

人口問題

—人口学的アプローチ—

稲葉 寿（東京大学大学院数理科学研究科）

1 はじめに

明治維新に続く経済社会の近代化とともに、1世紀以上にわたってほぼ指数関数的に増加してきた日本の人口は、2004年にはそのピークに達し、2005年には減少に転じた。これは一時的な現象ではなく、半世紀以上に及ぶであろう持続的な人口減少の時代の入り口に我々はたっている。この変動は100年以上に及んだ日本社会の近代的発展過程の基礎的条件の根本的な変容を意味するものである。本文で述べるように、この変化は出生力の持続的低下（少子化）によって引き起こされているが、日本だけではなく欧州先進諸国に一般に見られる現象であり、さらには世界の他の地域にも拡散する様相を見せている。従ってその人類史的意義はきわめて大きく、あらゆる角度からの分析究明が必要な事態である。人口の変動は社会経済的な条件によって影響されるが、心理学的ないし生物学的な条件や要求にも依存した複雑な過程であり、我々の理解はまだ全く不十分なものである。しかしまず第一に必要なことは、人口という集合現象が、その構成要素である個体のどのような選択や特性変化の結果として因果的に理解されるかを明らかにすることである。

そのために本稿では、人口のダイナミクスを定量的に考察する学問である人口学、とりわけ数理的、統計的人口学（形式人口学とも呼ばれる）の基本的アイディアを紹介しながら、現在の日本が直面する少子高齢化と人口減少という人口問題に焦点をあてて、それがどのような経緯で、またどのようなメカニズムでおきているのかを考えてみたい。

2 人口問題とは？

人口問題は人口の規模、分布、成長率などが主因となって引き起こされる社会問題であるとしてとりあえず定義できるが、その有り様は時代と状況によって大きく変わってきた。簡単にいえば、ある社会にとって人口が過剰であるか、過少であるか、あるいは人口成長率が高すぎるか低すぎるという状況があるとき、これを人口問題と称するのであろうが、では人口が過剰か過少かということは客観的に決められることかということ、それは難しいであろう。というのも、与えられた不変な環境条件、技術条件のもとでは何らかの最適性の基準を導くこともできるが、労働や技術進歩によってそうした制約条件を改変してしまうのが人類史の歩みであったからである。

生態学者、人口学者として名高いジョエル・コーエンは、その著作“*How many people can the earth support?*” (1995, 邦訳 1998) のなかで、地球が扶養可能な人口の上限（人口許容量）を求めようとする17世紀以降の数々の試みを収集して、その分析・評価をおこなっているが、その値はなんと10億以下から1兆にまでわたっている。しかしその多くは40億から160億の範囲に集中していることを示した。今世紀中には

現在の65億の世界人口は90億に達するとみられるが、これは多くの研究者が考える限界に近いといえる。しかしいずれにせよ、人口許容量は、我々がどのような生活を望むのか、という問いへの解に相関的にきまるものである。

人類の生誕から先史時代にいたる途方もなく長い期間においては、人類の生存能力は低く、人口成長率はゼロの近傍を上下していたであろうから、人口過少から滅亡への危機意識が強かったであろうことは想像できる。これは現在でも多くの宗教や習俗が多産を奨励していることからわかる。男女の間の行動規範を形成するジェンダールールも、人口再生産率を増加させるように進化したであろう。もっともそこには人類という全体性の意識はなく、自己の属する集団の繁栄を祈る意識であったであろうから、今日的な意味での過少人口意識ではないであろう。しかし農耕、牧畜などの生産手段の発明によって、人口の環境収容力は格段に上昇し、ようやく人口成長も安定化してくると、一転して人口過剰の意識も芽生えてきた。コーエンは前掲書のなかで紀元前1600年頃の古代バビロニアの詩のなかに、人口過剰の意識が現れていることを指摘している。

過剰人口の問題を初めて政治経済学的、科学的に論じて、現代の人口学に至る端緒を開いたのはマルサス(T. R. Malthus, 1776-1834)である。マルサスはその有名な「人口論」(1798)において、

1. 人口の増加は、必然的に、その生存資料によって規制される、
2. 人口は生存資料が増加する場合、必ず増殖する、
3. 人口のより優勢な力は罪悪と困窮によって抑圧され、また現実の人口はそれらによって生存資料と均衡を保たせられる、

という3つの原理を主張した(南, 1960)。ここで、「罪悪と困窮」という用語は現代的にいえば、避妊や墮胎による出生率制限(宗教的にこれは罪悪とされた)と貧困や衛生状態の悪化、感染症流行などによる死亡率の上昇を意味している。

一般には、「人口は制限されなければ幾何級数的に増加する。生存資料は算術級数的にしか増加しない」という主張がマルサスの人口法則と考えられているが、その主張の主眼は、そのような人口と生存資源の成長力格差の下では、生存資源の増加分は早急に人口増加によって食いつぶされてしまうから、生活水準の上昇は望めないという陰鬱な予言であった。

マルサスの理論は一般に生物個体群の増殖原理としては今日では常識的なものであって、ダーウィンの進化論の成立に少なからぬ影響を与えた意義もあるが、皮肉なことに、マルサスの時代から始まった産業革命によって、資本主義経済のもとでの持続的な経済成長が開始されたことによって、農業に基礎をおいた中世的社会の人口許容量の限界は突破された。また後に述べるような「少産少死」への人口転換が進んだために、マルサス的な生存資源の絶対的な希少性という人口問題は、少なくとも西欧諸国では早々にその意義を失っていた。

西欧の近代化・産業化の過程においては、栄養水準や衛生状態の改善によって死亡率がさがりはじめ、さらに生活水準が向上するにつれて出生率がさがるという「人口転換」(demographic transition)がひきおこされた。このため過渡的には人口成長率が増加したが、それは新大陸や植民地などのフロンティアの存在によって吸収されることになった。資本主義経済発展のプロセスは国内における階級格差と産業の先進地域(中心部)と植民地化された周縁部との格差という二重の格差を生み出すことになったから、生存資源の絶対的不足ではなく、不公正、不適切な配分という問題をクローズアップすることとなった。この局面を資本主義経済における階級対立と相対的過剰人口の問題として理論的に定式化したのがマルクス(K. Marx, 1818-1883)である。マルクスは問題のこのような局面において、貧困や飢餓の原因をマルサス的な人口原理に求めることは、社会編成における矛盾を隠蔽しようとする議論であるとして激しく論難することになる。この議論は現在の地球規

模での先進諸国と発展途上諸国間の格差（南北問題）においてもあてはまることである。現在、8億あまりの飢餓人口が世界にいと推定されているが、世界の食糧生産高に対して65億の世界人口が絶対的に過剰であるからとは言えない。適切な食料配分と穀物を中心とした消費体制の変更がなされれば改善可能だからである。

一方、第二次大戦後解放された旧植民地を中心とした発展途上諸国においては、自生的な発展段階にあってはそれなりに均衡していた人口と経済の文化的生態系が、植民地化の過程で破壊されてしまい、持続的な経済発展の土台ができないうちに、死亡率の減少にリードされた爆発的な人口増加を招くことになった。経済発展を上回る人口成長によって社会が低い生活水準の均衡点に捉えられてしまうというマルサスの人口問題が再び現れることとなった。ただしそれは、それがシステムの統合された先進地域と発展途上諸国間の不均等発展の結果であると考えれば、地球規模に拡大されたマルクス的人口問題でもある。

冷戦期においては、発展途上諸国の近代化、経済成長が実現されれば、いずれは先進諸国と同様な人口転換によって、出生力の置換水準への低下がおきると期待されていた。しかし、そのような変化は中国や東アジアの新興工業国家では起きたが、アフリカ、南アジア、ラテンアメリカ等では期待はずれに終わっている。発展途上地域の人口成長率は低下しつつあるものの、いまだに1.4パーセントであり、これは半世紀で人口が倍増するスピードを意味している。

後述するように、世界人口の潜在成長力は低下してきてはいるが、未だマルサスの原則から人類がフリーになったわけではない。現状では、世界人口の成長が減速したとしても、今世紀中には90億程度に達すると推計される。その場合に重要なことは、現在のような資源やエネルギーの消費の仕方に限界があるだけでなく、人間の活動が地球環境に与えるダメージ（環境汚染、廃棄物等）による環境悪化によって、資源制約よりもっと早く成長が制限される可能性が高い。地球温暖化や環境汚染は、地球という環境が65億人の人口の任意の活動を許容するほど広くも頑健でもないことを示している。人口はその数だけが問題なのではなく、一人あたりの資源消費や環境に与える影響（Activity）の大きさ、技術のあり方（Technology）と人口（Population）の積が問題なのである。これは1970年代の環境保護の意識の高まりとともに明らかになった現代的な「過剰」人口問題である。

一方、人口転換論は先進諸国においても意外な結末を迎えることとなった。人口転換論は最終的な少産少死の状態は人口学的な定常状態となると漠然と期待していたが、1970年代には先進諸国の出生率は一様に人口置換水準を割り込んで、さらに低下が進むという「第二の人口転換」が開始されたのである。現在では先進諸国の内、合計特殊出生率（TFR）が人口の単純再生産を可能にする値（2.1程度）に達するのはアメリカ合衆国だけである。イギリス、フランス、デンマーク、ノルウェー、スウェーデンなどの北西ヨーロッパ諸国は1.7-1.9程度の比較的高いTFRを示しているが、地中海諸国、ドイツ、東欧、日本などは1.2から1.4というきわめて低いTFRとなっている。全体として、欧州と日本が長期的な人口減少に見舞われることはさげがたい状況である。戦争や疫病の流行ではなく、出生率の持続的低下による人口減少は、人口の高齢化を伴って長く半世紀以上にわたって持続すると予測される。世界が、富と技術を蓄積しながら人口が減少する西欧先進諸国と、富、技術、教育・就業機会、資源に不足しながら人口増加を続ける発展途上地域へと二極化が進めば、地球規模での緊張が高まり、政治的経済的紛争の要因となるであろう。

3 日本の人口転換と人口問題

日本における人口問題意識の高まりは、大正7年（1918）の米騒動がきっかけであったといわれる。日本の国勢調査は大正9（1920）年に始まったから、そもそもそれまでは日本の人口の規模や増加率は明確にはわ

かっていなかったのである。大正末期から昭和初期にかけては、日本の人口問題が、それがマルサス的な問題であるのか、マルクス的な問題であるのかがおおいに論争となった。昭和2(1927)年には内閣に人口食糧問題調査会が設置されて、政府レベルでも人口問題が議論の俎上に乗ることとなった。その答申は食糧増産に効果があったとされている。この時期、都市部を中心に出生率低下が始まっていたと考えられる(舘・黒田, 1969)。一方、死亡率の低下は明治維新以降、緩やかに続いていた。

しかし昭和4年(1929)には世界恐慌が始まり、日本の人口問題も食料の問題というよりは経済問題、とりわけ失業問題に変化していった。そうした国内的窮状を大陸への軍事的進出によって打開しようとする政策にともない、日中戦争から太平洋戦争へと戦火が拡大していくにつれて、人口は過剰なものではなく兵力、労働力として必要なものと見なされ、昭和16年(1941)1月には、「人口政策確立要綱」が閣議決定されて、人口増加政策に舵を取るようになった。戦前の人口増加政策は、ただちに太平洋戦争が始まってしまったために、どの程度実効があったかは疑問の残るところである。ただし当時の高い乳幼児死亡率を下げるための母子の健康の確保政策などは今日的な社会福祉政策の端緒ともなっている。

終戦後の昭和22年の臨時国勢調査においては人口は7810万、平均寿命は男女とも50歳代であったが、その後昭和24年まで毎年の出生数は260万をこえ、いわゆる第一次ベビーブームは起きた。しかし昭和23年には優生保護法が実施され、翌24年には改正によって経済条項が付加された。これによって合法的な中絶が可能となり、出生率は急激に低下をはじめ、昭和22年には4.54あった合計特殊出生率(本稿5節参照)は、10年後の昭和32年(1957)に人口置き換え水準(本稿5節参照)である2.04にまで低下して、夫婦に子供二人という標準家庭のモデルが確立し、以後はこの水準を1970年頃まで維持することとなった。抗生物質などによる感染症の制圧や公衆衛生、栄養状態の改善による死亡率の低下も劇的であり、戦後10年間に平均寿命は10年以上延びた。その結果、1950年代半ばまでに日本の人口転換は終了してしまった(図3.1参照)。この急速な人口動態の変動は、1970年代以降の人口高齢化の到来を決定づけたのである。

[図3.1 日本の人口転換]

昭和45年(1970)には、65歳以上の人口割合(高齢人口割合)が7パーセントをこえ、高齢化社会が到来することになった。昭和50年(1975)以降、合計特殊出生率は2以下に低下をはじめ、「第二の人口転換」が始まった。平成元年(1989)には、合計特殊出生率は戦後最低の1.57を記録し、寿命は男女とも世界最高となった。1996年には、高齢人口は15パーセントをこえ、国連の定義する高齢社会となった。この年注目すべきことは、日本人口のモメンタム指標が1を割り込んだことである。このことはたとえ、合計特殊出生率が直ちに置換水準へと上昇しても、人口減少は避けられないことになったことを意味している。事実、このあとも出生力低下はとまらず、2005年には人口減少が実現することとなったのである。

4 少子化を測る

現代日本の人口問題で最も議論となるのは、出生率の低下(少子化)であるが、このことは正確には何を意味するのか、を人口学的に明らかにしてみたい。

一般的に人口に関わる論説において最も頻繁に使われる出生率(人口再生産指標)は年齢別出生率の総和としてあたえられる「合計特殊出生率」(total fertility rate: TFR)である。単位時間あたりに年齢 a の女性から生まれる男女児数を、その年齢の女性数で割ってえられる年齢別出生率を $m(a)$ とすれば、

$$\text{TFR} = \int_0^{\infty} m(a) da, \quad (4.1)$$

である。TFRは $m(a)$ が一つのコーホート(同時に出生した人口集団、以下では世代ともいう)に適用された

としたときに、一人の女子が死亡による中断がない場合に生涯に生むと期待される平均子供数と解釈される。一方、一つの世代が、自分たちと同数の同性の子供を生み残せば、やがて人口は増減のない定常状態に至ると考えられる*1。そこで、年齢別の女児出生率を $\beta(a)$ とし、女性が a 歳まで生き延びる生残率を $\ell(a)$ とするとき、

$$R_0 = \int_0^{\infty} \beta(a)\ell(a)da, \quad (4.2)$$

と定義すれば、 R_0 は女性の一世代が生み残す期待女児数になる。これを基本再生産数 (basic reproduction number) とよぶ。 $R_0 > 1$ であれば、世代規模は拡大再生産するので、人口は増加してゆくが、 $R_0 < 1$ であれば、世代規模は縮小再生産して人口は減少してゆく。 $R_0 = 1$ であれば、やがて人口は増減のない定常状態に収束する。

TFR には死亡による再生産の中断の効果が入っていないし、出生性比は 1 ではないので、それだけでは R_0 のような人口増加についての閾値条件として使用できない。そこで女子人口の「臨界出生率」(female critical fertility rate: CFR) あるいは「人口置き換え水準」(replacement level) を以下のように定義する。

$$\text{CFR} = \frac{\text{TFR}}{R_0} = \frac{\int_0^{\infty} m(a)da}{\int_0^{\infty} \beta(a)\ell(a)da}. \quad (4.3)$$

CFR の定義から R_0 と 1 の大小関係は TFR と CFR の大小関係とは全く同値であることがわかる。臨界出生率はむろん時間とともに変動するが、死亡率が十分低下した場合には非常に安定した値を持っていて、計算の容易な TFR を指標として用いることはメリットがある。実際各年次において期間的デ・タから計算された日本人女子の CFR は 1970 年以降 2.07 ないし 2.08 で安定している。臨界出生率が 2 を上回る理由としては、よく死亡率の効果が言及されるが、現在の日本のように再生産年齢以下での死亡率が十分に小さい状況では、実際には出生性比の効果のほうが大きい。自然状態では男児の出生数のほうが女児のそれを 5 パーセント程度上回るから、平均的に 100 人の女性が 100 人の女児を産むという単純再生産を果すためには 205 人程度の男女児の出産が必要になるので、臨界出生率の下限は 2.05 程度になる*2。一般的な論説においては、TFR=2.1 が、あたかも普遍的な人口置換え水準であるかのようにみなしている場合があるが、むろんそれは誤りである。乳幼児の死亡率水準の高かった戦前、1925 年の日本人女子の臨界出生率は 3.1 であった。すなわち女性一人あたり 3 人以上の出生がなければ人口の単純再生産も不可能であったのである。実際、19 世紀末生まれの日本人の生残率をみると、出生児の 35 パーセント程度は 5 歳までに死亡しているから、出生児の三分の一は成年に達しなかった。一方、現在の日本では 99 パーセントの新生児が再生産年齢まで生き延びることができる。先進諸国では、出産した子供が再生産年齢まで生存する確率が飛躍的に高まったことが出生率低下の一つの要因でもある。

年齢別出生率と TFR は、人口レベルでのダイナミクスを規定するとともに個人の家族形成過程を表現するという二つの役割をもっている。家族形成過程の表現としては、年齢別出生率の一つのコ・ホ・トに対して測定されるべきものであるが、出生率、死亡率が時間的に不変であれば、すべてのコーホートは均質であるから、ある時刻における各歳人口での観測 (期間的観測) によってコーホートの観測 (一つの世代を経年的に追跡した観測) を代替できる。ところが、現実の人口のように動態率が時間的に変動している場合には、コーホート毎に出生率、死亡率は異なり、コーホートの観測で得られる値と期間的観測で得られる値では異なる場合が普通である。しかしコーホート観測を完全に行うには人の一生に相当するきわめて長期の観測が必要であ

*1 そのことの証明は数学的付録を参照されたい。

*2 通常は女性人口の再生産過程を基本として考える。

るし、最近の生まれのコーホートにおいてはデータが常に途切れてしまうという難点がある。このため、期間的観測で得た値に対して、それをあたかも一つの仮説的なコーホートが経験した値であるかのように見なすことによってコーホートのな解釈をおこなうことがしばしばである。期間的観測データのコーホートのな解釈に由来する問題はあらゆる人口学的指標に現れるが、ここでは人口減少をめぐる議論で最も重要な TFR に関してこのことを考察してみよう。

いま時刻 t における年齢別出生率を $m(t, a)$ とおき、時刻 t で観測される TFR を $F(t)$ と書けば

$$F(t) = \int_0^{\infty} m(t, a) da, \quad (4.4)$$

であるが、一方時刻 T に生まれた女性コーホートの TFR を $G(T)$ とかけば、

$$G(T) = \int_0^{\infty} m(T + a, a) da, \quad (4.5)$$

である。 $G(T)$ は T 年生まれのコーホートにとっての最終的な家族規模であり、完結出生力ともよばれる。もしも m が時間 t に依存しなければ $F = G = \int_0^{\infty} m(a) da$ であることは明らかである。

t 年次における期間的観測によって得られた値 $m(t, a)$ は、各歳ごとにそれぞれ異なったコ・ホ・トに属する年齢別出生率であるから、それらを加齢とともに各歳で経験するような現実のコーホートは存在しない。そこで、人口学では期間的に観測された年齢別出生率によって計算された TFR は、期間的観測で得られた出生率の適用をうける一つの仮想的コ・ホ・トの完結出生力を指示していると解釈する。このとき期間的観測で得られた TFR は「もしも観測された出生率が将来的に不変に保たれるのであれば」実現するであろう仮説的な出生力を示しているともいえる。

このような期間的指標は実際のコーホートの完結出生力とは乖離していて、それを個体の平均出生児数として解釈することは適切ではない場合がある。その乖離の最大の要因の一つは、期間的指標が出産という人口学的イベント発生のタイミング変化に対して非常に敏感であるということである。例えば、ある年になんらかの社会的ないし心理的要因によって出産が忌避されれば、その年の TFR は瞬間的に激減しうる。事実、1966 年に日本の TFR が丙午の迷信のために 65 年の 2.14 から 1.58 へと対前年比 74 パーセントへ急減し、翌年には 2.23 (41 パーセント増) へ回復したという例がある。また逆に戦後のベビーブームのように戦争によって延期されていた出産が一斉に再開されてブームを起こす場合もある。一方、実際のコーホートの完結出生児数 (再生産期間を終えた女性一人あたりの平均出生児数) を与える $G(T)$ は、家族規模に対する規範や家族計画に依存していて、タイミング変化の影響はあまり受けない。実際、2000 年時点で 50 歳以上になって事実上再生産を終了しているコーホートに関しては、1935 年生まれから 1950 年生まれまで、その最終的な平均子供数は 2.0 から 2.1 で安定していた。

丙午のような瞬間的な変化例はわかりやすいが、出産のタイミングが持続的に変化している場合には、より注意が必要である。例えば期間的に観測された日本の TFR の値は 1974 年の 2.05 を最後に 2 を割り込んで急速に低下し、2005 年には 1.29 となったが、同時にこの間第一子の平均出産年齢は 27.46(1975 年) から 29.81(2003 年) へと 2.35 年上昇している。これは若い世代ほど晩婚化しているためであるが、このような持続的なタイミングの遅れがある場合、期間的観測による TFR はコーホートの完結出生力の指標としてはその実態を過小に評価していることになる。

このことを簡単な数理モデルを用いて説明してみよう。いまコーホートのな出生率はその出生年次に依存する完結出生力水準 G と出生時刻 T に依存する年齢別の正規化された出生率パターン $\phi_T(a)$ に分解しよう：

$$m(a + T, a) = \phi_T(a)G(T), \quad (4.6)$$

ただしここで $\int_0^\infty \phi_T(a)da = 1$ である。このとき (4.4) から

$$F(t) = \int_0^\infty \phi_{t-a}(a)G(t-a)da, \quad (4.7)$$

を得る。

いま $G(T)$ は定数であるが、出生時刻に比例して出産のタイミングが変化していると仮定しよう。このとき $\psi(a)$ が存在して、 $\int_0^\infty \psi(a)da = 1$, $\phi_T(a) = \psi(a - kT)$ と書ける。ただし $a < 0$ に対しては $\psi = 0$ と定義域を拡張しておく。従って $m(a + T, a) = \psi(a - kT)G$ であり、 $T = t - a$ として、これを (4.7) に代入すれば、

$$F(t) = G \int_0^\infty \psi(a - k(t - a))da = \frac{G}{1 + k}. \quad (4.8)$$

従って、タイミングが遅れている場合（晩産化: $k > 0$ ）は、期間 TFR は低下し、逆にタイミングが早まれば（早産化: $k < 0$ ）期間 TFR は増加することになる。このとき期間的に見た年齢別出生率は $m(t, a) = \phi((1 + k)a - kt)G$ であるから、期間的には速度 $v = k/(1 + k)$ でタイミング変化が起きている。したがって期間でみた平均出産年齢のタイミング変動速度が v であれば、期間 TFR (F) とコーホート TFR (G) の間には

$$F = (1 - v)G, \quad (4.9)$$

という関係が成り立つことになる。

そこで、いま晩婚化によって晩産化がすすみ、ある時点で遅れが停止すると仮定して $F(t)$ の変化を考えると、タイミングの遅れで一旦低下した期間 TFR は、晩産化が停止すれば上昇を始めて、再生産期間にある女性がすべて（晩産化の止まった）コーホートと同じ標準スケジュールを持つようになればコ・ホ・ト的な TFR の水準にまで回復したように観測される。そこで期間的な観測のみから TFR の動きを見る限り、この人口の再生産力は一度低下後、「回復」したように見えるが、その間コ・ホ・トで計算した G で示される個人の最終的家族規模は変化がなかったことになる。タイミングが早まっている場合には逆の現象がおきる。

それゆえ、例えば期間的な TFR の低下が、コーホート上の出生率のタイミング遅れのみによって説明可能だと考える場合には、タイミング遅れは生物学的限界によって必ずいつかは停止するため、期間的な TFR は将来的に反転上昇するという予測をすることになる。これは全く機械的な現象であって、意識的に出生力の反騰を予測するということとは全く意味が異なることであるが、非常に良く誤解される点である。

しかし一方で、TFR を人口ダイナミクスを規定する指標として見ると、期間 TFR の変動が、個体の完結出生力の指標としては「みかけ」上の変化でしかない場合でも、それは人口サイズへの影響があるという意味で、実質的な変化でもあることは注意せねばならない。例えば時刻 t における単位時間当たりの出生児数は

$$\begin{aligned} B(t) &= \int_0^\infty m(t, a)p(t, a)da \\ &= \text{TFR} \times \int_0^\infty \frac{m(t, a)}{\int_0^\infty m(t, x)dx} p(t, a)da, \end{aligned} \quad (4.10)$$

と書けるから、各年の出生数は期間的 TFR と年齢別出生率の正規化されたパターンによる平均人口数の積である。重み付きの平均人口は変化が遅いから、短期的には期間的 TFR は出生数を決める最大の要因となりうる。

さらに長期的な影響を考えてみよう。例えば、 R_0 が 1 以上である場合には、完結出生児数が不変のまま平均出産年齢が上昇すれば、人口の内的成長率*3は減少する。これは人口というものが、異なる世代が重なり

*3 数学的付録参照。内的成長率は人口の出生率と死亡率だけによって決まる長期的（漸近的）な成長率である。

合っていて、平均出産年齢が上昇すると、世代の置き換えがゆっくりと進んで、一時期に共存できる世代数が少なくなるからである。逆に R_0 が 1 より小である場合には、平均出産年齢の上昇によってより規模の小さな世代への置き換えがよりゆっくりと進むため、人口の内的成長率は増加する。

ただし後に述べるように、現実には平均再生産年齢と完結出生力水準には負の相関関係があって、平均再生産年齢だけをコントロールすることは難しい。特に人口置換水準以下の出生率の場合、晩婚化によって平均出産年齢が上昇すれば、完結出生力水準が下がってしまい、内的成長率は低下する可能性が高い。しかしこのことを逆に考えると、平均出産年齢を低下させるというタイミング政策^{*4}は、出生力の向上と人口成長率を上げるために非常に有効であることになる。

5 人口モメンタム

しばしば人口は、巨大なタンカーに比較されるが、それは出生率などのコントロール変数という舵を操作しても、その影響は非常にゆっくりとしか現れないからである。これは人口の運動が非常に大きな慣性をもっていて、過去の運動を持続しようとする勢いがあることを意味している。このことを示す指標が人口モメンタムである。

任意に与えられた初期人口に対して、時刻 $t > 0$ において基本再生産数が 1 となるような年齢別出生率と生残率が適用された場合に最終的に出現する定常人口の規模と初期人口の規模の比を、人口成長のモメンタム (momentum of population growth) とよぶ。初期時刻 $t = 0$ 以降、人口置き換え水準の女兒出生率 $\beta(a)$ 、生残率 $\ell(a)$ が適用されたとしよう。したがって

$$R_0 = \int_0^{\infty} \beta(a)\ell(a)da = 1. \quad (5.1)$$

以下ではモメンタムを M とかこう。このとき以下が成り立つことが知られている (Preston, et al. 2001) :

$$M = \frac{1}{T_0} \int_0^{\infty} w(a) \frac{c_0(a)}{c_s(a)} da, \quad (5.2)$$

ここで T_0 は $t > 0$ でのコーホート平均出産年齢、 e_0 は $t > 0$ での寿命である。また $c_0(a)$ は正規化された初期年齢分布、 $c_s(a)$ は終期の定常人口の正規化された年齢分布であり、 $w(a)$ は (5.1) の条件のもとで a 歳以降にうまれる子供の割合を示している。

$c_0(a) = c_s(a)$ ならば $M = 1$ であり、定常人口の年齢構造に比べて現在の人口構造が若ければモメンタムは 1 より大になり、高齢化していれば 1 より小さくなる。また出産時期が遅れて平均出産年齢が増加すれば、人口モメンタムは減少する。たとえば初期人口がすでに定常状態にあっても、平均世代間隔が大きくなれば、維持できる定常人口サイズは減少するために人口減少が発生する。

個人の完結出生力水準とともに平均出産年齢も人口規模の調整手段になるという事実は、TFR だけを出産コントロールの指標として見てしまうことの危険性を示している (稲葉 2000)。たとえば、中国は「一人っ子政策」によって人口増加を制限しようとしたが、これは TFR だけに注目した政策であった。しかし、同じような人口のダウンサイジングを、平均二人の子供を「より遅く、より間隔を空けて」もつというテンポ政策によって実現できることが、欧米の人口学者によって指摘されてきた。

^{*4} 早婚や出産間隔の短縮化にインセンティブを与える政策。スピードプレミアムと呼ばれ、スウェーデン等で実行されたことがある (岩澤, 2007)。

表 6.1 および図 6.2 は石井太氏（国立社会保障・人口問題研究所）による日本の人口モメンタムの計算結果と、出生率がある年に置換水準になった場合の人口の推移である。モメンタムはむしろ正の数であるが、しばしば 1 以下のモメンタムは「負のモメンタム」(negative momentum) と呼ばれる。これは最終人口規模が初期人口よりも小さくなることを意味している。我が国は 1996 年以降はモメンタムは 1 を割り込むことになった。したがって直ちに出生率が置き換え水準に復帰しても人口減少は回避できないことになったわけである。ただちに置き換え水準に出生率が上昇するという政策は想像できないが、そのような限界的なケースですら、人口減少を引き起こすわけであるから、モメンタムが 1 を割り込むことは人口減少の不可避性の基準となる。

[表 6.1 日本人口モメンタム]

[図 6.1 出生率が置換水準となった場合の人口の見通し]

置き換え水準への復帰に時間がかかればかかるほど最終的な人口規模は縮小するから、政策的対応にかかる時間も重要である。EU 諸国ではほぼ 2000 年頃にモメンタムが 1 を下回るようになった。オーストリア国立人口研究所のルッツ博士等の計算によれば、現在の EU 諸国の平均的な TFR (1.5 程度) があと 20 年間持続すれば、その後直ちに置き換え水準まで TFR が上昇しても、2100 年の時点でほぼ実現される定常人口サイズは、現在ただちに TFR が置き換え水準に復帰できた場合に実現される定常人口サイズよりも 8800 万も少ない (Lutz, et al. 2003)。

[図 6.2 EU 諸国の負のモメンタム]

一方、世界人口は非常に大きな正のモメンタム ($M > 1$ となるモメンタム) をもっている。現在の世界全域での平均的な TFR は 2.65 であるが、図 6.3 は、2000 年以降、世界の女性人口の TFR が一斉に 2.13 になり、寿命は 77 歳 (男性は 73 歳) になったと仮定した場合の世界人口の成長を示している。この仮定のもとでは 2000 年以降の R_0 はほぼ 1 に等しく、人口は 21 世紀半ばまで増大して、2000 年人口の 43 パーセント増のレベルで定常化する (Knodel, 1999)。むしろ、実際には世界人口の出生力のばらつきは非常に大きく、2000-2005 年でアフリカ地域の 4.98 から、欧州地域の 1.40 まで幅がある。これが置換水準へ収斂するという必然性は必ずしも存在しない。したがって、少子化世界の拡散が予想以上に早くなるのであれば、世界人口が 90 億以上になることはさげられないであろう。

6 結婚と出生

前節までの議論において、出産タイミングの変化の重要性を指摘してきたが、晩婚化の過程においては単に出生時期の遅れがあるだけでなく出生時期の高齢化および出生期間の短縮による出生力の実質的な削減効果が加わることがわかっている。我が国のように、出生の大部分が法的結婚の枠内で実現される社会においては、年齢別出生率の変動を理解していくためには、出生力の実現の過程を結婚と結婚出生力の 2 要因に分解して理解していくことが必要である。次にこの点を以下で考えてみよう。

社会的制度としての「結婚」は、それが次世代の再生産・育成を支える場であるという実質的な意義と同時に、法的な差別化によって婚姻外における出生を抑制している点において出生に対する社会的制御機構として機能してきたと考えることができる。法的結婚のこうした制御的側面は、婚姻外出生に対するタブー視が消滅して平均で 25 パーセントの新生児が非嫡出生となった西欧諸国においては喪われつつあるといえよう。しかし、非嫡出生に対する差別化が存在する我が国においてはなお出生の 99 % は嫡出生であり、結婚は出生の前提条件とみなしてさしつかえない*5。近年における晩婚化、非婚の増大が出生力低下の原因として指摘され

*5 しかし我が国でも結婚時点での新婦の妊娠割合はやはり 25 パーセント程度ある。

る所以である。すなわちこれまでのところ日本人口の再生産は人々が「どのくらい結婚するか」、そして「夫婦がどのくらい子どもを生むか」という二つのファクタ - に依存して決まっている。

さらに婚姻の中身をみると、既婚女性の再婚割合は 1980 年代から今日までほぼ 12 % 程度であり、平均再婚年齢は 38 歳であった。年齢別出生率のパターンからすれば 38 歳以後の出産は全出生の 5 % 程度を占めるにすぎないから、再婚カップルの全出生に対する寄与は極めて小さいと考えられる。要するに日本人の出生はほとんど初婚カップルによって担われていると考えても大きな誤差はない。こうした状況のもとでは年齢別出生率や合計特殊出生率の変動は結婚力 (nuptiality) や夫婦の出生力 (結婚出生力: marital fertility) を示すより基本的なパラメ - タの変化・合成の結果として理解される必要がある。

1950 年代後半に終了した戦後の日本の人口転換は夫婦出生力の低下によってもたらされ、結婚力の変化の影響は相対的に微弱なものにとどまっていたと考えられている。夫婦出生力の低下は人口転換という近代化過程における普遍的特徴であるが、人口転換の終了以降、出産力調査等によれば一夫婦あたり二子という出生規範は 1950 年代生まれの夫婦あたりまでは維持されていた。そこで 1975 年前後に開始された期間 TFR の低下の要因としては、当初上述したような晩婚化が主要因であろうと推測された。

そこで筆者は女性人口を未婚、初婚、離婚・死別の 3 状態に分類したコンパートメントモデルを用いて、タイミング効果によって臨界水準から 1.5 程度への TFR の低下が説明できることを示した (Inaba, 1995)。この場合、晩婚化は晩産化によるテンポ効果を通じて期間 TFR を引き下げるとともに、晩婚者は完結出生力水準が低いために、初婚者のなかでの晩婚者の構成上の割合が上昇することによってコーホートの TFR を引き下げるという二重の役割を果たしている。このような枠組みは、日本に似て結婚が産産制御の機能を果たしていると考えられるイタリアなどの地中海諸国における出生力低下の説明としても有効であることが示されている。

こうした枠組みによって TFR を計算すると、以下のような表現が得られる：

$$TFR = \int_0^{\infty} T(a)\phi(a)da, \quad (6.1)$$

ここで $T(a)$ は初婚年齢が a である有配偶女子の期待出生児数であり、 $\phi(a)$ は a 歳での初婚確率 (密度) である。図 7.1 に見られるように、 $T(a)$ は一般に右下がりの直線によって良く近似されるから、晩婚化によって $\phi(a)$ が高齢層へ移動するとコーホートの TFR はほぼ直線的に減少することがわかる。

[図 7.1 初婚年齢別出生児数]

1985 年の結婚持続時間別の日本人女子の結婚出生力表から、 $T(a)$ がほぼ直線であると考えて回帰によって係数を求めると、以下のような近似が得られる：

$$TFR = (1 - \Lambda)(4.927 - 0.1136A), \quad (6.2)$$

ここで、 Λ は生涯未婚率 (再生産年齢の統計的上限である 50 歳時点での未婚割合) であり、 A は平均初婚年齢である。1947-49 年生まれの団塊の世代 (第一次ベビーブームコーホート) あたりまでは、日本人女子の生涯未婚率は 5 パーセント未満であり、平均初婚年齢は 24 歳であった。上の式からそのようなコーホートの TFR は $0.95 \times 2.20 = 2.09$ で、ほぼ置き換え水準であるとわかる。一方、次節で述べるように、最新の推計では晩婚化、未婚かが進み、2005 年生まれの女性において生涯未婚率は 23.6 パーセントに達し、平均初婚年齢は 28.3 歳になると予測されている。それゆえ、この場合の TFR は上式を用いれば、 $0.764 \times (4.927 - 0.1136 \times 28.3) = 1.31$ になる。もし平均初婚年齢が 24 歳のままであれば、TFR は 1.68 になるから、未婚化の効果だけで、20 パーセントの出生力が失われ、さらに平均初婚年齢の増加によって 20 パーセント近くの出生力が削減されると考えられる。

上述のような、いわば人口の構成変化による機械的な出生力低下メカニズムは 1990 年代までは説明能力を持っていたと思われるが、2000 年頃からはさらに、夫婦の出生力を表現する $T(a)$ 自体が縮小する兆しが見えてきている。それゆえ、以下に述べるように、最新の推計結果では、より低いコーホート TFR が予測されている。

7 日本人口の将来像

2006 年末に公表された国立社会保障・人口問題研究所の日本の将来人口推計（平成 18 年 12 月推計）はやはり結婚を出産の前提条件として考えるフレームを採用しているが、その中位推計においては、各世代で晩婚化、未婚化が徐々に進み、2005 年出生コホートにおいて平均初婚年齢 28.3 歳、生涯未婚率 23.6 パーセントという水準になって、それ以降一定となると想定されている。また夫婦の平均完結出生児数も、昭和 28-32 年生まれの出生コーホートの 2.19 人から、2005 年生まれのコーホートでは 1.69 人まで低下すると仮定されている。さらにこれに離死別の効果を考慮することで、結果として 2005 年出生コーホートの TFR は 1.198 と算出されている。この変化を期間 TFR に換算したものが図 8.1 である。中位推計では期間 TFR は今後半世紀にわたってほぼ 1.25 程度にしかならないと予測されている。この結果、図 8.2 に見られるように、日本人口は今後指数関数的に減少を開始して、半世紀後には 9000 万となり、高齢人口は 36 パーセントを占めることになる。

[図 8.1 TFR の予測]

[図 8.2 人口推計]

先のもメンタムの議論からもわかるように、こうした人口減少の状況は何らか理由で出生率が増加したとしても、その程度が緩和されるだけであって、ほぼ半世紀以上にわたって避けることのできない変化である。それゆえ、過去 100 年以上にわたって人口の増加を前提として作られてきた社会システムを根本的に組み替えて、人口減少と非常に高い高齢化率を前提としたシステムへ変換していく必要がある。この点で、もっとも大きな変容を被るのが医療や年金等の社会保障システムであることは言うまでもない。例えば、賦課方式の年金システムは、原理的には人口減少下でも適用できるが、給付水準によっては生産年齢人口の負担率が耐え難いほど高くなるであろう。また指数関数的な人口減少軌道においては、75 歳付近の人口が年齢的な最大のボリュームゾーンになるため、後期高齢人口における医療、介護等の社会的費用はきわめて大きいと考えられる。

こうした社会的な適応は必要なことであるが、人口減少社会は持続可能ではないことも自明である。長期的に社会が存続するためには、人口規模が定常化するか、循環的変動によってある一定の範囲にとどまるようになる必要がある。生物学的な観点からは、人口減少がある程度持続して、人口規模が減少すれば、出生率が上昇するという密度効果が働くのではないかという期待もあるが、ヒト集団に対してどのようなことが起こるのかは我々は理解しているとは言えない。したがって、人口動向を精細に研究することが必要であるが、指数関数的な人口減少による地域社会の崩壊を押しとどめ、持続可能な社会を構成しようとするのであれば、適応にとどまらず出生力の上昇か移民の受け入れという方策を考えざるを得ないであろう。

8 世界人口成長の終焉？

出生力が単純再生産不可能な劣臨界水準へ低下するという状況は日本に限らず先進諸国一般に見られる現象であることはよく知られているが、近年ではさらに発展途上諸国にすら拡散しつつある現象であることは注目に値する。事実、2003 年には全世界人口の半数の人々が、女性一人あたりの平均出生児が 2.1 人以下の国々

に居住していることとなった (Wilson and Pison, 2004)。TFR が 2.1 という水準は先進諸国において人口の単純再生産を可能にする人口置換水準であって、より高い死亡水準においてはこの値では単純再生産も不可能である。したがって現時点では地球人口の半数以上が単純再生産不可能な低出生力社会に住んでいるのである。従来の人口転換理論によれば、低出生力社会への推移は経済社会の成熟化に伴う現象であると理解されていたが、東南アジア、中南米、北アフリカなどの発展途上諸国においてすら必ずしも経済社会の成熟化を伴わない出生力低下が拡散してきていることは、出産コントロールの手段とそれを可能にする人々の心的態度が通信情報メディアのグローバル化に伴って世界的に急速に拡散して、経済的発展段階に必ずしも拘束されない先端的な技術導入による「中抜き」文明化が人口学的な変化を導いてるといえるのかもしれない。

こうした出生力の動向を受けて、世界人口の成長にも変化の兆候が見えている。世界人口は現在 65 億に達して、なお年率 1.2 パーセント程度で成長しているが、実はその潜在成長力は減衰しつつあるというのが、大方の人口学者の見解である。1970 年前後に心配された人口爆発による制御不能のカタストロフというシナリオは遠のき、21 世紀末までに世界人口がマイナス成長に転ずる確率は 80 パーセント程度という推計もある (Lutz, et al., 2001)。しかしそれでも、ピーク時には 90 億に達する世界人口は、現状の欧米社会が享受しているような水準においてすべての人が豊かさを享受するには、はるかに過剰であろう。実際、アメリカ並みの資源消費水準では、現存の世界人口ですら遙かに過剰であり、持続不可能である。

[図 9.1 世界人口成長の終焉]

従って、マルサスの問題や環境問題の回避という観点からすれば、出生力低下による人口成長力の減衰は望ましいことであるとしても、そのリアクションも大きいことは忘れてはならない。世界的規模での出生力低下は、日本や欧州諸国でおこりつつある人口の超高齢化が、やはり全世界規模でおきることを意味しており、高齢者の社会保障、医療保障の財政負担は、各国にとって耐え難いほど大きなものとなるであろう。

貧富の差の拡大と地球資源の急速な過剰開発には歯止めがかかってはいない。貧困と環境破壊、地球温暖化は、現在のアフリカ諸国におけるエイズ流行のような、感染症流行の危険性も増大させてきている。実際、サブサハラ地域におけるエイズ流行は、平均寿命を 10 年以上も縮めるほどの効果をもっているが、そうした複合要因が死亡率の上昇という不幸な形での世界人口のレギュレーションを促進する可能性は無視できない。最近、国際人口学会は「紛争と暴力の人口学」というセミナーを提起したが、冷戦終結以降頻発するテロや局地紛争の背景には、民族や宗教別の人口分布の変化による対立の激化や、若年層の膨張による失業、貧困の拡大などの人口学的要因が関わっている。そもそも現在進行しているように、世界が豊かで長命、低出生力の少数派と貧しく短命で高出生力の多数派に分裂してゆけば、そこに平和は展望できないであろう。戦争、飢餓、貧困、疫病といったマルサスが予言した不幸な形での人口のレギュレーションの可能性は決して過去のものになったわけではない。

いずれにせよ、21 世紀は人類規模での人口転換がおこなわれ、地球環境の制約のもとで持続可能な社会システムを構築していくことが必要とされることは間違いない。そのためには、効率性と平等性を調和させる制度や人類の活動の環境への影響を適切に評価するシステムを発展させ、人口、文化、経済、環境の相互作用への理解を深めて定常的世界の構築へと価値転換していく必要がある。

9 おわりに：人口研究の必要性

上述したような 21 世紀問題群への対応策を考えていく上で、人類社会のファンダメンタルズを考察する学としての人口学や環境学は不可欠である。学問的研究が即座に実践的な政策策定の役に立つということでは必ずしもないが、一方で、客観的な学的認識という基礎を欠いた具体的解決というものもありえないからであ

る。人口学は数理人口学ないし形式人口学を方法論的な共通コアとして、社会学、経済学、人類学、疫学などを横断する学際的人間科学として欧米の諸大学、研究機関ではよく研究され、教育課程のスタンダードも確立しているといえる。しかしながら日本では、組織的な専門家の持続的再生産と維持という面で人口学の学術プロフェッションの確立に至っていない。このことは他の先進諸国にはない日本独特の事情である。

第二次大戦後、旧植民地への影響力をある程度保持し続けた西欧諸国と、解体した旧植民地地域への影響力を拡大したアメリカ合衆国においては、人口研究は非常に盛んとなった。世界の人口問題の解決を課題に掲げる国連の成立の影響もあったであろう。その研究中心は米英では大学であり、フランス等の大陸諸国では国立研究所である。1970年代以降になると先進諸国における出生力の急速な低下が重大かつ普遍的課題として認識されるようになり、日本以外の旧枢軸国地域においても人口研究機関が整備されてきている。現在ではフランス以外にも、ドイツ、イタリア、オランダ、オーストリアなどで国立の人口研究機関があり、ヨーロッパ人口学会を中心に連携が図られている。日本では国立試験研究機関として社会保障・人口問題研究所があるが、研究者の養成機能はなく、省庁の直轄研究機関として行政目的に拘束されているため、学術的研究のセンターとはなり得ていない。

例えば、世界で最も早く19世紀から少子高齢化が緩慢に進展したフランスは、危機感をもちながらも基礎的で学術的な研究を重視し、西欧で最有力な国立人口研究所を育成して、息長く人口研究を行ってきているが、こうした姿勢が、長期的な政策と相まって近年におけるフランス出生力回復として結実してきていると言えるのではなからうか。今年になって、フランス国立統計経済研究所は2006年のTFRが2.0に上昇したことを発表しているが、これは欧州連合諸国のなかで最高の値であり、置き換え水準以下の低出生力状態が政策的対応如何で回復可能であることを示した点で画期的である。

翻って日本のアカデミーにおける研究体制はどうであろうか。戦前から戦後の復興期にかけては、過剰人口問題が日本の大きな社会問題であり、当時の指導的な科学者の間にも人口問題研究に対する一定の理解が共有されていたと思われる。そのため、基礎的な人口研究体制を確立すべく、昭和31年には日本学術会議総会で、人口問題研究体制に関する要望「人口問題を総合的に研究する機構の確立についての提案」および「大学における人口学講座の設置についての提案」がなされた。しかし日本の人口再生産様式の近代化（多産多死から少産少死への人口転換）は1950年代に終了して、過剰人口の危機は過ぎ去り、高度成長期には労働力不足となった。この転換過程はわずか10年たらずという世界でも例を見ない早さで起こったため、この時点で既に将来人口の急速な高齢化が予測されていたのであるが、国内の貧困・失業問題の解消とともに人口問題は政府や社会一般の意識外のものとなり、学術会議の提言はなんらの成果も生まないまま放置された。

90年代になって少子化の深刻化による社会保障システムの破綻や経済成長の鈍化、市場の縮小が露わになると、人口問題はもっぱら少子高齢化の文脈で語られるようになり、日本社会の当面する課題の前提条件として、様々な機会に枕詞のように言及され、対症療法的に次々に対策が打ち出されるようになったが、そもそも前提となるべき基礎研究を強化する動きは未だに全くみられない。今日に至るまで日本の研究者再生産の中核を担う国立大学および共同利用研究機関では、人口学の博士課程が存在しない。私立大学でも、人口を専門とする教員がいても、欧米の大学の専門課程のように相当数の人口研究スタッフを揃えた大学院プログラムがないのは同様である。若い人が人口学、人口問題の専門家になるべく訓練を受ける機会はほとんど閉ざされているのである。

どのような社会、組織であろうとも自己の存立の基礎は人口の再生産にあって、その動向や予測の科学的把握は不可欠の作業である。このことは人口動態の歴史的転換期である現在にはとりわけ妥当する。日本人口は世界最高の長寿命のもとでの持続的人口減少という人類未踏の社会に足を踏み入れつつある。歴史的人口においては人口減少は珍しいことではないが、これは疫病、戦争、飢饉などによる死亡率の上昇によるもので

あって、出生力を通じて制御された持続的な人口減少社会などというものは、過去に例はない。人口の持続的拡大を前提としてきた近代社会システムは、あらゆる面で再考する必要に迫られている。

人口の再生産過程は人間社会の存立の根本的な基盤であり、それを自ら解明し理解しようと努力しないのであれば、その社会の将来は危ういと言わざるを得ない。日本の大学教育のなかで世界的水準における人口研究・教育の体制を作っていくことが急務である所以である。

10 数学的付録: 人口学の基本定理

人口学(デモグラフィ)は出生、家族形成、死亡、移動、分布などの人間集団の自己再生産活動を中心とした生存様式を定量的に研究しようとする学問であり、17世紀に人間の死亡法則(生命表)の研究として始まり、20世紀前半にアルフレッド・ロトカ(Alfred J. Lotka)などの活躍によってその近代的基礎が築かれた。人口学は現在では、人口の数量的データを収集分析する人口統計学や、その形式的構造やダイナミクスを数理モデルを用いて解明しようとする数理人口学ないし形式人口学を共通コアとして、社会学、経済学、人類学、疫学などを横断する学際的科学として確立してきている。以下では、人口変動のメカニズムを理解するための人口学の最も基本的なモデル(安定人口モデル)とその結果について述べる。出生率や死亡率は、一見単純に見えるが、背景となっている人口ダイナミクスの理解なくしては正確な解釈はできないからである。

人口移動のない封鎖された大規模な人口を考えよう。人口は年齢別に分布していると考えられる。連続関数での記述がよい近似であるほどにその規模は大きいと仮定して、時刻 t における年齢分布の密度関数を $p(t, a)$ とかく。ここで a は年齢変数であり、年齢 a_1 歳から a_2 歳の人口数は、

$$\int_{a_1}^{a_2} p(t, a) da,$$

このとき人口学におけるもっとも基本的な再生産モデルは以下のような一階偏微分方程式(マッケンドリック方程式)の初期値・境界値問題によって表される:

$$\frac{\partial p(t, a)}{\partial t} + \frac{\partial p(t, a)}{\partial a} = -\mu(a)p(t, a), \quad (10.1)$$

$$p(t, 0) = \int_0^{\infty} \beta(a)p(t, a) da, \quad (10.2)$$

$$p(0, a) = p_0(a), \quad (10.3)$$

ここで $\mu(a)$ は a 歳における瞬間的な死亡率であり、 $\beta(a)$ は年齢 a における年齢別の出生率である。ただしこのモデルでは女性人口のみを考え、 $\beta(a)$ は年齢別の女児出生児数であるとしよう。男児の出生数は女児出生数に一定の出生性比(≈ 1.05)を乗じることによって得られ、それに男性の生残率を乗ずれば、男性人口の年齢分布が得られる。

式(2.1)は年齢とともに死亡率によって人口が減少していく過程を表している。式(10.2)は境界条件であるが、「親が子を産む」という再生産過程は人口の年齢分布から境界値へのフィードバックとして表現されている。すなわち、出生率と死亡率が与えられると、女性人口は線形のフィードバックシステムとして記述できる。このシステムを安定人口モデル(stable population model)という。

安定人口モデルの解は長時間的には以下のように振る舞うことが示されている:

$$p(t, a) = Qe^{r_0(t-a)}\ell(a)(1 + \eta(t, a)), \quad (10.4)$$

ここで $Q > 0$ は初期条件からきまる定数であり、 $\lim_{t \rightarrow \infty} \eta(t, a) = 0$ である。また $\ell(a)$ は

$$\ell(a) := \exp\left(-\int_0^a \mu(\sigma) d\sigma\right),$$

であって、死亡率 $\mu(a)$ のもとでの年齢 a 歳までの生残率に他ならない。漸近的な成長率 r_0 (自然成長率 (intrinsic rate of natural increase) ないし内的増加率とよばれる) は以下の方程式 (オイラー-ロトカの特異方程式) のただ一つの実根として定まる:

$$\int_0^\infty e^{-ra} \beta(a) \ell(a) da = 1, \quad (10.5)$$

上記の結果から、任意の (規格化された) 年齢分布は時間とともに以下のような初期条件とは無関係な分布に収束することがわかる:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{p(t, a)}{\int_0^\infty p(t, a) da} = \frac{e^{-r_0 a} \ell(a)}{\int_0^\infty e^{-r_0 a} \ell(a) da}. \quad (10.6)$$

この極限分布を安定年齢分布 (stable age distribution) とよぶ。安定年齢分布は安定人口モデルにおいて時間的に不変に保たれる唯一の分布であって、この分布を持つ場合には人口は自然成長率 r_0 で指数関数的に増加ないし減少する。

図 10.1 は 1990 年の日本人女子人口の実際の年齢分布と、その年の動態率による安定年齢分布、また生残率 $\ell(a)$ の曲線 (静止人口構造) を示している。このとき $R_0 = 0.74$, $r_0 = -0.01026$ であり、この年の動態率が持続すれば 70 歳頃が最大の年齢階級となる非常に高齢化した年齢分布となり、人口増加率は年マイナス 1 パーセントとなることが予測される。

オイラー-ロトカの方程式はからすぐわかるように、パラメータ R_0 を

$$R_0 = \int_0^\infty \beta(a) \ell(a) da, \quad (10.7)$$

を導入すれば、明らかに $R_0 > 1$ ならば $r_0 > 0$, $R_0 = 1$ ならば $r_0 = 0$, $R_0 < 1$ ならば $r_0 < 0$ となることがわかる。 R_0 は「純再生産率」ないし「基本再生産数」とよばれ、一人の女子が、その出生時点において生涯に生むと期待される平均女兒数であるが、一つの女性コーホート (同時出生集団) のサイズとそのコーホートが生む娘世代の総数の比でもある。実際、 $B(t) := p(t, 0)$ を時刻 t における単位時間当たりの出生児数とすれば、(10.1)-(10.3) から、

$$B(t) = B_1(t) + \int_0^t \beta(a) \ell(a) B(t-a) da, \quad (10.8)$$

が成り立つことがわかる。これはロトカの積分方程式、あるいは再生方程式 (renewal equation) とよばれる。ここで $B_1(t)$ は

$$B_1(t) = \int_t^\infty \beta(a) \frac{\ell(a)}{\ell(a-t)} p_0(a-t) da,$$

と定義され、単位時間に初期人口から生まれる出生児数である。このとき、

$$B_{n+1}(t) = \int_0^t \beta(a) \ell(a) B_n(t-a) da, \quad n \geq 1, \quad (10.9)$$

によって $B_n(t)$ を定義すれば、 $B_n(t)$ は初期人口からみて n 世代目の子孫の出生児数となり、

$$B(t) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n(t), \quad (10.10)$$

である。そこで、 n 世代目の総出生児数（世代サイズ）を

$$Q_n := \int_0^{\infty} B_n(t) dt,$$

とおけば、(10.9) を 0 から ∞ まで積分して二重積分の順序変更をおこなえば、

$$Q_{n+1} = R_0 Q_n, \quad (10.11)$$

を得る。すなわち、あたえられた年齢別出生率と死亡率のもとでは、世代サイズは公比 R_0 で幾何学的に成長する。それゆえ、 R_0 が再生産の閾値条件を与えていて、 $R_0 > 1$ ならば当該の人口はやがて増大してゆき、 $R_0 < 1$ ならば人口はやがて減少していくであろうことはみやすい。要約すれば、年齢別死亡率、出生率が時間不変で与えられた場合、外部と人の出入りのない封鎖人口は終局的には指数関数的に増加ないし減少し、その年齢分布は初期条件に無関係に出生率、死亡率のみから定まる安定年齢分布に比例するようになる。このとき自然成長率が正となるか負となるかは基本再生産数が 1 より大きい小さいかによってきまる。これらは人口学におけるもっとも基本的な認識であるから、「人口学の基本定理」とよんでおこう。

例えば、日本人口においては、1974 年以降、 R_0 は 1 を下回り続けており、2004 年における R_0 は 0.62、内的増加率はマイナス 1.57 パーセントである。従って現状の出生率、死亡率が続けば、子供世代のサイズは親世代の 60 パーセントしかなく、全人口も指数関数的に縮小していくことになる。この場合、未来永劫にわたる子孫の全出生数は有限であって、

$$\sum_{n=1}^{\infty} Q_n = Q_1 \sum_{n=0}^{\infty} R_0^n = \frac{Q_1}{1 - R_0}, \quad (10.12)$$

と計算される。 $R_0 = 0.6$ であれば、これは $2.5Q_1$ であるから、現在生存する日本人口を親として生まれる総子供数のわずか 2.5 倍でしかない。

参考文献

- [1] J. E. Cohen (1995), *How Many People Can the Earth Support?*, W. W. Norton and Company, New York and London. [邦訳 ジョエル・E・コーエン (1998), 「新「人口論」生態学的アプローチ」, 農村漁村文化協会, 東京]
- [2] H. Inaba (1995), Human population reproduction via first marriage, *Math. Popul. Studies* 5(2), 123-144.
- [3] 稲葉 寿 (2000), 出生力のエイジ・シフトの効果についての注意, 「人口学研究」第 26 号: 21-27.
- [4] 稲葉 寿 (2002), 「数理人口学」, 東京大学出版会, 東京.
- [5] 岩澤美帆 (2007), 晩産化と人口変動: 出生率の若年シフトが人口減少を緩和する, to appear.
- [6] J. Knodel (1999), Deconstructing population momentum, *Population Today*, Vol. 27, No. 3: 1-7.
- [7] 国立社会保障・人口問題研究所 (2006), 「人口統計資料集 2006 年版」, 人口問題研究資料第 313 号.
- [8] W. Lutz, W. C. Sanderson and S. Scherbov (2001), The end of world population growth, *Nature* 412: 543-545.
- [9] W. Lutz, B. O'Neill and S. Scherbov (2003), Europe's population at a turning point, *Science* 299: 1991-1992.
- [10] 南 亮三郎編 (1960), 「人口論史-人口学への道-」, 勁草書房, 東京.

- [11] 日本人口学会編 (2002), 「人口大事典」, 培風館.
- [12] 岡崎 陽一 (1990), 「人口統計学 [改訂版]」, 古今書院, 東京.
- [13] S. H. Preston, P. Heuveline and M. Guillot (2001), *Demography: Measuring and Modeling Population Processes*, Blackwell, Oxford.
- [14] 舘 稔・黒田 俊夫 (1969), 「人口問題の知識」, 日本経済新聞社, 東京.
- [15] C. Wilson and G. Pison (2004), More than half of the global population lives where fertility is below replacement level, *Population and Societies* No. 405, October 2004, INED.