

# 全国と都道府県の整合性を保つ将来人口推計モデルの検討

石井 太, 小池司朗

## 1 はじめに

国立社会保障・人口問題研究所の人口・世帯の将来推計は、人口減少・少子高齢化・地域構造変化等による人口・世帯の長期動向を踏まえた施策立案に広範に活用されている。従来、わが国の人口・世帯の将来推計は、最初に全国の将来人口を推計し、これに地域・世帯推計を整合させる形で実施してきたが、わが国が人口減少期を迎えるにあたり、地域や世帯の変化が少子化・長寿化等の全国的潮流に影響を与える新たな展開が見られている。このような人口減少期における将来推計にあたっては、地域・世帯の将来に関する情報提供により重点を置き、これに全国的な少子化・長寿化の傾向を整合させるという新たな観点を導入した将来推計モデルの必要性が高まっている。

本研究は、このような問題意識の下、全国推計と都道府県推計をより整合的に同時推計することが可能な死亡率推計モデルを試作し、これを都道府県将来人口推計に適用することにより、全国推計と都道府県推計の整合性を保つ将来人口推計モデル開発のための基礎的研究を行うことを目的とするものである。

## 2 背景と先行研究

現在、各国や国際機関などで行われる死亡率の将来推計においては、Lee-Carter モデル (Lee and Carter 1992) が標準的な方法として用いられている。わが国の死亡率モデルも、若年層に Lee-Carter モデル、高年齢層には線形差分モデルを組み合わせた死亡率モデルであり、Lee-Carter モデルを応用した「修正 Lee-Carter モデル」と位置づけることが可能である (石井 2013)。

Lee-Carter モデルは以下のような式で表されるリレーショナル・モデルの一種である。

$$\log m_{x,t} = a_x + k_t b_x + \epsilon_{x,t}$$

ここで、

$\log m_{x,t}$ : 対数死亡率

$a_x$ : 対数死亡率の標準的な年齢パターン

$k_t$ : 死亡水準 (死亡指数)

$b_x$ :  $k_t$  が変化する時の年齢別死亡率の変化

$\epsilon_{x,t}$ : 平均 0 の残差項

である。

この Lee-Carter モデルを改良し、地域間、あるいは全国推計と地域推計の整合性を図る機能を持った死亡率推計モデルの例として、Li and Lee (2005) による Coherent Mortality Forecasts が挙げられる。本研究ではこの方法論を公式推計でも用いられている修正 Lee-Carter モデルに応用することを試みる。

Li and Lee (2005) は、似たような経済社会条件を持ち、密接な関連を持つ人口グループに対して、どのように Lee-Carter モデルを適用するかを論じたものである。この時の、グループとしては、ある国の男女、一国内の郡や種族、一定地域の中に含まれる国々などが例として挙げられる。

Lee-Carter モデルによる推計において、グループごとの死亡率推計値が長期的に乖離を続けないためには、 $b(x)$  と  $k(t)$  が一致することが必要かつ十分な条件となる。これらを、 $B(x)$ 、 $K(t)$  と表すこととすると、これらはグループ全体に対して Lee-Carter モデルを適用することによって得たものとすべきであることは明らかである。一方、 $a(x)$  は長期的な乖離の原因とはならないため、各グループごとに求めた  $a(x, i)$  で推定できる。ここで、 $[a(x, i) + B(x)K(t)]$  を  $i$  番目の人口の共通要因モデル (common factor model) と呼ぶこととする。

次に、この共通要因モデルにさらにグループ毎の個別要因を導入してパフォーマンスを改善する。共通要因モデルの残差行列  $\log(m(x, t, i)) - a(x, i) - B(x)K(t)$  に通常の LC モデルのように特異値分解を行い、その第一特異値を用いて、時間変化を表す  $k(t, i)$  と年齢パターンを表す  $b(x, i)$  によりモデリングする。このようにして、改良共通要因モデル (augmented common factor model)

$$\log(m(x, t, i)) = a(x, i) + B(x)K(t) + b(x, i)k(t, i) + \epsilon(x, t, i), \quad 0 \leq t \leq T$$

を得ることができる。

推計にあたっては、 $k(t, i)$  のモデリングが必要となるが、 $k(t, i)$  はドリフト項のないランダムウォークか AR(1) である時に定数に向かう傾向を持ち、整合的なモデリングが可能となる。そこで、彼らは、 $k(t, i)$  がこのどちらかでモデリングできれば推計を行うグループに含めるが、できない場合にはグループから外すか、より高次の AR モデルを用いるべきであるとしている。

### 3 データと方法

本稿では、Li and Lee (2005) の提案するモデルを応用し、現在わが国の全国推計で用いられている死亡率モデルへの適用を試みるとともに、これを利用した都道府県別将来人口推計を行う。

死亡率推計に使用したデータは、日本版死亡データベースに基づく都道府県別死亡率 (1975 年以降) である\*1。現在、日本版死亡データベースでは都道府県別生命表について、

---

\*1 ただし、全国値については戦後のデータが存在すること、また、平成 24 年の全国将来人口推計において

基礎データは各年・各歳のものが提供されているが、生命表自体については5年あるいは10年分をまとめた5歳階級のものしか提供されていない。そこで、本研究では基礎データから各年・各歳の生命表を構成して用いている。石井(2015a)にある通り、都道府県別生命表は特に人口規模の小さい県において死亡率の安定性を欠くことから、通常の生命表作成プロセスでは将来推計の基礎データとできるレベルの生命表が構成できない。そこで、本研究では推定された対数死亡率\*2に対してさらにP-splineによる平滑化を施し、得られた死亡率から生命表を再構成した。

推計モデルについては、現在、全国将来推計で用いられている修正 Lee-Carter モデルとした。これは、若年層は Lee-Carter モデルを用いつつ、高齢層については線形差分モデルを組み合わせたモデルである。

この修正 Lee-Carter モデルに Li and Lee (2005) を適用するため、 $b(x)$  と  $k(t)$  に加え、線形差分モデルの推計に必要なパラメータ  $S(t)$ 、 $g(t)$  についても全国値のパラメータを用いた推定を行って共通要因モデルを構築する。さらに、実績の死亡率と共通要因モデルの残差を特異値分解し、第一特異値を用いて改良共通要因モデルを作成する。

Li and Lee (2005) では、 $k(t, i)$  のモデリングにあたり、ドリフト項のないランダムウォークか AR(1) を用いるとし、それぞれのモデルによる説明度合を表す指標を導入してモデルの選択を行っている。本研究では、単純化の観点から、全ての都道府県に対して AR(1) モデルを用いることとした。

次に、このようにして得られた都道府県別死亡率の将来推計値を用いて、都道府県別将来人口推計の試算を行った。まず、基準人口は2015年国勢調査、都道府県別男女各歳別総人口(年齢・国籍不詳按分)とし、出生仮定については、2015年の都道府県別女子各歳別出生率を推計期間中一定とした。また、出生性比は全都道府県で一律に105.5とした。死亡仮定については、上述の方法によって推計された都道府県別年齢別死亡率から生残率を求めて推計に使用した。移動仮定については、2015年の都道府県別男女各歳別転出先別転出率(資料:住民基本台帳人口移動報告)を推計期間中一定(ロジャース・モデル)とした。ここで、ロジャース・モデルの構築は小池(2016)と同様の手法による。また、転出先別転出率は、推定された各歳別転出先別転出数を分子、各歳別日本人人口(按分済)を分母として算出し、将来の転出先別転出数はこの転出先別転出率に各歳別総人口を乗じて算出した。なお、89歳→90歳から100歳以上→101歳以上は、「90歳以上」の転出先別転出率の1/12を一律に適用し、国際人口移動はゼロと仮定した。

また、これと同様の仮定に基づく全国の将来人口の試算値についても併せて算出し、都道府県別推計の合計値と比較を行った。

---

1970年以降のデータが用いられていることから、本研究でも全国値のみは1970年以降を基礎データとした。

\*2 死亡率が0となる年齢が存在する場合には0でない年齢間で線形補間を行った。0歳を含む区間で死亡率が0である場合には0とならない最小の年齢の死亡率で補外した。

## 4 結果と考察

### 4.1 都道府県別死亡率推計

都道府県別死亡率推計結果について、平均寿命の推移と見通しを図 1、2 に示した。マーカーで示されたのが日本版死亡データベースによる実績値、点線が共通要因モデルによる推計値、実線が改良共通要因モデルによる推計値である。

男性について観察すると、どの都道府県においても概ね実績値とモデルによる推定値の当てはまりは良好であり、また、平均寿命の将来推計値について、共通要因モデルと改良共通要因モデルの差はそれほど大きいものとはなっていない。ただし、いくつかの都道府県では、実績値とモデルによる推定値に乖離が見られ、この場合、将来推計値における共通要因モデルと改良共通要因モデルの差も大きいものとなる。このような都道府県としては、鳥取県、島根県、徳島県のように人口規模が小さいことから死亡率の変動が大きいと考えられるもの、岩手県、宮城県、福島県のように東日本大震災の影響により 2011 年の平均寿命が他の年次に比べて特に低い値を示しておりその影響が考えられるものの他、沖縄県においてもやや大きい乖離が観察される。人口規模の小さい都道府県については全国値のような滑らかな死亡率変化を期待することは難しく、一定程度の乖離が生じることは自然な現象であるといえる。一方、東日本大震災の影響は特定の都道府県の特定の年次のみによる効果であり、将来に向けてこのような特異な効果が引き続くとは限らないことから、当該年次を外してモデリングすることも考えるが、本研究では単純化の観点からそのままモデリングを行った。また、石井 (2015b) では、都道府県別死因別死亡確率を用い、階層クラスター分析によって都道府県を 4 つのグループに分類する分析を行っているが、そこでの結果によれば、男女とも沖縄は単独で一つのグループを形成するという、他の都道府県と比べて死亡状況が特異であるとの性質が見られており、沖縄県についてはこのような性質が乖離の要因となっていると考えることができる。

また、実績値と将来推計値の軌道については、概ねどの都道府県でも接続はよく、平均寿命の推移については自然なものとなっていると考えられる。ただし、いくつかの都道府県では実績値から推計値に変わる点で若干の乖離が生じていたり、接続点での微分係数の違いから滑らかさを欠いているものも観察される。

女性の平均寿命についてもその傾向については概ね男性と同様である。

また、各都道府県について、推計の基準時点となる 2015 年、推計最終年次となる 2065 年の年齢パターンを図 3、4 に示した。ここで、一点鎖線で示したのが 2015 年、点線は共通要因モデルによる 2065 年推計値、実線が改良共通要因モデルによる 2065 年推計値である。男女とも 2065 年推計値について、高齢層においては共通要因モデルと改良共通要因モデルの違いは大きくないが、若年層においては乖離が見られる都道府県も存在する。

図1 平均寿命の推移と見通し（男性）

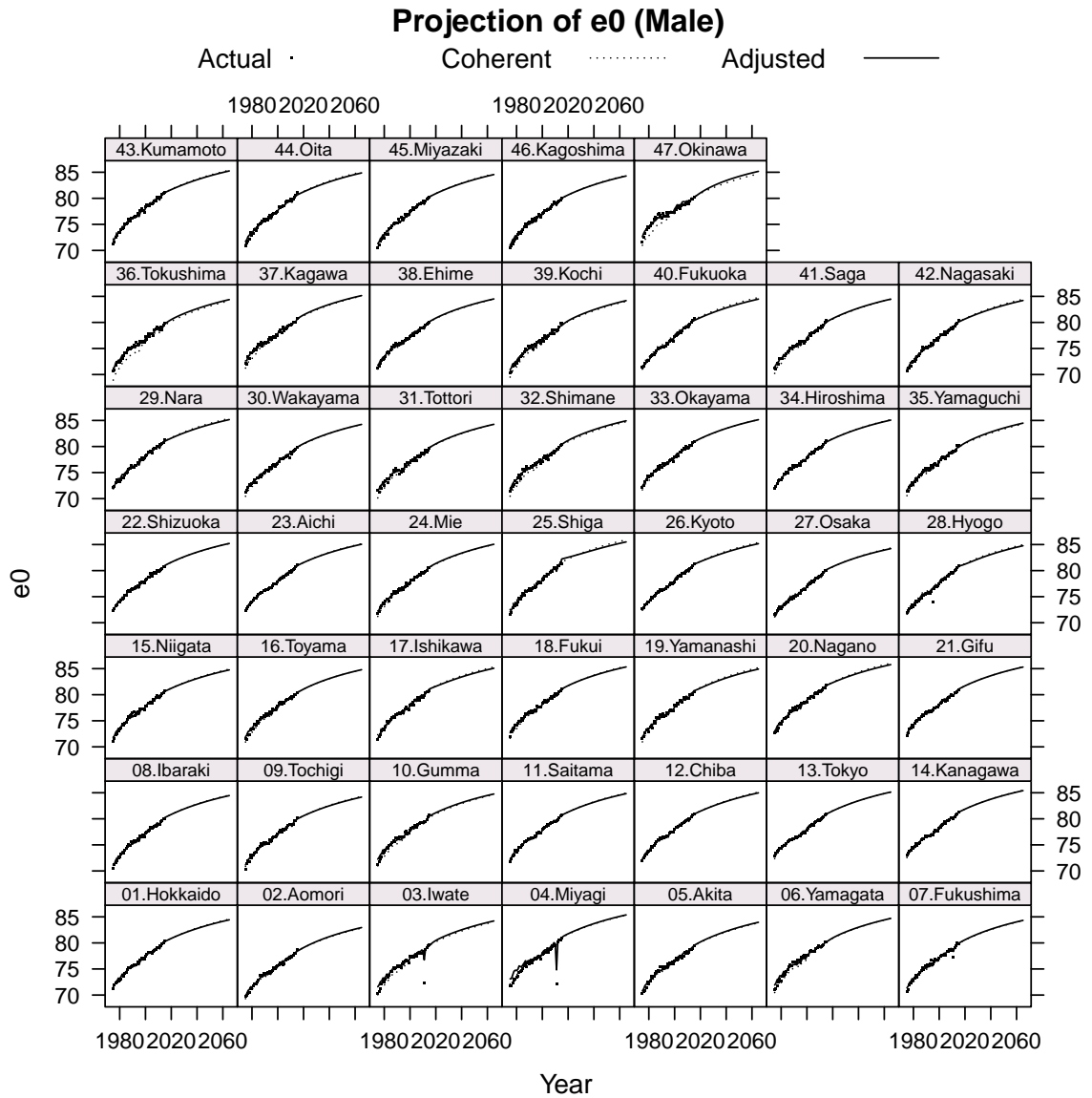


図2 平均寿命の推移と見通し（女性）

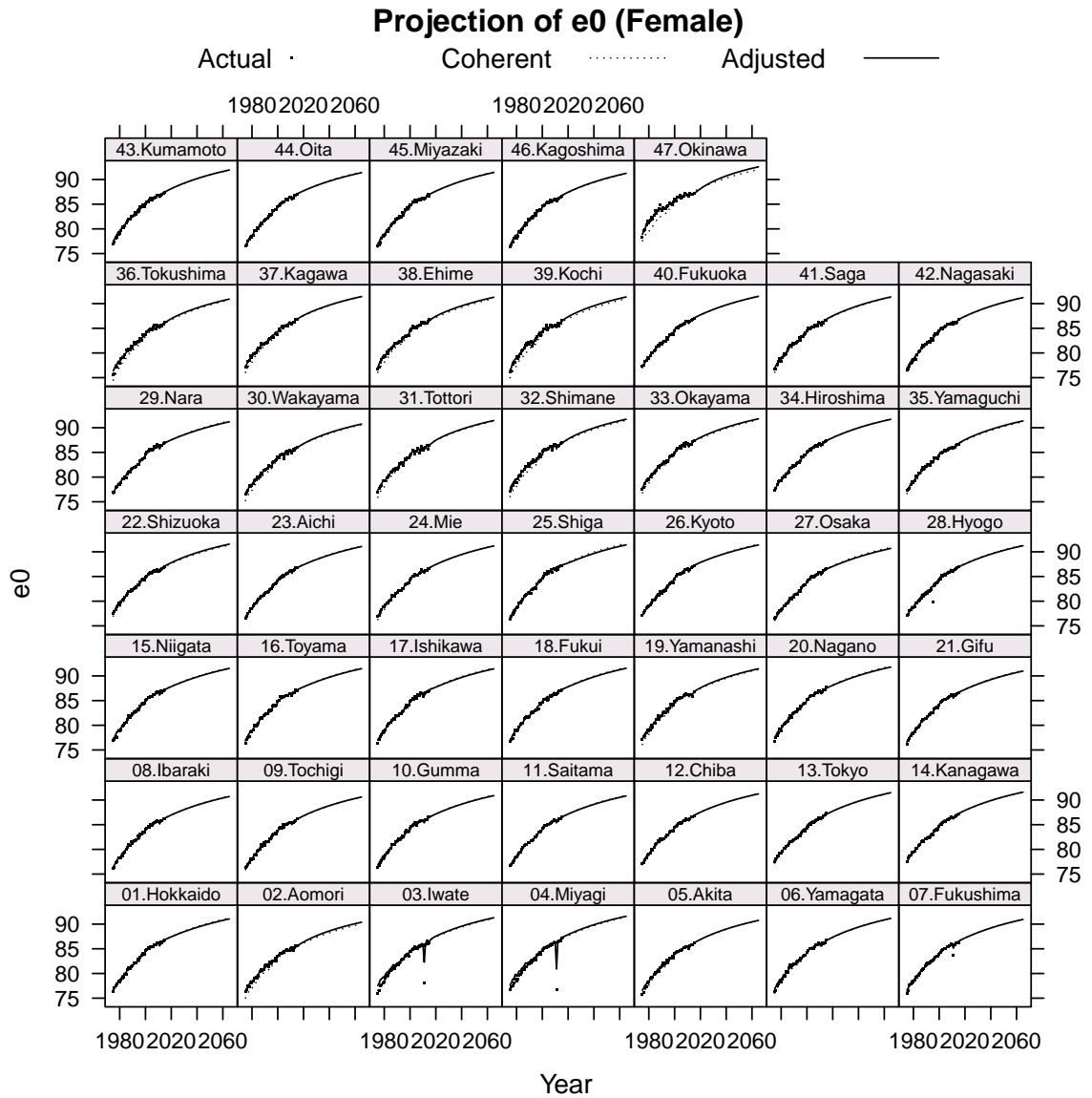


図3 年齢別死亡率の将来推計（男性）

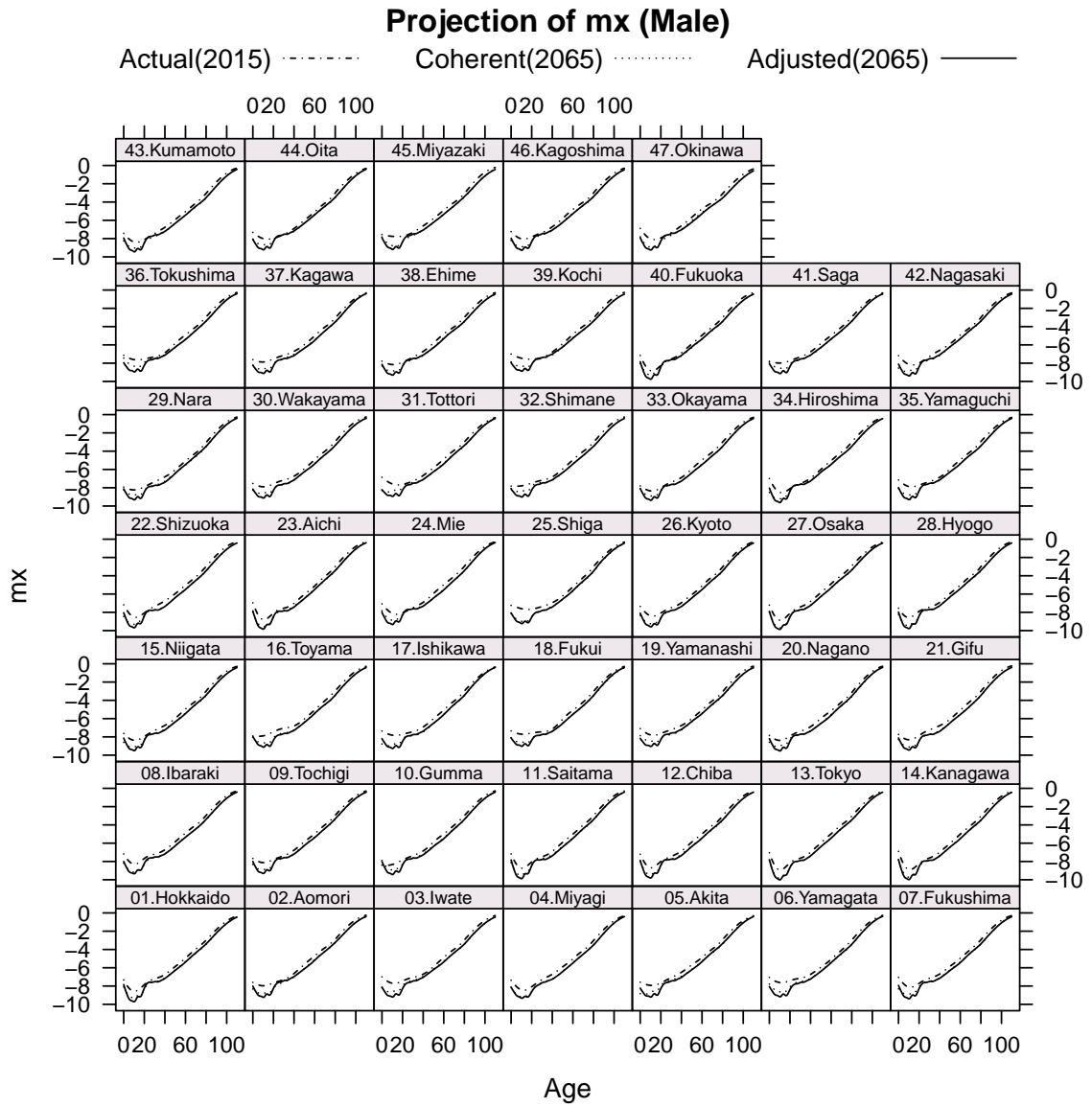
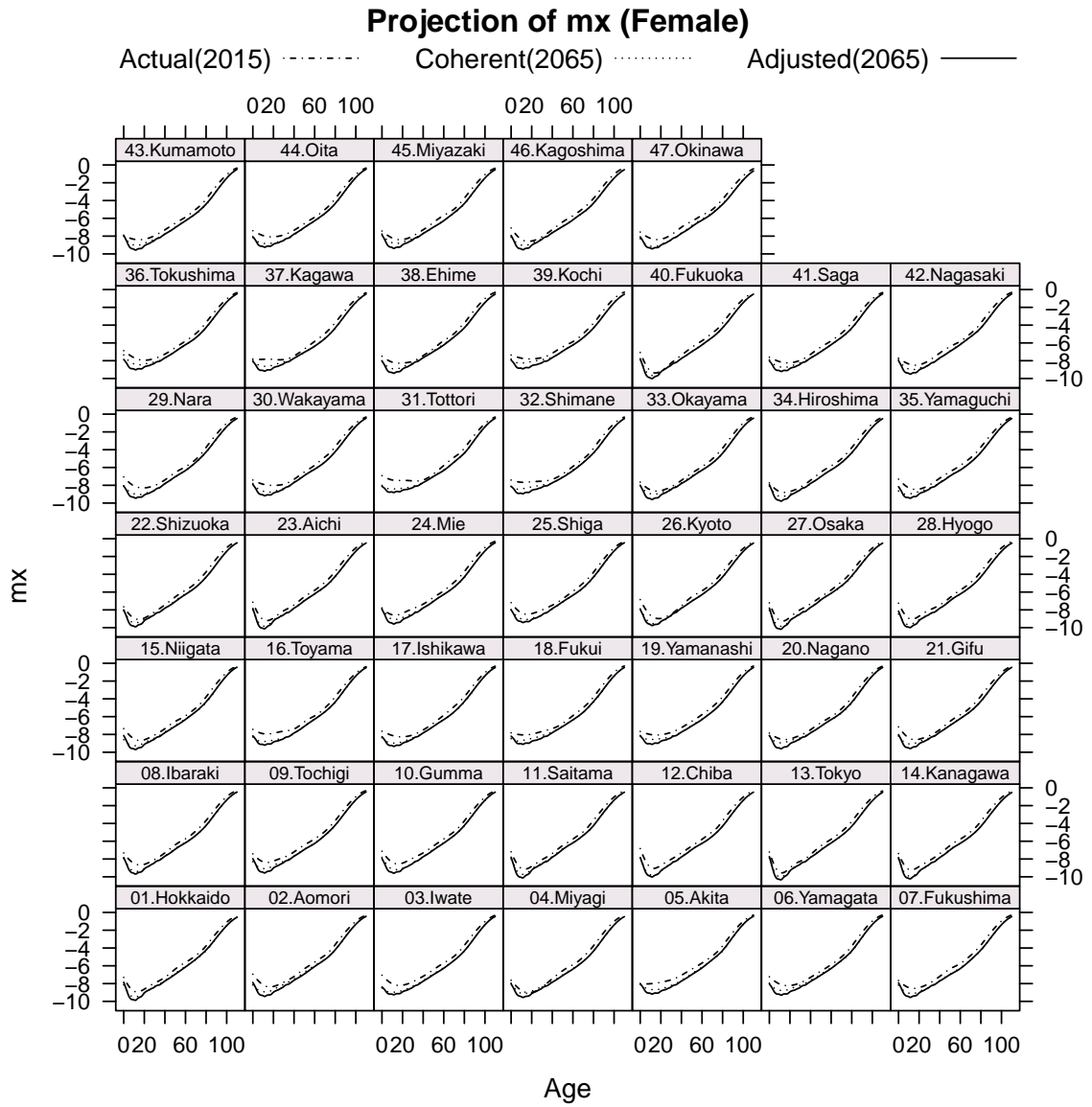


図4 年齢別死亡率の将来推計（女性）

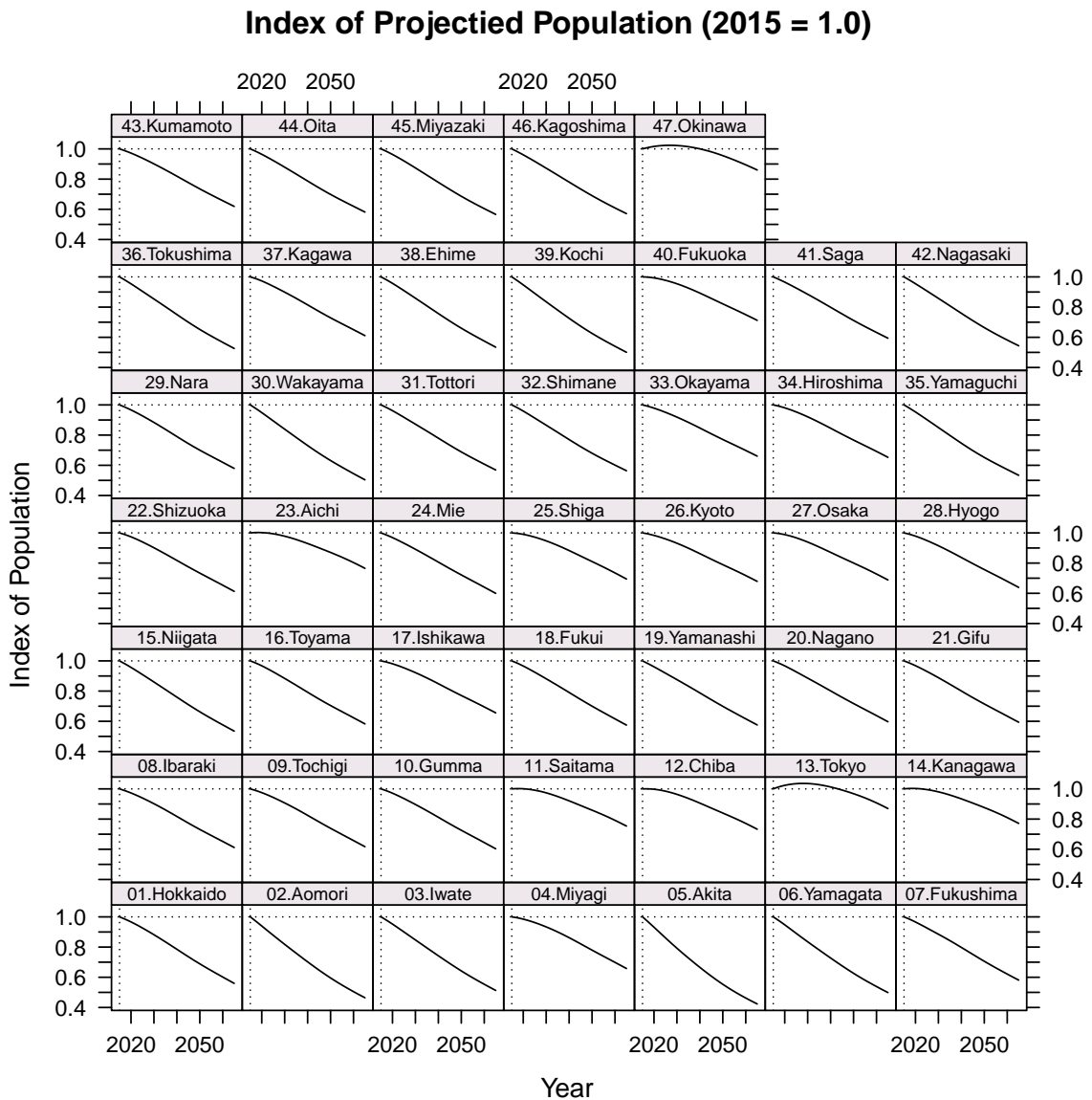




## 4.2 都道府県別将来人口推計

4.1 節で述べた都道府県別死亡率推計結果を用い、3 節で述べた方法論に基づいて都道府県別将来人口推計を行った。総人口の推計結果を各都道府県の 2015 年総人口を 1.0 とした指数で表したものが図 5 である。前提とした出生仮定が 2015 年の都道府県別女子各歳別出生率を一定とするものであることから、長期的にはどの都道府県も減少基調に転じるものの、都道府県間の人口移動の影響から、特に大都市圏の都道府県においては、当初やや増加傾向にあるか、または減少の速度が緩やかなものとなっていることが観察できる。

図 5 都道府県別総人口の見通し（2015 年を 1.0 とした場合の指数）



次に、都道府県別に行った将来推計結果を足しあげたものと、全国値による将来推計結果を比較したものが図6である。これによれば、両者の総人口の乖離はだんだんと大きくなっていくものの、50年後の2065年の推計結果でも-0.49%の乖離に留まっている。年齢3区分別に見た場合、2065年に0～14歳人口で-1.15%とやや乖離が大きくなるが、15～64歳では-0.31%、65歳以上では-0.53%の乖離となっている。また、死亡数・出生数の乖離を見ると、死亡数は2025年で0.70%と最も乖離が大きいが、それ以降は縮小傾向にある。一方、出生数については長期的には乖離が増大する傾向にあり、2065年で-1.18%となっている。

死亡数の乖離が縮小傾向にあることから2065年における総人口・年齢区分別人口の乖離の要因は出生数の違いによる部分が大いと考えられる。出生・死亡ともに、将来的に都道府県間の人口規模の相対関係が変動することにより、都道府県別推計と全国推計との人口動態率に違いが生じ、これが出生数・死亡数の乖離につながっていると考えられる。

図6 都道府県別による総人口と全国値による総人口の比較

	2015年	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年	2045年	2050年	2055年	2060年	2065年
[全国値との乖離]											
総人口	0.00%	-0.03%	-0.09%	-0.15%	-0.20%	-0.24%	-0.27%	-0.32%	-0.36%	-0.42%	-0.49%
0～14歳人口	0.00%	-0.12%	-0.30%	-0.43%	-0.48%	-0.47%	-0.54%	-0.69%	-0.88%	-1.05%	-1.15%
15～64歳人口	0.00%	0.01%	0.02%	0.02%	0.00%	-0.04%	-0.08%	-0.11%	-0.16%	-0.22%	-0.31%
65歳以上人口	0.00%	-0.07%	-0.23%	-0.37%	-0.46%	-0.48%	-0.47%	-0.48%	-0.50%	-0.52%	-0.53%
死亡数		0.58%	0.70%	0.56%	0.33%	0.02%	-0.06%	0.14%	-0.07%	0.06%	-0.08%
出生数		-0.42%	-0.52%	-0.41%	-0.42%	-0.55%	-0.75%	-0.96%	-1.13%	-1.18%	-1.18%

## 5 おわりに

本研究は、全国推計と都道府県推計をより整合的に同時推計することが可能な死亡率推計モデル開発及びその都道府県別将来人口推計への応用を目的として行った。Lee-Carterモデルを改良し、地域間、あるいは全国推計と地域推計の整合性を図る機能を持った死亡率推計モデルの例として、Li and Lee (2005) による Coherent Mortality Forecasts の方法論に基づき、これをわが国の修正 Lee-Carter モデルに適用できるように改善を行って将来推計を試みた。さらに、得られた都道府県別将来死亡率を用いて、都道府県別の将来人口推計を行い、全国値による将来推計結果との比較を行った。本研究において得られた結果とその考察をまとめると以下の通りである。

- 平均寿命については、男女とも概ね実績値とモデルによる推定値の当てはまりは良好であり、また将来推計値について、共通要因モデルと改良共通要因モデルの差はそれほど大きいものとはなっていない。ただし、いくつかの都道府県では、実績値とモデルによる推定値に乖離が見られ、この場合、将来推計値における共通要因モデルと改良共通要因モデルの差も大きいものとなる。このような都道府県としては、人口規模が小さいもの、東日本大震災の影響によるもの、独自の死亡傾向を示す沖縄県が挙げられる。

- 平均寿命の実績値と将来推計値の軌道については、概ねどの都道府県でも接続はよいものの、実績値から推計値に変わる点で若干の乖離が生じていたり、接続点での微分係数の違いから滑らかさを欠いているものも観察される。
- 都道府県別に行った将来推計結果を足しあげたものと、全国値による将来推計結果を比較すると、総人口について乖離はだんだんと大きくなっていくものの、50年後の2065年の推計結果でも-0.49%の乖離に留まっている。また、年齢3区分別に見た場合、2065年に0～14歳人口で-1.15%とやや乖離が大きくなるが、15～64歳では-0.31%、65歳以上では-0.53%の乖離となっている。
- 死亡数・出生数の乖離を見ると、死亡数は2025年で0.70%と最も乖離が大きいが、それ以降は縮小傾向にある。一方、出生数については長期的には乖離が増大する傾向にあり、2065年で-1.18%となっている。出生・死亡ともに、将来的に都道府県間の人口規模の相対関係が変動することにより、都道府県別推計と全国推計との人口動態率に違いが生じ、これが出生数・死亡数の乖離につながっていると考えられる。

本研究で得られた結果から、修正 Lee-Carter モデルのフレームワークにおいて、全国推計と都道府県推計の整合性を一定程度保ちながら死亡率推計モデル構築を行うことのできる可能性が示されたものと考えられる。しかしながら、実績値とモデルによる推定値の乖離、将来推計値における共通要因モデルと改良共通要因モデルに差が生じるケースの存在や、実績値から推計値に変わる点での乖離などの存在などもあり、これらが都道府県死亡率の自然な投影結果と見られるかどうかについてはさらに検討が必要な点も残されていると考えられる。特に、沖縄県に見られたような、全国の死亡動向と異なる特徴を持つ場合の対応なども課題となろう。

さらに、これに基づく都道府県別の将来人口推計についても、全国値による将来人口推計と一定の整合性が保たれることが示されたと考えられる。しかしながら、より詳細に見ると、出生数の推計値について長期的に乖離が大きくなっていく点、0～14歳人口において比較的大きな乖離が見られる点なども観察された。これらの乖離の要因の一つとして、将来的な都道府県間の人口規模の相対関係の変動が考えられるが、その要因についてさらに詳細に分析することや、都道府県別推計の合計値と全国推計値の整合性をより高めるような方法論の開発など、将来人口推計手法全般に関してさらなる検討が必要と考えられる点も存在している。このような点への対応については今後の検討課題としたい。

## 参考文献

- 石井太 (2013) 「死亡率曲線の自由な方向への変化を表現する数理モデルとわが国の将来生命表への応用」, 『人口問題研究』, 第 69 巻, 第 3 号, pp.3-26.
- (2015a) 「日本版死亡データベースの構築に関する研究」, 『人口問題研究』, 第 71

- 卷, 第 1 号, pp.3–27.
- (2015b) 「日本版死亡データベースの人口分析への応用」, 『人口問題研究』, 第 71 卷, 第 2 号, pp.141–155.
- 小池司朗 (2016) 「プールモデルの投影精度に関する研究」, 『人口問題研究』, 第 72 卷, 第 3 号, pp.256–275.
- 国立社会保障・人口問題研究所「日本版死亡データベース」. <http://www.ipss.go.jp/p-toukei/JMD/index.asp>.
- 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.
- Li, N. and R. Lee (2005) “Coherent mortality forecasts for a group of populations: An extension of the Lee-Carter method”, *Demography*, Vol. 42, No. 3, pp. 575–594.