

# 都市シミュレーションモデルを用いた 多様な政策手段の組合せ選択と詳細設計

大谷 紀子<sup>1</sup>・杉木 直<sup>2</sup>・宮本 和明<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 東京都市大学准教授 環境情報学部 (〒224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西3-3-1)  
E-mail: otani@tcu.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 株式会社ドーコン 交通部 (〒004-8585 北海道札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4-1)  
E-mail: ns1491@docon.jp

<sup>3</sup>正会員 東京都市大学教授 環境情報学部 (〒224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西3-3-1)  
E-mail: miyamoto@tcu.ac.jp

都市の総合計画においては多種多様な政策実施手段が存在し、その実施による効果影響は多様なステークホルダーに対して多彩に及ぶ。今後の人口減少社会における財政状況の下では、複数政策による政策パッケージ構築の必要性がますます増大すると考えられる。しかし、従来はパッケージ構築に関してほとんど体系的な検討はなされておらず、複数の政策手段の組合せがアドホックに決定されていたに過ぎない。本研究では、都市シミュレーションモデルを用いて、提供する公共サービスの最低水準を保ちつつ、財政支出を最小化する政策手段の組合せおよびそれらの諸元を決定する方法の構築を目的としている。政策手段の多様さに加えて、各政策手段の設定値も多段階であるため、必然的に候補となる政策手段パッケージの組合せ数は膨大となり、全探索による最適解の導出は困難である。本研究ではハーモニーサーチを用いて実時間での処理が可能な解探索手法を提案し、その一応の妥当性を確認した。

**Key Words :** *Urban Microsimulation, Policy Measures, Harmony Search*

## 1. はじめに

わが国をはじめ先進諸国の多くの都市では人口減少段階に移行し、都市の縮退が進行しつつあることから、従来の人口増を前提とした計画パラダイムは変革を迫られている。インフラ事業を例にしても、新設の検討は極めて限定される一方で、既存施設を対象とした選択と集中の議論が今後より重要性を増すこととなる。これは人口減に起因する需要の減少だけでなく、生産年齢人口の減少に伴い、既に危機的な財政状況がより切迫することからの必然である。しかしながら、そのような状況下でも、高齢人口の増加により新たな公共サービスに対する需要が増大することとなり、自治体はそれに対してある一定水準以上のサービス提供を行わなければならない。言い換えると、今後の自治体経営においては、提供する公共サービス水準を与件として、できるだけ財政支出を抑制することが求められることとなる。

市民が求める公共サービスの質と量はその人の年齢や属する世帯構成等の個人属性に大きく依存する。

また、その住居と施設の立地分布と交通状況がその費用を大きく規定することとなる。今後増大する公共サービス需要に対して、受動的にその供給を行うことは明らかに社会的な効率性が悪いといえよう。言い換えると、「公共サービス需要管理 (Public Service Demand Management)」の視点から、適切な立地誘導を政策に含め、効率的な手段の実施が求められる。この視点に立った政策手段の効果予測においては、従来用いられてきた立地主体をグループ化したメゾスケールのモデルでは原理的に対応できない。個人を考慮した世帯単位でのマイクロシミュレーションモデルが不可欠である。

一方、メゾ、マイクロを含め、これまでも土地利用モデルあるいは都市モデルが多く開発され、実際の計画にも用いられてきた<sup>1)2)3)4)</sup>。しかし、その適用においては、いくつかの個別政策手段の代替案を設定して、その効果影響をモデルによりシミュレーションし、その結果を比較して計画案を検討することが最も一般的である。あるいは、個別の施設計画だけではなく、複数の政策手段の組み合わせの代替案、

あるいはより広範なシナリオの代替案等を先決的に与え、そのシミュレーション結果を比較するものである<sup>5)6)7)8)9)</sup>。そのため、モデルの適用においては、あくまでもアドホックに準備された代替案の優劣の比較指標をモデルが提示してきたに過ぎない。

そこで、本研究においては、都市モデルのシミュレーションを一連の計算過程に組み込むことで、縮退状況下の都市において最適な政策手段の組合せを見つける方法を構築することを目的としている。公共サービス需要管理の視点に立つと、提供する公共サービスの最低水準を保持した上で、全体の費用を最小化するものとして定式化することができる。この問題は、考慮すべき政策手段の候補とそれぞれの設定値のすべての組合せの中から、サービス水準の条件を満たし、かつ最小費用の組合せを見つける問題と言い換えることができる。この点においては極めてナイーブなアプローチであるが、各政策手段が多様であり、またそれらの設定値も多段階であるため、必然的に候補となる政策手段パッケージの組合せ数は膨大となり、全探索による最適解の導出は現実的には不可能である。本研究ではこの問題をハーモニーサーチを用いて解決することを提案している。

本研究の最終目標は先にも書いたマイクロシミュレーションを組み込んだ現実的な問題の解法の構築である。本稿においては、それに至る準備として、まず、簡単な問題を設定して検討した結果、相応の実現可能性が確認されたので、速報として報告するものである。

## 2. 政策手段パッケージ探索問題

本節では、政策手段パッケージ探索問題を定義し、問題の一例を示した上で、全探索による解法の計算量について問題点を指摘する。

### (1) 定義

政策手段パッケージ探索問題は、複数政策による政策パッケージの構築において、最も望ましい政策手段の組合せを決定するための最適化問題である。提供する公共サービスの最低水準を保つことを制約条件とし、財政支出を算出する関数を目的関数とする。財政支出は、ある政策手段の組合せを講じたと仮定してシミュレーションを実行し、得られた結果に基づいて算出される。制約条件を満たしつつ、目的関数の値を最小とするような政策手段の組合せが最適解となる。

### (2) 高齢者介護福祉サービス問題の設定

政策手段パッケージ探索問題にはさまざまな対象が考えられるが、単純な例として高齢者の介護福祉サービスに関する行政費用の最小化問題を取り上げる。以下では、評価実験で使用する本問題について詳細を述べる。

高齢者介護福祉サービスにおける行政費用最小化問題では、介護福祉施設の配置および都心ゾーンへの移転率という2つの政策手段を決定する。問題の設定と目的関数、制約条件を以下のように定義する。

#### 【問題設定】

- 図-1に示すような $X \times Y$ メッシュの2次元仮想都市に、 $N$ 個の介護福祉施設を配置する。 $X \times Y$ 個のゾーンのうち、 $X_c \times Y_c$ 個を都心ゾーン、残りの $(XY - X_c Y_c)$ 個を周辺ゾーンとする。
- 1ゾーンあたり $P_0$ 人の高齢者が居住しており、周辺ゾーン居住者の $R_m\%$ が都心ゾーンへ移転する。移転に際しては、1人あたり $C_m$ 円の補助金が支給される。
- 高齢者は、 $R_w$  (回/人・日)のサービス受給率で最寄りの介護福祉施設に移送サービスを利用して通う。最寄り施設が複数ある場合は、ゾーン内の全居住者を各施設に均等に割り当てる。
- 図-1に示すように、縦横の隣接ゾーンを結ぶ道路が格子状に配置されており、隣接ゾーンへの移動には $T$ 分、同一ゾーン内の移動には $T/2$ 分かかる。1分あたりの移送サービス費用は $C_w$ 円である。
- 介護福祉施設の新設および10年間の維持管理には $C_b$ 円かかる。

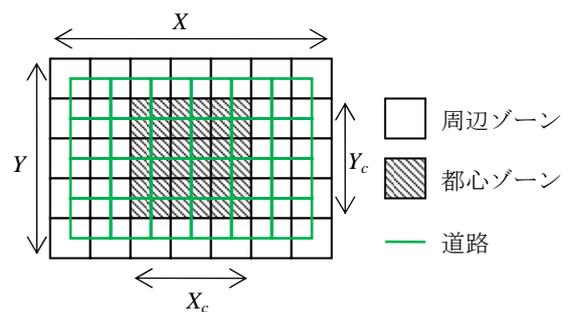


図-1 2次元仮想都市

#### 【目的関数】

移転補助費用 $C_M(R_m)$ は式(1)により算出される。

$$C_M(R_m) = C_m X Y P_0 \frac{R_m}{100} \quad (1)$$

各ゾーンから施設までの移動時間は介護福祉施設の配置 $W$ により決定される。また、各ゾーンの居住者数は都心ゾーンへの移転率 $R_m$ に基づくシミュレーションにより決まる。施設までの移動時間と居

住者数の積を、すべてのゾーンに関して合計した値を  $T(W, R_m)$  とすると、10年間の移送サービス費用の総和  $C_W(W, R_m)$  は式(2)で求められる。

$$C_W(W, R_m) = T(W, R_m) C_w \times R_w \times 2 \times 365 \times 10 \quad (2)$$

移転補助費用  $C_M(R_m)$ 、10年間の移送サービス費用  $C_W(W, R_m)$ 、介護福祉施設の新設および10年間の維持管理費用  $C_b$  の合計を求める関数を本問題における目的関数とする。

$$f(W, R_m) = C_M(R_m) + C_W(W, R_m) + C_b N \quad (3)$$

#### 【制約条件】

- ・ 介護福祉施設までの移動時間は  $T_{max}$  分を上限とする。
- ・ 1施設あたりの受入れ高齢者数は  $P_{max}$  人を上限とする。

### (3) 計算量

政策手段パッケージ探索問題の最適解を求めるには、すべての政策手段の組合せに関して制約条件の充足を確認するとともに、財政支出を算出しなければならない。前節で示した問題例において移転率を5%ごとに変化させるとすると、移転率は21通り、介護福祉施設の配置は  $2^{XY}$  通りなので、政策手段の組合せは  $21 \times 2^{XY}$  通りとなる。  $X=5, Y=5$  と小さな値を設定しても、704,643,072通りと膨大な組合せ数となる。財政支出の算出にはシミュレーションの実行が必要になるので、1つの政策手段の組合せに関する処理にもある程度の時間を要する。実問題への適用を視野に入れると、全探索による解法は現実的ではなく、実時間での探索を可能とする手法が必要不可欠であるといえる。

## 3. 最適解探索手法

本研究では、政策手段パッケージ探索問題の実時間での解探索手法として、ハーモニーサーチに基づく手法を提案する。以下、提案手法で使用するハーモニーサーチアルゴリズムの概要と、提案手法の詳細について述べる。

### (1) ハーモニーサーチ

ハーモニーサーチは音楽家の即興過程を模倣した最適解探索アルゴリズムである<sup>10)</sup>。音楽家が即興演奏する際には、一般に次のいずれかの方法を採用する。

1. 既知のフレーズをそのまま奏でる
2. 既知のフレーズの一部を変更して奏でる
3. 新しいフレーズを作成して奏でる

ハーモニーサーチでは、解候補をハーモニー、解候補集合をハーモニーメモリ (Harmony Memory; HM) と呼ぶ。上記の演奏方法に対応する以下の3つの手法により新しいハーモニーを生成する。

1. HMから1つのハーモニーを選択する
2. HM内の1つのハーモニーを調整する
3. 新しいハーモニーをランダムに生成する

最適化アルゴリズムには多様性と収束性が不可欠であるが、ハーモニーサーチでは、ハーモニーの調整とランダム生成により多様性を維持し、HMにより収束性を保証する。ハーモニーサーチの疑似コードを図-2に示す。ここで  $G$  は解候補生成の繰返し回数、 $R_c$  はHM内のハーモニーを選択する確率、 $R_a$  はHMから選択したハーモニーを調整する確率、 $f(x)$  は目的関数である。

```

HMの初期化;
worst:=HM内の最悪ハーモニー;
worstfit:=f(worst);
for i:=1 to G {
  r1:=0.0~1.0の乱数;
  if(r1<Rc) {
    new:=HMからランダムに選択したハーモニー;
    r2:=0.0~1.0の乱数;
    if(r2<Ra) {
      new:=制限内で調整されたnew;
    }
  } else {
    new:=新たに生成したハーモニー;
  }
  newfit:=f(new);
  if(newfitがworstfitより高評価) {
    worstをnewで置き換える;
    worst:=HM内の最悪ハーモニー;
    worstfit:=f(worst);
  }
}

```

図-2 ハーモニーサーチの疑似コード

### (2) ハーモニーサーチに基づく解探索

ハーモニーサーチを政策手段パッケージ探索問題に適用する際には、決定目標である複数の政策手段を1つのハーモニーとして表現する。例えば、高齢者介護福祉サービスにおける行政費用最小化問題では、ハーモニーは図-3に示すような要素数  $X \times Y + 1$  個の配列として表される。  $X \times Y$  個の要素には0または1の値が入り、  $X \times Y$  個の各ゾーンにおける介護福祉施設の有無を示す。0は当該ゾーンに施設がないことを、1は施設があることを意味する。残りの1個の要素は移転率を表す数値である。例えば、移転率を5%ごとに変化させる場合には、21通りの移転率が考えられるので、0以上20以下の整数が入る。

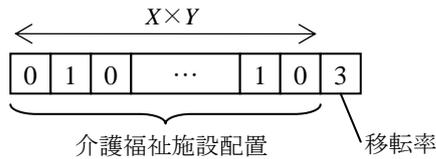


図-3 ハーモニーの構造

各ハーモニーは目的関数の値により評価する。値が小さいほど評価が高いと判断する。ただし、制約条件を満たさないハーモニーについては、処理し得る最大の値を評価値として付与し、当該ハーモニーが解候補から外れるようにする。高齢者介護福祉サービスにおける行政費用最小化問題では、介護福祉施設までの移動時間や各施設の受入れ高齢者数が上限を上回ったときは最大値、それ以外のときには式(3)の値が評価値となる。

HMから選択したハーモニーを調整するときには、各要素を制限の範囲内で変化させる。高齢者介護福祉サービスにおける行政費用最小化問題では、要素の種類に応じて以下の変更を施す。

- ・ 介護福祉施設配置を表す要素では、0と1を反転する。
- ・ 移転率を表す要素では、値を1増やす、もしくは1減らす。

#### 4. 評価実験

提案手法の有用性を示すために、高齢者介護福祉サービスにおける行政費用最小化問題を対象として検証を行なった。本来、解探索の過程で財政支出を算出する際には、指定された移転率に基づいてシミュレーションを実行し、得られた居住高齢者数で制約条件の充足の確認と財政支出の計算を行なう。しかし、本実験では簡単のため、シミュレーションを実行せず、周辺ゾーンからの転出と都心ゾーンへの転入は各ゾーン間で同様であると仮定して、解を探索する。

##### (1) 設定条件

実験では、表-1に示したパラメータでのハーモニーサーチにより解を探索した。処理対象は、中心部に3×3の都心ゾーンがある9×9の2次元仮想都市である。移転率は5%ごとに変化させるものとし、表-2に示す7種類のパラメータセットを用いて、得られる政策手段を比較する。パラメータセット(1)を基準として、(2)と(3)では介護福祉施設までの移動時間の上限 $T_{max}$ 、(4)と(5)では1施設あたりの受入れ高齢

者数の上限 $P_{max}$ に関する制約条件の変更による政策手段の変化を確認する。また、(6)と(7)では1人あたりの移転補助金 $C_m$ の変更による影響を調べる。

表-1 ハーモニーサーチのパラメータ

パラメータ名	値
繰返し回数 $G$	50,000,000
HM内のハーモニーの選択確率 $R_c$	0.85
HM内のハーモニーの調整確率 $R_a$	0.35
HM内のハーモニー数	1,000

表-2 比較実験用パラメータセット

	パラメータセット番号						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
$P_0$	20						
$R_w$	0.1						
$T$	10						
$C_w$	50						
$C_b$	8,000万						
$T_{max}$	50	40	60	50	50	50	50
$P_{max}$	50	50	50	30	70	50	50
$C_m$	20万	20万	20万	20万	20万	15万	25万

##### (2) 結果

Intel Xeon 2.5GHz CPU, 32GB RAM.のワークステーションにより解探索を実行した結果、解が出力されるまでの処理時間は13分程度であった。各パラメータセットに対して得られた政策手段の移転率、介護福祉施設数、および財政支出を表-3に示す。

住民へのサービスの観点では、(3)より(2)、(5)より(4)、(6)より(7)の方が質が高いといえる。(1)と(5)で若干の逆転はみられるものの、質の高いサービスの提供を前提とする方が、財政支出の多い政策手段が得られている。

(1)~(3)の比較により、介護福祉施設までの移動時間に関する制約を緩和すると、介護福祉施設数の少ない政策手段が得られることがわかる。また、(1),(4),(5)の比較により、1施設あたりの受入れ人数に関する制約を緩和すると、1人も移転させない政策手段が得られることがわかる。

(1),(6),(7)で得られた介護福祉施設配置を図-4~6に示す。各図の太線で囲まれたゾーンが都心ゾーンであり、塗りつぶされたゾーンが施設を配置するゾーンを表している。移転補助金が少ない場合には、多くの住民を移転させる政策手段が得られている。財政支出は7つのパラメータセットの中で最も少なく、都心ゾーンの高齢者が増えた分、都心ゾーンに介護福祉施設を多く設置する政策手段となっている。移転補助金を高額にする場合には、誰も移転させず

に同数の施設を周辺ゾーンに設置すべきとの政策が得られている。

いずれのパラメータセットに対しても、それぞれの設定に相応した妥当な結果が実時間内に得られているといえる。

表-3 実験結果

パラメータセット	移転率	施設数	財政支出
(1)	5	10	174,314 万円
(2)	5	10	178,640 万円
(3)	5	9	172,976 万円
(4)	5	11	179,285 万円
(5)	0	11	174,505 万円
(6)	65	11	169,127 万円
(7)	0	11	178,885 万円

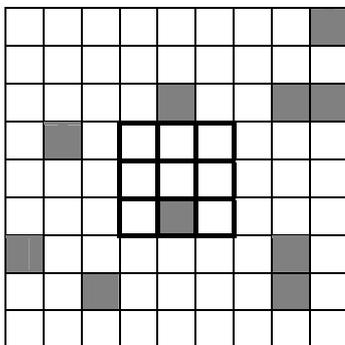


図-4 パラメータセット(1)での施設配置

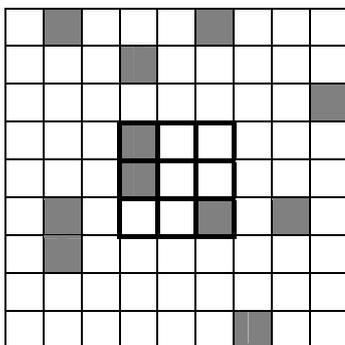


図-5 パラメータセット(6)での施設配置

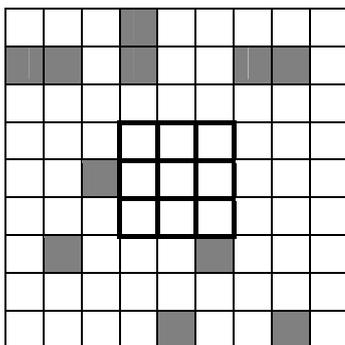


図-6 パラメータセット(7)での施設配置

## 5. おわりに

本研究では、複数の政策手段の組合せを同時に決定する必要性に着目し、政策手段パッケージ探索問題として定義した。最適な政策手段の組合せを実時間で探索する手法として、ハーモニーサーチに基づく手法を提案し、簡素化した問題に適用した結果、妥当な解が得られることを報告した。

本稿では極めて簡素化した問題によりその計算可能性を確認することを目的とした。今後、現実的な都市政策の総合パッケージを設定し、実際の都市において検討を進めていく予定である。また、現在開発中のマイクロシミュレーションモデルを取り組む予定である。

本方法により提示される最適政策手段パッケージはあくまでも意志決定者に対して、一つの評価基準からの合理的な情報提供に過ぎない。しかし、このことにより、従来は想定できなかった新たな代替案を提示することが可能となり、限定的な財政状況の下、都市経営の手段として一応の有用性があると考えている。また、費用最小化だけではなく、その他の目的関数の導入も検討する必要がある。

謝辞：本論文は、平成23～25年度科学研究費補助金（基盤研究(B), 課題番号: 23360228, 研究課題名: 縮退状況における都市マネジメントのための世帯マイクロシミュレーションシステム)の研究成果の一部を取りまとめたものである。ここに記して謝意を表したい。

## 参考文献

- 1) Wegener, M. : Overview of Land-use Transport Models, *Proc. of CUPUM'03*, 2003.
- 2) Hunt, J. D., Kriger, D. S. and Miller, E. J. : Current Operational Land-use Transport Modeling Frameworks: a Review, *Transport Research*, Vol.25, No.3, pp.329-376, 2005.
- 3) 宮本和明, 北詰恵一, 鈴木温 : 世界における実用都市モデルの実態調査とその理論・機能と適用対象の体系化, 平成 18～19 年度科学研究費補助金(基盤研究(C), 課題番号:18560524)研究成果報告書, 2008.
- 4) 北詰恵一, 杉木直, Varameth VICHENSAN, 宮本和明 : マイクロシミュレーション都市モデルの現状と課題, 土木計画学研究・講演集, Vol.37, 2008.
- 5) 鈴木温, 北詰恵一, 宮本和明 : 土地利用・交通統合型計画プロセスにおける都市モデル活用の現状と課題, 土木計画学研究・講演集, Vol.37, 2008
- 6) Bartholomew, K. : Integrating Land Use Issues into Transportation Planning: Scenario Planning, Report Funded by the Federal Highway Administration under Cooperative Agreement, No.DTFH61-03-H-00134, 2005.
- 7) Sacramento Region BluePrint

(<http://www.sacregionblueprint.org/>)

- 8) Burbidge, S.K., Knowlton, T. and Matheson, A. : Wasatch Choices 2040: A New Paradigm for Public Involvement and Scenario Development in Transportation Planning, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol.1994/2007, pp.147-
- 9) Cambridge Futures (<http://www.cambridgefutures.org/>) 153, 2007.
- 10) Geem, Z., Kim, J. and Loganathan, G. : A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search, *Simulation*, Vol.76, pp.60-68, 2001.