

# 人口減少下の地方中心都市における社会資本マネジメントモデルの構築とその応用

○相澤景 市川学 出口弘 (東京工業大学)

## Construction and Application of the Infrastructure Management Model in Local Center City under Decrease of Population

\* K. Aizawa, M. Ichikawa and H. Deguchi (Tokyo Institute of Technology)

**Abstract**— It is important for local government to consider infrastructure management by choice and selection because it is expected that there is inefficiency of social stock maintenance management by population decreasing and sprawled urban structure. Therefore, we consider infrastructure management model by agent-based modeling in local center city under decrease of population. In this paper, we introduce mathematical base of this infrastructure management model.

**Key Words:** Urban Planning, Agent-based Modeling and Social Simulation

### 1 はじめに

我が国の地方中心都市は、人口増加期において、自動車交通の拡大に伴う市街地の拡散(スプロール)を経験してきた。今後、人口減少・高齢化・少子化を迎える地方中心都市では、低下する税収と拡散した市街地における老朽化する社会資本の維持管理コストの増加によって、社会資本の維持管理の非効率化が問題となると予想される。なお、本研究における地方中心都市は、財団法人日本都市センターの定義した地方中核都市に準拠し、大都市圏の中心部(27市区)、大都市圏の衛星都市(210市)を除いた、人口20万人以上の都市(67市)を指す<sup>1)</sup>。また、本研究において社会資本とは、下水道・学校・病院と定義する<sup>2)</sup>。

社会資本の維持管理コストとは、社会資本を物理的に維持・機能確保を行うための費用である。具体的には、修繕費・補修費等の施設・設備の物理的機能を維持するために必要な経費(維持費)と、社会資本の耐用年数に達することで物理的な機能を確保するために必要な経費(更新費)である<sup>3)</sup>。例えば、下水道ならば、設備維持のために施設修繕工事費・清掃業務委託料・運転業務委託料などの維持費がかかり、また、標準耐用年数とされる50年毎に更新費がかかる。

近年では、社会資本の維持管理の効率化のための対応策として、必要な社会資本を見定め、それに対して重点的に投資を行う「選択と集中」による社会資本マネジメントの必要性が提起されている<sup>2)</sup>。社会資本マネジメントとは、社会資本に関する投資あるいは予算、設計、建設、維持管理、運営、評価を、体系的に調整しながら効果的な管理運営を行うことである<sup>4)</sup>。国は、社会資本サービス水準を評価した上での、維持管理費の縮減のための社会資本の集約・廃止の必要性をあげている<sup>2)</sup>。

社会資本の集約・廃止の文脈において、地方自治体では、公共施設マネジメントが注目されている。本研究では、公共施設を社会資本の内の学校・病院と定義する。公共施設マネジメントとは、保有する公共施設を経営資源として捉え、市民ニーズや人口動態等を踏

まえた施設の運営状況、利用状況、老朽化度やトータルコスト等を調査・分析し、最適な保有量の検討、維持管理の適切化、有効活用の実践、効果の検証を行い、効果的かつ効率的な管理運営を行うことである<sup>5)</sup>。公共施設マネジメントは、社会資本マネジメントの一領域と考えられる。

公共施設マネジメントに積極的に取り組んでいる地方中心都市としては、浜松市・四日市市・長崎市・姫路市・豊橋市があげられる。例えば、四日市市では、2011年に公共施設マネジメント白書を作成し、市内の公共施設に関する実態把握と今後の施設の統廃合を含めた方向性の提言を行っている<sup>6)</sup>。

社会資本・公共施設マネジメントは、社会資本の維持管理の効率化に寄与する一方、都市で生活する世帯にとって不便益を生じさせる場合がある。例えば、拡散した市街地における学校や病院などの公共施設の統廃合・廃止は、廃止地域の世帯に、生活水準を悪化させるなどの不便益を生じさせる。また、公共施設の統廃合は、世帯の施設利用・立地場所の変化と転出の意思決定を生じさせ、都市における世帯立地の格差を招くことで商業施設の来客数を減少させ撤退を招くなど、主体の意思決定と相互作用によって都市構造に動的な変化を生じさせる。これは、公共施設や商業施設の撤退地域の生活世帯、とくに交通弱者である高齢世帯に負の影響を与える可能性がある。

つまり、スプロール化した地方中心都市において、地方自治体には、生活世帯が都市構造から享受する世帯属性に応じた便益を考慮した上での、「選択と集中」による社会資本マネジメント、特に公共施設マネジメントが必要となる。このためには、公共施設マネジメントにおける、学校・病院の統廃合の空間・時間軸上での選択という政策シナリオ上で、社会資本維持管理コストと、生活世帯の属性に応じた便益を同時に定量的・動的に評価できるモデルが必要である。

以上の背景をふまえ、本研究では、地方自治体の社会資本マネジメントに有用なモデルの構築を研究目的とする。これを達成するために、人口減少下の地方中

心都市における都市構造の動的な推移を表現し、その都市構造における生活世帯の属性に応じた便益と社会資本維持管理コストの計算・政策シナリオの検討が可能な、社会資本マネジメントのためのシミュレーションモデルを構築する。また、構築したモデルの有用性を、現実の地方中心都市に適用し検証する。

本稿では、研究の構想発表として、社会資本マネジメントのためのシミュレーションモデルについて検討し、現実世界への適用を考える。

## 2 先行研究と本研究の位置づけ

関連する先行研究には、将来の社会資本維持費用を維持費と更新費の観点から推計したもの<sup>3)</sup>、都市構造のコンパクトシティへの変遷過程における都市サービスの撤退が住民に与える影響分析<sup>7)</sup>などがあるが、政策シナリオ上で社会資本維持管理コストと世帯便益を分析したものは少ない。それらに対する、本研究の位置づけは、地方中心都市の都市構造の動的な推移の表現と、政策シナリオ上での属性別世帯便益の計算・社会資本維持管理コストの計算が可能なモデルの構築である。

都市構造の動的な推移を表現するためには、都市を構成する異なる主体の意思決定と相互作用からボトムアップにマクロレベルでの都市の推移を表現することが自然である。具体的な主体の差異としては、世帯ならば世帯構成・世帯主年齢の差異、商業施設ならば、スーパーやコンビニエンスストアといった業態の差異があげられる。主体の意思決定としては、世帯ならば都市における立地場所・転出の決定、商業施設ならば都市からの撤退の意思決定がある。主体の意思決定には、主体の差異が要因となる。主体間の相互作用としては、世帯の転出による商業施設の撤退や、世帯の立地が集中することによる、公共施設のサービス水準の低下があげられる。

このような主体の差異・意思決定と主体間の相互作用を考慮しモデル化を行う方法としては、エージェントベースモデリング(ABM)が有用である。よって、本研究のモデルはABMによって構築を試みる。

## 3 モデル

### 3.1 モデルの概要

本研究のモデルは、地方中心都市を表す仮想都市環境、世帯・商業施設というエージェント、下水道・学校・病院という社会資本からなる。モデルでは、仮想都市環境上におけるエージェントの行動を定義することによって、人口減少下の地方中心都市における都市構造の動的な推移を表現する。都市構造の動的な推移は、Fig.1に示すように、世帯エージェントの所与の転入と、意思決定による立地・施設利用・転出、商業施設

エージェントの意思決定による転出、公共施設の統廃合で表される。

各エージェントは、立地場所や撤退・転出の意思決定と、購買行動という相互作用をする。また、世帯エージェントは、公共施設の利用を行い、世帯エージェントの施設の利用が集中すると、施設の提供するサービス水準が低下するという部分で世帯間の相互作用が存在する。例えば、病院ならば利用が増えるほど病床数が不足すると想定される。世帯エージェントは、自己の効用を計算し、効用と属性別に設定された閾値に基づき、転出の意思決定を行う。また、モデルには学校・病院の統廃合という政策が導入可能である。本研究のモデルの毎ステップは現実世界における1ヶ月と対応し、 $t=0$ を初期ステップとする。



Fig.1 モデルの概要

このモデルを構築する上では、市川(2011)のモデル<sup>8)</sup>を用いて、必要な機能を付加する。必要な機能として、学校・病院の統廃合という公共施設マネジメント政策を選択する機能、社会資本維持管理コストを計算する機能、属性別の便益を計算する機能をモジュールとして組み込む。

### 3.2 仮想都市環境の定義

仮想都市環境は、地方中心都市の空間をモデル上で表現したものである。仮想都市環境は、複数のメッシュから構成される。メッシュとは、現実世界での500m四方の空間に相当する。

仮想都市環境には、下水道・学校・病院という社会資本が存在する。それぞれの社会資本には、立地しているメッシュと、経過年数、規模、立地判定という属性が定められている。例えば、仮想都市環境に存在している学校に対しては、以下のTable.1の属性が定められる。公共施設の規模とは、下水道ならば整備面積、学校ならば校舎の延べ床面積、病院ならば病床数である。

Table.1 学校の属性

学校の全体集合	メッシュ番号	経過年数	規模	立地判定
学校1	メッシュ $m_1$	経過年数 $y_1$	規模 $s_1$	立地 or 未立地
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
学校 $sc\_all$	メッシュ $m_j$	経過年数 $y_k$	規模 $s_j$	立地 or 未立地

### 3.3 エージェントの定義

#### ● エージェントの定義

このモデルには、世帯エージェントと商業施設エージェントという2種類のエージェントが存在する。

##### 【世帯エージェント】

モデルに存在する世帯エージェントの全体集合を、 $n_{h\_all} \in \mathbb{N}$ ,  $\Omega[H] = \{h_1, \dots, h_{n_{h\_all}}\}$ と定義する。t期はじめに仮想都市環境に立地している世帯エージェントの集合を $AG\_H\_Locate(t) \subset \Omega[H]$ , t期に仮想都市環境に転入する世帯エージェントの集合を $AG\_H\_New(t) \subset \Omega[H] \setminus AG\_H\_Locate(t)$ と定義する。また、t期末に仮想都市環境から転出する世帯エージェントの集合を $AG\_H\_Left(t) \subset AG\_H\_Locate(t) \cup AG\_H\_New(t)$ と定義する。モデルでは、t期はじめに仮想都市環境に立地している世帯エージェントとt期に転入した世帯エージェントの和集合から、t期に転出する世帯エージェントの差集合、つまり、

$$AG\_H\_Locate(t+1)$$

$$= AG\_H\_Locate(t) \setminus AG\_H\_Left(t),$$

をとることで、(t+1)期のはじめに仮想都市環境に立地している世帯エージェントの集合とする。この操作をステップ毎に繰り返すことで、t期に仮想都市環境に立地している世帯エージェントを定める。

t期に仮想都市環境に存在する世帯エージェント $h_i \in AG\_H\_Locate(t) \cup AG\_H\_New(t)$ には、属性が設定される。世帯エージェントの属性は、家族類型・世帯主年齢・車保有の有無・転出の閾値・立地メッシュである。転出の閾値とは世帯エージェントが都市から転出する基準値を表し、家族類型・世帯主年齢・車保有の有無から決定される。

具体的な家族類型としては、市川(2011)が定める家族類型<sup>8)</sup>を用いる。家族類型とは、成人単身世帯・老人単身世帯・成人夫婦世帯・老人夫婦世帯・成人夫婦と子供世帯・老人夫婦と成人世帯・成人片親と子供世帯・老人片親と成人世帯・老人と成人夫婦と子供世帯である。具体的な世帯主の年齢は、20歳以上80歳以下を想定する。また、転出の閾値は、家族類型・世帯主年齢・車保有の有無から決定される。

##### 【商業施設エージェント】

モデルに存在する商業施設エージェントの全体集合を、 $n_{c\_all} \in \mathbb{N}$ ,  $\Omega[C] = \{c_1, \dots, c_{n_{c\_all}}\}$ と定義する。t期はじめに仮想都市環境に立地している商業施設エージェントの集合を $AG\_C\_Locate(t) \subset \Omega[C]$ と定義する。

また、t期に仮想都市環境から撤退する商業施設エージェントの集合を $AG\_C\_Left(t) \subset AG\_C\_Locate(t)$ と定義する。モデルでは、t期はじめに仮想都市環境に立地している商業施設エージェントから、t期に撤

退する商業施設エージェントの差集合、つまり、

$$AG\_C\_Locate(t+1)$$

$$= AG\_C\_Locate(t) \setminus AG\_C\_Left(t),$$

をとることで、(t+1)期のはじめに仮想都市環境に立地している商業施設エージェントの集合とする。この操作をステップ毎に繰り返すことで、t期に仮想都市環境に立地している商業施設エージェントを定める。

t期初期に立地している商業施設エージェント $c_j \in AG\_C\_Locate(t)$ には、属性が設定される。商業施設エージェントの属性は、業態・撤退の閾値・立地メッシュである。撤退の閾値とは商業施設エージェントが都市から撤退する基準値を表し、業態から決定される。具体的な商業施設の業態の種類は、ショッピングセンター・スーパー・コンビニエンスストア・中小小売店である。

#### ● エージェントの行動の定義

##### 【世帯エージェント】

t期に仮想都市環境に転入した世帯エージェント $h_{n_i} \in AG\_H\_New(t)$ は、家族類型・世帯主年齢・車保有の有無という自己の属性と各メッシュに存在する公共施設の規模、商業施設の業態の豊富さ、メッシュ間の距離(メッシュ間のアクセス性)を見て立地メッシュの決定を行う。立地メッシュの決定に際しては、子供を持っている世帯は学校の近くに立地しやすく、高齢世帯は病院の近くに立地しやすく、車を保有する世帯はアクセス性をあまり考慮しないことが仮定される。

t期に仮想都市環境に存在する世帯エージェント $h_i \in AG\_H\_Locate(t) \cup AG\_H\_New(t)$ は、利用する公共施設・商業施設を選択する。ここでは、世帯エージェントは、1つの期にはただひとつの学校・病院・商業施設を利用すると仮定する。公共施設・商業施設の利用には、家族類型・世帯主年齢・車保有の有無という自己の属性と公共施設の規模、商業施設の業態、メッシュ間の距離が要因として考慮される。世帯エージェントが利用した公共施設・商業施設には、利用者数・来客数が定められる。

t期に仮想都市環境に存在する世帯エージェント $h_i \in AG\_H\_Locate(t) \cup AG\_H\_New(t)$ には、利用した施設の水準と自己の属性から、効用が算出される。世帯エージェント $h_i \in AG\_H\_Locate(t) \cup AG\_H\_New(t)$ は、算出した効用が自己の撤退閾値を下回ると、都市から転出する。t期に都市から転出する世帯エージェントの集合が $AG\_H\_Left(t)$ となる。

##### 【商業施設エージェント】

t期に仮想都市環境に存在する商業施設エージェント $c_j \in AG\_C\_Locate(t)$ は、自己の施設への来客数を計算し、来客数に従って撤退の意思決定を行う。t期に撤退する商業施設エージェントは、自己の施設への来客数が、撤退の閾値よりも低くなるような商業施設で

ある。t 期に撤退する商業施設エージェントの集合が  $AG\_C\_Left(t)$  となる。

### 3.4 モジュールの定義

本節では、モデルに必要な機能である政策シナリオ決定モジュール・社会資本維持管理コスト決定モジュール・属性別の便益計算モジュールの定義を行う。

#### 3.4.1 政策シナリオ決定モジュール

モデルでは、入力として、いつ・どの公共施設を廃止するかを政策として決定することができる。廃止が行われたとき、世帯の公共施設の利用先が変更される。

例えば、四日市市では、小学校・中学校は、児童生徒数に合わせた学校規模の適正化を統廃合によって行う必要性を提言している<sup>9)</sup>。このモジュールによって、地方自治体は、このような必要性にあわせた学校の統廃合のシナリオを考えることが可能となる。

#### 3.4.2 社会資本維持管理コスト決定モジュール

仮想都市環境に存在する社会資本には、維持費と更新費というコストがかかる。維持費は、社会資本の経過年数と規模により決定され、毎年かかるコスト<sup>3)</sup>であり、更新費は、社会資本の耐用年数が到来した場合にかかる費用(更新費[1])と、廃止が決定された場合にかかる費用(更新費[2])である。これらは、学校・病院・下水道の社会資本すべてに共通してかかる費用である。

モデルには、社会資本の種類に応じて、経過年数と規模から維持費を算出する関数が定義されている。この関数を利用して、t 期に仮想都市環境に存在するすべての社会資本に対して、社会資本の維持費を計算する。

また、モデルには、社会資本の種類に応じて、経過年数と耐用年数から更新費[1]を決定する関数と、社会資本の種類毎に更新費[2]を決定する関数が定義されている。これらの関数から、t 期に仮想都市環境に存在するすべての社会資本に対して、社会資本の更新費を計算する。

#### 3.4.3 属性別の便益集計モジュール

属性別の便益集計モジュールでは、家族類型と世帯主年齢という属性別に集計された世帯の効用の値(便益)を計算し出力する。この機能を実現するために、モデルに、すべての家族類型変数 $s_1$ と世帯主年齢変数 $s_2$ という2項の属性変数( $s_1, s_2$ )、世帯エージェントとその効用値の項からなる集合の変数 $AU$ を引数とする関数  $set\_at\_au((s_1, s_2), AU)$  を定義する。

関数  $set\_at\_au$  によって、家族類型と世帯主年齢の2

項からなる属性別に、仮想都市環境に存在する世帯エージェントの便益を計算することが可能となる。

### 3.5 モデルの現実世界への適用

本モデルは、地方自治体の社会資本マネジメントに有用であり、システムとして適用可能である。具体的には、地方中心都市の仮想都市環境を構築するためのGIS データや、将来の世帯数やその構成を推計したデータ<sup>9)</sup>などの現実のデータを利用し、政策シナリオ決定モジュールで統廃合を行う公共施設を設定すれば、社会資本マネジメント、特に公共施設マネジメントに関する現実の意思決定の支援が可能となる。

## 4 まとめ

本研究についてのこれまでのまとめを行う。ここまでは、問題の現状分析と、モデルの設計を行った。

今後の展望としては、いまだなされていない部分の数学的なモデルの定式化を進める。例えば、公共施設の統合や、世帯の施設利用の集中によるサービス水準の低下の部分は、モデルに定義されていないため定義を進めていく。

また、定義したモデルに対して、架空の都市を設定し、シミュレーションを行う。その結果から、構築したシミュレーションモデルが期待通りの振る舞いをしているかを確認する(モデルの正当性の検証)。モデルの振る舞いの正当性を確認したのち、現実都市に応用し、モデルの有用性を検討する。

## 参考文献

- 1) 財団法人日本都市センター：人口減少時代における都市経営に関する調査研究報告書，73/93，財団法人日本都市センター
- 2) 内閣府政策統括官(経済社会システム担当)：日本の社会資本 2012，14/26 (2012)
- 3) 加藤・加納：人口と社会資本のエイジングを考慮した市街地維持コスト推計と市街地拡大抑制策の評価，平成 18 年度土地関係研究推進事業研究成果報告書，7/12 (2006)
- 4) W.Ronald Hudson, Ralph Haas, Waheed Uddin(笠原，池田，菊川，田村，八谷 訳)：社会資本マネジメント-維持管理・更新時代の新戦略-，31，森北出版(2001)
- 5) さいたま市：さいたま市公共施設マネジメント計画 方針編 (2012)
- 6) 四日市市：四日市市公共施設マネジメント白書，301/304(2011)
- 7) 安立・鈴木・谷口：コンパクトシティ形成過程における都市構造リスクに関する予見，土木学会論文集 D3(土木計画学)，vol. 68, No.2, 70/83 (2012)
- 8) 市川，出口：生活空間を考慮した都市シミュレーション環境とその利用，計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 (SSI2011)，IC2-2(2011)
- 9) 国立社会保障・人口問題研究所：都道府県別世帯主の男女・年齢 5 歳階級別・家族類型別世帯数，<http://www.ipss.go.jp/pp-pjsetai/j/hpjp2009/setai/shosai.html>，(2013 年 2 月 7 日最終閲覧)