

社会シミュレーションのための仮想都市環境構築システム

市川学 出口弘 (東京工業大学)

System of Virtual City Constructing Environment for Social Simulation.

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

Abstract— This paper describes about the environment for constructing virtual city models which use the agent-based approach. Most of models that represent social phenomena in real city consist of two parts. One is the virtual city part and the other is the social phenomenon part. Usually it takes much time for constructors to make virtual city part. In this research, to reduce time and steps of constructing virtual city part, we are trying to construct a system to make virtual city models automatically from statistical data. In this paper, we discuss about our idea of this system.

Key Words: Virtual City, Social Simulation, SOARS

1 研究の背景と目的

1.1 研究背景

現実社会に存在する現象や問題を理解・解決・予測するためにシミュレーションモデルを利用することは、比較的古くから行われており、微分方程式を用いた数理モデルを利用して、社会に存在する現象や問題を表現する研究は、これまでに一定の成果を挙げている。また、1990年代以降は、計算機の普及と高精度化、および計算機の利用技術の向上に伴い、コンピュータ・シミュレーションの技術を利用する環境が格段に改善された。そして、これまで一定の成果を挙げている微分方程式を用いた数理モデルに限らず、エージェントと呼ばれる自律的に意思決定を行うように定義された主体を複数用いる、マルチエージェントの技術を用いたアプローチも登場し、様々な方法論で多くのモデルが構築されている。近年では、これまで数理モデルでは表現することが難しかった複雑な現象をシミュレーションモデルに表現できるとして、エージェント・ベース・モデル、エージェント・ベース・シミュレーションと呼ばれるエージェント・ベースのアプローチの技術を用いた研究が盛んに行われるようになり、モデル化の自由度の高い大規模社会シミュレーションとその応用が期待されている¹⁾²⁾。

現実都市が抱える課題を、シミュレーションモデルを通じて解決する試みもシミュレーション技術の向上の影響を受け、数理モデルと同じくエージェント・ベースのアプローチを採用したモデルが数多く構築されている。この都市シミュレーション分野において、エージェント・ベースのアプローチを採用したシミュレーションモデルを構築する場合、実際の都市で生活する人間をエージェントとして捉え、モデルの中で表現された仮想の世界で、あるルールに従って意思決定をするように設計され、さらに対象となる都市問題がモデル上に実装されることが多い。つまり、モデルを構築するにあたり、現実の都市情報が反映された仮想都市モデルを構築する工程と、構築した仮想都市上に都市で起こりうる現象を表現する工程を経なければならない。

通常、都市が抱える課題(現象)解決のためにシミュレーションモデルを構築しようとしている者は、対象とする課題をモデル上に表現するために必要な情報や知識を保有している(モデルを構築するための技術は

別として)ことが予想される。一方で、課題に関する情報や知識はあるものの、現実都市の構造や統計情報の扱い方、これらに関する情報や知識を同時に持ち合わせているとは限らない。つまり、現実の都市を仮想都市モデルとして構築するための、情報や知識を持ち合わせていないことがありえると予想される。既述の通り、都市が抱える課題(現象)解決のためにシミュレーションモデルを構築するためには、仮想都市モデルの構築を経て対象の現象をモデル上に表現しなければならない。この仮想都市モデルの構築工程が、仮想都市モデルを構築するための情報や知識を持ち合わせていないがために、予想以上の手間と時間が仮想都市モデル構築のために費やされ、結果として本来の目的である都市が抱える課題(現象)解決のためにシミュレーションモデルを構築するために、多くの時間が必要となる原因になりうると考えた。

1.2 研究目的

本研究では、都市が抱える課題解決のためにシミュレーションモデルを構築する工程において、仮想都市モデルの構築に予想以上の手間と時間が費やされる可能性がある点に着目し、その仮想都市モデル構築のための手間と時間を短縮可能に結びつく情報とシステム(仮想都市構築システム)の提供を目指す。なお、本研究ではエージェントベースのアプローチでモデルを構築することを前提とする。

1.3 研究の立ち位置

そもそも、仮想都市モデルの構築方法は、

1. 地図を利用して表現された仮想都市上に、各地域における性別や年齢に応じた統計情報を利用してエージェントを生成する方法
2. ネットワーク構造を利用して、ノードをエージェントで表現し、家族構成や職場の人間関係、友人関係を定義する方法

に分けられる³⁾。前者は地理情報を用いた構築法(地理情報型)で、後者はネットワーク情報を用いた構築法である(ネットワーク型)。地理情報型は、人の行動に焦点があてられたモデルに利用されることが多く、回遊行動や避難行動を表現するモデルに採用される。一方で、ネットワーク型は情報の伝播に焦点があてられ

たモデルに利用されることが多く、噂の伝播や感染症の伝播を表現するモデルに採用される。

本研究では、地理情報型で仮想都市モデルを構築する方法において、その仮想都市モデルを構築するために有用となる情報と仮想都市モデルそのものを提供するシステムの構築を目指す。そもそも、エージェントベースのアプローチを採用したモデルにおいて、地理情報を利用することは珍しい方法ではなく、世界に存在する社会シミュレーションモデルを構築するために開発された社会シミュレーションツールのなかにも、地理情報に対応しているものはある。つまり、仮想都市モデルを構築する工程にかかる時間と手間が軽減される環境は整えられていると言える。そして一般的には、地理情報を用いたエージェントベースのアプローチが採用されたモデルでは、世帯（家族構成）というものが無視され、単純に地図上にエージェントが配置されたモデルとなることが多い。しかし、われわれはシミュレーションモデルが対象とする課題（現象）によっては、仮想都市モデル上の世帯の存在の有無がシミュレーション結果に影響することを既に示しており、これまでの環境では世帯の存在を考慮して仮想都市モデルを構築するまでに至っていない⁴⁾。

そこで、本研究で提供を目指すシステムでは、家族構成を考慮した仮想都市モデルを構築するために必要となる仮想都市情報と、仮想都市モデルそのものを提供することを目標とし、シミュレーションモデルが対象とする課題（現象）において世帯の存在が必要となる際にも、仮想都市モデルを構築する工程を軽減する環境となることを目指す。

2 世帯類型仮想都市構築システム

本節では、本研究で目標としている世帯類型仮想都市構築システムについて説明する。

2.1 これまでの研究成果

われわれは、すでにエージェント・ベースのアプローチを用いた都市シミュレーションモデル（都市で起こりうる社会現象を再現したモデル）において、その構築工程が、仮想都市モデルの構築と対象となる現象の実装に分かれることに着目し、その非効率性について言及してきた⁵⁾。そして、都市シミュレーション環境は、基盤となる仮想都市、組み込みとなる行動モジュールと社会現象モジュールをそれぞれ独立させることによって、対象とする都市の入れ替えや、表現する社会現象や問題を変化させることが可能になると提案している (Fig. 1)。

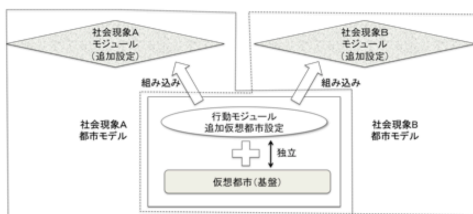


Fig. 1: 提案した都市シミュレーション環境

この提案した都市シミュレーション環境においては、仮想都市モデルを構築する際に利用する統計情報の種類が少なく、夫婦の年齢差や親と子の年齢差までを考

慮するような高度な推計アルゴリズムは用いていない。そこで、本研究では、仮想都市モデルにおいては、人口動態や世帯構成、年齢構成および家族内での年齢差の分布が統計情報より考慮されて構築される必要性があるという考えのもと、喜多らが開発しているエージェントの推計手法を利用して仮想都市モデルの構築を行う⁶⁾。

2.2 エージェント推計手法

本研究では、池田らの地域人口動態シミュレーションのために開発されたエージェント推計手法を元に仮想都市構築システムを構築する。このエージェント推計手法では、公開されている統計情報をもとに、家族構成、家族内での年齢差の分布、家族構成と年齢層の分布が守られるように各世帯に属すべきエージェントの性別や年齢を推計している⁶⁾。つまり、夫婦の年齢差、親と子の年齢差およびその性別、単身で住む者の年齢構成（たとえば10歳の一人暮らしは存在しない）などが統計情報に合う形で推計される。この推計手法は、いくつかの人口推計モデルの基盤となっている⁷⁾⁸⁾。本研究では人口推計ではなく、都市シミュレーションモデルの仮想都市モデルのエージェントの分布を構成するために利用することとした。

2.3 世帯類型仮想都市構築システムの概要

本研究で提供する世帯類型仮想都市構築システムでは、総務省統計局が提供する統計情報を利用することを想定する。利用する推計手法は、統計情報のうち全国値を主に利用するが、これを各市町村単位で公開されている統計情報で利用できるように改良し、さらに人口構成や世帯構成については、市区町村内の町丁・字等単位の情報を活用できるようにした。本項では、統計情報の在り方とともに、利用する統計情報およびその出力について説明する。

2.3.1 標準地域コード

標準地域コードは、都道府県および市区町村の区域を示す統計情報の表章と、当該情報の相互利用のための基準である¹⁰⁾。この標準地域コードは、総務省統計局が提供する統計情報のなかで、都道府県および市区町村に関連する項目については、表章として用いられていることが多く、地理情報システムとの親和性も高い。本研究で構築する世帯類型仮想都市構築システムでは、総務省が提供する統計情報を元に得られる世帯の推計情報を、地理情報システムに反映することを目指す。そのため、本システムは標準地域コードに準拠するものとした。

標準地域コードは、各都道府県に2桁の数字が割り当てられ、北海道を1とし沖縄県を47とする（東京都は13）。各都道府県に存在する市区町村は、都道府県のコードに続く3桁の数字で表現される。例えば、東京都大島町であれば、東京都における市区町村のコードが361であり、都道府県のコードを含めた標準地域コードは、13361となる。

この標準地域コードは、さらに細分化された境界、つまり都道府県や市区町村よりも細かい境界に対応しており、町丁・字等境界までをコードで表現されている。町丁・字等境界は、都道府県のコードと市区町村のコードに続く6桁の数字で表される。各市区町村に存在す

る町丁・字等のそれぞれにコードが割り当てられており、東京都大島町元町一丁目の標準地域コードであれば 13361001001 となる。

この 11 桁の地域コードが、日本国内で設定されている地域コードの中で、最も細分化された境界に対応したものであり、いくつかの統計情報はこの 11 桁の地域コードに対応して公開されている。例えば、11 桁の地域コードに対して、つまり全国の市区町村の町丁・字等ごとに対して人口や世帯数などの情報が得られるということである。

本研究で提供を目指す世帯類型仮想都市構築システムにおいては、11 桁の地域コードに対応した全国の市区町村における町丁・字等を地域の単位とし、各地域に存在する世帯を、世帯類型を考慮した上でそれぞれの世帯が明確に区別された空間としてモデル上に実現する。そして、都市シミュレーション分野における ABM を構築する際に利用できる、世帯類型仮想都市モデルとして提供することを目指す。

2.3.2 入力統計データ

世帯類型仮想都市構築システムにおいて必要となる情報は、全国情報と市区町村情報および町丁・字等情報の 3 種類である。これらの情報は、政府総務省・統計局にて公開されている情報のみを利用する。これは、本システムを利用と考えている者が、システムを利用するために必要となるデータを取得できない事態が発生しないようにしたためである。

全国情報として入力される統計情報は下記の通りである（括弧内は、公開されている統計情報名と対応する表）。

- 父と子の年齢差の分布（人口動態調査・中巻表 8）
- 母と子の年齢差の分布（人口動態調査・中巻表 8）

父親および母親とその子の年齢差の情報は、全国値でしか公開されていないため、本システムで提供システムにおける世帯内の親と子の年齢差については、市区町村や町丁・字等の特性を表現することはできない。

次に、市区町村情報として入力される統計情報は下記の通りである（括弧内は、公開されている統計情報名と対応する表）。

- 世帯類別世帯数（国勢調査・表 11）
- 年齢別人口分布（国勢調査・表 3-2）
- ある年齢・性別の人が単身世帯にいる割合（国勢調査・表 16-2）
- ある年齢・性別の人が夫婦のみ世帯にいる割合（国勢調査・表 16-2）
- 夫婦の年齢差の分布（国勢調査・表 17）
- 女性の年齢階級別有配偶率（国勢調査・表 5 - 2）
- 男性の年齢階級別有配偶率（国勢調査・表 5 - 2）

これらの情報を利用することで、各市区町村における世帯類型に応じた世帯数の割合と性別に応じた人口ピラミッド、単身および夫婦の年齢と性別の関係性が設定される。従って、本システムで提供される世帯の種類に応じた世帯数と人口の構成および夫婦の年齢の関係性は、市区町村の特性が表現される。なお、夫婦の年齢差の分布については、公開されている情報が市部・郡部・人口 20 万人以上の市区町村に制約されているた

```
元町1丁目,13361001001,Household,1199,1,s_m50
元町1丁目,13361001001,Household,1200,1,s_f52
元町1丁目,13361001001,Household,1201,1,s_f20
元町1丁目,13361001001,Household,1202,1,s_m36
元町1丁目,13361001001,Household,1203,1,s_m79
元町1丁目,13361001001,Household,1204,1,s_m81
元町1丁目,13361001001,Household,1205,1,s_f32
元町1丁目,13361001001,Household,1206,1,s_m19
元町1丁目,13361001001,Household,1207,1,s_m99
元町1丁目,13361001001,Household,1208,1,s_f52
元町1丁目,13361001001,Household,1209,1,s_m71
元町1丁目,13361001001,Household,1210,2,h_m62,w_f33
元町1丁目,13361001001,Household,1211,2,h_m86,w_f87
元町1丁目,13361001001,Household,1212,2,h_m36,w_f39
元町1丁目,13361001001,Household,1213,2,h_m87,w_f63
元町1丁目,13361001001,Household,1214,2,h_m72,w_f60
元町1丁目,13361001001,Household,1215,2,h_m81,w_f99
元町1丁目,13361001001,Household,1216,2,sw_f88,c_m76
元町1丁目,13361001001,Household,1217,3,h_m20,w_f24,c_m0
元町1丁目,13361001001,Household,1218,4,h_m59,w_f53,c_m30,c_f23
```

Fig. 2: 世帯構成データの例

め、仮想都市を構築する対象となる市区町村によっては、都道府県の情報を利用しなければならない場合がある。

最後に、町丁・字等情報として入力される統計情報は下記の通りである（括弧内は、公開されている統計情報名と対応する表）。なお、町丁・字等情報として入力される統計情報は地図で見る統計（統計 GIS）の情報をを用いる。

- 5 歳階級別、男女別人口（国勢調査・地理情報システムデータ）
- 世帯人員別一般世帯数（国勢調査・地理情報システムデータ）

これらの情報を利用することで、町丁・字等に存在する世帯数と人口が保障される。

まとめると、町丁・字等に存在する世帯数と人口およびその年齢構成を、各市区町村における世帯類型に応じた世帯数の割合や単身および夫婦の年齢と性別の関連性、さらに全国値である父と子、母と子の年齢差の分布を用いて按分し、世帯を生成する。

2.3.3 世帯構成データ

入力された各種統計データより按分され生成された世帯の構成データを、Fig. 2 に示す。

世帯構成データは、カンマ区切りのテキストファイルとして出力され、その要素は順に「町丁・字等名」「11 桁標準地域コード」「世帯記号」「世帯番号」「世帯人員」「世帯の構成人員」である。このなかで「世帯の構成人員」については、世帯を構成する人員が複数人存在する場合には、その要素が構成する人員分続く。例えば、2 における最終行（世帯番号が 1218）については、4 人で構成される世帯を表しており、その内訳が男性 59 歳（夫）、女性 53 歳（妻）、男性 30 歳（子供）、女性 23 歳（子供）であることを示している（h:夫・w:妻・c:子・p:親）。

2.4 社会シミュレーションツールへの適用

既述したが、世界に存在する社会シミュレーションモデルを構築することを目的として開発された社会シミュレーションツールの中には、すでに基本機能として地理情報システムに対応しているものは多い。しかし、その多くが X 座標・Y 座標を利用した座標軸を利用したモデルの空間設計、もしくは 2 次元格子状のセル型を利用したモデルの空間設計を採用している（モデルの空間設計には、他にネットワーク構造が考えら

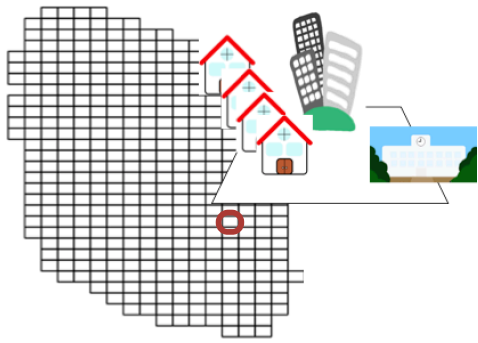


Fig. 3: スポットを用いた世帯空間概念

れる)。そのため、地理情報システムにおける緯度・経度の情報をモデルの Y 座標・X 座標に対応させる、もしくは地理情報システムにおける各メッシュをセル型の各セルに対応させることによって、地理情報をモデルに反映させることを実現している。

しかし、これらの社会シミュレーションツールでは、空間設計を座標軸もしくはセル型に縛られ、座標軸もしくはセルとは違った特徴を持つ空間概念をモデルに導入することができない。正しく述べるならば、空間やエージェントが持つ属性値を利用することで、別の空間概念を表現することは可能だが、モデル上で明確に座標軸上やセル上とは別の空間として表現することができない。仮想都市における世帯を例にとると、世帯が存在する座標もしくはセルを定義することができるが、世帯が存在する座標もしくはセル上に、世帯を別空間として定義することができないということである。

その点、筆者が開発している SOARS⁹⁾ は、他の社会シミュレーションツールと同様に標準で地理情報システムに対応しているものの、スポットと呼ばれる空間概念（スポットそのものには位置情報の概念は無いが、位置情報を属性値で表現可能で、スポットはエージェントが存在する空間であり、スポットに属するスポットの表現も可能である）を利用しているため、ある地区に存在する世帯を明確に別空間として定義することが可能である（Fig. 3）。Fig. 3 に示す通り、地区を表すスポット上に、世帯や事業所、学校などの空間を分けて表現することができる。

そこで、本研究で構築を目指す世帯類型仮想都市構築システムにおいては、SOARS での利用への適用を考え（もちろん世帯構成データについては、他のツールでの利用も可能である）、地理情報システムから得られる地理情報と世帯構成データを SOARS に入力することで、自動的に世帯類型仮想都市モデルが構築されるシステムとする。現在、世帯構成データを作成するプログラムは完成しており、地理情報システムから得られる地理情報と世帯構成データを入力することで自動的に SOARS 上で仮想都市が構築されるプログラムを作成している。

3 まとめと今後の展望

本稿では、エージェントベースのアプローチを採用した社会シミュレーションモデルの枠組みのなかで、都市で起こりうる社会現象を表現する都市シミュレーションモデルを対象とし、都市シミュレーションモデルを構築する際に必要となる仮想都市モデルについて言及

した。その上で、モデルが対象とする社会現象によっては、仮想都市モデル上で世帯を考慮する必要があることを述べた。また、総務省・統計局で公開されている統計情報は、集計情報であり世帯ごとの人員構成、各人員の性別・年齢、家族内での年齢差の分布を考慮するためには、いくつかの統計情報から按分する必要性が存在することも述べた。

本研究では、喜多らの研究を応用し、総務省・統計局で公開されている統計情報と地理情報を用いて、提供される境界の最小単位である市区町村に存在する町丁・字等ごとに、そこに存在する世帯を世帯型および世帯を構成する人員の性別・年齢・および年齢差を考慮した世帯構成データを出力するプログラムへと改良を行った。そして、作成される世帯構成データと、公開されている地理情報を用いて、我々が開発を続けている社会シミュレーションツール SOARS において、都市で起こりうる社会現象を表現する都市シミュレーションモデルにおける仮想都市モデルを自動構築するプログラムの作成に着手している。

現在は総務省・統計局に統計情報取得のための API が存在しないことにより、使用者が世帯構成データを取得したい市区町村ごとに、統計情報と地理情報を収集し入力をしなければならない。今後は、総務省・統計局で公開されている全国の市区町村の統計情報と地理情報を収集する方法を模索し実現することで、使用者が統計情報と地理情報の入力を必要とせずに世帯構成データが取得できるサービスの提供を目指す。

本研究で構築を目指すシステムが実現することにより、都市で起こりうる社会現象を表現する都市シミュレーションモデルを構築する際に、仮想都市モデルの構築に不要な労力をかけず、対象となる社会現象のモデル化に集中できる環境提供に繋がることを目指す。

参考文献

- 1) N. Gilbert and K. G. Troitzsch: Simulation for the Social Scientist, 2nd Ed., Open University Press (2005)
- 2) N. Gilbert: Agent Based Models, SAGA Publications (2008)
- 3) Paul Waddell and Gudmundur F. Ulfarsson: Introduction to Urban Simulation: Design and Development of Perational Models. Handbook in Transport., Transport Geography and Spatial systems, Vol.5, 203/236 (2004)
- 4) 市川学, 出口弘: 感染症実用シミュレーションにおける仮想都市構築法の違いによる結果への影響分析, Vol.49, No. 11, 1012/1019 (2013)
- 5) 市川学: 都市モデルと社会現象モジュールによる都市シミュレーション環境の P2M における利用可能性, Vol.8, No. 1, 131/144 (2013)
- 6) 池田心, 喜多一, 薄田昌広: 地域人口動態シミュレーションのためのエージェント推計手法, 第 43 回システム工学部会研究会 資料, 11/14 (2010)
- 7) S. Hara, H. Kita, K. Ikeda and M. Suzukita: Configuring Agents' Attributes with Simulated Annealing, Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems VII, Agent-Based Social Systems, Vol.10, 45/49 (2013)
- 8) 福田純也, 喜多一: エージェントベースの人口推計モデルにおける属性決定手法の評価, システム制御情報学会論文誌, Vol.27, No.7, 279/289 (2014)
- 9) SOARS プロジェクト <http://www.soars.jp/>
- 10) 総務省統計局 <http://www.stat.go.jp/>