

CSIS Discussion Paper No. 41

曲線通路における方向判断についての実験による分析
An experimental analysis of direction judgment in a curved corridor

山本 直英*・岡部 篤行**

Naohide Yamamoto* and Atsuyuki Okabe**

*東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻
Department of Urban Engineering, University of Tokyo

**東京大学空間情報科学研究センター
Center for Spatial Information Science, University of Tokyo

September 27, 2001

東京大学空間情報科学研究センター
〒153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1
Tel: 03-5453-5690 / Fax: 03-5453-5699

論文の概要

本研究では、曲線通路における方向判断について実験を通じて分析した。被験者は曲線通路を歩き、その入口で呈示された方向を、通路内の2ヶ所で回答した。本研究で検討した仮説は以下の2つである。a) 曲線通路の曲がり具合は過小視される、b) 方向判断には4方向の参照軸（前後左右）が用いられる。実験の結果、両方の仮説が支持され、曲線通路の曲がり具合は実際の大きさの約90%と過小視されることが示唆された。

Abstract

An experiment was conducted to investigate direction judgment in a curved corridor. Each subject walked through the curved corridor. A direction was presented to subjects at the entrance, and they were asked to point this direction at two points within the corridor. The present study proposed two hypotheses: (a) subjects underestimated the change of the traveling direction during walking; (b) subjects used four-direction reference axes (front, back, left, and right) for direction judgment. Both hypotheses were supported, and it was suggested that subjects underestimated the change of the traveling direction to be approximately 90% of the actual change.

連絡先

山本 直英

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

岡部・浅見・貞広研究室

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

Tel: 03-5841-6259 / Fax: 03-5841-8521

E-mail: naohide@ua.t.u-tokyo.ac.jp

曲線通路における方向判断についての実験による分析

AN EXPERIMENTAL ANALYSIS OF DIRECTION JUDGMENT IN A CURVED CORRIDOR

山本 直英^{*}, 岡部 篤行^{**}

Naohide YAMAMOTO and Atsuyuki OKABE

An experiment was conducted to investigate direction judgment in a curved corridor. Each subject walked through the curved corridor. A direction was presented to subjects at the entrance, and they were asked to point this direction at two points within the corridor. The present study proposed two hypotheses: (a) subjects underestimated the change of the traveling direction during walking; (b) subjects used four-direction reference axes (front, back, left, and right) for direction judgment. Both hypotheses were supported, and it was suggested that subjects underestimated the change of the traveling direction to be approximately 90% of the actual change.

Keywords: Curved corridor, direction judgment, reference axes

曲線通路, 方向判断, 参照軸

1. はじめに

まちを歩いているときや自動車を運転しているとき、真っすぐだと思っていた道が実は少しずつ曲がっており、気づいたときには完全に方向を見失ってしまったという経験はないだろうか。さまざまな目印が存在する都市内ならまだしも、深い樹木に覆われた山中の道をハイキングしているときなど、これはしばしば体験される現象である。

このように、曲線から構成される街路や道路において、方向感覚を維持し、必要なときに正確な方向判断を行うことは予想以上に難しい。これは経験的にはよく知られた問題であるにもかかわらず、これに対して理論的検討を行った事例はあまり見られない。そこで本研究では、実験用の曲線通路を作成し、この中を歩きながら方向判断を行うという心理実験を通して、曲線通路歩行時の方向判断について検討することを目的とする。

曲線の経路をとるときに方向判断が困難になる原因について検討してみると、第一に進行方向の変化が滑らかであることがあげられる。経路全体で見れば大きな方向の変化も、経路の一部分に沿って見たときはわずかな変化でしかない。このわずかな変化を正確に知覚することは困難であり、結果としてそれは過小視されることになるかと予想される。第二に、常に進行方向が変化していることをあげることができる。直線と折れ曲がり

から構成される経路の場合、進行方向は経路の折れ曲がり部分でしか変化しないため、方向に関する情報は折れ曲がり部分で更新すれば十分である。これに対し曲線経路では、進行方向は常に変化しているため、情報の更新も行い続けなければならない。したがって方向判断に要する認知的な負荷が高く、それが方向判断を難しくしていると予想される。

このように、曲線経路をとる場合の方向判断については、経路の曲がり具合の過小視と、方向に関する情報の更新負荷という2つの問題について検討する必要がある。これらのうち、前者について理論的に検討した研究事例はあまり見られない。そこで、特に後者の問題に注目しながら、方向判断について検討した既往研究について見てみることにする。

方向判断について実験による検討を行った研究としては、Sadalla and Montello¹⁾の研究が代表的なものである。ここでは、被験者は途中でさまざまな角度の折れ曲がりがある1回ある経路を歩き、経路の終点から始点を指示するなどの3つの課題を行っている。その結果、被験者は身体の前左右方向を基準として方向判断を行うことが明らかにされた（このように、方向判断の基準として用いられる身体周囲の方向を、参照軸とよぶ）。しかし、その後のコンピュータ・シミュレーションによって、この実験データは、被験者が前後左右に斜め方向も加えた8

^{*} 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 大学院生・修士 (工学)

^{**} 東京大学空間情報科学研究センター 教授・PhD・工博

Graduate Student, Dept. of Urban Engineering, University of Tokyo, M. Eng. Prof., Center for Spatial Information Science, University of Tokyo, PhD, Dr. Eng.

方向の参照軸を用いていると仮定したほうがより正確に再現できることが明らかになり²⁾、参照軸の構成については一定の結論に至っていない。

これを受けて参照軸の構成について検討した研究として、山本・岡部³⁾の研究がある。ここでは途中にさまざまな角度の曲がり角が1回ある通路を作成し、その入口で呈示された方向を、通路出口で回答するという実験を行っている。その結果、被験者の参照軸は8方向から構成されることが示されたが、これは、運動感覚情報および視覚的情報が十分に存在し、被験者が方向に関する情報をより詳細に更新できたためと考察している。つまり、状況に応じて参照軸の構成が変化しうることを示唆していると言える。

また、方向に関する情報の更新負荷について検討した研究としては、Presson and Montello⁴⁾の研究がある。一般に、歩行中に方向に関する情報を正確に更新するためには、運動感覚情報が必要であることが知られている(Chanceら⁵⁾、Klatzkyら⁶⁾など)。ここでは、歩行の種類を進行方向が変化する場合と変化しない場合に分け、運動感覚情報が必要となるのは特に前者の場合であることを示している。この結果は、進行方向が変化する場合のほうが情報更新の負荷が高いことを示唆しており、曲線経路をとる場合の情報更新に高い負荷がかかることを予想させるものとなっている。

以上のように、既往研究では、i) 方向判断に際しては参照軸が重要な役割を果たすこと、ii) その参照軸の構成は方向に関する情報の更新精度に応じて変化し得ること、iii) 方向に関する情報更新は曲線経路をとる場合により困難となるであろうこと、の3つが示されている。これらを総合すると、曲線経路をとる場合には、方向に関する情報の更新精度が低くなり、参照軸はより頑健な4方向(前後左右)が利用されるようになることが予想される。

そこで本研究では、次の2つを仮説とする。

- a) 曲線経路の曲がり具合の大きさは過小視される。
- b) 曲線経路における方向判断では、前後左右の参照軸が用いられる。

これらの仮説を検証するため、本研究では曲線通路を作成し、その入口で呈示された方向を歩行中に回答するという実験を行う。仮説aが正しい場合、被験者の回答には曲がり具合の過小視による一定のバイアスが生じるはずである。また、被験者の回答は参照軸にひきつけられるため、仮説bが正しい場合、被験者の回答は特定の4方向に集中すると予想される。

2. 実験

(1) 被験者

被験者は21歳から40歳の大学生および大学院生28名であり(男性14名、女性14名)、平均年齢は24.3歳である。被験者はアルバイトとして募集され、実験参加者には謝礼金が支払われた。

(2) 実験環境

実験は東京大学工学部14号館1階ホールで行われた。ここに内径3.5m、外径5mの円弧状の通路を作成し(図1)、実験用通路とした。この通路の壁面には模様や折れ目がなく、滑らかな曲線となっている。床には模様やつなぎ目のないシートを敷いた。また、通路のまわりに衝立を置き、通路を外側から見られないようにした。

被験者への方向の呈示、および歩行中の回答には、図2に示す方向指示盤を床面から70cmの高さに水平に固定し、これを使用した。その設置位置は図1に示す通りである。

なお、通路内をどちら向きに歩くかによって結果が異なることも予想されるが、本研究では時計回り方向のみを使用した。これは、方向判断に関わる多くの既往研究¹⁾⁷⁾⁸⁾において、左右の違いが結果に影響を及ぼしていないことに基づいている。

(3) 実験手順

通路の外で実験課題について教示を受けたあと、被験者は1人ずつ通路内に入った。通路内のA地点(図1参照。以下同様)で図3に示す8方向のうちの1つを呈示され、この方向を記憶してから、被験者は通路を歩き始めた。このとき、後ろを振り返ることと通路を後戻りすることを禁止した。

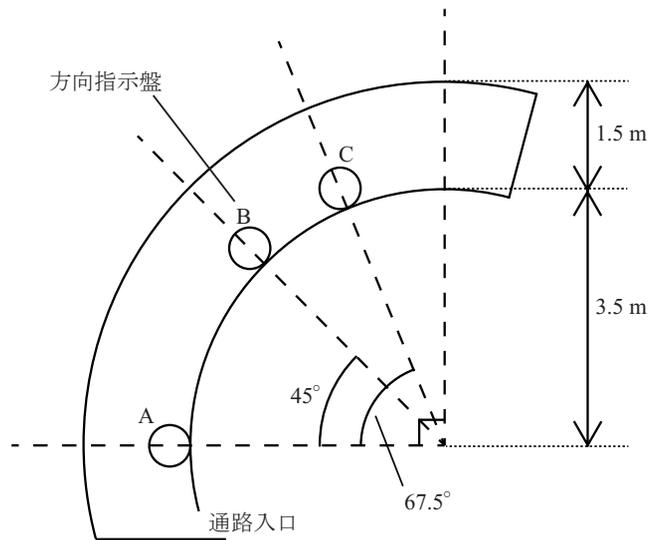


図1 実験用通路

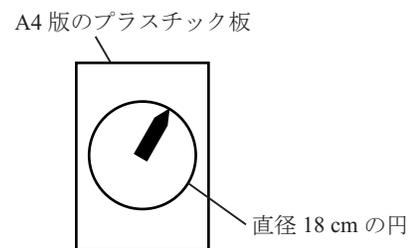


図2 方向指示盤

通路を歩き、B地点に到達したら、方向指示盤Bの針を動かして、通路入口で表示された方向を回答した。ここでは、図4に示すように、通路入口で表示された方向と平行になるよう回答できた場合が正解となる。なお、回答には時間の制限を設けなかった。

B地点での回答が終わったら、被験者は通路を後戻りして、入口に戻った。その間、実験者は方向指示盤Bの針を適当な位置に動かし、次の試行で被験者が前回の回答を参考にできないようにした。被験者は、入口で先ほどとは違う方向を呈示され、同様の課題を行った。この手順を8回繰り返し、図3に示す8方向のすべてについて回答が終わったら、B地点の方向指示盤をC地点に移動し、同様にして図3に示す8方向について実験を行った。

B地点とC地点に同時に方向指示盤が置いてあることはなく、半数の被験者はB地点→C地点の順に、残り半数の被験者はC地点→B地点の順に実験を行った。また、入口での方向呈示順序はランダムに変化させた。

3. 結果

本研究では、被験者の回答の誤差絶対値を測定した。試行ごとに、3シグマ範囲の外にある回答を異常値として除去した。このようにして除去された回答は6つあり、これは全体の1.34%にあたる。異常値を除去した後の誤差絶対値の平均を図5に示す。また、異常値を除去した後の回答から求めた平均回答方向を表1に示す。この平均回答方向は、circular statistics⁹⁾によって求めたものである。

はじめに被験者の性別、実験順序(B地点とC地点のどちらの実験を先に行ったか)、通路入口で呈示した方向の3つを因子とした分散分析を行ったところ、通路入口で呈示した方向の主効果のみ有意となった($F(7, 378) = 3.84, p < .001$)。よって被験者の性別および実験順序は区別せずに分析を行った。

(1) 曲がり具合の過小視について

まず、通路の曲がり具合が過小視されているかどうかについて検討した。これは、試行ごとの平均回答方向が、正解方向に対して過大視側と過小視側のどちらに現れているかについて調

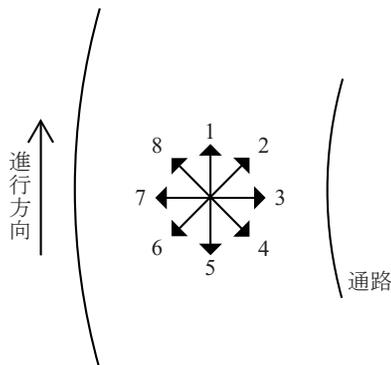


図3 A地点で呈示した方向

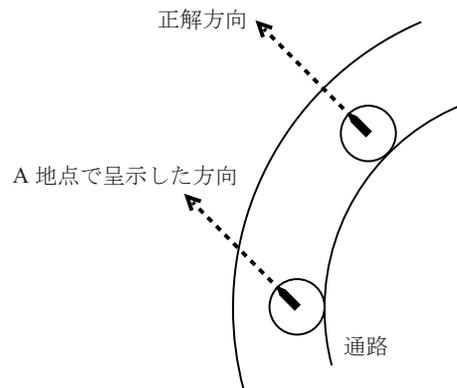


図4 正解方向

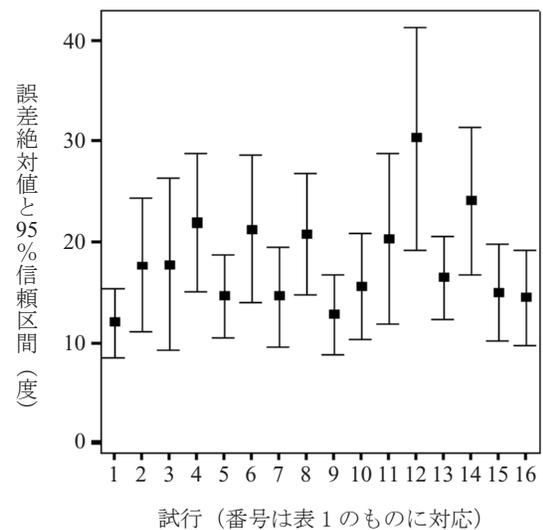


図5 誤差絶対値の平均と95%信頼区間

表1 平均回答方向

| 試行 | 方向指示盤の位置 | 呈示方向 | 正解方向 | 平均回答方向 | 過大視 | 過小視 |
|----|----------|------|-------|--------|-----|-----|
| 1 | B | 1 | 315 | 317.12 | | ○ |
| 2 | | 2 | 0 | 4.49 | | ○ |
| 3 | | 3 | 45 | 54.36 | | ○ |
| 4 | | 4 | 90 | 105.13 | | ○ |
| 5 | | 5 | 135 | 137.04 | | ○ |
| 6 | | 6 | 180 | 185.60 | | ○ |
| 7 | | 7 | 225 | 228.36 | | ○ |
| 8 | | 8 | 270 | 270.55 | | ○ |
| 9 | C | 1 | 292.5 | 290.26 | ○ | |
| 10 | | 2 | 337.5 | 344.61 | | ○ |
| 11 | | 3 | 22.5 | 29.72 | | ○ |
| 12 | | 4 | 67.5 | 81.31 | | ○ |
| 13 | | 5 | 112.5 | 108.22 | ○ | |
| 14 | | 6 | 157.5 | 161.52 | | ○ |
| 15 | | 7 | 202.5 | 202.14 | ○ | |
| 16 | | 8 | 247.5 | 240.44 | ○ | |

注)・呈示方向は図3の番号に対応している。

・正解方向および平均回答方向の単位は度である。これらは回答した地点での被験者の進行方向を0度として測定した。

べることで検証した。本研究では時計回り方向に通路を歩いているので、被験者の回答は、その曲がり具合を過大視すると反時計回り方向に、過小視すると時計回り方向に偏ることになる(図6)。各試行の平均回答方向がどちら側に偏っていたかを表1に示す。

これを見ると、回答の平均方向は過小視側に多く現れている。この傾向は統計的にも有意なものであり、 $Z = -2.22, p < .05$ であった(Wilcoxonの符号つき順位検定)。この結果は、通路の曲がり具合が過小視されていたことを示すものである。

また、平均回答方向と正解方向の差から平均過小視量を求めると、方向指示盤の位置がBのときは5.33度、Cのときは8.04度(過小視傾向が現れたものの平均)であった。これらはいずれも実際の変化量の約12%に相当する大きさであり、曲がり角の大きさが平均して1割程度過小視され得ることを示唆するものである。

(2) 参照軸の構成について

次に、被験者が何方向の参照軸を使用しているかについて、相関分析を用いて検討した。参照軸の構成として、既往研究の分析例¹⁾²⁾³⁾⁸⁾¹⁰⁾にそって4方向(前後左右)と8方向(前後左右と斜め)の2通りを想定した(図7)。

被験者が参照軸を用いて方向判断をしている場合、その回答には、正解方向とそれに最も近い参照軸のなす角の分だけ誤差が生じると予想される。そこで、それぞれの参照軸を仮定した場合に予想される誤差絶対値を求め、これと実際の誤差絶対値の相関係数を算出した。ただし、被験者が通路の曲がり具合を過大視もしくは過小視している場合、回答時に実際に被験者が向いている方向と、被験者が知覚している方向は異なってくる。そのため、参照軸も実際に向いている方向ではなく、被験者が知覚している方向をもとに構成されなければならない。そこで、

参照軸を0度から90度まで1度ずつ回転させながら、それぞれの場合について相関係数を計算した。

検討した参照軸の構成のうち、有意な相関係数を得たのは4方向の場合のみであった。4方向の参照軸を29度から41度回転させたときに有意な相関係数が得られ(有意水準5%)、その中でも相関係数の値が最大になったのは参照軸を35度回転させたときであった($r = .58, p < .05$)。この結果は、被験者が前後左右の参照軸を利用していたことを示すものである。

4. 考察

本研究では、a) 曲線経路の曲がり具合の大きさは過小視される、b) 曲線経路における方向判断では前後左右の参照軸が用いられる、の2つの仮説について検討してきた。実験の結果、これら2つの仮説はともに支持され、また曲がり具合の過小視に関しては、通路の曲がり具合を実際の大きさの約1割程度過小

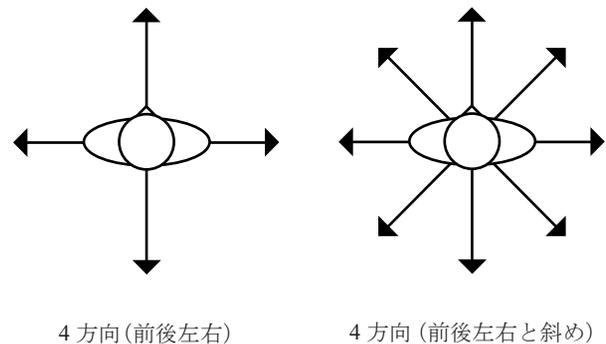


図7 検討した参照軸の構成

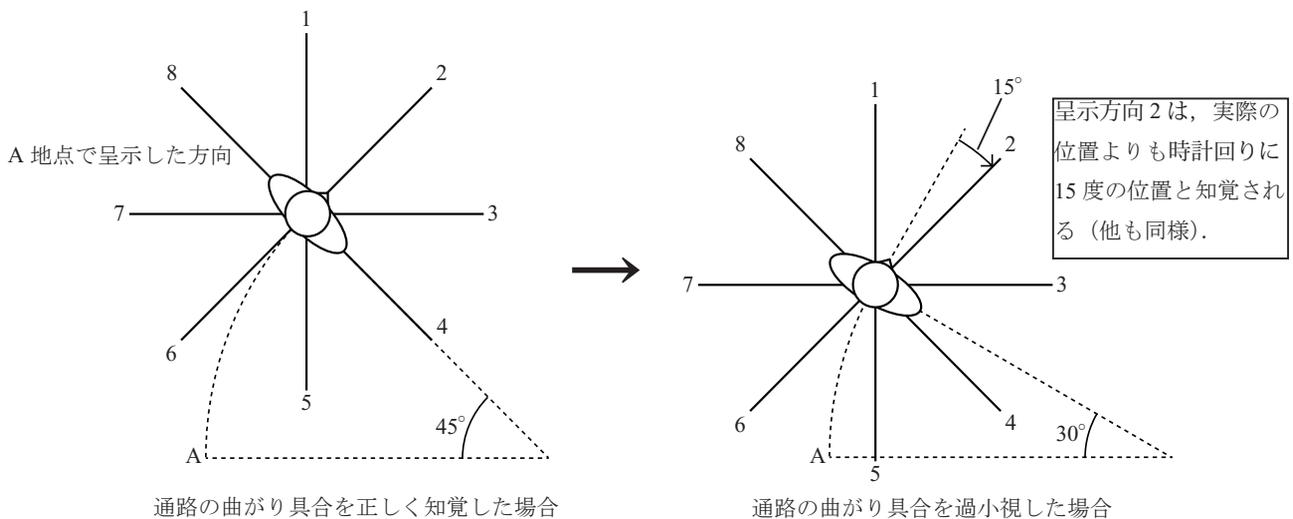


図6 通路の曲がり具合を過小視した場合の例
(B地点で、通路の曲がり具合を30度と過小視した場合)

視することが示唆された。

曲線通路の曲がり具合が過小視された原因は、1歩ごとの進行方向の変化を知覚できず、この小さな変化を無視してしまうためと推察される。通路の壁面を見れば、明らかに通路が曲がっていることは視覚的に確認できる。また、数歩進む間にはある程度の進行方向の変化が生じる。これらによって、被験者は進行方向変化の知覚をある程度まで修正できた。しかし、1歩ごとの変化を無視している影響が全体として蓄積し、方向判断時に明らかな過小視傾向となって現れたものと推察される。

また、前後左右4方向の参照軸だけが用いられたのは、通路内に方向判断のための手がかりが乏しく、方向判断が困難であったためと推察される。途中で曲がり角が1回ある通路を用いて、本研究とほぼ同様の実験を行った山本・岡部³⁾の研究では、被験者は8方向の参照軸を用いていた。本研究で用いた曲線通路には明確な曲がり角は存在せず、より方向判断のための手がかりに乏しい。また、通路の曲がり具合を過小視してしまうことや、方向に関する情報の更新が1歩ごとに必要になることから分かるように、通路が曲線であること自体、方向判断を困難にしている。一方、身体の前左右という方向は、いかなる状況においてもほぼ確実に同定できるものである。以上のような理由から、判断が困難な状態でこれら頑健な参照軸の働きがより強くなり、前後左右の参照軸が用いられるようになったと結論するのは妥当であろう。

ここで、少し違ったとらえ方をすると、このように方向判断が困難な状況にありながら、ある程度の精度で方向判断をできるのはなぜかという疑問が生じる。不十分な情報をもとに、方向に関する情報を適切に処理する認知システムが存在するためであろうが、そのシステムについては大部分が未解明のままである。経路統合をより簡便に行うための代数系に関する考察¹¹⁾など、いくつかの試みが既になされているが、まだ十分に研究が行われているとは言い難い。今後の大きな研究課題であると言える。

また、経路の曲がり具合の過小視については、その知覚の閾値を求める試みも必要である。どの程度の曲がり具合であれば知覚できるのかを明らかにすることは、単に学術的に重要であ

るのみならず、建築計画や都市計画に対して有用な示唆をもたらすものであろう。

謝辞

実験用通路の作成に際しては、東京大学大学院の花澤信太郎氏と安井謙介氏にご協力いただいた。ここに記して感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) Sadalla, E. K. and Montello, D. R.: Remembering changes in direction, *Environment & Behavior*, Vol.21, pp.346-363, 1989.5
- 2) Montello, D. R. and Frank, A. U.: Modeling directional knowledge and reasoning in environmental space: Testing qualitative metrics, *The construction of cognitive maps*, pp.321-344, 1996
- 3) 山本直英, 岡部篤行: 曲がり角が一つある通路における定性的方向推論についての実験による分析, *東京大学空間情報科学研究センター Discussion Paper*, No.38, 2001.7
- 4) Presson, C. C. and Montello, D. R.: Updating after rotational and translational body movements: Coordinate structure of perspective space, *Perception*, Vol.23, pp.1447-1455, 1994
- 5) Chance, S. S., Gaunet, F., Beall, A. C. and Loomis, J. M.: Locomotion mode affects the updating of objects encountered during travel: The contribution of vestibular and proprioceptive inputs to path integration, *Presence*, Vol.7, pp.168-178, 1998.4
- 6) Klatzky, R. L., Loomis, J. M., Beall, A. C., Chance, S. S. and Golledge, R. G.: Spatial updating of self-position and orientation during real, imagined, and virtual locomotion, *Psychological Science*, Vol.9, pp.293-298, 1998.7
- 7) Franklin, N. and Tversky, B.: Searching imagined environments, *Journal of Experimental Psychology: General*, Vol.119, pp.63-76, 1990.3
- 8) Franklin, N., Henkel, L. A. and Zangas, T.: Parsing surrounding space into regions, *Memory & Cognition*, Vol.23, pp.397-407, 1995.7
- 9) Fisher, N. I.: *Statistical analysis of circular data*, Cambridge University Press, 1993
- 10) Montello, D. R., Richardson, A. E., Hegarty, M. and Provenza, M.: A comparison of methods for estimating directions in egocentric space, *Perception*, Vol.28, pp.981-1000, 1999.8
- 11) Fujita, N., Loomis, J. M., Klatzky, R. L. and Golledge, R. G.: A minimal representation for dead-reckoning navigation: Updating the homing vector, *Geographical Analysis*, Vol.22, pp.326-335, 1990.10