

音声経路案内を用いた視覚障害者の定位と移動の実態

—全盲・弱視者を対象としたリアルタイム音声経路案内の実証実験—

内藤 拓也 五十嵐 雄哉 貞清 一浩 山田 哲弥
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術戦略室)

Orientation and mobility assisted by the voice navigation for the visually impaired

—A case study on the turn-by-turn voice navigation for the blind and the persons have low vision—

Kakuya Naito, Yuya Igarashi, Hirokazu Sadakiyo and Tetsuya Yamada

本研究は音声経路案内を用いた場合の視覚障害者の定位と移動の実態を明らかにし、歩行中に手掛かりとなる環境内の特徴的な要素の具体的事例を収集するため、リアルタイム音声経路案内を開発し、12名の視覚障害者と共に実証実験を行った。システムは汎用性を重視し、普及が進んでいるスマートフォンとBLEビーコンを使用した。また、誤差1～3m程度の高精度な位置推定精度を実現し、音声案内には距離や方向の情報だけでなく、歩行中に手掛かりとなる手摺や壁などの情報を取り入れた。実験では全ての被験者が経路案内を用いて目的地まで辿りつくことが出来たが、距離や方向の情報だけでは位置推定誤差や被験者の感覚の違いによって案内とのズレが生じるため、周辺の手掛かり情報を頼りにズレを補いながら移動することで正確な歩行が達成された。特に、直接知覚可能な壁、床、階段、扉などの情報は被験者にとって重要度が高く、直接知覚出来ない音や部屋の広さなどの情報は一部の被験者にのみ重要度が高かった。

In this paper, to clarify the behavior of orientation and mobility using the turn-by-turn voice navigation for the visually impaired people, we build the system as follows: a) we used a smartphone and the BLE beacons. b) The system reached high level localization accuracy that is 1-3 meters average error. c) The navigation of this system provided the wayfinding information such as direction, distance, landmark and spatial information. We conducted the user evaluation test with 12 blind and visually impaired people in order to assess the availability of this system. In this test, the participants walked the outside and inside routes. The results of the test are as follows: 1) all participants could reach the destination by themselves. 2) It was difficult to walk by only direction and distance information because of the localization error. The participants could find the correct direction and route by using the landmarks and the spatial information. 3) The navigation information of the landmarks that is detectable to the travelers in their route (wall, flooring, stairs, doors and handrails) was useful to all participants. In contrast, the navigation information of the landmarks that is not encountered by the travelers in their route (water sounds and the size of the room) was useful to only some participants.

1. はじめに

視覚障害者の歩行は定位(orientation)と移動(mobility)の二つの要素によって構成される。定位とは「感覚器官を用いて周辺環境から自分のいる位置や目標の位置を認知すること」、移動とは「目標の位置まで安全で効率的に自立して移動すること」をそれぞれ意味し、これら二つの要素が同時に成立することで歩行が達成される^{1), 2)}。特に、定位においては自己位置や進行方向を定めるための手掛かり(clue)あるいはランドマーク(landmark)と呼ばれる環境内の特徴的な要素と

の係わりによって達成されるため、視覚障害者が歩行しやすい環境を整備する上で、こうした要素がどのように歩行者に認知され、歩行時に機能しているのかを知ることは重要である。こうした環境要素と視覚障害者の歩行に関する文献には津田(1998)³⁾、芝田(2015)⁴⁾、先行研究としては関他(1994)⁵⁾による障害物知覚と反射音定位に関する研究、横山他(1998)⁶⁾による視覚障害者の経路口述からスキーマの抽出を行った研究、山本(2000)⁷⁾による視覚障害者の空間把握に関する研究、人見他(2007)⁸⁾による全盲者の白杖の使い方と定位に関する研究、田中他(2007)⁹⁾による夜間の弱視者の

空間把握に関する研究、柳原(2009)¹⁰⁾による視覚障害者の空間認知と歩行環境に関する研究、松田他(2011)¹¹⁾による中途失明者の屋外歩行実態に関する研究、福田他(2013)¹²⁾による音サインと視覚障害者の歩行に関する研究、などが存在する。

一方、近年では携帯情報端末を用いて、その場に即した情報を逐次伝達し、視覚障害者の歩行を支援する技術も登場している¹³⁾。このような、音声案内と視覚障害者の歩行に関する研究には、野田他(1998)¹⁴⁾による FM ラジオを用いた情報提供による歩行実験、奥村他(2001)¹⁵⁾による携帯電話を用いた誘導実験、鹿島他(2002)¹⁶⁾による赤外線による歩行支援システムを用いた歩行実験、後藤他(2003)¹⁷⁾による RFID タグによる歩行支援システムを用いた歩行実験、湯瀬他(2011)¹⁸⁾による画像や GPS 等による歩行支援システムを用いた歩行実験、などが存在する。これらの既往研究から視覚障害者の歩行支援として音声案内の有効性が示されているものの、現在は位置推定技術がさらに向上し、より詳細な案内を行えるため、その場合の視覚障害者の移動実態については明らかにされていない。

そこで、本研究は位置推定誤差 1m～3m 程度の音声経路案内システムを開発し、被験者にとって全く初めての場所を音声経路案内のみで目的地まで移動する実証実験を行うことで、音声経路案内を用いた場合の視覚障害者の定位と移動について具体的事例を収集した。本稿は 2 章で構築した実験環境、3 章で実施した実験、4 章で歩行中に手掛かりとして有効な環境要素の考察、5 章でまとめについて記す。

2. 構築した実験環境

2.1. 開発した音声経路案内システム

本音声経路案内システムの構成を図-1 に示す。被験者が使用するのは、汎用品の骨伝導ヘッドフォンおよびスマートフォンのみである。環境側には位置推定のための BLE ビーコン 150 個を図-2 に示す清水建設技術研究所内の屋内外約 5000 m² の敷地に設置した。空間情報データベースは、歩行者の位置情報を表示する地図データや歩行経路を表す歩行空間ネットワークデータ^{注1)}で構成され、車いす利用者や視覚障害者など利用者の属性に応じた最適経路探索を行う。音声ナビゲーションサーバは、BLE ビーコンから発信される電波情報を用いた位置推定、スマートフォンの内部センサを用いた PDR (歩行者

自立推測航法)、地図データとのマッチング技術、これらを組み合わせた位置推定アルゴリズム¹⁹⁾に基づき、被験者の位置に即した情報を提供する。また、音声認識・音声合成機能によって対話的に目的地設定が行える(図-3)。

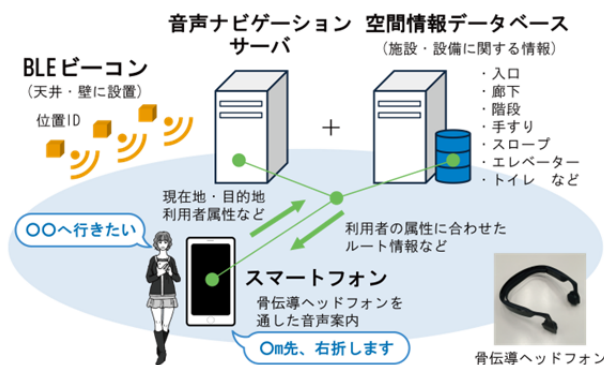


図-1 システム構成図



図-2 システム構築範囲



図-3 利用イメージ

2.2. 経路案内の内容

既存のカーナビゲーションシステムや歩行者用ナビゲーションシステムの一般的な表現は「〇m先」、「〇〇交差点を」、「〇方向です」といった、「距離」、「方向転換をする結節点」、「方向」、の組み合わせで構成されている。視覚障害者のナビゲーションを行う際も同様の考えに基づき、距離、結節点、方向を組み合わせることで基本的な案内が可能だが、これに加えて、結節点やそこに至るまでの経路について視覚障害者が知覚可能な経路上および周辺の特徴的な手掛かりを交えて説明することでより正確な歩行が可能となる。また、方向については「右〇時方向」のようなクロックポジションという表現方法を用いることでより細かい方向の提示が可能である。したがって、本実験の経路案内では、ランドマークに成り得る実験ルート上の特徴的な要素を経路案内に取り入れ、方向についてはクロックポジションで表現することとした。なお、本稿ではそうした経路上および周辺の環境要素を説明する情報を「環境情報」と呼び、「距離情報」や「方向情報」

とは区別する。環境情報には具体的に壁、床、階段、扉などの情報を取り入れた(表-1)。なお、視覚障害者が歩行中に手掛かりに出来る環境要素や経路案内の表現方法、全体の構成などについて歩行訓練士の協力を得た。環境情報は所定の場所で既定の音声案内が流れ^{注2)}、「○時方向」、「残り○m」といった距離情報および方向情報はその時の被験者の体の向きや位置によって内容が変化^{注3)}する。

表-1 音声案内に含まれる環境情報の例

壁	凹凸のある金属、壁の終わり、壁の切れ目
床	下りスロープ、フロアマット、カーペット
扉	両開きのガラスのドア、扉が無い1m幅の入口
階段	階段は直線、全部で34段、踊り場が1回
周辺・その他	周辺情報(手摺、川、ベンチ、ショーケース) 経路の形状(緩やかに左にカーブ) 位置関係(建物は正面0m、入口は左端) 空間の広さ(吹き抜け、通路幅)

3. 実証実験

音声経路案内を用いた場合の視覚障害者の定位と移動について考察を行うため、被験者の基本属性を把握するための事前アンケート、歩行特性を把握するための歩行能力テスト、実際に音声経路案内を使用した歩行実験(以下、歩行実験)、その際の心理評価について調査するための歩行実験後のアンケート(以下、事後アンケート)を実施した(表-2)。実験内容の詳細と結果については各項に記載する。

表-2 実験の内容とアンケート項目

内容	設問形式	設問内容
事前アンケート	基本属性	定型 Q1 性別・年齢
		定型 Q2 障害について(視力・視野の範囲・羞明/夜盲など)
		選択 Q3 歩行訓練の経験の有無
		選択 Q4 音声読み上げ機能の利用の有無
		選択 Q5 音声経路案内の利用経験の有無
	空間把握能力	7段階 Q6 何メートルと言われれば、正確にその距離だけ歩ける
		7段階 Q7 何時の方向と言われれば、正確にその方向が分かる
		7段階 Q8 近くに壁があると、触らなくても位置がわかる
		7段階 Q9 まわりの音を聞くだけで、自分のいる場所がわかる
歩行能力テスト		
歩行実験		
事後アンケート	7段階 Q10 情報提供のタイミングは適切だった	
	7段階 Q11 情報提供の量は適切だった	
	7段階 Q12 情報提供の内容は適切だった	
	7段階 Q13 情報の内容は自分の位置を把握するのに役立った	
	7段階 Q14 情報の内容は経路をイメージするのに役立った	
	7段階 Q15 全体を通して音声案内は役に立った	
	7段階 Q16 ①~④の各案内情報は役に立った	
7段階 Q17 ①~④についてどのような点でそう思いましたか?		

3.1. 被験者の基本属性

実験の対象は視覚障害者の中でも視覚情報を用いた歩行が困難な者という条件で男女、年齢、視力に偏りが生じないように全盲6名、弱視者6名の計12名を選定した。被験者の基本属性を表-3に記す。なお、パソコンやスマートフォンに搭載されている音声読み上げ機能の利用経験について、全盲者は6名全員が利用していると回答し、反対に弱視者は6名全員が利用していないと回答した。利用経験に応じて歩行実験中の音声読み上げ速度の調整を行った。音声経路案内の利用経験については、全盲・弱視に係わらず半数の被験者が有ると回答したが、経験がない者も歩行実験前の動作確認で使用に問題が無いことを確認した。

表-3 被験者の基本属性

	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12
性別	女	男	男	男	男	男	男	女	男	女	女	男
年齢	38	22	22	53	31	36	44	53	29	46	44	33
視力 (():今の障害状態になった年齢)	盲 (20)	0.1 (0)	0.03 (21)	盲 (2)	盲 (30)	0.2 (32)	盲 (6)	光 (15)	指 (25)	盲 (0)	0.04 (34)	盲 (3)
視野狭窄	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
羞明/夜盲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
歩行訓練の経験	○	○	-	○	○	-	○	○	○	○	-	○
音声読み上げの利用	○	-	-	○	○	-	○	-	-	○	-	○
経路案内の利用	-	○	○	○	-	○	○	-	-	○	-	-

盲:全盲 光:光覚弁 指:指数弁 ○:該当 -:該当せず

3.2. 被験者の歩行能力

被験者は事前アンケートにおいて、空間把握能力に関するQ6~Q9の各設問に対して同意の程度を7段階(+3:まったくそう思う~0:どちらともいえない~-3:まったくそう思わない)で回答している。また、歩行能力テストでは二つのテストを実施した。一つ目のテストでは距離感覚、直線歩行能力を測定するため、被験者に2m、5m、10mの順で距離を提示し、それぞれその距離だと思えるところまで歩かせ、歩行開始地点を原点(0, 0)として歩行終了地点の(x, y)座標から正しい距離との誤差(Distance error)および偏軌量(Veering)を算出した。二つ目のテストでは方向感覚を測定するため、被験者にクロックポジション(1時、10時、3時、11時、2時、9時の順)で方向を提示し、その方向だと思う方向に正対させ、正しい方向との誤差(Direction error)を算出した。以上の結果を表-4、図-4、5にまとめた。

被験者12名の平均単位メートルあたりの誤差は0.33mで、最小は0.13m、最大は1.10mであった。特に、自己評価で正確な距離だけ歩けることに否定的な回答をしたP02、P08の誤差が大きく、その他の者は0.10~0.30mの範囲内であった。

被験者 12 名の平均方向感覚誤差は 10.30 度で、最少は 3.86 度、最大は 21.71 度であった。クロックポジションでの指示が 30 度刻みのため、誤差 15 度以内であれば概ね指示通りに歩けるが、自己評価では被験者 12 名全員が+1~+3(正確に分かる)と回答したものの、誤差 15 度以内に収まった被験者は 12 人中 9 人であった。また、方向感覚の誤差が大きい被験者ほど偏軌量も大きく、方向感覚の誤差と偏軌量に正の相関が有意水準 5%以下で得られた ($r=0.62, p=0.028<0.05$)。特に、方向感覚の誤差と偏軌量は被験者の中で概ね全盲の方が弱視者と比較して大きい傾向が見られた。

表-4 歩行能力テストの結果

	Q				Error				
	Q6	Q7	Q8	Q9	Distance [m]	Direction [°]	Left-Dir. [°]	Right-Dir. [°]	Veering [m]
P01	2	3	3	3	0.30	15.81	-14.70	16.92	0.16
P02	-2	3	0	1	0.86	11.09	-11.27	10.90	0.01
P03	-2	1	-3	-3	0.23	4.10	-4.39	3.81	0.02
P04	2	3	2	1	0.15	5.39	-5.30	5.47	0.09
P05	1	2	2	0	0.23	9.74	-7.24	12.24	0.04
P06	3	3	3	3	0.25	5.27	-8.28	2.26	0.01
P07	2	2	2	1	0.24	15.71	-15.99	15.42	0.14
P08	-1	1	0	-1	1.10	11.57	3.73	7.58	0.23
P09	2	2	0	0	0.15	3.86	-10.48	11.57	0.05
P10	0	2	3	1	0.17	12.67	-10.82	14.52	0.14
P11	1	3	0	1	0.14	6.63	-7.03	6.23	0.01
P12	1	2	2	1	0.13	21.71	-19.69	23.73	0.13
Ave.	0.8	2.3	1.2	0.7	0.33	10.30	-9.29	10.89	0.08

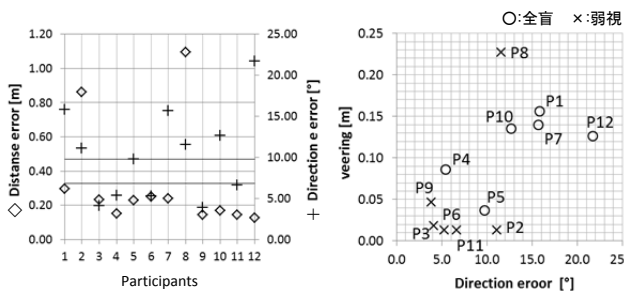


図-4 距離感覚誤差と方向感覚誤差 (左)

図-5 方向感覚誤差と偏軌量 (右)

3.3. 歩行実験

歩行実験では清水建設技術研究所敷地内に経路 1 (次頁図-8) と経路 2 (次頁図-9) の 2 種類を設定した。経路は被験者にとって歩行経験がない初めての場所で、歩行中に提供される音声経路案内だけを頼りに自力で歩行した^{注4)}。なお、被験者が日常使用している白杖については使用を認めている。歩行中の被験者の様子は 3 台のカメラを使用して前方、後方、上方から撮影した。前方と上方からの撮影については定位置からの撮影とし、被験者の歩行の妨げや物音が歩行の手掛かりにならないように留意した。

実験は一部にスタート地点付近で案内が開始されない不具合が生じたためやり直しを行った被験者もいるが、12 名の被験者全員が音声経路案内の指示に従って目的地まで辿り着くことが出来た。

位置推定精度の検証のため、位置推定によって毎秒算出した歩行実験中の各被験者の位置 (Localization) とそれに対して撮影記録から追跡した実際の被験者の位置 (Walking path) と各案内情報が実際に被験者に提供された位置 (Navigation) について図-6 のように被験者毎にまとめた^{注5)}。また、これをもとにスタートからゴールまでに生じた毎秒の位置推定誤差の平均値を被験者毎に算出し図 7 にまとめたところ、経路 1 における誤差の最大は P11 の 1.93m、最小は P12 の 0.93m、経路 2 における最大は P04 の 2.63m、最小は P07 で 1.05m であった。また、全ての被験者の毎秒の位置推定誤差を累積した度数分布 (次頁図-10、11) では、経路 1 の場合 0.4m 程度の誤差が全体の中で最も多く、0.61m 以下の誤差が全体の 25%、1.09m 以下の誤差が全体の 50%、1.99m 以下の誤差が全体の 75% であった。経路 2 の場合 1.2m 程度の誤差が全体の中で最も多く、0.96m 以下の誤差が全体の 25%、1.55m 以下の誤差が全体の 50%、2.55m 以下の誤差が全体の 75% であった。経路 1 は途中の遊歩道が細い一本道のため、地図データとのマッチング技術によって位置が補正され、経路 2 に比べて全体的に精度が良かった。

以上の結果から一部に僅かな情報提供のタイミングのズレが見られたものの、全体を通してほぼ適切な情報提供が行われたと判断した。



図-6 経路 2 の位置推定と実際の歩行軌跡 (P01)

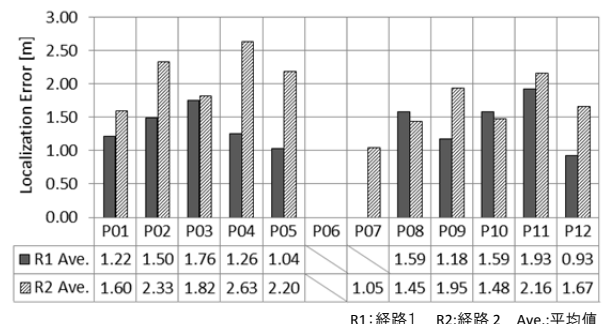


図-7 各被験者の位置推定誤差

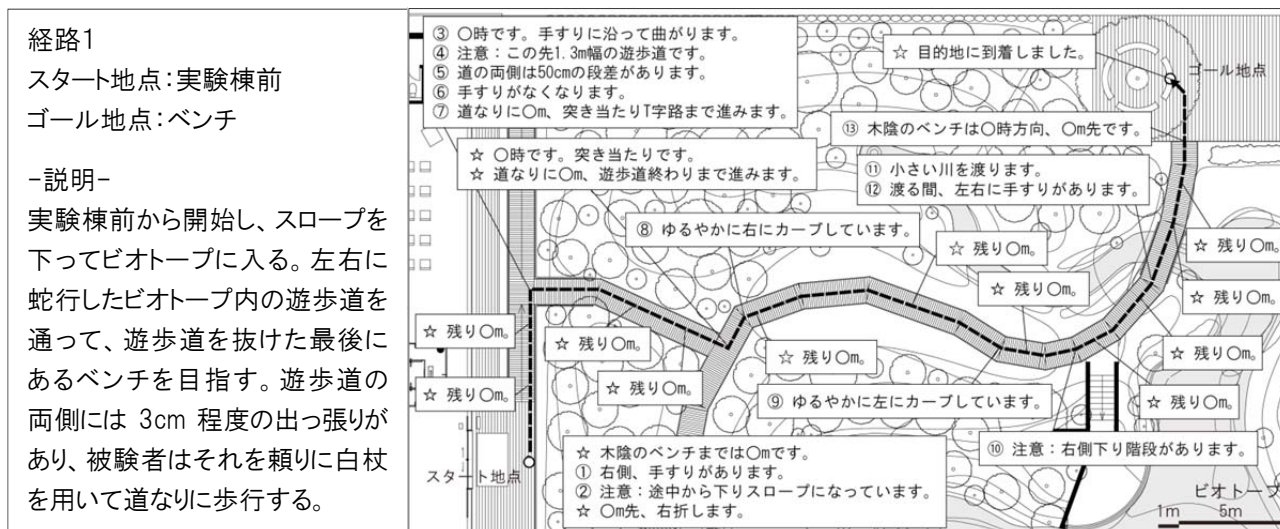


図-8 経路1と歩行中の音声案内

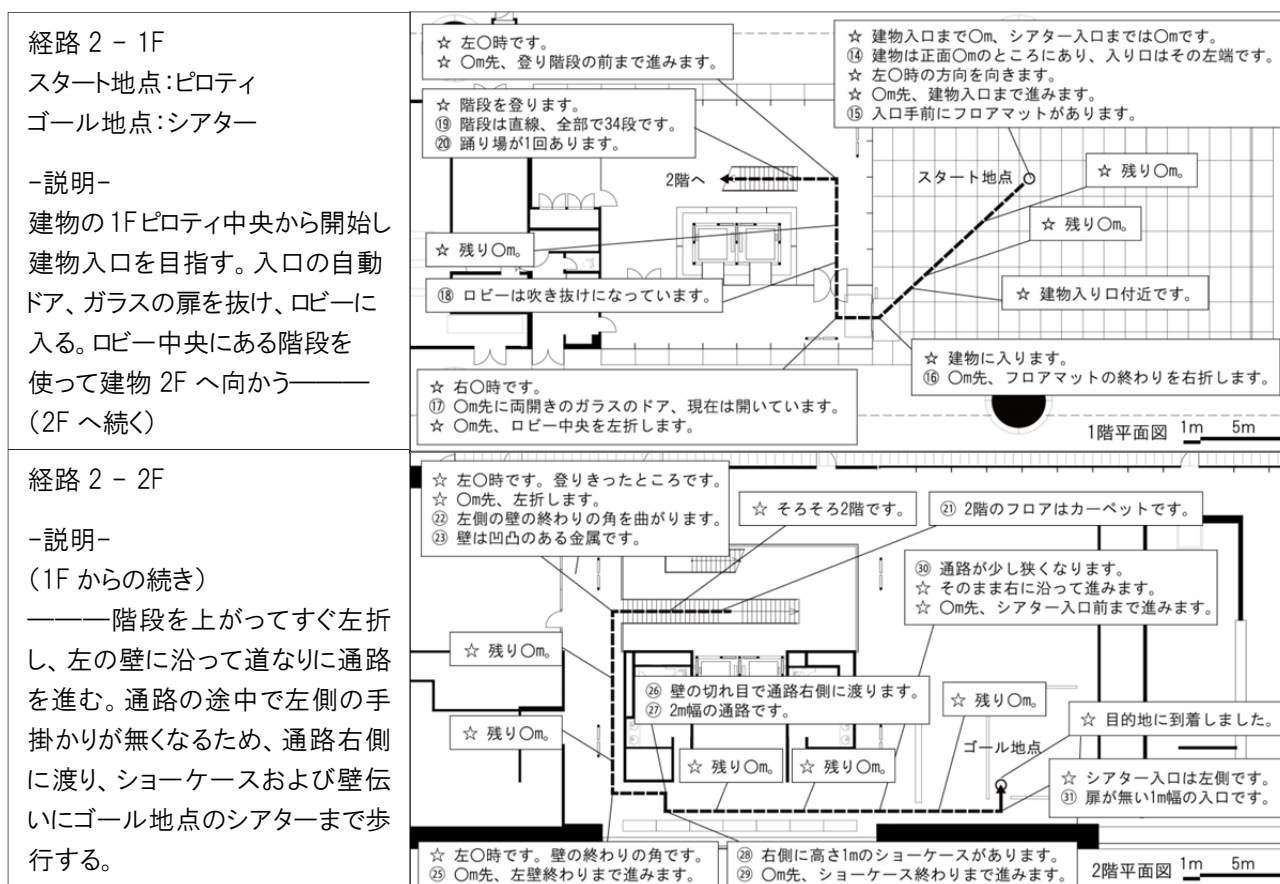


図-9 経路2と歩行中の音声案内

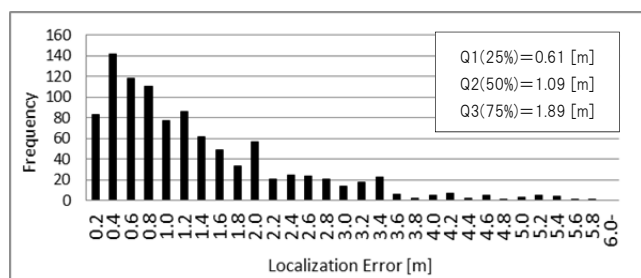


図-10 経路1の全被験者の位置推定誤差度数分布

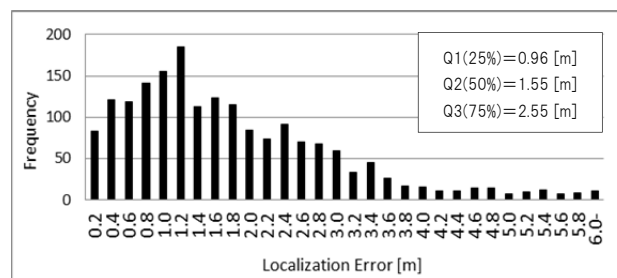


図-11 経路2の全被験者の位置推定誤差度数分布

3.4. 事後アンケート

事後アンケートでは経路案内そのものや個々の案内情報の有効性を検証するため、体験した音声経路案内の全体評価、ならびに本経路案内の各情報が歩行中にどの程度役に立ったかについて、再び被験者と実験経路を歩行しながら経路案内を手動再生し質問した。被験者は各設問に対する同意の程度を7段階(+3:まったくそう思う~0:どちらともいえない~-3:まったくそう思わない)で回答し、そのように評価した理由についても回答した。

その結果、表-5に示す通り全ての被験者が全体を通して音声経路案内は役に立った(+1~+3)と回答した。具体的なシステムの評価項目を平均値と比較すると内容>量>タイミングという結果になった。情報の内容については12名中11名の被験者が適切だったと回答したが、情報提供のタイミングは被験者によってバラつきがあるため、被験者によっては適切でなかった。同様に、位置の把握と経路のイメージに役立ったかどうかについてもタイミングの影響があり、被験者によって意見が分かれた。

また、①~⑪の各案内情報に対する被験者の評価を表-6に記す。また、そのように評価した理由について代表的な意見を表-7にまとめた。

表-5 音声案内全体に対する被験者の評価

調査項目	平均	標準偏差	ヒストグラム
Q10 情報提供のタイミングは適切だった	0.33	2.06	■■■■■
Q11 情報の量は適切だった	1.75	1.29	■■■■■
Q12 情報の内容は適切だった	2.08	1.08	■■■■■
Q13 情報の内容は自分の位置を把握するのに役立った	1.17	1.59	■■■■■
Q14 情報の内容は経路をイメージするのに役立った	0.92	1.93	■■■■■
Q15 全体を通して音声経路案内は役に立った	2.33	0.78	■■■■■

表-6 各案内情報に対する被験者の評価

案内情報	平均	標準偏差	ヒストグラム
左側の壁の終わりの角を曲がります	2.67	0.49	■■■■■
壁は凹凸のある金属です	2.08	1.31	■■■■■
壁の終わりの角を、〇時です	2.58	0.67	■■■■■
〇m先、左壁終りまで進みます	2.33	1.44	■■■■■
壁の切れ目で通路右側に渡ります	1.67	1.56	■■■■■
途中から下りスロープになっています	2.64	0.50	■■■■■
入口手前にフロアマットがあります	2.67	0.65	■■■■■
〇m先、フロアマットの終わりを右折します	1.83	1.53	■■■■■
2階のフロアはカーペットです	2.42	0.79	■■■■■
〇m先に両開きのガラスのドア、現在は開いています	2.33	0.98	■■■■■
扉が無い1m幅の入口です	2.50	0.52	■■■■■
階段は直線、全部で34段です	2.50	0.67	■■■■■
踊り場が1回あります	2.33	0.78	■■■■■
右側、手摺があります	2.09	1.22	■■■■■
〇時です。手摺に沿って曲がります	1.73	1.74	■■■■■
手摺がなくなります	1.27	1.68	■■■■■
この先1.3m幅の遊歩道です	2.18	0.75	■■■■■
道の両側は50cmの段差があります	1.18	2.09	■■■■■
道なりに〇m、突き当たり字路まで進みます	1.27	2.05	■■■■■
ゆるやかに右にカーブしています	2.18	0.75	■■■■■
注意、右側下り階段があります	-0.36	2.34	■■■■■
ゆるやかに左にカーブしています	2.00	1.18	■■■■■
小さい川を渡ります	0.73	2.20	■■■■■
渡る間、左右に手すりがあります	1.64	2.06	■■■■■
木陰のベンチは〇時方向、〇m先です	1.82	1.72	■■■■■
建物は正面〇mのところにあり、入口はその左端です	1.83	1.80	■■■■■
ロビーは吹き抜けになっています	0.17	2.29	■■■■■
2m幅の通路です	2.08	1.00	■■■■■
右側に高さ1mのショーケースがあります	1.75	1.76	■■■■■
ショーケース終わりで〇m進みます	2.08	1.51	■■■■■
通路が少し狭くなります	1.42	2.27	■■■■■

表-7 各案内情報に対する具体的評価

案内情報	被験者の具体的評価
左側の壁の終わりの角を曲がります	(P08)ここからどこに行くのか分かりやすい目印になる。 (P09)そのまま壁沿いに行っていんだというのが分かるので。
壁は凹凸のある金属です	(P05)実際に案内してもらっている壁なのかどうかという確認の情報になる。 (P11)探れば違いがわかるので、自分が正しい壁を触っているかどうかの確認になる。
壁の終わりの角を、〇時です	(P05)具体的に方向が分かる。 (P08)壁が直角なので9時で間違いないと分かった。
〇m先、左壁終りまで進みます	(P08)どこまで行くんだらうというのがあるので目安を知る上で役に立つ。 (P10)こういう壁を使ったりする案内は分かりやすい。 (P11)距離と目標が分かる。
壁の切れ目で通路右側に渡ります	(P06)私には渡る意味がないのでこの案内は分かりづらい。 (P08)困るのは最後のところなので、最後のポイントは情報としてあるととても助かります。
途中から下りスロープになっています	(P05)道の状態が下り坂になっているイメージができる。 (P10)正しいルートを歩いているという実感がある。 (P11)切り替わりが分かる。 (P12)床が下がるといふ先の見通しが持てるので良い。
入り口手前にフロアマットがあります	(P08)入っていく時の目印になる。 (P09)踏んだら分かるので良い。 (P11)ある程度来たらフロアマットの色の違いに気づいた。あと、足の先がここに引っかかるというか、違うと思ったのでこの辺だなと思った。
〇m先、フロアマットの終わりを右折します	(P10)ただの〇m先と言うより、フロアマットの終わりと言うことで確実性が高まるので良い。 (P11)フロアマットが消えたら曲がれば良いと分かった。
2階のフロアはカーペットです	(P05)踊り場との見分けに使えるのかなと思う。 (P08)確実にここが2階だということが分かる。 (P09)カーペットになると足音が急に消えて周りの人との距離感がつかめなくなるからあって良い。
扉が無い1m幅の入口です	(P08)扉があると思うので、ないのまま行き過ぎていた。 (P10)幅が分かるので入り口に安心して入れる。1mぐらいの幅だからこれで間違いないのかと思っていました。
〇m先に両開きのガラスのドア、現在は開いています	(P01)どっちに開いているという情報もあると良い。 (P05)開閉状態の情報は特にガラス扉だと助かる。 (P07)案内が無かったらドアは閉まっているものと思って、ドアを探してしまっていたかもしれない。 (P09)ガラスは言った方が良い。たまに思いっきり当たるんです。 (P11)両開きだと危ないのだから閉まらないうちにしようと思う。扉が90度かどこかにはあるんだらうなという予想がつく。
階段は直線、全部で34段です	(P04)この階段は後半の方が多く、均等ではない。その場合、何段ずつという言い方もある。 (P11)何段くらいというイメージがつくと空足を踏まなくて済む。 (P12)どのくらいの長さか事前に分かる。直線というのも途中で向きが変わるものもあるので良い。
踊り場が1回あります	(P01)踊り場で終わったと思って進んだらまだあったということがよくある。まだ踊り場ですよっていうのはあったほうが良い。 (P03)何段後に踊り場がありますとかだと分かりやすい。 (P08)階段によっては何度も踊り場があるものもあるので前もって分かるのは良かった。
右側、手摺があります	(P02)落ちないんだなって、安心できる。 (P05)高さが分かるのと方向がどちらに向けて手すりがあるという点と何があるかという点の3つ情報がある。イメージしやすいいそれを頼りに歩けた。
渡る間、左右に手摺があります	(P09)同じ材質の板の上を歩いているので、別に渡っていると認識して歩いているわけじゃない。 (P10)落ちないんだなっていう安心感があります。
右〇時です。手摺に沿って曲がります	(P08)手摺に沿ってというのとは分らなかつたときに確かめることができるのでいい情報だと思います。 (P11)このまま手摺があるというのが分かるので役に立ちます。
この先1.3m幅の遊歩道です	(P05)道幅が知れるのでいいかなと思いますね。 (P10)細い道なので気をつけなければいけないと思う。
注意、右側下り階段があります	(P08)段差のような情報があるというのはいらないです。 (P09)道じゃないことを付け加えて欲しい。降りるのかなと一瞬思った。ただあることだけを言われてもヒントなのか違うのか判断が付きかねる。 (P11)危ない。ここになにかあると思って回避した。
小さい川を渡ります	(P08)緊張した。川なんだっていうことでちょっとそのあたりは足元に注意しようと思った。 (P10)場所が正しいんだということが分かる。橋の上に少し上がってまた降りるっていう床の造りを実感できた。水の音がしていたので川なんだと思った。 (P11)左に水の音がしていたので、何か水があるなと思っていたことが確認できた。
建物は正面〇mのところにあり、入口はその左端です	(P07)どれだけ歩けばいいかという目安になる。 (P08)先にイメージするという意味であると助かります。 (P11)今、自分のいるところからどのくらいの距離に建物の壁があるのかというのと、そこからどう曲がればドアがあるかというのが分かる。 (P12)自分と建物と入口の位置関係が大体掴めた。
ロビーは吹き抜けになっています	(P01)吹き抜けの感じが分かる。自分のいる場所が特定できる。 (P02)大体建物に入ってロビーにいれば間違えてなさそうなので、ロビーっていうのがわかると安心。 (P05)上も奥行きも全体的に広がっているというふうなもう少し具体的な表現があると良い。 (P06)私には必要のない情報です。
2m幅の通路です	(P08)2mと10mではかなり違うし大体の感覚をイメージできる。 (P10)注意しなきゃいけないとか、余裕ですれ違えるのかとか、参考になることがいろいろある。
通路が少し狭くなります	(P08)変化があるというのとはすごく大きい。 (P10)色んな注意ができるのと、間違った方向に来てないことの自信になる。

4. 環境情報と被験者の歩行についての考察

本章では特に被験者からの評価が高かった壁、床、扉、階段に関する情報とその他の情報、また、それらを用いた被験者の歩行について考察を行う。

4.1. 壁に関する情報と歩行

壁に関する情報が案内に加わることで、被験者は自分の近くに存在する壁を認識し壁沿いに歩くことが出来た。実際に図-12の通路では図-13のように壁に手を添えながら歩く被験者（P01, P03, P07, P09, P11）や壁の位置を白杖で触れて確認する被験者（P02, P06を除く全て）がいた。アンケートでは壁に関する5つの案内情報のうち4つの評価の平均値が+2以上で、単に距離と方向を示すよりも距離感や方向感を得るのに役立つという点が評価された。

また、「壁の終わり」や「壁の切れ目」のように壁の終端を伝える情報や「壁は凹凸のある金属(図-14)」のように壁の形状と素材を伝える情報は、被験者が歩行中に自分の位置を把握するためのランドマークになるという点で評価された。特に、案内情報⑫「左側の壁の終わりの角を曲がります」は被験者の評価値が案内中最も高い情報の一つであり、曲がり角のように正確な自己位置の把握が必要な場所で役立つという意見が得られた。一方、同様に壁の終端を伝える案内情報⑮「壁の切れ目で通路右側に渡ります」の評価が他の壁情報と比較して低いのは、壁の切れ目という表現が分かりづらいという点や、一部の弱視者は通路右側に渡る必要性を感じなかったという点から評価にバラつきが生じたためである。案内情報⑬「壁は凹凸のある金属です」についても、視覚から壁の存在がある程度分かる弱視者にとっては必要のない情報だとして評価は低かった。



図-12 経路2の通路



図-14 凹凸の金属壁



図-13 手や白杖で壁を確認しながら歩行する様子



4.2. 床に関する情報と歩行

床は視覚障害者が白杖や足の裏から認知できる環境要素の一つであり、ランドマークとして大いに役立った。また、床に関する4つの案内情報のうち3つの評価の平均値が+2以上と高く評価された。

床の勾配を伝える「下りスロープ(図-15)」のような情報は、自分の位置を把握するためのランドマークになるとして評価された他、スロープで床が下がることについて前もって見通しを持てたことが安心感につながるという点でも評価された。

床の素材を伝える「フロアマット(図-16)」や「カーペット(図-17)」のような情報も被験者が自分の位置を把握することに役立ったとして評価が高かった。特に、スタート地点から次の目標である1階入口の自動ドアまで辿り着く経路が難しく、途中脇道に逸れた者もいたが、案内に従って入口付近まで辿り着き、白杖で周辺を探索しているうちに白杖がフロアマットに触れ、入口を発見することが出来た(図-18)。また、弱視者にとってはフロアマットの色の違いが視覚的に判別しやすく、建物の入口の位置を把握するのに役立った。このような点から案内情報⑮「入口手前にフロアマットがあります」は被験者から最も高く評価された。一方、案内情報⑯「〇m先、フロアマットの終わりを右折します」の評価は他の床情報と比較して低いが、これは一つ前の案内からほとんど間が無い1~2m先の案内のため、タイミングの僅かなズレによって被験者によっては効果的に機能しなかったためである。「カーペット」の情報は階段の踏面から2階の床に到達したことが分かるため、足の踏み外しの心配がないという点が評価された。その他、素材の特性という観点で、カーペットの場合他人の足音が聞き取りづらくなるため注意出来るという点を評価した者もいた。

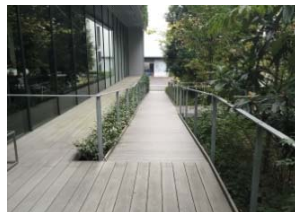


図-15 下りスロープ



図-16 フロアマット

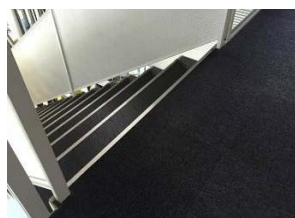


図-17 カーペット

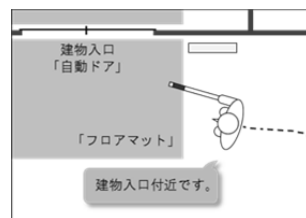


図-18 入口付近の歩行

4.3. 扉に関する情報と歩行

扉の種類に関する「両開き(図-19)」のような情報は、扉を発見するために役立つという意見が得られ、図-20のように触って確認する被験者もいた。その他、ガラス扉は弱視者が認識し辛く、ぶつかる恐れがあるので注意喚起として必要だという意見が得られた。同様に、「扉の開閉状態^{注6)}」についても、開いている扉にぶつかる可能性があるため、注意喚起になるという意見が得られた。「扉が無い」という情報についてはその後の「1m幅の入口」という情報と組み合わせることで、被験者は入口を見つけることが出来た。ただし、扉が無い場所を見つけることは難しいという意見も出ており、実際に入口を見つけるのに苦労した被験者もいた。本実験では図-21、22のように「1m幅」を手掛かりにかりかろうじて被験者は入口を見つけたが、こうした案内の工夫だけでなく床や壁に分かりやすい手掛かりを整備していくことも重要だろう。



図-19 両開きのガラスの扉 (左)



図-20 扉付近の歩行の様子 (右)



図-21 シアターの入口を見つける被験者 (左)

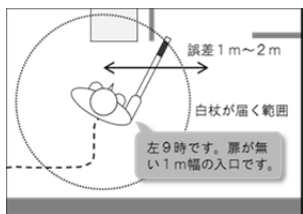


図-22 シアターの入口付近の歩行の様子 (右)

4.4. 階段に関する情報と歩行

「全部で34段」という情報については、段数が距離感の把握に役立つという意見に加え、空足を踏まないように実際に段数を数えられるという意見も得られた。ただし、段数までは気にしないという被験者もいるため、この点については意見が分かれた。「踊り場が1回」については2階の床と踊り場の区別に役立つという意見が多く、全ての被験者が役立つと回答している。「階段は直線」については全盲者にとって階段が直線階段か折り返し階段かを視覚的に区別することが出来ないため極めて重要な情報であった。ただ、「階段は直線」という表現の意図

が伝わらず、折り返し階段だと勘違いした被験者も存在し、その際、踊り場で折り返そうとしてしまった(図-23)。

なお、本実験経路中の階段は壁から離れた独立階段で幅も2m未満のため多くの被験者にとって階段前まで辿り着くことが難しい箇所であった。中には階段横を通り過ぎてしまう被験者もいたが、階段側面にある踏面や手摺に触れることでかろうじて階段を見つけることが出来た(図-24、25)。ゆえに、1m~2m程度の誤差が存在する状態では、このような階段周りには手摺の設置や床材に変化をつけるなどの環境整備を行うことが望ましいだろう。



図-23 直線階段の踊り場で折り返す被験者

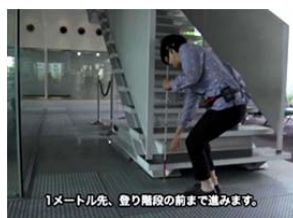


図-24 階段を触って確認する被験者 (左)

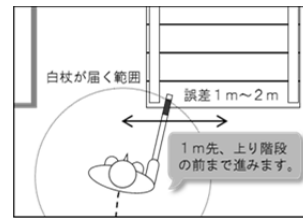


図-25 階段前の被験者の歩行の様子 (右)

4.5. その他の情報について

その他の情報には被験者が直接触れられないが手掛かりとなるもの、空間的な広がり、空間の位置関係、経路の形状などがある。これらについては被験者によって評価にバラつきがあり、評価している点も様々であるため、代表的な物について以下個別に取り上げる。

「小さい川を渡る」については、川の音から自身の位置関係を把握出来るという意見、歩道が上がって下りる感覚から渡っていることが分かるという意見、川に落ちないように気を付けて歩けるという意見などが得られた。その一方で、経路上の情報ではないので不要という意見や、渡っているかどうか分からないので関係ないという反対意見もあった。

「吹き抜け」という情報に対しては、被験者の空間把握の能力によって評価が分かれた。Q8「近くに壁があると、触らなくても位置がわかる」およびQ9「まわりの音を聞くだけで、自分のいる場所がわかる」という設問に対する同意の程度と案内情報⑧

「ロビーは吹き抜けになっています」に対する評価について相関関係を調べたところ、それぞれ正の相関が有意水準 5%以下で得られた(Q8×Q9: $r=.816$, $p=0.001<0.01$, Q8×⑩: $r=.672$, $p=0.014<0.05$, Q9×⑩: $r=.697$, $p=0.0095<0.01$, 図-26)。Q8とQ9には強い相関がみられ、設問の内容からどちらも周囲の音から空間を把握する能力に関係していると思われる。そしてこれらの設問に対する回答が高い(低い)被験者ほど案内情報⑩に対する評価も高く(低く)、被験者の空間把握の能力によって歩行時に必要とされる情報が異なる一例だと言える。なお、この情報に対して肯定的な評価をした者は全盲者が多く、弱視者の中では唯一案内情報⑩に対して肯定的に評価したP02も「吹き抜け」ではなく「ロビー」という場所の名前を伝える情報について評価しており、全盲者が「吹き抜け」という空間的な広がり伝える情報について評価している点とは異なる。

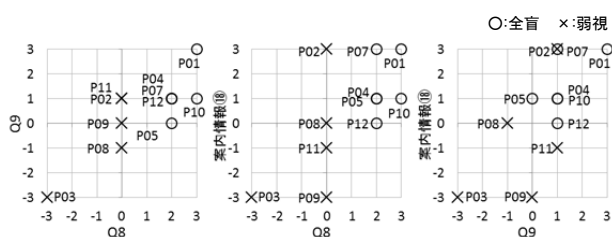


図-26 各設問間の相関関係

また、「2m幅の通路」や「通路が少し狭くなる」といった空間的な広がりに関する情報については、自己位置の把握に役立つ以外にも、狭い通路では他の歩行者との接触に気をつけるという被験者が安全面でこの情報を評価した。その他、「2m幅」という情報は通路の反対側に渡る際に距離感を把握する上で重要だという意見も得られた。一方、「狭くなる」という情報は変化するという意味で重要だが、表現が曖昧なため「2m」のように具体的な表現である方が好ましいという意見が得られた。

案内情報⑭「建物は正面〇mのところであり、入口はその左端です」は空間の位置関係を伝える情報だが、建物の入口を見つけることに困難を感じている被験者が多く、ほとんどの被験者から評価が高かった。一方で、本実験経路のように建物を壁伝いに歩かないのであれば必要ないと考える被験者もいた。

以上のように、経路上にない手掛かりや位置関係などの情報については、被験者の空間把握能力や歩行中に重視している点などの違いによって評価にバラつきが見られた。

5. まとめ

本実験は視覚障害者が音声経路案内を用いた場合の歩行について実態を明らかにし、歩行中に手掛かりとして有効な環境要素の具体的事例を収集した。屋内の幅 1m~2m 程度の狭い経路を円滑に移動するためには、位置推定精度に改善の余地があるものの、経路案内の表現を工夫することで、12名の被験者が全く初めての場所でも目的地まで到達することができた。ただし、今回使用した位置推定技術では人の混雑度、他の電波を発信する機器等、様々な要因によって電波の受信環境が変化するため、あらゆる条件下でも一定精度の位置推定を行うことは難しい。また、将来的に位置推定が限りなく正確に行えるようになったとしても、歩行能力テストの結果が示すように、個々の距離感や方向感の違いも伴い、方向と距離の情報だけを用いた案内では実際の歩行とのズレが大きくなってしまふ恐れがある。これに対して、壁の終わりや手摺の終わりといった環境情報を案内に用いる場合、被験者自らが周辺環境のイメージを描きながら、白杖や手足の感覚からランドマークを頼りに歩行するため、案内と実際の歩行とのズレを被験者自ら補うことが出来た。本実験では、1m~3mの位置推定誤差がある状況下でも、被験者が白杖を利用して 1m~2m 幅の階段や扉を見つける場面が見られている。特に、歩行中に手や足で直接知覚可能な壁や床の情報は多くの被験者が役に立ったと評価した。これは、被験者が今いる自分の位置や目標方向を把握する上で、案内と実際の歩行とのズレを補うために必須のランドマーク情報だと言える。また、ズレを補える以外にランドマークを確認しながら歩行することで正しい場所を歩いているという確信が得られる利点があった。一方で、「小さい川」や「吹き抜け」など歩行経路上には無いが空気や音の反響などから手掛かりと成り得る情報は、前述の手や足で直接知覚可能な情報と同様に歩行に役立つとした者と、歩行に直接関係が無いとして評価が低い者に意見が分かれた。こうした情報は必須ではないため、利用者の好みや特性に応じて、与える情報を最適化するシステムが実装出来ると良いだろう。したがって、視覚障害者の経路案内作成においては、その他のランドマーク情報の収集や利用者毎に異なる情報の有効性などについて検討していく必要がある。本研究は今後、本実験で登場しなかった環境要素を含む経路や大規模な社会実証等によってより多くの事例を収集し、上述の課題について分析を行っていきたい。

謝辞

本実験に多大なご協力をいただきました日本 IBM 東京基礎研究所、日本点字図書館ならびに被験者の皆様に心から感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) William R. Wiener, Richard L. Welsh, and Bruce B. Blasch, Editors: Foundations of Orientation and Mobility, Third Edition, Volume 2, Instructional Strategies and Practical Applications, AFB Press, pp800-802, 2010
- 2) 佐藤泰正：視覚障害者心理学，学芸図書，pp145-163，2012.12
- 3) 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，1999.07
- 4) 芝田裕一：視覚障害児・者の歩行指導 特別支援教育からリハビリテーションまで，北大路出版，2015.02
- 5) 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，日本音響学会誌，50(4)，pp289-295，1994.04
- 6) 横山勝樹，野村みどり：視覚障害者の空間表象に関する研究—経路口述におけるスキーマの抽出—，日本建築学会計画系論文集，No.522，pp195-200，1999.08
- 7) 山本利和：視覚障害者の歩行環境に関する事例報告，発達人間学論叢，第3号，pp71-81，2000.2
- 8) 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，No.611，pp75-82，2007.01
- 9) 田中直人，岩田三千子：夜間歩行におけるロービジョン者の意識と街路空間の視環境調査，日本建築学会計画系論文集，No.613，pp89-94，2007.03
- 10) 柳原崇男，原良昭，桑波田謙：白杖による分岐点案内等の点状突起形状の検出に関する研究 視覚障害者のための屋内誘導システムに関する研究（その1），日本建築学会計画系論文集，No.661，pp551-557，2011.03
- 11) 松田雄二，西出和彦：中途失明者の単独街路歩行の実態—視覚障害者の歩行様態に関する研究 その1—，日本建築学会計画系論文集，No.660，pp327-334，2011.02
- 12) 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，78(686)，783-790，2013.04
- 13) 国土交通省：ICT を活用した歩行者移動支援システムの水平展開に向けた事例とノウハウについて～ユニバーサル社会に対応した歩行者移動支援の推進～，2011.05
- 14) 野田宏治，荻野弘，栗本讓：微弱電波を利用した視覚障害者のための歩行案内システムに関する研究，土木計画学研究・論文集，No.15，pp773-781，1998.09

- 15) 奥村一生，荒木兵一郎，亀谷義浩：携帯電話案内による屋内歩行 視覚障害者の歩行空間に関する研究（その5）：日本建築学会大会学術講演梗概集，pp159-160，2001.09
- 16) 鹿島教昭，田村明弘，太田篤史，安藤祐子，鈴木和子，小澤繁之：音声情報装置を用いた視覚障害者の歩行実験，横浜市環境科学研究所報，第26号，pp79-89，2002
- 17) 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，情報処理学会誌，Vol.44，No.12，pp3256-3268，2003.12
- 18) 湯瀬裕昭，石川准，青山知靖，亀田能成，青木恭太，村山慎二郎，蔵田武志，興梠正克：画像・GPS等のセンサ統合による屋内外視覚障害者歩行支援システムの評価，マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2011 論文集，pp1080-1083，2011.06
- 19) 村田将之，内藤拓也，佐藤大介，五十嵐雄哉，貞清一浩，高木啓伸：BLE ビーコンを用いた視覚障害者向け高精度屋内外ナビゲーション，情報処理学会研究報告アクセシビリティ AAC，2016-AAC-1 巻，3号，pp1-8，2016.07

<注釈>

- 注1) 歩行空間ネットワークデータとは移動経路を表すリンクとリンクの結節点を表すノードで構成され、リンクには段差の有無、幅員、勾配などの情報が紐づいており、これを用いて車椅子利用者や視覚障害者など、利用者の属性に応じた最適な経路を検索することが出来る。
- 注2) システム調整の関係で被験者実験後半に一部、表現方法を改めた箇所もあるが、分析では案内情報は同じものとして一つにまとめている。
- 注3) 「〇時方向」はスマートフォンの加速度センサおよびジャイロセンサを用いて算出した被験者の体の向きに応じて変化する。また、円滑な移動のために音声案内はその場に辿り着く少し前に伝える必要がある。そのため「〇m先」はその時の歩行速度によって流すタイミング（場所）が変化するため、それに従って距離情報も変化する。
- 注4) 衝突や転落等の危険回避のため、同行者が必要と判断した場合に限り、被験者を一旦静止させる、または指示を出すなどした。
- 注5) P06の屋外および屋内ルート、P07の屋外ルートはシステム不調により位置座標のデータログが適切に取得できなかったため、関連する分析では取り扱っていない。
- 注6) 扉の開閉状態については本実験では常に開状態として運用した。

<備考>

実験経路を視覚障害者が安全に歩行可能であることを事前に確認し、被験者からも同意を得た上で実験を実施した。また、実験中は歩行訓練士が常に同行し被験者の安全に十分配慮した。