

高齢化による移動行動変化を考慮した 都市動態エージェントシミュレーション

○北澤正樹¹, 高橋雅和², 寺野隆雄¹

(¹東京工業大学, ²山口大学)

Agent-Based Modeling for Urban Dynamics considering Travel Behavior Changing by Aging

* M. Kitazawa¹, M. Takahashi² and T. Terano¹

(¹Tokyo Institute of Technology, ²Yamaguchi University)

概要— 少子高齢化に対応する策としてコンパクトシティ構想が注目を浴びており、シミュレーション技術によって施策による都市形態変化の事前予測が進められているが、評価軸として施策に掛かるコストが人口変動する長期間に渡って維持できるかも考慮する必要がある。そこで本研究では、周囲の環境や年齢によって行動が変化する住民エージェントモデルを用いて、コンパクトシティ推進施策の効果を、施策の実施コストと施策による都市機能の維持コスト減少額の大小から評価できるシミュレーションの構想を提案する。

キーワード: 都市計画, コンパクトシティ, Agent-Based Simulation

1 背景・目的

日本の少子高齢化が進んでいる。少子化により人口は減少に転じ始めており、2010年に1億2800万人の人口は、2035年には1億1200万人、2055年には9200万人まで減少すると推計されている。そして、高齢化率は増加を続けており、2010年に23.0%の高齢化率は、2035年には33.4%、2055年には39.4%になると推計されている¹⁾²⁾。このような少子高齢化の影響により自治体は税収が減少し、Table 1のような都市機能や社会サービスを維持することが困難になる。実際に、2007年に財政破綻した夕張市では、自治体のほとんどの社会サービスに対して値上げや廃止が行われている³⁾。また、従来のモータリゼーションを基準とした都市形態では、道路など交通インフラの検査・整備不足による事故リスク増加や郊外施設の経年劣化による費用増加に加えて、移動が困難な高齢者が増加することで人の流れが生まれにくい、都市の賑わいが失われてしまうという点も問題視されている⁴⁾⁵⁾。このような問題に対応するための対策として、近年はコンパクトシティ構想が注目を浴びている。コンパクトシティ構想とは、居住区や公共施設を都市の中心に集約して生活インフラ/交通インフラのコストを抑えるとともに、人々がバスなどの公共交通と自転車や徒歩での移動で生活を賄える形にすることで行動を促し、中心市街地の賑わいを生み出し活性化させることを目的とした都市計画である⁶⁾。海外ではオランダのアムステルダムやドイツのライネフェルデ、日本でも夕張市や青森市、富山市など多くの都市で進められている。しかし、税収減が進むとされる状況の中ではコンパクトシティも効率良く推進する必要があり、そのために公共施設の設置数・配置や交通に関する施策の効果を、人の変化や実施コストという制約を踏まえた上で計画・予測する技術が求められている。

従来の都市計画は実際に人々の生活行為を観察した専門家の手によって、一般的な条件として提唱されてきた⁷⁾⁸⁾⁹⁾。しかしながら、従来手法では専門家の知見により都市全体に必要な条件を俯瞰できるものの、多

Table 1: 都市機能と社会サービスの例

項目	例
医療・介護・福祉	各施設配置・整備, 人員配置, 在宅介護支援
子育て・教育	保育施設・学校施設の設置, 学校の課外活動支援, 人員配置
産業・商業	職業訓練, 雇用・就労対策, 土地開発
文化・社会環境	遺産保全, 文化施設充実, 地域コミュニティ支援
交通インフラ	道路・トンネル・橋脚などの整備, 公共交通網整備
生活インフラ	電気・ガス・水道・ゴミ処理施設の整備, 公園・緑地整備
防災	地震・水害などの減災整備 防災計画, 避難所整備

様な形態を取る都市それぞれに適した具体的な施策に落とし込むことや施策の効果を予測することは非常に困難であった。そこで、近年ではシミュレーションによって各種施策の分析・予測をする手法が進められている。コンパクトシティ構想に大きく関わる公共施設配置や土地開発、交通インフラ/生活インフラ整備の視点で見ると、例えば、医療・介護・福祉分野においては、中野らは公共施設の配置により居住区の範囲がどのように変化するかを評価した¹⁰⁾。子育て・教育分野においては、相澤らは政策シナリオ評価研究の一例として学校の事例を分析した¹¹⁾。商業・産業に関しては、兼田らは都市の盛り場の要因を見るため歩行者回遊行動のモデリングを進めた¹²⁾。交通インフラ/生活インフラにおいては、谷口らは交通行動と居住地選択行動をモデル化し、自動車利用を抑制する施策により都市の居住構造を変化させられるかを検証している¹³⁾。しかしながら、少子高齢化による人の生活範囲・移動手段の変化や税収減により実施コストの制約が強くなる点

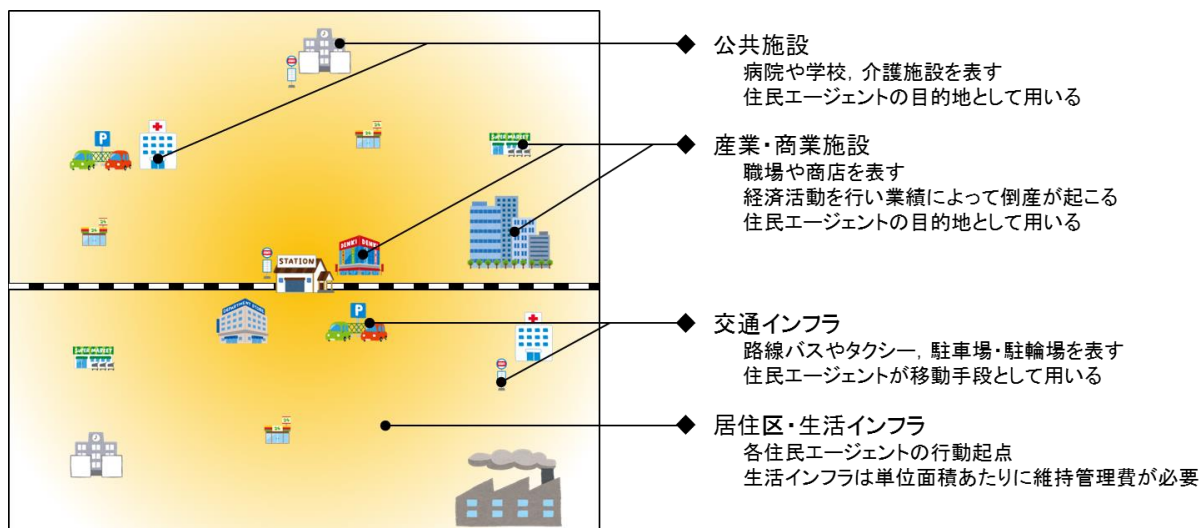


Fig. 1: 仮想都市フィールドの設定

や、郊外施設や各種インフラは経年劣化による維持コスト費用が大きい点を考慮すると、施策の実施コストや都市機能の維持コストの視点において、人口が変動する長期間にわたって維持できる範囲に収まっているのか評価する必要がある。特に都市機能の維持コストは、交通インフラ/生活インフラの整備費用を含み、住民の居住範囲と連動して変化していく値であるため、実施した施策により動的に変化していく都市形態も予測していかななくてはならない。そこで本研究では、周囲の環境や年齢によって生活行動や移動行動が変化する住民モデルを構築した上で、公共施設の配置やインフラ配置を変更する施策を行った際の必要コストがどのように変化していくか評価できるシミュレーションの構築を目的とする。

2 シミュレーション構想

本研究では、Agent-Based Simulation(以下、ABS)の手法を用いて仮想都市フィールドと住民エージェントモデルを構築する。ABSは、人や組織を自律的に行動するエージェントとして個々に記述し、エージェントが相互に作用しながらボトムアップ的に大域的な社会現象を創発させることができる技術である。都市はマクロな都市形態が、ミクロな住民の生活行動を受けつつ動的に変えていく複雑システムであるため、ABSによる表現が適していると考えられる。

2.1. 仮想都市フィールドの設定

シミュレーションは1つの地方都市を想定した仮想都市フィールドを用いて行う(Fig. 1)。仮想都市フィールドは他都市の連絡路である駅を中心として、施設エージェント、交通インフラ、居住区(生活インフラ)の4種を配置する。施設エージェントは病院や学校といった公共施設と、工場や商店といった産業・商業の場を表し、住民エージェントが日々の生活で訪れる目的地として用いる。なお、施設エージェントのうち工場や商店は経済活動を行っており、来客が少ない商店は倒産するといった変化も組み込む。交通インフラは路

線バスやタクシー、駐輪場・駐車場があり、住民エージェントが目的地に移動する際の手段として選択される。居住区は各住民エージェントに設定され、日々の生活のスタート地点・ゴール地点として扱う。また、居住区とともに電気・ガス・水道といった生活インフラ範囲を設定し、単位面積当たりの維持管理費を内部設定として保持する。

2.2. 住民エージェントのふるまい

住民エージェントは基本生活行動、居住地選択行動、ライフイベントの3種類の行動を繰り返す(Fig. 2)。ここでは各行動について説明する。

(1) 基本生活行動

住民エージェントは、1日を表す1ステップ毎に基本生活行動を行う。基本生活行動は、買い物や通院を想定した主目的地が1箇所設定され、居住区から別に選択される移動手段に従って出発し、目的を達成して帰宅するという行動を表す。目的地は移動経路内にある商店を追加で設定する可能性があり、これはスーパーマーケットでの衝動買いのような突発的な立ち寄りを表現させる^{14) 15)}。住民エージェントの移動手段はフィールドに設定される路線バス、タクシー、自動車、自転車、徒歩から選択できる。住民エージェントには各手続の料金や所要時間に応じたコスト計算式を設定し、計算により最もコストが安いと評価された移動手段を選択する。基本生活行動の例としては、主目的地に職場であるオフィスビルが設定され、自転車を使って移動、さらに帰宅経路にあるスーパーマーケットが追加目的地として設定され買い物をした終了といったものが考えられ、一般的な生活サイクルを表現できるフローであると考えられる。

(2) 居住地選択行動

住民エージェントは、1月である30ステップ経過毎に居住地選択行動を行う。各エージェントは居住変更の候補地を決定し、候補地から今月と同じ目的地・移動手段を選択した場合の移動コストを次月移動コストと

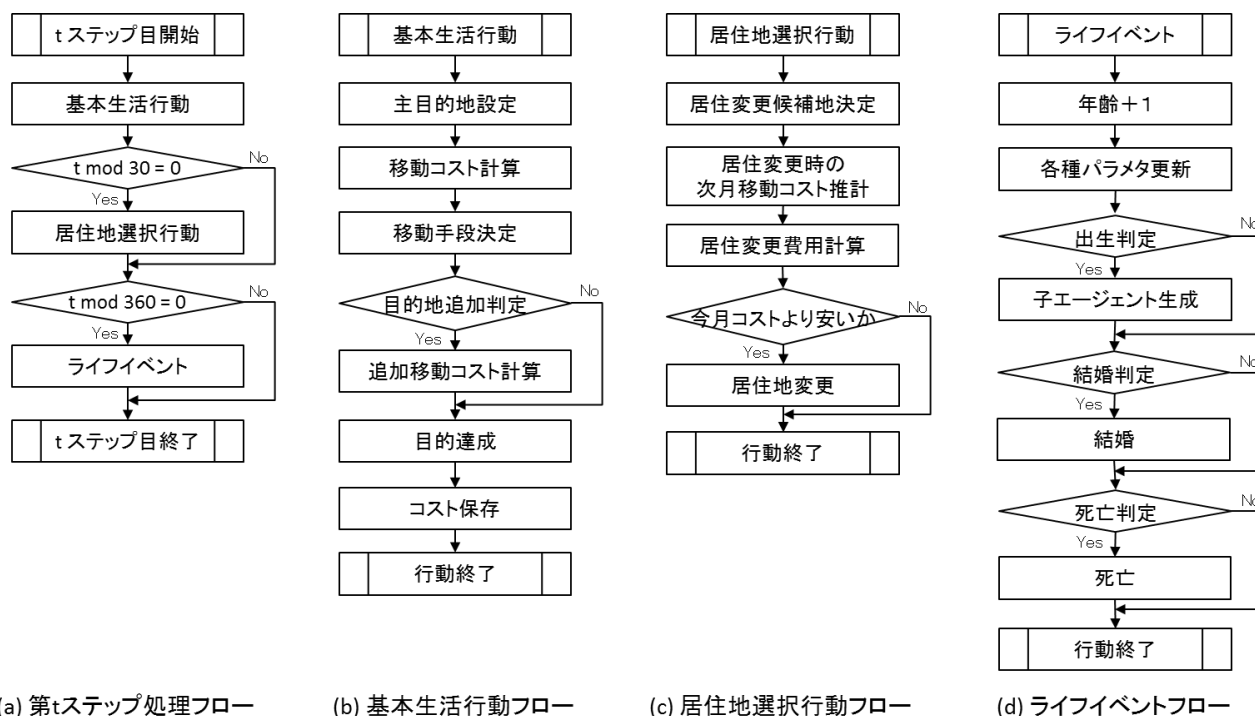


Fig. 2: 住民エージェントのふるまい

して推計する。次月移動コスト推計値と居住変更費用の合計が、今月の移動コスト合計よりも安くなるのであれば居住地を変更する。居住地選択行動により住民エージェント全体の居住範囲が変化することで、連動して生活インフラの維持コストの変化を評価することができるようになる。

(3) ライフイベント

住民エージェントには、属性として年齢を設定する。1年を想定した360ステップ経過毎に1増加させて各パラメタを更新するとともに、ライフイベントが発生するか判定を行う。年齢によって変更するパラメタとしては以下を考える；

- a) 主目的地の設定確率：年齢によって所属が変わることで学校・職場・病院の選択確率を変化させる，
- b) 移動手手段のコスト計算式：年齢による資金や所要時間が変わることが高齢者なら自動車のコスト大といった変化を生じさせる，
- c) 居住変更費用：若者は金銭面から，高齢者は体力面から考慮して，居住変更費用を高く見積もる，
- d) 出生率・死亡率：適齢になると出産しやすく，高齢者になると死亡しやすくなる。

ライフイベントとしては出生と結婚と死亡の3つを導入する。出生と死亡は住民エージェントが直接増減するイベントで，結婚は出生判定の前提条件と置くことで将来的な人口変化へと影響するモデルとなる。なお，実際には離婚のような世帯が分割するイベントもあるが，本モデルの現状では考慮しないものとする。

2.3. 施策コストの評価方法

実施した施策の効果は，施策の実施コストと都市機能の維持コストの2つの指標の変化で評価する。将来的に得られる維持コストの減少分が，実施コストより大

きくなっているか否かを評価することで，実施した施策がコンパクトシティ構想として効率的に行えたか評価することが可能となる。ここで，実施コストとは施策を実現するまでに必要な費用を示し，施設移転であれば移転先の用地代や施設の建築代，元施設の解体代が実施コストとして計上される。一方，維持コストは都市機能を維持するために恒常的に必要となるコストで，コンパクトシティ構想においては施策により減少させることを目指す指標になる。維持コストとしては公共施設の維持費用や公共交通の運行コスト，道路・下水道などのインフラ整備コストが考えられ，経過時間による金額の変化を考慮する必要がある。

3 今後の予定

本研究では，周囲の環境や年齢によって生活行動や移動行動が変化する住民エージェントモデルを用いて，コンパクトシティ構想のための施策の効果を，施策の実施コストと施策による都市機能の維持コスト減少額の大小から評価できるシミュレーションの構想を提案した。今後は住民エージェントの死亡率や各移動手手段のコストなど，設定が必要なパラメタ・計算式の公開されている統計指標から決定し，シミュレーションの実装を進める。そして，過去10年程度のシミュレーションを行い，現在の状況と比較することでモデルの信頼性を確認する。さらに，信頼性が確認できたら，今後20年程度のシミュレーションを行い，有用な施策を抽出する計画をしている。

なお，都市機能は非常に多くの要因が絡みあって形成されているもので，本研究のモデルでは導入しきれしていない点も多い。例えば，実際は周囲の都市との転入や転出をする住民もおり福田らは二地域での人口推計モデルについて言及している¹⁶⁾が，今回のモデルは1

都市内の移動までしか考慮していない。また、Shelling が提唱した分居モデル¹⁷⁾を参考にすると、住民エージェントが居住地選択をする際に年齢・性別や所属する地域コミュニティによる選好度をもたせるモデルも考えられる。さらには、予め定めた施策シナリオを検討するシミュレーションではなく参加型シミュレーションとして構成することで、検討者は施策実施のタイミングや実施範囲などをより具体的に定めることができるようになると考えられる。提案したモデルが構築できた後に、機能改善として追加していくことを検討していく。

参考文献

- 1) 総務省統計局：人口推計，総務省統計局（2015）
- 2) 国立社会保障・人口問題研究所：将来推計人口・世帯数，国立社会保障・人口問題研究所（2012）
- 3) 鈴木直道：夕張再生市長 課題先進地で見た「人口減少ニッポン」を生き抜くヒント，講談社（2014）
- 4) 国土交通省：平成 25 年度国土交通白書，国土交通省（2014）
- 5) トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会：トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会報告書，国土交通省（2013）
- 6) 海道清信：コンパクトシティー持続可能な社会の都市像を求めて，学芸出版社（2001）
- 7) E. ハワード[著]，長素連[訳]：明日の田園都市，鹿島出版会（1968）
- 8) J. ジェイコブズ[著]，山形浩生[訳]：[新版]アメリカ大都市の生と死，鹿島出版会（2010）
- 9) J. ジェイコブズ[著]，中村達也[訳]：発展する地域 衰退する地域：地域が自立するための経済学，筑摩書房ちくま学芸文庫（2012）
- 10) 中野友道，中野冠：ライフサイクルを考慮した都市構造シミュレーションモデル，第 10 回 MAS コンペティション発表論文，1/10（2010）
- 11) 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，計測自動制御学会 第 5 回社会システム部会研究会資料集，135/144（2014）
- 12) 兼田敏之，吉田琢美：歩行者回遊行動のエージェントモデリング，オペレーションズ・リサーチ：経営の科学，53-12，672/677（2008）
- 13) 谷口忠大，高橋佑輔：交通行動の居住地選択行動への影響を仮定した都市動態のマルチエージェントシミュレーション，計測自動制御学会論文集，47-11，571/580（2011）
- 14) M. Kitazawa, T. Yamada, M. Takahashi, and T. Terano: Analyzing Supermarket Shopping Factors from Indirect Observation and Simulation Study, RANGSIT JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY, 1-2, 1/5（2014）
- 15) 藤野俊樹，北澤正樹，山田隆志，高橋雅和，山本学，吉川厚，寺野隆雄：スーパーマーケットで客はどう動く？-顧客動線分析とエージェントシミュレーションからわかること，第 5 回社会システム部会研究会資料集，57/68（2014）
- 16) 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，27-7，279/289（2014）
- 17) T. Shelling: Dynamic Models of Segregation, Journal of Mathematical Sociology, 1, 143/186（1971）