

原 著

障害児・者の視線分析 —非接触眼球運動測定装置を用いた場合の検討—

永井伸幸*・中田英雄**

障害児研究における視線の分析に、非接触眼球運動測定装置が利用可能であるか、検討を行った。4歳の男児1名、6歳の女児1名、22歳の男性1名の眼球運動の測定を通して、装置の長所短所を検討した。その結果、年齢が低く、動作の制限を加えにくい被験者でも眼球運動の測定は可能であった。主な短所として、ディスプレイ上に刺激を呈示しなければならないという制限があること、時間分解能が低いことなどが挙げられた。しかし、測定時の拘束感の軽減、準備時間の短縮などによって、従来の方法では測定が困難であった対象者を被験者とすることができると考えられた。

キー・ワード：視線分析 障害児・者 非接触眼球運動測定装置

1. はじめに

人間の視覚は、視覚情報の空間分解能が高い中心視と時間分解能が高い周辺視という2つの特性をもっており、一定期間眼球を停留し、視対象を中心視でとらえる注視、移動する視対象を連続的に注視する追視、そして周辺視でとらえた対象を中心視に運ぶ衝動性眼球運動と呼ばれる急速な眼球運動によって、外界の情報を視覚的に取り入れている。この注視と衝動性眼球運動の組み合わせのパターン、すなわち視覚的走査パターンは、人の情報処理過程や認知過程を解明するための一つの指標として取り上げられている。

本邦の障害児研究においても、視覚走査パターンの分析による、精神遅滞者の図形探索や絵画鑑賞における情報処理過程の研究（前川、1980¹⁾；大森・尾崎・鈴木、1993²⁾）や弱視者の絵画鑑賞における情報処理過程の研究（中田・柿沢・金城・谷村、1986³⁾；中田・柿沢・谷村、

1987⁶⁾）、あるいは聴覚障害者の字幕読み取り過程の分析（四日市・中田・柿沢、1995¹⁰⁾；四日市、1999¹¹⁾）などが行われている。

ところで、近年、被験者の身体に何も装着せずに、またバイトバーなどによる強固な頭部固定をすることなく眼球運動を測定できる装置が開発されている。ここではそれを非接触眼球運動測定装置あるいは非接触法と呼ぶこととする。以前よりそうした方式の装置が考案・使用されていたが（伊藤、1983²⁾）、それらは、その装置を開発するための知識・技術を持つ研究室しか制作、使用することのできないものであった。しかし、これまでの知見の蓄積や技術の進歩により、非接触眼球運動測定装置が一般の研究室でも使用できるようになってきた。

障害児の眼球運動を測定する場合、非接触法は被験者に余分な恐怖感や拘束感を与えないという利点がある（伊藤、1983²⁾）。また、器具の装着や頭部固定の過程が省略されるため、準備時間が短縮されるという利点もある。それゆえ、従来の装置では身体的、時間的拘束が必要だったために測定が不可能であった被験者を対象と

*筑波大学心身障害学研究科

**筑波大学心身障害学系

し、彼らの認知機能や行動特性を、新たに眼球運動の分析という視点からとらえることが可能となった。また、障害の有無にかかわらず児童を対象とする場合、バイトバーなどによる頭部の強固な固定を強いる方法には被験児の親の理解が得られにくいという問題 (Hainline, 1988¹¹⁾)があるが、非接触にすることで回避することができると考えられる。

本研究では、非接触眼球運動測定装置による障害児の視線分析の予備的研究として、健常児童および成人を被験者として実験を行った。そして、非接触眼球運動測定装置について、従来の装置と比較してどのような長所があるか、また、どのような測定上の問題点 (短所) があるか、を検討した。

II. 非接触眼球運動測定装置について

1. 本研究で用いた装置の特徴

本研究で用いた非接触眼球運動測定装置 (竹井機器工業製、T. K. K. 2920) は、被験者の前方に配置したカメラにより単眼を撮影し、その眼球映像から自動的に瞳孔と光源の角膜反射像 (プルキンエ像) を抽出して処理し、視線を求める方式を用いている。

本装置の特徴として、バイトバーなどによる厳密な頭部の固定が必要無く、頭部に何も装着しなくてよいという長所と、刺激がディスプレイにしか呈示できない、呈示距離・位置に制限がある、時間分解能が低い (30 Hz) ため、眼球運動の動特性の分析には向いていないという短所がある。

2. 頭部運動が眼球運動の記録に及ぼす影響

本装置は被験者の前方からカメラで眼球を捕捉する方法を用いているため、被験者の頭部に器具を装着する装置とは頭部運動の影響の現れ方が異なる。Fig. 1 は、1名の被験者について、頭部を左右に振りながら一点を注視している際の眼球運動を、非接触法とともに、眼の周囲に電極を装着して測定する EOG 法で同時に記録したものである。EOG 法では、頭部を右に振ると眼球は注視を維持するために左方向へ回転

し、左に振ると右方向へ回転している様子が記録されている。一方、非接触法では、眼球を頭部と反対方向へ回転させることで、注視が維持されている様子が記録されている。このことから、EOG 法は顔面を基準とする眼球の位置 (視線方向) とその推移を検出するのに対して、本装置では、視対象のどこを見ているかという注視点の位置とその推移の測定を行っていることが分かる。すなわち、読書時や絵画鑑賞時の停留位置の分析に適しているといえる。

III. 非接触眼球運動測定装置による実験

時間的・身体的拘束感が低いという利点のある本装置によって、頭部への器具の装着や頭部を固定した条件での測定が困難な幼児と児童を対象として、彼らの眼球運動の測定を試みた。

1. 方法

4歳の男児1名、6歳の女児1名、22歳の男性1名を被験者とした。被験児が興味を持つ課題として、パーソナルコンピュータ (Apple Macintosh G 3 DT 300) のビデオゲーム (インベーダーゲーム、Invaders! 1.2) を用いた。このゲームは、画面下部に位置する戦闘機を被験者が左右に操作しながら弾丸を発射し、画面上部に出現し移動するインベーダーを射落とすものである。顎台を用いて被験者の頭部の位置を固定したが、顎台から外れない程度の頭部運動は許可した。被験者の前方 70 cm から課題を呈示した。非接触眼球運動測定装置 (竹井機器工業製、T. K. K. 2920) を用いて被験者の右眼の眼球運動を測定した。

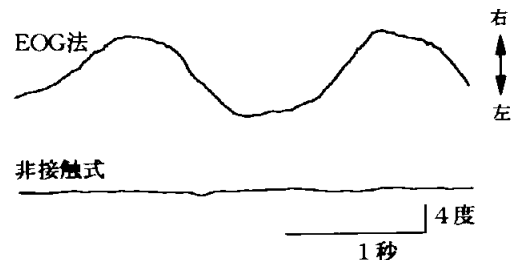


Fig. 1 視角約40分の視標を固視しながら頭部を左右に約10度回転した際の眼球運動波形

2. 結果と考察

3名とも眼球運動の測定は可能であった。また、本装置での較正は、被験者が画面上の5つの点を順に注視することによって自動的に行うが、4歳の男児はこの行為が言語教示のみではうまく行えなかった。しかし、実験者が較正視標を指さして子供に声かけすることによって、較正を行うことができた。

各被験者について、サンプリング時間 30 Hz で記録された眼球位置の記録をグラフ化し、走査パターンを求めた。Fig. 2 に、各被験者のインベーターを打ち落とす直前の5秒間の走査パターンを示した。図中の点は注視点を表している。山田・福田 (1986⁹⁾) の定義に従い、注視点の基準は、眼球運動の速度が毎秒 5° 以下の場合とした。

3名の走査パターンを比較すると、4歳児は移動している標的を追視する場面が見られたが、6歳児と成人は衝動性眼球運動によって注視点を移動させる方略を用いていた。また、4歳と6歳の被験児は、標的であるインベーターの動きを追うように視点を移していたが、成人被験者は、視点をあまり動かさず、標的を待つという方略の違いが示された。Shapiro and Raymond (1989¹⁰⁾) のビデオゲーム中の眼球運動の分析では、効率的に課題を行う群はそうでない群よりも注視回数が少ない、すなわち視線移動が少ないことが示されており、本実験の成人被験者も、同様の方略で効率的に課題を行っていたと考えられる。このように、本装置で得られた眼球運動記録から、視覚課題遂行中の視対象の時間的、空間的なサンプリング方略の検討が可能であると考えられる。

IV. 非接触眼球運動測定装置の長所・短所

上記の実験から非接触眼球運動測定装置については、すでに述べたように、頭部に何も装着しない、厳密な頭部の固定をしなくてよい、他の方法と比較して測定準備に要する時間が短縮される、という利点を確認された。また、EOG法による測定を受けた経験のある成人被験者

は、本装置によって時間的にも身体的にも拘束感が軽減したことを被験者の立場から高く評価していた。

しかしながら、本装置での測定実験から、以下のような短所も明らかとなった。すなわち、

- ①. 刺激がディスプレイでしか呈示できない
- ②. 呈示距離・位置に制限がある
- ③. 較正視標への被験者の自発的な注視が必要である

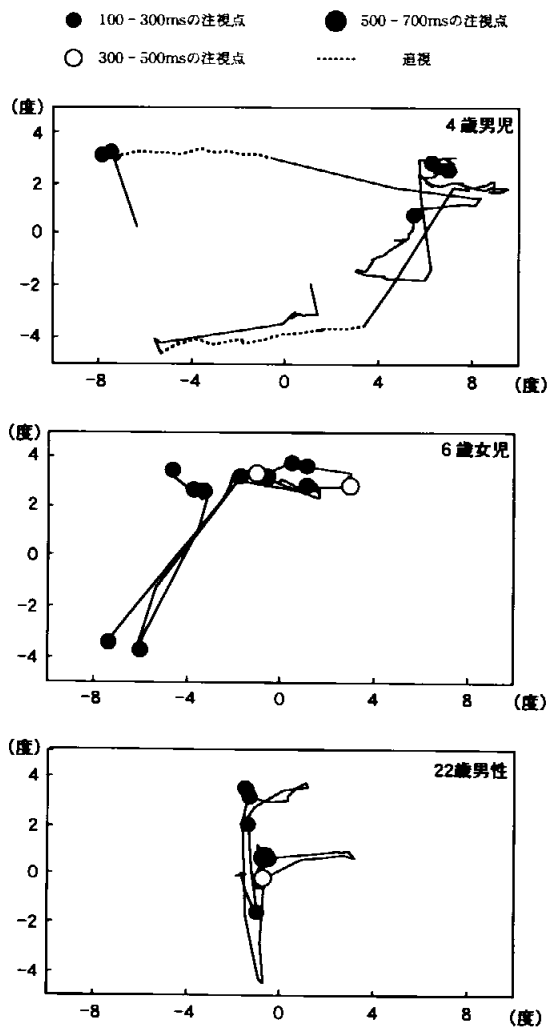


Fig. 2 各被験者の5秒間の視覚走査パターン

図の下部に視線があるのは被験者の操作する戦闘機を、上部に視点があるのは移動するインベーターを見ていることを示している。

④. 瞳孔の自動捕捉がはずれることがある

⑤. 時間分解能が低い

などである。

刺激呈示がディスプレイに限定されるため、呈示できる刺激の種類が制限される。例えば、コンピュータに接続したCRTディスプレイによる刺激呈示、ビデオやコンピュータを利用した絵画や読材料などの呈示は可能である。しかし、ディスプレイを用いない条件での描画や書字などの作業中の眼球運動は測定できない。

また、実験では幼児の較正に配慮が必要であった。本装置を含め従来の装置の較正では、被験者にあらかじめ設定した位置の視標を注視させる方法を用いる。それゆえ、被験者がその意図を理解し、視標を注視しなければ較正が行えない。しかし、視標の呈示だけでは較正不可能な場合でも、本実験のように指さしと声かけ、あるいは色を変えながら点滅する視標の呈示や、注視を促す声かけなど(伊藤, 1987³⁾)をすることで、較正が可能となる被験者もいる。本装置では、較正後は眼球運動の自動的な測定が可能であるので、いかにして正確な較正を行うかが重要となる。

さらに、本装置は瞳孔とプルキンエ像を赤外線反射によって捕捉しているが、時として測定中に眼の周辺部の反射光を誤って捕捉することが見受けられた。この点については、実験室の照明の配置など実験環境を整えることで改善できると考えられる。

加えて、ビデオ画像を用いる測定法に附随する問題点として、サンプリング周波数の粗さがある。本装置のサンプリング周波数は30 Hzであり、約33 msおきにデータが記録されている。したがって、測定において最大33 msの誤差を含むことになり、反応時間、最大速度や持続時間などの高い時間的精度が要求される眼球運動の動特性の分析には適していない。

VI. 本装置の障害児・者への適用の可能性

これらの点を総合して考えると、これまで眼球運動測定が困難であると考えられてきた、実

験に対する集中力が弱く、一定時間の頭部の固定が困難な障害幼児や児童、また身体的な条件から、一定時間姿勢を維持したり頭部の位置を保持したりすることが困難な障害者に関しても、眼球運動測定を通して、彼らの知覚や認知の過程を実験的に明らかにしていくことが可能となるであろう。

VII. おわりに

障害児研究における視覚的走査パターン、すなわち視線の分析に非接触眼球運動測定装置が利用可能であるか、4歳の幼児、6歳の児童および22歳の成人を被験者として検討を行った。その結果、幼児・児童ともに測定は可能であり、データの分析結果から、視覚作業中の時間的、空間的なサンプリング方略の成人との違いをとらえることができた。

また、刺激の種類や時間的精度の低さなどの留意点があるが、非接触眼球運動測定装置の長所である測定時の拘束感の軽減や、時間の短縮などによって、これまで測定することのできなかった種々の障害児・者を対象とすることが可能になると考えられる。

ところで、今回用いた機種は一種類のみであり、すべての非接触眼球運動測定装置の性能、特性を代表しているわけではない。用いる機種によって、刺激呈示の方法や時間的、空間的精度に違いがあると考えられるので、それぞれの装置の特性を把握した上で、適切な課題を用いて適切な指標で分析する必要がある。

文献

- 1) Hainline, L. (1988) Normal lifespan developmental changes in saccadic and pursuit eye movements. In Johnston, C. W. and Pirozolo, F. J. (Eds) Neuropsychology of eye movements. New Jersey, LEA.
- 2) 伊藤英夫(1983)発達障害児の眼球運動測定法. 東京学芸大学特殊教育研究施設報告, 33, 21-34.
- 3) 伊藤英夫(1987)自閉性発達障害児の眼球運動

- 自閉児用アイカメラ・システムと EOG の同時測定を試み—。東京学芸大学特殊教育研究施設報告, 37, 73-81.
- 4) 前川久男(1980)精神遅滞児の視覚的探索活動—絵画刺激の解釈との関連から—。特殊教育学研究, 18(2), 34-43.
 - 5) 中田英雄・柿沢敏文・金城 悟・谷村 裕(1986)弱視者の眼球運動と視知覚・認知—眼球運動測定の検討—。第12回感覚代行シンポジウム論文集, 104-109.
 - 6) 中田英雄・柿沢敏文・谷村 裕(1987)眼球運動からみた弱視者の視覚探索特性。日本特殊教育学会第25回大会発表論文集, 26-27.
 - 7) 大森美代・尾崎久記・鈴木宏哉(1993)精神遅滞児の幾何学図形探索における視線移動の検討。特殊教育学研究, 31(3), 9-16.
 - 8) Shapiro, K. L. and Raymond, J. E. (1989) Training of efficient oculomotor strategies enhances skill acquisition. *Acta Psychologica*, 71(1-3), 217-242.
 - 9) 山田光穂・福田忠彦(1986)画像における注視点の定義と画像分析への応用。電子情報通信学会論文誌, J69-D, 1335-1341.
 - 10) 四日市章・中田英雄・柿沢敏文(1995)聴覚障害児の字幕読み時の眼球運動—1 停留当たりの読み取り文字数—。第21回感覚代行シンポジウム論文集, 39-42.
 - 11) 四日市章(1999)聴覚障害児における字幕付番組視聴時の眼球運動。音声言語医学, 40(2), 126-132.

**Study of Scanpath on Persons with Disability :
Examination of the Remote Eye Movement Measurement System**

Nobuyuki NAGAI and Hideo NAKATA

The purposes of this study were to examine the performance of one type of remote eye movement measurement system and to discuss merits and demerits of the system. We measured eye movements of one adult and two children. Through measurements, we found some merits and demerits of this equipment. Major demerits were that stimulus had to be presented on the video display unit and that the temporal resolution was relatively low. Major merits were that the system didn't need to restrain the head of the subject strictly and that the initial setting of the device was very easy. Therefore, this system will be useful when we measure the subjects who are intolerable to restraint.

Key Word : analysis of scanpath, persons with disability, remote eye movement measurement system