

生産性の不確実性と税制変更効果
—CGE モデルによるモンテカルロ実験—

財団法人国際東アジア研究センター
坂本 博

Working Paper Series Vol. 2009-21
2009年8月

この Working Paper の内容は著者によるものであり、必ずしも当センターの見解を反映したものではない。なお、一部といえども無断で引用、再録されてはならない。

財団法人 **国際東アジア研究センター**
ペンシルベニア大学協同研究施設

生産性の不確実性と税制変更効果：CGEモデルによるモンテカルロ実験[♦]

坂本 博*

要旨

本研究は2005年の日本の産業連関表を用いて簡単なCGEモデルを構築し、各産業部門の生産性が確率的に変動する仮定のもとで、モンテカルロ実験を行い、シミュレーション結果がどのように変化するかを分析したものである。まず、生産性が確率的に変動した場合、一部産業の生産量および財価格の平均値に有意な変化が見られたが、頑強性を大きく損なうものではなかった。税制を中心とした各種シミュレーションの結果、一部産業で分布の有意な変化が見られた。シミュレーションにより名目GDPは大きく変化したものの、財価格を固定した実質GDPはわずかな変化にとどまっている。また、民間部門と政府部門との経済効果の差は歴然であったが、実質GDP同様、トータルの経済効果の分布はかなり似通っており、全体的な政策効果の違いはあまり見られない。よって、生産性が不確実である場合、政策効果が不確実性に吸収される可能性がある。

キーワード：CGEモデル，生産性，モンテカルロ実験，日本経済

JEL Classifications：C15，C68，D58，E27，O53

♦ 本稿は2008年6月に行われた第3回応用経済学会春季大会（熊本学園大学）での報告論文をもとにしたものである。本稿の作成において、報告時のコメンテーターおよび匿名のレフリー2人から貴重なコメントをいただいた。この場を借りて感謝したい。

* 財団法人国際東アジア研究センター 上級研究員

〒803-0814 北九州市小倉北区大手町11-4

E-mail: sakamoto@icsead.or.jp

1. はじめに

本研究は、CGE (Computable General Equilibrium : 計算可能な一般均衡) モデルの応用可能性を高めるためのモンテカルロ実験の有用性について言及したものである。CGE モデルは、一般均衡分析を応用し、経済政策の効果などを数値的にシミュレーション分析するモデルで、昨今盛んに研究されている有用な分析ツールである。(注¹)

しかしながら、このモデルは構造が複雑で、しかも構築するための仮定が多いといった欠点を持つ。例えば、モデルで使用される生産関数などのパラメータは、通常1時点のデータから決定論的に類推するといった『カリブレーション』と呼ばれるプロセスで設定されることが多い。そこで、カリブレーションされたパラメータが適切であるかどうかをチェックしてモデルの頑強性 (Robustness) を確かめる作業が必要となる。

頑強性をチェックする方法はいろいろ考えられるが、その中で本研究では、モンテカルロ実験による方法を提唱したい。これはパラメータに対して、確率分布を仮定し、それに従って乱数を発生させて計算させていく方法であるが、一部の研究で頑強性を確かめる以外に、重要な政策的示唆が得られており、今後の研究余地が大きいからである。

そこで、本研究では、CGE モデルにおけるモンテカルロ実験の有用性を検討するために、2005年の日本経済を対象とした簡単なモデルを構築した上で、生産性パラメータに対して確率的な変動を加えたモンテカルロ実験を行い、税制を変更させた際の経済効果と合わせて、その実験結果を統計的に比較検証する。以下、CGE モデルにおけるモンテカルロ実験例を紹介したあと、モデルの紹介、実験結果および結論と進めていく。

2. CGE モデルによるモンテカルロ実験例

CGE モデルの頑強性を確かめる方法はいろいろ考えられる。例えば、あるカリブレーションされた値に対して、その値を中心に何パーセントか幅を持たした値を考え、頑強性を調べる方法である。貿易モデルなどで、貿易財と国内財との間に不完全代替を仮定した場合 (アーミントンの仮定と呼ぶ)、不完全代替のパラメータが政策効果に重要な役割を果たすときがある。実はこのパラメータはカリブレーションから求められることはなく、得てして他の研究から拝借することが多い。こういった場合は、パラメータの値の信憑性が乏しいため、どうしても頑強性を調べる必要があるだろう。

一方で、この幅が確率分布で構成されていると仮定することも可能である。つまり、カリブレーションされた値 (外部研究からの拝借も含める) を中心に均一分布や正規分布などで幅が与えられている場合である。こういった仮定を置くことによって頑強性を調べることは可能で、分布を発生させるためにモンテカルロ実験が行われる。

Abler et al. (1999) は、コスタリカのマクロ経済と産業政策の環境への影響を分析したものである。その際、生産関数の代替性パラメータ、消費者需要の価格弾力性パラメータ、

貿易の弾力性パラメータに対して、均一分布を仮定してモンテカルロ実験を行い、安定的な結果が得られたと報告している。

Harris and Robinson (2001) は、技術進歩、農産品の品種改良および天候の変化に対してメキシコの農業がどのような影響を与えるのかを研究したものである。その中で彼らは、生産関数の生産性パラメータに対してモンテカルロ実験を行っている。この研究の特徴は、頑強性を調べるのが目的ではない点で、こういった不確実性は現象として当然起こりうるものであることを前提にしていることである。

中国人研究者の王・陳 (2006) は、正規分布から導いた β 分布のもとで、50 個のパラメータに対してモンテカルロ実験を行い、中国における CO₂ の 30% 削減に対する経済効果を研究している。彼らの研究によるとパラメータ間の相関性が重要で、この相関性が正に大きいとモデルの結果の不確実性が大きくなると指摘している。

また、Tanaka and Hosoe (2007) では、日本を含めた国際貿易モデル (GTAP : <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/default.asp>) を応用して、日本の農業部門の生産性が不確実なもとで、日本の農業自由化政策の有効性を説いている。ここでは、モンテカルロ実験の結果、自由化政策後の生産量の分布が、政策前と比べて分散が小さくなっていることから、自由化政策のリスクは小さいと解釈している。

ここで取り上げたいいくつかの例では、モンテカルロ実験を単に頑強性を確かめるために用いているものもあれば、より積極的な意味をもたせて実験させているものもある。農業といった天候に左右される業種は、天候によって生産性が変動することが容易に予想されるであろう。そのため、Harris and Robinson (2001) や Tanaka and Hosoe (2007) のモデルはより積極的な意味でモンテカルロ実験を行っている。

それでは、本研究で改めてモンテカルロ実験を用いる利点はいったい何か。まず、これまで述べたようにモデルの頑強性の確認である。次に、解 (経済状況) の実現可能性が広がる点である。つまり、モンテカルロ実験によってその設定幅に応じた解が得られるということである。そして、これによって起こりうる経済状況を度数分布などで表示することでより実践的な経済予測が可能になるものと思われる。そこで本研究では、この 2 点に注目すべく、比較的簡単なモデルを構築し、モンテカルロ実験前と実験後の計算結果を統計的な手法を用いて比較検証していくことにする。^(注 2)

3. モデルと仮定

ここでは 2005 年の日本の産業連関表を用いて簡単な CGE モデルを構築する。表は『平成 18 年簡易延長産業連関表』で、経済産業省のホームページ (<http://www.meti.go.jp/>) より入手した。ホームページには 50 部門、73 部門および 186 部門の表がダウンロード可能となっているが、本研究では 50 部門の表を用いた上で、まず、産業部門を 20 に集約させた。^(注 3) 分配面は労働、人的資本、物的資本および税金にまとめ^(注 4)、支出面は消費、政

府，投資セクターとする。さらに海外部門を加えて，それぞれの金銭的な動きが均衡するように社会会計行列（SAM）を構築する。これが本研究におけるデータベースとなる。

モデルは民間（消費）部門の効用を最大化する形で需要を定め，労働，人的資本，物的資本の3つの生産要素からなる生産関数を仮定し，以下，中間財の使用，輸出入の貿易に対してそれぞれ関数を仮定しながら供給サイドを決定していく。要素市場はセクター間の移動が可能で，均衡時には各セクターで統一された要素価格が決まるように仮定する。政府部門は付加価値税，所得税および関税を収入源とし，政府部門の効用を最大化する形で需要を求める。投資部門も，民間貯蓄と政府貯蓄および対外収支の総額を制約条件として，投資部門の効用を最大化する形で投資財購入需要を求める。

さて，ここで実験したいことは，生産性パラメータに関する不確実性である。生産性は，天候の変更といった外生的要因により必ずしも固定的ではないと考えられるからである。そこで，生産性の不確実性をモデル化していくことにする。まず，本研究のモデルを用いて生産性パラメータがどのように求められるかを例示したい。ここでは，産業 i に対して，労働 L_i ，人的資本 H_i ，物的資本 K_i の3つの生産要素からなる付加価値生産物 FC_i を生産すると仮定する。なお，ここではモデルの簡素化のため，規模に対して収穫一定で，生産要素間の代替の弾力性を1とした，コブ・ダグラス型の生産関数を仮定している。

$$FC_i = \gamma_i L_i^{\alpha_i} H_i^{\beta_i} K_i^{1-\alpha_i-\beta_i} \quad (1)$$

次に，データベースより，3つの生産要素の金銭的価値の和は付加価値生産物の金銭的価値の和と等しくなるので，各変数の頭に P をつけたものをそれぞれの価格変数とした場合に，以下の制約条件が成立する。

$$PFC_i \cdot FC_i = PL \cdot L_i + PH \cdot H_i + PK \cdot K_i \quad (2)$$

ここで最適化問題の一階条件より各生産要素の需要量が導かれるが，一方で， α や β ， γ といったパラメータが決められていないので，データベースからこの値を決定論的に求める（カリブレーション）。例えば，一階条件により労働分配率 α_i は以下のようになる。

$$\alpha_i = \frac{PL^* \cdot L_i^*}{PFC_i^* \cdot FC_i^*} \quad (3)$$

データベースには，金銭的価値で各々の項目が記されており，これを価格と数量に分解

するためには、価格か数量に関する別の情報を持ち出すか、何らかの仮定が必要である。もっとも、CGE モデルでは、相対価格で評価されることが多いため、特に情報がなければそれぞれの価格を 1 と基準化することで解決できる。したがって、データベースより*のついた各変数の初期値を適切に設定することで、労働分配率 α_i が計算可能となる。

同様のプロセスをふんで人的資本分配率と物的資本分配率が計算され、最後に生産性パラメータ (TFP) γ_i^* が、以下の形で計算される。

$$\gamma_i^* = \frac{FC_i^*}{L_i^{*\alpha_i} H_i^{*\beta_i} K_i^{*(1-\alpha_i-\beta_i)}} \quad (4)$$

本研究では、以上の仮定によりカリブレートされた生産性パラメータに着目し、これが確率的な変動をもたらす場合にモデルの解がどのように変化するかをモンテカルロ実験を通じて分析する。まず、生産性パラメータの確率的変動は以下のように表される。

$$\gamma_i = \gamma_i^* + \varepsilon_i \quad (5)$$

ここで γ_i^* は式 (4) から求められた生産性パラメータである。そして ε_i は平均が 0、分散が σ_i^2 の正規分布に従うとする。(注⁵) 本研究では、すべての生産セクターに対して、このような生産性パラメータを用いてモデルを計算させることにする。(注⁶)

次に、このような生産性パラメータのもとで、政策シミュレーションを考える。応用一般均衡分析は、そのモデルの特徴から、価格の歪みを作っている税制問題を政策シミュレーションとして採用していることが多い。税率・税制を変更することによってどのような経済効果が計測されるのかがこの手の研究の狙いであるが、そこに本研究のような生産性パラメータの不確実性が加わった場合、当然経済効果にも影響があると思われる。この影響の度合いを検証していくことが本研究の目的となる。

モデルは簡素化されているため、実際の経済問題に対応できるほど厳密なものにはならないが、ここでは税率パラメータを動かすことで、政策シミュレーションを考えていくことにする。税率パラメータは補論の付加価値税 (td)、所得税 (ti) および関税 (tm) にあるが、ここでは関税は考えず、国内の経済政策として付加価値税と所得税の税率変更を考える。まず、所得税については減税を仮定する。これは民間経済の活力を促すという意味で正当化される。そして付加価値税は増税を仮定する。こちらは消費税の増税議論が盛んであることおよび社会保障を充実させるうえで考えられる政策である。また、所得税減税と付加価値税の増税を合わせて収収が若干バランスするようなシミュレーションも考える。具体的には、①所得税の実効税率 (ti) を半分にする、②付加価値税の実効税率 (td) を 2

倍にする、③所得税の実効税率 (ti) を半分にし、付加価値税の実効税率 (td) を2倍にする、すなわち①と②をあわせたものの3つを政策シミュレーションとして設定する。^(注7)

4. シミュレーションおよびモンテカルロ実験結果

4. 1 モンテカルロ実験前のシミュレーション結果

まず、モンテカルロ実験をする前のモデルを用いて各種政策シミュレーションを計算してみた。表1はその結果である。表の base はベースケース、すなわちデータベースに基づいた生産量である。すべての産業部門の財価格(付加価値税の課税前)は1となっている。表の s1 であるシミュレーション①について、所得税率を半分にすることにより民間部門の可処分所得が増加し、財購入需要が高まる一方で、その分税収が減少するため、政府部門の財購入需要が減少する。これらに関連して投資部門の財購入需要も変化するが(政府部門の収入減に応じて政府貯蓄が減少する)、これら3部門の需要変化に応じて生産量および財価格が変化する。表ではこの変化を示しているが、農産品(a001)、食料品(i003)、繊維製品(i004)、金融部門(s018)および運輸通信部門(s019)の生産量が増加した反面、一般機械(i009)、建築(i015)およびその他サービス(s020)の生産量が減少している。この違いについては主に各々の財購入部門の需要構造が異なることによる。民間部門は第三次産業財の需要も大きい、農産品をはじめとする食料品や繊維製品の需要も相対的にある。一方で、政府部門の需要のほとんどがその他サービスに集中し、投資部門は建築需要が多い。税率変化による各部門の収入が変化したため、それぞれの部門の需要に応じて生産量も変化したものと思われる。しかしながら、所得税率の変化は直接財価格に影響を及ぼさない、価格変化はわずかな低下にとどまっている。全体的に財価格が低下したため、名目GDP(NGDP)は若干低下するが、財価格を初期のベースケース値(すなわち1)に固定した実質GDP(RGDP)の場合は若干の上昇となっている。よってこのモデルに従えば、所得税減税は実質GDPを0.06%押し上げる効果をもたらすことになる。また、Hicksの等価変分に基づくモデルの評価によると、^(注8)民間部門の経済効果(EVH)は30兆円を越し、対名目GDP比で6%以上の効用改善となっているが、その分政府部門(EVG)と投資部門(EVI)の効用が低下している。結果、これらを単純に合算したトータルの経済効果(EVT)は、対名目GDP比で0.08%程度の改善にとどまっている。

以下、シミュレーション②である付加価値税の増税効果を s2、シミュレーション③の効果を s3 に示した。s2 ではその他サービスを除くすべての産業部門の生産量が減少していることがわかる。増税により財の購入価格が上昇し、量での需要が減少したと思われる。しかし、その他サービスの生産量が増加したということは、政府部門の需要が増税増収により高まってきたからだと考えることができよう。結局、課税前の財価格も多く産業部門で上昇しており、名目GDPは2.05%の押し上げ効果となるものの、実質GDPは0.24%の押し下げ効果となった。Hicksの等価変分に基づく経済効果は、政府部門の効用が改善

したが、他の2部門のマイナス効果のほうが大きく、全体では0.33%の押し下げとなっている。s3はs1とs2の間のような結果となっている。しかし、s2の実質GDPの押し下げ効果が大きいため、実質GDPは0.17%の押し下げ、トータルの経済効果も0.24%の押し下げとなっている。総じて、付加価値税の増税は実質GDPを押し下げる結果となっているが、経済全体への影響は産業間・部門間で効果がキャンセルアウトされ、わずかな変化にとどまっていることが分かる。

4. 2 モンテカルロ実験後のシミュレーション結果

次に、モンテカルロ実験後の結果を紹介する。表2はモンテカルロ実験の設定および生産性の実験結果を示したものである。生産性はデータベースをもとにカリブレーションした結果である。次に設定に用いた標準偏差の値は、Harris and Robinson (2001) にならって、1997年から2005年までの産業連関表(主に延長表)のデータを整理して基準年である2005年と同様な形で生産性パラメータをカリブレートしたときのパラメータの標準偏差(下2桁に整理)を用いている。なおこの計算によると、再生資源回収・加工処理(i014)が3年分のデータしかなく、しかも、標準偏差が0に近かったため、このセクターについては生産性が変動しないものと仮定している。また、表2の後半部分はこの設定で5,000回モンテカルロ実験を行った場合の生産性パラメータの平均および標準偏差を示したものである。設定の頑強性を調べるために、表の最後にt検定による平均の差の検定を行った。^(注9) いずれも10%の棄却域である ± 1.65 を満たしておらず、実験後の生産性パラメータの平均値はカリブレート値と差がないといえる。

そしてこの実験で使われた生産性パラメータを用いてそれぞれのシミュレーションをした結果が表3以降の表である。まず、表3は各産業部門の生産量についての結果の平均値、標準偏差および実験前のシミュレーション結果に対する平均の差(t検定)の検定結果を示したものである。表4は各産業部門の財価格についての同様な結果を示したものである。表3より実験前と実験後の結果で統計的に異なる産業部門が出現していることが分かる。しかしながら、これに該当する産業がどのシミュレーションでもほとんど同じで、しかもマイナスに有意であることが興味深い。また、この結果名目GDPも実験前と乖離していることが分かる。表4でも同じような現象が見られるが、乖離している産業が表3と異なる場合が多いのが特徴である。

表5は表3および表4に基づき、モンテカルロ実験後のシミュレーション結果をシミュレーション前のベースケースの解と比較し、その統計的な検定を施したものである。検定は、平均の差がZ検定(標準正規分布)で、^(注10) 分散比がF検定となる(いずれも有意水準を5%としている)。^(注11) シミュレーション①について、実質GDPを除くすべての産業の生産量および価格の平均値でかなり大きな統計的な変化が確認されている。シミュレーションにより生産構造が大きく変化したという意味でこの変化は妥当であるが、一部の産

業の生産量の分散が異なっていることが分かる。これは、シミュレーションにより生産量の変動幅が広がった（または狭くなった）ことを意味する。例えば、その他サービス（s020）の生産量でいえば、シミュレーション後の分散が小さくなっていることから、所得税減税によってその他サービスの生産量の変動分布はより固定的（安定的）になったといえる。シミュレーション②について、平均値は農産品（a001）の価格を除くすべてに統計的な変化がみられた。分散も乗用車（i012）の価格を除くすべての産業で変化していることがわかる。シミュレーション③も商業（s017）の生産量を除いて平均値はすべて統計的に変化しており、分散も変化のみられた産業があることを示している。しかも、分散変化は分散が小さくなる方向で変化しているケースが多い。

生産量にしても価格にしてもシミュレーション後の動きは実験前に把握しているために、平均値の検定は妥当な結果となっている。これは生産性の不確実なものにもかかわらず、安定的に結果が変化することを意味する。一方で、分散が変化することは、解の実現可能性に違いが生じていることを意味する。実現可能性の幅が広がればそれだけ不安定な結果となるだろう。こういった状況を生み出すことがモンテカルロ実験を行う1つの積極的な意味をもたらせていると思われる。

4. 3 シミュレーション結果の分布

そこで解の実現可能性を視覚的に捕えるために、5,000回の実験で得られた解の分布を名目GDP（NGDP）、実質GDP（RGDP）、民間部門の経済効果（EVH）、政府部門の経済効果（EVG）、投資部門の経済効果（EVI）およびこれらの単純合計によるトータルの経済効果（EVT）でまとめてみた。図1は名目GDPの度数分布図である。例えば、横軸が505の欄にはNGDPの計算結果が500兆円から505兆円までの5兆円幅による度数がシミュレーションごとに表示されている。名目GDPはそれぞれのシミュレーションで変化が明らかであるので、度数分布も重複している部分が少ない。一方、相対価格変化を無視した実質GDPでは、かなり似通った分布となっていることが分かる（図2）。また、図3の民間部門の経済効果の度数分布図によると（以下0.5兆円幅で階級を設定）、シミュレーションごとに分布の中心が大きく異なり、民間有利の税制（s1）と民間不利の税制（s2）とでは経済効果が大きく異なることが分かる。しかもこの2つの差はかなり大きく、分布の交わりはほとんどない。生産性が不確実でも間違った結果に陥ることはないことが分かる。それに対して、図4の政府部門の経済効果の度数分布は、民間部門とまったく逆である。一方、図5の投資部門の経済効果の度数分布は民間と政府に比べるとやや重複した部分が見られる。そしてトータルの経済効果の度数分布を示した図6では、実質GDP同様のかなり似通った分布となっている。また、分布の広がりからも分かるように、起こりうる経済効果の可能性は、プラスマイナス25兆円近くとかなり大きい。これは名目GDP比で5%近くまで達しているから、生産性が不確実なだけでも経済を大きく動かすことができる。よって、

政策シミュレーションも生産性が不確実である場合は、ほとんど実質的な効果が見られない可能性があるといえよう。

もっとも実験前のシミュレーションにおいても各種税制政策のトータルの経済効果は思ったよりも小さいものとなっている。これは若干の対外部門があるものの、経済が国内で概ね完結しているため、税制変更による政策は、新たな付加価値を生み出すことなく国内の部門間および産業間で配分が変更されたに過ぎないことを示している。いわゆる『税の中立性』が考えられる訳であるが、実験を通じて政策効果の平均値は統計的には有意な違いが存在していることが判明した。わずかに中立的ではないといえるが、度数分布で表した場合は効果の違いがあまり大きなものではないことが判明した。すなわち、シミュレーション効果が生産性の不確実性で消される可能性があるということであり、これらを通じて、結果の可能性を幅広く吟味するためにもモンテカルロ実験が重要であるといえる。

5. 結びにかえて

本研究は、2005年の日本の産業連関表を用いて簡単なCGEモデルを構築し、各産業部門の生産性が確率的に変動する仮定のもとで、モンテカルロ実験を行い、政策シミュレーション効果がどのように変化するかを分析したものである。まず、生産性が確率的に変動した場合、実験前のシミュレーション結果と比較して、一部産業の生産量および財価格の平均値に統計的に有意な変化が見られたが、頑強性を大きく損なうものではなかった。税制を中心とした各種シミュレーションの結果、シミュレーション前のベースケースと比較して、ほとんどの産業の生産量および財価格には有意な変化が見られた。また一部産業で、分布の変化も見られた。シミュレーションによって分散が小さくなった産業は、結果がより安定的になったといえることができるが、逆の場合もある。シミュレーションにより名目GDPは大きく変化したものの、財価格を固定した実質GDPはわずかな変化にとどまっている。税制シミュレーションによる民間部門と政府部門との経済効果の差は歴然であったが、実質GDP同様、トータルの経済効果の分布はかなり似通っており、全体的な政策効果の違いはあまり見られない。よって、生産性が不確実である場合、政策効果がその不確実性に吸収される可能性がある。つまり、生産性の不確実性いかんによって政策が無意味なものになるということである。こういった結論は通常のCGEシミュレーションでは得られないと思われる。よって、不確実性を考慮した実験が今後も必要であるといえる。

注

1 CGE モデルによる研究は数多く存在するが、モデルの構造および応用例の教科書的な文献として細江・我澤・橋本（2004）がある。

2 モンテカルロ実験について、最近ではベイジアン立場からマルコフ連鎖を用いてモンテカルロサンプルを抽出していく研究が盛んである（MCMC 法）。本研究のモンテカルロ実験はカリブレーションなどで得られたパラメータが不確実であることを前提に、より精度の高い計測結果を得るための解決策として提案されたものである。

3 本研究における産業区分は以下である。a001：農林水産業；i002：鉱業，石炭・原油・天然ガス；i003：食料品・たばこ・飲料；i004：繊維工業製品，衣服・その他の繊維製品；i005：製材・木製品・家具，パルプ・紙・紙加工品，出版・印刷；i006：化学基礎製品，合成樹脂，化学最終製品，医薬品；i007：石油製品・石炭製品，プラスチック製品，窯業・土石製品；i008：鉄鋼，非鉄金属，金属製品；i009：一般機械，事務用・サービス用機器；i010：民生用電子・電気機器，電子計算機・同付属装置，通信機械，その他の電子・通信機械；i011：重電機器，その他の電気機器；i012：乗用車，その他の自動車，その他の輸送機械；i013：精密機械，その他の製造工業製品；i014：再生資源回収・加工処理；i015：建築及び補修，公共事業，その他の土木建設；i016：電力，ガス・熱供給，水道・廃棄物処理；s017：商業；s018：金融・保険・不動産，住宅賃貸料（帰属家賃）；s019：運輸，通信・放送；s020：公務，その他の公共サービス，調査・情報サービス，その他の対事業所サービス，対個人サービス，その他。

4 労働，人的資本，物的資本および税収の産業連関表による該当項目はそれぞれ雇用者所得，営業余剰，資本減耗引当および間接税である。人的資本については議論を要するが，ここでは，人的資本が知識とアイデアから生み出されるさらなる付加価値（余剰）といった意味でこのように定義している。

5 こういった正規分布を用いるのは，単純な回帰分析における誤差項とその性質を念頭に置いたものである。

6 もちろん不確実なパラメータは生産性パラメータだけにとどまらない。さまざまなパラメータに対して不確実性を設定したほうがいいが，この点については，モデル作りの際の目的に依存される。

7 もちろん税制以外にもさまざまなシミュレーションが考えられるが，これも前述同様にモデル作りの目的に依存される。

8 Hicks の等価変分に基づくモデルの評価は

$$evh = \left(\prod_i XH_i^{\alpha_i^{XH}} - \prod_i XH_i^{*\alpha_i^{XH}} \right) / \prod_i (\alpha_i^{XH} / PD_i^*)^{\alpha_i^{XH}}$$
 と計算される。ここで XH_i は民間部門の i 産業財に対する消費量， XH_i^* はその初期ベースケース解， α_i^{XH} は民間部門の i 産業財に対する消費のシェアパラメータ， PD_i^* は i 産業財に対する購入価格の初期ベースケース解である。これと同様な評価を政府部門，投資部門でそれぞれ計算し，トータルの経済

効果としてこれらを単純に合計している。なお、計算の際、データベースの関係上 XH_i^* などがゼロとなるケースはあらかじめ取り除いている。

9 平均の差検定 (t 検定) $T = (\bar{X} - \mu)\sqrt{n}/S$, $n=5,000$ 。 \bar{X} は例えば γ の平均など、モンテカルロ実験で得られた結果に対する平均値, μ は γ^* など実験前に得られた値, S は γ の標準偏差をそれぞれ示す。自由度は 4,999, 有意水準 5% の臨界値は ± 1.96 である。

10 平均の差検定 (Z 検定) $Z = (\bar{X}_{simulation} - \bar{X}_{base}) / \sqrt{S_{simulation}^2/n + S_{base}^2/n}$ 。 t 検定も考えられるが、サンプル数も多く、漸近的には標準正規分布に近似するものとしてこちらを採用した。有意水準 5% の臨界値は ± 1.96 である。

11 分散比 (F 検定) $F = S_{simulation}^2 / S_{base}^2$ または $F = S_{base}^2 / S_{simulation}^2$ 。どちらか大きいほうを分子としている。自由度は (4,999, 4,999), 有意水準 5% の臨界値は 1.0476 である。

参考文献

Abler, David, Adrian Rodrigues and James Shortle (1999) "Parameter uncertainty in CGE modeling of the environmental impacts of economic policies", *Environmental and Resource Economics*, Vol.14, No.2, pp.75-94.

Harris, Rebecca L. and Sherman Robinson (2001) "Economy-wide effects of EL NINO/Southern Oscillation (ENSO) in Mexico and the role of improved forecasting and technological change", TMD Discussion Paper No.83, Trade and Macroeconomics Division, International Food Policy Research Institute.

Tanaka, Tetsuji and Nobuhiro Hosoe (2007) "Productivity Shock and National Food Security in Japan", mimeo.

細江宣裕・我澤賢之・橋本日出男 (2004) 『テキストブック 応用一般均衡モデリング』東京大学出版社.

王燦・陳吉寧 (2006) 「用 Monte Carlo 方法分析 CGE 模型的不確定性」『清華大学学报 (自然科学版)』第 48 卷第 9 期, pp.1555-1559 (中国語).

表1 モンテカルロ実験前のシミュレーション結果（生産量の単位は兆円）

	Base	s1			s2			s3		
	生産量	生産量	生産量変化	価格変化	生産量	生産量変化	価格変化	生産量	生産量変化	価格変化
a001	14.89	15.58	1.0467	1.0028	13.88	0.9320	0.9995	14.48	0.9727	1.0045
i002	16.44	16.64	1.0123	0.9963	15.49	0.9421	1.0110	15.64	0.9512	1.0099
i003	38.90	41.30	1.0617	0.9975	35.07	0.9016	1.0197	37.11	0.9539	1.0200
i004	7.76	8.28	1.0671	0.9931	7.38	0.9511	1.0069	7.86	1.0130	1.0031
i005	26.55	26.42	0.9951	0.9934	26.45	0.9960	1.0020	26.32	0.9913	0.9986
i006	29.77	29.87	1.0032	0.9957	28.85	0.9690	1.0318	28.89	0.9705	1.0303
i007	33.14	33.65	1.0153	0.9948	30.95	0.9338	1.0224	31.31	0.9447	1.0201
i008	46.33	45.34	0.9786	0.9948	44.43	0.9591	1.0212	43.51	0.9392	1.0190
i009	30.39	28.82	0.9482	0.9931	30.20	0.9937	1.0064	28.76	0.9461	1.0027
i010	41.25	41.85	1.0147	0.9936	39.58	0.9596	1.0118	40.12	0.9726	1.0085
i011	11.90	11.62	0.9765	0.9920	11.49	0.9657	1.0172	11.23	0.9437	1.0125
i012	53.46	53.26	0.9962	0.9931	50.47	0.9441	1.0237	50.24	0.9397	1.0199
i013	16.54	16.71	1.0102	0.9935	16.12	0.9746	1.0110	16.27	0.9837	1.0076
i014	2.31	2.32	1.0033	0.9941	2.18	0.9410	1.0869	2.18	0.9428	1.0839
i015	61.17	58.14	0.9505	0.9886	59.39	0.9710	1.0144	56.68	0.9267	1.0066
i016	25.57	26.26	1.0271	0.9967	24.80	0.9699	0.9943	25.42	0.9941	0.9939
s017	87.92	91.04	1.0355	0.9910	85.01	0.9669	0.9742	87.89	0.9996	0.9687
s018	106.94	113.40	1.0604	1.0067	104.27	0.9750	0.9528	110.54	1.0336	0.9614
s019	61.90	64.61	1.0437	0.9930	59.90	0.9676	0.9894	62.39	1.0078	0.9857
s020	262.29	248.39	0.9470	0.9893	279.65	1.0662	0.9857	266.76	1.0171	0.9786
NGDP	506.78	503.93	0.9944		517.16	1.0205		516.05	1.0183	
RGDP	506.78	507.10	1.0006		505.56	0.9976		505.93	0.9983	
EVH		30.38	6.00		-22.06	-4.35		6.10	1.20	
EVG		-22.81	-4.50		22.76	4.49		1.53	0.30	
EVI		-7.17	-1.42		-2.36	-0.47		-8.86	-1.75	
EVT		0.40	0.08		-1.66	-0.33		-1.22	-0.24	

表2 モンテカルロ実験の設定および生産性の実験結果

	生産性	設定値	平均	標準偏差	t-test
a001	2.4901	0.06	2.4899	0.0598	-0.27
i002	2.9179	0.19	2.9139	0.1889	-1.49
i003	2.6406	0.10	2.6394	0.0994	-0.87
i004	2.1347	0.14	2.1348	0.1387	0.04
i005	2.5635	0.03	2.5636	0.0302	0.28
i006	2.9503	0.10	2.9516	0.0995	0.91
i007	2.7040	0.21	2.7040	0.2103	0.00
i008	2.8213	0.08	2.8212	0.0801	-0.06
i009	2.6195	0.04	2.6191	0.0400	-0.62
i010	2.7203	0.09	2.7217	0.0903	1.12
i011	2.3464	0.15	2.3466	0.1515	0.10
i012	2.6473	0.11	2.6460	0.1096	-0.82
i013	2.5391	0.23	2.5345	0.2315	-1.41
i014	2.4435	0.00	2.4435	--	--
i015	1.8790	0.10	1.8799	0.0994	0.63
i016	2.9735	0.01	2.9735	0.0100	0.43
s017	2.2724	0.06	2.2721	0.0596	-0.33
s018	2.7414	0.05	2.7423	0.0493	1.20
s019	2.6221	0.10	2.6239	0.0990	1.24
s020	2.1412	0.08	2.1408	0.0797	-0.39

表3 生産量のモンテカルロ実験結果

	Base			s1			s2			s3		
	平均	標準 偏差	t-test	平均	標準 偏差	t-test	平均	標準 偏差	t-test	平均	標準 偏差	t-test
a001	14.88	0.20	-4.61	15.57	0.21	-4.62	13.86	0.18	-4.75	14.47	0.19	-4.79
i002	16.42	0.28	-4.90	16.62	0.28	-4.95	15.47	0.26	-4.99	15.62	0.26	-5.05
i003	38.87	0.57	-4.59	41.26	0.60	-4.62	35.04	0.50	-4.72	37.07	0.53	-4.78
i004	7.76	0.19	-2.95	8.28	0.21	-2.94	7.38	0.18	-3.22	7.86	0.19	-3.21
i005	26.53	0.38	-3.11	26.40	0.37	-3.20	26.43	0.40	-3.05	26.30	0.38	-3.13
i006	29.75	0.59	-2.66	29.84	0.58	-2.75	28.82	0.57	-2.90	28.87	0.56	-2.99
i007	33.11	0.54	-4.52	33.61	0.55	-4.58	30.92	0.49	-4.61	31.28	0.50	-4.68
i008	46.30	0.71	-2.87	45.31	0.70	-2.91	44.40	0.67	-3.25	43.48	0.65	-3.30
i009	30.38	0.43	-2.03	28.81	0.41	-2.03	30.19	0.42	-2.14	28.74	0.40	-2.14
i010	41.23	1.02	-0.72	41.84	1.04	-0.71	39.57	0.93	-1.01	40.10	0.95	-1.01
i011	11.89	0.40	-2.23	11.61	0.39	-2.24	11.48	0.36	-2.59	11.22	0.35	-2.60
i012	53.41	2.14	-1.64	53.21	2.15	-1.63	50.42	1.87	-1.89	50.19	1.87	-1.89
i013	16.50	0.59	-4.18	16.67	0.60	-4.19	16.08	0.54	-4.53	16.23	0.55	-4.53
i014	2.31	0.03	-4.07	2.32	0.03	-4.19	2.17	0.03	-4.26	2.18	0.03	-4.38
i015	61.10	1.46	-3.05	58.08	1.37	-3.07	59.33	1.36	-3.26	56.62	1.29	-3.28
i016	25.55	0.31	-3.48	26.24	0.31	-3.62	24.78	0.32	-3.42	25.40	0.32	-3.56
s017	87.88	1.46	-2.03	91.00	1.53	-2.00	84.97	1.41	-2.08	87.84	1.47	-2.05
s018	106.93	1.41	-0.34	113.40	1.52	-0.24	104.26	1.37	-0.46	110.53	1.47	-0.36
s019	61.89	1.21	-0.76	64.60	1.29	-0.70	59.88	1.16	-0.93	62.37	1.22	-0.87
s020	262.14	6.10	-1.67	248.26	5.67	-1.67	279.50	6.62	-1.67	266.62	6.22	-1.67
NGDP	506.09	5.95	-8.22	503.25	5.84	-8.24	516.56	6.14	-6.85	515.46	6.05	-6.88
RGDP	506.47	7.07	-3.14	506.80	6.81	-3.20	505.24	7.38	-3.04	505.62	7.13	-3.10
EVH	-0.21	3.88	-3.87	30.15	4.26	-3.87	-22.26	3.58	-4.02	5.88	3.93	-4.01
EVG	-0.03	2.17	-0.97	-22.82	1.55	-0.63	22.72	2.81	-1.03	1.50	2.24	-0.82
EVI	-0.14	1.89	-5.11	-7.30	1.78	-5.11	-2.49	1.83	-5.19	-8.98	1.72	-5.19
EVT	-0.38	7.14	-3.75	0.02	6.87	-3.87	-2.04	7.43	-3.60	-1.60	7.16	-3.71

(注) 以下、プラスに有意に棄却したものには黄色のマーカー、マイナスに有意に棄却したのものには青のマーカーをつけている。

表 4 財価格のモンテカルロ実験結果

	Base			s1			s2			s3		
	平均	標準偏差	t-test	平均	標準偏差	t-test	平均	標準偏差	t-test	平均	標準偏差	t-test
a001	0.9994	0.01	-3.36	1.0022	0.01	-3.34	0.9991	0.01	-2.22	1.0041	0.01	-2.20
i002	0.9996	0.01	-5.60	0.9959	0.01	-5.54	1.0108	0.01	-2.28	1.0098	0.01	-2.21
i003	0.9998	0.01	-1.25	0.9973	0.01	-1.20	1.0197	0.01	-0.16	1.0200	0.01	-0.12
i004	1.0001	0.02	0.27	0.9932	0.02	0.33	1.0072	0.02	1.19	1.0034	0.02	1.24
i005	0.9991	0.01	-7.31	0.9925	0.01	-7.28	1.0014	0.01	-5.71	0.9980	0.01	-5.68
i006	0.9995	0.01	-3.28	0.9952	0.01	-3.17	1.0315	0.01	-1.73	1.0301	0.01	-1.65
i007	1.0007	0.02	2.79	0.9955	0.02	2.84	1.0232	0.02	3.65	1.0210	0.02	3.69
i008	0.9994	0.01	-2.86	0.9943	0.01	-2.79	1.0208	0.01	-1.75	1.0187	0.01	-1.69
i009	0.9993	0.01	-5.45	0.9924	0.01	-5.35	1.0060	0.01	-3.71	1.0023	0.01	-3.63
i010	0.9994	0.01	-3.61	0.9931	0.01	-3.51	1.0115	0.01	-2.17	1.0082	0.01	-2.09
i011	1.0005	0.02	1.68	0.9925	0.02	1.73	1.0179	0.02	2.41	1.0131	0.02	2.45
i012	1.0001	0.02	0.38	0.9932	0.01	0.45	1.0240	0.02	1.36	1.0202	0.02	1.41
i013	1.0021	0.03	5.13	0.9956	0.03	5.17	1.0133	0.03	5.64	1.0099	0.03	5.67
i014	0.9997	0.01	-2.72	0.9938	0.01	-2.60	1.0869	0.01	0.00	1.0839	0.01	0.12
i015	1.0003	0.02	0.74	0.9889	0.02	0.78	1.0148	0.02	1.36	1.0071	0.02	1.40
i016	0.9991	0.01	-9.95	0.9959	0.01	-9.96	0.9936	0.01	-7.69	0.9932	0.01	-7.69
s017	0.9993	0.02	-2.62	0.9903	0.02	-2.57	0.9737	0.02	-1.91	0.9683	0.02	-1.87
s018	0.9987	0.02	-5.37	1.0054	0.02	-5.38	0.9518	0.02	-4.57	0.9603	0.02	-4.58
s019	0.9994	0.02	-2.02	0.9924	0.02	-1.98	0.9889	0.02	-1.42	0.9853	0.02	-1.38
s020	0.9998	0.02	-0.82	0.9891	0.02	-0.74	0.9856	0.02	-0.11	0.9786	0.02	-0.04

表5 シミュレーション後の統計的検定結果

	s1				s2				s3			
	生産量		財価格		生産量		財価格		生産量		財価格	
	Z-test	F-test	Z-test	F-test	Z-test	F-test	Z-test	F-test	Z-test	F-test	Z-test	F-test
a001	171.52	1.09	10.41	1.01	-266.49	1.18	-1.11	1.08	-105.21	1.10	17.72	1.08
i002	35.95	1.02	-36.69	1.03	-176.35	1.18	108.34	1.06	-148.76	1.18	98.97	1.03
i003	204.85	1.13	-9.28	1.03	-357.94	1.29	74.44	1.05	-163.88	1.16	75.85	1.07
i004	129.22	1.16	-19.57	1.02	-102.22	1.19	20.42	1.05	26.15	1.03	9.58	1.06
i005	-17.50	1.09	-37.45	1.04	-13.56	1.09	13.19	1.10	-30.40	1.00	-6.47	1.14
i006	8.12	1.03	-21.56	1.00	-79.98	1.08	164.37	1.13	-76.83	1.12	156.59	1.13
i007	46.55	1.03	-14.90	1.01	-211.96	1.20	66.06	1.09	-176.70	1.19	59.60	1.09
i008	-70.24	1.06	-18.93	1.01	-137.14	1.15	79.27	1.05	-206.24	1.21	71.41	1.06
i009	-188.68	1.10	-40.93	1.03	-22.57	1.05	39.74	1.08	-198.54	1.15	17.50	1.10
i010	29.47	1.04	-29.36	1.01	-85.68	1.19	56.10	1.07	-57.65	1.15	40.79	1.08
i011	-35.55	1.04	-19.55	1.02	-54.03	1.22	43.22	1.11	-89.43	1.27	31.56	1.12
i012	-4.79	1.01	-23.11	1.02	-74.40	1.31	79.13	1.02	-80.17	1.31	66.90	1.01
i013	14.16	1.05	-11.15	1.01	-37.20	1.19	19.36	1.07	-23.74	1.14	13.51	1.08
i014	12.40	1.03	-44.43	1.03	-227.76	1.12	631.75	1.12	-222.53	1.16	614.15	1.09
i015	-106.59	1.13	-23.37	1.03	-62.79	1.15	30.58	1.12	-162.68	1.29	14.43	1.15
i016	111.57	1.04	-26.14	1.04	-120.68	1.07	-45.55	1.15	-23.85	1.03	-49.15	1.19
s017	104.45	1.09	-25.81	1.03	-101.28	1.07	-75.59	1.17	-1.08	1.01	-92.27	1.20
s018	220.48	1.15	19.30	1.00	-96.12	1.06	-139.28	1.13	124.70	1.08	-113.86	1.13
s019	108.13	1.12	-15.56	1.02	-84.67	1.10	-23.97	1.14	19.82	1.01	-32.53	1.15
s020	-117.85	1.16	-27.05	1.00	136.24	1.18	-36.65	1.11	36.28	1.04	-54.85	1.11
NGDP	-24.07	1.04			86.56	1.07			78.06	1.03		
RGDP	2.37	1.08			-8.47	1.09			-6.00	1.02		
EVH	372.36	1.21			-295.37	1.18			77.99	1.03		
EVG	-603.77	1.96			452.49	1.68			34.75	1.07		
EVI	-195.01	1.13			-63.28	1.07			-244.23	1.20		
EVT	2.87	1.08			-11.39	1.08			-8.51	1.01		

(注) 平均については Z-test, 標準偏差については F-test により, シミュレーション前の実験結果に対して統計的な検定を実施した。それぞれの実数値については表 3 (生産量) および表 4 (財価格) を参照のこと。

図1 NGDP の度数分布 (単位: 兆円, 度数)

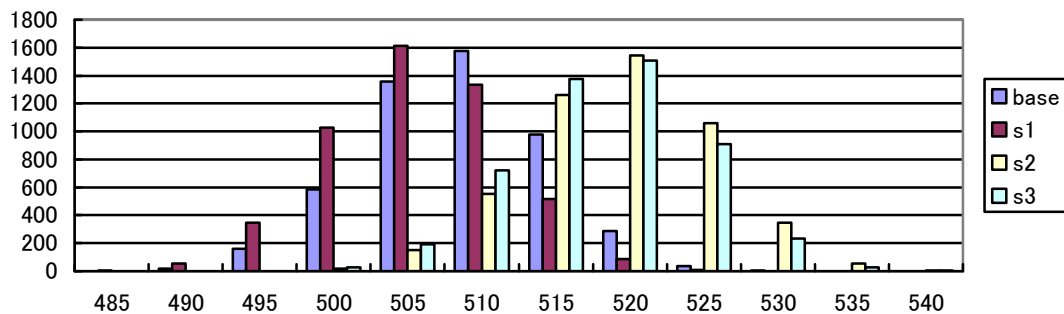


図2 RGDP の度数分布 (単位: 兆円, 度数)

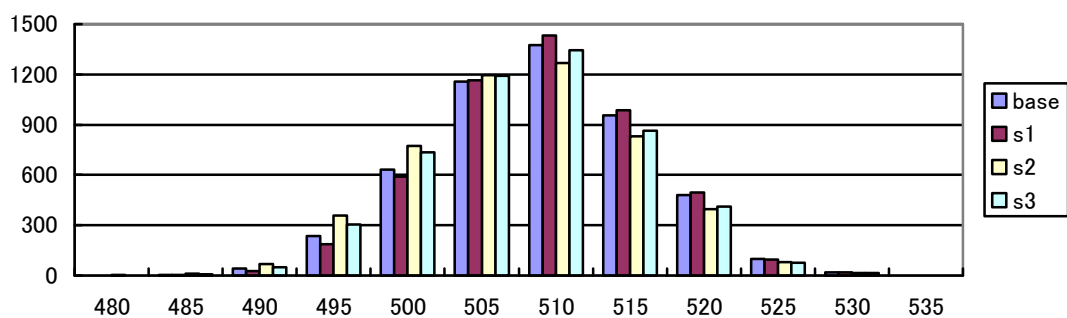


図3 EVH の度数分布 (単位: 兆円, 度数)

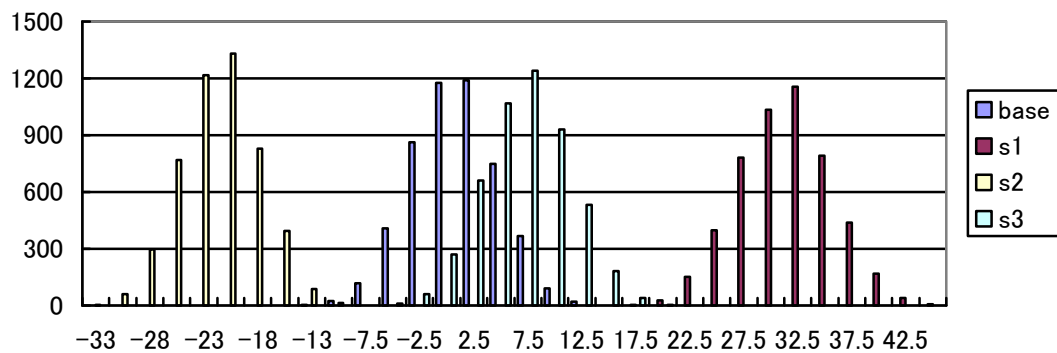


図4 EVGの度数分布（単位：兆円，度数）

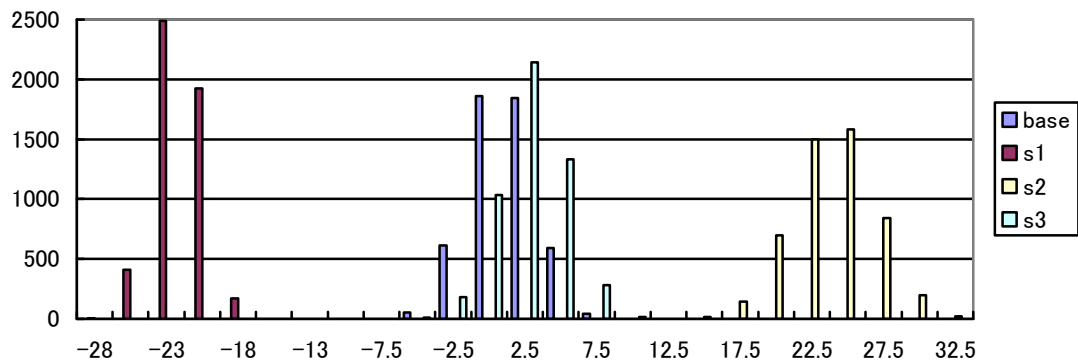


図5 EVIの度数分布（単位：兆円，度数）

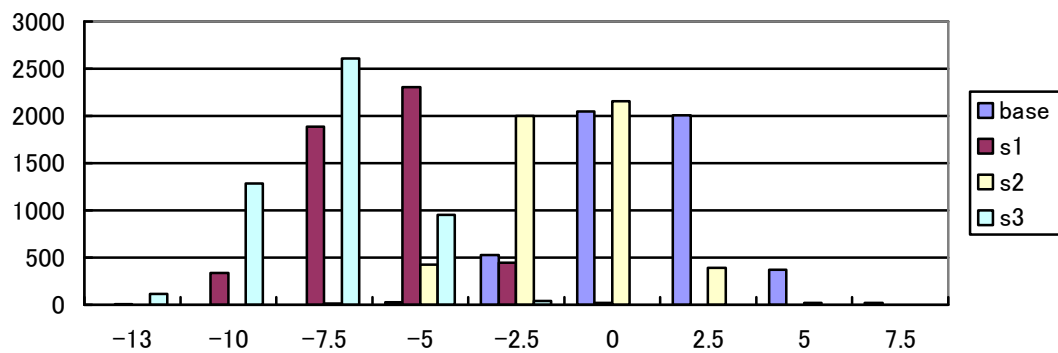
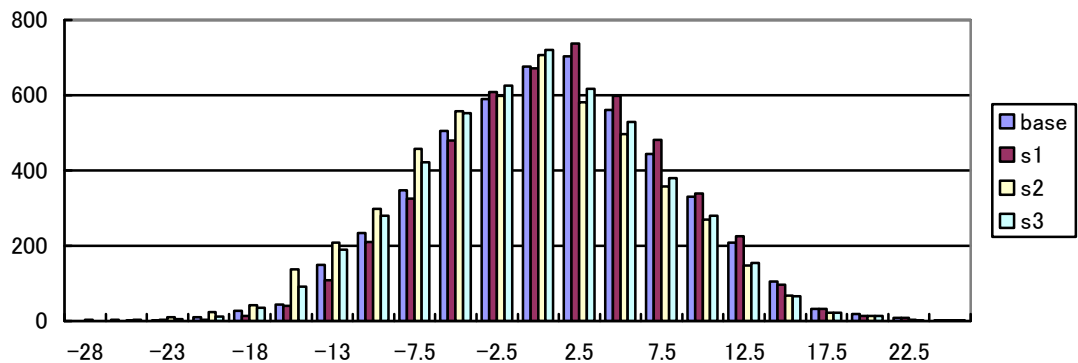


図6 EVTの度数分布（単位：兆円，度数）



補論：モデル一覧（ i ：産業）

1. 付加価値生産（コブ・ダグラス）

$$\begin{aligned} PL \cdot L_i &= \alpha_i PFC_i FC_i \\ PH \cdot H_i &= \beta_i PFC_i FC_i \\ PK \cdot K_i &= (1 - \alpha_i - \beta_i) PFC_i FC_i \\ FC_i &= \gamma_i L_i^{\alpha_i} H_i^{\beta_i} K_i^{1 - \alpha_i - \beta_i} \end{aligned}$$

FC ：付加価値生産物； L ：労働； H ：人的資本； K ：物的資本； PFC ：付加価値生産物の価格；
 PL ：労働の価格； PH ：人的資本の価格； PK ：物的資本の価格
 γ ：生産性パラメータ； α ：生産関数のシェアパラメータ； β ：生産関数のシェアパラメータ

2. 要素市場

$$\begin{aligned} \sum L_i &= \sum L_i^* \\ \sum H_i &= \sum H_i^* \\ \sum K_i &= \sum K_i^* \end{aligned}$$

L^* ：労働の外生ストック； H^* ：人的資本の外生ストック； K^* ：物的資本の外生ストック

3. 中間財との合成（レオンチェフ）

$$\begin{aligned} FC_i &= \delta_i^{FC} Y_i \\ XM_{i,i} &= \delta_{i,i}^{XM} Y_i \\ PY_i Y_i &= PFC_i FC_i + \sum PD_i XM_{i,i} \end{aligned}$$

Y ：中間財と付加価値生産との合成財； PY ：合成財の価格； XM ：中間財
 δ^{FC} ：シェアパラメータ； δ^{XM} ：シェアパラメータ

4. 輸入 (CES)

$$PM_i = PEX(1 + tm_i)$$

$$Q_i = \gamma_i^M \left(\alpha_i^M Y_i^{\rho_i^M} + (1 - \alpha_i^M) M_i^{\rho_i^M} \right)^{\frac{1}{\rho_i^M}}$$

$$M_i = Y_i \left(\frac{\alpha_i^M}{1 - \alpha_i^M} \frac{PM_i / (1 + tm_i)}{PY_i} \right)^{\frac{1}{\rho_i^M - 1}}$$

$$PQ_i Q_i = PY_i Y_i + PM_i M_i$$

Q : 輸入財との合成財 ; M : 輸入財 ; PQ : 合成財の価格 ; PM : 輸入財の価格 ; PEX : 為替レート

γ^M : 生産性パラメータ ; α^M : 生産関数のシェアパラメータ ; ρ^M : CES 関数の弾力性パラメータ ; tm : (輸入) 関税

5. 輸出 (CET)

$$PE_i = PEX \cdot 1$$

$$Q_i = \gamma_i^E \left(\alpha_i^E D_i^{\rho_i^E} + (1 - \alpha_i^E) E_i^{\rho_i^E} \right)^{\frac{1}{\rho_i^E}}$$

$$E_i = D_i \left(\frac{\alpha_i^E}{1 - \alpha_i^E} \frac{PE_i}{PD_i / (1 + td_i)} \right)^{\frac{1}{\rho_i^E - 1}}$$

$$PD_i = PQ_i (1 + td_i)$$

E : 輸出財 ; D : 国内財 ; PE : 輸出財の価格 ; PD : 国内財の価格

γ^E : 生産性パラメータ ; α^E : 生産関数のシェアパラメータ ; ρ^E : CET 関数の弾力性パラメータ ; td : 付加価値税

6. 市場均衡

$$D_i = XH_i + XG_i + XI_i + \sum XM_{i,i}$$

7. 民間部門

$$\lambda_i^{XH} (1 - ti - sh) income = PD_i XH_i$$

$$income = \sum (PL \cdot L_i + PH \cdot H_i + PK \cdot K_i)$$

XH : 民間消費 ; $income$: 民間部門収入 ; λ^{XH} : 各財への消費シェアパラメータ ; ti : 所得税 ;
 sh : 民間貯蓄

8. 政府部門

$$\lambda_i^{XG} (1 - sg) govein = PD_i XG_i$$

$$govein = \sum tm_j M_j + \sum td_i D_i + ti \cdot income$$

XG : 政府消費 ; $govein$: 政府部門収入 ; λ^{XG} : 各財への消費シェアパラメータ ; sg : 政府貯蓄

9. 投資部門

$$\lambda_i^{XI} (invein - fore) = PD_i XI_i$$

$$invein = sh \cdot income + sg \cdot govein$$

XI : 投資財購入 ; $invein$: 投資部門収入 ; $fore$: 対外収支 ; λ^{XI} : 各財への購入シェアパラメータ

10. 対外均衡

$$\sum \frac{PM_i}{1 + tm_i} M_i + fore = \sum PE_i E_i$$

(注) CES (代替の弾力性が一定) および CET (変形の弾力性が一定) 関数については細江・我澤・橋本 (2004) を参照のこと。