

クリストファー・シムズ教授講演 “Credit and Crises”解説

一橋大学経済研究所教授

渡部 敏明

Watanabe Toshiaki

1 はじめに

一橋大学では、日本学術振興会「頭脳循環を加速する戦略的国際研究ネットワーク推進プログラム」(以下、「頭脳循環プログラム」)により、プリンストン大学のクリストファー・シムズ教授を2017年1月29日から2月3日までお招きした。まず最初に、来日の依頼を快諾し、お忙しい合間を縫ってお越しいただいたシムズ教授に感謝したい。

シムズ教授はマクロ経済の原因と結果をめぐる実証的な研究に関する功績で、2011年にニューヨーク大学のトーマス・サージェント教授と共にノーベル経済学賞を受賞している。また2016年の米国ジャクソンホール会議で、物価の決定には財政政策が重要だとするFTPL (Fiscal Theory of Price Level) について講演し、現在この理論が世界各国の政策当局から注目を集めている。

個人的には、筆者がイェール大学に留学していたときの指導教官であり、計量経済学やマクロ経済学についてさまざまなことを教わった。特に後述するマルコフ連鎖モンテカルロ法 (Markov Chain Monte Carlo : MCMC) は今ではよく用いられているものの、当時は経済学に入ってきたばかりでよいテキストがなかったので、マンツーマンで教えていただいた。シムズ教授の指導がなければ、今の私の研究はないので、大変感謝している。

1月31日に一橋大学にて、シムズ教授のセミナーを開催し、“Credit and Crises”と題する講演を行っていただいた。会場に集まった研究者、学生、実務家は100人を超え、シムズ教授の最新の研究に熱心に耳を傾けていた。講演後には活発な質疑応答が行われ、セミナーは盛況のうちに終了した。

本稿では、このシムズ教授の講演について解説を行う。なお、報告スライドと論文はダウンロード可能なので、本稿と併せて参照されたい¹⁾。

2 講演の概要

シムズ教授の講演の目的は、金融変数とインフレ率や生産量などのマクロ変数との関係を明らかにすることである。これらの変数の関係は、どのようなショックによりそれらの変数が変動しているかによって変わるので、シムズ教授は複数の変数や式を使うことによりさまざまなショックを考慮して分析すべきであると主張する。

このことを示すために、信用残高と景気の間を取り上げている。近年、Schularick and Taylor (2012)、Jordà, Schularick and Taylor (2016)、Mian, Sufi and Verner (2017) らは、信用残高が急速に増えると将来の景気後退の可能性が高くなる、すなわち、信用残高によって将来の景気を予測できるとの研究結果を示している。これは、サブプライム・ローン問題で金融危機が発生し、それによって不況になったことを考えると直感的である。しかし、経済発展論の分野では、一国の経済に占める金融部門のウェイト (financial depth) とその国の経済成長との間に正の相関があるとされており、実際、financial depthの代理変数として用いられる信用残高/GDP比率と経済成長との間には正の相関がある (スライド5頁および論文2頁のグラフを参照されたい)。シムズ教授は、このように相反する結果が得られるのは、信用と景気の関係がどのような周期のデータを用いるかやど

●著者紹介

1963年生まれ。1993年イェール大学大学院経済学研究科修了、Ph.D. (経済学)。東京都立大学教授、日本銀行金融研究所シニアフェローなどを経て、2006年より現職。専門は計量ファイナンス・マクロ計量分析。著書・論文：「ボラティリティ変動モデル」(朝倉書店、2000年)、「Bayesian Analysis of Dynamic Bivariate Mixture Models: Can They Explain the Behavior of Returns and Trading Volume?» *Journal of Business and Economic Statistics*, 18(2), pp.199-210, 2000など。

のようなショックによるかで異なるからであると、それらの関係を明らかにするためには複数の変数や式を用いて分析する必要があると考える。

そこで、本講演の分析では複数の式からなる構造VAR (Vector AutoRegression: 多変量自己回帰) モデルを用いている。構造VARモデルは Sims (19 80)においてシムズ教授自身が提案したモデルであり、現在、マクロ計量分析で広く用いられている。このモデルを用いるためには、ショックの識別のための制約が必要で、通常は経済理論からモデルのパラメータに制約を課すが、どのような制約が妥当かコンセンサスは得られていない。シムズ教授は特定の経済理論に基づいたアドホックな制約を用いることを避けたいという考えで、本講演の分析では、モデルのパラメータには制約を課さず、ショックを誤差項の分散不均一性によって識別している。VARモデルのショックの分散不均一性による識別はRigobon (2003)によって提案され、経済理論からではなく、計量経済学的にショックを識別する手法として近年注目を集めている。以下では、まず構造VARモデルと分散不均一性によるショックの識別について説明した後、主な分析結果について述べる。

3 VARモデルの分散不均一性による識別

VARモデルは、複数の変数のベクトルをその過去の値の線形関数として表す。 n 個の変数からなるベクトルを $\mathbf{y}_t = (y_{1t}, \dots, y_{nt})'$ とすると、これを以下のように p 期前までの値の線形関数としたものが、次数 p のVARモデルである。

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{B}_1 \mathbf{y}_{t-1} + \dots + \mathbf{B}_p \mathbf{y}_{t-p} + \mathbf{u}_t \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{B}_1, \dots, \mathbf{B}_p$ はそれぞれ $n \times n$ の係数行列である。また、 \mathbf{u}_t は $n \times 1$ の誤差ベクトルで、平均 $\mathbf{0}$ 、分散共分散行列 Σ_u で過去と無相関であると仮定する。シムズ教授のスライドや論文には右辺に定数項ベクトルが付いているが、ここでは簡単化のため、省略する。

通常、 $\mathbf{u}_t = (u_{1t}, \dots, u_{nt})'$ には互いに相関があるので、このままではショックの識別ができない。そこで、(1)式の両辺に同時点の変数間の関係を表す行列 \mathbf{A}_0 を掛けて、同時点の誤差項を無相関にしたものが構造VARモデルである。

$$\mathbf{A}_0 \mathbf{y}_t = \Phi_1 \mathbf{y}_{t-1} + \dots + \Phi_p \mathbf{y}_{t-p} + \boldsymbol{\epsilon}_t \quad (2)$$

ここで、 $\Phi_i = \mathbf{A}_0 \mathbf{B}_i$ ($i = 1, \dots, p$)、 $\boldsymbol{\epsilon}_t = \mathbf{A}_0 \mathbf{u}_t$ である。 $\boldsymbol{\epsilon}_t = (\epsilon_{1t}, \dots, \epsilon_{nt})'$ が互いに無相関であるなら、例えば、

$$\epsilon_{it} = \begin{cases} 1 & i = 1, t = 0 \\ 0 & \text{その他} \end{cases}, \quad \mathbf{y}_t = \mathbf{0} \quad (t < 0)$$

として、

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{B}_1 \mathbf{y}_{t-1} + \dots + \mathbf{B}_p \mathbf{y}_{t-p} + \mathbf{A}_0^{-1} \boldsymbol{\epsilon}_t \quad (3)$$

から \mathbf{y}_t ($t = 0, 1, \dots$) を逐次的に計算することにより、 ϵ_{10} に1単位のショックがあったときに、それが \mathbf{y}_t ($t = 0, 1, \dots$) に与える影響 (インパルス応答関数) を計測できる。

\mathbf{A}_0 の各項を調整することにより、 $\boldsymbol{\epsilon}_t$ の分散共分散行列を $n \times n$ の単位行列 \mathbf{I} にすることができるので、 $\boldsymbol{\epsilon}_t = \mathbf{A}_0 \mathbf{u}_t$ より以下の式が成り立つ。

$$\Sigma_u = \mathbf{A}_0^{-1} \mathbf{I} (\mathbf{A}_0^{-1})' = \mathbf{A}_0^{-1} (\mathbf{A}_0^{-1})' \quad (4)$$

この式の左辺と右辺は対称行列なので、 $n(n+1)/2$ 本の式からなる。それに対して、 \mathbf{A}_0 は一般に n^2 のパラメータからなるので、それらが一意に決まるためには、さらに $n(n-1)/2$ 本の式を追加する必要がある。この追加する式を「識別制約 (identification restriction)」と呼ぶ。例えば、Sims (19 80) で提案され、現在もよく用いられている短期のリカーシブ制約では、 \mathbf{A}_0 を以下のように下三角行列であると仮定する。

$$\mathbf{A}_0 = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & \dots & 0 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

その他の識別制約については宮尾 (2006) を参照されたい。また、宮尾 (2006) に書いていない識別制約で、近年よく用いられるものにUhlig (2005) によって提案された符号制約がある。

ここで、 $\boldsymbol{\epsilon}_t$ の分散共分散行列が τ 期まで単位行列であったのが、 $\tau+1$ 期以降、

$$\boldsymbol{\Lambda} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \lambda_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

に変化したとする。このとき、 τ 期までと $\tau+1$ 期以降の \mathbf{u}_t の分散共分散行列をそれぞれ Σ_{u0}, Σ_{u1}

とすると以下の式が成り立つ。

$$\Sigma_{u0} = A_0^{-1}(A_0^{-1})', \quad \Sigma_{u1} = A_0^{-1}\Lambda(A_0^{-1})' \quad (7)$$

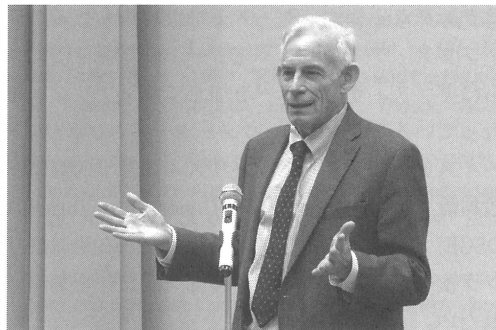
(7)式は計 $n(n+1)$ 本の式からなり、パラメータの数は A_0 の n^2 個に $(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$ が加わるので、計 $n(n+1)$ 個になる。そこで、識別制約を加えなくても A は一意に決まる。これが分散不均一性によるVARモデルの識別である。シムズ教授はこれを固有値分解を用いて示しているので、線形代数の得意な読者はスライド18頁と論文7頁の脚注8を参照されたい。ただし、ここでは初期の分散共分散行列を単位行列としているが、シムズ教授は各変数の分散の平均を1に基準化している。本講演では詳しい説明はなかったが、より一般的に誤差項の分散の変化点の数が $M-1$ の場合(分散に M 個のレジームがある場合)、式の数が $Mn(n+1)/2$ 、パラメータの数が $n^2+(M-1)n$ になるので、 $M > 2$ の場合は式の数がパラメータの数を上回り、過剰識別になる。そこで、変化点の数を過剰識別検定によって選ぶことができる。過剰識別検定については、宮尾(2006)を参照されたい。

上記の短期リカーシブ制約では、(5)式より、

$$A_0 y_t = [a_{11}y_{1t}, a_{21}y_{1t} + a_{22}y_{2t}, \dots, a_{n1}y_{1t} + \dots + a_{nn}y_{nt}]' \quad (8)$$

と表せるので、同時点では、 y_{1t} は他の変数には影響されず、 $y_{it}(i = 2, \dots, n)$ は $(y_{1t}, \dots, y_{i-1,t})$ のみに影響されることになる。そこで、経済理論から、 y_t は上から外生性の強い順に並べる必要がある。それに対して、分散不均一性による識別では分散の変化点を決めるだけであり、経済理論は必要ない。ただし、経済理論に基づかないので、各ショックが何のショックであるかは、インパルス応答関数の形状によって事後的に決めることになる。

シムズ教授は主に米国のFRB(Federal Reserve Board:連邦準備制度理事会)の金融政策の変化から分散の変化点を選んでいるが、分散の変動をGARCH(Generalized AutoRegressive Conditional Heteroscedasticity)モデル、マルコフ転換モデル、平滑推移モデル等によって定式化することもできる。これについては、Lütkepohl and Netšunajev(2017)を参照されたい。また、GARCHモデル、マルコフ転換モデル、平滑推移



講演を行うシムズ教授
[写真提供：一橋大学経済研究所]

モデルについては、渡部(2000)、石原・渡部(2015)、沖本(2010)等を参照されたい。

また、金融危機などの大規模なショックは分散の変化だけでは捉えられず、誤差項 ϵ_t の分布に正規分布を用いると結果にバイアスが生じる可能性があるため、分布の裾が厚い t 分布を用いた推定も行っている。他のマクロ計量モデルでも誤差項の分布の重要性が指摘されている(Cúrida, Del Negro and Greenwald(2014);石原・渡部(2015))。

シムズ教授はベイジアンであり、モデルのパラメータはMCMCを用いてベイズ推定している。ベイズ推定ではパラメータにデータを観測する前の分布である事前分布を設定する。本講演の分析で用いている事前分布については、論文の9~10頁を参照されたい。それをベイズの定理によってデータを観測した後の分布である事後分布に更新し、事後分布からパラメータの推定を行う。しかし、多くのモデルではベイズの定理によって事後分布を解析的に求めることが困難なので、事後分布からパラメータの値をサンプリングし、サンプリングされた値を用いてパラメータを推定する。事後分布が解析的に求まらなくても、そこからサンプリングすることを可能にしてくれるのがMCMCである。これは統計学で習うランダム・サンプリングとは違い1回前にサンプリングされた値に基づいて次のサンプリングを行う方法の総称であり、大きく分けるとメトロポリス・ヘイスティングス・アルゴリズムとギブス・サンプラーがある。ベイズ推定やMCMCについて詳しくは、古澄(2015)、中妻(2007, 2013)、和合(2005)を参照されたい。

本講演の分析では、誤差項が正規分布の場合に

はランダム・ウォーク・メトロポリス・ヘイスティングス・アルゴリズムを、 t 分布の場合にはさらにギブス・サンプラーを加えてサンプリングを行っている。ランダム・ウォーク・メトロポリス・ヘイスティングス・アルゴリズムは動学的確率一般均衡 (Dynamic Stochastic General Equilibrium : DSGE) モデルの推定に用いられているサンプリング法で、詳しくは藤原・渡部 (2011) を参照されたい。

4 分析結果

本講演の分析では、1973年1月から2015年6月までの米国の10変数の月次データを用い (データの詳細については、スライド22頁および論文12頁のTable 1を参照されたい)、分散の変化点を6つ選んで (スライド23頁および論文13頁のTable 2を参照されたい) 構造VARモデルの推定を行っている。

すでに述べたように、分散不均一性による識別では、各ショックが何のショックであるかは、インパルス応答関数の形状によって事後的に決めることになる。スライド24頁および論文37頁のFigure 2に、誤差項の分布を t 分布にした場合のインパルス応答関数が描かれている。6番目のショックは瞬時に金利 (R) を上昇させているので、金融政策のショックである。また、9番目と10番目のショックは瞬時に債券スプレッド (GZ, ES) を上昇させているので、金融政策以外の金融ストレスショックである。これらはどちらもその後、生産 (IP) を低下させている。

さらに、3番目のショックは瞬時に家計の信用残高 (HHC) を上昇させているので、家計の信用ショックである。これは生産 (IP) を一時的に増加させ、その後減少させている。このことは、本稿第2節で紹介したSchularick and Taylor (2012) らの研究が示した「信用残高が急速に増えると景気後退の可能性が高まる」との結果とも整合的である。しかし同時に、このショックが生産に与える影響はそれほど大きくなく、信用残高と生産両方に影響を与える他のショックはすべてそれらを同方向に動かすことも示している。

5 今後の発展に向けて

シムズ教授の講演は、シムズ教授の構築した構

造VARモデルをただ用いるだけでなく、分散不均一性によってショックの識別を行うという最新の手法を応用したもので、74歳という年齢にもかかわらず、今なおこうした最新の研究をされていることに敬服の念を抱いた。また、大規模なショックを考慮して誤差項 ϵ_t の分布を t 分布にするなど細かい配慮もなされている。本研究では米国のマクロ経済データを用いているので、日本について同様の分析を行うことは興味深い。その前に、いくつか拡張の余地があるので、それを述べて本稿の締めくくりとしたい。

1. 本研究では、(2)式の誤差項 ϵ_t の分散のみが変化し、 $A_0, \Phi_1, \dots, \Phi_p$ は一定であると仮定している。しかし、それらが一定である保証はないので、それらの変動を考えた場合に、同じ結果が得られるかどうかは興味深い。例えば、Primiceri (2005) が、 $A_0, \Phi_1, \dots, \Phi_p$ と誤差項 ϵ_t の分散がすべてランダム・ウォークによって変動する時変パラメータVARモデルを提案している (詳しくは、中島・渡部 (2012) を参照されたい)、そうしたモデルを用いた場合との比較は重要であろう。
2. ロバート・ルーカス教授はLucas (1972) で、その当時主流であったケインズ経済学を基礎とする同時方程式体型的マクロ計量モデルに対して「経済政策を変更すると人々の行動が変化し、それによって計量モデルのパラメータの値が変化するので、過去のデータから推定したパラメータの値を使って政策変更の効果を計ることはできない」との批判を行った (詳しくは渡部 (2016) を参照されたい)。これは「ルーカス批判」と呼ばれ、VARモデルにも当てはまる。そこで、将来の期待を含み、また政策変更によって変化しない本源的パラメータ (deep parameter) を推定できるDSGEモデルを用いた分析も併せて行うべきであろう。本研究でDSGEモデルではなく構造VARモデルを用いた理由については、スライドの11~12頁に書かれているので、参照されたい。
3. 本研究では、パラメータの事後分布からのサンプリングにランダム・ウォーク・メトロポ

リス・ヘイスティングス・アルゴリズムを用いているが、この方法は事後分布への収束が遅く非効率であることが知られており、また、事後分布が単峰でない場合、一つのモードの周りからしかサンプリングされない可能性がある (Chib and Ramamurthy (2010) を参照されたい)。そこで、そうした問題の生じない、より効率的なサンプリング法を用いたほうがよい。誤差項の分布が t 分布の場合の効率的なサンプリング法については、Watanabe (2001)、渡部 (2005) を参照されたい。

最後に、筆者はイェール大学大学院に在籍中、シムズ教授のマクロ経済学のティーチング・アシスタントをしており、シムズ教授の講義をわかりやすく学生に解説するのが仕事であった。それから25年後に、再びシムズ教授の講演の解説をすることになるとは思いも寄らなかったが、当時を懐かしく思い出しながら、本稿を執筆させていただいた。

謝辞

筆者と同じくシムズ教授の学生であった一橋大学の塩路悦朗氏、陣内了氏、東京大学の新谷元嗣氏には、シムズ教授の来日中のお世話を手伝ってもらった。また、浜田宏一内閣官房参与にはシムズ教授に訪日を勧めていただいた。さらに一橋大学経済研究所「頭脳循環プログラム」の神林龍氏、日本経済研究センターの村井浩紀氏、神奈川大学の飯塚信夫氏、一橋大学経済研究所の松崎有紀さんや事務の方々、秘書の丸山晶子さんにも大変お世話になった。国際決済銀行の中島上智氏には本稿に関して貴重なコメントをいただいた。ここに記して感謝の意を表したい。

注

- 1) [報告スライド] <http://www.ier.hit-u.ac.jp/Common/seminar/FeedbackSlides.pdf>
 [論文] <http://econ.la.psu.edu/classes-seminars/seminars/SimsMacroFinancial.pdf>
 これらの報告スライドと論文はタイトルが異なっているが、シムズ教授によると同じ内容とのことである。

参考文献

Chib, Siddhartha and Srikanth Ramamurthy (2010) "Tailored Randomized Block MCMC Methods with Application to DSGE Models," *Journal of Econometrics*, 155 (1), pp.19-38.
 Cúrdia, Vasco, Marco Del Negro and Daniel L. Greenwald (2014) "Rare Shocks, Great Recessions," *Journal of Applied Econometrics*, 29 (7), pp.1031-1052.
 Jordà, Òscar, Moritz Schularick and Alan M. Taylor (2016)

"The Great Mortgaging: Housing Finance, Crises, and Business Cycles," *Economic Policy*, 31 (85), pp.107-152.
 Lucas, Robert E. Jr. (1972) "Expectations and the Neutral of Money," *Journal of Economic Theory*, 4(2), pp.103-124.
 Lütkepohl, Helmut and Aleksei Netsunajev (2017) "Structural Vector Autoregressions with Heteroskedasticity: A Review of Different Volatility Models," *Econometrics and Statistics*, 1, pp.2-18.
 Mian, Atif, Amir Sufi and Emil Verner (2017) "Household Debt and Business Cycles Worldwide," *Quarterly Journal of Economics*, forthcoming.
 Primiceri, Giorgio E. (2005) "Time Varying Structural Vector Autoregressions and Monetary Policy," *Review of Economic Studies*, 72(3), pp.821-852.
 Rigobon, Roberto (2003) "Identification Through Heteroskedasticity," *Review of Economics and Statistics*, 85 (4), pp.777-792.
 Schularick, Moritz and Alan M. Taylor (2012) "Credit Booms Gone Bust: Monetary Policy, Leverage Cycles, and Financial Crises, 1870-2008," *American Economic Review*, 102 (2), pp.1029-1061.
 Sims, Christopher A. (1980) "Macroeconomics and Reality," *Econometrica*, 48 (1), pp.1-48.
 Uhlig, Harald (2005) "What are the Effects of Monetary Policy on Output? Results from an Agnostic Identification Procedure," *Journal of Monetary Economics*, 52(2), pp.381-419.
 Watanabe, Toshiaki (2001) "On Sampling the Degree-of-Freedom of Student's- t Disturbances," *Statistics and Probability Letters*, 52(2), pp.177-181.
 石原庸博・渡部敏明 (2015) 「景気循環の計量分析——サーベイと日本の景気動向指数への応用」『経済研究』66(2)、pp.145-168
 沖本竜義 (2010) 『経済・ファイナンスデータの計量時系列分析』朝倉書店
 古澄英男 (2015) 『ベイズ計算統計学』朝倉書店
 中島上智・渡部敏明 (2012) 「時変ベクトル自己回帰モデル——サーベイと日本のマクロデータへの応用」『経済研究』63(3)、pp.193-208
 中妻照雄 (2007) 『入門ベイズ統計学』朝倉書店
 中妻照雄 (2013) 『実践ベイズ統計学』朝倉書店
 藤原一平・渡部敏明 (2011) 「マクロ動学一般均衡モデル——サーベイと日本のマクロデータへの応用」『経済研究』62(1)、pp.66-93
 宮尾龍蔵 (2006) 『マクロ金融政策の時系列分析——政策効果の理論と実証』日本経済新聞社
 和合肇編著 (2005) 『ベイズ計量経済分析——マルコフ連鎖モンテカルロ法とその応用』東洋経済新報社
 渡部敏明 (2000) 『ポラティリティ変動モデル』朝倉書店
 渡部敏明 (2005) 「マルチ・ムーブ・サンプラーを用いた確率的ポラティリティ変動モデルのベイズ推定法」和合肇編著『ベイズ計量経済分析——マルコフ連鎖モンテカルロ法とその応用』pp.259-294、東洋経済新報社
 渡部敏明 (2016) 「ルークス批判とマクロ計量分析」『経済セミナー増刊 進化する経済学の実証分析』pp.37-41、日本評論社