

わが国における二酸化炭素排出量の見通しと その抑制対策の効果について

松岡 譲¹・森田 恒幸²・甲斐沼 美紀子³・水野 健太⁴

¹正会員 工博 名古屋大学教授 工学部地圏環境工学教室 (〒464-01 愛知県名古屋市中種区不老町)

²国立環境研究所地球環境研究グループ (〒305 茨城県つくば市小野川16-2)

³国立環境研究所地球環境研究グループ (〒305 茨城県つくば市小野川16-2)

⁴正会員 若築建設 (〒153 東京都目黒区下目黒2-23-18)

筆者らは先に、エネルギー消費技術の進展と二酸化炭素排出量との関係を定量的に評価するエネルギー技術モデルの開発を行った。本研究ではこのモデルを改良し、炭素税の賦課や補助金の導入など幾つかの抑制対策の効果について具体的な評価を行うことを可能とした。このモデルの適用例として、わが国全体の2010年までの二酸化炭素排出量の見通しを推計し、幾つかの政策シナリオの排出量削減効果について検討した。本推計結果によれば、2000年の二酸化炭素排出量を1990年排出量まで抑制するためには、排出量1トンあたり3万円の炭素税の賦課が必要であった。また、この炭素税収をエネルギー消費技術に対する補助金として還元すれば、必要となる炭素税率を3千円程度に引き下げることが可能であった。

KeyWords: global warming, carbon tax, subsidy, end-use energy model

1. 本研究の概要及び主要な結果

本研究の目的は、筆者らが先に開発したエネルギー技術モデル¹⁾を改良し、二酸化炭素排出量抑制策の削減効果を評価することである。

現状では、2000年において二酸化炭素排出量を1990年排出量まで削減することが困難な状況となっており、経済的手法によって排出量を削減しようとする議論が近年盛んに行われている。しかし、経済的手法の具体的な実施方法やその効果についての定量的評価は、一部を除き²⁾進んでいない。このような状況から、本研究ではエネルギー技術モデルの改良を行い、幾つかの二酸化炭素排出量抑制策の削減効果を評価することを可能とした。

モデルの主要な改良点は二点ある。その第一は、二酸化炭素排出量を抑制する目的で税金を賦課した場合の削減効果分析を可能としたことである。第二は、二酸化炭素排出量の削減を誘導する補助金率決定法をモデルに組み込んだことである。この研究では、補助金交付者である政府が、システム全体での二酸化炭素排出量を最小とするように補助金率を決定するものと考えている。

本論文では、この改良モデルを用いて、わが国全体の二酸化炭素排出量を2010年まで推計した。また、二酸化炭素排出量の抑制策として、炭素税の賦課及び補助金交付シナリオを想定した。ただし、この補助金交付シナリオでは、炭素税の賦課による税収を補助金の財

源に充てた(以下、これを税収還元シナリオと称す)。

本推計から得られた主要な結果は、以下の通りであった。

- 1) 炭素税の賦課や補助金の交付等の抑制策を考慮しない標準シナリオでは、2000年の二酸化炭素排出総量は、1990年排出量(3億2千万炭素換算トン、以下320MtC/aと表記する)の1.4%増である324.7MtC/aとなった。2010年では、1990年の1.1%増である323.5MtC/aとなった。経済的手法による抑制策を実施しなければ、わが国における将来の二酸化炭素排出量を1990年排出量まで削減することはできなかった。
- 2) 炭素税賦課を行った場合、排出量1トンあたり3万円の税率であれば、2000年の二酸化炭素排出総量を1990年排出量まで削減することができた。また、2010年の二酸化炭素排出総量を1990年排出量まで削減するためには、排出量1トンあたり1万円の炭素税が必要であった。
- 3) 税収還元シナリオでは、排出量1トンあたり3千円から1万円程度の税率であれば、2000年以降の二酸化炭素排出総量を1990年排出量以下に削減することができた。すなわち、税収還元を行う場合、炭素税賦課のみの抑制策と同程度の削減効果を得るためには、炭素税率を5分の1程度まで引き下げることができた。

2. エネルギー技術モデルの改良点とその特徴

本研究にて使用したエネルギー技術モデルの基本部分は、前報¹⁾に詳しく記したものである。モデルの基本概念図を図-1に示した。このモデルは、エネルギー消費技術を詳細に記述し、エネルギー消費者の機器選択行動を市場メカニズムを通じて追跡するボトムアップ型の最適化モデルである。消費者は、機器導入時の初期費用、運転時のエネルギー費用及び維持管理費用の現在評価額が最小となるように機器の組合せを決定する。モデルでは、資源制約条件に加え、将来のエネルギーサービス量を満足する条件でシミュレーションを行う。すなわち、将来の産業生産活動や家庭生活に支障をきたすことなく、エネルギー消費技術の技術的な効率改善のみによってどこまで二酸化炭素排出量を削減できるかをシミュレーションすることができる。

- 最終サービス : エネルギーを消費することによって提供されるサービス
冷暖房、照明、産業生産物、輸送量など
- 外生エネルギー : 石油、石炭、ガスなど
自家発電電力は内生のエネルギーと考え、含めない
- サービス機器 : エネルギーを投入し、サービスに変換する機器。
機器性能、寿命別に分けて取り扱う (コーホート)

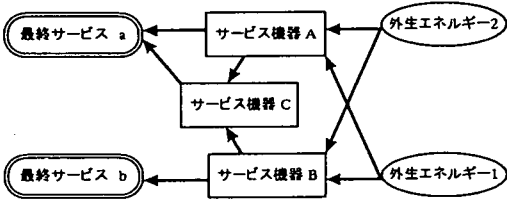


図-1 本モデルの基本概念図

最近の二酸化炭素排出量の実績値から判断すると、現状の施策下では、2000年における二酸化炭素排出量を1990年排出量まで削減することは困難な状況となっている。二酸化炭素排出量の削減ペースをいっそう進めるためには、炭素税に代表される経済的手法の必要性が強く認識されている。1994年12月に決定された環境基本計画³⁾においては、経済的手法を今後の環境政策上の重要な検討事項の一つに挙げている。しかし、その具体的な実施方法や削減の効果について、定量的な分析は進んでいない。こうした背景から本研究では、経済的手法による二酸化炭素抑制策の効果算定を行い得るように、先に開発したエネルギー技術モデルの改良を行った。

主要な改良点は以下の二点である。第一の改良点は、二酸化炭素排出量を抑制する目的で二酸化炭素排出量に応じた税（炭素税）を賦課した場合の機器選択解を

求めるアルゴリズムを付加したことである。本モデル中にて、炭素税は二つのメカニズムを通じて二酸化炭素の排出量を削減する効果を持つ。その第一は、エネルギー価格差を変化させることによって、炭素分の多いエネルギーから炭素分の少ないエネルギーへの転換を誘導する効果である。第二は、固定費用、維持管理費用比を変化させることによってエネルギー効率の悪い機器からより効率の良い機器、すなわち省エネ機器への代替を誘導する効果である。

第二の改良点は、二酸化炭素排出量の削減を効果的に誘導する補助金率決定法をモデルに組み込んだことである。補助金は、二酸化炭素の排出量が少ないエネルギー消費技術に対して交付する。補助金交付の対象技術や交付補助金額は、モデルにより算出する。この分析を行うためには、消費者の費用最小化行動に加え、補助金交付者となる政府がどのような基準を持って補助金配分を行うかのモデル化が必要となる。本研究では、それらを考慮に入れ、システム全体での二酸化炭素排出量を最小とするような補助金率を算定する。具体的な求解法については次節で詳述する。

本研究にて開発、改良したモデルには、いくつかの限界がある。第一に、マクロ経済的な諸因子をモデル内に組み込んでいない点である。本モデルでは、炭素税の賦課によって貯蓄が変化したり、エネルギーサービスの需要が減少するような間接的な経済ロスを考慮できない。第二に、経済的基準のみによる機器選択を行っているから、家庭や企業の省エネ、環境保全に対する意識変化を考慮できない。しかし、こうした限界はあるものの、本モデルによれば、詳細な技術情報に基づく定量的な排出量予測が可能となり、具体的な抑制政策を策定するにあたり、その支援ツールとして十分に機能を発揮すると考えてよい。

3. 炭素税賦課、補助金交付のメカニズムについて

本節では、モデル中に付加された炭素税及び補助金交付のメカニズムについて説明する。本モデルでは、補助金の交付を次のように想定する。まず、補助金の交付側は、各期毎にエネルギー消費者の挙動を考慮しながら、各エネルギー消費技術に対する補助金率を二酸化炭素排出量が最小となるように決定する。その際、補助金総額はあらかじめ定められている額以下とする。一方、消費者は、交付側によって設定された補助金率を考慮しながら、エネルギーサービスに必要な費用の現在評価額が最小となる機器選択を行う。この補助金交付問題は、Stackelberg 複占問題の一種として扱う

ことができる。すなわち、この問題は以下に示す2レベル最適化問題として定式化できる。(1.a)~(1.b)は補助金交付側の行動を表し、(1.c)~(1.e)は消費者側の行動を表す。

$$f_1(\alpha^s, z^s, \beta^s, \hat{x}(\alpha^s, z^s, \beta^s)) \\ = \min_{\alpha, z, \beta} (d^T \cdot \hat{x}(\alpha, z, \beta) + \varepsilon \sum_{i=1}^n z_i) \quad (1.a)$$

subject to

$$\sum_{i=1}^n z_i \leq TS_{given} \quad (1.b)$$

$$f_2(\alpha, z, \beta, \hat{x}(\alpha, z, \beta)) \\ = \min_x \sum_{i=1}^n c_i(\alpha) \cdot (1 - \beta_i) \cdot x_i \quad (1.c)$$

subject to

$$c_i(\alpha) \cdot \beta_i \cdot x_i \leq z_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (1.d)$$

$$Ax \geq b \quad (1.e)$$

$$x \geq 0, \quad z \geq 0, \quad \alpha \geq 0, \quad (1.f)$$

ここに、

$\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_k)^T$ は、炭素税率を表す。添え字 k は、エネルギー種の数を表す。

$z = (z_1, \dots, z_n)^T$ は、政府からエネルギー消費技術に交付される補助金額を表し、 z^s は、最適な補助金額を表す。添え字 n は、コーホート数を表す。

$\beta = (\beta_1, \dots, \beta_n)^T$ は、補助金率を表し、 β^s は、最適な補助金率を表す。

$x = (x_1, \dots, x_n)^T$ は、選択候補となるエネルギー消費技術コーホートの稼働量を表し、 $\hat{x}(\alpha, z, \beta)$ は、 α 、 z 及び β が与えられたときの最適な機器の組合せを表す。

$d = (d_1, \dots, d_n)^T$ は、エネルギー消費技術コーホート一単位から排出される二酸化炭素排出量、すなわち二酸化炭素排出原単位を表す。

ε は微小な正数を表し、求解を安定にさせる。

TS_{given} は、許容総補助金額を表す。

$c = (c_1, \dots, c_n)^T$ は、エネルギー消費技術コーホート一単位に係わる費用（機器選択にあたって評価基準とする年価表示の税込み費用）を表す。ただし、この費用には補助金を含まない。

式(1.e)は、エネルギーサービス需要、エネルギー供給量、エネルギー消費技術の導入可能量及び改善可能量などを表す制約条件式群である。

ここに、

A は、 $m \times n$ の行列を表し、 m は、制約条件の数、 n は、変数の数である。 A の各要素については、前報¹⁾に記した。

$b = (b_1, \dots, b_m)^T$ は、制約条件ベクトルを表す。

この問題には幾つかの解法が提案されている⁴⁾。以下では、交付補助金総額を一定としたときの機器選択及び補助金率の求解を行う方法を示す。

この方法では求解の都合上、機器購入あるいは改善費用の現在価格に上限 TP_{allow} を仮定する。この時、二酸化炭素排出量を最小とする機器の組合せは、次式を満たす x^* である。ここに、 C は機器コーホート一単位の購入・改善の現価である。

$$f_1(x^*) = \min_x d^T x \quad (2.a)$$

subject to

$$Ax \geq b \quad (2.b)$$

$$C^T x \leq TP_{allow} \quad (2.c)$$

$$x \geq 0, \quad (2.d)$$

一方、消費者側は、機器選択をエネルギー消費技術に係わる総費用の年価が最小となるように行う。機器コーホート一単位の年価は c_i であるから、次式を満たす \hat{x} が機器選択の解となる。

$$f_2(\hat{x}) = \min_x \sum_{i=1}^n c_i \cdot (1 - \beta_i) \cdot x_i \quad (3.a)$$

subject to

$$Ax \geq b \quad (3.b)$$

$$C^T x \leq TP_{allow} \quad (3.c)$$

$$x \geq 0, \quad (3.d)$$

補助金率 β は、式(3)の解 \hat{x} が式(2)の解 x^* と同一になるように決定する。これを可能とするために式(3)の双対問題である式(4)を考える。

$$f_3(u^*) = \max_u b^T u \quad (4.a)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^m a_{j,i} \cdot u_j \leq c_i \cdot (1 - \beta_i), \quad i = 1, \dots, n \quad (4.b)$$

$$u \geq 0, \quad (4.c)$$

ただし、 u は式(3)の双対変数、 $a_{j,i}$ は A^T の要素である。式(2)の解と式(3)の解が一致するためには、

$$\sum_{i=1}^n c_i \cdot (1 - \beta_i) \cdot x_i^* = b^T u^*, \quad (5)$$

の関係が必要である。ここに、 x_i^* は式(2)の解、 u^* は式(4)の解である。したがって、補助金率 β は、式(2)の解 x^* を使用して、式(6.a)に示されるように補助金総額を最小とするように決定すればよい。

$$f_4(\beta^*) = \min_{\beta} \sum_{i=1}^n C_i \cdot \beta_i \cdot x_i^* \quad (6.a)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^m a_{j,i} \cdot u_j \leq c_i \cdot (1 - \beta_i), \quad i = 1, \dots, n \quad (6.b)$$

$$\sum_{i=1}^n c_i \cdot (1 - \beta_i) \cdot x_i^* = b^T u \quad (6.c)$$

$$\beta \geq 0, \quad u \geq 0. \quad (6.d)$$

この時必要となる補助金の総額 $TS_{required}$ は、

$$TS_{required} = \sum_{i=1}^n C_i \cdot \beta_i^* \cdot x_i^*, \quad (7)$$

となる。ここに、 β^* は式(6)の最適解であり、 $TS_{required}$ は、以下の条件を満たしていなければならない。

$$TS_{required} \leq TS_{given} \quad (8)$$

すなわち、式(2)は総費用制限下での二酸化炭素排出量最小化問題であり、式(3)は機器コーホートの選択問題、式(6)は補助金率決定問題である。これらの問題は、式(2)及び式(3)では、 TP_{allow} で解が制限されており、式(7)からそれに対応する補助金総額 $TS_{required}$ を求めることができる。そこで、本問題のように補助金総額に上限 TS_{given} がある時には、式(2)及び式(6)あるいは式(3)及び式(6)に関し、式(8)の条件下で TP_{allow} を補助変数としながら二酸化炭素排出量が最小となるような x_i^* 及び β_i^* を求めればよいこととなる。

この補助金率算定法は、次に示す特徴を持っている。まず、本解法にて補助金対象となるコストとは、新規機器購入価格(現在価格)、あるいは改善費用(現在価格)である。これは、 C で表されている。また、機器選択の基準となるコストとは、コーホート全寿命にわたる費用を年価で評価したものである。これは、 c で表されている。補助金交付側は、補助金総額に関する条件のもとで、二酸化炭素削減量が最大となるような補助金率を決定する。しかし、その補助金率は、補助金

効果により選択されるコーホートと不選択となるコーホートの年価が同一となる補助金率であるから、消費者側の選択に恣意性が生ずる。そこで、実際の運用にあたっては、補助金率の提示に加え、被補助機器への何らかの誘導が必要となる。しかし、この誘導は消費者側の経済的不利益を伴わない。要約すると、消費者側は、あらかじめ定まっている補助金率を参照しながら経済的基準による機器選択を行う。それを満たす解は複数組あり、式(6)の解と一致するには、推奨機種のカンペーンなどの誘導が必要である。そして、その選択結果は、補助金交付側及び消費者側が負担する費用の和に上限がある場合、二酸化炭素排出量を最小化する機器選択結果と一致するのである。

4. わが国の二酸化炭素排出量の抑制対策シミュレーション

(1) シミュレーションの概要

本改良モデルを用い、2010年までのわが国全体の二酸化炭素排出量を各種の排出量抑制シナリオの下で推計した。表-1には、シミュレーションに関する計算条件を示す。

表-1 シミュレーションの計算条件

項目	計算条件
計算基準年	1990年
計算終了年	2010年
炭素税導入開始年	1997年
費用の評価方法	回収期間法
投資回収年長	3年

計算にあたっては、1990年を基準年とし、過去のエネルギー消費技術の市場普及率、エネルギーサービス需要量などの実績値を用い、基準年にてコーホートの調整及び二酸化炭素排出量のキャリブレーションを行った。また、諸価格についても1990年を基準とした。二酸化炭素排出量のキャリブレーションには、環境庁⁵⁾によりとりまとめられた値を使用した。

シミュレーションにあたり3種のシナリオを想定した。標準シナリオ、炭素税賦課シナリオ及び税込還元シナリオである。第一の標準シナリオは、エネルギー消費者が自己の費用負担を最小化するように機器選択を行うシナリオである。エネルギー価格の変化、エネルギー消費技術の初期費用及び効率の改善、機器の寿命等の諸条件を勘案した技術代替が生ずる。第二の炭素税賦課シナリオは、標準シナリオの条件に加え、二

酸化炭素炭素の排出量に比例した炭素税を賦課するシナリオである。本研究では、炭素排出量1トンあたり3千円、1万円及び3万円の3ケースの税率を想定した。3千円の炭素税は、ガソリン価格に換算すると1リットルあたり約2円の費用負担に相当する。炭素税の導入開始年は1997年とし、以後2010年に至るまで、税率は変化させないものとした。第三の税込還元シナリオは、炭素税賦課による税収入を補助金として還元するシナリオである。交付補助金額の上限 (TS_{given}) は、前年にて徴収された炭素税収と今期に繰り越した補助金残額との和とした。また、この補助金は、炭素税を徴収した部門内に還元するものとした。

(2) 主要な前提条件

本シミュレーションで対象としたエネルギー消費部門は、家庭、業務、運輸、産業及びその他部門である。産業部門は、鉄鋼業、紙・パルプ業、セメント工業、石油化学工業及びその他産業に分割した。

表-2 モデルの主要な前提条件

前提条件	単位	1990年	2000年	2010年
経済成長率	(%)	3.0%(1994-2000) 2.0%(2001-2010)		
名目原油価格	(\$/バレル)	22.76	20.00	30.00
人口	(千人)	123,611	127,385	130,397
世帯数	(千世帯)	40,670	46,145	50,181
世帯人員	(人/世帯)	3.04	2.76	2.60
世帯面積	(m^2)	46.5	47.5	48.5
業務床面積	($10^4 m^2$)	1,286	1,538	1,759
旅客輸送量	(10億人・km)	1,298	1,511	1,657
貨物輸送量	(10億t・km)	547	547	567

本推計にて使用した前提条件を表-2に示した。経済成長率は、1995年12月にわが国政府が策定した新経済計画に基づき、1994年から2000年にかけて年率3.0%とし、2001年以降を2.0%と仮定した。エネルギー価格の推移については、1994年まで実績値を用い、以後は長期エネルギー需給見通し⁶⁾の名目原油CIF価格を基に算定した。ここに、為替レートは、1994年以降1ドル100円と仮定した。また、転換部門の電源構成については、1994年6月に公表された電気事業審議会の想定に準拠した。人口は、厚生省人口問題研究所による中位推計値⁷⁾を用い、世帯数は、同じく厚生省人口問題研究所の推計値⁸⁾を用いた。運輸部門における旅客輸送量及び貨物輸送量については、運輸経済研究センターの予測⁹⁾及び長期エネルギー需給見通しを基に、本研究にて想定した経済成長率により調整を行った。各産業部門の生産量については、総合エネルギー調査会需給部会資料¹⁰⁾から推計した。

エネルギー消費技術として、在来型技術及び新規開

発技術を合わせて200種類程度を取り上げた。各エネルギー消費技術に関する工学的・経済的データは、環境庁調査¹¹⁾、各業界へのヒアリング等により採取した。

(3) シミュレーション結果について

表-3は、本モデルによって推計した部門別及びシナリオ別のわが国の二酸化炭素排出量である。図-2は、排出総量の推移をシナリオ別に示したものである。本シミュレーションによるわが国の二酸化炭素排出量の推計結果をまとめると以下の通りである。

- 1) 標準シナリオでは、二酸化炭素排出総量は1995年～2010年の間、1990年排出量の1.1%増から1.4%増の間で推移する。また、一人あたりの二酸化炭素排出量は、1990年の実績値2.59tC/(人・a)から2000年では2.55tC/(人・a)、2010年では2.48tC/(人・a)と変化する。
- 2) 炭素税賦課シナリオでは、排出量1トンあたり3万円程度の税賦課を行えば、2000年排出量は1990年排出量とほぼ同一となる。1万円の税率では、2010年頃にほぼ同一となるが、3千円の税率ではそこまでの削減はない。標準シナリオと比較すると、2000年の排出削減量は、3千円の税率で0であり、1万円で2.30MtC/a、3万円で5.70MtC/aとなる。2000年以降、排出量のいっそうの削減は行われず、3千円で1.20MtC/a、1万円で4.00MtC/a、3万円で5.70MtC/aに留まる。
- 3) 税込還元シナリオでは、2000年排出量を1990年排出量まで抑制するためには、3千円以上1万円以下の税率が必要である。炭素税賦課シナリオと比較した2000年の排出削減量は、3千円の税率で2.80MtC/a、1万円で4.70MtC/a、3万円で7.90MtC/aである。2010年では、補助金効果はさらに高まり、3千円の税率で11.80MtC/a、1万円で16.30MtC/a、3万円で23.80MtC/aの削減となる。

(4) 抑制対策の効果について

a) 炭素税賦課による抑制効果について

2000年排出量を1990年排出量まで抑制するためには、排出量1トンあたり3万円の炭素税率が必要であった。部門で比較すると、家庭部門の抑制効果が最も高く5% (対標準シナリオの削減量は2.08MtC/a) と算定された。業務部門では、炭素税の賦課による排出量の抑制はほとんどなかった。産業部門では2% (2.30MtC/a)、運輸部門では2% (1.30MtC/a) の削減があった。

炭素税賦課により、家庭部門では次のような技術の代替が生じた。冷暖房サービスについては、冷房専用エアコンや石油ストーブに代わり省エネ型ヒートポンプエアコン (ツインロータリー圧縮機、デジタル制御)

表-3 わが国の二酸化炭素排出量推計値

部門	年	標準シナリオ	炭素税賦課シナリオ			税収還元シナリオ		
			3千円/tC	1万円/tC	3万円/tC	3千円/tC	1万円/tC	3万円/tC
産業	1990	153.8	153.8	153.8	153.8	153.8	153.8	153.8
	2000	147.6	147.6	146.5	145.3	145.8	145.1	142.2
	2010	144.7	144.6	143.8	142.4	134.8	134.6	131.2
家庭	1990	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0
	2000	43.2	43.2	43.2	41.1	42.9	41.4	39.6
	2010	44.9	44.0	42.6	42.4	43.5	39.8	41.4
業務	1990	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6
	2000	36.3	36.3	36.3	36.3	36.2	36.1	35.6
	2010	35.1	35.1	35.1	35.1	34.9	34.3	31.6
運輸	1990	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5
	2000	61.5	61.5	60.3	60.2	60.9	59.0	57.6
	2010	62.8	62.4	61.9	61.9	61.1	58.3	53.6
排出総量 (MtC/a)	1990	320.0	320.0	320.0	320.0	320.0	320.0	320.0
	2000	324.7	324.7	322.4	319.0	321.9	317.7	311.1
	2010	323.5	322.3	319.5	317.8	310.5	303.2	294.0
一人あたり 排出量 (tC/(人・a))	1990	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59
	2000	2.55	2.55	2.53	2.50	2.53	2.49	2.44
	2010	2.48	2.47	2.45	2.44	2.38	2.33	2.25
		(-1.5%)	(-1.5%)	(-2.2%)	(-3.3%)	(-2.4%)	(-3.7%)	(-5.7%)
		(-2.7%)	(-3.0%)	(-3.2%)	(-2.7%)	(-5.8%)	(-6.8%)	(-7.7%)

注1) 排出総量には、転換部門の自家消費分、廃棄物部門等からの排出量を含む。

注2) 排出総量及び一人あたり排出量のパーセンテージは、1990年排出量に対する増加率を表す。

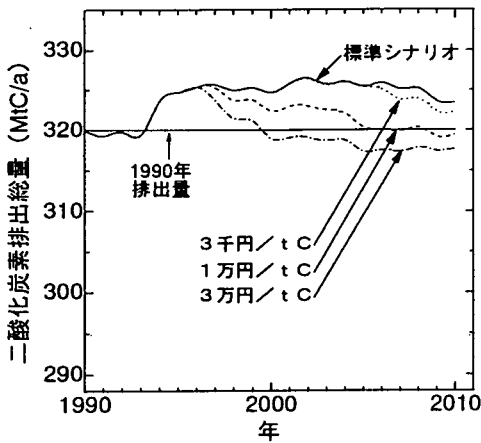


図-2-a 炭素税賦課シナリオ

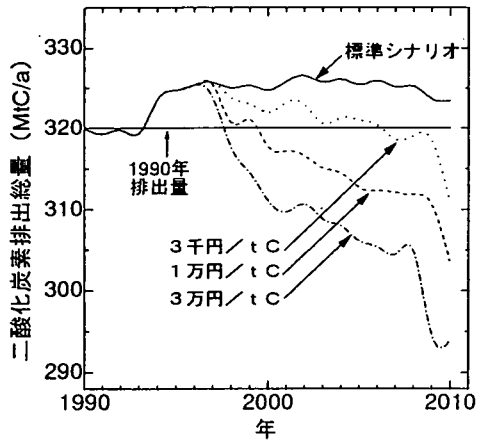


図-2-b 税収還元シナリオ

図-2 わが国の二酸化炭素排出量の推移

が普及した。給湯サービスについては、2000年頃まではシナリオによる代替状況の違いは見られなかったが、2010年頃になると税率の上昇とともに、ガス給湯器に代わり潜熱回収型ガス給湯器が普及した。家庭部門における省エネ技術として、住宅の保温構造化、ソーラーシステム、太陽光発電、電力多機能ヒートポンプなど

があるが、炭素税賦課シナリオでは、これらの技術はほとんど普及しなかった。産業部門については、鉄鋼業の熔融還元炉及びコークス乾式消火設備が炭素税賦課初期の段階で普及した。セメント工業では、高効率クリンクーラーを備えたNSP・SPキルンが3万円の税率で普及した。石油化学工業では、高性能ナフサ分

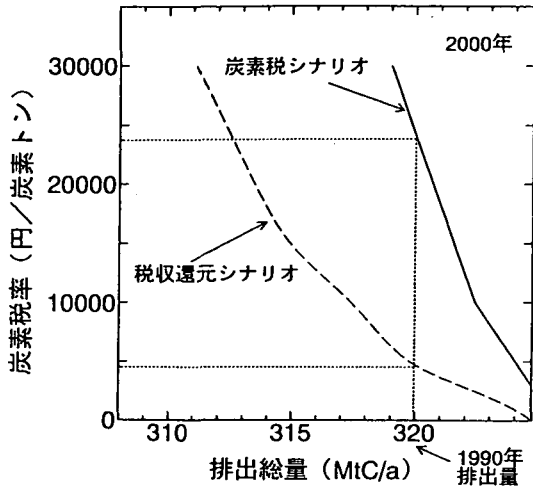


図-3-a 炭素税賦課及び税収還元シナリオ

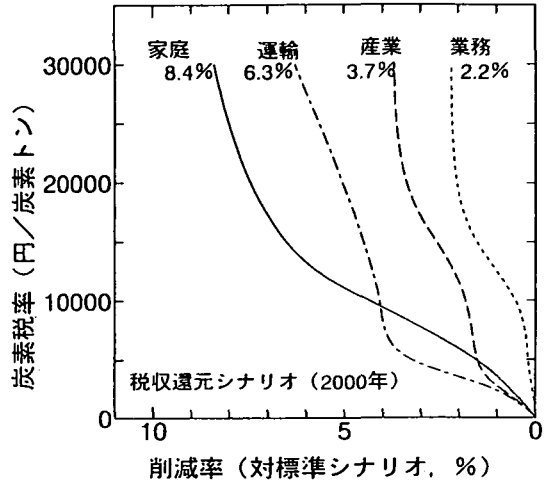


図-3-b 部門別削減効果(税収還元シナリオ)

図-3 炭素税率と排出量抑制効果の関係

解反応装置が1万円の税率で普及し、燃焼管理ボイラーが3万円の税率で普及した。紙・パルプ工業では、予備浸透型蒸解装置、高性能パルプ洗浄装置、酸素脱リグニン装置、液膜流下型蒸発缶、高性能ドライヤーフード及び高性能サイズプレス装置等の生産各工程で導入済みの省エネ機器がいろいろ普及した。しかし、その排出削減量は0.4MtC/aとわずかな量であった。運輸部門では、筒内直噴エンジン搭載車が在来型ガソリン車に代わり普及した。CNG自動車や電気自動車等の低公害車は、炭素税賦課シナリオでは普及しなかった。

b) 補助金による抑制効果について

図-3-aは、税率の違いによる抑制効果を縦軸に炭素税率をとり、横軸に二酸化炭素排出量をとって表現したものである。実線は炭素税賦課シナリオ、破線は税収還元シナリオである。税収還元シナリオは、排出量1トンあたり1千円、5千円、1万5千円及び2万円の炭素税についてシミュレーションを追加している。図-3-bは、税収還元シナリオにおける炭素税率と削減効果の関係を部門別に示したものである。部門毎の削減効果を比較できるように、横軸には標準シナリオで算定された2000年排出量からの削減率をとった。図-3-aは、炭素税の賦課に加えてその税収を還元する対策をとれば、炭素税率を引き下げることが可能であることを示している。本推計によれば、5千円程度の炭素税賦課と税収還元とのパッケージによる対策は、2万5千円程度の炭素税賦課のみの対策と同等の削減効果が得られる。図-3-bは、税収還元策による排出量抑制効果が部門によって異なることを示している。2000年におい

て排出量の削減に大きく寄与する部門は、家庭部門と運輸部門であった。例えば3万円の税率の場合、家庭部門では、省エネ型ヒートポンプエアコンに補助金が交付された。この時の補助金率 β は11.0%で、対標準ケースで見ると、家庭部門全体で8.4%の排出量を削減できた。運輸部門では、CNG自動車(営業用)が55%の補助金率を得るなどして、運輸部門全体で6.3%の排出量を削減できた。家庭部門は、3千円から1万円の税率にかけて最も費用対効果が高く、それ以上の税率では費用対効果が徐々に小さくなった。運輸部門では、5千円程度の税率を境に費用対効果が小さくなった。業務部門は、低率の炭素税ではほとんど削減されず、3万円の税率でも削減率は2.2%に留まった。

5. 既往の見通しとの比較及び環境政策上の含意について

(1) 既往の二酸化炭素排出量の見通しとの比較

わが国における二酸化炭素排出量の推計作業は、近年盛んに行われている。表-4はその代表例を示したものである。

環境庁による地球温暖化対策技術評価調査¹¹⁾と新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)¹²⁾による推計は、省エネルギーあるいは新エネルギー技術等の普及により、将来の二酸化炭素排出量をどの程度まで削減できるか試算したものである。前者は、2000年までに導入が可能となる二酸化炭素抑制対策技術を対象

表-4 各調査機関が行った二酸化炭素排出量の推計値

調査機関及びシナリオ	二酸化炭素排出量 (MtC/a)				
	1990年	2000年	2010年	2020年	2030年
本モデルによる推計					
標準	320.0	324.7	323.5	-	-
炭素税賦課 (3千円/tC)	320.0	324.7	322.3	-	-
炭素税賦課 (1万円/tC)	320.0	322.4	319.5	-	-
炭素税賦課 (3万円/tC)	320.0	319.0	317.8	-	-
炭素税収還元 (3千円/tC)	320.0	321.9	310.5	-	-
炭素税収還元 (1万円/tC)	320.0	317.7	303.2	-	-
炭素税収還元 (3万円/tC)	320.0	311.7	294.0	-	-
気候変動枠組み条約に基づく日本国通報 (日本国政府, 1994年3月)					
	320.0	332.0	-	-	-
温室効果ガス低減対策技術の展望と課題 (NEDO, 1996年3月)					
ケースA	-	-	-	(23.72)	-
ケースB	-	-	-	(37.04)	-
ケースC	-	-	-	(51.30)	-
地球温暖化対策技術評価調査 (環境庁, 1996年3月)					
	-	(9.51)	-	-	-
超長期エネルギー需給の展望 (総合エネルギー調査会, 1996年7月)					
現行施策推進・原子力横這	320.0	361.0	393.0	439.0	470.0
現行施策推進・原子力実現	320.0	361.0	393.0	420.0	430.0
新エネ/省エネ強化・原子力横這	320.0	336.0	352.0	370.0	360.0
新エネ/省エネ強化・原子力横這	320.0	336.0	352.0	352.0	320.0
我が国の超長期エネルギー需給に関するモデル分析 (日本エネルギー経済研究所, 1996年10月)					
基準	315.3	361.2	394.7	423.6	424.8
高価格	315.3	359.5	383.8	399.1	382.9
新エネ促進	315.3	361.1	392.5	414.3	400.6
低成長	315.3	351.4	363.8	371.6	354.0
省エネ	315.3	356.3	380.0	397.8	389.6
低エネ需要	315.3	346.7	348.9	341.8	305.5

注1) NEDO及び環境庁調査における () 内の数値は、排出削減量を示す。

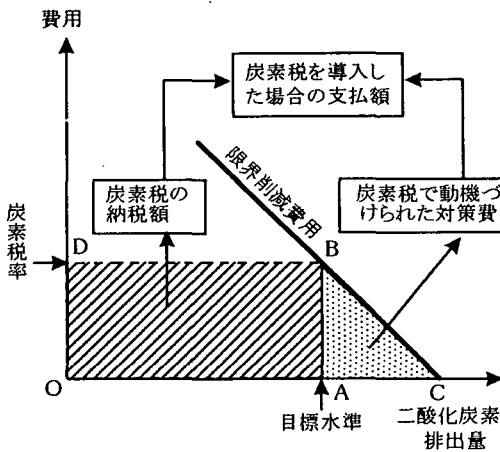


図-4-a 炭素税の賦課のみを行う場合

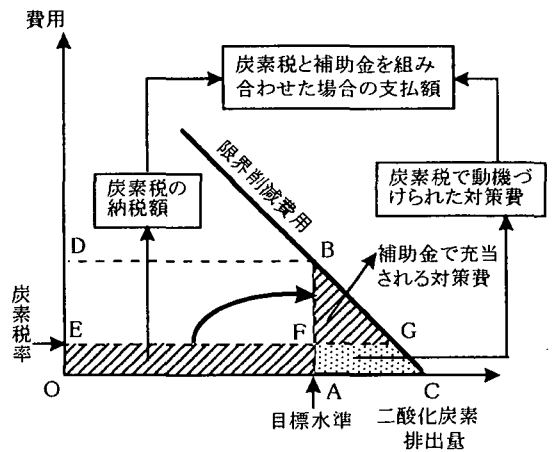


図-4-b 炭素税収を補助金として還元する場合

図-4 炭素税賦課及び補助金交付の経済的解釈

としている。後者は、広範な対策技術(420種)や革新的プロセス技術等も検討の範囲に含め、2020年までの削減量を求めている。これらはいずれも削減可能量である。

後半の2つの推計は、2030年までの長期的な二酸化

炭素排出量を試算したものである。いずれも数種のシナリオのもとで予測を行ったものである。総合エネルギー調査会¹³⁾の予測では、新エネ、省エネ施策最大強化シナリオ・原子力現行計画実現ケースにおいて、2030年の二酸化炭素排出総量を1990年排出量(320MtC/a)

まで削減できる。日本エネルギー経済研究所(EDMC)¹⁴⁾の推計では、低エネルギー需要ケースでこれを可能としている。本論文による推計では、基準となる標準シナリオにおいて他の推計よりも低い算定結果となっている。これは、本推計の標準シナリオでは、消費者が費用最小化の基準のもとで、効率的な技術選択を行っているからである。また、本推計での2000年の排出削減量は、炭素税率を3万円とした税込還元シナリオで13.6MtCであった。他の予測において、標準シナリオと最も抑制効果の高いシナリオとの排出量の差は、総合エネルギー調査会の推計では15.0MtC/a(新エネ、省エネ施策最大強化シナリオ・原子力実現ケース)、日本エネルギー経済研究所の推計では14.5MtC/a(低エネルギー需要ケース)となり、ほぼ同程度の抑制効果を示しているが、その削減方法はかなり異なると思われる。

(2) 本推計結果の環境政策上の含意について

わが国政府は、1990年10月に地球温暖化防止行動計画¹⁵⁾を定めた。行動計画では、1)一人あたりの二酸化炭素排出量を2000年以降概ね1990年レベルに安定化を図ること、2)新エネルギーの利用、革新的技術開発等の普及を早期にいっそう進め、二酸化炭素排出総量を2000年以降概ね1990年レベルで安定化するよう努めること、を定めている。

一方、本論文の標準シナリオによれば、2000年以降の一人あたりの二酸化炭素排出量については、1990年レベルまで削減することは可能であるが、二酸化炭素排出総量については、現状の省エネ技術やエネルギーの価格体系、増加する民生や運輸部門でのサービス需要量を勘案すると不可能であると推計された。二酸化炭素の排出量が少ない技術をいっそう普及させることは、現時点で効率的な対策と言えよう。しかし、技術的には導入できても、コスト的な障害などによりこのような技術が普及するには困難な点が多い。そこで、在来型機器と二酸化炭素の排出量の少ない新規開発技術とのコスト差をなくす状況を作り出すことが、今後の抑制策の大きな鍵と考えられる。

本論文で取り上げた炭素税及び補助金はその代表的な方策である。図-4は、二酸化炭素排出量と限界削減費用との関係を模式的に示したものである¹⁶⁾。目標水準OAまで排出量を削減するためには、図のABCで表した削減費用を必要とする。この削減を炭素税賦課のみにより実現するときには、消費者の税支払額はOABDとなる。目標水準まで排出量を削減するために、消費者は実削減費用とは別に多額の炭素税を負担しなければならないことを示す。本推計結果によれば、排出量1トンあたり3万円の税率であれば2000年排出量を1990年まで抑制することができる。この時、消費者

の炭素税負担額は一年あたり10兆円程度となる。

消費者の費用負担を低く抑え二酸化炭素排出量を効果的に抑制する方策として、炭素税収を二酸化炭素抑制対策へ還元する補助金政策がある。図-4-bは、炭素税収を補助金として還元した場合の消費者の支払額を示したものである。この方策では、排出量削減費用ABCのうちBFGを炭素税収で充当する。対策費BFGと税収OAFEが等しくなるような税率がこの時の炭素税率である。炭素税賦課のみの対策と比較し、低率の炭素税で排出量抑制が可能であることを示している。本推計結果によれば、排出量1トンあたり5千円程度の税賦課を行えば目標水準まで排出量を削減することができる。消費者の費用負担も5分の1程度に縮小される。

ただし、炭素税と補助金をパッケージにしたこの抑制策は、現実の政策として導入する際に幾つかの解決すべき問題点を残している。第一に、炭素税の還元先が適切であるかといった補助金政策の基本的課題である。汚染者負担の原則に適合しなかったり、汚染者の市場参入を促進してしまう恐れがある。第二に、政府は汚染者の対策コストに関し、詳細な情報を入手していなければならない。そして、その情報に基づき効率的な補助金率を決定する賢い政府の存在が必要な要件となる。しかし、低率の炭素税の賦課により消費者に二酸化炭素の排出量に応じたコストを支払ってもらうことで、地球温暖化の抑制をきわめて効率的に行う可能性が示されており、魅力的な方策であることは間違いないだろう。

謝辞：本研究は、著者らと富士総合研究所日比野剛氏、吉田雅哉氏による共同研究である。また、その遂行にあたっては、環境庁地球環境研究総合推進費の援助を受けた。これらを記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 松岡 譲, 森田恒幸, 水野健太: エネルギー消費技術の改善が二酸化炭素排出量抑制に及ぼす効果のシミュレーション, 土木学会論文集(投稿中)
- 2) 環境庁地球温暖化経済システム検討会: 地球温暖化経済システム検討会報告書(第3回報告), 1996.
- 3) 環境庁編: 平成六年版環境白書 総説, pp.240-259, 大蔵省印刷局, 1994.
- 4) Mikiko Kainuma, Yuzuru Matsuoka, Tsuneyuki Morita and Goh Hibino: Stackelberg problem for analyzing policy options to reduce greenhouse gas emission, *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics* (in printing).
- 5) 環境庁地球環境部編: 温暖化する地球・日本の取り組み, 大蔵省印刷局, 1994.
- 6) 日本エネルギー経済研究所 エネルギー計量分析センター編: エネルギー・経済統計要覧, pp.270-271, 省エネルギーセンター, 1995.
- 7) 厚生省人口問題研究所編: 日本の将来人口推計(平成4年9月推計), 厚生統計協会, 1992.

- 8) 厚生省人口問題研究所編：日本の世帯数の将来推計（平成5年10月推計），厚生統計協会，1995.
- 9) 運輸経済研究センター，21世紀のわが国の交通需要，1991.
- 10) 総合エネルギー調査会第27回需給部会資料：エネルギー需要の推移と今後の展望
- 11) 地球温暖化対策技術評価委員会：地球温暖化対策技術評価調査報告書（四分冊），1996.
- 12) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：温室効果ガス低減対策技術の展望と課題，1996.
- 13) 総合エネルギー調査会総合部会資料：超長期エネルギー需給の展望，1996.
- 14) 日本エネルギー経済研究所 エネルギー計量分析センター：我が国の超長期エネルギー需給に関するモデル分析，1996.
- 15) 環境庁企画調整局地球環境部編：地球温暖化防止対策ハンドブック1（総合評価編），pp.108-116，第一法規，1992.
- 16) 森田恒幸：地球温暖化対策技術の採用を促す経済社会のルールは何か，かんきょう1996年9月号，pp.14-17.

(1997.1.10 受付)

PROJECTIONS OF CARBON DIOXIDE EMISSION AND THE EFFECTS OF SEVERAL REDUCTION POLICIES

Yuzuru MATSUOKA, Tsuneyuki MORITA, Mikiko KAINUMA and Kenta MIZUNO

In the previous paper, we have developed an end-use-type energy model which can evaluate relation between carbon dioxide emission and energy consumption technologies. We improved this model and enabled it to analyze the effect of introducing various reduction policies, such as imposing carbon tax and granting subsidy. Under various policy options, we projected carbon dioxide emission to 2010 in Japan. Based on the projection, it could be able to reduce the emission in 2000 to 1990 emission level if carbon tax rate is 30,000 yen per carbon ton. And, if the revenues from the carbon tax would recycle as subsidy, that the tax rate was reduced to 3,000 yen per carbon ton.