

歩行者用道路上におけるリアルタイムな混雑情報の取得・提供手法

山本 友理[†] 屋代 智之^{††} 重野 寛[†] 岡田 謙一[†]

[†]慶応義塾大学大学院 理工学研究科 〒223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1

^{††}千葉工業大学 〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1

E-mail: †{yamamoto,shigeno,okada}@mos.ics.keio.ac.jp, ††yashiro@net.it-chiba.ac.jp

あらまし 近年、携帯端末の普及により、それを用いた歩行者ナビゲーションが注目される中、よりわかりやすく、リアルタイムな情報を提供することが必要とされている。特に歩行者道路上における混雑状況はリアルタイムに変化するものであり、歩行者にとって経路選択の一要因ともなりうる重要な情報である。本研究ではGPS内蔵の端末が普及しつつあることから、GPSより得られる歩行速度等の歩行履歴情報を用いることで、歩行者用道路上におけるリアルタイムな混雑状況を推定することを試みる。また、どのような方法で混雑情報を提供するかについても提案する。
キーワード 歩行者ITS, モバイルコンピューティング, 混雑, GPS, 携帯電話

The acquisition and offer method of the real time congestion information on the road for pedestrians

Yuri YAMAMOTO[†], Tomoyuki YASHIRO^{††}, Hiroshi SHIGENO[†], and Kenichi OKADA[†]

[†] Faculty of Science and Technology, Keio University

3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa.223-8522 Japan

^{††} Chiba Institute of Technology 2-17-1 Tsudanuma, Narashino-shi, Chiba. 227-0016 Japan

E-mail: †{yamamoto,shigeno,okada}@mos.ics.keio.ac.jp, ††yashiro@net.it-chiba.ac.jp

Abstract In recent years, the pedestrian navigation using mobile devices has increased significantly. However, it needs to offer more intelligible and real-time information. Because the congestion condition on the road for pedestrians changed in real time, and it can be the important information for pedestrians to choose the route. In this paper, we put our attention in estimating the real time congestion situation on the road for pedestrians by using the walk-tracing data acquired from GPS. And we propose how to offer the congestion information.

Key words pedestrian ITS, GPS, congestion, mobile computing, mobile phone

1. はじめに

近年、携帯電話加入者数は全国で7000万人を超え、契約端末数も8000万台に迫る勢いで急速に普及している。また、技術の進歩による端末自体の高性能化・小型化・低価格化が図られ、誰でも高性能の携帯端末を手にすることができる時代となりつつある。このため、携帯端末を用いたサービスに対する需要と共に、携帯端末を用いた、歩行者に向けたナビゲーションへの期待が高まっている。歩行者が道に迷う、周辺の情報を知りたいと思う、といったことは概して外出先で起こることがほとんどである。そのような場所に持ち歩くことのできる小型の携帯端末を用いてナビゲーションを行ったり情報提供を行うことにより歩行者を補助することができることから、現在最も有用性があるといえる。

また、現在歩行者に提供されている情報として、

- 歩行者の位置情報
- 住所など目的地までの経路情報
- 位置情報を基にした周辺の施設・店舗の情報

などが挙げられるが、その中で情報として、道路状況や建物の形状などより歩行者の視点に立った、わかりやすい情報を提供することが歩行者の外出先での不安感をなくす意味で重要なことである。そして提供されている情報に関しては、歩行者ナビゲーションにおいて現在はリアルタイムに変化するような情報には対応していないといえる。

そこで本研究では新たに歩行者に与える情報として歩行者用道路上におけるリアルタイムな混雑状況を提供することを試みる。歩行者用道路上における混雑状況というのは、歩行者が移動することによりリアルタイムに変化する情報である。また、

歩行者にとって混雑している道というのは自身の動きが別の歩行者の存在により制限されてしまい、歩みにくいと感じる道である。先を急ぐ人等にとっては人の混雑は大きな障害となる。このような道を避けてナビゲーションを行うことができればより快適な経路を歩行者に提供することができると考えられる。このように混雑情報は十分経路選択の一要因ともなりうる重要な情報である。

混雑状況の把握にはまず、実際の混雑状況がどのような形で歩行者に影響を与えるのかを歩行者に様々な混雑状況の中歩いてもらう実測実験により調べ、混雑状況を数値的に分析する。そしてその結果、どのような形で歩行者道路上の混雑情報を抵抗していくか、その手法に関しても提案する。

本稿では2章において関連研究を、3章でどのように混雑状況を調べるかの方法を、4章で実測実験の方法を、5章では実測実験における結果と考察、6章で混雑情報提供手法について述べていく。

2. 関連研究

携帯端末を用いた歩行者ナビゲーションにおいて、情報表示に用いられるのは現在は地図が主流である。地図には、広範囲における道の全体像や位置関係が明確にわかることのほか、どこにどのような建物があるかなどの存在も示すことができ、携帯端末のディスプレイのような限られた、解像度の低い画面でもはっきり見やすいといった利点がある。

現在は地図に加えてさらに、どこで曲がればいいのかなどを指示案内文として地図と共に表示したり [1]、音声で案内をするといったサービス [2] も存在する。

地図の問題点としては、実際に歩く歩行者にとって、地図で示されている道の全体像は実際には見えておらず、自身の地図上の位置の把握が難しいこと、地図では位置関係がわかっていても実際の建物の形状や近辺に何があるかなどの具体的な様子や風景の把握ができず、歩行者を混乱させる要因の一つとなっている。また、更新頻度が低いといった問題点も存在する。携帯端末の問題点としては、ディスプレイ上に表示できる範囲に目的地が存在しない場合、目的地の位置関係がわからなくなってしまうという点がある。このことに関してはディスプレイ表示範囲外の目的地の距離と位置をディスプレイ上に表示させる研究が存在する [3]。

このため、歩行者に与える情報として指示案内文の他に歩行者が間違い易い交差点等の風景画像を表示させ、歩行者の視点と同じ風景画像により歩行者の不安感を軽減し、それらのデータを頻繁に誰もが更新できるようなシステムの研究がある [6]。この研究の問題点としては、風景画像や指示案内文などのデータ作成に手間がかかることと更新頻度がデータ作成者に依存すること、そして「ゆるやかな坂」や「高い建物」などといった指示案内文での表現がデータ作成者の主観によるものが大きくなってしまふ。

これらの問題を打開するための研究として GPS (Global Positioning System) より得られる歩行履歴情報を用いた情報

抽出がある [4] [5]。GPS は正確で、リアルタイムな位置把握ができることその他、緯度・経度・標高・歩行速度などを歩行履歴情報として蓄積することができる。これらの研究では主に坂の勾配・歩行者の位置情報の検出・歩行者の移動手段の変化・歩みにくい場所等が検出可能であるとしている。歩行者の持つ携帯端末に搭載されている GPS を用いることを想定しているためデータ作成の手間を省き、歩行者が実際に歩いたことによる歩行履歴情報を用いることで、歩行者の目線に立った、そして情報作成側の主観にとらわれない情報が作成できる。

3. 混雑状況の把握方法

混雑しているといった状況の中で歩行者にどのような変化が現れるかを考えた場合、他の歩行者によって自身の歩幅を確保できず、結果、歩く速さに影響が出てくることが予想される。通常、歩行速度には速い人・遅い人があるように個人差があるが歩行者の密度が高くなればなるほどに個人で確保できるスペースに限りが出て、歩幅の大きい人・小さい人に関係なく確保できるスペースの分だけの歩幅でしか歩くことができなくなる。結果、歩行者間の差はなくなり、歩行速度には変化がなくなってしまうことが予想される。

混雑状況を情報として提供する場合、歩行者の移動速度とその時の混雑状況の具体的な数値での関係を知る必要があると考える。これにより、計算機上での処理がしやすくなり、後々ナビゲーションに応用することも容易になると考えられるからである。

このことをふまえ、混雑状況として、歩行者用道路上における歩行者の密度の大小とし、実際の道路上で歩行者に歩いて貰う実測実験により歩行者の速度情報を得て分析を行う。速度情報を得るのには、使うセンサとして、GPS を使用することを考える。歩行者よりその歩行情報を得るセンサとしてはジャイロセンサや磁気コンパスなど様々なものがあるが、現在携帯端末の高性能化が進む中、GPS が搭載された携帯端末が増加傾向にあり、現在歩行者の位置を正確に把握するためにこれを用いたサービスも展開されている。GPS 他センサに比べ、歩行者の誰もが持つことが可能な身近なものになりつつある。このため実際の混雑情報提供システムで歩行者からのデータを必要とする際、携帯電話の GPS を使用することが最も適しているといえる。

そして、その際の歩行者の密度を歩行者の数と道路面積を実測した後算出し、歩行速度と歩行者密度の関係をグラフ化することで数値的な関係を明確にし、歩行速度からその場所の歩行者密度を推定することを試みる。

4. 実測実験

4.1 歩行履歴情報の取得と分析

19 歳～50 歳の男女述べ 52 名に原宿の竹下通りと明治通り、日吉の銀杏並木を GPS を携帯して様々な混雑状況において歩いて貰った。

この時使用した GPS は GARMIN 社の eTrex Summit で

ある。

このGPSの位置情報の精度は水平方向が約10m、垂直方向が約15mとなっている。通信する衛星の数が3つで緯度・経度・時刻・距離・方位・歩行速度が、4つ以上でこれに加え標高・前のデータとの標高差などの情報が得られる。GPSには歩行履歴情報として、これらの他に衛星との通信間隔・その間に歩行者が進んだ距離が衛星との通信毎に蓄積される。衛星との通信間隔は状況の良い時で数秒ほどである。本研究で主に使用した歩行履歴情報は歩行者の速度情報である。

なお、現在携帯電話に搭載されているGPSは、歩行者の歩行の際の情報を蓄積することができず、主に一時的な場所を把握するに留まっているため、本実験では利用していない。近い将来さらに高性能のGPSが搭載されればGPS自体に歩行者の歩行情報を蓄積し、利用することが可能であると考えられる。

4.2 歩行者密度の算出

歩行者密度は歩行者の数を道路面積で割った値(人/m²)である。実際の歩行者密度を調べるためにそこに存在する歩行者の数とどのくらいの広さに歩行者が存在しているのかを調べる必要がある。歩行者の数は高所よりデジタルカメラを用いて撮影を行い、その範囲内に存在する歩行者の数を数えた。以下図1～図3に撮影した写真の一例を示す。



図1 撮影した写真例(竹下通り)

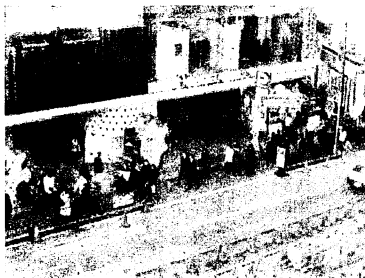


図2 撮影した写真例(明治通り)

カメラに写った範囲の道路面積は、ロードメジャーを用いて道路幅と道路長の測定を3回ずつ行い(図3)、その平均値を取って道路面積を算出した。計測した三箇所の道路幅・道路長を以下表に示す。



図3 撮影した写真例(日吉銀杏並木)



図4 実測風景

表1 道路幅の実測値

場所	道路幅 1(m)	道路幅 2(m)	道路幅 3(m)	平均 (m)
原宿明治通り	3.02	2.99	2.41	2.47
原宿竹下通り	4.4	4.36	4.42	4.39
日吉	3.68	3.67	3.64	3.66

表2 道路長の実測値

場所	道路長 1(m)	道路長 2(m)	道路長 3(m)	平均 (m)
原宿明治通り	19.71	19.92	19.73	19.79
原宿竹下通り	7.51	7.57	7.54	7.54
日吉	14.00	13.75	13.78	13.84

表3 道路面積の実測値

場所	平均道路幅 (m)	平均道路長 (m)	面積 (m ²)
原宿明治通り	2.72	19.79	53.86
原宿竹下通り	4.39	7.54	33.11
日吉	3.66	13.84	50.68

5. 結果と考察

前章の実験で得られたデータを用いてグラフを作成した。本章では結果を場所による変化を見るために3ヶ所での実験結果をまとめたグラフを、原宿の二ヶ所に関しては歩行者による変化を見るために場所ごとにグラフを分けた結果を示し、考察していく。

5.1 場所による変化

3箇所における実験結果をまとめて図5に示す。縦軸は歩行者の歩行速度 (km/h)、横軸は歩行者密度 (人/m²) である。

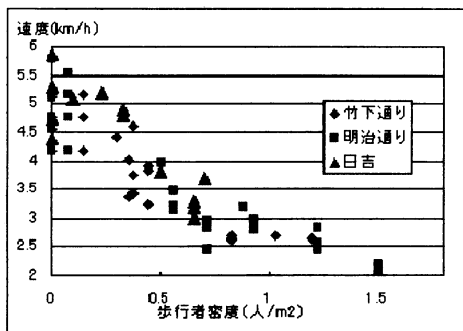


図5 場所による変化

まず、最高の歩行者密度の値であるが、日吉でおおよそ1m²あたり0.8人、竹下通りでおおよそ1.2人、明治通りでおおよそ1.5人である。このことから、登下校目的で人の集まる日吉と、買い物目的で人の集まる原宿で差があること、他、原宿の中でも大通り沿いの歩行者道路で道幅の狭い明治通りと商店街に近い、比較的広い歩行者用道路である竹下通りとでも差が出るのがわかる。また、歩行者用道路上での混雑が激しい場所は主に買い物目的で歩行者が集まる場所であると考えられるが、その際の歩行者密度は1m²あたり1人以上であるとなかなか歩くのが困難な状態であり、さらに多い時で歩行者密度は1.5人まで上がるのがわかる。混雑の状況は歩行者を集める要因・立地条件等が大きく関わってくるという。

歩行者の移動速度に関してであるが、ある歩行者密度の時に急激に下がるということはなく、歩行者密度が上がるとつれどの場所においても単調に減少している。場所による変化はあまりないと考えられる。

そして混雑時(歩行者密度1人/m²以上)の歩行者の速度であるが、おおよそ2km/h~2.8km/hの間に収束している。通常、周りに歩行する時の障害がない場合において歩行者の歩行速度は速い人で6km/h弱、遅い人で4km/h弱であることを見ると、歩行速度の速い人で通常の30%の速度にまで低下していることがわかる。

5.2 歩行者による変化

図6に竹下通りにおける結果のグラフを、図7に明治通りにおける結果のグラフを示す。また、得られた歩行速度から、同一の歩行者密度の場合の各歩行者間の速度の分散を調べ、図8に竹下通りと明治通りの2ヶ所における歩行者間の速度分散と歩行者密度との関係を示す。図6・7においては縦軸は歩行速度 (km/h)、横軸は歩行者密度 (人/m²)、図8においては縦軸に歩行速度分散、横軸に歩行者密度 (人/m²) となっている。

速度変化がおおよそ単調減少であることから、歩行者密度が0人/m²の際の歩行速度を歩行者自身の通常歩行速度と呼ぶこと

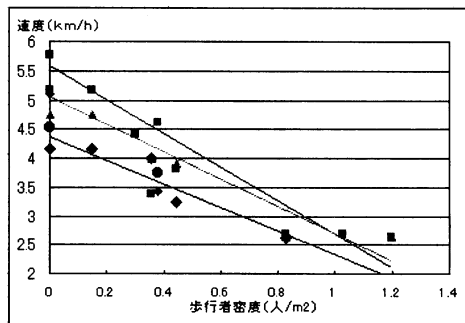


図6 竹下通りにおける結果

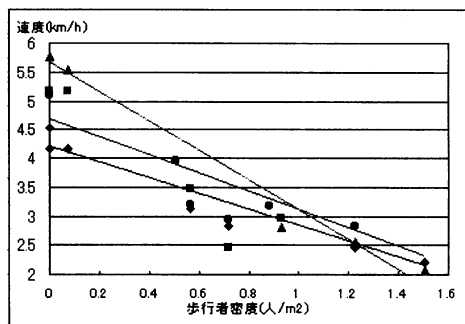


図7 明治通りにおける結果

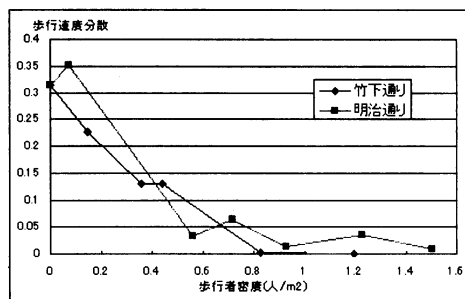


図8 歩行速度分散と歩行者密度との関係

とし、図5・図6ともにこれが最も速い歩行者・遅い歩行者・その中間の歩行者のデータに近似直線を付加し、歩行者間の差をわかりやすくしている。

まず、歩行者同士の速度差であるが、通常歩行速度においてかなりの差があったものの、歩行者密度が大きくなるにつれその差はなくなっていき、各グラフにおいて最も歩行者密度が高くなっている状態では歩行者間の差がほぼなくなっていることがわかる。図8を見ると、通常歩行速度の場合においては歩行速度の分散が0.3ほどになっているのに対し、歩行者密度1人/m²以上の混雑した場所ではほぼ0に近づいている。また、歩行者密度0.6人/m²~0.8人/m²でグラフの傾きが緩やかになっており、このあたりから歩行者による速度の差がほとんど目立たなくなっていくことがわかる。また、二ヶ所におけるグ

ラフの形はかなり類似している。

混雑した場所では他の歩行者によって、歩幅の大きい人・小さい人にかかわらず足を一步踏み出すスペースが限られてしまうため、一定の歩幅に制限されてしまう。混雑した状況では一定の速度で進む歩行者の集団ができてしまっているため、自身の通常歩行速度では歩くことができず、歩行者の集団の動きに沿って歩かねばならないので通常歩行速度の速い・遅いにかかわらずほぼ一定の速度に集約されてしまうということが以上の実験結果により裏付けされている。

さらに図5・図6において近似直線の傾きに注目すると、通常歩行速度が速い歩行者ほどその傾きは大きくなっている。この傾きは通常歩行速度と混雑時の歩行速度との差が大きいほど大きくなるものであり、これは混雑による影響をどの程度受けているかが表されている。当然、通常歩行速度の速い人は混雑による影響を大きく受けてしまうことになる。

6. 混雑情報提供手法

前章での結果を見ると、混雑時でこそ通常歩行速度の速い・遅いでの差は少なくなっていることがわかるが、歩行者密度1人/m²以下の部分では同じ歩行者密度においても、まだ歩行者間で歩行可能な速度に差があるといえる。

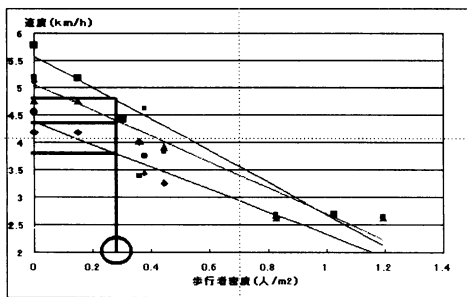


図9 同じ歩行者密度における歩行可能な速度差

図9にその例を示す。歩行者密度およそ0.3人/m²の場合で通常歩行速度の速い人・遅い人・普通の人を近似直線から大体の歩行速度を推定すると、通常歩行速度の速い人はおよそ4.8km/h、遅い人で3.8km/hと違いがあることがわかる。今回実験に参加して貰った被験者は年齢層が比較的若い被験者が多く、実際にはもっと通常歩行速度の遅い人、勿論速い人も存在する。そうなると、より速い人と遅い歩行者の差は大きくなると思われる。

本実験では、その場所を実際に歩いている歩行者の持つGPSから直接歩行速度の情報を得ることを前提としているが、実際にこれを用いて歩行者密度を推定する場合、歩行者の通常歩行速度が大きく関わってくることと共に、その場所の混雑状況を調べようとしている。情報受け手側の通常歩行速度とはほぼ同じ歩行者からのデータを利用することで、情報受け手側に合った情報を提供できると考えられる。つまり、同じ歩行者密度においても、提供する混雑情報は情報受け手側に応じて変える必

要があると考えられる。

6.1 混雑情報提供システムの提案

以上をふまえ、混雑情報提供システムを考える。まず想定環境として、ある場所の混雑状況を知るためにシステムの利用する側の人間をユーザ、ユーザが混雑状況を知りたいと思っている場所を現在歩行中の人達を歩行者と呼ぶこととする。

混雑情報を作成するには実際に道を歩いている歩行者から歩行履歴情報を得て、その速度とグラフの近似直線式を用い、歩行者密度を算出する。歩行履歴情報は歩行者用道路の交差点から交差点までの間で得ることを考える。交差点から交差点までの間としたのには、歩行者の流入出が主に他の道と道とが交差している部分、つまり交差点で発生するため交差点で歩行者の混雑具合に大きな変化が起こると考えられることにある。また、歩行者ナビゲーションを行う際にも、交差点でナビゲーションの指示を与えることで道に迷うことが少なくなると考えられる。交差点毎の処理としてナビゲーションでの指示と歩行履歴情報の収集を一本化することができると考えられる。

また、ユーザインタフェースでは、自身の通常歩行速度を細かい数値で把握しているユーザは少ないと考え、ユーザ自身の速度情報として速い・普通・遅いの3パターンで入力して貰うことを考えた。これによりユーザとほぼ同じ通常歩行速度の属性を持つ歩行者の歩行履歴情報を利用し、よりユーザに合った情報を提供できるようになると考えられる。

また、提供する情報にはユーザのわかりやすさを考え、その程度混雑しているかの画像と程度を表す注釈文で表現することとする。注釈文は今回実験で観測された最高時の歩行者密度が1.5人/m²であることから0.5人までは軽度、1.0人までは中度、1.5人までは重度と3段階に分けて注釈文を表示させることとした。

6.2 実装

以上のシステムの実装には、今回、近似直線式が実測で出ている原宿竹下通りと明治通りの2ヶ所を対象とした。今回使用したGPSは、歩行履歴情報を無線通信により他所に送ることができないため予め歩行履歴情報を与え、計算することとしている。実装言語はJava(JDK1.4.1)を用いた。図10にユーザインタフェース、図11に結果表示画面を示す。

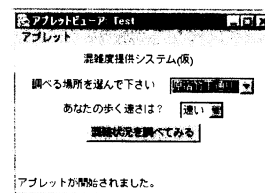


図10 ユーザインタフェース

ユーザインタフェース画面では場所を選ぶメニューと通常歩行速度の選択ができるようになっている。ユーザがこれらを選択し、混雑状況を調べてみる、のボタンを押すことにより調べ

たい場所を歩く歩行者からユーザと同じ通常歩行速度の属性の情報を選択し、歩行履歴情報の速度情報より近似直線式を用いて大体の歩行者密度を算出する。



図 11 結果表示画面

結果表示画面では、現在時刻とユーザの入力情報の他、歩行者密度に応じた風景画像と注釈文を表示させている。どの程度混雑しているかの判断は歩行者密度の数値で表すよりもそれと同じ歩行者密度の風景画像を表示させることでより視覚的にわかりやすく見せることができると考えられる。

7. まとめ

本研究では、近い将来歩行者が所持する携帯電話を始めとした携帯端末に GPS が搭載されたタイプが主流になると考え、GPS により歩行者が移動するだけで収集される歩行履歴情報を用い、混雑状況というリアルタイムに変化する情報を得て、それを混雑情報を知りたいと思うユーザ側に提供する方法を提案した。

GPS を歩行者に携帯して歩いて貰い、混雑により影響を受けると思われる歩行者の歩行速度と実際の歩行者密度との関係を調べるための実測実験により、

- 各場所の最高時の歩行者密度は各場所の歩行者を集める要因・立地条件により異なる
- 歩行速度の減少の仕方は単調減少であり、各場所で大きな変化はない
- 混雑時の歩行速度はおよそ 2km/h ほどに各歩行者とも集約する
- 同じ歩行者密度においても歩行者により歩行可能速度は異なる
- 通常歩行速度の速い歩行者ほど近似直線の傾きは大きくなり、混雑の影響を大きく受ける

といった知見が得られた。そして混雑によって歩行者がどのような影響を受けるのか、歩行速度と歩行者密度との関係を数値的に明確にすることができた。また、近似直線を使用することで、少ない歩行履歴情報しか得られなかったとしてもその速度から容易に歩行者密度が推定できるようになったと考えら

れる。

また、実験結果から同じ歩行者密度でも、歩行者の通常歩行速度によって歩行可能な速度が違うため、これを踏まえてユーザの通常歩行速度に応じた混雑状況を情報として提供することで、ユーザ側に応じた混雑情報が提供できるようになった。

歩行速度に応じた歩行者密度が数値で算出できるようになったことから、これを応用させることにより、混雑情報とナビゲーションとを融合させ、検索された複数の経路候補の中から算出された歩行者密度の数値が総合的に低い経路を選択するといったナビゲーションが可能であると考えられる。このことからユーザに取って、歩きやすい経路を選択し、提供することができるようになると考えられる。

文 献

- [1] 駅前探検倶楽部おでかけ道案内 <http://www8.ekitan.com/rmap/Find.jsp?ar=4>
- [2] EZ ナビウォーク http://www.au.kddi.com/ezweb/au_dakara/ez_naviwalk/index.html
- [3] Patric Baudisch, Ruth Rosenholtz. Halo: a Technique for visualizing Off-Screen Locations. ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2003); 2003 April 5-10: Fort Lauderdale, FL NY: ACM; 2003; 481-488
- [4] 白川 洋, 歌川 由香, 福井 良太郎, 重野 寛, 岡田 謙一: 歩行者ナビゲーションのための歩行履歴情報の分析手法, 情報処理学会研究報告, 03-MBL-25, pp.69-76, 2003
- [5] 菊地 聡敏, 八木 啓介, 屋代 智之: PROBER, 歩行者版プローブ情報システムの提案, 情報処理学会研究報告, 03-ITS-13, pp.47-54, 2003
- [6] 白川 洋, 歌川 由香, 福井 良太郎, 重野 寛, 岡田 謙一, 松下 温: 無線情報端末を利用した歩行者ナビゲーションシステムの提案, 情報処理学会第 46 回グループウェアとネットワークサービス研究会 (GN), pp.71-76, 2003