

資料

点字読速度と読指運動軌跡の関連

門脇 弘樹*・菊池 志乃**・牟田口 辰巳*

視覚障害者19名を対象に、動画解析ソフトを用いて読指運動軌跡の特性を定量的に明らかにすることを目的とした。その結果、読速度が両手、右手、左手全ての読み方において300文字/分を超えた参加者の片手読み軌跡は左から右への水平な軌跡を示した。一方、読速度が100文字/分未満の参加者の読速度の遅い手の読指運動軌跡は、垂直方向への上下運動や、逆行運動が頻繁に見られる不規則な軌跡を示していた。読指運動軌跡の長さを示す周長および垂直移動範囲に関して、読速度が100文字/分未満の参加者は100文字/分以上200文字/分未満と200文字/分以上の参加者と比較して周長が有意に長く、100文字/分未満と100文字/分以上200文字/分未満の参加者は200文字/分以上の参加者と比較して垂直移動範囲が有意に広いことが明らかとなった。本研究で用いた解析法により、点字触読の詳細な動きを記録することができ、新たな視点から触読効率を高める可能性が期待された。

キー・ワード：点字読速度 読指運動軌跡 動画解析ソフト

I. 問題と目的

点字触読において、読速度の向上や読材料の内容を正確に理解するためには効率的な読指運動が必要である。Lamb (1996) は、効率的な点字触読に必要なスキルを①左から右への水平な行たどり (tracking horizontally)、②リラックスした状態で、かすかにカーブを描きながらの軽いタッチ (a light touch)、③流暢でリズムカルな手の動き (rhythmic hand movements)、④できるだけ多くの指の使用 (the use of as many fingers as possible)、⑤同じような動きと独立した動きが含まれる両手の使い方 (the use of two hands, both simultaneously and independently)、⑥効率のよい行移し (an efficient return sweep) の6つにまとめている。この中でも、点字読み熟達者の読指運動は、右方向への平滑な動きをするのに

対し、初心者は垂直上下の動きが頻繁に見られる読み方をすることが指摘されており (阿佐, 1976; Kusajima, 1974; 佐藤, 2015)、点字触読を効率的に行うためのスキルとして、左から右への水平な行たどりが必要であると考えられてきた (Lamb, 1996)。ここで「行たどり」は行頭から行末まで行をたどることを、「行移し」は行末から次行頭まで移動することを指す。また、点字触読時の指の動きに注目した Wright, Wormsley, and Kamei-Hannan (2009) は、読指運動を①何の点字であるかを特定できない時などに、指を点字上で上下に動かす運動 (scrubbing)、②読み直したり、文脈を確認したりする時などに、片手もしくは両手が少しの間逆行する運動 (regression)、③文章がどれくらい残っているかを確認する時などに、読みとは違った情報を調べる運動 (searching)、④痒い所をかくために手を紙面上から動かすような、読みとは関係ない運動 (erratic)、⑤点字の上で静止しているもの

* 広島大学大学院教育学研究科

** 元広島大学大学院教育学研究科

(pausing)、⑥紙面上で指を滑らかに動かし、点字を読む運動 (normal reading) の6つに分類した。さらに、Kusajima (1974) は行間運動 (行末から次の行の行頭へ移る運動) に着目し、行間では①行の終止を確認する「確認運動 (assure movement)」、②次行頭まで逆行する「一掃運動 (return sweep)」、③次行頭を探す「探索運動 (search movement)」の3つの運動が観察されたことを報告している。このように、点字触読は数種の運動が組み合わされた複雑な読指運動によって成り立っており、読速度を向上させたり、読材料の内容を正確に理解したりするためには、様々なスキルが必要とされる。

これまで、点字読みにおける手の使い方を分析する研究が行われてきており、その特徴について整理されてきた (Table 1)。Kusajima (1974) は、参加者の指に記録針を付けた状態で点字を触読させ、カイモグラフにより、両手人差し指の軌跡を記録した。そして、この左右の人差し指の動き、行間での動きに着目して、両手読みにおける手の使い方を「第Ⅰ型」から「第Ⅵ型」の6種類に分類した。この中でも「第Ⅰ型」、「第Ⅱ型」、「第Ⅴ型」、「第Ⅵ型」については、片手読みの行間運動とほとんど異ならず、能率の高い読み方ではないと述べている。一方で、「第Ⅲ型」と「第Ⅳ型」が有効であるため、推奨したいとしている。また、熊沢 (1969) と牟田口 (2012) も点字読みにおける手の使い方を整理し、「第Ⅶ型」と「第Ⅷ型」(熊沢, 1969)、「第Ⅴ型変形」と「第Ⅵ型変形」(牟田口, 2012) が新たに発見された。

このように、これまでの点字触読に関する研究では手の使い方に注目し、その特徴が整理されてきた。しかし、指の細かな動きについて検討されたものは少なく、読指運動の軌跡 (以下、読指運動軌跡とする) の距離や座標まで定量的に明らかにされているものはない。近年では、特別な記録装置や器具を要さず、手軽に動作の解析をすることが可能なソフトも多く開発されている。そのソフトの一つに動画解析ソフト「Kinovea (Kinovea社製)」がある。この動画解

析ソフトで読指運動軌跡を記録することにより、原点の位置より点字文を読み始めてから読み終わるまでの軌跡の長さを示す周長 (mm) や原点の位置から垂直方向への上下運動を示す垂直移動範囲 (mm)、加速度 (m/s^2)、偏位角度 ($^\circ$) 等を算出することができる。Kinoveaは作業療法や理学療法の分野で用いられており、Guzman-Valdivia, Blanco-Ortega, Oliver-Salazar, and Carrera-Escobedo (2013) はKinoveaの主な利点として、使いやすくフィジカルセンサを使わずに分析できること、無料でありリハビリ中の測定に使用することができることを挙げている。これまで触読運動の記録として、佐藤・藤芳・黒川 (1985) の触覚的情報処理過程研究用データシステム TIPDAS (Tactual Information Processing Data Acquisition System) という触読運動曲線による解析法が開発されているものの、読指運動軌跡から周長や垂直移動範囲といった定量的なデータを分析する方法は先行研究からは見出せなかった。しかし、Kinoveaによって読指運動軌跡を解析することで、点字を読む際の読み直しの動きや垂直上下の動きを定量的に分析することが可能となるだけでなく、点字読み初心者と熟達者の読指運動の違いについて整理することが可能となる。これらのことから、読指運動軌跡に関してより詳細なデータを蓄積することで、読指運動軌跡の分類、読速度との関連を定量的に明らかにしていくことが必要である。

そこで本研究では、動画解析ソフトを用いて読指運動軌跡の特性を定量的に明らかにすることを目的とした。また、従来、点字読み熟達度の指標として用いられている読速度の観点から読指運動軌跡を検討することで、上手な読指運動の特性についても明らかにする。本研究での定量的分析によって、点字指導場面において、視覚障害者の点字触読を評価するための根拠として提示すること、またより発展的な研究に示唆を与えることができると考える。

Table 1 点字読みにおける手の使い方

著者	記録装置	軌跡の型	手の使い方
Kusajima(1974)	カイモグラフ	第I型	主に右手で読み、左手は直接的には読みに用いない。行移しは先に次の行頭へ移った左手の位置を手がかりにしながら、遅れて右手が行頭へ移る形で行われる。
		第II型	行の前半を両手併行で読み、後半は右手のみで読む。行移しは右手が後半を読んでいる間に左手で行う。
		第III型	行末近くまで両手併行で読み、行末部分は右手のみで読む。行移しは左手がやや先行して行い、少し遅れて右手がそれを追いかける形で行われる。
		第IV型	文字列上においても、行間においても、終始両手を併行させる。
		第V型	主に左手で読み、右手は行末付近で同伴する程度であり、直接的には読みに用いない。行移しは左手のみで行われる。
		第VI型	左右の手が行の両端から迫ってきて、行の中ほどで接触すると反発するように逆方向へ進む。この型は行の前半を左手で読み、後半を右手で読む。
熊沢(1969)	カイモグラフ	第VII型	第I型とは正反対のもので、行のほとんどを左手で読み、右手は行末でわずかに動きを見せるだけで停留している。行移しは左手のみで行う。
		第VIII型	第II型の変形で、第II型と同様に、行の前半は両手併行で読み進め、後半になると左手は次行頭へ逆行し右手のみで読むが、左手の逆行がさらに急である点がこの型の特徴である。行移しは右手のみで行う。
牟田口(2012)	ビデオ	第V型変形	行末の一部に両手併行が現れる第V型とは異なり、行のほとんどを両手併行させる読み方である。
		第VI型変形	第VI型よりも両手併行の範囲が多くみられる読み方である。

II. 方法

1. 参加者

参加者は視覚障害者19名(男性13名と女性6名)であった。調査実施時の平均年齢は42.7歳(SD=12.3)であり、最高齢は57.7歳、最年少は15.3歳であった。利き手は右手の者が18名(94.7%)、左手の者が1名(5.3%)であった。受障時期は、先天の者は16名(84.2%)、後天の者は3名(15.8%)であった。ここで、佐藤(1974)は、医学的には生まれつきの盲を先天盲、生後失明したものを後天盲と区別されるが、心理学的には視覚表象の有無が問題になるため、5歳以前の失明を先天・早期失明としている。また、佐藤(1988)は3歳から5歳くらいまでの失明は視覚的経験が残らないとされることから、5歳以前の失明を早期全盲、6歳以後の失明を後期全盲としている。そこで、本研究においても、佐藤(1974)および佐藤(1988)の定義にしたがって、5歳以前に失明した者を先天、6歳以後に失明した者を後天とした。触読練習開始年齢は4歳から40歳までと参加者によって様々であった。また、参加者の職業の内訳は、教員が13名(68.4%)、点字出版職員が3名(15.8%)、学生および生徒が3名(15.8%)であった。

研究を行うに当たって、研究の目的および方

法について説明を行い、全参加者から同意を得た。また、本研究は倫理的配慮として広島大学大学院教育学研究科倫理審査委員会の承認を得て行った。

2. 実験課題と装置

(1) 実験課題：本研究では、点字読速度を測定するための課題(以下、読速度用課題)と読指運動軌跡を分析するための課題(以下、軌跡用課題)の2種類を用意した。

読速度用課題で使用した読材料は、1997年5月に毎日新聞朝刊に掲載された紀行文から引用した。これをパソコン点訳し、点字プリンタ(New ESA721, ジェイ・ティー・アール製)により、B5版の点字用紙に1行32文字・1ページ18行のレイアウトで両面印刷した。読速度用課題では、両手読みと右手および左手による片手読みの3つの方法を設定して、それぞれの読み方の1分間の正読文字数を測定した。この課題で使用した読材料の難易度は日本語テキストの難易度判定ツール「帯」(Sato, Matsuyoshi, & Kondoh, 2008)で測定し、それぞれの難易度が同レベルであった。

軌跡用課題で使用した読材料は、第30回全日本点字競技大会で使用されたものから引用した。読指運動軌跡を分析するために、パーキンズプレーヤー(Howe Press社製)を用い、B6版

の透明クリアファイルに1行28マス・1ページ10行のレイアウトで打ち出した。軌跡用課題においても両手読みと右手および左手による片手読みの3つの方法を設定して、それぞれの読指運動軌跡を分析した。

(2) 装置：本研究の実験場所は、教員の場合は勤務する学校内にある教室、点字出版職員の場合は勤務する職場内にある部屋、学生および生徒の場合は大学の研究室であった。各実験場所で机と椅子を用意し、実験を実施した。

読速度用課題では、課題文を机の上に提示した。一方、軌跡用課題では、課題文をクリアファイルに打ち出したものを透明アクリル版の上に提示した。

軌跡用課題の実験場面をFig.1に示した。机2台を27cmの間隔を空けて並べ、その間に透明アクリル板を置き、真下に設置したビデオカメラ (SONY, HDR-SR12) で点字触読の動きを記録した。

3. 実験手続き

本実験は2016年3月～7月に実施した。実験は読速度用課題、軌跡用課題の順に実施した。

読速度用課題では、実験者が参加者の手を1行目の行頭まで持っていき、その後は参加者が日常点字を読んでいる手の使い方と読むように教示し、1分経過したところで実験者が「止め」と声を掛けた。なお、片手読みでは指示された片手のみを使うように制限し、他方の手は紙押さえに使用させた。課題文は、両手読み、右手読み、左手読みの順に提示した。

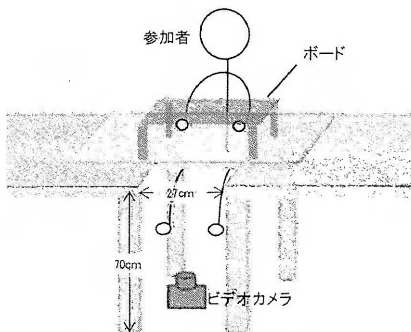


Fig. 1 実験場面 (正面から)

軌跡用課題では、実験前に参加者の人差し指の腹に油性マジックで黒色マークを付けた。その際、マークの位置を確認するため、参加者に点字「㉔ (め)」の連続線を2行分たどらせた後、最後のマス上で指を強く押しつけて型を付けさせ、実験者がその型を見ながら②の点「㉔」の位置と重なるところにマークした。その後、参加者に両手読みと右手および左手による片手読みの3つの方法により、課題文を音読するように教示し、文章を読み終えたところで実験者が「止め」と声を掛けた。なお、片手読みでは指示された片手のみを使うように制限し、他方の手は紙押さえに使用させた。課題文は、両手読み、右手読み、左手読みの順に提示した。

4. 分析方法

(1) 動画の解析：ビデオ画像を、動画解析ソフト (Kinovea 0.8.24, Kinovea社製) に取り込み、1秒間25コマの速度で再生し、参加者の人差し指の腹に付した黒色マークを追跡して読指運動軌跡を描画した。解析ソフトから得られたデータの較正は、文字列1行分の行頭から行末までの長さの実測値と、予め中段の点「㉔」より5mm上部に赤色で付しておいた点までの距離を基準として行った。各行1マス目の②の点「㉔」または⑤の点「㉔」をグラフの原点として、読指運動の座標を算出した。例えば、左手読み1行目の場合は、縦の長さが中段の点「㉔」から赤点までの5mm、横の長さが行頭から行末までの143mmを較正の値として設定し、画面上のピクセル数と実測値の関係を定義した上で読指運動軌跡の解析を行った。その際、周長と垂直移動範囲を算出した。

(2) データの信頼性：前述した解析方法より得られたデータの信頼性を検討するため、大学院生2名が同じ方法で解析した読指運動軌跡を比較した。その際、読速度の左右差が小さい参加者A、読速度の左右差が大きく、右手読みが速い参加者D、読速度の左右差が大きく、左手読みが速い参加者Jの3名について、それぞれの両手読み軌跡と右手および左手による片手読み軌跡を解析した。解析対象はそれぞれの課題

Table 2 参加者の点字読速度 (文字/分)

参加者	両手	速い手 ¹⁾	遅い手 ²⁾
Mean	218.2	201.6	110.2
SD	127.9	110.3	89.0

1) 「速い手」は、右手および左手による片手読みの読速度のうち、読速度が速かったものを表す。

2) 「遅い手」は、右手および左手による片手読みの読速度のうち、読速度が遅かったものを表す。

文1行目～5行目とした。

両者の描画した読指運動軌跡を視覚的に比較したところ、軌跡の形状は一致していた。また、両者が算出した1コマごとの「水平座標」、「垂直座標」、「周長」の相関係数を算出したところ、「水平座標」(参加者A; $r=1.000$ ($F(1, 1503) = 2316928.16, p<.01$), 参加者D; $r=1.000$ ($F(1, 2855) = 3848966.98, p<.01$), 参加者J; $r=1.000$ ($F(1, 5779) = 1387126.55, p<.01$)), 「垂直座標」(参加者A; $r=0.997$ ($F(1, 1503) = 236465.71, p<.01$), 参加者D; $r=0.998$ ($F(1, 2855) = 907047.98, p<.01$), 参加者J; $r=0.997$ ($F(1, 5779) = 1387126.55, p<.01$)), 「周長」(参加者A; $r=0.999$ ($F(1, 1503) = 1003513.71, p<.01$), 参加者D; $r=1.000$ ($F(1, 2855) = 3530058.03, p<.01$), 参加者J; $r=1.000$ ($F(1, 5779) = 409299.06, p<.01$)) のすべての項目において、強い正の相関がみられた。この結果から、本研究での解析方法より得られたデータに信頼性があると判断し、分析を進めた。

(3) 読指運動軌跡の分析: 読指運動軌跡を検討するために定量的データ(周長, 垂直移動範囲)による分析を行った。定量的データによる分析では、読速度の観点から参加者19名の右手あるいは左手による片手読み軌跡の読速度が100文字/分未満の群、100文字/分以上・200文字/分未満の群、200文字/分以上の群の3群に分けた。この群分けは、「点字学習指導の手引き」(文部科学省, 2003)に示された点字読速度についてのマス数の数値目標を参考にして文字数に換算すると、「入門期の基本的な触読学習を終了した時点」で1分間に100文字程度、「教科学習を普通に行うため」には200文字/分程度、「効率的に学習を行うため」には300文字/

分程度が必要とされていることが挙げられていることを根拠とした。分析では、ノンパラメトリック検定のクラスカル・ウォリス検定を行った。

Ⅲ. 結果

1. 参加者の点字読速度について

Table 2に、読速度用課題での参加者の点字読速度に関する結果を示した。19名の両手読みによる読速度の平均は218.2文字/分(SD=127.9)、速い手による読速度の平均は201.6文字/分(SD=110.3)、遅い手による読速度の平均は110.2文字/分(SD=89.0)であった。両手読みと右手および左手による片手読みの3つの読速度の内、最も読速度が速かった値(以下、最高読速度とする)に注目すると、参加者の中で最も速い読速度を記録したのは、参加者Aの424文字/分であった。一方、参加者の中で最も遅い読速度を記録したのは、参加者Oの24文字/分であった。また、最高読速度が300文字/分を超えたのは19名中6名(31.6%)であった。一方で、最高読速度が100文字/分に届かなかったのは5名(26.3%)であった。

2. 読指運動軌跡の定量的検討

Fig.2に、軌跡用課題での参加者Fおよび参加者Jの片手読み軌跡に関する読指運動軌跡(課題文2行目)を示した。いずれも上段の実線(— Right)が右手人差し指の軌跡、下段の点線(⋯ Left)が左手人差し指の軌跡である。X軸(Horizontal position)は一マス目から行末までの距離(mm)を、Y軸(Vertical position)は中段の点「⋮」を原点とした垂直移動範囲(mm)であり、正值は指が原点より上に、負値は原点

より下へ移動したことを示す。

参加者Fは、読速読の遅い左手の読速度(148文字/分)が、速い右手の読速度(334文字/分)の半分以下であり、片手読みの左右差が大きかった。読速度の速い右手軌跡は、逆行運動が見られるものの、左から右へ水平な動きをしていた。一方、左手は±5mmの幅で上下に頻繁に移動しており、逆行運動も複数回観察され、不規則な軌跡をしていた。

参加者Jは、読速読の遅い右手の読速度(56文字/分)が、速い左手の読速度(283文字/分)の5分の1以下であった。読指運動軌跡は、読速度の速い左手の軌跡では、ほぼX軸と重なる直線であるのに対し、読速度が遅い右手は、マス数の多い「::: ::: ::: ::: ::: (くるまへの)」(Horizontal position 50mm~80mm付近)や「::: ::: ::: ::: ::: ::: (ぎもんふが)」(Horizontal position 90mm~120mm付近)といった単語上を複数回行き来した。

このように、本研究の解析方法によって、参加者の読指運動軌跡が視覚的に示された。さらに、読指運動軌跡の特徴について客観的に検証するために、定量的データによる分析を行った。

(1) 点字読速度と片手読み軌跡の周長：参加者の読指運動軌跡の長さと言速速度の関係について検討するため、38手(「右手による片手読み」・「左手による片手読み」×参加者19名)の周長に関して、参加者の読速度によって100文字/分未満群(14手)、100文字/分以上・200文字/分未満群(9手)、200文字/分以上群(15手)の3群に分けて、比較した(Table 3)。さらに、Fig.3には各読速度群の周長を箱ひげ図で示した。箱を二分する水平線は中央値、上側ヒンジは第3四分位数、下側ヒンジは第1四分位数、上側ヒンジから伸びるひげの終端は最大値、下側ヒンジから伸びるひげの終端は最小値を表す。等分散性が認められなかったため、各群の中央値を用いて、クラスカル・ウォリス検定を行った結果、読速度間に有意な差が認められた($\chi^2(2)=18.55, p<.01$)。さらに、Steel-Dwass法を用いて多重比較を行った結果、100文字/分未満群と100文字/分以上・200文字/分未満群($p<.05, r=0.42$)、100文字/分未満群と200文字/分以上群($p<.01, r=0.65$)との間に有意差が認められたが、100文字/分以上・200文字/分未満群と200

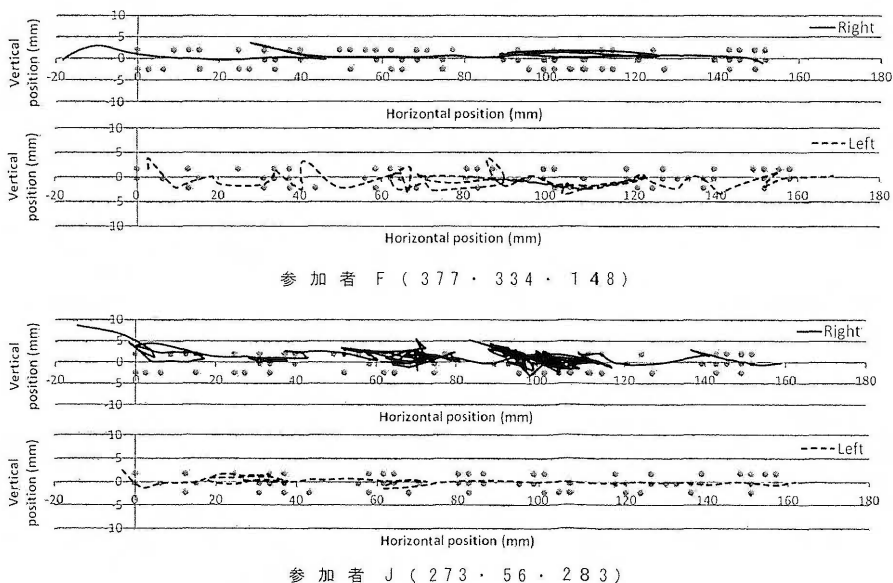


Fig. 2 参加者Fおよび参加者Jの片手読み軌跡
(括弧内の数字は左から順に、「両手読速度」・「右手読速度」・「左手読速度」を表す。)

Table 3 各読速度群の周長と垂直移動範囲 (N=38)

群	N=38	周長(mm)	垂直移動範囲(mm)
100文字/分未満	14	648.7(304.4-861.8) [208.9-1167.4]	2.60(2.24-3.46) [1.79-4.93]
100文字/分以上・200文字/分未満	9	248.6(213.6-312.9) [179.8-396.1]	2.28(1.68-3.01) [1.42-3.76]
200文字/分以上	15	119.9(181.8-230.4) [161.9-279.7]	1.59(1.31-1.76) [1.01-2.94]

* 中央値(四分位範囲)[範囲]

文字/分以上群に関しては有意な差はなかった。

(2) 点字読速度と垂直移動範囲：参加者の読指運動軌跡の平滑さと読速度の関係について検討するため、38手(「右手による片手読み」・「左手による片手読み」×参加者19名)の垂直移動範囲に関して、参加者の読速度によって100

文字/分未満群、100文字/分以上・200文字/分未満群、200文字/分以上群に分けて、比較した(Table 3)。さらに、Fig.4には各読速度群の垂直移動範囲を箱ひげ図で示した。等分散性が認められなかったため、各群の中央値を用い、クラスカル・ウォリス検定を行った結果、読速

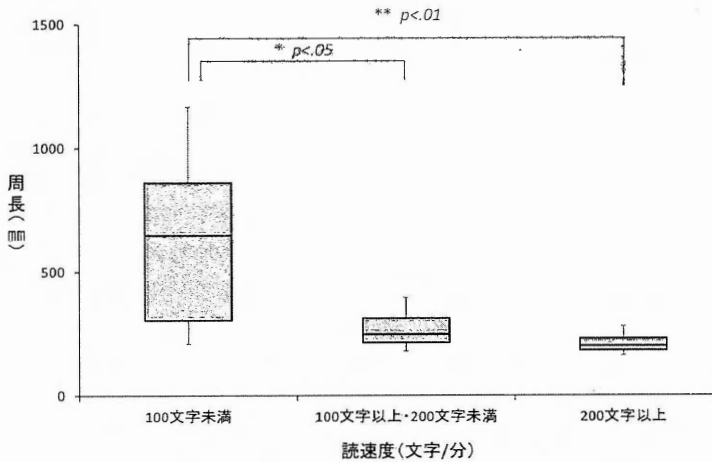


Fig. 3 各読速度群の周長 (N=38)

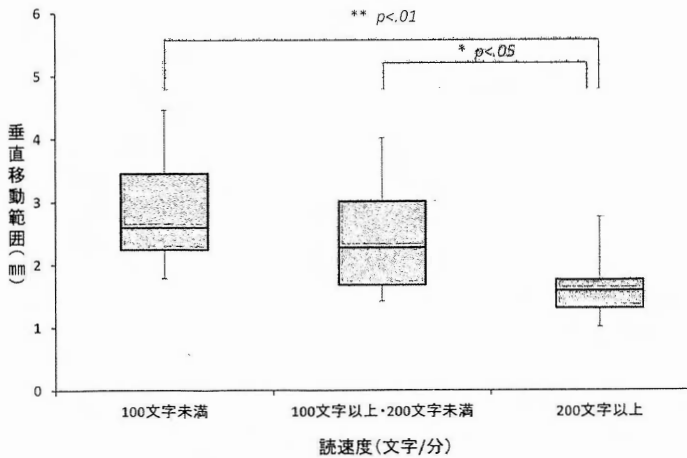


Fig. 4 各読速度群の垂直移動範囲 (N=38)

度間に有意な差が認められた ($\chi^2(2)=16.22$, $p<.01$)。さらにSteel-Dwass法を用いて多重比較を行った結果、100文字/分未満群と200文字/分以上群 ($p<.01$, $r=0.62$)、100文字/分以上・200文字/分未満群と200文字/分以上群 ($p<.05$, $r=0.39$) との間に有意差が認められたが、100文字/分未満群と100文字/分以上・200文字/分未満群に関しては有意な差はなかった。

IV. 考察

1. 参加者の点字読速度

本研究では、視覚障害者19名の読指運動軌跡について検討するに当たって、参加者の点字読速度を調べるために、読速度用課題において両手読みと右手および左手による片手読みの3つの方法を設定して、参加者の点字読速度を測定した。参加者の点字読みの習熟度は様々で、最高読速度が400文字/分を超える者から30文字/分に届かない者まで幅広い結果であった。

最高読速度が300文字/分を超えたのは、本研究の参加者の中で最も速い424文字/分を記録した者を筆頭に、19名中6名(31.6%)であった。一方で、最高読速度が100文字/分に届かなかった者は、最も遅い24文字/分の者を含む5名(26.3%)であった。この5名(参加者N・O・Q・R・S)の受障時期は参加者O・Q・R・Sが先天、参加者Nが後天(9歳)であった。また、触読練習開始年齢は、参加者Nが15-16歳、参加者Oが19歳、参加者Qが27歳、参加者Rが30歳、参加者Sが40歳であり、触読練習の開始が遅いほど、読速度も遅くなる傾向があった。ただし、参加者O・Q・R・Sの受障時期は先天であるが、触読練習の開始が遅く、弱視の状態から徐々に視力低下したため、点字に切り替えたと推察された。また、最高読速度が100文字/分を超えた者は参加者P(最高読速度105文字/分)を除いて、触読練習開始年齢が4-8歳であり、触読練習の開始が早いほど、点字読速度が速くなるという自明の結果となった。このことから、熟達度の違いが、読指運動軌跡にも影響していると考えられた。一方、受障時期につい

ては、参加者は先天の者が多く、本研究では検討できなかった。

2. 読指運動軌跡の特徴

点字読み熟達者の読指運動は、右方向への平滑な動きをするのに対し、初心者は垂直上下の動きが頻繁に見られる読み方をすることが指摘されており(阿佐, 1976; Kusajima, 1974; 佐藤, 2015)、点字触読を効率的に行うためのスキルとして、左から右への水平な行たどりが必要であると考えられてきた(Lamb, 1996)。そこで、本研究では、軌跡用課題を設定し、動画解析ソフトを用いて、読指運動の軌跡をグラフ上に描画するという方法で詳細な記録を試み、読速度と読指運動軌跡について検討した。

片手読み軌跡をグラフ上で視覚的に確認すると、参加者Fの読速度の速い右手軌跡および参加者Jの読速度の速い左手軌跡は、一部逆行運動が見られるものの左から右への直線的な軌跡を描いていた。一方で、参加者Fの読速度の遅い左手軌跡および参加者Jの読速度の遅い右手軌跡は、垂直方向への上下運動や、逆行運動が頻繁に見られる不規則な軌跡を描いており、先行研究で指摘されてきたことと一致していることが確認できた。

この点について定量的に検討するため、参加者の38手(「右手による片手読み」・「左手による片手読み」×参加者19名)の読指運動軌跡の周長、垂直移動範囲を算出した。さらに、読速度を100文字/分未満群(14手)、100文字/分以上・200文字/分未満群(9手)および200文字/分以上群(15手)の3群に分けて比較した結果、周長は100文字/分未満群と100文字/分以上・200文字/分未満群 ($p<.05$, $r=0.42$)、100文字/分未満群と200文字/分以上群 ($p<.01$, $r=0.65$) の間に有意差が認められたが、100文字/分以上・200文字/分未満群と200文字/分以上群の間には有意な差はなかった。このことから、周長に関して、読速度が100文字/分未満の読指運動軌跡は、100文字/分以上・200文字/分未満と200文字/分以上の読指運動軌跡とそれぞれ比較して、点字を読む際の読指運動軌跡の距離が長くなるこ

とが明らかとなった。これは、頻繁な読み直しによる逆行運動によるものと考えられる。一方、垂直移動範囲は100文字/分未満群と200文字/分以上群 ($p < .01$, $r = 0.62$)、100文字/分以上・200/分文字未満群と200文字/分以上群 ($p < .05$, $r = 0.39$) との間に有意差が認められたが、100文字未満群と100文字/分以上・200文字/分未満群に関しては有意な差はなかった。このことから、垂直移動範囲に関して、読速度が100文字/分未満と100文字/分以上・200文字/分未満の読指運動軌跡は200文字/分以上の読指運動軌跡とそれぞれ比較して、点字を読む際に読指運動が左から右への水平な動きではなく上下動していることが明らかとなった。

「点字学習指導の手引き」(文部科学省, 2003)の点字読速度についての数値目標を参考に100文字/分未満群を「初期段階(教科学習を開始するまでの段階)」、100文字/分以上・200文字/分未満群を「中期段階(普通に学習ができるようになるまでの段階)」、200文字/分以上群を「後期段階(効果的に学習できるようになるまでの段階)」と考え、中期段階、後期段階の読指運動の周長は、初期段階よりも短かった。この読指運動の違いが、導入段階の読速度の遅さの一因と考えられる。また、初期段階、中期段階の垂直移動範囲は、後期段階よりも大きかったことから、後期段階になると読指運動が安定して左から右への水平な動きをするようになると考えられる。一方で、中期段階に注目すると、周長に関しては後期段階と有意差がみられず、垂直移動範囲に関しては初期段階と有意差がみられなかった。この点で、中期段階以降は読指運動以外の要因が読速度に影響することが考えられるが、これについてはさらに検討する必要がある。

具体的な数値としては、初期段階の読指運動軌跡が課題文1行を読むのに費やす周長の中央値は648.7mmで、中期段階の中央値は248.6mm、後期段階の中央値は119.9mmあった。実験中に、参加者が点字を読んでいる様子を観察していると、初期段階の読指運動軌跡は点字1文字1文

字の読み取りに留まっており、何度も読み直しのための上下動や逆行を行っていた。そのため、「指が疲労してしまい、どんどん読み取れなくなっていった」と答えた参加者もいた。一方で、中期段階および後期段階の読指運動軌跡は、単語や文のまとまりを意識しながら読んでいる様子が観察された。この両者の違いが周長の長さに影響を及ぼしていると推察されるが、この要因には触覚の敏感さの違いや、認知面の問題などが考えられ、今後も新たな実験を行い、検討することが必要である。また、本研究は読指運動軌跡に注目していることから、分析での群分けにおいて参加者の片手読みの読速度を用いた。そのため、初期段階14手の中には点字初心者の片手読みの読指運動軌跡もあれば、ある手の片手読みは後期段階にあるものの、もう一方の手の片手読みが初期段階にある参加者の読指運動軌跡もあった。つまり、点字読みを学習中の参加者の片手読みと点字読みには慣れているものの普段使い慣れていないことによって読速度の遅かった片手読みが混在しており、この点の解釈に注意が必要である。

3. 読指運動軌跡の解析法について

本研究では、透明クリアファイルに作成した課題文を透明アクリル板上に固定し、真下からビデオカメラで撮影を行うことで、点字触読の詳細な動きを記録することができた。動画解析ソフトを用いて読指運動軌跡を分析したことにより、カイモグラフによる測定(Kusajima, 1974)等と比べ、読指運動の正確な記録と軌跡に関する詳細なデータ(周長・垂直移動範囲)の分析が可能となった。これまで点字読み初心者の読指運動軌跡の特徴として、垂直上下の動きが頻繁に見られる読み方をすることが指摘されてきた(阿佐, 1976; Kusajima, 1974; 佐藤, 2015)が、これを定量的に検討した研究は行われていなかった。そのため、本研究の解析法で読指運動軌跡の特徴を明らかにすることは点字指導場面における客観的な評価法に資することができると考えられる。また、この解析法では周長や垂直移動範囲に加え、本研究では検討しなかった

加速度や偏位角度等も定量的に算出できるため、点字読み研究に関する多様な分析が期待できる。従来、点字触読に関する研究や、点字指導の場面では、点字読速度の観点から点字読みの熟達度が検討されてきた。独自の装置を用いて、読指運動の速度と加速度を計測したHughes (2011) は、近年、指先の微細な動きを運動学的な見地から詳細に分析できる実験装置の開発が進んでおり、読指運動パターンに関するさらなる研究を通して、触読効率を高める可能性が探求できると述べている。本研究で用いた読指運動軌跡の解析法により、新たな視点から触読効率を高める可能性が探求できることを期待したい。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金（課題番号：17K18641）の助成により行われた。また、本研究を実施するにあたり、ご協力いただきました視覚障害者の方々に心より感謝申し上げます。

文献

阿佐博 (1976) 点字触読パターンの研究. 日本特殊教育学会第14回発表論文集, 440-441.

Guzmán-Valdivia, C. H., Blanco-Ortega, A., Oliver-Salazar, M. A., & Carrera-Escobedo, J. L. (2013). Therapeutic Motion Analysis of Lower Limbs Using Kinovea. *International Journal of Soft Computing and Engineering*, 3, 359-365.

Hughes, B. (2011) Movement kinematics of the braille-reading finger. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 105, 370-381.

熊沢八千代 (1969) 盲児の触読に関する研究. 盲心

理研究, 16, 39-47.

Kusajima, T. (1974) *Visual reading and braille reading: An experimental investigation of the physiology and psychology of visual and tactual reading*. American Foundation for the Blind. New York.

Lamb, G. (1996) Beginning Braille: A Whole Language-based Strategy. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 90, 184-189.

文部科学省 (2003) 点字学習指導の手引き (平成15年改訂版). 大阪書籍.

牟田口辰己 (2012) 点字読み熟達者の手の使い方に関する研究 -軌跡による検討-. 障害科学研究, 36, 81-94.

佐藤将朗 (2015) 点字の読みやすさに関する心理学的研究: 触読材料の量的拡大に伴う熟達者と未熟達者の触読時間の分析を中心として. 筑波大学大学院博士論文.

Sato, S., Matsuyoshi, S., & Kondoh, Y. (2008) Automatic assessment of Japanese text readability based on a text-book corpus. *Proceedings of the Sixth International Language Resources and Evaluation (LREC'08)*, 654-660.

佐藤泰正 (1974) 視覚障害児の心理学. 学芸図書.

佐藤泰正 (1988) 視覚障害心理学. 学芸図書.

佐藤泰正・藤芳衛・黒川哲宇 (1985) 触覚的情報処理過程研究用データ収集システムの開発と視覚障害児の点字触読過程の解析法. 特殊教育学研究, 23(1), 14-25.

Wright, T., Wormsley, D. P., & Kamei-Hannan, C. (2009) Hand Movements and Braille Reading Efficiency: Data from the Alphabetic Braille and Contracted Braille Study. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 103, 649-661.

—— 2017.8.28 受稿、2017.12.25 受理 ——

Relationships between Braille Reading Speed and Braille Reading Trajectory

Hiroki KADOWAKI*, Shino KIKUCHI** and Tatsumi MUTAGUCHI*

The primary aim of this study was to quantitatively clarify the characteristics of Braille reading with respect to Braille reading trajectory using a motion analyzer in 19 Braille readers. One-hand reading trajectory in readers of Braille who had reading speeds of 300 characters per minute or more for both hands and with just one hand(left or right)showed a horizontal trajectory from left to right. On the other hand, Braille reading trajectory of the slow reading speed of a Braille reader with less than 100 characters/min reading speed showed an irregular trajectory with vertical motion and regression. As for total distance and vertical range in Braille reading trajectory, a Braille reader with less than 100 characters/min reading speed was significantly longer in total distance, and a Braille reader with less than 100 characters/min reading speed and a Braille reader with more than 100 characters/min and less than 200 characters/min was significantly broader in vertical range than a Braille reader of more than 200 characters/min. The detailed motion of a Braille reading trajectory can be recorded using the method of this research and one may expect higher Braille reading efficiency from a new standpoint.

Key words: Braille Reading Speed, Braille Reading Trajectory, Motion Analyzer

* Graduate School of Education, Hiroshima University

** Former Graduate School of Education, Hiroshima University