

# 不確定情報が歩行者の集団的振る舞いに及ぼす影響

筑波大学 理工学群 社会工学類 経営工学専攻 4年 田中 勇希

## 1. 目的

近年、渋滞や混雑は大きな社会問題となっている。単なる渋滞や混雑ならば不快なだけであるが、これが火災などの緊急時に発生すると、とたんにパニックの原因となる。

大規模な火災が発生した事故の例として、2003年に韓国で発生した地下鉄火災がある。この事故はホームで停車中の地下鉄車両内で放火が起こり、死者192名を数える惨事となったものである。駅構内の非常口の分かりづらさや、火災発生時の誘導員の不在が死傷者数を拡大させたといわれている。そこで、もし事故が起こってしまった場合に、どのような対策をその場にいる人に行っておけば被害を最小限に抑えることができるのか、という点が課題として挙げられる。

集団行動においては、個人(Micro)の相互作用により、群集(Macro)行動が発生する。集団行動に関するシミュレーション研究は多く存在し、代表的なエージェント(Agt)の行動ルールをまとめると、表1のようになる。

表1 先行研究でのAgtの行動ルール

Reynolds (1987)[1]	近すぎる人や障害物と距離を取る
	近くにいる人と同じ方向へ向かう
	避難する速度を近くにいる人の平均に合わせる
	近くにいる人の平均位置に向かう
須摩・西成 (2008)[3]	正しい出口への最短経路を進む
	大多数の人が向かう方へ自分も向かう
	近くにいる人が行きたがらないと考えられる方へ自分は向かう

しかし、これらの行動ルールは、実際の人間行動のデータによって検証された行動ルールではない。

以上を踏まえ、本研究では地下街やビルといった2つの出口がある避難経路での避難において、片方の出口が使用不可であり、一部の人のみが使用可能な出口を知っているという状況を想定する。まず、被験者実験を行い集団避難行動における(1)各個人の行動パターンと(2)群集の振る舞いを分析する。次に、被験者実験で抽出したミクロな行動パターンからAgtのモデルを構築し、集団避難行動のエージェント・ベースド・シミュレーション(ABS)のシミュレータを作成する。そしてこのシミュレータでのAgtの振る舞いを被験者実験でのマクロな振る舞いと比較し妥当性を検証したのちに、「正しい出口情報を知っている人がどの程度存在すれば、スムーズに避難が完了するのか」を検証する。

## 2. 被験者実験

### 2. 1. 目的・方法

(1) 各個人の行動パターンと(2)群集の振る舞いを分析するために、2011年10月19日に筑波大学3C310教室において被験者実験を行った。被験者集団はN=37(男22,女15)、平均年齢21.1歳(SD=1.82)である。

実験は3C310教室内に机等で通路を作り(図1)、出口W,Eのどちらか一方からのみ退出可能な状況で行った。ある割合の被験者一人ひとりに対して正しい出口情報、誤った出口情報、「情報を与えない」という情報の3種類をランダムに与え、合図と同時に出口W,Eのどちらかから素早く退出するように指示した。実験は全12セッション行い、その様子を4台のビデオカメラで撮影することで取得し、避難時間や行動パターンを観察した。

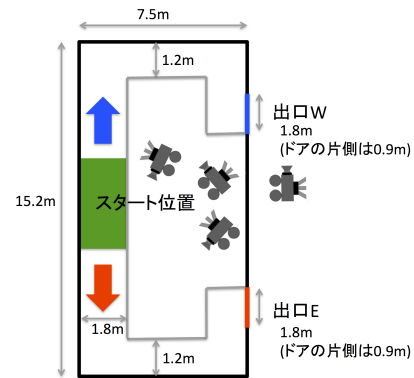


図1 3C310教室の概観図

### 2. 2. 結果

集団避難行動においても、Reynolds(1987)のBoidモデルにおける3つのルール(Separation, Alignment, Cohesion)と、須摩・西成(2008)の動的フロアフィールド(FF)ルールの成立が支持された。また、新たに5つの特徴的な行動ルール(表2)を見出した。

表2 被験者の特徴的行動ルール

観察モードの存在	立ち止まって自分の周囲の人の進行方向をうかがう行動が、初期段階において見られる(「観察モード」と「移動モード」が切り替わる)
追従A	自分の前方の一定数以上の人がある方向へ動くと、それに追従する傾向がある(動的FFルールの記憶に制約を導入)
追従B	移動速度が相対的に速い人を見ると、その人へ追従する傾向がある
初期情報	知らされた出口情報の種類によって、最初に向かう出口を決める傾向がある
反転ルール	間違った出口へ最初の人があたり着いた時点で、それが見えている人はその出口が間違いであったことに気付く

### 3. シミュレーション

#### 3. 1. 目的・方法

被験者実験で抽出したマイクロな行動ルールから Agt のモデルを構築し、それを実行することで「正しい出口情報を知っている人がどのくらい存在すれば、スムーズに避難が完了するのか」を検証した。なお、本モデルの構築にあたっては(株)構造計画研究所のマルチエージェントシミュレータ「artisoc」を用いた。

シミュレーション空間では、1セルを60cm四方の正方形とした。またシミュレーション実行時の1ステップを0.33秒として実装を行った(図2)。Agtには前方に3つ、左右に2つずつの円状の視野を持たせた。視野の半径はそれぞれ30cmでこの中にある人や壁といった障害物の数を取得し、障害物が人である場合はその人の状態(静止, 順行, 逆行, その他)も取得するように設定した。また、Agtの移動速度は平均速度0.78セル/step, 速度の標準偏差0.089の正規分布に従ってランダムに決定するように設定した[2]。

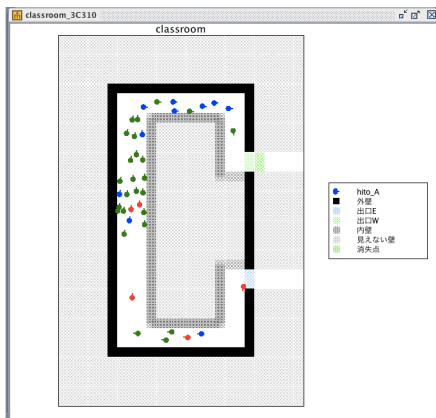


図2 シミュレーション実行の様子

シミュレーションは以下の順序で実行される。

- (1) Agt を生成
- (2) Agt の持つ出口情報の種類によって進行方向の初期値を決定(初期情報)<sup>1</sup>
- (3) 目的地方向を向く
- (4) 自分の前方の Agt で一方向に向かう Agt が何人存在するかを数え、その数が多い場合にその方向へ追従(追従A)<sup>2</sup>
- (5) 自分の周囲の Agt で、自分より明らかに速い速度<sup>3</sup>で移動する Agt が存在するかを調べ、いればその方向へ追従(追従B)
- (6) 視野内の人や障害物を調べ、どの場所に人や障害物があるかによって進行方向を決定し移動
- (7) 間違った出口にたどり着いた Agt がいると、そこへ向か

<sup>1</sup>正しい出口情報を持っている Agt はその方向、出口情報を持っていない Agt はランダムにどちらかの出口方向

<sup>2</sup>自らが出口情報を持っている場合は4人以上、持っていない場合は3人以上存在したとき

<sup>3</sup> 1.34倍以上

っていた Agt は全員反転(反転ルール)

(8) 消失点にたどり着いた Agt がいれば消去

(9) (3)へ戻る

全ての Agt が退出した時点でシミュレーションを終了した。

#### 3. 2. 結果

正しい出口情報を知っている Agt (n人)の中でn位以内に退出した Agt の割合を各試行ごとに比較したものを図3に表す。なお、試行ごとの出口情報の内訳は表の通りである。どの試行においても本モデルは被験者実験と概ね近い値となっていることが分かる。

表3 試行ごとの出口情報の内訳

試行	1	2	3	4	5	6	7	8
正しい情報を与えた人数(人)	3	4	4	4	7	7	17	18
出口情報を与えた人数(人)	7	4	8	11	10	11	37	37

正しい出口情報を知っているAgt(n人)の中でn位以内に退出したAgtの割合

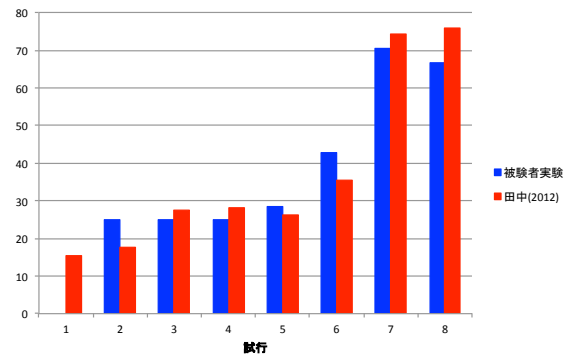


図3 被験者実験の試行ごとの退出順位の比較

次に、被験者実験で新たに発見した被験者の行動ルールの有無による本モデルの優位性を、(1)出口情報の知識の有無と退出順位との関係(図4)、(2)総退出時間(図5)、(3)各 Agt が最初に動くまでの時間(図6)の3つに関して検証した。表4のように、表2の行動ルールをそれぞれ追加したものをP1からP5として、本モデルと比較検討した。

表4 追加した行動ルール

使用される行動ルール	本モデル	P1	P2	P3	P4	P5
反転ルール	○	×	○	○	○	○
観察モード	○	○	×	○	○	○
初期情報	○	○	○	×	○	○
追従A	○	○	○	○	×	○
追従B	○	○	○	○	○	×

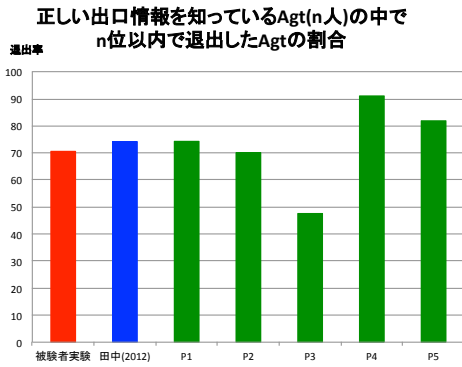


図4 出口情報の知識の有無と退出順位との関係

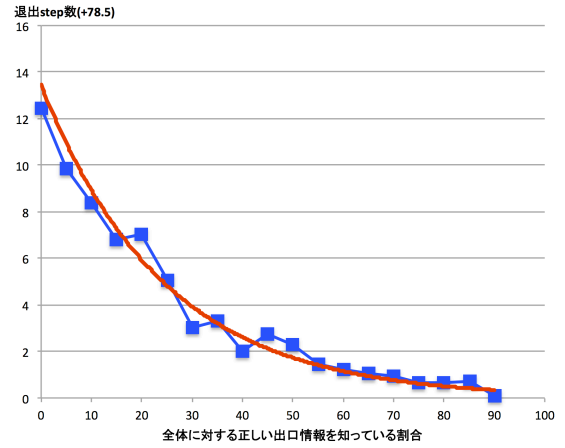


図7 誤った出口情報を保持する割合が10%であるときの、正しい出口情報を知っている割合と上位50%のAgtの退出ステップ数

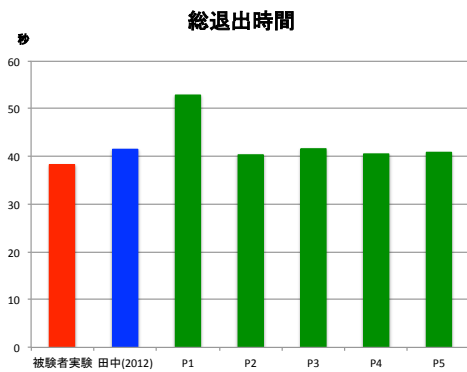


図5 Agtの総退出時間の比較

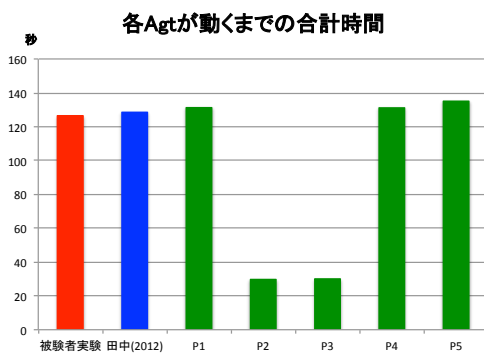


図6 各Agtが最初に動くまでの時間の比較

この結果、表2の全ての行動ルールを追加した本モデルが、被験者実験で見られた集団行動を最もよく再現できていることが確認された。

その後、妥当性が確認された本モデルを用いて「正しい出口情報を知っている人がどの程度存在すれば、スムーズに避難が完了するのか」を検証した結果、正しい出口情報を知っているAgtの割合が増加するほど、Agt集団の退出時間は指数関数的に減少するということが明らかになった(図7)。

#### 4. 考察

本研究では、出口情報が不確定な場合において「正しい

出口情報を知っているAgtの割合」と「Agt集団の退出時間」の関係性を分析した。

被験者実験の結果、Reynolds(1987)のBoydモデルにおける3つのルール、須摩・西成(2008)の動的フロアフィールドルールの成立が支持された。また、「観察モード」の存在と、新たに定義したルール群(反転/初期情報/2つの追従ルール)の成立を確認した。

シミュレーションの結果、被験者実験で見出した行動ルールをAgtに実装しABSを構築することで、集団避難行動を再現するモデルを構築することができた。また、このモデルを用いて分析を行うことで、正しい出口情報を知っているAgtの割合に対し、Agt集団の退出時間が指数関数的に減少することを見出した。

本研究での発見から、例えばホテルやショッピングセンターでの避難において、その場にいる人全員が正しい出口情報を知らなくても店員等の少数のみが知っているだけで、避難完了時間が格段に減少することが考えられる。このことは避難行動計画の策定に応用できるのではないだろうか。今後、より大規模な空間へ拡張して人数が増加した場合や、被験者の心理的要因に着目してばい煙や停電といった緊急時の要素を追加した場合の振る舞いを検証することが課題である。

#### 参考文献

- [1] C. Reynolds(1987) Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model, *Computer Graphics*, Vol.21(4), pp.25-34.
- [2] 岡田光正(1993) 建築人間工学 空間デザインの原点, 理工学社.
- [3] 須摩・西成(2008) 予測を取り入れたフロアフィールドモデルによる人の対向流のシミュレーションと実験, 応用力学研究所研究集会報告, No.19.