

らに、地区毎にサービス水準設定を与えることが重要とも述べている。地区毎にサービス水準設定を与えるためには、地区毎に人口や需要の推計情報が用意される必要がある。

さらに、政策評価のPIでは、基本的な情報の提供に加えて、ステークホルダー間での政策の論点⁶を絞り込むことが必要となる。錦澤¹⁴)は、自由討議の場で、行政・専門家だけでなく、住民からも幅広く意見を収集し、現状の問題を詳細に把握し、論点を絞り込むことの重要性を指摘している。

政策の論点を絞り込むためには、ステークホルダーが政策に関してさまざまな利点・欠点・課題を発見することの支援が必要と考える。サービス水準の設定という政策では、多様な価値観をもつ市民がそれぞれ政策に対する評価軸をもつ。それぞれの評価軸を通じてさまざまな利点・欠点・課題を発見し、多様な意見を抽出できれば、共通の論点へまとめることができる。

政策に関してさまざまな利点・欠点・課題を発見することを支援するためには、以下の2点の取組みが必要と考える。第1点は、現状のまま状態が推移した場合、政策を導入して状態が推移した場合の基本的な情報を取得することである。第2点は、取得した情報に対して、ステークホルダーが政策の利点・欠点・課題の発見を行うことを支援する政策評価の枠組みを提供することである。

本研究の目的は、政策に関する合意形成支援において有効となるような地方中核都市における基礎需要推計モデルと政策評価フレームワークの構築とする。基礎需要とは、日常生活に関して必要なサービス⁷に関する需要のことを示す。基礎需要推計モデルとは、仮想的な地方中核都市を構成し、仮想都市の区域別に人口・基礎需要を推計するモデルである。また、基礎需要推計モデルは、仮想的な政策に対応した人口・基礎需要の推計も可能とする。政策評価フレームワークは、政策に関する利点・欠点・課題の発見を支援する政策評価の枠組みである。考察として、基礎需要推計モデルおよび政策評価フレームワークの利用によって、合意形成において有効な情報を提供可能か、政策に関する利点・欠点・課題の発見支援が可能かを検討する。

2 先行研究と本研究の位置づけ

ここでは、人口変動を表現する都市モデル、需要推計に関する先行研究、政策評価に関する先行研究を概観する。先行研究を概観したのち、本研究の位置づけを述べる。

2.1 先行研究

まず、人口変動を表現する都市モデルに関する研究を概観する。アーバンダイナミクスモデル⁷⁾は、都市に関するマクロ変数のストック・フローダイナミクスを記述する微分方程式モデルである。セル・オートマトンモデル⁸⁾は、離散的な空間(セル)・時間・状態の変化を計算し、都市の土地利用パターンを表現するモデルである。Spatial Micro Simulation Model⁹⁾は、人間の居住地を含む状態の確率的な変化から都市の変化を表現するモデルである。

また、個々の自律的なエージェントの振る舞いから

⁶本研究では、論点を「議論の中心となる問題点」と定義する。

⁷本研究では、学校・医療・消費というサービスに限定する。

大域的な現象を表現するエージェントベースモデル(ABM)も都市モデルの構築に用いられる。Yan Ma et al.(2013)¹⁶⁾は、地方都市の中心市街地活性化のための居住促進施策の効果を取り入れた世帯の再立地プロセスを表現するHRRM(Household residential relocation model)という都市モデルをABMを用いて構築した。

需要推計に関する先行研究を概観する。需要推計(予測)モデルは、政策決定の段階における代替案の評価と決定のために利用される。需要推計モデルの構築法は、時系列データの解析による方法やシステムダイナミクスによる方法などさまざまである²⁴⁾。需要推計モデルで得た推計結果をどのように提示すれば市民の推計に対する受容が促進されるかを分析した研究も行われている²⁵⁾。屋井らは、推計結果は点の推計よりも将来の不確実性を配慮した結果に幅を持たせた推計が、市民の推計に対する受容が促進されることを考察している²⁵⁾。

政策評価に関する先行研究を概観する。政策評価は、行政が代替案から政策を評価し決定するための技術として発展してきた。政策評価の技術としては、都市における最適な施設数や施設の最適配置を評価する数理解最適化の手法¹⁷⁾や、代替案を総合評価するためのウェイトを算出するAHP法²⁶⁾が挙げられる。

2.2 本研究の位置づけ

本研究は、政策に関する合意形成支援において有効となるような基礎需要推計モデルと政策評価フレームワークの構築をおこなう。基礎需要推計モデルは、都市の人口変動を表現する仮想都市モデルと基礎需要を計算する基礎需要計算モジュールからなる。政策評価フレームワークは、政策に関する利点・欠点・課題の発見を支援する枠組みである。

基礎需要推計モデルにおける仮想都市モデルは、ABMを用いて構築する。政策に関するさまざまな利点・欠点・課題の発見支援を行うためには、現状または政策下で状態が推移した将来に関する情報提供をおこなう必要がある。合意形成の状況では、政策は現実的な粒度で記述されることが望ましいと考える。現実的な粒度の政策は、理念的な粒度の政策と比べて、市民の認識を容易とすると考えるためである。現実的な粒度での政策効果の情報を提供するためには、都市モデルに対して現実的な粒度での政策を施行可能でなければならない。出口¹⁰⁾は、現実的な粒度の政策を記述するための方法論として、ABMの必要性を指摘している。本研究では、現実的な粒度の政策が主体の内部状態や意思決定に影響する。よって、仮想都市モデルを構築する方法論として、ABMを用いる。

先行研究の位置づけを記述する。HRRM¹⁶⁾は、ABMを用いた都市モデルであるが、サービス水準設定施策の導入やさまざまな需要の推計は可能となっていない。従来の需要推計モデルは、行政が政策評価における代替案を決定するための利用を志向している。十分な情報にもとづく合意形成における議論のための利用を志向していない。また、従来の政策評価の技術は、行政が主体となりよりよい代替案を選択するためのものを中心であった。しかし、合意形成の段階では、多様な価値観をもつ市民が自分自身の価値観から情報に対して政策評価を行い、政策に関する利点・欠点・課題の

発見を行うことが重要である。よって、行政には、市民の政策に関する利点・欠点・課題発見を支援する政策評価の枠組みを構築することが求められる。以上の先行研究の位置づけから、本研究の位置づけを以下の2点にまとめることができる。(1)本研究では、サービス水準設定の政策に関する十分な情報にもとづく合意形成における議論に有効な需要推計モデルの構築を行う。(2)本研究では、市民が情報にもとづいてサービス水準設定政策に関する利点・欠点・課題を発見することを支援する枠組みを提供する。

3 基礎需要推計モデル

3.1 基礎需要推計モデルの概要

ここでは、基礎需要推計モデルの概要を説明する。基礎需要推計モデルは、仮想都市モデルと基礎需要計算モジュールから構成される。仮想都市モデルは、入力データの組が入力され、計算を行い、地域別の時系列人口データ・世帯数データを出力する。基礎需要計算モジュールは、時系列人口データ・世帯数データを入力として、さまざまな需要の計算をおこない、基礎需要データを出力する。基礎需要推計モデルは、Fig. 1の通りである。

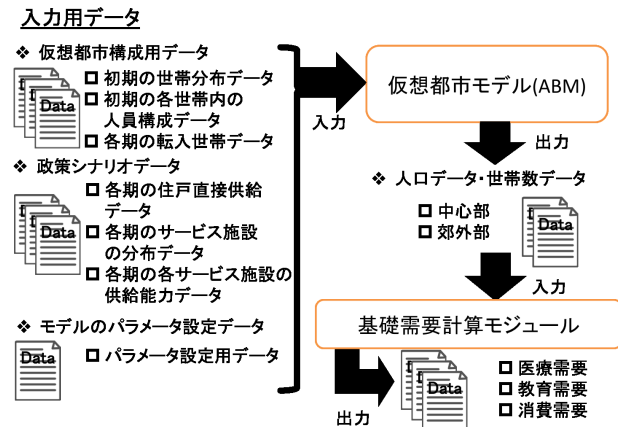


Fig. 1: 基礎需要推計モデルの概要

3.2 仮想都市モデルの概要

ここでは、基礎需要推計モデルのサブモデルである仮想都市モデルの概要を説明する。仮想都市モデルは、ABMによって構築された地方中核都市の人口変動を表現するモデルとなる。また、仮想都市モデルは、地方中核都市を表す仮想都市空間、仮想都市空間外部という場、家・駅・病院・学校という空間、そして人間エージェントからなる。仮想都市空間は、中心部と郊外部から構成される。人間エージェントには、状態変数と行動ルールが設定され、居住する家空間(世帯と同義)が割り当てられる。また、家・駅・病院・学校という空間には、場のいずれかが割り当てられる。

仮想都市における人口変動は、人間エージェントの転入・市内転居・転出・死亡と新たな人間エージェントの出生という行動によって起こる。人間エージェントの行動は、経年変化とエージェントの属性変化によって様々なタイミングでおこるライフイベントによって発生する。人間エージェントの転入・市内転居の際の立地先は、自己の行動ルールに従って仮想都市空間の

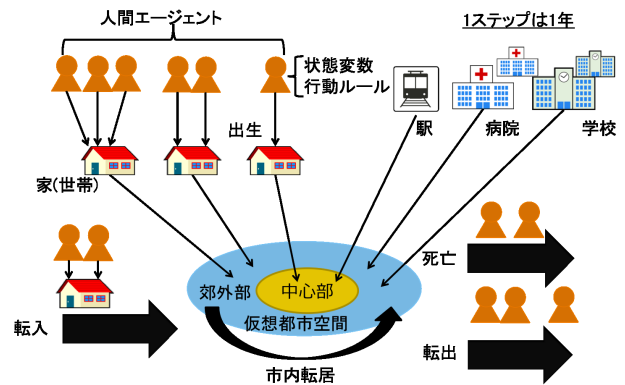


Fig. 2: 仮想都市モデルの概要

中心部・郊外部から選択される。仮想都市モデルの毎ステップは、現実世界における1年と対応する。仮想都市モデルは、Fig. 2の通りである。

3.3 入出力データの定義

ここでは、仮想都市モデルの入力データと出力データに関する定義をおこなう。入力には、仮想都市構成用データ・政策シナリオデータ・モデルのパラメータ設定データの3種類が必要となる。

仮想都市構成用データは、仮想都市を構成するために必要なデータである。このデータは、 $t=0$ 期のエージェントの世帯や年齢などの状態変数、 t 期のエージェント転入量を定める。

政策シナリオデータは、サービス水準の設定政策を導入するために必要なデータである。このデータは、 t 期に全世帯向け住戸と高齢者向け住戸を中心部に何戸直接供給するかを規定する。また、 t 期に各サービス施設がどの区域に存在するかを定める。さらに、 t 期に各サービス施設がどれだけのサービス供給能力を有するかを規定する。モデルのパラメータ設定データは、仮想都市モデルのパラメータ設定に必要なデータである。

出力は、中心部の時系列人口データ・郊外部の時系列人口データ・中心部の時系列世帯数データ・郊外部の時系列世帯数データである。時系列人口データは、あるステップ i のある年齢 j の人口数 $pd_{i,j} \in \mathbb{N}^+$ からなる行列である。また、時系列世帯数データは、あるステップ i のある世帯の種類 j の世帯数 $hd_{i,j} \in \mathbb{N}^+$ からなる行列である。

3.4 場と空間の定義

本モデルにおける場は、仮想都市空間である。仮想都市空間は、中心部と郊外部から構成される。中心部は、現実世界の地方中核都市における中心市街地に相当する。郊外部は、現実世界の地方中核都市における中心市街地の外側に相当する。また、中心部・郊外部という場は、人口 (*population*)、学校数 (*schoolNum*)、病院数 (*hospitalNum*)、駅の存在の有無 (*stationDummy*)、小売売場面積 (*retailAreaNum*)、全世帯向け住戸供給戸数 (*houseSupplyAll*)、高齢者向け住戸供給戸数 (*houseSupplyAged*) を状態変数として保持する。小売売場面積は、中心部・郊外部の人口を変数として変動する。*houseSupplyAll* と *houseSupplyAged* は、入力データからさだまる。Table 1 に中心部・郊外部という場の持つ状態変数とその定義域をしめす。

本モデルにおける空間は、家、病院、学校、駅であ

Table 1: $\Omega [City]$ の保持する状態変数

状態変数	定義域
<i>population</i>	\mathbf{N} の部分集合
<i>schoolNum</i>	\mathbf{N} の部分集合
<i>hospitalNum</i>	\mathbf{N} の部分集合
<i>stationDummy</i>	$\{0,1\}$
<i>retailAreaNum</i>	\mathbf{R} の部分集合
<i>houseSupplyAll</i>	\mathbf{N} の部分集合
<i>houseSupplyAged</i>	\mathbf{N} の部分集合

る。学校・病院をサービス施設と呼ぶ。すべての空間は、存在する場を状態変数として保持する。また、すべてのサービス施設は、サービス施設が存在する場、供給能力を変数として保持する。サービス施設が存在する場・供給能力は、政策パラメータの入力からさだまる。

3.5 人間エージェントの定義

3.5.1 エージェントの定義

仮想都市モデルにおけるエージェントは、人間である。仮想都市モデルに存在する人間エージェントの集合を、 $\Omega [Human]$ と定義する。

人間エージェントが保持する変数名とその定義域を Table 2 にしめす。age は年齢、role はエージェントの社会的役割、home はエージェントの世帯空間、marriage は結婚の有無、location は立地場所、member は家族のエージェント集合、couple は夫婦のエージェント集合、spouse は結婚相手のエージェント、event は発生したライフイベント、moveTo は移動する際の移動先、moveWith は移動する際に共通に移動する家族の範囲、moveMemeber は共通に移動するエージェントの集合、carDummy は車の保有有無、maxChild はエージェントが生涯で出生可能な子供数の最大値、childNum はエージェントと同じ世帯内の子供数である。なお、 $\rho(X)$ は集合 X の冪集合をあらわす。

Table 2: $\Omega [Human]$ の保持する状態変数

状態変数	定義域
<i>age</i>	$\{0, 1, \dots, 99\}$
<i>role</i>	$\{\text{student, univ_stu, labor, retired, death, outside, no_role}\}$
<i>home</i>	$\Omega [Home]$
<i>marriage</i>	$\{0(\text{not_married}), 1(\text{married})\}$
<i>location</i>	$\Omega [City]$
<i>member</i>	$\rho(\Omega [Human])$
<i>couple</i>	$\rho(\Omega [Human])$
<i>spouse</i>	$\Omega [Human]$
<i>event</i>	$\{\text{go_univ, employed, birth, marriage, transfer, retired, inflow, death, no_event}\}$
<i>moveTo</i>	$\{\text{inside, outside, death, stay}\}$
<i>moveWith</i>	$\{\text{self, spouse, couple, all}\}$
<i>moveMemeber</i>	$\rho(\Omega [Human])$
<i>carDummy</i>	$\{0(\text{not_have}), 1(\text{have})\}$
<i>maxChild</i>	$\{1, 2, 3\}$
<i>childNum</i>	$\{1, 2, 3\}$

3.5.2 エージェントの行動の定義

ここでは、人間エージェントの行動の定義を行う。仮想都市空間に立地している人間エージェントは、自己の age と role という状態から、確率的にライフイベン

トである進学 (go_univ), 就職 (employed), 出生 (birth), 結婚 (marriage), 転勤 (transfer), 退職 (retired), 死亡 (death), 発生なし (no_event) のいずれかが生じ、event の状態変数の値が更新される。birth への状態更新は、childNum < maxChild の状態となるエージェントのみが可能である。また、転入 (inflow) のライフイベントは、入力データをもとに定められる。

event の状態変数の値が birth の人間エージェントは、人間エージェント 1 体を自らの世帯に子供として追加する。event の状態変数の値が marriage の人間エージェントは、event が marriage のエージェントをランダムに指定し、spouse の値を指定したエージェントに更新する。

event の状態変数の値が no_event でない、かつ、birth でない人間エージェントは、event の状態から、確率的に moveTo を設定する。moveTo は、どこに移動するか的一段階目の意思決定をあらわす状態変数で、移動しない (stay), 市内のどこかに再移住する (inside), 市外へ転出する (outside), 死亡する (death) のいずれかの値をとる。

moveTo の値が stay でない人間エージェントは、event の状態から、共通移動人員 moveWith の値を設定する。moveWith は、どの範囲の人間エージェントと共通に移動するかを示す値となる。そして、moveTo の値が stay でない人間エージェントは、moveWith の値に従って、moveMember の値を定める。moveMember は、人間エージェントが移動の際に共通に移動するエージェント集合が値となる。

moveTo の値が inside の人間エージェントは、location を確率的に選択し、moveMember に含まれる人間エージェントとともに、location に移動する。本モデルでは、エージェント $n \in \Omega [Human]$ が立地場所 $i \in \Omega [City]$ を選択する確率 $P_{i,n}$ を、以下のロジットモデル¹¹⁾によって定式化した。

$$P_{i,n} = \frac{\exp V_{i,n}}{\sum_{j \in \Omega [City]} \exp V_{j,n}}, V_{j,n} = \sum_{k=1}^K \theta_k X_{i,n,k}$$

ここで、 $P_{i,n}$ はエージェント n が立地場所 $i \in \Omega [City]$ を選択する確率、 $V_{i,n}$ はエージェント n が立地場所 i から受ける効用、 $X_{i,n,k}$ はエージェント n の立地場所 i に関する k 番目の特性変数、 θ_k は特性変数 k に関するパラメータである。変数 $X_{i,n,k}$, $k \in \{0, 1, \dots, 7\}$ は Table 3 のように設定した。

moveTo の値が outside の人間エージェントは、moveMember に含まれる人間エージェントとともに、市外に転出する。また、moveTo の値が death の人間エージェントは、死亡する。

以上の行動のうち、すべてのエージェントは、age や role など、必要な変数の更新を行う。以上の行動をまとめ、 t 期のエージェント $n \in \Omega [Human]$ の行動を Fig. 3 のフローチャートで表す。

3.6 基礎需要計算モジュールの定義

基礎需要計算モジュールは、仮想都市モデルから出力された地域別の時系列人口データ・世帯数データから、さまざまなサービスに関する基礎需要データを出力する。すなはち、基礎需要計算モジュールは各サービスについて入力 (人口データまたは世帯数データ) か

Table 3: ロジックモデルで用いられる変数

変数	説明
$X_{i,n,0}$	定数項
$X_{i,n,1}$	選択肢 i の population/全体の population
$X_{i,n,2}$	選択肢 i の schoolNum/全体の schoolNum
$X_{i,n,3}$	選択肢 i の hospitalNum/全体の hospitalNum
$X_{i,n,4}$	選択肢 i に駅が存在すれば 1, しなければ 0
$X_{i,n,5}$	選択肢 i の retailAreaNum/全体の retailAreaNum
$X_{i,n,6}$	エージェント n の年齢/99
$X_{i,n,7}$	エージェント n が車を保有していれば 1, していなければ 0

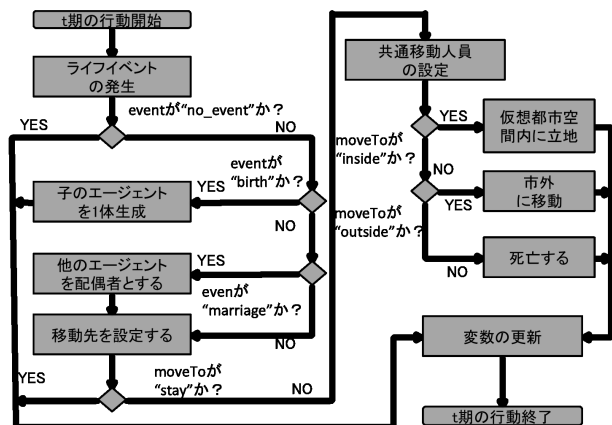


Fig. 3: t 期のエージェント行動フロー

ら出力 (基礎需要データ) を定める関数の集合である。以下, 医療・消費・教育のサービスについての関数を定義する。

3.6.1 教育需要の計算

教育需要は, 関数 $demandCalculator_{Education}$ で計算する。 $demandCalculator_{Education}$ は, 時系列人口データからあるステップ i のある教育課程 $j \in EducationClass$ に対する教育対象人数 $ed_{i,j} \in \mathbf{N}^+$ の行列を定める関数である。 $EducationClass$ は教育課程の分類をあらわす集合で, $EducationClass = \{ES, JHS\}$ となり, ES は小学校教育, JHS は中学校教育をあらわす。

3.6.2 医療需要の計算

医療需要は, 関数 $demandCalculator_{Hospital}$ で計算する。 $demandCalculator_{Hospital}$ は, 時系列人口データからあるステップ i のある傷病 $j \in DiseaseClass$ の 1 日の病院外来患者の発生人数 $hd_{i,j} \in \mathbf{R}^+$ の行列を定める関数である。 $DiseaseClass$ は ICD-10 が公表する 20 の傷病分類からなる集合である⁸。

人口データから 1 日の病院外来患者の発生人数を定めるには, 年齢が $age1$ から $age2$ までの人口数に対する傷病 d の病院外来患者の発生割合のパラメータを用いる。パラメータ設定には, 実際の統計データを用いる。統計データは, 平成 20 年患者調査における「推計外来患者数, 性・年齢階級 × 傷病分類 × 病院—一般診療所・外来 (初診—再来) 別」を用いる²⁷⁾。

⁸20 の傷病分類とは, 1. 感染症および寄生虫症, 2. 新生物, 3. 血液および造血器の疾患並びに免疫機構の障害, 4. 内分泌, 栄養および代謝疾患, 5. 精神および行動の障害, 6. 神経系の疾患, 7. 眼および付属器の疾患, 8. 耳および乳様突起の疾患, 9. 循環器系の疾患, 10. 呼吸器系の疾患, 11. 消化器系の疾患, 12. 皮膚および皮下組織の疾患, 13. 筋骨格系および結合組織の疾患, 14. 腎尿路生殖器官の疾患, 15. 妊娠, 分娩および産後, 16. 周産期に発生した病態, 17. 先天奇形, 変形および染色体異常, 18. 症状, 徴候および異常臨床所見・異常検査所見で他に分類されないもの, 19. 損傷, 中毒およびその他の外因の影響, 20. 傷病および死亡の外因, である。

3.6.3 消費需要の計算

消費需要は, 関数 $demandCalculator_{Expenditure}$ で計算する。 $demandCalculator_{Expenditure}$ は, 時系列世帯数データからあるステップ i のある消費項目 $j \in ExpClass$ についての一ヶ月当たりの総世帯の消費支出金額 $ex_{i,j} \in \mathbf{R}^+$ の行列を定める関数である。 $ExpClass$ は家計調査²⁸⁾ における消費支出の 15 の分類からなる集合である⁹。

世帯数データから一ヶ月当たりの総世帯の消費支出金額を定めるには, 世帯の種類 m の消費の分類 e についての月間消費支出金額をパラメータとして用いる。パラメータ設定には, 実際の統計データを用いる。統計データは, 2012 年家計調査における「1 世帯当たり年平均 1 か月間の収入と支出:都市階級・地方・都道府県庁所在市別:二人以上の世帯」と「1 世帯当たり 1 か月間の収入と支出:都市階級・地方別:単身世帯・勤労者世帯」とする²⁸⁾。

4 政策評価フレームワーク

4.1 政策評価フレームワークの説明

4.1.1 政策評価フレームワークの概要

ここでは, ステークホルダーがサービス水準設定政策に関する利点・欠点・課題を発見することを支援する枠組みである政策評価フレームワークを構築する。

政策の利点・欠点・課題を発見するためには, (1) 供給量に対する適正需要量・需要量に対する適正供給量の算出, (2) シナリオ間で指標の共時的比較, が有効であると考えられる。以下でそれぞれの意味するところを述べていく。

(1) 供給量に対する適正需要量・需要量に対する適正供給量の算出

「 X に対する適正 Y を算出する」とは, X という量に対して適正な Y という量を同じ単位で算出することをあらわす。需要量と供給量の単位が異なると, それらのみに着目しても需給が均衡に近いのか, 需要過剰か, 供給過剰か, といった判定がおこないにくいと考える。これらの判定を可能とするには, 需要量を供給量の単位としたときの値, 供給量を需要量の単位としたときの値を算出する必要がある。需要量を供給量の単位としたときの値を適正供給量, 供給量を需要量の単位としたときの値を適正需要量とよぶ。

(2) シナリオ間で指標の共時的比較

比較は, 政策効果を測定したり, 因果関係を特定する目的で使うことができる方法とされる¹⁸⁾。伊藤¹⁸⁾ は, 比較には同じ対象を 2 以上の時点で比較する通時的比較と同じ時点の異なる対象を比較する共時的比較が存在すると述べている。政策効果の検証では, 同じ将来時点の異なる対象 (ある t におけるシナリオ A とシナリオ B の世界) を比較する共時的比較をおこなうことが有効であると考えられる。

ここでは, 政策評価を行うための評価項目とシナリオは与えてるが, 政策評価の基準は与えていない。政策評価の基準を与えない枠組みの利用によって, ステークホルダーがそれぞれの価値観にもとづく基準での評

⁹消費支出の 15 分類は, 1. 食料, 2. 住居, 3. 電気, 4. ガス, 5. 水道, 6. その他光熱費, 7. 家具, 8. 被服, 9. 保健医療, 10. 交通, 11. 自動車等関係費, 12. 通信, 13. 教育, 14. 教養娯楽, 15. その他, とする。

価が可能となると考える。

4.2 政策評価フレームワークの教育サービスへの適用

政策評価フレームワークを実際に運用するためには、具体的なサービスに適用する必要がある。さらに、本研究では政策評価フレームワークの有効性の検討が目的のひとつである。それゆえ、本研究では政策評価フレームワークの教育サービスへの適用を通じて、有効性の検討を行う。

教育サービスにおける需要量は生徒数として表現することができる。教育サービスの供給量は学級数とみなすことができる。

教育サービスに関する生徒数（学級数）をサービスの適正学級数（適正生徒数）へと単位変換するためには、そのための単位変換関数を設定する。つまり、関数 $calcProperDemand_{Education}$ と関数 $calcProperSupply_{Education}$ の定義が必要となる。関数 $calcProperDemand_{Education}$ は、学級数 $s \in \mathbf{N}^+$ に対して収容可能な生徒数をさだめる関数で、

$$calcProperDemand_{Education}(s) = 40 \times s$$

と定義する。また、関数 $calcProperSupply_{Education}$ は生徒数 $d \in \mathbf{N}^+$ に対して生徒全員を収容可能な学級数をさだめる関数で、

$$calcProperSupply_{Education}(d) = \min\{n \in \mathbb{Z} \mid \frac{d}{40} \leq n\}$$

と定義する。それぞれの関数のパラメータの根拠は、公立小学校または中学校の1学級の児童数または生徒数の基準が40人とされることによる¹⁹⁾。

5 シミュレーション実験

ここでは、基礎需要推計モデルと政策評価フレームワークの有効性を検討するための結果を求めるシミュレーション実験をおこなう。実験方法・評価指標・実験結果を記述する。

5.1 実験方法

5.1.1 実験条件

まず、シミュレーションステップと終了条件を設定する。シミュレーションは、1ステップを1年とする。また、シミュレーションは現実世界の1965年から2049年までに対応するものとする。1965年から2010年までのシミュレーションは、現実の地方中核都市と仮想都市の振る舞いをあわせるためにおこなう。2011年から2049年までのシミュレーションは、さまざまなシナリオの需要推計や情報取得のためにおこなう。

シミュレーション実験のためには、基礎需要推計モデルに対する入力データである仮想都市構成用データ・政策シナリオデータ・モデルのパラメータ設定データを設定する必要がある¹⁰⁾。

仮想都市構成用データは、地方中核都市のひとつである青森市のデータをもとに作成する。仮想都市構成

¹⁰⁾仮想都市構成用データ・モデルのパラメータ設定データは、精度のよい手法を用いて設定をおこなえば、現実に近い都市構造や人口変動の表現が可能になる。しかし、本研究では現実に近い都市構造や人口変動の再現は目的ではない。よって、これらの設定には簡単な方法を用いている。

Table 4: 政策シナリオの想定

年	施行する政策
2025年	都市機能の集約をはかるため、郊外部の学級数1から5の小学校・中学校の廃校
2030年	中心部への都市機能集約をはかるため、中心部に学級数15の小学校を建設
2030年	中心部への人口集約をはかるため、全世帯向け住宅300戸を中心部に直接供給
2035年	都市機能の集約をはかるため、郊外部の学級数6から11の小学校・中学校の廃校

用データのうち、初期の世帯分布データと初期の各世帯内の人員構成データの設定方法は、福田らの世帯推計モデル²⁰⁾を利用している。中心部と郊外部の範囲は、青森市の中心市街地活性化基本計画¹²⁾における中心市街地の区域を中心部、それ以外の区域を郊外部として設定している。urban_dataのうち、各期の転入データは、青森県の転入転出に関する統計²¹⁾から推計し設定した。

また、モデルのパラメータ設定データは、現実の青森市における市全体・中心部・郊外部の1965年から2010年の人口推移とシミュレーション上の人口推移の誤差が小さくなるように設定を行った。そのために、まず、青森市全体と仮想都市全体の人口推移の誤差が小さくなるように出生確率やライフイベントなどの発生確率を設定し、固定した。そして、青森市と仮想都市の中心部・郊外部の人口推移の誤差の絶対値が小さくなるような立地場所選択関数のパラメータの組 θ^* を設定した。 θ^* は、100回分のパラメータの組について実験をおこなったうち最も誤差が小さくなったパラメータである。

政策シナリオデータには、ベースシナリオ・政策シナリオという2つのパターンを設定し、それぞれについて実験をおこなう。ベースシナリオは、なにも政策を加えずに2010年時点のサービス水準を維持した場合のシナリオである。政策シナリオは、将来の需要の減少を見越し、郊外部のサービス供給を減らし、中心部への人口集中・都市機能集中をねらうコンパクトシティ政策を想定したシナリオである。

政策シナリオデータは、1965年から2010年まではベースシナリオ・政策シナリオともに共通である。サービス施設が存在する場を設定するパラメータは、青森市のHPに記載されている市立小学校・市立中学校²²⁾と青森市医師会のHP²³⁾に記載されている病院の創設年・立地場所・撤退年の調査をもとに設定した。サービス供給量を設定するパラメータは、教育サービスに関してのみ設定した。具体的には、各学校の2013年の普通学級数のデータを用いた。2種類の住戸直接供給量は、0を仮定した。

2011年から2049年までは、各シナリオで政策シナリオデータが異なる値となる。ベースシナリオは、なにも政策を加えず現状を維持するので、2010年のデータが2011年から2049年まで継続される。コンパクトシティ政策を想定した政策シナリオは、Table 4のシナリオを反映したデータ設定とする。

5.1.2 評価指標

この実験の評価指標は、人口・需要量・供給量・適正需要量・適正供給量である。これらの指標を、中心部

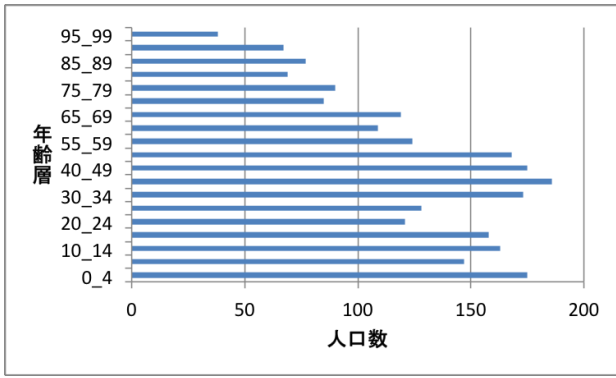


Fig. 4: 2020年の人口ピラミッド (中心部)

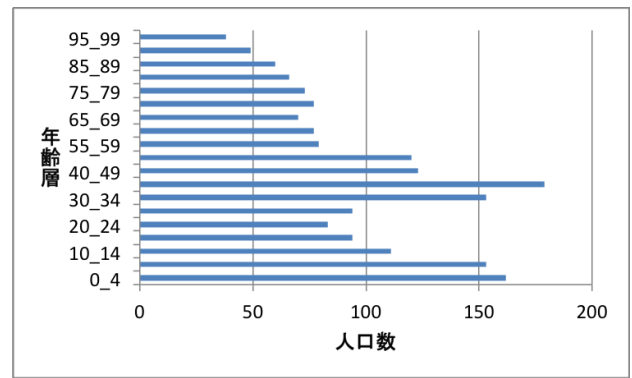


Fig. 5: 2040年の人口ピラミッド (中心部)

Table 5: 基礎需要の推移 (中心部)

年	小学校 生徒数 (人)	中学校 生徒数 (人)	消化器系疾患 患者発生人数 (人)	食品消費 金額 (千円)
2020年	190	96	1.62	58894
2030年	184	82	1.32	52375
2040年	165	62	1.25	45252

と郊外部という地区別に、2020年・2030年・2040年のものを出力する。

各地区の人口は、人口ピラミッドの形で表現する。 t 年の人口ピラミッドは、基礎需要推計モデルから出力される人口データのうち t 年の行を、年齢層別にまとめあげることによって作成できる。

各地区の需要量は、小学校を需要する生徒数・中学校を需要する生徒数・1日の消化器系疾患患者外来の発生人数・食品に対する月間総消費金額を指標とする。 t 年の各需要量は、基礎需要推計モデルから出力される各需要データのうち t 年の行の需要の種類に対応した値となる。

各地区の供給量は、サービス施設の供給能力の総量である。今回は、各小学校の学級数の和である小学校学級数と各中学校の学級数の和である中学校学級数が指標となる。

各地区の適正需要量は、サービス i の供給量に対して $calcProperDemand_i$ で決定される値である。今回は小学校学級数に対する適正小学校生徒数、中学校学級数に対する適正中学校生徒数という指標を出力する。

各地区の適正供給量は、サービス i の需要量に対して $calcProperSupply_i$ で決定される値である。今回は小学校生徒数に対する適正小学校学級数、中学校生徒数に対する適正中学校学級数という指標を出力する。

5.2 実験結果

5.2.1 ベースシナリオ

ベースシナリオにおける各指標の推移を実験結果として示す。Fig. 4およびFig. 5は、2020年と2040年の中心部における人口ピラミッドである。Fig. 6およびFig. 7は、2020年と2040年の郊外部における人口ピラミッドである。Table 5は、小学校の生徒数・中学校の生徒数・消化器系疾患患者の発生人数・食品に対する消費金額という中心部の基礎需要の推移をまとめたものである。Table 6は、郊外部の基礎需要の推移をまとめたものである。Table 7は、中心部と郊外部の学級数の推移となる。Table 8およびTable 9は、中心部および郊外部の適正生徒数と適正学級数をまとめた表となる。

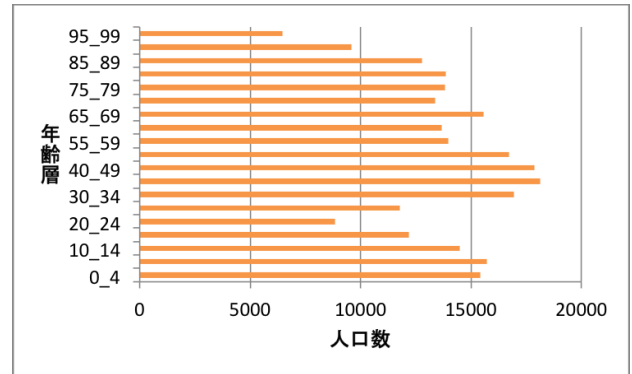


Fig. 6: 2020年の人口ピラミッド (郊外部)

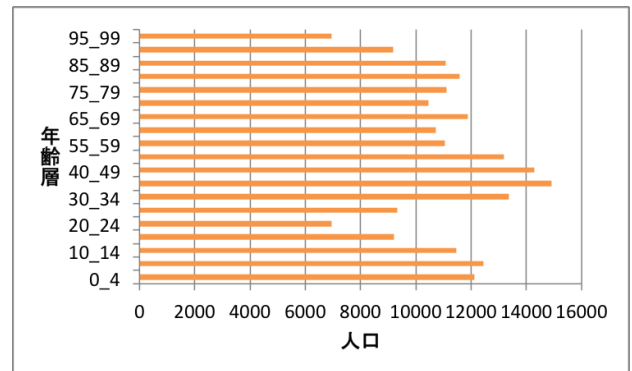


Fig. 7: 2040年の人口ピラミッド (郊外部)

Table 6: 基礎需要の推移 (郊外部)

年	小学校 生徒数 (人)	中学校 生徒数 (人)	消化器系疾患 患者発生人数 (人)	食品消費 金額 (千円)
2020年	18586	8476	166.98	6799544
2030年	16699	7617	153.93	6200165
2040年	14601	6782	138.82	5558433

Table 7: 学級数 (供給量) の推移

年	中心部		郊外部	
	小学校 学級数 (個)	中学校 学級数 (個)	小学校 学級数 (個)	中学校 学級数 (個)
2020年	0	0	547	248
2030年	0	0	547	248
2040年	0	0	547	248

Table 8: 適正生徒数と適正学級数 (中心部)

年	適正需要量		適正供給量	
	適正小学校 生徒数 (人)	適正中学校 生徒数 (人)	適正小学校 学級数 (個)	適正中学校 学級数 (個)
2020年	200	120	5	3
2030年	200	120	5	3
2040年	200	80	5	2

Table 9: 適正生徒数と適正学級数 (郊外部)

年	適正需要量		適正供給量	
	適正小学校 生徒数 (人)	適正中学校 生徒数 (人)	適正小学校 学級数 (個)	適正中学校 学級数 (個)
2020年	18600	8480	465	212
2030年	16720	7640	418	191
2040年	14640	6800	366	170

Table 10: 生徒数の推移

年	中心部		郊外部	
	小学校 生徒数 (人)	中学校 生徒数 (人)	小学校 生徒数 (人)	中学校 生徒数 (人)
2020年	210	83	18572	8348
2030年	179	86	16921	7542
2040年	190	60	14829	6893

Table 11: 学級数の推移

年	中心部		郊外部	
	小学校 学級数 (個)	中学校 学級数 (個)	小学校 学級数 (個)	中学校 学級数 (個)
2020年	0	0	547	248
2030年	15	0	526	240
2040年	15	0	431	185

Table 12: 適正生徒数と適正学級数 (中心部)

年	適正需要量		適正供給量	
	適正小学校 生徒数 (人)	適正中学校 生徒数 (人)	適正小学校 学級数 (個)	適正中学校 学級数 (個)
2020年	210	83	6	3
2030年	179	86	5	3
2040年	190	60	5	2

Table 13: 適正生徒数と適正学級数 (郊外部)

年	適正需要量		適正供給量	
	適正小学校 生徒数 (人)	適正中学校 生徒数 (人)	適正小学校 学級数 (個)	適正中学校 学級数 (個)
2020年	18572	8348	465	209
2030年	16921	7542	424	189
2040年	14829	6893	371	173

5.2.2 政策シナリオ

政策シナリオにおける各指標の推移を実験結果として示す。Table 10は、中心部および郊外部の小学校と中学校の生徒数(需要量)の推移をまとめたものである。Table 11には、中心部および郊外部の小学校と中学校の学級数(供給量)の推移をまとめている。Table 12は、中心部に存在する小学校・中学校の適正生徒数および適正学級数の推移である。Table 13は、郊外部に存在する小学校・中学校の適正生徒数および適正学級数の推移をあらわす。

6 考察

本章では、基礎需要推計モデル・政策評価フレームワークそれぞれについての有効性をシミュレーション結果から検討する。

6.1 基礎需要推計モデルの評価

基礎需要推計モデルが、人口やさまざまな需要に関する基本的な情報提供の支援につながるかどうかを検討する。

合意形成支援においては、「基礎的情報」と「ステークホルダー毎の情報」が必要と考える。「基礎的情報」とは、すべてのステークホルダー間で共有されるべき情報である。「ステークホルダー毎の情報」とは、各ステークホルダーの主張の根拠となる情報である。

また、基礎的情報は、政策の動機に関する情報をステークホルダー間で共有し議論するために必要である。

第1章で述べたように、サービス水準設定政策においては、人口減少下の地方中核都市における需給のマネジメントが政策の動機となる。それゆえ、人口・需給に関する情報の提供が議論の端緒として必要となる。

そして、ステークホルダー毎の情報は、各ステークホルダーが主張の根拠とするために必要である。ステークホルダー毎の情報としては、行政コスト・市民コストに関する情報の提供が望ましいと考える。行政コストとは、サービスの提供・維持管理に必要なコストである。市民コストとは、市民がサービスへのアクセスに要するコストである。教育サービスに関しては、行政コストとして建物の建設・維持管理・更新費用、市民コストとして金額換算した通学費用を考えることができる。

基礎需要推計モデルは、基礎的情報の提供を可能としている。たとえば、Fig. 4からFig. 7のような、地区別の人口ピラミッドの推移の情報を提供する。また、Table 5からTable 6のような地区別の基礎的な需要の推移を提供する。

基礎的情報における結果情報の提供は、ステークホルダー間での政策について根拠をもった議論を可能とする点にも意義がある。たとえば、行政がTable 6に示すデータのうち患者発症人数を根拠として、郊外部では消化器系疾患需要が減少し、このままサービスを継続すればムダが生じるため、中心部に医療サービス供給能力を集約することを主張したとする。これに対して、市民は、Table 5・Fig. 4・Fig. 6のデータから、中心部の消化器系疾患需要は一定して低く、中心部は郊外部に比べて人口数も少ないことを根拠として、中心部に医療サービス供給能力を集約しても効率的ではないと行政の主張に反対することも可能となる。

ただし、基礎需要推計モデルは、ステークホルダー毎の情報の可視化は行っていない。各ステークホルダーの主張における根拠を提供するためには、コスト面の評価が必要である。コスト面の評価は、行政コストならばサービス施設毎の建設・維持管理・更新費用を計算することで推計が可能となる。また、市民コストは、仮想都市モデルにおいてすべての住民エージェントとサービス施設間のアクセシビリティを金額換算したものを集計することで推計できる。

また、情報提供に付随する「科学的」な説明責任¹¹という問題に対して、前提条件・制約条件・分析方法の情報を可視化することも課題である。ABMを含むモデルは、主体の内部モデルやサブモデルの説明が複雑となる。また、詳細なパラメータ設定のためには、多くの調査・計測をおこなわなければならない。これらの情報の提示のためには、複雑かつ多量的前提条件・制約条件・分析方法をどのように情報としてまとめ可視化するかの方法が必要となると考える。

6.2 政策評価フレームワークの評価

ここでは、政策評価フレームワークが、ステークホルダーがサービス水準設定政策に関する利点・欠点・課題を発見するために有効かどうかを検討する。

政策の利点・欠点・課題の発見に対して、政策評価

¹¹内藤は¹⁵⁾、合意形成における「科学的な」説明とは、(1) どのいった前提条件において、(2) どのいった制約条件のもとで調査・計測され、(3) どのいった分析方法で、(4) 得られた結果を明らかにしたうえで説明することである、としている。

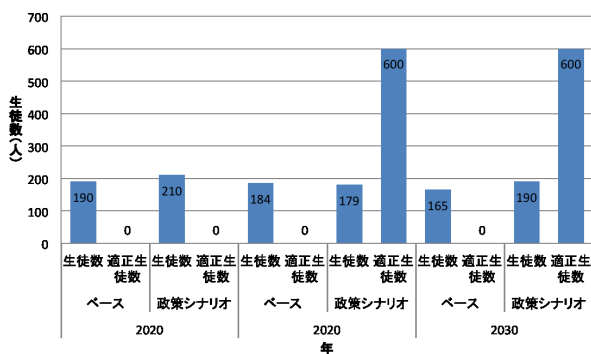


Fig. 8: 政策評価フレームワークを用いる中心部の小学校需要の可視化

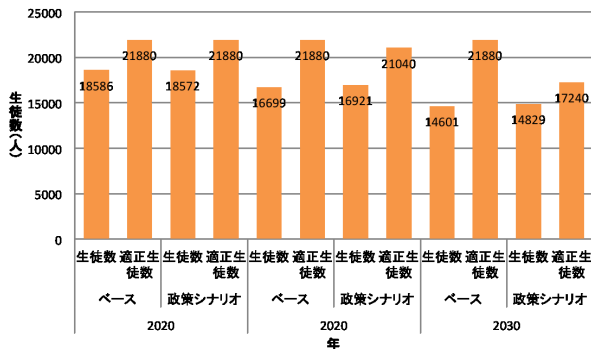


Fig. 9: 政策評価フレームワークを用いる郊外部の小学校需要の可視化

フレームワークの利用に意味があるかどうかを検討するために、政策評価フレームワークを用いる情報の可視化を行った。政策評価フレームワークを用いる可視化とは、需給量の適正量への変換とシナリオ間の共時的比較をおこなう可視化である。

今回は、小学校サービスの生徒数と学級数の推移に対して、政策評価フレームワークを用いる可視化を適用した。Fig. 8は、Table 5・Table 8・Table 10・Table 12のデータをもとに構築した中心部における小学校の生徒数と適正生徒数について共時的比較をならべたグラフである。Fig. 9は、Table 6・Table 9・Table 10・Table 12のデータをもとに郊外部で小学校の生徒数と適正生徒数について共時的比較をならべたグラフである。

政策評価フレームワークを用いる可視化は、政策の利点・欠点・課題の発見ができると考える。たとえば、Fig. 8の2030年における指標の共時的比較を行う。すると、中心部の適正生徒数が生徒数に対して過大であることがわかる。ここから、政策が中心部に過大な供給量を生み出しているという政策の欠点が発見できる。また、Fig. 9の2040年における指標の共時的比較を行う。すると、生徒数と適正生徒数の差がベースシナリオに比べて政策シナリオでは減少していることがわかる。すなわち、政策によって郊外部におけるサービスのムダが削減可能であるという政策の利点が発見できる。さらに、Fig. 9の2030年における指標の共時的比較を行う。すると、郊外部における生徒数と適正生徒数の差の変化が、ベースシナリオと政策シナリオの間で小さいことがわかる。これは、ベースシナリオと政策シナリオの間での生徒数と適正生徒数の差の変化

量をどの程度変化させるべきかという議論の端緒となる。すなわち、適正需要量(供給量)の削減量の設定という課題を発見できる。これらの発見は、同一単位の指標を共時的に比較することによって可能となっている。以上の議論より、政策評価フレームワークの利用は、政策の利点・欠点・課題の発見に有効であると考えられる。

政策評価フレームワークは、基礎需要推計モデルとあわせて利用することで、シナリオワークショップ¹²やコンセンサス会議¹³のような場で有効な方法となると考える。シナリオワークショップやコンセンサス会議のような自由討議の場では、ステークホルダーが集まり、政策・事業についての論点を絞り込むことが重要となる。論点を絞り込むためには、ステークホルダーが要求するさまざまな政策に関して利点・欠点・課題を発見できることが重要と考える。ステークホルダーが要求するさまざまな政策に関する利点・欠点・課題の発見には、以下のプロセスが有効になると考える。ステークホルダーの要求する政策に対応する政策パラメータを基礎需要推計モデルに入力し、データを出力する。ステークホルダーはデータを政策評価フレームワークを通して評価し、議論をおこなう。これを繰り返すことで、政策に関するさまざまな利点・欠点・課題の発見の支援が可能となり、論点の形成につながると考える。

7 まとめ

本研究の目的は、政策に関する合意形成支援において有効となるような地方中核都市における基礎需要推計モデルと政策評価フレームワークの構築であった。目的に対して、ABMを用いた仮想都市モデルと基礎需要計算モジュールからなる基礎需要推計モデルと、指標の適正量変換とシナリオ間で指標の共時的比較を可能とする政策評価フレームワークを構築した。そして、仮想都市モデルを用いたシミュレーション結果と考察から、合意形成支援におけるモデル・フレームワークの有効性を示した。具体的には、合意形成の情報提供支援の面での基礎需要推計モデルの有効性と、政策に関する利点・欠点・課題を発見する政策評価の枠組みとしての政策評価フレームワークの有効性を示した。

今後の課題としては、基礎需要推計モデルに関しては、(1)前提条件・制約条件・分析方法の情報を可視化、(2)ステークホルダー毎のコスト情報の可視化を挙げることができる。その他にも、日常生活に必要な労働需要など、基礎的情報の範囲を広げた推計を行えば、より広い視点からの議論につながると考える。また、現実の合意形成状況への適用を考えるためには、リアルタイムでの利用に耐えうるようなシミュレーションモデルの高速化も課題である。

謝辞

本研究は科学技術融合振興財団の助成を受けて行われています。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 総務省：「中核市制度について」(2013)
- 2) 国土交通省：「平成19年度国土交通白書」(2007)

¹²異なる立場や考え方を持つ人々が、部門や混成グループに分かれてシナリオをたたき台に議論するワークショップ¹⁴

¹³専門家と素人の市民が対等な立場で議論し、市民意見をまとめて公表する会議¹⁴

- 3) 中小企業庁：「中小企業白書」(2006)
- 4) 内閣府：「地域の経済 2012」(2012)
- 5) 国土交通省事業統括調整官室 21 世紀生活圏研究会：「21 世紀生活圏研究会中間整理」(2008)
- 6) 宇都・植村・北詰・浅見：『人口減少下のインフラ整備』東京大学出版会 (2013)
- 7) J.W. フォレスト著, 小玉訳：『アーバン・ダイナミクス：都市のシステム構造と動的挙動モデル』, 日本経営出版会 (1970)
- 8) 瀧澤, 河村, 谷: セルオートマトンとしての都市 (その 1) CA の応用性と土地利用パターンの形成, 日本建築学会計画系論文集, 第 506 号, 203/209(1998)
- 9) T.J.Rephann, K.Makila, and E.Holm:MICROSIMULATION FOR LOCAL IMPACT ANALYSIS: AN APPLICATION TO PLANT SHUTDOWN, JOURNAL OF REGIONAL SCIENCE, vol.45-1,183/222, (2005)
- 10) 出口弘:社会システムの制度デザインの方法論:政策科学の方法としてのエージェントベースモデリング&シミュレーション, 計測と制御, 第 52 巻, 第 7 号, 574/581(2013)
- 11) 土木学会：『非集計行動モデルの理論と実際』土木学会 (1995)
- 12) 青森市：「青森市中心市街地活性化基本計画」(2007)
- 13) 高橋真吾：モデルの解像度と妥当性評価, 計測と制御, 第 52 巻, 第 7 号,582/587(2013)
- 14) 原科幸彦：『市民参加と合意形成』学芸出版社 (2005)
- 15) 猪原健弘：『合意形成学』勁草書房 (2011)
- 16) Yan Ma, Zhenjiang SHEN and Mitsuhiko Kawakami: Agent-Based Simulation of Residential Promoting Policy Effects on Downtown Revitalization, Journal of Artificial Societies and Social Simulation, vol.16(2)2 (2013)
- 17) 栗田治：『都市と地域の数理モデル—都市解析における数学的方法—』共立出版社 (2013)
- 18) 伊藤修一郎：『政策リサーチ入門—仮説検証による問題解決の技法—』東京大学出版会 (2013)
- 19) 公立義務教育諸学校の学級編制及び教職員定数の標準に関する法律第三条：<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S33/S33HO116.html>
- 20) 福田・喜多：シミュレーテッドアニーリングによるエージェント属性決定手法を用いた人口推計モデルの評価, 計測自動制御学会第 4 回社会システム部会研究会講演論文集, 35/40(2013)
- 21) 総務省：「日本の長期統計系列第 2 章人口・世帯 人口移動 (2-37-b) 都道府県, 男女別都道府県内移動者数, 他都道府県との間の転出入者数及び転入超過率」<http://www.stat.go.jp/data/chouki/02.htm>
- 22) 青森市：「青森市, トップページ, 行政情報, 公共施設一覧, 分野別, 教育」
- 23) 一般社団法人青森市医師会：「市内病院案内」
- 24) 国土交通省：「7. 関係者との合意形成の図り方」『地域公共交通確保・維持・改善に向けた取組マニュアル』(2012)
- 25) 屋井・福田・根岸：交通需要予測不信を巡る市民意識の分析, 土木学会論文集 D, Vol62, No.1, 131 /144(2006)
- 26) 橋本武：『土木計画学第 3 版』(2011)
- 27) 厚生労働省：「平成 20 年患者調査」(2008)<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=00001060228>
- 28) 総務省：「家計調査報告 (家計収支編—平成 24 年平均速報結果の概況—) (2012)<http://www.stat.go.jp/data/kakei/sokuhou/nen/>