厚生労働科学研究費補助金（政策科学推進研究事業）
分担研究報告書

将来人口推計の手法と仮定に関する総合的研究：出生率の動向と仮定設定

分担研究者　岩澤美帆　国立社会保障・人口問題研究所

研究要旨
過去の実績に基づいて設定される将来推計人口の仮定値と、その後判明する実績値との差は、過去のトレンドに含まれていなかった新たな行動変化の大きさを意味する。こうした行動変化の過程を正しく理解し、見通しを示すことは、今後の仮定設定にとって重要な作業となる。本研究では、前回を含めた過去の公的推計および、他の研究機関が行った人口推計の出生率に関する仮定値をデータベース化し、事後評価を行った。推計方法や推計の時期によって多少異なるものの、概ね1960年生まれ以降の女性の出生仮定値が実績値と大きく乖離しており、この世代の出生行動に、過去にない、新たな兆候が生じたことを意味する。

コーホートの年齢別出生率パターンに一般化対数ガンマ分布モデルを当てはめる方式では、30歳前後まで実績値がある場合、その年齢以降の実績は、ほぼ推定通りに得られているが、得られている実績が25歳に満たない場合、高年齢の出生率は、その後得られた実績値と乖離が見られた。実績値が少ない場合、推定結果は目標コーホートの仮定設定に大きく依存する。推計時点で10代、あるいはまだ生まれていない世代がどのような出生行動をとると想定するかが、将来人口推計の鍵となっている。推計利用の際は、推計時点で30歳以上の世代については不確実性が少ないが、若年世代の行動については不確実性が十分に大きいことを理解することが肝要である。

A．研究目的

過去のトレンドに含まれていないような新たな行動変化は、出生率仮定値と実績値の間にどのような乖離をもたらしてきたのか。出生率仮定値と実績値との詳細な比較によって、行動変化の過程と見通しを明らかにすることを試みた。

B．研究方法

平成14年に公表された将来推計人口は、平成12(2000)年までに得られた実績データに基づいて仮定設定が行われている。その後、平成17年6月までに、4年分の人口動態統計が新たに公表されているので、追加された実績値と平成14年将来推計人口における出生率仮定値を照らし合わせて、仮定値の評価を行った。特に、毎年公表される期間出生率は、偶然変動の影響によって

不規則に変動し、長期的な趨勢を評価するのには必ずしも適していない。そこで、仮定値設定においても基本的な枠組みとなっているコーホート観察に基づいた出生率について仮定値と実績値を比較し、評価をおこなった。また、前回以前の公的推計、他機関による推計の出生率仮定値のデータベースを構築し、実績値との比較を行うことによって、推計主体、使用モデルの違いによる仮定設定への影響を検討した。

C．研究成果

2004年の実績値によって判明した、1955年出生コーホートの完結出生児数は 1.98であった。この世代については、それ以前の世代と比べてそれほど大きく出生児数が落ち込んだわけではなかったことがわかる。2004年時点で50歳に満たない世代については、出生過程途上の年齢累積出生率を算出して、実績と仮定値を比較することができる。2001年以降2004年までのデータが追加されることによって算出される年齢累積出生率は、概ね中位仮定の趨勢と一致していた。

年齢別出生率の仮定値は、コーホート毎に出生順位別出生率の年齢パターンの実績部分に一般化対数ガンマ分布モデルという数理モデルを当てはめて、出生確率や平均出生年齢等を表現するパラメータを推定したのち、そのモデルによって将来値を推定してもとめている。コーホート別に乖離を検証した結果、30歳前後まで実績値がある場合、その年齢以降の実績は、ほぼ推定通りに得られており、一般化対数ガンマ分布モデルが出生率の年齢パターンの推定に適していることがわかる。しかしながら、得られている実績が25歳に満たない場合、高年齢の出生率は、その後得られた実績値と乖離が見られた。

D．考察

仮定値と実績の比較に基づき、過去の推計における中位仮定の想定と実際に生じた行動変化をまとめると以下のようになる。

(1) 昭和61(1986)年推計の中位仮定

昭和61年推計では、20代での初婚率および出生率が、以前の世代に比べて低下していることが確認されたが、結婚意欲や予定子ども数といった意識面では全く変化が見られなかった。そこで、20代における出生率低下は女性の高学歴化等を背景とした晩婚化による出生の先送りとみなされた。その後の世代についても20代における低出生率傾向は続くものの、30代で生み戻すことによって（晩産化)、最終的な出生児数（コーホート合計出生率）は、以前の世代と変わらず2.0前後になると想定された。

(2) 平成4(1992)年推計の中位仮定

平成4年推計では、20代における初婚率の低下が一層進行し、それにともなって、出生率も一段と低下した。初婚年齢の上昇は、最終的なコーホート合計出生率にも影響を与えかねないと判断され（晩婚・晩産による完結出生力低下)、1965年生まれ女性のコーホート合計出生率は 1.80 に下方修正された。しかし結婚後の夫婦については、最新の出生動向基本調査から、従来の世代と同程度の子どもを持っていることが確認された。

(3) 平成9(1997)年推計の中位仮定

平成9年推計では30代における初婚率の低下も確認され、結婚行動の変化に晩婚化だけでなく、非婚化が含まれる可能性が高いと判断された。そこで1980年生まれ女性の生涯未婚率は 13.5%にまで上昇することを見込み、コーホート合計出生率は1.61に下方修正された。さらに90年代の急激な社会経済状況の変化が、結婚して間もない夫婦の出生過程にマイナスの期間効果をもたらしている可能性に着目し、当時生み盛り

である出生コーホートに、その効果を加算した。

(4) 平成 14(2002)年推計の中位仮定

平成 14 年推計では、晩婚化・非婚化に加えて、初婚年齢別にみた既婚女性の出生過程に変化が見られることが確認された。すなわち夫婦の出生力行動の停滞が見られた。一方、婚前妊娠結婚の増加が背景にあると思われる 20 歳前後といった若年齢での出生率が上昇するなど、出生年齢の分散が拡大する傾向が確認された。1985 出生コーホートのコーホート合計出生率は 1.39 に下方修正された。

また、一般化対数ガンマ分布モデルを用いた年齢別出生率については、実績値が少ない世代の不確実性が大きくなることが確かめられた。このように推計時期は同時であっても、女性の世代によって将来値の不確実性の大きさは異なる。しかしながら仮定値を世代別に公表する他機関の推計はあまり多くなく、利用者にとっては情報が十分活用できない。推計を行う上で、仮定値のコーホート特性の情報開示の重要性を広く議論していく必要があるであろう。

また、近年の若年世代の行動変化には夫婦の出生行動のみならず、パートナーシップ形成をめぐる変化が見られる（婚前妊娠結婚や同棲、結婚直後の離婚など）。こうした変化は先行地域である欧米諸国と共通する側面があるものの、日本独自の文化的状況等とも絡んで、見通しが難しい。標本調査データなどを利用して、世代別の動向および関連する要素の特定が急がれる。

E．結論

人口推計はマクロシミュレーションであり、シミュレーションと実績値の違いは、推計時点に想定されなかった現象の効果と見なすことができる。出生率仮定については、様々な世代の合成指標である期間 TFR は、世代別に進行する行動変化を把握するのにはふさわしくない。世代別の出生力指標を様々な角度から分析し、若い世代における仮定値の不確実性を最大限小さくすることが重要である。そのためにも、推計は常に科学的に検証可能なプロセスを経て、実施されることが望ましい。

（政策的含意）

公的人口推計は年金を始め、様々な公的制度設計のもととなっている。昨今、推計に対する社会的関心が高まり、推計の評価は、推計直後の TFR 実績値と出生率仮定値との差のみから議論されることが多い。しかし、具体的な乖離がどの世代において生じているのかによって、中・長期的な趨勢の評価は変わってくるとともに、そこには出生行動変化のプロセスを理解する情報が内包されている。世代別、年齢別、出生順位別といった、より詳細な指標に基づく丁寧な検証が必要不可欠である。

F．研究発表

1．論文発表

なし

2．学会発表

Miho Iwasawa,James M. Raymo,and Larry Bumpass, "Unmarried Cohabitation in Japan: How Cohabitation is related to the Fertility?" Paper presented at the International Union for the Scientific Study of Population XXV International Population Conference, Tours, France　(2005.7.18-23) .

Miho Iwasawa, "On the Contribution of the Changes in First Marriage Behaviour and

Married Women's Reproductive Behaviour to the Recent Decline in TFR of Japan" Paper presented at Joint Eurostat-UNECE Work Session on Demographic Projections, Vienna, Austria (2005. 9. 21-23)

G．知的所有件の取得状況

なし

Ⅱ. 個別研究報告（人口推計手法の枠組み）

1　将来人口推計の方法について－I

金子 隆一
三田 房美

1．はじめに

少子高齢化が進み人口減少が始まったわが国において、社会経済施策立案における将来推計人口の重要性の高まりはかつてないものである。たとえば、世代間の支えあいを基礎とする現代の社会保障制度にとって、人口高齢化がもたらす日本人口の年齢構造転換は、その基盤や理念自体を揺るがす事態となるだろう。このような日本社会の将来的課題の検討に要する定量的な情報提供は、将来推計人口によってもたらされてきた。ところが、一方では、世界的にも「第二の人口転換」とも呼ばれる歴史的で前例のない少子化、長寿化が進行しており、こうしたライフコース変化のうねりは今後の人口動態の見通しをきわめて困難なものとしている。さらには国際化にともなう人の動き（国際人口移動）も、変動の振幅を広げており、現状を前提とする見通しの妥当性は薄らいだ。したがって、従来から試みられている各種指標の趨勢を延長するタイプの将来人口推計 population projection は、いずれの国においてもその現実との剥離が課題となってきている。これらの手法は、過去から現在に至るシステムの継続を前提としており、昨今のシステム自体の急速な変容を前にして、その有効性の範囲について再検討が必要である。こうした中で、先端的な推計研究においては新たなパラダイムやアプローチへの挑戦が開始されている。

本研究では、将来人口推計の基本的な捉え方の検討、推計手法および仮定設定の両面からの推計システムについてのレビューを通して、科学的な事業としての将来人口推計が、現下の社会的要請に応えるための方策を再検討することとしている。本稿ではその中間報告として、基礎的な概念、手法、ならびに課題等について検討を行った結果をまとめた。

2．将来人口推計の現状と課題

(1) 将来人口推計とは

将来人口推計 population projection とは、一言でいえば、将来の人口規模と構造の変化に関する計量的情報を提供するシミュレーションの一種と考えられる[1]。将来人口推計は、一般に施策計画やマーケッティング計画の立案、評価に際して、人口規模および人口構造に関する基準を与える目的で行われる。たとえば、一国の将来の社会保障（年金制度、医

[1] 将来人口推計 population projection は、人口過程要素（出生、死亡、移動など）に関する一定の仮定の帰結としての人口推移を提供する。一方、人口予測 population forecast は、無条件に将来の人口がどうなるかについて述べるものである（Keytitz 1972)。これらの区別の必要性については、(3)節において検討する。

療制度、世代間の公平性)、経済(労働力供給、市場規模縮小・構造の変化、国際競争力の低下)、技術革新、ならびに文化の維持などは、その時期の人口規模、年齢構造に大いに依存している。とりわけ人口増加から減少への歴史的転換と、急速な人口高齢化が見込まれるわが国の場合には、それら人口変動の社会経済への影響は比類のないものであり、将来推計人口は、制度改革等に際して必要不可欠な基礎資料を与えるものである。その際には、将来推計人口の策定についてのみならず、その利用においても後述するような一定の基礎的知識と技術が必要となる。

上述のように、将来人口推計は社会経済の将来計画と密接な関係があることから、各国とも中央政府等の計画に責任を持つ機関によって行われることが一般的である。また、世界人口あるいは国際地域の人口の将来推計は国連、世界銀行などいくつかの代表的な国際機関によって行われている。わが国おいては、国立社会保障・人口問題研究所が、国勢調査の期日に合わせてほぼ5年ごとに公的な将来推計人口を策定し、公表している。これには全国人口将来推計の他、都道府県別人口、市区町村別人口、世帯数の推計が含まれている。

(2) 将来人口推計手法の歴史の概観(黎明期から第2次大戦後まで)

将来人口推計は、17 世紀の政治算術家により行われるようになったとされる[2]。それらは総人口に対して数学関数を当てはめるものであり、そうした方法は 20 世紀の第二次大戦以前まで続けられた。たとえば、19 世紀初頭、マルサス Thomas Robert Malthus は、有名な『人口論』(1798-1826 年)の中で、抑制のない人口の例として当時殖民地だったアメリカの人口に対して幾何数列(等比数列)のモデルを当てはめ、それが約 25 年で倍増すると推計している。また、20 世紀始めにはロジスティック関数を再発見したパール Raymond Pearl とリード Lowell Reed は[3]、これを合衆国の人口に適用して人口推計を行っている(Pearl and Reed 1920)。しかし、この頃から人口学者は次第に人口変動の結果としてばかりではなく、その要因としての年齢構造の重要性に目を向け始めた(Arthur Bowley)。Sharpe と Lotka は、この時期に早くも年齢構造を持つ人口の再生産過程を定式化し、人口理論の金字塔となる安定人口理論(後述－2(2))を打ち立てた。

一方、推計手法としてのコーホート要因法を最初に用いたのは、英国の経済学者 Edwin Cannan(1895)とされる。その後、ソビエト連邦では Tarasov(1922)、オランダでは Wiebols(1925)、スウェーデンでは経済学者 Sven Wichsell(1926)、イタリア Gini(1926)、ドイツ Reichsamt(1926)による将来人口推計への応用が見られる。しかし、本格的に実用されたのは、1930 年代に入って Whelpton (Pascal K.)によってであった。彼は 1928 年か

---

[2] Thomas Browne(1605-82), James Harrington(1611-77), John Graunt (1620-1674), William Petty(1623–87), Sébastien le Prestre de Vauban(1633 - 1707)らによって行われている(Watterlar 2006)。

[3] 人口のロジスティックモデルは、P. F. Verhulst によって 19 世紀始め(1838 年)に定式化されたものである。

ら始めた一連の将来人口推計によって、コーホート要因法を中心に現在の多くの手法を定着させた人口学者である（Whelpton 1928, 1932, Thompson and Whelpton 1933, Whelpton 1936, 1938）。1940 年代になるとコーホート要因法は P.H. Leslie によって行列を用いた数学的な定式化が施された。当時最も権威ある人口学者であった Frank Notestein (1945)もコーホート要因法を用いた世界人口の将来推計を行った。また、Alfred Sauvy もこの方法による将来推計によって当時フランスが直面していた人口減少の懸念について定量的に評価を行っている（Sauvy 1932, 1937）[4]。このように新しいアプローチが急速に広まった背景には、当時のヨーロッパにおいて、出生率低下をはじめとする動態率の変動によって人口が大きな変動を見せはじめていたことが挙げられる。増加あるいは減少に向けて一定方向にしか進展しないロジスティック・モデルなどの数式モデルによる推計は現実性のないものと理解されはじめた[5]。

第二次大戦とその後の社会経済変動は、各国の人口過程にも大きな影響を与え、不況と戦争による出生減、戦後のベビーブームなどの現象に代表されるダイナミックな人口変動が生じ、将来人口推計は最初の試練の時期を迎えた。それまでに多くの人口統計学者によって支持を得たコーホート要因法であったが、その本格的な船出は苦難に満ちたものであった。コーホート要因法を発展させ人口学に多大な貢献をなした Whelpton は、一方で人口推計の最初の受難者であったと言えるだろう。彼は米国の出生率の推計に際して、ようやく得られるようになった人種別、地域別出生率や、1800 年以降のセンサスから婦人子ども比を算出するなどして、当時得られるかぎりのデータを詳細に分析し、またヨーロッパ、オセアニア等の国々（日本も含まれていた）の時系列データを比較した。それら普遍的歴史的動向の確認に加え、都市化、女性の労働参加の広まり、家族計画の考えと技術の普及などを勘案した結果、米国における出生率は堅実な低下傾向を示すものとして、1947 年に行った将来推計人口において、合計特殊出生率は、たとえば 1960 年に 2.06 になるとした(Whelpton et al. 1947)。しかし、実際はその後の空前のベビーブームによって出生率は 1960 年には 3.53 を記録することとなった。複数のシナリオによって不確実性に対処するという優れた方式を採用したのもこの推計が初めてであったが、皮肉なことに出生高位の推計でも 1945-49 年の出生数は 18%過小であり、1950-54 年では 27%過小という結果となった[6]。この事例は将来人口推計が当初から科学的な周到さと”予測”の実現（当たる、はずれる）とは別物であるという試練にさらされていたことを示す（正確には、周到さが功を奏する部分と役に立たない部分が混在していると言うべきである）。すでに人口の政策的重要性が認識され、各種の施策立案に応用されはじめていた将来人口推計は、その社会的責任

---

[4] 19 世紀終わりから第 2 次対戦までの将来人口推計の歴史については、DeGans(1999)が詳しい。

[5] たとえばフィンランドの人口推計を行った Modeen 1934 の批判について、Alho (2005, p228)が記述している。

[6] Whelpton の最初に行った推計（1927 年）では、30 年代の不況による出生低下を見込まなかったため、1940 年人口は 4.6%過大な推計となっている(Whelpton 1928)。

の重圧と現実の不規則な人口変動の両方から困難な立場に立たされることとなった。専門家の間では、この時期に既に方法論に対する批判やその性格や役割についての多くの議論が費やされている。一方で、各国の公的機関や国際機関による定期的な将来推計人口の策定・公表が定着した。国連 1951 年、INED1953 年(Bourgeois-Pichat 1953)、OEEC(現在の OECD) 1956 年、世界銀行 1978 年にそれぞれ定期的な公表を始めた。これらによりコーホート要因法はしだいに標準化されることになる（その後の公的推計技術の歩みとその評価については、次年度の課題とする)。

(3) 将来人口推計の役割

将来推計人口の役割とは何であろうか。もし将来推計人口が予測と呼ばれるものであるなら、われわれはこれを用いて、その予測が実現し、社会経済に対して悪影響が及ぶ以前に、これに対して様々な準備を行い、そうした影響が実現しないように努力することが可能となる。おそらくこれが、一般社会において将来推計人口に期待される第 1 の役割であろう。しかし、場合によっては、そうした望ましくない人口変動を事前に是正することで、予測が実現しないようにする事も可能なはずである。この場合、人口変動の予測は実現しないが、これは予測を失敗し、期待した役割を果たせなかったということであろうか?

実は「予測」にはいくつかの種類が考えられる。たとえば、コーエン J. Cohen は、無条件予測と条件付予測とを分けている。無条件予測とは、たとえば（彼自身の例によれば)「私はこれから金槌で親指をたたくので痛いだろう」という予測である。この場合、親指がたたかれることが予測されており、その結果として痛みが生ずる。したがって、この予測の受け手は覚悟が必要となる。一方、条件付予測とは、たとえば「もし私の親指を金槌でたたけば痛いだろう」というもので、実際にたたく保証はない。これは打撃と痛みとの直接的な関係性を予測しているに過ぎないが、万一前提が満たされれば確実な帰結が待っている。この分類に従うと、現在の世界で行われている将来人口推計は、将来の出生率、死亡率、および移動率の推移を条件（仮定）とする条件付予測に当たる。すなわち、それら仮定に対する確実な帰結としての人口変動を予測している。この条件付予測のことをわれわれは「推計（または投影) projection」という言葉で表現している。しかし、一般ユーザの間においては、推計は上述のように無条件予測と理解されることが多い。すなわち、実現すべき人口の将来像として期待されるのである。この期待に対して、将来人口推計は無力であろうか。コーエンは、条件付予測は微力なようだが、実際には非常に強力な道具であると述べている。

人口推計 projection の条件付予測としての本来の役割は、人口動態事象（出生、死亡、移動）の現状、あるいは現状から想定される推移の意味するものを、実際に将来の人口の姿に翻訳（または投影）して示すことである。すなわち、合計特殊出生率 1.29、平均寿命、男 78.6 年、女 85.6 年とは、どれほどの高齢化人口を意味するか、といったことについては、われわれ人間はそれを実際の人口の姿に変換してみなければ理解できない。本来の推計の

役割は、まさにこの投影の機能にあり、われわれはそこから多くの有用な情報を得るのである。これがコーエンの言う強力な道具ということの意味である。ただし、いかに強力であっても、現状から想定した将来の人口動態事象発生が正確な「予測」でないかぎり、推計が無条件予測となることはない。したがって、当然この条件付予測を、無条件予測として提示することは許されない。とすれば、提示者はそのような理解をしようとするユーザに対して、これを正す説明責任を有するであろう[7]。

一方で、将来人口推計（とりわけ公的人口推計と呼ばれるもの）において、一般におけるこの無条件予測としての期待を単に一蹴することは正当なことだろうか。これは科学一般における社会的責務とその限界との関係の典型的な問題である。上述のように、将来人口推計においては、仮定値自体が予測と呼べるなら、その人口推計全体は予測になり得る。ただし、現状では将来の動態率の科学的予測が原理的に可能なことなのかどうかすら明らかではなく（社会科学における予測全般について同じことが言える）、これを予測、あるいは予測を意図した計算値とすら呼ぶべき状況ではないと思われる。仮定値の予測は突き詰めれば社会経済全般の予測そのものであり（後述－2(1)）、これは人口統計学の分野を大きく超えた社会科学と生物医学の領域全般に及ぶ課題である。しかし、仮定値の算出方法について現状における科学的妥当性を求め、推計を「科学的予測」に近づけるための努力の余地は存在する。この努力によって、将来人口推計の役割を「推計（投影）」から「予測」に至る中間のどこか、ただし原理的な科学的限界の内側のどこか、に置くことが、一般から科せられた社会的責務を果たすことと考えられるだろう。

(4) 将来人口推計の課題

本項目については、詳細は次年度の報告とし、ここでは環境的項目に限った概略を示す。将来人口推計をとりまく環境の問題として、まずデータの問題がある。公的統計として、国勢調査、人口動態統計など全数調査、ならびに各種定例の全国標本調査等、体系的な人口統計データの蓄積が進んでおり、また新たにパネル型調査（21 世紀縦断調査）が実施されるなど、情報源とその内容は豊富になりつつある。それらの利用形態についても改善の努力がなされている。人口推計に限らず、こうした地道なデータの蓄積が社会科学発展の最大の原動力である。一方で個人情報、プライバシーに関する意識の高まりなどにともなって調査環境の悪化が見られ、国勢調査、標本調査等においては、今後データの質に影響してゆくことが大いに懸念される[8]。次に将来人口推計に関する国際協力については、欧州や近隣の共通の課題に直面する国々の担当者間、あるいは研究者間での連携が進んでいる。それは国内のデータ蓄積と同様、有効なデータや情報、あるいは経験を共有することであ

---

[7] 推計された人口変動を確率的に表現するなど、その不確実性を明示することは、ユーザの推計に対する正しい理解に役立つだろう。ただし、現在不確実性の実体に何を選ぶかは多種多様であり、この確率が何を意味するかをめぐり新たな誤解を生む可能性は高い。

[8] 欧州では、そうした理由から国勢調査を廃止した例が見られる（オランダ 81 年、ドイツ 83 年）。

り、とりわけ今日のような困難な時期において重要性が増している。本研究においても、諸外国における将来推計人口に関する情報収集に努めるとともに、担当者および一線の研究者との直接の連携に努めている。国内における社会環境については、公的推計に関して上述のような説明責任の遂行が求められるが、これにはメディアの果たす役割が大きい。メディアは各国とも公的推計に対して批判的である。推計の社会的責務を考えれば、結果について批判的に取り上げることには意味があるが、誤解や不案内にもとづく議論はもとより有益ではない。将来推計人口については、メディアも一般に対して適切な知識と評価をもたらすことに関してメーカと同様の説明責任を分担しているといえる。

3．将来人口推計の手法とモデル

(1) 将来人口推計手法の基本的成り立ちの整理

当然のことであるが、将来人口推計の基礎となる部分は、人口変動過程の理解から形成される。ここでは人口変動過程の記述との関連から話を始めよう。人口は人口静態と人口動態事象という二つの側面から成る。すなわち、一時点における人口の規模と構造（属性別構成）を人口静態と呼び、一方で時間の経過の中で人口静態に変化を引き起こす「できごと(event)」を人口動態事象と呼ぶ。直接に人口変動を引き起こす人口動態事象とは具体的には出生、死亡および人口移動の３事象である。人口静態と人口動態事象の関係は、次の人口学的方程式(demographic balancing equation)によって示される。

$$P_1 - P_0 = B_{0,1} - D_{0,1} + (I_{0,1} - E_{0,1})$$

ここで P_0，P_1 は時点 0 および 1 における人口規模であり、$B_{0,1}, D_{0,1}, I_{0,1}, E_{0,1}$ はそれぞれ２時点間に生じた出生数、死亡数、転入数、転出数を表す。この式は、左辺の人口静態（人口規模）の変化を右辺の人口動態に結びつける役割を持つ（各変数を人口構造を表すベクトルとすれば、この式は人口構造変動を表す)。この式からわかるとおり、基点となる時点の人口と、目的とする期間内の人口動態事象数が決まれば次期の人口は決まる。これが将来人口推計の手法においても基礎となる過程である（この式をコーホートに適用したものがコーホート要因法となる)。すなわち、将来における人口動態事象、すなわち出生、死亡、移動の発生数がわかれば、人口（人口構造）は機械的に決まるのであり、将来人口推計とはこの発生数を推計することに他ならない。しかし、将来の人口動態事象の発生数を正確に知り得ることは、将来の社会経済の全貌を知り得ることに近い。

このように見ると、将来人口推計手法の開発・改良という観点からは３つの部分に分けて考えることができる。すなわち、(1)すでに技術的に確定した（機械的な）部分、(2)今後、開発・改良の余地を残す技術的部分、さらには(3)将来の社会経済やライフコースを見通すための技術（主として実体人口学と呼ばれる領域に属する)、に分けて考えることができる。

推計手法に関して現在の研究において行うべきことは、(2)と(3)についてである。(2)は、より具体的には各人口動態事象の発生モデルに関する部分である。基本構造（男女・年齢別構造）の推計に際して、現在では（女性の）年齢別出生率、男女・年齢別死亡率、男女・年齢別(純)移動率の数理モデルを用いることが一般的である。また、(3)について考えると、それは人口変数と社会経済変化との関係やそのダイナミズムについて知ることであり、それはたとえば人口転換や少子化がなぜ起きたのかを知り、それを事前に予測できるような能力を持つことに他ならない。(2)と(3)について、個別にもう少し詳しく考察してみよう。

(2)について、われわれが行うべきことは、動態事象の年齢別発生において、時間的に（年次的またはコーホート的に）安定な側面（保存量）と変化する側面（変化量）とをできるだけ純粋な形で峻別できるモデルを保有することが目標である。保存量とは、主として生物学的な背景から生ずる特性であり、たとえば、人類が共通して有する年齢別の死亡に抗する活力 vitality や、年齢別の潜在的妊孕力 fecundity などが挙げられる。これらは集団（たとえば国や地域）としてその平均的傾向を見る限り、どの集団でもほぼ同一であることが期待できる。一方で、変化量は集団や時代によって多様に変わりうる特性値のことであり、さらに2タイプに分けて考えることができる。一定のトレンドを持つ特性と、不規則に変動する特性である。前者は時間との関係が安定した特性と言い換えられ、将来推計においては、全体の時間的変化をつかさどる主役となる変量である。後者の不規則変動する変量は、周期性や他に連動する予測可能な要因がないかぎり、予測を諦めなければならない部分である。もっとも、これは推計の不確実性の実体であり、確率推計においては研究対象そのものである。以上、これらの保存量、2種の変化量はモデルにおいてそれぞれ個別のパラメターとして定式化されることが望ましい。例を用いてこのことの説明を行いたい。
死亡率に関しては、これらの特性の峻別がほぼ理想的に行われたモデルがあるので取り上げてみよう。Lee-Carter モデルがその典型である。たとえば 100 歳の各歳別年齢別死亡率の 50 年分のデータがあるとする。このデータセットはそのままなら 100×50=5,000 の自由度を持つ[9]。死亡の起こり方には高度の規則性がある。Lee-Carter モデルのような死亡モデルはこうした規則性を効果的に用いて、データの自由度を劇的に縮約したものと言える。Lee-Carter モデルの基本モデル式は以下のようなものである。

$$Y_{x,t} = a_x + b_x k_t + \varepsilon_{x,t}$$

ここで$Y_{x,t}$は年齢 x 年次 t の対数死亡率、a_xは死亡の平均年齢パターン、b_xは死亡率変化の標準年齢パターン、そして、k_tはその係数であり、年次による死亡レベルを表すパラメターと解釈される。また、$\varepsilon_{x,t}$はモデルにおける誤差を示す。ここで、a_xは時間的に不変な死亡年齢パターンであり、この集団で（おそらく人類全体で共通な）特性と想定される。また、このモデルでは死亡変化の年齢パターンb_xも不変量と考えられる。一方、変化量は、k_tと$\varepsilon_{x,t}$である。前者がトレンドを持つ特性であり、わずか1個のパラメターで表される。しかも

[9] これらデータ内に（あるいは外生的に）何らかの規則性を見いだし、これを適用することで記述の自由度を縮約することがすなわちモデル化と呼ばれる操作である。

Lee-Carter モデルの一般的枠組みに従えば、その年次推移は直線によって近似できるとする。$\varepsilon_{x,t}$ が残された不規則変動を示す変化量であるが、モデルでは0を平均とする正規分布が想定されるため、死亡率の平均的推移からは消える。ただし、$\varepsilon_{x,t}$ はその平均的推移の不確実性を表現する際に情報源となる。このように Lee-Carter モデルでは、上記に示した不変量と2種の変化量の峻別が見事に実現されている。出生率においても、移動率においても同様の考え方のモデルが求められるが、現象に内在する規則性は死亡ほどは強くないため、これに応じて不規則変動の特性の占める部分（分散）が大きくなる。この場合には、実用的な結果を得るためにはシナリオの適用など別の（主観を要する）パラダイムの援用が必要となる。

さて、元の議論にもどって、将来人口推計において、(3)将来の人々のライフコースを見通すために、われわれが行うべきことは何であろうか。それは上述したように、たとえば人口転換や少子化がなぜ起きたのかを知り、それを事前に予測できるような能力を持つことであるが、これについて行うべきことは、人口推計に現れる人口変数と社会経済変動、あるいは時代変化との関係を定式化することである。ただし、このとき、われわれは社会経済変動を記述するすべての指標と（あるいは最小限の指標とであっても）、その人口変数との個別の関係付けが終わるのを待つことはできないし、また仮にそれが終わったとしても、人口変数の将来を知るためには、それらすべての社会経済変動の指標の将来を知らなくてはならないことを理解しておく必要がある。このアプローチを将来推計に用いるとすれば、それはすなわち社会経済変数と人口変数のすべてを内生化して、それらの相互作用によって自律的に変化するシステムモデルを構築することである。これに挑戦している分野（計量経済分野における構造方程式システムやエージェント型シミュレーションモデルなど）は存在し、これらに研究努力を傾けることは必要であるが、現在においてはいずれも実用的予測の域に入るものはない。したがって、現在、将来人口推計を行う者にとって、この領域での最善の策は、おそらく人口変数と時代変化（あるいは世代変化）との関係性を理解に努力を傾けることであろう。たとえば、人口転換理論（あるいは第 2 の人口転換の理論）の構築の試みは、そうした努力の例と言えよう。本研究プロジェクトにおいても、そこで行う人口動態事象の動向分析の究極の目的は、過去から現在までの人口変動（出生率低下、寿命伸長、人口の国際化）において、時代（または世代）変化との関係の理論化につながる法則性を見出すことである。

以上のように、将来人口推計の科学的手法開発は、突き詰めると人口動態事象の法則性の適切な定式化と変化量の時間的特性、時代変化との関係性の把握に集約される。また、現在未知の法則性を補うための expert opinion 法などの主観的要素を含む手法の援用について検討をする事も重要な課題である。

(2) 構造化人口動態モデルについて

人口動態事象の発生を人口規模と構造に翻訳するのは人口学的方程式の役割である。し

かし、ひと組の動態事象発生率（死亡率、出生率、移動率）は、一意的に人口構造（年齢構成）を決める潜在的特性を持っており（安定人口理論）、その数理的成り立ちについて理解することは、将来人口推計モデルの開発においても一定の指針を与えるものである。ここではこれを扱う人口統計学上のモデルである構造化人口動態モデルについて検討しておく。

人口変動に関わる要因はきわめて多様であるが、上述のようにその基本構造を決定しているのは３つの人口動態事象、出生、死亡、移動のみである。社会経済要因などその他の要因は、これらを３要因を介して間接的に人口に作用しているに過ぎない。これらの動態事象が人口構造を形成するメカニズム、すなわち動態事象発生の年齢構造（すなわちライフコーススケジュール）と人口静態（すなわち人口規模・年齢構造)との関係を記述したモデルは、構造化人口動態モデル structured population dynamics model と呼ばれ、人口統計モデルの中で重要な地位を占めている。具体的には、静止人口モデル stationary population model、安定人口モデル stable population model、さらにそれらを拡張したモデル、すなわち多相生命表 multi-state life table、多地域安定人口モデル multi-regional stable population model、一般化安定人口モデル generalized stable population model などがある。これらはいずれもグループ別（とくに年齢別）にみた動態事象の発生率と人口構造・人口変動との数量的関係を定式化したものである。

静止人口モデルは、動態事象のうち死亡の年齢構造のみの効果に注目したモデルであり、構造化人口動態モデルの中で出発点にあたるものである。それは人口が一定の死亡スケジュールを保った場合に、どのような年齢構造を形成するのかを導出するもので、人口移動はなく（すなわち閉鎖人口）、出生スケジュールの影響を排除するため毎年の出生数を一定と仮定する。この仮定により定常後の人口規模も一定となるから、静止人口モデルと呼ばれているのである。そしてこの静止人口モデルは、実は生命表モデルを別の視点から眺めたものであり、数理的にはまったく同一のものとなっている。この点を説明しよう。静止人口モデルにおいて、すべてのコーホートの出生数は仮定により一定（B とする）であり、コーホート共通の死亡スケジュールを生命表の生存数 l_x で表すことにすると、年齢 x 歳ちょうどに到達している人口は $B(l_x/l_0)$ となる。これがこの人口の年齢構造を与えている。生命表の基数 l_0 は任意であったから $l_0=B$（一定）とすれば、この人口の年齢構造は l_x 自身となる。すなわち、生命表は１コーホートの生涯にわたる生存－死亡過程を記述したモデルであると共に、毎年一定の出生(l_0)があり、一定の死亡スケジュール(l_x/l_0)が与えられて平衡状態に達した人口の人口静態（時間を止めた人口構造の姿）を表すモデルでもある（このため生命表は、静止人口表と呼ばれることがある）。これは言い換えれば、一定の死亡スケジュールがこれに対応した人口構造を一意的に持つと言うことでもある。

次に安定人口モデルを考える。静止人口モデルは、閉鎖人口で一定の死亡スケジュールが帰結する人口構造を与えるモデルであった。それでは、出生についても一定のスケジュール（年齢別出生率）を与えたらどうなるであろうか。実は、この場合にも与えられた出

生と死亡の年齢スケジュールの組み合わせによって一定の年齢構造が一意的に帰結することがわかっている。ただし、この場合は人口規模は静止せず、一定の増加率で（したがって指数関数的に）増加（または減少）する。このモデルを安定人口モデルという[10]。

平衡状態における人口増加率（安定人口増加率）r は、積分方程式、

$$1=\int_0^\infty e^{-rx} l_x f_x dx \tag{5-1}$$

の解として与えられる。ただし、l_x は与えられた生命表における女子の生存関数(ここでは記述を簡単にするため $l_0=1$ とする。以下同様)、f_x は女子の年齢別出生率関数である[11]。この r は、内的自然増加率 intrinsic rate of natural increase と呼ばれ、所与の死亡 l_x と出生 f_x の組み合わせが持つ潜在的人口成長力を表すとともに、他の属性を表す際の特性値として働く。すなわち、普通出生率（安定人口出生率）b、年齢構造係数 c_x は、r を用いて、

$$b=\frac{1}{\int_0^\infty e^{-rx} l_x dx} \tag{5-2}$$

$$c_x = b e^{-rx} l_x \tag{5-3}$$

と表される。また、普通死亡率（安定人口死亡率）d は、$d=r-b$ で与えられる。

このように、安定人口は死亡と出生の年齢スケジュールの組（l_x, f_x）を与えることによって理論的に形成される人口であり、それら動態事象の年齢スケジュールの特性を人口の形態に投影したものである。なお、静止人口モデルは人口増加率がゼロ（$r=0$）であるような、安定人口モデルの特殊なケースに相当する。

ところで人口再生産率は一定の死亡・出生スケジュールの下に世代間の量的関係を示した指標であった。これは安定人口モデルと同一の前提であり、人口再生産率と安定人口増加率とは同じ人口増加傾向をそれぞれ世代、年次の視点から表したものである。定義から総再生産率 $GRR=\int_\alpha^\beta f_x dx$ は明らかである。一方、安定人口における平均世代間隔 T は純再生産率 $NRR=e^{rT}$ によって定義するのが自然である。T については安定人口の特性 l_x、f_x、r による閉じた形式での表現は知られていないが、平均出生年齢を用いた近似が提案されている（Coale, 1972）[12]。この近似を用いて、Preston et al.(2001)は合計特殊出生率 TFR の変化と安定人口増加率 r の変化との関係 $\Delta r \square (\Delta \ln TFR)/T$ を導いている。これは TFR の水準が

---

10 年齢構造の収束の人口統計学的説明については、Arthur(1981, 1982), Bourgeois-Pichat(1966), Coale(1968), Cohen(1979)などを参照。

11 安定人口モデルは単性のみ扱う。通常は女子を対象とする。

12 安定人口における平均出生年齢 $\overline{x}_s=\int_\alpha^\beta x c_x f_x dx \Big/ \int_\alpha^\beta c_x f_x dx$、および各コーホートの平均出生年齢 $\overline{x}_c=\int_\alpha^\beta x l_x f_x dx \Big/ \int_\alpha^\beta l_x f_x dx$ を用いて、$T \square (\overline{x}_s+\overline{x}_c)/2$ によって近似される。

低いほどその変化がrに大きな変化をもたらすことを意味しており、少子化が続くわが国にとっては重要な示唆を与える。すなわち、すでに低い水準からのTFRのさらなる低下は、rの大きな低下を通じて人口減少、人口高齢化(式5-3参照)に対する影響がより大きいことを示している。

安定人口は死亡・出生が持つ潜在的な人口構造のモデルであるが、現実の人口でもそれらスケジュールが長期に渡って一定している場合には、安定人口に近い状態となる。この場合は、上記の定式化をもとに人口動態と人口静態を相互に推定する各種の方法が適用できる。たとえば、センサスで得られる人口の年齢分布から出生率、死亡率を推定することができるので、統計システムの完備していない途上地域においては安定人口モデルは実用統計上重要な役割を果たしている。

次に将来推計により重要な示唆をもたらす、安定人口モデルの拡張について見ておく。人口における死亡スケジュールと年齢構造との関係について、McKendrick(1926), ならびにvon Foerster(1959)は独立に以下の偏微分方程式を提案した。

$$\frac{\partial P(t,x)}{\partial t}+\frac{\partial P(t,x)}{\partial x}=-\mu(t,x)P(t,x)$$

ここに、$P(t,a)$、$\mu(t,a)$、はそれぞれ時刻t、年齢xにおける人口密度と、死力（死亡ハザード）によって表された死亡スケジュールである（McKendrick-von Foersterの方程式）。すなわち、ここでは人口、死亡スケジュールともに時間と年齢の関数と見なしている。これに対して、出生スケジュール（年齢別出生率）$f(t,x)$を与えれば、

$$P(t,0)=\int_0^\infty f(t,x)P(t,x)dx$$

であり、0歳の人口密度（出生数）が決まる。これを上記方程式の境界条件とすれば、死亡、出生スケジュールが可変（tの関数）であっても、人口構造が完全に記述されることになる。実は、これらスケジュールを時間的に固定した特殊ケースが安定人口モデルである。逆にPreston and Coale(1982)は、この一般人口のモデルを安定人口モデルの一般化として提案した(generalized stable population model)[13]。

すなわち、時間tについて可変な死亡・出生スケジュールをそれぞれ$l_p(t,x), f(t,x)$とし、

時間の関数としての人口増加率、出生率、年齢構造係数をそれぞれ$r(t,x)$, $b(t)$, $c(t,x)$と表すと、安定人口モデルにおける基本方程式(5-1)～(5-3)に対応して、

$$1=\int_0^\infty e^{-\int_0^x r(t,a)da}l_p(t,x)f(t,x)dx \qquad (5\text{-}4)$$

[13] 正しくは「一般人口モデル」と呼ぶべきであろう。数理人口学の分野では、年齢以外の属性をも考慮したモデルの総称として構造化人口動態モデルstructured population dynamics modelと呼んでいる。

$$b(t) = \frac{1}{\int_0^\infty e^{-\int_0^x r(t,a)da} l_p(t,x)dx} \tag{5-5}$$

$$c(t,x) = b(t)e^{-\int_0^x r(t,a)da} l_p(t,x) \tag{5-6}$$

が成り立つ。なお、$l_p(t,x)$は期間観察に基づく生存関数であり[14]、

$$l_p(t,x) = e^{-\int_0^x \mu(t,a)da}$$

である。

これらにより出生・死亡スケジュールが時間的に変動する一般の人口について、人口動態率と人口静態との数理的関係が安定人口モデルを踏襲した形で定式化されたことになる。安定人口モデルのこの理論的な拡張において重要なのは、年齢別人口増加率$r(t,x)$という新たな概念が導入されたことである[15]。人口構造を表す式(5-6)からわかるとおり、任意の時刻t、年齢xにおける人口（密度）$P(t,x)$は、その時刻の年齢別人口増加率（人口増加の年齢スケジュール）と出生数（密度）・死亡スケジュールを用いて、

$$P(t,x) = B(t)e^{-\int_0^x r(t,a)da} l_p(t,x)$$

と表せる。ある年次の年齢別人口が、過去の出生、死亡の経過を知ることなく、当該年次の動態率の観察のみから形成できるということは、画期的なことであった。さらにはこれにより、各年齢において転出入も含めることができるから、閉鎖人口ですらある必要はなくなったのである。この一般化によって構造化人口動態モデルを応用した新たな統計手法が多数考案されつつある（Preston et al., 2001）。安定人口モデルという数理モデルが将来人口推計の実用モデルへと大きく近づいたものと言える。

この他の構造化人口動態モデルでは、多相生命表 multi-state life table、多地域安定人口モデル multi-regional stable population model、などによって多次元化への拡張が行われている。これらは、たとえば配偶関係別人口をはじめとする属性別人口の将来推計や、地域別人口推計に対して数理モデルとしての基礎を与えるものとなるだろう。

---

14 時刻 t における期間生命表（仮設コーホートの生命表）から得られる生存関数のことで、コーホート生命表によるものと区別する。ちなみに安定人口モデルのように死亡が定常ならば、これらは同一である。

15 $r(t,x) = \frac{1}{P(t,x)}\frac{\partial P(t,x)}{\partial t}$であり、さらに$\nu(t,x) = -\frac{1}{P(t,x)}\frac{\partial P(t,x)}{\partial x}$とおくと、McKendrick-Von Foerster の方程式は、$r(t,x) = \nu(t,x) - \mu(t,x)$と表される（Arthur and Vaupel, 1984）。これは、自然増加＝出生－死亡、の形式を反映していて興味深い。

(3) 人口動態事象モデルについて

上述のように人口変動は人口動態事象発生の直接の帰結であり、その発生の仕方が人口の動向を決めている。とりわけ事象発生のライフスケジュールは、人口の基本構造（性・年齢構造）を形成するものであるから、将来人口推計のような人口過程の再現においては、これらをモデル化することが必須となる。しかし、その際これまでみてきた人口動態メカニズムのモデル化と本質的に異なるのは、動態事象の発生メカニズムは論理的な定式化に加えて、経験的な法則を求める必要があるということである。たとえば、死亡のライフスケジュールを考えれば、それは各ライフステージにおける生存力が反映されたものであり、これはたとえばLee-Carterモデルにおいては、年齢別対数死亡率の平均パターン(a_x)および死亡変化の標準パターン(b_x)に相当するが、それらは生物学的、または社会経済的発展の各年齢の死亡に及ぼす影響の様式に依存するものであり、そこで見られる法則性はすぐれて経験科学的法則である。したがって、それは現実のデータ収集とその分析によってのみ得られるものである。

人口動態統計のライフスケジュールを記述するモデルは、その表現形式の違いから三種に分類することができる。すなわち、1) 数理(数式)モデル mathematical models、2) 経験(数表)モデル empirical models、3) リレーショナルモデル relational models である。それらは統計モデルとしての観点からはそれぞれパラメトリックモデル、ノンパラメトリックモデル、セミパラメトリックモデルに相当する。1) 数理(数式)モデルはライフスケジュールを数式のみによって表現するものであり、それに含まれるパラメターの値によって、特定の集団の経験を記述する。2) 経験(数表)モデルは、多くの経験から集約した共通パターンを標準化して数値表として表現したものである。任意の集団の経験に対しては、あてはまるものを選んで適用する。3) リレーショナルモデルは、それらの中間的な形式であり、数値表で表現された標準パターンを、数理的変換により任意の集団の経験に当てはめるものである。

これらはやはり死亡分野のモデルにおいて典型的なモデルが存在し、それぞれ代表的なものとしては、1) ゴンパーツ(・メーカム) Gompertz-Makeham モデルや Heligman-Pollard モデル、2) コール・ディメイン Coale-Demeny、あるいは国連のモデル生命表、3) ブラスのロジット生命表システム、リー・カーターLee-Carter モデル、などを挙げることができる。

将来人口推計においては、すでにリー・カーターLee-Carterモデルを例に説明したように、保存量と変化量を峻別した定式化を行う上で、リレーショナルモデルはたいへん有利であり、重要な位置を占めているといえる。将来人口推計における具体的な人口動態事象モデルの検討については、次年度の報告書に譲るが、ここでは死亡、出生、移動に関してそれぞれ基礎となる動態事象モデルについて簡単に見ておこう。

a. 死亡のライフスケージュールモデル

死亡モデルにおいては、すでに３タイプのモデルの代表例として上述した。ゴンパーツモデルは、中年以降の年齢層において死亡率が急速に上昇することに注目し、これを指数

関数によって近似したものである（x 歳における死力を$\mu(x)$として、$\mu(x)=R\,\mathrm{e}^{ax}$、ただし $R(>0)$, $a(>0)$はパラメター）。このモデルは経験的に求められたものであるが、極値分布（Gumbel 分布）の一種であり、死亡が並列的システムの破綻によって生じると見ることに相当する。後に Makeham(1860, 1874)は、これに事故死や感染症死亡などの年齢によらない偶発的死亡を表す定数項（メーカム項）を加えて、$\mu(x)=R\,\mathrm{e}^{ax}+c$、($c(>0)$は追加パラメター）とした。これは Gompertz-Makeham モデルと呼ばれ、今日でも中年以降の年齢層における死亡率のスムージングなどに広く用いられている。その後、これを拡張したモデルとして Beard のモデル、$\mu(x)=R\,\mathrm{e}^{ax}\big/\left(1+be^{ax}\right)$、$b\geq 0$、およびこれにメーカム項を加えた Perks のモデル、$\mu(x)=\left(R\,\mathrm{e}^{ax}+c\right)\big/\left(1+be^{ax}\right)$ が提案されている(Perks, 1932, Beard, 1971)。乳児期、青年期等も含んだ全年齢の死亡スケジュールの記述にはより複雑なモデルが必要となるが、今日広く用いられているとしては、Heligman and Pollard(1980)、あるいは Mode and Busby, (1982)によるモデルがある。ともに 8 個のパラメターを擁するモデルであるが、前者を例にとれば、生命表の x 歳における 1 年間の死亡確率を q_x として、$q_x/(1-q_x)=A^{(x+B)^C}+De^{-E(\ln(x/F))^2}+GH^x$ と表される。A～H はパラメターである。数理モデルは以上のように全年齢層の死亡スケジュールを表すために多くのパラメターを必要とし、経験モデルなどに見られる自由度に比べ冗長である。これにより、これらが将来推計人口で用いられる例はあまり多くない。これに対して、コール・ディメインあるいは国連作成に代表されるモデル生命表は、大量の観察データから年齢間の相関を元に帰納的に標準的死亡スケジュールを求めたものであり、現実の変異に即したものであり、自由度は最小限とすることができる。ただし、こちらは数値表による提示を行うため、記述形式が冗長であり、将来推計等における応用面では、数値間の補間などの処理が追加的に必要となる。また、必ずしも死亡スケジュールの変化メカニズムに関する理論的背景を持たないモデルであるので、わが国のようにこれまでどこでも経験されていない死亡レベルを扱う場合には、基本的にはモデルの想定の範囲外となる。

死亡のリレーショナルモデルは、ブラスの Brass ロジット生命表システムが代表的なものである。これは死亡の生存関数にロジット変換を施したものどうしを線形に関係づけるモデルであり、生命表における生存数l_x（ただし$l_0=1$）を用いて、$Y(x)=\ln\left\{\left(1-l(x)\right)/l(x)\right\}$ とすると、任意の二つの集団 i, j の死亡年齢パターン $Y_i(x)$, $Y_j(x)$ の間に、$Y_i(x)=\alpha+\beta Y_j(x)$ なる関係があるとするものである。ここで、$\alpha(=-\infty\sim\infty)$, $\beta(>0)$ は二つのスケジュールの関係を表すパラメターである。したがって、この例における$l_j(x)$（ま

たは$Y_j(x)$）を標準スケジュールとして定めれば、任意の死亡スケジュールはこの標準との関係を表す二つのパラメターによって記述できることになる。このとき、パラメターαは標準に対する相対的死亡水準を表す（$\alpha>0$ならば標準より高レベル、$\alpha<0$ならば低レベル、そして$\alpha=0$ならば同等レベル)。また、βは子ども時代と成人後の死亡レベルの関係を表す（$\beta>1$なら相対的に高い成人後の死亡レベル、$\beta<1$なら低いレベル、$\beta=1$なら同等レベル)。将来人口推計において、近年最も重要なモデルはLee-Carterモデルであり、これもリレーショナルモデルの一つである。その基本構造については上述したが、このモデルの特徴はパラメターの時間的推移について時系列分析の手法を融合し、将来値の不確実性の表現として確率を付した変動幅を提供することである。

b. 結婚・出生のライフスケージュールモデル

初婚・出生スケジュールについては、比較的精度の高いパラメトリックモデルが提案されている。その一つはコール-マクニール Coale-McNeil モデルである。初婚年齢、あるいは出生順位別の母の出生年齢の分布を次の確率密度関数$g(x)$で表現する(Coale and McNeil, 1972)。

$$g(x)=\frac{\beta}{\Gamma(\alpha/\beta)}\exp\left[-\alpha(x-\mu)-\exp\{-\beta(x-\mu)\}\right] \tag{6-1}$$

ただし、$\Gamma(\cdot)$はガンマ関数、$\alpha(>0),\beta(>0),\mu(=-\infty\sim\infty)$は分布の三つのパラメターを表す。実はこれは一般化対数ガンマ分布 the generalized log-gamma distribution の一形式に他ならない。これに対して、生涯に事象を経験する者の割合Cを乗じたもの($Cg(x)$)が、ライフスケジュール(年齢別初婚率、あるいは出生順位別年齢別出生率)となる。わが国の将来人口推計では1992年以来、この一般化対数ガンマ分布モデルの誤差を補正した形式を年齢別初婚率ならびに出生順位別出生率に対して適用している（Kaneko 2003)。

このほかに同様のモデルとして、ハーネス Hernes モデルがある。これは$P(x)$を年齢xにおける累積初婚率、あるいは出生順位別累積出生率として、

$$P(x)=1\Big/\left\{1+\frac{(1-P_0)}{P_0}\frac{\exp(A/\ln b)}{\exp(Ab^x/\ln b)}\right\}$$

と表される。ここでAは結婚適合性の初期値、bはその減退率を与えるパラメター、$P_0=P(0)$である。この関数が表す初婚あるいは出生年齢の分布は不完全分布であり、$x\to\infty$のとき、$P(\infty)=P_0/\{P_0+(1-P_0)\exp(A/\ln b)\}$である。これが生涯に事象を経験する確率を与えることになる。Hernes モデルは、ロジスティックモデルファミリーに属する拡散過程モデル diffusion process models の一種である。

有配偶出生率のモデルとしては、次式で与えられるコール-トラッセル Coale-Trussell モデ