

200901020A

厚生労働科学研究費補助金
政策科学推進研究事業

人口動態変動および構造変化の見通しとその推計 手法に関する総合的研究

(課題番号H20-政策-一般-007)

平成21年度 総括研究報告書

研究代表者 金子 隆一

平成 22(2010)年 3 月

目 次

I. 平成 21 年度 総括研究報告

研究代表者（金子隆一）	3
研究分担者（稲葉 寿）	11
研究分担者（石井 太）	13
研究分担者（佐々井司）	17
研究分担者（岩澤美帆）	21
研究分担者（守泉理恵）	25

II. 個別研究報告

1 変動環境下における人口再生産力 （稲葉 寿）	31
2 死亡推計モデルにおける年齢変換アプローチの応用 （石井 太）	47
3 わが国の出生動向の分析と見通し — 期間効果の検出による近年の反転上昇に関する分析 — （金子隆一・三田房美）	81
4 2005 年以降の合計特殊出生率上昇に関する要因分析 （岩澤美帆・金子隆一）	97
5 出生意欲データを用いた出生率推計に関する基礎研究（その 2） （守泉理恵）	113
6 将来生命表の作成手法とその課題の検討 （別府志海）	149
7 将来人口推計における国際人口移動仮定設定の課題と新たな試み （石川 晃・佐々井司）	159

Ⅲ. 資料編

- 1 人口動態変動および構造変化の見通しとその推計手法に関する
総合的研究：研究行程の流れ図 181

- 2 国連専門家会議に関する報告（金子隆一） 183
 - (1) 報告資料（論文） 187
 - (2) 報告資料（スライド） 219

研究組織

○ 研究代表者

金子 隆 一 国立社会保障・人口問題研究所 人口動向研究部長

○ 研究分担者

稲 葉 寿 東京大学大学院数理科学研究科准教授

石 井 太 国立社会保障・人口問題研究所 国際関係部第3室長

佐々井 司 国立社会保障・人口問題研究所 人口動向研究部第1室長

岩 澤 美 帆 国立社会保障・人口問題研究所 人口動向研究部第3室長

守 泉 理 恵 国立社会保障・人口問題研究所 人口動向研究部主任研究官

○ 研究協力者（機関内）

石 川 晃 国立社会保障・人口問題研究所 情報調査分析部第2室長

別 府 志 海 国立社会保障・人口問題研究所 情報調査分析部主任研究官

三 田 房 美 国立社会保障・人口問題研究所 企画部主任研究官

○ 研究協力者（機関外）

国 友 直 人 東京大学経済学部教授

Shripad Tuljapurkar スタンフォード大学教授

Ewa Fratzczak ワルシャワ経済大学教授

堀 内 四 郎 ニューヨーク市立大学ハンター校教授

大 崎 敬 子 国連アジア太平洋経済社会委員会 (UNESCAP)
社会部人口・社会統合課長

I. 總括研究報告（要旨）

研究代表者 金子 隆一
（国立社会保障・人口問題研究所）

厚生労働科学研究費補助金（政策科学推進研究事業）

総括研究報告書

人口動態変動および構造変化の見通しとその推計手法に関する総合的研究

（平成 20～22 年）

研究代表者 金子隆一 国立社会保障・人口問題研究所

研究概要

わが国はすでに恒常的な人口減少過程に入り、同時に少子高齢化も急ピッチで進行している。今後に見込まれる人口動態ならびに人口構造の未曾有の変動は、わが国の社会経済の基盤を根底から揺るがすものであり、その見通しに定量的な指針を与える将来推計人口の重要性は増大している。しかし一方で、少子化、長寿化、国際化の急速な進行によって人口動態の見通しは不透明となっており、こうした潮流の原因やメカニズムについては国際的にもほとんど解明されていない。そうした中で、わが国は世界に先駆けて未曾有の人口高齢化を経験して行くため、その人口動向の見通しや制度的対応の方途において、これまでのように手本とすべき先行例はなく、先陣を切ってこの前人未到の状況下を進んで行くことが余儀なくされている。

こうしたなか本事業は、将来人口推計手法の先端的技術と周辺科学の知見・技術を総合し、社会経済との連関を考慮しつつ、わが国の人口動態・構造変動のメカニズムの解明、モデル化、推計の精密化を図ることが目的である。また同時にその成果によって少子化や健康に関連する諸施策や今後の社会保障制度改革ならびに諸制度の再構築に資する知見を提供することを目指している。具体的には(I)変動の元となる国民生活やライフコース・家族の変容をいち早く正確に捉えるための分析システムを開発してその体系化を図る、(II)すでに保有する将来推計人口技術に対して先端的技術を融合させ、実用化へ向けての発展を図る、(III)人口社会経済の総合的モデルを検討、開発し、将来人口推計の新たな方向性を探る、という三つの柱を中心に事業を進めている。

本年度の事業としては、まず基礎的な作業として目的外申請によって取得した人口動態統計データの整備を行った。その他、国連の人口推計データなど内外の人口統計データの整備を合わせて行った。また並行して、人口動態の数理的解析研究として、(1) 変動環境下における人口再生産力の分析、人口動態の実態分析として(2)出生分析、(3)死亡・寿命分析、(4)国際人口移動分析、人口動態と社会経済変動との関係に関する研究として、(5) 出生意欲を介した出生率と社会経済要因との関係の5領域に関する7研究を将来人口推計への応用を軸として連携させながら研究を行った。その結果、新たな数理理論、推計モデル、分析手法の開発がなされるとともに、わが国の出生、死亡、国際人口移動の動向と特徴について多くの新たな知見が得られた。それらは人口動態・人口構造変動メカニズムの解明に役立つとともに、諸施策の立案等に際して資するものとなっている。また、それら成果を国際機関、国際的学会、専門家集会等において積極的に報告することなどにより、各国の研究者や推計担当者等との国際的ネットワークの構築が推進されており、それらは今後の研究発展の基礎となると思われる。

A. 研究目的

わが国はすでに恒常的な人口減少過程に入り、同時に少子高齢化も急ピッチで進行している。これら今後に見込まれる人口動態ならびに人口構造の未曾有の変動は、わが国の社会経済の基盤を根底から揺るがすものであることから、社会保障をはじめとする諸制度の改革は急務であり、それらに定量的な指針を与える将来推計人口の重要性はかつてないものとなっている。しかし一方で、前例のない少子化（出生率低下）、長寿化（平均寿命の伸長）、国際化（経済のグローバル化、国際人口移動の増大）によって、人口動態の見通しは不透明なものとなっており、このことが日本の社会経済、とりわけ社会保障制度改革の舵取りを困難なものとしている。こうした人口動態変動はわが国だけではなく、20世紀第4四半世紀以降のほとんどの先進諸国に見られる現象であり、現在では東アジアをはじめとする世界の他地域へも広まりを見せており、21世紀の世界を特徴付ける歴史的な変動へと発展する様相を示す。ただし、こうした潮流の原因やメカニズムあるいは見通しについては、国際的にもほとんど解明されていない。そうした中で、とりわけわが国は最低水準の出生率と世界最長寿の組み合わせによって、世界に先駆けて未曾有の人口高齢化を経験して行くため、その人口動向の見通しや制度的対応の方途において、これまでのように拠り所とすべき理論や手本とすべき先行国の例はなく、先陣を切ってこの前人未到の状況下を進んで行くことが余儀なくされている。

こうした中、本研究では将来人口推計手法の先端技術と周辺科学の知見・技術を総合し、社会経済との連関を考慮しつつ、わが国の人口動態・構造変動のメカニズムの解明、モデル化、推計の精密化を図ることを目的としている。とくに人口動態・人口

構造変動のメカニズムと社会経済との連関を明らかにし、今後の社会保障制度改革や諸制度の再構築や諸施策の立案に資することを旨とする。

B. 研究方法

本事業は、(I)変動の元となる国民生活やライフコース・家族の変容をいち早く正確に捉えるための分析システムを開発してその体系化を図る、(II)すでに保有する将来推計人口技術に対して先端技術を融合させ、実用化へ向けての発展を図る、(III)人口社会経済の総合的モデルを検討、開発し、将来人口推計の新たな方向性を探る、という三つの柱を中心に事業を進めている。本年度は、こうした計画の下に昨年度に引き続き優先順位の高いテーマを中心に研究が進められた。具体的には、(1)変動環境下における人口再生産力の分析、人口動態の実態分析として(2)出生分析、(3)死亡・寿命分析、(4)国際人口移動分析、人口動態と社会経済変動との関係に関する研究として、(5)出生意欲を介した出生率と社会経済要因との関係、という5領域について研究を行い7の研究成果を報告した。それぞれの方法の詳細については、研究分担者の報告に詳しいが、概略は以下の通りである。

(1) パラメータ変動に制約のない一般的な線形年齢構造化人口モデルを定式化したうえで、その長期的成長特性を考えるために指数関数的な成長解の存在条件を固有値問題として解析することで周期的パラメータをもつMcKendrick方程式系の発展作用素を構成し、指数関数的成長解が存在するための条件を探索した。(2) まず近年の合計特殊出生率(TFR)の月別推移に対して季節調整(X-11法)を施した上で観察し、変動の推移を詳細に観察した。次に出生順位別年齢別出生率の変動を最新の『将来推計人口』の出生率仮定に用いられた率と比較するこ

とによりその変動をコーホート変動、テンポ効果、短期的ピリオド効果等に分離して出生率変動の要因を考察した。また、都道府県別の TFR の変化について、誤差項に空間相関を含む空間回帰モデルを使い、変動の要因として想定されるテンポ効果の消滅、国籍構成による指標の歪み、経済の回復、両立支援策効果、家族主義的文化の影響についてそれぞれ実測変数を割り当てて、それぞれの要因の寄与を求めた。(3)わが国の年齢・対数死亡率平面における死亡率の年次運動が、上下方向(死亡減少)あるいは左右方向(死亡遅延)のいずれと捉えるべきかについて再検討し、それぞれを表す4モデルについて微分型表示を導入して適合性の比較を行った。また遅延型(シフト)モデルを年齢変換として一般化することを検討した。(4)過去における『将来推計人口』の国際人口移動の仮定設定方法について、その変遷ならびに問題点の整理をするとともに、新たな指標化を導入し、課題を克服するための手法の検討を行った。(5)第10回(1992年)～第13回(2005年)の出生動向基本調査(夫婦・独身者調査)の女性のデータを用い、年齢各歳別平均追加予定子ども数を社会経済要因を説明変量とする重回帰モデルを構成し、要因が変化したときの追加予定子ども数と Partial Adjustment Forecasting (PAF) 法による追加予定子ども数の変化率(A値)と累積出生率(μ 値)を求め、これを実現値として代入することで完結出生児数の将来予測がどの程度変わるか検証した。

以上が主要な分析研究の方法であるが、本事業ではデータベースシステムの改良や分析プログラム、シミュレーションプログラムの開発などを並行して進めており、それぞれ実装に向けて進んでいる。これらの一連の研究を連携して統合的に行う一方で、その推進に不可欠な海外における先端的技

術に関する情報の収集、綿密な協力体制の構築などに対しても、国際的な学会や専門家集會に積極的に参加して報告を行ったり、電子メール等による頻繁な意見交換等を行って、研究ネットワークの構築に努めている。

C. 研究成果、ならびにD. 考察

本年度は、本年度の事業ではまず基礎的な作業として、目的外申請によって取得した人口動態統計データの整備を行った。その他、国連の人口推計データなど内外の人口統計データの整備を合わせて行った。また並行して、人口動態の数理的解析研究として、(1)変動環境下における人口再生産力の分析、人口動態の実態分析として(2)出生分析、(3)死亡・寿命分析、(4)国際人口移動分析、人口動態と社会経済変動との関係に関する研究として、(5)出生意欲を介した出生率と社会経済要因との関係の5領域に関する7研究を行った。分野ごとの主な成果の要約は以下のとおりである。(1)動態率変動下での純再生産率や内的増加率、繁殖価などの基本的概念の拡張に向けて、周期的環境変動下における純再生産率の定義および繁殖価概念の拡張を数理的に検討した結果、人口過程の弱エルゴード性に依拠することで、マルサスの成長解の存在が系の長期的挙動を決定することが示され、純再生産率、繁殖価の適切な定義が可能であることがわかった。

(2)わが国における2005年以降の合計出生率の反転上昇の原因とメカニズムを解明するため、まず全国レベルでの年次変動をテンポ効果とそれ以外のピリオド効果に分離したところ、後者の割合が高いことが示唆された。また、都道府県別に空間自己回帰項を含む重み付き空間誤差モデルを用いて検証したところ、キャッチアップによる合計出生率の緩やかな上昇が期待

できる側面もあることがわかった。

(3)まず基礎事項として、将来生命表の作成方法として広く使用されているリー・カーター・モデルの利点と問題点を整理し、課題を検討した後、わが国の推計でこれを修正する形で採用された「年齢シフトモデル」を年齢変換という概念で一般化しその数理的性質を明らかにするとともに、わが国の動態に有効な具体的な年齢変換を特定した。

(4)国際人口移動の仮定設定方法について変遷を整理して課題を明らかにするとともに、新たな指標化によってこれを克服する手法の提言を行っている。また、様々な検討の結果、仮定設定にシナリオ的要素を導入することを検討する余地があることが示される。

(5)出生意欲の指標を媒介して社会経済要因を取り入れた推計方法について検討を行った結果、年齢別追加予定子ども数は社会経済要因によってかなりの程度説明でき、また若い世代ほどその影響が大きく、将来の完結出生児数を変動させるということが分かった。以上のように各分野とも理論的、手法的な検討、開発と実証的な分析結果双方の成果が見られ、現在のわが国の人口動態・人口構造変動のメカニズムや社会経済との連関の理解に資するものとなっている。

上記では分野ごとのテーマ研究に関する研究成果の要約を示したが、その詳細ならびに考察については、分担研究の報告書を参照されたい。それ以外の成果の一環としては、本事業によって得られた成果等を内外の学界、とりわけ国際的な学会や専門家集会等において積極的に報告しており、研究者、各国推計担当者等との国際的ネットワークの構築がなされ、またそれら発展にも貢献している点が挙げられる。

E. 結論（政策的含意）

すでに述べたとおり、本事業は(I)変動の元となる国民生活やライフコース・家族の変容をいち早く正確に捉えるための分析システムを開発してその体系化を図る、(II)すでに保有する将来推計人口技術に対して先端的技術を融合させ、実用化へ向けての発展を図る、(III)人口社会経済の総合的モデルを検討、開発し、将来人口推計の新たな方向性を探る、という三つの柱を中心に事業を進めている。本年度の主要なテーマ研究はこうした柱の下に、5つの領域にわたって優先順位の高いテーマを中心に進められた。これらの領域の研究から得られた結論は以下の通りである。

(1)本研究で解析対象となった周期性条件等は一般の人口に対しては制約的であるが、それは一般動態率を想定した人口成長の特性を明らかにするための第一歩であるとともに、感染症の伝搬モデルでは季節変動性を考慮に入れるために、本研究におけるような閾値概念の拡張が必要であり、それらに対して有効な結果が得られたといえる。構造化人口動態モデルに関して今回得られた新たな知見は、人口数理分野の進展に寄与するものであり、今後学術誌等により公表されるとともに、将来人口推計手法に関する技術へと応用されることになる。

(2)2005年以降の出生率の反転上昇には、テンポ効果の消失と短期的ピリオド効果(H型ピリオド効果)が関わっているといえる。ただし、前者においては、通常想定されるコーホート出生スケジュールの滑らかな変化(出生年齢の上昇の停止)ではなく、不連続的な変化見られる。また出生順位別出生の変動のほぼ完全な同調などからH型ピリオド効果(ブーム)の程度も高いと見られる。したがって、わが国出生率の反転は、欧米諸国で見られるテンポ

効果の消失を主とした長期的、構造的回復とは異なる点があり、欧米のような長期回復基調に乗っているとは限らない。都道府県別の分析からは、この反転上昇は国際結婚の増加や景気の改善など短期的な条件の重なりによってある程度説明できる。したがって、2008年以降の外国人の減少、ならびに失業率の悪化は、マイナスの影響をもたらす可能性がある。ただし、こちらの分析よればテンポ効果消滅の効果は7割と比較的大きな部分を占めている。いずれにせよ、今後の動向は「ブーム」に反応した世代に続く世代が、急速なキャッチアップ型の年齢別出生率パターンを長期に継承して行くか否かにかかっており、先行世代の出生、育児やその支援環境がどのように評価されるかに依存すると考えられる。近年の都市部で見られる保育園待機児童の急増や産科医、小児科医の不足や地域的偏り、あるいは経済不況によって顕在化した「産休・育休切り」（出生や育児休業取得を機に解雇を迫られる雇用環境）といった出生、子育てにまつわる一連の問題は、新たな出生パターンの定着を阻害する方向に働くため、早急な対策が必要であると思われる。

(3)本研究では死亡モデルの微分型表示を導入するとともに、「シフト」型の死亡モデルにおける各年の年齢増加率の実績値を考察し、LDモデルを提案した。このLDモデルは日本女性データによる数値評価により、実績値へのあてはまりがよいことが確認された。また、LCモデルとLDモデルの比較を通じ、わが国の近年の高齢死亡率改善について、「低下」よりは「シフト」と捉える見方がより強く支持されることを示唆しているものと見ることができる。年齢変換に対する新たな視点として、対数死亡率曲面 S 上の接ベクトル場として年齢変換が定義される点を論じ、

LDモデルの年齢変換は、年齢シフトモデルにおいて用いられている年齢変化とは必ずしも一致しないことが示された。しかしながら、LDモデルではモデル全体を完全にノンパラメトリックに構築することが可能であり、モデル内部の整合性をより高いレベルで達成できるようになる。本研究で得られた死亡モデルに関する知見は、将来人口推計に用いる死亡モデルの改善による将来人口推計の精度向上を通じ、各種の政策立案の定量的議論の水準向上に寄与するとともに、国民のライフサイクル変化にも影響する死亡パターン変化の分析結果は、今後の医療・福祉需要や、公的年金制度のあり方の議論にも資するものである。

(4)出生、死亡に関する指標と異なり、国際人口移動関連の統計は精緻な人口分析を可能にする十分な整備がなされていないことから、緊急に整備が求められる。その上で、将来推計の客観性を担保するためには、今後国際人口移動に関する仮定設定に理論的整合性を伴う指標の検討が必要であり、今後は本研究成果をもとにして、性・年齢などの基本属性別の分析と実用性について発展的に検証を続ける必要がある。人口減少ならびに高齢化、さらには経済のグローバル化が急ピッチで進むわが国では、今後海外からの労働者の導入をはじめとする国際人口移動に関する施策について国民的な論議が必要となる。その際には予測という形ではなく、いくつかの政策オプションに沿った国際人口移動のシナリオについてのシミュレーション結果が有用になると思われる。したがって、公的推計とは別にそれらシミュレーションを精密に行えるシステムの準備が必要であると考えられる。

(5)一般に出生率と社会経済要因との関係は複雑であり、予測が可能なほどに有効な

定式化は存在していないが、年齢別の平均追加予定子ども数は、社会経済要因によってかなりの程度変動を説明できることが確認できた。その因果関係が明確となれば、追加予定子ども数を推定するモデルを洗練し、これを媒介させることで社会経済要因を取り入れた出生率推計のためのモデルを得る可能性がある。しかし、その先行研究は非常に少なく、今回は新たな出生率推計の方法を提示しその適用を試みた。今後、内外の関連研究について徹底してサーベイを進めるとともに、出生意欲指標を用いた出生率推計の方法についてさらに研究を進める必要がある。

以上のテーマ研究の成果以外にも、年年度の事業ではデータベースシステムの改良や分析プログラム、シミュレーションプログラムの開発などを並行して進めており、それぞれ実用化に向けて進んでいる。これらの一連の研究を連携して統合的に行う一方で、その推進に不可欠な海外における先端的技術に関する情報の収集、綿密な協力体制の構築などにも努めた。実際、研究成果の主要部分については、国際的な学会や専門家集会等において発表されており、当該分野の国際的ネットワークに参加するだけでなくその発展にも貢献している。今後は、以上の経過をさらに発展させ、人口分析ならびに人口推計の新たな研究枠組みの構築を目指している。

F. 研究発表

※ 研究分担者の研究発表については、各分担研究報告書参照のこと。

1. 論文発表

- Ryuichi Kaneko, Akira Ishikawa, Futoshi Ishii, Tsukasa Sasai, Miho Iwasawa, Fusami Mita, and Rie Moriizumi. 2009. "Commentary to Population Projections for Japan-A Supplement to Report of the 2006 Revision-" *The Japanese Journal of Population, National Institute of Population and Social Security Research* Vol.7 No.1 pp.1-46.
 - 金子隆一、2009年、「将来人口推計における出生仮定設定の枠組みについて」『人口問題研究』国立社会保障・人口問題研究所 第65巻 第2号 pp.1-27.
- #### 2. 学会発表
- Ryuichi Kaneko. 2009. "Life-course Transformation of Fertility Process in Japan; Where did the Reduction occur to Which Cohort by What Causes?" Paper presented at the annual meeting of Population Association of America, April 29 to May 1, 2009, Detroit, MI.
 - Iwasawa, Miho, Kenji Kamata, Kimiko Tanaka and Ryuichi Kaneko. 2009. "Regional patterns and correlates in recent family formation in Japan: Spatial Analysis of Upturn in Prefecture-level Fertility after 2005" Paper presented at the annual meeting of Population Association of America, April 29 to May 1, 2009, Detroit, MI.
 - Iwasawa, Miho, Ryuichi Kaneko, Kenji Kamata, Kimiko Tanaka and James Raymo. 2009. "Recent family formation patterns in Japan: Evidence from geographical patterns and regional correlates" Paper presented at the XXVI IUSSP International Population Conference, September 27 to October 2, 2009, Marrakech, Morocco.

- Ryuichi Kaneko. 2009. "Fertility Prospects in Japan: Trends, Recent Rise, and Life Course Developments," paper presented at United Nations Expert Group Meeting on Recent and Future Trends in Fertility, Population Division, United Nations Department of Social and Economic Affairs, New York 2-4 December 2009(2009.12).
- 金子隆一・三田房美、「高齢期における死亡年齢パターンの地域変異と時系列変化の分析」日本人口学会第61回年次大会(2009/6/14)、関西大学(千里山キャンパス)。

G. 知的所有件の取得状況

なし

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

人口動態変動および構造変化の見通しとその推計手法に関する総合的研究：
「変動環境下における人口再生産力」

研究分担者 稲葉 寿 東京大学大学院数理科学研究科

研究要旨

人口学における標準モデルである安定人口モデルは人口動態率（出生率、死亡率、状態感遷移率など）が時間的に不変であることを仮定しているが、現実の人口ではそのようなことはほとんどなく、動態率は時間的に変動している。そのような場合にも適用できるような普遍的な概念として、純再生産率や内的増加率、繁殖化等のような基本的概念を拡張できるかどうかは、古くから人口学の基本的問題であった。本研究では、変動環境下における人口を記述する時間依存パラメータをもつ線形人口モデルを基礎として、特に周期的環境変動下における純再生産率の定義および繁殖価概念の拡張を考察する。人口過程の弱エルゴード性に依拠することで、マルサスの成長解の存在が系の長期的挙動を決定することを示し、それによって周期環境における純再生産率、繁殖価の適切な定義が可能であることを示す。

A. 研究目的

人口学における標準モデルである安定人口モデルは人口動態率（出生率、死亡率、状態感遷移率など）が時間的に不変であることを仮定している。このことは必ずしも理論の制約ではなく、期間的データのもつ人口動態学的含意を明らかにするための基礎として有効であることは認識されてきたが、同時にその解釈における困難の要因でもある。例えば、周期的なパラメータ変動がある場合、再生産に適合的で内的成長率の高い時期と低い時期が現れるから、特定の時点で観測された指標にもとづいて政策的な対応を考えることは誤りを導きやすい。実際、周期的環境変動としては感染症流行における季節変動が典型的であるが、感染因子によって環境条件の悪い時期における

データから得られる基本再生産数にもとづいて根絶計画をたてても、環境条件が変わればもはや有効な対策とはいえないであろうし、流行の最終規模予測も大きく変わってしまう可能性がある。本研究の目的は、純再生産率や内的成長率、繁殖価等の人口学の基本概念を変動環境下でも適用可能なものへ拡張することである。

B. 研究方法

人口動態率の変動を全く任意に与える場合は、その長期的挙動に関しては弱エルゴード性、すなわち年齢構造の初期条件からの漸近的独立性以上の結果を得ることはできないと長年思われていたが、近年では人口モデルのもつパラメータの特殊な構造に依拠して、長期的な成長特性のある種の積

分作用素のスペクトル半径によって表現できることがわかってきた。そこでまず、パラメータ変動に制約のない一般的な線形年齢構造化人口モデルを定式化したうえで、その長期的成長特性を考えるために指数関数的な成長解の存在条件を考察する。指数関数解が存在すれば、人口発展過程が弱エルゴード的であれば、人口の長期的成長特性は指数関数解の成長率と年齢分布によって規定されることになる。指数関数解の存在は、ある種の固有値問題に帰着される。全く一般の変動環境の場合はこの問題の解の存在は明確ではないが、周期的環境であれば、周期関数からなる状態空間を設定することによって作用素がコンパクトになり、固有値問題にとって適切な問題設定が可能となる。また人口過程を表す方程式系の共役問題を考えることで、繁殖価の概念を周期的パラメータをもつ系へと拡張することが可能となる。

C. 研究成果

周期的パラメータをもつ McKendrick 方程式系の発展作用素を構成して、指数関数的成長解がそんざいするための条件を示した。基本再生産数（純再生産率）はある種の正積分作用素のスペクトル半径として定義され、内的成長率の正負は、純再生産率が1より大きいか小さいかに対応している。このとき、発展過程が弱エルゴード的であれば、正の解はすべて漸近的に比例するから、指数関数的成長解が系の本質的な成長特性を決定していることがわかる。また共役システムを考察することで、その解が Ediev の意味での人口ポテンシャルであることを示し、共役系の指数関数解の年齢分布が繁殖価の拡張と見なせることを示した。したがって、周期系に関しては古典的な安定人口モデルの基本概念が、その本質的な意味を失わない形で拡張できることが示された。

D. 考察

周期性を超えて全く一般の動態率をもつ人口システムに関しては、Thieme による発展半群とレゾルベント正作用素の理論によって、周期系と同様にある種の積分作用素のスペクトル半径が発展半群の成長上限の正負を決定することが示されているが、その基礎となる関数空間の生物学的人口学的意義は明らかではない。今後の課題としては、時間変動するパラメータをもつ周期系以外の系で、純再生産率と内的成長率の概念の拡張を許すような人口学的に意義のある系を見いだすことが考えられる。漸近的に自律的となるような一般化安定人口モデルはそのような系の候補であるかもしれない。

E. 結論

（政策的含意）本研究は人口学の基本的理論的課題に答えようとするものであるが、先進諸国の人口問題との関わりからすれば、周期性条件等はおおむね制約的である。しかしながら、より一般的な動態率の想定の下でも有効な人口の成長特性を明らかにするための重要な一歩である。また安定人口モデルは感染症に罹患した集団の初期成長を記述するモデルとして近年その重要性が再認識されてきている。その基本再生産数は感染症の流行を根絶計画の要であるが、季節変動性を考慮に入れるためには、本研究におけるような閾値概念の拡張が必要であることが強く認識されてきている。

F. 研究発表

1. 論文発表

H. Inaba (2010), The net reproduction rate and the type-reproduction number in multiregional demography, to appear in Vienna Yearbook of Population Research 2009.

2. 学会発表 未定

G. 知的所有件の取得状況 なし

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

人口動態変動および構造変化の見通しとその推計手法に関する総合的研究：
「死亡率推計モデルにおける年齢変換アプローチの応用」

研究分担者 石井 太 国立社会保障・人口問題研究所

研究要旨

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）」の将来生命表作成にあたっては、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「年齢シフトモデル」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あてはめて、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。

この年齢シフトモデルは、死亡率のモデリングに際し、単なる年齢軸のシフト（平行移動）のみならず、年齢スケールの変換をも同時に組み合わせていることから、理論的にはより一般的な「年齢変換」という概念を用いることで統一的に扱うことができることを昨年度の研究で示した。しかしながら、実際のモデリングにあたっては、いかに有効な年齢変換を定義できるかということが問題であり、そのためには、対象となるデータの特性に立ち返って考えることが必要となる。

本研究は、これまでとは異なる角度から、わが国の死亡率モデルに対する有効な年齢変換を定義するための基礎的な検討を行うことを目的として研究を行った。まず、わが国の高齢死亡率改善を、死亡率の「低下」として捉えるべきなのか、「シフト」として捉えるべきなのか、改めて検証することを通じ、わが国の死亡データ特性に関する再検討を行った。この目的のため、成年死亡率のモデリングに焦点を絞り、既存のモデルに新たに提案するモデルを加えた5つの死亡モデルを比較・検証した。この議論の中では、死亡モデルの微分型表示が本質的な役割を果たすこととなるが、この表示を利用すると、対数死亡率曲面上の接ベクトル場として年齢変換が定義されることを論じた。また、年齢シフトモデルのロジスティック曲線パラメータによる年齢変換と、新たなモデルによる接ベクトル場としての年齢変換の関係について論じた。

A. 研究目的

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）」の将来生命表作成にあたっては、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「年齢シフトモデル」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あてはめて、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。

この年齢シフトモデルは、死亡率のモデリングに際し、単なる年齢軸のシフト（平行移動）のみならず、年齢スケールの変換をも同時に組み合わせていることから、理論的にはより一般的な「年齢変換」という概念を用いることで統一的に扱うことができることを昨年度の研究で示した。しかしながら、実際のモデリングにあたっては、いかに有効な年齢変換を定義できるかということが問題であり、そのためには、対象となるデータの特性に立ち返って考えることが必要となる。

本研究は、これまでとは異なる角度から、わが国の死亡率モデルに対する有効な年齢変換を定義するための基礎的な検討を行うことを目的とする。

B. 研究方法

まず、わが国の高齢死亡率改善を、死亡率の「低下」として捉えるべきなのか、「シフト」として捉えるべきなのか、改めて検証することを通じ、わが国の死亡データ特

性に関する再検討を行った。このため、「低下」型で死亡率改善を表すモデルとして、プロポーショナルハザードモデル(PH)、リー・カーター・モデル(LC) の 2 モデルを、これら 2 つのモデルに対応する「シフト」型モデルである、水平シフトモデル(HS) と水平リー・カーター・モデル(HL) の 2 モデルを導入し、全部で 4 つの死亡モデルを検討するとともに、これらの死亡モデルを、時間微分した関数により表示する微分型表示を導入した。

これらの死亡モデルについて、日本女性の死亡データにより数値評価を行うとともに、そこでの観察に基づき、新たなモデルである線形差分モデル(LD)を提案した。

「低下」型モデルと「シフト」型モデルのパフォーマンスを統計学的観点から比較するため、LC モデルと LD モデルについて、モデルを真とした場合の信頼区間から実績値がどの程度外れるのかという点について評価を行った。最後に、対数死亡率曲面 S 上の接ベクトル場として年齢変換が定義される点を論じた。

C. 研究成果

死亡モデルについて、日本女性の死亡データにより数値評価を行ったところ、「低下」型モデルでは PH モデルに比べて LC モデルの、「シフト」型モデルでは HS モデルに比べて HL モデルのあてはまりがよいことが観察されたが、「低下」型のペアのあてはまりの違いほど、「シフト」型モデルのあてはまりの違いは大きくないことが観察された。

また、「低下」型モデルと「シフト」型モデルのパフォーマンスを統計学的観点から比較するため、LC モデルと LD モデルについて、モデルを真とした場合の信頼区間から実績値がどの程度外れるのかという点について評価を行った結果、高い年齢で

LD モデルの方が実績値が外に出る割合が若干高い部分はあるものの、総じて LD モデルのパフォーマンスが LC モデルをかなり上回っていた。

LD モデルの仮定である、年齢増加率の y に関する線形性は、2 パラメータロジスティックモデルでは x と y に線形関係がある範囲のみでしか成立せず、したがって、LD モデルによって誘導される年齢変換は、年齢シフトモデルにおいて用いられているものとは必ずしも一致しないとの結果が得られた。しかしながら一方で、LD モデルによる年齢変換はノンパラメトリックな手続きであることから、モデル全体を完全にノンパラメトリックに構築することが可能である。

D. 結果の考察

4 種類の死亡モデルの観察において、「低下」型のペアのあてはまりの違いほど、「シフト」型モデルのあてはまりの違いが大きくない点は、微分型表示の死力改善率及び年齢増加率を見ることにより明らかとなった。すなわち、「低下」型モデルにおける死亡改善率の実績値はピークを持つ山形の形状をもつものに対し、HS モデルは水平な直線であり、ピークを持つことが可能な LC モデルに比べてあてはまりは悪くなる。一方、「シフト」型モデルの年齢増加率を見ると、HS が水平な直線であるのに対し、HL モデルでもこれに比較的近い形状をしており、これが両者のフィッティングのパフォーマンスが大きく変わらないことに結びついていた。

「シフト」型の死亡モデルにおける各年の年齢増加率の実績値を考察したところ、これを y の線形関数として見た場合、よりよくモデル化できるのではないかという点が示唆されたことから、これに基づいて、微分型表示を活用した線形差分モデル

(LD) が提案された。日本女性データによる数値評価により、LD モデルは実績値へのあてはまりが極めてよいことが確認された。

LC モデルと LD モデルについての信頼区間による比較評価で、高い年齢で LD モデルの方が実績値が外に出る割合が若干高い部分はあるものの、総じて LD モデルのパフォーマンスが LC モデルをかなり上回っていたことは、わが国の近年の高齢死亡率改善について、「低下」よりは「シフト」と捉える見方の方がより強く支持されることを示唆しているものと見ることができる。

また、LD モデルによる年齢変換はノンパラメトリックな手続きであることから、モデル全体を完全にノンパラメトリックに構築することが可能であるという点は、LD モデルを導入することにより、モデル内部の整合性をより高いレベルで達成できるようになることを意味している。

E. 結論（政策含意含む）

本研究では死亡モデルの微分型表示を導入するとともに、「シフト」型の死亡モデルにおける各年の年齢増加率の実績値を考察し、LD モデルを提案した。この LD モデルは日本女性データによる数値評価により、実績値へのあてはまりがよいことが確認された。また、LC モデルと LD モデルの比較を通じ、わが国の近年の高齢死亡率改善について、「低下」よりは「シフト」と捉える見方の方がより強く支持されることを示唆しているものと見ることができることが結論として得られた。

年齢変換に対する新たな視点として、対数死亡率曲面 S 上の接ベクトル場として年齢変換が定義される点を論じ、LD モデルの年齢変換は、年齢シフトモデルにおいて用いられている年齢変化とは必ずしも一致しないことを示した。しかしながら、LD

モデルではモデル全体を完全にノンパラメトリックに構築することが可能であり、モデル内部の整合性をより高いレベルで達成できるようになるとの結論を得た。

本研究でその有効性が明らかとなったLDモデルであるが、実用化に向けてはまだ検討点を残すものである。まず、今回検討を行ったのは成人死亡に限定したモデルであることから、全年齢を対象としたモデルの開発が必要である。また、今回は実績値のモデリングを中心とした検討を行ったが、将来推計を行うためにはパラメータの将来推計法についても検討が必要となる。このような点について、さらなる研究を行っていくことは今後の課題である。

わが国の今後の死亡率の動向は、将来の人口見通しを行う上で必要不可欠なものであり、本研究において得られた死亡モデルに関する知見は、将来人口推計に用いる死亡モデルの改善による将来人口推計の精度向上を通じ、各種の政策立案の定量的議論の水準向上に寄与する。また、本研究で行った死亡率改善の捉え方の分析は、わが国の死亡パターンの変化を通じて国民のライフサイクルの変化にも影響を与えるものであり、今後の医療・福祉需要や、公的年金制度のあり方の議論にも資するものである。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

Futoshi Ishii, "Future Change of Old-Age Dependency Ratio in Japan -Relating to the Public Pension-" Population Association of America, 2009 Annual Meeting, Detroit (2009.5.1)

G. 知的所有権の取得状況

なし

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

人口動態変動および構造変化の見通しとその推計手法に関する総合的研究：
「将来人口推計における国際人口移動仮定設定の課題と新たな試み」

研究分担者 佐々井 司 国立社会保障・人口問題研究所

研究要旨

わが国が少子高齢化や人口減少といった未曾有の人口問題に直面するなか、人口研究は人口動向ならびにその変動要因の客観的かつ的確な分析を通じて政策的な貢献が求められている。将来人口推計においても手法の更なる向上とあわせて、分析に用いる統計データの精査と有効な活用が急務となっている。

本研究は、国立社会保障・人口問題研究所が行ってきた『将来推計人口』における国際人口移動の仮定設定方法について、その変遷ならびに問題点の整理をするとともに、国際人口移動の新たな指標化の可能性を検討し、将来人口推計における仮定設定への応用を試みるものである。

具体的には、『日本の将来推計人口 平成9年1月推計』（1997）以前から、直近の『平成18年12月推計』（2007）までのわが国を取り巻く国際人口移動の概況とデータの整備環境等と各推計回における国際人口移動の仮定設定の変遷とを考察すると同時に、それぞれの仮定設定手法における課題の検証と、その課題を克服するための新たな手法の提言を行っている。

『平成14年1月推計』（2002）以前から直近の『平成18年12月推計』（2007）にかけて仮定設定には変更を伴ってきているが、これまで用いてきた移動指標における発生事象と発生母集団との不整合性や仮定設定上の矛盾点について整理したうえで、その課題を克服するための新たな手法の提言を行っている。

人口移動に関する統計は、出生、死亡関連の統計に比べ詳細な分析に用いることのできるデータが限られている。とくに、人口学的基本属性である性、年齢別の人口移動統計は利用可能な定量的資料が少なく、詳細な分析を行う際にはかなりの工夫を要する。また、国際人口移動は社会経済要因やわが国の政策（出入国管理、外国人対策等）と密接に関連しているものの、将来における経済変動や政策決定の時期といった予測は過去の分析から導き出されるものではないため、仮定設定の方法にシナリオ的要素を取り入れることを検討する余地がある。今後国際人口移動の詳細な仮定設定を行うためには、それに応じた国際人口移動の仮定設定ならびに「将来人口推計システム」の大幅な変更が必要となることから、今後さらなる条件整備が求められている。

A. 研究目的

本研究は、国際人口移動の仮定設定方法について、その変遷ならびに問題点の整理をするとともに、国際人口移動の新たな指標化の可能性を検討し、将来人口推計における仮定設定への応用を試みるものである。

わが国が少子高齢化や人口減少といった未曾有の人口問題に直面するなか、人口研究は人口動向ならびにその変動要因の客観的かつ的確な分析を通じて政策的な貢献が求められている。将来人口推計においても手法の更なる向上とあわせて、分析に用いる統計データの精査と有効な活用が急務となっている。このような背景の下で、人口分析に用いられる統計は、その精度は勿論のこと、情報の詳細さや公表の迅速性などがこれまで以上に必要とされている。

B. 研究方法

国立社会保障・人口問題研究所が行ってきた『将来推計人口』における国際人口移動の仮定設定方法について、その変遷ならびに問題点の整理をするとともに、国際人口移動の新たな指標化の可能性を検討し、将来人口推計における仮定設定への応用を試みる。

具体的には、『日本の将来推計人口 平成9年1月推計』（1997）以前から、直近の『平成18年12月推計』（2007）までのわが国を取り巻く国際人口移動の概況とデータの整備環境等と各推計回における国際人口移動の仮定設定の変遷とを考察すると同時に、それぞれの仮定設定手法における課題の検証と、その課題を克服するための新たな手法の提言を行っている。

C. 研究成果

『平成14年1月推計』（2002）より入国超過数を日本人と外国人に別けた仮定設定

が導入され、日本人が概ね出国超過、外国人が入国超過となっている現在の傾向が反映された。『平成18年12月推計』（2007）では、「日本人女性の出生率」と「外国人女性の出生率」に別け、さらに「外国人女性の出生率」を出生児の国籍（日本人、外国人）に細分し仮定設定を行っている。

また、現在将来人口推計に用いられることの多い純移動率という指標における発生事象と発生母集団との不整合性について指摘したうえで、総務省統計局『人口推計年報』、法務省入国管理局『出入国管理統計』、総務省統計局『国勢調査』および『推計人口』法務省入国管理局『在留外国人統計』、ならびに外務省領事局『海外在留邦人数調査統計』等の特性を整理したうえで、転入率と転出率について新たな指標の提案を行った。

D. 考察

人口移動に関する統計は、出生、死亡関連の統計に比べ詳細な分析に用いることのできるデータが限られている。とくに、人口学的基本属性である性、年齢別の人口移動統計は利用可能な定量的資料が少なく、詳細な分析を行う際にはかなりの工夫を要する。

また、国際人口移動は社会経済要因やわが国の政策（出入国管理、外国人対策等）と密接に関連しているものの、将来における経済変動や政策決定の時期といった予測は過去の分析から導き出されるものではないため、仮定設定の方法にシナリオ的要素を取り入れることを検討する余地がある。

今後国際人口移動の詳細な仮定設定を行うためには、それに応じた国際人口移動の仮定設定ならびに「将来人口推計システム」の大幅な変更が必要となることから、今後さらなる条件整備が求められている。