

## 群集流を通過する時の歩きにくさに関する研究 ーフィールド実験と回避行動モデルー

### The Difficulty of Crossing Pedestrian Flow Field Experiment and Avoidance Behavior Model

佐野 友紀, 建部 謙治

Tomonori SANO, Kenji TATEBE

Abstract: This study is intended to evaluate the difficulty of crossing pedestrian flow. In this paper, we analyzed the examinee who crossed pedestrian flow in large terminal station and established the new model of crossing flow. The result of analysis shows as follows;

The estimation of crossing has a close relation to the density of pedestrian and it has two critical point. Furthermore a crossing pedestrian aims at the back of people in pedestrian flow.

#### 1. はじめに

都市部への人口の一極集中が高まる中で、都市及びその中心となる鉄道ターミナル駅においては、歩行者が高密度に集中する状態が日常化している。群集制御の観点では、移動方向や属性が異なる群集の動線を交差しないように空間配置をすることが鉄則である。しかし、歩行に利用できる空間面積の制限、他の要因による施設配置の限定などにより、すべての空間において動線分離の条件をみとすことは困難である。また駅コンコースなど広がりのある空間においては、異なる方向へ進む群集がお互いうまくすり抜ける状況が観察され、ある密度以下であれば群集流の交差を処理できることを示唆している。

歩行者は障害物や他の歩行者などからいろいろな影響を受けて歩行を阻害された時、歩きにくさを感じる。歩きにくさの評価は人それぞれであるが、その歩きにくさをあらわす指標が確立されていないため、歩きにくさを定量的にあらわす必要がある。

中は観測から交差流動には歩行者のグループ化現象があることを示し、構造モデル化を行っている。<sup>3)</sup>中村らは、群集対向流動がすれ違う際におこる歩行者の層化現象に着目し定量化を試みている。<sup>4)</sup>しかしながら、これらは物理量から現象を記述することを目的としており、心理的な評価については言及していない。

本研究は、「群集流を通過する時の歩きにくさに関する

研究」(1998年度 愛知工業大学 卒業論文)<sup>1)</sup>に引き続き、自然発生する群集を用いた実空間での実験を付加することで、群集流を通過する時の歩きにくさを定量的に評価するためのモデルを作成する。そのモデルにより人の流れを通過するときの歩きにくさを解明、評価する。

#### 2. 実験方法

##### 2・1 群集流動通過実験

本研究に先立ち前年度に行われた実験室実験<sup>2)</sup>を通して群集の状況がコントロールされた状態での通過歩行データを計測した。これをふまえ、本研究では自然発生する人の流れに対して、実験歩行者による通過歩行データを計測する。2つの実験から歩きにくさのメカニズムを解明し、定量的な指標化を行うため、マクロとミクロの視点から2つのモデルを作成する。

群集流の密度、歩行者が進入する角度による場合分けを行い、それらの違いによる歩きにくさを考える。ビデオによる撮影と、各実験終了ごとに進入歩行者に対して歩きにくさの評価アンケートを行う。

##### 2・2 基礎概念

ここで本研究で使用される言葉について定義する。

進入歩行者：人の流れに進入していく歩行者。

群集：自然発生的な人の流れを構成するもの。

実験室実験：モーションキャプチャシステムを利用した実験室内での実験。群集、進入歩行者ともに状況をコント

\* 名古屋市立大学 芸術工学部 (名古屋市)

\*\* 愛知工業大学 工学部建築学科 (豊田市)

ロールしたものである。

フィールド実験：ターミナル駅コンコースで行った実空間での実験。群集は自然発生、進入歩行者は実験被験者である。

### 2・3 実験方法

下記の通り実験を行った。

日時：1999年11月24日(木) 6:30～9:30

場所：名鉄金山駅改札口内1階コンコース

(撮影用ビデオカメラは2階デッキに設置)

進入被験者：愛知工業大学建築学科の学生4名

撮影内容：実験は群集の流れを進入歩行者が単独で進入、通過するものである。4種類の角度を、A～Dの4人の進入歩行者に順番に歩いてもらう。その状況をコンコースの2階デッキからで小型8mmビデオで撮影する。進入回数は一人61～62回、合計247回となった。歩行終了時1回ごとに、進入歩行者は歩きにくさ評価のアンケート結果を記入する。

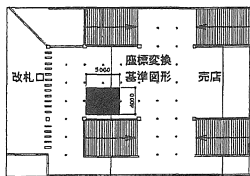


図1：名鉄金山駅平面図

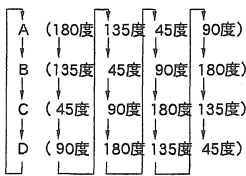


図2：実験の順序の流れ

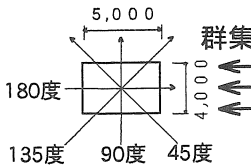


図3：群集と進入歩行者の進行角度図

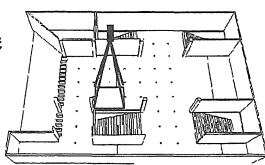


図4：カメラ設置位置

### 2・4 歩行軌跡の画像処理データ変換

ビデオカメラで撮影したデータから、歩行者の位置座標を算定した。ここでは、事前に制作した画像取り込みシステムと、コンピュータプログラムを用いた。

機器構成：Apple PowerMacintosh 7600/180

解析ソフトウェア：NIH Image

システム開発言語：MacPerl

使用方法：8mmビデオの映像をビデオキャプチャーボードを経由してコンピュータに取り込む。映像は「NIH image」ソフトウェアで、0.25秒ごとの連続画像 movie



図5：フローチャート図

データとして、TIFF形式で取り込む。位置座標計測用のMacroプログラム「Click Pro.」にて画像データ上の歩行者の頭の位置をクリックして座標を抽出し、座標変換プログラム「写像くん」にて画面上の座標を直行座標に写像変換する。

### 3. 歩きにくさ評価の解析 (マクロ解析)

#### 3・1 歩きにくさの心理評価

##### ・フィールド実験のアンケート結果

アンケートは実験一回ごとに事前に渡しておいたアンケート用紙に書き込んでもらった。内容は、各実験毎の歩きにくさを1～5の5段階で表すものである。図6ではその全結果を散布図で示す。群集密度0.25人/m<sup>2</sup>ごとに階級に分け、各階級の評価の平均値を折れ線であらわす。また、図7は進入角度ごとの平均値グラフである。

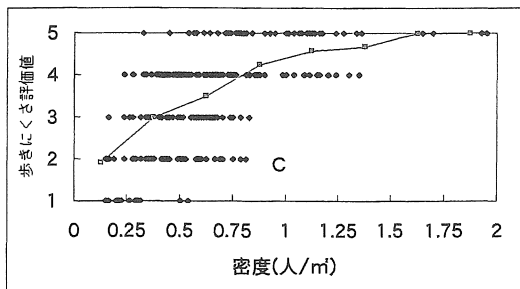


図6：評価値散布図と平均のグラフ

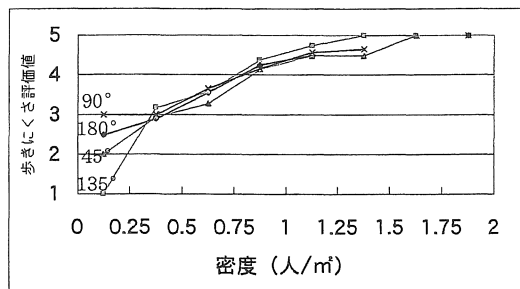


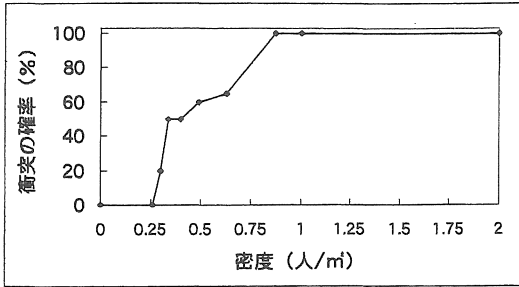
図7：進入角度別平均のグラフ

図6の散布図から、密度0.25人/m<sup>2</sup>以下では評価が1, 2と低く、0.8人/m<sup>2</sup>付近以上では評価が4, 5と高いところに集中している事が見られる。

図7では、検定による各進入角度毎の各密度平均同士の有意差は認められなかったが、特に差が見られた0.25～1.00人/m<sup>2</sup>の範囲では、45度→180度→90度→135度の順で歩きにくい評価となる傾向が見られた。

・歩行者の密度と衝突の確率

既存の文献より、群集流に進入する時の衝突 (conflict) が起こる確率についてまとめたものを図8に引用する<sup>2)</sup>。



※文献で使われていた空間モジュールを、逆数である密度に変換して表記する。

図8: 交差流動の衝突の確率(引用:「歩行者の空間」<sup>2)</sup>p56)

図8から、0.25人/m<sup>2</sup>から人と衝突を始め、0.85人/m<sup>2</sup>以上になると確実に衝突が起こることが見られる。

・密度別の群集分布

密度による群集の違いを写真により示す。



図9: 密度0.1、0.6、1.2(人/m<sup>2</sup>)の群集の状態

3・2 歩きにくさ解析の考察

・歩きにくさ評価の変曲点について

図6より、密度0.25人/m<sup>2</sup>、0.8人/m<sup>2</sup>の付近に歩きやすさと歩きにくさとの変曲点があると考えられる。また図8にも同じ密度の変曲点をもっており、歩きにくさの評価と衝突は関係が深いと考えられる。

・角度別の歩きにくさについて

	歩きやすい	歩きにくい
実験室	180° → 90°	→ 135° → 45°
フィールド	45° → 180°	→ 90° → 135°

実験室実験とフィールド実験では45度の評価順位に違いが出た。実験での群集の速度や配置状態の違いから評価に差が出たと考えられる。

・衝突と隙間の関係について

図8、図9より衝突の確率は群集の中の人同士の隙間と関係があると思われる。

密度0.25人/m<sup>2</sup>以下……隙間が大きく、衝突はほとんど起こらない。

密度0.25人/m<sup>2</sup>～密度0.8人/m<sup>2</sup>……群集の隙間が多様であり連続の衝突が起こる可能性も変化するため歩きにくさの評価にばらつきが起こる。

密度0.8人/m<sup>2</sup>以上……隙間がほとんどなく、ほとんどの事例に衝突が起こり、歩きにくい評価にかたよっている。

・群集密度と通過の関係について

図9の元データ動画映像を観察し導き出した群集密度と通過の状態の関係を示す。

0.25人/m<sup>2</sup>以下……密度が低く通過が容易である。

0.25以上0.8人/m<sup>2</sup>未満……群集の状態の変化が大きく、通過の難易度は場合によって異なる。

0.8人/m<sup>2</sup>以上……群集歩行者の間に通り抜ける隙間がないため通過が困難である。

・群集密度と通過の評価

群集を通過する際には、群集密度が歩きにくさと大きく関係することが明らかになった。表2に、密度を低密度、中密度、高密度に分類し、通過の状態まとめる。

3・3 歩きにくさモデルの作成

・近似式モデルについて

図10は、歩きにくさ評価の平均のグラフから、その標準偏差と評価の平均値の近似曲線を示したものである。

$$y = 1.2045 \ln(x) + 4.307$$

$$\text{重相関係数 } R^2 = 0.9846$$

(xは密度、yは歩きにくさの表価値)

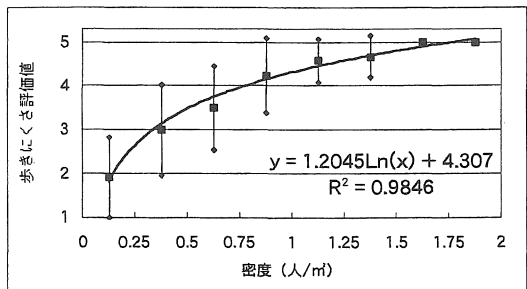


図10: 被験者平均グラフの標準偏差と近似曲線

表2: 群集の密度と分布状態

群集密度 [人/m <sup>2</sup> ]	群集状態	群衆内歩行者の分布	横断	衝突
低密度	0~0.25	分散	容易	少ない
中密度	0.25~0.8	集塊	状態により異なる	状態により異なる
高密度	0.8~	密集	困難	多い

4. 回避行動の解析(ミクロ解析)

4.1 進入歩行者の回避行動パターン

図12は、進入者の歩行軌跡を進入角度別、群集密度別に示したものである。図中の点は0.25秒ごとの進入歩行者の位置をあらわし、大きな点は歩行開始位置を示す。矢印はその歩行の進行方向をあらわしている。実験位置、寸法は、図1, 3を参照。

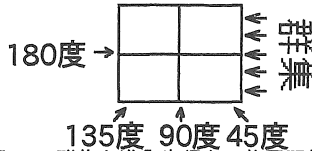


図11: 群集と進入歩行者の位置関係

進入角度	中密度 (0.6人/m <sup>2</sup> )	高密度(1.2人/m <sup>2</sup> )
180°		
135°		
90°		
45°		

図12: 角度、密度別の歩行軌跡図

図12から、各角度の歩行軌跡における特徴が読み取れる。点の間隔が大きいと速度が速く、小さいと遅いことを示す。進入歩行者の進行方向を軸とした垂直方向の点のずれから軌跡変化が読み取れる。以下の表に示す。

表1: 群集密度・進入角度と回避行動の特徴

角度	低密度 (0.6人/m <sup>2</sup> )の時		高密度(1.2人/m <sup>2</sup> )の時	
	軌跡変化	速度変化	軌跡変化	速度変化
180	あり	あまりない	あり	あり
135	あり	あまりない	大きくあり	あまりない
90	あまりない	あり	あり	あり
45	あまりない	あり	あり	あり

4.2 回避行動解析の考察

軌跡グラフと映像をもとに回避特性を考察する。

・個人レベルの回避方法

全角度において、個人の回避は群集を構成する人の後ろ側(背中側)を通り抜ける傾向が見られた。

角度ごとの特性は、以下ようになる。

180° : 軌跡変化に伴う回避を必要とする。

135° : 軌跡変化に加え、体をひねる回避を行う。

90° : 速度変化による回避を行う。

45° : 軌跡変化よりも、速度変化による回避を行う。

密度が高くなって衝突が増えると、上記の回避行動の他に、さらに速度変化や軌跡変化を加えた回避をしたり、人の前を通り抜けたりする現象が見られた。

・人の回避の評価について

歩きにくさを感じるのは、回避の大きさよりも回数が増えた時である。また、図8から密度0.25人/m<sup>2</sup>以下では衝突の確率が少なく、密度0.8人/m<sup>2</sup>以上ではほぼ必ず衝突が起こる事からも、密度が高くなるのにつれて衝突が重なり、歩きにくいという評価につながると思われる。

4.3 回避行動モデルの作成

・角度別回避行動パターンモデル

図は群集歩行者の一人を上から見たところを示し、矢印は群集歩行者のもつ前方のパーソナルスペースを表す。回避行動は、群集歩行者と進入歩行者との位置関係である程度きまっており、同じ回避行動を示す場合について、それぞれに番号をつけた。進入及び群集歩行者が回避(速度変化、軌跡変化)せず直進すると想定した場合、群集被験者に接近する進入歩行者は、①のゾーンでは前方を②のゾーンでは後方を回避する。ただし、進入被験者と単数の群集歩行者のみが干渉する場合とし、進入被験者はほぼ等速歩行をしているとする。

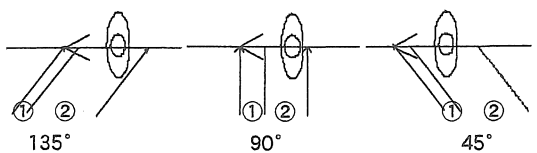


図13: 回避行動パターンモデル概念図

表2: モデルでの進入角度と回避行動パターン

進入角度	①群集の前方への回避	②群集の後方への回避
135°	加速の速度変化	後方への軌跡変化
90°	前方への軌跡変化	減速の速度変化
45°	変化なし(群集減速)	減速の速度変化

ここでは、回避する群集歩行者は一人としているが、連続の衝突回避が起こることを考慮すると、低密度ではモデルに適合した回避を行うが、高密度では、速度変化と軌跡変化の複合で回避を行う。この複数の回避はモデルの単数での回避に比べ、歩きにくい評価となる。

モデルで示すとおり、単数回避では各角度ごとの回避行動パターンは2種類である。この事からも単数の回避は比較的歩きやすいと思われる。しかし、複数の回避ではさらにパターンが増え歩きにくくなることになる。

・相対位置座標の解析モデル

一方向に向かう群集流では、大きく見ると一つの大きな塊のように見える。そこでモデルでは、群集内の歩行者の速度を一定とし、進行方向もすべて同一方向と仮定する。

また、群集流を通過する行動は、群集歩行者の間間を通り抜ける行動におきかえられる。そこで、群集の流れを複数の列の連続としてモデル化を行う。

このモデルは、群集歩行者に対する進入歩行者の進入角度と、それぞれの速度の比率が分かれば、群集歩行者を基準とした相対速度と相対角度が求まることを示すものである。また同時に、群集歩行者間の見かけの間間を算定する。

ある進入歩行者と群集歩行者が交差するときの進入角度と歩行者同士の速度の比率から、相対角度と相対速度が算出できる。

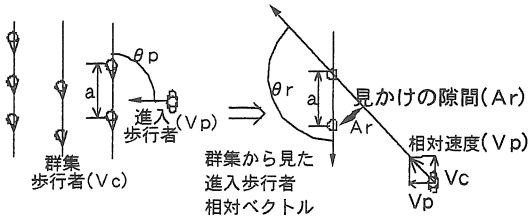


図 14 : モデルの概念図

群集のベクトルを  $V_c$ 、進入歩行者のベクトルを  $V_p$ 、進入角度を  $\theta_p$  とする。相対ベクトルの速度を  $V_r$  とし、角度を  $\theta_r$  と定義する。ここから見かけの間間 ( $A_r$  とする) を求める。

$$\theta_r = \cos^{-1} \left( \frac{V_c \cdot V_p}{|V_c| |V_p|} \right) \quad \dots (1)$$

$$A_r = a \cdot \sin \theta_r \quad \dots (2)$$

式 1 から相対角度を求め、式 2 から見かけの間間を計算する。速度角度と見かけの間間比の関係を以下に示す。

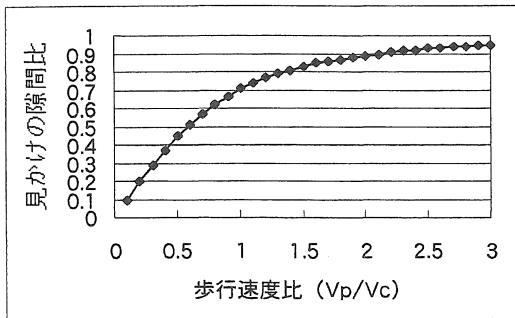


図 15 : 進入角度 90 度の時の速度比と見かけの間間比

図15は進入角度を90度としたときの進入歩行者の群集歩行者に対する速度比と見かけの間間比の関係を示したものである。群集歩行者の速度が上がるほど速度比は小さくなり、見かけの間間比が小さくなることから、通過しにくくなることがわかる。

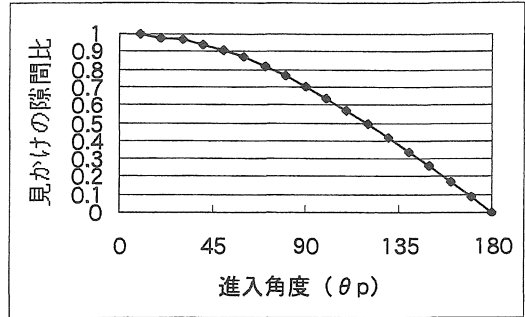


図 16 : 進入角度と見かけの間間比

図 16 は、進入歩行者と群集歩行者の速度を一定としたときの進入角度と見かけの間間比の関係を示したものである。進入角度が大きくなるほど見かけの間間は小さくなり通過しにくいことがわかる。

見かけの間間が小さい方が歩きにくいとすると、45度 → 90度 → 135度の順で歩きにくくなる。この結果は心理評価の結果と同じとなる。

5. 結論

5.1 まとめ

・密度は大きくなるにつれて歩きにくさを感じる。近似式は、群集の密度(x)、歩きにくさの評価(y)とすると  $y = 1.2045 \ln(x) + 4.307$ 、重相関係数  $R^2 = 0.9846$  で与えられる。

・アンケート結果から、歩行者は進入角度により 45度 → 180度 → 90度 → 135度の順で歩きにくさを感じる。また、相対位置座標の解析モデルから、見かけの間間間隔、相対速度の違い、進入角度により回避方法が異なることが明らかになり、アンケート結果と一致した。

・歩きにくさの変曲点は、密度  $0.25 \text{ 人/m}^2$  付近と密度  $0.8 \text{ 人/m}^2$  付近に存在すると考えられ、密度  $0.25 \text{ 人/m}^2$  以下、密度  $0.8 \text{ 人/m}^2$  以上では評価はかたよって一定となる。逆に、密度  $0.25 \text{ 人/m}^2 \sim 0.8 \text{ 人/m}^2$  では評価にばらつきがある。

・進入歩行者は通常、群集歩行者の後方をねらい通り抜ける。しかし高密度では回避が複雑になり、前方回避行動をする割合が増えたり、速度変化や軌跡変化による回避を組み合わせて歩行する。

従来の建築計画においては、異なる方向への動線は分離することが原則であったが、実際には交差を許容しなければならない場合も多くみられた。ここでは群集流を通過する時の歩きにくさの視点を通して、動線の交差を評価する方法を提案した。

## 5.2 今後の課題

歩きにくさは、人との衝突以外にその空間に到着するまでの経験・履歴や、空間の見通しなど今回取り上げた物理的指標以外の要素に関係する部分も残されている。このため、さらに違う観点からの研究の余地があると考えられる。

### 参考文献

- 1) 牛山利章: 群集流を通過するときの歩きにくさについて, 愛知工業大学卒業論文, pp.1-66, 1999.3
- 2) ジョン・J・フルーイン: 歩行者の空間, pp.45-58, 鹿島出版社, 東京, 1974
- 3) 中祐一郎: 交差流動の構造 - 鉄道駅における交錯流動に関する研究 (1) -, 日本建築学会論文報告集, No.258, pp.93-102, 1977.8
- 4) 中村和男, 吉岡松太郎: 群集対向流動の解析, 日本建築学会論文報告集, No.289, pp.119-129, 1980.3
- 5) 建部 謙治 佐野 友紀: モーションキャプチャを用いた群衆横断歩行の解析, 日本インテリア学会大会学術講演梗概集, pp.37 - 38, 1999. 10
- 6) 佐野友紀, 志田弘二, 建部謙治: モーションキャプチャを用いた歩行者の群集横断歩行特性の解析, 日本建築学会第22回情報システム利用技術シンポジウム論文集, pp.253-256, 1999.12

(受理 平成12年3月18日)