

第2章

マクロ計量モデルの概要

植村 仁一

はじめに——マクロ計量モデルとは

現実経済の動向を把握、分析、そしてその将来像を予測するため、多くの研究者が過去から現在にわたり数多くの種類のモデルを開発・利用してきた。分析する者によって興味の対象となる経済事象は異なるであろうし、分析結果の利用者が政策担当者か企業経営者か、あるいは大学などの学術分野の研究者かといったちがいににより、モデル構築のコンセプトは変わってくるだろう。

第1章でみたように、こうしたモデルには構築の出発点にある分析の方向性、さらにそこから発展・派生するさまざまな経路があるため、細かい差異をみていけば非常に多くの種類があるといえる。しかし一方で、たいいていの場合、モデルとはそれが現実の経済を映し出す「鏡」であることを想定して（または願って）組み立てられる⁽¹⁾。

この思想のもと、作成されたモデルは現実の経済を把握し、その行き先を占うツールとして用いられるのである。

ところで現実の経済は、個々の動向を完全に把握することが不可能なほど多種多様にわたる経済・社会変数が複雑に絡み合い、さらに量的に把握できない情報も入り混じって構成されているということは容易に想像できる。また、オンラインシステムを通じた（すなわちほぼ瞬時に完了するといっ

てよい) 資金の移動に比べれば、航空機や船舶、陸路を通じた物的・人的移動はその開始から完了までにはタイムラグが生じている。従って、「年」や「四半期」といった一定の期間内でのフロー変数はある意味便宜的に区切られたものであり、たとえば「ある期間内における資金移動と物的移動の関係」といった関係式の推定すら「ある期間内に起こったと『記録されている』情報同士の関係」を示すにすぎない。

そこで多くの場合、モデル分析とは、このような多種多様な変数をすべて取り込むことを最初から諦め、核となる変数群を取捨選択した上でその因果関係・相関関係を、経済理論および統計理論の裏づけに基づいて単純化したものによる分析であるといえる。現実を単純化するための切り口、着目する変数の数、さらに変数同士の関連の設定方法（主観的な情報で関連付けるか、客観的なデータに頼るか、といったちがひもある）など、さまざまな種類の（異なる）分析手段としてのモデルが開発されてきた。

マクロ計量モデルは、そのエッセンスだけをいえば、

- (1) 複数の変数を同時に把握する
- (2) 量的時系列データによる
- (3) 変数間の関係は変数自体から（客観的に）決定される

という「連立方程式体系」（同時方程式ともいう）で現実経済を表現するものである。経済変数同士が連立方程式の形で相互の関連を表現していることから、その連立方程式を解くことにより、「すべての方程式を同時に満たすような多くの変数の値」が解として得られる。従って、解として得られる経済変数群が数学的な整合性を保つ。

これら方程式群は、その定式化（何を何で説明するかを方程式の形で表すこと）は分析者に任されるが、いったん式の形が定まれば、式に含まれるパラメータ（方程式の各変数に付く係数）は量的時系列データから客観的に導き出されるため、同じデータを用いて同じ定式化をすれば、誰が行っても同じ方程式が得られる⁽²⁾ことから、モデルの客観性が高いという特性も同時に併せ持つ。

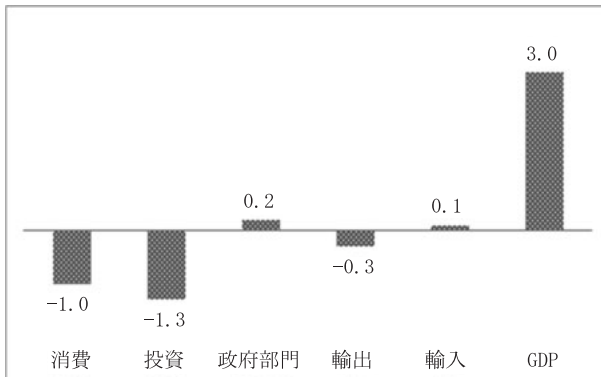
これに対し、別々の経済変数を個々に（主観的に）検討している場合を考

えてみよう。いささか極端な例ではあるが、複数人が一つのグループとして「経済予測」を行おうとしているとする。各メンバーは、各変数に共通する外的条件といった予測の前提のことを互いに話し合うことなく、消費や投資、貿易の動向などを個別に決定する。ある者は過去のトレンドを引っ張ってみてそこに独自の「味付け」をして消費を予測し、別の者は専門家にお伺いを立てて輸出入動向の予測をする、という具合である。GDPも（他の変数と独立して）独自に予測値が出てくるとする。

例：各担当者がバラバラに項目ごとの予測（のようなこと？）をしたとする（図2-1）

消費 低下
 投資 低下
 政府部門 ほぼ横ばい
 輸出 若干低下
 輸入 ほぼ横ばい
 GDP 緩やかな成長

図2-1 各担当者の予測



（出所）筆者作成。

（果たして実際にこんな経済が成り立つのだろうか？）

普通に経済学や経済統計のことを知っている人であれば、このようなことは起こりえないことはすぐわかるだろう。しかし、より多くの「予測数値」が他部門にわたって作成され、部分部分の整合性は一見よいようにみえるものであったとしたらどうだろうか？

これほどまで無軌道な（そしてすぐに露見しそうな）ものでなくても、たとえば上と同じように求められた個々の変数の総体として「国内総生産（GDP）」の予測値が算出されたとすると、それは同一の前提に従ったものでもなく、予測対象としている経済に影響のありそうな外的条件（世界経済の動向や為替動向、エネルギー価格といったものなど）が同じであるという保証もないものから積み上げられた、まことに心許ないものであるといえる（心許ないどころか、項目ごとに互いに矛盾した予測が出てくることだってありうる）。このような事後的な検証不可能な見通しは「予測」ではなく、単なる「予想」である。

一方前述のように、マクロ計量モデルは全体で一つの連立方程式体系であるから、方程式ごとに矛盾する外生条件を与えること自体が無意味である（たとえば、輸入関数と投資関数があるとして、その両方に原油価格という外生変数が含まれている場合、前者には原油価格上昇、後者には下落、という条件設定は通常はできない）。

また、マクロ計量モデルではすべての方程式の係数（パラメータ）は現実のデータから導き出されるものであり、そこには分析者の主観が入る余地がない。このため、同一データ、同一定式化、同一推定法であれば、誰が行っても同一のパラメータ群が得られるという客観性も保証される。今川（1979）によれば「実証モデルとはパラメーター推定のなされたモデルという意味であり、理論モデルにおいてもパラメーターの値を適宜に与えてそのモデルの機能をチェックしたものもあるが、その場合は実証モデルとは呼ばない」としている。

このように、客観性が確保された上で全体として同一の前提に沿い、また連立方程式として個々の項目の相互の関連を維持しているため、理論と外的条件の両方と整合的な解が得られる（変数群が一貫性をもつ）のである。ただし、そこには暗黙かつ当然の前提として、構成要素である方程式群が

経済理論と整合性をもち、統計理論によってその挙動や安定性が保証されることも同時に求められる。こうした客観性と理論整合性、そして数学的特性によって解の一貫性が保たれるのである。

第1節 マクロ計量モデルの種類

マクロ計量モデル分析で取り扱うデータは上記のとおり時系列のマクロ変数群であり、一国経済が全体としていかなる姿をとっているのか、どう変化してきたのか、また変化して行くのか、が興味の中心となる。

1. 需要（先決）型と供給（先決）型

それぞれ需要決定型、供給決定型とも呼ばれる。このモデル区分では、単に需要型、供給型と呼び習わしているが、それぞれ核となる GDP の定義（第4節で解説）として、需要型では GDP は各需要項目の総和として定まるとする一方、供給型では GDP は各産業の生産（付加価値）の総和として定まるとするものである。

■**需要型** GDP は需要項目（支出側）の総和として定義される。核となる GDP 定義式はたとえば以下になる。

$$\begin{aligned} \text{GDP} = & \text{民間（消費＋投資）} + \text{政府（消費＋投資）} \\ & + \text{在庫増減} + \text{（輸出－輸入）} \end{aligned}$$

政府部門を一本化するなど、分析目的によって集計の度合いが変わることもあるし、公表されているデータの制約に左右されることもある（たとえばインドネシアの国民経済計算では「民間投資」「政府投資」が合算された「（総）投資」として公表されているし、韓国の投資は長らく「民間」「政府」の区分ではなく、「設備」「建築」の区分で公表されてきた）。また、輸出入も財・サービス別に公表される国もある。いずれにせよ、こうした項目別に与えられるデー

タをもとに民間消費や民間投資といった需要項目の関数が推定され、それらを組み合わせたものがモデルとなる。

(例) 消費関数

消費 $=f$ [可処分所得, 消費者物価, 賃金水準, …]

■供給型 GDP は供給項目（生産側）の総和として定義される。分析の目的により、さらに細かい産業分類を行うことも当然想定される。

GDP = 第1次産業（の付加価値） + 第2次産業（同）
+ 第3次産業（同）

各産業の付加価値の関数を推定し、それを組み合わせてモデルの核とする。生産関数にはたとえばコブーダグラス型生産関数などを適用する⁽³⁾。

(例) 第 i 次産業のコブーダグラス型生産関数

$$VA_i = v_i A K_i^\alpha L_i^{1-\alpha}$$

VA_i : 第 i 産業の付加価値額, v_i : 付加価値率, A : 技術進歩係数,
 K_i : 資本, L_i : 労働, α : 資本分配率 ($1-\alpha$): 労働分配率, ($0 < \alpha < 1$)

2. モデル型の選択について

はじめに、以下の記述をみていただきたい。これは、経済の発展段階によって適用にふさわしいマクロ計量モデルの型が異なることを示している。

- (1) 1950-60年代の日本経済：供給型モデルが多く適用された
- (2) 1960-70年代のASEAN 経済：供給型モデルが多く適用された
- (3) 1980年代に入り、ASEAN でも、とくに輸出が経済に大きな寄与をするようになると、需要型モデルが多く適用された

そしてこの事実は経済発展の度合いによって経済の隘路（ボトルネック）が供給側から需要側に移行していることを示している。つまり ASEAN の例

でみると1960-70年代には十分な有効需要に対して供給側に経済の隘路があった（つまりモノをつくりさえすればそれは確実に需要の対象となるが、資本財や熟練労働者といった供給能力が不足していた）といえるし、80年代後半以降になると、むしろ隘路は需要側にある（資本財や労働力のような供給能力は十分になってきたがそれを使い切る有効需要が不足する）という事態に移行してきたといえる。

通常、経済分析というのは豊富に存在するものには興味はなく、どうすれば不足しているものを補えるのかを考えるものであるから、これらモデル構築のコンセプトが供給型から需要型へと移行しているのは自然な流れである⁽⁴⁾（この点については第3章（渡辺）、第4章（ケオラ）もあわせて参照されたい）。

なお、ここには現れていないが、70年代以降の日本（輸出が経済に大きく寄与）や、日本等の先進国より一步遅れて（しかしASEANよりは若干早く）開発が進んだ韓国・台湾といったかつてアジア NIEs と呼ばれた経済群についてもモデル開発に関しては同様の経過をたどっている。アジア経済研究所では1980年代前半から本格的なマクロ計量モデル開発が始まったが、1985年時点で供給型であった韓国モデルは1987年に需要型へと移行している（植村 2010）。

3. 短期モデルと長期モデル

需要型モデルと供給型モデルはまた、上記のような発展段階によるのとは別な側面からもとらえられる。

需要型モデルでは、輸出に関しては「小国の仮定」をおく。すなわち、（自国を除く）世界経済向けの輸出は外生的に定まり、海外からの需要に応じて供給能力の限界まで供給できるとする。一方、輸入は自国の購買能力である所得（GDP）に制約を受ける。

このような特性から、需要型モデルによる経済予測を行おうとする場合、海外の需要である輸出を予測期間にわたって外生的にモデルに与え続ける必要がある。

一方、供給型モデルでは、産業ごとの生産関数による定式化が行われ、総和としてGDPが決まることから、各産業の自律的な成長経路を各方程式が追っていくこととなり、長期的な海外からの需要といった外生条件の設定は不要である。

従って、2～3年といった短期の予測には需要型モデル、10年を超えるような中長期の予測には供給型モデルがそれぞれ適切なモデル型として選択される傾向がある。

ただし、これらの「予測」という意味合いには微妙なニュアンスのちがひがあり、需要型モデルを用いた短期予測では、貿易や投資といった比較的短期に定まる変数の動向を把握することによって数年先の経済の姿を見ようとするのに対し、供給型モデルを用いる中長期予測では、技術革新といった、より根本的で大きな動きをモデル化し、さらに複数のシナリオを比較検討することによって（具体的な年の具体的な成長率という数字を追うというよりは）経済の辿っていく「経路」を対比させてみるといった用途に多く使われている⁽⁵⁾。

（コラム）マクロ計量モデルのはじまり

1950年、米国ミシガン大学講師のローレンス・クライン（L.R. Klein）（のちペンシルバニア大学教授・1980年ノーベル記念経済学賞受賞）は1921～41年の米国のマクロ経済データをもとに、その時期の米国経済を以下の連立方程式群で記述した（Klein 1950）。これはクラインの第1モデル（Klein's Model I）と呼ばれ、最初のマクロ計量モデルの試みとされている。このモデルは固定価格で表された閉鎖経済の実物部門ブロックのみで金融セクターのブロックは導入されておらず、インフレーションのメカニズムも実装されていない。

消費関数

$$C = a_1 + b_1 P + c_1 P_{-1} + d_1 W$$

投資関数

$$I = a_2 + b_2 P + c_2 P_{-1} + d_2 K_{-1}$$

民間賃金関数

$$W^* = a_3 + b_3 E + c_3 E_{-1} + d_3 A$$

定義式群

$$P = Y - W$$

$$Y = C + I + G - T$$

$$K = K_{-1} + I$$

$$W = W^* + W^{**}$$

$$E = Y + T - W^{**}$$

ここで、各関数および定義式の左辺におかれた変数はモデル内で決定されるものであり、「内生変数」と呼ばれる。このモデルの内生変数は以下の8つということになる。

C：民間消費，I：民間投資，W*：民間賃金所得，P：利潤（非賃金所得），Y：国民所得，K：資本ストック，W：総賃金，E：年間生産所得

一方、右辺にのみ現れる変数はモデルの外からその値を与えられるべき変数であり、「外生変数」と呼ばれる。このモデルでは以下の4つがそれである。

W**：公的部門賃金所得，T：間接税，G：政府支出，A：タイムトレンド

また、添え字 -1 は前期の値を示す。

クラインはこのモデルで「合衆国の経済変動を大恐慌期をはさみながら上首尾に説明し、人々を驚嘆させるに足る十分に高い精度さえ示し」（森棟 1985）たといい、マクロ計量モデルはその揺籃期において華やかな御披露目を果たしたのである。

第2節 マクロ計量モデル構築の手順

マクロ計量モデルを構築するには、以下のような「原材料」が必要となる⁽⁶⁾。

（原材料）

・時系列データ（暦年データ、年度データ、半期・四半期データ等）

- ・経済理論
- ・統計理論

1. モデルは何に使うのか？

一口にマクロ計量モデルといっても、先にみたように「需要型」「供給型」あるいは「短期モデル」「長期モデル」といった区分がある。まずはどういう目的のためにそのモデルを使うのかをはっきりさせておく必要がある（「いかなる計量モデルを構築するかは、その分析目的によっておのずと異なってくる」（貞広 1992））。

たとえば経済予測を目的とするなら予測対象となる変数は当然内生化されていなければならないし、そうした関数に導入する説明要因にはシミュレーションで（外生的に）変化させたい変数を注意深く選択し、導入するのである（「内生」「外生」といった用語については第3節「内生変数と外生変数」参照）。

2. 定式化の方法

マクロ計量モデルは連立方程式で表現されるものであるから、上に述べたような直接的な外生変数がなくても、普通はまったく別の方面を変化させるための外生条件を変化させても対象変数に影響が及ぶ。しかし、注目したい変数が外生変数のみで説明される構造である場合はそうした働きはなくなるということに注意しよう。変数同士の有機的な結合というのがマクロ計量モデルの醍醐味でもあるのだから、経験的には

- (1) 他の方程式群とかかわりをもつための内生変数
- (2) 当該変数に直接に影響を与える操作をするための外生変数

の両方が各方程式に説明要因として入っている場合、全体としてのモデルが「使いやすい」ものとなることが多い。

第8節で説明する「変数フローチャート」を描きながら作業を進めてい

くとモデル構築上、変数の流れが把握しやすくなるので活用するとよい。

3. パラメータの経済学的解釈と統計学的有意性

定式化が決まれば、時系列データから最小自乗法等の手法を用いてパラメータ群を推定することになる。このとき、パラメータの経済学的意味付けを事前に行っておく必要がある。

たとえば、

- (1) 所得が上がると消費は上がる
- (2) 物価が上がると消費は下がる

という二つの（経済学的）命題がある。これを消費関数の説明要因として用いる所得変数や価格変数に当てはめて考えると、現実のデータから推定されたパラメータのうち、所得変数に関するものには正符号、価格変数に関するものには負符号が期待される、ということである。

これを「パラメータの符号条件」といい、多くの場合実際にパラメータを求めるよりも前の段階で考慮しておくべき事項である。言い換えれば符号条件はパラメータが「経済学的に望ましい条件を満たすこと」を事前設定するものである。実際に求められたパラメータがこの条件を満たしていない場合、

- (1) 説明変数の追加や削除
- (2) 対数や階差（前期、4期前など、一定期間前との差）、変化率といった変数変換
- (3) 変数のラグ構造の変更
- (4) 推定期間の変更

といった定式化の変更を（場合によってはこれらの組合せで）行い、望ましい符号が得られる式を模索する。

しかしどのようなにしても望ましい符号が得られないということはしばしば経験することであるが、それはデータ加工や定式化の変更の問題ではな

く、設定する条件の方が十分な理論的基礎をもたない直観的な仮説であったり、直接的な正の効果のみを考慮に入れ、間接的な負の効果を見逃した符号条件であったりする場合には、符号条件は必ずしも直観的な条件と等しくない場合がある(刈屋 1986)。また、同じく刈屋(1986)では、ミクロ主体の行動(たとえば分析者が「そう思う」こと)と、実際のマクロデータ(多くの行動の平均的なもの)とが合致しない場合にも言及している。

さて、定式化が決まり、実際にパラメータが求められたとする。今度はそのパラメータが「統計学的に望ましい条件を満たしているかどうか」を確認する必要がある。これは各パラメータの「統計的有意性」を調べることによってなされる。

統計理論に基づけば、回帰パラメータは確率変数であり、一つのデータセットから実現されたパラメータは、目にみることはできないがある分布をもつ変数の一つの実現値、という解釈となる。そこで、今得られた実現値が(実際にはみることのできない)分布の中ではどのあたりにあるのが問題となる。これを測る指標がパラメータの標準誤差やt値である。あるパラメータのt値が小さい(絶対値で0に近い)場合、それはパラメータの標準誤差が大きい(みえない分布の標準偏差が大きい)というのと同義である。t値が小さいということは、今得られた実現値がみえない分布の中心(そが0である)付近にあることを示すということだから、統計学的には「そのパラメータの『真の値』が0であるという仮説を否定できない」ということになる。

加えて、単体の式では誤差項の自己相関の有無をみるためのDurbin-Watson統計量、あるいは検定統計量ではないが全体の説明力をみるための(自由度修正済み)決定係数があり、複数の定式化同士を並列に比べる場合、いずれがより望ましい性質を備えるかをみる指標がある。さらに重回帰の場合には複数のパラメータをまとめて有意性の検定をするF統計量といった指標もあり、これらいくつもの指標を総合的にみながら、各種方程式の候補を見つけていくのである⁽⁷⁾。

このように、経済学的にも、統計学的にも望ましい条件を満たした後、その式は単体としてはもちろん、モデルの「部品」として用いることがで

きるようになる。

ただし、単体で望ましい条件を満たしたからといってそれらを組み合わせたモデルが望ましい挙動をするかどうかは保証のかぎりではない。したがって、モデル構築作業は式を組み込んでモデル全体を動かし、各種指標を検討しては式を入れ替える、あるいは取り外すといったことを何度も試行錯誤しながら進めるのが通常の手続きである。

第3節 内生変数と外生変数

内生変数とは、モデル内で（連立方程式の解として）その値が決定される変数のことである。これに対して外生変数は外から与えられる情報としてモデル内に取り込まれる変数であり、モデル内では定数と変わらないものである。外生変数はまた「政策変数」として、シミュレーションを行う際のモデル外部からの情報の入り口ともなる。簡単な例でこれを説明する。

1. 連立方程式で表現されるモデル

モデルに組み込まれる一本一本の方程式はさまざまな経済変数間の関係をそれぞれ表している。たとえば、(1)消費は所得（ $GDP=Y$ ）と物価（ P ）および金融資産（ FA ）で、(2)投資は所得と物価で、(3)物価は所得で、それぞれ説明される構造をもつとする⁽⁸⁾。所得を Y 、消費を C 、投資を I 、物価を P 、金融資産を FA で表すとすると、この3つの関係式はたとえば以下のように書かれる。

$$C = \alpha_c + \beta_c Y + \gamma_c P + \delta_c FA$$

$$I = \alpha_i + \beta_i Y + \gamma_i P$$

$$P = \alpha_p + \beta_p Y$$

これらは経済の構造そのままを関数として表現したもので、「構造方程式」と呼ぶ。これに、政府支出を G として GDP の定義式（国際貿易をしていな

いと仮定)

$$Y = C + I + G$$

を加え、モデルを構築する。このモデルには、左辺の変数として (C, I, P, Y) があり、これらがモデル内で値が決定される「内生変数」である。一方右辺の変数としては (Y, P, FA, G) が存在するが、後者のうち「右辺にしか存在しない」変数、すなわち (FA, G) が外生変数である。外生変数は定数と変わらないと考えれば、ある特定時点について、FA および G には具体的な数値を代入しているのと同様である (α_c 以下の係数群もすでに推定されているとすればこれらも単なる数値である)。すると、この連立方程式には 4 つの変数 (すなわち内生変数) (C, I, P, Y) と 4 本の式が存在することになるから、一定の手続きでその解を求められることになる。

具体的に書いてみよう。このモデルは年データに基づくものとし、1990 年～2015年のデータを用い、回帰分析を適用して α_c 以下の係数を求めたところ、以下ようになっていたとする (4 本目の定義式は係数がすべて 1 であると考えればよい)。

$$C = 1.2 + 0.7Y - 0.5P + 0.3FA$$

$$I = 2.5 + 0.5Y - 0.7P$$

$$P = 0.5 + 0.7Y$$

$$Y = C + I + G$$

つぎに、初年である1990年について、外生変数である FA および G の「観測値」を代入する (上で「定数と同等」と述べたとおり)。これもたとえば以下のように、(FA, G) = (1000, 3000) という数値であったとする。

$$C = 1.2 + 0.7Y - 0.5P + 0.3 \times (1000) \leftarrow (FA)$$

$$I = 2.5 + 0.5Y - 0.7P$$

$$P = 0.5 + 0.7Y$$

$$Y = C + I + 1 \times (3000) \leftarrow (G)$$

整理すると、この連立方程式体系は以下ようになる。

$$\left\{ \begin{array}{l} C = 301.2 + 0.7Y - 0.5P \\ I = 2.5 + 0.5Y - 0.7P \\ P = 0.5 + 0.7Y \\ Y = 3000 + C + I \end{array} \right.$$

この4本の式には4つの未知変数があるので、代数的に解くことができる（実際には4本すべてが独立であるという条件が必要であり、この連立方程式体系はそれを満たしている）。そのように得られたものが内生変数群（C, I, P, Y）の1990年の「シミュレーション値」ということになる。1991年以降も同様の手続きで求められる。

なお、実際のモデルはより多くの方程式群を含み、構造も複雑となるため、このような代数的な解き方をすることはほとんど皆無といってよく、数値シミュレーションによって内生変数の値を決定するのが通常のやり方である。

数値計算による「解法」も複数開発されており、それぞれ一長一短があるが、その解説は本書の目的とは直接合致しないため、興味のある向きは詳細について安田（1999）、尾崎（1985）などを参照されたい。

2. ラグ付き内生変数

消費関数など一部の構造方程式では、説明要因として「ラグ付き被説明変数」を導入することがよく行われる。とくに消費関数の場合、それは後述する「慣性効果」を表すものとみなされることが多い。定式化は以下のようになる。

$$C_t = \alpha + \beta Z_t + \gamma C_{t-1}$$

C：消費，Z：それ以外のすべての説明要因，添え字のt，t-1はそれぞれ今期，前期の値を示す。この方程式では，Cは消費を表す内生変数であるが， C_{t-1} は前期の値を表し，今期においてはすでにその値が決定されているものである。このような変数を「先決内生変数」といい，モデル全体では内生

変数であるが、一つの期においてはすでにその数値は変化しないため外生変数的に取り扱われる。

第4節 構造方程式と定義式

1. 構造（行動）方程式

マクロ計量モデルでは、個々の方程式は経済主体の行動を表現していると考えられる。たとえば、次の消費関数は、今期の消費水準が、同じ期の所得、物価、賃金と、前期の消費および賃金によって規定されるという構造を示している。

$$\text{消費}_t = f[\text{所得}_t, \text{物価}_t, \text{賃金}_t, \text{消費}_{t-1}, \text{賃金}_{t-1}]$$

このように、興味の対象となる変数を、経済理論に基づいて定式化したものを、構造（型）方程式と呼ぶ。経済主体の行動を表す式という意味で「行動方程式」と呼ばれる場合もある。

実際の分析においては、これらの変数を水準（実際の数値）でみるのか、変化率でみるのか、といった変数変換や説明変数と被説明変数の時間差（ラグ構造）も考慮する場合があるが、ここでは、経済理論に基づいた消費の「構造」をそのまま定式化したもの、という理解でよい。同様に、投資や輸出入、物価や賃金といった変数が、それぞれがどのような構造で決定されるかも構造方程式として推定され、マクロ計量モデルの部品となっていく。

2. 定義式

一方、第1節（マクロ計量モデルの種類）で一部解説したとおり、国内総生産（GDP）は、GDPの三面等価の原則から、

- (1) 各部門の付加価値額の合計

- (2) 消費，投資など，支出部門の合計
- (3) 労働者や資本など生産要素に分配されるものの合計

という3つの立場からみることができる。マクロ計量モデルの構築においては、これらのどの立場を切り口とするかという選択を迫られる。生産面を主としてみるような分析においては(1)を、支出面を把握する分析ならば(2)の立場を選択する（分配面を中心とする立場はほとんどとられない）。

実際、支出面から経済を把握する(2)の立場でモデル構築をする場合、全体の中心には

$$\text{GDP} = \text{民間消費} + \text{民間投資} + \text{政府部門} + \text{海外部門}$$

という式が鎮座している。これは構造方程式として推定すべき式ではなく、国民所得統計の支出部門のデータ定義がこうになっていることからくる「定義式」である⁽⁹⁾。

同様に、生産面からみる(1)の立場からの構築現場では、

$$\begin{aligned} \text{GDP} = & \text{農林水産業部門（の付加価値額）} + \text{製造業部門（同）} \\ & + \text{サービス部門（同）} \end{aligned}$$

という式を中心に周囲の方程式群を推定していくこととなる。このような定義式は「モデルの中核をなす定義式」であり、モデル全体の性格を決定付けることとなる最も重要な定義式である。

そのほか、家計 and/or 民間非営利法人の消費は構造方程式によって決定されているとした上で民間消費全体をその合計として定義するための定義式

$$\text{民間消費} = \text{家計} + \text{民間非営利法人}$$

や、モデル内では円や人民元といった固有通貨で決定される財輸入を米ドル建てにするための

$$\text{ドル建て財輸入} = \text{地域通貨建て財輸入} \div \text{為替レート}$$

といった定義式というような、

(1) いくつかの細目分類を集約

(2) 単位変換や表記の変更

のための定義式といった使われ方がある。とくに後者の場合、その値がモデル内で他の方程式の説明変数になることなく、単に参照用として用いられることがある（分析者がモデルの「外」から参照するという意味）。この意味では、前者は「本質的な定義式」といえ、左辺変数は本来的な内生変数といってよいが、後者の場合は「附加的な定義式」であり、左辺変数は（形式上は）内生変数ではあるが、その式自体がなくても（その「内生変数」の値が決定されなくとも）モデルの他の部分にはなんら影響を及ぼさない⁽¹⁰⁾。

以下の例は、アジア経済研究所で行われていた「東アジア経済予測」で実際に用いられていたマレーシアモデルである（構造方程式の中身の詳細は省いており、メインブロックの中でもこの例示に本質的でない定義式群は除いてある）。

【マレーシアモデルの例・1998年版】

- ◆ $GDP = CP + IP + CG + IG + J + (X - M)$
- ◇ $CP = f \text{ [...]}$
- ◇ $IP = f \text{ [...]}$
- ◇ $M = f \text{ [...]}$
- ◇ $PGDP = f \text{ [...]}$
- ◇ $CPI = f \text{ [...]}$
- ◇ $PM = f \text{ [...]}$
- ◇ $PIP = f \text{ [...]}$
- ◇ $POGDP = f \text{ [...]}$

- ◆ $DMP = GDP / POGDP$
- ◆ $PK = (1 - PDEP) * PK(-1) + IP$
- ◆ $GK = (1 - GDEP) * GK(-1) + IG$

- ▽ ◆ $GNP = GDP + NFP$
- ▽ ◇ $PGNP = f \text{ [...]}$
- ▽ ◆ $GDPV = GDP * PGDP$
- ▽ ◆ $GNPV = GNP * PGNP$
- ▽ ◆ $NFPV = GNPV - GDPV$
- ▽ ◆ $XV = X * PX$
- ▽ ◆ $MV = M * PM$
- ▽ ◇ $XCB = f \text{ [...]}$
- ▽ ◇ $MCB = f \text{ [...]}$
- ▽ ◆ $XCBD = XCB / EXR$
- ▽ ◆ $MCBD = MCB / EXR$
- ▽ ◆ $NCBD = XCBD - MCB$
- ▽ ◆ $NCB = XCB - MCB$
- ▽ ◆ $NTRDB = NCB + NSB$
- ▽ ◆ $CAB = (NTRDB + TRSFTB + NFPV) - CADIS$
- ▽ ◆ $CABD = CAB / EXR$
- ▽ ◆ $NCDIGD = NCB / GDPV$
- ▽ ◆ $NTDIGD = NTRDB / GDPV$
- ▽ ◆ $CADIGD = CAB / GDPV$

(変数名一覧)

【マクロ指標】

GDP：国内総生産（実質），CP：民間消費，IP：民間投資，CG：政府消費，IG：政府投資，J：在庫増減，X：輸出，M：輸入，POGDP：潜在GDP，DMP：需要圧力，PK：民間資本ストック，PDEP：民間資本ストックの減耗率，GK：政府資本ストック，GDEP：政府資本ストックの減耗率，GNP：国民総生産，NFP：要素所得，GDPV：国内総生産（名目）GNPV：国民総生産（名目），NFPV：要素所得（名目），XV：輸出（名目），MV：輸入（名目）

【価格指数】

PGDP：GDP デフレーター，PM：輸入デフレーター，PIP：民間投資デフレーター，PGNP：GDP デフレーター，PX：輸出デフレーター，PM：輸入デフレーター，CPI：消費者物価，EXR：為替レート

【国際収支表】

XCB：国際収支表の財輸出（名目，以下同じ），MCB：財輸入，XCBD：財輸出（米ドル），MCBD：財輸入（米ドル），NCBD：財貿易収支（米ドル），NCB：財貿易収支，NTRDB：貿易収支，NSB：サービス貿易収支，CAB：経常収支，TRSFTB：移転収支，CADIS：経常収支の誤差，CABD：経常収支（米ドル），NCDIGD：財貿易収支の国内総生産に占める割合，NTDIGD：貿易収支の国内総生産に占める割合，CADIGD：経常収支の国内総生産に占める割合

記号◆が定義式，◇が構造方程式を表している。中心となるマクロ（実物）経済ブロックは，本質的な部分では構造方程式8本，定義式4本からなる小型のモデルである。

このモデルには1990年代末のアジア通貨危機の影響をみるため，マクロ（実物）経済ブロックの外にこの時期だけ附加的に接続していた国際収支をみるためのブロックがある（▽のついた部分）。この19本の構造方程式および定義式からなるブロックは，上の意味では（構造方程式も含め）附加的な式である。その含意は，モデルの他の部分から参照されて他の方程式の説明変数となっているものがなく，このブロック内のみでの参照関係しかないため，ブロック自体を取り外してしまっても本体のマクロ経済ブロックにはなんら影響を与えない，ということである。実際，アジア通貨危機の影響が薄れてきた後はこのブロック（▽）は丸ごとモデルから削除されている。

このようにマクロ計量モデルでは，核となるブロックを中心に，その時々での興味や必要性を反映したブロックを附加的に導入したりとり外したりすることによってさまざまな分析に用いることができる。上の例ではアジア通貨危機という一時的ショックへの反応をみるためのブロックであるた

め、その部分を半永久的に接続しておくことを考慮せず、当該ブロック内の変数をメインの部分から参照することはしていない。しかし、たとえば一時的な政策変更を反映したブロックを付加的に構築・接続していたところ、その政策がさらに進展または定着し、経済への影響が相互的・恒久的なものに変化していくような場合には変数間の相互依存関係が深まり、最終的にはメインブロックの一部となることも考えられよう。要するに、マクロ計量モデルには最終形といったものはなく、常に変化し続けるものであるとってよい。

第5節 静的モデルと動的モデル

各方程式の定式化を決めていく上で、説明変数として（純粋な）外生変数および同期の内生変数のみが選ばれている場合と、説明変数の中に先決内生変数をもつ場合とを考えよう。前者の場合、ある期の内生変数は前期以前の内生的情報を含んでいないことになる。消費関数が以下のように、今期の所得 Y と今期の価格 P （いずれも内生変数とする）、および外生変数群 Z で説明されているとする（このとき、外生変数群の中に前期以前の変数が含まれているかどうかは関係ない）。消費者は今期の所得および価格をみて消費を決める。

$$C_t = f \mid Y_t, P_t, Z_t \mid$$

この方程式以外も同様に、外生変数と今期の内生変数によって定式化されているとする。こうした場合、モデルは全体として当期のみの内生変数を次々に生み出していくが、その情報が次期以降に用いられることがない。

一方、消費関数が次のように定式化されているとする。

$$C_t = f \mid Y_t, Y_{t-1}, P_t, P_{t-1}, Z_t \mid$$

消費者は今期だけでなく、前期の所得や価格の情報も今期の消費を決めるのに織り込んでいることになる。このような過去の情報を「ラグ項」と

いい、とくに前期の値（1期ラグ項という）はいろいろな意味でよく用いられる。この式で決まる消費は内生変数なので、それは（他の方程式の定式化にもよるが、通常の場合）今期の所得や価格にも影響を与える。そうして決まる所得や価格は、来期の消費に影響を及ぼし… と、時をまたいで変数の動きが波及していく。すなわち、モデルは「動学的」になる。

1. 消費の慣性効果

上の例では消費関数の説明要因として所得や価格の過去の値を選んだが、実際により頻繁に目にする定式化は以下のようなものである。

$$C_t = f \left[Y_t, P_t, C_{t-1}, Z_t \right]$$

これは、消費の「慣性効果」を関数に明示的に取り込んだもので、「消費は過去の最高水準に影響を受ける」という効果を表現したものである。所得の上昇にともなって消費水準を上げてきた消費者は、（そういう消費水準に慣れていくことから）所得が一時的に減少したとしても以前の消費水準には戻らず、過去（最高、つまり前期）の消費水準を維持しようとする。これは「消費の慣性効果」と呼ばれる。この場合ラグ項には正の符号が期待され、また、モデルが安定するためにはその係数（の絶対値）は1を下回る必要がある⁽¹¹⁾。なお、ここでは外生変数（Z）に当期の記号がついているが外生変数については時間差の有無は本質的な意味をもたない。

反対に、今期の数値が前期の動きを打ち消す（調整する）方向に動く傾向がある変数であれば、1期ラグ項には負の符号が期待される。この場合も係数の絶対値は1を下回る必要がある。

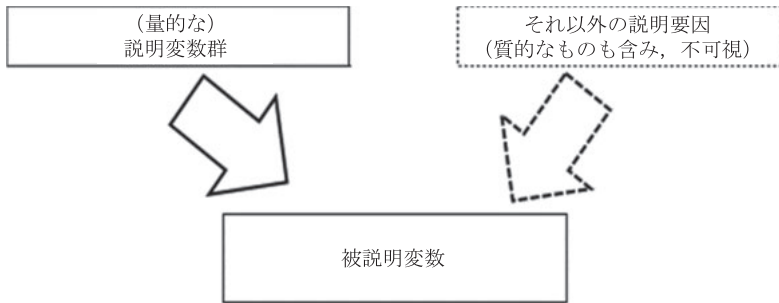
2. 別の意味での導入法

一方、これらとはまったく異なる考え方でラグ項を導入することがある。現実の経済のモデル化においては、左辺の変量に影響を与えるすべての要因を説明変数として導入することは不可能であることから、

被説明変数 $=f$ 〔説明変数群〕

という定式化は常に不完全なものであると考えられる。そして、回帰分析という手法の枠組み上、右辺の説明変数群は量的変数（ダミー変数という一見質的変数に見える例外もあるが、それも量的な調整を行う変数である）に限られている。図示すると以下のような関係である。

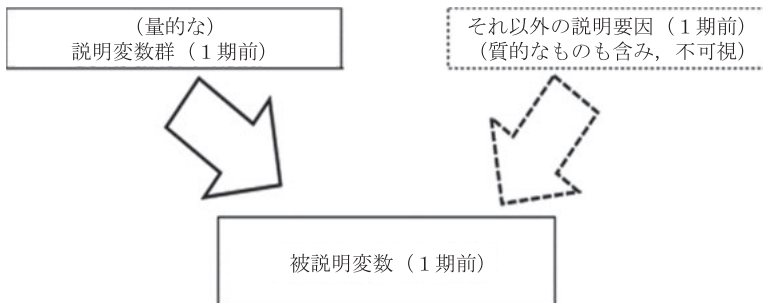
図2-1-1 説明変数群



(出所) 筆者作成。

ところで、この左辺と右辺の説明関係は構造的なもので、ある程度安定しており（だから「構造方程式」という）、この関係は1期前には以下のようにあったと当然に想定されている。

図2-1-2 説明変数群（1期前）



(出所) 筆者作成。

すると、1期前の被説明変数には、明示的に導入されている量的な説明変数群以外のすべての情報が（前期と今期の差はあるものの）含まれていることになる。これを根拠として、「重要な説明要因が抜け落ちている」という（第7節「最小二乗法適用のための条件」に解説）状況に対処する、という考え方である。

被説明変数 $y_t = f$ [被説明変数 y_{t-1} , その他説明変数群]

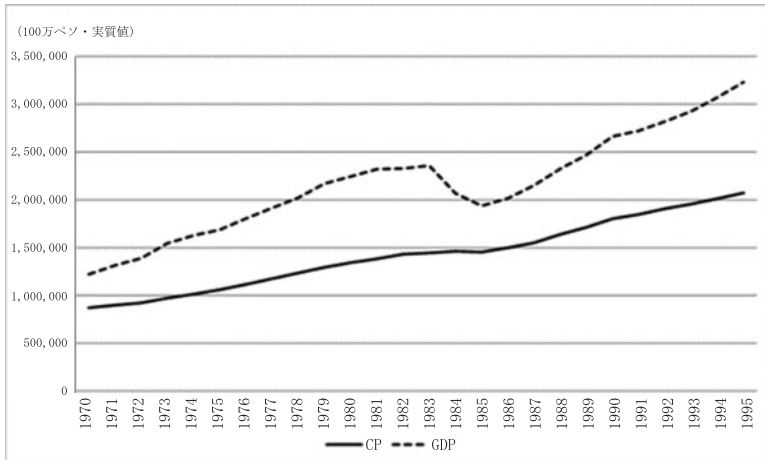
ただし、この操作により、誤差項の系列相関の有無を検定する Durbin-Watson 統計量が信頼できないものとなるため、系列相関の有無については h 統計量というまた別の指標を用いた検定を行うことになる。

（コラム）民間消費の慣性効果——フィリピンの例——

1980年代前半のフィリピンでは、フェルディナンド・マルコス大統領（当時）が国政を私物化し、腐敗政治を行っていた。これと対立するベニグノ（ニノイ）・アキノ・ジュニア上院議員が1983年に暗殺されると反マルコス運動が一気に広まり、政治および経済は混乱を極めた。同政権末期の国内経済は実質 GDP でみて2年連続の大幅マイナス成長（1984、85年の平均で-9.4%）を記録したが、この所得減の中、民間消費はほぼ横ばいあるいは若干の上昇が観測されている（同+0.3%）。1986年にはニノイの妻であるコラソン・アキノが大統領となり、民主化の進展とともに経済がプラス成長に転じると、民間消費はさらに追従する動きをみせている。ここまで明瞭に消費の慣性効果を観測できる例は実はむしろ珍しい。

なお、民主化以降は国政の不透明感が薄れ、経済の効率性が上昇したことなどもあって経済成長率（GDP のグラフの傾き）が民主化以前よりも大きくなっていることも興味深い点であろう（こうした与件変化を好ましく思う海外からの直接投資がこの時期に増大し、経済成長に貢献している面もあると考えられる）。

図2-2 フィリピンの GDP と民間投資（CP）



(出所) 筆者作成。

第6節 構造型と誘導型

これまでみてきた構造方程式はほとんどの場合、「分析者の視点から、経済現象を構造的にとらえるために（経済理論に基づいて）定式化したもの」とみることができ、その結果組み上がった連立方程式体系を解くための数学的条件などはあまり考えずに個々の方程式が推定されている。

つぎに、このように作成された連立方程式を実際に解こうとする際に起こるいくつかの問題をみていくことにする。ここでは次の式2本からなる簡単なモデルを考える。

$$(\text{消費関数}) \quad C = a + bY \quad (1)$$

$$(\text{定義式}) \quad Y = C + I \quad (2)$$

このモデルの内生変数はCとY，外生変数はIである。第1式は構造方程式，第2式は定義式である。構造方程式で表記されたもの（つまり通常のみ

た目をしているモデル) をモデルの「構造型表記」という。

あらためて第1式をみると、内生変数である C を同じく内生変数である Y が説明する形をしている。第2式も定義式ではあるが、その右辺は内生変数である C と外生変数である I の和となっており、いずれの式も右辺に内生変数が現れている。

この連立方程式は、未知(内生)変数が C と Y の2つ、(独立な)式が2本あるので、代数的手続きで解くことができる。外生変数というのは単なる数字と同じとみなしてよいから、この連立方程式の解を外生変数と構造パラメータ群のみで表すことができる、ということである。実際この連立方程式を解くと、

$$C = \frac{a + bI}{1 - b}$$

$$Y = \frac{a + I}{1 - b}$$

となり、右辺を外生変数だけで表すことができる。この表記の仕方を「誘導型表記」という。誘導型で表記されたモデルでは、左辺には内生変数、右辺には外生変数(および先決内生変数)のみが集まっている。

より正確には、右辺を純粋な外生変数と先決内生変数とだけで表したものを誘導型と呼ぶ。

第7節 最小二乗法適用のための条件

1. 最小二乗法適用のための条件

最初に、通常の最小二乗法 (Ordinary Least Squares: OLS) の前提となるガウス-マルコフ (Gauss-Markov) の定理を説明する。推定するモデルを

$$y_t = \beta x_t + u_t$$

と表す。ここで u_t は誤差項、係数ベクトル β と説明変数行列 x のサイズは任意（単純回帰でも重回帰でもよい）とする。

誤差項に関する前提は、最小二乗推定量の（統計的）性質に大きな影響を与えるので重要である。最小二乗法では、誤差項 u_t の確率分布について、以下の前提をおく。

- (1) 誤差項の期待値は常にゼロ

$$E(u_t) = 0$$

- (2) 誤差項の分散は一定（観測時点 t に無関係）

$$Var(u_t) = \sigma^2$$

- (3) 異なる時点の誤差項は無相関（系列相関なし）

$$E(u_t u_{t-s}) = 0, \quad s \neq 0$$

- (4) 説明変数と誤差項は互いに無相関

$$E(u_t | x_t - E(x_t)) = 0$$

- (5) 誤差項 u_t は正規分布に従う（この仮定は時によりはずされる）

$$u_t \sim N(\mu, \sigma^2)$$

これらの仮定がすべて満たされている場合を「標準的な正規回帰モデル」といい、仮定(5)がはずれている場合を「標準的な回帰モデル」という。

2. ガウス-マルコフの定理

上で述べた仮定のうち、(1)から(4)が満たされた場合、線型回帰の最小二乗推定量は「最小分散線型不偏推定量」(Best Linear Unbiased Estimator: BLUE)と呼ばれる。これは最小二乗推定量が、

- ・ 不偏 (Unbiased)：期待値が母数に一致し、
- ・ 線型 (Linear)：説明変数と被説明変数から線型の手続きで求められ、
- ・ 最小分散 (Best)：その中で最小の分散をもつ

ような推定量 (Estimator) であるということを保証する定理である。

3. 誤差項の自己相関

これらの仮定のうち、45頁の(3)の仮定（系列無相関）が満たされないことがしばしば起こる。系列相関が起こるケースとしては、

- (1) 被説明変数を説明する上で重要な変数が欠如しており、その影響が誤差に集約されてしまっている場合
- (2) 外生的ショック（石油ショック・通貨危機など）の影響が1期で吸収しきれずに持続する場合
- (3) データ加工により誤差項に系列相関が生じる場合
- (4) 定式化の失敗

などが挙げられる。(3)については、「季節調整が必要のないデータに季節調整の手続きを適用した」などという場合に起こることがある。

そして、系列相関が強い場合には、通常の最小二乗法（OLS）によるパラメータ推定においては以下のような問題が生じる。

- (1) パラメータの推定量がBLUEにならず、パラメータの分散が過小推定される傾向がある。従って t 値が過大評価されやすい
- (2) 決定係数が過大評価されやすい

1階の系列相関の有無はダービン・ワトソン（Durbin-Watson: DW）統計量で検定できる⁽¹²⁾。系列相関があると結論付けられた場合には、上記の「重要な変数の欠落」「データ加工」などの手当てをし、それで改善しない場合は以下の手法を用いて推定を行うなどのさらなる工夫が必要となる。

- (1) コ克蘭・オーカット法（Cochrane-Orcutt: CO）
- (2) プレイス・ウィンステイン法（Prais-Winsten: PW）
- (3) 最尤法（Most-Likelihood: ML）

このうち、COやPWは一般化最小二乗法（Generalized Least Squares: GLS）の一種である。これらの手法については廣松・藤原（1990）、刈屋（1984）等

を参照されたい。

4. 同時方程式バイアス問題

一方、マクロ計量モデルでは、変数間の相互依存関係を明示的に導入することから、システム全体として当然複数本の式が推定されることになり、このとき一つの関数の説明変数の中にシステム内の他の内生変数が含まれていることも多い。このような場合、45頁の(4)の条件が満たされなくなり、OLS 推定量は BLUE でなくなる。これを同時方程式バイアスと呼ぶ。

説明変数と誤差項が無相関でなくなってしまうことを、単純な例で示してみる。所得 ($Y=GDP$) および民間消費 (C) とそれ以外の GDP 構成要素 (W) のみで示されるモデルを考える。

民間消費関数

$$C_t = \alpha + \beta Y_t + u_t$$

GDP 定義式

$$Y_t = C_t + W_t$$

ここで、誤差項 u_t は(1)~(3)の条件は満たしているとする。 Y は民間消費関数では説明変数であるが、GDP 定義式では左辺にあるため、上に示した「システム内の他の内生変数」である。民間消費関数自体では C_t と u_t は独立とみなせるとしても、これを GDP 定義式に代入すれば、

$$Y_t = (\alpha + \beta Y_t + u_t) + W_t$$

となり、 u_t は Y_t と無相関でないことになる。民間消費関数の中では Y_t は説明変数として扱われているので、結局、(4)の条件が満たされないことになる。このとき、ガウス-マルコフ定理により、通常の最小二乗法による民間消費関数のパラメータ推定量は BLUE にならず、不偏性が保証されなくなってしまう（最良性：最小分散の方は確保される）。また、(4)の条件への抵触はまた、パラメータの一致性が保証されなくなるという問題もある⁽¹³⁾。

これにはいくつかの解決法があるが、同時方程式バイアスの問題は「誤差

項の内生性（誤差項と内生変数が無相関でない）」に起因するということだから、問題点をそこに絞って考えれば、そのような内生性を消してしまう方策があればよいことになる。

5. 操作変数法・二段階最小二乗法

その一つの手法が操作変数法（Instrumental Variable: IV）で、誤差項の内生性に対処する方策として、説明変数の方をある意味外生化する方法である。推定する方程式の説明変数のうち、（誤差項と無相関でない）内生変数を、誤差項と無相関な外生変数で回帰し、その理論値を代わりに用いる。

二段階最小二乗法（Two-Stage Least Squares: 2SLS）は操作変数法の特殊ケースですべての内生変数を、それよりも多い数の操作変数への回帰を行う。具体的には操作変数として外生変数を使い、手順は操作変数法と同じ（山澤（2004）、浅野・中村（2000）など）と考えられる。どちらの場合にも、内生変数を外生変数の線型結合におきかえることで、内生変数（の観測値）と誤差項の相関という問題を回避するものである。

上で述べた各手法では一本一本の方程式のパラメータを推定する「単一推定」という一派に属するものであるが、一方で連立方程式システムに含まれるすべての構造方程式のパラメータを同時推定する「システム推定」という一群の推定方法があり、そこには「三段階最小二乗法」（3SLS）や「完全情報最尤法」（Full Information Maximum Likelihood: FIML）、「一般化モーメント法」（Generalized Method of Moments: GMM）といった推定方法がある。興味のある方は森棟（1985）、伴（1991）などを参照されたい。

（コラム）識別問題

構造型から式変形によって誘導型を導くことができることは本編で述べているが、それは有限回の機械的な数式操作によって必ず導かれる。

誘導型は左辺の内生変数を右辺の外生変数のみで表したものであるから、どんなに式が多くてもそれは「連立方程式」というよりは（ある式で定ま

る内生変数が他の式に影響を与えない)「単独式の集合体」といえる。このことから、誘導型の方程式群に対して OLS を適用しても、前述の「同時方程式バイアス」を考慮する必要がない。

さて、そうして求められた誘導型パラメータから式変形によってもとの構造型方程式群のそれを逆算することができるかどうかを考える。これが「識別問題」である。

ところで、数学の教科書の「連立一次方程式」では、独立な式の数と未知変数の数が一致していない場合、解が一意に決まらないことは知っているだろう。式の数が必要ならば解は一つよりたくさん ($x+y=1$ を満たせば何でもよい、など) 出てくるし、式のほうが多ければ矛盾した複数の式が出てきて解が一つも得られない ($x+y=1$ と $2x+y=1$ が両方出てきてしまう) といったことが起こる。

同様に、いったん誘導型を作ったところから構造型を一意に決めることができるかどうかを検討するとき、実は上と同じような理由により、うまく具合に戻せる (一意に解が決まる) 場合もあれば、そうでないケースもある⁽¹⁴⁾。解が一意に決まるものに対応する場合を「ちょうど識別」、式の数が必要なくなる場合を「過少識別」あるいは「識別不能」、式の数が多くなる場合を「過剰識別」と呼ぶ。

「ちょうど識別のモデルを作成する最も簡便な方法は、その方程式にのみ現れる先決変数をただ1個だけ加えることである。モデル体系のすべての方程式がこの条件を満たすとき、モデル全体も識別される」(松浦・McKenzie 1999; 2001) ことを覚えておくに役立つかもしれない。

紙幅に限られるため、より詳しくは巻末の「補遺 第2章 識別問題の例」および適切な参考書類を参照願いたい。

第8節 変数フローチャートの活用

マクロ計量モデル内での変数間の関係を、フローチャートを作成することにより把握しておくことはモデル全体の見通しをよくするのに役立つ。

例として，次のモデルをみてみよう。この国は海外との貿易を行っておらず，国民経済計算関連の変数は GDP (Y)，民間消費 (C)，民間投資 (I)，および政府支出 (G) のみであるとする。このうち，政府支出は外生変数であり，モデル内で決定されない。また，民間消費および民間投資はいずれも GDP のみにより説明される（経済学的観点から，いずれの係数にも正の符号が期待されている）ものとする。モデルは次のように記述される。

・ 民間消費関数

$$C = \alpha_C + \beta_C Y$$

・ 民間投資関数

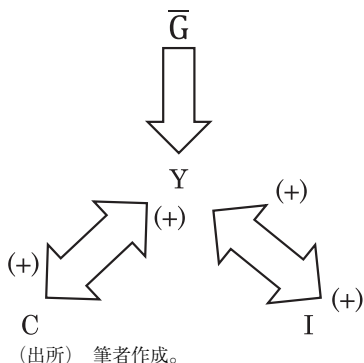
$$I = \alpha_I + \beta_I Y$$

・ GDP 定義式

$$Y = C + I + \bar{G}$$

フローチャートを描くと次のようになる。

図2-2-1 フローチャート 1



内生変数：Y, C, I

外生変数： \bar{G}

ところで、このモデルは安定的でない（変数が正の無限大に発散してしまうおそれがある）⁽¹⁵⁾。これは民間消費・民間投資がいずれも GDP の増加関数になっている（つまり係数 β_C 、 β_I がともに正の符号が想定されており、さらにその道筋しか導入されていない）ことによる。

そこで、たとえば民間消費関数を以下のように改良し、物価変数を導入する。この変数に関する符号（ γ ）には負符号が期待される。

民間消費関数（改良）

$$C = \alpha_C + \beta_C Y + \gamma_C P \quad (\text{物価変数})$$

そして、この物価変数（P）には GDP の増大に伴い上昇する（景気がよくなると物価上昇が起こる）という仮定をおく（実際にはこんな単純な方程式が成立つわけではない。道筋をたどると GDP 増大が価格上昇に間接的につながっているということである。あくまでも説明のためと理解してほしい）。

物価関数

$$P = \alpha_P + \beta_P Y$$

するとモデル全体は、構造方程式が1本増えて以下のようになる。

・民間消費関数

$$C = \alpha_C + \beta_C Y + \gamma_C P$$

・民間投資関数

$$I = \alpha_I + \beta_I Y$$

・物価関数

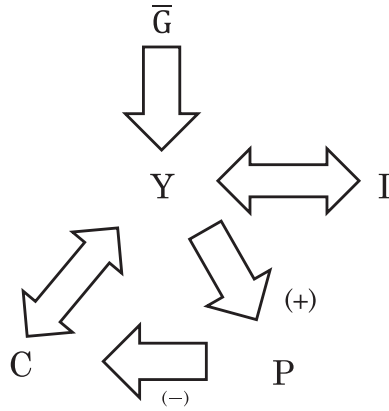
$$P = \alpha_P + \beta_P Y$$

・GDP 定義式

$$Y = C + I + \bar{G}$$

その結果、フローチャートは以下のように変わる。

図2-2-2 フローチャート2



(出所) 筆者作成。

内生変数：Y, C, I, P

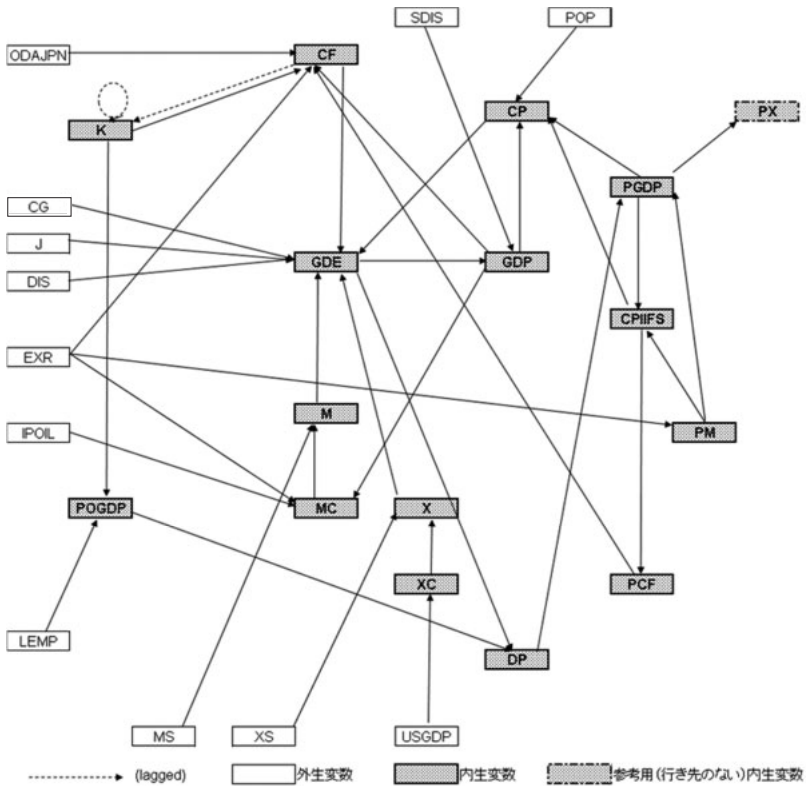
外生変数： \bar{G}

この変更により，GDPの増大は民間消費，民間投資，価格変数を直接的に増大させる効果をもち，上昇した価格を通じてそれは民間消費を減少させる方向にも働き（ここでの γ_c は負の符号が要請されている），ひいてはGDP自身を減少させることになる⁽¹⁶⁾。

以下のフローチャートは，いささか不完全ながら，カンボジアの需要型モデルを構築する試みにおいて作成したものである。需要（GDP）の増大が需要圧力（DP）の増大を通じて一般物価（PGDP）の上昇を招き，結果として需要自体への負の圧力をもたらす経路が存在するように作られている。

図中，実線矢印は当期同士の関係，点線矢印はラグをおいた関係を示し，丸い点線の矢印は当該変数自体のラグ構造を含むことを示す。

図2-3 フローチャート例（カンボジアモデル・植村 2009 より）



(出所) 筆者作成。

表2-1 変数名リスト

内生変数		外生変数	
CP	実質民間消費	CG	実質政府消費
CF	実質投資	J	実質在庫増減
GDE	実質需要側 GDP	DIS	実質統計誤差
GDP	実質供給側 GDP	XS	実質サービス輸出
X	実質輸出	MS	実質サービス輸入
XC	実質財輸出	SDIS	実質統計的不突合
M	実質輸入	EXR	為替レート：期間平均
MC	実質財輸入	IPOIL	国際価格：原油（平均）
K	総資本ストック	LEMP	労働：就業者
POGDP	潜在総生産	USGDP	米国 GDP 数量指数
DP	需要圧力	ODAJPN	日本からの ODA
PGDP	GDP デフレーター	POP	人口
PCF	総投資デフレーター		
PM	輸入デフレーター		
PX	輸出デフレーター		
CPIIFS	消費者物価		

（出所）筆者作成。

第9節 活用の方法と実際

1. モデルの現実への適合性

必要な方程式群が（経済学的・統計学的な条件を満たして）推定され、定義式群と合わせてモデルがひとまずの「完成」状態になっても、それだけでは全体的なパフォーマンスが保証されたことにはならない。一本一本の方程式が妥当に推定されており、現実の動きをうまくとらえているようにみえるとしても、それを組み合わせたモデルの挙動が安定しているとは限らないからである。

このため、各内生変数のモデル解と観測値を一定の期間にわたり比較する「内挿（期間内）シミュレーション（in-sample simulation）」を行い、さらに手直しをしていくことになるが、単体での方程式をみるのとは異なり、

悪い挙動をしている方程式のみを手当てすることで解決するとは限らない。ここは試行錯誤を繰り返す必要があり、通常、モデル構築手順においてもっとも手間と時間がかかる作業といって差し支えない。

2. モデルパフォーマンスの三種類のテスト

内挿テストはデータ期間内でモデル解が実績値をどの程度「再現」できるのかをみるものである。テストの厳しさの順に、

- (1) パーシャル・テスト（構造方程式単体についてみる）
- (2) トータル・テスト（ラグ付き内生変数に実績値を与える）
- (3) ファイナル・テスト（ラグ付き内生変数にモデル解を与える）

の三種類があり、後者ほど条件の厳しいテストとなる。このうち、パーシャル・テストは個々の構造方程式を試験するものでありモデル全体のテストではない。また、後者二つのちがいは、トータル・テストでは次期にもち越されない内生変数の誤差がファイナル・テストではもち越されるという点である。

なお、個々の方程式のパフォーマンスは定式化→推定時にすでに行われているので、モデル全体の現実再現性をみるのに、通常はより厳しいファイナル・テストを行い、一般的にはその結果がモデル・パフォーマンスを指すものととらえられている。

3. 適合性を測る指標

モデルパフォーマンスは、モデル解と実績値の乖離をみて判断することになるが、これにはいくつかの指標がある。

- (1) 平均平方誤差（Root Mean Squared Error: RMSE）
- (2) 平均平方誤差率（Root Mean Squared Percentage Error: RMSPE）
- (3) タイルの U（不一致係数・Theil U: TU）

(4) フォン・ノイマン比 (von Neumann Ratio: VN)

平均平方誤差は平均二乗誤差ともいい、誤差の二乗の平均である。平方根に開いてあるのは分散と標準偏差の関係と同じく、元の変数の単位に合わせるためである（そもそも平方根は単調関数であるから、大小をみるためであれば中身だけをみても結果は変わらない）。

それぞれ以下のように定義されるが、これらはいずれも検定統計量ではないので、特定の critical value よりも大き（小）ければよい、といったものではない。あくまでも複数のモデル（方程式を入れ替えたり定式化を変更したりしたもの同士）を比較するための指標である。いずれの指標も、小さいほうが現実への追従性が高いとみなされる。

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - X_t)^2}$$

$$\text{RMSPE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left(\frac{\hat{X}_t - X_t}{X_t} \right)^2}$$

$$\text{TU} = \sqrt{\frac{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - X_t)^2}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X_t^2}} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - X_t)^2}{\sum_{t=1}^n X_t^2}}$$

$$\text{VN} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{n-1} |\hat{X}_t - \hat{X}_{t-1}|^2}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \hat{X}_t - \sum_{t=1}^n \frac{1}{n} \hat{X}_t \right|^2} = \frac{n}{n-1} \cdot \frac{\sum_{t=1}^{n-1} |\hat{X}_t - \hat{X}_{t-1}|^2}{\sum_{t=1}^n \left| \hat{X}_t - \bar{\hat{X}} \right|^2}$$

(X_t : 観測値, \hat{X}_t : シミュレーション値, n : サンプルサイズ)

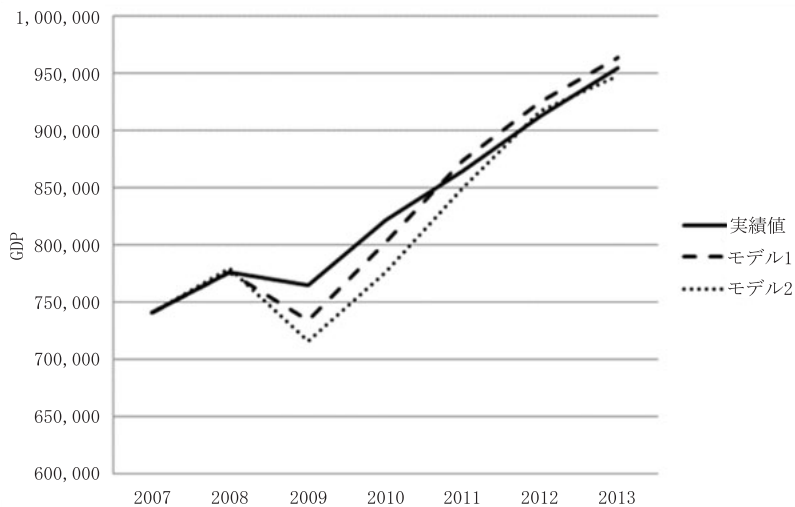
なお、タイトルの U は定義から RMSE に定数をかけたものにすぎないから事実上は同一のものとみてよい。

以下に実際のモデルに基づく数値例を示す。モデル1はモデル2から方程式を一本だけとり外したものである。とり外された式はとくにパフォーマンスが悪かったこともあり、いずれの指標でみても前者の数値が小さい（前者の方が実績値をよく追いかけている）といえる。

	RMSE	RMSPE	Theil U	VN Ratio
モデル1	16317.5	0.0204	0.0192	0.0094
モデル2	27979.4	0.0352	0.0328	0.0118

なお、これらの統計量を算出するだけでなく、モデル解と実績値の両方をグラフとしてみることもまた必須である。仮に同じような指標の数値であっても、(1)期間内で満遍なく（適度に）実績値と乖離しているのか、(2)過去の期間は当てはまりが悪くとも直近の追随性が高いのか、(3)あるいはその逆なのか、という場合もありうるからである。そして、そうした特性はモデルの利用法にも大きくかかわってくる。たとえば近い将来の予測を

図2-4 モデルの当てはまり



(出所) 筆者作成。

したいならば、上の(2)のような動きをしているモデルの方がふさわしそうだ、と感ぜられるのではないだろうか⁽¹⁷⁾。

また、いくら追従性が高くなるといっても注目したい変数の方程式をとり外してしまう（つまり外生変数にしてしまう）わけにはいかないといったジレンマに直面することも往々にしてある。このように、モデルを構築し、実際に活用する段階に入るまでには、同時に色々なことに目配りをし続けなければならない、という苦悩がある。

閑話休題。実際、先の例ではモデル1とモデル2でのGDPの動きは以下のようになり、モデル1の方が当てはまりがよいことがみてとれる。

こうしたテストを通じ、同時方程式で表されたモデルがどの程度現実経済を表現できているかがわかる。もしもこの時点で現実経済とまったく乖離した動きをしているようなら、その先にある分析や予測の使いものにならないことは明らかであろう。

4. ショック・シミュレーションとシナリオ・シミュレーション

マクロ計量モデルの活用方法はさまざまであるが、そのほとんどはシステムに外生的に与えられたショックが、シミュレーション期間内に各内生変数にどう波及し、あるいは減衰していくのかを色々なやり方で観測するものである。そのショックの与え方によって

- (1) ショック・シミュレーション
- (2) シナリオ・シミュレーション

の二つに大別できる。

(1)ショック・シミュレーションでは、たいていの場合、一時的な外生的攪乱要因を設定し、それがモデル内の各経路を通じてどのように波及していくかをみる。

たとえば、(a)原油価格の急変、(b)為替の急変、というような国際的な要因から（しかも一国で対処できない）与えられるショックや、(c)政府支出の大幅な見直し、(d)政策金利や(e)税率の変更、といった、その変更が一国の

内政に委ねられるものから来るショックが考えられる。とくに後者の場合「政策シミュレーション」といい、政策担当者らによって政策変更の効果などを事前に把握・評価するために用いられることがある。

一方(2)シナリオ・シミュレーションは、上のような単発のショックというよりは、数年（数期間）にわたる政策その他の流れが経済に与える影響を把握するものである。たとえば、(a)消費税を初年に1ポイント、5年目からさらに2ポイント上昇させ、10年後までの景気への影響をみる、(b)政府支出のうち公務員給与を、全体としてあるシナリオに沿って5年間かけて総額で○%削減する、(c)政策金利を1年に○ポイントずつ、○年かけて引き上げ（下げ）る、というように、モデルに与える外生的変更をシナリオとして事前に用意するものである。

経済予測もこちらのシナリオ・シミュレーションの範疇に入ると考えてよい。経済予測の場合、予測対象とする内生変数（所得、消費、投資など）の方程式の説明変数のうち、すべての外生変数の値を予測する年次（四半期、月次）の分だけ準備する。それらの設定もある意味「予測」にあたることになるが、たとえば政府支出の設定については政府が公表している「○カ年計画」や予算書などが参考になるし、輸出の設定については世界経済の全体的な動向の見通しなどを世銀や国連といった国際機関が公表しているものを参考にするなど、客観的に決められるものは通常そうした情報を活用することが多い。

5. ショック試験

ここでは、タイを例としたショック試験を2例紹介する。一つはタイ政府による財政政策の影響を、もう一つは米国の財政政策が貿易を通じてタイに与える影響を計測する。二つ目の例は第6章でも同様のショック試験の例をとり上げるが、そのやり方のちがいをみるために紹介するものである。

ところで、実はこの両方のショックとも、モデルのつくり方によっては本質的に何らのちがいもないことがある。たとえば筆者の手元にあるタイモデルでは政府支出（政府消費）および輸出の両方ともが外生変数であり、

しかも GDP 定義式への単純な足し上げのみという入り方をしているからである（これは当該モデルに限らず一般の需要型モデルに多くあてはまる仕様である）。

$$\text{GDP} = \underbrace{\text{CP}}_{\text{民間消費}} + \underbrace{\text{CG}}_{\text{政府消費}} + \underbrace{\text{CF}}_{\text{総投資}} + \underbrace{\text{J}}_{\text{在庫増減}} + \underbrace{(\text{X}-\text{M})}_{\text{純輸出}}$$

この式の CG を変化させるのと、X を同じ額だけ変化させるのとはモデル上何の差異もないことは明らかであろう。ただし、上で「モデルのつくり方による」と書いたとおり、もしどちらかあるいは両方の変数がモデル内でそれぞれ別の方程式の説明変数に使われているなど、モデルからみて異なる入り方をしている場合にはそのかぎりでないこともまた明らかであろう。

現在のタイモデルは上記のように政府消費も輸出も GDP 定義式での単なる足し算として入っているが、実際、過去にアジア経済研究所で予測目的に使用していたマレーシアモデルでは輸入関数の説明要因として輸出が導入されていたことがある。これはマレーシアでは原材料・中間財を輸入して最終財に組み立て、輸出する加工貿易が重要な役割を果たしている特色を明示的に表現した（未来の輸出の代理変数として当期のそれを使った）ものである。このような場合には政府支出へのショックと輸出へのショックはそれぞれ別の経路（一部重複するが）を通じてモデルに与えられることになる。

6. 外生変数に与えるショック

本質的に同じショックとはいえ、この2例では外生ショックの設定方法は異なる。それぞれについて設定の手順を確認しておく。

7. 政府消費に与えるショック

基準年において、タイの政府消費が10%増大する場合を考える。基準年

周辺のタイの政府消費（実質）は以下のとおりである（現バージョンのタイモデルでは投資は民間部門と公共部門に分けられていない）。

表2-2 タイの政府支出（実質）
(bil. baht)

	政府消費
2008	1,420.0
2009	1,565.9
2010	1,711.9
2011	1,770.3
2012	1,890.7
2013	1,937.8
2014	1,977.9

（出所） 筆者作成。

シミュレーションのシナリオは「2010年における政府消費の10%増大」であるから、2010年の政府支出の総額1兆7119億バーツの10%分の1711億9000万バーツ（171.19（10億バーツ））を上記のGDP定義式に加えるための変数を設定する。これを「Gショックダミー（DUM_G_SHOCK）」と名づける。2010年以外についてはショックは与えないのでこの変数の値はすべて0とする。また、シミュレーション開始年は2010年とする（それ以前からシミュレートすると、本来ショックを与えるべき2010年の値が上の設定と変わってしまうため）。

$$GDP = CP + (CG + DUM_G_SHOCK) + CF + J + (X - M)$$

表2-3 ショック後予測

DUM	G_SHOCK
2010	171.19
2011	0
2012	0
2013	0
2014	0

（出所） 筆者作成。

なお、この171.19という値は、2010年のベースケース GDP (10802) の1.5%強に当たる規模である。

8. 輸出に与えるショック

一方、米国の財政支出増が貿易を通じてタイ経済に影響を与えるというシミュレーション試験の場合、ショック変数の設定は若干複雑になる。ここでは、米国の政府支出がある1年だけ倍になったという想定で、それがタイ経済にどのように影響するかを計測するいくつかのやり方を紹介する。

はじめに、米国の財政支出増が GDP 増大を通じて自国の輸入増にどれだけ貢献するかをみるため、以下のような単純な米国の輸入関数を推定する。大まかな乗数効果をみるだけなので、ここでは国民経済計算の輸入を GDP のみで説明するという定式化にしておく。

$$M=f \text{ [GDP]}$$

実際に米国のデータを用いてこの推定を行い、以下の結果を得る（括弧内は t 値）。

$$M=-1585.51+0.266284 \cdot \text{GDP}$$

$$(19.4) \quad (42.1)$$

$$\text{サンプル期間：[1990-2013 (24)]}$$

$$\bar{R}^2 \text{ (自由度修正済決定係数)} = 0.98719$$

米国の政府消費および投資について基準年付近の数値（実質）は以下のとおり。

これより米国の政府支出をたとえば2010年に倍増させる。この3174（10億ドル）は米国の GDP 定義式にそのまま足し上げられるので、GDP は同じ額だけ上昇する。従って、上の輸入関数の GDP の係数と掛け合わせると、2010年の米国の輸入は $0.266284 \times 3174 = 845.2$ （10億ドル）の増大が見込まれることになる。

※実際は政府支出の増大がそのまま GDP に上乗せされるほど単純ではな

表2-4 米国の消費および投資

(10億ドル)

	政府消費	政府投資	計
2008	2,398.9	618.3	3,017.2
2009	2,482.2	691.2	3,173.4
2010	2,522.2	651.8	3,174.0
2011	2,453.4	586.1	3,039.5
2012	2,416.3	561.4	2,977.7
2013	2,362.3	537.9	2,900.2
2014	2,355.8	534.9	2,890.7

(出所) 筆者作成。

いし、輸入への影響もこれほど一直線なものにならないことは明らかであるが、考え方の一つとして割り切ってほしい。

つぎに、米国の輸入全体に占めるタイの割合をみる。米国の輸入シェア(一部)は2010年で以下のとおりである。

表2-5 米国の輸入に占めるタイの割合

米国輸入財全体	相 手 国				
	Aus	・ ・ ・	Tha	・ ・ ・	Wld
	0.00447148	・ ・ ・	0.01200963	・ ・ ・	1

(出所) 筆者作成。

この数値を使えば、米国で増大する輸入分のうち、1.2%ほどがタイ由来であることになり、輸入増大分と掛け合わせれば、 $845.2 \times 0.01200963 = 10.15$ (10億ドル) がタイからの輸入増大分と算出される。

さて、タイモデルは10億バーツ、米国モデルは10億ドル単位のデータで動いているので、この値をタイモデルに適用するため、為替レートの変換が必要となる。2010年のタイバーツ／米ドルレート(年平均)は31.6857であるから、換算すると

$$10.15 \text{ (10億ドル)} \times 31.6857 = 321.61 \text{ (10億バーツ)}$$

となる。ここで、片方のモデルが百万通貨単位で動いている場合にはその分の調整ももちろん必要となる。

あとは同様に、GDP 定義式に加えるための変数（X ショックダミー：DUM_X_SHOCK）を準備し、以下のように設定する。2010年以外についてはショックは与えないことも同様である。

$$GDP = CP + CG + CF + J + ([X + DUM_X_SHOCK] - M)$$

表2-6 ショックダミー付

DUM	X_SHOCK
2008	0
2009	0
2010	321.61
2011	0
2012	0
2013	0
2014	0

（出所） 筆者作成。

321.61という値は、2010年のベースケース GDP (10802.4) の3.0%弱に当たる。

※なお、ここでは基準年でのショック試験のため為替換算は単純なものとなっているが、それ以外の年について行うときは若干注意する必要がある。この点については巻末「補遺 第6章 ドル建てと各国通貨建てを」参考にしながら考察してほしい。

9. ショック試験の結果

上でみたとおり、G_SHOCK も X_SHOCK も、どちらも GDP に単純に上乘せするというだけであるから、ことさらに変数名を変える必要もなく、ショックの規模が異なるというだけである。実際、これらのショックを与えた結果、GDP、民間消費（CP）および総輸入（M）に現れる影響を以下に

示す。これらの数値は、ベースケースとの乖離である。

表2-7 ショック試験の結果

G_SHOCK (171.19)				X_SHOCK (321.61)		
GDP	CP	M		GDP	CP	M
2.14%	0.87%	1.48%	2010	4.01%	1.62%	2.77%
-0.35%	0.31%	0.53%	2011	-0.66%	0.57%	0.99%
-0.14%	0.11%	0.19%	2012	-0.26%	0.20%	0.35%
-0.05%	0.03%	0.06%	2013	-0.09%	0.06%	0.12%
0.00%	0.00%	0.00%	2014	0.00%	0.00%	0.00%

(出所) 筆者作成。

結果をみると、与えたショック (171.69, 321.61) がGDP初年値(ベースケース)のそれぞれ(1.5%強, 3.0%弱)であったのに対し、モデルを解いて得られた影響はそれぞれ(2.1%, 4.0%)程度となっており、モデル全体を通じて得られる解が与えたショックの総量と異なっていることに注意してほしい。また、G_SHOCKとX_SHOCKの比率は倍程度の開きがあるが、とくに初年において各変数に生じる影響の度合いもおおむね倍くらい異なることがわかる。

また、これらのシミュレーションを通じ、(国内・海外を問わず)与えられたGDPに対するプラスのショックが、一方で民間消費を押し上げる方向に寄与しているものの、同じショックが同時にGDP増大→輸入増大を招き、結果としてGDP全体で翌年以降に負の影響として現れる、ということも確認される。

10. より精緻に行ってみる

上で述べた米国の財政拡大のケースは、単純な輸入関数の係数によりGDP増大を輸入拡大に読み替えているが、もし米国モデルを保有しているならば、次のような試みもありうるだろう。

この方法は樋田・山路・植村(1994), Toida, Yamaji and Uemura (1994)

で開発したリンクシステムの一部分（簡便法）として実装されていたものを参考に行っている。

- (1) 政府支出拡大の規模は同一とする（2010年に倍増）
- (2) 米国モデルをその条件で解くことにより，輸入の増大分が求まる
- (3) 残りの手順は上と同一

簡単な米国モデルで上記(1)(2)の手順を行ってみたところ，輸入の増大分は以下のように算出された。（以下，丸め誤差が一部に生じている場合がある）

表2-8 米国の総輸入の拡大幅

Year	bil.\$	(%)
2010	116.14	4.40
2011	59.45	2.22
2012	30.48	1.12
2013	15.64	0.57

（出所） 筆者作成。

総輸入の増大分は初年（2010年）で116.14（10億ドル）程度と，63頁の845.2と比べるとかなり小さな値となる。これは同頁の単純な積算に比べ，米国のGDP上昇が国内需要項目を通じ，GDPを再調整する，というサイクルを経ているところからきている。なお，ここでは米国のGDP増大分から輸入拡大分を計算するのではなく，米国モデルの内生変数である輸入の増大そのものをみていることに注意されたい。

手順(3)では，表2-5のタイからの輸入シェアを乗じることにより

$$116.14 \times 0.01200963 = 1.394798 \text{ (10億ドル)}$$

がタイからの輸入増大分と算出される。同様に手続きを進めると，この数値は

$$1.394798 \text{ (10億ドル)} \times 31.6857 = 44.20 \text{ (10億パーツ)}$$

となる。

この値を同様にタイモデルに適用し、ベースケースとの乖離をみると、以下ようになる。タイモデル自体の構造は同じだから2年目以降、GDP増大が輸入拡大を招き、結果としてGDPはベースケースよりも下落するという構図は同じである。

表2-9 ベースケースとの乖離

	X_SHOCK (5065.6)		
	GDP	CP	M
2010	0.55%	0.23%	0.38%
2011	-0.09%	0.08%	0.14%
2012	-0.04%	0.03%	0.05%
2013	-0.01%	0.01%	0.02%
2014	0.00%	0.00%	0.00%

(出所) 筆者作成。

こうしたちがいは、タイモデル、米国モデル両方の設計・定式化・モデルパフォーマンスのちがいなどによりさまざまな差となって現れてくることはもちろんである。

なお、上の表2-9から、米国モデルに与えたショックは1年で消滅せずに2年目以降も（減衰しながら）継続することが計測されていることがわかる。基準年以外の年については為替の換算が若干複雑にはなるが、この情報からタイモデルに2年目以降に与える外生ショックの値を算出することも可能である。どのようにすればよいのか、頭の体操のつもりで考えてみてほしい。

11. シナリオ試験

前節でみたタイモデルで、政府支出を1年だけ増大させてみると2年目以降にはGDP増大が輸入の拡大を招き、結果としてGDP全体ではベースケースよりも縮小してしまうことがみられた。そこで、2年目以降にちょ

うどその分をカバーする程度の規模で政府支出を増大させる，といった「手当て」が考えられる。

12. 政府支出に関するシナリオ

前節では2010年一時点におけるショックであったが，その結果として2011年以降，以下のような GDP 縮小を招いていた（再掲）。

表2-10 ショック試験結果（表2-7 左 再掲）

	G_SHOCK (171.19)		
	GDP	CP	M
2010	2.14%	0.87%	1.48%
2011	-0.35%	0.31%	0.53%
2012	-0.14%	0.11%	0.19%
2013	-0.05%	0.03%	0.06%
2014	0.00%	0.00%	0.00%

（出所） 筆者作成。

そこで，2011年から2013年に GDP 規模のそれぞれ0.35%，0.14%，0.05%の手当てを，政府消費を通じて行うシナリオを考える。ベースケースの GDP は各年で以下のとおりであるから，手当ての規模も自動的に決められ，それは政府支出への追加分（G_SHOCK）として設定すればよい。

表2-11 政府支出への追加分（G_SHOCK）

	ベースケース			G_SHOCK
	GDP	減少分	規模	設定
2010	11,773.44	—	—	171.19
2011	11,740.71	-0.35%	41.79	41.79
2012	11,722.35	-0.14%	16.13	16.13
2013	11,447.00	-0.05%	5.81	5.81
2014	12,093.77	—	—	0

（出所） 筆者作成。

この「シナリオ」に基づいてシミュレーションを行った結果を以下に示す。

表2-12 シミュレーション

	G_SHOCK		
	GDP	CP	M
2010	2.14%	0.87%	1.48%
2011	0.12%	0.50%	0.87%
2012	-0.04%	0.25%	0.43%
2013	-0.05%	0.11%	0.19%
2014	0.00%	0.00%	0.00%

(出所) 筆者作成。

この「手当て」の結果、2年目のGDPはプラスに転じ、3年目のマイナス幅は縮小する。しかし、そのGDPの好転は輸入の増大を招き、4年目に民間消費は改善されるが輸入増とのバランスでGDP縮小幅は改善されない。

13. シナリオ比較の例～カンボジアのケース

植村（2009）では需要型・供給型カンボジアモデルをそれぞれ構築し、需要型モデルについては簡単なシミュレーション実験を行っている。それによると、1990年代半ば～00年代半ばの日本からカンボジアへの政府開発援助（ODA）は二国間および国際機関からの開発援助を含めても常に最大の供与を行っており、とくに二国間で見ればカンボジアが受け取るODAの3割から4割程度が日本からの供与である。これらODAはマクロ計量モデルの枠組みを通してみれば公共投資の拡大を通じてGDPに直接の影響を与え、そこから間接的に消費や輸入といった諸変数へも波及する。また、投資増大は国内資本ストックの増大につながり、それはカンボジアの潜在的な生産力の増強にも寄与し、雇用増大や所得上昇といった社会的安定性を高める効果があるとともに、過剰な超過需要の存在による物価上昇を抑制する効果も併せもつとしている（植村 2009）。シミュレーションでは日本のODAがカンボジア経済に与える影響を、次の二とおりのシナリオで分析してい

る。なお、シミュレーション期間を2000～2006年の7年間とした期間内シミュレーション（in-sample simulation）を行い、外生的ショックとしてはこの期間の日本の年平均供与額 1 億530万ドル（カンボジアの GDP の2 %内外）を参考に、以下のように決めている。

- (1) 1 億4000万ドル全額を初年に供与、次年以降はベースケースと同じ
- (2) 毎年2000万ドルずつをベースケースに上乗せ

いずれのシナリオでも、総額は7年間で1 億4000万ドル増大することになる。これら二つのシナリオを表にすると以下ようになる（植村 2009, 65 「表2-6（3B）」を転載）。

表2-13 外生条件

(100万米ドル, %)

	ベース ケース	シナリオ 1		シナリオ 2	
		供与額	乖離*	供与額	乖離*
Year 1	99.2	239.2	141.10%	119.2	20.20%
Year 2	120.2	120.2	0.00%	140.2	16.60%
Year 3	98.6	98.6	0.00%	118.6	20.30%
Year 4	125.9	125.9	0.00%	145.9	15.90%
Year 5	86.3	86.3	0.00%	106.3	23.20%
Year 6	100.6	100.6	0.00%	120.6	19.90%
Year 7	106.3	106.3	0.00%	126.3	18.80%

(出所) 筆者作成。

(注) * ベースケース値との乖離。

この二つのシナリオによるシミュレーション結果を、いくつかの変数についてベースケースからの乖離度合いで比較すると以下のようにになっている（植村（2009）の結果より筆者作成）。

これらの結果から、初年に全額を一気に投入したケース（シナリオ1）では、初年にはプラスの影響が出るものの、2 年目以降はその反動として負の影響が現れる。また、過剰な資本ストックの積み上がりは過剰な潜在成長力をもたらし、下落した総需要と相まって需要圧力が急激に下落することから2 年目以降の物価下落を引き起こしている。

表2-14 シミュレーション結果

(ベースケースからの乖離, %)

		Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7
GDP	(S1)	3.9	-0.03	-0.12	-0.1	-0.09	-0.07	-0.06
	(S2)	0.79	0.66	0.71	0.56	0.83	0.72	0.7
総投資	(S1)	13.51	-0.03	-0.35	-0.3	-0.26	-0.22	-0.19
	(S2)	2.66	2.22	2.51	1.96	2.84	2.44	2.31
資本ストック	(S1)	0	1.81	1.55	1.3	1.09	0.93	0.78
	(S2)	0	0.36	0.62	0.87	1.01	1.26	1.39
潜在生産	(S1)	0	0.87	0.75	0.63	0.53	0.45	0.37
	(S2)	0	0.17	0.3	0.42	0.48	0.59	0.67
一般物価	(S1)	0.47	-0.3	-0.27	-0.23	-0.19	-0.16	-0.14
	(S2)	0.1	0.02	-0.02	-0.07	-0.06	-0.11	-0.14

(出所) 筆者作成。

(注) S1, S2はそれぞれシナリオ1, シナリオ2を示す。

一方で、毎年同額を上乗せしたケース（シナリオ2）では、GDP 押し上げ効果が緩やかであり、2年目以降もストック増大が総需要の増大に追いついている。このため、需要圧力の上昇もシミュレーション期間を通じて緩やかであり、結果として3年目以降に一貫して一般物価の下落が計測される。これはシナリオ1で起こった需要減退を伴う物価下落とは異なり、ストック増強に伴う潜在生産の上昇に支えられたむしろ健康的なものであるといえる。

以上から、政府開発援助のあり方として、一時的に巨額の投下をするよりは、少額でも息の長い協力を継続する方が、カンボジアの適正な成長に寄与するということがいえる（植村 2009）。

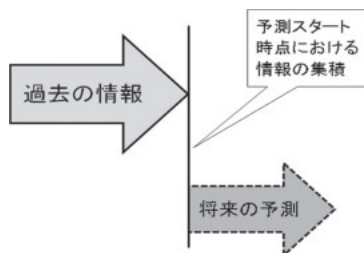
(コラム)「予測」とは「立ち位置を決める」ことでもある

マクロ計量モデルによる予測では、未来の予測したい期間についての、しかもモデルの外から与えるための条件を決めるのが重要である（これについては第3節「内生変数と外生変数」参照）が、それと同じく重要なのが、現在までの状況を確認たるものとしておくということである。土台がしっかり

していなければ建造物の構築が不可能なのと同様、わかりうる最近の経済の姿が確定していないことには予測のしようがない。

筆者の経験を顧みると、かつてアジア経済研究所で東・東南アジア各国地域の経済予測を発表していたことがあるが、この「予測」というのが毎年12月に、当年および翌年の経済成長率とインフレ率とを発表するものであった⁽¹⁸⁾。ある年の成長率はその年の経済が確定しないかぎり決まらないから、それを事前に推計するために、四半期や月次の情報を最新時点まで収集したものである（当初は今と違ってネットによるデータ配信など存在しなかったので、最新の統計書・統計データの入手というのがまた一仕事であった）。もちろん前年以前のデータ更新などにも細心の注意を払ったことはいうまでもない。こうしてみると、経済「予測」とはいうものの、それで一番確実にわかることというのは、「現在自分の立っている位置」の詳細な情報であったともいえる。

図2-5 予測のスタンス



（出所） 筆者作成。

おわりに

本章は、マクロ計量モデルとは何ぞや、という問いから始め、その特徴やメリット・デメリットをふまえたうえで、実際にモデルを構築するための手順やその利用法についてごく簡単に網羅したものである。

筆者はアジア経済研究所でマクロ計量モデルによる予測・分析を長く手がけてきたが、当初はこれといったマニュアルや教科書があるわけでもな

く、その「徒弟期間」のほとんどにおいてチーム内の口伝で技術継承が行われてきたのである。そこで本章では、学部レベルの経済学や統計学の知識がひととおりある読者を対象に、初学者がマクロ計量モデルを作成しようと試みる際、全体を俯瞰できる一定の高みまでは到達できるように配慮したつもりである。胸突き坂を登りきってしまえば、その先は自ずとみえてくるはずである。あとは各自、それぞれの方法や方向性、ペース配分でじっくり楽しんでください。

[注] _____

- (1) モデルの挙動試験などのためにわざとおかしな仮定をおいて作成する、などという場合もあるので少し慎重な書き方をしてみた。
- (2) さまざまな経済モデルの中には、こうしたパラメータも分析者が決定するものがある。
- (3) 生産関数には他にも CES 型、トランスログ型、VES 型など、さまざまな特性と限界を持つ型が提唱されている（坂野他 2004）。また、CES 生産関数の応用については小川・斎藤・二宮（1991）に日本について推定した実例がある。
- (4) 今川（1979）では、供給先決型モデルの原型を「供給天井型実質フローモデル」と呼んでいる。ここでは供給制約要因として資本ストックのみを考え、労働力は無制限に供給されると仮定している。
- (5) たとえば世銀や IMF、ADB などの国際機関による「Economic Outlook」といった報告にしばしば利用例が見られる。
- (6) 当然これらの操作をするツールとしてのソフトウェア等も必要となる。本書で取り扱うマクロ計量モデルおよび貿易リンクシステムは EViews というソフトウェアを用いている。
- (7) ここに挙げた統計量群は、最低でもこのくらいは目配りをしておかなければならないもの、という基準で選んでいる。EViews のようなパッケージソフトではこのほかにも多種多様な統計量が出力されるので、それらについては必要に応じて検討していただきたい。
- (8) いささか無理のある仮定であるが説明のためとご理解願いたい。
- (9) 実際には上記の他、在庫増減や統計上の不突合といった項目があることもあり、民間消費も家計その他に細分類され、投資も同様に設備・建設といった細分類がなされているが、ここでは簡単化のために省略する。
- (10) こういう「その行く先のない」定義式をモデル専門家はしばしば「盲腸」などと呼んだりしていた。「その式は盲腸？」といった会話が昔は普通になされていたことを懐かしく思い出す（今はどうなのだろうか？）。
- (11) ラグ項の係数が 1 よりも大きい場合、例えば極端に係数が 2 であるなどという場合を想定してみると、今年の消費は前年の消費の 2 倍、前々年の 4 倍…という影響

を受け続けることになる。これではモデルは発散してしまう。

- (12) ただし、第5節でふれたとおり、説明変数群の中に被説明変数のラグ項がある場合にはDW統計量による検定はできず、代わりにh統計量を用いたh検定が必要となる。養谷(1997)などを参照のこと。
- (13) 不偏性、一致性といった推定量の性質については統計学の適切な参考書を参照されたい。
- (14) 一意に決まる場合が一番望ましいのはいうまでもないが、最後の例のような複数の式が出るケースの場合はそれに対処する手法が用意されているため、致命的な問題ではない。
- (15) YとC及びIへの行き来が(行き帰りとも)正符号であるため、何かの拍子で消費や投資が不安定に増え始めるとそれが増幅してしまう。
- (16) このような単純な変更でつねにうまく解決できるとはかぎらないが、この考え方は重要である。一変数のある方向への変化が自分自身の同方向への変化を加速させるようなルートしかないようなモデルは危険である。
- (17) ところが、実はこうしたことをまったく気にかけなくとも、データ(材料)があって適当なソフトウェア(調理器具)がありさえすれば、あとはその器具が「勝手に」結果を出してくれる(モデルは作れる)ということも事実である。前節で述べたフローチャートを描くことも含め、「データ自体をよく見る」「データに語らせる」「データ間の関係を把握する」ことなしに分析だけをを進めるのは大いなる誤りである。久保(2012)では、『「理解しないままソフトウェアを使う」作法を(仮に)ブラックボックス統計学と呼ぶ』としているが、より広く考えれば「データをよく見ずして分析に入る」こともまたその作法に他ならない。
- (18) 作業を行っているその年については予測という言葉を用いず、計測といていた。

〔参考・関連文献〕

ここでは、本論内で直接引用したもの(行頭に⊥印を付す)以外にも、参考となろう文献を挙げておく。中には現在では絶版となり入手しづらいものも含まれているが、最近ネット書店の品揃えもかなり充実しているので、図書館とあわせて活用してほしい。

<日本語文献>

浅野哲・中村二郎 2000.『計量経済学』有斐閣

飯塚信夫 2014.「経済予測とマクロ経済モデル」日経デジタルメディア『NEEDS日本経済モデル40周年記念冊子』第2章, 23-29.

飯塚信夫・加藤久和 2006.『EViewsによる経済予測とシミュレーション入門』日本評論社.

†今川健 1980.『開発途上経済のモデル分析』中央大学出版部.

†植村仁一 2009.『カンボジアのマクロ計量モデルと経済・社会統計』(アジア経済研究

- 所統計資料シリーズ第92集) アジア経済研究所.
- †—— 2010.「開発途上国マクロ計量モデルの歴史的展開(Ⅱ)」野上裕生・植村仁一編『開発途上国のマクロ計量モデル—政策評価のためのマクロ計量モデル研究会—』アジア経済研究所 17-42.
- 2013.「モデル構築の効率化プログラム——輸入関数選別の効率化を図るために——」野上裕生・植村仁一編『アジア長期経済成長のモデル分析(Ⅲ)』(アジア経済研究所統計資料シリーズ第97集) アジア経済研究所.
- 岡部光明 2003.『経済予測』日本評論社.
- †小川一夫・斎藤光雄・二宮正司編 1992.『多部門経済モデルの実証研究』創文社.
- †尾崎タイヨ 1985.『計量モデル分析と数値計算法』CBS 出版.
- †刈屋武昭監修 1984.『計量経済分析の基礎と応用』東洋経済新報社.
- †刈屋武昭 1986.『計量経済分析の考え方と実際』東洋経済新報社.
- †久保拓弥 2012.『データ解析のための統計モデリング入門』岩波書店.
- 熊谷一隆 1976.「段階的接近法による短期経済予測」『オペレーションズ・リサーチ』21(11) 623-628.
- †坂野慎哉・黒田祥子・鈴木有美・箕谷千鳳彦 2004.『応用計量経済学Ⅲ』(数量経済分析シリーズ第4巻) 多賀出版.
- †貞広彰 1992.『日本経済のマクロ計量モデル分析』有斐閣.
- 滝川好夫・前田洋樹 2006.『EViews で計量経済学入門』第2版 日本評論社.
- †樋田満・山路千波・植村仁一 1994.「アジア工業圏に与える EC 市場統合の経済効果」『アジア工業圏への EC 統合インパクト——現状と展望—— 国際シンポジウム報告書』アジア経済研究所 41-83.
- 樋田満 1995.「アジアのマクロ計量経済モデル——1980年代後半以降の発展と課題——」『アジア経済』36(8) 8月 194-211.
- 浜田浩児・堀雅博・花垣貴司・横山瑠璃子・亀田泰佑・岩本光一郎 2015.「短期日本経済マクロ計量モデル(2015年版)の構造と乗数分析」(ESRI Discussion Paper Series No.314) 内閣府経済社会総合研究所.
- †伴金美 1991.『マクロ計量モデル分析』有斐閣.
- †廣松毅・藤原直哉 1990.『計量経済学の実際』(新経済学ライブラリ 別巻2) 新世社.
- 福山光博・及川景太・吉原正淑・中園善行 2010.「国内外におけるマクロ計量モデルと MEAD-RIETI モデルの試み」(RIETI Discussion Paper Series, 10-J-045) 独立行政法人経済産業研究所.
- †松浦克己・Colin McKenzie 1999.「応用計量経済学」(7)[第7章連立方程式モデル]『郵政研究所月報』(133) 10月 95-116.
- †—— 2001.『EViews による計量経済分析』東洋経済新報社.
- 箕谷千鳳彦 1996.『計量経済学』(計量経済分析シリーズ 第1巻) 多賀出版.
- †箕谷千鳳彦 1997.『計量経済学』第3版 東洋経済新報社.
- 村田啓子・岩本光一郎・増淵勝彦 2007.「短期日本経済マクロ計量モデルへの連鎖方式

の導入について』『経済分析』(179) 55-71.

† 森棟公夫 1985.『経済モデルの推定と検定』共立出版.

† 安田聖 1999.『計量モデルの構造と解法』日本経営科学研究所.

† 山澤成康 2004.『実戦計量経済学入門』日本評論社.

吉川洋 1984.『マクロ経済学研究』東京大学出版会.

吉野直行・高橋徹 1990.『パソコン計量経済学入門』多賀出版.

渡部肇 2014.「マクロ経済モデルの現状」『NEEDS 日本経済モデル40周年記念冊子』第3章, 29-37.

<英語文献>

Hamid Habibagahi and John L. Pratschke 1972. "A Comparison of the Power of the von Neumann Ratio: Durbin-Watson and Geary Tests," *The Review of Economics and Statistics* 54(2): 179-185.

Hart B.I. and von Neumann, John 1942. "Tabulation of the Probabilities for the Ratio of the Mean Square Successive Difference to the Variance," *The Annals of Mathematical Statistics* 13(2) June: 207-214.

† Klein, L. Rawrence 1950. *Economic Fluctuations in the United States 1921-1941*. (Cowles Commission for Research in Economics Monograph, No. 11) Chicago; University of Chicago.

Robert Bartels 1982. "The Rank Version of von Neumann's Ratio: Test for Randomness," *Journal of the American Statistical Association* 77(377): 40-46.

† Toida, Mitsuru, Yamaji, C. and Uemura, J. 1994. "Economic Impact of EC Market Integration on Asian Industrializing Region: Measurement by PAIR Link Model," In *Impact of EC integration on Asian Industrializing Region: Papers and Proceedings of a Symposium Held at the Institute of Developing Economies on June 22-24, 1993, in Tokyo*, edited by M. Toida. Institute of Developing Economies: 21-53.

Von Neumann, John 1941. "Distribution of the Ratio of the Mean Square Successive Difference to the Variance," *The Annals of Mathematical Statistics* 12(4) Dec.: 367-395.