

## Analysis on Pedestrian Route Choice Behavior and its Application to the Pedestrian Planning in Underground Shopping Streets

塚口博司\*\*、大橋祐貴\*\*\*

Hiroshi Tsukaguchi\*\* and Yuki Ohashi\*\*\*

### 1. はじめに

日本の大都市は、都心部の交通ターミナルに大規模な地下街を有していることが多い。これらの地下街は商店街を形成しているだけでなく、隣接する駅間あるいは駅とターミナル地区に立地する主要施設との連絡通路としての機能も有している。これらの通路を利用する歩行者は、彼らの現在位置と目的地との関係を考えて最も効率的な経路を選択していると考えられる。

一般に、小さなネットワークであっても起点と終点間には代替可能なくつかの経路が存在する。もっとも、このような経路が数多く存在するが、歩行者が選択対象とするのは、最短経路とそれに近いいくつかの経路である。どのような経路が歩行者によって選択される傾向にあるかを知ることが、街路を安全にそして快適にするために非常に重要である。

歩行者の経路選択行動に関して多くの研究が行われてきたが、その多くでは街路環境に焦点を当ててモデル化されていた。このようなアプローチによって構築されたモデルは、結果として他地域への適用性が低いものであったと思われる。そこで筆者らは、各交差点における右左折確率に焦点を当てた新たな方法を採用することにした。なお、この方法は、Garbrecht (1970, 1971)が採用した方法と類似している。

地上の街路網における詳細な実測調査に基づいて、筆者らはすでに多様な街路網に適用可能な歩行者経路選択行動モデルを開発している(塚口ら(2003)、竹上、塚口(2006))。同一の考え方に基づいて、本研究は地下街における歩行者の経路選択行動を分析しようとするものである。本研究は、歩行者の経路選択行動の根元的なメカニズムを分析し、これによって地下街の計画に適用可能な経路選択モデルを提案することを目的とする。

本研究は以下の段階から構成されている。まず、歩行者の経路選択行動データを取得するために、大規模地下街で実測調査を実施した。ここでは調査員による追跡によってデータを取得した。次に、歩行者の経路選択行動と歩行者行動に関連する2種類の

基本的な角度との関係を分析し、経路選択モデルを構築した。最後に、この経路選択モデルの地下街計画への応用について論じた。

### 2. 歩行者経路選択行動モデル化の基本的考え方

経路長、街路幅員、自動車交通量、歩道利用の可否、ならびに沿道のアメニティ等はすべて歩行者の経路選択行動に影響を与えており、これらの変数は歩行者の経路選択行動モデルの開発に用いられてきた(竹内(1977)、高辻、深海(1983))。しかしながら、一般に、これらの経路選択モデルは他地区への移転性に欠けていた。これは、既往モデルの多くが歩行環境に関する要因の影響を重視しすぎたからであろうと思われる。

本研究は、歩行者が経路上の分岐点においてほぼ等距離の経路が存在するならば、直進経路を選択する傾向、すなわち物理学における慣性のような行動特性を有しているとの仮説を設定した。また本研究は、歩行者は現在地点と目的地を結ぶベクトルと進行方向との角度を最小にするという経路を好むという傾向を有しているとの仮説を設定した。さらに具体的に示すと以下のようなものである。

- 1) 方向保持性の強い経路を選択する: 歩行者は分岐点において、ほぼ経路長が等しい経路が複数存在する場合、格子状街路網においては直進歩行、あるいは非格子状街路網においては直進に近い方向を選択する。
- 2) 目的地指向性の強い経路を選択する: 歩行者は現在地点と目的地を結ぶベクトルと進行方向とが成す挟角をおおむね知っており、この挟角を最小にする経路を選択する。

たとえば、図1に示すように、地点Dを目的地とする歩行者が地点Oに近づいているとする。地点Oは起点あるいは経路上の仮の起点である。仮説1)に関係する角度 $\alpha$ 、 $\beta$ を進入方向角度と呼び、仮説2)に関係する角度 $\gamma$ 、 $\delta$ を目的地方向角度と呼ぶ。本研究は、もし $\alpha$ が $\beta$ よりも小さければ歩行者は経路1を選択する確率が高いと仮定する。逆に、 $\alpha$ に $\beta$ よりも大きければ経路2が選択される確率が高いと仮定する。さらに、 $\gamma$ が $\delta$ よりも小さければ経路1が選択される確率が高く、 $\gamma$ よりも $\delta$ が大きければ経路2が選択される確率が高いと仮定する。

格子状街路網においては同一ODに数多くの最短経路が存在する場合がある。これらの経路はすべて選択される可能性があるから、歩行者の経路選択行

\*Key words: 歩行者経路選択行動, 地下街, 歩行者計画

\*\*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、FAX:077-561-2667)

\*\*\*正会員、修士(工学)、パシフィックコンサルタンツ(株)社会政策部道路計画課(東京都新宿区西新宿2-7-1)

動を分析する場合にはこれらの経路をすべて検討対象とする。非格子状街路網の場合には、選択可能性のある経路を最初の段階で予め抽出しておく。実測調査結果は最短経路の1.3倍以上の経路はほとんど使用されないことを明確に示している。そこで、本研究は最短経路の1.3倍以内の経路を分析対象とした。

筆者らは歩行者の経路選択行動に対する歩行環境の影響を認識しているが、本研究は先に述べた特性に焦点を当て、この特性だけで歩行者の経路選択行動が説明できるかを検討するという立場を取っている。

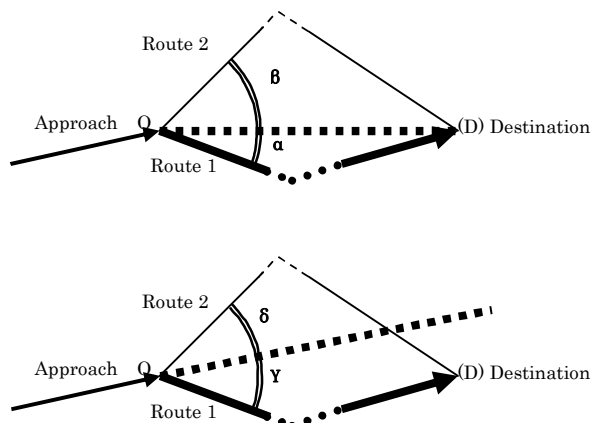


図1 交差点における歩行者行動を表す角度の関係

### 3. 実測調査

大阪と東京の都心部に位置する2つの地下街を研究対象として選んだ。これらの地下街のネットワークを図2に示す。これらの地下街は独立した複数の地下街から構成されているが、簡単のため、それぞれ「梅田地下街」および「八重洲地下街」と呼ぶことにする。梅田地下街は格子状と非格子状を含んだ複雑なネットワークから形成されているが、八重洲地下街はほぼ格子状の街路網から形成されている。

歩行者の経路選択行動を観測するために、調査員による追跡調査手法によって実測調査を実施した。当該地区における追跡調査は2004年と2006年に実施された。この調査は数名の調査員によって実施され、調査員は上記のネットワークにおいて歩行者を起点から終点まで追跡した。なお、起点には仮の起点も含まれている。梅田地区では588名の歩行者のデータが得られ、八重洲地区では462名の歩行者のデータが得られた。先に述べた仮説を検証するために、実測調査結果を用いて、各交差点（分岐点）において図1に示した角度を測定した。

先述のように、筆者らはすでに京阪神地域の地上の街路網を対象として歩行者の経路選択行動モデルを開発している。本研究で使用した調査手法は地上の街路網を対象とした場合の手法と完全に同一である。

### 4. 歩行者の経路選択行動のモデル化

各歩行者の起終点間に位置するすべての交差点（分岐点）において、図1に示した角度を測定し、これに基づいて非集計経路選択モデルを構築した。式(1)に示すように、2項ロジットモデルの効用関数の説明変数は仮説で述べた挟角である。

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

ここで、 $X_{11}=\alpha$ 、 $X_{12}=\beta$ 、 $X_{21}=\gamma$ 、 $X_{22}=\delta$ である。経路1と経路2の選択率は以下の通りである。

$$P_1 = \frac{e^{V_1}}{e^{V_1} + e^{V_2}} \quad (2)$$

$$P_2 = \frac{e^{V_2}}{e^{V_1} + e^{V_2}} \quad (3)$$

本研究において推定されたパラメータ $\omega_j$ は表1に示されている。t値、尤度比 $\rho^2$ 、的中率といった諸指標はいずれも良好な値を示しているから、両地下街のいずれにおいても、進入方向角度と目的地方向角度の2つの角度のみで歩行者経路選択モデルを構築することができると言える。

地上の街路網において構築した経路選択モデルと地下街において構築した経路選択モデルを比較するために、表1には地上街路網を対象として開発され、多様な街路網にも一般に適用可能なモデルを示している。地下街を通行するとき歩行者は目的地方向を把握しにくく、地上街路網と地下街とでは歩行者の状況が異なっていると思われる。しかしながら、本研究の分析結果は、地上街路網において構築された経路選択モデルと地下街で開発されたモデルの構造が同様であり、経路選択行動のメカニズムが同様であることを示唆している。

経路選択モデルを詳細に見ていくと、表1に示した3モデル間にいくつかの差異があることがわかる。梅田モデルと八重洲モデルのパラメータには顕著な差異が認められる。すなわち、梅田モデルでは方向保持性の寄与が大きく、逆に八重洲モデルでは目的地指向性の寄与が大きくなっている。この差異の理由を特定するには至っていないが、地下街の多様なネットワーク特性が歩行者の経路選択行動に影響していると思われる。

### 5. 経路選択モデルの応用

地上街路網における歩行者の行動分析と同様のシナリオで作成された歩行者経路選択モデルを地下街に適用することにより（このモデルはもちろん地下街における歩行者の行動分析に基づいて構築されているが、モデル作成の基本的な考え方は地上と同様である）、地下街において通行されやすい経路を特定することができる。明らかに、このような情報は地下ショッピングモールの交通管理ならびに緊急時の避難計画の確立にとって重要である。しかしながら、

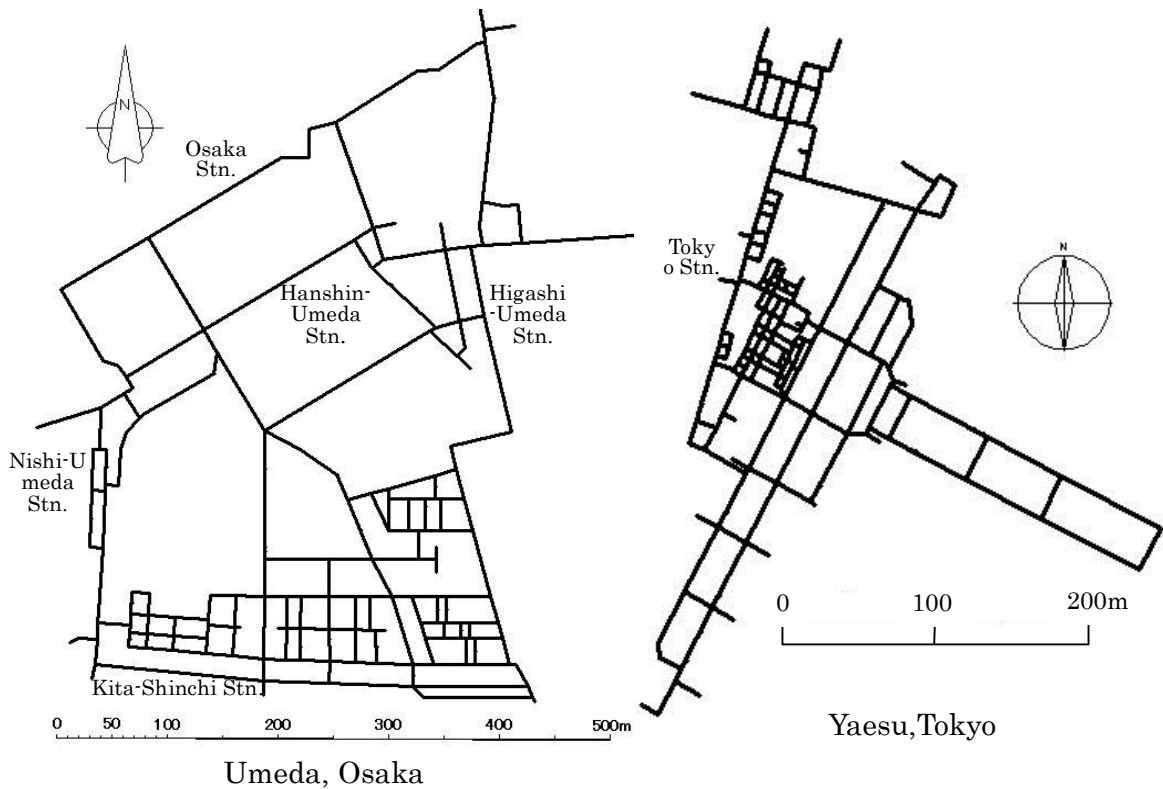


図2 実測調査を行った地下街街路網

表1 経路選択モデルのパラメータ推定結果

Area		Angle of orientation (degree)		Angle related to turning movement (degree)		Likelihood ratio $\rho^2$	Reproducibility of the model (%)
		Parameter	t value	Parameter	t value		
Underground shopping centre	Umeda	$-9.57 \times 10^{-3}$	-5.0*	$-1.30 \times 10^{-2}$	-11.3*	0.21	74.0 (478/646)
	Yaesu	$-1.31 \times 10^{-2}$	-10.0*	$-8.13 \times 10^{-3}$	-9.43*	0.18	70.1 (705/1005)
Aboveground streets**		$-1.53 \times 10^{-2}$	-19.4*	$-9.59 \times 10^{-3}$	-24.7*	0.17	70.0 (3461/4945)

1)\* 1% 有意

2)\*\* 最短経路よりも 1.2 倍以上長い経路は実測調査によってほとんど使用されていないことを確認しているから、これらの経路を除いている。

地下街は地上レベルと接続していなければならないから、階段、スロープ、エスカレータ、エレベータ等の上下移動を含んだ歩行者の3次元的な動きが考慮されなければならない。さらに、多層の地下ショッピングモールの場合には、多くの上下移動が発生する。このため、地下街の計画に即した経路選択モデルに改善するためには3次元の解析が必要となる。

ある歩行者にとって上下移動地点が1つしか存在しておらず、その歩行者が目的地のおおよその方向を知っている場合には、本研究で提案した経路選択モデルを上下のレベルで2回使用することによって当該歩行者の経路を推定することができる。たとえば、図3(a)に示すように、選択モデルを2回使用することによって地点Sから地点Mへの経路と地点M'から地点Dへの経路を推定することができる。ここで、

地点Mは仮の終点、地点M'は仮の基点である。このようにして地点Sから地点Dへの経路が推定できる。

あるODペア間に上下移動地点が複数存在する場合には、別の検討が必要になる。たとえば、図3(b)に示すように、ある主要ODペア間に複数の上下移動地点M、Nが存在し、この上下移動地点に対応してほぼ等距離の複数経路が存在する場合を考える。ここで、地点Mを経由する最も使用されやすい経路が経路1であり、地点Nを経由する最も使用されやすい経路が経路2であるとする。また上下移動地点には階段があるとする。本研究において提案したモデルを用いて各経路が選択される確率を求めることができる。これはたとえば、どの階段をエスカレータに格上げするかを決める際の重要な情報となる。

すべての上下移動地点において、歩行者の上下移動を支援するために階段、スロープ、エスカレータ

あるいはエレベータが設置される。これらの施設は歩行者の経路選択行動に著しい影響を与える。高齢者や身障者の場合には特に影響が大きい。したがって、本研究において開発された経路選択モデルは先に述べた歩行支援システムの整備を含んだ歩行環境に関連した要因を考慮できるように改善すべきであろう。

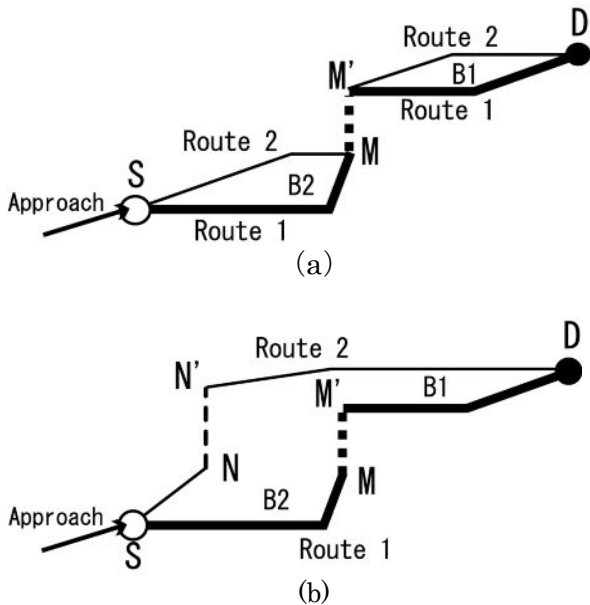


図3 上下移動を伴う歩行者経路

## 6. まとめ

本研究は大阪および東京の都心に位置する大規模地下街において歩行者の経路選択モデルを開発した。モデル作成の考え方は筆者らが先に開発した地上街路網における経路選択モデルを同一であり、また両地下街におけるモデルの構造が同様であるから、地上街路網と地下街における歩行者の経路選択メカニズムは同様であると言えよう。

梅田モデルと八重洲モデルにおいて採用されたパラメータの比率には若干の差異が見られる。すなわち、梅田モデルでは目的地指向性よりも方向保持性が有力であり、逆に八重洲モデルでは目的地指向性の方が有力であることがわかる。この差異の理由を特定するには至っていないが、地下街の多様なネットワーク特性が歩行者の経路選択行動に影響していると思われる。

本研究で提案した行者経路選択モデルを平常時における地下街活性化ならびに緊急時における避難計画に効果的に適用するためには、3次元的な動きを分析する必要があり、本研究で得られた知見をさらに充実させることが必要である。

## 参考文献

- Garbrecht, D.,(1970) Frequency distributions of pedestrian in a rectangular grid, *Journal of Transport Economics and Policy*, IV(1), pp.66-88.
- Garbrecht, D.,(1971) Pedestrian paths through a uniform environment, *Town Planning Review*, 42(1), pp.71-84.
- 高辻秀興・深海隆恒(1983)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, pp.199-204.
- 竹内伝史(1977)歩行者の経路選択性向に関する研究, *土木学会論文集*, No.259, pp.91-101.
- Tsukaguchi, H. Vandebona, U. and Matsuda, K., 2003. Modelling of pedestrian route choice behaviour for development of information systems architecture, *The Selected Proceedings of the 9<sup>th</sup> WCTR*.
- 竹上直也・塚口博司(2006)空間的的定位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 pp.64-73.