

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |                                                                |
|-------------------|----------------------------------------------------------------|
| 論題(和文)            | 生活空間を考慮した仮想都市の構築法とその利用可能性                                      |
| Title(English)    | Virtual City Environment with Life Spaces for Urban Simulation |
| 著者(和文)            | 市川学, 出口弘                                                       |
| Authors(English)  | Manabu Ichikawa, Hiroshi Deguchi                               |
| 出典(和文)            | JAWS2010 予稿集, , ,                                              |
| Citation(English) | Proceedings of JAWS2010, , ,                                   |
| 発行日 / Pub. date   | 2010, 10                                                       |

## 生活空間を考慮した仮想都市の構築法とその利用可能性

市川 学<sup>\*1</sup>, 出口 弘<sup>\*2</sup>

## Virtual City Environment with Life Spaces for Urban Simulation

Manabu Ichikawa<sup>\*1</sup>, Hiroshi Deguchi<sup>\*2</sup>

**Abstract:** 都市で起こりうる社会現象を扱う都市シミュレーションの分野において, これまで地理情報システムとセル型を基盤とした仮想都市を用いてモデルが構築されることが多く, モデル構築手法の特徴から, 人間が生活を行う世帯や事業所などの生活空間は, 仮想都市上に再現されてこなかった. 本研究では, 世帯や事業所などの生活空間を考慮した仮想都市の構築法を新しく提案し, その利用例を用いて, 本手法を用いた仮想都市の社会シミュレーションへの利用可能性を示す.

**Keywords:** エージェントシミュレーション, 社会シミュレーション, 仮想都市

## 1. はじめに

近年, 社会現象の解釈, 説明, 予測のためにシミュレーションモデルを利用する研究が盛んに行われている. 人口動態のシミュレーションや交通流のシミュレーション, 為替市場のシミュレーションや噂の伝播のシミュレーションなど, これまでに構築されてきたモデルは数多く存在する. 人間社会とそこで起こりうる上記のような社会現象を対象とした研究において, 数理モデルを利用する手法だけでなく, エージェントと呼ばれる意思決定主体を利用したエージェントベースシミュレーションと呼ばれる手法を利用する研究が, 社会シミュレーションの分野において主流になりつつあるのが現状である(1)(2)(3). このような中で, 都市で起こりうる社会現象を対象とする都市シミュレーションの分野においても, 多くのエージェントベースモデルが構築されるようになり, 都市で起こる社会現象の理解のために利用されている(4).

都市シミュレーションの分野では, エージェントベースによるモデルを構築する場合は, まず対象とする社会現象が発生する現実の世界を, 仮想の世界としてモデル化し, この上に社会現象の内容を再現して目的とするモデルを構築す

ることが多い. 例えば, 交通流のシミュレーションの場合, 乗り物や人の移動を表現するために, 道路情報が反映された仮想の世界を構築した上で, 渋滞状況などの交通流に関する内容が実装される. 人間の日常生活内で起こりうる社会現象のモデルを構築するためには, 人間が住む現実世界を仮想化した環境, つまり都市シミュレーション環境を利用することが必然的に求められている.

これまで, この都市シミュレーションの分野では, 社会現象を実装する仮想都市を構築するために, 地理情報システムとセルオートマトンを併用する手法が広く利用されている(5). この手法では, 現実世界の地図が仮想都市に利用され, 都市情報(人口情報, 地区・町丁情報, 道路情報など)を地図上に重ね合わせることで, 現実の都市が持つ様々な情報を高い精度で再現することを可能としている. そして, 都市情報を持った地図を格子状に区切り, 各格子に都市情報を反映させることで, 各格子の持つ情報を利用しながらエージェントが格子上を移動させることによって, 現実世界での人間や物の移動を似せた動きを表現することが可能となっている. そのため, 避難経路の探索シミュレーションや交通流のシミュレーション, 人の回遊行動のシミュレーションなど, 都市内における人間や物の移動に重点の置かれた社会現象のシミュレーションを行う場合に, 非常に有効的な手法である. しかし, 都市内で起こりうる社会現象のすべてが人間や物の移動を中心としたものではなく, 人間や物への影響や場所における相互

<sup>\*1</sup> 東京工業大学大学院総合理工学研究科, 〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259

E-mail: ichikawa@dis.titech.ac.jp

<sup>\*2</sup> 東京工業大学大学院総合理工学研究科, 〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259

E-mail: deguchi@dis.titech.ac.jp

作用に重点の置かれた社会現象も多く存在する。このような社会現象の場合、人間や物の移動はさほど重要ではなく、地理情報システムとセルオートマトンを併用した精度の高い仮想都市よりも、都市を構成する世帯や学校、事業所などの生活空間が定義された仮想都市が必要となる。たとえば、ロコミの広がるシミュレーションでは、ロコミを広める場所が仮想都市の中に存在するということが大事であるが、地理情報システムとセルオートマトンを利用した仮想都市の各格子には、生活空間の数の定義はあるが、生活空間そのものの定義がないのが現状である。

そこで本研究では、都市シミュレーション分野における仮想都市の構築法の現状をふまえ、都市において、人間や物への影響や生活空間などの場所における相互作用に重点が置かれた社会現象を再現するのに有用な、現実都市が持つ階層構造に着目した仮想都市の構築法を利用し、生活空間が考慮された仮想都市の構築法を整理する。また、現実のデータを利用して仮想都市を構築し、社会現象を再現した都市シミュレーションモデルを紹介する。

## 2. 階層型仮想都市の構築

### 2.1 階層型仮想都市の構造

地理情報システムとセルオートマトンを併用した手法では、現実の都市の地図を格子状に区切ることによって都市構造をとらえていたのに対して、都市の階層構造を利用する手法では、現実の都市が持つ行政の区画を利用することで、いくつかの階層に分構成されているものとして、都市構造を捉える。例えば、都市を「都市全体の階層」「各地区の階層」「各町丁の階層」「生活空間の階層」のように、4階層から構成されているものとして捉える。この階層の数は、対象とする都市の大きさに応じて、多くも少なくもなる。例えば、ある地区だけを仮想化したい場合には、階層数が少なくなる可能性があり、また複数の市町村を対象とする場合は、階層数が多くなる可能性がある。

例に挙げた4階層構造では、一番下位に位置するのが「生活空間階層」とし、その1つ上の階層が、各生活空間が含まれる「町丁階層」となる。上位階層と下位階層の包含関係によって、頂点に位置する「都市階層」まで、階層構造を生成する。図1に階層構造のイメージを示す。

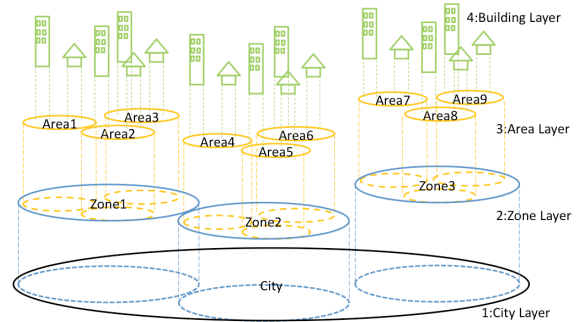


図1 階層構造のイメージ

なお、この階層構造を持つ仮想都市では、人間や物の移動は、階層間の移動によって表現される。図1では、Area1に存在する建物からArea6に存在する建物へ移動しようとする場合、建物→Area1→Zone1→City→Zone2→Area6→建物の経路を利用して、出発地から目的地まで移動する。

すでに述べたが、対象とする都市の大きさに応じて、階層数も変わるため、頂点に位置する階層が「都市階層」となることはない。「地方階層」が頂点になることも考えられる。ただし、一番下位の階層の「生活空間階層」だけは、どの仮想都市でも同じである。

### 2.2 階層型仮想都市の設定

地理情報システムとセルオートマトンを併用する仮想都市構築法でも、都市の階層構造を利用した仮想都市の構築法でも、仮想都市を構築するために必要となるいくつかの都市情報が存在する。対象とする都市に存在する地区の数や、各地区内に存在する町丁の数、また各町丁内に存在する生活空間の数など、各階層を構成する要素の数の都市情報である。地理情報システムを利用する場合は、システムで利用できる情報を持ってさえいれば、これらの情報は簡単に手に入るが、システムで利用する情報を取得するためにコストがかかっているのが現状である。本研究では、都市情報を得るためにコストをかけないためにも、公開されている情報を基に、仮想都市を構築するために必要となる都市情報を生成することとした。なお、公開されている情報として、「政府統計の総合窓口（E-STAT）」を利用している。

E-STATからは、下記に挙げるような都市に関する情報を得ることが可能である。

- 世帯数
- 人口（性別別・年齢別）
- 世帯種類別の世帯数（単身世帯数・夫婦世帯数など）

- 世帯人数別の世帯数（1 人家族の世帯数，2 人家族の世帯数など）
- 子供人数別の世帯数（子供 1 人の世帯数，子供 2 人の世帯数など）
- 従業員の規模別事業所数
- 事業職種別の事業所数
- など

これらの情報と，都市内に存在する地区数や町丁数の地図的情報を組み合わせ推計することによって，各町丁に存在する生活空間の数を決定することが可能である．実際に得られる生活空間の情報な下記の通りである．

- 17 種類の世帯構成別の世帯数
- 5 種類の事業規模別の事業所数
- 保育所・学校などの教育機関数
- そのほか，公園・病院などの数

なお，ここで得られる 17 種類の世帯構成は，世帯主から 1 親等以内の人員で構成される世帯が，全国の総世帯数 95%（平成 17 年 国勢調査）を占めていることから，この世帯主から 1 親等以内の人員で構成される世帯を仮想都市で存在するものとした．また，5 種類の事業規模別の事業所数は，統計情報が従業員数をもとに 5 段階分類していることから，その 5 段階をそのまま事業所の種類分けに採用したものである．

### 2.3. 階層型仮想都市の構築

本研究では，統計情報から得られた都市情報を持つ階層型による仮想都市を構築するにあたって，社会シミュレーション言語 SOARS を利用した(6)(7)．仮想都市を構築するためには，社会シミュレーション言語かプログラミング言語のどちらかを利用しなくてはならないが，社会シミュレーション用に開発されているシミュレーション言語を利用することで，仮想都市を構築する労力を減らすことができると考えたからである．その中で SOARS を利用した理由は，多くの社会シミュレーション言語がセルオートマトン型のモデル構造から抜け出していないのに対して，SOARS には，空間を位置をともって配置するという概念がなく，好きな場所に好きなように空間を定義できるという特徴を持っていたからである．そして，SOARS を利用したもう 1 つの理由は，SOARS がプログラミングの知識や経験がなくても，簡単な操作で社会シミュレーションモデルが誰でも簡単に構築できるように設計されているため，仮に本研究で構築する仮想都市を他の者が使うことにな

った場合，プログラミング言語を利用して構築された仮想都市よりも利用しやすいと考えたためである．図 2 に，SOARS を用いて構築した非常にシンプルな仮想都市を示す．ただしこの仮想都市は，現実の都市情報を反映していないものである．

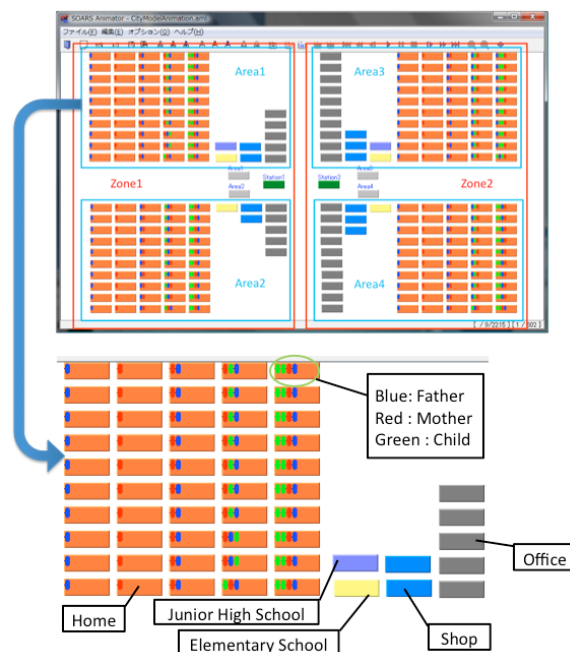


図 2 仮想都市例

この架空の仮想都市では，2 つの地区から構成され，各地区は 2 つの町丁によって構成されている．各町丁には，5 種類の世帯が計 50 世帯ずつ存在し，そのほかに事業所や学校，店が存在する．実際には，得られる都市情報を反映した仮想都市を構築する．

## 3. 階層型仮想都市の利用

本章では，実際に 2 章で述べた階層構造を持つ仮想都市を，現実のデータを用いて構築し，社会現象を実装することによって，生活空間を考慮した仮想都市を利用してシミュレーションモデル構築例を紹介する．なお，ここでは，東京都大島町（伊豆大島）の都市情報を用いて仮想都市を構築し，モデルから得られるシミュレーション結果と，生活空間を考慮した仮想都市の利用法について検証する．

### 3.1. 仮想伊豆大島

なお，この仮想伊豆大島では，「町階層」「地区階層」「町丁階層」「生活空間階層」の 4 階層構造からなるものとした．仮想伊豆大島に利用した主な都市情報を表 1，表 2 に示す．

表 1 仮想伊豆大島の都市情報

| 都市情報 | 数 |
|------|---|
|------|---|

|            |         |
|------------|---------|
| 総世帯数       | 3968 世帯 |
| 人口         | 7802 人  |
| 単身世帯       | 1597 世帯 |
| 夫婦世帯       | 1168 世帯 |
| 夫婦＋子供世帯    | 785 世帯  |
| 父親＋子供世帯    | 65 世帯   |
| 母親＋子供世帯    | 266 世帯  |
| 夫婦＋両親世帯    | 3 世帯    |
| 夫婦＋片親世帯    | 44 世帯   |
| 夫婦＋子供＋両親世帯 | 6 世帯    |
| 夫婦＋子供＋片親世帯 | 34 世帯   |

表 2 仮想伊豆大島の地区情報

| 地区名 | 町丁数 |
|-----|-----|
| 元町  | 58  |
| 岡田  | 13  |
| 泉津  | 15  |
| 野増  | 8   |
| 差木地 | 7   |
| 波浮港 | 1   |

実際には、表1より、各世帯の子供の人数による場合分けを考慮するため、世帯構成による種類わけは、17種類となる。

### 3.2. 感染症拡大現象の実装

本稿で構築した生活空間を考慮した仮想都市が対象とする社会現象をふまえ、感染症が蔓延する社会現象を仮想伊豆大島上に実装した。実装した感染症の状態遷移図を図 3 に示す。

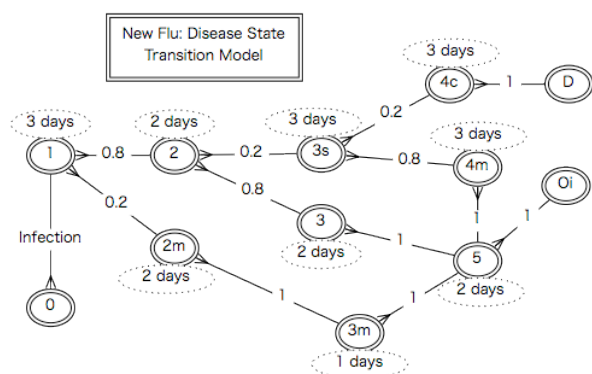


図 3 感染症の状態遷移図

この感染症では、発症後、80%の確率で顕性感染に、20%の確率で不顕性感染となる。顕性感染の場合は、病院に収容され治療が施されるが、不顕性感染の場合は、病院に収容されず、日常の行動を繰り返しながら感染菌をばらまき続ける。

また、図 4 に生活空間における感染症蔓延のアルゴリズムを示す。

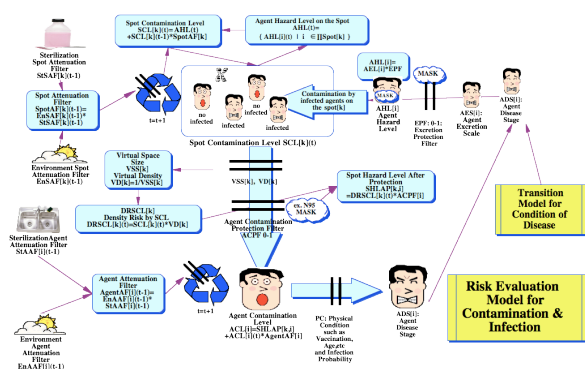


図 4 感染症蔓延のアルゴリズム

生活空間にはらまかれた感染菌は、生活空間の密度を考慮して感染力が計算され、マスクや手洗い、うがい、湿度対策などは感染症に対するフィルターとして扱われ、感染力に影響を及ぼすものとしている。今回のシミュレーションでは、生活空間における対策は、何も行われないものとして、シミュレーションを行った。

なお、この感染症の状態遷移および感染症蔓延のアルゴリズムは、出口のモデルを利用した(8).

### 3.3 シミュレーションの結果

仮想伊豆大島において、架空の感染症を実装したモデルのシミュレーション結果として得られるものの1つとして、地域ごとの感染者の推移のグラフを図5に示す。なお、このシミュレーションでは、初期状態として、最も人口が多い地区（元町）に、同時に5人の感染者が発生した状況よりシミュレーションを開始している。

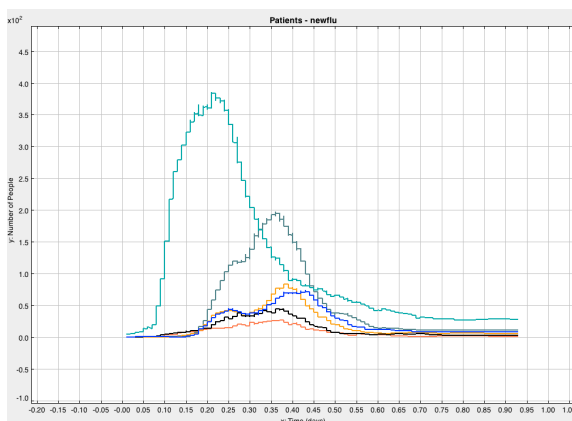


図 5 地域ごとの感染者の推移

このグラフでは、横軸を日数、縦軸を人数としている。感染源であったエージェントが存在する地区では、10日目から20日目にかけて大きな流行が起こり、ピークを迎えたところから、他の地区への伝播が目立つようになっている。町全体としては90日程度で感染症の蔓延が沈静化している。また、比較的

人口密度の高い2地区では、感染者発生から、短時間で爆発的な感染症の蔓延が発生するのに対して、人口密度が低い地域では、感染者の発生からゆっくりと時間をかけて感染症が蔓延していくことを読み取ることができる。

また、別のシミュレーション結果として、感染者一人が、何人を感染させているかの指標であるR値の推移を図6に示す。

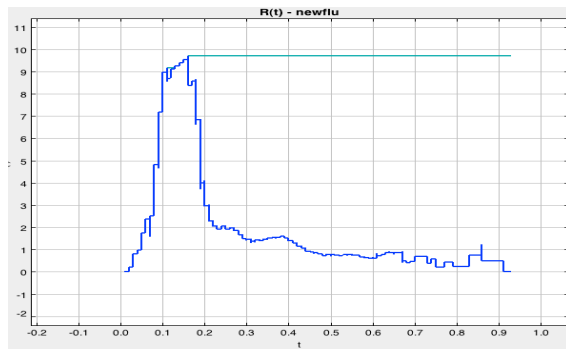


図6 R値の推移

このグラフでは、横軸を日数、縦軸を人数としている。感染源であった地区で爆発的な蔓延が起こっていた時期には、R値が9前後に到達しており、一人の感染者が他の9人を感染させていたことがわかる。また、20日目以降から45日目あたりまでは、R値が1以上を保っており、感染症がまだ拡大状態あることを示している。50日目を過ぎると、R値が1未満となり、ようやく感染症の蔓延が終息の方向へ向かいだしたことがわかる。人間の生活空間を考慮した仮想都市を利用することで、生活空間を介した感染症の拡大を表現するモデルを構築することができ、一応の感染者の推移やR値の推移を結果として得られることが可能である。このほかにも、仮想都市に生活空間が再現されているため、「どの生活空間で感染したか」「どの場所が危険か」など、生活空間を基としたシミュレーション結果を得ることも可能である。実際の社会で感染症が発生した場合に、地域封鎖などの感染症対策がどの程度効果があるのか、モデルに実装することで、評価を行う道具として利用することも想定することができる(9)。

### 3.4 対象となりうる社会現象

都市で起こりうる社会現象のすべてを、本研究で提案する仮想都市を用いてモデルを構築することは合理的であるとは言いがたい。繰り返しになるが、避難行動や回遊行動など、人間や物の移動に重点の置

かれた社会現象をモデルとして構築したい場合は、間違いなく地理情報システムとセルオートマトンを併用してモデルを構築することが適している。それに対し、本研究で、提案する階層構造を利用した仮想都市の構築法は、下記に挙げるような社会現象をモデルとして構築する場合に有用であると考えられる。

- 感染症モデル  
感染症の蔓延をシミュレーションするモデル
- 地域政策モデル  
地域ごとに異なる政策を施した場合に、住民の生活にどのような影響が生じるかをシミュレーションしたモデル
- 転入・転出モデル  
転入・転出の動向から人口動態をシミュレーションするモデル
- ライフラインモデル  
電気・ガス・水道など、家庭でのライフラインの利用などをシミュレーションするモデル

## 4. まとめと今後の展開

本研究では、従来の地理情報システムとセルオートマトンを併用した仮想都市構築の方法論とは違った、都市の階層構造を利用した仮想都市構築の方法論を利用することで、生活空間を考慮した仮想都市の構築を可能にした。これにより、従来の手法では実現が難しかった、生活空間などの場所において、人間や物の相互作用に重点が置かれた社会現象を、シミュレーションモデルとして再現できる仮想都市を実現している。実際に、公開されている統計情報を用いて現実の町を仮想都市として再現し、架空の感染症蔓延の現象を再現することによって、本研究の提案する仮想都市の特徴を持つ都市シミュレーションモデルの利用例を示した。

現在、公開されている統計情報から自動で仮想都市を構築する環境は存在していない。従来の手法でも、地理情報システムを介して仮想都市が構築されている。現段階では、本研究で提案する生活空間を考慮した仮想都市を構築するために、必要となる統計情報を自分で取得するという手間が発生してしまうことが問題である。今後、公開されている統計情報を利用して、本研究で提案する生活空間を考慮した仮想都市を

自動的に生成するシステムを開発し、生成された仮想都市を自由に引き出すことができるデータベースを用意することによって、人間や物の生活空間などの場所における相互作用に重点を置いた都市シミュレーションモデルが数多く構築される環境を提供していく。また、その開発と並行して、仮想都市上への社会現象の再現方法について、利用法を公開する。

## 謝辞

この研究は、科学技術融合振興財団の助成を受けて行われたものである。ここに謝意を表する。

## 文 献

- (1) Joshua M. Epstein and Robert Axtell : Growing Artificial Societies, the Brookings Institution(1996)
- (2) Nigel Gilbert : Agent-Based Models, SAGE Publications(2008)
- (3) Nigel Gilbert, Klaus G. Troitzsch : Simulation for the Social Scientist, Open University Press(1996)
- (4) Paul Waddell and Gudmundur F. Ulfarsson : "Introduction to Urban Simulation: Design and Development of Operational Models". Handbook in Transport, Transport Geography and Spatial systems, Vol.5, pp.203-236
- (5) 高橋重雄, 井上孝, 三條和博, 高橋朋一 : 事例で学 GIS と地域分析, 古今書院(2005)
- (6) M. Ichikawa, H. Tanuma, Y. Koyama, H. Deguchi : "SOARS for simulations of social interactions and gaming. Introduction as a social microscope", Proceedings of the 38th Annual Conference of the International Simulation and Gaming Association, pp.149-158 (2007)
- (7) SOARS Project : <http://www.soars.jp>
- (8) 出口弘、田沼英樹、金谷泰宏、齋藤智也、兼田敏之、小山友介、市川学、天然痘バイオテロを事例とした SOARS によるシミュレーション疫学モデルの構築, 第 66 回日本公衆衛生学会総会, (2007)
- (9) 生涯教育シリーズ 51 : 「感染症の診断・治療ガイドライン」, 日医雑誌, Vol.126, No.11, pp.1559-1561 (2001)

