

1. 研究の背景と目的

広場などの歩行者が滞留する空間において火災などの災害が発生したときに歩行者が安全に避難できるかどうかの評価をする方法としてマイクロ歩行者交通流シミュレーションを用いる方法が知られている。マイクロ歩行者交通流シミュレーションの実装に用いられるモデルとしては複数のものが既存研究で提案されている。当然ながら、避難行動の評価結果は、どのようなモデルを用いたシミュレーションを用いるかに依存する。

マイクロ歩行者流モデルの中でよく知られるものは Social Force (SF)モデルと呼ばれるものである¹⁾。このモデルは歩行者が他の歩行者からの斥力と希望移動方向への引力の合力を受けて運動方程式に従って移動すると考える。SF モデルは各時刻における瞬間効用を最大化する効用最大化モデルと数学的に等価であることが知られている²⁾。このモデルを避難行動に適用した例として Helbing et al. のものが知られている³⁾。

SF モデルには「交錯する交通流の再現性がよくない」という欠点があることが指摘されている⁴⁾。特に 90 度の角度で交錯する場合に問題がある。典型的な状況を図-1 に示す。図-1 にいる 2 人の歩行者は現実であれば一方が他方の過ぎ去るのを待つ、等の回避行動を行うことが考えられる。しかし、SF モデルでは図-1 に示すように対称な力が双方に働き、回避することなく 45 度線に沿って移動し続けるという非現実的な挙動を示す。

交錯する歩行者交通流をよりよく再現するモデルとしては Asano et al.によるものがある⁵⁾。このモデルでは、歩行者は他の歩行者の数秒程度将来の移動軌跡を互いに予測し、他者にぶつからないように最短経路を取る軌跡を決定する。このモデルでは後に将来の移動軌跡を決定した者が先に決定した者を回避するという行動が再現できるため、90 度で交錯する際に図-1 のような非現実的な状況にならず、どちらか一方が回避する行動が再現できる。このモデルを以降では Fastest Trajectory (FT)モデルと名付ける。

避難行動を評価する際は通常は単一あるいは最も近

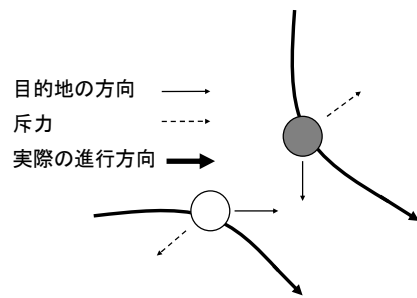


図-1 SF モデルにおける 90 度での歩行者の交錯の例

い出口へ歩行者が向かい、結果として交錯は想定しない状況が想定される。しかし、多数の出口があり、避難先や安全性の判断に個人特性がある場合には、人により目指す出口が異なり、結果として交錯が発生することが考えられる。本研究では、このような状況の評価を FT モデルと SF モデルの双方で行い、それらに差異が出るかどうかを検証する。

2. シミュレーションの状況設定と方法

一辺が 40m の正方形であり、各辺の中央に出口がある空間から脱出する状況を想定する。出口の幅は 1m, 4m, 8m の 3 種類とする。歩行者は初期状態では壁から 3m 以上はなれた場所に一様に 400 人存在する。それぞれの歩行者は、4 箇所ある出口のうちの一つを目的地とする。各歩行者の出口選択確立は初期位置からそれぞれの出口までの距離 (m)を不効用とし、分散パラメータを θ (m)としたロジットモデルで記述する。 θ が大きいとは歩行者は最寄りの出口に向かう傾向があり、小さい時は距離に関係なくランダムに出口を選ぶ傾向がある。シミュレーションは FT モデルと SF モデルの双方で行う。各モデルで設定したパラメータを表-1 に示す。同一条件で 5 回ずつシミュレーションを行う。FT モデルのパラメータについては、Asano et al.の論文⁵⁾のものを用いた。SF モデルのパラメータ A_i, B_i, τ_i はいずれも Helbing et al.の論文³⁾の中で使用されているものである。ここで添字 i は各個人を意味するが、本研究ではパラメータは全歩行者で共通の値をとるとした。

表-1 各モデルのパラメータ

FTモデル		SFモデル	
パラメータ	値	パラメータ	値
シミュレーションステップ(秒)	0.05	A_i	25
歩行者の直径(m)	0.25	B_i	0.04
歩行者の視野半径(m)	5	τ_i	2.0
歩行者の視野角度(deg)	60		
歩行変更の最大角速度(deg/sec)	180		
タイムホライズン(sec)	2		
希望速度の平均(m/sec)	1.3		
希望速度の標準偏差(m/sec)	0.1		
最低歩行速度(m/sec)	1		
最大歩行速度(m/sec)	1.6		

3. シミュレーション結果の評価

シミュレーション結果は

- 歩行者全員が避難に要する時間 (T_{100})
 - 各歩行者の初期位置から出口までの直線距離の和を T_{100} で割った値を平均移動速度 (V_{ave})
- の2つの指標で評価する。これらの指標は5回のシミュレーションで得られた結果を平均して算出する。

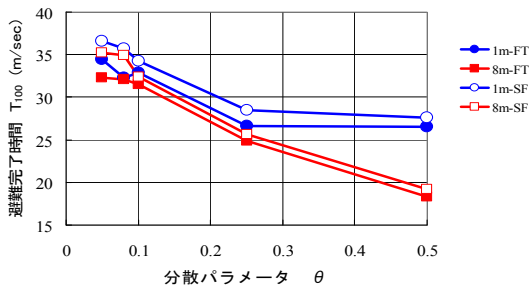


図-2 FT, SF モデルによる T_{100} の計算結果

図-2 に T_{100} を示す。 θ の値が大きいと歩行者は最寄り出口を選択する確率が高まるため T_{100} は小さくなる。ただし、出口の幅が小さい場合には θ の値を大きくしても T_{100} の値は小さくならない。これは、出口の幅が小さいと、出口の幅が大きい場合に比べて混雑が激しくなり、歩行者の待ち時間が多く発生するからと考えられる。FT と SF の比較では、いずれの条件でも FT の T_{100} のほうが短い。

図-3 に V_{ave} を示す。出口の幅が大きいと θ の値が変わっても大きく V_{ave} は変化しないが、出口の幅が小さいと θ の値を大きくすると V_{ave} の値は大きく低下する。これは、出口の幅が小さい場合の激しい混雑による歩行者の待ち時間によるものと思われる。FT と SF の比較では、FT のほうがより早く移動できていることがわかる。

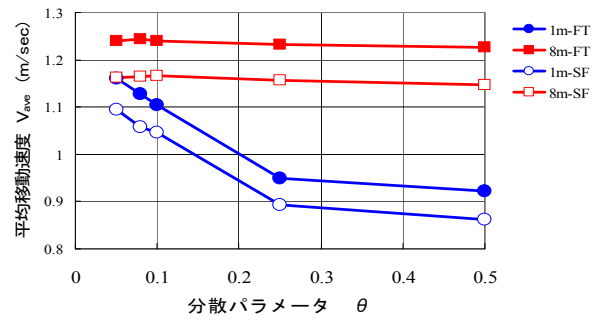


図-3 FT, SF モデルによる V_{ave} の計算結果

4. まとめ

SF モデルでのシミュレーションで予測される T_{100} は FT モデルで予測されるものよりも長くなり、 V_{ave} は遅くなることがわかった。これは、 θ が小さい領域では歩行者の交錯が多くなるため、SF モデルは FT モデルに比べて交錯する軌跡がスムーズにならないからだと考えられる。一方、 θ が大きい領域では交錯は少ないが出口付近での混雑が多く発生する。このとき、SF モデルでは反発力により歩行者どうしが間隔を空けるが、FT モデルは先行する歩行者との間隔を詰めて移動する。これにより、SF モデルの避難完了時間が FT モデルに比べて長くなると考えられる。

参考文献

- Helbing, D. and Molnar, P., Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review E*, **51**, p. 4282-4286, 1995.
- Hoogendoorn, S. P. and Bovy, P. H. L., Simulation of pedestrian flows by optimal control and differential games, *Optimal control applications & methods*, **24**(3), p. 153-172, 2003.
- Helbing, D., Farkas, I., Visek, T., Simulating dynamical features of escape panic, *Nature*, **407**, p.487-490, 2000.
- 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マイクロ歩行者行動モデル, *交通工学*, **43**(4), p. 80-89, 2008.
- Asano, M., Iryo, T., & Kuwahara, M., A pedestrian model considering anticipatory behaviour for capacity evaluation, in: W. H. K. Lam, S. C. Wong & H. K. Lo (Eds.), *Transportation and traffic theory 2009: Golden jubilee*, New York: Springer, 559-581, 2009.