

# 歩行軌跡における偏軌の特徴と予測

—近似曲線を用いた分析—

## Characteristics and prediction of veering in trajectory: An analysis of approximate curve

門脇 弘樹 (広島大学大学院教育学研究科)

菊池 志乃 (広島大学大学院教育学研究科)

牟田口辰己 (広島大学大学院教育学研究科)

Hiroki KADOWAKI (Graduate School of Education, Hiroshima University)

Shino KIKUCHI (Graduate School of Education, Hiroshima University)

Tatsumi MUTAGUCHI (Graduate School of Education, Hiroshima University)

### 要旨：

本研究では、中途視覚障害のシミュレーションとして晴眼大学生 16 名を対象とし、歩行軌跡における偏軌に関して近似曲線（線形近似・多項式近似）を用いた分析を行い、その特徴を明らかにすることを目的とした。また、歩行速度が歩行軌跡における偏軌にもたらす影響についても検討した。さらに、実際の歩行指導に活かすために近似曲線による分析から偏軌予測における可能性について分析した。対象者の歩行軌跡に関して線形近似および多項式近似それぞれの関数を最小二乗法により求め、両者の適合度を歩行条件ごとに比較した。その結果、すべての歩行条件において、多項式近似の適合度は線形近似の適合度と比較して、有意に高いことが明らかとなった。また、多項式近似の関数を用いて偏軌予測を試みた結果、10m を通過した地点から 16m 地点での偏軌距離が予測できることが示された。これらの結果から、歩行軌跡における偏軌の特徴と予測について論じた。

**キーワード：** 中途視覚障害、歩行軌跡、偏軌、近似曲線

### Abstract

One of the factors that make it difficult for a visually impaired person to walk is a veering which naturally occurs right or left from the walking course, and we focused on the veering in trajectory, in particular. In the present study, we sought to clarify the characteristics of veering in trajectory using analysis approximate curve (linear approximation, polynomial approximation) in 16 adults without visual impairment as a simulation of persons with acquired visual impairment. We also revealed veering in trajectory affected walking speed. Furthermore, we analyzed the possibility in predicting veering using the analysis approximate curve using orientation and mobility training. In veering trajectory, the functions on linear approximation and polynomial approximation are obtained by the least squares method, and the respective goodness of fit is compared for each walking condition. In all conditions, the goodness of fit on polynomial approximation was significantly fitting at the goodness of fit on linear approximation. Also, results of trial of prediction of a veering using the polynomial approximation function showed that the distance of veering at the 16 m point can be

predicted from the point that passed 10 m. These findings suggest that it may be useful to focus on the characteristics of veering in trajectory and prediction of veering.

**Key Words:** Persons with acquired visual impairment, Veering trajectory, Veering, Approximate curve

## 1. はじめに

偏軌とは、歩行中に、本人の意志とは関係なく、歩行コースの進行方向から右又は左に自然にそれてしまうことである（文部省、1985）。また、Kallie, et al. (2007) は、視覚情報が欠如すると人間は直進歩行を維持することができず、偏軌が生じるとしている。歩行中に偏軌が生じると、意図した方向からずれるため、現在位置や方向が分からなくなるだけでなく、駅プラットフォームからの転落事故につながる（大倉ら、1995）ことから、安全な歩行を脅かす大きな要因となる。

視覚障害者の歩行はオリエンテーション・アンド・モビリティと呼ばれ（Hill & Ponder, 1977）、定位能力と移動能力が合わさって初めて安全な歩行になるといわれている。その中でも、モビリティについて田中ら（1977）は、(1) 境界線に沿って歩くこと、(2) ある点に向かって直進すること、(3) 障害物を回避して、元の進路を維持すること、という3つの要素に分けている。偏軌は特に(2)のある点に向かって直進することと関連があり、実際の歩行場面では横断歩道での横断が挙げられる。視覚障害者の道路横断行動に関しては、特定の交差点を日常的に利用している視覚障害者は横断歩道をはみ出るなどの危険行動はなく、非常にスムーズに横断することが報告されている（柳原ら、2007）。このことから、慣れが安全な歩行の一要因となると考えられるが、慣れの要因は個人差があり客観的に評価することが困難である。そのため、安全な歩行に貢献する客観的な評価が必要である。また、視覚障害者が道路横断中に利用する手がかりには、音響信号機やエスコートゾーン、横断する人の足音、横断歩道と並走している車の音等があるが、このような手がかりが少ない横断歩道で偏軌が生じると重大な事

故につながる危険性がある。以上より、視覚障害者が安全に横断歩道を横断できるようにするためには、歩行指導の際に指導者が視覚障害者の示す偏軌について客観的に評価し、その指導に活かしていくことが必要である。

その視点の一つに、歩行軌跡が考えられる。大倉ら（1987）は、障害物回避後の方向再現性に関する研究の中で直線歩行について計測し、全盲者のほとんどが右側に偏軌する傾向があることを明らかにしている。また、大倉ら（2006）は、視覚遮断直進歩行時に進路の左右に置かれたスピーカから強度の異なる周囲音（ホワイトノイズ）を出力した際に、周囲音が歩行軌跡をその音源とは反対の側に有意に偏軌させるという結果を示し、さらにその音圧が高いと偏軌の程度が強まることを明らかにしている。さらに、大倉・田内（2015）は、左右の耳のマスクング差が誘導音の定位に影響し、左右の耳に大きなマスクング差のある場合には歩行軌跡はマスクングの小さい耳の側に偏軌することを示した。一方、門脇・牟田口（2015）の中途視覚障害シミュレーションによる実験では、直進歩行の軌跡を左側に偏軌した者（L型）、左右どちらにも偏軌した者（LR型）、右側に偏軌した者（R型）の3類型に分類し、対象者によって偏軌する方向に傾向があることを示唆している。このように歩行軌跡における偏軌には特徴があり、歩行指導の際に偏軌の方向を客観的に評価し、視覚障害者にフィードバックすることが重要であると考える。しかし、これまで偏軌に注目した際の歩行軌跡がどのような回帰直線あるいは回帰曲線になるかは明らかにされていない（柳原・三星、2005）。

そこで、本研究では中途視覚障害のシミュレーションとして晴眼大学生を対象とし、歩行軌跡における偏軌に関して近似曲線を用いた分析を行い、その特徴を明らかにすることを目的とす

る。晴眼大学生を対象とした理由としては、中途視覚障害者の歩行を想定したシミュレーション実験を行うことで、歩行軌跡における偏軌の基礎的な知見を得ることが挙げられた。また、門脇・牟田口(2015)は、歩行速度(「遅い」・「通常」・「速い」)が白杖歩行の偏軌に影響し、「速い」は「遅い」と比較して有意に偏軌距離が小さくなることを指摘している。そのため、歩行速度が歩行軌跡における偏軌にもたらす影響についても検討する。さらに、白杖を持つ手の要因は偏軌に対して影響しないことが明らかにされている(門脇・牟田口, 2015)が、歩行軌跡とこの要因の関連については検討されていないことから、本研究ではこの要因についても検討することとした。また、実際の歩行指導に活かすために近似曲線を用いた分析から偏軌予測における可能性について分析する。

## 2. 方法

### 2.1. 対象者

対象者は、晴眼大学生16名(男性7名と女性9名, 21～23歳)で、大学の講義(5コマ分)にてアイマスクによる白杖歩行の実習を受けた者であった。なお、この講義では、タッチテクニックやスライド法、白杖による伝い歩きについて実習し、対象者はこれらのテクニックを使用したの屋外歩行の経験を有した。また、対象者に研究の目的および方法について口頭で説明を行

い、対象者から研究協力の同意を得た。本研究は倫理的配慮として広島大学大学院教育学研究科倫理審査委員会の承認を得た。

### 2.2. 歩行路

本研究は、X大学体育館(規格:29.6m×34.6m)に16m×10mの歩行路を設定して実施した(図1)。この歩行路は、門脇・牟田口(2015)と同様のものであった。歩行路の中央には、スタートラインからゴールラインまでを結ぶ基準線を設けた。この際、基準線の位置は体育館の中央に位置するようにし、対象者から見て基準線と左右の壁までの距離が14.8mと等しくなるようにした。ゴールラインには基準線から左右それぞれの位置に、シール(直径1.5cm)を床の板目5枚(1枚:9.0cm)おきに計10枚(4.5m分)、左右の5m地点にはビニールテープを貼り、偏軌距離および歩行軌跡を作成する際の目安とした。なお、スタートライン、基準線、ゴールラインにあるシールは対象者が足で踏んでも分からない素材を使用した。

音要因を統制する方法として、聴覚を遮断する、音要因の影響がない場所を実施する、逆方向に進ませる条件をカウンターバランスとして取り入れる等の方法が挙げられる(田伏・植阪・野口, 2014)。本研究では進行方向を逆方向に進ませる条件をカウンターバランスとして取り入れる方法を採択し、AとBの二つのコースを設定した。さらに、実験前にはAコースとBコー

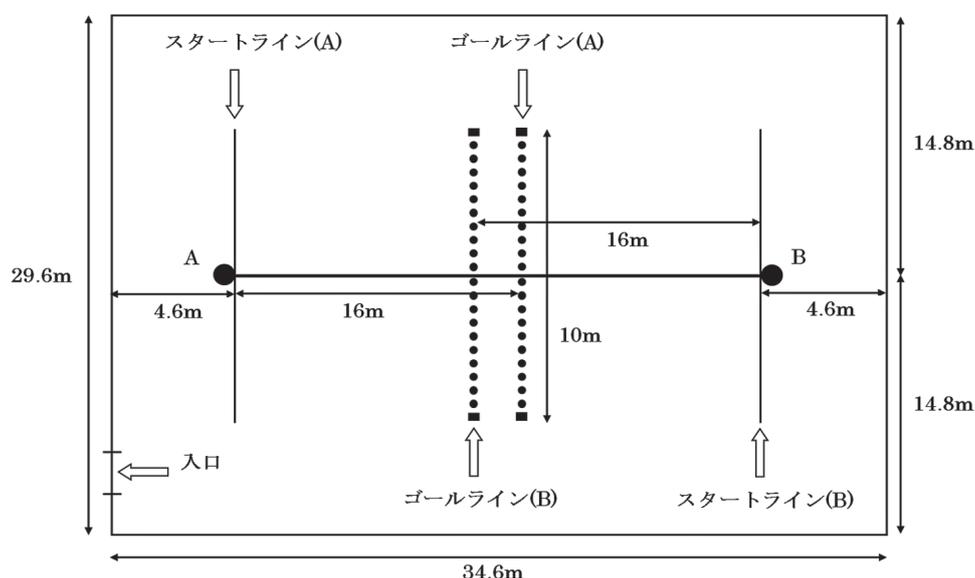


図1 歩行路

スそれぞれのスタート地点と歩行路の中央地点（体育館中央地点）の3地点で同時に暗騒音を測定し、騒音レベルのデータを得た。

### 2.3. 歩行の記録

白杖は直杖で、石突きがスタンダードタイプのカーボンケーン（ジオム社製、重さ約200g）を使用した。対象者が使用する白杖は、芝田（2000）にならい、直立して下から、剣状突起（みぞおちのすぐ上の骨）より5～10cmほど上の高さを基準とし、対象者が操作しやすいものを選定した。対象者は履き慣れた靴を履き、アイマスクを着用した。なお、服装の指定はしていない。また、ウェアラブルカメラ（Panasonic製、HX-A500）を腰に装着し、歩行中の足下の様子を撮影できるようにした。なお、ウェアラブルカメラはiPad mini 3と連動させ、実験者がこれを遠隔操作した。その際、対象者の靴の右足親指部分に赤テープを貼り、その位置をウェアラブルカメラで追跡するようにした。また、実験者はスタートラインからゴールラインに到達するまで、歩行時間、歩数、偏軌の方向を記録した。偏軌の方向は基準線をもとに、ゴールライン到達時の対象者の位置によって左右を特定した。

### 2.4. 手続き

2.4.1. 歩行条件：門脇・牟田口（2015）は、白杖歩行の偏軌に歩行速度がもたらす影響を検討するために、対象者がアイマスクを着用した状態で白杖を持たない歩行（以下、白杖なし歩行条件とする）、および白杖歩行条件（歩行速度「遅い」・「通常」・「速い」）での計測を行っている。その際、白杖を持たない歩行において、歩行速度「通常」は「遅い」「速い」と比較して偏軌を最小に抑えられることが先行研究（Uematsu et al., 2011）より明らかにされていることから、白杖なし歩行条件では歩行速度「通常」のみを計測していた。さらに、白杖歩行条件では白杖の持ち手の要因を検討するために、「利き手」・「非利き手」の計測も行っている。そこで、本研究でも先行研究にならい、白杖なし歩行条件（歩行速度「通常」）および白杖歩行条件（「利き手」・「非利き手」）を設定し、歩行速度および白杖の持ち手の要因が歩行軌跡における偏軌に及ぼす影響を検討することとした。

2.4.2. 試行：スタート位置は、スタートラインと基準線の交点（図1のAまたはB地点）とし、右足親指部分に貼付した赤テープが交点と重なるようにした。その際、スタート位置で対象者の身体がゴール方向に正対するように教示した。その理由として、スタート位置で身体が正対していない場合、偏軌を正確に計測できないことが挙げられた。その後、対象者にスタート位置からゴールラインに向かって真っ直ぐ歩かせた。ゴールラインに到達したら実験者は合図をし、偏軌距離をフィードバックできないよう、アイマスクをつけたままの対象者を再度スタート位置まで誘導した。ここまですべてを1試行とした。

2.4.3. 試行順：最初に、白杖なし歩行条件を計測した。その際、普段歩いている速さで3回歩くように教示し、歩行時間、歩数、歩幅、偏軌距離、および偏軌の方向を計測した。これを歩行速度「通常」とし、門脇・牟田口（2015）と同様に白杖なし歩行条件では「通常」のみを計測した。

次に、白杖歩行条件を測定する際の歩行速度を設定した。まず、実験者は対象者に白杖を利き手で持たせ、歩行路を普段歩いている速さで歩くよう教示し、その際の歩行時間と歩数を3回計測した。歩行速度は歩行時間と歩数の3回分の平均値をもとに一分間あたりの歩数を算出し、それを「通常」の歩行速度とした。以下はその計算式である。

$$\text{【歩数（歩）} \div \text{歩行時間（秒）】} \times 60 \\ = \text{一分間あたりの歩数（歩} \div \text{分）}$$

次に、先行研究（Uematsu et al., 2011；門脇・牟田口, 2015）の手法にならい「通常」の歩行速度から0.8倍、1.2倍したものをそれぞれ「遅い」・「速い」の歩行速度とした。歩行速度の提示には、スマートフォン（SHARP製、高さ：107mm、幅：54mm、厚さ：11.9mm、質量：約108g）に「BPM」というメトロノームのアプリをインストールして使用した。その際、白杖を持つ手とは反対の手にスマートフォンを握らせてメトロノームの振動で速度を提示しながら

表1 偏軌距離 (m) の平均と標準偏差 (n = 16)

	白杖なし		利き手			非利き手	
	通常	遅い	通常	速い	遅い	通常	速い
M	1.53	1.72	1.35	1.01	1.38	1.26	1.15
SD	1.14	1.23	0.93	0.58	0.70	0.87	0.79

ら、その速度に合わせて歩くよう求めた。歩行速度を算出した後は、白杖歩行条件を提示した。計測は、白杖を持つ手（「利き手」・「非利き手」）と歩行速度（「遅い」・「通常」・「速い」）の各条件において3試行ずつ、計18試行を条件ごとに無作為に行った。すなわち、対象者1名に対し、白杖なし歩行条件3試行と白杖歩行条件3（試行）×2（「利き手」・「非利き手」）×3（「遅い」・「通常」・「速い」）の18試行で、計21試行を計測した。また、対象者は、各条件の計測の前にメトロノームの振動に合わせて歩く練習を行った。実験後は、「白杖を持つ手」、「歩行速度」、「音響環境」の観点から自由回答で対象者の内省報告を聴取した。

## 2.5. 分析方法

偏軌距離および歩行軌跡は、ウェアラブルカメラの記録を Adobe Premiere Elements 9 (Adobe 製) を用いて分析した。その際、対象者の右足親指部分に貼付した赤テープの位置をウェアラブルカメラで追跡することでそれぞれを求めた。偏軌距離はゴール到達時における基準線から赤テープまでの距離とした。なお、ゴールラインに最も近い右足親指の位置をゴール到達時 (16m) の偏軌距離と定義した。また、偏軌距離については、歩行路の基準線から右側をプラス、左側をマイナスの値として処理した。歩幅については歩行距離 (16m) を歩数で割って求めた。

さらに、本研究では偏軌に注目した際の歩行軌跡がどのような回帰直線あるいは回帰曲線になるかを明らかにするために近似曲線を用いた分析を行った。対象者1名の全21試行の歩行軌跡について、線形近似および多項式近似それぞれの関数を最小二乗法により求め、両者の適合度 ( $R^2$ ) を歩行条件ごとに比較した。適合度の比較には、歩行条件ごとに対応のある t 検定を

行った。統計解析には、R version 3.3.1 を使用した。

## 3. 結果

対象者の身長は  $161.66 \pm 7.11$ cm、体重は  $53.06 \pm 5.15$ cm、白杖の長さ  $118.38 \pm 3.92$ cm であった。体育館の暗騒音レベル (3 地点の平均) は  $55.73 \pm 1.40$ dB SPL であった。

対象者の偏軌距離の平均と標準偏差を表1に示した。偏軌距離について、二要因の分散分析 (白杖を持つ手×歩行速度) を行った結果、歩行速度に有意差が認められた ( $F(2, 30) = 3.85$ ,  $p < .05$ )。交互作用は有意でなかった。Bonferroni 法を用いて多重比較を行った結果、「遅い」と「速い」の間に有意差が認められた ( $p < .05$ )。一方、「遅い」と「通常」、「通常」と「速い」の間に有意差は認められなかった。

### 3.1. 線形近似および多項式近似の比較

図2に対象者2名分の歩行軌跡に線形近似および多項式近似、さらにそれらの適合度をそれぞれ示した。なお、縦軸には歩行路の基準線からの距離 (m)、横軸にスタートラインからの距離 (m) を示しており、基準線から右側に偏軌した値をプラス、左側に偏軌した値をマイナスとして処理している。本研究ではこの適合度を歩行条件ごとに比較し、歩行軌跡における偏軌がどのような回帰直線あるいは回帰曲線を示すか分析した。図3に、対象者の線形近似および多項式近似それぞれの適合度の平均と標準偏差を歩行条件ごとに示した。歩行条件ごとに対応のある t 検定を行った結果、すべての歩行条件において1%水準で有意差が認められた (白杖なし歩行条件の「通常」、 $t(15) = -4.96$ ,  $p < .01$ ,  $r = 0.67$ ; 白杖歩行条件の「利き手」・「遅い」、 $t(15) = -4.91$ ,  $p < .01$ ,  $r = 0.67$ ; 白杖歩行条件の「利き手」・「通常」、 $t(15) = -4.07$ ,  $p < .01$ ,  $r =$

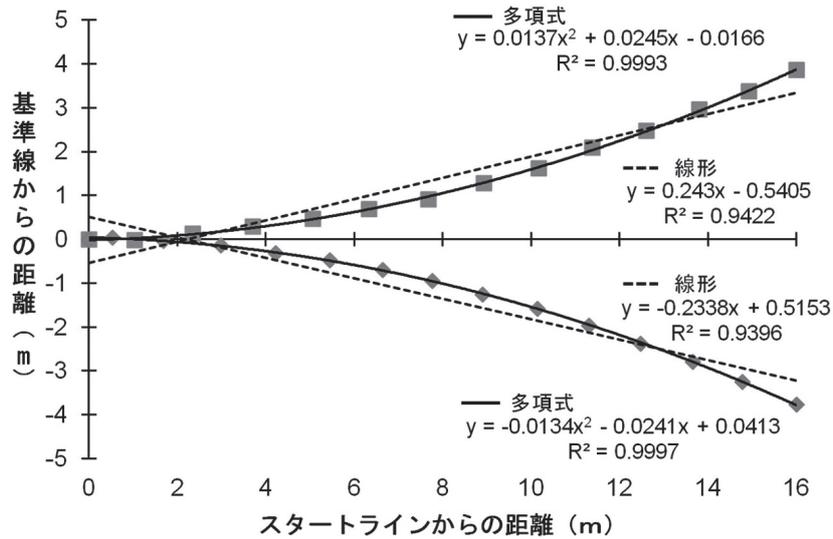


図2 対象者2名分の歩行軌跡に関する線形近似と多項式近似

0.60; 白杖歩行条件の「利き手」・「速い」、 $t(15) = -4.82$ 、 $p < .01$ 、 $r = 0.66$ ; 白杖歩行条件の「非利き手」・「遅い」、 $t(15) = -5.44$ 、 $p < .01$ 、 $r = 0.71$ ; 白杖歩行条件の「非利き手」・「通常」、 $t(15) = -4.01$ 、 $p < .01$ 、 $r = 0.59$ ; 白杖歩行条件の「非利き手」・「速い」、 $t(15) = -5.15$ 、

$p < .01$ 、 $r = 0.69$ 。また、本研究では歩行速度および白杖を持つ手の要因から検討しているが、すべての歩行条件で多項式近似の適合度は線形近似の適合度と比較して、有意に高いという結果であった。

一方、歩行軌跡の中には線形近似および多項

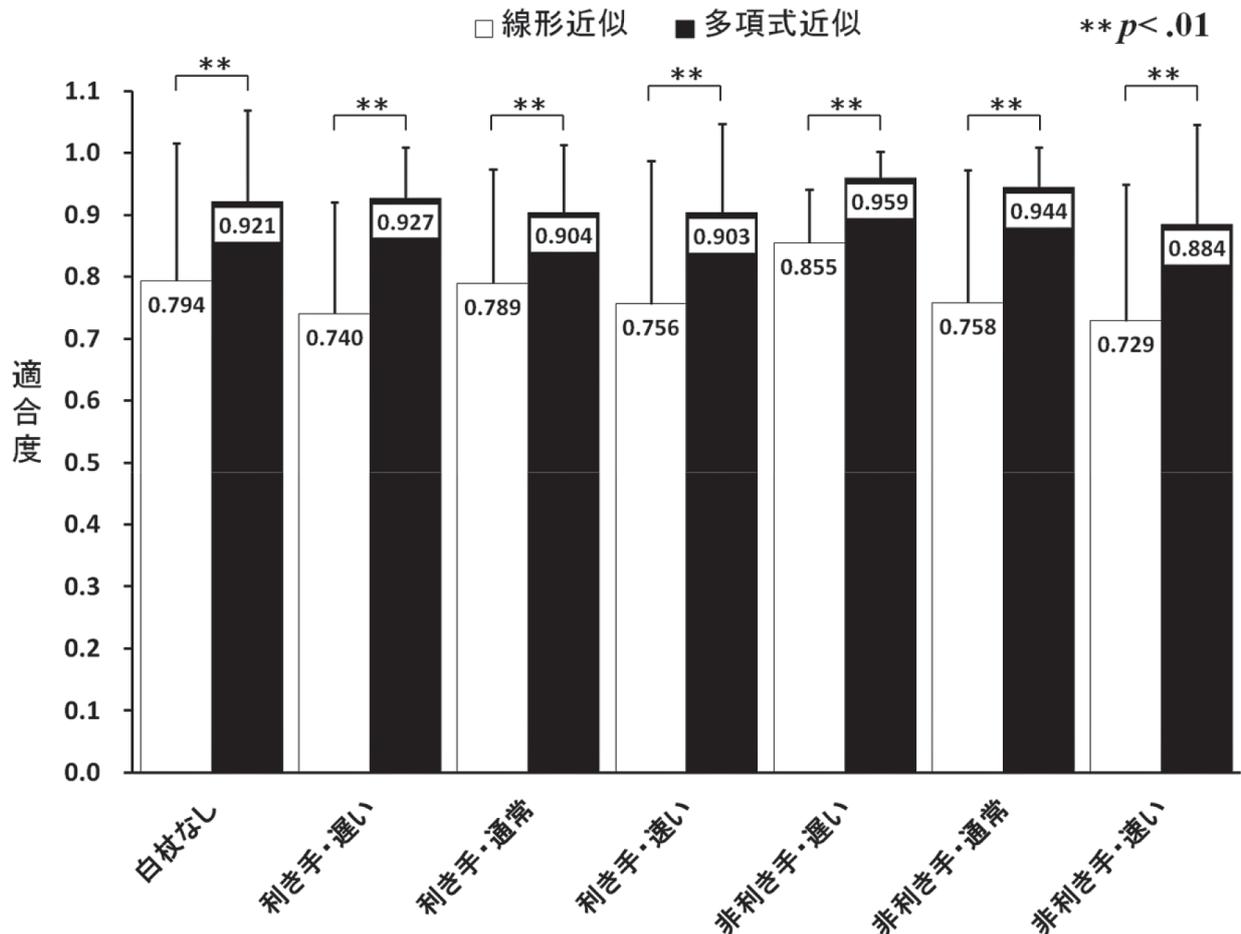


図3 線形近似および多項式近似における適合度の平均と標準偏差 (n=16)

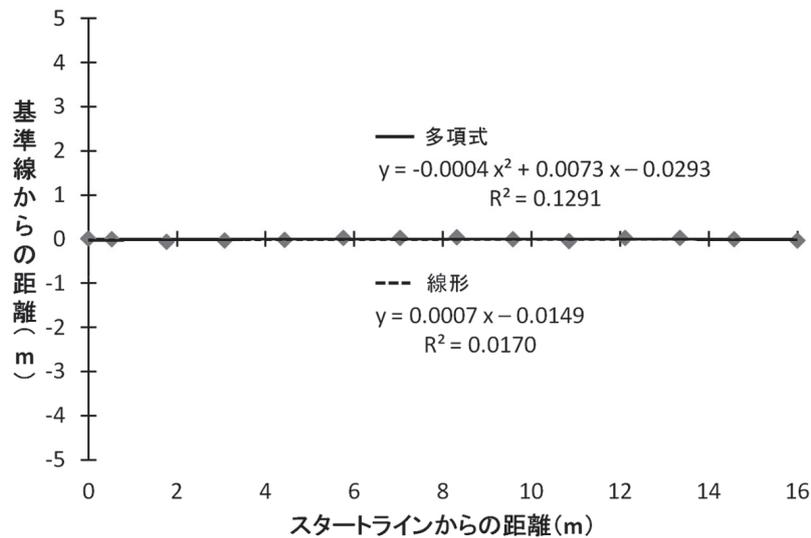


図4 適合度が低い歩行軌跡の線形近似および多項式近似

式近似のどちらも適合度が非常に低い値を示すものがあつた(図4)。この歩行軌跡は、スタートからゴールラインまで直線的な歩行軌跡を示し、線形近似の適合度は0.0170、多項式近似の適合度は0.1291であつた。

### 3.2. 多項式近似による偏軌予測

多項式近似の適合度は、歩行条件に関わらず線形近似のそれと比較して、1%水準で有意に高いことから、多項式近似の関数を用いて偏軌予測を試みた。その際、本研究では対象者が16mの距離を直進歩行する際の偏軌距離を求めているが、この16m地点の偏軌距離を予測するために必要な最短歩行距離を多項式近似の関数を用いて分析した。本研究では、対象者の右足親指部分に貼付した赤テープの位置をウェアラブルカメラで追跡して歩行軌跡を作成していることから、16m地点の偏軌距離だけでなく歩行中の右足親指部分それぞれの通過地点の偏軌距離を数値化していた。そこで、これを用いて、各通過地点で多項式近似の関数を最小二乗法により求め、その関数から16m地点での偏軌距離を予測し、実際の偏軌距離(16m地点)との予測率を求めた。すなわち、0~xmまでの歩行軌跡のデータから多項式関数 $f(x)$ を算出し、その関数に $x=16$ を代入したときの値である $f(16)$ を予測値とし、さらに、実際の16m地点での偏軌距離に対する予測値の割合を予測率とした。予測率は、100%に近いほど、ある通過

地点における予測の偏軌距離が実際の偏軌距離(16m地点)を正確に予測していることを示し、予測率が低いほど実際の偏軌距離(16m地点)よりも小さい偏軌距離を予測したことを示す。また、100%よりも高い予測率の場合は、実際の偏軌距離(16m地点)よりも大きい偏軌距離を予測したことを示す。分析の際は、適合度の分析から直線的な歩行軌跡は適合度が低い結果であつたことから、16(対象者数)×21(試行)の計336の歩行軌跡の内、適合度が0.9以上の270(80%)の歩行軌跡を対象として分析した。また、16mの歩行距離について1m区間に分け、それぞれの区間における予測率の平均と標準偏差を求めた。

その結果を図5に示した。予測率は、0~0.99m区間では $32.32 \pm 127.42\%$ 、1~1.99m区間では $8.73 \pm 1721.47\%$ 、2~2.99m区間では $115.26 \pm 787.43\%$ 、3~3.99m区間では $48.93 \pm 306.96\%$ 、4~4.99m区間では $77.63 \pm 155.22\%$ 、5~5.99m区間では $82.28 \pm 141.79\%$ 、6~6.99m区間では $90.51 \pm 117.99\%$ 、7~7.99m区間では $88.19 \pm 84.44\%$ 、8~8.99m区間では $93.09 \pm 59.96\%$ 、9~9.99m区間では $98.58 \pm 45.46\%$ 、10~10.99m区間では $99.32 \pm 36.91\%$ 、11~11.99m区間では $100.44 \pm 30.62\%$ 、12~12.99m区間では $101.88 \pm 21.42\%$ 、13~13.99m区間では $101.95 \pm 18.40\%$ 、14~

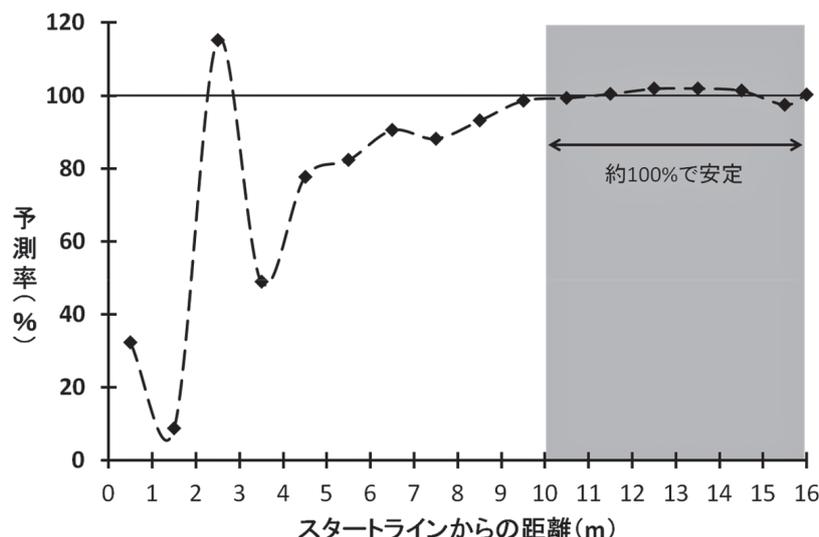


図5 各区間における予測率の平均と標準偏差

14.99m 区 間 では  $101.35 \pm 14.61\%$ 、15 ~ 15.99m 区 間 では  $97.51 \pm 13.85\%$ 、16m 地点では  $100.34 \pm 6.64\%$  であった。図5より、予測率は0 ~ 1.99m 区 間 では非常に低い値を示した。一方、2 ~ 2.99m 区 間 では予測率が100%よりも高い値を示した。3 ~ 3.99m 区 間 では予測率が低くなるが、10 ~ 10.99m 区 間 からは予測率が約100%で安定する結果となった。

## 4. 考察

門脇・牟田口 (2015) は、歩行速度 (「遅い」・「通常」・「速い」) が白杖歩行の偏軌に影響し、「速い」は「遅い」と比較して有意に偏軌距離が小さくなることを指摘している。本研究においてこの点を分析した結果、白杖を持つ手に関わらず、歩行速度「速い」は「遅い」と比較して有意に偏軌距離が小さく ( $p < .05$ )、先行研究の結果を支持するものであった。すなわち、先行研究と同様に、白杖歩行する際に、「通常」の歩行速度から0.8倍した速度 (「遅い」) より、1.2倍した速度 (「速い」) で歩行することで偏軌を小さくできると考えられた。

### 4.1. 線形近似および多項式近似の比較

本研究では、対象者の歩行軌跡に関して線形近似および多項式近似それぞれの関数を最小二乗法により求め、両者の適合度を歩行条件ごとに比較した。その結果、すべての歩行条件において、多項式近似の適合度は線形近似の適合度

と比較して、有意に高いことが明らかとなった ( $p < .01$ )。これまで偏軌に注目した際の歩行軌跡がどのような回帰直線あるいは回帰曲線になるかは明らかにされていなかった (柳原・三星, 2005) が、本研究の結果から歩行軌跡における偏軌は、歩行の開始から数mは直線を維持しつつ徐々に曲線的に進行方向から右あるいは左に偏軌していく様子が観察され、多項式近似のような曲線的な歩行軌跡を示すことが明らかとなった。このことから、歩行軌跡における偏軌は多項式近似によって説明できることが示唆された。ここで、本研究では多項式近似として  $f(x) = ax^2 + bx + c$  の二次関数を用いた。その理由は、スタートラインからの歩行距離 ( $x$ ) が伸びるに従い、図2のように歩行軌跡は曲線的に大きくなることが挙げられる。多項式近似の次数はデータの曲線の中に現れる屈曲の数によって決まっており、本研究の歩行軌跡の屈曲が一つであることから二次関数が適当であると判断した。視覚障害者の歩行中に偏軌が生じる場面の一つに横断歩道があり、この理論から横断距離が長い横断歩道ほど偏軌も大きくなり、横断歩道からはずれる危険性が高くなると考えられた。視覚障害者が安全に横断歩道を横断できるようにするためにも、歩行指導の際に指導者が視覚障害者の示す偏軌について多項式近似の視点から客観的に評価し、その指導に活かしていくことが必要であると考えられる。

一方、歩行軌跡によっては適合度が非常に低い値を示すものがあり、図4に示した歩行軌跡の場合、線形近似の適合度は0.0170、多項式近似の適合度は0.1291であった。これは直進歩行を維持していた場合、その軌跡は歩行路の基準線上に近い位置に示され、数値が一定の比率で増減する場合に適した線形近似、数値が変動する場合に適した多項式近似それぞれの性質に適していなかったことから適合度が低くなると推察される。

以上より、歩行軌跡における偏軌は直進歩行を維持していた歩行軌跡を除いて、多項式近似で説明できることが明らかとなった。直進歩行を維持していた歩行軌跡は偏軌がほとんど生じていないことを示しており、歩行軌跡に関して偏軌距離が影響をもたらすと示唆された。また、本研究では、先行研究（門脇・牟田口，2015）にならい、歩行速度および白杖の持ち手の要因が歩行軌跡における偏軌に及ぼす影響を検討したが、すべての歩行条件で多項式近似の適合度が線形近似のそれと比較して有意に高かった（ $p<.01$ ）ことから、歩行軌跡における偏軌に歩行速度および白杖の持ち手の要因が直接影響を及ぼさないことが示された。この点で、歩行速度「速い」は「遅い」と比較して有意に偏軌距離が小さく（ $p<.05$ ）、歩行速度が速いと偏軌距離は小さくなると推察され、その際の歩行軌跡は線形性が高まるとも考えられるが、実際は多項式近似のような曲線を呈した歩行軌跡になると示唆された。

#### 4.2. 多項式近似による偏軌予測

歩行軌跡における偏軌は多項式近似で説明できることが明らかとなったことから、対象者16名の計336の歩行軌跡の内、適合度が0.9以上であった270（80%）の歩行軌跡を対象に多項式近似の関数を用いた偏軌予測を試みた。その結果、図5より、予測率は0～1.99m区間では非常に低い値を示した一方で、2～2.99m区間では予測率が100%よりも高い値を示した。これは歩行軌跡における偏軌が0～1.99mのような歩き出しの段階では意図した方向への歩行を維持しているため多項式近似による16m地点での予測値が実際の偏軌距離（16m地点）よ

りも低く予測されるが、2m付近で意図した方向から徐々に偏軌が生じることで、多項式近似による16m地点での予測値も実際の偏軌距離（16m地点）よりも高く予測されたと考えられる。すなわち、歩行軌跡における偏軌に注目した際に、個人差はあるものの2mを通過した地点から偏軌傾向が生じてくると推察された。また、3～3.99m区間では再び予測率が低くなるが、そこからは予測率が徐々に上昇していき、10～10.99m区間からは予測率が約100%で安定する結果となった。このことから、歩行軌跡における偏軌は多項式近似を用いることで、歩行距離が伸びるに従って予測率も上昇していき、10mを通過した地点から16m地点での偏軌距離が予測できることが示された。すなわち、歩行軌跡における偏軌に注目した際に、歩行距離10mで歩行軌跡における偏軌の傾向が安定してくるといえるだけでなく、16mのように長い距離を歩行しなくても10m歩行した際の偏軌距離および歩行軌跡を求めることでそれよりも長い歩行距離での偏軌距離を予測できることを示している。この理論を用いると、本研究の歩行路はスタートラインからゴールラインまでの距離は16mであったが、10mの距離で直進歩行課題を実施し、その際の偏軌距離および歩行軌跡を分析することで、簡易的な方法で歩行軌跡における偏軌を評価できる可能性があることが示唆された。

さらに、この評価方法を用いると、実際の歩行場面でも応用することができる可能性がある。例えば、日本道路協会（2015）によると、横断歩道の長さは15m以下とすることが望ましいとされている。実際の歩行指導の場面を想定すると、横断距離が約10mの横断歩道での視覚障害者の歩行軌跡における偏軌の傾向をとらえることで、15mのような横断距離の長い横断歩道での偏軌についても予測できるようになると考えられる。また、実験的な場面になるものの、歩行指導の際に体育館のような傾斜のない環境において、視覚障害者の10m直進歩行課題における偏軌距離および歩行軌跡を評価することで、偏軌距離の大きさやその方向に加えて、10m以上の歩行距離で予測される偏軌距離といった情

報を視覚障害者にフィードバックした上で実際の場面で指導していくことも重要となると考える。ただし、実験的な環境での歩行軌跡における偏軌と実際の歩行場面でのそれとの相関についてはこれまで検討されていないことから、今後の課題である。

歩行軌跡における偏軌予測の課題として、歩行軌跡は一定のものではなく、同じ歩行軌跡をたどらないという点が挙げられる。そのため、一つの歩行軌跡につき一つの多項式近似の関数が求められ、それを他の歩行軌跡に般化することはできない。ただし、門脇・牟田口 (2015) の中途視覚障害シミュレーションによる実験では、直進歩行の際の対象者の歩行軌跡を左側に偏軌した者 (L 型)、左右どちらにも偏軌した者 (LR 型)、右側に偏軌した者 (R 型) の 3 類型に分類し、対象者によって偏軌する方向に傾向があることを示唆しているだけでなく、門脇ら (2017) は、先天性視覚障害者の中には偏軌が大きく、歩行軌跡を延長すると円を描くような歩行軌跡を示す者がいることを報告している。このことから、偏軌は視覚障害者によって偏軌の方向に加えて、偏軌の曲がり方にも一定の傾向があることが考えられるが、客観的な検証はなされていない。今後、個人内の歩行軌跡のばらつきについて検討が必要であると考えられる。

## 文献

- 1) Hill, E. & Ponder, P. (1977) *Orientation and mobility techniques. A guide for practitioner.* American Foundation for the Blind.
- 2) 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.
- 3) 門脇弘樹・菊池志乃・牟田口辰己 (2017) 白杖歩行における偏軌の特徴—先天性視覚障害者を対象として—. 広島大学大学院教育学研究科附属特別支援教育実践センター研究紀要, 15, 53-62.
- 4) 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.
- 5) 文部省 (1985) 歩行指導の手引. 慶應通信株式会社.
- 6) 日本道路協会 (2015) 道路構造令の解説と運用.
- 7) 大倉元宏・田中一郎・村上琢磨・清水 学 (1987) モビリティに関する実験的研究—障害物の形状と回避後の歩行軌跡—. 第 13 回感覚代行シンポジウム, 88-91.
- 8) 大倉元宏・村上琢磨・清水 学・田内雅規 (1995) 視覚障害者の歩行特性と駅プラットフォームからの転落事故. 人間工学, 31(1), 1-8.
- 9) 大倉元宏・三浦崇路・富永友樹・丸山雄大・池上敦子 (2006) 周囲音が視覚遮断直進歩行に及ぼす影響. 人間工学, 42(2), 119-125.
- 10) 大倉元宏・田内雅規 (2015) 左右の耳のマスクング差が視覚制限下における方向判断に及ぼす影響. 視覚リハビリテーション研究, 5(2), 43-52.
- 11) 芝田裕一 (2000) 視覚障害者のリハビリテーションと生活訓練—指導者養成用テキスト—. 社団法人日本ライトハウス養成部.
- 12) 田伏久士・植阪友理・野口忠則 (2014) 上半身の姿勢維持に関する意識づけが直線歩行に及ぼす影響. 視覚リハビリテーション研究, 4(1), 17-27.
- 13) 田中一郎・清水 学・村上琢磨 (1977) Mobility の基本的成分とその評価. 第 3 回感覚代行シンポジウム, 97-100.
- 14) Uematsu, A., Inoue, K., Hobara, H., Kobayashi, H., Iwamoto, Y., Hortobagyi, T., & Suzuki, S. (2011) Preferred step frequency minimizes veering during natural human walking. *Neuroscience Letters*, 505, 291-293.
- 15) 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.
- 16) 柳原崇男・三星明宏・北川喜代治・藤田和宏 (2007) 視覚障害者の道路横断行動と歩行支援情報システムの効果に関する研究. 福祉のまちづくり研究, 8(2), 23-32.