

令和元年度海外行政実態調査報告書

中央銀行・政府機関・国際機関におけるマクロ経済
モデルの利用および開発環境に関する調査
—米国・カナダの事例—

How macroeconomic models are developed and used at central banks, a government
agency, and an international institution in the United States and Canada

特別研究官 廣瀬 康生（慶應義塾大学経済学部教授）

令和2年3月

調 査 課

目次

1. はじめに	1
2. マクロ経済モデルの必要性および種類	3
2.1 伝統的マクロ計量モデル	4
2.2 VAR (Vector Autoregression : ベクトル自己回帰) モデル	4
2.3 DSGE (Dynamic Stochastic General Equilibrium : 動学的確率的一般均衡) モデル	5
2.4 準構造型 (Semi-structural) モデル	6
2.5 マクロ経済モデル分析のための計算環境	7
3. 連邦準備制度理事会 (Federal Reserve Board)	9
3.1 マクロ経済定量分析班 (Macroeconomic and Quantitative Studies Section) ...	9
4. カナダ銀行 (Bank of Canada)	12
4.1 カナダ経済分析局 (Canadian Economic Analysis Department)	12
4.2 国際局 (International Department)	13
4.3 金融安定局 (Financial Stability Department)	15
4.4 コーポレート・サービス局 (Corporate Service Department)	17
5. 議会予算局 (Congressional Budget Office)	20
5.1 マクロ経済分析課 (Macroeconomic Analysis Division)	20
6. 国際通貨基金 (International Monetary Fund)	22
6.1 経済モデル分析課 (Economic Modeling Division)	22
おわりに	25
参考文献	26
付録	28

1. はじめに

財政政策や金融政策等のマクロ経済政策を行う当局は、政策の方針を決定するにあたり、経済情勢が今後どのように推移するのか、政策がどのように波及しどの程度の効果を持つのか、といった点を把握することが重要である。しかし、経済予測には様々な不確実性を伴うほか、政策の効果をj知るために現実の経済を利用して実験を行うことは不可能である。このため、経済政策当局は、現実のマクロ経済構造を単純化した「マクロ経済モデル」を構築し、経済予測や政策シミュレーションを行っている。

マクロ経済モデルとは、現実の複雑な経済変動の背後にある構造を、経済理論に基づいて、数本～数百本からなる連立方程式で表現したものである。近年、経済理論の精緻化および数値計算技術の発展により、モデルの解法やパラメータの推定方法が極めて高度化しており、一通りのモデル分析に数週間から数か月かかることも少なくない。こうした状況に対応すべく、海外の中央銀行では、クラスター・サーバー（複数のコンピュータ・サーバーを接続し、並列計算を可能にしたシステム。以下「クラスター」という。）を導入しているほか、ITの専門家を雇用して計算速度の高速化を担当させるなど、大規模な投資を行っている。他方、我が国におけるマクロ経済政策関連当局では、一部のリサーチ部署を除いて、このような投資はあまり進んでおらず、ワードやエクセルの利用のみを想定したオフィス向けPCを用いて分析作業が行われている。

本報告書の目的は、海外の中央銀行・国際機関・政府機関において、マクロ経済モデルがどのように活用されているのか、マクロ経済モデルの開発・運用のために、どれほどの物理的投資および人的投資が行われているか、といった点を明らかにすることである。こうした情報は、日本でマクロ経済分析業務を行っている機関にとって、今後どのようなマクロ経済モデルを開発・運用し、そのための環境整備をどのように進めていけばよいかについての指針になるだろう。また、会計検査院にとっても、経済分析業務を行うこうした機関の研究開発業務および設備投資の状況を「経済性・効率性・有効性」の観点から点検する際の参考事例になると考えられる。

本報告書の作成にあたり、カナダ銀行（BOC: Bank of Canada）・米国連邦準備

制度理事会（FRB: Federal Reserve Board of Governors）・米国議会予算局（CBO: Congressional Budget Office）・国際通貨基金（IMF: International Monetary Fund）を訪問し、各機関のモデル担当者および IT 技術者との面談を行った（具体的な調査日程および事前に送付した質問リストについては付録を参照されたい。）。以下では、マクロ経済モデルとは何か、および、その種類と発展について概観した後、面談の内容に基づき、各機関・部署において、どのようなモデルを開発し、どのようにそれらを活用しているのかについて整理する。さらに、モデル担当部署の人員構成や、モデル開発および分析のためにどのような環境整備（ハード面・ソフト面）を行ってきたかを報告する。

本調査の実施に際し、訪問先の担当者はもちろん、会計検査院調査課のスタッフの方々からも多大なご支援とご協力を頂戴した。ここに記して感謝の意を表したい。なお、本報告書の見解は、筆者個人のものであり、訪問先の機関および会計検査院の公式見解を示すものではない。

2. マクロ経済モデルの必要性および種類

財政政策や金融政策といったマクロ経済政策を行う当局は、政策の方針を決定するにあたり、経済情勢が今後どのように推移するのか、政策がどのように経済全体に波及し、どの程度の効果を持つのか、といった点を把握することが重要である。しかし、これらを先見的に把握することは容易ではなく、何らかの「実験」が必要となる。物理や化学といった自然科学分野では、仮説や法則を検証するためにしばしば実験が行われるのに対して、経済学のような社会科学分野では、経済や社会の仕組みを理解するために実験を行うことが容易ではなく、多くの場合、ほぼ不可能である。例えば、中央銀行が利上げを行った場合に国内外の経済にどのような影響があるのかを知るために、中央銀行総裁が「試しに政策金利を1%引き上げてみましょう！」と言って現実の経済を使って実験を行うことは許されないであろう。

そこで、現実の経済ではなく、家計・企業・政策当局といった経済主体の行動を数式で表現することによって一国全体の経済を単純化した「マクロ経済モデル」と呼ばれるツールを利用して、経済の仕組みや経済政策の効果を理解しようという試みがなされている。コンピュータの中に仮想的な経済を構築し、その中で実験（シミュレーション）を行うのである。

マクロ経済モデルとは、現実の複雑な経済の構造を経済理論に基づいて数本～数百本からなる連立方程式で表現したものであり、その定式化のアプローチによって、いくつかの種類がある。実際、各国の中央銀行では目的に応じて異なる種類のモデルを使い分けており、予測や分析に関する頑健性の確認のためにも複数のモデルを用いるべきという「Suite of Models」の考え方が浸透している¹。本節では、マクロ経済モデルの必要性について述べた後、各国中央銀行および国際機関において主に活用されている（または、活用されていた）①伝統的マクロ計量モデル、②VAR（Vector Autoregression：ベクトル自己回帰）モデル、③DSGE（Dynamic Stochastic General Equilibrium：動学的確率的一般均衡）モデル、

¹ 中でも、経済分析業務において中心的に活用しているモデルをメイン・モデルと呼び、その他の必要に応じて活用するモデルをサブ・モデルと呼ぶ。

④準構造型（Semi-structural）モデルの特徴を整理する²。また、マクロ経済モデル分析のための計算環境の現状についても説明する。

2.1 伝統的マクロ計量モデル

伝統的マクロ計量モデルは、各国中央銀行および国際機関において長らく使われていたマクロ経済モデルであり、現在でもこの種のモデルをメイン・モデルとして活用している政策当局は少なくない。

この種のモデルは、行動方程式・市場均衡式・定義式といった方程式から構成されることから構造型モデルと呼ばれ、大規模なものであれば、方程式の数が数百本になるものもある。行動方程式は、何らかの経済理論に基づいているものの、必ずしも経済主体の最適化行動から導かれたものではない。モデルのパラメータは、各方程式を最小二乗法等で個別に推定して得られた値に設定するのが一般的である。基本的に、バックワード・ルッキングな期待形成³が仮定されているほか、短期的な経済変動を現実に近い形で再現できるよう、行動方程式にラグ変数を含め様々な変数が追加されていることから、予測精度は比較的良好である。

2.2 VAR（Vector Autoregression：ベクトル自己回帰）モデル

伝統的マクロ計量モデルのような構造型モデルは、何らかの経済構造を想定して定式化が行われるが、そもそも真の経済構造は分からない。そこで、経済構造を先見的に仮定せずにモデルを構築するのがよいのではないかとの考え方に

² 各国中央銀行および国際機関において活用されているマクロ経済モデルの種類および利用状況に関する詳細については、高橋・八木橋（2019）または一上他（2008）を参照。

³ 過去の情報を基に期待を形成することはバックワード・ルッキングな期待形成と呼ばれる。他方、将来の政策および経済情勢を予想しながら期待を形成することは、フォワード・ルッキングな期待形成と呼ばれる。

基づき、1980年初頭に現れたのがVARモデルである。

VARモデルは、ある変数を過去の自身の値で表現する自己回帰モデル（ARモデル：Autoregressive model）を2つ以上の変数（多変量）に拡張したものである。この種のモデルは、誘導型モデルと呼ばれ、各変数に対応するデータの相関関係によってパラメータが推定されることから、データに語るモデルであると考えられている。ただし、VARモデルに同時点や長期における経済変数間の依存関係を制約として加えたものは構造型VARモデルと呼ばれ、構造モデルの一種として解釈されることもある。いずれにせよ、経済構造に関する仮定を最小限にしており、過去のデータに基づいてパラメータが推定されるため、予測精度が高いモデルである。

2.3 DSGE（Dynamic Stochastic General Equilibrium：動学的確率的一般均衡）モデル

伝統的マクロ計量モデルやVARモデルは、過去のデータの相関関係によってモデルのパラメータが推定されることから、政策変更によってその相関関係が変わってしまう可能性があり、政策シミュレーションに向かないのではないかと批判があった（いわゆる、「ルーカス批判」（Lucas, 1976)）。また、上記のモデルは、バックワード・ルッキングな期待形成を仮定しており、政策変更が経済主体の将来期待を通じて経済に影響を与えるメカニズムが考慮されていないという欠点もあった。

これらの批判を克服するために発展したモデルが、DSGE（Dynamic Stochastic General Equilibrium）モデルである。DSGEモデルは、フォワード・ルッキングな経済主体の最適化行動から導かれる行動方程式と市場の均衡条件を組み合わせたマクロ経済モデルである。DSGEモデルのパラメータは、過去のデータの相関関係で決まってくるパラメータではなく、家計の効用関数や企業の利潤関数を理論的に規定するパラメータ（「ディープ・パラメータ」と呼ばれる）であることから、こうしたパラメータは政策変更の影響を受けないと考えられており、理念的には、ルーカス批判に対応していることになる。また、政策の波及効果を考える上で重要となる経済主体の期待の役割を明示的に取り込んでいるなど、政

策分析に適した性質を有していることから、世界中の主要中央銀行や国際機関において近年盛んに開発・運用が行われている。

DSGE モデルの用途は、元来、政策の波及メカニズムの理解や最適金融政策の導出といった理論分析が中心であった。しかし、Smets and Wouters (2003, 2007)以降、現実的な経済変動を再現すべく様々な工夫がなされた結果、政策当局の現場において経済予測や政策シミュレーション等にも、積極的に使われるようになった。

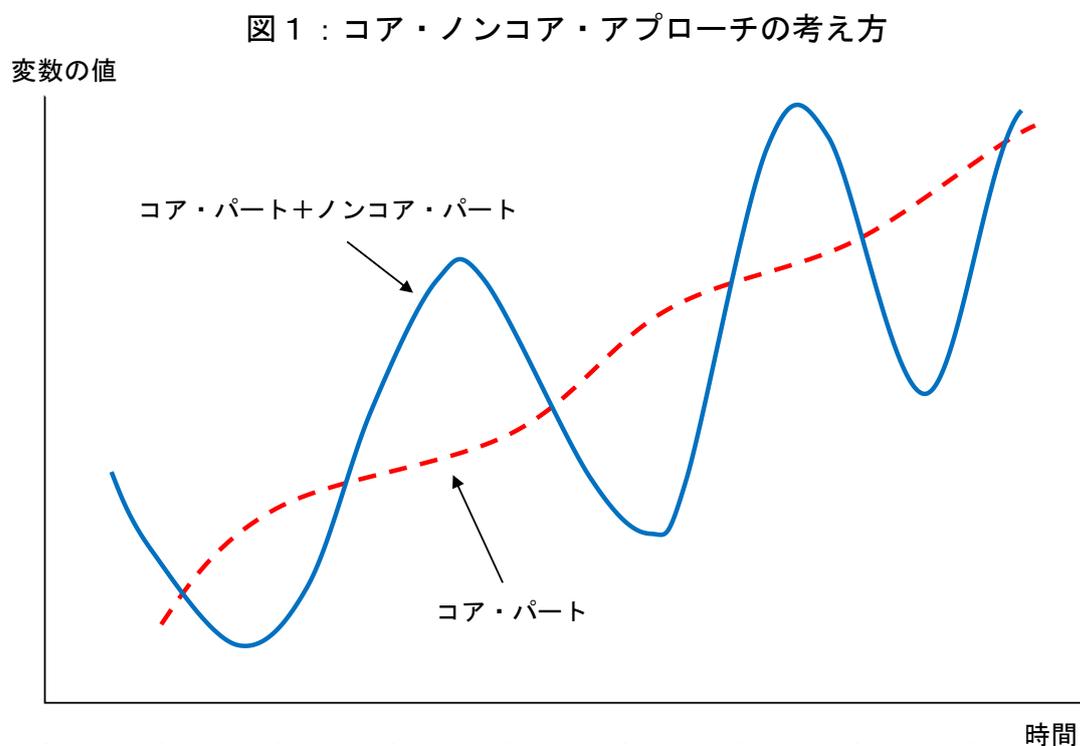
DSGE モデルの多くは、モデルの解法時間を短縮するために、本来は非線形の均衡条件を線形近似しているほか、家計や企業といった経済主体が同質であると仮定している。しかし、最近では、金融危機や名目金利の非負制約を考慮するためには非線形のままモデルを解く必要があることや、政策の波及効果を考えるうえで家計や企業の異質性を考慮する必要性が認識されるようになったことから、非線形モデルや経済主体の異質性を考慮したモデルも活用するようになりつつある。特に、経済主体の異質性を考慮したモデルは **Heterogeneous Agent** モデル (HA モデル) と呼ばれ、こうしたモデルでは、家計や企業がそれぞれ異なる所得および資産を保有することから、所得や保有資産の平均的な値だけでなく、それらの分布についても明示的に取り扱うことが可能となっている。

2.4 準構造型 (Semi-structural) モデル

DSGE モデルは、理論整合性を維持しつつも、実際のマクロ経済データの動きを再現できるよう様々な改良がなされてきたが、伝統的マクロ計量モデルや VAR モデルに比べると、モデルの制約が強いため、その予測精度は劣ると言わざるをえない。この欠点を補うべく、モデルのコア・パートは DSGE モデルのように経済主体の動学的最適化行動として定式化したうえで、伝統的マクロ計量モデルや VAR モデルのようにアド・ホックな短期動学式をノンコア・パートとして追加したものが、準構造型 (semi-structural) モデルである。こうしたモデリングは、コア・ノンコア・アプローチとも呼ばれ、DSGE モデルが導入される以前から、構造型モデルと誘導型モデルを組み合わせるかたちで、各国の中央銀

行や国際機関において、発展してきた技法である。

図1は、コア・ノンコア・アプローチの考え方を示している。コア・パートによって長期における理論整合性を維持しつつも、ノンコア・パートによって現実的な短期の経済変動を再現することが可能となっている。また、ノンコア・パートには誤差修正モデル (error-correction model) にみられる誤差修正メカニズムが組み込まれており、各内生変数は長期的にはコア・パートによって規定される均衡に収斂するようになっている。



2.5 マクロ経済モデル分析のための計算環境

マクロ経済モデルは連立方程式体系で表現されるため、それを用いたシミュレーションは、連立方程式を解くことによって行われる。

伝統的なマクロ計量モデルやVARモデルは、過去の変数によって現在の変数が決まるため、大型モデルであっても逐次計算によって比較的簡単にモデルを

解くことができる。特に、EViews は伝統的なマクロ計量モデルや VAR モデルの推定及びシミュレーションが簡単に実行できるソフトウェアであり、多くの中央銀行・政府機関・国際機関においても使われている。

DSGE モデルや準構造型モデルになると、経済主体の将来の期待に関する変数がどのようにモデル整合的に決まるかを考慮しながら連立方程式を解く必要があるため、モデルの解法は単純ではなくなる。しかし、モデルが線形であれば、行列演算によって効率的にモデルを解く方法があるため、MATLAB のような行列演算ソフトウェアを用いて、短時間でモデルを解くことが可能となっている。近年、Dynare や IRIS という MATLAB 上で動作するツール・ボックスが開発されており、複雑なプログラミングをしなくても、DSGE モデルや準構造型モデルを用いた分析が可能となっている。

最近では、非線形モデルや経済主体の異質性を考慮したモデルも活用されるようになっており、こうしたモデルの解法には膨大な繰り返し計算が必要となるため、一般的なオフィスに設置されている PC では分析に時間が掛かりすぎてしまい、実務的に運用することが難しくなる。こうした状況に対応すべく、いくつかの中央銀行では、クラスターを導入しているほか、計算の高速化を担当する専門家を IT 担当ではなくモデル担当として雇用するなど、大幅な投資を行っている。こうした現場では、Fortran、C++、Julia、Python といった計算処理がより速いプログラミング言語も積極的に活用されている⁴。

⁴ 連邦準備銀行では、こうした計算環境を整備することによって、普通のオフィス用 PC では3か月以上かかる計算が5日程度に短縮できたとのことであった。

3. 連邦準備制度理事会 (Federal Reserve Board)

米国の中央銀行に相当する連邦準備制度理事会（以下、FRB）は、400名以上のPh.D.エコノミストを擁し、様々なリサーチ活動を行っている。その中で、マクロ経済モデルを用いた予測や分析を行っているのが、調査統計課 (Research and Statistics Division) のマクロ経済定量分析班 (Macroeconomic and Quantitative Studies Section) である。

3.1 マクロ経済定量分析班 (Macroeconomic and Quantitative Studies Section) : Group Manager, Jean-Philippe Laforte 氏、Principal Economist, Hess Chung 氏

(モデルの種類・役割)

FRB のメイン・モデルは、FRB/US モデルと呼ばれており、近年多くの中央銀行が採用している準構造型のモデルである (モデルの構造の概要については Brayton, Laubach, and Reifschneider (2014) を、最近のモデルの変更については Laforte (2018) を参照。)。すなわち、モデルのコア・パートは DSGE モデルのように経済主体の動学的最適化行動として定式化されている一方、アド・ホックな説明変数を加えたノンコア・パートを追加することによって現実的な短期の経済変動を再現することが可能となっている。

FRB は、FRB/US モデルのほかにも、いくつかの DSGE モデルの開発およびメンテナンスを行っており、政策シミュレーションに用いている。中でも、Estimated Dynamic Optimization (EDO) モデル (モデルの構造の詳細については Chung, Laforte, and Kiley (2010) を参照。) が中心的な役割を担っており、最近では、Gali, Smets, and Wouters (2012) のように失業率を明示的に取り扱えるよう拡張されている。

FRB/US モデルも EDO モデルも、EViews や MATLAB (および Dynare) のプログラムが公開されており、FRB のウェブサイトからダウンロード可能となっていて、分析の透明性およびアカウンタビリティの向上に寄与している。

これらのマクロ経済モデルは、米国経済の現状分析、予測、政策シミュレーション、自然利子率や生産ギャップといった潜在変数の推定の全てに用いられており、連邦公開市場委員会（FOMC: Federal Open Market Committee）のたびに、同委員会に報告している。ただし、FRBの公式の予測やGDPギャップの推定は、段階的接近法（judgmental approach）によるもので、必ずしもモデルの結果をそのまま反映したものではないことを強調していた。

FRBでは、マクロ経済モデルを内部の分析に使うだけでなく、モデルによる分析結果を論文として取り纏め、積極的に学術雑誌に投稿および掲載している。こうした活動は、担当者の業績になるというインセンティブがあるほかにも、FRBのリサーチの信頼性を高めることに貢献していると考えられる。

（モデル開発および運用環境）

マクロ経済定量分析班には、15名のエコノミストがおり、FOMCのための定例のモデル分析は持ち回り制のため、全員が毎回分析に従事する必要はなく、担当がない場合には個別のリサーチプロジェクトに集中して取り組むことが可能となっている。リサーチ・アシスタントは4名で、さらに3名の技術者が常駐しており、モデル分析のためのコンピュータ環境の整備やプログラミングの補助をおこなっている。

FRB/USモデルを用いた定例の予測や分析は、イントラ・ネットのサイト上で実行できるようになっており、内部のエコノミストは誰でも自席から、予測の期間や仮定をプルダウンメニューで指定するだけで、簡単に予測シミュレーションができるようになっている。上記の技術者は、こうしたシステムの開発やメンテナンスも担当している。

モデルのメンテナンスとして、パラメータの再推定は、FRB/USモデル・EDOモデルともに、1年に1回程度行っている。モデルの定式化に大幅な変更があった場合には、内部的な報告だけでなく、ウェブサイトで公表することになっている。

モデルの解法および分析に用いるソフトウェアについては、FRB/USモデルに

は EViews を⁵、EDO モデルには MATLAB（および Dynare）が用いられている。FRB/US モデルは、完全予見の仮定の下、非線形のままモデルを解いている一方、EDO モデルをはじめとする DSGE モデルは、基本的に、定常状態の周りで線形近似したモデルを合理的期待の仮定の下で解いている。ゼロ金利制約を考慮した DSGE モデルを分析に用いる際には、計算の簡単化のために完全予見を仮定することもある。

調査統計課内では、2 種類のコンピュータ・サーバー（以下「サーバー」という。）を管理している。各班に割り当てられているコア数が小規模なサーバーと FRB 全体で共有しているクラスターである。クラスターは 2015 年に導入され、徐々にサーバー数を増やししながら、現在では 104 台のサーバーを繋ぐことによって合計 3,000 コアを有している。なお、各コアには 8 GB のメモリが割り当てられている。ただし、ユーザーがすべてのコアを占有することはできず、一回で使用できるコア数は 400 に制限されている。これらのハードウェアは、課内の Automation and Research Computing Section が管理している。これらのサーバーにかかるコストは、年間で 25 万米ドル（約 2,700 万円）程度とのことである。ただし、これには毎年クラスターのコア数を少しずつ増やすためのハードウェアへの支出も含んでいるため、年間の維持費を表しているものではない。

これらのサーバーは、FRB の全ての部署からアクセス可能であるほか、自宅や出張先からもリモート・アクセスが可能となっている。

⁵ 2008 年に多くの中央銀行で使用されていたマクロ経済モデル用ソフトウェア TROLL から移行。

4. カナダ銀行 (Bank of Canada)

カナダ銀行では、複数の局がモデル担当部署を有しており、各局の目的および問題意識に基づいて、様々なモデルの開発および運用が行われている。

4.1 カナダ経済分析局 (Canadian Economic Analysis Department) : Principal Economist, Thomas Carter 氏

(モデルの種類・役割)

カナダ経済分析局は、主にカナダ国内の実体経済に関する調査を行っている部署であり、LENS (Large Empirical and Semi-structural model) と ToTEM (Terms-of-Trade Economic Model) III の二種類のモデルを用いて、経済予測や政策シミュレーションを行っている。

LENS は、準構造型モデルに分類されるもので、米国連邦準備制度理事会の FRB/US モデルと同じくコア・ノンコア・アプローチで構築されている (モデルの詳細については、Gervais and Gosselin (2014)を参照。)。行動方程式の多くは誘導型のノンコア・パートを含んでいるため、予測精度が高いモデルとなっている。集約されたデータの内訳や中長期金利など、変数が細分化されていることから、より広範なデータについての分析が可能であることも特徴である。

ToTEM III は、比較的大規模な DSGE モデルである。標準的な DSGE モデルでは、最終財と中間財といった区別はあるものの、消費財・投資財・コモディティ財 (エネルギーおよび非エネルギー) といった区別はされないことが多い。この点、ToTEM III は、財を細分化しているほか、輸入セクターも明示的にモデル化したマルチセクター DSGE モデルとなっている。テクニカル・レポートとして公表されている前バージョンの ToTEM II (Dorich et al., 2013) との違いは、Iacoviello (2005) に倣って、住宅ローンおよび借り入れ制約を入れた点である。この拡張は、近年のカナダにおける住宅ローン残高の高まりを受けたものであるとの説明があった。パラメータの推定には、完全情報に基づいたベイズ推定法が用いられている。

これまでに公表されているテクニカル・レポートでは、ToTEM がカナダ経済分析局のメイン・モデルであることが明記されている一方、Carter 氏は、両方がメインと言えるほど、LENS も活用されている点を強調していた。

年 8 回の金融政策会合のうち、4 回の会合でモデル予測およびシミュレーション分析を報告している。それ以外にも、理事や他局からの依頼で、シミュレーション分析を行うことが頻繁にある。また、上記のモデル以外にも、生産ギャップや自然利子率を推計するためのモデルがあり、構造モデルによるもの、誘導型モデルによるもの等、異なる手法で複数の指標を推計しているとの説明があった。

(モデル開発および運用環境)

局内のモデル担当チームは、課長を含む 7 人のエコノミスト（うち 6 人は経済学 Ph.D.）と 2 人のリサーチ・アシスタントで構成されている。

基本的に、分析には線形近似したモデルが用いられ、MATLAB 上で合理的期待均衡解が容易に計算できる、IRIS や Dynare というツール・ボックスが用いられている。一方、ゼロ金利制約を明示的に考慮した分析を行う場合には、非線形の解法を用いることもある。

4.2 国際局 (International Department) : Director, Justin-Damien Guenette 氏

(モデルの種類・役割)

国際局は海外経済に関する調査を行っており、同局のモデル担当部署は、複数のモデルを用いて、予測およびシミュレーション分析を行っている。

特にメイン・モデルとして活用されているのは、IMPACT (International Model for Predicting ACTivity) と呼ばれる準構造型モデルである。コア・ノンコア・アプローチを採用しており、理論的な帰結として定式化されたモデルによって計算されるターゲット変数 (コア・パート) に収敛していく誤差修正メカニズム (ノンコア・パート) によって、変数の短期的な動きが表現されている。通常の誤差

修正モデルは、過去の変数の多項式によって表現されるのに対して、IMPACTでは、将来の期待変数の多項式も含むところが特徴的であり、合理的誤差修正モデル (RECM : Rational Error Correction Model) と呼ばれている。モデルは6つの国・地域 (米国、欧州、日本、中国、非産油国の新興国、その他) について定式化されており、貿易および金融面で各国がリンクされている。このため、貿易・為替・リスクプレミアム・原油価格といったチャンネルを通じて、ショックの各国・各地域への波及が分析できるようになっている。ほとんどのパラメータは、それぞれの方程式を OLS 推定した値を使っているが、フィリップス曲線と金融政策ルールは、IS 曲線を加えた小規模なシステムでベイズ推定を行っている。

政策シミュレーションには DSGE モデルを用いることもあり、IMF が開発した GEM (Global Economy Model) や GIMF (The Global Integrated Monetary and Fiscal Model) にカナダ経済を踏まえてモデルの細部を調整したものを使っている。また、米国に関する詳細な分析を行う際には、ニューヨーク連邦準備銀行が公表している FRBNY DSGE モデルを使うこともある。とりわけ、米国について理論的な自然利子率の推定値を算出するときに FRBNY DSGE モデルを活用しているとの説明があった。

年8回の金融政策会合のうち、4回の会合でモデル予測およびシミュレーション分析を報告している。各国・各地域の生産ギャップを計測するための潜在生産量は、基本的に生産関数アプローチによって算出しているが、米国については、前述のように FRBNY DSGE モデルを用いて価格が伸縮的な経済における生産量を推定し、理論的な生産ギャップも計算している。

(モデル開発および運用環境)

モデル分析は、主に3人のエコノミストと3人のリサーチ・アシスタントによって行われている。

モデルの再推定は、各方程式の推定誤差が大きくなるか、大幅なデータの改定があったときに行われる。モデルの定式化の見直しには決まったスケジュールはないものの、概ね2~3年で見直しを行っているとのことである。

海外の複数の国・地域が分析対象であることから、モデル分析のアウトプット

(表やグラフ) はかなりの数になるが、定例図表の作成は全てプログラムによって自動化されており、効率的なシステムが構築されている。こうしたシステムの設計は、コーポレート・サービス局の IT スペシャリスト (4.4 節参照) が担当している。

現在のところ、運用されているモデルは全て線形であり、MATLAB 上で合理的期待均衡解が容易に計算できる IRIS というツール・ボックスが用いられている。作業の効率化のために、計算速度の速いプログラミング言語への移行も検討しており、コーディングが比較的容易で計算速度の速い言語である Julia 上で IRIS を実行することができるようになれば、それに移行したいと話していた。

4.3 金融安定局 (Financial Stability Department) : Director, Thibaut Duprey 氏

(モデルの種類・役割)

金融安定局では、金融システムのリスク評価および安定化政策に関する調査を行っている。分析には、準構造型モデルや VAR モデルのほか、金融市場の不完全性を考慮した DSGE モデルが活用されている。

特筆すべき点は、同局が、家計と銀行といった経済主体の異質性を考慮した HA モデルを構築し、金融システムのリスク評価を行っていることである。具体的には、家計毎に異なる所得および資産を保有し、銀行毎にバランスシートの構成が異なるという点で、異質性を考慮している。こうした HA モデルでは、家計の所得や資産の分布を明示的に取り扱うことができることから、銀行に対する家計債務 (特に住宅ローン残高) およびその分布が内生的に計算される。このような家計債務は、銀行のバランスシートを通じて、銀行のリスクに影響を与えることになる。また、銀行部門は、カナダの 6 大銀行の銀行間取引を考慮したネットワーク・モデルとして定式化されており、各銀行のリスクだけでなく、システムック・リスクも考慮したうえで、各銀行のデフォルト確率等が計算できるようになっている。現段階では、マクロ経済変数は外生的に与える必要があり、銀行部門からマクロ経済変数へのフィードバックは考慮していないものの、経済主体の最適化行動と資産分布を考慮した HA モデルを現場で活用しているのは、

今回の訪問先の中でもカナダ銀行の同局だけであり、世界中の中央銀行の中でも最も先進的なモデル部署であるとの印象を持った。

上記の HA モデルに外生的に与えるマクロ経済変数は、カナダ経済分析局の ToTEM (4.1 節参照) の予測結果を用いることもあれば、局内の準構造型モデルや VAR モデルの結果を用いることもある。HA モデルからは、各銀行のデフォルト確率のほか、様々な金融及び経済変数の分布が計算される。こうした多くの変数の情報を集約したインデックスを作成し、リスク評価指数として活用している。

これらのモデルを用いて銀行部門に関するストレス・テストやシミュレーション分析を行い、年 8 回の金融政策会合のうち 4 回の会合で、その結果を報告している。

(モデル開発および運用環境)

局内では、7人のエコノミスト(経済学 Ph.D.)と1人のリサーチ・アシスタントが、モデルの開発及び運用に携わっている。HA モデルの解法には、極めて膨大な数値計算を伴うことから、コーポレート・サービス局の IT スペシャリスト(4.4 節参照)と連携しながら、大型計算機や新しいプログラミング言語を導入することによって、計算環境を整備している。

モデルの開発および拡張については、もともとは各エコノミストによる個別のリサーチプロジェクトからスタートすることが多い。すなわち、個別のリサーチプロジェクトの結果をみて、特に政策分析に役に立つと評価されたモデルや手法が、実際の政策分析に組み込まれるようになっている。同局では、日本人エコノミスト3名がリサーチに従事しており、とりわけ、Yasuo Terajima 氏を中心としたグループが、Heterogeneous Agent New Keynesian (HANK) モデルに銀行のネットワーク・モデルを加えた DSGE モデルを開発中であり、今後同局のメイン・モデルとして活用していくことを展望しているとの話があった。

プログラミング言語としては、主に MATLAB が用いられているが、HA モデルやネットワーク・モデルの解法およびシミュレーションには、Fortran や Python が用いられている。これらのほか、R、Stata、EViews といったソフトウェアも使

われている。今後は、作業の効率化のために、Python や Spark といった、計算速度の速いプログラミング言語への集約も検討しており、現在、これらの言語のプログラマーを募集しているとのことであった。

4.4 コーポレート・サービス局 (Corporate Service Department) : Senior Manager, Johan Brannlund 氏、Senior Business Systems Analyst, Jose Pedro 氏

(役割)

今回面談を行った Brannlund 氏と Pedro 氏は、各局のモデル担当者と連携しながら、モデルの開発および運用に必要な、計算環境をハード面・ソフト面の両面からサポートする役割を担っている。

(サーバーの種類)

各局の分析用に割り当てられているサーバーの数は、次のとおり。

- カナダ経済分析局 (Canadian economic analysis) : 4サーバー (クラスター化)
- 国際局 (International economic analysis) : 3サーバー
- 金融安定局 (Financial Stability Department) : 8サーバー (うち二つはグラフ作成用)

なお、それぞれのサーバーは、2つの Intel Xeon CPU (各 28 コア) を備えたマルチ・プロセッサ仕様であり、それぞれ 128~256GB のメモリを搭載している。

マクロ経済モデルの大型化および複雑化にともない、モデルの解法および推定にかかる作業は極めて時間のかかるものになっている。特に、非線形モデルや HA モデルの解法および推定は膨大な回数の繰り返し計算を伴うため、作業の効率化には、並列計算 (parallel computing) の活用が不可欠となっている。並列計算には、マルチコア・プロセッサを備えたコンピュータ (またはサーバー) が必要となるが、一台のコンピュータに搭載できるコア数は限られていることか

ら、大規模な並列計算を行うためには、複数台のコンピュータを繋いだクラスターが有用である。

カナダ銀行では、2年ほど前からクラスターへの投資を重点的に行い、現在、一台につき36コアのCPUを搭載したコンピュータ（メモリはそれぞれ128GB～1TB）を54台繋ぐことによって、約2,000コアのLinuxクラスター環境を整えている。クラスターは、銀行内で共有されており、それぞれのユーザーが、どのくらいのコア数を占有しどのくらいの計算時間を要するかを設定することができる。なお、ユーザー一人あたりの最大コア数は1,100コアであり、計算時間は、short（12時間）・normal（24時間）・long（2週間）から選択する。

（導入および維持費用）

現在利用しているクラスターは、2017年の春に導入され、2021年までの利用が想定されている。導入費用は、ハードウェア（+保守サービス）代として、約70万カナダドル（約6,000万円）である。システム構築を自前で行っているため、費用はほぼハードウェア代のみとなっている。なお、購入は入札によって行い、日本の官公庁におけるプロセスと類似しているとの印象であった。

しかし、MATLABをはじめとするソフトウェアのライセンス料として、上記のハードウェア導入費用とほぼ同額を毎年支払っている。経費削減のため、Juliaのような無料ソフトの導入を検討している。

クラウド・コンピューティングの利用も検討しているが、今のところ、クラウド使用料の方がクラスター導入よりもコストがかかると判断しているとのことであった。

（運用状況）

カナダ経済分析局のクラスターは、銀行内で共有されており、どの部署からもアクセスが可能となっているが、金融政策会合用の分析のように機密性の高いものはアクセスが限定された各局のサーバーで行い、データや分析結果もそこに保存することになっている。また、カナダ銀行から提供されているラップトップ・コンピュータを使えば、自宅や海外からもサーバーへのアクセスが可能となっている。

同部署では、新しいプログラミング言語や graphical user interface (GUI) の導入といったソフト面での支援を行っている。エコノミストが作った計算プログラムをプログラミングの専門家が最適化 (高速化) するサービスも行っており、計算効率の大幅な改善に役立っている。

5. 議会予算局 (Congressional Budget Office)

米国の議会予算局では、マクロ経済分析課 (Macroeconomic Analysis Division) が、マクロ経済モデルを用いた予測および分析を担当しており、同局の役割上、とりわけ米国の財政収支の予測に力を入れている。

5.1 マクロ経済分析課 (Macroeconomic Analysis Division) : Assistant Director, Jeffrey Werling 氏

(モデルの種類・役割)

マクロ経済分析課の中では、米国の実体経済の予測を行う経済予測係 (Projections Unit) と、その予測をベースラインとして財政収支の予測およびシミュレーション分析を行う財政政策研究係 (Fiscal Policy Studies Unit) において、マクロ経済モデルが活用されている。

経済予測係のメイン・モデルである CBOMM (CBO Macroeconometric Model) は、伝統的マクロ計量モデルに分類されるもので、600 本以上の方程式 (行動方程式は約 200 本) から構成される大型マクロ経済モデルである。行動方程式の多くは誘導型の推定式となっていることから、予測精度が高いモデルとなっている。この予測値を用いて、財政政策研究係が財政に関する予測および分析を行うため、所得面については、かなり細かい内訳も内生化されている。標準的なマクロ経済モデルでは労働参加率は外生的に設定されるのに対して、CBO では労働参加率がモデル予測の結果に重要な影響を与えることに鑑み、同変数を正確に予測するために人口動態の詳細も考慮した Labor Force Participation Rate モデルを用いている。これら以外にも、潜在生産量を求めるためのソロー型の成長モデルや、各スタッフが個別に整備しているセクター別モデルも併用されている。

財政政策研究係は、経済予測係の予測に基づいて財政収支に関する予測を作成するほか、財政政策の実体経済および財政収支への影響についてシミュレーション分析を行っている。ベースラインの予測については、経済予測係の予測をインプットとする Budgetary Feedback モデルから直接算出されるのに対して、財

政政策に関するシミュレーション分析には、いくつかのモデルが用いられる。具体的には、財政政策の実体経済への長期的な影響は OLG (overlapping generations) モデルやソロー型の成長モデルを用い、その短期的な影響は DSGE モデルや Multiplier モデルを用いて計算される。それらの結果を Budgetary Feedback モデルに与えることによって、財政収支への影響を算出する。

こうした予測と分析作業は、年2回行われ、結果は全て公開されている。他の訪問先に比べて、最近の学術的成果を積極的に取り込もうという気運が感じられなかったが、伝統的なマクロ計量モデルをメイン・モデルとして使い続ける理由の一つとして、直感的な説明が容易である点を挙げていた。

(モデル開発および運用環境)

マクロ経済分析課のうち、経済予測係と財政政策研究係がモデル分析を担当しており、それぞれの係が係長を含む8人のエコノミスト(大半は経済学 Ph.D.) と1人のリサーチ・アシスタントで構成されている。

一部の OLG モデルや HA モデルを用いた分析には、MATLAB や Fortran といったプログラミング言語が用いられているが、メイン・モデルである CBOMM を含むほとんどのモデルが、計量経済分析ソフトウェアの EViews で構築されており、データベースとの連動も EViews のデータ取得機能によって行われている。

伝統的なマクロ計量モデルが主たる分析ツールとなっていることから、計算負担の大きな作業はそれほど多くないと考えられる。このため、カナダ銀行や連邦準備銀行のような、大型の計算機を導入するといったかたちでの投資は行っていないように見受けられた。

6. 国際通貨基金 (International Monetary Fund)

国際通貨基金では、調査局 (Research Department) の経済モデル分析課 (Economic Modeling Division) が、様々なマクロ経済モデルを開発し、それらを用いて予測および分析を行っている。同基金の役割上、各国の貿易および金融面での国際的相互依存関係を考慮した多国間モデルの開発および運用に力を入れており、これらのモデルは、世界中の多くの中央銀行および国際機関における海外経済の分析でも盛んに用いられている。

6.1 経済モデル分析課 (Economic Modeling Division) : Assistant Director, Benjamin Hunt 氏

(モデルの種類・役割)

経済モデル分析課では、目的に応じて様々なモデルをメイン・モデルとして利用しており、いわゆる「The IMF Model」といったものは存在しないものの、現在主に使われているモデルは、The Global Integrated Monetary and Fiscal Model (GIMF)、The Global Economy Model (GEM)、The Flexible System of Global Models (FSGM)、The Global Projection Model (GPM) の4つである。

The Global Integrated Monetary and Fiscal Model (GIMF) は、年次ベースの多国間 DSGE モデルである (モデルの構造の詳細については Kumhof et al. (2010) を、モデルの応用例については Anderson (2013) を参照)。6つの国と地域 (米国・欧州・日本・新興アジア・南米・その他) の相互貿易が明示的にモデル化されており、為替レートも含めた相対価格の変化や世界全体における貯蓄投資バランスから世界金利が決定されるメカニズムもモデル化されている。各国および各地域のモデルは、価格および賃金の硬直性や様々な調整コストを考慮しているほか、流動性制約や OLG を考慮した家計も想定しており、極めて現実的な構造となっている。さらに、財政政策は、短期的にはカウンター・シクリカル⁶な政策ルールによって内生化する一方、長期的には国債残高の対 GDP 比率が一定の

⁶ 景気が過熱しているときには冷やし、景気が悪いときには刺激すること。

値に収斂するようにモデル化されており、様々なシナリオを想定した財政収支に関する分析が可能となっている。なお、パラメータは、基本的にカリブレーションによって設定されている。

The Global Economy Model (GEM) は、上記の GIMF の前身にあたるモデルで、家計の OLG 要素は考慮せず、財政ブロックも単純化したものとなっている（モデルの詳細については、Pesenti (2008)を参照。）。GIMF は年次モデルであるのに対して、GEM は四半期モデルであり、経済の短期的な動きを捕捉できるようになっていることから、金融政策の分析に用いられることが多い。なお、パラメータは、GIMF 同様、基本的にカリブレーションによって設定されている。

The Flexible System of Global Models (FSGM) は、GIMF や GEM では扱うことができない個別の国や地域を分析するために構築されたサブ・モデルの総称である（詳細については、Andrle et al. (2015)を参照。）。サブ・モデルは、G20MOD、AFRMOD、APDMOD、EUROMOD、EEUMOD、MCDMOD、WHDMOD と数多く存在し、例えば、G20MOD は G20 の国々を個別にモデル化したうえで多国間のリンクを考慮したものとなっている。それぞれのモデルは、伝統的なマクロ計量モデルに分類されるものの、合理的期待との整合性を維持している。パラメータの設定には、現段階では、各方程式の推定値を用いているが、将来的には、Bayesian Simulated Method of Moments with System Priors (BSMMSP) によるシステム推定の結果を用いる予定とのことである。

The Global Projection Model (GPM) は、経済予測に特化したモデルであり、伝統的マクロ計量モデルの要素の強い準構造型モデルとなっている（モデルの詳細については、Carabenciov et al. (2013)を参照。）。GPM にはいくつかのバージョンが存在し、米国・欧州・日本・中国・その他新興アジア・南米・その他の7地域モデルが主なバージョンであるのに対して、欧州やアジアの各国を個別に分析することが可能なバージョンも開発されている。

GIMF、GEM、FSGM は、政策分析やシミュレーション分析に用いられるのに対して、GPM は経済予測に用いられる。各種モデルを用いた包括的なリスク評価は年に1回、GPM を用いた経済予測は四半期に1回作成される。World Economic Outlook (WEO) や Regional Economic Outlook (REO) のために分析も

定期的に行っているほか、各国および地域担当からの発注で個別国に関する分析を行うこともある。

（モデル開発および運用環境）

経済モデル分析課に所属する 23 名のうち、約 3 分の 1 がモデルの開発を担当している。10 名は、リサーチ・アシスタントや庶務を担当する非エコノミストである。

モデルのメンテナンスとして、パラメータの再設定（GIMF、GEM）および再推定（FSGM、GPM）は、モデルの定式化を見直した際に行っている。

課内では、23 台のサーバーを所有しているが、並列計算のためにクラスター化されているわけではない。大半のサーバーは 8 コアの CPU を 2 個搭載したものである一方、20 コアの CPU を搭載したものもある。サーバーの価格は不明だが、ソフトウェアのライセンス料だけで毎年数十万米ドル（数千万円）はかかっているとのことである。クラウド・コンピューティングの活用可能性について質問したところ、セキュリティ上の問題から導入予定はないとの回答があった。

モデルの解法および分析には、主に MATLAB が用いられているが、大型モデルの解法には、TROLL と呼ばれるソフトウェアが用いられている。しかし、TROLL のライセンス料の問題から、Python への移行を検討しているとのことである。GPM には、IRIS と呼ばれるパッケージが用いられている。

ハード面およびソフト面の更新および移行には、IT 関連を担当する局（Information Technology Department）の技術者が協力していることから、同課でこうした技術者を雇用する必要はないように見受けられた。

おわりに

本報告書では、訪問先でのヒアリングの内容に基づき、海外の中央銀行・国際機関・政府機関がどのような種類のマクロ経済モデルをどのように活用されているのか、マクロ経済モデルの開発・運用のためにどれほどの物理的投資および人的投資を行ってきたのかをまとめた。

今回訪問したほとんどの機関が、準構造型モデルをメイン・モデルとして経済予測や政策シミュレーション等に幅広く活用している一方、目的に応じて複数のモデルを使い分けていることが分かった。なかでも、カナダ銀行とFRBでは、経済主体の異質性を考慮したマクロ経済モデルや名目金利の非負制約を考慮した非線形DSGEモデルの開発とそれらを用いた分析にも力を入れており、計算処理を高速化するためにクラスターを導入しているほか、サーバー管理やプログラミングを担当する技術者を雇用するなど、環境整備のための大幅な投資を進めていることが明らかになった。とりわけ、経済主体の最適化行動と資産分布を考慮したHAモデルを現場で活用しているのは、今回の訪問先の中でもカナダ銀行の金融安定局だけであり、世界中の中央銀行の中で最も先進的なモデル部署であるとの印象を持った。

我が国におけるマクロ経済政策関連当局に目を向けると、一部のリサーチ部署を除いて、このような投資はあまり進んでいないように思われる。そもそもマクロ経済モデルを用いて定例的な分析作業を行う機関が少ないこともあるが、マクロ経済モデルを活用している現場でも、かなり小規模な人員で、通常のオフィス向けPCを用いてモデルの開発および運用が行われているのが現状である。その理由としては、(1) 経済理論の精緻化および数値計算技術の発展によってモデルの解法やパラメータの推定方法が極めて高度化していること、(2) こうした高度な分析を行うことの必要性、(3) そのためにどのような物的および人的な環境整備必要か、といった点が十分に認識されていないことが考えられる。上記(1)および(2)については、学界や本調査のヒアリング先の研究成果をフォローすることによって、ある程度把握できるであろう。他方、(3)については、それほど情報が公開されていないのが現状である。本報告書が、上記(3)の認識の一助になれば幸いである。

参考文献

一上響、小島早都子、代田豊一郎、中村康治、原尚子、2008。「中央銀行におけるマクロ経済モデルの利用状況」日銀レビュー・シリーズ、08-J-13。

高橋尚吾、八木橋毅司、2019。「マクロ経済モデルのフロンティア—海外の活用事例を踏まえた考察—」ファイナンス、90、46-51。

Anderson, Derek, Benjamin Hunt, Mika Kortelainen, Michael Kumhof, Douglas Laxton, Dirk Muir, Susanna Mursula, and Stephen Snudden, 2013. “Getting to Know GIMF: The Simulation Properties of the Global Integrated Monetary and Fiscal Model,” IMF Working Paper, 13/55, International Monetary Fund.

Andrle, Michal, Patrick Blagrove, Pedro Espaillet, Keiko Honjo, Benjamin Hunt, Mika Kortelainen, René Lalonde, Douglas Laxton, Eleonora Mavroeidi, Dirk Muir, Susanna Mursula, and Stephen Snudden, 2015. “The Flexible System of Global Models – FSGM,” IMF Working Paper, 15/64, International Monetary Fund.

Brayton, Flint, Thomas Laubach, and David Reifschneider, 2014. “The FRB/US Model: A Tool for Macroeconomic Policy Analysis,” FEDS Notes, April, Board of Governors of the Federal Reserve System.

Carabenciov, Ioan, Charles Freedman, Roberto Garcia-Saltos, Douglas Laxton, Ondra Kamenik, and Petar Manchev, 2013. “GPM6; The Global Projection Model with 6 Regions,” IMF Working Papers 13/87, International Monetary Fund.

Chung, Hess, Jean-Philippe Laforte, and Michael T. Kiley, 2010. “Documentation of the Estimated, Dynamic, Optimization-based (EDO) model of the U.S. economy: 2010 version,” Finance and Economics Discussion Series 2010-29, Board of Governors of the Federal Reserve System.

Dorich, José, Michael K. Johnston, Rhys R. Mendes, Stephen Murchison, and Yang Zhang, 2013. “ToTEM II: An Updated Version of the Bank of Canada’s Quarterly Projection Model,” Technical Reports 100, Bank of Canada.

Galí, Jordi, Frank Smets, and Rafael Wouters, 2012. “Unemployment in an Estimated New Keynesian Model,” *NBER Macroeconomics Annual*, University of Chicago Press, vol. 26(1), 329-360.

Gervais, Olivier, and Marc-André Gosselin, 2014. “Analyzing and Forecasting the Canadian Economy through the LENS Model,” Technical Reports 102, Bank of Canada.

Iacoviello, Matteo, 2005. “House Prices, Borrowing Constraints, and Monetary Policy in the Business Cycle,” *American Economic Review*, 95(3), 739-764.

Kumhof, Michael, Douglas Laxton, Dirk Muir, and Susanna Mursula, 2010. “The Global Integrated Monetary and Fiscal Model (GIMF)—Theoretical Structure,” IMF Working Paper, 10/34, International Monetary Fund.

Laforte, Jean-Philippe, 2018. “Overview of the changes to the FRB/US model (2018),” FEDS Notes, December, Board of Governors of the Federal Reserve System.

Lucas, Robert E., 1976. “Econometric Policy Evaluation: A Critique,” *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 1, 19-46.

Pesenti, Paolo, 2008. “The Global Economy Model: Theoretical Framework,” *IMF Staff Papers*, 55(2), 243-284.

Smets, Frank, and Rafael Wouters, 2003. “An Estimated Stochastic Dynamic General Equilibrium Model of the Euro Area,” *Journal of the European Economic Association*, 1(5), 1123-75.

Smets, Frank, and Rafael Wouters, 2007. “Shocks and Frictions in US Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach,” *American Economic Review*, 97(3), 586-606.

付録

(1) 調査日程

2019年 出張者：廣瀬康生特別研究官、齋藤健太郎研究専門官

月日	曜日	訪 問 先
9/16	月	カナダ銀行 (Bank of Canada)
9/17	火	カナダ銀行 (Bank of Canada)
9/18	水	議会予算局 (Congressional Budget Office) 国際通貨基金 (International Monetary Fund)
9/19	木	連邦準備制度理事会 (Board of Governors of the Federal Reserve System)

(2) 質問リスト

- What kind of macroeconomic model is used/developed in your division: a structural VAR model; a macro-econometric models; or a fully-specified DSGE models?
- To what extent are heterogeneities incorporated in your model: households/firms; young/old; income levels; asset holdings; or productivities?
- For what purpose do you use the model: evaluation of past and current economic conditions; forecasting; policy simulation; or estimation of unobserved variables, e.g., the natural rate, output gap, exogenous shock processes?
- How often do you conduct the model analysis? For every policy meeting?
- Could you demonstrate one of your model exercises you regularly conduct on your computer? We would like to see how the model exercises can be done in a systematic manner. Have you introduced any GUI (Graphical User Interface) so that other staffs (possibly from other divisions/departments) can handle your model easily?

- How do you maintain your model? How often do you change specifications of the model or re-estimate parameters?
- How many economists/RAs are engaged in developing/maintaining your model and conducting model analysis? Are there any staffs who are specialized in programming and its operation?
- How do you solve the model? Linearizing around the steady state or using nonlinear solution methods?
- The result of analysis based on the model might be technically difficult to understand for the management. In this regard, please let us know if there are any ingenuities for analysts to report or to help understand in your organization.
- Computer specifications: CPU, the number of core processors, the volume of physical memories, etc. Have you introduced computer clusters or servers to facilitate parallel computing? Who administers the hardware: is there any technical staff for it?
- Who made the decision on the required computer specifications?
- What software and programming languages are used for solving and estimating the model? Is there any plan to introduce faster programming languages such as C++ or Julia?
- May the computational facilities be accessed from other divisions/departments in your organization or from the outside of the office?
- Please let us know approximate annual cost of maintenance for computing facilities.
- How often is the computational facilities audited by inside/outside ICT specialists, and how are the results reported to the management?

海外行政実態調査報告書