

地方中核都市の動的な変動を再現する仮想都市モデルの構築

○相澤景 市川学 出口弘 (東京工業大学)

Building Virtual City Model Representing Dynamic Process of Local Core City

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

Abstract— It is necessary to build estimation model of basic needs of residence in local core city under some policies like Compact City. The model can provide important information like what the government should allocate service resources in specific area or period. The purpose of this research is to build a model that estimate basic needs of residence in local core city under some policies which affect residence location while long urban dynamic process. In this paper, we build a virtual city model that represents dynamic process of local core city and test validity of the model.

Key Words: Social Simulation, Urban Simulation, Virtual City Model

1 はじめに

現在、我が国の地方中核都市¹⁾は、人口増加から人口減少・高齢化への転換期である。人口増加期には、住民の立地の拡散に伴い、地方中核都市は中心部から郊外部へと発展した。これらは、DID¹⁾面積の増加に対するDID人口密度の減少²⁾や、中心部からの人口の減少と郊外部での人口増加³⁾という指標から確認できる。人口減少期には、住民の撤退や自然減に伴い、地方中核都市の衰退が想定される。

都市の衰退に対して、行政は、コンパクトシティ政策など、住民の立地や移動に影響することで都市構造を変動させる政策を検討している。例えば、コンパクトシティ政策では、共同分譲住宅の供給や戸建て住宅の購入支援等の方法で、住民の中心部への立地を促進し、都市の中心部への回帰を促す⁴⁾。

人口増加から人口減少・高齢化への転換期を迎える地方中核都市では、地区別・人口コホート別に、長期的な都市構造の変動の中で住民の基礎需要を推計することが重要となる。ここでは、基礎需要を、産業・暮らし・消費・文化・交流といった日常生活に必要なと考えられる機能⁵⁾に関する需要と定義する。また、人間の立地に影響を与えるような政策を実行した場合の、地区別・人口コホート別の長期的な都市構造の変動の中で住民の基礎需要の推計も重要となる。このような基礎需要の推計は、公共サービス供給側にある時点・ある地区に必要な資源量を算出したり、都市における政策実施について合意形成するための情報となる⁶⁾など、今後の都市構造の設計を行う議論に必要な情報となる。

以上をふまえ、本研究の目的は、住民の移動や立地に影響して都市構造を変動させる種々の政策上で、都市構造の長期的な変動下での住民の様々な基礎需要の推計に有用なモデルの構築とする。そのため、地方中

核都市の都市構造の長期的な変動を再現し、その中で種々の政策が住民の基礎需要に与える影響を推計可能なモデルの構築とその有効性の検証を行う。本稿では、地方中核都市の都市構造の長期的な変動を再現する仮想都市モデルを構築し、その妥当性の検証を行った。

2 先行研究

都市構造の長期的な変動を表現するモデルとしては、都市に関するマクロな変数のストック・フローのダイナミクスを記述する微分方程式モデルであるアーバン・ダイナミクスモデル(UDモデル)⁷⁾、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セル・オートマトンモデル(CAモデル)⁸⁾、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Spatial Micro Simulation Model(SMSモデル)⁹⁾などがある。政策の都市への影響評価を行った研究としては、谷口らの研究¹⁰⁾がある。谷口らは、コンパクトシティ形成過程の地区別人口を想定し、その都市構造への展開に伴う路線バス・商業・医療というサービスへの影響と住民への影響を分析した。

UDモデル・CAモデル・SMSモデルは、人間・家計・企業といった主体の状態変数や意思決定に用いる内部モデルの粒度を、主体の意思決定に影響するような実際に生活世界で行われる政策をモデルで操作的に扱うためのものとして設定できない。また、谷口らの研究は、実際に実行可能な政策と結びつけられる形で住民の基礎需要の評価が行われてはいない。

3 方法論

本研究では、人口減少下での地方中核都市における新たな都市設計のための基礎情報を提供する政策評価・推計モデルの構築を行う。さまざまな政策オプションの評価を行うためには、実際に対策や政策を記述することのできる粒度で状態記述を行うことのできるモデルが必要となる。政策的なオプション評価可能なモデル化のためには、生活世界において主体が実際の

¹⁾ DIDの定義: 1km²に4,000人以上居住する国勢調査の基本単位区等が隣接して、総計で5,000人以上の人口を有する地区

活動で用いている状態変数と意思決定に用いる内部モデルの粒度をもつモデルの構築が必要である。その際には、問題状況に関連する複数の視点からのサブモデルの構築とその接合が要求される。そのためには、エージェントベースモデリング(ABM)が必要となる¹¹⁾。

本研究では、都市で生活する主体の居住地の移動・立地・撤退や都市の外側からの移動・立地に対して影響する種々の政策を、様々な基礎需要と結びつけて推計・評価するモデルを構築する。そのような政策として、例えば、市内に立地を考えている主体に対して、都市中心部における戸建て住宅の購入支援というものを考えるならば、中心部・郊外部といった都市構造に関するサブモデルと、主体が立地の際に用いる状態変数として立地に用いることが可能な所得といったものが必要となる。また、都市における学校や病院などの社会資本の配置・量を変化させて立地を変動させる政策を考えるならば、都市構造の中に学校・病院などの社会資本構造に関するサブモデルを導入する必要がある。

また、基礎需要の推計に際しても ABM は有用となる。主体の年齢・役割・世帯構造といった状態変数からミクロな主体の基礎需要を計算し、それについて地区別・人口コホート別に集計すれば、マクロな基礎需要の推計が可能となる。

本研究では、以上のような都市設計と政策評価における必要性から、ABM を方法論として用いる。

4 モデル

4.1 モデルの概要

ここでは、地方中核都市の都市構造の長期的な変動を再現する仮想都市モデルの概要を Fig. 1 を用いて説明する。本研究のモデルは、地方中核都市を表す仮想都市空間(City), 仮想都市空間外部(OutOfCity)という場、家(home), 駅(station), 病院(hospital), 学校(school)という空間、そして人間エージェント(Human Agent)からなる。仮想都市空間は、中心部(Center)と郊外部(Suburb)から構成される。人間エージェントには、状態変数(State Variable)と行動ルール(Behavior Rule)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。

都市構造の長期的な変動は、人間エージェントの転入(inflow)・市内転居(change location)・転出(outflow)・死亡(death)という移動と新たな人間エージェントの出生(birth)によって起こる。人間エージェントの移動は、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発生す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移動は、ライフイベントの種類に応じて、共通に移動する人間が設定され、それらの人

間を連れて移動する。人間エージェントの転入・市内転居の移動の際の立地先は、自己の行動ルールに従って仮想都市空間の中心部・郊外部から選択される。人間エージェントは、移動の行動ののちに、必要な状態変数に関して更新を行う。本研究のモデルの毎ステップは、現実世界における1年と対応し、t=0を開始ステップとする。

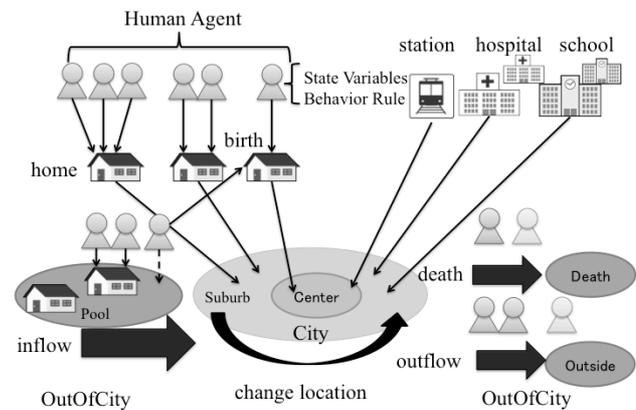


Fig. 1 Model Outline

4.2 場と空間の定義

本モデルにおける場は、仮想都市空間、仮想都市空間外部である。仮想都市空間は、集合を用いて、以下のように定義する。

- ・仮想都市空間 $\Omega[\text{City}]$: $\Omega[\text{City}] = \{\text{中心部}, \text{郊外部}\}$.

つまり、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。なお、現実世界における中心市街地とは、中心市街地活性化法¹²⁾の中心市街地認定要件に従って、各自治体はその範囲を定めるものである。従って、モデル上の中心部と郊外部の差異は、モデル実行者が初期値として設定するものであり、モデル実行者によってその範囲は異なる。また、中心部・郊外部という場は、場の人口(Population), 学校数(SchoolNum), 病院数(HospitalNum), 駅の存在の有無(StationDummy)を状態変数として保持する。Table 1 に中心部・郊外部という場の持つ状態変数とそのとりうる範囲をしめす。

仮想都市空間外部は、集合を用いて、以下のように定義する。

- ・仮想都市空間外部 $\Omega[\text{OutOfCity}]$:

$$\Omega[\text{OutOfCity}] = \{\text{市外}, \text{死亡}, \text{プール}\}.$$

このうち、プール(Pool)という場は、転入する人間エージェントや仮想都市空間に存在していない空間が保存されている場である。死亡(Death)という場は、死亡し

た人間エージェントが送られる場である。市外(Outside)という場合は、転出した人間エージェントが送られる場である。

本モデルにおける空間は、家、病院、学校、駅である。それぞれの空間を集合を用いて以下のように定義する。

- ・家空間の集合 $\Omega[\text{Home}]$:
 $n_{\text{home}} \in \mathbb{N}$, $\Omega[\text{Home}] = \{\text{home}_1, \dots, \text{home}_{n_{\text{home}}}\}$.
- ・病院空間の集合 $\Omega[\text{Hospital}]$:
 $n_{\text{hospital}} \in \mathbb{N}$,
 $\Omega[\text{Hospital}] = \{\text{hospital}_1, \dots, \text{hospital}_{n_{\text{hospital}}}\}$.
- ・学校空間の集合 $\Omega[\text{School}]$:
 $n_{\text{school}} \in \mathbb{N}$,
 $\Omega[\text{School}] = \{\text{school}_1, \dots, \text{school}_{n_{\text{school}}}\}$.
- ・駅空間の集合 $\Omega[\text{Station}]$:
 $\Omega[\text{Station}] = \{\text{station}\}$.
- ・空間の集合 $\Omega[\text{Space}]$:
 $\Omega[\text{Space}] = \Omega[\text{Home}] \cup \Omega[\text{Hospital}] \cup \Omega[\text{School}] \cup \Omega[\text{Station}]$.

すべての空間 $space \in \Omega[\text{Space}]$ には、中心部・郊外部・プールのいずれかの場が割り当てられ、これによって空間が存在している場が定まる。また、すべての家空間 $home \in \Omega[\text{Home}]$ は、世帯構成リスト、夫婦構成リスト、世帯主エージェントを状態変数として保持し、家(世帯)の世帯構成に関する情報を持つ。ここで、世帯構成リスト(HouseholdMemberList)とは、その世帯を構成するエージェントからなる集合である。また、夫婦構成リスト(CoupleMemberList)とは、その世帯の内の夫婦を構成するエージェントの集合である。また、世帯主エージェント(HouseholdAgent)とは、その世帯の世帯主のエージェントである。ここで、Table 2 に家空間の持つ状態変数とそのとりうる範囲をしめす。なお、power()は冪集合を取る操作を表す。

Table 1 State Variables of $\Omega[\text{City}]$

State Variable	State Range
Population	Subset of \mathbb{N}
SchoolNum	Subset of \mathbb{N}
HospitalNum	Subset of \mathbb{N}
StationDummy	{0,1}

Table 2 State Variables of $\Omega[\text{Home}]$

State Variable	State Range
HouseholdMemberList	power($\Omega[\text{Human}]$)
CoupleMemberList	power($\Omega[\text{Human}]$)
HouseholdAgent	$\Omega[\text{Human}]$

4.3 人間エージェントの定義

・ エージェントの定義

本モデルにおけるエージェントは、人間である。モデルに存在するすべての人間エージェントの集合を、

以下のように表す。

- ・人間エージェントの集合 $\Omega[\text{Human}]$:
 $n_{\text{human}} \in \mathbb{N}$,
 $\Omega[\text{Human}] = \{\text{human}_1, \dots, \text{human}_{n_{\text{human}}}\}$.

すべての人間エージェント $human \in \Omega[\text{Human}]$ には、中心部・郊外部・死亡・市外・プールのいずれかの場が立地場所(Location)として割り当てられ、また、家空間集合のいずれかの要素またはプールが家(Home)として割り当てられる。これによって、人間エージェントの居住する家(世帯)と立地場所が定まる。また、すべての人間エージェント $human \in \Omega[\text{Human}]$ は、年齢(Age)・役割(Role)・車保有の有無(CarDummy)・ライフイベント(LifeEvent)・配偶者(Spouse)・移動先(MoveTo)・共通移動人員(MoveMember)・共通移動リスト(MoveMemberList)という状態変数を保持する。

Table 3 に人間エージェントの持つ状態変数とそのとりうる範囲をしめす。

Table 3 State Variables of $\Omega[\text{Human}]$

State Variable	State Range
Age	{0,1, ..., 80}
Role	{student, univ_stu, labor, retired, death, outside, no_role}
CarDummy	{0(not_have), 1(have)}
LifeEvent	{go_univ, employed, birth, marriage, retired, inflow, death, no_event}
Spouse	$\Omega[\text{Human}]$
MoveTo	{inside, outside, death, stay}
MoveMember	{self, spouse, couple, all}
MoveMember-List	power($\Omega[\text{Human}]$)
Location	$\Omega[\text{City}] \cup \Omega[\text{OutOfCity}]$
Home	$\Omega[\text{Home}]$

・ エージェントの行動の定義

以下では、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、自己の年齢と役割という状態から、確率的にライフイベント{進学(go_univ), 就職(employed), 出生(birth), 結婚(marriage), 退職(retired), 死亡(death), 発生なし(no_event)}のいずれかが発生し、ライフイベントの状態変数の値が更新される。また、プールに立地している(プールに保存されている)人間エージェントは、定められたステップで、"転入(inflow)"のライフイベントが発生し、ライフイベントの状態変数の値が"転入"に更新される。なお、転入のライフイベントがどのステップでどのエージェントに発生するかは所与のものとしてモデルに与えられている。

ライフイベントの状態変数の値が"出生"の人間エージェントは、プールに保存されている人間エージェント1体を自らの世帯に子供として追加する。ライフイベントの状態変数の値が"結婚"の人間エージェントは、他のライフイベントが"結婚"のエージェントをランダ

以上の行動ののうち、すべてのエージェントは、家の世帯構成や年齢、役割など、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 $n \in \Omega[\text{Human}]$ の行動を Fig. 2 のフローチャートで表す。

4.4 シミュレーションの流れ

ここでは、シミュレーションの流れを以下に示す。

- ① 初期設定において、仮想都市空間が生成され、家・病院・学校・駅などの空間、世帯構造や人口構造を反映した人間エージェントが配置される。なお、仮想都市の生成方法は市川(2011)のモデルをベースとしている¹⁴⁾。
- ② シミュレーションは、0年から始まり、毎年人間エージェントが移動を行い、状態変数を更新し、次の年へ経過する。
- ③ 90年でシミュレーションを終了する。

5 モデルの妥当性評価

ここでは、現段階までに構築した、地方中核都市の都市構造の長期的な変動を再現する仮想都市モデルの妥当性の評価を行う。本研究のような、社会現象の再現を行うミドルレンジモデルでは、モデルの妥当性評価を定型的事実の再現によって行うことが多いとされる¹⁵⁾。本研究では、中心部での人口減少・郊外部での人口増加・都市全体での人口増加という「都市拡大期」から、中心部での人口減少・郊外部での人口減少・都市全体での人口減少の「都市縮小期」への推移という定型的事実の再現によって、モデルの妥当性評価を行う。これに追加して、実際の人口推移データからも妥当性評価を試みた。

5.1 シミュレーションの初期設定

今回は、地方中核都市のひとつである青森市の1960年の人口構成・世帯構成・中心部と郊外部の人口構成・学校数・病院数(一部は筆者による推計)の10分の1スケールの初期状態の都市を設定した(Table 4)。1960年という初期状態の設定は、我が国の地方中核都市の「都市拡大期」の開始をそこに仮定したことによる。なお、青森市は、2005年に浪岡町と合併を行っているため、値は旧青森市と浪岡町を合わせた設定としている。また、青森市の中心部と郊外部の区別は、青森市が中心市街地活性化基本計画において策定してい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¹⁶⁾。

以上の初期設定のモデルについてシミュレーションを実行し、振る舞いの分析を行った。なお、シミュレーションは10回試行し、その平均値から結果を分析している。

Table 4 Initial Setting of Virtual City

Variables		Initial Value	
		Center	Suburb
Population	Under 19	374	8707
	Under 64	505	11764
	Over 64	54	1243
NumberOf Household	Single(Adult)	9	194
	Single(Old)	1	21
	Couple(Adult)	15	344
	Couple(Old)	2	37
	Coupe and Child (Adult)	77	1789
	Coupe and Child (Old)	9	189
	Single-Parent and Child(Adult)	16	352
	Single-Parent and Child(Old)	2	38
	Three Generation Family	68	1582
NumberOfSchool		1	10
NumberOfHospital		1	1

5.2 定型的事実の再現の検討

Fig. 3は、横軸が年(t)・縦軸が $t=0$ のときを1とした人口指数を表したグラフである。Fig. 3のシミュレーション結果から、中心部の人口の継続的な減少と、郊外部の人口増加後の人口減少、都市全体としての人口増加後の人口減少を確認できる。よって、モデルは「都市拡大期」からの「都市縮小期」への推移という定型的事実の一定の再現がなされていると考えられる。

5.3 実データとの比較検討

Fig. 4は、実際の青森市の中心部・郊外部・全体での1960年からの人口指数の推移と、2010年以降は青森市の都市全体人口に関する国立社会保障・人口問題研究所による推計データ¹⁷⁾による推移を表したものである。Fig. 4の横軸は年(t)、縦軸は $t=1960$ のときを100とした人口指数を表している。

Fig. 3とFig. 4を比較検討する。総人口については、1960年を開始点とすると30年から40年ほどで、総人口がピークを迎え、それ以降下降するという推移が、シミュレーション結果(Fig. 3)と実データの推移(Fig. 4)である程度整合していることがわかる。また、郊外部については2010年以降の実データの推移を見ることはできないが、人口増加と人口減少について、シミュレーション結果(Fig. 3)と実データの推移(Fig. 4)がある程度整合していることがわかる。また、中心部についても2010年以降の実データの推移を見ることはできないが、人口減少という現象はシミュレーション

結果(Fig. 3)と実データの推移(Fig. 4)について整合している。しかし、中心部における、実データの1960年から1980年にかけての急激な人口減少や2000年代からの人口の再増加については再現できていないことがわかる。2000年代からの人口の再増加に関しては、青森市が実施した中心市街地に置ける人口増加施策の効果によると考えられる¹⁶⁾。

以上の比較検討からも、モデルは、政策効果までは反映できていないが、地方中核都市の都市構造の長期的な変動の再現をある程度行えていると考えられる。

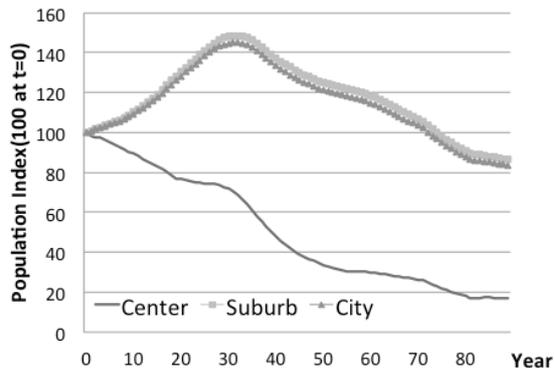


Fig. 3 Population Index Transition (Simulation)

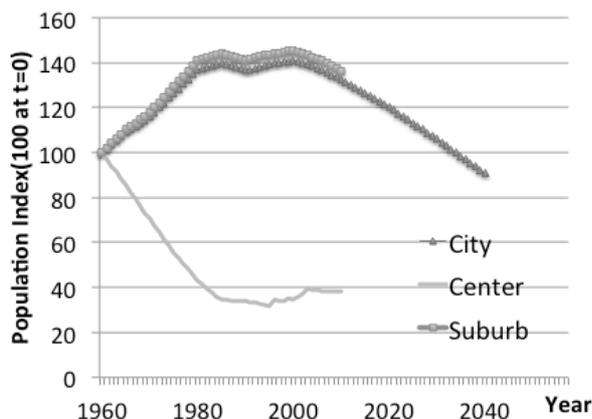


Fig. 4 Population Index Transition (Real Data)

6 まとめ

本研究の目的は、住民の移動や立地に影響して都市構造を変動させる種々の政策上で、住民の様々な基礎需要の推計に有用なモデルの構築とし、今回はそのベースモデルとなる仮想都市モデルを構築しその妥当性を検証した。

今後の課題としては、住民に必要な基礎需要の要素の計算や住民の立地や移動に影響する具体的な政策をモデルに導入し、さらに基礎需要を推計するモデルの有効性を示す必要がある。

なお、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) 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』(2008)
- 2) 国土交通省：「平成19年度国土交通白書」(2007)
- 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.フォレスター著、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) 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)集、vol. 68, No.2, 70/83 (2012)
- 11) 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)
- 12) 中心市街地の活性化に関する法律第二条：
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H10/H10HO092.html>
- 13) 土木学会：『非集計行動モデルの理論と実際』土木学会(1995)
- 14) 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(SSII2011), 1C2-2(2011)
- 15) 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)
- 16) 青森市：「青森市中心市街地活性化基本計画」(2007)
- 17) 国立社会保障・人口問題研究所：「日本の地域別将来推計人口(平成25(2013)年3月推計)-平成22(2010)-53(2040)年-」(2013)