

街路空間評価意識構造モデルを用いた 歩行者優先道路空間のサービスレベル評価*

柳沢吉保*¹・工藤拓弥*²・岡田 類*³・高山純一*⁴

Evaluation of Influence on Level of Service in Pedestrian Priority Space on the Pedestrian's Subconsciousness Structure in the Central Urban District

YANAGISAWA Yoshiyasu, KODOH Takuya, OKADA Rui and TAKAYAMA Jun-ichi

The purpose of this study is to clarify improvements in consideration of road traffic condition of pedestrian space. We executed the investigation concerning the satisfaction rating of the street space by the pedestrian in a transit-mall social experiment of Nagano City. The experiments on the transit-mall was carried out by the Center of Nagano City during consecutive holidays of May, 2007,2008 and 2009. First of all, we applied the factor analysis to the satisfaction rating data. Next, the correlation of the satisfaction rating data and the measurement data were clarified. Thirdly, the behavioral trait of pedestrians is extracted by gathering the pedestrian occupation data, which show exact point where pedestrians walked through. We applied the covariance structure analysis, and were able to clarify the relation between the subconsciousness factor and the pedestrian flow the pedestrian behavior model.

キーワード：歩行者優先道路，歩行者行動，歩行者空間満足度，サービスレベル要因

1. ま え が き

歩行環境を改善し、市街地における歩行者の回遊性および利便性を向上させるため、中心市街地の商業集積地メインストリートの歩行者優先化が多くの都市で計画されている。また歩行環境の改善効果が高い歩行者優先道路の整備を目指した社会実験などの取り組みが計画実施されている。対象となる街路では、歩道幅員の拡幅・車道の蛇行・イベントエリアの設置・花壇や休憩場所の配置・車両の交通規制など街路形状に関するさまざまな要素の導入効果の検証が、社会実験を通して試みられている。歩行者の歩行空間満足度意識調査および歩行空間の規模や形状に対する歩行者挙動の計測結果に基づき、歩行

者優先道路に求められる歩行環境要素の抽出が行われてきた。しかしながら歩行者の満足度評価が高い歩行者優先道路整備のための、より具体的な整備および設計指針を示すことが課題となっている。

歩行者優先道路では、歩行者からより「質」の高い歩行空間サービスが求められる可能性が高いことから、計画されている歩行空間および交通条件に基づく歩行者の挙動を考慮した歩行空間の満足度評価が必要である。また、それら満足度評価を具体的な設計整備指針となる歩行空間のサービスレベルや計画水準と対応づけ、歩行者優先道路における適切なサービスレベルの検討を行う必要がある。

歩行空間サービスレベル、歩行者行動および歩行空間評価に関する主な既往研究として、小井土¹⁾、浅野ら^{2),3)}、松本、柳沢ら^{4),5)}、柳沢ら⁶⁾の研究成果はあるが、提供された歩行空間において形成される歩道利用状況などを考慮できるモデル化までは行われていない。

以上述べたように、歩行者によって形成される歩行空間の利用状況および歩行者行動が歩行空間評価に与える影響は大きいと考えられるが、既往研究で

* 2013年3月8日土木学会中部支部で発表

*1 環境都市工学科教授

*2 山梨大学学生第3学年

*3 中部電力

*4 金沢大学教授

原稿受付 2013年5月20日

は歩行者行動に基づく歩行者自らによる歩行空間評価を扱った研究事例は少ない。また、歩行空間評価に基づいた歩行空間形状の設定やサービスレベルなど、より具体的な歩行空間への設計整備指針を示した研究は少ないのが現状である。

歩行空間サービスレベルの評価指標は、歩行速度や歩行者密度など歩道利用状況および歩行者挙動の一部を用いている。ことから本研究は、歩行者が歩行空間形状によって形成する歩道利用状況に基づく歩行空間サービスレベル指標を原因因子とした歩行空間評価意識構造モデルを構築し、歩行者優先道路における歩行空間満足度評価と歩行空間サービスレベルとの関係を明らかにする。そして、これによって歩行空間を設計するとき重要な歩行空間のサービスレベルと設計指針の関係を明らかにすることを目的とする。

そこで本研究では、(1) 長野市中心市街地における歩行者優先道路の社会実験時に実施した、歩行者行動計測と歩行空間満足度調査について、実施した区間・方法やアンケートの配布回収状況についての結果を示す。(2) 歩行者行動調査で得られた動画に基づき、歩行者行動と歩道利用状況分析を行うことによって、計測区間の歩行者数を考慮した「直進」「左右回避」「錯綜」「追従」「停止」行動の選択率と、歩行速度、密度、回避角度を明らかにする。(3) 計測した歩行者行動と歩道利用状況データを原因因子とした歩行空間評価意識構造モデルの構築を行い、パラメータの推定を行う。(4) 各年度の社会実験時の歩行空間に対してサービスレベルを設定し、歩行空間評価意識構造モデルに基づきサービスレベルと歩行空間満足度の関係を明らかにする。

以上の検討をふまえ、最終的に歩行者優先道路における適切なサービスレベルの提案を行う。

2. 歩行者行動と街路空間満足度調査

2-1 社会実験調査および歩行者行動計測区間

長野市中心市街地中央通りでは平成16年から20年まで「ふれ愛通り」という名称で、歩行者優先街路導入の社会実験が行われてきた。平成21年は善光寺御開帳とあわせて「善光寺花回廊」(花回廊は社会実験ではない)が実施された。図1に社会実験調査対象区間および歩行者行動計測区間を、表1に社会実験実施概要を示す。

2-2 歩行者行動計測方法⁵⁾

計測対象は図1に示すとおり、長野駅と善光寺を直接結ぶ長野市中央通りの北側区間「ふれ愛通り」を対象とした。計測方法はふれ愛通りに面したマンション

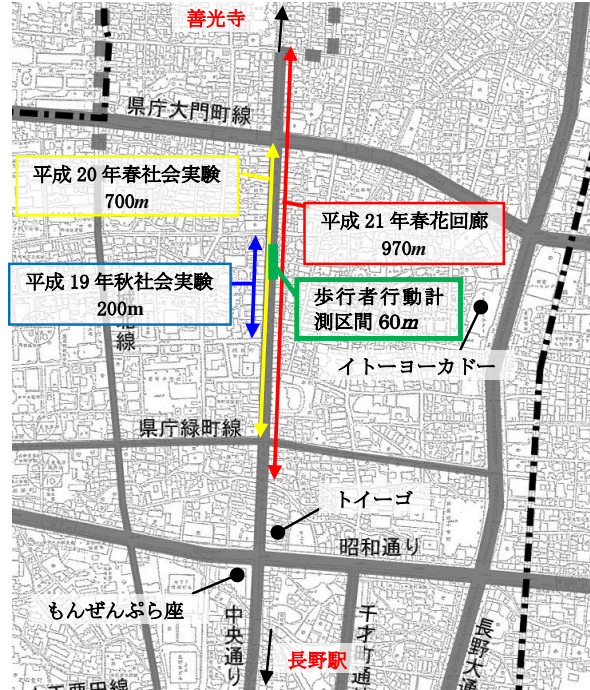


図1 社会実験調査対象区間と歩行者行動計測区間

表1 社会実験実施概要

実施期間(取組)	実施概要
2007年10月27日 ～11月25日 (歩行者優先社会実験)	①片側平均歩道幅員:6.0m ②歩車道形状:蛇行 ③交通規制内容:速度規制のみ
2008年5月3日～5日 (トランジットモール社会実験)	①片側平均歩道幅員:5.1m ②歩車道形状:バンプエリア設置・蛇行 ③交通規制内容:一般車進入禁止
2009年5月2日～4日 (無し)	①片側平均歩道幅員:4.6m ②歩車道形状:通常時と同じ ③交通規制内容:交通規制なし

から南側街路の約60m区間を対象とし、マンション屋上の高さ約32mから、歩行者流動の移動状況をビデオ撮影した。撮影された街路空間において歩行者行動軌跡は画像計測支援ソフトウェアを用いて、60秒間歩行者の移動しているメッシュの位置を1.0秒間隔で計測する。歩行者は1.0秒で約1.0m移動するため、メッシュ間隔は1.0m×1.0mとした。撮影された歩行者の動画より、現在位置から移動先のメッシュを、さらにメッシュを通過する歩行者量をカウントする。

2-3 街路空間満足度調査項目と配布回収状況⁶⁾

調査項目の概要と調査票の配布回収状況を表2に示す。

前節の実施区間の交通状況の課題を踏まえ、街路空間に対する満足度評価として、歩行に関する「安全性」「快適性」「利便性」の約23項目と、個人属性として居住場所、来街主目的、そして歩行者優先道

路における移動距離区間長なども収集した。調査票は歩行者優先道路区間において手渡しし、後日郵送にて収集した。

3. 歩行者行動の実態分析

3-1 歩行者行動の表記

歩行者行動動線の概念図を図2に示す。ここで、 x_1, x_2, \dots は 1m 間隔の歩行通行帯である。 y_1, y_2, \dots は進行方向の横断面である。各年の長野市歩行者量調査を単位時間当たりに換算した歩行者数と、歩行者行動調査から計測された単位時間歩行者数と一致する時間帯の歩行者行動を計測した。直進・左右回避・停止・滞留・追従・錯綜といった7つの歩行者挙動の選択回数を、単位時間1分間を1秒間隔で計測した。同時に対面歩行者の有無、左右回避行動開始時の対面歩行者との距離も計測した。まず直進は図2の (x_3, y_3) に存在する歩行者のように同じ通行帯をそのまま進行している場合とし、左右回避は (x_2, y_4) と (x_5, y_7) に存在する歩行者が行っている対面歩行者や障害物が現れた際に通行帯を変えて左右どちらかに回避した場合とする。また、停止は (x_4, y_5) に位置する歩行者の様に時間が経過しても一つのメッシュの中で止まっている状態とし、滞留は (x_5, y_3) に存在する歩行者の様に、気になる沿道施設やイベントエリアの前で立ち止まっているような行動とする。追従は (x_2, y_1) に存在する歩行者の様に、すぐ前方に存在する目の前の同じ進行方向の歩行者に従って歩行している場合とし、錯綜は対面歩行者と同じ通行帯の中ですれ違う場合とする。

歩道の利用状況は、歩行者個々の通行帯(歩行位置 x_1, x_2, \dots, x_5)と、歩行速度、回避角度、歩行者密度を算出することにより把握する。例えば、図2の (x_3, y_4) に存在する歩行者は対面歩行者が現れたため右回避行動を行っているが、この歩行者の歩行速度(m/s)は、式(1)のように計算する。

$$v = \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_6 - y_4)^2} \quad (1)$$

歩行者の回避角度は、以下の式(2)のように計算できる。

$$\theta = \arctan \{ (x_3 - x_2) / (y_6 - y_4) \} \quad (2)$$

歩行者密度は計測対象区間の歩行者数を歩道面積で除したものととして算出する。

$$D_w = n/S \quad (3)$$

ここで、 D_w ：歩行者密度、 n ：計測対象区間の歩行者数(人)、 S ：計測対象区間の歩道面積(m^2)

3-2 歩行者行動および歩道利用状況の実態分析

はじめに各年の計測対象時刻を表3に示す。分析結果を表3に示す。表4の歩行者行動選択率

表2 アンケート調査概要

配布日時	2007秋 11月17・18日	2008春 5月3・4日	2009春 5月2・3日
配布部数	2000部	3000部	3000部
回収部数	382部 (19.1%)	597部 (19.9%)	524部 (17.5%)
調査項目	人や自転車との接触危険性、自動車交通量、自動車走行速度、路上駐車、歩道幅など歩くためのスペースの確保、歩道での段差、横断しやすさ、ベンチなどの休憩場所の位置・数、街路樹や花壇の位置・数など。個人属性(年齢、性別、出発地、来街手段、目的など)		

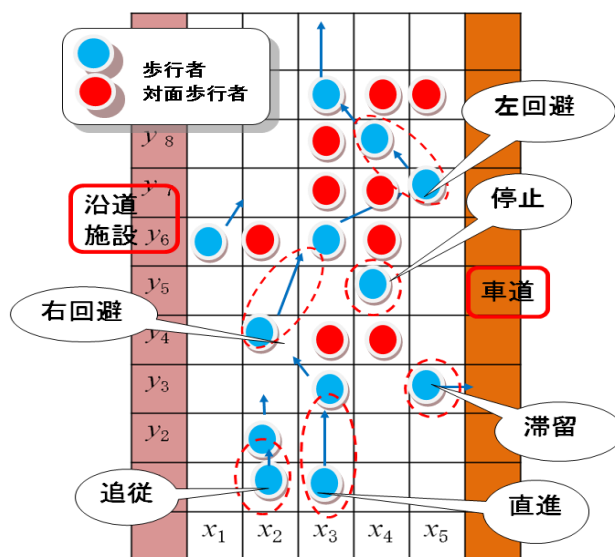


図2 歩行者行動動線概念図

は式(4)に示すとおりで、計測対象画像の計測開始時刻から1分当たりのすべての歩行者の各行動選択数を計測したものを午前午後別にまとめた。分子の各行動選択回数とは計測時間帯で全ての歩行者がとる直進、左右回避、停止、滞留、錯綜、追従といった各行動選択のそれぞれの回数のことである。また分母の全行動選択回数はその総和である。

$$R_i = t_i / T \times 100 \quad (4)$$

ここで、 R_i ：各行動*i*の選択率、 t_i ：各行動の選択回数、 T ：計測対象の全歩行者の行動回数

ただし、左右回避は、車道に対する歩行抵抗を考慮し、車道側回避と沿道施設側回避に識別して集計した。追従、錯綜行動回数は、少なかったため、表4では、直進行動に含め、直進行動のうち「追従」「錯綜」が占める割合とした。

表4からいずれの計測年も直進選択率が高く、歩行者は原則として対面歩行者や障害物がない場合は最初に選択した同じ通行帯を移動すると考えられる。また歩行者密度が大きいほど回避の選択率も高くなっていることから、時間帯によって歩道内の歩行者が多くなるに従って、直進しにくい現象が生じていることがわかる。回避行動では沿道側回避率より車

道側回避率が高くなった。別途集計した通行帯別の歩行者行動の結果から歩行者は沿道施設側の通行帯の利用率が高く、対面歩行者を回避するには車道側の方が移動しやすいためと考えられる。停止は2007年において6.7%しか計測されなかった。瞬間的な停止はあっても1秒以上の停止行動が観測されるケースは少なかった。追従行動も、歩行者数が多くなるほど、追従率が高くなる。ただし、2008年午前は、歩行者数は特別多くはなかったが、追従率が大きくなった。画像計測した結果からも同伴者が多いことが原因していると考えられる。歩行速度は、歩行者数の増加による大きな低下は観測されなかった。多少の混雑は、速度を低下させずに対面歩行者に対して回避や錯綜しながら歩行していると考えられる。回避角度は、車道側よりも沿道側への回避角度のほうが大きかった。歩行者は、より車道側を危険と認識しているため、回避しても角度は小さくなったと考えられる。

4. 街路空間評価構造モデルの構築

4-1 満足度調査に基づく潜在評価意識因子の抽出

歩行者が歩行者優先道路およびその周辺の街路空間に対して、どのような潜在意識から評価を行っているかを、満足度得点に因子分析を適用することで歩行者優先道路における歩行空間満足度評価の主要因子を明らかにしている⁵⁾。

紙面の関係もあり、ここでは一例として2008年春の満足度得点に因子分析を適用した結果を表5に示す。第1因子は「自動車交通量」「自動車走行速度」「走行者との距離」の値が高いため『街路の安全性』に関する因子とした。第2因子は「歩道の美観」「まちなみとの調和」「見通し」「開放感」の値が高いため『街路景観』に関する因子とした。第3因子は「歩くための歩行スペースの確保」「歩道の段差」「立ち話のしやすさ」「人や自転車との接触」の値が高いため『歩行利便性』に関する因子とした。第4因子は「街路樹花の数および位置」が、第5因子は「ベンチなどの休憩場所の数・位置」の値が高いことから、それぞれ『街路の潤い』『街路の憩い』に関する因子と考えられる。以上、5つの因子を、歩行者優先道路空間の評価意識因子とした。

4-2 歩行者行動を考慮した歩行空間評価意識構造モデル

歩行空間満足度調査結果に因子分析を適用し得られた潜在評価意識因子を「潜在変数」、満足度調査項目を各潜在評価意識因子の「多重指標(観測変数)」とする。歩道幅員を含む街路空間の形状および、車

表3 各年計測対象時刻(時:分:秒)

計測年	午前	午後
H19(2007)	10:42:30~	12:11:00~
H20(2008)	11:31:30~	12:36:40~
H21(2009)	11:27:00~	12:11:10~

表4 街路空間行動選択率(%)

	2007		2008		2009		平均	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM		
歩行者数(人/min)	6	9	35	28	40	50	28	
行動選択率(%)	車道回避	5.9	2.6	1.1	5	1.9	4.4	3.5
	沿道回避	3.4	0.7	0	1.3	6.9	3.3	2.6
	直進	84	96.7	98.9	93.7	91.2	92.4	92.8
	停止	6.7	0	0	0	0	0	1.1
	滞留	0	0	0	0	0	0	0.0
追従率(%)	0	0	7.7	0	2.6	4.3	2.4	
錯綜率(%)	0	0	0	0	0	1.9	0.3	
歩行速度(km/h)	4.5	4.6	4.3	4.1	4.4	4.4	4.4	
歩行密度(人/m)	0.029	0.018	0.062	0.106	0.124	0.229	0.1	
車道回避角度(°)	14.5	10.1	7.3	11.3	9.2	18.6	11.8	
沿道回避角度(°)	8.8	11.6	12.5	19.7	10.9	25.2	14.8	

※追従率、錯綜率は直進行動の中で占める割合である。

表5 歩行者優先道路の満足度評価意識因子の抽出

評価項目	第1因子	第2因子	第3因子	第4因子	第5因子
人や自転車との接触	0.485	0.128	0.341	0.029	0.119
自動車交通量	0.760	0.027	0.181	0.019	-0.001
自動車走行速度	0.771	0.114	0.092	0.067	0.095
路上駐車	0.445	0.149	0.049	0.059	0.150
走行車との距離	0.668	0.112	0.253	0.031	0.084
歩くためのスペース確保	0.200	0.200	0.766	0.088	0.166
歩道での段差	0.193	0.238	0.478	0.097	0.132
立ち話のしやすさ	0.188	0.147	0.660	0.141	0.107
横断しやすさ	0.279	0.243	0.410	0.161	0.079
ベンチなどの休憩場所の位置	0.053	0.163	0.177	0.914	0.132
ベンチなどの休憩場所の数	0.087	0.130	0.132	0.797	0.122
街路樹や花壇の位置	0.141	0.233	0.226	0.116	0.791
街路樹や花壇の数	0.158	0.191	0.137	0.146	0.746
歩道の美観	0.188	0.593	0.192	0.113	0.375
沿道施設など町並みとの調和	0.144	0.646	0.062	0.131	0.283
見通し	0.127	0.778	0.274	0.066	0.057
開放感	0.128	0.723	0.289	0.142	0.087
騒音	0.356	0.296	0.284	0.084	0.092
累積寄与率	13.96%	27.07%	38.41%	47.52%	56.25%

両台数などの交通規制の導入により生成される交通条件は原因因子としてモデルに組み込む。さらに前章で計測集計を行った歩行者行動および歩道利用状況も原因因子として組み込んだMIMIC型の歩行空間評価意識構造モデルを構築する。

本研究で取り上げた歩行者行動と歩道利用状況の一

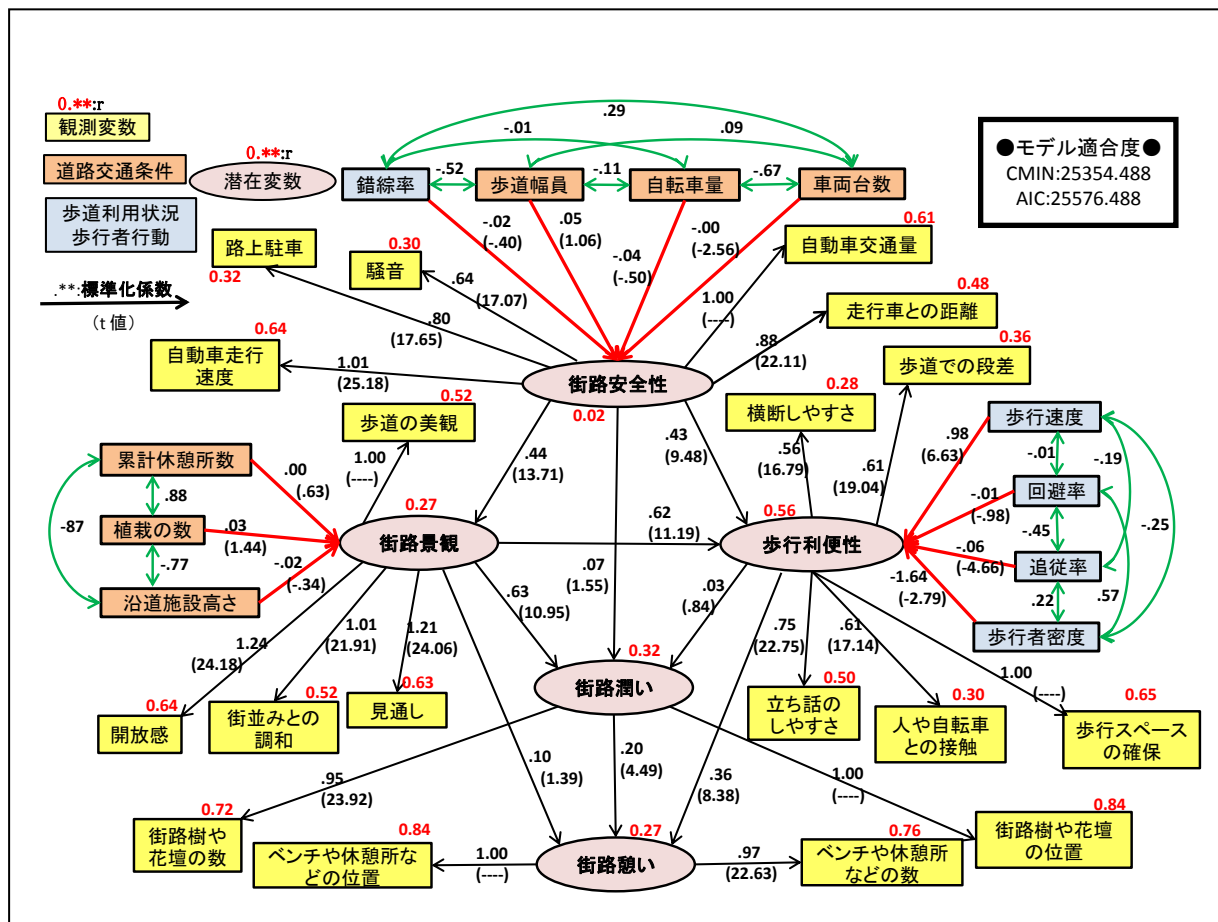


図3 歩行空間評価意識構造モデル

部は歩行空間サービスレベルの評価項目として設定されているため^{1),7)}, より具体的な歩行空間設計指針を含んでいると考えられる。原因因子のうちの道路交通条件の選定は、多重指標である満足度調査項目を目的変数、具体的な道路交通条件を説明変数として重回帰分析を適用した結果、符号、*t*値、相関の高い項目を表6に示すとおりに選定した⁶⁾。歩行者行動および歩道利用状況は本モデル構築のために適用した共分散構造分析を用いて試行錯誤した。今回選定したいくつかの原因因子の変化量が少ないことなどが原因で飽和モデルが構築されず、GFIおよびRMSEA指標が算出されなかった。今回構築したモデルのCMINは決して満足できる値とはいえないものの原因因子から潜在評価意識因子へのパス係数(標準化係数)の符号が妥当であったこと、サンプル数が多いと必然的にCMINが大きくなってしまふことから本適合度で棄却する理由とはならないとされる⁸⁾ことを考慮し、本モデルを採用した。その結果、表6に示すとおり、歩行者行動は回避率、錯綜率、追従率を、歩道利用状況は歩行者密度、歩行速度を採用した。多重原因多重指標型の歩行空間評

表6 モデルに組み込む原因因子

潜在変数	街路安全性, 街路景観, 歩行利便性, 街路潤い, 街路憩い
道路交通条件	歩道幅員, 自転車量, 車両台数, 植栽の数, 累計休憩所数, 沿道施設高さ
歩行者行動	回避率, 錯綜率, 追従率
歩道利用状況	歩行者密度, 歩行速度

※太字は歩行空間サービス水準指標

価意識構造モデルとその解析結果を図3に示す。なお、「市街地道路の計画と設計」⁷⁾に基づき、歩行者行動では、錯綜率、追従率を、歩行者利用状況では歩行者密度、歩行速度を歩行空間サービスレベル指標とする。

4-3 モデルのパラメータの推定と考察

ここでは前節で構築した歩行空間評価意識構造モデルについて原因因子と潜在変数の関係をパス係数(標準化係数)の符号に基づいて考察する。

まず、道路交通条件の変化が潜在変数に与える影響を考察する。歩道幅員の符号が正で、自転車量と車両台数の符号が負であることから、歩道幅員の拡

幅を行い、自転車量と車輛台数の流入規制することで「街路安全性」の潜在評価意識を高めることができる。

つぎに、歩行者行動および歩道利用状況の変化が潜在変数に与える影響への影響を考察する。

錯綜率の符号が負であることから、比較的歩道の混雑が少なく、対面歩行者同士がすり抜けるような行動でも、「街路の安全性」の潜在意識評価は低くなることを示している。

歩行速度の符号は正で t 値も高いことから、歩行速度の低下は、「歩行利便性」の潜在意識評価を大きく低下させる可能性が高いことを示している。追従率の符号は負であり t 値も高いことから、回避がとれない程度の歩道の混雑が生じると、「歩行利便性」の潜在意識評価を大きく低下させる可能性が高いことを示している。

歩行者密度の符号は負で、 t 値もある程度高いことから、歩行者密度が高くなると、「歩行利便性」の潜在意識評価を低下させることを示している。一方、回避率の符号は負であるが、 t 値が小さいことから、回避行動が可能な程度の混雑では、「歩行利便性」の潜在意識評価は大きく低下しないことを示している。

5. あとがき

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 歩行者行動実態に関する知見
 - (a) 歩行者は原則として対面歩行者や障害物がない場合、直進率が高く、同じ通行帯を移動すると考えられる。(b) 回避行動では沿道回避率より車道回避率が高くなった。歩行者は沿道施設側の通行帯の利用率が高く、対面歩行者を回避するには車道側の方が移動するしかなかった。(c) 歩行速度は、歩行者数の増加による大きな低下は観測されなかった。多少の混雑は、速度を低下させずに対面歩行者に対して回避や錯綜しながら歩行していると考えられる。(d) 回避角度は、車道側よりも沿道側への回避角度のほうが大きかった。歩行者は、より車道側を危険と認識しているため、回避しても角度は小さくなったと考えられる。
- (2) 歩行空間評価意識構造のモデル分析による知見
 - (a) 歩道幅員の拡幅を行い、自転車と自動車を流入規制することで「街路安全性」の潜在評価意識を高めることができる。(b) 歩行速度の低下は、「歩行利便性」

の潜在意識評価を大きく低下させる可能性が高いことがわかった。(c) 回避がとれない程度の歩道の混雑が生じると、「歩行利便性」の潜在意識評価を大きく低下させる可能性が高いことがわかった。(d) 歩行者密度が高くなると、「歩行利便性」の潜在意識評価を低下させることがわかった。(e) 回避行動が可能な程度の混雑であっても、「歩行利便性」の潜在意識評価には大きな影響を与えないことがわかった。

(3) 今後の課題

歩行空間形状を複数ケース与え、数値実験等によって歩行空間の満足度とサービスレベル指標の関係をより明らかにし、頬降車優先道路における歩行空間サービスレベルの提案を行う。

参 考 文 献

- 1) 小井土祐介, 浅野光行: 歩行形態が歩行空間のサービスレベルに与える影響, 日本都市計画学会都市計画論文集 No.44-3, pp.97-102,(2009.10)
- 2) 浅野美帆, 桑原雅夫, 田中伸治: 混雑時におけるマイクロ歩行者流動モデルの構築, 第5回ITSシンポジウム, pp.419-424,(2006)
- 3) 浅野美帆, 井料隆雅, 桑原雅夫: 交錯交通の要領評価のためのマイクロ歩行者行動モデル, 交通工学, Vol.43, No.4, pp.23-34,(2008)
- 4) 松本隆嗣, 柳沢吉保, 高山純一, 上倉道陽, 竹内 剣: 街路形状及び歩行者流動に基づく歩行者行動と街路空間占有状況に関するモデル分析, 第42回土木計画学研究委員会(秋大会)講演集, Vol.42,(2010.11.21)
- 5) 柳沢吉保, 高山純一, 松本隆嗣, 竹内 剣: 歩行者優先道路における歩行空間占有行動の要因分析. 交通工学研究発表会論文報告集 No.32,415-421,(2012.9)
- 6) 柳沢吉保, 高山純一, 滝澤諭, 轟直希: 中心市街地来街者による街路空間満足度の潜在意識構造を考慮した歩行者優先街路の整備評価- 長野市善光寺表参道のトランジットモール本格導入に向けた取り組み -. 都市計画論文集, Vol. 45-3, pp.499-504, (2010.10)
- 7) 吉岡昭雄「市街地道路の計画と設計」(社)交通工学研究会,(1987)
- 8) 例えば豊田秀樹: 共分散構造分析[Amos 編]付録 A 適合度指標, 東京図書