

# 歩行空間の歩行者行動と歩道利用状況の評価分析 \*

柳澤吉保\*<sup>1</sup>・波多腰 遥\*<sup>2</sup>・長峯史弥\*<sup>3</sup>・轟 直希\*<sup>4</sup>・高山純一\*<sup>5</sup>

## An Evaluation Analysis of Behavior and the Sidewalk Use Situation Of the Pedestrian in Walk Space

YANAGISAWA Yoshiyasu, HATAKOSHI Haruka, NAGAMINE Fumiya  
TODOROKI Naoki, and TAKAYAMA Jun-ichi

In city centers, and that each sidewalk exerts its role and function, to provide a walking environment comfortable and safe is important. Therefore, in this study, it is intended to clarify sidewalk shape and pedestrian behavior properties in the walk space. And, to build a model by introducing the concept of multi-agent simulation of the walking behavior in the pedestrian-priority space. From there, we want to see the changes of sidewalk usage and pedestrian behavior flow line due to the difference of road traffic conditions.

キーワード：歩行空間，歩行者行動，歩道利用状況，ロジットモデル

### 1. ま え が き

#### 1-1 本研究の背景と目的

交通機関整備によるモータリゼーションが進む一方、近年多くの都市では歩行環境を改善することで、歩行者が利用しやすい歩行空間を創出し、市街地活性化を目指した歩行者優先型街路導入の社会実験が計画実施されている。たとえば地区内への一般車両の流入制限を行う「くらしのみちゾーン」や、中心市街地などの商業集積地のメインストリートにおいて一般車両の利用を制限することで歩行者およびバス交通の利便性を向上させる「トランジットモール」など、歩行空間を拡大し、自動車優先の道路交通政策から歩行者優先の道路交通政策への転換が試みられている。対象とする街路において、歩車道幅員等の形状、集客施設の設置、樹木や花壇の配夫が施された街路空間が求められているため、歩行

置、歩車道の段差、交通規制の導入など、多様な工者の動きを示す歩行者流動の分析も必要となる。

社会実験により最適な街路を選ぶためには、歩行者行動を分析し、評価・決定をするための指標が必要である。導入予定の街路形状および歩道内の歩行者流動に対して、個々の歩行者がどのように行動し、街路空間内をどのように占有するかを予測・検討できることで、より安全で快適な歩行環境を歩行者に提供することが可能となる。すなわち、中心市街地を構成する各街路の役割およびその機能を十分に発揮させるためにも、街路形状および歩行者流動を考慮することのできる歩行者行動モデルの構築と、歩行者行動に基づく街路の評価が必要となる。特に本研究では、回遊行動の促進を目指して導入された、長野市中心市街地歩行者優先型街路社会実験を分析対象に、歩行者が街路形状・設置物・対面歩行者等の行動要素から受ける影響や街路形状および歩行空間の歩行者流動を明らかにする。街路形状および歩行空間での歩行者行動特性を明らかにし、歩行者優先空間における歩行者行動をマルチエージェントシミュレーションの考え方を導入してモデル化し、道路交通条件の違いによる歩行者行動動線と歩道利用状況の変化を確認することを目的としている。

#### 1-2 本研究の背景と目的

歩行者行動の既往研究として、松本ら<sup>1)</sup>は、歩行

\* 2014 年 3 月 28 日長野市企画部交通政策課に報告

\*1 環境都市工学科教授

\*2 長野高専研究生

\*3 長野高専専攻科生産環境システム専攻 1 年

\*4 環境都市工学科助教

\*5 金沢大学教授

原稿受付 2014 年 5 月 20 日

者行動に関する街路空間占有実態および歩行者行動実態の分析を行い、歩行者行動モデルの構築を行っている。しかし、この時点では歩行者行動シミュレーションまで至っておらず、様々な街路空間に対するシミュレーションを行い、街路の評価・検討を今後行っていくことが課題として残っている。浅野ら<sup>2),3)</sup>は、交錯領域に同時に侵入する歩行者間の譲歩行動において、周辺歩行者との接近コストと静的障害物接近コストの和を最小にしている。さらに希望する方向に対してある時間内にできるだけ長く進むような最適な速度ベクトルを決定している。しかしながら、さまざまな街路空間形状やイベントが開催される歩行者優先型道路を評価するために必要な、歩行者交通流の歩行空間内占有傾向まで明示的に予測するモデルとはなっていない。山下ら<sup>4)</sup>は、鉄道駅構内において、駅構内の歩行空間の整備をするために、歩行者挙動のモデル化を行っている。さらに、歩行者の横断挙動について分析しているが、街路形状等を考慮した歩行空間内の歩行者占有実態を検討できるモデル化までには至っていない。杉谷ら<sup>5)</sup>は、歩行者と自転車の認知空間距離に基づく4種類の回避行動を定義し、歩行者および自転車個々の挙動をモデル化したマルチエージェントシミュレーションによって、移動の安全性および快適性を評価している。しかしながら、街路形状やイベントが実施される道路空間を評価するために必要な、歩行空間内の歩行者占有実態まで明示的に予測できるモデルとはなっていない。辻ら<sup>6)</sup>は、歩行者流動をフローベクトルとして扱い、街路空間における歩行者量の占有状況を再現するとともに、歩行空間のにぎわい・憩い・安らぎなどの主観に与える影響を定量的に分析している。岡田ら<sup>7)</sup>は、歩行者相互および歩行者量、沿道施設・障害物等によって歩行空間における歩行者の歩行位置が変化すると考え、歩行者占有実態および、歩行者行動実態に関する分析を行い、歩行者に対して安全で快適な歩行者優先型街路空間を提供するためモデルを構築し、設定した街路形状パターンごとに歩行者行動シミュレーションを行っている。

しかしながら、より歩行者行動を精度高く再現するためには個々の歩行者の意思決定を反映させる必要がある。そこで本研究では、長野市中心市街地中央通りで実施された歩行者優先道路社会実験を対象に、①街路形状・道路交通条件で変化する歩行者行動動線を計測する。②街路空間形状や対面歩行者の有無等を考慮した来街者の行動に影響を与える意思決定パターンを明らかにする。③歩行者個々の意思

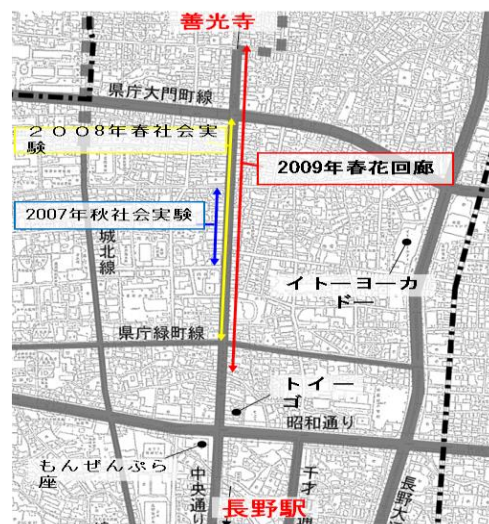


図1 社会実験対象街路図

決定を考慮に入れた歩行者行動を明らかにすることを目的とする。

### 1-3 本研究のフレーム

本研究では、社会実験で撮影された動画を用いて、歩行者行動動線と歩行者の歩道利用状況を計測し、考察を行う。また歩行者の行動を、マルチエージェントシミュレーションを導入してモデル化し、道路交通条件の違いによる歩行者行動動線と歩道利用状況の変化を確認する。

第2章では、長野市の中央通りで行われた歩行者優先社会実験において実施された歩行者行動の調査データの計測および集計方法の説明を示す。第3章では歩行者行動調査で得られた動画から計測・解析を行い、歩行者行動動線分析と歩道利用状況分析を行うことによって、街路を通行する歩行者が「直進・車道回避・沿道回避・停止・滞留」の行動選択肢、追従率、錯綜率等をそれぞれのくらの確率でとり、どのくらいの歩行速度、車道・沿道回避角度で歩道を利用しているのかを明らかにする。第4章では、従来の歩行者行動モデル式の説明とマルチエージェントシミュレーションを導入したモデルの改良を行う。第5章では設計した街路で、歩行者の行動を決定している説明変数・歩道形状変化時における歩行者行動シミュレーションを行い、結果を考察する。

## 2. 歩行者流動調査

### 2-1 歩行者優先社会実験と調査対象区間

歩行者優先社会実験の概要を図1と表1に示す。中央通りでは2004年から2007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。2008 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。2007 年秋の社会実験は日常生活における歩行者優先道路の導入を想定し、特に交通規制は行わずに車道の蛇行による車両の速度の低減、歩道の拡幅などが行われた。2008 年春の社会実験では、GW期間中の歩行者数増加を考慮し、一般車両の乗入れを制限した交通規制による安全性の確保およびイベントの導入と併せて歩行空間の拡幅がなされた。2009 年春の花回廊では善光寺御開帳による市外からの流入交通量増加を考慮し交通規制は行わず、歩道の拡幅も行われなかった（通常時の歩道幅員）。歩行者に関しては各年とも、歩道を歩くこととなっており横断は横断歩道のみで認められている。本研究では社会実験が行われた年を含む 2007 年、2008 年、2009 年の中央通りを撮影し、3 年間分の画像データを分析の対象とする。計測日時と歩車道状況である各年の片側平均歩道幅員、イベントエリア規模、歩行者交通量などを表 1 に示す。また、2007 年、2008 年には一般車両の流入が規制されるとともに、バスおよびタクシーの走行速度を抑えるため車道に花キャンパスが設置されている（以下花キャンパスはイベントエリアとして扱う）。2009 年には 2007 年、2008 年のような交通規制は導入されず、通常時と同様の街路形状であった。

計測対象区間を図 2 に示す。計測の対象は前節の通り、長野駅と善光寺を直接結ぶ長野市中央通りとした。中央通りは善光寺の表参道として地元住民のみならず、長野県内外から来る多くの観光客などが利用し、多くの賑わいを見せている。表参道およびその周辺地区は商業施設や住居が集積しており、長野市の重要な拠点である。沿道には老舗の商店やマンションが立ち並び、中央通りには商業施設が立ち並び権堂アーケード通りが接道しており、多くの歩行者が中央通りに流入している。

## 2-2 データの計測方法

計測方法としては、ふれ愛通りに面したマンションから南側街路の約 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、自転車、バス、自動車の移動・流動状況をビデオ撮影した。本研究で用いた画像データの計測日時および歩車道状況は前節の表 2-1 に示す。なお、本研究では、歩行空間形状を考慮した歩行空間における歩行者行動を分析の対象としているため、車道および交差点での横断行動、および車道における歩行者行動は別途扱うこととする。

表 1 計測日時と歩車道状況

日時 (実験内容)	撮影区間の状況
2007 年 11 月 17, 18 日 10:15~11:30 (歩行者優先社会実験)	・平均歩道幅員 : 6.0m ・歩車道形状 : 蛇行 ・イベントエリア規模 : 0m ・交通規制 : なし ・歩行者交通 : 210(人/h)
2008 年 5 月 4 日 12:30~13:10 (ドラッグストア社会実験)	・平均歩道幅員 : 4.6m ・歩車道形状 : 蛇行 ・イベントエリア規模 : 30m ・交通規制 : 自家用車 ・歩行者交通 : 1880(人/h)
2009 年 5 月 3 日 10:15~11:45 (無し)	・平均歩道幅員 : 4.3m ・歩車道形状 : 通常時 ・イベントエリア規模 : 0m ・交通規制 : なし ・歩行者交通 : 2298(人/h)



図 2 歩行者行動計測対象区間

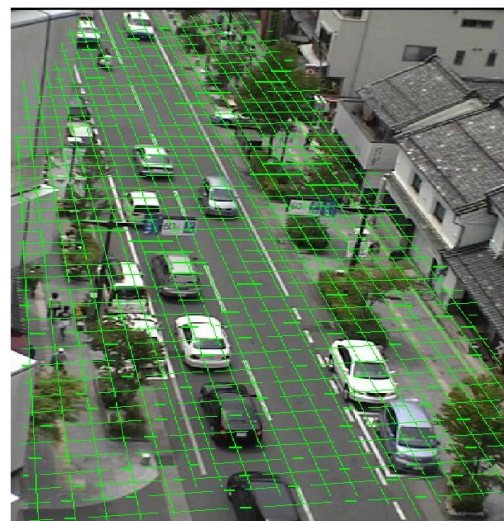


図 3 画像上にメッシュを施した例



街路空間における歩行者の街路空間における歩行位置を明らかにすることを目的に、ビデオ撮影により得られた画像データをパソコンに取り込み、解析ソフトを用いて動画の画面上にメッシュをあてはめる。ただし、斜め上方からの撮影であることを考慮し、長野地区中心市街地における「調査結果資料」に掲載されているファザード調査の平面図から縮尺をとり、図3のように画像にメッシュを施した。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。

### 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4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あ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4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4の $(x_2, y_4)$ 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。

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

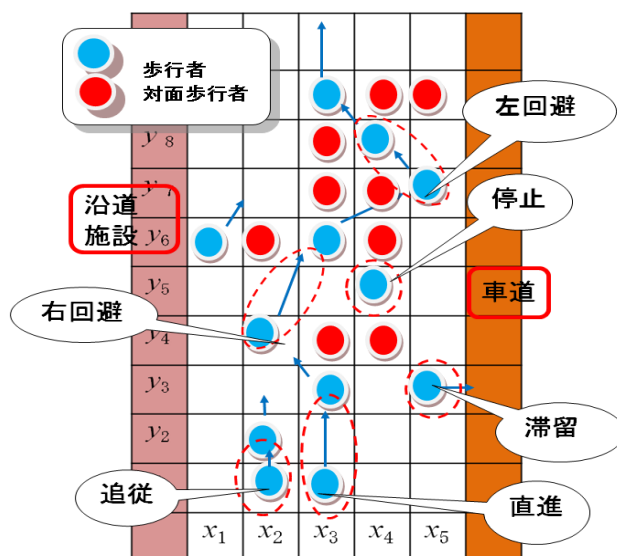


図4 歩行者行動動線概念図

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2に示す。

分析結果を表3に示す。表3の歩行者行動選択率は式(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回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。

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

ここで、 $P_i$ : 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3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3からいずれの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同じ通行帯を移動すると考えられる。また歩行密度が大きいほど車道・沿道回避の選択確率が高くなっている

ことから、歩行者は街路を歩行する歩行者が多いほど直進を選択しにくくなっていることがわかる。また車道回避率より沿道回避率が高くなった。表4より歩行者は沿道施設側の通行帯の利用率が高いことから、歩行者は車道側の危険を回避し、沿道側の通行帯を歩行すると考えられる。停止は2008年午前のみ計測された。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い。それは、歩行者数が多い場合でも、後続の歩行者に迷惑がかかるため、歩行者は停止の選択肢をとらないためと考えられる。歩行者数と追従行動の関係から、歩行者数が多くなるほど、追従行動が発生する確率が大きくなる。錯綜も同様に、歩行者数が多くなるほど発生する確率が大きくなる。表4より歩行速度は、歩行者数の増加による大きな低下は観測されなかった。多少混雑は、速度を低下させずに対面歩行者と錯綜しながら歩行する。回避角度は、車道側よりも沿道側への角度のほうが大きかった。歩行者は車道側を危険と認識している。

#### 4. 歩行者行動モデル<sup>8)</sup>

##### 4-1 歩行者挙動の実態の整理

本節では対面歩行者、側方抵抗の有無によって歩行者が行う挙動実態を整理する。対面歩行者同士の動線間隔にほぼ一通行帯分程度の余裕があると、お互いに行動を変更せずにすれ違っていることが観測された。つぎに動線間隔が同じ通行帯に存在する場合、どちらかが回避する行動が見られた。そこで対面歩行者相互の回避開始距離ごとの回避歩行者数の相対頻度を図5に示す。図5の相対頻度分布から、対面歩行者の回避行動開始距離と回避歩行者数の相対頻度が必ずしも比例関係にはないことがわかる。対面歩行者の約70%が3m以内で回避行動を開始していることがわかった。本調査では回避開始平均距離は2.96mであった。

また、対面歩行者が正面(直進方向)、左右回避側のいずれにも存在する場合は、歩行者はその場で停止するケースも認められた。第3章の歩行空間占有実態でも分析したとおり、イベントエリア側には歩行者が吸収される現象が観察された。しかしながら、車道および沿道側の植樹帯等に隣接した通行帯に存在していた歩行者は、そのまま歩行行動を継続せずに、歩道中央寄りの通行帯に移動する歩行者も観測されている。以上の特性を考慮した歩行空間の歩行位置における歩行者行動モデルの構築を次節で行う。

##### 4-2 歩行空間位置を考慮した歩行者行動モデル 歩行者の歩行空間位置における歩行挙動を分析した

表2 各年計測対象時刻(時:分:秒)

計測年	午前	午後
H19(2007)	10:02:22~	12:17:15~
H20(2008)	11:32:30~	12:35:07~
H21(2009)	11:05:23~	12:10:49~

表3 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)		4	6	27	31	38	37	24
行動選択率(%)	車道回避	00	19	15	43	05	87	28
	沿道回避	42	00	45	92	51	26	43
	直進	958	981	921	865	945	887	926
	停止	00	00	20	00	00	00	03
	滞留	00	00	00	00	00	00	00
追従率(%)		00	00	70	202	266	161	117
錯綜率(%)		00	00	22	40	32	52	24

※追従率、錯綜率は直進行動の中で占める割合である。

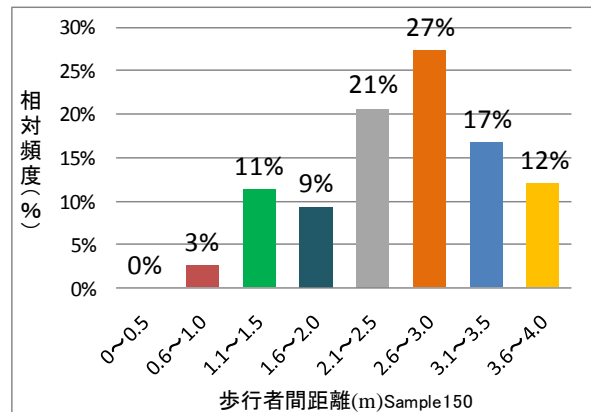


図5 回避開始距離の相対頻度図

結果、図6のように整理された。図6A~Cは、対面歩行者に対する歩行者の挙動を示している。図6Aはすれ違いが可能な例である。図6Bは正面と右または左側に存在する対面歩行者によって歩行者は直進行動が継続できなくなり、直進から空いている左または右に回避し、通行帯を変更する例である。図6Cは直進・左右ともに対面歩行者が存在し、停止・滞留する例である。図6D、Eは、危険回避のために車道側および歩行を妨げる側方設置物を避けるための右回避行動、沿道施設およびイベント施設に吸収される行動を示している。図6で示した歩行者挙動を考慮し、図7で示すとおり、歩道空間内における歩行者の選択可能な通行帯変更行動を示す。

通常歩行者は「直進」, 「右回避」, 「左回避」, 「停止・滞留」の4つの挙動選択肢があると考えられる。しかし, 植樹帯や街灯など障害となる設置物によって, 歩行者の4つの挙動選択肢は制限される。図7にはこのような制限を受ける状態例を示しており, 赤で示す歩行者は4つの行動が可能だが, 青で示す歩行者は, 植樹帯によって右回避ができない状態である。つぎに黒線は, 車道および沿道施設からの距離, すなわち歩行者の歩行空間における歩行位置を示している。第3章で示した歩行空間の歩行者占有状況の結果から, これら側方からの距離がある程度確保された位置に, より多くの歩行者が集まっていることが確認されている。

まず, 設定した歩行者挙動および通行帯の組み合わせからなる18選択肢で, 同時選択型モデルのパラメータ推計を行ったが, 妥当な結果が得られなかった。そこで, 歩行者挙動選択および通行帯選択に基づいた歩行者行動ツリー構造は, 「歩行者は移動に当たり歩行しやすい通行帯を選ぶが, 対面歩行者および障害物の存在により決定される直進, 左右回避, 停止・滞留挙動で生じる移動抵抗に関する負効用も考慮したうえで, 移動する方向および通行帯の行先を決める」と考え, 図8のように2段階層型の選択構造でモデル化することとした。なお, モデル化にあたり, 図8で示した上レベルと下位レベルの選択肢を入れかえてパラメータ推定も行ったが, 妥当な値は得られなかった。歩行者行動の選択構造ツリーに基づき, 下位レベルの歩行者挙動モデルは式(5)に示す。

$$P_{j|i} = \frac{e^{V_{ji}}}{\sum_{j'=1} e^{V_{j'i}}} \quad (5)$$

式(1)を構成する効用関数は, 3.2 および本節で説明した行動要素に基づき式(2)で表すこととする。

$$V_{ji} = \alpha_1 x_{1ji} + \alpha_2 x_{2ji} + \alpha_3 x_{3ji} + \alpha_4 x_{4ji} \quad (6)$$

通行帯  $i$  への移動において挙動  $j$  を選択していたときの各説明変数は, 以下の通りである。

$x_{1ji}$ : 歩行者量 (直進行動の選択肢固有変数)

$x_{2ji}$ : イベントエリアまでの距離,  $x_{3ji}$ : 側方抵抗の有無,  $x_{4ji}$ : 対面歩行者の有無

「歩行者量」は, 歩道内の歩行者量が増加するほど行動変更が困難であると考えられ, 直進行動が歩行者量に強く依存すると考え, 「直進行動」の選択

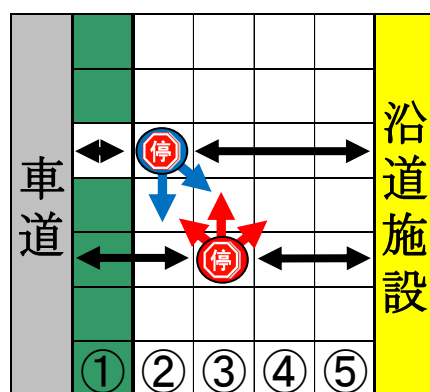
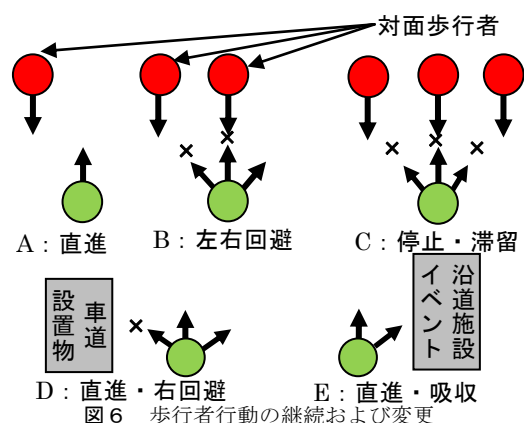


図7 歩行者通行帯選択行動

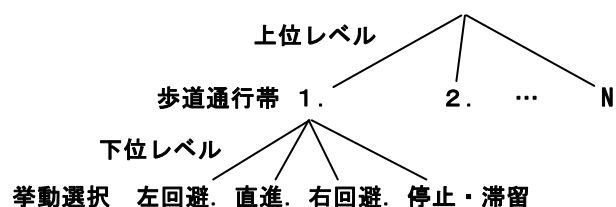


図8 歩行者行動の選択構造ツリー

肢固有変数としている。また前節で示したとおり, 「対面歩行者」に対する回避行動は, 対面歩行者間距離が  $3m$  以内で約  $70\%$  が行っていることと, 対面歩行者間距離と回避行動発生率は比例関係にないこと, さらに既存研究<sup>7)</sup>の成果も考慮し, 対面歩行者間の距離が  $3m$  のところで, 対面歩行者の存在を認識するとした。

上位レベルの通行帯選択行動のモデル化では, 下位レベルにおける効用も考慮した式(3)を示す。  $\lambda$  は上位スケールパラメータである。

$$P_i = \frac{e^{\lambda(V_i + V_i^*)}}{\sum_{i=1} e^{\lambda(V_i + V_i^*)}} \quad (7)$$

ここで、合成変数を式(8)に示す.

$$V_i^* = \ln \sum_{j=1}^J e^{V_{ji}} \quad (8)$$

歩行者通行帯変更の効用関数は式(9)に示す.

$$V_i = \beta_1 \times z_{1i} + \beta_2 \times \sqrt{z_{2i}} + \beta_3 \times \sqrt{z_{3i}} \quad (9)$$

ここで、通行帯  $i$  固有の説明変数は以下の通りである.

$z_{1i}$ : 歩道幅員 (歩道端における選択肢固有変数)

$z_{2i}$ : 車道までの距離,  $z_{3i}$ : 沿道施設までの距離

「歩道幅員」は、歩行者が歩道の中央寄りに集まる傾向にあるが、一定の歩行者量に対して歩道幅員が広がるほど歩道端を避け、歩道中央に集まる可能性が高くなると考え、歩道端通行帯の選択肢固有変数とした.

「車道までの距離」と「沿道施設までの距離」変数について、限られた幅員において歩行者は沿道の側方抵抗に対する回避と車道側危険回避を考慮した、図9に示すようなトレードオフの関係が成立すると考えられる. 自動車や植樹帯などの側方設置物から離れるに従い知覚する効用の増加率が歩道端からの距離に対して一定でないことを仮定した. それぞれの距離をべき乗してパラメータ推計を行ったところ、いずれも 0.5 乗を行った結果が最も妥当な結果となった.

### 3-2 4.3 モデルパラメータの推定と考察

まず、下位レベルのモデルパラメータを考察する.

**歩行者量**: 歩行者量が増加することにより歩行者の行動変更が困難になることから、係数の符号が正となったと考えられる. これより歩行者量の増加に伴って回避行動が困難となり、直進追従行動が選択される割合が増えると考えられる.

**イベントエリアまでの距離**: 占有実態状況調査においても歩行者はイベントエリアに吸収される現象が生じており、イベントエリアに近づくほど効用が高くなる. すなわち、イベントから離れる程、負効用が増すため、符号は負となったと考えられる.

**側方抵抗の有無**: 歩行者は沿道の施設や設置物、植樹帯に近づいたまま歩行を継続せずに、ある程度の距離を保つ現象が生じていた. 歩道端および設置物は避けるような行動をとることから、符号が負となったと考えられる.

**対面歩行者の有無**: 歩行者は対面歩行者が存在する通行帯を避けることから、係数の符号は負となったと考えられる.

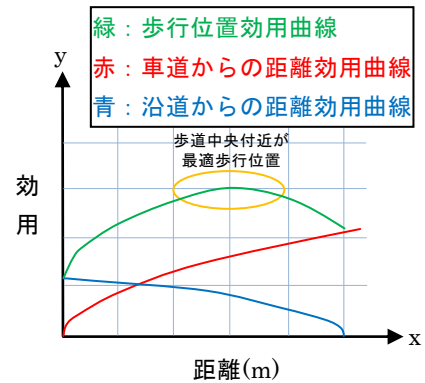


図9 車道と沿道からの距離損失に関する効用のトレードオフ関係の概念図

表4 歩行者行動モデルの推計結果(Sample800)

\*:有意水準5%, \*\*:有意水準1%

説明変数		推計結果(t 値)
下位レベル	歩行者量 ( $\alpha_1$ )	0.00015(6.487)**
	イベントエリアまでの距離 ( $\alpha_2$ )	-0.8553(-2.226)*
	側方抵抗の有無 ( $\alpha_3$ )	-0.0651(-0.168)
	対面歩行者の有無 ( $\alpha_4$ )	-1.0981(-2.687)**
上位レベル	歩道幅員 ( $\beta_1$ )	-0.4043(-2.145)*
	車道までの距離 ( $\beta_2$ )	0.6244(0.772)
	沿道施設までの距離 ( $\beta_3$ )	0.2881(0.315)
上位スケールパラメータ( $\lambda$ )		0.855
尤度比		0.768

説明変数の t 値を検討すると、とくに歩行者の挙動に大きな影響を与える要因は、歩道幅員に対する「歩行者量」や「対面歩行者の有無」であることがわかる.

つぎに、上位レベルの結果を考察する.

**歩道幅員**: 歩道端における選択肢固有変数として導入した「歩道幅員」が拡幅されることで、通行帯の選択肢数が増えることから、歩道端を避け歩道中央付近に集まりやすくなるため、係数の符号が負となったと考えられる.

**車道までの距離及び沿道施設までの距離**: 両要素とも同じ符号であることから、両要素はトレードオフの関係が成立していることがわかる. とくに「車道までの距離」の係数が大きいことから、歩行者は歩道の中央付近からやや沿道よりを選びやすい傾向がある.

説明変数の t 値を検討すると、通行帯選択には歩



道幅員が大きく影響している結果となった。なお、車道および沿道施設までの距離の  $t$  値は必ずしも大きな値とはならなかったが、これらの変数を除くと、モデル全体の符号が妥当でなくなったり、適合度が低下することから、本モデルで示した説明変数を採用することとした。

## 5. 歩行空間評価のための数値実験

### 5-1 歩行空間形状・交通条件の基本設定

歩行空間は図 10 に示すとおり 5 つの通行帯で構成する。歩行者群が歩行空間を移動したときの、歩行空間内における歩行者群の占有位置および、歩行者流動軌跡を把握するため、街路形状を考慮した歩行者の歩行空間占有率を算出する。図 11 のように歩道のある横断面を通過した歩行者数に対するその横断面の各通行帯を通過する歩行者数との比を横断面ごとに算出する。これを歩行空間占有率と呼ぶ。

長野市中央通りの歩行者行動計測を行った 3 年間で最も歩行者量の多かった 2008 年午前の歩行環境を基本設定とした。今回の数値実験では竹内<sup>7)</sup>らが開発した歩行者行動シミュレーションを用いる。

回避行動の実態を考慮し、1 メッシュの大きさを  $1.0\text{m} \times 0.5\text{m}$  と設定している。よって、歩行者の単位時間当たりの移動距離は、直進時には縦に  $1.0\text{m}$ 、回避時には縦に  $1.0\text{m}$ 、横に  $0.5\text{m}$  の移動となる。歩行空間には街路樹、街灯といった障害物が存在する。

### 5-2 ケースの設定

ここでは歩道幅員と歩行者量を変動させたときの歩行空間占有率と滞留率を再現する。具体的なケースの設定は表 5 に示す。

実験 1 では歩行者量のみ基本設定から 0.5 倍～2.0 倍に変動させ、4 パターンの数値実験結果の比較を行う。歩行者量の変化による占有状況への影響を、滞留率とともに考察する。

実験 2 では道路幅員を基本設定である  $5.0\text{m}$  から  $-2.0\text{m} \sim +2.0\text{m}$ 、歩行者量を基本設定である 2298 人/h から 0.5 倍～2.0 倍にそれぞれ変動させ、計 36 パターンの数値実験を行う。歩行環境の変動による歩行者への影響を考察するため、街路を通行する歩行者の平均滞留時間、歩行速度、各行動選択率をグラフ化する。

### 5-3 実験 1 の結果

実験 1 の各条件下による歩行空間占有状況を図 12、停止滞留率(以下、滞留率)及び平均停止滞留時間(以下、滞留時間)を表 7 に示す。歩行空間占有率は、歩行者量が基準値である 2298 人/h の場合と、最も多い 4596 人/h の場合を比較する。

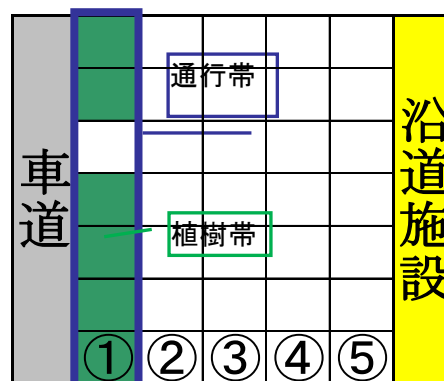


図 10 通行帯番号

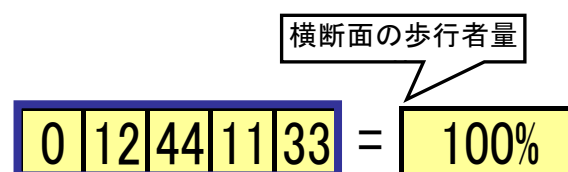


図 11 ある横断面における歩行者量との比

表 5 ケースの設定

	道路幅員 (変化量)	歩行者量 (倍率)
実験 1	5.0m (0m)	1149 人/h (0.5 倍) 2298 人/h (1.0 倍) 3447 人/h (1.5 倍) 4596 人/h (2.0 倍)
実験 2	3.0m (-2.0m) 3.5m (-1.5m) 4.0m (-1.0m) 4.5m (-0.5m) 5.0m (0m) 5.5m (+0.5m) 6.0m (+1.0m) 6.5m (+1.5m) 7.0m (+2.0m)	1149 人/h (0.5 倍) 2298 人/h (1.0 倍) 3447 人/h (1.5 倍) 4596 人/h (2.0 倍)

図 12 では、各横断面において占有率の高い 2 つのメッシュをオレンジ色で示している。歩行者量にかかわらず、歩行者が設定街路に流入する第一横断面において、高い占有率を持つ通行帯の占有率が持続して高い。このことから、歩行者は直進を選択する可能性が極めて高いことがわかる。歩行者量が少ない街路では上り・下りともに沿道側の通行帯の利用率が高いが、最も歩行者量の多い (b-1)、(b-2) では上りと下りそれぞれ別の通行帯が形成されている。このことから、歩行者は車道側からの抵抗を避けるため沿道側の通行帯を利用するが、歩道幅員に対する歩行者量が一定に達すると、車道側通行帯の利用が高まり、また歩行者は直進を多く選択するため、上りと下りで利用される通行帯が分離すると考えられる。



車道	0	0	9	17	21	12	12	14	12	3	沿道施設
	0	0	8	15	25	10	7	13	22	1	
	0	0	8	16	25	11	6	11	23	1	
	0	0	5	16	27	13	5	9	25	1	
	0	0	5	17	26	13	3	10	26	1	
	0	0	3	20	27	13	2	10	24	1	
	0	0	3	16	33	9	3	11	24	1	
	0	0	2	15	33	10	2	12	25	1	
	0	0	2	13	35	9	0	11	29	1	
	0	0	2	13	35	9	2	10	27	1	
	0	0	1	13	36	9	1	13	26	1	
	0	0	2	13	30	10	3	10	31	1	
	0	0	5	9	29	13	5	8	31	1	
	0	0	7	8	27	11	7	7	32	1	
	0	0	4	7	30	15	2	9	32	1	
	0	0	5	5	30	14	2	11	32	1	
	0	0	2	7	24	20	2	8	34	1	
	0	0	1	7	22	21	2	18	29	0	
	0	0	1	8	24	22	5	40	0	0	
	0	0	1	8	23	22	12	34	0	0	

(a-1) 歩行者量：2298 人/h, 上り (↑)

車道	0	0	11	13	13	15	16	9	21	2	沿道施設
	0	0	11	13	13	13	19	6	24	2	
	0	0	11	12	13	12	21	4	26	2	
	0	0	14	10	10	11	23	3	27	2	
	0	0	18	5	12	11	22	3	26	2	
	0	0	19	3	15	8	24	3	26	2	
	0	2	17	2	17	6	24	3	27	2	
	0	1	18	2	18	4	26	2	27	2	
	0	0	19	1	19	3	27	1	28	2	
	0	0	20	0	19	2	27	2	27	2	
	0	0	20	0	19	2	28	1	27	2	
	0	0	19	1	18	2	28	1	28	2	
	0	0	20	0	19	2	28	1	28	2	
	0	0	21	0	20	2	26	2	28	2	
	0	0	20	0	20	2	27	2	28	2	
	0	0	20	0	20	2	24	4	29	2	
	0	0	21	1	19	2	21	4	32	2	
	0	0	15	1	15	3	17	9	24	17	
	0	0	18	2	18	5	25	31	0	0	
	0	0	19	2	16	11	24	27	0	0	

(b-1) 歩行者量：4596 人/h, 上り (↑)

車道	0	0	22	9	4	10	24	22	9	0	沿道施設
	0	0	23	10	1	11	28	24	4	0	
	0	0	20	11	1	14	28	25	1	0	
	0	0	23	9	0	15	33	19	1	0	
	0	0	23	9	1	15	33	16	2	0	
	0	0	24	8	1	14	36	15	1	0	
	0	0	24	7	0	14	37	17	1	0	
	0	0	22	9	0	15	38	10	5	0	
	0	0	21	10	0	18	35	16	0	0	
	0	0	20	12	1	17	37	12	1	0	
	0	0	18	15	1	18	35	12	1	0	
	0	0	21	11	5	16	34	11	1	0	
	0	0	18	13	8	17	29	13	1	0	
	0	0	20	11	9	18	29	13	0	0	
	0	0	16	14	9	18	31	12	0	0	
	0	0	16	15	11	16	27	16	0	0	
	0	0	17	15	8	14	31	16	0	0	
	0	0	17	15	10	14	29	16	0	0	
	0	0	18	11	16	15	25	16	0	0	
	0	0	20	9	13	15	22	21	0	0	

(a-2) 歩行者量：2298 人/h, 下り (↓)

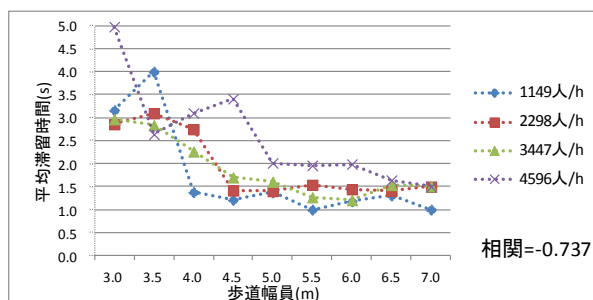
車道	0	1	11	14	17	23	9	21	4	0	沿道施設
	0	1	10	16	18	22	8	23	2	0	
	0	1	8	18	20	24	5	23	2	0	
	0	1	8	16	20	25	5	25	1	0	
	0	1	8	17	20	24	5	25	1	0	
	0	6	3	22	14	27	2	25	0	0	
	0	2	3	29	7	32	2	25	0	0	
	0	2	2	32	4	33	1	27	0	0	
	0	0	8	31	4	32	1	24	0	0	
	0	0	6	32	2	34	1	25	0	0	
	0	0	6	34	3	31	1	25	0	0	
	0	0	5	34	2	33	1	24	0	0	
	0	0	5	34	2	32	2	26	0	0	
	0	0	7	33	2	32	2	25	0	0	
	0	0	6	33	3	32	3	24	0	0	
	0	0	6	33	2	31	5	23	0	0	
	0	0	6	33	3	31	4	23	0	0	
	0	0	6	31	6	28	9	20	1	0	
	0	0	8	29	10	24	12	18	0	0	
	0	0	10	25	14	21	14	16	0	0	

(b-2) 歩行者量：4596 人/h, 下り (↓)

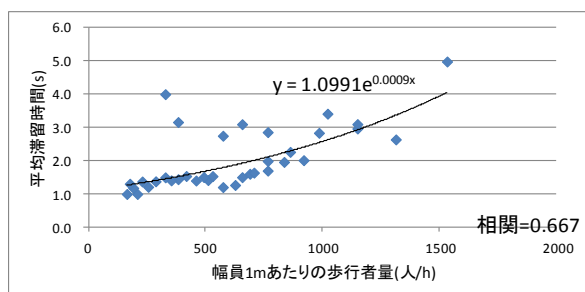
図 12 実験 1 における歩行空間占有状況

表 6 平均滞留時間

歩道幅員 (m)	歩行者量 (人/h)	滞留率 (%)	平均滞留時間 (s)
5.0	1149	17.8	1.375
	2298	51.0	1.404
	3447	63.2	1.607
	4596	58.1	2.016



(a) 歩道幅員と滞留時間



(b) 幅員 1mあたりの歩行者量と滞留時間

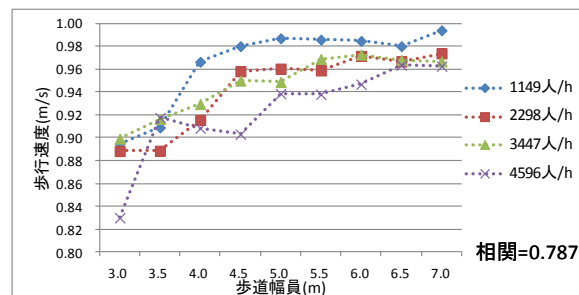
図 13 実験 2 における平均滞留時間

表 6 より、歩行者量が増加するにつれ、滞留率と平均滞留時間は大きくなる傾向にある。歩行者量が 4596 人/h のとき滞留率が減少しているにもかかわらず滞留時間が長いのは、歩行者量が容量を超えてしまう場合が生じたため、歩行者が滞留を避けるように様々な回避行動をとるが、一旦滞留すると、身動きが取れない時間が長くなっているためと考えられる。

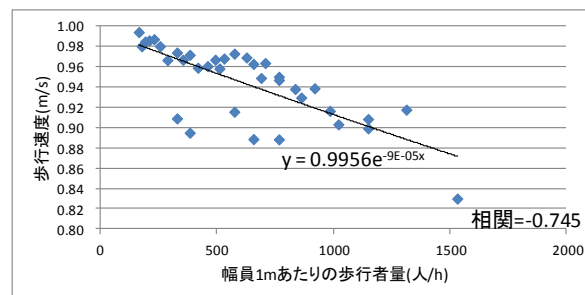
#### 5-4 実験 2 の結果

次に実験 2 のシミュレーション結果の比較を示す。それぞれの設定街路における、平均滞留時間の実験結果を図 13 に示す。

(a) は横軸を歩道幅員 (m) としたグラフである。折れ線は、各歩行者量における、歩道幅員の変化による滞留時間を示している。歩道幅員が広がるにつれ、滞留時間は小さくなる傾向にあるが、5.0m 以上の幅員では、滞留時間の変位が小さくなり、各歩行者量ともに 1.5 秒程度に収束している。(b) は幅員 1m あたりの歩行者量 (人/h) を示したグラフであり、グラフ中の青線は近似曲線である。歩行者量が増加

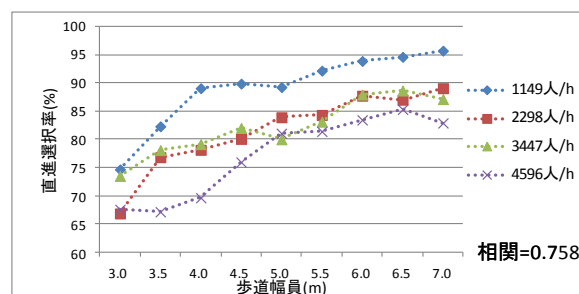


(a) 歩道幅員と歩行速度

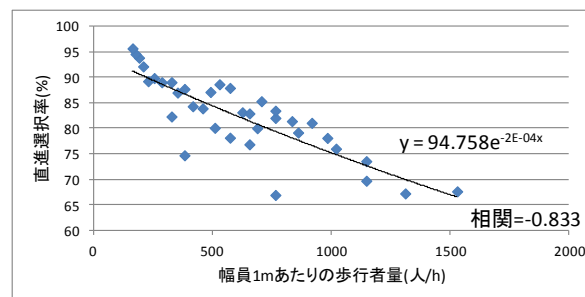


(b) 幅員 1mあたりの歩行者量と歩行速度

図 14 実験 2 における歩行速度



(a-1) 歩道幅員と直進選択率



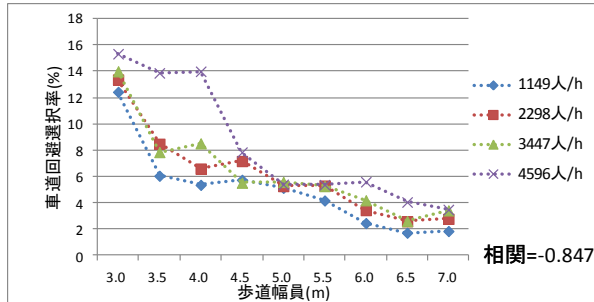
(a-2) 幅員 1mあたりの歩行者量と直進選択率

図 15 実験 2 における直進選択率

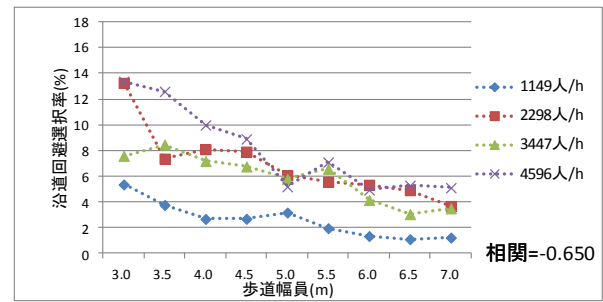
するにつれ、滞留時間も大きくなる傾向にある。歩行者量が 0~500 人/h 程度であると滞留時間の増加は小さいことがわかる。

歩行速度の実験結果を図 14 に示す。

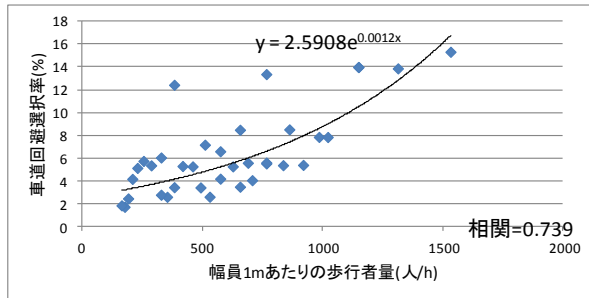
(a) から、歩道幅員が広がるにつれ、歩行速度は速くなる傾向にある。滞留時間同様、5.0m 以上の幅員では歩行速度の変位が小さくなり、各歩行者量ともに



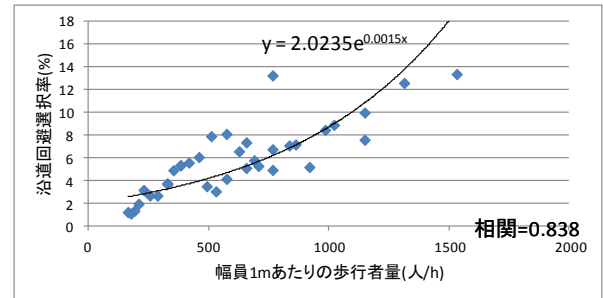
(b-1) 歩道幅員と車道回避選択率



(c-1) 歩道幅員と沿道回避選択率



(b-2) 幅員 1m あたりの歩行者量と車道回避選択率



(c-2) 幅員 1m あたりの歩行者量と沿道回避選択率

図 16 実験 2 における車道回避選択率

図 17 実験 2 における沿道回避選択率

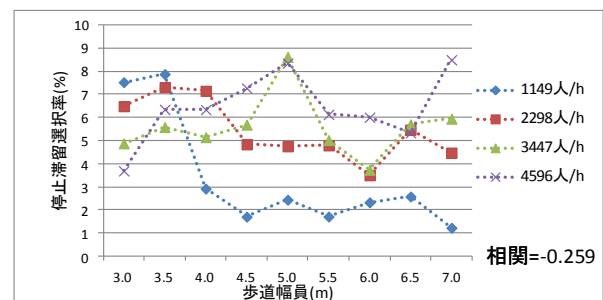
0.97m/s 程度で収束している。(b)より、近似曲線は極めて直線に近く、比例的に推移している。0～500 人/h の歩行者量における歩行速度の点が密集していることから、歩行者量に対し適当な幅員を確保することで、一定の歩行速度を確保することが可能であると言える。

各行動選択確率の実験結果を図 15～18 に示す。

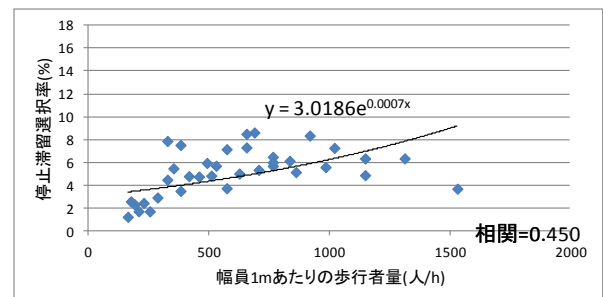
(a-1), (b-1), (c-1) より、いずれの歩行者量でも幅員が広がるにつれ直進選択率が上昇し、車道・沿道回避選択率が減少した。また沿道回避率より車道回避率が高い傾向にある。これは実験 1 の歩行者占有状況からもわかるように、歩行者は基本的に沿道側を優先的に選ぶことから沿道側通行帯が混雑し、車道側の回避が多くなるためである。(a-2)の近似曲線は直線的で比例的に推移しているのに対し、(b-2),

(c-2)は曲線的であるが、いずれも 0～500 人/h の歩行者量における選択確率の変化量が小さいことから、幅員 1m あたりの歩行者量が 500 人/h 程度になるよう幅員を設定することで、歩行の支障を小さくすることができると言える。

(d-1), (d-2)では高い相関を得ることができなかった。歩行者量が増加すれば歩行空間は混雑するため、停止滞留率が上昇すると思われるが、(d-1)からは幅員と停止滞留選択率の関係性は見出せない。歩行者は停止滞留を避けるように、できるだけ直進、左右回避行動をとるためと考えられる。



(d-1) 歩道幅員と停止滞留選択率



(d-2) 幅員 1m あたりの歩行者量と停止滞留選択率

図 18 実験 2 における停止滞留選択率

## 6. あとがき

本研究の歩行者行動動線・歩道利用状況の計測・分析における知見を以下に示す。

### (1) 歩行者行動動線分析

(a) 社会実験時の計測ではいずれも直進選択率が高く、歩行者数の増加とともに追従選択が高くなっており、歩行者は障害物や対面歩行者がいな

い場合は原則として同じ通行帯を移動すると考えられる。

(b)歩行者数が多い場合でも，なるべく停止の選択肢は選ばない。

(c)歩行者数が大きくなれば追従，錯綜の確率も大きくなる。

(d)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と錯綜しながら歩行する。

(e)沿道回避角度より車道回避角度のほうが小さいことから，歩行者は車道側を危険と認識していると考えられる。

(2) 歩道利用状況分析

(a)歩行密度が低いほど歩道中央の通行帯が選ばれ，密度が高くなると多くの通行帯が選ばれている。

(b)車道側の通行帯の利用率が低い理由として，車道側に植樹帯があり通行帯にも一部入っていたこと，自動車等による危険因子がある車道側通行帯の歩行を避けたためだと考えられる。

つぎに，歩行者行動シミュレーションを用いた数値実験から得られた知見を以下に示す。

(a)歩道幅員の違いにより滞留率が大きく変化することから，幅員 1mあたりの歩行者量を考慮した歩道幅員を設定する必要がある。

(b)対面歩行者に対して回避行動を取るため，上りと下りの通行帯は異なる傾向にある。

(c)歩行者は歩行環境に関わらず直進行動を優先的に選択し，歩行者量が増加すると対面歩行者を避けるため回避行動を選択する。

(d)幅員 1mあたりの歩行者量が 0～500 人/h 程度となるよう歩道幅員を設定することで，対面歩行者

や側方抵抗による歩行者の支障を小さくすることができる。

## 参 考 文 献

- 1) 松本隆嗣，柳沢吉保，高山純一，上倉道陽，竹内 剣：街路形状およ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)，2010. 11. 21
- 2) 浅野美帆，桑原雅夫，田中伸治：混雑時におけるミ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ミクロ歩行者行動モデル，交通工学，Vol. 43, No. 4, pp. 23-34, 2008
- 4) 山下良久，福田一太，内山久雄：実挙動データに基づく歩行者シミュレーションモデルの構築，第 34 回土木計画学研究発表会(秋大会)，講演集 Vol. 34, 329, 2006. 12
- 5) 杉谷芳宏，原田昇，大森宣暁，円山琢也：マルチエージェントシミュレーションによる歩行者自転車道の評価，第 25 回交通工学研究発表会論文集，pp. 213-216, 2005. 10
- 6) 辻智香，内田敬：街路空間の主観的評価における歩行者流動効果の定量化，第 32 回土木計画学研究発表会(秋大会)，講演集 Vol. 32, 324, 2005. 12
- 7) 竹内 剣，柳沢吉保：街路空間占有状況評価のための歩行者行動シミュレーション．平成 22 年度土木学会中部支部講演集 pp. 381-382, 2011. 3. 4
- 8) 柳沢吉保，高山純一：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. 32pp. 345-348, 2012. 9