

<原 著>

紙教科書とデジタル教科書の読みの際の眼球運動の比較

— 読みの困難度に着目した予備的検討 —

氏間 和仁*・今津 麻衣**

紙の教科書を音読する条件（紙音読）、デジタル教科書を音読する条件（デ音読）、デジタル教科書を音声で読み上げる条件（デ読上）のそれぞれにおいて読み困難の有無が平均停留時間及び停留回数といった眼球運動に与える影響を検討した。対象は小学3年から6年の読み困難なしの19名と読み困難ありの6名であった。

実験参加者は光村図書の道徳と国語の紙の教科書及びデジタル教科書を用い3つの条件で読むことを依頼された。眼球運動は Tobii Glass 3（サンプリングレート120Hz）で収集された。マッピング可能であった489ページを対象に分析を行った。小学3・4年生を中学年群、5・6年生を高学年群に群分けした。文字の範囲では、中学年群と、高学年群の両方で紙音読条件において読み困難「なし」よりも「あり」の平均停留時間が有意に長かった（ $p < .05$ ）。紙の教科書において読み困難「あり」は「なし」よりも停留時間が延長した。デ音読条件、デ読上条件において2群間の平均停留時間に有意差はなかった。停留時間の差異が小さくなることは、読み困難「あり」の読書中の眼球運動が読み困難「なし」に接近していることを意味している。

今回は実物の紙とデジタルの教科書を利用し、普段の読書に近い自由な条件で検討したため、これ以上の精密な検討はできないが、デジタル教科書が読み困難「あり」の児童の読みに与える研究に示唆を与える結果となった。

キーワード：デジタル教科書 視線 停留時間

I. はじめに

1. 読み困難と読みのデジタル支援

文部科学省は平成30年6月25日に、「障害のある児童生徒等の学習上の困難の程度を低減させる必要があると認められるときは、教育課程の全部又は一部において、これらの教科用図書に代えてその内容を記録した電磁的記録である教材を使用することができることとする等の措置を講ずるものである。」といった内容を含む通知を出した。この通知により、学習者用デジタル教科書（以下、デジタル教科書）を障害による困難の低減のためであれば全ての授業で利用することが可能となった。

デジタル教科書は原本となる検定教科書と同一の内容を電子化することが原則であるが、拡大したり、読み上げたりなどデジタルならではの機能も備わって

る。障害による学習上の困難を低減するためのデジタル教科書の有力な機能として、音声による読み上げと、それに付随するハイライト表示があげられる。このハイライト・読み上げ機能は、マルチメディア DAISY（Digital Accessible Information System, 通称、デージー）でも採用されている機能であり、特にディスレクシア（dyslexia）の状態の児童生徒の読みの困難を低減する機能として利用されている（水内・小林・森田, 2008; 金森・山崎・田中・松下・赤瀬・平峰, 2010など）。本研究では、紙教科書を音読する条件（紙音読条件）、デジタル教科書を音読する条件（デ音読条件）、デジタル教科書をハイライト・読み上げで読み上げさせ、読み手自身は音読しない条件（デ読上条件）の読み方式要因が読みパフォーマンスに与える影響を明らかにする。その際、読みの困難さの高低という参加者要因の効果に着目する。読みパフォーマンスは、眼球運動パターンで得られる、停留時間と停留回数に着目する。

* 広島大学人間社会科学研究所

** 広島大学大学院人間社会科学研究所 教育科学専攻
博士課程後期

2. 読み際の眼球運動

読みの際、眼球運動パターンは1箇所にとまって情報を入力する停留 (fixation) と、次の停留まで瞬時に動くサッケード (saccade) に分けられる。停留時間は言語、認知、眼球運動の影響を受けて定義されるが (Vitu, McConkie, Kerr, and O'Regan, 2001)、読み能力と眼球運動の研究では読解力が向上するにつれて、読者はサッケードをより長く、より少なくし、停留時間はより短く、停留回数はより少なくなることが示されている (Lefton, Nagle, Johnson, & Fisher, 1979; Rayner, 1998)。つまり、読みのスキルが高い読み手は停留時間の短縮、停留回数の減少が見られる。この眼球運動パターンの特徴は読みに困難のある読み手の読みの特徴を表す指標になりうるのだろうか。読み困難のない読者と読み困難のある読者との間で眼球運動パターンを比較したところ、読みスキルを統制した状態では統計的に有意差はみられない (Rayner, 1985) が、学年を統制した場合、読み困難のある読者の停留時間の延長、停留回数の増加、サッケード長の短縮がみられることが示されている (Biscaldi, Gezeck, & Stuhr, 1998; Elterman, Daroff, & Bornstein, 1980; Hutzler & Wimmer, 2004)。紙音読条件、デ音読条件、デ読上条件を比較した場合、年齢を統制することで、眼球運動パターンに対する読み方式要因の効果がみられることが想定できる。水内ら (2008) は中学生の1名の生徒の国語の教科書をマルチメディアデジターで示すことで、国語の問題の正答率が向上したことを報告した。金森ら (2010) はマルチメディアデジターを用いることで児童の読み能力向上につながることを示唆した。その一つの根拠として、視線を計測し、読み困難のある小学5年の1名の児童の眼球運動パターンが読み困難のない児童のパターンと類似していることを示した。これらの先行研究は実践研究であるため、読み素材をある程度統制して読み困難度の要因を明らかにするところまでには至っていない。また、1学年、1名の報告である。そこで本研究では学年を小学3年から6年に拡張し、可能な限り複数名の読み困難の児童を対象に眼球運動パターンを比較することとする。

3. 読み困難の評価

読み困難は、DSM-5では、限局性学習症／限局性学習障害 (Specific Learning Disorder) 中の「読字の障害を伴う」という下位領域に位置付けられている。この領域の所見は、読字の正確さ、読字の速度または流暢性、読解力である (American Psychiatric

Association, 2013)。日本国内では STRAW-R で読み困難を判断することが行われることもある。本研究では読みの困難度を把握するために、参加者が小学生であることを考慮し、参加者の負担が少ない方法である、稲垣基準 (稲垣, 2010) を用いて読みの困難の指標とした。

4. 仮説と目的

読書時の眼球運動パターンのうち、読みスキルを反映する指標となる停留時間、停留回数に着目し、紙教科書とデジタル教科書を読む際の、読み困難のある児童とない児童の特徴量として用いる。紙音読条件、デ音読条件、デ読上条件の読み方式要因において読み困難が「ない」児童と「ある」児童の眼球運動パターンを比較する。紙音読条件では読み困難の「ある」児童は停留時間が長く、停留回数も多くなるのに対し、デ読上条件ではその差は小さくなるのが想定できる。また、読み素材として用いる教科書の中から文字部分と図譜部分の比較も行う。文字を読む時と図譜を見る時を比較すると、図譜を見る時の方が読みの困難度が眼球運動パターンに与える影響は小さくなることが考えられ、眼球運動パターンの一つの知見を得る可能性がある。

これらのことから、本研究は、小学3年から6年の児童を対象に、紙音読条件、デ音読条件、デ読上条件の読み方式別に読み困難の要因が眼球運動パターンに与える影響、文字・図譜の要素別に読み困難の要因が眼球運動パターンに与える影響を明らかにすることを目的とする。

II. 方法

1. 研究計画

学年、デ音読条件・デ読上条件・紙音読条件を統制し、読み困難要因を設定した1要因の要因計画法である。従属変数は平均停留時間、停留回数であった。

2. 期間・実験参加者

2023年7月から10月の期間で実施された。参加者はチラシによる募集に応じて申し込んだ小学3年から6年の小学生であった。

3. 課題

国語及び道德の紙の教科書またはデジタル教科書を読み素材として用いた。読み方式は、紙教科書を音読する紙音読条件、デジタル教科書を音読するデ音読条

件、デジタル教科書のハイライト付き音声読み上げを聴きながら黙読するデ読上条件であった。読んだ後、その内容に関する3つの質問を行い、回答を求めた。道徳の教科書で紙音読条件、デ音読条件、デ読上条件を実施した後、国語の教科書においても紙音読条件、デ音読条件、デ読上条件を実施した。道徳の後と国語の後に、各条件を一对で比較し、どちらが読んで分かりやすかったかを回答するよう求めた。道徳の後、国語を実施し、道徳及び国語の中で読み方式の配置はカウンターバランスがとられた。

4. 装置

デジタル教科書はiPad第9世代（画面サイズ10.2inch, 2,160 × 1,620pixel, 解像度264ppi）で提示された。視線の測定には視線計測装置 Tobii Glass 3（Tobiiテクノロジー社製）を使用した。サンプリングレートは120Hzで記録した。データの解析はTobii

pro lab を用いて行った。Tobii Glass 3はメガネタイプの視線計測装置であるため、拘束の少ない、自然な条件で視線を計測することができ、今回のような紙とタブレットなどの多彩な素材を読む際の視線を計測するのに適している。参加者と読み素材の距離は参加者が手を伸ばしてページを捲れる程度とし、概ね40～50cm程度であり、30cmを超えて接近する参加者はいなかった。実験を行った部屋は外光が遮断され天井灯を全点灯した状態であり、参加者の目線の照度は平均1,078.5lx（SD = 144.2lx）であった。

5. 刺激

教科書は、光村図書出版株式会社の道徳及び国語の教科書であった。デジタル教科書は同教科書の学習者用デジタル教科書+教材を用いた。刺激と用いた内容をTable 1に示した。

Table 1 読み素材

学年	教科	開始ページ	終了ページ	題名	分析対象ページ番号		条件
6	道徳	99	104	手品師	100	101	紙音読
		106	109	みんな、おかしいよ！	107	108	デ音読
		137	141	ようこそ、菅島へ	138	140	デ読上
	国語	190	195	メディアと人間社会	191	192	紙音読
		240	246	今、あなたに考えてほしいこと	241	244	デ音読
		276	281	平和のとりでを築く	277	278	デ読上
5	道徳	102	107	ブランコ乗りとピエロ	103	104	紙音読
		116	119	いこいの広場	117	118	デ音読
		120	123	クール・ボランティア	121	122	デ読上
	国語	162	170	やなせたかし	163	164	紙音読
		138	145	固有種が教えてくれること	139	140	デ音読
		188	193	想像力のスイッチを入れよう	189	193	デ読上
4	道徳	128	131	祭りだいこ	128	130	紙音読
		92	95	つまらなかった	093	094	デ音読
		104	107	生き物と機械	105	106	デ読上
	国語	上107	上113	ランドセルは海をこえて	109	110	紙音読
		下044	下049	世界にほこる和紙	045	046	デ音読
		下087	下095	うなぎのなぞを追って	089	090	デ読上
3	道徳	94	97	目の前は青空	095	096	紙音読
		100	103	百六歳おめでとうひいばあちゃん	101	102	デ音読
		146	149	長なわ大会の新記録	147	108	デ読上
	国語	下042	下047	すがたをかえる大豆	043	044	紙音読
		下066	下076	三年とうげ	068	069	デ音読
		下096	下101	ありの行列	098	099	デ読上

「開始ページ」「終了ページ」の「上」は上巻、「下」は下巻を示す。

6. 手続き

インフォームドコンセントの後、本人・保護者の了承と保護者の署名が得られた児童を実験参加者とし、予備調査と本実験の2つのフェーズで実験を実施した。予備調査では体調の聞き取り調査、視力、眼球の屈折、特異的読字障害評価（稲垣, 2010）を測定した。視力はLOGARITHMIC VISUAL ACUITY CHART LANDLT “C”（Precision Vision 社製）により視距離40cmにて評価した。屈折はSpot Vision Screener（Baxter 社製）により評価した。本実験はTable 1に示した教科書の内容を条件に従って音読したり読み上げを聴いたりするよう依頼した。道徳を実施した後、国語を実施した。各教科の中での実施順はカウンターバランスがとられた。読み方式条件と読み素材の組み合わせはTable 1の通り固定されていた。

7. 分析

実験参加者を、稲垣基準の項目に該当しない「読み困難なし群」と1項目以上該当した「読み困難あり群」に分けて分析を行った。一人当たり、各読み方式条件あたり道徳2ページ、国語2ページを分析対象とし、各ページを1サンプルとして分析を行った。各ページには文字領域と図譜領域が印刷されており、それぞれを分析範囲として指定して眼球運動を計測した。その上で、まずは読み方式別に読み困難要因を独立変数、停留時間、停留回数を従属変数として分析を行い、次いで、文字領域と図譜領域の領域別に読み困難要因を独立変数として分析を行った。

停留の検出はTobii pro labのI-VTフィルターを適用した。設定値は両眼平均座標を用い、3点移動平均による平滑化処理を行った後、MTBF (max time between fixation) を75ms、MABF (max angle between fixation) を角速度0.5 degrees / s (Komogortsev, Gobert, Jayarathna, Koh, & Gowda, 2010)、MFDP (minimum fixation duration' parameter) は60ms (Radach, Huestegge, & Reilly, 2008)として停留点を定義した。停留時間は1ページ内の各停留時間の平均である平均停留時間を、停留回数は停留した回数を用いた。それぞれ、1ページ内で指定した文字領域または図譜領域内の眼球運動パターンを分析の対象とした。統計処理には、R ver. 4.1.0を用いた。

8. 研究倫理

本研究は、広島大学大学院人間社会科学研究科倫理審査委員会の承認を2023年7月に受けた（HR-

ES-001022）。本研究の責任者（筆頭著者）は国立研究開発法人国立がん研究センターが実施する「臨床研究継続研修講座2022」（ICRweb）を受講し、2023年5月19日に修了した。

III. 結果

実験参加者の状況をTable 2に示した。視力は0.7(B評定)以上であった。屈折は-2.25Dから+0.75Dであり、平均は-0.40Dであった。分析にあたっては、小学3・4年を中学年、小学5・6年を高学年として取り扱った。また、視線計測時に視線計測機の視野カメラに読み素材全体が納まらない場合は、視線のマッピングを行えなかったため、最終的に分析対象となったサンプル数はTable 3の通りとなった。正規性が確認されなかったためノンパラメトリック手法を用いた統計処理を行った。

Table 2 実験参加者の人数

学年	読み困難なし	読み困難あり
3	6	3
4	6	1
5	5	1
6	2	1
合計	19	6

1. 文字領域の視線運動の結果

読み上げ方式別に読み困難の影響を確かめるために、学年（中学年、高学年）及び読み方式（紙音読条件、デ音読条件、デ読上条件）別に、読み困難あり群と読み困難なし群間の従属変数の差異を検討した。分析対象は文章領域であった。結果をFig. 1に示した。平均停留時間についてウィルコクソンの符号順位検定を行った結果、中学年及び高学年の紙音読条件でのみ読み困難あり群よりもなし群の平均停留時間が有意に長かった（ $W = 80, p < .05$; $W = 26.5, p < .05$ ）。

停留回数を従属変数にして同様の分析を行った結果、中学年のデ読上条件において読み困難あり群より読み困難なし群で低値に、高学年のデ音読条件で読み困難あり群より読み困難なし群で高値となった（ $W = 454, p < .05$; $W = 60, p < .05$ ）。

2. 図譜領域の視線運動の結果

分析対象を図譜領域にして統計的に検討した結果、

Table 3 視線計測のサンプル数及び中央値

学年	要素	条件	読み困難	サンプル数	平均停留時間	停留回数
中学年	文章	紙音読条件	なし	33	91.0	106.0
		デ音読条件	なし	41	109.0	22.0
		デ読上条件	なし	47	132.0	124.0
	図譜	紙音読条件	なし	28	8.0	29.0
		デ音読条件	なし	40	5.5	104.0
		デ読上条件	なし	47	15.0	20.0
高学年	文章	紙音読条件	なし	25	176.0	50.0
		デ音読条件	なし	29	106.0	13.0
		デ読上条件	なし	28	138.0	102.0
	図譜	紙音読条件	なし	17	3.0	11.0
		デ音読条件	なし	25	4.0	96.0
		デ読上条件	なし	27	13.0	9.0
中学年	文章	紙音読条件	あり	9	140.0	11.0
		デ音読条件	あり	13	104.0	20.0
		デ読上条件	あり	14	105.0	13.0
	図譜	紙音読条件	あり	8	8.0	31.0
		デ音読条件	あり	9	4.0	19.0
		デ読上条件	あり	14	7.5	12.5
高学年	文章	紙音読条件	あり	5	272.0	8.0
		デ音読条件	あり	9	104.0	110.0
		デ読上条件	あり	6	121.5	141.5
	図譜	紙音読条件	あり	3	1.0	24.0
		デ音読条件	あり	6	8.0	142.0
		デ読上条件	あり	6	6.0	124.5

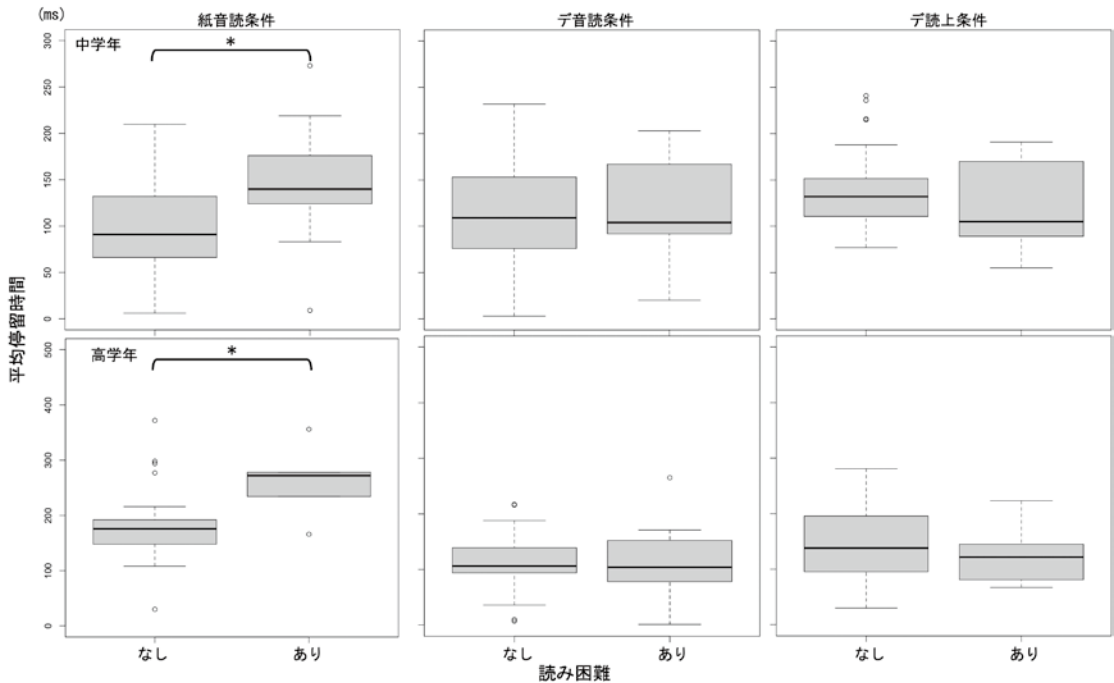


Fig. 1 文字領域の平均停留時間の結果

高学年のデ読上条件において、読み困難なし群は、あり群よりも平均停留時間が有意に低下していた ($W=123, p < .05$)。従属変数を停留回数にして分析した結果は、同じく高学年のデ読上条件において読み困難なし群は読み困難あり群より有意に小さい結果であった ($W = 25, p < .05$)。

IV. 考察

紙の教科書を音読する条件（紙音読条件）、デジタル教科書を音読する条件（デ音読条件）、デジタル教科書を音声で読み上げ聴く条件（デ読上条件）のそれぞれにおいて読み困難の有無が平均停留時間及び停留回数といった眼球運動パターンに与える影響を検討した。

視線を計測するため日常的に眼鏡を利用している参加者には眼鏡を装用しないで実験に参加してもらった。そのため屈折と視力を測定したが、40cmの近業で視力が著しく低下するような屈折の状態が見られず、40cmの視距離で視力を測定した結果からもそれは裏付けられ、実験での視覚的環境は本を読むのに統制されていたと考えられる。

紙教科書を音読した条件では、中学年及び高学年の両方において、読み困難あり群よりもなし群の停留時間が有意に延長していた。この結果は先行研究（Biscaldi, Gezeck, & Stuhr, 1998; Elterman, Daroff, & Bornstein, 1980）と一致しており、本研究で用いた刺激や測定条件の妥当性及び読み困難の基準の妥当性を支持する根拠となる。一方、デジタル教科書を音読または音声読み上げさせることで、両群間の停留時間の有意差はみられなかったことから、デジタル教科書を利用することにより、停留時間を短縮する何らかの効果が示唆された。特にデ読上条件で有意差がみられなかったことは、ハイライト・読み上げにより読み困難のある小学生の眼球運動パターンが定型発達の子供に類似してきたといった知見（金森ら, 2010）を支持する。また、ハイライト・読み上げのコンテンツを利用することで読み困難のある中学生の国語の読解が促進された知見（水内ら, 2008）は、本研究でみられた停留回数の有意差が限定的にしか見られなかったことと関係があるかもしれない。本研究は中学年のデ読上条件において読み困難あり群よりも、なし群の停留回数の有意な減少を確認した。同条件は合成音声で読み上げるため文字を確実に目で追わなくても文字情報を取得することが可能である。水内ら（2008）が対象にし

た中学生も同様の方略で読み内容の理解を促進させたのかもしれない。本研究ではデジタル教科書において読み困難度の有意な効果がみられなかった。本実験において、紙教科書とデジタル教科書の相違点は、紙は紙面を見開きにしていたのに対して、デジタルは単票表示であったこと、紙面サイズがデジタルの方が小さかったこと、紙教科書は紙面の操作や教科書の両手による保持を伴うのに対し、デジタル教科書はページめくりの際のフリック操作のみであったことであった。例えば、教科書の保持や操作のため読みの紙教科書を読む際の参加者の認知的リソースが減ったとか、デジタルは画面の輝度が均一であったなど、様々にその原因を想像できるが、本研究ではその理由を特定する情報までは得られていない。特に興味深いのは、稲垣基準は音韻変換（decode）の機能を主に評価しているのだが、デジタル教科書の音読においても読み困難の2群間で停留時間の有意差が認められなかったことである。これらの点については今後の研究での解明が必要である。

図譜領域の停留時間と停留回数について、読み困難の有無の2群間で有意差がみられたのは高学年のデ読上条件であり、停留時間においては読み困難あり群がなし群よりも有意に長く、停留回数では読み困難あり群はなし群よりも有意に少なかった。高学年の教科書は地図や図形などが多いため、写真のように漠然と見るよりも、内容を文字により読み取ることが要求されるため、読み困難のある群では停留時間を短くし停留回数を増やす方法で図譜を見たのかもしれない。あるいは、デジタル教科書の読上げがあることで、読み上げの音を聞きながら図譜を参照することができた可能性もある。いずれにしても、高学年のデ読上条件以外において読み困難の有無の効果がみられなかったことは、文字と違い、図譜を見るときの停留時間や停留回数には、読みの困難度が与える影響は小さいことが示唆される。

本研究は読み方式条件の順序効果に対するカウンターバランスをとったが、読み素材と読み方式の対応は固定していた。そのため、読み方式間の有意差に言及することはできない。今後はこの点を考慮したデザインで研究を計画することを検討することで、本研究を発展させることができる。また、紙とデジタルでの停留時間の効果の表れ方については、さらに条件を統制した研究を行うことで、より発展した研究につながることが期待できる。特に、デジタル教科書のどの機能が読み困難のある人の読みに貢献するのかについて

検討することが望まれる。本研究はそれらの研究の前段階として、紙の教科書、デジタル教科書の音読と読上げの3条件において、読み困難の有無が眼球運動に与える影響を実際の教科書で示した点で学校教育への貢献の示唆を提供できると考える。

謝 辞

実験に参加していただいた小学生の皆様にご感謝申し上げます。本実験の実施に尽力いただいた研究補助職員の川本 夢氏、要約の英訳を担当いただいた研究員の辻 佑子氏にご感謝申し上げます。本研究はJSPS科学研究費補助金基盤 (B) (21H0088800; 21H00866) の助成を受けました。

利益相反

本研究の責任者は、本研究で使用している教科書を製作する光村図書株式会社から教科書及びデジタル教科書業務の兼業に係る報酬を受領しています (利益相反基準: B-2)。しかし、こちらは業務に対する正当な報酬であり、その回数、総額等の観点から見ても研究結果を同社に都合のよいものになるよう導いたりすることはありません。

文 献

American Psychiatric Association (2013) *DIAGNOSTIC AND STATISTICAL MANUAL OF MENTAL DISORDERS FIFTH EDITION*. American Psychiatric Publishing, VA, USA, 高橋 三郎・大野 裕 (2014) DSM-5 精神疾患の診断・統計マニュアル. 医学書院, 東京・日本, 65-73.

Biscaldi, M., Gezeck, S., & Stuhr, V. (1998) Poor saccadic control correlates with dyslexia. *Neuropsychologia*, 36, 1189-1202.

Elterman, R. D., Daroff, R. B., & Bornstein, J. L. (1980). Eye movement patterns in dyslexic children. *Journal of Learning Disabilities*, 13, 11-

16.

Hutzler, F. & Wimmer, H. (2004) Eye movements of dyslexic children when reading in a regular orthography. *Brain and Language*, 89, 235-242.

稲垣真澄 (2010) 特異的発達障害診断・治療のための実践ガイドライン. 診断と治療社, 日本, 2-22.

金森裕治・山崎愛子・田中直壽・松下幹夫・赤瀬瞳・平峰厚正 (2010) 特別支援教育におけるマルチメディアデイジー教科書の導入・活用に関する実践的研究. 大阪教育大学紀要, 1, 65-80.

Komogortsev, O. V., Gobert, D. V., Jayarathna, S., Koh, D. H., & Gowda, S. M. (2010) Standardization of Automated Analyses of Oculomotor Fixation and Saccadic Behaviors. *Biomedical Engineering*, 57, 2635 - 2645.

Lefton, L. A., Nagle, R. J., Johnson, G., & Fisher, D.F. (1979) Eye movement dynamics of good and poor readers: Then and now. *Journal of Reading Behavior*, 11, 319-328.

水内豊和・小林 真・森田信一 (2008) マルチメディア DAISY を用いた LD 児の学習支援. 富山大学人間発達科学研究実践総合センター紀要教育実践研究, 2, 23-27.

Radach, R., Huestegge, L., & Reilly, R. (2008) The role of global top-down factors in local eye-movement control in reading. *Psychological Research*, 72, 675-688.

Rayner, K. (1985). Do faulty eye movements cause dyslexia? *Developmental Neuropsychology*, 1, 3-15.

Rayner, K. (1998) Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124, 372-422.

Vitu, F., McConkie, G. W., Kerr, P., & O'Regan, J. K. (2001) Location effects on fixation durations during reading: an inverted optimal viewing position effect. *Vision Research*, 41, 3513-3533.

(2023. 12. 6受理)

Comparison of Eye Movements for Reading Paper and Digital Textbooks: Preliminary Study Focusing on Difficulty in Reading

Kazuhito UJIMA

Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University

Mai IMAZU

Division of Educational Sciences, Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University

We have studied the effects of having a reading difficulty on eye movement behaviors such as average duration and number of fixations in three different reading conditions: AP, where participants read paper textbooks aloud; AD, where they read digital textbooks aloud; and SD, where they read digital textbooks silently and follow where the synthesized voice is reading with their eyes. The subjects of this study were 19 skilled readers and six poor readers in the third to sixth grade of primary school. The participants were asked to read textbooks on moral education and Japanese published by Mitsumura Tosho Publishing Co., Ltd. in paper and digital forms, in the above three conditions. Eye movement information was sampled by Tobii Glass 3 with the sampling rate of 120Hz. We were able to map 489 textbook pages and analyzed the eye movements of these pages. Participants were categorized into two groups: a middle-year group with third and fourth grade students, and an older-year group with fifth and sixth grade students. The smaller the difference in duration, the more similar the eye movement of poor readers is to that of skilled readers. In both groups, poor readers showed significantly longer average duration of fixation ($p < .05$) under the AP condition. In other words, poor readers showed a longer duration of fixation on text than skilled readers did when reading paper textbooks. No significant difference was recorded for the average duration of fixation between conditions AD and SD. For this study, we used real textbooks and allowed participants to read in conditions similar to their normal reading styles, so we cannot investigate more precisely than the above at this time. The results provide an indication that digital textbooks may have positive effects on poor readers' reading.

Keywords: digital textbook, gaze, fixation duration