

# 人工避難所モデルを用いたトイレ利用のエージェントシミュレーション

今村 絵里<sup>1</sup>・前田 義信<sup>1, 2, 3</sup>

## Agent simulation on the temporary toilet using artificial asylum

by

Eri IMAMURA and Yoshinobu MAEDA

### Abstract

This paper presents a multi-agent simulation about sufferers getting into a line for the temporary toilet at the asylum after disasters, such as earthquake, flood and typhoon. In order to adjust the model parameters, we investigated the daily living on using the house toilet of 11 university students. Secondly, we proposed a basic agent-based model and two improved models; one was improved in the shift of the hour of agent's rising at the artificial asylum, and the other was improved in giving priority to the agent corresponded to the aged or female in getting into a line for the toilet. As a result, a stress defined in the basic model was reduced in the models improved. It was suggested, from the viewpoint of the computer simulation, that agents' positive behaviors contributed relatively to the sustainability of asylums.

キーワード：マルチエージェントシミュレーション, 震災関連死, 持続可能性, 仮設トイレ

Keywords : multi-agent simulation , collateral death with disaster , sustainability, temporary toilet

### はじめに

大地震後の被災地において、流通問題、生活問題、排泄問題を効率よく調整することは大変重要な課題である（兵庫県震災復興研究センター，2002；山田ら，2006；仲谷・西田，2006）。その中でも排泄問題は、被災者の健康面に直接影響する点で重要である（新潟青陵大学，2004）が、対応が難しく改善策を施すことの困難な問題でもある。平成16年度に内閣府が行った新潟中越地震に関する住民アンケート調査（内閣府，2004）によると、6割以上の被災者が避難の長期化で困ったもののひとつにトイレを挙げている。また、阪神・淡路大震災でも避難所でトイレが不足し「避難者100人に対して仮設トイレ1基」という仮設トイレ（写真-1参照）の最低限の個数を設置するまでに震災発生から二週間も要した（村山，2004；近畿弁護士会連合会，1996）。当時の「避難所で必要なもの」というアンケート調査ではトイレ問題が上位を占めており、そのような問題を放置すると、障害者等の社会的弱者を避難所から遠ざける事態も起こる（第7回にいがた自立生活研究会，2005）。

このようなトイレ不足や、「汚い」「使いにくい」等のトイレに対する不満から、避難所ではトイレ使用を控えるために水分摂取量を減らす被災者がいた。水分摂取量を制限すると、

エコノミークラス症候群（深部静脈血栓症）を含む血栓症が起りやすくなり、震災関連死の危険性が高まる。また新潟中越地震のアンケートでは、トイレが不安で水を飲むことを控えたと答えた人が小千谷市で33.3%、川口町で13.8%に及んだ。この水分摂取量を控える行動の差は、人口が多く都市化が進行している小千谷市でトイレ問題がより深刻であったことを示唆している。この例から、被災地が大都市であるほどトイレ不足は深刻化し、それに伴って水分摂取量を控える被災者の割合が増加することが予想される。

本研究の目的は、マルチエージェントシミュレーションを



写真-1 能登半島地震後に避難所に設置された仮設トイレ

用いて避難所でのトイレの使用状況を再現し、解析することである。そして、避難所で生活する被災者側の観点から持続可能 (Sustainable) なトイレ環境のあり方を模索する。

### マルチエージェントシミュレーション

マルチエージェントシミュレーション (Multi-Agent Simulation, 以下, MAS) とは、自分のルールに従って自律的に行動する代理人 (以下, エージェント) を用いたシミュレーションのことである。エージェントは多数存在し相互作用する。その局所的な相互作用が多数発生することで、大域的な人工社会 (Artificial Society) の秩序が生成される。MASは文化の流布 (Axelrod, 1997), 貨幣の流通 (Yasutomi, 1995), いじめ問題 (前田・今井, 2005; Maeda et al., 2006), 災害時の避難行動 (宇田川ら, 2004), 環境問題 (Mizuta and Yamagata, 2005), 社会の発展と衰退 (Epstein and Axtell, 1996) 等の分析に使用されている。

本研究では、コンピュータ内の人工避難所 (Artificial Asylum) に多数の被災者エージェント (以下, 単にエージェント) を設定する。エージェントは自分の価値観を伴ったタイミングでトイレへ行くようにプログラムされている。各エージェントを自律的に相互作用させると、全体としてどのような人工避難所の創発が観察されるのかをトイレの観点から調べる。

### 事前調査

1日のトイレにおける排泄回数は、身体的な理由による性差や年齢差に依存するといわれる。まず女性の場合、尿道は約3センチの直線状の管である。また子宮・膣で膀胱が圧迫されやすい傾向がある。一方、男性の場合、尿道はほぼ20センチでS字形に曲がっており、周囲の組織にしっかり囲まれ固定されている。このような身体的な違いから、女性は尿が漏れやすく、男性は尿を出しにくい傾向がある。

女性は加齢によって腹部が力むと漏れてしまう腹圧性尿失禁や、トイレへ行くまで我慢できずに漏れてしまう切迫性尿失禁を起こしやすい傾向にある。なぜなら膀胱・膣・子宮・直腸などを支えるほか、尿道や膣・肛門を締める役割を果たす筋肉である骨盤底筋群の働きが加齢で低下し、膀胱が下がって尿道が緩み、頻尿や失禁を引き起こすからである。一方、男性は加齢によって尿の通りが悪い排尿困難や残尿・切れが悪い溢流性尿失禁、さらには排尿に30秒以上を要することも起こる。この原因は男性特有の臓器である前立腺にある。加齢と共に前立腺が大きく膨らむ「前立腺肥大症」を引き起こす場合があり、現在では50歳以上の男性の3～4人に1人は前立腺が肥大しているといわれている。前立腺は膀胱の直下に存在するため、前立腺が肥大すると膀胱を圧迫し、排尿困難や残尿感、溢流性尿失禁、頻尿等に影響を与える。よって、女性は加齢による骨盤底筋群の衰えから頻尿の傾向が強まり、男性は加齢による前立腺肥大化から排尿障害を引き起こす傾向が強まる。

実際のトイレ使用状況を調査するため、日常生活を営む20

～30代の成人男女11名 (男性8, 女性3) を対象に、一日のトイレ回数 (尿) を記録してもらった。調査内容は以下である: ①起床時刻, ②トイレに行った時刻, ③就寝時刻。また、その後に男性1名と女性1名において上記と同じ内容の調査を4日間、無作為に行った。協力者11名による一日のトイレ回数を図-2に示す。主に、女性の回数が多く (9回/日)、男性は少数の多い者 (9回/日) と多数のそうでない者 (5～7回/日) の2群に分類される。そこで、男性に多いトイレ回数の少ない群をタイプM、女性や高齢者に多いトイレ回数の多い群をタイプFと定義する。

表-1 タイプ別のトイレ間隔

タイプ	平均 (分)	標準偏差 (分)
M	195	85
F	120	60

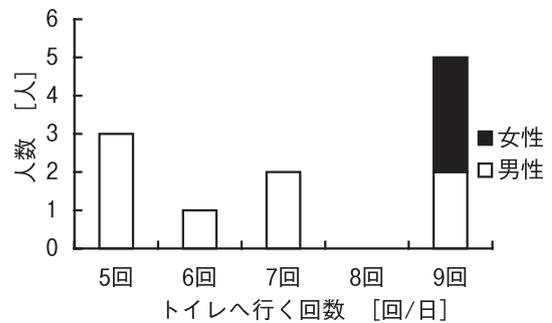


図-1 20～30代の成人男女11名 (男性8, 女性3) によるトイレ使用状況調査。

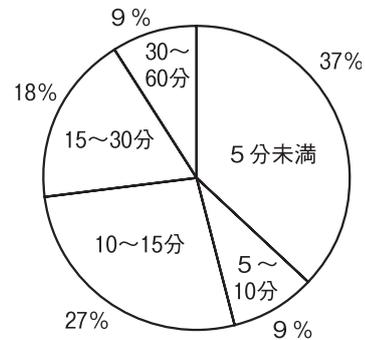


図-2 朝起床後にトイレへ行くまでの時間

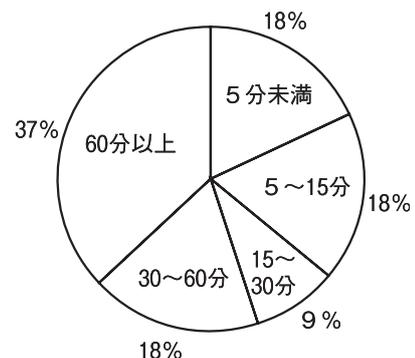


図-3 夜トイレへ行ってから就寝するまでの時間

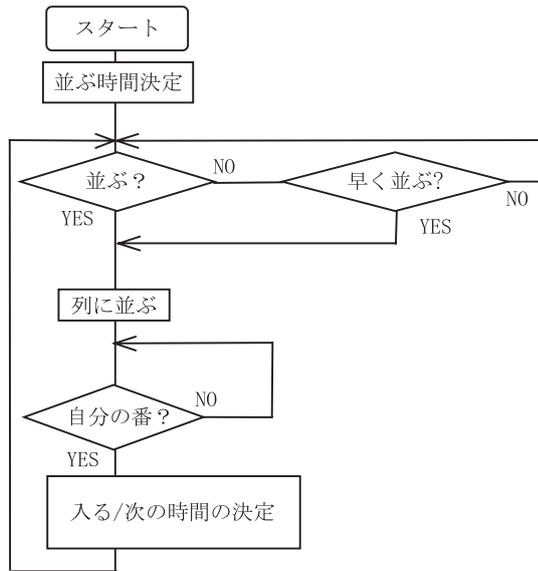


図-4 フローチャート

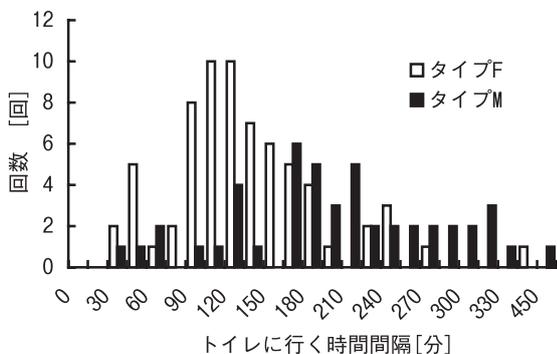
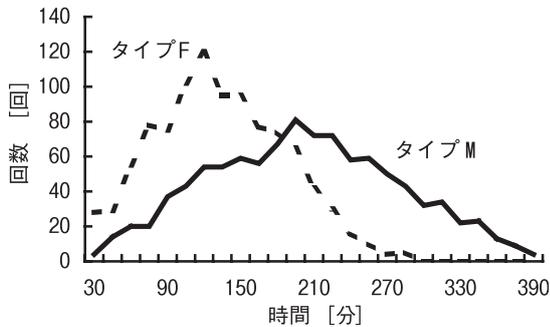


図-5 (上) シミュレーション, (下) 実際の記録調査.

表-2 タイプ別トイレ間隔

	タイプM	タイプF
トイレ間隔	195 ± 85分の 正規乱数Mt	125 ± 60分の 正規乱数Ft

(15分 ≤ Mt ≤ 390分, 15分 ≤ Ft ≤ 390分)

さらに、タイプMとFのトイレへ行く時間間隔（以下、トイレ間隔）を調査すると表-1となる。表-1よりタイプMの場合、トイレ間隔が大きいだけでなくその揺らぎも大きいことが分かる。

また、協力者11名における朝起床後にトイレへ行くまでの時間の相違を図-2に示す。同様に、夜トイレへ行ってから就寝するまでの時間の相違を図-3に示す。図-2と図-3より、起床というイベントはトイレへ行くという次のイベントを引き起こすが、就寝というイベントはその前にトイレへ行くというイベントを必ずしも引き起こさないことが分かる。

## モデルの概要

### フローチャート

以上を踏まえ、人工避難所モデルにおけるトイレ待ちエージェントの基本動作を図-4に示す。エージェント1人が1回のトイレで消費する時間を1コマ（3分キテレビのコマーシャル時間に相当）とし、これをシミュレーションの最小単位とする。

### ストレス値とストレス耐性度

トイレ待ち人数に応じてエージェントにストレス値Sを負荷する。同時にストレス耐性度τを導入し、ストレス耐性度τの低いエージェントはストレスが負荷されることによって水分摂取量を抑え、トイレ間隔を遅らせる傾向を持たせる。

### タイプ別のトイレ間隔の設定

トイレ間隔の範囲を設定する。タイプM、Fのトイレ間隔をそれぞれMt、Ftとする（基本間隔）。これら数値は表1のアンケート結果から設定した。シミュレーションによるトイレ間隔の分布の妥当性を図-5(上)に示す。図-5(下)はアンケート結果をグラフ化したもので、シミュレーション結果と分布の定性的な形状において類似する。

### ストレス値の設定

ストレス値Sとは、トイレに対するストレスを「待ち人数」という観点で数値化したものである。このシミュレーションでのストレスサー（ストレスを感じさせる要因）は、「トイレの待ち人数」であり、災害によるストレスは考慮しない。ストレス値Sは日付の変更に対してリセットしないものとする。ストレス値Sを増減させるうえで待ち人数閾値bを設ける。すなわち、エージェントがストレスを感じ始める待ち人数の閾値bとし、自分の待ち順番がb人未満になるとストレス値は増減しない。エージェントがトイレ待ちしているとき、自分の待ち順番がn1番目のとき、待ち人数が以上ならば (n1 - b) だけ増加し、以後、前進するごとに (n1 - b - 1), (n1 - b - 2), ……と増加し、待ち人数がbと等しくなるまでこの加算が繰り返される。待ち人数が未満ならばストレス値は変化しない。すなわち、待ち人数がn1人 (n1 ≥ b) のとき、あるエージェントのトイレに並び始めてからトイレに入るまでに増加するストレス値Sn1は、

$$S_{n1} = \sum_{i=b}^{n1} (i - b), \quad (1)$$

として与えられる。他方、トイレ後にストレス値は減少する。

あるエージェントがトイレを終えたときの待ち人数 $n_2$ の和：

$$S_{n_2} = \sum_{i=b}^{n_2} (i - b), \quad (2)$$

だけ、トイレ後に瞬時に減少する。

### ストレス耐性度の設定

「トイレ待ちに対するストレス値上昇→トイレ回数を控えるために水分摂取量を減らす→トイレ間隔を伸ばす」という連鎖をモデルに組み込むためのパラメータがストレス耐性度 $\tau$ である。トイレ待ち時とトイレ後の待ち人数の差、つまり「どれだけ余計に待ったか」を示す指標としてストレス値 $S$ を導入する。しかし、同じ待ち人数でも、待つことが得意な人と不得手な人では“感じるストレス”は異なる。待つことが不得手な人は得意な人に比べて水分摂取量を減らす行動を取り易いので、待つことが不得手な人はストレス耐性度 $\tau$ が小さくなる。

### トイレ待ち行列に並ぶ

今回のシミュレーションでは、エージェントはトイレへ行きたいと思った瞬間にトイレ待ち行列の一員となる。複数のエージェントがいる場合はランダムで順番を決定する。

朝、最初にトイレへ行くとときは、一様乱数 $U[0(\text{分}), 180(\text{分})]$ で全エージェントをランダムにトイレへ行かせる。各エージェントの起床時間の揺らぎを3時間とした。2回目以降はタイプ別ルールに従って確率的にトイレ間隔を決定する。その際、 $L = S \times (1 - \tau/100)$  (ただし基本間隔 $Mt$ ,  $Ft$ の2倍を上限とする) だけ遅れ時間として基本間隔に上乗せする。

逆に、エージェントはトイレ待ち人数をチェックし、空いていると判断すれば以下の条件に従って待ち人数に加わる：

- 1) 待ち人数が $b$ 人未満である、
- 2) ストレス値が正である、
- 3)  $L$ の範囲内である。

## シミュレーション (基本モデル)

タイプMとタイプFは同じ割合で存在し、また各ストレス耐性度 $\tau$ の異なるエージェントも同じ割合で存在させる。ストレス耐性度 $\tau$ は50, 70, 90の3種類とした。エージェント人数 $N$ は、「トイレ一基あたりのエージェント人数」とする。エージェント人数 $N$ を50~100人まで10人間隔で、それぞれ90日分、50回のシミュレーションを行った。シミュレーションの時間は朝5時半~夜中2時までとし、エージェントが朝1回目にトイレへ行く時間範囲3時間はシミュレーション時間内に含むものとする。また、全てのエージェントが夜中に起きてトイレへ行く行動を起こさないものとする。

エージェント人数 $N=100$ で50回繰り返したときの各々90日目のストレス値 $S$ のヒストグラム (標本数は50回 $\times$ 100人=5000) を図-4に示す。

図-6に示すヒストグラムは、平均0、中央値192のやや正值に重心をもつ分布となっている。そして、上位10%のストレス境界値が2773となった。全シミュレーションのストレス値ヒストグラムを算出すると、 $N$ の変化に対して平均は変

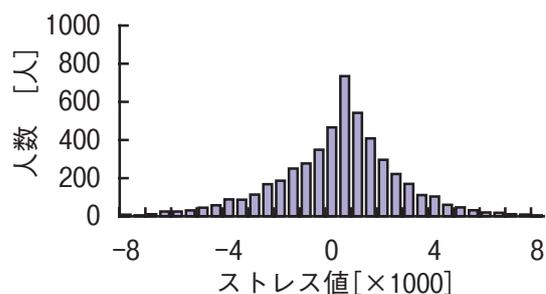


図-6 ヒストグラム (N=100)。

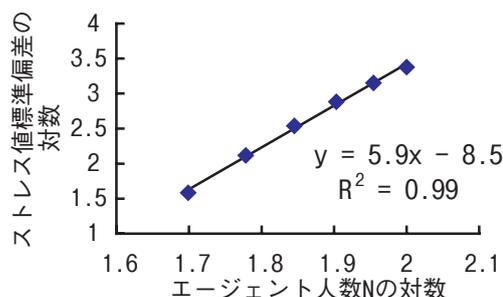


図-7  $N$ に対するストレス値ヒストグラムの標準偏差 (両対数グラフで表示)。

化せず、標準偏差のみが変化する。 $N$ に対するストレス値 $S$ のヒストグラムの標準偏差を図-7に示す。最小二乗法を用いた近似直線の決定係数は $R^2=0.99 \approx 1$ であり、べき関数的に増加している (傾きは5.9)。

続いて、タイプ別日数あたりのトイレ回数の平均を図-8に示す。最後に、 $N=100$ のときの1日目、45日目、90日目の待ち人数の時系列を図-9に示す。

### 起床時刻改定モデル

朝トイレへ行く時間範囲が3時間 (60コマに相当) の場合、エージェント人数が60人以上で必ず行列ができるため、ストレス値 $S$ が増加する傾向が観察された。そこで、「エージェントの起床時刻に幅を持たせる」という改善策を考える。朝トイレへ行く時間範囲を3時間から4時間とした。この変更

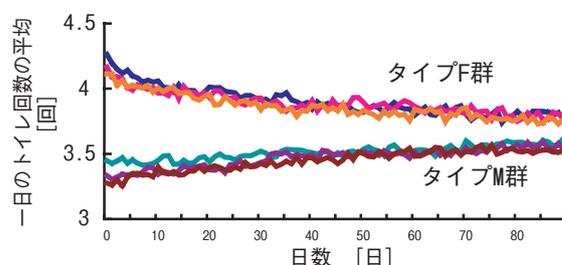


図-8 タイプ別日数あたりのトイレ回数の平均。 $\tau=50, 70, 90$ のグラフをそれぞれ重ねて表示。

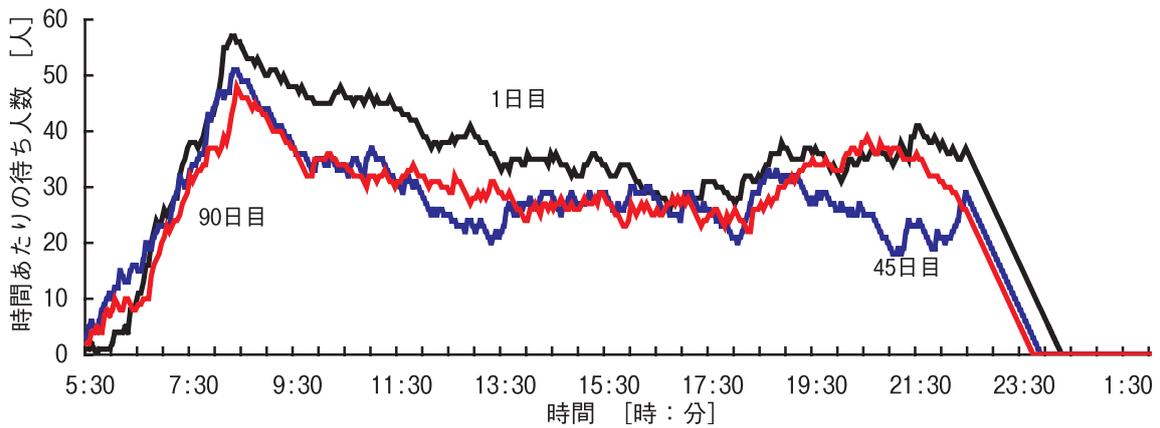


図-9 1日目, 45日目, 90日目の各時刻あたりの待ち人数.

によってエージェントのストレス値Sがどのように影響を受けるかを調べた。この変更モデルを起床時刻改定モデルと呼ぶ。前回と同様にシミュレーションした結果を図-10～図-12に示す。

図-10に示すヒストグラムは、平均0、中央値162のやや正值に重心をもつ分布となっており、基本モデルと変わらない。しかし、上位10%のストレス境界値が2051となり、エージェントのストレス値は基本モデルのそれよりも減少した。次に、図-11にエージェント人数Nを変化させたときのストレス値ヒストグラムの標準偏差を示す。最小二乗法を用いた近似直線の決定係数は $R^2=0.99 \approx 1$ であり、べき関数的に増加している。近似直線の傾きは5.8であり、基本モデルのそれ(5.9)と比して変化はない。よって、分布そのものが形を保存したまま横軸方向に左側(ストレス値が小さくなる方向)へシフトしたことになる。

図-11に $N=100$ のときの1日目, 45日目, 90日目の待ち人数の時系列を示す。図-9と比べると、45日目と90日目の待ち人数が午前9時半のあたりを除いて減少している。起床時刻改定モデルでは、朝トイレへ行く時間範囲を3時間から4時間に延長したため、図-9では8時半に対応するピーク

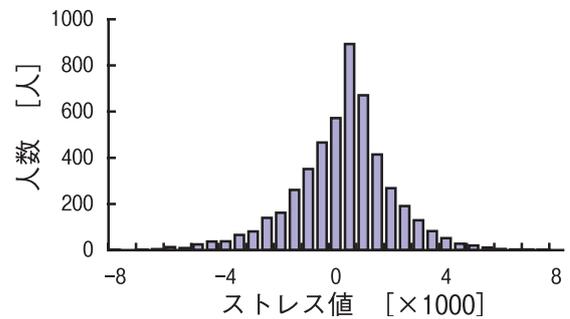


図-10 起床時刻改定モデルのヒストグラム.

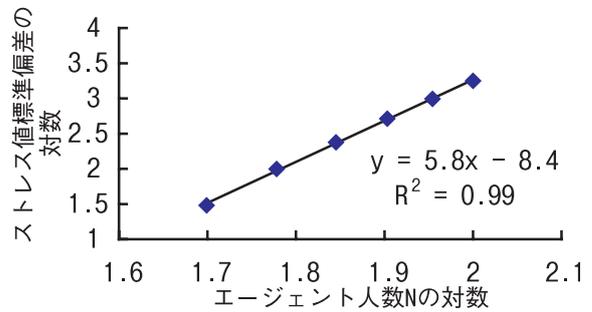


図-11 Nに対するストレス値ヒストグラムの標準偏差(起床時刻改定モデル。両対数グラフで表示)。

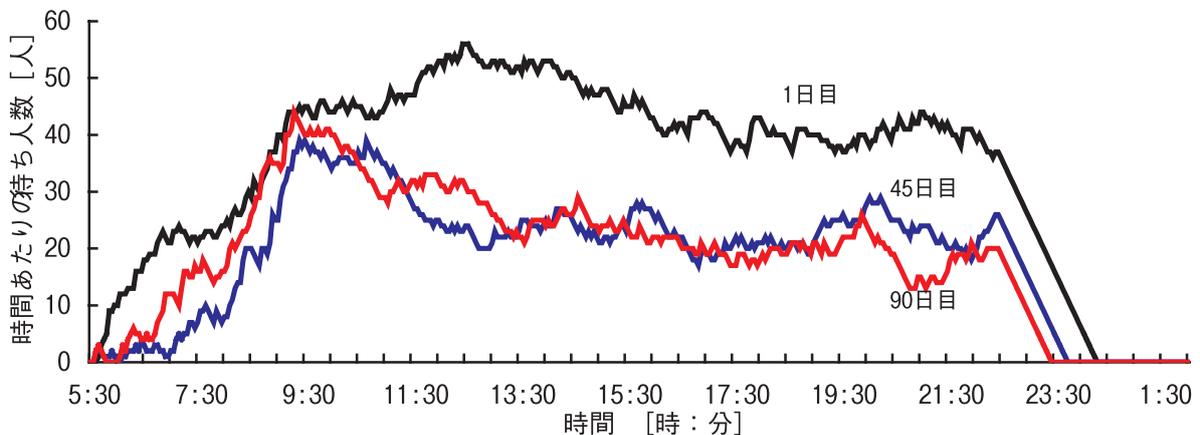


図-12 1日目, 45日目, 90日目の各時刻あたりの待ち人数(起床時刻改定モデル)。

が図-12では9時半に出現したと考えられる。起床時刻改定モデルにおけるタイプ別日数あたりのトイレ回数の平均を表すグラフは基本モデルのそれ(図-8)と同じのため省略した。

### 起床時刻改定 & タイプF優先モデル

起床時刻改定モデルよれば、100日目のタイプ別ヒストグラムにおいてタイプFが正に、タイプMが負に偏る傾向がある。このことからタイプFのほうがタイプMよりも多く「トイレ待ち」をしていることが分かる(図-13参照。基本モデルも同様)。

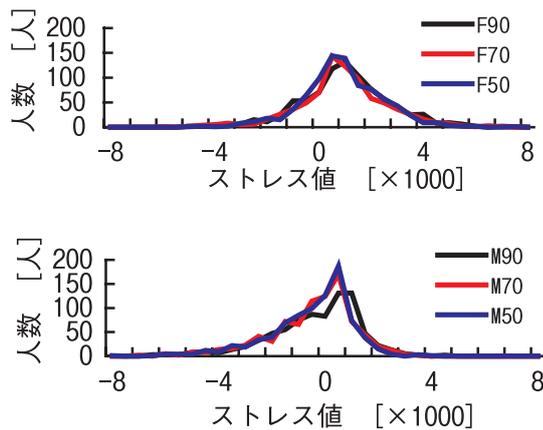


図-13 起床時刻改定モデルにおけるタイプ別ヒストグラム。(上)タイプF, (下)タイプM。M90, M70, M50の数字はストレス耐性度  $\tau$  を表す。

この問題点に対して、「タイプFのエージェントをトイレの近くに配置する」ことを改善策とする。これまでは同時刻にトイレ待ち行列で並ぶエージェントの順はランダムに決定されていた。改善策ではタイプFを優先することとする。この改善策がエージェントのストレス値Sにどのような影響を与えるかを調べた。「起床時刻改定モデル」に加えてタイプFを優先するモデルを「起床時刻改定&タイプF優先モデル」

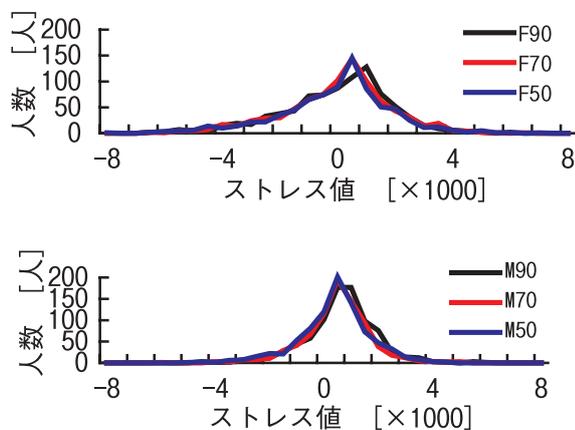


図-14 起床時刻改定 & タイプF優先モデルにおけるタイプ別ヒストグラム。(上)タイプF, (下)タイプM。M90, M70, M50の数字はストレス耐性度  $\tau$  を表す。

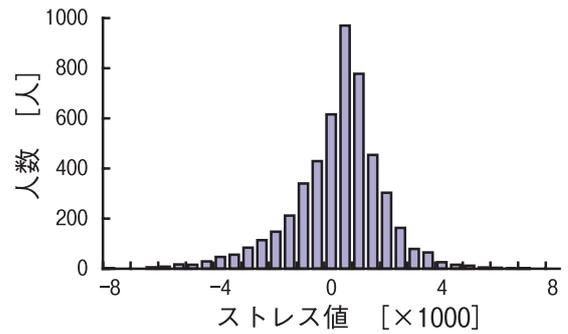


図-15 起床時刻改定 & タイプF優先モデルのヒストグラム。

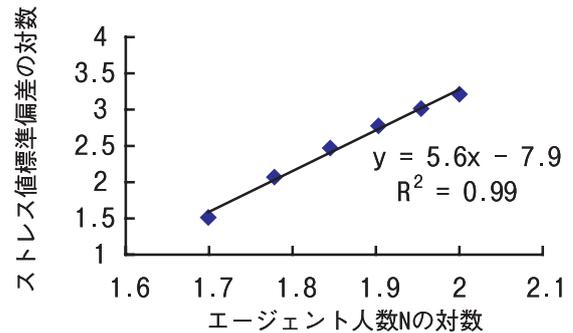


図-16 Nに対するストレス値ヒストグラムの標準偏差(起床時刻改定 & タイプF優先モデル。両対数グラフで表示)。

と呼ぶ。N=100で50回データを取ったときの90日目のストレス値Sにおける全データのヒストグラム(標本数は50回×100人=5000)を図-14に示す。図-14では、タイプMの分布の偏りが消失し、タイプFのそれは逆に負に偏る結果となった。よってタイプFのストレス値が相対的に減少したことになる。

図-15にタイプMとタイプFを合わせた全体のストレス値ヒストグラムを示す。平均0、中央値207のやや正值に重心のある分布で、上位10%のストレス境界値は1769となり、起床時刻改定モデルのそれよりさらに減少した。

図-16にエージェント人数Nを変化させたときのストレス値ヒストグラムの標準偏差グラフを示す。最小二乗法を用いた近似直線の決定係数は $R^2=0.99 \approx 1$ であり、べき関数的に増加している。近似直線の傾きは5.6であり、基本モデルや起床時刻改定モデルと比べて小さくなった。すなわち、エージェント人数が増加してもストレス値の標準偏差はそれほど変化しないことを意味する。

### まとめ

本研究では、マルチエージェントシステムを用いて避難所のトイレ利用のシミュレーションを行った。基本モデルから「朝の待ち人数が多い」、「タイプF(女性、高齢者)の負担が大きい」という結果を得た。そこで「被災者の起床時刻に幅を持たせる」、「タイプFをトイレの近くに配置する」という改善策をモデルに組み込むと、避難所トイレ問題を改善する上での有効な知見が得られた。これら2種類の改善策は特に新たなコストを必要とすることもなく、持続可能な改善策

であると考えられる。今後の課題は、今回の結果を統計的に検証することである。さらに、GISを利用して実際の避難所を模擬した仮想空間内でのマルチエージェントシミュレーションを実施し、エージェントにトイレ混雑状況に関する情報を交換させた場合のトイレ待ち行列を分析することである。本研究の一部は生体医工学シンポジウム2006 in新潟で発表した（今村ら，2006）。

## 参考文献

兵庫県震災復興研究センター（編）（2002）：大震災100の教訓，かもがわ出版。

山田肇（編），C&C振興財団（監）（2006）：みんなの命を救う－災害と情報アクセシビリティ，NTT出版。

仲谷美江，西田正吾（2006）：災害時の危機管理のためのコミュニケーション支援，電子情報通信学会誌，89（9），811-814。

新潟青陵大学ホームページ（2004）：避難所のトイレ，[http://www.n-seiryu.ac.jp/~usui/saigai/niigata\\_earthquake/toilet.html](http://www.n-seiryu.ac.jp/~usui/saigai/niigata_earthquake/toilet.html)。

内閣府（2004）：平成16年度新潟県中越地震に関する住民アンケート調査結果。

村山茂（2004）：阪神・淡路大震災から100学んだ～防災・復興に活かす知恵と心構え～，海文堂。

近畿弁護士会連合会（1996）：阪神・淡路大震災人権白書，明石書店。

第7回にいがた自立生活研究会（2005）：シンポジウム「障害者の地域生

活を考える－中越大震災の体験から－」，平成17年度にいがた自立生活研究会年報，3-24。

R. Axelrod（1997）：The dissemination of culture: A model with local convergence and global polarization, *J. Conflict Resolution*, 41, 203-226.

A. Yasutomi（1995）：The emergence and collapse of money, *Physica D* 82, 180-194.

前田義信，今井博英（2005）：群集化交友集団のいじめに関するエージェントベースモデル，電子情報通信学会論文誌，J88-A（6），722-729。

Maeda, Y., Anezaki, K. and Takeuchi, Y.（2006）：An agent-based model for simulating the group dynamics involved in excluding a minority, *Proc. 1st World Congress on Social Simulation*, 1, pp.79-86.

宇田川金幸，増田浩通，新井健（2004）：地下鉄駅構内における避難シミュレーションモデルの構築，第4回KK-MASコンペティション。

Mizuta, H. and Yamagata, Y.（2005）：Gaming simulation of the international CO2 emission trading under the Kyoto Protocol, Terano, T., Kita H., Kaneda, T., Arai, K. and Deguchi, H. (eds.) *Agent-Based Social Systems*, vol.1, Springer-Verlag, Tokyo, pp.72-81.

Epstein, J. M. and Axtell, R.（1996）：Growing Artificial Societies, Brookings Institution Press.

今村絵里，前田義信，牧野秀夫（2006）：エージェントモデルを用いた被災地トイレ利用のシミュレーション，生体医工学シンポジウム2006，11（5），237-240。

