

エージェントベースドモデルによる 日本の将来人口・世帯数の推計に必要な 初期値データとイベント発生確率の推計^{*†}

The Estimation of Initial Value Data and Event Probabilities
for Population and Household Projections for Japan by Agent-based Model

尾道市立大学経済情報学部 金田陸幸

Takayuki Kaneda

関西学院大学経済学部 上村敏之

Toshiyuki Uemura

1 はじめに

近年、人口推計の新しい手法として、エージェントベースドモデル（Agent-based Model：以下では ABM とする）の利用が注目されている。一国の国力の源泉とも言える人口の推計は、ヨーロッパで 17 世紀に始まったとされているが、当初は出生、死亡、移民にとまなう総人口の推移を推計する単純なものであった。その後、アメリカでコーホート分析が開発され、世代を区別した手法を取り入れることで、人口推計の手法は精緻化されてきた。

従来の人口推計では、人口の推計を主たる目的とするがゆえに、世帯の推計は従にならざるを得ない。伝統的な人口推計は、どのような世帯がどの程度出現するのか、という推計は得意ではない。一方で、近年の多様な世帯の出現により、これまでの社会保障制度や税制は、抜本的な変革を求められている。そのため、世帯に着目した人口推計の必要性は論を待たず、その意味で ABM の活用は注目に値する。

* 本稿は生活経済学会第 35 回研究大会（東洋大学）での報告「マルチエージェントモデルによる人口・世帯数の将来像」の成果の一部をまとめたものである。学会報告では、討論者の山本克也先生（国立社会保障・人口問題研究所）とフロアの先生方より、的確なコメントを頂戴し、研究を改善することができました。この場を借りてお礼を申し上げます。なお、本研究は JSPS 科研費（基盤研究 (C)、課題番号：17K03790、研究代表者：上村敏之）の助成を受けたものです。

† 本稿の分析で用いるデータセットは、統計法に基づいて、厚生労働省より『国民生活基礎調査』の調査票情報の提供を受け、独自に作成・処理したものである。データの提供に深く感謝したい。

そこで本稿は、個人の選択の結果としての世帯数の将来像に注目し、ABMを用いて、日本の将来の人口と世帯数を推計するための初期値データの推計方法と、エージェントのイベント発生確率の推計方法を提示する。

ABMによる人口推計を扱った研究は、特に海外では多く行われているが、初期値データやイベント発生確率の推計方法を詳しく記述した先行研究はほとんど存在しない。多くの先行研究が、モデルの概要と結果しか言及しないのは、おそらく紙面の制約が関係していると思われる。そこで本稿では、初期値データやイベント発生確率の推計方法をまとめることで、今後の日本におけるABMによる将来人口・世帯推計の発展を目指すことを目的としたい。

本稿の構成は以下の通りである。2節では、初期値データの推計について説明する。3節では、エージェントのライフイベントについて述べる。4節では、エージェントのイベント発生確率を推計する。5節では、カリブレーションの必要性について議論する。最後の6節では、本稿の内容をまとめ、結びとする。

2. 初期値データの推計

ABMによる将来人口・世帯推計を行うには、初期値データを設定しなければならない。本節では、その具体的な分析手法について述べる。本稿は、現実の日本社会を想定することから、マクロの日本の人口・世帯数を再現する初期状態のデータ（初期値データ）を設定する必要がある。本稿では、厚生労働省『国民生活基礎調査』の2013年の個票データを用いる方法を提示する。

ただし、『国民生活基礎調査』個票データのサンプル数は23万4,383世帯（世帯人員数は60万3,211人）と膨大であり、すべてのデータを用いて、それぞれの個人や世帯の行動を考慮に入れた複雑なシミュレーションを行うと、コンピューターの計算速度がかなり遅くなることから、不可能であった。

また、『国民生活基礎調査』は標本調査であることから、その個票データのサンプルは、年齢構成や世帯構成において、現実の日本社会の年齢構成や世帯構成との乖離が生じている。表1は『国民生活基礎調査』の個票データと、全数調査で現実を表現する総務省統計局『国勢調査』における、世帯構造5区分の世帯数が全世帯に占める割合を世帯主の年齢10階級別に示したものである¹。

世帯構造の割合については、『国勢調査』時系列データの世帯第4表その1「世帯の家族類型（16区分）、世帯主の年齢（5歳階級）、世帯主の男女別一般世帯数及び一般世帯人員－全国（平成7年～平成27年）」の2015年のデータを用い、筆者が年齢10歳階級、世帯構造

¹ 世帯構造の5区分はそれぞれ、「単独」「夫婦のみ」「夫婦と子」「ひとり親」「その他」である。

5 区分に再集計したものである²。以下「 」内はデータ項目の名称である。

具体的には以下の処理を行った。『国勢調査』データでは世帯構造が 16 区分存在する。そこでまずは、世帯構造 5 区分の単独世帯、夫婦のみ世帯、夫婦と子世帯として、『国勢調査』の「単独世帯」「夫婦のみ世帯」「夫婦と子供から成る世帯」をそれぞれ使用する。次に世帯構造 5 区分のひとり親世帯として『国勢調査』の「男親と子供から成る世帯」と「女親と子供から成る世帯」の和を使用する。最後に世帯構造 5 区分のその他世帯は、「総数」から上記の単独世帯、夫婦のみ世帯、夫婦と子世帯、ひとり親世帯を差し引いたものとして使用する。上記で算出した世帯構造 5 区分を『国勢調査』の「総数」で除することで、表 1 の年齢 10 歳階級別、世帯構造別世帯数が全世帯数に占める割合を算出した。

表 1 年齢 10 歳階級別、世帯構造別世帯数の全世帯に占める割合

世帯主年齢 10歳階級	国民生活基礎調査					国勢調査				
	単独世帯	夫婦のみ	夫婦と子	ひとり親	その他	単独世帯	夫婦のみ	夫婦と子	ひとり親	その他
15～24歳	3.09%	0.07%	0.13%	0.03%	0.08%	3.79%	0.07%	0.12%	0.05%	0.13%
25～34歳	2.42%	1.11%	3.18%	0.41%	0.37%	5.60%	1.36%	2.89%	0.47%	0.44%
35～44歳	2.27%	1.38%	8.07%	1.34%	1.31%	4.58%	1.58%	7.45%	1.50%	0.84%
45～54歳	2.62%	1.69%	6.68%	1.55%	2.84%	4.38%	1.75%	6.54%	2.14%	1.57%
55～64歳	4.08%	5.08%	5.43%	1.47%	4.68%	4.46%	3.64%	4.52%	1.67%	2.49%
65～74歳	4.69%	7.47%	3.44%	1.15%	3.41%	5.41%	6.64%	3.55%	1.48%	2.23%
75～84歳	4.65%	4.95%	1.38%	0.86%	2.47%	4.44%	4.23%	1.56%	1.12%	1.27%
85歳以上	1.82%	0.91%	0.19%	0.30%	0.93%	1.88%	0.90%	0.26%	0.51%	0.49%
合計	25.64%	22.66%	28.51%	7.10%	16.09%	34.53%	20.17%	26.89%	8.94%	9.46%

出所) 厚生労働省『国民生活基礎調査』および総務省統計局『国勢調査』より筆者作成。

『国勢調査』は全数調査であることから、日本社会の現実の分布を示していると考えられる。しかしながら、表 1 から分かるとおり、標本調査である『国民生活基礎調査』の個票データと『国勢調査』では、特に単独世帯とその他世帯において大きな乖離が見られる。また、他の世帯構造と比較すると、全世帯に対する割合は小さいものの、ひとり親世帯の全年齢階級において、『国民生活基礎調査』の個票データから得られた割合が『国勢調査』から得られた割合を下回っていることが確認される。

以上のように、コンピューター上の処理上の問題、現実の世帯分布との乖離という 2 点の問題に対処するために何らかの補正が必要になる。そこで本稿では、表 1 の『国勢調査』の世帯構造 5 区分の割合に合わせて、2015 年の日本の人口のおよそ 1 万分の 1 の規模 (1 万 2,500 人ほど) を再現するように、『国民生活基礎調査』の個票データから初期値データとしてサンプルを抽出した。なお、初期値データの設定にあたって、年齢が不詳の世帯員が 1 人でも

² 『国勢調査』のデータには年齢が 15 歳未満の世帯主も存在しているが、全体に占める割合が 0.002% 程度であるため、これらの世帯は本稿の分析対象から除外する。

存在する世帯は抽出処理から除外している。そのため、抽出処理の対象世帯は23万4,058世帯（世帯人員数は60万2,427人）となった。

まず、『国勢調査』時系列データの世帯第4表を用い、世帯主の年齢5歳階級別、男女別の各世帯構造の世帯数 $H_{x,s}$ が「総数」に占める割合 $HR_{x,s}$ を算出する。ここで、 x は世帯主の年齢5歳階級、 s は性別（男性であれば $s=m$ 、女性であれば $s=f$ とする）を表す³。

$$HR_{x,s} = \frac{H_{x,s}}{\sum_{x=1}^{14} H_x} \quad (1)$$

表2、表3は、世帯主の男女別、年齢階級別、世帯構造別世帯数が全世帯数に占める割合を示したものである。

表2 世帯主（男性）の年齢階級別、世帯構造別世帯数の割合

世帯主年齢 5歳階級	単独世帯	夫婦のみ	夫婦と子	ひとり親	その他	合計
15～24歳	2.18%	0.07%	0.12%	0.01%	0.07%	2.45%
25～29歳	1.92%	0.53%	0.73%	0.03%	0.14%	3.35%
30～34歳	1.54%	0.77%	2.09%	0.06%	0.18%	4.63%
35～39歳	1.40%	0.73%	3.26%	0.11%	0.26%	5.77%
40～44歳	1.60%	0.80%	4.08%	0.21%	0.43%	7.10%
45～49歳	1.50%	0.77%	3.52%	0.28%	0.55%	6.62%
50～54歳	1.37%	0.93%	2.95%	0.33%	0.78%	6.37%
55～59歳	1.27%	1.34%	2.34%	0.32%	1.01%	6.27%
60～64歳	1.38%	2.26%	2.15%	0.29%	1.19%	7.27%
65～69歳	1.42%	3.44%	2.08%	0.24%	1.16%	8.35%
70～74歳	0.92%	3.15%	1.46%	0.16%	0.71%	6.40%
75～79歳	0.65%	2.53%	0.99%	0.14%	0.54%	4.85%
80～84歳	0.48%	1.68%	0.56%	0.12%	0.42%	3.27%
85歳以上	0.39%	0.90%	0.26%	0.13%	0.34%	2.02%
合計	18.00%	19.90%	26.59%	2.43%	7.78%	74.71%

次に『国民生活基礎調査』の個票データから初期値の世帯構造の割合が表2、表3に合うように世帯を抽出する。本稿では以下の2つの条件を満たすまで各年齢階級の世帯の抽出あるいは入れ替えを行い、双方の条件を満たした時点での世帯を初期値とした。

第一の条件は分析対象の世帯人員数が1万2,500人以上1万3,000人以下であること、第

³ 世帯主の年齢が15～19歳の世帯の割合を個別に算出することも可能であるが、この年齢階級の全世帯構造および男女計の世帯数が世帯総数に占める割合は0.7%以下と極めて低いため、20～24歳階級の世帯割合と合算している。そのため、年齢階級は25～29歳階級から79～84歳階級までの12階級に15～24歳階級と85歳以上階級を加えた14階級から構成される。

二の条件は表2、表3に示したすべての世帯構造割合と『国民生活基礎調査』の個票データから抽出した世帯構造割合の差が0.01%ポイント以下であることである。

上記の処理の結果、初期値とする分析対象世帯数は5,501世帯、世帯人員数は1万2,513人となった。表4は『国民生活基礎調査』から抽出した世帯主の男女別、年齢階級別、世帯構造別の世帯数を示したものである。

表3 世帯主（女性）の年齢5歳階級別の世帯構造割合

世帯主年齢 5歳階級	単独世帯	夫婦のみ	夫婦と子	ひとり親	その他	合計
15～24歳	1.61%	0.01%	0.00%	0.04%	0.06%	1.71%
25～29歳	1.23%	0.03%	0.02%	0.12%	0.07%	1.48%
30～34歳	0.91%	0.04%	0.05%	0.26%	0.06%	1.31%
35～39歳	0.77%	0.03%	0.06%	0.44%	0.06%	1.35%
40～44歳	0.81%	0.02%	0.06%	0.74%	0.09%	1.72%
45～49歳	0.76%	0.02%	0.04%	0.81%	0.11%	1.74%
50～54歳	0.75%	0.02%	0.03%	0.72%	0.13%	1.65%
55～59歳	0.78%	0.02%	0.02%	0.55%	0.13%	1.50%
60～64歳	1.04%	0.02%	0.01%	0.51%	0.15%	1.74%
65～69歳	1.51%	0.02%	0.01%	0.58%	0.19%	2.30%
70～74歳	1.56%	0.02%	0.00%	0.51%	0.17%	2.26%
75～79歳	1.67%	0.01%	0.00%	0.46%	0.16%	2.31%
80～84歳	1.64%	0.01%	0.00%	0.39%	0.15%	2.19%
85歳以上	1.49%	0.00%	0.00%	0.39%	0.15%	2.03%
合計	16.53%	0.27%	0.30%	6.51%	1.67%	25.29%

表4 初期値データの世帯主の男女別、年齢階級別、世帯構造（5区分）別の世帯数

	男性						女性						男女計
	単独	夫婦のみ	夫婦と子	ひとり親	その他	合計	単独	夫婦のみ	夫婦と子	ひとり親	その他	合計	
15～24歳	120	4	6	1	4	135	89	0	0	2	3	94	229
25～29歳	105	29	40	2	8	184	68	2	1	7	4	82	266
30～34歳	85	42	115	3	10	255	50	2	3	14	3	72	327
35～39歳	77	40	180	6	14	317	42	1	3	24	3	73	390
40～44歳	88	44	224	12	23	391	45	1	3	41	5	95	486
45～49歳	82	42	194	15	30	363	42	1	2	44	6	95	458
50～54歳	76	51	162	18	43	350	41	1	2	39	7	90	440
55～59歳	70	74	129	18	56	347	43	1	1	30	7	82	429
60～64歳	76	124	118	16	66	400	57	1	1	28	8	95	495
65～69歳	78	190	115	13	64	460	83	1	0	32	10	126	586
70～74歳	51	174	80	9	39	353	86	1	0	28	9	124	477
75～79歳	36	139	55	8	30	268	92	1	0	26	9	128	396
80～84歳	26	93	31	7	23	180	90	0	0	22	8	120	300
85歳以上	22	49	14	7	19	111	82	0	0	21	8	111	222
合計	992	1,095	1,463	135	429	4,114	910	13	16	358	90	1,387	5,501

また、初期値データの設定に際しては、世帯構造のみならず、分析対象の年齢5歳階級別、男女別人口とマクロの値との乖離についても確認している。マクロの人口の基準となるデータとして、総務省統計局『人口推計』の長期時系列データ第3表「年齢（5歳階級及び3区分）、男女別人口（各年10月1日現在）－総人口、日本人人口（平成12年～27年）」の2015年データを用いた。

表5は『国民生活基礎調査』の個票データから初期値データとして抽出したサンプル数、各年齢階級のサンプル数が全サンプル数に占める割合、『人口推計』のデータから算出した各年齢階級人口が全人口に占める割合を男女別に示したものである。また、抽出したサンプルから得られた割合と人口推計データから算出した割合の差についても示している。

表5 抽出サンプル総数、年齢5歳階級別、男女別階級人口が全人口に占める割合

	基礎調査から抽出したサンプル数(人)		年齢階級別人口割合 (基礎調査) (A)		年齢階級別人口割合 (人口推計) (B)		年齢階級別人口割合の差 (A-B) (%ポイント)	
	男性	女性	男性	女性	男性	女性	男性	女性
0～4歳	241	214	1.93%	1.71%	2.02%	1.92%	-0.09	-0.21
5～9歳	265	240	2.12%	1.92%	2.14%	2.04%	-0.03	-0.12
10～14歳	322	324	2.57%	2.59%	2.27%	2.16%	0.31	0.43
15～19歳	325	236	2.60%	1.89%	2.45%	2.32%	0.15	-0.43
20～24歳	266	269	2.13%	2.15%	2.46%	2.34%	-0.33	-0.19
25～29歳	298	307	2.38%	2.45%	2.62%	2.52%	-0.24	-0.06
30～34歳	358	359	2.86%	2.87%	2.95%	2.87%	-0.09	0.00
35～39歳	448	472	3.58%	3.77%	3.36%	3.26%	0.22	0.51
40～44歳	495	471	3.96%	3.76%	3.92%	3.82%	0.03	-0.06
45～49歳	429	421	3.43%	3.37%	3.48%	3.42%	-0.05	-0.05
55～54歳	398	438	3.18%	3.50%	3.17%	3.14%	0.01	0.36
55～59歳	381	388	3.05%	3.10%	2.98%	3.00%	0.07	0.10
60～64歳	424	505	3.39%	4.04%	3.31%	3.42%	0.08	0.62
65～69歳	474	499	3.79%	3.99%	3.72%	3.96%	0.07	0.03
70～74歳	366	425	2.93%	3.40%	2.85%	3.27%	0.07	0.12
75～79歳	282	322	2.25%	2.57%	2.22%	2.78%	0.04	-0.21
80～84歳	205	276	1.64%	2.21%	1.59%	2.37%	0.05	-0.16
85歳以上	135	235	1.08%	1.88%	1.16%	2.73%	-0.08	-0.85
合計	6,112	6,401	48.85%	51.15%	48.66%	51.34%	0.19	-0.19

女性の85歳以上の階級で、0.83%ポイントと若干開きがあるものの、これは85歳以上の階級は85～89歳、90～94歳、95～99歳、100歳以上の4つの階級を合算したためである。全体の男女比の差および各年齢階級の差はおおむね0.5%ポイント以内で収まっていることから、本稿ではこれらのサンプルを初期値データとして用いる。

初期値データが設定できたら、各個人に個人IDを与え、各世帯に世帯IDを与える。『国民生活基礎調査』には、世帯番号が付与されているが、その番号は用いず、世帯主の個人ID

を世帯 ID とした。『国民生活基礎調査』において、世帯主が女性で、かつ、世帯内に男性の夫がいる場合は、夫の個人 ID を世帯 ID とした。本稿の ABM では、以上のように設定された個人を、エージェントとして認識する。

3. エージェントのライフイベント

エージェントの選択は、ライフイベントによって表現される。ライフイベントでは、0 から 1 までのイベント発生確率に対して、0 から 1 までの一様乱数を発生させ、一様乱数がイベント発生確率を超えない場合、そのライフイベントが発生するようにモデル化されている。

本稿が考慮するライフイベントとイベント発生確率については表 6 を参照されたい。①加齢および死亡、②結婚行動、③離婚行動、④出産行動、⑤離家行動、そして①および③の付属として、親との同居行動を組み込んでいる。

表 6 t 年におけるライフイベントとイベント発生確率

順番	ライフイベント	イベント発生確率
①	加齢および死亡	死亡する確率
①の 付属	(同居配偶者が死亡した場合かつ 親が健在である場合) 親との同居行動	配偶者の死別の際に親と同居する確率
②	結婚行動	男女が結婚する確率
③	離婚行動	配偶者と離婚する確率
③の 付属	(親が健在である場合) 親との同居行動	配偶者と離別の際に親と同居する確率
④	出産行動	結婚している男女の世帯が出産する確率
⑤	離家行動	既婚者が親の世帯から独立する確率

1 月から 12 月までの 1 年間を一般的に t 年とする。t 年の 1 年の間に、エージェントに生じるライフイベントの順番は定まっている。t 年が始まると、1 番目のライフイベントが①加齢および死亡である。エージェントは加齢、すなわち 1 歳だけ年齢が追加される。そして、死亡確率によって死亡するエージェントが出てくる。なお、①の付属として、同居している配偶者が死亡したとき、健在である親と同居する確率をもとに、親との同居行動を組み込んでいる。

2 番目のライフイベントとして、②結婚行動がある。男女が結婚する確率をもとにした結婚行動である。3 番目のライフイベントは、③離婚行動である。配偶者と離婚する確率をもとに、離婚行動を組み込んでいる。なお、③の付属として、同居している配偶者と離婚したときに、その時点で健在する親と同居する確率をもとに、親との同居行動を組み込んでいる。

4番目のライフイベントは、④出産行動である。結婚している女性が出産する確率をもとに、出産行動を組み込んでいる。最後の5番目のライフイベントは、⑤離家行動である。未婚者が親の世帯から独立する確率をもとに、離家行動を組み込んでいる。

①から⑤までのt年のライフイベントが終われば、新しくt+1年が始まり、再び①から⑤のライフイベントが繰り返される。それでは、個々のライフイベントについて、次節で説明する。

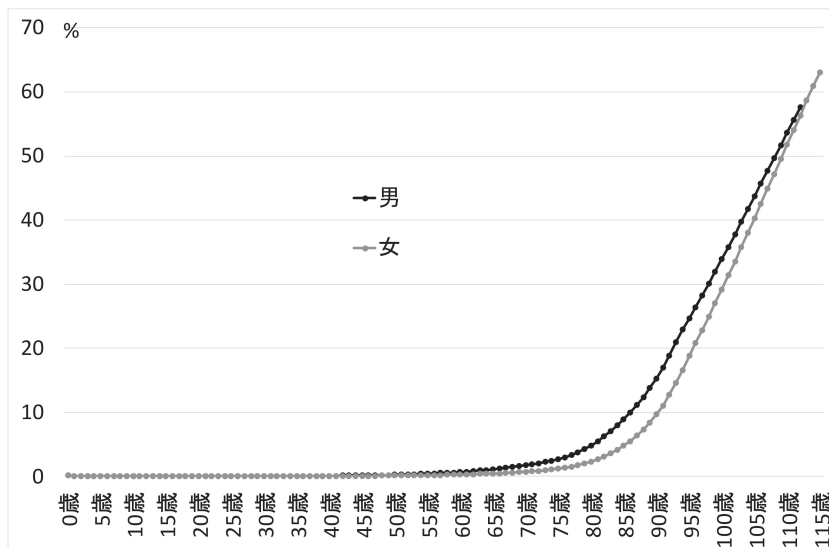
4. エージェントのイベント発生確率の推計

本節では、各エージェントに与えるイベント発生確率の推計を行う。

4. 1. 加齢および死亡

各エージェントは、年初に1歳だけ歳をとり、その年に生存するかどうか、死亡する確率によって判定される。その判定は、下記の死亡率によって行われる。

図1 男女別・年齢別の死亡率q (2015年)



出所) 厚生労働省『生命表』(2015年)より作成。

厚生労働省『生命表』によれば、死亡率 q_x は、 x 歳から1年だけ年齢が増えたときの生存数 L_x の減少率で定義される。 s は性別(男性であれば $s=m$ 、女性であれば $s=f$ とする)を表す。

$$q_{x,s} = \frac{L_{x,s} - L_{x+1,s}}{L_{x,s}} \quad (2)$$

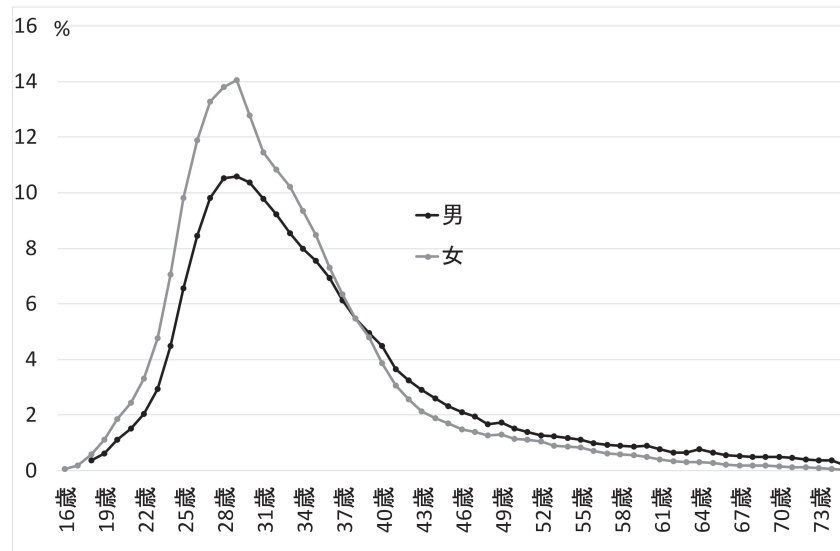
図1は、厚生労働省『生命表』完全生命表「第22回生命表」(2015年)より得た、2015年の男女別・年齢別の死亡率 q (%)である。死亡率は、60歳までは男女とも大きな違いはないが、高齢になれば男性の方が女性よりも高く推移することが分かる。

ABMによる将来人口・世帯推計では、各エージェントに発生させる一様乱数(0~1)が、ここで設定された男女別・年齢別の死亡率よりも下回る場合、そのエージェントは死亡する。

4. 2. 結婚行動

各エージェントの婚姻状態(未婚、既婚、離別、死別)は、ABMにおいては、常に把握されている。未婚のエージェントが、結婚するかどうかについては、結婚する確率によって判定される。その判定は、下記の無配偶婚姻率によって行われる。

図2 男女別・年齢別の無配偶婚姻率 n (2015年)



出所) 厚生労働省『平成28年度人口動態特殊報告 婚姻に関する統計』より作成。

厚生労働省『人口動態特殊報告 婚姻に関する統計』によれば、無配偶婚姻率 n_x は、 x 歳の年間の婚姻件数 M を x 歳の無配偶人口 UMP で除算したものと定義される。 s は性別(男性であれば $s=m$ 、女性であれば $s=f$ とする)を表す。

$$n_{x,s} = \frac{M_{x,s}}{UMP_{x,s}} \quad (3)$$

図2は、厚生労働省『平成28年度人口動態特殊報告 婚姻に関する統計』統計表4「年齢別にみた無配偶婚姻率(無配偶人口千対)・未婚者初婚率(未婚人口千対)・婚姻件数及び

初婚件数」より得た、2015年の男女別・年齢別の婚姻率 n (%) である。無配偶婚姻率は、男女とも29歳がピークとなっており、それまでは女性の方が男性よりも高く推移する。38歳で女性と男性の無配偶婚姻率は逆転し、男性の方が女性よりも高く推移する。

ABMによる将来人口・世帯推計では、未婚のエージェントに発生させる一様乱数 (0 ~ 1) が、ここで設定された男女別・年齢別の無配偶婚姻率よりも下回る場合、そのエージェントは結婚する意思のあるエージェントとして判断する。

結婚する意思のあるエージェントの中から、男女1組の組み合わせをつくることで、結婚が成立する。その際、組み合わせの男女の年齢が近くなるように設定 (たとえば±3歳以内) することもできる。

4. 3. 離婚行動

既婚のエージェントが、離婚するかどうかについては、離婚する確率によって判定される。その判定は、下記の有配偶離婚率によって行われる。本来であれば、男女双方の意志によって離婚が決定されるが、パラメータの推計にあたっては、有配偶女性の離婚件数にもとづく離婚率によって、離婚が決定されると考える。

ここでの女性の有配偶離婚率 d_x は、女性の x 歳の年間の離婚件数 D を、有配偶女性数 MP で除算したものと定義する。

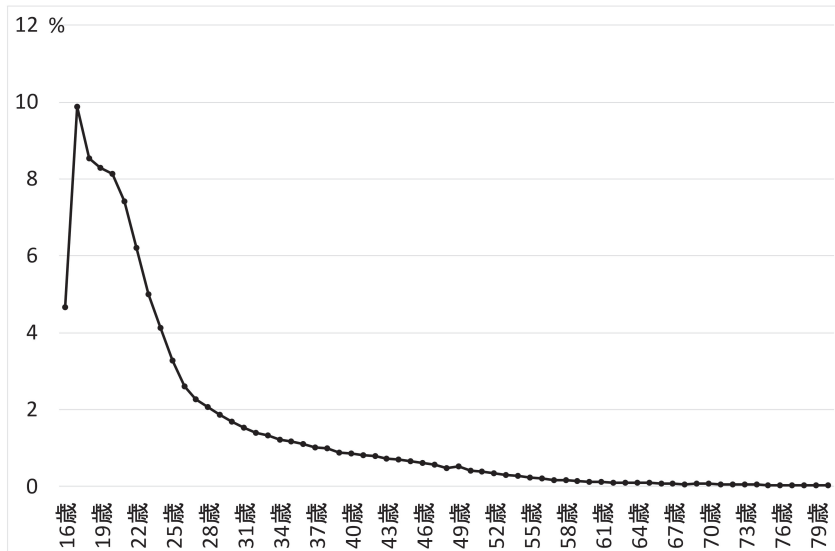
$$d_x = \frac{D_x}{MP_x} \quad (4)$$

有配偶女性数は、総務省『国勢調査』(2015年)「人口等基本集計」の表5-1「配偶関係(4区分)、年齢(各歳)、男女別15歳以上人口、配偶関係別割合及び平均年齢(総数及び日本人) - 全国、全国市部・郡部、の都道府県、21大都市」より取得した。また、離婚件数は、厚生労働省『人口動態調査』(2015年)「人口動態統計」の「離婚件数(平成27年に同居をやめ届け出たもの)、夫の別居時の年齢(各歳)・妻の別居時の年齢(各歳)別」より取得した。

図3は、2015年の女性の有配偶離婚率 d (%) である。有配偶離婚率は、10歳代で高く推移したのち、年齢が高くなるとともに逡減する。

ABMによる将来人口・世帯推計では、既婚の女性のエージェントに発生させる一様乱数 (0 ~ 1) が、ここで設定された年齢別の有配偶離婚率よりも下回る場合、その夫婦は離婚する。なお、離婚する夫婦に子どもがいる場合は、その子どもの親権をどちらにするか、すなわち、どちらと同居するかについて、設定することが必要になる。

図3 女性の年齢別の有配偶離婚率 d (2015年)



出所) 総務省『国勢調査』(2015年)と厚生労働省『人口動態調査』(2015年)より作成。

4. 4. 出産行動

既婚のエージェントが、出産するかどうかについては、出産確率によって判定される。その判定は、下記の女性の有配偶出産率によって行われる。ここでの女性の有配偶出産率 b_x は、女性の x 歳の年間の出生数 B を、有配偶女性数 MP で除算したものと定義する。

$$b_x = \frac{B_x}{MP_x} \quad (5)$$

有配偶女性数は、有配偶離婚率で用いた総務省『国勢調査』(2015年)より得る。女性の年齢別の出生数は、厚生労働省『人口動態調査』(2015年)「人口動態統計」の「出生数、性・母の年齢(各歳)・出生順位・嫡出子・嫡出でない子別」より取得した。

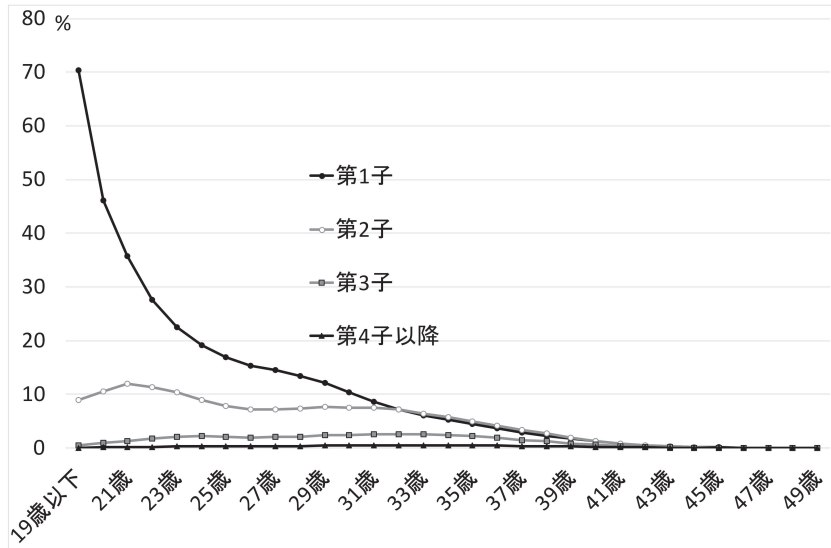
出生数のデータは、第1子、第2子、第3子、第4子以降に分かれていることから、有配偶出産率も分けて得ることができる。なお、データは55歳まで存在するが、ここでは合計特殊出生率で使用される49歳までを計測している。

図4は、2015年の女性の有配偶出産率 b (%)である。第1子の有配偶出産率は、10歳代がもっとも高く、そこから低下してゆく。第2子の有配偶出産率は、10歳代と20歳代前半で10%程度、20歳代後半から30歳代で7~8%で推移して、低下する。第3子と第4子以降の有配偶出産率は低い状態で推移する。

ABMによる将来人口・世帯推計では、既婚の女性のエージェントに発生させる一様乱数(0

～1) が、ここで設定された年齢別の有配偶出産率よりも下回る場合、その夫婦には、子どもが誕生する。

図4 女性の年齢別の有配偶出産率 b (2015年)



出所) 総務省『国勢調査』(2015年)と厚生労働省『人口動態調査』(2015年)より作成。

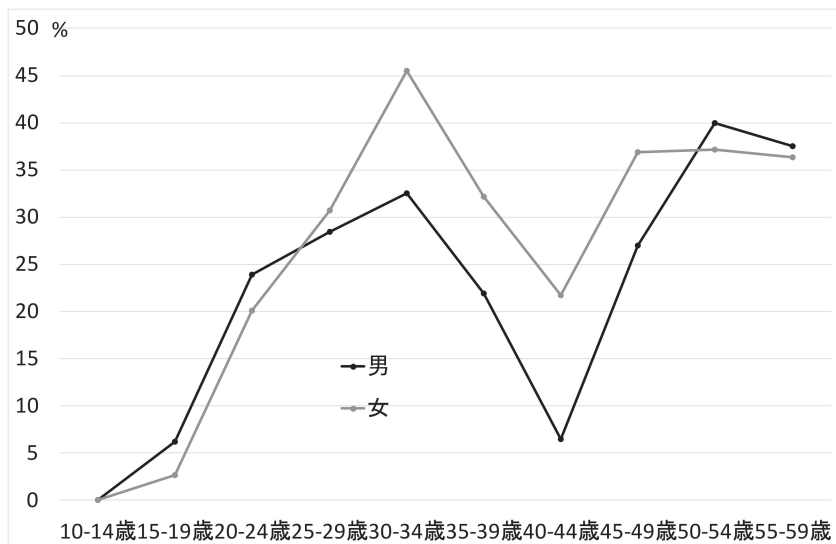
4. 5. 離家行動

本稿のABMによる将来人口・世帯推計では、15歳以上の親と同居している未婚の子は、一定の確率で親元を離れ、新たな世帯を形成する(離家)と想定する。親と同居する未婚者に対して、親元を離れる確率を意味する離家確率を与え、離家行動を表現する。

離家確率は、西(2017)表4-1「年齢5歳階級, 男女別親と同居の未婚者(15-59歳)数の推移」の2015年と2016年のデータを利用する。2015年から2016年にかけての男女別の年齢別の親と同居の未婚者数の変化率を離家確率として設定した。西(2017)のデータ区分のために、離家確率は5歳階級で計算する。

ここでの離家確率 l_x は、15歳以上で親と同居する未婚者数UMLTPが、 t 年(2015年)から $t+1$ 年(2016年)になったときの減少率として得られる。 s は性別(男性であれば $s=m$ 、女性であれば $s=f$ する)を表す。

図5 男女別・年齢階級別の離家確率I (2015年)



出所) 西 (2017) 表 4 - 1 「年齢 5 歳階級, 男女別親と同居の未婚者 (15-59 歳) 数の推移」より作成。

$$l_{x,s} = \frac{UMLTP_{x,t,s} - UMLTP_{x+1,t+1,s}}{UMLTP_{x,t,s}} \quad (6)$$

図5は男女別・年齢階級別の離家確率である。離家確率は、男女ともに若い年齢から徐々に上昇して30-34歳でピークを迎え、40-44歳でいったん低下して、再び上昇する。親と同居する未婚者の一様乱数(0~1)が、ここで設定された男女別・年齢階級別の離家確率を下回れば、そのエージェントは親元を離れ、そのエージェントを世帯主とする新たな世帯が発生する。

4. 6. 同居行動

本稿のABMによる将来人口・世帯推計では、親元への同居行動は、配偶者との死別と離別の際にのみ、発生すると想定した⁴。年初に夫婦であったエージェントで、配偶者の死亡による死別、離婚による離別を経験したエージェントに対して、同居確率を適用する。以下では、死別と離別の場合で、別々の同居確率を与える。

同居確率の測定は、稲垣(2007)を参考にした。離死別の際に親元に戻る確率をr(同居確率)、有配偶者で親と同居している者の割合をw、離死別者で親と同居している者の割合をuとす

⁴ 配偶者との離別や死別の際以外にも、たとえば親の健康状態の悪化が同居行動をうながすと考えられるが、こういった同居行動は今後の課題である。

る。離死別者で親と同居している世帯は、配偶者との離死別前から同居していた、あるいは、離死別前後に同居を選択した世帯であるから、下記の数式が成立する。s は性別（男性であれば s=m、女性であれば s=f とする）を表す。

$$u_{x,s} = w_{x,s} + r_{x,s}(1 - w_{x,s}) \quad (7)$$

これを同居確率 r について解くと下記が得られる。

$$r_{x,s} = \frac{u_{x,s} - w_{x,s}}{1 - w_{x,s}} \quad (8)$$

男女別・年齢別の有配偶者で親と同居している者の割合 w_x は、男女別の 15 歳以上の有配偶者数 MP のうち、親と同居する有配偶者数 MLTP が占める割合で求められる。

$$w_{x,s} = \frac{MLTP_{x,s}}{MP_{x,s}} \quad (9)$$

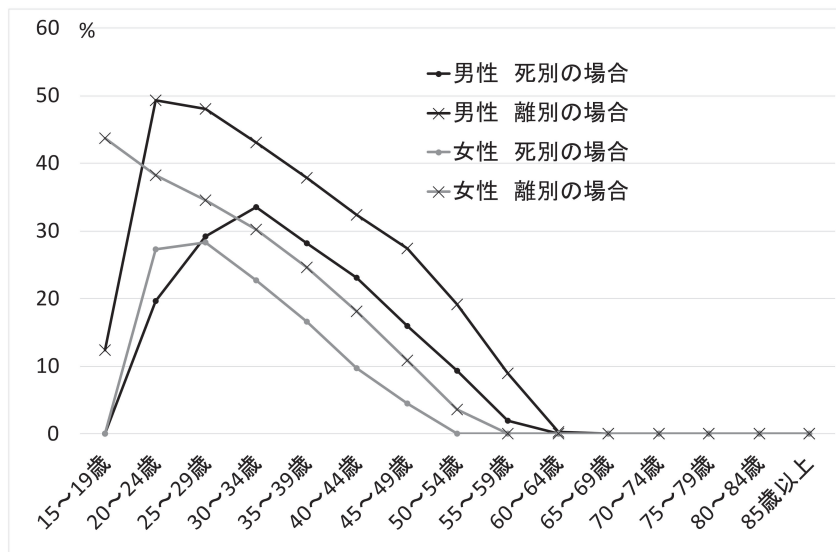
また、男女別・年齢別の離死別者で親と同居している者の割合 u_x は、男女別の 15 歳以上の離死別者数 DSP のうち、親と同居する離死別者数 DSLTP が占める割合で求められる。

$$u_{x,s} = \frac{DSLTP_{x,s}}{DSP_{x,s}} \quad (10)$$

総務省統計局『国勢調査』「世帯構造等基本集計（母子・父子世帯，親子の同居など）」第 40 表「親との同居・非同居（3 区分）、配偶関係（4 区分）、就業・非就業、年齢（各歳）、男女別人口 - 全国」によれば、男女別・年齢別の有配偶者数 MP、親と同居する有配偶者数 MLTP、離死別者数 DSP、親と同居する離死別者数 DSLTP を取得できることから、上記の男女別・年齢別の同居確率 r を得ることができる。

図 6 には、男女別・年齢階級別・死別・離別の同居確率 r（%）を示した。なお、パラメータの安定性の観点から、年齢階級を 5 歳刻みとしており、マイナスの同居確率が算出された場合はゼロとしている。男性の同居確率は、死別よりも離別が高く推移し、20-24 歳をピークとして低下する。死別は年齢が若ければ低いが、そこから徐々に上昇して 30-34 歳がピークになって、その後低下する。女性の同居確率も、死別よりも離別が高く、男性の場合と同様の傾向を見せる。

図6 男女別・年齢階級別・死別・離別の同居確率 r (2015年)



出所) 総務省統計局『国勢調査』(2015年)より作成。

配偶者の死亡による死別、離婚による離別を経験したエージェントの一樣乱数 (0 ~ 1) が、ここで設定された男女別・年齢階級別の同居確率を下回り、かつ、そのエージェントの親が存命であれば、そのエージェントは親元に戻って同居する。

5. カリブレーションの必要性

以上で設定された初期値データとエージェントのイベント発生確率を組み込み、ABM を実行すれば、将来人口・世帯推計を行うことができる。ただし、その計算結果、たとえば将来人口の推移が、国立社会保障・人口問題研究所による将来人口推計の結果と完全に一致することはない。

その最大の理由は、本稿の ABM においては、エージェントのイベント発生確率が将来にわたって不変であることを仮定しているからである。国立社会保障・人口問題研究所の将来人口推計では、たとえば死亡率や出生率は、将来的に徐々に変化することが想定されている。

したがって、本稿の ABM による将来人口・世帯推計においても、各種のパラメータを将来的に変化させることで、国立社会保障・人口問題研究所の将来推計人口の結果に近くなるよう、パラメータを逆算することも可能である。通常、こういった作業はカリブレーション (calibration) と呼ばれる。

カリブレーションを行うことで、ABM による将来人口推計が、国立社会保障・人口問題研究所の将来人口推計の結果にほぼ一致するならば、後者をベンチマークとした分析が可能

となる。

ただし、カリブレーションをどの程度行うかは、慎重になる必要があるだろう。なぜなら、将来的にパラメータを変更することは、何らかの恣意性の介入を避けることができないからである。どのパラメータをカリブレーションの対象にするか、どのぐらい動かすかは、分析者に委ねられており、ブラックボックスになる可能性もある。

ABMによる将来人口推計が、国立社会保障・人口問題研究所の将来人口推計と完全に一致しなくても、推計結果の傾向が同じであるならば、ある程度の差異を許容することも必要である。その差異を受け入れつつ、様々なシミュレーション結果について解釈することが、ABMによる将来人口・世帯推計の活用に重要である。

6. むすび

本稿では、高齢化にともなう社会保障に対する議論に備えるために、ABMによる将来人口・世帯推計を実行するための初期値データとエージェントのイベント発生確率の推計について述べた。ABMによる人口推計を扱った研究は、特に海外では多く行われているが、初期値データの扱いやイベント発生確率の推計方法を詳しく記述した先行研究はほとんど存在しない。本節では本稿のまとめについて述べることで、本稿のむすびとしたい。

日本の人口減少と少子高齢化により、社会保障に対する議論は尽きない。高齢単身世帯の増加など、今後の社会保障の動向は、世帯の動向がカギを握る。ところが、従来の人口推計は、将来人口推計は得意だが、どのような世帯が出現するかの分析は苦手であった。そこで、ABMによる将来人口・世帯推計が注目されている。

本稿では、ABMによる将来人口・世帯推計を行う際の初期値データとイベント発生確率の推計方法を提示した。初期値データは『国民生活基礎調査』の個票データを用いて設定した。イベント発生確率については、各種の統計を利用して設定している。ライフイベントとしては、①加齢および死亡、②結婚行動、③離婚行動、④出産行動、⑤離家行動、そして①および③の付属として、親との同居行動を考察した。

以上の初期値データとイベント発生確率を組み込めば、ABMによる将来人口・世帯推計を実行できる。なお、カリブレーションを実施するかどうかは、分析者の判断に委ねられるだろう。実際のABMによるシミュレーションの実行結果については別稿に委ねる。今後の日本におけるABMによる将来人口・世帯推計の発展が望まれる。

参考文献

- Andre Grow and Jan Van Bavel ed.(2016) *Agent-Based Modelling in Population Studies*, Springer.
- Billari, Francesco C. (2015) "Integrating Macro- and Micro-Level Approaches in the Explanation of Population Change," *Population Studies*, Vol.69, No.51, pp. S11-S20.
- Billari, Francesco C. and Alexia Prskawetz ed.(2003) *Agent-Based Computational Demography: Using Simulation to Improve Our Understanding of Demographic Behaviour* (Contributions to Economics), Physica-Verlag.
- Billari, Francesco C., Thomas Fent, Alexia Prskawetz and Jurgen Scheffran ed.(2006) *Agent-Based Computational Modelling*, Physica-Verlag.
- Schelling, Thomas C. (1969)"Models of Segregation," *American Economic Review*, Vol.59, No.2, pp.488-493.
- Silverman, Eric., Jakub Bijak, Jason Noble, Viet Cao and Jason Hilton(2014)"Semi-Artificial Models of Populations: Connecting Demography with Agent-Based Modeling," Shu-Heng Chen, Takao Terano, Ryuichi Yamamoto and Chung-Ching Tai ed. *Advances in Computational Social Science*, Chapter 12, pp.177-189.
- 稲垣誠一 (2007) 『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』財団法人日本統計協会。
- 厚生労働省「平成 30 年簡易生命表の概況」
- 国立社会保障・人口問題研究所 (2018)「日本の世帯数の将来推計（全国推計）2015（平成 27）～2040（平成 52）年：2018 年（平成 30）年推計」。
- 内閣府 (2019)『生活状況に関する調査（平成 30 年度）』
- 西文彦 (2017)「親と同居の未婚者の最近の状況（2016 年）」総務省統計研修所。

