

群衆の感情レベルを制御する避難支援システム： 様々な同調モデルと群衆規模を想定したシミュレーションによる有用性の検証

著者	佐藤 祐亮
出版者	法政大学大学院理工学研究科
雑誌名	法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編
巻	61
ページ	1-8
発行年	2020-03-24
URL	http://doi.org/10.15002/00022837

群衆の感情レベルを制御する避難支援システム

~様々な同調モデルと群衆規模を想定したシミュレーションによる有用性の検証~

EVACUATION SUPPORT SYSTEM TO CONTROL THE EMOTIONAL LEVEL OF A CROWD
- Verification of usefulness with various synching models and crowd scales through simulation -

佐藤祐亮

Yusuke SATO

指導教員 伊藤一之

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

In recent years, we have seen an increase in evacuation information systems such as earthquake early warning. But the number of victims hasn't decreased. One reason for this is majority synching bias. This is a psychological phenomenon, characterized by synching with surrounding behaviors. For example, in the Great East Japan Earthquake, some people didn't escape because the people around them didn't try to escape, so they felt safe. On the other hand, during emergencies on planes, some people become panicked and prevent other evacuees from escaping. We believe that controlling robots and avatar's behavior will affect evacuee's emotional behavior. In this study, we propose a framework for controlling robots and evacuee's emotions and confirm usefulness through simulation.

Key Words : Majority synching bias, Normalcy bias, Evacuation guidance system, Conformity

1. はじめに

近年では、大地震や津波といった災害やその備えに対する関心が強く、ハザードマップや防災無線などの普及が進んでいる。特に日本は活断層が非常に多いことから地震が起こりやすく、災害への意識が一層強いとされている。例えば、テレビやラジオ、スマートフォン等を通して、危険情報を迅速に伝える緊急地震速報は、世界最先端の防災機能とされており、僅かな時間で客観的に分かりやすく情報を提供する。これにより、今何をすべきなのかという選択肢を迅速に絞ることが出来るため、短い時間で確実に安全に避難することが期待されている。

しかし、実際に災害が発生した際は、このような情報を取得する手段があった場合でも、冷静な状態を保ちながら判断するのは難しいとされている。例えば John Leachらの研究によると、災害が発生した際に冷静に判断を行うことができる状態にあるのは避難者全体の15%程度とされている。その他約85%については、混乱したり慌てたりすることで、冷静な判断が行えない状態にあるとされている[1]。実際に起こった災害を例にみると、例えば東日本大震災では、防災無線やテレビ・ラジオを通して避難行動をとるように促していたのにも関わらず、実行しなかった結果、津波等に巻き込まれて犠牲となったと報告されている[2]。その一方で、航空機で発生した火災事故では、突発的な火災発生により一部の乗客がパニック状

態になった結果、冷静に避難行動を実行しようとした避難者が避難を妨げられ、パニック状態の乗客と共に火災の犠牲となった事例も報告されている[3]。このように、逃げる事が可能な場合に於いても、内的要因により犠牲となることが考えられる。

これらの現象は集団同調性バイアスと呼ばれている。自身が何をすればよいのか判断に困った際に、周りと同じ振舞いをする事によって、その場を切り抜けようとするものである。災害時では、特にこの現象が起きやすく、周囲の振舞いに合わせることで、パニック状態や過度に落ち着いてしまうといった極端な感情状態へ傾く傾向がある。そのため、この集団同調性バイアスに対処することが、災害時の避難の効率を良くする一つ的手段と成り得ると考えている。

ここで、我々はロボット(アバター)に振舞いをさせ、情報の取捨選択に迷っている避難者をこれらの振舞いに同調させることによって、避難者を適切な状態へ同調させて、効率的に避難行動を取らせることが出来るのではないかと考えた。ロボットは、近年では商業施設や外食サービス店等にて、案内や接客業務などが行われており、身近な存在となりつつある。

本論文では、様々なモデルやスケールを用いてシミュレーションを行い、ロボット(アバター)を制御することによる有用性や傾向などを検証考察していく。

2. 従来研究

(1) 集団同調性バイアス

人は集団の中では周りの動きに合わせてしまうといわれており、心理学では、これを集団同調性バイアスと呼んでいる。例えば、千日デパートビル火災では、閉ざされた空間において、突発的に火災が発生したことによって、我先にと沢山の避難者が出口へ駆け込んだ結果、思うように身動きが取れずパニック・混乱状態が蔓延したとされている[4]。

また、東日本大震災では、地震による津波が迫っているという情報が伝搬されているのにも関わらず、周囲の人間が避難しない為に、自分も避難しなかった結果、津波等の二次災害の犠牲になったという報告がされている[2]。この、自分は大丈夫だろう、と安全を過信して避難をしようにしなくなる現象を正常性バイアスと呼ばれており、災害の避難に於いて、犠牲となる一因と考えられている。

このように、集団同調性バイアスはありとあらゆる場面に於いて起こり得ると考えている。ここで、我々は同調する相手を極端な感情状態にある避難者ではなく、ロボット(アバター)の振舞いにすることで、適切な感情状態へ遷移させることが出来るのではないかと考えた。

(2) ブロードキャスト制御

ブロードキャスト制御とは、複数の個体に対して一様な制御信号を送信することで、個体の集合体を制御する方法である[5-7]。この手法は、上田教授らによって、筋肉のアクチュエータを制御するために開発されたものである。

この手法の特徴として、制御対象一つ一つの状態を個別にフィードバックを行い制御するのではなく、制御対象の集合体を一つ状態としてフィードバックし、制御対象へ同一の制御信号による制御を行う。これにより、制御対象が大量であっても十分に実時間内の制御が可能であるほか、一部の制御対象が故障しても継続して制御可能な利点がある。

例えば、無数にあるアクチュエータに対して 50%の確率で遷移するように制御信号をブロードキャストすると、全体の約 50%のアクチュエータが収縮する仕組みである。

災害現場では避難者の数が非常に多いことが予想されるため、本手法を採用し、群衆の心理状態を制御するものとした。また、今回はアクチュエータの ON-OFF 制御ではなく、ロボット(アバター)が有する 2つの感情を切り替える形で適用させていくものとする。

3. 避難支援システム

(1) 概要

我々は、街中にある防犯カメラや、ウェアラブル端末に内蔵されたセンサーによって、人間の感情状態を測定することが可能であるという仮定の下に次のような制御の枠組みを考案した。人間がロボットや画面上のアバターの感情表現にも同調することを利用し、ロボット(アバ

ター)に対してブロードキャスト制御を行い、感情表現を制御することによって、避難者がこれらの振舞いに同調して、適切な感情へ遷移することを目指す。考案したシステムの枠組みを図1に示す。

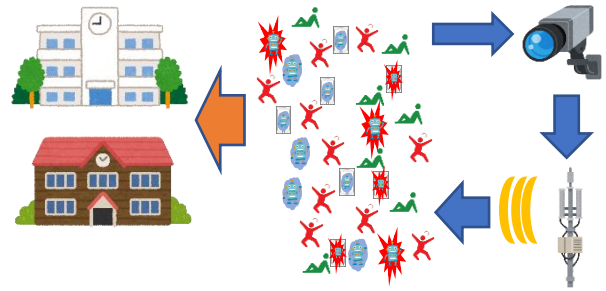


図1 避難支援システムの枠組み

本システムでは、避難者を 3つの感情状態(落ち着いている状態・適度な緊張状態・パニック状態)に振り分けられるものとして、感情の昂ぶり度合いに合わせて感情値を定義した。それぞれ、パニック状態を「1」、適度な緊張状態を「0.5」、正常性バイアスが働き落ち着いている状態を「0」とした。これらは、周りの状態によって、確率的に異なる状態へ遷移するものとした。図2に避難者の状態遷移図を示す。

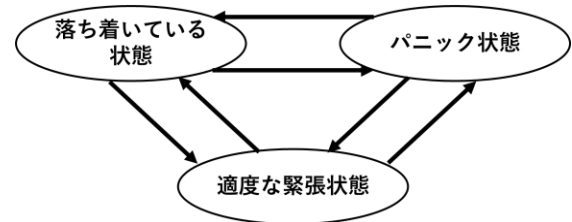


図2 避難者の状態遷移図

次に、ロボットについては 2つの感情状態(慌てている状態・落ち着いている状態)を定義した。感情の昂り度合いを示す数値については避難者と同じである。

測定された感情レベルのパラメータ量を基に、ロボット(アバター)全体に対して制御信号を送信する。制御信号の内容については次項にて説明する。受け取った制御信号を基に、ロボットは確率的に感情が変化する。避難者は、これらロボット等を含めた周囲の振る舞いを基に感情を同調させ、結果、集団全体の感情レベルが適切な状態へ遷移することが期待される。これを繰り返すことで、最終的に多くの避難者を素早く、適度な緊張感をもった状態へ遷移することを目指す。

(2) 制御信号の生成

まず初めにロボット(アバター)については下記に示す図3のように遷移するものとする。尚、図中の $p(e)$, $q(e)$ がブロードキャストされる制御信号である。

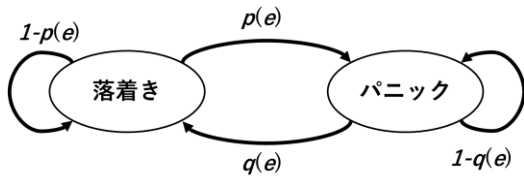


図 3 ロボット(アバター)の状態遷移図

制御信号の算出方法について示す. 集団の各個体の感情状態を f^i , 集団のロボット・避難者の合計の個体数を N , 集団の感情レベルを y としたとき, 集団全体の感情レベルは(1)式のように算出される.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^N f^i}{N}, \quad f^i = \begin{cases} 0 & \text{落ち着き} \\ 0.5 & \text{適度} \\ 1 & \text{慌てる} \end{cases} \quad (1)$$

次に, 感情レベルの目標値を r としたとき, 現在の感情レベルとの差 e を(2)式のように算出する.

$$e = r - y \quad (2)$$

そして, 算出された e を用いて, 制御信号 $p(e)$, $q(e)$ を(3)(4)式のように算出する.

$$p(e) = \begin{cases} 0 & e \leq 0 \\ e & e > 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$q(e) = \begin{cases} -e & e \leq 0 \\ 0 & e > 0 \end{cases} \quad (4)$$

尚, (3)(4)式のグラフは図4のようにあらわすことができる.

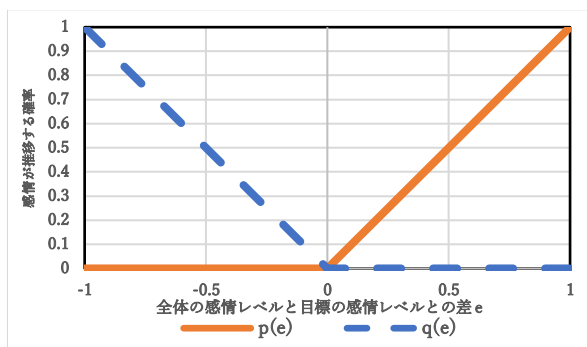


図 4 生成される制御信号

例えば, 目標とする感情レベル値が0.5であり, 現在の感情レベル値が0.4であるとき, 値の差は0.1である. このとき, グラフの横軸にて0.1の箇所の縦軸を参照するとロボットへは慌てる状態に遷移する確率が0.1 落ち着く状態に遷移する確率が0の制御信号が生成される.

4. シミュレーション

(1) フローチャート

本シミュレーションにおけるフローチャートを図5に示す.

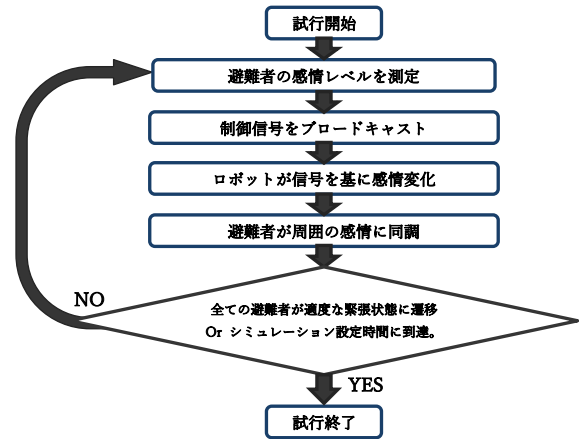


図 5 シミュレーションのフローチャート

シミュレーションの流れとして, まず初めに, 集団全体の感情レベルの測定を行い, ロボット(アバター)に向けてブロードキャストする制御信号の算出を行う. そして, 制御信号のブロードキャストを行ったのち, ロボットは受け取った信号を基に確率的に感情を変化するものとする. 全てのロボットのブロードキャスト制御が完了したのちに, 避難者が周囲の振る舞いに応じて感情を変化する. シミュレーションの設定によっては, 避難者が適度な緊張状態になった際に, その避難者やロボットをシミュレーションの対象より除外する. 以上の流れを, 全ての避難者が避難するか, 試行時間まで繰り返すものとする.

(2) 同調モデル

本システムの有用性の検証にあたり, 同調モデルの構築が必要となる. ここで, 表1に集団同調性バイアスに関する災害の文献資料を示す.

表 1 過去の集団同調性バイアスによる災害事例

資料名	見受けられた現象
東日本大震災 ^[2]	正常性バイアス
避難訓練の実験 ^[8]	
韓国地下鉄放火事件 ^[9]	
西日本豪雨 ^[9]	
千日デパートビル火災 ^[4]	パニック状態
米国キャバレー火災 ^[9]	
花火大会雑踏事故 ^[10]	
明石市民祭り事故 ^[10]	

表1では, 災害によってパニックや, 正常性バイアスが蔓延するなど様々であり, 環境によってモデルが異なると考えられている. ここで, 本シミュレーションでは, 2つのモデルを用意した. 正常性バイアスが起りやすいモデル. パニックが起りやすいモデルの2つである.

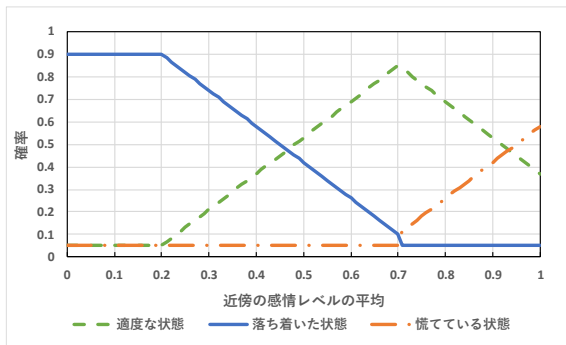


図 6 正常性バイアスが起りやすいモデル(条件 1)

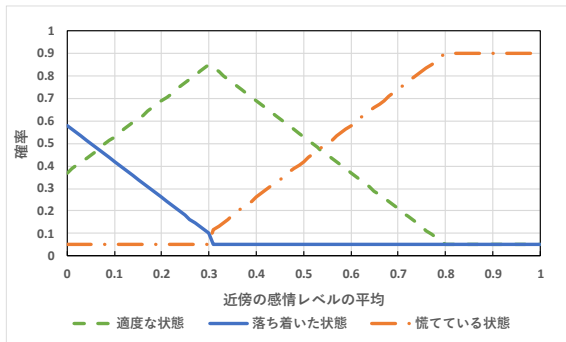


図 7 パニックが起りやすいモデル(条件 2)

図 6, 7 にそれぞれの同調モデル並びに状態遷移確率をグラフ化した図を示す。横軸は周辺の感情レベルであり、縦軸が自身の状態遷移確率を示している。両モデルの特徴として、一定の値から、線形状に数値が変化すること、どの感情レベルに於いても他の感情状態へ同調する可能性があることが挙げられる。

例えば、自身の周囲に落ち着き過ぎている状態の個体が 5 体、慌てている状態の個体が 5 体いたとする。このとき、感情レベルは 0.5 と算出されるため、落ち着きやすいモデルでは避難に適切な状態同調する確率が 53%、落ち着き状態へ 42%、パニック状態へ 5% となる。本シミュレーションでは、この 2 つのモデルを用いて制御システムの有用性について検証する。

(3) シミュレーション共通設定

本項にて、シミュレーション上における共通の設定について示す。表 2 に設定の詳細を示す。

表 2 シミュレーション共通設定

項目	パラメータ
人間が同調する際に影響する個体数	10[人]
試行時間	600[秒]
計算時間の間隔	10[秒]

(4) シミュレーション個別設定

ここでは、それぞれのシミュレーションでの設定を示す。本シミュレーションでは、シミュレーションでの振舞い、同調モデル、初期状態、ロボット(アバター)と避難者の個体数数比、集団のスケールの 5 つの観点より、総合的に検証していくものとする。

的に検証していくものとする。

初めに、シミュレーションで用いた避難者とロボットの振る舞いの設定を表 3 に示す。

表 3 振舞いに関する条件

条件	避難者	ロボット・アバター
1	留まる	留まる
2	離脱する	留まる
3	離脱する	離脱する

ここでは、シミュレーション上で、適切な状態へ同調した避難者とロボット(アバター)をシミュレーション上より離脱 or 滞在させることによる制御の効果について検証していく。本提案手法では、避難者のスマートフォン上にアバターを搭載させるといったことを想定しているため、集団の個体数比が崩れないようにシミュレーションにおける避難者の避難による離脱に合わせてロボットも離脱していくものとする。

次に、シミュレーションで用いた避難者の初期状態の設定を表 4 に示す。

表 4 避難者の初期設定の条件

条件	状態別の割合
避難者の初期状態 (慌てている状態) (条件 1)	過度な落ち着き状態：0[%] 避難に適した状態：0[%] 慌てている状態：100[%]
避難者の初期状態 (落ち着き状態) (条件 2)	過度な落ち着き状態：100[%] 避難に適した状態：0[%] 慌てている状態：0[%]

ここでは、シミュレーション上に於いて、避難者の初期状態が極端に落ち着いている状態とパニックが蔓延している状態の 2 つの極端な状態を設定として用意し、有用性の検証の検証を行うものとする。

次に、ロボットと避難者の人数比について説明する。本シミュレーションで用いた、ロボットと避難者の人数比の設定を表 5 に示す。

表 5 避難者とロボットの個体数比の条件

条件	避難者とロボット(アバター)の個体数比 [%]
1	50:50
2	60:40
3	70:30
4	90:10
5	100:0(制御なし)

それぞれの条件を 1-5 と設定し避難者とロボット(アバター)の割合が変動することで、制御可能な範囲の推定を行うほか、制御が行われていない条件 5 と比べることで、制御の有用性の検証を行う。

次に、本シミュレーションで用いた集団のスケールの設定を表6に示す。

表6 集団のスケールの条件

条件	集団のスケール
1	1倍(基本)
2	2倍
3	4倍

ここでは、避難者とロボットの集団の規模を変えることによって、制御の有用性について検証を行う。

本論文では、シミュレーションの組み合わせが膨大になり、表に示すと収まらない為、表は省略するが、シミュレーション設定を示す方法として、「設定1-2-3-4-5」のような表記をおこない、「シミュレーションにおける動き-同調モデル-初期状態-個体数比-集団のスケール」の条件を連ねて記す形とした。

(5) シミュレーション結果

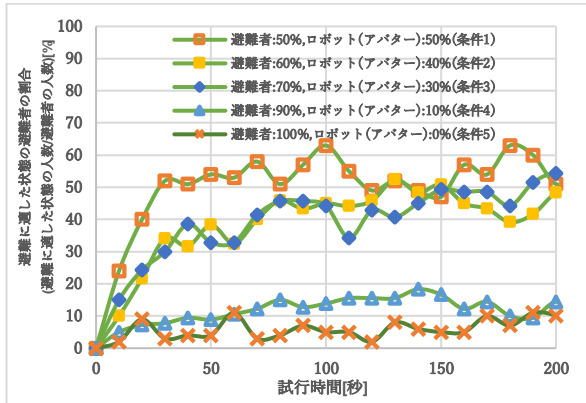


図8 避難に適した状態の人数の割合(設定1-1-1-※-1)

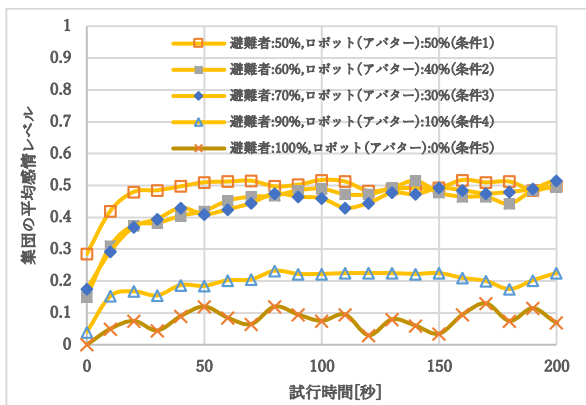


図9 集団の平均感情レベル(設定1-1-1-※-1)

図8-9では(設定1-1-1-※-1)に於いて、個体数比を変えたときのシミュレーション結果が示されている。尚、「※」の箇所については凡例の条件番号が当てはまるものとしている。シミュレーション結果では個体数比の条件1-3については平均感情レベルの目標値である0.5に収束して

いるが、個体数比の条件4,5については目標値に収束しない結果となった。本手法では、集団の感情レベルを目標値へ近づけるために、ロボット(アバター)の感情を切り替えることで目標値への収束するように目指しているが、ロボット割合が一定の割合を下回ると、全てのロボットが目標の感情レベルに近づけるために感情を切り替えても、目標値へ届かないことが考えられる。尚、今回のシミュレーション設定では集団を制御するのに必要なロボットの割合は、避難者の同調モデルより算出することができる。今回の設定で用いた同調モデルでは、避難集団の感情レベルを制御する為には、集団の約30%がロボットであることが必要であると算出されおり、改めてシミュレーション結果を見ると、ロボットの割合が30%を上回っている個体数比の条件1-3が制御可能であることが示されている。

また、本研究では避難集団の個体数を2倍、4倍とスケールを変えてシミュレーションを行った。結果、スケールを変更しても、制御の可否には影響しないことが分かった。図10、図11に個体数とスケールを変更したときのシミュレーションの結果を示す。

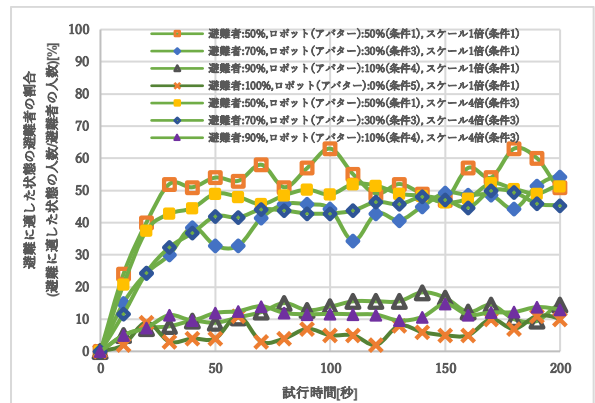


図10 避難に適した状態の人数の割合(設定1-1-1-※-※)

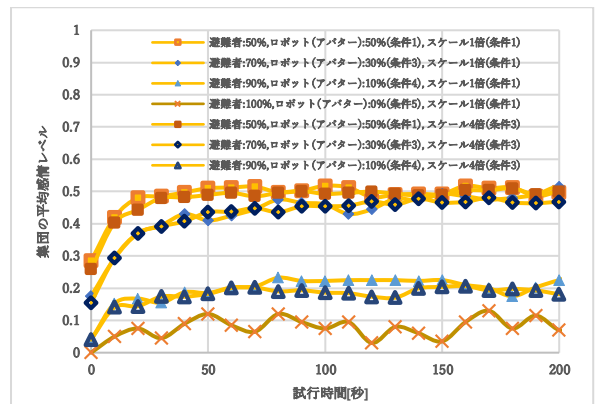


図11 集団の平均感情レベル(設定1-1-1-※-※)

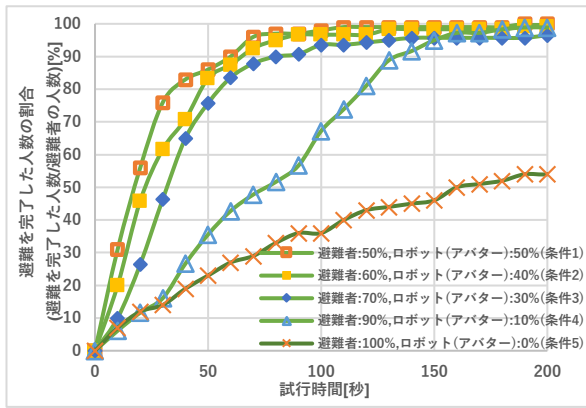


図 12 避難を完了した人数の割合(設定 2-1-1-※-1)

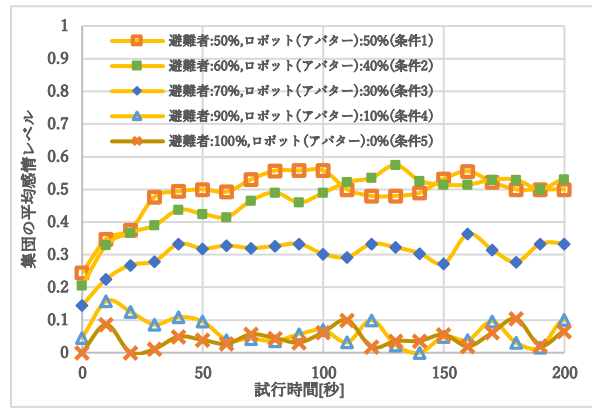


図 15 集団の平均感情レベル(設定 3-1-1-※-1)

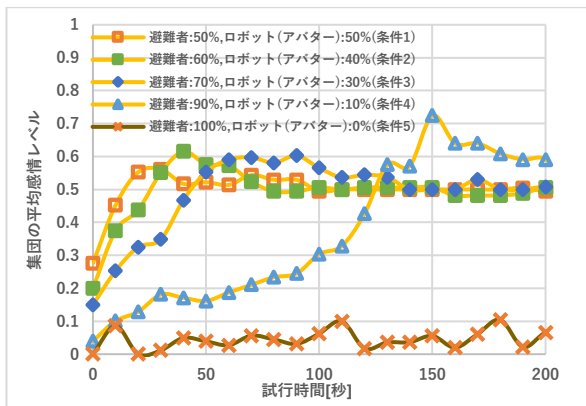


図 13 集団の平均感情レベル(設定 2-1-1-※-1)

次に(設定 2-1-1-※)の設定に於いて、個体数比を変えたときのシミュレーション結果を図 12-13 に示す。図 13 では、個体数比の条件 1-4 が目標値に収束しており、制御可能であることが示されている。このシミュレーションでは、避難に適した状態に遷移した避難者をシミュレーションより除外する設定となっており、シミュレーション上では時間が経過するにつれて避難者の割合が徐々に現象していったことから、初期状態でロボット(アバター)の割合が小さい個体数比の条件 4 においても感情レベルが目標値へ収束したと考えられる。

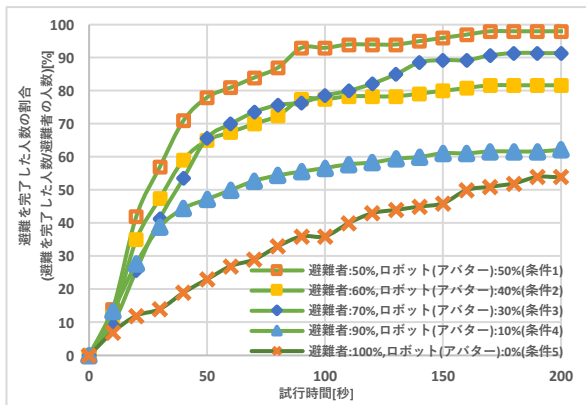


図 14 避難を完了した人数の割合(設定 3-1-1-※-1)

次に、(設定 3-1-1-※-1)に於いて、個体数比を変えたときのシミュレーション結果を図 14-15 に示す。結果では、個体数比の条件 1-3 がおよそ目標値に収束し、条件 4, 5 が目標値に収束しないことから、制御出来ていないことが示されている。また、個体数比の条件 3 は感情レベルの推移が不安定であるように見受けられるが、これは、個体数比の条件 3 が集団の感情レベルを制御することができない最低限の割合に近いこと、シミュレーション上で避難者もロボット(アバター)も離脱していくことから、一時的に大きく値が変動する為と考えられる。実世界では、避難者は自身が所持するスマートフォンなどのアバターによる感情表現も想定しており、避難者と一緒に避難することが予想されている。よって、実世界で運用が可能と仮定した場合、一定の割合のロボットを配備することが必要となることがわかった。

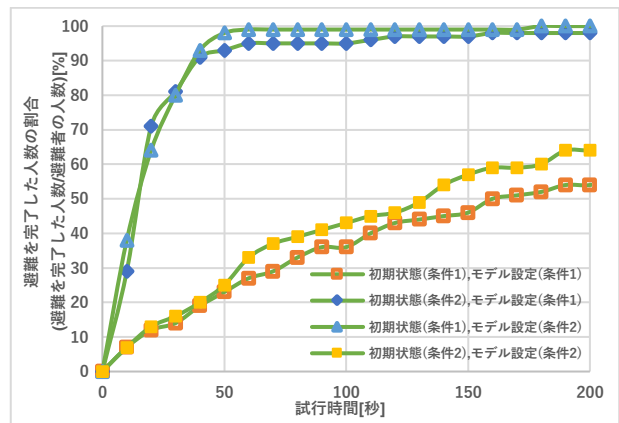


図 16 避難を完了した人数の割合(設定 1-※-※-1-1)

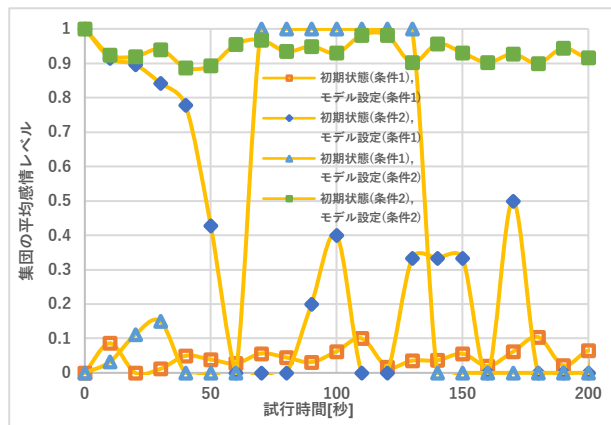


図 17 集団の平均感情レベル(設定 3-※-※-5-1)

図 16-17 に(設定 3-※-※-5-1)の結果を示す。設定 3-1-1-5-1, 3-2-2-5-1 については、感情レベルが目標値から大きく離れ極端な感情レベルを維持する結果となった。また、設定 3-1-2-5-1, 3-2-1-5-1 については、感情レベルの推移が途中より非常に激しくなる結果となったが、これは集団の大半が避難を完了している状態であり、避難者一人の感情が変化するだけで、大幅に変動する為であると考えられる。また、上記 4 つの設定に於いてロボット(アバター)の制御をした場合のシミュレーションを行ったが、いずれの設定に於いても制御無しの時と比べて避難の進捗が良いことがシミュレーション結果より確認されている。

(6) 考察

まず初めに、(設定 3-1-1-※-1)ではロボット(アバター)と避難者の個体数比を保ったまま、避難に適した状態になった個体から離脱していく設定となっている。これは、シミュレーション中、ロボットと避難者の個体数比が一定に保たれている点では、(設定 1-1-1-※-1)と同じ状況であり、結果を比べるとおおよそ同じ推移をしていることが確認できる。よって、本手法による制御の可否はロボットと避難者との割合が大きく影響していること、また、ロボットの割合が大きいほど、避難者が避難に適した状態への遷移が早くなることが分かった。

(設定 2-1-1-※-1)と(設定 1-1-1-※-1)、(設定 3-1-1-※-1)を比較すると、(設定 2-1-1-※-1)の方が比較的避難を完了する進捗が良い結果となった。これより、避難者が避難せずに留まっている状態であると、ロボット(アバター)の制御が難しいが、少しずつ避難者が避難を始めるようになれば、ロボットの割合が大きくなるため、初期状態に於いてロボットの割合が小さい場合でも避難途中から制御可能であることが分かった。

また、(設定 1-1-1-※-※)では、スケールが変化しても結果が殆ど変化しなかった。これより、制御の可否については、スケールは影響せず、避難者に対するロボット(アバター)の割合が影響していることがわかった。

尚、図 16,17 より、初期状態がパニックかつ同調モデルがパニックになりやすいモデルの場合、また、初期状態が落ち着いているかつ同調モデルが落ち着きやすいモデル

の場合は、避難に適した状態へ遷移する早さが非常に遅いことが伺えた。また、初期状態がパニックかつ同調モデルが落ち着きやすいモデルの場合、また、初期状態が落ち着いているかつ同調モデルがパニックになりやすいモデルの場合は、大半の避難者が早く避難に適した状態へ遷移していくことから、制御無しの場合でも避難に適した状態へ遷移しやすいことがわかった。また、これらの全ての場合に於いて、ロボット(アバター)の制御を行った場合は、制御なしのときと比べて早く避難に適した状態へ遷移していくことがシミュレーションより確認されている。

5. 結論

本研究では、災害等の避難の課題となっている集団同調性バイアスについて、ロボット(アバター)の振る舞いを利用することによって、避難者を適切な感情状態へ同調することを目指すシステム提案を行い、シミュレーションを通して検討を行った。今回は 2 つの想定される同調モデルを設定したほか、集団におけるロボットの割合を変更することで、制御の可否について検証した。結果、ロボットの割合が避難者の避難進捗の早さに影響すること、ロボットの制御可否に関わる必要なロボットの割合は同調モデルによって決定されること、そしてロボットの割合が避難の進捗度合いに影響し、スケールの大きさは影響しないことがシミュレーションを通して分かった。

謝辞:最後に、本研究に際してご指導頂いた法政大学理工学部電気電子工学科伊藤一之教授、並びに伊藤研究室の方々から感謝致します。今後の研究において、本論文が僅かにでも参考になればと願うものであります。

参考文献

- 1) J. Leach., “Why People ‘Freeze ‘in an Emergency: Temporal and Cognitive Constraints on Survival Responses”, Aviation, Space, and Environmental Medicine, Vol.75, No.6, pp.539-542, June 2004.
- 2) 広瀬弘忠, 大災害時の避難行動, 消防科学と情報 107 号, pp.10-13, 2012
- 3) How 1985 British Airtours disaster changed air travel, BBCNEWS, <https://www.bbc.com/news/uk-england-manchester-33304675>
- 4) 神忠久, 生死を分ける避難の知恵-その 4 デパート等大空間での火災時の避難-, 照明工業会報 No.11, 2015
- 5) 上田淳, 筋肉を規範としたアクチュエータの確率的な制御, 日本ロボット学会誌, vol.29, No.5, pp.431-434, 2011
- 6) J. Ueda, L. Odhner, and H. Harry Asada. “Broadcast Feedback of Stochastic Cellular Actuators Inspired by Biological Muscle Control”, The International Journal of Robotics Research, Vol.26, No.11-12, pp. 1251-1265,

2007

- 7) J. Ueda, L. Odhner, and H. Harry Asada. “Broadcast Feedback of Stochastic Cellular Actuator Systems Consisting of Nonuniform Actuator Units” , IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.642-647, 2007
- 8) 大西正輝, 山下倫央, 秦康範, 坂間亮弘, 避難時における 正常性バイアスと集団同調性バイアスの計測-災害時に人はなぜ逃げないのか?-, 信学技報 BioX2016-40, 2017
- 9) 【西日本豪雨】自分だけは大丈夫...避難行動の遅れ背景に「正常性バイアス」, 産経新聞, 2018/7/20
- 10) 貝辻正利, 北後明彦, 雑踏事故に至る高密度群衆滞留下での群衆波動現象に関する研究-大規模イベント事例分析を通じて-, 地域安全学会論文集, 17 巻, 99. 63-71, 2012