

# 人間の行動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

## Building an Agent Simulation Model with Personality and Bounded Processing Resource for Human-like Behavior

八島敬暁<sup>†</sup>, 山崎淳城<sup>†</sup>, 瀬良篤<sup>‡</sup>, 藤田 智紀<sup>‡</sup>, 飯島 正<sup>‡</sup>

Takaaki Yashima<sup>†</sup>, Junki Yamasaki<sup>†</sup>, Atsushi Sera<sup>‡</sup>, Tomonori Fujita<sup>‡</sup>, and Tadashi Iijima<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 慶應義塾大学大学院 理工学研究科

<sup>‡</sup> 慶應義塾大学 理工学部

<sup>†</sup>Graduate School of Science and Technology, Keio Univ.

<sup>‡</sup>Faculty of Science and Technology, Keio Univ.

### 要旨

防災計画立案等を目的に人間の行動シミュレーションが行われている。従来、シミュレーションモデルの構築には状況や行動を作り込むことが行われてきたが、それでは適応可能な状況やシナリオは限られてしまう。そこで、行動の背景に認知プロセスを仮定しそれを組み込むことで、状況やシナリオの変化に柔軟性を持ったモデルを構築することを試みた。本研究では、エージェント（意思決定主体）の行動特性（パーソナリティ）を5因子モデルで、処理能力を認知資源モデルで表現した。事前に被験者に対し性格テストと行動アンケートを実施し、パーソナリティが意思決定に与える影響の共分散構造分析（パス解析）を実施した。2つの想定状況について解析した結果、両者の間に共通する因果関係が1つ推定された。地下街火災を想定した避難実験の再現シミュレーションモデルを構築したところ、行動特性により誘導員の指示に従うかどうか決定する現象が確認された。

### 1. はじめに

災害・社会・経済といった現実実験することが困難な現象を解析するには、シミュレーションが有効の手法の一つである。たとえば災害時における住民の避難誘導方法を検討する際や、商店街・大規模商業施設における顧客の流動分析をする際に、人の行動シミュレーションが行われている。特に複数の人間から成る集団行動を表現するには、マルチエージェントシミュレーション技術が役立つ。マルチエージェントシミュレーションとは、エージェントとよばれる意思決定主体の行動を定義し、他のエージェントと作用させ合うことで集団的行動を表現するシミュレーション手法である。異なる性質を持ったエージェントを配置できることから、様々な特性を持った人間がなす集団行動の表現に向いている。

### 2. 人間の行動モデルとシミュレーション事例

同じ状況であっても人によって行動は異なり、また同じ人でも状況によって行動は変化する。さらに人の行動は集団の中にあると変化し、特に集団としての目的を持たない群集と化した際、群集行動と呼ばれる特徴的な現象を引き起こす [1]。そこで、群集行動を中心とした人間の行動への理解を深めるため、関連したシミュレーション事例とその背景にある人間の心理をモデル化した事例を紹介する。

群集は規範を持たないため、他人を押しつけるといった秩序を守らない行動が発生する。たとえば堀らは狭い通路を集団で同方向に移動する際、追い越し行為の発生によって群集全体の移動速度が低下する現象をシミュレートした [2]。また、Ulicny らは人間の行動モデルを都市災害に適応し、火災や倒壊した建物を避けながら住民が逃げる様子をシミュレートした [3]。

群集の中で人の行動は構成員の特性によっても変わる。人の行動特性を表す指標の1つにパーソナリティという概念がある。たとえば、W.T.Norman らは状況に依らない普遍的な人間の性質を5項目に分類し、計30個の尺度で人間の特性を説明した (Five Factor Model : 5因子モデル) [4]。各因子の相関係数は低く、性別、年齢、文化によらず人間の特性を分類可能なことが多数報告されており、パーソナリティの表現として広く使われている [5]。5因子モデルは各因子の得点の形でパーソナリティを定義するため、定量的に扱うことができる。たとえば Ören らは5因子の値に Fuzzy 論理を用いて行動を決定するエージェントモデルを構築した [6]。加えて、García らは脅威の大きさと心理状態を表し、個性の違いだけでなく状況の違いによっても行動が変化する避難エージェントを構築した [7]。

また、緊急事態でしばしば観察される人間の非合理性 [1] も群集行動に影響を与える。災害時特有に見られる人間の行動について、池田は、「人間は災害に遭遇した際、恐怖感から生命の危機という強い情

動が励起され、この事態にどう対応すればいいのか考え込んでしまう。情動が引き起こす思考は非常に強く、人間の処理能力容量を大きく消費する。その結果、通常であれば認知できるはずの外界の情報を取り入れられなくなり、パニックといった行動が引き起こされる」 [8] と説明した。このように、人間の処理能力には限界と、互いに干渉し合う性質がある。人間の処理能力については、D.A.Norman らは一定の限界値を持つ資源モデルによって、人間の認知過程における情報の量と質の変化を説明した [9]。一方、Wickens は Codes, Modalities, Stages の 3 つの独立した資源モデルで、複数の作業を行っていても効率が低下しない人間の動作を説明した [10]。Horling らは処理能力の概念をエージェントに取り入れ、認知できる情報の精度と情報量がトレードオフの関係にあるシミュレーション基盤を構築した [11]。

### 3. 人間の行動プロセスと意思決定方法のモデル化

人間の行動の特徴である，人によって状況認識や行動特性が異なる点をエージェントモデルで表現する．加えて，人間らしい行動を表現するための意思決定方法についても説明する．

### 3.1. 行動モデル

人間が行動に至るまでの過程をモデル化するため、認知プロセスを中心とした、パーソナリティと能力の関係を考える（図 1）．たとえば、不安・恐怖といった感情によって能力が低下する現象 [8] は、感情が認知資源を消費したため、認知や行為が平常通り行われなかったと説明できる．また、人間によって状況の捉え方や重視する物事が異なることは、人の行動特性を表すパーソナリティが主観として状況認知に影響を与え、行動の優先度としてふるまいに影響を与えたと説明できる．以上を踏まえ、感情によって資源が制限され、パーソナリティによって行動が変化するモデルを構築した（図 2）．パーソナリティについては、行動の特徴を表すためと性格テストなどで得られた実験データを反映できるようにするため、5 因子モデル [4] の 5 因子（外向性、協調性、勤勉性、情緒安定性、知性<sup>1</sup>）を、それぞれ属性（値域 [0, 100]）として持たせた．処理能力については、未知の状況に適応するために時間を要する現象や、不安といった心理的要素によって普段通りに行動できない現象を表現するため、認知・思考処理について容量が変化する資源モデルで表した．

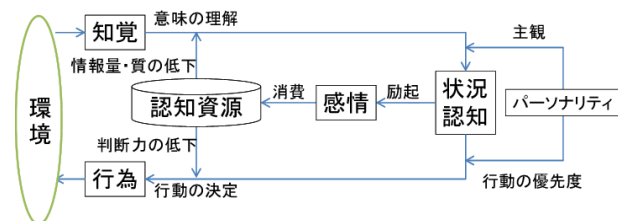


図 1: 人間の認知過程の概念図

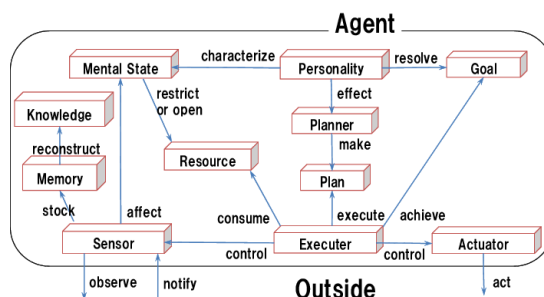


図 2: 行動モデルの構成要素と関係

### 3.2. 意思決定モデル

人間は複数のことを同時に考えながら行動したり、何かをしながら与えられた役割を全うする行動をとる。これは複数の目標が同時に存在する場面と解釈できる。たとえば「作業中に他の人と話す」という事象が並行した目標達成がそれに該当する。そのとき、人は、より優先度の高い仕事や作業が発生すると、それまで対応してきた作業の注意レベルを下げることで、両方の問題に同時に対応する。これは、目標の優先度に応じて注意・運動資源を割り当てていると解釈できる。優先度を下げた結果、認知した情報の精度や、目標の達成度の低下が観察できる。たとえば「障害物を避け、少し遠回りをして目的地に行く」といった事象が達成度を下げた目標達成に当たる。以上の観察を踏まえ、複数の目標を優先度に応じて同時に達成する意思決定モデルを構築した（図 3）。設計にあたり、行動に意図を設定しやすい点と、人間によって達成方法が異なる性質を表現しやすい点から、目標と手段とを独立させた。

<sup>1</sup> 因子名は村上らの定義 [12] による

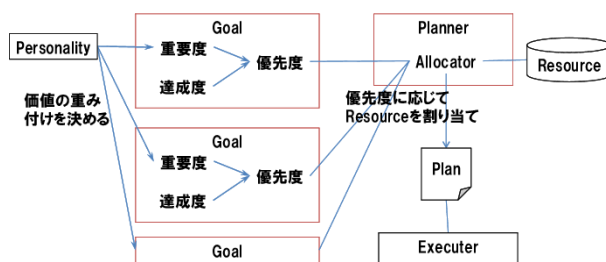


図 3: 複数目標を同時に達成する思考モジュール

### 3.3. 実装

シミュレーション基盤にはMason [13] を用い、Java で実装した。人物モデリングはBlender<sup>2</sup>で行い、blender2ogre<sup>3</sup>でデータ形式を変換し、JMonkeyEngine<sup>4</sup>で3Dアニメーションをさせた。主要モジュールのコードは17881行であった。

## 4. パーソナリティと行動選択の関係性のモデル化

パーソナリティが行動選択にどのように影響を与えるのか調査するため、性格テストと行動調査を実施した。性格テストには主要5因子性格検査 [12] を用い、行動調査は設定された状況を被験者に説明し、その状況に置かれた際にとると思った行動を選択式で回答する方式で行った。そして、パーソナリティが行動に与える影響を因果関係として推定するため、各因子と行動の間でパス解析（重回帰分析）を行った。

### 4.1. 調査1 – 避難時における誘導員の指示と周囲の動きが行動に与える影響

人間は避難時など経験したことのない状態に置かれた際、周囲の多数派がとる行動に追従する性質 [14] がある。追従が連鎖的に起こると出口に人が殺到する場合もある [14]。そこで、パーソナリティと追従行動の関係性を調べるため、飲食店火災を例に利用客が入口に向かっていている場面を設定対象にした。比較のために、客が殺到している出口とは別の非常口に従業員が誘導しているとし、利用客の動きに追従するか、避難指示に従うか質問した。21歳～26歳の学生ボランティア15名（男性14名、女性1名）に対し、周囲の動き、室内への煙の到達、停電の発生など4つの状況についてアンケートを行った。

従業員が誘導している点は同じでも、周囲が避難しているかどうかで、避難を開始すると答えた割合が60%から100%に増加した。さらに、周囲が入口に殺到している場面の従業員の指示に従う割合は、そうでないときと比べ87%から47%に低下した。また、煙を知覚した状況下においては勤勉さが入口に向かわせることに影響を与える（係数 **0.64**）推定結果を得た（図4(a)）。そこで、勤勉さの値が高いほど、早い段階で避難行動を開始することとした。一方、停電している状況下においては情緒の不安定さが立ちすくむことに影響を与える（係数 **-0.59**）推定結果を得た（図4(b)）。そこで、不安を感じる状況下ではパーソナリティの「情緒安定性」の値に反比例して処理能力資源が減少することとした。

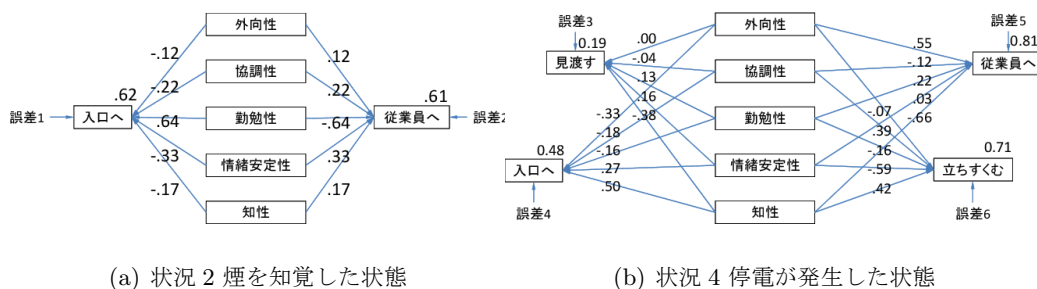


図 4: アンケート調査結果に基づく、状況とパーソナリティの因果関係の推定：パス解析図

<sup>2</sup><http://www.blender.org/>

<sup>3</sup><http://code.google.com/p/blender2ogre/>

<sup>4</sup><http://jmonkeyengine.com/>

## 4.2. 調査2 – 異なる場所を示す誘導者がいる場合の避難行動

調査1では周囲の動きと従業員の誘導のどちらに従うか質問したところ、周囲の動きが多数派になるほど、誘導に従わなくなる傾向が出た。そこで調査2ではこの現象の理解を深めるため、2人の誘導者が異なる指示を出している場面を設定対象にした。南北に出口がある地下街から脱出する場面で、各出口で誘導員が自身のいる出口に通行人を避難させているとき、どちらの出口に向かうか質問した。20歳～26歳の学生ボランティア58名（男性57名、女性1名）に、被験者の位置、周囲の避難者の分布を変えた計9個の状況についてアンケートをとった（図5）。

被験者が通路中央にいるときは出口を指差す誘導員の方に向かう傾向が強いが、周囲の動きがそれとは反対に向かっているときは待機（13%）、追従（12%）を選択する割合が増加した（図6(a)）。同様に、被験者が誘導員が指差す出口から遠くにいても関わらず、多数派の動きがそちらに向かっているときは、34%の被験者が遠くの出口に、21%が待機すると回答した（図6(b)）。待機すると答えた割合は上記のような指示と周囲の動きが異なるとき多かった。

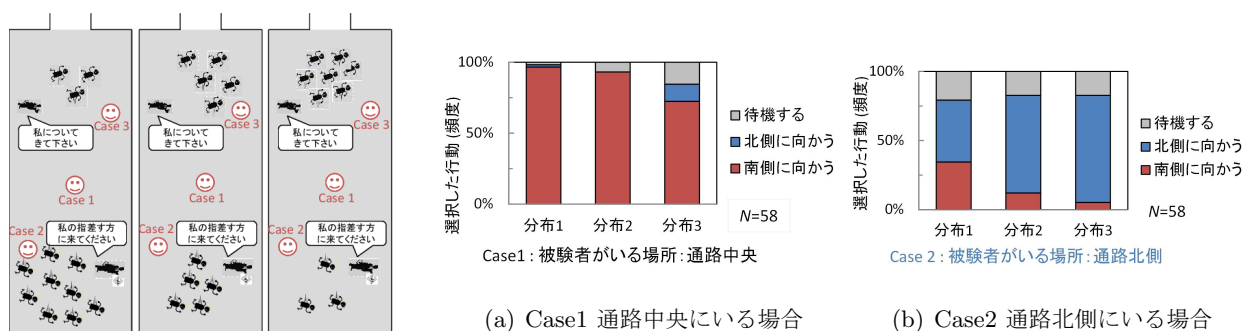


図 6: 通路の人の分布による行動選択の変化

図 5: 設問状況（地下街通路）

通路中央に居て、誘導員が指を差している方向と周囲が向かっている方向が異なる状況のパス解析を行った。協調的で情緒が安定している人は誘導員の指示に従い、外向的で知性が低く情緒不安定な人は周囲に合わせるという推定結果を得た。協調的でない人も同様に反対方向に向かうか待機すると推定された（図7(a)）。一方、出口を指差す誘導員から遠い位置に居て、周囲がそちらに向かっている状況では異なるパス解析図を得た。自律心<sup>5</sup>があり知性的<sup>6</sup>な人は近くの出口を選択する推定結果を得た（図7(b)）。知性の値が低い人は周囲の行動と同じ行動をとるという推定結果が2つのパス解析図を通して現れた。

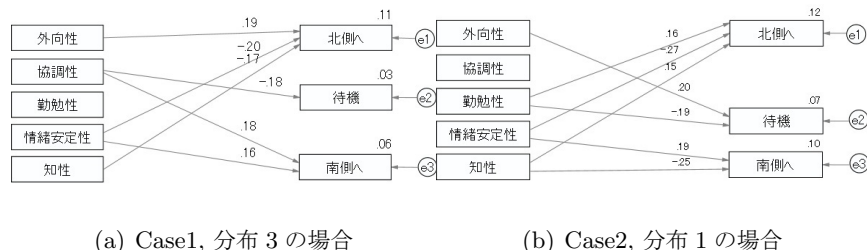


図 7: 人の分布、場所の違いによるパーソナリティと避難行動のパス解析図の違い

## 5. 地下街における避難誘導問題への適用と検証

シミュレーションモデルを構築することで提案手法の妥当性を検討する。パーソナリティの分布は性格テストで得た値とした。行動選択はパーソナリティと行動のパス係数を用いた。今回はパス解析を行った状況数が少ない点とパス係数が5%水準で有意でなかった点を考慮し、行動選択結果の分布を行動決

<sup>5</sup> 勤勉性の因子は自律心・責任感の強さを含意する

<sup>6</sup> 知性の因子は創発性、知的好奇心の強さを含意する



定方法に採用した。モデルの検証を行うため、爆発事故を想定した地下街（図 8）での避難誘導実験 [15] の再現シミュレーションを行った<sup>7</sup>。4. では誘導員の指示が聞こえる場面を想定した。そこで、意思決定方法が未定義である指示が聞こえない状況では、より多くの人が向かっている出口を目指すという行動を追加してモデルに組み込んだ。シミュレーション結果と実験値を比較すると、シミュレーションの方が避難者は出口に早く到達した（図 9）。アンケートの結果では避難指示を聞いた際、避難をすると答えた人が大多数であったため、避難開始が早かったことによるものだと考えられる。また、誘導員の指示に従うかどうかの意思決定は、シミュレーション開始後、南北の出口に向かうエージェントとその場で待機するエージェントに分かれた現象として観察された。待機したエージェントはその後「指示がないときは多数派に従う」という追加して作り込んだ行動を選択し、北側出口へ向かった。

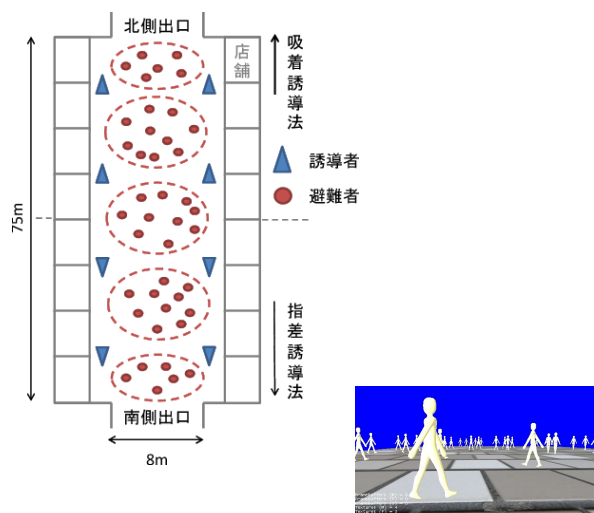


図 8: 初期配置図 [15]

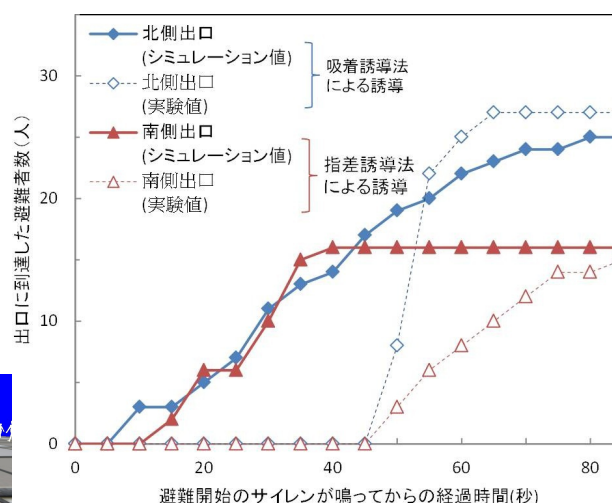


図 9: シミュレーション結果と避難実験 [15] 結果の比較

## 6. 関連研究との比較と提案手法の課題

パーソナリティを介さずに行動をモデルに作りこむ手法と比較する。本研究のパーソナリティから行動を導くモデル化方法は、パーソナリティの分布、パーソナリティと行動パターンの関係モデル、行動パターンの3種類のパラメータを推定しなければならない。一方、モデルに行動を作り込んで構築する手法では、行動パターンの分布の1種類である。行動を作り込む手法において設定するパラメータは移動速度、各行動パターンの分散といった観察しやすいものであるのに対し、提案手法では現実に即したパラメータ値の推定が難しい点で課題がある。また、一方、提案手法の場合、パーソナリティ、行動選択特性などの(直接観測できない)潜在的なパラメータを推定しなければならない。本研究ではパラメータの妥当性の検証を、パーソナリティ・行動選択方法に関してはアンケート調査結果を用いることで、シミュレーションモデルに関しては、避難実験の再現シミュレーションを行い、結果を比較することで行った。しかし、運動能力、認知能力、思考特性といったモデルの各パラメータについては妥当性の検証が行えなかった。これについて、たとえば Kwon らは行動を複数の基本動作に分割し、撮影したデータから構成比率を求め、それをパラメータ値として設定した [17]。単位となる要素に分割し、構成比を求める手法を、行動選択のための意思決定プロセスへ応用することが今後の課題である。

パーソナリティについて、本研究では5因子モデルを採用したが、たとえば García らは16PF-5を採用した [7]。16PF-5は16個の尺度でパーソナリティを表現する5因子モデルの拡張である。たとえば5因子モデルにおける勤勉性は、さらに、Reasoning, Rule-Consciousness, Abstractedness, Perfectionismの4つに細分化される [7]。García らは「5因子モデルは学術的な行動を正確に表すモデルではあるが、

<sup>7</sup>実験条件に記載のなかった点について、次の仮定を置いた。指差誘導員は20secごとに出口を指差し、10m先まで指示内容が届く。吸着誘導員は5m以内にいる避難者2人を引き連れる。誘導員含め避難者の歩行速度は、大学における避難訓練時の屋外通路の平均歩行速度64m/min. [16]とした。指示が聞こえない場合は、実験結果の「動的に集団が形成されていき避難が行われた [15]」という記述に基づき、5secに1回周囲を見渡し、80%の確率で多数派の行動に合わる行動をとるとした。

16PF-5は恐怖、パニックによる行動を表現するのに適している」と示した [7]。一方、5因子モデルはパーソナリティの網羅性と状況に非依存な点が特徴とされており [5]、W.T. Norman らは「尺度は一貫性と安定性を持った言葉で表されるべきである」と述べた [4]。パーソナリティを細分化することで表現可能になる行動と状況に依存する要素がパーソナリティモデルに混入する影響を比較するため、同一のシミュレーションモデルを異なるパーソナリティモデルで設計する必要がある。また、行動選択モデルはパーソナリティと行動パターンが直接関係するとしたが、状況によりパス解析結果が大きく変化したことから、行動選択に至るまでの潜在変数の存在をモデルに組み込む必要がある。

提案手法は以上のように未だ妥当性の検証の点で課題が多い。しかし、シナリオを変化させた際の妥当性については行動を起こした理由を追跡して調査できる点から、本研究の手法の方が、よりシミュレーション結果を分析できるのではないかと期待している。もちろん、行動を起こした理由を分析しても行動の理由と現象が対応しない可能性や、なぜその行動を起こしたのか合理的に説明できない可能性がある。そのため、シミュレーション結果が妥当かどうか判断するために更なる事例研究が必要である。

## 7. 結論と今後の課題

人間のパーソナリティと能力の限界に着目したエージェントモデルを構築した。事前に実施した性格テストと避難行動アンケートの結果をパス解析することで、人の行動特性と意思決定の間にある因果関係を推定した。統計的に有意な値ではないが、「知性」という因子の値の低さが多数派の取る行動と同一のものを選択するという推定結果が2つの状況に共通して現れた。推定結果をシミュレーションモデルの行動決定時のパラメータに設定し、地下街の避難実験を再現するシミュレーションモデルを構築した。パーソナリティから行動を導ける状況は限定されていたため、一部の行動を作り込む必要があったものの、行動特性を元に誘導に従うかどうか意思決定を行う現象はシミュレーション中に観察された。妥当性を持ちながら、シミュレーションモデルを状況の変化に柔軟にさせるために、パーソナリティ、行動選択方法といった潜在的な要素の調査とモデルの構築が今後の課題である。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 堀宗朗, 犬飼洋平, 小国健二, 市村強, “地震時の緊急避難行動を予測するシミュレーション手法の開発に関する基礎的研究,” 社会技術研究論文集, Vol.3, pp.138–145, 2005.
- [3] B. Ulicny and D. Thalmann, “Towards interactive real-time crowd behavior simulation,” Computer Graphics Forum, Vol.21, No.4, pp.767–775, 2002.
- [4] W.T. Norman, “Toward an adequate taxonomy of personality attributes: replicated factors structure in peer nomination personality ratings,” J. Abnorm. Soc. Psychol., Vol.66, pp.574–583, 1963.
- [5] Paul T. Costa Jr and Robert R. McCrae, “Four ways five factors are basic,” Personality and Individual Differences, Vol.13, No.6, pp.653–665, 1992.
- [6] T. I. Oren and N. Ghasem-Aghaee, “Personality representation processable in fuzzy logic for human behavior simulation,” Summer Computer Simulation Conference, pp.11–18, 2003.
- [7] C. García-García, V. Larios-Rosillo and H. Luga, “Agent behaviour modeling using personality profile characterization for emergency evacuation serious games,” Intelligent Computer Graphics 2012, Studies in Computational Intelligence, Springer Berlin, Vol.441, pp.107–128, 2013.
- [8] 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 / 安倍北夫, 三隅二不二, 岡部慶三編集, No.3, 福村出版, pp.150–pp.167, 1988.
- [9] D.A. Norman and D.G. Bobrow, “On data-limited and resource-limited processes,” Cognitive Psychology, Vol.7, No.1, pp.44–64, 1975.
- [10] C.D. Wickens, “Processing resources in Attention,” Varieties of attention, Academic Press, 1984.
- [11] B. Horling, V. Lesser, R. Vincent and T. Wagner, “The soft real-time agent control architecture,” Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Vol.12, pp.35–91, 2006.
- [12] 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, 日本パーソナリティ心理学会, Vol.6, No.1, pp.29–39, 1997.
- [13] S. Luke, C. Cioffi-Revilla, L. Panait, K. Sullivan and G. Balan, “Mason: A multi-agent simulation environment,” Simulation: Trans. Soc. Modeling Simulation Int., Vol.82, No.7, pp.517–527, 2005.
- [14] X. Pan, C.S. Han, K. Dauber and K.H. Law, “A multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations,” AI Soc., Vol.22, No.2, pp.113–132, 2007.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] T. Kwon, K.H. Lee, J. Lee et al., “Group motion editing,” ACM Trans. Graph., Vol.27, No.3, pp.80:1–80:8, 2008.