.95	0.90~1.01
	定数	5.52	0.04		
	モデル χ^2 検定: $p < .05$ 判別の中率: 75%				
ADHD傾向	書き手の垂直角速度	4.04	0.03	56.75	1.55~2084.10
	定数	-4.26	0.43		
	モデル χ^2 検定: $p < .005$ 判別の中率: 85.7%				

さらには、回帰式内における説明変数において多重共線性を示すものはなかった。

3.4 障害傾向の予測

ASD 傾向および ADHD 傾向を従属変数として、それぞれでカットオフ値を超えている子どもを 1、その他を 2 とするダミー変数を使用した。その結果、ASD 傾向アリと判断された参加者は 28 名中 15 名、ADHD 傾向では 23 名であった。これらの結果をもとに①から⑤の各変数を投入し、尤度比における変数増加法を使用したロジスティクス回帰分析を行ったものを表 3 に示した。

表 3 から、ASD 傾向の判別においてモデルの χ^2 検定の結果は、 $p < .05$ と有意差が見られた。各変数においては書き手の奥行回転角度のみ有意傾向であった($p = .086$)が、奥行角速度には有意差($p < .05$)が見られ、モデル式の適合度において、Hosmer & Lemeshow の検定結果は $p = .10$ であり良好であることが判明し、判別の中率も 75.0% であった。また実測値に対して予測値が $\pm 3SD$ を超えるような外れ値は存在しなかった。そして、ASD 傾向の有無については次のモデル式[ASD 傾向 = $-3.94 \times$ 書き手の奥行加速度 $-0.05 \times$ 書き手の奥行回転角度 $+5.52$]から予測可能であることを示した。

ADHD 傾向の判別においても同様に分析を行ったところ、モデルの χ^2 検定の結果は、 $p < .005$ と有意差が見られた。そして書き手の垂直角速度に有意差($p < .05$)が見られ、モデル式の適合度において、Hosmer & Lemeshow の検定結果は $p = .78$ であり良好であることが判明し、判別の中率も 85.7% であった。また実測値に対して予測値が $\pm 3SD$ を超えるような外れ値は存在しなかった。そして、ADHD 傾向の有無については次のモデル式[ADHD 傾向 = $4.04 \times$ 書き手の垂直角速度 -4.26]から予測可能であることを示した。

4. 考察

本研究では、子どもの書き手と着席している椅子に 3 軸加速度計をそれぞれ装着し、書字・運筆を行っている際の運動の不均一性を評価することを目的とした。まず、表 2 から定型発達児と発達障害児の双方で運動の不均一性の方向が異なることを明らかにした。先行研究では書字場面の垂直方向へのバラつきが目立っていたが、本研究では水平方向と奥行方向にそれぞれ不均一性があることが見られた。恵ら[8]は大人に比べて子どもの方がペンの水平角度が大きくなり、ペンが奥に倒れた状態で書いていると報告した。つまり、本研究での成果と同様に奥行方向にペンが倒れていることで、書き困難がある場合には奥行方向の操作に安定性が見られない可能性があることを示した。一方で椅子の動きの不均一性については、垂直方向への変動が発達障害児群に多く見られており、大森[9]の研究と同様に刺激と手元を見返す動作を反映している可能性もあるだろう。一方で、定型発達児は奥行方向の変動性が大きくなっていたが、椅子の位置を動かして刺激を見る位置を調整していたことが反映しているであろう。

本研究では、子どもたちの視覚運動協応得点を運動の不均一性から予測可能かを検討することも目的としていた。図 2.3 から視知覚得点においても運動協応得点においても加速度や角速度の不均一性からモデル式を構築することが出来ており、運動の不均一性から視覚運動協応能力を推測することにつながることを明らかにした。これまでの研究[4-10]では主に発達検査や視線機能、映像の事後解析により各項目と書き困難の関連を報告してきた。しかし、本研究のように実際の書字場面で加速度計を用いるという簡便な方法を用いることで、リアルタイムでの書字困難評価が可能になる。さらには、加速度計を用いた評価を行うことで、個人に対する

アセスメントに留まらず、同時に複数の対象に対して即自的な評価が可能になる。つまり教育現場において direct teaching により近い場面での正確なアセスメントを可能にし、運用面についても効率的に実行可能になるであろう。

Lopez and Vaivre-Douret[10]によると、書き困難児は腕部分の垂直方向の運動のバラつきが大きくなるという報告があるが、本研究においては特に垂直方向の角速度のバラつきが運動協応の困難さにつながると解釈することが出来る。一方で、先行研究とは異なり、水平・垂直方向への加速度の様子からも書き困難の運動の不均一性を検討する重要性も示唆することとなった。また、本研究では加速度計を装着した書字課題は MC 課題のみであったが、VP 得点においても MC 課題時の運動の不均一性が一部反映することを示した。しかし、視知覚能力においては運動面よりも生活年齢や言語発達、不注意傾向もみられている。Prunty et al[6]は書字困難と視知覚能力の関連は障害傾向関係なく低いと示している。本研究結果からも視知覚は不注意傾向の高さに加えて、運動面以外の発達・言語特性も関連していることを明らかにした。

最後に本研究では、子どもたちの運動の不均一性から ASD 傾向や ADHD 傾向を、それぞれ予測可能かを検討することも目的としていた。恵ら[8]は、筆圧の強さが ASD 傾向を反映するコミュニケーション困難と正の相関があることを報告した。本研究ではロジスティクス回帰分析を用いることで、運動の不均一性から診断の有無でなく、障害傾向の有無を予測可能かについて検討することとした。その結果、ASD 傾向については書き手の奥行方向の変動性、ADHD 傾向については垂直方向の変動性から予測可能であることを明らかにした。特に恵らは ADHD 傾向と書字行動の関連は未解明であったが、本研究では書き手の垂直角速度が ADHD 傾向の判別において極めて重要な役割を果たしている可能性を示すこととなった。

一方で本研究にはいくつかの改善が必要な点もある。1 つ目は質問紙検査の信頼性の検討にある。今回の質問紙検査において未診断であった定型発達児群において、73.7%の対象者が ADHD 傾向のカットオフ値を超えていた。今回の計測において保護者の記入負担を考慮して自記式の簡便な質問紙を使用した。通常学級に 8.8%の割合で在籍すると考えられる学習面・行動面に困難さを抱える児童・生徒[15]より潜在的に多い。そのため、今後の研究では自記式の質問紙に加えて、面接での聞き取りを交えた障害傾向の分類を行うことで、回答結果の妥当性を担保する必要がある。2 つ目は MC 課題のような図形のなぞりや運筆でなく、文字や文章を書く場面での運動評価を direct teaching の観点から実施すべきであるという点である。Lopez and Vaivre-Douret[10]においても、サイクロイド図形の視写を行っており、平林他[7]のように実際に使用する文章を用いた際のリアルタイム計測も今後の研究には必要になる。最後に、恵ら[8]とは異なり、ASD 傾向の下位項目を用いた視覚運動協応能力の予測をしてい

かったことにある。特に SRS-2 には 4 つの下位項目があるが、今回は全体傾向の結果のみを使用していたため、今後の研究では下位項目も含めた分析を行うことにつなげていく。

小学校での書き困難の割合は 10%程度と推測されているが、書き困難や書字行動そのもの関しての評価や支援方法は国内外でほとんど開発されていない。本研究で使用した Beery-VMi6 においても海外で求められた標準値を日本人に適用しているに過ぎない。そのため、本研究の成果をもとに、運動の不均一性に関するリアルタイム計測を行うことで、書字困難児の早期発見や早期支援につなげ、国内外で適応可能な評価・支援システムの構築が今後の課題となる。

引用文献

- [1] McHale, K., & Cermak, S. A. (1992). Fine motor activities in elementary school: Preliminary findings and provisional implications for children with fine motor problems. *American Journal of Occupational Therapy*, 46, 898-903.
- [2] 大庭重治 (2000). 通常の学級における低学年児童の書字学習状況とその支援課題. *上越教育大学研究紀要*, 29, 151-157.
- [3] 堂山亜希・橋本創一・林安紀子 (2014). 小学校通常学級における書字に関する困難がある児童の実態と支援: 入力・出力・処理過程のつまずきに注目して. *発達障害研究*, 36, 369-379.
- [4] Beery, K. E., Buktenica, N. A., & Beery, N. A. (1997). *The Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-Motor Integration*. Parsippany, NJ: Modern Curriculum Press.
- [5] Memisevic, H., & Djordjevic, M. (2018). Visual-motor integration in children with mild intellectual disability: A meta-analysis. *Perceptual and Motor Skills*, 125, 696-717.
- [6] Prunty, M., Barnett, A.L., Wilmut, K., & Plumb, M. S. (2013). Handwriting speed in children with Developmental Coordination Disorder: Are they really slower?. *Research in Developmental Disabilities*, 34, 2927-2936.
- [7] 平林ルミ・河野俊寛・中邑賢龍 (2013). デジタルペンを用いた小学生の書字パターンの発達的变化の検討. *発達心理学研究*, 24, 13-21.
- [8] 恵明子・鈴木暁子・慎重弼・安村明 (2021) ペンタブレットを用いた書字動態と ADHD および ASD 傾向に関する研究. *認知神経科学*, 22, 151-157.
- [9] 大森幹真 (2019) 女子大学生・大学院生における書字運動と視線パターンの関連. *学苑*, 940, 12-21.
- [10] Lopez, C., & Vaivre-Douret, L. (2023). Exploratory investigation of handwriting disorders in school-aged children from first to fifth grade. *Children*, 10, 1512.
- [11] Beery, K., & Beery, N. (2010). *The Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-Motor Integration 6th edition*. San Antonio, TX: Pearson
- [12] 上野一彦・名越斉子・小貫 悟 (2008). PVT-R 絵画語

い発達検査. 東京：日本文化科学社

- [13] 神尾陽子, 西山毅. (2017). 対人応答性尺度マニュアル, 日本版 SRS-2. 日本文化科学社
- [14] Bussing, R., Fernandez, M., Harwood, M., Hou, W., Garvan, C. W., Eyberg, S. M., & Swanson, J. M. (2008). Parent and teacher SNAP-IV ratings of attention deficit hyperactivity disorder symptoms: Psychometric properties and normative ratings from a school district sample. *Assessment*, 15, 317-328. doi:1073191107313888
- [15] 文部科学省 (2022). 通常の学級に在籍する特別な教育的支援を必要とする児童生徒に関する 調査結果について . https://www.mext.go.jp/content/20230524-mext-tokubetu01-000026255_01.pdf (最終閲覧日: 2024 年 12 月 3 日)

本研究は JSPS 科研費 (No. 22K13739)の助成を受けて行った。