
特 集 II

将来人口推計（全国推計）に関連した研究（その3）

将来人口推計における確率推計の応用に関する研究

石 井 太

本研究では、有識者調査による予測値の分布を用い、平成18年12月推計に確率推計を適用する検討を行い、実行結果を用いて、年齢階級別人口の不確実性を概観するマップの作成や、総人口・年齢別構成割合等の信頼区間の推定を試みた。また、複数仮定によるアプローチにおいて指摘される問題点について考察を行い、「複数の仮定に対する確率が明示されていない」点については、確率推計の実行が、複数仮定によるアプローチの推計結果を補い、理解を深めることにも資すると考えられること、また、「関心となる変数全ての不確実性を同時に表現することができない」点については、一般的には確率推計の方がより自然な対応が可能であることを観察した。

将来人口推計に関する不確実性については、より包括的な情報提供に努めるとともに、確率推計の応用を含めた不確実性の情報提供の方法論についてもさらなる研究を行っていくことが今後の課題である。

はじめに

国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成18年12月推計）」では、従来から行われていた、出生仮定に「出生中位・出生高位・出生低位」の3通りを設定することに加え、死亡仮定にも「死亡中位・死亡高位・死亡低位」の3通りの設定を行い、この組み合わせによる9通りの将来人口推計結果を提示することにより、出生・死亡両仮定の変動に起因する将来人口推計結果の不確実性に対し、以前に比べより豊富な情報提供が行われている（国立社会保障・人口問題研究所 2007）。このように複数の仮定を設定する方法は、人口推計結果の不確実性を表現する有力な方法の一つであるが、一方で、この方法では複数の仮定に対する確率が明示されていない点、仮定の組み合わせ方によっては関心となる変数全ての不確実性を同時に表現することができない点など、問題点も指摘されている。

このような問題に対応するため、将来の人口変数を確率的に捉え、その確率分布を示すことによって将来人口推計の不確実性を表現するのが確率推計によるアプローチである。本研究は、石井（2006）において開発された手法に改良を加え、平成18年推計に対して確率推計を適用し、各種の検討を行うことを目的とするものである。

I 確率推計の手法

1. 将来人口推計における不確実性

公的将来人口推計は、各種施策立案の基礎として広範に利用されることから、客観的・中立的に行われることが求められるため、「人口投影 (Population Projection)」という手法に基づいて推計が行われるのが標準的とされている。人口投影とは、過去の傾向等から出生・死亡・移動などについて一定の仮定を設定し、これに基づいて人口を将来に向けて映し出す、すなわち、投影するというものであり、無条件に将来を当てることを一義的な目的とする「予測 (prediction)」とは性格が異なる。特に、わが国の公的将来人口推計においては、より厳格に客観性・中立性を担保する観点から、出生・死亡・移動などの仮定値の設定についても、過去の人口学的データの推移や傾向を将来に投影して設定を行っている。

このように設定された将来の仮定値、及び、これら仮定値に基づいて推計された将来の人口推計結果は、当然のことながら不確実性を伴うものである。公的将来人口推計においては、このような不確実性に対応するため、複数の仮定を設定し、それらに基づく複数の将来推計人口を提供することが一般的に行われる。国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口」でも従来よりこのアプローチが採用されてきており、出生仮定に「中位・高位・低位」の3通りを設定し、3通りの将来推計人口を提供することで、利用者に対して将来推計人口結果の不確実性に関する情報提供を行ってきた。さらに直近の平成18年12月推計においては、出生仮定に加え、死亡仮定にも3通りの設定を行い、この組み合わせによる9通りの将来人口推計結果を提示することにより、出生・死亡両仮定の変動に起因する将来人口推計結果の不確実性に対し、以前に比べてより豊富な情報提供を行っているところである。

しかしながら、このような複数の仮定を設定し、複数の推計結果を示すアプローチには問題点も指摘されている。National Research Council (2000) は、このアプローチにおいては、複数の仮定に対する確率が明示されておらず、その範囲の定め方が明確でない点、さらに、その範囲が各年の変動を意図したものなのか、長期的な平均値の変動を意図したものかが明らかでないことを問題としている。また、出生・死亡など、それぞれの仮定の組み合わせ方によっては、関心となる変数全ての不確実性を同時に表現することができない点も問題点としている。例えば、米国センサス局の推計では高位推計として高出生率・低死亡率・高移入の組合せ、低位推計として低出生率・高死亡率・低移入の組合せを用いるのに対し、米国社会保障庁では低コスト推計として高出生率・高死亡率・高移入の組合せ、高コスト推計として低出生率・低死亡率・低移入の組合せを用いる。このため、センサス局推計では総人口や人口成長率については広い範囲の結果となるのに対し、老年従属人口指数は狭い範囲の結果となってしまう。また、社会保障庁推計ではその逆の状況が生ずるのである。

さらに、別の問題点として、複数仮定設定というアプローチでは、一般に、各年齢、男女、将来の各時点における人口動態率は完全に相関しているものとして設定されるが、このようなモデルは経験的には成立せず、推計結果の解釈が困難であることなどから、複数仮定によるアプローチに基づく推計結果は、確率的な観点から整合的な解釈を与えることはできないとの指摘もなされている。

このような問題に対応するため、将来の人口変数を確率的に捉え、その確率分布を示すことによって将来人口推計の不確実性を表現するのが確率推計によるアプローチである。確率推計は、この確率分布を構成する方法によっていくつかのタイプに分けることができるが、主なものとして、時系列解析を用いる方法、専門家調査を用いる方法、事後的分析による方法が挙げられる。時系列解析による方法は、過去の実績値の変動に基づいて将来の人口変数の確率分布を構成する方法であり、代表例として米国の死亡率推計への応用を行った Lee and Carter (1992) が挙げられる。専門家調査による方法は、専門家に対する調査結果を用いて確率分布の設定を行うものであり、Lutz et al. (1998) などの先行研究が挙げられる。一方、事後的分析による方法は、過去に行われた推計の誤差を用いて将来人口推計の不確実性を評価する方法であり、Keyfitz (1981) や Stoto (1983) が先行研究として挙げられる。

また、わが国において確率推計を将来人口推計に適用した先行研究としては、鈴木 [等] (2003)、北村・中嶋 (2004)、加藤 (2005)、石井 (2006) などが挙げられるが、本研究においては、石井 (2006) において開発された専門家調査を用いる方法を基礎とし、平成18年将来人口推計に対して確率推計の適用を試みることにした。

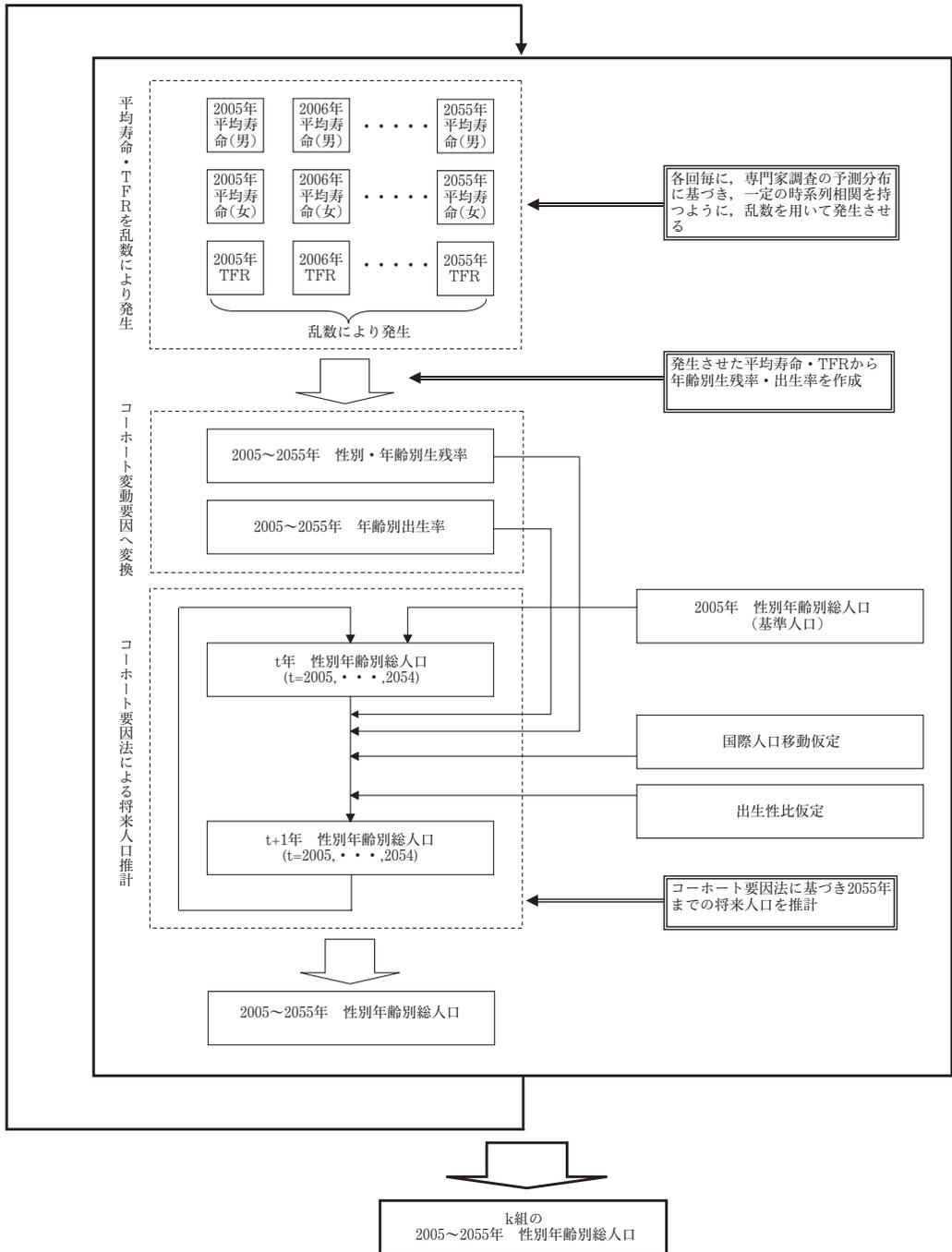
2. シミュレーションの全体像

本研究で行うシミュレーションの方法は、石井 (2006) において開発されたものを基礎としているが、ここでは、その概要及び主な改良点などを中心に、シミュレーションの方法と仮定値設定について簡潔に述べる。

本研究では、コーホート要因法による将来人口推計の前提のうち、出生率仮定・生残率仮定について確率的に仮定設定を行い、これに基づくシミュレーションを実行して将来人口推計結果の信頼区間などを作成する確率推計を行う。図1は本研究で行ったシミュレーションの全体像を表したものである。大きい四角で囲われているのが、繰り返しにおける1回のプロセスを表し、これを複数回 (k 回) 実行して k 組の将来人口推計結果を作成する。本研究ではこのプロセスを10,000回 ($k=10,000$) 実行した。

図1 シミュレーションの全体像

シミュレーションの全体像



次にプロセス内部について述べる。まず、一番上の点線で囲まれた部分に示されているように、推計期間である2005～2055年の男女別平均寿命と合計特殊出生率を乱数を用いて発生させる。このとき、発生する平均寿命及び合計特殊出生率は後述する専門家調査の予測分布に従うものとし、かつ、プロセス内では一定の時系列相関を持つようにする。

次に、発生させた平均寿命・合計特殊出生率を、年次別、年齢別生残率・出生率へと変換する。国際人口移動仮定・出生性比は平成18年12月推計の前提を固定して用いることとすると、これによりコーホート要因法による将来人口推計を行うための前提が1組整うこととなる。そこで、これらの前提に基づき、コーホート要因法により将来人口推計を実行して2005～2055年の性別・年齢別総人口を得る。したがって、これらを k 回繰り返すことにより、 k 組の将来人口推計結果が得られる。

シミュレーションの全体像は以上に述べた通りであるが、以下、シミュレーションに用いた平均寿命と合計特殊出生率の予測分布や仮定値の設定方法などについてより詳細に述べる。

3. 有識者調査の予測値の分布

本研究では、仮定値の分布設定にあたり、厚生労働科学研究費「少子化関連施策の効果と出生率の見通しに関する研究」（主任研究者：高橋重郷）において実施された「少子化の見通しに関する有識者調査」に基づく有識者全体の予測値の分布を用いた¹⁾。同調査では、2050年における男女別平均寿命の予測値、合計特殊出生率の予測値が調査されていることから、これを仮定値の分布設定に用いる。ただし、同調査において得られた分布に対し、正規分布をカーネル関数としたカーネル密度推定（Simonoff 1999）を行って得た分布を推計に用いることとした²⁾。平滑化後の密度関数推定結果を示したものが、図2～4である。

図2 平均寿命の予測値の分布（男性）

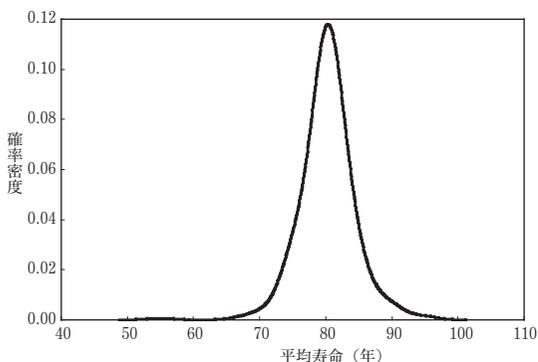
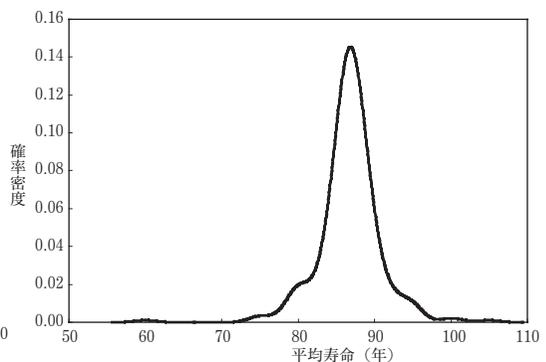


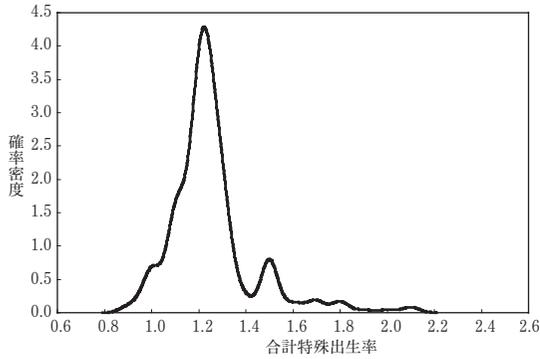
図3 平均寿命の予測値の分布（女性）



1) 本調査の使用にあたり、「少子化関連施策の効果と出生率の見通しに関する研究」分担研究者の安藏伸治教授及び守泉理恵氏から多大なご協力を頂いたことに感謝する。

2) バンド幅については石井（2006）と同様に設定を行った。

図4 合計特殊出生率の予測値の分布



また、これらの分布について、平滑前後における分布の特性値の変動を見たものが表1

である。これによれば、どの分布についても平滑化によりやや変動係数が増大しているが、本研究では以後一貫して平滑後の分布を有識者の予測値の分布の仮定値として利用する。

なお、以下では、これら有識者調査の予測値の分布について、その分布関数・密度関数・平均値・変動係数を、

$$\begin{aligned} \bar{F}_{2050}^{\hat{e}_0^m}(x), \bar{f}_{2050}^{\hat{e}_0^m}(x), \bar{\mu}_{2050}^{\hat{e}_0^m}, \bar{C}V_{2050}^{\hat{e}_0^m} & \quad (2050\text{年平均寿命}\cdot\text{男性}) \\ \bar{F}_{2050}^{\hat{e}_0^f}(x), \bar{f}_{2050}^{\hat{e}_0^f}(x), \bar{\mu}_{2050}^{\hat{e}_0^f}, \bar{C}V_{2050}^{\hat{e}_0^f} & \quad (2050\text{年平均寿命}\cdot\text{女性}) \\ \bar{F}_{2050}^{TFR}(x), \bar{f}_{2050}^{TFR}(x), \bar{\mu}_{2050}^{TFR}, \bar{C}V_{2050}^{TFR} & \quad (2050\text{年合計特殊出生率}) \end{aligned}$$

で表すこととする。

4. 確率推計における仮定設定

確率推計における各種仮定設定の方法についても石井（2006）による方法に基づく。その基本的考え方は以下の通りである。

1. 各年における平均寿命・合計特殊出生率の分布は、有識者調査による予測分布に平均・変動係数の線形変換のみを施したものとす
2. 各年における分布の平均値は、平均寿命、合計特殊出生率は平成18年12月推計の中位推計に一致
3. 各年における分布の変動係数は、年次間で線形補間を行うことにより設定
4. 各年における年齢別死亡率・出生率は、平均寿命・合計特殊出生率にあわせて設定
5. 年次間における分布の相関は、平均寿命・合計特殊出生率の過去の実績値の自己相関係数を用いて設定

表1 予測値の分布の特性値

平均寿命（男）	平滑化前	平均値	80.24
		標準偏差	4.00
		変動係数	4.99%
	平滑化後	平均値	79.97
		標準偏差	4.49
		変動係数	5.62%
平均寿命（女）	平滑化前	平均値	86.72
		標準偏差	4.05
		変動係数	4.67%
	平滑化後	平均値	86.45
		標準偏差	4.29
		変動係数	4.97%
TFR	平滑化前	平均値	1.25
		標準偏差	0.18
		変動係数	14.56%
	平滑化後	平均値	1.25
		標準偏差	0.19
		変動係数	14.89%

なお、国際人口移動に関しては有識者調査の結果がないため、本研究では確率的な仮定設定を行わず、平成18年12月推計の仮定値を固定して用いることとした。

さて、平均寿命については、先述の有識者調査の予測分布が2050年における分布となるため、2005年の変動係数を0として2050年の変動係数との間で線形補間（補外）を行い、各年の平均寿命の変動係数を設定する。具体的には、 $CV_n^{\hat{e}_0^*}$ ($* = m, f$) を n 年の平均寿命の変動係数とすると、

$$CV_n^{\hat{e}_0^*} = (n - 2005) / 45 \cdot \bar{C}V_{2050}^{\hat{e}_0^*}$$

となる。これにより、 $\mu_n^{\hat{e}_0^*}$ を平成18年12月推計の n 年の平均寿命として、 n 年の平均寿命の分布関数は、

$$F_n^{\hat{e}_0^*}(x) = \bar{F}_n^{\hat{e}_0^*} \left(\frac{x - \bar{\mu}_{2050}^{\hat{e}_0^*}}{\bar{\mu}_{2050}^{\hat{e}_0^*} \cdot \bar{C}V_{2050}^{\hat{e}_0^*}} \cdot \mu_n^{\hat{e}_0^*} \cdot CV_n^{\hat{e}_0^*} + \mu_n^{\hat{e}_0^*} \right)$$

となる。

これらの平均寿命の変動に対応し、年齢別死亡率などの生命関数を得ることが必要となるが、本研究では石井（2006）で開発した手法に以下のような改良を行ってシミュレーションを実行した。すなわち、石井（2006）においては、2050年将来生命表における平均寿命と中央死亡率の修正との関係を固定的なものとして他の年次にも適用していたのに対し、本研究では、平成18年12月推計における各年の将来生命表の中央死亡率 m_x を基礎とし、発生させた平均寿命 \hat{e}_0' に対して、

$$\log m'_x = k \log m_x$$

を満たすような k を毎回求めるという改良を行い、各年次の生命関数により適合した年齢別中央死亡率を算定することとした。

年次間における分布の相関についても、正規コピュラを用いて時系列間の分布に相関を持たせる方法をそのまま用いた。なお、相関行列 Σ

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho^2 & \cdots & \rho^{50} \\ \rho & 1 & \rho & \cdots & \rho^{49} \\ \rho^2 & \rho & 1 & \cdots & \rho^{48} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \rho^{50} & \rho^{49} & \rho^{48} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

における ρ は、1948～2005年の男女別平均寿命の前年との自己相関係数とした（ $\rho = 0.9969$ （男）、 0.9967 （女））。

出生率についても概ね同様の手順による。ただし、平成18年12月推計は平成14年1月推計と異なり、人口動態統計ベースの合計特殊出生率に対応した年齢別出生率を直接の仮定設定として用いておらず、日本人女性出生率と外国人女性出生率に分けて仮定設定を行っている。したがって、平成18年12月推計では有識者調査から得られる人口動態統計ベースの合計特殊出生率分布を直接確率的な仮定設定に利用することができないが、平成18年12月推計では出生中位・死亡中位推計結果による人口動態統計ベースの期間合計特殊出生率が推計結果として示されていることから、この推計結果と発生させた合計特殊出生率との比を変動率とし、年齢別出生率は、各年次において出生率の年齢パターンを固定し、合計特殊出生率の変動率をそのまま年齢別出生率の変動率とした。また、相関係数行列に用いる ρ は、1947～2005年の合計特殊出生率の前年との自己相関係数とした ($\rho = 0.9776$)。

II 推計結果

1. 仮定設定

前章で述べたシミュレーションの全体像及び各種仮定設定法に従って、将来人口推計を繰り返し（10,000回）実施するシミュレーションを行った。本章ではそれらの推計結果について述べ、考察を行うこととする。

表2は、各仮定値の平成18年12月推計における値と行ったシミュレーションの分布の特性値、設定に使用した有識者調査による分布（平滑化後）を比較したものである。この表

表2 各種前提とシミュレーション結果の比較

			2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055
平均寿命(男)	平成18年推計	死亡中位	78.53	79.51	80.22	80.85	81.39	81.88	82.31	82.71	83.05	83.37	83.67
		死亡高位	78.53	79.07	79.68	80.19	80.64	81.02	81.36	81.67	81.93	82.18	82.41
		死亡低位	78.53	79.93	80.77	81.50	82.15	82.74	83.26	83.74	84.17	84.57	84.93
	Simulation	平均値	78.53	79.51	80.21	80.83	81.37	81.84	82.26	82.66	83.00	83.32	83.63
		標準偏差	0.00	0.49	0.99	1.51	2.02	2.54	3.07	3.61	4.17	4.71	5.27
		変動係数	0.00%	0.62%	1.24%	1.87%	2.48%	3.10%	3.73%	4.37%	5.02%	5.66%	6.30%
	専門家調査 (平滑化後)	平均値											79.97
		標準偏差											4.49
		変動係数											5.62%
	平均寿命(女)	平成18年推計	死亡中位	85.49	86.41	87.08	87.68	88.19	88.66	89.06	89.43	89.77	90.07
死亡高位			85.49	86.00	86.59	87.06	87.49	87.86	88.18	88.47	88.73	88.96	89.17
死亡低位			85.49	86.80	87.59	88.27	88.89	89.44	89.94	90.39	90.81	91.17	91.51
Simulation		平均値	85.49	86.41	87.09	87.70	88.21	88.69	89.11	89.49	89.82	90.14	90.43
		標準偏差	0.00	0.46	0.94	1.41	1.89	2.39	2.85	3.32	3.86	4.38	4.91
		変動係数	0.00%	0.54%	1.07%	1.60%	2.15%	2.70%	3.20%	3.71%	4.30%	4.85%	5.42%
専門家調査 (平滑化後)		平均値											86.45
		標準偏差											4.29
		変動係数											4.97%
TFR		平成18年推計	出生中位	1.26	1.22	1.22	1.23	1.23	1.24	1.25	1.25	1.26	1.26
	出生高位		1.26	1.33	1.40	1.48	1.51	1.53	1.53	1.54	1.54	1.54	1.55
	出生低位		1.26	1.08	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05	1.06	1.06	1.06
	Simulation	平均値	1.26	1.22	1.22	1.23	1.23	1.24	1.24	1.25	1.26	1.26	1.26
		標準偏差	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
		変動係数	0.00%	1.64%	3.24%	4.89%	6.58%	8.19%	9.86%	11.42%	12.88%	14.38%	16.09%
	専門家調査 (平滑化後)	平均値											1.25
		標準偏差											0.19
		変動係数											14.89%

から、シミュレーション結果の分布の平均値は概ね平成18年12月推計のものに一致しているとともに、変動係数も設定に用いた有識者調査結果と概ね一致しており、確率的な仮定設定が適切に行われていることが確認できる。

さらに詳細に比較する観点から、図5、6に、設定に用いた2050年の平均寿命のシミュレーション結果の分布（実線）と有識者調査による分布（平滑化後）の平均値を移動させたもの（点線）を比較して示した。合計特殊出生率についても同様に示したものが図7である。これによれば、シミュレーション結果は概ね設定に用いた有識者調査の分布に従っていることがわかる。

図5 シミュレーション結果（2050年）との比較（平均寿命，男性）

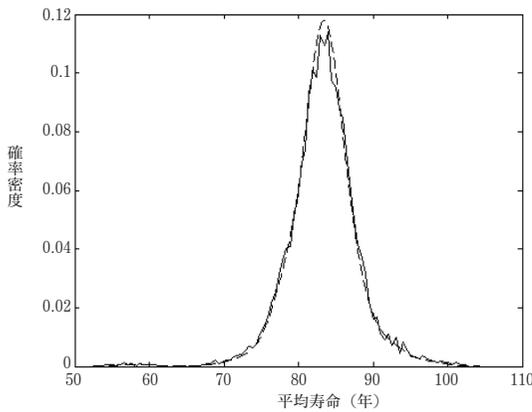


図6 シミュレーション結果（2050年）との比較（平均寿命，女性）

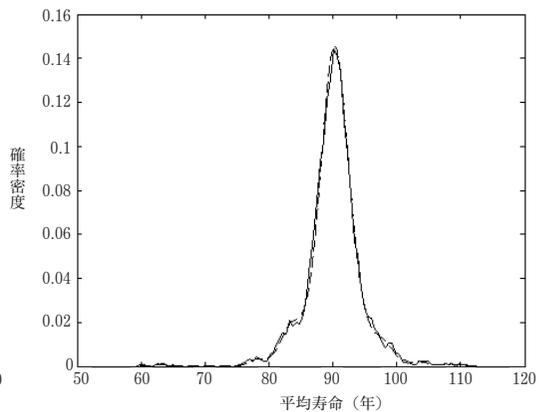
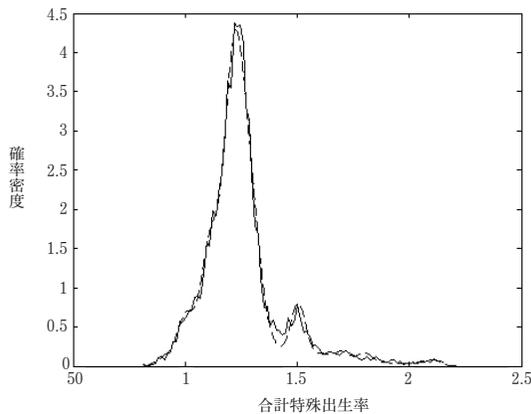


図7 シミュレーション結果（2050年）との比較（合計特殊出生率）



次に、各仮定値ごとに、シミュレーション結果の分布を示す。

図8、9は、各年における平均寿命の50%、90%、95%信頼区間及び分布の平均値・中央値を表したものである。また、平成18年12月推計との比較のため、死亡高位・死亡低位

推計による平均寿命の仮定値も同時に示した。これらの図によれば、2055年における平均寿命の信頼区間は、男性では50%信頼区間は [80.9, 86.5] と5.7年、95%信頼区間は [73.4, 94.7] と21.3年の幅となっている。また、女性では、50%信頼区間は [88.2, 92.7] と4.5年、95%信頼区間は [80.7, 100.2] と19.6年の幅となっている。

一方、平成18年12月推計の2050年の平均寿命は、男性では死亡高位が82.41年、死亡低位が84.93年と幅は2.52年、女性では死亡高位が89.17年、死亡低位が91.51年と幅は2.34年となっており、有識者調査による平均寿命の50%信頼区間よりも狭い幅となっている。これは、平成18年12月推計の死亡高位・死亡低位仮定が、標準となる死亡率推移の死亡指数パラメータの分散をブートストラップ法により求めて99%信頼区間を推定し、その上限・下限を用いて設定がされていることによっているものと考えられる。すなわち、平成18年12月推計における死亡複数仮定は、推計モデルにおける死亡水準に関する特定のパラメー

図8 各年における平均寿命の信頼区間等（男性）

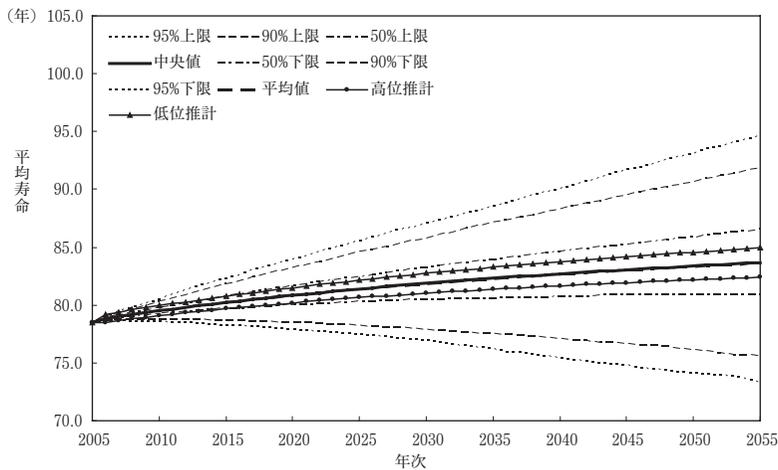
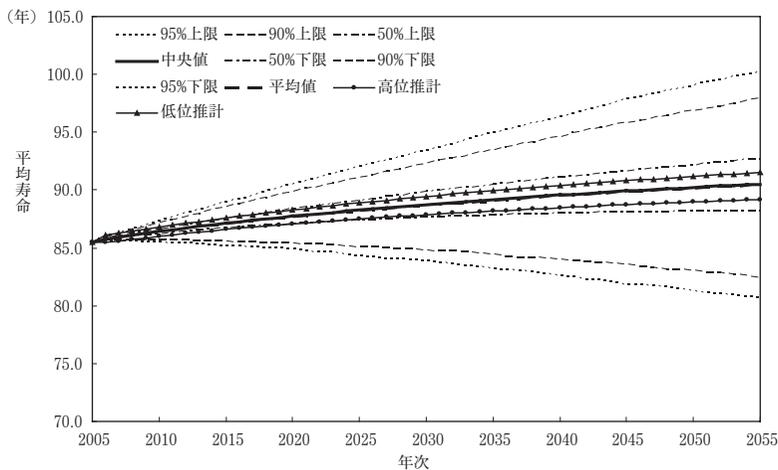


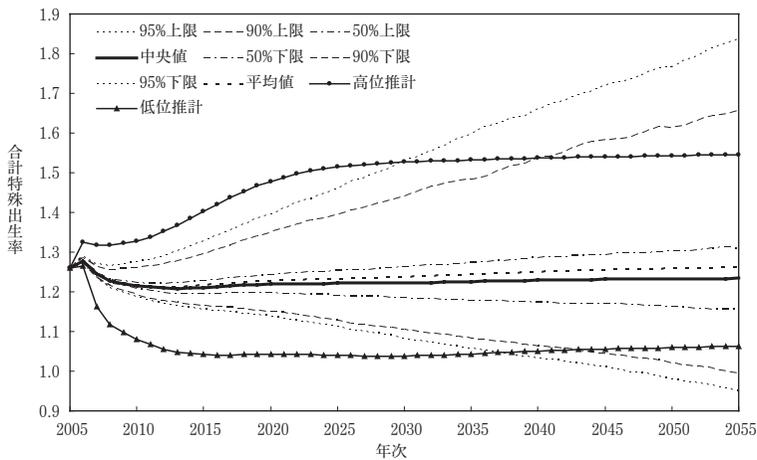
図9 各年における平均寿命の信頼区間等（女性）



タに着目し、そのパラメータ推定に関する不確実性に基づいて設定されたものであり、これ以外の発生源からの不確実性を考慮したものではない。一方、有識者調査による平均寿命の分布は、特定の不確実性の発生源に着目しているわけではないため、その幅が平成18年12月推計の高位・低位の幅よりも広いものとなっていると考えられる。

次に、合計特殊出生率についても同様のものを見てみることにする。図10は、各年における合計特殊出生率の50%、90%、95%信頼区間及び分布の平均値・中央値を表したものである。また、平成18年12月推計との比較のため、出生高位・出生低位推計による合計特殊出生率の仮定値も同時に示した。

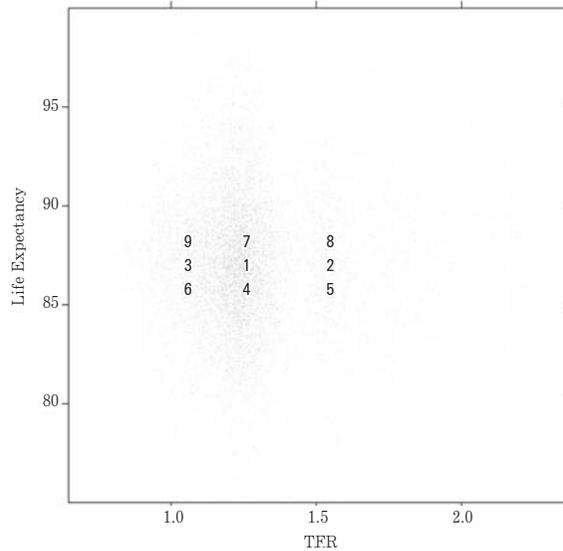
図10 各年における合計特殊出生率の信頼区間等



2055年における合計特殊出生率の信頼区間は、50%信頼区間が [1.15, 1.31] と0.16の幅、95%信頼区間が [0.95, 1.84] と0.89の幅となっている。平成18年12月推計における2055年における低位推計、高位推計の合計特殊出生率がそれぞれ1.06、1.55と0.49の幅であることから、この幅は50%信頼区間の幅よりは大きく、95%信頼区間の幅よりは小さいものとなっている。なお、出生低位では2015年頃までに急速に出生率が低いレベルに移行するのに対し、シミュレーションによる仮定値では95%信頼区間の下限は緩やかに減少していく。このため、シミュレーションに基づく出生率は、特に推計期間前半において、出生低位よりもかなり高い出生レベルとなっていることに注意が必要である。

次に、平成18年12月推計の9通りの出生・死亡仮定の組合せと本研究におけるシミュレーションとの関係を見るため、推計期間の最終年次である2055年における合計特殊出生率と平均寿命（男女平均値）の同時分布をが図11に示した。これによれば、平成18年12月推計の9仮定は、平均寿命の仮定値の幅がシミュレーションによる分布の幅に比べて小さいものとなっており、横長の長方形の領域に位置している。

図11 合計特殊出生率と平均寿命（男女平均値）の分布（2055年）



注：数字は平成18年12月推計における仮定に基づく値。
 1：出生中位・死亡中位， 2：出生高位・死亡中位， 3：出生低位， 死亡中位，
 4：出生中位・死亡高位， 5：出生高位・死亡高位， 6：出生低位， 死亡高位，
 7：出生中位・死亡低位， 8：出生高位・死亡低位， 9：出生低位， 死亡低位

前章において、複数仮定によるアプローチの問題点として、「複数の仮定に対する確率が明示されていない点」が指摘されていることを述べた。これは、この図における9ポイントの確率が示されていないということに相当する。このこと自体は、当初から確率的な仮定設定を行わない限り解決することはできないが、この図に基づいて、9つのポイントにおける確率密度をシミュレーションによる確率分布から読み取ることにより、この問題に対する評価が一定程度可能である。このように、確率推計の実行は、複数仮定によるアプローチの推計結果を補い、理解を深めることにも資すると考えられる。しかしながら、それは、あくまで別途行った確率的な仮定設定との比較においてという条件付きのものであり、本研究でいえば、有識者調査の予測値のばらつきに基づいて得た分布との比較に基づく評価であるということには注意が必要である。

2. 将来人口推計結果

次に、前節の仮定設定に基づいて実行した将来人口推計結果を見るときにも、考察を行うこととする。最初に、各年次における5歳階級別将来推計人口結果が持つ不確実性を視覚化し、概観することとする。

図12は、横軸に将来推計における年次、縦軸に年齢階級（5歳階級）を取った平面上に、各年次における5歳階級人口の95%信頼区間の幅を示したものである。色が濃くなるほど信頼区間の幅が大きく、推計された人口の変動幅が大きいことを意味している。これによれば、推計後半における超高齢層において変動幅が大きく、特に、第一次、第二次ベビーブーム世代の死亡動向が大きい不確実性となっていることがわかる。また、出生変動によ

る不確実性は推計期間を通じて着実に不確実性を増加させ、推計期間の後半においては年少人口に大きな不確実性を及ぼしているとともに、生産年齢人口の低年齢部分にも影響を与えている。一方で、生産年齢人口の推計期間前半は色の薄い領域のみとなっており、不確実性が低い部分であるといえよう。

図12 年次別・5歳階級別人口の95%信頼区間（単位：千人）

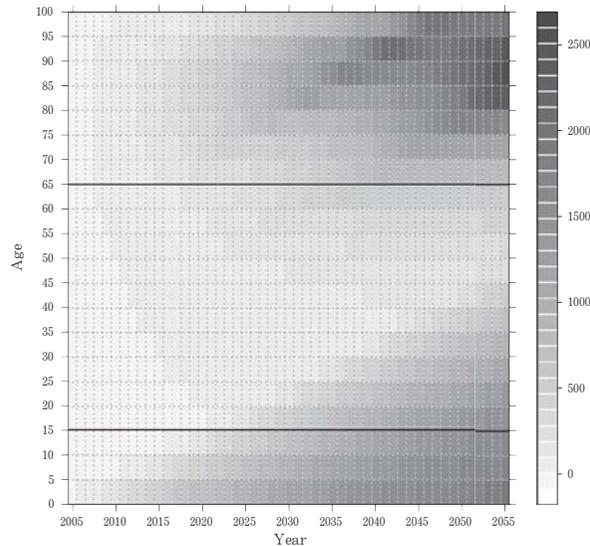
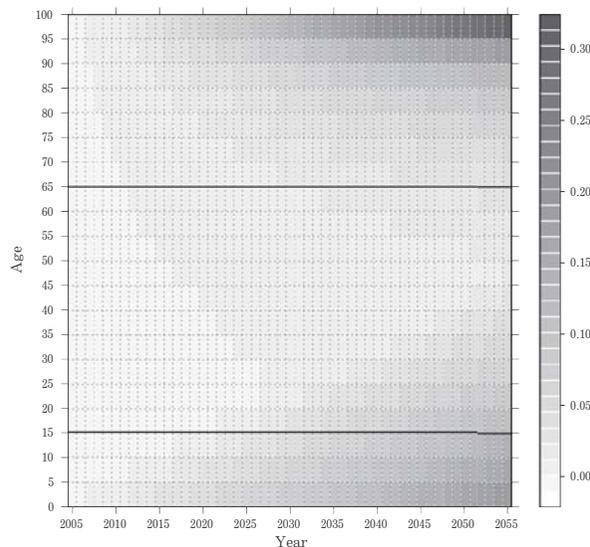


図13は、各年次における5歳階級人口の変動係数を示したものであり、図12が人口の絶対数の変動を表していたのに対し、相対的な変動割合を示すものである。これによれば、図12で見たような高年齢におけるベビーブーム等の影響は除去され、より高齢になるほど変動係数が増加する傾向があると見る事ができる。一方で、年少人口や生産年齢人口での傾向は図12と概ね似たものであるといえよう。

図13 年次別・5歳階級別人口の変動係数



各種施策の策定等に将来人口推計の結果を利用する場合、着目する年齢層や将来の時点によってもその不確実性は大きく異なるものである。例えば、今後10年間の公的年金制度の被保険者数の動向を調べるために、2015年までの20～64歳人口を見る場合、その不確実性は低いと考えられる一方で、50年後のこどもの数を見積もるために、2055年の年少人口を見る場合、その不確実性は相当高いものと考えておくことが必要である。このように、図12、13に示した将来人口推計の不確実性を表すマップを念頭に置いて将来人口推計結果を利用することにより、政策立案においても、よりの確かな判断を行うことが可能になるだろう。

次に、より具体的な人口変数について観察するため、総人口と年齢別人口割合（年少人口割合・生産年齢人口割合・老年人口割合）を対象に、5年毎の50%、90%、95%信頼区間、中央値及び分布の標準偏差・変動係数を出生中位・死亡中位推計結果と比較したものが表3、各年の数値をグラフ化したものが図14～17である。

表3 総人口・年齢別人口割合の推計結果

		2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055
総人口(万人)	出生中位・死亡中位結果	12,777	12,718	12,543	12,273	11,927	11,522	11,068	10,569	10,044	9,515	8,993
	95%上限	12,777	12,737	12,611	12,417	12,167	11,876	11,548	11,180	10,794	10,387	10,002
	90%上限	12,777	12,733	12,598	12,390	12,122	11,808	11,455	11,061	10,636	10,215	9,799
	50%上限	12,777	12,723	12,562	12,315	11,996	11,624	11,205	10,746	10,258	9,767	9,280
	中央値	12,777	12,717	12,542	12,272	11,925	11,521	11,065	10,566	10,041	9,511	8,987
	50%下限	12,777	12,712	12,523	12,232	11,858	11,420	10,932	10,399	9,841	9,278	8,724
	90%下限	12,777	12,704	12,491	12,162	11,741	11,254	10,710	10,127	9,518	8,915	8,311
	95%下限	12,777	12,700	12,477	12,135	11,699	11,188	10,627	10,023	9,401	8,775	8,160
	標準偏差	0	9	33	70	118	172	231	291	349	407	466
	変動係数	0.000	0.001	0.003	0.006	0.010	0.015	0.021	0.027	0.035	0.043	0.052
	年少人口割合 (14歳以下割合)	出生中位・死亡中位結果	0.138	0.130	0.118	0.108	0.100	0.097	0.095	0.093	0.090	0.086
95%上限		0.138	0.130	0.121	0.114	0.110	0.109	0.111	0.112	0.113	0.112	0.112
90%上限		0.138	0.130	0.120	0.112	0.107	0.106	0.107	0.107	0.106	0.105	0.105
50%上限		0.138	0.130	0.119	0.108	0.101	0.098	0.097	0.096	0.093	0.090	0.088
中央値		0.138	0.130	0.118	0.107	0.100	0.096	0.094	0.092	0.089	0.085	0.082
50%下限		0.138	0.129	0.118	0.106	0.098	0.094	0.091	0.089	0.085	0.080	0.077
90%下限		0.138	0.129	0.117	0.105	0.096	0.090	0.087	0.083	0.078	0.073	0.068
95%下限		0.138	0.129	0.117	0.104	0.095	0.089	0.085	0.081	0.076	0.071	0.066
標準偏差		0.000	0.000	0.001	0.002	0.004	0.005	0.006	0.007	0.009	0.010	0.011
変動係数		0.000	0.002	0.009	0.021	0.035	0.049	0.063	0.078	0.095	0.113	0.133
生産年齢人口割合 (15～64歳割合)		出生中位・死亡中位結果	0.661	0.639	0.612	0.600	0.595	0.585	0.568	0.542	0.528	0.518
	95%上限	0.661	0.640	0.615	0.605	0.603	0.597	0.584	0.562	0.551	0.545	0.543
	90%上限	0.661	0.640	0.614	0.604	0.602	0.594	0.581	0.558	0.546	0.540	0.536
	50%上限	0.661	0.639	0.613	0.601	0.597	0.589	0.573	0.548	0.534	0.526	0.520
	中央値	0.661	0.639	0.612	0.600	0.595	0.585	0.568	0.542	0.527	0.517	0.510
	50%下限	0.661	0.639	0.612	0.598	0.592	0.581	0.563	0.536	0.520	0.508	0.499
	90%下限	0.661	0.639	0.610	0.595	0.588	0.574	0.554	0.525	0.506	0.492	0.479
	95%下限	0.661	0.638	0.610	0.594	0.586	0.572	0.551	0.520	0.500	0.484	0.471
	平均値	0.661	0.639	0.612	0.600	0.595	0.585	0.568	0.542	0.527	0.517	0.509
	標準偏差	0.000	0.000	0.001	0.003	0.004	0.006	0.008	0.010	0.013	0.015	0.018
	変動係数	0.000	0.001	0.002	0.004	0.007	0.011	0.015	0.019	0.024	0.029	0.035
老年人口割合 (65歳以上割合)	出生中位・死亡中位結果	0.202	0.231	0.269	0.292	0.305	0.318	0.337	0.365	0.382	0.396	0.405
	95%上限	0.202	0.232	0.272	0.298	0.315	0.333	0.358	0.392	0.416	0.437	0.455
	90%上限	0.202	0.232	0.271	0.297	0.313	0.330	0.353	0.386	0.410	0.430	0.446
	50%上限	0.202	0.231	0.270	0.294	0.308	0.323	0.343	0.373	0.393	0.408	0.421
	中央値	0.202	0.231	0.269	0.293	0.305	0.318	0.337	0.365	0.383	0.397	0.407
	50%下限	0.202	0.231	0.269	0.291	0.302	0.314	0.331	0.358	0.374	0.385	0.393
	90%下限	0.202	0.231	0.267	0.288	0.297	0.307	0.321	0.345	0.358	0.366	0.371
	95%下限	0.202	0.231	0.267	0.287	0.295	0.305	0.318	0.340	0.353	0.359	0.362
	平均値	0.202	0.231	0.269	0.293	0.305	0.319	0.337	0.365	0.384	0.397	0.407
	標準偏差	0.000	0.000	0.001	0.003	0.005	0.007	0.010	0.013	0.016	0.019	0.023
	変動係数	0.000	0.001	0.005	0.009	0.016	0.022	0.029	0.035	0.041	0.049	0.057

図14 総人口の信頼区間等

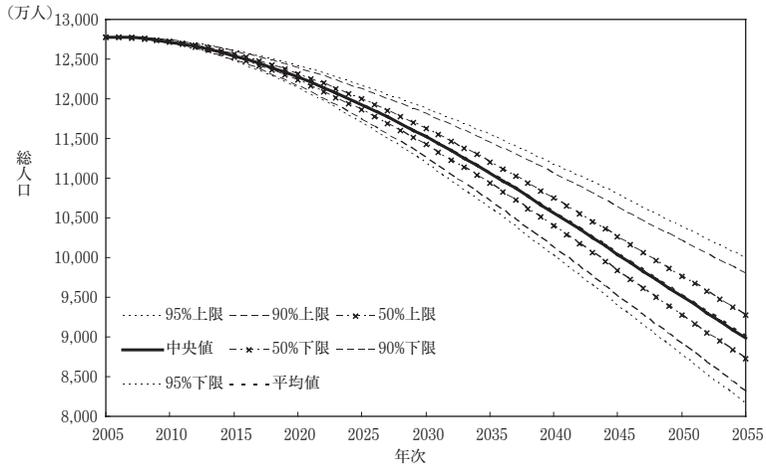


図15 年少人口割合の信頼区間等

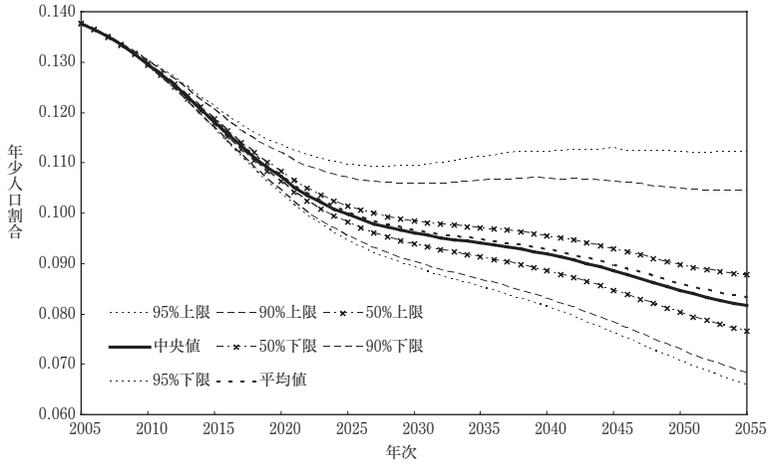


図16 生産年齢人口割合の信頼区間等

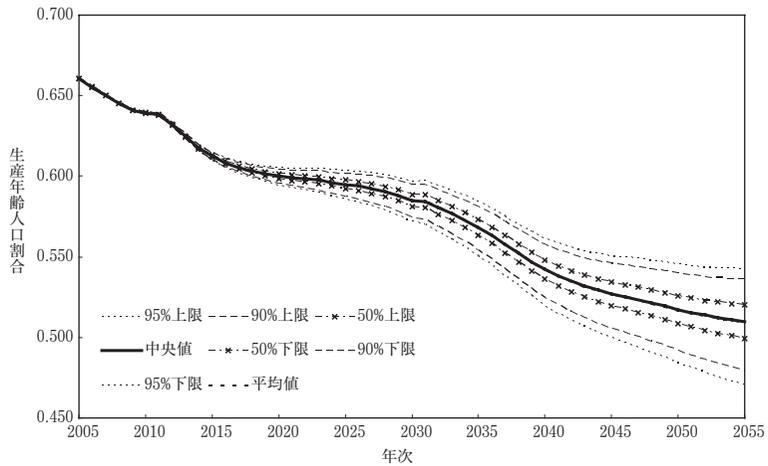


図17 老年人口割合の信頼区間等

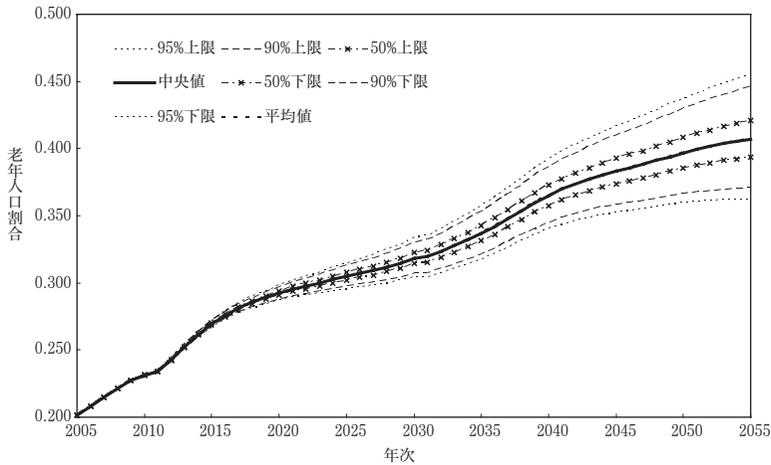


表3によれば、2055年における総人口の50%信頼区間は [8724万人, 9280万人]、95%信頼区間は [8160万人, 10002万人] となっている。このシミュレーションにおける前提の設定と、平成18年12月推計における前提の設定は考え方が異なることから単純な比較はできないものの、平成18年12月推計において、最も総人口が大きくなる出生高位・死亡低位による2055年における総人口は9952万人、最も総人口が小さくなる出生低位・死亡高位による総人口は8238万人となっており、この幅は50%信頼区間よりは大きいものの、95%信頼区間よりは小さいものとなっている。また、変動係数を見ると、2030年では1.5%であるのに対して、2055年は5.2%となっており、推計期間後半で不確実性が增大していることが分かる。

一方、先のマップにおける概観から推察されるように、年齢別人口割合はそれぞれ様相が異なっている。まず、年少人口割合についてみると、2055年における年少人口割合の50%信頼区間は [7.7%, 8.8%]、95%信頼区間は [6.6%, 11.2%] となっている。平成18年12月推計において、最も年少人口割合が高くなる出生高位・死亡高位による2055年における年少人口割合は11.0%と95%信頼区間の中にあるが、最も低くなる出生低位・死亡低位による年少人口割合は6.4%となっており、95%信頼区間の下限を下回っている。変動係数を見ると、2030年では4.9%であるのに対して、2055年は13.3%となっており、その不確実性が相当程度高いことが分かる。

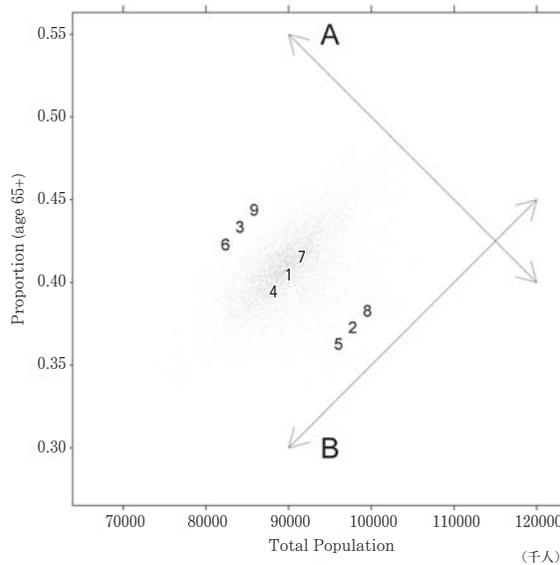
生産年齢人口割合については、これらの3区分の中では最も安定した結果となっている。2055年での50%信頼区間は [49.9%, 52.0%]、95%信頼区間は [47.1%, 54.3%]、変動係数では3.5%である。一方、平成18年12月推計において、最も生産年齢人口割合が高くなる出生高位・死亡高位による2055年の生産年齢人口割合は52.7%、最も低くなる出生低位・死亡低位による生産年齢人口割合は49.2%となっている。

高齢化率を示す老年人口割合については、年少人口割合ほどではないものの、生産年齢人口割合に比べると不確実性はやはり大きい。2055年における老年人口割合の50%信頼区

間は [39.3%, 42.1%], 95%信頼区間は [36.2%, 45.5%] となっている。平成18年12月推計において、最も老年人口割合が高くなる出生低位・死亡低位による2055年における老年人口割合は44.4%, 最も低くなる出生高位・死亡高位による老年人口割合は36.3%となっており、この幅は50%信頼区間よりは広いが、95%信頼区間よりは狭いものとなっている。変動係数を見ると、2030年では2.2%であるのに対して、2055年は5.7%となっている。

さて、この確率推計の結果を用いて、先に複数仮定によるアプローチの問題点として挙げられた「出生・死亡など、それぞれの仮定の組み合わせ方によっては、関心となる変数全ての不確実性を同時に表現することができない」という点について考察してみよう。図18は、2055年における総人口と高齢化率（老年人口割合）のシミュレーションによる分布と平成18年12月推計の9通りの仮定に基づく結果を示したものである。

図18 総人口と高齢化率（老年人口割合）（2055年）



注：数字は平成18年12月推計における仮定に基づく値。
 1：出生中位・死亡中位、 2：出生高位・死亡中位、 3：出生低位・死亡中位、
 4：出生中位・死亡高位、 5：出生高位・死亡高位、 6：出生低位・死亡高位、
 7：出生中位・死亡低位、 8：出生高位・死亡低位、 9：出生低位・死亡低位

まず、平成18年12月推計の9通りの仮定によれば、センサス局と社会保障庁の例のような問題は生じないことを注意しておこう。センサス局のセットに対応する複数仮定の組合せは、平成18年推計では図の「8-1-6」の3通りであり、社会保障庁のセットに対応するものは「9-1-5」である。このように、平成18年12月推計では、ケースを3通りに限定せず、出生・死亡それぞれの全ての組合せからなる9通りを提供しているために、両者のセットの要素がこれらの中に含まれており、総人口と高齢化率の両者の不確実性を同時に表現しているのである。すなわち、複数仮定による仮定設定においても、関心となる変数の不確実性に対応したケースを含めておくことにより、一定程度このような問題に対処することは可能であるといえよう。

しかしながら、シミュレーション結果と9通りの結果を比較した場合、9通りの結果はA方向へのばらつきが大きいのに対し、シミュレーション結果についてはA方向のみならず、B方向についてもばらつきが大きいことが観察される。この図において、出生仮定の変動は概ねA方向への変化を、死亡仮定の変動は概ねB方向への変化を与える。シミュレーションにおいてはより死亡変動の不確実性が高いものという設定がなされているため、このような違いが生じたのである。

先に総人口・高齢化率については表3、図14、17において、それぞれ単独の変数として信頼区間等を観察し、9通りの推計値の幅と比較した。しかしながら、この同時分布の観察からは、両者の構造をやや異なったものとして捉える必要性があることがわかる。すなわち、シミュレーションにおいては、9通りの推計値と異なり、低い死亡率の継続が総人口と高齢化率の両変数を高いレベルに導いたケースや、逆に高い死亡率の継続が両変数を低いレベルに導いたケースも多数含まれており、これらが両変数の分布にも影響を及ぼしていると考えられる。これは、確率推計は複数設定によるアプローチに比べ、より自然な形で、複雑な確率的構造を表現することが可能であるということを示す一例であるといえよう³⁾。このような構造を複数仮定によるアプローチで表現するためには、さらにB方向への変化を表すケースを追加しなければならず、結果として全体のケース数は相当程度増加せざるを得ない。さらに、これ以外の違う変数にも関心がある場合などでは、より多くのケースの追加が必要となる事態が考えられるのである。複数仮定によるアプローチにあまりに多くのケースを含めることは簡明さに欠け、好ましいとは考えられない。すなわち、「関心となる変数全ての不確実性を同時に表現することができない」という問題点に対しては、複数仮定によるアプローチでも一定程度は対応が可能であるものの、一般的には確率推計の方がより自然な対応が可能であるということができよう。

おわりに

本研究では、有識者調査による予測値の分布を用い、平成18年12月推計に確率推計を適用する検討を行い、実行したシミュレーション結果を用いて、年齢階級別人口の不確実性を概観するマップの作成や、総人口・年齢別構成割合等の信頼区間の推定を試みた。また、複数仮定によるアプローチにおいて指摘される問題点について考察を行い、「複数の仮定に対する確率が明示されていない」点については、確率推計の実行が、複数仮定によるアプローチの推計結果を補い、理解を深めることにも資すると考えられること、また、「関心となる変数全ての不確実性を同時に表現することができない」点については、複数仮定によるアプローチでも一定程度は対応が可能であるものの、一般的には確率推計の方がよ

3) なお、出生低位である3,6,9がシミュレーションによる分布からやや外れているのは、図10において見た通り、出生低位では2015年頃までに急速に出生率が低いレベルに移行するのに対し、シミュレーションでは緩やかに移行していくため、出生低位による出生率が推計期間前半においてより低い出生レベルとなっていることによるものである。

り自然な対応が可能であることを観察した。

このように、複数仮定によるアプローチに対していくつかの利点を持つと考えられる確率推計ではあるが、この推計も確率分布による仮定設定を前提条件としてつけ加えた人口投影であることに変わりはない。したがって、その利用にあたっては次の二点に注意が必要であると考えられる。一点は、通常の推計において、投影の前提となっている仮定設定の理解が必要であることと同様、確率推計の前提条件となっている確率分布がどのように仮定設定されたものかを十分に認識した上で推計結果を利用することが必要であるということである。確率推計の結果は信頼区間等で示されており、ともすればこれらの結果が何の条件もなく成立しているように見えることもある。しかしながら、それらは無条件に成立するものではなく、全て前提となる確率分布を条件として導かれているものである。したがって、異なった方法に基づいた、異なった確率分布を前提とすれば、そこから導かれる不確実性に関する情報もまた異なったものへと変わり得る性格のものである。

二点目は、人口投影が過去の人口学的データの推移や傾向を将来に投影するという性格を持つがゆえに、確率推計も推計時点で得られている人口動向等が推計の前提条件となっているという点である。推計の事後、推計時点における趨勢の延長から導き得ない構造変化が起きることは十分に考えられるが、そのような構造変化を科学的かつ定量的に事前に予想することはできない。もちろん、確率推計ではこのような観点をも踏まえつつ、将来の不確実性に対する信頼区間などの確率分布を提示しているわけであるが、一方で、確率推計による推計結果も、新たな実績や傾向を踏まえて見直しを行えば、その信頼区間等は以前とは異なったものとなる。人口投影では、推計を行った時点から一定の時間が経過して新たな人口動向が得られたら、その傾向を反映させて新しい人口投影を実行するというプロセスを繰り返しながら、定期的に推計の見直しをしていくことが必須なのであり、これは人口投影の持つ基本的性格の一つであるということができるだろう。したがって、人口投影の利用にあたっては、推計の定期的な見直しに伴って利用者側でも不断に見直しを行っていくことが、不確実性への事後的な対応として望まれることである。

将来人口推計は不確実性から逃れることはできない。したがって、将来人口推計結果の利用にあたっては、その不確実性の存在や意義が利用者によりよく理解されることが望ましいが、現状においては未だこれが十分であるとはいえない状況にある。確率推計の応用による不確実性の情報提供はこのような問題解決の一つの方策となり得るとは考えられるものの、一方で、確率推計による情報提供のみでこのような問題が全て解決されるというわけではない。将来人口推計の不確実性の理解にあたっては、複数仮定や確率推計によって提示された不確実性の情報を有効に活用することと同時に、人口投影が持つ基本的性格を認識し、不確実性への事後的な対応についても理解することが必要であると考えられる。いずれにせよ、将来人口推計に関する不確実性については、人口投影の基本的性格をも含んだより包括的な情報提供に努めるとともに、確率推計の応用を含めた不確実性の情報提供の方法論についてもさらなる研究を行っていくことが今後の課題であるといえよう。

謝辞

確率推計に関して貴重なコメントを頂いた、国立社会保障・人口問題研究所金子隆一人口動向研究部長をはじめとする将来人口推計プロジェクトメンバー各位に心より感謝を申し上げたい。なお、あるべき誤謬などは全て著者の責任である。

参考文献

- 石井太 (2006) 「確率推計による将来人口推計の不確実性の評価について」『人口問題研究』第62巻第3号, pp.1-20.
- 加藤久和 (2005) 「確率的手法に基づく出生率の将来推計」『政経論叢』第74巻第1,2号, pp.265-302.
- Keyfitz, N. (1981) "The Limits of Population Forecasting", *Population and Development Review*, Vol.7 No.4, pp.579-593, December.
- 北村智紀, 中嶋邦夫 (2004) 「2004年厚生年金改革案のリスク分析」『ニッセイ基礎研所報』第32巻, pp.1-30.
- 国立社会保障・人口問題研究所 (2007) 『日本の将来推計人口—平成18年12月推計—』(財)厚生統計協会.
- Lee, R. and L. Carter (1992) "Modeling and Forecasting U.S. Mortality", *Journal of the American Statistical Association*, Vol.87 No.419, pp.659-675.
- Lutz, W., W. Sanderson, and S. Scherbov (1998) "Expert-Based Probabilistic Population Projections", *Population and Development Review*, Vol.24 No.S, pp.139-155.
- National Research Council (2000) *Beyond Six Billion: Forecasting the World's Population*, Washington, D.C.: National Academy Press.
- Simonoff, J. S. (1999) 『平滑化とノンパラメトリック回帰への招待』, 農林統計協会.
- Stoto, M. (1983) "The Accuracy of Population Projections", *Journal of the American Statistical Association*, Vol.78 No.381, pp.13-20, May.
- 鈴木亘, 湯田道生, 川崎一泰 (2003) 「人口予測の不確実性と年金財政：モンテカルロシミュレーションを用いた人口予測の信頼区間算出と年金財政収支への影響」『会計検査研究』第28巻, pp.101-112.

On the Application of Probabilistic Approach to the Population Projection for Japan

Futoshi ISHII

In this article, we applied probabilistic approach to the population projection for Japan using expert opinion method.

In the official population projection, the scenario approach are used to express the uncertainty of the projection, which is based on three assumptions about fertility and also three assumptions about mortality. However, there are an argument that points out some problems for the scenario approach. National Research Council (2000) argued that the range of the demographic components were ill defined because no probability was explicitly assigned. They also pointed out that it was impossible to construct scenarios that simultaneously reflected the uncertainty in all the variables of interest.

Probabilistic approach could solve these problems by expressing the uncertainty of the projection with confidence intervals. There are several types of probabilistic approach depending on how the confidence intervals are constructed, such as time series analysis, expert opinion method and ex post analysis. In this article, we used expert opinion method.

Using the result of the 10000-time simulation, we illustrated maps that express the uncertainty of the age-specific population and confidence intervals of total and age-specific population. We observed that probabilistic approach contributed to better understanding of the assumptions by the scenario approach, and it enabled us to express the uncertainty of the demographic variables in more consistent way.

However, we have to recognize that the resulted confidence intervals by the probabilistic approach are projected ones. Therefore, we should use them based on comprehensive understandings how the intervals are constructed and what their assumptions are, and we also have to note that the resulted confidence intervals could change if the assumptions change.

Uncertainty is inevitable in the population projections. Probabilistic approach helps to deal with this problem, but it is also important to understand the basic properties of the population projection. More works would be needed to disseminate information about population projection including its basic properties, as well as to examine the method to express uncertainty such as probabilistic approach.