

応用一般均衡モデルによる環境効率リバウンド効果の計測 ：日本経済の温暖化ガス排出削減をめぐって

鷲田豊明*

豊橋創造大学

概要

環境効率改善が、環境負荷を増加させるような反応を引き起こし、効果を相殺してしまうというリバウンド効果は、「規制」、「経済手法」、「自発的対策促進」などの環境政策の組み合わせを考えるうえで不可欠のテーマである。

地球温暖化対策をめぐって、炭素税の導入が大きなテーマとなっているが、それに反対して、産業界が固執する自主的対応も、リバウンド効果の適切な評価を抜きに、有効性を議論することはできない。また、環境税の必要性を語る側の炭素税率についても、環境効率改善に過度に依存し、リバウンド効果を過小評価することによって、低すぎる税率を設定していないかを冷静に検討しなければならない。

本論文では、これまで部分均衡の中でしか議論されてこなかったリバウンド効果の規模を、33部門分割した日本経済の応用一般均衡モデルによって、実証的に推計した。

その結果によれば、産業や消費をめぐる弾力性の影響を受け、弾力性が大きくなればなるほどリバウンド効果の規模も増加し、およそ35%から70%のリバウンド効果を念頭におかなければならないことがわかった。この結果によれば、たとえば、二酸化炭素排出量を10%削減する技術も、市場経済のさまざまな反応によって現実にはかなり相殺されてしまい、3%から6.5%の削減効果しか期待できない。すなわち、部分的な削減効果のみ注目したような政策判断は誤った結果をもたらす可能性を示している。

また、本稿では炭素税についてもシミュレーションしたが、弾力性が大きくなればなるほど、炭素税の効果が増大することがわかった。すなわち、リバウンド効果が大きいような経済状態では、炭素税の効果も大きい。逆は逆である。つまり、経済の弾力性が大きいような状況では炭素税のような経済手法の選択が推薦されるが、弾力性が小さい状況ではより自発的な努力に対する促進が推薦されるのである。

* mail : toyoaki@washida.net

論文の最新バージョンは <http://washida.net/paper/epam/> におかれている。同サイトには、シミュレーション用の実行可能プログラムも置かれている。本論文を引用する場合は、上記アドレスを必ず記載すること。

1. 環境政策とリバウンド効果

環境政策には三つの層がある。第一は、直接規制、第二は、経済手法、そして第三は自主的努力の促進である。この第一から第三にかけて、確実性は低下するが、実施に当たっての社会的コストもまた低下する。社会的コストの低下には、単なる貨幣的な負担だけではなく、経済主体の個別的特性に制約を加えるという点も含まれる。地球環境問題が問われる現在においては、確実性を強く求める規制的環境政策一辺倒ではなく、経済手法や自主的努力のポリシー・ミックスが大切な戦略となっている。

経済手法も含めて、自主的・自発的努力を重視し、企業や個別主体の環境効率改善に依存するようになると、そこにリバウンド効果の発生というやっかいな問題に直面する。すなわち、企業や個人、あるいは個別産業において、環境負荷を削減するような技術や消費、さらにはライフスタイルが採用されても、それが逆に環境負荷を増大させるような反応を引き起こして、本来の効果を相殺してしまうのである。

たとえば、環境省が発表した2001年の温暖化ガス排出増加要因の分析によれば、自家用自動車輸送部門からの温暖化ガス排出は、前年に比べ300万トン増加し、増加傾向が続いている。その原因として三つ上げられている。第一は、自動車の保有台数が一貫して増加し続けていること、第二に、自動車の平均重量が一貫して増加し続けていること、第三に、理論燃費で実走行燃費を割った実走行係数が増加していることである。これらの正確な要因は、もっと分析が必要だが、こうした要因の一つにリバウンド効果の影響があると考えられる。自動車業界は、燃費の改善に努力し、ハイブリッド車や燃料電池車まで登場するようになっているが、燃費が改善される割合に応じて温暖化ガス排出が低下するわけではない。逆に、燃費がよくなることによって、今まで自動車を利用しなかった個人が自動車を購入する。走行距離を控えていた利用者が、燃費の改善を契機により走行距離を増やすようになる。さらに、燃費の改善による支出の節約をみて、より排気量の大きな自動車を購入するようになる。こうした反応こそがリバウンド効果である。

さらには、暖房効率や冷房効率がよくなるとその余裕をより電力を使用するものへと振り向けるなどもリバウンド効果になる。

地球温暖化問題により絞って考えれば、この問題が表面化して以降、家計や企業において効率改善の努力が進められてきたことは確かだ。その成果も現れている。しかし、現実には温暖化ガスは減少しているどころか持続的な増加傾向を見せているのである。

環境省は2005年度にむけて温暖化対策税（炭素税）の導入を検討している。昨年8月には「温暖化対策税制の具体的な制度の案 国民による検討・議論のための提案」を発表し、2004年に行われる政府の温暖化対策推進大綱において必要とされる場合には早期に温暖化対策税を導入すべきであるとした。これに対して産業界からは、これまで産業界が行ってきた自主的努力を適切に評価すべきであること、あるいは、これからもこうした自主的努力によって対策を進めるべきであるという強い反発の意見が出されている。しかし、この自主的努力が、リバウンド効果によって損なわれてしまっている程度を適切に評価することもまた大切だろう。自主的努力にだけ頼ってられるのか、その点の政策的見極めが大切なのである。

ただ、もう一方で、温暖化対策税の根拠にもリバウンド効果は関わっている。先の提案の中で

は、3,400 円程度の課税を行い、その資金を適切な新技術導入の補助金とすることによって京都会議の結果として求められている 1990 年レベルからの 2%削減（他の手法による削減分を除いている）が可能になるという。しかし、その根拠となった AIM エンドユースモデルは「技術的効率改善のみによる削減をシミュレートしたもの」であり、リバウンドゼロを前提にして組み立てられた結果である。これが、温暖化対策税の削減効果の過大な評価につながっていないかという点での冷静な検討も求められている。

このリバウンド効果という言葉そのものは、食事制限や薬剤の使用の場合にも使われているように特別な専門用語ではない¹。この概念に関わった研究で、特にわれわれが注目しなければならないのは、1980 年代以降、エネルギー経済学の分野で、厳しい論争も含めて、精力的に行なわれてきたリバウンド効果に関する研究である（Khazzoom 1980, Lovins 1988, Greene 1992, Greene 1999, Schipper 2000 など数多い）。これらの議論の全体像はリバウンド効果の推計値と共に Greening (2000)にまとめられている。エネルギー効率に関する議論は、そのまま温室効果ガスなどの環境効率に関する議論につながっていくものである。そのなかで、消費に関わる時間利用に関するリバウンド効果を議論した論文（Binswanger 2001, Jalas 2002）や、またさらにそれを持続可能な消費のテーマの中に位置づけた論文（Hofstetter 2003）などが現われた。

これらの議論の中で最も注目すべき事象の一つは、Greening (2000)の中で指摘されている点で、国民経済全体のリバウンド効果に関する研究がきわめて少ないということである。彼がまとめているリバウンド効果に関する 74 の論文の中で、経済全体に関わる研究は 1 つしかなく（Kydes, 1997）、他はすべて特定の、あるいはひとまとまりの財やサービスに関わるものだった。他に Saunders 1992 では、マクロ的な新古典派成長論の枠組みで議論しているが、マクロモデルであり価格がないために経済全体の相互依存関係を捉えるにはあまりに不十分である。

本論文では、日本経済の抱えているリバウンド効果のポテンシャルを、エネルギー関係部門を独立させた 33 部門分割の応用一般均衡モデルによって測定したものである。結論的に、日本経済のリバウンド効果ポテンシャルはゼロではないばかりか、環境効率改善の効果を著しく減じるものであることがわかった。それは、初めにも述べたように、生産や消費に関わる様々な環境政策評価の部面で、リバウンド効果の評価が避けがたいことをも示している。

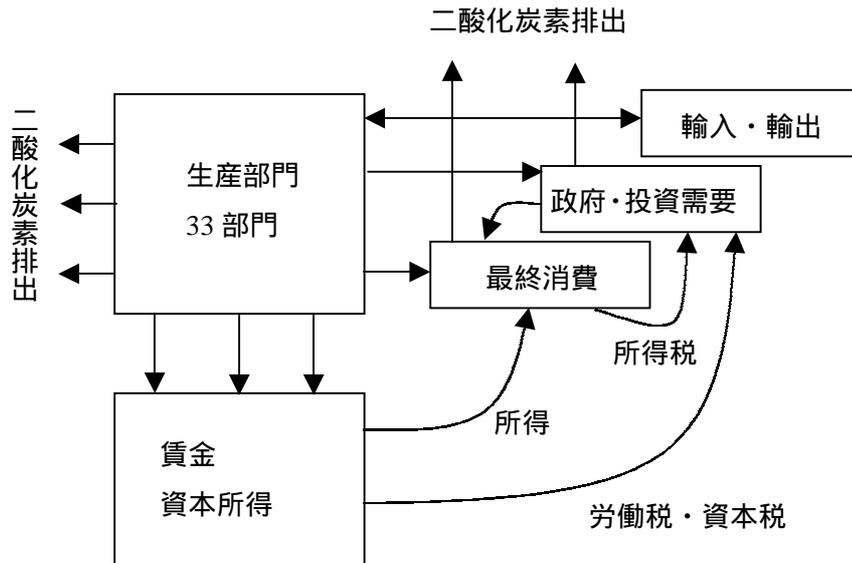
本校の構成は次の通りである。2 節では、政策評価の応用一般均衡モデル(Environmental Policy Appraisal Model: APAM)枠組みを記述する²。3 節では、理論的な内容を記述する。4 節ではデータセットの概要を示す。5 節では、計算過程についての解説を行う。6 節ではシミュレーションとその結果を示す。7 節で評価と課題を示す。

2 . EPAM の構造

本節では、モデルの基本的な枠組みを示す。

¹この効果を経済問題に最初に導入したのは、「石炭問題」で有名なジュボンズだといわれている。（Gotttron 2001, Jevons, 1865）。

²環境に関する応用一般均衡分析としては、川瀬晃弘他（2003a,2003b）、朴（2002）がある。



(1) EPAM の部門分割

EPAM は、データの整合性の基礎を 1995 年の産業連関表においている³。オリジナルの基本表から次のような部門に集計した表を作成する。エネルギー部門は、30-33 部門を構成している。

1.農林水産業	12.電気機械	23.公務	
2.鉱業	13.輸送機械	24.教育・研究	
3.食料品	14.精密機械	25.医療・保健・社会保障	
4.繊維製品	15.その他の製造工業製品	26.その他の公共サービス	
5.パルプ・紙・木製品	16.建設	27.対事業所サービス	
6.化学製品	17.水道・廃棄物処理	28.個人サービス	
7.窯業・土石製品	18.商業	29.分類不明	
8.鉄鋼	19.金融・保険	30.石油製品	
9.非鉄金属	20.不動産		31.石炭製品
10.金属製品	21.運輸		32.電力
11.一般機械	22.通信・放送		33.ガス

(2) 最終需要部門

最終需要部門は、民間消費、政府需要、投資需要、輸出、輸入によって構成される。消費者は代表的な一人の消費者を想定する。所得階層別に需要関数を設定することは、さしあたって分析上重要な課題ではないので、導入していない。

産業連関表における家計外消費は、中間投入に組み込むのではなく、民間消費に組み入れた。これは、中間需要に組み込む際の RAS 法などによる投入係数のゆがみを避けるためである。対家

³ 2004 年 3 月に 2000 年の産業連関表が利用可能になるので、全体を upgrade する予定である。

計民間非営利団体消費支出も民間消費に組み入れている。

政府需要と投資需要（在庫投資も含む）については合体させ、その代表的な主体（以下準消費者と呼ぶ）によって需要されると想定した。固定係数にして処理する道もあったが、一般の消費を担う消費者の効用関数を唯一のものとするのではなく、価格に対する反応の2元的構造を持ち込むことが主な理由である。また、貯蓄や税に流れる付加価値からの厚生水準を測ることもできる。この準消費者は、家計貯蓄と所得税、産業からの資本税、労働税、生産物税および二酸化炭素排出税（以下炭素税）を収入として、政府需要と投資需要の総額、および家計に対する社会保障費などの移転支出をまかなう⁴。この政府需要と投資需要の総額を以下では外生需要と呼ぶことにする。

輸出と輸入については、取引される財は国内財と同質のものであるとし、各財について、価格と為替レートに依存した輸出入関数によって規模が与えられる。また、1995年の貿易収支は均衡していると想定し、超過需要額分を輸出構成比率で配分し、差分を外生需要で調整した。

（3）付加価値部門

家計外消費は、最終需要面での処理と整合性を保つために、営業余剰に組み込んだ。1995年における各部門の賃金・俸給総額を実質雇用量として設定した。これに対する雇主負担の社会保険料の割合を労働税とした。また、この時点における実質雇用量の総計は労働供給量に一致していると設定した。したがって、均衡のいずれに置いても、完全雇用が実現しているか、ないしは失業率が固定していると想定したことになる。営業余剰から、1995年の国民経済計算から導き出される資本税分を差し引いたものを実質資本需要量として、労働と同等に、この総額を資本の総供給量とした。したがって、資本については完全稼働が、稼働率が一定であると想定したことになる。固定資本減耗については、産業連関表の固定資本マトリクスを上記の産業部門分割に応じて集計し、その比率マトリクスを用いて各産業部門の中間投入に組み込んだ。これにともなって、最終需要部門の外生需要から、それによる各財の需要分を差し引いた。

各産業の間接税から補助金を差し引いたものを生産物税とし、税率は固定資本減耗分をのぞいた純付加価値に対して与えられると想定した⁵。

（4）二酸化炭素排出量の把握

二酸化炭素排出については、可能な限り上流で把握するように設定した。原料炭、一般炭・亜炭・無煙炭、原油、天然ガスの4つの資源利用時に排出されるものと、揮発油、ジェット燃料、灯油、軽油、A重油、BC重油、ナフサ、液化石油ガスの輸入による排出分によって把握した。資源利用からの排出については、それぞれの資源利用が生産物に対する一定比で投入され则认为、また、輸入分については各産業の石油製品投入量に一定比で利用されると想定した。ただし、ナフサについては、すべて素材として利用されると想定し二酸化炭素排出分から控除することにし

⁴ 現状では、輸入税は組み込んでいない。

⁵ 市岡(1991)に準じている。

た。具体的には、原油からナフサに転換された分および輸入分が、石油化学部門のナフサ投入になっていると考えて、その分の二酸化炭素換算量を控除することにした。

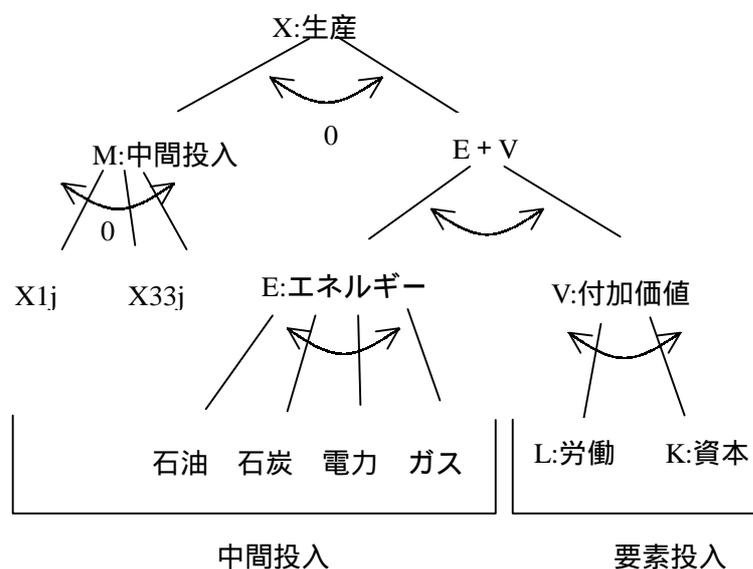
また、最終消費における石炭利用からくる二酸化炭素排出については規模そのものが一定であると想定し、輸入分からくるものについては、産業と同様に石油製品利用に比例するとした。

セメント生産など、上記以外の分野からの二酸化炭素排出についてはこのモデルでは考慮していない。

3. モデルの理論的な構造

(1) 生産関数と生産係数

図のような階層構造を持った生産関数を想定した。扇の間にある記号は弾力性を表す。



中間投入と（総エネルギー投入 + 付加価値）の間の代替の弾力性はゼロと想定した。数学的な表現をすれば次のようになる。

$$X_j = \min \left\{ \frac{V_j^e}{a_{0j}}, \frac{X_{1j}}{a_{1j}}, \dots, \frac{X_{29,j}}{a_{29,j}} \right\} \quad (j=1,2,\dots,33) \quad \dots \dots [1]$$

ただし、 $a_{0j}, a_{1j}, \dots, a_{29,j}$ は一定である。また、 X_j は第 j 産業の実質産出、 V_j^e （この上付サフィックスの e は extension の略で、以下エネルギー関係について用いる e とは異なっているので注意されたい）は実質総付加価値 V_j^f とエネルギーの実質総投入 E_j^H による生産（物）をあらわす。その関係は、生産要素の労働 L_j および資本 K_j と、エネルギー各財との間に弱分離可能性を仮定し、次のような CES 型の生産関数によって表現される。

$$V_j^e = \Phi_j \left\{ \alpha_j (V_j^f)^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} + (1-\alpha_j) (\epsilon_j E_j^H)^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} \right\}^{\frac{\sigma_j}{\sigma_j-1}} \quad (j=1,2,\dots,33) \quad \dots \dots [2]$$

ここで、 Φ_j はスケールパラメータ、 α_j は分配率、 σ_j は代替の弾力性である。 ε_j は効率パラメータである。すなわち、このパラメータの値は、効率改善がない場合は1という値が与えられ、1%の改善は1.01という値によって表現される。エネルギー効率の改善が、二酸化炭素排出に決定的に影響を与えるので、これが本モデルにおける環境効率のパラメータとなる。このパラメータは、さらにその下の段階の、各エネルギー投入時にも与えることができるが、設定すべきパラメータが必要以上に多くなるので、総エネルギー投入をめぐり効率改善のみを考慮することにした。

要素付加価値 V_j^f の生産関数は次のように与えられる。

$$V_j^f = \theta_j \left\{ \beta_j K_j^{\rho_j} + (1-\beta_j)L_j^{\rho_j} \right\}^{\frac{\rho_j}{\rho_j-1}} \quad (j=1,2,\dots,33) \quad \dots \cdot [3]$$

ここで、 θ_j はスケールパラメータ、 β_j は分配率、 ρ_j は代替の弾力性である。

さらに、エネルギー総投入 E_j^H の生産関数は次のように与えられる。

$$E_j^H = \pi_j \left\{ \sum_{i=1}^4 \gamma_{ij} E_{ij}^{\mu_j} \right\}^{\frac{\mu_j}{\mu_j-1}} \quad (j=1,2,\dots,33) \quad \dots \cdot [4]$$

ここで、 π_j はスケールパラメータ、 γ_{ij} は $\sum_{i=1}^4 \gamma_{ij} = 1$ となる分配率、 μ_j は代替の弾力性である。また、 $E_{1j}, E_{2j}, E_{3j}, E_{4j}$ は、それぞれ第 j 産業の石油製品、石炭製品、電力、ガスの実質投入量を表す。

いずれも一次同次関数であり、企業は与えられた投入財の価格のもとで費用を最小化するような選択をすると仮定する。それによって、生産規模は決まらないが、1単位の生産に必要な投入をあらわす生産係数が決定される。

エネルギー財価格をそれぞれ $P_1^e, P_2^e, P_3^e, P_4^e$ とする。需要関数の表現を簡単にするために、

$$P_{1j}^{e+} = P_1^e + \tau^e h_j^m \quad (j=1,2,\dots,33)$$

$$P_{ij}^{e+} = P_i^e \quad (i=2,3,4; j=1,2,\dots,33)$$

とおこう。ただし、 τ^e は炭素税率、また h_j^m は輸入エネルギー商品による二酸化炭素の排出であり、石油製品投入に比例すると想定されている。ただし、化学製品部門については、この係数からナフサ投入分の係数 h^{naf} が差し引かれている。

エネルギー財に関わる投入係数 e_{ij} は、[4]式の制約の下で

$$P_{1j}^{e+} E_{1j} + P_{2j}^{e+} E_{2j} + P_{3j}^{e+} E_{3j} + P_{4j}^{e+} E_{4j} \quad \dots \cdot [5]$$

を最小化するものとして次のように与えられる。

$$e_{ij} = \frac{E_{ij}}{E_j^H} = \frac{1}{\pi_j} \left\{ \sum_{k=1}^4 \gamma_{kj} \left(\frac{\gamma_{ij} P_{kj}^{e+}}{\gamma_{kj} P_{ij}^{e+}} \right)^{1-\mu_j} \right\}^{\frac{\mu_j}{1-\mu_j}} \quad (i=1,\dots,4; j=1,2,\dots,33) \quad \dots \cdot [6]$$

これらのエネルギー投入係数は、通常の産業連関分析では、固定係数となっているものであるが、このEPAMでは、エネルギーの相対価格によって変化するものとして取り扱われているところに大きな特徴がある。

生産要素（労働、資本）に関わる生産係数は、生産コスト

$$(1 + \tau_j^o)(1 + \tau_j^l)wL_j + (1 + \tau_j^o)(1 + \tau_j^k)rK_j \quad \dots \dots [7]$$

を最小化するものとして与えられる。ただし、 τ_j^o は第j産業の生産物税率、 τ_j^l は同じく労働税率、 τ_j^k は各産業共通の資本税率である。また、 r は資本用役価格、 w 賃金率をあらわす。要素に関わる生産係数は次のようになる。

$$v_{jj}^l = \frac{L_j}{V_j^f} = \frac{1}{\theta_j} \left\{ (1 - \beta_j) + \beta_j \left(\frac{(1 - \beta_j)(1 + \tau_j^k)r}{\beta_j(1 + \tau_j^l)w} \right)^{1 - \rho_j} \right\}^{\frac{\rho_j}{1 - \rho_j}} \quad (j = 1, 2, \dots, 33) \quad \dots \dots [8]$$

$$v_{jj}^k = \frac{K_j}{V_j^f} = \frac{1}{\theta_j} \left\{ (1 - \beta_j) \left(\frac{\beta_j(1 + \tau_j^l)w}{(1 - \beta_j)(1 + \tau_j^k)r} \right)^{1 - \rho_j} + \beta_j \right\}^{\frac{\rho_j}{1 - \rho_j}} \quad (j = 1, 2, \dots, 33) \quad \dots \dots [9]$$

さらに、一次同次の生産関数であるために、完全競争によって各産業で利潤がゼロとなることを仮定しよう。それによって、実質総付加価値と、実質エネルギー総投入について次のようなバランスが成立する。

$$P_{vj}^f V_j^f = (1 + \tau_j^o) \{ (1 + \tau_j^l)wL_j + (1 + \tau_j^k)rK_j \} \quad (j = 1, 2, \dots, 33) \quad \dots \dots [10-1]$$

$$P_j^{eH} E_j^H = (P_1^e + \tau^e h_j^m) E_{1j} + P_2^e E_{2j} + P_3^e E_{3j} + P_4^e E_{4j} \quad (j = 1, 2, \dots, 33) \quad \dots \dots [11-1]$$

ここで、 P_{vj}^f は実質総付加価値の価格（デフレーター）であり、 P_j^{eH} は実質総エネルギー投入に関する価格（デフレーター）である。

これらの式は、さらに次のように変形できる。

$$P_{vj}^f = (1 + \tau_j^o) \{ (1 + \tau_j^l)wv_{jj}^l + (1 + \tau_j^k)rv_{jj}^k \} \quad (j = 1, 2, \dots, 33) \quad \dots \dots [10-2]$$

$$P_j^{eH} = (P_1^e + \tau^e h_j^m)e_{1j} + P_2^e e_{2j} + P_3^e e_{3j} + P_4^e e_{4j} \quad (j = 1, 2, \dots, 33) \quad \dots \dots [11-2]$$

これらの式は、各エネルギー財の価格、および税率が与えられると、右辺の生産係数、および値の全体が決まるので、左辺の P_{vj}^f および P_j^{eH} が決まることを意味している。それらの価格が与えられると、[2]の生産関数の制約の下で、

$$P_{vj}^f V_j^f + P_j^{eH} E_j^H$$

を最小することによって次の生産係数を得ることができる。

$$v_{ej}^f = \frac{V_j^f}{V_j^e} = \frac{1}{\Phi_j} \left\{ \alpha_j + (1 - \alpha_j) \left(\frac{\alpha_j P_j^{eH}}{(1 - \alpha_j) P_{vj}^f \epsilon_j} \right)^{1 - \sigma_j} \right\}^{\frac{\sigma_j}{1 - \sigma_j}} \quad (j = 1, 2, \dots, 33) \quad \dots \dots [12]$$

$$v_{ej}^e = \frac{E_j^H}{V_j^e} = \frac{1}{\Phi_j} \left\{ \alpha_j \left(\frac{(1 - \alpha_j) P_{vj}^f \epsilon_j}{\alpha_j P_j^{eH}} \right)^{1 - \sigma_j} + (1 - \alpha_j) \right\}^{\frac{\sigma_j}{1 - \sigma_j}} \frac{1}{\epsilon_j} \quad (j = 1, 2, \dots, 33) \quad \dots \dots [13]$$

(2) 消費関数と消費者需要

消費者の所得 I は次のようにあらわされる。

$$I = \{(w\bar{L} + r\bar{K})(1 - \tau^y - \tau^r)\}(1 - s) + B - \tau^e H_C^R \quad \dots \dots [14]$$

ここで、 \bar{L} および \bar{K} は消費者が供給する労働と資本用役の総量である。 τ^y と τ^r はそれぞれ、所得税と家計によって支払われる社会保障費などの移転費用である。 s は貯蓄率で一定と仮定している。 B は政府からの社会保障費などの給付で、消費者の選択によらず、準消費者の外生収入の総額の一定割合になると想定している。

消費関数については、エネルギーと他の財との間に弱分離可能性の仮定をおく。エネルギーの合成財を E_c 、その他の財の合成財をサフィックスなしの C とすると、CES型の主効用関数は次のように与えられる。

$$U = \left\{ \varphi_m C^{\frac{\zeta_m - 1}{\zeta_m}} + (1 - \varphi_m)(\varepsilon_c E_c)^{\frac{\zeta_m - 1}{\zeta_m}} \right\}^{\frac{\zeta_m}{\zeta_m - 1}} \quad \dots \dots [15]$$

ここで、 φ_m はシェアパラメータ、 ζ_m は弾力性、 ε_c は消費に関わるエネルギー効率パラメータである。

合成エネルギー財に関する効用関数は次のようになる。

$$E_c = \left(\sum_{i=1}^4 \varphi_{ei} E_{ic}^{\frac{\zeta_e - 1}{\zeta_e}} \right)^{\frac{\zeta_e}{\zeta_e - 1}} \quad \dots \dots [16]$$

パラメータの意味は主効用関数に準じる。ただし、 $\sum_{i=1}^4 \varphi_{ei} = 1$ である。さらに、合成消費財については、次のようになる。

$$C = \left(\sum_{i=1}^{29} \varphi_{ci} C_i^{\frac{\zeta_c - 1}{\zeta_c}} \right)^{\frac{\zeta_c}{\zeta_c - 1}} \quad \dots \dots [17]$$

パラメータの意味は主効用関数に準じる。ただし、 $\sum_{i=1}^{29} \varphi_{ci} = 1$ である。

これらを条件にして、それぞれの需要量を与える式を求めよう。まず、エネルギー合成財とその他の財の消費水準である。予算制約式は、価格をそれぞれ P_c^e および P_c とすると次のようになる。(合成財の価格は、後に各財、エネルギー財の個別価格の関数として与えられる。)

$$I = P_c^e E_c + P_c C \quad \dots \dots [18]$$

この予算制約の下で、効用関数[15]を最大にするものとして決定され、それぞれ次のようになる。

$$C = \frac{\varphi_m^{\zeta_m} P_c^{-\zeta_m} I}{\varphi_m^{\zeta_m} P_c^{1-\zeta_m} + (1 - \varphi_m)(P_c^e)^{1-\zeta_m} \varepsilon_c^{\zeta_m - 1}} \quad \dots \dots [18]$$

$$E_c = \frac{(1 - \varphi_m)(P_c^e)^{-\zeta_m} \varepsilon_c^{\zeta_m - 1} I}{\varphi_m^{\zeta_m} P_c^{1-\zeta_m} + (1 - \varphi_m)(P_c^e)^{1-\zeta_m} \varepsilon_c^{\zeta_m - 1}} \quad \dots \dots [19]$$

エネルギー財以外の財 C_i ($i = 1, 2, \dots, 29$)に対する需要は、それぞれの価格を P_i ($i = 1, 2, \dots, 29$)、予算制約式を

$$P_c C = \sum_{i=1}^{29} P_i C_i \quad \dots \dots [20]$$

として、次のように与えられる。

$$C_j = \frac{\varphi_{cj}^{\zeta_c} P_c C}{P_j^{\zeta_c} \sum_{i=1}^{29} \varphi_{ci}^{\zeta_c} P_i^{1-\zeta_c}} \quad (j=1,2,\dots,29) \quad \dots \dots [21]$$

これをもとの効用関数に代入することによって合成財の価格が次のように求められる。

$$P_c = \left(\sum_{i=1}^{29} \varphi_{ci}^{\zeta_c} P_i^{1-\zeta_c} \right)^{\frac{1}{1-\zeta_c}} \quad \dots \dots [22]$$

エネルギー財の場合は、予算制約式は次のようになる。

$$P_c^e E_c = (P_1^e + \tau^e h_c^m) E_{1c} + \sum_{i=2}^4 P_i^e E_{ic} \quad \dots \dots [23]$$

ここで、 h_c^m は直接輸入したエネルギー財の消費係数であり、産業と同様に石油製品消費に比例していると仮定している。この制約の下で効用関数[16]を最大にすることによって次のような需要関数を得る。

$$E_{1c} = \frac{\varphi_{e1}^{\zeta_e} P_c^e E_c}{(P_1^e + \tau^e h_c^m)^{\zeta_e} \left\{ \varphi_{e1}^{\zeta_e} (P_1^e + \tau^e h_c^m)^{1-\zeta_e} + \sum_{i=2}^4 \varphi_{ei}^{\zeta_e} (P_i^e)^{1-\zeta_e} \right\}} \quad \dots \dots [24-1]$$

$$E_{jc} = \frac{\varphi_{ej}^{\zeta_e} P_c^e E_c}{(P_j^e)^{\zeta_e} \left\{ \varphi_{e1}^{\zeta_e} (P_1^e + \tau^e h_c^m)^{1-\zeta_e} + \sum_{i=2}^4 \varphi_{ei}^{\zeta_e} (P_i^e)^{1-\zeta_e} \right\}} \quad (j=2,3,4) \quad \dots \dots [24-2]$$

これをもとの効用関数に代入することによって次のようなエネルギー合成財の価格を得る。

$$P_c^e = \left(\varphi_{e1}^{\zeta_e} (P_1^e + \tau^e h_c^m)^{1-\zeta_e} + \sum_{i=2}^4 \varphi_{ei}^{\zeta_e} (P_i^e)^{1-\zeta_e} \right)^{\frac{1}{1-\zeta_e}} \quad \dots \dots [25]$$

消費については、上記のような合成財の価格が入っていることによって実際にどのように決定されるのかがわかりにくくなるので、ここで確認しておこう。

まず、一般財、エネルギー各財の価格が与えられたとする。すると、[22]式と[25]式によって合成財価格が与えられる。さらに所得が与えられると[18]式および[19]式によって合成財需要が決定される。合成財価格と需要量が与えられるので、[21]式および[24]式から、一般財各財およびエネルギー各財の需要量が決定される。

(3) 準消費者の行動

準消費者による外生需要の決定は、民間消費に基本的に準ずる。まず、予算制約式は、次のように与えられる。

$$P_g^e E_g + P_g C_g = (1-b)G \quad \dots \dots [26]$$

主効用関数、合成エネルギー財の効用関数、一般財の合成財に関する効用関数はそれぞれ次のようになる。

$$U_g = \left\{ \delta_m C_g^{\frac{\lambda_m-1}{\lambda_m}} + (1-\delta_m)(\varepsilon_g E_g)^{\frac{\lambda_m-1}{\lambda_m}} \right\}^{\frac{\lambda_m}{\lambda_m-1}} \quad \dots \dots [27]$$

$$E_g = \left(\sum_{i=1}^4 \delta_{ei} E_{ig}^{\frac{\lambda_e-1}{\lambda_e}} \right)^{\frac{\lambda_e}{\lambda_e-1}} \quad \dots \dots [28]$$

$$C_g = \left(\sum_{i=1}^{29} \delta_{ci} C_{ig}^{\frac{\lambda_c-1}{\lambda_c}} \right)^{\frac{\lambda_c}{\lambda_c-1}} \quad \dots \dots [29]$$

合成財に対する需要は次のように決まる。

$$C_g = \frac{\delta_m^{\lambda_m} P_g^{-\lambda_m} (1-b)G}{\delta_m^{\lambda_m} P_g^{1-\lambda_m} + (1-\delta_m)(P_g^e)^{1-\lambda_m} \varepsilon_g^{\lambda_m-1}} \quad \dots \dots [30]$$

$$E_g = \frac{(1-\delta_m)^{\lambda_m} (P_g^e)^{-\lambda_m} \varepsilon_g^{-\lambda_m} (1-b)G}{\delta_m^{\lambda_m} P_g^{1-\lambda_m} + (1-\delta_m)(P_g^e)^{1-\lambda_m} \varepsilon_g^{\lambda_m-1}} \quad \dots \dots [31]$$

ただし、 $bG = B$ で、家計への移転支出である。

一般財に対する需要は予算制約式を

$$P_g C_g = \sum_{i=1}^{29} P_i C_{ig} \quad \dots \dots [32]$$

として、次のように与えられる。

$$C_{jg} = \frac{\delta_{cj}^{\lambda_c} P_g C_g}{P_j^{\lambda_c} \sum_{i=1}^{29} \delta_{ci}^{\lambda_c} P_i^{1-\lambda_c}} \quad (j=1,2,\dots,29) \quad \dots \dots [33]$$

これをもとの効用関数に代入することによって合成財の価格が次のように求められる。

$$P_g = \left(\sum_{i=1}^{29} \delta_{ci}^{\lambda_c} P_i^{1-\lambda_c} \right)^{\frac{1}{1-\lambda_c}} \quad \dots \dots [34]$$

エネルギー財の場合は、予算制約式は次のようになる。

$$P_g^e E_g = \sum_{i=1}^4 P_i^e E_{ig} \quad \dots \dots [35]$$

この制約の下で効用関数[28]を最大にすることによって次のような需要関数を得る。

$$E_{jc} = \frac{\delta_{ej}^{\lambda_e} P_g^e E_g}{(P_j^e)^{\lambda_e} \sum_{i=1}^4 \delta_{ei}^{\lambda_e} (P_i^e)^{1-\lambda_e}} \quad (j=1,2,3,4) \quad \dots \dots [36]$$

これをもとの効用関数に代入することによって次のようなエネルギー合成財の価格を得る。

$$P_g^e = \left(\sum_{i=1}^4 \delta_{ei}^{\lambda_e} (P_i^e)^{1-\lambda_e} \right)^{\frac{1}{1-\lambda_e}} \quad \dots \dots [37]$$

決定構造は、民間消費と基本的に同じである。

(4) 輸出入と為替レート

輸出入財は国内財と同質であるという仮定をおく。輸出入関数は、Boadway and Treddennick (1978)で提示されているものを用いる。ただし、輸入税は考慮していない。関数形は次のようになる。

$$F_j = \psi_j^f \left(\frac{P_j}{\chi} \right)^{\xi^f} \quad (j=1,2,\dots,33) \quad \dots \dots [37]$$

$$M_j = \psi_j^m \left(\frac{P_j}{\chi} \right)^{\xi^m} \quad (j=1,2,\dots,33) \quad \dots \dots [38]$$

ただし、 F_j と M_j はそれぞれ第 j 財の実質輸出と実質輸入量である。 ψ_j^f と ψ_j^m はそれぞれ輸出と輸入に関するスケールパラメータである。 ξ^f と ξ^m はそれぞれ輸出と輸入に関する価格弾力性で、前者は負、後者は正の値を想定している。ある。 χ は為替レートである。価格については、これまでの記号との関係では、 $P_{i+29} = P_i^e$ ($i=1,2,3,4$)となるものであるので、注意されたい。

(5) 需給バランスとワルラス法則

このモデルでは、ワルラス法則が成立している。ただし、炭素排出に関わる税 τ^e が正の値をとっている場合は、一般均衡価格のゼロ次同次性は一定の条件の下でのみ成立する。そのことの説明の前に、ワルラス法則そのものを確認しておこう。

まず、各主体の予算制約式をあらためてここに書いておこう。

企業の予算制約式は次のようにあらわされる。

$$P_j X_j = (1 + \tau_j^o) \{ (1 + \tau_j^l) w L_j + (1 + \tau^k) r K_j \} + \tau^e (h_j^m a_{30,j} + h_j^r) X_j + \sum_{i=1}^{33} P_i a_{ij} X_j \quad \dots \dots [39]$$

($j=1,2,\dots,33$)

ただし、

$$a_{i+29,j} = \frac{E_{ij}}{X_j} = \frac{V_j^e}{X_j} \frac{E_j^H}{V_j^e} \frac{E_{ij}}{E_j^H} = a_{0j} v_{ej}^e e_{ij} \quad (i=1,2,3,4; j=1,2,\dots,33) \quad \dots \dots [40]$$

であり、 h_j^r は、原料炭、一般炭、原油、天然ガスというエネルギー資源投入に関わる二酸化炭素の排出係数で、生産量に対する比例定数として与えられているものである。

家計の予算制約式は次のようになる。

$$\sum_{i=1}^{29} p_i C_i + \sum_{i=1}^4 P_i^e E_{ic} + \tau^e h_c^m E_{1c} = \{(w\bar{L} + r\bar{K})(1 - \tau^y - \tau^t)\}(1 - s) + bG - \tau^e H_c^R \quad \dots \dots [41]$$

同じく、準消費者（政府、投資主体）に関する予算制約式は次のようになる。

$$\sum_{i=1}^{29} p_i C_{ig} + \sum_{i=1}^4 P_i^e E_{ig} = (1 - b)G \quad \dots \dots [42]$$

海外に関する収支（貿易収支）は次のようにあらわされる。

$$\sum_{i=1}^{33} p_i F_i = \sum_{i=1}^{33} P_i M_i \quad \dots \dots [43]$$

次に、財の超過需要関数 d_j ($j=1,2,\dots,33$)、要素の超過需要関数 d_k, d_l 、および準消費者の税と貯蓄に関する超過収入関数 D_g を定義しよう。この最後の D_g は Shoven and Whalley (1984)によって工夫されたものをこのモデルに応用したものである。

$$d_i = \sum_{j=1}^{33} a_{ij} X_j + C_i + C_{ig} + F_i - (X_i + M_i) \quad (i=1,2,\dots,33) \quad \dots \dots [44]$$

ただし、 $C_{i+29} = E_{ic}$ ($i=1,2,3,4$) および $C_{i+29,g} = E_{ig}$ ($i=1,2,3,4$) である。労働と資本に関する超過需要関数は、次のようになる。

$$d_l = \sum_{j=1}^{33} L_j - \bar{L} \quad \dots \dots [45]$$

$$d_k = \sum_{j=1}^{33} K_j - \bar{K} \quad \dots \dots [46]$$

さらに超過税収関数は次のようになる。

$$\begin{aligned} D_g = & s\{(w\bar{L} + r\bar{K})(1 - \tau^y - \tau^t)\} + (w\bar{L} + r\bar{K})(\tau^y + \tau^t) + \tau^e (h_c^m E_{1c} + H_c^R) \\ & + \sum_{i=1}^{33} [\tau_i^l w L_i + \tau_i^k r K_i + \tau^o \{(1 + \tau_i^l) w L_i + (1 + \tau_i^k) r K_i\}] \quad \dots \dots [47] \\ & + \tau^e \sum_{i=1}^{33} (h_i^m a_{31,i} + h_i^r) X_i - G \end{aligned}$$

以上を前提にすると、ワルラス法則は次のような形で成立する。すなわち、いま、為替レートが与えられているという前提のもとで、[39]、[41]、[42]、[43]が成立しているとする、次式であらわされるように、超過需要価値の合計はゼロである。

$$\sum_{j=1}^{33} P_j d_j + w d_l + r d_k + D_g \equiv 0 \quad \dots \dots [48]$$

均衡の未知数としては、価格が、一般財 P_j ($j=1,2,\dots,33$) と賃金 w 、資本用役価格 r 、さらに政府・投資総支出額 G で、超過需要関数の数と一致している。しかし、このモデルではさらに、貿易収支関数[43]は消費者の予算制約式のような需要関数の中に収支均衡条件をはめ込んだものになっていないので、この式を為替レート χ によるバランス条件式として機能させなければならない。したがって、未知数は 37 で、均衡条件式も[43]を入れて 37 となるモデルとなっている。

最後に、最初に述べた炭素税とゼロ次同次性の問題に触れておこう。[48]のワルラス法則が成立

するために、価格は相対価格しか決まらないというのが、通常の一般均衡モデルの特徴である。しかし、このモデルの場合、あるいは一般に炭素税を含んだ一般均衡モデルはそうなるはずだが、炭素税率が名目的金額に対してかけられるのではなく、炭素の排出に直接かけられている。そのために、ある均衡価格体系が与えられたときに、たとえば、それらの価格を k 倍にすると、炭素税率も k 倍にならない限り、需給バランスは崩壊してしまう。一般にこうしたメカニズムはモデルの中にはめ込まれないので、一般均衡価格のゼロ次同次性はこのようなモデルの場合維持できないのである。ただし、それは、均衡が与えられないのでも、均衡に意味がないわけでもなく、均衡価格は与えられた炭素税も含めた場合にゼロ次同次性が成立するということなのである。したがって、炭素税を変えないままに、ほかの相対価格を変えることはもちろん、価格ベクトルを一斉に比例的に変えることもしてはならない。このことは、実は、炭素税と排出権取引に置いて、排出権取引は自動的にインフレやデフレを組み込んで、最適性を維持するが、炭素税はそれができないという問題と不可分に結びついている。

このゼロ次同次性の崩壊の問題は、均衡を不動点アルゴリズムで解く場合に、いくつか注意すべき点を生み出すが、それは後に詳しく説明しよう。

(6) 次元の縮小と価格システムの問題

37の未知数は、大きな計算負荷を生み出す。本モデルの生産関数はいずれも一次同次であるために、ショーヴン(1993)あるいは市岡(1991)で議論されている、次元の縮小が可能になりそうである。

上記の著者らによって行われている次元の縮小は次のような手続きである。まず、要素価格を与えると、利潤が発生しないことを前提にした価格システムによって一般財の価格が与えられる。その価格と与えられる税収(このモデルの G に対応するもの)によって最終需要が決まり、その需要によって生産量が決定され、さらには生産量が決まるというものである。

一見このモデルでもこの考え方が適用できそうだが一つ大きな困難がある。たとえば、市岡の場合、中間投入に関わる係数がすべて一定であるという、固定係数であり、付加価値率が与えられると価格全体が決まるという構造を持っている⁶。しかし、このモデルの場合、エネルギー投入係数は、[10-2]、[11-2]、[13]、[40]の各式から明らかなように、エネルギー価格、および賃金、資本費用価格に依存している。また、資本係数および労働係数もまたエネルギー価格に依存している。したがって、要素価格だけ与えても、連立線形方程式を解く手法では一般財の価格を得られないのである。

言い換えれば次のようになる。いま、税金や二酸化炭素排出などをすべて無視しよう。そして、投入係数行列を A 、労働投入係数、資本投入係数と要素価格で与えられる付加価値率の行ベクトルを v とすると、投入係数がほかの価格に依存しない固定係数である場合は、均衡価格ベクトル P は、

$$P = v + PA \quad \dots [49]$$

⁶ 市岡(1991)、p.71 を参照。

の式を満たすものとして与えられる。すなわち、 $\mathbf{P} = \mathbf{v}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ として均衡価格が決定できるのである。しかし、このモデルの場合は、投入係数マトリクスが、完全に固定係数にならない。また、 \mathbf{v} もエネルギー価格に依存してしまうのである。

したがって、このモデルの場合[49]に対応する式は非線形連立方程式となってしまう。もともと、全体が非線形連立方程式であるからその中に、こうした非線形があっても問題ではないようにもとられるが、均衡を求めるための、いわゆる不動点アルゴリズムを適用する場合に、大きな障害となる。

これを解決する道筋を示す前に、このモデルの価格方程式を次に書いておこう。

$$P_j = (1 + \tau_j^o) \{ (1 + \tau_j^l) w v_{ff}^l + (1 + \tau_j^k) r v_{ff}^k \} + \tau^e (h_j^m a_{30,j} + h_j^r) + \sum_{i=1}^{33} P_i a_{ij} \quad (j=1,2,\dots,33) \quad \dots [50]$$

ただし、エネルギー関係係数については、[40]式になっていることを注意しておこう。問題は、 w と r が与えられたときに、この[50]式を満たす価格 P_j ($j=1,2,\dots,33$)を求めることである。直接ニュートン法などによって求めることも考えられる。しかし、左辺の生産費用によって右辺の財価格が与えられと考えると、これは一種の不動点を求める問題となっていることに気づく。今右辺全体を価格に関する関数 f_j として次のような不動点を求める反復アルゴリズムを考える。

$$P_j^{t+1} = f_j(P_1^t, P_2^t, \dots, P_{33}^t) \quad (t=0,1,2,\dots; j=1,2,\dots,33) \quad \dots [51]$$

これが収束すれば、ヤコビアンを求めなければならないニュートン法などに依存しなくてよい。収束するためには、 f_j が縮小写像でなければならないが、現状ではこれを証明し得ない⁷。ただ、収束傾向を持っていることは推論可能である。

生産係数は、基本的に相対価格に依存している。そこで、たとえば P_j/P_i が上昇したとしよう。このとき、 j 財あるいは要素の投入係数は低下する。すなわちそれは、相対価格の増大を押さえる方向に生産係数を変化することを意味している。このことから、モデル[51]が安定傾向を持つことが予測されるのである。実際、このモデルにおいてこの反復法を組み込んだが、すべての場合に強い収束傾向を示した。

全体のアルゴリズムの中で、これがどのような機能を果たしているかは、シミュレーションのところでもう一度述べることにする。

こうすることによって、このモデルにおいても次元縮小が可能になる。すなわち w 、 r の要素価格、そして、総税・貯蓄収入 G および為替レート χ の4次元の均衡に縮約されるのである。

4. 基準データセットとパラメータの決定

データセットとは、基準となる均衡（以下基準均衡）において、一般均衡モデルが再現すべき一連の経済データである。基準均衡では、すべての価格が1として設定され、また、政策的な変数である炭素税はゼロと設定され、効率パラメータも1に設定されている。

(1) データセット作成上のいくつかの処理

⁷ 森(2002)における反復法と縮小写像についての理論を参照。

産業連関表からデータセットを作成する上での基本的な作業はすでに述べた。ここでは、必要となつたいくつかの細かい作業を記述しておく。

第1に、超過輸入分を加えても外生需要の石油製品需要額が負になってしまうという問題があった。負の場合、効用関数パラメータが決定できなくなる。負になってしまったのは、産業連関表作成年の1995における石油製品の在庫分からの取り崩しが大きかったためである。そこで、この分が輸入からもたらされたとして処理した。その上で、超過輸出分を外生需要に加えると、最終的にはこれも正の値を持つようになった。

第二に、都市ガス部門から排出される副産物のコークスの処理の問題である。どのようなメカニズムでこの副産物が発生しているのかは不明だが、次のような処理をした。その副産物をゼロとする。そして、その負の額を輸出分から減らしデータセット上の需給バランスをとる。費用のバランスを確保するために、石油製品投入を減少させる。その代わりに、石油製品の輸出を増やすという手続きをとった。

第三に、家計消費における鉄鋼の副産物は輸入と見なした。

第四に、計算誤差を可能な限り回避するために、最終的にデータセットを100万円の単位で整数化して、完全なバランスをとった。それによって各部門最大200万円程度の誤差が出たが、最終需要の外生需要と付加価値の営業余剰分で調整した。

(2) 税率と貯蓄率の決定

雇主負担の労働税率については、先にも述べたように産業連関表の社会保険料を賃金・俸給で割ることによって各産業異なった税率を求めることができた。求められた労働税率の平均は、0.089であり、市岡(1991)と比べると若干低い結果となった。

資本税率については、1995年の国民経済計算年報から非金融機関と金融機関の資本税額17兆8356億円と、家計外消費などにより調整を加えた産業連関表の営業余剰総額119兆1256億円という二つの数字から、資本税率を0.17608として設定した。この税率によって、各産業の資本投入額が決定される。

労働税率 (τ_j^l)	0.089	各産業の平均
資本税率 (τ^k)	0.17608	各産業一定
生産物税 (τ_j^o)	0.08198	各産業の平均
家計所得税率 (τ^y)	0.08645	
雇用者の社会保険料負担率 (τ^l)	0.07142	
家計への社会保障給付率 (b)	0.19377	
総税収と貯蓄の総額 (G)	165兆2254億円	
貯蓄率 (s)	0.12482	

生産物税は、間接税から補助金を引いたものをそれ以外の付加価値構成総額で割ったものとなる。産業ごとに異なるが、全産業の平均は、0.08198 となった。

家計に関わる税率・貯蓄率については以下のように推計した。

すべての産業の労働投入額の総計と、資本投入額の総計の合計は、351 兆 7161 億円である。これが家計の総所得となる。1995 年の国民経済計算年報によれば家計に課せられた所得税の総額は 30 兆 4069 億円である。これによって平均所得税率を 0.086453 と推計した。また、雇用者の社会保険料負担額は 25 兆 1206 億円で、これによって負担率を 0.0714223 と推計した。

また、総貯蓄額は 36 兆 9688 億円で、一方、税引き所得総額は 296 兆 1886 億円で、これらから貯蓄率を 0.124815 と推計した。

政府から家計への社会保障給付率は、次のように求めた。社会保障総額は可処分所得総額から貯蓄を差し引いたものと消費総額の差として求め、それは 32 兆 155 億円となった。これを国民経済計算年報上の社会保障額 33 兆 6422 億円で割ることによって社会保障給付率を 0.193769 として求めた。また、データセットにおける外生需要総額は、133 兆 2099 億円であり、これは社会保障給付を差し引いたものであるから、税・貯蓄による収入総額は基準均衡において 165 兆 2254 億円であると推計し、収支を均衡させた。

以上の結果は表にまとめられている。

(3) 生産関数のパラメータ決定

生産関数、消費関数、輸出入関数のパラメータの決定は、均衡価格（すべての価格が 1）において、基準となるデータセットを正確に再現させる上で、きわめて重要で、デリケートな作業である。さしあたっては生産関数のパラメータを決める。

これは消費関数に関しても共通する点だが、それらの関数のパラメータをデータセットだけからすべて求めることはできない。このモデルでは、弾力性を外生的に与えることによって生産関数の場合はシェアパラメータとスケールパラメータ、消費関数のシェアパラメータを求める。また、実際の計算上は生産関数の弾力性は外生的なパラメータとして、それに対するモデルの反応を分析するようにしている。したがって、以下、弾力性は与えられているものとしてほかのパラメータをデータセットと整合的になるように決定する。弾力性については、(5) で議論する。

まず、エネルギー関係の生産関数[4]に付随するパラメータを決定する。[6]を導出するに当たっての一階の条件として次の式が与えられる。

$$\frac{E_{kj}}{E_{ij}} = \left(\frac{\gamma_{ij} P_{kj}^{e+}}{\gamma_{kj} P_{ij}^{e+}} \right)^{\mu_j} \cdots \cdots [52]$$

いま、基準均衡においては、すべての価格が 1 かつ炭素税率も 0 であるので、これは次のように変形できる。

$$\frac{\gamma_{kj}}{\gamma_{ij}} = \left(\frac{E_{kj}}{E_{ij}} \right)^{\frac{1}{\mu_j}}$$

この関係と、 $\sum_{i=1}^4 \gamma_{ij} = 1$ であることを考慮すると、

$$\gamma_{ij} = \frac{E_{ij}^{\mu_j} \frac{1}{\mu_j}}{\sum_{k=1}^4 E_{kj}^{\mu_j}} \quad (i=1,2,3,4; j=1,2,\dots,33)$$

によって、すべての γ_{ij} を決定することができる。

つぎにスケールパラメータの π_j を決めよう。基準となる均衡においては、

$$E_j^H = E_{1j} + E_{2j} + E_{3j} + E_{4j} \quad (j=1,2,\dots,33) \quad \dots \dots [53]$$

が成立していると想定する。想定するというのは奇妙に聞こえるかもしれないが、逆にこう考えてもよい。いま、任意の正の値で π_j を与えたとする。すると、 γ_{ij} はすでに与えられているので[11-2]より P_j^{eh} が与えられ、[11-1]の右辺をその価格で割ることによって E_j^H が求められることになる。当然それは、[53]を満たすとは限らない。この場合、 P_j^{eh} もまた1になることは明らかである。

今、 E_j^H を[53]式を満たすものと設定すると、それはデータセットから値が得られる。そこで、[4]式を変形した、次のような式で π_j を求めることができる。

$$\pi_j = \frac{E_j^H}{\left\{ \sum_{i=1}^4 \gamma_{ij} E_{ij}^{\mu_j} \right\}^{\frac{\mu_j}{\mu_j-1}}} \quad (j=1,2,\dots,33) \quad \dots \dots [54]$$

ただし、ここで、弾力性 μ_j が与えられていなければならないが、先に述べてように、これはシミュレーションの際に外生パラメータとして与えられる。

次に要素と付加価値に関わる生産関数[3]のパラメータを決定しよう。基本的にはエネルギー生産関数の場合と同じである。一階の条件を変形し、基準均衡の要素価格を適用することによって次の式を得る。

$$\beta_j = \frac{(1 + \tau^k) K_j^{\rho_j} \frac{1}{\rho_j}}{(1 + \tau^k) K_j^{\rho_j} \frac{1}{\rho_j} + (1 + \tau^l) L_j^{\rho_j} \frac{1}{\rho_j}} \quad (j=1,2,\dots,33) \quad \dots \dots [55]$$

この式から、 β_j を決定することができる。さらに θ_j については、

$$V_j^f = (1 + \tau_j^o) \{ (1 + \tau^k) K_j + (1 + \tau^l) L_j \} \quad \dots \dots [56]$$

と設定して、生産関数[3]より次の式で決定できる。

$$\theta_j = \frac{V_j^f}{\left\{ \beta_j K_j^{\rho_j} \frac{\rho_j-1}{\rho_j} + (1 - \beta_j) L_j^{\rho_j} \frac{\rho_j-1}{\rho_j} \right\}^{\frac{\rho_j}{\rho_j-1}}} \quad (j=1,2,\dots,33) \quad \dots \dots [57]$$

ここでも、弾力性については外生パラメータとする。生産関数[2]についても、基本的に同じよう

な手続きになるが、念のために記載しておこう。 α_j については、[53]および[57]式で与えられる、 E_j^H および V_j^f と次の式から与えられる。

$$\alpha_j = \frac{(V_j^f)^{\frac{1}{\sigma_j}}}{(V_j^f)^{\frac{1}{\sigma_j}} + (E_j^H)^{\frac{1}{\sigma_j}}} \quad (j=1,2,\dots,33) \quad \dots \dots [58]$$

さらに Φ_j については、生産関数[2]より次のように与えられる。

$$\Phi_j = \frac{V_j^e}{\left\{ \alpha_j (V_j^f)^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} + (1-\alpha_j)(E_j^H)^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} \right\}^{\frac{\sigma_j}{\sigma_j-1}}} \quad (j=1,2,\dots,33) \quad \dots \dots [59]$$

ただし、

$$V_j^e = V_j^f + E_j^H \quad \dots \dots [60]$$

で、これによって、最終的に基準均衡における各産業の産出水準が保証されるのである。

(4) 消費関数のパラメータ決定

消費関数の場合、スケールパラメータがなく、弾力性は外生的に与えるので、シェアパラメータを決定することが作業となる。

まず、効用関数[17]のパラメータを決定しよう。効用最大化の一階の条件により、次の式を得る。

$$\frac{C_i}{C_j} = \left(\frac{\varphi_{cj} P_i}{\varphi_{ci} P_j} \right)^{-\zeta_c}$$

生産関数と同様に、基準均衡で価格が1になっていること、および $\sum_{i=1}^{29} \varphi_{ci} = 1$ であることを考慮すると、次の式でシェアパラメータが決定できることがわかる。

$$\varphi_{ci} = \frac{C_i^{\frac{1}{\zeta_c}}}{\sum_{k=1}^{29} C_k^{\frac{1}{\zeta_c}}} \quad (i=1,2,\dots,33) \quad \dots \dots [61]$$

基準均衡では、炭素税の影響も受けないので、パラメータは全く同じように決定できて、次のようになる。

$$\varphi_{ei} = \frac{E_{ic}^{\frac{1}{\zeta_e}}}{\sum_{k=1}^4 E_{kc}^{\frac{1}{\zeta_e}}} \quad (i=1,2,3,4) \quad \dots \dots [62]$$

主効用関数[15]のパラメータの決定はやや複雑である。まず、基準均衡であるので $\varepsilon_c = 1$ とおいた上で、一階の条件から、次の関係を得る。

$$\frac{E_c}{C} = \left(\frac{\varphi_m P_c^e}{(1-\varphi_m) P_c} \right)^{\zeta_m}$$

これを φ_m について解くと次の式を得る。

$$\varphi_m = \frac{P_c C^{\frac{1}{\zeta_m}}}{P_c C^{\frac{1}{\zeta_m}} + P_c^e E_c^{\frac{1}{\zeta_m}}} \dots \dots [63]$$

上記の式の中にある二つの合成財価格は、それぞれ[22]と[25]ですでに決定したパラメータと、基準均衡の価格がすべて1であることによって求めることができる。問題は合成材の需要量である。これは、生産関数と同様に、単純にそれぞれの財の実質値とすることはできない。しかし、[20]式と[23]式は確実に成立している。基準均衡の条件をおいたそれらの式をあらためてここに書くと次のようになる。

$$P_c C = \sum_{i=1}^{29} C_i \dots \dots [64]$$

$$P_c^e E_c = \sum_{i=1}^4 E_{ic} \dots \dots [65]$$

したがって、[64]の右辺はわかっているので、それを求められた[20]式の合成財価格で割れば、合成財の需要水準が求まる。また、[65]の右辺もわかっているので、これを[23]式の合成財価格で割ればエネルギー合成財の需要水準が求まる。したがって、[63]より、主効用関数のシェアパラメータが求まるのである。

一般に、このように求めた合成財の需要量は必ずしも各個別財の実質需要量の合計に一致しないことを付け加えておこう。

(5) 弾力性の設定

EPAM には、生産関数、消費関数、そして輸出入関数に弾力性パラメータがあり、ほかの多くのパラメータがその値に依存していることからわかるように、モデル全体のパフォーマンスに重要な影響を与える。一方、ショーヴン(1993)に指摘されているように、これまで推計された弾力性の値についても、推計方法やデータの違いによって大きく変動することがわかっている。

生産関数に関わる弾力性についての、文献にあらわれているものをいくつか取り上げよう。

文献	弾力性	内容
Piggott and Whalley(1985)	(平均) 0.821	イギリス 18 産業
Kainuma, et.al.,(1999)	0.2-0.5	エネルギー、要素、中間投入
	0.3	電力、化石資源
	1.0	資本、労働
	0	石油、石炭

得津(1992)	(平均) 0.358	エネルギーE、資本K、計量モデル推計
	(平均) 0.434	中間投入、EK、労働、計量モデル推計
市岡(1991)	1.0	資本、労働
	0	要素、中間投入
橋本(1998)	1.0	資本、労働
朴(2002)	(平均) 0.77	資本、労働、エネルギー、中間投入
川瀬(2003)	1.0	資本、労働
	0.	要素、中間投入

弾力性が1と想定しているものは、コブ・ダグラス型の生産関数を採用しているものである。また、「平均」はいくつかの産業に異なった値が適応されているものを筆者が単純平均した値である。全体として、特に一般的な傾向を発見することは難しい。

ここでは、0.5を基準にして0.7と0.3の場合を、比較することによって結果への反応を分析しよう。また、モデル上は、各産業の弾力性を異なったもととして扱えるようにしたが、安定性の高いパラメータがない中で、より見通しが悪くなるので、各産業同じ階層の生産関数については、同じ弾力性を採用する。

次に、消費関数の弾力性についても検討しよう。

文献	弾力性	内容
ショーヴン(1993)	0.773	22消費財平均
市岡(1991)	(平均) 0.716	レジャーLと合成財X
	(平均) 1.114	LXと将来財
橋本(1998)	0.4	合成財と余暇
	0.2	現在財と将来財
斎藤(1991)	(平均) 0.705	22消費財についての計量モデル推計

橋本の想定を除けば、いずれも財別の弾力性となっていて、それらはいずれも高い値となっている。これをふまえて、本モデルでは主効用関数の弾力性については0.7を基準とする。エネルギー相互の代替の弾力性については、特にはっきりした知見はないので、0.5としておこう。

さらに、政府支出と投資の外生需要を決定する準消費者の代替弾力性は、より固定係数に近づけて、影響の程度を小さくするために0.3を基準にしておこう。

(6) 輸出入関数のパラメータ決定

[37]および[38]式の輸出入関数のパラメータのうち、価格弾力性のパラメータ ξ^f, ξ^m については外生的に与えると。あとは、スケールパラメータ ψ_j^f, ψ_j^m だけだが、基準均衡において価格はすべて1で、為替レートも1となるのでスケールパラメータはデータセットの輸出入ベクトルに一致

する。

輸出入の価格弾力性については、1970年代以降、傾向的に低下していることが、指摘されている。1994年の通商白書によれば1993年に入って輸出弾力性が0.2前後まで落ち込んでいることが示され、1997年の経済白書では、輸出入弾力性とも0.4台になっている。

本モデルでは、貿易の影響が過大に評価されないように控えめな値にするという主旨で、0.25を基準としよう。

資源	原単位	単位	資源投入からの CO2 排出量 (トン)
原料炭	2.63968	Kg-CO2/Kg	193097937.4
一般炭・亜炭・無煙炭	2.376	Kg-CO2/Kg	139543767.8
原油	2.6358	Kg-CO2/l	766598356.4
天然ガス	2.3052	Kg-CO2/l	129842312.0
		合計	1229082373.5
輸入からの排出量			
揮発油	2.42176	Kg-CO2/l	2691899.8
ジェット燃料	2.4388	Kg-CO2/l	26778679.3
灯油	2.55505	Kg-CO2/l	5431759.1
軽油	2.6642	Kg-CO2/l	3675840.1
A 重油	2.78524	Kg-CO2/l	3701021.3
BC 重油	2.915	Kg-CO2/l	24973714.1
ナフサ	2.1842	Kg-CO2/l	62734559.1
液化石油ガス	2.94172	Kg-CO2/Kg	63127312.0
		合計	193114784.7
		ナフサ分控除	-101513302.9
		総排出	1320683855.2

(7) 二酸化炭素排出量

エネルギー資源の二酸化炭素排出原単位については、環境省「平成14年8月 温室効果ガス排出量算定方法検討会」の資料に基づいて筆者が計算した。その結果は表に示している。

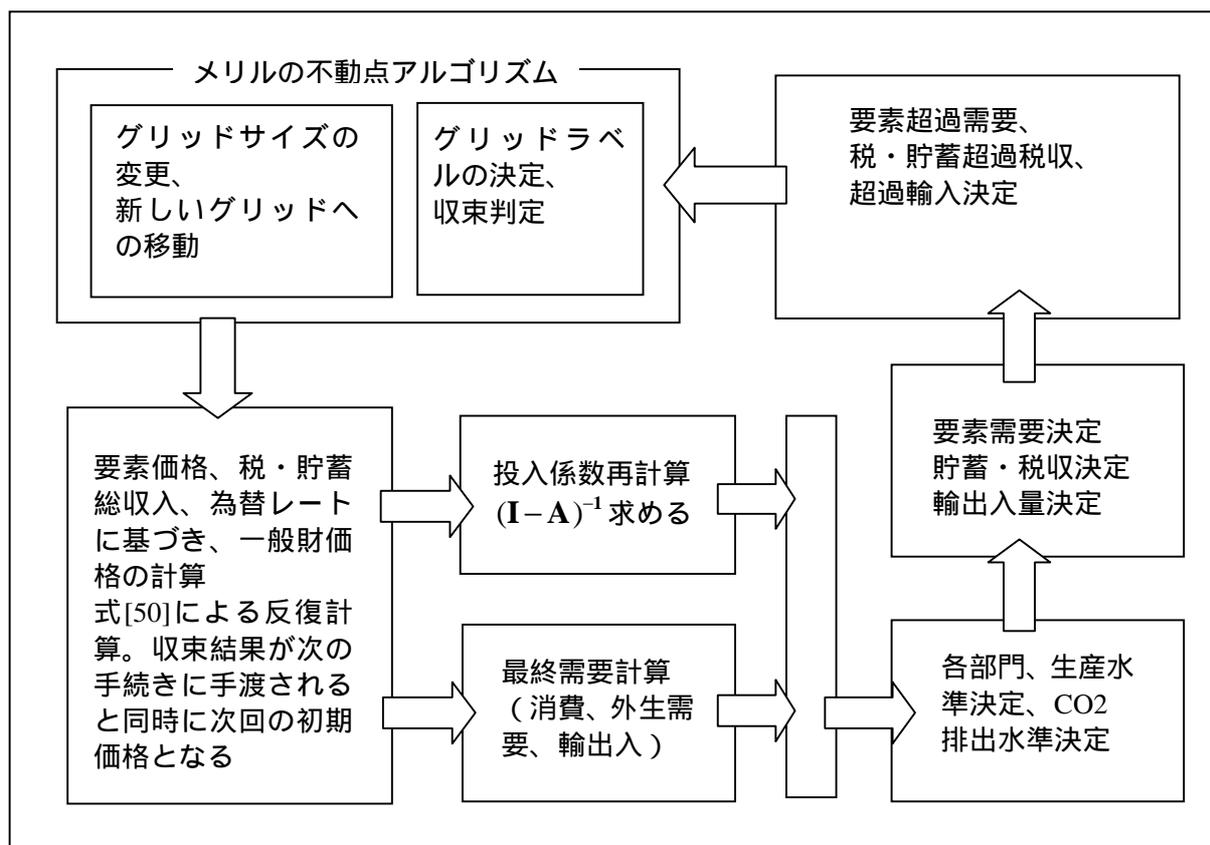
また、1995年産業連関表の物量表から、資源投入をとって原単位をかけることによって総排出を求めたところ約12億2908万トンとなった。また、産業連関表の輸入表から製品の輸入割合を求めて、その比率を物量表の石油製品などにかけることによって、輸入の物量表を作成し、輸入エネルギー資源による二酸化炭素排出量を求めたところ1億9311万トンとなり、その総計は、14億2068トンとなった。ここには、国内で投入された資源がナフサとして利用されたもの、そして、表にも書かれているナフサの輸入分が過剰にカウントされているとして、この量、1億151万ト

ンを差し引くと、合計で 13 億 2068 万トンとなった。

一方、環境省の推計によれば 1995 年の二酸化炭素排出量は 12 億 800 万トンである⁸。この差は、第 1 に、もともと、ここでの作業は基本的に産業連関表の物量表に基づくものであり、環境省とは利用データに違いがあることと、第 2 に、ここでの計算はナフサを除き、投入物量が完全に燃やされることを前提に計算している。このあたりに誤差の原因があると思われるが、突き止めるまでには至っていない。そこで、この差分の割合をすべての係数にかけることによって基準均衡の排出が環境省で把握している排出量に一致するように設定した。

5 . 均衡解の計算手続きについて

EPAM では均衡を求めるためにメリル (Merrill) の不動点アルゴリズムを用いている⁹。不動点アルゴリズムでは、均衡価格に向けた一回の探索ごとに、価格ベクトルにゼロが含まれていない限り、一つの価格についての超過需要を計算する。スカーフの不動点アルゴリズムとは異なり、メリルのアルゴリズムの場合は、この探索数は大幅に減少するが EPAM の場合、は数百回の探索を行う。超過需要関数が適切に定式化されていないと、収束しない、あるいは新しい探索を行えなくなるなどの障害が発生する。ここでは、不動点アルゴリズムが与えた要素価格にたいして超過需要を計算するプロセスを簡単に解説しておこう。



⁸ 環境省にはこの他に、12 億 1090 万トンという推計もあるが差異の理由は明らかではない。が、ここではさしあたって上記の推計値を用いた。

⁹ Merrill の不動点アルゴリズムについては、Scarf, 1982、ショーウン・ウォーリ (1984)、市岡 1991 を参考にした。

メリルのアルゴリズムプログラムは、和が1になるように正規化した要素価格 w, r 、税・貯蓄の総収入 G 、そして為替レート χ を超過需要の計算手続きに渡す。ただし、 G については、そのままの金額をメリルのアルゴリズムの中で動かすと、ほかの値とのバランスが崩壊し誤差を生み出す原因となるので、アルゴリズムの中では、基準均衡の G の値を1と換算して計算し、需要関数の手続きの中では、もとの単位に戻すという手続きをおこなっている。与えられた要素価格などに基づいて、一般財の均衡価格を求める手続きが行われる。最初にこの手続きが呼び出されるときには、すべての一般財の価格を1と初期化して反復手続きを行う。この33個の価格を決定する手続きに置いても、ほとんどが100回以下の繰り返し計算で、費用関数とバランスする、すなわち[39]式を等号で成立させる価格が求められている。収束は、初めの1割ほどの繰り返しでほとんど収束しているが、かなり厳しい収束条件を課しているので反復回数が多くなっている。

均衡価格が求められると、それに基づき生産関数の生産係数が決定される一方、消費関数輸出入関数などによって最終需要が決まる。このとき、 G が与えられていることが決定的に効いている。(この点に、ショーヴン(1993)らの工夫がある。)さらに、決定された投入係数マトリクスに基づいて、 $(I-A)^{-1}$ が求められ、先に決定された最終需要ベクトルを F とすると、 $(I-A)^{-1}F$ で各部門の産出ベクトルが求められる。また、同時に産出ベクトルに、資源からの二酸化炭素排出ベクトルをかけたものと、産出ベクトルから求められる石油製品投入量に輸入品からの二酸化炭素排出ベクトルをかけたものを合計することなどによって社会全体としての二酸化炭素排出量が決定される。

最後に、超過需要や超過税・貯蓄収入、輸入超過量が決定され、メリルのアルゴリズムに戻される。

ここで、計算誤差の問題についてふれておこう。

EPAMの金額単位は100万円である。一方、産出や最終需要、要素需要の総額は100兆円を超える値になっている。整数であらわされた100兆円のコストは9桁になる。従って超過需要の最大も9桁になる。一方、コンピュータの計算精度によれば、倍精度の浮動小数点の値は、それが64ビットであらわされる場合、有効数字は一般に13桁となる。CES関数を多数、かつ階層的に導入しているこのモデルの場合、べき乗計算を繰り返し行うため、そのたびに丸め誤差が発生し、有効数字は徐々に小さくならざるを得ない。この問題は、単位を10億円に換えても同じである。なぜなら、浮動小数点の計算では、それによって小数点の位置が変わるだけで、有効数字の桁数そのものは影響を受けないからである。

EPAMは演算を64ビットの倍精度で行っている。それによる誤差は次のようなものである。まず、たとえば、実質労働投入は約250000000百万円だが、基準均衡においてはこの投入に対する超過需要は完全なゼロではなく、1万円以下に押さえ込む能力を持っている。国全体の集計項目の誤差が個人のポケットに入っている1万円札以下になっている状態を、需給が均衡していると判断することは当然許されるだろう。炭素税やエネルギー効率を変えた政策シミュレーションにおいても、収束誤差が100万円を超えることは、よほど極端な弾力性の設定などをしない限り

発生していない。

等価変分の金額も、100 万円単位で出てくるが、そのあたりの誤差を考えて判断する必要がある。

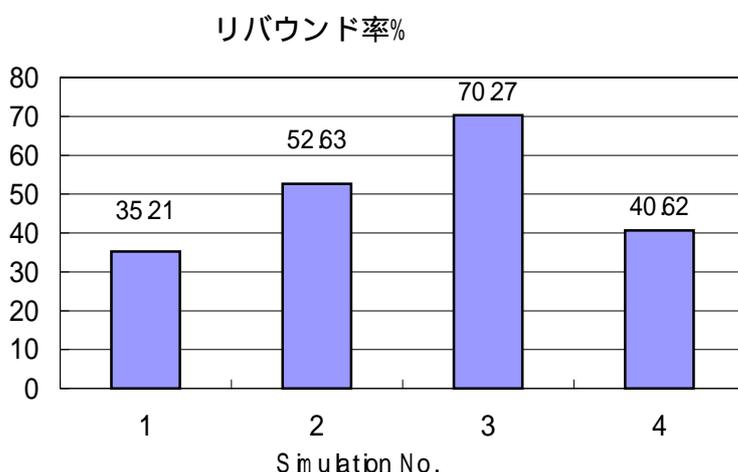
本来メリルアルゴリズムは均衡解がある限り、どこまでも誤差を抑えられそうだが、収束条件を厳しくすると、超過需要関数が持っているわずかな誤差によって見つけ損なうことが、ある程度の頻度で発生するようになる。実際、超過需要の最大値を 9000 円以下に押さえ込むために、EPAM のアルゴリズムは、価格の存在している単体（財次元から 1 次元引いた超平面）の 1 つの辺を 19 億個に刻んだ小さなグリッドの中から均衡を見つけ出しているのである。しかも、その探索は 500 回程度の繰り返し計算によって終えている。

6 . シミュレーションとその結果

(1) 生産と消費に関するエネルギー効率が 1% 改善した場合

複雑にならないように、4 つのシミュレーションに限定して、それらの結果だけを示そう。

No.	ε	ε_c	ε_g	σ	ρ	μ	ζ_m	ζ_c	ζ_e	CO2 削減率%	リバウンド率%
1	1.01	1.01	1.01	0.3	0.3	0.3	0.7	0.5	0.7	0.6479	35.21
2	1.01	1.01	1.01	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.7	0.4737	52.63
3	1.01	1.01	1.01	0.7	0.7	0.5	0.7	0.5	0.7	0.2973	70.27
4	1.01	1.01	1.01	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.5938	40.62



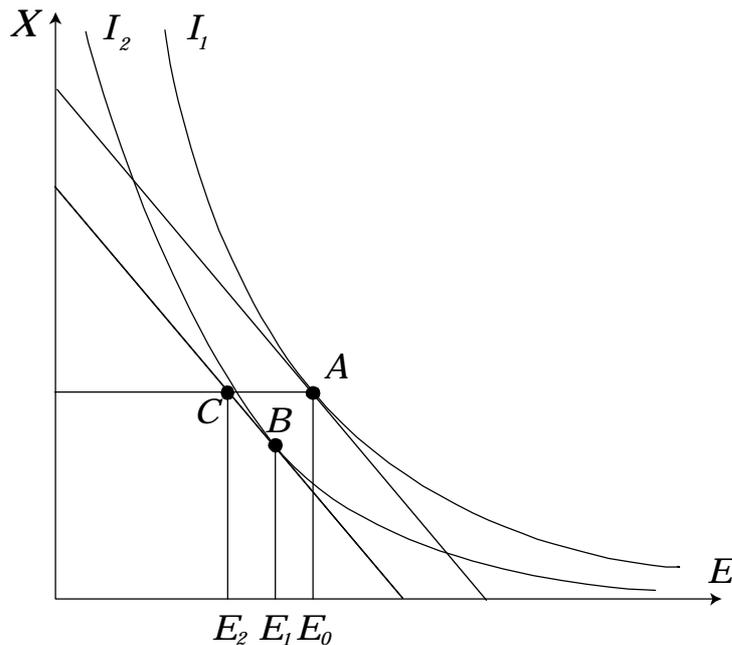
ここであらためて述べておくと、 ε 、 ε_c 、 ε_g はそれぞれ、生産関数、消費者の関数、準消費者の効用関数の効率パラメータで、1.01 は 1% の利用効率改善が与えられていることを示している。 σ は主生産関数の弾力性、 ρ は生産要素の弾力性、 μ はエネルギー投入の弾力性である。 ζ_m は主消費関数の弾力性、 ζ_c は一般財に関わる弾力性、 ζ_e はエネルギー消費に

関わる弾力性である。基準状態をシミュレーション 2 としていて、そこから変化しているパラメータの箇所を二重枠で囲んでいる。

リバウンド効果は、1 から削減率を差し引いた量としてとらえられる。すなわち、本来 1% のエネルギー効率削減実現すべきところが、上記の削減率しかできなかったのであるために、その差がリバウンド効果なのである。

全体の傾向をとらえることは容易である。生産関数でも消費関数でも弾力性が高ければ高いほどリバウンド効果は大きくなるのである。この4つのシミュレーションのうちで最も高いリバウンド効果を示しているのは、シミュレーション3である。1%の効率改善をしても、経済主体の反応に7割が吸収されて、実際の削減は0.3%しか実現しないということになる。この中で最も低い、シミュレーション1の場合でも35%のリバウンド効果を示している。

弾力性が高くなると、エネルギー効率改善の影響が小さくなるのは、次のような理由による。いま、一つの極端な場合として固定係数の場合を考えてみよう。エネルギーの投入効率が改善さ



れることは必要な産出水準を維持するために投入しなければならないエネルギー量が減ることを意味する。固定係数の場合は、費用最小化を前提にすると、そのエネルギーの投入が同じ割合だけ減ることを意味するのである。ところが、代替の弾力性が大きくなると上図のような状況が発生する。横軸がエネルギー投入量をあらわし、縦軸がその他の財や要素の投入を代表させていると考える。エネルギー効率の改善があると、等産出量曲線が左へシフトすることになる。固定係数ならば、一般財の投入水準を維持したままエネルギー投入だけ減るので、たとえば、水平線AC上のどこかに移動する。しかし、代替の弾力性が大きいと、費用最小化点が、たとえば、Bのようなところになるのである。固定係数の場合は、単純に比例して減少するので、 $E_0 - E_2$ が削減量となるが、代替の弾力性が大きいと削減量は $E_0 - E_1$ となり、 $E_1 - E_2$ がリバウンド効果として現れてしまうのである。

ただし、モデル上は総労働と総資本は完全雇用されるので、実際には資本と労働の産業間配分が変わることによって実現する。

この結果を、Greening(2000)がまとめている結果と比べてみよう。最初にも述べたように全体と

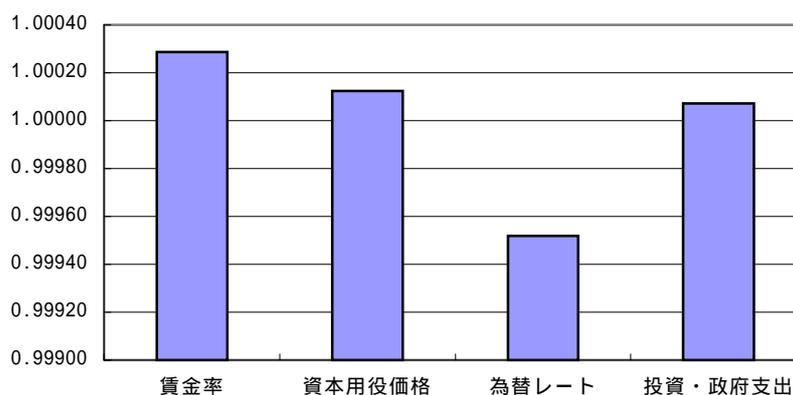
しては部分均衡の結果である¹⁰。

経済主体	利用形態	リバウンド率	論文数
消費者	暖房	10-30%	26
	冷房	0-50%	9
	温水	<10-40%	5
	住宅照明	5-12%	4
	自動車輸送	10-30%	22
企業	工程使用	0-20%	1
	照明	0-2%	4
	長期的傾向	<100-0%	
経済全体	生産成長の変化	0.48%(?)	1

われわれの弾力性の想定の妥当性にも依存するが、部分均衡の結果と比較して、ここでの結果は相対的に大きな値となっていることは判断できるだろう。誤解されないようにしていただきたいが、リバウンド効果が大きいということは、一般均衡モデルが効率変化に対して大きく反応したということではない。逆に、効率変化にあまり反応しなかったのである。部分均衡の場合よりも、より複雑な、多様なファクターが一般均衡の中にはめ込まれているために、それぞれが反応を過度に増幅しないように、逆に抑制するように働いていると考えるべきである。

ここまでは、リバウンド効果に関する結果だけを見てきたが、その他の、いくつか細かい結果についてもまとめておこう。

均衡の変化（初期状態とシミュレーション2との比）



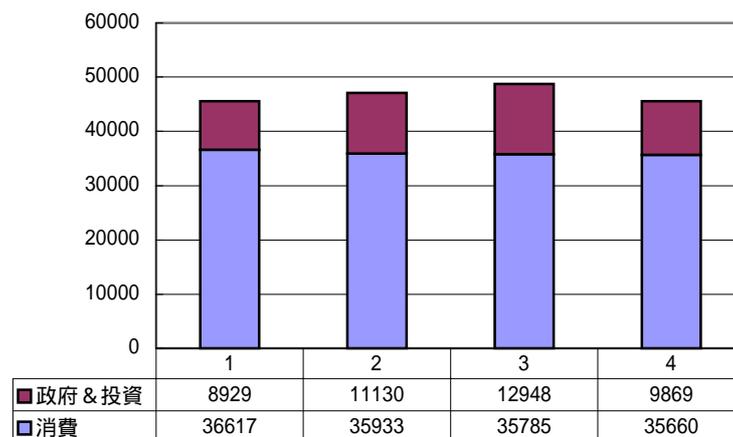
まず、均衡状態の比較を行っておく。効率改善をしない均衡と1%の効率改善をした後のシミュレーション2の均衡解を比較したグラフを示しておこう。為替レートだけが均衡前と比較して

¹⁰ 唯一リストアップされている経済全体の結果の数字は、誤植と思われるが、原論文を手に入れることが困難であるために、確認できない。

低下している。これは為替レートが変化しなければ、輸出が輸入を超過している状態にあったことを示す。効率の改善は、財の相対価格を低下させ輸出を促進し、その貿易収支を均衡させるために為替レートが低下したのである。

次に、社会的厚生水準の変化をヒックスの等価変分にとらえた結果を示そう。等価変分は、変化後の効用水準を変化前の状態で実現するための所得増加分を政策変化の金額評価としてとらえようというものである。表に示したように、効率の改善は全体として消費において 360 億円前後の厚生水準の増加、政府支出・投資から 90 億円から 130 億円の厚生水準の変化がもたらされる。

初期状態からの厚生水準の増加（百万円）



弾力性についての反応は、おもに政府支出と投資からもたらされている。

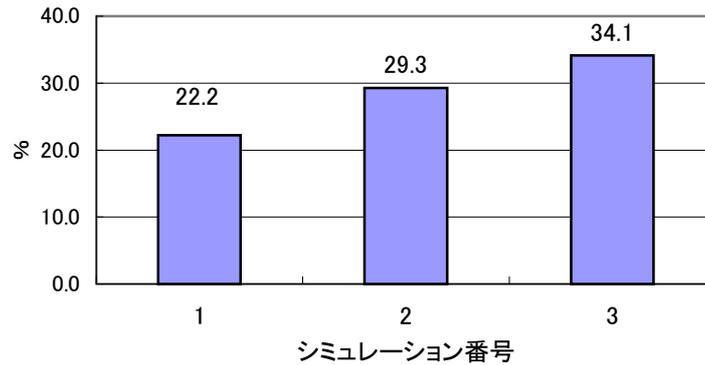
その他、初期均衡と、シミュレーション 2 を比較した価格変化と最終需要の変化を産業別に示した結果は、付表として与えておいた。

(2) 炭素税シミュレーション

つぎの、モデルのパフォーマンスを確認する意味もこめて、二酸化炭素排出に課税した場合のシミュレーションをおこなっておこう。

No.	τ^e	σ	ρ	μ	ζ_m	ζ_c	ζ_e	CO2 削減率%
1	0.00273	0.3	0.3	0.3	0.7	0.5	0.7	22.235
2	0.00273	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.7	29.263
3	0.00273	0.7	0.7	0.5	0.7	0.5	0.7	34.128

二酸化炭素排出削減率(1万円/C-トン)



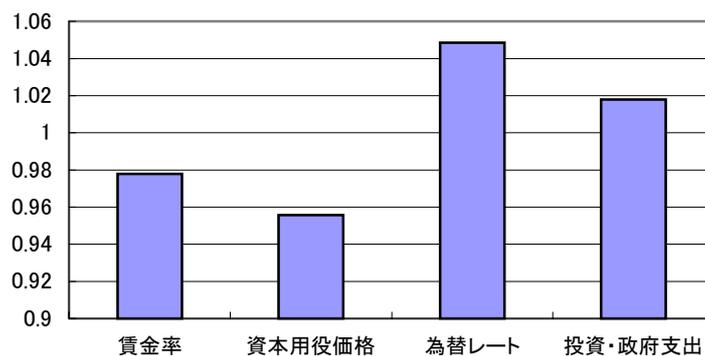
ただし、パラメータは、CO2 1トンあたりの税率（百万円 / CO2 トン）を示しているが、それはちょうど、炭素排出1トンあたりの税額が1万円になる設定値である。

弾力性が高まるとともに削減効果は上昇している。また、全体として炭素税の削減効果が大きいことがわかる。

従って、リバウンド効果は弾力性が高まるほど大きく、また、炭素税の効果もまた、弾力性が大きいほど大きくなるということである。経済の弾力性が大きいと判断される場合は、効率改善に依存した環境政策を重視すると、十分な効果をあげない。一方、炭素税の効果はより大きくあらわれる。逆に、弾力性が小さい場合は、効率改善はストレートに二酸化炭素排出削減につながり、一方、炭素税の効果は小さくなるのである。

その他の結果を以下に示しておく。

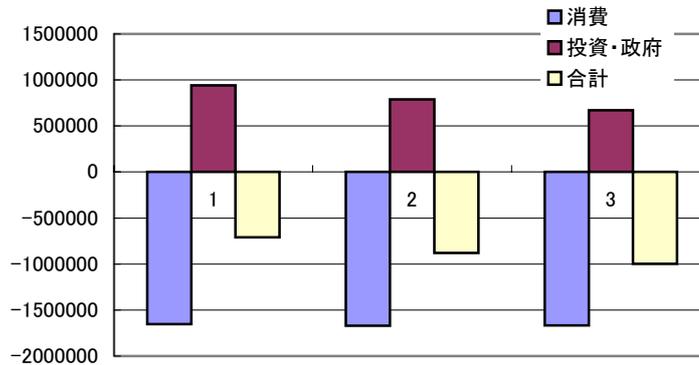
均衡解の比較(初期状態と炭素税のある場合2)



まず、均衡解の状況である。図に示されるように、効率改善とはまったく逆の結果になっている。その理由は、炭素税によって財の価格が相対的に高くなったために為替レートが同じままで輸入が輸出を上回ることになり、それを調整するために為替レートも大きくなったのである。投資・政府支出の増加は、炭素税による税収の増加である。

さらに社会的厚生変化の等価変分を示すと次のような図になる。

社会的厚生損失(百万円)



税収が増加することによって、政府・投資支出に関わる厚生水準は増大するが、それを上回る消費者の厚生水準の低下によって 7000 億円から、9000 億円の社会的に見た厚生損失が発生している。

7. まとめ

33 部門分割の、比較的コンパクトな応用一般均衡モデルによって環境効率改善のリバウンド効果の評価を試みた。結果として、それが生産と消費に関わる代替の弾力性に強い影響を受けること、そして、リバウンド効果の水準は 30% から 70% ほどの見積もりが必要であることがわかった。効果の幅は広いが、いずれにしてもそれを精査しないままにゼロと無視することは、大きな問題であることは示せた。

さらに、弾力性が炭素税の効果とリバウンド効果の規模に与える影響が、逆方向であることもわかった。これは、環境政策のヴァリエーションを考えるうえで重要な示唆である。

一般に、こうしたモデル分析は、モデル自体が非公開であったり、公開されていても、その結果に関心を持つものにとっては、実際の再利用が禁止的なほどに困難なものであったりする。EPAM は、本稿ではまだ利用していない操作可能なパラメータの設定があり、それらの組み合わせによってここでの結論がどのように影響を受けるかを考察しきっているわけではない。そうしたものを、なんらかのインターフェース機能を持たせて、関心のある個人が簡単に分析できるような方途を考えたいと思っている。

参考文献

Binswanger, M., 2001, "Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect?" *Ecological Economics*, Vol.3, pp.119-132.

Boadway, Robin and J.Treddenick, 1978, "A general equilibrium computation of the effect of the Canadian tariff structure", *Canadian Journal of Economics*, Vol.21, No.3, pp424-446.

- Greening, L.A., David L. Greene and Carmen Difiglio, 2000, "Energy efficiency and consumption --- the rebound effect --- a survey." *Energy Policy*, Vol.28, pp.389-401.
- Gottron, F., 2001, "Energy Efficiency and the Rebound Effect: Does Increasing Efficiency Decrease Demand?" CRS Report for Congress, Received through the CRS Web.
- Greene, D.L. 1992, "Vehicle use and fuel economy: how big is the rebound effect?" *The Energy journal*, Vol.13, No.1, pp.117-143.
- Greene, D.L., J.R. Kahn and R.C. Gibson, 1999, "Fuel economy rebound effect for U.S. household vehicles." *The Energy journal*, Vol.20. No.3, pp.1-31.
- 橋本恭之、1998、『税制改革の応用一般均衡分析』、関西大学出版部。
- Hofstetter, P. and M. Madjar, 2003, "Linking change in happiness, time-use sustainable consumption, and environmental impacts; An attempt to understand time-rebound effects." BAO Final Report.
- 市岡修、1991、『応用一般均衡分析』、有斐閣。
- Jalas, M., 2002, "A time use perspective on the materials intensity of consumption." *Ecological Economics*, Vo.41, pp.109-123.
- Jevons, W.S., 1865, *The Coal Question: Can Britain survive?* Republished Macmillan, London 1906.
- 川瀬晃弘、北浦義朗、橋本恭之、2003a、「エネルギー税のCO2 排出抑制効果とグリーン税制改革」、日本経済学会、2003 年大会報告論文。
- 川瀬晃弘、北浦義朗、橋本恭之、2003b、「環境税と二重の配当---応用一般均衡モデルによるシミュレーション分析」、公共選択学会第7回全国大会報告論文。
- Kainuma, K., Y Matsuoka and T Morita (1999) Analysis of Post Kyoto Scenarios: AIM model. *The Energy Journal*, Special Issue of the Cost of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation, pp.207-220.
- Khazzoom, J.D., 1980, "Economic Implications of Mandated Efficiency in Standards for Household Appliances." *The Energy Journal*, Vol.1, No.4, pp21-40.
- Kydes, A.S., 1997. "Sensitivity of energy intensity in U.S. energy markets to technological change and adoption. In: *Issues in Midterm Analysis and Forecasting*." DOE/EIA-060797.
- Lenjosek, G. J. Whalley, 1986, "A small open economy applied to an evaluation of Canadian energy policies using 1980 data.", *J of policy modeling*, Vol.8, No.1, pp.89-110.
- Lovins, A.B., 1988, "Energy saving resulting from the adoption more efficient appliances: Another view", *The Energy Journal*, Vol.9, No.9, pp155-162.
- 森正武、2002、『数値解析 第2版』、共立出版株式会社。
- 朴勝俊、2002、「環境税制改革の応用一般均衡分析」、『国民経済雑誌』、Vol.186、No.2、pp.1-16。
- Piggott,J.R., and J. Whalley, 1985, *UK Tax Policy and Applied General Equilibrium Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- 斎藤光雄、1991、『国民経済計算』、創文社。
- Saunders,H.D., 1992, "The Khazzoom-Brookes postulate and neoclassical growth.", *The Energy Journal*, Vol.13, No.4, pp.131-148.
- Scarf, H.E., 1982, "The Computation of Equilibrium Prices: An Exposition." *Handbook of Mathematical*

Economics, Vol.II, Chapter 21.

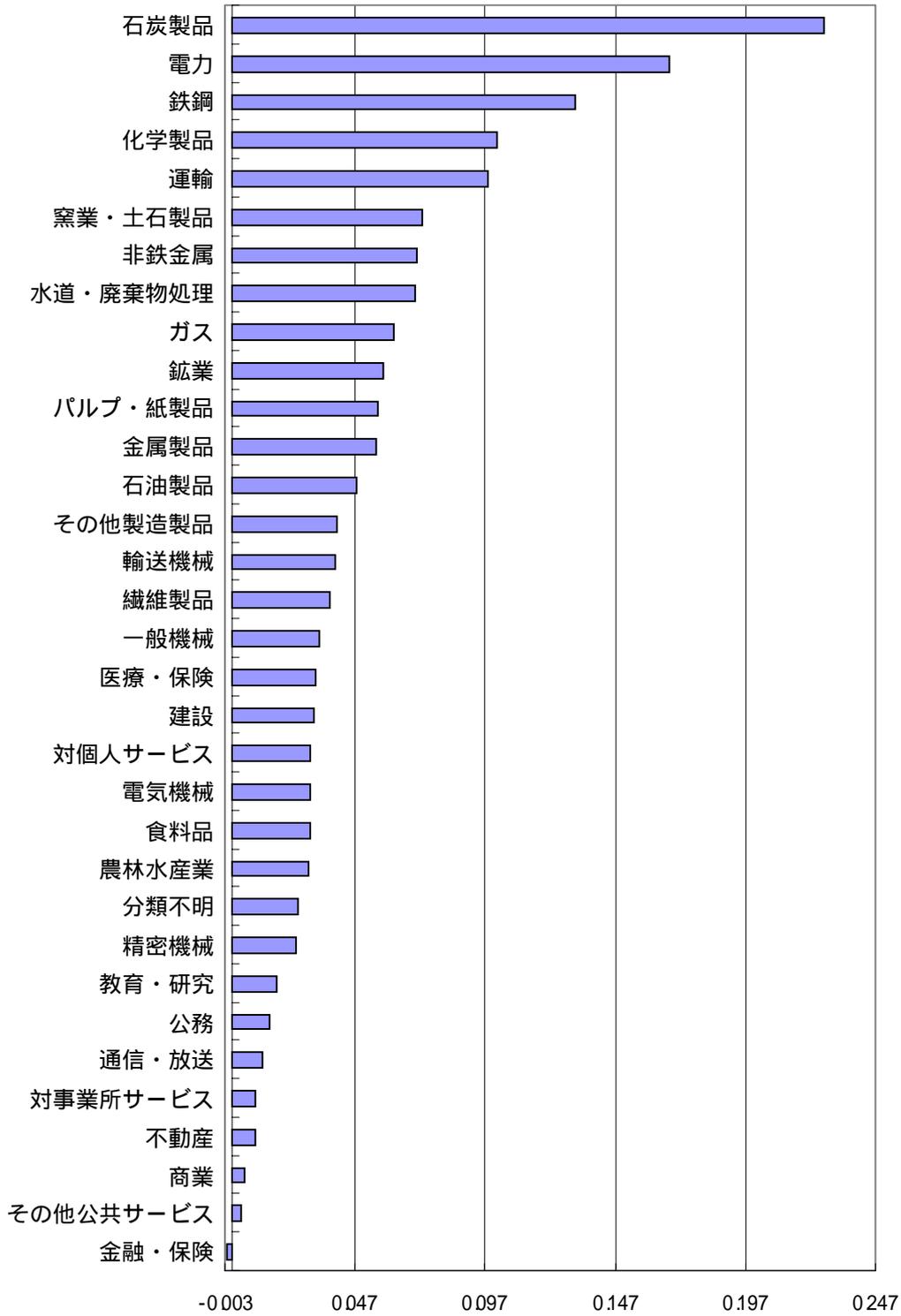
Schipper, L., 2000, "On the rebound: the interaction of energy efficiency, energy use and economic activity. A introduction", Energy Policy, Vol.28, pp.351-353.

Shoven, J.B. and J. Whalley, 1984, "Applied General-Equilibrium Models of Taxation and International Trade: An Introduction and Survey." Journal of Economic Literature, Vol.22, pp.1007-1051.

ショーヴン, ジョン B.・ジョン・ウォーリ、1993、『応用一般均衡分析：理論と実際』、小平裕訳、東洋経済新報社。

得津一郎、1992、「多部門生産関数の推計---日本経済のエネルギー投入構造」、『多部門経済モデルの実証分析』第2章、小川一夫、斎藤光雄、二宮正司編、創文社、pp.25-48。

価格の減少率（％）順位、（初期状態とシミュレーション2の比較）



生産額の変化（%：初期状態とシミュレーション2との比較）

