

# 被験者実験データを基にした 施設選択エージェントシミュレーション

小高大地, 村田忠彦, 前田太陽, 松本茂, 名取良太, 曹陽



文部科学大臣認定 共同利用・共同研究拠点  
関西大学ソシオネットワーク戦略研究機構  
関西大学政策グリッドコンピューティング実験センター  
(文部科学省私立大学社会連携研究推進拠点)

Policy Grid Computing Laboratory,  
The Research Institute for Socionetwork Strategies,  
Joint Usage / Research Center, MEXT, Japan  
Kansai University  
Suita, Osaka 564-8680, Japan  
URL: <https://www.pglab.kansai-u.ac.jp/>  
<http://www.kansai-u.ac.jp/riss/>  
e-mail: [pglab.@ml.kandai.jp](mailto:pglab.@ml.kandai.jp)  
tel. 06-6368-1228  
fax. 06-6330-3304

## **関西大学政策グリッドコンピューティング実験センターからのお願い**

本ディスカッションペーパーシリーズを転載、引用、参照されたい場合には、ご面倒ですが、弊センター（[pglab@ml.kandai.jp](mailto:pglab@ml.kandai.jp)）宛にご連絡いただきますようお願い申し上げます。

## **Attention from Policy Grid Computing Laboratory, Kansai University**

Please reprint, cite or quote WITH consulting Kansai University Policy Grid Computing Laboratory ([pglab@ml.kandai.jp](mailto:pglab@ml.kandai.jp)).

# 被験者実験データを基にした 施設選択エージェントシミュレーション

小高大地<sup>1</sup>, 村田忠彦<sup>1,2,3</sup>, 前田太陽<sup>2,3</sup>, 松本茂<sup>2,3,4</sup>, 名取良太<sup>1,2,3</sup>, 曹陽<sup>2,3</sup>

## Design of Agent Simulation for Facility Selection Based on Experimental Data

Daichi Kotaka<sup>1</sup>, Tadahiko Murata<sup>1,2,3</sup>, Taiyo Maeda<sup>2,3</sup>, Shigeru Matsumoto<sup>2,3,4</sup>, Ryota Natori<sup>1,2,3</sup>,  
Yang Cao<sup>2,3</sup>

### 概要

近年、複雑な社会現象の解明、社会問題の解決を目指した社会シミュレーションに多くの人々が注目している。しかし、人間の意思決定は非常に複雑であり、社会シミュレーションにおけるエージェントの意思決定の妥当性は大きな課題となっている。そこで本研究では、被験者実験の実データを基にしてエージェントの意思決定モデルを構築し、より被験者実験に近いシミュレーションを行うことを目的とする。シミュレーションの結果から、被験者実験データに近いシミュレーションが実現できることを示す。

### Abstract

Recently, many attentions go to social simulations for understanding complex social phenomenon and finding solutions for social troubles. However, developing human decision making is too complex to validate agent's decision making in social simulations. Therefore, in this paper we try to construct agent's decision making model based on actual data from experiments with human subjects, and apply the developed model to a simulation in order to have behaviors that are similar to the actual data. From simulation results we can have more realistic simulation results.

キーワード：社会シミュレーション, 施設選択, 実データ

Keyword: Social Simulation, Facilities Selection, Actual Data

---

1 関西大学 総合情報学部

2 関西大学 政策グリッドコンピューティング実験センター

3 関西大学 ソシオネットワーク戦略研究機構

4 青山学院大学 経済学部

## 1. はじめに

近年、混雑解消や避難誘導等の社会問題を解決するために、様々な社会シミュレーションのモデルが作成されている。これら社会シミュレーションによって多くの社会問題に対する解決策が提案される一方で、シミュレーションモデルが現実社会を正しく再現できているかという、シミュレーションモデルの妥当性に関しては課題が多い。特に、人間の意思決定は複雑であり、現在でも解明されていない部分が多く、再現は難しい。人間同士の相互作用も考慮しなければならないマルチエージェントシミュレーションにおいては、エージェントの意思決定は特に重要な要素となる。

奥嶋ら[1]が行った都市交通現象を解明するためのマルチエージェントシミュレーションにおいては、社会的な統計データを用いてエージェントの属性を決定している。これは一つの解決策である一方で、統計データを用いる以上、個々人の動作を再現する事はできず、課題はまだ残っている。中島ら[2]が行った避難誘導シミュレーションにおいては、エージェントと被験者を混在させたシミュレーションが行われている。これも一つの解決策である一方で、エージェントの意思決定の妥当性には問題が残る。また、仮想空間上にしか存在しないエージェントを被験者が同じ人間として認識し、エージェントと被験者の相互作用が本当に正しく行えているのかといった問題も残る。

これらの問題は、大規模な被験者実験を行いエージェントの行動ルールを設定する事により解決できるが、それには大変な手間がかかる。そこで Murata ら[3]は、オンライン上の仮想空間で被験者が行った施設選択行動を観測し、データを収集するシステムを構築した。これらのシステムを用いれば、比較的手軽に大規模な被験者実験を行う事ができ、施設選択行動に関する被験者のデータを集める事ができる。実際に、Matsumoto ら[4]は被験者実験を行い、施設選択行動に関する研究を行っている。

本研究では、より現実的なシミュレーションを行う事を目標とし、Matsumoto らの2施設選択被験者実験データ、および同じデータ収集システムを用いて得られた3施設選択被験者実験データを用いてエージェントの意思決定モデルを構築し、シミュレーションを行う。その後、被験者実験とシミュレーションの結果を比較し、シミュレーション結果の妥当性を検証する。2. ではシミュレーションモデルの概要を解説し、3. ではエージェントモデルの概要について解説する。4. では被験者実験とシミュレーション結果を比較するための評価指標を解説し、5. に比較結果を示す。6. ではまとめと今後の課題について述べる。

## 2. シミュレーションモデルの概要

本研究では、実データに基づいて構築された複数のエージェントが、複数ある施設から1つの施設を選択行動の回数だけ選択するシミュレーションを行う。エージェントは選択行動により報酬を受け取る。本研究では、2種類のシミュレーションモデルを作成した。

それぞれを 2 施設シミュレーション, 3 施設シミュレーションとし, 以下でそれぞれ解説する.

## 2.1 2 施設シミュレーション

2 施設シミュレーションは, Matsumoto ら[4]が行った被験者実験を再現したシミュレーションモデルである. 概要を表 1 に示す. 2 施設シミュレーションでは, エージェントに与えられる報酬が個々の属性によって異なるという特徴がある. 報酬計算式を式(1)に示す.

$$pay_j = 70 - user_j \times wc_j \quad (1)$$

ここで,  $pay_j$  はエージェント  $j$  が受け取る報酬である.  $user_j$  は, エージェント  $j$  が前回選んだ施設に集まったエージェント数である.  $wc_j$  はエージェント  $j$  に設定された待機費用で, 4, 6, 8 のいずれかが設定されている. 待機費用の値が大きいエージェントは時間的に余裕が無いエージェントであり, 同じだけ混雑している状況でも報酬の値が小さくなるものとしている.

## 2.2 3 施設シミュレーション

3 施設シミュレーションは, 文献[3]に示されているシステムを用いて行った 3 施設選択被験者実験を再現したシミュレーションモデルである. 概要を表 2 に示す. 3 施設シミュレーションでは, 各施設の定員が変わるという特徴がある. 施設 A, B, C の初期定員は, 14, 28, 42 となる. これらの定員は 25 回選択行動を行った後に, 28, 28, 28 となる. 以降, 25 回選択行動を行う毎に, 定員が切り替わる. また, エージェントに与えられる報酬は, 前回選んだ施設の定員充足率  $\alpha$  に応じて変化する. 定員充足率  $\alpha$  は式(2)で表すことができる.

$$\alpha_k = user_k / capa_k \quad (2)$$

ここで,  $\alpha_k$  は施設  $k$  の定員充足率である.  $user_k$  は施設  $k$  を選択したエージェント数を表す.  $capa_k$  は施設  $k$  の定員である. 定員充足率  $\alpha$  が高いほど施設が混雑しているものとし, エージェントが受ける報酬は少なくなる.

表 1: 2 施設シミュレーション

施設数	2
各施設の定員	4
エージェント数	8
選択行動の総数	150

表 2： 3 施設シミュレーション

施設数	3
各施設の定員	可変
エージェント数	84
選択行動の総数	100

### 3. エージェントモデルの概要

本研究では、大きく分けて3種類のエージェントモデルを用いてシミュレーションを行った。まず、被験者実験のデータを使わずに構築したモデルをランダムモデルとする。そして、被験者が行った選択行動データを学習データとして用い、構築した2種類のモデルをダイレクトモデルとスイッチモデルとする。なお、本研究では被験者と同数のエージェントを作成し、被験者1人分のデータを用いてエージェント1体を学習させる。以下で各モデルの詳細について解説する。

#### (1) ランダムモデル

被験者実験データを使わず、学習しないモデル。ランダムに1つの施設を選択する。従来、マルチエージェントシミュレーションにおいて、エージェントが単純な意思決定を行う際によく用いられてきたモデルである。鈴木麗瑩ら[5]が行ったイベント会場での待ち行列シミュレーションにおいても、最初に鑑賞予定アトラクションの中から一つのアトラクションを選ぶ際には、この手法が用いられた。

#### (2) ダイレクトモデル

被験者が各施設を選択した回数に応じて、確率的に施設を選択するエージェントモデル。エージェントの意思決定は式(3)を用いる。

$$Pd_{jk} = s_{jk} / P \quad (3)$$

ここで、 $Pd_{jk}$  は、エージェント  $j$  が施設  $k$  を選択する確率を表す。 $s_k$  は被験者  $j$  が施設  $k$  を選択した回数である。 $P$  は選択行動の総数である。各個人が持つ施設に対するこだわりを確率的に再現することが期待される。

#### (3) スイッチモデル

自身の状態に応じて、前回の施設と同じ施設を選択するか、前回とは異なる施設を選択するかといった2種類の意思決定を行うものとしたエージェントモデル。エージェントの意思決定は式(4)を用いる。

$$Ps_{ij} = \frac{s_{ij}}{s_{ij} + m_{ij}}, Pm_{ij} = \frac{m_{ij}}{s_{ij} + m_{ij}} \quad (4)$$

ここで、 $s_{ij}$  は、状態  $i$  の時、被験者  $j$  が前回と同じ施設を選択した回数である。  $m_{ij}$  は、状態  $i$  の時、被験者  $j$  が前回と異なる施設を選択した回数である。 エージェント  $j$  は状態  $i$  の時、  $Ps_{ij}$  の確率で現在と同じ施設を選択し、  $Pm_{ij}$  の確率で前回と異なる施設を選択する。 2施設シミュレーションにおいては、状態  $i$  の定義が異なる4種類の型を構築した。

- 単純確率型

状態が意思決定に影響を与えないモデル。

- 報酬増減型

受け取った報酬が前回と比べてどれだけ増減したかにより状態  $i$  を定義するモデル。

状態  $i$  は、前回より報酬が 15 以上減った、前回より報酬が 1～14 減った、前回と報酬が同じだった、前回より報酬が 1～14 増えた、前回より報酬が 15 以上増えた、の5段階とする。

- 報酬型

受け取った報酬により状態  $i$  を定義するモデル。状態  $i$  は、報酬が 0～9, 10～19, …, 50～59, 60～69 の7段階で定義する。

- 人数型

選択した施設に集まったエージェント数により状態  $i$  を定義するモデル。状態  $i$  は、人数が 1, 2, …, 7, 8 の8段階で定義する。

3施設シミュレーションにおいては、式(2)の定員充足率に応じて状態  $i$  を定義する。状態  $i$  は、定員充足率  $\alpha$  が 0.59 以下, 0.60～0.69, …, 1.60～1.69, 1.70 以上の13段階で定義する。また、前回と異なる施設を選択する場合は残りの2施設からどちらかを選ばなければならないが、その際の意思決定は式(5)を用いる。

$$Pms_{ij} = \frac{ms_{ij}}{m_{ij}}, Pml_{ij} = \frac{ml_{ij}}{m_{ij}} \quad (5)$$

ここで、 $Pms_{ij}$  は状態  $i$  の時、エージェント  $j$  が定員の少ない方の施設を選択する確率を表し、 $Pml_{ij}$  は定員の多い方の施設を選択する確率を表す。  $ms_{ij}$  は状態  $i$  の時、被験者  $j$  が定員の少ない方の施設を選択した回数であり、  $ml_{ij}$  は定員の多い方の施設を選択した回数である。なお、残りの2施設の定員が同数の場合は、ランダムにどちらかの施設を選択するものとする。

#### 4. 評価指標

被験者実験とシミュレーションとの比較を行うためには、比較するための評価指標が必

要になる。そこで本研究では、大きく分けて2種類の評価指標を提案する。それぞれを施設評価指標と個人行動評価指標とし、以下で解説する。

#### 4.1 施設評価指標

施設評価指標として、定員超過・不足度合いの平均値と標準偏差を提案する。定員超過・不足度合い  $\beta$  は式(6)を用いる。

$$\beta = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |user_k - capacity_k| \quad (6)$$

ここで、 $K$  は施設数を示す。  $capacity_k$  は施設  $k$  に設定されている定員を表す。  $user_k$  は施設  $k$  を選択した被験者およびエージェントの人数を示す。本研究では、定員超過・不足度合い  $\alpha$  を選択行動の回数だけ計算し、平均値と標準偏差を評価指標として用いる。これらの評価指標により、施設の定員と施設を選択した被験者またはエージェントの人数の差を見ることができる。

#### 4.2 個人行動評価指標

個人行動評価指標として、スイッチ回数と選択偏り度合い  $\gamma$  を提案する。スイッチ回数とは、被験者もしくはエージェントが、選択行動の中で前回と異なる施設を選択した回数である。選択偏り度合い  $\gamma$  は、被験者またはエージェントが偏った施設選択をするほど大きくなる指標である。選択偏り度合い  $\gamma$  は式(7)で表すことができる。

$$\gamma = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \left| s_k - \frac{P}{K} \right| \quad (7)$$

ここで、 $K$  は施設数を示す。  $s_k$  は、被験者もしくはエージェントが施設  $k$  を選択した回数を示す。  $P$  は選択行動の総数を示す。これらの評価指標を用いることにより、個々の被験者またはエージェントの行動の詳細を見ることができる。

### 5. 結果

ここでは、被験者実験の結果を4. で提案した評価指標で評価したものと、シミュレーションの結果を4. で提案した評価指標で評価したものを比較し、その差を示す。なお、施設評価指標の差の計算式は式(8)を、個人行動評価指標の差の計算式は式(9)を用いる。

$$difference = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \left| \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P (\beta_{kp}^{\text{experiment}} - \beta_{kp}^{\text{simulation}}) \right| \quad (8)$$

ここで、 $P$  は選択行動の総数で、 $K$  は施設数の総数、 $\beta_{kp}^{\text{experiment}}$  は、被験者実験において、 $p$  回目の選択行動時の施設  $k$  を、式(6)の評価指標で評価した値である。また、 $\beta_{kp}^{\text{simulation}}$  は、シミュレーションにおいて、 $p$  回目の選択行動時の施設  $k$  を、式(6)の評価指標で評価した値である。この式により、全ての施設、全ての回に対する、施設選択者数と定員との差の絶対値の平均が得られる。一方、個人行動評価指標の差を次のように計算する。

$$\text{difference} = \left( \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J (\gamma_j^{\text{experiment}} - \gamma_j^{\text{simulation}})^2 \right)^{1/2} \quad (9)$$

ここで、 $J$  は被験者（またはエージェント）の総数、 $\gamma_j^{\text{experiment}}$  は、被験者  $j$  の行動を、式(7)の評価指標で評価した値である。また、 $\gamma_j^{\text{simulation}}$  は、エージェント  $j$  の行動を、式(7)の評価指標で評価した値である。この式により、被験者実験とシミュレーションにおける施設選択の偏り度合いの差の平均が得られる。

### 5.1 2施設シミュレーション

Matsumoto らが行った被験者実験と、2施設シミュレーションを4. で提案した評価指標で評価し、式(8)と式(9)で比較した結果を、それぞれ表3と表4に示す。また、それらのグラフ化した結果を図1と図2に示す。

表3：2施設シミュレーションにおける施設評価指標の差

	ランダム	ダイレクト	単純確率	報酬増減	報酬	人数
定員超過・不足度合い平均の差	0.08	0.07	0.08	0.06	0.06	0.07
定員超過・不足度合い標準偏差の差	0.06	0.05	0.06	0.04	0.03	0.04

表4：2施設シミュレーションにおける個人行動評価指標の差

	ランダム	ダイレクト	単純確率	報酬増減	報酬	人数
スイッチ回数の差	26	24	0	1	1	2
選択偏り度合いの差	9	2	7	7	7	7

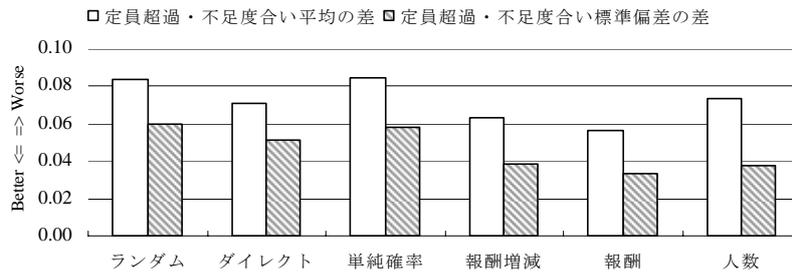


図 1： 2施設シミュレーションにおける施設評価指標の差

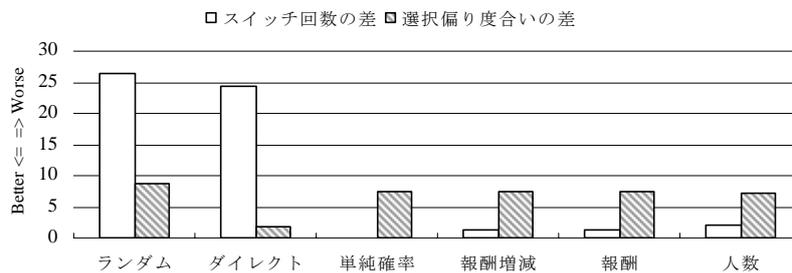


図 2： 2施設シミュレーションにおける個人行動評価指標の差

図 1 より，被験者実験データを用いて学習したダイレクトモデルとスイッチモデル共に，ランダムモデルよりも定員超過・不足度合いの平均の差と，標準偏差の差を減らすことができた．特に，スイッチモデル報酬型は最も差を減らすことができ，施設評価指標に関して，最も被験者実験に近いシミュレーションを行うことができたと言える．

## 5.2 3施設シミュレーション

3施設選択被験者実験と，3施設シミュレーションを4. で提案した評価指標で評価し，式(8)と式(9)で比較した結果を，それぞれ表5と表6に示す．また，それらのグラフ化した結果を図3と図4に示す．

図 3 より，被験者実験データを用いて学習したダイレクトモデルとスイッチモデル共に，ランダムモデルよりも定員超過・不足度合いの平均の差と，標準偏差の差を減らすことができた．ダイレクトモデルは標準偏差の差を大きく減らし，スイッチモデルは平均の差を大きく減らしている．

図 4 より，被験者実験データを用いて学習したダイレクトモデルとスイッチモデル共に，ランダムモデルよりもスイッチ回数の差と，選択偏り度合いの差を減らすことができた．2施設の結果と同様に，ダイレクトモデルは選択偏り度合いを大きく減らし，スイッチモデルはスイッチ回数を大きく減らしている．

表5：3施設シミュレーションにおける施設評価指標の差

	ランダム	ダイレクト	スイッチ
定員超過・不足度合い平均の差	3.30	2.22	1.87
定員超過・不足度合い標準偏差の差	2.01	0.26	1.00

表6：3施設シミュレーションにおける個人行動評価指標の差

	ランダム	ダイレクト	スイッチ
スイッチ回数の差	30.39	22.97	5.37
選択偏り度合いの差	11.04	0.90	7.63

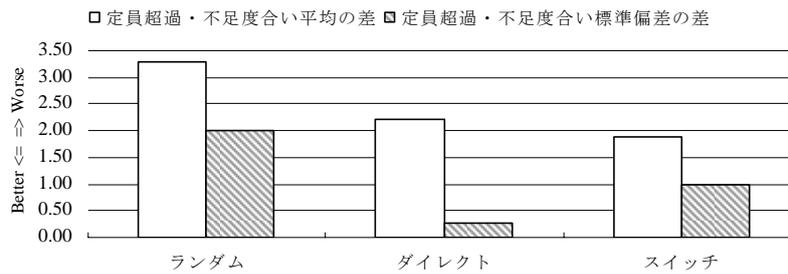


図3：3施設シミュレーションにおける施設評価指標の差

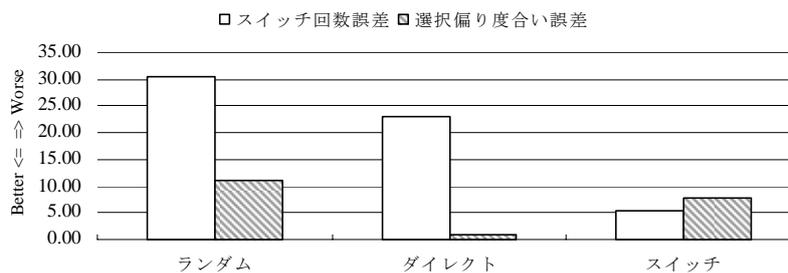


図4：3施設シミュレーションにおける個人行動評価指標の差

## 6. おわりに

本研究では、被験者のデータを使って学習したエージェントモデルを構築し、シミュレーションを行った。それらのエージェントを用いてシミュレーションする事により、より被験者実験に近いシミュレーションが行える事を確認した。また、個人行動評価指標での

差が小さいほど、施設評価指標での差も小さい事が確認できた。これにより、一個人の意思決定にも注目してシミュレーションモデルを作ることにより、より妥当なシミュレーションが行える事を示した。

今後の課題として、より適切なエージェントモデルや評価指標があるかどうか探る必要がある。また、本研究では2種類の被験者実験に対応したシミュレーションしかしておらず、より様々な被験者実験に対応するシミュレーションモデルの構築が必要になる。

## 参考文献

- [1] 奥嶋政嗣, 秋山孝正, “局所的相互作用を考慮した都市交通政策評価のための人工社会モデル”, 土木学会論文集 D, Vol63, No.2, pp.134-144, 2007.4
- [2] 中島悠, 椎名宏徳, 服部宏充, 八槇博史, 石田亨, “マルチエージェントシミュレーションを用いた避難誘導実験の拡張”, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.6, pp.1954-1961, June 2008
- [3] Tadahiko Murata, Taiyo Maeda, Daichi Kotaka, Shigeru Matsumoto, “Social Simulation Based on Human Behavioral Data Collected from Web-Based Experimental System”, Proceedings of The 7th International Conference of Socionetwork Strategies, pp.151-163, 2009
- [4] Shigeru Matsumoto, Hiroshi Arikawa, Taiyo Maeda, Tadahiko Murata, “Agent heterogeneity and facility congestion”, Economic Science Association - European Meeting 2009, p.73, 2009
- [5] 鈴木麗璽, 有田隆也, “行動多様性に対する情報共有の影響とその適応性-イベント会場における混雑情報提供に関するマルチエージェントシミュレーション-”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.86-D- I , No.11, pp.830-837, 2003