

歩行中のベアリングと白杖の反響音に関する基礎的研究<sup>※1</sup>

## ー視覚障害シミュレーションによる検討ー

門 脇 弘 樹<sup>※2</sup>・氏 間 和 仁<sup>※3</sup>・牟田口 辰 己<sup>※4</sup>

本研究では、歩行中のベアリングに白杖の反響音が及ぼす影響を定量的に明らかにすることを目的とした。実験参加者は、晴眼大学生17名であった。白杖歩行において、通常条件（日常的に白杖を使用する際と同じ条件で白杖を振る条件）と防音条件（白杖の反響音を低減させるために吸音材としてポリウレタンを白杖のチップ部分につけて振る条件）を設定し、視覚障害シミュレーションによる直進歩行課題を実施した。ベアリング量の分析には、絶対誤差（Absolute Error: 以下、AE）の指標を用いた。その結果、AEについて両条件の間に有意差は認められなかった。このことから、一般的に白杖の反響音は、直進方向を維持するための手掛かりとしては有効ではないと考えられた。一方、各条件のAEの値を比較するために、標準化したAE得点を求めたところ、白杖の反響音を手掛かりとすることでベアリングが低減される者や白杖の反響音の有無に関係なく一貫してベアリング傾向が強くなる者がいた。この点からは、反響音の利用に関する個人差が大きいことも示唆された。

キーワード：歩行、白杖、ベアリング、反響音

## I. はじめに

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（Kallie, Schrater, & Legge, 2007）。視覚障害者の歩行中にベアリングが生じると、歩行の安全性が侵され、重大な問題が生じる。Guth and LaDuke (1994) は、ベアリングの問題点として、①意図せずに道路や駐車場に入り込んでしまい危険な状況に陥る、②ベアリングすることで必要以上の距離を移動することになり、意図した方向に修正をしなければいけない、③物体間の空間関係を学習するための能力が阻害される、ことを挙げている。このように、ベアリングは歩行中の視覚障害者に危険を及ぼし、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。

先行研究では、ベアリング傾向が強い視覚障害者がいることが報告されており（Guth, 2007; 門脇・菊池・牟田口, 2017）、歩行中にベアリング傾向が強くなると怪我や事故のリスクも高くなる。一方、ベアリング傾向が強くない視覚障害者もあり、このような視覚障害者は何らかの手掛かりを活用することで直進方向を維持していると推察され、歩行のリスクも小さいといえる。これらを踏まえると、ベアリング傾向が強くない視覚障害者が歩行中に手掛かりにしている要因を明らかにすることができれば、それをベアリング傾向が強い視覚障害者に対する歩行訓練に応用させることができると考えられる。

では、ベアリング傾向が強くない視覚障害者はどのような要因を手掛かりに歩行中の直進方向を維持しているのだろうか。先行研究では、歩行中の周囲音がベアリングに影響することが明らかにされており（Millar, 1999; 大倉・三浦・富永・

※1 A Basic Study on Veering and Echoes of a White Cane during Walking: A visual impairment simulation study

※2 山口学芸大学教育学部

※3 広島大学大学院人間社会科学研究科

※4 元広島大学大学院教育学研究科

丸山・池上, 2006; 大倉・田内, 2015), 歩行中の手掛かりとして聴覚的な情報が有効になる可能性がある。視覚障害者が歩行する上で、白杖を突く音や環境音等の聴覚的な情報は重要な情報源となる。実際に、視覚障害者の多くは、環境の中の音響的变化により周囲の障害物の存在を認識することができるという障害物知覚を有しているといわれており(佐藤, 1991), 聴覚的な手掛かりを有効に活用できればベアリング低減に効果があると考えられる。

障害物知覚については、足音や白杖を突く音のように視覚障害者自身が発した音を手掛かりにしている場合と、環境音のように視覚障害者自身が発していない音を手掛かりとしている場合に分類されている(関・伊福部・田中, 1994)。この分類からベアリングとの関係についてみると、視覚障害者自身が発していない音については、先述したように周囲音がベアリングに影響することが明らかにされている(Millar, 1999; 大倉ら, 2006; 大倉・田内, 2015)。しかし、視覚障害者自身が発した音については、先行研究で白杖の反響音が障害物知覚において有効であると報告されている(Schenkman & Jansson, 1986)ものの、ベアリングとの関係は未だに明らかにされていないため検討が必要である。

そこで、本研究では、歩行中のベアリングに白杖の反響音が及ぼす影響を定量的に明らかにすることを目的とした。この点について基礎的な知見を得るために、視覚障害シミュレーションによる検討を行う。

## Ⅱ. 方法

### 1. 実験参加者

実験参加者は、晴眼大学生17名(男性6名と女性11名, 年齢 $21.12 \pm 0.83$ 歳)であった。本研究は、白杖歩行を想定しているため、大学の講義(5コマ分)でアイマスクによる白杖歩行の実習を受けた者を実験参加者として選定した。実験参加者は、白杖を用いた屋外歩行の経験を有していた。また、いずれの実験参加者も気導聴力検査の結果に異常はみられなかった。実験参加者に対し、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。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て行った。

### 2. 実験環境

本研究では、X大学体育館で視覚障害シミュレーションによる直進歩行課題を実施した。直進歩行課題では、ベアリング値のデータを計測するために、縦16m×横10mの歩行路を設定した。この実験環境は、先行研究(門脇・牟田口, 2015)と同様の環境であった。

聴覚環境の要因を統制する方法として、門脇・牟田口(2015)の手法にならって、進行方向を逆に進む条件をカウンターバランスとして取り入れる手法を採用した。また、実験環境の暗騒音を測定した。

### 3. 実験手続き

本研究では、白杖歩行において、2つの音条件を設定した。1つ目は、日常的に白杖を使用する際と同じ条件で白杖を振る条件(以下、通常条件)、2つ目は、白杖の反響音を低減させるため

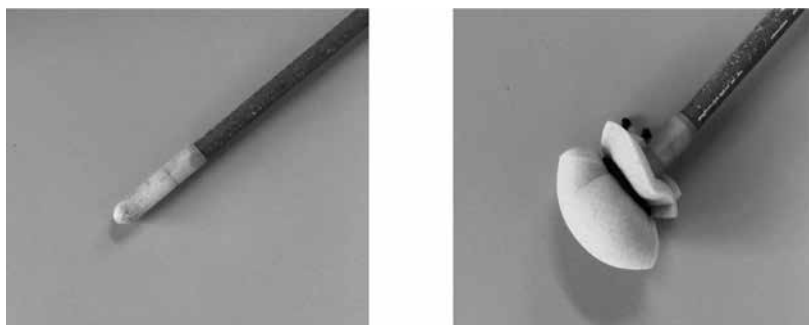


Fig. 1 通常条件(左)と防音条件(右)

に吸音材としてポリウレタンを白杖のチップ部分につけて振る条件（以下、防音条件）であった（Fig. 1）。この音条件に基づいて、本研究では（１）白杖の騒音レベルに関する測定、（２）直進歩行課題を実施した。

（１）白杖の騒音レベルに関する測定：白杖の騒音レベルを測定するために、実験参加者に直立した状態で白杖をタッチテクニックで振るように教示した。実験者は、騒音計（RION社製、NL-52）を実験参加者の右耳の位置に固定し、それぞれの条件で白杖を振った際の騒音レベルを測定した。その際、白杖を振る音以外の雑音が入らないように配慮した。

（２）直進歩行課題：先行研究では歩行速度がベアリングに影響することが指摘されている（門脇・牟田口, 2015; Klatzky, Loomis, Golledge, Cicinelli, Doherty, & Pellegrino, 1990; Uematsu, Inoue, Hobara, Kobayashi, Iwamoto, Horobagyi, & Suzuki, 2011）。そこで、本研究では、歩行速度の要因を統制するため、直進歩行課題を実施する前に歩行速度の設定を行った。門脇・牟田口（2015）と同様の手法で実験参加者それぞれの１分間当たりの歩数を算出し、それを「通常」の歩行速度とした。歩行速度の提示には、「BPM」というメトロノームアプリをインストールしたスマートフォン（SHARP 製、高さ：107mm、幅：54mm、厚さ：11.9mm、質量：約108g）を使用し、実験参加者に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アプリの振動で速度を提示しながら、その速度に合わせて歩くよう求めた。

次に、直進歩行課題を実施した。実験参加者は、アイマスクを着用し、履き慣れた靴で歩行した。なお、服装の指定はしていない。この課題では、実験参加者に16mの距離をスタート地点からゴールラインに向かって真っ直ぐ歩行させた。その際、実験参加者がゴールラインに到達したら実験者は合図をした。ベアリング値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実験参加者を再度スタート地点まで誘導した。ここまでが１試行であった。直進歩行課題は、通常条件および防音条件において６試行ずつ行い、計12試行を条件ごとに無作為に実施した。実験参加者は、直進歩行課題を実施する前にメトロノームア

プリの振動に合わせて歩く練習を行った。

#### ４．分析方法

（１）ベアリング値の解析：ベアリング値は、ウェアラブルカメラ（Panasonic製、HX-A500）およびiPad mini 3（Apple製）を用いて計測した。ウェアラブルカメラは腰に装着した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 3を連動させ、実験者がiPad mini 3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。ウェアラブルカメラで記録された映像（解像度：1920×1080、フレームレート：30p）は、Adobe Premiere Elements 10（Adobe製）を用いて解析した。その際、映像をもとに、実験参加者の右足親指に貼付した赤テープの位置を追跡することで求めた。映像は、歩行周期の右立脚期で止め、歩行路の中心から右足親指までの距離を計測した。本研究では、歩行路の中心からのベアリング量を分析するために、絶対誤差（Absolute Error: 以下、AEとする）の指標を用いた。

（２）統計解析：直進歩行課題について、各条件のAEを比較するために、対応のある $t$ 検定を実施した。統計解析には、R version 3.6.1を使用した。

### Ⅲ．結果

白杖の騒音レベルについて、最大騒音レベルは通常条件で $70.81 \pm 3.23$ dB SPL、防音条件で $61.71 \pm 2.56$ dB SPLであった。対応のある $t$ 検定を行った結果、有意差が認められた（ $t(16) = 9.14$ ,  $p = .00$ ,  $d = 3.14$ ）。また、暗騒音の平均は $56.52 \pm 2.03$ dB SPLであった。

Fig. 2に、AEの平均と標準偏差を条件ごとにそれぞれ示した。AEは通常条件で $1.52 \pm 1.03$ m、防音条件で $1.89 \pm 1.28$ mであった。対応のある $t$ 検定を行った結果、有意差は認められなかった（ $t(16) = -1.62$ ,  $p = .13$ ,  $d = -0.55$ ）。

また、個人内での白杖の反響音の影響を分析するために、各実験参加者のAEについて条件ごとに比較した（Table 1）。その結果、通常条件でAEが大きくなったのは17名中6名、防音条件でAEが大きくなったのは17名中10名、通常条件と防音条件でAEが等しかったのは17名中1名であった。この結果から、実験参加者によって、通

Table 1 実験参加者のAEとAE得点の結果

| 実験参加者 | AE (m) |      |      | AE得点  |       |
|-------|--------|------|------|-------|-------|
|       | 通常条件   | 防音条件 | 大小関係 | 通常条件  | 防音条件  |
| A     | 0.69   | 1.22 | <    | 0.80  | 0.52  |
| B     | 1.41   | 0.55 | >    | 0.11  | 1.05  |
| C     | 0.91   | 2.22 | <    | 0.59  | -0.25 |
| D     | 1.06   | 0.75 | >    | 0.44  | 0.89  |
| E     | 0.50   | 0.38 | >    | 0.99  | 1.18  |
| F     | 1.21   | 2.04 | <    | 0.30  | -0.11 |
| G     | 0.71   | 1.59 | <    | 0.79  | 0.24  |
| H     | 3.13   | 1.76 | >    | -1.57 | 0.11  |
| I     | 1.53   | 2.64 | <    | -0.01 | -0.58 |
| J     | 0.58   | 2.12 | <    | 0.91  | -0.18 |
| K     | 3.68   | 5.54 | <    | -2.11 | -2.85 |
| L     | 0.55   | 0.52 | >    | 0.94  | 1.07  |
| M     | 1.61   | 3.13 | <    | -0.09 | -0.97 |
| N     | 2.87   | 3.49 | <    | -1.31 | -1.25 |
| O     | 3.28   | 2.13 | >    | -1.72 | -0.18 |
| P     | 0.61   | 0.61 | =    | 0.89  | 1.01  |
| Q     | 1.45   | 1.51 | <    | 0.06  | 0.30  |
| Mean  | 1.52   | 1.89 |      |       |       |
| SD    | 1.03   | 1.28 |      |       |       |

常条件および防音条件のAEに大小関係があることが分かった。そこで、AEの値を標準化し、各条件の比較を行った。一般的に、標準化得点としてZ得点 $((AE - \text{平均値}) / \text{標準偏差})$ が用いられるが、Z得点は平均よりも値が大きいと正、平均よりも値が低いと負で表される性質がある。AEの値をZ得点に変換する場合、AEが大きい

ほど得点が高く、小さいほど得点が低くなるため、その特徴を表すのに適していないと考えられた。そこで、AEが大きいほど得点が低く、小さいほど得点が高くなるように、計算式のAEに $-1$ を掛けた上でZ得点を算出し、これをAE得点 $((AE \times (-1)) - \text{平均値}) / \text{標準偏差})$ と表すことにした (Table 1)。

Fig. 3 には、AE得点の散布図を示した。実験

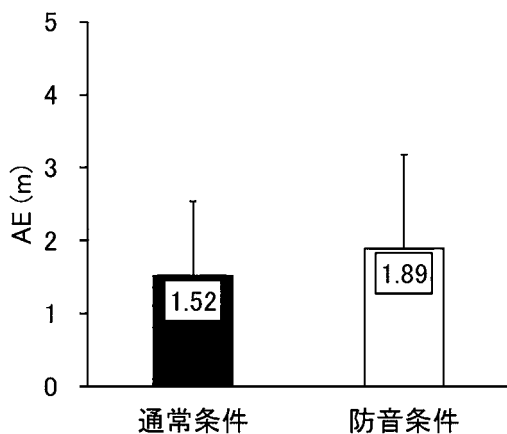


Fig. 2 AEの平均と標準偏差

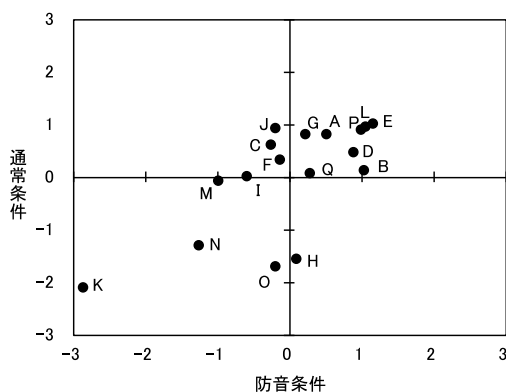


Fig. 3 AE得点の散布図

参加者C・F・Jは防音条件と比較して通常条件でAE得点が高くなる傾向があった。実験参加者Cの通常条件は0.59点 (AE: 0.91m), 防音条件は-0.25点 (AE: 2.22m) であった。実験参加者Fの通常条件は0.30点 (AE: 1.21m), 防音条件は-0.11点 (AE: 2.04m) であった。実験参加者Jの通常条件は0.91点 (AE: 0.58m), 防音条件は-0.18点 (AE: 2.12m) であった。この3名のAE得点は防音条件で負の値であったが、通常条件で正の値になっており、白杖の反響音があることでベアリングの低減が示された。

一方、実験参加者H・Oは通常条件と比較して防音条件でAE得点が高くなる傾向があった。実験参加者Hの通常条件は-1.57点 (AE: 3.13m), 防音条件は0.11点 (AE: 1.76m) であった。実験参加者Oの通常条件は-1.72点 (AE: 3.28m), 防音条件は-0.18点 (AE: 2.13m) であった。この2名は、通常条件においてAEが3m以上であった。

また、実験参加者K・Nは両条件でAE得点が低くなる傾向があった。実験参加者Kの通常条件は-2.11点 (AE: 3.68m), 防音条件は-2.85点 (AE: 5.54m) であった。実験参加者Nの通常条件は-1.31点 (AE: 2.87m), 防音条件は-1.25点 (AE: 3.49m) であった。

#### IV. 考察

本研究は、ベアリングに白杖の反響音が及ぼす影響について明らかにすることを目的とするため、まず白杖の騒音レベルについて検討した。その結果、直進歩行課題に先立って実施した白杖の騒音レベルに関する測定では、通常条件の最大騒音レベル ( $70.81 \pm 3.23$  dB SPL) と比較して、防音条件の最大騒音レベル ( $61.71 \pm 2.56$  dB SPL) が有意に低くなったことが示された。また、実験環境の暗騒音の平均は  $56.52 \pm 2.03$  dB SPL であった。防音条件の最大騒音レベルと暗騒音の平均の差は約 5 dB SPL であり、同程度の値であった。これらのことから、本研究で用意した直進歩行課題において、音条件を設定することで、ベアリングに白杖の反響音がもたらす影響を検討することが可能と考えられた。

直進歩行課題において、AEは通常条件で  $1.52 \pm 1.03$  m, 防音条件で  $1.89 \pm 1.28$  m であった。対

応のある  $t$  検定を行った結果、有意差は認められなかった。この結果から、白杖の反響音はベアリング低減のための手掛かりにはならないと考えられた。Schenkman and Jansson (1986) は、白杖の反響音が障害物知覚において有効であることを報告している。この知見と本研究の結果を踏まえると、白杖の反響音は障害物知覚において有効であるものの、直進方向を維持するための手掛かりとしては有効ではないと考えられた。

一方、個人内での白杖の反響音の影響を分析したところ、これとは異なる特徴がみられた。各実験参加者のAEについて条件ごとに比較した結果、通常条件でAEの値が大きくなった者 (6名)、防音条件でAEの値が大きくなった者 (10名)、通常条件と防音条件でAEの値が等しかった者 (1名) がいることが明らかになった。この結果から、実験参加者によって、通常条件および防音条件のAEに大小関係があることが示された。そこで、AEの値を標準化したAE得点を算出して、実験参加者ごとに各条件の比較を行った。

その結果、実験参加者C・F・Jは防音条件と比較して通常条件でAE得点が高くなる傾向があり、この3名は通常条件でベアリング傾向が弱くなることが示された。日本道路協会 (2015) によると、「横断歩道の幅員は、原則として幹線道路相互の交差では4m、細街路相互の交差では3mを最小とし、必要に応じて1m単位で広くする。」とされている。この基準から、横断歩道を横断中に左右いずれかの方向に1.5~2mのベアリングが起きると、横断歩道から逸脱し、怪我や事故のリスクが高くなると考えられた。この点で、実験参加者C・F・Jのベアリングは、防音条件では2m以上であったが、通常条件では1.5m未満であり、歩行中に白杖の反響音を手掛かりとすることで、ベアリングが低減され、歩行の安全性が高まると推察された。

一方、実験参加者H・Oは通常条件と比較して防音条件でAE得点が高くなる傾向があり、この2名は通常条件において3m以上のベアリング傾向がみられた。ただし、防音条件においても1.5m以上のベアリング傾向があったことから、白杖の反響音の要因ではなく、ベアリング傾向が強いことがこの結果に影響していたと推察された。

実験参加者K・Nは両条件でAE得点が低くな

る傾向があった。すなわち、この2名は白杖の反響音の有無に関係なく、一貫してベアリング傾向が強くなることが明らかになった。先行研究では、ベアリング傾向が強い視覚障害者がいることが報告されており (Guth, 2007; 門脇ら, 2017), 本研究は視覚障害シミュレーションによる検討ではあったものの、実験参加者K・Nもこの傾向があったと考えられる。Guth and LaDuke (1994) は、ベアリングの問題点の1つに、意図せずに道路や駐車場に入り込んでしまい危険な状況に陥るということを挙げており、ベアリング傾向が強くなると横断歩道からの逸脱やホーム転落 (Murakami et al., 1987; Murakami, et al., 1988) の原因となるため、特に注意が必要である。ベアリング傾向が強い視覚障害者に対して、歩行訓練の中で歩行状態を評価し、介入していくことが必要だと考えられる。

## V. おわりに

本研究では、歩行中のベアリングに白杖の反響音が及ぼす影響について、基礎的な知見を得ることができた。本研究の結果から、AEについて、両条件の間に有意差は認められなかった。このことから、一般的に白杖の反響音は直進方向を維持するための手掛かりとしては有効ではないと考えられた。一方、白杖の反響音を手掛かりとすることでベアリングが低減される者や白杖の反響音の有無に関係なく一貫してベアリング傾向が強くなる者がいた。この点からは、反響音の利用に関する個人差が大きいことも示唆された。これらの結果から、歩行訓練の中でその歩行特性に応じたアプローチが必要になると考えられた。ただし、本研究の実験参加者はアイマスクによる白杖歩行の実習を受けた者であったものの、晴眼者であったため白杖の反響音を手掛かりとした歩行について十分とはいえなかった。そのため、視覚障害者を対象に本研究の視点から検証することで白杖の反響音の影響について詳細に明らかにすることが必要である。

## 付記

本論文は、平成30年度に広島大学大学院教育学研究科に提出した博士論文 (未公刊) の一部を再編集、再分析したものである。

## 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。本研究はJSPS科研費21K13634の助成により行われた。

## 文献

- 1) Guth, D. (2007) Why does training reduce blind pedestrians' veering? *Blindness and brain plasticity in navigation and object perception*, 353-365.
- 2) Guth, D. & LaDuke, R. (1994) The veering tendency of blind pedestrians: An analysis of the problem and literature review. *Journal of visual Impairment & Blindness*, 88, 391-400.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) Klatzky, R. L., Loomis, J. M., Golledge, R. G., Cicinelli, J. G., Doherty, S., & Pellegrino, J. W. (1990) Acquisition of route and survey knowledge in the absence of vision. *Journal of motor behavior*, 22(1), 19-43.
- 7) Millar, S. (1999) Veering re-visited: Noise and posture cues in walking without sight. *Perception*, 28, 765-780.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 日本道路協会 (2015) 道路構造令の解説と運用.
- 11) 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.
- 12) 大倉元宏・田内雅規 (2015) 左右の耳のマス킹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.
- 13) 佐藤泰正 (1991) 視覚障害学入門. 学芸図書株式会社.
- 14) Schenkman, B. N. & Jansson, G. (1986) The detection and localization of objects by the blind with the aid of long-cane tapping sounds. *Human Factors*, 28(5), 607-618.
- 15) 関 喜一・伊福部達・田中良広 (1994) 盲人の障害物知覚と反射音定位の関係. 日本音響学会誌, 50(4), 289-295.
- 16) 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.

