

歩行者経路選択行動モデルを用いた経路案内の有効性の検証*

Verification of Effectiveness of Route Guidance based on Pedestrian Route Choice Model*

塚口博司^{**}, 竹上直也^{***}, 永田斉也^{****}, 吉田育央^{*****}

By Hiroshi TSUKAGUCHI^{**}, Naoya TAKEGAMI^{***}, Toshiya Nagata^{****} and Ikuro YOSHIDA^{*****}

1. はじめに

安全で快適な歩行者空間を確保するための方策として、歩行者に目的地までの経路を的確に案内する経路案内システムは重要である。歩行者に経路を案内する場合、できるだけ距離が短い経路を案内するのが一般的であろうが、歩行者は常に最短経路を選ぶとは限らず、代替となる経路の中から適切なものを選択している。

歩行者の経路選択行動に関しては多くの研究蓄積があり、Garbrecht^{1),2)}, 紙野・舟橋³⁾, 竹内^{4),5)}, 舟橋・大塚⁶⁾, 毛利・塚口⁷⁾, 高辻・深海⁸⁾, 西⁹⁾, 舟橋¹⁰⁾, 吉永¹¹⁾, 塚口・松田¹²⁾, Tsukaguchi・Vandebona・Matsuda¹³⁾, 塚口・松田・竹上¹⁴⁾, 塚口・竹上・松田¹⁵⁾, 竹上・塚口¹⁶⁾の研究等が挙げられる。これらを概観すると、経路全体を選択対象としているもの^{4), 5), 8), 9), 11)}と、各交差点における選択行動に注目しているもの^{1), 2), 3), 6), 7), 10), 12), 13), 14), 15), 16)}に区別することができる。これらの研究は塚口・松田¹²⁾および竹上・塚口¹⁶⁾において整理されている。

さて、歩行者の移動を支援する歩行者ITSは、移動制約者を対象としたものが中心となっているが¹⁷⁾、地理不案内な健常者を含めて対象を広げた経路案内システムに関しても実験が繰り返され¹⁸⁾⁻²⁰⁾、システムとしては実用化の段階に達している。しかしながら、提供する情報内容に関しては改善の余地があると考えられる。たとえば、歩行者への経路案内システムは、一般には最短性を重視した経路情報を提供する傾向にあるが、歩行者に提供されるべき情報は、歩行者の経路選択特性を十分に反映したものであることが望ましい。

竹上・塚口¹⁶⁾によって提案された経路選択モデルは、20 地区における歩行者の経路選択行動分析に基づいたものであり、一つのモデルを多様な街路網に対して適用可能であるから、従来、地域移転性が低かった歩行者の経路選択行動モデルの一般性をかなり高めたものとなっていると言えよう。このため、このモデルは歩行者の経路案内に適用できる可能性を有している。しかし、その有効性を示すためには、実際の歩行場面において当該モデルに基づく情報を歩行者に与え、これを歩行者が有用な情報と受け止めるか否かを確かめることが必要であろう。

本研究は、上記の歩行者経路選択行動モデルによって提供される経路情報が歩行者の経路選択において有効であることを検証することを目的とする。

2. 歩行者経路選択行動モデル¹⁶⁾

歩行者の経路選択行動に影響する主な要因としては、経路長、歩行環境、歩行者の空間的定位置、および歩行者属性がある。ここで歩行者の空間的定位置とは、歩行者が自身の置かれている空間的な位置を認識して行動するという特性であり、どのような街路網においても共通して歩行者の経路選択行動に影響を及ぼしている要因である。ここでは、空間的定位置に基づく竹上・塚口モデルの概略を示す。

空間的定位置は目的地指向性と方向保持性を表す指標によって表現され、それぞれ目的地方向角度(図1の α 、 β)、進入方向角度(図1の γ 、 δ)を測定することによって定量化できる。これらの角度は小さいほど目的地指向性、方向保持性が強いと言える。これらの角度を経路Ⅰと経路Ⅱでそれぞれ2つずつ、つまり1箇所の経路選択機会ノードにつき計4つの角度を測定する。ここで、測定対象とする経路選択ノードは、実態調査結果に基づいて、迂回率{(実経路距離/最短経路距離) - 1.0}が0.2以内となるものに限定している。

京阪神都市圏の20地区において上記2変数を用いてモデル構築を試みたところ、15地区において良好な地区別の経路選択行動モデルが構築された。そこで、この

*キーワード：経路選択行動、歩行者交通、歩行者ITS

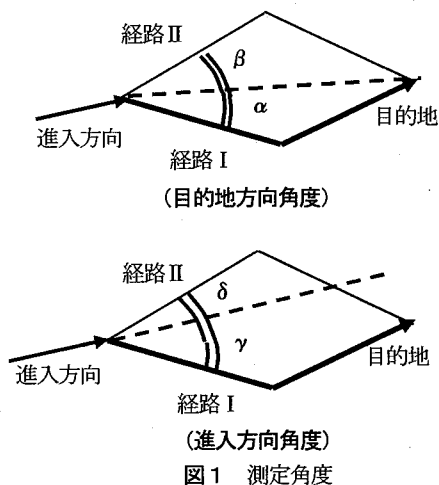
**フェロー会員、工博、立命館大学理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

TEL:077-561-2735 E-mail:tsukaguc@se.ritsume.ac.jp

***正会員、工修、文部科学省科学技術・学術政策局基盤政策課

****学生会員、立命館大学大学院理工学研究科創造理工学専攻

*****学生会員、東京工業大学大学院総合理工学研究科人間環境システム専攻



15地区のデータを統合し、街路網形態によらず適用可能である、汎用性の高い歩行者経路選択行動モデルが構築された¹⁶⁾。この経路選択モデルは二肢選択ロジットモデルであり、選択肢は経路Ⅰと経路Ⅱである。各経路の選択確率は以下の式より算出できる。なお、各角度の定義ならびに測定方法は拙稿¹⁵⁾に詳述されている。

$$(\text{経路Ⅰの選択確率}) = \exp(V_1) / \{\exp(V_1) + \exp(V_2)\}$$

$$(\text{経路Ⅱの選択確率}) = \exp(V_2) / \{\exp(V_1) + \exp(V_2)\}$$

なお、式中の効用関数 V_i は次式で表される。

$$V_i = \sum_{j=1}^2 \omega_j Z_{ji} \quad (i=1, 2)$$

ここで、 Z_{1j} は目的地方向角度(°)、 Z_{2j} は進入方向角度(°)、 ω_j はそれぞれのパラメータである。パラメータの推定結果、t値、尤度比および的中率は表1に示す通りである。

表1 パラメータ推定結果

目的地方向角度のパラメータ ω_1 (t値)	-1.5304×10^{-2} (-19.4*)
進入方向角度のパラメータ ω_2 (t値)	-9.5872×10^{-3} (-24.7*)
尤度比	0.1661
的中率	70.0 =3461/4945

*: 1%有意

3. 検証実験

(1) 対象地区と経路の設定

実験対象地区は街路網形態の異なる2地区とし、不整形街路網地区の例として十三地区(大阪市淀川区、阪急十三駅東側)、格子状街路網地区の例として四条烏丸地区(京都市中京区、御池通～四条通)を取り上げた。評

価対象とする経路は予め設定した起点と終点を結ぶ4経路とした。各経路は以下のような特徴を有している。

経路1: 起点から終点に至る経路上のすべての交差点において、上記のモデルから得られる選択確率が0.5を超える方向に案内するもの

経路2: 起点から終点に至る最短経路

経路3: 起点と終点を入れ替えて経路1と同様に設定した経路(歩行者は当初の起点から終点に向かって移動する)

経路4: 起点から終点まで各交差点において歩行者が選択モデルによる確率選択を逐次的に繰り返した場合、最も歩行者通行量が多くなると推定される経路

十三地区と四条烏丸地区における4経路を図2に示す。なお、十三地区における起点はショッピングセンター・ブルーム、終点は阪急十三駅であり、四条烏丸地区の起点はサンマルクカフェ、終点は地下鉄烏丸御池駅である。

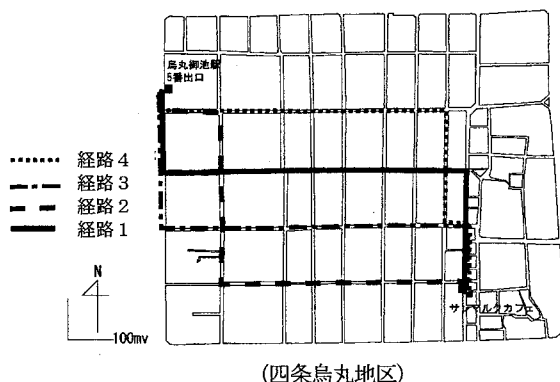
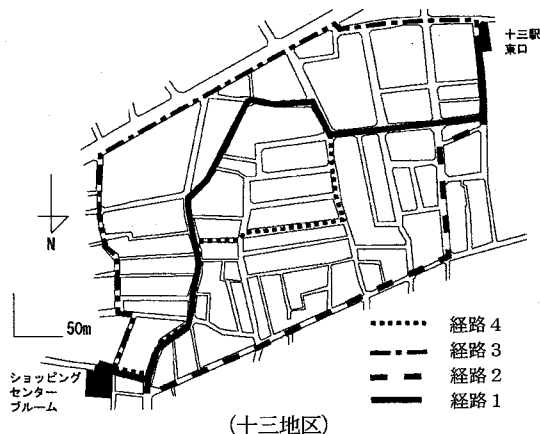
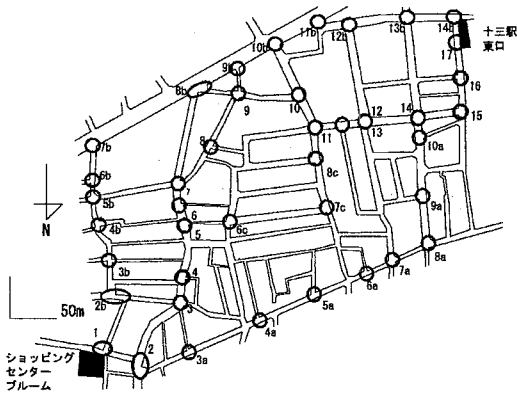


図2 対象経路

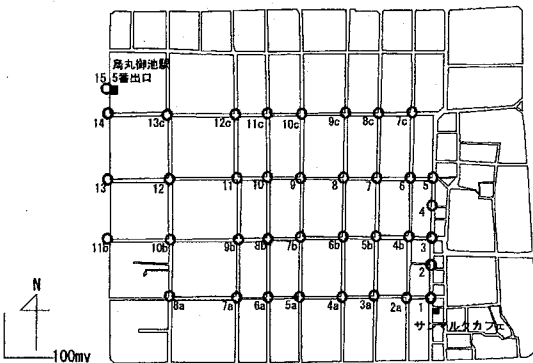
(2) 実験方法

歩行者経路選択行動モデルを用いて作成した経路を23名の被験者が歩行し、評価する実験を行った。本調査

は地区に不案内な歩行者が歩行者ITSによるサービスを使用する状況を想定しているため、当該地区の訪問経験が少ない人を被験者とし、経路の出発地点までバスで移動させることにより（バスルートと歩行経路には重複区間がない）、被験者が調査地区や歩行経路に関する情報を極力把握していない状態で実施した。被験者は立命館大学の学生である。経路案内は、図3に示す地点において、携帯端末の画面上に表示される地図画像を用いて行った。なお、被験者には、各経路の特徴を知らせてはいない。



(十三地区)



(四條烏丸地区)

図3 案内情報を提供した地点

(3) 携帯端末を用いた実験システム

本研究では、次のような実験システムを構築した。

本実験システムは携帯電話端末10機とこれを制御する管理サーバーから構成されている。実験の企画段階において、図3の各交差点において提供する地図画像を作成する。ここでは、十三地区における例（地点1～地点9）を図4に示す。

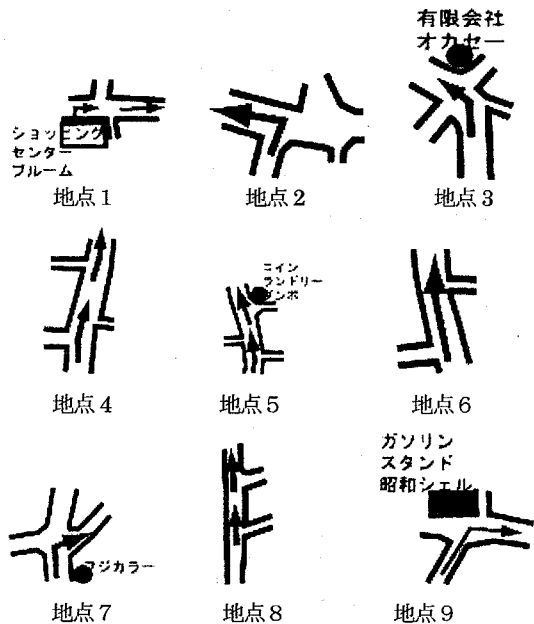


図4 各交差点で提供する経路情報例

1 回の実験に参加可能な被験者は 10 名であるが、被験者は調査地区に出向き、携帯電話端末からログインする。調査責任者は、研究室に設置された管理サーバーから指示を送る（予め作成されたシナリオに基づいて自動的に）。被験者は交差点で上記の案内情報を得て、それに従って次の交差点まで進み、そこで決定ボタンを押すと次の地図画像が提示される。これを繰り返して、終点に至る。被験者は、各交差点では案内された方向に進むことに対する「違和感の有無」、「歩行環境評価」等を発信し、さらに終点に到着した後に、「地図のわかりやすさ」等に対する設問に回答する。なお、管理サーバーで被験者の状況を把握する調査責任者は 1 人で 10 名の被験者を管理できることを予備実験によって確認したが、不測の事態に備えて 2 人で管理した。

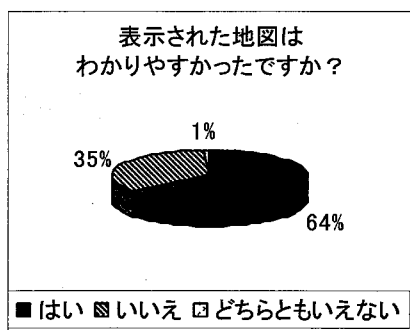
4. 選択行動モデルに基づく経路案内の有用性の検証

(1) 地図のわかりやすさ

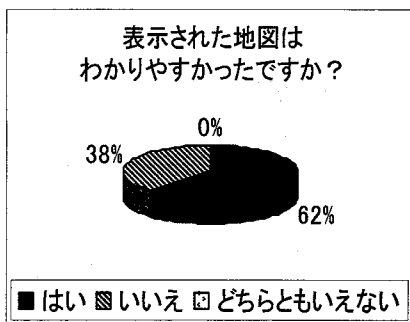
被験者が終点に到着した時点で、「地図のわかりやすさ」について答えさせた。この結果を図5に示す。両地区とも 60%を超える被験者が地図はわかりやすかったと回答しているが、わかりにくいという被験者も少なくない。本実験では、交差点ごとの評価を得るために、あえて局地的な地図画像を提示したので全体が把握しにくかったからではないと思われる。

(2) 進行方向に対する違和感

本研究では起点を出発する際に目的地のおおよその方



(十三地区)



(四条烏丸地区)

図5 地図のわかりやすさ

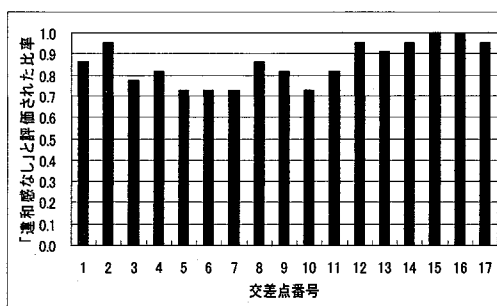
向を知らせている。被験者はそれに基づいて判断し、進行方向に違和感を感じるか否かを交差点ごとに回答した。

交差点ごとに指示した進行経路に違和感を持つ比率を求め、図5および図6に示す。なお、図中の交差点番号は図3と対応している。

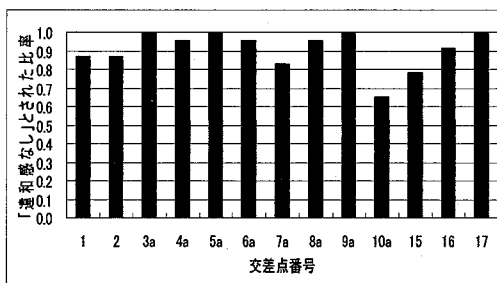
十三地区においては、経路1上の各交差点における「違和感なし」の比率はいずれも0.7以上となっており、最短経路である経路2、起点と終点を逆転させた経路3、歩行者の通行が最も多いと推定される経路4よりも高くなっている。もともと、図2に示すように、十三地区では、経路1がやや不規則な屈曲をしているのに対し、経路2は比較的単純な線形となっているので、その差はあまり大きくない。

ここで、各経路の分岐点における評価を見てみたい。経路1と経路2～4の分岐点はそれぞれ地点2、地点1、地点5である。それぞれの地点における各経路の選択確率と「違和感なし」の比率の関係を表2に示す。表2より、いずれも選択確率が高い経路に案内する方の違和感が少ないことがわかる。

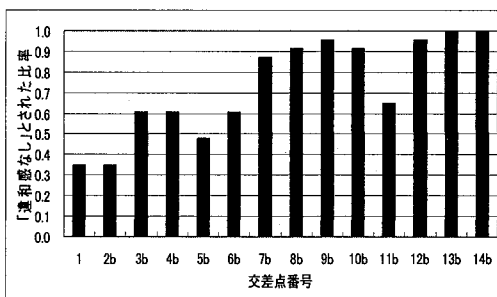
次に、四条烏丸の評価結果を見てみる。図6に示すように、この場合も経路1上の交差点において「違和感なし」の比率が高いことがわかる。分岐点における評価を比較してみる。経路1と経路2の分岐点は地点1、経路1と経路3および3の分岐点は交差点3である。表3



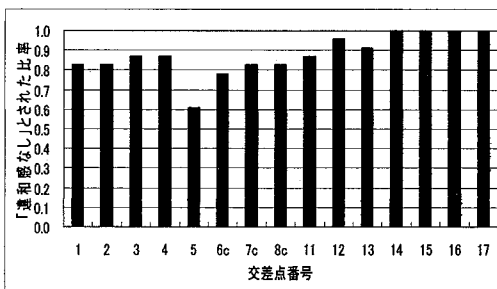
経路1に対する評価



経路2に対する評価



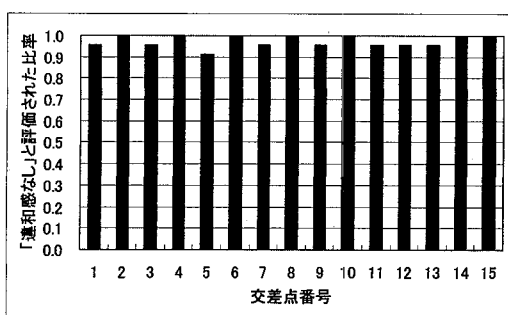
経路3に対する評価



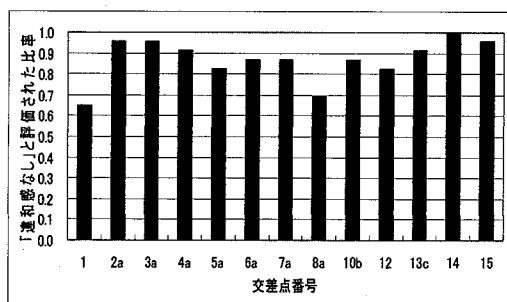
経路4に対する評価

図5 十三地区における交差点別評価結果

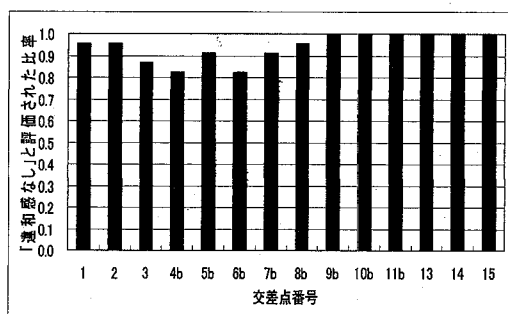
に示すように、選択確率が大い方向に案内する場合には相対的に違和感が少ないことがわかる。



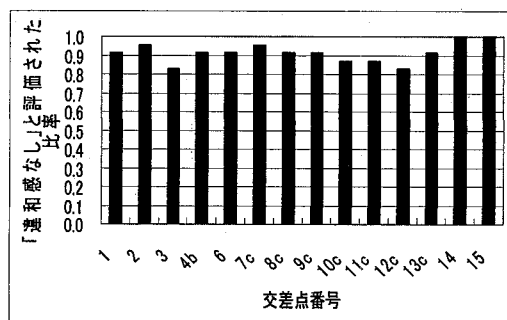
経路1に対する評価



経路2に対する評価



経路3に対する評価



経路4に対する評価

図6 四条烏丸地区における交差点別評価結果

表2 「違和感なし」の比率と選択確率（十三地区）

		「違和感なし」の比率	選択確率
交差点2	経路1	0.955	0.87
	経路2	0.870	0.13
交差点1	経路1	0.863	0.58
	経路3	0.348	0.42
交差点5	経路1	0.727	0.58
	経路4	0.609	0.42

表3 「違和感なし」の比率と選択率（四条烏丸地区）

		「違和感なし」の比率	選択確率
交差点1	経路1	0.957	0.61
	経路2	0.652	0.39
交差点3	経路1	0.957	0.54
	経路3	0.870	0.46

表4 各経路の歩行環境評価

		交通安全	歩行空間の広さ	総合的歩きやすさ
十三地区	経路1	2.3	2.0	2.0
	経路2	3.1	2.3	2.4
	経路3	3.2	2.6	2.7
	経路4	2.5	2.0	2.0
四条烏丸地区	経路1	2.3	2.3	2.2
	経路2	2.5	1.8	1.9
	経路3	2.3	2.2	2.1
	経路4	2.2	2.4	2.1

(3) 経路のその他の特性

本研究で用いた経路選択行動モデルには、歩行環境要因等が含まれていない。歩行環境要因等は地区の状況に応じて変化するから、一般性の高い経路選択モデルの構築においては対象としなかったからである。

表4には各経路の歩行環境表価値が示されている。この値は各リンクに対して被験者が5段階で評価した結果に基づいて0～4の整数を与え、これを平均したものである。この値が大きければ評価が高いことを表している。

経路1は起点から終点に至る経路上のすべての交差点において、2章で述べた歩行者経路選択モデルから得られる選択確率が0.5を超える方向に案内するものであるが、表4より、本経路の歩行環境は、十三地区では必ずしも良好でなかったことがわかる。また、四条烏丸地区では各経路の歩行環境にほとんど差がないと判断されている。本研究では、目的地指向性ならびに方向保持性で現された経路選択行動モデルの有用性を検証するために歩行環境等は考慮せずに評価実験を行ったが、実際の経路案内に当たっては、歩行者の求めに応じて、歩行環境等の情報も考慮したものとすべきである。

5. まとめ

本研究では、筆者らが先に提案した歩行者経路選択行動モデルによって得られた経路情報が、歩行者ITSにおいて有効な情報と成り得るかについて検討するために検証実験を行った。この実験では、携帯電話端末によって経路案内を提供し、歩行者が常に上記の経路選択行動モデルに基づいて行動する場合と、必ずしもそうでない場合とにおける意識を比較した。この結果、上記のモデルに基づいて案内される経路は、歩行者に支持される可能性が高いことが明らかとなった。

以上より、筆者らが提案している経路選択行動モデルに基づいて作成された経路情報を歩行者に提供することは有効であり、この経路は「推奨経路」と呼ぶことができると考えられる。すなわち、歩行者ITSの経路案内サービスにこのモデルを活用できる可能性があると考えられる。

しかしながら、本モデルは多くの地区において適用できるように地区固有の特性を敢えて考慮していない。したがって、実際の経路案内情報提供に当たっては、本モデルによって抽出される経路をベースとし、これに歩行環境、あるいは施設配置等の状況を加味して、経路案内を行うことが望ましい。

参考文献

- 1) Garbrecht, D. : Frequency distributions of pedestrian in a rectangular grid, *Journal of Transport Economics and Policy*, IV(1), 66-88, 1970.
- 2) Garbrecht, D. : Pedestrian paths through a uniform environment, *Town Planning Review*, 42(1), 71-84, 1971.
- 3) 紙野桂人, 舟橋國男 : 群集行動にみられる空間的定位の傾向について, 日本建築学会論文報告集, 217, 45-51, 1974.
- 4) 竹内伝史 : 歩行者の経路選択性向に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演梗概集第4部, IV-96, 173-174, 1976.
- 5) 竹内伝史 : 歩行者の経路選択性向に関する研究, 土木学会論文報告集, No259, 91-101, 1977.3.
- 6) 舟橋國男, 大塚裕弘 : 格子状街路網地区における経路選択に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 599-600, 1977.
- 7) 毛利正光, 塚口博司 : 歩行者の経路選択特性について, 土木学会関西支部年次学術講演会講演梗概集, IV28, 1979.
- 8) 高辻秀興, 深海隆恒 : 住宅地における歩行者の経路選択行動についての分析, 日本都市計画学会学術研究発表会論文集, No.18, 199-204, 1983.
- 9) 西淳二 : AHPモデルによる歩行者の経路選択に関する研究, 交通工学, Vol.26, No.3, 43-50, 1991.
- 10) 舟橋國男 : 格子状街路網地区における経路の選択ならびに探索に関する調査実験, 日本建築学会計画系論文報告集, 428, 85-92, 1991.
- 11) 吉永誠, 竹田欣弘, 松永千晶, 廣国権, 角知憲 : 路上条件を考慮した歩行者の経路選択モデルに関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.18, No.3, 463-469, 2001.
- 12) 塚口博司, 松田浩一郎 : 歩行者の経路選択行動分析, 土木学会論文集, No.709/IV-56, 117-126, 2002.7.
- 13) Tsukaguchi, H., Vandebona, U. and Matsuda, K. : Modelling of Pedestrian Route Choice Behaviour for Development of Information System Architecture, Selected Proceedings of the 9th WCTR, CD-ROM, 2003.
- 14) 塚口博司, 松田浩一郎, 竹上直也 : 歩行環境評価および空間的定位置を考慮した歩行者の経路選択行動分析, 土木計画学研究・論文集, Vol. 20, 515-522, 2003.
- 15) 塚口博司, 竹上直也, 松田浩一郎 : 不整形街路網地区における歩行者の経路選択行動に関する研究, 土木学会論文集, No. 779/IV-66, 45-52, 2005.1.
- 16) 竹上直也, 塚口博司 : 空間的定位置に基づいた歩行者の経路選択行動モデルの構築, 土木学会論文集D, Vol.62, No.1, 64-73, 2006.
- 17) たとえば, 野田宏治・小倉俊臣・松本幸正・栗本謙 : 視覚障害者・高齢者の歩行案内情報提供に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 27, CD-ROM, 2003.
- 18) 九州地方整備局による歩行者ITS実験 (北九州市) <http://www.jice.or.jp/itschiiki-j/benefits2002/html/11-39.html>
- 19) 近畿地方整備局および大阪市による歩行者ITS実験 (大阪市梅田地区) <http://www.jice.or.jp/itschiiki-j/benefits2002/html/11-38.html>
- 20) 近畿地方整備局および大阪市による歩行者ITS実験 (御堂筋周辺における歩行者向けITS実証実験) <http://www.osakacity.or.jp/its/top.html>

歩行者経路選択行動モデルを用いた経路案内の有効性の検証*

塚口博司^{**}, 竹上直也^{***}, 永田斉也^{****}, 吉田育央^{*****}

本研究は、筆者らが先に開発した歩行者の経路選択行動を空間的定位、すなわち目的地指向性と方向保持性によって説明するモデルを対象とし、このモデルから得られる情報が歩行者の経路案内に有用であるか否かを検証することを目的としている。携帯電話端末から情報を提供する実験を実施したところ、上記の情報が歩行者にとって有用であることが確認できた。

Verification of Effectiveness of Route Guidance based on Pedestrian Route Choice Model*

By Hiroshi TSUKAGUCHI^{**}, Naoya TAKEGAMI^{***}, Toshiya Nagata^{****} and Ikuo YOSHIDA^{*****}

The authors have developed a pedestrian route choice model based on pedestrian's characteristics that they have a behavioral propensity to select the straight through path and they prefer to minimize the geometric angle between the straight path and the imaginary vector that connects the present location and destination. The purpose of this study is to examine the effectiveness of this model for a route guidance system for pedestrians. Based on an experiment using a mobile phone, this study clarifies the usefulness of the model in a pedestrian route guidance system.
