

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

○福田純也 喜多一 (京都大学)

Modeling of Social Dynamics for an Agent-based Population Estimation

*J. Fukuta and H. Kita (Kyoto University)

Abstract— In Japan, decreasing and aging are serious population problem, and situation of the problem varies largely by regions. That is, provincial areas are facing more serious problem than urban areas because of out-migration of young people for education and employment. Hence for regional areas, a key in policy to the problem is to brake the out-migration by creating opportunity of education and employment. To discuss the regional population problem and solution to it, this paper propose a model of social dynamics for agent-based population estimation. With simulation of various candidate solutions, we demonstrate evaluation of the policies using the proposed model.

Key Words: Agent-based simulation, Population estimation, Social dynamics, Policy evaluation

1 はじめに

日本の総人口は2008年以降減少の一途をたどっており、また未婚化や晩婚化・晩産化などによって少子高齢化も急速に進行している^{1, 2)}。さらに地域別に見ると、その状況は自治体によって大きく異なっている。人口変動の状態を意味する人口動態は、出生および死亡に伴う「自然動態」と、転入・転出に伴う「社会動態」に大別される。とりわけ社会動態については地域ごとにその特徴が異なっている。中でも地方から都市部への若者の流出は顕著であり、これにより地域の過疎化、ひいては限界集落の形成などがもたらされている。Fig. 1, Fig. 2は人口減少の進行速度が全国で最も深刻になる³⁾とされる秋田県の1980年、2010年の人口ピラミッドであり、どちらの年も若者の流出により20～24歳人口が少なくなっている点が特徴である。特に2010年においては出生率の低下により人口ピラミッドの形が所謂「つぼ型」となっており、その状況での若者の流出はより深刻な問題となっている。若者の主な移動理由は進学や就職であるため、地方の人口政策でいかにして自地域内で教育や就業の機会を設けて若者の流出に歯止めをかけるかが鍵となっている。

この人口政策の検討の基礎となるのが将来の人口の推計であり、政策のシミュレーションである。エージェントベースの人口推計は政策評価に用いやすい利点があるが⁴⁾、特定の地域を推計の対象とする場合、地域ごとに状況が異なる社会動態を実現することは、当該地域の将来人口の特徴を表すために重要である。また、社会動態による人口減少に歯止めをかける地方政策の実施を人口推計に反映させることができれば、地方の政策が自地域の人口に対して与える影響について、事前にその程度を定量的に把握することができ、個々の政策の評価が可能となる。

そこで本稿では、社会動態に影響を与える人口政策の評価を行うことを目的として、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を検討する。人口推計モデルのベースとしてはHaraらが提案したモデル^{5, 6)}を用いる。同モデルにはエージェントの自律的な地域間人口移動がイベントとして記述されていないため、人口政策の評価が可能で社会動態のモデル化を行う。そして、対象地域を秋田県とし、社会動態に

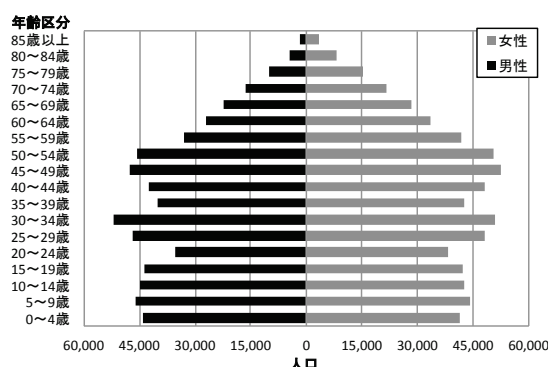


Fig. 1: 秋田県の人口ピラミッド (1980年)

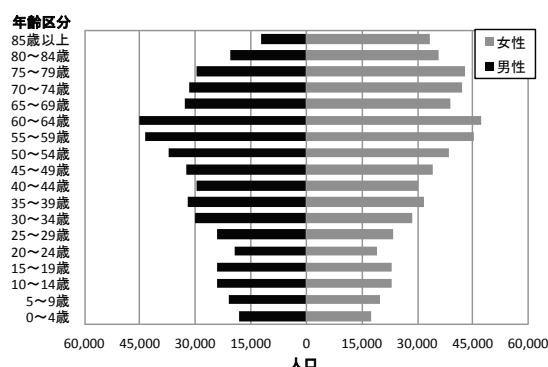


Fig. 2: 秋田県の人口ピラミッド (2010年)

影響を与える人口政策を実施するシナリオを複数作成し、シナリオ導入によって得られた秋田県の将来人口を例に、人口政策の分析・評価を試みる。

2 Haraらの人口推計モデル

Haraらのモデル(以下、「原モデル」)はマイクロシミュレーション⁷⁾とエージェントベースシミュレーションの中間的なモデルとして構成されており、個人だけでなく、ライフスタイルの評価などへの応用を視野に入れて、個人の集合として世帯を明示的に考慮している。Haraらは日本全国の人口推計を研究の対象としており、人口推計モデルにおいて日本全国を一つの地域として扱っている。シミュレーションのサイクルは1年であり、初期エージェントおよび世帯の設定後は毎年、「出生」、「死亡」、「婚姻」、「離婚」、「世帯分離・

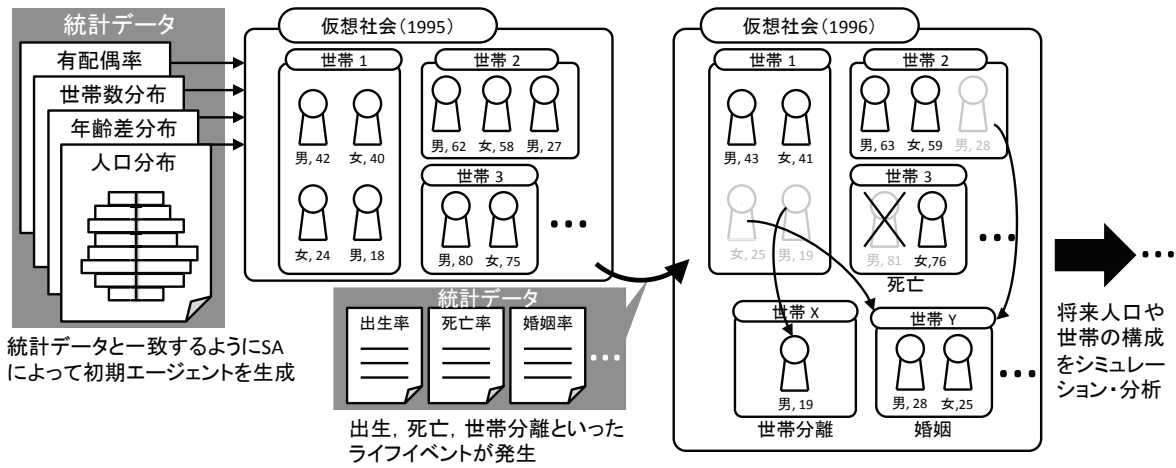


Fig. 3: シミュレーションモデル

統合」の5種類のイベントを、設定されたパラメータに適合するように確率的に発生させることで将来人口の推計を行う。Fig. 3にモデルの概略図を示す。

3 人口推計における社会動態のモデル化

本稿の目的である地方自治体の人口政策の評価を可能とするため、エージェントが自律的な地域間人口移動を行う仕組みを取り入れることで、転入・転出によって生じる社会動態をモデル化する。

3.1 モデル化の指針

社会動態のモデル化にあたっては、以下の3点を指針とする。

1. エージェントが自地域および行き先から成る複数の地域データを基に、移動先を意思決定できる
2. 判断材料とする地域データは定量的な指標である
3. 人口政策の導入によって地域データが変更された場合、人口移動に与える影響が現実と同様の傾向を示す

3.2 重力モデル

前節で述べた指針を満たすために、「重力モデル」をベースとした人口移動モデルを提案する。重力モデルは、万有引力の法則に着想を得たモデルであり、Stewart⁸⁾によって人口学的重力としての説明などに用いられた。任意の2地点間の人口移動を説明する重力モデルは次式のように表される。

$$M_{i,j} = G \frac{P_i^{\beta_1} P_j^{\beta_2}}{D_{i,j}^\alpha} \quad (1)$$

ここで、 $M_{i,j}$ は地域 i から地域 j への人口移動数であり、 P_i 、 P_j はそれぞれ地域 i, j の人口規模、 $D_{i,j}$ は、地域 i, j 間の距離、 G は定数である。各変数は α, β_1, β_2 のパラメータによって重み付けされている。すなわち、任意の二地域間の人口移動数は、出発地および目的地の人口規模のべき乗に対して比例し、二地域間の距離のべき乗に対しては反比例することを意味する。万有引力の法則は物体間で対称であるが、式 (1) は β_1, β_2 を独立のパラメータとすることで非対称性をもたせている。すなわち、一般には $M_{i,j} \neq M_{j,i}$ となる。各パラメータの推定は、両辺の対数をとって線形の問題に帰着させ、最小二乗法を適用することで行う。

3.3 本研究における修正重力モデル

本研究では、3.2の重力モデルをベースとした「修正重力モデル」を定義し、重回帰分析によって説明変数のパラメータを得ることで地域間の人口移動を実現する。ここでは、進学・就職・転勤の三つを理由とした男女別の人口移動を実現する。これらを理由とした人口移動の割合は全体として高く⁹⁾、さらにこれらの移動者の大半が若者であるため、社会動態のモデル化に際し特に重要であると判断した。

3.3.1 進学重力モデル

進学重力モデルは、進学を理由とした人口移動を記述するモデルである。進学については、主要な移動要因として高校卒業時の短期大学等（短期大学、専修学校、公共職業能力開発施設等）への進学（以下、「短大等進学」）、大学への進学、および大学卒業時の大学院への進学を想定する。3.2の式 (1) から考えると、重力モデルにおける人口規模 P_i は地域 i からの移動発生のポテンシャルであり、 P_j は地域 j の移動先としての魅力であると解釈できる。本研究ではこの解釈を、進学を理由とした移動にも適用し、出発地である地域 i の人口規模は「卒業する教育機関の学生数」、目的地である地域 j の人口規模は「入学する教育機関の学生定員数」と置くことにする。ただし、都道府県別の学生定員数の総数に関する統計データは存在しないため、モデルパラメータの推定にあたっては「学生数」が学生定員数と同等の意味を持つと仮定して用いる。都道府県間の距離として、都道府県庁間の距離¹⁰⁾を用いる。自都道府県内の移動については距離を0とした上で、対数を取ることを考慮して正の一定値のバイアスを加える。先述したようにモデルは男女別に定義するため、移動数および学生数も男女別の基礎データを用いる。以上を踏まえて、進学重力モデルを以下のように表す。

$$\ln M_{i,j} = C + \beta_1 \ln S_i + \beta_2 \ln S_j - \alpha \ln(D_{i,j} + 10\text{km}) \quad (2)$$

ここで $M_{i,j}$ は進学を理由とした地域 i から地域 j への移動数であり、 S_i は地域 i の卒業教育機関の学生数、 S_j は地域 j の入学教育機関の学生（定員）数である。 $D_{i,j}$ は地域 i, j 間の距離であり、一律でバイアスとして10kmを加えている。この値は他の値と比べて決定係数が高く示されたものを選んだ。 β_1, β_2, α は説明変

Table 1: 進学重力モデルの重回帰分析結果

進学先	性別	C	t 値	β_1	t 値	β_2	t 値	α	t 値	\hat{R}^2
短大等	男性	-1.8066	-3.7	0.2319	5.2	0.4909	13.6	0.4932	34.1	0.6589
	女性	-1.3741	-2.4	0.1046	2.1	0.7410	19.9	0.7287	39.4	0.6409
大学	男性	-4.0519	-10.8	0.5125	17.9	0.9471	50.0	1.2876	59.3	0.7559
	女性	-2.2904	-5.8	0.4056	13.2	0.8823	44.7	1.3089	56.2	0.7304
大学院	男性	-6.1516	-21.9	0.8264	43.3	0.6787	35.0	1.1586	53.1	0.7464
	女性	-5.7648	-21.6	0.8165	42.9	0.6576	34.0	1.1749	52.1	0.7393

数のパラメータであり、 C は定数項である。また、 i, j は、各都道府県を一意に示す添字であり、その都道府県の順序は総務省が定めた都道府県コードに従う。なお、進学は先に述べた通り、「短大等進学」、「大学進学」、「大学院進学」の3種類を進学先として想定するため、パラメータは進学先ごとに存在する。

基礎データ 都道府県間の進学者数 $M_{i,j}$ の基礎データとして、以下の統計データを用いる。

短大等進学および大学進学 学校基本調査^{11, 12)}で公表されている「出身高校の所在地県別 入学者数」を用いる

大学院 直接利用可能な統計データが存在しないため、学校基本調査で公表されている都道府県別の「大学院進学者数」に、アンケート調査¹³⁾の結果から算出した「大学院進学者の県外進学率」を掛けあわせて「県内・県外大学院進学者数」を推計し、さらに、次項にて後述する大学卒業時の就職における各都道府県への移動割合について、大学院進学でも同様の傾向があると仮定して用いることで都道府県間の大学院進学者数を推計し、基礎データとして用いることにする

なお、進学者数が0であるデータは基礎データから除外し、分析の対象としない。

重回帰分析結果 進学重力モデルについて、重回帰分析した結果がTable 1である。まず、説明変数の有意差については、 t 値から女性の短大等進学における C および β_1 は有意水準5%で有意であると判定され、それ以外の説明変数に関しては0.1%で有意であると判定された。ここで、都道府県間の大学進学者数における実績値 $\ln M_{i,j}$ と得られたパラメータによる推定値 $\ln \hat{M}_{i,j}$ との散布図をFig. 4に示す。補助線は実績値と推定値との一致を示す。最小二乗法により、推定値が実績値に近づくようなパラメータが概ね得られていることが分かるが、進学者数が多い部分のプロットについては過大推定の傾向がある。これは、対数をとった上で回帰分析が行われていることや移動数が少ない基礎データが大半を占めていることから、進学者数が大きいデータが軽視されてしまったと考えられる。また、 \hat{R}^2 は、短大等進学では男女とも比較的低く0.7を下回っており、パラメータも大学、大学院と比べて傾向が大きく異なっている。これについては、短大等進学者自体が全国的に少ないために基礎データも少ないことや、基本的に県内進学の傾向が強く、県外都道府県への進学者数が一桁である基礎データが少なくないことなどによって、進学の傾向が説明しにくいためであると考えられる。

つぎに各パラメータを見ると、出発地の学生数および目的地の学生定員数のパラメータ β_1, β_2 は、いずれも1以下の正の値であり、当該説明変数の値が増加し

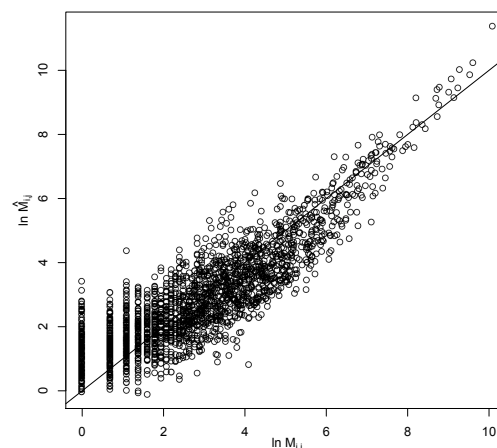


Fig. 4: 大学進学者数の実績値と推定値 (男性)

ても、線形以下のオーダーでしか増加しないことになる。これは、出発地の進学者発生のパテンシャルや、目的地の学生定員数を考えると、理想的には線形のオーダーで増加することが望まれるが、基礎データにおいては、遠方の地域に対しては自地域や目的地の学生数・定員数は進学者数にさほど影響しないことや、都道府県ごとで進学率にばらつきがあることなどが原因で全体として線形以下のオーダーとなっていると考えられる。つづいて距離のパラメータ α を見ると、大学、大学院進学では距離が遠くなると線形以上のオーダーで進学者が減少しており、現実に近いと考えられる値が得られた。一方で、短大等進学の特に男性においては、 α は0.5以下であり、短大等の距離が遠くともさほど進学者数は減少しないという、現実では解釈しがたい結果となった。こちらについては、遠方の短大等への進学者に関するデータが不足していることが原因だと考えられる。

3.3.2 就職重力モデルと転勤重力モデル

同様に、就職および転勤を理由とした人口移動についてのモデルを定義する。就職については、高校卒業就職、短大等卒業就職、大学卒業就職、大学院卒業就職の4種類を想定する。転勤については、年齢に依らないモデルを想定する。重力モデルの解釈を、就職および転勤の移動にも適用し、就職においては、 P_i は「卒業教育機関の学生数」、 P_j は「企業雇用者数」と置くことにする。転勤については、 P_i も P_j も「企業雇用者数」と置く。ただし、企業の雇用者数に関する統計データは存在しないため、「就業者数」が企業雇用者数と同等の意味を持つと仮定して用いる。また、職を探す際には、行き先の都道府県の所得水準もその地域の魅力として重要な判断材料になると著者らは考えたため、重力モデルの修正項として都道府県ごとの所得 Y

を加える。この所得に関しては、人口移動の説明変数としての適応性を考慮し、県民経済計算から、雇用者報酬、家計の財産所得、個人企業所得の和を個人所得とし、それを消費者物価地域差指数で実質化した人口1人あたり実質個人所得を地域ごとに算出した¹⁴⁾。なお、就職および転勤重力モデルでも移動数、学生数、就業者数は男女別の基礎データを用いる。

以上を踏まえて、就職重力モデルを式(3)、転勤モデルを式(4)で表す。

$$\ln M_{i,j} = C + \beta_1 \ln S_i + \beta_2 \ln W_j + \beta_3 \ln \left(\frac{Y_j}{Y_i} \right) - \alpha \ln(D_{i,j} + 0.1\text{km}) \quad (3)$$

$$\ln M_{i,j} = C + \beta_1 \ln W_i + \beta_2 \ln W_j + \beta_3 \ln \left(\frac{Y_j}{Y_i} \right) - \alpha \ln(D_{i,j} + 0.1\text{km}) \quad (4)$$

概ね進学重力モデルと同じであるが、 W_i はそれぞれ地域*i*の就業者数であり、 Y_i は地域*i*の人口1人あたり実質個人所得、 S_i は卒業する教育機関の学生数である。距離のバイアスを0.1kmとしているのは進学重力モデルと同様の理由で、いくつかの値の中で R^2 が比較的高く示されたためである。

基礎データ 就職・転勤重力モデルの都道府県間の就業者数 $M_{i,j}$ の基礎データとして、以下の統計データを用いる。

高校卒業就職 学校基本調査で公表されている「就職先別県外就職者数」を用いる

短大等卒業就職 直接利用可能な統計データが存在しないため、学校基本調査で公表されている都道府県別の「短期大学の就職者数」、および国勢調査で公表されている5年前と比較した場合の最終卒業学校・5歳階級別の転出者数の統計データ¹⁵⁾から得られる「最終卒業学校が『短大・高専』である20~24歳の転出者数」の二つのデータから、短大等卒業時の県内・県外就職者数を推計し、さらに、5年前と比較した場合の都道府県別の年齢別転出先都道府県の統計データ¹⁶⁾から得られる「23歳の各都道府県への移動割合」が短大等卒業就職でも同じ傾向を示すと仮定し、先ほど算出した県外就職者数に掛け合わせることで、「都道府県間の短大等卒業就職者数」を推計して用いることにする

大学卒業就職 直接利用可能な統計データが存在しないため、学校基本調査で公表されている「大学の就職者数」、および国勢調査で公表されている「最終卒業学校が『大学・大学院』である20~24歳の転出者数」¹⁵⁾、「27歳の各都道府県への移動割合」¹⁶⁾の3種類の統計データから、「都道府県間の大学卒業就職者数」を推計して用いることにする

大学院卒業就職 都道府県別の統計データが圧倒的に不足しているため、大学院の「都道府県別 卒業者数」に、「修士課程の状況別 卒業者数」から得られた全国の大学院卒業者の就職者率を掛けて「都道府県別の大学院卒業就職者数」を推計した後に、上記の大学卒業と同様の2種類の統計データ^{15), 16)}から「都道府県間の大学院卒業就職者数」を推計して用いることにする

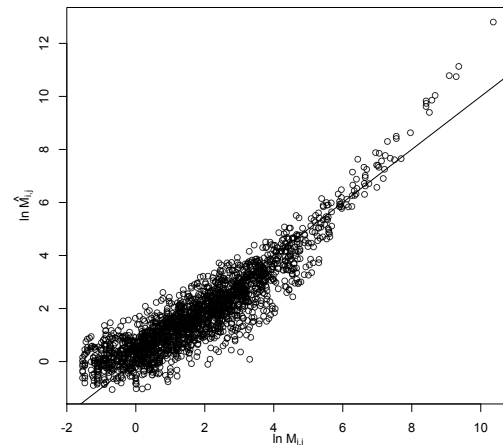


Fig. 5: 大学卒業就職者数の実績値と推定値（男性）

転勤 転勤による移動に関する統計データは存在しないため、転勤は25~65歳に発生するという仮定の下で、同様に複数の統計データから推計する。まず、住民基本台帳人口移動報告¹⁷⁾で公表されている各都道府県の「年齢別男女別他都道府県への転出者数」から「(1)25~65歳人口の都道府県別平均転出者数」を算出し、つぎに人口移動調査報告書⁹⁾で公表されている「移動理由・地方ブロック別の移動数」から、全人口移動における「(2)転勤を理由とした都道府県別移動率」を推計する。そして(1),(2)の二つのデータから、「(3)都道府県別の転勤を理由とした移動者数」を推計する。さらに、国勢調査から得られる「(4)45歳の各都道府県への移動割合」¹⁶⁾が転勤においても同様の移動傾向を示すと仮定し、(3),(4)から「都道府県間の転勤移動者数」を推計して基礎データとして用いることにする。

なお、 W_i, W_j の各都道府県の就業者数については、国勢調査で公表されている「常住地又は従業地・通学地による年齢(5歳階級)、男女別人口及び就業者数」の統計データの内、「従業地による就業者数」を用いる。

重回帰分析結果 就職重力モデル、および転勤重力モデルについて重回帰分析した結果がTable 2である。同表の*t*値から、全てのパラメータが有意水準0.1%で有意であると判定された。ここで、都道府県間の大学卒業就職者数における実績値 $\ln M_{i,j}$ と得られたパラメータによる推定値 $\ln \hat{M}_{i,j}$ との散布図をFig. 5に示す。補助線は実績値と推定値との一致を示す。複数の統計データから推計された基礎データの中には、 $M_{i,j}$ が0以上1未満に推計されたデータも存在するため、 $\ln M_{i,j}$ の一部は負の値となり得る。Fig. 5から、大学進学者数のデータと同様に、就職者数の多い領域で過大推定となっている。 R^2 は高卒就職および転勤で低くなっているが、前者に関しては統計データ自体は充実しているものの、現実の高卒時の就職では県内就職の傾向が強くなり、県外への就職者が少ないことでモデルとして説明しにくくなったことが原因として考えられる。後者の転勤に関しては、転勤に直接関連する統計データがほぼ存在しておらず、基礎データがおおまかな推計となったことで、転勤重力モデルの説明変数では説明しにくいことが原因だと考えられる。

各パラメータについては、とりわけ高卒就職の性質が他とは異なっており、 β_1, β_2 の低さや、 β_3 の高さか

Table 2: 就職重力モデルおよび転勤重力モデルの重回帰分析結果

種別	性別	C	t 値	β_1	t 値	β_2	t 値	β_3	t 値	α	t 値	\hat{R}^2
高校卒業就職	男性	-6.1080	-8.2	0.3724	6.0	0.5860	11.0	3.9049	13.6	0.7399	39.1	0.6518
	女性	-4.7962	-6.2	0.4628	6.9	0.3943	6.8	3.8737	12.9	0.7535	41.2	0.6911
短大等卒業就職	男性	-16.2638	-41.0	0.8622	33.7	1.0465	34.2	1.1326	8.2	0.8163	61.4	0.7862
	女性	-15.3867	-35.2	0.8059	28.7	1.0858	31.2	1.0946	7.0	0.8794	62.7	0.7717
大学卒業就職	男性	-16.0862	-47.0	0.9499	49.6	0.9689	36.3	0.9394	7.4	0.7172	63.8	0.8270
	女性	-14.9581	-38.4	0.7983	39.2	1.0305	33.3	0.7746	5.6	0.7748	61.9	0.7932
大学院卒業就職	男性	-15.1505	-45.2	0.9365	48.9	0.9568	36.2	1.0309	8.2	0.7205	64.4	0.8267
	女性	-15.1182	-39.4	0.7989	38.8	1.0205	33.1	0.8496	6.1	0.7750	62.2	0.7939
転勤	男性	-22.2381	-44.0	1.0387	32.5	0.8589	27.0	0.9583	6.2	0.6358	26.6	0.6443
	女性	-23.8008	-44.4	1.0029	29.4	0.8783	25.4	1.1510	7.3	0.5699	23.3	0.6172

ら、自都道府県の高校生徒数や目的地の就業者数にはさほど関係せず、実質個人所得の高い地域に移動する傾向があるといえる。移動の基礎データに対して任意の説明変数で回帰分析を行うことは、このような移動の決定因の分析に対しても有用であるといえる。他のパラメータを見ると、 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ は概ね 1 前後となっており、出発地の移動発生ポテンシャルや目的地の魅力が増加するとその分に移動者の増加に反映される傾向があるといえ、現実と照らしあわせても解釈しやすいパラメータとなった。また、距離のパラメータ α は、軒並み 1 以下を示していることから、進学において 1 以上を示していた点と比較すると、就業に係る移動は進学と比べて距離が遠いことが移動の意思決定を妨げる要因にはなりにくいことを示している。

3.3.3 各重力モデルの留意点

本研究における社会動態のモデル化では、以上の各修正重力モデルを用いて人口移動を実現する。ただし、3.2でも言及したように、各モデルは重回帰分析を行うために対数をとったかたちで定義されており、Fig. 4やFig. 5で見られたような移動数が多い相互作用のデータの誤差については、真数に戻した際にその誤差が非常に大きくなる。例えば、男性の大学進学を例に見ると、神奈川から東京への大学進学者数の実績値 $M_{13,12}$ は 10,158 であり、神奈川の県内進学者数 $M_{13,13}$ は 10,558 である。一方で、推定値 $\hat{M}_{13,12}$ は 12,589、 $\hat{M}_{13,13}$ は 22,273 であり、神奈川から東京への進学では 2,400 ほどの過大推定、神奈川の県内進学では 11,700 ほどの過大推定となった。同様に東京の県内進学者数の $M_{12,12}$ と $\hat{M}_{12,12}$ はそれぞれ 23,667、85,887 であり、およそ 60,000 の過大推定となった。このままの推定値を移動数と適用して人口移動を実現させると、現実的に不可能となり得るため、各モデルから得られた移動数の推定値は「各都道府県への移動率」として用いることにする。すなわち、ある地域から各都道府県にそれぞれの割合で移動するのを示し、その総和は 1 となる。地域 i から地域 j への移動率 $m_{i,j}$ は以下のように計算できる。

$$m_{i,j} = \frac{M_{i,j}}{\sum_{j=0}^{47} M_{i,j}} \quad (5)$$

このように移動率とすることで、理論的な矛盾の発生を抑える。

3.4 転入・転出イベントの作成

シミュレーションにおいて人口移動を実現するイベントである「転入・転出イベント」を新たに作成する。

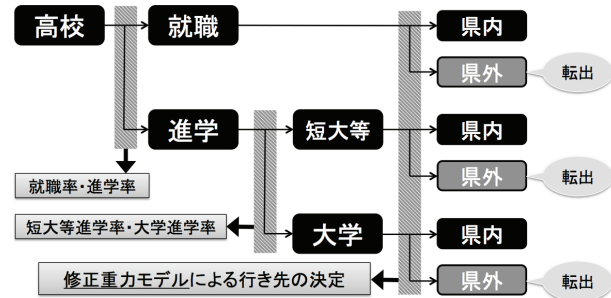


Fig. 6: 転入・転出イベントの分岐 (18 歳)

この転入・転出イベントは、前節の各種修正重力モデルを用いて、進学・就職・転勤を理由とした人口移動を発生させる。このイベントの実現のためにエージェントに「社会的役割」の属性を持たせる。属性値は「大学生」、「短大生」、「大学院生」、「就業者」、「その他」の五つから成る。この属性は、基本的に転入・転出イベントによって値が変化する。なお、便宜上、転入・転出イベントの内、進学を理由としたものを「進学イベント」、同様に就職は「就職イベント」、転勤は「転勤イベント」と呼ぶこととする。

転入・転出イベントは、他のライフイベントと同様で毎年実施されるが、エージェントごとの発生タイミングは年齢および社会的役割によって決定する。Table 3 に、転入・転出イベント発生のタイミングについて示す。また、例として、Fig. 6 に 18 歳における転入・転出イベントの分岐を示す。18 歳では、短大等進学、大学進学、就職の三つに進路が分かれることとなり、それらは学校基本調査の高校の「都道府県別状況別卒業生数」から算出された「就職率」と「進学率」、さらに「都道府県別大学・短期大学等への進学者数」から算出された「短大等進学率」「大学進学率」によって確率的に決定する。現実には就職・進学以外の進路を選ぶ者もいるが、本研究では代表的な就職・進学のみを考え、年齢も 18 歳に固定している。進路が確率的に決まった後は、該当する修正重力モデルによってエージェントが地域の社会状況を判断した上で自律的に移動先を決定する。

4 人口政策の評価を目的とした将来人口推計

本章では、前章で新たに作成した転入・転出イベントを従来のエージェントベースの人口推計モデルのライフイベントとして加えることで社会動態をモデル化し、同モデルで将来人口推計を行うことで地方における人口政策を評価する。

推計の対象は、先に述べたように人口問題が深刻化している「秋田県」とする。

Table 3: 転入・転出イベントにおける進学・就職の発生タイミング

	進学イベント			就職イベント			
	短大等	大学	大学院	高校卒	短大等卒	大学卒	大学院卒
年齢	18	18	22	18	20	22	24
社会的役割	その他	その他	大学生	その他	短大生	大学生	大学院生

4.1 秋田県を対象とした人口推計モデル

人口推計モデルは第2章で説明した原モデルをベースとして用いるが、秋田県を推計対象とするにあたって、転入・転出による人口移動の実現のためにはその他の都道府県についてもモデル化する必要がある。したがって、「秋田県」およびその他の46都道府県を想定した「外部地域」から成る二地域モデルとする。ただし、現実では、日本全体の総人口は秋田県の人口に比べておよそ130倍となっており、この比率を再現すると秋田県の初期世帯数が25,000の場合、外部地域はおよそ320万とする必要があり、シミュレーションの計算量を考えるとこの推計規模ではモデル化は難しい。したがって、本研究では、秋田県と外部地域の初期世帯数は同数とする。なお、現実における全国の世帯数はおよそ5,180万世帯、秋田県はおよそ39万世帯であるため、仮想地域の初期世帯数をどちらも25,000とすると、全国は1/2,070、秋田県は1/16ほどに縮小されていることになる。

なお、転入・転出イベントでは、移動するエージェントの配偶者および子も随伴移動し、どちらもいないエージェントは移動先地域で新たに単身世帯を構築するものとする。なお、県内進学・就職の場合は、社会的役割は変更となるが、世帯の移動は生じないものとする。

4.2 人口政策とその評価

本節では、人口政策評価のための実験を行う。秋田県の初期世帯数は25,000とし、推計期間は2010～2060年までの50年間とする。本研究では地方自治体である秋田県の人口推計を対象としているため、実施する政策としては、地方自治体ごとに状況が異なっている社会動態に影響を与える政策を中心とする。

そこで本研究では、秋田県の人口政策として、県内の各教育機関への県内学生の進学および県外からの進学の促進をねらった「進学政策」、および県内企業への県内学生の就職および県外からの就職の促進をねらった「雇用政策」の二つを想定する。各政策の詳細は以下の通りである。

- 進学政策：短期大学・大学・大学院の学生定員数を増加させる
- 雇用政策：企業雇用者数を増加させる

将来人口推計にこれらを組み合わせたシナリオを導入する。ただし、これらの政策は推計開始年の2010年時点ですぐに実施されず10年間かけて執り行われるものとし、2010年以降から線形に増加させ、2020年に完遂するものとする。

以下では、各シナリオを導入した将来人口推計の結果を示す。

4.2.1 雇用政策と進学政策の比較（シナリオ群1）

本項では、企業の雇用に係る政策と教育機関の進学に係る政策、さらに双方を組み合わせた政策とでそれ

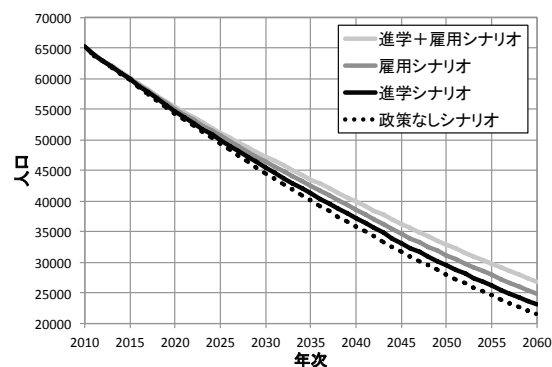


Fig. 7: シナリオ群1における総人口の推移

ぞれの効果を比較するため、以下のシナリオ群1による人口推計を行う。

- 雇用シナリオ：雇用政策について2010年の2.0倍
- 進学シナリオ：進学政策について2010年の2.0倍
- 進学+雇用シナリオ：上記2シナリオの組合せ

まず、各シナリオの導入をした将来人口推計によって得られた総人口の50年間の推移がFig. 7である。50年後（2060年）の人口は、政策なしシナリオが21,517であるのに対し、進学+雇用シナリオでは26,714となった。50年間でおおよそ5,000、すなわち1年間で平均して100ほどの差がついている。この差が大きい小さいかは考え方によるが、各教育機関の学生定員数および企業雇用者数を2.0倍にしても、人口減少の傾向にさほど影響を与えず、依然として減少が続いていることを考えると、人口減少対策としての政策の効果は決して高いとはいえない。

他方、少子高齢化の視点からは総人口ではなく年齢層別割合が重要である。14歳以下人口、15～64歳人口、65歳以上人口の割合の推移をFig. 8～Fig. 10に示して観察すると、総人口の推移と比べてこの人口構成の推移の方がシナリオ導入の効果が大きい。まず着目すべきは、各年齢層人口で効果が現れるタイミングが異なっている点である。最も早いのは15～64歳であり、この年齢層はシナリオ導入によって人口移動の傾向に直接影響を受ける層であることが原因であるといえる。また、それにより県内の若者が増加することで出生数も増加するため、5年ほど遅れるかたちで14歳以下にも効果が現れている。65歳以上人口に関しては、それらの効果を相対的に受けているといえる。

単体の政策から成る雇用シナリオおよび進学シナリオを比較すると、雇用シナリオの方が14歳以下人口の割合が高く、さらに65歳以上人口の割合である高齢化率が低くなっており、シナリオとしてより効果的であることが示された。これは、雇用シナリオでは18、20、22、24歳の就職および25～65歳の転勤と幅広い年代に影響を与えているのに対し、進学シナリオでは18、22歳の進学時に対するのみの効果であり、さらに秋田県

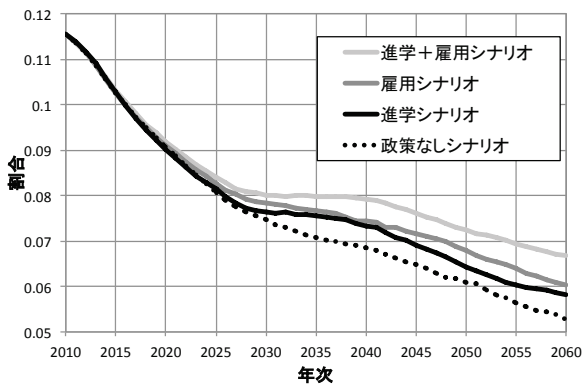


Fig. 8: シナリオ群1における14歳以下人口の割合の推移

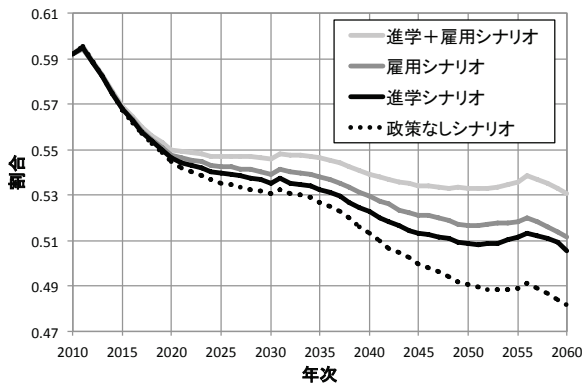


Fig. 9: シナリオ群1における15～64歳人口の割合の推移

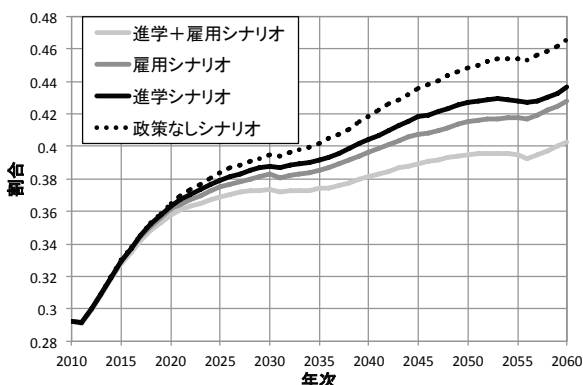


Fig. 10: シナリオ群1における65歳以上人口の割合の推移

内の学生が増加しても就職時には県外にこれまで通りの転出が発生するため、進学に係る政策の効果が小さくなっていることが原因だと考えられる。

両シナリオを組み合わせた進学+雇用シナリオを見ると、それぞれ単体のシナリオよりも有効に働いていることが分かる。進学政策で増加した県内の学生に対して、雇用政策でさらに県内への就職を促すというプロセスがその理由と考えられる。特に2030～2040年のあたりでは、どの年齢層人口の割合の推移も概ね横ばいとなっており、一時的に少子高齢化に歯止めをかけられている。

4.2.2 出生率上昇政策の効果の検証（シナリオ群2）

本項では、雇用政策および進学政策に出生率上昇の政策を組み合わせた以下のシナリオ群による人口推計を行い、社会動態に関する政策と自然動態に関する政策との相乗効果を検証する。

- 社会シナリオ：雇用および進学政策について2010

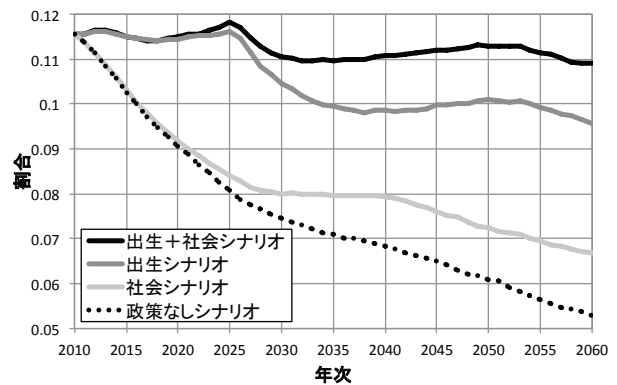


Fig. 11: シナリオ群2における14歳以下人口の割合の推移

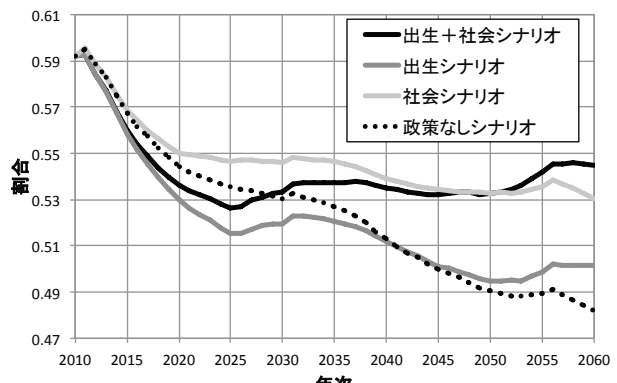


Fig. 12: シナリオ群2における15～64歳人口の割合の推移

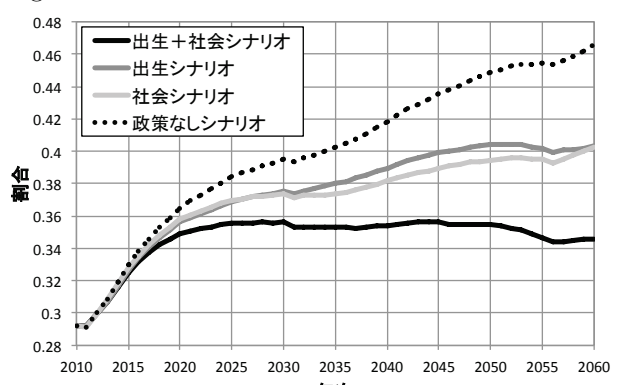


Fig. 13: シナリオ群2における65歳以上人口の割合の推移

年の2.0倍

- 出生シナリオ：出生率を2010年の1.3倍
- 出生+社会シナリオ：上記2シナリオの組合せ

なお、社会シナリオは、シナリオ群1における雇用+進学シナリオと同じシナリオとなっている。

こちらでも同様に、将来人口推計によって得られた14歳以下人口、15～64歳人口、65歳以上人口の割合の推移をFig. 11～Fig. 13に示す。社会動態に係る社会シナリオと出生率を増加させる出生シナリオでは、それぞれの政策で影響を与える年代が異なっていることが分かり、出生シナリオでは通常であれば急減する14歳以下人口の割合が横ばいとなり、社会シナリオでは通常であれば明らかに減少傾向を示す15～64歳人口の割合が2020年以降はわずかな減少傾向にとどまるといった影響が現れている。ただし、出生シナリオでは、2025年以降は14歳以下人口の割合が急激に低下して

おり、これは推計開始後に新たに出生した世代が進学や就職によって県外へと転出してしまうことで、2025年以降の出生数が減少してしまうためだと考えられる。他方、社会シナリオでは、県内の学生や就業者こそ増加するものの出生率は一定であるため少子高齢化の進行をやや遅らせる程度の効果を与えるのみである。ここで、それらを組み合わせた出生+進学シナリオの結果を見ると、同シナリオは少子高齢化の進行を止めており、15~64歳人口にあたる労働力人口においてはわずかに増加の傾向も見られる。これらは、社会シナリオによって20代人口を増加させ、出生シナリオによって出生数を増加させるという過程により生じていると考えられる。

4.2.3 政策評価

本研究で用いたエージェントベースの人口推計モデルによる推計結果から、教育機関の学生定員数や企業の雇用者数を増加させる人口政策を実施したことで、県外への転出者数の減少および県内への転入者の増加に結びつき、少子高齢化の進行を遅らせることができた。他方、人口減少に関しては、少子高齢化がすでに進んでいる現時点では人口政策で歯止めをかけることは難しいといえる。また、教育機関の進学に係る政策と企業の雇用に係る政策とを比較すると、概ね同様の有効性を確認できたが、雇用に係る政策の方が幅広い年代に影響を与えるためより有効である結果が示された。なお、学生定員数および企業の雇用者数を2.0倍にし、さらに出生率を1.3倍にすることで少子高齢化に歯止めをかけられることが示されたが、どちらの政策も現実での実現は容易とはいえず、さらなる検討が必要である。

5 おわりに

本稿では、エージェントベースの人口推計モデルを用いて人口政策の評価を行うことを目的として、まず将来人口推計における社会動態のモデル化のために、進学や就職などの移動理由を含めた地域間の人口移動を実現する移動理由別の修正重力モデルを提案・構築した。そして、同重力モデルを用いて人口移動を実現する「転入・転出イベント」を作成し、実際に秋田県を対象として将来人口推計を行った。推計には、秋田県の若者の都市への流出に歯止めをかけることを想定した地方の人口政策を含むシナリオを複数導入し、そこから得られた結果から人口政策の評価を試みた。その結果、教育機関の学生定員数や、企業の雇用者を増加することは県内からの転出者の減少や県外からの転入者の増加に寄与するが、少なくとも2倍程度の増加でないと、その効果を実感するに至らないといえる。また、進学に係る政策よりは、雇用に係る政策の方がより効果的であることが示唆された。これらの社会動態に係る政策に、出生率の改善という自然動態に係る政策を組み合わせることで、政策としての互いの不足点を補完し合い少子高齢化に歯止めをかけられることが示された。

今後の課題としては、本研究で社会動態導入のために全国一本で定義された修正重力モデルを、適度な区分の出発地域ごとに分けた複数のモデルとして再定義することが挙げられる。すなわち、地域ごとにパラメータを推定することである。ただし、その分基礎データが減少しパラメータの推定に影響が出てしまうことも

考えられるため、その点は慎重に検討する必要がある。

参考文献

- 1) 総務省統計局：平成22年国勢調査（2010）
- 2) 総務省統計局：推計人口
- 3) 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（平成25年3月推計）（2013）
- 4) 山本, 小山, 出口: Soarsを用いた村落の人口減少についてのデモグラフィックシミュレーション, 計測自動制御学会システム工学部会研究会資料（2005）
- 5) S. Hara, H. Kita, K. Ikeda and M. Susukita : Configuring Agents' Attributes with Simulated Annealing, *Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems VII* (T. Murata, T. Terano and S. Takahashi (eds.)), *Agent-Based Social Systems Vol. 10*, 45/59 (2013)
- 6) 福田, 喜多: 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) (掲載予定)
- 7) 稲垣: 日本の将来社会・人口構造分析—マイクロ・シミュレーションモデル (INAHSIM) による推計, 日本統計協会 (2007)
- 8) Stewart, J.Q. : Demographic gravitation, evidence and applications, *Sociometry*, Vol. 11, 31/58 (1948)
- 9) 国立社会保障・人口問題研究所：第7回人口移動調査報告書（2011）
- 10) 国土地理院：都道府県庁間の距離（2013）
- 11) 文部科学省, 文科省編：平成22年度学校基本調査報告書（初等中等教育機関, 専修学校・各種学校編）（2010）
- 12) 文部科学省, 文科省編：平成22年度学校基本調査報告書（高等教育機関編）（2010）
- 13) 加藤, 茶山: 大学院進学時における高等教育機関間の学生移動—大規模研究型大学で学ぶ理工系修士学生の移動機会と課題—, 文部科学省 科学技術政策研究所 第1調査研究グループ（2010）
- 14) 伊藤: 戦後日本の国内長距離人口移動の決定因の変化—純移動率に対する所得・気候の作用—, 地域学研究, Vol. 36, No. 1, 85/99 (2006)
- 15) 総務省統計局：国勢調査人口移動集計, 現住都道府県による5年前の常住地, 在学か否かの別・最終卒業学校の種類(6区分), 年齢(5歳階級), 男女別人口(転入)(転出—特掲)—全国, 都道府県, 人口20万以上の市
- 16) 総務省統計局：国勢調査人口移動集計, 5年前の常住都道府県による現住地, 年齢(各歳), 男女別人口(転出)—全国, 都道府県
- 17) 総務省統計局：住民基本台帳人口移動報告