

特集：将来人口推計（全国人口）に関連した研究（その1）

近年のわが国の死亡動向に適合した 将来生命表推計モデルの研究

—年齢シフトモデルの開発—

石 井 太

現在、公的将来人口推計における生命表推計のモデルとしては、リー・カーター・モデルが国際的にも標準的な方法とされており、平成14年推計においても用いられたが、推計時点以降、実績値の死亡率改善が推計を上回って進んできたことが観察され、わが国の近年の死亡動向の特徴により適合した将来生命表推計モデル開発の必要性が生じてきた。本研究は、このような問題意識に基づき、年齢シフトという構造を持つ推計モデルの検討を行い、新たなモデルである年齢シフトモデルの研究・開発を行ったものである。

本稿では、背景となる近年の死亡動向に関するレビューおよびモデルの構造について述べるとともに、従来のリー・カーター・モデルとの比較を通じ、年齢シフトモデルによる死亡年齢パターンは、わが国の近年の高齢死亡率改善が死亡の遅延という動きとして捉えられる点とも整合的であるという特性を明らかにした。

はじめに

わが国の公的将来人口推計においては推計手法としてコーホート要因法が用いられている。死亡による人口変動の推計には将来の生残率を用いるため、将来人口推計を実行するためには将来生命表の推計が必要となる（国立社会保障・人口問題研究所 2007）。

わが国は近年、著しい死亡率改善を遂げ、現在、世界でもトップクラスの平均寿命を維持しつつ、さらに伸長が継続している現状にあり、これがわが国の今後の死亡動向の推計を困難なものとしている理由の一つといえる。現在、公的将来人口推計における生命表推計のモデルとしては、後述するリー・カーター・モデルが国際的にも標準的な方法とされており、わが国の平成14年将来人口推計（国立社会保障・人口問題研究所 2002）においても用いられたところであるが、平成14年推計以降、実績値の死亡率改善が推計を上回って進んできたことが観察され、わが国の近年の死亡動向の特徴により適合した将来生命表推計モデル開発の必要性が生じてきた。そこで、今般、このような問題意識に基づき、年齢シフトという構造を持つ将来生命表推計モデルの検討を行い、新たなモデル（年齢シフトモデル）の研究・開発を行った。

本稿では、この年齢シフトモデルについて、背景となる近年の死亡動向に関するレビューおよびモデルの構造について述べるとともに、従来のリー・カーター・モデルとの比較を通じて、年齢シフトモデルの特性を明らかにすることとしたい。

I 近年の死亡動向と生命表推計モデル

寿命の伸長は、人類がその歴史を通じて達成した大きな進歩の一つということができるだろう。そして、実にこの多くの部分が最近に達成されたものである。

Wilmoth (2003) は、初期の人類の平均寿命が概ね20歳代であったのに対し、1900年において当時最も死亡率が低い地域であったオーストラリア・ニュージーランドの新生児は55～57歳程度まで生存することが期待されたこと、および2000年において同様に最も平均寿命が高い地域の一つであるわが国の平均寿命はおよそ81年であるとし、このような寿命が高い地域どうしの比較に基づき、人類の平均寿命伸長の概ね半分は20世紀に起きたと述べている。図1は Human Mortality Database

による、スウェーデンにおける18世紀半ば以降の平均寿命の長期推移である。これによれば、平均寿命は19世紀初頭から伸長する傾向が見られてはいるものの、19世紀後半以降、とりわけ20世紀における伸長のスピードが著しいことが観察できる。

そして、わが国においても、20世紀における平均寿命の伸長は著しいものであった。図2に見るように、第4回生命表による1921～25年のわが国の平均寿命は、

男性42.06年、女性43.20年と40年代前半のレベルに留まっていた。しかしながら、その後、平均寿命は急速に伸長し、第10回生命表（1955年）では男性63.60年、女性67.75年となり、直近の完全生命表である第20回生命表（2005年）では男性78.56年、女性85.52年と、第4

図2 わが国の平均寿命の推移(1921-25年～2005年)

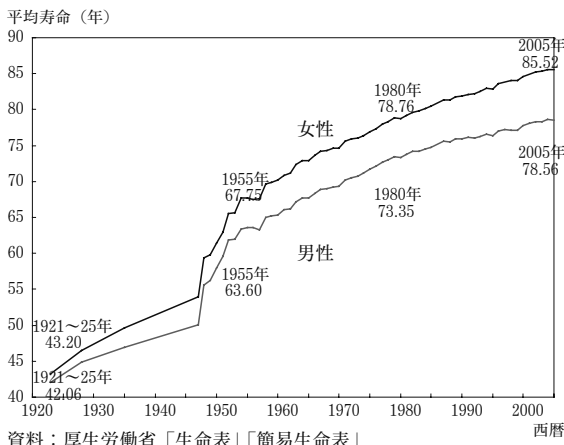
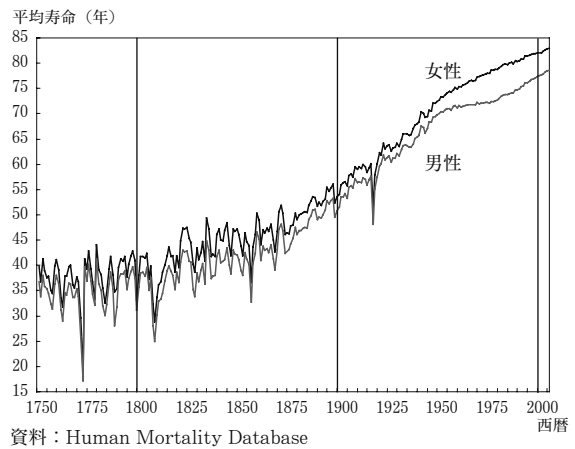


図1 スウェーデンの平均寿命の長期推移(1751～2006年)

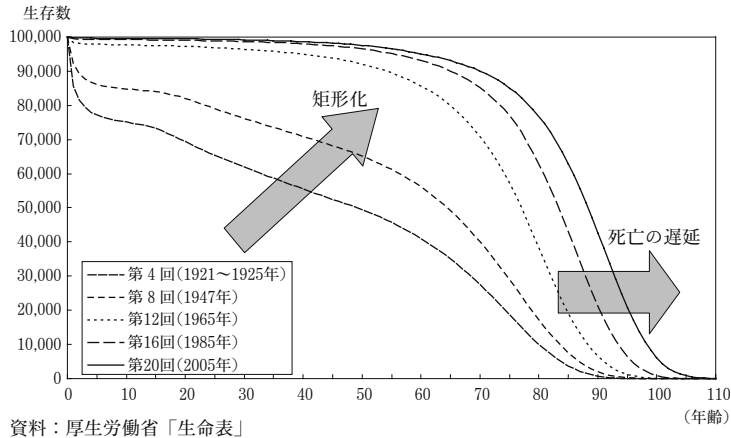


回生命表に比べて2倍近い水準にまで到達した。現在、わが国の平均寿命の水準は国際的に見てもトップレベルにあり、なお伸長を続けているという特徴を持っている。

このような著しい20世紀の寿命伸長は、しかしながら、一様なものではなかった。20世紀前半の先進諸国における平均寿命伸長は、感染症による死亡率低下によるところが大きいとされている。これにより、死因構造は感染症中心から慢性的疾患中心へと変化した。この死亡パター

ンの変化はオムランにより疫学的転換と呼ばれ、「伝染病と飢餓の時代」「伝染病後退の時代」「退行性疾患及び人為的傷病の時代」の三段階を通じて移行するとされた（Omran 1971）。これは同時に、主に乳幼児・若年層の死亡率を低下させ、死亡の年齢パターンについても若齢から高齢へという変化を引き起こした。

図3 生存数曲線の推移(女性, 1921-25年~2005年)



このように、20世紀前半における平均寿命伸長は主に若年層における死亡率改善に基づいていたことから、かつては寿命には一定の限界があり、平均寿命もやがてその限界に近づいていくため延びが鈍っていくのではないかという見方が有力であった。Fries (1980) は、平均寿命が伸長してきたのに対し最長寿命は変化をしないため、平均寿命は85年程度が限界であると論じている。もしこのように寿命に限界があるとすれば、若い年齢層での生存割合が上昇する一方で高齢層での生存割合が急激に降下することとなるため、生命表の生存数曲線は徐々に長方形に近づいていくこととなる。このことを生存数曲線の「矩形化」と呼ぶ。図3はわが国の女子の生存数曲線の推移を見たものであるが、わが国でも20世紀前半においては、生存数曲線が次第に矩形化していくプロセスを経ながら平均寿命が伸長してきた様子を観察することができる。

ところが、1970年以降、先進諸国においては慢性的疾患死亡率改善による高齢死亡率の低下が始まり、20世紀後半においても平均寿命の伸長は引き続いた。わが国においても、近年の平均寿命の伸長は高齢死亡率改善の寄与が大きい。図4、5は第4回生命表以降、各回の完全生命表間における平均寿命の延びに対する年齢別死亡率の寄与率を示したものである¹⁾。これによれば、当初は0～14歳や15～29歳の若年層の死亡率改善の寄与率が大いだが、次第に高齢での寄与率が大きくなり、近年では平均寿命伸長のほとんどの部分が60～74歳および75歳以上の高齢死亡率改善によって起きていることがわかる。

Ohshansky and Ault (1986) は米国の死亡率の分析に基づき、この高齢死亡率低下による死亡パターンの変化は従来の疫学的転換理論の第三段階とは異なる第四の段階、すな

1) 要因分解には Arriaga の方法の方法を用いている (Preston 2001, Section3.10)

図4 平均寿命の延びに対する年齢別死亡率の寄与率(男性)

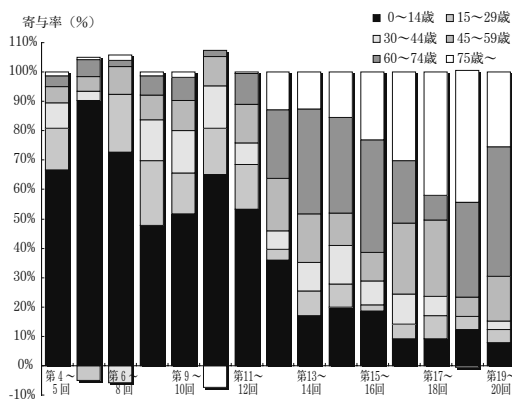
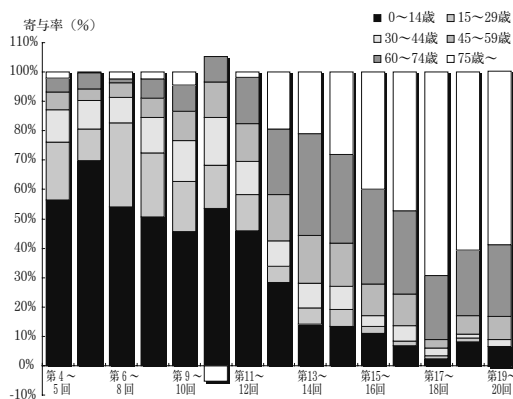


図5 平均寿命の延びに対する年齢別死亡率の寄与率(女性)



わち「退行性疾患遅延の時代」と位置づけることを提案した。このように、近年における平均寿命の伸長は、20世紀前半に見られた生存数曲線の矩形化とは異なるメカニズムに基づいて起きているものと理解できる。再度図3により直近のわが国の生存数曲線の動きを見ると、高齢層で生存割合の降下が急激になる動きよりも、生存数曲線自体がそのまま高齢の方へシフトするような動きが観察される。

この生存数曲線の動きに現れた変化は、より定量的に示すことが可能である。Wilmoth and Horiuchi (1999) は、生存数曲線の矩形化の程度について、定量的な指標に基づいて分析を行う研究を行った。彼らは、生存数曲線の矩形化の度合を表す様々な定量的指標を比較検討するとともに、特に、「死亡年齢の四分位偏差 (IQR, Interquartile range of age at death)」に着目し、日本、アメリカ、スウェーデンの比較を行うとともに、四分位偏差の変化の要因分解を行って、比較研究を行っている。

この IQR は、生命表の死亡数を確率密度関数と見た場合の確率分布の四分位偏差である。具体的には、 x_1 と x_2 を $l_{x_1} = 0.75$, $l_{x_2} = 0.25$ を満たす年齢とし、

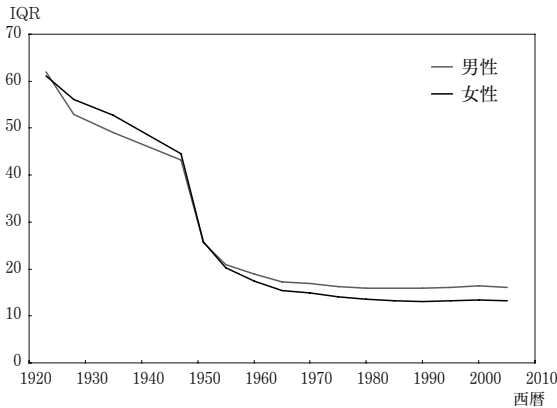
$$IQR = x_2 - x_1$$

により定義される。これは寿命中位数を中心とした、死亡分布の50%を含む年齢範囲を示すことから、死亡分布の集中度が高まって生存数曲線が矩形化するに伴い、この指標は減少することとなる。

第4回生命表以降におけるわが国の IQR の推移を評価したものが、図6である。これによれば、わが国の生存数曲線についても概ね20世紀前半においては矩形化が進んできたことがわかる。しかしながら、1970年以降については、IQR はそれ以前の期間に比べて大きな減少をしておらず、横ばいで推移してきている。すなわち、近年のわが国の平均寿命の伸長は生存数曲線の矩形化ではなく、生存数曲線自体のシフト、すなわち、死亡の遅延によってもたらされていることを示している。

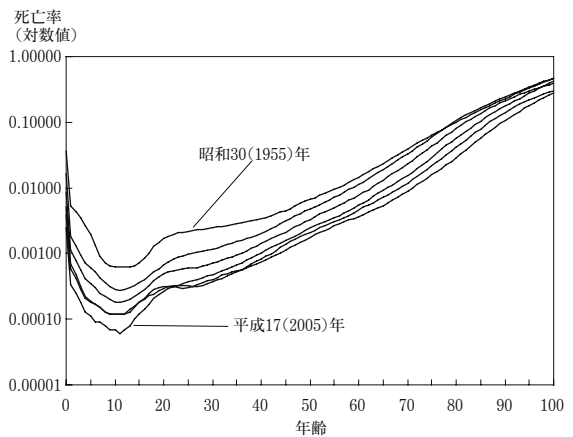
これは、寿命に限界があるという見方に対立する現象であり、寿命の限界を考えること

図6 IQR(Interquartile range)の推移



一方、この死亡の遅延、すなわち生存数曲線のシフトは、年齢別死亡率曲線の高年齢方向へのシフトとしても捉えることができる。図7は1955年以降の女性の年齢別死亡率曲線を示したものであるが、これによれば、近年の死亡率低下は、死亡の遅延に対応し、死亡率曲線が高年齢方向へシフトするという年齢シフトという動きとしてみる事が可能であることがわかる。年齢別死亡率の推計を行う生命表推計モデルの検討にあたっては、この見の方がより直接的な表現といえる。したがって、わが国の将来の死亡状況の投影にあたっては、この死亡率曲線の年齢シフトという構造を仕組みに取り入れることが望ましいといえよう。

図7 年齢別死亡率曲線(対数値, 女性)の推移



近年の死亡動向の観察に基づき、モデル開発上、さらにもう一つ検討が必要と考えられる点は、今後の死亡率の推移及び到達水準の不確実性である。わが国の平成14年推計までの公的将来人口推計においては、出生率については不確実性に対応する観点から複数の仮定設定が行われていたが、死亡率については比較的確実性が高いものとして一つの仮定に基づいて推計がなされてきた。しかしながら、従来の寿命の限界論の想定を超えて延び続けきた先進諸国の平均寿命、また、その中でトップクラスを保ちつつ延伸を続けているというわが国の状況に鑑みれば、死亡率推計についても不確実性の表現に対応することが必要といえる。そこで、本研究においては複数の仮定設定を行うことができるような機構についても併せて検討を行うこととした。

II 生命表の将来推計とリー・カーター・モデル

年齢シフトモデルは前節で見たような、死亡率曲線の年齢シフトを仕組みとして取り込んだモデルであるが、その基本的な構造はリレーショナルモデルの一種であるリー・カーター・モデルを基本としている。そこで、本節においては、将来生命表の作成方法とリー・カーター・モデルについてレビューするとともに、モデル改善の視点について述べることにする。

将来生命表の代表的な作成方法としては、モデル生命表を用いる方式、最良生命表方式、年齢別死亡率補外方式、年齢別死因別死亡率補外方式、標準化死因別死亡率補外方式、リレーショナルモデル方式などが挙げられる。

モデル生命表を用いる方式は、既存の生命表から各種の平均寿命水準に対する標準的な生命表を数表として与えたものである「モデル生命表」を作成し、設定した平均寿命水準に対応するモデル生命表を利用して将来の生命表を得る方法である。最良生命表方式は、諸外国の生命表や都道府県の生命表など、既存の複数の生命表の年齢別死亡率から最も低い値をつなぎ合わせて作成した生命表である「最良生命表」を将来のある時点の目標として将来推計を行う方法である。わが国の公的将来人口推計においては、昭和51（1976）年の将来人口推計において、昭和60年目標の生命表を将来にわたり固定する最良生命表方式が用いられた。

年齢別死亡率補外方式は年齢別死亡率の傾向に数学的関数を当てはめ、これを補外することにより将来の年齢別死亡率を推計するものであり、これをさらに年齢別・死因別の死亡率について行ったものが年齢別死因別死亡率補外方式である。標準化死因別死亡率補外方式はこれをやや簡単にしたもので、各死因別に年齢標準化死亡率の将来パラメータを求め、それを各年齢別死因別死亡率に一律に適用することにより将来の年齢別死亡率を推計するものである。わが国の公的将来人口推計においては、年齢別死亡率補外方式が昭和56（1981）年の将来人口推計で、標準化死因別死亡率補外方式が昭和61（1986）年、平成4（1992）年、平成9（1997）年の将来人口推計で用いられた。

リレーショナルモデル方式とは、経験的な死亡率の年齢パターンと少数のパラメータを用いて任意の死亡パターンを表現するものである。Brass（1971）により開発されたモデルが有名であり、わが国でも金子（1987）等を先行研究として挙げるができるが、LeeとCarterによって開発されたリー・カーター・モデル（Lee and Carter 1992）は、現在、国際的に標準的な方法とされ、広く活用されているモデルである。Tuljapurkar et al.（2000）はこのモデルをG7諸国の死亡率推計に適用し、その有効性を示している。

リー・カーター・モデルは、以下のように表される（Lee and Carter 1992）。

$$\ln(m_{x,t}) = a_x + k_t b_x + \epsilon_{x,t}$$

ここで $\ln(m_{x,t})$ は年齢別死亡率の対数值, a_x は平均的な年齢別死亡率パターンとし, $\epsilon_{x,t}$ は平均 0 の残差項を示す. b_x, k_t の推定にあたっては, 行列 $\ln(m_{x,t}) - a_x$ に特異値分解 (SVD) を行い,

$$\ln(m_{x,t}) - a_x = \sum_i u_{xi} q_i v_{ti} \quad (q_1 \geq q_2 \geq \dots)$$

との表現を得た後, 第一特異値 q_1 に関連する項のみを取り出して,

$$k_t = q_1 v_{t1}$$

$$b_x = u_{x1}$$

とすることにより行う. このとき, k_t は死亡の一般的水準 (「死亡指数」と呼ばれる), b_x は k_t が変化するときの年齢別死亡率の変化を表すパラメータとなる. このモデルの利点は, 一つのパラメータ k_t のみの変化で, 年齢ごとに異なる変化率を記述することが可能な点である.

リー・カーター・モデルをわが国の死亡率に適用する先行研究にも多くのものが挙げられる. Wilmoth (1996) は, リー・カーター・モデルを日本の全死因の死亡率に適用し (Method I), これをスウェーデンの死亡率推計の将来トレンドに一致させた推計 (Method II) と比較するとともに, 死因別死亡率推計 (Method III 及び IV) とも比較を行った. 小松 (2002) はリー・カーター・モデルを利用し, 平成14年1月の将来人口推計において用いられた死亡率推計モデル (以下「小松モデル」と呼ぶ) の研究・開発にあたった. さらに, 小川 [等] (2002), 南條・吉永 (2003), 小暮・長谷川 (2005), Ozeki (2005), 及川 (2006) など多数の先行研究が挙げられ, 様々な視点から研究が行われてきているところである.

平成14年1月推計に用いられた小松モデルでは, a_x として直近2年間の死亡率の平均値をとり, パラメータ k_t の将来推計にあたって, 我が国の死亡動向の観察に基づき, 指数関数・対数関数の2種類の関数によるカーヴフィッティングを行い, 両者の平均値を将来の k_t の推計値として用いた. 一方, オリジナルのリー・カーター・モデルでは基準となる a_x を推計の基礎となる全期間の平均値とし, k_t の推計にあたっては時系列モデルを

表1 平均寿命の推移と平成14年推計の見通し

	男性			女性		
	前回推計	実績値	差	前回推計	実績値	差
2000	77.64	77.72	-0.08	84.62	84.60	0.02
2001	78.08	78.07	0.01	85.18	84.93	0.25
2002	77.76	78.32	-0.56	84.73	85.23	-0.50
2003	77.88	78.36	-0.48	84.89	85.33	-0.43
2004	77.99	78.64	-0.64	85.05	85.59	-0.54
2005	78.11	78.53	-0.43	85.20	85.49	-0.28

用いている. このような違いはあるものの, 小松モデルの基本構造は概ねリー・カーター・モデルに準拠していると考えられる.

表1は平均寿命の実績値

の推移と、平成14年1月推計における平均寿命の推移を比較したものである。これによれば、平成14年1月推計以降に判明した2001年以降の実績値は、男性・女性とも推計値を上回って推移してきているが、男性の実績値との乖離の方が女性よりも大きく、平成14年推計以降、特に男性の死亡率改善が進んできたことが観察される。

この要因について、より詳細に年齢別死亡率を観察するため、年齢別死亡率の対数値について推計値と実績値の差を示したものが、図8、9である。この図は、グラフが0を示す水平線よりも上にあるほど推計値が過大、下にあるほど過小であることを示している。死亡率の絶対値が小さく差の変動が激しい若年層を除くと、男性では概ね高齢部分において死亡率の過大推計が見られ、60歳代で一つのピークが見られるほか、それより高い年齢層で、年齢につれて差が増大する傾向が見られる。女性については男性ほど強いピークはないものの、やはり概ね高齢部分において死亡率が過大推計となっており、全般的に高齢部分での死亡率改善が実績に比べて十分でないという傾向が見られる。

図8 年齢別死亡率(対数値)の推計値と実績値の差(男性)

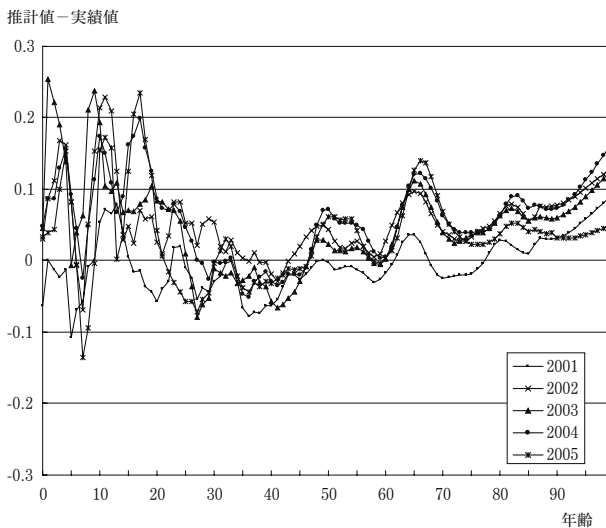
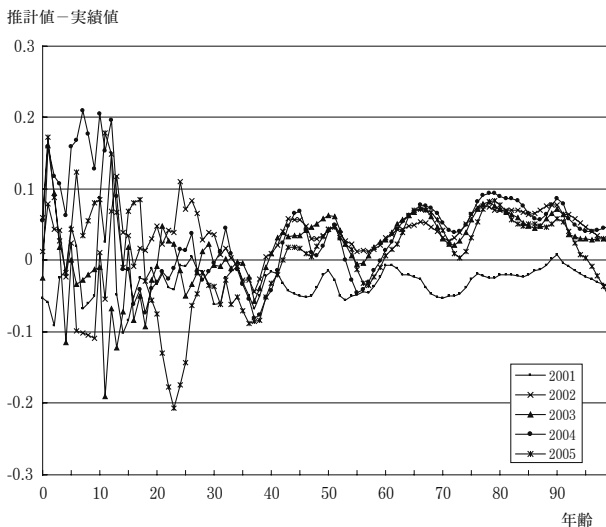


図9 年齢別死亡率(対数値)の推計値と実績値の差(女性)



年齢層で、年齢につれて差が増大する傾向が見られる。女性については男性ほど強いピークはないものの、やはり概ね高齢部分において死亡率が過大推計となっており、全般的に高齢部分での死亡率改善が実績に比べて十分でないという傾向が見られる。

Lee and Miller (2001) は、アメリカのデータを中心に、カナダ・スウェーデン・フランス・日本のデータも使用し、リー・カーター・モデルによる死亡率推計の評価を行い、リー・カーター・モデルを用いた死亡率推計による平均寿命は低めに推計される傾向を持ち、特に推計期間が長くなる場合その傾向が大きくなるとの結果を得ている。そして、必ずしも明らかではないとしつつも、この傾向はなんらかの形で死亡率改善の年齢パターンの変化に関連している可能性を指摘している。

一方、わが国の死亡動向のレビューによれば、近年の高齢死亡率改善は、死亡率曲線が高年齢方向へシフトするという年齢シフトという動きとしてみる事が可能であった。このような年齢シフトを考慮した死亡率モデルとして、Bongaarts (2005) は、

各国のデータからロジスティック曲線における勾配パラメータが時系列的に概ね一定であるとの観察に基づき、ロジスティック曲線に年齢シフトを組み合わせたシフティング・ロジスティック・モデル (shifting logistic model) というモデルで死亡率曲線を表すことを提案している。

これらを踏まえ、リー・カーター・モデルを改善する方向性として、石井 (2006) は年齢シフトを考慮したリー・カーター・モデルを研究し、高齢死亡率推計モデルの改善に関する視点を得ている。本研究で開発を行った年齢シフトモデルはこの研究を発展させたものであり、シフティング・ロジスティック・モデルで提案されたシフト量の考え方をを用いて、死亡率の年齢シフトを行った上で、リー・カーター・モデルを適用するという、年齢シフト構造を持つ新たな死亡率推計モデルである。次節において、この年齢シフトモデルの構造の詳細について述べることにする。

III 年齢シフトモデルの構造

今般の年齢シフトモデルの開発にあたっては、昭和45 (1970) ~平成17 (2005) 年の死亡率を推計の基礎データとした²⁾。まず、シフティング・ロジスティック・モデルに基づく年齢シフト量等を測定するため、実績生命表に基づく25歳以上の死力について、3パラメータロジスティック曲線

$$\mu_{x,t} = \frac{\alpha_t \exp(\beta_t x)}{1 + \alpha_t \exp(\beta_t x)} + \gamma_t$$

へのあてはめを行った。このあてはめ結果に基づき、年齢シフト量を定めるパラメータ $S_t = -\frac{\ln(\alpha_t)}{\beta_t}$ と、曲線の勾配を表すパラメータ β_t を推定した (図10)。次に、各年次のパラメータ S_t の基準時点 $t = t_0$ (=2005) (平成17 (2005) 年) との差 $S_{t_0} - S_t$ を年齢シフト量 (切片) とし、各年次の勾配 β_t の基準時点との比を傾きとする線形変換を考え、中央死亡率 $m_{x,t}$ に年齢シフトを行った。なお、基準時点で $x = 25 (= B_1)$ 歳未満の層については年齢シフトを行わず、 $x = 50 (= B_2)$ 歳以上では完全な年齢シフトを行うこととし、その間の年齢層では補間により年齢シフトを行った。

具体的には以下の式により変換を行っている。まず、死亡率のオリジナルの年齢座標を x 、年齢シフト後の座標を y とし、 $x = f(y)$ を以下の関係により定義する。

$$f(y) = \begin{cases} y & (y \leq B_1) \\ \left\{ \frac{\beta_{t_0}}{\beta_t} (B_2 - S_{t_0}) + S_t - B_1 \right\} \frac{y - B_1}{B_2 - B_1} + B_1 & (B_1 \leq y \leq B_2) \\ \frac{\beta_{t_0}}{\beta_t} (y - S_{t_0}) + S_t & (B_2 \leq y \leq S_{t_0}) \\ y - S_{t_0} + S_t & (S_{t_0} \leq y) \end{cases}$$

2) 公式生命表は作成年次により作成方法や表示年齢等に違いがあるため、本モデルの開発にあたって、各年次の生命表を統一的に作成し、その死亡率を基礎データとした。

図10 パラメータ S_t と β_t

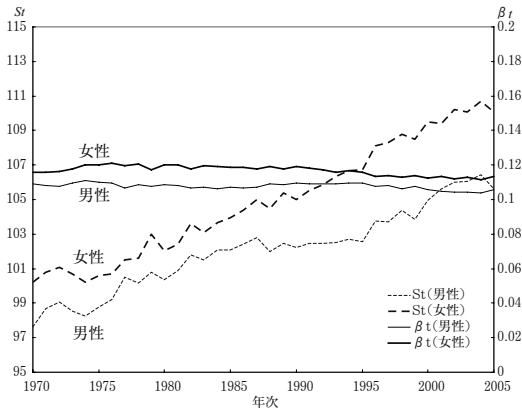
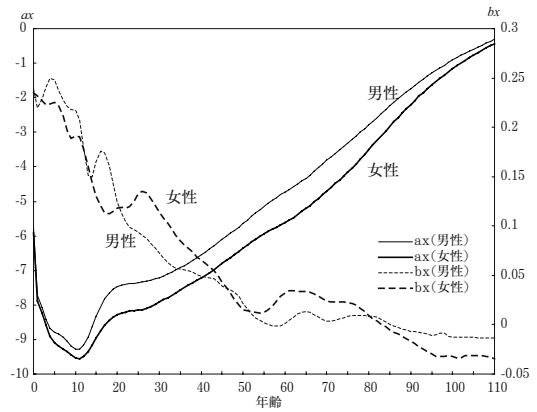


図11 推定されたパラメータ (a_x, b_x)



そして、

$$\hat{m}_{y,t} = m_{f(y),t}$$

とし、年齢シフト後の $\hat{m}_{y,t}$ の対数値についてリー・カーター・モデルを適用した。リー・カーター・モデルにおける a_x としては直近5年間の平均値を取り、行列 $\ln(\hat{m}_{y,t}) - a_x$ に特異値分解を施すことによってパラメータ b_x, k_t を推定した (図11)。

このようにして実績値の範囲内でパラメータを推定した後、 k_t, S_t および β_t の各パラメータ値の将来推計を行った。死亡指数 k_t の将来推計にあたっては、近年、徐々に緩やかになっている死亡水準の変化を反映させるために、関数あてはめを行って補外することにより推計を行った。推計のための関数としては、平成14年1月推計の小松モデルによる関数 (指数関数と対数関数の平均³⁾) がわが国の死亡指数の推移をよく表現しているとの観察に基づき同じ関数を用いることとした。ただし、この年齢シフトモデルでは男女の死

図12 パラメータ k_t の将来推計

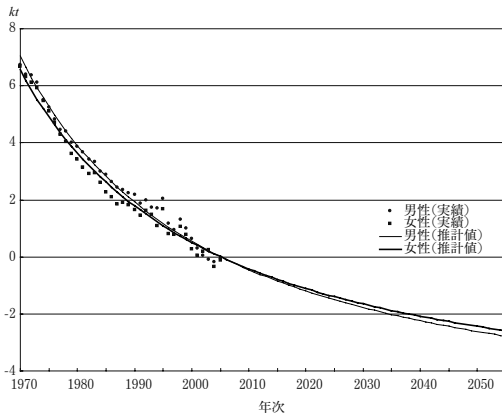
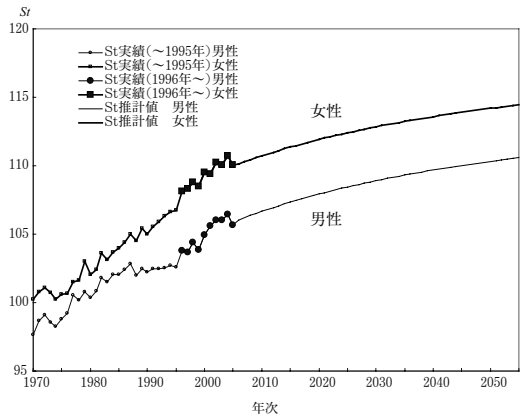


図13 S_t の実績値と推計値



3) 指数関数は $k_t = \alpha_1 \exp(\alpha_2 t) + \alpha_3$ 、対数関数は $k_t = \beta_1 \ln(t + \beta_2) + \beta_3$ として当てはめた。ここで、 α_n と β_n は定数である。

亡率をより整合的に推計する観点から、男女の死亡指数を組み合わせた行列に特異値分解を行い、第一特異値に対応する項の時系列変化に対して関数あてはめを行った後、男女別の死亡指数を推計することとした（図12）。また、 S_i については過去10年間の死亡指数 k_i との線形関係を用いて将来推計し、勾配 β_i については直近の平均値（男性10年分、女性15年分）を将来に向けて固定することとした（図13）。以上より、将来死亡率の推定に必要なパラメータが得られたことになり、これに基づいて将来生命表の推計を行うことができる。

なお、わが国の死亡動向のレビューにおいて述べたように、今後の死亡率推移ならびに到達水準の不確実性の表現に対応するためには、複数仮定に基づく推計を実行することが求められる。この目的のため、本モデルにおいては、標準となる死亡率推移（「死亡中位」仮定）の死亡指数パラメータ k_i 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、死亡指数 k_i が信頼区間の上限を推移する高死亡率推計を「死亡高位」仮定、下限を推移する低死亡率推計を「死亡低位」仮定として、複数仮定に基づく推計を行う機構を開発した（図14）。

本モデルによって得られた将来生命表に基づく男女別平均寿命の推移を図15に示した。死亡中位仮定による標準的な将来生命表に基づくと、平成17（2005）年に男性78.53年、女性85.49年であった平均寿命は、平成67（2055）年には男性83.67年、女性90.34年となる。また、死亡高位仮定では、平成67（2055）年の平均寿命は男性82.41年、女性89.17年、死亡低位仮定では、男性84.93年、女性91.51年となる。

図14 死亡高位・死亡低位におけるパラメータ kt の設定

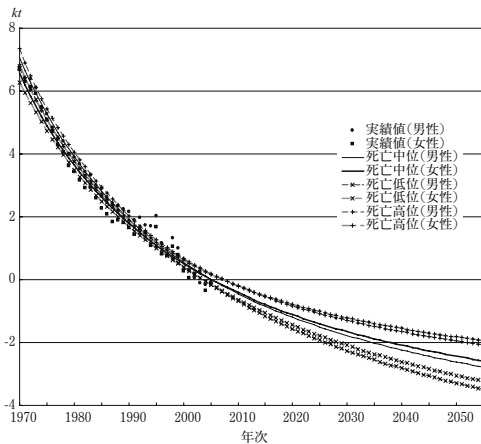
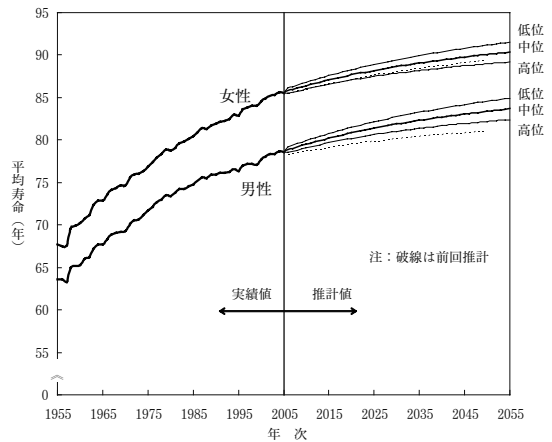


図15 平均寿命の実績値と推計結果



IV 年齢シフトモデルの特性—リー・カーター・モデルとの比較—

年齢シフトモデルはリー・カーター・モデルの一種であるが、ここでは、年齢シフトを行わない通常のリー・カーター・モデルによる死亡率推計との比較を通じて、年齢シフトモデルの特性について考察を行うこととする。この目的のため、年齢シフトモデルと同様

の基礎データ及び構造を持ちつつ、年齢シフトは行わないモデルを考えて将来生命表の試算を行い、これを通常のリー・カーター・モデルによる試算結果として比較に用いることとした。なお、以後、本節においては年齢シフトを行わない通常のリー・カーター・モデルを単にリー・カーター・モデルと呼ぶこととする。

最初に、実績値の再現テストにより両モデルの特性を評価する。図16は、推計の基礎とした1970～2005年について、リー・カーター・モデルと年齢シフトモデルの

両モデルによる平均寿命と実績値とを比較したものである。平均寿命で見た場合、両モデルとも比較の実績への当てはまりはよいことが観察されるが、特に女性についてはやや年齢シフトモデルによる平均寿命の再現性が高いことが観察される。

図16 リー・カーター・モデルと年齢シフトモデルによる実績値の再現テスト

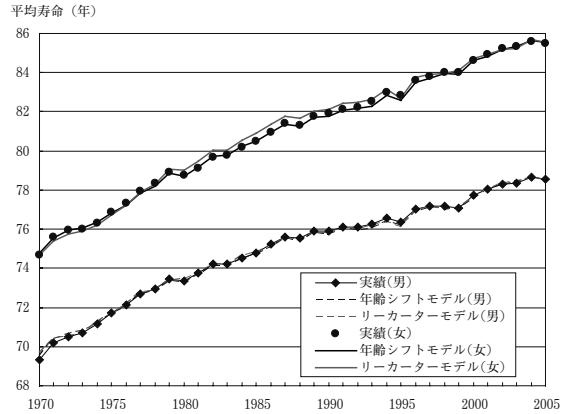


図17 年齢別死亡率(対数値)の相対水準の変化(実績値・女性)

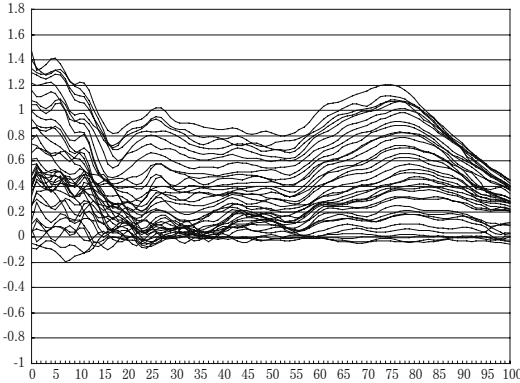


図18 年齢別死亡率(対数値)の相対水準の変化(リー・カーター・モデル・女性)

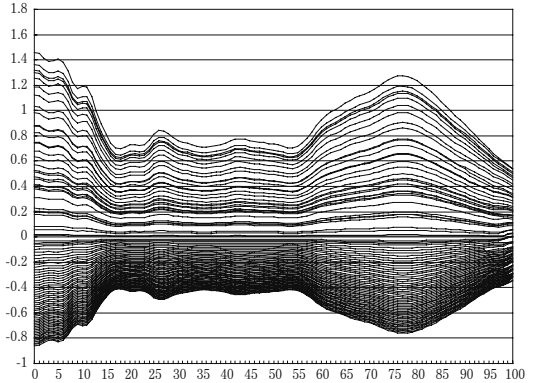


図19 年齢別死亡率(対数値)の相対水準の変化(第二特異値による推計値・女性)

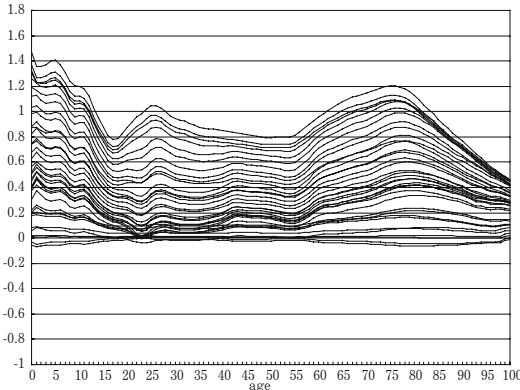
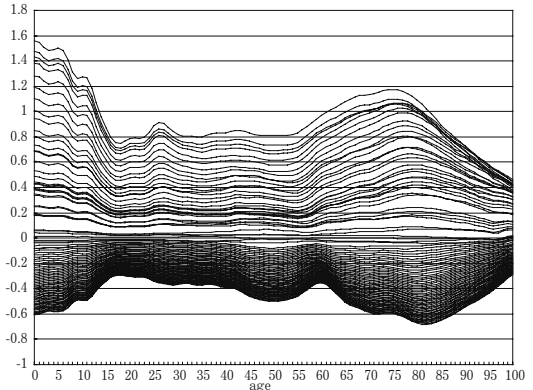


図20 年齢別死亡率(対数値)の相対水準の変化(年齢シフトモデル・女性)



次に、両モデルの実績値への当てはまりと将来推計への影響をより詳細に観察する観点から、各モデル等による年齢別死亡率の相対水準の変化、すなわち、年齢別死亡率の対数値と基準値（2001～2005年の実績平均値）との差を女性の死亡率を例としてグラフ化した

図17は実績値の相対水準の変化を表したものである。1970～2005年における死亡水準は低下してきていることから、過去から現在に時代が移行するにつれ、曲線は概ね上から下に移動する動きを示す。次に、リー・カーター・モデルによる実績・将来の推計値による相対水準を表したものが図18である。図17と比較をしてみると、リー・カーター・モデルによる再現値（グラフの上半分に対応）は実績値の曲線の動きを概ねよく表現しているものの、実績値に見られるような年齢シフトの動きが表現されていない。また、将来推計値（グラフの下半分に対応）についても年齢シフトの様相は見られず、各年齢ごとに固定された死亡率の改善率から垂直的に将来の死亡率の相対水準の投影が行われている様子が観察できる。

ところで、リー・カーター・モデルは特異値分解における第一特異値に対応する項のみから推計が行われているが、さらに第二特異値も利用した場合の再現値を試算したものが図19である。これを見ると図19では、図17に見られたような年齢シフトが観察できる。ここから、第一特異値のみを用いるリー・カーター・モデルでは必ずしも表現しえない領域としての年齢シフトというパターン変化が実績値には内在していることが示唆される。一方、年齢シフトモデルによる相対水準を表したものが図20である。これによれば、年齢シフトモデルでは第二特異値までを利用した再現値の相対水準の変化により近い形での再現値が観察され、このことが先に見たモデルの再現性を高めている一因となっているものと考えられる。また、将来推計値についても実績値に内在している年齢シフトを反映し、将来に向けてこの構造が投影されていることが見て取れる。

さらに、年齢シフトモデルはパラメータ推定に当たってはリー・カーター・モデル同様、第一特異値のみしか用いていない。このことから、年齢シフトモデルにおいても、死亡水準という一つのパラメータのみで時系列変化を記述できるという、リー・カーター・モデルが持つ簡明性はそのまま保持されている。このように、年齢シフトモデルは、リー・カーター・モデルの利点を活かしつつ、年齢パターンの変化を改善したモデルであるということが出来る。

次に、両モデルによる将来生命表の生命表関数の違いを比較する。ここでは、両モデルの e_0 （平均寿命）レベルが概ね90年程度となる2050年の生命表関数に加え、生命表関数に与える影響を見る目的から、両モデルが概ね同程度の e_0 レベルを持ちつつ、死亡指数を通常の推計範囲にある値よりも相当程度低い値（ e_0 レベルが概ね94年と97年）に設定するという機械的な2試算による生命表関数の併せて3ケースを対象とし、死亡率曲線、生存数曲線がどのようなパターンの違いを示すかを観察することにより両モデルの比較を行うこととする。

図21は死亡率曲線の将来推計値を比較したものである。これを見ると、リー・カーター・モデルによる試算値は、60～70歳代で年齢シフトモデルと比較して死亡率が低く推移した

図21 死亡率曲線の比較(試算値・女性)

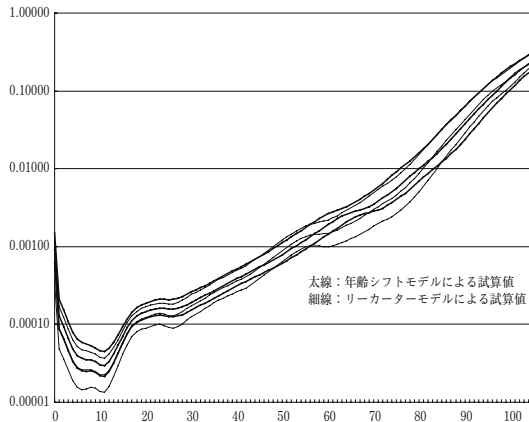
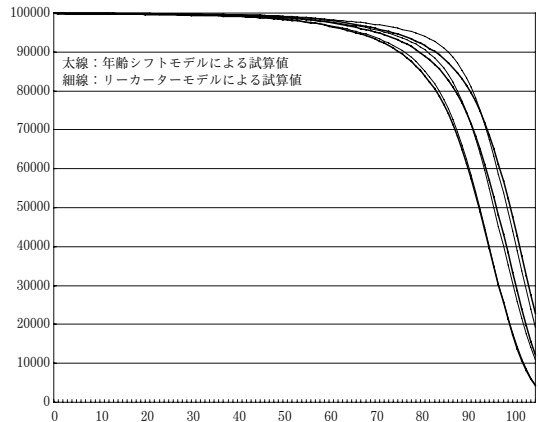


図22 生存数曲線の比較(試算値・女性)



後、急速に増加し、80歳以降の高齢部分では逆に高いレベルとなっており、年齢シフトモデルによる試算値に比べて高齢部分での死亡率曲線の勾配が大きくなっていることが観察される。

図22は生存数曲線の将来推計値を比較したものであるが、死亡率曲線に見られた高齢での勾配の違いの影響により、リー・カーター・モデルによる生存数曲線は、死亡率の低下が生存数曲線の矩形化現象として現れる傾向がより強く出ている。一方、年齢シフトモデルにおける死亡率の低下は、生存数曲線の矩形化の動きとというよりも、生存数曲線自体が右方向へシフトするという動きとして現れていることが観察できる。

この生存数曲線の違いは、死亡動向のレビューにおいて行ったように、IQRを用いてより定量的に観察することが可能である。表2は、両モデル

表2 IQRの比較(女性)

e_0 レベル	90	94	97
年齢シフトモデル	12.5	12.0	11.6
リー・カーター・モデル	12.1	11.4	10.8

のIQR(女性)を示したものである。これによれば、 e_0 レベルが同程度の場合、リー・カーター・モデルによるIQRは年齢シフトモデルによるものよりも低い値を示している。また、 e_0 レベルの上昇に対するIQRの低下の度合は、年齢シフトモデルの方がより小さいものとなっていることがわかる。したがって、年齢シフトにおける死亡率低下は、リー・カーター・モデルによるものよりも、生存数曲線の矩形化によって実現される度合が弱いことが定量的に確認できる。このように、年齢シフトモデルは、わが国の近年の高齢死亡率改善が、死亡が遅延している動きとして捉えられる点により整合的なモデルであることが確認できた。

おわりに

本稿では、年齢シフトモデルについて、背景となる近年の死亡動向に関するレビューおよびモデルの構造について述べるとともに、従来のリー・カーター・モデルとの比較を通

じ、年齢シフトモデルの特性を明らかにしてきた。

わが国は近年、著しい死亡率改善を遂げ、現在、世界でもトップクラスの平均寿命を維持しつつ、さらに伸長が継続している状況にある。特に、直近における高齢死亡率の低下は、死亡の遅延というメカニズムにより起きていると捉えることができ、わが国の将来生命表推計モデルの開発にあたっては、このメカニズムを表現する、死亡率曲線の年齢シフトという構造を仕組みに取り入れることが望ましいとの示唆を得た。年齢シフトモデルは、このような認識の下に、リー・カーター・モデルを基本として、シフティング・ロジスティック・モデルで提案された年齢シフト量の考え方を応用した、年齢シフト構造を持つ死亡率モデルである。

年齢シフトモデルは、リー・カーター・モデルの簡明性を保ちつつ、年齢シフトというわが国の死亡動向をよりよく表現するものであり、通常のリー・カーター・モデルに比べて実績値の再現性に優れるとともに、将来死亡年齢パターンについて、わが国の近年の高齢死亡率改善が、死亡が遅延している動きとして捉えられる点とも整合的との特性を持っていた。一方で、本モデルの開発に際しては死亡率推計についても不確実性の表現に対応することが必要との問題意識から、複数の仮定設定を行うことができるような機構についても開発を行い、3通りの死亡水準に基づく将来生命表の作成を行った。

本モデルは、公的将来人口推計における死亡率モデルであり、人口学的な投影という手法に基づいている。公的将来人口推計とは各種施策立案等の指針となるべく、中立的かつ客観的に行われることが求められることから、現時点における趨勢を一定の確度で将来に向けて投影することを基本としている。これは、無条件に将来を当てようとする予測とは性格が異なるものである。

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。しかしながら、未来は不確定であって、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。したがって、公的将来人口推計において、このような構造変化への科学的な対応は、各時点での推計は投影手法に忠実に実行し、時間の経過に伴って新たな死亡動向が得られた時、その傾向を反映させた新たな投影を行って、定期的に将来推計の見直しをしていくことであろう。

しかしながら、公的将来人口推計がこのようなあり方であるからこそ、推計モデルの作成にあたっては、その時々々の死亡動向に分析を加え、新たな傾向を的確に捉えて表現する専門的技術が極めて重要になるといえる。年齢シフトモデルにおいて、死亡の遅延というメカニズムを捉えてモデルに反映させる改善を行ったように、将来推計モデルの開発には、先進的な手法を取り入れることのみならず、死亡動向に関する人口学的な基礎理論の検討も必要であり、投影の基礎となる死亡動向に関する総合的な知見を深めることが不可欠である。今後ともこのような観点を踏まえ、推計時点の死亡動向に適合した将来生命表推計モデルの開発が行えるよう、さらなる研究を続けていくことが必要である。

謝辞

死亡率推計モデルに関して貴重なコメントを頂いたニューヨーク市立大学ハンター校大学院堀内四郎教授、国立社会保障・人口問題研究所高橋重郷副所長、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、また、小松モデルに関してご教示頂いた小松隆一氏に心より感謝を申し上げます。また、人口動態統計調査の目的外集計に関して、厚生労働省大臣官房統計情報部企画課審査解析室、情報企画室及び人口動態・保健統計課に多大なるご協力を頂いた。さらに、死亡データの入力に関しては、増田幹人氏に多大なるご協力を頂いた。ここに併せて感謝の意を表したい。なお、あるべき誤謬などは全て著者の責任である。

文献

- Bongaarts, J. (2005) "Long-range Trends in Adult Mortality: Models and Projection Methods" *Demography*, Vol.42, No.1, pp.23-49.
- Brass, W. (1971) "On the Scale of Mortality", in W. Brass ed., *Biological Aspects of Demography*: Taylor and Francis Ltd, pp.69-110.
- Fries, J. F. (1980) "Aging, Natural Death, and the Compression of Morbidity", *New England Journal of Medicine*, Vol.303, pp.130-135.
- Human Mortality Database. University of California, Berkeley (USA) and Max Planck Institute for Demographic Research (Germany). Available at www.mortality.org or www.humanmortality.de.
- 石井太 (2006) 「わが国の平均寿命の動向と死亡率推計モデルの検討」『人口問題研究』第62巻, 第3号, pp.21-30.
- 金子隆一 (1987) 「死亡率の年齢パターンに関するリレーショナル・モデルの開発」, 『人口問題研究』第183巻, pp.1-22
- 小暮厚之, 長谷川知弘 (2005) 「将来生命表と統計モデリング: Lee-Carter 法とその拡張—ヒューマンセキュリティへの基盤研究—」『総合政策学ワーキングペーパー』, 第71号
- 国立社会保障・人口問題研究所 (2002) 『日本の将来推計人口—平成14年1月推計—』, (財)厚生統計協会.
- 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.
- 小松隆一 (2002) 「リレーショナル・モデルによる日本の将来生命表作成の試み」, 『人口問題研究』, 第58巻, 第3号, pp.3-14, 9月.
- 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.
- Lee, R. and T. Miller (2001) "Evaluating the Performance of the Lee-Carter Method for Forecasting Mortality", *Demography*, Vol.38, No.4, pp.537-549.
- 南條善治, 吉永一彦 (2003) 「日本の生命表の将来推計の試み—Lee-Carter 法に関連して—」『日本人口学会第55回大会報告要旨集』, pp.57.
- 小川直宏, 近藤誠, 田村正雄, 松倉力也, 斎藤智子, A. Mason, S. Tuljapurkar, N. Li (2002) 『人口・経済・社会保障モデルによる長期展望—人的資本に基づくアプローチ—』, 日本大学人口研究所.
- Ohshansky, S. and A. Ault (1986) "The Fourth Stage of the Epidemiologic Transition: The Age of Delayed Degenerative Diseases", *The Milbank Quarterly*, Vol.64, No.3, pp.355-391.
- 及川桂 (2006) 「将来死亡率推定に関する一考察」『(社)日本アクチュアリー会会報』, 第59巻, 第2号, pp.1-28.
- Omran, A. (1971) "The Epidemiologic Transition: A Theory of the Epidemiology of Population Change", *The Milbank Memorial Fund Quarterly*, Vol.49, No.4, pp.509-538.
- Ozeki, M. (2005) "Application of Mortality Models to Japan", Presented at The Living to 100 and Beyond Symposium.

- Preston, S. H., P. Heuveline, and M. Guillot (2001) *Demography: Measuring and Modeling Population Processes*, Oxford, Blackwell Publishers Inc.
- Tuljapurkar, S., N. Li, and C. Boe (2000) "A Universal Pattern of Mortality Decline in the G7 Countries", *Nature*, Vol.405, pp.789-782.
- Wilmoth, J. R. and S. Horiuchi (1999) "Rectangularization Revisited: Variability of Age at Death within Human Populations", *Demography*, Vol.36, No.4, pp.475-495.
- Wilmoth, J. R., L. J. Deegan, H. Lundstrom, and S. Horiuchi (2000) "Increase of Maximum Life Span in Sweden, 1861-1999", *Science*, Vol.289, pp.2366-2368.
- Wilmoth, J. R. (1996) "Mortality Projections for Japan", in G. Caselli and A.D. Lopez eds., *Health and Mortality among Elderly Populations*, Oxford Univ. Press, pp.266-287.
- Wilmoth, J. R. (2003) "Mortality Decline", in P. Demeny and G. McNicoll eds., *Encyclopedia of Population*, Volume 2: I-W, Appendix Index, Macmillan Reference USA, pp.654-662.

Mortality Projection Model Consistent with the Recent Japanese Mortality Situation

— Developing the Age-shifting Model —

Futoshi ISHII

In the Japanese official population projection, the cohort component method is used. To make an assumption for the survivorship ratio in the projection, use of the mortality projection model to obtain future life tables is necessary.

Japanese life expectancy has increased rapidly over time and is still increasing with top class values in the world. This unique trend is one of the factors that makes it difficult to project future mortality situations for Japan.

In this paper, first we observed the recent trends in Japanese mortality, and explored some aspects to improve mortality projection model for Japan. From the review, we found that the recent mortality improvement in Japan is recognized as age-shifting of mortality curve, therefore it would be preferable to develop a mortality model that has an age-shifting structure.

Next, we reviewed the Lee-Carter model and its application to Japan, since the age-shifting model is based on the Lee-Carter model. Then we discussed the structure of the age-shifting model, which is a Lee-Carter model that has age-shifting structure applying the amount of shift in the shifting logistic model by Bongaarts.

Finally, we compared the age-shifting model with the Lee-Carter model. According to the comparison of the age-shifting model and the Lee-Carter model, we presented that the age-shifting model had better performance in explaining the actual values, and was more consistent with the recent mortality pattern which is characterized as a delay in timing of death.