

2001年度 修士論文

回遊行動モデリングのための計測システムの構築
A Study on measurement system
for modeling migration activities of shoppers

北澤 桂
KITAZAWA, Kay

東京大学大学院新領域創成科学研究科
環境学専攻 社会文化環境コース

論文要旨

都市問題に早急の解決策が求められる昨今、より良い都市計画や都市政策の推進のためには利用者の行動を計測したり、モデル化したりすることが重要である。客観的データに基づいた利用者の行動の分析（効果予測）によってはじめて、いずれの計画を進めるべきかということについての合理的な判断ができるためである。さらに、商業空間の計画・設計やマーチャンダイジング、マーケティングにおいても、施設利用者の属性や振る舞いなどをモデル化することが急務となっている。人間行動のモデル化に関しては、都市圏といった大きなレベルでは周遊行動を対象としたモデルに関してはハフモデルなど定番と呼べるものがすでに存在し、施設への来場者人数予測などに既に利用されている。しかし、街区や個別の商業空間を対象として、より詳細に人間の行動を観測したり、それに基づいてモデルを構築したりした例は少ない。本研究では、こうしたスケールでの商業施設内の回遊行動に着目し、計測方法と、行動モデルの提案を行うことを最終的な目標としている。たとえば、施設に来場する人々の回遊パターンが各人のニーズや個人特性（年齢・性別・嗜好その他）に応じて変化することをモデル化できれば、将来的に効果的な店舗配置や広告戦略への応用が期待される。その際、こうしたモデルをもとに来場者を異なる個人属性を持つ複数のエージェントとして表現し、その相互作用を見るマルチエージェントシミュレーションを行うことで、店舗配置や時間などの条件を様々に変えた場合の人々の行動を可視化・予測することが容易となる。本研究では行動モデルの基本的枠組みを設定し、今後モデリングに際して必要な要件を整理した。

また、こうした行動モデル構築に際しては、人間の行動を客観的に分析するための定量データの獲得が不可欠である。これまではアンケート調査などが主体であったため、行動の詳細を得ることには大きな困難があった。そのため、「行動＝歩き回った場所の軌跡」と考え、複数のポジショニング（位置決め）技術を用いて、買い物客の空間移動ルートを特定するシステムを構築した。システムは自律型の歩行者トラッキングシステムを中核とするもので、誤差補正のためのポイントデータ取得システムと、主観データ取得のためのアイカメラを組み合わせたものである。検証実験の結果、まだそれほど精度はよくないが商業施設内の回遊行動トラッキングに有効な手法である、ということが確かめられた。

目次

論文要旨

第1章 序論	3
1.1 研究の背景	3
1.1.1 人間行動モデルのニーズ	3
1.1.2 既存の行動モデル	5
1.1.3 行動計測技術のニーズ	15
1.1.4 既存の行動計測技術	16
1.2 研究の目的	19
1.3 論文の構成	20
第2章 回遊行動モデル	21
2.1 モデル提案の枠組み	21
2.2 仮説モデル構築のための実験方法	23
2.3 実験後の分析	30
2.4 仮説モデル	34
第3章 計測システム	39
3.1 モデル構築に必要なデータ	39
3.2 データ計測システムの概要	39
3.3 個々の計測機器	40
3.4 計測システムの有効性検証	43
3.4.1 実験方法	43
3.4.2 実験結果	44
3.5 考察	48
第4章 結論	49
4.1 モデルの改善に向けて	49
4.2 計測システムの改善に向けて	49
参考文献	50

謝辞

図表目次

図 1.1	荷捌きスペース設置プラン	5
図 1.2	行動モデル研究の領域	5
図 1.3	ハフモデルによる商圈分析例	7
図 1.4	行動マッピング	10
図 1.5	避難群衆シミュレーション	10
図 1.6	群集誘導のバンド構造	10
図 1.7	交通現象のマルチエージェントシミュレーション模式図	11
図 1.8	セルオートマトン	12
図 1.9	モバイル端末による位置情報サービス例	15
図 2.1	行動モデルフレームワーク	21
図 2.2	お台場ヴィーナスフォート	24
図 2.3	簡易計測システム	24
図 2.4	タグ配置図	25
図 2.5	電子タグシステム	26
図 2.6	ハンドリングアプリケーションの GUI	27
図 2.7	アイカメラシステム	28
図 2.8	映像同期タブレット	30
図 2.9	仮説モデル	34
図 3.1	計測システム概念図	40
図 3.2	電子タグを用いたグローバルマッチング法	42
図 3.3	駒場リサーチキャンパス実験サイト	43
図 3.4	リサーチキャンパス内タグ配置図	44
図 3.5	5 階フロア	45
図 3.6	ジャイロセンサで取得された軌跡	46
図 3.7	4 階フロア	46
図 3.8	実験 3 の実際の行動軌跡	47
表 1.1	従来の行動計測法	15
表 1.2	主なポジショニングシステムの比較	16
表 3.1	電子タグの設定項目	41
表 3.2	実験 1 のポイントデータ	46
表 3.3	実験 2 のポイントデータ	46

第1章 序論

1.1 研究の背景

1.1.1 人間行動モデルのニーズ

都市と人間の活動

現在、東京をはじめとする世界の大都市には様々な社会問題が山積している。渋滞に代表されるような交通問題、公害や景観の悪化、地価の下落や経済の停滞、犯罪や災害への対策、行政サービスの不足、国際化への対応など、都市には解決すべき様々な問題が存在する。それぞれの都市ではこうした都市問題について活発な議論が交わされ、行政や民間企業や市民が一丸となってよりよき都市空間の実現に向けた努力がなされている。しかし、都市自体の持つ特性、特に人・物・サービスが高密度に集積し相互作用を重ねる複雑さゆえに、都市問題の解決策を見つけるのはそう容易なことではない。当事者の利害が対立することもしばしばである。そうした状況下において、都市に関わる多くの人のニーズを可能な限り反映し、限られた人々だけの利益ではなく社会全体への貢献を考えた都市政策を実現するためには、まず都市の現状を正確に把握した上で公平かつ望ましい都市の未来像を描く必要がある。

望ましい都市の要件に関しては、様々な意見・主張があろう。しかし、都市空間（物理的なものだけでなくシステムや社会制度的な意味も含める）とは、本来その中で活動する人間を支えるためのものであるはずだ。言い換えるなら、個々人が自分の意志と能力とを十分に発揮して活動することを可能にする仕組みを提供することこそ、都市空間の必要条件と言える。すると都市問題の解決にあたっては、この必要条件に満たない部分 - 都市で人間が何らかの行動をする上で必要不可欠なサービスやインフラストラクチャーが不足している場所 - の整備・改良を進めることが先決であろう。改良すべき点を正確に把握し、整備計画をたてるためには、ニーズの発生している場所がどのような人間の活動に用いられているのかを調べる必要がある。この調査には、以下に示すような項目に関する客観的なデータを用いた分析が含まれなくてはならない。

活動がなされている場所（位置・空間の形状・広さなど）

活動に関わる人間について（人数・特性）

活動の内容（時間も含む）

活動をサポートするために必要とされるインフラ・サービスの種類と量

なぜなら、既に述べたように都市を利用する人々の利害は複雑に絡み合っているため、これらの利害を調整して何らかのプランニングをするには、計画の必要性や合理性をわかりやすい形できちんと提示する必要があるからだ。客観性を有するデータ（主に定量的なもの）は、プランナー同士のみならず、専門家とそれほどの知識やスキルを持たない市民との情報共有をも容易にする。

現状把握から効果予測へ

客観データによる現状認識を経て、さらにある特定の計画を推進していくためには、その計画の実行によって対象空間にもたらされるであろう効果を示す必要がある。計画プロセスの中で提案される数多くのプランの中で、どのプランが最も問題解決策としてふさわしいのか、それぞれの効果を比較・検討するために広く行われているのがシミュレーション（試算）である。この手法は工学や経済学を始め、今日大半の分野で用いられている。例えば、過去の政策と市場動向の分析から両者の関連を導き出し、市場活性化のための金融政策を決定しようという試みは古くからなされているし、高層ビル建築による日照や風向の変化予測などにもシミュレーションは広く使われている。この手法を用いることで、ある一定の条件だけではなく複数の条件を設定し、それぞれの下での計画の効果を算出することが可能である。シミュレーションを行うためには、試算しようとする現象について何らかのパターンを抽出し、その現象を発生させる要因の状態との間にルールを設定しておく必要がある。このパターンとルールを総称してモデルと呼ぶ。

都市プランニングの過程で、候補とされる計画の効果予測をする際にも、対象空間内の人間の活動がモデル化される。ある場所に特定のサービスを提供しようとした場合に、多くの人々がサービスを利用する条件にはどのようなものがありうるか、個人属性ごとに見ると計画に対してどのような反応の違いがあるか、ということを一一般化しておくのである。例えば、幹線道路の渋滞解消を目的とした荷捌きスペース設置政策（路上駐車を減らすためのもの、図 1.1 に示される）のインパクトを予測するためには、荷捌きスペースの設置の仕方ごとに、道路利用者の「荷捌きスペースを利用しよう」という動機を引き出す条件、荷捌きスペースの認知度などに一定のパターンが設定される。パターン例としては「荷捌きスペースから積荷の搬入先までの距離が閾値を超えると、利用動機が低下する」「会社内を含め、周囲の人々の荷捌きスペースへの評価が高いと感じている人ほど、利用率が高い」などがあげられる。



図 1.1 荷捌きスペース設置プラン（渋谷区の事例より）

プランニング段階でどれだけ正確なシミュレーションができるかは、こうしたモデルの設定に依存するところが大きい。どれほど綿密に試算したとしても、シミュレーションの基礎となるモデルが間違っていたのでは、試算結果と実際の計画の効果とが大きく乖離してしまい、予測の意味がないからである。

以上の背景から、今日の都市問題に取り組む上での重要な課題の所在が明らかになる。「ある空間における人間の活動を、客観的データに基づいていかに一般性のある正確なモデルとして表現するか」ということに対するニーズは非常に高い。

1.1.2 既存の行動モデル

人間活動の規則性をモデル化することに関する興味は新しいものではない。これまで様々な分野において多くのパターンが見出されてきた。ただし、一口に都市における人間の活動といっても、売買など経済的なやり取りから個人の頭脳内部における知的生産活動まで幅広く、活動のレベルも様々である。そこで本研究で取り扱う人間の活動は、都市空間で生じる現象に最も関与していると思われる人間の空間行動(場所の移動)に限定する。

人間の空間行動モデルに関する研究は図 1.2 のように主に 4 つの領域でなされてきており、モデリングの種類は理論ベースと観察ベースの 2 つに分けられる。

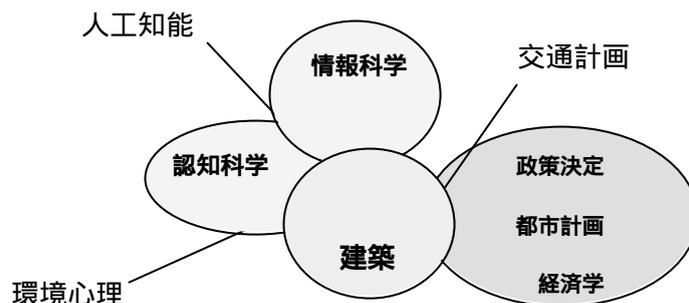


図 1.2 行動モデル研究の領域

<理論ベース>

数理的解析

既存の空間行動モデリングの多くは交通計画の研究分野でなされている。代表的なものとしてはトリップチェーン分析やハフモデルなどがあげられる。これらの特徴は人間の空間行動を目的地選択確率で表現している点にある。

非集計ロジットモデル (disaggregate logit model)

アメリカの都市交通計画のために開発されたもので、個人を交通行動の基本的な意思決定単位とする。個人は全ての選択肢の中から情報の取得を通じて最適な選択を行う、ということ仮定している。この最適とは「望ましさ・効用の最大化」を意味する。効用(望ましさ)は選択肢の特性(コスト等)や個々人の特性(社会経済的特性等)に影響を受ける。さらにこの効用は確率的に変動すると仮定される。これはランダム効用論と呼ばれる考え方であり、以下のような理由に基づく。

- ・正しい情報が十分に与えられたとしても、情報に対する知覚が各人のそれぞれの意思決定時で異なる可能性がある
- ・気まぐれによって別の行動ルールに従う可能性がある
- ・利用可能な選択肢について十分な情報が得られないかもしれない
- ・個人の社会経済的属性などについては測定不能のものも多い
- ・データの測定誤差

目的地までの所要費用と所要時間というコストだけを考慮して、目的地の選択行動をロジットモデル化すると以下ようになる。

$$P_i = \frac{e^{u_i}}{\sum_j e^{u_j}}$$

P_i : 交通機関 i を選択する確率

u_i : 両交通機関の費用差と所要時間差を独立変数とする効用

ハフモデル

都市域における店舗配置計画に利用されており、集客数予想において高い精度を持つ。品揃えの豊富さ・駐車場整備などで表される当該店舗の利便性や、店舗までの距離から選択確率を算出し、その確率を用いて周辺の人口構成・車の保有率などから潜在的な顧客人

数を予測する。ここで用いられている人間モデルは、「居住地から距離的・時間的に最も近い店舗を指向する（最小労力の原理）」「品揃え豊富な店舗を好む」「居住地から店舗までの距離が閾値を越えると、徒歩ではなく車で買い物に行く」といったものである。

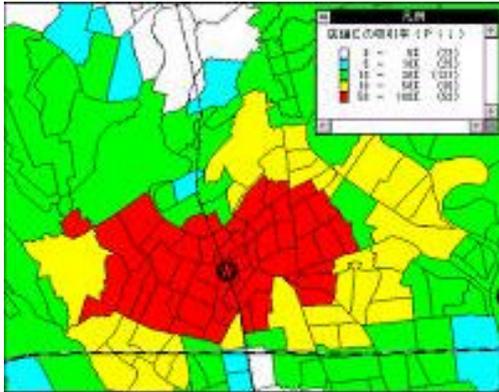


図 1.3 ハフモデルによる商圈分析例

$$P_{ij} = (\alpha_j K_j / D_{ij}) / (\sum_k \alpha_k K_k / D_{ik})$$

i = 居住地 j = 施設の立地する場所

P_{ij} = i に住む人が j にある施設を選ぶ確率

α_j = j の魅力度（利便性など）

K_j = j のキャパシティ（駐車場など）

D_{ij} = i と j の距離

= 商品や地域の特質

マルコフ連鎖モデル (Markov chain model)

ある時点での状態から次の状態への遷移を「行動」と定義した場合、各時点での行動はそれまでの過去の行動履歴には無関係に現時点の状態にのみ依存し、遷移の確率は時間に問わず常に一定である、という理論モデル。以下の数式で表現される。

$$n \leq N \text{ を満たすような、 } i_0, i_1, i_2, i_3 \dots i_n, i_{n+1} \text{ の各時点において、}$$

$$P\{X_{n+1} = i_{n+1} \mid X_0 = i_0, X_1 = i_1, X_n = i_n\},$$

斎藤参郎 (1995) は、ある地域内にある複数の施設を対象として、各施設への来場確率が地域への入口地点から施設までの距離に反比例し、売り場面積の μ 乗に比例するということを示した。この研究で得られた回遊選択確率とポアソン分布を利用して求められた地域への予測来訪者数により、再開発の効果を算出している研究もある (斎藤参郎、熊田禎宣、石橋健一、1995)。ここでモデリングに利用されている要因は、来訪者の性別・年齢、施設までの距離、吸引魅力要因 (売り場面積) であり、人間の行動規範はハフモデルで用いられているものに類似している。

こうした理論的モデルは選択肢の条件と目的地選択行動との関係を簡潔に説明しているが、実際の空間行動プロセスの過程に作用している要因の全てを考慮できているわけでは

ない。他の考えられる要因の一つとして目的施設に対するイメージがある。これに関しては次の空間認知の項で説明する。また、理論モデルで表現される空間行動は、都市域・街レベルといったスケールの大きな回遊行動のみに止まっている。

周囲の空間（環境）に対する認知と空間行動

建築や認知科学の分野では、周囲の環境に対する人間の認知が空間行動にどのような影響を与えているか、という研究がなされてきた。こうした研究分野は環境心理学として独自の領域を形成している。Way-finding（目的地到達、迷い行動）に着目した研究では、Abu-Obeid, N (1998)が、詳細な情報を含む写真よりも地図など単純化された抽象的な情報を与えた被験者の方が、環境認知の強度が高く迷い行動が少ない、ということを示している。また Appleyard, D.(1970)では、環境認知の強度が訪問経験の回数に比例することが確かめられた。

目的地選択行動に着目した研究において、Lee, T.R. (1970)は、ある都市に2つの同類の施設がある場合、町外れの施設の方が近い場所に居住する人でも、中心地に立地する施設を行き先として選択する傾向があることを示した。これは先の数理モデルで上げられた最小労力の原理では説明できない現象である。その理由として、「町外れ」のイメージにより施設までの距離が過大評価されている可能性があげられている。これに類似したものとして、目的地までの経路に曲がり角が多いほど「遠い」というイメージが持たれやすい、ということがある。居住地選択や、施設立地点決定といった空間行動を確率効用で説明する数理モデルは多いが、複数の選択肢から解を定める過程には個人の直接的知覚野に捉えられた効用情報ばかりではなく、こうした空間的な環境認知が大きく作用している。これを示したのが Chapin, F, S and Brail, R. (1969)である。これによると個人の行為空間は感知空間、行動空間、接触空間から成り、この行為空間の有り様が環境認知の基本的要因である。つまり、ある行為によって空間が感知され、その中で何らかの行動がなされ、他者との接触が行われる、ということが環境を認知するということである。そして環境がどのように認知されるかによって、次の空間行動にフィードバックが生じる。

今後の行動モデリングには、こうした環境認知 - 空間行動へのフィードバックという考え方を取り入れる必要がある。

これまでにあげた論理モデルは、以下のような前提があったため、ある1つの目的に対する最適解を出す、という範囲での行動表現にとどまっている。

- ・ 目的が常に明確
- ・ 目的達成プロセスに合うような情報収集
- ・ 目的達成のための最適解を選ぶ

これを**シングルタスク的表現**と呼ぶ。

しかし、人間の行動は常に合理的なものばかりではなく、明確な目的を持たないもの、行動プロセスが終了しないうちに他の目的に移ってしまうものもある。これは理論モデルでは「気まぐれ」として扱われ、確率をランダムにすることでしか表現できない。さらに、そもそもある場所に足を運ぶ目的は一つではない場合が多い。石橋健一（1998）が示すように、都心における人間の回遊行動には複数の目的があり、回遊中にも目的の変動が生じている。回遊行動のプロセスを時系列的に見ると、衣料品の購入という目的はプロセス全体を通して想起優先度が高く、食料品や趣味用品の購入という目的が意識されるのはプロセスの中盤から後半であることがわかっている。今後の人間行動モデリングに際しては、こうした一連の行動プロセス中に生じる目的の変化を「タスクの切り替え」と捉え、空間行動をマルチタスク的に表現することも求められている。マルチタスク的な表現を行うためには、まず空間行動に関連するタスクを可能な限り特定する必要がある。そのためには実際の人間の行動を徹底的に観察することが不可欠である。

< 観察ベース >

空間利用の調査・観察

建築設計のプロセスでは、設計対象となる空間について、その空間がどのように使われているのか綿密な観察・調査がなされている。例えば、花里俊廣（1997）は、行動マッピング調査（調査員が団地内を歩き、周囲の行動を逐次記録）を行い、オープンスペースにおいて人が集まる場所を調べ、分布状況を目的ごとに整理している。



しかしながら、こうした観察ベースの研究から得られた知見は、対象空間の設計そのものには利用されるものの、**体系的なモデル化はなされていない**。設計上の工夫や多くの経験則・ノウハウの蓄積があるにも関わらず、それらは全て断片的に存在しているのである。

図 1.4 行動マッピング

観察から得られる多くの知見をいかに取り込むか、ということがマルチタスク的な行動モデルを構築する上で重要となる。さらに外からの観察だけでは、行動主体の全てのタスクを把握することは難しい。行動主体の主観を合わせて計測する必要がある。

空間行動の可視化

観察で得られた知見をモデリングに生かす方法の一つが、可視化である。人が空間内でどのように振舞うのか、知見で得られたパターンを目に見える形で再現することで、実際の状況との比較を通じたモデルの有効性検討が容易になるからだ。シミュレーションとマルチメディアを融合させることで、シミュレーションの基盤となるモデルそのものの推敲にもフィードバックを与えることができるのである。Yamori (1998) は交差点を横切る群集流動のパターンを観察し、ミクロな個人の動きが群集流動のバンド構造を生み出していることを示し、その構造が生じる過程を再現した。(図 1.6)また、避難群集流の計算にも可視化の手法はよく使われている。平常時の群集流動を観察し、通路・出入口・階段における流動係数を求め、避難の所要時間を算定するものである。(図 1.5)

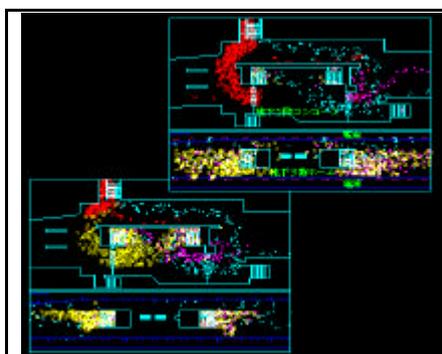


図 1.5 避難群衆シミュレーション

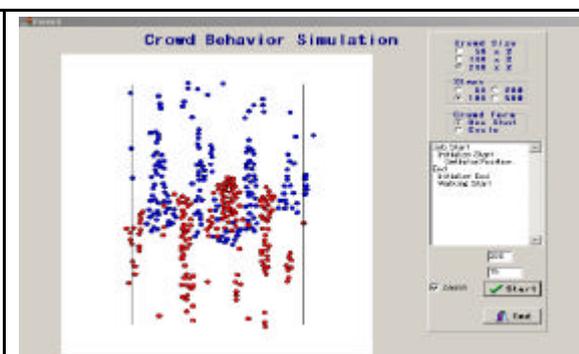


図 1.6 群集誘導のバンド構造 (Yamori)

しかし、可視化されるモデルの多くは群集を対象とするものが大半を占める。それゆえ、マスとしての人間行動傾向を掴むことはできるものの、各個人がどのように行動するのかということは追跡できない。さらに、人間の心理特性や行動パターンの違いを表現できない、という問題がある。

マルチエージェントシミュレーション (MAS)

そこで着目されるのがマルチエージェントシミュレーションである。マルチエージェント的手法を用いたシミュレーションは、一般的にはエージェント (Agent) と 仮想的な環境 (environment) をコンピュータ上に構築する。図 1.7 に示すのは交通現象の MAS のためのエージェント・環境の一例である。

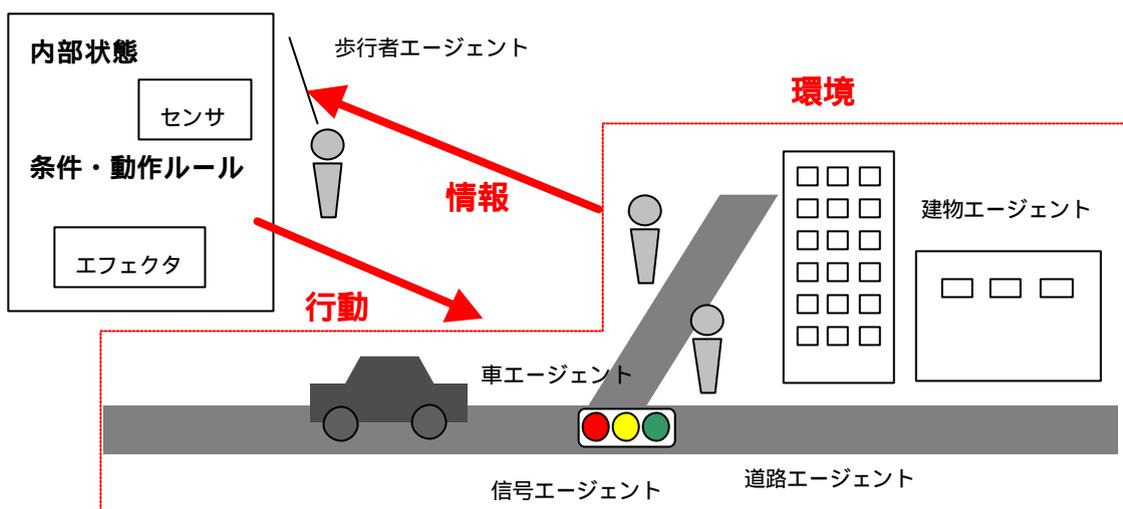


図 1.7 交通現象のマルチエージェントシミュレーション模式図

基本となるのは、各エージェントの自律的な振る舞いがマクロな現象を生じさせる「創発」という考え方である。この手法が用いられ始めたのは情報工学、特に人工知能の研究分野である。

MAS ではある環境の中で主体として働く全てのもの (人、建物、車、貨幣、その他すべての変動要素) がエージェントとして定義される。エージェント エージェント、エージェント 環境の関係にはそれぞれミクロなルールが設定される。例えば、「前の車のブレーキランプが点灯したのが目に入ると、自分もブレーキを踏んだ方がよいだろうと判断する」というルールである。各エージェントはこうしたルールに従って、自らの振る舞いを

周囲の状況や条件（他のエージェントの行為の総体）に応じて変化させながら活動する。

1人の人間単位で行動パターンを設定できるため、それぞれの属性の違いを表現できる。

さらに各エージェントの行動のベースとなるモデルも様々に組み合わせられる。人間の不快感・回避行動モデルや経済的思考モデルなど種類の異なる複数のモデルをそれぞれのエージェントの行動ルールとして組み込むことが可能だ。個々のモデルの有効性検証と全体効果の検証との両方を行えるため、対象となる現象を説明するのに最も適したモデルの組み合わせを選ぶことができる。

都市における活動は、様々な要因が互いに影響を及ぼしているため、一つの要因や一つの活動主体の行為だけにフォーカスしても全体像を捉えがたい。その点、多くの活動主体それぞれの活動特性が一つの現象の中に反映される MAS を用いることで、現実の状況との乖離を少なくすることが可能である。

セルオートマトン

MAS の中で最も多く見られるのが、セルオートマトンの考え方をういたシミュレーションである。セルオートマトン法(Cellular Automata, 以下 CA)では、空間を一様に格子分割し、各格子点に有限の状態を持つセルを配置する。自分自身を含む近傍セル（次元オートマトン空間においては、ノイマン近傍では周囲4つ、ムーア近傍では周囲8つが近傍セルとなる。図 参照）の状態によって、現在のセルが次にどのような状態になるか（行動）が決定される。この局所的な相互作用は局所近傍則と呼ばれ、このルール適用の積み重ねから多くの状態が生み出される。

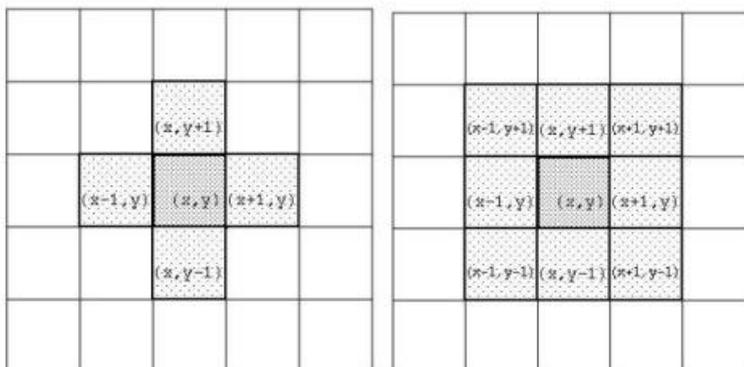


図 1.8 セルオートマトン（左：ノイマン近傍 右：ムーア近傍）

セルオートマトン法を用いたシミュレーションが適用されている現象は、工学の範囲を

超えて人文系にも広がっている。田中明彦（1983）や光辻克馬（2000）は、国際社会における国家間の領土変遷や勢力分布の理論をこの手法を用いて説明している。また Shibanaï（2001）では、文化の伝播の過程が時系列的な情報伝達のパターンごとに再現されている。

空間行動に焦点をしばった研究では、松田泰治（2000）が避難者の現在位置とその周辺環境をセルに見立てたシミュレーションを行っている。ここで適用されている行動モデルは、「各避難者エージェントは、常に進行が最も容易でかつ一番近い出口を目指して1セル移動する」というものである。具体的には、各セルには以下に述べる4つの状態量というものが振られており、出口で最低値0をとる。状態量には、出口までの直線距離（遠いほど高い値）、障害物回りの状態量（障害物や災害が存在する場所に近いほど高い値）、一度通ったセルへの状態量の追加（堂々回りを避ける）、経路の先にある障害物の多さ（2段階先の行動結果から試算）がある。避難者エージェントは現在位置の周囲8セルに関して、この4つの状態量の総和を求め、最も低い値のセルに向けて移動する。エージェント毎に4つの状態量に対する重み付けの係数を変えることによって、障害物を避けようとするのか、リスクは大きくとも最短距離を選ぼうとするのかなどの個人的特性を表現する。横山秀史（1994）のポテンシャル分布を利用した避難行動シミュレーションでも、同じような手法で対象空間の平面構成や他の避難者の分布に対する個々人の判断特性の違いを行動モデルに組み込んでおり、対象空間についての知識による重み付けもなされている。服部正太（2000）は鉄道駅プラットフォーム移動シミュレーションにおいて、出口までの距離よりも周囲の人口密度や待ち時間ストレス・移動に要する時間の期待値などを重視したルール設定を試みている。

このように、マルチエージェントシミュレーションにおける行動モデリングでは、個々人の特性をモデルに反映させることができる。しかし、MAS で用いられている行動モデルはごく単純なものが多く、先に述べたシングルタスク的表現に近い。実際の行動調査から得られた知見をデータ化し、行動モデルをより詳細にしていく必要がある。また、空間をセルに分割することなくエージェントの空間移動をもっと自由に表現することができれば、より現実に近い空間行動の再現が可能となるはずである。

これまでに述べた既存の行動モデルの問題点を整理し、新しい行動モデルに求められるものを次に示す。

理論モデルで扱っている空間行動のスケールは都市域や街レベルであり、回遊行動の表現は、交通需要や来街者人数によって表現されるに止まっている。

商業施設程度のスケールにおける、より詳細な表現が必要

理論モデルでは空間行動プロセスに作用する要因の全てを考慮できていない

空間認知面からのアプローチが必要

シングルタスク的表現では、人間行動の不確定変動を捉えきれない

マルチタスク的な表現が必要

観察から得られた知見が体系化されていない

経験値をデータ化するための工夫が必要

行動主体の主観を計測するための工夫が必要

可視化されている空間行動は群集レベルのものが多い

個人を単位とした可視化が必要

マルチエージェントシミュレーションは有効だが、まだモデルが単純すぎる

MAS に入れることを前提とした行動モデルを構築

データ化された知見を組み込んだより詳細なモデリングが必要

1.1.3 行動計測技術のニーズ

1.1.2 で述べたように、より現実に即した行動モデルを構築するためには、観察から得られた知見（経験則）をデータ化することが不可欠である。それはつまり、現実の人間の空間行動を定量データとして取得する必要があるということと同義である。都市に居住する人々の行動を把握する方法としては、これまで表 1.1 のような方法が広く用いられてきた。

表 1.1 従来の行動計測法

手法	アンケート	トラフィックカウンタ	自動改札入出記録	バス・タクシー利用者数	移動ダイアグラム	観察
特徴	客観性が低い 定量化困難 一般化しにくい	街頭交通量調査 時間と労力がかかる	駅乗降者数 駅ごとの計測スケール	日誌報告 労力がかかる	時系列的に空間移動を図式化 定量化困難	経験が必要 定量化困難

しかし、こうした手法は多大な時間・労力を要する、捉えうる空間移動のスケール（一駅ごと、数百メートルごとなど）が大きすぎる、客観性が低い、などそれぞれに欠点があるため、行動モデルのブラッシュアップのためには、より詳細に人間行動をトラッキングする技術が求められる。

そこで注目すべきは、近年のモバイルデバイス技術やモバイル通信環境の急激な発達により、モバイル通信機器を通じて移動体(者)の位置情報を連続的に取得できるようになったということである。利用者の状況に応じて情報を配信するサービスや、子供や高齢者および身体障害者のための生活活動支援など、位置情報利用の要請が高まっていることを受けて、GPS や PHS などを用いた行動トラッキングシステムが多く提案され実用化されてきている。（図 1.9）



図 1.9 モバイル端末による
位置情報サービス例

1.1.4 行動計測技術

ここで、現在開発されている主な人間行動トラッキングシステム（位置決め技術、ポジショニング技術）について概観する。都市域における人間行動の把握に用いられうる技術を表1.2に示した。

表1.2 主なポジショニングシステムの比較

名称	GPS	PHS/携帯電話	ICチップ	PPS
システム	4つの衛星からの伝播到達時間から距離を算出し、座標を出す。	最も近いアンテナ局を検出。もしくはアンテナ局による3点測量	街中に埋め込まれたICチップの情報をレシーバが読み取る。	万歩計の原理を応用し、相対的な移動方向・距離を計算する
精度	2-3m	20-500m	レシーバの場所はピンポイント	数10cm 数m
メリット デメリット	低コスト・インフラ整備 地下や屋内等で使用できない	低コスト・使用が簡単 精度が低い	設置のための初期投資 連続データがとれない	他のシステムが使えない場合の補間として有望 装備が大掛り

以下、それぞれのシステムの概要を述べる。

GPS (Global Positioning System : 全地球測位システム)

このシステムは、4基のGPS衛星から送信される時刻情報と衛星の軌道情報の受信をベースに位置測定を行う。4つの信号の伝達時間を計測することによりそれぞれの衛星までの距離を算出し、3次元の位置座標を特定する。測位精度は数mから20m程度。また、GPSの基本システムを利用したシステムも多い。

DGPS

正確な座標が計測されている基準点においてGPS測位を行うことにより、GPSの誤差を補正する。電離層による影響を取り除くことが可能。測位精度は1mから数m程度に向上させることができる。

VRS (仮想基準点)

DGPSの補完システム。複数の基準点をネットワーク化し、基地局から遠い場合でも誤差補正情報を正確に算出する。すでにドイツの一部では実用化されており、精度を数十cmにまで向上させることができるといわれる。

Pseudolite (Pseudo-Satellite(擬似衛星))

GPS 情報を地上の発信局(シュードライト)から発信し、GPS 測位を行うものである。これにより、都市のビル街や地下街のようなGPS 衛星からの情報受信が困難な場所でのGPS 測位を可能にし、また従来GPS 測位が苦手とされてきた鉛直方向の測位精度を高めることが可能である。

携帯端末通信

複数のPHS/携帯電話の基地局(アンテナ)とPHS/携帯電話利用者との位置関係や、利用者の端末で計測される信号強度を用いて、測位計算を行う。前者の手法は、ある基地局の電波送信範囲に入っているかどうかを利用するものであるが、精度は基地局の送信電力や設置密度などに依存する。後者の手法は、各基地局から受信する電波の電界強度を用いるため、一般的には精度が高い。しかし、あらかじめ電界強度の期待値が算定されている必要がある。ポジショニングの測位精度はおおむね40 ~70m 程度である。

ICチップ

レーンマーカ-

携帯端末と通信を行う情報チップを道路などに埋め込むもので、チップに記録された位置情報やその他の付加情報を携帯端末に受け渡すというものである。ピンポイントで高精度(数cm)の位置情報獲得が可能になる。位置以外にもさまざまな情報を保持しておくことができる点で様々な応用可能性がある。ただし電波の受信範囲が極めて狭く、実際に広く利用されるためには大量に設置する必要がある。

RFIDシステム

ICチップを組み込んだタグを歩行者が持ち、街中に設置したレシーバの近くを通るとレシーバが通過したタグの電波を読み取る。タグには独自のIDやその他の付加情報が記載されている。レーンマーカ同様、レシーバを多数設置しておく必要がある。

これら大きく分けて3種類のポジショニングシステムには、都市における人間の行動計測

に用いる上で以下のような問題がある。

ビルの谷間や建物の中などGPS衛星や基地局からの電波が届かない地域では利用することができない。

ICチップを応用したポジショニングシステムは、チップがインフラとして設置されていないところでは利用できないほか、ピンポイント測位であるため連続的に行動軌跡をとることは困難である。

行動モデリングのための人間行動トラッキングには、インフラ依存型のポジショニングシステムが利用できない場面でも、高い時間分解能でシームレスな測位が可能であるような、自律航法型のポジショニングシステムが必要である。そこで着目されるのがPPS (Personal Positioning System) と呼ばれるシステムである。

Personal Positioning System (自律方式による歩行者用ポジショニングシステム)

小西(2001)は歩行者の位置情報を自律航法的に推定するシステムを開発した。角加速度を計測するジャイロセンサ、磁気方位センサ、絶対気圧計の3つを組み合わせることで現在位置の推定を行う。まだ研究開発段階にあるが、この研究で行われた検証実験では他のインフラ依存型のポジショニング技術に頼ることなく、高い時間分解能でシームレスに人の歩行による移動を捕捉することが可能であることが分かっている。

しかし、この Personal Positioning System にも、センサの誤差の蓄積という問題がある。解決策としては、「人間は必ず歩行可能空間(道路や部屋の中など)にいる」という前提を用いて、推定された位置座標が常に地図上の歩行可能領域上に来るように修正するマップマッチングという手法が存在する。マップマッチングはこれまで車の自律航法型ポジショニングの補正に使われてきたものであったため、Kitazawa, Konishi (2000)は、歩行者の行動トラッキング技術である PPS のためのマップマッチング法を提案した。結果は図に示されるように、センサの誤差による軌跡の歪みをうまく修正できている。ただし、マッチングアルゴリズムがまだ不完全で、精度が安定していない。これを解決するためには、所々(例えば交差点、建物の入口など大きな行動上の変化があるところ)で、ピンポイントに正確な位置情報をとることで軌跡を修正する方法が考えられる。

1.2 研究の目的

本研究は、まだ体系的なモデルのない商業施設レベルでの人間の空間行動モデリングを行う前準備として、モデリングに必要なデータを取得するための計測システムの提案を目的とする。その際、フレームワーク（概念モデル）を設定することで今後のモデリングに必要な計測データを整理し、データ取得のための機能的要件を満たすような計測システムを構築する。

フレームワーク設定に際しては、人間の行動をより現実に即した形で表現することを目指す。そのために以下の4つのアプローチをとる。

- 実際の空間行動を定量データ化
- 人間行動をマルチタスク的に表現
- 心理的要素を入れる
- 数理モデル化を目指す

計測システムの構築に際しては、こうしたアプローチに基づき、複数のポジショニング技術を組み合わせて買い物客の空間座標値の軌跡をより正確にトラッキングできるようにするほか、行動主体の主観のデータ化を試みる。

1.3 研究の構成

本研究は以下のような構成で行われる。

回遊行動モデルのフレームワーク設定（第 2 章）

まず先に述べたアプローチにしたがってフレームワーク（将来的に構築する回遊行動モデルの仮説）を設定する。その際にも可能な限り定量データを用いる。

仮説モデルの検討・改良のための要件（第 3 章 3.1 - 3.3）

3.1 では、この仮説モデルの有効性検証に必要なデータがいかなるものであるかを整理する。3.2 - 3.3 では、必要なデータを取得するための要件をみたすようなシステムを提案する。

システムの有効性検証（第 3 章 3.4）

提案されたシステム全体でどのようなデータがとれるか、またどの程度人間の行動トラッキングに使えるか、ということについて実証実験を行う。

モデル・システムの改良に向けて（第 4 章）

個々の買い物客は、自分が意識している・いないに関わらず複数のタスクを持っている。それは「～を買おう」「～に行きたい」「お腹が空いた」など、エージェントに何らかの行動をさせる動機となるものである。これらのタスクは、回遊行動前に具体的に意識されているものもあれば、時間の経過とともに自然に出現するまでは意識にのぼらないもの（例えば生理的な欲求）もある。ある環境の中に身をおくことで様々な情報が買い物客エージェントのセンサーに知覚されるが、この情報が刺激となって、各エージェントのタスクの意識レベルが上下すると考える。つまり、各エージェントのタスクは、意識レベルで分類した潜在タスク・顕在タスク・具体タスクの3段階のいずれか（もしくは消滅）の状態をとる。

ある時点において買い物客が次にとる行動は、その時具体的に内容が意識されている具体タスクを、タスクの達成のためにかかるコスト（時間的、経済的、体力的、精神的）や自分の持つリソース（可処分金額、買い物に使える時間、知識）を考慮しつつスケジューリングすることで決定される。このスケジューリングはその行為への心理的態度によって大きな影響を受ける。例えば、購入したいものが複数あるが時間の制約が厳しい場合、「一つ一つの買い物には余り時間をかけずとにかく全部購入したい」という心理的態度をとる人は、まず確実にどこで買えるかわかっているものについて時間内に購入し終わる（全てのタスクを達成する）よう計画をたてる。その他のタスクに関しては、このスケジュールの残り時間に改めて計画をたてて行うか、もしくは実行プロセス中の情報探索行動でたまたま有益な情報が得られた場合にスケジュールに編入されるかのどちらかである。また「気に入ったものが見つかるまでじっくり探したい」という心理的態度をとる人は、スケジュール上に置かれるのは次に達成されるべき1つのタスクのみで、その達成に集中するようリソースアロケーションを行う。こうしたスケジューリングに影響を及ぼすのは、心理的態度ばかりではなく、タスクの特性（どうしてもすぐに達成されなくてはならない、といった緊急性など）や、その空間に対する認知（イメージや訪問経験によって形成される）の度合い、他者の存在（友人と買い物をしているのか、それとも一人なのか）といったものも考えられる。

一旦スケジューリングがなされても、行為の結果残ったタスクの意識レベルが変わったり、あるタスクの実行中に得られた情報によって新たなタスクが生じたりするため、スケジュールはダイナミックに変化し続ける。生理的なタスクのように、有無を言わず特定のリソース配分を要求するものが突発的に生じることもある。さらに、知識をデータベースとみなした場合、それまでに取得された環境情報がデータベースに蓄積されていく。大抵の場合は、こうした知識を参照する必要がある場合に記憶をたどるという形で情報が引き出される。しかし、ある情報がデータベースに付加されることが刺激となりデータベース内の意味連想ネットが活性化され、新たな情報が「発想」や「思いつき」として提供される場合もある。リソースアロケーションプロセスは知識を基に行われるため、こうした知識データベースの更新はスケジューリングに大きな影響を与える。

本フレームワークでは、こうしたスケジューリングのダイナミズムによってマルチタスクの切り替えを表現する。各タスクの実行段階では従来のシングルタスク的合理主義型行動モデルを踏襲する。つまりそれぞれの買い物客は、一旦行きたい場所やほしい物が定まると、タスクの達成に必要な情報探索行動を行い、可能性のある全ての選択肢を比較検討して最適解を選択し、その解どおりの行為を行うと考える。

2.2 仮説モデル構築のための実験方法

2.2 項では、2.1 項で整理したフレームワークを仮説モデルとして具体化するために、予備的な実験を行った。実験では少数の被験者を対象として、簡単な計測システムによりある程度回遊ルートを特定するとともに、アンケート調査によりタスクの変動や心理的態度を詳しく分析することで、行動パターン把握を試みた。また、被験者の属性を20代女性に限ることで年齢や性別による影響を取り除き、フレーム構造を明確に表現できるようにした。

実験の概要

被験者に、以下に述べる計測システムを装着して商業施設内を2時間回遊してもらった。2時間という実験時間内で何をするのか、いつどこに行くのかなどの制約は一切なく、各店舗やレストランの利用などは各人の自由な意志で行ってもらおう。また実験は被験者一人で行い、実験中計測者は被験者に接触しない。計測システムにより、各被験者の位置情報を時系列的に取得し、大体の回遊ルートを特定する。実験の前後に被験者にアンケートを行い、各人の嗜好やニーズ・実験中の感想・印象に残った場所・回遊スケジュールなどについて情報の吸い上げを行う。

実験場所

商業施設における回遊行動のモデリングに際して、対象となる商業施設にはいくつかの条件が求められる。

- ・ある特定の空間内に長時間滞在することが可能であること
- ・内部に様々な設備を有し、複数のタスクを行うことが可能であること
- ・通り抜け型ではなく、施設内でのルート設定ができること

これらの条件に合致した実験サイトとして、東京都お台場エリアに立地する商業施設ヴィーナズフォートを選んだ。(図 2.2)

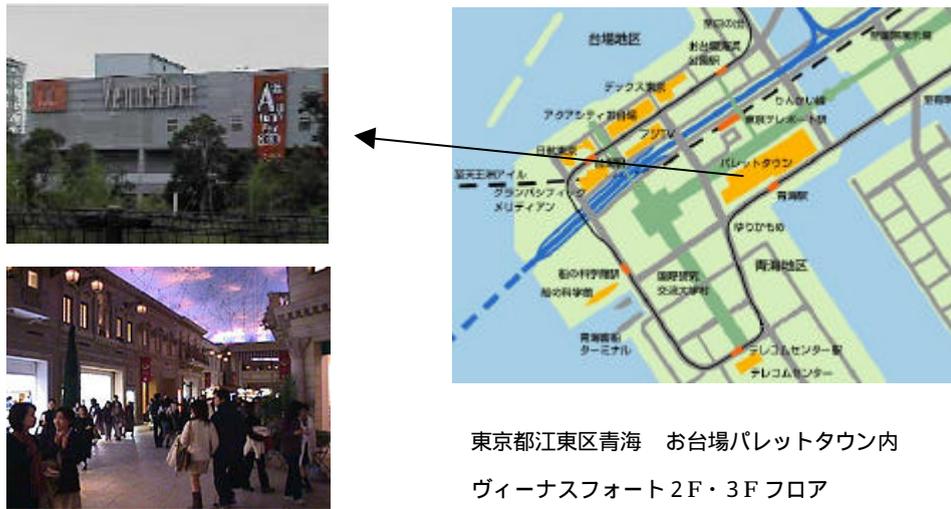


図 2.2 お台場ヴィーナスフォート

被験者

実験サイトが若い女性をターゲットとしているヴィーナスフォートであるため、被験者も 20 代女性に限定した。被験者 6 名はそれぞれ都内の大学院の学生である。

実験時間

一回の実験につき、2 時間の回遊行動を行った。各被験者は平日 1 回・休日 1 回の計 2 回、実験に参加した。実験の時間帯は以下の 4 つで、各被験者にランダムに割り当てた。

- ・ 11 : 00 - 13 : 00
- ・ 13 : 00 - 15 : 00
- ・ 15 : 00 - 17 : 00
- ・ 18 : 00 - 20 : 00

また、各被験者は 1 回目の実験参加後 1 月の間隔を空けて 2 回めの実験に参加した。

実験装置（簡易計測システム）

計測システムの概要は図 2.3 の通り。位置データについては、RFID システムを利用して、施設内各所でポイントデータを取り、細かい部分は計測者の目視で行った。アイカメラにより回遊中の視野映像を取得した。センサの装着に関しては、鞆などを利用して可能な限り目立たないように工夫した。

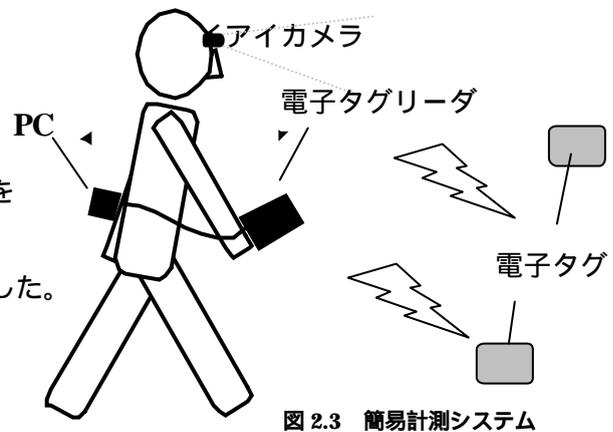


図 2.3 簡易計測システム

簡易計測システムの構成について説明する。

1：RFID システム（電子タグ）

リンテック社の Britem DR-W003 型 SPIDER タグシステムを用いた。このシステムは RFID（Radio Frequency Identification:電波方式認識）と呼ばれる非接触での情報通信技術に応用したもの。「電子タグ」と呼ばれる小型（ポケットベル大）の情報媒体と、「電子タグリーダー」と呼ばれる質問器との間で、303.825MHz の電波無線を用いて非接触での情報交信を行う。微弱電波であるため、人体や他の電子機器への影響はない。既にテレホンカードや乗車券（SUICA）、生産・物流・販売管理システムなどに利用されている。今回使用するリンテック社のシステムは、タグとの間で 0.3m - 25m の通信距離を実現しており、識別できるタグの種類も 450 億通りと多いため、大空間における人や機材の位置を正確に把握するロケーションシステムに応用可能。既に株森ビルがラフォーレ原宿の施設内において、このシステムを用いた買い物客の動向調査実験を行っている。

本実験では、以下のような手順でこのシステムを利用する。

施設内各所に電子タグ（0.4 秒ごとにパルス電波を発信する）を設置する。タグは全て固有の ID を持つので、どの ID を持つタグをどこに設置したか、場所の対応関係を記録しておく。今回の実験は大まかな回遊ルート特定が目的であるため、設置場所は位置座標ではなく、施設内での相対位置で示される。床、棚、壁面に設置する。

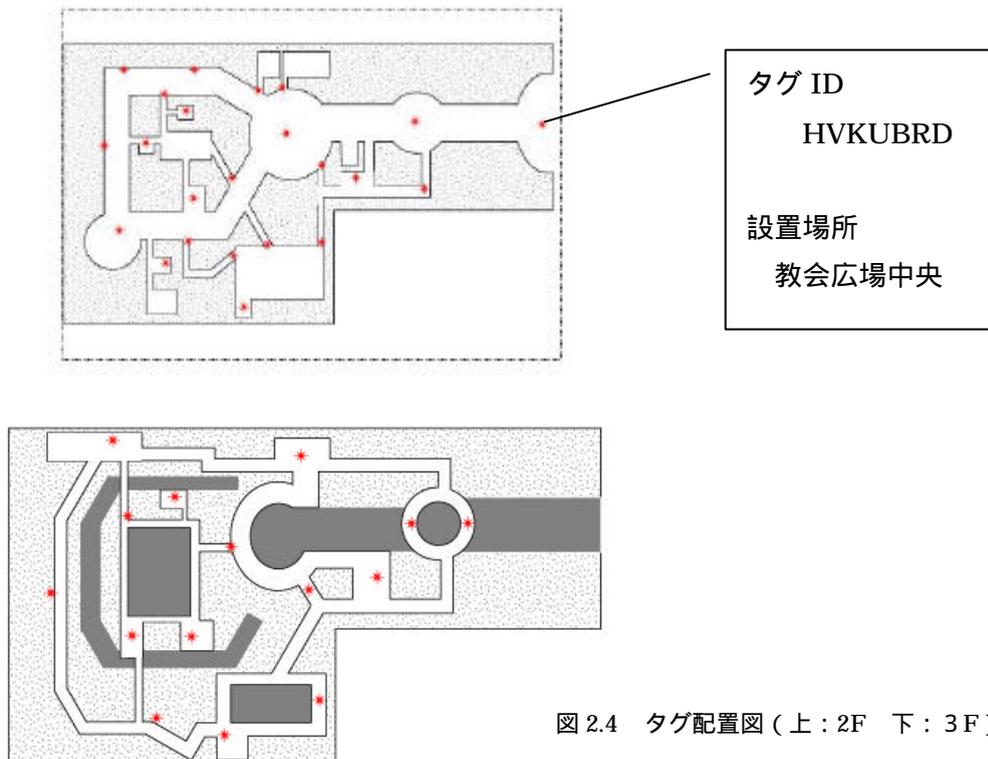


図 2.4 タグ配置図（上：2F 下：3F）

被験者はリーダーと記録用の PC を装着する（鞆の中に所持）。

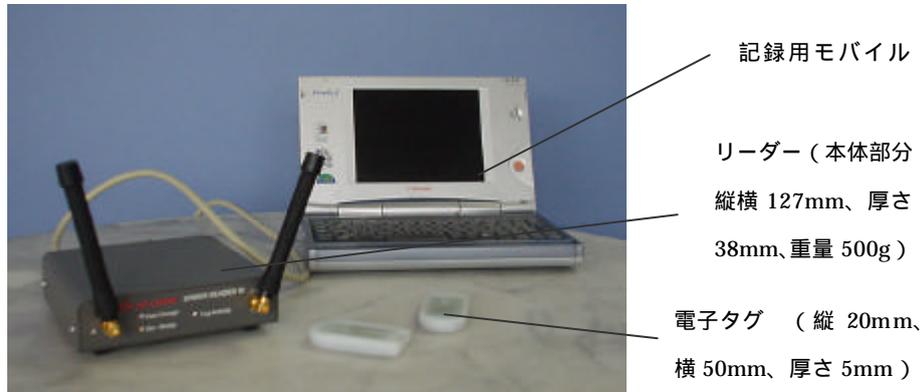


図 2.5 電子タグシステム

被験者が回遊中にタグの近くを通ると、リーダーがタグの発信する電波を捉え、タグと交信した時間、及びタグの ID を認識する。このデータは小型 PC に送られ、記録される。

タグを置いたポイントの通過時刻、通過回数、前後のタグの ID などを用いて回遊ルートの特定を特定する。

2：電子タグのハンドリングアプリケーションソフト

電子タグレシーバを操作し、データを記録するために、図2.6のようなGUI（グラフィックユーザインターフェース）を持つアプリケーションを作成した。レシーバのハンドリングは、PC上でアプリケーションプログラムを走らせることでGUIを表示させ、GUI上のマウスやキーボード操作によって行う。PCとレシーバの間はシリアルケーブルで接続する。レシーバが読み取ったタグ情報は、RS - 2 3 2 C（シリアル）ポートを通じてPCに取りこまれる。取り込まれたデータはアプリケーションによってバイナリデータから文字情報にASCII変換され、リアルタイムにGUI上のテキストエリアに表示される他、同時に記録用のCSVファイルに書き込まれる。記録される情報は以下の通り。

- ・タグ読み取りのモード
- ・認識されたタグのID / 認識されなくなった（アンテナ範囲外）タグのID
- ・その時点で認識されているタグの総数
- ・実験開始（アプリケーションから開始コマンドを送信した時点）からの経過時間（ミリ秒）

ソフトウェア開発は、Windows2000 上でJAVA言語 (JAVA2, jdk1.3.1_01)を用いて行った。シリアルポートの入出力には、Sun Microsystems, Inc.が配布しているクラスライブラリ(Java Communications API, Version 2)を利用した。ポートの入出力及び他のセンサと組み合わせるためのシステムは小西 (2001) が実装したクラスの部分的変更及び拡張によって作成した。

このアプリケーションの GUI では以下の操作が可能である。

< 設定項目 >

- ・ レシーバのアンテナ強度
- ・ タグ電波の認識閾値
- ・ タグの電波を受けてから ID を認識するまでの時間
- ・ 電波が認識不能になってから、アンテナ範囲外に出たと判断するまでの時間
- ・ 電波の読み取りモード
 - 電波を認識できる間は全て ID を読み取る連続モード
 - 新たに認識する・認識不能になるなど変化した ID を通知する例外モード
- ・ センサーが用いる COM ポートの指定

< 操作項目 >

- ・ それぞれの設定コマンドを送信
 - ・ ID 読み取りの開始や終了
 - ・ レシーバのステータス取得
 - ・ データを記録する CSV ファイルの指定

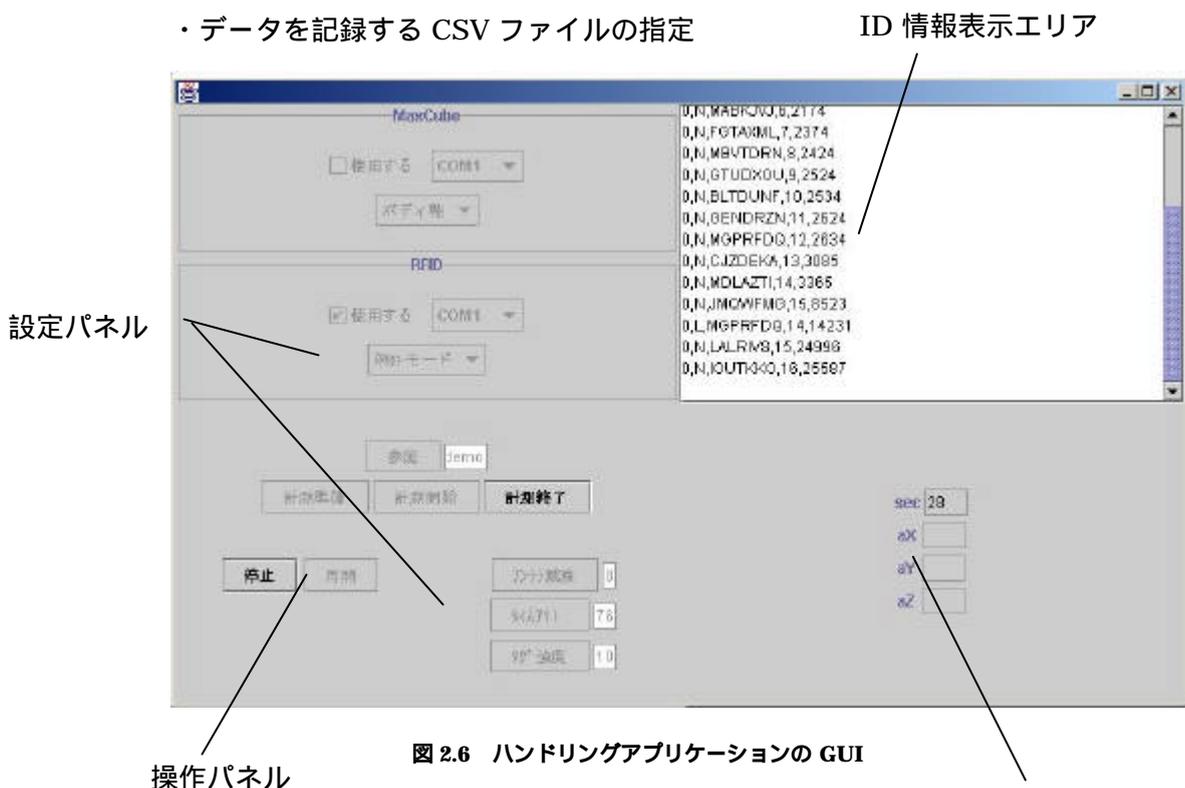


図 2.6 ハンドリングアプリケーションの GUI

実験開始からの経過時間表示 (秒)

3 : アイカメラ

今回はデータ計測のサブシステムとしての位置付けを持つ。小型のデジタルビデオカメラを用いて回遊中の視界を動画として記録し、回遊ルート特定の補助的データとする。センサを目立たせない工夫の一環として、バッテリーからレンズ機構部分を切り離した小型カメラを使用する。カメラ部分は、可能な限り通常の視野に近い映像を取得するために、ヘッドフォンの耳当て部分に取り付け、被験者に装着してもらった。映像データの送受信は、カメラとレシーバとの間で 1200MHz 帯の無線電波通信により行う。レシーバと記録用のデジタルビデオカメラは AV ケーブルで接続し、鞆の中に所持する。映像データはデジタルビデオカメラの MICROMV カセットに MPEG 2 方式で記録される。

このシステムで用いた機材は以下の通り。(図 2.7 参照)

- ・ SONY デジタルビデオカメラレコーダー NetworkHandycam DCR-IP7
- ・ RF システム lab ワイヤレスマイクロカラーカメラ TheME
- ・ 携帯用バッテリー (レシーバ・カメラの電力を確保)
- ・ カメラを装着するためのヘッドフォン

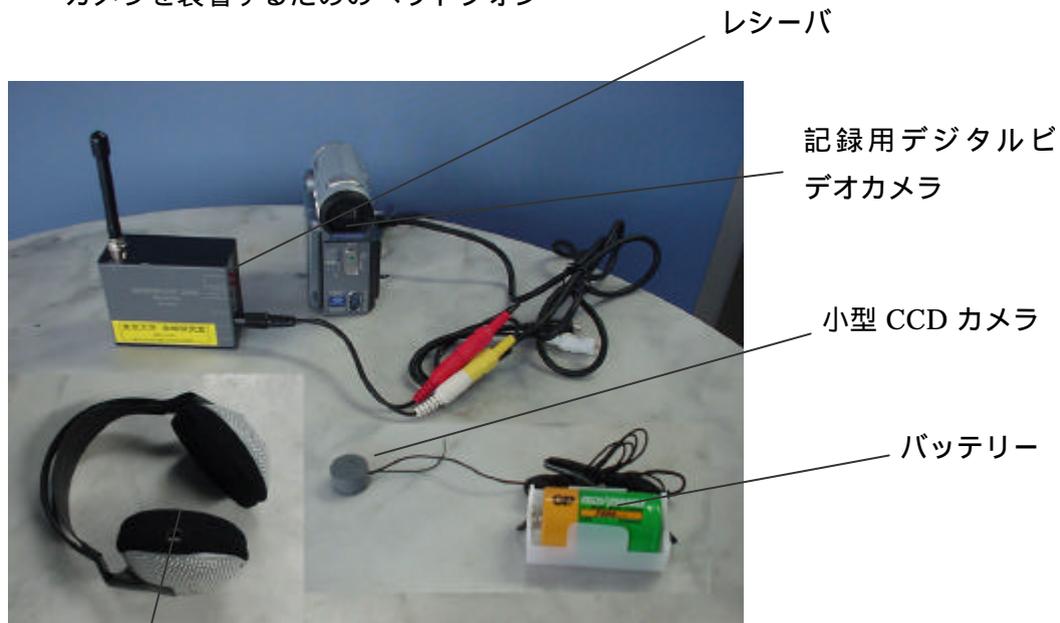


図 2.7 アイカメラシステム

ヘッドフォン

4：アンケート

実験前後に以下のような質問項目を持つアンケートを行った。

< 事前の経験や知識が行動パターンに及ぼす影響を見るための項目 >

- ・ 目的地（店など）に関する知識
 - 空間的知識
 - 提供される商品やサービスに関する知識
- ・ 訪問経験
- ・ 通常の買い物（日用品以外）所要時間
- ・ 買い物にかけられる最大時間とその理由
- ・ 買い物時のパターン（じっくり時間をかける、いつも決まった店を回る、など）

< 実験時間中のタスクの切り替えりを見るための項目 >

- ・ 実験時間内に達成したい目的（ある場合は具体的内容）
- ・ 達成されなかった目的の有無
- ・ 実験中のスケジュールの有無
- ・ スケジュール通りに回ったかどうか
 - 変化した時間
 - 理由
 - スケジュールに入っていたが、行かなかった場所の有無
- ・ 目的の場所ではないところで、実験中に興味をひかれた場所の有無
 - その特徴
 - 理由
 - 次回来た時もこの場所に来るか

< インタビュー >

実験後に回遊ルートの略図を見せ、何回もアクセスした場所や引き返し行動が見られる場所、長く滞留した場所（店に入る、など）について、その理由や前後の行動目的などについて詳しくインタビューを行った。

2.3 実験後の分析

分析のためのアプリケーションソフト

分析では、それぞれの計測装置から得られるデータを時間で同期させ、ある時点の現在位置、見ているもの（周辺情報、その時着目している情報）について整理した。この作業のために視野画像と位置情報のアニメーション（検知したタグの場所を配置図上で点灯表示させる）を画面に同時に表示するアプリケーションを作成した。（図2.8）

Mpegファイル形式のデジタルビデオカメラ映像を扱うために、アプリケーション作成にはJAVA Media Framework（JMF）と呼ばれる技術を用いた。これまで、映像や音声を扱うためのマルチメディアファイルには、QuickTime、AVI、MPEGなど数多くのファイル形式が存在し、ファイル形式ごとにプレーヤが必要であった。しかし今後の計測システムの拡張を考慮すると、その都度異なるプレーヤに対応するようなアプリケーションを作っているのは時間や労力がかかり過ぎる。複数のファイル形式をサポートしているJMF技術を使用することで、異なるファイル形式のデータを同期させることのできるプレーヤを作成した。アニメーションファイルでは、1秒ごとにタグの読み取り状態を調べてGIFファイルを作成し、スレッドによる表示を行っている。

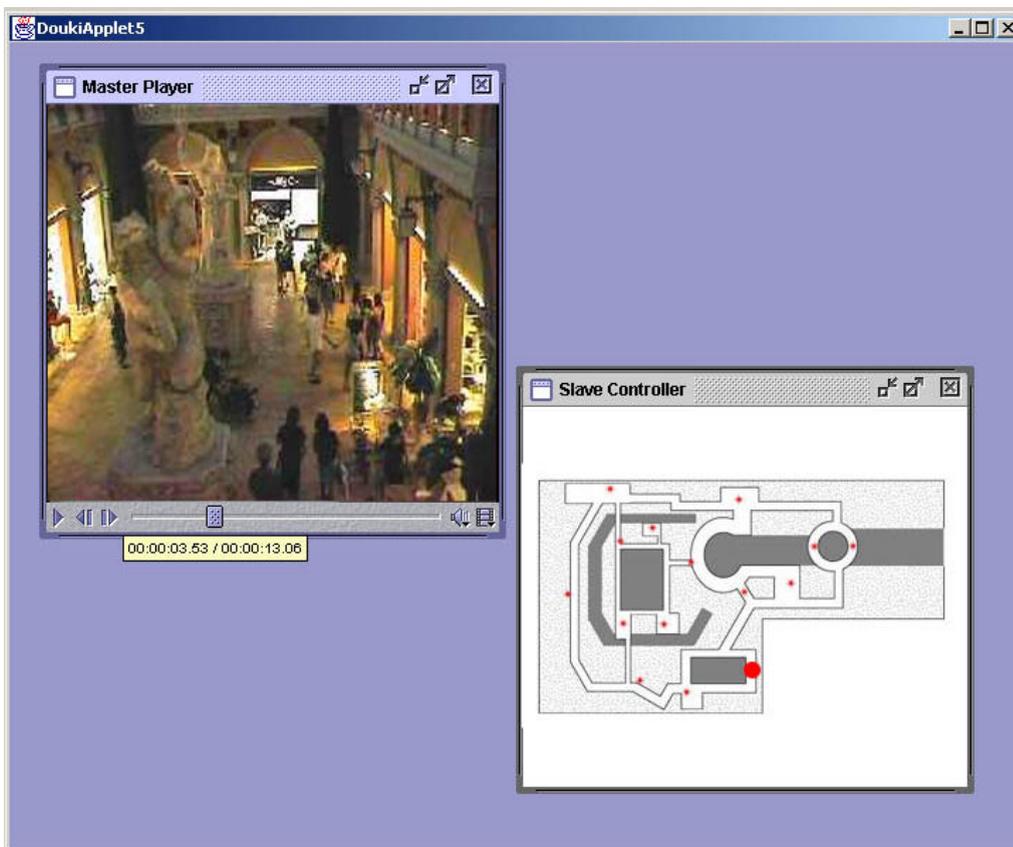


図 2.8 映像同期アプレット

この実験では、電子タグによるポイントデータと計測者による被験者の追跡により、回遊行動をトラッキングした。電子タグシステムによって得られたポイントデータには、タグのIDと、タグが認識された時間及び認識されなくなった時間が含まれる。タグの配置図を参照すると、IDが認識されてから認識されなくなるまでの間、そのタグの近辺に滞在していたことがわかる。精度はアンテナ強度やタグ認識タイムアウト時間の設定によるが、大体5 - 6mである。これにより、施設内をどのようなルートで回遊したのか、何回同じ場所を通ったかなどが特定される。

分析結果

予備実験で得られた大まかな回遊ルート、視野映像、アンケート結果より、被験者に共通して見られるパターンを抽出した。

回遊ルート

<タスクの具体性>

- ・ 特にタスクが決まっていない場合
 - ・ 施設内を一周する（幅の広い通路を通る傾向がある）
 - ・ まず入口のある階を回遊する。途中で階段やエスカレータ、エレベータなどがあっても、行き止まりなどでない場合は、その階を回遊し終わるまで上下移動しない
 - ・ 広場や休憩コーナーに滞留することはあまりなく、周縁を歩き回る
 - ・ 回遊中に、複数の経路からアクセスできる広場などに出た場合、アクセスした道を戻ることあまりなく、他の道から出る
 - ・ 回遊中に目をひかれたものがあると、
 - 入りやすい構造の店の場合はすぐに入る（飲食店を除く）
 - 入りにくい構造の店の場合は、ウィンドウや入口の前での立ち止まりや、反復歩行などが見られる
- ・ 特定のタスクがある場合
 - * 目的地がある まず目的地に向かう
場所がわからない・曖昧な場合は情報探索行動を行う
 - * 行動の目的がある 回遊行動の途中にそのタスクを達成できそうな場所があった場合（例：靴を探している - 靴屋の前を通る）は立ち寄り
嗜好に合わない場合は入らない - ウィンドウ、外から見える商品の品揃えや雰囲気によって左右される

<空間認知>

- ・ 訪問経験が少ない人の方が、一周にかかる時間が長い
- ・ 訪問経験の多い人は決まった店を回る。回遊中の通り抜け行動が多い。

<心理的態度>

- * 何かのついでに買い物をすることが多い
予算も買う物もその場で決め（買うときは即断即決）買わないときは何も買わない、という態度をとる場合、回遊時間が長く、通り抜け行動が多い
- * じっくりと比較検討する
「セール」「希少」などの情報刺激による動機付けが見られる

<タスクの特性>

- * 趣味的なものを買う
決まった店を回る傾向がある。
「セール」「希少」などの情報刺激による動機付けによって、もともと目的地でない店への立ち寄りが促進される
思っていたほどのものがなければ、すぐに次に行く
- * 小物を買う
ふらふらする傾向が強い
一ヶ所に滞留する時間はやや長い

視野

- ・ 回遊行動中の視野はそれほどふらつかない（きょろきょろしない）
- ・ 進行方向前方の全体を見わたす（ブラウジング的）
- ・ ブラウジングの過程で目をひかれるもの（アイキャッチ）があった場合、その周囲を集中的に探索する
- ・ 幅5m以上の通路の場合は片側しか見ない
- ・ 道の分岐点や交差点がある場合、複数の方向を眺める
（眺める時間は視野に映る景観の充実度による 非常口などは注視しない）

視野映像のデータより、アイカメラシステムについては以下の問題点があることがわかった。

- 視野全てが写るため、見ているものの特定は難しい（視点ではない）
- 装着位置の工夫が必要（帽子、ヘアバンド等）
- あくまでも実験と考えるならば、アイマークレコーダ（眼球に赤外線を照射して、その反射と瞳孔の中心位置との相対距離により視点を算出する）の利用も考えられる
- 電波ノイズや画面の揺れが激しく、位置特定のサブシステムには向かない
- どのようなものに目を引かれたか、などは目視による特定作業が必要であり、画像認識・自動パターン抽出は難しい

分析を通じて得られたパターンから、以下の仮説を設定した。

- タスクの達成に必要な時間や労力（コスト）の制約が大きい
（コストがかかる場合は、まずタスク達成のために行動する）
- 具体的なタスクがない場合は、とにかく多くの情報を獲得しようとする
- 訪問経験が多いと回遊ルートが固定しやすい
- 開放的な店舗の場合、通り抜け行動を誘引する
- 行き止まりが見える方には関心を向けない
- 分岐点がある場合、「面白そう」と感じる方に進む

2.4 仮説モデル

2.3 での分析から、以下のような仮説モデルを考えた。図 2.9 に概要を示す。

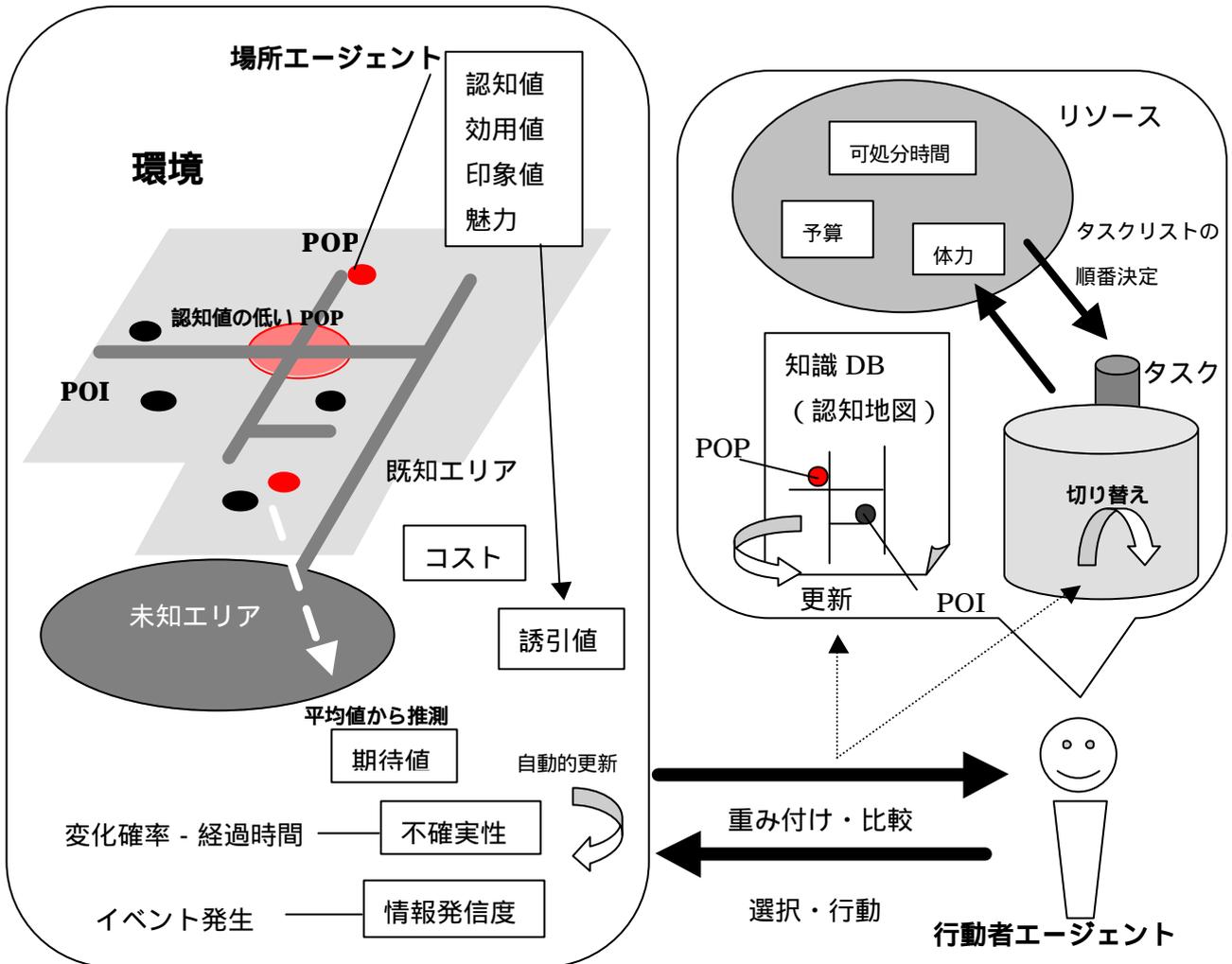


図 2.9 仮説モデル

初期設定

- 可処分時間
- 予算
- 体力
- 義務タスク・ニーズ

基本原理

回遊行動は、効用得点の最大化行動として表現される。初期設定で与えられた可処分時間と予算と体力条件の下で、得られる効用を最大化しようとする。果たさなければならぬタスクを時間内に達成できなかった場合は、負の効用得点が加算される。

効用得点

効用得点が得られるのは以下の場合である。

- ・ タスクが達成される
- ・ POP の通過
- ・ 新しい POP や POI の誕生

行動者は、まず行動リストのトップにあるタスク達成を目的として、認知地図を作成する。認知地図では、以下の変数を用いて場所ごとの誘引値を算出する。

誘引値

認知値 [訪問経験の多さ、前回の印象値、不確実性により規定される]

効用値 [タスクの設定により変動する、個人差なし]

印象値 [前回の設定された値]

魅力 [品揃え豊富さ、希少価値ある商品の存在により変動する]

コスト [現在地からの時間的距離、労力、費用から算出される]

不確実性 [訪問経験、前回訪問時からの経過時間 により変動する]

誘引値の算出にあたり、変数にはそれぞれ重み付け係数がかかる。

- ・ 認知値への重み付け係数は、決まったルート（既知の店）への固定度を示す。
買いたいものがある場合に進んで知らない場所へ行くことはあまりないため
タスクが具体化しているときは認知値の重みは大きい
- ・ 効用値が同じ場合でも、品揃え豊富な方を選ぶ場合は魅力への重みが増す。
- ・ 不確実性への重みにより、リスクへの態度を決定する。
- ・ コストへの重み付けで、手近な店舗の志向性を表現する。

未知の領域に関しては以下の値を算出する。

期待値 その領域に至るまでの周辺の POI、POP の誘引値の平均値

この誘引値と期待値との分布に基づき、最初の目的地を決定し、そこに向かう。行動中は、常にコスト部分を更新する。また、可処分時間や体力は徐々に減少する。実際に行動をスタートすると、目的地に到達する前に、新たな店を見つけたり、既知の店

で必ずしも POP ではなかった店がバーゲンをやっていてその瞬間 POP、あるいは POI に昇格したりする場合がある。あるいは店の外見が変わっていて、目をひくようなこともあろう。そのため、視野に入る距離まで近づいた場所に関しては、以下の変数を追加する。

情報発信度 [イベントの発生により変動]

また、視野に入る距離まで近づくと、

不確実性が下がる

魅力の重み付けが増す（一定値以上だと POI が発生）

これは、直接目で取り入れた情報は信頼度が高く、影響力が大きいからである。

通過した場所では以下のような変化が生じる。

認知値が上がる

印象値の更新（一定値以上だと、POP が発生）

タスクが達成されると、その場所の効用値は 0 になる。

また何らかの出費が合った場合は予算（可処分金額）が更新される。

新しい情報が入った段階で、新たなタスクが生じた場合は改めて行動計画を立案、実行する。タスクは同じでも、目的地が変わることもある。この誘引値の比較検討、更新サイクルは実験を通して繰り返される。なお、ここで言う最適計画は必ずしも厳密なものではなく、かなりラフなものといってよい。人間の情報処理能力には大きな限界があり、主要な POI、POP を回るだけのラフな行動計画を立てると考えられる。しかし、それは「その日の行動全体」に対してであり、きわめて近い将来（現時点から 10 分とかその程度）に関しては、「その日の行動全体」と大きく矛盾しない範囲で「短期的最適行動」を決める。

<タスク>

タスクは以下の 3 つに分類できる。

- ・義務的タスク 緊急性を要するもの、達成しなければならないもの
- ・選択タスク そのときの気分で自由に選択できる
- ・不可避タスク 生理的なもの（空腹、疲労など） 発生時は優先的に処理される

行動者はやるべきタスクのリストを持つ。具体的に意識された義務的タスクや不可避タスクがない場合、タスクは空欄のままでもよい。リストに存在するタスクは順番に実行され、実行されるとリストから削除される。不可避タスクはある時生じ、すぐに処理しなくてはいけないので、その時点で、実行リストのトップに位置される。生理的タスク

は一定の時間内に決まった確率で生じる。義務的タスクは達成されるまで常にリスト上に存在し続ける。選択タスクはリストアップされたり、リストから削除されたりが頻繁に起こる。新しく選択タスクが生じるのは、場所の魅力（重み付けされた）がしきい値を上回った時である。実行リスト上の順番は、後述のコストと可処分時間・所得とを比較した上で決定される。

<場所の持つ値>

空間内の場所は全て認知の度合い（認知値）によって、既知領域・未知領域に分けられる。この認知値は訪問経験の多さ、前回の印象強さ、不確実性により規定される。

既知領域内には、以下のような点や地域（通り、エリア）が存在する。

POI (Point of Interest)

ある具体タスクが認識されている場合、目的の達成に貢献するであろう場所（欲しい商品を買っている、など）

POP(Point of Preference)

興味をそそられる場所やお気に入り（印象値が高い）

逆に、嫌いな場所や近寄りたくない場所も含まれる。

こうした POI や POP の中には、場所は曖昧だが関心内容を記憶しているもの（どこかわからないけれども確かあのあたりで見た）や、場所は特定できるが内容は曖昧（あの店で売っているかもしれない）というものもある。こうした POI や POP は認知値が低い。

各 POI、POP はそれぞれ機能を持つ。それは商業施設の場合「見る」「買う」「食べる・飲む」「休憩する」「体験する」などである。一つの POP が複数の機能を持つことは少なくなく、ウィンドーショッピングは、お店の雰囲気や風景を味わう「体験する」と新しい商品を「見る」「買う」が複合した行為である。具体的なタスクが設定されると、こうした機能は達成手段としての効用値を持つ。この効用値は場所が提供するサービスの内容に応じて一定である。

また、各 POI や POP はお気に入りの程度などの印象値を持つ。この印象値は前回訪問した際に形成された値である。回遊中の個々人の経験を通じて、この値は増減する。不快な体験（店員の対応が悪い・食事がまずかった、など）をすると負の値が付加される。

さらに、情報発信度（目につきやすさ）も属性の一つである。これは定数要素として、道路に面したウィンドウ面積を設定する。また、

変動要素(イベント)として表示、セール、店の外装のリニューアル、商品の入れ替え、行列などの発生が起きた場合に、値が高くなる。

場所の魅力は、品揃えの豊富さと希少価値ある商品の存在により規定される。

既知エリアに含まれるが、POI や POP になっていない場所と POI/POP との違いは、印象値が 0 であること及び認知値が低いことである。

* 未知領域については何も情報がない。しかし行動者は、ある未知の領域に対してどのくらいの強度の POP や POI がありそうかという予測を行う。これは未知領域に至るまでの既知エリアに対する評価 (POP、POI の数、値) に基づく。これを期待値と呼ぶ。

< コスト >

人間が行動する場合にはコストが発生する。コストは行動するために費やされる体力、時間、金銭的費用などである。休むと体力は回復する。

< 不確実性 >

ある場所では、予測された値と実際の状況とが異なる場合がある。例えば、新規出店・閉店・改装など不定期な変動要因があったり、あるはずの商品が無くなっていたり、ということがあげられる。ある場所の不確実性が高くなるのは、以下の場合である。

- ・ 前回の訪問から長時間が経過している (記憶の薄れ、変動要因の生じやすさによる)
- ・ 空間認知の度合いが低い

不確実性が高いということは、その場所に行っても予測した効用が得られないかもしれないし、もしかしたら予想以上に高い効用が得られるかもしれないというように、行動がリスクだということである。この不確実性への重み付けでリスクを避けようとする人 (Risk Averter) やリスクは高くともあえて行動する Risk Taker を表現する。

第3章 計測システム

3.1 モデル構築に必要なデータ

3.1 では、2.3 で設定した仮説モデル検証及びモデルの推敲に必要なデータを整理する。

情報探索行動と、決まった場所の巡回行動の区別

タスク（目的）の切り替え状況

詳細な歩行軌跡（廊下のどちら側にいるか、一旦店に入りすぐに出る、といった細かい動きまで把握）

見ているもの

タスク内容（見る、楽しむ、買う、食べる・飲む、休憩する、など）

場所を知っている範囲（空間認知）

取得した情報の内容

取得した情報への反応

3.2 データ計測システムの概要

行動モデリングのために必要とされる計測システムの要件は以下のように整理される。

歩行者の詳細な位置座標を連続的に取得する

GPSやRFIDタグと組み合わせて、より正確に空間行動を把握する

モデル構築上の要請により、行動主体の主観を計測できるようにする

この要件を満たし、かつ3.1で整理したデータの全てを取得するようなシステムを考える。位置情報取得機能に関しては、歩幅レベルでの詳細な行動軌跡の取得が可能であるという特質を利用して、PPS（小西（2001）の開発した自律型歩行者トラッキングシステム）を商業空間における人間行動の計測システムの主軸と位置付ける。しかし、1.1.4でも述べたように各センサの誤差という問題が残る。これを補正するためにマップマッチングの新しい手法を提案し、組み合わせる。その手法は、PPSと同時に電子タグシステムによっても行動データ取得を行い、得られたポイントデータを利用して曲がり角などを特定する、というものである。

行動主体の主観計測に関しては、今のところアイカメラとインタビューによるデータ取得方法しかとることができない。脳波中の波の出現や血液中の物質の濃度によって快不快状態や興奮状態を計測する技術はあるが、歩行中にこれらの技術を使用するのは困難で

ある。2.3で述べたように、アイカメラによる映像は、情報獲得行動に関する正確なデータとは言えない。視野に入った物体の種類、注視時間など目視による分類・計測を行ったが、定量データ化できたわけではない。パターンマッチングなどの手法も、画像のノイズや揺れのため適応できなかった。そのため、今回の計測システムではアイカメラをモデリングの参考データ取得のためのサブシステムと位置付け、主観の取り込みは主にインタビュー・アンケートにより行う。

計測システムの概要を図3.1に示す。

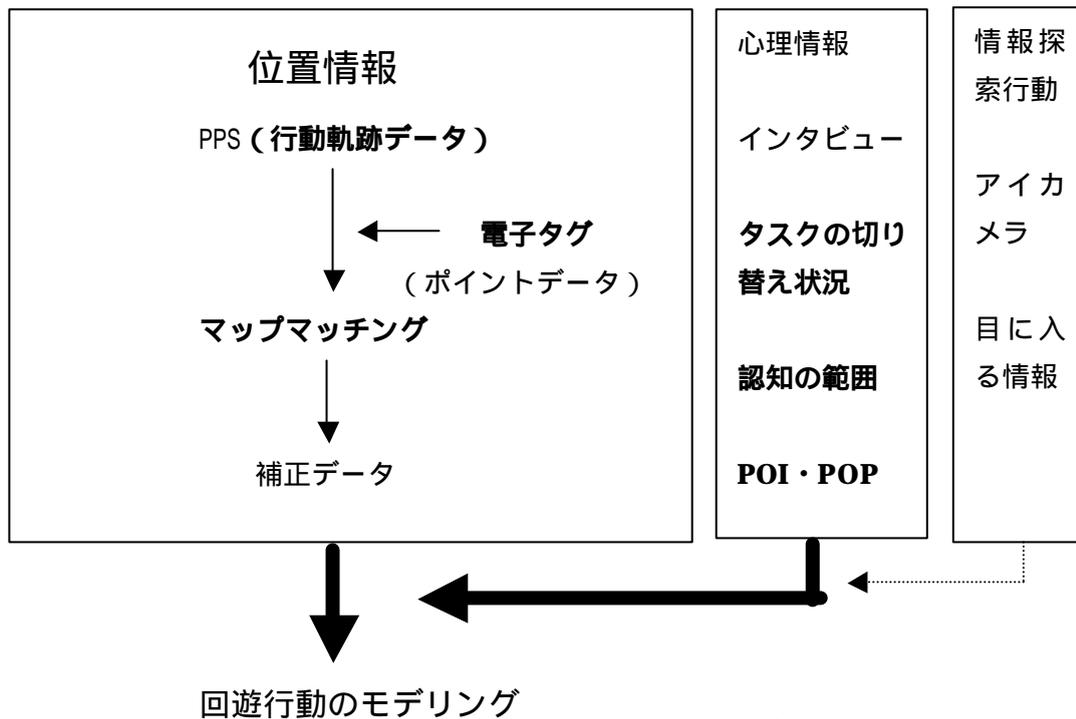


図 3.1 計測システム概念図

3.3 個々の計測システム

1 : PPS

小西(2001)のシステムのうち、ジャイロセンサーのみを利用した。気圧計に関しては、電子タグを階ごとに設置することで高さ方向のデータがとれるため、使用しなかった。また、磁気センサーに関しては鉄筋コンクリートの建物の中では地磁気の乱れによりデータがとれないという問題点があり、商業施設内での行動トラッキングには不向きと考えたため、使用しなかった。ジャイロセンサーからは、万歩計の原理により推定された一歩ごとの位置座標データが得られる。このデータは計測と同時に履歴データとして格納され、マップマッチングに使用される。

2：電子タグ

予備実験で使用したシステムをそのまま利用した。アンテナ強度やタグ認識のタイムアウト時間、電波の認識閾値などについては、予め実験を行い、屋外・屋内でシームレスに使用するための設定値を調べた。その結果を表3.1にまとめた。

項目	アンテナ強度 (1 - 8)	タイムアウト時間 (8-999 : 1/8秒単位)	認識閾値 (0 - 100)
歩行のトラッキング	1 - 3 は数10cm範囲 4 - 7 は-1.5m 8 は2m範囲 (0.4秒タグ、他の設定項目最高値で100%の精度) 8	IDを読み取れなくなつてからそのIDタグが案手難範囲外に出たとみなすまでの時間。 タグのパルス間隔より25%長い時間に設定する必要あり。長くすると、ポイントデータの精度が悪くなる。(タグのカバーエリアが広がる) 走ると特に精度が落ちる	0-15はタグ認識反応が早い、遠くのタグ(微弱電波)を読んでもしまうことがある。 40以上はタグ電波の確認に時間がかかる
走行のトラッキング	1-3 は認識できず 4-6は数10cm範囲 (やや早歩き) 7-8は1m (走行) 8	8	20-30

表 3.1 電子タグの設定項目

3: マップマッチング

今回はKitazawa, Konishi (2000)で紹介されたマップマッチングアルゴリズムの一部であるグローバルマッチング手法を応用した。以下にその詳細を述べる。

グローバルマッチングでは、歩行軌跡の履歴データと電子タグ配置図、及びポイントデータ履歴を用いる。グローバルマッチングの概念を図3.2に示す。ポイントデータの履歴には、実験開始からの経過時間(ミリ秒単位)と、リーダに検出されたID、新たに認識された場合と認識不能状態になった場合のフラグが記録されている。また、実験前に予めタグのIDと設置場所の対応表を作り、タグの位置座標を取得しておく。また、歩行軌跡の履歴データには、過去の推定位置座標のほか、以前に修正を受けた際に修正に用いた値なども記録されている。

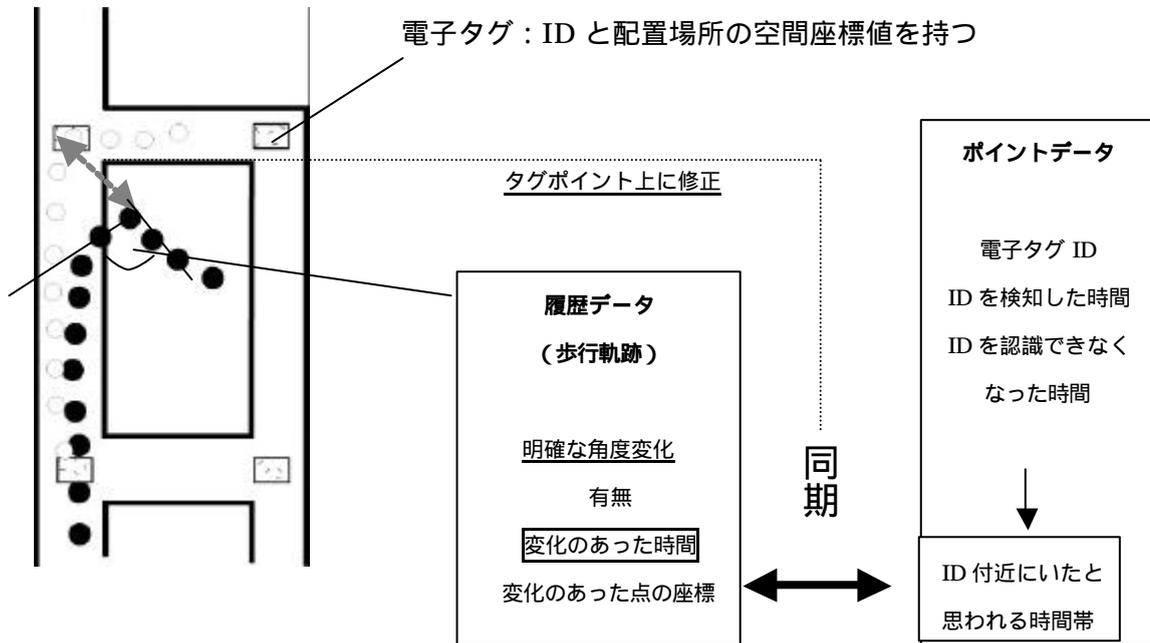


図 3.2 電子タグを用いたグローバルマッチング法

グローバルマッチングの手順を以下に示す。

- 手順1 歩行軌跡の履歴データから明確な角度変化があるかどうかを調べる。明確な角度変化があった場合、以下の手順を行う。
角度変化がない場合は行わない
- 手順2 角度変化のあった時刻を調べる。
- 手順3 電子タグのポイントデータ履歴から、それぞれのタグについて認識 - 認識不能までの時間を計算する（タグの近くにいた時間帯を特定）
- 手順4 手順2で得られた時刻が含まれる時間帯をポイントデータ履歴から検索する時刻にマッチする時間帯が見つかった場合、以下の手順を行う
見つからなかった場合は行わない
- 手順5 複数の候補がある場合、それぞれのタグ位置と角度変化のあった点との距離を算出し、最も近いノードまでの距離が閾値以内であれば、そのノードを選択する
- 手順6 手順5で選ばれたノードの位置に、角度変化のあった点を修正し、それにもない、5歩前までの軌跡を再配置する。
- 手順7 修正された位置情報データを用いて履歴データを更新する。

3.4 計測機器の有効性検証

計測システムのうち、アイカメラについては予備実験においてある程度データの内容に関する分析を行っているため、ここでは位置情報取得機能についての検証を行う。

3.4.1 実験方法

実験サイト

商業施設内での行動トラッキングシステムの利用可能性と精度を検証するにあたって、本システムの屋内での利用と、屋外での利用の2種類を想定した。半屋外空間やバルコニーなどを多用した設計の施設にも対応しうるようにするためである。屋内における行動トラッキングを想定した検証実験のためのサイトとして、東京都目黒区駒場にある東京大学生産技術研究所(以下、生研)のB棟・C棟の4階、5階部分(廊下)、及びC棟5階にある柴崎研究室の室内を選択した。また、屋外での行動トラッキングを想定したテストサイトとして、生研の建物が位置する、東京大学駒場第2キャンパス(駒場リサーチキャンパス、以後リサーチキャンパス)の全体、約0.5ha程度のエリアを選択した。

東京大学生産技術研究所 B 棟・C 棟
4 階、5 階部分(廊下・部屋)

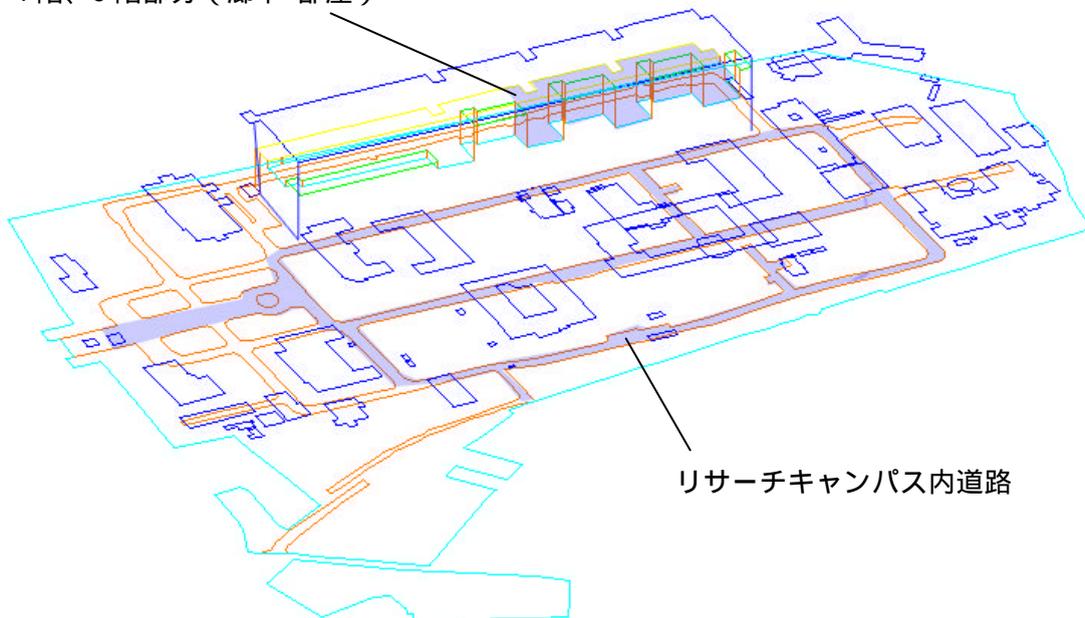


図 3.3 駒場リサーチキャンパス実験サイト

実験内容

本研究で開発したポジショニングシステムを用いて、以下のような計測実験を行った。

- ！ 実験1 生研C棟5階の廊下を歩いて、途中で部屋に入り、部屋の中を通過して違うドアから廊下に戻り、続けて廊下を歩いて一周する
- ！ 実験2 生研C棟1階よりエレベータで5階に上り、廊下を歩いてB棟まで移動する。階段で6階に上り、6階を一周してB棟のエレベータで1階に下りる
- ！ 実験3 リサーチキャンパスの正門から生研まで歩き、生研C棟1階よりエレベータで6階に上る、廊下をB棟まで歩く。B棟のエレベータで1階に下り、外に出る。さらにキャンパス内を歩いてリサーチキャンパスの西門に行く。

実験準備

駒場リサーチキャンパス及び、生産技術研究所の建物の3D（正確には2.5次元：高さ方向は階段の段数と蹴上げの高さを用いて表現している）地図を用いた。仕様はCAD用のDXF、GIS用のSHP形式で、座標は9系（旧座標系）に準じる。実験サイト内の、以下の場所にタグを配置した。

- | | |
|--|--|
| <屋外> | <屋内> |
| <ul style="list-style-type: none"> ・各道路の交差点 ・建物の入口部分 | <ul style="list-style-type: none"> ・廊下の交差点、行き止まり点 ・エレベータや階段の入口部分 |

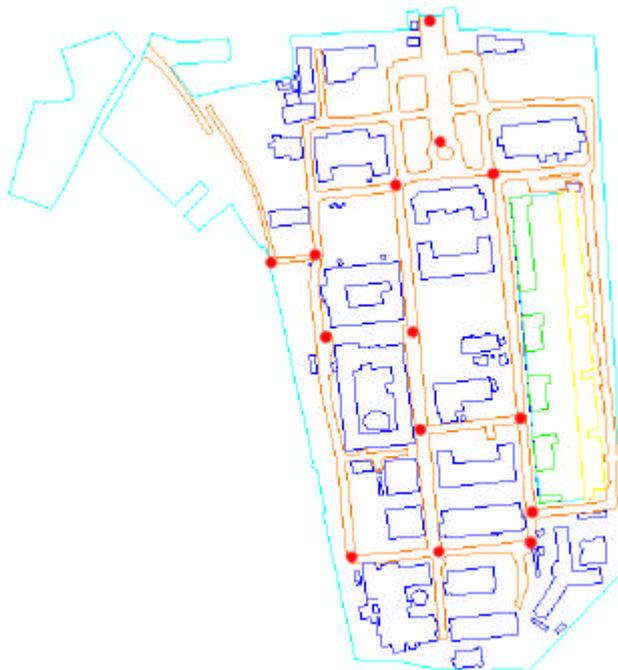


図 3.4 リサーチキャンパス内タグ配置図

3.4.2 実験結果

実験1 生研C棟5階の廊下を一周し、部屋に入る

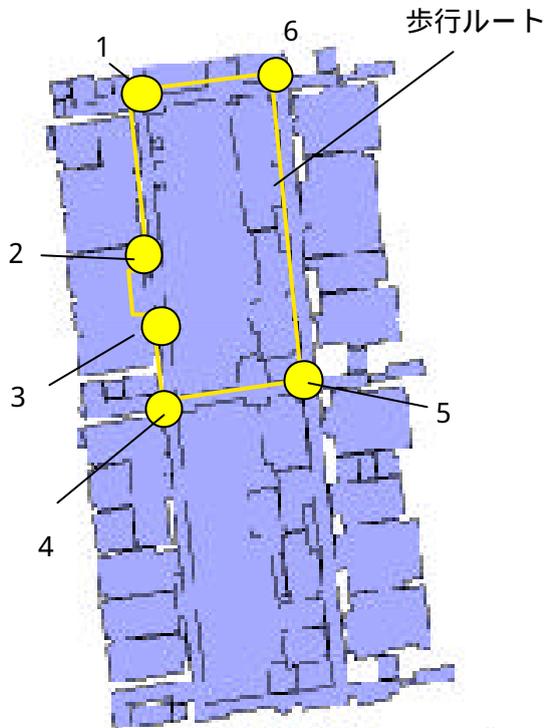


図 3.5 5階フロア

ジャイロと電子タグシステムの両方を用いて計測を行った。

電子タグシステムによるポイントデータは表 3.2 に示す。タグが新しく認識されると、その時点の開始時刻からの経過時間(ミリ秒)と、タグの ID 及び、新しく認識したことを示すフラグ「N」が履歴データに追加される。また、同時に認識されているタグが複数個ある場合は、その個数も表示・記録される。

図 3.5 に示すタグの ID は

- 1 : DKSHYCA
- 2 : MEXOJIG
- 3 : HNQXYEY
- 4 : DRQVGZR
- 5 : CWTDUWB
- 6 : CWTDUWB である。

表 3.2 実験1のポイントデータ

状態	ID	個数	ミリ秒
N	DKSHYCA	1	1162
L	DKSHYCA	0	26648
N	MEXOJIG	1	36733
L	MEXOJIG	0	48229
N	HNQXYEY	1	55810
L	HNQXYEY	0	72064
N	DRQVGZR	1	74497
L	DRQVGZR	0	89759
N	CWTDUWB	1	91812
L	CWTDUWB	0	102858
N	EETODLH	1	130688
N	DKSHYCA	2	140763
L	EETODLH	1	147893

実験1の結果、タグによるポイントデータでは、廊下の回遊順序、部屋への出入りなどを正確にトラッキングすることができた。

ジャイロセンサのデータは、歪みが激しく、また部屋の出入りのところで軌跡が途切れるなど、正確な軌跡の表現をすることはできなかった。

実験3 リサーチキャンパスの正門から生研まで歩き、生研C棟1階よりエレベータで6階に上る、廊下をB棟まで歩く。B棟のエレベータで1階に下り、外に出る。さらにキャンパス内をリサーチキャンパスの西門まで歩く

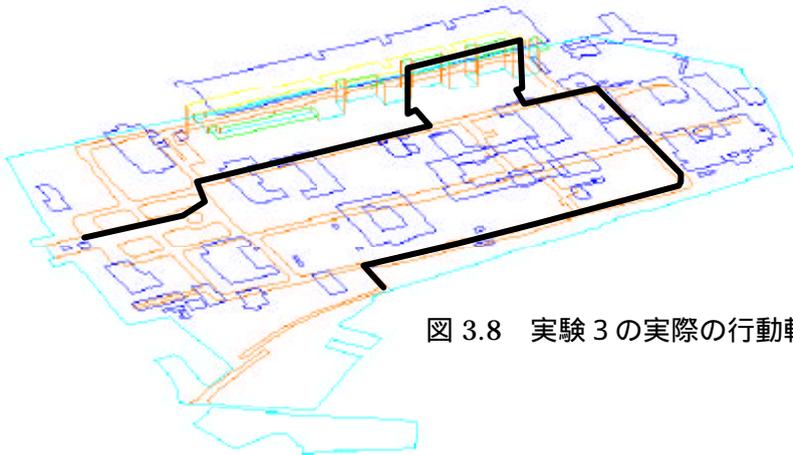


図 3.8 実験3の実際の行動軌跡

実験1・2と同様に、ポイントデータ（電子タグ情報）の連結による軌跡の再現はできたが、ジャイロデータの補正を行うことはできなかった。

外部におけるトラッキングでは電子タグの反応速度が遅く、至近距離（50cm以内）に入ってもリーダーがIDを認識しないことが2回あった。

3.5 考察

3種類の実験の結果、ジャイロセンサーによって得られるデータの誤差が予想以上に大きく、タグによるポイントデータでも補正しきれなかった。その最大の理由は、大きな角度変化の点の検出が多く、1つのタグに対していくつもの点がマッチングされてしまうためである。現在のマッチングアルゴリズムでは、角度変化のあった点に最も近いタグを割り当てているが、これを見直す必要がある。また逆に、マッチングの可能性のある時に異なるIDを持つタグが複数認識されている場合、つまり交差点や扉が接近している場合にマッチングエラーが起こりやすい。具体的解決策としては、ジャイロセンサーの履歴データと、電子タグの履歴データを比較し、前後して通過したタグを結ぶ直線（ちょうどネットワークデータに相当する）と、軌跡との相関をとるなどが考えられる。

屋内ではポイントデータがかなりの精度でとれるため、電子タグシステムによるポジショニングは、位置を正確に把握する助けとなることがわかった。実験2は複数階にまたがる行動軌跡をとる実験であり、ジャイロが回転してしまいやすい場所（入口、階段など）でのタグ情報による自律型歩行軌跡取得システムの3D方向のモード変化検知機能の補佐・及び代替が可能であることを示そうと試みたが、先に述べた理由で正確なマッチングができなかった。

今回、ジャイロセンサーから得られる推定位置座標（行動軌跡）の精度があまりよくなかった原因の一つは、計測システムのハードウェア上の問題である。機械的な故障というのではなく、装着上の問題である。今回の計測機器は、図3.9にも示すようにケーブルが多く、また重量があったため、電子タグリーダやパソコンを安定した状態で装着することができずに実験中も姿勢を頻繁に変える、立ち止まる、かがむなどの行為を行わざるを得なかった。ジャイロセンサーのデータはパワースペクトルから歩幅を算出し、その歩幅に従って万歩計の原理を用いているため、こうした行動モードの頻繁な変化がデータに影響した可能性は高い。しゃがむ・走るなど歩行以外のモードを判別する仕組みを開発することが必要である。

計測システムの改良に向けて、上記のようなデータ取得の面、商業施設内での行動モニターという面双方から、小型・計量化の要請がある。計測用のセンサーが重い・目立つなどの場合、回遊行動に何らかの制限を与えてしまう恐れがあるからである。さらに装着に関しては、よりセンサーを安定した状態に保つことと被験者に負担のないようにすることの2つを前提として、現在の腰ベルトに装着もしくは手に携帯という形の見直しも必要である。

第4章 結論

本研究では、商業施設程度の小さなスケールにおける詳細な人間行動モデルの構築を目指して、回遊行動モデルのフレームワークの設定、及び行動計測システムの提案を行った。フレームワークの構築に際しては、空間認知面からのアプローチやマルチタスク的な表現、行動者の主観に配慮した。また、個々人の属性が行動に再現されやすい、相互作用の影響をモデルに取り込みやすいという観点から、マルチエージェントシミュレーションへの適用を想定したモデリングを行った。実際の回遊行動を簡易なシステムを用いて計測し、計測された位置情報データや観察から得られた知見をモデリングに取り入れた。

また提案されたフレームワークに基づいて今後のモデリングに必要なデータを整理した。さらにそのデータを取得するための計測システムを考え、実証実験を行った。今回構築したシステムそのままでは、商業施設内における人間の空間移動を詳細に捉えることは困難だが、システムを構成するセンサ単体の精度向上及びシステムとしてのコーディネートを進めることで、将来的に有望なモニター手段となりうることがわかった。

4.1 モデルの改善に向けて

本研究で設定したフレームワーク（仮説モデル）では、訪問経験やその場所についてどれだけの知識を持っているか、ということが重要な要素である。回遊ルートにせよ、店の選定にせよ、予めその人が持っている認知の枠組みによるところが大きい。この枠組みは対象との接触（時間的・物理的）が増えるほど強化されていくと考えられるため、知識の多寡の原因や認知の広がり方に焦点を当てることが今後のモデリングの課題となる。まずはその場所の知識のない人間がどのような行動の結果、どのように知識を蓄積していくかをパネル調査し、履歴データの分析を行う予定である。さらに情報社会の進展に伴い、直接現地に行かなくとも多くの情報を得ることができるようになっている今日、何を通して知識を得たのか（情報源は何か）ということが行動に与える影響も考慮すべきである。

4.2 計測システムの改善に向けて

3.5で述べたように、計測の精度をあげるためにも通常歩行以外の行動モードを判別する仕組みの開発が求められる。またモデルの検証段階に入ると、より多数の人を対象に行動トラッキングを行う必要があるため、システムの小型・軽量化とデザイン（見かけ・使いやすさ）上の洗練が必要である。

参考文献 第一執筆者名 50 音順

[1]来街頻度に基づく販売額予測非集計回遊マルコフモデルの構築

～小倉都心商業地区への適用～

石橋健一、斎藤参郎、熊田禎宣

1998年度 第33回日本都市計画学会学術研究論文集 pp523-528, 1998

[2]上下方向の移動を伴う経路探索に関する研究

大野隆造、串山典子、添田昌志

日本建築学会計画系論文集 1999年2月, 第516号, pp87-91, 1999

[3]近代国際体系の領域的推移

光辻克馬

国際関係論研究 14, pp81-111, 2000

[4]自律方式による歩行者用ポジショニングシステムの開発

小西勇介

東京大学工学系研究科社会基盤工学専攻 2000年度修士論文, 2000

[5]説明変数を含んだマルコフチェーンモデルによる都心再開発に伴う消費者回遊行動変化予測

斎藤参郎、石橋健一

1995年度 第27回日本都市計画学会学術研究論文集 pp439-444, 1998

[6]来街者調査ベースポアソン回帰集客数予測モデルの提案とその応用

～小倉都心再開発に伴う人込み客数および消費者回遊パタンの変化予測と評価～

斎藤参郎、熊田禎宣、石橋健一

1995年度 第30回日本都市計画学会学術研究論文集 pp523-528, 1995

[7]政策決定のシミュレーション ~中国~

田中明彦

国際政治第 76 号 pp134-153, 1983

[8]マップマッチングを用いたナビゲーションシステム

田中二郎、平野和夫、小林祥延、信田裕明、川村静治

1990 年 3 月住友電気 第 136 号 pp7-10

[9]ターミナル内における移動シミュレーション

服部正太、木村香代子、西山直樹

情報処理振興事業協会平成 10 年度「教育の情報化推進事業・マルチエージェントモデルによる
社会シミュレータシステムの開発及び普及事業」ワーキングペーパーNo.8 2000

<http://citrus.c.u-tokyo.ac.jp/WP8.PDF> より入手可能

[10]集合住宅のオープンスペースにおける人の分布常用とその分析

~ 共居環境の形成に検する研究 その 1 ~

花里俊廣、高橋鷹司、石井京子、村井エリ、山田純

日本建築学会計画系論文集 第 500 号 pp87-93, 1997

[11]セルオートマトン法を用いた地下街の避難行動シミュレーションに関する一考察

松田泰治、大塚久哲、朽木武、内田広明

地域安全学会論文集 No.2, 2000.11, pp95-100, 2000

[12]自動車ナビゲーションのためのマップマッチングの一方式

宮田武雄, 古澤一巳, 古坂晃夫, 塚本康輔

電気学会論文誌電子・情報・システム部門誌 Vol.4, No.2 pp.83-89, 1991.

[13]マップマッチングにおける誤り検出の一方法

宮田武雄，古澤一巳，塚本康輔

電気学会論文誌電子・情報・システム部門誌 Vol.4, No.10 pp.531-533, 1991.

[14]低精度角度センサに対応するマップマッチングの一方法

宮田武雄，木村良浩，塚本康輔

茨城大学工学部研究集報 Vol.42 pp.109-115, 1994.

[15]感性と設計 ~インテリジェントエンジニアリングシリーズ~

矢川 基・吉村忍・松田聡浩

培風館

[16]遊園地における遊戯施設の利用行動特性に関する研究

山口有次，中村良三，渡辺仁史

日本建築学会計画系論文集 第 500 号 pp127-132 1997 年 10 月

[17]避難行動シミュレーションによる大規模地下空間の避難安全性解析

横山秀史，目黒公郎，山崎文雄，片山恒雄 第 9 回日本地震工学シンポジウム講演集

(1994) pp2353-2358

[18]迷い行動の因子と情報空間との関連分析

~ 建築空間における探索行動の認知心理学的考察 その 4 ~

渡邊昭彦，森一彦

日本建築学会計画系論文集 第 491 号 pp99-107 1997 年 1 月

参考文献（英文） 第一執筆者名 ABC 順

[19] Abstract and scenographic imagery: the effect of environmental form on way-finding.

Abu-Obeid, N (1998).

Journal of Environmental Psychology(June,1998) Vol.18, No.2, pp159-173

[20] Styles and methods of structuring a city.

Appleyard, D.(1970)

Environment and Behavior, No.1, pp131-156.

[21] Human activity systems in the Metropolitan United States,

Chapin,F,S and Brail,R.K (1969)

Environment and Behavior, No.1, pp107-130.

[22] A Method of Map Matching for Personal Positioning Systems

Kay Kitazawa, Yusuke Konishi, Ryosuke Shibasaki (2000)

Proceedings of the 21st Asian Conference on Remote Sensing, 2000, vol.2 , pp726-731

[23] Perceived distance as a function of direction in the city.

Lee, T.R. (1970)

Environment and Behavior, No.2, pp40-51.

[24] Streets: An agent-based pedestrian model

Schelhorn, T, O'Sullivan, D, Haklay, M, Thurstain-Goodwin, M (1999)

Center for Advanced Spatial Analysis Working Paper Series No.9

<http://www.casa.ucl.ac.uk/streets.pdf> より入手可能

[25] Effect of Global Information Feedback on Diversity: Extensions to Axelrod's adaptive

culture mode

Yasufumi Shibanaï, Satoko Yasuno, Itaru Ishiguro

Journal of conflict resolution, vol.45, No,1, February 2001 pp80-96

[26] Going with the Flow: Micro-Macro Dynamics in the Macro behavioral Patterns of
Pedestrian Crowds

Katsuya Yamori

Psychological Review 1998, vol.105, No.3, pp530-557

謝辞

本研究は、「人間の行動」という1つの興味に対する複数の研究アプローチをいかに統合していくか、ということについて、全くの手探りの状態から出発しました。どこから手をつけてよいのかもわからず、時には壁の前で立ち尽くすような気にすらなりました。そうした暗中模索の試みに対して、柴崎先生は終始的確なアドバイスをして下さったばかりではなく、あらゆる方面からご指導・ご支援下さいました。また学外との様々な接点を作ってください、学ぶところの多い非常に充実した2年間を過ごさせて下さいました。ここに厚く御礼申し上げます。

研究室の関本さん、小西さんには、研究に直接関わることばかりではなく、コンピューターや機械のこと、工学のこと、その他数え切れないほど色々なことを教えて頂きました。このお二方がいらっしゃらなければ、研究どころか院生としての生活すらまともに送ることができなかつただろうと思います。心からの尊敬の念とともに感謝いたします。また、榊原さん、田中さん、趙さん、謝さん、Dineshさん、余さん、Afzalさんには、それぞれのプロフェッショナル分野での多大な支援を頂きました。いつも色々なアドバイスを下さる安岡研の遠藤さんや竹内さんには、本当に刺激を受けました。鶴岡さん、山田さん、高橋さんのご好意には思いきり甘えさせて頂きました。同学年の中川くん、村田くん、志村さん、佐々木くんにはいつも頼りっぱなしでした。研究室の片隅で悪戦苦闘していると、誰かが顔をのぞかせてアドバイスを下さる、また手を貸して下さる、という大変恵まれた環境で過ごせたことは本当に幸せなことと思っています。

実験に際して多大なるご協力を頂きましたセルデザイン研究所の本多さん、国際航業の栗崎さんにも改めてお礼申し上げます。最後になりましたが、いつも色々なところで助けて頂いている、藤野さん、直子さん、明子さん、彩さんに心から感謝いたします。

本当にありがとうございました。