

# 訓練中の動作・所産からの漢字書字正答率の予測

拡張現実場面での空書と映像解析からの検討

大森幹真<sup>†1</sup>・切替このみ<sup>†2</sup>

早稲田大学人間科学学術院<sup>†1</sup>・早稲田大学大学院人間科学研究科<sup>†2</sup>

## 1. はじめに

文部科学省[1]によると2019年までの「学年別配当漢字数」は、小学1年生—80文字、小学2年生—160文字、小学3年生—200文字、小学4年生—200文字、小学5年生—185文字、小学6年生—181文字、の合計1006文字であった。しかし、2020年からの新学習指導要領になることで、「学年別配当漢字」が20文字増加し、小学校配当の漢字の総数は1026文字になった。近年では通常学級の小中学校に通う児童・生徒の中に学習面・行動面で困難さがあるものが8.8%の割合で存在しており、読むまたは書くことに困難さを示す子どもは3.5%に及ぶ[2]。特にそのような困難さを示す子どもは小学校に集中しており、2016年施行の障害者差別解消法などを受け、学校現場でも子どもの障害特性に応じた支援、社会的障壁の除去が求められるようになってきている(鶴巻他, 2019[3])。さらには、具体的な場面や状況に応じて多様で個別性の高い指導・支援が必要な現状に、指導者や指導方法のありかたも変化が必要になってきている[3]。

一方で漢字の指導において、指導者側が漢字の学習困難に気づきにくいという問題もある。それは第一言語として漢字を学ぶ人たちが、漢字の学び方や教え方に感受性が鈍くなっていることが関係している可能性もある。例えばヴォロビヨワ ガリーナ[4]によると、外国語として漢字習得を行う際には、10点の問題点があることを示した。それらは①学習すべき漢字の数が多い ②漢字を非体系的に感じる ③漢字の字体が複雑である ④漢字を構成する要素の種類が多く、部首以外の要素は標準化されていない ⑤字体・字義・読み方の関連性が不明瞭 ⑥個々の漢字に関わる情報が多く、同時に字体・字義・読み方・筆順・部首を覚える必要がある ⑦漢字学習において、熟語を数多く覚える必要がある ⑧音声情報が単一ではなく、複雑であり、字体と読み方の対応が複雑 ⑨学習すべき漢字の出現順序が合理的でない ⑩漢字辞典の使用方法が困難 というものであった。これらの外的な指摘は非常に興味深く、特に初学者や学習困難児が書くことを学習する際には②や③の部分は特に配慮する必要があるだろう。

しかし教育現場においては、漢字書字指導方法に多様性があるとはいえず、指導法にバリエーションが乏しいことで、子どもたちの学習機会を最大化することが難しい場合もある。それにより、日本国内の小学校1～4年生の中に

存在する約10%の書き困難児への支援が最適化されていない可能性もある[5,6]。日本の通常学級において漢字書字を促す方法は2つに大別できる。一つは、紙面上に何度も繰り返し書くことを求める「反復書字」であり、もう一つは空中に指で文字を書く「空書」である。特に、書きの支援ではまだに、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。稲垣・藤田[7]によると、1つ目の実験では大学生を対象にした場合、通常の目視での学習や空書よりも反復書字を行う方が漢字習得に効果的であること報告している。一方で、大西・熊谷[8]は小学校2年生から小学校5年生までの学習障害児4名に対し、なぞり学習条件や空書条件、および視写による漢字の反復書字学習条件の実験を行った。その結果、画数が多い漢字は子どもたちにとって正確に見ることが難しく、運動負荷も高いために正確な書き写しにつながらないことも示した。このように、学習困難児に対しては単純な反復書字では視覚的・運動的な負荷の高さから効果的な漢字学習につながらないことも多い。そのため、机上の反復書字に関しては、その実施の方法をもう一度見直す必要があるだろう。

机上での反復書字とは対照的に空書では空中で文字を書くことで、運動の負荷を軽減させつつも、文字形態を表現かつ理解しやすくする効果があると考えられている。さらには、机上の反復書字とは異なり、授業中での一斉指導に組み込むことが容易であり、書字所産を消す必要がないことも方法論上のメリットとして考えることが出来る。しかし、空書をするだけで効果的に書字獲得につながるかは成果が一樣でないことが多い[9][10]。例えば成人の外国人75名が第二外国語として漢字を学ぶ実験においては、空書行動が漢字の書字獲得に繋がったと報告されている[9]。その一方で、日本の特別支援級在籍の小学校3年生から6年生が参加した空書と指書きによる同時再生実験においては、漢字書字獲得の成績は良くないとの研究結果が出ている[10]。その一因として、空書時の書字所産を書いた本人が視認することが出来ないことが考えられる。例えば稲垣・藤田[7]は2つ目の実験において、空書学習条件に書字結果の確認過程を含めない条件よりも、書字結果の確認過程を含めた条件において正答率が有意に大きくなったことを明らかにした。しかし、同研究では自身が書いた書字所産を観察したわけではなく、空書後に印刷された標的漢字を確認することで、書字結果の確認を行っていた。そのため、空書時に自分の書

<sup>†1</sup> MIKIMASA OMORI, Faculty of Human Sciences, Waseda University

<sup>†2</sup> KONOMI KIRIKAE, Graduate School of Human Sciences, Waseda University

字所産を確認することで漢字書字正答率が向上するかは未解明のままである。そこで、空書の書字所産を確認する方法として拡張現実(Augmented reality; AR)場面での空書指導を着想し、机上場面での反復書字と比較検討することとした。

そのうえで、机上・空書条件内においても書字所産を視覚的に確認できるか否か、つまり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についても検討することとした。大森 [11]は大学生が文章を視写している場面において、視覚運動協応得点が低いほど視覚的な負荷がかかり、それらが手元を見返す回数に反映していることを明らかにした。また大森・唐亀・豊浦[12]は、子どもたちの書字動作の不均一性から視覚運動協応能力や、発達障害傾向が予測できる可能性も示している。一方で、書字場面の映像解析からも書き困難を同定する試みもある[13]。Lopez and Vaivre-Douret [13]は、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パラつきが大きくなることを発見した。そのうえで、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り、書き困難が顕在化するという考えもある[13]。つまり視覚と運動の関連性を客観的に評価することで書き困難児の早期発見につなげることが可能になるため、本研究では AR 場面での空書とそれらの映像解析を行うことで、教育場面内での漢字書字指導の再考および書き困難を発見するための方法論を検討する。

本研究の目的は定型成人(おとな群)と定型発達児(子ども群)を対象に 2 種類の反復書字条件 (拡張現実場面 [augmented reality; AR] vs 机上) と 2 種類の視覚条件 (可視化 vs 非可視化) を設定した。全参加者が 4 条件下での反復書字を行うことで、新規の漢字書字獲得につながるかを検討することとした。その上で、子ども群の AR 空書条件下での諸反応および、動作解析による身体の変動性が後の漢字書字正答率の予測につながるかも検討することとした。

## 2. 方法

### 2.1 参加者

5 歳から 9 歳の子ども 9 名と、比較対象のおとなとして 20 歳から 25 歳までの大学生 11 名が参加した。子どもの内訳は、就学前の女兒 4 名、小学 1 年生男子 1 名、小学 2 年生女子 1 名、小学 3 年生男子 2 名・女子 1 名であった。就学前の子どもと 1 年生は、ひらがなが習得済みであった。子どもの IQ は 81 から 105 程度でスムーズに指示が通り、全員自分の名前を書くことができた。

### 2.2 刺激と装置

**装置：**AR 条件ではデジタルペンとして Pictionary Air (GKG38:長さは 17.5 cm, 重さは単三電池を入れて 69 g)を使用した。そして、書字所産を AR 上で反映するために iPad Pro を使用した。タブレットは上半身を写せるように参加者

から 1 メートルほど距離を取ってセッティングした。机上書字条件では、漢字練習用・テスト用紙としての A4 コピー用紙と、カーボン紙、クリアファイル、ストップウォッチを使用した。また、AR 書字場面は iPad Pro を通じて撮影した。そして書字場面中の運動機能を解析するために運動解析ソフト (VisionPose Single3D, ネクストシステム)を使用した。

**刺激:**子どもとおとなの文字・漢字刺激は Table 1 に示した。各条件で学習を行った漢字数は 3 文字で、合計 12 漢字を使用した。対象年齢によって、学習セット内の総画数を変更し、難易度の調整を行った。

Table 1. AR 書字・机上書字に使用した文字・漢字刺激

条件	AR書字		机上書字		平均画数
子ども	シ (し)	レ (れ)	人 (ひと)	仏 (ほとけ)	6.00画
	ヤ (や)	イ (い)	川 (かわ)	仕 (し)	
	チ (ち)	ヒ (ひ)	八 (はち)	竹 (たけ)	
	ニ (に)	カ (ちから)	庫 (こ)	公 (こう)	
	タ (ゆう)	小 (小)	界 (かい)	今 (いま)	
	口 (くち)	十 (じゅう)	貝 (ぐ)	兄 (あに)	
	相 (そう)	畑 (はたけ)	灯 (ともしび)	石 (いし)	
	員 (いん)	宮 (みや)	料 (りょう)	オ (さい)	
	算 (さん)	注ぐ (そそぐ)	徳 (とく)	玄 (げん)	
	老 (ろう)	印 (いん)	古い (ふるい)	込み (こみ)	
	倉 (くら)	案 (あん)	主 (あるじ)	捕る (とる)	
	察 (さつ)	漁 (りょう)	台 (だい)	熊 (くま)	
	佩(おびだま)	阿 (ながしめ)	餡 (あん)	糞(いらか)	
	龜(かまど)	塞(かめ)	噫(くしゃみ)	徴(かび)	
	禪(たすき)	髻(びん)	續(かすり)	壺(しきみ)	
					17.08画

### 2.3 手続き

**事前評価：**12 個の文字・漢字刺激に対応するひらがなを提示し、対応する漢字を書くことを求めた。全漢字が事前評価時に正答でないことを確認し 4 条件での訓練を行った。4 条件の実施順序は参加者ごとにランダムにして行った。**訓練条件：**Fig 1 に 4 つの書字訓練条件の様子を示した。すべての訓練では、1 分間ごとに各漢字を出来るだけ多く正確に書くことを教示し、3 つの漢字での訓練が終了した後に、事後テストを行った。事後テストの終了後に、次の条件での訓練および事後テストを実施し、4 条件が終了するまで繰り返した。①AR 空書不可視化条件では、PC 上で訓練漢字を提示し、その漢字を見ながらデジタルペンで空書することを求めた。その際に、タブレットの前面カメラが参加者に見えないように提示し、AR 上で書いた文字が自分に見えないように提示して反復書字を行った。②AR 空書可視化条件では、PC 上で訓練漢字を提示し、その漢字を見ながらデジタルペンで空書することを求めた。その際に、タブレットの前面カメラを参加者側に向けて提示し、AR 上で書いた文字が自分に見えるように提示して反復書字を行った。③机上不可視化条件：PC 上で訓練漢字を提示し、着席してその漢字を見ながら鉛筆でカーボン紙上に繰り返し書くことを求めた。カーボン紙を使用することで、参加者が書いた書字所産が見えないようにした。



Figure 1.4 種類の訓練条件の様子

④机上可視化条件：PC上で訓練漢字を提示し、着席してその漢字を見ながら鉛筆で白紙上に繰り返し書くことを求めた。その際に、実際に参加者が書いた書字所産が見ることができるようにした。  
事後評価：各訓練の終了後に事前評価と同様のものを実施した。

## 2.4 結果の処理法

行動評価として、漢字書字正答率や訓練場面での文字の判読性、訓練中の1分間あたりの反応数等の従属変数に対して、参加者要因（子ども vs おとな）、反復書字要因（AR vs 机上）、視覚要因（可視 vs 不可視）において、3要因の混合計画で分散分析を行った。漢字書字正答率は、事前テストではすべて不正解・未学習のものであったため事後テストの正答率のみを解析した。文字の判読性については、書き順は考えず書字所産として成立しているか否かを基準に0~3点の間で、複数人で評価し、算出した。1分あたりの反応数は、各参加者で訓練文字・漢字の画数が異なるため、1画を1反応として、1分間の平均値を算出した。運動機能評価として、子ども群のみに身体の変動性を変動係数により算出した。部位としては、書き手と非書き手の手首およびひじ、そして頭部におけるxyz軸方向の動きのパラツきの座標における平均値と標準偏差の商を求めた。これらの変動係数においても、書き手要因（書き手 vs 非書き手）、視覚要因（可視 vs 不可視）、方向要因（水平 vs 垂直 vs 奥行）において、3要因分散分析を行った。また頭部と首の変動係数に対しては視覚要因（可視 vs 不可視）と方向要因（水平 vs 垂直 vs 奥行）において2要因分散分析を行った。

次に子ども群におけるAR書字場面において運動機能の変動係数を基にした訓練中の動作・所産からの漢字書字正答率の予測が出来るかを評価するために、相関分析を行った後に、重回帰分析を実施した。

## 3. 結果

**行動評価：**図2に漢字書字正答率、1分あたりの総画数、判読性得点をそれぞれ示した。漢字書字正答率に事前テストでは全参加者の正答率が0%であった。事後テストにおいて、おとな群ではAR空書不可視化条件において74.75% (SE=.07), AR空書可視化条件では55.56% (SE=.08), 机上不可視化条件において84.85% (SE=.07), 机上可視化条件では83.84% (SE=.05)であった。子ども群ではそれぞれ、66.67% (SE=.06), 58.02% (SE=.07), 56.79% (SE=.12), 86.42% (SE=.05)であった。分散分析を行ったところ、反復書字要因と視覚要因間に有意な交互作用が見られた [ $F(1,18)=4.91, p=.04, \eta_p^2=.21$ ]。単純主効果の検定の結果、可視化要因におけるAR書字での正答率の方が、机上書字での正答率よりも有意に低くなったことを示した [ $F(1,18)=10.77, p=.004, \eta_p^2=.37$ ]。一方で、正答率においてグループ間での差は見られなかった。

次に1分あたりの総画数では、おとな群ではAR空書不可視化条件において75.58回 (SE=5.46), AR空書可視化条件では65.24回 (SE=5.04), 机上不可視化条件において128.42回 (SE=11.33), 机上可視化条件では126.70回 (SE=12.49)であった。子ども群ではそれぞれ、56.63回 (SE=6.20), 29.78回 (SE=4.30), 56.37回 (SE=11.48), 47.63回 (SE=11.03)であった。分散分析を行ったところ、グループ要因と反復書字要因間に有意な交互作用が見られた [ $F(1,18)=12.98, p=.002, \eta_p^2=.42$ ]。単純主効果の検定の結果、おとな群においてAR書字での総画数の方が、机上書字での総画数よりも有意に少なくなったことを示した [ $F(1,18)=33.102, p=.000, \eta_p^2=.65$ ]。さらには、おとな群の方が子ども群よりもAR書字での総画数 [ $F(1,18)=19.29, p=.000, \eta_p^2=.52$ ] も机上書字での総画数 [ $F(1,18)=28.46, p=.000, \eta_p^2=.61$ ] も多くなることを示した。一方で子ども群では反復書字条件間では可視化条

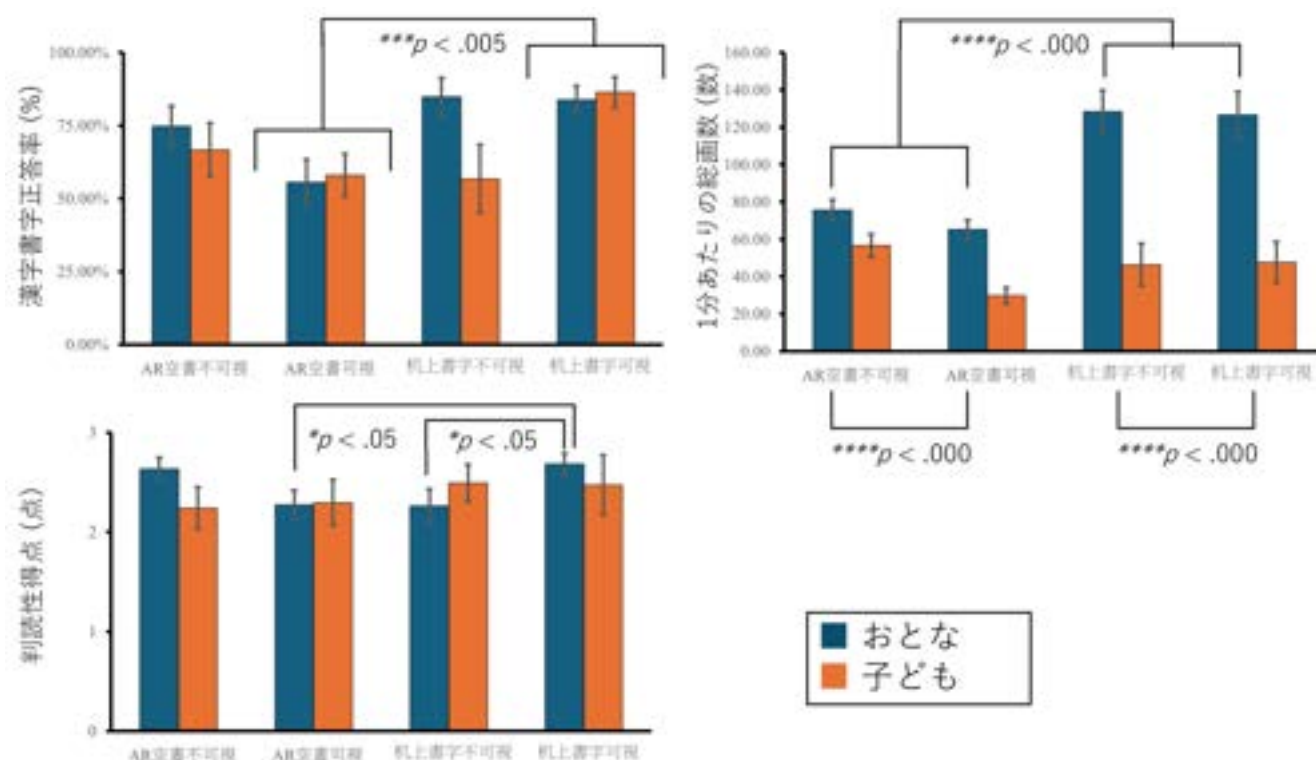


Figure 2. グループごとの行動評価の結果

件でも不可視化条件でも1分あたりの総画面数に差がないことも明らかになった。

また訓練書字の判読性得点においては、おとな群のAR空書不可視化条件では2.63点(SE=.12)、AR空書可視化条件では2.27点(SE=.15)、机上不可視化条件において2.26点(SE=.17)、机上可視化条件では2.68点(SE=.11)であった。

子ども群ではそれぞれ、2.24点(SE=.21)、2.30点(SE=.23)、2.49点(SE=.19)、2.47点(SE=.30)であった。分散分析を行ったところ、3要因間に有意な交互作用傾向が見られた $[F(1,18)=3.60, p=.007, \eta^2=.17]$ 。単純・単純主効果の検定の結果、おとな群の可視化条件においてAR書字での判読性得点の方が、机上書字での判読性得点よりも有意に低くなったことを示した $[F(1,18)=5.20, p=.04, \eta^2=.22]$ 。さらには、おとな群での机上書字条件において可視化条件の方が、判読性得点が高くなったことを示した $[F(1,18)=4.90, p=.04, \eta^2=.21]$ 。一方で子ども群ではいずれの条件でも判読性得点に差がないことも示した。

**運動機能評価：**Table 2にAR書字場面における書き手と非書き手の手首およびひじ、そして頭部におけるxyz軸方向の動きのパラつきとしての変動係数を示した。ひじの変動係数において3要因の分散分析を行ったところ、方向要因に有意な主効果が見られた $[F(1,8)=3.82, p=.04, \eta^2=.32]$ 。多重比較を行ったところ、垂直方向の運動のパラつきが水平方向( $p=.08$ )および奥行方向( $p=.09$ )に比べて大きい傾向があることを示した。手首の変動係数に数においても同様に分析したところ、方向要因に有意な主効果が見られた $[F(1,8)=5.56, p=.04, \eta^2=.41]$ 。多重比較を行ったところ、水平方向の運動のパラつきが奥行方向( $p=.04$ )に比べて大きくなったことを示した。

次に頭部の変動係数に対して2要因の分散分析を行ったところ、方向要因に有意な主効果が見られた $[F(1,8)=14.34, p=.006, \eta^2=.63]$ 。多重比較を行ったところ、水平方向の運動のパラつきが垂直方向( $p=.01$ )と奥行方向( $p=.02$ )に比べ

て大きくなったことを示した。最後に首の変動係数に対しても分析を行ったところ、方向要因に有意な主効果が見られた $[F(1,8)=10.42, p=.001, \eta^2=.57]$ 。多重比較を行ったところ、水平方向の運動のパラつきが垂直方向( $p=.03$ )と奥行方向( $p=.04$ )に比べて大きくなったことを示した。

**相関分析：**Table 3に子ども群におけるAR空書不可視化条件と、AR空書可視化条件書字での正答率と他の行動指標と変動係数における相関係数を示した。

Table 2. AR書字条件間での身体部位の変動係数

部位	視覚要因	方向要因	書き手	非書き手
肘	AR空書不可視化	水平方向	0.29 ( 0.13 )	0.78 ( 1.64 )
		垂直方向	2.09 ( 2.72 )	2.79 ( 3.14 )
		奥行方向	0.31 ( 0.14 )	0.53 ( 0.62 )
	AR空書可視化	水平方向	0.40 ( 0.29 )	0.31 ( 0.10 )
		垂直方向	0.80 ( 0.61 )	4.98 ( 10.98 )
		奥行方向	0.87 ( 1.25 )	0.77 ( 0.42 )
手首	AR空書不可視化	水平方向	0.72 ( 0.30 )	2.41 ( 3.59 )
		垂直方向	1.11 ( 1.18 )	16.83 ( 42.62 )
		奥行方向	0.27 ( 0.13 )	1.83 ( 3.00 )
	AR空書可視化	水平方向	2.64 ( 3.42 )	0.66 ( 0.32 )
		垂直方向	1.42 ( 2.81 )	2.37 ( 3.34 )
		奥行方向	0.30 ( 0.20 )	0.61 ( 0.31 )
肘	AR空書不可視化	水平方向	1.86 ( 2.12 )	0.17 ( 0.14 )
		垂直方向	0.17 ( 0.14 )	0.25 ( 0.12 )
		奥行方向	0.25 ( 0.12 )	0.15 ( 0.07 )
	AR空書可視化	水平方向	1.47 ( 0.91 )	0.16 ( 0.07 )
		垂直方向	0.15 ( 0.07 )	0.56 ( 0.65 )
		奥行方向	0.15 ( 0.07 )	0.27 ( 0.14 )
手首	AR空書不可視化	水平方向	2.27 ( 4.17 )	0.28 ( 0.26 )
		垂直方向	0.28 ( 0.26 )	0.27 ( 0.14 )
		奥行方向	0.27 ( 0.14 )	3.89 ( 4.11 )
	AR空書可視化	水平方向	3.89 ( 4.11 )	0.27 ( 0.21 )
		垂直方向	0.27 ( 0.21 )	0.61 ( 0.72 )
		奥行方向	0.61 ( 0.72 )	

相関分析の結果、AR 空書不可視化条件の正答率と変数間においては、非書き手のひじの垂直変動係数( $r = -.50$ )および、頭部の奥行変動係数( $r = -.54$ )において負の相関傾向が見られたのみであった。一方で、AR 空書可視化条件の正答率においては、書き手のひじ( $r = -.63$ )と手首( $r = -.62$ )の水平変動係数と有意な負の相関があり、非書き手のひじの奥行変動係数との間に有意な正の相関が見られた( $r = .68$ )。

Table 3. AR 書字条件での正答率における相関係数

		AR空書不可視化条件		AR空書可視化条件	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
行動指標	総画数	0.22	0.28	<b>0.71</b>	<b>0.02</b>
	判読性得点	0.20	0.30	0.13	0.36
ひじ	水平方向	-0.21	0.29	<b>-0.63</b>	<b>0.04</b>
	垂直方向	-0.35	0.18	-0.22	0.29
書き手	奥行方向	-0.25	0.26	-0.40	0.14
	水平方向	0.29	0.22	-0.44	0.12
非書き手	垂直方向	-0.50	0.08	-0.14	0.36
	奥行方向	-0.04	0.46	<b>0.68</b>	<b>0.02</b>
手首	水平方向	0.02	0.48	<b>-0.62</b>	<b>0.04</b>
	垂直方向	-0.02	0.48	-0.39	0.15
書き手	奥行方向	-0.20	0.30	-0.38	0.15
	水平方向	0.22	0.29	0.18	0.32
非書き手	垂直方向	0.42	0.13	-0.41	0.14
	奥行方向	-0.33	0.19	0.46	0.11
頭部	水平方向	0.17	0.33	0.02	0.48
	垂直方向	-0.17	0.33	-0.42	0.13
首	奥行方向	-0.10	0.40	<b>-0.51</b>	<b>0.08</b>
	水平方向	-0.54	0.07	0.13	0.37
首	垂直方向	-0.37	0.17	-0.42	0.13
	奥行方向	-0.07	0.43	-0.39	0.15

**空書での漢字書字正答率の予測：**AR 上での空書訓練中の動作・所産からの漢字書字正答率の予測が出来るかを検討するために、視覚要因ごとに重回帰分析を実施した。まず、AR 空書不可視化条件においては、正答率を予測する重回帰式は算出することが出来なかった。次に AR 空書可視化条件で求めた重回帰式のモデルを Table 4 に示した。

Table 4. AR 空書可視化条件における重回帰モデル式

	モデル 1	モデル 2	モデル 3
切片	0.214 (0.147)	0.020 (0.134)	0.078 (0.080)
総画数	0.012 (0.050)	0.016 (0.004)	0.016 (0.002)
非書き手の手首の 水平変動係数		0.034 (0.013)	0.063 (0.011)
非書き手のひじの 垂直変動係数			-0.044 (0.013)
決定係数 $R^2$	0.51	0.76	0.93
自由度調整済み決定係数 $R^2$	0.44	0.69	0.89
観測数	9	9	9

その結果、モデル 3 を採用し、AR 空書可視化条件での漢字書字正答率を予測する式は以下のものとして決定した。

[モデル式] AR 空書可視化条件での漢字書字正答率＝

$$0.016 \times 1 \text{ 分あたりの総画数} + 0.063 \times \text{非書き手の手首の水平変動係数} - 0.044 \times \text{非書き手のひじの垂直変動係数} + 0.078$$

つまり、AR 上での空書においては、可視化された所産を見ながら早く書くことや、非書き手の手首やひじのバラつきから、訓練後の漢字書字正答率を予測できることを明らかにした。

## 4. 考察

本研究ではおとな群と子ども群を対象に 4 種類の書字訓練を行い、新規の漢字書字獲得につながるかを検討した。Fig 2 から、グループ間に有意差はなく、子ども群もおとな群も机上訓練の方が AR 空書での可視化条件に比べて正答率が高くなることを示した。一方で、教育場面で頻繁に活用される AR 空書不可視化条件と机上書字可視化条件では同程度に漢字書字獲得につながることも明らかにした。稲垣・藤田[7]は、大学生を対象にした場合、通常の見視での学習や空書よりも反復書字を行う方が漢字習得に効果的であるが、空書学習条件に書字結果の確認過程を含めない条件よりも、書字結果の確認過程を含めた条件において正答率が有意に大きくなったことを明らかにした。本研究では子ども群においてもおとな群においても AR 空書と机上書字の間に有意差が見られず、同等程度の学習効果があることも示した。一方で、空書条件においては書字所産の視認の有無で書字正答率に差が出なかったため、稲垣・藤田[7]の研究結果との相違も見られた。これらの要因として次の 2 点が考えられる。1 点目は訓練中の総画数が AR 空書条件内で異なる点であった。両群ともに AR 空書不可視化条件の方が、AR 空書可視化条件よりも 1 分間の総画数が多く、見ることの負担が大きかった可能性がある。つまり大森[11]が報告した書き困難児と見返し回数の関連性が、机上場面だけでなく、空書時でも反映していた可能性がある。2 点目は AR ペンの操作性や重量が考えられる。AR ペンで空書をする際には 1 画ごとにスイッチを押して空中に書く必要があった。しかし、切り替えや複数行動の両立の難しさや、ペンの反応性の問題もあり視覚化条件では書き直し反応をすることも多く見られた。そのために総画数が減少した可能性もある。また、AR ペンの重量も通常の鉛筆(10 g 程度)の約 7 倍で、69g の重さがあったことも、流暢な行動を維持することが困難であった一因であろう。

一方で Table 2 から運動機能については AR 空書場面においては、条件間で身体動作のバラつきは見られなかった。Lopez and Vaivre-Douret [13]は、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ったが、本研究の子どもたちは未診断の子どもたちであることもあり、視覚化要因による身体動作の変動性は見られなかった。しかし、Table 3 か

ら書字正答率との関連を検討すると、開眼時のひじや手首の変動性と負の相関があることも示した。つまり本研究の子ども群でも書き困難児に近い漢字書字正答率が低い子どもたちは、やはり開眼時に身体動作の不安定さが一因となり学習を阻害する可能性も示唆することとなった。今後の研究では大人や子ども内での正答率の高低で身体動作との関連を比較することで、視覚フィードバックの発達の変化を検討することも必要になってくると考える。

子ども群のAR空書条件下での諸反応および、動作解析による身体の変動性が後の漢字書字正答率の予測につながるかも検討することも本研究の目的であった。Table 4 から、特にAR空書可視化条件において、可視化された所産を見ながら早く書くことや、非書き手の手首やひじのバラつきから、訓練後の漢字書字正答率を予測できることを明らかにした。興味深いことに書き手の変動性ではなく、非書き手の動きの不均一性との因果関係が漢字書字正答率との関係を示した。Omori [14]によると視覚運動協応得点が低い子どもが図形描画を行った際に、高得点の子どもよりも非書き手のひじや手首の変動性が大きくなることも報告している。大森・唐亀・豊浦[12]は、書き手の変動性のみから、視覚運動協応能力を予測することを行っていたが、書き困難児を包括的に発見するためには、両側の変動性を分析する必要性が高いことも本研究から明らかとなった。

最後に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、書きの支援方法についての効果検証はほとんど行われていない。国外に目を広げても書く行動への支援は代替行動の獲得やコンピュータを基盤にした支援が中心であり、書くことそのものの支援に関する方法論の開発は遅れている。本研究では机上および空書での反復書字が教育場面では一定の効果があることを示したが、正答率が80%程度ということもあり今後さらに方法論として洗練していく必要もあるであろう。また、書き困難や書字行動そのもの関しての評価方法は国内外でほとんど開発されていない。そのため、質問紙等で主観的に評価されている視覚運動協応や書字関連スキルを心理学と情報科学とのコラボレーションにより客観的に定量化する手法を開発していく必要がある。そうすることで書字困難児の早期発見や早期支援につなげることができつつ、国内外で適応可能である多角的な評価・支援システムを構築していくことが今後の課題となる。

## 引用文献

- [1] 文部科学省 (2017). 小学校学習指導要領(平成29年告示)解説, 外国語活動・外国語編, Retrieved from [https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_icsFiles/afiedfile/2019/03/18/1387017\\_011.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiedfile/2019/03/18/1387017_011.pdf) (最終閲覧日: 2025年2月19日)
- [2] 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](https://www.mext.go.jp/content/20230524-mext-tokubetu01-000026255_01.pdf) (最終閲覧日: 2025年2月19日)

- [3] 鶴巻正子・仁平義明・佐藤拓・高橋純一(2019). ADHD傾向の子どもが書く漢字に見られる特徴 人間発達文化学類論集, 29, 53-59.
- [4] ヴォロビョワ ガリーナ(2011). 構造分析とコード化に基づく漢字情報処理システムの開発 日本語教育, 149, 16-30.
- [5] 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.
- [6] 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着目して 発達障害研究, 36, 369-379.
- [7] 稲垣紀夫・藤田正(2005). 漢字学習における書字行為に関する研究 教育実践総合センター研究紀要, 14, 47-51.
- [8] 大西正二・熊谷恵子(2019). 漢字書字の習得が困難な学習困難児に対する認知処理様式と体性感覚の入力方法に配慮した学習法の比較 LD研究, 28, 363-379.
- [9] Thomas, M. (2015). Air Writing as a Technique for the Acquisition of Sino-Japanese Characters by Second Language Learners. *Language Learning*, 65, 631-659.
- [10] 河村優詞(2019). 特別支援学級に在籍児童における漢字学習方法の効果—5種類の学習方法の比較— 自閉症スペクトラム研究, 17, 15-22.
- [11] 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.
- [12] 大森幹真・唐亀健大・豊浦正広 (2024). 書字動作の不均一性からの視覚運動協応能力の予測. 第8回 AIoT 行動変容学会研究会 (BTI) 論文集, 45-50.
- [13] Lopez, C., & Vaivre-Douret, L. (2023). Exploratory investigation of handwriting disorders in school-aged children from first to fifth grade. *Children*, 10, 1512.
- [14] Omori, M. (2024, June). Laterality of arm movement variability on copying and tracing. In *Proceedings of the Behavior Transformation by IoT International Workshop* (pp. 25-26).

本研究はJSPS 科研費 (No. 22K13739)の助成を受けて行った。本研究は第二著者(切替このみ氏)の修士論文に相当する課題研究論文の内容の追加解析等を行い、一部改変して発表した。