

数理的手法による ミクロ歩行者流モデルの比較分析

杉森 千恵¹・井料 隆雅²・浅野 美帆³

¹学生会員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail: 133t125t@stu.kobe-u.ac.jp

²正会員 神戸大学大学院教授 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail: iryo@kobe-u.ac.jp

³正会員 名古屋大学大学院助教 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒464-8603名古屋市千種区不老町)

E-mail: asano@genv.nagoya-u.ac.jp

ミクロ歩行者流モデル, すなわち個々の歩行者の歩行者流のなかでの歩行挙動を記述するモデルは, 混雑する歩行者流を評価するためのツールとして知られる. これまで提案された複数のミクロ歩行者流モデルが生成する歩行者の挙動にはモデルの定式化や数理的特徴による差異が存在するため, 各モデルの特性を比較し知っておくことは, これらを正しく実務的課題に適用する際に必要である. 本研究では代表的モデルであるSocial Force(SF)モデルを含む3種のモデルについて, 理論的差異と数値計算によってそれらの間の差異を検証した. その結果, SFモデルには交錯時の挙動の再現に問題があり, その問題は歩行者間の位置および速度の対称性を破るメカニズムを明示的にあるいは暗示的にモデルに含めることにより改善される可能性があることがわかった.

Key Words : *pedestrian model, microscopic simulation, social force model*

1. はじめに

ミクロ歩行者流モデル, すなわち個々の歩行者が歩行者流のなかで他者にぶつからないようにどのように自身の進行方向を定めるかを記述するモデルは, 混雑する歩行者流を評価するための主要なツールとして知られる. このモデルをミクロシミュレーションとして計算機上に実装することにより, 歩行者流を机上でシミュレーションすることが可能になり, 歩行者用の各種の施設や施策を評価するために重要な情報を提供する.

ミクロ歩行者流モデルとしては多くのものが提案されているが, 著名なもののひとつとしてSocial Forceモデル¹⁾と呼ばれるモデルが知られている. このモデルは群衆の中で歩行者が他者をよける挙動を, 他者から受ける反発力と, 力学の運動方程式に類した式で記述する. Social Forceモデルは簡便でありシミュレーションとしての実装も容易であるが, 特定の状況で不自然な挙動をするとの指摘もあり²⁾, 必ずしも一般的な状況で歩行者の挙動を適切に記述できるモデルとはいえない.

本研究では, Social Forceモデルとそのほかの歩行者挙動モデルを数理的に, より具体的には理論的および数値

計算(シミュレーション)で比較する. 数値計算の際には実データとの比較による実証アプローチも併用する. これらにより, 複数あるミクロ歩行者流モデルの特性を理解する. それとともに, 特にSocial Forceの原型についてその問題点を明らかにし, 実務的用途においてはより新しいモデルを用いた方が適切であることを指摘する.

2. 各モデルの定式化と理論的特性の比較

(1) 各モデルの定式化

a) Social Force モデル

Helbing et al. によって提案されたSocial Force (SF) モデル¹⁾は, 歩行者の行動を運動方程式と同様の式で説明している. 希望方向への力と他の歩行者や壁から受ける反発力 (Social Force) の合力によって加速度を決定する. Social Forceの大きさは他者との距離に依存し, その値は他者に近付けば近付く程, 指数関数的に増加する. 時刻 t における歩行者 i に作用する力は次の式(1)で表される.

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t) \mathbf{e}_i^0(t) - \mathbf{v}_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} \mathbf{f}_{ij} + \sum_W \mathbf{f}_{iW} \quad (1)$$

- i : $0 \leq i \leq N$
 v_i^0 : 歩行者 i の希望速度
 m_i : 歩行者 i の質量
 $\mathbf{e}_i^0(t)$: 歩行者 i の時刻 t における希望角度
 $\mathbf{v}_i(t)$: 歩行者 i の時刻 t における速度ベクトル
 $\mathbf{r}_i$: 歩行者 i の位置
 τ_i : パラメータ (希望方向へ向かう力の程度)
 $\mathbf{f}_{ij}$: 歩行者 i が歩行者 j から受ける反発力
 $\mathbf{f}_{iW}$: 歩行者 i が壁から受ける反発力

式(1)の右辺の第2項は、歩行者が他の歩行者から受ける反発力であり、その式は式(2)で表される。

$$\mathbf{f}_{ij} = A_i \exp\left(\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i}\right) \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j}{d_{ij}} \quad (2)$$

- r_{ij} : 歩行者 i と歩行者 j の半径の和
 d_{ij} : 歩行者 i と歩行者 j の中心の距離
 A_i, B_i : パラメータ

b) JH(Johansson) モデル

SFモデルの拡張であり、Johansson et al. により提案された³⁾。SFモデルと同様に、歩行者の加速度が周辺歩行者や希望速度に依存する力に等しいとするモデルである。

a)で説明したモデルと異なるのは他の歩行者から受ける力である。式(2)では他の歩行者から受ける力は単にその歩行者までの距離に依存している。これは、その歩行者が生成するSocial Forceのポテンシャルが真円であることと等価である。一方でJHモデルでは、他の歩行者から受ける力はその歩行者までの距離だけでなく、自分の進行速度(Elliptical specification I, 以降ではJH-I), あるいは自分と他の歩行者との相対速度(Elliptical specification II, 以降ではJH-II)に依存するとしている。これらの相対速度の方向にSocial Forceのポテンシャル面を楕円状に引き延ばすことにより、JH-Iであれば、自分の進行方向にいる人からの反発力を強く受けることになるし、JH-IIであれば、自分に向かってくる人からの反発力を強く受けることになる。JH-IIでは他の歩行者との相対速度を考慮してSocial Forceを設定するので、対向歩行者に対してより早い段階から回避行動をとることができる、とJohansson et al. の論文では主張されている。本研究では、もっぱらJH-IIのほうについて分析を行う（以降では、単にJHといった場合はJH-IIを指すものとする）。

c) Fastest Trajectoryモデル

Asano et al.によって提案されたFastest Trajectory (FT)モデル⁴⁾は、歩行者がそれぞれの目的地へ他の歩行者と衝突しないという条件の下で最短経路を通るように行動を決定すると考えるモデルである。他の歩行者に衝突しない

ようにするために、歩行者が進路を決める際に周辺歩行者の将来の動きを予測する「先読み行動」をモデルに組み込んでいる。先読み行動は戦略ゲームにより記述される。理想的には目的地までの旅行時間を不効用とするNash均衡が成立するとされる。ただし、実際の歩行者は目的地にいたるまですべての瞬間に他の歩行者の動きを先読みしていると考えるのは無理がある。実際には、比較的短い時間（タイムホライズン）の間だけを考慮して衝突を防ぐ行動をとると考えるべきである。FTモデルでは、各歩行者はタイムホライズンの範囲で他者の行動を先読みし、他者に衝突せずできるだけ目的地に近づくように将来の速度（進行方向とタイムホライズン内での発進・停止の別）を決定するとしている。FTモデルで算出される各歩行者の行動はタイムホライズンの純粋戦略によるNash均衡解（の近似解）である。このNash均衡解は、たとえばAとBの2人の歩行者が衝突しようとしているときには、「AがBを回避する」「BがAを回避する」のように、複数の均衡解をとる。どちらの均衡解が実現するかは確率的に定まる（シミュレーション内では乱数を用いて決定する）としている。

(2) 各モデルの理論的特性の比較

a) 定式化の考え方に基づく比較

SFモデルおよびJHモデルの定式化の考え方と、FTモデルの定式化の考え方における最大の差異は、歩行者行動の原理に対する着想にある。FTモデルでは歩行者はできるだけ早く目的地に着こうとする行動を明示的に定式化するところから出発しているが、SFおよびJHモデルではそのような考え方からは出発していない。FTモデルの考え方は、一般化交通費用を最小化する（あるいは効用を最大化する）ように人の行動を決定するという交通工学で一般的な行動原理に準拠しているといえる。

SFモデルについては、それが結果的に、近接不効用（他の歩行者に近いことによる不効用）を含めた一般化交通費用を最小化するように歩行者の挙動を決定しているのではないかと、という解析を示した論文もある⁵⁾。しかしこの論文における解析には数理的に見て問題があり、実際には、SFモデルは、（先のことを考えない）瞬間ごとの効用を最大化する行動と等価であることが示されている⁶⁾。ここでいう瞬間は、文字通り「いまこの瞬間」という意味であり、FTモデルで設定されたタイムホライズンのように（たとえそれが数秒程度であっても）有限の長さを持つものではないことに注意したい。このことは、たとえば、2人の歩行者が近接したときの回避挙動に影響を与えることが予想される。FTであれば数秒後の効用を高めるために、最初にあえて効用の低くなる回避行動をとることがタイムホライズン全体の効用最大化に有効である。一方で、SFであれば、このような

「先のことを考えた」行動が、少なくともその定式化から直接的に導出されることはない。

b) モデルが算出する歩行者の挙動に関する比較

各モデルが歩行者の挙動を計算する方法に関していえば、SFモデルおよびJHモデルとFTモデルのあいだにはひとつ大きな差がある。それは、SFモデルおよびJHモデルでは、歩行者の挙動（加速度）が、歩行者の現在の位置関係あるいは、位置と速度の関係のみに基づいて歩行者の挙動が決定される一方で、FTモデルでは、それらに加えて乱数による優先順位の決定が歩行者の挙動（速度）に影響を与えている、ということである。

各歩行者の将来の移動軌跡が、乱数に依存せずに、各歩行者の現在の状態変数（位置と速度）のみに依存して決定するモデルは、いわばニュートン力学的な決定論的モデルということができる。このことは、一見、モデルの出力の初期値に対する唯一性という意味で優位性があるともみえる。しかし、このような決定論的モデルは、2名の歩行者が、それらの位置および速度関係を完全に対称に保って接近する場合に問題を起す。このような状況として典型的なものとして、たとえば、2名の歩行者が、完全に互いに正面から接近する場合（図-1a）や、90度の角度から接近する場合²⁾（図-1b）などが挙げられる。SF、JHいずれのモデルにおいても、図-1aの場合は、2名のいずれの歩行者も正面からのSocial Forceを受けることになり、希望方向がそれらと同方向であれば、2名は正面衝突直前で力が釣り合って停止し、そこから永遠に動かなくなる。同様に図-1bの場合は、2名の歩行者の初期条件の対称性を考えれば、これらの歩行者は図中点線で引いた線に対して線対称な軌跡を描くように歩行することになる。これらの挙動が実際の歩行者の行動を反映しない不自然なものであることはいうまでもない。

実際にシミュレーションとしてSFモデルやJHモデルを実装したときに、図-1に示したような状況、すなわち、歩行者の対称性が完全に保たれる位置関係が実現されることはまれである。もし、対称性が若干でも破れた場合に、その対称性の破れが急速に拡大するような挙動が実現するのであれば、図-1で示すような対称性による不自然な現象は実際には発生しないことが予想される。直感的に考えれば、SFモデル、JHモデルとも、反発力を含むモデルであり、たとえば同極の協力的な磁石を近づけたときのように、対称性の微小な破れが一気に拡大されることが期待できる。特に、JHモデルでは、接近している歩行者から強力な反発力を受けることになるので、計算時に含まれる微小な対称性の破れが急速に拡大して、図-1で示すような状況が実現しない（たとえば、図-1aであれば、微小な誤差に対応して各歩行者が進行方向右か左に回避する）ことが期待できよう。

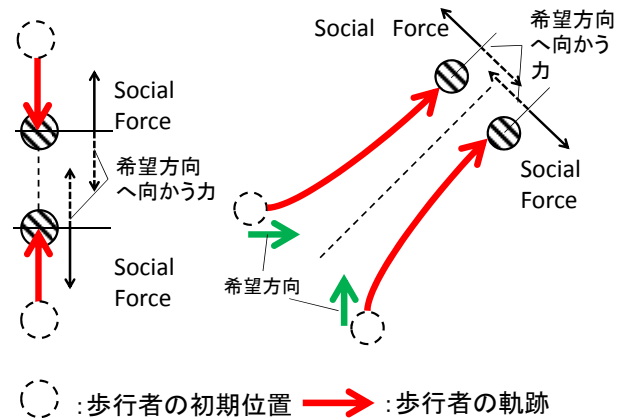


図-1 対称性のある状態からのSocial Forceでの歩行者軌跡
左(図-1a): 正面からの接近, 右(図-1b): 90度の接近

3. シミュレーションによる比較

(1) シミュレーション条件設定

2節で議論した現象が実際にどのように発生するのか、そのモデルによる差異はどのようになるのかを、シミュレーションを用いて比較する。特に、図-1bのような状況の発生の可能性を数値的に検証するために、2人の歩行者が図-2のように90度で交差する状況において各モデルの歩行者挙動の差異を検証することとした。1人は点Aから発生し希望進行方向は右である。もう一方の歩行者は線B上のどこからランダムに発生し希望進行方向は上である。2人の歩行者は回避行動をとらなければ点Cで衝突する。希望進行速度は1.2~1.4 (m/s)の間でランダムに設定される。歩行者円半径は0.3 (m)である。シミュレーションは各モデル50回ずつ行った。

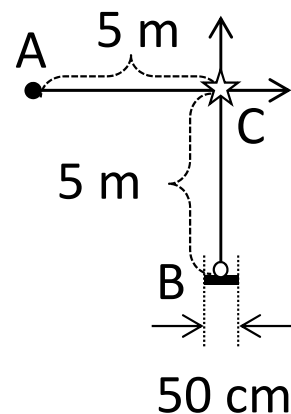


図-2 歩行者の交差状況

表-1 各モデルのパラメータ設定

モデル	概要
H1a	SFモデル(2000)
H1b	SFモデル(2000), $A_i = 1.5(m/s^2)$, $B_i = 1.5(m)$
H2a	SFモデル(2005) ⁷⁾ , $A_\alpha^1 = 0$, $\tau_\alpha = 1.0(s)$
H2b	SFモデル(2005), $A_\alpha^1 = 0$, $\tau_\alpha = 1.0(s)$, 歩行者の視野は希望方向から左右に60度に限定
JH	JHモデル, $A = 1.0(m/s^2)$, $B_i = 1.0(m)$, $\lambda = 1$, $\Delta t = 2.5(s)$, $\tau_\alpha = 2.0(s)$
FT	FTモデル, $n_{BP} = 1$

シミュレーションのパラメータ設定は表-1の通りである。

(2) シミュレーション結果

図-3はシミュレーションにより得られた各モデルの軌跡を示している。Bから生じた歩行者の、Aから生じた歩行者への相対的な位置を $(\Delta x, \Delta y)$ で表している。点A

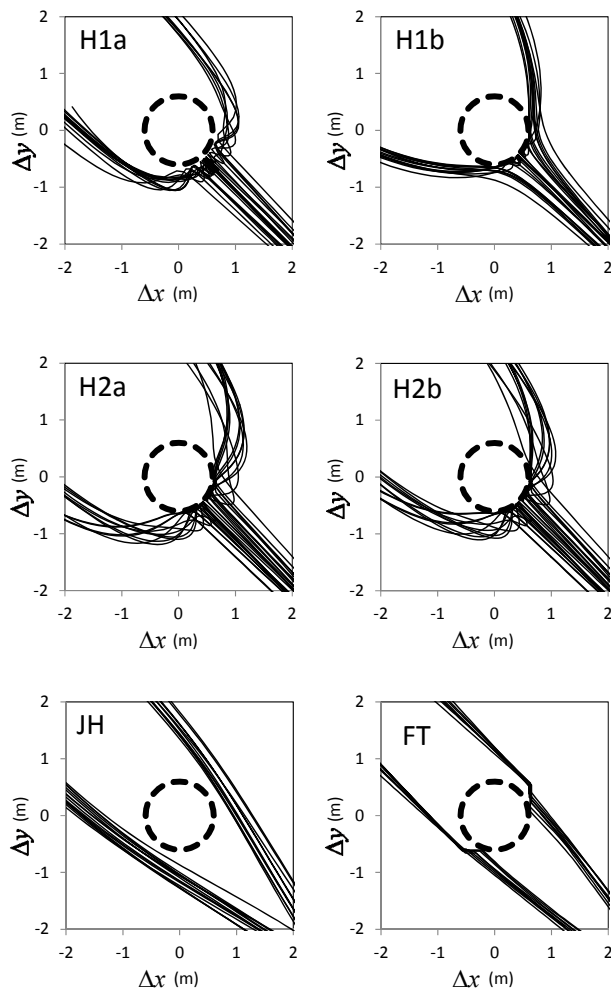


図-3 シミュレーション結果

からの歩行者の位置、線B上の歩行者が生じた点からの歩行者の位置をそれぞれ (x_A, y_A) と (x_B, y_B) とすると、以下の式(3)式(4)で表される。

$$\Delta x = x_B - x_A \quad (3)$$

$$\Delta y = y_B - y_A \quad (4)$$

歩行者円半径を定めているので、破線で描かれている円内に値は入らない。図-3をみると、H1a, H1b, H2a, H2bのSFモデルの4つのシミュレーションでは、歩行者同士がお互いにかかなり近くまで近付いてから急なターンをしていることがわかる。さらに、多くの歩行者が回避の際にはね返りの動きをみせていることがわかる。このような衝突回避行動は現実の歩行者ではみられない。もっと早い段階で衝突回避行動をとると考えられる。一方JHモデルとFTモデルでは衝突前に余裕をもって回避行動をとっており、スムーズな動きであるといえる。これより、SFモデルと比べてJHモデルとFTモデルの方が歩行者挙動をうまく表現できているといえる。

4. 実測データとの比較

JHモデルとFTモデルによるシミュレーションの計算結果と実測データと比較し、それらの再現性の違いを検証する。比較に用いる実測データは、歩行者同士の交錯が頻繁に発生する横断歩道の歩行者データを用いる。

(1) 実測データとシミュレーションの概要

モデルとの比較に用いる実測データは名古屋駅前の笹島交差点横断歩道歩行者の映像データから、画像処理ソフトGeorge⁸⁾を用いて歩行者の軌跡及び速度のデータを取得されたものである。軌跡は0.5秒おきに観測された点に対しカルマンフィルタを0.5秒おきに適用したデータを実測データとして用いる。カルマンフィルタでは、位置や速度といった物理量の相互関係とそれら物理量の観測値と真値との関係がわかれば、観測値の精度に応じた最適値を推定できる。

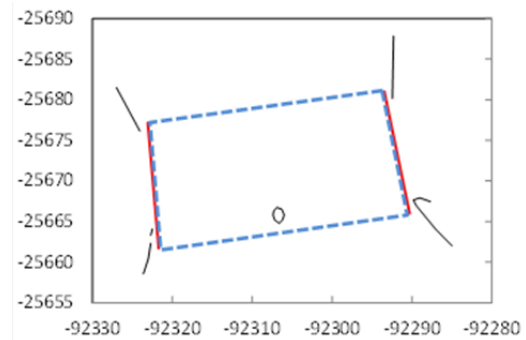


図-4 セントロイド(赤線)と横断歩道領域(青破線)
(両軸とも単位はメートル)

笹島交差点西側横断歩道周辺（図-4の青破線内）をシミュレーションの対象範囲とする。実際の歩行者がこの範囲に最初に進入した時刻において、その進入位置に歩行者を発生させ、その後は与えたマイクロ歩行者モデルで歩行者を移動させる。黒実線は障害物（歩道端の柵と中央分離帯）の位置を示す。中央分離帯（黒線で囲まれた部分）に関しては、特にJHモデルにおいて、中央分離帯の回避がうまく行えず障害物との衝突が極めて頻繁に発生し、モデル間の比較が困難となったため、今回のシナリオではこの障害物がないものとしてシミュレーションを実施した。歩行者の希望移動方向は、その歩行者が実際に（観測時に）領域から出た位置に向かう方向と設定した。希望速度については、各歩行者についてその観測速度の50パーセンタイル値に設定した。全てのモデルに共通する設定として、シミュレーションの時間更新間隔を0.1秒、歩行者の人体円半径を0.25mとした。その他のパラメータは表-2と表-3に示した。JHモデルに関しては、混雑状況により適切なパラメータが大きく異なるという特徴から、原著のパラメータであるJH1のほかJH2～JH5のパラメータの組み合わせも設定した。FTモデルのパラメータはAsano et al.⁴⁾を引用した。

(2) シミュレーションと実測データとの比較の方法

以下に示す評価指標を用いて実測およびシミュレーション結果を比較する。

a) 方向変化指標による比較

各歩行者について、方向変化の絶対値を0.1秒ごとに累積する。速度変化指標は以下の式(5)で表される。

$$C_i = \sum_{t_a} |\theta_i(t_a) - \theta_i(t_a - 1)| \quad (5)$$

C_i : 歩行者*i*の方向変化指標(deg)
 t_a : 時刻インデックス（整数：1/10秒単位）
 $\theta_i(t)$: 時刻*t*(s)における歩行者*i*の角度(deg)

b) 衝突回数

シミュレーション実行時間のうち、周辺歩行者・障害物との衝突が何回発生したかを全歩行者について合計した値を衝突回数とする。

(3) シミュレーションと実測データとの比較の結果

a) 方向変化指標による比較

図-5は方向変化指標の観測値を横軸、シミュレーション値を縦軸にとる座標軸上にプロットしたものである。1つのサンプルが1サイクルでの歩行者の方向変化指標の平均値を示している。周辺歩行者からより大きな力を受けやすいパラメータ設定であるJH2やJH3やJH5では、他者の影響で移動方向が安定しないため、JH2、JH3、JH5については観測値に比べて過大となる場合が多い。一方FTモデルやJH1、JH4では観測値と比べて方向変化量が少ないことがわかる。FTモデルはなるべく直進しようとするモデルの特性のため、周辺歩行者との距離が近くても物理的な接触がない限りは直進を選択するので指標が観測値より小さい値となったと考えられる。JH1は Δt の値が小さく歩行者が直近の状況しか判断できない。これに加えてAの値が小さいことで他者から受ける反発力が小さいため、方向変化指標が小さくなったと考えられる。JH4では比較的長い将来の状況を考慮し、周辺歩行者の力のパラメータも大きすぎない値となっているため、実際の歩行者よりも時間的に余裕をもった緩やかな方向変化を行うのではないかと考えられる。

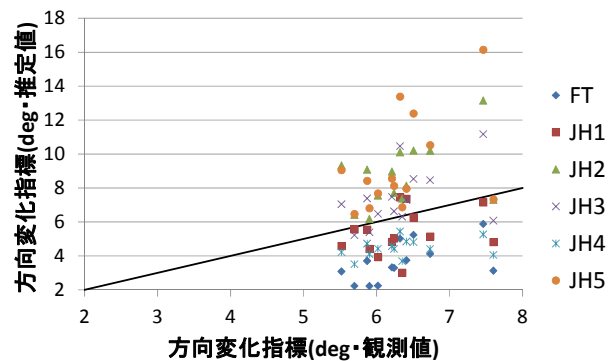


図-5 方向変化指標による比較

表-2 FTモデルの設定パラメータ

パラメータ	設定値
視距の長さ(m)	8
視距の角度範囲(度)	120
角速度の最大値(度/秒)	360
角度探索の刻み幅	20
先読み時間(秒)	4
ゲーム探索回数 n_{GR}	2

表-3 JHモデルの設定パラメータ

	A	B	Δt	λ	$1/\tau$
JH1	0.04	3.22	0.5	0.06	2
JH2	1	2	1.5	0.1	2
JH3	0.8	2	1.5	0.1	2
JH4	1	1	2.5	0.1	2
JH5	3	1	2.5	0.1	2

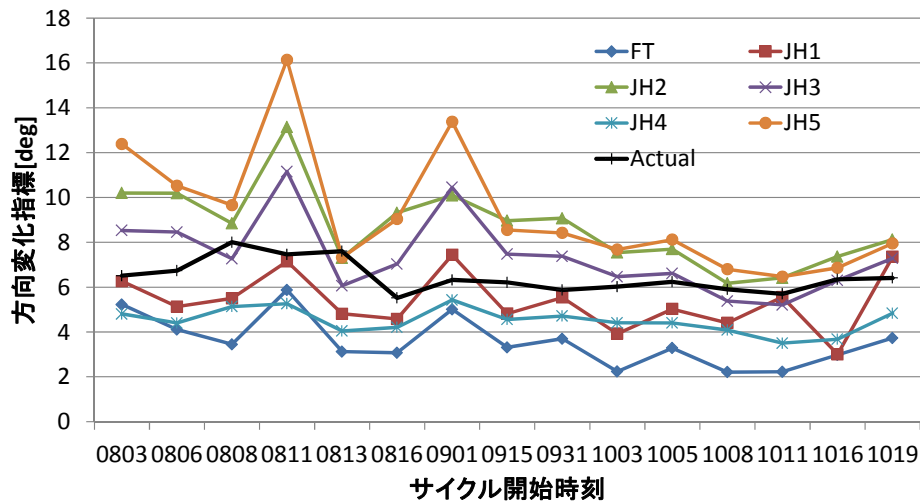


図-6 サイクルごとの方向変化指標による比較

図-6は方向変化指標をサイクル別に比較したものである。横軸はサイクル開始時間の時・分を示している。観測値では、交通量の多い8時台において指標が大きくなっている。FTモデルとJH4がこのようなサイクル間の指標の傾向をよく表現しているのがわかる。

b) 衝突回数

各モデルの衝突回数の全サイクル合計値を表-4に示す。JH1では極端に衝突回数が増えている。これは方向変化指標の項で考察した通り、 Δt の値が小さく直近の状況しか判断できないことや、 A が小さいため周辺歩行者からの反発力が小さいことにより衝突を回避できていないと考えられる。一方FTは衝突回数が最も少なく、合理的な回避行動がとれているものと考えられる。

5. 結論と今後の課題

ミクロ歩行者流モデルのうち、SFモデル、JHモデル、FTモデルの3つについて、理論的比較および数値計算（シミュレーション）による比較を行った。数値計算の結果からは、明らかに、SFモデルでは交錯する歩行者の挙動をうまく表現できないこと、FTモデルおよびJHモデルではSFモデルに比べれば自然な交錯時の回避行動を再現できていることがわかった。このことは、少な

くとも古典的なSFモデルのナイーブな適用は正確な歩行者流の評価には（とくに交錯が存在するときには）適しないことを示唆している。

SFモデルとJHおよびFTモデルのあいだに差異が発生する理由としては、理論比較で示した、交錯する歩行者の位置および速度が互いに対称になった際にその対称性がいかに確実に破れるかどうかという問題が関係していると考えられる。実際、図-3の計算結果を見れば、SFモデルの場合は対称性がなかなか破れずに、他の歩行者との距離がかなり近くなるまで回避行動を行わない状況が見て取れる。FTモデルおよびJHモデルで明示的にあるいは暗示的にこの対称性が破られるために、回避行動が早期に発生し、その結果としてスムーズな回避が実現していると解釈できる。歩行者モデルには多様なものが考えられるが、以上で示したような対称性の積極的な破壊がモデル内に明示的にせよ暗示的にせよ組み込まれているかが、スムーズな回避行動を再現できるかどうかにおいて重要な要素となるであろう。

数値計算で見られたFTモデルとJHモデルの回避行動の共通点が、一般的な共通点として理論的に証明できるのか、あるいは今回のケースでたまたまそうなっただけなのかは、多様なミクロ歩行者流モデルの分類と整理という観点から重要である。特に、効用最大化理論をベースとしないJHモデルにおいて効用最大化理論との何らかの等価性が成立するかどうかを調べることは、一見アドホックに見えるJHモデルのメカニズムを知るために有用である。特にJHモデルはFTモデルに比べて計算負荷が小さいために、等価性を証明すればシミュレーション実装上の意義は大きい。逆に、これが成立しない場合はJHモデルのパラメータの根拠は実測データに頼らざるを得ず、現状で存在しない環境への適用に対する信頼性が担保できなくなる問題点は留意しなくてはならない。

表-4 衝突回数

モデル	衝突回数
FT	182
JH1	8,252
JH2	389
JH3	603
JH4	322
JH5	194

参考文献

- 1) Helbing, D., Farkas, I., and Visek, T.: Simulating dynamical features of escape panic, *Nature*, **407**, pp.487-490, 2000.
- 2) 浅野美帆, 井料隆雅, 桑原雅夫: 交錯交通の容量評価のためのミクロ歩行者行動モデル, 土木学会論文集, Vol.43, No. 4, pp.80-89, 2008.7.
- 3) Johansson, A., Helbing, D. and Shukla, P.K.: Specification of the social force pedestrian model by evolutionary adjustment to video tracking data, *Advances in Complex Systems*, **10**(2), pp. 271-288, 2007.
- 4) Asano, M., Iryo, T. and Kuwahara, M.: A pedestrian model considering anticipatory behaviour for capacity evaluation, in *Transportation and Traffic Theory 2009: Golden Jubilee*, W. H. K. Lam, S. C. Wong and H. K. Lo (Eds.), Springer: New York, pp. 559-581, 2009.
- 5) Hoogendoorn, S. and Bovy, P.H.L.: Simulation of pedestrian flows by optimal control and differential games, *Optimal Control Applications and Methods*, **24**(3), pp.153-172, 2003.
- 6) Iryo, T., Asano, M., Odani, S., and Izumi S.: Examining factors of walking disutility for microscopic pedestrian model – A virtual reality approach, *to be presented at 20th International Symposium on Transportation and Traffic Theory (ISTTT 2013)*, 2013
- 7) Helbing, D., Buzna, L., Johansson, A., Werner, T.: Self-organized pedestrian crowd dynamics: experiments, simulations, and design solutions, *Transportation Science*, **39**(1), pp.1-24, 2005.
- 8) 鈴木一史: 交通流解析のための多機能ビデオ画像処理システム TrafficAnalyzer の開発, 修士論文, 名古屋大学大学院工学研究科地圏環境工学専攻, 2005.

(2013.5.7 受付)

Comparison of microscopic pedestrian models with mathematical approach

Chie SUGIMORI, Takamasa IRYO, and Miho ASANO

Micro pedestrian flow models, that is, the models that describe behaviour of individual walkers in a pedestrian flow are known as a tool to evaluate a congested pedestrian flow. There exist differences of mathematical formulation and characteristics of the model among the existing model and consequently comparing the characteristics of these models is required to apply one of them to practical applications. This study examined these differences among three models including so-called social force (SF) model by a theoretical comparison and numerical tests. As a result, a problem with the reproducibility of the behaviour of the crossing in the SF model was found. The result also suggested that including a mechanism to break the symmetry of the position and speed of the pedestrian would improve the problem found in the SF model.