

網膜色素変性症を有する視覚障害者に対する歩行の変動性および足圧を指標とした歩行評価の試み<sup>※</sup>

門 脇 弘 樹<sup>※</sup>・武 田 貴 子<sup>※</sup>・納 戸 美 佐 子<sup>※</sup>・森 政 男<sup>※</sup>  
 丹 所 忍<sup>※</sup>・氏 間 和 仁<sup>※</sup>・中 村 貴 志<sup>※</sup>

本研究では、網膜色素変性症を有する視覚障害者を対象に、歩行の変動性および足圧を指標とした歩行評価を試みた。また、転倒やベアリングの問題に加えて、視覚障害者の日常的な歩行状態、精神機能、空間認知能力と歩行評価の関連について検討した。網膜色素変性症を有する視覚障害者3名に対し、13mの歩行課題で歩行評価を行った。その結果、認知機能の低下傾向があり、転倒を経験していた参加者の歩行の変動性が拡大していたこと、足圧に関する荷重の割合とベアリングの方向に関連があることがそれぞれのデータから推察された。このことから、視覚障害者に対して、歩行の変動性および足圧の指標から歩行評価を行うことで、転倒およびベアリングの予測ができる可能性があると考えられた。

キー・ワード：網膜色素変性症 歩行の変動性 足圧 転倒 ベアリング

I. 問題の所在と目的

網膜色素変性症は、Morizane, Morimoto, Fujiwara, Kawasaki, Yamashita, Ogura, and Shiraga (2019) によると、日本における視覚障害の原因疾患の第二位 (14.0%) である。これまで、先行研究で網膜色素変性症を有する視覚障害者の歩行について検討が行われており、視野やコントラスト感度が歩行パフォーマンスに影響すること (Haymes, Guest, Heyes, & Johnston, 1996)、低照度下において歩行パフォーマンスが低下すること (Black, Lovie-Kitchin, Woods,

Arnold, Byrnes, & Murrish, 1997)、環境照度よりも障害物の輝比度が影響すること (柳原・齊藤, 2011) が明らかにされている。このように、視機能や環境照度といった要因から網膜色素変性症を有する視覚障害者の歩行に関する知見が蓄積されているが、詳細な歩行評価を行うためには、歩行機能の視点からの評価も必要である。

先行研究では、視覚障害者の歩行の特徴として、歩行速度の低下、歩幅の減少、立脚期時間の延長が報告されている (Hallmans, Ortibus, Truijen, & Meire, 2011; Nakamura, 1997)。また、Nakamura (1997) は、中途失明者は失明期間が長くなるに従って、先天性視覚障害者の歩行パターンに近くなることを明らかにしている。網膜色素変性症は進行性の病変であり、視力低下や視野狭窄が進行することで、歩行パターンも変化すると考えられる。また、夜盲の症状もあるため、歩行する時間帯によっても歩行パターンに影響があると想定される。そのため、網膜色素変性症を有する視覚障害者の歩行機能について定量的に評価することが求められる。

先行研究では、歩行評価の手法として、モーションアナライザー (Nakamura, 1997) や赤

※ A preliminary gait assessment using gait variability and plantar pressure for the visually impaired with retinitis pigmentosa  
 ※※ 福岡教育大学/日本学術振興会 特別研究員PD  
 ※※※ 北九州市福祉事業団  
 ※※※※ 西南女学院大学  
 ※※※※※ リーフ株式会社  
 ※※※※※※ 兵庫教育大学  
 ※※※※※※※ 広島大学  
 ※※※※※※※※ 福岡教育大学

外線カメラ (Hallmans et al., 2011), 光学的三次元動作分析 (Gazzellini, Lispi, Castelli, Trombetti, Carniel, Vasco, Napolitano, & Petrarca, 2016) が用いられている。これらの装置は、歩行の空間因子, 時間因子および運動学的因子といった様々な指標から視覚障害者の歩行を分析することができる。その他にも歩行の変動性を計測することができる加速度センサ, 足圧の荷重バランスを計測することができる圧力センサを用いた測定装置も歩行評価に用いられている。しかし、歩行の変動性および足圧を指標とした視覚障害者の歩行評価はいくつか先行研究で報告されてはいるものの (例えば, Jung, Yang, & Kim, 2017), まだ十分に検討されていないことから、これらの指標を用いて歩行評価を行い、その有効性について検証する必要がある。

また、視覚障害者の日常的な歩行の問題として、転倒やベアリングが挙げられる。ベアリングとは、視覚情報が欠如することで、直進歩行を維持することができず、曲がってしまう現象のことである (例えば, Kallie, Schrater, & Legge, 2007)。視覚障害者の中には、転倒によって怪我をした経験をもつ者がいることが報告されているだけでなく (高田・佐藤, 2012), ベアリングは横断歩道からの逸脱やホーム転落 (Murakami, Ohkura, Shimizu, & Tanaka, 1987; Murakami, Shimizu, Ohkura, & Tanaka, 1988) の原因となるため、これらは視覚障害者の歩行の安全性を低下させる危険性がある。

そこで、本研究では、網膜色素変性症を有する視覚障害者を対象に、歩行の変動性および足圧を指標とした歩行評価を試みた。また、転倒やベアリングの問題に加えて、視覚障害者の日常的な歩行状態、精神機能、空間認知能力と歩行評価の関連について検討した。

## II. 方法

### 1. 参加者

参加者は、網膜色素変性症を有する視覚障害者3名であった (男性2名と女性1名, 年齢41~71歳)。Table 1に参加者のプロフィールを示した。参加者AとBは、年齢が71歳で高齢の視覚障害者であった。2名とも中途失明で、参加者Aは受障してから12年、参加者Bは41年が経過していた。参加者Cは、先天性の網膜色素変性症で、生まれつき現在の視力と視野を保有していた。3名とも日常的に白杖を使用しており、盲学校や視覚障害リハビリテーション施設で歩行訓練を受けた経験を有していた。いずれの参加者も視覚障害以外の機能障害は有していなかった。参加者には事前に研究の目的および方法について書面および口頭で説明を行い、研究参加の同意を得た。

### 2. 歩行課題

本研究は、20XX年7月から8月にK市Xセンターで実施した。歩行課題を実施するために、XセンターのADL室に障害物のない歩行路 (縦13m×横10m) を設定した。歩行路のスタート地点から13mの地点には、進行方向とは垂直に長さ10mの養生テープを貼り、これをゴールラインとした。ゴールラインは、歩行路の中心を基準に左右に5mずつの距離となるようにし、さらに50cm間隔で養生テープの上からビニールテープを貼り、後述するベアリングの評価の際の目安とした。また、本研究の歩行路には、横断歩道シミュレーションとして白線 (縦45cm×横150cm) が45cm間隔で配置された。なお、養生テープ、ビニールテープ、白線は足で踏んでも分からない素材であった。歩行路のスタート地点には、触覚的手がかりとして使用するための衝立 (縦148.5cm×横122cm) を設置した。触覚的手がかりを用いて、直立する際に歩く方向を確かめるこ

Table 1 参加者のプロフィール

参加者	性別	年齢(歳)	視力		視野欠損	受障時期(歳)	眼疾患
			右	左			
A	男	71	0	0.2	周辺視野	59	網膜色素変性症
B	女	71	手動弁	手動弁	中心視野	30	網膜色素変性症
C	男	41	光覚	0.01	周辺視野	0	網膜色素変性症

とは、視覚遮断状態での歩行軌跡を確立するための最も有効な方法として知られている (Kallie, et al., 2007)。参加者は、衝立に背中を付けた状態で衝立の両端を手で触って、スタート地点から直角の方向を取った。その際、参加者に正面の方向を指差しさせ、実験者1名と歩行訓練士1名が直角の方向を正しく取れていることを確認した。その後、参加者にスタート地点からゴールラインまで真っすぐ歩行させた。歩く速さは普段通りの速さとし、参加者は日常的に使用している白杖を用いて歩行した。参加者の歩行中は、実験者と歩行訓練士が後ろから付いて歩き、実験者は歩行に関する記録（歩行時間、歩数、ペーシング値）をし、歩行訓練士は歩行中に転倒が起きた場合に備えて安全確保を行った。参加者がゴールラインに到達したら、実験者が合図をし、歩行訓練士が参加者を再度スタート地点まで誘導した。ここまですべてを1試行とし、参加者1名に対し、3試行実施した。なお、本研究の参加者には高齢者が含まれており、参加者の体力に配慮して練習試行は1試行とした。測定終了後は、参加者から自由回答で内省報告を聴取した。

### 3. 歩行評価

本研究では、歩行機能に関して、歩行の変動性および足圧を指標として評価を行った。

(1) 歩行の変動性：歩行の変動性は、DSPワイヤレス9軸モーションセンサ（日本光電社製、SS-WS1792、縦38mm×横53mm×幅11mm）を用いて計測した。DSPワイヤレス9軸モーションセンサは、参加者の腰に腰痛ベルトを装着し、その上から取り付けた。歩行中は、Bluetoothで専用ソフトウェアが入ったPCと無線接続され、測定周期100Hzで加速度データが記録された。

(2) 足圧：足圧は、足圧モニタインソールPiT（リーフ社製、RM-P100）を用いて計測した。足圧モニタインソールPiTをFig. 1に示した。この装置は、圧力センサが内蔵されたインソールと電子基盤が内蔵されている本体（縦110mm×横65mm×幅25mm）で構成されている。本体は付属の固定ベルトでふくらはぎに巻き、インソールを挿入したりハビリ用シューズとケーブルで接続された。インソールは、Sサイズ（縦230mm×横78mm×幅6mm）とMサイズ（縦250mm×横

82mm×幅6mm）の2種類あり、参加者の足のサイズに合わせて、サイズを選択した。また、本研究では、試行の始めに衝立を触覚的手掛かりとして、スタート地点から直角の方向を取るため、本体をふくらはぎに固定すると衝立と接触し、正しく方向が取れないことが想定された。そのため、本研究では左右足のふくらはぎの外側に本体を巻くようにした。歩行中は、Bluetoothで専用ソフトウェアが入ったPCと無線接続され、測定周期100Hzで足圧データが記録された。Fig. 2には、足圧データの計測部位を示した。この装置を用いることで、母趾・母趾球・前足中央・小趾球・土踏まず・踵外側・踵の7部位の足圧データを計測することができる。さらに、左右各部位の荷重合計を100%とし、各部位の割合を算出した。



Fig. 1 足圧モニタインソールPiT

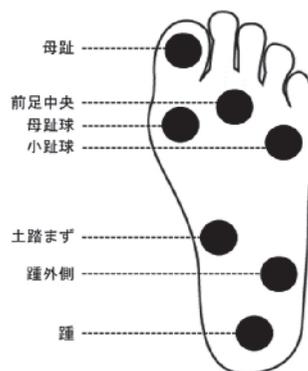


Fig. 2 足圧データの計測部位

#### 4. ペアリング

ペアリング値は、ウェアラブルカメラ (Panasonic製, HX-A1H-K) およびiPad mini 4 (Apple製) を用いて計測した。ウェアラブルカメラは腰痛ベルトの前側に固定し、歩行中の足下を撮影できるようにした。なお、ウェアラブルカメラとiPad mini 4を連動させ、実験者がiPad mini 4からウェアラブルカメラの録画の開始および終了を各試行で遠隔操作した。

#### 5. 日常的な歩行状態

参加者の日常的な状態を把握するために、横断歩道逸脱の経験、ホーム転落の経験、過去一年間の転倒歴、一週間の外出頻度 (単独・手引き・電車やバス等を伴った外出) について、参加者に聞き取りを行った。

#### 6. 精神機能の評価

精神機能の評価として、認知機能およびうつ状態を検査した。認知機能は、Mini-Mental State Examination (以下, MMSEとする) を用いて評価した。MMSEは認知機能の簡易検査である。30点満点で点数が高いほど認知機能が良好な状態であり、23点以下は認知機能が低下している状態を表す (Folstein, Folstein, & McHugh, 1975)。MMSEの項目の中には、視覚情報が必要となる項目が4項目あり、これらの項目は視覚障害者にとって回答が困難と考えられた。そのため、それらの項目は分析から除外し、計26点満点となるように得点調整を行った。また、うつ状態は、Geriatric Depression Scale (以下, GDS) を用いて評価した。GDSは15項目で構成され、5点以上をうつ傾向、10点以上をうつ状態と判定するものである (磯谷・山中・石川・扇澤・望月・稲葉・山本・山中・大塚, 2011)。

#### 7. 空間認知能力の評価

空間認知能力は、方向感覚質問紙簡易版 (Sense of Direction Questionnaire-Short version: 以下, SDQ-Sとする; 竹内, 1992) を用いて評価した。この検査は、「方位と回転 (質問1~9)」、「記憶と弁別 (質問10~17)」、どちらにも属さない項目 (質問18~20) で構成されている。各質問に対し、「ほとんどあてはまらない」、

「あまりあてはまらない」、「どちらともいえない」、「ややあてはまる」、「よくあてはまる」の5段階で自己評価を行い、合計得点が高いほど方向感覚が優れていることを表す。SDQ-Sは晴眼者の空間認知能力を評価するために開発されたものであるが、視覚障害者を対象とした研究にも用いられている (例えば, 松中・柴田・山本, 2008; 柳原・三星, 2005)。松中ら (2008) は、質問項目の中には視覚障害者にとって既存の5件法では該当する選択肢がない者がいることが懸念されたことから、「経験したことがない」という選択肢を新たに設け、6件法で検査を行っている。本研究もこれにならない、「経験したことがない」と回答した場合は、0点として得点処理した。

#### 8. 分析方法

(1) 歩行の変動性: 歩行の変動性は、歩行中に計測される重心加速度波形における類似度をもとに、垂直・側方・前後の3軸の変動性が計測された。本研究では、歩行中に計測された加速度波形を6ストライドごとに切り出した。解析は、Inoue, Kamijo, Haraguchi, Suzuki, Noto, Yamashita, and Nakamura (2018) の方法にならって行った。歩行の類似度は、歩行による加速度波形が完全に一致した場合を1とし、波形が異なるほど類似度も低い値を示す。その値が小さいほど変動性が大きいことを表す。

(2) 足圧: 歩行中に計測された足圧に関する左右各部位の荷重合計を100%とし、各部位の割合を算出した。なお、歩行の変動性と同様に歩行中に計測された足圧データを6ストライドごとに切り出して解析を行った。また、立脚期時間およびその変動係数 (Coefficient of Variation: 以下, CVとする)、遊脚期時間およびそのCVを求めた。

(3) ペアリング: ペアリング値は、ウェアラブルカメラの記録をAdobe Premiere Elements 2018 (Adobe製) を用いて解析した。その際、ウェアラブルカメラで記録した映像 (解像度: 1920×1080, フレームレート: 30p) をもとに、ゴールライン (13m) に最も近い右足親指の位置を解析対象とした。映像は、歩行周期の右立脚期で止め、ゴールラインに貼ったビニールテープを目安に歩行路の中心から参加者の右足親指までの距離を計測した。ペアリング値の計測は、歩行路の中心を

0とし、そこから右側を+, 左側を-として処理した。その際、この値を Value of Displacement (以下, VDとする) と表した。先行研究では、ベアリングは恒常誤差 (Constant Error: 以下, CEとする), 変動誤差 (Variable Error: 以下, VEとする), 絶対誤差 (Absolute Error: 以下, AEとする) の3つのエラーから分析されている (例えば, Guth, Long, Kim, Robertson, Reesor, Bacik, & Eckert, 2017)。CEはVDの平均値, VEはVDの標準偏差で示されており (本研究では3試行分), それぞれベアリングの方向の偏りおよび変動を表す。また, AEはVDの絶対値を平均した値で示されており, ベアリングの量を表す。CE, VEおよびAEの算出式を以下に示す。本研究でもこれらのエラーからベアリングの評価を行った。

$$CE (m) = \frac{\sum_{i=1}^3 VD_i}{3}$$

$$VE (m) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (VD_i - \overline{VD})^2}{3-1}}$$

$$AE (m) = \frac{\sum_{i=1}^3 |VD_i|}{3}$$

### Ⅲ. 結果

#### 1. 歩行評価

本研究では、歩行機能に関して、歩行の変動性および足圧を指標として評価を行った。

参加者の歩行の変動性に関する結果を Table 2 に示した。参加者Aは垂直が $0.75 \pm 0.04$ , 側方が $0.73 \pm 0.03$ , 前後が $0.78 \pm 0.04$ であった。参加者Bは垂直が $0.88 \pm 0.09$ , 側方が $0.83 \pm 0.14$ , 前後が $0.81 \pm 0.17$ であった。ただし、参加者Bは歩行課題3試行の内の1試行で加速度データのエラーがあり、2試行分の平均値と標準偏差の値となっている。参加者Cは垂直が $0.92 \pm 0.02$ , 側方が $0.92 \pm 0.02$ , 前後が $0.92 \pm 0.03$ であった。各参加者の

垂直・側方・前後の類似度指数に差はみられなかった。一方、歩行の変動性は、垂直・側方・前後のすべてで参加者C, B, Aの順に類似度指数が低くなった。

Table 3には、参加者の足圧、立脚期および遊脚期の結果を示した。足圧は、左右各部位の荷重の割合をそれぞれ示した。荷重の割合に関する結果は部位によって左右差がみられた。参加者Aに関して、母趾および母趾球は右足の荷重の割合が大きくなる傾向を示した。一方、踵外側および踵は左足の荷重の割合が大きくなる傾向を示した。各部位の荷重合計の割合も同様の傾向であった。参加者Bに関して、母趾および母趾球は右足の荷重の割合が大きくなる傾向を示した。一方、踵は左足の荷重の割合が大きくなる傾向を示した。各部位の荷重合計の割合も同様の傾向であった。参加者Cに関して、母趾球は左足の荷重の割合が大きくなる傾向を示した。一方、踵は右足の荷重の割合が大きくなる傾向を示した。各部位の荷重合計の割合も同様の傾向であった。また、本研究では足圧データから立脚期時間およびそのCV、遊脚期時間およびそのCVを求めた。参加者AのCVは、立脚期時間、遊脚期時間とも左足で大きくなった。参加者BのCVは、立脚期時間は右足で大きくなったが、遊脚期時間は左足で大きくなった。参加者CのCVは、立脚期時間、遊脚期時間とも右足で大きくなった。

ここで、本研究では歩行中の足圧履歴も計測した。この足圧履歴は、歩行中の足圧の反応を記録したものであり、踵が床面と接触することで波形が上昇していき、単脚支持期に入ると荷重の割合は100%となる。反対に、遊脚期の場合は足裏が床面と接触しないため荷重の割合は0%となる。本研究の結果、各部位の中でも母趾球、小趾球および合計において、参加者BおよびCの足圧履歴に特徴的な結果がみられた。参加者の足圧履歴を Fig. 3 にそれぞれ示した。参加者Bの足圧履歴

Table 2 歩行の変動性

歩行の変動性(類似度指数)	A	B	C
垂直	0.75±0.04	0.88±0.09	0.92±0.02
側方	0.73±0.03	0.83±0.14	0.92±0.02
前後	0.78±0.04	0.81±0.17	0.92±0.03

Table 3 足圧, 立脚期および遊脚期

	A		B		C	
	左足	右足	左足	右足	左足	右足
足圧						
母趾(%)	12.80±1.16	20.57±0.31	6.73±0.29	8.14±0.24	7.34±0.65	7.09±0.88
母趾球(%)	25.20±2.01	27.25±0.76	15.66±0.35	24.16±0.98	16.09±0.08	14.55±1.03
前足中央(%)	13.29±0.57	13.70±0.40	15.56±0.51	15.98±0.51	10.70±0.81	11.94±1.41
小趾球(%)	14.23±0.85	12.96±0.69	11.56±1.50	12.94±0.35	15.74±1.56	16.74±0.87
土踏まず(%)	-	-	-	-	5.72±0.50	4.54±0.05
踵外側(%)	8.15±0.42	4.37±0.51	4.93±0.51	5.83±0.42	9.75±0.25	8.83±0.35
踵(%)	46.30±2.19	35.33±3.07	52.49±2.35	41.59±0.99	24.28±2.37	28.35±2.36
合計(%)	79.25±0.89	77.05±0.38	78.88±0.40	76.22±0.40	67.84±0.69	74.03±1.06
立脚期, 遊脚期						
立脚期時間(msec)	578.33±11.63	587.78±0.79	663.89±5.15	663.33±13.40	671.11±11.57	662.78±26.89
立脚期時間のCV	2.01	0.13	0.78	2.02	1.72	4.06
遊脚期時間(msec)	334.44±10.91	323.33±3.60	376.67±5.44	374.44±0.79	331.67±7.58	340.56±25.10
遊脚期時間のCV	3.26	1.11	1.45	0.21	2.28	7.37

は, 母趾球に関して, 左遊脚期の荷重の割合が0%を上回っており, 足圧の反応がみられた。それに応じて, 荷重合計の割合は, 右立脚期のときに100%からわずかに減少していた。同様に, 参加者Cの足圧履歴も母趾球に関して, 右遊脚期に荷

重の割合が0%を上回っていただけでなく, 小趾球に関しては, 左右の遊脚期で常に荷重の割合が0%を上回っていた。それに応じて, 荷重合計の割合は左右の立脚期で荷重が100%にならず, 常に100%からわずかに減少する足圧履歴を示した。

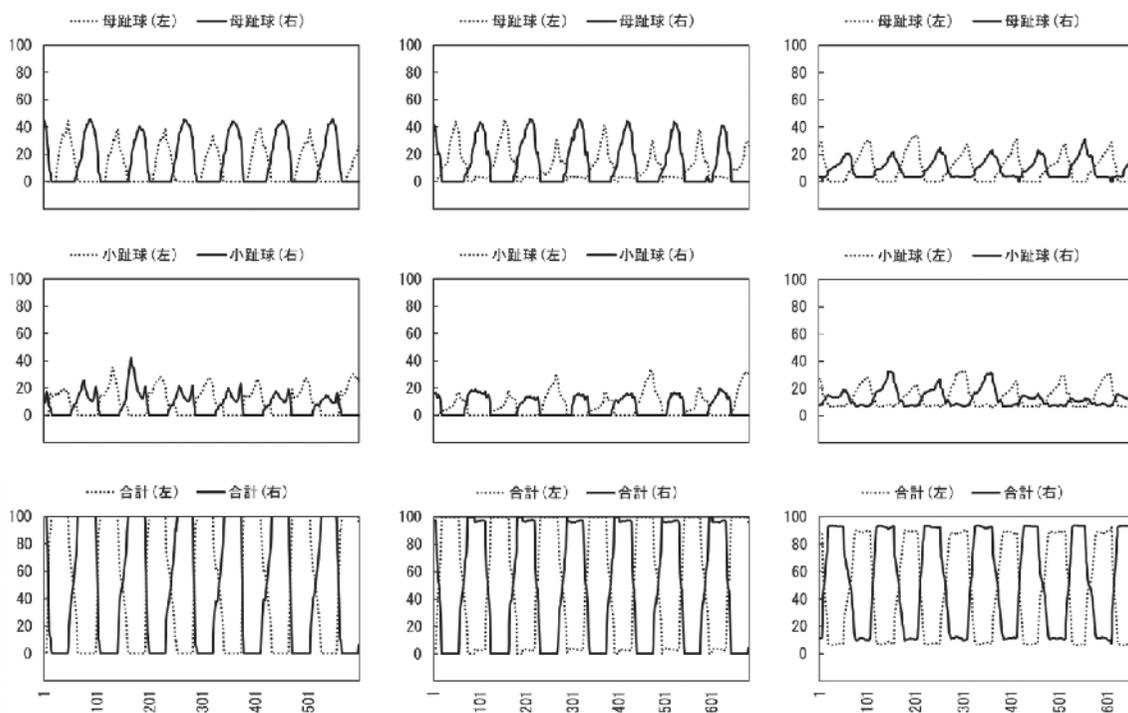


Fig. 3 各参加者の足圧履歴 (左側: 参加者A, 中央: 参加者B, 右側: 参加者C) 縦軸は, 荷重の割合 (%) を表す。

## 2. ペアリングの評価

Table 4には、参加者のCE, VEおよびAEの結果を示した。参加者AのCEは0.19 m, VEは0.30 m, AEは0.26 mであった。参加者BのCEは0.68 m, VEは0.48 m, AEは0.68 mであった。参加者CのCEは-0.23 m, VEは0.52 m, AEは0.33 mであった。

Table 4 CE, VEおよびAE

ペアリング値	A	B	C
CE (m)	0.19	0.68	-0.23
VE (m)	0.30	0.48	0.52
AE (m)	0.26	0.68	0.33

## 3. 日常的な歩行状態, 精神機能および空間認知能力

参加者の日常的な歩行状態, 精神機能および空間認知能力の結果をTable 5にそれぞれ示した。

日常的な歩行状態の横断歩道逸脱およびホーム転落の経験の有無について, 参加者BとCは過去に横断歩道逸脱の経験があった。また, ホーム転落の経験に関して, 参加者Cはホーム転落の経験はなかったもののホームから落ちかけた経験があった。過去1年間の転倒歴は, 参加者Aが4回, 参加者Bが1回, 参加者Cが0回であり, 参加者Aが最も多い結果となった。一週間の外出頻度に関して, 単独での外出頻度は参加者AとBが7回, 参加者Cが5回であった。手引きでの外出頻度は参加者AとBが2回, 参加者Cが1回であった。電車やバス等を伴った外出頻度は参加者Aが1回, 参加者Bが7回, 参加者Cが5回であった。

精神機能に関して, MMSEは26点満点中, 参加者Aが22点, 参加者BとCが26点であった。MMSEでは, 23点以下の得点は認知機能が低下している状態を表しており (Folstein et al., 1975), 本研究では得点調整しているものの参加者Aの結果は認知機能の低下傾向を示した。また, GDSは15点満点中, 参加者AとCが2点, 参加者Bが1点であった。GDSは5点以上をうつ傾向, 10点以上をうつ状態と判定するものであり (磯谷ら, 2011), 本研究の参加者にうつ傾向はみられなかった。

空間認知能力に関して, 本研究では「方位と回転」および「記憶と弁別」の得点を示した。SDQ-Sの「方位と回転」の尺度は45点満点中, 参加者Aが25点, 参加者Bが26点, 参加者Cが21点であった。「記憶と弁別」の尺度は40点満点中, 参加者Aが40点, 参加者Bが32点, 参加者Cが29点であった。

## IV. 考察

これまで, 網膜色素変性症を有する視覚障害者の歩行は, 視機能や環境照度の要因から検討が行われているが (Black et al., 1997; Haymes et al., 1996; 柳原・齊藤, 2011), 詳細な歩行評価を行うためには, 歩行機能の視点からの評価も必要である。

網膜色素変性症は進行性の病変であり, 視力低下や視野狭窄が進行することで, 歩行パターンも変化すると考えられたため, 本研究では, 網膜色素変性症を有する視覚障害者に対して, 歩行の変動性および足圧を指標とした歩行評価を試みた。

まず, 歩行の変動性は, 参加者ごとの垂直・側方・前後の類似度指数に差はみられなかった。しかし, 参加者ごとに類似度指数を比較すると, 参加者C, B, Aの順に歩行の変動性が拡大していた。この点について, 本研究の参加者AとBの年齢は71歳で, 参加者Cは41歳だったため, 年齢の影響で歩行の不安定さが増し, 歩行の変動性も拡大する結果となったと推察された。3名の内, 最も変動性が拡大した参加者Aは, 過去1年間に4回転倒していただけでなく, MMSEの得点も22点で認知機能が低下傾向であった。認知機能が低下した高齢者は, 交通事故や転倒のリスクが高くなるため (松井・須貝, 2006), 参加者Aの歩行においても注意が必要である。今後, 転倒の予防や歩行訓練士による転倒に備えた歩行訓練など対応が必要となると考えられた。

次に, 足圧に関する荷重の割合は各参加者で計測部位ごとに左右差がみられた。参加者AとBの荷重の割合は傾向が類似しており, 母趾と母趾球のような足裏の前側の部位は右足の荷重の割合が大きく, 踵のような足裏の後ろ側の部位は左足の荷重の割合が大きくなった。同様に, 各部位の荷重合計の割合も左足で大きくなった。対照的に, 参加者Cは足裏の前側の部位に当たる母趾球は左

Table 5 日常的な歩行状態, 精神機能および空間認知能力

	A	B	C
日常的な歩行状態			
横断歩道逸脱の経験 <sup>※1</sup>	×	○	○
ホーム転落の経験 <sup>※1</sup>	×	×	△
過去一年間の転倒歴 (回)	4	1	0
一週間の外出頻度 (回)			
単独	7	7	5
手引き	2	2	1
電車やバス等を伴った外出	1	7	5
精神機能			
MMSE	22	26	26
GDS	2	1	2
空間認知能力			
SDQ-S			
方位と回転	25	26	21
記憶と弁別	40	32	29

※1: 横断歩道およびホーム転落の経験の有無について、「○=あり」、「×=なし」で表した。参加者Cはホーム転落について、ホームから落ちかけた経験があったことから、「△」とした。

足の荷重の割合が大きく、足裏の後ろ側の部位にあたる踵は右足の荷重の割合が大きかった。同様に、各部位の荷重合計の割合も右足で大きくなった。また、遊脚期時間のCVにも左右差がみられ、参加者AとBは左足の遊脚期時間のCVが大きかったが、参加者Cは右足の遊脚期時間のCVが大きくなる結果となった。

これらの足圧に関する荷重の割合および遊脚期時間のCVに関する結果は、ベアリングの方向と関連している可能性がある。先行研究では、ベアリングの方向には、人によってベアリングする方向に一定の傾向があることが報告されている (Bestaven, Guillaud, & Cazalets, 2012; Boyadjian, Marin, & Danion, 1999; 門脇・牟田口, 2015)。本研究のベアリングの評価では、参加者Aは、CE, VEおよびAEすべてのエラーの値が小さいことから、ベアリングが生じず、真っすぐ歩行することができていた。参加者Bは、CEとAEの値が等しいことから、右側に一貫してベアリングする傾向があった。参加者Cは、CEの値がマイナスであり、AEは小さいものの

左側にベアリングする傾向があった。この結果を踏まえると、足圧の左右差がベアリングの方向に影響することが考えられるが、足圧とベアリングの関連についてはこれまで十分に検討されていない。本研究では、右側にベアリングする傾向がみられた参加者Bと左側にベアリングする傾向がみられた参加者Cは、足圧に関する荷重の割合と遊脚期時間のCVについても対照的な結果であったことから、これらの要因がベアリングの方向と関連する可能性があると考えられた。

また、ベアリングは横断歩道からの逸脱やホーム転落の原因となるが、参加者BとCは横断歩道逸脱の経験があっただけでなく、参加者Cはホームから落ちかけた経験があった。このことから、ベアリングと日常的な歩行状態には関連があると考えられ、ベアリングについて定量的な歩行評価を行うことで、その原因について検討し、歩行訓練に応用していくことが必要である。

本研究の参加者のベアリング値は比較的小さい値であった。この理由の一つとして、歩行路に横断歩道のシミュレーションとしての白線が配置さ

れており、参加者がその白線を手掛かりに歩行することが可能であったことが挙げられる。実際に、歩行課題後の内省報告では、参加者Aが「白線を頼りに歩いた」と報告しており、参加者Aは弱視のため歩行中に手掛かりがあることで、ベアリングの値が小さくなったと推察された。本研究では、視機能と歩行評価との関連については検討することができなかったが、白線が敷かれている横断歩道での歩行においては、視力や視野の要因によって歩行状態にも何らかの影響をもたらすと考えられる。そのため、今後は横断歩道シミュレーションで歩行課題を実施し、視力や視野といった要因が歩行の変動性や足圧に与える影響についても検討することが求められる。

足圧履歴に関して、参加者BとCは各部位の中でも母趾球、小趾球および合計で特徴的な結果がみられた。参加者Bは母趾球、参加者Cは母趾球と小趾球が遊脚期においても反応しており、すり足歩行となっていた。すり足歩行が観察されなかった参加者Aと比較して、参加者BとCは立脚期時間も長くなる傾向があった。先行研究では、視覚障害者の歩行の特徴として、歩行速度の低下、歩幅の減少、立脚期時間の延長が報告されている (Hallmans, et al., 2011; Nakamura, 1997)。また、Nakamura (1997) は、中途失明者は失明期間が長くなるに従って、先天性視覚障害者の歩行パターンに近くなることを明らかにしている。特に、参加者Cは内省報告の際に、「横断歩道などでは白杖よりも足裏の感覚を手掛かりに歩いている」と報告しており、足圧履歴の結果もこの点を反映していたものと考えられる。また、参加者AとBは中途失明で年齢も同じであったが、受障してからの期間がそれぞれ12年、41年と異なっていた。参加者Bの足圧履歴は、参加者Cと同様にすり足歩行がみられ、Nakamura (1997) の知見と一致していたと考えられる。この点で、進行性の病変である網膜色素変性症を有する視覚障害者に対しては、縦断的に歩行評価を行い、歩行パターンの変化を追跡した上で支援を行っていくことが重要であると考えられた。

また、本研究のGDSとSDQ-Sの結果と歩行評価との間に一定の傾向は見いだせなかった。しかし、先行研究の知見から、視覚障害者の転倒とうつ状態に関連があることが明らかにされている

だけでなく (Nakamura, Kagawa, Kakizawa, Seo, Iketani, Ono, & Tanimura, 1998), 直線歩行と方向感覚にも関連があることが報告されている (柳原・三星, 2005)。そのため、今後もこれらの要因についても評価することが必要である。

本研究では、網膜色素変性症を有する視覚障害者を対象に、歩行の変動性および足圧を指標とした歩行評価を試みた。これらの指標を用いた視覚障害者の歩行評価についてはまだ十分に検討されていなかったが、本研究の結果から、認知機能の低下傾向があり、転倒を経験していた参加者の歩行の変動性が拡大していたこと、足圧に関する荷重の割合とベアリングの方向に関連があることがそれぞれのデータから推察された。このことから、視覚障害者に対して、これらの指標から歩行評価を行うことで、転倒およびベアリングの予測ができる可能性があると考えられた。今後は、さらに参加者の数を増やして、この点について分析し、視覚障害者の安全な歩行につなげるための歩行評価について考案することが求められる。

## 付記

本研究はJSPS科研費18J13546の助成を受けたものである。

## 謝辞

本研究にご協力いただいた皆様に心より感謝申し上げます。

## 文献

- 1) Bestaven, E., Guillaud, E., & Cazalets, J. R. (2012) Is “Circling” behavior in humans related to postural asymmetry?. *PLOS ONE*, 7(9), 1-10.
- 2) Black, A., Lovie-Kitchin, J. E., Woods, R. L., Arnold, N., Byrnes, J., & Murrish, J. (1997) Mobility performance with retinitis pigmentosa. *Clinical and Experimental Optometry*, 80(1), 1-12.
- 3) Boyadjian, A., Marin, L., & Danion, F. (1999) Veering in human locomotion: The role of the effectors. *Neuroscience Letters*, 265, 21-24.
- 4) Folstein, M. F., Folstein, S. E., &

- McHugh, P. R. (1975) "Mini-mental state": A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189-198.
- 5) Gazzellini, S., Lispi, M. L., Castelli, E., Trombetti, A., Carnielli, S., Vasco, G., Napolitano, A., & Petrarca, M. (2016) The impact of vision on the dynamic characteristics of the gait: strategies in children with blindness. *Experimental Brain Research*, 234, 2619-2627.
- 6) Guth, D., Long, R. G., Kim, D. S., Robertson, E. A., Reesor, A. L., Bacik, C. J., & Eckert, J. M. (2017) Beaconing signalization substantially reduces blind pedestrians' veer on snow-covered pavement. *Transportation Research Record*, 2661, 43-50.
- 7) Hallemans, A., Ortibus, E., Truijen, S., & Meire, F. (2011) Development of independent locomotion in children with a severe visual impairment. *Research in Developmental Disabilities*, 32(6), 2069-2074.
- 8) Haymes, S., Guest, D., Heyes, A., & Johnston, A. (1996) Mobility of People with Retinitis Pigmentosa as a Function of Vision and Psychological Variables. *Optometry and Vision Science*, 73(10), 621-637.
- 9) Inoue, T., Kamijo, K., Haraguchi, K., Suzuki, A., Noto, M., Yamashita, Y., & Nakamura, T. (2018) Risk factors for falls in terms of attention during gait in community-dwelling older adults. *Geriatrics and Gerontology International*, 18(8), 1267-1271.
- 10) 磯谷一枝・山中 学・石川元直・扇澤史子・望月友香・稲葉百合子・山本直宗・山中 崇・大塚邦明 (2011) 居住形態は入院中の高齢患者の抑うつに影響を与える。日本老年医学会誌, 48(5), 570-571.
- 11) 門脇弘樹・牟田口辰己 (2015) 白杖歩行の偏軌に歩行速度がもたらす影響。視覚リハビリテーション研究, 5(2), 53-62.
- 12) Jung, J. Y., Yang, C. M., & Kim, J. J. (2017) Gait analysis for elderly people with visual impairment using plantar pressure measurement. *International Journal of Biology and Biomedical Engineering*, 11, 187-193.
- 13) Kallie, C. S., Schrater, P. R., & Legge, G. E. (2007) Variability in stepping direction explains the veering behavior of blind walkers. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(1), 183-200.
- 14) 松井典子・須貝佑一 (2006) わが国における施設高齢者の転倒事故に関する文献的検討－認知症 高齢者の転倒事故防止対策構築への考察－. 老年精神医学雑誌, 17(1), 65-74.
- 15) 松中久美子・柴田由己・山本利和 (2008) 視覚障害者の方向感覚自己評価における個人差と歩行時のストレスについて。心理学研究, 79(3), 207-214.
- 16) Morizane, Y., Morimoto, N., Fujiwara, A., Kawasaki, R., Yamashita, H., Ogura, Y., & Shiraga, F. (2019) Incidence and causes of visual impairment in Japan: the first nation-wide complete enumeration survey of newly certified visually impaired individuals. *Japanese Journal of Ophthalmology*, 63(1), 26-33.
- 17) Murakami, T., Ohkura, M., Shimizu, O., & Tanaka, I. (1987) Two cases of blind travelers falling from train platforms. *National Rehabilitation Research Bulletin of Japan*, 8, 51-54.
- 18) Murakami, T., Shimizu, O., Ohkura, M., & Tanaka, I. (1988) Analytical studies on falls from train platforms by blind travelers. In N. Neustadt-Noy, S. Merin, & Y. Schiff (Eds.), *Orientation and mobility of the visually impaired (proceedings of the fourth International Mobility Conference)*, Jerusalem: Heiliger, 47-51.
- 19) Nakamura, T. (1997) Quantitative analysis

- of gait in the visually impaired. *Disability and Rehabilitation*, 19 (5), 194–197.
- 20) Nakamura, T., Kagawa, K., Kakizawa, T., Seo, M., Iketani, N., Ono, H., & Tanimura, Y. (1998) Risk factors for falls among blind elderly in a nursing home for the blind. *Archives of Gerontology Geriatrics*, 27, 9-17.
  - 21) 高田明子・佐藤久夫 (2012) 地域で生活する視覚障害者の外出状況と支援ニーズ. *社会福祉学* 53 (2), 94-107.
  - 22) 竹内謙彰 (1992) 方向感覚と方位評定, 人格特定および知的能力との関連. *教育心理学研究*, 40, 47-53.
  - 23) 柳原崇男・三星昭宏 (2005) 方向感覚質問紙簡易版 (SDQ-S) を用いた視覚障害者の歩行能力測定に関する基礎的研究. *交通科学*, 36 (2), 93-100.
  - 24) 柳原崇男・齊藤圭亮 (2011) 個人属性と室内空間の環境条件がロービジョン者の歩行に与える影響の分析. *土木学会論文集D3 (土木計画学)*, 67 (5), 1139- 1147.