

## 動線分析における分析項目の 同時可視化手法の提案

松本隆史<sup>†</sup> 中村嘉隆<sup>††</sup> 白石陽<sup>††</sup> 高橋修<sup>††</sup>

近年、RFID などのデバイスを用いて人の動線を調査・分析する、動線分析の研究が盛んに行われている。動線分析では分析する環境において移動する人々の動線を取得し、動線から平均移動速度やエリア訪問回数など、動線の様々な特徴を算出、可視化して分析を行う。効率良く分析を行うためには、算出した特徴の量的情報や、特徴間の関連性が把握しやすい可視化手法が必要となる。現状の動線分析の研究では可視化について深く考慮されておらず、特徴抽出についての各研究がそれぞれ必要な可視化手法、主にグラフを用いて分析を行なっている。しかし、グラフのみではどここの情報に関するグラフであるのかを把握するのが難しい。また動線分析では多数の特徴情報の関係性を分析する必要があるが、研究各々で別々の可視化を行っているとその分析が困難になってしまう。そこで本研究では、動線分析において算出された動線の様々な特徴情報を分析に利用しやすく可視化するために、分析項目の同時可視化手法を提案する。

### Simultaneous Visualization of Analysis Items for Human Mobility Analysis

TAKASHI MATSUMOTO<sup>†</sup>  
YOSHITAKA NAKAMURA<sup>††</sup>  
YOH SHIRAISHI<sup>††</sup> OSAMU TAKAHASHI<sup>††</sup>

Today, human mobility analyses, surveying and analyzing with the devices such as RFID tags, are researched actively. To analyzing about human mobility the researcher collect the flows of moving human at analysis environment, extract information about average of moving speed, frequency of visit to the area and more from human mobility data, and visualizing there data. Researcher need the visualization is easy to understand each quantity data and the relation between data and data. Now visualizations are not entertained because researchers use the advantageous visualization for their study so the visualizations are using figures mostly. But using only figures, it is difficult for us to find the location of the information and the relation between data and data. Thus we obtained the visualization about pieces of analysis concurrently for human mobility analysis to show many data about information extracted from people flow data.

### 1. はじめに

GPSをはじめ、Wi-Fi や超音波、可視光通信を用いた測位など、屋内外で利用可能な位置推定技術に関する研究が近年盛んに行われている。これらの技術を用いて定期的に位置情報を取得することで様々な人の移動経路(動線)を取得し、その特徴を分析するという、動線分析に関する研究が盛んに進められている。

動線分析の流れは図1の様になっている。まず分析を行う場所における人の動線を、GPS等の位置推定技術を用いて取得し、これらをデータベースに蓄積する。次に蓄積した動線と、分析を行う場所の地図情報を用いて、最も人が通った通路や、人が歩いた平均速度が最も早い通路など、動線に付随する情報を抽出する。最後に、数値化した情報を分析者に分かりやすい形で可視化し、分析を行う。動線分析の事例として、スーパーマーケットやデパートのような商業施設を対象とした研究が存在する。例えば、店舗内顧客やスタッフの動線を取得し、店舗の地図を用いて情報を抽出する。例えば、ある通路における全体の訪問回数と平均移動速度を抽出すると、その通路で売られている商品に注目している顧客が多いかどうか分析することができる。以上のように分析を行うためには、抽出して数値化された情報を可視化して、分析者に分かりやすく提示する必要がある。

動線の可視化は、地図を用いて行われることが多い。例として、ある人の動線を可視化するときは、その動線を構成する位置情報の座標を地図上にプロットし、時刻に沿ってプロットした点と点を結んで線を描画することで、その人の動線を可視化することができる。

動線の応用分野は幅広く考えられる[1]。駅前で動線分析を行えば、過去の動線を統計して分析し、災害時等における避難経路設計に役立てる事ができる。また新たに歩道を設計する際に、普段と通勤ラッシュ時との人流の変化を考慮し人が混雑しないようなものを作る指標として、動線分析の結果を利用することができる。また、スーパーマーケットやデパート、大型ショッピングモールでは、各売り場における顧客の興味関心度の調査や、パーソナルデータを照らし合わせることにより顧客に密着した商品選択・配列の検討、マーケティングを行うことができる。携帯電話のようなモバイル端末で動線を取得すれば、ユーザが歩いたその日の経路を全て記録し分析することが可能なため、落とし物・忘れ物をしてしまった際に、どこで落としてしまったか検索することや、写真などを撮っていた場合、その写真をどこで撮ったか後から記録することができる。

\*† 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科  
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate.

†† 公立はこだて未来大学 システム情報科学部  
School of Systems Information Science, Future University Hakodate.

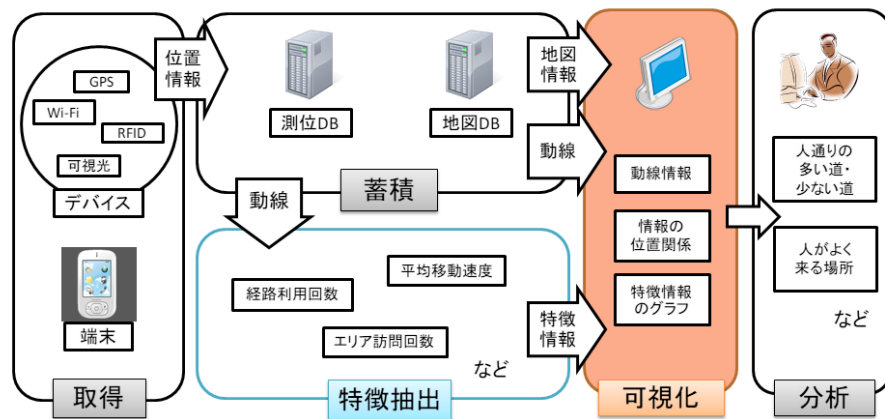


図 1 動線分析の流れ

今後位置情報基盤があらゆるところで設置され、どこにおいても動線分析が行える状態になることが予測される。その場合、研究者以外の人々も動線分析を行うことが増えると予想される。しかし現状の研究では、動線分析における可視化について深く言及しておらず、研究ごとにグラフや地図による可視化など、それぞれが必要な可視化しか行っていない。また、動線分析を行うに当たって必要となる可視化の手法が統一化されていない。そのため、動線分析に利用される様々な情報を可視化するための汎用的な可視化手法が必要であると考えられる。そこで本稿では、動線分析の利用シーンとして多く利用される屋内環境を想定した可視化手法を提案する。

## 2. 関連研究

### 2.1 動線からの特徴抽出

動線分析の研究として最も行われているのは、特徴抽出の研究である[2]。特徴抽出とは、取得した動線データを用いて、人の動きに関する様々な情報(特徴情報)を抽出することである。抽出できる情報はいくつかあり、各研究の分析目的によって様々な情報が抽出されている。関連研究の調査から、よく抽出されている特徴情報とその意味に関して表 1 特徴情報にまとめる。

IBM はスーパーマーケットにおいて RFID を用いて顧客の動線について調査・分析を行っている[2]。この調査・分析では売り場ごとの訪問率について主に調査している。

中川研究所も同じくスーパーマーケットにおいて、可視光通信を用いた動線分析を行っている[3]。この分析では、顧客の平均移動速度と、通路の通過回数を可視化して分析を行っている。

大西らは正規混合分布を用いて各場所の動線の量を計算し、ある場所において通った人が多いか、少ないかを時刻ごと算出している[4]。カメラを用いて人物トラッキングを行うことで動線を取得し、例えば「正午前後に4階から2階へ移動する人が多い」という情報を数値として割り出す手法を提案している。

今崎、小磯らは歩行者動線分析システムを開発し、大型家電量販店において顧客及び従業員の動線分析を行なっている[5][6]。この研究では RFID タグを利用して動線を取得している。取得した動線からは顧客・従業員それぞれの滞留時間、来店・退店時間の分析と、スタッフ・顧客同一エリア滞在時間、動線全体としての主要パターン分析を行い、店舗におけるマーケティングに活用する。主要パターンは、施設内における人の流れや施設の利用状況を把握し、顧客に対するサービスや施設の改善計画に利用できる。

浅原が行った動線分析に関する研究では、GPS を用いて動線を取得し分析を行なっている[7]。実験者の行動を3つのエリアのどれかに居ることとして、時間に沿った全体的なエリアの人数比変化を算出し、グラフとして可視化している。

以上の研究を必要としている特徴情報の有無でまとめると、表のようになる。表が示すとおり、研究の目的によって必要とされている動線の特徴情報は異なるが、似通っているものも多い。そのため、多くの動線分析に対応できる動線可視化手法は有用性があると考えられる。

表 1 特徴情報

特徴情報	意味
経路利用回数	近接したある点からある点へ移動した回数の統計
平均移動速度	近接したある点からある点への移動速度の平均
主要経路	ある点からある点への移動で最も利用された経路
平均滞留時間	ある点において移動していなかった時間の平均
エリア内 平均滞在時間	売り場のような区画内に滞在していた時間の平均
各エリア訪問回数	売り場のような区画内に進入した回数の統計

表 2 関連研究で抽出されている特徴情報

	研究[2]	研究[3]	研究[4]	研究[5,6]	研究[7]	研究[8]
移動経路			○	○		○
階から階への移動			○			
平均移動速度		○				
主要経路				○		
平均滞留時間						○
エリア滞在時間	○			○	○	
エリア訪問回数		○			○	○

## 2.2 動線の可視化

動線分析で行われる可視化は、地図上に取得した動線を描画することと、各位置において抽出した特徴を数値化し、それぞれのグラフで表すことで行われるのが一般的である。しかし、動線分析では主に多数の動線の統計から分析を行うため、取得した動線全てを地図上に描画すると非常に煩雑で視認性が悪いものになってしまう。図 2 は浅原らが行った GPS による人の動線を取得する実験にて、取得した全ての動線を地図上に描画したものである[7]。実験の被験者数は 13 人、サンプリングレートは 15 秒で、3 時間取得した。この図ではあまりに線が密集しているため、動線としての情報を視認することは不可能である。

グラフによる可視化は、抽出した情報を細かく可視化できる利点があるが、グラフが示す結果が地図上のどこの値なのか対応付けることが難しい。また、グラフの分析には専門知識が必要とされる場合が多いため、汎用的な表現手法としては不適切であると考えられる。

グラフを利用するデメリットを解消するために、グラフを使わずに動線分析の可視化を行っている研究がある[2][3]。IBM は、店舗の地図を売り場ごとに区切り色分けすることで、各売り場の訪問率を表現している。訪問率が小さい売り場は青く、大きい売り場は赤く描画されており、どの売り場の訪問率が高いかひと目で分かるようになっている。しかしこの手法では訪問率の描画しか行うことができない。中川研究所は地図上に通路ごとに色と太さが違う線を描画し、顧客の平均移動速度と訪問率を描画している。この描画方法では 2 つの情報を描画することができるが、それ以上情報を載せることはできない。

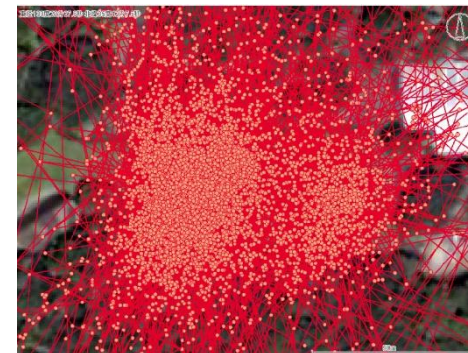


図 2 地図上への動線描画([7]より引用)

### 3. 研究課題

本稿における研究課題として、以下の二つを挙げる。

- ・分析項目となる動線の特徴情報の同時可視化
- ・情報と地図上の位置関係の容易な把握

動線から分析に利用する動線の特徴を算出する研究は様々行われており、算出した特徴自体から得られることや、情報と情報の関係性から得られることが多く存在する。そこで、分析項目となる動線の特徴情報をできるだけ多く同時に可視化することができれば、特徴それぞれの関係性も見ることができ、動線分析によって新たな発見をする機会を増やすことができると考えられる。

また、グラフを用いた可視化では、そのグラフがどこの動線について可視化しているのかが分かりづらいという欠点がある。そこで、地図上でグラフに相当する可視化を行うことで、グラフと地図上における位置関係がすぐに把握できるようにする必要がある。

### 4. 提案手法

#### 4.1 特徴情報の同時可視化

##### 4.1.1 3次元地図

地図を3次元にして、その上にグラフを描画することによって、グラフの利点を活かしつつ欠点を少なくする可視化手法を提案する。方法は一般的な2次元の地図に対して軸を1本追加し、地図上に3次元のグラフを描画できるようにする。これによって、地図としての位置を把握しつつ分析項目の情報を3次元の軸を利用して可視化することが可能となる。

また動線分析の対象となる環境が複数階にまたがる場合は、階を上積み重ねるように地図を描画し、各階のつながりを表現できるようにする。各階のつながりを表現することによって、階から階への移動に関する情報(例えば2階から3階への移動統計など)をわかりやすく可視化することができるようになる。

##### 4.1.2 点による情報可視化

提琴滞留時間のような、地図上のある点における情報を可視化する手法を提案する。RFID や可視光通信など、観測位置が固定されたデバイスを利用する動線分析では、位置情報が各タグの位置に集中するため、必ず点に関する情報が存在する。GPS やWi-Fi のような位置が固定されないデバイスでも、おおよそ同じ位置に位置情報が固まっている場合は点として扱うことができる。可視化の方法としては、値が大きけれ

ば高く、小さければ低い、上に伸びる柱のような線を描画することで情報を可視化する(図3)。この可視化手法により、全体を見渡した際に値が大きい位置をすぐに把握することができる。これは例えば、ある位置における人の平均停止時間を可視化するのに役立つことができる。

##### 4.1.3 線による情報可視化

経路移動回数や平均移動速度のような、ある点からある点への区間に関する情報を可視化する手法を提案する。手法としては、地図上で近接する2つの位置情報の座標を結んだ線を描くことで可視化を行う。また、描画する線の属性を変化させることによって可視化する情報の数を増加する。具体的には線の色を変える、線の太さを変える、線を描画する高さを変えることで行う(図4)。区間における平均移動速度が速い場合には線の色を赤く、遅い場合には線の色を青くするというように、速度の値によって赤から青への変化で色を変える。この方法によってどの区間で移動が速く、どの区間で移動が遅いかすぐにわかるようになる。

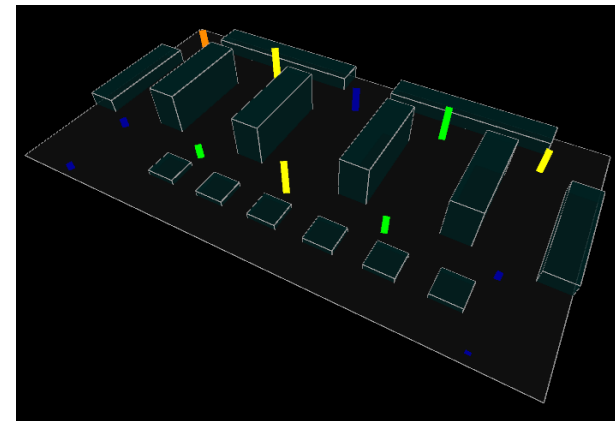


図3 点による情報可視化

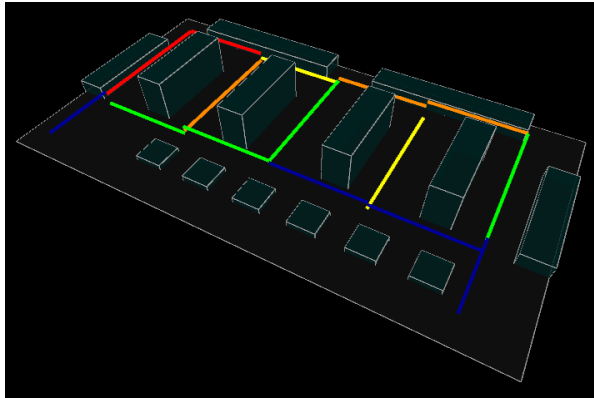


図 4 線による情報可視化

#### 4.1.4 面による情報可視化

エリア内平均滞在時間や各エリア訪問回数といった、地図上で2つ以上の近接した座標に関する情報を可視化する手法を提案する。手法として、マップ上の面に関して属性を変えることで情報を可視化する。スーパーマーケットのような店舗では売り場ごとの訪問人数など、各売り場に関する分析を行うことが考えられる。そのためスーパーマーケットにおける売り場のような、エリア内の動線に関する情報を可視化する手法が必要となる。

エリアに関する情報可視化の具体的な手法として、エリアにあたる地図上の面を底面とする立体を描画する事によって行う(図 5)。まず地図情報として予めエリアの位置・大きさを設定しておき、地図上にエリアを面として区切る。次に各エリアに値を設定できるようにし、設定した値によってエリアの色の变化と、面から伸びる立体の大きさを変化させる。色の变化は、たとえばエリアの平均滞在時間が短い場合は青く、長い場合は赤くして、各エリアの平均滞在時間の可視化を行うことができる。色の变化には5段階程度の色のグラデーションを用いて値の大きさを表現する。面から伸びる立体は、エリア1つを底面として上に伸びた立体の事で、その高さによって値を表現する。たとえばエリアの訪問人数に合わせて立体の高さを大きくすると、大きな立体が見える位置は訪問人数が多く、逆に小さい場合は訪問人数が少ないとわかる可視化を行うことができる。

#### 4.1.5 組み合わせによる同時可視化

以上までで3次元地図、点・線・面による情報可視化手法について説明した。これ

ら手法はそれぞれが分析に役立つ情報可視化を行うことができるが、組み合わせて利用することでより多くの情報を同時に可視化することが可能である。図3から図5を組み合わせると図6のようになる。点・線・面による可視化は3次元地図を用いて行っているため、それぞれが持つ特徴情報と地図上における位置関係を視認することができる。また地図上で特徴情報を同時に可視化することで、特徴情報の関係性を視認することが容易となり、より分析に役立てることができる。

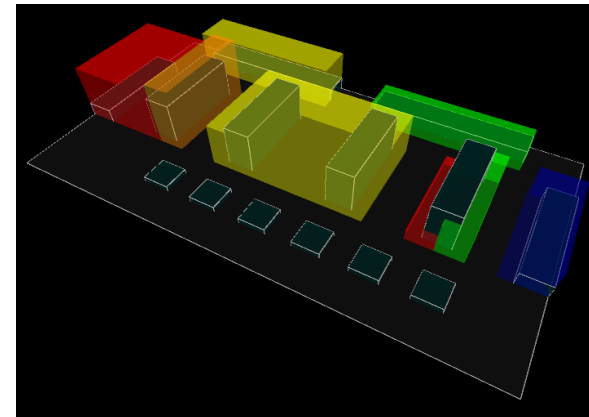


図 5 面による情報可視化

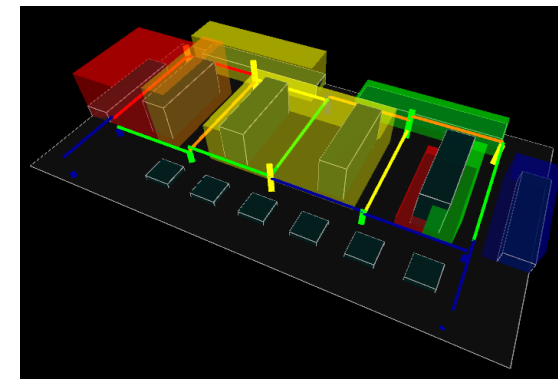


図 6 組み合わせによる同時可視化

#### 4.2 拡大・縮小による可視化対象の変更

動線分析では、必要に応じて情報を描画する対象を変える必要がある。例えば大型ショッピングモールのような商業施設における動線分析を考える。この場合少なくとも、各階の比較(例えば1階と2階の数値比較)、ある階における売り場ごとの比較(例えば2階にある服屋1と服屋2の比較)、ある売り場の中における商品配置エリアの比較(例えばメンズのエリアとレディースのエリア)の3つが考えられる。これら3つに関して、それぞれ必要となる点、線、面の位置が異なるため、容易に描画対象を変更できる機能が必要となる。そこで、地図の倍率によって表示するエリアを変更する。地図における視点の倍率は操作によって変更が可能であり、視点によって表示する内容を変更する。地図から離れた視点の際は、各フロアの情報を可視化する(図7右)。そこからある程度近づいていくと、あるフロア内の情報を可視化するように表示を切り替える(図7中)。同様に各エリア内の情報についても拡大することで表示を変更する(図7左)。これによってよりスムーズに閲覧する情報を切り替えることができる。

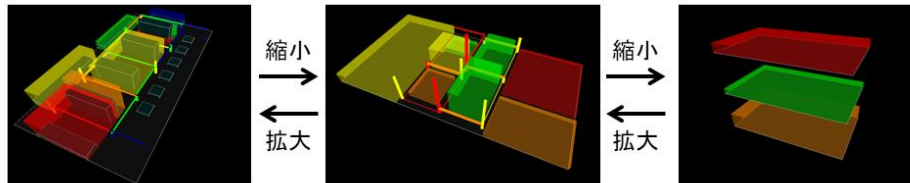


図7 拡大・縮小による描画対象の変更

#### 4.3 可視化手法の可変性

今回複数の可視化手法について、分析者によって可視化手法の好み異なることも考えられる。例えばある人は、平均移動速度は色で可視化したほうが分かりやすいと言うが、別のある人は太さで可視化したほうが分かりやすいと言うかもしれない。そのため分析者が可視化する情報と可視化手法の結びつけは、選択が可能であるべきと考えられる。4.1節で示した可視化の結びつけはあくまで一例として考え、分析者のニーズに合わせて可視化の結びつけができる機能が必要である。

### 5. 実装・評価

基本評価を行うために、先に示した提案手法を実装した。実装は Processing という、容易に 3D オブジェクトを作成できる言語を用いて行った。実装は点、線、面それぞ

れの描画と、組み合わせの描画を主とし、またそれらの表示・非表示切り替えや、マウスによる3次元マップ操作も同時に実装した。マウス操作の実装は、左・右クリックでズームイン・アウト、左ドラッグで回転、右ドラッグでマップの位置移動ができるよう行った。ズームイン・アウトによるズーム度合いの制限は特にかけていない。回転は常にマップの真ん中を中心として回るように実装した。位置移動は中心の位置をずらすように移動するように実装したため、位置を移動したからと行って回転の軸がずれることはない。

基本評価は実装したアプリケーションを用いて、研究課題を考慮して作成した以下の項目について行う。評価結果は6章考察にて述べる。

- 分析項目の可視化

提案した手法それぞれによって、動線分析の項目を描画できているかどうか。また、手法を組み合わせることで分析項目を同時に可視化できているかどうかについて評価する。また、手法を利用することで可視化した情報の数が、動線分析に役立てられるものであるかどうか考察する。

- 情報の位置把握

分析に用いる情報と、その情報の位置を提案手法によって同時に把握することができるかどうか評価する。

- 情報の比較のしやすさ

分析項目の相関関係や売り場ごとの値の違いについての比較を、容易に行えるよう可視化できているかどうか評価する。

### 6. 考察

5章であげた評価項目について考察する。分析項目の可視化については、それぞれの情報を可視化することができた。また、それぞれの可視化手法を同時に行うことで、複数の分析項目を同時可視化することができた。これによって同時に6つの情報を可視化することができることになり、2章でまとめた最低限必要な分析項目の数を満たしているため、動線分析に用いることができると考えられる。

情報の位置把握については、それぞれの情報を地図上の位置と照らし合わせて可視化することが可能となった。そのため情報とその位置を同時に把握することができるので課題を解決できたといえる。

情報の比較のしやすさについて考察する。ひとつの空間の中での比較(例えば2階の中の売り場と売り場の比較)は、提案手法を用いて行うことができる。しかし、同じ空

間で別の時間帯と比較したいという場合、今回の提案手法では容易に比較することができない。そのため、時間軸を考慮した可視化手法を検討する必要がある。

最後に5章ではあげなかったが、アプリケーションの操作に関して考察する。今回実装したアプリケーションでは、可視化手法に関する評価を円滑に行うためにマウスによる操作を実装したため、操作性に関する評価項目を必要としていなかった。しかし基本評価を行った際、アプリケーションの操作性は分析項目の視認性に大きく影響することが分かった。どのような操作を行うことができれば視認性を向上することができるか今後検討する必要がある。

## 7. まとめ

本論文では、動線分析における複数分析項目の同時可視化手法の提案を行った。今回提案した手法を評価するために、アンケートを行う予定である。また今回の手法を提案する際に動線分析に関する研究調査を行ったが、調査がまだ足りておらず結果的に可視化する内容が不足している可能性がある。今後の課題として動線分析の特徴抽出に関する研究調査をより深く行うこと、また抽出した情報を可視化する手法について新たに検討することがあげられる。また、操作に関しての考察も必要である。今回の手法をより良いものにするため、以上の課題を検討し解決するよう今後の研究を進めていく予定である。

## 参考文献

- [1] 暦本純一, 味八木崇: When-becomes-Where: WiFi セルフロギングによる継続的位置履歴取得とその応用, インタラクション 2007, pp.223-230, 2007.
- [2] IBM 「RFID タグによる店舗内動線分析」  
[http://www-06.ibm.com/industries/jp/dist/topics/atlas\\_20071122/](http://www-06.ibm.com/industries/jp/dist/topics/atlas_20071122/)
- [3] 株式会社中川研究所「動線調査システム」 <http://www.naka-lab.jp/lab/flow.html>
- [4] 大西正輝, 依田育士: 大型複合施設における長期間にわたる人流比較と可視化手法, 電子情報通信学会論文誌, No.4, Vol.J93-D, pp.486-493(2010).
- [5] 今崎直樹: 群集の行動観測と分析, 電子情報通信学会技術研究報告, No.573, Vol.105, pp75-80(2006).
- [6] 小磯貴史, 服部加奈子, 吉田琢史, 今崎直樹: 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, 情報処理学会研究報告, No.115, pp.61-66(2003).
- [7] 浅原 彰規, 佐藤 暁子, 丸山 貴志子: 屋内外動線解析による歩行者行動の分析と実験的評価, 情報処理学会研究報告, No.24, pp.1-8, (2009).
- [8] 矢部 直人, 有馬 貴之, 岡村 祐, 角野 貴信: GPS を用いた観光行動調査の課題と分析手法の検討, 観光科学研究, No.3, pp.17-30(2010).