

歩行者ナビゲーションのための屋内環境での空間認知

杉岡 基行^{†1} 柳澤 政生^{†1} 戸川 望^{†1}

近年、大型ショッピングモールなどの屋内環境は巨大迷路のように複雑化し続ける一方、屋内環境での空間認知に関する研究は少なく、屋内環境特有の行動や思考が一般化されていない。本稿では、空間認知能力の低い歩行者がナビゲーションに基づき移動する際、道に迷ったり、不安やストレスを感じたりするという問題の原因を明確にする。まず、屋内及び屋外に対する既存研究の成果を整理する。既存研究の成果として、屋内における移動距離や移動時間の過大評価、曲がり角の誤った直角評価などが明らかとなった。ただし、屋外で通用する成果が屋内でも適用する保証はなく、正確性に欠ける。そのため、歩行による調査とアンケートから成り立つアンケート調査を実施した。アンケート調査によって得られたデータを性別や到着時間などの6つの軸を利用し、統計的に分析することで、一般化された屋内に特有な空間認知情報を得る。性別という軸では、男性より女性の方が目安となる時間内に目的地へ早く到着することがわかる。また、到着時間という軸では、目安時間が10分程度の場合、空間認知能力を測定する簡易テスト(SDQ-S)の低得点者は、平均得点者より26.9%到着時間が早いことが統計的にわかる。データ分析によって得られたデータを用いることで、有用性の高い屋内ナビゲーションを設計可能となる。

Indoor Space Recognition for Navigation to Pedestrians

MOTOYUKI SUGIOKA,^{†1} MASAO YANAGISAWA^{†1}
and NOZOMU TOGAWA^{†1}

Indoor environments such as large shopping malls are getting more and more complex like a giant maze in recent years. However, there are few researches in space recognition in indoor environments and the particular action and thought against indoor environments has not been generalized. In this paper, we clarify the reason why a human with low space recognition feels anxious or stress when getting lost using a navigation system. First, we summarize existing research results in indoor and outdoor environments, where there may exist several overestimations of migration length and trip time in indoors and incorrect right-angled estimated corner. In order to make sure that there exists such

effects in indoor environments, we perform experiments composed of walks and questionnaires. The experimental results are analyzed into six axes and clarify generalized indoor space recognition.

1. はじめに

近年、都市部の道路や路地、高速道路などの接続情報や入り組み情報が複雑化し、訪問経験の有無に関わらず、屋外ナビゲーションが社会的に必要とされるという背景が存在する。また、移動通信網の普及に加え携帯端末やスマートフォンなどのモバイル通信端末の性能向上を背景に、モバイル通信端末を利用した歩行者向けの屋外ナビゲーションシステムに関する研究やサービスが盛んに実施されている。2007年4月よりモバイル通信端末へのGPS受信機の搭載が義務化されて以降、モバイル通信端末向けの屋外ナビゲーション及び屋外ナビゲーションによる行動支援が注目され、商業的なナビゲーションサービスが増加傾向にある。現在商業的に稼働している屋外ナビゲーションサービスにはNAVITIME¹⁰⁾、MapFan⁷⁾、GoogleMap⁵⁾、Yahoo!地図¹⁴⁾などが存在する。

屋外環境の複雑化が進む中、地下街や大型ショッピングモールなどの屋内環境も巨大迷路のように複雑化し続けている。しかし、国内及び海外では、屋内環境での空間認知に関する研究は少なく、屋内環境特有の行動や思考が一般化されていない。屋内環境に対する空間認知は、適切かつ利用しやすい屋内ナビゲーションシステムを設計する場合、不可欠である。米国のmicelloでは2010年7月から日本の屋内施設を対象とした屋内ナビゲーションサービス⁸⁾を試験的に提供しているが、実用的なスマートフォンベースの屋内ナビゲーションサービスは少ないのが現状である。

空間認知の研究において、屋外環境を対象とした既存研究^{3),4)}が存在するが、いずれも屋内環境に特化して情報を収集していない。屋内環境での空間認知情報として汎用される可能性があるが、信憑性に欠ける。また、屋内環境での右左折による方向感覚に関する既存研究¹²⁾が存在するが、被験者は熟知した対象屋内空間で歩行調査をするため、訪問経験の無い場合を考慮していない。ランドマークの視認性に対する既存研究⁹⁾では、ランドマークが歩行者に与える影響を示しているが、ランドマークに内在するパラメータを無視している

^{†1} 早稲田大学大学院基幹理工学研究科情報理工学専攻, 東京都 Department of Computer Science and Engineering, Waseda University, Tokyo

ため、ランドマークの性質を考慮する必要がある。近年、スマートフォンの普及や屋内環境に複雑化に伴い、屋内ナビゲーションが脚光を浴びていることを考慮すると、屋内環境に特化した空間認知情報の生成や屋内空間認知情報の一般化が必要である。

屋内外に関わらず、訪れた経験がなかったり、少ないほど通常よりヒューマン・エラー^{*1}が起りやすい。また、屋内環境では窓がない閉鎖状態や階の移動も多く、方向感覚や定位感覚における感覚麻痺などヒューマン・エラーが起りやすい。そのため、ナビゲーションが行われているにも関わらず自分の移動方向やナビゲーションが間違っているのではないかという不安やストレスに襲われ、道に迷う人が後を絶たないという問題が解決されずにいる。

以上に述べた背景から本稿では、低空間認知能力者の感覚問題を「空間認知能力の低い歩行者がナビゲーションを頼りに移動する際、道に迷ったり、不安やストレスを感じるという問題」と定め、本感覚問題の原因を明確にする。また、本感覚問題解決のために、屋内及び屋外に対する既存研究の成果を示すとともに、アンケート調査によって得られたデータを統計的に分析することで、一般化された屋内に特有な空間認知情報を得る。

第2章では、屋内環境に特有な制約条件や、屋外環境でのヒューマン・エラーの原因をまとめ、列挙する。ヒューマン・エラーの例を既存研究^{(3),(4),(12)}から挙げ、屋内環境でヒューマン・エラーが発生する原因の推測や類推を行う。ただし、推測や類推により生成した空間認知情報は、信頼性が低く、推測の余地がある可能性が高い。第3章では、第2章で指摘する問題を解決するために実施したアンケート調査の概要を示し、第4章では、データ分析という言葉を用いて、収集したデータの分析結果を示す。データ分析においては、事前パラメータを用いて、到着時間、経路喪失及び修正、回避、目安時間^{*2}、感覚、チェックポイントという6つを主軸として評価を行う。6つの軸により、効率のかつ効果的な分析を行う。第5章では、データ分析から収集する屋内環境に対する空間認知情報の有効性を述べ、本稿におけるまとめと今後の課題について述べる。

2. 屋内及び屋外での空間認知に対する既存研究動向

本章では、空間認知における既存研究^{(1)-(4),(12)}から判明している屋内外の空間認知情報をそれぞれ挙げる。また、判明している空間認知情報として、屋内空間特有の制約をまとめ、

^{*1} ヒューマン・エラーとは、方向感覚、方位感覚、距離感覚の麻痺及び道に迷うことを言う。

^{*2} 目安時間とは、アンケート調査の被験者にあらかじめ通知された到着までの目安となる時間である。目安時間の選定は、訪問経験のない人物が、アンケート調査の歩行調査(1)と歩行調査(2)と同じ経路に対して、連続2回歩行した場合の平均値を利用する。



図1 屋内空間における制約の例。

既存研究から屋外ヒューマン・エラーの原因を整理する。また、屋内ヒューマン・エラーの例を類推し、考察する。本章で明らかとなる空間認知情報から、課題とされる低空間認知能力者の感覚問題の解決に不足する空間認知情報を収集するために、必要な調査を透明化する。

2.1 屋内空間特有の制約

屋外空間に比べて屋内空間には特有な制約が存在するが、空間認知に対する研究において、屋内空間に依存する制約をまとめた研究例は存在しない。そのため、屋内空間に特有な制約を以下に列挙して示し、例を図1に示す。

制約1 高さに限界がある。

制約2 面積に限界がある。

制約3 障害物が多く、見通しが悪い。

制約4 比較的閉鎖的であるため、太陽の位置が把握できない。

制約5 階層構造を持つものが多い。

以上に示す**制約1**から**制約5**に起因した問題が発生する。各制約により発生する問題の例を以下に示す。

制約 1, 制約 2 により, 建物に高さや幅の限界が生まれてしまい, 目印となるような物の特徴が限られるという問題がある。また, 目印となるような公園や遊園地などの広い施設も少ない。大型ショッピングモールなどの場合, 一定間隔の道幅に一定間隔でテナントが入っている。加えて**制約 3** により, 距離が離れていても確認できるような高層ビルなどの大きなランドマークが存在しにくい。

制約 4 のように閉鎖的な空間では太陽光を採光できる機能が少なく照明で光を賄う。歩行者が太陽を無意識に方位の目印としている場合, 方位感覚を失いやすいという問題がある。

制約 5 は屋内に顕著であり, 階層を繋ぐ手段として階段・エレベータ・エスカレータ・スロープなど距離や移動角度の感覚が狂いやすいという問題が生まれる。階段の中でも螺旋階段は方位感覚が崩れる可能性が非常に高いと考えられる。

屋内環境の通信面の制約として衛星を利用した GPS が利用できなく位置測位や情報配信のための通信方法も問題である。

2.2 屋外ヒューマン・エラーの原因

屋外での空間認知に関する既存研究^{1),2)} などは, 屋外ヒューマン・エラーについて触れているが, その原因を統計立ててまとめた研究例は存在しない。そのため, 本節では, 屋外ヒューマン・エラーの原因を類推し列挙する。また, 屋内環境で屋外ヒューマン・エラーの原因が顕著に該当する場合の理由を考察する。空間認知能力の低い歩行者は空間認知能力の高い歩行者に比べヒューマン・エラーが起こりやすい。また空間認知能力の低い歩行者は訪れた経験がない未知空間において, 携帯電話やスマートフォンなどでナビゲーションされていたとしても不安やストレスを感じやすい。屋外環境で不安やストレスを感じる例を図 2 に示し, 原因を以下に示す。

原因 1 ナビゲーションされた経路と現在歩行している経路の一致 (位置感覚)

原因 2 ディスプレイに表示された方位と歩行者自身の方位の整合 (方位感覚)

原因 3 表示されたルートと歩行者の距離感覚の間の誤差 (距離感覚)

以上の原因が歩行者に対するナビゲーションを困難にしている。**原因 1** から**原因 3** は屋外環境のみならず屋内環境の場合でもヒューマン・エラーの原因として該当する。

原因 1 の場合, 屋外環境では高層ビルや広告, 巨大ディスプレイなど特徴的なランドマークが存在し, 周りの環境を目視することで自分の位置を測位しやすく, ナビゲーションされている経路上に自分がいるかどうか分かりやすい。しかし, 屋内環境では屋外環境に比



図 2 不安やストレスを感じる状況。

べて特徴的なランドマークが少なく, 開けた通路のみなど目視の範囲が限定される (**制約 1, 制約 2, 制約 3**)。

原因 2 の場合, 太陽の位置がわかりにくいことや単調で規則的な風景が続くため, 方位感覚を失いやすい (**制約 4**)。特に徐々に曲がっていくような通路の場合, 方位感覚が崩れやすい。また, 階層構造を持つ屋内環境では階段などの階層を繋ぐ手段を利用することで方位感覚が崩れやすい (**制約 5**)。階段の上下移動直後の曲がり角など迷いやすく, 直進以外の行動が重なれば重なるほど方位感覚が失われる。

原因 3 の場合, 屋外環境に比べて屋内環境は空間の構成が複雑化しやすいため, 屋内環境は空間の構成に左右されやすい。また, 屋外環境の場合, 地図の縮尺を極端に変えるような地図は少なく, 理解しやすい簡略地図への研究^{6),11)} も進んでいるため, 歩行者にとって障害になりにくい。一方, 屋内環境でフロアマップを頼りに移動する際, フロアマップは歩行者にとってのわかりやすさより, デザイン性を重視することが多いため, 地図の縮尺が均一でない。**原因 3** は**原因 1** と**原因 2** に比べ歩行者の移動感覚や時間感覚による影響を受けやすい。

ただし, 屋外環境の場合の方がより顕著に該当する場合が存在する。また, 現時点では, 屋外環境に比べて屋内環境に対する十分な研究がなされておらず, 屋内環境における原因の適用率は明確ではない。そのため, 調査や研究が必要である。

2.3 屋内ヒューマン・エラーの例

屋内ヒューマン・エラーの例を 2.3.1 項から 2.3.3 項において類推する。空間認知情報として、2.1 節で示す屋内空間特有の制約及び 2.2 節で示す屋外ヒューマン・エラーの原因を利用し、考察を行う。考察を行うことで、屋内空間認知情報の信頼性の向上や、低空間認知能力者の感覚問題の解決に不足する屋内空間認知情報の収集を行うためのアンケート調査の必要性を確認する。既存研究により判明している屋内外ヒューマン・エラーの例として、2.3.1 項に目的地までの距離、2.3.2 項にナビゲーションされた経路の複雑度合、2.3.3 項に曲り角の多さを示す。

2.3.1 目的地までの距離

ナビゲーションで表示された目的地の距離が近い場合、記憶する目印の数や右左折及び階層の上下移動の回数が少なく、歩行者は不安やストレスを感じにくい。一方で、目的地の距離が遠い場合、行動を変更する起点となるような目印の数が増え、行動が複雑化する。複雑な行動を実現するため集中力を使いストレスを感じたり、空間認知能力の低い歩行者に頻発する経路復帰不能という不安が募る。また、空間認知能力の低い歩行者は単純な道なりを直進するという行動をするだけでも移動距離の増加に従い、不安が増加し、距離経過や時間経過を過大評価する傾向がある。

既存研究¹²⁾では複数回にわたる階層上下移動などの複雑な行動により、方位感覚の麻痺が起こることが明らかである。しかし、屋内空間での男女別及び空間認知能力別の到着時間の測定を行っていない。また、被験者は実験対象の空間を熟知しており、訪問経験別の方位感覚麻痺に基づく、経路喪失について明らかにしていない。特に屋内環境では、特に屋外環境に比べ閉鎖性かつ局所性が高いため、目的地までの距離も比較的短くなることを考慮する必要がある。

そのため、以上の未解明な部分を第 4 章で、到着時間軸、経路喪失及び修正軸、回避軸として分析する。

2.3.2 経路の複雑度合

ナビゲーションされた経路の複雑度合とは、経路上に存在する刺激の多さを示し、信号機や交差点、店舗、ビル、交番、通行人などが屋外環境に存在する。屋内環境でも単純な地下通路ではコンクリートの壁や広告しか存在しなく、刺激は少ない。しかし、大型ショッピングモールなどの屋内環境では、店舗や買い物客、ブース、イベントなどが雑然と存在し、刺激が多い。既存研究⁴⁾では刺激が多い経路では曲がるべき場所の近くにある目印を見逃さないように集中したり、時間経過に対する意識が高まり、歩行者は移動感覚や距離感覚に影響

を受け、距離経過や時間経過を早く感じやすいということが明らかである。刺激の多い経路ほど移動距離や移動時間を過大評価しやすく。未知の空間では刺激が多くなることが必然であるため、「初めての場所は目的地までの距離が遠く感じる」といった過大評価が起きやすいことが明らかである。しかし、屋内環境における経路の複雑度合や屋内特有の刺激を考慮し、時間経過の測定を行っていない。

そのため、以上の未解明な部分を第 4 章で、目安時間軸、感覚軸、CP 軸として分析する。

2.3.3 曲がり角の多さ

曲がり角は多いほどヒューマン・エラーが起こりやすい。これは曲がり角に到着するまでの集中や、曲がる時の方向確認、曲がった後の方位修正が必要となるため、曲がり角が増えれば増えるほど移動距離や移動時間の過大評価や、方位感覚の麻痺が起こりやすいと考えられる。既存研究³⁾では曲がり角を 90°と評価しやすいということが明らかとなっている。屋内環境では、屋外環境と同様に誤った直角評価を行う可能性が高い。しかし、ナビゲーションという面において、屋外より屋内のナビゲーション規模が狭いことやランドマークの集中度を考慮すれば、誤った直角評価は目的地への到着に大きな影響を与えないと考えられる。

3. 屋内での空間認知に対するアンケート調査

本章では、実施するアンケート調査の目的と調査概要を述べる。ただし、アンケート調査は実地調査と追加調査の総称であり、実地調査では事前アンケート、歩行調査、事後アンケートを実施し、追加調査では追加アンケートを実施する。事前アンケート、歩行調査、事後アンケート、追加アンケートの役割と内容をそれぞれ述べる。

3.1 目的

現在、屋内環境の空間認知に対する研究が盛んに行われておらず、屋内環境に特化した基本的及び応用的な空間認知情報が少ない。第 2 章で示す空間認知情報だけでは、課題である低空間認知能力者の感覚問題を解明や解決することが不能である。そのため、提案するアンケート調査によって達成する目的を以下に示す。

- 既存研究による屋内空間認知情報の信頼性の向上
- 研究されていない屋内環境の空間認知情報の生成及び分析
- 低空間認知能力者の感覚問題の解決に必要な空間認知情報の収集

アンケート調査は、歩行による調査とアンケートから成り立つ。歩行体験に対するアン

ケートの結果から共通項目や分散項目を見出す。低空間認知能力者の感覚問題の解決に必要な空間認知情報の収集において、空間認知能力の高い歩行者と低い歩行者それぞれのデータを分析することで空間認知能力の低い歩行者特有のデータパターン、空間認知能力の高い歩行者特有のデータパターンを生成する。ヒューマン・エラーを引き起こしやすいデータパターンの改善点やヒューマン・エラーを引き起こしにくいデータパターンの利用方法を考案する。

3.2 調査概要

アンケート調査は2種類あり、1つは被験者の協力による歩行体験とアンケートを含んだ実地調査、もう1つは応用的な空間認知情報を収集するための追加調査である。アンケート調査である実地調査と追加調査の流れを図3に示し、以下にの概要を示す。

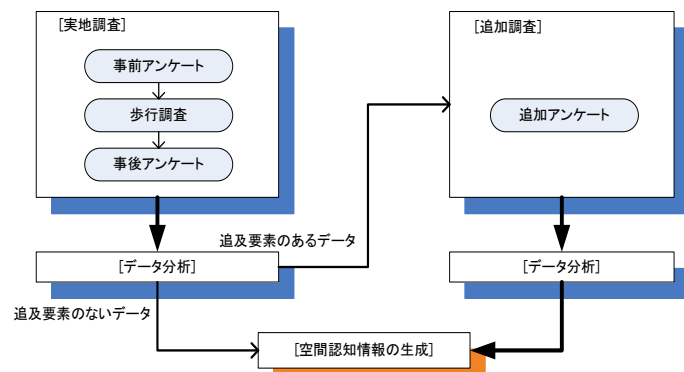


図3 アンケート調査のフロー。

3.2.1 実地調査

作成及び実施した実地調査を表1の要領で行う。実施する屋内環境として池袋サンシャインを選定する。池袋サンシャインはサンシャイン60、サンシャインプリンスホテル、ワールドインポートマートビル、文化会館を総称したものである。池袋サンシャインには飲食店、アパレル、生活用品店など多種多様な店舗が存在する。ベンチなどで休憩が取れる広域なスペースや、スペースでのイベントが池袋サンシャインのスケジュールに基づき開催される。屋内構造のとしては単純な場所と複雑な場所が混在し、階層移動方法は階段、エレ

表1 実地調査の調査要領。

場所	池袋サンシャイン
日時	11/7(土) 13-15 時、19-21 時、11/28(日)13-15 時
被験者	早稲田大学学生 17 名 (男性 10 名：女性 7 名)
年齢層	18～21 歳
実施項目	事前アンケート、歩行調査、事後アンケート

ベータ、エスカレータが存在している。そのため、調査という面では、屋内ナビゲーションを必要とする環境が多く存在し、幅広く歩行条件が揃っている。日時として、池袋サンシャインが最も利用頻度の高いと考えられる日時を設定する。被験者として、18歳から21歳の大学生を設定することでスマートフォンを頻繁に利用する年齢層のデータを収集する。実施項目は図3の順で実施する。実地調査では、事前アンケート、歩行調査、事後アンケートの順に実施する。

事前アンケート

性別や訪問経験を集計し、参考文献¹³⁾で示されるSDQ-S(Sense of Direction Questionnaire ShortForm)^{*1}を利用し、設定した基準点以上を空間認識能力上位者をH群、以下を空間認識能力下位者をL群に選別する。事前パラメータを利用することで歩行調査、事後アンケートからの有用な情報収集を円滑に行う。

歩行調査

歩行調査では被験者の協力の下、異なる歩行条件が設定された歩行調査(1)と歩行調査(2)の2つを実施する。各歩行調査の概要を表2に示す。目安時間は、被験者にあらかじめ通知し、歩行調査を行う。ただし、目安時間を歩行調査(1)では15分、歩行調査(2)では20分と定める。CP(Check Point)とは、経路内にあらかじめ設定している注視地点である。歩行調査(2)は歩行調査(1)に比べ、経路の距離は長く、階層移動が多いため、複雑な経路であるとする。また、各歩行調査直後にアンケートに回答する。

*1 SDQ-Sとは、方向感覚質問紙簡易版である。計20問で構成され、100点満点で評価することで、方位意識に対する因子、空間行動記憶に対する因子を調べることができる。

表 2 歩行調査の概要。

	歩行調査 (1)	歩行調査 (2)
目安時間	10 分	15 分
CP	3 箇所	4 箇所
歩行条件	歩行調査 (2) の方が長距離	
	歩行調査 (2) の方が複雑	
	ノースアップ表示	ヘディングアップ表示

収集する情報として、各目的地に被験者が到着した到着実時間*1及び到着推定時間*2を収集する。また、歩行条件の違いによる被験者の行動や思考のデータを収集する。想像やギャップ、感覚に纏わる情報は時間の経過と共に劣化する恐れがある。劣化によって正確さを損なう情報に対して、歩行調査直後というリアルタイムな状況でアンケートをすることにより、正確かつ有用性の高い情報を収集することができる。集計した回答を数値化し、事前パラメータにより適宜、分類しデータ分析を行う。

● 事後アンケート

事後アンケートでは、課題である低空間認知能力者の感覚問題を解決するための空間認知情報収集を目的としたアンケートである。歩行調査 (2) の終了後に回答する簡易アンケートであり、以下に示す空間認知情報を明確にする。

- － 移動前のルートの覚え方
- － 移動中の思考、注視点、周囲確認余力度合
- － 地図再確認のタイミング
- － 迷う原因の判明、ルート復帰手順
- － CP の利用率
- － ヘディングアップとノースアップの有用性
- － スマートフォンでのナビゲーションニーズ
- － 階層移動の表示方法ニーズ

*1 到着実時間とは、スタートからゴールするまで実際にかかった時間である。到着実時間は、実験実施者が測定を行う。

*2 到着推定時間とは、被験者の推測によるスタートからゴールするまでにかかった時間である。到着推定時間は、事後アンケートにおいて被験者の自己申告をする。

表 3 追加調査の調査要領。

場所	任意
日時	任意
回答者	大学生 18 名 (男性 8 名：女性 10 名)
年齢層	18～21 歳
実施項目	追加アンケート

－ ビジュアルにおけるギャップ

以上に示す空間認知情報を明確にすることで、屋内環境における空間認知情報の不透明さや不確かさの解消及び新たな空間認知情報の生成を行う。また、ナビゲーションにおける屋内特有のふるまい方や問題点、ユーザーズを見出す。歩行調査と同様に適宜、事前パラメータによる分類、分析を行う。

3.2.2 追加調査

作成及び実施した追加調査は表 3 の要領で行う。実地調査で残された追及要素を明確にする。追加調査は場所、日時に依存しない内容である。回答者は実地調査とは無関係に、大学生計 18 名を対象としている。年齢層は実地調査と同様に、スマートフォンを頻繁に利用する年齢層からデータの収集を行う。実施項目は追加アンケートのみであり、実地調査から得られたデータの分析余地を追及する。追加アンケートで収集した追加情報を利用することで、低空間認知能力者の感覚問題を解決する空間認知情報の生成を補助する。追加アンケートにより以下に示す空間認知情報を明確にする。

- 階層の移動階数別の指定方法
- ユーザが理想としないナビゲーション案
- ナビゲーションを不要とする時間の閾値

追加アンケートを用いて、移動階数別に階数指定法を分析し、最適な指定方法を明確にする。追加アンケートを利用することで、ユーザが望まないナビゲーション案を示し、ユーザの理想としないナビゲーションを回避する。また、ナビゲーションを必要としない分秒の閾値を求めることで、直近の目的地に対する不要に詳細なナビゲーションを避ける。

4. データ分析

本章では、データ分析を効果的に行うために必要な事前パラメータを示す。また、実地調査と追加調査によって得られたデータを6つの軸を基軸にデータ分析を行い、空間認知情報を生成する。6つの軸とは、第2.3章に示した到着時間、経路喪失及び修正、回避、目安時間、感覚、CPである。

4.1 事前パラメータ

事前パラメータは、被験者計17名に対して3.2.1項に示す事前アンケートの結果を分析し、3つの事前パラメータとして男女パラメータ、訪問経験の有無パラメータ、H群L群パラメータを定め、被験者の内訳を以下に示す。

- 男女パラメータ

表1に示す実地調査の調査要領から、実地調査の被験者の内訳は、男性10名、女性7名である。また、表3に示す追加調査の調査要領から、追加調査の被験者の内訳は、男性8名、女性9名である。

- 訪問経験の有無パラメータ

事前アンケートの回答から、実地調査で被験者の内訳は、経験者10名、経験者7名である。一方、追加調査では訪問経験が無関係である。

- H群L群パラメータ

SDQ-Sの得点によりH群とL群に区分する。SDQ-Sの得点を表4に示す。

表4 SDQ-Sの平均点。

	男性	女性	全員
方位意識の小計(45点満点)	19.1	19.7	19.4
空間行動記憶の小計(45点満点)	28.6	26.7	27.8
全体の合計(100点満点)	52.5	50.9	51.8

全体の平均は51.8点である。平均点51.8点をH群とL群の閾値と仮定すると、H群は8名、L群は9名となる。ただし、被験者を2分する閾値が有意的であるかどうか

を検定する必要がある。そのため、H群L群の2群間でt検定^{*1}を行う。有意水準 $\alpha=0.05$ とした場合、帰無仮説「2群間において空間認知能力に点数上差がない」を棄却でき、有意な差を見いだせる閾値であることがわかる。

よって被験者の内訳は、H群8名、L群9名と定める。一方、追加調査ではSDQ-Sによる空間認知能力判定をしていない。

4.2 到着時間軸評価

到着時間軸では、SDQ-Sの得点と歩行時間に関する空間認知情報の生成を行う。4.1節で示す事前パラメータを適宜利用し、到着時間軸において、事前アンケート、歩行調査アンケートのデータを分析し評価を行う。男女パラメータとH群L群パラメータを基準にデータ分析を行う。被験者の男女比とH群L群の比を図4に示す。図4のデータを利用し、4.2.1

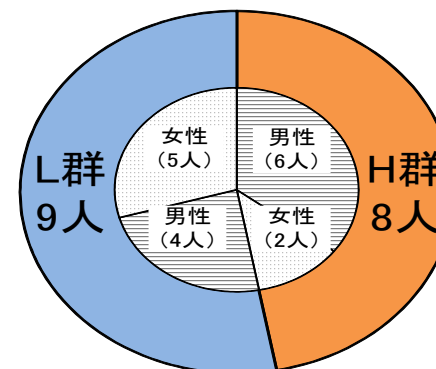


図4 H群及びL群の男女比。

項にH群L群パラメータによる点数及び到着時間の分析、4.2.2項に男女パラメータによる点数及び到着時間の分析を示す。

4.2.1 H群L群パラメータによる点数及び到着時間分析

被験者をH群L群に2分した場合の分析を行う。H群の到着実時間の平均は歩行調査(1)

^{*1} t 検定とは、2つの集団の平均値が偶然生じる可能性を検定する。帰無仮説（最終的に棄却されることを前提とした否定的仮説）を設定し、有意水準を下回る有意確率が求まることで偶然性を証明する。

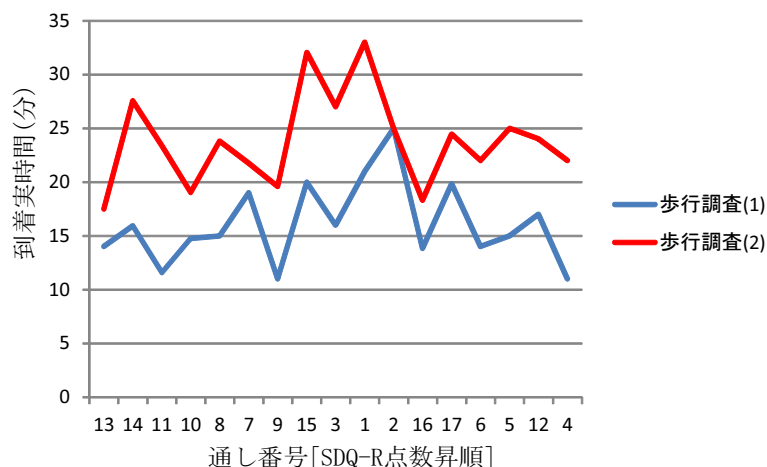


図5 SDQ-Sの得点順の到着実時間の比較.

表5 得点群別の平均到着実時間 (分).

	低得点者	平均得点者	高得点者
歩行調査 (1)	14.1	17.9	14.3
歩行調査 (2)	21.9	25.0	23.3

で17.1分, 歩行調査(2)で24.2分となっている. 一方で, L群の到着実時間の平均は歩行調査(1)で15.2分, 歩行調査(2)で23.5分となっている. 到着実時間の平均はL群の方が早い但振れ幅はH群の方が少なく, 安定している可能性が高い. SDQ-Sの得点順に被験者を並べ, 到着実時間を比較したものを図5に示す. 図5から以下のことが推測できる.

- 得点が高い人と低い人は到着実時間が比較的早い
- 得点が平均点に近い人は到着実時間が比較的遅い

被験者をH群L群よりさらに細かく分割し, 考察する. 被験者を得点順に低得点者(4名), 平均得点者(9名), 高得点者(4名)として3分する. 3分した場合の到着実時間の平均値を表5に示す.

表5を分析すると, 低得点者, 高得点者, 平均得点者の順に到着する傾向が示される. 歩行調査(1)では低得点者と高得点者が目安時間に間に合うことがわかる. 低得点者と平均得点者を比較すると低得点者を基準に歩行調査(1)では26.9%, 歩行調査(2)では14.3%の遅延誤差が生じている.

4.2.2 男女パラメータによる点数及び到着時間分析

男女をパラメータにし2分した場合の分析を行う. 表4から, 男性の平均点は52.5点, 女性の平均点は50.9点となり, 男性の方が比較的空間把握能力が高いということが一見するとわかる. 「空間行動における記憶の因子」の小計の男女平均からも明らかである. 一方で, 各歩行調査における到着実時間と男女の関係を表6示す.

表6 男女別の平均到着実時間 (分).

	男性	女性
歩行調査 (1)	17.0	14.8
歩行調査 (2)	25.2	21.9

表6から, 女性の方が到着実時間が平均的に早いことがわかる. 歩行調査(1)で目安時間に間に合ってゴールした女性は全体の女性の71.43%(7名中5名)であり, 男性は40%(10名中4名)であり, 歩行調査(2)では女性は28.57%(7名中2名), 男性は20%(10名中2名)となっている. 女性においては目安時間の15%の超過以内に女性の85.71%(7名中6名)が到着するため, 女性は男性より目安時間に近い時間で到着しやすいと推定できる.

4.3 経路喪失及び修正軸評価

経路喪失及び修正軸では, 歩行者の経路喪失と修正に関する空間認知情報の生成を行う. 4.1節で示す事前パラメータを適宜利用し, 経路喪失及び修正軸において, 歩行調査アンケートのデータを分析し評価を行う.

経路喪失は迷う頻度に注目し, 経路修正は早歩きになる頻度に注目する. 男女訪問経験の有無パラメータとH群L群パラメータを基準にデータ分析を行い, 分布や平均を考察する. 4.3.1項に訪問経験の有無パラメータによる頻度分析, 4.3.2項にH群L群パラメータによる頻度分析を示す. 4.3.1項と4.3.2項で指す頻度とは, 歩行調査アンケートで集計した迷った回数または早歩きした回数を指す.

4.3.1 訪問経験の有無パラメータによる頻度分析

被験者を訪問経験の有無で2分した場合の迷う頻度の分析を行う. 訪問経験と迷った回数及び早歩きした回数を比較したものを表7に示す.

表 7 訪問経験別の迷った平均回数 (回).

	訪問経験無し	訪問経験有り
歩行調査 (1)	2.0	3.4
歩行調査 (2)	4.4	3.8

歩行調査 (1) より歩行調査 (2) の方が経路が複雑かつ長距離であること踏まえ分析を行う. 訪問経験がない被験者と訪問経験ある被験者を比較した場合, 訪問経験ない被験者は歩行調査 (1) において迷う平均回数が 2.0 回であり経験者より少ないが, 歩行調査 (2) では 2.2 倍に増加する. 一方, 訪問経験ある被験者は増加分が 1.1 倍で収まり, 歩行調査 (2) では迷う平均回数が未経験者の回数を下回る. そのため, 迷った平均回数の振れ幅は訪問経験がない被験者の方が大きく, 不安定であると考えられ, 訪問経験がある被験者の方が安定していると考えれる.

4.3.2 H 群 L 群パラメータによる頻度分析

被験者を H 群 L 群に 2 分した場合の迷う頻度, 早歩きになる頻度の分析を以下に示す. 迷った回数を図 6 に示し, 早歩きした回数を図 7 に示す.

● H 群 L 群パラメータでの迷う頻度に対する分析

図 6 に示すように迷った被験者は全体で 17 名であり, 図 7 に示すように早歩きになった被験者は全体で 10 名である. ただし, 図 6, 図 7 の前半 9 名は L 群であり, 後半 8 名は H 群である. H 群と L 群の迷った平均回数を比較すると, L 群の方が H 群より迷う回数が 1.34 倍多く, 恒常的に L 群の方が多いことがわかる. 歩行調査 (2) で迷った回数が歩行調査 (1) より増加または同数であった被験者は全体の 76.47% (17 名中 13 名) であり, 迷った回数は増加傾向にある.

● H 群 L 群パラメータでの早歩きになる頻度に対する分析

早歩きになった回数が増加または同数であった被験者は 70% (10 名中 7 名) であり, 早歩きになった回数も増加傾向を示す. 歩行調査 (1) では早歩きになった被験者は 8 名, 歩行調査 (2) では 10 名であり, 歩行調査中に早歩きをした被験者は全員, 「迷った直後に早歩きをした, しやすかった」と回答している. L 群において, 歩行調査 (2) での早歩きした平均回数は歩行調査 (1) の 2.0 倍となる. H 群は L 群に比べ早歩きした回数の標準偏差が高いという問題があるため, 最高回数と最低回数を除くことでデータを最適化した結果, 早歩きをした平均回数は L 群とほぼ同数と云える範囲に収まる.

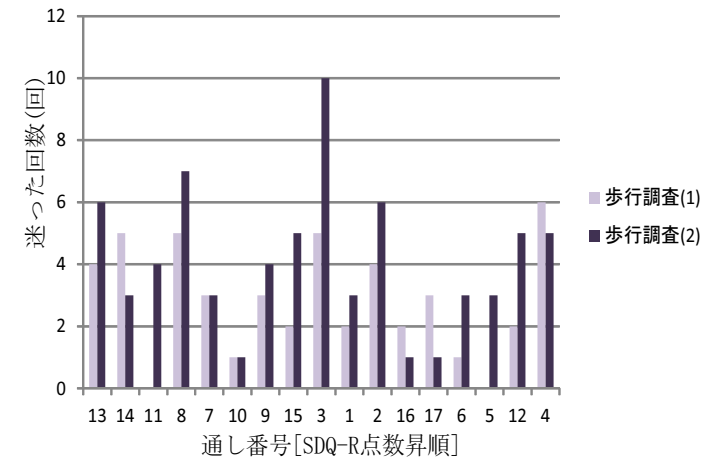


図 6 迷った回数.

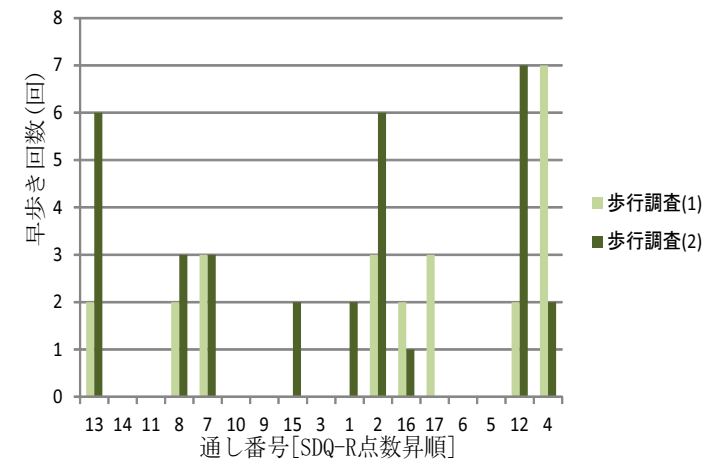


図 7 早歩きをした回数.

4.4 回避軸評価

回避軸では、ユーザが理想としないナビゲーションの回避ができる空間認知情報の生成を行う。事後アンケートと追加アンケートのデータを分析し評価を行う。追加アンケートにより曖昧さが除かれ明確になった空間認知情報を以下の項目に示す。

- 階層の移動階数別の指定方法

事後アンケートにより、階段とエスカレータでの移動表示において、17人中5人は階数を指定されるより現在の階数から差分を指定を望んでいる。しかし、事後アンケートでは移動階数を細かく設定していない。追加アンケートを利用して判明したデータや考察を以下に示す。

- － 階段での移動階数が上下1階の場合、階数差分指定が18人中9人に支持される。上下1階以上の場合、階数直接指定が有効である。
- － エスカレータでの移動階数が上下1階の場合、階数差分指定が18人中9人に支持される。上下1階以上の場合、階数直接指定が有効である。
- － エレベータでの階層移動では移動階数に関わらず、全員が階数直接指定を選択し、エレベータでの階数直接指定の有用性を示す。
- － 階数直接指定と階数差分指定の同時表示を希望する回答は全体の4.01%であり、有用性がない。

- ユーザが理想としないナビゲーション案

追加アンケートで回答された、ユーザが理想としないナビゲーション案を以下に示す。

- － 目印の過剰な削除やわかりにくい縮尺がされた簡略化地図の利用
- － 店舗などの更新がされない地図の利用
- － 小道が省略された地図の利用
- － 詳細すぎるナビゲーションまたは漠然としたナビゲーション
- － 自分の位置が不明なナビゲーション
- － 位置測位が遅いナビゲーション
- － 目的地までのルートが1つしか存在しないナビゲーション
- － 目印がわかりにくいナビゲーション

- － 移動方向を方位で指定するナビゲーション

ユーザが理想としないナビゲーション案を利用することでユーザにとって理想的なナビゲーションやヒューマン・エラーを回避する方法を提案する。テナント情報の更新、地図のデフォルメが少ない地図の利用、位置測位が遅延せずユーザの位置と方位が常に確認可能なナビゲーションが理想と考えられる。適度な目印の強調表示や左右表現による移動方向表示が望まれる。

- ナビゲーションを不要とする時間の閾値

追加アンケートで回答された閾値は3～5分に集中したため、平均値を計算する。平均値は4分33秒であるため、目的地までの目安時間が5分未満の場合、詳細すぎるナビゲーションを避けることで、有効なナビゲーションを行うことができる。

4.5 目安時間軸評価

目安時間軸では、目安時間を基準にした歩行時間に関する空間認知情報の生成を行う。歩行調査アンケートのデータを分析し評価を行う。歩行調査(1)と歩行調査(2)における、到着実時間、到着推定時間、目安時間の比較を表8と表9にそれぞれ示す。データを比較し、解析することで以下の2つのパターンが明らかとなる。ただし、歩行調査(2)は歩行調査(1)よりルートを複雑かつ長距離に設定していることを踏まえる。

- 歩行者感覚に関するパターン

- － 「目安時間通りに到着した」と感じた被験者は全員、目安時間を超える到着実時間で到着している。
- － 「目安時間を超過して到着した」と感じた被験者は、超過時間の大小に関わらず超過している。

到着実時間と目安時間の差分をとり、平均を求めると、目安時間を超過する傾向がある。平均から歩行調査(1)では1.11分、歩行調査(2)では3.85分の超過があり、目安超過の傾向がみられる。

- 経路の距離・複雑度に関するパターン

- － 経路が単純で短距離であるほど目安時間に近い時間で到着できるという傾向がある。また、被験者自身が到着推定時間を過小評価する傾向にある。

- － 経路が複雑で長距離であるほど目安時間からずれた時間で到着するという傾向がある．また、被験者自身が到着推定時間を過大評価する傾向にある．

表 8 と表 9 から到着実時間と目安時間の差分をグラフにしたものをそれぞれ図 8 と図 9 に示す．図 8 から歩行調査 (1) では目安時間より早く到着する被験者と超過して到着する被験者は半々である．一方で、図 9 から歩行調査 (2) では超過到着者が増加し、目安時間をより超過する傾向にシフトしていることがわかる．

4.6 感覚軸評価

感覚軸では、歩行調査アンケートのデータを分析し、計測に基づく到着実時間と感覚に基づく到着推定時間を到着タイミング^{*1}別に比較する．歩行調査 (1) と歩行調査 (2) の到着実時間を基準とした到着推定時間との差分を図 10 と図 11 にそれぞれ示す．

図 10 では横軸の左から順に 4 名、6 名、7 名、図 11 では横軸の左から順に 1 名、4 名、12 名がそれぞれ「目安時間より早く到着した」、「目安時間に通りに到着した」、「目安時間を超えて到着した」と申告している．それぞれのタイミングの平均差分は表 10 に示す．

表 10 の分析から、目安時間内に到着したと感じた被験者は到着時間を過小評価し、目安時間を超えたと感じた被験者は到着時間を過大評価する傾向にあることがわかる．また経路が複雑化、長距離化するほど到着時間は過大評価の方向にシフトしている．

4.7 CP 軸評価

CP 軸では、利用しやすいランドマークにおける空間認知情報の生成を行う．歩行調査アンケートと事後アンケートのデータを分析し評価を行う．CP にはそれぞれにパラメータが存在する．CP とパラメータの関係を表 11 に示す．

歩行調査 (1) と歩行調査 (2) に設定した CP に対して以下の項目における分析を行う．

- 見つけやすさ
- サイズ
- CP 同士の距離感覚
- ランドマークとしての利用性

歩行調査 (1) と歩行調査 (2) それぞれにおいて見つけやすさ、サイズ、CP 同士の距離感覚の平均点数を表 12 に示す．ただし、見つけやすさは 3 段階評価 (2 点、1 点、0 点)、サ

^{*1} 到着タイミングとは、被験者が感じた目安時間に対する到着時間のずれである．「目安時間を超えて到着した (OutOfTime)」, 「目安時間に通りに到着した (OnTime)」, 「目安時間より早く到着した (InTime)」の 3 タイミングを歩行調査中のアンケートで選択回答する．

表 8 歩行調査 (1) における到着実時間、到着推定時間、目安時間の平均比較 (分)．

通し番号	到着実時間 (実)	到着推定時間 (推)	(実)-目安時間	(推)-目安時間	(実)-(推)
1	21	15	6	0	6
2	25	20	10	5	5
3	16	13	1	-2	3
4	11	10	-4	-5	1
5	15	20	0	5	-5
6	14	20	-1	5	-6
7	19	20	4	5	-1
8	15	15	0	0	0
9	11	15	-4	0	-4
10	14.75	12	-0.25	-3	2.75
11	11.58	8	-3.42	-7	3.58
12	17	15	2	0	2
13	14	20	-1	5	-6
14	15.93	15	0.93	-5	5.4
15	20	22	5	7	-2
16	13.83	14	-1.17	-1	-0.17
17	19.83	16	4.83	1	4.5

表 9 歩行調査 (2) における到着実時間、到着推定時間、目安時間の平均比較 (分)．

通し番号	到着実時間 (実)	到着推定時間 (推)	(実)-目安時間	(推)-目安時間	(実)-(推)
1	33	40	13	20	-7
2	25	20	5	0	5
3	27	22	7	2	5
4	22	20	2	0	2
5	25	30	5	10	-5
6	22	25	2	5	-3
7	21.75	25	1.75	5	-3.25
8	23.8	35	3.8	15	-11.2
9	19.6	20	-0.4	0	-0.4
10	19.02	20	-0.98	0	-9.8
11	23.38	30	3.38	10	-6.62
12	24	22	4	2	2
13	17.5	25	-2.5	5	-7.5
14	27.25	20	7.55	5	2.55
15	32.05	30	12.05	10	2.05
16	18.3	17	-1.7	-3	1.3
17	24.45	25	4.45	5	-0.55

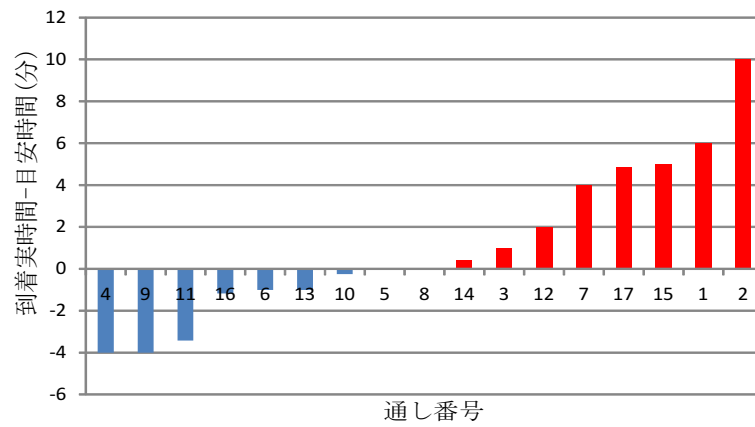


図 8 到着実時間と目安時間の差分 [歩行調査 (1)].

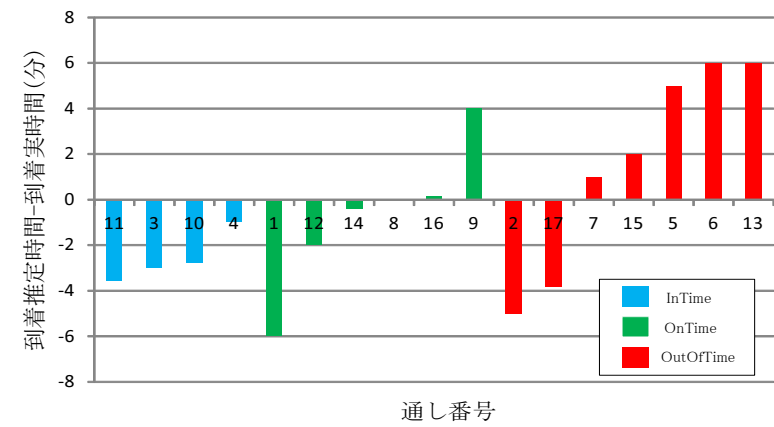


図 10 到着実時間と到着推定時間の差分 [歩行調査 (1)].

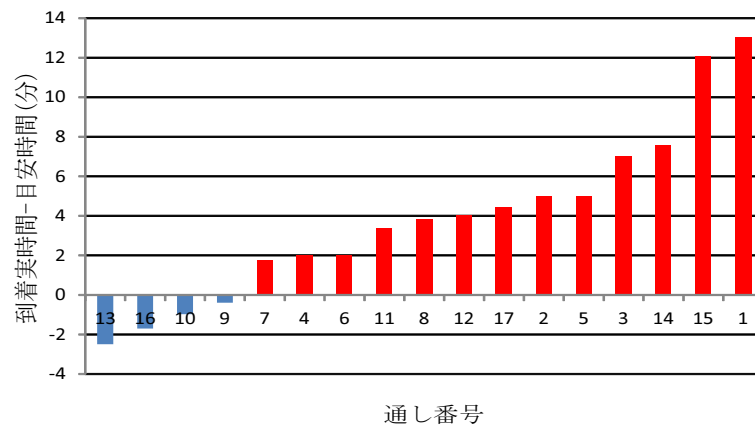


図 9 到着実時間と目安時間の差分 [歩行調査 (2)].

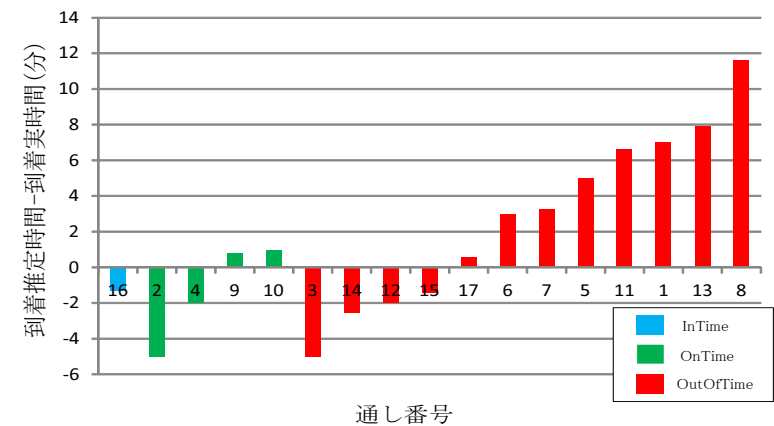


図 11 到着実時間と到着推定時間の差分 [歩行調査 (2)].

表 10 到着タイミング別の感覚誤差平均 (分).

	InTime	OnTime	OutOfTime
歩行調査 (1)	-2.58	-0.71	1.60
歩行調査 (2)	-1.30	-1.31	2.83

表 11 CP とパラメータの関係.

歩行調査	CP 名	パラメータ
歩行調査 (1)	GAP	アパレル, 知名度, 大規模テナント
	噴水	広い確保スペース, 想像可能
	ハニーズ	女性向けアパレル, 低い知名度
歩行調査 (2)	リンガーハット	飲食店, 高い知名度
	ALTA ログアーチ	規模不明, 知名度のあるデザイン
	ダイソー	高い知名度, 異質デザイン
	ツリーモニュメント	季節感, 大規模

表 12 見つけやすさ, サイズ, CP 同士の距離感覚における平均点数表 (点).

歩行調査	CP 名	見つけやすさ	サイズ	CP 同士の距離感覚
歩行調査 (1)	GAP	2.00	-0.06	-0.29
	噴水	1.65	0	
	ハニーズ	1.41	-0.57	
歩行調査 (2)	リンガーハット	1.94	0.12	-0.59
	ALTA ログアーチ	1.06	-0.31	
	ダイソー	1.41	-0.29	
	ツリーモニュメント	1.41	0.07	

イズは3段階評価(想像より大きい場合1点, 想像通りの場合0点, 想像より小さい場合-1点), CP 同士の距離感覚は3段階評価(想像より遠い場合1点, 想像通りの場合0点, 想像より近い場合-1点)である.

4.7.1 見つけやすさ・サイズ・CP 同士の距離感覚

表 12 を分析すると, 見つけやすさにおいて歩行調査 (1) では GAP は満点を示し, 歩行調査 (2) ではリンガーハットが高得点を示す. 逆に女性服を取り扱うハニーズは点数が低く, 特に男性には見つけにくいという意見が多い. ALTA のログアーチはサイズの平均値が最も低いことから想像よりサイズが小さいという意見の数が多く, 見つけにくい傾向にある. CP のサイズにおいては想像の CP のサイズを過大評価しやすいことがわかる. CP 同士の距離感覚においては歩行調査 (2) の方が平均値が低く, ルートが複雑かつ長距離になるほど推測上の距離を過大評価しやすいことがわかる.

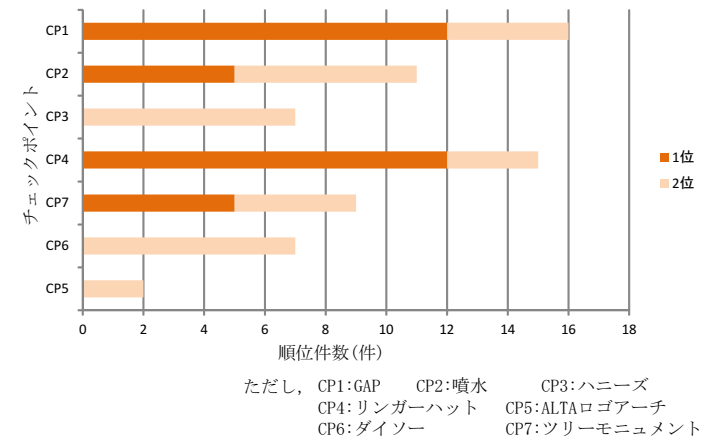


図 12 CP 別のランドマークにしたい順位集計.

4.7.2 ランドマーク性

被験者がランキングしたランドマークにしたい順位を基に生成した分析結果を図 12 に示す. 図 12 から, 見つけやすさの表 12 とほぼ同等の順位が結果として出ている. ランドマークにしたい CP が見つけやすい CP である可能性が高い.

事後アンケートでは, CP に内在するパラメータ別にランドマークにしたい CP を集計する. パラメータとして衣食とモニュメントの2つを設定する. 衣食のパラメータを持つ CP を GAP, ハニーズ, リンガーハットとし, モニュメントのパラメータを持つ CP を噴水, ALTA ログアーチ, ツリーモニュメントとする. 更に衣食とモニュメントで選択したもののうちランドマークにしたい CP の集計をしたものを図 13 に示す. 更に, パラメータとしてデザインを設定し, 以下に分析結果を示す.

● パラメータ (衣食/モニュメント)

衣食に関しては GAP が最も支持され, 飲食店より敷地的にも巨大な GAP がランドマークとして有用であると考えられる. モニュメントに関しては, 噴水が最も支持され, 次にツリーモニュメントが支持されている. 噴水付近は開けた空間となり, 通路の多い空間とのギャップがランドマーク性を向上させることや, ツリーモニュメントのよ

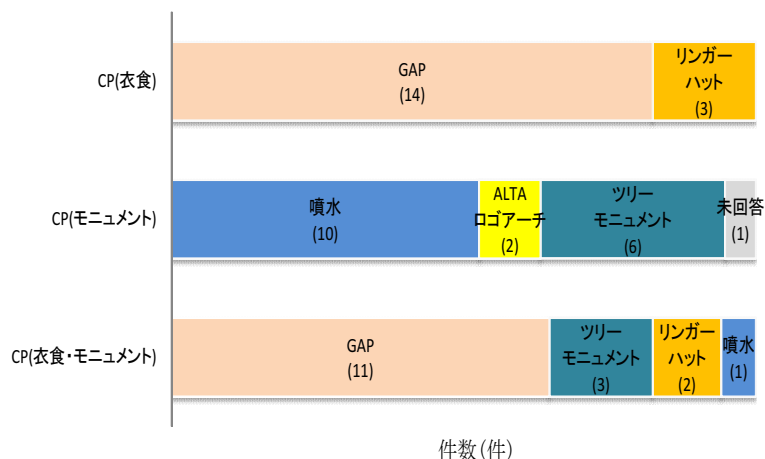


図 13 パラメータ別のランドマークにしたい CP 集計.

うな大きく派手なものや季節感があるものはランドマーク性が高いと考えられる。更に、衣食とモニュメントを比較すると、噴水より GAP が支持される確率が高い。噴水などは想像可能であるが、場所によって形が異なる。場所によって変形する CP より、知名度が高く確実な想像ができる GAP などの CP をランドマークにしたいという被験者の思考パターンがデータに現われている。

● パラメータ (デザイン)

CP のダイソーは、一般的なデザインと異なる。アンケート結果から普段見慣れたデザインとは異なっていることに対して、被験者の 17 名中 15 名がランドマーク性が無いと意見している。また、噴水、ALTA ログアーチ、ツリーモニュメントは被験者 1 人 1 人のイメージが異なるため、ランドマークにしたいという意見が平均に留まっている原因になると考えられる。認知度や知名度がある CP であっても、デザインとイメージが異なるとランドマーク性の低下を招く可能性があり、被験者がランドマークにしたいという思考パターンに陥りやすいと考えられる。

5. おわりに

本稿では、アンケート調査とデータ分析により、屋内環境に対して有意な空間認知情報を取得した。取得した空間認知情報は、屋外環境に対する既存研究の成果として得られる空間認知情報をベースとして類推されず、一般化されている。また、屋内環境に対する空間認知情報としての正確さや信頼性が高いため、屋内ナビゲーションに対して有意な空間認知情報として利用可能である。今後の課題として、屋内空間認知情報を利用したナビゲーションシステムの設計及びユーザビリティが高い画面表示法をスマートフォン向けに実装し、実機を導入した実地調査を行う必要がある。

6. 謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補助金 (課題番号 21650238) のもとに実施された。

参 考 文 献

- 1) 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.
- 2) 浅村 亮彦, “なぜ道に迷うのか: 空間認知におけるヒューマンエラー,” 北海学園大学経営論集, vol. 3, no. 3, pp. 131–135, 2006.
- 3) R. W. Byrne, “Memory for urban geography,” *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol. 31, pp. 147–154, 1979.
- 4) 調枝 孝治, 甲村 和三, 松田 文子, 平 伸二, 山崎 勝之, 神宮 英夫, “心理的時間—その広くて深いなぞ,” 北大路書房, 1996.
- 5) GoogleMap, <http://maps.google.co.jp/>
- 6) 今井 桂子, “地図におけるラベル配置と略地図,” 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, vol. 2009, pp. 146–147, 2009.
- 7) MapFanWeb, <http://www.mapfan.com/>
- 8) Micello, <http://www.micello.com/>
- 9) 中澤 啓介, 北 望, 高木 健士, 井上 智雄, 重野 寛, 岡田 謙一, “ランドマークの視認性に基づいた動的な案内地図作成,” 情報処理学会論文誌, vol. 49, no. 1, pp. 233–241, 2008.
- 10) NAVITIME, <http://www.navitime.co.jp/>
- 11) 二宮 直也, 戸川 望, 柳澤 政生, 大附 辰夫, “認知科学を応用した微小画面向け略地図生成手法とその統計的評価,” A, 基礎・境界, 電子情報通信学会論文誌, vol. 91, pp. 869–882, 2008.
- 12) 荻内 伸彦, 林田 和人, 渡辺 仁史, “方向感覚に影響を与える要因に関する研究 (建築計

画), ” 社団法人日本建築学会研究報告集 II, no. 77, pp. 37-40, 2007.

13) 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,” 教育科学, 愛知教育大学研究報告, vol. 39, pp. 127-140, 1990.

14) Yahoo!地図, <http://map.yahoo.co.jp/>