

CO2排出量安定化のマクロおよび部門別経済的影響分析:

「温暖化防止行動計画」実施へのテイク・オフに向けて

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 後藤, 則行 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/37247

CO₂排出量安定化のマクロおよび 部門別経済的影響分析

—「温暖化防止行動計画」実施への
テイク・オフに向けて—

後 藤 則 行

(1) 研究の目的

1992年6月の地球サミット（リオ，ブラジル）において合意された国際連合「気候変動に関する枠組み条約」が，条約締約国50カ国の批准に達し1994年3月21日に発効した。「環境と開発に関する世界委員会」（通称，ブルントラント委員会）によって1980年代半ばに「持続可能な発展（Sustainable Development）」のスローガンとともに提唱された地球環境保全への優先的配慮は，国内外ともに十分な理念的議論と政策協調への基本的合意を経て，実行へのテイク・オフ段階に移ったと見てよいだろう。

我が国は，「地球温暖化防止行動計画」（地球環境保全に関する関係閣僚会議決定，1990年10月）において，二酸化炭素（CO₂）の一人当たり，および総排出量を2000年以降概ね1990年レベルに安定化するという目標を国際公約として掲げている。そして，1993年11月の「環境基本法」制定を受け，その公約達成に向け具体的な行動計画（「環境基本計画」）の策定へと歩みを進めつつある。

本論文は，国立環境研究所「平成5年度依託研究報告書」に加筆，修正を行なったものである。なお，本研究における主要な分析結果は，すでに環境庁「地球温暖化経済システム検討会」第二次中間報告書（平成6年4月）にて公表されていることを断っておきたい。

我々に求められているのは、経済的効率性の追求と公正な負担に関する社会的合意を前提に目標達成のシナリオを描き、早急に実行への一步を踏み出すことであろう。さらに、恐らく人類にとって永遠の課題となるであろう温暖化問題の特質を考えるならば、望ましいシナリオとは単に当面の具体的な数値目標の達成にとどまらず、より長期的な展望の下に我々の社会・経済構造やライフ・スタイルの変革をも踏まえた「持続可能なシステム」への移行を目指したものである必要がある。「環境基本計画」（1994年12月）でも、「物質的豊かさの追求に重きを置くこれまでの考え方、大量生産・大量消費・大量廃棄型の社会経済活動や生活様式は問い直されるべきである」と明確に宣言されている。

CO₂排出量抑制に伴う経済的影響、諸政策手段（直接規制、課税、補助金等）の有効性や問題点に関しては、これまで多くの分析が試みられるとともに、合意形成のための議論が行われてきた。本研究は、それらを踏まえながら、主として抑制実施へのテイク・オフ段階を念頭におき、

- (1) 目標達成に伴う（必要な）マクロ経済、および産業構造的な調整、ならびに
 - (2) 対策手段としての省エネ技術の経済性
- という観点からの評価を試みる。

(2) 分析手法

本研究における分析手法の中心は、我が国のマクロ経済、およびそれとリンクしたエネルギー市場からなるエネルギー・マクロ経済・システムを対象とした動態的市場均衡モデル（GDMEEM: Goto Dynamic Macro-Energy Equilibrium Model）による数値シミュレーションを基礎とするシナリオ分析である。

GDMEEMは市場の柔軟な調整機能を前提とする多分に規範的な性質を有するモデルであり、本来長期的かつマクロ経済的観点から種々の状況要因の影響分析、ならびに経済・エネルギー・環境政策のフィージビリティ（実行可能性）と有効性の評価を主要な目的として構築されたものである。それ

ゆえ、その構造的特性や将来における不確実性等とのバランスを考慮の上、さまざまな抽象化や簡略化が行われている。今回、基本的な方法論としてのコンセプトは踏襲しているが、中期（20年：1990～2010年）を計画期間とし、エネルギー代替に関して相対的により短期的な硬直性を仮定するとともに、マクロ経済を構成する各産業部門への影響というミクロ的視点からの分析を考慮に入れたシステム構造とインプット・データを含む諸前提条件の設定（例えば、より詳細な部門分割と各2次エネルギーの利用形態および需給ネットワーク構造のモデル化等）を行なった。

GDMEEMは相当規模の非線形システムを対象としたモデルであるが、経済的競争均衡と最適化問題における解の数学的同値性を基礎に、非線形関数（生産関数、効用関数、エネルギー供給関数等）の区分的線形近似によって線形最適化問題（変数約7,000個、制約式約4,000本）として定式化されており、パワフルな線形計画法の数値計算アルゴリズムを利用してパソコンでも比較的容易に均衡解が求められる。より詳細な数学的定式化を含め、同モデルの諸特徴についての説明は後藤（1992）、Goto and Sawa（1993）に譲る。なお、同モデルの基本構造を図-1に示す。

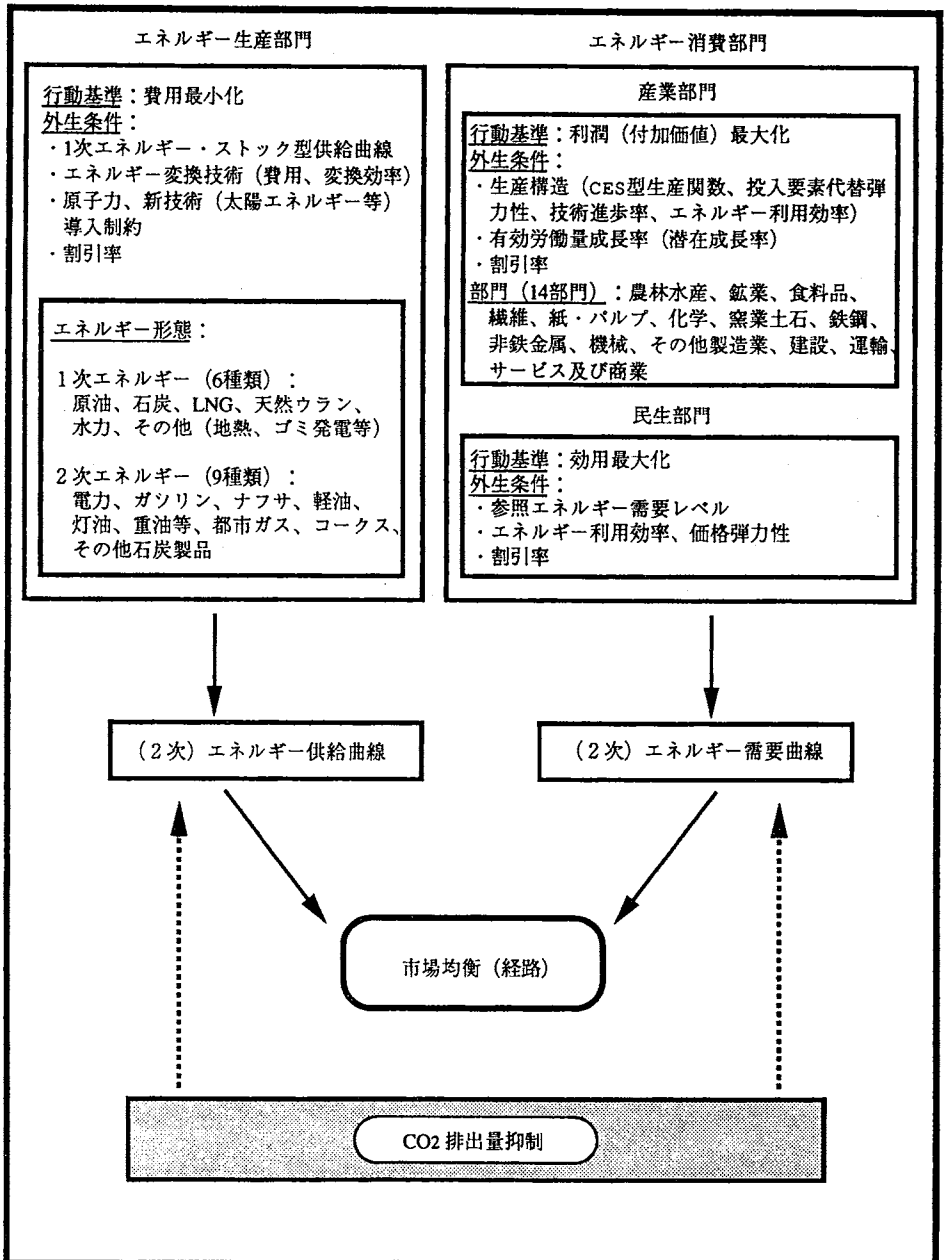


図-1 分析モデル（GDMEEM）の基本構造

(3) 理論的背景

シミュレーション結果およびその分析・評価について報告する前に、結果の解釈に有用と思われる経済学的理論背景について簡単に要約しておこう。

エネルギー価格変化に対する生産調整

我々の議論の出発点は、初等経済学において馴染みのものである。今、標準的な生産要素である資本（K）と労働（L）にエネルギー（Q）を加えた3種類の投入要素からなる生産関数（マクロ経済、あるいは特定の製造部門）を、 $Y = Y(K, L, Q)$ とする。ここに、エネルギー投入（Q）は、Yがマクロ経済の場合は外国から輸入、特定の製造業の場合は他部門（エネルギー部門）から購入されるものとする。なお、生産関数Yは、通常仮定される諸条件（一次同次性、各投入要素に関する一次偏導関数 > 0 、各投入要素間の代替性等）を満たす。以下において、要点のみを簡潔に示すため、説明上資本と労働を一定（しかし、それらのレントは変化）と仮定する。ただし、前提条件の変更（例えば、賃金を一定とした労働雇用量による調整等）、緩和によって、主要な論点は概ね変わらないことを付け加えておこう。唯一の必須条件は、利潤最大化の条件の下にエネルギー投入量は最適水準に決定されるということである。

今、 P_Q を最終財で測った実質エネルギー価格としよう。エネルギー投入量が利潤最大化（すなわち、 $\text{Max: } Y(K, L, Q) - P_Q Q$ ）によって決定されるならば、以下の最適条件が導かれる。

$$\partial Y / \partial Q = P_Q \quad \dots\dots\dots(1)$$

上の関係式は、最適なエネルギー投入量はその限界生産物が費用（価格）に等しくなる点で決まることを示している。(1)式をQについて解くと、エネルギー派生需要関数 $Q = D(K, L, P_Q)$ が求められる。さて、 $G = Y - P_Q Q$ を資本および労働に帰着する実質付加価値生産額（あるいは、実質所得）とする。

これに導出されたエネルギー派生需要関数 $Q = D(K, L, P_Q)$ を代入すると、いわゆる実質所得関数 $G = G(K, L; P_Q)$ が得られ、以下のような双対関係が成り立つ。

$$\partial G / \partial P_Q = \partial(Y - P_Q Q) / \partial P_Q = -Q \quad \dots\dots\dots(2)$$

YとGの関係について、簡単にチェックしておこう。関数Yは3投入要素(K、L、Q)について線形同次であるから、関数GはKとLに関して線形同次になり、それぞれの限界生産物は互いに等しい(すなわち、 $\partial Y / \partial K = \partial G / \partial K$ 、 $\partial Y / \partial L = \partial G / \partial L$)。よって、オイラーの定理により $G = (\partial G / \partial K)K + (\partial G / \partial L)L$ が成り立ち、これは実質所得(付加価値)Gが、それぞれの限界生産物にしたがって資本と労働に完全に分配されることを示している。

さて、外生的なエネルギー価格(P_Q)の変化を考えよう。(2)式より、容易に次式が導かれる。

$$(\partial G / \partial P_Q)(P_Q / G) = -P_Q Q / G = -P_Q Q / (Y - P_Q Q) = -s_Q / (1 - s_Q) \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここで、 s_Q はエネルギー・シェア(粗生産に占めるエネルギー費用の比率)である。すなわち、 $s_Q = P_Q Q / Y$ 。(3)式は、実質所得のエネルギー価格に対する部分弾力性は、粗生産に占めるエネルギー・シェアと付加価値生産額の比率の比に等しいことを示している。

次に、価格変化に対するエネルギー需要の反応を考察しよう。関数Yに弱分離可能性、 $Y = Y(N(K, L), Q)$ を仮定し、 $\sigma (< 0)$ をCES型生産関数を想定した場合の非エネルギー投入要素(N:資本と労働)とエネルギー(Q)間の代替弾力性とする。 R_N をNのレントとすると、以下の式が成り立つ。

$$Q/N = (P_Q / R_N)^\sigma \quad \dots\dots\dots(4)$$

これより、Nが一定の条件の下では、エネルギーの価格変化に対してそのレントが均衡条件を満たすように調整され（すなわち、 $dR_N/dR_N = -[s_Q/(1-s_Q)](dP_Q/P_Q)$ ）、エネルギー需要の変化率は以下で示される。

$$dQ/Q = \sigma[1 + s_Q/(1-s_Q)](dP_Q/P_Q) = \sigma[1/(1-s_Q)](dP_Q/P_Q) \quad \dots\dots(5)$$

マクロ経済とそれを構成する産業部門への適用

マクロ経済がn個の産業部門（エネルギー部門を除く）から構成されるとし、上の議論を直接拡張しよう。すなわち、総実質所得関数を各部門の総計 $G = \sum_i G^i(K^i, L^i; P_Q)$ として表わす。ただし、ここではエネルギー以外の中間財に関する部門相互間の産業連関構造は無視（不変と仮定）する。(3)式より、エネルギー価格変化に伴う部門別収益（利潤、付加価値）の変化率は以下のようなになる。

$$dG^i/G^i = -[s_Q^i/(1-s_Q^i)](dP_Q/P_Q), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \dots\dots(6)$$

ここで、 s_Q^i は i 産業部門におけるエネルギー・シェアである。同様に、(5)式より、部門別エネルギー需要の変化率は以下で示される。

$$dQ^i/Q^i = \sigma[1/(1-s_Q^i)](dP_Q/P_Q), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \dots\dots(7)$$

CO₂排出量抑制と手段としての環境税（炭素税）

これまで、エネルギーの価格変化を外生的なものとして論を進めてきた。ここでは、それをCO₂排出量抑制を目的とした炭素税導入に伴うものと想定し、明示された数量的抑制目標の達成とそれに必要な炭素税率（最適税率）

の関係について考察する。CO₂排出量のある水準以下に抑制するという制約条件の下で、次のような経済的総付加価値を最大化するという最適化問題を考えよう。

$$\begin{aligned} \text{maximize: } G &= \sum_i G^i(K^i, L^i, Q^i) = \sum_i [Y^i(K^i, L^i, Q^i) - P^i Q^i] \\ &\{ Q^i \} \\ \text{subject to: } \sum_i \alpha^i Q^i &\leq C^U \end{aligned}$$

ここで、 α^i は*i*部門における単位エネルギー消費あたりのCO₂排出量である。良く知られているように、この制約条件付き最適化問題はラグランジェ関数： $L(Q^i) = G(Q^i) + \lambda(C^U - \sum \alpha^i Q^i)$ の最大化問題と数学的に同値であり、最適解は以下の必要条件を満たす。

$$\partial Y^i / \partial Q^i = P^i + \lambda^* \alpha^i \quad \dots\dots\dots(8)$$

ここで、 λ^* は制約条件に付随するラグランジェ乗数（CO₂排出量制約のシャドウ・プライス）である。(8)式を(1)式と比較するならば、先に求めた関係式（6および7）は、エネルギー価格を表わす項（ $P^i Q^i$ ）に $P^i Q^i + \lambda^* \alpha^i Q^i$ を代入したものに等しくなっている。以上から、詳しい数学的証明は省略するが、 λ^* の値は市場メカニズムの中で最適な資源配分を達成するための最適炭素税率に等しいことがわかる。すなわち、上に提示した最適化問題の解は、 λ^* の値を炭素税率として経済に課した場合の市場均衡解と資源配分上同値関係にある。そして、最適炭素税率の適用によって、エネルギー価格は $\lambda^* \alpha^i$ だけ上昇する。

最後に、外生的なエネルギー価格（ $P^i Q^i$ ）というこれまでの前提条件を、競争的なエネルギー供給部門の導入によりマクロ経済システムにおける内生変数としてモデルを完結させよう。エネルギー供給部門に費用最小化の基準を採用することにより、エネルギー供給関数は限界費用関数に置き換えられる。すなわち、 $P^i Q^i = dC(Q^i)/dQ^i$ 、 $Q^i = Q^i(Q^i_1, Q^i_2, \dots, Q^i_j)$ 、ここで、 $C(Q^i)$ はエネルギー生産（ Q^i ）の総費用、また各部門におけるエネルギー形態（ Q^i ）は代替

的な種類のエネルギー（資源）形態の関数として（費用最小化によって）決まることを表わす。

(4) 前提条件とシミュレーション結果

インプット・データ、および前提条件

モデルにはその基本構造に依拠する暗黙の仮定はもとより、種々の前提条件、ならびに多くの技術的、経済的インプット・データが想定されている。それらの中には丹念な調査や吟味に基づくもの（エネルギー変換効率、費用データ等）、過去の統計データから推定されたもの（エネルギー需要の価格弾力性等）、現時点での知識の不十分性や将来における不確実性等の理由から様々な情報により我々独自の判断により推定したもの（潜在経済成長率、エネルギー資源の供給条件等）、分析目的との関連性に応じて外生的に設定しシステムへの多大な影響を排除したもの（非経済的要因により強い制約を受ける変数、例えば原子力計画等）などが含まれている。これらは全体として、以下のシミュレーション分析（模擬実験）のための基本的枠組みとバック・グラウンド（結果を解釈する際の制約でもある）を提供する。主要なインプット・データを要約してAppendix（末尾）に示す。

想定ケース

本研究で試みたシミュレーションは、以下の4ケースである。なお、策定された「温暖化防止行動計画」とは異なり、CO₂排出量制約は計画期間全体（1990—2010年）に課した。これは、柔軟な調整を仮定した動的的最適化問題に特有な異時点間代替効果に伴う非連続性を排除するためである（ただし、主要な結論に大きな影響を及ぼすものではない）。

表－1 想定ケース

想定ケース	前提条件等
B	基準ケース
S	省エネルギー技術オプション付加
C	CO ₂ 排出量を1990年水準 (3.0億トン-C/年) に抑制 (省エネ技術オプションなし)
S + C	CO ₂ 排出量を1990年水準 (3.0億トン-C/年) に抑制 (省エネ技術オプション付加)

注：想定した省エネルギー技術オプションについては、Appendix (A-6) を参照

各ケースにおけるシミュレーション結果の要約

はじめに、モデル（動態的市場均衡）というフィルターを通して集約された諸前提条件の1つの表現である「基準ケース」のシミュレーション結果を、主な指標について表－2に要約する。ただし、この「基準ケース」は必ずしも我々の将来予測を意味するものではない。それは、シナリオ分析（「If… …, then… …」アプローチ）を行なうための仮想実験場の環境設定のようなものであり、他の各ケースに対する比較基準としての役割を果たす。また、他のそれぞれのケースにおけるシミュレーション結果を、種々の指標値について要約し表－3～5、図－3～7に示す。

- ・各ケースにおけるマクロ指標値の変化……………(表－3)
- ・各ケースにおける部門別収益額の変化……………(表－4, 図－3)
- ・各ケースにおける部門別エネルギー需要の変化……………(表－5, 図－4)
- ・抑制ケースにおける部門別エネルギー需要変化の推移…(図－5)
- ・各ケースにおける部門別省エネルギー寄与率……………(図－6)
- ・各ケースにおけるエネルギー原単位の推移……………(図－7)

(5) 結果の分析・評価

マクロ経済的影響

マクロ経済的影響という視点から、各シミュレーション結果について概括的に説明と解釈を加えておこう。(表－3)

CO₂抑制なしの省エネ・ケース（「S」ケース）の結果によれば、省エネ技術の経済的効果は国民総生産（GNP）で評価して約7兆円（20年間の累計、現在価値（割引率=5.0%/yr）、対「基準ケース」+0.10%）と推定されている。これは、モデルで想定した省エネ技術群のマクロ経済的な価値と解釈できる。しかし、その結果達成されるエネルギー需要の低下（マクロ的省エネ達成率）、およびCO₂排出量の抑制効果は2000年以降でも2～3%程度（対「基準ケース」）である。このような結果は、省エネ技術の普及によりエネルギー需給状況が緩和し、これに伴うエネルギー価格の低下が他の部門での需要増加を誘発するという市場メカニズムをモデルが内蔵していることによる。特に、モデルの1つの特徴として原油からの各石油製品の物理的得率が固定されており、ある特定の2次エネルギー形態に偏って省エネが進むような場合その効果が大きく現われる。数値結果自体はある程度これらを含む諸前提条件に依存するものであるが、CO₂排出量削減のための省エネ技術の導入と普及促進（技術的目標）が、このような一般的に予期される市場的調整（国内外市場を含めて）により部分的に相殺され、当初の目標が必ずしも達成されない可能性を指摘するものと受けとめられよう。

CO₂排出量を1990年水準に安定化した場合（「C」ケース）、GNPで評価したマクロ経済的費用（損失）は約7.5兆円（20年間の累計、現在価値、対「基準ケース」-0.11%）であり、期間内の平均経済成長率で見るとその影響はきわめて穏やかである。すなわち、市場の柔軟な調整というモデルの特性を反映して、他の同様な研究結果と比較してマクロ的には軽微な影響という推定結果が得られている。これに伴う（あるいは、市場的調整に必要な）平均エネルギー価格（各2次エネルギー末端価格の平均値）の上昇率は対「基準ケース」比+28.7%（2000年）、+52.9%（2010年）であり、それに対応した総エネルギー需要の変化は-12.3%（2000年）、-18.9%（2010年）、供給側におけるエネルギー代替の効果も含めこうした需給システムの調整の結果CO₂排出量は-16.7%（2000年）、-26.5%（2010年）減少し1990年水準安定化の目標が達成される。計画期間中の平均変化率で表わすと、エネルギー価格は「基準ケース」の1.78%/yrから3.91%/yrへとほぼ2倍、総エネルギー需要は2.03%/yrから0.98%/yrへと約1/2にペース・ダウンする。また、

CO₂抑制の限界費用（安定化制約条件のシャドウ・プライス）は約¥25,000/ton-C（1995年）， ¥37,000/ton-C（2000年）， ¥73,000/ton-C（2010年）， 現在価値で評価した今後20年間の平均は約¥23,000/ton-Cと推定されている。これらは， エネルギー部門における抑制への効率的調整（エネルギー資源・技術の代替等）に伴う限界費用の上昇分に相当する。さらに， 同値はモデルが想定する理論的枠組みの中で評価したCO₂抑制の社会的費用を表わし， 抑制を課税（炭素税）で達成すると仮定した場合に必要な（かつ十分）な税率， あるいは最近議論の盛んな国際的排出権取引市場において我が国がその売買の判断基準とすべき排出権価格とも解釈できるものである。

CO₂排出量の安定化制約下で省エネ技術オプションを付加した場合（「S+C」ケース）， 前者（「C」ケース）に伴うマクロ経済的ロス（GNPロス）はほぼ相殺されることが示されている。同ケースにおける省エネ技術導入のマクロ経済的効果は約7.6兆円と推算され， 先の抑制なしの場合（「S」ケース）の約7兆円より10%程度増大する。また， エネルギー価格や抑制の限界費用（シャドウ・プライス）の大幅な低下が見られ， そのマクロ経済へ波及効果が大きな役割を果たしていることが推測される。要約すれば， これらの結果は， その直接的代替効果よりもむしろ， 市場メカニズムを通じて実現される省エネ技術のマクロ経済的価値を強調するものと解釈されよう。

部門別影響

各産業部門への経済的影響（負担）をそれぞれの部門における収益額の変化（対「基準ケース」）によって示したのが， 表-4である。予想のごとく（第3章の理論的背景における説明を参照）， CO₂抑制を課した場合エネルギー多消費部門（単位付加価値生産当たりのエネルギー投入量が多い部門）である鉄鋼， 窯業土石， 紙・パルプ， 化学においてその影響は顕著である。部門間の影響の程度はかなりのバラツキを呈しており， 例えば「C」ケースにおいては， 20年間の累計（現在価値）で-0.20%（建設）， -0.31%（サービス）から-4.38%（化学）， -4.99%（紙・パルプ）， -6.64%

(窯業土石), -9.49% (鉄鋼) と大きな開きが見られる。しかし, 1つの注目すべき結果が示されている。すなわち, GNP損失は上の結果と一見矛盾するような7.5兆円(年間平均3,500億円, 現在価値, 対「基準ケース」比 -0.11%)というきわめて軽微(特に判断の根拠はないが, 他の研究結果と比較して)と推定されている。これについては, 後により詳しく説明する。

次に, 省エネルギー技術オプションを付加した場合(「S+C」ケース), マクロ経済全体にも各産業部門においてもそれぞれ抑制の経済的損失(負担)が軽減されることが示されている。その程度の差は, 主として本研究で想定した省エネ技術(必ずしもすべての潜在的に可能な技術を網羅したわけではないが, 現時点で技術的にフィジブルと評価される主要な技術を含む)の直接適用性と導入規模, エネルギー需要の価格弾力性などに依存する。これらの数値は, システム全体の相互調整メカニズムを考慮したマクロ的な省エネ技術の経済的価値(7兆円余り, 20年間の累計, 現在価値, GNP比約 0.1%), および各産業部門への寄与の程度に関する情報を提供するものである。とくに, 本研究で用いたエネルギー需給ネットワーク型の市場均衡モデルの結果に特有なものとして, ある特定の産業部門における省エネ技術の導入はエネルギー価格の低下やエネルギー需要の減少に伴うCO₂抑制の限界費用の低下を通じて他の産業部門へも正の波及効果をもたらすことが示されている。例えば, よく議論の対象となる課税によるCO₂安定化に必要な税率への影響で見ると, 「C」ケースの $\yen 22,680/\text{ton-C}$ から $\yen 18,050/\text{ton-C}$ (いずれも期間内平均値, 現在価値)へと約20%低下している。

なお, 同表最右列の数値(「S+C*」)は, 省エネ技術導入(投資)の直接費用を政府が補助すると仮定し, それぞれ該当部門におけるエネルギー費用から控除して算出した値である。これらの直接費用は総額で産業部門4千億円弱, 民生部門1兆円余りの計1兆4千億円程度(いずれも20年間の累計, 現在価値)であり, 必ずしも大きな額ではない。これを反映して, 各部門の収益額の変化に関する「S+C」ケースとの相違は微々たるものである。省エネ技術の経済性に関しては一般に直接費用(投資費用)を基礎に議論されることが多いが, 本研究の結果はむしろ市場メカニズムによるマージナルな調整を通じて実現される経済的価値の重要性を強調しているものと解釈さ

れる。ちなみに、得られた結果から単純に概算すると、1.4兆円の費用によって産み出される付加価値の増分は約7.6兆円であるから5倍強の経済的効果（ある意味での乗数効果）をもたらすことになる。

部門別収益額の変化に関する先の議論に戻ろう。誤解を避けるため、まず表中の数値の算出方法について注釈を付け加えておきたい。同表の数値は、各産業部門の生産額（エネルギー以外の中間投入財を除いた付加価値生産額）からモデルで計算された市場均衡価格（需要曲線と供給曲線の交点）に基づいて評価した各2次エネルギーの末端価格にそれぞれの消費量を乗じた値をエネルギー購入額として差し引いて算出したもの（仮想値）である。モデルの均衡解は数学的同値性を利用した最適化シミュレーションによって求められるが、ここでの市場均衡価格とはその最適化問題におけるエネルギー需給バランス制約条件に付随するラグランジュ乗数の値（シャドウ・プライス＝限界費用）を意味する。

本研究で提示したCO₂抑制下における各産業の収益額変化に関しては、次のような解釈が可能である。最適化モデルへのCO₂抑制（制約条件）の付加により上昇したエネルギー価格は、理論的には、もしCO₂制約に付随するシャドウ・プライスを税率とする課税（炭素税）を行なった場合に市場で達成される均衡価格に一致する。ここで、CO₂制約のシャドウ・プライスとは抑制の限界費用を意味し、また課税のみによって抑制（CO₂排出量を1990年水準に安定化）を達成すると仮定した場合に必要なかつ十分な税率（最適税率）に等しい。すなわち、先の表-4に示した各産業部門の収益減少額は、理論的な最適税率を用いて課税による抑制政策を行なった場合の、納税を費用勘定に入れたときの各部門の収益減少額を意味する。ただし、これはモデルで求められた最適解（資源配分）を市場メカニズムによって実現すると想定した場合に考えられる唯一のシステム形態であることを指摘しておこう。しかるに、納税は経済的なロスではなく所得移転であるからこれを考慮すると、マクロ経済的には抑制に伴う損失（GNPで評価）は同表の最下行に示されるように、20年間の総計（現在価値）で評価して対「基準ケース」約7.5兆円（-0.11%）と驚くほど低微という結果となっている（ここで、税収は中立性を仮定しており、用途の違いによる2次の影響については

考慮していない)。なお、炭素税の適用によるエネルギー価格の上昇と70年代においてOPECにより引き起こされたそれとは、この点(上昇分の国内還流と国外流出)において性質上大きく異なることを指摘しておきたい。

図-2は、課税(炭素税)に伴う経済的影響に関する簡略的な説明図である。図中、供給曲線はエネルギー生産の限界費用曲線であり、需要曲線は産業部門全体(あるいは、特定の産業、企業)のエネルギー限界生産物曲線(派生需要曲線)を表わす。課税によりエネルギー供給曲線は上方にシフトし、市場均衡点はEからE'に移行する。エネルギー価格はPからP'へと上昇し、需要(=供給)はQからQ'へと減少する。その結果、産業部門(企業)の収益は領域(面積)APEからAP'E'へとP'PEE'だけ減少する。同様に、エネルギー産業の生産者余剰もPOEからC'OFへと減少する。しかし、このうちP'C'FE'は課税に伴う所得移転(=税収)であり、経済全体での付加価値生産額(GNP)の損失(dead-weight loss)はE'FEで与えられる。

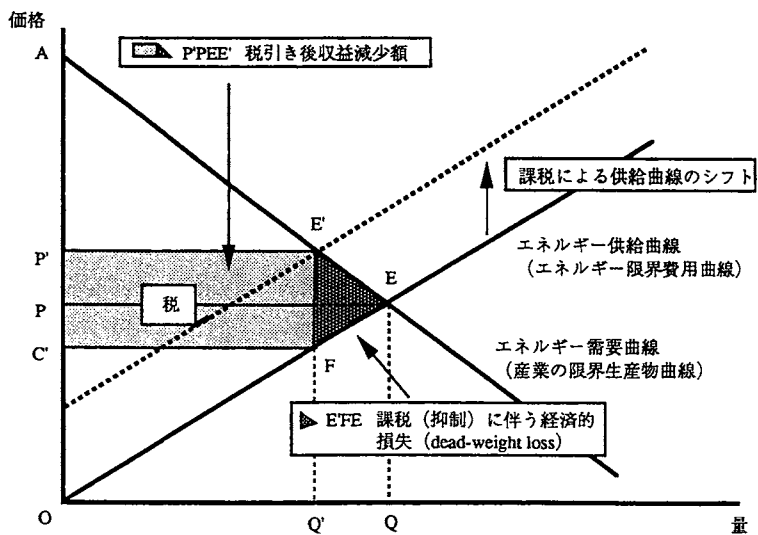


図-2 課税(炭素税)による収益額(産業)の変化とマクロ経済的損失

以上、その解釈に多少注意を要するシミュレーション結果であるが、これらから以下のような結論を導くことが可能であろう。

まず、分配問題を抜きにした資源配分上の効率性という観点からとらえたCO₂抑制の各産業部門への経済的影響にはかなりの程度のパラツキが見られるが、エネルギー部門と他の産業部門（および民生部門）を一体化したシステムの「効率的な調整」によりマクロ的な影響はきわめて軽微な程度に止められる可能性が示されている。しかし、これは必ずしも技術的な意味での「効率的な調整」により達成可能ということではなく、より社会的な意味での「効率的な対応」が要求されることを示唆する結果と解釈すべきであろう。すなわち、本研究が依拠する分析的枠組みの中では、マクロ経済的に効率的なCO₂抑制とはできるだけP.P.P.（Polluter Pays Principle：汚染者負担原則）を厳格に適用するという他にない。一般に効率性と公平性（結果としての負担の公平性）はトレード・オフの関係にあり、本研究で提示した結果は高度に効率性を追求した場合にフィジブルな1つのシナリオ的ヴィジョンを提供するものである。表-4に示されるように、単位付加価値生産あたりのエネルギー消費、およびそれに伴うCO₂排出量の大きな部門ほど大きな収益の損失が推定されている。

もちろん、CO₂問題に通常の環境問題のような汚染者対被汚染者（加害者対被害者）という構図は必ずしも妥当ではないから、得られた結果は生産および消費構造を含めて社会・経済構造をエネルギー多消費型から省エネ型へと移行させる必要性を強調するものである。しかるに、本結果で示された各部門への一様でない影響は、たとえそれがCO₂抑制に伴う社会的費用の経済的には効率的な負担の仕方であり目標として指向すべき将来像ではあっても、スムーズな労働移動による雇用調整や産業構造の柔軟な適応という前提条件が成立しない場合、少なくとも現存の社会・経済的通念、および価値体系の下では即座の受け入れに大きな不公平感が伴うことも否めないだろう。

これらのシミュレーション結果を政策的観点から読み替えるならば、広く経済的な効率性が認められている環境税（炭素税）の導入による各エネルギーの相対価格の変化と上昇、および税収の一部を影響の程度や性質に応じて各部門へ省エネ対策や構造的調整等への補助として還流するという補完的緩和

政策の適切な「カップリング」が必要かつ有効な国家的政策として示唆されるように思われる。各経済主体による柔軟な需給調整（本報告では議論を省略したが、供給側におけるエネルギー代替を含む）を促してマクロ経済的に効率よく抑制を達成するためには推定された程度のエネルギーの相対価格の変化と上昇が必要であり、また理論的にはこの価格体系は正確にCO₂抑制の社会的費用を市場化したものとなっている。しかし、これを「負担の公平性」という時には効率性よりも重い課題となる社会的問題に配慮しながら実現するためには、明確な長期ビジョンの構築と合意に基づいた社会・経済構造のソフトな移行を目指した補完的諸政策との組み合わせが必要であろう。

抑制の手段（特に、環境税導入）に関するこれまでの議論では、概してマクロ経済への悪影響の程度に関する推定や評価が中心となっているように感じられる。しかし、本研究の結果はむしろ、マクロ経済的に効率的な対応には必然的に伴わざるをえない各部門への影響の程度不均一性による所得分配上の問題（負担の公平性の問題）の重要性を指摘している。両者（効率性と負担の公平性）が一般にトレード・オフの関係にあることは明白であり、その評価が既往の同様な分析において抑制の経済的影響に関する推定結果に少なからぬ相違（例えば、環境庁（1992）参照）が存在する原因の一端でもあろう。しかるに、本研究の1つの主張点は、そのような一般的に認識されているトレード・オフ関係（曲線）の形状自体を諸政策の組み合わせにより改善できる可能性があるということである。

部門別エネルギー需要の変化（省エネ効果）

各シミュレーション・ケースにおける部門別エネルギー需要の変化を表5、および図4に示す。モデルではエネルギー需要の増減はエネルギー価格の変化を通じた市場メカニズムによって達成されるので、CO₂排出量抑制下では価格変化に対して弾力的な部門や石炭等の高炭素含有エネルギー形態を集約的に消費する部門（鉄鋼、化学、機械、紙・パルプ、非鉄金属等）において相対的に大きな需要の低下が観察される。省エネ技術オプションなしの場合（「C」ケース）現在価値評価で期間内の平均エネルギー価格は対

「基準ケース」比、約30%上昇するが、それに対応した各部門の需要変化は-23.92%（鉄鋼）、-23.35%（化学）、-19.58%（機械）、-18.97%（紙・パルプ）、-16.07%（非鉄金属）と推定されている（数値はいずれも20年間における累積消費量の変化、対「基準ケース」比）。

省エネ技術オプションを付加したケース（「S+C」ケース）では、それぞれの技術が直接適用される部門において一層の省エネの進展が期待される（特に、運輸など）反面、前述したような需給緩和によるエネルギー価格の低下に伴う他部門での相対的な需要増加（ただし、経済的には恩恵）の可能性が示されている。CO₂抑制は国家的目標であり（より正確には、地球的目標であるが）、この意味では民生部門における（国民一人一人の）省エネ努力もまた効率向上に大きな役割を果たす。各部門における需要の変化（絶対量）を図-5（時間的推移）、図-6（累積総消費量で評価した省エネへの部門別寄与）に示す。特に化学、鉄鋼部門において顕著であり、両者で全体の約50%を占める（CO₂抑制下）。また、民生部門からの寄与は約15%期待される結果となっている。

最後に、各シミュレーション・ケースにおいて推定された省エネ達成の程度（需要調整、省エネ技術導入を含む）を、比較的良好に用いられるエネルギー原単位（エネルギー消費量とGNPの比）の時間的推移に集約して図-7に示す。結果を鳥瞰すると、「基準ケース」では1980年代後半におけるトレンドを外挿した傾向を呈しているのに対し、「抑制ケース」では第一次石油ショック以降におけるトレンドに沿った利用効率の改善が要求されることが見て取れる。1970年代から80年代前半にかけては技術的な省エネが大きな役割を果たしたと考えられるが、今後はさらに産業構造や消費構造（ライフ・スタイル）の変革的適応により、ほぼ同程度のエネルギー利用の効率化を達成してゆくことが必要であると結論されよう。

表-2 基準ケース(BASE, or B)のシミュレーション結果

	暦年					平均伸び率(%/yr)		累計(P.V.)
	1990	1995	2000	2005	2010	90/2000	90/2010	¥10**9
マクロ諸指標								
国民総生産 (GNP) (¥10**9/yr)	420,785	491,682	564,239	638,932	718,222	2.93	2.67	6,695,069
総エネルギー需要(10**12 kcal/yr)	3,141	3,486	3,919	4,281	4,713	2.21	2.03	
平均エネルギー価格(¥/10**3 kcal)	6.95	8.09	8.68	9.42	9.93	2.22	1.78	
CO2 排出量(10**9 ton-C/yr)	0.300	0.323	0.360	0.382	0.408	1.83	1.54	
部門別付加価値生産額 (¥10**9/yr)								
農林水産	10,482	10,566	10,672	10,778	10,849	0.18	0.17	128,104
鉱業	957	948	947	944	941	-0.11	-0.09	11,383
食料品	11,382	12,161	12,976	13,733	14,451	1.31	1.19	154,475
繊維	2,116	2,070	2,055	2,035	2,021	-0.29	-0.23	24,738
紙・パルプ	3,215	3,606	4,104	4,580	5,063	2.44	2.27	48,595
化学	11,413	15,299	20,306	26,224	32,918	5.76	5.30	242,722
窯業土石	4,124	4,334	4,597	4,820	5,039	1.08	1.00	54,720
鉄鋼	9,549	10,359	11,383	12,300	13,225	1.76	1.63	135,013
非鉄金属	5,970	6,718	7,536	8,337	9,128	2.33	2.12	89,332
機械	59,231	79,155	103,292	131,310	162,382	5.56	5.04	1,231,054
その他製造業	17,288	19,060	21,032	22,931	24,744	1.96	1.79	249,614
建設	35,212	38,600	42,010	45,334	48,473	1.77	1.60	499,266
運輸	25,761	28,334	31,090	33,838	36,286	1.88	1.71	369,393
サービス	224,085	253,703	284,718	315,617	345,840	2.39	2.17	3,375,889
部門別エネルギー需要 (10**12 kcal/yr)								
農林水産	119	120	121	121	122	0.14	0.11	2,412
鉱業	6	6	6	6	6	-0.34	-0.24	120
食料品	49	51	54	55	57	0.95	0.76	1,074
繊維	35	32	31	30	29	-1.07	-0.83	621
紙・パルプ	99	106	115	123	133	1.50	1.49	2,334
化学	392	497	633	743	912	4.81	4.23	13,061
窯業土石	120	125	133	135	141	1.06	0.84	2,641
鉄鋼	422	444	469	468	484	1.05	0.69	9,207
非鉄金属	40	41	44	48	49	1.06	1.10	899
機械	96	112	142	175	211	3.99	3.95	3,016
その他製造業	178	187	201	212	226	1.18	1.19	4,058
建設	55	60	66	71	76	1.76	1.59	1,333
運輸	369	406	445	480	515	1.88	1.68	9,006
サービス	361	392	439	482	514	1.94	1.77	8,914
民生	802	908	1,021	1,133	1,237	2.42	2.17	20,848
総計	3,141	3,486	3,919	4,281	4,713	2.21	2.03	79,543

P.V.: 現在価値換算値 (割引率 = 5.0%/yr)

表-3 各ケースにおけるマクロ指標値の変化

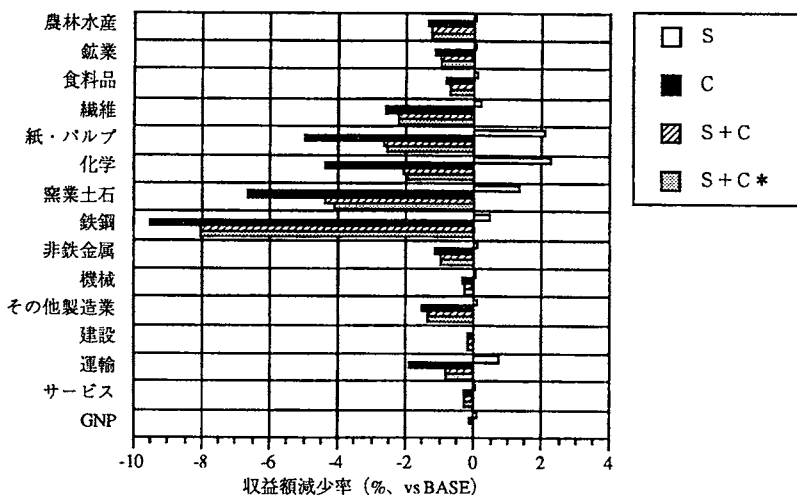
	暦年					平均伸び率(%/yr)		累計(P.V.)
	1990	1995	2000	2005	2010	90/2000	90/2010	¥10**9
B								
国民総生産 (GNP) (¥10**9/yr)	420,785	491,682	564,239	638,932	718,222	2.93	2.67	6,695,069
総エネルギー需要(10**12 kcal/yr)	3,141	3,486	3,919	4,281	4,713	2.21	2.03	
平均エネルギー価格(¥/10**3 kcal)	6.95	8.09	8.68	9.42	9.93	2.22	1.78	
CO2 排出量(10**9 ton-C/yr)	0.300	0.323	0.360	0.382	0.408	1.83	1.54	
S								
国民総生産 (GNP) (¥10**9/yr)	420,785	491,864	564,849	640,021	720,730	2.94	2.69	6,702,059
vs BASE (%)	(0.00)	(0.04)	(0.11)	(0.17)	(0.35)			(0.10)
総エネルギー需要(10**12 kcal/yr)	3,141	3,455	3,794	4,168	4,591	1.89	1.90	
vs BASE (%)	(0.00)	(-0.89)	(-3.18)	(-2.64)	(-2.59)			
平均エネルギー価格(¥/10**3 kcal)	6.95	7.98	8.46	9.21	9.71	1.96	1.67	
vs BASE (%)	(0.00)	(-1.42)	(-2.54)	(-2.31)	(-2.27)			
CO2 排出量(10**9 ton-C/yr)	0.300	0.318	0.352	0.375	0.401	1.59	1.45	
vs BASE (%)	(0.00)	(-1.50)	(-2.32)	(-1.85)	(-1.74)			
シャドウ・プライス(¥10**3/ton-C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
C								
国民総生産 (GNP) (¥10**9/yr)	420,785	491,308	563,279	638,328	717,966	2.92	2.67	6,687,602
vs BASE (%)	(0.00)	(-0.08)	(-0.17)	(-0.09)	(-0.04)			(-0.11)
総エネルギー需要(10**12 kcal/yr)	3,141	3,218	3,435	3,587	3,821	0.90	0.98	
vs BASE (%)	(0.00)	(-7.71)	(-12.34)	(-16.21)	(-18.93)			
平均エネルギー価格(¥/10**3 kcal)	6.95	9.65	11.17	13.27	15.18	4.74	3.91	
vs BASE (%)	(0.00)	(19.21)	(28.69)	(40.83)	(52.90)			
CO2 排出量(10**9 ton-C/yr)	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.00	0.00	
vs BASE (%)	(0.00)	(-7.12)	(-16.67)	(-21.47)	(-26.47)			
シャドウ・プライス(¥10**3/ton-C)	-	24.96	37.13	53.06	73.43	-	-	
S + C								
国民総生産 (GNP) (¥10**9/yr)	420,785	491,496	563,769	639,760	719,096	2.93	2.68	6,695,228
vs BASE (%)	(0.00)	(-0.04)	(-0.08)	(0.13)	(0.12)			(0.00)
総エネルギー需要(10**12 kcal/yr)	3,141	3,224	3,370	3,582	3,803	0.71	0.96	
vs BASE (%)	(0.00)	(-7.52)	(-14.00)	(-16.32)	(-19.31)			
平均エネルギー価格(¥/10**3 kcal)	6.95	9.12	10.52	12.30	14.19	4.14	3.57	
vs BASE (%)	(0.00)	(12.68)	(21.17)	(30.56)	(42.92)			
CO2 排出量(10**9 ton-C/yr)	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.00	0.00	
vs BASE (%)	(0.00)	(-7.12)	(-16.67)	(-21.47)	(-26.47)			
シャドウ・プライス(¥10**3/ton-C)	-	19.57	28.89	42.48	59.86	-	-	

P.V.: 現在価値換算値 (割引率 = 5.0%/yr)

表－４ 各ケースにおける部門別収益額の変化

	収益額変化 (累計、vs BASE、P.V.)							
	S		C		S + C		S + C*	
	¥ 10**9	(%)	¥ 10**9	(%)	¥ 10**9	(%)	¥ 10**9	(%)
農林水産	56	(0.04)	-1,771	(-1.38)	-1,632	(-1.27)	-1,632	(-1.27)
鉱業	6	(0.05)	-127	(-1.12)	-112	(-0.99)	-112	(-0.99)
食料品	105	(0.07)	-1,262	(-0.82)	-1,059	(-0.69)	-1,059	(-0.69)
繊維	54	(0.22)	-649	(-2.62)	-545	(-2.20)	-545	(-2.20)
紙・パルプ	1,007	(2.07)	-2,424	(-4.99)	-1,291	(-2.66)	-1,228	(-2.53)
化学	5,497	(2.26)	-10,626	(-4.38)	-4,957	(-2.04)	-4,809	(-1.98)
窯業土石	731	(1.34)	-3,632	(-6.64)	-2,401	(-4.39)	-2,250	(-4.11)
鉄鋼	604	(0.45)	-12,808	(-9.49)	-10,874	(-8.05)	-10,848	(-8.03)
非鉄金属	81	(0.09)	-1,025	(-1.15)	-870	(-0.97)	-870	(-0.97)
機械	369	(0.03)	-3,949	(-0.32)	-3,328	(-0.27)	-3,328	(-0.27)
その他製造業	234	(0.09)	-3,878	(-1.55)	-3,442	(-1.38)	-3,442	(-1.38)
建設	-30	(-0.01)	-1,012	(-0.20)	-949	(-0.19)	-949	(-0.19)
運輸	2,666	(0.72)	-7,015	(-1.90)	-3,115	(-0.84)	-3,115	(-0.84)
サービス	721	(0.02)	-10,542	(-0.31)	-8,967	(-0.27)	-8,967	(-0.27)
GNP	6,990	(0.10)	-7,468	(-0.11)	159	(0.00)	159	(0.00)
総省エネ費用 (累積、¥ 10**9、P.V.)								
産業	455	-	0	-	388	-	388	-
民生	1,073	-	0	-	1,029	-	1,029	-
総計	1,527	-	0	-	1,417	-	1,417	-
CO2 シャドウ・プライス (期間内平均、¥ 10**3/ton-C、P.V.)								
	-	-	22.68	-	18.05	-	18.05	-

注：S + C* = 省エネ費用の政府負担 (補助)



図－３ 各ケースにおける部門別収益額の変化率

表-5 各ケースにおける部門別エネルギー需要の変化

	総エネルギー需要変化 (累計、vs BASE)					
	S		C		S + C	
	10**12 kcal	(%)	10**12 kcal	(%)	10**12 kcal	(%)
農林水産	-6	(-0.23)	-130	(-5.37)	-112	(-4.66)
鉱業	0	(0.26)	-7	(-5.59)	-6	(-5.09)
食料品	9	(0.87)	-68	(-6.31)	-58	(-5.44)
繊維	8	(1.25)	-44	(-7.09)	-41	(-6.60)
紙・パルプ	-36	(-1.56)	-443	(-18.97)	-433	(-18.56)
化学	-252	(-1.93)	-3,049	(-23.35)	-2,807	(-21.49)
窯業土石	-224	(-8.48)	-375	(-14.21)	-505	(-19.11)
鉄鋼	8	(0.09)	-2,202	(-23.92)	-2,208	(-23.98)
非鉄金属	13	(1.41)	-144	(-16.07)	-127	(-14.08)
機械	25	(0.82)	-590	(-19.58)	-538	(-17.83)
その他製造業	2	(0.04)	-615	(-15.16)	-570	(-14.06)
建設	1	(0.05)	-25	(-1.84)	-19	(-1.43)
運輸	-858	(-9.53)	-747	(-8.30)	-1,172	(-13.02)
サービス	40	(0.45)	-655	(-7.34)	-589	(-6.60)
産業計	-1,270	(-2.16)	-9,094	(-15.49)	-9,185	(-15.65)
民生	-553	(-2.65)	-1,322	(-6.34)	-1,548	(-7.43)
総計	-1,823	(-2.29)	-10,416	(-13.09)	-10,734	(-13.49)
エネルギー価格変化 (期間内平均、¥/10**3 kcal、P.V.)						
総合	-0.09	(-1.82)	1.53	(29.58)	1.14	(22.08)

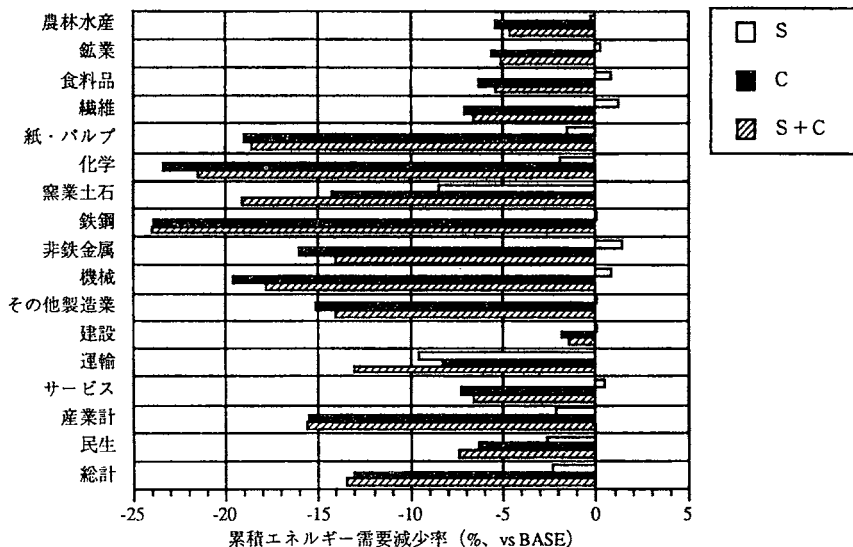


図-4 各ケースにおける部門別エネルギー重要の変化率 (対「基準ケース」)

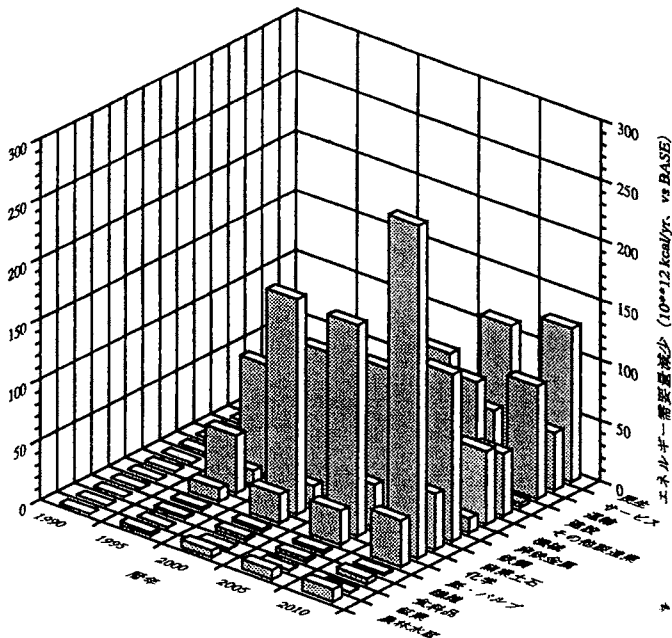


図-5 抑制ケース(C+S)における部門別エネルギー需要量減少の推移

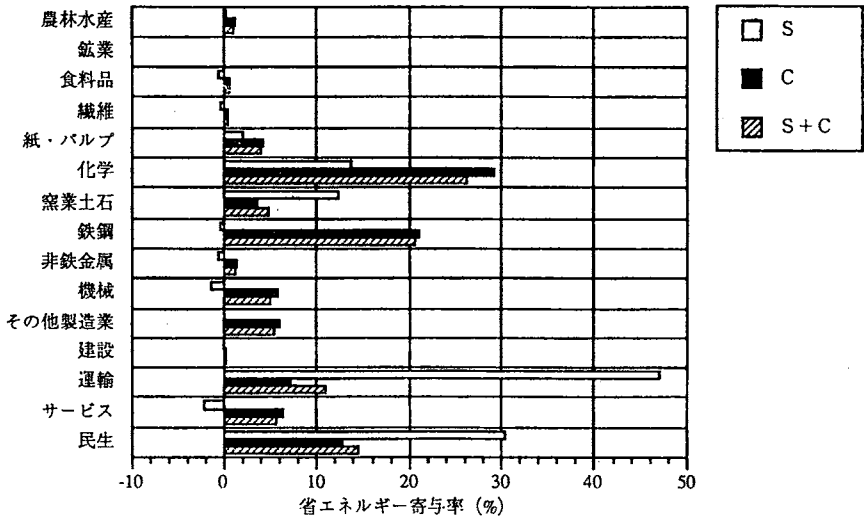


図-6 各ケースにおける部門別省エネルギー寄与率

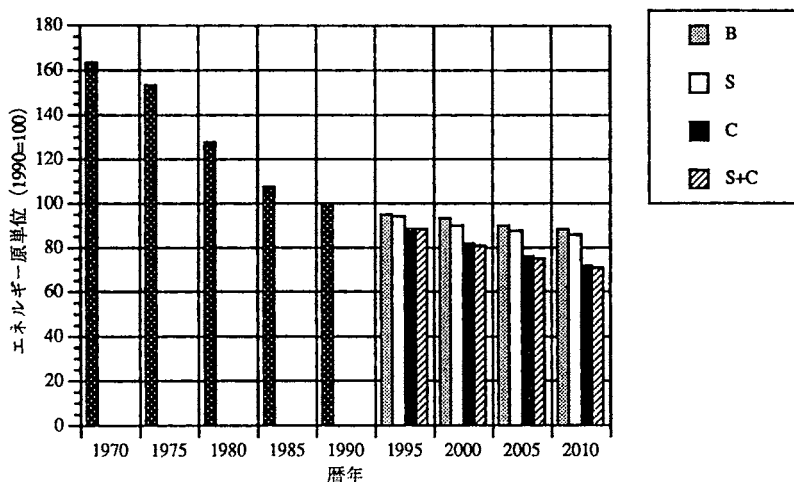


図-7 各ケースにおけるエネルギー原単位の推移

(6) 結 び

本研究は、動態的市場均衡モデル (GDMEEM) を用いたシミュレーション分析によって、今後の国家的政策目標として策定された「地球温暖化防止行動計画」(地球環境保全に関する関係閣僚会議決定) に基づくCO₂排出量安定化に伴うマクロ経済、および各産業部門への影響に関する分析、そして対策手段としての省エネ技術の経済性評価を試みたものである。

GDMEEMは市場の柔軟な調整という多分に規範的性質を有するゆえ、シミュレーション結果の解釈には多くの制約が伴う。特に、達成される高い経済的効率性の背景には市場メカニズムを有効に機能させるための諸政策の援用が暗黙的に前提とされている。しかし、種々の限定付きとはいえ、得られた結果は今後の議論における1つの方向性を示唆していると思われる。

本研究からの主要なメッセージは、市場機能の活用と補完的諸政策の組み合わせによる目標達成の効率性と有効性である。多少の私見解をも交えながら要約してまとめると、CO₂抑制に対して経済的に効率良く、かつ負担の公平性に留意しながら社会的に柔軟に対応するには、

- (1) 経済的手段（課税）による市場メカニズムを通じた効率的抑制の実現と税収を財源とするエネルギー代替や省エネ投資への補助，および所得分配に関する公平性（負担の公平性）に配慮した補償措置などソフトな移行を目指す諸緩和政策との望ましいカップリング，そして，
- (2) 環境税という汚染者負担原則（P.P.P.:Polluter Pays Principle）の1つの具体化と税収の還流による公共財としてとらえた「快適な環境」の保全費用に対する社会的に広く受け入れられている負担（部分的な累進性）の適用という2つのいずれも根拠のある政策手段の理念的調和という視点からの議論が必要かつ重要であると思われる。

ただし，上で「望ましいカップリング」という曖昧な表現を用いたが，その「望ましき」とは決して理論的に定義される性質のものではなく，ましてや特定の人々や団体によって決められるものでもない。それは過去から現在に至る長い歴史や伝統，国際協調への明確な意思を含む国民全体の価値観や環境観に基づいた確固たる将来ヴィジョン，そして現在の経済・社会構造の依拠する理念や価値体系を踏まえて合意されるべきものである。例えば，「医療費について国民的負担と患者個人の効率的で公平な負担の仕方とは？」と類似の問題を提起する。しかし，基本的には整合性を定義できるものの，現実には両者は一般に反対方向への慣性力が働く性質のものである。今後「温暖化防止行動計画」の具体的な策定に向けて，経済的効率性もさることながら，負担の公平性に関わる問題が議論の中心となってゆくことが予想される。一刻も早い計画の策定と実施へのテイク・オフに向けて，本研究がその進展に貢献できれば幸いである。

【参考文献】

- [1] 後藤則行（1992），「市場均衡モデルによるCO₂排出量抑制策の評価」，金沢大学経済学部論集，12，2，pp.149～190
- [2] Goto,N.,andT.Sawa（1993），”An Analysis of the Macro economic Costs of Various CO₂ Emission Control Policies in Japan,”The Energy Journal,14,1,pp.83～110

- [3] 環境庁 (1992), 「地球温暖化経済システム検討会」第一次中間報告書
 (4) AIM/Japan開発チーム (1994), 「技術選択を考慮したわが国の二酸化炭素排出量の予測モデルの開発」, 環境庁, 国立環境研究所,
 F-64-'94/NIES

Appendix

インプット・データ, および諸前提条件

A-1 エネルギー供給条件

1次エネルギー	価格、供給可能量	ランク 1	ランク 2	ランク 3	ランク 4	ランク 5
原油	価格 (¥/kl)	16,000	20,000	25,000	35,000	50,000
	供給量 (10**6 kl)	1,000	1,500	1,500	2,500	∞
石炭	価格 (¥/ton)	9,000	9,500	10,000	15,000	20,000
	供給量 (10**6 ton)	300	600	700	700	∞
LNG	価格 (¥/ton)	25,000	30,000	35,000	50,000	70,000
	供給量 (10**6 ton)	100	200	200	350	∞
天然ウラン	価格 (\$/lb-U3O8)	30	40	50	100	1,000
	供給量 (10**4 ton)	5	10	20	50	∞

注：これらの供給条件は1990年における供給実績、および各資源の確認埋蔵量（可採年数）等に関する相対的関係を考慮の上、シナリオの観点から設定した。推定の基礎とした方法は、長期供給曲線（ストック型）を指数関数で近似し、推定可採年数に相当する点において価格（費用）が現状の5.0倍になると仮定した。ここで、ランク1の資源の価格は1990年実績値。また、ランク5はバックストップ資源としての意味を有する。

A-2 発電プラント関係諸データ

炉型	資本費 (¥10**9/GWe)	運転費 (¥10**9/GWeYr)	熱効率 (%)	稼働率 (%)	寿命 (yrs)	既存容量 (GWe)
石油火力	190	1.16	39.7	70	15	24.1
石炭火力	230	1.35	39.1	70	15	8.6
LNG火力	200	0.96	40.5	70	15	19.8
軽水炉	310	1.05	35.0	70	16	23.2
水力	640	1.00	-	45	40	10.5
その他	250	1.00	-	40	16	0.2

出所：総合エネルギー統計（平成3年度版）

A-3 エネルギー変換（除発電）諸データ

	変換コスト (¥/10**6 kcal)	変換効率（得率）						
		ガソリン	ナフサ	灯油	軽油	重油等	コークス	都市ガス
原油	420	0.18	0.12	0.13	0.17	0.30		
石炭	1,100						0.87	
LNG	1,430							1.00

注：変換コストは1985年産業連関表などを参考に推定。また、変換効率はエネルギー・バランス（参：総合エネルギー統計、平成3年度版）より想定した。

A-4 1次エネルギー原単位あたりのCO₂排出量

1次エネルギー	CO ₂ 排出量 (ton-C/各単位)	CO ₂ 排出量(ton-C/10**6 kcal)
原油	0.732/kl	0.07917
石炭	0.704/ton	0.09916
LNG	0.787/ton	0.06051
その他（天然ウラン、水力等）	0	0

注：それぞれのエネルギー資源の平均成分構成を基礎に算出。

A-5 需要分類, 初期条件, 弾力性, および参照レベル設定

部門	付加価値 (1990年)	エネルギー需要 (1990年)	弾力性	サブ部門需要 (1990年)	観合エネルギー	有効労働量成長率	
	(¥ 10 ⁶ *9/yr)	(10 ^{**} 12 kcal/yr)		(10 ^{**} 12 kcal/yr)		1990年	2010年
						(%/yr)	
1. 農林水産	10,482 (2.49%)	119.2 (3.80%)	-0.24	2.7	電力	0.30	0.20
				29.2	灯油		
				27.0	軽油		
				60.3	重油等		
2. 鉱業	957 (0.23%)	6.2 (0.20%)	-0.26	2.2	電力	0.00	0.00
				2.6	灯油、軽油		
				1.4	重油等、ガス		
3. 食料品	11,382 (2.70%)	48.9 (1.56%)	-0.29	17.9	電力	1.50	1.00
				31.0	重油等、ガス		
4. 繊維	2,116 (0.50%)	34.5 (1.10%)	-0.54	10.0	電力	0.00	0.00
				24.5	重油等、ガス		
5. 紙・パルプ	3,215 (0.76%)	98.8 (3.15%)	-0.72	28.3	電力	3.19	2.13
				59.5	重油等、ガス		
				11.0	石炭、重油等、ガス		
6. 化学	11,413 (2.71%)	391.5 (12.47%)	-0.95	49.8	電力	6.88	6.62
				266.7	ナフサ、ガス		
				61.8	重油等、ガス		
				13.2	石炭、重油等、ガス		
7. 窯業土石	4,124 (0.98%)	119.5 (3.80%)	-0.28	19.8	電力	1.55	1.03
				36.8	重油等、ガス		
				62.9	石炭、重油等、ガス		
8. 鉄鋼	9,549 (2.27%)	421.8 (13.43%)	-0.81	70.0	電力	2.40	1.60
				41.2	軽油、灯油、ガス		
				181.0	重油等、ガス		
				129.6	石炭、重油等、ガス		
9. 非鉄金属	5,970 (1.42%)	39.7 (1.26%)	-0.71	15.1	電力	2.64	1.76
				21.5	重油等、ガス		
				3.1	石炭		
10. 機械	59,231 (14.08%)	95.5 (3.04%)	-0.83	58.4	電力	6.12	4.08
				37.1	重油等、ガス		
11. その他の 製造業	17,288 (4.11%)	178.2 (5.67%)	-0.69	51.8	電力	2.27	1.52
				52.5	軽油、灯油、ガス		
				68.0	重油等、ガス		
				5.9	石炭、重油等、ガス		
12. 建設	35,212 (8.37%)	55.1 (1.75%)	-0.07	1.2	電力	1.90	1.27
				19.7	灯油、重油等		
				34.2	軽油		
13. 運輸	25,761 (6.12%)	368.7 (11.74%)	-0.33	17.1	電力	2.12	1.41
				32.5	灯油		
				259.9	軽油、ガス		
				59.2	重油等、ガス		
14. サービス	224,085 (53.25%)	361.1 (11.50%)	-0.34	143.0	電力	2.61	1.74
				39.3	灯油		
				39.4	軽油、ガス		
				139.4	重油等、ガス		
15. 民生		802.0 (25.54%)	-0.24	163.5	電力		
				375.2	ガソリン		
				109.3	灯油		
				88.8	ガス		
				65.2	重油等、ガス		
総計	420,785 (100.00%)	3140.7 (100.00%)					

注：弾力性の値は、1970-1990年における年次データから回帰推定により求めた。

A-6 想定した省エネルギー技術データ

技術名	代替技術名	燃料種	平均費用	代替上限	普及率	代替上限	代替速度
			¥/E6 kcal	%	(1990年) %	(期間内) %	%/yr
(鉄鋼部門)							
コークス炉 + コークス炉潤滑装置	コークス炉	石炭	2,475	0.71	5.0	0.67	0.07
スクラップ予熱装置	予熱装置なし	電力	256	1.66	12.0	1.46	0.15
直流式電気炉	交流式電気炉	電力	2,501	0.92	1.0	0.91	0.09
連続鑄造装置	鑄造装置	電力	2,088	8.34	93.0	0.58	0.06
直送圧延/熟片装入	従来型加熱装置	電力	4,477	1.42	50.0	0.71	0.07
連続焼鈍装置	焼鈍装置	電力	94,242	0.24	43.0	0.14	0.01
(窯業土石部門)							
堅型ミル	チューブミル (原料工程)	電力	0	2.29	37.0	1.45	0.15
NSP/SP	NSP/SP以外	石炭	216	72.70	89.0	8.00	0.80
予備粉砕機	チューブミル (仕上げ)	電力	26,439	1.98	1.0	1.96	0.20
堅型ミル	チューブミル (高炉粉砕)	電力	0	1.39	50.0	0.69	0.07
高効率ワゴンカー	NSP/SP	石炭	2,780	4.66	0.0	4.66	0.47
(化学部門)							
高性能分解反応装置	ワット分解	ワット	538	16.66	50.0	8.33	0.83
高性能メタクリレート製造装置	メタクリレート製造装置	電力	7,615	1.38	9.0	1.26	0.13
気相法PP製造装置	メタクリレート製造装置	電力	10,277	1.65	30.0	1.16	0.12
自家発電重油 (低空気比)	自家発電用重油	重油等	1,043	6.84	25.0	5.13	0.51
生産用重油 (低空気比)	生産用重油	重油等	1,043	8.46	25.0	6.34	0.63
(紙・パルプ部門)							
予備浸透型連続蒸解装置	従来型蒸解装置	重油等	2,000	5.80	85.0	0.87	0.09
高性能メタクリレート洗浄装置	従来型洗浄装置	電力	10,372	1.04	9.0	0.95	0.09
酸液脱リグニン装置	従来型脱リグニン装置	電力	43,842	0.34	12.0	0.30	0.03
ゲル化剤-漂白装置	従来型脱リグニン装置	電力	149,801	0.67	5.0	0.64	0.06
液膜流下型蒸発缶	従来型蒸発缶	重油等	1,474	2.30	14.0	1.98	0.20
高性能メタクリレート装置	従来型メタクリレート装置	電力	2,986	10.34	14.0	8.90	0.89
高性能面圧脱水装置	従来型脱水装置	重油等	265	8.57	11.0	7.63	0.76
(運輸部門)							
普通貨物(新型)	普通貨物(従来型)	軽油	0	5.51	50.0	2.76	0.28
営業バス(HIMR)	営業バス(新型)	軽油	25,886	0.17	0.0	0.17	0.01
営業乗用車(新型)	営業乗用車(従来型)	LPG	0	30.51	55.0	13.73	1.53
(民生部門)							
小型貨物(低燃費)	小型貨物(新型)	ガソリン	1,354	1.81	0.0	1.81	0.20
軽乗用車(低燃費)	軽乗用車(新型)	ガソリン	3,810	0.27	0.0	0.27	0.03
小型乗用車(低燃費)	小型乗用車(新型)	ガソリン	5,868	7.28	0.0	7.28	0.81
普通乗用車(低燃費)	普通乗用車(新型)	ガソリン	8,414	0.29	0.0	0.29	0.03

注:

- (1) 省エネ平均費用は、新技術と従来技術の設備費の差額(追加費用)を割引率(5%/yr)と投資回収年(5年を仮定)により平均費用を算出し、達成される省エネルギー単位置あたりに換算。
- (2) 代替上限とは新技術が従来技術にすべて代替した場合に達成される省エネ率であり、それぞれの新技術が適用されるエネルギー利用プロセスを吟味し推定。また、代替上限(期間内)は、1990年の導入実績を考慮して将来(モデルの対象とする計画期間)における可能性に関する該当値に補正した値。
- (3) 代替速度は、それぞれの従来技術のウィンテージを想定し(多くの産業用装置では平均5年利用、耐用年数10年を仮定)、従来技術のスクラップ化につれて各時点で経済性のある新技術が導入されると想定。代替の上限速度を表す。
- (4) 原データは、国立環境研究所の調査(AIM/Japan 開発チーム、1994)による。