

# 確率効用モデルを利用したマッチングシミュレーションによる 東京都の避難施設の最適配置

樋口 稚菜<sup>†</sup> 下川 哲矢<sup>§</sup>

東京理科大学経営学研究科<sup>†</sup> 東京理科大学経営学部ビジネスエコンミクス学科<sup>§</sup>

## 1. はじめに

我が国は種々の自然災害頻発国であり、多くの国民が発災時に避難所に入所する可能性がある。しかし、現在の日本における避難所は往々にして十分な衛生・生活環境が整っているとは言いがたく、更に家族以外の人間と狭い空間で密に收容されることで、平時の生活と比較して避難者にとっての負荷が多くなり震災関連死といった二次被害が発生する要因にもなっている。

本研究では、避難施設の最適な設備や配置問題といったマッチングメカニズムに基づいた応用事例に関して、シミュレーションを用いた社会厚生

の改善を目的としている。先行研究として Abdulkadiroglu, Agarwal, and Pathaky (2017) における論文において、従来のように序数型の選好ではなく、基数型の選好を確率効用モデルによって推計することで、マッチングアルゴリズム変化による社会的効用値の変化や戦略的耐久性を維持することによる社会的効用値の減少を定量的に分析している。<sup>[1]</sup>

ここでは各個人が所与とする施設に対する効用値を確率効用モデルで推定し、個人毎のモデルから得られた効用値を用いてマッチング及びシミュレーションを繰り返し実施することで東京都における施設及び施設内設備の最適配置を特定する。理論面の貢献として、基数的に効用を算出することから既存の序数的なマッチングと比較して実証的に即したマッチングが可能になると考える。また、社会的な貢献として、現状の施設配置と比較してより適した設備内容、設備量、設備位置をシミュレーションから割り出しその傾向に関して考察する。

具体的には、大規模アンケートより各個人が所与とする序数効用を実験計画法と多項ロジット回帰を用いて基数効用モデルに変換する。ここで得られた各個人の効用モデルをシミュレーション毎に変化する設備属性と組み合わせることで効用値計算を行う。得られた効用値から現在の施設の設備セットに対して新たに順位付けを行い、この結果を DA アルゴリズムやポストンアルゴリズムといったマッチングメカニズムや複数の同順位解消方法を用いたマッチングを実施することで、個人

及び集団において選好の強い施設の属性を特定する。また施設の設備・位置属性のセットはシミュレーション内において特定の社会厚生関数を目的関数として最大化させる GA アルゴリズムを用いて毎回更新し、より最適な施設配置及び設備構成の割り当てを実施する。

## 2. シミュレーション

### 2-1 データ

シミュレーション結果をより現実的にするにあたり、シミュレーションに落とし込むデータに関しては現実のデータを当てはめる必要がある。特に位置情報や避難者の確率効用モデルはシミュレーションの結果に直接かかわるため慎重に取り扱う必要がある。本研究ではシミュレーションに利用するために主に以下のデータを収集・利用した。

- スフィア基準
- 国勢調査(250m メッシュ)
- 市区町村境界データ
- 国土数値情報(公共施設)
- 建築着工統計調査
- 地価公示

また、被験者毎における確率効用モデルを推計する目的で、表内の施設に対する志望順位を調査するアンケートを実施した。

m1	一人当たり占有面積	現在地からの距離	施設の遮蔽度合い
施設1	1.2㎡	10km程度	仕切り(2m)
施設2	1.2㎡	5km程度	仕切り(1m)
施設3	2㎡	3km程度	テント
施設4	2㎡	1km程度	なし
施設5	2.7㎡	3km程度	なし
施設6	2.7㎡	1km程度	テント
施設7	3.5㎡	10km程度	仕切り(1m)
施設8	3.5㎡	5km程度	仕切り(2m)

また、今回調査する施設属性は 6 つとし組み合わせより 20 の設問に展開され、分割して調査した。これらの結果から多項ロジット回帰を実施し以下のような確率効用モデルを導出する。

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6$$

$b$ は被験者固有の係数かつ、 $x_1$ は面積、 $x_2$ は現在地からの距離、 $x_3$ は遮蔽度、 $x_4$ は救急、 $x_5$ は水回り、 $x_6$ は設備の頑強性に関してそれぞれ1~4の序数値が入る。

Optimal placement of evacuation facilities in Tokyo by matching simulation using probability utility model

<sup>†</sup>Wakana Higuchi・Tokyo University of Science

<sup>§</sup>Tetsuya Shimokawa・Tokyo University of Science

2-2 シミュレーション

今回、杉並区と中野区の2区を想定したシミュレーションを実施した。

前処理として被験者毎の確率効用のモデルの導出と、施設の属性セットの作成、ならびに被験者と施設の位置情報を設定する。

これを基に、社会厚生値の成長率が収束するまで以下の計算を繰り返し実施する。

- ①現在の避難所セットに対する被験者の効用値及び志望順位の推定
- ②同順位解消時の設定 (MTB/STB)
- ③DA・Boston方式によるマッチング
- ④マッチング結果による複数の社会厚生関数の計算
- ⑤GA(遺伝的アルゴリズム)を用いた施設の設備・位置情報の更新
- ⑥社会厚生値の収束判定(100期ごとに実施)

3. 結果

今回行ったシミュレーションの内訳は以下の通りである。

1. 被験者 1000 人, 最大施設数 20 個, 予算制約なし
- ①MTB+DA 方式 10 回
- ②STB+DA 方式 5 回
- ③MTB+boston 方式 5 回
- ④STB+boston 方式 5 回

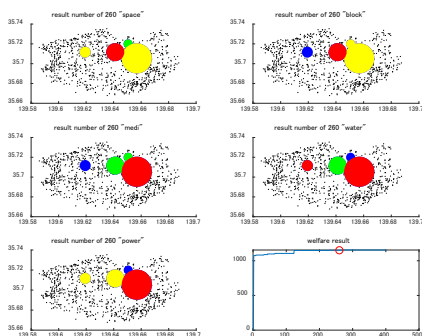
収束に至るまでの平均シミュレーション回数と平均社会厚生値に関して考察する。

	①	②	⑤	⑥
収束までの回数	68.9	56.8	150.4	49
社会厚生値	1214.17	1166.02	1436.85	1258.55

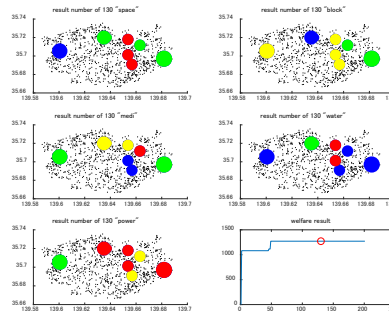
上記の結果より、コンスタントに高い社会厚生値を出せているのは boston+MTB 及び boston+STB, 時点で DA+MTB という結果であった。

またこれらの収束結果の傾向に関して代表的な図表と共に確認する。

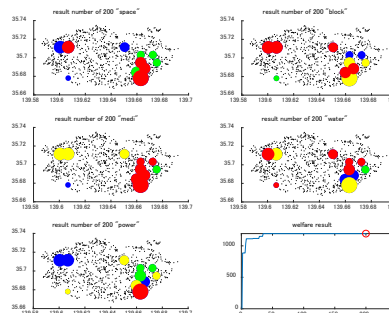
①中野区と杉並区の区境付近(中央線中野駅)に大規模な施設が置かれる傾向がある



②北緯 35.7 度をガイドラインに直線状(中央線沿線, 西部新宿線沿線)に置かれる傾向がある



③①の結果にならなかった際、東経 139.60 度線上(京王線富士見ヶ丘駅, 京王線久我山駅, 中央線荻窪-西荻窪駅間, 西武新宿線上井草駅)と 139.66 度線上(中央線中野駅)において中規模な施設が置かれる傾向がある



4. おわりに

シミュレーションの結果からわかるように位置情報の制約を持ったシミュレーションを行うことによって収束する地点にある程度の傾向を持つことが推察できた。今回は調査対象が本学学生であったことから各施設に対する効用の違いは見受けることが出来たが、高齢や病気の家族がいるといった特殊な事情を持った回答を行った人数は少なかった。ここに、基数効用モデルを利用して住民による施設の優先順位をつけるということも重要であるが、それと同時に弱者を保護するという観点から個人毎の属性を加味した施設側の選好を作成することが倫理的観点から必要になるのではないかと考える。

<主要参考文献リスト>

[1] Abdulkadiroğlu, Atila, Nikhil Agarwal, and Parag A. Pathak. "The welfare effects of coordinated assignment: Evidence from the New York City high school match." *American Economic Review* 107. 12 (2017): 3635-89.  
 [2] 川越敏司. 学校選択制のデザイナーゲーム理論アプローチ. NTT 出版, 2010.

Optimal placement of evacuation facilities in Tokyo by matching simulation using probability utility model

†Wakana Higuchi・Tokyo University of Science

‡Tetsuya Shimokawa・Tokyo University of Science