

# 環境と経済を統合した応用一般均衡モデルによる 環境政策の効果分析

増井 利彦<sup>1</sup>・松岡 譲<sup>2</sup>・森田 恒幸<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 国立環境研究所 地球環境研究グループ (〒305-0053 茨城県つくば市小野川 16-2)

<sup>2</sup>正会員 工博 京都大学大学院 工学研究科環境工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

<sup>3</sup>工博 国立環境研究所 社会環境システム部 (〒305-0053 茨城県つくば市小野川 16-2)

本研究では、経済活動に伴って発生する環境負荷を取り込んだ応用一般均衡モデルを用いて、環境負荷を削減するという環境制約が経済活動に及ぼす影響と、そうした環境制約を緩和させる政策の効果を定量的に評価する。ここで対象とした環境制約は、京都議定書で同意した二酸化炭素排出量の削減（2010年頃までに排出量を1990年比で6%削減する）と、1999年に日本政府が目標値として表明した廃棄物最終処分量の削減（2010年度までに最終処分量を1996年度比で半減する）の2つである。これらの制約により、2010年のGDPは制約がない場合と比較して2.7%減少する。本研究で対象とした環境政策は、1)古紙の需要を高める、2)低公害車の普及を図る、3)廃棄物処理に対する投資を高める、の3つである。これらの政策は、対象となっている環境負荷の削減を通じて環境制約を緩和させるとともに、関連する産業の生産活動を高めることから、全体的なGDPの回復に寄与する。その一方で、例えば低公害車の普及により2010年の二酸化炭素排出費用（：排出目標を達成するために課せられた炭素税の費用に相当）は11.9%削減するが、廃棄物最終処分費用は0.7%増大するなど、環境政策が産業連関を通じて別の環境に影響を及ぼす可能性があることを明らかにした。

**Key Words:** *applied general equilibrium model, economic activity, environmental policy, shortage of final disposal site, CO<sub>2</sub> emission reduction*

## 1. 本研究の目的と概要

我が国では地球温暖化対策として2008年から2012年までの約束期間において二酸化炭素排出量を1990年の水準から6%削減することに同意した。一方、逼迫する廃棄物最終処分地に対して、政府ダイオキシン対策関係閣僚会議において、2010年度までに1996年度比で最終処分量を半減させる目標を決定した。こうした環境の制約が経済社会にどのような影響をもたらし、またそうした環境制約を乗り越えるために整備されつつある法律や制度、技術革新の効果を定量的に評価する分析はわずかであり、循環型社会への移行に向けた指針とその経済社会及び環境負荷への影響を定量的に提示した分析はほとんど見られない。こうした実態を踏まえ、国立環境研究所と京都大学のAIM（アジア太平洋統合評価モデル）開発

チームでは、経済モデルである応用一般均衡モデルに汚染の排出等の環境負荷とその処理を統合したモデルを新たに開発してきた。このモデルを用いてはじめに挙げた2つの環境制約の経済活動への影響とこれらの負荷を低減させる様々な政策の導入がもたらすマクロ経済効果について定量的に分析することを目的とする。

本研究で得られた結果は以下の通りである。

- ① 本研究で想定した二酸化炭素排出抑制と廃棄物最終処分抑制は2010年で実質GDPを2.7%減少させる（表-8）。
- ② 廃棄物や二酸化炭素を多く発生させる化学部門、一次金属部門や火力発電所では、想定した環境制約に伴って実質GDPの減少する比率がそれぞれ7.7%、5.7%、18.3%と他の部門と比較して高い（表-8）。
- ③ 産業構造審議会の品目別廃棄物処理・再資源化ガイド

表-1 環境資源を含めた経済

|    |         | 部門1      | ... | 部門n      | 消費    | 投資    | 産出                    | 価格       | 賦存量     |
|----|---------|----------|-----|----------|-------|-------|-----------------------|----------|---------|
| 投入 | 財・サービス1 | $X_{11}$ | ... | $X_{1n}$ | $C_1$ | $I_1$ | $\sum_{j=1}^n Y_{j1}$ | $P_1$    |         |
|    | :       | :        | :   | :        | :     | :     | :                     | :        |         |
|    | 財・サービスm | $X_{m1}$ | ... | $X_{mn}$ | $C_m$ | $I_m$ | $\sum_{j=1}^n Y_{jm}$ | $P_m$    |         |
|    | 資本      | $K_1$    | ... | $K_n$    |       |       |                       | $P_K$    | $K^*$   |
|    | 労働      | $L_1$    | ... | $L_n$    |       |       |                       | $P_L$    | $L^*$   |
|    | 環境資源1   | $W_{11}$ | ... | $W_{1n}$ |       |       |                       | $P_{W1}$ | $W_1^*$ |
|    | :       | :        | :   | :        |       |       |                       | :        | :       |
| 産出 | 環境資源q   | $W_{q1}$ | ... | $W_{qn}$ |       |       |                       | $P_{Wq}$ | $W_q^*$ |
|    | 活動水準    | $Q_1$    | ... | $Q_n$    |       |       |                       |          |         |
|    | 財・サービス1 | $Y_{11}$ | ... | $Y_{n1}$ |       |       |                       | $P_1$    |         |
|    | :       | :        | :   | :        |       |       |                       | :        |         |
|    | 財・サービスm | $Y_{1m}$ | ... | $Y_{nm}$ |       |       |                       | $P_m$    |         |
|    |         |          |     |          |       |       |                       |          |         |
|    |         |          |     |          |       |       |                       |          |         |

ラインに従い、紙・パルプ製造業における古紙利用率を現状の53.5%から2000年以降56%に高めることで、2010年の廃棄物最終処分費用、二酸化炭素排出費用（二酸化炭素の排出目標を達成するために課せられる炭素税の費用に相当）は、それぞれ1.2%、0.7%の削減効果が見られる（図-6及び図-7のシナリオ3a）。

- ④ 総合技研の予測に従ってエコカー（ハイブリッド自動車に代表される低公害車）の導入を2000年以降進めると、2010年に二酸化炭素排出費用を11.9%低減する効果が見られる（図-7のシナリオ3b）。ただし、エコカーの導入費用が高いことから二酸化炭素制約が比較的緩い2005年においては実質GDPを0.02%下げてしまう（図-5のシナリオ3b）。また、運輸機器関連部門の生産が伸びることから廃棄物発生量の増大を促し、2010年の廃棄物最終処分費用は0.7%押し上げられる（図-6のシナリオ3b）。
- ⑤ 廃棄物処理関係の投資のシェアを2000年以降に20%ずつ増大させることは、廃棄物処理能力を高め、廃棄物最終処分費用を2010年には1.7%削減させる（図-6のシナリオ4）。ただし、一般機械製造部門や金属部門等の生産が伸びることから二酸化炭素排出量の増大を招き、2010年の二酸化炭素排出費用を0.4%増大させる（図-7のシナリオ4）。

以上のことから、環境制約を認識した社会では、2010年に実質GDPの2.7%のコストを負担することになるが、対象となる環境負荷の高い産業がより大きな影響を受ける。環境制約下での環境政策導入は、環境負荷低減を通じた環境制約の緩和と、対象となる産業活動の活性化を通じて、環境制約により発生したロスを回復させる。ただし、制約と費用の関係によっては逆効果を生み出すおそれもあり、対象とする環境費用の低減に効果が見られるが、産業連関を通じて他の環境問題に影響を及ぼす。

## 2. モデル構造<sup>10-4)</sup>

本研究のベースとなるモデルは、逐次均衡型の応用一般均衡モデルである。モデルの概略を説明するために部門 $j=1...n$ が財 $i=1...m$ を産出し、生産活動に伴って汚染 $x=1...q$ を環境中に排出している経済を考える（表-1）。ここで、汚染の環境中への排出は、環境資源の消費ととらえている。この経済における均衡状態は、以下の(1)～(5)式で表すことができる。

$$\sum_{j=1}^n K_j = K^* \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n L_j = L^* \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n W_{xj} = W_x^* \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} + C_i + I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ji} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m P_i X_{ij} + P_K K_j + P_L L_j + \sum_{x=1}^q P_{W_{xj}} W_{xj} = \sum_{i=1}^m P_i Y_{ji} \quad (5)$$

$K$ : 資本,  $L$ : 労働,  $W$ : 環境資源,  $X$ : 中間需要,

$C$ : 最終消費,  $I$ : 投資,  $Y$ : 産出,  $P$ : 価格

(1)式～(3)式は、投入要素市場の均衡を示した式である。各式の右辺は各投入要素の初期賦存量を表しているが、これらはすべて家計に帰属されており、(1)式～(3)式は各部門に供給される投入要素の合計が初期賦存量に等しくなることを示す。(4)式は、生産財・サービス市場の均衡を示した式である。各部門で産出された財やサービス（右辺）は、中間需要、最終消費、投資に過不足なく配分される（左辺）ことを示す。(5)式は、各部門におけるゼロ利潤を示した式である。各部門での中間需要や投入要素の費用の合計（左辺）は、産出額（右辺）に等しくなることを示す。(5)式において環境資源の需要に関する要素費用も考慮に入れているが、これは環境資源を資本や労働と同様に生産要素の1つとみなし、生産活動に伴って環境中に汚染を排出する場合には、家計に賦存されている環境資源を購入しなければならないことを示している。

応用一般均衡モデルでは生産要素の需要関数を特定化

表-2 対象とする部門と財・サービス

|        |                 |
|--------|-----------------|
| 農林水産業  | 金融・保険業          |
| 鉱業     | 不動産業            |
| 食料品    | 運輸・通信業          |
| 繊維     | サービス業           |
| パルプ・紙  | 政府サービス生産者       |
| 化学     | 対家計民間非営利サービス生産者 |
| 窯業・土石  | 環境装置製造業         |
| 一次金属   | 下水処理業           |
| 金属製品   | 一般廃棄物処理業        |
| 一般機械   | 産業廃棄物処理業        |
| 電気機械   | 石炭              |
| 輸送機械   | 石油              |
| 精密機械   | ガス              |
| その他製造業 | 火力発電*           |
| 建設業    | 水力発電*           |
| 水道業    | 原子力発電*          |
| 卸売・小売業 | 電力+             |

\*: 部門のみ +: 財のみ

する必要があるが、ここでは、(6)式に示す生産関数を想定する。生産関数においても環境資源は投入要素の1つとみなされる。ただし、 $Q$  は活動水準を表し、活動水準に比例して生産財の産出量が決定されるものと仮定する。個別の関数形については後で示す。

$$Q_j = Q_j(X_{ij}, K_j, L_j, W_{sj}) \quad (6)$$

一方、家計では各財の需要を導くために効用関数の特定化が必要となる。ここでは、効用関数として貯蓄  $S$  (= 総投資) を含めた効用関数を定義する。効用関数に貯蓄を含めるのは、家計による異時点間の動学的最適化行動を分析する1つの方法であるとされているためである<sup>5)</sup>。本モデルで用いた関数形については後に示す。

$$U = U(C_i, S) \quad (7)$$

なお、家計における所得は、家計に賦存されている資本、労働、環境資源の価値の合計に等しく、(8)式のような所得制約が成り立っている。

表-3 対象とする環境

|     |       |                 |
|-----|-------|-----------------|
| 水   | COD   |                 |
| 大気  | SOx   | CO <sub>2</sub> |
| 騒音  | 騒音・振動 |                 |
| 廃棄物 | 燃えがら  | ガラス陶器くず         |
|     | 鉱さい   | ゴムくず            |
|     | 建設廃材  | 廃プラスチック         |
|     | ばいじん  | 廃酸              |
|     | 汚泥    | 廃アルカリ           |
|     | 紙くず   | 廃油              |
|     | 木くず   | 動植物性残さ          |
|     | 繊維くず  | 動物ふん尿           |
|     | 金属くず  | 動物死体            |

$$\sum_{j=1}^n (P_K K_j + P_L L_j + \sum_{s=1}^q P_{W_s} W_{sj}) = \sum_{i=1}^m P_i C_i + S \quad (8)$$

投資については、貯蓄が決まるとそれにより投資財の需要が決定される。これらの投資財が次式に従って各部門に蓄積される。

$$K_{j,t+1} = (1 - \delta_j) K_{j,t} + INV_{j,t} \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n INV_{j,t} = S_t \quad (10)$$

$t$  は期間、 $\delta_j$  は原価償却率、 $INV_j$  は各部門における投資額を表す。投資財の各部門への分配は、各部門における資本収益に応じて配分される。

次に、本モデルで用いた関数及びパラメータについて定義する。

#### a) 企業

本モデルの生産部門は、国民経済計算の部門分割をベースに産業連関表の基本表を表-2 に示す 33 部門に分割している。これらの部門分割では、下水処理部門や廃棄物処理部門、環境装置製造部門などを通常の部門から分離している。各部門では、資本と労働・エネルギー・その他の中間投入・汚染を投入要素として生産活動を行う(図-1)。ここで、投入要素としての汚染は、生産活動に

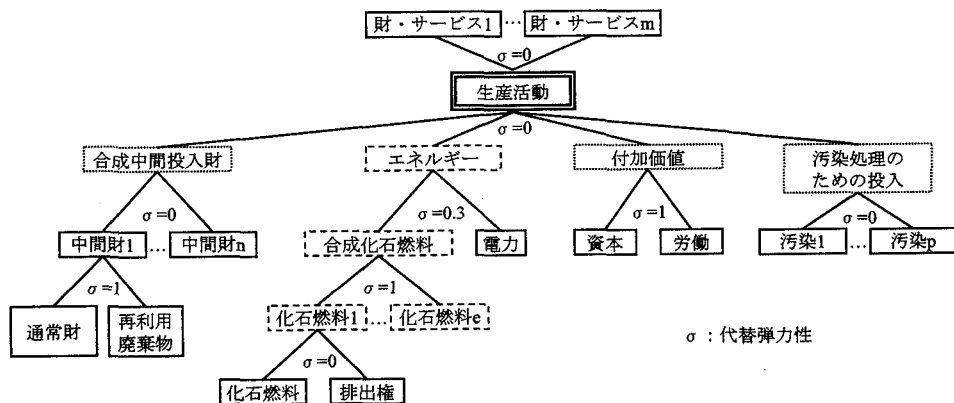


図-1 生産構造

伴って発生する汚染を抑制、処理、除去するために投下された資本（ここでは通常の資本と区別するために環境資本と呼ぶ）や労働、エネルギー、その他中間財を表す。すなわち、各生産部門は、財の生産に伴って汚染が発生するが、それらは適正に処理される必要があることを意味している。本モデルで想定した汚染の種類は表-3に示すとおりである。また、(6)式中の環境資源  $W$  は、図-1中の『排出権』（二酸化炭素排出量に相当）、『汚染処理のための投入』に含まれる環境中への汚染排出量にあてはまる。投入要素間の代替弾力性は0であるが、資本と労働間の代替弾力性は1、化石燃料と電力間の代替弾力性は0.3、化石燃料間の代替弾力性は1と仮定している（図-1）。各部門はV表に従って31種の財やサービスを産出する。産出される財・サービス間の代替性も0と仮定している。

#### b) 廃棄物処理構造

各部門で排出される廃棄物は、産業廃棄物と一般廃棄物（家庭系+事業系）、それぞれ表-3に示す廃棄物種毎に処理される。処理方法は、直接最終処分、直接再利用、中間処理の3つに集約しており、中間処理後の廃棄物は最終処分、減量、再利用のいずれかの経路をたどる。3つの廃棄物処理方法は、通常の生産関数と同様に資本、労働、エネルギー、その他中間財、二酸化炭素を排出するための環境資源  $W$  が必要となる。さらに廃棄物の最終処分を行う直接最終処分と中間処理では、最終処分量に応じて環境資源  $W$  の投入が必要となる。この廃棄物最終処分に対する環境資源  $W$  は家計に賦存されるが、その賦存量は想定した環境制約に応じて制限される。

一方、廃棄物処理部門における産出は、廃棄物処理・処分サービスの産出のほか、再利用される廃棄物（リサイクル財）を産出する場合にはその産出額が計上される。この産出額と投入額がゼロ利潤条件で結ばれる。リサイクル財は、表-4に示す経路をたどって市場に供給されるが、ここでは中間財としてのみ利用可能であるとしている（例えば、燃えがらは建設部門や窯業土石部門において鉱業製品（土砂等）の代替物として利用される）。

#### c) 二酸化炭素排出構造

本研究では、化石燃料の燃焼時に発生する二酸化炭素のみを制約の対象としてとらえている。ここでは、図-1に示すとおり、石油、ガス、石炭の燃焼時に各化石燃料の二酸化炭素排出係数に応じて環境資源  $W$  が必要であるとしている。この環境資源  $W$  にかかる費用を本研究では『二酸化炭素排出費用』と定義する。これは、二酸化炭素の排出削減目標を達成するために課される炭素税の費用に相当する。なお、環境資源  $W$  は、廃棄物最終処分と同様に家計に賦存され、その供給量は二酸化炭素排出制約により制限されている。

#### d) 家計

家計は需要関数を通じて効用最大化を実現させるように行動する。需要関数は、各財の家計最終消費と貯蓄で構成されるコブダグラス関数を仮定している。先に述べたとおり、需要関数において最終消費財・サービスだけではなく貯蓄を含めることで、家計における異時点間の最適化行動を反映させている。

#### e) 貿易

日本の経済構造を分析する上で貿易を考慮することは極めて重要な課題であるが、本モデルは日本を対象とした1国モデルであるために、外国の生産構造を踏まえた分析は行えない。そこで、小国の仮定を想定し、基準年に想定した貿易財価格が将来も続くものと仮定し、その価格を基準に取引を行うとしている。本来なら、化石燃料の価格等の上昇を見積もる必要があるが、ここでは表-5に示す想定を行っている。

#### f) 政府部門<sup>⑥</sup>

政府は公平な所得分配の達成や公共財の供給など多岐にわたる政策目標を実現させるように行動しており、異なる政策目標の間での重点の置き方には裁量の余地が多分にあるため、家計や企業と同様の考え方で行動方程式を記述することは困難である。また、一般均衡分析の役割は、政策シミュレーションである。こうしたことから、政府部門における最終消費及び固定資本形成については

表-4 廃棄物の再利用とそれを利用する部門

| 再利用廃棄物と<br>代替可能な財 |        | 再利用廃棄物 |     |    |    |       |         |     |     |      |        |      |      |          |    |      | 再利用廃棄物を利用する部門 |       |      |       |    |       |    |    |       |      |      |        |
|-------------------|--------|--------|-----|----|----|-------|---------|-----|-----|------|--------|------|------|----------|----|------|---------------|-------|------|-------|----|-------|----|----|-------|------|------|--------|
|                   |        | 燃えがら   | 鋳さい | 廃油 | 廃酸 | 廃アルカリ | 廃プラスチック | 紙くず | 木くず | 繊維くず | 動植物性残さ | ゴムくず | 金属くず | ガラス・陶器くず | 汚泥 | 建設廃材 | ばいじん          | 動物ふん尿 | 動物死体 | 農林水産業 | 繊維 | パルプ・紙 | 石炭 | 建設 | 窯業・土石 | 一次金属 | 金属製品 | その他製造業 |
| 農林水産業             | 鉱業     | ○      | ○   | ○  |    |       |         | ○   |     |      |        |      | ○    | ○        | ○  | ○    | ○             |       |      |       |    |       | ○  | ○  |       | ○    |      | ○      |
|                   | 食料品    |        |     |    |    |       |         |     |     | ○    |        |      |      |          |    |      |               |       | ○    |       |    |       |    |    |       |      |      |        |
|                   | 繊維     |        |     |    |    |       |         |     | ○   |      |        |      |      |          |    |      |               |       |      |       | ○  |       |    |    |       |      |      |        |
|                   | パルプ・紙  |        |     |    |    |       | ○       |     |     |      |        |      |      |          |    |      |               |       |      |       | ○  |       |    |    |       |      |      |        |
|                   | 化学     |        |     |    | ○  | ○     | ○       |     |     |      |        |      | ○    |          |    |      |               |       |      |       |    | ○     |    |    |       | ○    |      |        |
|                   | 一次金属   |        |     |    |    |       |         |     |     |      |        |      | ○    |          |    |      |               |       |      |       |    |       |    |    |       | ○    |      |        |
|                   | その他製造業 |        |     |    |    |       |         | ○   | ○   |      |        |      |      |          |    |      |               |       |      |       |    | ○     |    |    |       |      |      |        |

表-5 将来の想定（成長率%/年 ただし環境資源賦存量の単位は表中の通り）

|         | 化石燃料輸入価格 |       |       | 最終需要 |          | 労働人口  | 技術進歩  |         |      |      | 環境資源賦存量* |          |
|---------|----------|-------|-------|------|----------|-------|-------|---------|------|------|----------|----------|
|         | 石油       | 石炭    | ガス    | 政府   | 対家計民間非営利 |       | 労働生産性 | エネルギー効率 | 汚染除去 | 最終処分 | 二酸化炭素排出量 | 廃棄物最終処分量 |
| 1990-95 | -12.94   | -8.64 | -2.89 | 1.06 | 3.48     | 0.14  | 0.00  | 1.15    | 1.00 | 1.00 | 3.47億tC  | 0.83億t   |
| 1995-00 | 3.40     | 0.00  | 0.00  | 1.00 | 1.25     | -0.17 | 0.00  | 1.15    | 1.00 | 1.50 | 3.47億tC  | 0.64億t   |
| 2000-05 | 2.72     | 3.63  | 1.48  | 0.75 | 1.50     | -0.48 | 1.00  | 1.15    | 1.00 | 1.75 | 3.18億tC  | 0.50億t   |
| 2005-10 | 2.89     | 3.14  | 1.18  | 0.50 | 2.00     | -0.78 | 1.30  | 1.15    | 1.30 | 2.60 | 3.02億tC  | 0.38億t   |

\*環境資源賦存量は、各期間の最後の年の賦存量を表す。

1990年における環境資源賦存量は、二酸化炭素排出量3.21億tC、廃棄物最終処分量1.07億tである。

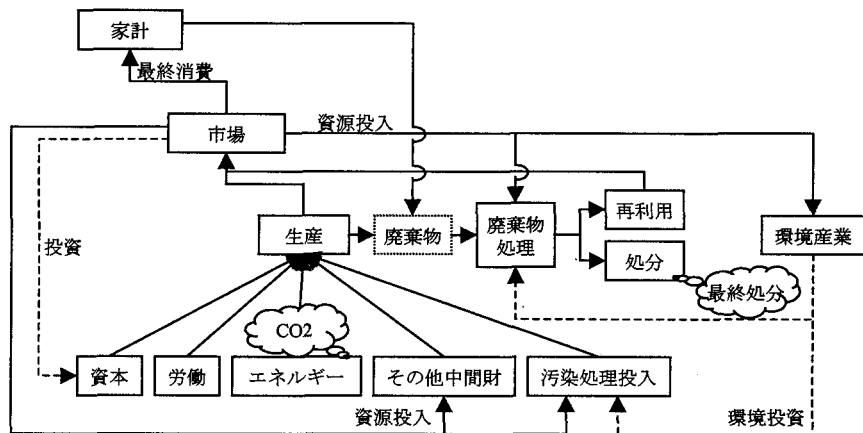


図-2 モデルの全体構造

外生変数として取り扱う。同様の取り扱いを対家計民間非営利団体の最終消費支出についても行う。これは、この部門が政府と同様に利潤最大化の行動基準をもたないといえるためである。政府部門における想定を表-5に示す。

### g) 将来シナリオの設定

各期における資源の賦存量は、シミュレーションの前に決められる。資本は、前期の資本ストックから減価償却分を除いた部分に新規投資を加えたものとして定義される。労働は、将来の人口推計をもとに外生的に与えている。環境資源の賦存量は、(2)及び(3)で示した環境制約により変化するものとする。

技術進歩は、資本の蓄積に応じて変化するものとする。つまり、古い資本の生産性は変化しないが、新しく導入された資本については生産性が向上しており、資本の占めるシェアに応じて生産性が変化するものとしている。生産性の向上は、労働生産性やエネルギー生産性の向上、中間財の投入や廃棄物の排出の減少で表せるものとする。技術進歩等に関連する想定を表-5に示す。

図-2にモデルの全体構造を示す。このモデル分析を通じて、種々の環境制約の経済活動への影響、環境制約下での様々な環境政策（新リサイクル技術の導入など）や意識の変化による経済活動への影響、環境産業と呼ばれる汚染を処理する装置を製造する部門や汚染、廃棄物処

理を行う部門の評価について、定量的な分析を行う。

### 3. データの設定 7.8)

本モデルは応用一般均衡モデルであり、分析の手順はモデルのパラメータを特定化し、基準となる均衡解と政策的変更が加えられた新たな均衡解との比較が行われる。本研究における政策的変更は、環境制約の想定や、そうした制約を緩和させるためのシナリオで表される。ここでは基準年を1990年とし、1990年における経済活動及び廃棄物の排出・処理をはじめとする環境負荷が均衡するようにパラメータの特定を行う。なお、パラメータの特定においては、電力価格など政府の介入や規制などを含めた上で均衡しているものとする。

経済部門は33部門の産業部門が31種の財・サービスを産出している。各財の産出については、産業連関表の産出表（V表）を基準としている。また、産業連関表の基本表に屑・副産物の調整を行ったうえで、商品技術仮定をもとに投入表を作成する。ただし、発電については、各発電の特徴がわかるようにもとの基本表をもとに調整を行っている。資本については、民間企業資本ストック年報、国民経済計算等をもとにしている。

廃棄物の処理については厚生省のデータと産業連関表

表-6 データ出所

|            |                                    |
|------------|------------------------------------|
| 総務庁        | 平成2年産業連関表                          |
| 経済企画庁      | 国民経済計算年報                           |
|            | 民間企業資本ストック年報                       |
|            | 構造改革に挑戦、経済社会にダイナミズムを               |
| 通商産業省      | 昭和48年産業公害分析用産業連関表                  |
| 電力中央研究所    | 産業連関表を用いた我が国の生産活動に伴う環境負荷の実態分析      |
| 日本産業機械工業会  | 環境装置の生産実績                          |
| 厚生省        | 廃棄物処理事業実態調査統計資料（一般廃棄物）             |
|            | 日本の廃棄物処理                           |
| 日本環境衛生センター | Fact Book 廃棄物基本データ集                |
| 小泉明他       | 紙リサイクルに関する費用・エネルギー分析（都市と廃棄物Vol.29） |
| 総合技研       | 98 低公害自動車の現状と将来性                   |
| 人口問題研究所    | 日本の将来推計人口                          |

表-7 環境政策の想定（1990年=1）

|         | 古紙     |         |        | エコカー   |        |        |
|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
|         | 価格     | 古紙パルプ利用 | 汚染排出   | 価格     | エネルギー  | 追加的費用  |
| 2000-05 | 1.0117 | 1.0874  | 0.9740 | 1.0230 | 0.9955 | 1.1232 |
| 2005-10 | 1.0117 | 1.0874  | 0.9740 | 1.0500 | 0.9860 | 1.2658 |

古紙の価格は通常の紙の価格と比較して30%増としている。

古紙のリサイクル率は、56%（1995年で53.1%）を仮定している。

エコカーの価格は通常自動車の1.8倍を想定している。

エコカーの保有台数は2010年で202.5万台（全体で6293万台）としている。

エコカーの追加的費用は、資本、電気機械（バッテリー）に均等にかかるものとしている。

の廃棄物処理部門（産業を産業廃棄物処理、政府を一般廃棄物処理と区分）のデータをもとに想定している。環境資本については、日本産業機械工業会の『環境装置の生産実績』をもとに資本ストックと資本費用を推定している。それ以外の環境保全に関する投入は、公害分析用産業連関表を参考にした。

表-6に本分析で用いたデータの出所を示す。

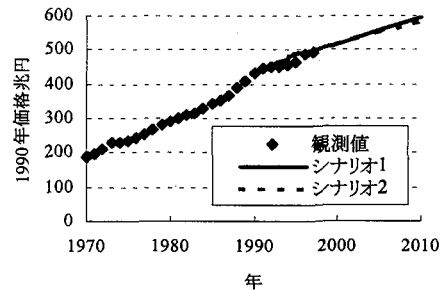


図-3 実質GDPの推移

#### 4. 計算結果

上述のモデルを用いて、環境制約下における産業構造の推移や様々な環境政策の導入によるマクロ経済効果を分析する。ここでは、下記のシナリオを想定する。

シナリオ1（現状推移シナリオ）

環境制約を想定しないシナリオ。

シナリオ2（環境制約シナリオ）

前述の「二酸化炭素排出量を6%削減し、廃棄物最終処分量を半減」させるという環境制約を想定したシナリオ。

シナリオ3（グリーン購入シナリオ）

シナリオ2に加え、古紙及びエコカーの選択を行ったシナリオ。古紙及びエコカー導入の想定は、表-7に示す通りである。シナリオ3aは古紙需要を増大させるシナリオ、シナリオ3bはエコカーの普及を図るシナリオ、シナリオ3cは両方同時に行うシナリオである。

シナリオ4（環境投資拡大シナリオ）

シナリオ2に加え、環境投資への傾向を高めたシナリオ。ここでは、廃棄物処理関連投資のシェアを2000年以降毎年20%ずつ増大させるように増加させることを想定している。

なお、本モデルを用いた分析結果はすでに環境投資シンポジウム<sup>9</sup>や経済企画庁の研究会<sup>10</sup>、環境白書<sup>11</sup>等で発表しているが、技術進歩に関するパラメータの想定などが過去の分析例と異なっている。このため、結果についても若干の相違がある点をあらかじめ断っておく。また、本分析では等価変分等から費用を計算するのではなく、マクロ経済指標である実質GDPの変化でとらえる。これは、各生産部門の影響を定量的に評価し、それらを積み上げたものを全体の費用としてとらえるためである。

環境の制約がないシナリオ1では、実質GDPは年平均1.6%で増加するのに対して、シナリオ2では年平均1.5%となる（図-3）。環境制約により2010年に生じた約16兆円の実質GDPのロス、現状の技術水準及び政策を仮定した場合に発生する費用を意味し、そのロスはシ

表-8 各シナリオにおける部門別実質GDP (1990年価格兆円)

|              | 1990年   | 2010年   |         |         |         |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|              |         | シナリオ1   | シナリオ2   | シナリオ3c  | シナリオ4   |
| 農林水産業        | 10.369  | 12.653  | 12.270  | 12.314  | 12.244  |
| 鉱業           | 0.895   | 0.855   | 0.835   | 0.841   | 0.838   |
| 食料品          | 11.139  | 15.044  | 14.419  | 14.431  | 14.390  |
| 繊維           | 2.350   | 3.410   | 3.327   | 3.339   | 3.323   |
| パルプ・紙        | 3.228   | 3.947   | 3.812   | 4.094   | 3.808   |
| 化学           | 8.527   | 8.947   | 8.258   | 8.376   | 8.245   |
| 窯業・土石        | 4.160   | 5.302   | 5.125   | 5.106   | 5.121   |
| 一次金属         | 9.195   | 10.532  | 9.934   | 9.920   | 10.016  |
| 金属製品         | 6.822   | 9.922   | 9.658   | 9.635   | 9.672   |
| 一般機械         | 11.939  | 15.079  | 14.938  | 14.996  | 15.064  |
| 電気機械         | 16.648  | 20.010  | 20.163  | 20.713  | 20.135  |
| 輸送機械         | 10.455  | 13.045  | 13.179  | 13.626  | 13.134  |
| 精密機械         | 1.977   | 2.488   | 2.526   | 2.558   | 2.524   |
| その他製造業       | 18.251  | 25.699  | 25.065  | 25.009  | 25.048  |
| 建設業          | 39.607  | 59.863  | 58.008  | 57.706  | 57.921  |
| 水道業          | 3.326   | 4.095   | 3.878   | 3.879   | 3.881   |
| 卸売・小売業       | 56.478  | 86.729  | 84.600  | 84.407  | 84.537  |
| 金融・保険業       | 20.961  | 29.834  | 29.175  | 29.161  | 29.161  |
| 不動産業         | 41.673  | 47.037  | 46.123  | 46.178  | 45.997  |
| 運輸・通信業       | 28.071  | 38.522  | 37.109  | 37.257  | 37.079  |
| サービス業        | 70.895  | 104.368 | 101.681 | 101.554 | 101.628 |
| 政府サービス       | 30.794  | 46.589  | 45.300  | 45.258  | 45.325  |
| 対家計民間非営利サービス | 8.614   | 13.611  | 13.209  | 13.216  | 13.194  |
| 環境装置製造業      | 0.304   | 0.412   | 0.400   | 0.401   | 1.323   |
| 下水処理業        | 0.637   | 0.742   | 0.689   | 0.684   | 0.688   |
| 一般廃棄物処理業     | 0.855   | 1.521   | 1.153   | 1.155   | 1.152   |
| 産業廃棄物処理業     | 1.374   | 2.493   | 2.010   | 2.016   | 1.999   |
| 石炭           | 0.838   | 0.895   | 0.705   | 0.724   | 0.711   |
| 石油           | 4.048   | 4.561   | 4.266   | 4.264   | 4.262   |
| ガス           | 0.932   | 0.840   | 1.015   | 0.982   | 1.020   |
| 火力発電         | 4.973   | 5.016   | 4.098   | 4.095   | 4.107   |
| 水力発電         | 0.995   | 0.522   | 0.922   | 0.848   | 0.927   |
| 原子力発電        | 2.158   | 1.127   | 2.003   | 1.841   | 2.013   |
| 合計           | 433.490 | 595.711 | 579.855 | 580.584 | 580.484 |

ナリオ1における実質GDPの2.7%になる。こうした結果が誤差の範囲か否かという議論については、各パラメータに対する感度解析が必要となるが、ここではGDPの2%を超える変化があることから、誤差の範囲を超えているものとみなす。実質GDPのロスの内訳を示すために、図-4では各環境制約の設定により生じた費用の推移を示す。こうした経済成長の低下は、素材製造部門（化学・一次金属等）の低下の影響が相対的に大きく、また、経済活動の縮小は廃棄物処理部門にも影響を及ぼす。これは、素材系部門において単位生産当たりの廃棄物排出量やエネルギー消費量が大きく、また、これらの部門の活動の低下が廃棄物排出量の低下を招き、廃棄物処理部門の活動を低下させたといえる。エネルギー関連部門については、エネルギー効率の改善を想定しているためにエネルギー部門全体の成長率は低くなっている。特に、シナリオ1ではガス・水力発電・原子力発電といった比較的費用のかかる部門の実質GDPが減少する傾向を示す。その一方で、二酸化炭素制約を想定したシナリオ2では、ガス・水力発電・原子力発電の各部門が二酸化炭素排出量の少ないエネルギーを生産していることから、これら

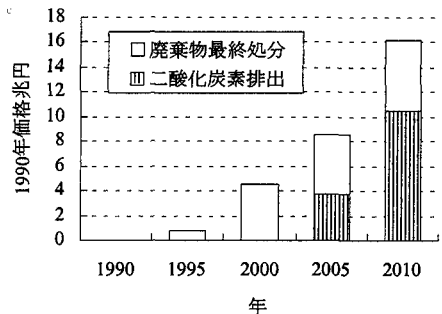


図-4 環境制約により生じた費用の推移

の部門の実質GDPはシナリオ1と比較して増加するようになる(表-8)。

シナリオ3a~3c、シナリオ4で示した各政策を導入することで、我が国全体及び各部門の実質GDPはシナリオ2と比較してそれぞれ図-5、表-8のように変化する。古紙やエコカーの製造にはより費用のかかる設備が必要であると想定したことから、シナリオ3a~3cでは、古紙やエコカーの需要を通じて紙パルプ部門や輸送機械部門の実質GDPが増大し、それとともに関連産業(例えば輸送

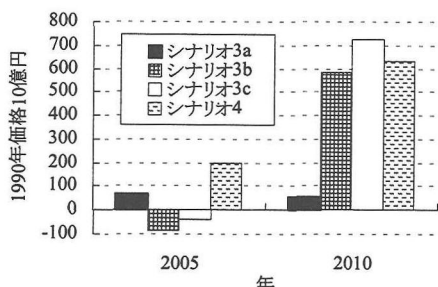


図-5 政策による実質GDPの変化  
(対シナリオ2)

機械部門の場合は電気機械部門など）も影響を受ける。また、古紙需要の増大は、バージンパルプの需要を減少させるために、その他製造部門の実質 GDP は減少する。エコカーの普及は、運輸関連のエネルギー節約を実現し、二酸化炭素の制約を緩和させる。その結果、二酸化炭素排出原単位の高い安価なエネルギーの供給が若干ではあるが増大するようになる。

シナリオ 4 では、廃棄物処理を中心とした環境投資の増大を想定したために、環境装置製造部門の実質 GDP が極めて高くなっている。また、その結果、金属部門や一般機械部門でも実質 GDP が増加するようになる。このシナリオ 4 において、廃棄物処理部門の実質 GDP は減少する傾向を示すが、これは、増大した環境資本が廃棄物処理部門ではなく各部門の自家処理部門に蓄積されたためである。

こうした環境政策はともに、政策対象となる部門と関連部門の増大を通じて全体の経済成長を牽引する原動力となっていること以外に、環境の制約を緩和させることで経済活動全体を活性化させる効果がある。図-6、図-7 は廃棄物最終処分と二酸化炭素排出にかかる費用が、各政策の導入によりどのように変化したかを示したものである。古紙需要の増大はリサイクルを通じた廃棄物最終処分制約と二酸化炭素排出制約の両方の緩和に、エコカーの導入はエネルギー効率の改善による二酸化炭素排出制約の緩和に、廃棄物処理資本投資の増大は廃棄物処理能力の増大を通じた最終処分制約の緩和に、それぞれ寄与する。ただし、エコカー導入の場合（シナリオ 3b、3c）、2005 年には二酸化炭素排出削減制約が比較的緩いのにに対してエコカー導入にかかる費用は高く、その結果、エコカーの導入は経済活動にマイナスの影響を及ぼすが、2010 年には二酸化炭素排出制約も厳しくなり、エコカー導入の効果は非常に大きくなる。また、エコカー導入による生産増は廃棄物の排出を促し、廃棄物最終処分費用を増加させる。同様に、廃棄物処理関係の投資は廃棄物処分費用の低減にはつながるが、廃棄物処理装置の製造過程でより多くの二酸化炭素を排出し、二酸化炭素排出

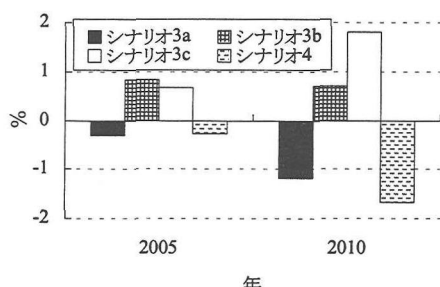


図-6 廃棄物最終処分費用の変化  
(対シナリオ2)

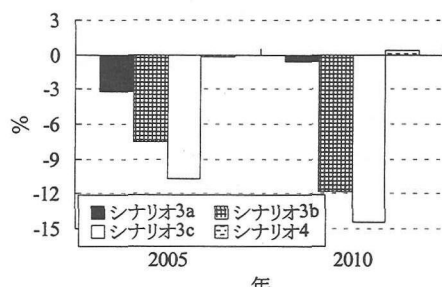


図-7 二酸化炭素排出費用の変化  
(対シナリオ2)

削減費用を増大させる。

## 5. 今後の課題

最後に、本研究の今後の課題を示す。本モデルは、未だ開発途上のモデルであり、構造的にいくつかの問題を抱えている。

- ① 政府部門のモデル化：政府は、政府サービスを産出する以外に、税を徴収し再配分するという重要な役割があるが、本モデルではそうした租税については取り扱わずに、付加価値の労働費用や資本費用の中で擬似的に評価してきた。また、二酸化炭素の排出は家計に賦存されている環境資源の消費を意味し、これは二酸化炭素排出権の売買と同義である。ただし、排出権の売買を実際に制度化する場合、産業部門と取引を行う経済主体として、家計よりも政府が重要な役割を担うものと思われる。こうした点を反映させたより実体に近い政府のモデル化が必要になる。
- ② パラメータの想定：技術進歩率は、新しい技術の生産性と設備全体に占める比率で表される。こうした点をきちんと評価するには、個別の新技术がどのように普及するのかを定量的に見積もる必要があるが、そのためにはボトムアップモデルの構築が必要となり、本モデルと補完的に用いる必要がある。特に、循環法で第



- 一に示されている廃棄物の排出抑制を評価するには、こうした技術評価が重要になる。
- ③ 他の政策シナリオの想定：今回の分析では、廃棄物関連の環境投資の増加と古紙及びエコカーの普及のみを政策としてとらえた。環境に関連する政策としては、これ以外にも多くの政策が考えられ、そうした政策の効果及び影響を評価していく必要がある。
- ④ 対象とする環境問題の拡張：ここでは廃棄物最終処分と二酸化炭素の削減のみを環境制約としてとらえたが、これ以外にも多くの環境問題が社会に存在する。また、廃棄物問題も最終処分の問題だけでなく、ダイオキシン問題に見られるように別の問題もみられる。そうしたことで取り上げた以外の環境問題についても分析が必要となる。このように複数の問題をとらえると、対策によっては本研究で示したとおりトレードオフの関係が見られる場合がある。こうした関係が現れる対策については、どのように解決を図るかという別の課題に対する解答を用意する必要がある。

謝辞：本研究を行うにあたって、「環境保全型経済システム構築への戦略」委員会、「新環境投資戦略プロジェクト」研究会、並びに「地球環境経済モデル」研究会に参加されている各委員の方々から貴重なご意見をいただいた。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 市岡修：応用一般均衡分析，有斐閣，1991.
- 2) ショウブン，ウォーリ（小平裕訳）：応用一般均衡分析，東洋経済新報社，1993.
- 3) Rutherford, T. : Applied General Equilibrium Modeling with MPSGE as a GAMS Subsystem: An Overview of the Modeling Framework and Syntax, <http://gams.com/solvers/mpsge/syntax.htm>, 1995.
- 4) 川崎研一：応用一般均衡モデルの基礎と応用，日本評論社，1999.
- 5) Howe, H. : Development of the Extended Linear Expenditure System from Simple Saving Assumptions, *European Economic Review*, Vol.6, pp.305-310, 1975 .
- 6) 経済審議会計量委員会編：中・長期経済分析のための多部門計量モデル—計量委員会第 10 次報告—，大蔵省印刷局，p.12, 1996.
- 7) 経済審議会構造調整部会計量委員会編：経済構造調整の計量分析—計量委員会第 9 次報告—，大蔵省印刷局，pp.58-69, 1990.
- 8) Konijn, P.J.A. and Steenge, A.E. : Compilation of Input-Output Data from the National Accounts, *Economic Systems Research*, Vol.7, No.1, pp.31-45, 1995.
- 9) 松岡譲：長期的な環境トレンドは経済発展の姿を変える，環境投資シンポジウム予稿集，財団法人地球環境戦略研究機関，pp.6-18, 1999.
- 10) 経済企画庁：循環型経済社会推進研究会中間報告書，経済企画庁，pp.19-23, 2000.
- 11) 環境庁編：平成 12 年版環境白書総説，大蔵省印刷局，pp.296-298, 2000.

## DEVELOPMENT OF APPLIED GENERAL EQUILIBRIUM MODEL INTEGRATED ENVIRONMENT AND ECONOMY

Toshihiko MASUI, Yuzuru MATSUOKA and Tsuneyuki MORITA

The object of this study is to evaluate both the economic loss derived from the environmental constraints and the mitigation by the environmental policies, by using the new applied general equilibrium model in which the economic activities and their pressure to the environment are integrated. Both the reduction of carbon emissions based on Kyoto Protocol and the reduction of waste final disposal based on the target of the government are introduced as the environmental constraints. By introduction these constraints, GDP in 2010 will reduce by 2.7 % compared with that in the no constraint case. As the environmental policies, the following actions are introduced: 1) enhancement of waste paper demand in paper industry, 2) enhancement of the low-emission vehicle, and 3) enhancement of the environmental investment for waste management. These policies will bring the economic benefits on the whole through the mitigation of environmental constraints and the promoted activities of the related industries. On the other hand, an environmental policy may give a bad influence to other environmental problems through the general equilibrium relationship. For example, the introduction of low-emission vehicle will reduce 11.9 % of CO<sub>2</sub> reduction cost, but it will make the final disposal cost increase by 0.7 % in 2010.