

一般論文

応用一般均衡分析を用いた帰属価格に基づく 炭素税の環境・経済分析：全産業部門への課税

松本 健一*・福田 豊生**

摘 要

京都議定書の発効やポスト京都の議論などにより、先進国のみならず途上国での CO₂ 排出削減が地球温暖化抑制に向けて今後の重要な課題となる。CO₂ を削減する方法として、全世界で税率が一律の炭素税（一律炭素税）の導入が費用効果的であるが、一律炭素税は途上国に対して大きな経済的負担を課す。このような政策は途上国の反対にあうのは必至で、また UNFCCC の「共通だが差異のある責任」にも反するため、実現可能性は低い。

このような一律炭素税の問題点を踏まえ、本論文では各国で税率に差異のある炭素税の導入効果を環境的側面と経済的側面を考慮した政策的観点から議論する。差異のある炭素税は帰属価格の概念（帰属炭素税）により実現し、多部門・多地域応用一般均衡分析を用いたシミュレーションにより、一律炭素税導入による CO₂ 排出削減量や GDP への影響と比較した。本研究では、世界経済を 15 産業部門・14 地域に分割し、全ての産業部門を炭素税の賦課対象とした。

分析の結果、帰属炭素税は CO₂ 削減効果ではわずかに劣るものの、一律炭素税とは異なり途上国の GDP にプラスの効果をもたらした。世界全体での CO₂ 排出削減政策の実施と途上国に対する過度な経済的負担の回避の重要性を考慮すると、帰属炭素税の方が一律炭素税よりも先進国・途上国間で経済的な公平性があり、政策的実効性が高いと言える。ただし、帰属炭素税では一部途上国で炭素リーケージが見られるため、その解決策の模索が今後の課題となる。

キーワード：地球温暖化、炭素税、帰属価格、公平性、応用一般均衡分析

1 はじめに

2005年2月16日の京都議定書発効により、議定書を批准した議定書附属書B国ⁱは温室効果ガス（以下、GHG）排出削減の義務を負うこととなった。しかし、ほぼ全ての附属書B国で議定書の基

準年以降も GHG 排出量が増加し、現在に至っているⁱⁱ。そのため、現状対策では議定書の第一約束期間（2008～2012年）における GHG 排出削減目標の達成は困難でありⁱⁱⁱ、目標達成のために早急な対策が求められている。また、第一約束期間以降のポスト京都議定書を考えると、先進国のみならず途上

2005年6月28日受付、2005年10月12日受理

* 関西学院大学大学院総合政策研究科、〒669-1337 兵庫県三田市学園2-1

** 関西学院大学総合政策学部、〒669-1337 兵庫県三田市学園2-1

ⁱ 附属書B国とは、オーストラリア、オーストリア、ベルギー、ブルガリア、カナダ、クロアチア、チェコ、デンマーク、エストニア、EU、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、ハンガリー、アイスランド、アイルランド、イタリア、日本、ラトビア、リヒテンシュタイン、リトアニア、ルクセンブルグ、モナコ、オランダ、ニュージーランド、ノルウェー、ポーランド、ポルトガル、ルーマニア、ロシア、スロバキア、スロベニア、スペイン、スウェーデン、スイス、ウクライナ、イギリス、アメリカである。そのうち、オーストラリア、クロアチア、モナコ、アメリカは議定書を批准していない（2005年9月現在）。

ⁱⁱ 日本の場合、2003年度のGHG排出量は13億3910万t-CO₂であり、基準年排出量12億3700万t-CO₂を8.3%上回っている¹⁾。

ⁱⁱⁱ 日本の場合、排出削減目標が基準年の6%であるため、実質約14%の削減が必要となる。

国による GHG 排出削減も重要な課題となる。

そのような状況で、炭素税は GHG の中で最も排出量の多い CO₂ を市場原理により費用効果的に削減できる一手段として注目されている。これまでも、モデル分析などにより炭素税の導入効果に関する分析は文献 2) ~ 4) などで行われてきた。また、一部の国・地域による炭素税などの CO₂ 排出削減対策の導入は、炭素リーケージの原因となるため、全世界での CO₂ 排出対策の導入がより効果的であることが文献 5) ~ 8) などで示されている。しかし、全世界で一律に炭素税を導入することは途上国への過度な経済的負担となるため、そのような政策の導入は途上国の反対にあう可能性が高い。また、気候変動に関する国際連合枠組条約（以下、UNFCCC）第 3 条 1 項の「気候変動に対する各国の共通だが差異のある責任」⁹⁾の観点にも反する。その一方で、一部の国・地域のみで炭素税を導入する場合でも、産業間で炭素税率に差を設けることで炭素リーケージが軽減される可能性もある¹⁰⁾。

本研究では、先行研究による全世界で炭素税を導入することの有効性に注目し、また UNFCCC や途上国の状況を踏まえて、途上国に対して過度な負担とならない「国家間で差異のある炭素税」の導入効果を分析する。具体的には、炭素の帰属価格の概念^{11,12)}iv) を応用した炭素税（以下、帰属炭素税）を各国に導入する。そして、多部門・多地域応用一般均衡分析（以下、MSMRAGE）によるシミュレーション分析により、帰属炭素税の導入が環境（CO₂ 排出量）および、経済（GDP）に及ぼす影響を、全世界で税率が一律の炭素税（以下、一律炭素税）を導入した場合のそれぞれに及ぼす影響と政策的観点から比較する。v)。「国家間で差異のある炭素税」の決定には様々な方法が考えられるが、本研究が特に国家間（各国国民間）の経済的公平性に注目し、またその公平性は恣意的でなく客観的に決定されるべきであるため、ここでは炭素の帰属価格を用いた。

本研究では、両炭素税をそれぞれ全産業部門に賦

課し^{vi)}、その税収は地域家計（民間家計と政府）の一般財源（予算）として扱う。つまり、炭素税収の用途は特定（例えば CO₂ 削減投資など）せず、他の諸税と同様にモデル内で単純に地域家計の効用水準を最大化するように消費と貯蓄に割り当てられる。

2 分析方法

本節では、分析に用いた MSMRAGE と帰属炭素税、一律炭素税の設定方法を示す。

2.1 多部門・多地域応用一般均衡分析 (MSMRAGE)

MSMRAGE は、一国、特定地域あるいは、世界経済を複数の地域および、産業部門に分割し、ある経済政策の変更に伴う経済主体の行動変化が、ワルラス法則の枠組みの中で資源・所得配分、経済厚生、各地域・各部門の産業・経済構造などに及ぼす影響を分析する手法である。最近では、環境政策による影響を分析するためにも用いられている。本研究では、MSMRAGE として GTAP (Global Trade Analysis Project) モデルを利用した¹³⁾。GTAP モデルは、1992 年にアメリカ Purdue 大学の Thomas W. Hertel 教授らにより国際貿易の分析手段として開発された静学的モデルで^{vii)}、国内外の部門間取引や地域家計と産業部門の相互作用、生産物の移動を一手に扱う国際輸送部門のふるまい、世界の総貯蓄と総投資を一手に扱う世界金融部門のふるまいなどが記述されている。モデルの枠組みの概要を図 1 に示す。なお、本モデルでは各地域の人口は定常状態にあり、資本移動は自由に行われるとした。

GTAP モデルのデータベースは地域内の部門間の投入産出構造だけでなく、地域間の貿易構造や輸送費用、数値化された貿易障壁などから構成されている。このデータベースは現在 (GTAP Version 6, 2001 年の世界経済に基づく^{viii)}、57 部門・87 地域に分類されているが¹⁵⁾、それをそのままシミュレーションに用いるとモデル計算に時間がかかり、またシミュレーション結果の分析で本質を見失う恐れ

iv) 「炭素の帰属価格」とは、ある時点における CO₂ の限界的増加に起因する地球温暖化により、将来世代が被る効用の限界的損失を割引現在価値で表したものである。そして、その決定には各国の所得水準を考慮している。帰属価格の導出過程については後述する。

v) シミュレーション分析をすることで帰属炭素税と一律炭素税の効果を定量的に把握し、比較することができる。このことにより、各炭素税の導入効果を客観的に実証し、優劣を示すことができる。

vi) 本研究でエネルギー以外の部門にも炭素税を賦課したのは、取引段階を経るごとに起こる炭素税による価格上昇効果の不完全な転嫁の防止を明示的に表現するためである。

vii) ただし、GTAP モデルには投資による資本ストックの増加が生産増加をもたらす点と家計の効用関数に貯蓄を考慮している点に動学的要素が含まれている。

viii) GTAP モデルのデータに合わせるため、本研究では出来る限り 2001 年のデータを用いた。

があるため、本研究ではモデルの計算時間や結果分析の必要十分性などを考慮して、15部門・14地域にそれぞれ統合してモデル化した。これらの統合に、本研究のGTAPモデルに特徴がある。その部門・地域の構成をそれぞれ表1・2に示す。

本研究は炭素税のCO₂排出への影響を1つの分析対象としているため、産業自体の性質だけでなく、各部門のCO₂排出とエネルギー使用に注目して部門統合した。具体的には、エネルギー部門である表1のCOAからGDTやエネルギー集約産業であるCRPは元の部門構成を用い、その他の部門は産業（第一・二・三次産業）ごとにその性質とエネルギー消費の観点から統合した（例えば、TRP

はその他の第三次産業（SVCとして統合）よりエネルギー集約的であるため、SVCと分離した）。地域統合は、先進国・途上国、CO₂排出量、位置関係に応じて行った。具体的には、CO₂排出量の多い先進国や中国は元の地域構成を用い（位置関係が似通っているE_UやWEUは除く）、CO₂排出量の少ない途上国は位置関係を考慮して統合した（表2で、AUSからWEUを先進国、それ以外を途上国と位置づける）。

このように、部門・地域区分とも元のモデルの1/5～1/4程度の規模となったが、上述のように部門・地域とも本研究の目的に適合するように、それぞれの特性を考慮して統合している。また、文献8)・16)などのGTAP関連の炭素税に関する研究を見ると、本研究よりも大きくない部門・地域のモデルが問題なく使われている。これらの点から、統合により分析結果の精度が大きく悪化するとは考えにくい。

本研究では、上記の部門・地域統合を施したGTAPモデルに2.2で示す帰属炭素税および、一律炭素税を2.3に示す方法に従って組み込んだモデルでシミュレーションし、その結果の比較分析を行った。

2.2 炭素税率の設定

2.2.1 帰属炭素税

帰属炭素税率（炭素の帰属価格）は式（1）の宇沢フォーミュラより得られる。この宇沢フォーミュラでは、大気中CO₂は生産活動に伴って増加し、表層海洋圏に一定比率で吸収されるものと仮定している。なお、式中のダッシュ（'）は導関数を表す。

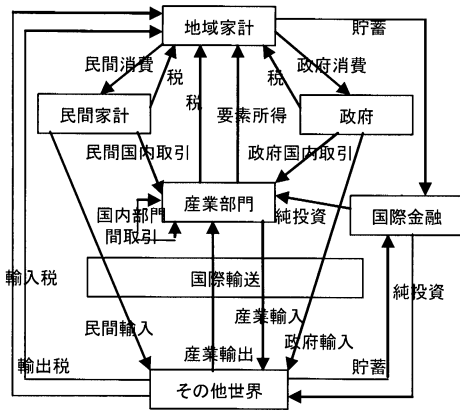


図1 GTAPモデルの枠組みの概要（文献14）のFigure 6を改変）* 矢印は金銭の流れを表す

表1 本研究における部門構成

部門	範囲
COA	石炭
OIL	原油
GAS	天然ガス
P_C	石油・コークスなど
ELY	電力
GDT	ガス
CRP	化学、ゴムなど
AGR	農業、酪農、漁業など
FRS	林業
OMN	鉱業
PRC	食品加工、繊維、木材、紙・パルプなど
MNF	窯業、金属、機械など
CNS	建設
TRP	交通
SVC	水道、取引、民間・政府サービスなど

表2 本研究における地域構成

地域	範囲
AUS	オーストラリア
N_Z	ニュージーランド
JPN	日本
USA	アメリカ合衆国
CAN	カナダ
E_U	EU15ヶ国
WEU	その他西欧（スイスなど）
HAR	ロシア、東欧（ブルガリアなど）
CHN	中国
OAS	その他アジア（韓国など）
OAM	その他アメリカ（メキシコなど）
OEU	その他欧州（トルコなど）
M_E	中東（サウジアラビアなど）
ROW	その他

$$IT_r = \frac{1}{(\delta - \rho) + \mu} \frac{-\phi'(D)}{\phi(D)} NY_r \quad \text{for all } r \quad (1)^{12) \text{ ix}}$$

r : 本研究における地域 (表2参照), IT_r : r 地域の帰属炭素税率 ($\$/t-C$), N : 世界人口 (人), Y_r : r 地域の1人当たりの国民純所得 ($\$$), D : 大気中の CO_2 (t-C), δ : 割引率, ρ : 人口増加率, μ : 表層海洋圏の CO_2 吸収率 ($0.02 \leq \mu \leq 0.04$), $\phi(D)$: 環境影響指標関数。

式 (1) の右辺で, Y_r 以外の変数は全地域共通とする。

宇沢フォーミュラは, 次の動学的最適化問題より得られる^x。変数の添字 t は時点 t の各変数の値, 変数上のドット ($\dot{\cdot}$) は t での微分を表している。

$$\max U = \int_0^{\infty} y_t e^{-(\delta - \rho)t} dt \quad (2)$$

$$\text{s.t. } Y_r = u_r(c_r) \phi(D_r) \geq y_r \quad (3)$$

$$\sum_r N_r c_r \leq \sum_r x_r \quad (4)$$

$$v_r = a_r x_r \quad (5)$$

$$b_r x_r \leq K_r \quad (6)$$

$$\dot{D}_r = v_r - \mu D_r \quad (7)$$

$$D_t = \sum_r D_{rt} \quad (8)$$

$$N = \sum_r N_r \quad (9)$$

U : 効用積分, y : 効用の最小水準, $u_r(c_r)$: r 地域の消費による効用関数, c_r : r 地域の1人あたりの消費水準 (≥ 0), N_r : r 地域の人口, x_r : r 地域の生産水準 (≥ 0), v_r : r 地域の生産活動による CO_2 排出量, a_r : r 地域の単位生産当たりの CO_2 排出量 (> 0), b_r : r 地域の単位生産当たりの希少資源必要量 (> 0), K_r : r 地域の希少資源量, D_r : r 地域の大気中 CO_2 。

式 (2) は動学的な効用, 式 (3) は各地域の総効

用 (1人当たりの国民純所得に相当) に関する条件, 式 (4) は消費と生産に関する条件, 式 (5) は経済活動による CO_2 排出の条件, 式 (6) は希少資源に関する条件, 式 (7) は大気中 CO_2 の変化に関する条件, 式 (8) は大気中 CO_2 の条件, 式 (9) は人口の条件を表す。

ここで, 時点 t におけるハミルトニアンは,

$$H_t = NY_t + \sum_r \alpha_r N_r \{u_r(c_r) \phi(D_r) - y_r\} + \pi_t (\sum_r x_r - \sum_r N_r c_r) + \sum_r p_r (\mu D_r - v_r) \quad (10)$$

と定義される (α_r , π_t , p_r は各制約条件のラグランジュ未定乗数)。 p_r は炭素の帰属価格であり, 次のオイラー・ラグランジュの微分方程式を満たす。

$$\dot{\frac{p_r}{p_r}} = (\delta - \rho + \mu) + \frac{u_r(c_r) \phi'(D_r)}{p_r} N \quad (11)$$

ここで, 動学的最適解を求めるために式 (11) の右辺を0と置き, 帰属価格 p_r を IT_r と置き直すと, 式 (1) が得られる^{xi}。ただし, 本研究は静学的分析であるため, 上式の添字 t は除去している。

式 (1) 内の環境影響指標関数 $\phi(D)$ として式 (12) を用いた。

$$\phi(D) = (V - D)^\beta \quad (12)^{12)}$$

V : 大気中 CO_2 の臨界的水準 (t-C), β : CO_2 量変化に対する効用の感度 ($0 < \beta < 1$)。

式 (12) は, 大気中の CO_2 の増加が人類に及ぼす影響の程度 (効用の減少) を示したものである。

式 (1) に式 (12) を代入すると, 本研究で帰属炭素税を求める式, 式 (13) が得られる。

$$IT_r = \frac{1}{(\delta - \rho) + \mu} \frac{\beta}{(V - D)} NY_r \quad \text{for all } r \quad (13)$$

式 (1)・(13) が示す通り, 炭素の帰属価格は各地域の1人当たりの国民純所得に比例するため, 帰

ix 式 (1) には割引率などに動学的概念が含まれるが, 文献11)・12)によると, 炭素の帰属価格は静学的観点から最適な資源配分パターンを求めるためにも使われるため, 本研究の静学的分析に用いることに支障はない。

x 導出過程は文献11)・12)を一部修正したものである。

xi 式 (1) の導出における経済的前提は, 一般的な経済分析の条件 (効用関数の準凹性など) が用いられている。また, 宇沢のモデルは単純化されているが, 地球温暖化の基本的性格は的確に捉えているため, 式 (1) を本研究に用いることに支障はない。

属炭素税率は相対的に豊かな国（先進国）で高く設定され、相対的に貧しい国（途上国）で低く設定される。

本研究において、式 (13) で用いた各地域共通のパラメータの値を表3に示す。また、各地域の国民純所得、人口、1人当たりの国民純所得および、帰属炭素税率を表4に示す。

2.2.2 一律炭素税

一律炭素税率は、シミュレーションの結果として帰属炭素税と一律炭素税をそれぞれ組み込んだモデルが世界全体で等しい等価変分を示すように設定した。つまり、両炭素税がともに世界全体として等しい経済的影響を受けるように設定した。表4の帰属炭素税率に対し、一律炭素税率は \$444.17/t-C

となった。両炭素税を比較すると、3地域（JPN, USA, WEU）の帰属炭素税率しか一律炭素税率を超えていないことから、一律炭素税率は比較的高水準であると言える。

2.3 炭素税のモデルへの組み込み

2.2で示した帰属炭素税率および、一律炭素税率をGTAPモデルに組み込みために、各地域の各部門に対する税率を以下の式(14)～(15)より算出した。

$$ES_s = \frac{\sum_{i \in S} ES_i DP_i}{\sum_{i \in S} DP_i} \quad \text{for all } s \quad (14)$$

$$T_{sr} = \gamma ES_s IT_r \quad \text{for all } r \& s \text{ (帰属炭素税について)} \quad (15)$$

$$T_s = \gamma ES_s UT \quad \text{for all } s \text{ (一律炭素税について)} \quad (15')$$

i: 産業連関表の407産業部門, *s*: 本研究における部門 (表1参照), ES_i : *i*部門の排出強度 (国内生産額当たりのCO₂排出量²³, t-C/円), ES_s : *s*部門の排出強度 (t-C/円), DP_i : *i*部門の国内生産額²³(円), T_{sr} : *r*地域*s*部門の炭素税率(%), T_s : *s*部門の炭素税率(%), UT : 一律炭素税率 (\$/t-C), γ : 為替レート (円/\$)。

式 (14) では、元データの407産業部門の排出強度を本研究の15産業部門の排出強度として統合し

表3 式 (13) の地域共通パラメータの値

パラメータ	値
δ *	0.05
μ *	0.04
β *	0.1
ρ **	0.0125
D (t-C) ***	7920 億 (369.6ppm 相当)
V (t-C) *	1 兆 2000 億 (560ppm 相当)
N (人) **	61 億 4800 万

* 文献 12) より, ** 文献 17) より計算, *** 文献 18) より推定

表4 各地域の国民純所得、人口、1人当たりの国民純所得、帰属炭素税率

地域	国民純所得 (百万 \$) *	人口 (千人) **	Y_r (\$)	IT_r (\$/t-C)
AUS	299805	19352	15492.20	301.22
N_Z	41701	3815	10930.80	212.53
JPN	3375317	127271	26520.71	515.66
USA	8892100	288025	30872.67	600.28
CAN	586146	31025	18892.70	367.34
E_U	6811926	378441	17999.97	349.98
WEU	369677	11985	30845.00	599.74
HAR	705338	386768	1823.67	35.46
CHN	1109184	1285426	862.89	16.78
OAS	1607279	1995105	805.61	15.66
OAM	1731662	527915	3280.19	63.78
OEU	160968	93645	1718.92	33.42
M_E	511823	173651	2947.42	57.31
ROW	453780	821473	552.40	10.74

* 文献 19)・20) より計算。ただし、各資料で国民純所得のデータが欠損している国・地域については、国民純所得と国民総所得²¹⁾の対数値による回帰式から推定した。対数国民純所得と対数国民総所得の回帰式は、対数国民純所得 = 1.039 × 対数国民総所得 - 0.630、相関係数 = 0.993 である。

** 文献 18)・22) より

ている。407部門から15部門への対応は、それぞれの部門構成から判断した^{xii}。そして、式(15)では帰属炭素税の地域・部門別、式(15')では一律炭素税の部門別の税率を算出している。

本研究では、データの制約により部門ごとの排出強度は各地域共通とした。また、為替レートは121.53円/\$ (文献21)より計算)とした。

式(14)～(15')より得られた排出強度および、帰属炭素税・一律炭素税に基づく炭素税率をそれぞれ表5・6に示す。

両炭素税ともモデルに組み込む際に、産業の国際競争力を考慮して国境税調整を行った。つまり、国内産出品だけでなく輸入品にも税を賦課し、反対に輸出品には免税をした^{xiii}。

2.4 CO₂ 排出量の算出

本研究では、エネルギー消費(石炭、原油、天然ガス、原油・石炭精製品、電力、ガスの6種類で、それぞれCOA, OIL, GAS, P_C, ELY, GDT部門に当たる)に伴って排出されるCO₂のみを考慮してシミュレーション前後のCO₂排出量の変化を分析している。しかし、本モデルではシミュレーション前後のCO₂排出量やシミュレーション後のエネルギー消費量の各データを直接的に得られないため、以下の式(16)～(20)より推定した。

$$P_{jkr} = \frac{CV_{jkr}^0}{Q_{jkr}^0} \quad \text{for all } j, k, \& r \quad (16)$$

$$Q_{jkr}^1 = \frac{CV_{jkr}^1}{P_{jkr}} \quad \text{for all } j, k, \& r \quad (17)$$

表5 各部門の排出強度 (t-C/百万円)

部門	ES _j
COA	1.24
OIL	0.59
GAS	0.62
P_C	1.13
ELY	6.40
GDT	0.36
CRP	1.32
AGR	0.65
FRS	0.47
OMN	1.18
PRC	0.68
MNF	1.57
CNS	0.76
TRP	1.59
SVC	0.28

表6 帰属炭素税(AUSからROW)と一律炭素税に基づく炭素税率(%)

	COA	OIL	GAS	P_C	ELY	GDT	CRP	AGR	FRS	OMN	PRC	MNF	CNS	TRP	SVC
T _s AUS	4.55	2.17	2.26	4.12	23.45	1.31	4.85	2.39	1.72	4.30	2.48	5.75	2.78	5.83	1.04
T _s N_Z	3.21	1.53	1.60	2.91	16.54	0.92	3.42	1.69	1.21	3.04	1.75	4.06	1.96	4.11	0.73
T _s JPN	7.79	3.71	3.87	7.06	40.14	2.24	8.29	4.10	2.94	7.37	4.24	9.84	4.76	9.98	1.78
T _s USA	9.06	4.32	4.51	8.21	46.72	2.61	9.66	4.77	3.42	8.58	4.94	11.46	5.55	11.62	2.07
T _s CAN	5.55	2.64	2.76	5.03	28.59	1.60	5.91	2.92	2.09	5.25	3.02	7.01	3.39	7.11	1.27
T _s E_U	5.28	2.52	2.63	4.79	27.24	1.52	5.63	2.78	1.99	5.00	2.88	6.68	3.23	6.77	1.21
T _s WEU	9.06	4.31	4.50	8.21	46.68	2.61	9.65	4.76	3.42	8.57	4.93	11.45	5.54	11.61	2.07
T _s HAR	0.54	0.25	0.27	0.49	2.76	0.15	0.57	0.28	0.20	0.51	0.29	0.68	0.33	0.69	0.12
T _s CHN	0.25	0.12	0.13	0.23	1.31	0.07	0.27	0.13	0.10	0.24	0.14	0.32	0.16	0.32	0.06
T _s OAS	0.24	0.11	0.12	0.21	1.22	0.07	0.25	0.12	0.09	0.22	0.13	0.30	0.14	0.30	0.05
T _s OAM	0.96	0.46	0.48	0.87	4.96	0.28	1.03	0.51	0.36	0.91	0.52	1.22	0.59	1.23	0.22
T _s OEU	0.50	0.24	0.25	0.46	2.60	0.15	0.54	0.27	0.19	0.48	0.28	0.64	0.31	0.65	0.12
T _s M_E	0.87	0.41	0.43	0.78	4.46	0.25	0.92	0.46	0.33	0.82	0.47	1.09	0.53	1.11	0.20
T _s ROW	0.16	0.08	0.08	0.15	0.84	0.05	0.17	0.09	0.06	0.15	0.09	0.21	0.10	0.21	0.04
T _s	6.71	3.19	3.33	6.08	34.57	1.93	7.14	3.53	2.53	6.35	3.65	8.48	4.10	8.60	1.54

^{xii} 詳細は文献15)と23)を参照。

^{xiii} 炭素税に対して国境税調整が正当化されるか否かには議論が残される^{24,25)}。

$$E_{jkr} = Q_{jkr}(1 - \sigma_{jkr})\omega_j \varepsilon_j \eta_j \quad \text{for all } j, k, \& r \quad (18)^{26}$$

$$E_r = \sum_j \sum_k E_{jkr} \quad \text{for all } r \quad (19)$$

$$E = \sum_r E_r \quad (20)$$

j : エネルギー源 (上記6種), k : 本研究における産業部門 (s) および家計, P_{jkr} : エネルギー j の k 部門 r 地域での基準価格 (\$/Mtoe), CV_{jkr}^0 : シミュレーション前の k 部門 r 地域のエネルギー j の消費額 (\$), CV_{jkr}^1 : シミュレーション後の k 部門 r 地域のエネルギー j の消費額 (\$), Q_{jkr}^0 : シミュレーション前の k 部門 r 地域のエネルギー j の消費量 (Mtoe), Q_{jkr}^1 : シミュレーション後の k 部門 r 地域のエネルギー j の消費量 (Mtoe), Q_{jkr} : Q_{jkr}^0 または Q_{jkr}^1 (Mtoe), E_{jkr} : k 部門 r 地域のエネルギー j による CO₂ 排出量 (t-CO₂), E_r : r 地域での CO₂ 総排出量 (t-CO₂), E : 全世界での CO₂ 総排出量 (t-CO₂), σ_{jkr} : k 部門 r 地域のエネルギー j の原料としての利用率, ω_j : エネルギー j の単位発熱量 (TJ/Mtoe), ε_j : エネルギー j の排出係数 (t-CO₂/TJ), η_j : エネルギー j の炭素酸化率。

式 (16) で各エネルギー源の部門および家計・地域別価格を推定し, 式 (17) でシミュレーション後の各エネルギー使用量を推定している。そして, 式 (18) の IPCC のガイドラインに基づいて, シミュレーション前後の CO₂ 排出量をエネルギー源・部門および家計・地域別にエネルギー消費量より推定した。式 (19)・(20) は, 式 (18) より得たエネルギー

源・部門および家計・地域別 CO₂ 排出量をそれぞれ地域別, 世界全体に合算したものである。

CO₂ を間接的に排出する電力について, CO₂ 排出量の二重計算を避けるために, 上記の計算では電力消費に伴う CO₂ 排出は含めていない。

本研究において, 式 (18) に用いた各地域共通のパラメータの値を表7に, 地域ごとのパラメータの値を表8に示す。

3 シミュレーション結果と考察

図2・3に, 各炭素税を組み込んだモデルのシミュレーションにより得られた地域ごとの CO₂ 排出量の変化および, GDP の変化をそれぞれ示す。

図2が示すように, 世界全体の CO₂ 排出削減量は帰属炭素税で2.49%, 一律炭素税で2.62%と, 後者の方がわずかに CO₂ 排出削減への寄与度が高い。これは, 帰属炭素税では先進国内に平均 (一律炭素税率) を上回る炭素税率が賦課される地域があ

表7 式 (18) の地域共通パラメータ

部門	ω_j (TJ/Mtoe)	ε_j (t-CO ₂ /TJ) *	η_j **
COA	41868	90.60	0.980
OIL	41868	68.40	0.990
GAS	41868	49.40	0.995
P_C	41868	67.10	0.990
GDT	41868	59.80	0.995

* 文献 27) より, ** 文献 26) より

表8 式 (18) の各地域のパラメータ

地域	$\sigma_{COA P_C r}$	$\sigma_{OIL P_C r}$	$\sigma_{GAS GDT r}$	$\sigma_{GAS CRPr}$	$\sigma_{P_C CRPr}$
AUS	1.000	1.000	1.000	0.261	0.872
N_Z	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000
JPN	1.000	1.000	1.000	0.000	0.941
USA	1.000	1.000	1.000	0.000	0.953
CAN	1.000	1.000	1.000	0.442	0.989
E_U	1.000	1.000	1.000	0.400	0.878
WEU	1.000	1.000	1.000	0.000	0.902
HAR	1.000	1.000	1.000	0.325	0.257
CHN	1.000	1.000	1.000	0.556	0.749
OAS	1.000	1.000	1.000	0.447	0.621
OAM	1.000	1.000	1.000	0.181	0.591
OEU	1.000	1.000	1.000	0.777	0.642
M_E	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
ROW	1.000	1.000	1.000	0.871	0.174

* 文献 28) より, ** 上記以外のパラメータ σ_{jkr} の値は全て 0.000

り、反対に途上国では平均を大きく下回る税率が賦課されるため、先進国のCO₂限界削減量が途上国のそれを大きく下回り、総合的に非効率的な排出削減が行われたことによると考えられる。一方、一律炭素税では先進国と途上国で税率に差がないため、両者のCO₂限界削減量の差は相対的に小さくなる。そのため、CO₂排出量が帰属炭素税よりも効率的に削減され、より大きな排出削減が実現した。帰属炭素税では、OEUとROWでCO₂排出量の微増（炭素リーケージ）が見られるが、これは途上国への低炭素税率の賦課が原因である。

次に、図3が示すGDPの変化を比較すると、2.2.2でも述べた本研究の仮定により世界全体での変化率は同じ-0.20%である。しかし、地域ごとの変化率を見ると両者は大きく異なる傾向を示している。帰属炭素税ではほとんどの先進国にマイナスの影響（先進国全体で-0.31%）・途上国にプラスの影響（途上国全体で+0.16%）を及ぼすのに対し、一律炭素税では全地域でマイナスの影響を及ぼし、その影響は途上国で相対的に大きい（先進国全体で-0.16%、途上国全体で-0.32%）。

上記の結果より、環境的側面だけを見ると一律炭

素税の方が炭素税として適しているが、経済的側面も考慮すると一概にそうとは言えない。一律炭素税は、途上国に対して相対的に大きな経済的負担を負わせる傾向にあるため、初めにも述べたUNFCCCの原則に反し、また引き続き経済成長を望む途上国から世界規模での炭素税政策導入を拒絶される恐れもある。仮に途上国を含まずに炭素税政策が導入された場合、炭素リーケージにより先進国によるCO₂排出削減の一部が途上国でのCO₂排出増加により相殺される^{5)~8)}。一方で、帰属炭素税では途上国に経済的負担を課さないことから、先進国と途上国の経済状況を考えると、両者に経済的な公平性があり、全世界での炭素税政策導入の実現可能性が高く、一律炭素税に近いCO₂排出削減効果も得られる。先述のように、帰属炭素税でも途上国で炭素リーケージが見られるが、それは一部の地域であり、その量もわずかである。一律炭素税でも、文献10)で述べられているように先進国から途上国へ資金移転などの援助政策を行えば、途上国の経済的負担は軽減する。しかし、そのための交渉に追加的費用や時間を要し、また妥結に困難さも伴うため、調整前の一律炭素税の効率的なCO₂排出削減が保持

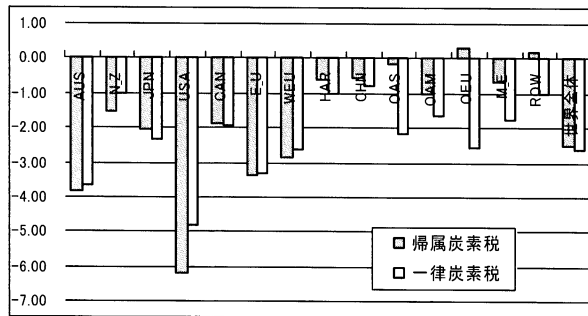


図2 各地域のCO₂排出量の変化率 (%)

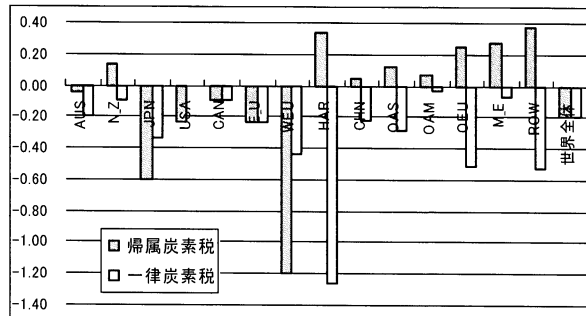


図3 各地域のGDP変化率 (%)

されるとは言い難い。

このように全世界での一律炭素税の導入の難しさを踏まえると、多少環境効果が劣っているにしても、政策的実現可能性の高い帰属炭素税の方が政策的に実効的であると言える。

4 まとめと今後の課題

本研究では、MSMRAGEを用いて、全世界・全産業部門を対象とした帰属炭素税と一律炭素税の環境的・経済的効果を政策的観点より分析した。本研究では、分析にシミュレーションによる定量的評価を用いたことで、両炭素税の効果を客観的に実証できた。その結果として、帰属炭素税の導入は一律炭素税と比較して0.13ポイントCO₂排出削減効果は小さいものの、途上国に対する経済的影響も考慮すると、一定のCO₂削減効果（-2.49%）と途上国のGDPにプラス効果（+0.16%）が望める帰属炭素税の方が政策的実効性は高いと言える。ただし、帰属炭素税には小規模だが炭素リーケージの問題が残るため、例えば途上国のGDPにマイナス影響を与えない程度に途上国での炭素税率を上昇させるなどの解決策を考えることが課題となる。

本研究では、CO₂排出削減政策として炭素税のみを導入し、その税収は全て一般財源とした。今後の課題として、税収を環境改善技術への補助金や他税の減税に用いる場合や、他のCO₂排出削減政策（排出権取引など）を同時に導入した場合の影響分析が残される。また、本研究は静学的分析であるため、両炭素税政策の動学的効果を分析する必要がある。

文 献

- 1) 環境省, 2003年度(平成15年度)の温室効果ガス排出量について, <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2003ghg.pdf> (2005/06/15 現在)。
- 2) 甲斐沼美紀子・森田恒幸・松岡 譲 (1999) 京都議定書達成のコスト分析. 三田学会雑誌, **92**(2), 281-295.
- 3) 日比野剛・松岡 譲・甲斐沼美紀子 (2004) 技術選択モデルによる京都議定書達成に要する炭素税率と政策分析. 環境経済・政策学会年報第9号, 68-79.
- 4) 増井利彦・松岡 譲・甲斐沼美紀子 (2004) 日本を対象とした経済モデルによる炭素税導入の経済分析. 環境経済・政策学会年報第9号, 57-67.
- 5) BARRETT, S. (1998) Political Economy of the Kyoto Protocol. *Oxford Review of Economic Policy*, **14**(4), 20-39.
- 6) GOLOMBEK, R. (1994) Incomplete International Climate Agreements: Optimal Carbon Taxes, Market

Failures and Welfare Effects. *The Energy Journal*, **15**(4), 141-165.

- 7) STAVINS, R.N. (1998) What Can We Learn from the Grand Policy Experiment? Lessons from SO₂ Allowance Trading. *Journal of Economic Perspectives*, **12**(3), 69-88.
- 8) 経済企画庁経済研究所(編)(1998) 経済分析第156号: 応用一般均衡モデルによる貿易・投資自由化と環境政策の評価. 158-177.
- 9) United Nations Framework Convention on Climate Change, <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf> (Accessed on September 13, 2005).
- 10) HOEL, M. (2001) International Trade and the Environment: How to Handle Carbon Leakage. In Folmer, H., H.L. Gabel, S. Gerking, and A. Rose (eds.), *Frontiers of Environmental Economics*. Edward Elgar, 176-191.
- 11) Uzawa, H. (1991) Global Warming Initiatives: The Pacific Rim. In Dornbusch, R. and J.M. Poterba (eds.), *Global Warming: Economic Policy Responses*. The MIT Press, 275-324.
- 12) 宇沢弘文 (2003) 経済解析 展開篇. 岩波書店, 11-37.
- 13) HERTEL, T.W. (ed.) (1996) *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*. Cambridge University Press.
- 14) Brockmeier, M. (2001) A Graphical Exposition of the GTAP Model. GTAP Technical Paper, 8.
- 15) Center for Global Trade Analysis, <http://www.gtap.agecon.purdue.edu/> (Accessed on June 15, 2005).
- 16) Hamasaki, H. (2004) Japanese Strategy on Climate Change to Achieve the Kyoto Target with Steady Economic Development -An Investigation by Using the Dynamic Version of GTAP-E Model, https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=1465.
- 17) FAO, FAO Statistical Database. <http://faostat.fao.org/> (Accessed on June 15, 2005).
- 18) 中央環境審議会地球環境部会気候変動に関する国際戦略専門委員会 (2005/05), 気候変動問題に関する今後の国際的な対応について(長期目標をめぐって): 第二次中間報告. 16-18, http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=6749&hou_id=5988 (2005/06/15 現在)。
- 19) United Nations (2003) National Accounts Statistics: Main Aggregates and Detailed Tables, 2001 Part I. United Nations.
- 20) United Nations (2003) National Accounts Statistics: Main Aggregates and Detailed Tables, 2001 Part II. United Nations.
- 21) United Nations, National Accounts Main Aggregates Database. <http://unstats.un.org/unsd/snaama/Introduction.asp> (Accessed on June 15, 2005).
- 22) United Nations, Demographic Yearbook System. <http://>

- //unstats.un.org/unsd/demographic/products/dyb/dyb2.htm (Accessed on June 15, 2005).
- 23) 近藤美則・森口祐一 (編著) (1997) 産業連関表による二酸化炭素排出原単位. 環境庁国立環境研究所地球環境センター.
- 24) 中央環境審議会総合政策・地球環境合同部会地球温暖化対策税制専門委員会第7回 (2001/04/04) 国境税調整について. <http://www.env.go.jp/council/16pol-ear/y161-07/mat04.pdf> (2005/06/21 現在).
- 25) 足立治郎 (2004) 環境税. 築地書館, 88-89.
- 26) Houghton, J.T., L.G.M. Filho, B. Lim, K. Treanton, I. Mamaty, Y. Bonduki, D.J. Griggs, and B.A. Callender (eds.) (1997) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual (Volume 3).1.8-1.33, IPCC/OECD/IEA, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6a.htm> (Accessed on June 15, 2005).
- 27) 環境省地球環境局 (2003/07) 事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン (試案 ver1.5). 2-72, http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/guide/pdf1_5/mat_01.pdf (2005/06/15 現在).
- 28) Lee, H.L. (2002) An Emissions Data Base for Integrated Assessment of Climate Change Policy Using GTAP: GTAP/EPA CO₂ Emissions (for v5.4). 2-3, http://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=1143 (Accessed on June 15, 2005).

Environmental and Economic Analyses of the Carbon Tax Based on the Imputed Price Using Applied General Equilibrium Model: Taxation on All Industrial Sectors

Ken'ichi MATSUMOTO* and Toyoo FUKUDA**

(*Graduate School of Policy Studies, Kwansai Gakuin University,
2-1, Gakuen, Sanda, Hyogo, 669-1337, Japan

**School of Policy Studies, Kwansai Gakuin University
2-1, Gakuen, Sanda, Hyogo, 669-1337, Japan)

Abstract

Considering the recent discussions on global warming, CO₂ emissions reduction by not only developed but also developing countries is becoming the important issue. Although the worldwide uniform-rate carbon tax (UCT) is the cost effective method to reduce CO₂ emissions, it heavily burdens on developing countries economically. Since such a policy might be opposed by developing countries and is against "common but differentiated responsibilities" of UNFCCC, it will be hardly achieved successfully.

Thinking of those, the effect of the variant-rate carbon tax (VCT) is discussed from the policy viewpoint regarding the environmental (CO₂ emissions) and the economic (GDP) aspects. VCT is based on the imputed price and is compared with UCT by the simulation analysis using the applied general equilibrium model. The world economy is classified into 15 industries and 14 regions in the model. Each tax is imposed on all industries.

Consequently, although VCT reduced CO₂ emissions slightly smaller than UCT, it generated positive GDP effects on developing countries unlike UCT. Regarding the importance of worldwide introduction of CO₂ abating policies and avoidance of excessive economic burdens on developing countries, VCT has higher fairness and policy effectiveness than UCT.

Key Words: Global Warming, Carbon Tax, Imputed Price, Fairness, Applied General Equilibrium Analysis