

[論文]

群集シミュレーションのためのパーソナリティと有限の処理能力を有するエージェントモデルの構築

八島 敬暁[†], 飯島 正[‡]

要約

不特定多数の人で構成される群集行動は災害時にパニック、将棋倒しなど人的被害を引き起こすことがある。そこで、防災計画の検討や市民教育などのために群集シミュレーションが行われている。群集下における人の行動は心理的要素の影響を受けると考えられるが、条件数が膨大となるため、その相互の組合せに基づいて個々人の特性を反映させて行動に影響を与えるモデルの構築は難しい。

この問題に対処するために、パーソナリティ因子に基づいて、認知の仕方/目標設定/行動選択を変え、不安といった要素によって合理的な行動に制限が発生するエージェント（意思決定主体）モデルを構築した。加えて、人の特性が行動決定するまでの認知過程に与える影響は、パーソナリティ診断テストと避難行動アンケートを実施し、その結果をパス解析することで推定した。

さらに、地下街における避難誘導実験の再現シミュレーションと飲食店を想定した火災避難シミュレーションを行い、周囲への追従、出口への殺到といった群集行動を観察した。利用客のパーソナリティ分布を変えてシミュレートしたところ、構成要員により群集行動が変化する現象、たとえば協調性の高い人のみだと殺到が発生せず避難所要時間が短縮されるといった現象を確認することができた。本研究は施設管理者、利用客が群集行動への理解を深め、施設配置の検討、防災意識の啓蒙などを行う群集事故の被害予測・対策立案システムへの応用を目指している。

Abstract

Crowd behaviors consisted by the general public have a risk of panic, falling like dominoes in a disaster. Therefore crowd behaviors have been simulated for examination of a disaster plan and disaster prevention education. Psychological elements are considered as influencing a human behavior under a crowd. However it is difficult to build simulation model reflected individual characteristics because the number of conditions drastically increase.

Therefore the authors build the agent (decision-making entity) model that personality changes an agent feature of cognition, set of goal and behavior selection, and that anxiety limits processing resource of agent and it leads irrational behavior's selection. We conducted personality test and questionnaire of evacuation behavior. The data were analyzed with covariance structure analysis for estimating the effect of human's characteristics on the cognitive process and behavior selection.

To verify our suggestion, we built two simulation models. First one simulated evacuation behavior in an underground mall with some guides. We make this situation be similar to actual evacuation experiment. Second one simulated fire evacuation behavior in a building. Both of them showed the crowd behaviors such as herding and pushing. Moreover we observed the distribution of agents' personality changed the crowd behavior in simulations, for example a group composed of high agreeableness agent didn't cause a pushing phenomenon and shorten total evacuation time. We would like to adapt this model for the system of crowd accident prediction and prevention planning (which deal with estimation of facility placement, disaster prevention education and so on) and to support building managers and clients to promote a greater understanding of crowd behavior on our future work.

1 はじめに

交差点や駅構内など不特定多数の人の動きによって構成される行動のことを群集行動と呼ぶ。不適切な群集行動は火災やその他の災害時にパニック、殺到、将棋倒しといった人的被害をもたらすため、誘導灯などの施設配置や、防災教育による対策が重要である。しかし、一般に群集の挙動を予測することは容易ではない。そこで、特定の状況下で起こりうる群集現象の性質を解明し、被害の予測と対策の立案のために、群集を対象とするシミュレーションが行われている。群集シ

An Agent Model with Personality and Bounded Processing Resource for Crowd Simulation
Takaaki Yashima[†], Tadashi Iijima[‡]
[†]Graduate School of Science and Technology, Keio Univ.
[‡]Faculty of Science and Technology, Keio Univ.
[†]慶應義塾大学 大学院 理工学研究科
[‡]慶應義塾大学 理工学部
[論文] 2013年4月1日受付,
2016年9月28日再受付,
2017年1月20日採録.
©一般社団法人 情報システム学会

ミュレーションには、いくつかの手法があるが、その中でも個々の個体の性質から群集の性質へ影響を及ぼす直接的な手法にマルチエージェントシミュレーション技術がある。マルチエージェントシミュレーションは個体の行動を定義し、複数の個体を環境に配置することで集団行動を表現する手法である。

解決すべき問題点

本研究では、本論文では、マルチエージェントシミュレーションにおけるエージェントのモデリング方法に着目する。エージェントは自律的な意思決定主体である。特に避難行動選択の意思決定は被災時の緊迫した状況下で行われるため、その状況から受ける影響が大きく、平常時を対象としたシミュレーションに対して、そうした影響を反映させるモデルを構築する必要がある。

一般には、人の行動決定に与える影響には、状況、感情、経験(知識)、性格、身体能力、年齢、性差などが挙げられる。但し、ここで列挙した要素は、独立した要因ではなく、相互に影響を受け合うものがある。人の行動を対象としたシミュレーションモデルの場合、データとして得やすい年齢や性差を観測・設定可能なパラメータとして、身体能力をそれらに従属するパラメータとして推定するものが多く存在する。しかし、性差や年齢は、状況の認知や判断などへも影響を及ぼすことが容易に推測できる¹。

また、上記のような行動選択に影響を与えうる要因を踏まえてシミュレーションを精緻化するにあたり、前述のようにパラメータ間の関係が複雑となりうることに加え、設定すべきパラメータの組み合わせが多大なものとなって実用性を損なっては意味がなくなってしまう。使用するパラメータが多ければ多いほどモデルが精緻化されるというものでもなく、その取舍選択は、一般にシミュレーションの目的、着目する観点、求める精度から行うことになる。直接データとして得ることが難しいパラメータを決定するためには、取得できるパラメータから予測するルールや数式をモデルに導入することが必要となる。そうしたルールや数式は、モデルに分離不可能な形で作りこむのではなく、パラメータの取舍選択に応じて追加削除が可能なモジュールとしてモデルへ導入できることが望ましい。パラメータ選択の基準としては、

求める目的と精度を満たしたうえで、モデル構築者にとって、適度に取り得しやすく、理解しやすく、分布を変動させたときの行動選択への影響も解釈しやすいことが期待できるものが望ましい。

従来は、モデル構築のためには、特定の状況下で人がどのような行動を起こすのかを観察し、それを分析することで、データとして与えることができるパラメータと、直接的に観測できる行動と結びつける作業に主眼が置かれていた。しかし、異なる状況を対象とする度に、毎回、状況を再現し、観察し直してパラメータに反映させるのでは、モデル構築にかかるコストが大きく構築者にとって負担となる。特に、被災状況のように被験者に危険が及ぶような状況を再現した実証実験を高頻度で行うことは望ましくないため、被験者のパラメータ分布を変動させて多数回実施することは難しい。そこで、実際には本論文でも採用しているようにアンケートによって行動選択傾向を取得することも行われる。さまざまな状況下で起こりうる現象を調べ、人の行動や危険性への理解を深めることで、対策に役立つ群集シミュレーションにとって、モデル構築の負荷は問題となると考えられる。シミュレーションモデルの精緻化と、この負荷の軽減を両立させることがマルチエージェントシミュレーション一般にとっての「解決すべき課題」であるが、本論文では、この目標を絞り込み、特に「被災時」という心理的に緊迫した状況を対象とした群集の避難行動シミュレーションという文脈に限定する。

解決に向けたアプローチ

緊急事態に観察される群集行動の場合、その場の物理的な状況だけでなく人の心理的要因が行動に影響を与えると考えるのは自然である。そこで本研究では、(群集行動を構成する)個々の行動を直接的に決定するパラメータを個々の状況ごとの観察に基づいて選択し制御する代わりに、心理的要因から人の行動を導出するパラメータを採用したモデルの構築を行うことを試みる。そのように個人の行動モデルに心理的要因を考慮することで、状況やシナリオの変化に自然に追従できる柔軟なシミュレーションモデルを構築することを目指す。すなわち、実験心理学・認知科学の分野で提唱された「処理能力の有限性」に関するモデルと「パーソナリティ因子」とを統合し、サブモジュールとしてエージェントモデルに組み込むことで、緊迫した状況下で不安が処理能力を圧迫する影響を取

¹迷路の脱出能力に関しては顕著な性差があるという実験結果があり、空間認知能力に性差があるという解釈がなされることが多い。

り入れた。さらに、パーソナリティ診断テスト結果の統計分析にもとづいて状況とパーソナリティ因子が行動選択に与える影響を推定し、エージェントの振る舞いに反映させる提案を行う。これは、パーソナリティ診断テストで取得可能なパーソナリティ因子をパラメータとして導入することに相当する。

個々のエージェントの振る舞いが、被災といった状況によって心理モデルを介して影響を受けるというだけではなく、その影響は群集の集団的振る舞いにも反映される。個々のエージェントの行動決定には、エージェント間で相互作用を受け、他のエージェントの行動の影響を受けて意思決定がなされる。ミクロな個々のエージェントの相互作用をもって、群集としてのマクロな群集の振る舞いを形成することになる。したがって、シミュレーション対象の集団における、異なる性質すなわちパーソナリティをもつエージェントの構成比率も、集団的な振る舞いには大きく影響を与える。本研究は、集団の構成員の固有の性質を心理的要因という観点から取り扱うことで、集団の個々の構成員の持つ性質と、集団の振る舞いとの関係にアプローチするものともいえる。

手法と評価の概要

まず、主要5因子理論 (Five Factor Theory) に基づくパーソナリティ診断テストと避難行動アンケートを実施し、状況と性格が行動と能力の変化に与える影響の推定を行った。アンケートの対象者は、20～26歳の大学生・大学院生58名である。年齢差の影響が含まれず、パーソナリティ因子の組み合わせも幅広く得られているものと解釈している。避難行動アンケート調査では、様々な状況下での行動選択に関して有効な回答数を得ることができたため、5つあるパーソナリティ因子と行動選択との関係をパス解析 (共分散構造解析) を用いて、ある程度、対応付けることができたと考えている。しかし、様々な状況下における「不安の感じ方」に関する項目への回答は、十分に得ることはできなかった。これは、机上アンケートでは実感が乏しく、言語表現と対応付けることが困難だったことが原因であると解釈している。したがって、具体的な被災状況下での「不安の感じ方」は、避難行動アンケート結果をもとに、エージェントモデルの行動に直接反映させることができない。そこで、パーソナリティ診断テストから得られた「情緒安定性」因子のみから「不安による処

理能力の圧迫」の度合いを推定することとした。

次に、個々のエージェントモデルに「パーソナリティと行動傾向の対応」の推定結果をパラメータに設定したシミュレーションを行い、個々のエージェントのパーソナリティが群集行動に反映されて、挙動が変化する現象の再現性を確かめる検証実験を行った。

火災の発生を想定した避難シミュレーションモデルを構築したところ、まずは、既存のシミュレータでも観察されているボトルネック現象の再現性を、群集の移動速度が低下する度合いによって評価することで確認できた。さらに、その上で、認知能力資源の上限設定の変更に応じて、シミュレーション上で下記の3つの群集行動として起こりうると考えられる現象が確認された。

1. 緊急火警報の館内放送があっても通常照明が非常灯に切り替わるまでの間は、エージェント同士が避難するか様子を見合った結果、避難率が8%に留まった。
2. 不安によって資源が圧迫されるエージェントの視覚的認知能力に依存するが、出口の混雑度合の取得に必要な資源が確保されている限り、出口が混雑すると、多数のエージェントが他の空いている出口に行先を変更した。
3. 2.により混雑していた出口に人がいなくなったため、再度行先の変更がなされた。これが繰り返され、エージェントは部屋内を右往左往した。

加えて、個々のパーソナリティに関するパラメータが与える影響が、群集行動に的確に反映されていることを評価するために、パーソナリティ分布を変更することで、下記の3点の現象を確認することができた。これにより数値化したパーソナリティ因子をパラメータとして与えることで群集行動へ影響を及ぼせることは示すことができた。これらの現象に関しては、アンケート結果とも適合し各パーソナリティ因子の特性を的確に示していると解釈できるが、これらの現象の発生頻度やタイミングなどについては、より詳細な調整が必要である。

- 協調性の高い人のみの集団であると、ボトルネックとなる出口地点で整然と列を成して並ぶため、押しのけや殺到が起らず、かえって避難に要する時間が短くなった、

- 知性の高い人のみの集団であると、避難中に目指す出口を変更することが多く、総移動距離が長くなった分、避難に時間を要した
- 勤勉性の高い人のみの集団であると、真に危険な状況となった際、一斉に出口に殺到した

エージェントのパーソナリティ 分布によって集団の動きに変化がみられたことから、本提案手法によって、構成員の違いを群集行動へ反映させることができた。但し、行動アンケート結果とパーソナリティ診断結果を対応づけるためのパス解析において、適合度指標 (GFI; Goodness of Fit Index) や近似誤差 (RMSEA; Root Mean Square Error of Approximation) といったモデル全体としての説明力や当てはまりの良さは未だ決して十分ではない。パーソナリティ診断テストとしては定評のあるものを使用したが、避難行動アンケートに関しては、質問紙に文と図を記載して被験者に提示したため、被験者にとって設定された被災状況が実感をもって把握しきれていないのではないかと懸念も残る。そこで、映像や音響、仮想現実感などを使って、被災状況を提示することを将来的な研究課題として計画している。

今後の展望

情報システムは、計算機システムだけで構成されるものではなく、その中には人間的要素が重要である。また、情報システムが取り扱う対象の中には、人の行動から引き起こされる情報は数多く含まれ、人の行動をモデル化することは、そうした情報を扱ううえで、重要な要素である。本研究においては、施設管理者と施設利用者に対し、防災活動をする際の判断材料を群集シミュレーションにより提供する (図 1)。これによって防災減災計画立案や防災教育のための情報システムを構築する上で、有用な「個々人の心理」と「人の集団が引き起こす群集行動」をモデル化することを目指している。このような不安や集団への同調・追従が引き起こす社会現象として、いわゆるパニック行動が知られている。パニック行動には、今回の対象である避難行動以外にも、株取引における雪崩的な株価の大暴落につながる危機回避型行動や、稀少性のある物品購入に代表される獲得型行動が知られている。これらのパニック行動現象にも本手法の応用の可能性がある。但し、パニック行動の種類によっては、複雑な流言伝播のメカニズムが関与しているものもあることも、一般に知

られている。しかし、本研究では、そうした流言伝播のメカニズムのモデル化やアンケートの質問項目の複雑さの影響を避けるため、あえて被災者エージェントが避難出口の混雑度合や他の避難者の行動を直接観察できるように、対象範囲を限定し問題設定を単純化している。これにより、「処理能力の有限性とパーソナリティの影響」をより明確化することを試みている。

従来は、こうした個人の心理ならびに多様な個人によって構成される群集行動のモデルは、明示的に扱われなかったか、あるいは、扱われたとしても情報システムを構成するソフトウェアの中にプログラムとして埋め込まれて埋没していることが多く、将来的な社会の変化に追従させていくことが困難になりがちであったと考えられる。しかし、本研究で提唱しているように、それをモデルとして独立させ、さらに統計的な裏付けを与えながら修正していくことを目指す心理的要素を取り入れたモデルベースの方法論は、今後の情報システムにとって、重要な位置を占めるであろうと考えている。

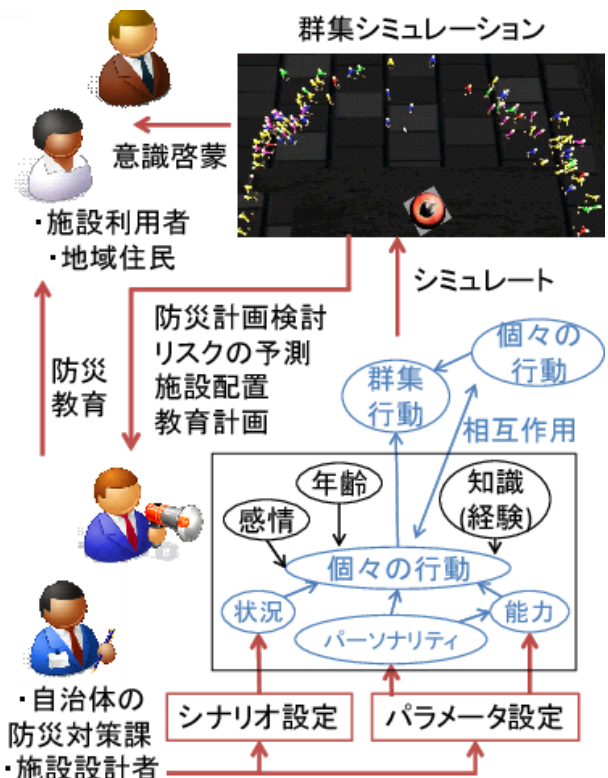


図 1: 施設管理者および施設利用者と群集シミュレーションの関係

以下、続く第二章で心理モデルとシミュレーションへ応用の従来のアプローチについて、第三章で提案するシミュレーションへの心理モデルの導入手法、第四章でシミュレーション実験とその結果、

第五章で評価について述べる。

2 心理モデルとシミュレーションに関する従来のアプローチ

心理学の分野では人の性格、能力などを表現するための心理モデルが提唱されている。しかし、これらのモデルは人の普遍的な性質を明らかにすることを目的としているため、群集心理やパニック行動に限定したものであっても、群集シミュレーションに適用するには抽象度が高く、個々の具体的な挙動と対応付けるための具体化が必要である。これらの心理モデルをシミュレーションに適用するには、その適用領域ごとにこの具体化を行う必要がある。ここでは、まず提案手法の基礎に採用した群集行動に関する心理モデルを説明し、次に既存の心理的要因を反映したシミュレーションモデルとその問題点を述べる。

2.1 群集行動に関する心理モデル

緊急事態に発現する群集行動は日常生活における一般的な行動規範には従わず、個々人の性格、年齢、性差、経験、その国の文化が、その行動選択に影響を与えると考えられている^[1]。経験はたとえば被災経験のことを指し、被災経験があるほど安全を求める傾向が強い^[2]。性格に対しては、パーソナリティモデルとして性格分類を目指したモデルが数多く提唱されている。たとえば主要5因子理論 (Five Factor Theory)^[3] は5項目で人の性格を分類するモデルである。各項目は協調性 (Agreeableness)、勤勉性 (Conscientiousness)、外向性 (Extraversion)、情緒安定性 (Neuroticism)、知性 (Openness) と定義されることが多い^[4]²。協調性は温かな性格を、勤勉性は自律的で責任感の高い性格を、外向性は社交的な性格を、情緒安定性は不安への適応力を、知性は好奇心旺盛で芸術を好む性格をそれぞれ表す。同モデルは、性別、年齢、文化が異なっても人の性格を分類する

²訳語は村上らの定義^[5]に基づくが、幾つかの因子の日本語訳は誤解を招くことがあるかもしれない。Neuroticismは情緒安定性と訳しているが、むしろその符号を反転させた情緒不安定性と訳した方が適切であり、神経症傾向と訳されることもある。ここでは、情緒安定性という訳語の語感の方を優先して符号を決めている。Conscientiousnessは勤勉性と訳しているが誠実性や良識性という訳語が使われることもある。Opennessは知性と訳しているが、「経験への開放性」を意味しており、知的好奇心という訳語があてられることもある。

ことが可能なモデルであることが実験的に知られているため、パーソナリティモデルの記述方法として広く用いられている^[4]。なお、パーソナリティの分布は国ごとによって異なる^[6]など、構成要員によって分布に偏りが生じる。以下では、特に何らかのパーソナリティモデルで分類された性格をパーソナリティと称することとする。

主要5因子理論は文脈を限定しない性格分類法であるが、群集行動に関係する場面にも適用されている。たとえば上市ら^[7]は、危険を回避する行動選択には情緒の不安定さと知性の高さが影響を与えると報告している。「情緒安定性」因子が低いと、不安から危険を回避したがる傾向を持ち、「知性」因子が高いと、元々から危険に対する知識が多かったり、さらに知識を積極的に増やそうとする傾向があることから、危険性を十分に認知していて、結果的に危険を避けようと解釈した。パーソナリティモデルには、他にもエゴグラム^[8]など複数存在するが、本研究では主要5因子理論を採用する。これは、各国で調査がなされておりデータが豊富に存在する^[4]ことから、将来的には本研究の成果を諸外国へも適用し、国民性の違いを避難シミュレーションへ反映できる可能性に期待しているためである。

また、人は危機に瀕するとパニックになったり、正常な思考ができなくなる場合がある^[9]。この現象を人の能力の性質から説明したモデルがある。Normanらは、人が一度に多くの情報を処理すると結果の出力が低下することから、有限な処理能力を仮定し、能力資源を各作業に割り当てるモデルを提唱した^[10] (図2)。ここでは、これを認知能力のみならず一般的な処理能力への拡張を含めて、「有限処理能力資源モデル」と称することとする。この図では、ドラムが、処理能力資源の器としての有限性を概念的に示しており、情報処理タスク (Task A や Task B) が、その有限の資源を消費する様子を表している。同時に実行されるタスクで使用できる資源は、この器に収まる範囲にとどまる。したがって、器が小さければ、同時に実行可能なタスク数が減少するか、あるいは、個々のタスクのパフォーマンスが落ちる。

この能力資源は、ある作業の遂行度を高めると他方が低くなるという干渉する性質を有する^[11]。池田らは「不安」という心理的要因も能力資源を消費するものと位置づけ、緊急時に人がパニックになるのは、不安によって能力が低下するからであると説明した^[12] (図3)。この図では、不安

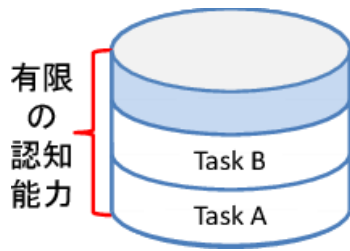


図 2: 有限認知能力資源モデル^[10]の概念図

が認知能力資源の器を圧迫して、使用できる資源を少なくし、同時に実行できるタスクを少なくするかパフォーマンスを落とす様子を概念的に示している。

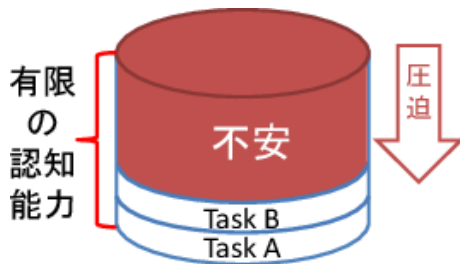


図 3: 不安による能力資源消費の概念図^[12]

2.2 群集シミュレーションとその課題

群集シミュレーションの方法

群集シミュレーション (Crowds Simulation) のためのモデル化には、いくつかの手法が報告されており、その視点から大きく分けて、巨視的な (Macroscopic) モデル化手法、微視的な (Microscopic) 手法に分けられ、さらに両方のモデル化手法を導入して使い分けるハイブリッド手法をメゾスコピック (Mesoscopic; 中間的な) 手法と呼ぶこともある。ここでは、巨視的なモデル化手法をマクロ手法、微視的なモデル化手法をマイクロ手法と呼ぶことにする

本研究で採用しているマルチエージェントシミュレーション (MAS; Multi-Agent Simulation) は、マイクロなモデル化手法であるエージェントベースモデリング (ABM; Agent-Based Modeling) に基づくシミュレーション手法であり、エージェントベースシミュレーション (ABS) と呼ぶこともある。

マクロな視点からの群集のモデル化

マクロな手法は、自己組織的な (Self-Organizing) 群集を、構成する個々の構成員に立ち戻って微視的に取り扱うことなく、群集を単位として巨視的

な視点からとらえる手法であり、1970 年頃から得られた群集の流体力学 (Fluid Dynamics) モデルに端を発するものと考えられ、流体だけでなく弾性体や塑性体をも含む連続体力学 (Continuum Dynamics) へ展開されている。1971 年に群集流動現象が熱力学ならびに気体分子運動論 (Gas Kinetics) におけるマックスウェル-ボルツマン分布 (Maxwell-Boltzmann distribution) と似た挙動を示すという報告がみられ、さらに粘性流体を表現するナビエ-ストークス方程式 (Navier-Stokes equations) による群集のモデル化もなされるようになった。

流体モデル以前の避難行動シミュレーションでは、部屋間を移動する避難行動を、部屋間のトポロジカルマップに遷移確率を加えたマルコフモデルでモデル化し、モンテカルロシミュレーションで、モデルの振る舞いを可視化することなどが行われていた。しかし、この手法では群集行動で引き起こされる各種現象をモデル化することには至らなかった。

流体モデルで表現された群集を離散化してシミュレートするためには、支配方程式となる偏微分方程式の数値解析を行う。それには有限要素法 (FEM; Finite Element Method) や有限差分法 (FDM; Finite Difference Method) などの空間に格子 (メッシュ) を作成しセル間の相互作用を取り扱う格子的手法がある。その一方で、粒子をベースとする粒子法³も注目されている。群集を構成する構成員を粒子とみなしたときに理解しやすい面もあるが、あくまで連続な流体モデルを数値解析するあたって粒子として離散化することを目的としている。また、熱伝導のメタファから有限体積法 (FVM; Finite Volume Method) なども利用されている。

気体分子運動論や分子動力学 (molecular dynamics method) に基づくマクロ手法では、群集の構成員を流体を構成する分子とみなすことで理解できるとはいえ、あくまでマクロな視点から群集を集团的に流体として扱っているものと位置づけられる。このあと、マイクロな手法として導入するセルオートマトン (CA; Cellular Automaton) を利用した、流体シミュレーション手法として格子気体法 (Lattice Gas Cellular Automata)⁴などもあるが、やはり、マクロなモデルのシミュレー

³SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) や MPS (Moving Particle Simulation) がある

⁴HPP モデルや FHP モデルがある。

トのために離散化している手法と考えられる。

気体分子運動論と同様に多量の粒子の集まりをマクロにとらえる粉体 (Granular material) の力学も取り入れられ、個別要素法 (DEM; Distinct Element Method) もしくは Discrete Element Method) に基づく群集のモデル化もあるが、多様な粒子間関係を取り入れながらもマクロな挙動を取り扱う手法といえる。電磁力学的な粒子間相互作用を取り入れたモデルもある。

マクロ手法では、しばしば物理的なメタファが使われるが、そこでは、個々の粒子に着目して、それぞれに固有の性質を持たせるよりも、物理現象の全体の挙動を再現することに重点が置かれている。

ミクロな視点からの群集のモデル化

一方、ミクロ手法は、個体 (individual) の集合体としての群集を、その構成員である個体の性質に立ち戻ってモデル化するものであり、そのモデルをシミュレートすることでその集団的な挙動を浮かび上がらせるものである。群集を観察して、それをそのまま再現するようにモデル化するマクロ手法と異なり、各個体の固有の性質を設定することで、何らかの分布で多様な個体から形成された群集の性質を対象とすることができる。群集現象のシミュレーションというよりも、個々の歩行者 (Pedestrian) のシミュレーションから群衆行動へ拡張されたものと位置づけることもできる。

モデル化手法としては、セルオートマトン (Cellular Automaton) 法やエージェントベースドモデリングがあるが、実際には、セルオートマトンは、エージェントベースモデルの単純化された計算モデルの一つと位置付けることもできる⁵。実際のところ、エージェントベースモデルのシミュレーション実装環境であるマルチエージェントシミュレーションの汎用プラットフォームでは、一般に基本となるセルオートマトンを実装するための二次元格子セル空間は提供されており、入門的例題としてセルオートマトンの実装例が提供されていることも多い。プラットフォームにも依るが、多くのマルチエージェントシミュレーションのプラットフォームでは、離散的な二次元格子セル空間以外にも、連続空間やノードとエッジから構成されるグラフ構造 (ネットワーク空間) も利用できるものも多い。

⁵セルオートマトンモデルは、基本的な計算モデルとして、複雑適応系等の複雑系の基礎ともなっている。

セルオートマトンは、その基本的なモデルが単純なことから、基礎研究における理論的考察に向いているとされるが、群集シミュレーションに適用するには、フロアフィールド (Floor Field) 法など拡張を施すことが多く、エージェントベースドモデルとの間に境界を設けることは次第に難しくなってきたり、相対的な表現ではあるが、計画立案など高度な意思決定機能をもたせるよりも比較的単純なルールに基づいて反応的な挙動をモデル化することに注目したものと位置づけることができる。

これに対し、エージェントベースドモデルは、一般に意思決定主体としての複数のエージェントを定義し、シミュレーションによってその集団的な性質を明らかにするものである。人工知能分野では、一般に、環境から情報を取得し、それに基づいて自らの行動を計画・決定し、さらに、行動することで環境に働きかける自律的な主体としてとらえる。エージェントにとっての外部環境には他のエージェントも含まれているので、エージェント間の相互作用も直接的にモデル化することができる。その自律性には幅があり、行動計画の立案機能を単純化した反応的なエージェントから、高度な行動計画立案機能を備えた熟考的なエージェントまで多くのレベルが考えられ、包摂アーキテクチャなど複数のレベルを組み合わせたエージェントのアーキテクチャも提唱されている。

Craig Reynolds は、鳥が群れを形成して飛行する様子 (Flocking) を模倣するコンピュータグラフィックスのために Boids モデルを構築したが、群れを形成するという複雑な挙動を分離 (Separation)、整列 (Alignment)、結合 (Cohesion) と呼ばれるわずか 3 つの単純な行動ルールで自然に実現している。Vicsek のモデルは、それぞれ無秩序に任意の方向に向かう一定速度の自己駆動粒子 (SPP; self-propelled particle) もしくは self-driven particle) の集団に対し、個々の粒子には周囲の粒子との平均速度でランダムなノイズを加えて方向を決めさせる。その上でノイズを次第に小さくしたり、集団の密度を上げることで、無秩序な状態から秩序だった集団行動へ相転移することを示している。これらのモデルは、シミュレーションモデルに組み込むことが容易であり、人が避難する際の行動として知られている現象を再現することにも役立つ。たとえば、他の避難者に追従して避難する傾向 (follow) や、多数の人が一つの出口に殺到した場合に半円上のアーチを形成する行動な

どは, Boids モデルを拡張した行動ルールでも再現できる。

また, 歩行者をモデル化するエージェントやセルオートマトンには, 目標地点への移動の際に, 壁や障害物, 他の被災者との間での衝突回避能力を与えることが求められる。人と人之间では, 状況によって変化する快適な距離, すなわち, 対人距離を確保するパーソナルスペースもしくはテリトリー効果が存在することも知られており, パーソナルスペースが干渉しあうような距離に接近することには, 心理的抵抗がある。パーソナルスペースは, 相手との関係や, 置かれている状況によって変化するが, そうした心理的抵抗はエージェント間の斥力としてモデル化することができる。一方で, 他エージェントやオブジェクトに引き寄せられる引力も想定することができる。エージェントが持つ他エージェントやオブジェクトに対する引力と斥力に, 現在の速度から望む速度へ加減速するための力を加えた力が, 歩行者エージェントに働くとするモデルがソーシャルフォースモデルである。避難行動を対象とした場合の引力や斥力の設定としては, 出口への引力, 案内板への引力, 衝突を回避するための壁や障害物などのオブジェクトや, 対向する避難者エージェントからの斥力, 同じ方向に先行して進む避難エージェントからの引力, 避難のリーダーとなる案内人エージェントからの引力などが考えられる。また, 障害物を回避して目標へ移動するマニピュレータの行動計画や, 障害物を回避しながら目標地点へ移動する自走ロボットの経路生成に使われてきた人工ポテンシャル法も, 目標への引力と障害物からの斥力で, エージェントをモデル化する手法といえる。セルオートマトン法の拡張であるフロアフィールドモデルには, 静的フロアフィールドモデルと動的フロアフィールドモデルがあるが, 静的フロアフィールドモデルは, 人工ポテンシャル法における出口からの引力によって形成されたポテンシャル場を離散化したものに相当する。動的フロアフィールドモデルは, メタヒューリスティックアプローチの一つといえるアントコロニーアルゴリズムと似たフォーマリズムであり, 他の避難者を追従する行動をモデル化することができる。

本研究でマルチエージェントシミュレーションを利用する利点

本研究は, 認知能力や計画能力を含め処理能力の有限性が被災状況下で受ける影響をモデル化し,

さらにパーソナリティ因子の影響を対象とするものである。そこで第3節で示すように, 処理能力の有限性と, パーソナリティ因子の影響をエージェントのモデルにモジュールとして導入し, 多様なパーソナリティ因子の分布と, 認知能力・計画能力の変動を再現することを目的としているため, 本研究ではモデル化手法としてエージェントベースドモデルが適していると判断した。

但し, 本研究では, あまり複雑な認知能力や計画能力をシミュレーションに組み込み, その性質が影響を与えることで, パーソナリティ因子の影響の度合が不明確になってしなうことを避ける必要がある。そこで, エージェントの機能モジュールとしては, 避難行動の様子を観察できる最低限のものに限定して実施している。例えば, 複雑な障害物回避や, 広範囲に及ぶ避難経路計画などの高度な機能を必要としない問題設定が必要である。今回の研究では, アンケートで問われている被災状況への理解の度合が, 被験者によって大きく異なることがないように問題設定を単純化することも必要である。これらの観点から設定した具体的なシミュレーション対象と, シミュレーション実装のために取捨選択した具体的なエージェントの能力に関しては, 第3章で述べる。

マルチエージェントシミュレーションの課題

シミュレーション一般の課題として, 概念モデリングによるモデルの構築, モデルのパラメータの適切な設定, モデルの妥当性の検証がある。そのために, 実世界の現象と比較検討しながら, モデルやパラメータの調整制御を繰り返して再現精度を向上させることが必要である。さらに, その後の展開として, 特定事例にのみ過剰に適応することのないよう, シミュレーションモデルを構成するモジュールと, その元となった概念モデルの要素の一般性を確認していくことになる。一般に, モデリングとシミュレーションのプロセスとしては, 図 [13] に示すように,

- (1) 目的と範囲の確立,
- (2) 概念モデルの形式化,
- (3) データの取得と分析,
- (4) モデルの開発と実装,
- (5) モデルとシミュレーションの検証 (Verification と Validation),
- (6) 実験の設計,
- (7) シミュレーションの実行,
- (8) 結果の解析,
- (9) 調整制御と最適化,

というサイクルを必要なだけ繰り返ししてから、最終的に、
 (10) 実世界への適用
 ことになる。

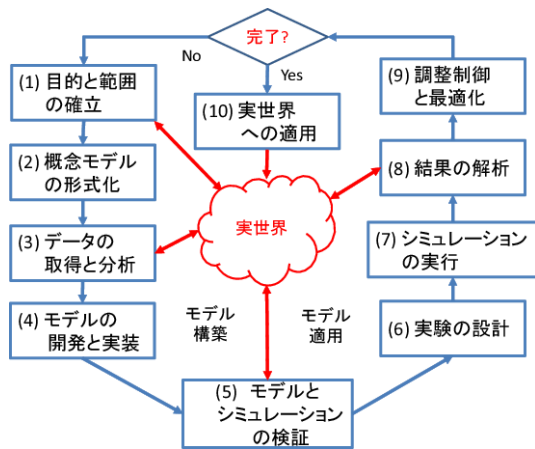


図 4: シミュレーションのライフサイクル (文献 [13] をもとに一部改変)

物理現象を再現する、いわゆる物理シミュレーションでは、その現象の支配方程式が知られていることも多く、そうした理論と比較して適合性を比較できることも多い。しかし、特に多数の人間活動が含まれているシステムの振る舞いでは、物理学のような理論的基礎を構築することは困難であり、再現実験も必ずしも安定した結果を示さないことがある。特に、被災状況を再現した実証実験は危険も伴い、被験者の負担も大きいので、頻繁にこのサイクルを実施することは難しい。したがって、シミュレーションモデルの妥当性を評価することは容易ではない。

そうした中で、避難行動シミュレーションの妥当性を判断するためにこの分野の研究報告において、しばしば使われている方法は、避難行動の中で発生することが知られている現象の幾つかのものを実際に再現することができたかどうかを調べることである。

また、マクロなモデル化手法に基づくシミュレーションでは、観察した現象をそのまま再現するモデルを構築するため、モデルと現象の対応がわかりやすいが、ミクロなモデル化手法では、個体に与えた性質から集団的な振る舞いが作り出されるので、それがどのように反映されるかについては、実用上は、パラメータの調整を繰り返して、再現性を確認するということが行わねばならない。そうしたことから、逆に全体的な振る舞いを操作することを目的として、エージェントのもつべきパラメータを選定してしまうようなことも

してしまいがちである。しかし、本来は、個々のエージェントが本質的に持つべきパラメータを、パラメータ間の関係を明確にしながら選定して、その結果、全体の振る舞いが導かれるようにアプローチすべきであり、モデルを精緻化するために、パラメータを増やすことは一般に行われているが、そのパラメータの選定は慎重に行うべきである。

また、先に述べたように個々のエージェントのパラメータを調整して、作り出された集団的な振る舞いが、モデル作成者にとって解釈しやすいものでなければならない。本研究においてパラメータとして導入したパーソナリティ因子は、パーソナリティ診断テストが確立されており、なおかつ、パラメータの値を変更したときに、集団的な振る舞いに与えられる影響の妥当性も、モデル作成者が判断しやすいものと考えている。

2.3 心理的要因を反映したシミュレーションモデル

次にパーソナリティや処理能力といった心理的要因を導入したシミュレーション事例について説明する。

様々な行動特性を持つ人の集合が生み出す群集行動をシミュレートするため、パーソナリティと行動選択の関係性の定義がなされている。たとえば García らは緊急時における市民の避難行動を表現するため、パーソナリティが認知する状況にバイアスを与えるモデルを構築した [14]。

また、Durupinar らはいろいろなエージェントの行動を、パーソナリティ因子をパラメータとして作り込んで定義することを試みている。例えば、リーダーシップやコミュニケーションのとり方、歩行時の他人との衝突を避ける距離といった他の被災者との関係性や、パニック行動といった被災状況下で特有の行動に対してのパーソナリティ因子が与える影響を定義した [15] 6。たとえばパニック行動に関しては、「情緒安定性」因子と「勤勉性」因子が影響を与えるものとして定義している。

Oren らは同様の現象を説明するため、Fuzzy 論理によって行動を決定することでパーソナリティをより反映したモデルの構築を目指した [16]。

⁶ Durupinar らの研究で採用しているパーソナリティモデルは、Ocean モデルと称されているが、これは主要 5 因子理論の別称である。5 つのパーソナリティ因子の頭文字を知性 (Openness)、勤勉性 (Conscientiousness)、外向性 (Extraversion)、協調性 (Agreeableness)、情緒安定性 (Neuroticism) という順に並べて、こう呼ばれる。

Fatemeh ら [17] はパーソナリティによる行動選択モデルに実際のパーソナリティ分布データを適用し、構成要員によって群集行動が変化する現象をシミュレーション上で観察した。他人に追従する個々人の行動を作り込み、外向性の低い日本人集団をパーソナリティ分布に設定したところ、追従する人の割合が増え、群れを成して動く現象を観察した。

これらの既存研究 [15][14][16][17] では、群集下でみられる特定の現象について、人が行動選択するまでの認知過程の中で、どこにパーソナリティが影響するかについて検討するものであった。しかし、認知過程以降に実際に行動を起こすまでに行われる、判断や目標設定、計画立案といった各過程にまで、パーソナリティと能力が関係する統合モデルの検討が十分になされているとはいえない。また、これら既存研究では個々の行動へのパーソナリティ因子の影響は、モデル作成者自身が何らかの仮説を立て、それを定義した上で調整している。

3 シミュレーションへの心理モデル導入手法の提案

3.1 提案する概念モデルとパラメータ設定手法

提案する概念モデル

まず、心理的要因を考慮した状況とシナリオの変化に柔軟なシミュレーションモデルを構築するため、主要5因子理論 [3] に基づくパーソナリティモデルと、前節で説明した「不安による資源消費」を取り入れた有限処理能力資源モデルの二つを、エージェントモデルに組み込むことを提案する。ここでの有限処理能力資源モデルは、認知能力だけでなく、一般の処理能力に拡張したモデルである。さらに、「不安による資源消費」の度合いは、パーソナリティ因子の一つである「情緒安定性」因子をパラメータとして決定することを提案する。「情緒安定性」因子が低いほど、不安は助長され、資源消費量が増えるように作用させる (図5)。

エージェントモデルとしては、群集行動一般について取り扱うことを目指すため、心理的要因が、認知ばかりではなく、思考すなわち「目標設定と計画」、ならびに、行為・行為すなわち「環境への

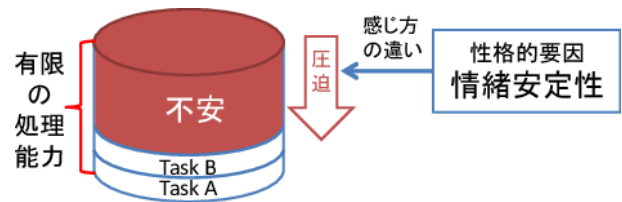


図 5: 本研究での有限処理能力資源モデル

働きかけ」に対しても、影響を与えるモデルを考える。従来からの自律的エージェントモデル (図6) に対し、拡張を加えた提案モデルを図7に示す。図7において点線が従来のモデル、実線が本研究で統合を目指すモデルを表す。熟考的なエージェントであれば、判断/目標設定/計画立案といった要素に高度な機能が必要となり、自律性が高いといえる。一方、反動的なエージェントであれば、それらの要素に高度な機能は求められない。

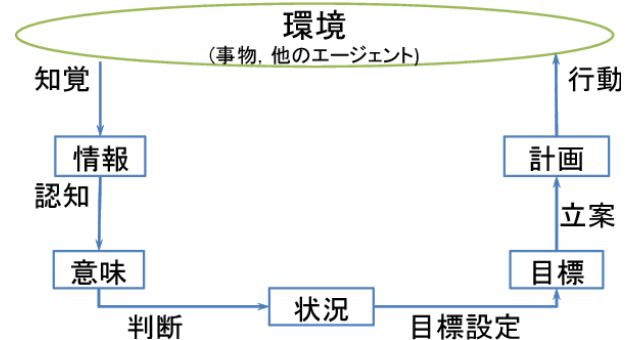


図 6: 従来からの自律的エージェントモデル

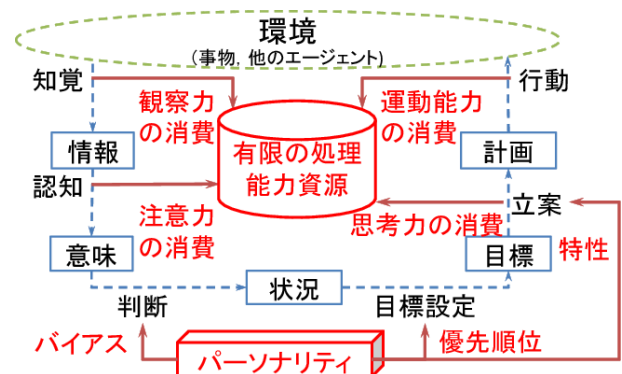


図 7: パーソナリティと処理能力の有限性を加えた提案モデル

提案するパラメータ設定手法

さらに、そのモデルにおいて重要なパラメータである状況と性格が行動選択と能力の変化に与える影響度は、観察と内省によって決定するのではなく、アンケート調査を実施し、因果関係のある因子間の影響度を推定するパス解析を用いて推定する (図8) 手法を提案する。

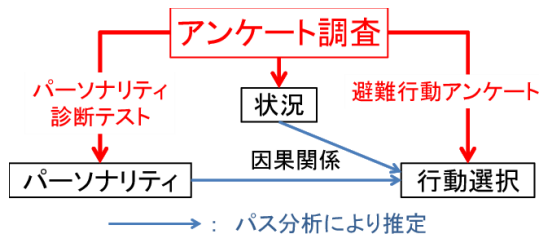


図 8: 行動に影響を与えるパーソナリティ因子の影響度の推定

アンケート等で回収した項目間の関係を求める統計的手法には、主成分分析、因子分析、共分散構造分析が挙げられるが、主成分分析は標本を分離するための指標を求める場面に、因子分析は観測した変数の中から共通する未知の因子を求める場面に、共分散構造分析は観測した変数間の相関、因果関係を推定する場面に利用される。今回、人に内在するパーソナリティはパーソナリティ診断テストによって観測する点と、パーソナリティと行動の因果関係を推定する必要がある点から、解析手法としては共分散構造分析の一種とされるパス解析を採用した。パス解析においては、行動アンケートの結果を説明できる潜在変数を含む仮説モデルを取り扱うことができる。このパス解析では、パーソナリティ因子は、並行して実施するパーソナリティ診断テストによって求められたものを使用するので、パス解析にとっては潜在変数ではなく観測変数として扱われることになる。因子分析で求める因子は潜在変数に相当するので、同じ因子という用語を用いても、意味合いが異なる点に注意してほしい。

先行研究におけるモデルとの比較

Durupinar ら [15] の研究は、パーソナリティ・パラメータと避難行動シミュレーションを対応付ける研究としては、本研究に先行するものといえるが、大きく 2 点で異なる。第一に、本研究では、心理的に緊迫した状況によってエージェントの行動に与える影響については基本的に「不安による資源消費」を取り入れた「有限処理能力資源モデル」を採用している点である。その結果、心理的圧迫が引き起こす「不安」の影響は、避難行動シミュレーションのみならず、その他のシミュレーションにおける行動に対しても反映させることができる。これに対して、Durupinar らのモデルでは、避難行動シミュレーションに限定しても、パニック行動以外の振る舞いに関して一つ一つ「情緒安定性」因子の影響を加えて定義する必要がある。

る。但し、本研究でも「不安による資源消費」の度合いを「情緒安定性」因子によって決定する点は、Durupinar らのモデルと共通であり、そこでの提案を取り入れているものといえる (図 5)。第二に、本研究では、性格の影響を受ける避難行動の定義を完全に作り込むのではなく、避難行動アンケートの統計的な分析に基づいて決定する点である。

3.2 シミュレーションの対象

本論文では、表 1 の対象に対して、パーソナリティと処理能力の有限性を反映した場合の妥当性について論じる。

表 1: シミュレーションの対象

環境	公共施設、大型商店などの屋内
群集行動現象	パニックなどの発生が伴う、緊急事態特有に発生するもの
行動の粒度	単位時間ごとの要素行動 (歩く、待機など)、もしくは、その連続で記述可能な行動

状況設定

さらに、本研究での評価に雑音として影響を与える要素を排除するために、下記のような状況を設定している:

- (1) エージェントは火災の発生と出火箇所を緊急館内放送によって聴覚的に知らされる。以降、火災発生からの経過時間を知っている。
- (2) 状況の緊迫性は、通常照明の消灯によって知らされる。但し、代わりに非常灯が点灯することで、視認性は限定されるとはいえ、基本的な視覚的認知能力は確保される。
- (3) エージェントの初期位置はテーブル等の障害物のないホールにランダムに配置される。
- (4) エージェントは、複数ある出口の位置を予め知っており、出口近辺の混雑状況を把握するための視覚も確保されている。

エージェントの振る舞いモデル

エージェントの振る舞いは、次の第 3.3 節で述べるように、認知、計画、行動を繰り返す、というものである。それぞれ、個々のエージェントに与えた認知能力、思考能力、行動能力は、下記のように限定したものを設定した。行動の達成度の自己評価は、必要に応じて次のサイクルでの認知に基づいて判断され、それがそのサイクルでの行動

のトリガーとなる。

エージェントに付与する認知能力

エージェントの認知能力としては、以下のように、位置把握に加え、視覚と聴覚を模した知覚能力を与えている。今回のシミュレーション対象では、疲労や受傷といった状態をエージェントに組み込むことは妥当ではないため、それらエージェント自身の内部状態に対する認知能力は与えていない。

位置把握機能は、各エージェントが知識として保有しているメンタルマップの中で自分自身の座標と、複数のランドマークの座標を持っている。本研究プロジェクトの一環のサブプロジェクトでは、メンタルマップとして屋内のフロアごとの間取り構造を反映したトポロジカルマップを平面図に対応付けたものを利用しているが、今回のシミュレーションでは、矩形状の見渡しの良い地下街の街路や飲食店のホールを想定しており、メンタルマップは単純な平面図となっている。ランドマークとしては2ヶ所の出口だけを与えている。

視覚を模した知覚能力というのは、人間の被災者であれば、おそらく視覚を介して取得するであろう情報を入手する機能であり、実際に画像情報を与えてそれを理解・解釈する能力を付与するものではない。これには、以下の知覚機能を与えている。

- (v1) 衝突回避に特殊化した壁への接近の知覚,
- (v2) 衝突回避に特殊化した他の近接エージェントの位置の知覚,
- (v3) 追従行動に特殊化した周囲の被災者の状態のエージェントの知覚,
- (v4) 室内の照明が通常の点灯状態か、消灯し非常灯に切り替えられているかの明暗区別,
- (v5) 一般的な視覚として出口近辺の混雑度の知覚,
- (v6) ジェスチャによる視覚的コミュニケーションの近く,

(v3) の他のエージェントの状態把握は、パラメータとして指定された知覚範囲に存在する他の被災者が待機しているかどの出口に向かっているかといった状態ごとの人数と平均速度ベクトルを受け取るものである。(v6) は、一般的なジェスチャの理解・解釈機能を与えているわけではなく、専用の組込モジュールによってコミュニケーションが成立することになる。但し、これらの視覚認知能力を行使できる度合や、周囲を認知できる範囲などは、有限性を仮定した処理能力に依存する。視野角や視距離は基本的にパラメータとして指定

することができるが、状況に応じて、その値に制限を加えることができる。

聴覚を模した知覚能力も、決して音声情報を理解・解釈する能力を付与するものではなく、人間であれば聴覚を介して取得するであろう情報を入手する機能である。それには、以下のような機能を与えている。

- (h1) シミュレーション対象範囲のどこにいても聴き取ることのできる緊急火災警報からの情報取得,
- (h2) エージェント間の聴取可能距離をパラメータで設定できる音声コミュニケーション機能.

いずれも音声情報をエージェントがデータとして取得する方法は、専用の組込モジュールを通して与える。(h1) の緊急火災警報では、火災の発生自体と、火災の発生箇所のメンタルマップ上での座標を取得できる。(h2) の音声コミュニケーション機能は、第4.2節の予備実験で使っているもので、そちらで説明する。

エージェントに付与する判断/計画能力

思考能力としては、判断/行動選択機能と計画機能を与える。

判断/行動選択としては下記の3点がある。

- (s1) 目標としての出口を選択する目的地選択,
- (s2) 照明の状態からの緊迫度の判断に基づく、避難開始か待機かの行動選択,
- (s3) 認知できた他の被災者の行動に追従するかどうか、および、どの行動に追従するかの選択.

これらは、それぞれ知覚能力と結び付けられている。たとえば、(s1) の目的地選択は、自分自身の位置把握や出口近辺の混雑度といった知覚と結び付けられており、今回のシミュレーションでは2ヶ所の出口から1ヶ所を選択するだけである。

計画機能としては、一般的には以下の2点を与えている。

- (p1) 経路計画
- (p2) 衝突回避計画

但し、本研究では、見通しの良いホールや地下街の街路を対象としており、複雑な経路計画は必要がない問題設定としている。したがって、経路は1室内で現在地から目的地を滑らかにつなぐ線分の列に限定している。衝突回避は、方向転換と停止を含む減速のみであり、壁以外の障害物回避は含めていない。また他の被災者との互恵的な衝突回避や、移動する障害物との予測的な衝突回避

機能は取り入れておらず、回避対象の接近に対して反応的に対応する。

エージェントに付与する行動能力

行動能力としては以下の7つの能力を与えた。

- (a1) 待機,
- (a2) 目標として設定している出口への徒歩での移動,
- (a3) 目的地が決まっていない場合のランダムな徘徊行動,
- (a4) 壁との間での衝突回避行動,
- (a5) 他の被災者との間での衝突回避行動.
- (a6) ジェスチャを介した視覚的コミュニケーション機能による通知行動.
- (a7) 音声コミュニケーション機能による通知行動.

衝突回避行動に関して、有限な処理能力の範囲に含めており、パーソナリティ因子の影響を受けた処理能力の残量によっては、衝突回避行動を抑制し、パーソナルスペースを越えて接近させ、さらには衝突して「押しのけ」現象を再現するものとしている。(a6)(a7)の通知行動に関しては、受け取る側の視覚ないし聴覚に専用の情報取得モジュールが必要となる。

3.3 シミュレーションの実現

これに基づいて、パーソナリティモデルと処理能力モデルを、知覚、思考、行為を繰り返し行うエージェントモデルに適用した(図9)。これは、図5のモデルに概念モデルを、シミュレーションモデルとして実装したものであり、知覚(Sensor)モジュールによる認知。目標の設定・達成度判定(Goal)モジュールと計画(PlannerならびにPlan)モジュールによる思考、行動(Actuator)モジュールによる外界に対する行為というサイクルが、単位時間ごとに繰り返される。

各サイクルにおいて、知覚モジュールで外界から何らかの入力情報を受け取った場合には、それをトリガーとして思考と行動が行われる。入力情報がある場合には、まず、それに基づいて目標設定がなされる。目標によっては、反動的な行動が対応付けられており、即時、実行される。あるいは、計画立案がなされ、目標と対応付けて計画が保管される。入力情報がない場合には、保管された目標と計画に基づく熟考的な行動が実行される。目標の達成度判定は、行動実行とともにな

れることもあれば、次のサイクルで知覚情報に基づいて判断されるものもある。

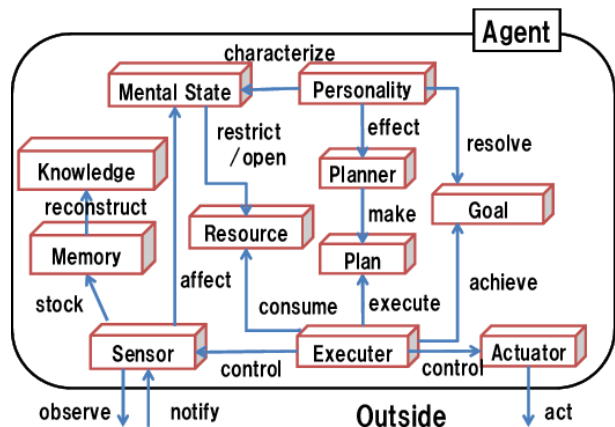


図9: パーソナリティと処理能力の有限性を有するエージェントのモジュール構成

なお、シミュレーション基盤には Mason [18] を用い、Java で実装した(コード数:272 クラス, 23979 行)。パス図の作成およびパス解析は SPSS / Amos⁷ を用いた。ファイルに保存したシミュレーション結果の可視化アニメーションツールは関連プロジェクトとして別途 Java で開発したものである。可視化のための人物の 3D モデリングには Blender⁸ を用い、blender2ogre⁹ でデータ形式を変換して、JMonkeyEngine¹⁰ に基づいて、3D アニメーション表示を実現した。

4 シミュレーション実験と結果

人が行動を決定するまでの認知過程に、パーソナリティ因子と能力の有限性が関係するエージェントモデルを用い、群集行動をシミュレートした。

今回のシミュレーション実験は、3ステップから成る。まず第一のステップとして、前提となる「調査分析」として、パーソナリティ診断テストと、避難行動アンケートを実施し、統計解析に基づいて両者の間で関係付けを行った。この避難行動アンケートのための質問項目は、大きく分けて3種類ある。一つ目は、「押しのけ」行動などパーソナリティ因子が影響すると仮定した避難行動と状況の関係を回答してもらう質問項目である。危機感等の心理的圧迫の強さによる違いを調査するために、例えば、出火を観察できるか、緊急館内放

⁷<http://www.ibm.com/software/products/jp/ja/spss-amos/>

⁸<http://www.blender.org/>

⁹<http://code.google.com/p/blender2ogre/>

¹⁰<http://jmonkeyengine.com/>

送による通知だけか、通常照明が消灯し非常灯に切り替わるか等の数通りの異なる状況設定を行っている。この質問項目と統計解析の結果に関しては、第4.1節で述べる。二つ目は、「不安による処理能力の圧迫」モデルの基礎データとするための質問項目である。これは、想定している状況設定のもとでの「不安の感じ方」について回答を問うものであるが、これらの質問項目に対しては有効な回答数が得られなかった。最後の一つは、次の第二ステップとして実施する基本パラメータの設定のための質問項目である。設定する基本パラメータは、1988年に地下街で実地に行われた避難誘導実験の結果と、その実験を再現する避難行動シミュレーション実験の結果とを比較しキャリブレーションすることで決定する。そのために、その避難誘導実験で行われる避難行動に関する質問項目を設定した。さらに、それらの避難行動に対してのパーソナリティ因子の影響も統計的に評価した。

次に、第二ステップとして、シミュレーション実験の基礎として、エージェントの行動能力や認知能力に関して、歩行速度など基本パラメータの設定を行った。この作業には、1988年に実際に人が参加して地下街で実施された避難誘導実験の結果と比較しキャリブレーションをおこなった。この結果は、他のシミュレーション研究報告での設定値や建築分野において報告されている数値と大きな違いはなかった^[19]。但し、この避難誘導実験は、2種類の避難誘導方式の違いを調査することを目的としたものであり、被災状況下という心理的圧迫による影響を調査することを目的としたものではない。したがって、この実証実験との比較調整によって得られた、行動能力と認知能力のパラメータは基本パラメータとして位置づけ、それに対して、さらに避難行動アンケートに基づいてパーソナリティ因子に応じた影響を加えることとした。

それらの結果を踏まえ、推定したパラメータ値を用い、飲食店火災を想定した群集シミュレーションを行った。ここで想定している火災では、現実的な設定として、出火場所は厨房であり、被災者からは直接観測できないが、放送によって火災の発生と出火場所を知ることができるという設定を採用している。また、通常照明が消灯した後も非常灯と排煙設備によって視覚が確保でき、被災者の位置から出口の場所と、そこまでの距離、混雑度合が観察できるものとしている。これは、

流言伝播などの影響を含めず、被験者の行動選択とパーソナリティ因子との影響との関係をより明確にするためである。

4.1 調査分析

パーソナリティ診断テストと避難行動アンケートの流れ

状況と性格が行動と処理能力の変化に与える影響を調べるため、学生ボランティア男性57名、女性1名(20~26歳)に対し、パーソナリティ診断テストと避難行動に関するアンケート調査を行った。パーソナリティ診断テストには、村上宣寛と村上千恵子による主要5因子性格検査システムを利用した¹¹。このパーソナリティ診断テストは、村上らが日本人向けに独自に70問の質問項目を構成したもので、青年期、成人前期、成人中期、成人後期というように世代別に標準化した診断テストとなっている。村上らによれば、「基準関連妥当性は0.510から0.774の範囲で正直で洞察力のある大学生の自己評定と強い相関があり、再検査信頼性は0.853から0.953の範囲で測定値は非常に安定している」とのことであるため、特に今回の被験者群に向いていると判断した。

避難行動アンケートは、パーソナリティが関与すると予想される避難行動や、予備実験に現れる避難行動に関して、被験者の判断や行動選択に関する設問27問を準備した。パーソナリティが関与すると予想される避難行動については次節で、予備実験で関与する避難行動についての分析は第4.2節で論じる。

アンケート結果と行動選択判断との関係づけ

ここでは、パーソナリティが関与すると思われる避難行動に関してアンケートをおこなった。まず「押しのけ」行動を例として取り上げ、統計解析によるパーソナリティ因子との関係づけ手法について説明する。主要5因子分析に基づくパーソナリティ診断テストで得られた勤勉性、情緒安定性、外向性、協調性、知性の5因子と特定の行動選択との関係を共分散構造解析の一種であるパス解析によって推定した。パス解析は、積極的に因果関係を発見する手法ではないが、複数の変数との因

¹¹ このパーソナリティ診断テスト(プリンタ出力機能の省かれたデモ版)は、本研究実施時は<http://psycho01.edu.u-toyama.ac.jp/soft.html>から、その後も、<http://www.vector.co.jp/soft/win95/business/se141378.html>から配布されている。

果関係の存在を仮定したときに、その影響の度合いを示唆することができる。

火を知覚している場面では勤勉性因子の「押し」行動へのパス係数が0.25で、勤勉的な人ほど他人を押しつけてでも避難する推定結果を得た。図11は、被験者自身が、差し迫った出火状況と、出口に向けて殺到する他の被災者を、視認できる状況での行動選択を問う質問項目に付記した説明図と、そのパス解析の結果として「押し」行動の選択とパーソナリティの関係を示すパス図である。ここでは、潜在変数としては誤差変数e1のみを仮定し、パーソナリティ因子と行動選択との間の関係を説明する仮説モデルを設定した。適合度指標GFIが0.759、近似誤差RMSEAが0.252なので、モデル全体としての当てはまりは決して良くはないが、この状況においては、勤勉性の影響の度合いが高いことを示唆することができる。



図10: 出口への殺到による「押し」行動に関するアンケートの説明図

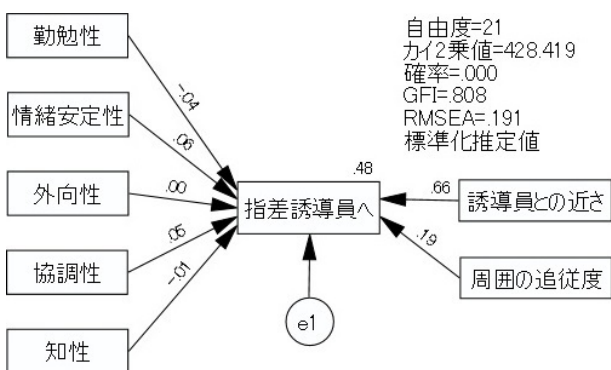


図11: 「押し」行動へ影響する要因を推定するためのパス解析

反対に、直接的に出火を目撃することなく、緊急火災警報の放送を聴いて火災の発生を伝えられた場面では避難意識へのパス係数が-0.18で、勤勉的であるほど避難しない推定結果を得た。勤勉性因子を因る尺度の一つに自制力(Self-discipline)が含まれる[4]ことから、状況に応じてパス係数

の正負が反転した結果を、自制心の高さが自身の安全確保への強い関心として現れ、自身の判断に基づき避難するか決めたためと解釈した。

アンケート結果と出口選択判断との関係づけ

次に、複数出口がある場合の出口選択におけるパーソナリティ因子の影響に関して得られた結果を示す。まず、2つの出口に対して、それぞれの出火地点からの近さを被験者に事前知識として与え、被験者の位置から出口までの近さと出口周辺の混雑度との関係をアンケート回答の頻度から求めた。十分に予測できる結果ではあるが、基本的には出火地点から遠い出口が選択され、2つの出口の出火地点からの距離が等しいときには混雑度の低い出口が選択された。但し、火元から近い出口であっても、被験者の位置がその出口に近く、混雑度が低い場合にのみ、その出口が選択される結果が得られた。そこで、あえて混雑している出口に対して、その出口を選択する要因を推定するためのパス解析を行った。出火地点とその出口までの距離、被験者からその出口までの距離、および、被験者のパーソナリティ因子を変数として与えたところ、出火地点とその混雑している出口までの距離に関するパス係数として0.12、被験者の位置からその出口までの距離に関するパス係数として-0.36が得られた。パーソナリティ因子に関するパス係数は、外向性因子に関して-0.13、情緒安定性因子に関しては1.1であった他、勤勉性、知性、協調性に関しては、絶対値が0.2~0.4と小さかった。ちなみに、適合度指標GFIは0.808で近似誤差RMSEAは1.91であり、必ずしもモデル全体の当てはまりはよくないが、たとえ混雑している出口であっても、自身の位置と出口との近さによっては、その出口を選択する傾向があり、パーソナリティ因子を含むその他の要因の影響は小さいということが示唆される。

4.2 予備実験

予備実験によるパラメータ設定の流れ

群集行動をシミュレーション上で再現する上で必要となる前提的なパラメータ値の設定(移動速度、思考時間など)を行った。そのために、1988年に杉万らが実施した地下街における従業員による顧客の避難誘導実験[20]の再現シミュレーションを行い、実験結果によって再現シミュレーションのパラメータを調整し比較することを繰り返すこと

で、基本的なパラメータ値を決定した。ここでは、この作業を予備実験と称する。この予備実験に先立って実施した避難行動アンケートでは、この予備実験にかかわる避難行動へ影響する因子を調べるための質問項目も設けた。

この実証実験では、指差避難誘導と吸着避難誘導という二種類の避難誘導方式を比較することを目的としている。したがって、避難行動アンケートでは、被験者が両方の避難指示を受けた時に、どちらの避難誘導方式に従うか、あるいはどちらにも従わないかという意思決定をする際に影響する因子を推定することを目的として質問項目を設定した。指差避難誘導方式とは、避難すべき方向を誘導者が指差して示す方式であり、誘導者自身も指差しをしつつ避難を行う。吸着避難誘導方式とは、自分の進む方向に着いてくることを薦める方式であるが、明示的に方向を指差したり、口頭で伝えたりはしない方式である。当然ながら、この方式では誘導者自身も避難をしつつ誘導することになる。アンケートに付記した説明図を図12に示し、行動アンケート結果とパーソナリティ診断テストの結果を対応付けるパス図を図13に示す。この説明図では、被験者が指差誘導員よりも吸着誘導員の近くに位置し、周囲には吸着誘導方式に従う被災者の方が多いという状況を表現したものである。このような場合分けをした状況の組み合わせを提示し、被験者の回答を収集している。

誘導方式選択判断のためのアンケートの解析

パス解析では、どちらの避難誘導方式に従うか選択する際に影響する因子として、まず誘導員との距離と、周囲の避難者の追従度合を数値化した仮説を採用し、さらに、主要5因子分析で得られたパーソナリティ因子を加えた。この実証実験では、どちらの誘導者が信用できそうかといった判断を与える材料はない。この解析結果として、周囲の避難者の追従度合の影響が最も大きく、パーソナリティ因子の影響はきわめて小さいという結果が得られた。再現シミュレーションには、この結果を反映させている。

再現シミュレーションのためのエージェントモデルへの機能追加

図は、予備実験として実施した地下街避難実験の再現シミュレーション結果を、可視化したアニメーション実行中の様子を示しており、シミュレータの関連ツールとして開発したものである。一旦、シミュレーション実行結果をファイルに保存した

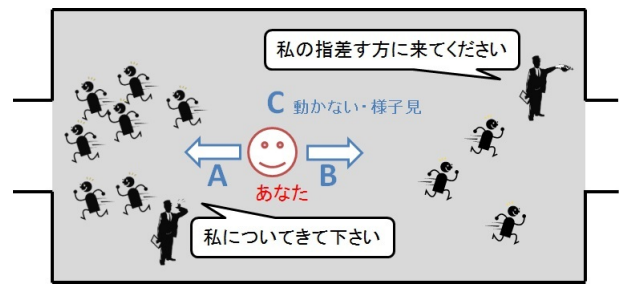


図 12: 2つの異なる誘導指示がある場面での行動選択に関するアンケートの説明図

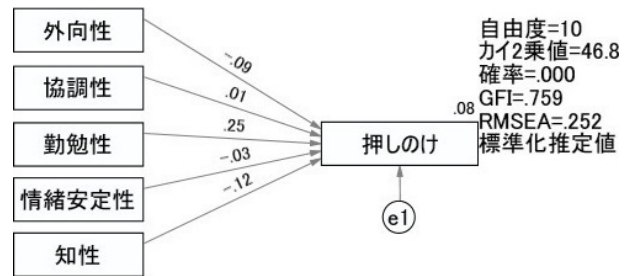


図 13: 従う誘導方式の選択に影響を与える因子のパス解析による推定

後に、エージェントの動きを可視化することができるので、避難者エージェントの動きを、多方向から確認することができる。

予備実験における再現シミュレーションに使用したシミュレータならびに可視化アニメーション等の関連ツールは、本実験シミュレーションのために構築したものであり、これに、地下街避難の実証実験との比較をするために幾つかの機能追加を施している。まず、基本機能に対しては、表のような基本的なパラメータ値を設定している。このエージェントは、基本的な避難行動の機能モジュールを与えているが、今回の仮説検証に余分な影響を与えてしまいかねない機能を排除し、高度な障害物回避機能や経路計画機能、複雑な避難環境の設定は省いている。第3.2節で示したように基本的な知覚能力、判断/計画能力、行動能力を与えている。

表 2: エージェントの基本的なパラメータ値

パラメータ	値
移動速度	64m/分
周囲の動きの観察間隔	5秒/回
視距離	∞ (室内全体が見渡せる)
視野角	2π (360度)
声が届く距離	10m

この再現シミュレーションモデルを構築するにあたり、誘導者エージェントには、自分自身の避難行動に追加する形で二つの避難誘導方式のいず

れかを実施する行動機能を与え、被災者エージェントには、どちらの避難誘導方式に従うかを決定する判断機能、その判断に基づいて、実際に避難誘導に従う行動機能のためのモジュールを追加した。この機能追加に伴うパラメータ設定を表に示す。その判断機能の判断基準には、アンケートのパス解析の結果を反映させ、誘導員との距離と、周囲のエージェントの度合いを採用している。誘導員が誘導を促す音声情報を発信する範囲のパラメータ設定に加えて、被災者がその音声情報を受け取る聴覚には有限性を設けており、誘導員と被災者との距離の影響は、これを通して導入した。他の被災者エージェントの行動に追従して避難する行動は、周囲のエージェントの移動方向を知覚し、パラメータとして指定した確率で多数派の避難方向を出口方向と設定するように自身の知識を修正する形で導入した。これは、被災者エージェントが、誘導員の誘導に従って行動しているのか、独自の知識に基づいて行動しているのかを、他のエージェントが視認によって区別できないことに基づいている。先に述べたように、今回のシミュレーションにおいては、誘導者エージェントにも被災者エージェントにも、自分自身の持つ出口知識に基づいて避難する行動機能を基本的に与えてあるが、今回の再現シミュレーションでは、誘導員が遠く誘導指示が聞こえない場合、この独自の避難行動と追従避難行動に加えて、誘導員が近づいて来るまで待機もしくは周辺をランダムに徘徊する行動モジュールを新たに追加した。

表 3: 再現シミュレーションで仮定したエージェントのパラメータ値

パラメータ	値
指差誘導員の指示間隔	20 秒
吸着誘導員が声をかける半径	5m
吸着誘導員の誘導人数	2 人
非誘導時に多数派の行動に従う確率	80%

実証実験と再現シミュレーションの比較

可視化ツールで、再現シミュレーションにおけるエージェントの挙動を再演することで、周囲の動きをみて誘導に従うかどうか意思決定するという実証実験と同様の現象が観察された(図 14)。

各パラメータに表 2, 表 3 の値に設定したところ、図 15 に示すような結果が得られた。この結果によると、指差誘導に関しては、避難開始時点は異なるが、避難開始からの累積避難者数の経過は同じように得ることができた。また、吸着誘導

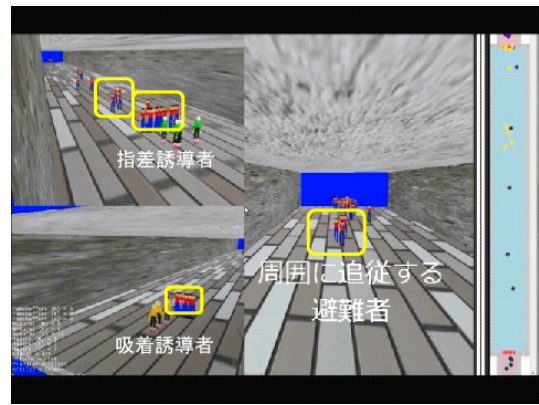


図 14: 地下街避難実験 [20] の再現シミュレーションの可視化

に関しては、同じく避難開始時点は異なるが、避難終了時点の近くでは同じような累積避難者数の経過が得られた。

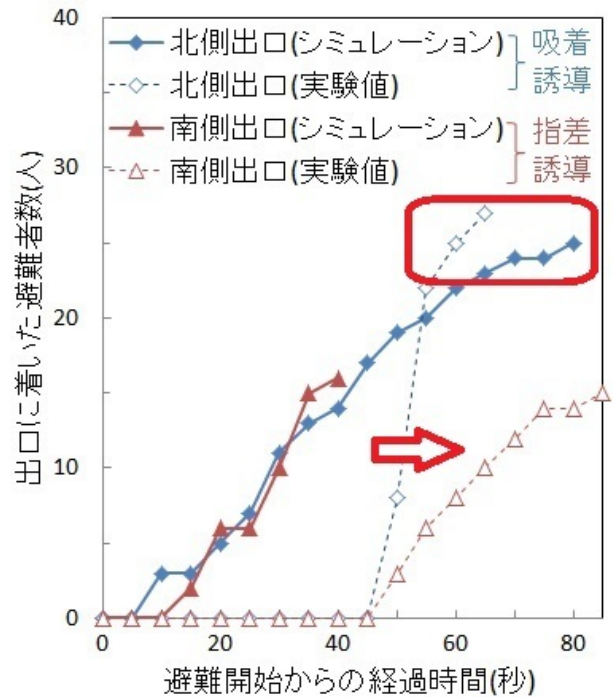


図 15: シミュレーション結果と避難実験結果 [20] の比較

再現シミュレーションと実証実験において、累積避難者数の経過に相違が生じた理由は、今回の予備実験では、それ以降の実験シミュレーションでも使えるように、実証実験で設定している前提と異なる設定を与えていることに由来すると解釈している。累積避難者数の経過から推測されるように実証実験では、出口の近くにいる被災者も、誘導者が近づくまで避難を開始していない。必ずしも発災直後から直ちに避難を開始せず様子見の待機をする傾向があることは、一般にも知られて

いる。本研究におけるアンケートでも支持されており、本実験のシミュレーションでも観察されている。しかし、実証実験における累積避難者数の経過を見た場合、どちらの誘導方式でも、実験開始後 45 秒のところ、累積避難者数のカーブが急に立ち上がっていることから、誘導者が近づくまで、被災者が避難を開始していないという実験設定が強く示唆される。この実証実験において示唆される前提は現実的ではないことから、再現シミュレーションでは、出口近くにいる被災者は、誘導者が近づく前から独自に自らの出口に関する知識に基づいて避難を開始するようにモデルを設定している。但し、被災者の出口に関する知識は必ずしも適切なものではなく、より近い出口があるにもかかわらず、遠い方の出口への避難を開始するという被災者エージェントも存在する。また、出口に関する知識を持たないため避難を開始せず、周囲を右往左往するだけの被災者エージェントも特定の分布で存在させている。そうした被災者エージェントの知識は、誘導者によって修正され、適切な方向への避難を開始する。吸着誘導では、誘導者自身も避難しつつ、他の被災者を誘導していくため誘導者の周囲に小集団を形成しつつ出口に向かうことになる。実証実験では、避難開始から 45 秒程度のところで小集団が出口に到着するため、急速に累積避難者数が増えるが、それまで出口到着者がいないことから、出口近辺の被災者も、誘導者が近づくまで避難を開始しないという行動が示唆される。これに対して、再現シミュレーションでは、出口近辺にいて、正しい出口を認識している被災者は早期に出口に到達しており、正しい出口を認識していない被災者だけが吸着誘導の誘導者の接近によって、より適した出口の方向へ知識を修正されて、小集団に組み込まれて出口に到達する。その結果、再現シミュレーションでは累積避難の開始は早くスタートするが、最終的には、吸着誘導者の出口到着に合わせて実証実験と同様に避難が完了する。

指差誘導では、誘導者自身も避難しながら出口方向を目指して移動するが、累積避難者数の経過を見ると、前述のように出口近辺の被災者は、実証実験ではやはり誘導者が接近するまで避難を開始していない。再現シミュレーションでは、出口近辺にいて、近い出口を認識している被災者は早期に出口に到達しているが、適切な出口を認識していない被災者も、指差誘導に従うことを決定した場合には、指差しによる方向指示によって近い

出口を教えられ出口に到達できる。吸着誘導方式は、誘導者は出口方向を指差したり口頭で伝えたりしないという方式なので、誘導者が接近しなければ正しい方向を指示できないのに対し、被災者が指差誘導を選択した後は、遠くからでも適切な出口方向への指示を視認できるというモデルを構築したことによる。さらに再現シミュレーションでは、当初、75m × 8m という実験環境の広さと 42 名という被災者数の設定から、視野は 360 度 (2 π)、視距離は ∞ というパラメータを設定している。したがって、このモデルでは、指差誘導方式に従うことを選択した被災者エージェントは、誘導者が接近する前から適切な避難を行うことができる。しかし、実証実験では、誘導者が近づくまで避難を開始しないという前提に加えて、実証実験の報告論文では明記されていなかった視認能力の限界によって、誘導者が近づくまで指差し方向も認識できず、近い出口位置を知識として持っていない避難者とその知識を修正することができない実験設定となっていることが推測できる。この点を考慮すると、再現シミュレーションでも、避難開始のタイミングは実証実験と同様、後ろにずれることになり、累積避難者数の経過は一致することになる。

以上のように、再現シミュレーションと実証実験では、累積避難者数の経過の違いは見られたが、上記の点に配慮した場合、整合性はとれていると解釈でき、シミュレーション上で避難に要した時間が、実験値と大きく異なる訳ではないことから、以後ここで設定した値を用いることとする。

4.3 実験

状況と性格が行動と処理能力の変化に影響を与えるモデリングをしたことで、妥当な群集行動が創出されるか検証する。第 4.1 節で行った行動調査の解析結果をパラメータ値とし、避難エージェントの目標モデルを構築した (図 16)。

火災の発生を想定した多数の人がいる部屋からの避難シミュレーションを行った (図 17)。飲食店はエージェントのいる飲食エリア (図 17 上側) と、出火場所を想定する厨房エリア (図 17 下側の壁で囲まれた領域) に分かれる。飲食エリアには幅の広い出口と狭い出口の 2 つを設置し、エージェントを 100 体ランダムに配置した。シミュレーション開始 5 秒後に火災の発生と火元の場所 (厨房エリア左、中央、右のいずれか) を伝える緊急火災

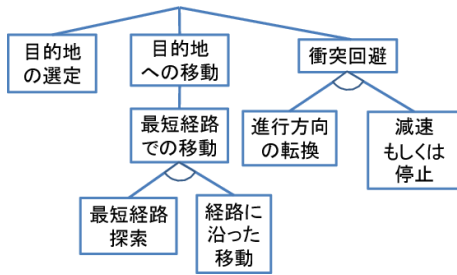


図 16: 避難エージェントの目標モデル (And / Or 木表現)

警報の館内放送を行い、開始 15 秒後に停電を発生させ、通常照明から非常照明に切り替えた。



図 17: 火災避難シミュレーションにおける避難エージェントの初期配置

その結果、下記の 3 つの現象が確認された。

(1) 緊急火災警報の館内放送があっても通常照明が非常灯に切り替わるまでの間は、エージェントがお互い避難するか様子を見合った結果、出火場所を厨房中央と伝えた場合 (図 17)、避難率は 8% に留まった。しかし、非常灯に切り替わることにより、避難を選択するエージェントが多く、それに周囲の避難状況を見て避難を開始するエージェントが加わり、一斉に避難が開始され (図 18)、避難率は 93% に達した。このように、一つのきっかけで一気に挙動が変化する雪崩現象は、集団的行動において、しばしば観察されるものである。

(2) 不安によって資源が圧迫されるエージェントの視覚的認知能力に依存するが、出口の混雑度合の取得に必要な資源が確保されている限り、出口が混雑すると、多数のエージェントが反対側の空いている出口に行先を変更した (図 19)

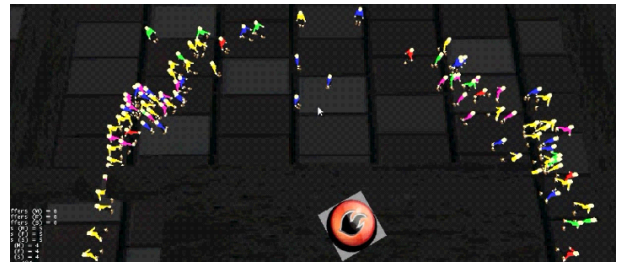


図 18: 停電の発生によりエージェントが一斉に避難を始める様子

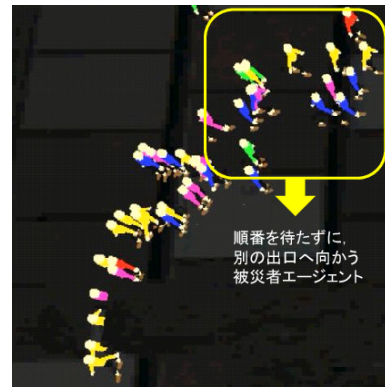


図 19: 出口の混雑により、反対側の出口に向かうエージェント

(3) (2) により混雑していた出口に人がいなくなったため、再度行先を変更した。エージェントは避難するまでに目指す出口を複数回変更し、部屋内を右往左往した (図 20: 右側出口に殺到する人数が 2 回増加した)。

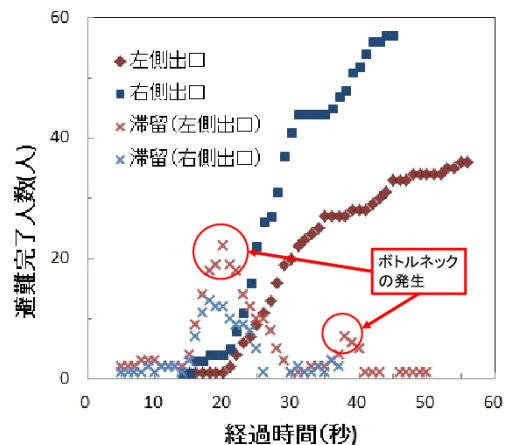


図 20: 避難完了人数と、出口付近に滞留するエージェント数の時間的变化

このような現象も、現実に観察されるものの一つではあるが、パーソナリティ分布によってその発生頻度が変わることが推察される。この点に関しては第 5 節で評価する。

こうした挙動は、いずれも、外部環境に対する知覚と、それに基づく計画/再計画、さらに計画

に基づく行動を繰り返すエージェント・モデルを採用しているからこそ実現できた振る舞いである。計画/再計画に用いる目標は、図 16 に示した And/Or 木で与えたものである。

5 評価

一般にシミュレーション研究の課題の一つに、モデルの妥当性検証があるということは、第 2.2 節で述べた。図 4 で示したライフサイクルのように、実世界と比較しながらモデルの修正、パラメータの調整制御を繰り返して、現実が再現できる度合を向上させるのが一般的な手法である。支配方程式が知られている物理シミュレーションと違い、独立して意思決定を行う多くの「人の集団的振る舞い」を対象とするマルチエージェントシミュレーションでは、購買取引など大量のマーケティングデータが積極的に保管されている分野を除いては、パラメータとしての適切性を定量的に測る妥当な指標を設定することは難しく、仮に何らかの指標を設定したとしても有効に利用することは難しい。そこで、その際の手掛かりとなるのは、まずは現実に観察できる顕著な特徴をもった現象の再現性を確認することである。このとき、一つの現象だけに過剰に適応することなく、できる限り本質的な少数のパラメータで複数の現象を再現できる一般性が重要である。加えて、値を変動させたときに、その挙動が説明できるパラメータの選定が望ましい。

5.1 シミュレーション結果の妥当性評価

可視化ツールによってシミュレーションで観察された出口近辺でのボトルネック現象を定量評価するために、被災者全体の平均移動速度の時間的な変化を調べ、既存のシミュレーション研究報告との比較を行った。先行する研究報告 [21] では、ボトルネックの発生によって、群集全体の平均移動速度が低下することが報告されている (図 21)。図 22 に示すように、本研究で構築したシミュレーションモデルにおいても、ボトルネックの発生と対応して、平均速度低下が観測できた。但し、複数の出口で独立したボトルネックが発生した場合、出口周辺だけの被災者だけで平均速度を求めないと干渉し合うことが推測できる。しかし、本研究においては出口が高々二箇所しかないので、同時に発生したボトルネックによる干渉について

は、可視化したシミュレーション状況の観察により判断することができる。以降、その点に配慮した上で、平均速度の変化によってボトルネックの発生頻度を評価する。

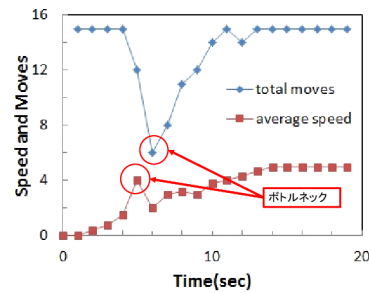


図 21: 移動速度の低下によるボトルネックの評価 (既存研究 [21])

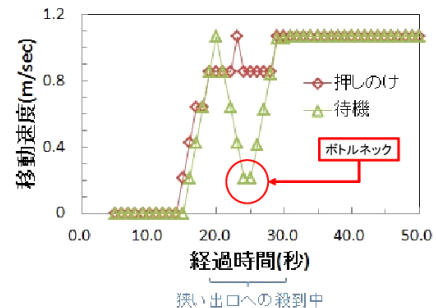


図 22: 移動速度の低下によるボトルネックの評価 (本研究でのシミュレーションモデル)

5.2 パーソナリティの影響をモデル全体に導入する提案の妥当性評価

パーソナリティの影響を、モデル全体のいろいろなところへ統一的に導入するという提案の妥当性を評価するために、パーソナリティ分布を変えてシミュレーションを行い、下記 3 点の現象が確認できた。

- (1) 協調性の高い人のみの集団であると、ボトルネックとなる出口地点で整然と列を成して並ぶため、殺到が起こらず避難に要する時間がかえって短くなった、 (図 23)
- (2) 知性の高い人のみの集団であると避難先の変更が多く、出口の滞留人数のピークが 5 回観察された (図 24: 丸印)
- (3) 勤勉性の高い人のみの集団であると、停電の発生後一斉に出口に殺到した (図 25)

これらの現象は、いずれも各パーソナリティ因子が影響を与える現象として、各因子の定義から理解できるものではあるが、現象の発生頻度、発生タイミングなどに関しては今後も評価を続けていく必要がある。

5.3 能力の有限性を導入する提案の妥当性評価

モデル全体に影響を与える能力の有限性を導入する提案に関する妥当性評価について言及する。今回の設問状況から想像して回答してもらうことで、アンケートによって不安の感じ方の違いを観測できると仮説を立て調査を行った。しかし、たとえば停電時に「恐怖で立ちすくんでしまう」という回答は58件中2件に留まり、有効な回答数を得られなかった。そのため、不安によって能力低下が引き起こされ、それをパーソナリティ因子の一つである「情緒安定性」因子の値から与えることの妥当性は、検証するには至らず、主要5因子理論の定義によって支持されているとはいえ、仮説のまま導入している段階にとどまっている。そこで、この検証のためには、更に、被災状況を被験者が深く体験し、不安感を実感してもらえるような実験環境に基づく行動選択アンケートを構築することが必要であるといえる。そのために今後の研究課題としては、映像や音響、仮想現実の導入による行動アンケートの高度化と、さらに被験者にかかる心理ストレス等の生体計測を並行して実施することを計画している。これによって今回実施したアンケートでは収集できなかったデータも取得できることが期待できる。たとえば被災状況を直接認知できない場合、避難できないまま時間が経過することで危機感が増し不安が増大すること推測できるが、そうした時間経過を考慮に入れたデータ収集も試みることができる。但し、人を対象とする心理実験の倫理面の検討と、「慣れ」効果の評価のための予備実験など慎重に進める必要がある。

5.4 関連研究との比較

一般的な、避難行動における経路選択の傾向として、帰巢性、日常動線志向性、向光性、向開放性、本能的危険回避性、理性的安全志向性、易視経路選択性、至近距離選択性、追従性等が知られている [22]。避難行動における方向選択に関して

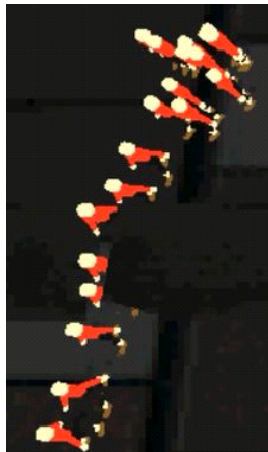


図 23: 協調性の高い集団が出口前に列を成す現象

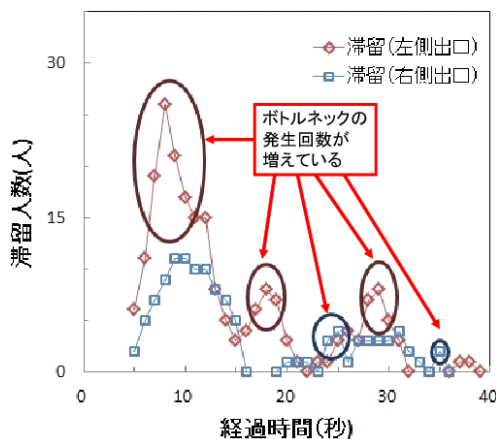


図 24: 知性の高い集団において滞留が複数回出現する現象

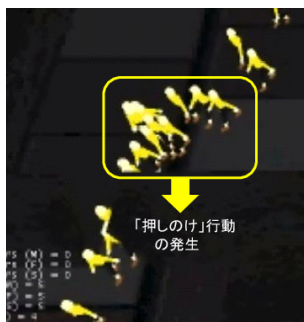


図 25: 勤勉性の高い集団が出口に殺到する現象

は、同様の指摘として、よく知っている道を選ぶ、煙に追われて逃げる、人の行く方に行くリーダーの指示の方向、明るい方向、開放空間、非常口サインの方向、とじこもり等が列挙されており^[23]、一部重複している。

特定の現象について、人が行動を起こすまでの過程とパーソナリティの関係性を調べる研究報告は複数存在する。パーソナリティが認知に与える影響を分析した研究報告には^[14]が、パーソナリティが行動選択に与える影響を分析した研究報告には^{[15][16][17]}が挙げられる。一方、本研究は既存のパーソナリティと行動の関係モデルを統合し、更に能力モデルを考慮した、パーソナリティが知覚、思考、行為の各段階に影響を与えるモデルの構築を目指している点で目的が異なる。

パーソナリティモデルとエージェントモデルの統合を目指した事例には、谷藤ら^[24]のエージェントモデルが挙げられる。谷藤らは火災発生下における人の心理をシミュレーションモデルに反映するため、エゴグラム^[8]で表現したパーソナリティと、ストレスをエージェントの内面モデルに組み込んだ。パーソナリティは状況認知やストレスの感じ方に影響を与え、パーソナリティと感じたストレス量に応じて理性的な行動を選択するか本能的な行動を選択するか制御することで、避難中に次第に非合理的な考え方になる現象を表現した。谷藤らは、(比較的)少数のエージェントによる火災への対応全般に焦点を当てており、避難開始は火点の発見時としており、避難行動以外に消火活動なども考慮に入れているが、建物内にいる人数は混雑が発生するほど多くない。一方、本研究では群集下で特有に観察される行動に心理的要因を反映することを目指している点で目的が異なる。そのため、本研究では、検証のための火災避難シミュレーションでは、人を押しのける、出口の混雑による避難先の変更といった混雑の発生を想定したシミュレーションを行った。殺到などの群集行動は将棋倒し、圧死といった人的被害をもたらす危険性がある^[23]ため、これらを考慮することは被害予測の観点から重要度が高いと考えている。

パーソナリティの分布の変化による群集行動の変化をシミュレートすることは^[17]が行っているが、本研究とは実現する手段が異なる。^[17]は定義に基づく理論的性質から仮説的な行動モデルを導出しているが、本研究はアンケート調査に基づいてパーソナリティと個々の行動との関係を導

出し、構成要員の違いによる群集行動の違いをシミュレートしている。その他のパーソナリティをシミュレーションに反映した先行研究^{[15][14][16][24]}も、いずれもパーソナリティモデルの理論的性質から行動を導出しているのに対し、本研究ではアンケート調査結果を用いてパーソナリティと行動の関係性を求めている(なお、社会心理学の観点からアンケート調査によるパーソナリティと行動の関係性を調査した先行研究もある^[7]が、調査結果を具体的な避難行動のシミュレーションに反映するまでには至っていない)。

そこで、パーソナリティをシミュレーションに反映する際、パーソナリティモデルの理論から行動を導出する方法と、アンケート等の調査から行動を導出する方法の特徴について比較検討する。パーソナリティモデルは状況に依存しない「人の備えている性格」を抽出することを目的としているため、理論から導ける行動には下記の制約がある。

- 特定の状況下で発現しうるが、抽象度の高い行動(たとえばリーダーシップをとる)であり、シミュレーションで実行できるほど行動が具体化されていない
- 具体性の高い行動ではあるが、発現する状況が限られた例示であり、実際の避難行動に対応付けるにはギャップがある。

一方、本研究が採用したアンケート調査結果から状況とパーソナリティが行動選択に与える影響を求める手法は表4の特徴を持つ。

表4: 提案する手法の長所と短所

長所	関係性を求めたい行動について直接分析できる。状況、パーソナリティの各要因が与える影響度を定量的に推定できる
短所	調査内容、標本、因果関係モデルの設定方法によっては解析結果の統計的精度が下がり、モデルの妥当性検証が難しくなる

ある建物における火災避難といった特定の状況下における群集行動を表現したい場合、具体性の高い行動の粒度で調査した結果を用いることが、群集シミュレーションの現実性を高めるためには有用であろう。つまり、アンケートをとるときに、リーダーシップをとるといった抽象度の高い表現を使わず、より具体的な表現で質問項目を記述することが望ましい。そうすることで、今後、群集行動の発生メカニズムが解明され、より調査で詳細なデータが取得可能になった場合、本研究でも

用いたアンケート調査から行動を求める手法によって各因子の影響度の定量化が可能のため、理論から行動を求める手法よりも精度の高い情報をシミュレーションに提供できると期待できる。

6 おわりに

本研究では、アンケート調査から行動を求める手法を用い、パーソナリティ分布の違いによる群集行動の違いを表現した。そのために、パーソナリティや処理能力が、行動決定するまでの認知プロセスに影響を与える、これまでの事例で報告された現象を統合したモデルを構築した。

また、調査したデータをエージェントモデルに反映させるため、共分散構造分析により、状況/パーソナリティと行動（処理能力が低下する現象も含む）の因果関係を推定した。

本研究には次の2つの有用性があると考えている。まず、群集シミュレーションの研究で従来中心であった、状況ごとの観察に基づいた行動モデリングに留まると、実験結果やアンケート結果に過適応してしまう可能性がある。一方、パーソナリティや処理能力といった人の普遍的な要素を間に介入させて、ワンクッション置いて行動を決定する方法は、未知の状況下における行動の予測において見通しを与える点で優位性があると考えている。また、パーソナリティ、能力といったレベルでの個々人の特性と行動の関係性を求めることで、一つの実験やアンケート調査から複数の想定事例に対してシミュレーションモデルを構築しやすくなると考えている。たとえば、集団の構成要員が変化した場合、その集団のパーソナリティ分布さえ決めれば、それに基づいたシミュレーションが可能となるので、施設管理者が計画立案に使う判断材料を、施設管理者が思い浮かべやすい形で、より豊富に提供できるのではないかと考えている。

但し、本研究では、実施したアンケート調査と行ったシミュレーションの妥当性検証に未だ課題が残されている。本研究ではアンケート調査において、状況に応じてどう行動するかを質問するにとどまり、被験者が設問から読み取った状況内容や行動を選択した理由を回答してもらったり、時間経過による意識の変化を加えるといったより詳細な質問項目を用意することを行っていなかった。また、自由記述で被験者が感じたことを書いてもらったり、全被験者を対象とすることは難しいが

一部の被験者を抽出して、アンケート回答後にインタビューを実施することで、できる限り何らかの形で、人が感じる不安感についてのデータ収集を試み、今回対応できなかった不安による能力低下現象の妥当性検証を実施することが残されている。

謝辞

本論文の執筆にあたり、慶應義塾大学理工学部管理工学科飯島研究室のメンバーにご助力いただいた。大学院修士1年(当時)山崎 淳城氏には、シミュレーション環境上で設計図等の地理的情報を配置、管理するためのモデリング方法について助言をいただいた。学部4年(当時)瀬良 篤氏には、人物モデリングによるエージェントの3次元アニメーションプログラムの構築と、シミュレーション結果の可視化に協力いただいていた。

文献

- [1] 木下富雄, “リスク認知の構造とその国際比較,” 安全工学, vol.41, no.6, pp.356 – 363, 2002.
- [2] 安倍北夫, “危機対応とパーソナリティ: リスクテイクとその主体的要因,” 東京外国語大学論集, vol.34, pp.303 – 322, 1984.
- [3] W.T. Norman, “Toward an adequate taxonomy of personality attributes: replicated factors structure in peer nomination personality ratings.,” *Journal of abnormal and social psychology*, vol.66, pp.574 – 583, 1963.
- [4] P.T.C. Jr, and R.R. McCrae, “Four ways five factors are basic,” *Personality and Individual Differences*, vol.13, no.6, pp.653 – 665, 1992.
- [5] 村上宣寛, 村上千恵子, “主要5因子性格検査の尺度構成,” *性格心理学研究*, vol.6, no.1, pp.29 – 39, 1997.
- [6] D.P. Schmitt, J. Allik, R.R. McCrae, and V. Benet-Martínez, “The geographic distribution of big five personality traits patterns and profiles of human self-description across 56 nations,” *Journal of Cross-cultural Psychology*, vol.38, pp.173–212, 2007.
- [7] 上市秀雄, 楠見孝, “損失状況におけるリスク行動の個人差を規定する要因:共分散構造

- 分析法による検討,” 日本リスク研究学会誌, vol.10, no.1, pp.65 – 72, 1998.
- [8] J.M. Dusay, “Egograms and the constancy hypothesis,” *Transactional Analysis Journal*, vol.2, no.3, pp.37 – 41, 1972.
- [9] 釘原直樹, グループ・ダイナミクス 集団と群集の心理学, 有斐閣, 2011.
- [10] D.A. Norman, and D.G. Bobrow, “On data-limited and resource-limited processes,” *Cognitive Psychology*, vol.7, no.1, pp.44 – 64, 1975.
- [11] C.D. Wickens, and D. Gopher, “Control theory measures of tracking as indices of attention allocation strategies,” *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol.19, no.4, pp.349 – 365, 1977.
- [12] 池田謙一, 災害時におけるコミュニケーションと意思決定 / 自然災害の行動科学 (応用心理学講座 3), 安倍北夫, 三隅二不二, 岡部慶三 (編), 福村出版, 1988.
- [13] P. Benjamin, M. Patki, and R. Mayer, “Using ontologies for simulation modeling,” *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, pp.1151–1159, IEEE.
- [14] C. García-García, V. Larios-Rosillo, and H. Luga, “Agent behaviour modeling using personality profile characterization for emergency evacuation serious games,” in *Intelligent Computer Graphics 2012*, eds. D. Plemenos, and G. Miaoulis, vol.441 of *Studies in Computational Intelligence*, pp.107 – 128, Springer Berlin / Heidelberg, 2013.
- [15] F. Durupinar, N. Pelechano, J. Allbeck, U. Gü anddü anddkbay, and N. Badler, “How the ocean personality model affects the perception of crowds,” *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol.31, no.3, pp.22 – 31, 2011.
- [16] T.I. Oren, and N. Ghasem-Aghaee, “Personality representation processable in fuzzy logic for human behavior simulation,” *Summer Computer Simulation Conference*, 2003.
- [17] F. Alavizadeh, C. Lucas, and B. Moshiri, “Adaptation of personality-based decision making to crowd behavior simulations,” *Artificial Intelligence: Methodology, Systems, and Applications*, eds. D. Dochev, M. Pistore, and P. Traverso, vol.5253 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp.385 – 389, Springer Berlin / Heidelberg, 2008.
- [18] S. Luke, C. Cioffi-Revilla, L. Panait, K. Sullivan, and G. Balan, “Mason: A multi-agent simulation environment,” In *Simulation: Transactions of the society for Modeling and Simulation International*, vol.82, no.7, pp.517 – 527, 2005.
- [19] 橋本佳代子, 大町達夫, 井上修作, 瓜井治郎, “実避難訓練と避難シミュレーションの比較に基づく集団避難行動の特徴,” *日本地震工学シンポジウム論文集*, vol.12, pp.1390 – 1393, 2006.
- [20] 杉万俊夫, 三隅二不二, 佐古秀一, “緊急避難状況における避難誘導方法に関するアクション・リサーチ-1-指差誘導法と吸着誘導法,” *実験社会心理学研究*, vol.22, no.2, pp.95 – 98, 1983.
- [21] J. Choi, and J. Lee, “3d geo-network for agent-based building evacuation simulation,” in *3D Geo-Information Sciences*, eds. J. Lee, and S. Zlatanov, *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, , , pp.283 – 299, Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [22] 室崎益輝, ビル火災, 大月書店, 1982.
- [23] 安倍北夫, 災害心理学序説: 生と死をわけるもの, 心理学叢書, no.11, サイエンス社, 1982.
- [24] 谷藤行伸, 藤田ハミド, “マルチ・エージェントへのパーソナリティモデルの適用と集団行動シミュレーション,” *電子情報通信学会技術研究報告. TL, 思考と言語*, vol.102, no.687, pp.17 – 22, 2003.

著者略歴

- [1] 八島 敬暁 (やしま たかあき)
慶應義塾大学大学院・理工学部研究科・修士課程 (現在, 株式会社 日立製作所).
- [2] 飯島 正 (いいじま ただし)
慶應義塾大学 理工学部 専任講師. 博士 (工学). 情報システム学会 元理事 (2007–2008 年 大会担当理事, 2008–2013 年 理事).