

第Ⅱ部

第1章

人口移動モデル

1. 人口現象とモデル

1960代に、人口の研究者のあいだで「人口」研究の内容についての「人口分析 (demographic analysis)」と「人口研究 (population studies)」, あるいは「形式人口学 (formal demography)」と「実質 (体) 人口学 (substantive demography)」との違いに関する論議がなされたことがあるが、今日一般に人口学 (demography) と呼ばれるものは、⁽¹⁾「近代人口学の父」と尊称されるグラント (John Grant, 1620-74 年) やペティ (William Petty, 1623-87 年) を祖とする「政治算術」にその源流を有し、さらにファー (William Farr, 1807-83 年) などによる死亡データの分析とその表示のための生命表 (正確には死亡確率の表である) に関する研究の進展、さらに20世紀に入ってからの、年齢別の出生率と死亡率と年齢構成との関係に関するロトカ (Alfred James Lotka, 1880-1949 年) の「安定人口」理論、あるいは、合計特殊出生率や純再生産率などの概念の構築に代表される、上記の人口分析、あるいは形式人口学に相当する、人口現象を計量的 (quantitative) な手法によって解明しようとするものを指している。

しかしせいぜい手動の計算機しか利用できなかった時代は、複雑な計量的手法を駆使して人口現象を分析することはかなり困難で、人口分析も現代の

計量的側面からみると比較的単純なものに限られていた。ところがその後、コンピューターの発達とその利用の普及にともなって人口学でも、複雑な手法の採用やシミュレーション、計算結果のフィードバックなどを行うことなどが可能となって、その数理的な研究内容は一昔前とは格段の違いがみられるように深化した。数学人口学 (Mathematical Demography) という表題の書物が発行されるようになったのもこのような傾向を反映したものであることはいうまでもないが⁽²⁾、計量的分析手法の高度化と研究の深化とともに、モデルという言葉が盛んに使われるようになってきた。⁽³⁾とくに、イギリスのブラス (W. Brass) による年齢別の死亡率や出生率に関する「リレーショナルモデル (relational models)」の開発を契機として、⁽⁴⁾1970年代後半から人口学の主要な研究分野がモデルの作成であるともいえるような様相となり、さらに最近では、マトリックス形式による多次元人口モデル (multi-state demographic model) の作成へと発展してきている。

そのために、たとえば1958年に国連が発行した多言語人口学用語事典にはモデルという項目は全くみられなかったが、それを引き継いで改訂を加えて82年に発行された多言語人口学用語事典には、人口モデルの項が設けられ説明が加えられている。⁽⁵⁾

ところで、ここでモデルといているのは、ニューエルが言っているように、「他の言葉と同様に、科学で使われるモデルという言葉は日常生活で使われているのとはやや異なった意味をもっていて、ある側面における真実を捨象したり、変化しないと仮定することによって、(より重要な) 別の側面をより明解に観察することができるような実在の世界を単純な形で描いたもの」を指している。⁽⁶⁾そしてこれを人口現象に適用したものが人口モデル (demographic model) であるということになる。つまり、「初期の人口構成と、(出生、妊娠力、死亡、結婚などの) 各種の変数の影響のもとで起こる、人口 (人間集団を数字で示した人口のそのものとともに、その基本的な構成単位である夫婦、家族、世帯なども含む) とその構成の展開の様子を理論的な組立てによって示したもの」⁽⁷⁾あるいは「人口現象あるいはそのプロセスの一般的なかたちを例

示したもの」で、「多くの場合さまざまに錯綜する数式のかたちに整えられ⁽⁸⁾ているものなのである。

ただし、おそらく人口学で最初に一般に広く使われた「モデル」と考えられるものは、上述の日常用語としてのモデルの性格を持つものであった。それは、国連が1955年に発表した、158カ国の男女別生命表から作った「国連モデル生命表 (Model Life Table for Developing Countries)⁽⁹⁾」であり、その後66年に発表された、プリンストン大学のコール・デメニ (A. J. Coal and P. Demeny) の「地域モデル生命表 (Regional Model Life Table)⁽¹⁰⁾」である。前者は、死亡統計の整備が遅れていてデータが全くなかったり、きわめて信頼性の低いのが一般的である発展途上国の死亡分析のために用意されたもので、後者は、国連のモデル生命表を発展させて206の人口集団の死亡パターンを東のタイプ、西のタイプ、南のタイプ、北のタイプという4つの「類型 (family)」に分類しているところに特徴があり、発展途上国などの死亡の水準を推計するのに広く利用されてきた。

また、人口外の諸現象と人口現象との関係を考察して人口現象の本質を解明するための作業とそこから作り出された仮説がモデルと呼ばれることもしばしばみられる。とくに出生率の変化と死亡率の変化との関係に関するいわゆる人口転換理論、出生力水準の決定要素群の配置に関する社会学的理論や、消費者選択の理論と子供の価値の限界効用説を導入した出生力の経済理論などをモデルと呼ぶことがあるのがその好例である。⁽¹¹⁾

しかし、一般に数式によって記述されるものと考えられている人口モデルの多くは、相互に関連しあっている人口の変動要素のそれぞれ、あるいはその一つを測定しようとするものや、人口現象の経年変化や出生率や死亡率などの加齢による変化を示そうとするものである。つまり、現実に基づいた仮定、あるいは全く架空の仮定を設定した時に何が起るかを記述しようとするものと、現実の人口構成や年齢別の出生、死亡、移動などのパターンをできるかぎり正確に記述しようとするものであり、前者は規範的モデル⁽¹²⁾ (normative model)、後者は記述的モデル (descriptive model) と呼ばれる。

規範的モデルは、真実のところからは大きくかけはなれた（したがって極端に抽象化された）非常に単純なかたちで示されるものと、その仮定の単純化を弱めることによって、より複雑な、真実への接近性を高めるように工夫されたものに細分される。たとえば最も古くかつ人口学で最も広く利用されてきた規範的モデルとして、合計特殊出生率や生命表のような、「合成（仮設）コーホート（synthetic cohort）」¹³の概念を基礎として出生力や死亡の水準を測定しようとするものがある。これらは、年齢構造、出生力、死亡、移動の4つの要素のいずれか1つ以外をすべて変化しないと（ときには0と）仮定することによって、残りの1つの要素の持つ意味を示そうとするものである。合計特殊出生率は、死亡率が0であるとともに、人口移動と年齢構成によって影響されない場合にみられる出生力水準を示す指標であり、生命表関数は死亡を除く他の要素からは独立した年齢別の死亡水準を示す指標である。また、純再生産率や静止人口も規範的モデルであるが、前者は、年齢構成と人口移動から独立した、年齢別の死亡率と出生率のもとでの人口の再生産の水準を示す指標であるし、後者は年間出生数と死亡数が一定でありかつ両者が等しい場合の年齢構成を示すものである。なお、これらの指標は、死亡水準の全体の姿を示す出生時の平均余命（平均寿命）をみても明らかのように、人口のある面を非常に簡潔な方法で記述していて、複雑なパターンを呈する人口現象をただ1つのパラメーターで示すことによって、複数の人口集団の比較を行うのを容易としているモデルである。

これらの規範的モデルの多くは形式人口学での人口分析のかなめとなっていて、モデルとしてとくに意識されることがないのが普通である。しかし、年齢別特殊出生率からの合計特殊出生率、さらには純再生産率への展開、あるいは年齢別特殊死亡率から生命表とそれに基づく安定人口理論への展開は、「現実の世界からモデルの世界への推移であるという意味でも、合計特殊出生率も生命表もモデルである」ということになる。¹⁴

他方現実の姿をできるかぎり正確に再生しようとする記述的モデルのなかで最も多いのが、死亡、出生力ならびに人口移動の年齢別パターン——年齢

別の死亡秩序 (mortality schedule), 出生秩序 (birth schedule) や人口移動秩序 (migration schedule) ——を記述するためのモデルと、年齢構成そのものを記述するためのモデルである。最近の人口学におけるモデル作成はこの種のモデルであることが多い。¹⁵⁾

前者に関しては、年齢別の死亡率や出生率、あるいは人口移動率が、たとえば、出生直後はきわめて高いがその後低下して非常に低い水準となり、それ以後、年齢を加えるに従って徐々に上昇して老年になると高い水準に達する年齢別死亡率、20歳代のある時期にみられるピークに向けて急上昇したのち、30歳代に低下して40歳代にきわめて低い水準となる年齢別出生率のように、規則的な年齢パターンを示す部分が多く、その規則性が長年にわたって人口学者の注目を引いてきたものを、数式で記述しようとするものである。そして、「その規則的な部分を標準化し、またそれからの変異をも表現し得るモデルを開発するために多大の努力が払われて」きた。¹⁶⁾

また後者に関しては、人口が他とは隔絶されていて、その集団への出入りがない封鎖状態にあるとき (封鎖人口であるとき) の年齢構成は、過去の毎年の年齢別の死亡数と出生数とによって規定されるし、将来の年齢構成は、毎年の年齢別の死亡数と出生数がどのように変化するかによって異なってくる。つまり出生数と死亡数は年齢構成の決定要素であるところから、ある仮定された出生数 (率) と死亡数 (率) によってどのような年齢構成がもたらされるかを記述しようとするものである。

なおこれらのモデルは、一つの人口集団に関するモデルであるが、複数の人口集団を同時に観察する多次元人口モデルの開発が最近進んでいる。これは、「対象となる人口がなんらかの自然的、ないし社会的な属性によって状態別に部分人口へと分解され得る場合に、相互に結合された各部分人口のダイナミックスを統一的に記述しようとする」もので、現在のところ、居住地域、結婚状態、パリティなどの人口属性による多次元モデルの研究が進められている。なかでも地域という属性による多地域人口モデルは、地域人口の将来推計に利用されている。

ところでこの記述的モデルは、年齢別の分布が（ある限定内という制約はあるが）、異なる種族・民族に共通してみられるという性格を多分にもっているところから人口学的現象が記述的モデルへのモデル化に適しているといわれるが、⁽¹⁸⁾ そのことが、この記述的モデルの研究上の利用価値をきわめて高く⁽¹⁹⁾ している。

具体的には、たとえば人口データがある特定の年齢に集中するようなものであったり、サンプルが小規模であるときには、集計されたままの年齢別の死亡数と年齢別の人口数から求められる年齢別特殊死亡率は非常に不規則なパターンとなってしまっってその一般的なパターンを把握することが困難であることが多いが、そのときにこのモデルが利用され、この不規則なパターンをスムーズな年齢別の分布パターンにして一般的なパターンと考えて死亡の分析を行うことがしばしば行われる。

また現実のデータをモデルの曲線にあてはめて、そのあてはまりの良さからデータの質を評価することもできる。勿論、データのモデルへのあてはまりが良くないといっても、それが誤差や調査漏れがあることの絶対的な証拠とは必ずしもいえないが、そのことがデータの扱いと、その分析にあたってデータの質に関する注意が必要であることを示唆している。さらに、データの一部が欠けているとき、あるいはデータの一部にその精度についての疑問が存在するときに、モデルはそのようなデータを使ったあてはめによって、（もっともらしく見える）完全なデータを得るのにも利用される。たとえば5歳階級別の年齢特殊出生率から各歳別のデータを求めるときのように。また、非常に若い年齢層とかなりの高齢層での出生力に疑問があるデータの場合に、信用をおける他の年齢層のデータのみをモデルに適用して、疑問のあるデータを修正することができる。同様なことは死亡率に関しても可能で、歴史人口学の分野でこの方法が盛んに使われており、断片的な記録や考古学的な遺物などから得られるデータから、過去の（もっともらしく見える）姿を描き出すのに利用される。ただしこのような目的に使われるモデルはマジックではないということは強調されなければならないことであって、何も存在し

ていないところからは何かを生み出すことができるものではなく、すでに存在しているデータを基礎としなければならないのはいうまでもない。

そのほか、かつていままで一度もデータの収集が行われたことがない地域の人口を推計するのに利用されたり、将来の人口を推計するのにもモデルが利用される。とくに人口の将来推計は、一般に将来の出生力、死亡ならびに人口移動を考える必要があるが、モデルはこれらを予測するのに便利であり、たとえばモデル生命表によってデータの無い人口の死亡秩序を想定することはしばしば行われる。またあい似た問題として、センサス間あるいは2つの調査の間の出来事を推計するのにも利用される。

最後に、モデルは死亡、出生、移動などの人口の決定因子の変化の効果を測定するのに利用される。人類集団に対する実験を行うのは非常に困難なことであり、また多くの場合道義上許されることではないから、変化の似たインパクトを評価するためにモデルを利用するのはきわめて有用である。たとえば、結婚年齢の上昇あるいは避妊具の入手可能性の増大の効果を研究したり、癌がなくなった時の死亡率と年齢構成への影響を分析することができる。

2. 人口移動モデル

出生や死亡とは異なって人口学における人口移動に関する研究はそれほど多くない。しかし経済学、社会学、地理学などでの研究を含めるとその数はきわめて多く、またそのアプローチの内容も多様であるが、その多くは、人口移動における「法則性」の存在の検証、あるいはその地域における人口移動の発生の理由（それに関連して、1つまたは複数の地域で観察される移動量や移動率）と人口移動のその地域に及ぼす影響の解明を目的とする研究である。

現在人口移動モデルと呼ばれているものの多くはこの両者にわたっているが、そのなかで最初に注目されたのが、人口移動における「法則性」の存在の検証であると考えられるが、なかでも移動量と移動距離との関係に研究者

の関心が集中した。それは、ラベンシュタイン (E.G. Labenstein) が、経験的に得られた人口移動にみられる規則性をいわゆる「移動法則」としてまとめ、その第1項で、「大多数の移動者は短距離を移動するにすぎない」と指摘しているのに始まる。⁽²⁰⁾つまり、人口移動量(率)と距離とは逆相関の関係にあるとラベンシュタインはいつているのであるが、これを一般化して、 $M=C/D$ (ただし M は移動量(率)、 C は定数、 D は距離) の式によって、あるいは $M=aD^{-b}$ や $M=ae^{-bD}$ (ただし a と b は定数、 e は自然対数の底) という一般式によって表現される移動と距離の関係がはたして存在するかどうか、存在するとすればこれらの式の係数はどんなものであるか、という規範的モデルである。

また、移動量を考えるのに移動距離(距離摩擦)はたしかに重要ではあるが、移動量の大小を説明するのに距離だけでは十分に説明しきれないことがしだいに明らかとなり、費用、時間、介在機会などの各種の変数を距離とおきかえたモデルが考案された。たとえば、距離以外の変数を導入したものとして、チプフ (G.K. Zipf) によって $P_1 P_2 / D$ 仮説と呼ばれた、物理学における重力法則と位置エネルギーの概念を人口移動に適用した重力モデル ($M_{ij}=a \cdot P_i P_j / D_{ij}^b$ 、ただし M_{ij} は地域 i と地域 j との間の移動量、 P_i と P_j はそれぞれ地域 i と地域 j の質量で、通常、人口数、 D_{ij} は i と j の間の距離、 a と b は定数) ⁽²¹⁾があるし、その後、「発生地あるいは着地での人口移動への影響力にウエイトを与えるための新しい指数の導入、あるいは、距離を社会経済的なものに変形するなどによる重力モデルのいっそうの精緻化が進められてきた。⁽²²⁾ ストウファー (S.A. Stouffer) の介在機会モデル (intervening opportunities model) も、距離のかわりに介在機会という変数を導入した重力モデルの改良例のひとつである。⁽²³⁾

他方経済学の分野では、就業機会や所得の地域差に起因するとする仮説に代表される、ある地域の純移動 (net-migration — 流入と流出の差) 量(率)あるいは流出 (out-migration) 量(率)を説明しようとする労働力移動モデル⁽²⁴⁾などの経済学的なアプローチがなされてきた。

これらは個人の移動に関するモデルであるが、最近では家族移動に関するモデルの開発も進んでいる。なかでも夫婦がともに職業を持っている家族が

移動しようとする動機は、彼らの子供の教育を含む家族全体の経済的な利益を視点に入れる必要があるとするモデルはその一例である。⁽²⁵⁾

さらに、人口転換と社会的モビリティ、全般的な近代化と結びついたゼリンスキー (W. Zelinsky) の「移動転換モデル (mobility transition model)」⁽²⁶⁾、家族の居住地に対する満足度が移動（とくに都市内部での移動）と移動先を決定する重要な要因であるとする仮説、これと関連して家族のライフコースにそって移動がなされるとする仮説などの社会学的アプローチ、⁽²⁷⁾さらには、移動者の意思決定プロセスを考察する行動論的アプローチやシステム論的アプローチなどの地理学的アプローチなど、モデル開発は最近ますます多様になってきている。⁽²⁸⁾

このように人口学外での人口移動モデルの研究は数多いが、人口学とくに、出生や死亡などと同じような、年齢別にみた移動率をもとにした規範的モデルや記述的モデルに関する研究はきわめて限られている。しかもその開発は比較的新しく、もっぱらロジャーズ (A. Rogers) とそのグループの研究者によって研究が進められているにすぎない。

規範的モデルとしては、ロジャーズによる、地域間の人口移動率を行列形式に表現して推移確率行列に変換し、移動確率を一定不変と仮定したときの人口分布の最終的な平衡状態を示す、地域間人口移動のマルコフ連鎖分析がその代表である。⁽³⁰⁾そしてこの行列形式によって人口現象を表現する行き方が、多地域人口学モデル、さらに多地域コーホート要因法による人口の将来推計へと発展した。⁽³¹⁾

他方記述的モデルとしては、同じロジャーズによる移動スケジュールに関するモデルがある。これは、年齢別にみた流出確率あるいは流入確率が、乳幼児のときはやや高く義務教育年齢になると非常に低くなるが、義務教育が終わると急速に高まって20—30歳で最大となるピークを作った後ゆるやかに低下して（地域によってはさらに50—60歳で小さなピークが出現することがある）高齢になるとほとんど0に近くなる、という複雑な曲線を描くのが一般的に観察されるところから、これを指数関数式、すなわち、

$$\begin{aligned}
 M(x) = & a_1 \exp(-\alpha_1 x) \\
 & + a_2 \exp[-\alpha_2(x - \mu_2) - \exp\{-\lambda_2(x - \mu_2)\}] \\
 & + a_3 \exp[-\alpha_3(x - \mu_3) - \exp\{-\lambda_3(x - \mu_3)\}] \\
 & + c
 \end{aligned}$$

という式によって表現しようとする移動スケジュールのモデル化である。³²⁾

このモデルは、後述するように、指数関数に従う出生・死亡の年齢別の発生確率が描く曲線に関する記述的モデルの作成のために開発された手法を、人口移動に適用したものであるのはいうまでもない。そしてロジャーズは、このモデル化によって、国連やコール・デメニの地域モデル生命表に似た、地域モデル移動表の作成が可能であるとして、人口移動スケジュールの類型化（ファミリーへの分類）を試みている。³³⁾ すなわち、「人口移動の年齢別パターンは、出生力や死亡のスケジュールよりも地域間の差が大きいから、適当な種類のモデル人口移動スケジュールを開発するにはより多種類のファミリーとそのパラメーターが要求される」から、モデル生命表の作成に使われたものよりはるかに多い、スウェーデン114、イギリス164、日本114、オランダ200、ソ連46、アメリカ合衆国8、ハンガリー32の総計510（内男子206、女子206、男女合わせたもの98）のスケジュールを利用して人口移動スケジュールの記述的モデルを作成し、これらを、高齢期に小さなピークを持つか持たないか、最初のピークがみられる年齢、幼時の時の移動の大小、労働力移動のカーブの対称性、子供の移動の親との関係、の5つの指標を組み合わせることで12の基本的ファミリーを設定、さらにそれぞれの基本的ファミリーを細分して総計60のファミリーへの分類を行った。

こうしてロジャーズは、人口移動スケジュールの非線形式による表現とそのファミリーへの類型化によって、人口移動スケジュールモデルの有用性を示したが、実際にこれをデータの不完全な国や地域のデータ推計に適用するにはいくつかの点についての注意が必要である。

その第1は、サンプルとして利用されたものが先進工業国のものばかりであるということから、モデル生命表のような発展途上国などのデータの整備

の後れている地域でのデータの推計のための利用がはたして可能なのかという問題がある。これに答えるには、入手可能な発展途上国の移動データの分析が必要である。

第2に出生、死亡、人口移動の年齢別の発生確率がいずれも年齢という人生の経過期間のいかんによって規定されるが、その規定のされかたに出生、死亡と人口移動の間には決定的な違いが存在するということがある。なぜならば、出生と死亡、なかんずく死亡という現象の年齢別パターンには、人類の「生物」としての要素が強く作用していて文化や社会経済的条件が入り込む余地が比較的少ないのにたいして、人口移動には年齢よりも文化や社会経済的条件が強く作用しているからである。そのために、年齢別の出生確率や死亡確率の描く曲線が、基本的には、いわば全人類に共通してほぼ同じ年齢で1つの山あるいは谷をもつというパターンがみられるのであるが、年齢別の人口移動確率は文化や社会経済条件の違いによって大きく異なり、また他文化の影響や諸条件の変化に応じて発生確率が変化しやすく、曲線の谷や山の数、あるいはそれらの出現する年齢の、時代や地域による相違が大きく、ある地域のデータをもとに作られたモデルが必ずしも他の地域にあてはまるという保証はない。人口以外の、たとえば、義務教育年限などの人口移動と関連の深い諸制度、雇用慣習、文化的諸条件などを検討したうえで、モデルの他の地域への適用の可否が決められるべきである。

また、出生、死亡という人口現象は、出生集団からのある個人の一方的な退出（死亡）か加入（出生）であって、それらはお互いに独立した現象であるが、人口移動は、ある地域からの退出（流出）と同時に他の地域への加入（流入）という2つの側面を持っていてお互いに従属関係にあるし、両者の発生地域は異なっている。このような相違が、出生・死亡と移動の間の統計的な把握の容易さを左右し、またその分析の容易さをも左右している。さらにそのうえに、ある個人が一生の間に複数の退出と加入を経験することが可能であるという点で死亡と決定的に異なっている。そのために合成コーホートによって作られた移動スケジュールモデルは、個人個人の移動歴をもとに

作成された、その地域の人口移動スケジュールモデルであるとは必ずしもいえないし、また出生・死亡に比較して人口移動の人口学の分野での研究の深さと研究成果の蓄積量が少ないのもこれらによるところが大きい。

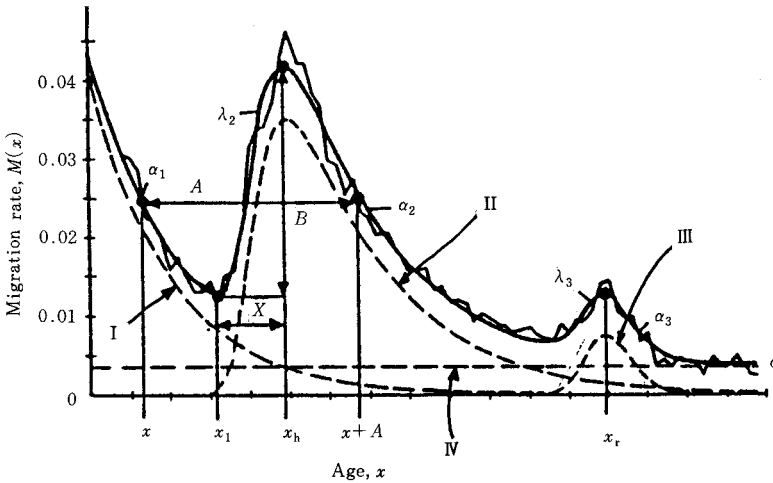
本章の2節以下で扱われているのはこのロジャーズのモデルの韓国、タイ、日本の人口移動への適用であるが、まずロジャーズモデルの概要を述べた後、それぞれの国の人口移動スケジュールのモデル化の方法について触れ、ついで、その比較とこの3国のなかで一番データの整備のよい日本の人口移動スケジュールの類型化を試みたものである。

3. ロジャーズの人口移動モデルの概要

多地域人口モデルやその応用である地域人口推計モデルの作成で著名なA・ロジャーズ(Andrei Rogers)は、いくつかの国の年齢別移動率のプロフィール(age profile)の比較研究から、10歳前後で1つの谷をもち20歳前後と60歳前後にピークを有するプロフィールを典型的な人口移動スケジュール(model migration schedule)とみなした(図1)。そしてそのスケジュールが、4つの単純な成分(前労働力成分(pre-labor force component)・労働力成分(labor force component)・後労働力成分(post-labor force component)・定数成分(constant component)から構成されているという考えを示した。このうち前労働力成分は主として子供の移動に関する成分であり、後労働力成分は引退者の移動に関する成分、すなわち引退成分(retirement component)を意味する。

前節で示したロジャーズの人口移動モデルは、これらの4つの曲線の総和を11個のパラメーター $a_1, \alpha_1, a_2, \alpha_2, \mu_2, \lambda_2, a_3, \alpha_3, \mu_3, \lambda_3, c$ を有する方程式として表したものである。ここでは説明を容易にするため、そのモデルを式(1)として再度示す⁽³⁴⁾。ただし $M(x)$ は、年齢 x における移動率を意味する。

図1 典型的な人口移動スケジュール



(出所) Rogers, A., *Migration, Urbanization, and Spatial Population Dynamics*, Boulder and London, Westview Press, 1984, p. 46.

$$\begin{aligned}
 M(x) = & a_1 \exp(-\alpha_1 x) \\
 & + a_2 \exp[-\alpha_2(x - \mu_2) - \exp\{-\lambda_2(x - \mu_2)\}] \\
 & + a_3 \exp[-\alpha_3(x - \mu_3) - \exp\{-\lambda_3(x - \mu_3)\}] \\
 & + c \dots\dots(1)
 \end{aligned}$$

上式の右辺の第1, 2, 3, 4項が、それぞれ上述の前労働力成分、労働力成分、後労働力成分、定数成分を示し、図1において破線で示された4本の曲線I, II, III, IVに対応する。これらの成分の中で、前労働力成分は単一の負の指数曲線 (single negative exponential curve) で表される。また労働力成分と後労働力成分には、結婚と出生力に関する研究においてコールとマクネイルが作成した「二重指数カーブ (double exponential curve)」が採用されているが、通常このカーブは、左側に歪んだ単峯型 (unimodal) のプロフィールを示す。⁽³⁵⁾ なお定数成分は、水平な直線として表される。各パラメーターの意味は以下のとおりである。

a_1 : 前労働力成分の移動水準すなわち曲線の高さ

- α_1 : 前労働力成分の降下率 (rate of descent) すなわち曲線の傾斜
 a_2 : 労働力成分の移動水準すなわち曲線の高さ
 λ_2 : 労働力成分の上昇率 (rate of ascent) すなわち曲線の左側の傾斜
 α_2 : 労働力成分の降下率すなわち曲線の右側の傾斜
 μ_2 : 労働力成分の水平方向の位置
 a_3 : 後労働力成分の移動水準すなわち曲線の高さ
 λ_3 : 後労働力成分の上昇率すなわち曲線の左側の傾斜
 α_3 : 後労働力成分の降下率すなわち曲線の右側の傾斜
 μ_3 : 後労働力成分の水平方向の位置
 c : モデル全体の移動水準を調整するための定数

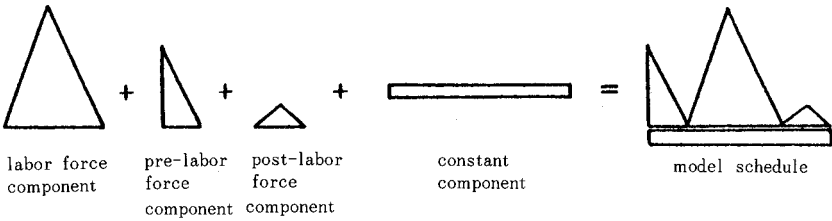
これらの11パラメーターの中で、4つのパラメーター a_1, a_2, a_3, c は移動水準に関するものであり、他の7つのパラメーター $\alpha_1, \alpha_2, \mu_1, \lambda_2, \alpha_3, \mu_3, \lambda_3$ は人口移動のプロフィールに関するものである。なお μ_2, μ_3 は、直接的には、最大ピークの年齢 (high peak) や引退ピークの年齢 (retirement peak) ——これらの年齢は後述するようないくつかの指標によって算出される——を意味しないことに留意する必要がある。

とくに、ロジャーズモデルから労働力成分を除いたモデル (式(2)) は、引退ピークをもたない場合の年齢別移動率プロフィールを示し、パラメーターは全部で7つとなる。ロジャーズは、このモデルを縮小モデル (reduced model) と呼び、これに対して元のモデル (式(1)) を完全モデル (full model) と呼んだ。

$$M(x) = a_1 \exp(-\alpha_1 x) + a_2 \exp[-\alpha_2(x - \mu_2) - \exp\{-\lambda_2(x - \mu_2)\}] + c \dots\dots(2)$$

ロジャーズは、モデル人口移動スケジュールを類型化するために、その形態的特徴を表すさまざまな指標を提示している。それらは、基本指標とそれから得られる加工指標との2つに大きく分類されるが、そのうち基本指標には、上述した11個のパラメーターとその比率によって表される6つの指標が含まれる。各パラメーターの意味についてはすでに説明したので、ここではまず、比率を表す各指標の意味について説明を加えていく。

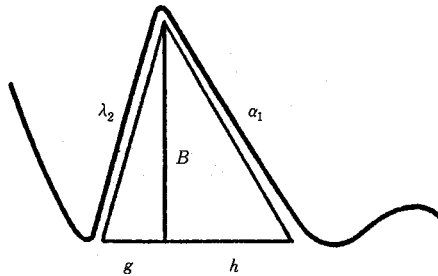
図2 完全モデルを構成する主要4成分の模式的表現



(出所) 図1に同じ, p. 52.

モデル人口移動スケジュールを構成する4成分を模式的に表現すると図2のようになるが、この図は、まず定数成分に相当するスケジュールの基底部分がスケジュール全体から分離され、さらに基底以外の部分が3つ（縮小モデルの場合は2つ）の成分に分解されることを意味する。3つの指標 $\delta_{1c} = a_1/c$ 、 $\delta_{12} = a_1/a_2$ 、 $\delta_{32} = a_3/a_2$ は、これらの4つの成分間の移動水準、すなわち高さに関する比率を示すものである。このうち δ_{1c} は、定数成分に対して他の3成分がどの程度の移動水準をもっているかを示す1つの指標であり、 δ_{12} および δ_{32} は、労働力成分に対してその前後の労働力成分がどの程度優位であるかを示す指標である。いいかえれば、 δ_{12} は子供が親と共に（もしくは親に依存して）移動する場合の大きさを表し、 δ_{32} は引退者に関する同様の指標を表す。このように、たとえば δ_{12} は、ある人口移動のスケジュールが労働力優位型か子供優位型かの判断基準となり得るのである。一方、子供と親との随伴移動がどの程度の規則性をもってなされているかは、労働力成分と前労働力成分の降下率の比 $\beta_{12} = a_1/a_2$ をみればよい。 β_{12} の値が1となるのは、親の人口移動率が子供の人口移動率に完全に反映された場合である。比率に関する残る2つの指標 $\sigma_2 = \lambda_2/a_2$ 、 $\sigma_3 = \lambda_3/a_3$ は、労働力成分および後労働力成分のカーブの対称性に関するものである。このうち σ_2 は、労働力成分をそのピークから下ろした垂線によって2つの部分に分割し（図3）、分割された底辺の長さをそれぞれ g 、 h とおくと、式(3)に示すようにおおよそ g と h との比に相当する。そして図3は、この比 h/g が

図3 労働力成分のカーブの対称性



(出所) 図1に同じ, p. 53.

まさしく労働力成分の対称性を表すことを意味するのである。なお B は労働力成分のピークから下ろした垂線の長さを意味し、また後述するジャンプシフトに相当する。

$$\sigma_2 = \lambda_2 / \alpha_2 \propto \frac{B/g}{B/h} = h/g \dots\dots(3)$$

同様の議論は、後労働力成分に対しても行うことができる。なお、以上の6つの指標の意味は次のようにまとめることができる。

δ_{1c} : 定数成分に対する他の3成分の移動水準の比

δ_{12} : 子供の依存度指標

δ_{32} : 引退者の依存度指標

β_{12} : 子供と親との随伴移動の規則性に関する指標

σ_2 : 労働力カーブの対称性に関する指標

σ_3 : 後労働力カーブの対称性に関する指標

次に、モデル人口移動スケジュールの全体の形態が確定してから得られる加工指標について説明する。ロジャーズは、このような加工指標として、スケジュールの面積およびその比率に関する指標 GMR (Gross Migration Rate)⁽³⁶⁾, % (0-14), % (15-64), % (65+), スケジュールの水平方向の位置に関する指標 \bar{n}_1, x_l, x_h, x_r , ならびに水平方向・垂直方向の距離に関する指標 X, A, B を提示している。

スケジュールの総面積を意味する GMR は、各年齢の移動率を総計した値であり、これにより、当該地域のモビリティの大きさがある程度評価することができる。また $\%(0-14)$ 、 $\%(15-64)$ 、 $\%(65+)$ は、 GMR に対する、各年齢層 (0~14歳, 15~64歳, 65歳以上) のスケジュールの面積のパーセンテージを示す。これらの値は、スケジュールを多数の長方形に分割することによって近似的に得られる。一方、スケジュールの水平方向の位置に関する指標 \bar{n}_1 、 x_l 、 x_h 、 x_r は、それぞれ、平均年齢、極小点の年齢 (low point)、最大ピークの年齢 (high peak)、引退ピークの年齢 (retirement peak) を意味する。このうち平均年齢 \bar{n}_1 は、全移動者の平均年齢であり、各年齢とその移動率との積の総和を GMR で除することによって得られる。また x_l および x_r は、それぞれ15歳および60歳付近において、グラフの傾きの符号が変化するポイントの x 座標として得られる。これに対して最大ピークの年齢 x_h は、次式によって代数的に得られる。

$$x_h = \mu_2 - (1/\lambda_2) \ln(\alpha_2/\lambda_2) \dots\dots(4)$$

式(4)によれば、最大ピークの年齢 x_h と労働力成分の水平方向の位置を示す μ_2 は、2つのパラメーター λ_2 、 α_2 の大小によって、次のような関係を有すると判断できる。その関係とは、

$$\begin{aligned} \lambda_2 > \alpha_2 \text{ のとき, } & x_h > \mu_2 \\ \lambda_2 = \alpha_2 \text{ のとき, } & x_h = \mu_2 \\ \lambda_2 < \alpha_2 \text{ のとき, } & x_h < \mu_2 \end{aligned}$$

である。なお、通常のスケジュールは $\lambda_2 > \alpha_2$ が成り立っていると考えられるので、 $x_h > \mu_2$ という関係が成立する。このように x_h は、労働力成分を表す各パラメーターと密接な関係にあり、モデル人口移動の形態的特徴を示す最も重要な指標のひとつであると考えられる。最後の距離に関する指標の中で、水平方向の年齢差に関する指標 X および A は、それぞれ労働力シフト (labor force shift) および親のシフト (parent shift) と名付けられている。労働力シフト X は、15歳前後の極小点から20~25歳前後の最大ピークに至るまでの年齢差であり、 $X = x_h - x_l$ によって表される。また、親のシフト A は、

子供とその親の移動率の間に存在する関係の程度を測るための指標であり、前労働力カーブの下降部分と労働力カーブの下降部分の年齢差の平均値である。親のシフト A は、前労働力シフトの下降率 α_1 と労働力成分の下降率 α_2 が等しい場合に、式(5)で表される。

$$A = \mu_2 + (1/\alpha_2) \ln(1/\sigma_{12}) \dots\dots(5)$$

これらの水平方向に関する指標に対して、極小点と最大ピークとの垂直方向の距離を意味する指標 $B = M(x_h) - M(x_\ell)$ は、ジャンプシフト (jump shift) と呼ばれる。以上の加工指標をまとめると以下のように表される。

GMR : モデル人口移動スケジュールの総面積

% (0-14) : GMR に対する 0~14歳のスケジュールの面積比

% (15-64) : GMR に対する 15~64歳のスケジュールの面積比

% (65+) : GMR に対する 65歳以上のスケジュールの面積比

x_h : 最大ピークの年齢

x_ℓ : 極小点の年齢

x_r : 引退ピークの年齢

X : 労働力シフト

A : 親のシフト

B : ジャンプシフト

4. 人口移動データと人口移動率の計算方法

ロジャーズモデルは、いくつかの指数関数から構成されたモデルであり、当然のことながら、移動率 $M(x)$ は年齢 x の連続関数とみなされる。そしてこのことは、移動率 $M(x)$ が、ある「瞬間」の年齢 (exact age) x における数値であることを意味する。

一方、ロジャーズの人口移動モデルを実際に作成するには、まずそのような意味での移動率 $M(x)$ を各国の入手可能な人口移動データから計算しなけ

ればならないが、現実的には、その値、すなわち、ある「瞬間」の年齢 x における移動率 $M(x)$ を求めることは、かなり困難であるといわざるを得ない。なぜなら、特定の人口集団の移動率を計算しようとする場合、ある一定の観測期間を必要とし、その間に移動者の年齢が変化してしまうからである。したがって、このような理論上での値を計算するにあたっては、現実には得られるデータに即した形でその計算方法を定義する必要がある。さらに、今回取り上げた3カ国（韓国・タイ・日本）は、人口センサスのフォーマットや集計方法がそれぞれ異なるため、移動率の計算方法については個別に規定することとした。このため、3カ国のモデルスケジュールを厳密な意味において比較することは、あまり有効な議論ではないといえる。以下に、国別の人口移動データの内容と移動率の計算方法について述べる。

〔韓 国〕

韓国について用いた人口移動データは、1985年の人口センサスにおける、5年前の前住地に関する調査から集計されたものである。表章されているデータは、男女・年齢階級別（5歳）の流出数（out-migration）と流入数（in-migration）である。韓国の場合、5年前の常住地と現住地が異なる者を移動者と規定しているために、85年現在の0～4歳コーホートの移動は把握できない。このコーホートに属する人口は、80年時点でゼロであるからである。集計のために用いられている年齢区分は5～9歳から70歳以上までの14階級であるが、この数は、ロジャーズモデルのパラメーターの個数（full-modelで11個）に比較して決して多くはない。また、集計の地域単位は4つの「特別市」と9つの「道」である。

移動率を計算するために必要な男女・年齢階級別人口は、各地域の同一コーホートに属する1980年と85年の人口数の平均値、すなわち期央人口を用いるのが望ましいが、韓国の人口センサスは5年ごとに実施されており、期央人口を求めることは集計方法の変更等がない限り容易である。しかし、80年センサスと85年センサスの間に、インチョン（仁川）とテグ（大邱）が特別市に加わったため（1980年時点ではソウルとプサン（釜山）のみが特別市に指定

されていた)、両者のセンサスから同じ区画の地域による男女・年齢階級別人口を求めることが不可能になっている。そのためここでは、流出数・流入数をそれぞれ期末(1985年)の人口数で割った値を流出率・流入率とした。

さて、こうして計算された、1985年現在の $n \sim n+4$ 歳コーホートに関する移動率は、何歳における移動率とみなしたらよいであろうか。このコーホート人口の80年から85年までの6年次における平均人口は、それぞれ $n-2.5$ 、 $n-1.5$ 、 $n-0.5$ 、 $n+0.5$ 、 $n+1.5$ 、 $n+2.5$ 歳である。したがって、もしこの期間に平均的に移動が行われると仮定すれば、移動した瞬間における各移動者の年齢の平均は n 歳であると考えるのが妥当といえよう。この考えは、以下に述べるタイと日本においても採用することにする。

【タ イ】

我々の利用したタイの人口移動データは、1980年人口センサスにおける5年前の前住地に関する調査に基づくものである。この調査における移動者の定義は韓国と同じであるため、80年現在の0～4歳コーホートの移動は把握できない。データは男女別に得られているが、年齢区分は韓国よりも少なく9階級となっている。さらにその年齢間隔は、5歳から29歳までは5歳階級別に、そしてそれ以上の年齢では10歳階級別に集計されている。このように、年齢階級区分が少なくその間隔が同一でない場合は、後述するようにパラメーターを求めるのが大変やっかいなことになる。集計の地域単位は、バンコク大都市圏と71の県(Changwat)であるが、タイの場合は、これらの地域への流入数が表章されているにすぎず、しかも流入者の前住地は、その数が多いものだけが表章されているにすぎない。したがって各地域からの全流出数を把握することは不可能であり、流出率については今回の分析から除外せざるを得なかった。

一方、タイのセンサスは10年に1回の割合で実施されているのみであり、5年前(1975年)の男女・年齢階級別の人口は、何らかの方法による推計値以外はデータが存在しない。そのため韓国と同様に、タイの場合も期末(1980年)の人口で流入数を割った値を流入率とした。得られた移動率を何歳の値

とみなすかについては、5歳階級別に区分されている5つのコーホートの移動率は、韓国と同様に5, 10, 15, 20, 25歳の値とし、30~39歳, 40~49歳, 50~59歳, 60歳以上のコーホートの移動率は、それぞれ32.5, 42.5, 52.5, 62.5歳の値とみなした。

〔日 本〕

日本の人口移動データは、タイと同様に1980年人口センサス(すなわち国勢調査)の前住地調査によって得られた、1975~80年の5年間における人口移動データである。表章されているデータは、男女・年齢階級別(5歳)の流出・流入数であり、その地域単位は47都道府県である。日本の場合は、過去1年間の移動に関する調査も行われているが、年齢別の集計が5歳階級別であり、韓国とタイの場合に5歳階級別の人口移動データしか存在しないことを考えあわせ、過去5年間の移動に基づくデータを利用することとした。また、5歳階級別のデータからモデルスケジュールを作成することによって、各歳別の移動率を補完できるが、このことは、この研究成果が地域人口推計として利用可能であることを意味する。なお日本の前住地調査は、韓国・タイとは異なり、過去5年間における最後の移動、すなわち75~80年の5年間において現住地へ転入した場合を「移動」として定義しているため、80年現在で0~4歳であるコーホートの移動状況も把握できる。これによって日本の人口移動データの年齢区分は、0~4歳から85歳以上までの18階級となる。

日本の場合、移動率を計算するための人口数として、各地域の同一コーホートに属する1975年と80年の人口数の平均値、すなわち期央人口を用いることとした。また、75年から80年までの5年間に出生したコーホート(80年現在の0~4歳のコーホート)については、各都道府県の5年間の出生数と80年の0~4歳人口の平均値を期央人口の代わりに用い、さらに得られた値を2倍することによってこのコーホートの移動率とした。値を2倍するのは、このコーホートの5年間の経過時間がそれ以外のコーホートの半分であるからである。この計算手順は以下のように定式化できる。 t 年における $n \sim n+4$ 歳人口を $P(n, t)$ 、 $t+5$ 年現在における $n \sim n+4$ 歳コーホートの t 年から $t+$

5年における移動数を $MT(n, t)$ 、そして t 年から $t+5$ 年における出生数を $B(t)$ とおくと、 t 年から $t+5$ 年の5年間における n 歳 ($n=0, 5, 10, \dots, 85$) の移動率 $MR(n, t)$ は式(6)、(7)で表される。なお今回の分析では、次式の変量 t に $t=1975$ が代入されたことになる。

$n \geq 5$ のとき、

$$MR(n, t) = \frac{2 \cdot MT(n, t)}{P(n-5, t) + P(n, t+5)} \dots\dots(6)$$

$n=0$ のとき、

$$MR(n, t) = \frac{4 \cdot MT(n, t)}{B(t) + P(n, t+5)} \dots\dots(7)$$

ここで変量 n は、右辺においては離散変数 (discrete variable) であり、通常の意味での年齢 (満年齢) を意味する⁽⁴⁾。しかし左辺において、同じ変量 n を連続変数 (continuous variable) すなわち「瞬間」の年齢とみなせば、左辺の値 $MR(n, t)$ は、ロジャーズモデルにおける理論上の値 $M(x)$ と数学的に同等に扱うことが可能となる。韓国およびタイにおける移動率 $MR(n, t)$ の計算式は割愛したが、これらの式の中の変量 n についても、当然ながら連続変数とみなすこととする。

こうして、現実のデータから得られた値 $MR(n, t)$ と理論上の値 $M(x)$ とのギャップを埋める手続きが完了すれば、次なる作業である人口移動モデルの作成にとりかかることができるのである。

5. 人口移動モデルの作成方法

本節では、第4節において計算された値 $MR(n, t)$ をロジャーズモデルに適用し、パラメーターを推定する方法について述べる。一般に、このような推定を行う場合には、最小二乗法に基づく回帰分析の手法が採用されるので、本研究もこれにならって作業を進める。ただしロジャーズモデルはパラメー

ターに関して本質的に非線型であるので、このモデルのパラメーターの推定値を得るには、非線型回帰分析の手法を用いなければならない。非線型回帰分析は、繰り返し計算によって解を推定していく方法であり膨大な計算量を伴うが、近年はコンピューターをめざましい発達によって比較的短時間で計算結果が得られるようになってきている。さらに、いくつかの汎用統計パッケージの中に非線型回帰分析が導入されており、これらを利用すれば、分析者は長大なプログラムの作成作業から解放される。以下に、ロジャーズモデルのパラメーターを推定するための理論的背景について簡単に説明しておく。

まず説明を容易にするため、年齢 n とそれに対応する値 $MR(n, t)$ をそれぞれ順序づける。順序づけられた年齢の系列を x_i 、それに対応する移動率の系列を M_i とすれば、たとえば日本の場合の x_i 、 M_i は、それぞれ次のように表される。

$$x_i = 5.0 \cdot (i - 1), M_i = MR(x_i, 1975) \quad i = 1, 2, 3, \dots, 18 \quad \dots\dots(8)$$

こうしてモデルに挿入すべき観測値 (observed value) の組 (x_i, M_i) が得られるが、この (x_i, M_i) を用いるとロジャーズモデル (式(1)) は次式のように表される。

$$M_i = a_1 \exp(-\alpha_1 x_i) + a_2 \exp[-\alpha_2 (x_i - \mu_2) - \exp\{-\lambda_2 (x_i - \mu_2)\}] + a_3 \exp[-\alpha_3 (x_i - \mu_3) - \exp\{-\lambda_3 (x_i - \mu_3)\}] + c + \epsilon_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, 18 \quad \dots\dots(9)$$

ここでは ϵ_i は i 番目の誤差項であり、 ϵ_i を除く右辺の項は i 番目の観測値に対する予測値 (predicted value) である。通常、誤差は互いに無相関であり正規性を有すると仮定される。

次に、式(9)と与えられた観測値の組 (x_i, M_i) に対して誤差平方和 S を以下のように定義する。ただし \hat{M}_i は i 番目の予測値である。

$$S = \sum \epsilon_i^2 = \sum (M_i - \hat{M}_i)^2 = \sum [M_i - a_1 \exp(-\alpha_1 x_i) - a_2 \exp[-\alpha_2 (x_i - \mu_2) - \exp\{-\lambda_2 (x_i - \mu_2)\}]]^2$$

$$-a_3 \exp[-\alpha_3 (x_i - \mu_3) - \exp\{-\lambda_3 (x_i - \mu_3)\}] - c]^2$$

……(10)

上式において、観測値の組 (x_i, M_i) は予め与えられる定数であるから、平方和 S は11個のパラメーターの関数となる。我々が求めるべき値は、こうして得られた S を最小にするパラメーターの組すなわち $(a_1, \alpha_1, a_2, \alpha_2, \mu_2, \lambda_2, a_3, \alpha_3, \mu_3, \lambda_3, c)$ の最小二乗推定値⁽⁴³⁾である。最小二乗推定値を求めるためには、式(10)をそれぞれのパラメーターについて偏微分することによって得られた11本の正規方程式を解けばよい。しかし、前述したようにロジャーズモデルは非線型であるので、これらの正規方程式はすべて非線型となり、反復法を用いて解を得る必要がある。反復法とは、予め与えた初期値を、誤差平方和 S がより小さくなるように一連の反復によって改良していく方法⁽⁴⁴⁾である。この方法は、改良の程度が一定の基準より小さくなったとき、収束したとみなし反復を終了させる。反復法のアルゴリズムは、Gauss-Newton 法、最急勾配法、Marquardt 法などいくつかの方法が考案されているがそれぞれ一長一短があり、すべての非線型の問題に対して最適なアルゴリズムは残念ながら存在しない。そこで本研究では、汎用統計パッケージ SAS に用意されている Gauss-Newton 法と Marquardt 法の2つのアルゴリズムを併用し、適合度のよい方を採用してパラメーターを推定することとする⁽⁴⁵⁾。

さらに、ロジャーズモデルのパラメーターを確実に推定するには、データ数とパラメーター数との差がかなり大きいことが必要条件である。なぜならば、一般にデータ数とパラメーター数との差が小さければ小さいほど、モデルの自由度が小さくなり回帰分析の有効性が損なわれていくからである。そしてその差がゼロになったとき、その分析は回帰分析としての意味をまったく失ってしまうし、データ数とパラメーター数が接近している場合でも、パラメーター推定値が収束せず、解が得られないことが発生し得るのである。

これらの問題のうち有効性については多少目をつむるとしても、収束解が得られないことは大きな問題である。ところが、ロジャーズモデルのパラメー

ター数は、完全モデルが11(縮小モデルでは7)であるのに対して、各国のデータ数は、韓国が14、タイが9、日本が18で、パラメーター数に比較して決して多いとはいえず、パラメーターの収束解を求めるのは容易ではない。

そこで本研究では、日本を例として試行錯誤を重ねた結果、以下に示すようないくつかの方法を駆使することによってこれらの問題の解決を図ることとした。すなわち、①基本的には、縮小モデルを適用してパラメーター数を少なくする。②タイの場合については、いくつかの値を補完してデータ数を多くする。③初期値をなるべく適切な値とし、またその組合せを可能な限り多くする。④パラメーター推定値が極端な値にならないように、その収束に限定条件(bounds condition)を設ける。⑤誤差平方和 S を小さくするための反復回数を、SASの標準的既定値(50回)より多くし、80回とする。なおこれらに加えて、上述した、2つのアルゴリズムを併用する方法も解決策のひとつとみなせる。これらの具体的な解決方法は、まず縮小モデルの初期値の設定方法について一括して述べ、次いでそれ以外について各国別に述べる。

非線型回帰分析の初期値は、最終的な解になるべく近い値が望ましい。すなわち、初期値に適切な値を設定することは、いわば「推定値の推定値」を求めることを意味する。ここでは、ロジャーズの縮小モデル(式(2))における7つのパラメーター a_1 , α_1 , a_2 , α_2 , μ_2 , λ_2 , c の初期値を、人口移動スケジュールから検出された5つの重要なポイント P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P_5 (図4)をもとに、以下に示す方法で設定することとする。

a_1 : 線分 P_1P_2 の位置および傾きにより算出

α_1 : 線分 P_1P_2 の位置および傾きにより算出

a_2 : 線分 P_3P_4 の傾きにより算出

λ_2 : 線分 P_2P_3 および線分 P_3P_4 の傾きの比により算出。ただし、関係式

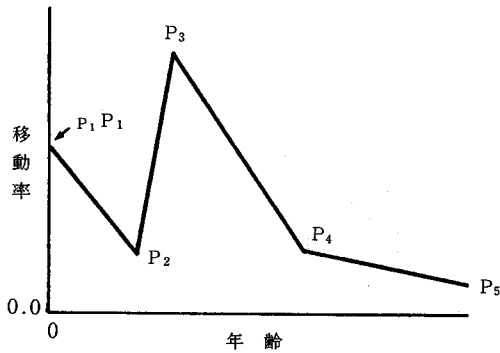
$$\lambda_2 / \alpha_2 \propto h / g \text{ により 4 種類の値を設定}$$

c : 点 P_5 のレベルにより算出

a_2 : α_2 および λ_2 の値により算出。ただし4種類の値を設定

μ_2 : 15から30までの整数値とする。

図4 人口移動スケジュールにおける5つの重要なポイント



(出所) アジア経済研究所, *Migration Rates by Age Group and Migration Patterns*, IDE Data Series No. 54, Tokyo, 1990, p. 10.

ここで点 P_1 は0歳におけるポイント, 点 P_3 は最高値, 点 P_5 は最低値を示し, 点 P_2 は $P_1 P_3$ 間の極小値, 点 P_4 は $P_3 P_5$ 間において点 P_2 のレベルに最も近いポイントを示す。このようにして, $4 \times 4 \times 16$ 通りの初期値の組み合わせが設定されるが, このうち誤差平方和 S (式10) の最も小さい組み合わせが, 実際にアルゴリズムに組み入れられる。

一方, 最終的に得られた解がモデルにどの程度適合するかについては, 非線型回帰分析における適合度指標のひとつである E 値 ($E = (\sum |M_i - \hat{M}_i|) \times 100 / \sum M_i$, ただし M_i : 観測値; \hat{M}_i : 予測値) を用いる。この値は, 当然ながら, Gauss-Newton 法と Marquardt 法を比較する際の判断基準としても利用される。

[韓 国]

今回の分析対象である13地域のうち4特別市と1つの道では, 顕著な引退成分 (retirement component) —— 後労働力成分に相当する —— が認められるため, この5地域に限り完全モデルを適用し, 他の8地域については縮小モデルを用いる。

縮小モデルを適用する場合には, 初期値を前述した5つのポイントに基づ

いて設定し、パラメーター収束に以下のような限定条件を設定する。まず α_1 については、線分 P_1P_2 の位置および傾きにより推定された初期値の2分の1を下限とし、かつ $\alpha_1 \geq 0.05$ を満たすものとした。前述のように α_1 は、前労働力カーブ (curve of the pre-labor force ages) の減衰率 (rate of descent) を示すパラメーターである。 α_1 に限定条件を設ける理由は、その値が極端に小さい場合、前労働力成分を過大に評価する恐れがあるからである。次に a_1 については、線分 P_1P_2 の位置および傾きにより推定された初期値の2倍を上限とし、かつ $a_1 \leq 0.5$ とした。この操作は、0歳における理論上の移動率が極端に大きな値にならないようにするためのものである。また λ_2 , μ_2 , c についても、モデルスケジュールとして解釈可能な範囲に収束するように、限定条件 ($\lambda_2 \leq 0.5$, $15 \leq \mu_2 \leq 30$, $c \geq 0$) を設定した。

また完全モデルを適用する場合には、残りの4つのパラメーターの初期値を設定しなければならないが、これらは人口移動スケジュールから検出することが困難であるため一定値 ($a_3=0.1$, $\alpha_3=0.1$, $\lambda_3=0.05$, $\mu_3=65$) とし、パラメーターの限定条件を、縮小モデルの場合に加えて μ_3 にも設定する。パラメーター μ_3 に設定する限定条件は、その値が引退ピーク (retirement peak) 付近の年齢を示すことから、 $55 \leq \mu_3 \leq 75$ とする。なお、完全モデルを韓国に適用する場合は、データ数とパラメーター数の差はわずかに3であり、以上述べてきたような定型の対策だけでは収束解が得られない事態もあり得るが、その場合は個別に対応することとした。

〔タ イ〕

前述したようにタイのデータ数は9つであり、解の収束性が最も劣悪であると予想される。さらにその人口移動スケジュールは、移動率の低い5～9歳階級のポイントから、移動率の最も高い20～24歳階級の前後のポイントにかけて単調増加しており、途中に移動率の低い谷をもっていない。すなわち韓国や日本と異なり、前労働力成分が存在していないので、ロジャーズモデルをそのまま適用することは実質的に困難である。そこでタイについては、きわめて便宜的な措置ではあるが、前労働力カーブに相当するデータを、労

働力カーブを表すデータから補完することとした。実際には、25, 32.5, 42.5歳の値をそのまま0, 1.5, 3.5歳のデータとして用い、データ数を12個に増加させる。またこのデータ数から判断すれば、タイの分析には縮小モデルを使わざるを得ないが、人口移動スケジュールにはどの地域についてもほとんど引退ピークが存在しないため、この点は問題ない。初期値の設定方法は前述したとおりであるが、パラメーターの限定条件は、前労働力カーブを示すパラメーター α_1, a_1 については、その成分が補完されたものであるため、 $\alpha_1 \geq 0.05$ とするにとどめた。また λ_2, μ_2, c については、基本的には韓国と同様の限定条件 ($\lambda_2 \leq 1.0, 15 \leq \mu_2 \leq 30, c \geq 0$) を設けた。

〔日 本〕

日本の人口移動スケジュールのデータ数は18であり、韓国とタイに比べて分析の条件はかなりよいが、タイと同様にすべての都道府県において引退ピークがほとんど存在しないため、縮小モデルを用いる。その初期値は、やはり人口移動スケジュールの5つのポイントに基づいて設定する。パラメーター収束の限定条件は、4つのパラメーター $\alpha_1, \lambda_2, \mu_2, c$ に関しては韓国と同様の条件 ($\alpha_1 \geq 0.05, \lambda_2 \leq 0.5, 15 \leq \mu_2 \leq 30, c \geq 0$) とするが、 a_1 にはとくに限定条件を設けないこととする。日本の場合は、0歳のデータポイントが存在し前労働力カーブが比較的固定されやすいため、韓国のように a_1 に限定条件を設ける必要がないからである。なお、以上述べてきた初期値の設定方法およびパラメーターの収束条件等は、日本の事例をもとに経験的に決められたものであり、今後多くの事例研究によって改善されていく余地があることを付記しておく。

〔注〕

- (1) 館 稔 『形式人口学—人口現象の表現形式—』東京、古今書院、1960年、3～29ページ。
- (2) たとえば、
Smith, D.P. ed., *Mathematical Demography; Selected Papers*, Berlin, Springer-Verlag, 1977.

Keyfitz, N., *Applied Mathematical Demography*, New York, John Wiley & Sons, 1977.

また1988年以降, *Mathematical Population Studies*という定期刊行物も発刊されている。

- (3) また, モデルという言葉が表題として使われている著(編)書には次のものがある。

Woods, R. and P. Rees, eds., *Population Structure and Models*, London, Allen & Unwin, 1986.

Newell, C., *Methods and Models in Demography*, London, Belhaven Press, 1988.

前者は多次元人口に関する論文集, 後者は人口学の入門書である。

- (4) Brass W., "On the Scale of Mortality," in W. Brass ed., *Biological Aspects of Demography*, London, Taylor and Francis, 1971.
- (5) United Nations, *Multilingual Demographic Dictionary, English Section*, New York, Department of Economic and Social Affairs, Population Studies No.25, 1958.

van de Walle, E., *Multilingual Demographic Dictionary, English Section*, Liege, IUSSP Ordina, 1982.

- (6) Newell, C., *op. cit.*
- (7) van de Walle, E., *op. cit.*, p.91.
- (8) Shryock, H.S. and J.S. Siegel, *The Methods and Materials of Demography*, Washington, United States Bureau of the Census, 1970, p.717.
- (9) United Nations, *Age and Sex Patterns of Mortality: Model Life Table for Underdeveloping Countries*, New York, Department of Economic and Social Affairs, Population Studies No.22, 1955.
- (10) Coale, A.J., and P. Demeny, *Regional Model Life Tables and Stable Populations*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1966.
- (11) Freedman, R., "Statement by the Moderator, Meeting A.1 Fertility," *United Nations, Proceedings of the World Population Conference*, Belgrade, Summary Report Vol. 1, E /CONF. 41/2, 1965.

その最初のものは,

Becker, G.S., "An Economic Analysis of Fertility," in National Bureau for Economic Research, *Demographic and Economic Change in Developed Countries*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1960, pp.209-240.

- (12) Newell, C., *op. cit.*, p.117.
- (13) 同じ年, 同じ期間に生まれた人口集団をコーホート (cohort) と呼び, 普通, 同時出生集団と訳されている。ある年における年齢別の人口のそれぞれは, 生まれた年は異なっている。したがって, それは異なるコーホートの集合である。

そして、この異なるコーホートの示す人口現象が人間の一生の出来事を示すと考えて分析する方法を合成(仮設)コーホート分析という。このように合成コーホートによって人間の一生の人口学的な出来事を分析する、換言すれば同時観察による分析を期間分析(period analysis)法と呼び、あるコーホートの加齢にしたがって発生する出来事を分析するコーホート分析(cohort analysis)法と呼んで、区別される。

- (14) Newell, C., *op. cit.*, p.118.
- (15) たとえば、日本における唯一の人口学関係の定期発刊物である『人口問題研究』にモデルという言葉が表題のなかにみられる論文の最初のもは、1983年1月号に掲載されたもの(第165号)である。ちなみに、1984年以降の過去5年間に掲載された107の論文のなかで、その表題にモデルという言葉が使用されている論文は13、その内容は出生力モデル、死亡秩序モデル、多相人口成長モデルなど多様である。
- (16) 金子隆一「死亡率の年齢パターンに関するリレーショナル・モデルの開発」(『人口問題研究』第183号, 1987年), 1~22ページ。
- (17) 稲葉寿「多地域人口成長モデルによるパラメータ推定問題について」(『人口問題研究』第187号, 1988年), 1~28ページ。
- (18) Newell, C., *op. cit.* p.118.
- (19) *ibid.*
- (20) Ravenstein, E.G., "The Laws of Migration," *Journal of the Royal Statistical Society* 48, 1985, pp.167-235.
- (21) Zipf, G.K., "The P_1P_2/D Hypothesis on the Intercity Movement of Persons," *American Sociological Review* 11, 1946, pp.677-686.
- (22) Haynes, K.S. and A.S. Fotheringham, *Gravity and Spatial Interaction Models*, Beverly Hills, Sage, 1984.
- (23) Stouffer, S.A., "Intervening Opportunities: A Theory Relating Mobility and Distance," *American Sociological Review* 5, 1940, pp.845-867.
- (24) そのなかで、次の論文は、
Harris, J. and M. Todaro, "Migration, Unemployment, and Development: A Two-sector Analysis," *American Economic Review* 60, 1970, pp.139-149.
発展途上国における農村から都市への人口移動について扱ったハリス・トドロモデルとして知られている。
- (25) たとえば、
Davanzo, J., *Why Families Move: A Model of the Geographic Mobility of Married Couples*, Santa Monica, CA, Rand Corporation, 1976.
- (26) Zelinsky, W., "The Hypothesis of the Mobility Transition," *Geographical Review* 61, 1971, pp.219-249.

- (27) Quigley, J. and D. Weinberg, "Intra-urban Residential Mobility: A Review and Synthesis," *International Regional Science Review* 2, 1977, pp.41-66.
- (28) Stapleton, C., "Reformulation of the Family Life Cycle Concept," *Environment and Planning A* 12, 1980, pp.1103-1118.
- (29) たとえば, 石川義孝『空間的相互作用モデル——その系譜と体系——』地人書房, 1988年, は行動科学から人口移動へのアプローチの日本における代表的なものである。
- (30) Rogers, A., *Matrix Analysis of Interregional Population Growth and Distribution*, Berkeley, University of California Press, 1968.
- (31) Rogers, A., *Introduction to Multiregional Mathematical Demography*, New York, Wiley, 1975.
Stone, R., *Demographic Accounting and Model Building*, Paris, OECD, 1976.
Rees, P.H. and A.G. Wilson, *Spatial Population Analysis*, London, Arnold, 1977.
- (32) Rogers, A. and L. J. Castro, *Model Migration Schedules*, Laxenburg, International Institute for Applied Systems Analysis, 1976.
- (33) *ibid.*
- (34) Rogers, A., Raquillet R. and L.J. Castro, "Model Migration Schedules and their Applications," *Environment and Planning A* 10, 1978, pp.475-502.
- (35) Coale, A. J. and D.R. McNeil, "The Distribution by Age of the Frequency of First Marriage in a Female Cohort," *Journal of the American Statistical Association* 67, 1972, pp.743-749.
- (36) 一般に "gross migration rate" は, 流入率と流出率の絶対値の和, すなわち「総移動率」を意味するが, ここでは「全年齢における移動率の和」という意味で用いられている。
- (37) ロジャーズは, GMR 値を算出する際の年齢の上限を95歳としているが, 本書では90歳までとした。
- (38) 本書では, 平均年齢を算出する際の年齢の上限を(注37)と同様に90歳とした。
- (39) 式(4)の右辺は, 厳密には労働力成分の最大ピークの年齢を表すが, この年齢付近においては他の2つの成分の変動は無視できるので, 右辺の値を全成分に関する最大ピークの年齢として扱っても差し支えない。
- (40) タイの県 (Changwat) の数は1980年センサスではムクダハーン県が加わっているため73県であるが, 同県の資料が入手できないため, 本書では同県を除いてある。
- (41) 満年齢で n 歳とは, 厳密には, 年齢 x が $n \leq x < n+1$ を満たす場合をいう。
- (42) 本質的に非線型とは, 対数線型化などの方法を用いても線型化できない場合

をいう。

- (43) この最小二乗推定値は、誤差項 ϵ_i の分布が正規分布に従うならば最尤推定量とまったく等しくなる。これを含めた非線型回帰分析に関する理論面の詳細については、次の文献を参照されたい。中村慶一訳『応用回帰分析』森北出版、1968年、261～302ページ。
- (44) Ralston and Jennrich によって開発された DUD 法は、初期値を必要としないアルゴリズムである。Ralston, M.L. and R.I. Jennrich, "DUD, a Derivative-Free Algorithm for Nonlinear Least Squares," *Technometrics* 20, 1978, pp.7-14.
- (45) SAS には、この2つのアルゴリズム以外に DUD 法および最急勾配法が用意されている。これらの理論面については、(注43) の文献に詳しい。また SAS によるプログラミングについては、次の文献を参照されたい。新村秀一編『SAS による回帰分析の実践』朝倉書店、1986年、108～137ページ。