

災害・避難シミュレーションにおける心理表現

Representation of mental states at disasters and crowd evacuation simulation

岡谷 賢, 高橋 友一

Masaru Okaya, Tomoichi Takahashi

名城大学大学院 理工学研究科

Meijo University, Nagoya

e0527080@ccalumni.meijo-u.ac.jp, ttaka@meijo-u.ac.jp

Abstract

Generally people at panic or disaster situations move as a whole, and it is important to direct the crowd to safe places by providing proper information. Computational models and simulators have been presented recently. The approaches are assumed that people gathered at the same location will be guided by common psychological and environmental influences. In fact, various types of individual and collective behaviors occur in crowds. We propose an agent model with mental states and show simulations of evacuations that have not been simulated by other models and show and discuss the results of evacuation simulation using the mental state representation.

1 はじめに

災害時における避難状況は、救助者や市民の行動が多様であることや、扱う人数が膨大であることから複雑になる。混雑している場所では、利己的な行動や秩序的な行動など、様々な行動をとる市民がいると考えられる。混雑を扱うこれまでの方法は、physical fluid model や particle model、cellar automata approach[1] などがあり、個人の意思決定や他のエージェントとの相互作用を扱う必要がある。

火災や瓦礫、人の避難など災害の状況は時間とともに変化する。そのうえで救助戦略や情報提示によって、市民の避難所状況がどのように変化するかをシミュレーションすることは重要である。

避難現場では、家族や一緒にいた友人が離ればなれになっている場合、市民はまず家族や友人を探し一緒に避難しようとする。家族構成や人間関係を考慮することで、避難状況はより混雑すると考えられる。

家族構成に応じた心理状態を持ったエージェントモデルを提案し、他のモデルでは実現できない避難シミュレーションを示す。

2 関連研究と問題点

いかなる災害でも避難時に共通して重要になる要素は避難時間である。避難市民数に対して十分な広さの避難路を確保することや、避難路を効率的に使うための市民の避難誘導などは重要な問題である。

避難時間に影響する要因は、構造的な影響、救助行動による影響、避難行動による影響に分類できる。

構造的な影響: 避難人数に対する出入り口等避難路が十分に確保されていない場合避難速度は遅くなる。また、人の密集度が上がることにより避難速度が極端に遅くなることが知られている。[4]

救助行動による影響: 火災が発生した状況などでは、煙や停電でどちらに逃げるべきか判断できず、認知力や判断力が低下する。それらの人にとって避難誘導は重要である。[5] 避難誘導には、情緒安定的指示と避難方法の指示に区別される。

避難行動による影響: 多くの避難現場で、周りの人に避難方法を指示する市民の存在が確認されている。これらの誘導者は、災害以前の間人間関係でリーダー

的な役職であった人やホテルなどでは警備員になる可能性が高いことがわかっている。また、確信して行動をとる人が存在する場合に避難時間が減少することが実験的にわかっている。[5]

表 1: 避難に影響する要因

	救助行動	避難行動
災害の認知	街の防災放送警報や放送	注意力の低下 認知力の低下
避難状況	誘導者の知識 人間関係 指示の方法	確信して行動する人 他の人を誘導する人

体力的な違いによる避難状況への影響として、お年寄りやけが人の避難する速度は若い人よりも遅い。Helbing の物理的な力モデル [2] によりこれらのことを考慮したエージェントが実現できる。

心理的な要因による影響として、家族などは一緒に避難する傾向があり一緒に行動していないと不安になることがあげられる。子供の生死がかかっているような状況であれば、親は子供を迎えに行き子供と一緒に避難しようとする。状況によっては子供を助けるために火災の建物へ向かう親がいるかもしれない。また、子供にとっては、信頼できる人(家族)と一緒にいることで安心できる。

避難現場において避難者が異なる目的を持つ状況はこれまでのモデルでは実現できない。

災害状況は些細な要因に大きく影響され、その主たる要因はエージェントの行動決定にある。エージェントの行動決定は、そのエージェントの心理状態に大きく影響する。

エージェントの人間関係などの要因によって、異なる心理状態をもつエージェントの枠組みを提案する。

3 人間関係を扱う枠組み

3.1 心理状態の表現

エージェントの心理を構成する要因として以下のものをあげる。

知識：大人は周囲の地理情報を把握している場合が多いが、子供は周囲の地図情報を記憶していない場合が多い。

記憶：刻々と変わっていく火災や倒壊の状況を、目視や周辺エージェント(他の市民や警官隊などの誘導者)とのインタラクションによって情報を収集する。

能力：病人、けが人、年齢、現在の自分の体力などにより避難速度などが異なる。

人間関係：家族や社会的な人間関係における自分の立場(親、子供など)によって心理状態の変化が大きく異なる。

災害時の市民の心理状態は、周りの環境によって以下のように変化する。

危険：火災が発生している建物にいる場合や崩れかかっている建物にいる場合は強く危険を感じる。そのような場合でなくても避難所などの安全な場所にいなければ危険を感じる。

心配：子供など、家族がいたはずの建物が危険な状態にあるとき特に強く心配になる。また、子供の安否が確認できない場合も心配になる。

3.2 エージェントの表現

人間関係の表現方法を図 1 に示す。全ての人間(Human)は家族構成、社会的な人間関係、避難速度、自分の知識である世界情報を持つ。家族構成は、避難時に最も安否を心配する特別な人間関係であり、親、夫(妻)、子供、兄弟、親戚とし存在しない場合もある。心理状態は、人間が感じている危険(endanger)、心配(anxious)の度合いによって表現する。社会的な人間関係は友人関係や会社の同僚など、避難するときに一緒に避難する可能性が高い集団を示し、それぞれの関係のグループを持ち、それぞれのグループに対して親密度を定める。

3.3 心理状態に応じた行動

壊れそうな建物にいるエージェントは危険や不安を感じ、危険や不安を感じているエージェントは、より

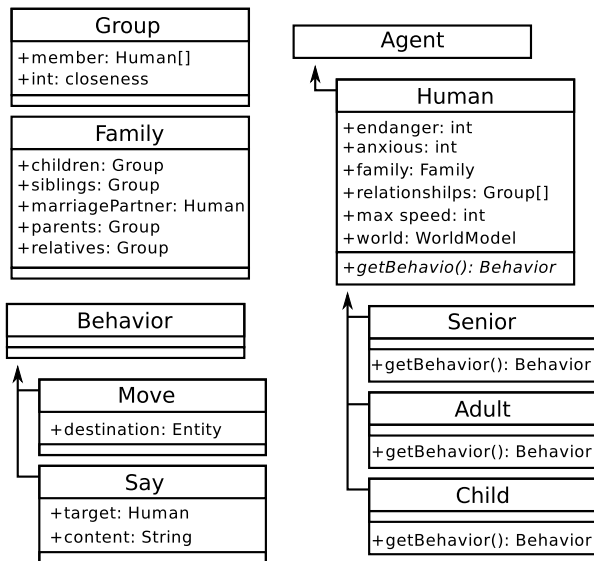


図 1: エージェントの表現

安全な場所に移動しようとする。ただし、子供が危険な建物の中にいるかもしれない場合、親は火災の建物に子供を探しにいくかもしれない。災害時のエージェントの心理状態は、家族構成における自分の立場に大きく依存する。

危険を感じており、かつ、心配である場合、多くの親は危険を伴う可能性があっても心配の原因を解決しようとする。

Senior : 子供、孫を心配し、できる限り助けようとする。避難スピードは遅い。

Adult : 親、子供を心配し、できる限り助けようとする。避難スピードは速い。

Child : 親がいないと不安になり行動できない。避難スピードは遅い。

4 実装

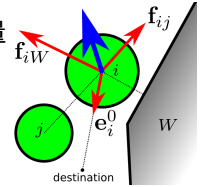
4.1 エージェントの行動

RoboCup Rescue Simulation(RCRS) を使って実装した。RCRS では、位置情報がネットワークモデルで表現されるが、心理モデルによる影響を考えるには解像度的に不十分である。そのため、Helbing のモデル

[2] に対応させた。エージェントの目的地 $e_i^0(t)$ が与えられたとき、以下のように運動方程式を定義する。

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t)e_i^0(t) - v_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} f_{ij} + \sum_W f_{iW} \quad (1)$$

- m_i : i 番目のエージェントの質量
- v_i^0 : エージェントの歩行速度
- e_i^0 : 目的地の方向
- v_i : エージェントの現在の速度
- τ_i : 速度の修正度を示す定数
- j, W : 他のエージェントと壁
- f_{ij}, f_{iW} : 相互作用によって発生する力
- t : シミュレーション時間



これにより、図 2 に示すシミュレーション結果が得られた。左図は、大勢の人が避難している道が急に細くなり、そこで渋滞が発生している。救急隊などがこの周辺で活動する場合や通過する場合困難になる可能性がある。右図は、細い道で人がすれ違っている場合で、通過するのに時間がかかる様子が見える。

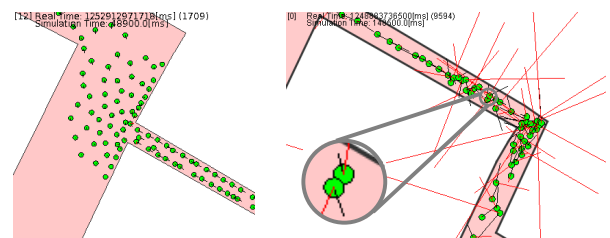


図 2: カモデルによるエージェントのシミュレーション

4.2 家族構成と心理状態の表現

避難シミュレーションにおけるエージェントの定義は親子関係を表現する必要がある。ここでは、Parent、Child を Civilian エージェントに実装した。

Human : 一般的な人の定義

- +Parent : 自分の子供の情報を持ち、子供がどの建物にいたかの情報を持っている
- +Child : 自分の親の情報を持つ

家族構成における自分の立場によって、エージェントの心理状態が変化し、心理状態がエージェントの行動を決定する。

具体的に、親、子供の違いにより、心理状態が以下のように異なる。

親	危険	壊れそうな建物にいる場合や火災が発生している建物にいる場合。
	心配	子供がそばにいない場合や、特に子供が危険な場所にいる場合。
子供	危険	壊れそうな建物にいる場合や火災が発生している建物にいる場合。また、周りの緊迫した雰囲気によって心理状態は不安定になっていることも予想できる。
	心配	他人のことを考える余裕がない

5 シミュレーション結果

5.1 シナリオ A

多くの家族連れがいるショッピングモールなどで災害が起きた状況を想定し、エージェントの心理状態を考慮する場合と考慮しない場合を比較する。図3 上段に初期状態を示す。四角形がショッピングモールなどの危険な建物を示し、下部の4[m]の出入り口で避難所とつながっている。丸はエージェントを示し、右側のグループは50人の子供、左側のグループは100人の大人を示しそのうちの50人が右側の子供の親である。

図3にシミュレーションの様子を示す。左図が、エージェントの心理状態を考慮しなかった場合、右側がエージェントの心理を考慮した場合を示す。心理状態を考慮しない場合、親と子供は独立して出入り口へ向かった。心理状態を考慮した場合、50人の親が子供のグループの方へ向かい親子が一緒に出入り口へ向かった。また、その他の50人の大人は直接出入り口へ向かった。図4に避難所に避難したエージェント数の時間的推移を示す(5回シミュレーションした結果の平均)。心理状態を考慮しない場合(normal)80%の人が避難するのに500[s]かかったのに対し、考慮した場合(psychology)700[s]かかった。早く避難すること以外の目的を持つエージェントの存在により、避難にかかる時間が長くなった。

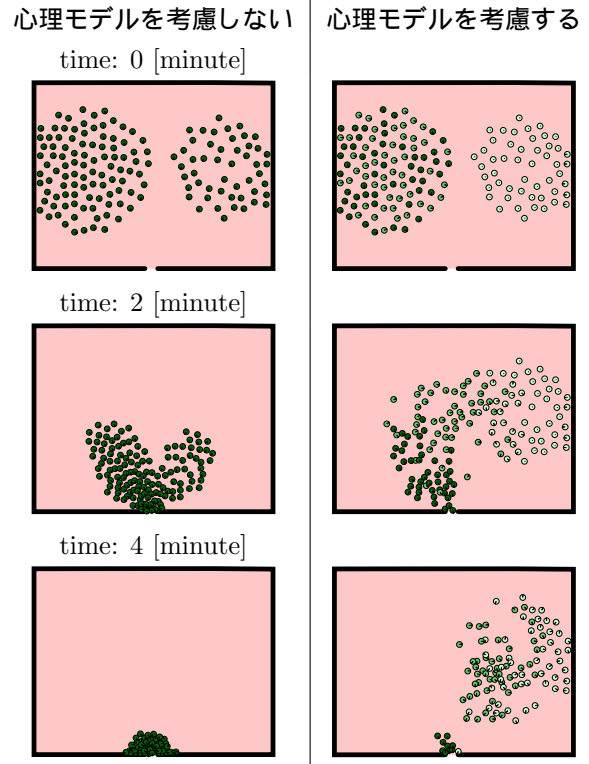


図 3: 避難シミュレーション

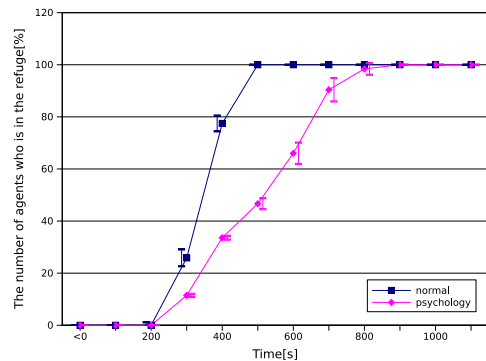


図 4: 避難したエージェント数の時間的推移

5.2 シナリオ B

次に、エージェントの初期配置の違いによるシミュレーション結果の違いを比較する。図 5 に 3 種類の初期状態を示す。建物はシナリオ A と同様である。エージェントの配置は、建物の奥に子供が集まっており建物の出入り口付近に大人が集まっている状態で、

- (a) 子供のいる大人といない大人がランダムに配置された場合
- (b) 子供と親が近くなるように配置した場合
- (c) 子供と親が遠くなるように配置した場合

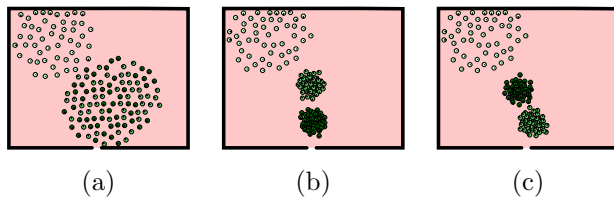


図 5: 初期状態

図 8 に避難所に到達したエージェント数の時間的推移を示す(5回シミュレーションした結果の平均)。子供と親が近くに配置された場合に最も早く避難が進み、逆に配置された場合に最も遅く避難が進んだ。子供と親が逆方向に配置された場合に分散が大きくなった。

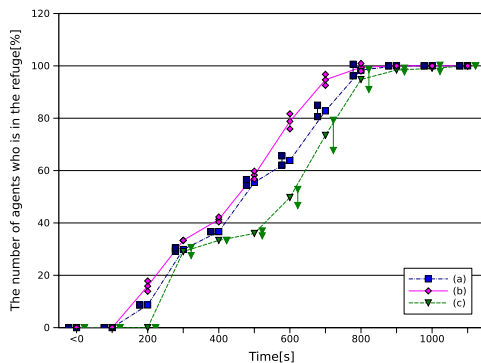


図 6: 避難したエージェント数の時間的推移

5.3 シナリオ C

より現実的なシナリオとして図 7 に実際に地図を作成した場所と作成結果を示す。

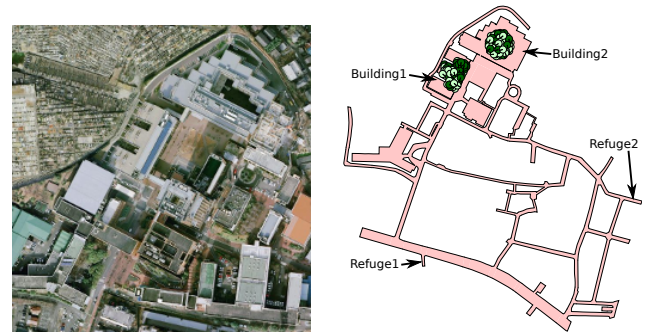


図 7: Google マップと実際に作成した地図

地図の上側に二棟の建物があり、それぞれの建物の前には広場がある。この二棟の建物にいる市民は広場を通して二つの避難所に避難する。合計で 100 ペアの親子が二つの建物にいる。

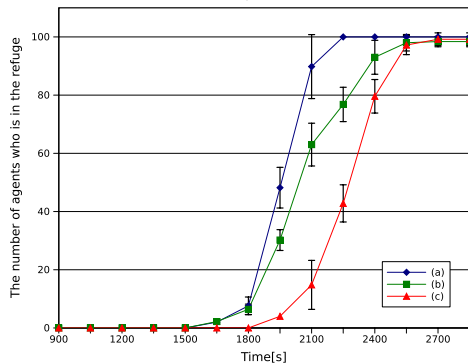
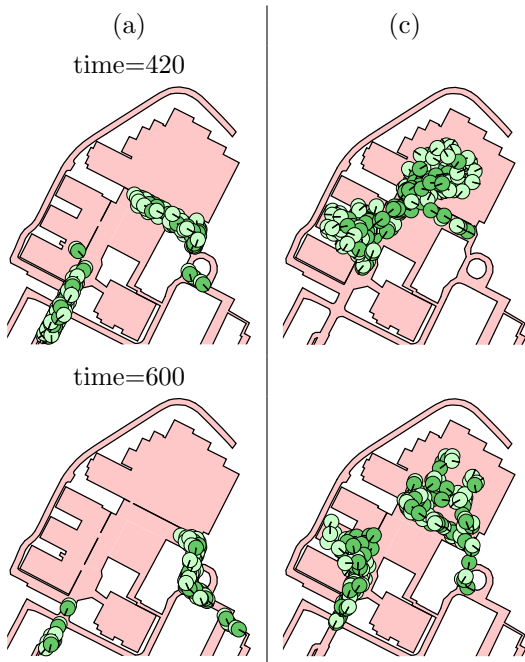
- (a) それぞれの建物に親が 50 人ずついて、子供が親と同じ建物にいる場合。
- (b) 親と子供がランダムに配置された場合。つまり、親と子供が別の建物にいる場合がある。
- (c) それぞれの建物に親が 50 人ずついて、子供が親と別の建物にいる場合。

図 8 にシミュレーション結果を示す。

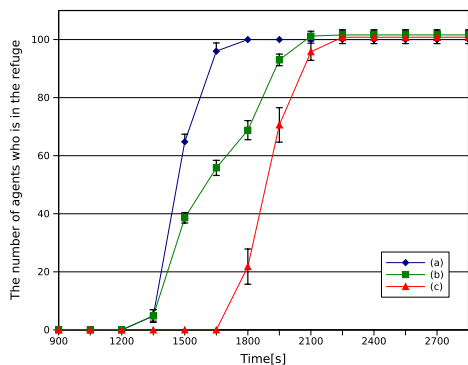
図 8 に (a),(c) の避難状況を示す。(a) では、それぞれの建物の親子が単純に近い避難所に向かって避難した。一方 (c) では、親子が別の建物にいるため親はまず子供のいる建物に向かい、子供と一緒に近い避難所へ避難した。建物の出入り口付近や建物の前の広場では反対方向に向かうエージェントで混雑している。避難所に到達したエージェントの割合は予想どうりの結果である。避難時間は、(a),(b),(c) の順に長くなっている。

6 考察

エージェントの配置が等しくエージェントの家族構成のみが異なる場合に、避難の様子は明らかに異なる。これは、心理状態を考慮することで避難状況が多様化することを意味する。また、子供を助けるために危険を伴う行動をとるエージェントは現実的にも自然な現象である。



refuge1 へ避難したエージェントの数



refuge2 へ避難したエージェントの数

図 8: 現実の地図での避難シミュレーション、二つの避難所に到達した市民の割合。

7 まとめ

現実社会における現象は様々な目的や考えを持った人が存在し、避難行動においても同様の事が言える。これまでの方法で、人間の体力の違いを考慮したシミュレーションが可能だった。新たに人間の心理をモデル化することで、さらに現実社会に近いシミュレーションを実現した。

心理モデルを持ったエージェントを提案し、それを用いた避難シミュレーション結果を示した。これらにより従来のモデルでは実現できない以下の特徴を持つシミュレーションを実現できた。

- 家族の安否によるエージェントの心理状態によるシミュレーションが可能になった
- その結果、子供を助けるために、あえて危険である行動をとるエージェントが存在することにより、避難時間がかかることを示すことができた。

参考文献

- [1] S. Bandini, S. Manzoni, and G. Vizzari. *Crowd Behavior Modeling: From Cellular Automata to Multi-Agent Systems*, chapter 10, pages 301–324. CRC Press, 2009.
- [2] Masaru Okaya, Shigeru Yotsukura, Kei Sato, and Tomoichi Takahashi. Agent evacuation simulation using a hybrid network and free space models.
- [3] Tomoichi Takahashi. *RoboCup Rescue: Challenges and Lessons Learned*, chapter 14, pages 423–450. CRC Press, 2009.
- [4] 安倍北夫, 三隅二不二, 岡部慶三. 自然災害の行動科学 福村出版, 1988.
- [5] Amanda Ripley. 生き残る判断、生き残れない行動 光文社, 2009.