

総論 経済モデルによるシミュレーション

植村 仁一
小山田 和彦
ブー・タウン・カイ

1 経済モデルの適用について

「はじめに」で述べたとおり、本書では「マクロ計量モデルの活用」について考察することを目的とするが、マクロ計量モデルを軸として応用一般均衡 (Applied General Equilibrium: AGE) モデル¹⁾ およびベクトル自己回帰 (Vector-Autoregressive: VAR) モデルによる分析も取り扱っている。いずれも実証分析に広く利用される代表的なモデルであるが、この3種に限ってみても各モデルはその依拠するデータの性質や得意とする分析視角という点で多くの点が異なっている。本章は、本書で扱うこれら3種類の実用的分析モデルについてそれぞれの特徴 (特長) や得意・不得意とする分野、さらにモデル構築や応用のために必要となるデータ系列に関する要請などを概論としてまとめておくことを目的としている。

物理学や化学といった自然科学系と異なり、社会科学、とくに一国の経済を捉えるマクロ経済学の分野では、国民や政府、金融部門といった現実の経済主体に

1) 計算可能な一般均衡 (Computable General Equilibrium: CGE) モデルと呼ばれることも多い。厳密に言えば、Jorgenson (1984) が延長推計されたデータを含む大量の産業連関表を用意して統計学的手法によって超越対数型費用関数 (Trans-log Cost Function) を推計し、それをもとに一般均衡の数値計算を行ったものを CGE モデルと呼んでいた。それに対し、Shoven and Whalley (1984) が Johansen (1960) の手法を発展させる形で数値シミュレーションに利用しはじめたものを AGE モデルと呼ぶ。現在 CGE モデルと呼ばれているものの多くはカリブレーション法を利用してパラメータ推計を行う Shoven and Whalley (1984) の流れをくむものであり、「AGE」と「CGE」を区別することなくほぼ同じものとして取り扱うようになっている。

対して、さまざまな条件を変化させながら実験を行って結果を検討する、ということができない²⁾。このような分野では現実世界の「写し絵」を操作し、そこに現れる現象、あるいは入力に対する出力を観察・解釈することによって占うことが1つのアプローチ方法となる。これは、旅に出る前に地図や時刻表を用意し、旅程のあれこれを机上で検討することと通ずるものがあると思うし、その机上旅行の途上で、当初予定していなかった立ち寄り地を吟味するとか、さらには目的地自体を変更してみる、というような、いったん旅に上れば実行が困難であることも、しかも納得のいくまで何度でも繰り返し試行できる点も似ていよう。

本書ではこうしたモデルの「守備範囲」の差異を生かした分析・シミュレーション実験結果を提示することにより、現実の経済をモデル化して楽しもうという読者の手助けを試みている。

なお、各種モデルの「得意分野」は決して背反的なものではなく、さまざまな経済的事象の影響判断や、条約発効の効果予測など、同一のイベントについて多種のモデルが活用され、結果が公表される例もしばしば目にするところである。公表主体も各国政府をはじめ統計関連機関、民間の研究所に至るまで多岐にわたっている³⁾。

さて、こうした得意・不得意（あるいは向き・不向き）があるということを前提とした上で、ある問題に対するモデル（分析者）の立場は、以下の4つがある。

(0) まったく向いておらず、適用できない

(1) あまり向いていない対象であるが、得意とする断面があり、そこを分析する

(2) まさに得意分野であり、そのモデルを用いるのにふさわしい

(3) そのモデルでないと到達できない領域である

まったく適用対象でないのは論外として、このうち、(1)の切り口については

2) 自然科学系でも天文学や気象学などのように再現実験不可能な分野ではコンピューターによるシミュレーションが活用されているのは周知のとおりである。

3) ただし、そういう例のもととなるモデルがすべて「正しく」作成・運用されているかは推測不能である。

ある程度の考察を得られよう。しかし一方で、(3) の立場も厳然として存在する。したがって分析者は分析対象や目的、データ入手の可能性などを考慮して適切なモデルを選び、作成し、分析に向かうことが肝要となる⁴⁾。

とくにデータの点に関しては、同一の分析対象（経済現象，概念，イベント）を前にした場合でもそれぞれのモデルを正しく適用し，十分に運用しようとする必要必要なデータ系列が異なることは自然である。単純な例を挙げれば，時系列サンプルが20以上あればよいモデルは20年分くらいの年次データがそろえば作成できるが，100以上のサンプルが望ましいモデルでは四半期データを使っても同期間分では足りないことになる。こうしたことは，データ整備状況が先進国に比べて劣る傾向のある途上国ではよく起こることであり，上のような場合は後者のモデルは作成自体ができないことになる。また，時間軸の方向（時系列の長さ）はある程度捨象し，横断面的に多くの一時点データを必要とするモデルであれば，適用するデータは上とはまったく異なる様相を呈するであろう。

2 本書で試みる異種モデルの連携

本書ではとくに「大づかみな分析をマクロ計量モデル」「詳細構造をAGEモデル」で役割分担した例を第2章（植村）と第3章（小山田）で実験的なシナリオに基づいて提示している。これはそれぞれのモデルの得意とする側面を生かした例といえる。具体的には後述するようなマクロ計量モデルの「利点」によりすべてのパラメータが客観的に定まっているモデルで先に大まかな流れをつかみ，AGEモデルは全体としてその流れに沿うような結果を与えつつ詳細構造に踏み込む，という分担である。

ここでは，マクロ計量モデルが

- (1) 各国モデルがそれ自体完結している
- (2) 貿易構造で接続することで，他国の輸入が自国の輸出にフィードバック

4) 自分のモデルが得意とする事象の切り口をうまく見つけ、「ちから技」も含め何らかの結論を引き出す，ということもモデル分析者に求められる資質（？）の1つかもしれない。

される

(3) シナリオを与えたらあとはモデル自体が勝手に収束解を出力する

という客観性の点からみた優位性と、

(4) ただし、「消費」「投資」「輸出入」といった集計変数としての扱いである

という、(品目別など)細分化により不安定になるデータ構造に依存する難点があることを前提とした上で、AGEモデルは

(1) 各国経済についてはより詳細な構造をみることができる

という優位性と

(2) 上のような多くの国を含む大規模モデルを「手放し」で操作しがたい

という問題点を互いに補うことを試みている。以降の節を参考に各モデルの長所・短所の詳細を確認してから上記の役割分担を再び眺めてみるとよいだろう。

なお、マクロ計量モデルとAGEモデルが全体として1つのモデルとなっているわけではなく、情報の流れも「マクロ計量モデル → AGEモデル」という一方通行であり、現段階では逆方向のフィードバック構造はないことを記しておく。

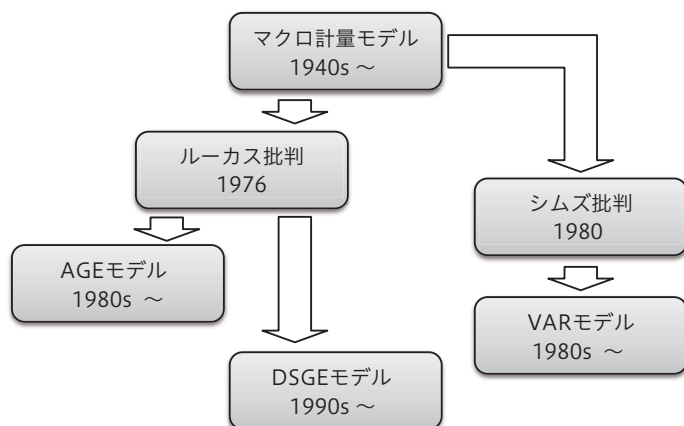
また、モデルの「連携」というタイトルからは外れるが、マクロ計量モデルやAGEモデルで扱いづらい金融投資（海外直接投資 [Foreign Direct Investment: FDI] と異なり必ずしも実物の動きに根ざすとは限らない短期金融市場における変数）に関する分析を第4章（プー）で行っている。これは一部のモデルの不得意分野を別のモデルで補完する、という面を表しているといえよう。

3 各種モデルの特徴と向き不向き

マクロ計量モデルは歴史が古いこともあり、多くの学説に基づくモデルが開発され、実際にさまざまな応用事例がみられる。一方問題点も随時発見され、マクロ計量モデルへの批判として提示されてきた。長い歴史はそうした「批判とそれに対する解決策の提案」という攻守が繰り返されてきた歴史でもある。また、その過程でまったく新しいモデル分野が生まれるきっかけともなっている。たとえば、「一組の構造パラメータ群は1つのレジーム（体制・行動様式）のもとで得られた固定値であり、レジームが変化した場合にモデルはその変化に追従できない」というルーカスの批判（1976年）がある。この問題に応える形で進められた研究がAGEモデルや動学的確率的一般均衡(Dynamic Stochastic General Equilibrium: DSGE) モデルにつながっている。また、Sims(1980) の「構造方程式の説明変数群の選択に分析者の主観が入っている」という批判に1つの回答を与える形でVARモデルが誕生している（図1-1、田口・プー 2018）。

こうした積み重ねを経てマクロ計量モデルは1つの成熟したツールとして確立されたものとなっているといっておく、それ自体は最先端の（先鋭的な理論に基づく）ものではないが、挙動が安定していて安心して使える道具である、という意

図1-1 各種実用経済モデルの系譜（フローチャート）



（出所）田口・プー(2018)。

味において重宝なツールであると考えられる。植村（2018）の繰り返しになるが、自動車であればエンジンや車体性能の最先端を探るのがF1やラリーといった特性や目的の異なる各種レースであるとする、日常的な物品運輸のためにはディーゼルトラックが主流として使われている、という比較がわかりやすい。たとえばディーゼルエンジンは19世紀末に開発され、それ自体は歴史も古く成熟した技術と考えてよいが、燃費向上や環境適合のためなど、細部（ではないかもしれないが）において研究が重ねられ、日進月歩の進化を続けている、という意味においてもマクロ計量モデルと似ているように思う。

以下、各モデルについてその特徴をみていくことにする。各モデルを解説する各項の初めに、モデルの頭文字をとり、マクロ計量 (Macro-Econometric)、応用一般均衡 (Applied General Equilibrium)、ベクトル自己回帰 (Vector-Autoregressive) それぞれのモデルの長所 (Merit) と短所・弱点 (Demerit/Defect) を列記しておく。また、各モデルについて3つずつの長所と短所を挙げているが、もちろんそれだけに限られるということではなく、当然われわれが挙げたのとは別の点を長所や短所と考える読者も少なくないと思う。本章で挙げているのはあくまでも「われわれ筆者が運用・分析の経験を通じ、現時点で重要であると考える項目のうちからとくに3つを選定した」ものであることにあらかじめ注意されたい。

3-1. マクロ計量モデル

まずマクロ計量モデルの長所を挙げてみよう。

（マクロ計量モデルの長所）

（MM1）連立方程式体系ゆえの整合的な解が得られる

（MM2）パラメータに関し分析者の主観・恣意性は排除される（再現性の高さ）

（MM3）オプションの自由度が高い

マクロ計量モデルは多くは年（暦年・年度）単位から四半期単位⁵⁾のある程度の

5) 一部には「月次モデル」や「週次モデル」の試みもあるが一般的ではない。

長さの時系列データに基づく連立方程式体系であり、したがってこれを解いて得られる解は全体的な整合性をもち（MM1）、モデルの依拠する経済理論とも整合的である。これは各種経済変数の動きが相互に制約として働き合う結果ともいえ、経済をマクロの観点からみる際に極めて重要な点である。

また、推定されたパラメータが客観性をもつ（ということは再現性をもつ）という点も長所として挙げられよう（MM2）。前述のように説明変数群の選択に関しては分析者の主観が入ることは否めないが、ここでいう「客観性」はそうしていったん関数形を定めさえすれば、そこから得られるすべてのパラメータはデータに完全に依存し、有限回の代数的手続きで定まる、という意味である。言い換えれば誰が行っても同じ結果となる（同一のデータセットからはすべてのパラメータが完全に再現可能である）ため、客観性・再現性が高いという点がすぐれているといえる。

ところで、現在稼働しているバージョンの各国モデルはいずれも貿易リンク目的のため、貿易に関しては財種別・相手国別というやや詳細な構造にしてあるが、その他の需要項目は一部を除きとくに細分化を行っていない（たとえば民間消費を耐久財と非耐久財消費に分けるとか、民間投資を設備・工場建設・住宅投資に分けるなど）。こうした部門別の細分化を進めることでマクロ計量モデルでは、ここでの「貿易ブロック」と同様、中心となる本体部分は同一でも目的・用途により「金融ブロック」「財政ブロック」「投資ブロック」といった特定の分野にとくに注目したブロックを附加することが容易である。なお、これら附加的な部分から本体部分へのフィードバックを考慮すれば全体として有機的に完結したモデルとなるが、一方、附加部分を単なる参照のための計算用ブロックとすることもしばしば行われる。たとえば本体部分の輸出入関連変数群から「貿易収支」「経常収支」を算出する、とか、より単純なものとしては「米ドル建て1人当たり所得」を算出するなど、本体へのフィードバックを考慮しないもの⁶⁾である。とくにこのような参照用ブロックは不要になればそのまま外してしまっても本体部分への影響が皆無であるという意味で多く用いられる。分析対象や目的に応じてこうした疎密（オプション）を自由に選べる点はマクロ計量モデルの利点の1つといえる（MM3）。たとえば植村（2010）ではアジア経済研究所で運用されてきた各国・地域のマク

6) このような式やブロックを、愛情をこめて「盲腸」と呼ぶことがある。

ロ計量モデルを1990年代以降の活動を中心にまとめているが、1997～98年のアジア通貨危機時の各国モデルは軒並み貿易および国際収支ブロックを充実させている。少し長いが引用する。

この時期、各国モデルには「戦時シフト」ともいうべき変化が生じている。
(略) 国際収支ブロックをモデルに組み込み、本体部分である国民経済計算ブロックとの接続を工夫することにより、貿易及び経常収支赤字の対GDP比などを算出する仕組みを導入している。(略) 算出された各種指標は確認用という位置づけであり、それがモデル内にフィードバックされる構造とはなっていない(略)。

この記述からもわかるように、これら国際収支ブロックはその運用目的がなくなればそのまま取り外しても本体部分には影響はない。実際翌年度の各国モデルの方程式数は旧に復している。

一方マクロ計量モデルの短所としては、以下のような点が挙げられる。

(マクロ計量モデルの短所)

(MD1) データ時系列が短すぎると適用不能

(MD2) 経済の構造変化に対応不能

(MD3) 説明変数の選び方には主観が入る

マクロ計量モデルは時系列データを用いるという本質的な問題のため、使用可能なサンプルサイズ(時系列の長さ)によっては自由度低下のために構造方程式推定の制約に直面することがある(MD1)。とりわけデータ整備状況が未熟である後発途上国を対象とする分析では、短い長さの年次データしか公表されていない(もとより四半期データは入手不能)というケースにしばしば直面する。自由度が低ければ推定式に導入する説明変数の数も制約を受けるし、得られるパラメータの統計的有意性も満たされにくくなる。結果としていくつかの関数を適切に推定できず、すなわちまともなモデルを構築することができない、ということにつながる。

つぎに、構造パラメータがいったん推定されれば不変（構造パラメータの硬直性）という問題はこのモデルが生来的にもつ課題といえよう（MD2）。この理由から、アジア通貨危機やリーマンショックといった、経済構造そのものが変化してもおかしくないような局面（その時点では変化するかしないかはわからない）でそれまでのモデルが適用できなくなるという弱点があらわになる。仮にそこまで大きな変化でなくとも、ある政策が施行されればそれにより人々の行動が変化するから同じモデルでは見通せないはずである（ルーカス批判・前述）という批判もある。とくに、そうした事象が発生した直後（構造が変わろうとしている局面）に、それ以前（構造変化前）の情報で構築されたモデルを用いてその後（構造変化後）の推移状況を予測したいという目的への適用⁷⁾は事実上不可能といえる。このような世界的に波及するような規模の事象のほかにも、各国レベルでみれば

- ・大規模災害
- ・政変やクーデタ、対外戦争
- ・条約改正、新規締結、脱退等

といった内的・外的イベントのために経済構造が変化することは考えられるし、実際発生している⁸⁾。ところで、上記2点を考慮すると、比較的短い期間に工業化が進んだ、たとえばASEAN先行国については「比較的長い時系列データが利用可能」である一方で、その期間内に経済の根幹をなす産業が一次産品関連から製造業へという変化が起きていることから、たとえば1970年代から直近までのデータが利用可能であるとしても、単にサンプル数が多いという理由で全期間をとおして同一の定式化でよいのか、それで得られたパラメータは正しくその国の特徴を表しているといつてよいのか、という「短所が克服されたようにみえても別の問題に遭遇する」という背反に直面することがある。

問題点の3つ目は、構造方程式を作る部分で経済理論に基づくとはいえ、どの

7) こういう需要・要請が多いことは明らかであろう。

8) 1980年代中ごろから起こったフィリピンの民主化への動きは経済にも大きな構造変化をもたらした。GDPと民間消費（いずれも実質値）の散布図を描いてみると、1984、1985年あたりを境に完全に別々な2本の直線が現れることから確認できる（植村2018）。

説明変数を選ぶかについては分析者の主観が入る、という批判（シムズの批判・前述）に基づくものであるが、こちらについては原理的な解決方法はない（MD3）。MD2とMD3は、いずれもMD1のような数学・統計学上の問題点ではなく、「人の行動」に目を向けたものである。このうちMD2は観察対象となる人（経済主体）、MD3は観察する側（分析者）に着目したものといえる。

渡部（2014）は、DSGEやVARモデルがマクロ計量モデルの不備を補う形で表れてきたものの、それらにも問題点が存在することを指摘した上で「（マクロ）計量経済モデルのようにデータ・理論・人間の主観的判断が入り混じったモデルは、純粋科学として経済学を目指す人にとっては物足りなく見えるのかもしれない」と述べている。

3-2. 応用一般均衡（AGE）モデル

続いて、AGEモデルを利用するメリットおよびデメリットについて解説する。まず主要な長所から確認していこう。

（AGEモデルの長所）

（AM1）一時点分のデータさえあればモデルを作成することが可能

（AM2）入手可能なデータが許す範囲内でモデルの設計を柔軟に行うことが可能

（AM3）モデルに含まれるすべての財・サービス・生産要素などに対する経済効果を価格と数量の両面から分析することが可能

ある程度の長さがある時系列データをもとに推計されるマクロ計量モデルなどとは異なり、一時点に関するデータさえ入手できれば、静学的な分析を行うためのAGEモデルを作成することが可能である（AM1）。極端な例を挙げるならば、ある年を対象としたある国の国内総生産（Gross Domestic Product: GDP）を構成する労働所得および資本所得、付加価値の生産や消費に関連するいくつかの税收、海外との取引額（輸出と輸入が分離されていないネットの値でもよいかもしれない）程度の情報があれば、「何らかの税率を変化させた場合に賃金がどの程度変動するか」や「海外との取引状況が変化した場合に国内経済にどのような影響が出るか」、「自然災害によって資本設備の一部が失われてしまった場合の経済的損失はどの

程度か」などの分析を数量的に行うことができる。上記情報が足りないような場合でも、工夫さえすれば「使える」モデルを作成することは十分に可能である。この利点により、AGEモデルの黎明期には、世界銀行をはじめとする国際機関などがアフリカの低開発諸国などに対して構造調整融資を行う際に、貸与条件を選定・設定するための情報提供ツールとして盛んに利用された。情報が少なければ少ないなりに小規模なモデルを作成することができ、情報が豊富に利用可能であればそれだけ分析対象を細分化したり、分析可能な範囲を増やしたりしていくことが可能であるのがAGEモデルの利点である。

入手可能な情報の種類や量によってモデルの規模や分析対象を柔軟に選択可能であるだけでなく、入手したデータを利用して作成することのできるモデルの幅が広いこともAGE分析の利点である（AM2）。たとえば貿易政策などについて評価するためのモデルを作成する際に、同一のデータを利用してHeckscher-Ohlin型の貿易を仮定したモデル、Heckscher-Ohlin型の貿易にArmington(1969)による製品差別化を導入して双方向貿易を取り扱うことができるようにしたモデル、そしてKrugman(1980)による製品差別化と独占的競争を仮定したモデルなどを作成することが可能である（Heckscher-Ohlin型の貿易を仮定したモデルで使用するデータはほかのケースより少なめ）。さらに、生産性の面で異質な企業の分布に関するShapeパラメータの情報（場合によっては1点の数値のみ）さえ追加することができれば、Melitz(2003)が提案した異質な企業による製品差別化と独占的競争を応用したモデルを作成することさえできるのである。さらに、同じ理論をもとに構築されたモデルであっても、生産関数や効用関数、それらを構成するさまざまな集計関数群の関数形についても、自由に選択することが可能である（複雑な関数形を採用する場合には追加情報が必要となる）。関数形だけでなく、生産構造や貿易などに関する取引構造など、取り扱おうとする経済の細部に至るまで自由に設計することが可能である。あるケースでは追加情報が必要となり、ほかのあるケースでは追加情報なく複雑化を行うことができたりする。AGE分析において、データによってカバーできない部分は経済理論が補う（環境問題を取り扱うケースなどのように経済学以外の分野の理論が応用されることも少なくない）。AGE分析はあくまでも応用研究であって、理論研究およびその有効性を検証するための実証研究の蓄積なくしては成立しない分野であるといえる。

最後に、AGEモデルに含まれる本質的なすべての経済変数は価格か数量に分類される。そのため、GDPや所得など通常「価値」で取り扱われるような指標であっても、背後に隠れている構成要素ごとに価格と数量の変動を追跡することが可能である（AM3）。たとえば、モデルに何らかのショックを与えて「GDPが増えた」といった場合、GDPを構成する労働所得と資本所得のどちらが増えたのかによって政策的含意はまったく異なってくるであろうし、労働所得が増えた場合であっても賃金率が上昇して一部の産業では大幅な雇用減が発生しているかもしれない。また、所得が増えてもそれ以上に消費財価格が上昇していれば、消費可能な量は減少して厚生水準（消費から得られる喜びの度合い）は下がる。この消費財価格の上昇は物価水準（GDPデフレーターを含む）によって追跡されるものだけではなく、物価水準が下がっている状況下で消費財価格のみが上昇するケースも十分にあり得る。後述するようにAGEモデルで絶対価格としての物価水準を取り扱うことは容易ではないが、個々の財・サービス・生産要素などについて価格と数量の両面から変動を追跡することが可能である。

それでは、デメリットに移ろう。主要な短所は以下のようなものである。

（AGEモデルの短所）

（AD1）ワルラス法則の呪縛から逃れることができない

（AD2）基準データを構成する主要な情報のすべてが完全に統合され、選択された経済理論やモデルの構造と一体になって整合性を保っていなければならない

（AD3）モデルの設計を柔軟に行うことが可能な反面、ベースとする経済理論、モデル構造、仮定の置き方、構造方程式の関数形などの選択の違いによって分析結果が大幅に異なる可能性が高く、それらの（客観的）選択基準も存在しない

一般均衡モデルであるAGEモデルでは、常にワルラス法則が成立する（AD1）。ワルラス法則が成立する世界では、モデルに含まれる各種市場（そこでは財・サービス・生産要素などの需要と供給が一致するように価格が決定される）の1つを除く残りがすべて均衡すると、常に最後に残った一市場も自動的に均衡することになる。

このことは自動的に均衡する市場に関する財（ニューメレールと呼ぶ）の需要と供給を結びつける条件式が不要となることを意味し、その結果、その市場で決定される均衡価格をモデル内で決定することができない。したがって、ニューメレールの価格はモデルの外から与える必要があり、モデル内で決定される価格はすべてニューメレール価格との相対価格として表現されることになる。AGEモデルが拠り所とすることの多い新古典派経済理論の世界において物価水準は最終的に貨幣供給量と貨幣需要のバランスによって決定されることになるため、貨幣市場を考慮せずに絶対価格を取り扱うことは難しい。さらに新古典派経済理論では通常、貨幣が超中立性をもつため、名目変数を完全に捨象して実質変数のみを分析対象とすればよいことになっている⁹⁾(Sidrauski 1967)。つまり、AGEモデルでは相対価格しか取り扱うことができず、インフレーションなど絶対価格水準の変化について分析することは非常に難しい。これがAGEモデルの最大の弱点であると筆者は感じている。

ここで、貨幣や金融市場との関連において、いくつか記しておきたい。まず、開放経済を分析対象とするAGEモデルで為替レートを取り扱っているケースが存在するが、一般の人々が想像するような為替市場が考慮されていることはほぼないといえ、各国・地域における所得の限界効用の比率を実質為替レートとして計算しているだけであることが大半である。これは、Negishi(1960)の社会的厚生関数において経済主体の効用を積算する際に使用するウェイト（所得の限界効用の逆数）を読み替えたものにすぎない。つぎに、前向きの予想を仮定した動学モデルにおいて企業の投資計画と家計の貯蓄計画を結びつける資本市場（ここで利率が決定される）をいくつかの資金調達チャンネルごとに細分化して各種金融市場として取り扱おうと試みている例があるが、各種金融資産（もしくは金融商品）の収益率の違いをリスクプレミアムと考えると、リスクプレミアムが外生的に与えられているかぎりにおいて、国債など最も変動リスクが少ないと考えられる資産の無リスク金利さえモデル内で計算できればそれでよいことになる¹⁰⁾（つまりモデル

9) 新古典派理論の枠組みのなかで貨幣が超中立性を失う状況を想定した小野（1992）などの研究もあるが、極限に関する議論が中心であるために数値分析用のモデルに応用することは現実的ではない。

10) モデルに貨幣を含めた場合にはもっているだけでは利子を生まない貨幣が安全資産ということになり、他の金融資産に関係する利率はすべての部分がリスクプレミアムであることになってしまう。

内に利子率が1つ存在すれば十分である)。他方、リスクに関するモデル化がしっかりとなされていてリスクプレミアムが内生的に決まるようなケースや、リスクを政策変数として外生的に変化させて各種金融資産の保有率が変動する様子を分析対象とするようなケースであれば、金融資産ごとに市場を分割する意味を見出すことができるだろう。これら金融部門をAGEモデルに組み込もうという試みはいまだ試行錯誤の段階にあるといえ、金融理論などに忠実に誰もが納得できるような形で導入することに成功した例を筆者は知らない（アドホックな形で導入されているものは少なからず見つかる）。自分自身の仕事を含め、今後の発展に期待したい。

2つ目の弱点は、分析対象とする経済に含まれるすべての市場、およびその周辺で活動するさまざまな経済主体の行動を同時に取り扱う都合上、モデルが使用するデータ内で各種経済主体が支払った金額の総額と受け取った金額の総額がきちりとバランスしているなどの必要性があり、計上漏れなどがあってはならないという点である（AD2）。たとえばモデル内で非関税障壁を取り扱おうとする場合、非関税障壁として想定される「手続きにかかる時間」や「書類作成に関するコスト」などが完全に金額として評価され、誰がそれを支払って（どのようなチャンネルを経て）誰がそれを受け取るのかをデータ上で明確に追跡できなければならず、それが支払い側と受け取り側で異なっているとはならない。つまり、複数の異なる情報ソースからデータを持ち寄ってそのまま使用するということが難しい。また、データの辻褄が合っていればそれで十分というわけではなく、モデル設計の段階で採用する経済理論とも整合的であることが必要である。たとえば、理論のなかで「 $A > B$ 」のような変数間の大小関係に関する条件が重要な役目を果たしているような場合、データもその条件を満たしていなくてはならない。経験上、入手した情報が応用したい経済理論と整合的でないケースに頻繁に直面する。モデルの作成に入る前の段階で入手したすべてのデータの間の整合性を確認し、齟齬が発生している場合には整合的になるようデータ自体が調整されることも多い。調整の方法としては、元データと変更後のデータの差をなるべく小さくするために一般化最小二乗法（Generalized Least Squares: GLS）を利用する方法や、信頼性があまり高くない元データを選んで誤差を吸収させる方法などが採られる。データの間の整合性を確認するために「社会会計表（Social Accounting

Matrix: SAM)」というものがしばしば利用される¹¹⁾。

弱点の3つめは、長所として挙げた (AM2) と対応するものである。モデルの設計を柔軟に行うことが可能である一方で、ベースとする経済理論、モデル構造、仮定の置き方、構造方程式の関数形などの選択の違いによって分析結果が大幅に異なってくるケースが少なからず発生し、場合によっては正反対の結論に至ることさえある。そして、それらモデル設計の段階で行われた選択を客観的に評価する基準が一切存在しない (AD3)。つまり、モデルのあらゆる部分に分析者の主観や恣意性が入り込み、それを排除することが非常に難しい。「大御所の先生が採用している仮定だから」とか「皆がそうしているから」、「こうするのが普通だから」などという非常に非科学的かつ非論理的な方法で自己の選択を正当化しようとする分析者も少なくない。

最後に、マクロ計量モデルの弱点として挙げられている「構造変化への対応」に関して触れたい。AGE分析においても、パラメータなどによって規定される経済構造は長期的に不変であるものとして取り扱われることが多い。時間の経過や経済環境の変動によって重要なパラメータの一部が変化すると考えるのであれば、それは分析のベースとして採用される経済理論に組み込まれているべきであると筆者は考える。たとえば、先に挙げたArmington(1969) による製品差別化を仮定する場合、異なるソースから輸入された財を集計する関数において各ソースのシェアを規定するパラメータ (ある種のカントリーバイアスを規定するもの) は不変であるとされる。それに対し、Krugman(1980) では当該部分が経済環境の変化によって内生的に変動するようなモデル作りがなされている。言い換えるならば、あくまでも不変であると考えられる部分のみをパラメータとして取り扱い、構造変化などによって変動する部分はすべて内生変数としてモデルに組み込まれるのが理想的な姿であろう。構造変化に対応できないのが弱点なのではなく、構造変化を十分に考慮しない理論をベースにモデルを構築するのが問題の起点なのではないか。

11) 誰もが利用できるような汎用モデルに対応した SAM が提供・公表されている例は見つかるかもしれないが、SAM は基本的に自分が設計したモデルに合うよう分析者自身の手で作成されるものである。

3-3. ベクトル自己回帰（VAR）モデル

VARモデルは多変量時系列計量経済学の手法の1つである。歴史的にVARモデルはSims(1980)の論文によってマクロ経済学の実証研究に導入された。その背景を一部繰り返しになるが概観しておこう。当時合理的期待の考えが台頭し、ルーカス批判によってそれまでの大規模マクロ計量モデルの問題点が認識されるようになった。その問題点とは、大規模マクロ計量モデルのパラメータが構造的ではなく、政策レジームが変化するとパラメータも変化してしまうが、モデルでは政策変更前のパラメータ推定値を用いるため、政策レジームが変わる環境下ではモデルが対応できず予測値が不正確になってしまう危険性があるというものである。また、シムズ自身も大規模マクロ計量モデルの別の問題点を指摘した。すなわち、モデルにおける各内生変数の決定式で決定要因となる変数の選択がモデル作成者の主観的判断に依存することが多く、マクロレベル、とりわけ経済主体があらゆる情報を利用して期待を形成するという環境下では、（本来ならば右辺に入るべき変数が取り除かれるなど）必ずしも整合性が担保されないということである。しかしながら、同時にシムズは、それまで大規模マクロ計量モデルが目指してきたデータ（つまり現実）と理論の「架け橋」、あるいはデータと理論の「対話の場」、という役割は依然として重要だと考え、このモデルの問題点を克服できるフレームワークとしてVARモデルの使用を提唱したのである。今日に至って、VARはマクロ経済学の実証研究で欠かせない主要な分析ツールの1つとなった。

VARモデルのより詳細については、田口・ブー（2018）で、マクロ経済学でよく使用されている他のタイプのモデルと関連付けながら、解説されている。また、本書の第4章においても実際の分析事例のなかでVARモデルの説明がある。このほか、VARモデルの基礎を本格的に学びたい読者や、VARモデルの最近の発展を知りたい読者には、Kilian and Lütkepohl(2017) やFomby, Kilian and Murphy(2013)などを勧めたい。

以下では、VARモデルの長所と短所についてそれぞれ3つずつ取り上げ、説明したい。ただし、これらの長所と短所は、実証研究でよく用いられている手法との比較のもとで考えるという部分がある。また、長所か短所かは捉え方次第、つまり、同じことであるが、捉え方によって長所にもなり、短所にもなるという場合がある。そして、記述内容に筆者らが実際の研究のなかで経験したことが反映

されるという点にも留意されたい。

(VARモデルの長所)

(VM1) 変数間の動学的相互依存関係を扱うのに適切な実証分析手法

(VM2) 不確実性を明示的に扱うモデル

(VM3) マクロ経済学の発展を取り入れ、主要なツールとして幅広く活用できる

1つ目の長所は、変数間の動学的相互依存関係を分析するのに適していることである (VM1)。マクロ経済の分析において、「相互依存」と「動学的」は変数間の関係の特徴づけるキーワードである。たとえば、家計の消費とGDPの関係について考えると、消費は総需要の構成要素の1つであり、GDPの恒等式からもわかるように、GDPに影響するものである。一方、ケインズ型消費関数でみられるように、GDPは所得の面では総所得を通じて消費に影響を与える。やはり、両者の間には相互依存関係が存在するのである。なお、相互依存関係が同時点において成立する場合は同時決定という関係となる。つぎに「動学的」については、経済変数は経済主体の行動の結果として実現するものであるが、経済主体が意思決定を行う際に、現時点のみならず、過去や将来の要因からも影響を受けるため、経済変数は自身や他の変数の過去や将来の値に依存する。消費を例に挙げると、ある時点の消費は、習慣形成などの理由で過去の消費に依存し、また、貯蓄や将来の期待を通じて過去の所得や将来の所得にも依存すると考えられる。このように、経済変数間の関係に対して、同時点のみならず、異時点でみる必要があるということがよくある。

変数間の動学的相互依存関係が存在するもとでは、経済で発生する外生的な変化（たとえば、マクロ経済政策や貿易協定締結、外国経済の変化、自然災害、戦争、あるいは経済主体の選好や技術に対する外生ショックなど）の効果は、1期に完結するのではなく、複数期にわたって持続することがよくある。これは、マクロ経済においてある出来事の経済効果を測る際においてとくに重要なポイントとなる。

VARモデルは、多変量でラグの変数があるという構造をもつため、このような変数間の動学的相互依存関係を扱うことが可能である（逆にいうと、静学モデルや単一方程式モデルは不十分となる）。VARモデルの実践において、外生ショックに

対する内生変数の反応を示すインパルス応答関数や、内生変数の変動に対する外生ショックの寄与度を示す分散分解、内生変数の実現値における外生ショックの寄与度を示す歴史的分解といった分析ツールが用いられる（応用例については第4章を参照されたい）が、これらは変数間の動学的相互依存関係を定量化、視覚化するために開発されたものである。

VARモデルの2つ目の長所は、不確実性を明示的に扱うことである（VM2）。これだけ述べると少し抽象的に聞こえるかもしれないが、この点は経済モデルや計量経済学の理解において極めて重要である。たとえば、新聞で「〇〇貿易協定でGDPは2%増加する」というニュースをみると、思慮深い読者は（何らかの経済モデルを用いた試算であろうが）、この数字はどの程度信じていいのか、と思うかもしれない。もちろん現実では公表された試算の数字に政治的な意図などもあり得るが、仮にそのようなものがなく、数字は純粋な経済分析の結果として出てきたもののだとしても、やはり上記の疑問は残るだろう。専門用語でこの疑問を捉えようと、2%という数字にどのぐらいの誤差幅があるかということになる。そして、その誤差幅の背後にあるのは不確実性なのである。

実証分析で用いる経済モデルに不確実性は付き物である。なぜかという、モデルは現実を単純化するもので、モデル化の過程で必然として捨象される現実の部分は必ずあるからである。したがって、現実のデータを用いる推計において、モデルで想定されない要因、あるいはデータが観測されない要因が必ず存在するが、それらを捉えるために誤差項が設けられるのである。誤差項はモデルで説明されないすべての要因を捉えるものであり、不確実性の源となる。不確実性ゆえに、推定されるパラメータに対して信頼区間という概念が必要であり、推定されるパラメータのもとで計算される変数の予測値やその関数となる何らかの経済効果などの予測値に対して誤差幅という概念が必要となる。

仮に不確実性がなく、誤差項が必要ないのであれば、モデルのパラメータの計測はかなり簡単になり、すなわち、パラメータ数と同じ数のデータ観測値を集め、連立方程式を解けばパラメータの真の値を得る。この場合、パラメータ推定作業において通常の統計学的な推定手続きは必要なく、問題は数学的な操作になる。さらに、いったんパラメータ値がわかると、それ以降現実で観測されるデータは完全に当てはまることとなり、あるいはモデルを使用して予測する場合、インプッ

トのデータから算出される予測値は実際の実現値と完全に一致することになる。もちろん、これは思考実験のための話であって、現実では起こり得ない。

不確実性をなくすことはできないが、その存在を認識しモデルで明示的に扱うことは、より現実をよく説明できるモデルを構築し、研究対象に対してより正しく理解するということにつながる。事実、誤差項の分布を調べることで、仮説の検定ができ、異なるインプリケーションをもつモデルに対してデータとの整合性から評価できるといったメリットがある。

VARモデルでは、誤差項を導入することで不確実性に対処する。モデルのほかの部分と統合される形で組み込まれる確率変数の誤差項をもつVARモデルは確率モデルなのである。このような形で不確実性を扱うのは、VARモデルに限らず統計学的手続きに基づくすべての計量経済モデルに共通するものであるが、上述のデータと理論の「対話の場」という目標を掲げているVARモデルにとってはとくに重要な点である。また、マクロ経済分析において、理論モデルを構築した上でパラメータを設定しシミュレーションを行うという手法（DSGEモデルで用いられるカリブレーションもこれに含まれる）もよく使用されているが、そのような手法では上述の仮説検定やモデル評価はできない。これを踏まえると、やはり、確率変数の誤差項を設けて不確実性を明示的に扱うことはVARモデルの重要な長所であるといえよう。

VARモデルの3つ目の長所は、応用幅の広さである（VM3）。使用用途として、基本的にVARモデルは、時系列変数の説明、予測、および外生ショックの効果分析に活用されているが、実際の研究ではさまざまなテーマの分析に応用されている。たとえば、金融政策や財政政策の効果、異なる経済単位（国、産業、市場、企業など）の間のリンケージや、ある外生ショック（米国の金融引き締め、原油価格高騰など）がある経済単位に与える影響、マクロ経済学で重要となる仮説や理論（マネタリスト学派の景気循環における貨幣供給の重要性や、実物景気循環〔RBC〕モデル vs. ニューケインジアンDSGEモデルなど）の検証などである。なお、本章の第4章ではVARモデルを活用し、外国からの直接投資が東アジア諸国のGDPや輸出に与える影響を分析する。もちろん、これらはほんの一部の応用例にすぎない。

応用分野をみてもVARモデルが幅広く使用されていることがわかる。たとえば、マクロ経済学のほかに、金融、貿易、投資、財政、労働、エネルギーといった経

済学のサブ分野でVARを用いた分析がみられている。

このようにマクロ経済学の実証研究でVARモデルが幅広く応用されている理由は次のように考えられる。まず、上述のようにVARモデルは、ルーカス批判やシムズ批判で指摘された重要な問題点を克服したモデルだからである。これらの批判はその後のマクロ経済学の発展に大きな影響を与え、現在においてその考えが広く受け入れられているが、VARモデルはこれらの批判に対応して提唱されたものである。また、多くのマクロ経済現象や問題は、さまざまな変数が動学的に相互作用しているもとで発生するという性質を有するが、上のVM1の箇所ですべてのように、VARモデルは正にこのような現象や問題の分析に適した手法である。さらに、多くのテーマに対して、比較的小規模のVARモデルでも十分に分析ができるということも理由の1つである。実際の応用事例では、使用されているモデルにおける内生変数の数は2～6の程度という場合が多い。なぜ少ない数の変数でも分析が可能となるかという点、VARモデルを使用する際に最も重要な作業は、内生変数を（他の変数に依存する）内生の部分と（外生変数やショックに依存する）外生の部分を分解することであるが、経済理論や現実の経済状況の考察に基づき適切な変数を選択できれば、この作業についてはVARモデルの推定が実行できるからである。

つぎにVARモデルの短所について述べよう。

（VARモデルの短所）

（VD1）ある程度の長さの時系列がないと使用できない

（VD2）ディープ・パラメータ推定や厚生分析などが扱えない

（VD3）一定の経済理論の理解や数学、プログラミングの知識が要求される

1つ目の短所は、ある程度の長さの時系列データがなければ使用できないことである（VD1）。これはVARのみならず、時系列データに基づく経済モデルに共通する問題である。VARは多変量モデルであることに加えラグ構造を内生するため、各方程式におけるパラメータ数は変数の数×ラグ数（定数項を除くとして）となることから、やはりそれよりもある程度多い観測値が必要となる。VARモデルを用いる分析でよく使用されるのは、年次、四半期、あるいは月次のデータであ

るが、たとえば、年次データの場合は最低限数十年分のデータが必要である。筆者らの実際の経験からすると、マクロ経済データの収集において、先進国の場合は比較的容易なことが多いが、発展途上国の場合は手間がかかり、場合によってはデータにアクセスできないか、データがまったく存在しないということも少なくなく、とくに過去に遡れば遡るほど困難さが増す。ただ、近年は一部の発展途上国において、データの公開や電子化が少しずつ進み、その国の統計局や経済当局（中央銀行など）、あるいはその国から協力を得た国際公的機関（世界銀行やIMF、OECD、アジア開発銀行など）のホームページからデータが入手でき、以前と比べて幾分か状況が改善されているというケースもみられている。

2つ目の短所としては、VARモデルでは扱うことができない変数があることである（VD2）。たとえば、DSGEといった理論モデルで家計の効用関数や企業の生産関数のパラメータなどのような、いわゆるディープ・パラメータは、ルーカス批判でも指摘されたように、政策レジーム変更に影響されないものであり、経済分析でその推定値を使用する必要があるが、VARモデルではこのようなパラメータを推定することはできない。なお、構造型VARで推定されるパラメータはこれらのディープ・パラメータの関数となる。ディープ・パラメータを推定するためには、理論モデルを構築する上で、その一部を一般化モーメント法（Generalized Method of Moments: GMM）などで推定するか、モデル全体をベイズ統計学の手法を用いて推定するといった方法が必要になる。

VARモデルで扱えない分析のもう1つは、経済厚生分析である。このようなタイプの分析は、経済政策効果の評価や政策ルール、制度設計の評価などで欠かせないが、VARモデルの守備範囲外となる。経済厚生分析を行うためには、消費者行動を記述する理論モデルを立て、それを上述の方法で推定する必要がある。

VARモデルの3つ目の短所としては、モデルを使いこなすためには一定レベルの経済理論に関する理解や数学の知識、プログラミングのスキルが要求されることである（VD3）。VARモデルを用いる際に、分析したい問題に合わせてどのような変数を選ぶか、誘導型からどのように構造型を識別するかが重要な作業となるが、ここでは経済理論が活用されることはよくある。ここで用いられる経済理論のレベルは分析事例によってさまざまであり、総需要・総供給（Aggregate demand-aggregate supply: AD-AS）モデルのようなマクロ経済学の入門レベルの

ものもあれば、DSGEモデルのような上級レベルのものもある。また、多変量モデルとしてのVARを理解し、操作するためには行列に関する知識が必要となる。さらに、モデル推定において場合によっては分析者自身がコンピュータープログラムを作成しなくてはならないことがある。「場合によっては」と述べたのは、VARモデルを扱う際に構造型の識別方法がいくつかあり、そのなかでよく使用されている方法についてはEviewsやStata, Matlab, Rといった汎用計算ソフトウェアでビルトインのコマンドやサブルーチンが提供されており、比較的簡単な操作で実行できるが、それ以外の識別方法については分析者が自らプログラミングを行う必要がある。ただ、近年において世界中でVARモデルを使用する研究者が増えており、なかには自らの研究で作成したプログラムをインターネット上で公開している人も多いので、これらのプログラムを利用することでモデル推定に費やす労力を削減するのみならず、さまざまな新しいテーマに分析の幅を広げることが可能になっている。

この「3つ目の短所 (VD3)」に対しては読者のなかには異なる捉え方の人もいるかもしれない。たとえば、短所と考えず、VARモデル使用上で前提とされる知識やスキルはある意味で当然だという考えがあろう。というのも、経済理論、広くいえば経済学の知識なしに経済問題を分析することは何の意味があるのかといえなくもないのである。また、経済分析は機械的に行うものではなく、むしろ経済理論の理解や数学、プログラミング等の技術的なスキルを自由自在に活用することこそが自らの腕の見せ所だという考えもある。もしそうであれば、上で述べたVARモデルの応用における要求は、VARモデルの短所ではなく、分析者自身の関心や嗜好、能力に合わせて独創性のある研究ができるという意味ではむしろ長所に数えるべきなのかもしれない。

〔参考文献〕

〈マクロ計量モデル〉

- 植村仁一 2010. 「開発途上国マクロ計量モデルの歴史的展開（Ⅱ）——1990年代以降のアジア経済研究所の活動を中心に」 野上裕生・植村仁一編『政策評価のためのマクロ計量モデル』基礎理論研究会報告書，第2章，アジア経済研究所。
- 2018. 「マクロ計量モデルの概要」『マクロ計量モデルの基礎と実際——東アジアを中心に』アジ研選書47，第2章，アジア経済研究所。
- 田口博之，ブー・トゥン・カイ 2018. 「実用経済モデルの系譜と本プロジェクトの位置づけ」『マクロ計量モデルの基礎と実際——東アジアを中心に』アジ研選書47，第1章，アジア経済研究所。
- 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，日本経済新聞デジタルメディア。

〈AGEモデル〉

- 小野善康 1992. 『貨幣経済の動学理論——ケインズの復権』東京大学出版会。
- Armington, P. S. 1969. “A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production.” *International Monetary Fund Staff Papers* 16(1): 159–178.
- Johansen, L. 1960. *A Multi-Sectoral Study of Economic Growth*. Amsterdam: North-Holland.
- Jorgenson, D. W. 1984. “Econometric Methods for Applied General Equilibrium Analysis.” In *Applied General Equilibrium Analysis*, edited by H. Scarf and J. B. Shoven, Cambridge: Cambridge University Press.
- Krugman, P. 1980. “Scale Economies, Product Differentiation, and the Pattern of Trade.” *American Economic Review* 70(5): 950–959.
- Melitz, M. J. 2003. “The Impact of Trade on Intra-Industry Reallocations and Aggregate Industry Productivity.” *Econometrica* 71(6): 1695–1725.
- Negishi, T. 1960. “Welfare Economics and Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy.” *Metroeconomica* 12: 92–97.
- Shoven, J. B. and J. Whalley 1984. “Applied General-Equilibrium Models of Taxation and International Trade: An Introduction and Survey.” *Journal of Economic Literature* 22(3): 1007–1051.
- Sidrauski, M. 1967. “Rational Choice and Patterns of Growth in a Monetary Economy.” *American Economic Review* 57(2): 534–544.

〈VARモデル〉

- 田口博之，ブー・トゥン・カイ 2018. 「実用経済モデルの系譜と本プロジェクトの位置づけ」『マクロ計量モデルの基礎と実際——東アジアを中心に』アジ研選書47，第1章，アジア経済研究所。
- Fomby, Thomas B., Lutz Kilian and Anthony Murphy, eds. 2013. *VAR Models in Macroeconomics - New Developments and Applications: Essays in Honor of Christopher A. Sims*. Advances in

Econometrics 32, Emerald Group Publishing Limited.

Kilian, Lutz and Helmut Lütkepohl 2017. *Structural Vector Autoregressive Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.

Sims, Christopher A. 1980. "Macroeconomics and Reality." *Econometrica* 48(1): 1–48.

©Jinichi Uemura, Kazuhiko Oyamada and IDE-JETRO 2022

本書は「クリエイティブ・コモンズ・ライセンス表示-改変禁止4.0国際」の下で提供されています。
<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.ja>

