

□原著論文

日本語の筆順における左右手の運筆機能の相違

宮本 礼子*¹ 藤本 泰成*¹ 井上 薫*¹ 伊藤 祐子*¹

要旨：本研究は右利き者の筆順に着目した際の左右手の運筆機能の相違を解明することを目的とした。20名の健常右利き男女を対象に、日本語の字体的特徴を含む図形4種に筆順条件を付加した課題を実施した。収集したデータは図形を要素に分解し、描画時間・筆圧・仰角・方位角・筆跡躍度・筆跡一致率に関する左右手データを比較した。結果、多くの要素で右手での筆圧が高く、仰角と方位角は要素毎に特徴的な左右差を示した。一方筆跡躍度と筆跡一致率に左右の有意差はなかった。今回筆順条件を加えたことで左右手の運筆機能の違いを示すことができた。非利き手では筆順の影響に伴う不自然な運動方向となり、筆圧がかかりにくいことが明らかとなった。

作業療法 42: 289~298, 2023

Key Words：書字, 非利き手, (液晶ペンタブレット)

はじめに

書字は日常生活を送る上での重要なコミュニケーションツールのひとつである。書字動作の能力は、筆の持ち方や動かし方、筆圧の調節といった運筆機能(書字時の筆の運び方やその勢いの調整に寄与する運動機能)の向上が、発達的な観点から重要視されている¹⁾。また成人のリハビリテーションにおいて、脳血管障害等により右利き者の利き手に障害が生じた場合には、書字の利き手交換訓練として左手による書字動作練習が行われる。非利き手での書字の技能評価は、筆跡および運筆速度、そして軌跡長の運動パターンといった運筆機能を指標に、利き手による書字を対象基準として行われる²⁾。臨床上書字の利き手交換訓練は、利き手書字で使用する書字見本をもとに取り組むことが多い。そもそも日本語の文字の筆順は、「機能

的要素が伴う合理性」や「機能美として正しい筆順」³⁾を重視した右手での書字に最適化されており、学校教育で指導する筆順は「上から下へ」「左から右へ」「横から縦へ」と言った点画の規則的な順序と方向性を原則としている⁴⁾。しかし非利き手と利き手では、横方向や斜め方向の運筆は運動方向そのものが明らかに異なり、学習された筆順での運筆が利き手交換時の運動学習難度を高めている可能性がある。したがって、左手書字が右手書字に比べどのような運筆機能の特徴を有しているかを明らかにし、筆順をはじめ非利き手の運筆特徴に沿った練習を行っていく必要があると考える。

これまでに報告されている非利き手での書字動作に関する研究では、健常者と高齢者の筆圧・握り圧を比較した研究が存在する⁵⁾が、左手書字自体の特徴を明らかにしたものではない。この他には練習方法の効果を報告したものが散見される^{6,7)}が、筆順に着目した分析はされておらず、対象文字のサイズや文字の傾きなどの条件が統制されていない。利き手での書字に準じた利き手交換練習方法の是非に言及するためには、これらの条件を統制した上で、利き手と非利き手の特徴を比較検討する必要があるだろう。

以上のことから本研究では、日本語の筆順に着目

2021年9月23日受付, 2022年10月30日受理

Differences in Japanese handwriting function between left and right hands focusing on Japanese stroke order

*1 東京都立大学

Reiko Miyamoto, OTR, Yasunari Fujimoto, RA, PhD, Kaoru Inoue, OTR, Yuko Ito, OTR: Tokyo Metropolitan University

責任著者: 宮本礼子 (e-mail: miyamoto@tmu.ac.jp)

し、利き手および非利き手での書字動作時の運筆機能の相違を明らかにすることを目的とする。本研究の成果は、筆順による運筆特徴の観点から非利き手での書字時の困難要素を明らかにし、リハビリテーションにおける書字動作技能向上支援のための基礎情報を提供しようとする。

方 法

研究実施に際し、首都大学東京（現：東京都立大学）研究安全倫理委員会の承認のもと、対象者への十分な説明と同意を得て実験を実施した（承認番号：17704）。被験者のとり込み基準は、Edinburgh Inventory⁸⁾により潜在的に右利きと判断された20歳代の健常成人とした。除外基準は、未成年・利き手矯正を行った経験のある者とした。若年健常成人を対象とした理由は、通常の学生生活の中で同程度に書字動作を行っている経験があり、書字動作の経験や頻度のばらつきを除外できると判断したためである。被験者の人数は、G-powerの事前検定⁹⁾により検定力0.9、有意水準0.05、cohenのdを参考に効果量大とされる0.8で算出した結果、20名と設定した。最終的には分析時に算出されるZをもとに事後検定を実施することで、最終データの効果量を確認することとした。

書字にはWACOM社製液晶ペンタブレット Cintiq 22 HD（型式DTK-2200/K1、ディスプレイサイズ21.5型（475.2×267.3mm）、応答速度14msec）と付属のスタイラスペン（KP-501E-01、直径15mm、長さ156.5mm、芯の太さ5.0mm、質量167.83g）、ハードフェルト芯（型式ACK-20003、グレー）、机、椅子（高低可変式）を使用した。液晶ペンタブレットは、机上での自然な書字条件に近づけるため、最小傾斜角度である30度で使用した。今回使用した液晶ペンタブレットの読み取り方式は電磁誘導方式、読み取り分解能は0.005mm、読み取り精度±0.5mm、筆圧感度調節後の筆圧レベル32768レベル、傾き検出レベル±60レベル、質量約8.5kg、画素ピッチは0.2475×0.2475mmであった¹⁰⁾。被験者の腹部前面から液晶ペンタブレット画面下端までの直線距離は、8cmを目安に設定した。スタイラスペンの書字時の線の設定は、太さを1.0mm、色を青色とした。ペン先の感触はCintiq 22 HD専用ソフトウェア上で「柔らかい」から「硬い」の7段階の中間に当たる4に設定した。サイドスイッチは無効に設定し、鉛筆での書字動作環境に近づけるためスイッチ面が指に当たらな

いよう配慮した。机は、液晶ペンタブレットの厚さを考慮し、書字面が床からJIS規格の70cmになるよう調整した。ペンタブレットのデータ収集にはノートパソコンを用いた（TOSHIBA、dynabook AZ65/DG、CPU：Corei7）。環境因子の影響を除外するため、実験環境はパーテーションを用いて囲み、静かな場所で気温は26℃、湿度は40%となるように調節した。また照度計を用い、JIS規格で一般的な施設（学校、病院、事務所）と同程度の明るさである600luxとなるよう照明の調整を行った。

書字課題設定に際し、日本語の字体的特徴を整理した。平仮名は一般的に曲線が多く、バランスが崩れやすいのに対し、カタカナは直線的な線で構成されており、バランスは崩しにくい点画の長さや方向を誤ると識別困難になる。また漢字はカタカナと同様直線が多いが、一方で書字の際に不連続性が多いという特徴がある。常用漢字を対象にその筆順構造の分析を行った先行研究では、特に6種の点画「一」「丨」「ノ」「丶」「冫」「㇇」が重要であり、漢字ではこれらを組み合わせる動作が多いと報告されている¹¹⁾。文字を課題とする場合、検討要素が非常に多くなることから、カタカナ・漢字・平仮名のそれぞれの文字の字体的特徴を持つ図形（四角形・三角形・円・波線）を選定し、線の筆順を定めることにより、日本語の筆順特徴を分析することとした。例えば、三角形・四角形の直線群は筆順を指定することにより、漢字の点画6種のうち5種を抽出できると考えた。円は、平仮名における「あ」「お」「め」「ぬ」のような時計回りの動きを含み、曲線のコントロールに関する特徴を抽出できると考え選定した。波線は、漢字の「しんによる」や平仮名の「え」「ん」のような外部に開放的な曲線の要素を抽出できると考え選定した。また、被験者ごとに描く図形のサイズを統制し、運筆動作以外のバイアスを除外可能な条件とするため、今回これらの図形はフリーハンドではなくなぞり書き課題として設定した。なお本研究では、運筆↓を上から下への運筆動作、運筆↵を左から右そして下への運筆動作、運筆→を左から右への運筆動作、運筆↙を上から左下への運筆動作、そして運筆↘を上から右下への運筆動作と定義し、これ以降同様の表現を使用する。

各図形の筆順指定は以下のように指定した。

四角：運筆↓・運筆↵・運筆→の順に、漢字の「口」を書くようなイメージでなぞる。

三角：運筆↙・運筆↘・運筆→の順に、漢字の「会」

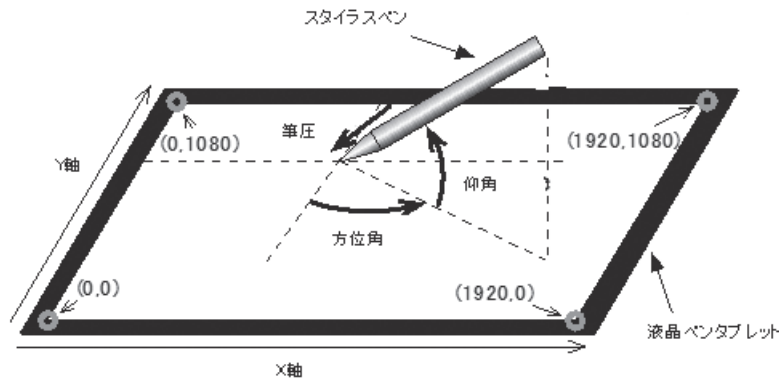


図1 書字分析プログラムのイメージ

* 図中の数値は、液晶ペンタブレットの四方の座標を表す。

の冒頭部分を書くようなイメージでなぞる。

円：下から時計回りに円を描くイメージでなぞる。

波線：左下から右方向に、利き手のなぞり順に準じてなぞる。

被験者には事前に、図形はあくまで目安であり、なぞり書きではあるが慎重になりすぎずに通常の書字スピードで行うことと、筆順は守ることを教示した。スタイラスペンの持ち方は、Schwellnusらの分類¹²⁾および大滝らの先行知見¹³⁾をもとに、鉛筆保持の4種の型の中から日本人の多くが使用している Dynamic Tripod (母指・示指・中指により鉛筆を三方向から取り囲む把持方法)を想定し、被験者に具体的な把持方法を教示した。ペンの把持時の角度が身体的疲労を誘発するとの先行知見¹⁴⁾から、ペンを立たせる持ち方を行わないよう、また左手での実施の際は極端に右手との把持方法が異ならないよう、事前に伝えた。ただし被験者本来の書字動作が行えるよう配慮する目的で、母指・示指・中指で取り囲むようにペンを把持すること以外のフォームの制約は設けなかった。左右比較をするため、条件の統一を図る目的で被験者には非利き手把持時も右手と同様の方法を求めた。被験者は、灰色の背景色に表示させた線画の図形を、スタイラスペンでなぞり書きした。線画については、線の太さを0.2475 mm、そして色を黒色とした。図形の大きさについては、四角形・三角形・円が60 mm 四方、波線が振幅60 mmで周期2の正弦波(横幅360 mm)とした。実施は1つの図形につき1回ずつとし、被験者ごとに書字する図形の順番をランダム化し、1つの図形ごとに、利き手・非利き手の順にそれぞれ施行した。

データの集積には、開発した図形模写ソフトウェア

表1 書字分析プログラムの記録データ

データ種別	書式(単位)
時刻	hh:mm:ss:ms (時:分:秒:ミリ秒) *7ミリ秒間隔で記録
筆跡X方向	整数(ピクセル)
筆跡Y方向	整数(ピクセル)
筆圧	レベル
ペン仰角(Altitude)	整数(°)
ペン方位角(Azimuth)	整数(°)

を使用した。図形模写ソフトウェアは、WACOMの提供する開発用ソフトウェアライブラリ Wintab 1.4を用いて開発し、手本表示機能と書字モニタリング機能を搭載した。実験では、手本表示機能が表示した手本(上述した線画の図形)を利用者がなぞる動作のペン情報を、書字モニタリング機能で記録した。記録されたデータは、書字時間(サンプリング間隔およびデータ保存間隔は7 msec)、筆圧レベル、ペンの傾き(仰角と方位角、単位は°)、そして筆跡(X座標とY座標、単位はピクセル)とした(表1、図1)。筆圧・ペンの傾き・筆跡は、WACOMが提供するライブラリの関数が出力する値とした。書字時間は、WACOMが提供するライブラリがペン情報を更新する時刻とした。開発した図形模写ソフトウェアが記録するデータは、WACOM社の液晶ペンタブレットのデータ収集精度と同様に信頼性の高いものと判断した。

実験終了後には、主観的な書きやすさと出来栄について簡易アンケートによる自己評価を実施した。主観評価は、書字のパフォーマンスが主観的な書きやす

さに影響される可能性を考慮して聴取した。評価内容は、利き手・非利き手ごとの出来栄をそれぞれ1から10の10段階に設定し、1を最悪の出来栄、10を利き手でもよいと感じる出来栄、とした。また、利き手・非利き手それぞれで最も書きやすかった図形と最も書きにくかった図形を選択してもらった。

データ分析にはJASP 0.14.1を用いた。今回は得られたデータのうち、利き手・非利き手での各図形書字時間ならびに運筆の構成要素別に分解した筆圧、筆跡躍度、筆跡一致率、ペンの仰角・方位角の変化量について、Wilcoxon符号順位検定 ($p < 0.05$) を用いて左右手比較を行った。筆跡躍度は、記録された時間毎の筆跡データ間の差を時間間隔で割ることで速度を算出し、次に速度データ間を時間間隔で割ることで加速度を算出し、最後に加速度データ間を時間間隔で割ることで算出した (単位は G/s)。筆跡一致率は、保存された筆跡データ毎の X・Y座標と見本図形とのピクセルデータを比較(差分処理)することでピクセルデータの一致率 (一致点数 \times 100/全点数) を算出した (単位%)。利き手で書字した時の一致率を基準として非利き手と比較することで、図形書字の正確性を確認した。

結 果

被験者の平均年齢は 22.25 ± 0.43 歳 (年齢幅 22-23) であった。

自己評価では、利き手書字での出来栄の中央値は10段階中の8、非利き手では10段階中の5.325となり、主観的な出来栄は利き手の方が高い傾向を示した (表2)。利き手・非利き手ごとの主観的难度に関しては、利き手で最も書きやすい図形は円で50%、書きにくい図形は四角形で35%となり、非利き手で最も書きやすい図形は波線で55%、書きにくい図形は三角形で40%という結果となった (表3)。

表4に、液晶ペンダブレットにより収集したデータを単純集計した結果を示す (表4)。このデータをもとに書字時間の利き手・非利き手の差を分析した結果、三角形の1画目である運筆↙と四角形の1画目である運筆↓において、非利き手で有意に書字時間の延長を示した (運筆↙: $p = 0.007$, $r = 0.731$, CI [0.384, 0.897]; 運筆↓: $p = 0.012$, $r = 0.699$, CI [0.314, 0.887])。筆圧は、図形の構成要素のうち運筆↓および運筆↙以外の全てで利き手が有意に高い傾向を示した (表5)。

表2 主観評価の集計結果

	非利き手の出来栄 1 (悪)~10 (良)	利き手の出来栄 1 (悪)~10 (良)
最頻値	6	7
中央値	5.325	8
四分位範囲	3	7
回答幅	1-10	6-10

表3 各図形の主観的难度

図形	最も難しいと感じた人数 (%)		最もやさしいと感じた人数 (%)	
	非利き手	利き手	非利き手	利き手
三角形	8 (40%)	5 (25%)	5 (25%)	0 (0%)
四角形	5 (25%)	7 (35%)	1 (5%)	2 (10%)
円	3 (15%)	3 (15%)	3 (15%)	10 (50%)
波線	4 (20%)	5 (25%)	11 (55%)	8 (40%)

書字時の仰角と方位角の変化量を比較した結果、四角形の3画目の運筆→と運筆○では左右の違いを認めなかった。これら以外の構成要素では、仰角は運筆↙で非利き手に有意な変化 ($p = 0.001$, $r = 0.858$, CI [0.648, 0.947])、三角形の3画目の運筆→、四角形の運筆↘、および波線~で利き手に有意な変化を示した (三角形の3画目の運筆→: $p < 0.001$, $r = 0.942$, CI [-0.979, -0.841]; 四角形の運筆↘: $p = 0.014$, $r = 0.699$, CI [-0.890, -0.298]; 波線~: $p = 0.004$, $r = 0.772$, CI [-0.914, -0.461])。方位角は運筆↙、運筆↘、運筆↓、運筆↘、および波線~で右手に有意な変化を示した (運筆↙: $p = 0.003$, $r = 0.757$, CI [-0.903, -0.454]; 運筆↘: $p = 0.007$, $r = 0.705$, CI [-0.883, -0.350]; 運筆↓: $p < 0.001$, $r = 0.924$, CI [-0.971, -0.806]; 運筆↘: $p = 0.011$, $r = 0.668$, CI [-0.867, -0.287]; 波線~: $p = 0.001$, $r = 0.918$, CI [-0.971, -0.782]) (表5)。

筆跡躍度および筆跡一致率には有意差を認めなかった (表4, 5)。筆跡一致率に関しては、利き手も非利き手も見本との一致率は低く、とりわけ三角形と四角形の3画目に相当する左から右への書字要素に関しては、三角形では1名が1か所の合致を示したが、四角形では全対象者において一致しなかった。

表4 液晶ペンタブレット 集計結果

図形要素	書字時間 (秒)		筆圧		仰角 (°)		方位角 (°)		筆跡躍度 (G/s)				筆跡一致率 (%)		
	非利き手	利き手	非利き手	利き手	非利き手	利き手	非利き手	利き手	非利き手		利き手		非利き手	利き手	
									X	Y	X	Y			
三角	↙	1.750 (1.275)	1.050 (0.725)	1440.835 (7888.388)	1506.045 (756.122)	5.500 (2.500)	3.000 (1.000)	9.000 (8.000)	21.500 (11.500)	0.000 (15.213)	-4.430 (19.402)	0.000 (16.475)	-13.695 (22.067)	6.255 (11.040)	8.475 (19.152)
	↘	1.150 (1.000)	0.950 (0.850)	1403.445 (956.703)	1858.500 (1015.367)	5.500 (2.250)	7.500 (5.500)	13.500 (8.000)	29.500 (39.750)	-2.550 (20.625)	0.000 (15.440)	0.000 (16.462)	0.000 (16.462)	0.000 (0.568)	0.195 (0.880)
	→	10.50 (0.725)	0.950 (0.900)	1606.025 (782.315)	1930.390 (818.892)	3.500 (1.000)	6.500 (4.000)	8.000 (6.500)	10.000 (4.000)	0.000 (33.695)	0.000 (23.765)	0.000 (10.248)	0.000 (8.078)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
四角	↓	1.400 (1.250)	1.050 (0.975)	1411.480 (812.653)	1668.740 (869.768)	4.000 (1.500)	5.500 (3.500)	9.500 (7.000)	40.500 (23.750)	0.000 (12.742)	0.000 (15.040)	-2.175 (23.233)	-5.320 (25.258)	7.335 (14.283)	11.220 (10.845)
	⌒	2.150 (1.900)	1.700 (1.900)	1772.010 (826.910)	1918.245 (984.317)	5.500 (1.500)	7.000 (3.500)	14.500 (10.750)	20.000 (14.500)	0.000 (4.405)	0.000 (10.418)	0.000 (12.445)	-6.260 (18.102)	1.820 (2.817)	3.095 (2.225)
	→	0.950 (0.925)	1.000 (0.875)	1699.470 (795.613)	1801.670 (904.767)	4.000 (1.250)	5.000 (3.000)	10.000 (3.250)	7.000 (6.500)	-2.710 (30.218)	0.000 (7.973)	0.000 (28.188)	0.000 (16.080)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
円	○	4.000 (3.125)	3.900 (2.775)	1656.706 (666.501)	2172.057 (990.545)	10.000 (3.500)	7.000 (6.250)	24.000 (12.750)	27.000 (19.500)	0.000 (4.502)	0.000 (4.413)	0.000 (3.187)	0.000 (3.698)	9.252 (6.607)	10.463 (10.637)
波線	~	7.050 (7.325)	8.050 (6.950)	1971.240 (685.787)	2344.950 (696.020)	8.000 (3.500)	11.500 (10.500)	41.000 (10.000)	53.50 (17.500)	0.000 (2.978)	0.000 (2.2110)	0.770 (4.660)	0.000 (0.443)	0.155 (0.142)	0.245 (0.117)

数字は中央値、()内は四分位範囲を示す

表5 左右手間 Wilcoxon 符号順位検定結果

図形要素	書字時間 (秒)	筆圧	仰角 (°)	方位角 (°)	筆跡躍度 (G/s)		筆跡一致率 (%)
					X	Y	
三角	↙	p=0.007, r=0.731* ² CI [0.384, 0.897]	p=0.001, r=0.858* ² CI [0.648, 0.947]	p=0.003, r=-0.757* ¹ CI [-0.903, -0.454]	p=0.223, r=0.333 CI [-0.178, 0.703]	p=0.251, r=0.305 CI [-0.195, 0.679]	p=0.258, r=-0.310 CI [-0.689, 0.203]
	↘	p=0.154, r=0.399 CI [-0.119, 0.746]	p<0.001, r=-0.914* ¹ CI [-0.968, -0.783]	p=0.007, r=-0.705* ¹ CI [-0.883, -0.350]	p=0.816, r=0.074 CI [-0.449, 0.559]	p=0.601, r=-0.146 CI [-0.587, 0.362]	p=0.182, r=-0.449 CI [-0.809, 0.156]
	→	p=0.319, r=0.281 CI [-0.247, 0.680]	p=0.003, r=-0.733* ¹ CI [-0.893, -0.410]	p<0.001, r=-0.942* ¹ CI [-0.979, -0.841]	p=0.546, r=-0.162 CI [-0.581, 0.324]	p=0.083, r=-0.517 CI [-0.817, 0.003]	p=0.789, r=-0.333 CI [-0.917, 0.704]
四角	↓	p=0.012, r=0.699* ² CI [0.314, 0.887]	p=0.208, r=-0.390 CI [-0.765, 0.180]	p<0.001, r=-0.924* ¹ CI [-0.971, -0.806]	p=0.394, r=0.250 CI [-0.293, 0.671]	p=0.344, r=0.253 CI [-0.249, 0.647]	p=0.498, r=-0.181 CI [-0.593, 0.307]
	∟	p=0.492, r=0.196 CI [-0.330, 0.629]	p<0.014, r=-0.699* ¹ CI [-0.890, -0.298]	p=0.011, r=-0.668* ¹ CI [-0.867, -0.287]	p=0.507, r=0.190 CI [-0.336, 0.625]	p=0.485, r=0.206 CI [-0.335, 0.645]	p=0.143, r=-0.381 CI [-0.717, 0.099]
	→	p=0.868, r=0.052 CI [-0.453, 0.532]	p=0.089, r=-0.485 CI [-0.796, 0.028]	p=0.532, r=0.168 CI [-0.330, 0.593]	p=0.887, r=0.046 CI [-0.459, 0.528]	p=0.394, r=-0.250 CI [-0.671, 0.293]	0
円	○	p=0.179, r=0.348 CI [-0.136, 0.698]	p<0.001, r=-0.962* ¹ CI [-0.986, -0.900]	p=0.176, r=-0.314 CI [-0.742, 0.070]	p=0.623, r=-0.147 CI [-0.608, 0.388]	p=0.755, r=-0.100 CI [-0.589, 0.442]	p=0.097, r=-0.429 CI [-0.743, 0.042]
	～	p=0.533, r=0.168 CI [-0.330, 0.593]	p=0.004, r=-0.772* ¹ CI [-0.914, -0.461]	p<0.001, r=-0.918* ¹ CI [-0.971, -0.782]	p=0.117, r=-0.427 CI [-0.754, 0.070]	p=0.258, r=0.352 CI [-0.223, 0.746]	p=0.117, r=-0.439 CI [-0.760, 0.056]

有意差を示した箇所は、網掛けで示した (p<0.05, n=20). 横方向への描画は△の下線を採用した

rは効果量, CIは信頼区間 (confidence interval) を示す

*1: 統計的に有意な条件のうち, 非利き手<利き手の傾向を示した箇所

*2: 統計的に有意な条件のうち, 非利き手>利き手の傾向を示した箇所

考 察

本研究では、利き手・非利き手での運筆機能の相違を明らかにする目的で、書字対象と筆順、把持方法を統制した状況下での比較検討を実施した。その結果、運筆機能に影響する筆順・筆跡・正確性といった各要素について、直線・曲線それぞれに非利き手の特徴が認められた。以下に利き手と対比した場合の非利き手の運筆機能の特徴を考察する。

1. 直線における左右手の運筆機能の相違

書字時間の結果から、運筆↙と運筆↓の2点のみ非利き手による書字が利き手による書字よりも有意に遅かった。この2つの共有点は、1画目であること、そして運筆方向が、左手を使用する場合は体に近づける内向き方向であったという点である。主観的難易度の結果からも、三角形・四角形は非利き手での難易度が高い傾向にあったことから、運筆に困難さを伴う要素であったと推察される。一方これらの運動では、利き手よりも時間を要していた。先行研究では、一定期間非利き手での書字練習を通し、文字を丁寧に描けるようになるまで書字にかかる時間が長くなることが示されている⁷⁾が、この傾向は初回書字の今回の場合でも、運筆↙や運筆↓で生じることが明らかになった。またペンの制御に関しては、運筆↓の運動では方位角のみ非利き手の変化が有意に小さかった。書字動作は上肢多関節の運動制御によって実現されているが、肩の挙上下制はほとんど見られず、肩の回旋運動に肘の屈伸運動が加わって書字の大まかな枠組みが定められ、この動きが手関節の回旋運動で修飾され、滑らかな筆跡が描き出されるとされている¹⁵⁾。今回の場合、滑らかな動きの実現のために、利き手では手関節手指の制御を中心とした動きが中心となり、非利き手では大まかな枠組みを決める肘の動きが中心となっていたため、方位角の違いを生じた可能性がある。一方運筆↙では、仰角は非利き手で大きく、方位角・筆圧は利き手で大きかったことから、利き手では多くの直線要素の滑らかな運筆に、ペンの方位角の制御が重要であると思われる。ただし今回は書字時の動作解析を実施していないため、動作解析情報を含め今後さらなる検討が必要である。

筆圧に関しては、今回運筆↓と運筆↙以外のすべての要素で非利き手が有意に低かった。筆圧にはペン先にかかる圧、ペンを握る指の圧、用紙の上で支え

る手に付随する圧、の3側面が関与している¹⁶⁾とされる。本研究の場合、筆順を指定されたことに加え1回のみを試行のため、非利き手でのペン先や握りのコントロールがほとんど学習されていないだけでなく、右手での把持に準拠する形を指定したことが、非利き手での筆圧の低さに影響したと推察される。また今回有意差を認めなかった要素のうち運筆↓では、左右手での書字時の運動方向に違いがなかったことが影響しているかもしれない。先行研究では非利き手で書字を行う際、利き手の視覚イメージ、関節覚イメージを無意識に反映する¹⁷⁾という特徴が挙げられており、上から下への縦線書字は運動方向が左右手同じであることから、利き手書字時の視覚・関節覚イメージが非利き手書字時でも反映され、筆圧に有意な差を認めなかったと推察される。運筆↙では、左から右への方向と一部の運動が重なるにもかかわらず、筆圧は左右差なく、仰角・方位角は利き手で有意に大きかった。これは運筆↙の際に、利き手では手首から先の運動制御によりペンを操作していた可能性を示すと思われる。

筆跡躍度や筆跡一致率に関しては、左右手間に有意差を認めなかった。筆跡躍度はサンプリング間隔に影響を受け、先行研究では20~25 msecのサンプリングは誤差成分の影響を受けるため十分ではないとされている⁷⁾。今回は7 msec毎のサンプリングであるため、先行研究の問題は解消されているものの、図形の要素を切り出して分析していることから、分析対象個々のサンプリングデータの数が少なくなり、筆跡躍度の算出に影響を与えた可能性がある。筆跡一致率に関しては、今回見本自体の線を、書字の線と完全に一致した1 mmというサイズで設定したことから、筆跡一致の難易度が高くなり、結果左右の違いを検出することができなかったと推察される。岡島らの報告では、非利き手書字は利き手書字に比べ、書字形態のズレそのものは大きくないものの、ズレを修正するために頻りに描線方向を変更している可能性が指摘されている¹⁸⁾。つまり筆跡一致率という形では左右差は出にくく、むしろ描画方向の変更を示すペンの制御角度を注視する必要があるのかもしれない。

ところで本研究では三角形と四角形それぞれに運筆→があったが、いずれも書字時間には差がなく、筆圧では非利き手が有意に低い結果となった。またペン角度では三角形の運筆→のみに仰角で有意差を認めた。今回想定した把持方法である Dynamic Tripod では、主に母指末節の腹面・中指末節の示指側側面の2

点で鉛筆を保持し、最後の示指末節腹側面が所持時の筆運用に推進力を発揮するとされる¹⁹⁾。今回の実験での筆順指定は結果的に運動方向指定となり、利き手は日常学習されている「引きながら示指を曲げて書く」一方、非利き手は「押しながら示指を軽度伸展して書く」動作となり、筆圧のかかりづらさを呈したと推察される。先行研究においても、左手書字者は右から左、右手書字者は左から右へのストロークの向きがより容易と考えられ、「押す」運動と「引く」運動とに関係する可能性が指摘されており³⁾、右手由来の筆順条件下で左手の運筆を行おうとする場合、横線は特にその運動方向が不利に作用すると思われる。また同様の動きであっても仰角の変化に違いが認められた背景には、空筆部での運動調整が影響した可能性がある。空筆部とは、文字間あるいは1つの文字の字画間で生じる、書字面に接触していない時のペンの動きを指す。日本語の筆順発達の背景には空筆部での効率性が挙げられており、通常の書字時には空筆での運動調整が正確な書字を左右する²⁰⁾とされる。つまり運筆→の後に描く運筆→は、運筆→の後に描く運筆→よりも空筆部での運動変化が大きく、書字中にもペンの運動制御を要する状態となり、仰角が大きく変化すると推察される。これらの空筆部の状態や、押す・引くといったペンの操作性は、ペンを把持する指の微細な運動制御によってなされる可能性が高い。この真偽を検証するためには、書字データ収集と同時に手指の動きに関する精緻な動作データの収集・解析が必要である。

2. 曲線における左右手の運筆機能の相違

曲線は、円では仰角・方位角・筆跡躍度に非利き手と利き手で違いは生じなかった一方、波線では仰角・方位角に違いを生じた。これは、波線が上下の運筆を伴う曲線であったことが関連すると思われる。いずれの角度も右手で有意にその変化が大きかったことから、曲線でも直線と同様に、角度のある動きの際に利き手ではペン自体の角度を変化させながら書いていると推察される。筆跡躍度に関しては左右差がなかったことから、運動の方法が利き手とは異なっていたとしても、非利き手でも滑らかな運筆が遂行できていたことが明らかとなった。また主観的難度に関しては、非利き手で最も書きやすい図形は波線であった。一般に平仮名における書き概念の発達過程では、連続したジグザグ線や波線は初期の段階に当たる^{21, 22)}。絵から文字に移行する際の、文字としての難度が低い要素で

あったことが、被験者の主観的難度を下げた可能性がある。先行知見では、非利き手での書字動作練習の際、カタカナ・漢字・平仮名・図形記号の順に書字技能向上度が高いとされている⁷⁾が、主観的な行いやすさという観点を考慮すると、書字対象を文字以前の波線のような要素から実施することも、難度に配慮した方法のひとつかもしれない。

研究の限界と今後の展望

今回、書字に用いたスタイラスペンや液晶ペンタブレットは、紙面上に鉛筆で書字する場合とは書き心地が異なるため、今回得られた情報が全て、紙面上の書字で当てはまるとは限らない。また本研究で用いた図形は難易度が低く、文字の部分的な要素の特徴しか抽出できていないため、直線と曲線の複合した複雑な文字要素には言及することができない。実験条件では筆跡に関する難度設定が高かったことから、左右手とも見本との一致率が非常に低く、左右差を明確にできなかった可能性がある。加えて、ペンの把持方法は実験上、条件を統制する目的で右手での力学的に推奨される把持方法を選択・設定したが、把持のしやすさは実際には個人差が大きく、本研究における制約が参加者のパフォーマンスに影響した可能性がある。

今回は筆順という形で日本語の字体的特徴を再現したが、これら以外に日本語に含まれる「とめ、はね、はらい」といった要素の細かな筆圧、筆跡躍度の変化を明らかにしていくことが、今後の課題のひとつである。さらに細かい書字特性の解明を行うためには、精緻なデータを収集可能な三次元動作解析による姿勢評価を合わせて行うことにより、書字動作の新たな能力評価方法を提案できる可能性がある。

結 論

本研究は筆順に着目した際の左右手の運筆機能の相違を解明することを目的に、日本語の字体的特徴を含む図形4種に筆順条件を付加した課題を実施し、図形を要素に分解して描画時間・筆圧・仰角・方位角・筆跡躍度・筆跡一致率に関する左右手データを比較した。結果、多くの要素で右手での筆圧が高く、仰角と方位角は要素毎に特徴的な左右差を示した。横方向の動き→は、筆順指定が運動方向指定となり、左手での運動時の筆圧のかかりづらさを呈していた。一方で筆跡躍度と筆跡一致率に有意差はなかった。

今回筆順という制限を加えたことで、利き手では手

首から先のペン角度の制御により滑らかな運筆を実現しているのに対し、非利き手では筆順の影響をより受けやすい不利な運動方向でペン制御の動きが有意に小さく、筆圧もかかりにくいことが明らかとなった。

謝辞：本研究を実施するにあたり、データ集積に多大なるご尽力をくださいました鶴田浩熙さんと、被験者をお引き受けくださいました学生の皆様に深く感謝申し上げます。

研究助成金：本研究は、2017年度東京都立大学傾斜的研究費（部局分）部局競争的経費（代表・伊藤祐子）により実施したものです。

文 献

- 1) 池田千紗, 中島そのみ, 大柳俊夫, 後藤幸枝, 仙石泰仁: 描画特徴と運筆動作の発達の傾向. 日本発達系作業療法学会誌 4(1): 39-47, 2016.
- 2) 明崎禎輝, 川上佳久, 平賀康嗣, 野村卓生, 佐藤厚: 非利き手の書字正確性を向上させる練習方法. 理学療法科学 24(5): 689-692, 2009.
- 3) 大西愛, 押木秀樹: 書字等の動作における利き手の差に関する基礎的研究—ストロークの向き・傾きと空筆部の選択を中心に—. 上越教育大学国語研究 29: 34-48, 2015.
- 4) 文部科学省: 小学校学習指導要領解説(平成29年告示)国語編. https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387017_002.pdf (参照 2021-12-18).
- 5) 内田智子, 長尾徹: 高齢者の非利き手によるペン操作時に要する筆圧および握り圧の特性—若年者との比較—. 作業療法 38(1): 18-27, 2019.
- 6) 大保景子, 大西祐哉, 大矢哲也, 川澄正史, 小山裕徳: 運筆情報を利用した非利き手の書字訓練法の検討. LIFE 2012: 1-2, 2012.
- 7) 青柳勝也, 真部雄介, 菅原研次: 利き手交換訓練における書字対象別の技能向上度の評価. 人工知能学会全国大会論文集 26: 1-4, 2012.
- 8) Oldfield RC: The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. Neurophysiologia 9(1): 97-113, 1971.
- 9) 水本篤, 竹内理: 効果量と検定力分析入門—統計的検定を正しく使うために—. 2010年度部会報告論集「よりよい外国語教育のための方法」: 44-73, 2011.
- 10) WACOM: Cintiq 22 HD, DTK-2200 オンラインマニュアル. https://tablet.wacom.co.jp/download/download_manual.html (参照 2021-12-18).
- 11) 菅野陽太郎, 寺島薫, 押木秀樹: 常用漢字の構成要素とその筆順構造の分析. 書写書道教育研究 32: 31-40, 2018.
- 12) Schwellnus H, Carnahan H, Kushki A, Polatajko H, Missiuna C, et al: Effect of pencil grasp on the speed and legibility of hand writing in children. Am J Occup Ther 66(6): 718-726, 2012.
- 13) 大滝恭子, 鎌倉矩子, 中田真由美, 三浦香織: 書字動作における手のかまえと操作のパターン. 作業療法 13(2): 116-125, 1994.
- 14) 杓名健一郎, 杉崎哲子: 書写における姿勢と持ち方による字形の変化. 静岡大学教育学部研究報告 44: 169-176, 2013.
- 15) 田口英郎, 増田啓二, 清水哲司, 藤井克彦: ゴニオメータによる書字動作の解析法. バイオメカニズム 8: 119-130, 1986.
- 16) Flash T, Hogan N: The coordination of arm movements: An experimentally confirmed mathematical model. J Neurosci 5(7): 1688-1703, 1985.
- 17) 立石修康: 書字における文字の視覚イメージ. 第27回九州理学療法士・作業療法士合同学会誌: 15, 2005.
- 18) 岡島康友, 井草陽子, 木村彰男, 近藤国嗣, 千野直一: 右書字と左書字の運動および形態解析による判別. リハビリテーション医学 33(3): 182-187, 1996.
- 19) 小西正良: ペンホルドの多様性. 大阪河崎リハビリテーション大学紀要 12: 7-14, 2018.
- 20) 菅野陽太郎, 吉池瑞木, 押木秀樹: 空筆部の距離を中心とした筆順の機能性に関する研究—「筆順指導の手引き」の分析から—. 書写書道教育研究 34: 31-40, 2020.
- 21) 加藤泰彦: ピアジェの構成論による幼児の読み書き—新しい文学教育の理論と実践—. コンスタンス・カミイ・編, チャイルド本社, 1997, pp.74-86.
- 22) 長岡由記: 平仮名「書字」教育における評価法の検討. 国語科教育 74: 38-45, 2013.

Differences in Japanese handwriting function between left and right hands focusing on Japanese stroke order

Reiko Miyamoto*¹ Yasunari Fujimoto*¹ Kaoru Inoue*¹ Yuko Ito*¹*¹ Tokyo Metropolitan University

This study focused on writing order with the purpose of investigating differences in the characteristics of moving the pen when writing with the left or right hand for right-handed people. Twenty healthy, right-handed subjects were asked to draw four types of figures containing stylistic features of characters of the Japanese writing system and were given instructions regarding stroke order. The collected data were broken down into elements, and the left- and right-hand data on drawing time, writing pressure, altitude angle, azimuth angle, jerk, and handwriting were compared. As a result, we found that the writing pressure with the right hand was high for many elements, and the altitude angle and azimuth angle showed characteristic left-right differences for each element. On the other hand, there were no significant differences in jerk and handwriting between the left and right hands.

By adding the stroke order condition, we were able to show the difference in the stroke function of the left and right hands, which clarified that the non-dominant hand has an unnatural movement direction due to the influence of the stroke order and has difficulty applying pressure.

Key words: Handwriting, Non dominant hand, LCD pen tablet