

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	積雪寒冷地における視覚障がい者のための音サインを用いた屋外歩行誘導に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	福田菜々
Author(English)	FUKUDA Nana
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9515号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種類:課程博士, 審査員:大野 隆造,大佛 俊泰,清水 寧,中村 芳樹,室町 泰徳,那須 聖
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9515号, Conferred date:2014/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

平成 25 年度 博士論文

積雪寒冷地における視覚障がい者のための
音サインを用いた屋外歩行誘導に関する研究

福田 菜々

目次

第1章 序論

1.1 研究の背景と目的	1
1.2 関連する既往研究と本研究の位置づけ	3
1.3 本研究における歩行誘導とその対象範囲	6
1.4 研究の構成	7

第2章 積雪寒冷地に住む視覚障がい者の屋外単独歩行に関する実態把握

2.1 本章の目的	12
2.2 調査方法	12
2.3 結果と考察	13
2.4 冬季に有効な手がかり	18
2.5 まとめ	19

第3章 音サインと壁面が視覚障がい者の直進歩行に与える影響

3.1 本章の目的	21
3.2 屋内歩行実験の概要	21
3.3 結果	24
3.4 考察	28
3.5 まとめ	35

第4章 積雪路面上における視覚障がい者の直進歩行を誘導する音サインの効果

4.1 本章の目的	37
4.2 積雪期における屋外歩行実験の概要	38
4.3 結果	46
4.4 考察	48
4.5 まとめ	56

第5章 音サインの差異が視覚障がい者の歩行誘導に与える影響と学習効果

5.1 本章の目的	59
5.2 場所に適した音サインの選定と音量の決定	59
5.3 実験の概要	63
5.4 結果	69
5.5 考察	77
5.6 まとめ	85

第6章 結論

6.1 結論	89
6.2 今後の課題	91

業績リスト

付録

歩行軌跡データ

第1章

序論

1. 1 研究の背景と目的
1. 2 関連する既往研究と本研究の位置づけ
 1. 2. 1 既往研究の調査と分類
 1. 2. 2 本研究の位置づけ
1. 3 本研究における歩行誘導とその対象範囲
1. 4 研究の構成

第1章 序論

1.1 研究の背景と目的

わが国では、高齢者や障がい者の社会参加の推進を図るため、平成6年に「高齢者、身体障害者等が円滑に利用できる特定建築物の建築の促進に関する法律（通称「ハートビル法」）」が制定され、平成12年には「高齢者、身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律（通称「交通バリアフリー法」）」が制定された。その後、これら2つの法律を統合・拡充するため、平成18年に「高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律（通称「バリアフリー新法」）」が制定された。このような法的な経緯もあり、障がい者などが単独で外出できる環境が徐々に整備されつつある。平成23年には国土交通省が視覚障がい者と聴覚障がい者を対象にした大規模な調査¹⁾を行い、今後優先的に取り組むべき事項についてまとめている。

外出が困難ないわゆる交通弱者の中でも、全盲の視覚障がい者に対する支援策については古今東西取り組まれている。現在、視覚障がい者は全国で31.5万人いるとされる²⁾。晴眼者とは異なり、視覚情報が得られない視覚障がい者は、聴覚や触覚、ときには嗅覚といったさまざまな感覚を利用して情報（手がかり）を環境に探り、的確に拾いあつめることを持続的に行うことで単独歩行を可能にしている。たとえば、視覚障がい者は白杖を左右に振りながら前方にある障害物を把握し、これを避けながら歩いているが、変化する環境に応じて白杖の振り方をタッチテクニックからスライド法^{注1)}に変えるなどして、柔軟に対応している。また、白杖が地面に接することによって生じる音の広がり方や反射音の聞こえ方が変化することで、視覚障がい者は周囲環境の構成要素やその変化などを読みとっている。視覚障がい者と環境との情報を介したこのような関係は、視覚障がい者による一方的な情報の受容というよりはむしろ、視覚障がい者と環境との双方による生態心理学的な関係であると捉えられる。

生態心理学とは、J.J. ギブソンが著書「生態学的知覚システム³⁾」で提唱した情報にもとづく知覚理論を基本とした考え方であり、「刺激→知覚」という一方向で因果的につながっているという伝統的な知覚理論とは異なる。ギブソンは、視覚をはじめとするさまざまな感覚器官を、受動的な刺激の受け手ではなく、環境の情報（刺激）を能動的に抽出するはたらきをもつ「知覚システム」として説明している。この場合に知覚とは、環境と人間との相互依存関係によって成立するものであるとした^{注2)}。人は何かを見るとき、焦点を合わせたり、頭の位置を調整したりするなど、能動的に動いている。そしてこれらの動きが刺

注1) 白杖の振り方にはタッチテクニックとスライド法といわれる方法がある。タッチテクニックは、左右に弧を描くようにして白杖を振り、弧の中央を浮かせて、左右の2点を地面に軽くタッチする方法である。スライド法は、地面に白杖を滑らせながら左右に振る方法である。スライド法の方が地面の変化や段差を早く見つける場合に有効であり、下り階段の近くや駅のホームなどの段差がある場所ではスライド法を用いることとされている。一方、舗装の状態により地面の凹凸が著しいときは、タッチテクニックがよく用いられる（文献35）。

注2) 知覚が、環境と動物との相互依存関係において成立するという点が「生態学的」と呼ばれる所以である。

激の変化（たとえば対象の裏面が見えるようになること）をひき起こしていく。すなわち、生態心理学では、人間の行動が環境からの情報を一方的に受けるだけでなく、環境に働きかけたり、環境内での位置を変えたりすることを通じて新たな情報を受け取り、それが次の行動を調整するといった循環的な関係を考える。したがって、視覚障がい者の行動にともなって、環境からの情報は刻々と変化し、その変化が有用な情報として視覚障がい者の次なる行動を支えているといえる。

しかし、札幌のような積雪寒冷地では、冬季は降雪により環境が著しく変化し、夏季であれば利用できる情報も有効に活用できない場合が多い。視覚障がい者の歩行誘導支援策の代表例である「視覚障害者誘導用ブロック」（以下「誘導ブロック」）も、一旦雪に覆われてしまうとその効果を完全に失ってしまうように、視覚障がい者と環境そして情報の生態心理学的関係が機能しない場合が考えられる。また、積雪により縁石が覆われ、車道と歩道との区別が付かず、いつの間にか車道に出てしまうことや、歩道の雪山を避けて歩くうちに方向を誤まり迷ってしまうことも少なくない。さらに、冬季は天候や除雪・排雪作業により環境が刻々と変化するという点で、視覚障がい者の単独歩行は難易度・危険度ともに上がる。こうした中、冬季の屋外での単独歩行を有効に支援するための解決策は未だなく、冬季は外出を我慢せざるを得ない人や外出介助を依頼する人も多く、心理的ストレスや経済的負担が増える一方、社会参加の機会は減少する傾向にある。

北海道では、10年間を計画期間とする障がい者施策に関する基本計画⁴⁾に基づき、北海道の地域特性を踏まえた「移動・交通のバリアフリー促進」が図られており、環境のバリアフリー化を目指した具体的な施策を示すことが求められている。

一般的に視覚障がい者の歩行誘導支援策について議論する場合、

- A. 歩行空間に何らかの装置を付加し、さらにその装置を利用するための専用端末機を視覚障がい者が携帯し利用する歩行誘導支援策
- B. 歩行空間に何らかの装置を付加し、視覚障がい者の諸感覚を利用する歩行誘導支援策

という2つの考え方がある。インフラ整備はどちらも不可欠ではあるが、その利用方法が大きく異なる。音声標識ガイドシステムである「シグナルエイド」は、Aの歩行誘導支援策に該当し、視覚障がい者が小型送受信機を携帯することで絶対的な位置や方向などの音響・音声案内を必要時に受信できるというものであり、周囲に迷惑がかからないという利点がある。しかし、2009年に厚生労働省が行った音声案内システムの現状調査⁵⁾によると、これらの音声案内システムを日常的に利用していると答えた視覚障がい者の割合は全国で4%であることが明らかになっている。低い利用率の理由として、インフラ整備に関わるコストや端末機の標準化が進まないといった運用上の問題の他、「わざわざ端末をもっ

ていくのは大変」、「端末操作に気を取られ周囲の状況がわからなくなる」、「両方の手がふさがってしまう（片方は白杖、もう片方は端末機）」、「白杖の操作がおろそかになる」といった、視覚障がい者による利用上の不便さが挙げられている。

一方、音響装置付信号機（以下「音響信号」）はBの歩行誘導支援策として挙げられる。音響信号はそもそも視覚障がい者に歩行者用青信号の表示を開始したことまたは表示を継続していることをメロディ等が鳴ることで知らせるものだが、実際にはスピーカから流れる音情報は視覚障がい者が道路を安全に横断する際の方向や直進歩行を誘導する手がかりとしても機能している。Bの歩行誘導支援策は、視覚障がい者が能動的に手がかりとしての情報を環境から抽出するという生態心理学的な関係によって成立していると考えられる。ゆえに、視覚障がい者は自らの感覚を利用し行動するため、端末機を携帯する必要はない。しかし、情報受容の感度は視覚障がい者個人の感覚に左右されること、また発信される情報は、晴眼者にとっては不要なものであるため、導入するには近隣に及ぼす影響を周到に調査、予測、評価する必要がある。

そこで、本研究は、Bの歩行誘導支援策の考え方にもとづき、特に視覚障がい者と環境との音情報を介した生態心理学的な関係に着目した歩行誘導支援策を計画し、屋外での誘導効果について明らかにすることを目的とする。この成果は今後積雪寒冷地における視覚障がい者のための屋外歩行誘導支援策を計画する際の基礎的な資料となると考える。

1.2 関連する既往研究と本研究の位置づけ

近年、交通バリアフリー法やバリアフリー新法の施行の影響もあり、全国各地でさまざまなバリアフリー環境が整備されつつある。このような動向の中、視覚障がい者の単独歩行を推進する動きがあり、それを支えるための研究はこれまで以上に数多く行われている。視覚障がい者に関連する既往の研究を整理すると、主に視覚障がい者の①歩行移動の実態、②空間認知メカニズム、および③歩行誘導支援技術の開発に関する研究の3つに大別される。

1.2.1 既往研究の調査と分類

視覚障がい者の歩行移動の実態に関する既往研究

近年では松田ら⁶⁾による中途失明者の白杖の使い方などの歩行様態と身体的特徴および街路の構成要素との関係について明らかにした研究や、人見ら⁷⁾による視覚障がい者の白杖の使い方のパターンと構築環境の構成要素の把握に関する研究がある。これらはいずれも、白杖によって知覚される歩行環境について論じられているが、本研究のように冬季における歩行移動を想定した場合、積雪によって白杖を十分有効に利用できない場合が多いため、構築環境や構成要素の把握に影響が出ると考えられる。

積雪寒冷地を対象として行われた視覚障がい者の歩行移動に関連する研究には安倍ら⁸⁾

や藤原ら⁹⁾の研究がある。安倍らは青森市を対象に、視覚障がい者の冬季歩行事故の特性、冬季歩行環境の問題、盲導犬の雪道歩行問題の整理をしているが、視覚障がい者の歩行時の具体的な行動と冬季の歩行環境の問題点との関係性については述べられておらず説明が必要である。藤原らの研究は、札幌に住む高齢視覚障がい者の冬季の外出状況について詳細な描写がされており、本研究と関連する点も見られる。しかし、高齢中途失明者の歩行実態とその介護者の実際の声を中心にした冬季の外出に対する恐怖心や葛藤に関する内観報告であり、事例紹介にとどまっているといえる。

生態心理学的な観点から視覚障がい者の歩行移動について分析を行っている研究としては、伊藤¹⁰⁾の研究が挙げられる。伊藤は視覚障がい者の歩行に影響する手がかりとして聴覚情報に着目し、地下街での歩行実験を通して視覚障がい者の経路探索に關与する要因について研究を行っている。これは生態心理学的なアプローチを行っている点で本研究と関連が深い。通路の終わり・曲がり角・建築物の縁といった継ぎ目の場所（転回場）を対象としており、より長い連続的な歩行中における視覚障がい者と環境との生態心理学的関係に着目した本研究と分析対象が異なる。

ほかにも福原ら¹¹⁾による放置自転車が視覚障がい者の歩行の安全性に及ぼす影響や、高田ら¹²⁾による視覚障がい者の外出状況と支援ニーズについて調査した研究などを含め数多く報告されている。

以上、概観した視覚障がい者の歩行移動の実態に関する研究の数は多いものの、積雪寒冷地における研究蓄積は極めてわずかであり、その内容はいずれも積雪寒冷地特有の冬季の物理的な問題点や、それが視覚障がい者に及ぼす心理的な影響を指摘するにとどまっている。冬季に生じる問題によって視覚障がい者の歩行移動中の行動がどのように阻害されるのかなど、具体的な行動面の変化に及ぼす影響については明らかにされていない。

視覚障がい者の空間認知メカニズムに関する既往研究

海外では半世紀前に Supa ら¹³⁾によって、視覚障がい者が障害物を知覚する際のメカニズムを解明するための実験が行われ、視覚障がい者が障害物を知覚する際には主に聴覚感覚が関与していることを示した。その後も、Rieser ら¹⁴⁾による視覚経験と正確な構築空間認知との関係に関する研究、視覚経験のない先天性視覚障がい者が優れた空間把握能力を獲得できることを報告している研究¹⁵⁾など、視覚障がい者の環境知覚・認知のメカニズムが解明されてきた^{16, 17)}。近年の日本では、太田ら¹⁸⁾が、視覚障がい者が周囲環境からの刺激により空間や経路を把握し、未知の歩行経路を数回の歩行を通して学習していく過程を明らかにしている。また永幡¹⁹⁾の研究では、視覚障がい者が場所を特定する過程として、階層的に音を捉え徐々に場所を特定する場合と、並列的に複数の音を捉え総合的に場所を特定する場合の2種類があるとした。ほかに、亀谷ら^{20, 21)}は、屋内の模擬空間における実験により、視覚障がい者の空間探索時の行動特性と空間がもつ形態特性との相関性

を明らかにしている。

このように、視覚障がい者が環境からの情報をもとにその空間を知覚していく過程に関する研究は国内外で数多くなされてきており、本研究の結果を考察する上で参考にすることが多い。しかし、これまで積雪寒冷地で生活する視覚障がい者が冬季の歩行空間をどのように捉え、また積雪寒冷地特有の問題が視覚障がい者の空間認知のメカニズムに与える影響については明らかになっていない。

視覚障がい者の歩行誘導支援技術の開発に関する研究

視覚障がい者のための歩行誘導支援技術の開発に関する研究は、視覚障がい者に関連する研究の中でも最も数多くなされている領域であろう。日本では1960年代より、電子情報技術を活用したさまざまな歩行支援装置の開発が始まった²²⁾。この時代の支援装置の特徴として主に超音波センサを用いた障害物探知機が見られる。しかし近年では、視覚障がい者の歩行をナビゲートするシステムの開発が盛んに行われている。

鈴木ら²³⁾の携帯電話およびBluetooth機能を駆使した新しい歩行誘導支援システムの開発研究や、GPS機能を応用したもの²⁴⁾、RFIDを組み込んだ点字ブロックを白杖で読み取らせるシステム²⁵⁾、音声地図と遠隔支援の併用によるもの²⁶⁾、USBカメラと測域センサを用いているもの²⁷⁾など、IT技術の発展にともないさまざまな試みがなされている。しかしこのような歩行支援策は歩行空間と視覚障がい者の双方に何らかの装置を必要とする考え方（前述A）であり、普及を考慮した際、前節で取りあげたさまざまな課題が残る。この点において、視覚障がい者の諸感覚を利用した歩行誘導支援策（前述B）を目指している本研究と、ここに挙げた既往研究は基本的な考え方が異なる。

1.2.2 本研究の位置づけ

既往研究の整理から、本研究の位置づけを示したものを図1-1に示す。

第1章では、障がい者の外出行動を支援するバリアフリー環境整備への社会的関心の高

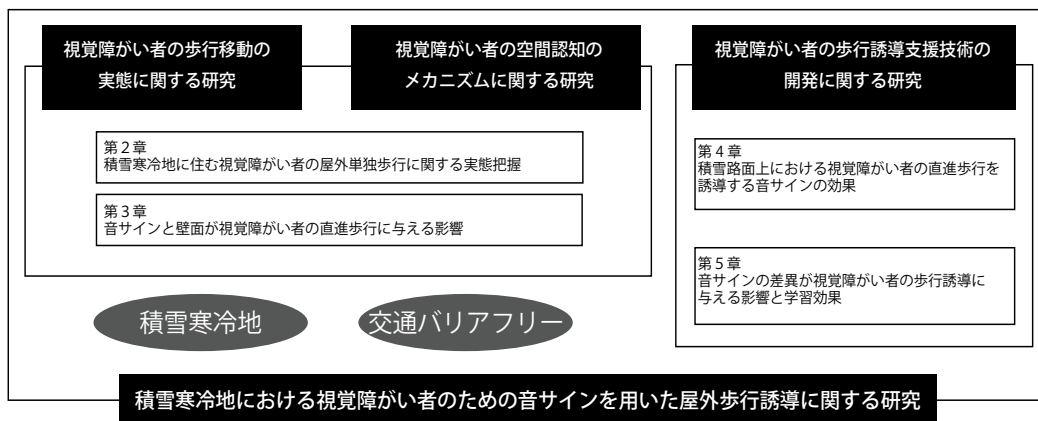


図1-1 既往研究の分類と本研究の位置づけ

まりを背景に、視覚障がい者に関連する既往研究を調査し、「歩行移動の実態」、「空間認知メカニズム」、「歩行誘導支援技術の開発」の3領域に分類した上で、本研究がこれら3領域に渡った総合的な研究であることを述べている。

第2章の研究は、視覚障がい者の単独歩行の実態および積雪寒冷地に見られる特有の問題点を把握し、視覚障がい者と環境の生態心理学的な情報のやりとりを解明することが目的であり、視覚障がい者の歩行移動の実態に関する研究と空間認知メカニズムに関する研究の2領域に関連した研究として位置づけられる。

第3章は、視覚障がい者が空間を読み取りながら歩行する場合において、音サインが視覚障がい者の直進歩行に与える影響を明らかにしているため、第2章同様、視覚障がい者の歩行移動の実態に関する研究と空間認知メカニズムに関する研究の2領域に関連した研究として位置づけられる。

第4章と第5章では、屋外での実用化に向けた音サインによる歩行誘導支援策の検討を行っており、視覚障がい者の歩行誘導支援技術の開発に関する研究として位置づけられる。

したがって、本研究は第2章から第5章までが視覚障がい者に関する複数の研究領域に渡った総合的な研究として捉えることができ、さらに積雪寒冷地、交通バリアフリーという2つの要素を絡めた数少ない実践的な研究として位置づけられる。

1.3 本研究における歩行誘導とその対象範囲

一口に視覚障がい者の歩行誘導といえど、その範囲は広い。近年の視覚障がい者のための歩行誘導支援技術をまとめたものを表1-1に示す。これらをもとに歩行誘導の種類を考えると、①視覚障がい者が行きたい場所へ自律的に移動するための目的地までの経路誘導、②視覚障がい者が安全かつ的確に反対側の歩道まで渡るための交差点での横断誘導、そして③建物や駅等の位置を知らせるための入口等への案内誘導の3つに大別できる（図

表1-1 近年の視覚障がい者のための歩行誘導支援技術

新技術型	情報提供手段	携帯端末機	誘導の種類
田中ら ²⁸⁾ 歩行者ITS+誘導ブロック	音声	ヘッドフォン、PDA	目的地までの経路誘導
小倉ら ²⁹⁾ FM電波	音声	市販のラジオ	目的地までの経路誘導
柳原ら ³⁰⁾ PICS、赤外線	音声	PICS端末	交差点の横断誘導
後藤ら 誘導ブロック+RFID	音声	携帯端末	目的地までの経路誘導
石川ら GPS	音声、点字	PDA、GPS受信機	目的地までの経路誘導
中村ら ³¹⁾ 超音波センサ、地磁気センサ	音声、ブザー音	万歩計、地磁気センサ	目的地までの経路誘導
鈴木ら bluetooth	音声	携帯電話	目的地までの経路誘導
家永ら 音声地図、テレビ電話	音声、テレビ電話	ICレコーダ、携帯電話	目的地までの経路誘導
木口ら USBカメラ、測域センサ	音声	キャリーケース (USBカメラ、測域センサ)	歩行可能領域、障害物探知
浅見ら ³²⁾ WEBカメラ、通信機器、画像検出プログラム	振動、点字	WEBカメラ、ノートPC、白杖	交差点での横断誘導
従来型	情報提供手段	携帯専用端末	誘導の種類
視覚障害者誘導用ブロック	誘導ブロックの凹凸	なし	地点間の経路誘導
音響装置付信号機	音声	なし	交差点の横断誘導
盲導鈴	音声	なし	入口等への案内誘導
エスコートゾーン	路面の凹凸	なし	交差点での横断誘導

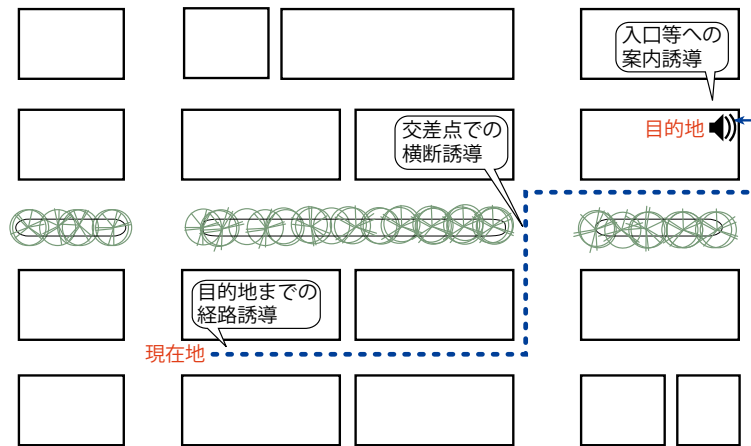


図1-2 視覚障がい者のための歩行誘導の種類

1-2参照)。このように、視覚障がい者のニーズに合わせ、それぞれの場面に適した歩行誘導の開発が行われており、また、ほとんどの支援技術において視覚障がい者に情報を提供する手段として、音声を用いているという特徴が挙げられる。

しかし、中内ら³³⁾が指摘しているように、視覚障がい者の歩行では偏軌傾向 (veering tendency) という視覚情報が得られない人に特有の現象が見られる。偏軌傾向とは、視覚情報が得られない人が直進歩行したとき、本人は直進しているつもりでも実際の歩行軌跡が左右どちらかにずれてしまうことをいう。事実、視覚障がい者が車道にはみ出してしまふといった事態はそもそもこの偏軌傾向による影響が大きく、視覚障がい者が直進歩行を維持することは困難であると考えられる。したがって、交差点から次の交差点までといった区間を正確に直進歩行できているとは限らず、またその区間の歩行を誘導する支援策は現在見当たらない(ただし、誘導ブロックはこの区間の歩行を誘導するが、冬季は積雪によって機能しないことを考慮しなければならない)。

そこで本研究では、音情報を用いながらも視覚障がい者は端末機を必要とせず、歩行空間を移動中に諸々の感覚で自らの偏軌に気付き、歩道から逸脱することなく安全に直進歩行を維持するための歩行誘導、言い換えるならば、安全な「歩行経路の提示」を目指す。したがって、目的地までの経路誘導や交差点での適切な横断誘導については他の研究に譲るとし、本研究の対象範囲からは除外している。

1.4 研究の構成

本研究の構成を図1-3に示す。

第1章「序論」では、研究の背景と目的について明示し、既往研究を整理・概観した上で本研究の位置づけを行い、本論文の構成について述べる。

第2章では、視覚障がい者の単独歩行中における環境との生態心理学的な情報のやりと

りについてその様相をインタビュー調査によって明らかにし整理するとともに、積雪寒冷地特有の問題点を把握する。

第3章では、視覚障がい者の直進歩行に対する音サインの基礎的な誘導効果について明らかにすることを目的とし、屋内歩行実験を行い、音源の配置や壁の有無による影響の差異を検証する。

第4章ならびに第5章では、実用化に向けた具体的な計画手法について検証を行う。

第4章では、スピーカの配置間隔や地面に対する取付角度によって作り出される異なる音環境が視覚障がい者の直進歩行や周囲に与える影響を積雪路面上で検証する。

第5章では、第4章の結果を受け、実用化の上で最も有利であったスピーカの配列構成を用いて、音サインのコンテンツによる誘導効果の差異や再生音量について分析し、歩行経路の提示を目指す上で、好ましい音サインのあり方を検証する。

第6章では、本研究を総括し、今後の展望および課題を述べる。

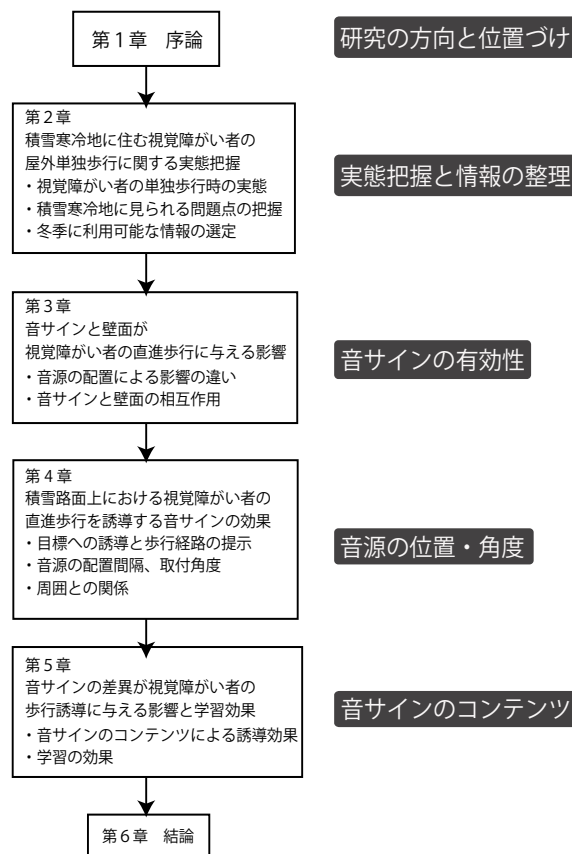


図1-3 本研究の構成

第1章 参考文献

1. 国土交通省：視覚・聴覚障害者の安全性・利便性に関する調査研究報告書，国土交通省総合政策局安心生活政策課，2011.3
2. 内閣府：平成25年版障害者白書，2013.6
3. James J. Gibson, 佐々木正人・古山宣洋・三嶋博之監訳：生態学的知覚システム 感性をとらえなおす，東京大学出版会，2011.5
4. 北海道：北海道障がい者基本計画（素案），北海道保健福祉部福祉局障がい者保健福祉課，2013.
5. 厚生労働省：視覚障がい者の歩行移動を支援するための音声案内システムの現状及び今後のあり方に関する調査報告書，平成21年度障害者保健福祉推進事業，厚生労働省，特定非営利活動法人プロジェクトゆうあい，2010.3
6. 松田雄二，西出和彦：中途失明者の単独街路歩行の実態—視覚障害者の歩行状態に関する研究 その1—，日本建築学会計画系論文集，第76巻，第660号，pp.327-334，2011.2
7. 人見優，森傑：視覚障害者の白杖の使い方と空間知覚に関する基礎的研究—全盲者の歩行時における白杖の環境への定位の仕方に着目して—，日本建築学会計画系論文集，第611号，pp75-82，2007.1
8. 安倍信行，橋本典久：視覚障害者の冬期歩行に関する研究—雪道歩行整備のための基礎調査—，日本建築学会大会学術講演梗概集，E-1，建築計画I，pp.947-948，2005.9
9. 藤原等，浅井幹夫：高齢障害者の雪道における歩行：視覚障害者に対する支援，北海道女子大学短期大学部研究紀要，vol.33，pp.93-105，1997
10. 伊藤精英：どのようにして盲人は環境内を移動するのか—ウェイファインディングに対する生態心理学的アプローチ—，Cognitive Studies，5(3)，pp.25-35，1998.9
11. 福原幸，近藤光男，有本浩太郎，渡辺公次郎：放置自転車が視覚障害者の歩行の安全性に及ぼす影響に関する研究，福祉のまちづくり研究7(1)，pp.20-28，2005.7
12. 高田明子，佐藤久夫：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)，pp.94-107，2012.8
13. Michael Supa, Milton Cotzin and Karl M. Dallenbach: Facial Vision: The Perception of Obstacles by the Blind, The American Journal of Psychology, Vol. 57, No. 2, pp.133-183, 1944.4
14. Rieser, J. J., Hill, W. E., Talor, C. R., and Bradfield, A., Visual Experience, Visual Field Size, and the Development of Nonvisual Sensitivity to the Spatial Structure of Outdoor Neighborhoods Explored by Walking, Journal of Experimental Psychology : General, vol. 121, No. 2, pp.210-221, 1992
15. Laudau, B., Spelke, E., & Gleitman, H., Spatial Knowledge in A Young Blind Child,

- Cognition, 16, pp.225-260, 1984
16. Klatzky, R., Golledge, R. G., Loomis, J. M., Cicinelli, J. G., & Pellegrino, J. W., Performance of Blind and Sighted Persons on Spatial Tasks, *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 89, pp.70-82, 1995
 17. Hollins, M., Spatial Updating in Blind and Sighted People, *Perception & Psychophysics*, 43, pp.380-388, 1988
 18. 太田篤史, 田村明弘, 鹿島教昭, 視覚障害者の空間認知における地域音環境の役割に関する発達的研究, *日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集*, pp.113-116, 1995
 19. 永幡幸司, 視覚障害者が音から場所を特定する過程について, *日本音響学会誌* 56 巻 6 号, pp.406-417, 2000
 20. 亀谷義浩, 武井民典, 早瀬英雄, 知花弘吉, 荒木兵一郎: 模擬空間における空間把握—視覚障害者の歩行空間に関する研究 その1—, *日本建築学会計画系論文集*, 第 582 号, pp.47-54, 2004.8
 21. 亀谷義浩, 知花弘吉, 荒木兵一郎: 模擬空間における空間探索行動と空間把握特性 - 視覚障害者の歩行空間に関する研究 その2—, *日本建築学会計画系論文集*, 第 591 号, pp.79-86, 2005.5
 22. 関喜一: 視覚障害者の歩行支援技術の変遷, *電子情報通信学会技術研究報告*, WIT2011-16, pp.87-90, 2011.5
 23. 鈴木慶太, 中村有貴, 藤井雅弘, 渡辺裕: 携帯電話を用いた屋内環境向け視覚障害者歩行支援システムの開発, *電子情報通信学会技術研究報告*, ITS 109(128), pp.7-12, 2009.7
 24. 石川准, 兵藤安昭: GPS による視覚障害者歩行支援システムの開発, *電子情報通信学会技術研究報告*, MoMuC2004-96, IA2004-27, pp.51-56, 2005.1
 25. 後藤浩一, 松原広, 深澤紀子, 水上直樹: 駅環境における携帯端末を用いた視覚障害者向け情報提供システム, *情報処理学会論文誌*, Vol.44, No.12, pp.3256-3268, 2003.12
 26. 家永貴史, 松本三千人: 音声地図と遠隔支援の併用による視覚障害者の歩行支援, *電子情報通信学会論文誌*, D, Vol. J90-D, No.3, pp.724-731, 2007
 27. 木口浩之, 渡部広一, 河岡司: USB カメラと測域センサを用いた歩行支援システムの構築, *電子情報通信学会信学技報*, AI2008-74, pp.59-62, 2009.3
 28. 田中貢, 井上亮, 飯田恭敬, 三星昭宏, 佐野洋人, 末續和正, 柳原崇男: 歩行者 ITS を用いたバリアフリーシステムに関する基礎的研究, *土木計画学研究・論文集*, Vol.19, No4, pp.715-724, 2002.9
 29. 小倉俊臣, 野田広治, 松本幸正, 栗本譲: 視覚障害者の歩行案内システムにおける生体情報と認知情報に関する研究, *土木計画学研究・論文集*, Vol.19, No4, pp.593-602, 2002.9

30. 柳原崇男, 三星昭宏, 北川喜代治, 藤田和宏: 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, 福祉のまちづくり研究, 第8巻, 第2号, pp.23-32
31. 中村和弘, 青野嘉幸, 田所嘉昭: 視覚障害者用誘導型歩行支援システム, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol.J79-D-11, No.9, pp.1610-1618, 1996.9
32. 浅見拓哉, 川口悟史, 角田興俊: 交差点における視覚障がい者歩行支援機器の開発, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.36, No.34, ME2012-103, pp.39-42, 2012.9
33. 中内亮介, 原田史子, 島川博光: 視覚障害者のための歩行動作に着目した偏軌傾向発見, 情報科学技術フォーラム講演論文集 11(3), pp.635-636, 2012-09-04
34. 芝田裕一: 視覚障害者への理解—社会の理解と視覚障害者の手引きの方法—, 発達人間学論叢, 第5号, pp.27-35, 2002.9
35. 津田美知子: 視覚障害者が街を歩くとき ケーススタディからみえてくるユニバーサルデザイン, 都市文化社, 1999
36. 佐々木正人: アフォーダンス—新しい認知の理論, 岩波書店, 1995
37. 橋本典久, 小野英哲: 視覚障害者のための建築音響設計手法に関する研究 (研究課題の抽出とその成立性に関する基礎調査), 日本建築学会技術報告集, 第6号, pp.103-108, 1998.10
38. 橋本典久, 小野英哲: 視覚障害者の屋内歩行時の方向誤差に関する実験検討 (視覚障害者のための建築音響設計手法に関する研究・その2), 日本建築学会技術報告集, 第11号, pp.117-120, 2000.12
39. 鹿島教昭, 安藤祐子, 田村明弘, 太田篤史, 鈴木和子, 小澤繁之: 音声情報装置支援下の視覚障害者の歩行実験, 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, pp.25-28, 2002.9
40. 和田親宗, 永島裕二: 視覚障がい者の歩行誘導を目的とした音声に寄る距離呈示に関する研究, 電子情報通信学会, 信学技法, WIT2007-90, pp.1-4, 2008.3
41. 島宗淳一郎, 関口克明, 吉野泰子, 野中俊宏, 野村みどり, 屋敷知: 視覚障害者の歩行環境バリアフリー化に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.479-480, 1998.9
42. 合津友則, 降旗建治, 柳沢武三郎: 視覚障害者のためのアクセシビリティ・システムの構築, 電子情報通信学会, 信学技法, EA98-102, pp.7-12, 1998.12

第2章

積雪寒冷地に住む視覚障がい者の屋外単独歩行に関する実態把握

- 2.1 本章の目的
- 2.2 調査方法
- 2.3 結果と考察
 - 2.3.1 単独歩行中の手がかりとその利用法
 - 2.3.2 視覚障がい者が歩行困難な空間
 - 2.3.3 冬季に生じる問題点
- 2.4 冬季に有効な手がかり
- 2.5 まとめ

第2章 積雪寒冷地に住む視覚障がい者の屋外単独歩行に関する実態把握

2.1 本章の目的

人は行動することで環境と接し、環境からさまざまな情報を意識的あるいは無意識的に読み取ることによって環境を知覚し、さらに移動によって更新される情報を用いて次なる行動を調整している。視覚障がい者が単独で歩行する際も、移動することでその環境を知覚し、移動とともに変化する情報を手がかりに次なる行動を行っている。しかし、視覚障がい者と晴眼者との大きな違いは、視覚障がい者の場合、手がかりとなる情報は視覚情報以外でなければならないという点である。視覚障がい者は環境に存在するどのような情報を読み取り、どのように用いることで単独歩行を可能にしているのか。

既に第1章で論じたように、視覚障がい者に関連する既往研究は視覚障がい者と音情報の関係について取り上げたものが多い。また、積雪寒冷地における視覚障がい者の歩行移動の実態について、冬季の物理的な環境の変化と行動面の変化との関係について具体的な影響を研究しているものはわずかである。そこで本章では、積雪寒冷地に在住する視覚障がい者を対象にインタビュー調査を行い、視覚障がい者が単独歩行中に手がかりとして利用する環境情報（主に音情報）とその利用方法、および積雪寒冷地特有の問題点といった日常的な屋外単独歩行の実態について明らかにすることを目的とする。

2.2 調査方法

積雪寒冷地に生活する視覚障がい者が日常の単独歩行中に利用している手がかりとその利用方法や歩行が困難な空間、および積雪寒冷地特有の問題に関して、その実態を把握するためにインタビュー調査を行った。本調査の協力者は札幌市在住の7名で、全員が視覚障害1級保持者のいわゆる全盲の状態である。日常の通勤は単独で行っており、外出頻度は高い。調査協力者の属性を表2-1に示す。被験者A～Fまでの調査は2011年2月22

表2-1 被験者の属性（年齢はインタビュー当時のもの）

被験者	性別	年齢	視覚障害の程度	障害発生からの期間	外出時の歩行状況	外出頻度	歩行訓練経験の有無
A	女	30	全盲	30年 (先天性)	単独	ほぼ毎日	有
B	女	55	全盲	55年 (先天性)	単独	ほぼ毎日	有
C	男	31	全盲（光の感覚あり）	31年 (先天性)	単独	ほぼ毎日	有
D	男	43	全盲（光の感覚あり）	29年	単独	ほぼ毎日	有
E	男	44	全盲	29年	単独	ほぼ毎日	有
F	男	41	全盲	33年	単独	ほぼ毎日	有
G	男	64	全盲	62年	単独	ほぼ毎日	無

日、被験者Gについては2013年1月29日に行った。インタビュー調査に要した時間は1人あたりおよそ1時間である。

インタビューは自由回答としたが、主に以下の項目について回答を求めた。

- 1) 歩行時に何を手がかりとし、またそれらをどのように利用しているか
- 2) どのような空間において歩行が困難か
- 3) 冬季に生じる問題点について

2.3 結果と考察

2.3.1 単独歩行中の手がかりとその利用法

視覚障がい者が単独歩行中に歩行空間から読み取る情報について、以下の項目が挙げられた。

- 1-1 誘導ブロックがある場合はそれを利用する。
- 1-2 歩道の舗装面の傾斜具合や縁石の場所を記憶して、店舗入り口の場所や曲がる地点の手がかりに利用している。
- 1-3 周囲に並行して移動する歩行者の足音や車の走る音があると、それらを手がかりとして自身の歩行の方向を定めている。
- 1-4 建物から反射する環境音を、およその空間の広がり（開けた交差点なのか、高いビルが建ち並ぶ街路なのかなど）を把握する際の手がかりに利用する。
- 1-5 道路の横断時は誘導ブロック（がある場合）で方向を定める。
- 1-6 音響装置付信号機が設置されている場合は音響を手がかりとする。
- 1-7 音響装置付信号機が設置されていない交差点では、自分と並行して走る車の音を手がかりに、その音に対して距離を一定に保つことで歩行の方向を定める。
- 1-8 床面の材質の違いを場所の目印や真っ直ぐ歩く時のガイドにする。
- 1-9 店舗から聞こえてくる音を手がかりに自身の位置（場所）を確認する。
- 1-10 グレーチングや塀・建造物（以下、「建造物」）がある場合は大きな手がかりとなり、特に伝い歩きが出来る場合には直進歩行のガイドになる。

ここに挙げられた項目から、手がかりとしている環境情報（ゴシック体）とその利用方

法（下線部）について分析すると、視覚障がい者の単独歩行中の行動を大きく次の4つに分類できた。

I. 歩行方向：バスを降りたら地下鉄入り口のある方向、目的地の方向、交差点を横断する方向といった進路方向

視覚障がい者が単独歩行中に方向を誤ると、目的地と反対の方向へ進んでしまう、別の道へ入り込んでしまう、横断歩道が渡れないといった事態を招いてしまうため、歩行方向を確認する手がかりは重要である。

II. 直進歩行^{注1)}：歩行中や道路横断時などの歩行の直進性

視覚情報を得られない視覚障がい者にとって真っ直ぐ歩くことは容易ではない（偏軌傾向が見られる）。歩行空間において直進歩行を促す手がかりの存在は重要である。

III. 場所同定：店舗の位置や曲がる地点などのランドマーク

視覚情報を得られない視覚障がい者にとって場所を同定することは困難である。その場所の周辺に存在するさまざまな特徴と結びつけて記憶することで場所を同定している。

IV. 空間把握：空間を構成する要素や広さなどのおおまかな把握（高いビルが建ち並んだ空間か開けた交差点かなど）

視覚障がい者は自ら声を発したり、白杖で床を叩くことで生じる音の広がり方を手がかりにおよその空間や空間を構成する要素などを把握している。

さらに、これら4つの行動とインタビュー調査を通して得られた手がかりとの関係进行分析したものを表2-2に示す。誘導ブロックについては、建設省（現、国土交通省）による設置指針¹⁾をもとに、歩行方向と直進歩行の手がかりとして扱い、音響信号については第1章で述べたように、音響信号から流れるメロディの利用のされ方から、歩行方向と直進歩行の手がかりとして扱った。

注1) 視覚障がい者のリハビリテーションでは、歩行訓練を行う前の基礎訓練として「感覚訓練」がある。この感覚訓練の1つとして、「直線歩行」の訓練がある。意味するところはおなじであるが、本研究では、より一般的な「直進歩行」を用いた。

Ⅰ. 歩行方向の手がかり

視覚障がい者が歩行方向を確認するための手がかりとして、1-1、1-3、1-5、1-6、1-7、1-8、1-10に見られるように、周囲環境のさまざまな要素を利用していることがわかる。誘導ブロックがあるところでは、それを積極的に利用する姿勢が見られ、有効性の高さがうかがえる。その他には車の走行音、歩行者の足音、音サインといった周囲環境の音（以下「環境音」）を有効に利用し、歩行方向の手がかりとして用いていることが明らかになった。

Ⅱ. 直進歩行の手がかり

より正確で安全な直進歩行をするための手がかりとして、視覚障がい者は1-1、1-3、1-6、1-7、1-8、1-10に見られるような情報を利用している。これらは、歩行方向を確認する際に利用する手がかりと重複していることが多く、歩行方向と直進歩行の手がかりはそれぞれ密接な関係にあると推察される。車の走行音や周辺歩行者の足音を聞きながら、その音と平行になるように歩く（併歩）ことで歩行の直進性を維持するといった視覚障がい者特有の歩き方も見られ、歩行方向の確認と同様、環境音を手がかりとして利用していることが明らかである。また、1-10に見られるように、グレーチングや塀の存在は、白杖でその位置を確認しながらそれに沿った直進歩行（伝い歩き）が可能となり、路面上の素材が切り替わる境界線なども直進歩行の手がかりとなることが明らかになった（1-8）。

Ⅲ. 場所同定の手がかり

1-2の発言のように、視覚障がい者は微妙な舗装路面の傾斜具合や縁石の場所を記憶し、店舗の出入り口や曲がるべき場所を同定するための手がかりとして利用していることがわかる。その他、パチンコ店など店舗特有の音を手がかりに現在地を把握したり、路面に使用されている素材の足裏による触感覚を記憶するなどして場所を同定していることが

表2-2 歩行空間の手がかりと利用法

	手がかり	歩行方向	直進歩行	場所同定	空間把握
1-1	誘導ブロックがある場合はそれを利用する。	○	○	—	—
1-2	歩道の舗装面の傾斜具合や縁石の場所を記憶して、店舗入り口の場所や曲がる地点の手がかりに利用している。	—	—	○	—
1-3	周囲に並行して移動する歩行者の足音や車の走る音があると、それらを手がかりとして自身の歩行の方向を定めている。	○	○	—	—
1-4	建造物から反射する環境音をおよその空間の広がり（開けた交差点なのか、高いビルが建ち並ぶ街路なのかなど）を把握する際の手がかりに利用する。	—	—	—	○
1-5	道路の横断時は誘導ブロック（がある場合）で方向を定める。	○	—	—	—
1-6	音響装置付信号機が設置されている場合は音響を手がかりとする。	○	○	—	—
1-7	音響装置付信号機が設置されていない交差点では、自分と並行して走る車の音を手がかりに、その音に対して距離を一定に保つことで歩行の方向を定める。	○	○	—	—
1-8	床面の材質の違いを場所の目印や真っ直ぐ歩く時のガイドにする。	—	○	○	—
1-9	店舗から聞こえてくる音を手がかりに自身の位置（場所）を確認する。	—	—	○	—
1-10	グレーチングや塀・建造物（以下、「建造物」）がある場合は大きな手がかりとなり、特に伝い歩きが出来る場合には直進歩行のガイドになる。	○	○	—	—

明らかになった（1-8、1-9）。

IV. 空間把握の手がかり

屋内の空間把握だけでなく、視覚障がい者は屋外を歩行している場合にも周囲の環境を読み取るために1-4に示すような環境音を利用していることがわかる。こうした空間の違いを知覚することは、場所の同定とも密接な関係があると考えられる。

以上のように、手がかりとしている個々の情報に着目すると、視覚情報が得られない視覚障がい者にとっては、環境音を積極的に利用するという発言が多く見られ、環境に存在する多種多様な情報のうち、音情報が有効であることは明らかである。1-3、1-4、1-6、1-7に見られる環境音の利用方法は、先行研究の船場ら²⁾が行ったアンケート調査の結果とも一致し、視覚障がい者全般に見られる傾向であることがわかる。また、表2-2より、単独歩行中には、歩行方向と直進歩行のための多くの手がかりを必要としており、車の走行音や歩行者の足音といったそれ自体が持続的に変化する情報を自らも移動しながら的確に捉え行動している。このように、周囲の環境と情報を介してつながっていることで視覚障がい者の直進歩行が成立している関係は、生態心理学的関係と認識できる。

2.3.2 視覚障がい者が歩行困難な空間

視覚障がい者にとって歩行が困難な空間については以下の項目が挙げられた。

2-1 歩道沿いにあるガソリンスタンドや駐車場など、塀がなく、広く開けた空間があると誤って入り込んでしまう。

2-2 大きい駐車場の奥まったところに店舗があると入り口を見つけるのが難しい。

2-3 湾曲している街路や複雑な角度で交差する街路環境では方向を定め難しい。

2-4 車線が多く幅の広い道路の横断時には、直進歩行のための手がかりが少ないため直進性を失いやすく、中央分離帯が存在する道路ではその切欠きや反対側の歩道の切欠きに辿り着くことが難しい。

これらの項目のうち、問題点（下線部）と4つの行動との関係を分析すると、表2-3

表2-3 視覚障がい者が歩行困難な空間に欠如している手がかり

	手がかり	歩行方向	直進歩行	場所同定	空間把握
2-1	壁から得られる手がかり（1-10参照）	✓	✓	-	-
2-2	大きい駐車場の特徴は2-1の状況と似ていると判断できる	✓	✓	-	-
2-3	歩行方向の手がかりなし	✓	-	-	-
2-4	道路横断時に利用している手がかり（1、5、1-6、1-7参照）	✓	✓	-	-

のように考えられる。2-1や2-2は建造物などが存在しない開けた空間の特徴として、歩行方向や直進歩行のための手がかりが欠落していると考えられる。2-3といった微妙な角度のある状況については、歩行方向が定めにくいこと明らかである。2-4では、道路横断時に、的確に反対側の道路に到達するには、適切な歩行方向と直進歩行の手がかりが不可欠である。

このように、視覚障がい者が歩行困難な空間の特徴として、歩行方向や直進歩行の手がかりとなる情報が欠落していることがわかった。すなわち、視覚障がい者にとって歩行が困難な空間とは、歩行中の手がかりとなる要素が欠如していることで、環境との生態心理学的関係が失われてしまっている空間と捉えることができる。したがって、屋外における視覚障がい者の歩行誘導支援策を考慮する場合、少なくとも歩行方向と直進歩行の手がかりとなる情報を歩行空間に配置することで効果的な誘導が可能になると考えられる。

2.3.3 冬季に生じる問題点

札幌のような積雪寒冷地では夏季と冬季の環境は大きく異なる。こうした環境の変化にともない、視覚障がい者の単独歩行中の行動や手がかりにも変化が生じると考える。夏季と比較した場合の冬季の環境の変化や空間認知の上で生じる問題点として挙げられた項目と先の4つの行動との関係を表2-4に示す。

3-1からわかるように、冬季は夏季と比べ歩行空間の状況が把握しづらいことがわかる。3-2、3-3からは路上の手がかりが使えなくなることは明らかである。また、3-5からは、日常的に利用している音情報の聞こえ方も変化し、その効果が減少傾向にあることがわかった。

挙げられた問題点と4つの行動との関係の分析から、積雪によって歩行方向や直進歩行の手がかりが機能しにくくなることがわかる。したがって、冬季における視覚障がい者の歩行誘導支援策を考慮する場合、歩行困難な空間を改善する対策と同様、歩行方向や直進歩行の手がかりとなる情報を確保することが重要であるといえる。

表2-4 冬季に生じる問題点

	下記の理由が原因で難しくなる行為	歩行方向	直進歩行	場所同定	空間把握
3-1	積雪状況や除雪・排雪状況により日々の歩行環境が変化するため、状況が把握しづらく、通常の歩行時よりも注意力が必要となる。	✓	✓	✓	✓
3-2	誘導ブロックが使えなくなる。	✓	✓	—	—
3-3	路上の目印が不足する。	✓	✓	✓	✓
3-4	積雪により、歩道と車道の区別が不明瞭になり、車道にはみ出してしまふ危険性が高まる。	✓	✓	—	—
3-5	車の音、周囲の歩行者の足音、白杖の音などが、雪壁により吸収されてしまい、全体的な周囲環境からの音が聞こえにくくなる。	✓	✓	✓	✓
3-6	積雪によって、路面の傾斜具合が変化し、滑り易く、真っ直ぐ歩きにくい。	—	✓	—	—
3-7	積雪状況により、車道へ通じる空間が限られている場合があるため、道路横断時は反対側の歩道に辿り着くことが困難になる。	✓	✓	—	—
3-8	雪山を避けて歩くうちに方向感覚を失い、行きたい方向と別の方向へ進んでしまうことや、別の道に進入して迷ってしまうことがある。	✓	✓	—	—

2.4 冬季に有効な手がかり

表2-2をもとに、インタビュー調査結果の各項目について、冬季の利用可能性を考察した結果を表2-5に示す。

1-1、1-2、1-5、1-8のように路上に存在する手がかりについては、雪に覆われてしまうため利用することができない。1-6、1-9といった比較的大きな環境音は、冬季でも有効だと考えるが、1-3、1-4、1-7といった環境音については、前節3-5（表2-4参照）で指摘されているように、雪によって音全般が吸収（雪質によっては反射）され、夏季と同様の効果が得られるとは限らない。1-10については、路上のグレーチングは積雪により使えなくなると考えるが、塀や建造物は利用の可能性がある。しかし、状況によってはこれら建造物との間に雪が積もり有効に使えない場合も考えられる。

このように、冬季には夏季と同様の効果が得られる手がかりが減少する傾向にある。しかし、音情報については積雪による影響で聞こえ方に多少の差が生じる可能性はあるものの、視覚障がい者にとっては馴染みのある手がかりとしてその有効性が期待でき、導入方法によっては積雪寒冷地での適合性は高く、冬季の利用も可能であると考えられる。

表2-5 冬季における手がかりの利用可能性

※冬季に利用可能な手がかりは○、利用不可能な手がかりは×、△は積雪状態によって可能性が変化するものを示す。

	手がかり	冬季※
1-1,1-5	誘導ブロック	×
1-2	歩道の舗装面の傾斜具合や縁石	×
1-3,1-7	周囲に並行して移動する歩行者の足音や車の走る音	△
1-4	建造物から反射する環境音	△
1-5	道路の横断時は誘導ブロック（がある場合）で方向を定める。	×
1-6	音響装置付信号機が設置されている場合は音響を手がかりとする。	○
1-8	床面の材質の違い	×
1-9	店舗から聞こえてくる音	○
1-10	グレーチングや塀・建造物（以下、「建造物」）	△

2.5 まとめ

本章では、積雪寒冷地に在住する視覚障がい者の屋外単独歩行における実態を把握するため、インタビュー調査を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 視覚障がい者は常日頃さまざまな情報を環境から読み取り、その場の状況に応じ安全に歩行するための手がかりとしている。
2. 視覚障がい者の単独歩行中の行動は、歩行方向、直進歩行、場所同定、空間把握の4つに分類できる。
3. 視覚障がい者が活用する多種多様な情報のうち、音情報の割合は大きく、環境に存在するさまざまな環境音を積極的に手がかりとして利用している。環境音の中には直接音のみならず建造物からの反射音なども含まれる。
4. 視覚障がい者にとって歩行が困難な空間の特徴として、歩行方向と直進歩行の手がかりとなる情報が欠落している。
5. 冬季には主に歩行方向と直進歩行の手がかりが機能しにくくなる。特に路上にある手がかりは雪によって覆われてしまうため利用できない。

本章の結果からもわかるように、視覚障がい者が日常のあらゆる場面で音情報を利用している様相が明らかであり、積雪寒冷地における視覚障がい者のための屋外歩行を誘導する手がかりとして音情報を用いることは適当だと考えられる。次章以降では、音情報を用いた歩行実験を行い、音情報の有無が視覚障がい者の直進歩行に与える影響について詳しく検証する。

第2章 参考文献

1. 建設省（現、国土交通省）：視覚障害者誘導用ブロック設置指針、都街発第23号，道企発第39号，建設省都市局街路課長・道路局企画課長通達，985
2. 船場ひさお，上田麻里，岩宮眞一郎：視覚障害者のための音による移動支援に関するアンケート調査，日本音響学会誌，第62巻，12号，pp.839-847，2006
3. 相馬一郎，佐古順彦：環境心理学，福村出版株式会社，1981

第3章

音サインと壁面が視覚障がい者の直進歩行に与える影響

- 3.1 本章の目的
- 3.2 屋内歩行実験の概要
 - 3.2.1 実験の設定
 - 3.2.2 実験手順
- 3.3 結果
 - 3.3.1 実験データの取り扱い方法
 - 3.3.2 条件ごとの歩行軌跡の傾向
 - 3.3.3 平均偏軌量からみた分析
 - 3.3.4 歩行速度
- 3.4 考察
 - 3.4.1 最大偏軌量とゴール地点偏軌量からみる音・壁の効果
 - 3.4.2 付加条件による軌道修正の度合い
 - 3.4.3 音により偏軌に気付く状況の分析
- 3.5 まとめ

第3章 音サインと壁面が視覚障がい者の直進歩行に与える影響

3.1 本章の目的

歩行空間に存在するさまざまな情報を利用し行動している視覚障がい者の単独歩行の実態について、第2章のインタビュー調査を通して明らかにした。その結果、多種多様な情報の中でも、特に音情報を利用する割合が高いことが示された。したがって本研究において視覚障がい者の歩行を誘導する情報として音情報を用いることは適当であるといえる。

そこで、本章では音情報のひとつである「音サイン」を取り上げ、視覚障がい者を対象に屋内歩行実験を行い、音サインの有無が視覚障がい者の直進歩行に与える影響を明らかにし、音サインによる歩行誘導の有効性を検証することを目的とする。

3.2 屋内歩行実験の概要

3.2.1 実験の設定

視覚障がい者の歩行と音に関する実験研究としては、音響信号に用いられるスピーカーのナビゲーション効果についての先行研究がいくつか見られる。同種鳴き交わし式^{注1)}よりも異種鳴き交わし式によるナビゲーション機能の有効性について明らかにした高戸ら¹⁾や甲斐ら²⁾の研究は、前後から同種もしくは異種の音サインが鳴き交わす条件を比較した実験であり、前方からのみ音サインが鳴る条件と前後鳴き交わし式との比較は行っていない。したがって、本実験ではこの両者の比較を行うこととした。また、インタビュー調査から、直接耳に入る環境音を手がかりにして利用する場合や、建造物からの反射音を手がかりとして利用する場合、および建造物そのものを手がかりとして利用する場合があるため（第2章、表2-2参照）、壁の有無という条件に加えて、壁と音サインとを組み合わせることで、効果に差異が生じるかという比較も行った。

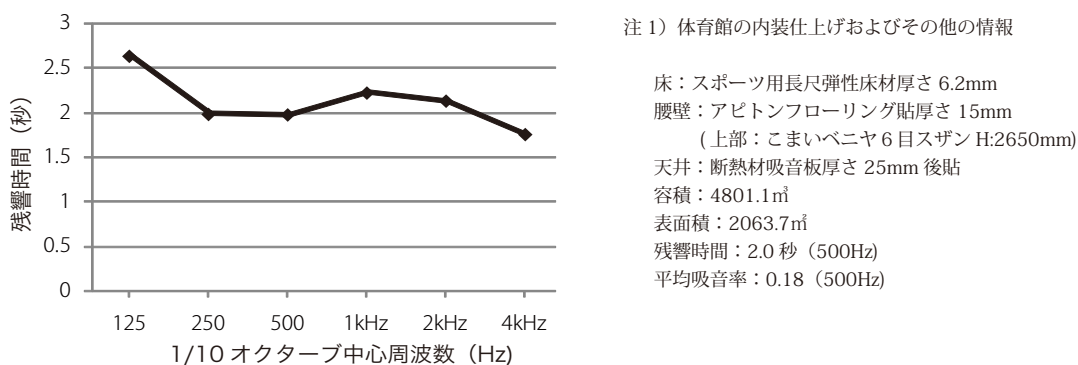


図3-1 体育館の残響時間

注1) 鳴き交わし式：道路を横断する視覚障害者を誘導するため、「ピヨ」又は「カッコー」の音響を約1.5秒間隔で交互に出力する方式をいう。同種と異種がある。「視覚障害者用付加装置に関する設置・運用指針」(平成15年10月22日警察庁丁規発第77号)参照。

実験は札幌市内の体育館で行った。体育館の大きさは長辺 29.5m(+ステージ奥行き 5m) ×短辺 19m ×高さ 8.2m である。体育館の音環境を図 3-1 に示す。残響時間を測定するため、体育館内で紙袋を膨らませたものを叩き割ることでパルス音を発生させ、それを録音した。残響時間は 500Hz で約 2 秒程度であり、特に音響障害のない一般的な体育館とみなすことができる。なお、体育館内の暗騒音^{注2)} は平均で 47dBC である。

実験の設定条件を図 3-2 に示す。幅 3m、長さ 19.5m の実験用歩行路として、壁の響の少ない屋内中央を中心線とする歩行路と、長辺壁から 1.85m 離れた位置を中心線とする歩行路の 2 種類を設置した (写真 3-1、3-2 参照)。屋内中央に配置した中心線を基準に、音や壁といった手がかりとなりうる要素が全くない条件 1、前方から音サインが断続的に聞こえる条件 2、前後からそれぞれ異種の音サインが交互に断続的に聞こえる条件 3、壁から 1.85m 平行に離れた位置に配置した中心線を基準として歩く条件 4、そして条件 4 に前方からの音サインを付加した条件 5、という 5 つの条件である。

被験者は、前章のインタビュー調査協力者のうち、男性 3 名、女性 2 名、計 5 名 (第 2 章、表 2-1 参照。被験者 F、G を除く 5 名) である^{注3)}。試行数は被験者 1 人に対し各条件を往復 1 回ずつ、計 10 回とした。実験の所要時間は 1 人あたりおよそ 30 分である。

実験に使用した音サインは、振幅一定の純音 (440Hz) をパソコンの音楽制作ソフト (GarageBand) で作成し、パソコンに接続したスピーカー (ONKYO, WAVIO) を用いてゴール地点から発する音サインがスタート地点にて音圧レベル^{注4)} が 70dBC となるよう設定し

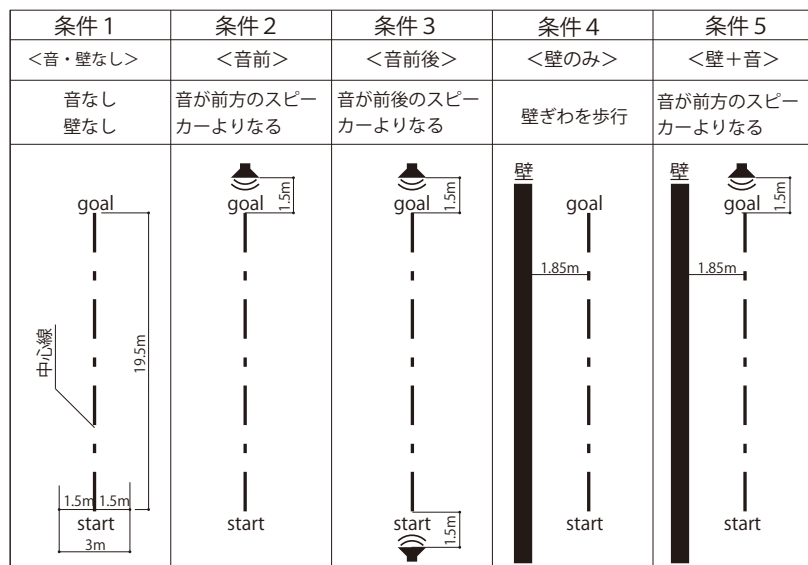


図 3-2 実験の各条件

注 2) 暗騒音とは、対象とする騒音 (本研究の場合「音サイン」) がない場合におけるその場所の (環境) 騒音のことをいう。
注 3) 倫理的配慮としては、被験者に対し研究の目的と実験内容について口頭で詳細に説明し、被験者のプライバシーが保護されることを確認し、全員から実験参加への同意を頂いた。

注 4) 音圧レベルとは、測定時の音圧 (P) を標準状態の空気における音圧 $2 \times 10^{-5} (\text{N/m}^2)$ を基準 (P_0) として比を求め、それを常用対数で表したデシベル値。音圧レベル (SPL) = $10 \log_{10} (P^2/P_0^2)$ で定義されている (文献 4)。

た (SN 比^{注5)} = 23dB)。

条件2では鳴き交わし式信号機に倣い、ゴール地点に配置したスピーカーから1.5秒の長さをもった音サイン(音1)を0.5秒の無音区間を設け断続的に再生した。条件3では、スタート地点とゴール地点のスピーカーから、前述の音サイン(音1)とそれより1オクターブ高い音サイン(音2)とが0.5秒の無音区間をはさみ、交互に鳴き交わすように設定した(図3-3参照)。復路の場合、スピーカーの位置関係が前後するため、それぞれのスピーカーから鳴らす音サインを切り替えて再生した。なお、スピーカーは歩行路の中心線上に、スタート及びゴール地点からそれぞれ1.5m延長させた地点の床上に設置した。



写真3-1 屋内中央の実験歩行路

写真3-2 壁ぎわの実験歩行路

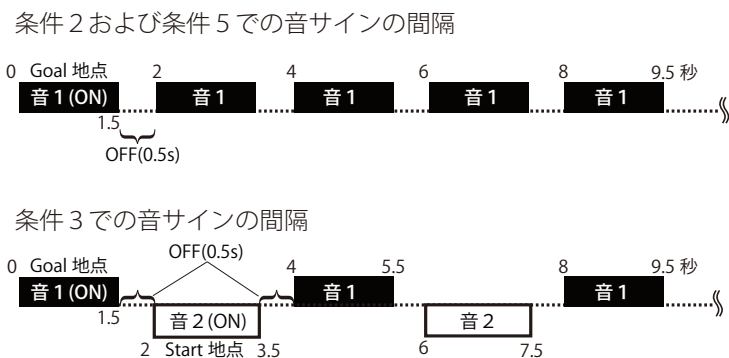


図3-3 屋内実験で再生した音サインの呈示間隔 (横軸: 時間 (秒))

注5) SN 比とは、信号 (Signal、本研究では「音サイン」) に対する雑音 (Noise、本研究では「暗騒音」) との比を常用対数表示したもの。

3.2.2 実験手順

実験手順としては、被験者をスタート地点に設置した線状ブロックまで誘導し、被験者に線状ブロックを踏ませ、歩く方向を確認させた。音がある条件では、スタート地点とゴール地点の延長線上にそれぞれスピーカーがあることを伝え、スタート地点で音サインが十分に聞こえるか確認した。壁がある条件では、歩行開始前に被験者に壁を触れてもらい、中心線からの距離を確認させた。被験者には歩行路の幅と長さは告げず、「真っ直ぐ歩いて下さい」と伝え、実験者の「止まって下さい」の合図で止まるよう指示した。各条件終了後、被験者には流した音サインや実験条件に対する印象評価を述べさせた。実験では純粋に音サインのみの効果を測定すること、および白杖音が雪によって吸収される冬季の状況を考慮して、白杖の使用は禁止した。

被験者の歩行軌跡記録のため、体育館の床上に各コースの中心線および補助線を縦横30cmごとに粘着テープで引いた（写真3-1、3-2参照）。実験者は歩行する被験者の足下を後方からビデオカメラで撮影しながら追跡した。パソコンに取り込んだ映像を元に被験者の踵の着地点をCADソフト（JW-CAD）で作成した平面図上にプロットしたのち、両踵の着地点の midpoint（体の重心）を結んで歩行軌跡とした。

3.3 結果

3.3.1 実験データの取り扱い方法

本実験の目的は①手がかりが存在しない場合、②音サインが存在する場合、③壁が歩行路に平行して存在する場合、という3つに大別された条件において、視覚障がい者の直進歩行が左右にどのようにずれるかを知ることにある。したがって、実験により得た生データを分析データとして扱う上で、以下の点について考慮した。

1. 条件1、条件2、条件3では、左右の壁から十分な空きがあることから、壁の影響が無いと判断でき、進行方向に対する被験者の左右への単純なずれとみなすことができること
2. 条件4と条件5では壁の位置が反転すること（往路：左、復路：右）
3. 被験者Dについては、あらかじめ「右に引っ張られる癖がある」との申告を受けたが、生データを概観すると、条件4、条件5では往路・復路いずれにおいても右に寄る傾向は見られなかったこと

そこで分析では、条件4と条件5については壁と被験者との関係を理解するため、便宜上、復路の歩行軌跡データを左右反転させ、往路と復路を統一した分析データとして取り扱うこととした。

以上の手続きを踏み、各条件におけるスタート地点からゴール地点までの全被験者の歩

行軌跡を作成したものを図3-4に示す。

3.3.2 条件ごとの歩行軌跡の傾向

条件1：音・壁なしでは、被験者にとっては音サインや壁などの手がかりとなりうる要素が存在しない環境での歩行となるため、歩行方向を定め難く、ゴール地点に向かうにつれて中心線に対する左右へのずれ（以下「偏軌量」）が徐々に増大する傾向が見られる。被験者Dは1回目の歩行で中心線から大幅に偏軌し、歩行路から逸脱したため途中で計測不能になった。

条件2：音前の歩行軌跡では、歩行距離が長くなるにつれて偏軌が徐々に増大するが、17m以降はゴールに向けて偏軌が収束している。これは、前方から聞こえてくる音サインにより被験者が偏軌していることに気付き、修正を開始していると判断できる。また、その他の条件と比較すると中間地点までの偏軌量が最も小さく、歩行の直進性を高く維持しているといえる。

条件3：音前後の歩行軌跡の形状は条件2：音前と類似しているが偏軌量はより大きい。修正開始地点のピークもおおよそ12～17m付近でばらつきが大きい、それ以降はゴール地点に向けて条件2：音前よりも急速に収束している。

条件4：壁のみの歩行軌跡は大きく以下の3タイプに分けられる。

タイプ① 歩行直後から壁のない方向に偏軌してしまい、壁の効果が発揮されず、徐々に壁から離れて偏軌が拡大してしまう

タイプ② 壁に接近するような方向に偏軌し、途中で壁の存在に気付き、中心線へ向けて修正しようとする

タイプ③ 壁の存在を最初から感じることで、壁からの距離を常に意識しながら歩行する

タイプ②に関しては、被験者は実際に壁に衝突することではなく、おおよそ60cm程度近づいた地点で壁に接近したことに気付き、衝突するのを防いでいる。

条件5：壁+音の歩行軌跡からは、いずれの試行においても一定の偏軌量に納まっていることが見て取れ、大きな偏軌や急激な修正も見られない。条件4：壁のみで見られた3つのタイプのうち、被験者全員がタイプ③の軌跡を辿ったと考えられる。また、その他の条件と比較し、スタート直後における偏軌も見られる。

3.3.3 平均偏軌量からみた分析

各条件における1/4（5m）、1/2（10m）、3/4（15m）、ゴール地点の平均偏軌量の平均値と95%信頼区間を図3-5に示す^{注6)}。条件1：音・壁なしでは、平均偏軌量およ

注6) 図3-5における<条件1：壁・音なし>の結果については、被験者Dの1回目の試行でコースから大きく逸脱しているため、この試行を除いた9試行の結果から算出している。

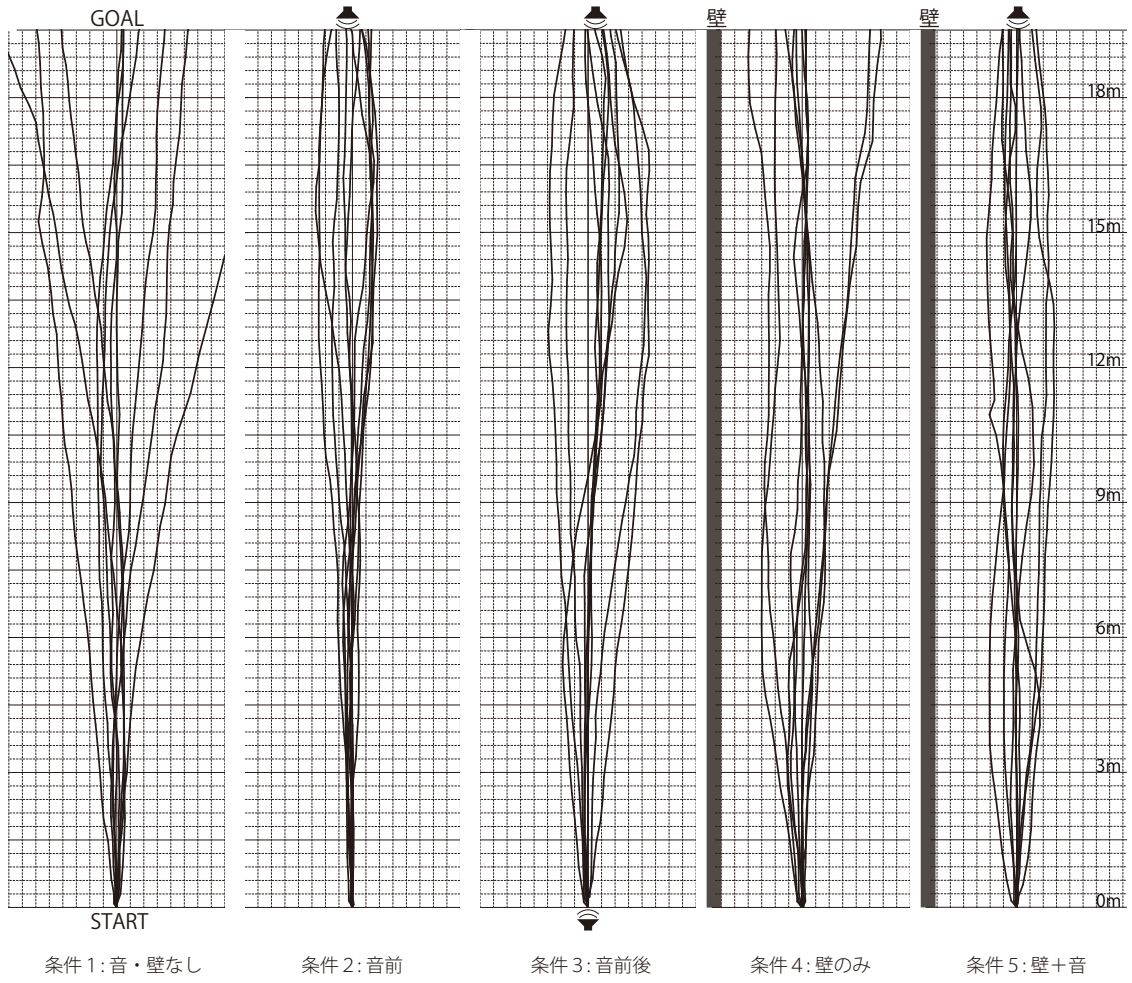
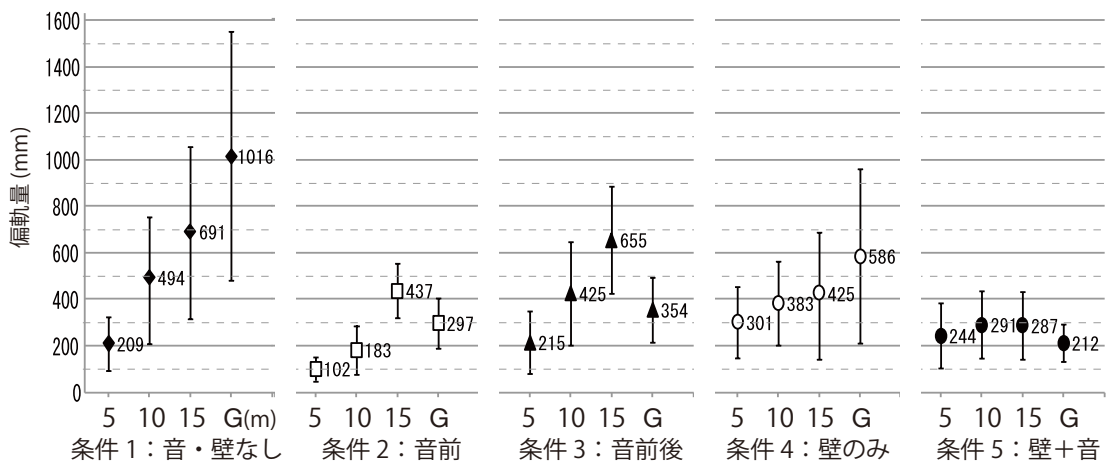


図3-4 屋内実験における各条件ごとの歩行軌跡



※エラーバーは95%信頼区間を示す。

図3-5 各地点における偏軌量 (単位: mm、横軸は m とする)

びそのばらつきが一方向的に増大する傾向が明らかである。条件4：壁のみの場合は、平均偏軌量は小さいが歩行距離が長くなるにつれ、増大傾向は同様である。これに対して条件2：音前、条件3：音前後、条件5：壁+音では、与えられた刺激条件で程度は異なるが、一旦増大した偏軌量がゴール近くになると小さく修正される傾向が読み取れる。条件1のような手がかりが全くない条件と比較し、その他の4条件では全体的な平均偏軌量が1/2～1/3程度に抑えられており、音サインや歩行路に平行して存在する壁は視覚障がい者の直進歩行を調整する効果があることが明らかである。

各条件の平均値のばらつきに関しては、条件1ではばらつきが大きいのに対し、その他の条件では比較的安定している。特に条件2や条件5のばらつきは少ない。条件4と条件5の結果を比較しても、前方からの音サインが加わることで、各地点における平均偏軌量を小さく抑えられることが明らかである。また、前方からの音サインの調整効果が同様に見られる条件2と条件5の結果を比較すると、条件5の方が歩行距離にかかわらずどの地点においても偏軌量が安定しており、歩行路に平行して壁が存在することで、前方からの音サインによる直進歩行を誘導する効果が高められたと推測される。

3.3.4 歩行速度

被験者の各条件2回の試行における歩行速度は全体的に2回目の試行の方がやや速い傾向が見られた。平均歩行速度を求め、被験者ごとに示したのが図3-6である。条件ごとの歩行速度が異なり、しかもその順も被験者によって異なっている。

被験者の歩行速度の差異は、与えられた刺激条件と被験者の情報受容傾向の適合性を反映していると考え、実験歩行後に尋ねた印象評価（表3-1参照）を吟味した。その結果、音サインを加えた条件では、被験者Cを除いて前方（進行方向）からのみ聞こえる方が歩

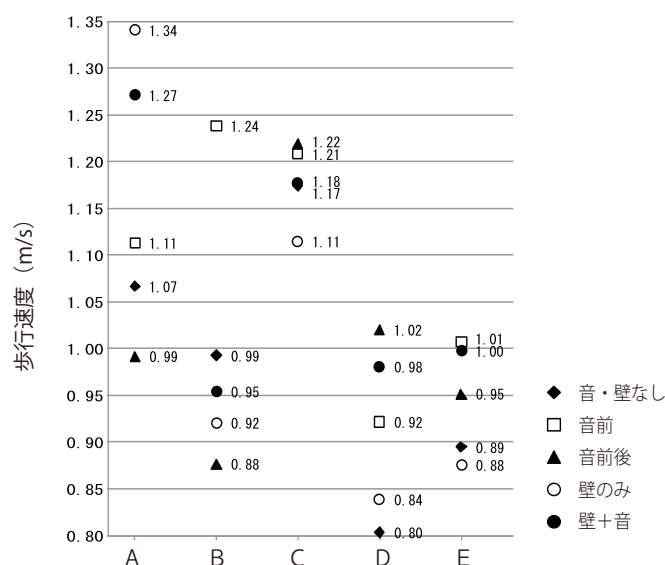


図3-6 各条件における平均歩行速度（被験者別）

表3-1 歩行後に被験者が述べた印象評価（被験者別）

	音	壁
A	<ul style="list-style-type: none"> ・進行方向だけから音が鳴る方がそこに集中すれば良く、歩き易い ・音が二つあると一瞬戸惑う(体育館内で反響しているからかも) 	<ul style="list-style-type: none"> ・壁だけでもあれば安心して歩ける ・壁との距離を音(の反響)で測っている ・壁があり、進行方向からのみ音があるのが一番歩き易い
B	<ul style="list-style-type: none"> ・前後から音が鳴るコースが最も不安になる(前からなる誘導音の間隔が長くなるので、進行方向がわかりにくくなる) ・音に指向性がないから聞き取りにくい 	<ul style="list-style-type: none"> ・言及なし
C	<ul style="list-style-type: none"> ・前後から音が鳴ると方向感覚がわかり易い(真ん中をまっすぐ歩くという動作を促す) ・近づくとはっきりわかるが音が反響して音源の位置が特定しづらい ・ゴール地点での微調整は前の音だけを聞いている 	<ul style="list-style-type: none"> ・言及なし
D	<ul style="list-style-type: none"> ・音があると音を頼りに歩く ・壁がないのであれば、音が進行方向から聞こえてくる方が前後で聞こえるよりも歩き易い ・体育館内では音が反響するのでいまいちわかりにくい 	<ul style="list-style-type: none"> ・壁があると近づいたのがわかる(ぶつかりはしない) ・壁までの距離を感じながらまっすぐ歩くイメージ ・壁があり、前方から音が聞こえるのが一番歩き易い
E	<ul style="list-style-type: none"> ・音がある方が気楽に歩ける。途中で曲がっても修正できる(音があるというだけで安心) ・前後で音が鳴るより、進行方向だけに音がある方が歩き易い(交互になると、進行方向から鳴る音の間隔が長くなる) ・真正面からの音は距離感がつかめない。横断道路の信号も真上にはなく、音軸上より少しずれて歩く方が距離感がつかみ易い ・音があると、自分が(真っすぐ歩かず)曲がっているのがわかる 	<ul style="list-style-type: none"> ・壁の存在はあまり気にしていない ・基準ができるので、壁はないよりあった方が良い

きやすいと述べており、各被験者の歩行速度も条件2：音前において速い傾向にある。被験者Aと被験者Bは、それぞれ「音が二つあると一瞬戸惑ってしまう」「両方から音が鳴るコースが最も不安になる」と述べており、歩行速度も音サインが前後から聞こえる条件3：音前後が最も遅い。被験者Dや被験者Eも、前方からの音サインの無音区間が長くなると、方向を定めにくく歩きにくいという点を指摘している。また、壁を加えた条件については、被験者A、D、Eの発言から歩行時の手がかりとして壁を肯定的な要素として捉えられていることがわかるが、なかでも被験者AとDはともに、条件5：壁+音が最も歩きやすいと明確に答えており、その条件での歩行速度も比較的速い結果となっている。

3.4 考察

3.4.1 最大偏軌量とゴール地点偏軌量からみる音・壁の効果

図3-7は、横軸に条件1：音・壁なしのゴール地点における偏軌量を、縦軸にその他の各条件におけるゴール地点での偏軌量を被験者ごとに2回の試行の平均値で示したものである。この図において原点より45°の傾きで描いた軸（以下「45°軸」）よりも下方に位置する場合は条件1に対して、刺激を付加した条件で偏軌量が小さくなっていること、またその隔たりの大きさは刺激条件による効果の大きさを表すことになる。

どの条件でも偏軌量に大きな差がなく、常に正確な歩行を行っている被験者Cを除いて、音サインが加わることでゴール地点での偏軌量が減少している。条件2：音前と条件5：壁+音においては被験者のゴール地点における偏軌量のばらつきは少なく、安定した調整

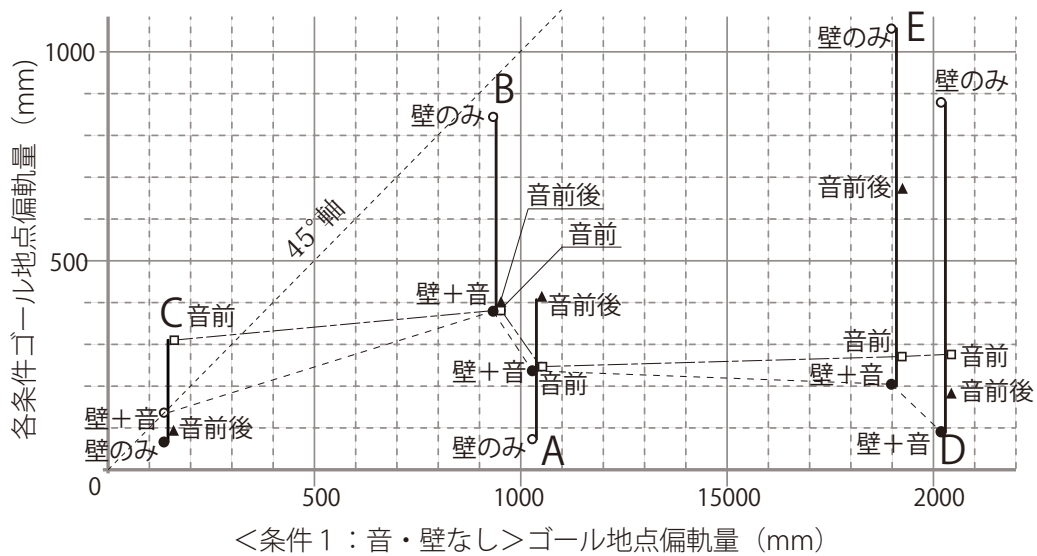


図3-7 条件1と各条件の偏軌量との比較（被験者別）

効果が期待できる。

また、条件4：壁のみおよび条件5：壁+音を比較すると、被験者B被験者Dおよび被験者Eにおいて条件5：壁+音については大幅に偏軌量が縮小している。特に、条件1：音・壁なしの1回目の試行で大幅に歩行路から逸脱した被験者Dは、「普段から右に引っ張られる」癖について述べていたが、条件4：壁のみの場合では、歩行路からの逸脱はなく、往路・復路ともに壁側に偏軌しつつも後半部では壁との距離をほぼ平行に保ちながら歩く様子が見られた。また、壁の存在に加えて前方からの音サインを付加した条件5：壁+音においては、歩行路全体を通してほぼ中心線上を直進的に歩行していた。この結果から、普段の歩行時の癖や習慣が影響し、各刺激による効果は個人によって異なるといえるが、総じて、壁のみでは手がかりとして有効に働かない場合でも、条件5：壁+音のような壁に前方からの音サインを加えることで、どの被験者に対しても一定の調整効果が現れたと考えられる。この要因として、表3-1において被験者Aが述べているように、壁があることで前方の音サインが壁を反射して被験者に伝わる音（反射音）が挙げられる。歩行が偏軌することによって被験者と壁との距離に変化が生じると、反射音の聞こえ方（大きさ）も変化するといえる。したがって、被験者は前方から直接伝わる音サインとこの反射音との微妙な変化を読み取り、一步進むごとに壁からの距離（感）を一定に保てるよう（反射音の聞こえ方が同じ位置を）調整しながら直進歩行を進めていると推測される。

このような被験者の移動にともない環境から受け取る情報が変化し、その変化によって被験者が一步一步調整しながら歩行する様子は、視覚障がい者と環境とが音サインを介して生態心理学的な関係を築いているためと捉えることができる。

3.4.2 付加条件による軌道修正の度合い

図3-8は、横軸を最大偏軌量、縦軸をゴール地点での偏軌量として各条件の結果を散布図に示したものである。条件1：音・壁なしでは偏軌量が単調増加の傾向があるため、ゴール地点の偏軌量が最大偏軌量と等しくなる場合が多いことから、45°軸上に位置する結果が多い。45°軸よりも下側に位置する場合、付加された条件の効果によりゴール地点で偏軌量が修正されたと解釈できる。また、45°軸から下方への距離が大きい場合は、最大偏軌量と最終的なゴール地点偏軌量との差が大きいことを示し、修正の度合いが高いといえる。したがって、条件3：音前後や条件5：壁+音は、その分布から修正量の度合いも大きいと判断できる。また、条件5：壁+音の多くは45°軸よりも右側でかつ原点により近い場所に分布しており、ゴール地点に向けての偏軌を調整する効果の精度が高いことを示している。

一方、条件2：音前と条件3：音前後とを比較すると、偏軌に対する調整効果がより高かった条件2：音前の分布は、45°軸に近く、最大偏軌量からの修正度合いの観点からは条件3：音前後の方が修正の度合いが高いといえる。

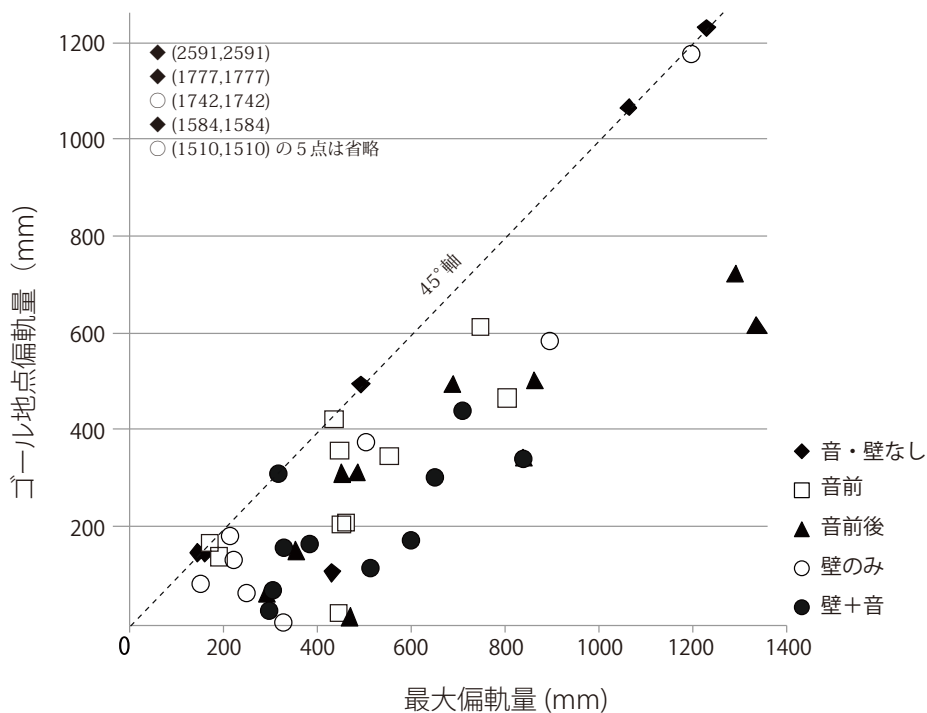


図3-8 最大偏軌量とゴール地点の偏軌量との関係

3.4.3 音により偏軌に気付く状況の分析

本実験の条件2、条件3および条件5には直進歩行の手がかりとして音サインを使用した。これらの条件での歩行軌跡はいずれも一度歩行半ばで最大偏軌量に達し、ゴール地点に向けて収束する傾向にあることがわかった（図3-4参照）。つまり、自身の偏軌に気づき、徐々にゴール地点へ向けて調整を始めたものと考えられる。

そこで、音サインにより自身の偏軌に気付く状況を被験者の身体の向きと音源方向の角度の大ききで説明可能と考え、その角度を調べる。

被験者の身体の向き（歩行方向）と音源方向の角度は、図3-9に示す式1で1mごとに求めた。図3-10は被験者ごとの歩行軌跡（実線）と式1を用いて算出した音源方向への角度（点線）の推移を示す（図中のアルファベットは被験者、数字は試行回数、*は各試行の最大偏軌地点を示す）。

最大偏軌地点における被験者の身体の向きに対する音源方向への平均角度および95%信頼区間を求めると、図3-11に示すように条件2：音前で7.1°、条件3：音前後で9.8°、条件5：壁+音で7.0°であった。すなわち、自身の偏軌を音によって覚知するおよその域は条件2：音前と条件5：壁+音で近似しており、5°から9°以内といえる。また、図3-11からもわかるように、歩行全体の角度の平均値に関しても条件2：音前と条件5：壁+音では、ともに4°前後という結果となり、この閾値内で揺らぎながらも、前方からの音サインを主な手がかりとして直進歩行を維持してるといえる。

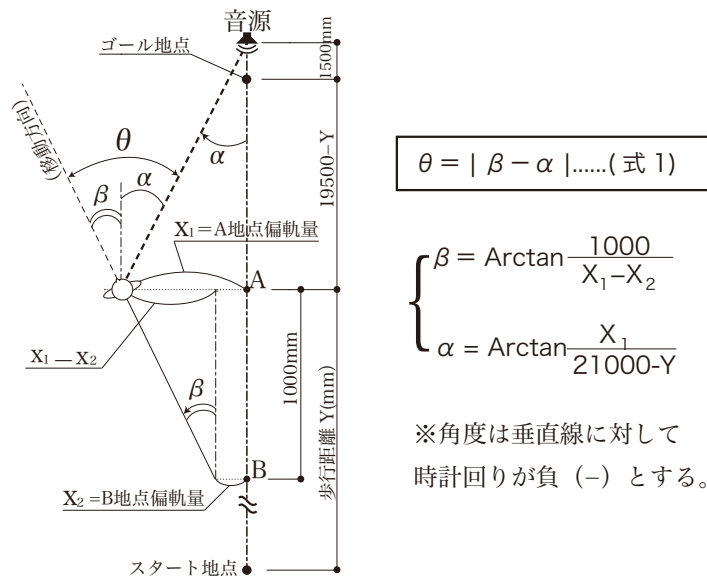
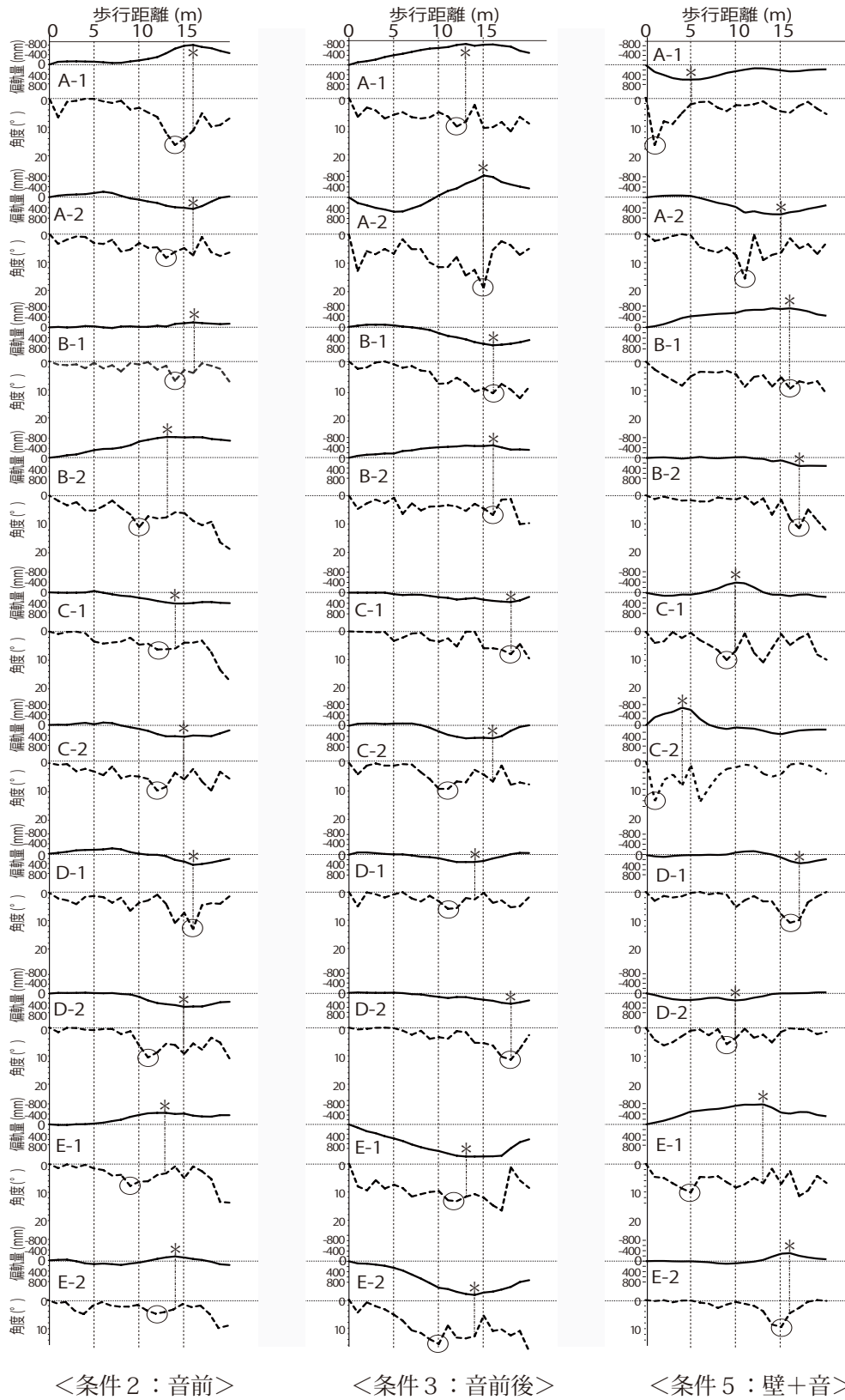


図3-9 音源に対する身体の角度の求め方



※図中のアルファベットは被験者、数字は試行回数、*は各試行の最大偏軌地点、○印は音源方向への角度の最大地点を示す。

図3-10 歩行距離に対する偏軌量(実線)と角度(点線)の推移

ここで条件3において音源方向への角度の閾値が大きくなった理由としては、先に挙げた甲斐らの研究で指摘されている異種鳴き交わし式に見られる音サインの呈示周期が延長してしまう点や、前方からの音サインの無音区間が長過ぎて歩行方向の手がかりを得る機会が限られるといった問題点が少なからず影響を及ぼしていると考えられる。実験では、前方からの音サインが鳴るのを待ちながら歩く被験者も見られ、異種鳴き交わし式の弱点が示されたといえる。したがって、音サインは、前後から聞こえるよりも、進路前方からのみ、かつ短い周期で聞こえる条件において直進歩行に対する調整効果が高く、偏軌した場合にも気付きやすいといえる。すなわち、条件3では鳴き交わし条件とした結果、前方からの音サインの無音区間が長くなってしまい、被験者は移動中にわずかな時間ではあるが情報が得られず、自身の中心線からの偏軌や自身の位置から相対的にみた前方のスピーカーの位置の変化に気付きにくくなってしまっていると考えられる。したがって、無音区間が長い場合、偏軌が大きくなる傾向にあるといえる。これは、視覚障がい者と音サインを介した環境との生態心理学的関係が無音区間が長くなってしまったことで途切れてしまったからと捉えられる。

また、図3-10において、音源方向への角度が最大になる地点^{注7)} (図中○印) は最大偏軌地点と一致しているか、もしくはその地点より手前に見られる。これは、自身の偏軌に気付きはじめ、それを確認し実際に軌道を元の中心線に向けて修正するという行動までにわずかな時間の遅れが生じることを示唆している。

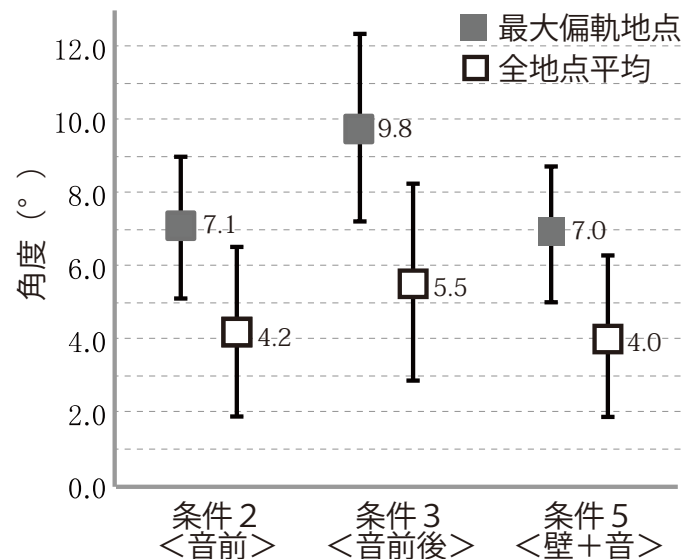


図3-11 各地点の平均角度

注7) ゴール手前は急激な角度で歩行の修正を行うと考えられ、18m以後の各地点における角度は対象から外した。

さらに、音源方向への角度が最大となる地点は、条件2と条件3ではおよそ10mから15m付近に集中しているのに対し、条件5：壁+音においては、その地点が歩行開始直後や中間地点、ゴール直前など散在している。そこで、3条件における全被験者の5m区間ごとの平均角度を求め、その推移を図3-12に示した。図3-11では最大偏軌地点および全地点平均ともに大きな差がみられなかった条件2：音前と条件5：壁+音だが、図12からは条件2：音前においては歩行距離が長くなるにつれ、全体の平均角度も大きくなっていくのがわかる。一方、条件5：壁+音では1～5m区間と16m～ゴール区間との差は1°未満と小さい。この要因として、歩行路に平行した壁がある条件5：壁+音には、前述した反射音と直接音の2つの音が生じること、そしてその2つの音の聞こえ方に変化が生じた場合（すなわち自身の偏軌を意味する）、歩行中のあらゆる地点（歩行路に対し壁が平行にある限り）で気付きやすく、適宜歩行の修正を行えるためと推測できる。このように、直接音と壁を介した反射音という2つの情報と被験者の関係もまた生態心理学的関係と捉えることができる。直接音のみよりも反射音が情報として加わることで被験者と環境との生態心理学的関係が強化され、被験者は反射音により壁の位置を知覚することで、環境内において自らを定位しやすくなったと考えられる。

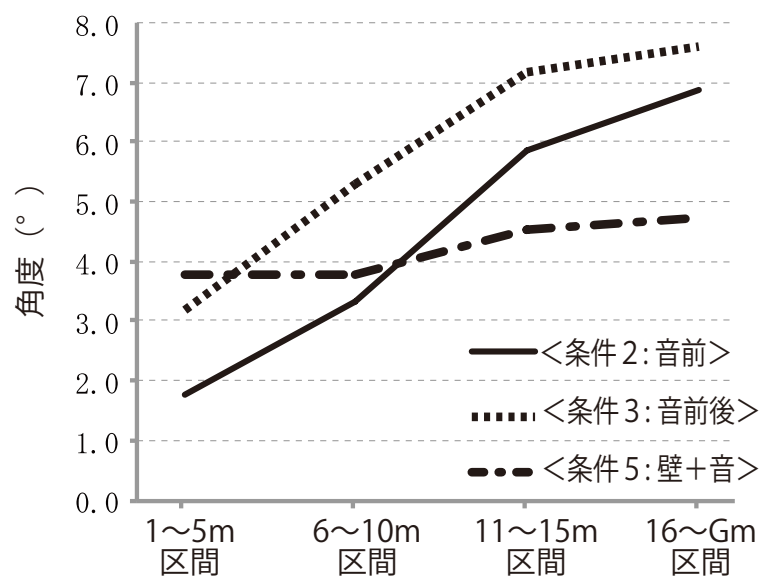


図3-12 各地点の平均角度の推移

3.5 まとめ

本章では音サインによる歩行誘導の有効性を検証すべく、音サインの有無と壁面が視覚障がい者の直進歩行に与える影響について明らかにするため、屋内歩行実験を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 歩行路上に音サインや平行して壁が存在することは、手がかりとなるものが全くない条件と比較し、直進歩行時の偏軌量をおよそ 1/2 ~ 1/3 程度に抑える効果がある。
2. 歩行路上の音サインや壁が視覚障がい者の直進歩行に与える効果の程度は個人によって異なる。
3. 歩行路上の音サインは前後から聞こえるよりも、進路の前方からのみ聞こえてくる場合の方が直進歩行を促す効果が大きく、視覚障がい者はより真っ直ぐに歩行できる。
4. 視覚障がい者は、前方からの音サインの無音区間が長くなると、歩行方向に対する不安を感じる傾向がある。
5. 歩行路に平行した壁が存在するだけでも直進歩行を促すが、前方からの音サインを加えることで、視覚障がい者は前方からの直接音と反射音を壁との距離をはかるために利用し、壁からの一定距離を保ちながらより安定した直進歩行を行えると同時に、自身の偏軌に気付きやすい。
6. ゴール地点に設置した音源の方向と自身の歩行方向の角度差を知覚することによって、視覚障がい者は自身が偏軌したことに気付き、歩行方向を修正することができる。この偏軌を音サインによって覚知する角度は条件によって異なるが、およそ 10° 以内である。

以上、屋内における歩行実験から、視覚障がい者は音サインがある場合に直進歩行と正しい歩行方向を維持しながら歩行できることが明らかになった。よって、視覚障がい者の歩行を誘導するための情報として、音サインの有効性について立証できた。

次章以降では、本章の研究成果を実際の屋外の積雪状態の場合に適用する方法について、具体的な検討を行う。

第3章 参考文献

1. 高戸仁郎, 澤井元, 吉浦敬, 田内雅規: 鳴き交わし式音響信号機の発音方式の違いとそのナビゲーション機能への影響, 第24回感覚代行シンポジウム発表論文集, 第24巻, pp.131-136, 1998.12
2. 甲斐琢磨, 高見涼太郎, 鈴木伸一, 田内雅規: 視覚障害者における鳴き交わし式音響信号機利用時の道路横断と歩行解析, 第26回感覚代行シンポジウム発表論文集, 第26巻, pp.147-154, 2000.12
3. 関喜一: 視覚障害者の音情報利用, 日本音響学会誌, 第65巻, 3号, pp.148-153, 2009
4. 前川純一, 森本政之, 阪上公博: 建築・環境音響学, 共立出版, 2000.8

第4章

積雪路面上における視覚障がい者の直進歩行を誘導する音サインの効果

- 4.1 本章の目的
- 4.2 積雪期における屋外歩行実験の概要
 - 4.2.1 実験で用いた音響装置と再生する音サインの設定
 - 4.2.2 歩行実験の各条件の設定と音環境
 - 4.2.3 音サインのコンテンツ
 - 4.2.4 積雪期の屋外音環境
 - 4.2.5 屋外歩行実験の概要
 - 4.2.6 実験手順
- 4.3 結果
 - 4.3.1 条件ごとの歩行軌跡の傾向と平均偏軌量による分析
 - 4.3.2 音サインの有無による偏軌量の変化
- 4.4 考察
 - 4.4.1 音圧レベルの変化からみた歩行軌跡の分析
 - 4.4.2 被験者の印象評価からみた音サインの誘導効果
 - 4.4.3 音サインのコンテンツに対する評価
 - 4.4.4 被験者の属性と歩行軌跡の乱れの傾向
 - 4.4.5 偏軌開始点と音サインおよび音環境の特徴
 - 4.4.6 多音源主軸垂直配置と周囲への影響
- 4.5 まとめ

第4章 積雪路面上における視覚障がい者の直進歩行を誘導する音サインの効果

4.1 本章の目的

視覚障がい者の直進歩行を音サインや壁によって誘導できることについては、第3章の屋内歩行実験によって明らかにした。しかし、第2章のインタビュー調査時に言及されているように、冬季には環境音全般が聞き取りにくくなるとされる。これは、雪によって音が吸収または反射されたりすることに起因すると考えられる。冬季、音サインが積雪の影響により有効に機能しなければ、積雪寒冷地に住む視覚障がい者が抱える冬季の諸問題を解決する策とはならない。したがって、まず、積雪寒冷地における今後の実用化を見据え、実際の積雪路面上で歩行実験を行い、屋外での音サインの誘導効果を検証する必要がある。

従来の音サインに関する研究^{1~3)}は、盲導鈴^{注1)}の性能に見られるように、目的地が明確にあり、その場所への到達を誘導する効果について議論されたものが多く、ゆえに音サインの方向定位に関する性能の検証やその向上を図ることに主眼が置かれてきた。

しかし実際の歩行空間における実用化を想定した場合、歩行者は必ずしも目的地があって歩行しているとは限らない。第1章で既に論じたとおり、視覚障がい者の目的地までの経路誘導については新しい技術を駆使したさまざまな試みが行われているが、視覚障がい者の偏軌傾向を踏まえ、直進歩行の維持を目指した歩行誘導の研究については例を見ない。事実、多くの視覚障がい者は車道へのはみ出しという危険な状況を経験しており、第2章で示したように、積雪によって車道と歩道の分離が曖昧になってしまう冬季にはさらに頻発しやすい。

そこで本章では、スピーカーを複数設置し、音サインを用いて一定幅の歩行経路を提示することで、その範囲から逸脱しない視覚障がい者の直進歩行を促す効果について検証することを目的とする。

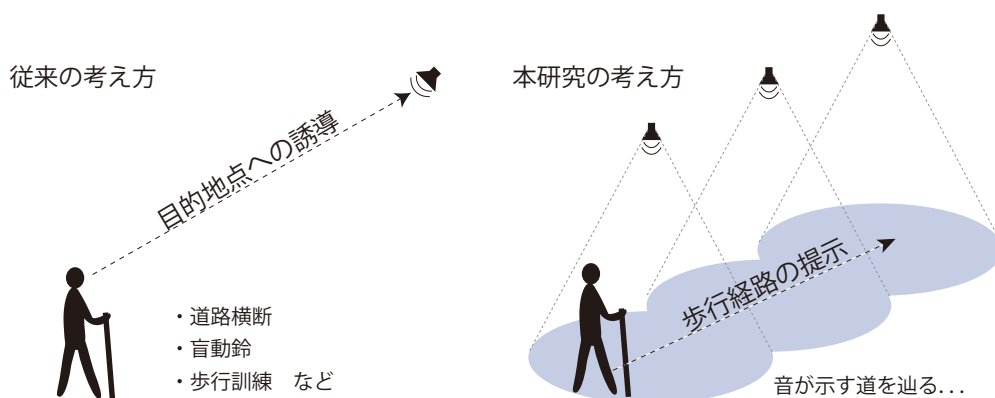


図4-1 音サインを用いた歩行誘導の考え方

注1) 視覚障がい者のために、建物の入口や駅の改札口、地下鉄で入口などを「ピーン・ポーン」のような音で案内するためのもの。「誘導チャイム」とも呼ばれる。

実際の積雪状態において、スピーカーの配置間隔や地面に対する取付角度（俯角）および音サインの種類によっては、視覚障がい者の直進歩行に与える影響と周囲環境へ及ぼす影響が異なると考え、いくつかの条件を設定し、比較検証する。

4.2 積雪期における屋外歩行実験の概要

4.2.1 実験で用いた音響装置と再生する音サインの設定

実験で用いたスピーカーは、全国の一般的な音響装置付信号機に使用されているアシダ音響社製 RUH-5 とした。このスピーカーのサービスエリア^{注2)}は松野ら⁴⁾の研究を参考に、1 KHz で 60 度とみなした。このスピーカーを、TEAC 社製プリメインアンプに接続し、後段で述べる 2 種類の音サインを再生した。

雪上歩行に際し、暗騒音は歩行音によって大きく変動する点を考慮し、歩行音によって音サインが聞こえなくなる最小限の音圧レベルで、かつ音サインとして十分な大きさを確保するため、どの条件もスタート地点で 60dBA となるように設定した（通常時（歩行音除く）暗騒音 40dBA、SN 比 = 20dB）。

4.2.2 歩行実験の各条件の設定と音環境

歩行誘導の要素として、音源の定位による目的地点への誘導と、直線上に音サインを連続的に配置し音圧レベルを一定範囲に保つことで安全な歩行範囲（以下「音の道」）を示す経路の提示とが考えられる。そこで、以上の 2 点について検証できるよう留意し、4 つの条件を設定した（図 4-2 参照）。条件 2 と条件 3 におけるスピーカー取付角度は、図 4-2 に示すように、広いサービスエリアの確保と歩行者の音サインの聞きやすさを考慮し、スタート地点での受音点 (H=1.5m) とサービスエリアの最遠端とが交わる時の角度を条件ごとに求め、その中間値（すなわち図 4-2 に示すスピーカー主軸方向の俯角が 34 度）とした。スピーカーの取付高さについては、国土交通省の「公共交通機関の旅客施設に関する移動円滑化整備ガイドライン⁵⁾」にスピーカー設置高さについての記述があり、「床など低い位置にスピーカーを取付けると混雑時に音源が人の陰に隠れて音案内が不明瞭になる可能性があり、（中略）中程度の高さでは、耳に近い高さとなるため通過時に利用者が大音量を聞かされて不快感を覚える可能性がある」（文献 5、p.128）としている。また、地上にスピーカーを設置した場合には雪に覆われ音サインが聞こえにくくなると考えたため、スピーカーは地上の高い位置に設置することとした。その際、音響信号のスピーカー設置高さを調査した松野ら⁶⁾の研究を参考にし、地上から 3 m の高さに設定した。

条件 2、条件 3、条件 4 においては、音響シミュレーションソフト（CATT-Acoustics V.8）を用い、ピンクノイズを音源とした場合の音圧レベル分布を計算した。シミュレーション

注 2) 3dB 減衰する指向角度で対応したエリア。

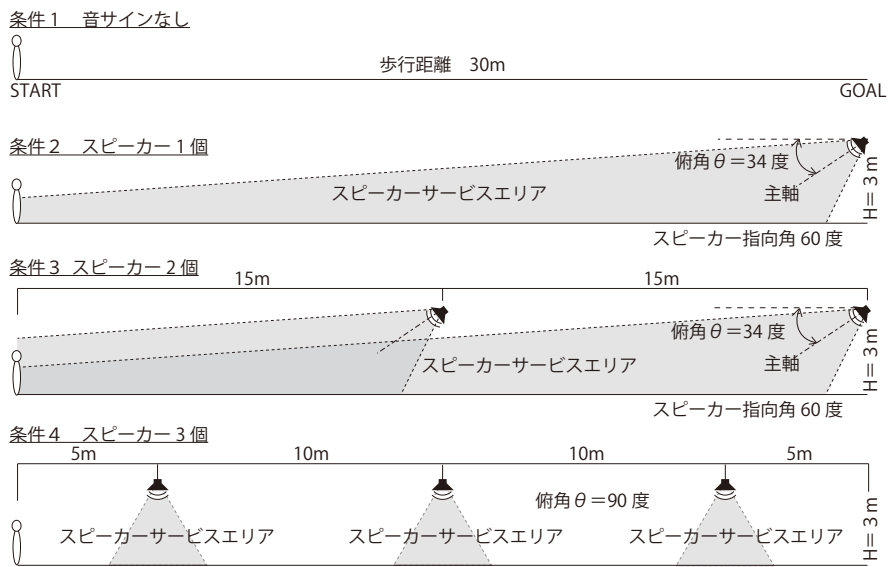


図4-2 条件ごとのスピーカーの配置間隔及び取付角度とサービスエリア

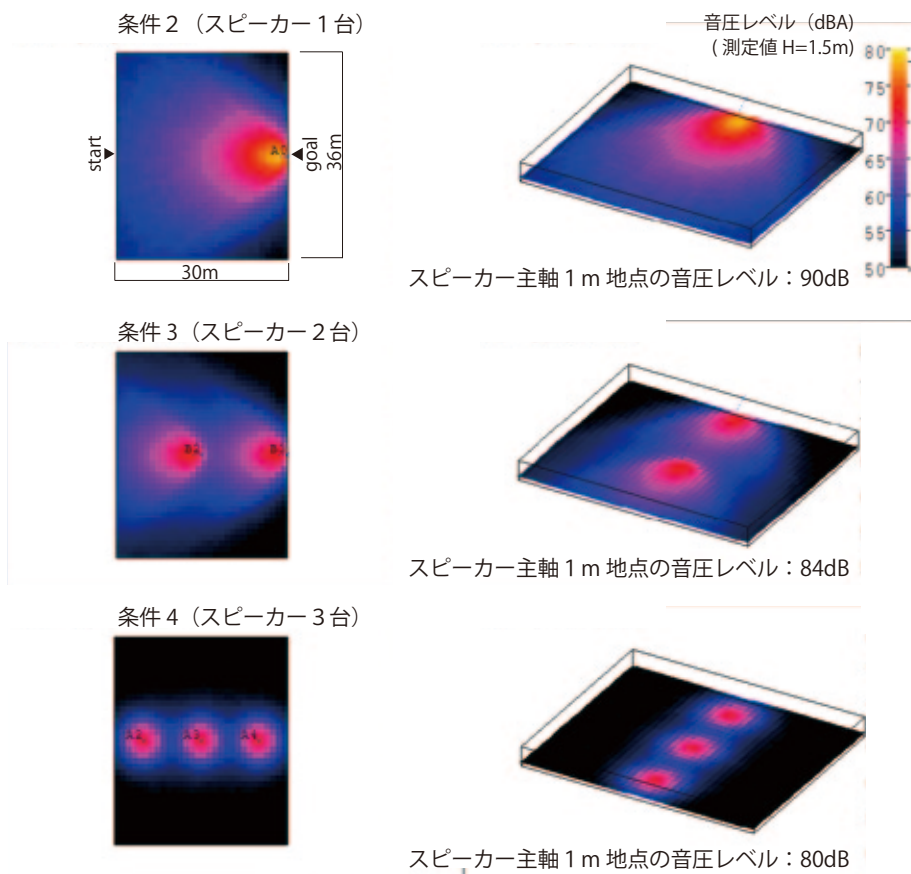


図4-3 各条件の音圧レベル分布のシミュレーション (W36m × L30m)

時の空間設定は長辺 36m、短辺 30m、スピーカー高さ 3m とした。1/1 オクターブバンド中心周波数 2kHz における指向特性（松野らの測定結果を使用）を用いた音圧レベル分布（測定高 1.5m）の計算結果を図 4-3 に示す。

歩行距離は、音サインによる「歩行経路の提示」の可能性についても観察できるよう、屋内実験よりも長い距離とした。再生時の音圧レベルは大きい方が暗騒音との SN 比も大きくなり、音サインは聞き取りやすくなるが、歩行距離を 30m で設定した場合のシミュレーション（図 4-3）から、条件 1 ではスピーカー近傍の音圧レベルが 90dBA（騒々しい工場内と同等）となったため、周囲に対する騒音レベルを考慮した結果、30m が限界であると判断した。各条件の詳細について以下に述べる。

条件 1：音サインなし

音サインが存在しない状況での歩行軌跡を計測する。

条件 2：単一音源主軸傾斜配置による目的地点への誘導効果

1つの音サインを1カ所に配置した場合の誘導効果を検証する。誘導する位置（目標）にスピーカーを1台設置することで、明確な方向感が得られると考えられる。サービスエリアを大きくするため、スピーカーの主軸を34度の俯角で取付けた。図4-3のシミュレーションでは、スタート地点の音圧レベルを60dBAになるよう設定すると、音サインのスピーカーの主軸上1m地点での音圧レベルは90dBAとなった。実空間での歩行者の双方向移動（上り下り）の誘導を考慮するとスピーカーが方向別に2個必要となる。

条件 3：複数音源主軸傾斜配置による目的地点への誘導効果

街路に沿った長い移動を想定して複数のスピーカーを実験歩行路の中心線上に縦列配置した場合の効果を検証する。条件2と同様にスピーカーの主軸は34度の俯角で取付ける。スピーカーが1台追加されることで、最遠端での音圧レベルは大きくなるため音サインの軸上1m地点での再生時の音圧レベルは84dBAに下がる。しかし、中間地点では、サービスエリアが重なる領域が見られ、2つの音サインを知覚できる可能性があるため、それが歩行時の方向感に与える影響を検証する必要がある。条件2と同様に実空間への導入時は方向別に2個必要となる。

条件 4：多音源主軸垂直配置による歩行経路の提示効果

条件3よりさらに多くのスピーカー（多音源）を実験歩行路の中心線上に縦列配置することで「音の道（歩行経路）」を形成することを試み、スピーカー

直下にあたる歩行路の中心線に沿った直進歩行を誘導する効果について検証する。スピーカーの指向特性から配置間隔を決定できるが、本研究では、2つ以上の音サインを前後のスピーカーから知覚することによる移動方向の混乱を避けるため、サービスエリアよりも大きい間隔（10m ごと）でスピーカーを垂直下向きに設置した（5m、15m、25m の位置）。1 台のスピーカーで歩行者の双方向移動の誘導が可能である。

4.2.3 音サインのコンテンツ

本研究で使用した音サインは2種類である。1つは、音響装置付信号機に使われている小鳥の声に類似した「ピッピ、ピッピ（0.7秒）」という（1kHz以上の高域成分の音大きい）音サインである。図4-4に示すように、条件2ではこの音サインを1台のスピーカーから1.5秒間隔で断続的に鳴らし、条件3では同様の音サインを2台のスピーカーから交互に、全体として1.5秒間隔で断続的に鳴る設定とした。

条件4では、周囲との音圧レベル差によって「音の道」を示すことができると考えたため、音圧レベルの変化が知覚されやすいよう連続的な定常音と断続音を組み合わせ再生した。具体的には常時水のせせらぎ音（フリーソフト Atmosphere Light を使用して音サインを作成）を流し、それに高域周波数成分を多く含む数種の鳥の自然なさえずりが不規則な間隔で流れる音サインとした。また、条件4では水のせせらぎ音を基準に、スタート地点で60dBAになるよう設定した場合、不規則な間隔で流れる鳥のさえずりが100dBA以上と極めて大きくなるため、スタート地点で鳥のさえずりが流れた時の音圧レベルの最大値が60dBAとなるよう設定した。

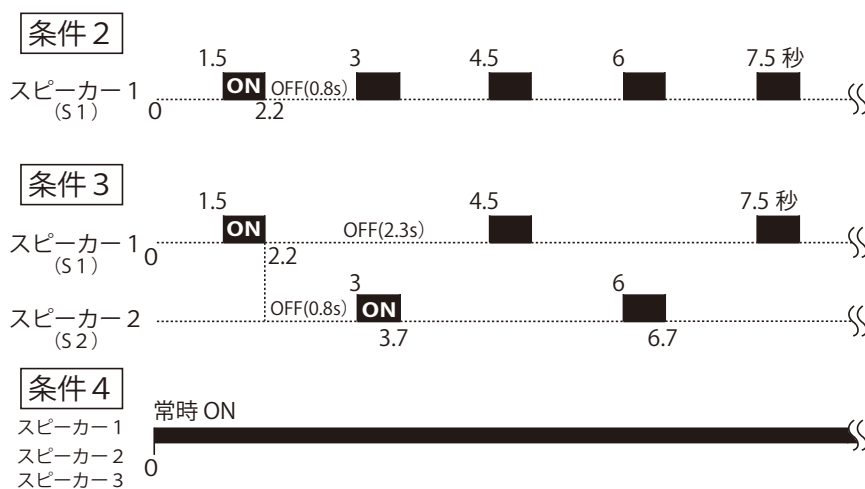


図4-4 屋外実験で再生した音サインの呈示間隔（横軸：時間（秒））

4.2.4 積雪期の屋外音環境

前述した2種類の音サインを屋外で実際に再生した時の歩行による時間経過と音圧レベルの変化を図4-5に示す。録音は実験者が実験歩行路を歩き、イヤホン式のバイノーラルマイクロホン (Roland, CS-10EM)^{注3)}で行った。バイノーラルマイクロホンの騒音レベルについては、騒音計により求めた騒音レベル値を開始点の数値として使用することで校正した。受音点の高さは約1.5mである。

条件1では、積雪路面上での歩行音の変化が見てとれる。歩行音は雪質や気温および地点によって変化し、一時的に60dBAを記録する地点もあるが、暗騒音、歩行音圧レベルの振幅はおよそ40～45dBAである。

条件2では、ゴール地点より少し手前の地点で音圧レベルが最も大きい。移動する受音点(実験者の耳の位置)がスピーカー主軸と交わるのは約27.8m地点であり、この付近では音像定位が最も良いと推測される。

条件3では1.5秒おきに見られるピーク値の変化から、15m地点(S1)にあるスピーカーからの音サインの音圧レベル(図中の実線○で示す)と、ゴール地点(S2)にあるスピーカーからの音サインの音圧レベル(図中の破線○で示す)の大きさが15m以降で入れ替わっていることがわかる。S1通過後は、S1からの音サインは50dBA程度まで低下する。

条件4では、音サイン再生時の音圧レベルは鳥のさえずりを基準に設定したため、常時水のせせらぎ音が流れていながらも、スピーカーのサービスエリア外では、音圧レベルが暗騒音とほぼ同じレベルまで低下していることがわかった。このような4つの音環境下で、歩行実験を行った。

注3) バイノーラルマイクロホンは、イヤホン一体型ステレオ・コンデンサー・マイクで、両方の耳に装着して録音することにより、両耳の外耳道入り口における音圧の変化を観測することができるため、ヘッドホンなどで再生すると実際に聞こえる音の大きさの変化や音の方向感を再現することができる。

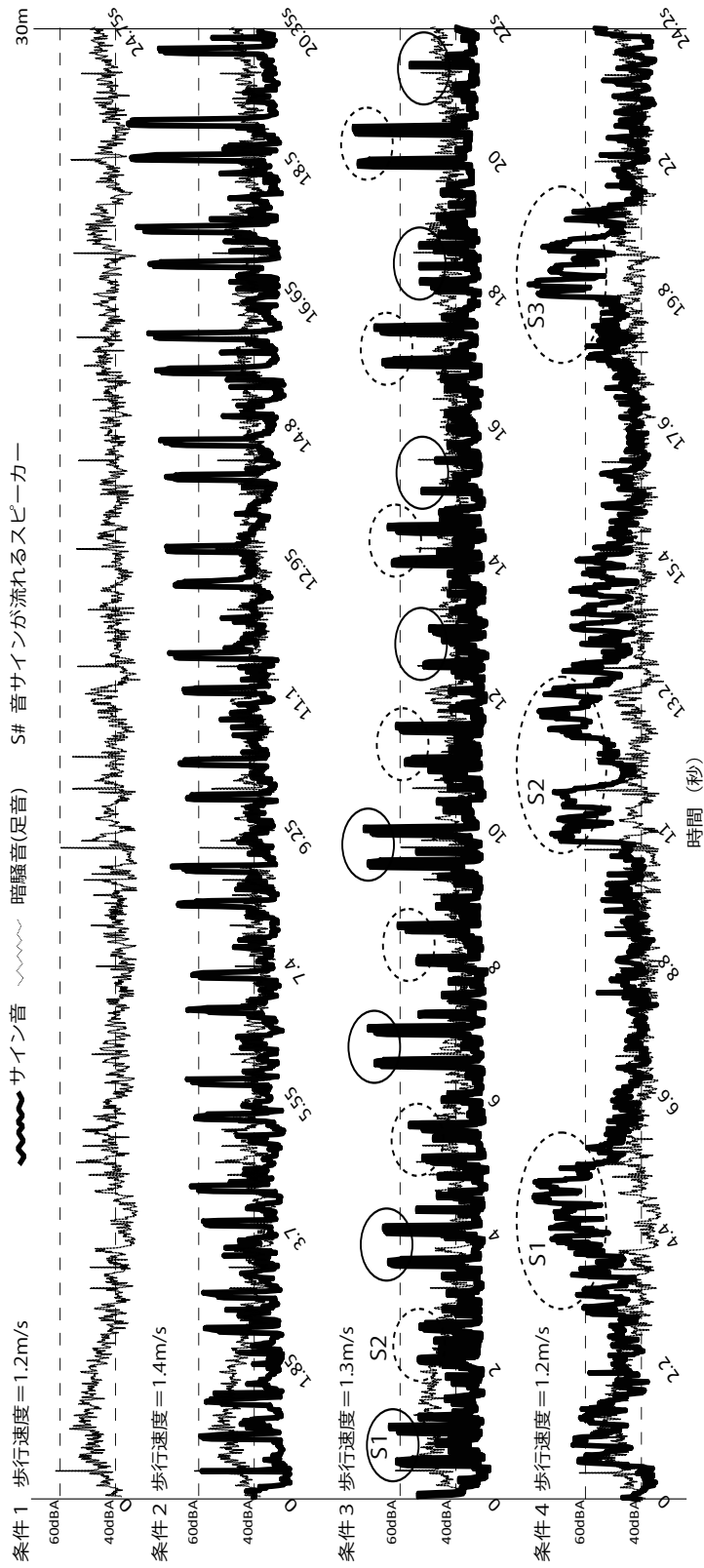


図4-5 時間(秒)経過による音サインの音圧レベル変化

4.2.5 屋外歩行実験の概要

実験は北海道工業大学の敷地内に縦 30 m×横 4.8 m（横は中央の基準線を中心に左右 2.4m ずつ）の実験歩行路を設営し行った^{注4)}（図 4-6 参照）。スピーカーは竹で制作した片持梁の先端に固定し、中央基準線上の地上高さ 3 m のところに位置するよう実験補助員が支えた（写真 4-1 参照）。被験者は日常的に通勤等の際に単独で外出する機会の多い全盲者 11 名である。被験者の属性を表 4-1 に示す（被験者 3 は、第 3 章の屋内実験の協力者 D、被験者 5 は協力者 C である）。被験者には各条件 2 回ずつ、計 8 回歩行させた。

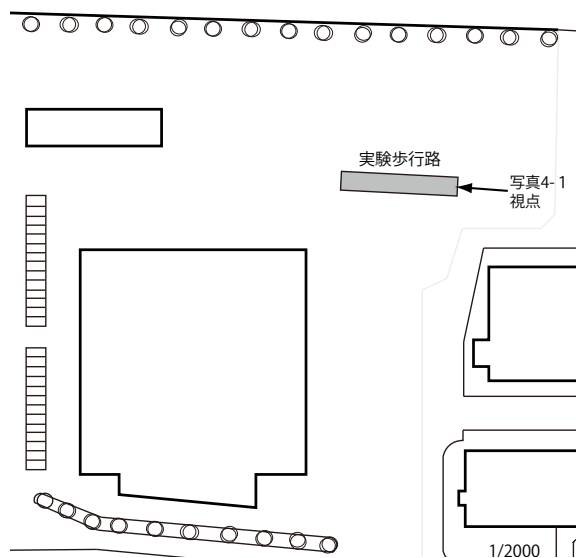


図 4-6 実験の実施場所



写真 4-1 実験風景

表 4-1 被験者の属性（年齢は実験当時のもの）

被験者	性別	年齢	視覚障害の程度	障害歴	外出時	外出頻度	歩行訓練経験
1	男	60	光の感覚なし	先天性	単独	多い	無
2	女	46	光の感覚あり	先天性	単独	多い	有（冬期はなし）
3	男	46	光の感覚あり	33年	単独	多い	有（冬期もあり）
4	男	44	光の感覚なし	35年	単独	多い	有（冬期にあり）
5	男	34	光の感覚あり	先天性	単独	多い	有（冬期は無し）
6	男	68	光の感覚なし	先天性	単独	多い	無
7	男	43	光の感覚なし	先天性	単独	多い	有（冬期もあり）
8	男	62	光の感覚なし	20年	単独	多い	無
9	女	53	光の感覚なし	20年	単独	多い	無
10	女	48	光の感覚なし	20年	単独	多い	無
11	男	57	光の感覚なし	先天性	単独	多い	有（冬期もあり）

注 4) 北海道工業大学の敷地を実験場所と選定した理由としては、第一に周囲は閑静な住宅街で騒音もなく音環境が安定しており、音サインの効果を検証するには妥当であると考えたためである（実験は大学が休日である土日に行った）。また、被験者の歩行が大きく乱れることも想定した場合の安全性の確保から、車両等の交通がない場所が好ましいこと、歩道よりも広い幅を確保すること、また 30m の長さに渡り一定量の積雪を確保することなどの条件も満たす必要があったためである。

大学敷地内の空き地（周囲は閑静な住宅街）を実験場所として選定したため、基準となる暗騒音としては40dBA程度である。しかし、先に述べたように、天候や気温によって路面の積雪状態は日々変化し、雪上の歩行音は雪質によっても変化するため常に一定ではない。実験は2013年3月16日から17日の2日間に行った（被験者1～5は1日目、被験者6～11までは2日目に実施）。実験時の天候は16日が -1°C 、風速6m、乾雪、17日が 4°C 、風速2m、湿雪であった。

4.2.6 実験手順

条件1は、歩行中音サインがないため、スタート直前に被験者が納得するまでゴール地点でスピーカーを鳴らし、歩行方向を確認させた。その他の条件では、スタート地点に立った際、スピーカーからの音サインが十分聞こえるか確認した後、「真っ直ぐ歩いて下さい」と伝え、歩行を開始させた。実験者の「止まって下さい」の合図で止まるよう指示した。各条件終了後に、被験者には流した音サインや実験条件に対する印象評価を述べさせた。被験者には普段と同じように歩行するよう教示し、白杖の使用は許可した。

被験者の歩行軌跡記録のため、積雪路面上には水性インクを用いて60cm間隔のグリッドを引いた（写真4-2参照）。実験者は、歩行する被験者の足下を後方からビデオカメラで撮影しながら追跡した。歩行が実験歩行路から大幅に逸脱した場合には、その都度歩行中止の指示を出すこととした。第3章の実験と同様に、パソコンに取り込んだ映像を元に、被験者の踵の着地点をCADソフト(JW-CAD)で作成した平面図上にプロットしたのち、両踵の着地点の midpoint（体の重心）を結んで歩行軌跡とした。



写真4-2 積雪路面上での実験歩行路の60cmグリッド

4.3 結果

4.3.1 条件ごとの歩行軌跡の傾向と平均偏軌量による分析

ビデオカメラに記録された映像から歩行軌跡を求めたものを図4-7に示す。条件3での1回は実験補助員と交錯したため中止とした(図中の「中止」で示す)。

各条件での歩行軌跡を詳しく見ると、音サインのない条件1では、30mの距離を真っ直ぐ進むことは難しく、偏軌量は距離に比例して大きくなる。歩行路内でゴールまで到達できた試行はおおよそ半数であり、その他は途中で歩行路からはみ出してしまった。図4-8の平均偏軌量(エラーバーは95%信頼区間を示す)からも、ほぼ右上がり偏軌量が増大する傾向が明らかである。また、個人によって偏軌のばらつきが大きく、安定していない様子がわかる。

条件2では、スタート地点から少しずつ偏軌し、12mから24mの間で偏軌量が最大になり、25m以降は徐々に収束する傾向にある。偏軌量は最大でも2mを越えず、平均偏軌量は各地点1m以下でばらつきも少ない。全ての被験者が安定した直進歩行ができているといえる。後半の音圧レベルが大きい範囲に入ると、音像定位が良くなるため、ゴール地点へ向けて偏軌が修正されたと判断できる。

条件3では、18mまでの偏軌量は条件2より小さく抑えられている。しかし、一台目のスピーカーを通過した後半区間では、偏軌にやや広がりが見られる。平均偏軌量は、条件2と比較し、条件3で収束に向かうのは27m以降とやや遅く、ゴール地点での偏軌量も大きい。1台目のスピーカーがあることで偏軌が抑制され、前半区間は条件2よりまとまっているが、ゴールまで辿り着けなかった試行が2回見られるなど、後半区間は乱れる傾向にある。この結果から、2つの音サインが知覚される中間領域では音像定位感がなくなり、偏軌が大きくなったと推察される。

条件4では、15mまでは全条件の中で全体的な偏軌量が最も小さく抑えられており、精度高く直進性を保っている。一方で、15m(2台目のスピーカー)以降では大幅に乱れる試行もあった。1名は途中で一度完全に歩行方向がわからなくなり、誤ってスタート地点の方向へ戻ることもあったが、最終的には正しい歩行方向を認識し、ゴール地点へ向けて再び歩き出した。しかし、図4-7や図4-8からも明らかなように、スピーカー直下地点に着目すると、どの地点でもその前後で偏軌が確実に絞られている。また、ゴール地点での偏軌量が大きいのが、これは条件4ではゴール手前5mに設置されたものより先にスピーカーが設置されていないため、目標とすべき地点を定められなかったことが原因だと考えられる。

4.3.2 音サインの有無による偏軌量の変化

図4-9は、音サインの有無(条件1は音サインなし、条件2~4は音サインあり)により場合分けし、偏軌量の平均値を被験者ごとに比較したものである。図中ラベルのOUT

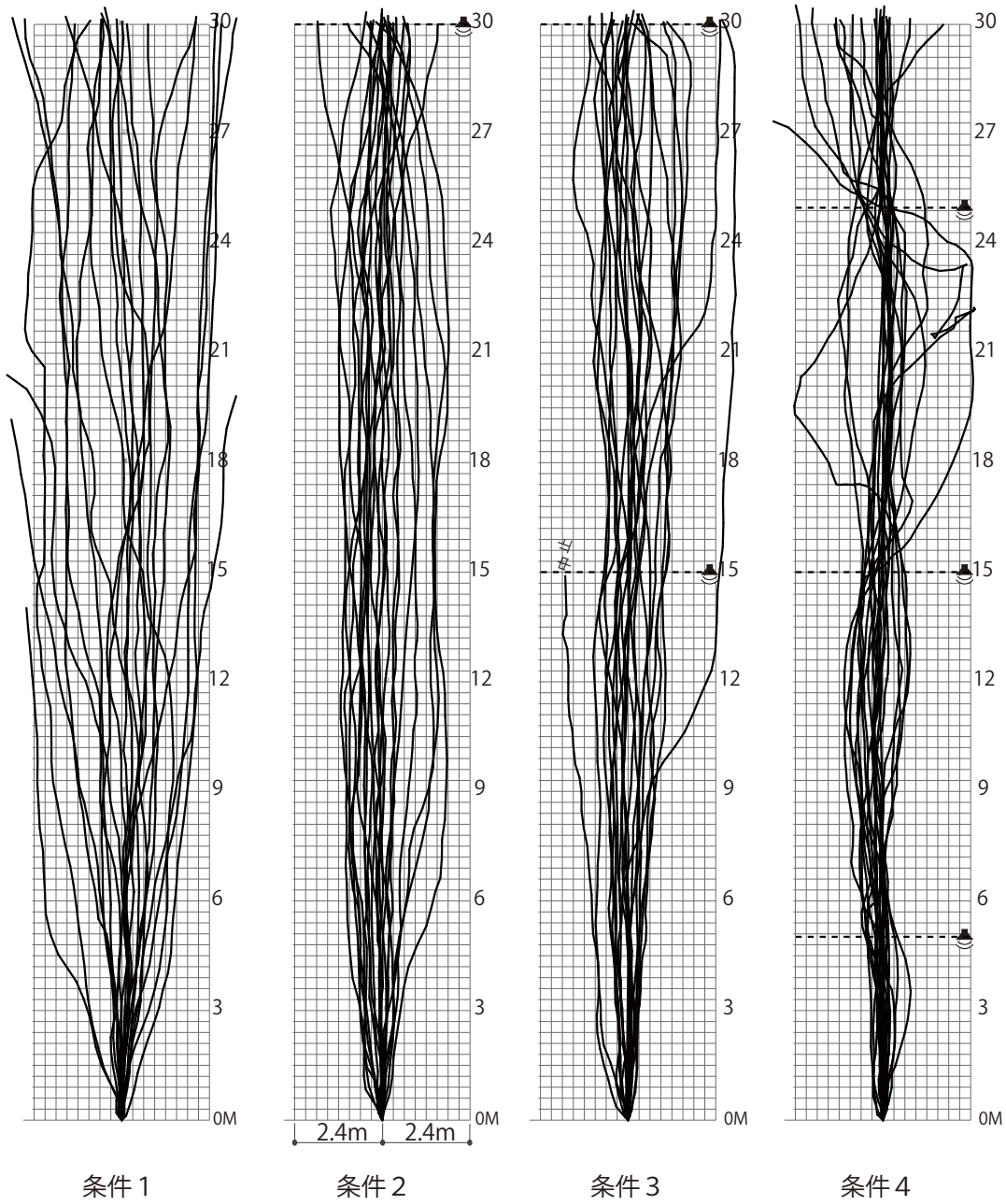


図4-7 積雪路面上における各条件ごとの歩行軌跡

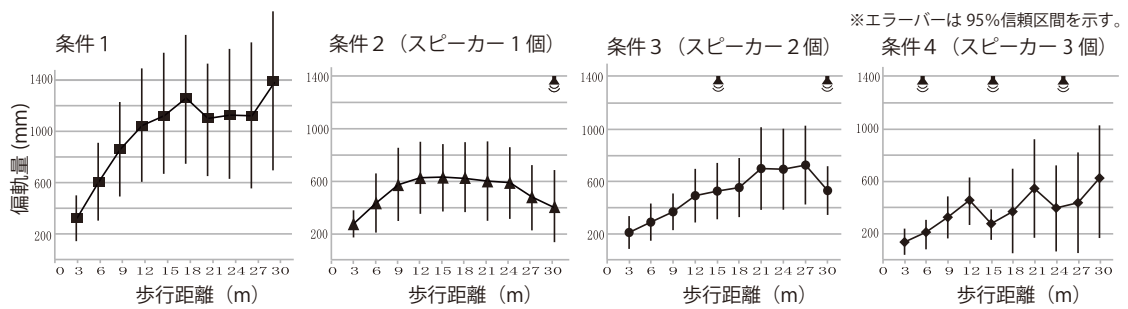


図4-8 各条件の平均偏軌量 (歩行距離3mごと)

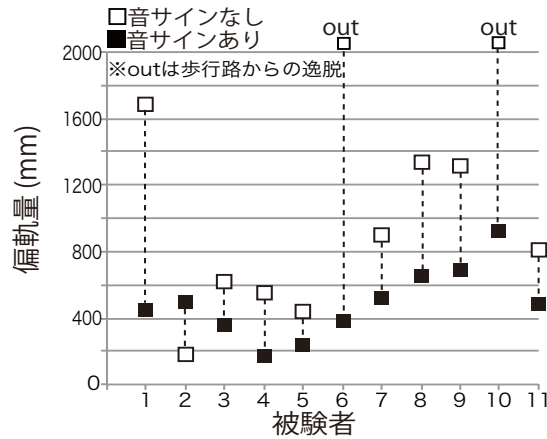


図4-9 音サインの有無による偏軌量（被験者ごと）

は歩行路を逸脱したことを示す。被験者2を除いて、音サインがあることで偏軌量が小さくなっていることがわかる。音サインがある場合の全被験者の平均偏軌量は個人差が見られるが400mm前後が多く、音サインがない条件1と比較して小さく保たれており、音サインがあることでより直進性の高い歩行が誘導されたといえる。これらの結果から、全体的な周囲の環境音が聞こえにくいとされる冬季積雪期においても、音サインによる歩行誘導の有効性が示された。

4.4 考察

4.4.1 音圧レベルの変化からみた歩行軌跡の分析

音サインのある条件2、条件3、条件4について、音圧レベルの変化に着目して歩行軌跡を分析する。条件2では、図4-5におけるゴール地点手前の音圧レベルが最大となる地点と図4-7の偏軌の収束開始地点とがほぼ一致する。前述の通りこの地点では音像が最も明確に定位されているため、この付近で被験者はゴール地点がわかり、修正ができたことを示唆している。

条件3の前半区間については、S1とS2の両方から聞こえる音サインを聞きながら歩行が可能であるが、S1通過後はS1の音量が急に低下し、S2からの音サインの音量もまだ小さいため、音像定位がされにくいと考えられる。その結果正しい歩行方向がわかりにくく、中間地点以後の偏軌に広がりが見られたと推測する。

条件4においては、図4-5と図4-7を照合すると、音圧レベルの低下に対応して偏軌に広がりが見られる。しかし、音圧レベルが徐々に大きくなるにつれ、偏軌も絞られるように修正されている。条件3と比較し条件4ではスピーカーが垂直下向きに設置されることでサービスエリアが小さくなり、各スピーカーが独立して認識され、結果として音像定位が良くなり、スピーカーひとつひとつを目標に歩くことができたと考えられる。

4.4.2 被験者の印象評価からみた音サインの誘導効果

表4-2に、各条件に対する被験者の実験後の印象評価を示す。

1カ所に1台のスピーカーを配置した条件2では、方向感と音像定位感の両方が得られやすかったことがわかる。また、総じて、音サインが1つの場合は目的地点（ゴール地点）へ誘導する効果が高いことをよく説明している（アンダーライン部）。

2台のスピーカーを縦列配置した条件3での歩行中の意識としては、被験者5の発言に集約されるように（破線部）、直近の目標としているスピーカーを通過後次の音サインを探すため、通過した音サインについては注意を払わないようにするという視覚障がい者の行動の特徴が示された。この特徴から、1台目のスピーカー通過後、新たに目標とする音サインを見つけるまでの間、歩行方向を把握しにくくなることもわかった。また、「目の前の音サインに集中する」という行動の特徴から、音サインが2台のスピーカーから交互に鳴るように設定した今回の条件では、後半区間の音サイン無音区間（3秒）が長いと感じる被験者が多く、歩行速度を緩め、音サインが鳴るのを待つ様子が見られた。第3章の屋内実験の結果をふまえると、1台目のスピーカー通過後の後半区間では前方の音サインはゴール地点のスピーカーからのみであり、これを頼りに歩く場合、音サインの無音区間が長く感じられる。すなわち、条件3の後半区間の偏軌の広がり、前方からの音サインの無音区間が長くなったために、その間の方向が確認できなかったことに起因すると考えられ、同時に無音区間が長いことは不安を与えてしまうことがわかる。したがって、音サインによる誘導効果を高めるためには、音像定位が良くなるように音サインの再生間隔を検討する必要があると考えられる。その他、同じ種類の音サインが近くに複数存在する場合、音サインの鳴っている場所がわかりにくいといった意見もあり、これは永幡⁷⁾の報告と一致した。したがって適切なスピーカー間隔が音像定位の良し悪しに影響するといえる。

条件4については、「安心、修正しやすい」と「わかりにくい」という意見に分かれた。後者の発言をした被験者9、10の内容を吟味すると、音が「前後」や「あちこち」から聞こえるため、歩行方向がわからなくなったと判断できる。一方で、被験者3、4、8（グレー部分）のように、音サインを1つずつ独立したものとして捉えている被験者の場合、歩行も絶えず修正しながらより直進的な歩行ができていることがわかった。したがって、前方直近の音サインを暫定的に目標として定めながら歩くという行動を絶えずくり返すことで、結果的に歩行方向を失わず、歩行経路範囲内の直進歩行ができたと解釈できる。途中で歩行方向を失った被験者は、こうした音サインの捉え方（前にある音に集中する）ができていない可能性が高い。また、不規則に流れる鳥のさえずりが高い音で耳に入ってきやすいため、前後のスピーカーから複数聞こえてしまい、歩行が乱れた可能性も考えられる。

表4-2 実験後の被験者の印象評価（カッコ内の数字は被験者番号）

	歩行中の意識と音サインの捉え方	音サインの間隔・音量	方向感・音像定位の得られやすさ	音サインの音色やコンテンツに対する意見
条件2	<p>■もうすぐ音が聞こえると思えば安心感がある(1)</p> <p>■普段聞き慣れている音のせいか、真っ直ぐ歩けた気がする(4)</p> <p>■30mという限定であれば、一番歩きやすい(5)</p> <p>■一番わかりやすい(7)</p> <p>■音がないうつと比べて安心して歩ける。わかりやすい(9)</p>	<p><距離的間隔></p> <p>■徒競走で60m先の音にめがけて走ることに慣れているため、30m先でも難しくない(1)</p> <p>■音サインまでの距離が長く、少し不安。歩行が曲がっているかどうかの確認が少し難しい(2)</p> <p>■風が強く、音サインとしては遠い。風が強い場合は問題ない(3)</p> <p>■このくらいの間隔で音サインがあれば歩きやすい(11)</p> <p><音量></p> <p>■風で音が流れて聞こえづらい(2)</p>	<p><方向感></p> <p>■一つしか音がないので、その音の聞こえる方向に集中しやすく、単純にそれを目標にしてその方向に向かって歩いていく(8、10、11)</p> <p><音像定位感></p> <p>■目標にする音が一つしかないので見つけやすい(6)</p>	<p>■「ビッピ」というリズムが歩くテンポにちょうど良い(4、5)</p>
条件3	<p>■常に前にある音に集中するので、通り過ぎた後の音は特に気にしない(2、3)</p> <p>■音にめがけて歩く習慣があるため、目の前の音を聞いている(4)</p> <p>■奥の音はあまり聞こえない。一番近くの音、一つの目的としている音を通り過ぎたら、次の音を探すという感覚で歩く(5)</p> <p>■上空からの音はいつ通り過ぎたかはっきりしない(7)</p> <p>■スピーカー通過後、前にある音だけに意識を切り替えて歩いた(8)</p> <p>■ゴール地点の最終的な音を目指して歩くので、手前の音は少し邪魔(奥から聞こえる音に集中)(11)</p>	<p><距離的間隔></p> <p>■同じ種類の音サイン同士が近い間隔で設置されていて、音サインの鳴っている場所がわかりにくい(1、6、10)</p> <p>■30mの場合、15m間隔で音サインがある方が歩き易かった(2)</p> <p>■「ここまで来た」という目印として使うにはスピーカーの間隔が狭く、複数音聞こえるので迷う(10)</p> <p>■15m間隔に一個のスピーカーだと間隔が狭い(11)</p> <p><時間的間隔></p> <p>■無音時間が長いので、向かっている方向が正しいのか確認できず、不安になる(1、3、4、5、6)</p>	<p><方向感></p> <p>■わかりづらい。音が消える感じがするので方向を失いやすい(9)</p> <p><音像定位感></p> <p>■2つ鳴っていても1つに聞こえる(1、6)</p> <p>■1つ目のスピーカーを通過直後は、後ろの音の方が耳に入ってくるので、前方からの音を定めづらい(3、6、8)</p> <p>■ゴール地点を目指す場合、音サインは何か所から鳴っているよりも一か所から鳴っているほうがわかりやすい(7)</p> <p>■途中で音があると、通り過ぎた時に少し迷う。1つ目のスピーカー通過直後2、3歩は目標にする音サインを見つけにくいので、情性で歩いている(8)</p>	<p>特に言及なし</p>
条件4	<p>■ひとつの音を通過直後一瞬、歩行速度が遅くなる感じがするが、1、2歩歩けば次の音が聞こえてくるのでまた安心して歩ける(3)</p> <p>■風により音が途切れるので足が止まるが、曲がっていてもまた音が聞こえればその音に向かって修正できる(4)</p> <p>■曲がったのがわかる。スピーカーの真下で修正した(6)</p> <p>■頼りにできると言える(7)</p> <p>■まずひとつの目標に向かって歩いて行って、それを通り過ぎたあとまた次の目標を探して歩くというのは非常に安心感がある(8)</p> <p>■三か所で音を鳴らすというのは曲がったものを修正するには良いかもしれない。歩きやすい(11)</p>	<p><距離的間隔></p> <p>■100mとか距離が長くなる場合には、条件4のような要素所で音が聞こえる方が歩きやすい。風が吹いてもあのくらい近くに音サインがあると安心(5)</p> <p>■ポイント(10m間隔とか3か所とか)で鳴らすよりも、ゴールで音を一点に集めて流すほうが歩きやすい(11)</p>	<p><方向感></p> <p>■街中であの音になると、どちらの方向へ行けば良いかわかりづらい(5)</p> <p>■スピーカーを通り過ぎた後、流れているのが水のせせらぎ音のみの時は、進路方向がわかりにくくなる(8)</p> <p>■音が前後から聞こえるので、方向感を見失う。わかりにくい(9、10)</p> <p>■音が混じる。どのスピーカーからも同じ音量で鳴っているので、今、どのスピーカーの間に自分があるのかわかりにくい(10)</p> <p><音像定位感></p> <p>■実験では周りが静かなので、音サインが良く聞こえるが、商店街で音がガンガンなっている状況だと、歩行がずれる可能性があるかも(1)</p> <p>■音の下をめがけて歩くというところはわりと意外に苦なくて来た(4)</p> <p>■ゴール地点で音を一つ絞ったほうが良い(6)</p>	<p>■新しく良い。結構聞きやすい(1)</p> <p>■ブザーやピンポン音より良い。つい上を見上げて、木に止まった鳥を探す感じ。交互に鳴らすとか工夫すべき(2)</p> <p>■一定の音でなく、鳥のさえずりなので、耳に入ってきた音の音だけだと他の音にかき消されるが、鳥のさえずりが鳴ったり鳴らなったりするところが良い(3)</p> <p>■視覚障がい者はつい下を向いて歩きがちだが、鳥のさえずりだと上を向いて歩きたくなる。しかし、ずっと鳴っているよりは、On/Offの設定がある方が良い。ただ、Offの時間が長いと不安になる(4)</p> <p>■癒される感じが良い。偶数番と奇数番のスピーカーから鳴る音サインが違つとよりわかりやすい。音が時間差で鳴るだけでも良いかも(5)</p> <p>■水のせせらぎ音よりも鳥のさえずりの音の方が聞きやすい。もっと単純な音のほうが良い(6)</p> <p>■わかりにくい。違和感がある。耳に慣れている音導的的な音の方が良い(7、9、10、11)</p> <p>■鳥のさえずりがなく、せせらぎ音だけだと方向がとりにくい(8)</p> <p>■水のせせらぎ音と鳥の声が混ざっているものは、音の高いほうにつられる。つい聞こえる方向に寄ってしまいい、Uターンしてしまったりする(10)</p>
その他の意見	<p>■高い位置から聞こえる音は急に聞こえなくなる印象(6)</p> <p>■「ひとつの音を通過後立ち止まり、「さあ次の音」と歩けば良いが、今日のよう短距離の場合、つい情性で歩き、流される。長距離の場合、初めての場所でも「ここまでこれ頼り、「次はこれ」と歩けると安心感はある。その場合、奥の音があり聞こえなければ、同じ音サインでもよい(8)</p>	<p>■長距離の場合は、音サインの間隔が短い方が安心して歩ける(2)</p> <p>■スピーカーの設置間隔がもっと長ければ、条件3や条件4のように音サインが複数あってもよい(9)</p> <p>■100mくらい先で鳴っていても「あっちの方向で鳴っているな」というのはわかるが、音源の場所はかなり曖昧になる(8)</p>	<p><方向感></p> <p>■鳥のさえずりの種類や音色を変えることで「今日の辺にいます」とか距離感がわかるようになりそう。街中での目印になる(1、3)</p> <p>■実際の街中で、色々異なる音サインを用いると、それぞれがどの方向を指しているのかわからなくなりそう(7)</p>	<p>■目的地がはっきりしている時には、異なる音サインが隣接するスピーカーから鳴る方がより良い(1、5)</p>

破線 複数の音サインがある場合の視覚障がい者の意識
 グレー 歩行経路の誘導を考慮した時の視覚障がい者の音サインの捉え方
 矢印 目標への誘導を考慮した時の視覚障がい者の音サインの捉え方

4.4.3 音サインのコンテンツに対する評価

表4-2中「音サインの音色やコンテンツに対する意見」の列をみると、これまでの盲導鈴に利用されている音サインとは異なる水のせせらぎ音を用いた条件4に対し、被験者1～5のように好意的な意見がある一方で、「慣れ親しんだ音サインではないためわかりにくい」や「単純な音の方がいい」といった否定的な意見もあった。また、被験者4の意見から、連続音よりもオンとオフの設定がはっきりしている方が音サインとしては分かりやすい可能性があるが、この場合に視覚障がい者を不安に感じさせない無音区間の設定が重要であることがわかる。特に条件4での歩行は、水のせせらぎ音が終始流れていながらも、鳥のさえずりが鳴った時に被験者が機敏に反応し、歩行方向を調整する様子が見られたことから、鳥のさえずりによって方向感が得られていた可能性が考えられる。

4.4.4 被験者の属性と歩行軌跡の乱れの傾向

冬季の歩行中に視覚障がい者が直面する問題の一つとして、車道へのはみだしが挙げられる。積雪によって足元が不安定であり、また縁石が埋もれることで車道と歩道の区別がないところが多く存在する中、いつの間にか車道へはみ出してしまうという危険は多くの視覚障がい者が経験している。

仮に一般的な歩道幅員を3.5mとした場合^{注5)}、本実験において偏軌量の絶対値が1.75mを超えなければ実空間で車道にはみ出すことはないと考えられる。図4-10は、各条件で偏軌量(=d)1.75mを基準に、それ未満とそれ以上の試行を区別して示したものである。その際、条件4については、3台目のスピーカーの位置から正しい数値を得られたとは考えにくいため、25m以降のデータを分析対象から除外した。その結果、音サインのある各条件で1.75m以上となった試行はそれぞれ3試行ずつであった。これらの試行の被験者は、被験者7を除いて成人後の失明者であり、かつ歩行訓練を受けていない(表4-1参照)。特に被験者9、10ともに実験開始前に自ら「方向感覚を失いやすい」と申告しており、複数の音サインが存在する条件3や4について「わかりにくい」と答えている。本研究では調査対象者が少ないため一般論的な結論づけはできないが、成人後に視力を失った中途失明者においては、音サインを含むその他の音情報の捉え方や利用方法が、先天的および幼少期に視力を失った障がい者とは異なり、複数の音サインが聞こえる場合には方向感覚が乱れやすいという可能性を示唆している。

注5) 札幌市は道路構造令に基づき、歩行者の交通量が多い歩道の最低幅員は3.5mとしている。

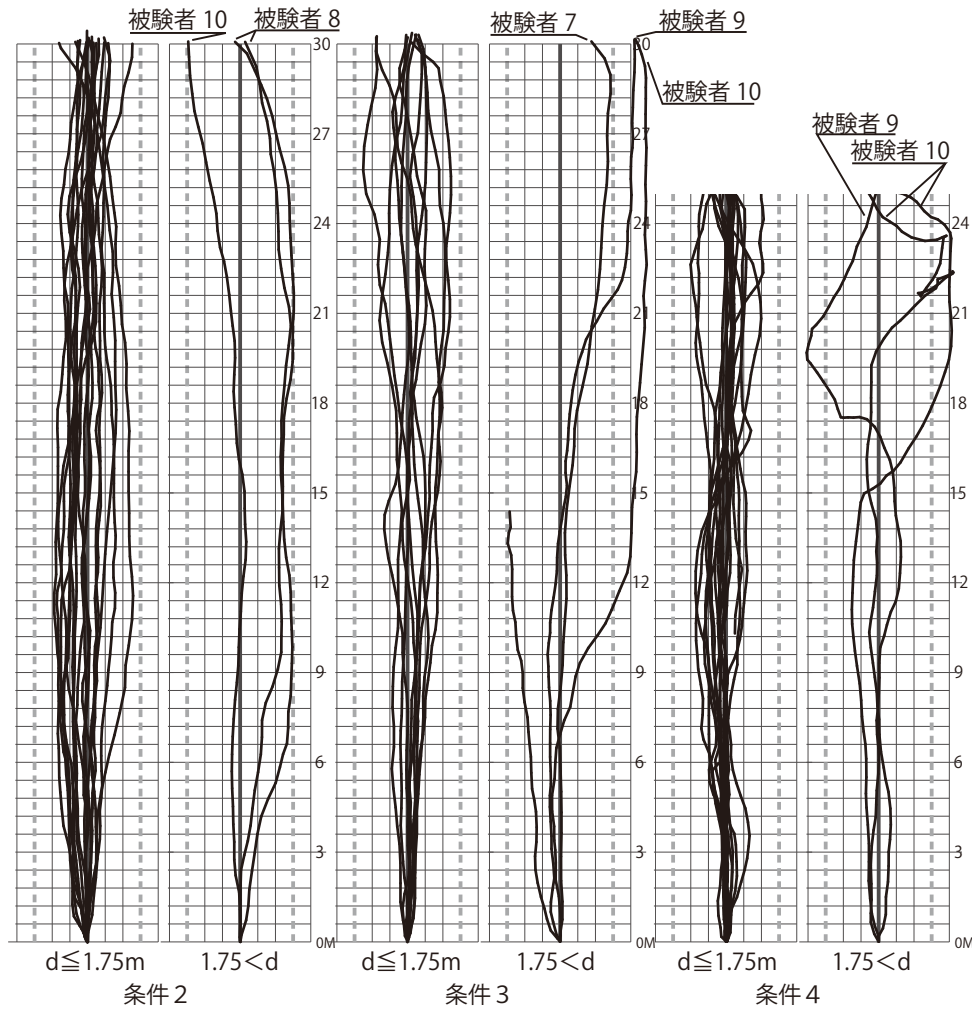


図4-10 各条件における偏軌量別の区分

4.4.5 偏軌開始点と音サインおよび音環境の特徴

これまでの分析から、高い誘導効果が見られる条件4ではあるが、その偏軌量が小さくばらつきの少ない前半の歩行軌跡と比較し、後半は2名の被験者において大きく乱れている。この後半部分の軌跡と歩行時の被験者の言動を図4-11に示す。録画画像をもとに同時刻の被験者の位置と音サインのコンテンツをあわせて確認し、鳥のさえずりが流れていた区間を軌跡上の破線として示した。被験者と実験者との間に2m程度の距離の開きがあるが、条件4では全てのスピーカーから同時に同じ音サインが流れているため、両者間での音圧レベルの違いはあるが、音サインのタイミングは大差ないと判断した。

図4-11では被験者9、10-1の試行において大きく偏軌し始める地点と鳥のさえずりが鳴り始める時とが一致している。したがって、鳥のさえずりが鳴っている最中は音像が定位され続け、スピーカーの位置がわかりやすかったと判断できる。しかし、鳥のさえずりに反応した後はそのままの方向に進行し続け、目標となるスピーカーを大きく通り過ぎてしまう傾向が見られる。その結果、スピーカーのサービスエリアを越えてしまい、音

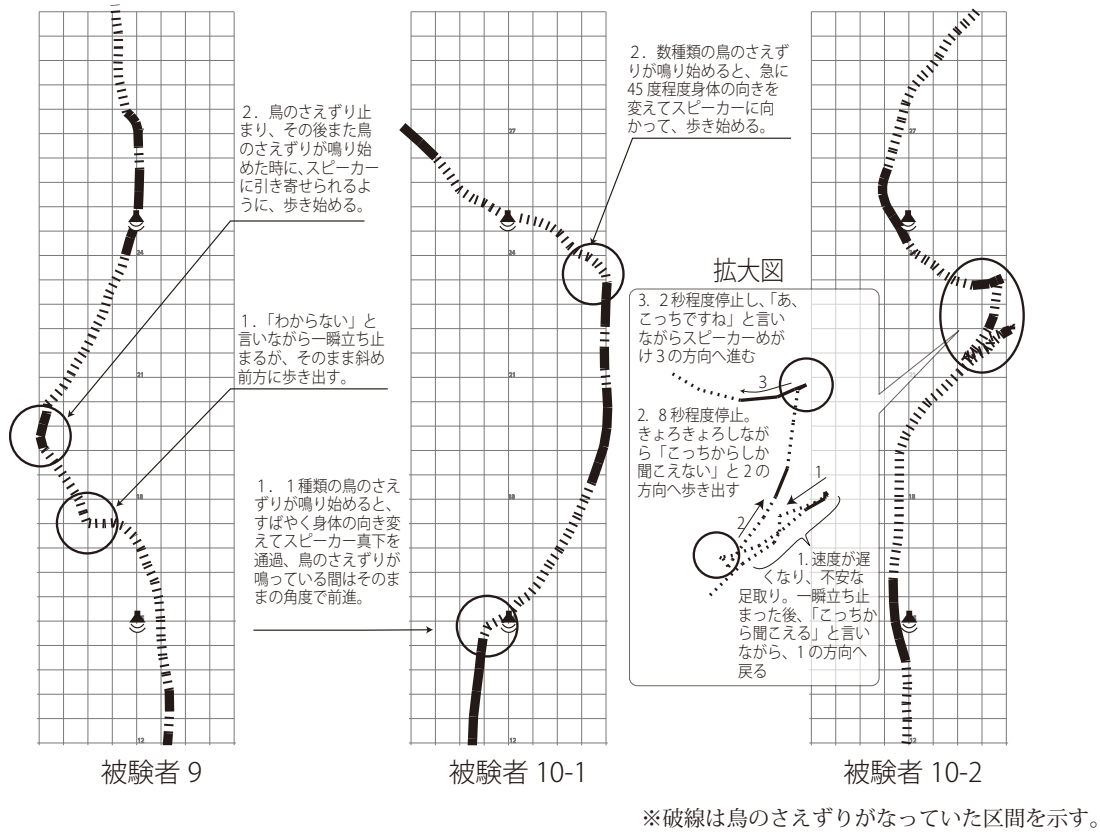


図4-11 歩行軌跡の偏軌点と音サインのコンテンツ

サインが聞こえにくい領域まで外れてしまったと考える。これは、スピーカーの主軸を傾斜させた条件2、3では、歩行方向に対する音圧レベル分布がスピーカー位置に対して非対称であるのに対し、スピーカーの主軸が垂直下向きの場合には、音圧レベル分布が対称的であるため、「スピーカーを通り過ぎた」ことに気付きにくいためと考えられる。同時に、頭上からの音サインは方向感がなく、自らの身体の正面がゴール方向からずれていた場合にもそのずれに気付きにくく、修正しにくいと考えられる。ただし、スピーカー設置位置に着目すると、どの被験者もスピーカーのほぼ直下を通過しており、何らかの手がかりによってスピーカーの位置を捉えていたことを示している。

スピーカー直下における偏軌の収束は、同様に歩行路中間地点にスピーカーのある条件3では見られない条件4の特徴といえる。この結果を条件4における音環境の特徴から考察した場合、移動にともなう連続的な定常音の音圧レベルの変化勾配の知覚が影響したと推測する。条件4では連続的な定常音を流したが、前出の図4-5からも各スピーカーの間では定常音の音圧レベルが暗騒音と同程度まで下がっているため、有効でない領域がある。したがって、スピーカー中間の歩行では、それまでに歩いてきた方向を保持して惰性で歩く（表4-2中「その他の意見」被験者8の感想参照）が、無作為に流れる鳥のさえずり（オンオフのある断続音）の音像定位によって歩行方向が誘導されながら必要に応

じて修正し、暗騒音よりも定常音が優位な範囲に入ると、徐々に大きくなる定常音の効果によりスピーカー直下に誘導されたと推測される。すなわち、歩行方向をY、それに直交する方向をXとしたとき、定常音の音圧レベルが暗騒音よりも優位な範囲では水のせせらぎ音（連続的な定常音）を知覚することでX方向の偏軌（直進歩行のずれ）を抑制し、鳥のさえずり（断続音）がY方向の移動（歩行方向）を促す手がかりとしてそれぞれ働いたと考えられ、2種類の異なる音サインのコンテンツによって歩行経路の提示ができていたといえる。特に、定常音による音圧レベルの変化については、移動（スピーカーに近づいたり遠ざかったり）することによって「大きくなった、小さくなった」という感覚が得られ、自身の移動にともない刻々と変化するこれらの情報によって歩行方向や直進歩行を調整していると捉えられ、ここでも生態心理学的関係が見られる。

また、被験者10-2の試行については、定常音と周囲の音圧レベル差を知覚できる範囲から逸脱してしまった位置で正しい歩行方向がわからなくなり、立ち止まったと解釈できるが、これは移動によって得られるはずの変化する情報を立ち止まってしまったことにより得られなくなった状態として考えられ、生態心理学的関係が途切れてしまったと捉えることができる。

表4-2から、被験者9や10の発言をみると、スピーカーのサービスエリアから大きく逸脱し、定常音の音圧レベルが知覚しにくく、2台のスピーカーのちょうど中間付近で立ち止まってしまった際に、2台のスピーカーから鳥のさえずりが聞こえ始め、どちらの方向に進めば良いか困惑したと考えられる。したがって、歩行方向を失った際に、どちらに進むべきか、あるいは歩いて来た方向を認識できるような対策の必要性が示唆される。

4.4.6 多音源主軸垂直配置と周囲への影響

これまで、歩行中の視覚障がい者が音サインを手がかりとして利用する割合の高さに関しては、第2章や船場ら⁷⁾の先行研究でも明らかにされている一方、前出の松野らの研究では、音響信号の音サインを不快に感じている近隣住民の存在について言及されており、視覚障がい者以外の方が音サインに対して耳障りと感じているという武田ら⁹⁾の研究結果も見受けられる。したがって、適切な誘導効果のみならず、全体の音量を下げることや、必要時のみ鳴るといった周囲環境へ配慮した音サインの提案が求められている¹⁰⁾。

図4-3のシミュレーションから求めた音圧レベルの広がりを検討したものを図4-12に示す。スピーカーが1台の条件2ではより遠くまで音サインが届くようにするため、再生時の音圧レベルを大きくする必要があり、そのため周囲への影響も広範囲に及び、騒音になりやすいことがわかる。また、周辺建物による音の反射なども受けやすい。条件3では、スピーカーの追加により再生時の音圧レベルをやや小さくできるものの、周囲への影響は比較的大きいままである。また、これらの条件では、スピーカーの主軸が傾斜しているため、音圧レベルの分布に指向性が見られ（進行方向に対し前後非対称）、歩行者の双方向移

動に対して等しい効果が得られないと推測される。両方向へのスピーカー増設を考慮すると、2倍の範囲で騒音問題が考えられる。

一方、条件4では、スピーカーが3台あるため再生時の音圧レベルを小さく抑えることができる。スピーカーの主軸は垂直下向きであるため周囲への影響が小さく、また、音圧レベルの分布も前後左右対称であるため条件2や条件3のように指向性がなく、歩行者の双方向移動の誘導も可能である。一般的に音圧レベル分布を一定に保とうとする場合、スピーカーの配置間隔を狭くし、サービスエリアが重なるような配置となる。その結果、音サイン同士が干渉し不明瞭になり、音像定位感がなくなってしまうため、多音源配置は音像定位感を必要としないBGMや場内アナウンス用のシステムに使用され、音像定位感を必要とされる用途に使用されてこなかった。しかし、条件4に示す多音源配置は、スピーカーの設置間隔がスピーカーのサービスエリアより大きく設定したため、サービスエリアが重複しておらず、かつ音圧レベルも暗騒音と同等であるため、それぞれの音像は分離して定位していたと考えられる。したがって、誘導効果のある程度保持しながら、周囲への影響を最小限に抑えられるという利点がある多音源主軸垂直配置の可能性が示された。

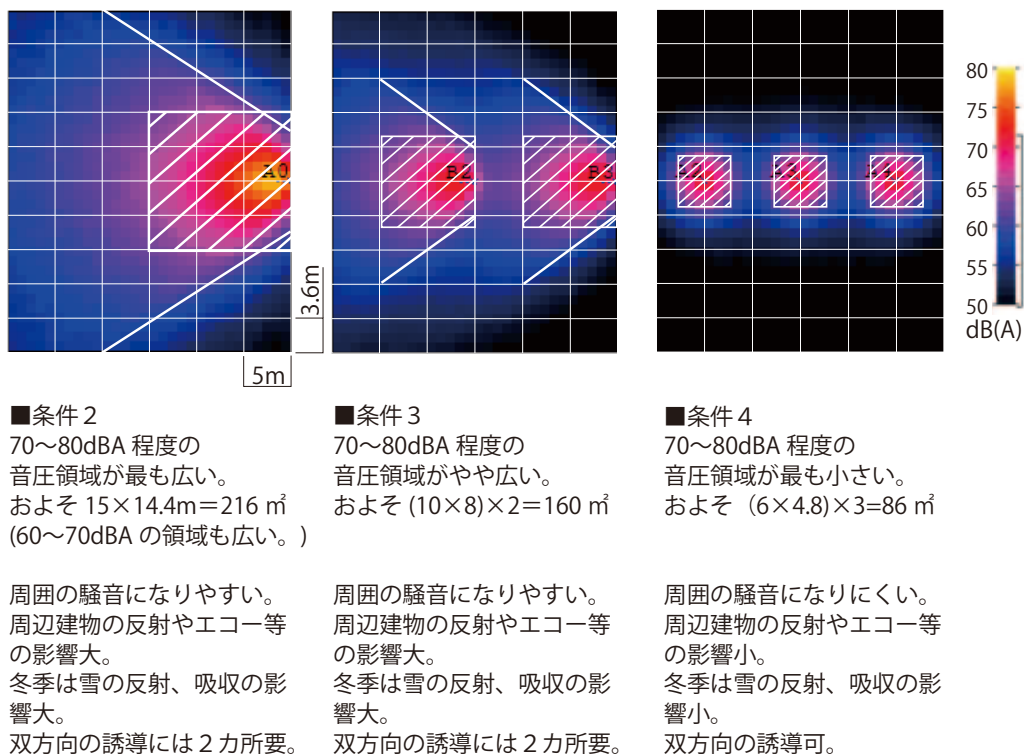


図4-12 各条件における音圧レベルの広がりと周囲への影響

4.5 まとめ

本章では、積雪路面上における視覚障がい者の直進歩行を誘導する音サインの効果について、目的地点への誘導と歩行経路の提示といった2つの効果を検証するため屋外歩行実験を行った。音サインが暗騒音によってかき消されることなく十分に聞こえ、なおかつ周囲に対する騒音も考慮した条件において、以下のことが明らかになった。

1. 目的地点への誘導には、音像の定位に有利なため、単音源が最も効果がある。
2. 長い距離の歩行誘導のため複数のスピーカーを設置した場合にはそのサービスエリアの接続点付近で混乱する場合がある。
3. 複数の音サインが存在する場合、視覚障がい者は直近の目標としている音サインを通過後、次の音サインを探すため、通過した音サインについては注意を払わないようにする傾向がある。
4. 前方からの音サインの無音区間が長い場合、視覚障がい者は正しい歩行方向の確認ができないことに対し不安を抱く傾向にある。
5. サービスエリアが重ならない間隔でスピーカーを垂直下向きに配置し連続的な定常音を流した場合、周囲との音圧レベル差により偏軌が抑制された直進性の高い歩行を促すが、音圧レベル差を手がかりとする経路の知覚に慣れていない場合は、一旦経路から逸脱してしまうと修正しにくい可能性がある。
6. 多音源主軸垂直配置は、音の広がる範囲を小さくできるため周囲への騒音になりにくい。

本章の結果から、実際の積雪期における音サインの誘導効果を示すことができ、積雪寒冷地における屋外での音サインの有用性は立証できた。スピーカーの配置間隔と取付角度については、周囲への騒音問題や歩行者の双方向の移動の可能性といった実際の歩行空間での実用化を考慮した際、スピーカーのサービスエリアよりも大きい間隔で主軸を垂直下向きに配置する方法が最も有利であることが示された。

音サインについては、連続的な定常音を用いることで歩行経路を提示できる可能性が見られたが、本実験では不規則に流れる鳥のさえずりとの組み合わせであったため、定常音のみの効果であったとは言いがたい。加えて、音サインとして初めて聞く水のせせらぎ音といった新しいコンテンツに対し視覚障がい者が慣れておらず、うまく利用できていない可

能性も考えられる。よって次章では連続的な定常音、断続音をそれぞれ分けて考えることで、より誘導効果の高い音サインのコンテンツについて検証する。

第4章 参考文献

1. 佐藤洋, 中井佑輔, 森本政之, 佐藤逸人: 誘導鈴の誘導性能評価のための歩行実験, 電子情報通信学会信学技報, WIT2010-27, pp.53-58, 2010.8
2. 佐藤洋, 森本政之, 佐藤逸人: 騒音下における音響案内の種類と視覚障害者による方向定位及び方向同定時間との関係, 福祉のまちづくり研究原著論文, 第11巻 第2号, pp.41-48
3. 高岡知康, 森本政之, 佐藤逸人, 音声の到来方向が聞き取りにくさに及ぼす影響, 日本音響学会誌, 第64巻 第8号, pp.451-456, 2008
4. 松野博文, 北山一郎, 大森清博, 杉本義己: 視覚障害者のための誘導システムの開発(その2) —視覚障害者用音響式信号機のスピーカーの取付角度が歩行に及ぼす影響について—, 兵庫県立福祉のまちづくり工学研究所報告集, pp.127-134, 2003
5. 国土交通省: 公共交通機関の旅客施設に関する移動円滑化整備ガイドライン バリアフリー整備ガイドライン 旅客施設編, 2013
6. 松野博文, 北山一郎, 大森清博, 市原考: 視覚障害者のための誘導システムの開発(その1) —視覚障害者用音響式信号機の実態調査(神戸市西区・中央区—, 兵庫県立福祉のまちづくり工学研究所報告集, pp.112-126, 2003
7. 永幡幸司: 視覚障害者には役立たない視覚障害者のための音によるバリアフリーデザインの事例について, 騒音制御, Vol.29, No.5, pp.390-396, 2005
8. 船場ひさお, 上田麻里, 岩宮眞一郎: 視覚障害者のための音による移動支援に関するアンケート調査, 日本音響学会誌, 第62巻, 12号, pp.839-847, 2006
9. 武田真樹, 佐久間哲哉, 鉄道駅有人改札口における誘導チャイムに関する調査研究: 音量及び可聴範囲の実測, 日本建築学会学術講演梗概集,
10. 上田麻理: バリアフリーの音環境をめざして, 騒音制御, Vol30, No.4, pp.328-330, 2006

第5章

音サインの差異が視覚障がい者の歩行誘導に与える影響と学習効果

- 5.1 本章の目的
- 5.2 場所に適した音サインの選定と音量の決定
 - 5.2.1 音サインのコンテンツ設定と再生音量
 - 5.2.2 断続音と連続的な定常音の組み合わせパターン
- 5.3 実験の概要
 - 5.3.1 実験手順
 - 5.3.2 学習手順
- 5.4 結果
 - 5.4.1 各条件の歩行軌跡の傾向
 - 5.4.2 各条件の平均偏軌量の傾向
 - 5.4.3 学習前後における歩行軌跡の変化
 - 5.4.4 質問調査の結果と音サインの捉え方
- 5.5 考察
 - 5.5.1 連続的な定常音による歩行誘導効果
 - 5.5.2 音色の変化に対する積雪の影響
 - 5.5.3 音サインのコンテンツと誘導効果
 - 5.5.4 音サインの音量と直進歩行
- 5.6 まとめ

第5章 音サインの差異が視覚障がい者の歩行誘導に与える影響と学習効果

5.1 本章の目的

視覚障がい者が歩行空間を移動する際、建造物などを伝い歩きができない場合は、同じ方向に向かって歩く周囲の歩行者の足音や車道を走る車の走行音を聞き、それらの音と平行な間隔を保ちながら歩くこと（併歩）で自らの歩行方向や直進歩行を調整している様相については第2章で既に論じた。しかし、視覚障がい者が歩行中に必ずしもタイミング良く頼りにできるような別の歩行者がそばに存在するとは限らない^{注1)}。したがって、周囲に歩行者が存在しないような状況でも、視覚障がい者が歩道上の安全な経路を直進歩行できる誘導支援策が必要とされる。

これまでの結果から、視覚障がい者の歩行方向や直進歩行を誘導する上で音サインのコンテンツが重要であるという仮説が得られたため、本章では断続音と連続的な定常音というコンテンツの異なる2種類の音サインについて個別にあるいは組み合わせて用いた場合の誘導効果を検証することを目的としている。しかし、連続的な定常音を利用するにあたり、第4章における一部の被験者の歩行軌跡の乱れから、連続的な定常音によって形成される音環境を効果的に利用することに被験者が慣れていない可能性が考えられたため、「学習」時間を設け、連続的な定常音による音情報を体感させることで直進歩行が向上するかという点についても着目し、「学習」の効果を調査する。

また、本章では実験のための適切な音サインの選定と音量の設定については、実験場所における暗騒音の周波数特性をもとに決定していく手法を用いる。

5.2 場所に適した音サインの選定と音量の決定

5.2.1 音サインのコンテンツ設定と再生音量

音サインの音量と騒音問題は切り離せない関係である。過大な音量で音サインを設定した場合には、周囲に長時間滞在する人々にとっては不快に感じられるおそれがあり、視覚障がい者も混乱を招きかねない。盲導鈴の好ましい音量については、永幡ら¹⁾の研究で視覚障がい者が盲導鈴に求めている音量について評価実験を行い、背景騒音に対してSN比を12dB確保することが好ましいとの報告がなされている。

一方、さまざまな音が混在する日常生活の中で、危険を知らせる信号音を検討する際の着眼点として、背景騒音と信号音のSN比が0dBの場合でも、信号音がどこかの周波数帯域で背景騒音のレベルより高ければ検知されやすいという考え方がある²⁾。この考えにも

注1) 第2章でのインタビュー調査の結果では触れなかったが、歩行中の最も好ましくない状況として、周囲に歩行者がいないことを指摘している視覚障がい者が数名いた。完全に道に迷ってしまうような事態が起こった時に、最終手段としてやはり役に立つことは「人に助けを求める」ということであり、周囲に歩行者が存在しない場合は併歩ができないことは元より、そもそもそのような事態に陥った時に助けを求めることができないからである。その点において、「都会は人が周りにいるから良いが、ちょっと田舎だと周りに歩いている人がいなくて困る」と話していた。

とづけば、全帯域音圧レベルの SN 比を大きくする必要がないため、騒音問題も発生しにくい。

また現在、国土交通省の公共交通機関バリアフリーガイドラインを前提に福祉のまちづくり学会が中心となって音サインワーキンググループを設立し、JIS T0902 高齢者・障害者配慮設計指針における音サインのガイドラインを検討中（今年度中に制定予定）であるが、その内容をみると公共空間に設置する移動支援用音案内の SN 比は約 10dB 以上としている³⁾。

したがって、本実験の音サインを選定するにあたり、実験場所の暗騒音を分析し、一部の周波数帯域において暗騒音より音圧レベルが高くなる周波数特性を持った音サインを選定し、その周波数帯域での暗騒音との差が 10dB 以上となるよう、適切な音量を設定することとする。

手順は以下の通りである。

- ①実験場所の暗騒音を測定
- ②暗騒音の周波数特性を分析
- ③暗騒音の周波数特性とは異なる周波数帯域で音圧レベルが高い音サインを選定
- ④音サインの音圧レベルが最も高い周波数帯域において暗騒音との SN 比が 10dB となるよう音サインの再生音量を設定

この手順に従い、まず実験場所における暗騒音を事前に計測した。

今回の実験場所での等価騒音レベル^{注2)}は 42dBA であった。周波数特性を分析したものを図 5-1 に示す。一般的な住宅街での騒音と判断できる。

本実験では断続音と連続的な定常音の 2 種類を音サインとして用いるが、断続音は北海道内の音響装置付信号機に使用されている「ピヨピヨ」と呼ばれる鳥の鳴き声を模倣した音サインを選定した^{注3)}。連続的な定常音は第 4 章の実験同様、長時間聞いていても苦痛が少なく、比較的広帯域に周波数成分を含む「水のせせらぎ音」とした（フリーソフト Atomosphere Light を使用して音サインを作成）。

これら 2 つの音サインの周波数特性と実験場所における暗騒音の周波数特性を比較したものを図 5-2 に示す。暫定的に「ピヨピヨ」の音圧レベルを 54dBA とし、水のせせらぎ音を 51dBA に設定すると、断続音の「ピヨピヨ」という音サインを周波数特性の最大値は 2kHz にあり、その帯域での暗騒音の周波数値と比較して 22dB 以上高くなっている。連続

注2) 等価騒音レベルは、時々刻々変動する音のエネルギー（瞬時音圧の 2 乗に比例する）を平均した後に音圧レベルを求めたもの（文献 20）。

注3) 北海道内の音響信号で使用されている音サインであり、音源は北海道警察のホームページからダウンロードできる。<http://www.police.pref.hokkaido.lg.jp/info/koutuu/onkyo-signal/main.html>

的な定常音の「水のせせらぎ音」については 500Hz 以上の周波数帯域で暗騒音の値を上回っており、2kHz 地点では 16dB の差が見られる。ゆえに暗騒音の周波数特性と比較した場合、周波数成分の違いから実験場所には適した検知されやすい音サインであると考える。

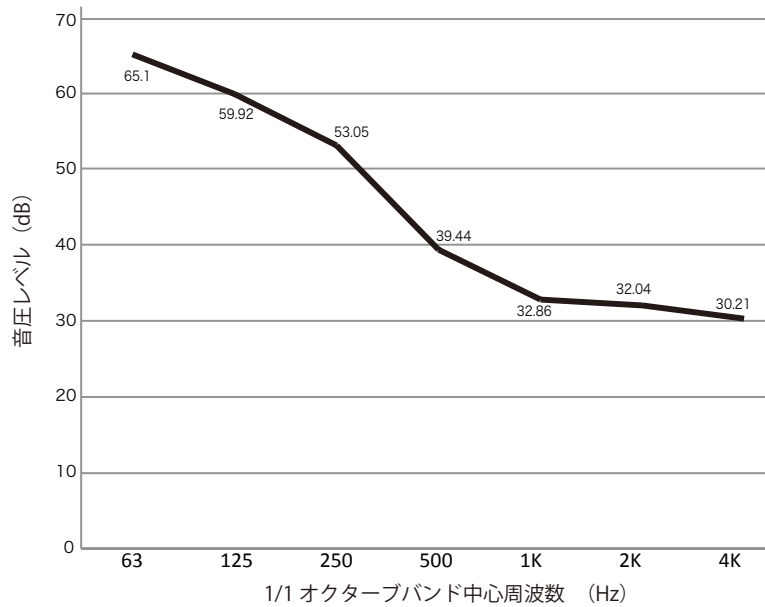
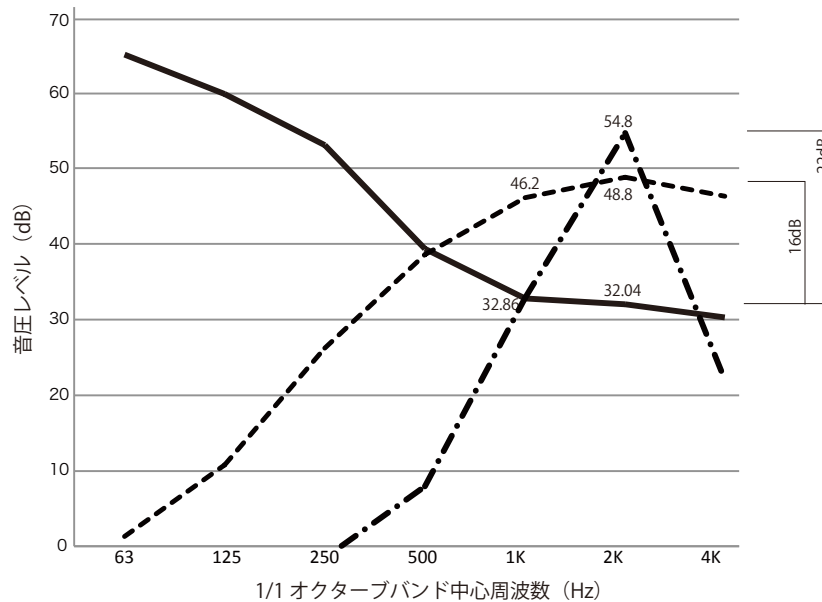


図 5 - 1 実験場所の暗騒音の周波数特性



	63	125	250	500	1K	2K	4K
— 実験場所暗騒音	65.1	59.92	53.05	39.44	32.86	32.04	30.21
- - - ビヨビヨ	(29.7)	(10.6)	1.5	8.0	32.8	54.8	22.1
- . - 水のせせらぎ音	1.2	10.8	26.1	38.7	46.2	48.8	46.4

図 5 - 2 実験場所の暗騒音と音サインの周波数特性の比較

本実験では、これらの音サインの音量設定を実験歩行路上で最も音圧レベルが小さくなる10m地点において、音サインが暗騒音にかき消されてしまうことを回避するため、連続的な定常音の音圧レベルを暗騒音の等価騒音レベルよりも3dB大きい設定(45dBA)を基準とし、これを定常音の音量「小」とする^{注4)}(2kHzで暗騒音との差は10dBを確保している)。基準から3dBA刻みで「中」、「大」と音量を設定した。「ピヨピヨ」については、「水のせせらぎ音」にかき消されないよう、小よりもさらに3dBだけ大きい値(48dBA)を「小」と設定し、3dBA刻みで「中」、「大」と設定した。断続音が「大(54dBA)」のとき、スピーカー直下の受音点での音圧レベルはおおよそ70dBAである。なお、3dB増加すると音のエネルギーは2倍となり、人間が音の大きさの変化に気付く最低限の値である^{注5)}。6dBで音のエネルギーは4倍となり、音の大きさの変化はわかりやすい。

5.2.2 断続音と連続的な定常音の組み合わせパターン

本実験では、断続音と連続的な定常音のそれぞれの効果を確認するため、条件1は断続音のみ、条件2は連続的な定常音のみという設定とした。また、断続音と連続的な定常音とを混在させた音サインを用いることで、より精度の高い直進歩行を誘導できると仮説をたて、条件3では2つの音サインを混在させた。2種類の音が混在することで、より小さい音量でも効果が見られると考え、断続音と連続的な定常音のそれぞれ「中」と「小」を組み合わせ、表5-1に示す4つの呈示パターンを設定した。

表5-1 音サインのコンテンツと音量設定および暗騒音とのSN比

コンテンツ	音量	dBA(Leq)	暗騒音とのSN比(dB)
定常音	小	45	+3
	中	48	+6
	大	51	+9
断続音	小	48	+6
	中	51	+9
	大	54	+12
断続音+定常音	断続音の中(51)と定常音の中(48)		—
	断続音の小(48)と定常音の中(48)		—
	断続音の中(54)と定常音の小(45)		—
	断続音の小(48)と定常音の小(45)		—

注4) 前章の実験では鳥のさえずりがスタート地点で60dBAになるよう設定したため、音圧レベルが最も小さくなる地点での定常音(水のせせらぎ音)の音圧レベルはほぼ暗騒音と等しかった(図4-5参照)。前章の実験における暗騒音と定常音との音圧レベルの関係を大きく変えないよう、今回の実験においても同等レベルとした。

注5) 音圧レベル(SPL)= $10\log_{10}(P^2/P_0^2)$ であるため、2乗音圧が2倍になるということは、 $10\log_{10}(2 \times P_0^2/P_0^2)$ と表すことができ、これを計算すると、 $10\log_{10} 2 = 3\text{ dB}$ となる。

5.3 実験の概要

実験は北海道工業大学の敷地内に縦 30 m×横 4.0 m（横は中央の基準線を中心に左右 2.0m ずつ）の実験歩行路を設営し行った。周囲は閑静な住宅街であり、また街路樹などの植栽もあり、より実際の歩行空間に近い環境であるといえる。

被験者は、第4章の実験協力者7名と新規2名、計9名の視覚障がい者である。被験者属性を表5-2に示す。被験者8については視力がやや残るが、眼前のものがぼんやり見える程度であるため、地上に引いたグリッドは見えないと判断し支障はないとした。前述の3つの条件をそれぞれ1往復させた。白杖については、冬季の歩行時を想定し、緩衝シートで白杖先端の石突き部分を覆い、音が生じないようにした上で使用を許可した。

路上には60cm間隔でグリッドを引いた（中心線を基準に左右90cmまでは30cm間隔にグリッド）。スピーカーはのぼり用のポール上部に竹で片持梁を制作し、その梁の先端にスピーカーを固定し、中央基準線上の地上高さ3mのところに位置するよう実験補助員が支えた（写真5-1参照）。

実験で用いたスピーカーは、第4章の実験同様、全国の一般的な音響装置付信号機に使用されているアシダ音響社製RUH-5とした。このスピーカーを、TEAC社製プリメインアンプに接続し、前出の2種類の音サインを図5-3に示す間隔で呈示し、再生した。

実験は2013年10月19日から20日の2日間に行った（被験者1～4までは1日目、被験者5～9までは2日目に実施）。実験時の風速は19日が0.8m～1.8m、20日が3.3～4.8mであった。

表5-2 被験者の属性（年齢は実験当時のもの）

※○印は3月に行った冬季屋外実験の協力者。

被験者番号	性別	年齢	視覚障害の程度	障害歴	外出時	外出頻度	歩行訓練経験	冬季実験	癖など
1	男	34	光の感覚あり	先天性	単独	多い	有（冬期は無し）	○	右腰を庇う
2	男	69	光の感覚なし	先天性	単独	多い	無	○	—
3	男	46	光の感覚あり	33年	単独	多い	有（冬期もあり）	○	少し右に寄る
4	男	45	光の感覚なし	36年	単独	多い	有（冬期にあり）	○	—
5	男	60	光の感覚なし	先天性	単独	多い	無	○	—
6	女	55	光の感覚なし	先天性	単独	多い	有	新規	—
7	女	54	光の感覚なし	21年	単独	多い	無	○	少し右に寄る
8	女	34	視力0.02	先天性	単独	多い	有（冬期もあり）	新規	—
9	男	62	光の感覚なし	20年	単独	多い	無	○	少し右に寄る



写真5-1 実験時の風景

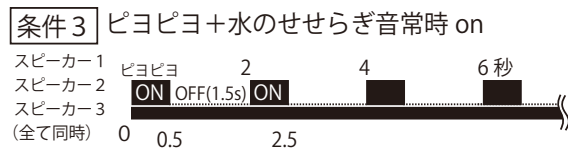
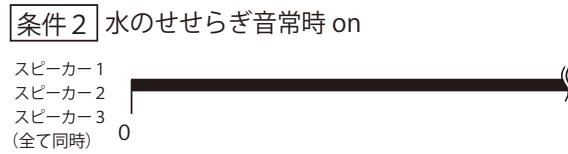
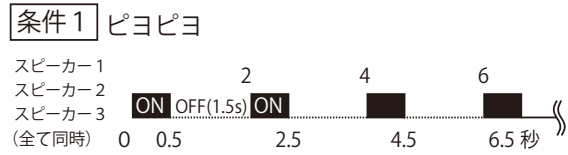


図5-3 音サインの呈示間隔（横軸：時間（秒））

5.3.1 実験手順

実験の手順を図5-4に示す。スピーカーは、第4章の実験結果を参考に、実用化を考慮した際に最も有利である多音源主軸垂直配置とした。実験は被験者が慣れ親しんでいると思われる「ピヨピヨ」という音サインを用いた条件1: 断続音を初めに歩行させ、続いて条件2: 連続的な定常音、そして最後に条件3: 断続音+連続的な定常音という順で行った。音量の違いについては、大中小の順に歩行させた。双方向の歩行移動に対する誘導効果について確認するため、すべての条件を1往復させている。

条件2の歩行に際しては、音環境についての説明を一切なしに、音量が大中小の順に歩行させた後、連続的な定常音によって形成される具体的な音環境について実験者が個別に被験者に説明し、音環境（主に音圧レベルの違い、すなわち音の大きさの違い）を体感させる「学習」時間を設けた。その後、条件2を再度歩行させ、学習の効果を検証する。条件1の断続音については、札幌の音響信号と同じ音サインであり、視覚障がい者は日常的に利用し慣れていると判断し、学習の機会は設けなかった。

各条件終了後、音サインの音量に対する主観的評価、歩きやすさ、好ましい条件等に関する項目について質問を設け尋ねた（図5-5参照）。

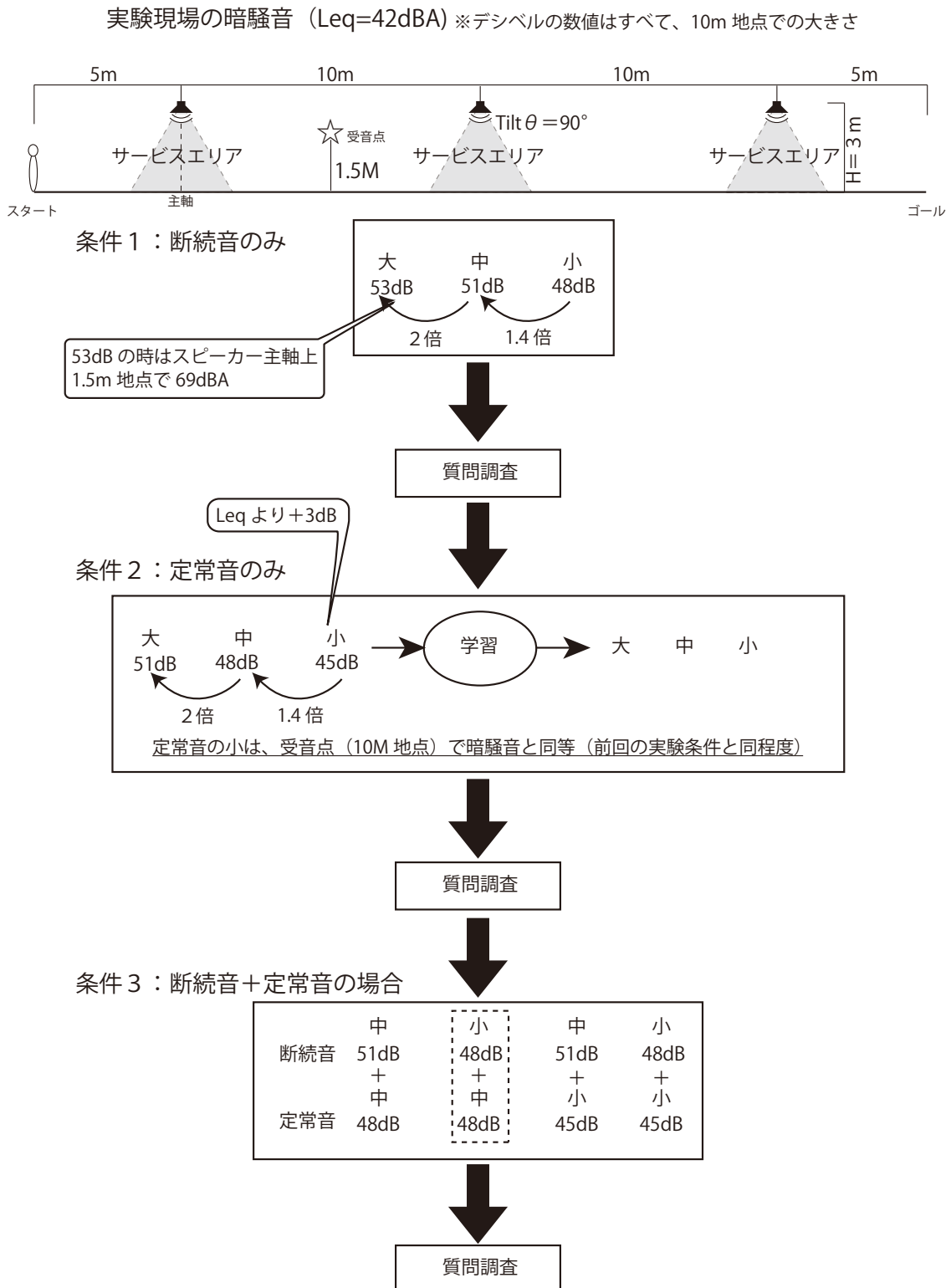


図5-4 実験の手順

<p>【条件1】断続音のみ</p> <p>1. 音がない場合と比べ、真っ直ぐ歩ける安心感がありましたか？ そう思う / ややそう思う / どちらとも言えない / ややそう思わない / そう思わない</p> <p>2. スピーカーの位置を意識ながら誘導された感じがありましたか？ そう思う / ややそう思う / どちらとも言えない / ややそう思わない / そう思わない</p> <p>3. 3段階の大きさのうち、必要十分だと感じた音量はどれでしたか？ 大 / 中 / 小</p> <p>4. その他</p>
<p>【条件2】定常音のみ</p> <p>1. 音がない場合と比べ、真っ直ぐ歩ける安心感がありましたか？ そう思う / ややそう思う / どちらとも言えない / ややそう思わない / そう思わない</p> <p>2. スピーカーの位置を意識ながら誘導された感じがありましたか？ そう思う / ややそう思う / どちらとも言えない / ややそう思わない / そう思わない</p> <p>3. 3段階の大きさのうち、必要十分だと感じた音量はどれでしたか？ 大 / 中 / 小</p> <p>4. 「学習」を受けた前後で、スピーカーから聞こえてくる音サインの大きさの違いを感じながら歩きましたか？ はい / いいえ</p> <p>5. その他</p>
<p>【条件3】断続音+定常音</p> <p>1. 音がない場合と比べ、真っ直ぐ歩ける安心感がありましたか？ そう思う / ややそう思う / どちらとも言えない / ややそう思わない / そう思わない</p> <p>2. 音源の位置を意識ながら誘導された感じがありましたか？ そう思う / ややそう思う / どちらとも言えない / ややそう思わない / そう思わない</p> <p>3. 4パターンのうち、最も好ましいと感じた音サインの組み合わせはどれでしたか？ 中中 / 小中 / 中小 / 小小</p> <p>4. どちらの音サインを誘導の手がかりとして聞き取り、歩きましたか？ 定常音 / どちらかという而定常音 / 両方 / どちらかという断続音 / 断続音 理由を教えてください。</p> <p>7. 本日行った条件1、条件2、条件3を比較して、最も真っ直ぐ歩ける安心感を感じたのはどの条件ですか？ 条件1 / 条件2 / 条件3 理由を教えてください。</p> <p>8. その他</p>

図5-5 実験終了後に実施した質問調査の内容

実験開始時には、次のように被験者に教示した。

【教示】

今回の実験では、全ての条件でスピーカーはスタート地点から5m、15m、25mの地点に1台ずつ、道路に対して垂直下向きに配置されています。スピーカーは正しい歩行経路の真上、高さ3mのところにあります。

大：今現在、〇〇さんは正しい経路の出発点に立っています。前方のスピーカーから音サインは聞こえますか？正しい経路の真上に設置されているスピーカーを頼りにできるだけ正しい経路を「ストップ」と声がかかるまで歩いてください。

中：先ほどと同じ音サインですが、音量が変わっています。（スタート地点で聞こえるか確認）では、音サインを頼りにできるだけ正しい経路を歩いてください。

小：（スタート地点で聞こえるかの確認）では、音サインを頼りにできるだけ正しい経路を歩いてください。

その他、被験者には普段と同じように歩行するよう指示した。

実験者は、歩行する被験者の足下を後ろからビデオカメラで撮影しながら追跡し、被験者がゴール地点を通過した時点で「止まって下さい」と合図することとした。歩行が実験歩行路幅（2m）を外れてしまった場合には、その都度歩行中止の指示を出すこととした。これまでと同様に、パソコンに取り込んだ映像をもとに被験者の踵の着地点をCADソフト（JW-CAD）で作成した平面図上にプロットしたのち、両踵の着地点の midpoint（体の重心）を結んで歩行軌跡とした。

5.3.2 学習手順

条件2における学習時の教示は以下の通りである（図5-6参照）。

【学習時の教示】（被験者が納得するまで行う。）

これから1人ずつ私と一緒にスピーカーの近くを歩きますが、その際、スピーカーからの距離によって音の大きさがどう変化するのか、音の大小を感じ取るように意識してください。

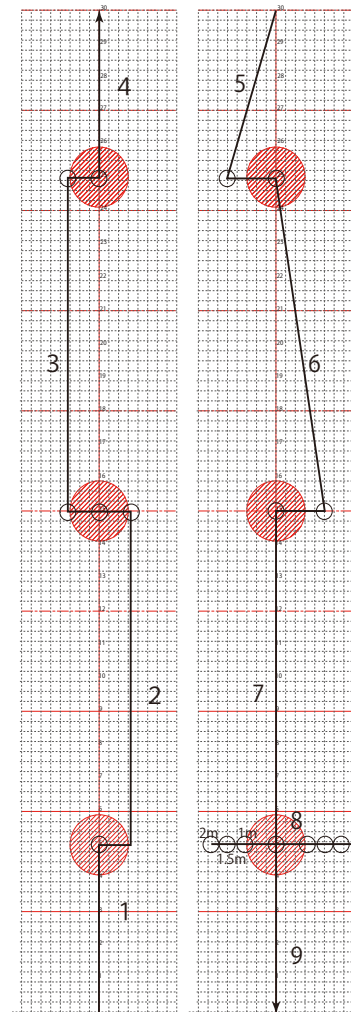
【学習要領】（それぞれ、ずれの程度を口頭で伝える。）

学習は音量「大」と「小」で1回ずつ行う。

1. はじめの5mは中心線上を誘導し1つ目のスピーカー直下へ誘導
2. 中心線上から右へ1mずれた位置へ移動、そこから中心線に平行に2つ目のスピーカー直下へ誘導
3. 中心線上から左へ1mずれた位置へ移動、そこから中心線に平行に3つ目のスピーカー直下へ誘導
4. 中心線上に移動し、ゴールまで中心線上を誘導

折り返し

5. 1つ目のスピーカー直下で右へ1.5mずれた状態になるよう斜めに誘導（斜めに歩くことは予め口頭で伝える）
6. 中心線上に移動しスピーカー直下を確認後、2つ目のスピーカー直下で左へ1.5mずれた状態になるよう斜めに誘導（斜めに歩くことは予め口頭で伝える）
7. 中心線上に移動し、3つ目のスピーカー直下まで中心線上を誘導
8. スピーカー直下、左右1m、1.5m、2mの地点でサイン音を確認（それぞれの位置で前後へ移動）
9. 最後の5mは中心線上をゴールまで誘導



○印の地点でスピーカーの位置を確認

図5-6 学習の順序

終了後、この時点で被験者が納得すれば、実験を再開する。被験者が納得しなければ、納得するまで歩行経路を歩かせ確認させる。

5.4 結果

5.4.1 各条件の歩行軌跡の傾向

各条件の歩行軌跡を図5-7に示す。往路は黒色、復路は緑色で示す。復路については上下反転し、往路と出発点を合わせている。赤いハッチング部分は高さ1.5m地点におけるスピーカーのサービスエリアを示す。往路復路ともにやや右寄りの偏軌が見られるが、半数の被験者から事前に「右側に寄る傾向がある」という申告を受けており、それが影響したと考えられる。本実験での条件では、第4章の実験同様、スピーカーのサービスエリアが重ならない間隔でスピーカーを配置しているが、断続音の再生音量を小さく設定しているため、最も音圧レベルが小さくなる10m地点や20m地点で前後複数の音サインを知覚してしまい歩行方向を誤るといった現象が生じなかったと考える。通過した音には注意を示さず、前方にある音を目標に歩行するという視覚障がい者の行動の特徴が効をなし、次々と前方に現れる音サインを目標に直進歩行が維持できたと考える。スピーカーが垂直下向きであることから、シミュレーションより音の広がり方は前後左右対称であり（図4-3参照）、また、本実験の歩行軌跡の結果から多音源主軸垂直配置による歩行者の双方向移動の誘導が可能であることを確認できた。

条件1:断続音の歩行軌跡では、音量が大の場合でも、実験歩行路から逸脱してしまう試行が見られた。条件1のうち、最も偏軌量が安定しているのは、音量が中の場合であるが、1名は歩行路から逸脱した。小の結果は中より全体的な広がりが大きくなっており、音量が小さくなったことが影響していると考えられる。どの音量でも歩行距離が12m、22m地点付近での偏軌が大きい傾向にある。この地点周辺はスピーカーのサービスエリアから離れており、音が聞こえにくい地点であると考えられ、それが影響した可能性が高い。スピーカー直下における偏軌の収束も見られるが、他の条件と比較してばらつきが大きい。

条件2:連続的な定常音の歩行軌跡は学習後の結果である。一部の乱れは見られるものの、全体的な偏軌が小さく最も直進的な歩行ができています。特に、15mから25mの区間では3つの条件の中で最も偏軌量が小さい。また、全ての試行でスピーカーサービスエリア内を通過しており、スピーカー通過後の中心線に沿った直進性は高く維持されている。音量の違いによる偏軌の差は見られず、どの音量でも高い精度で直進歩行ができています。また、スピーカー近傍での急激な偏軌（真横方向）の修正が見られるのも特徴的である。

条件3:断続音+連続的な定常音の歩行軌跡は条件2の結果と似ているが、やや偏軌が大きい。断続音と定常音の音量による組み合わせの違いによる差は見られないが、わずかにパターン4のまとまりがなく、後半区間やスピーカー直下での偏軌が大きくなる傾向が見られる。しかし全体的に見てどれも似た歩行軌跡となっている。

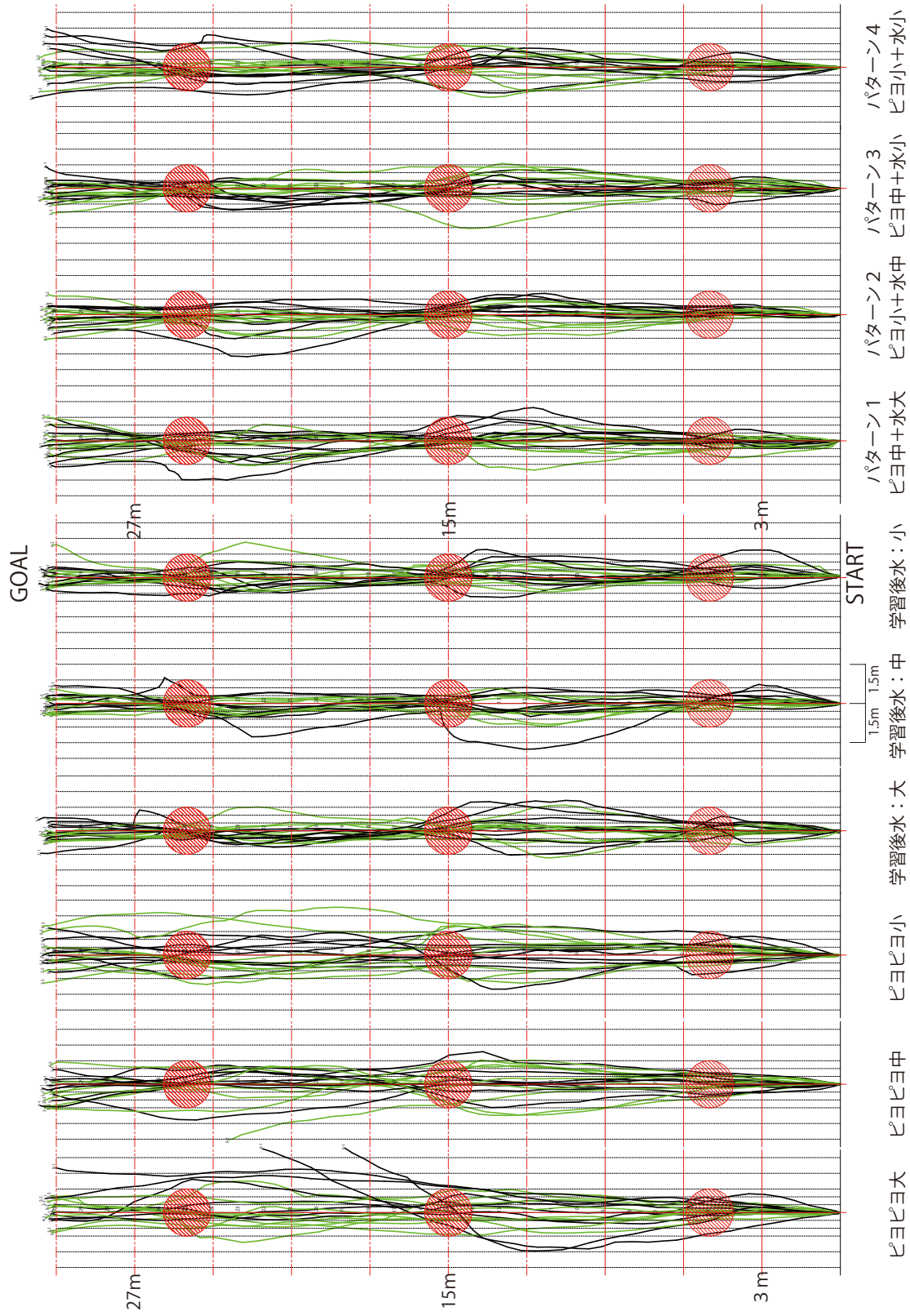


図 5-7 各条件ごとの歩行軌跡 (黒: 往路、緑: 復路を示す。ハッチング部分はスピーカーのサービスイリアを示す。)

5.4.2 各条件の平均偏軌量の傾向

図5-8に各条件における3mから27m区間の全被験者1mごとの平均偏軌量を示す(スタート地点とゴール地点から2mについてはスピーカーの配置から正確な結果が得られたとは考えにくいいためデータに含めない)。エラーバーは95%信頼区間を示す。

条件1では、最も平均偏軌量が大きくばらつきも大きい。音量が大の試行については最初の条件であったため、歩行直後に「失敗した」という被験者の発言も見られた。音量が中の試行時には実験にもやや慣れ、偏軌量が小さくなった可能性がある。しかし、音量が小の場合には音サインの大きさが不十分だったのか、偏軌が再び大きくなっている。

一方、連続的な定常音が使われている条件2と条件3では、平均偏軌量が300mm以下であり、ばらつきも条件1と比較して小さい。成人男性の肩幅が450mm程度であることを考慮すると、中心線から半身程度の偏軌しかないといえ、精度の高い直進歩行ができているといえる。条件2については音量の違いによる偏軌量の変化はなく、音量が小でも誘導効果があるといえる。条件2と条件3とでは平均偏軌量における有意差は見られなかったが、条件1との間にはそれぞれ有意差がみられた。したがって、断続音のみでは偏軌がやや大きくなる可能性があるのに対し、連続的な定常音が流れている場合にはより中心線に沿った直進的な歩行ができているといえる。よって連続的な定常音の誘導効果は高いと考えられる。

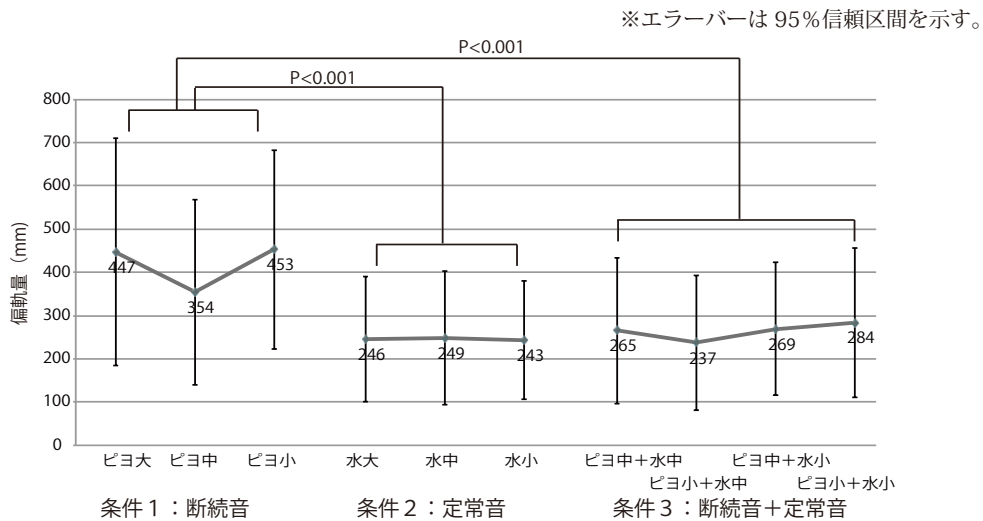


図5-8 条件ごとの平均偏軌量 (3m～27mまで1mごと)

スピーカー直下での平均偏軌量（図5-9参照）を比較すると、断続音ではスピーカー直下でも偏軌が大きい。5mでの偏軌は比較的小さいが、15m、25mと距離が長くなるにつれて偏軌が大きくなる傾向にあるといえる。一方、連続的な定常音のみの条件2では200mm以下^{注4)}で条件1と比較すると1/2以下になっている。また、ばらつきも小さく全体が300mm程度におさまっている。連続的な定常音に断続音が加わった条件3では条件1と比較してスピーカー直下をより正確に捉えており、パターン2が最も安定している。しかし、条件2と比較すると歩行距離が長くなるにつれ、徐々に偏軌・ばらつきともに大きくなる傾向が見られ、定常音のみの条件2より安定していない。この結果から、連続的な定常音のみでも誘導の効果があることを示唆している。

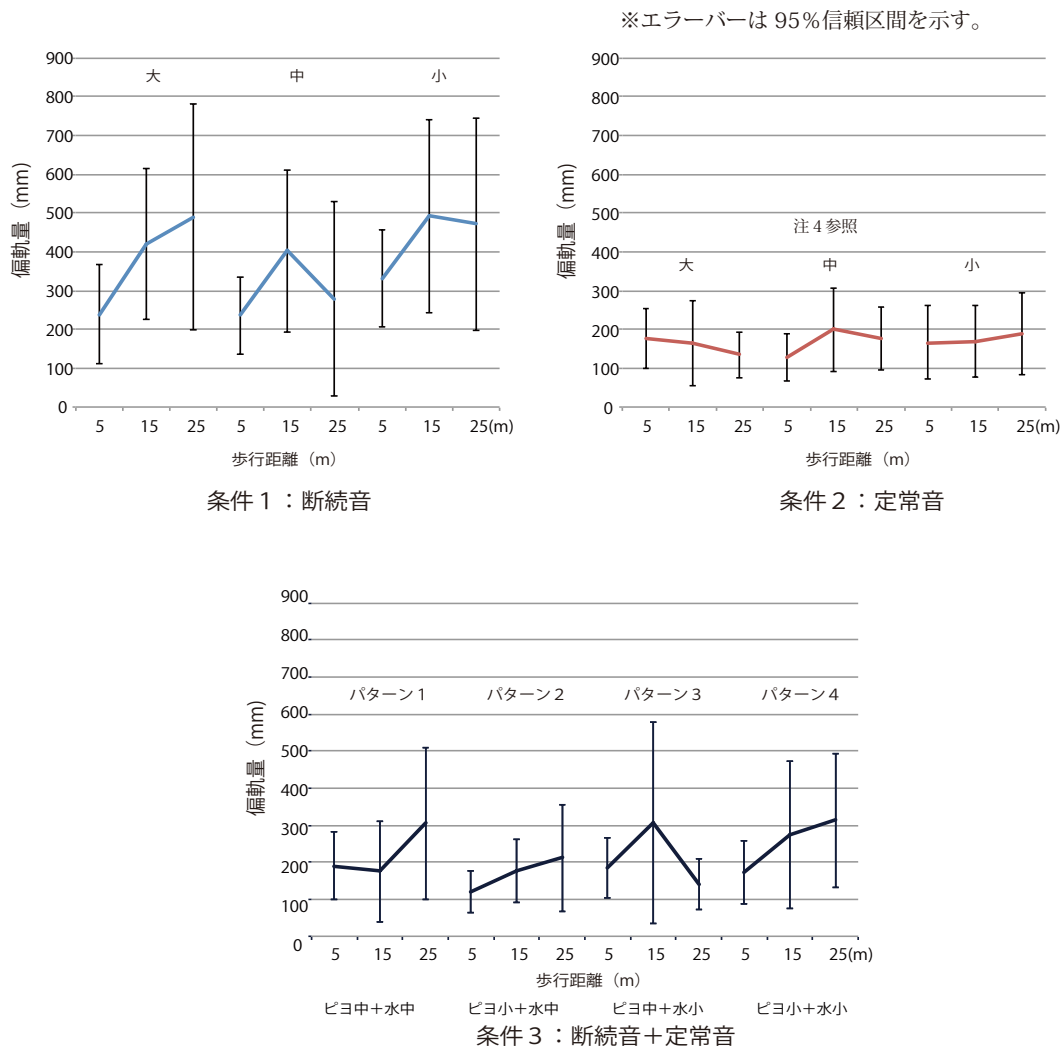


図5-9 条件ごとのスピーカー直下における平均偏軌量

注4) 条件2の音量中において、被験者7が15m通過直後に横に平行移動したことで偏軌量が1032mmから289mmに小さくなった部分については、両者の偏軌量を加算し2で割った数値を被験者7の偏軌量(660mm)とした。

5.4.3 学習前後における歩行軌跡の変化

図5-10は条件2における学習前後の歩行軌跡を示す。学習前の歩行軌跡をみると、スピーカー近傍にてわずかな収束は見られるが、全体的に偏軌が大きく、歩行路を逸脱する試行もある。音量が小さくなっていくにもかかわらず歩行軌跡に直進性が見え始めるが、これは幾度かの試行により実験歩行路の音環境へ慣れてきたためと考える。一方、学習後の歩行軌跡では、スピーカー直下および通過後の軌跡に着目すると、全ての被験者がスピーカーのサービスエリア内を通過しており（図中の一点鎖線）、スピーカー通過後3m程度の直進歩行の精度は高い。また偏軌に気付いてからの修正が速いため、修正時の角度が鋭くなる傾向がある（図中の点線円）。スピーカーのサービスエリアに差し掛かる手前3m程度の地点で、自身の偏軌に気づきやすいことがわかる（図中の*）。スピーカー直下へ修正するため、身体の正中面はゴール地点に向けたまま真横に平行移動するといった被験者の行動もみられた。これは学習前には見られなかった行動である。

学習後の歩き方に関する質問への回答（表5-3参照）から、スピーカー近傍と歩行路全体の音環境について体感する学習時間を設けたことで、多くの被験者がスピーカー直下や、1m離れた地点などにおける音の大きさを把握することができたといえる。特にスピーカー直下に立った時に聞こえる音の大きさを基準として、スピーカーとの距離をより正確に知覚できるようになったといえる。すなわち、スピーカーと自身の相対的な距離感を把握しやすくなったことにより、自身の偏軌についても気づきやすくなったと考えられる。

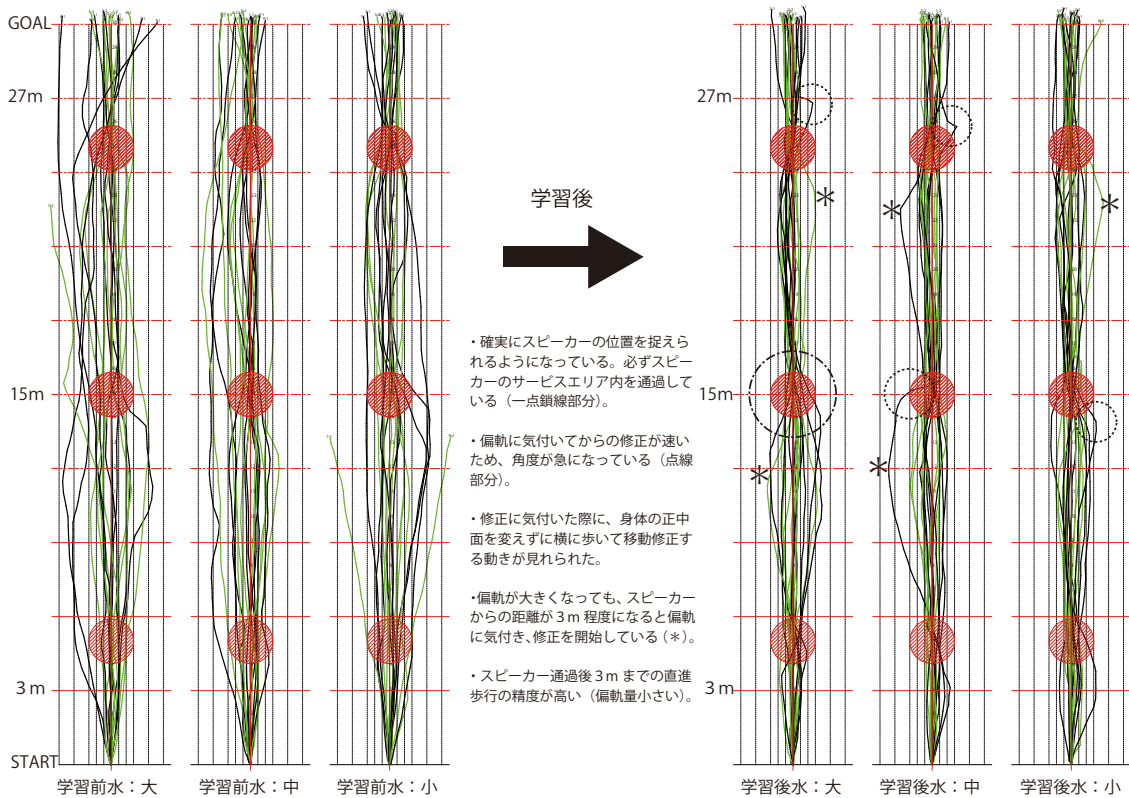


図5-10 学習前後における歩行軌跡変化

表5-3 学習後の歩行変化

質問：「学習」後、音サインの音量の違いを感じながら歩きましたか？

被験者	理由 (あれば)
1	いいえ 学習前後では変わらない。もともと音の大きさの違いを感じて歩いている。
2	はい 学習の結果、スピーカーから1m、1.5m離れた時の音圧レベルの感覚がインプットされた。
3	はい 学習中にスピーカー真下での音量が確認できたので、なるべくその大きさに近づこう、歩くようにした。
4	いいえ 大きさ、音量に対する歩き方に変化なし。スピーカー直下を歩いていると思っていたが、学習ですれがわかり、真っ直ぐ歩くようにした。
5	いいえ なし
6	はい 歩行路の中央にいるというのを意識して歩いた。
7	はい 学習後、音の利用の仕方が分かったので、スピーカーからどのくらいの距離を歩いているのか分かりやすかった。
8	はい 学習中にスピーカーの真下での音量の感覚がわかったので、学習後の方が真っ直ぐ歩けるようになった。
9	はい 学習中にスピーカー真下での音量が確認できたので、その付近で修正するようになった。

5.4.4 質問調査の結果と音サインの捉え方

安心感と誘導感に関する質問調査の結果を図5-11に示す。(a) 安心感の結果からは、音がない場合と比較してどのようなコンテンツでも音サインがあることで視覚障がい者は安心感を得て歩けることがわかる。(b) 誘導感からは、条件2のような連続的な定常音を音サインとして利用する方がスピーカーの位置を意識しながら歩行できることがわかる。条件3において全ての被験者が「そう思う」と答えた理由として、スピーカーの位置は連続的な定常音によって意識でき、断続音によってさらに正確なスピーカーの方向を確認できるためと考えられる。

その他の質問調査の結果を図5-12に示す。条件1と条件2を比較した歩きやすさ(a)では、「ピヨピヨ」のような断続的な音サインでは、スピーカーとスピーカーの間(10m、

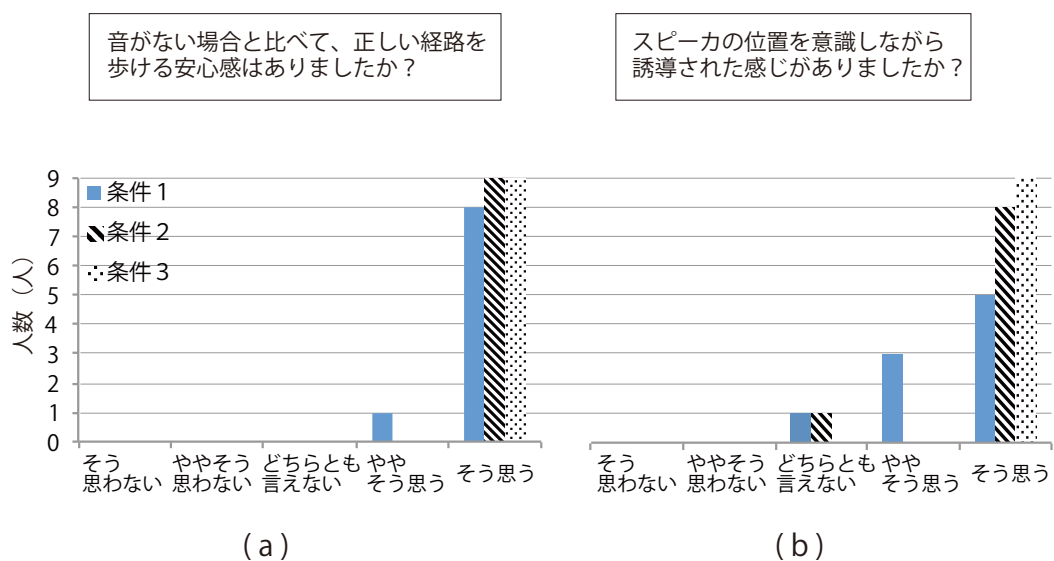


図5-11 音サインが与える安心感と誘導感

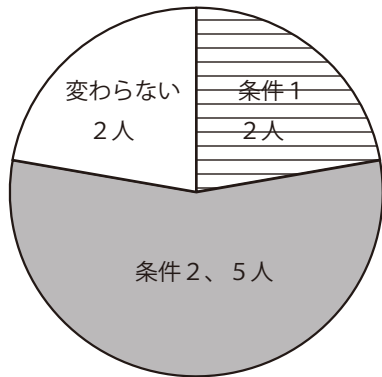
20m 地点) で聞こえが悪く不安を感じる (図中の下線部分) という点を多くの被験者が指摘しており、無音区間は歩行方向を予測して歩行しなければならないという点を指摘した被験者もいた。一方、「水のせせらぎ音」のような連続的な定常音では、常に確認できるという利点から真っ直ぐ歩ける安心感やスピーカーの位置を確認しやすいといった意見が多く見られた。これまでの実験結果から、視覚障がい者の①前方にある音サインを目標にして歩く、②通過した音サインには注意を示さない、③目標とする音サインの無音区間が長い場合には歩行方向が確認できず不安になるといった特徴がわかっており、このような視覚障がい者の特徴を考慮すると、常に音が鳴っている連続的な定常音は、歩行中も手がかりとして利用しやすく、視覚障がい者に安心感を与えることができるため、音サインのコンテンツとして好ましいと考えられる。また、水のせせらぎ音に関しては単調な音の中にも、「(周波数の) 高い低い」、「ドップラー効果」、「残響音」といった表現のように、さまざまな側面を参考にしながら歩行していることがわかる (図中のグレー部分)。

図5-12 (b) のように断続音と連続的な定常音が混在した条件3では、「両方聞く」という意見が多くみられた (図中破線部分)。しかし、理由を見ると、両方の音サインを一緒に捉えているのではなく、視覚障がい者は断続音と連続的な定常音の区別ができており、断続音は歩行方向、連続的な定常音は自身の位置を確認するために使い分けていることがわかる (図中の破線部分)。したがって、音サインのコンテンツによる差異はそれぞれ異なる誘導効果があるといえ、視覚障がい者は2種類の音サインを個々にその場の状況に応じて聞き分けて利用しているといえる。その他、水のせせらぎ音のように環境音に近い音サインは周囲の騒音によってかき消されやすいのではないかと指摘された^{注5)}。

図5-12 (c) の最も歩きやすい条件については意見が分かれたが、歩行方向と自身の位置の2つを確認しやすい条件3を好む視覚障がい者が多いことがわかる。この結果からも、コンテンツの異なる音サインが別々の誘導効果をもっていることがわかる。基本的には水のせせらぎ音を利用し、必要な時にピヨピヨを聞くといった意見も得られ、臨機応変に使い分けている。また、視覚障がい者の心理としては、2種類の音サインにより歩行方向と自分の位置 (偏軌) の確認ができるため、歩きやすく安心と感じる傾向にあるが、実際の歩行軌跡の結果を照合すると、全ての被験者において偏軌が小さく最も安定しているのは条件2である。したがって、直進歩行を高く維持しながら確実に歩いている条件が必ずしも主観的に歩きやすいと評価されるわけではないことがわかる。その他、音サインとして普段慣れ親しんでいる「ピヨピヨ」は耳に入ってきやすく歩きやすいと感じる被験者も少なからずいることがわかり、新しい音サインとしての連続的な定常音に馴染んでいない様子がかがえる。

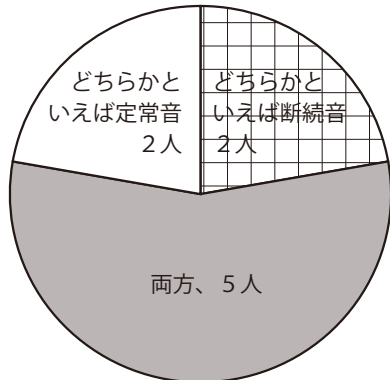
注5) 実験を行った二日間は実験現場周辺の近隣住宅でリフォーム工事が行われており、時折工具の音が響き渡ることがあった (その最中は実験を中断)。また、2日目は風が強く、街路樹の葉音がややうるさく感じたという被験者の意見もあり、これらの状況が影響したと考える。

(a) 条件1と条件2を比較して、どちらが歩きやすいですか？



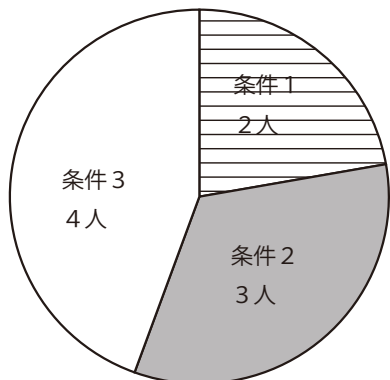
- ・条件2水の音のほうが歩きやすい (被験者1、3)
- ・条件2水は高い音や低い音があり、スピーカー通過後は低い音がきこえる。成分中、方向は高い音、スピーカーとの距離感は低い音を利用 (被験者1)
- ・水の流れる音は常になっているのでピヨピヨより音源の位置が分かりやすい (被験者3)
- ・条件2は音が連続音であり、前後に感じるドップラー効果の“ヒューン”という音も進行方向を定める参考になる (被験者4)
- ・条件2はスピーカー通過後の残響音を参考にできる (被験者6)
- ・まっすぐ歩く安心感は連続音の水の音の方がある (被験者6、8)
- ・条件1は、スピーカー間の音サインが聞こえにくいところで不安になり歩きにくい (被験者1、2、3、4)
- ・条件1は音サインがならない間は予測して歩かなくてはならない (被験者4)
- ・それほど差はない、しいて言うならピヨピヨ (被験者5)

(b) 条件3ではどの音サインを誘導の手がかりとして聞き取り、歩きましたか？



- | | |
|-----|---|
| 断続音 | <ul style="list-style-type: none"> ・色々な音の中でも、ピヨピヨが聞き取りやすい (被験者2) ・特に理由なし、音があればいい (被験者5) |
| 定常音 | <ul style="list-style-type: none"> ・二つの音が混じり、ドップラー効果が感じにくい (被験者1) ・歩行時の直進性確認は水、方向を定める時はピヨピヨ (被験者4) |
| 両方 | <ul style="list-style-type: none"> ・周囲の雑音があるとピヨピヨが効く。周囲の音が余りなければ、水の流れる音の方が歩きやすい (被験者3) ・ピヨピヨを手がかりにして歩いていると思ったが、常に鳴っている音があると安心感がある (被験者6) ・ピヨピヨは方向確認、水の流れは自分の位置の確認 (被験者7、8、9) |

(c) 条件1、条件2、条件3を比較して、どれが最も歩きやすいですか？



- | | |
|-----|---|
| 条件1 | <ul style="list-style-type: none"> ・どちらもいい、選ぶのであれば条件1ピヨピヨの方が聞きやすい (被験者2、5) |
| 条件2 | <ul style="list-style-type: none"> ・水の方が正確なスピーカーの位置が分かりやすい。完全に見失った時は、ピヨピヨがあつた方が回復しやすい (被験者1) ・騒音が大きくないときは音がずっと鳴っている条件2が歩きやすい (被験者3、4) |
| 条件3 | <ul style="list-style-type: none"> ・両方 (ピヨピヨ：方向性、水：自分の位置) を確認できるので、安心感がある (被験者6、7、8、9) |

図5-12 歩行後の質問調査調査結果

5.5 考察

5.5.1 連続的な定常音による歩行誘導効果

これまでの結果から、条件2：連続的な定常音での歩行は直進性が高く維持されていることが明らかである。条件2に対しては図5-12(a)より、被験者の「ドップラー効果を利用した」「残響音を利用した」「スピーカー通過後は低い音が聞こえる」といった発言が見られるが、このような音の変化に対する発言は条件1には見られない。そこで録画画像の音声信号を確認すると、被験者の発言通りスピーカー前後において音量の変化とは異なる、音色の変化が生じていることがわかり、被験者の発言はこの音色の変化を意味していたと考えられる。実験条件を鑑みると、この現象は次の2つに起因すると考えられる。

- ①スピーカーの指向特性による音色の変化
- ②直接音と反射音の干渉による音色の変化

①については、スピーカーの指向特性を考慮すると、図5-13に示すように一般的に低い周波数は指向性がないため広がりが大きく、高い周波数については指向性が鋭く広がりが小さい。よって、被験者はスピーカーに近づくにつれ、水のせせらぎ音の周波数成分のうち低い周波数の音から徐々に高い周波数の音へと変化しているように感じられたと推察する。スピーカー通過後は反対に高い音から低い音へと変化し、被験者1の「スピーカー通過後は低い音が聞こえる」とも一致する。水のせせらぎ音のような広帯域に周波数成分

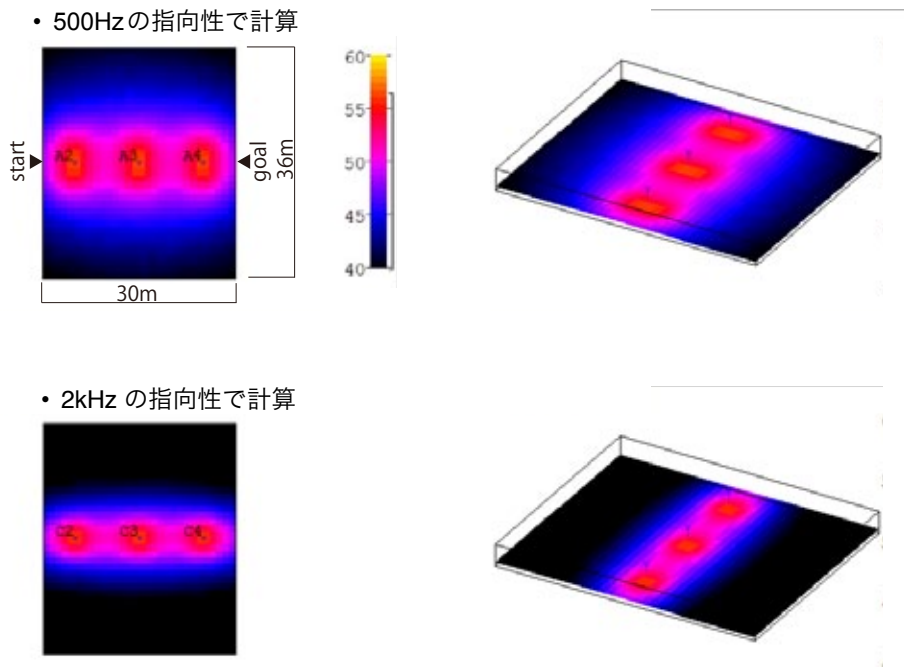


図5-13 周波数によるスピーカーの指向特性の違い
(CATT-Acoustics V.8 によるシミュレーション結果、H=1.5m)

をもった音サインを持続的に流すことで、スピーカーの指向特性による音色の変化を感じやすいと推察する。

②については、スピーカー分散配置による隣接するスピーカーからの直接音どうしの音の干渉と、直接音と道路面からの反射音の干渉という2つが考えられるが、前者はスピーカーのサービスエリアは十分離れている配置となっているため、影響が小さいと考えられる。後者については、直接音と道路面からの反射音が干渉しあい、カラーレーションと呼ばれる現象が生じる。これは一種の音色変化で、被験者が移動することで知覚されたと推察する^{注6)}。

実験条件を考慮すると、スピーカーは地上3mの地点で垂直下向きに配置されており、近くに建造物は存在するがスピーカーからの距離は道路面と比較して十分離れている。したがって、道路面以外の反射物はないものと判断し、道路面からの反射音が最も顕著に現れるといえる。ゆえに被験者は、スピーカーからの直接音と、直接音とほぼ同様の周波数特性をもつ道路面からの反射音という2つの音を聞いていると考えられる。

図5-14に示すように、道路面からの反射音は直接音が被験者の耳に到達した後に耳に到達する。直接音と直接音と同様な周波数特性をもつ単一の反射音が耳に到達する時間差(ΔT)によって櫛形フィルタが形成される。その時間差以上に継続する連続音(すなわち水のせせらぎ音)がこのフィルタを通過した場合、カラーレーションが生じ櫛形フィル

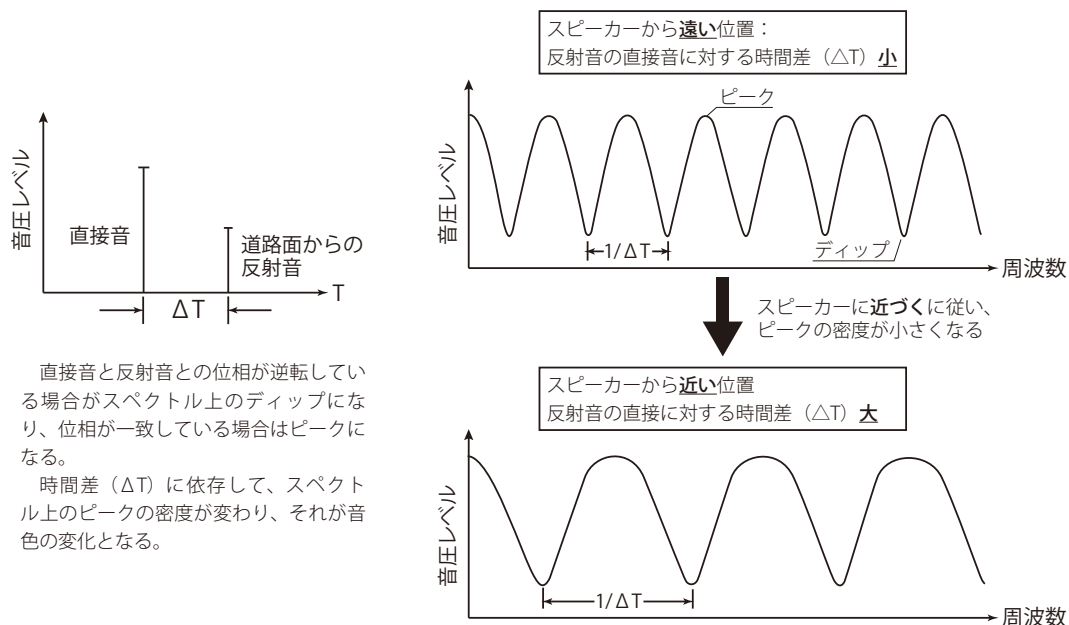


図5-14 直接音と反射音の時間差によって形成される櫛形フィルタ(反射音が単一の場合)

注6) 視覚障がい者がカラーレーションを利用して障害物を知覚する研究は近年数多く報告されており、視覚障がい者が音色を手がかりに行動していることは一般的に知られている(文献5~9)

タの最大値の繰り返し周波数 ($1/\Delta T$) の音を認識することが Kuttruff ら⁴⁾ の研究で知られている。

そこで、スピーカーからの距離 1 m ごとに直接音と反射音が被験者に到達するまでの距離 (l_d , l_r) を図 5-15 に示す式 1 および式 2 より求め、反射音が被験者の耳に到達する時間の遅れ (ΔT) を式 3 により計算した。それをもとに実験歩行路において被験者が歩行中に認識したと思われる周波数 ($1/\Delta T$) を式 4 によって求めたものを図 5-16 に示す。

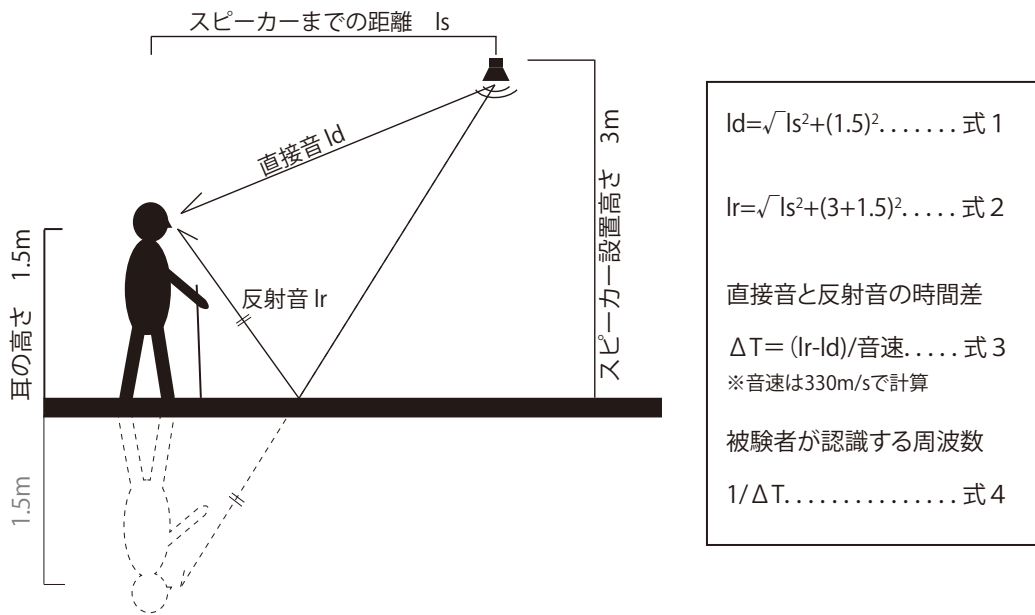


図 5-15 直接音と反射音が受音点まで到達経路

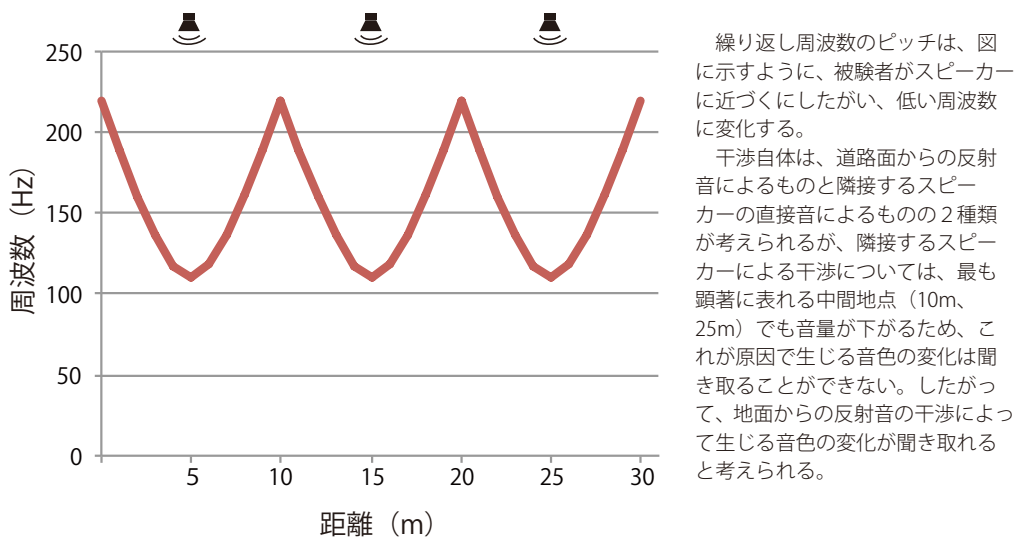


図 5-16 干渉によって生じる周波数の変化

被験者がスピーカーに近づくとつれ、音色の周波数は高い方から低い方へ変化し、被験者には音色の変化として知覚されたと推察する。そして、視覚障がい者はこの音色の変化を直進歩行や歩行方向の手がかりとして利用していると考えられる。

このように、被験者の歩行の偏軌量が最も安定していた条件2：連続的な定常音がつくりだす環境を音響的に考察した場合、スピーカーを垂直下向に配置し定常音を連続的に流すことで、いわば干渉を積極的に醸成させることができ、その現象を視覚障がい者が歩行の手がかりとして有効に活用できる可能性が高いことを示唆している。この干渉による音色の変化は「ピヨピヨ」といった断続音のような音サインでは生じない現象である。

スピーカーの指向特性の影響による音色の変化と干渉によって生じる音色の聞こえ方は、スピーカーのサービスエリアから外れた場所（すなわちスタート地点や10m、20m地点）では音量が最も小さくなるためスピーカーの指向特性の影響による音色の変化は聞き取りにくく、一方、干渉による周波数の低い音色が大きく聞こえ、スピーカーに近づくとつれ高域周波数の指向角の範囲に入るために直接音の高い音が優勢になり干渉による音色は聞こえなくなると考えられる。

5.5.2 音色の変化に対する積雪の影響

本実験は積雪のない状態で行ったが、冬季は雪による影響を考慮しなければならない。積雪と音の関係については、これまで積雪面上の音響伝搬特性や吸音率など、古くから実測結果が報告^{10)、11)}されており、雪質（すなわち密度）や厚さによって吸音率は異なるが、その特性は多孔質吸音材料と同じような減衰係数の周波数特性であることが明らかになっている。雪は新雪からしまり雪まで密度がおよそ0.01から0.5g/cm³程度に変化する。高田ら¹²⁾は、積雪上の音の伝播を測定した場所で積雪のない時の場合とを比較しているが、積雪のない場合の音の伝播は積雪面の固い時（密度0.35~0.50g/cm³）と極めて似ていることを明らかにしている。また、大垣ら¹³⁾は積雪の垂直入射吸音率の周波数特性を測定しているが、垂直入射吸音率は密度が小さいほど、周波数が大きいほど大きくなる傾向にあり、密度0.45g/cm³の時は垂直入射吸音率が減少する傾向にあり、積雪表面での反射が増大することを明らかにした。したがって、アイスバーンのような凍結した状態では雪はしめ固められ吸音率は極めて小さくなり、コンクリートに近い反射特性をもつといえる。近年の岩瀬ら^{14)、15)}の研究報告では、自然積雪50cmの場合、低い周波数から高音域まで高い吸音特性もち、また圧雪すると吸音率は全般的に50%程度まで低下することがわかっている。

既に論じたように、音色の変化が生じるのは直接音と道路面からの反射音が干渉するためである。したがって、積雪状態において連続的な定常音を流した場合、雪による吸音が影響し反射音の音圧レベルが減衰することで、音色の変化を知覚できない場合も考えられる。冬季の歩道の路面状態を考慮すると、多くの歩行者によって雪は踏み固められた状態にあると考えられる。そこで、先行研究を参考に新雪状態の吸音率は0.8、圧雪状態は0.5、

凍結状態は0.2¹⁶⁾と設定し、直接音の音圧レベルが0とした場合の反射音の減衰を計算した(式5)。

$$10\log_{10}(\text{吸音率}) \dots\dots\dots(\text{式5})$$

結果、積雪の吸音率による減衰はそれぞれ、新雪-7dB、圧雪-3dB、凍結-1dBとなる。さらに、被験者とスピーカーとの距離による距離減衰を考慮する必要があり、直接音に対する反射音の音圧レベルの距離減衰の差を式6により求めた(Wは音源のパワーを示す)。

$$\begin{aligned} \text{距離減衰の差} &= 10\log_{10}(W / \text{反射音の伝搬距離}^2) / (W / \text{直接音の伝搬距離}^2) \\ &= 20\log_{10}(\text{直接音の伝搬距離} / \text{反射音の伝搬距離}) \dots\dots\dots(\text{式6}) \end{aligned}$$

直接音に対する反射音の音圧レベルが積雪によって減衰する度合いは、理論上、表5-4に示す通りとなる。スピーカー直下では、新雪の全体的な音圧レベルの減衰は直接音に対して-17dBとなるが、そもそもスピーカーのサービスエリア内では直接音が顕著に聞こえるため、反射音との干渉による音色の変化は検知されない。音色の変化が最も顕著に聞こえると考える地点(スピーカーからの距離2m以上)では、新雪の場合に反射音は-13dBまで直接音の音圧レベルに対して減衰するが、音色の変化を検知する限界値-18dB^{注7)}よりも大きくなっている。したがって、積雪状態の場合でも音色の変化は検知できると考えられる。

実際の積雪の影響を確認するため、実験を行った場所とその他の2地点の計3地点にて、冬季に実験条件を再現し音サインを流し、それぞれの地点で2回の録音を行った(2014年1月24日に実施、気温0°、平均風速3.8m/s、実験場所：新雪、2カ所目：圧雪、3カ所目：やや凍結)。音声信号の結果からは、実験場所では新雪の影響を受け、音色の変化は知覚できなかった(内1つはわずかに聞こえる)が、その他の2地点では、ともに音色

表5-4 積雪による直接音に対する反射音の音圧レベルの減衰(高さ1.5m地点で計算)

スピーカーとの距離	新雪 吸音率0.8	距離減衰	全体の減衰	圧雪 吸音率0.5	距離減衰	全体の減衰	凍結 吸音率0.2	距離減衰	全体の減衰
5m	-7.0	-2.2	-9.2	-3.0	-2.2	-5.2	-1.0	-2.2	-3.2
4m		-3.0	-10.0		-3.0	-6.0		-3.0	-3.9
3m		-4.1	-11.1		-4.1	-7.2		-4.1	-5.1
2m		-5.9	-12.9		-5.9	-8.9		-5.9	-6.9
1m		-8.2	-15.1		-8.2	-11.2		-8.2	-9.1
0m		-9.5	-16.5		-9.5	-12.6		-9.5	-10.5

注7) 直接音と反射音との干渉により形成される楕円フィルタがカラーレションを発生するかどうかは時間差(ΔT)と極大値の大きさに依存するが、カラーレションを知覚できる反射音の絶対閾値は前出の Kuttruffらが求めており、0.01秒程度の反射音が遅延する場合が最も感度が高く、限界値は-18dBである。式3により本実験における反射音の遅延時間は0.004から0.009秒である。

の変化を知覚できた。したがって、新雪に近い状態では雪質などの諸条件が影響して音色の変化が知覚しにくい、圧雪や凍結状態には音色の変化が知覚できることがわかった。

仮に、干渉による音色の変化が積雪の影響により知覚できない場合でも、スピーカーの指向特性による音色の変化については、積雪にかかわらず生じる現象であるため、これを手がかりにした歩行は可能であると考えられる。

5.5.3 音サインのコンテンツと誘導効果

条件1では、断続音を用い、条件2では連続的な定常音を用いた。そして、条件3では断続音と連続的な定常音を組み合わせた。2種類のコンテンツの異なる音サインを用いることで、より誘導効果の高い結果が得られると考えたが、結果として歩行の直進性が最も高く維持されたのは条件2であった。そこで、それぞれの音サインのコンテンツの特徴と屋外で用いた場合の影響を考察する（表5-5参照）。

断続音は信号の特徴として1.5秒の無音区間があるため、オンとオフといった音量の変化が大きい。音色の変化は音サインの長さにもよるが、連続音と比較して変化は小さい。また、断続音の場合、音が耳に到達するまでに時間にずれが生じ、その時間差を知覚することで方向感が得られやすい。しかし音サインの短さから、正確な音源の位置を捉えることはやや難しいと考える。したがって、断続音は、音が聞えてくる時の時間差に関する知覚を効果的に利用することができるため、方向の誘導に適しているといえる。

連続的な定常音の信号の特徴は無音区間がないことである。常に一定の音が流れているため、音量の変化はほとんどない。音色の変化は顕著に現れるといえる。定常音は、常に音が聞えるため、音の大きさで音源の位置を捉えやすい（エネルギー知覚）一方、断続音のように時間的に分離して音を知覚することができないため、方向感の知覚には向いていない。しかし、連続的な定常音を流した際に生じる音色の変化は、音をもつエネルギーの変化に起因し、このエネルギー変化は、人が移動することによってはじめて知覚されるものである。したがって、被験者が移動したことで、音色が変化して聞こえ、その変化によってもともと方向感が得られにくい定常音に方向情報を与え、それを手がかりとして視覚障がい者は歩行していたと考えられる。同様に、スピーカーの指向特性による音色の変化や音の大きさの変化についても、視覚障がい者が移動することで時々刻々と変化するエネルギーを手がかりに、歩行を調整したと考えられる（生態心理学的関係と捉えられる）。

表5-5 断続音と定常音の特徴と屋外における影響

	〈信号〉	〈空間〉		〈定位〉		知覚の 手がかり	歩行経路の 提示効果
		音量変化	音色変化	方向感	音源の捉えやすさ		
コンテンツ	無音区間						
断続音	有	大	小	○	△	時間差	×
連続的な定常音	無	小	大	△	○	エネルギー差	○

さらに本実験では、「学習」によって音サインに対するアテンションを高め、音の大きさの変化に気づきやすくなったと同時に、学習時のスピーカー直下での音の大きさが基準となり、それをもとにスピーカーとの相対的な左右への偏軌に気づきやすくなったといえる。連続音の場合には、被験者は歩行中、常に音サインを確認できるため、音の大きさの変化を聞き取りながら自身の偏軌に気付いた際、素早い修正が可能であると考えられる。したがって、連続的な定常音は歩行経路の提示という歩行誘導に適したコンテンツであることが示唆される。

断続音と連続的な定常音の2種類が混在する条件3では、被験者1の発言にもあるが（図5-12 (b) 参照）、両方の音を聞こうとするあまり、それぞれの音サインの特長に気づきにくくなってしまったことが偏軌の広がりに影響したと推察する。したがって、正確なスピーカーの位置を捉えやすい定常音を基本的な音サインとして、適宜断続音が鳴るような設定とすることで、より効果の高い誘導が可能になると考えられる。

本実験での歩行距離は30mに設定したが、連続的な定常音を音サインとして一定間隔で配置していけば、視覚障がい者は自身とスピーカーの位置関係を常に読み取りながら、より長い距離でも音の大きさの変化を頼りに大きく外れることなく直進歩行を誘導できると考えられる。

5.5.4 音サインの音量と直進歩行

条件1と条件2の被験者ごとにおける音量と偏軌量（2試行の平均値）の関係を図5-17に示す。45°軸より右下に位置する点は条件1の歩行軌跡の平均が条件2よりも大きく、45°軸よりも左上に位置する点は条件2の歩行軌跡の平均が条件1よりも大きいことを示す。また、面が広い場合は音量によって偏軌のばらつきが大きいこと、左右に長い場合は条件2の偏軌量は音量に関わらず安定しているが条件1では音量によるばらつきが大きいと読み取れる。上下に長い場合は断続音の偏軌が安定し連続的な定常音でのばらつきが大きいといえるが、そのようなタイプは見られない。

被験者2や被験者7のように音量によってばらつきがみられる被験者もいるが、全体的な分布からは音量による大きな差は見られず、個人差が大きいといえる。条件1と条件2を比較した際の「歩きやすさ」（図5-12 (a) 参照）については、ピンクが「条件1」、緑が「条件2」、グレーが「変わらない」と回答した被験者を示すが、条件2と回答した被験者についてほぼ全ての音量で条件2における偏軌量が他の条件と比較して小さく、直進性を維持しながら歩行できているといえ、回答とも一致している。被験者7は、回答通り、条件1の方がやや偏軌が小さく、歩きやすいと感じている条件と実際の歩行結果がおおよそ一致している。しかし、多くの被験者が45°軸よりも右下に位置しており、左右に長いタイプが多く見られることから、総合的に判断し、全ての被験者が条件2では音量差にかかわらず、安定した直進歩行ができているといえる。

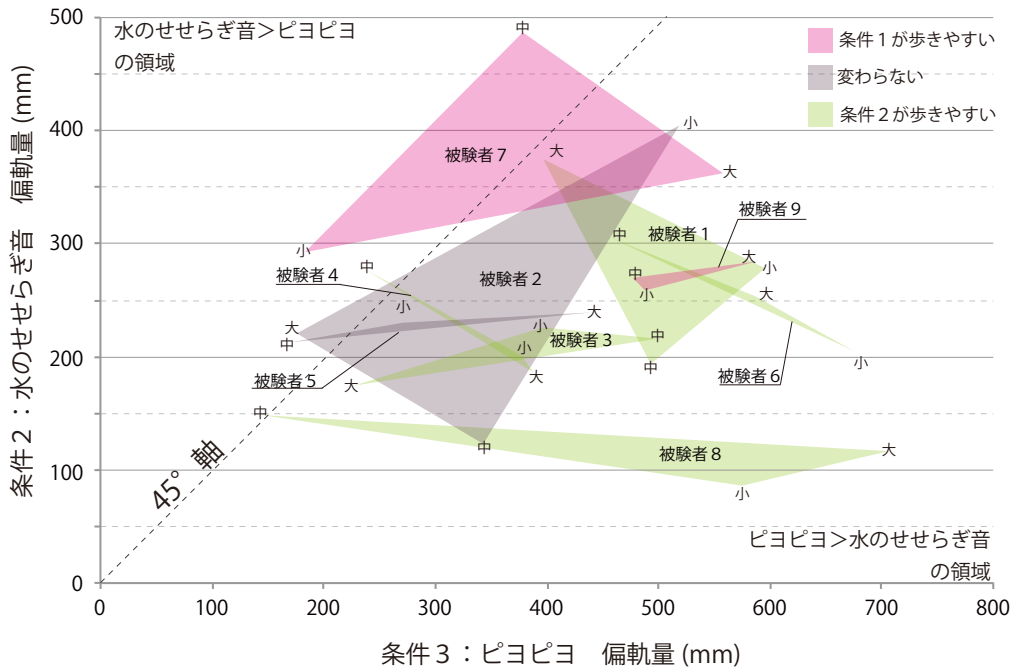


図5-17 条件1と条件2における音量差と偏軌量の関係

表5-6は条件3の4つのパターンにおける被験者ごとの3～27mの各地点の偏軌量が200mm以下および200mm以上を記録した地点の数である（2試行分合算、計50地点/1人）。色付きは4パターンのうち、200mm以下の地点が最も多いパターンを示しており、2重線で囲んだ部分は各被験者が最も好ましいと答えたパターンを示す。被験者が好ましいと回答しているパターン1と2は、どちらも水のせせらぎ音の音量が中の設定であり、連続的な定常音の音量が大きい方がわずかに偏軌が小さい。断続音の音量が大きく連続音が小さいパターン3では、4つのうち偏軌が最も大きくなることから、音量差よりもむしろ音サインのコンテンツが歩行の直進性に影響していると考えられる。

表5-6 各パターンごとの偏軌量200mm以下を記録した地点数（2試行分の合計、3～27m地点）

偏軌量		被験者1	被験者2	被験者3	被験者4	被験者5	被験者6	被験者7	被験者8	被験者9	合計
パターン1	200以下	26	16	23	27	47	15	23	39	23	239
	200以上	24	34	27	23	3	35	27	11	27	211
パターン2	200以下	15	37	18	21	48	16	15	44	36	250
	200以上	35	13	32	29	2	34	35	6	14	200
パターン3	200以下	21	27	22	9	32	13	21	28	31	204
	200以上	29	23	28	41	18	37	29	22	19	246
パターン4	200以下	25	6	22	21	37	28	19	43	24	225
	200以上	25	44	28	29	13	22	31	7	26	225

また、本実験の音サインの音量に関しては、水のせせらぎ音と暗騒音との全帯域音圧レベルでのSN比は「小」の場合に3dB(=45dBA/42dBA)であり、「大」の場合でも9dB(=51dBA/42dBA)しかない。ゆえに、全体のSN比が10dB以下でも連続的な定常音を用いることで直進性の高い歩行を誘導できる可能性が示された。ただ、SN比が3dBという状況は、些細な騒音（例えば車の走行音）などによって聞こえにくくなるのが容易に考えられ、視覚障がい者の多くが意識して音サインを聞いていたと推測する。したがって、今回の実験結果は、音を意識した場合の結果として考えられる。

5.6 まとめ

本章では、実験場所における暗騒音の周波数特性をもとに、その場所に合った音サインのコンテンツや再生音量を決定していく手法を用いて多音源主軸垂直配置による屋外歩行実験を行った。本実験で得られた結果は以下の通りである。

1. 多音源主軸垂直配置は視覚障がい者の双方向の直進方向を誘導することができる。
2. コンテンツの異なる音サインが混在する場合、視覚障がい者は連続的な定常音と断続音を個々に捉えることができ、連続的な定常音は音源の位置との相対的な自身の位置確認、断続音は主に歩行方向確認のために利用している。
3. 水のせせらぎ音のような連続的な定常音を音サインとして用いた場合、視覚障がい者は音の大きさの変化のみならず、音色の変化という微妙な音の変化をも聞き取り、歩行時の手がかりとして利用している。
4. 連続的な定常音は直進歩行の確認をいつでもとれるため、視覚障がい者は安心感を持ちながら歩行できる。
5. 断続音では、無音区間は歩行方向を予測して歩かなければならず、歩行軌跡に乱れが生じる可能性が高い。
6. 学習の効果により、視覚障がい者の音サインに対するアテンションを高め、音の大きさの変化に対する感度を高めることができる。

以上の結果から、歩行経路の提示という歩行誘導の観点からは、連続的な定常音の有用性を明らかにすることができた。しかし定常音は無音区間がなく常時音が鳴っていることから、断続音と比較して耳障りになる可能性が高い。そこで、定常音を用いる場合には、

本研究で検討した多音源主軸垂直配置と組み合わせて考えることで、音の広がる範囲を小さくでき、騒音になりにくいと考える。さらに、今回設定したスピーカーの3mという高さは、直接音と反射音によるカラーレシジョンの感度が最も高い0.01秒付近の時間差になるため、カラーレシジョンを知覚しやすく効果的な条件であったと考えられる。

また、本章で示した音サインのコンテンツの選定と再生音量の設定手順について振り返ると、本実験は周囲が閑静な住宅街での事例として位置づけられる。したがって、暗騒音の周波数特性から定常音として水のせせらぎ音を使用したが、実際に小川などが近接する場所では、暗騒音の周波数特性や音色が類似することから、水のせせらぎ音は好ましくない。暗騒音の音圧周波数特性と比較して、異なる周波数帯域で音圧レベルが高く、しかも音色が暗騒音とは異なる特徴をもった定常音の選択が好ましい。

このような音サインの選定と音量設定の方法を用いた場合には、全帯域音圧レベルのSN比を大きくしなくてもある特定の周波数帯域での調整で誘導効果を維持できることが示され、騒音レベルの増加も生じにくく、周囲環境に配慮した音サインによる誘導支援が提案できると考えられる。

第5章 参考文献

1. 永幡幸司, 山内勝也, 山田麻理: 視覚障がい者が音響信号及び盲導鈴に求める音量について, 日本騒音制御工学会, 日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集, pp.237-240, 2005.9
2. Seiichiro Namba, Sonoko Kuwano, Kanjiro Kinoshita and Kenji Kurakata : Loudness and timbre of broad-band noise mixed with frequency-modulated sounds, J. Acoust Soc. Jpn. (E)13, 1, pp.49-58, 1992
3. 関喜一: 音サインの標準化と今後の課題(視覚障がい者の誘導), 交通エコモ財団バリアフリー推進研究会第2回勉強会資料, 2013. 6
4. H.Kuttruff: Room Acoustics, Fifth Edition, CRC Press, 2009. 5
5. 関喜一, 伊藤精英: 音の到来方向とカラーレーションの関係, 日本音響学会講演論文集, 2000(2), pp.311-322, 2000. 9
6. 伊福部達, 三浦貴大: 音による「気配知覚」, 日本音響学会聴覚研究会資料, 39(3), pp.143-148, 2009
7. 伊福部達, 三浦貴大: 盲人の障害物知覚, 騒音制御, 33 巻 3 号, 2009
8. 関喜一, 伊福部達, 田中良広: 盲人の障害物知覚と反射音定位の関係, 音響会誌, 50, 4, pp.289-295, 1994
9. 関喜一, 伊福部達, 田中良広: 盲人の障害物知覚における遮音効果の影響, 音響会誌, 50, 5, pp.382-385, 1994
10. 石田完, 小野寺重男: 積雪の吸音率について, 低温科学, 物理篇 12, pp.17-24, 1954
11. 石田完: 積雪の音響特性, 低温科学物理篇 22, pp.59-72, 1964
12. 高田実, 大河内重信, 那須伝夫: 雪の吸音率と雪面上の音の伝播について, 日本音響学会誌, 第 10 巻, 第 1 号, pp.23-27, 1954
13. 大垣正勝, 竹村英夫: 積雪中の音速と垂直入射吸音率の測定, 日本音響学会誌, 第 46 巻 9 号, pp.723-727, 1990
14. 岩瀬昭雄, 佐久間哲哉, 吉久光一: 積雪面上における音響伝搬特性に関する実測—自然積雪と圧雪面上との比較調査—, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 第 41 号, 1998
15. 岩瀬昭雄, 佐久間哲哉, 吉久光一: 積雪面の音響伝搬特性に関する実測調査結果について, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 第 42 号, pp.179-182, 1999. 7
16. 草間祥吾: ポーラスコンクリートの積雪寒冷地の適用に関する研究, 土木研究所, 2010
17. 倉方憲治, 関喜一, 佐藤洋: サイン音のユニバーサル・デザイン—標準化の動向を中

- 心に一，日本音響学会誌，68巻1号，pp.49-54, 2012
18. B.C.J. ムーア，大串健吾監訳：聴覚心理学概論，誠信書房，1994. 4
 19. 鈴木陽一，赤木正人，伊藤彰則，佐藤洋，荳木禎史，中村健太郎：音響学入門，コロナ社，2011. 3
 20. 岩宮眞一郎：図解入門よくわかる最新音響の基本と応用，日教印刷株式会社，2011. 3
 21. 永幡幸司：音環境の政治的正しさをめぐって、日本音響学会研究会資料、騒音・振動研究委員会，2008. 10
 22. 永幡幸司：視覚障がい者には役立たない視覚障がい者のための音によるバリアフリーデザインの事例について，騒音制御，29（5），pp.390-396，2005
 23. 桑野園子編著，音環境デザイン（音響テクノロジーシリーズ12），コロナ社，2006
 24. Takahiro Miura, Shuichi Ino, Teruo Muraoka and Tohru Ifukube: Acoustic factors of auditory distance perception by the blind while walking, Audio Engineering Society, AES 122nd Convention, 2007.5
 25. 関喜一：視覚障がい者のための音による空間認知の訓練技術ーリハビリテーション現場での実用化に向けてー，シンセシオロジー，Vol.6, No.2, pp.66-74, 2013.5

第6章

結論

6.1 結論

6.2 今後の課題

6.1 結論

本研究は、視覚障がい者と環境との生態心理学的な関係に着目し、積雪寒冷地における視覚障がい者の屋外歩行誘導として音サインを用いた支援策を計画し、その誘導効果を明らかにすることを目的として、屋内外および積雪路面上において歩行実験を行った結果、以下のことを明らかにした。

第1章「序論」では、研究の背景として、障がい者の社会参加機会の増進をはかるための法律が整備されつつある中で、積雪寒冷地の視覚障がい者の単独歩行を支援するための具体的方策について考える必要性を述べた上で、視覚障がい者に関する既往研究を、歩行移動の実態、空間認知メカニズム、および歩行誘導支援技術の開発の3側面から概説し、音サインを用いた歩行誘導をめざす本研究の意義と位置づけを示した。

第2章「積雪寒冷地に住む視覚障がい者の屋外単独歩行に関する実態把握」では、視覚障がい者が日常的な屋外単独歩行において手がかりとする環境情報とその利用方法、および積雪寒冷地特有の問題点を明らかにするため、札幌に在住する視覚障がい者にインタビュー調査を行った。その結果、視覚障がい者の単独歩行中の行動は、歩行方向、直進歩行、場所同定、空間把握の大きく4つに分類して捉えることができること、視覚障がい者はこれらの行動それぞれについて、環境に存在するさまざまな情報を手がかりとして利用していること、なかでも音情報を積極的に活用していることを明らかにした。

第3章「音サインと壁面が視覚障がい者の直進歩行に与える影響」では、音サインによる歩行誘導の有効性を検証すべく、視覚障がい者の協力を得て屋内での歩行実験を行い、手がかりが全くない場合と比較して、進行方向に音サインがあることや歩行路に平行して壁が存在することで直進歩行時に進むべき軌道を外れる偏軌を抑える効果を明らかにした。すなわち、音サインは前後から交互に与えた場合には無音区間が長くなり歩行方向を定めづらくなるので、前方からのみの場合の方が直進歩行を促す効果が大きいこと、歩行路に平行した壁が存在するだけでも直進歩行の助けとなるが、前方から音サインを加えると直接音と反射音の両者を参照して偏軌に気付きやすくなり、より安定した直進歩行が行えること、さらにゴール地点に設置した音源の方向と自身の進行方向の角度差が一定の大きさを越えると偏軌に気付き、歩行方向を修正していることを明らかにした。

第4章「積雪路面上における視覚障がい者の直進歩行を誘導する音サインの効果」では、積雪状態の移動経路上にスピーカーを複数設置して一定幅の音サインによる歩行経路を提示することで、その範囲から逸脱しない直進歩行を促す効果について検証するため、視覚障がい者による歩行実験を行った。その結果、隣り合うスピーカーのサービスエリアの接続点付近で被験者が混乱する場合があること、サービスエリアが重ならない間隔でスピー

カーを垂直下向きに配置し連続的な定常音を流した場合には周囲との音圧レベル差により偏軌が抑制された直進歩行を可能にすること、またそのような配置は音の広がる範囲を小さくできるため周囲への騒音になりにくい実用上の利点があることを示し、実際の積雪状態の屋外において複数のスピーカーによる長い距離の誘導が可能であることを明らかにした。

第5章「音サインの差異が視覚障がい者の歩行誘導に与える影響と学習効果」では、前章でその有効性が示されたスピーカーを垂直下向きに配置した音サインについて、そのコンテンツの差異が視覚障がい者の歩行誘導の効果に与える影響を明らかにするため、屋外歩行実験を行った。その結果、視覚障がい者は音サインを利用する際に、連続的な定常音によって音源の位置との相対的な自身の位置の確認を行い、一方断続音によって音源の方向定位により歩行方向の確認を行っていることを明らかにし、前者の誘導効果は学習によって向上することを明らかにした。さらに連続的な定常音による誘導のメカニズムについて考察を加え、音源からの自身の位置の知覚が単に音の大きさの変化のみによるのではなく、スピーカーの指向特性および音源からの直接音と道路面からの反射音の干渉による音色変化によることを明らかにした。

以上の結果から、音サインの呈示方法およびコンテンツによって異なる誘導効果を生態心理学的な視点から明らかにし、その効果を利用した音サインによる「歩行経路の提示」の有用性を明らかにすることができた。

6.2 今後の課題

視覚障がい者の歩行誘導支援策の代表例である誘導ブロックは全ての歩道に敷設されているわけではない。本研究で示した音サインによる歩行誘導支援策も全ての場所に敷設することは困難であるといえる。しかし、視覚障がい者の利用頻度が高く、適切な場所での設置は積極的に行われるべきである。

現在、札幌では道立視覚障がい者教育センター校が建設中である。これは北海道高等盲学校と北海道札幌盲学校の生徒数減少と施設老朽化を受け、両方の施設を一元化した総合的な教育施設として新設するものである。この施設の新築にともない、最寄りの公共交通機関の駅からセンター校までの歩行空間の整備も同時に行われる予定である。本研究でその有用性を示した音サインによる歩行誘導支援策は、このような区間において導入されることが望ましいと考える。本研究での成果を踏まえ、今後は実際の歩行空間に導入するための具体的なシステムの諸条件として以下の点に考慮し、研究を進めていく予定である。

- ①音サインのコンテンツ：定常音＋断続音（全てのスピーカーで同時に再生）
- ②スピーカーの設置間隔：3 mの高さの場合の音源間隔
- ③スピーカーの取付角度：主軸は地面に向ける
- ④サービスエリアの範囲：視覚障がい者の歩行軌跡を考慮した指向特性をもったスピーカーの選択

また、本研究では歩行誘導支援策として音サインの可能性について述べたが、音サインを用いた支援策は周囲の騒音問題と切り離せない。街頭の宣伝放送についても、ときに騒音として取り上げられることがあるが、視覚障がい者にとっては重要なランドマークである。第5章で示した音サインの選定方法を用いれば、音サインのコンテンツは暗騒音の周波数特性に応じて変わるため、それぞれの場所によって異なる音サインが使われることになる。そうなることで、音サインがその場所のランドマークとして機能する可能性も考えられ、今後さまざまな場所において実験を繰り返し、成果を上げていきたいと考える。

本研究に関連した業績リスト

【査読付論文】

1. 福田菜々, 大野隆造: 音サインおよび壁の存在が直進歩行に及ぼす影響—積雪寒冷地における視覚障がい者の単独歩行に関する研究 その1—, 日本建築学会計画系論文集, vol.78, No.686, pp.783-790, 2013.4
2. 福田菜々, 大野隆造, 那須聖: 積雪路面上の直進歩行を誘導する音サインの効果—積雪寒冷地における視覚障がい者の単独歩行に関する研究 その2—, 日本建築学会計画系論文集, vol.79, No.697, 2014.3
3. 福田菜々, 大野隆造, 那須聖: 音サインの差異を利用した歩行経路の提示—積雪寒冷地における視覚障がい者の単独歩行に関する研究 その3—, 投稿準備中

【学会口頭発表】

- ・福田菜々, 大野隆造: 視覚障がい者の単独歩行を支援する歩行環境デザインに関する研究—積雪時など路面上の手がかりがない場合を想定した実験について—, 人間・環境学会第18回大会, ポスターセッション
- ・福田菜々, 大野隆造: 視覚障がい者の直進歩行における直進性に対する周囲環境の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1, pp.473-474, 2011.7
- ・福田菜々, 大野隆造: 視覚障がい者の歩行と周囲環境のアフォーダンス—環境音による歩行進路の調整—, 人間・環境学会第19回大会, MERA ジャーナル, vol.15, No.1, p.46, 2013.5
- ・福田菜々, 大野隆造: 冬季積雪時における視覚障がい者の歩行進路に及ぼす音サインの影響, 人間・環境学会第20回大会, MERA ジャーナル, vol.16, No.1, p.46, 2012.5

【海外学会発表】

- ・Nana FUKUDA, Ryuzo Ohno: An Attempt of Creating Sound Pathway for Guiding Visually-Impaired People in Snowy Regions, EDRA45NewOrleans,2014 (アクセプト済、発表予定)

付録

歩行軌跡データ

屋内実験:歩行偏軌量(中央線から左が負、右が正)

条件1:音・壁なし

被験者	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	ゴール
A	0	58	44	48	-13	-129	-146	-207	-239	-289	-353	-328	-286	-258	-225	-157	-26	102	284	440	495
A	0	78	130	107	65	72	168	252	410	570	712	840	1005	1084	1113	1156	1257	1368	1435	1538	1584
B	0	-154	-297	-374	-465	-561	-639	-763	-897	-990	-1102	-1214	-1299	-1383	-1504	-1698	-1646	-1625	-1667	-1721	-1777
B	0	-22	-79	-142	-203	-285	-316	-354	-392	-407	-424	-423	-433	-433	-370	-270	-154	-56	7	89	107
C	0	-18	-40	3	-20	-93	-113	-100	-105	-41	-52	-110	-128	-123	-46	-3	-54	-17	41	144	147
C	0	36	90	145	164	115	94	120	81	16	22	60	13	-5	16	57	128	125	127	142	147
D	0	35	93	225	388	537	707	897	1076	1203	1498										
D	0	-33	-73	-82	-65	-11	26	94	223	297	317	394	487	574	655	807	866	881	928	1023	1066
E	0	61	138	153	156	162	157	142	117	46	-60	-157	-280	-372	-533	-723	-820	-942	-1063	-1185	-1230
E	0	136	181	184	153	125	80	-31	-150	-247	-395	-579	-749	-940	-1190	-1343	-1543	-1736	-2032	-2426	-2591

条件2:音前

被験者	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	ゴール
A	0	109	122	129	120	111	88	58	66	122	164	226	305	459	651	770	806	718	669	558	467
A	0	58	89	100	113	159	208	159	46	48	96	165	223	330	386	407	448	343	171	22	26
B	0	19	4	13	53	41	1	24	35	41	20	22	64	33	134	160	193	164	143	126	141
B	0	30	85	118	196	271	315	322	369	447	587	649	709	749	745	730	738	736	674	647	615
C	0	14	16	14	4	54	18	80	132	157	218	265	338	396	437	433	417	379	379	411	423
C	0	10	4	50	80	27	94	69	21	90	158	231	358	447	442	464	417	423	443	331	212
D	0	32	74	135	150	158	172	216	174	59	1	43	48	103	253	322	453	424	365	288	208
D	0	27	26	27	38	22	12	19	19	39	137	294	403	446	485	554	544	545	456	367	348
E	0	24	21	1	5	31	64	127	179	291	366	430	448	449	406	422	339	307	299	356	359
E	0	19	29	34	114	142	121	144	171	121	83	19	58	117	152	110	55	17	51	148	170

条件3:音前後

被験者	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	ゴール
A	0	110	160	224	331	407	464	543	620	682	706	745	829	866	795	840	851	801	758	588	503
A	0	215	300	399	461	544	537	417	304	121	74	249	348	534	657	843	783	592	494	414	344
B	0	43	76	77	72	51	11	17	67	119	236	337	394	469	573	634	691	666	631	576	495
B	0	77	118	135	170	172	266	292	356	390	417	433	449	482	465	467	487	409	322	332	314
C	0	3	0	5	0	55	88	69	73	117	166	191	257	226	200	261	305	335	357	291	153
C	0	67	79	79	59	71	74	79	19	75	216	342	411	472	451	448	469	388	188	44	17
D	0	84	78	61	26	11	12	27	79	95	140	221	289	290	293	247	149	77	13	67	62
D	0	11	3	1	1	5	13	53	68	126	170	216	175	181	240	287	331	409	455	392	312
E	0	134	285	366	491	584	690	834	950	1038	1107	1214	1302	1340	1339	1331	1328	1303	995	740	617
E	0	75	87	121	170	247	352	506	660	834	1015	1068	1171	1253	1295	1196	1159	1078	981	793	725

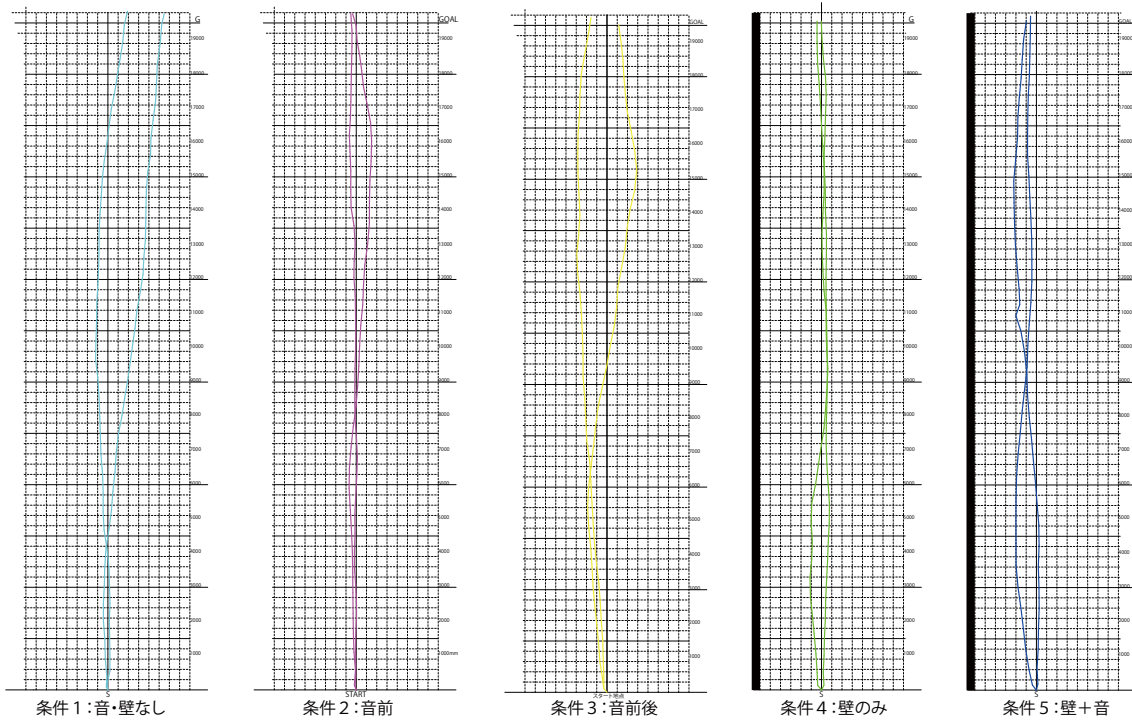
条件4:壁のみ

被験者	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	ゴール
A	0	160	250	330	281	300	177	27	-102	-169	-149	-135	-55	-18	45	77	91	123	107	19	5
A	0	-71	-105	-135	-182	-223	-191	-139	-143	-165	-159	-139	-128	-140	-112	-90	-25	27	94	19	135
B	0	25	5	-13	-87	-189	-320	-415	-493	-546	-620	-717	-810	-945	-1039	-1102	-1167	-1349	-1453	19	-1510
B	0	-13	-1	10	8	-18	-42	-61	-101	-129	-78	-76	-145	-146	-158	-109	-37	39	177	19	183
C	0	85	180	252	201	178	189	244	229	103	43	30	16	-14	-37	-62	-112	-128	-81	19	-63
C	0	46	83	115	153	150	124	71	-66	84	-106	-81	-40	54	148	143	-18	-122	-84	19	-85
D	0	221	357	531	680	852	898	899	887	810	710	630	552	507	538	572	610	608	596	19	585
D	0	62	215	319	416	553	641	747	768	830	823	747	743	748	730	751	843	969	1171	19	1175
E	0	-28	-92	-187	-287	-341	-376	-492	-507	-482	-484	-455	-393	-341	-215	-125	36	84	172	19	376
E	0	0	0	0	-114	-203	-273	-378	-471	-533	-655	-792	-867	-964	-1080	-1215	-1281	-1551	-1591	19	-1742

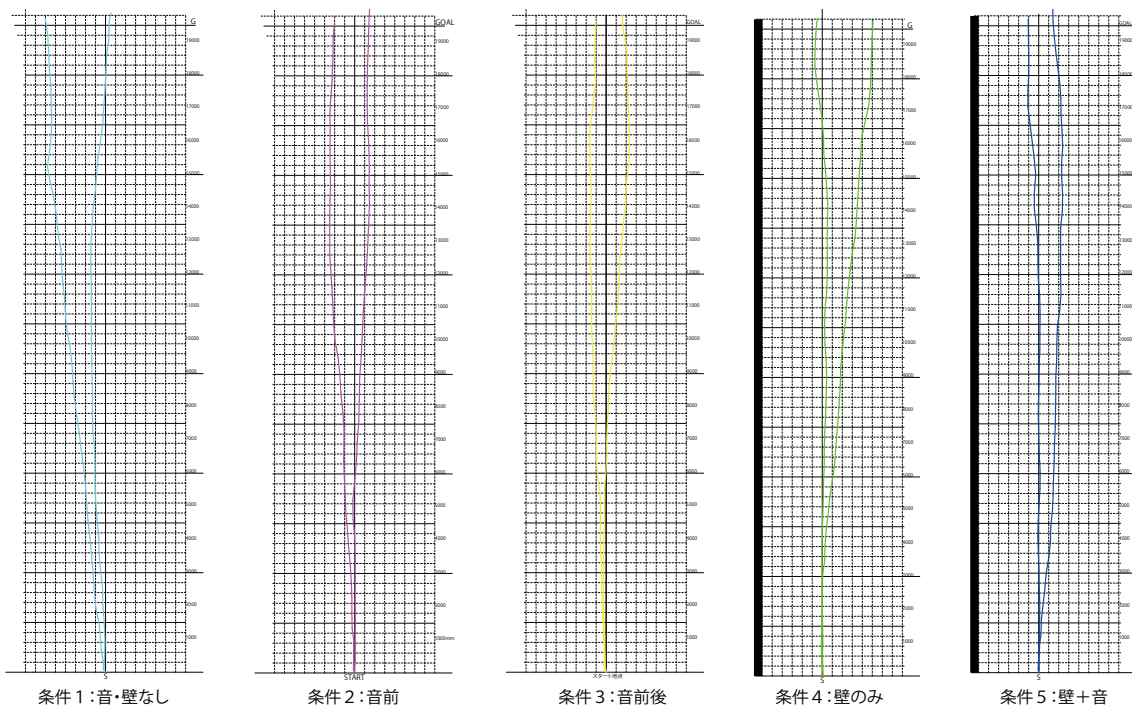
条件5:壁+音

被験者	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	ゴール
A	0	282	406	537	597	600	587	526	431	323	254	188	133	138	172	220	260	248	205	182	174
A	0	-40	-67	-74	-69	-57	22	114	210	271	368	584	531	614	649	653	567	525	441	377	303
B	0	-46	-124	-226	-352	-417	-449	-478	-505	-518	-546	-636	-656	-658	-709	-689	-712	-667	-602	-484	-440
B	0	-22	-30	-8	22	-8	-43	-5	8	-12	-35	-37	16	32	132	89	194	317	303	305	311
C	0	65	118	114	72	74	21	-55	-157	-305	-384	-360	-207	-15	76	77	132	74	66	137	167
C	0	-238	-336	-397	-515	-459	-191	-23	61	101	58	72	92	151	217	253	193	144	126	117	118
D	0	51	72	36	9	2	2	-11	-4	-20	-103	-141	-150	-82	-21	100	241	331	296	216	162
D	0	71	170	244	279	279	250	191	186	264	299	266	185	126	32	6	8	0	-8	-31	-33
E	0	-78	-157	-264	-394	-539	-582	-622	-650	-705	-782	-824	-839	-706	-496	-451	-522	-517	-397	-344	
E	0	-6	-8	6	9	7	21	41	83	102	83	54	17	-46	-171	-288	-306	-206	-147	-98	-72

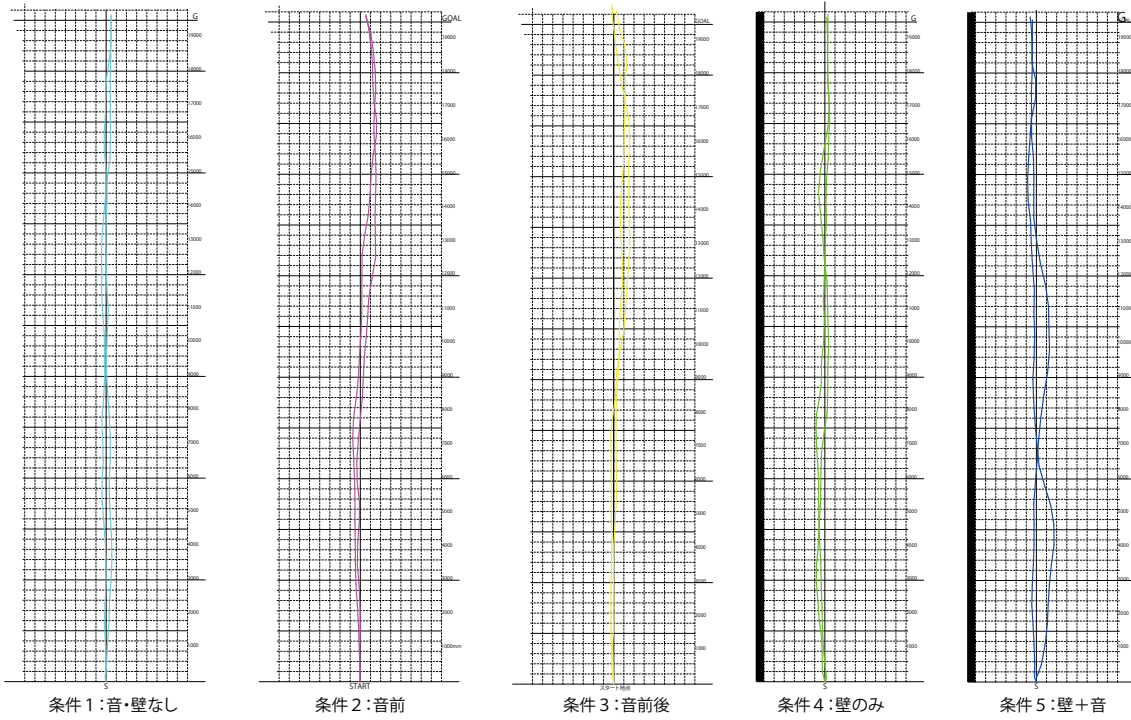
被験者 A



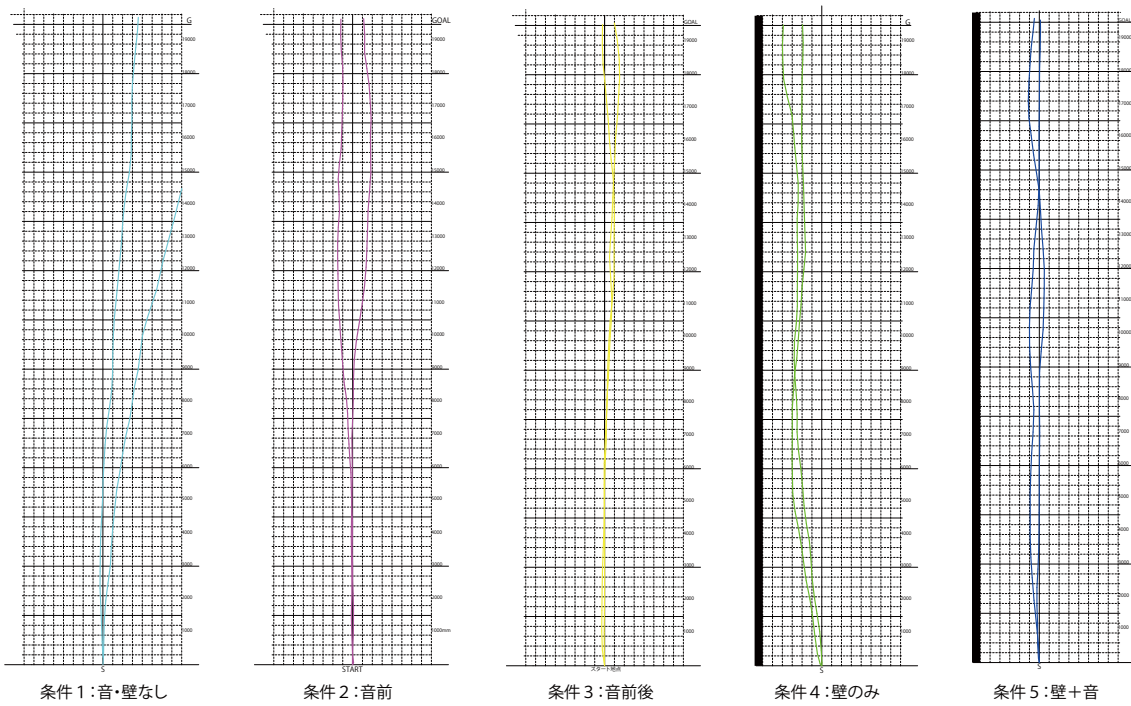
被験者 B



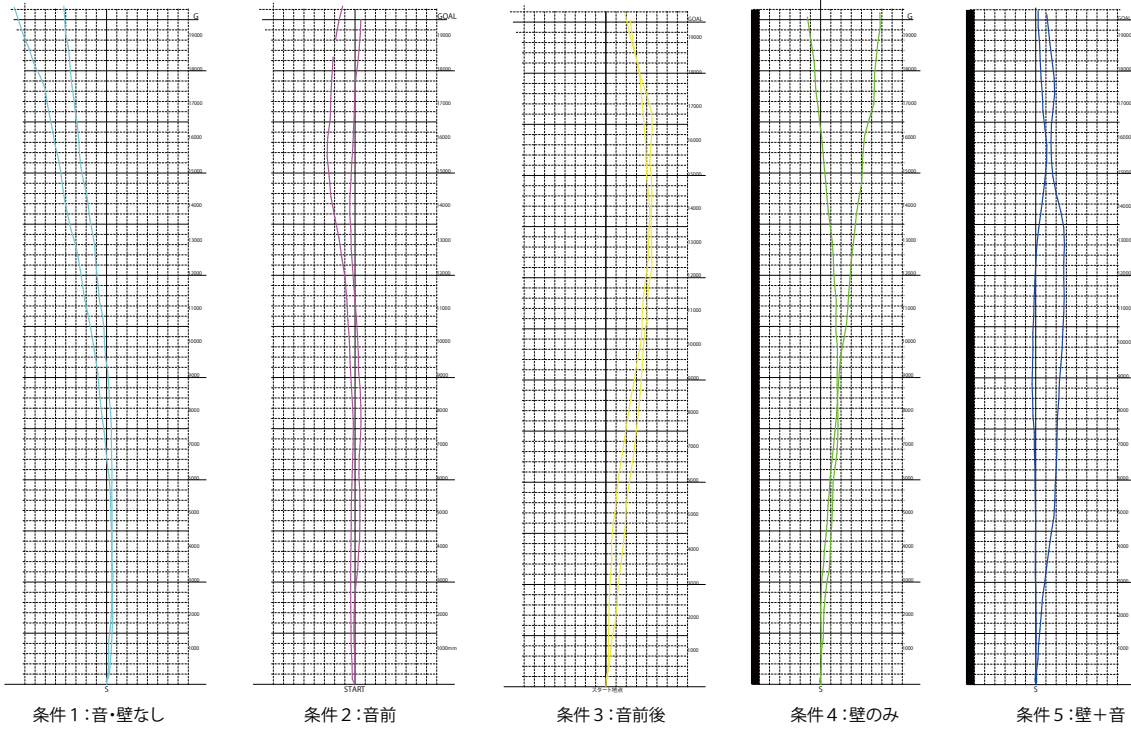
被験者 C



被験者 D



被験者 E



積雪路面上屋外実験:歩行偏軌量(中央線から左が負、右が正)

条件1:音なし

被験者	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
1	0	-156	-693	-1171	-1471	-1516	-1499	-1486	-1675	-2139	-2946
1	0	936	2096	2299	2436						
2	0	157	129	253	160	164	288	160	32	-77	-133
2	0	203	70	144	110	213	220	-96	-269	-312	-370
3	0	-221	-512	-495	-341	-56	234	922	1418	1727	2018
3	0	-3	70	382	657	507	463	265	68	-666	-1466
4	0	302	462	389	421	488	605	570	504	348	142
4	0	130	35	-333	-985	-1890	-1843				
5	0	167	127	-4	-356	-131	600	686	-134	-252	14
5	0	426	656	497	127	-435	-780	-1237	-952	-788	-520
6	0	-135	-576	-1117	-1708	-2325	-2808				
6	0	-871	-1262	-1831	-2113	-2200	-2131				
7	0	738	1248	1367	1300	579	52	-549	-855	-289	-567
7	0	132	-305	-504	-551	-723	-1061	-1336	-1691	-1404	-2648
8	0	82	313	375	636	708	799	836	941	1034	2006
8	0	373	1031	1579	1821	1839	2100	2421	2574	2592	2721
9	0	-139	82	570	1269	1854	2121	2111	2260	2612	3100
9	0	-21	-74	-589	-717	-1440	-1499	-1583	-1537	-1449	-1288
10	0	480	849	1473	2039	2499	2786				
10	0	994	1457	1791	2057	2015	2078	2214	2362	2480	2577
11	0	144	648	918	870	872	1144	1187	1192	854	718
11	0	248	634	804	911	1157	1291	1084	813	185	-437

条件2:単一音源主軸傾斜配置

被験者	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
1	0	-598	-964	-982	-953	-799	-664	-400	-548	-351	-42
1	0	-295	-366	-292	-159	40	152	18	-72	-108	-14
2	0	375	478	711	909	902	822	578	537	588	474
2	0	137	275	317	306	455	423	234	69	99	157
3	0	-73	-171	-686	-572	-408	-236	309	140	338	584
3	0	-429	-570	-945	-1103	-1019	-987	-766	-442	463	694
4	0	124	157	-83	-68	-84	-49	200	191	225	204
4	0	298	121	232	297	407	454	410	372	139	-15
5	0	106	-65	-59	-182	69	-9	-58	-36	73	299
5	0	-65	-125	43	-96	-325	-345	-342	-636	-46	381
6	0	-467	-418	-434	-367	-405	-411	-398	-490	-215	-259
6	0	-215	-445	-498	-503	-571	-627	-656	-902	-571	57
7	0	323	680	1284	1518	1394	1354	1146	958	501	-389
7	0	-32	98	301	558	804	987	897	750	342	-941
8	0	495	1387	1741	1688	1444	1553	1811	1684	1218	-107
8	0	162	657	1242	1324	1424	1442	1678	1288	983	196
9	0	-476	-660	-896	-737	-473	-451	-566	-314	-348	-323
9	0	-479	-713	-756	-602	-379	-219	-65	-162	87	92
10	0	-607	-755	-773	-880	-917	-445	52	265	843	1517
10	0	-210	-289	-92	80	139	-209	-315	-794	-1369	-1770
11	0	-74	5	-87	-329	-474	-891	-1124	-1330	-1097	-490
11	0	-44	-153	-234	-555	-870	-1135	-1190	-946	-429	-30

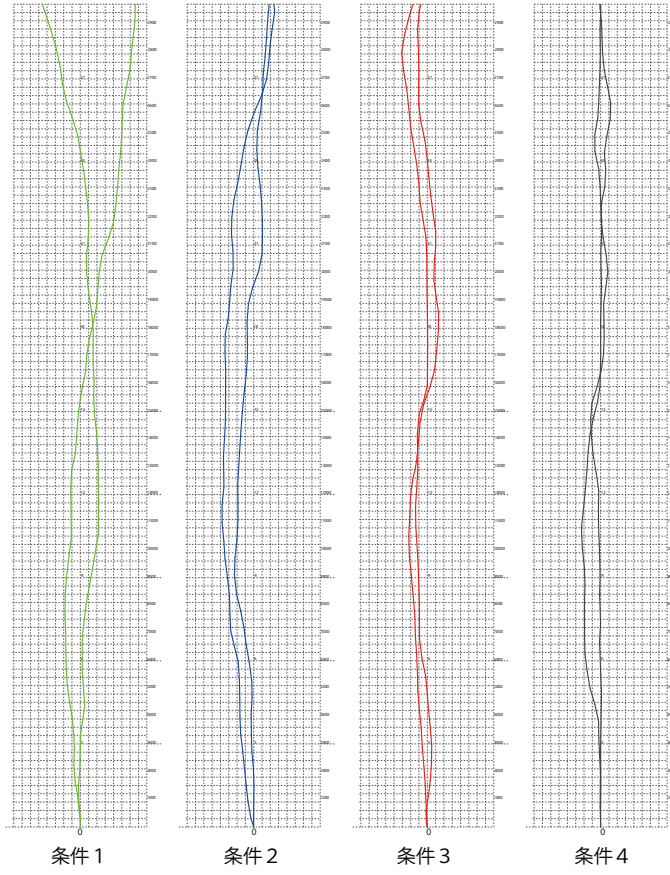
条件3:複数音源主軸傾斜配置

被験者	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
1	0	-315	-403	-423	-595	-605	-595	-804	-687	-586	-712
1	0	-749	-858	-774	-919	-655	-511	-382	-295	-323	-455
2	0	285	497	716	884	1036	1030	1203	1235	1260	986
2	0	68	-53	-109	-196	-263	-310	-498	-510	-682	-490
3	0	-187	-375	-571	-596	-181	391	303	6	-309	-166
3	0	156	-172	-315	-397	-259	11	-35	-394	-804	-424
4	0	68	-81	-156	-36	61	107	9	-74	-38	-56
4	0	-12	-9	-143	-90	262	341	556	187	139	-64
5	0	254	318	289	16	5	135	611	632	95	-37
5	0	27	-33	-125	-476	-513	-141	13	-264	-453	-66
6	0	-177	-226	-161	-50	5	163	71	-217	-99	225
6	0	62	104	258	432	748	886	1440	1410	1357	150
7	0	253	437	600	544	324	108	330	290	348	338
7	0	37	8	67	217	298	639	1161	1447	1603	767
8	0	94	389	734	1021	944	1093	1236	1212	809	380
8	0	77	136	275	435	607	240	330	456	657	470
9	0	-290	-340	-1279	-1637	203	368	1402	2307	2458	2519
9	0	-842	-995	-402	-152						
10	0	-157	-155	581	2148	2504	2661	2871	2903	2912	2632
10	0	175	123	404	715	1024	1165	856	172	-363	-1061
11	0	208	232	297	215	-18	-314	-712	-1063	-1397	-1056
11	0	-256	-511	-476	-315	-246	-423	-924	-618	-327	78

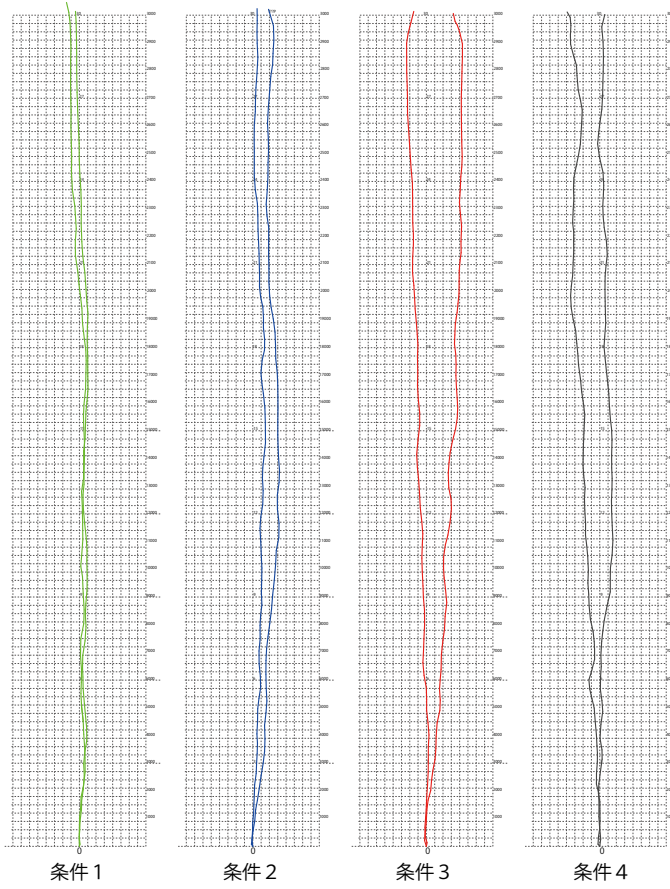
条件4:多音源主軸垂直下向配置

被験者	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
1	0	-101	-132	-212	-404	-241	-539	-1046	-771	-39	-25
1	0	-30	-504	-678	-636	-504	-291	-117	-234	-875	-831
2	0	-90	-390	-394	-531	-566	-813	-963	-938	-711	-1110
2	0	66	28	338	433	430	159	231	136	97	177
3	0	-55	-534	-574	-568	-201	0.2	19	-123	-36	-2
3	0	2	-14	-21	-70	-336	123	139	162	195	-39
4	0	149	-547	-442	-124	-278	-218	8	-85	88	736
4	0	2	43	255	479	247	168	176	248	122	179
5	0	-166	-553	-968	-902	-513	291	516	600	-445	-1297
5	0	-93	-171	-182	-210	129	103	201	84	222	116
6	0	-106	-130	-5	-98	-4	31	238	118	-144	-177
6	0	303	-113	-441	-587	-364	504	580	430	-1300	-1939
7	0	-19	-237	-584	-531	4	131	160	117	-134	-93
7	0	100	89	-240	-247	-52	69	217	399	-54	-60
8	0	21	-83	-82	99	75	61	215	219	-7	-213
8	0	-54	-205	-205	-173	-110	-116	-90	83	34	18
9	0	245	2	74	657	596	-1486	-1728	-340	-27	-598
9	0	708	148	18	700	527	43	495	1232	304	-1343
10	0	-325	-416	-706	-862	-247	1902	2417	1896	-2387	
10	0	338	128	-163	-80	-353	-258	1125	203	-289	1649
11	0	194	-203	-331	-40	146	111	521	-343	-232	124
11	0	102	48	-595	-1056	-192	690	1143	-32	-1714	-2279

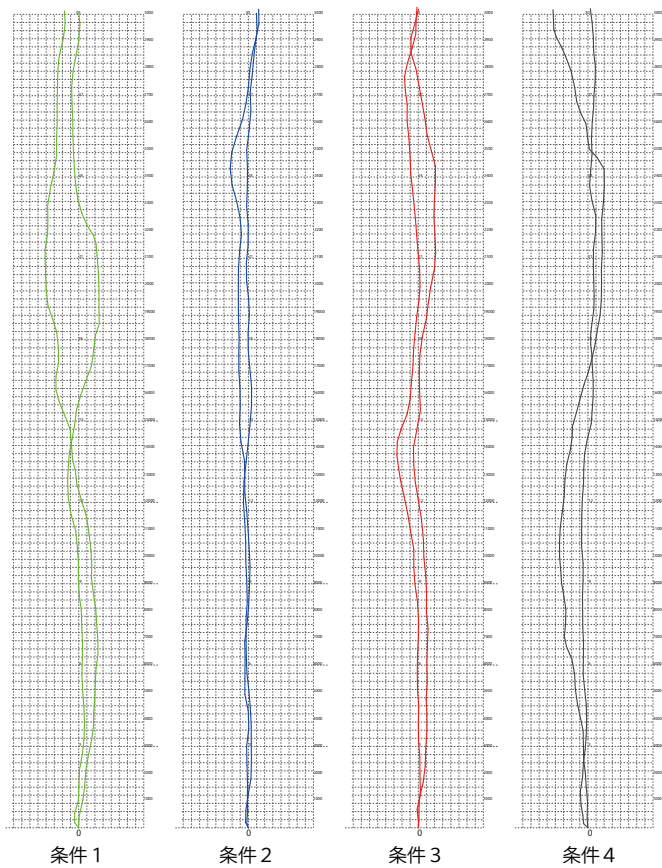
被験者 1



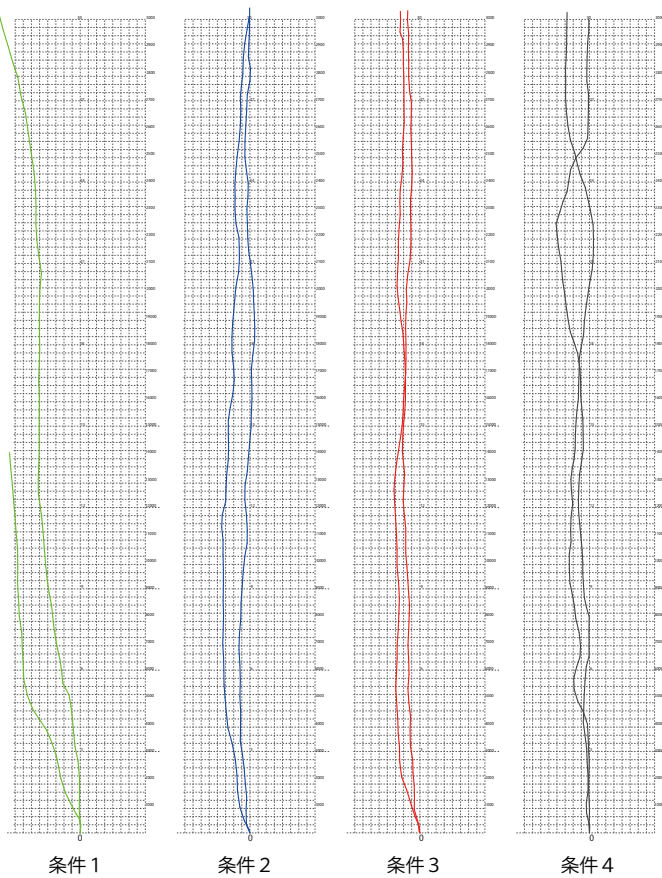
被験者 2



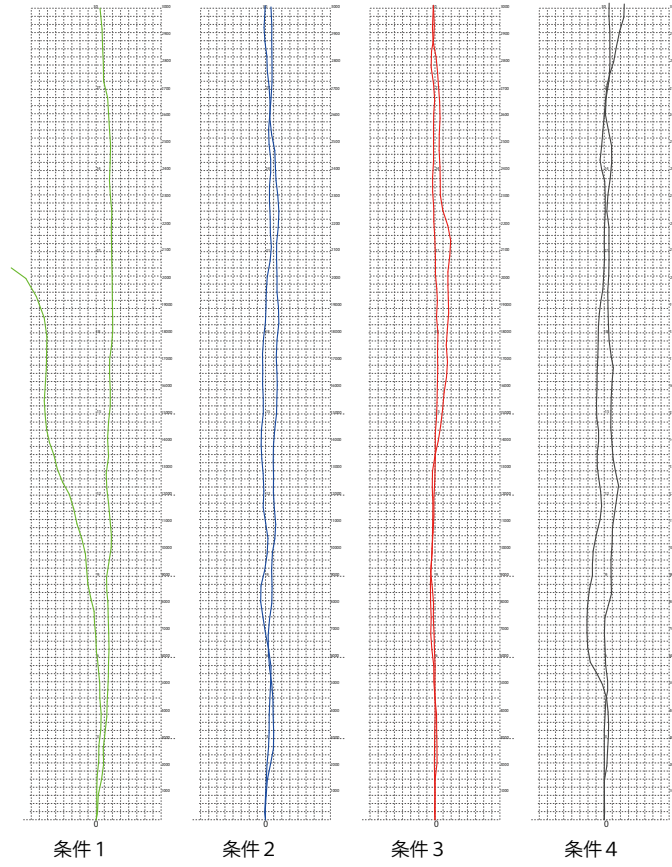
被験者 3



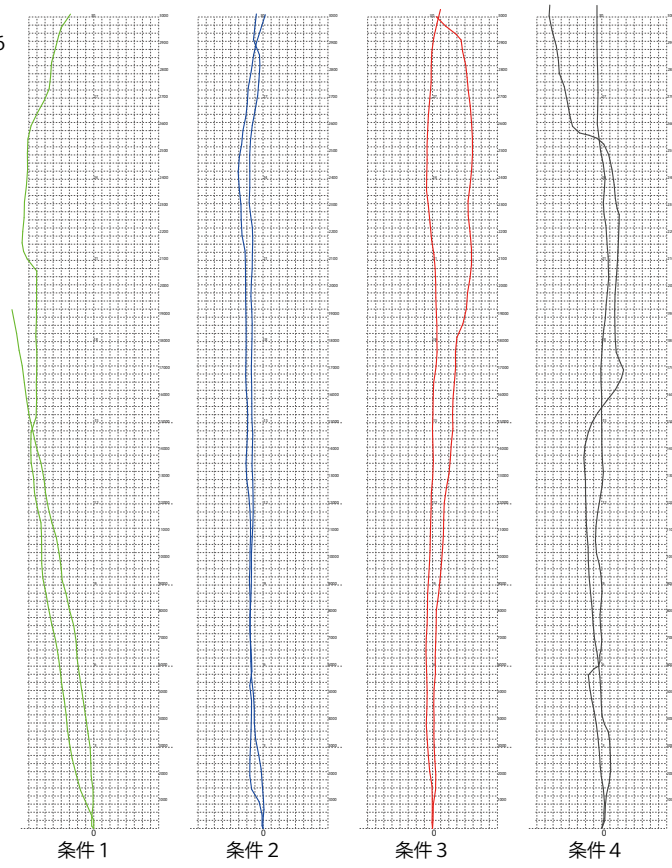
被験者 4



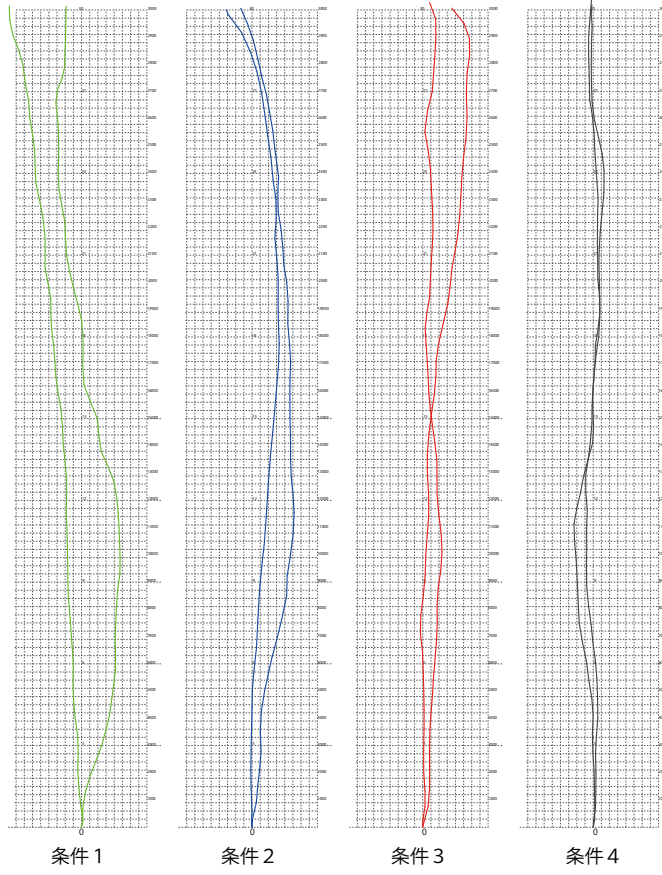
被験者 5



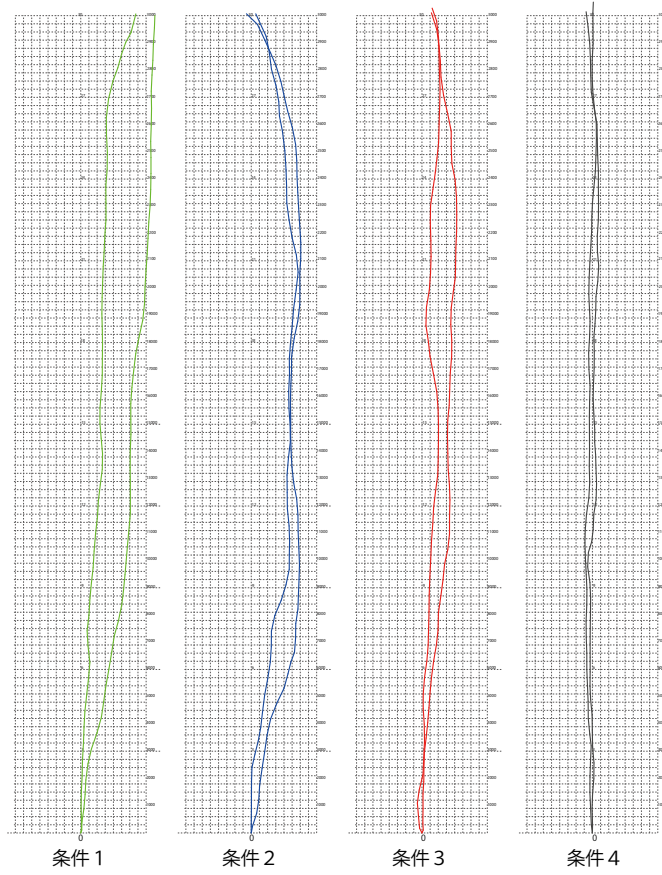
被験者 6



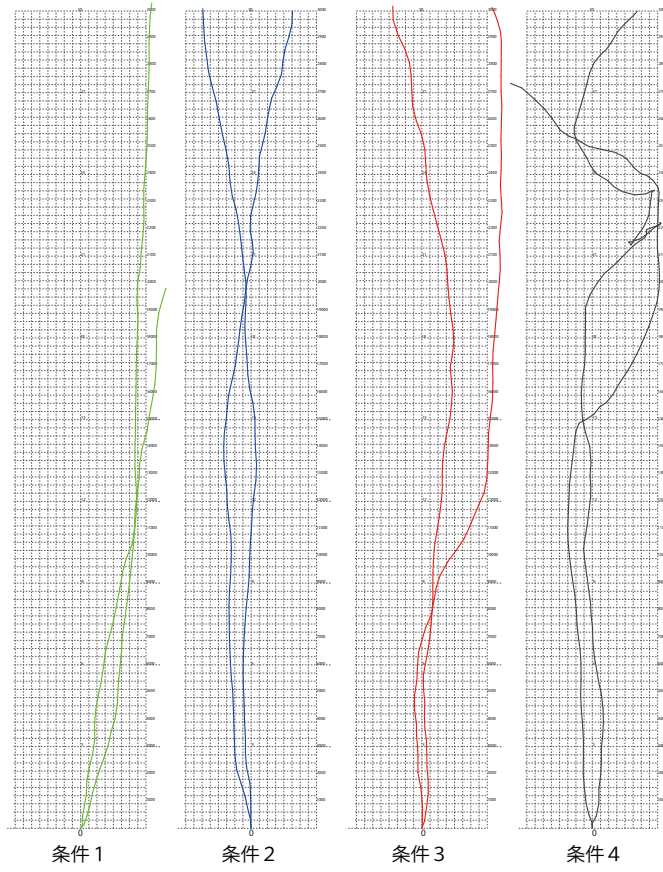
被験者 7



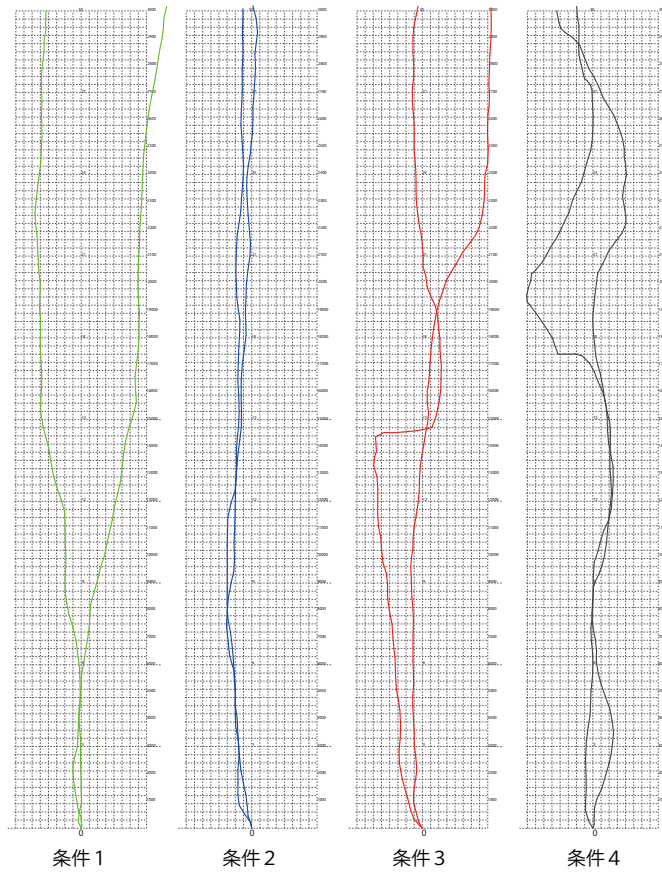
被験者 8



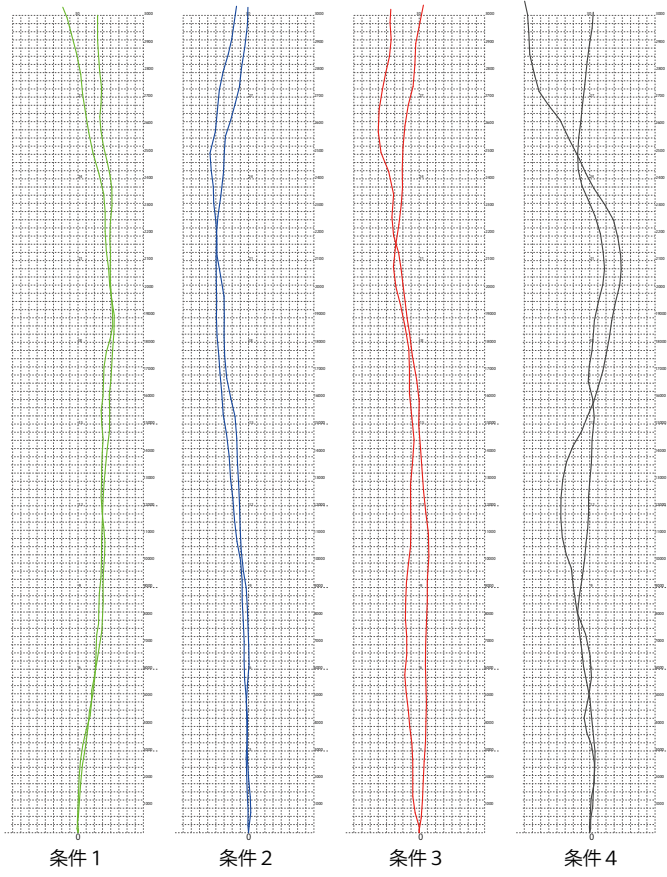
被験者 10



被験者 9



被験者 1 1



屋外歩行実験：歩行偏軌量(中央線から左が負、右が正)

条件1 ビヨビ中大

被験者	0	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	30
1	0	306	403	551	402	274	287	244	221	315	333	500	670	572	261	242	216	180	122	57	23	-132	-106	131	174	189	302
	0	125	199	260	343	427	503	633	679	712	705	628	541	416	289	-89	-355	-526	-753	-877	-1049	-1122	-955	-563	-135	60	612
2	0	-44	-104	-120	-72	-68	5	-12	-12	39	149	223	258	384	255	184	288	361	418	143	385	393	366	257	90	83	5
	0	100	64	-31	-101	-116	-223	-191	-157	-174	-236	-285	-322	-281	-241	-255	-252	-214	-133	-63	-69	-101	-88	-11	32	119	268
3	0	690	644	146	146	-24	-46	-210	-325	-316	-128	4	21	-78	-52	-39	-121	-141	-196	-268	-278	-212	-122	-67	-51	-104	-96
	0	69	71	-39	-39	-189	-275	-284	-285	-295	-297	-268	-204	-217	-246	-287	-285	-384	-476	-548	-549	-509	-418	-250	-230	-282	-681
4	0	36	126	173	173	192	296	345	399	443	438	325	688	216	12	-52	-26	-32	-50	-128	-128	-222	-207	-249	-299	-254	-244
	0	-63	-76	136	136	284	491	511	525	611	783	845	819	808	590	544	552	622	673	849	1139	-1190	1099	581	341	132	24
5	0	-14	-27	-74	-244	-400	-430	-411	-386	-338	-283	-201	-100	35	159	348	488	600	660	857	970	1144	1189	1198	768	405	-295
	0	327	331	274	298	292	367	431	452	483	426	379	341	274	345	468	503	415	371	367	344	408	516	615	646	621	466
6	0	-481	-670	-818	-1014	-1114	-1121	-1272	-1384	-1328	-1290	-1116	-881	-487	-189	224	618	1027	1573	2034	2400						
	0	-65	25	90	76	39	105	160	188	157	126	166	158	66	25	-64	-103	-207	-278	-364	-460	-520	-526	-506	-425	-335	-127
7	0	271	361	416	530	582	499	389	322	412	557	748	906	974	1076	1175	1203	1218	1276	1360	1405	1346	1348	1291	1133	989	565
	0	-250	-246	-269	-303	-299	-272	-249	-272	-240	-270	-249	-256	-320	-409	-425	-409	-391	-324	-249	-132	-58	-26	37	73	139	518
8	0	192	244	299	410	404	488	567	656	701	714	761	912	1024	1144	1280	1434	1536	1631	1646	1574	1548	1536	1427	1397	1459	1704
	0	72	2	21	8	-157	-314	-430	-542	-580	-646	-761	-864	-828	-813	-729	-669	-583	-496	-451	-428	-295	-181	-35	106	170	225
9	0	188	47	-329	-481	-955	-845	-1022	-1279	-1452	-1465	-1223	-710	282	874	1470	1933										
	0	-35	-104	-244	-463	-574	-686	-755	-778	-788	-714	-474	-318	-286	-259	-154	-53	43	139	131	210	-133	-508	-631	-583	-503	-754

条件1 ビヨビ中

被験者	0	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	30
1	0	174	333	416	535	556	654	746	780	781	812	1029	1217	1098	747	628	571	499	370	398	441	663	711	553	584	577	143
	0	-52	77	128	261	320	368	497	576	617	663	731	670	513	349	131	-12	-209	-431	-482	-492	-516	-323	-47	101	174	-336
2	0	-29	-73	-121	-149	-124	-130	-121	-65	0	56	104	175	268	306	418	545	518	540	593	654	644	491	296	161	85	28
	0	161	138	275	381	365	416	491	535	612	779	841	825	257	113	168	299	471	595	659	624	484	390	49	-186	-355	-797
3	0	352	412	438	417	353	252	128	44	17	-29	-51	-18	2	-155	-455	-675	-849	-910	-1030	-1111	-1166	-1270	-1353	-1260	-1011	-414
	0	-266	-421	-509	-593	-666	-790	-884	-956	-1029	-1147	-1106	-949	-704	-423	-171	-23	32	30	18	21	24	24	-1	-95	-278	-901
4	0	-324	-324	-380	-309	-226	-176	-202	-200	-193	-241	-235	-239	-244	-129	73	170	169	163	43	144	121	107	-6	-193	304	851
	0	3	38	56	165	222	304	394	528	659	710	681	683	511	343	181	3	-87	-197	-279	-178	-136	-161	-206	-119	-44	61
5	0	-99	-83	-141	-134	-149	-162	-176	-143	-85	16	105	156	143	33	34	74	174	268	348	450	476	439	292	157	114	-159
	0	305	317	304	300	286	265	223	224	223	224	217	62	-116	-205	-48	-36	-51	-59	-100	-130	-105	36	54	45	22	-270
6	0	147	175	277	340	380	388	392	411	456	486	473	504	537	500	405	337	300	193	156	109	36	-3	-10	-41	-53	-142
	0	23	25	-64	-140	-167	-168	-198	-249	-288	-389	-511	-650	-761	-807	-852	-1056	-1195	-1322	-1441	-1682	-1972					
7	0	-9	-21	0	156	190	128	99	63	25	26	19	-25	-20	-100	-176	-264	-215	-169	-121	-136	-92	0	41	94	189	559
	0	219	269	348	456	541	571	679	765	875	914	893	874	803	661	475	256	48	-263	-601	-844	-993	-1035	997	-1030	-1033	-948
8	0	91	103	101	117	146	170	189	164	90	64	51	21	13	3	12	17	-23	-35	-27	-27	-10	-1	-12	6	49	182
	0	-79	-153	-119	-68	13	37	19	-94	-160	-130	-38	3	16	49	50	99	155	250	408	550	652	668	653	660	661	826
9	0	-253	-370	-441	-491	-416	-439	-518	-674	-702	-787	-878	-757	-511	-226	-21	157	277	346	403	464	468	296	91	-132	-226	-617
	0	163	79	-137	-323	-516	-700	-916	-1051	-1143	-1169	-1186	-1094	-717	-311	39	363	651	713	666	675	384	89	-65	-171	-229	-489

条件1 ビヨビ小

被験者	0	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	30
1	0	465	679	835	920	896	883	929	1030	1088	1079	1080	1026	833	753	649	446	289	220	138	184	250	333	399	315	266	274
	0	123	304	361	388	556	715	884	1001	1049	1132	1155	1059	1058	722	397	158	-95	-295	-489	-519	-504	-478	-155	-49	80	-269
2	0	-475	-627	-705	-587	-238	-366	-503	-514	-512	-478	-426	-399	-382	-419	-441	-452	-445	-460	-432	-379	-318	-267	-123	-19	23	165
	0	-122	-192	-202	-243	-299	-341	-425	-539	-572	-675	-766	-955	-579	-495	-700	-778	-809	-874	-897	-916	-1052	-1086	-1033	-759	-563	-552
3	0	684	696	512	372	194	55	89	172	202	110	-48	-140	-180	-150	-201	-185	-202	-369	-562	-685	-791	-864	-891	-701	-524	-11
	0	-38	-135	-239	-315	-416	-523	-705	-869	-949	-1059	-1018	-923	-802	-579	-123	-2	4	23	17	-82	-173	-231	-257	-327	-463	-995
4	0	39	70	135	190	197	252	226	227	167	207	142	85	-30	-82	-95	-203	-292	-292	-308	-302	-271	-891	-245	-205	-170	-180
	0	21	65	228	236	364	405	417	592	810	934	994	1047	1108	448	143	-50	-239	-384	-579	-703	-838	-829	-733	-684	-692	-224
5	0	308	362	415	399	453	337	225	146	191	276	293	195	72	-65	-72	-55	-118	-248	-280	-355	-320	-214	-172	-99	-89	-277
	0	304	430	401	338	341	401	427	410	356	336	207	47	-112	-185	-239											

屋外歩行実験：歩行偏軌量（中央線から左が負、右が正）

学習前

条件2 水 大

被験者	0	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	30
1	0	179	312	320	460	600	628	635	665	742	744	628	483	115	-12	-7	4	-13	68	104	94	-15	-88	-34	-67	57	290
	0	327	373	296	221	287	421	573	670	687	638	450	321	136	84	17	-39	-120	-146	-159	-137	40	83	10	-6	48	15
2	0	305	307	284	259	218	231	223	175	55	-157	-210	-182	-35	215	276	267	261	239	176	146	147	133	-5	14	129	295
	0	-259	-347	-450	-479	-592	-736	-803	-823	-723	-600	-554	-455	-479	-549	-760	-920	-1100	-1204	-1263	-1171	-984	-712	-525	-289	-206	-91
3	0	-18	-36	-64	-109	-72	-13	40	61	60	47	34	22	9	-5	-61	-142	-191	-248	-283	-293	-380	-418	-355	-312	-309	-624
	0	106	39	-2	-101	-195	-281	-343	-395	-511	-595	-598	-479	-373	-355	-465	-621	-765	-900	-999	-1044	-862	-574	-270	-94	-145	-293
4	0	289	334	408	535	682	743	890	1364	1651	1547	1442	1127	479	299	104	39	30	50	-7	-21	6	67	-13	-173	-233	-318
	0	34	47	94	120	244	304	470	651	803	667	592	502	424	436	566	622	593	438	315	255	214	155	80	-25	-184	-323
5	0	33	36	-72	18	51	70	92	184	226	233	217	274	286	269	261	197	160	125	-22	-148	-244	-183	-111	87	63	210
	0	248	214	7	-39	-72	-147	-263	-326	-330	-349	-304	-255	-310	-339	-282	-270	-284	-233	-318	-403	-277	-101	-32	-76	-150	-750
6	0	-677	-865	-1058	-1326	-1452	-1628	-1703	-1736	-1918	-1888	-1685	-1482	-1260	-1178	-1154	-1092	-957	-698	-712	-744	-730	-731	-820	-1111	-1109	-780
	0	381	514	597	820	1007	1105	1208	1293	1352	1434	1529	1452	1266	1096	1024	854	765	683	576	554	582	804	893	816	776	790
7	0	-802	-1210	-1443	-1484	-1500	-1541	-1544	-1500	-1270	-1047	-939	-935	-1060	-1200	-1262	-1186	-1204	-1151	-1156	-1039	-885	-714	-451	-140	194	1182
	0	-180	-25	210	329	268	99	-22	-190	-387	-603	-839	-1278	-1745	-1750	-1569	-1565	-1753	-1973	-2288	-2385						
8	0	-25	-75	-80	-64	-61	-213	-235	-324	-448	-555	-623	-674	-841	-1039	-1229	-1363	-1455	-1538	-1676	-1870	-1998	-2093	-2139	-2130	-2117	-1993
	0	484	570	578	637	650	622	631	604	599	613	604	521	432	403	360	414	387	248	189	124	80	124	84	19	41	-65
9	0	-224	-267	-386	-242	-245	-283	-305	-321	-423	-410	-429	-446	-447	-574	-600	-651	-788	-995	-1184	-1372	-1466	-1521	-1210	-780	-315	1812
	0	136	58	28	-13	-172	-325	-424	-540	-575	-525	-333	-202	-113	-39	46	50	122	296	443	544	680	617	297	121	87	349

条件2 水 中

被験者	0	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	30
1	0	12	162	219	246	304	304	344	305	265	310	150	44	664	92	100	-84	-165	-300	-392	-416	-322	-169	-126	-136	-149	34
	0	255	303	299	271	329	446	510	593	660	541	399	246	157	95	116	169	172	184	129	81	26	60	-31	18	89	179
2	0	-273	-388	-299	-317	-527	-634	-649	-729	-794	-869	-794	-596	-345	-182	124	-32	40	89	212	339	427	389	211	48	-7	320
	0	312	324	364	460	538	671	775	923	1039	1149	929	526	294	40	124	-269	-427	-542	-655	-680	-611	-422	-256	-178	-152	-423
3	0	177	227	251	192	162	155	167	191	201	243	175	128	44	-48	-262	-465	-643	-772	-918	-909	-859	-739	-489	-185	-51	10
	0	242	-273	-259	-113	-17	22	93	191	241	287	184	71	-98	-259	-378	-506	-635	738	-810	-741	-527	-384	-211	-24	-28	-225
4	0	7	43	123	159	50	189	219	250	331	372	290	32	-58	-61	-30	-15	3	57	48	-97	-160	-148	-143	-180	-235	-102
	0	65	67	68	18	24	91	147	132	160	170	221	215	164	141	152	120	123	64	24	7	11	-13	-88	-174	-189	9
5	0	274	255	120	12	-79	-149	-153	-165	-193	-223	-244	-153	-109	8	0	-52	-75	-33	-19	-18	0	43	49	-12	-126	-355
	0	-120	-157	-232	-312	-335	-386	-486	-526	-571	-565	-452	-399	-388	-404	-414	-514	-624	-765	-854	-837	-665	-372	-107	-22	43	-845
6	0	-298	-394	-502	-564	-595	-662	-717	-646	-632	-562	-652	-769	-936	-1207	-1400	-1529	-1490	-1348	-1155	-1135	-1243	-1417	-1421	-1267	-1173	-1201
	0	-3	-33	4	141	304	410	438	593	585	574	607	692	673	787	896	920	876	837	826	721	613	529	414	224	65	-523
7	0	-720	-1029	-1312	-1495	-1545	-1557	-1352	-1335	-1574	-1652	-1592	-1585	-1600	-1631	-1535	-1530	-1607	-1566	-1553	-1429	-1305	-1254	-1169	-1047	-996	-659
	0	519	-701	-841	-952	-1033	-1176	-1206	-1222	-1249	-1317	-1437	-1482	-1520	-1599	-1729	-1782	-1921	-1942	-1857	-1808	-1684	-1448	-1172	-954	-802	-307
8	0	-130	-162	-113	-21	71	-31	-89	-83	-116	-166	-129	-22	73	108	91	167	218	223	212	288	358	376	267	212	190	79
	0	-337	-383	-426	-425	-452	-508	-500	-545	-646	-688	-725	-768	-805	-780	-881	-995	-1043	-1047	-1099	-1121	-1143	-1119	-1151	-1203	-1253	-1189
9	0	498	729	628	456	553	578	626	694	674	767	693	483	391	313	308	231	215	169	-38	-196	-256	-325	-164	71	206	572
	0	306	240	131	-82	-201	-290	-343	-390	-343	-283	-122	-90	-233	-218	-221	-212	-143	-109	-51	-12	24	40	46	73	65	226

条件2 水 小

被験者	0	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	30
1	0	149	260	265	379	579	719	883	1076	1215	1401	1392	948	561	115	-251	-315	-367	-418	-454	-480	-410	-172	-63	-10	68	233
	0	93	142	141	185	246	270	351	450	553	561	535	348	134	95	109	145	146	146	94	-98	-171	-109	-99	-122	16	49
2	0	-374	-521	-345	-236	-286	-344	-351	-313	-312	-285	-267	-103	50	50	-16	-59	-123	-85	-47	0	109	147	84	88	189	516
	0	70	100	101	57	-33	-137	-153	-137	-150	-72	18	23	-171	-425	-579	-724	-850	-928	-947	-993	-944	-742	-481	-280	-200	171
3	0	123	157	-77	122	138	145	134	154	193	264	329	376	303	-37	-349	-433	-412	-390	-437	-540	-439	-361	-315	-297	-356	-854
	0	-117	-107	140	-87	-107	-201	-257	-304	-348	-421	-448	-475	-540	-514	-535	-583	-641	-764	-837	-886	-861	-769	-380	-225	-152	-190
4	0	307	362	425	536	631	795	916	1135	1291	1475	1633	1618	1077	454	234	87	106	371	668	731	686	631	244	-91	218	285
	0	200	258	276	295	329	393	451	496	588	576	554	455	415	485	533	528	529	554	584	595	584	458	325	260	293	271
5	0	166	140	32	-12	-83	-114	-101	-34	9	137	361	412	260	153	89	36	0	27	94	85	37	49	50	15	1	-74

屋外歩行実験：歩行偏軌量(中央線から左が負、右が正)

学習後

条件2 水 大

被験者	0	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	30
1	0	153	241	316	366	522	713	880	1133	1103	1104	902	621	398	186	-129	-219	-216	-326	-354	-205	-74	33	19	74	135	488
0	0	161	207	193	165	407	581	706	911	958	797	555	401	186	-86	-202	-238	-376	-414	-402	-189	20	19	-32	-48	-8	-79
2	0	328	309	159	87	142	156	121	115	132	73	92	122	1	-168	-333	-320	-328	-466	-602	-600	-475	-397	-117	-77	-430	-822
0	0	29	-45	-128	-298	-415	-414	-405	-277	-116	48	193	166	-33	-190	-223	-286	-307	-291	-226	-154	-5	157	183	-16	-149	-101
3	0	262	236	127	16	0	0	31	15	0	-1	6	12	-11	-22	-34	-162	-128	-108	-233	-259	-293	-294	-199	-199	-262	-347
0	0	-100	-194	-148	-158	-261	-301	-350	-446	-410	-451	-441	-340	-158	-82	-53	-93	-83	-81	-155	-182	-215	-241	-263	-267	-311	-420
4	0	114	190	228	305	315	347	423	438	498	438	403	350	182	45	-18	-76	-9	-93	-190	-152	-3	-70	-99	-186	-242	-236
0	0	21	30	88	42	134	100	105	38	103	192	120	49	-84	-126	-186	-209	-275	-277	-293	-385	-316	-124	-138	-192	-258	-406
5	0	-33	-124	-122	-91	-62	-49	26	104	174	290	385	294	103	1	-110	-208	-273	-326	-428	-477	-526	-453	0	112	95	-65
0	0	-31	-86	-154	-201	-259	-330	-382	-427	-374	-328	-345	-310	-336	-300	-308	-340	-390	-484	-484	-512	-453	-207	-33	24	25	-147
6	0	-95	-157	-291	-406	-429	-410	-452	-469	-415	-371	-339	-325	-270	-131	-25	15	48	84	73	55	29	-72	-339	-43	8	134
0	0	-129	-150	-91	-86	-90	-73	1	47	153	232	315	315	154	269	385	435	483	535	716	887	883	531	214	-26	-142	-410
7	0	326	464	399	-108	-326	-477	-589	-786	-878	-907	-812	-430	-110	85	92	-81	-210	-269	-324	-461	-439	-133	193	595	443	234
0	0	260	161	-27	-211	-232	-580	-768	-934	-1032	-821	-437	-97	131	403	409	311	306	231	-9	-81	-21	40	193	297	238	-282
8	0	-17	13	44	-30	-61	0	42	35	0	-61	-164	-116	12	34	-85	-212	-259	-287	-226	-272	-272	-252	-109	-45	-64	-224
0	0	-50	-77	-29	49	41	88	143	163	162	162	166	112	28	45	175	237	239	226	224	173	108	28	-59	-179	-222	-94
9	0	-425	-286	153	319	443	569	637	685	800	929	1058	1096	699	294	76	9	47	33	5	-47	-137	-159	-34	109	208	352
0	0	-500	-518	-455	-304	-215	-53	-52	-39	27	131	230	184	-68	-25	42	112	235	277	319	196	171	49	-189	-237	-319	-388

条件2 水 中

被験者	0	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	30
1	0	24	108	210	283	338	414	437	453	431	410	354	223	185	171	164	152	81	-109	-232	-188	-150	-26	81	146	202	175
0	0	172	138	104	80	123	167	165	163	289	245	203	103	-11	-98	-154	-150	-104	-139	-241	-383	-435	-201	-145	-111	-35	144
2	0	-40	17	42	48	76	-4	-84	-124	-210	-218	-250	-197	-134	-113	-151	-195	-228	-239	-225	-231	-202	-37	64	80	155	310
0	0	36	68	61	25	-5	-28	6	28	55	199	280	297	54	-5	41	42	50	120	187	200	196	251	149	-146	-270	-366
3	0	121	149	76	40	28	14	-4	-45	-118	-195	-259	-186	-15	-66	-180	-218	-188	-228	-319	-448	-514	-370	-250	-190	-206	-405
0	0	-54	-113	-185	-243	-293	-327	-340	-356	-391	-400	-346	-315	-282	-249	-255	-268	-276	-241	-216	-210	-231	-250	-171	-209	-265	-315
4	0	200	290	338	449	513	452	422	476	542	606	557	363	122	17	-156	-259	-272	-372	-453	-518	-475	-368	-255	-228	-198	-148
0	0	78	82	52	138	250	290	255	250	308	297	308	312	161	93	86	150	258	206	61	12	-37	-221	-347	-333	-441	-394
5	0	711	432	163	9	53	24	35	85	206	345	356	269	282	310	379	353	365	360	384	409	302	177	7	-44	-42	-24
0	0	6	-109	-265	-319	-288	-216	-85	-3	-47	-215	-316	-435	-471	-368	-257	-58	124	160	115	86	116	68	-109	-186	255	-445
6	0	110	83	-22	-151	-157	-179	-221	-322	-376	-454	-242	-236	-253	-361	-454	-620	-823	-932	-1117	-1256	-960	-477	-246	-59	119	324
0	0	-213	-224	-191	-170	-177	-135	-109	-24	56	325	564	508	335	229	150	107	38	-113	-245	-352	-383	-318	8	57	44	183
7	0	267	307	188	-113	-470	-903	-1217	-1490	-1652	-1746	-1608	-1459	-1032	289	222	238	282	366	399	412	352	285	498	718	349	229
0	0	97	25	-56	35	-136	-269	-495	-657	-844	-797	-786	-593	-197	83	233	250	219	224	192	168	219	226	243	224	288	176
8	0	-189	-126	-14	-69	-86	-164	-204	-258	-325	-301	-219	-52	22	-32	-74	-135	-94	-109	-117	-119	-108	-7	41	15	-84	-67
0	0	64	55	30	-96	-172	-213	-270	-425	-394	-373	-309	-204	-79	-33	-24	-63	-94	-172	-307	-350	-296	-157	-61	-40	-28	-153
9	0	498	405	234	259	238	200	171	97	-45	-153	-351	-172	59	93	67	50	0	-96	-197	-311	-472	-559	-306	76	405	685
0	0	-43	18	-60	-176	-272	-356	-494	-684	-784	-718	-516	-361	-274	-238	-220	-202	-260	-275	-311	-403	-469	-431	-206	-37	134	539

条件2 水 小

被験者	0	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	30
1	0	19	121	251	406	535	551	636	708	745	727	714	462	135	-32	-142	-244	-352	-510	-633	-590	-610	-539	-136	-6	125	269
0	0	19	62	60	109	183	305	334	429	452	430	287	122	0	-25	-5	-49	-114	-141	-135	-77	-56	-84	-163	-198	-183	-50
2	0	-98	-131	-8	188	111	-98	-240	-355	-508	-735	-824	-802	-424	-260	-311	-383	-442	-499	-536	-609	-582	-473	-280	-91	-92	97
0	0	433	427	302	13	-70	-77	65	147	246	352	479	542	436	346	319	433	614	786	957	1154	1211	898	312	-166	-217	31
3	0	207	214	93	-10	-120	-155	-177	-144	-99	-40	0	-20	-84	-142	-229	-313	-330	-300	-311	-331	-440	-510	-451	-295	-255	-355
0	0	-88	-126	-63	-29	-56	-66	-60	-75	-107	-131	-141	-192	-247	-222	-258	-307	-376	-478	-552	-603	-545	-603	-235	-235	-275	-453
4	0	376	357	295	268	331	371	486	542	568	602	536	358	9	-143	-165	-184	-281	-90	-106	-136	-69	-121	-149	-134	-170	-340
0	0	-74	-54	-23	63	75	200	246	285	321	354	373	292	77	2	-18	-45	-51	-68	-102	-88	48	56	-19	-97	-178	-199
5	0	-478	-439	-249	-174	-156	-153	-81	0	18	90	175	144	27	52	149	205	221	297	388	474	529	402	73	52	8	-366
0	0	-75	-257	-231	-272	-265	-207	-192	-222	-294	-312	-274	-301	-316	-328	-321	-330	-363	-408	-435	-519	-					

屋外歩行実験：歩行偏軌量(中央線から左が負、右が正)

条件3 ビヨ+水 中中

被験者	0	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	30
1	0	145	163	253	303	330	319	320	392	647	771	831	931	878	466	339	300	227	146	67	101	110	181	186	70	39	21
0	54	193	252	253	340	390	423	502	555	423	230	99	39	69	146	171	146	158	148	3	61	90	-98	-168	-159	-174	
2	0	-89	-3	258	258	291	293	296	294	284	290	191	53	-61	-141	-236	-380	-462	-554	-692	-641	-516	-488	-381	-83	176	294
0	-209	-276	-393	-393	-471	-599	-766	-854	-1014	-1092	-1005	-745	-354	-245	-189	-59	66	128	25	-49	-110	-88	-288	-561	-737	-584	
3	0	359	429	188	35	17	26	75	174	479	666	678	554	270	-12	-251	-394	-398	-336	-270	-204	-134	-113	-216	-275	-411	-821
0	-4	-61	-87	-50	-40	-4	21	12	-40	-81	-138	-90	-97	-178	-262	-345	-404	-511	-682	-879	-936	-621	-352	-297	-296	-560	
4	0	-30	-44	-40	-26	-6	98	117	127	190	238	276	204	-64	-194	-200	-261	-341	-462	-552	-809	-744	-516	-322	-169	-180	-283
0	-519	-646	-594	-440	-504	-504	-437	-356	-355	-191	-85	-83	-69	-35	-14	-14	34	136	175	245	304	260	24	-132	-130	-322	
5	0	102	67	-53	-87	-28	31	79	112	154	157	68	-106	-87	30	94	110	73	40	145	145	-10	14	25	19	-45	-561
0	169	-1	-195	-167	-96	-28	32	108	178	149	86	-10	-40	14	195	230	263	289	164	-12	5	-117	-139	-164	-110	-299	
6	0	-263	-273	-247	-105	-146	-147	-42	103	198	277	262	109	-36	-212	-339	-538	-730	-853	-1079	-1299	-1422	-1467	-1500	-882	-804	-1004
0	53	56	59	-9	-63	-147	-280	-430	-407	-389	-288	-207	-289	-307	-317	-394	-459	-481	-529	-620	-649	-598	-444	12	202	614	
7	0	-285	-100	86	255	376	544	631	826	1058	1246	1078	751	471	217	75	-25	-12	-191	-389	-532	-735	-704	-410	-201	145	832
0	-163	-160	-135	41	100	88	118	152	189	113	77	118	61	36	-26	-225	-466	-637	-829	924	-923	-682	-311	30	289	837	
8	0	-16	16	62	73	108	174	260	265	144	23	0	34	68	93	111	160	279	356	329	318	382	330	274	202	216	527
0	99	192	106	-118	-155	-71	-23	8	7	-71	-94	-42	-49	-22	58	102	16	-79	-92	-137	-184	-170	-105	-3	110	158	
9	0	-228	-92	-95	-107	-88	-100	-124	-199	-218	-235	-151	96	148	189	250	290	205	216	213	200	231	312	264	190	73	-141
0	-265	-257	-308	-345	-334	-385	-486	-432	-421	-361	-270	-131	-66	-51	49	133	253	357	548	632	217	7	143	96	36	-30	

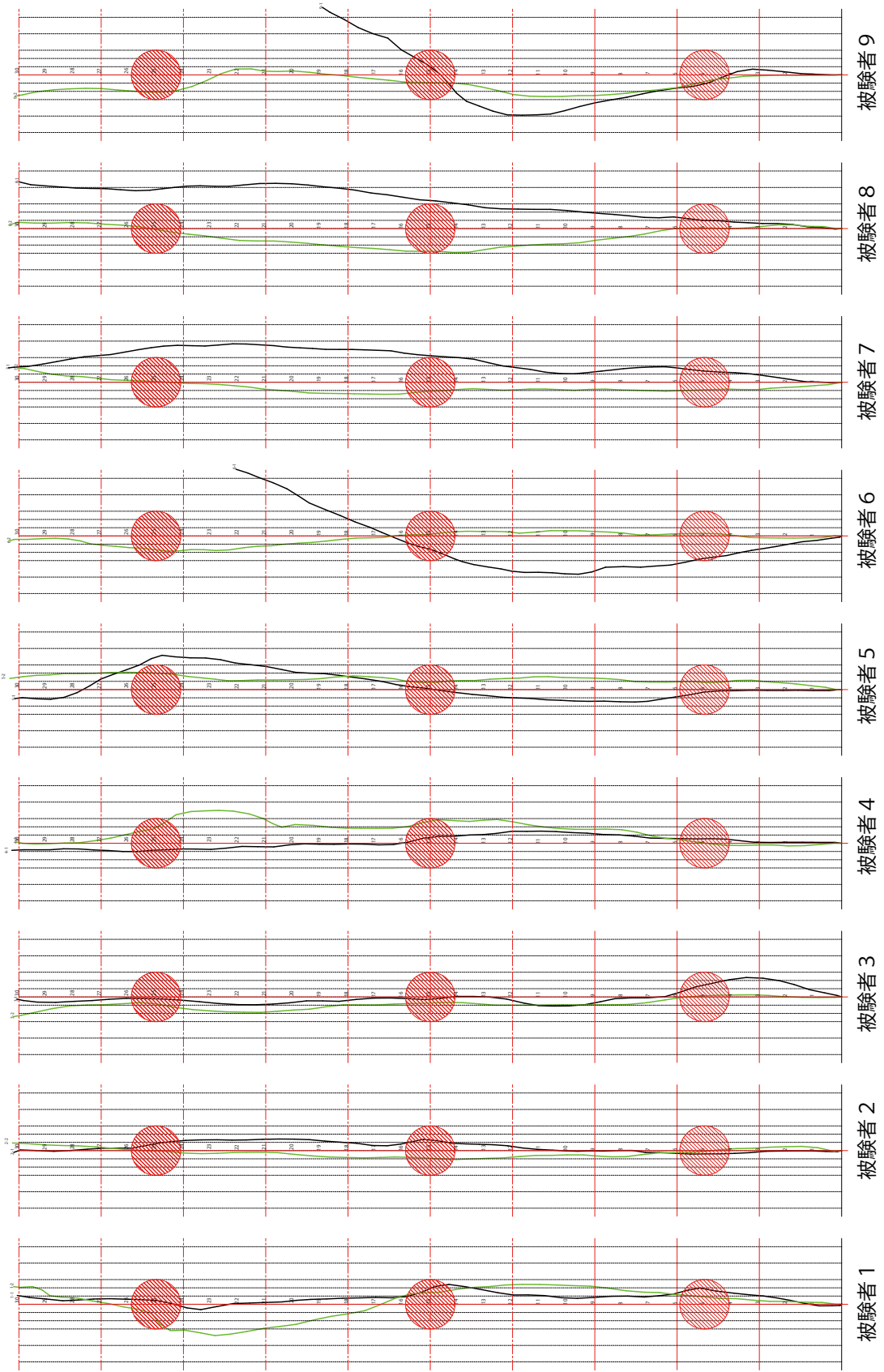
条件3 ビヨ+水 小中

被験者	0	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	30
1	0	325	381	333	338	409	444	410	482	593	742	770	622	378	191	35	-190	-233	-249	-266	-174	-120	-44	15	11	-27	137
0	166	77	85	94	210	288	370	422	482	545	553	491	310	-9	-96	-289	-479	-542	-607	-688	-719	-514	-363	-229	-221	-91	
2	0	-108	-136	-99	-16	-7	0	55	102	108	125	115	144	47	-129	-207	-193	-115	-121	-234	-367	-298	-196	-74	-77	26	307
0	-83	42	25	-135	-261	-313	-393	-396	-311	-221	-208	-156	-71	11	74	18	3	39	20	-72	-162	-169	-173	-227	-291	-191	
3	0	131	261	203	94	24	6	51	97	164	294	362	164	-60	-226	-463	-706	-977	-1203	-1413	-1529	1587	-1267	-1014	-805	-600	-698
0	-105	-129	-173	-251	-368	-558	-743	-774	-728	-748	-793	-695	-460	-326	-309	-257	-204	-184	-126	-75	-35	-17	-150	-340	-506	-900	
4	0	49	85	76	88	137	159	205	343	568	611	606	503	382	394	460	553	597	580	584	516	455	424	307	269	286	315
0	62	26	37	22	112	192	214	296	359	289	287	207	117	104	70	6	-58	-153	-172	-249	-304	-252	-178	-198	-218	-317	
5	0	104	130	8	-93	-93	-128	-125	-40	45	97	131	119	-74	-72	-69	-61	2	32	65	25	-37	-63	-29	-12	-62	-180
0	133	124	76	71	76	77	77	60	-8	-45	-19	-33	-36	-30	7	22	2	-63	-35	-71	-155	-92	-140	-219	-349	-528	
6	0	246	305	291	266	270	299	294	263	298	319	287	301	227	81	-36	-153	-206	-313	-550	-736	-896	-791	-249	-136	-222	-473
0	100	75	-67	-184	-167	-214	-329	-375	-452	-554	-480	-303	-215	-205	-203	-160	-100	-151	-255	-272	-155	19	-270	-55	64	189	
7	0	105	73	131	220	287	302	387	596	784	758	646	488	311	197	146	163	204	271	393	483	479	355	236	189	201	341
0	288	191	127	43	79	144	275	401	467	478	423	323	129	-135	-286	-471	-667	-850	-877	-836	-784	-596	-303	31	349	709	
8	0	7	52	73	69	125	221	298	287	328	314	235	166	109	92	60	21	-13	26	53	35	-3	-5	-3	-83	-106	-169
0	144	198	118	-11	-45	-57	-15	21	59	-20	-25	-172	-116	-155	-163	-139	-121	-60	-11	98	142	153	74	-15	-49	100	
9	0	-39	-12	-57	-82	-111	-125	-65	-58	-41	-50	-42	5	-64	-59	2	101	128	217	198	221	305	266	206	226	221	315
0	53	-16	-169	-316	-376	-424	-488	-490	-481	-342	-85	11	63	40	-5	-52	-37	3	118	130	122	45	22	57	96	-91	

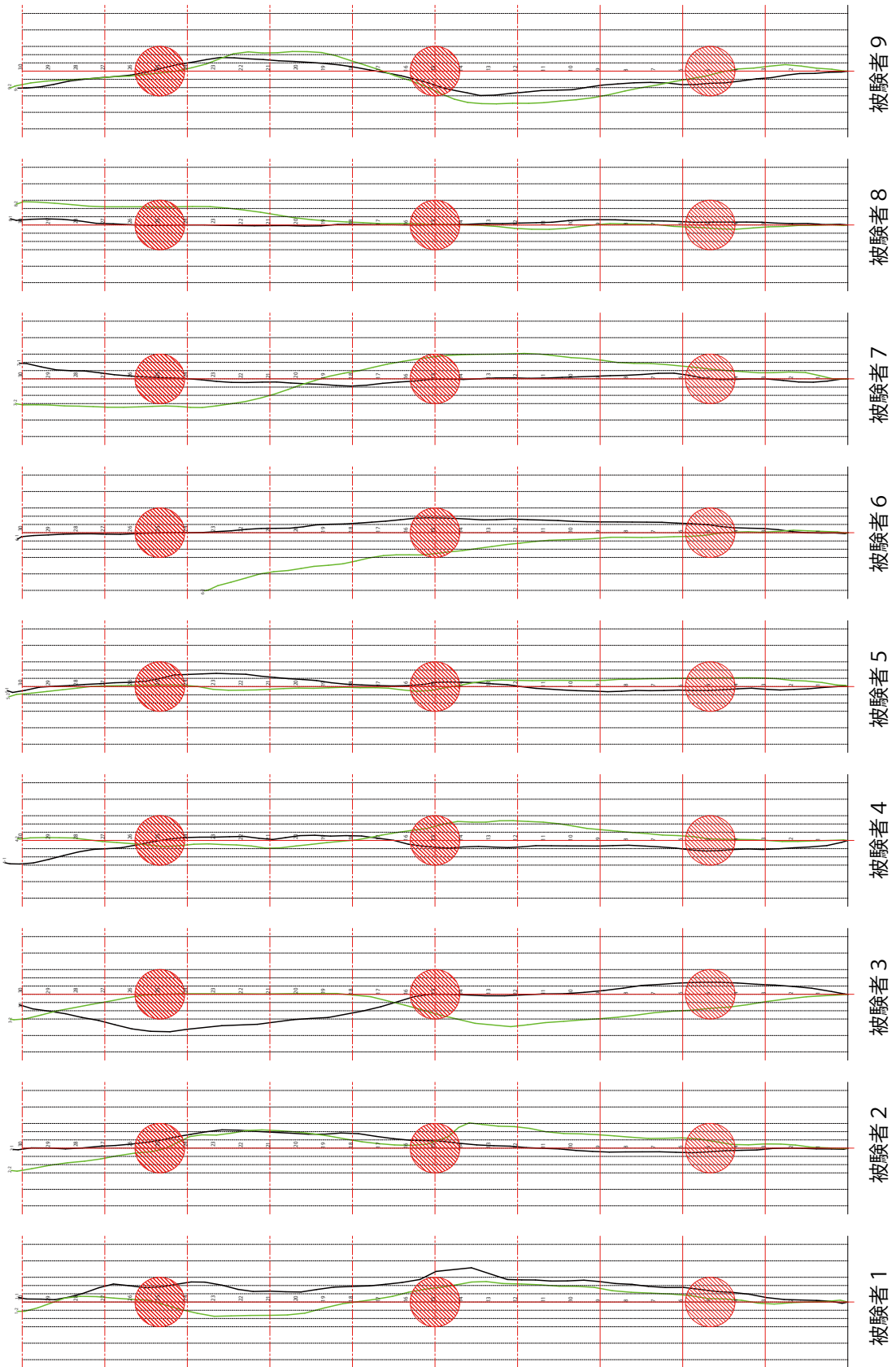
条件3 ビヨ+水 小中

被験者	0	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	30
1	0	-41	134	167	189	320	487	583	698	708	691	672	519	174	66	-76	-241	-330	-424	-379	-350	-411	-344	-321	-260	-78	72
0	56	183	220	294	410	479	539	590	630	830	938	674	415	188	81	30	-71	-15	28	134	54	-130	-186	-194	-203	-161	
2	0	-199	-116	-137	-1	0	32	64	64	133	231	286	226	9	-64	69	201	281	292	325	336	379	289	-136	-303	-326	-360
0	-285	-298	-175	22	129	236	344	393	379	397	469	492	374	197	27	-35	-88	-101	-126	-186	-204	-94	36	65	30	133	
3	0	-8	-11	21	41	24	-77	-178	-188	-106	85	279	188	-24	-176	-253	-300	-363	-425	-478	-500	-425	-371	-322	-279	-293	-539
0	-69	-145	-125	-60	-97	-186	-253	-294	-344	-422	-381	-312	-207	33	156	221	284	342	359	386	346	205	69	-247	-537	-930	
4	0	245	281	232	206	240	244	280	227	237	209	160	-37	-310	-284	-271	-292	-339	-394	-390	-328	-228	-204	-221	-209	-228	-377
0	45	80	124	207	346	435	570	732	798	810	808	811	820	815	756	634	616	712	675	329	294	109	-34	-79	-161	-211	
5	0	-85	-80	-144	-138	-126	-136	-156	-132	-48	107	258	281	-49	-285	-389	-525	-588	-629	-730	-800	-817	-693	45	236	129	-188
0	-162	-181	-169	-170	-194	-207	-210	-234	-265	-297	-274	-152	-91	-83	-45	-23	26	27	28	92	121	52	49	-66	7	-24	
6	0	-435	-532	-560	-395	-332	-257	-278	-186	118	251	258	230	-64	-238	-433	-534	-562	-613	-590	-488	-288	105	188	128	244	626
0	270	314	335	239	252	300	383	493	583	714	605	557	216	244	268	259	182	195	117	75	113	116	-53	-280	-426	-439	
7	0	428	399	165	159	188	69	114	250	311	342	521	315	142	90	76	37	-24	-40	-29	5	200	255	241	225	244	154
0	360	236	15	-278	-442	-541	-636	-786	-1008	-1187	-1399	-1527	-1836	-1006	-719	-456	-279	-145	-90	-6	29	-51	-150	-213	-263	-636	
8	0	162	218	203	135	28	-28	-80	-206	-250	-212	-199	-228	-247	-243	-279	-317	-353	-549	-626	-725	-799	-756	-302	-62	25	165
0	232	282	316	288	216	182	166	151	167	191	162	117	63	28	-8	-4	41	119	86	16	41	-3	-18	13	73	202	
9	0	-44	0	4	-10	-24	-49	-67	-49	-90	-115	-170	-197	-142	-218	-225	-209	-164	-183	-292	-304	-330	-253	9	70	137</	

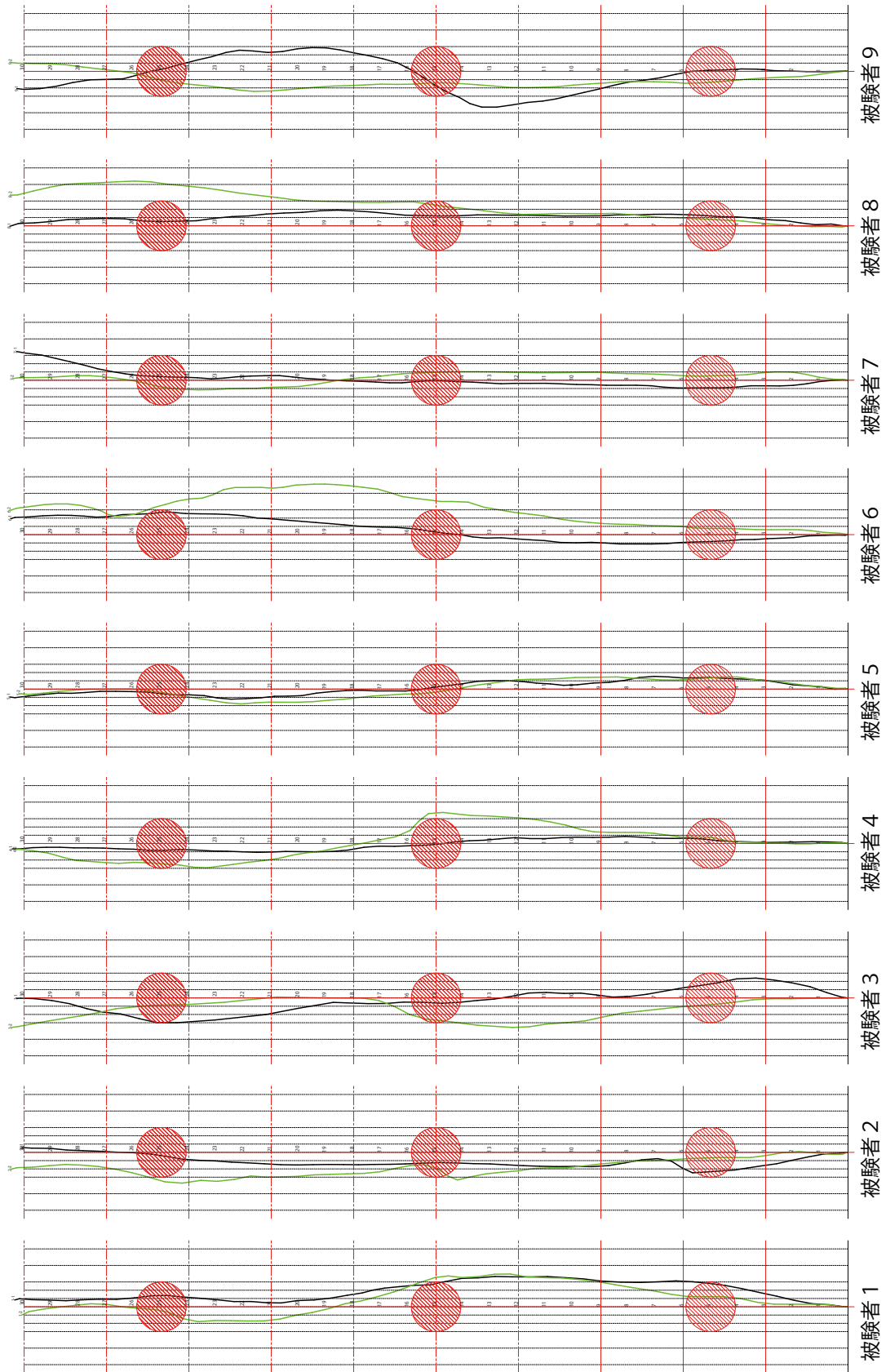
条件 1 : ピヨ大 (往路 : 黒色、復路 : 緑色、ハッチングはスピーカのサービスイリアを示す。)



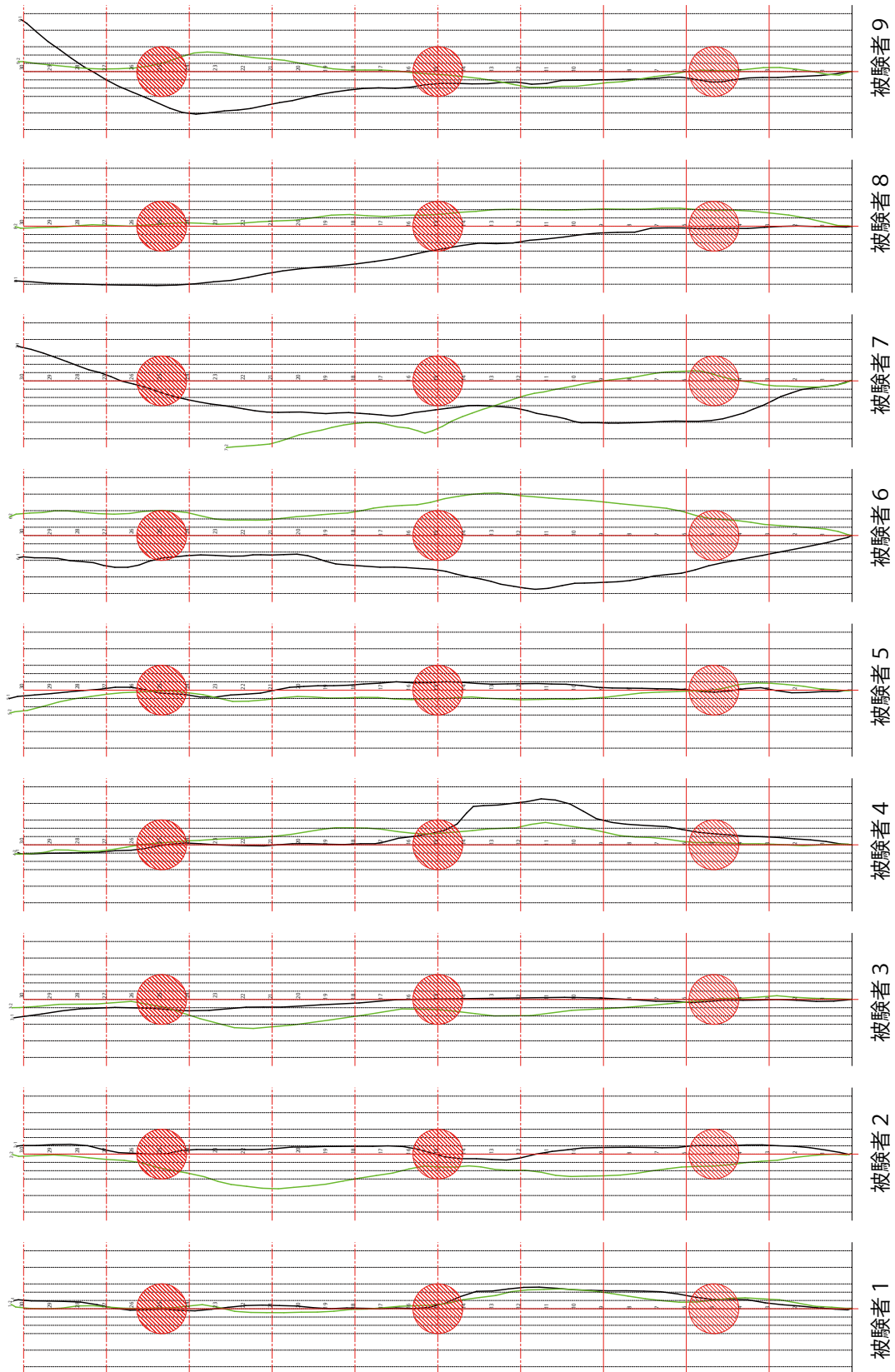
条件 1 : ピヨ中



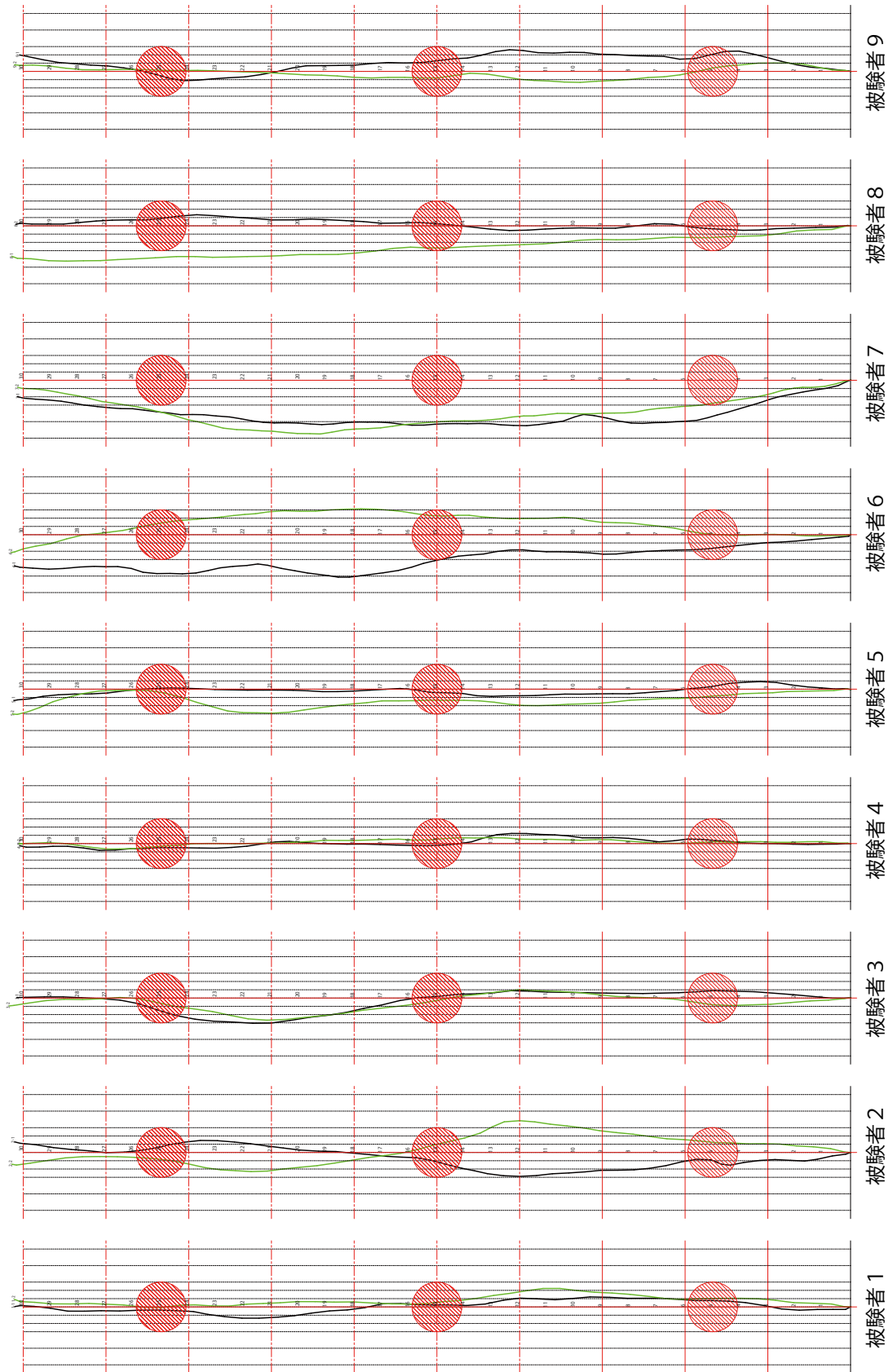
条件1：ピヨ小



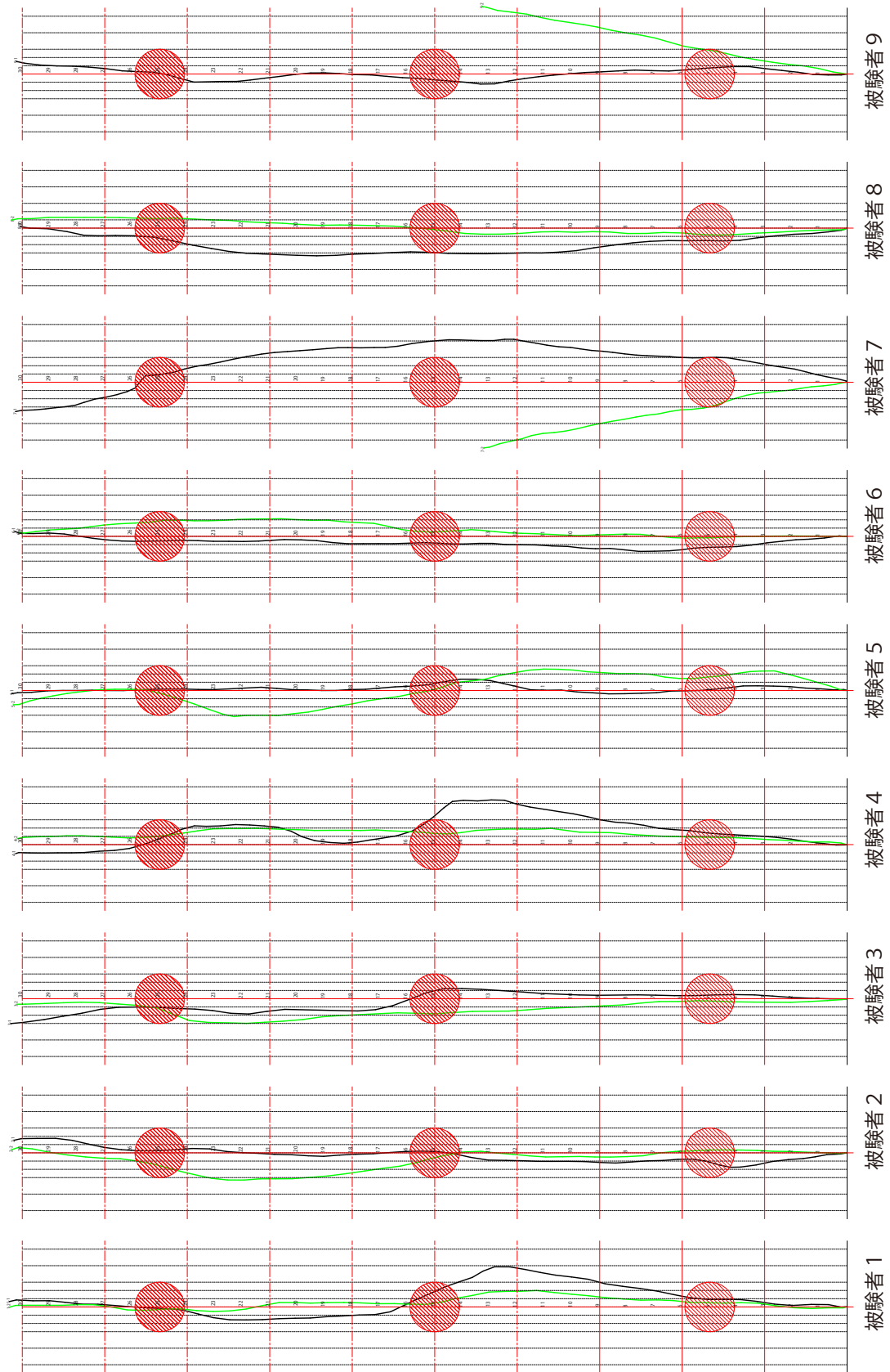
条件 2：学習前 水大



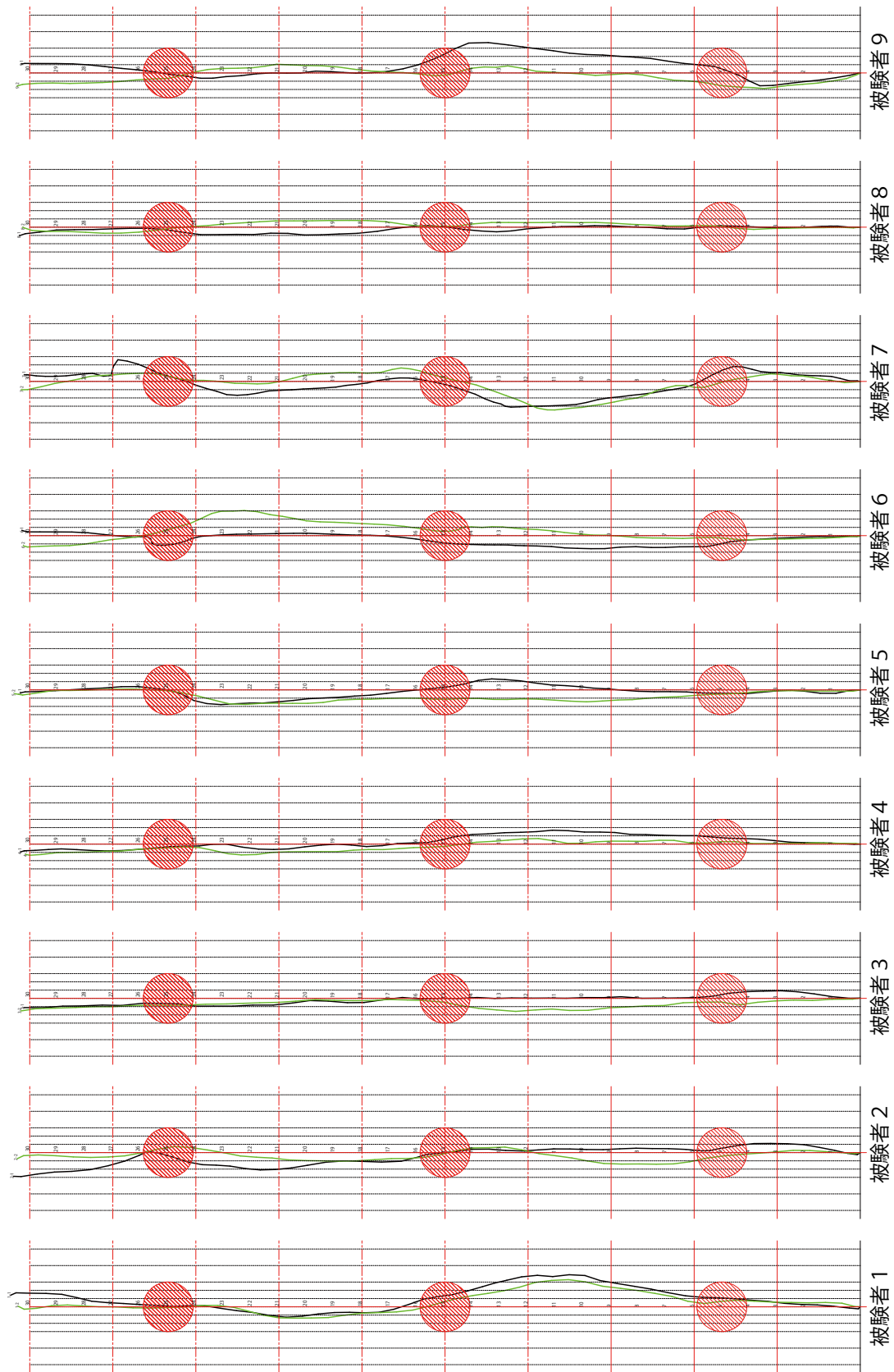
条件 2：学習前 水中



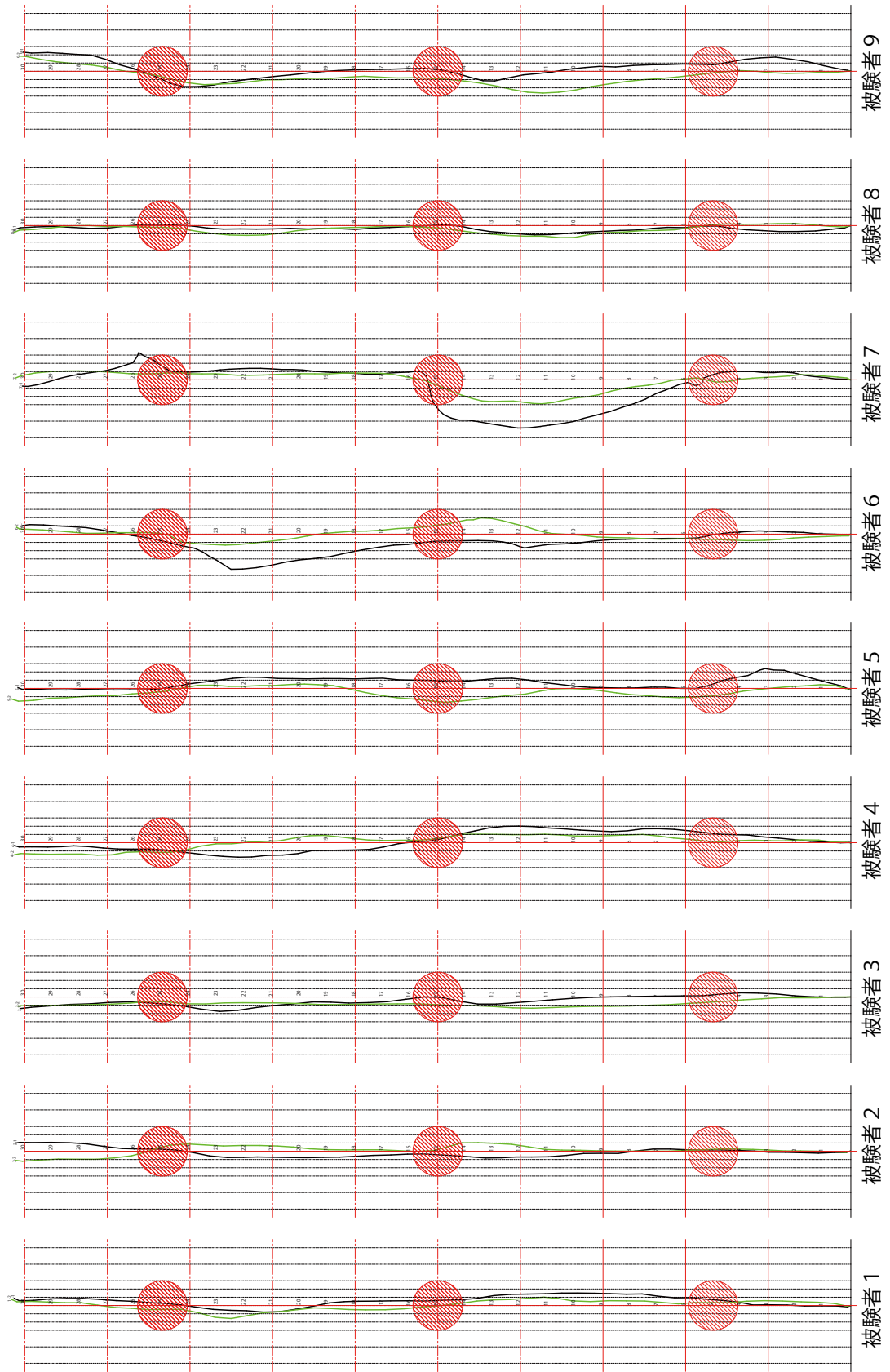
条件 2 : 学習前 水小



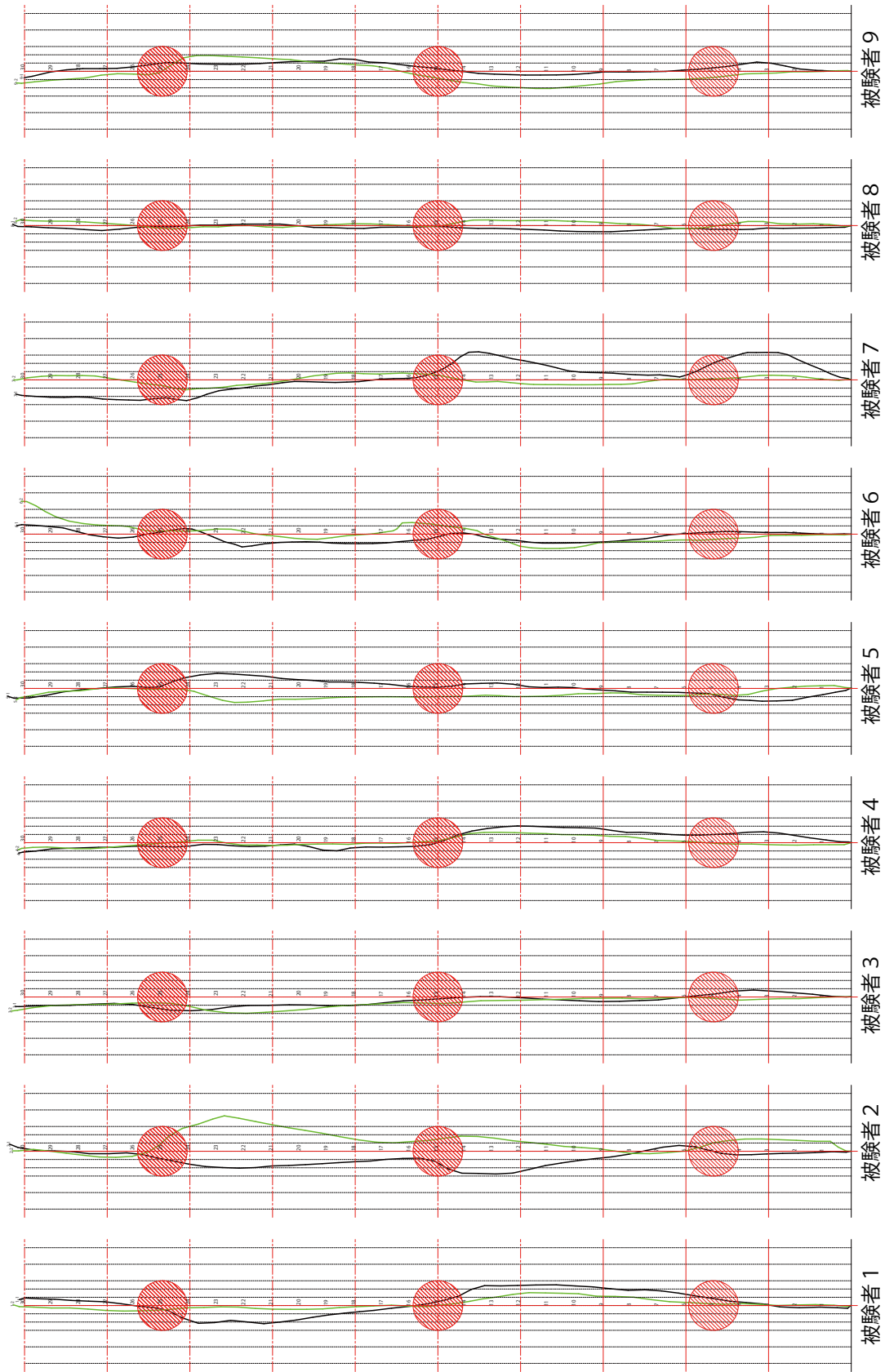
条件2：学習後 水大



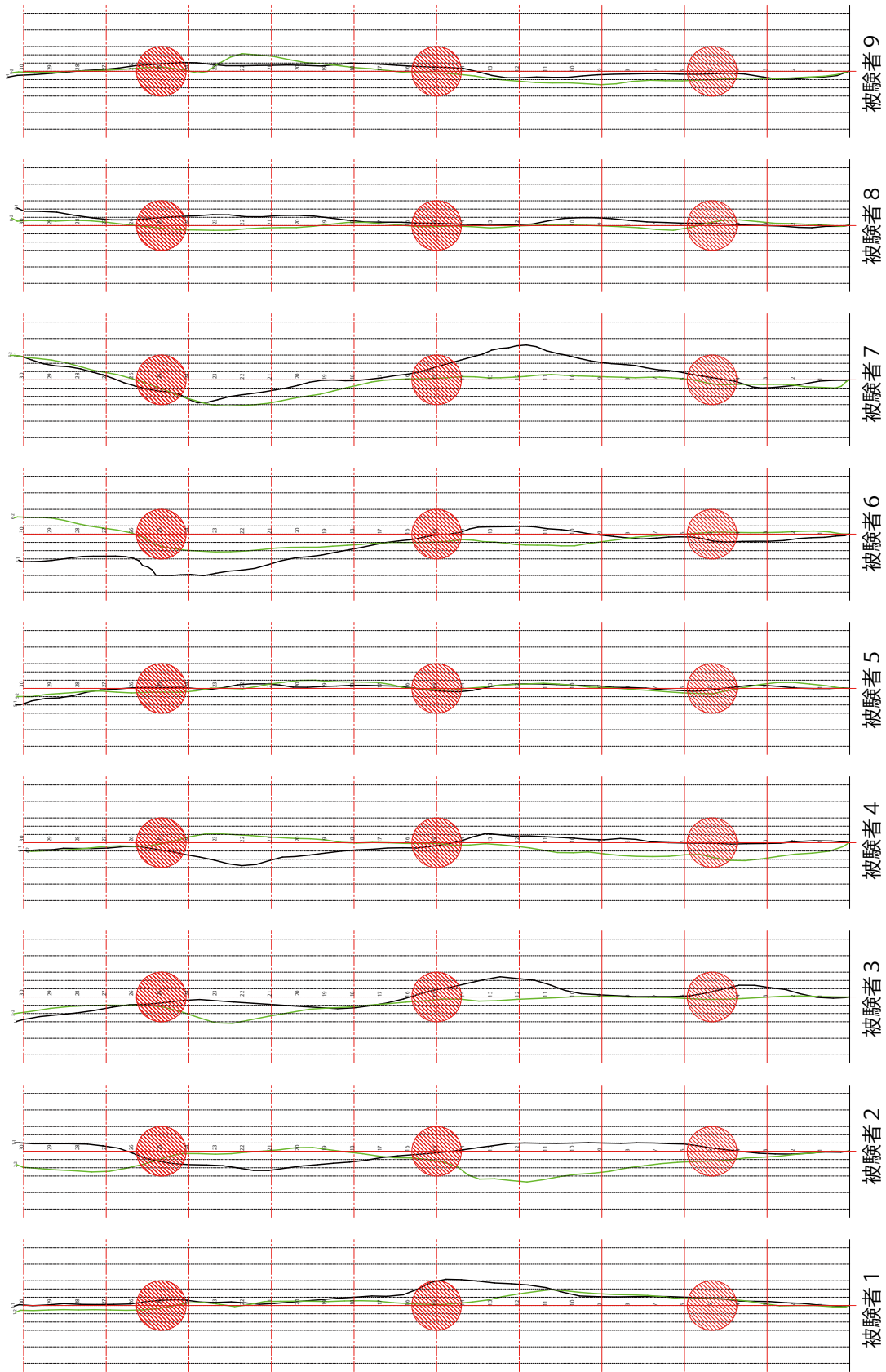
条件 2：学習後 水中



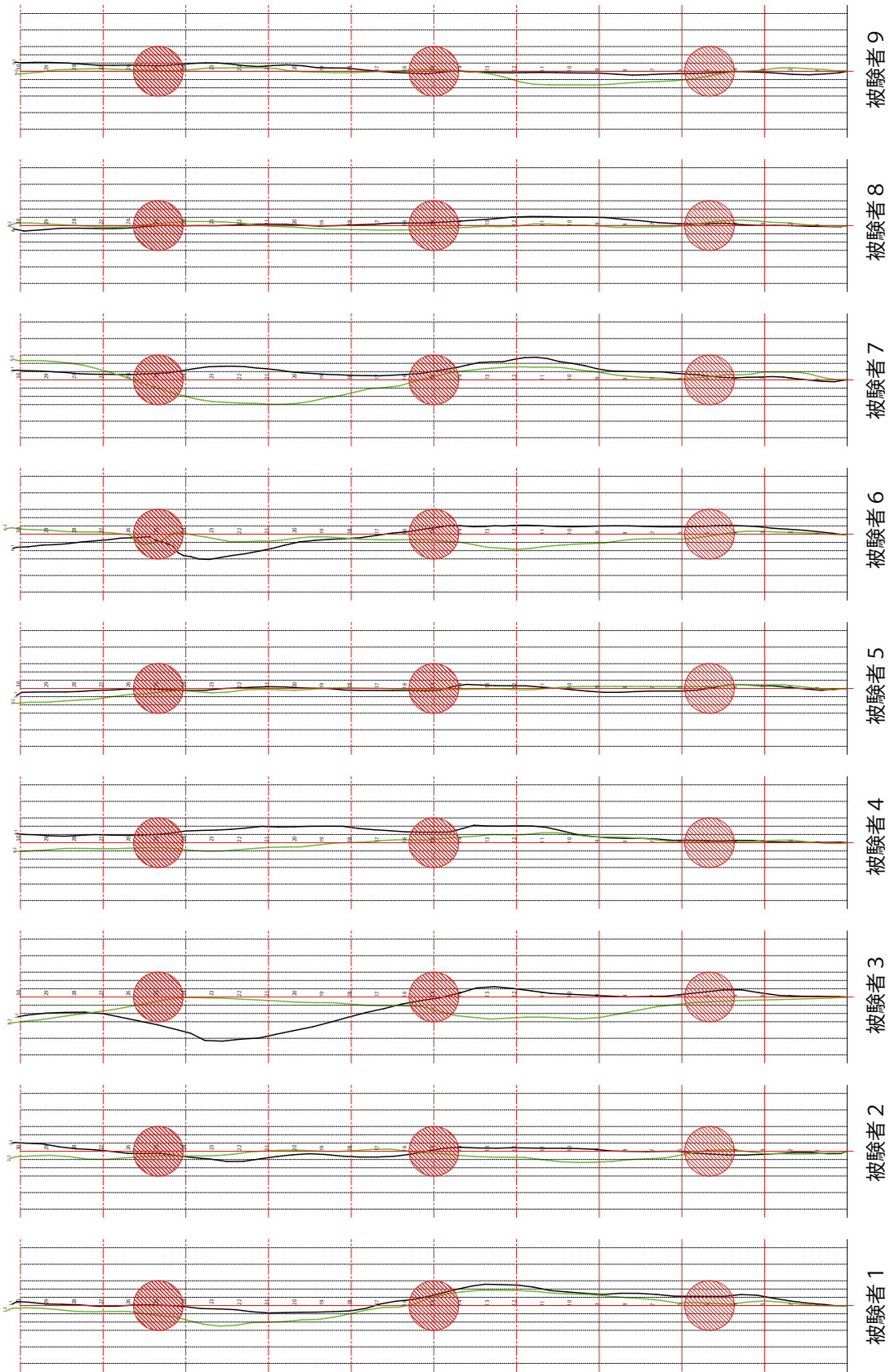
条件2：学習後 水小



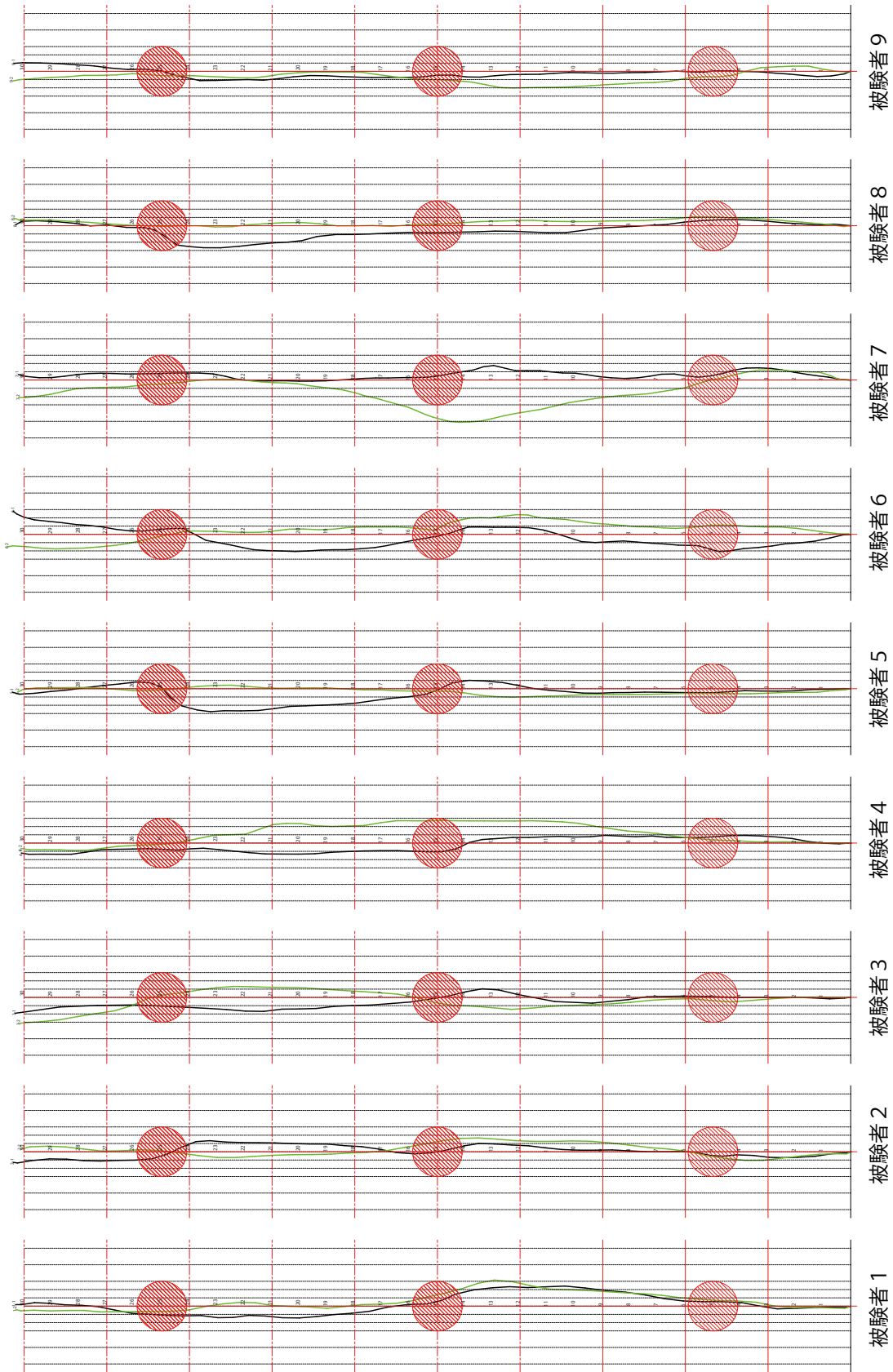
パターン1 (ピヨ中、水中)



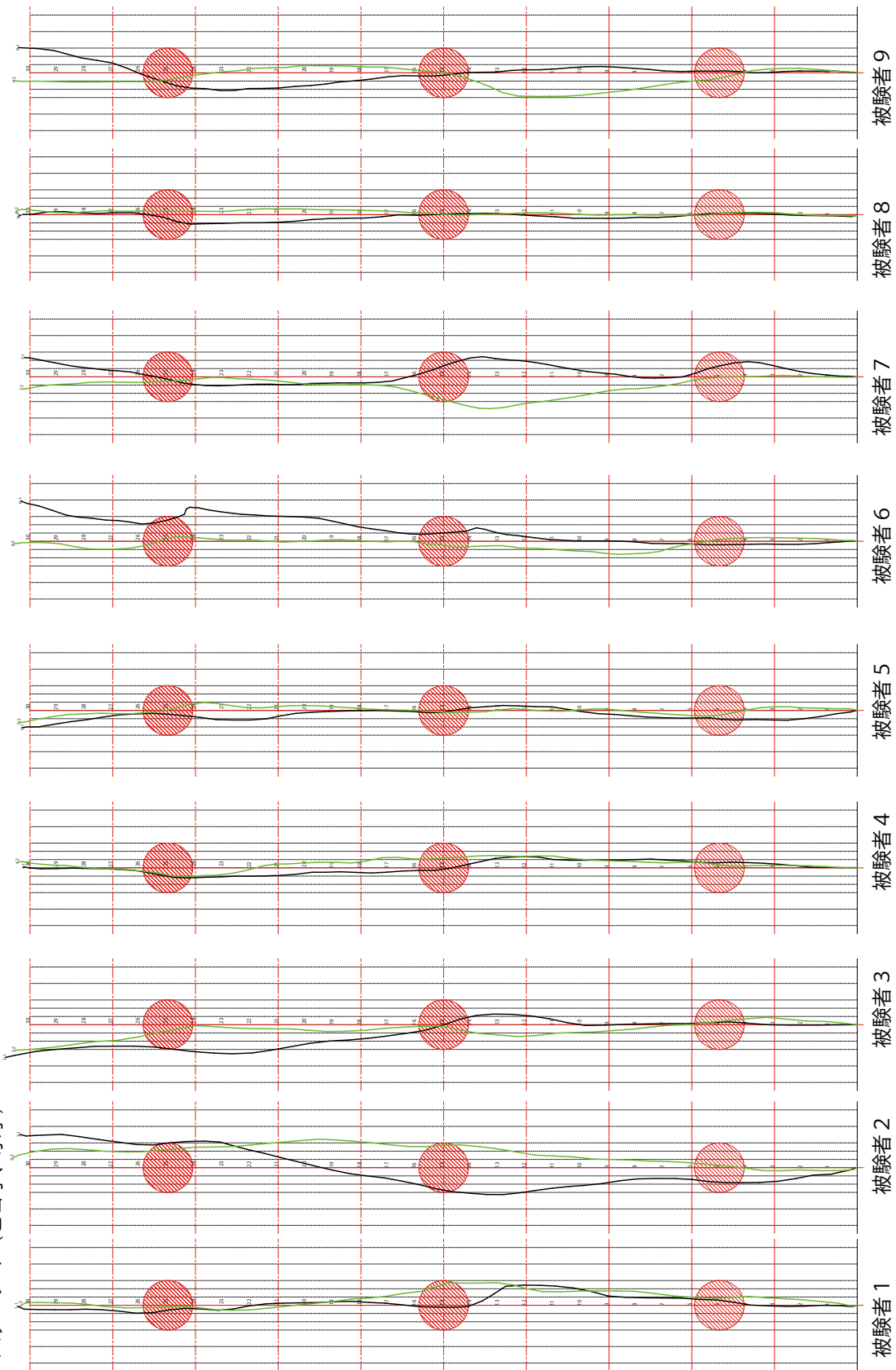
パターン2 (ピヨ小、水中)



パターン3 (ピヨ中、水小)



パターン4 (ピヨ小、水小)



あとがき・謝辞

本研究は、平成22年10月から平成26年3月の3年間半に渡って、東京工業大学博士課程後期における研究成果をまとめたものです。研究を進めるにあたり、多くの方々にお世話になりました。ここに記して皆様に深く感謝の意を表します。

東京工業大学教授 大野隆造 先生には、私が平成17年に修士課程の学生として東京工業大学に入学して以来今日に至るまで、終始懇切なご指導を頂きました。まずは社会人として働かなくては、また研究をしたくなったら大学に戻ってくれば良いと考え修士を修了した後、わずか3年半余りで「出戻り」した私を快く研究室に受け入れて下さったばかりでなく、その後もなかなか研究が進まない私と忍耐強く向き合ってくださいました。また、本研究を遂行するにあたり、論点や論述だけでなく、研究者としての将来の方向性についてもアドバイスを頂きました。心から感謝致します。

東京工業大学連携教授 清水寧 先生には、音響について無知な私に、研究の考え方から語句の使い方まで、細部にわたり、いつも笑顔で懇切丁寧なご助言とご指導を頂きました。昼夜に関わらず本当に親切に優しく対応して頂いたことは忘れません。より充実した内容の論文として完成を迎えることができたのも、清水先生のお力添えと深謝致します。

東京工業大学准教授 那須聖 先生には、札幌市立高等専門学校の学生だった頃より、色々のご指導頂きました。本研究に着手してからは、論文の投稿時には幾度となく目を通して頂いたとともに、論文の構成をどのようにまとめれば良いのか、発表のときまず何から説明すれば効果的かなど、弱気になっている私を、時には厳しく、時には優しく助けて頂きました。心から感謝致します。

また、ご多忙の中、本論文の全般に渡り詳細な御査読を賜り、ご指導およびご助言を頂きました東京工業大学教授 大佛俊泰先生、同准教授 中村芳樹先生、同准教授 室町泰徳先生に感謝致します。

北海道工業大学教授 三田村保 先生には、廊下で会う度にいつも励ましのお言葉を頂き、また、データを統計学的に分析するにあたり様々なご助言を頂きました。大変感謝しております。

北海道工業大学准教授 石田眞二 先生には、論文執筆が行き詰まっていたときに、たくさんの参考資料を提供頂き、また原稿にも目を通して下さり、研究として一本筋を通すための貴重なご助言を頂きました。大変感謝しております。

北海道工業大学学長 苫米地司 先生には、私が大学教員として在職しているにもかかわらず、博士課程への進学時から今日に至るまで多大なるご配慮を頂きました。衷心より感謝申し上げます。

北海道高等盲学校 茂垣元教頭先生、小原現教頭先生、同教諭 舟崎隆先生ならびに札幌市視覚障害者福祉協会 澤田勝昭会長には、被験者の紹介から実験日程の調整まで、大変お世話になりました。心より感謝致します。そして、数時間にも及ぶ実験に何度も耐えて、貴重なデータを提供して頂いた多くの被験者の方々のご協力に心より御礼申し上げます。皆様のご協力なしでは、本研究を完成させることはできませんでした。皆様の明るい人柄と優しさにどれだけ励まされ、勇気づけられたことか、言葉では言い尽くせません。

大野研究室では、たまにしか訪れない私をいつも暖かく迎えて下さり、どうもありがとうございました。諫川輝之くんには、私の方が先輩であるにも関わらず遠方であることを理由に様々な面で助けて頂きました。馬雪さんには、論文を査読の先生方に提出するにあたり、配達をお願いするなど大変お世話になりました。お二人とともに修了することができて、非常に嬉しく思います。

清水研究室の若林千絵美さんには、音響のシミュレーションデータを作成する上で、何度もお世話になりました。本当にありがとうございました。

北海道工業大学に教員として勤務してからの5年間、慣れない教育の現場での仕事に加え、学位取得に向けての日々が続く中、心の支えとなってくれた家族に感謝します。不平や不満も言わずデータの整理から文章の校正まで熱心に手伝ってくれた父に感謝します。帰りが遅い時には暖かいご飯を用意してくれた祖母、そして本研究の完成を待たずに昨年春に急逝した祖父には、出張で家をあけることが多く、たくさんの迷惑と心配を掛けました。どんなに辛くても、3人がいつも励ましてくれたおかげで頑張れました。心から感謝します。

最後に、天国の母へ。あなたがいつも見守り、道を示してくれていると思えたから、ここまで来ることができました。本当にありがとう。

平成 26 年 3 月

福田 菜々