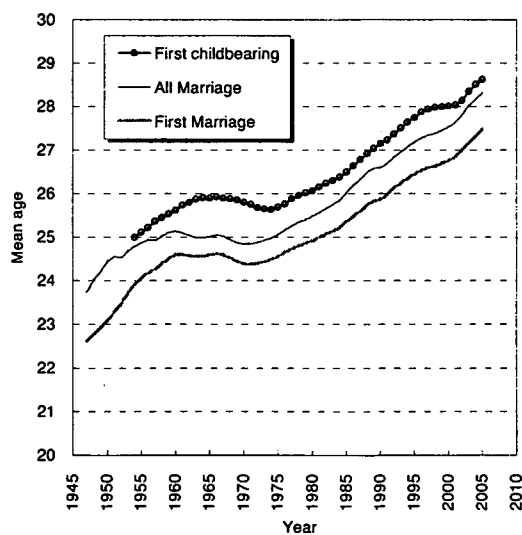


Table 1: Low-fertility regions by selected partnership characteristics

Age at first marriage	Prevalence of			Region
	Marriage	Cohabitation	Divorce	
Low	High	High	Low	
			High	
		Low	Low	Eastern Europe (bu,pl,ro,yu)
			High	Eastern Europe (cz,hu,lt,md,ru)
	Low	High	Low	
			High	
High	High	High	Low	
			High	
		Low	Low	
			High	
	Low	High	Low	
			High	Northern Europe, Western Europe, Northern America, Australia/New Zealand
		Low	Low	Eastern Asia, Southern Europe
			High	JAPAN?

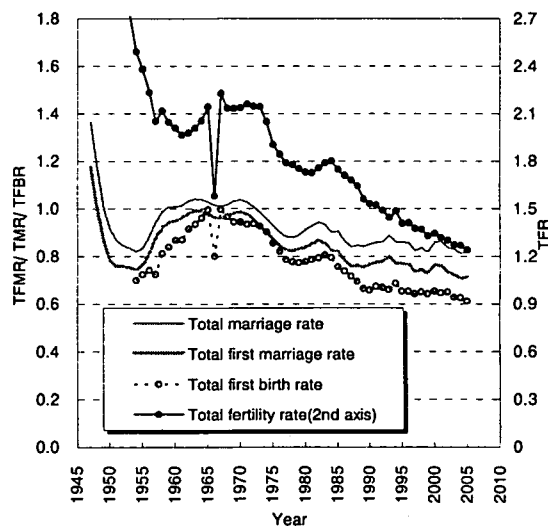
Source: UNPD(2003)(rearranged by the authors).

Figure 1: Mean age at first marriage, all marriage, and first childbearing among Japanese women



Data: Vital Statistics in Japan (own calculations based on age-specific marriage rates and fertility rates of Japanese women).

Figure 2: Total fertility rates, total (first) marriage rates, and total first birth rates among Japanese women



Data: Vital Statistics in Japan (own calculations based on age-specific marriage rates and fertility rates of Japanese women).

Figure 3: Cumulative age-specific first marriage rates: Actual values and assumptions, birth cohort 1935-1990

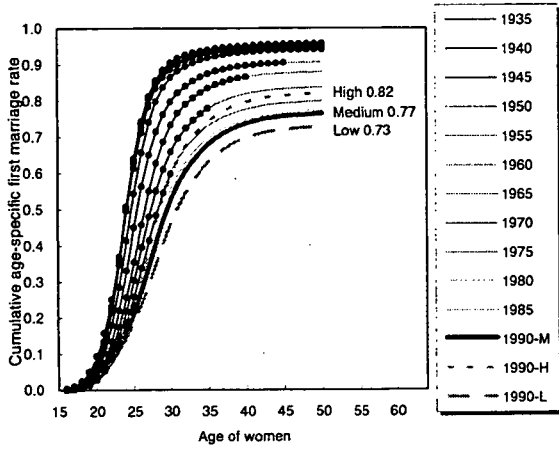


Figure 4: Differences in cumulative cohort first marriage rates between base and subsequent cohorts

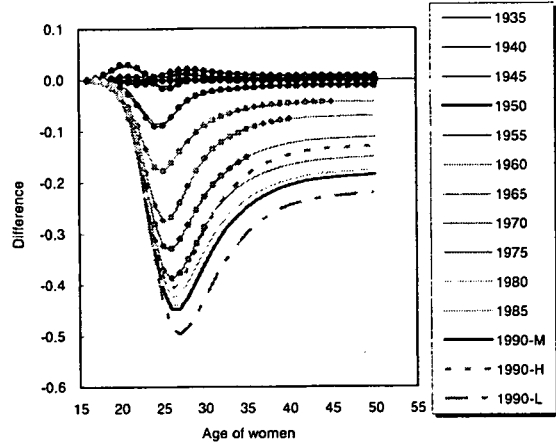
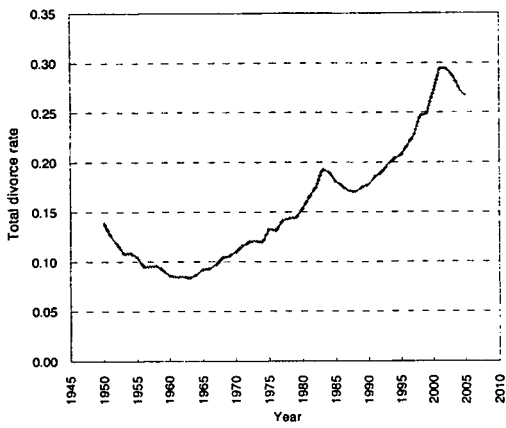


Figure 5: Total divorce rates among Japanese Women



Data: Vital Statistics in Japan (own calculations based on age-specific divorce rates of Japanese women).

Figure 6: Cumulative divorce rates among women who have been married at least once: Actual values and assumptions, birth cohort 1935-1990

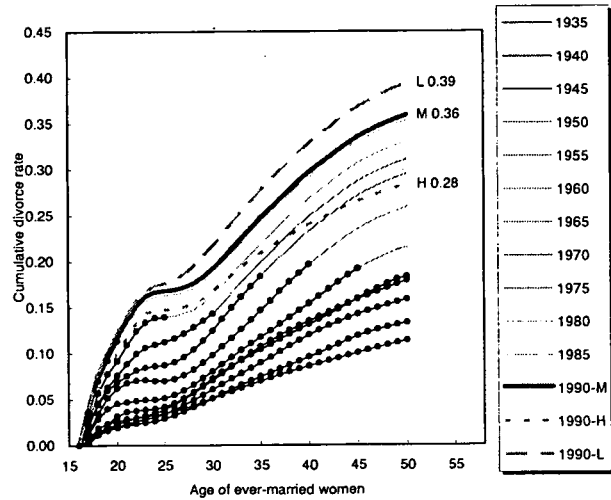
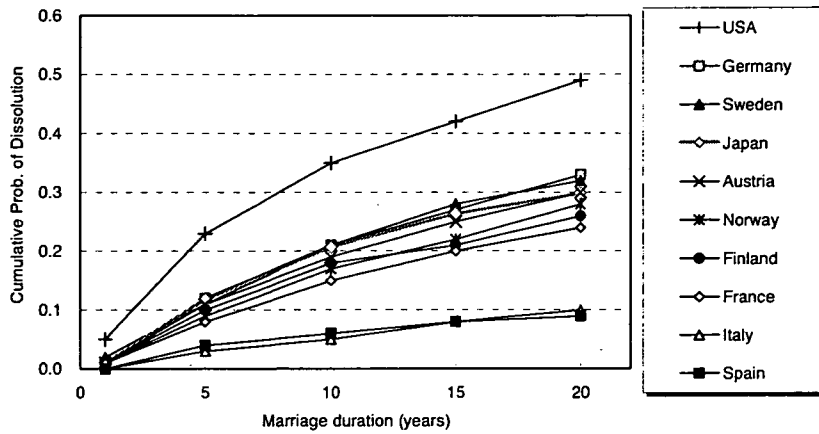


Figure 7: Cumulative probability of marital dissolution by marriage duration (Life table estimates): Selected countries



Sources: For Japan, Raymo, Iwasawa, and Bumpass(2005, 2006). For others, Andersson and Philipov(2001)

Figure 8: Marital status of women at age 50: Actual values and medium assumptions, birth cohort 1930-

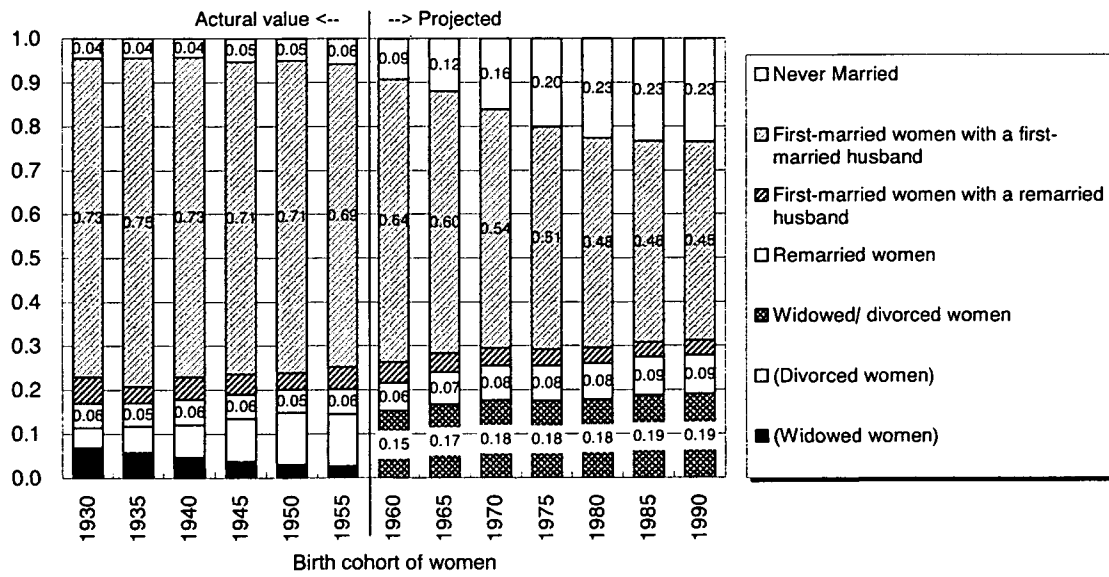
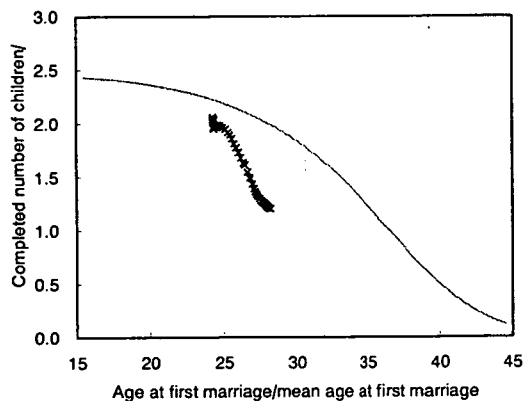


Figure 9: Completed number of children of first married couples by wife's age at first marriage and CTFRs by mean age at first marriage



Data: Women aged 40-49 in the 7th -13th Japanese National Fertility Survey (NIPSSR).

Figure 10: Simulated results with respect to marital behavior and medium assumption for cohort total fertility rates, birth cohort 1935-1990

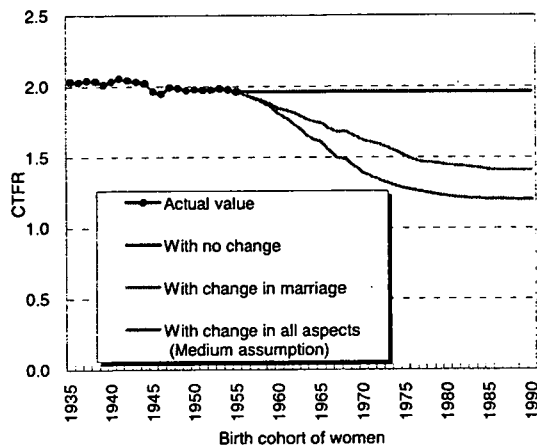
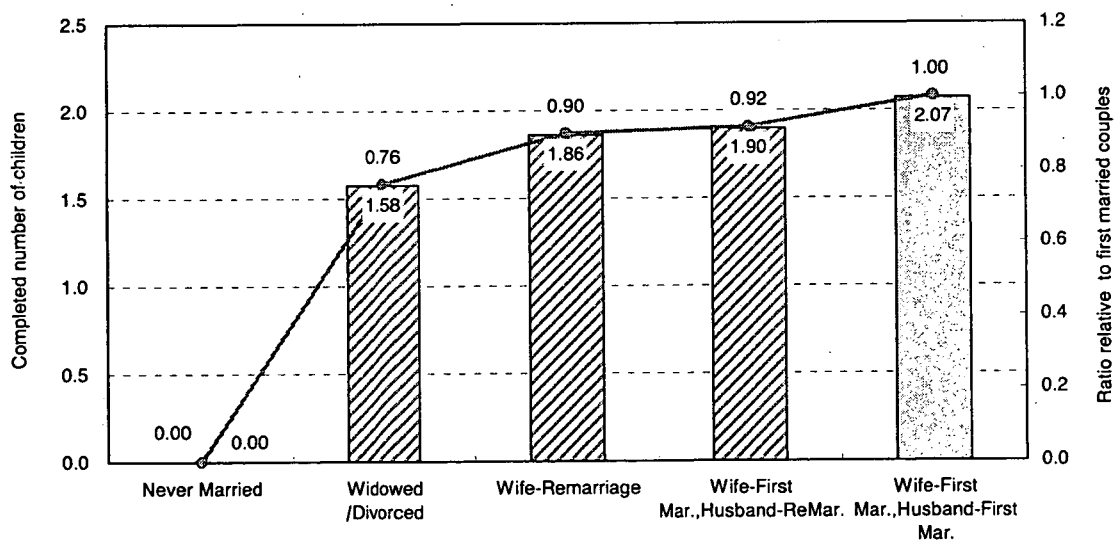


Figure 11: Completed number of children by marital status and relative ratio to first marriage couples



Data: Women aged 40-49 in the 13th Japanese National Fertility Survey (2005).

Figure 12: Association between the proportion of women with divorce experience at age 50 and the d

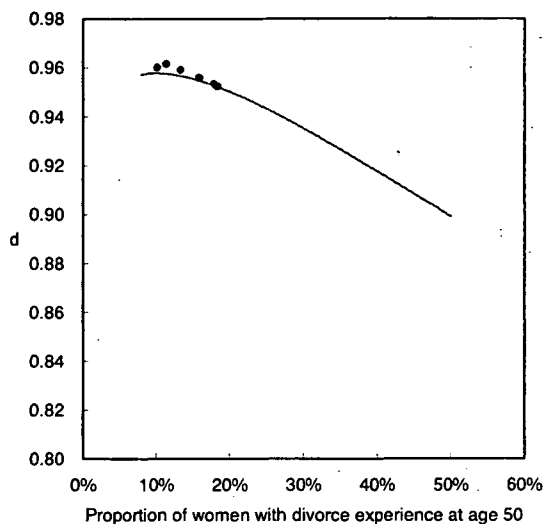


Figure 13: Simulated results with respect to divorce behavior and medium assumption for cohort total fertility rates by birth cohort of women

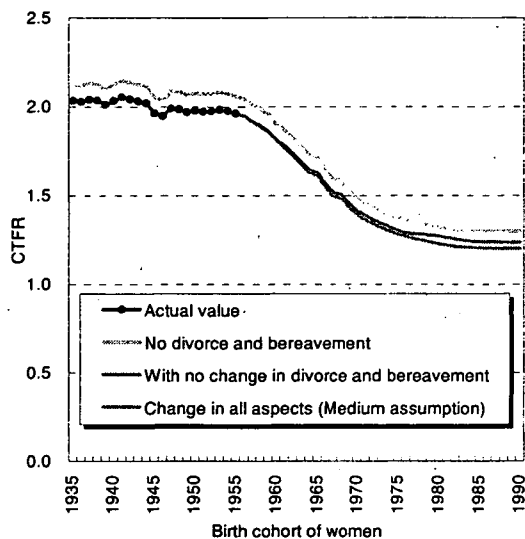
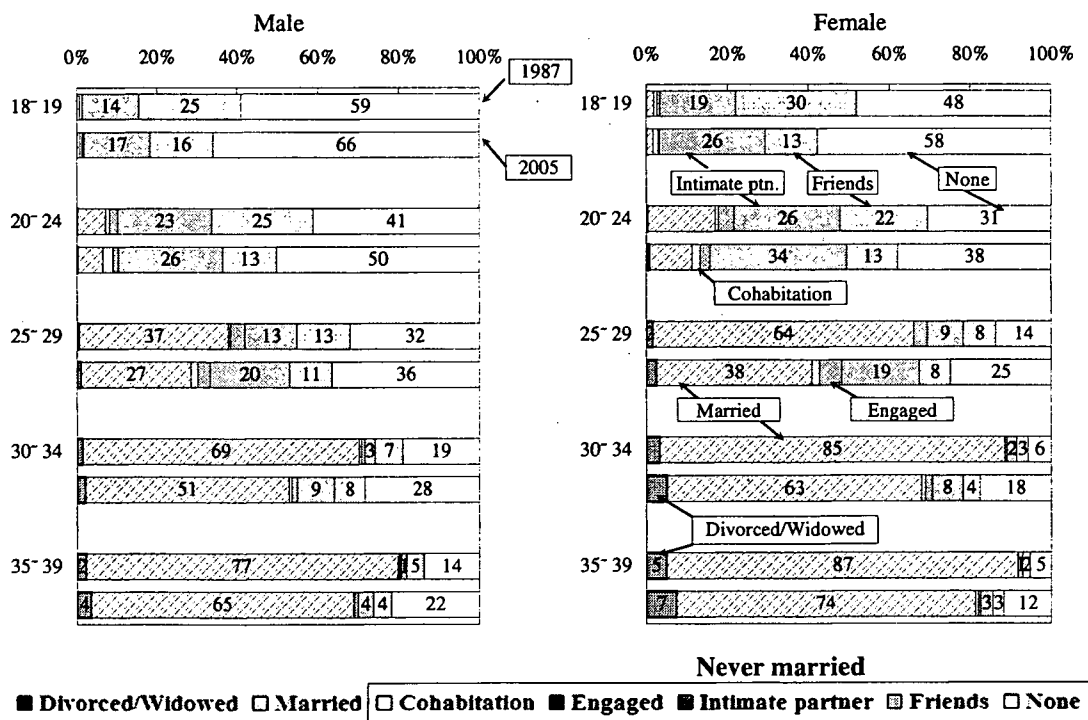
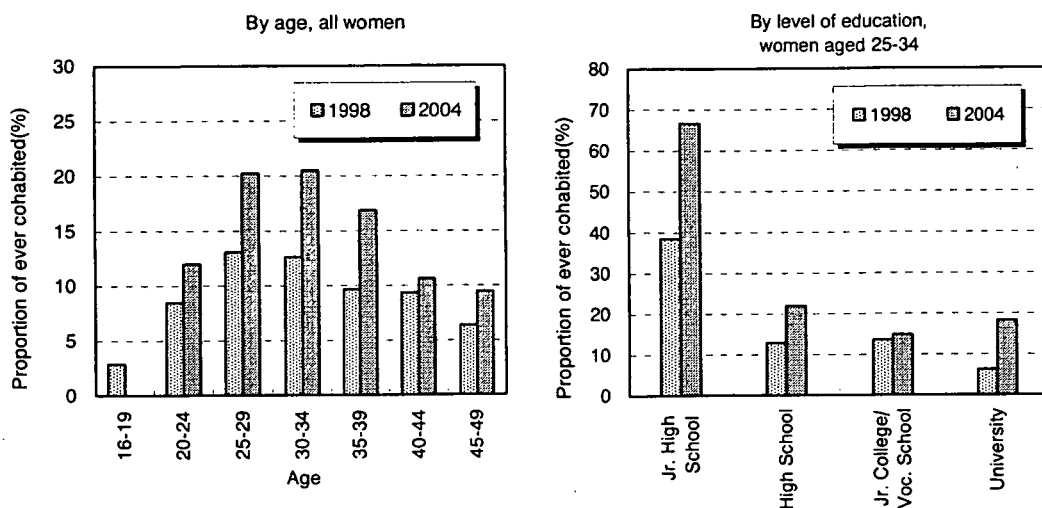


Figure 14: Partnership status by age group in 1987 and 2005



Data: Japanese National Fertility Survey in 1987, 2005 (NIPSSR)

Figure 15: Proportion of women who have ever cohabited: 1998 and 2004



Source: Own calculations from the 24th National Survey on Family Planning (1998) and the 1st SPFG(2004) conducted by the Population Problems Research Council, the Mainichi Newspapers(Iwasawa 2005).

Figure 16: Age-specific non-marital fertility rates: 1990 and 2005

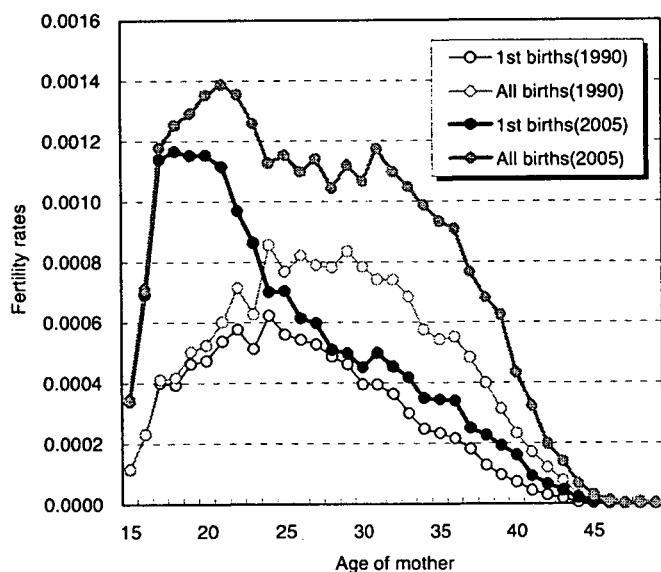


Table 2: Cohort indices based on medium variant assumptions for future fertility trends

Cohort Index (Japanese Women)		Women's birth cohort										
		1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Proportion never-married		5.8%	9.3%	12.0%	16.2%	20.0%	22.6%	23.3%	23.5%	23.6%	23.6%	23.6%
Mean age at first marriage		24.9	25.7	26.5	27.0	27.5	27.9	28.1	28.2	28.2	28.3	28.3
CTFR		1.96	1.81	1.61	1.39	1.28	1.23	1.21	1.20	1.20	1.20	1.20
Completed number of children of first married couples		2.16	2.06	1.93	1.84	1.78	1.74	1.71	1.70	1.69	1.69	1.69
Distribution	Childless	12.7%	17.5%	22.7%	30.0%	34.3%	36.4%	37.4%	37.4%	37.4%	37.5%	37.5%
	One	11.8%	13.8%	16.9%	19.0%	18.9%	18.3%	18.1%	18.2%	18.2%	18.2%	18.2%
	Two	47.1%	43.5%	40.8%	36.0%	33.9%	33.4%	33.1%	33.1%	33.1%	33.1%	33.2%
	Three	23.4%	20.5%	15.8%	11.8%	10.2%	9.5%	9.4%	9.4%	9.4%	9.4%	9.4%
	Four or more	5.0%	4.7%	3.9%	3.3%	2.7%	2.3%	2.1%	1.9%	1.8%	1.8%	1.8%
Mean age at childbearing	All	28.2	28.7	29.3	29.7	30.0	30.2	30.3	30.3	30.3	30.3	30.3
	1st	26.3	27.0	27.8	28.4	28.7	29.0	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1
	2nd	28.8	29.4	30.1	30.5	30.9	31.0	31.1	31.1	31.2	31.2	31.2
	3rd	31.3	31.6	32.0	32.3	32.6	32.7	32.9	33.0	33.1	33.1	33.1
	4th or more	33.7	34.0	34.3	34.4	34.5	34.6	34.7	34.7	34.7	34.8	34.8

Source: NIPSSR, Population Projection for Japan: 2006-2055 (2007).

9 年齢シフトモデルによる将来生命表の特性評価について

石井 太

はじめに

国立社会保障・人口問題研究所の「日本の将来推計人口（平成 18 年 12 月推計）」(国立社会保障・人口問題研究所 2007) では、推計手法としてコーホート要因法が用いられている。死亡による人口の変動を推計するためには将来の生残率が必要となるため、将来人口推計を実行するためには将来の死亡率推計が必要となる。

平成 18 年 12 月推計では、現在国際的に標準的な方法とされ、平成 14 年 1 月推計でも用いたリー・カーター・モデルを採用しつつ、これに対して世界の最高水準の平均寿命を示すわが国の死亡動向の特徴に適合させるため、新たな機構を加えたモデル（以下、「年齢シフトモデル」と呼ぶ）により死亡率の投影を行った。具体的には、過去の死亡率曲線にロジスティック曲線を当てはめて、その年齢シフト量と勾配に関するパラメータを推定し、これによる高齢死亡率の年齢シフトを考慮した上でリー・カーター・モデルを適用することによって、死亡率改善の著しいわが国の死亡状況に適合させるものである。

昨年度においては、この年齢シフトモデルの開発を中心に研究を行った。その中で、従来のリー・カーター・モデルとの比較についても検討を行ったところであるが、本年度は、年齢シフトモデルによって導かれる将来生命関数の特性を、生存数曲線の矩形化の観点を中心としてより詳細に観察し、本モデルの評価を行うことを目的とする研究を行った。

1. 寿命の限界論と生存数曲線の矩形化

寿命がどこまで延びるのかについて、かつて専門家の間で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という議論が有力であった。もしこのように寿命に限界があるとするならば、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 1 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、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を延ばしてきた様子が見られる。しかしながら、近年の生存数曲線の動きを見ると、高齢層で生存割合が急激に降下する動きよりも、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、死亡の遅延とも呼ぶべき現象が観察されることがわかる。これは、寿命に限界があるという説に対し、そのような限界を考慮することができないとするものや、存在したとしても非常に高い年齢であるとする説に寄与するものである。

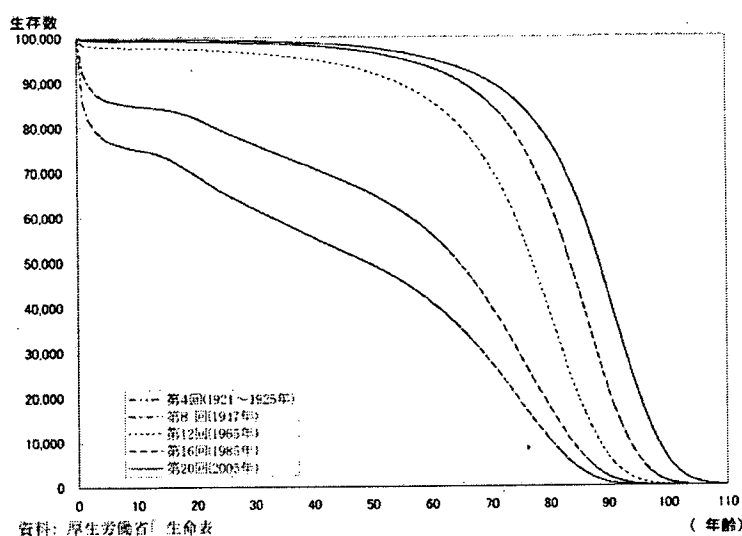


図1 生存数曲線（女子）の推移

Wilmoth and Horiuchi (1999) は、このような生存数曲線の矩形化について、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 (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。

本研究では、以下、Wilmoth and Horiuchi (1999) によって検討された指標を、わが国の実績生命表及び将来推計における生命表に適用し、年齢シフトモデルによる将来生命関数の特性を評価を行うこととする。

2. 矩形化に関する指標とその動向

Wilmoth and Horiuchi (1999) は、生存数曲線の矩形化を示す定量的指標として、以下の十指標の比較・検討を行っている。

1. Fixed Rectangle
2. Moving Rectangle
3. Fastest decline
4. Sharpest corner
5. Quickest plateau
6. Prolate index
7. Interquartile range
8. Standard deviation

9. Gini Coefficient

10. Keyfit's H

本研究ではこれらのうち、1.Fixed Rectangle, 3.Fastest decline, 4.Sharpest corner, 5.Quickest plateau, 6.Prolate index, 7.Interquartile range の六指標を取り上げ、検討を行うこととする。

最初に、これらの指標の定義に加え、わが国の実績値における動向を観察するため、完全生命表を用いて各指標を評価してみることにする。

2.1 Fixed Rectangle

Fixed Rectangle とは、基数を $1(l_0 = 1)$ とした生存数曲線において、高さが1、右の端点が固定されたある年齢(例えば100歳)の長方形を考え、この長方形における生存数曲線の下側の面積の割合を計算したものである。生存数曲線の矩形化に伴い、この指標は増加することとなる。具体的には、固定年齢を ϕ 、生存数曲線を $S(x)$ とした場合、FR:Fixed Rectangle は、

$$FR = \frac{\int_0^{\phi} S(x)dx}{\phi}$$

で表される。本研究では $\phi = 100$ とした。

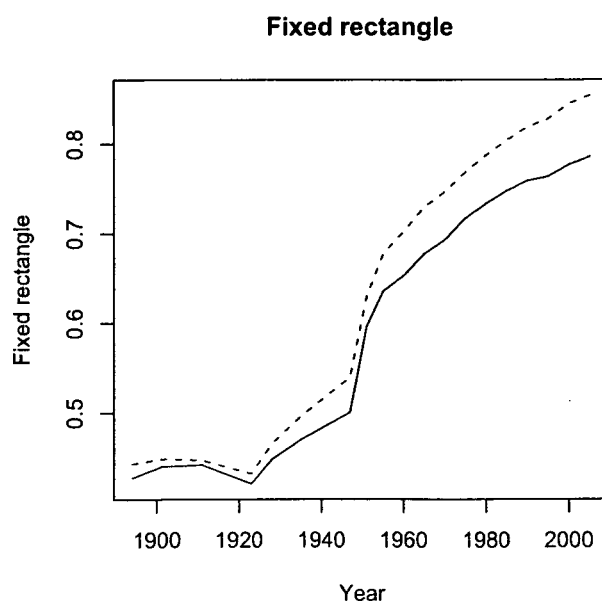


図2 FR(Fixed Rectangle)の推移

FR を実績値（完全生命表）を用いて評価したものが、図 2 である。FR は概ね平均寿命と近い動きをするため、単調に増加する結果となっていることがわかる。

2.2 Fastest decline

Fastest decline とは、乳幼児期を除いた成人年齢の範囲内で、最も生存数曲線の減少速度が速い年齢における生存数曲線の導関数の絶対値を測定したものである。生存数曲線の矩形化に伴い、この指標は増加することとなる。具体的には、例えば成人年齢の範囲を $x \geq 20$ として、

$$FD = \max_x \{-S'(x)\} \quad x \geq 20$$

で表される。

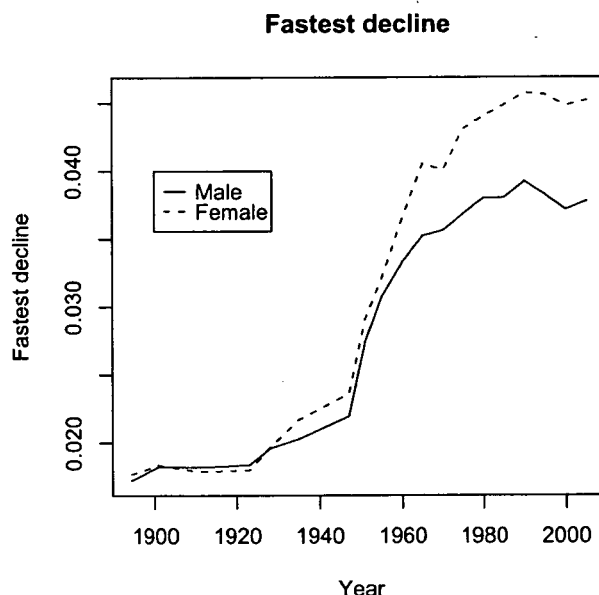


図 3 FD(Fastest decline) の推移

FD を実績値（完全生命表）を用いて評価したものが、図 3 である。なお、FD の評価には生存数曲線の導関数が必要となる。本研究における評価に当たっては、各年次における評価を同一に行う観点から、各完全生命表の生存数実績値を基礎とし、これをスプライン補間した後、数値的に導関数を求めている。FD は FR と異なり、1990 年以降あまり増加していない特徴がある。数値がやや増減を繰り返しながら推移している点については、数値微分による導関数の評価も影響を与えているものと考えられる。

2.3 Sharpest corner

Sharpest corner とは、成人年齢の範囲内で、生存数曲線の二次導関数が最小（負で絶対値が最大）となる年齢における、その二次導関数の絶対値を測定したものである。生存数曲線の矩形化に伴い、この指標は増加することとなる。具体的には、

$$SC = \max_x \{-S''(x)\} \quad x \geq 20$$

で表される。

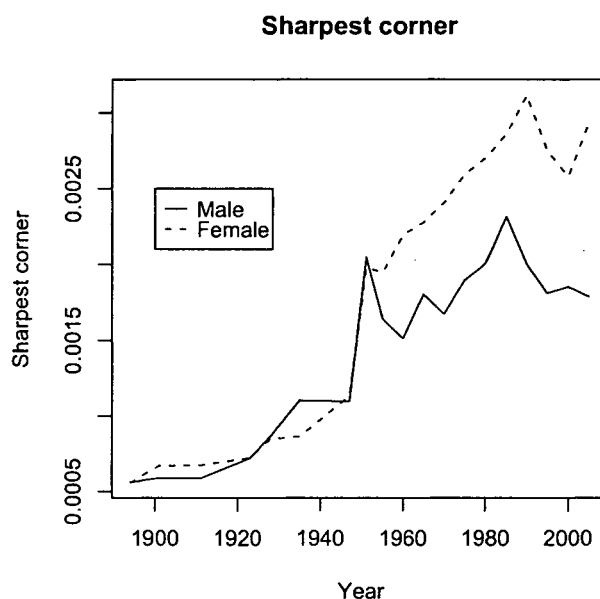


図4 SC(Sharpest corner)の推移

SCを実績値（完全生命表）を用いて評価したものが、図4である。SCの評価についても、生存数曲線の導関数に加え、二次導関数が必要となる。そこで、FDで行ったのと同様、まず生命表における死亡数をスプライン補間し、これを用いて数値的に二次導関数を求めた。SCでは二次導関数を用いることから、FDよりもさらに数値の不安定さが増しており、評価を難しいものとしているが、FDと比較してみた場合、1990年以降は上昇基調でないという点は共通していると見ることができよう。

2.4 Quickest plateau

Quickest plateau とは、成人年齢の範囲内で、生存数曲線の二次導関数が最大となる年齢における、その二次導関数の絶対値を測定したものである。生存数曲線の矩形化に伴

い、この指標は増加することとなる。具体的には、

$$QP = \max_x \{S''(x)\} \quad x \geq 20$$

で表される。

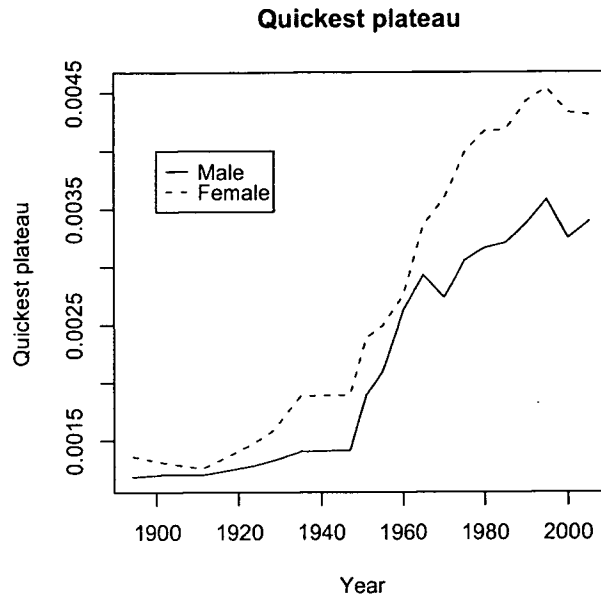


図5 QP(Quickest plateau)の推移

QPを実績値（完全生命表）を用いて評価したものが、図5である。二次導関数についてはSCと同じものを使用している。QPでも二次同関数を用いることから、SCほどではないものの、数値が不安定である点が見られる。しかしながらその動向はFDとよく似ていることが観察される。

2.5 Prolate index

Prolate indexも高齢部分における生存数曲線の勾配の度合をはかるものである。具体的には、FD,SCにおいて最大値を与える年齢をそれぞれ x', x'' として、

$$PI = \cos(\theta) = \frac{S(x') - S(x'')}{\sqrt{[S(x') - S(x'')]^2 + [x' - x'']^2}}$$

で与えられる。図5は、Wilmoth and Horiuchi (1999)からの引用であるが、この図における $\cos(\theta)$ を測定したものがProlate indexということになる。生存数曲線の矩形化に伴い、この指標は増加する。

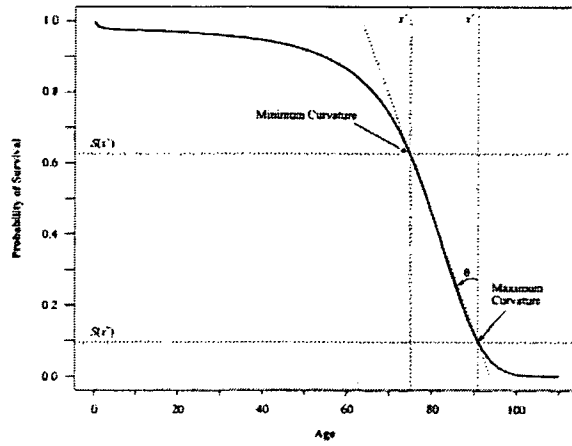


図6 PIの定義 (Wilmoth and Horiuchi(1999)による)

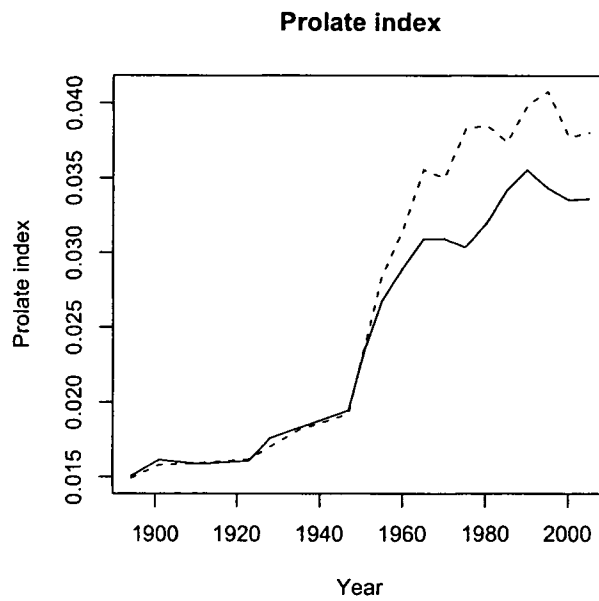


図7 PO(Prolate index)の推移

PIを実績値(完全生命表)を用いて評価したものが、図7である。PIでもSC,QPの導出において二次同関数を用いることから、数値がやや不安定であることは避けられない。動向についてはやはりFDとよく似ていることが観察される。

2.6 Interquartile range

Interquartile range (of age at death) は、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り、 x_1 と x_2 は、 $l_{x_1} = 0.75, l_{x_2} = 0.25$ を満たす年齢として、

$$IQR = x_2 - x_1$$

で定義される。生存数曲線の矩形化に伴い、この指標は減少することとなる。

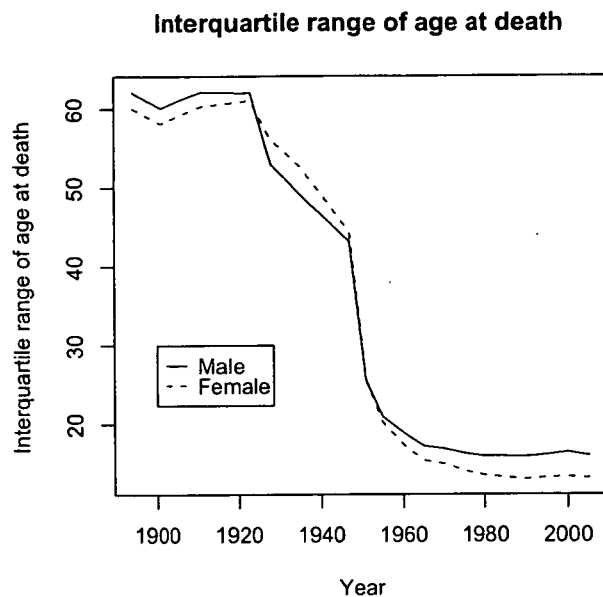


図8 IQR(Interquartile range)の推移

IQRを実績値（完全生命表）を用いて評価したものが、図8である。IQRは他の指標と異なり、矩形化に伴い数値が減少する。他の指標と比較した場合、近年、数値の減少が緩やかになってきている点については同様の傾向を表しているが、FDなどに比べてやや早い時期から指標の動きが少なくなっている。

2.7 各指標間の関係

次に、ここまで述べてきた指標相互の関係を見ることとする。Wilmoth and Horiuchi (1999)は、日本、アメリカ、スウェーデンにおける各指標のデータをプールして相関係数を比較し、指標間の相関が高いことを観察している。また、これらの系列の中で一般的に相関係数が低くなるのは、SCとQPを対象に含む系列になることが述べられている。そ

ここで、わが国の実績データを用いた各指標間の相関係数について、男女をプールした場合の他、男性・女性別にも計算を実行し、結果を表1～表3に示した。

表1 各指標間の相関係数（男女をプールしたもの）

	FR	FD	SC	QP	PI	IQR
FR	1.0000	0.9891	0.9425	0.9704	0.9854	-0.9615
FD	0.9891	1.0000	0.9592	0.9824	0.9958	-0.9528
SC	0.9425	0.9592	1.0000	0.9409	0.9488	-0.9186
QP	0.9704	0.9824	0.9409	1.0000	0.9780	-0.8925
PI	0.9854	0.9958	0.9488	0.9780	1.0000	-0.9492
IQR	-0.9615	-0.9528	-0.9186	-0.8925	-0.9492	1.0000

表2 各指標間の相関係数（男性）

	FR	FD	SC	QP	PI	IQR
FR	1.0000	0.9910	0.9144	0.9836	0.9915	-0.9611
FD	0.9910	1.0000	0.9203	0.9842	0.9950	-0.9709
SC	0.9144	0.9203	1.0000	0.8737	0.9127	-0.9502
QP	0.9836	0.9842	0.8737	1.0000	0.9868	-0.9246
PI	0.9915	0.9950	0.9127	0.9868	1.0000	-0.9605
IQR	-0.9611	-0.9709	-0.9502	-0.9246	-0.9605	1.0000

表3 各指標間の相関係数（女性）

	FR	FD	SC	QP	PI	IQR
FR	1.0000	0.9929	0.9868	0.9788	0.9849	-0.9733
FD	0.9929	1.0000	0.9867	0.9865	0.9967	-0.9678
SC	0.9868	0.9867	1.0000	0.9691	0.9801	-0.9745
QP	0.9788	0.9865	0.9691	1.0000	0.9829	-0.9237
PI	0.9849	0.9967	0.9801	0.9829	1.0000	-0.9621
IQR	-0.9733	-0.9678	-0.9745	-0.9237	-0.9621	1.0000

この結果によれば、わが国の実績データからも指標間の相関係数は高いことが観察される。また、SCとQPを対象に含む系列においては相関係数が低い傾向となる点についても、我々の結果からも観察される。男性・女性別に見た場合においても概ね相関係数は

高いものとなっているが、指標によるが男性の方がやや低い値となっている傾向が見られる。

さらに、この男女別の傾向の違いについてより詳細に観察するため、散布図を図9、図10に示した。

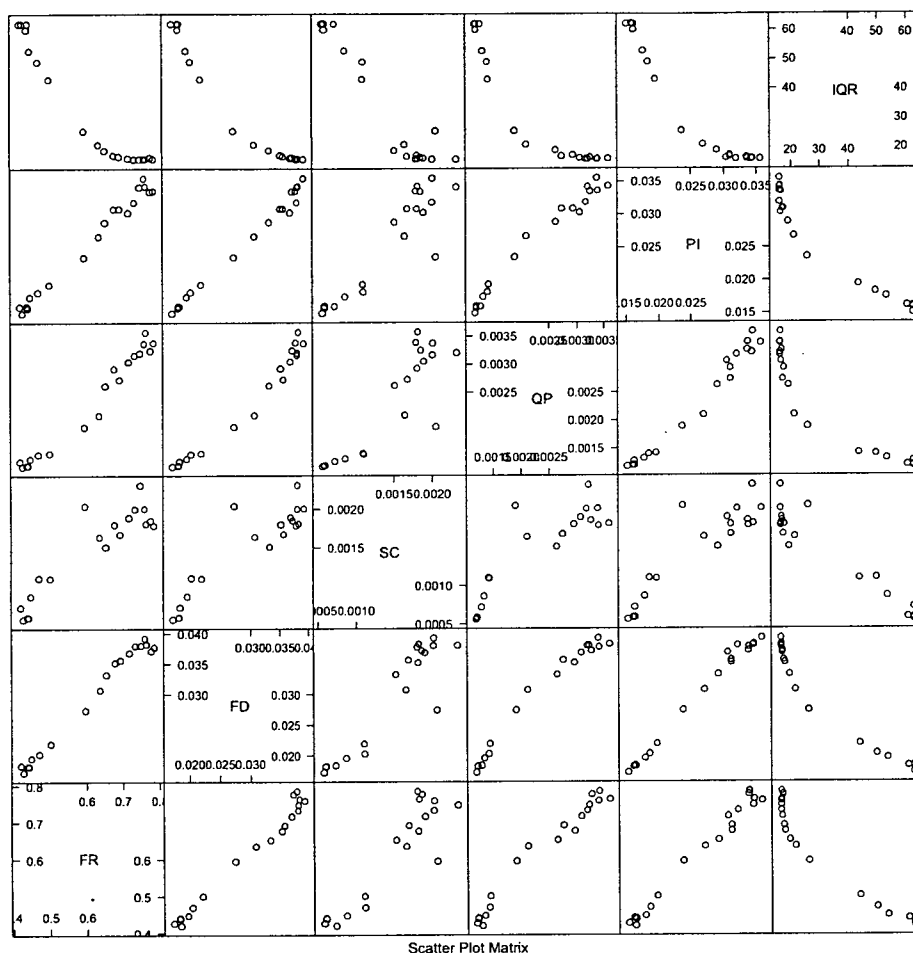


図9 各指標間の散布図 (男性)

これらによれば、各指標間の関係は相関係数において見た通り、概ね直線関係に近いものが多いものの、男女とも SC、QP を含む系列ではやや直線関係から逸脱する点が多くなるのが観察される。これには、指標を評価した際に指摘したとおり、第二次導関数を用いることに起因する評価の不安定性が影響を与えていると考えられ、我々の結果においてはこれが SC と QP を対象に含む系列において相関係数が低い傾向を示した原因となっていると考えられる。

もう一点、他の指標に対して、IQR は直線関係とは若干異なる動きを示していることが見て取れる。また、その傾向は男性よりも女性においてより大きい。IQR が他の指標と

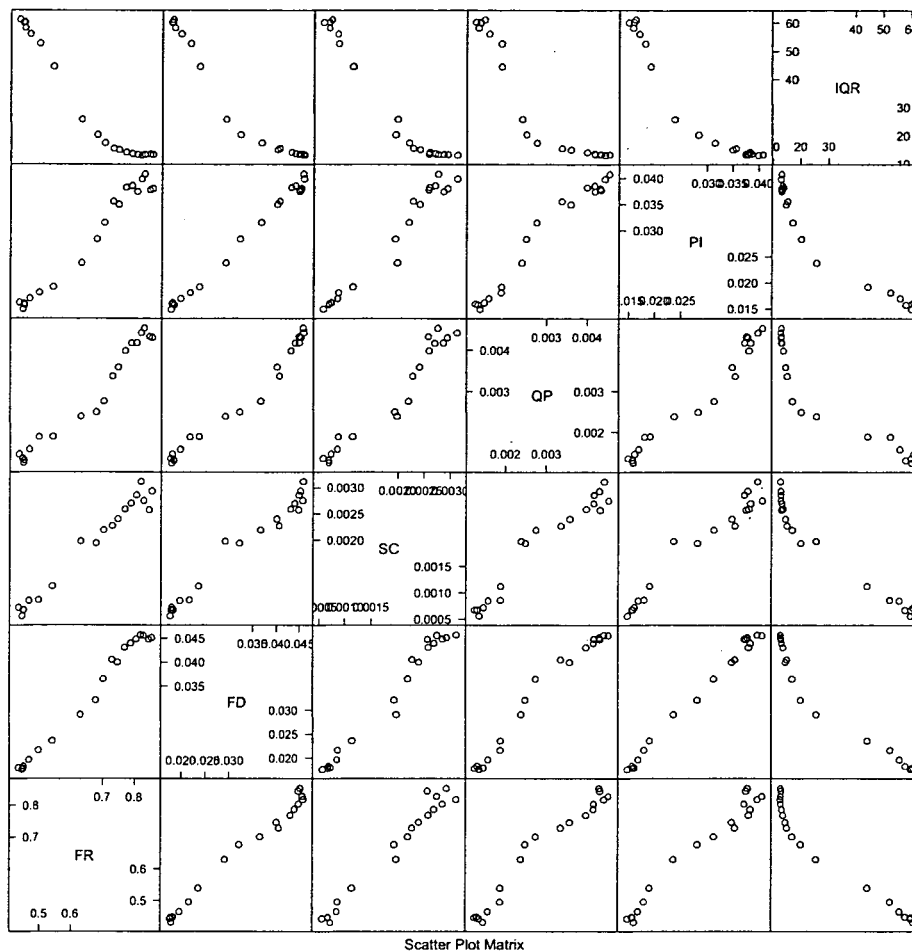


図 10 各指標間の散布図（女性）

異なるのは、それ以外の指標が生存数曲線の形状に直接着目している指標であるのに対して、IQR が Standard deviation, Gini Coefficient (Keyfit's H) などと並んで、死亡分布のばらつきに着目した指標であることが一因として考えられる。

ここまで見てきたように、これらの指標は、指標間の相関係数が一般的に高く、長期的な生存数曲線の形状の推移などを見る場合においては、どの指標からも概ね同様の結論が得られるものと考えられる。したがって、これらの中では、第二次導関数を用いない FD や IQR により測定をする方がより安定的な観察ができるものと考えられる。Wilmoth and Horiuchi (1999) においても、このような検討を踏まえて、より詳細な分析に当たって IQR を用いている。しかしながら、一方で、FD と IQR では特に近年においてやや異なった動きをしており、両指標の動向の違いにも注意をしていく必要もあると考えられる。

3. 将来生命表における各指標の動向

前節での検討を踏まえ、ここではFDとIQRに着目して、将来生命表における指標の見通しをみることにする（なお、これ以外も含めた全ての指標についての見通しは本章の最後に表5～表10として示した）。結果を示したものが、図11、図12である。「日本の将来推計人口（平成18年12月推計）」では死亡について死亡中位・死亡高位・死亡低位の3通りの前提に基づいて生命表の投影が行われていることから、この3通りについてFD,IQRを算出し、グラフに示している。

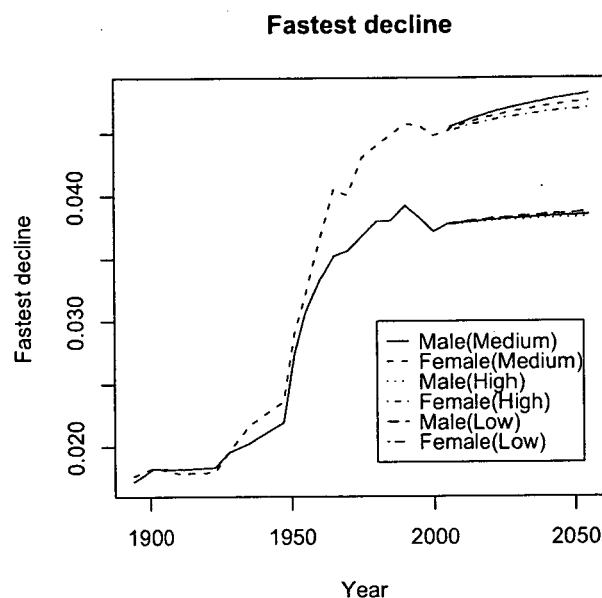


図11 FD(Fastest decline)の推移と見通し

まず、FDについて観察すると、どの前提においても男性については2005年以降概ね横ばいで推移している一方、女性については緩やかな増加傾向にあることがわかる。また、死亡中位・死亡高位・死亡低位による違いを見ると、男性については大きな違いがないのに対し、女性については死亡高位では死亡中位に比べてやや低め、死亡低位死亡中位に比べてやや高めの値で推移していく傾向にあることが観察される。

この指標の動向は概ねIQRにおいても同様である。図12を見ると、IQRはどの前提においても男性については2005年以降概ね横ばいで推移している一方、女性については緩やかな低下傾向にあることがわかる。また、死亡中位・死亡高位・死亡低位による違いを見ると、男性については大きな違いがないのに対し、女性については死亡高位では死亡中位に比べてやや高め、死亡低位死亡中位に比べてやや低めの値で推移していく傾向にあ

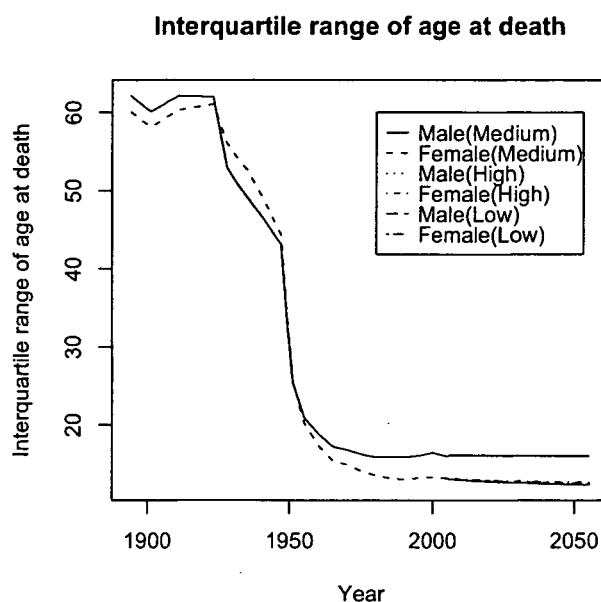


図 12 IQR(Interquartile range) の推移と見通し

ることが観察される。

このように、将来推計人口の生命表においては、男性と女性では将来の生存数曲線の矩形化がやや異なる形で推移し、男性では足下のレベルが概ねそのまま保たれて行くのに対し、女性では死亡率の低下に応じてやや矩形化の度合が高まる傾向にあることがわかる。このような違いが出た原因はこれらの指標だけからは明らかでない部分もある。しかしながら、グラフからは、過去からの指標の推移がそのまま将来に向けて自然に投影されている様子が観察されることから、特に近年における男性と女性の各指標の動向の違いがその一因となっているものと推察される。

4. 年齢シフトモデルとリー・カーター・モデルの比較

昨年の本研究においても、年齢シフトモデルとリー・カーター・モデルの比較を行い、生存数曲線の形状を見ることで矩形化の度合の違いを考察したが、ここでは先に述べた IQR を用いることにより、これをより定量的に観察することとする。

昨年度の比較よりも、両モデルが生命関数に与える影響をより明確にする目的から、両モデルが概ね 90 年の平均寿命を持つ場合に加え、やはり同じ程度の平均寿命を持ちつつ、死亡指数は通常の推計範囲にある値よりもかなり低めの値に設定（平均寿命で概ね 94 年及び 97 年）するという機械的な試算を女性の生命表について 2 通り実行した。まず、この試算に基づき、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