

疑似弱視状態における歩行中の視線行動と「またぎ動作」に関する検討<sup>※1</sup>

—アイマークレコーダとモーションキャプチャーによる分析から—

毛谷村 蒼<sup>※2</sup>・門 脇 弘 樹<sup>※3</sup>・田 中 円 華<sup>※4</sup>・中 村 貴 志<sup>※5</sup>

本研究では、疑似弱視状態における歩行中の視線行動とまたぎ動作の関係について、アイマークレコーダ及びモーションキャプチャーを用いて検討した。その結果、先行研究で指摘されている慎重な挙上動作に加えて、視線を障害物の前方と後方に配分しながら歩行していること、視覚情報処理に時間がかかる傾向にあることが示された。今後、対象者の数を増やして視野狭窄を伴う弱視者の歩行中の視線行動とまたぎ動作の関係についてより詳細に明らかにすることが必要である。

キーワード：視覚障害、視線行動、歩行、またぎ動作

## I. 問題の所在と目的

弱視者の歩行では、視力低下や視野欠損等を原因として、視覚情報が制限されることで様々な問題が生じる。特に歩行においては周辺視野の情報が重要になるが、周辺視野が欠損する視野狭窄を伴う場合、周囲の状況を把握することができず、歩行が困難になる。

視野狭窄を伴う眼疾患の代表的なものに網膜色素変性症がある。Lowe and Drasdo (1992) は、網膜色素変性症を有する弱視者の歩行の問題として、つまずき・転落を挙げている。また、中西・梁島・石田・吉井・清水・大平・菅野・三輪・林・小林 (2005) は、視野狭窄を伴う弱視者の歩行上の困難さとして、「上り階段を上がり終えた後の足上げ」、「膝の高さにある障害物の発見が困難」等を挙げている。柳原・北川・齋藤・三星 (2008) は、視野欠損があると障害物との接触が増えるこ

とを報告している。このように、視野狭窄状態では、歩行中の周辺視野の情報をとらえることが困難となり、つまずきや障害物との接触が増えることで転倒や怪我のリスクが高くなると考えられる。

障害物を回避する方略として障害物のまたぎ動作が挙げられる。宇野・Loh・村木 (2018a) は、網膜色素変性症を有する弱視者の障害物またぎ動作時の足部軌跡について分析している。その結果、網膜色素変性症を有する弱視者は、晴眼者と比較して障害物をまたぐ際に障害物から離れた位置から踏み切ること、障害物を踏み越す際と引き込む際の足部軌跡が高くなることを明らかにしている。このことから、網膜色素変性症を有する弱視者は、視覚情報の欠如を補填するために障害物に対する足部挙上動作を慎重に行う傾向があることを示唆している。

また、障害物のまたぎ動作においては、歩行中に障害物を発見し、障害物をまたぐために歩行動作を調整する必要がある。そのため、障害物に至るまでの視線行動について考慮する必要がある。弱視者における視線行動の特徴として、松田・原・柏瀬・西出 (2009) は、視野狭窄を伴う弱視者は、晴眼者と比較して床面と床エッジを注視する割合が有意に高いことを明らかにしている。Turano, Geruxchat, Baker, Stahl, and Shapiro (2001) は、ヘッドマウントディスプレイを用い

※1 Investigation of straddling movement and gaze behavior during walking while in a state of simulated low vision: From analysis using an eyemark recorder and motion capture

※2 北九州市立西小倉小学校

※3 福岡教育大学特別支援教育センター

※4 広島大学大学院人間社会科学研究所

※5 福岡教育大学教育学部特別支援教育研究ユニット

た歩行の研究から、晴眼者は主に進行方向の前方や目的地に視線を向けるのに対し、視野狭窄を伴う弱視者は壁面や下方、壁と床の境界線に視線を向けていたことを報告している。先行研究の結果から、視野狭窄状態では歩行環境の壁や床に注視することが明らかになっているが、視線行動とまたぎ動作の関係については十分に検討されていない。

そこで、本研究では、疑似弱視状態における歩行中の視線行動とまたぎ動作の関係について、アイマークレコーダ及びモーションキャプチャーを用いて検討することを目的とした。

## II. 方法

### 1. 対象者

対象者は晴眼大学生3名（男性3名、年齢24.3±2.6歳、身長166.0±4.1cm、体重59.7±2.4kg）であった。対象者には事前に研究の目的及び方法について書面及び口頭で説明を行い、研究参加の同意を得た。

### 2. 実験環境

本研究は、X大学Yセンター訓練室で実施した。訓練室内に12mの歩行路を設定した。歩行路の0m（スタートライン）、2m、6m、10m、12m（ゴールライン）の各地点の床にテープを貼付し、2mから10mまでの区間（8m）を測定区間とした。また、歩行路の6m地点に障害物（高さ16.7cm×幅98.8cm×奥行10.0cm）を設置した。なお、床のテープは、対象者が足で踏んでもわかりにくい素材を使用した。

### 3. 測定装置

視線行動は、アイマークレコーダ（ナックイメージテクノロジー社製、EMR-9）で測定した。この測定装置は、眼球運動を検出する帽子タイプのヘッドユニットとデータの記録を行うコントローラで構成され、ヘッドユニットに装着されたセンサにより対象者の眼球運動を検出し、その視線を視野カメラで撮影した映像上にアイマークとして表示することができる。本研究では、対象者の頭部に帽子を装着し、コントローラを専用ベルトで腹部に固定した。実験を行う前に、眼球運動データを校正するために9点方式キャリブレーションを実施した。また、対象者の利き目の眼球運動を検出し、歩行中の視線行動を測定した。

歩行動作は、光学式モーションキャプチャシステムのMAC 3D System（ナックイメージテクノロジー社製、Kestrel 1300）で測定した。対象者に専用スーツと靴下を着用させ、身体のカリブレーションに25カ所に反射マーカを貼付した。反射マーカの貼付部位は、Helen Hayesマーカセットに基づき、頭頂部、前頭部、後頭部、肩峰（右・左）、肩甲骨下角（右）、肘橈骨側（右・左）、手関節（右・左）、上前腸骨棘（右・左）、仙骨、大腿骨（右・左）、大腿骨外側上顆（右・左）、脛骨（右・左）、外果（右・左）、踵（右・左）、第2趾中足骨（右・左）とした。反射マーカに関するデータは、訓練室に設置された計12台のカメラ（フレームレート毎秒100コマ、シャッタースピード1/2000秒）で撮影した。実験を行う前に、訓練室内における実験空間の座標決め、歪み補正及び空間の補正を行うために、キャリブレーションを実施した。キャリブレーション後は、歩行路中央で対象者に足踏みさせ、その際のROM（Range of Motion）データを取得した。

### 4. 手続き

本研究では、対象者にスタートラインからゴールラインに向かって歩かせた。その際、対象者には、普段歩いている速さで歩くこと、障害物をまたいで歩くことを教示した。実験者は、歩行中の視線行動、またぎ動作、歩行時間及び歩数を測定した。

視野条件として、正常視野条件及び視野狭窄条件を設けた。正常視野条件は、シミュレーションレンズを装着しないで歩行する条件であった。視野狭窄条件は、ダス視覚障害者体験キット（ジオム社製）の網膜色素変性症をシミュレートした視野狭窄レンズを装着して歩行する条件であった。なお、視野狭窄レンズは、レンズに合わせて加工した眼鏡に取り付けた。本研究では、正常視野条件及び視野狭窄条件を3試行ずつ行い、計6試行を条件ごとに無作為に実施した。対象者は、実験を行う前に歩く練習を行った。実験終了後は、対象者の内省を聴取した。

### 5. 分析方法

視線行動は、歩行時に撮影された視野映像上のアイマークデータをもとに視線解析ソフトウェア（ナックイメージテクノロジー社製、EMR-d Factory）を用いて分析した。その際、注視項目

分析を行い、歩行中の障害物前方、障害物、障害物後方の各セグメントにおける注視の割合を算出した。また、停留点移動速度頻度の分析を行い、停留点の移動速度を10段階に分け、移動速度の割合を算出した。

また、歩行動作についてMAC 3 D Systemの制御ソフトウェア（ナックイメージテクノロジー社製、CORTEX）を用いて身体部位の反射マーカの認識を行った。その後、データ統合解析プログラム（キッセイコムテック社製、KineAnalyzer）を用いて歩行分析を行った。その際、またぎ動作について頭部前傾角度を分析した。また、先行研究（宇野ら、2018a, 宇野・北、2021）にならって、障害物を先に越える下肢をLeading Limb（以下、LLとする）、障害物を後から越える下肢をTrailing Limb（以下、TLとする）と定義し、最高点（またぎ動作中にLL及びTLつま先を最も上げた高さ）、踏切距離（LL及びTLの踏切位置から障害物までの距離）、またぎ時間（LL及びTLの離地から接地までに要する時間）について分析した。

### Ⅲ. 結果

#### 1. 視線行動

Fig. 1に各条件における注視時間の割合を示した。正常視野条件における注視時間の割合は、障害物前方39.1±14.7%，障害物32.2±14.4%，障害物後方33.0±21.3%であった。視野狭窄条件は、障害物前方44.8±19.3%，障害物30.8±12.7%，

障害物後方42.7±30.6%であった。各セグメントの注視時間の割合について、視野狭窄条件では、正常視野条件と比較して障害物前方と障害物後方の注視時間が長くなる傾向があった。障害物に対する注視時間は、正常視野条件と視野狭窄条件で同程度だった。また、Fig. 2に各条件における停留点移動速度頻度の分布を示した。視野狭窄条件は、正常視野条件と比較して0～29deg/sと30～59deg/sにおいて移動速度の割合が多くなる傾向があった。また、正常視野条件は、視野狭窄条件と比較して240～269deg/sにおいて移動速度の割合が多くなる傾向があった。また、視野狭窄条件では、270deg/s～の移動速度は測定されなかった。

#### 2. 歩行動作

歩行分析の結果をTable 1に示した。歩行時間は、正常視野条件と比較して視野狭窄条件において長くなる傾向があった。同様に、歩数は、正常視野条件と比較して視野狭窄条件において多くなる傾向があった。

またぎ動作中のスティックピクチャをFig. 3に示した。正常視野条件では頭部が前方を向いていたが、視野狭窄条件では頭部が前傾し、障害物の方向に向いていた。分析の結果、頭部前傾角度は、正常視野条件と比較して視野狭窄条件で大きくなる傾向があった。また、またぎ動作中の下肢の最高点は、LL及びTLのいずれも正常視野条件と比較して視野狭窄条件で高い値を示し、視野狭窄条件において足を高く挙上してまたぐ傾向が

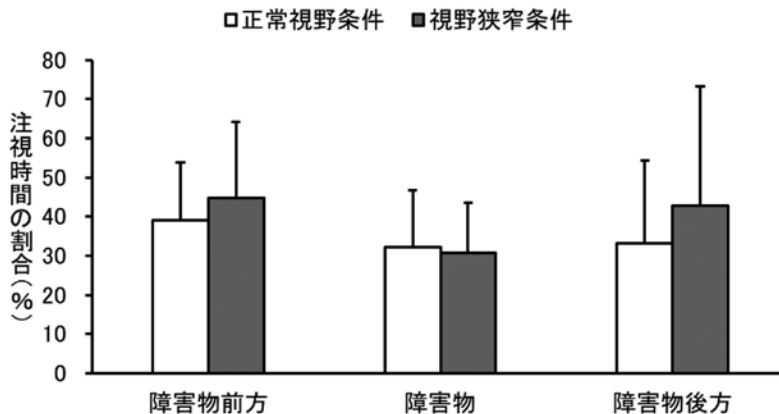


Fig. 1 各条件における注視時間の割合

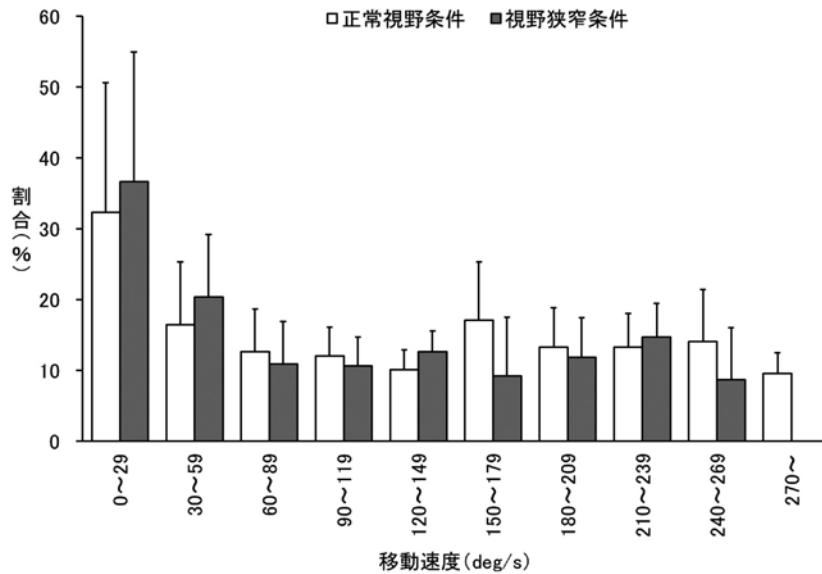


Fig. 2 各条件における停留点移動速度頻度の分布

Table 1 各条件における歩行分析の結果一覧

	正常視野条件	視野狭窄条件
歩行時間 (sec)	7.04 ± 0.40	7.65 ± 0.30
歩数 (steps)	12.33 ± 0.27	13.11 ± 0.42
頭部前傾角度 (°)	37.52 ± 11.30	43.21 ± 16.71
最高点 (cm)		
LL	40.53 ± 4.07	44.17 ± 4.21
TL	41.38 ± 3.87	48.57 ± 6.44
踏切距離 (cm)		
LL	95.07 ± 5.36	92.94 ± 3.49
TL	32.12 ± 6.75	34.86 ± 1.98
またぎ時間 (sec)		
LL	0.71 ± 0.17	0.76 ± 0.14
TL	0.67 ± 0.12	0.73 ± 0.10

あった。同様に、またぎ時間は、LL及びTLのいずれも正常視野条件と比較して視野狭窄条件で高い値を示し、視野狭窄条件において障害物を踏み越すのに時間がかかる傾向があった。一方、踏切距離は、LL及びTLともに正常視野条件及び視野狭窄条件で同程度であった。

#### IV. 考察

本研究では、疑似弱視状態における歩行中の視線行動とまたぎ動作の関係について、アイマーク

レコーダ及びモーションキャプチャーを用いて検討した。

視線行動について、視野狭窄条件は、晴眼条件と比較して障害物前方と障害物後方を注視する割合が高かった。この結果は、視野狭窄状態をシミュレートすると、歩行時に床に視線を向ける傾向があることを示している。先行研究では、視野狭窄を伴う弱視者は歩行時に壁や床面を注視する割合が高くなることが明らかにされており（松田ら, 2009; Turano et al., 2001）、またぎ動作にお

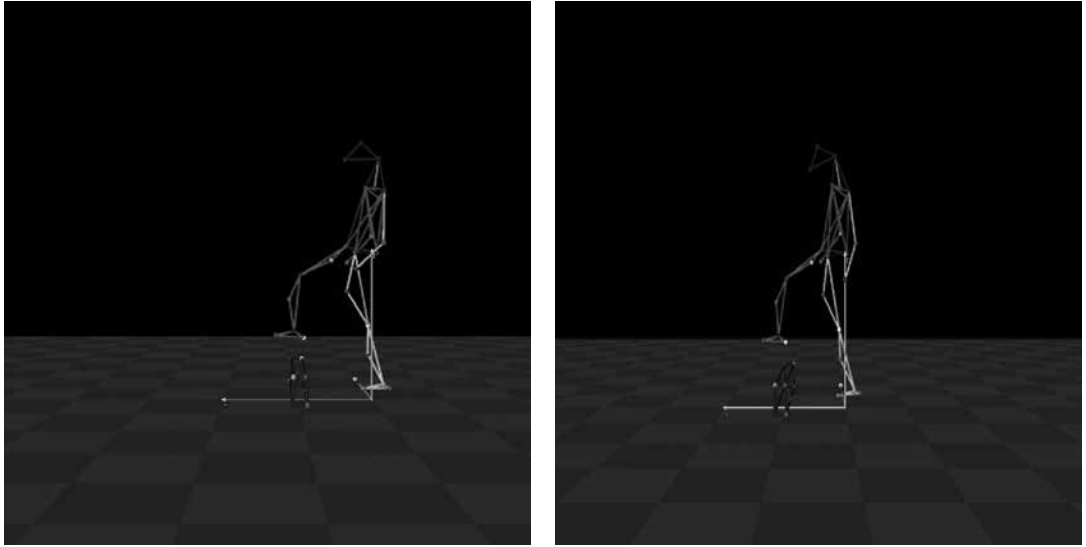


Fig. 3 またぎ動作中のスティックピクチャ  
(左：正常視野条件，右：視野狭窄条件)

いても床を注視する傾向があることが示唆された。このことは頭部前傾角度からも確認でき、視野狭窄条件では、正常視野条件と比較して頭部が前傾する傾向があった。宇野・Loh・村木(2018b)は、視野狭窄状態の歩行では、足元周辺の情報収集を行うために頭部を前傾させる特徴がみられることを明らかにしている。本研究の結果から、またぎ動作においても前傾する傾向があることが推察され、これは障害物に関する情報を視覚的にとらえようとしている結果と考えられた。

また、対象者の内省から「視野狭窄条件では障害物までの距離感をつかむのが難しかった。」という意見が報告されていた。そのため、本研究の対象者は歩行中のまたぎ動作に至る過程で障害物前方や後方に視線を配分することで、障害物までの距離等を把握していたと考えられる。また、停留点移動速度頻度の分析の結果、視野狭窄条件は、正常視野条件と比較して0～29deg/sと30～59deg/sにおいて移動速度の割合が多くなる傾向があった。一方、正常視野条件は、視野狭窄条件と比較して240～269deg/sにおいて移動速度の割合が多くなる傾向があった。また、視野狭窄条件では、270deg/s～の移動速度は測定されなかった。先行研究では、弱視者は晴眼者と比較して、

ゆっくりと多くの箇所を注視しながら歩く傾向があることが指摘されている(松田ら, 2009)。このことから、視野狭窄状態では、視野が制限され、歩行路の情報処理に時間がかかることで、停留点の移動速度が遅くなる傾向にあることが示唆された。

障害物を注視する割合は視野狭窄条件において高くなると予想されたが、正常視野条件と視野狭窄条件で同程度であった。視野狭窄条件における注視の割合は、障害物では30%台であったのに対し、障害物前方と障害物後方では40%台であった。一方、正常視野条件における注視の割合はいずれのセグメントにおいても30%台であった。このことから、正常視野条件では視野の制限がないことから、歩行路全体に満遍なく視線を配分しながら歩行運動が行われていたと推察された。

またぎ動作について、LL及びTLの最高点は正常視野条件と比べて視野狭窄条件で高い値を示していた。また、LL及びTLのまたぎ時間においても視野狭窄条件で時間を要する傾向にあった。これらの結果は、先行研究(宇野ら, 2018a)を支持するものであった。宇野ら(2018a)は網膜色素変性症を有する弱視者は、視覚情報の欠如を補填するために障害物に対する足部挙上動作

を慎重に行う傾向があることを示唆していた。本研究は弱視シミュレーションによる検討であったが、先行研究と同様に慎重に大きく足を挙上させながら障害物をまたぐことで、視野の制限による空間情報の不足を補い、障害物との接触を回避したと考えられた。また、視野狭窄条件では正常視野条件と比較して、歩行時間が長く、歩数が多くなる傾向があった。このことから、視野狭窄の歩行では障害物の情報を視覚的にとらえながら歩行するため、より慎重な歩行状態になると推察された。

本研究の結果から、視野狭窄状態のまたぎ動作について、先行研究で指摘されている慎重な挙上動作に加えて、視線を障害物の前方と後方に配分しながら歩行していること、視覚情報処理に時間がかかる傾向にあることが示された。ただし、本研究は対象者の数が少なかったため得られた知見を一般化することができなかった。今後、対象者の数を増やしてこの点について検討し、視野狭窄を伴う弱視者の歩行中の視線行動とまたぎ動作の関係についてより詳細に明らかにすることが必要である。

## 付記

本研究は、JSPS 科研費21K13634の助成を受けたものである。

## 文献

- 1) Lowe, J. & Drasdo, N (1992) Patients' responses to retinitis pigmentosa. *Optometry and Vision Science*, 69(3), 182-185.
- 2) 松田雄二・原利明・柏瀬光寿・西出和彦 (2009) ロービジョン者の注視傾向に関する研究－室内における事例研究－. 日本建築学会計画系論文集, 74(641), 1531-1538.
- 3) 中西勉・梁島謙次・石田みさ子・吉井大・清水里美・大平文・菅野和子・三輪まり枝・林弘美・小林美貴恵 (2005) ロービジョン者の屋外での歩行状況に関するアンケート結果－視野狭窄のロービジョン者と視野狭窄のないロービジョン者の比較－. 日本眼科紀要, 56, 599-604.
- 4) Turano K. A., Geruschat, D. R., Baker, F. H., Stahl, J. W. & Shapiro, M. D. (2001) Direction of gaze while walking a simple route: Persons with normal vision and persons with retinitis pigmentosa. *Optometry and Vision Science*, 78(9), 667-675.
- 5) 宇野直士・北哲也 (2021) 低照度環境下における情報探索方略の違いが網膜色素変性症によるロービジョン者の障害物またぎ動作に与える影響. 視覚リハビリテーション研究, 10(1), 1-8.
- 6) 宇野直士・Loh, P. Y.・村木里志 (2018a) 網膜色素変性症患者の障害物またぎ動作における下肢運動の特徴. 人間工学, 54(5), 197-204.
- 7) 宇野直士・Loh, P. Y.・村木里志 (2018b) 一過性の視覚制限シミュレーションが歩行動作に与える影響. アダプテッド体育・スポーツ学研究, 4(1), 2-11.
- 8) 柳原崇男・北川博巳・齋藤圭亮・三星昭宏 (2008) ロービジョン者の視覚機能と外出時の歩行問題の関係に関する研究. 土木計画学研究・論文集, 25(2), 525-533.