

大学進学および大学卒業後の 就職における人口移動モデルの構築

○中村和希 市川学（芝浦工業大学）

Forecasting future population by region using agent-based simulation

*K. Nakamura and M. Ichikawa (Shibaura Institute of Technology)

概要— 複雑系である社会システムにおいて施策の影響を想定するためには、社会システムの振る舞いを表現する必要があり、人口動態は欠かすことのできない情報となっている。しかし、社会課題解決に向けた大規模な転換シナリオの表現や地域間の相互作用を考慮できる人口予測環境は、まだ整っていない。そこで本研究は、社会シミュレーション構築の扶助を目的として、地域別将来人口の動的予測への影響が大きいライフイベントにおける個体ベースの人口移動モデルの構築を行う。

キーワード: エージェントベースシミュレーション, 人口予測, 人口分布

1 背景

人口動態は、地域のあらゆるサービスやシステムと密接であり、施策の効果の将来分析において重要な役割を持つ。既存の主要な将来推計人口は、コーホート要因法¹⁾で求められたものであり、過去から現在までの趨勢をいくつかの条件に従って将来へ投影したものである。

しかし、投影による静的な人口推計は、突発的な変化を反映することができないことから、変化を起こすことによって問題の解決を試みる施策の効果进行分析することには適していない。

2 先行研究

人口動態を非線型的に扱う研究は、仮想的な都市から実在する都市へと研究対象が変化しており、高い解像度で社会現象を表現する動きが進んでいる。福田ら(2014)²⁾は、「出生」「死亡」「婚姻・離婚」といった人口の自然増減を表現する基本的なライフイベントに加え、進学や就職等の移動理由別の修正重力モデルを構築した。また、地域間の人口移動を表現する「転入・転出イベント」を作成することで、秋田県を対象として将来人口の推計を行った。鈴木ら(2016)³⁾は、富山市全域を対象としたアンケートから生成した個人・世帯マイクロデータを用いて、転居に伴う住宅タイプおよび転居先ゾーン選択をモデル化し、小地域の人口・世帯分布の予測を行っている。

以上のように、人口変動をより高い解像度で捉えるための研究は発展を遂げているものの、特定の地域に限定した分析に留まっている。そのため、全国規模での人口移動を考慮したうえで地域別の将来人口を動的に予測する汎用的な環境は、まだ整備されていない。

3 研究目的

様々な分野で転換が求められる現代では、多様な立場の人々が合理的に社会をデザインする機会に立ち会う。そこで、本研究は、あらゆる施策で用いる指標である人口についての相互作用や転換の影響の表現を支援するために、社会シミュレーションのアプローチを用いて、モデル構築者が汎用的に利用することができる「地域別将来の人口予測モデル」を構築することを目的とする。

4 方法

予測にはエージェントベースモデル（以下、ABM）を用いる。ABMとは、住民や企業等の意思決定主体をエージェントとして定義し、各エージェントの行動を確率に基づいて動的に決定するモデルである。ABMは、各エージェントの相互作用によって社会現象を表現するため、非線形的な予測が可能になり、多様なシナリオを分析することができる。また、本研究では、ABM実装 Java ライブラリ SOARS Toolkit⁴⁾ を利用し、シミュレーションモデルを構築する。本研究で構築するモデルでは、地理情報や世帯構成および住民一人一人のライフイベントを定義し、人口変動を自然増減と社会増減の2つの側面から表現する。モデルの全体構造を Fig. 1 に示す。

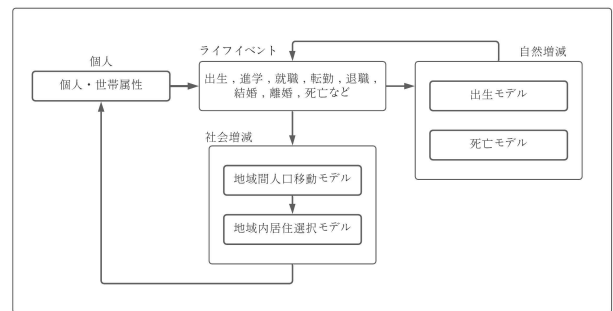


Fig. 1: モデル全体構造

ライフイベントによる人口移動は、イベントに応じた都道府県または市町村間の移動先を絞り込む「地域間人口移動モデル」と、絞り込まれたエリア内における居住ゾーンを選択する「地域内居住選択モデル」によって表現する。本稿では、都道府県間の移動率が高い18歳から24歳の地域間人口移動に焦点を当て、この年代における移動理由が多い大学進学と就職に伴う移動の2つのライフイベントについて述べる。

5 大学進学モデル

大学進学モデルでは、主な受験者となる高校3年生を対象として、進学に伴う人口移動を表現する。このモデルには、高校生と大学の意思決定が存在する。エージェントは、大学進学意思決定、受験先の選定および

合格大学の中から進学大学の決定の3つの意思決定を行う。各大学エージェントは、各高校生エージェントの受験に対して、合格者の選択についての意思決定を行う。

5.1 高校生エージェント

大学進学の意味決定は、高校生エージェントが、一定の確率で大学への進学意思を持つステージにて行われる。確率は、文部科学省⁵⁾より過去5年間のデータを用いて、各年度で高校卒業者のうち大学等入学志願者が占めていた割合を平均したものを大学進学希望率として用いた。ただし、コロナ禍による進学意思への影響を取り除くために、平成28から31年度の平均である0.61を採用している。

受験大学選定ステージでは、大学進学意思を持ったエージェントが大学受験者となり、自身の偏差値と各大学の各学科のレベルに従って受験大学を決定する。各エージェントの偏差値は、新規大学受験者となったエージェント数をもとに、平均50、標準偏差10の正規分布に従う偏差値群を生成し、ランダムに割り当てた。また、エージェントには、出願可能数と受験対象にとれる大学レベルに制約を設けた。出願可能数について、私立大学は無制限に受験可能として、国公立大学は1校のみとした。受験対象については、現在の学力でどの大学を狙えるかの目安となる学習到達ゾーンを用いて、各エージェントに割り当てられた偏差値をもとに、国立では適正ライン、私立では上下1ランク以内の学習到達ゾーンに属する大学を受験するものとした。進学先大学の決定ステージでは、各エージェントが合格した大学の中から偏差値が最も高い学科である大学に進学する。ただし、国公立に合格している場合は、最優先でその大学に進学するものとした。

5.2 大学エージェント

合格者選択ステージでは、各大学が受験者に対して偏差値降順に合格判定を出すことで、入学定員を逐次埋める。入学定員は、マナビジョン⁶⁾から得られるデータをもとに大学データベースを構築して、各学科の入学定員を用いた。本稿の合格者選択ステージでは、私立大学の受験回数を無制限にしていることで発生する、同一ランク内での上位偏差値層による合格の独占を回避するために、学科の偏差値降順に大学の合格判定を行い、合格済みのエージェントを他の受験先から取り除く措置をとっている。

5.3 実験結果

試行実験として、高校生エージェント数および各大学の定員数を1/5スケールに変換して実行した結果を述べる。変換前の高校生エージェント数は、令和2年度高校卒業者数1,042,549人を用いた。実験の結果、現役進学率は、54.9%となり、実測値である55.4%に近い値を示した。入学先都道府県別入学者数の結果をFig. 2に示す。対象となる高校卒業者が入学する年度の統計は、まだ公開されていないため、母数は多少異なるが、令和2年度大学入学者数を参考までに合わせて描画している。

現段階のモデルでは、都心に過剰に存在している定員枠に受験者が引き寄せられる状況にある。東京や大阪といった中心都市に実態以上に偏在している受験者を全体的に分散させていく必要性が確認できた。

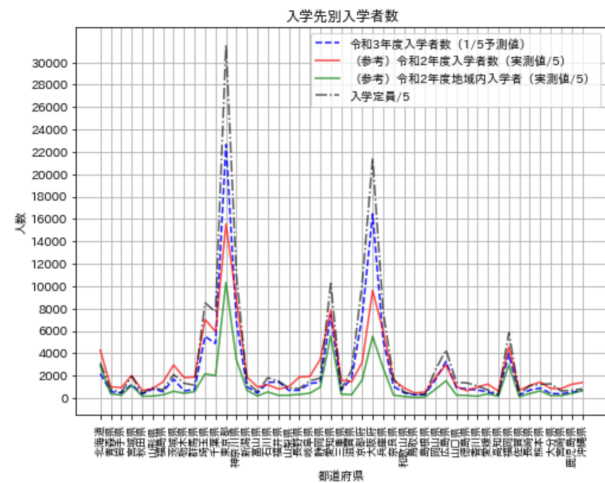


Fig. 2: 入学先都道府県別入学者数 (大学進学モデル)

5.4 モデル改善に向けて

受験者の分散は、エージェントの受験大学の選定時に、地理的条件や世帯条件などを用いた受験確率の補正を行うことで、解決の見込みがあると思われる。地理的条件を設けることで、生徒の滞在地域と大学との距離の考慮や地域別の進学率を考慮することが可能になる。また、世帯条件の設定を組み込むことで、所得や就労に関する情報から、家計負担を加味して、モデル構築が行えるようになる。

6 就職モデル

就職モデルでは、就職に伴う人口移動を表現する。本稿では、エージェントベースモデルによる就職人口移動モデルを構築する前段階として、就職による移動が現れやすい大学卒業時の年齢に相当する22歳における人口移動について、ある時刻tにおける環境によって就職先の選択が行われるマイクロシミュレーションモデルを構築し、ボトムアップによる地域間人口移動の予測結果を分析する。

6.1 就職重力モデル

人口移動に関する研究⁷⁾⁸⁾では、実証的に人口移動について説明力のある重力モデルや修正重力モデルを用いることで、個人の得られる情報の不完全性や移動に要する費用、地域間格差、地域間の連結性を考慮した移転人口や転入出率の有意性を示している。これを踏まえて、修正重力モデルによって就職に伴う各都道府県間の移動率をエージェントごとに求めることで、各エージェントの意思決定を表現する。

就職における修正重力モデルでは、移転元人口の全国比率、地域間の大企業数格差、地域間の人口重心の距離、現金給与額の格差を変数として導入した。モデルを数式で表したものが、式(1)である。

$$\ln\left(\frac{M_{ij}}{Pop_j}\right) = C + \beta_1 \ln(Dist_{ij}) + \beta_2 \ln\left(\frac{Pop_i}{Pop_{Japan}}\right) + \beta_3 (\ln(Company_j) - \ln(Company_i)) + \beta_4 (\ln(Salary_j) - \ln(Salary_i)) \quad (1)$$

C: 定数項

M_{ij} : 都道府県 i から都道府県 j への転出者数

Pop_i : 都道府県 i の人口

$Company_i$: 都道府県 i の大企業数

$Salary_i$: 都道府県 i のきまって支給する現金給与額

6.1.1 都道府県間の人口転入率

被説明変数として、都道府県間の人口転入率を用いた。地域 i から地域 j への移動数 M_{ij} を、移転先である地域 j の人口数で除した比率が被説明変数とした。本稿の就職重力モデルで用いる人口は、22 歳の人口を使用した。

使用データについては、まず、住民基本台帳人口移動報告で公表されている年齢（10 歳階級）別都道府県間の移動データ¹⁰⁾ から得られる「20 から 29 歳の都道府県間の移動者数」のうち、22 歳の移動者が占めている割合を、年齢（各歳）別他都道府県への転出者数のデータ¹⁰⁾ から各都道府県で求め、対応する移動者数を按分した「22 歳都道府県間の移動者数」を推計した。ただし、20 から 29 歳の他都道府県への転出数の構成比が都道府県内人口移動の構成比とも一致する仮定のもと按分を行っている。次に、推計した「22 歳都道府県間の移動者数」を国勢調査から得られる「都道府県別の 22 歳人口」¹¹⁾ を用いて「都道府県間の 22 歳人口転入率」を推計し、これを被説明変数とした。

6.1.2 移転元人口の全国比率

移転元の人口規模に対する移動人口数の違いを考慮する説明変数である。係数が正の場合、人口規模が大きいほど移動人口数が多いことを示す。使用データは、国勢調査から得られる「都道府県別の 22 歳人口」および「日本の 22 歳人口」である。

6.1.3 地域間の大企業数格差

就職先選択における地域間の就労条件の格差を考慮する説明変数である。係数が正の場合、移転先の大企業数が移転元より多いほど、移動人口が多いことを示す。

企業規模が人口移動に与える影響については、大和総研¹²⁾ が、企業規模と賃金水準およびその他就労条件を比較し、大卒者による大企業への就職が、地方圏から大都市圏への就職における人口流出の要因である可能性を示唆している。

使用データについては、経済センサス活動調査から得られる「都道府県別企業常用雇用者規模（11 区分）別企業等数」のうち、業種・資本金を問わず、常用雇用者数が 1000 人以上の規模である企業を一律で大企業とみなして地域間の格差を推計した。

6.1.4 地域間の人口重心座標間の距離

就職活動における情報の不完全性や活動中の移動コストおよび移住にかかるコストを考慮する説明変数である。係数が負の場合、距離が長くなるほど移動人口が少ないことを示す。

使用データは、総務省統計局¹³⁾ から得られる「都道府県別の人口重心」を用いた。人口重心座標間の距離については、球面三角法により大円距離を求めて使用した。また、都道府県内の移動により「地域間の人口重心座標間の距離」が 0 または 0 に近似した値になるデータも含めて、対数変換した値を重回帰分析する。その際に、同地域間の移動を除いた地域間の最短距離を全ての組み合わせに加算している。

6.1.5 現金給与額の格差

求職者の賃金水準格差への反応を直接考慮する説明変数である。係数が正の場合、移転先の賃金水準が移転元より高いほど、移動人口が多いことを示す。

使用データは、賃金構造基本統計調査から得られる「20 から 24 歳の都道府県別のきまって支給する現金給与額」を用いた。

6.1.6 パラメータ推定の結果

就職重力モデルのパラメータの推計結果を Table 1 に示す。決定係数は 0.754 となり、説明変数の有意差については、すべての説明変数で 0.01% で有意であると判定された。係数の符号については、現実に対して解釈しやすいものとなった。

Table 1: 就職重力モデル 推計結果

	係数	t 値	P 値
定数項	12.1263	49.915	0.000
移転元人口の全国比率	1.050	42.670	0.000
地域間の大企業数格差	0.125	8.805	0.000
地域間の人口重心の距離	-1.117	-63.928	0.000
現金給与額の格差の格差	0.756	3.643	0.000
決定係数	0.754	-	-

6.2 エージェント

エージェントは 1 年ごとに歳を重ね、22 歳になったタイミングで就職重力モデルにしたがって、移動しない、都道府県内移動、ある都道府県への移動を確率で行う。また、エージェントの居住都道府県の初期位置については、該当年齢の都道府県別人口に基づいて決定している。

6.3 都道府県スポット

47 都道府県を表すスポットであり、居住しているエージェントなどの人に関する情報および会社や地価などの環境に関する情報を動的に管理している。エージェントの就職に伴う移動選択は、都道府県スポットの情報をもとに行われている。本稿では、環境情報を固定しており、エージェントの就職モデルによる移動も同世代の人口分布の影響しか受けないため、地域間の相互作用は発生しない。

6.4 実験結果

平成 27 年国勢調査から得られる都道府県別 18 歳人口を起点として各地域にエージェントを生成し、5 年後の令和元年国勢調査の都道府県別 23 歳人口とシミュレーションによる予測値を比較することでモデルの挙動の確認を行う。18 歳を起点とすることで、大学進学による移動等がある程度完了している状態および 24 歳の大学院卒業による影響の無い 23 歳の地域分布の実測値を比較に用いることができる。ただし、短期大学の卒業および就職や大学院入学による移動についてを切り分けられていない点には留意する。

実験は、等倍スケールでシミュレーションを実行し、1,206,550 体の都道府県別 18 歳の生成エージェントの経過を観察した。実測値および予測値を比較したものを Fig. 3 に示す。注意点として、シミュレーション上では、死亡や国外への流入・流出を表現していないため、18 歳コーホートの人口総数の実数値は 5 年後に 12,567 人減少しているが、予測値はこの減少を考慮していない。

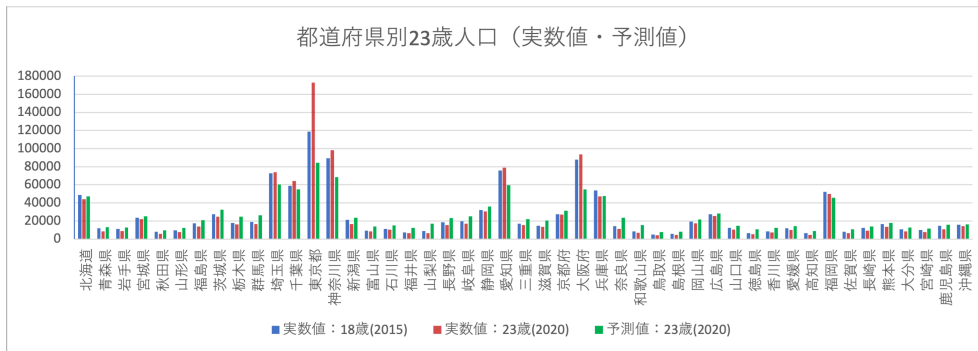


Fig. 3: 地域間人口移動モデル結果

モデルの予測結果は、現実の23歳人口の分布と比較して、都市圏の人口が地方圏へ流出するという、実態と異なる結果となった。本研究では、施策の検討により柔軟な対応ができるように、地域ダミーを用いないで地域間人口移動を表現しようと試みた。しかし、現段階のモデルでは、都市圏間の人口交換や地方からの人口吸収力を表現できていないことが判明した。

6.5 重力モデル構築の課題

重力モデルおよび派生モデルについては、理論的問題点に関する議論とその解決法の提案が蓄積されている¹⁴⁾¹⁵⁾。そこで、本稿で用いた修正重力モデルの理論的問題点を整理すると、正規分布に従う仮定であることおよび観測値の対数を推定に用いていることが問題として挙げられる。観測値の対数を推定に用いる場合、予想値を逆対数変換する際に、より大きな値を持つデータを過小推定してしまう。この影響は、本稿の就職重力モデルにも顕著に現れている。このような問題に対して、人口移動データが非負のカウントデータであることから、観測値に従う確率分布の仮定にポアソン分布を用いることで、パラメータ推定から対数変換を取り除くことができるポアソン重力モデルへとモデルを改良する手法がある。関連して、ポアソン分布の期待値と分散が等しいという制約を課した場合に発生しうる過分散による説明変数の有意性の誤認を避けるために、期待値よりも分散が大きいというより緩い仮定でモデリングを行う負の二項重力モデルも存在する。

6.6 モデル改善に向けて

モデルの改善には、前述した統計学的問題点から議論が重ねられているモデルの理論を適用することが有効である。他にも、モデルの解釈には細心の注意を払う必要があるが、勾配ブースティング決定木などの強力な機械学習や非線型モデリング手法などを用いることも考えられる。

7 まとめ

本稿では、地域間人口移動の多い大学進学と就職に着目して、マクロな傾向をボトムアップでモデルを構築して表現することを試みた。

大学進学モデルでは、地域性を考慮せずに、定員および大学の偏差値の分布によって、地域間移動を発生させた結果、受験生に対して過剰な入学定員が確保されていた都市圏に、実態以上の人口が集中する結果となった。この問題は、今後、地理的・世帯的情報を加味したモデル構築によって解決を試みる。

就職モデルでは、22歳の人口移動の大部分が就職によるものである仮定のもと、人口移動について修正重力モデルの構築およびパラメータ推定を行い、22歳における人口移動モデルを構築した。モデルは、現実に反して都市圏の人口が地方に流出する結果となった。就職モデルについては、今後、エージェントのライフイベントの発生タイミングを高校卒業、短期大学卒業、大学卒業、大学院卒業などに対応させる中で、整理した理論的問題点を改善したモデルを再構築することで精度の向上を目指す。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP18H03825 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 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、人口問題研究資料第330号、2/34(2013)
- 2) 福田、喜多：エージェントベースの人口推計における社会動態のモデル化、第5回社会システム部会研究会、127/134(2014)
- 3) 鈴木、杉木、宮本：空間的マイクロシミュレーションを用いた都市内人口分布の将来予測 人口40万人規模の富山市を対象として、都市計画論文集51巻3号、839/846(2016)
- 4) 小野、市川、出口：大規模エージェントベースシミュレーションのためのSOARS Toolkitの提案、SSI2020、GS6-4-5(2020)
- 5) https://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/chousa01/kihon/1267995.htm
- 6) <https://manabi.benesse.ne.jp/daigaku>
- 7) 労働政策研究報告書 No.89：都市雇用と都市機能に係る戦略課題の研究、51/76(2006)
- 8) 田村、坂本：日本の都道府県間人口移動の世代間比較、AGI Working Paper Series、2016-17、1/11(2016)
- 9) <https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/131-1.html>
- 10) <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1toukei=00200523tstat=000000070001>
- 11) https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1toukei=00200521cycle=0cycle_facet=cycle
- 12) 大和総研：人口移動と企業規模 中小企業の再編が地方創生の鍵：コンサルティングレポート、1/13(2019)
- 13) <https://www.stat.go.jp/data/kokusei/topics/topi102.html>
- 14) 野田、森、上田、喜多：個体ベースの二地域将来人口推計モデルの構築と地域別人口政策の評価、第10回社会システム部会研究会、73/80(2016)
- 15) 爲季、堤：フロー間の空間的相関を考慮した負の二項重力モデル、統計数理 第60巻 第1号、121/130(2012)