

仮想空間システムを用いた空間認識能力計測手法の提案

嶋田 光佑¹ 廣井 慧² 梶 克彦³ 河口 信夫^{1,2}

概要：目的地までの道がわからない時、モバイル端末を用いて歩行者向けナビゲーションシステムを利用できる。しかし、方向感覚や距離感覚などの空間認識能力には個人差があるため、利用者間には案内理解の程度に差があり、有効活用につながらず道に迷う人もいる。この問題を解決するには利用者個人の空間認識能力を計測し、結果を考慮した案内を提供すべきであると考え。本研究では、人の空間認識能力に応じた案内を提供することを目的とした、仮想空間システムを用いた空間認識能力の計測手法を提案する。目的地へ移動するための空間認識能力として「地図上での自己位置把握」、「目的地の方向把握」、「音声案内記憶の定着」などが挙げられる。これらの能力について計測手法を提案し、計測テストを仮想空間を用いて実装、被験者実験を行う。これらのテストの結果についてクラスタリングを行い、被験者間の能力の違いを分析する。分析結果をもとに空間認識能力に基づいた人の分類基準を作成する。また計測した結果が被験者の感覚と関連があるかを検討するため、計測結果と被験者の方向感覚に関する自己評定との傾向を求める。

A Proposal of Measurement Method of Spatial Perception and Cognitive Mapping using Virtual Reality System

KOSUKE SHIMADA¹ KEI HIROI² KATSUHIKO KAJI³ NOBUO KAWAGUCHI^{1,2}

1. はじめに

現在、歩行者に対してルートガイダンスを行うサービスが広く普及し、モバイル端末を用いて簡単に利用できる [1] [2] [3] [4] [5]。しかし、方向感覚や距離感覚などの空間認識能力には個人差があるため、利用者間には案内理解の程度に差があり、ナビゲーションシステムを有効活用できず道に迷う人もいる。例えば、空間認識能力のうち、地図の読み解きについて不得意な人、つまり地図を読むことが苦手な人は、地図をベースとした案内は容易に理解することはできない。このような人に対しては、地図を用いないことを前提とした音声のみを用いた案内などが効果的であると考えられる。そのため、個人の空間認識能力を考慮したルートガイダンスを提供することで、より利便性が向上すると考えられる。空間認識能力を考慮するには計測手法を確立し、計測および空間認識能力に基づく分類が必要がある。

空間認識能力は様々な能力で構成されている。例えば、自分が地図上のどこにいるかを把握する能力は空間認識能力を構成するひとつである。地図を用いたナビゲーションシステムには、GPSなどで推定された利用者の位置を表すマーカーが用いられる。しかし、GPSの測定誤差などが原因で、位置推定は常に正しいとは言えない。その際、人は推定誤差を考慮し自分の正確な位置を把握しなければならない。空間認識に長けた人は、地図の情報と環境の照合などを行い、自分の位置を把握できる。しかし、空間認識に長けていない人にとって、自分の位置の把握は困難である。心理学の分野で、空間認識能力について定性的な評価や実験者の観測による定量的な評価 [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] は研究されているが、ナビゲーションシステムの使用中であることを前提とした定量的な計測は行われていない。

本稿では、人の空間認識能力に応じた案内を提供することを目的とした、仮想空間システムを用いた空間認識能力の計測手法を提案する。はじめに、空間認識能力のうち目的地へと移動するために必要な能力、計測すべき能力について検討し、定量的に計測する手法を考案した。次に、能

¹ 名古屋大学大学院工学研究科

² 名古屋大学未来社会創造機構

³ 愛知工業大学情報科学部

力の計測を行うため、歩行者ナビゲーションシステムを利用しながらの仮想的な歩行実験が行える仮想空間システム [14] [15] を開発し、空間認識能力の計測実験を行った。

本稿では、「地図上での自己位置把握」、「目的地の方向把握」、「音声案内記憶の定着」の能力について計測手法を提案し、計測実験を行った。実験データを取得・分析し、各能力について正確さや把握の速さの評価基準で男女間の差や個人差を得た。また、被験者に対して方向感覚に関するアンケートを行い、「目的地の方向把握」能力の計測実験結果の良し悪しと、各被験者の自己評価の良し悪しが一致する傾向にあることを確認した。

2. 関連研究

現在、様々な歩行者向けルートガイダンス手法が提案されており、またサービスとしても広く利用されている。NAVITIME [1] は、地図上に利用者の位置と目的地までの経路を示す。渡邊らの研究 [2] では、地図を用いない音声による案内を提案している。Jacob らの研究 [3] では、触覚を用いた案内手法を提案している。これらの手法はそれぞれの強みを有するが、利用者が自分に最適な手法を選択することは難しい。利用者の空間認識能力を考慮することで、利用者にとって最も効果的なルートガイダンスを提供、及び考案ができると考える。

心理学の分野では、経路探索のための空間認識に関して広く研究されてきた。Hunt らの研究 [6] では、経路探索についてイメージマップが予測因子のひとつであると提言している。また、Lawton の研究 [7] では、屋内における経路探索のための行動について提言している。これらは人が移動する際に、潜在的に行っている行動について述べている。しかし人の能力を定量的に計測するものではない。

人の空間認識能力を測定する空間課題も、様々な環境において提案され、実験をされている。村越らは、イメージポインティング課題 (被験者に特定の場所を指で示してもらい、正しい方向と解答方向との角度差を評価基準とする課題) を行った [8]。しかしこれらの実験は、歩行者向けナビゲーションシステムを用いた状態では行われていない。そのため、歩行者向けナビゲーションシステムを使用中における計測実験を行う必要がある。

本稿では、歩行者向けナビゲーションシステムを用いた状態での空間認識能力の計測手法を提案するが、実世界における実験では実験者の観測によって定量的な計測を行うため、正確なデータの取得が難しい。初見の場所で複数回実験を行うには実験地への移動が必要であるため、拘束時間が大きいといった問題がある。そこで、実験を行うための仮想空間システムを構築した。仮想空間を用いることで、実験の正確なデータを自動的に取得できるため定量的な計測が容易になる。また、実験環境を仮想空間で構築することで、実験地への移動が不要となり、計測実験が効率的に

行える。

3. 空間認識能力計測のための仮想空間システム

本章ではまず、計測すべき空間認識能力について検討する。その後、仮想空間を用いた空間認識能力計測の利点について述べ、システムの構築について述べる。

3.1 空間認識能力計測手法の検討

空間認識能力は様々な能力で構成されている。そのため空間認識能力のうち目的地へと移動するために必要な能力、計測すべき能力について分解して検討する必要がある。そのため、移動中における思考や行動について検討した。人は目的地まで移動しようと考えた時、自分の位置や目的地の方向を把握すると考えられる。また人が移動する際、ナビゲーションシステムの案内を理解し移動するが、案内を一度受けるだけで理解し案内地点まで移動を行う人もいれば、一度だけの案内では内容の記憶が定着しない人もいる。これらのことから以下の能力を計測すべきであると考える。

- 地図上での自己位置把握
- 目的地の方向把握
- 音声案内記憶の定着

これらの行動をいかに早く正確に行えるかを計測し分析することで、目的地へと効率的に移動するために必要な空間認識能力を計測する。これらの能力について、早さと正確さを評価基準とした計測テストを提案し、被験者実験を行う。計測テストの概要については4章で述べる。実験を行うため、仮想空間システムを開発し、それぞれの能力について計測課題を実装した。実験データを取得・分析し、被験者間に個人差が見られるかを確認する。

3.2 仮想空間を用いた空間認識能力計測の利点

仮想空間を用いることで三つの利点がある。一つ目は実験コストの削減である。実空間にて被験者にとって初見の場所で複数回実験を行うとなると、その場所まで移動しなければならないため、拘束時間が膨大になってしまう。これは時間のコストも被験者の体力的コストも大きいいため、試行回数を増やすとなると、効率的に実験を行うことができない。しかし仮想空間を用いることで、PC環境さえ整っていれば、移動する必要もなく初見の場所での実験を行うことができるようになる。

二つ目の利点は、実験者は実験の設定を自由に変更できる点である。実験者は「実験で用いる案内手法」、「位置や方向の推定誤差の程度」、「実験を行う環境」の要素を自由に変更できるため、さまざまな環境、条件で実験を行える。また、実世界に存在しないような環境や案内手法に関しても仮想空間内で実装することで、仮想的な実験を行うこと

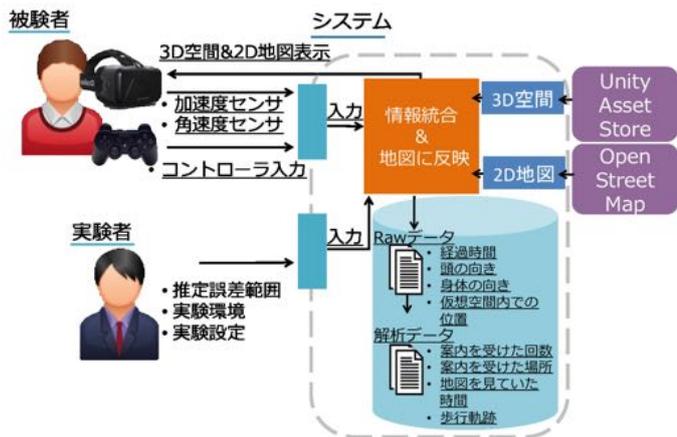


図 1 仮想空間システムの概要

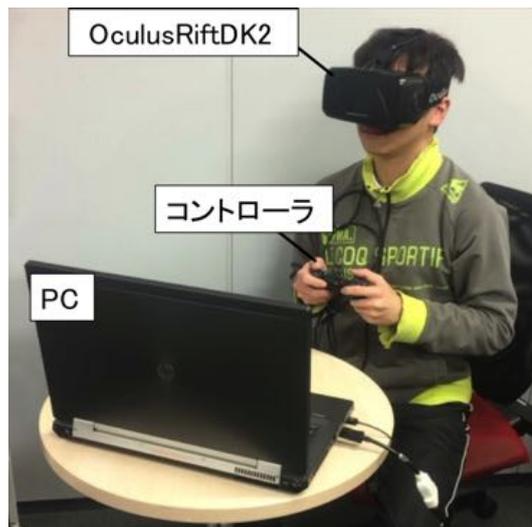


図 2 実験中の様子

もできる。

三つ目は、被験者の実験データを記録できる点である。実験の経過時間、被験者の仮想空間内での頭の向き、被験者の仮想空間内での身体の向き、被験者の仮想空間内での位置を記録できる。心理学の分野においては、実験者の観測からデータを取得し分析を行っていたが、本システムを用いると正確なデータを取得できるため、より確実な定量的計測が行える。

3.3 仮想空間システムの構築

3次元仮想空間システムの開発環境として、ゲームエンジンであるUnity^{*1}を利用し、仮想空間の立体表示は、Oculus Rift DK2^{*2}(以降Oculus)を用いた。システムの概要を図1に、またシステム利用中の様子を図2に示す。実験者は位置や方向などのシステムが生む推定誤差の程度や、実験を行う環境、実験の設定を自由に設定できる。本稿では、3次元空間についてはUnity Asset Store^{*3}から、2次元地図についてはOpen Street Map^{*4}からデータを取得し利用した。しかし、このデータのみならず、3次元空間に関しても2次元地図に関して、自由に作成および設定ができる。

被験者は手に持ったコントローラを用いて入力を行い、仮想空間内での操作を行う。以下に被験者が行える仮想空間内での操作を挙げる。

- 仮想空間内での移動
- 仮想空間内での方向転換
- 地図の拡大縮小などの操作
- 空間課題に対する解答
- 音声案内の再生

Oculusを装着した被験者が見る映像は被験者の入力に応じて変化する。被験者の視界の例を図3に示す。図の右

側を右目で、左側を左目で見ることによって、仮想空間を立体視する。被験者が下を向いた時、2次元地図を仮想空間内で見られる。被験者が地図を見るために下を向いている時の様子を図3(b)に、被験者が3次元空間上にある目印(以降ランドマーク)を見ている時の様子を図3(c)に示す。2次元地図には、自分の位置と向いている方向を表すマーカーが地図には表示される(図4)。円形の濃い青色のマーカーは被験者の位置、長方形の濃い青色のマーカーは被験者の仮想空間内での体の向きを示しており、円形の半透明の水色のマーカーはシステムの位置推定の誤差範囲を示している。システムは実験中に自動的に被験者の状態を取得し、rawデータとして記録する。rawデータの例を表1に示す。rawデータを解析することで、以下に示す解析データも取得することができる。

- 案内を受けた回数
- 案内を受けた場所
- 2次元地図を見ていた時間
- 被験者の歩行軌跡

被験者の歩行軌跡の例を図5に示す。青い線は被験者の歩行軌跡、赤い点は被験者が案内を受けた場所、緑色の円は被験者の実験開始地点を示している。

表 1 raw データの例

経過時間	頭の向き		
	[s]	x[°]	y[°]
28.07	347.80	129.76	357.41
28.10	347.82	131.53	357.37
28.12	347.86	129.42	357.31

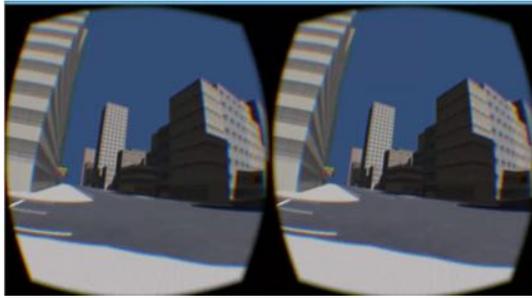
身体の向き			仮想空間内での位置		
x[°]	y[°]	z[°]	x[m]	y[m]	z[m]
0	110.00	0	9.41	0	1.09
0	110.00	0	9.42	0	1.10
0	120.00	0	9.44	0	1.13

*1 Unity. <http://japan.unity3d.com/>

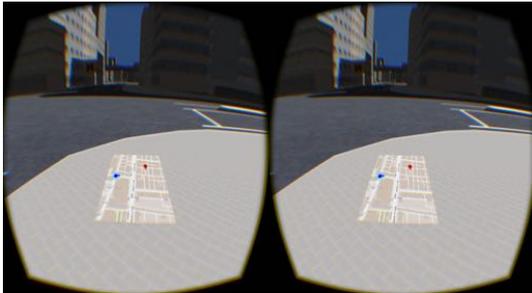
*2 Oculus Rift. <https://www.oculus.com/>

*3 Asset Store -Unity. <https://www.assetstore.unity3d.com/>

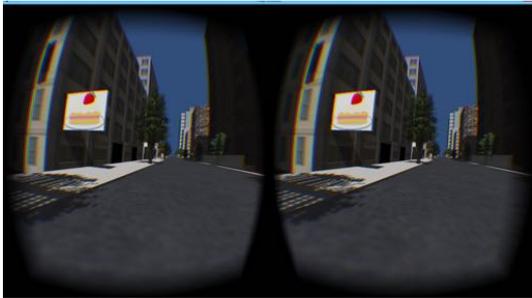
*4 Open Street Map. <http://www.openstreetmap.org/>



(a) 前を向いている



(b) 下を向いている



(c) ランドマークを見ている

図 3 Oculus 装着時の被験者の視界

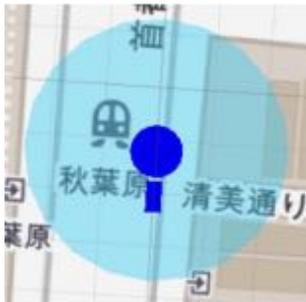


図 4 2次元地図に表示された位置と方向を表すマーカー

被験者が下を向いて2次元地図を見ている時は、移動ができないものとした。実世界では車が走っていたり他の歩行者がいるため、下を向きながら歩くことは非常に危険である。しかし今回の仮想空間内では車も人も存在しないため、身の危険を感じられない。仮に仮想空間内に車や人を存在させたとしても同じ状況になることが予想される。これから、被験者は下を向いたまま移動を行うことが予想される。2次元地図と3次元空間の照合を行うことを前提とした実験を行い、データを取得したいと考えたため、下を向いたまま移動を行うと、有効なデータを取得できないと

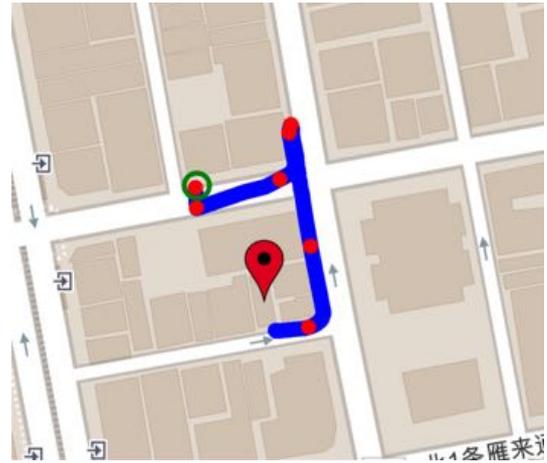


図 5 被験者の歩行軌跡

考えた。そのため、被験者が下を向いて2次元地図を見ている時は、移動ができないものとした。

4. 空間認識能力計測

本章では3章で検討した能力の計測実験について述べる。まず全ての計測実験に共通する設定について述べ、その後、各実験の概要、評価基準などを述べる。結果と考察については5章で述べる。

4.1 実験の共通設定

実験を行う仮想環境として、実在する都市の3Dモデルを利用した。3Dモデルの例を図6に示す。今回用いた3Dモデルの都市は、秋葉原、天神、札幌の3都市を用いた。これらの3DモデルはZENRIN社^{*5}によって無料提供されており、Unity Asset Storeからダウンロードすることができる。

仮想空間内での行動の操作のため、コントローラを用いたが、被験者の中にはコントローラの操作に慣れている人とそうでない人が存在すると考えられる。そのため、実験を行う前にコントローラの操作に慣れてもらうため、十分な練習を行った。

ここからは「地図上での自己位置把握」、「目的地の方向把握」の能力計測実験に関する共通設定について述べる。被験者がOculusを装着している時に下を向くと、自らの位置と向いている方向を示すマーカーが表示された2次元地図が見られるとした。位置推定、方向推定の誤差の程度に関しては、表2のように設定した。

表 2 位置推定、方向推定の誤差の程度

推定誤差の種類	誤差の程度
位置推定	半径 25m 以内
方向推定	正しい方向から左右に 30° ずつ

*5 ZENRIN. <http://www.zenrin.co.jp/>



図 6 実験で使用した 3D モデルの例



図 8 評価基準「解答方向と真の方向との角度差」の視覚的説明



図 7 評価基準「解答位置と真の位置との距離」の視覚的説明

4.2 地図上での自己位置把握

本実験では、自らの位置を地図上で示してもらった実験を行う。Oculus を装着した被験者が下を向いた時に仮想空間内で見える地図には、コントローラで操作ができるカーソルを表示する。被験者は自分がいると思う位置にカーソルを動かして解答ボタンを押すといった実験を行った。その際、できるだけ早く解答するように伝えた。地図上での自らの位置を把握する能力についての評価基準としては、把握の早さと正確さを評価するため、以下の評価基準を設けた。

- 解答時間
- 解答位置と真の位置との距離

解答位置と真の位置との距離の視覚的な説明として図 7 に示す。円形の黒色のマーカーは被験者の解答位置、人型のマーカーは被験者の真の位置を表しており、赤色の線が評価基準となる距離を表している。

被験者は自らの位置を把握するにあたり、周囲の環境を確認することを行うため、解答するまでに仮想空間内での移動を行うことは許可した。被験者一人あたり、3 都市で各 3 回ずつ計 9 回実験を施行した。その際、地図の記憶を最小限にするため、同じ都市で連続して実験を行わない様にした。被験者数は男性 19 名、女性 15 名の計 34 名に対し行い、全て 20 代であった。

4.3 目的地の方向把握

本実験では、目的地の方向を答えてもらう実験を行う。Oculus を装着した被験者が下を向いた時に仮想空間内で見える地図には、目的地が設定されている。3 次元仮想環境内で目的地があると思う方向を向き、解答ボタンを押すといった実験を行った。その際、できるだけ早く解答するように伝えた。目的地の方向把握能力についての評価基準としては、把握の早さと正確さを評価するため、以下の評価基準を設けた。

- 解答時間
- 解答方向と真の方向との角度差

解答方向と真の方向との角度差の視覚的な説明として図 8 に示す。

被験者は目的地の方向を把握するにあたり、周囲の環境を確認することを行うため、解答するまでに仮想空間内での移動を行うことは許可した。被験者一人あたり、3 都市で各 3 回ずつ計 9 回実験を施行した。その際、地図の記憶を最小限にするため、同じ都市で連続して実験を行わない様にした。被験者数は男性 18 名、女性 17 名の計 35 名に対し行い、全て 20 代であった。

4.4 音声案内記憶の定着

本実験では、ランドマークをベースとした音声による案内記憶の定着能力について実験を行う。被験者は予め目的地となるランドマーク(本屋)を伝え、音声案内を聞きできるだけ早く目的地まで移動する実験を行った。ランドマークの種類と位置、および音声案内が流れる地点を図 9 に示す。緑色の円は被験者の実験開始地点を示している。また被験者が聞く音声案内文を表 3 に示す。図 9 で番号が示されている地点では一度だけ自動的に音声案内が流れ、被験者は移動を行う。被験者は手元のコントローラのボタンを押すことで、歩行中にも再度音声案内を聞くことができた。本実験では音声案内記憶の定着能力の計測を行うため、地図の読み取りの能力の差による結果の違いを排除する必要がある。そのため、Oculus を装着した被験者が



図 9 ランドマークの位置情報と音声案内が流れる地点

下を向いても、地図が見られないこととした。音声案内の記憶能力についての評価基準としては、以下の評価基準とした。被験者数は男性 9 名、女性 11 名の計 20 名に対し行い、全て 20 代であった。

- 音声案内を聞き直した回数
- 直前の音声案内から聞き直すまでの時間

表 3 音声案内文

案内地点番号	案内文
①	ケーキ屋の見える方向に進んでください。 パン屋がある分岐点に出たら右折してください。
②	コンビニがある分岐点に出たら左折してください。
③	しばらく進むと左手に目的地があります。

5. 被験者実験の結果

本章では 4 章で述べた実験の結果と考察について述べる。5.1 章では「地図上での自己位置把握」、5.2 章では「目的地の方向把握」、5.3 章では「音声案内記憶の定着」について述べる。

5.1 地図上での自己位置把握

本実験では、被験者一人当たりを実験を 9 回施行し、9 回分の解答時間と解答位置と真の位置の距離を記録した。これらの平均を計算したものを図 10 に示す。青色のプロットは男性、赤色のプロットは女性を表す。解答時間の平均について、男性の最低値は 27.4 秒、最高値は 117.1 秒、女性の最低値は 48.3 秒、最高値は 136.7 秒となった。解答位置と真の位置の距離の平均について、男性の最低値は 5.8m、最高値は 13.3m、女性の最低値は 8.8m、最高値は 34.7m となった。結果から、どちらの評価軸に関しても個人差が得られ、特に解答位置と真の位置の距離に関しては、男性よりも女性の方が個人差が大きくなる傾向が見られた。心理学の分野においても空間認識能力について男性と女性に違いがある傾向にあることが知られている [9]。

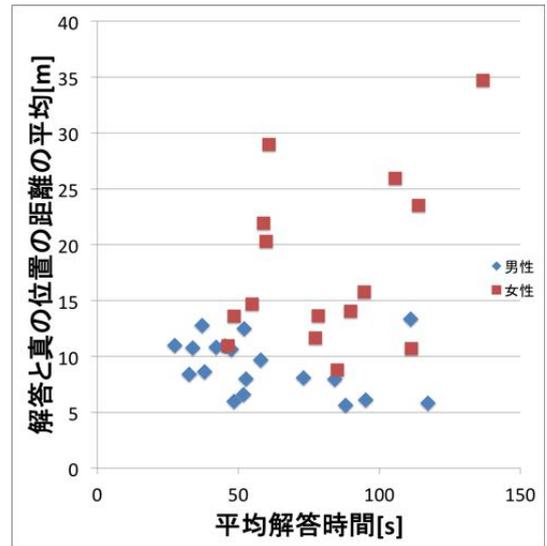


図 10 地図上での自己位置把握能力の計測実験結果

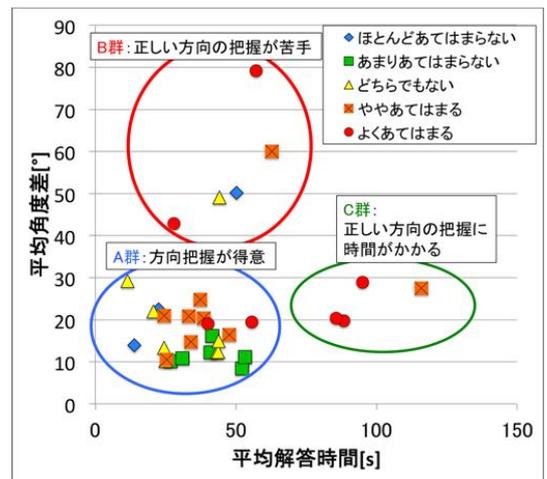


図 11 目的地の方向把握能力の計測実験結果

5.2 目的地の方向把握

本実験では、被験者一人当たりを実験を 9 回施行し、9 回分の解答時間と解答方向と真の方向の角度差を記録した。これらの平均を計算したものを図 11 に示す。解答時間の平均については、最低値は 11.5 秒、最高値は 115.9 秒となった。解答方向と真の方向の角度差の平均については、最低値は 8.4°、最高値は 79.2° となった。結果から、A 群：方向把握が得意、B 群：正しい方向の把握が苦手、C 群：正しい方向の把握に時間がかかる、の 3 つの群に分けられた。図 11 を見ると、ほとんどの被験者が正しくかつ素早く目的地の方向を把握できていることがわかる。また目的地の方向把握能力に関しては男女間には大きな違いは見られなかった。

図 12 に A 群、B 群、C 群それぞれに属するある被験者の 9 回分の施行結果を示す。青色のプロットは A 群に属する被験者、赤色のプロットは B 群に属する被験者、緑色のプロットは C 群に属する被験者を示している。A 群に属

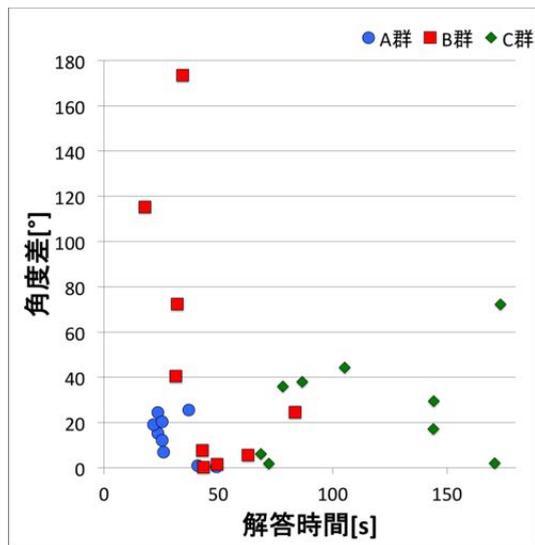


図 12 各群に属するある被験者の実験結果

する被験者の結果は、原点付近に全て集中する。B 群に属する被験者の結果は縦軸方向、つまり解答方向と真の方向との角度差方向に伸びた分布になる。C 群に属する被験者の結果は横軸方向、つまり解答時間方向に伸びた分布になる。この結果から、B 群の被験者も C 群の被験者は常に間違えるわけではなく、複数回の施行のうち、確率的に方向の把握を失敗すると言える。

本実験の施行後、被験者に対して方向感覚に関する質問紙によるアンケート [10] を行った。具体的には、「分かれ道で、どの道を進めば良いか、わからない」という事柄に関して、以下の 5 段階評価で自己評定を行ってもらった。

- ほとんどあてはまらない
- あまりあてはまらない
- どちらでもない
- ややあてはまる
- よくあてはまる

図 11 から、自己評定で方向感覚が良いとする人は実験結果も良く、自己評定で方向感覚が悪いとする人は実験結果も悪くなる傾向にあることが見られる。自己評定で「ほとんどあてはまらない」、「あまりあてはまらない」とする人のほとんどは A 群に属し、また B 群、C 群に属する人は、「ややあてはまる」、「よくあてはまる」と答える傾向にある。また A 群の被験者のみに注目しても、自己評定で方向感覚が良いと思う人ほど原点付近に分布する傾向にあることが見られる。このことから、本計測手法は被験者の自己評定と強い関係があると考えられる。しかし、A 群に属しているに関わらず、方向感覚が悪いと自己評定する被験者や、逆に B 群、C 群に属しているにもかかわらず、方向感覚が良いと自己評定する被験者も存在する。これは、被験者の自らの感覚と潜在的な空間認識能力の間にギャップがあることを示している。このことは、自らを方向音痴であると過小評価することや、逆に自らを方向感覚が良いと過

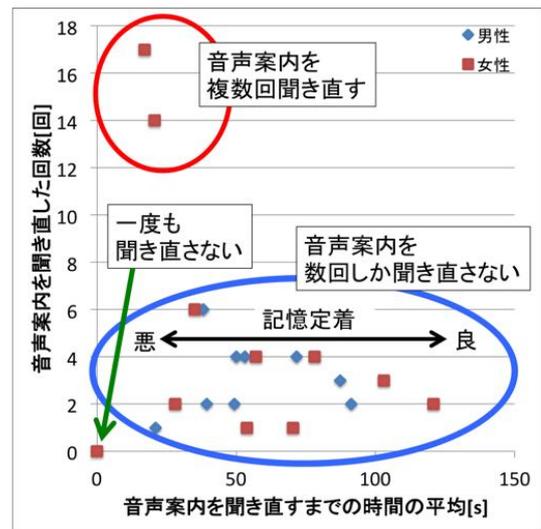


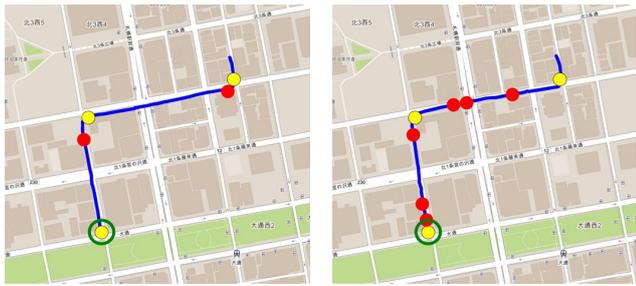
図 13 音声案内記憶の定着能力の計測実験結果

大評価していることの原因となっていると考えられる。

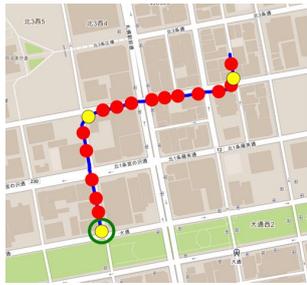
5.3 音声案内記憶の定着

本実験では、被験者が音声案内再生ボタンを押した場所や時間の情報を用いて、音声案内を聞き直した回数や直前の音声案内から聞き直すまでの平均時間を計算した。実験結果を図 13 に示す。結果から、音声案内を複数回聞き直す被験者と、あまり聞き直さない被験者が見られる。また、音声案内をあまり聞き直さない被験者にも、音声案内を聞き直すまでの平均時間が短い被験者と長い被験者が見られる。また 20 名の被験者のうち 1 名は自動的に流れる音声のみで移動を行った、つまり一度も聞き直さなかったため、どちらの値も 0 となっている。音声案内を数回しか聞き直さず、聞き直すまでの時間が長い被験者は、「音声案内記憶の定着」能力に長けており、分岐点にて曲がる直前で確認のために音声を再生していると考えられる。音声案内を数回しか聞き直さず聞き直すまでの時間が短い被験者は、音声内容の確認、または道中で実空間と音声内容との対応付けを行うために聞き返していたと考えられる。音声案内を複数回聞き直す被験者は「音声案内記憶の定着」能力に長けておらず、不安に感じる事が多く何度も音声案内を聞き返していたと考えられる。

図 14 に被験者 3 名の歩行軌跡を示す。3 名の内訳は、(a) 音声案内を数回しか聞き直さなかつ聞き直すまでの平均時間が長い被験者 (回数: 2 回, 時間: 121 秒), (b) 音声案内を数回しか聞き直さなかつ聞き直すまでの平均時間が短い被験者 (回数: 6 回, 時間: 35 秒), (c) 複数回聞き直す被験者 (回数: 17 回, 時間: 17 秒) である。緑色の円は実験開始地点、青い線は歩行軌跡、黄色の点は自動的に音声 flowed 地点、赤色の点は被験者が音声再生ボタンを押し聞き直した地点を示す。図 14(a)(b) と比べ、(c) の被験者は、道中何度も音声案内を聞き、確認していることが



(a) 数回聞き直すかつ聞き直すまでの平均時間が長い
(b) 数回聞き直すかつ聞き直すまでの平均時間が短い



(c) 複数回聞き直す

図 14 音声案内記憶の定着能力計測実験の歩行軌跡

わかる。これは (c) の被験者は他の 2 名の被験者と比べ、道中不安になりやすい傾向にあることが考えられる。また図 14(a) と (b) の違いとして、(a) の被験者は分岐点で曲がる直前で音声案内を聞く傾向にあるため平均時間が長く、(b) の被験者は経路の途中に聞く傾向にあるため平均時間が短くなることが考えられる。

5.4 考察

空間認識能力のうち目的地へと移動するために必要な能力として、「地図上での自己位置把握」、「目的地の方向把握」、「音声案内記憶の定着」の能力について計測手法を提案し計測実験を行った。「地図上での自己位置把握」能力に関しては男女間の差や個人差が得られた、「目的地の方向把握」能力に関しては 3 つの群 (A 群：方向把握が得意、B 群：正しい方向の把握が苦手、C 群：正しい方向の把握に時間がかかる) に分けられた。「音声案内記憶の定着」能力に関しては、傾向として (a) 音声案内を数回聞き直し、かつ聞き直すまでの時間が長い被験者、(b) 音声案内を数回聞き直し、かつ聞き直すまでの時間が短い被験者、(c) 音声案内を複数回聞き直す被験者の 3 種類の被験者が得られた。また、「目的地の方向把握」能力に関しては、被験者に対して方向音痴に関する自己評定との関係を調べ、自己評定結果と空間認識能力計測結果の良し悪しに強い関係があることが示された。

6. まとめと今後の課題

本稿では、仮想空間システムを用いた空間認識能力の計測手法を提案した。空間認識能力のうち目的地へと移動す

るために必要な能力として、「地図上での自己位置把握」、「目的地の方向把握」、「音声案内記憶の定着」の 3 つの能力について計測し定量的に示した。次に、能力の計測を行うため、歩行者ナビゲーションシステムを利用しながらの仮想的な歩行実験が行える仮想空間システムを開発した。空間認識能力計測実験を行い実験データを取得・分析し、被験者間の個人差を得た。また方向感覚に関する質問紙を用いたアンケートも行い、得た結果と各被験者の自己評価に関係があることを確認した。

今後の課題として、以下の点が挙げられる。

- より多数の被験者実験

本稿では男女 10 名ずつ以上を目標に実験を行い結果を出力したが、統計的に結果を出すためには十分であるとは言えない。そのため、被験者を増やす必要がある。また、今回の被験者は全て 20 代を対象に行ったが、年齢による空間認識能力の差はないと言い切れないため、20 代ではない被験者を募り実験を行う必要もあると考える。

- 同被験者に全ての計測実験

本稿では各計測手法について被験者の重複を考えず実験を行ったため、全ての計測実験を行った被験者も存在すれば、一つの計測実験のみ行った被験者も存在する。そのため、各計測手法の結果の関係については分析、検討できていない。そのため、同被験者に対して全ての計測実験を行い、結果を分析する必要があると考える。

- 被験者の操作方法の再検討

被験者は仮想空間システムの操作にゲーム用のコントローラを用いた。ゲーム用のコントローラを使用しているため、コントローラの使用経験の有無が実験結果に影響すると考えられる。今回の実験では、実験前に十分なチュートリアルを設けているが、コントローラの操作感の経験の違いが影響していないとは言えない。そのため、被験者のシステムの操作について、再検討する必要がある。

- 計測する空間認識能力の再検討

今回は地図を用いた案内、音声案内を用いる際の空間認識能力について計測手法の検討し、「地図上での自己位置把握」、「目的地の方向把握」、「音声案内記憶の定着」の能力について計測を行った。しかし、目的地までたどり着くために必要な能力を全て検討、計測できたとは言えない。そのため、再度計測すべき能力について検討を行い、計測手法の提案、計測実験を行う必要がある。

参考文献

[1] Masatoshi Arikawa, Shin'ichi Konomi, Keisuke Ohnishi. Navitime: Supporting Pedestrian Navigation in the Real World. *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 6, No. 3, pp. 21 – 29, 2007.

[2] Shota Watanabe, Katsuhiko Kaji, Nobuo Kawaguchi. A Proposal of Landmark-Conscious Voice Navigation. *International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Computing*, pp. 1–6, 2010.

- uitous Networking*, pp. 56 – 61, 2012.
- [3] Ricky Jacob, Adam Winstanley, Naomi Togher, Richard Roche, Peter Mooney. Pedestrian Navigation Using the Sense of Touch. *Environment and Urban Systems*, Vol. 36, No. 4, pp. 513 – 525, 2012.
 - [4] Alexandra Millonig, Katj Schechtner. Developing Landmark-Based Pedestrian-Navigation Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 8, No. 1, pp. 43 – 49, 2007.
 - [5] Hyojeong Shin, Yohan Chon, Hojung Cha. Unsupervised Construction of an Indoor Floor Plan Using a Smartphone. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, Vol. 42, No. 6, pp. 889 – 898, 2012.
 - [6] Michael E. Hunt. Environmental Learning without Being There. *Environment and Behavior*, Vol. 16, pp. 307 – 334, 1984.
 - [7] Carol A. Lawton. Strategies for Indoor Wayfinding: The Role of Orientation. *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 16, pp. 137 – 145, 1996.
 - [8] Shin Murakoshi, Miho Kawai. Use of Knowledge and Heuristics for Wayfinding in an Artificial Environment. *Environment and Behavior*, Vol. 32, No. 6, pp. 756 – 774, 2000.
 - [9] Leon K. Miller, Viana Santoni. Sex Differences in Spatial Abilities: Strategic and Experiential Correlates. *Acta Psychologica*, Vol. 62, No. 3, pp. 225 – 235, 1986.
 - [10] 増井幸恵. 「自らの空間認知能力が悪いと感じる」意識の測定. 人文論究, Vol. 47, No. 1, pp. 164 – 182, 1997.
 - [11] 竹内謙彰. 「方向感覚質問紙」作成の試み (1) 一質問項目の収集及び因子分析結果の検討一. 愛知教育大学研究報告, 教育科学, Vol. 39, pp. 127 – 140, 1990.
 - [12] 浅村亮彦. 方向感覚質問紙構成の試み. 北海道心理学研究/北海道心理学, Vol. 21, pp. 1 – 14, 1998.
 - [13] 新垣紀子. なぜ人は道に迷うのか?: 一度訪れた目的地に再度訪れる場面での認知プロセスの特徴. 認知科学, Vol. 5, No. 4, pp. 108 – 121, 1998.
 - [14] 嶋田光佑, 廣井慧, 梶克彦, 河口信夫. 歩行者向けナビゲーション評価のための仮想空間システムの構築. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2015) シンポジウム, pp. 553 – 560, 2015.
 - [15] 嶋田光佑, 廣井慧, 梶克彦, 河口信夫. 仮想空間システムを用いた歩行者ナビ利用状況計測手法の提案. 情報処理学会第 78 回全国大会, 5U-08, 2016.