

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23710165

研究課題名(和文)生活空間を考慮した大規模仮想都市モデルの実現に関する研究

研究課題名(英文)Research on Virtual City Simulation Environment for Social Phenomenon

## 研究代表者

市川 学 (ICHIKAWA, MANABU)

東京工業大学・総合理工学研究科(研究院)・助教

研究者番号：60553873

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文):本研究では、「人間の生活空間における活動に重点の置かれた社会現象を再現することが可能で、地図情報が反映された仮想都市モデルを実現し、大規模都市シミュレーションを可能とする環境を総合的に整備する」ことを目標とし、公開されている統計情報や地理情報を用いて、都市シミュレーションにおける仮想都市を構築する環境を整備した。この整備された環境を用いて、感染症疫学、都市計画や健康危機管理の分野において、その政策や施作の評価シミュレーションを行うことを可能にした。今後は、複数シミュレーションを同期しての大規模シミュレーション技術への対応が期待される。

研究成果の概要(英文):This research aims at constructing a virtual city model which enables the reproduction of social phenomena with an emphasis on human behaviors in a living space and the reflection of map information, and also providing a comprehensive environment to enable large-scale urban simulations. By applying the published statistic data and geographic data, this work provides an environment for constructing virtual cities for urban simulation. Based on this environment, we could evaluate relevant policies and implementations by doing simulation in variant fields, such as influenza epidemiology, urban planning and health crisis management. In future work, we expect to apply and extend this work to large-scale simulation techniques for experimenting multiple simulations simultaneously.

研究分野：都市シミュレーション

キーワード：都市シミュレーション 仮想都市 エージェントベース 疫学シミュレーション

### 1. 研究開始当初の背景

現実の都市で起こりうる社会現象を理解するために、モデルを構築し、シミュレーションを行い、結果から対象とした社会現象の特徴を理解しようとする研究手法は、これまで数多くの研究が取り入れている手法である。近年では、計算機の発達とシミュレーション技術の進化により、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のアプローチを用いたモデル構築手法が主流となりつつある。これらの研究では、人間の現実世界における日常生活を再現した仮想都市モデルを構築し、構築した仮想都市モデル上に対象とする社会現象を再現した都市シミュレーションモデルを用いて社会現象の特徴を捉える試みが行われている。

エージェントベースのアプローチを利用した都市で起こりうる社会現象を分析する研究では、対象とする社会現象を再現するための仮想都市モデルを構築することが必要不可欠であり、これまでに構築されてきた仮想都市モデルの構築手法は、セル型(XY座標系)の空間を利用するものがほとんどである。このセル型の空間を利用したモデルは、人間の移動に重点の置かれる社会現象(避難行動や回遊行動)を再現する場合には非常に有用である。一方で、人間の生活空間(世帯・職場・学校・病院など)を各セル上で明確に再現するのは難しく、人間の生活空間における活動に重点が置かれる社会現象(噂の電波や感染症まん延など)を再現することは向いていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、これまでの都市で起こりうる社会現象を再現するための仮想都市モデル構築法の現状をふまえ、「人間の生活空間における活動に重点の置かれた社会現象を再現することが可能で、地図情報が反映された仮想都市モデルを実現し、大規模都市シミュレーションを可能とする環境を総合的に整備する」ことを目的とした。

これまででは再現が難しかった、人間の生活空間と現実世界の位置情報の両方が反映された仮想都市の構築方法を提案し、実際に仮想都市を構築できるシステムの開発を行う。この手法により、これまで再現が難しかった社会現象もシミュレーション可能な対象となり、このシステムにより仮想都市構築の手間が軽減され、都市シミュレーションモデルを構築する敷居が下がることを目標とする。さらに、仮想都市モデルの大規模化を見据え、仮想都市分割分散と複数仮想都市モデルの同時制御による大規模仮想都市モデル実現のための基盤整備を目指した。

### 3. 研究の方法

本研究の目標である「人間の生活空間における活動に重点の置かれた社会現象を再現することが可能で、地図情報が反映された仮

想都市モデルを実現し、大規模都市シミュレーションを可能とする環境を総合的に整備する」を達成するために、研究内容を3つの点から段階的に進めた。

- (1) ネットワーク構造と行政区画を利用した仮想都市構築法に関する研究。
- (2) 地理情報システムから仮想都市を自動構築するためのシステムに関する研究。
- (3) 大規模都市シミュレーションを可能にする分散システムに関する研究。

これら段階的に構築されたシステムを利用し、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の構築へと応用した。

### 4. 研究成果

(1) ネットワーク構造と行政区画を利用した仮想都市構築法に関する研究

ネットワーク型の仮想都市構築法と階層型の仮想都市構築法のメリットを生かした新たな仮想都市の構築法を提案については、階層型の仮想都市構築法の部分では、政府統計の総合窓口(<http://www.e-stat.go.jp/>)において公開されている地理情報システム(GIS)のデータを利用することで、特定の市町村を仮想都市として構築できる環境を整えた。ここで構築された仮想都市は、市町村階層を基盤に、町丁字階層・生活空間階層から構成される階層構造を持つ。当初、想定していた4階層構成(都市階層・地区階層・町丁階層・生活空間階層)から、地区階層の概念を除くこととした。これは、政府統計の総合窓口で得られる地理情報システムのデータに地区階層の概念がなかったため、利便性より3階層構造の仮想都市を構築できる環境とした。なお、この環境は社会シミュレーション言語 SOARS の標準ツールとして採用した。

ここでは、本研究で提案する仮想都市構築法の有用性を検証するために、3階層構造を持つ仮想都市モデルと従来手法のセル型構築を持つ仮想都市モデルの比較を行った。人間の生活空間における活動に重点の置かれた社会現象を仮想都市上で再現した際に、仮想都市の構築法の違いが、シミュレーション結果にどのような差が生じるかの比較を行った。

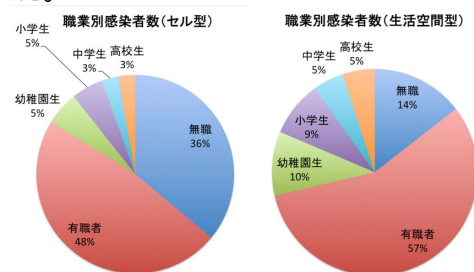


図1 構築法の違いによる結果への影響

具体的には、架空感染症が拡大する社会現

象を想定し、シミュレーション結果の差を比較し、個々のエージェントの振る舞いの違いも検証した。

### (2) 地理情報システムから仮想都市を自動構築するためのシステムに関する研究

政府統計の総合窓口などから得られる統計情報から、世帯構成(親・父・母・子供の構成)を考慮する推計アルゴリズム<sup>1)</sup>を導入することで、対象とした現実都市の仮想都市モデルを構築する手法を整理した。そして、得られている統計情報に沿った家族構成を持つ仮想都市モデルを実現できるモデル構築環境へと応用をした。ここに、生活空間と地図情報という2つの要素を同時に持つ仮想都市の構築法(両方の都市モデル構築法の強みの融合)の整理を行い、人の移動と生活空間における活動の両方を表現できるモデルへの枠組みとした。なお、人の移動については、GISにおける経路情報を活用することで、出発地と目的地の経路探索およびその経路上での移動が可能な機能を開発した。今後は、経路探索・移動機能のSOARSへの標準搭載が課題である。

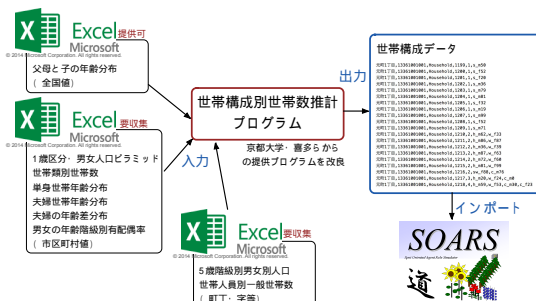


図2 仮想都市構築システム概要図

### (3) 大規模都市シミュレーションを可能にする分散システムに関する研究

大規模シミュレーションを可能にする分散システムに関する研究については、従来の並列分散システムを応用したシミュレーション環境を準備するとともに、MQTTの技術を活用した従来の枠組みにとらわれない分散システムのあり方についての検討を行った。これは、従来の分散環境がシミュレーション1つ1つを並列して実行し、数多くのシミュレーション結果を得ることができるのに対し、MQTTの技術を用いた分散システムでは、1つ1つのシミュレーションの途中経過をお互いに同期するなかで、モデル要素の情報相互に送受信できる枠組みである。この枠組みの実現に向けて、各シミュレーションの途中経過をMQTTの仕様に合わせた形式で情報を送信できる仕組みを整えた。しかし、各シミュレーションの途中経過をMQTTの仕組みへ送る点については完成したものの、これらの情報をどのように各シミュレーションで同期に利用するかまでの開発はするまでの研究は完成せず、同期の点については、今後の課題である。

### (4) 都市シミュレーションモデルの構築

感染症シミュレーションモデルにおいては、約8000人の離島を、仮想都市構築システムを利用して、国勢調査の統計情報に沿った仮想都市モデルを構築し、その仮想都市上で季節性のインフルエンザの流行の表現を行なった。世帯構成および年齢構成が反映されていることで、性別や年齢区分を考慮した流行蔓延の分析を可能にした。

そのほか、公衆衛生における地域医療連携体制の検討、震災復興過程における労働市場の需要と供給政策の検討、特定地域における損失余命計算システムの構築、転居を考慮した人口動態シミュレーションと、都市に関わる幅広い分野において、仮想都市モデルの有効活用性を確認し、本研究における仮想都市構築システムの特徴を踏まえて、これらの領域におけるモデル構築を開始した。

### <引用文献>

1) 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、2014、279-289

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

#### [雑誌論文](計5件)

市川学、春日雄翔、出口弘、金谷泰宏、二次医療圏における夜間救急医療モデルの構築とその利用、Vol. 27、No. 7、2014、259-267、DOI: <http://doi.org/10.5687/iscie.27.259> (査読有)

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、計測自動制御学会論文集、Vol. 49、2013、1012-1019、DOI: <http://dx.doi.org/10.9746/sicetr.49.1012> (査読有)

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とその応用、国際プロジェクト&マネジメント学会誌、Vol. 8、2013、131-144、(査読有)

#### [学会発表](計26件)

不動翔太郎、市川学、中井豊、社会シミュレーションを用いた地域医療連携体制の検討、第8回社会システム部会研究会、2015年3月13日、ホテルアトメールエメラルド宮古島(沖縄県・宮古島市)。

山田訓平、市川学、出口弘、自律的な転居を考慮した大都市郊外の人口動態シミュレーション、第8回社会システム部会研究会、2015年3月15日、ホテ

ルアトメールエメラルド宮古島（沖縄県・宮古島市）。

徳弘龍太郎，市川学，出口弘．特定地域の損失余命計算システム構築とその応用．第8回社会システム部会研究会．2015年3月15日，ホテルアトメールエメラルド宮古島（沖縄県・宮古島市）。

市川学，出口弘．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．第7回社会システム部会研究会．2014年9月8日，小樽商科大学（北海道・小樽市）。

不動翔太郎，市川学，中井豊．社会シミュレーションを用いた地域医療連携体制の検討．第7回社会システム部会研究会．2014年9月8日，小樽商科大学（北海道・小樽市）。

川村淳貴，市川学，出口弘．多様性を考慮した動的な生活行動決定モデルの構築．第7回社会システム部会研究会．2014年9月8日，小樽商科大学（北海道・小樽市）。

相澤景，市川学，出口弘．地方中核都市における政策に関する合意形成支援のための基礎需要推計モデルと政策評価フレームワークの構築．第5回社会システム部会研究会．2014年3月6日，大濱信泉記念館（沖縄・石垣市）。

相澤景，市川学，出口弘．地方中核都市における基礎需要推計の政策シミュレーションモデルの構築．日本シミュレーション&ゲーミング学会2013年度秋季全国大会．2013年12月7日，東北大学（宮城県・仙台市）。

市川学，出口弘．仮想都市構築法の違いによるシミュレーション結果への影響分析．計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会（SSI2012）．2012年11月23日，ウィル愛知（愛知県・名古屋市）。

Manabu Ichikawa, Hiroshi Deguchi. Infectious Disease Simulation Model for Estimation of Spreading. Association for Business Simulation and Experimental Learning 2012, 2012年3月9日，サンディエゴ（アメリカ）。

市川学，出口弘．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）．2011年11月23日，国立オリンピック記念青少年総合センター（東京都・渋谷区）。

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

市川 学（ICHIKAWA, Manabu）

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・助教

研究者番号：60553873