

歩行者動線分析システムを用いた 大型家電量販店での行動分析

小磯 貴史 † 服部 可奈子 † 吉田 琢史 † 今崎 直樹 †

概要: 筆者らは、群集ナビゲーション技術開発の一環で、歩行者動線分析システム“Peds-Go-Round”の開発を進めている。このシステムを用いて、実際に営業を行っている某大型家電量販店において、顧客及び従業員の動線観測実験を行い、そこから得られたデータに対してどういった知見が得られるか、その分析を行った。本稿では歩行者動線分析システム“Peds-Go-Round”の概要と、実際の実験方法とその分析方法、並びに筆者らが提案している主動線抽出手法と、その手法の本実験データへの適用に関する報告を行う。

Behavior Analysis of Customers and Sales Clerks in a Home Appliance Retail Store Using a Trail Analyzing System

Takashi KOISO†, Kanako HATTORI†, Takufumi YOSHIDA†, and Naoki IMASAKI†

Abstract: Mass navigation is expected to be a key technology that supports the coming ubiquitous society. As a part of the research on it, we have developed a trail analyzing system “Peds-Go-Round”, which includes an RF-ID based pedestrian trail observation system and a main trail extraction function. Moreover, some fieldworks have been carried out in order to collect knowledge on human behavior and test the system. This paper outlines the system and reports the result of a fieldwork at a home appliance retail store.

1 はじめに

訪問客が群集となって回遊する展示場や遊園地、小売店などでは、いかに各エリアに顧客を惹きつけるかや、スムーズな群集の流れを形成するかによって顧客満足度や売上が左右されることになるため、その場を提供する経営者や実際にサービスを提供する側、さらには訪問客がそれぞれに満足できるような流れを形成することが重要である。そのような状況を実現するためには、例えば、適切なタイミングで来客者にその場で行われているサービス情報を提供したり、混雑情報も考慮した経路や訪問順のナビゲーションを行うことが有効であり、そのためには、その場の群集の位置情報の取得や、その情報に基づいた来客者特性の推定、発信した情報の効果の検証といった技術（筆者らは、これらの技術を総称して「群集ナビゲーション技術」と呼んでいる）が必要となる。

筆者らは、まずこれらサービスの基盤となる歩行者位置検出技術として RF-ID (Radio Frequency Identification) を用いたシステム“Peds-Go-Round”を開発し、家電量販店やスキー場において実際の来場客を対象とした動線計測実験を行い、かつ主動線抽出

等の分析を行っている。本稿では、開発したシステムの概要及びいくつかの家電量販店での実験結果について述べるとともに、開発の際の課題について検討する。

2 群集ナビゲーション技術

2.1 群集ナビゲーション技術の概要

まず、我々が実現を目指している群集ナビゲーション技術について述べる。

群集ナビゲーションのねらいは、「全体のバランスを重視し、集まってくる人が総じてより快適に活動できるような空間づくりを行う」ことである。

本報告の内容も含め筆者らが行っている研究は、人の集まる場（以後単に「場」と呼ぶ）において利用者・サービス提供者・（例えば経営者のような）場の提供者といった人々に対し、ある情報を発信する候補者やその情報を発信するタイミングを適切に提供することによって、場の利用をある意図に基いた環境に移行するような支援やコンサルテーションを行うことを目標としている。

群集ナビゲーションを実現する枠組を図1に示す。すなわち、下記技術の組み合わせで成り立つ。

- 行動モニタリング
場に存在する被観測者の位置情報をリアルタイム

† (株) 東芝 研究開発センター システム技術ラボラトリー
〒 212-8582 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地

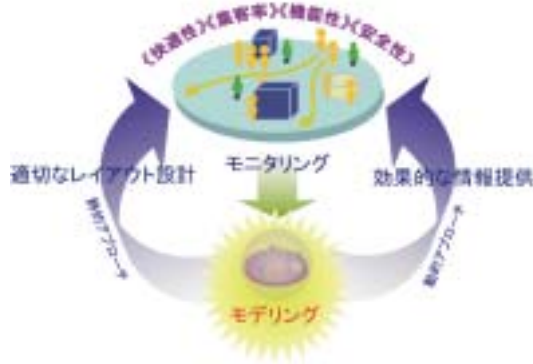


図 1: 群集ナビゲーション技術の概要

に把握する技術。ハードウェアから得られる位置情報にデータ漏れや誤検出があった場合に自動修正するルーチンも含む。

- 行動マイニング
モニタリングで得られた情報から、被観測者やその群の特徴を示す情報を抽出する技術。現在は、後の章で示す主動線抽出技術や、顧客と店員の接客時間推定などの分析を行っている。
- モデリング
行動マイニングによって得られた分析データに基づき、被観測者、もしくはグループの行動特性モデルの推定を行う。そのモデリングの際必要になる、各場における特徴の定量化についてもこのフェイズに含まれる。
- レイアウト最適化
モデルに基いて、現在の状況をそれぞれの立場（利用者・サービス提供者・場の提供者）から望まれている状況を考慮しつつ改善策を考慮する。このレイアウト最適化では分析データなどは事前に入手して分析し、現在の施設の問題点などを発見する「静的データからの改善アプローチ」といえる。
- 情報提供・局所的アピール
先の「レイアウト最適化」に対して、リアルタイムにデータを取得しつつ、時々刻々状況が変化している段階で、例えば来店者の特定位置での滞留を解消やさらなる滞留の誘引（来店者がそのサービスに多く接する程効果が大きい場合もありうる）を助長するために、適当な情報を主に一部の来店者に送るサービスを行う技術。

ユビキタスコンピューティングによる情報提供技術が、現在様々な研究グループによりなされているが [1, 2, 3, 4]、その情報提供の際に、サービス利用者の個人情報や要求から、その個人の利得のみに基いた情報を送るのみではなく、例えば適度なグループ（全体ではない）の位置情報から推定される混雑を加味した経路

案内や、他の競合するサービス利用者とのプライオリティを勘案したナビゲーション情報の配信を可能とするフレームワークの実現をねらいとしている。こういった観点から人間行動の支援を行うアプローチとしては、例えば車谷 [5] からも行っており、ユビキタス計算環境での個々のユーザの社会的調整を行いつつ個々の要求に対し、利便性を損なわないように実現方法を提示する技術の重要性を指摘している。

その際、状況変化やナビゲーション情報の効果の検証なども、RF-ID システムによるリアルタイムなモニタリングによる分析によって推定することが必要であり、これらの機能の実現によって、先のナビゲーションサービスを、場全体に対する状況変化への寄与度等の観点からのベンチマークツールとしても適用できると考えている。

2.2 本報告の位置づけ

今回報告する歩行者動線分析技術は、先の分類のうち行動モニタリング及び行動マイニング技術に属する。これらの技術は、その後の分析プロセスにあたる「モデリング」や「レイアウト最適化」「情報提供・局所的アピール」の基盤となること、また、RF-ID による主に歩行者に対する位置観測技術の適用可能性の検証を行うという意味で重要である。

行動モニタリングについては、RF-ID システムを用いた位置観測システムを開発し、実際に展示場や家電量販店、スキー場のような屋外施設で実験を行っている。また、行動マイニング技術については、Apriori [6] アルゴリズムに滞在時間と、地理的制約を調節するパラメータを加え改良した主動線検出アルゴリズムを提案 [7] し、先の実験データに適用している。これらについて具体的に説明するとともに、全体のフレームワーク構築に向けての方向性について論じる。

3 大型家電量販店実験

3.1 大型家電量販店実験の背景

歩行者動線分析のニーズの 1 つとして、店舗の利用状況の把握、例えば来店客とスタッフの行動を調査・分析し、改善策を立てることが考えられる。

多くの店舗では、商品やレジなどのサービス資源が空間的に分散されており、来店客とスタッフがどのように移動しどこで滞留しているかという動線情報が、スタッフの行動や最適配置、来店客へのサービス時間や時間当りの滞在率などの把握の際非常に重要だと考えられているが、実際に定量的な分析をすることはこれまでなかった。

そこで筆者らが開発している歩行者動線分析システムを用い、実際に営業している某家電量販店にて動線観測実験を行うこととなった。

以下、実施形態や、使用システムの内容、また次章にてその分析結果について述べる。

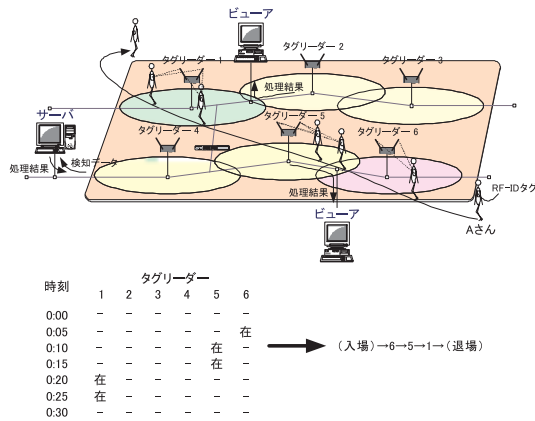


図 2: 歩行者位置観測システム

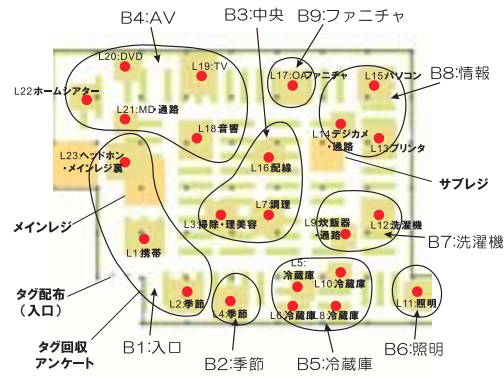


図 3: 実験施設レイアウト図
(赤丸は、リーダーの配置を示す)

3.2 歩行者動線観測システム

実験内容について述べる前に、開発したシステムに実装されている歩行者動線観測システムについて示す。

歩行者動線観測システムの概要を図 2 に示す。歩行者の存在を検出したい複数の場所にリーダーを設置し、歩行者には軽量・小型の RF-ID タグを着用させる。歩行者がリーダーに予め設定された距離内に近づくと、タグが発する固有の電波をリーダーが受信する。その電波の固有 ID を照合し、タグを付帯している歩行者を個々に識別し検出する。リーダーの検出情報を統合すれば、歩行者がいつどこにいてどう移動したか（以後、ある歩行者のポイント移動時に追加される（“時刻”，“地点”，“滞在時間”）というデータのシーケンスを“動線”と呼ぶ）観測することができる。

3.3 大型家電量販店実験の実験内容

実験は、横浜市にある某家電量販店にて 2 日間行っている。具体的には、販売スタッフには事前に、来店客には訪問の際入口付近にてタグの携帯を依頼し、その発信電波を追跡して各人の移動履歴（動線）を記録する。移動履歴は、売場ごとに設置されているリーダーを介して、動線データのシーケンスで表現される。

リーダーは、図 3 中の赤丸の位置にそれぞれ配置し、来店客、スタッフの位置を計測する。

なお、実験ではいくつかのリーダーの検知範囲が重複していたことや、データ処理の都合上、9 つの検知グループを形成し、それらの検知グループ内は同一の検知地点として分析を行った。

分析手法は、以下の 2 つの形態で行っている。次章で詳細を述べる。

- 滞留時間分析、来店・退店時刻分析、スタッフ・購入客同一エリア滞在時間分析などの収集データ分析
- 滞在時間及び間欠許容数を考慮した主要行動パターン抽出

4 実験結果

4.1 データ集計による分析

まずデータ集計のみで得られる結果について示す。本実験では、量販店スタッフ全員の動線調査も行っている。そのうちの 2 人の行動軌跡の結果を示す。

(a) のスタッフの行動軌跡を見ると、全ての売り場を網羅的かつ均等に訪れていることがわかる。一方、(b) のスタッフは、ほぼ冷蔵庫及び季節商品のエリアで行動範囲が限定されている。このようなスタッフの滞在位置を、実際に営業している際にもほぼタイムラグなく把握することが出来る。このようなデータは、これまでほとんど定量的に把握できず、店員らのカンや憶測によるところが大きいのだが、このようなデータを集計して、現在どのエリアにスタッフが集まっているかや、手薄になっているかを常時定量的に把握可能になったことがわかった。

また、実際に購入した来店客の動線も常時観測可能である。2 日間のうち、1 日分ずつの洗濯機を購入した全来店客の行動軌跡を図 5(a), (b) に示す。

このデータ分析は現在も作業中であり、まだ定量的な知見を得るまでに到っておらず、定性的な知見を得るまでに留まっているのが現状であるが、それらの知見から分析を行うと、現状得られた図からも、例えば入り口から洗濯機に到るまでの主ルートが、第 1 日目 (B1→B2→B5→B7) と第 2 日目 (第 1 日目のルートに加え、B1→B3→B7 も) とで相違があると考えられる。このような顧客の流れの分布を分析することで、例えば「ある広告を見たとき、来店客が当初の予定どおり立ち止まり、その商品に注目したのか」や「実際にはあまり利用されないエリアはないのか」といった分析を行うことができ、レイアウト変更のヒントや、広告効果のベンチマークなどに寄与するものと考えられる。



(a) スタッフ動線履歴 (その1)
(全売り場を包括的に滞在)



(b) スタッフ動線履歴 (その2)
(冷蔵庫及び季節商品エリア近辺で局所的に滞在)

図 4: スタッフ 2 名の 1 日の滞在位置履歴

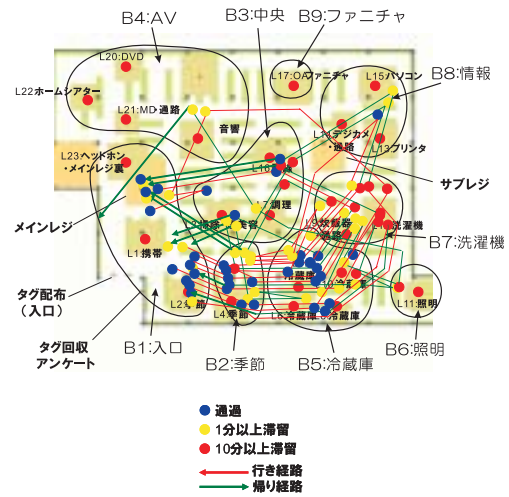
4.2 滞在時間及び間欠許容数を考慮した主要行動パターン抽出手法 [7]

4.2.1 本抽出手法のねらい

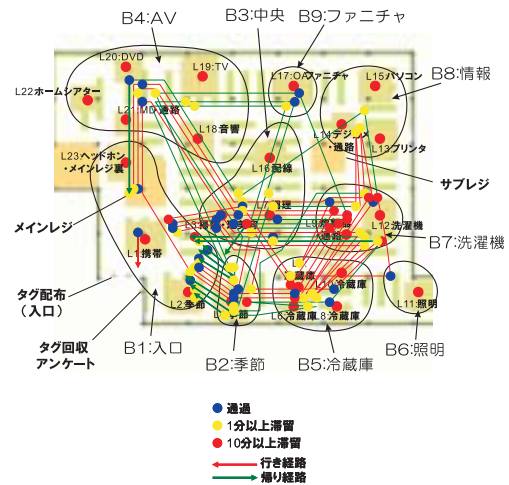
人の集まる施設で観測される顧客行動は、構成される顧客の組合せや同一条件でも人間の不完全な行動再現性などの要因から、顧客一人一人の行動パターンから帰納的に分析することが困難なことが多い。

そこで顧客全体のおおまかな行動特性に着目し、「多くの顧客に共通して頻出する典型的な行動パターン」を「重要な行動」と位置づけ、その「重要な行動」のみを抽出する手法が必要となる。

このようなパターンは、例えば人の流れのボトルネック要因の分析や「ある場所 A に滞在した人はある場所 B にも滞在する傾向にある」といったようなバスケット分析を行う際に基礎データとなるため必要であり、その分析から施設内における人の流れや現状の施設の利用状況を総合的にとらえ、顧客に対するサービスや施設の改善を計画するヒントとして役立てられる。このような多くの顧客に頻出する行動パターンを「主動線」と名づけ、移動履歴からの主動線抽出手法を提案している。



(a) 洗濯機購入者全員の動線 (第 1 日目)



(b) 洗濯機購入者全員の動線 (第 2 日目)

図 5: スタッフ 2 名の 1 日の滞在位置履歴

4.2.2 滞在時間ラベルと間欠許容数の導入

筆者らの提案した主動線抽出手法では、Agrawal が提案している手法 [6] に、以下の 2 つの点で改良を加えている (図 6 参照)

- 滞在時間ラベル

通常得られる行動イベントシーケンスに対し、新たに滞在時間によるラベリングを行い、例えば同じ (地点:A) でも (地点:A and 滞在時間:長) と、(地点:A and 滞在時間:短) とで、異なるシンボルとして相関抽出する。

これは、訪問場所の順番は同一でも、例えば全て滞在時間が「短」であれば単なる通過と判断することも出来るのに対し、特定の場所が「長」となっている場合、その特定の場所に、来場者の注意が何らかの要因で集まっていると考えられ、行動の目的が異なると考えられる。よって、このような違いも忠実にとらえることを狙ったものである。

- 間欠許容数

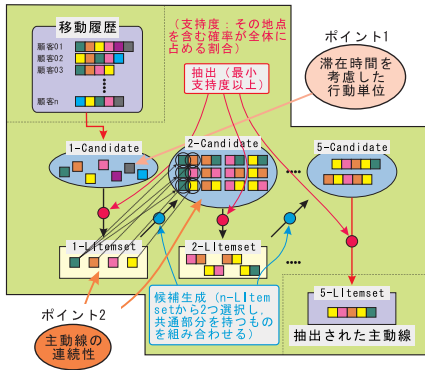


図 6: 提案する主動線抽出アルゴリズム

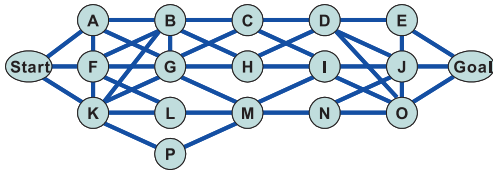


図 7: 検証で使用したマップ

主動線を形成する際、通常は何時、もしくは地理的な制約がないことを前提に主動線を検出する。しかし、2 地点間を訪問するまでに訪問スポットが多数存在する場合などでは、その主動線候補を探索する際解空間が膨大になる。そこで、2 地点間において調査対象のシーケンス以外の地点を訪問しても主動線とみなす地点数を「間欠許容数」を定義し、主動線抽出する際に対象とする範囲を調整するパラメータとして導入する。最小は 0 (間に対象シーケンス以外の地点が含まれることを許さない)、最大は ∞ (2 点間に対象シーケンス以外の地点を任意個含んでもよい) である。このパラメータを設定することで、次の主動線候補の数を絞ることができ、解空間の大きさを適度に制限することが出来る。

なお、この間欠許容数は、主動線として抽出される地点間距離を規定することにもなるので、例えば立て続けに訪問する組合せを抽出したい場合はこれを小さく設定することで得られることとなり、従って地点間距離の幅を制御するパラメータとして解釈することも出来る。

4.2.3 提案アルゴリズムの効果

以上の改良を導入した主動線抽出アルゴリズムにより導かれる解について、Apriori アルゴリズムと比較した結果と比較しつつ簡単に示す。

まず、動線データとして、図 7 のような地点ノード A ~ P の 16 箇所及び図に示すようなノード間パスを持

表 1: 抽出された上位 3 位までの主動線の発生割合

support 値	抽出された主動線		
	1	2	3
推薦抽出法	<G, H, I>	<H, I, J>	<G, H, J> または <G, I, J>
提案手法 (c=0)	<B(長), G(短), D(短)>	なし	なし
提案手法 (c=1)	<F(短), K(短), M(短)>	<B(長), G(短), D(短)>	<F(短), M(短), O(長)>
提案手法 (c=2)	<F(短), K(短), M(短)>	<B(長), G(短), D(短)>	<F(短), M(短), O(長)>
提案手法 (c= ∞)	<F(短), K(短), M(短)>	<F(短), K(短), O(長)>	<B(長), G(短), D(短)>

つマップを仮定する。その上で、回遊する観光客 1000 人分の動線データを、主動線を推定する実験を行った。

- 全ての動線は必ず Start から始まり、Goal で終了する
- 動線の長さは、予め決めた最大訪問地点数以内になる
- 主動線とすべきパターンを予め決め、一定の人数分含める
- 主動線パターンも含め、各地点毎に割り当てた滞在時間分布に基づき、各観光客の各滞在地点での滞在時間を決定する

また、滞在時間のラベリングに関しては、滞在時間ラベルを“短”、“中”、“長”の 3 通り、かつ全ての地点で同一とし、その地点の滞在時間分布を見つユーザーから分割点を与えている。

以上のような条件で実験を行った結果を、表 1 に示す。この表では異なる間欠許容数 (c で示す) に対し、support 値が上位 3 位までの主動線シーケンスを表しているが、従来手法では (G,H,I) が最も高い support 値を示していたのに対し、提案手法では (F,K,M) や (B,C,D) が最も高くなっており、滞在時間の長短によって異なる動線とみなすことにより、抽出された主動線に違いが確認できた。

また、連続的なシーケンスのみに着目した場合 (c=0 に相当) だと (B,C,D) が主動線となるが、間欠的に現れる地点も含めた主動線 (c=1, 2, ∞) は (F,K,M) となり、間欠許容数の制限によるシーケンスの相違も確認できた。

4.3 大型家電量販店実験への適用

ここまで述べてきた提案アルゴリズムを、今回実施した動線観測実験の実験データに適用した。なお、ここでは滞在時間ラベルは用いていない。

support 値は 0.10 とした。実験結果として、頻度上位 3 位までの主動線シーケンスを図 8 に示す。

結果を見てもわかるように、長いルートとして抽出することは出来なかったが、c=1 ~ 3 (0 は入口付近の短いパス以外現れなかったのを除外) の時の主要なパスを示すと、

c=1: 店外 → B1 → B3 → B1 → 店外 (12.0%)

c=2: 店外 → B1 → B4 → B3 → B1 → 店外 (14.0%)

または、

店外 → B1 → B9 → B3 → B1 → 店外 (11.0%)

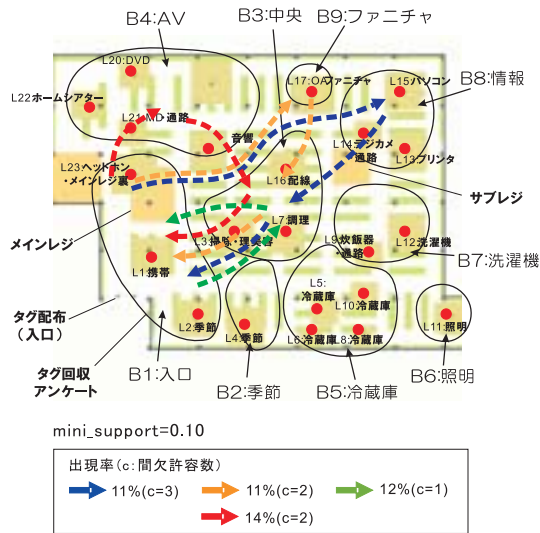


図 8: 実験データから抽出された主動線

c=3: 店外 → B1 → B8 → B3 → B1 → 店外 (3.9%)

となっている。この主動線の、実際の顧客や環境との根拠づけの分析が今後の課題となる。

5 今後の課題

前章までにいくつか挙げているが、ここで改めて課題について述べることにする。

- 主動線及び実測データと来場客行動や場の特性との根拠づけの分析

前章でも述べたように、実際の結果データから得られる知見に未開なものが多く存在していると考えられる。今後分析を進め、発見手法の検討を行う余地があると考えられる。

これは別の観点からの分析手法や、来場客行動モデルを構成して検証し、来場客の行動特性の分析や、場の環境がどのように作用するかなどの分析を行って、来場客シミュレーションによる顧客行動の分析や、店舗レイアウトの効果分析などを行って、こういった要因を場の特性として考慮すべきであるかや、こういった要因で来場客行動に変化が起こるのかを検証していきたいと考えている。モデルに関しては、動線データなど実測できるデータによる推定・検証をコアとして作成したい。

- 主動線分析手法の改良

本稿で提案している主動線分析では、例えば滞在時間のラベリングは、現状人間の判断による切り分けを行っているが、これは例えば観測データに基づく滞在時間分布から適当なラベル数を設定すれば、その観測データをどう切り分けるか推定す

ることが可能になると考えられる。今後その手法の確立を目指したい。

また、今回の実験では時間制約つきや、間欠許容数を考慮したアルゴリズムによるデータ分析が評価し難い結果となったが、これは属性や、時間制約によって該当サンプルデータ数が少なくなることが原因であり、例えば何日か継続的にデータを取り、属性の近そうな来場客のグループを選定して行い、改めてその抽出結果を評価したいと考えている。

6 まとめ

以上、まず我々が現在目指している研究の方向性と、筆者らが開発した歩行者動線観測システムを用いた、大型家電量販店で実施した来場客及びスタッフ動線観測実験とその結果について述べ、さらには主動線抽出アルゴリズムと、その適用について述べた。

今後も継続的に実験を行い、データ収集を行う予定である。その中で、こういった分析を行うことで、より正確・精緻にデータ解析が出来るようになると考えている。

それらの知見から、来店客の行動予測などを行うモデル作成、さらにはそのモデルを用いたナビゲーション技術までつなげていきたい。

参考文献

- [1] 田辺広実, 木原民雄: “実空間メタデータ収集に基づく情報ナビゲーション”, dicomo2003-071, 2003.
- [2] Co-BIT システム: <http://staff.aist.go.jp/takuichi.nishimura/CoBITsystem.htm>
- [3] マイボタン: <http://www.carc.aist.go.jp/carc/mybutton-j.html>
- [4] K. Nagao and J. Rekimoto: “Ubiquitous Talker: Spoken Language Interaction with Real World Objects.”, In Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-95), Vol.2, pp.1284-1290, 1995.
- [5] 車谷浩一, “ユビキタスエージェントのためのアーキテクチャ CONSORTS – 群ユーザ支援に向けて”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.102, No.603, pp13-17, 2003.
- [6] R. Agrawal and S. Ramakrishnan: “Fast Algorithms for Mining Association Rules”, Proc. of 20th Int. Conf. Very Large Data Bases (VLDB), pp.478-499, 1994.
- [7] 服部可奈子, 小磯貴史, 今崎直樹: “滞在時間を考慮した主要行動パターン抽出方法の検討”, 第17回人工知能学会全国大会, 2F1-02, 2003.