

両性拡張年齢依存シミュレーションモデルの 構築とその評価

萩原 潤

宮城大学看護学部

キーワード：人口学、シミュレーション、希望子ども数、結婚年齢

要 旨

本研究は、先行研究による両性年齢依存シミュレーションモデルを拡張した。結婚年齢の分布を男性と女性で独立に設定できるようにしたことと、出生に関する「希望する子ども数」という変数をカップルごとに設定することを可能にしたことが先行研究のモデルから拡張した点である。このモデルの妥当性を検証するために、1998年の日本のデータを基にモデルのパラメータを決定し、シミュレーションを行い、シミュレーションによって計算されたデータと、1998年の値とを比較した。その結果、実際の出生データとシミュレーションによって生成されたデータとが一致し、本研究で構築されたシミュレーションモデルは現実に適用できる可能性があることが示された。

The formulation and evaluation of the extended two-sex age dependent simulation model

Jun Hagihara

School of Nursing, Miyagi University

Key Words : Demography, Simulation, Desired family size, Age at marriage

Abstract

The extended two sex age dependent simulation model was formulated in this study. The extended points of this model were to make it possible to configure the distribution of the age at marriage for male and female independently, and to set up the variable of "desired family size" for every couple. For the evaluation of this model, the parameters in this model were estimated using vital statistics in Japan in 1998, and the simulation generated data and actual vital data in 1998 were compared. The result of evaluation, total fertility rate and age-specific fertility rate generated from simulation were consisted with those from actual vital data. It was demonstrated that the simulation model formulated in this study was applicable for actual demographic processes.

I. 結 言

人口学とは、「ヒトの人口の科学的研究」と位置づけられている（国際人口学会，1994a）。人口学的なイベント（年齢、人の数、出生数、そして死亡数）は数値化が可能であり、かつセンサスに代表される登録システムからそれら数値を得ることが容易であることから、指標の計算や、数理モデルを用いた分析を行うことが容易である（Coale and Trussell, 1996）。そういった「人口現象の数量的側面に重点を置き、特に人口の数と構造に対して適用する分野」は形式人口学と呼ばれる（国際人口学会，1994b）。

形式人口学の中でも出生に関する数理モデル化は、1970年代から研究されてきた（Coale and Trussell, 1996）。これらモデルは実データにみられる規則性を可能な限り少ないパラメータで捉えようとするものであり、集団間比較や、さらには外挿により、日本の将来推計人口（国立社会保障・人口問題研究所，2002a）や、都道府県の将来推計人口（国立社会保障・人口問題研究所，2002b）に見られるような、将来のトレンドを予測するために用いられる。

出生に関する数理モデルを用いた研究は、Sharpe and Lotka (1911) に代表されるように、「単性モデル」と呼ばれる女性だけに焦点を置いたものであった。この単性モデルを実データに適用する際、問題となっているものの一つに「両性問題」があげられる。これは、単性モデルを両性に当てはめた際に生じるもので、このモデルを男性と女性それぞれに独立して当てはめ、人口指標を計算すると、同一地域、同一時期のデータからでも男女で食い違いが生じるというものである（Pollard, 1997）。両性問題を解決する一つは両性を扱い、かつ結婚という要素を追加したモデルを構築する事であるとされている。

数理モデル研究で用いられる手法の一つとして、モンテ・カルロシミュレーションがあげられる。数理モデルを作ることができないような複雑な問題に対して乱数を用いて何回も計算を行う手法のことである。乱数を用いて計算することにより、一つ一つの計算結果が一樣ではなく、繰り返し行うことにより計算結果のとりうる値の幅を推定す

ることができる。

出生力を研究するということは、出生力をコントロールする要因について研究することに他ならない。出生力に直接影響を与える要因は、「出生の近成要因」と呼ばれ、Bongaarts (1978) が8つの変数にまとめている（表1）。ヒトの場合は、文化、社会制度、意図的な出生コントロールといった要因が出生力に与える影響を研究することが重要となる。

表1 Bongaartsによる出生の近成要因

I 基本要因
既婚者の割合
II 有配偶出生力の計画的調節要因
避妊
人工妊娠中絶
III 自然出生力要因
授乳性不妊
性交頻度
不妊
自然胎児死亡
受胎可能な期間

（出典：柏崎，1990）

このうち、『避妊』という変数に影響を与えるカップルの希望子ども数と、『既婚者の割合』という変数に影響する結婚のタイミングは、出生力に与える影響は大きく、出生パターンを分析する上で重要であると考えられる。しかしながら、両者の出生力に与える影響を相対的に比較できるシミュレーションモデルはほとんどない。

本研究の目的は、両性を扱った年齢依存シミュレーションモデルを用いて、結婚の分布、男女の年齢差、そして集団の結婚する人の割合に着目し、それらが出生力に与える相対的な影響を検証できるようなモデルを構築し、そのモデルが現実に適用できるか評価することにある。

II. 方 法

1. シミュレーションモデル

本研究で構築されたモデルは、性と婚姻状態にカテゴリ分けされた年齢グループをシミュレーションの単位としたモデルを用いた。この方法は、

Mode and Salsburg (1993) によりそのフレームワークが構築され、Hagihara and Ohtsuka (2001a) によって人口学に適用できるように拡張されたものである。彼らはそのモデルを用いて、バングラデシュのデータに当てはめ、避妊の割合が都市部と農村部で差がみられることを示した (Hagihara and Ohtsuka, 2001b)。

図1はシミュレーション全体の流れを示している。シミュレーション上で発生させたイベントは、出生、死亡、結婚の3つである。シミュレーションを開始すると、プログラム内で使われる変数を初期化した後、死亡、出生、結婚、加齢の各セクションにおいて、それぞれのイベント発生の有無を計算し、これで一年とする。シミュレーション上での10年に1回、結婚と加齢の間に出力を行う。

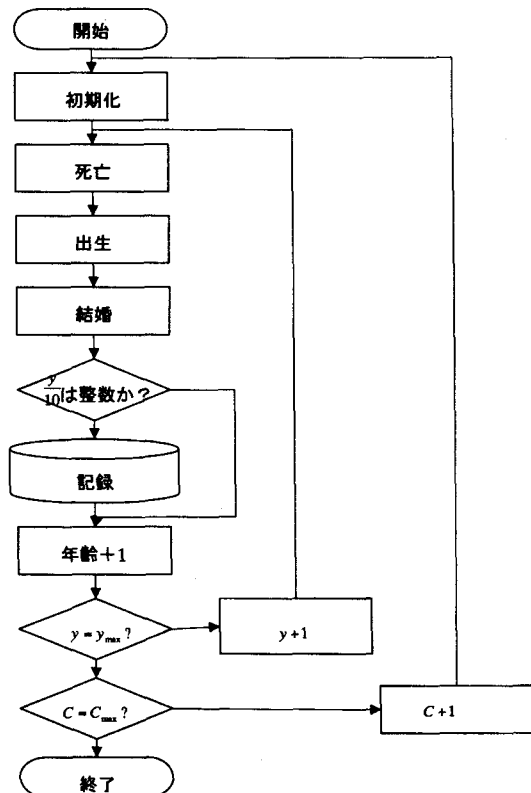


図1：シミュレーションモデルの流れ図。ただし、 y ：シミュレーション上の年、 y_{max} ：初期設定年、 c ：シミュレーションの回数、 c_{max} ：初期設定回数。

死亡に関する手続きは、未婚グループと、既婚グループとに分割して行っている。未婚グループの場合、男性、または女性それぞれに対して、一様乱数を発生させて、それが年齢別死亡率よりも

小さい時には、1人の人が死亡し、その人が所属していたグループの人数から1を引く。この手続きは未婚グループを構成する人数分繰り返される。

結婚グループでは、まず男性 i 歳、女性 j 歳のカップルについて、未婚グループと同様に死亡した数を男女別々に数える。次に、両方死亡したカップルを計算する。最後に、残った男性、または女性を未婚グループに戻す。これを年齢によるカップルの組み合わせの数繰り返す。

本研究では、Hagihara and Ohtsuka (2001a) のモデルを以下に示す二つの点で拡張した。第一に、このモデルは男女の結婚年齢を独立に仮定していないので、結婚年齢を男女独立に決定できるように拡張した。第二点目は、出生セクションにおいて、避妊行動を決定する変数である希望子ども数に関する拡張である。従来モデルでは希望子ども数の変数は一つの値のみを投入することができたのだが、本研究ではこれの分布を与えることを可能にした。

結婚セクションの拡張の詳細を図2に示す。シミュレーション内での結婚の手続きは、まず、一様乱数と性別・年齢別結婚確率との比較により男性と女性を独立に計算し、年齢別の結婚の候補者数を決定する。次に、パートナーをランダムに選択し、結婚相手を決定し、既婚者グループ内の該当する変数に1を加える。このプロセスは男女いずれかの候補者がなくなるまで続けられる。最後に結婚できなかった候補者は未婚グループに戻される。このような手続きを行うことにより、男性と女性の結婚年齢の分布を独立に設定することが可能となった。

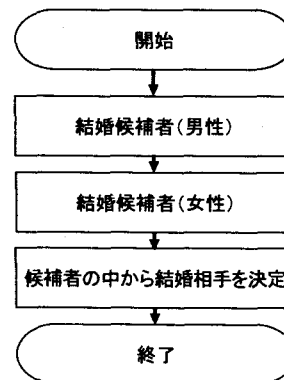


図2：シミュレーションモデルの結婚セクションの流れ図

出生について、「希望子ども数」の分布を取り入れた。具体的には、結婚の際にカップルが希望する子ども数に関する変数を追加し、実際の出生数が希望子ども数に達した場合に、避妊行動を起こすように設定した。さらに、カップルごとに「希望子ども数」を変化させ、カップル全体の分布が、現実の分布と一致するように設定した。

2. 妥当性検証のためのパラメータ

本研究で用いるシミュレーションモデルに投入するパラメータには、死亡、結婚、出生に関するものが必要である。今回構築したモデルの妥当性を検証するために1998年の日本の死亡、結婚、そして1997年の出生のデータを元にパラメータを推定した。これら推定されたパラメータを投入してシミュレーションを行い、作られたデータが当時の日本の出生状況に合致しているか否かを検証することで、妥当性を検証した。

死亡に関するパラメータは1998年の厚生省統計情報部による「簡易生命表」を元にパラメータを決定した。そのパラメータを代入し、推定した生存曲線と、生命表によるものとを図3に示す。

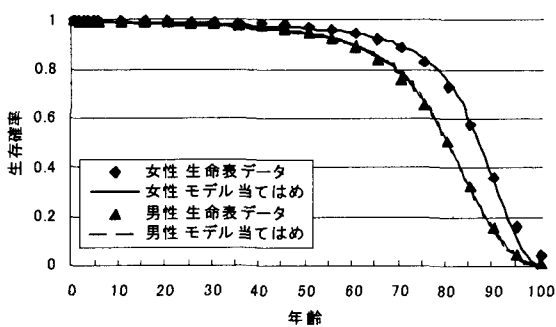


図3：実データとそのデータを元に当てはめたモデルの生存曲線

同様に、結婚に関しては1998年の厚生省統計情報部による「人口動態統計」の中にある、「初婚数」という変数からパラメータを決定した。それによって推定された年齢別結婚確率を累積確率で表現したグラフを図4に示す。ただしこれらの確率は、結婚した人を分母として計算されている。したがって、図4のように、年齢が高くなれば結婚率が1に近くなるのである。しかし、現実には一生を通じて結婚しない人が存在するので、全体の年齢別結婚確率を算出するのに「集団全体で結

婚する人の割合」というパラメータが必要になる。本研究では、いくつかのパラメータを試した結果、シミュレーションによって計算された合計特殊出生率と、現実の合計特殊出生率が最も近い値である0.937を用いた。

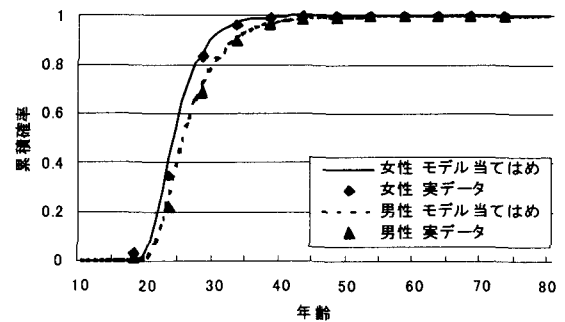


図4：男女別結婚確率

出生に関する希望子ども数の分布は第11回出生動向基本調査（国立社会保障・人口問題研究所、1997）の「予定こども数」という変数を用いた。その分布を図5に示す。

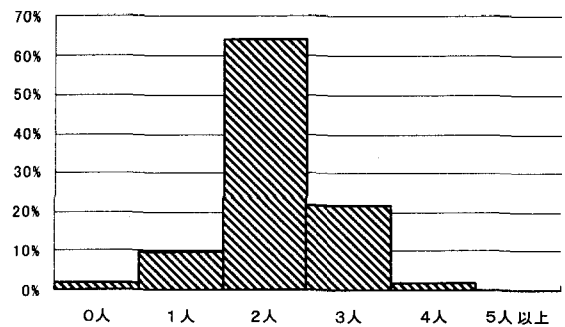


図5：予定希望子ども数の分布（国立社会保障・人口問題研究所（1997）より作図）

上記のパラメータセットで初期人口10万人、100年間のシミュレーションを200回繰り返して行った。これは、初期人口における年齢構成や、死亡、結婚、出生のパラメータといったシミュレーションの初期設定はすべて同じものを用い、乱数列を変えることにより、ランダムな変動を観察するためである。シミュレーションプログラムは、C言語で書かれ、AthlonMPプロセッサを搭載しLinux OSが稼働するコンピュータ上で動作させた。

Ⅲ. 結 果

シミュレーションによる100年間の全人口の変化を図6に示す。図には200回のシミュレーションによって得られたデータの平均値を示している。図から明らかなように、総人口は一貫して減少し続け、初期人口10万人が100年後には4万人を下回っていた。シミュレーション100年間の年平均人口増加率の平均値は-0.93%であった。

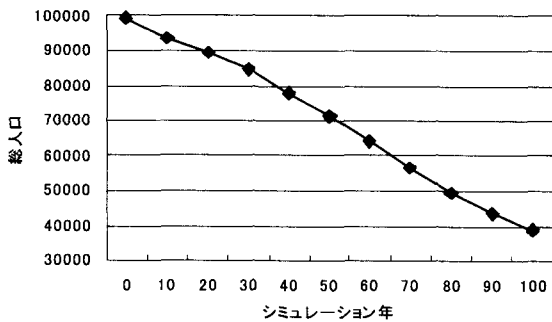


図6：100年間の総人口の変化

シミュレーション上における100年間の合計特殊出生率の変化を図7に示す。図にはシミュレーションによって得られたデータの95%信頼区間と、平均値、そして1998年の人口動態統計によって集計された値が示されている。200回のシミュレーションで得られた数値をシミュレーション年ごとに昇順に並べ替え、最大と最小にそれぞれ6番目に近い値の範囲がこのシミュレーションによって生成される値の95%信頼区間となる。図7の「95%」の線で囲まれた部分が95%信頼区間であることを示している。

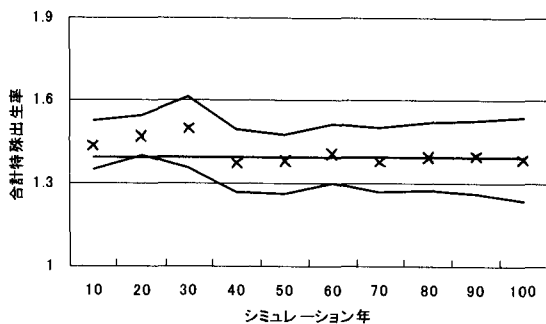


図7：100年間の合計特殊出生率の移り変わり、実際のデータ

図7をみると、まず、シミュレーションを初めて最初の40年くらいは平均値や95%信頼区間の変

動が大きい、後になるほど安定する。逆に95%信頼区間は、80年頃から100年までに若干広がりが大きくなっていることがわかる。

動態統計から得られた1998年の合計特殊出生率は1.39であった。図7をみると、この値はどの年でも95%信頼区間の間に含まれていることがわかった。さらにシミュレーション後半では200回の平均値と実際の合計特殊出生率とがほぼ一致していた。

図8はシミュレーションにおける100年後に得られたデータを元に作成した年齢別出生率のグラフである。グラフには、図7と同様の方法で作成した95%信頼区間と平均値、そして1998年の人口動態統計から得られた年齢別出生率が示されている。

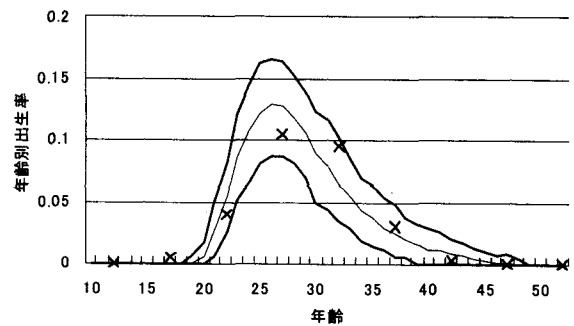


図8：シミュレーション上100年後の年齢別出生率と人口動態統計による年齢別出生率との比較

図8をみると、人口動態データは、ほぼ95%信頼区間の間に入っていた。しかし10代後半の出生率は、人口動態統計では若干みられる一方、シミュレーションから得られたデータにはなかった。また、20代、30代の出生率は95%信頼区間に入っているものの、20代では過大に、30代では過小に推定される傾向が見られた。

Ⅳ. 考 察

本研究は、両性を用いた確率論的シミュレーションモデルを構築し、モデルの当てはまりを日本の人口データを用いて検証した。これは希望子ども数の分布と、結婚関数のパラメータを男性、女性に独立に与えるという点で、先行研究で構築されたものよりも、より出生力に影響を与える変数を詳細に検討することが可能になった。

図7において、シミュレーション年数が増加するに従って、信頼区間が広がるのは、シミュレーション内の人口規模によるものと考えられる。本研究で示した死亡、結婚、そして出生の状態が変化せず100年間続くと、図6に示したように人口は減少し続けることになる。人口が減少することにより、ランダムな変動による影響が大きくなり、信頼区間が広がったものと思われる。

図8では、さらに年齢別出生率を示し、日本で実際に観察されたものと比較したが、10代後半の部分の出生率が推定できなかつたことと、20代、30代ではそれぞれ過大、過小に推定している傾向が見られるという結果になった。前者は、婚外出生によるもの、後者はカップルが出産間隔を意図的に広げていることが考えられる。希望子ども数を満たしていなくても避妊を行うことが現実のデータから予測される。本研究で構築したモデルでは婚外出生は想定されておらず、かつ希望子ども数に達するまでは避妊行動を起こさないので、婚外出生や、出産間隔を含めたモデルの必要性があると考えられた。

図8でみられるもの以外にも、現実にはみられるが、今回のシミュレーションモデルには組み込まなかつた点がある。まず、死別をのぞく離婚。次に、“Marriage Protection”と呼ばれる現象(Hu and Goldman, 1990)。これは、既婚男性は未婚男性よりも生存率が高いことである。これらもモデルには組み込まれていないものの、今後の検討課題である。

いくつか問題点はあるものの、図7、8に示したように、合計特殊出生率、年齢別出生率ともに、ほとんどの場合で現実のデータとシミュレーションにより生成したデータの95%信頼区間内に含まれていた。このことから、今回構築したモデルは、現実に適用できる可能性があることが示された。今後、いくつかのシナリオに沿ってパラメータを変更し、シミュレーションを行い、出生力に与える影響を観察することが課題である。

V. 結 論

本研究では、両性による年齢依存シミュレーションモデルを構築した。これは出生の近成要因に影

響を与えると考えられる希望子ども数の分布を取り入れたことと、結婚に関するパラメータを男女独立に設定した点が先行研究によるものとの相違点である。

このモデルによって、結婚、希望子ども数の変動が出生に与える影響を相対的に評価することが可能になった。

VI. 謝 辞

この研究は、宮城県（宮城大）指令第55号による宮城大学研究補助金（宮城県における地域間出生率の比較に関する研究：研究代表者 萩原 潤）による援助によってなされた。

VII. 文 献

- Bongaarts, J. : A framework for analyzing the proximate determinants of fertility. *Population and Development Review*, 4, 105-312, 1978.
- Coale, A. and Trussell, J.: The development and use of demographic models. *Population Studies*, 50, 469-484, 1996.
- 柏崎 浩：自然出生力と抑制された出生力，*遺伝* 44 (12), 20-24, 1990.
- 国立社会保障・人口問題研究所：第11回出生動向基本調査 結婚と出産に関する全国調査 夫婦調査の結果概要，1997.
- 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口日本の将来推計人口（平成14年1月推計）—平成13（2001）年～平成62（2050）年—，2002a.
- 国立社会保障・人口問題研究所：都道府県の将来推計人口（平成14年3月推計）—平成12（2000）年～平成42（2030）年—，2002b.
- 国際人口学会編：人口学用語辞典，p1，厚生統計協会，1994a.
- 国際人口学会編：人口学用語辞典，p2，厚生統計協会，1994b.
- Hagihara, J. and Ohtsuka, R. :The Formulation of Two-Sex Age Dependent Simulation Model, *The Japanese Journal of Health and Human Ecology*, 67 (4) ; 183-196, 2001a.
- Hagihara, J. and Ohtsuka, R., The Estimation of Contraception Rate : An Application of the

Two-Sex Age-Dependent Simulation Model to Bangladeshi DHS Data, *The Japanese Journal of Health and Human Ecology*, 67 (5), 240-247, 2001b.

Hu, Y., and Goldman, N. : Mortality differentials by marital status : An international comparison. *Demography*, 27 : 233-50, 1990.

Mode, C. J. and Salsburg, M., A. : On the formulation and computer implementation of an age-dependent two-sex demographic model. *Mathematical Biosciences*, 118 : 211-240, 1993.

Pollard, J. H. : Modelling the interaction between the Sexes. *Mathematical and Computer Modeling*, 26, No. 6 : 11-24, 1997.

Sharpe, F. R. and Lotka, A. J. : A problem in age distribution, *Philosophical Magazine* 21, 435-438, 1911.