

ディスレクシアと眼球運動： 発達性ディスレクシア児における眼球運動分析からの示唆

Dyslexia and Eye Movement:
Suggestions based on Analysis of Eye Movement of Developmental
Dyslexia Children.

菊野 雄一郎
(保育学科)

キーワード：発達性ディスレクシア、眼球運動、サッケード、読み、追従眼球運動

1. はじめに

本論文では、読み障がいと眼球運動との関係、特に発達性ディスレクシア (Developmental Dyslexia) と眼球運動についての最近の研究を展望したい。第一の目的として、ディスレクシア児の眼球運動の特徴についての研究を展望し、発達性ディスレクシア児にどのような眼球運動の特徴があり、その眼球運動が発達性ディスレクシア児の読み書きの困難さにどのように影響しているのかを明らかにしようとした。第二の目的として、眼球運動を用いることによって発達性ディスレクシア児を診断することの可能性について検討することであった。第三の目的は、眼球運動を中心とした発達性ディスレクシア児の支援の方法についての研究を検討することであった。

2. 読みと眼球運動

眼球運動には、どのような種類があるのであろうか。懸田 (1998) や鶴飼 (1994) などを参考に、主要な眼球運動の種類についてみてみたい。懸田 (1998) は、我々が読書をする際に多様な眼球運動を行っていることを示唆している。主要な眼球運動として、文字や単語を目で追う追従眼球運動 (smooth pursuit, SPM: smooth pursuit eye movement) である。しかし、読書では、この追従眼球運動だけではなく、停留 (fixation) やサッカード (saccade) 運動を繰り返していることを示唆している。追従眼球運動とは、単語や文字・句読点など文のターゲットを中心窩に視線を移動する動きで、スムーズで穏やかな眼球の運動である。また、停留 (fixation) という眼球運動とは、視線を単語・単語間のスペース・句読点等の位置に停留・固定する眼球運動である。サッカード (saccadic eye movement, saccade) は、衝動性眼球運動もしくはサッケードとも呼ばれ

ている眼球運動であり、眼球を一つの視点から別の視点に急激に移動する速い飛越運動である。

また、眼球運動を測定するために使われる検査についてみてみよう。眼球運動を測定する際に、DEM 検査(Developmental Eye Movement Test)が多く用いられる(たとえば、金永・岡・星原・橋本・森・川原, 2014; 奥村・若宮・鈴木・玉井, 2006 など)。奥村・若宮・鈴木・玉井 (2006)によると、DEM 検査は「プレテスト」「テスト A」「テスト B」「テスト C」で構成されている。まず、テスト A とテスト B は数字呼称課題で、眼球運動への負荷の低い課題である。テスト A・B は、文字間隔が狭く、等間隔に並んだ数字列を音読する課題である。テスト C は、眼球運動への負荷の高い課題で、数字を呼称する課題である。テスト C は、文字間隔が広く、不等間隔に並んだ数列を音読する課題である。衝動性眼球運動の正確性は、テスト C の調整タイムをテスト A・B の合計タイムで割った比率で算出できるようになっている。

3. 読みの障がいと眼球運動

本節では、発達性ディスレクシア児の読み行動における眼球運動についての最近の研究について概観したい。また、ADHD 児についての読み行動における眼球運動についても概観したい。

発達性ディスレクシア (Developmental Dyslexia : DD) とは、発達性読み書き障がいである。宇野(2016)によると、発達性ディスレクシアは後天性ディスレクシアと異なり、読みの困難さだけでなく、書くことにも困難さがあるため、発達性読み書き障がいと翻訳されることが多いと述べている。

発達性ディスレクシアは、人口の 5~10%に影響を及ぼすと推定される神経発達読字障がいである (たとえば、Freedman, Molholm, Gray, Belyusar & Foxe, 2017; Nilsson Benfatto, Öqvist Seimyr, Ygge, Pansell, Rydberg. & Jacobson, 2016)。日本語では、ひらがなで 0.2%、カタカナで 1.4%、漢字で 6.9%と報告されている (宇野, 2016)

1) 発達性ディスレクシア児の眼球運動の特徴

文を読むときに、発達性ディスレクシア児と定型発達児との間に眼球運動はどのような違いが見られるのであろうか。奥村・若宮・鈴木・玉井 (2006) は、読みが困難である RD(Reading Disorder)児の眼球運動についての研究を行っている。RD 児の読みの際における衝動性眼球運動を検討した。そこで、小学 4 年生の RD 児と読み能力に問題のない小学 4 年生対象児を研究参加者として、眼球運動を測定・分析している。実験では、Reading 課題と Non-reading 課題の 2 課題を設け、それぞれの課題での眼球運動の軌跡を測定し、

RD 児の読み困難と眼球運動の関係の検討を行っている。

Reading 課題では、文章を黙読させ、黙読中の眼球運動の軌跡を解析している。Non-reading 課題では、以下の 3 つの下位課題を用いてターゲットを追視させた。すなわち、(1)一点を見つめる「注視課題」、(2)交互に点滅する二点を見る「衝動性眼球運動課題(S1 課題)」、(3)行を変えながら左から右に等間隔で移動するターゲットを追視する「衝動性眼球運動課題(S2 課題)」の 3 課題であった。その後、さらに DEM 検査を実施した。

その結果、Reading 課題では、定型発達児に比べ RD 児による return sweep(改行のための右から左への大きな衝動性眼球運動)の間隔が広いことが認められた。また、RD 児は、逆行の衝動性眼球運動(右から左への小さな衝動性眼球運動)の頻度が高く、眼球運動軌跡が不規則であることが認められた。また、衝動性眼球運動の頻度については、RD 児が有意に高かった。さらに、戻り読みをするために行った逆行する衝動性眼球運動の頻度も RD 児が有意に多かった。平均眼球停留時間も RD 児が有意に長かった。Reading 課題で逆行が多かった理由として、RD 児は逐次的読みが多いことを示唆している。

Non-reading 課題では、RD 児群では衝動性眼球運動に障がいが見られ、眼球運動の潜時が遅延していると仮定される。また、DEM 検査では、衝動性眼球運動能力を評価する比率で、定型発達児群に比べ RD 児群の数値が大きかった。

これらの結果から、RD 児の中に「文字・単語読みレベルでの読みに障がいがあり文章読みに困難を示す子ども」、「文字・単語読みに問題はないが衝動性眼球運動などに問題があり文章レベルでの読みに困難を示す子ども」、「両方の問題を持つ子ども」がいることを示唆している。

北條・田角・阿部・花岡・小林・板橋 (2016)は、特異的読字障がい児が読字をする際の視線を分析し、読み方の特徴を分析している。読字障がい児、ADHD 児、定型発達児を研究対象とし、音読検査課題を実施し、読み飛ばしと読み誤りを測定した。さらに、音読検査課題中の視線の動きをアイトラッカーを用いて、注意点の数や視点の停留時間測定した。その結果、読字障がい児、ADHD 児、定型発達児の順に、読み飛ばしと読み誤りが多かった。また、音読検査課題において、読字障がい児の注視点数が定型発達児よりも有意に多かった。これらの結果は、読字障がい児は、注視点が多いことが読み飛ばしと読み誤りに関連していることを示唆している。これらのことが、読字障がい児の読みの困難さの要因の一つになっていることが仮定される。

発達性ディスレクシア児が読字をする単語の意味が読字おける眼球運動に影響するのであろうか。たとえば、綴りに意味がある場合とない場合に、発達性ディスレクシア児の認知処理に違いがあるのであれば、眼球運動にも違いが

あるのでしょうか。金子・宇野・春原・加我・佐々木(2002)は、発達性ディスレクシアを呈する学習障がい児の音読過程における眼球運動パターンを定型発達児と比較している。画面に呈示した仮名有意味綴りと仮名無意味綴りを音読した際の眼球運動をアイトラッカーで記録した。その結果、定型発達児に比べて発達性ディスレクシア児は、有意味綴りと無意味綴りの両条件で音読を始めるまでの時間が有意に長かった。また、眼球運動では、定型発達児群に比べて発達性ディスレクシア児は有意味綴りと無意味綴りの両方で逆行と逐字的読みが有意に多く認められた。この結果は、発達性ディスレクシア児は、音読をする際に、複数の文字形態全体(whole word)をとらえる処理が困難であることを示唆している。

また、Razuk, Barela, Peyre, Gerard & Bucci.(2018)が検討している。Razuk, et al. (2018)は、有意味文字と無意味文字でのディスレクシア児の眼球運動を分析している。ディスレクシア児と非ディスレクシア児を研究対象にして、有意味文字で構成されたテキストとランドルト環(Landolt ring: 視力検査で用いられるランドルト C)で構成された文を読む時の眼球運動を測定した。その結果、テキストを読むのに費やした時間は、非ディスレクシア児よりもディスレクシア児の方が長かったが、ランドルト環を読むのには非ディスレクシア児とディスレクシア児との間に差は見られなかった。これらの結果は、言語的および意味的要因が読解課題に含まれていない場合は、ディスレクシア児は非ディスレクシア児と機能に差が見られないことを示唆している。

追従性眼球運動中におけるサッカードが読みを抑制するのであれば、発達性ディスレクシア児ではサッカードをより多く出現するのではないだろうか。山下・津田 (2006)は、LD 児における読字困難と視線の静定化機能の低下との関連を調べるために、LD 児と健常児の追従性眼球運動中のサッカード数を比較・検討している。その結果、追従性眼球運動中のサッカード数は、定型発達児群に比べ LD 群で有意に多く認められた。この結果は、LD 児はターゲットの移動速度に合わせて眼球運動を適切に行うことが難しいことを示唆している。また、多くの LD 児が、類似した文字の間違いや飛ばし読みなどの視覚的問題を有していることも認められた。この結果について、LD 児は、視覚的情報処理の初期段階である眼球運動機能に問題があり、そのことが読字の困難を生じさせていることを示唆している。

大北 (2016)は、非漢字圏における日本語を学習するベトナムとタイの大学生を対象に、提示された文字刺激が本当にある漢字かどうかの正誤判断を行った。その際の、アイトラックを使った眼球運動、正答率、反応時間、空書行動の有無の関係を検討している。提示される刺激は、曖昧漢字、偽漢字、ハングル文字、部首倒置漢字、真漢字の 5 種類の漢字であった。曖昧漢字は図形的に

わずかな誤りのある字形で、偽漢字は部首と傍の組み合わせが存在しないもので、部首倒置漢字は部首と傍の位置を反転させているものであった。その結果、空所行動をするものほど漢字の内部構造を深く観察することが認められた。また、空所行動をするかどうかによって眼球移動の距離が異なることが認められた。

読字をする際に、冗長な情報や読字を鑑賞する情報があるほど、発達性ディスレクシア児は読字でのサッカードが多くなり、ターゲット文字への停留や追従眼球運動が妨げられるのであろうか。Wu, Yang, Wang, Yang, Hu, Jing & Li (2018)は、発達性ディスレクシア児の眼球運動とストループ課題(the Stroop Color and Word Test: SCWT)の関係を調べている。定型発達児に比べ発達性ディスレクシア児は、ストループ課題の正確度が低く、反応時間も長く、干渉効果も大きかった。また、発達性ディスレクシア児ほど、停留時間は短く、サッカード数が多かった。これらの結果から、サッカードの増加と停留度の低下が DD 児の特徴であることを示唆される。

以上で紹介したディスレクシアと眼球運動についての研究を要約すると、以下のようなになるだろう。(1) ディスレクシア児は、サッカードの頻度が高い、戻り読みをするために行った逆行するサッカードの頻度が高く、眼球運動軌跡の不規則が多く、「平均眼球停留時間」も長い。(2) ディスレクシア児は、読み飛ばしと読み誤りが多かった。注視点数が定型発達児よりも有意に多い。(3) 読み障がい児は有意味綴りと無意味つづりの両方で逆行と逐字的読みが有意に多く認められた。読み障がい児は、音読をする際に、複数の文字形態全体を処理することが困難であることを示唆している。(4) LD 児はターゲットの移動速度に合わせて眼球運動を適切に行うことが難しい。LD 児が、類似した文字の間違いや飛ばし読みなどの視覚的問題を有している。LD 児は、視覚的情報処理の初期段階である眼球運動機能に問題がある。(5) ディスレクシア児ほど、停留(fixation)度は低く、サッカード数が多かった。(6) 有意義なテキストを読む場合、非ディスレクシア児よりもディスレクシア児の読みに費やした時間が長かった。しかし、有意義でないテキストを読む場合、非ディスレクシア児とディスレクシア児との間に差は見られなかった。言語的および意味的要因が読解課題に含まれていない場合は、ディスレクシア児は、非ディスレクシア児と機能に差が見られない。

2) ADHD 児における読み

ADHD 児についての読みと眼球運動の関係を調べた研究が見られる。金永・岡・星原・橋本・森・川原(2014)は、ADHD 児における読みに焦点を当て、文字間隔と行数が眼球運動にどのように影響するのかを検討している。ADHD

児、対象群、斜視群を研究参加者として、DEM 検査を実施した。その結果、文字間隔と行数が、ADHD 児の読みにおける眼球運動に影響していた。しかし、サッカードの速度および停留時間に差は見られなかった。ADHD 児の読みの眼球運動に文字間隔と行数が影響していた。これらの結果から、ADHD 児の視覚教材の文字配列を工夫すること、さらに学習障がいの早期発見と予防を行う必要があることを示唆している。

また、丸久・岡・星原・金永・森・河原 (2016)は、ADHD 児に DEM 検査を測定し、読字に与える視覚的注意の影響について検討している。その結果、ADHD 児の最大停留時間は短く、サッカード数は有意に多かった。この結果から、ADHD 児はサッカードを抑制するために必要な固視時間が短く、視覚的注意の持続が困難になることを示唆している。

ADHD 児における読みについての主な結果は、以下の通りであった。(1) 文字間隔と行数が、ADHD 児の読みでの眼球運動に影響していた。しかし、サッカードの速度および停留時間に差は見られなかった。(2) ADHD 児の停留時間は短く、サッカード数は有意に多かった。

4. 発達性ディスレクシアのスクリーニングとしての眼球運動

これまでの研究から、発達性ディスレクシア児は眼球運動で、非発達性ディスレクシア児とは異なる特徴を示すことが明らかになった。それでは、アイトラック装置を用いて眼球運動の特徴を調べることで、発達性ディスレクシア児をスクリーニングすることは可能であろうか。いくつかの研究では、眼球運動を分析することで、発達性ディスレクシアをスクリーニングする可能性を示唆している (Moiroud, Gerard, Peyre & Bucci, 2018; Nilsson Benfatto, Öqvist Seimyr, Ygge, Pansell, Rydberg & Jacobson, 2016 など)。

たとえば、Moiroud, Gerard, Peyre & Bucci (2018)は、発達性ディスレクシア児を調べるのに DEM 検査が有効なテストであることを示唆している。Moiroud et al. (2018)は、DEM 検査を用いて発達性ディスレクシア児の眼球運動を調べている。発達性ディスレクシア児で構成された「DD 児群」、発達性ディスレクシア児の IQ と生活年齢を一致させた非発達性ディスレクシア児で構成された「IQ 一致群」、DD 児と読書年齢と生活年齢を一致させた非発達性ディスレクシア児で構成された「読書能力一致群」の 3 群で眼球運動を比較した。その結果、「DD 児群」と「読書能力一致群」は、停留時間が有意に長く、DEM 検査を読む時間が長かった。これらの結果から、DEM 検査での眼球運動を調べることで、発達性ディスレクシア児を診断でき、有効なテストであることを示唆している。

また、Nilsson Benfatto, Öqvist Seimyr Ygge, Pansell, Rydberg. &

Jacobson, (2016)は、発達性ディスレクシア児に対する早期の介入が最善の支援形態であるが、リスクにさらされたディスレクシア児を特定するのに有効で効率的かつ客観的な手段がまだ不十分であると考えている。そこで、Nilsson Benfatto et al. (2016)は、2000人以上の子どもを対象に、単語の読みに高リスクを持つ子どもと低リスクの子どもに読書をさせ、読書中のアイトラッキングを調べている。その結果、1分未満の視線を分析することで高リスクの子どもと低リスクの子どもを分類できたことを明らかにしている。この結果から、子どもの眼球運動を分析することで、子どもの読書困難性を高い精度で予測できること、さらに視線分析によって長期的な読字困難のリスクを持つ子どもを識別する有効な手段になることを示唆している。このように、眼球運動を用いて、学校場面で困難さやリスクを抱えるディスレクシア児を早期に発見し、早期の有効な支援に行かされていくことが期待される。

5. 眼球運動から見た発達性ディスレクシア児への支援

それでは、発達性ディスレクシア児に対してどのような支援が可能であろうか。眼球運動の研究から示唆される支援の方法について考えてみたい。眼球運動から示唆されるより具体的な支援に方法を検討する研究がいくつか認められる (Masulli, Galluccio, Gerard, Peyre, Rovetta & Bucci, 2018; Razuk, Perrin-Fievez, Gerard, Peyre, Barela. & Bucci, 2018; Razuk, Barela, Peyre, Gerard & Bucci, 2018 など)。

発達性ディスレクシア児が読む文の文字の大きさや単語や文字の間隔を操作することが読みの支援につながるのではないだろうか。Masulli, Galluccio, Gerard, Peyre, Rovetta & Bucci, (2018)は、この点に注目してディスレクシア児の支援について検討している。Masulli, et al. (2018)は、ディスレクシア児と非ディスレクシア児を研究協力者として、文字の大きさなどが読みへどのような効果を持つのかを、眼球運動を用いて調べている。フォントの大きさや単語の間隔が異なった4行の文を両群の子どもに読ませ、その時に眼球運動を調べている。その結果、フォントサイズと文字間隔を大きくすると、全ての子どもで凝視の持続時間が大きく短縮され、プロサクケードの数と振幅が増加した。また、文字間隔を大きく空けた文を読む条件では、ディスレクシア児および非ディスレクシア児の凝視の持続時間が減少し、非ディスレクシア児と差が見られなかった。この結果は、単語や文字間隔をあけることが、ディスレクシア児の読解力を支援するために有効であることを示唆している。

色のついたフィルターを使うことがディスレクシア児にとって有効であることが Razuk, Perrin-Fievez, Gerard, Peyre, Barela & Bucci (2018)によって明らかになっている。Razuk, et al. (2018)は、色付きのフィルターがディス

レクシア児の読書行動（reading performance）と眼球運動の制御にどのような効果があるのかを検討している。ディスレクシア児と非ディスレクシア児を研究参加者として、フィルターなし条件、黄色のフィルターあり条件、緑色のフィルターあり条件の 3 つのフィルター条件の元で文を読字させ、アイトラッカーで眼球運動を記録した。その結果、非ディスレクシア児に比べディスレクシア児は緑のフィルター条件で最も速く読むことができ、固定時間も最も短かった。この結果は、緑のフィルターを使うことによってディスレクシア児の読書行動を改善できることを示唆している。この結果について、Razuk らは緑色のフィルターが皮質活動を促進し、視覚的歪みを減少させる可能性が最も高くなるからではないかと仮定している。

文を読む場合の姿勢がディスレクシア児の文字の読みに影響がないだろうか。この点について、Razuk, Barela, Peyre, Gerard & Bucci.(2018)が検討している。Razuk, et al. (2018)は、読字姿勢と眼球運動との関係を分析している。ディスレクシア児と非ディスレクシア児を研究対象にして、文を座って読む場合と立って読む時における眼球運動を測定した。その結果、ディスレクシア児は、立った状態に比べて座った状態でより停留時間（fixation）が長かった。

以上の研究から、ディスレクシア児に対する具体的な支援の方法が示唆される。具体的には、文に使用される文字の大きさ、文字の間隔など読む材料や提示の仕方を操作すること、フィルターなど読みの環境を操作すること、読字姿勢などを工夫することが、ディスレクシア児にとっては有効であることが示唆された。これらの示唆を学校現場などとの協力で実践・応用されることで、ディスレクシア児の支援になることが期待される。

6. まとめと今後の課題

本論文では、ディスレクシア児の眼球運動の特徴、眼球運動によるディスレクシア児の診断の可能性、ディスレクシア児の支援の方法についてこれまでの研究を概観してきた。今後の課題としては、研究のさらなる質と量の増加、神経系と眼球運動、読字障がいの関係についての更なる解明が必要である。特に、ディスレクシア児の眼球運動が、生理的要因によるものであるのか、それとも意味理解や認知の仕方など認知的要因によるものかを明らかにすることは重要である。また、どのような支援の仕方が有効であるのかについては、実際の現場や家庭で行われている実践などを参考として、支援方法を分析し検討することで、現場と研究機関との連携でより緻密で有効な方法を開発することも重要なことである。

引用文献

- Freedman,E.G., Molholm,S., Gray,M.J., Belyusar,D. & Foxe,J.F. (2017) Saccade Adaptation Deficits in Developmental Dyslexia Suggest Disruption of Cerebellar-Dependent Learning. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 9 (1), 36
- 懸田孝一(1998) 読書時の単語認知過程：眼球運動を指標とした研究の概観. 北海道大学文学部紀要, 46(3), 155-192
- 金子真人・宇野彰・春原則子・加我牧子・佐々木征行 (2002) 仮名読み書き障害を呈する学習障害児の音読過程における眼球運動の軌跡. 音声言語医学 43: 295-301,
- 金永圭祐・岡真由美・星原徳子・橋本真代・森壽子・川原正明 (2014) 注意欠陥多動性障害児における読みの眼球運動と文字配列の関係 日本視能矯正学会 43, 249-255.
- 北條彰・田角勝・阿部祥英・花岡健太郎・小林梢・板橋家頭夫(2016) 特異的読字障害児の音読における視線の特徴. 昭和学会誌, 76, 598-606.
- Masulli, F., Galluccio, M., Gerard, C.L., Peyre, H., Rovetta, S. & Bucci, M.P. (2018) Effect of different font sizes and of spaces between words on eye movement performance: An eye tracker study in dyslexic and non-dyslexic children. *Vision Research*, 153:24-29.
- 丸久友理子・岡真由美・星原徳子・金永圭祐・森壽子・河原正明(2016) 注意欠如多動性障害 (ADHD) 児における眼球運動が読字に及ぼす影響, 日本視能訓練士協会誌 45(0), 79-86
- Moiroud, L., Gerard, C.L., Peyre, H. & Bucci, M.P. (2018) Developmental Eye Movement test and dyslexic children: A pilot study with eye movement recordings. *PLoS One*. 13
- Nilsson Benfatto, M., Öqvist Seimyr G., Ygge, J., Pansell, T., Rydberg, A. & Jacobson, C. (2016) Screening for Dyslexia Using Eye Tracking during Reading. *PLoS One*. 11(12)
- 奥村智人・若宮英司・鈴木周平・玉井浩(2006) Reading disorder 児における衝動性眼球運動の検討. 脳と発達, 38, 347-352.
- 大北葉子(2016) 非漢字圏日本語学習者の漢字正誤判断時の眼球運動と空書行動. 日本認知心理学会発表論文集 2016(0), 13
- Razuk M., Barela,J.A., Peyre,H. Gerard,C.L. & Bucci,M.P.(2018) Eye Movement and Postural Sway in Dyslexic Children During Sitting and Standing. *Neuroscience Letters*, 686, 53-58.
- Razuk M., Barela,J.A., Peyre,H. , Gerard,C.L. & Bucci, M.P. (2018) Eye

- Movements and Postural Control in Dyslexic Children Performing Different Visual Tasks. *PLos One*, 13
- Razuk, M., Perrin-Fievez, F., Gerard, C.L., Peyre, H., Barela J.A. & Bucci, M.P. (2018) Effect of Colored Filters on Reading Capabilities in Dyslexic Children. *Research in Developmental Disabilities*, 83, 1-7.
- 田中哲平(2017) 読み中の能動的アノテーションにワーキングメモリが及ぼす影響. 京都大学大学院教育学研究科紀要, 63: 581-591
- 鵜飼一彦 (1994) 眼球運動の種類とその測定 光学, 23, 2-8.
- 宇野彰(2016) 発達性読み書き障害. 高次脳機能研究 36, 170~176
- Wu, Y.J., Yang, W.H., Wang, Q.X., Yang, S., Hu, X.Y., Jing, J. & Li, X.H. (2018) Eye-movement Patterns of Chinese Children with Developmental Dyslexia during the Stroop Test. *Biomedical and Environmental Sciences*, 31, 677-685.
- 山下史美子・津田彰(2006) 学習障害周辺児にみられる読字困難と追従性眼球運動の関連. 心理学会大会発表論文集 70, 142