

201001001A

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22年度 総括研究報告書

研究代表者 金子 隆一

平成 23(2011)年 3 月

目 次

I. 平成 22 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）	19
研究分担者（岩澤美帆）	23
研究分担者（守泉理恵）	27

II. 個別研究報告

1 変動環境下における人口の基本再生産数の定義について （稲葉 寿）	33
2 対数死亡率曲面上の接ベクトル場を利用した死亡率モデルの検討 （石井 太）	53
3 対数ガンマ分布（コール・マクニール分布）の多段階モデルの性質を 利用した結婚・出生に関する行動モデルの開発 Multistage Models of Marriage and Birth: An Extension of the Coale-McNeil Nuptiality Model （金子隆一・三田房美）	79
4 2005 年以降の合計出生率反転の要因： 都道府県別データを用いた空間分析の応用 （岩澤美帆・金子隆一）	101
5 出生意欲データを用いた PAF 法による出生率推計：日本における応用 （守泉理恵）	129
6 年途中までの月別統計を用いた年間合計特殊出生率推計の検討 （石川 晃・別府志海）	149

7	近年における国際人口移動の動向分析と将来推計への示唆 (石川 晃・佐々井司)	167
8	長寿国との比較による日本の死亡率低下の特徴に関する一考察 ～死因別死亡の動向による～ (別府志海)	183

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	197
2	欧州連合統計局(Eurostat)・国連欧州経済委員会(UNECE) 将来人口推計に関する合同ワークショップに関する報告 (石井 太)	199
	(1) 事務局報告書・目次	203
	(2) 報告資料(岩澤美帆・金子隆一論文)	223
	報告資料(金子隆一論文)	237
	報告資料(石井 太論文)	255

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. 総括研究報告（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、今後世界に先駆けて未曾有の高齢化を経験して行く。こうした人口動態・人口構造の歴史的変動は社会経済の基盤を揺るがすものであり、諸制度の改革に向けて人口やライフコース分野の定量的見通しに関する要請は増大している。本事業では、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、人口と社会経済の変動に関する詳細な分析を通して、人口動態・構造変動のメカニズムの解明、モデル化を進め、将来推計法の精密化や少子化、長寿化、人口の国際化等に関する諸課題への対処に科学的指針を与えることを目指す。このため、(I)国民生活やライフコース・家族変容をいち早く正確に捉えるための人口統計データベースと分析システムの体系化を図り、(II)将来人口推計技術に対して先端的技術を融合させ、実用化への発展を図り、(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ことを事業の三つの柱とした。

最終年度となる本年の事業としては、(I)として(1)月別統計による直近の出生率動向の把握の試み、(2)死亡率の国際比較とわが国の特徴の把握、などを行った。(II)としては、(3)人口成長・変動に関する数学的基本指標としての再生産数の変動環境下における振る舞いの分析と新たな定義、(4)死亡率の年齢・時間平面における接ベクトルを利用した死亡率変化の表現と推計への応用、(5)対数ガンマ分布（コール・マクニール分布）の多段階モデルの性質を利用した結婚・出生に関する行動モデルの開発などに取り組んだ。(III)としては、(6)都道府県データを用いた近年の出生率変動に対する社会経済要因をはじめとする諸要因の影響の空間分析、(7)出生意欲データを介した社会経済要因の出生率へ影響分析と推計法の検討、(8)国際人口移動の動向に対する分析などを行った。すなわち、手法的には将来人口推計への応用を軸として、また実体的には出生・死亡・国際人口移動の動向とその要因の把握を軸として、3分野における8研究を連携させながら実施した。

その結果、人口数理理論の新たな発展、人口推計・分析モデルの拡張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知見が得られた。たとえば後者については、近年の出生率回復に出生順位ごとに景気や家族文化の影響が異なって見られる点、出生意欲と行動は最近不均衡となっている点、就業の効果が正規・非正規で異なっている点、国際人口移動では日本人の移動より外国人の移動動向が強く景気に左右されている様子などが見出され、それぞれ定量的な評価がなされた（個々の成果の概要については、分担研究報告書参照のこと）。それらの結果は国際機関や学会・専門集会等において積極的に発表され、国際的な学界に貢献している。

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。ところが、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、国際的にも解明が不十分である。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。

こうした中で、本研究で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、少子化、長寿化、人口の国際化等に関する諸課題への対処に科学的指針を与え、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

上述のような目的を果たすために本事業は、(Ⅰ)国民生活やライフコース・家族変容をいち早く正確に捉えるための人口統計データベースと分析システムの体系化を図り、(Ⅱ)将来人口推計技術に対して先端的技術を融合させ、実用化への発展を図り、(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ことを事業の三つの柱とした。

本年度においては、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、(Ⅰ)として(1)月別統計による直近の出生率動向の把握の試み、(2)死亡率の国際比較とわが国の特徴の把握、などを行った。(Ⅱ)としては、(3)人口成長・変動に関する数学的基本指標としての再生産数の変動環境下における振る舞いの分析と新たな定義、(4)死亡率の年齢・時間平面における接ベクトルを利用した死亡率変化の表現と推計への応用、(5)対数ガンマ分布（コール・マクニール分布）の多段階モデルの性質を利用した結婚・出生に関する行動モデルの開発などに取り組んだ。(Ⅲ)としては、(6)都道府県データを用いた近年の出生率変動に対する社会経済要因をはじめとする諸要因の影響の空間分析、(7)出生意欲データを介した社会経済要因の出生率へ影響分析と推計法の検討、(8)国際人口移動の動向に対する分析などを行った。すなわち、手法的には将来人口推計への応用を軸として、また実体的には出生・死亡・国際人口移動の動向と

その要因の把握を軸として、3分野における8研究を連携させながら実施した。それぞれの方法の概要については、分担研究書に詳しいが、概略は以下の通りである。

(1) 将来人口推計を実施する際、各種動態率における直近年次の動勢は、それらの仮定値の方向付けに大きな影響を与えるとともに、その後数年間の期間的变化に関する情報を含んでいる。そこで推計時点までに得られる動態率の月別統計について詳細な分析、検討を行い、それらに関する情報を少しでも活用する方が求められる。ここでは出生率について、月別の推移について体系的で詳細な観察を行い、その年計値との比較や推計について検討した。

(2) 死亡動向について見通しを得る際、死因統計は重要な情報源となるはずである。とりわけわが国は世界一の平均寿命を持ち、その理由の多くは死因構造に求められる。しかし、死因の特定には技術的要素、主観的要素などが絡むため時系列比較、国際比較が難しい。ここではとくに高齢死亡に的を絞り、WHOによる各国の年齢・死因別死亡を用いて国際比較を行い、わが国の特徴を明らかにするものとした。

(3) 時間を状態変数の一つとして加えた状態空間上で作用する世代推進作用素によって人口の成長過程を表し、その過程における世代サイズの漸近的成長比としての基本再生産数の基本特性（世代解釈）を明らかにすることで、在来の定義を包含した新たな定義を導出するものである。

(4) 2パラメータロジスティックモデルによる年齢増加率が年齢の線形関数という性質を持つことを示し、LDモデルの改良を行い、LCモデルとの比較検証を行った。また、改良LDモデルとLCモデルを用い、対数死亡率曲面S上の接ベクトル場を利用することにより、高齢部分にLDモデル、若年部分にLCモデルの構造を持つ全年齢

死亡モデル(TVFモデル)の構成に関する検討を行った。

(5) コール・マックニール結婚モデル(CMモデル)は、初婚や出生順位別出生の年齢別スケジュールを与える以外に、多段階より構成される行動のモデルとなっている。この性質を利用することにより、帰結としての初婚・出生年齢分布からその前事象の年齢分布や前事象経験者数を推定することができ、こうした行動的解釈によりモデルの予測性が向上する可能性があることから、CMモデルの多段階モデルとしての形式を開発し、パラメータ推定の統計的手続きを整備する。

(6) 近年の合計特殊出生率の上昇の要因を明らかにするために都道府県別出生率の2005年～2008年の変化分を、テンポ効果の縮減、外国人母による出生割合の変化、経済の回復(就業率の変化)、両立支援策の充実を示す母親の就業率の変化、家族主義を示す三世代家族割合の各効果で説明する回帰モデルを構成し、それぞれの係数を推定することによって、それらの寄与を測定した。その際、都道府県による人口規模の違いを考慮し、再生産年齢女性の人口を重みにした重み付け最小二乗回帰モデルを用いるとともに、近隣県間で誤差項に相関がある場合は、重み付き空間誤差モデルを用いることを検討した。

(7) 2時点の調査データを用いて、年長コーホートが実際に経験した年齢別累積出生率の実現率(μ 値)、および追加予定子ども数の変化率(A値)を算出し、これを仮定値として若いコーホートの完結出生子ども数を推計する方法をPAF法という。ここでは、第10回(1992年)から第13回(2005年)までの出生動向基本調査の年齢別追加予定子ども数と、「人口動態統計」から得られる年齢別累積出生率を用いて、1949～1986年出生コーホートの完結出生子ども

数の推計を行った。また、いくつかの社会経済変数（短大・高専卒以上の学歴をもつ者の割合、独身者割合、正規就業者割合、非正規就業者割合、DID 居住者割合）による重回帰モデルによって、それら要因の影響測定を行った。その上で就業要因を変化させたシナリオを設定した。すなわち正規就業者割合、非正規就業者割合について就業構造基本調査から得た潜在有業率および政府の「仕事と生活の調和推進のための行動指針」にある 25～44 歳女性の就業率目標値を正規就業増加型または非正規就業増加型で達成した場合の 3 つを想定し、そのときの推計完結出生子ども数を比較検討した。

(8) 総務省統計局『人口推計』、法務省『出入国管理統計』、『在留外国人統計』を用いて、近年の日本人及び外国人別に入国超過数の推移を捉え、とりわけ変動の大きい外国人の入出国の状況について詳細な分析を行った。すなわち地域ブロックならびに国籍別に入国超過数の動向を観測し、さらには特定の出身国に関して在留資格別人口の特徴を明らかにした。とくにブラジル出身者の動向については、月別出入国者数の推移、都道府県分布、年齢別入国超過数の変化などを用いて、リーマンショックが人口移動に与えた影響について分析を行った。

以上が主要な分析研究の方法であるが、本事業ではそれらの基礎として、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た。これらの一連の研究を連携して行う一方で、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た。

C. 研究成果、ならびに D. 考察

本年度の事業ではまず基礎的な作業として、内外の各種人口統計について最新データの収集を行い整形や再計算等を行った上でデータベースへの登録等の整備作業を行った。それらは総務省統計局『人口推計』、『国勢調査速報』、『就業構造基本調査』、厚生労働省大臣官房統計情報部『人口動態統計』、『同月報』、法務省『出入国管理統計』、『在留外国人統計』などによる最新データである。それらを踏まえて、行われた個別の研究成果とこれに関する考察は以下の通りである。

(1) 月別統計による直近の出生率動向の把握の試みにおいては、1970～2009 年の各年次について人口動態統計による出生・死亡・婚姻・離婚について「確定値」に対する「速報値」および「概数値」の比を算出し、その時系列推移を観察した。その結果、たとえば出生については 1985 年を境に傾向が大きく変わり、上昇に転じた。これは国際人口移動の増加・活発化の影響であると考えられる。次に当該月を含む過去 12 ヶ月合計特殊出生率を出生順位別に推定し、その動向を観察した結果、いずれも 2006 年 1 月次を底に上昇に転じたことがわかった。次に婚姻率についても月別に算出し、出生率との変動のタイムラグが 7 ヶ月とするとよく同調することが見出され、出生率変動の先行指標となることがわかった。その定量的な関係を用いることで、出生データが年次途中までしか得られない場合であっても、当該年次の出生率をかなり性格に推定できることがわかった。

(2) 死亡率の国際比較とわが国の特徴の把握についての研究においては、日本の死因構造について、男女とも高年齢における循環器系疾患（とくに心疾患）による死亡率の低さと、女性の悪性新生物による死亡率の低さが特徴となっていることが見出さ

れた。これとは反対に死亡率が高い死因は、男女とも肺炎と老衰となっている。同じ長寿国でも死因構造が異なっていることが日本が長寿世界一を長期に保っている直接の理由となっている。

(3)人口成長・変動に関する数学的基本指標としての再生産数の変動環境下における振る舞いの分析と新たな定義については、時間を状態変数に取り入れた状態空間上で作用する世代推進作用素による世代の生成過程が、集計作用素によって次世代作用素の反復過程に還元されることが示された。これにより、定常環境と周期環境における次世代作用素による R_0 の世代解釈が成り立つことが明らかとなった。これらをもとに次世代作用素による定常環境と周期的環境における R_0 の定義の拡張として、一般的な変動環境における R_0 の新たな定義を導入した。ただし、一般の変動環境においては $R_0 > 1$ は必ずしも人口増加を意味せず、人口増加の閾値を与える内的成長率が存在するような、一般的な環境変動の条件を決定することが次の重要な課題となる。

(4)死亡率の年齢・時間平面における接ベクトルを利用した死亡率変化の表現と推計への応用については、まず2パラメータロジスティックモデルの性質として、その年齢増加率が年齢の線形関数となっていることが示された。また、昨年度に提案した改良前の LD モデル(LDy)と改良された LD モデルについて、その年齢増加率を比較したところ、年齢増加率実績値は概ね年齢の線形関数で近似されることがわかり、LDy、LDとも実績値の傾向を表現できていることがわかった。これらは LC モデルよりパフォーマンスが優れているということが示唆された。これ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」と捉える見方が支持されることを示唆する。高齢部分に LD モデル、若年部分に

LC モデルの構造を持つ全年齢死亡モデルを、対数死亡率曲面 S 上の接ベクトル場を利用して構築する方法について検討し、実際にモデリングを行った。この TVF モデルは、高齢者死亡の表現性にすぐれ、かつ年齢シフトモデルの理論的根拠ともなっていたロジスティックモデルの特性を保ちつつ、モデル内部の整合性に関しても高いレベルで達成することができることから、より有効なモデルであるということが出来る。

(5)対数ガンマ分布(コール・マクニール分布)の多段階モデルの性質を利用した結婚・出生に関する行動モデルの開発では、将来推計の出生順位別、年齢別出生率の記述に用いている対数ガンマ分布を多段階行動モデルとして再定義し、わが国の実地調査データ、人口動態統計データに当てはめた結果、第2子年齢別出生率から第1子年齢別出生率を一定の確度での推定が可能であることが示された。これを応用するとたとえば、第1子年齢別出生率から年齢別婚姻率や第1子出生のリスク人口の推定などに応用され、同棲・事実婚などによる配偶関係統計のかく乱や婚前妊娠・婚外子など出生との関係のかく乱が有る状況下での行動分析、将来推計に用いることができる。

(6)都道府県データを用いた近年の出生率変動に対する社会経済要因をはじめとする諸要因の影響の空間分析においては、晩産化の停止、景気の回復、外国人の増加が近年の出生率上昇の一翼を担っていることがわかった。家族主義を示す三世代家族世帯割合は、第1子や第2子など、低い出生順位で、南欧における結果と同様、負の関係を示した。ただし、説明変数全体で説明できる部分は3割程度であり、残りは全国に共通する要因が存在したと解釈できる。子どものいる母親の就業率の変化は、出生率と明確な関係を示さなかった。2006年

以降国際結婚が減少し、2008年以降は失業率も再上昇していることから、今後上昇効果が一時的に薄れる可能性も考えられるが、その効果は限定的であろう。

(7)出生意欲データを介した社会経済要因の出生率へ影響分析と推計法の検討では、1992・97年、1997・2002年、2002・2005年の3つのペアで出生率推計を行った結果、1950年代生まれではPAF法の推計値はよく一致していたが、1960年代生まれ以降で乖離し始め、若い世代になるほど差が広がっていることがわかった。これらからは出生意欲はそれほど下がっていないのに、実際の出生行動はそれ以上に縮小しており、意欲が実現しにくくなっていることが推察された。一方、就業率を変化させた場合のシミュレーションによるでは、出生率が最も低いのが潜在有業率達成シナリオであり、次にWLB行動指針目標値を非正規就業者割合が大きく増加して達成するシナリオ、そして正規就業者割合が大きく上昇して達成するシナリオとなった。一口に女性の就業率を高めるといっても、その中身は正規就業者が大きく増えるのか、非正規就業者が大きく増えるのかでは、かなり効果が異なることがわかった。

(8)国際人口移動の動向に対する分析では、2006年以降の国際人口移動の劇的な変化について、周縁的・一時的現象の影響と、構造変化に即した継続性の高い動向とを分離して観測することが可能することに努め、とりわけ、南アメリカ諸国（主にブラジル）出身の外国人の動向はリーマンショックに即時的に反応している一方で、アジア諸国を出身とする外国人は比較的堅調にこれまでの傾向を踏襲している。

上記では個別テーマ研究に関する研究成果と考察を要約したが、詳細については、分担研究報告書ならびに論文を参照されたい。このほか、これら研究成果の報告な

どを通じて内外の学会とりわけ国際的な集会等において各国推計担当者や研究者との国際的ネットワークの構築がなされており、それらも本事業の重要な成果の一端として挙げられる。

E. 結論（政策的含意）

すでに述べたとおり、本事業では、(I)国民生活やライフコース・家族変容をいち早く正確に捉えるための人口統計データベースと分析システムの体系化を図り、(II)将来人口推計技術に対して先端的技术を融合させ、実用化への発展を図り、(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ことを三つの柱とした。本年度はこうした柱の下に8つのテーマの研究を中心に進められた。これらの研究から得られた結論は以下の通りである。

(1)人口動態統計の公表は3段階があり、これら相互の関係とさらに出生動向と関係の深い婚姻月別統計を用いることにより年次途中のデータから当該年次統計を推計することが出来る。これにより将来人口の推計時点において出生変動傾向について重要な追加情報が得られることになる。さらには、こうした指標は経済社会変動や諸施策の影響をリアルタイムでより正確に反映している可能性が高く、政策効果の分析手法への発展が期待できる。(2)他の長寿国と比較した場合、日本の長寿化の背景として一貫して心疾患による死亡率の低さがあること、逆に肺炎による死亡率の高さが目立つことは、今後の死亡率・寿命の動向を推計する際だけでなく、健康政策等を考える際にも重要な知見である。(3)歴史的な人口変動を迎えるにあたって、変動環境下における人口成長・人口減少の数学的な性質とこれを表現するための指標やその閾値を明らかにすること最も基礎的な準備

となるだろう。(4)世界最長の平均寿命を更新しつつあるわが国においては、その動向の本質に迫る独自のモデルと推計手法が要求される。本事業で開発を進める TVF モデルは死亡率の低下から高年齢へのシフトという死亡・寿命の歴史的転換をいち早く捉え、応用しようとするものである。これはわが国で有効なだけでなく、今後世界各国が経験する局面に有効なものと考えられる。(5)出生は男女の出会いから結婚など多数の段階を経て帰結する事象である。出生動向を把握し予測するためにはこれらの過程における行動の把握とモデル化が必須であり、本事業では対数ガンマモデル（コール＝マクニール・モデル）をもとにこの研究を行った。こうした行動モデルの開発は、少子化をもたらしている要因の解明にも必須であり、有効である。(6)近年の出生の回復基調について、その要因を把握することは推計における出生見通しの策定において必須となるが、空間分析モデルを応用することによって比較的豊富で速報性が高い都道府県データを用いてその解明にアプローチ出来たことは、方法論的にも意義が深い。国際的な経済動勢、子ども手当等の政策浮動、国家的災害などでますます複雑化が見込まれる出生動向についてその基調をいち早く見極める手法としても重要である。(7)経済社会要因変動の出生に対する影響を媒介する要因は多いが、ほとんどは観察が不可能かきわめて難しい。その中で出生意欲は観察可能であると同時に、すべての経済社会要因と出生行動とを媒介しており、これを正確に測定し、また適切に行動との関係づけができれば、出生意欲の観察が出生高校の先行指標となるだけでなく、出生変動メカニズム解明の捷路となる。本事業では PAF 法によってその可能性を追求し、実際に両立支援などによる就業行動の違いの出生率に

対する影響を測るシミュレーションを行った。これらは社会経済要因を考慮したより高精度の出生率推計モデルへの発展が期待される。(8)人口減少下にあるわが国にとって、外国人労働力の導入など国際人口移動に関する動向把握と諸施策の重要性は増大している。一方でリーマンショック後の外国人労働者の解雇・帰国、震災に伴う外国人の大量出国など、ここ数年を見ただけでも国際人口移動の変動の大きさを示す事例に事欠かない。また外国人の就学や研修、就業に関する法制度も頻繁に変わっている。本事業ではリーマンショックによる外国人への影響が国籍によって異なることやそれぞれのパターンを明らかにしたが、このように様々な事象に対して現にどのような反応が生ずるかについて事例を丹念に収集分析する努力が求められる。そうした知見に立って、人口移動の見通しと政策が議論される必要があるだろう。

以上のテーマ研究の成果以外にも、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、それぞれ活用が成されている。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、密接な協力体制の構築などにも成果があった。実際、研究成果の主要部分については、国際的な学会や集会等において発表され、当該分野の発展にも大いに貢献したと考えている。

F. 研究発表

※ 本事業の成果ならびに成果に寄与した本プロジェクトメンバーの業績を記す。ただし、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

- 金子隆一、2010年、「わが国近年の出生率反転の要因について—出生率推計モデルを用いた期間効果分析—」『人口問題研究』国立社会保障・人口問題研究所 第66巻 第2号 pp.1-25.
- 金子隆一、2010年、「長寿化のもたらす社会—その歴史的展開と課題—」『人口問題研究』国立社会保障・人口問題研究所 第66巻 第3号 pp.11-31.
- Ryuichi Kaneko, 2011. “The Society Created by the Longevity Revolution: Historical Development and Associated Issues.” *The Japanese Journal of Population*, National Institute of Population and Social Security Research Vol.9 No.1 pp.135-154.
- 石川晃、2010年、「全国人口の再生産に関する主要指標：2009年」『人口問題研究』国立社会保障・人口問題研究所 第66巻 第4号 pp.83-92.
- 石川晃、2010年、「都道府県別標準化人口動態率：2009年」『人口問題研究』国立社会保障・人口問題研究所 第66巻 第4号 pp.93-98.
- 石川晃、2010年、「都道府県別女性の年齢（5歳階級）別出生率および合計特殊出生率：2009年」『人口問題研究』国立社会保障・人口問題研究所 第66巻 第4号 pp.99-104.
- 石川晃、2010年、「主要国人口の年齢構造に関する主要指標：最新資料」『人口問題研究』国立社会保障・人口問題研究所 第66巻 第4号 pp.105-114.
- 別府志海・石川晃、2010年、「主要国における合計特殊出生率および関連指標：1950～2008年」『人口問題研究』国立社会保障・人口問題研究所 第66巻 第4号 pp.115-122.
- 2. 学会発表
 - Ryuichi Kaneko. 2010. “Applying fertility projection system to period effect analysis: An examination on recent upturn in Japan.” Paper presented at Joint Eurostat-UNECE Work Session on Demographic Projections, 28-30 April 2010, Lisbon, Portugal.
 - Ryuichi Kaneko. 2010. “Multistage models of first marriage and birth: An extension of the Coale-McNeil nuptiality model.” Paper presented at the annual meeting of Population Association of America, April 15-17, 2010, Dallas, TX.
 - 金子隆一、「近年の日本人の結婚・出生行動の変化（シンポジウム 日本の少子化とジェンダー・システム：一性別役割分業の超克は可能か？—）」日本人口学会第62回年次大会(2010/6/12-13)、お茶の水女子大学、東京.
 - 別府志海、「有配偶女性の就業形態の変化と出生力の人口学的分析」日本人口学会第62回年次大会(2010/6/12-13)、お茶の水女子大学、東京.
- 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の基本再生産数の定義について」

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

基本再生産数の概念は、人口成長の閾値条件を与える人口学・個体群動態学におけるもっとも基本的で、重要な指標として発展してきた。特に Diekmann, Heesterbeek, Metz による年齢構造や生存状態等の個体の異質性を考慮した個体群ダイナミクスにおける基本再生産数の定義は、感染症疫学や個体群動態学に非常に大きな影響を与えたが、その定義は定常的な環境を前提にしているため、周期的環境やより一般の変動環境において提供可能な定義が求められてきた。本研究では、周期系を含む一般の変動環境において人口成長の閾値を与える基本再生産数の新たな定義を提案する。この新たな基本再生産数は、時間パラメータに依存する世代分布を次世代の分布に変換するある種の正積分作用素によって生成される世代分布の列の収束半径として定義される。この作用素は、時間も状態変数とみなした拡張された状態空間における人口の世代分布に作用するために、生物学的意味が明快であり、かつ定常環境ないし周期的環境における次世代作用素は時間に関して集計された世代分布に作用する作用素としてこの世代推進作用素から自然に導かれ、定常系と周期系においては両者のスペクトル半径は一致する。したがって新定義は定常系と周期系に関する在来の定義の拡張になっている。

A. 研究目的

基本再生産数 R_0 の概念は、人口成長の閾値条件を与える人口学・個体群動態学におけるもっとも基本的で、重要な指標である。過去 20 年間に於いては、人口学よりも感染症疫学において、基本再生産数に関わる理論が著しく発展してきており、個体の異質性や環境の変動などを考慮に入れた基本再生産数の概念が提案されてきている。特に、Diekmann, Heesterbeek, Metz による年齢構造や生存状態等の個体の異質性を考慮した個体群ダイナミクスにおける基本再生産数の定義は、感染症疫学や個体群動態学に非常に大きな影響を与えた。その定義においては、基本再生産数はある種の正

積分作用素（次世代作用素）のスペクトル半径として与えられる。Diekmann 等による基本再生産数の定義は、理論的にも実践的にも非常に有効であることが証明されてきたが、それは定常環境における線形人口ダイナミクスにおける閾値条件を定式化するものであって、環境が時間的に変動する場合に、同様な指標が定義できるかどうか、大きな問題であった。そこで、1990 年代半ばから、まず周期的環境において基本再生産数を定義する試みがなされるようになってきた。そこで、本研究では、周期系を超えてより一般の変動環境において人口成長の閾値を与える基本再生産数の新たな定義を提案することを目的とした。

B. 研究方法

人口の成長過程を時間をも状態変数に取り入れた拡張された状態空間上で作用する世代推進作用素による世代の生成過程と見なして世代サイズの漸近的成長比としての基本再生産数の基本特性（世代解釈）を明らかにすることで、在来の定義を包含した新たな定義を導出する。

C. 研究成果

本研究において、我々は定常環境ないしは周期的な環境における在来の R_0 の定義のキーとなる次世代作用素が、時間に関して集計された新生児状態分布関数に作用することを示し、時間をも状態変数に取り入れた拡張された状態空間上で作用する世代推進作用素による世代の生成過程が、集計作用素によって次世代作用素の反復過程に還元されることを示した。このような還元によって、定常環境と周期環境における次世代作用素による R_0 の世代解釈が成り立つことが明らかとなった。さらに世代推進作用素にもとづいて、一般的な変動環境における R_0 の定義を導入した。新たな定義における R_0 は、無限級数（世代サイズの和）の収束半径として計算されるが、世代推進作用素のスペクトル半径として得られるかどうかは一般にはわかっていない。しかしながら、定常環境と周期的環境においては、新たな定義による R_0 は世代推進作用素のスペクトル半径として得られ、このとき世代解釈が完全に成り立つ。またこのとき、世代推進作用素のスペクトル半径は次世代作用素のスペクトル半径に一致する。この意味で、我々の新たな定義は、これまでの次世代作用素による定常環境と周期的環境における R_0 の定義の拡張になっている。

D. 考察

新たな定義による R_0 が世代推進作用素

のスペクトル半径として得られるようなより一般的な変動環境のクラスを見いだすことは今後の課題である。また一般の変動環境においては $R_0 > 1$ は必ずしも人口増加を意味しない。定常環境と周期的環境においては、人口の長期的平均的成長率（内的成長率）が存在したが、そのような人口増加の閾値を与える内的成長率が存在するような、一般的な環境変動の条件を決定することも重要な課題である。

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り、政策的研究ではないが、先進諸国の人口問題との関わりからすれば、その動態率は常に変動しており、一般的な変動環境において有効な人口の成長閾値を明らかにすることは、人口変動の理解のために不可欠な重要なステップである。

F. 研究発表

1. 論文発表

○H. Inaba (2010), On a new perspective of the basic reproduction number for infectious diseases in heterogeneous environment, submitted.

2. 学会発表

○H. Inaba (2010), On the definition of the basic reproduction number for infectious diseases in heterogeneous environments, The 3rd China-Japan Colloquium of Mathematical Biology, October 18-21, 2010, Beijing, China.

○ 稲葉寿 (2010), 変動環境下における基本再生産数の定義について, 第7回生物数学の理論とその応用, 2010年11月16日～19日, 京都大学数理解析研究所.

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：
「対数死亡率曲面上の接ベクトル場を利用した死亡率モデルの検討」

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

本年度の研究では、昨年度までの研究成果を発展させ、LD モデルについて、ロジスティックモデルとより整合性を高める観点からの改良を行うとともに、死亡率のモデル化にあたって、対数死亡率曲面上の接ベクトル場を利用することの有効性を示し、高齢部分に LD モデルの構造を持つ全年齢死亡率モデル構築の方法論に関して検討を行った。

昨年度の研究において、シフト型で死亡率改善を表現する「LD モデル」を提案し、現在、標準的な死亡率推計モデルとして用いられているリー・カーター・モデルとの比較を通じてこのモデルの有効性を示したところであるが、LD モデルは年齢シフトモデルのシフト量・勾配パラメータ等を求める際の理論的基礎となっている 2 パラメータロジスティックモデルとの整合性の観点で課題があった。本年度の研究ではこの点を改良し、2 パラメータロジスティックモデルの年齢増加率が持つ特性を保有するよう、年齢の線形関数であるとして LD モデルを定義することとした。この改良された LD モデルに対しても、昨年度行ったのと同様に統計学的観点からの LC モデルとの比較を行い、やはり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との結論を得た。

また、この LD モデルは成人死亡率のみを表現するモデルであり、そのまま全年齢の死亡率モデルとして利用することはできない。そこで、対数死亡率曲面 S 上の接ベクトル場を利用することにより、高齢部分に LD モデル、若年部分に LC モデルの構造を持つ全年齢死亡モデルである TVF モデルの開発に関する検討を行った。TVF モデルは年齢シフトモデルで開発されてきた、シフト型の死亡率改善をモデルに取り込むという観点を採り入れつつ、全体をノンパラメトリックな手続きで構成するという LC モデルが持つ特性を同時に達成したモデルであるということができる。この新たなモデルをわが国の死亡動向の分析に活用するとともに、死亡率の将来推計に応用していくことが今後の課題といえよう。

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。

昨年度までの研究において、この年齢シフトモデルの理論的再検討を端緒とする死亡率モデルの検討を行い、近年のわが国における死亡率改善は高齢死亡率によるところが大きい、これを死亡率の「低下」と捉えるよりも死亡の「シフト」と捉えることにより、よりの確なモデリングが可能となることを示し、このような「シフト」という形で死亡率改善を表現する「LD モデル」を提案し、その有効性を示した。

しかしながら、これは成人死亡率のみを表現するモデルであり、そのまま全年齢の死亡率モデルとして利用することはできない。また、昨年度の研究の中で、LD モデルは年齢シフトモデルのシフト量・勾配パラメータ等を求める際の理論的基礎となっているロジスティックモデルとの整合性の観点で課題があることについて触れた。

本年度の研究では、この LD モデルについて、ロジスティックモデルとより整合性を高める観点からの改良を行うとともに、死亡率のモデル化にあたって、対数死亡率曲面上の接ベクトル場を利用することの有

効性を示し、高齢部分に LD モデルの構造を持つ全年齢死亡率モデル構築の方法論に関して検討を行うことを目的とする。

B. 研究方法

まず、昨年度までの研究成果から、対数死亡率曲面の 2 つの表示方法、対数死亡率とその逆関数、低下型モデルとシフト型モデルに関する再整理を行った。

次に、2 パラメータロジスティックモデルと整合的な性質を仮に持つとすれば、それはモデルが高齢死亡率を表現する上で好ましい性質を備えていることから、その年齢増加率が年齢の線形関数という性質を持つことを示し、これを用いて昨年度提案した LD モデルの改良を行った。この改良された LD モデルについて、LC モデルとの統計学的観点からの比較を行い、昨年度と同様の結論が得られるかどうかについて検証を行った。

さらに、この改良された LD モデルと LC モデルを用い、対数死亡率曲面 S 上の接ベクトル場を利用することにより、高齢部分に LD モデル、若年部分に LC モデルの構造を持つ全年齢死亡モデル (TVF モデル) の構成に関する検討を行った。

C. 研究成果

2 パラメータロジスティックモデルの性質として、その年齢増加率が年齢の線形関数となっていることが示された。この性質を用いて新たな LD モデルを定義し、実際にモデリングを行って対数死亡率の逆関数の実績値と LD モデルによる推計値、および、両者の差を検討したところ、LD モデルは実績値によくあてはまっているということが結果として得られた。

また、昨年度に提案した改良前の LD モデル(LDy)と改良された LD モデルについて、その年齢増加率を比較したところ、年

年齢増加率実績値は概ね年齢の線形関数で近似されることがわかり、LDy、LDとも実績値の傾向を表現できていることがわかった。また、LDはその定義から全ての年齢層で線形関数となっているが、LDyでは超高齢層でややカーブが屈曲するような傾向が見られた。

LDモデルについて、LCモデルとの統計学的観点からの比較を行ったところ、LCモデルについては、80歳近辺において、多くの実績値が信頼区間の外に出てしまっているがLDモデルについては実績値が外に出ている数はより少なく、改良されたLDモデルについても、LCモデルよりパフォーマンスが優れているということが示唆される結果となった。

また、高齢部分にLDモデル、若年部分にLCモデルの構造を持つ全年齢死亡モデルを、対数死亡率曲面S上の接ベクトル場を利用して構築する方法について検討し、実際にモデリングを行った。

D. 結果の考察

LDyとLDモデルの年齢増加率の比較について、年齢増加率の傾きが若年層と超高齢層で異なってくると、年齢増加率は全体として線形関数から遠ざかることから、LDy、LDのあてはめはやや悪くなっていく。ここで、その誤差についてはLDyの方が小さい場合とLDの方が小さい場合の両者があるが、死亡率が全体として2パラメータロジスティック曲線に近いと考えられる場合にはLDの方が誤差は小さくなるはずであり、年齢増加率を年齢の線形関数と見る方が優れていると考えることができる。

LDモデルとLCモデルの統計学的観点からの比較からは、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るとの結果が得られ、これは、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」と捉える見方がより強く支持されることを示唆していると見ることができる。

また、対数死亡率曲面上の接ベクトル場を利用することにより、高齢部分ではLDモデルによるシフト型の死亡率改善をしつつ、若年部分においてはLCモデルによる低下型の死亡率改善をする全年齢死亡モデルであるTVFモデルを提案したが、これを年齢シフトモデルと比較すると、TVFモデルは、高齢者死亡の表現性にすぐれ、かつ年齢シフトモデルの理論的根拠ともなっていたロジスティックモデルの特性を保ちつつ、モデル内部の整合性に関しても高いレベルで達成することができることから、より有効なモデルであるということができ

E. 結論（政策含意含む）

本年度の研究では、昨年度までの研究成果を発展させ、LDモデルについて、ロジスティックモデルとより整合性を高める観点からの改良を行うとともに、死亡率のモデル化にあたって、対数死亡率曲面上の接ベクトル場を利用することの有効性を示し、高齢部分にLDモデルの構造を持つ全年齢死亡率モデル構築の方法論に関して検討を行った。

昨年度の研究において、シフト型で死亡率改善を表現する「LDモデル」を提案し、現在、標準的な死亡率推計モデルとして用いられているリー・カーター・モデルとの比較を通じてこのモデルの有効性を示したところであるが、LDモデルは年齢シフトモデルのシフト量・勾配パラメータ等を求める際の理論的基礎となっている2パラメータロジスティックモデルとの整合性の観点で課題があった。本年度の研究ではこの点を改良し、2パラメータロジスティックモデルの年齢増加率が持つ特性を

保有するよう、年齢の線形関数であるとしてLDモデルを定義することとした。この改良されたLDモデルに対しても、昨年度行ったのと同様に統計学的観点からのLCモデルとの比較を行い、やはり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との結論を得た。

また、このLDモデルは成人死亡率のみを表現するモデルであり、そのまま全年齢の死亡率モデルとして利用することはできない。そこで、対数死亡率曲面S上の接ベクトル場を利用することにより、高齢部分にLDモデル、若年部分にLCモデルの構造を持つ全年齢死亡モデルであるTVFモデルの開発に関する検討を行った。これは、死亡モデルを対象となる関数の時間的変化である微分型表示を利用し、LD、LCモデルを対数死亡率曲面上の接ベクトル場として捉え、中間的な年齢層では接ベクトルのレベルでLD、LCモデルに対応する接ベクトルを加重平均することにより両モデルを接合して全年齢死亡モデルを構成するものである。TVFモデルによる推計結果は、25歳未満の若年層ではLCモデルに一致し、それ以降LDモデルのラインに近づき、高齢層ではLDモデルに一致している。このように、対数死亡率曲面上の接ベクトル場を利用することにより、高齢部分ではLDモデルによるシフト型の死亡率改善をしつつ、若年部分においてはLCモデルによる低下型の死亡率改善をするような、自然なモデリングを行うことが可能となった。

本研究で検討を行ったTVFモデルを、年齢シフトモデルと比較すると以下のような利点がある。年齢シフトモデルで用いられている年齢変換を行うためには、まず最初に死力曲線にロジスティックモデル

をあてはめ、パラメータ推定をする必要がある。これは、年齢変換後に行うリー・カーター・モデルによるモデリングがノンパラメトリックな手続きによっているのに対し、年齢変換の中ではパラメトリックな手続きが必要であることを意味しており、一つのモデルの中に両者の手続きが混在していたことになる。しかしながら、TVFモデルでは、このような手続きは必要なく、モデル全体を完全にノンパラメトリックな手続きのみで構築することが可能となる。したがって、TVFモデルは、高齢者死亡の表現性にすぐれ、年齢シフトモデルの理論的根拠ともなっていたロジスティックモデルの特性を保ちつつ、モデル内部の整合性に関してより高いレベルで達成することができるのである。

以上に述べてきた通り、TVFモデルは年齢シフトモデルで開発されてきた、シフト型の死亡率改善をモデルに取り込むという観点を採り入れつつ、全体をノンパラメトリックな手続きで構成するというLCモデルが持つ特性を同時に達成したモデルであるということが出来る。この新たなモデルをわが国の死亡動向の分析に活用するとともに、死亡率の将来推計に応用していくことが今後の課題といえよう。

わが国の今後の死亡率の動向は、将来の人口見直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, “Application of Age-Transformation Approaches to Mortality Projection for Japan”, Annual meeting of Population Association of America, Dallas, TX (2010.4.15)

○ Futoshi Ishii, “Application of Age-Transformation Approaches to Mortality Projection for Japan”, Joint Eurostat-UNECE Work Session on Demographic Projections, Lisbon, Portugal (2010.4.29)

○ 石井 太「死亡率推計モデルにおける年齢変換アプローチの応用」, 日本人口学会第 62 回大会, お茶の水女子大学 (2010.6.12)

○ Futoshi Ishii, “Provisional plan for the Japanese Mortality Database and its cause of death data”, Third HMD Symposium, INED, Paris, France (2010.6.17)

G. 知的所有権の取得状況

なし