

## 炭素の帰属価格に基づく炭素税の環境・経済分析

Environmental and Economic Analyses  
of the Carbon Tax Based on the Imputed Price  
of Carbon

松本 健一

Ken'ichi Matsumoto

The effects of the worldwide differentiated-rate carbon tax based on the imputed price of carbon (ICT) are discussed in this paper. In order to reduce CO<sub>2</sub> emissions cost-effectively, the worldwide uniform-rate carbon tax (UCT) is one of the best methods. However, it is unacceptable for developing countries due to the heavy economic burdens. Then, the effects of ICT and UCT are compared here. Concretely speaking, ICT and UCT imposed on either all industrial sectors or the upper sectors respectively, namely two types of ICT and two types of UCT are compared from the policy viewpoint regarding influences on CO<sub>2</sub> and GDP using the applied general equilibrium model.

Consequently, though less CO<sub>2</sub> emissions are reduced in the cases of two ICT than UCT that imposed on the upper sectors (UUCT), ICT generates positive GDP effects on developing countries unlike UUCT. Considering the importance of worldwide introduction of CO<sub>2</sub> abating policies and avoidance of excessive economic burdens on developing countries, ICT, especially that imposed on the upper sectors, have higher fairness among regions and policy effectiveness than UUCT.

キーワード：地球温暖化、炭素税、帰属価格、公平性、GTAPモデル

Key Words : Global Warming, Carbon Tax, Imputed Price, Fairness, GTAP Model

## 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、多くの附属書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<sup>1</sup>。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<sup>2</sup>、目標達成のために早急な

対策が求められる。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。

そのような状況下で、炭素税はGHGの中で最も排出量が多く、温室効果への寄与度が最も大きいCO<sub>2</sub>の排出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。そして、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が行われている<sup>3</sup>。また、一部の

1 文献[14]によると、日本の場合、2003年度のGHG排出量は13億3910万t-CO<sub>2</sub>であり、基準年排出量12億3700万t-CO<sub>2</sub>を8.3%上回っている。

2 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。

3 例えば、文献[10]、[13]、[19]を参照。

国・地域による炭素税などのCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>排出対策の導入がより効果的である<sup>4</sup>。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、UNFCCCの「気候変動に対する各国の共通だが差異のある責任(第3条1項)」[26]の観点にも反する。

このような観点から、筆者は、国家間(各国国民間)の経済的公平性に注目し、途上国に対して過度な経済的負担を課さない「国家間で差異のある炭素税」の導入効果を、炭素の帰属価格の概念<sup>5</sup>を応用した炭素税(以下、帰属炭素税)を用いて、全世界で税率が一律の炭素税(以下、一律炭素税)との比較により文献[20]～[23]で政策的実効性の面から評価した。文献[21]と[22]では炭素税を全産業部門に賦課したケースを、文献[20]と[23]では上流部門(石炭、原油、天然ガスの生産部門で、それぞれ下記の表1に示すCOA、OIL、GASにあたる)に賦課したケースを分析した。しかし、上記の研究では全部門への課税と上流部門への課税が別々に比較されてきた。文献[1]によると、炭素税の課税対象としては上流部門、下流部門、それらの統合型などが考えられ、各方法には一長一短がある。そのため、炭素税を導入する場合に、様々な課税対象を想定し、その効果を把握する必要がある。

そこで本研究では、上記の研究結果(文献[20]～[23])を踏まえて、それぞれで比較した全てのケースについて、各ケースが環境(CO<sub>2</sub>排出量)および、経済(GDP)に及ぼす影響を政策的観点から評価する。

具体的には、以下の4つのケースを考える。

- ・ケース1(全帰属税)： 全産業部門へ帰属炭素税を賦課
- ・ケース2(全一律税)： 全産業部門へ一律炭素税を賦課
- ・ケース3(上流帰属税)： 上流部門へ帰属炭素税を賦課し、下流部門へは税を賦課しない
- ・ケース4(上流一律税)： 上流部門へ一律炭素税を賦課し、下流部門へは税を賦課しない

以上の4ケースについて、多部門・多地域応用一般均衡分析(以下、MMAGE)によるシミュレーションにより評価する。本研究では、全帰属税を基準ケースと置き、上記研究と同様にシミュレーションの結果として各ケースが世界全体で等しい等価変分を示すようにその他のケースの税率を設定した。分析方法や分析枠組みは基本的に上記研究に倣っている。なお、各炭素税収は政府の一般財源として扱った<sup>6</sup>。

## 2. 分析方法

本節では、分析に用いたMMAGE、4ケースの炭素税の設定方法ならびに、CO<sub>2</sub>排出量の算出方法を示す。

### 2.1 多部門・多地域応用一般均衡分析(MMAGE)

MMAGE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

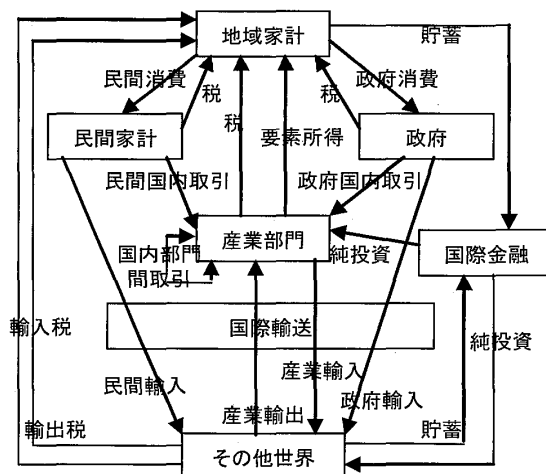
4 例えば、文献[2]、[8]、[16]、[25]を参照。

5 「炭素の帰属価格」とは、ある時点におけるCO<sub>2</sub>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。

6 つまり、炭素税収の用途を特定せず、単純に他の諸税と同様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ている。

济厚生、産業・経済構造などに及ぼす影響を分析する手法である。近年では、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、MMAGEにGTAP(Global Trade Analysis Project)モデル(Version6、2001年の世界経済に基づいている)を利用した。GTAPモデルは、1992年にアメリカPurdue大学のT.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<sup>7</sup>である。GTAPモデルの枠組みの概要を図1に示す。地域家計(家計)は民間家計と政府を合わせたものであるが、図では便宜上それらを分けて示す。民間は生産要素(労働、資本、土地、天然資源)を所有して要素所得により消費活動を行う。政府は所得税や炭素税等の税収を所得として消費活動を行う。そして、家計所得が消費支出を上回る部分は貯蓄となり、国際金融(全地域に共通)を通じて投資と均衡する。一方、産業部門は民間からの生産要素と産業からの中間投入から財・サービス(家計消費、中間投入、貿易、投資に用いられる)を生産する。また、生産財は

図1. GTAPモデルの枠組みの概要  
(文献[3]のFigure6を改変)



\*矢印は金銭の流れを表す

諸外国(図1のその他世界)と輸出入され、国際輸送(全地域に共通)が貿易に関わる輸送活動を行う。モデルは、各地域の効用(1人あたりの民間・政府実質消費額と実質貯蓄額により測定する)が最大化されるように解かれる<sup>8</sup>。

表1. 本研究における部門構成

CO <sub>2</sub> 排出量計算*	上流・下流	部門番号	部門	範囲
対象部門	上流部門	SS1	COA	石炭
		SS2	OIL	原油
		SS3	GAS	天然ガス
非対象部門	下流部門	SS4	P_C	石油・コークスなど
		SS5	GDT	ガス
		SS6	ELY	電力
		SS7	CRP	化学、ゴムなど
		SS8	AGR	農業、酪農、漁業など
		SS9	FRS	林業
		SS10	OMN	鉱業
		SS11	PRC	食品加工、繊維、木材、紙・パルプなど
		SS12	MNF	窯業、金属、機械など
		SS13	CNS	建設
		SS14	TRP	交通
		SS15	SVC	水道、取引、民間・政府サービスなど

\*CO<sub>2</sub>排出量計算の対象部門については後述する

7 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や地域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。

8 更なるGTAPの詳細は文献[4]に、GTAPモデルの詳細は文献[9]を参照。

表2. 本研究における地域構成

分類	地域番号	地域	範囲
先進国	rr1	AUS	オーストラリア
	rr2	N_Z	ニュージーランド
	rr3	JPN	日本
	rr4	USA	アメリカ合衆国
	rr5	CAN	カナダ
	rr6	E_U	EU15ヶ国
	rr7	WEU	その他西欧 (スイスなど)
途上国	rr8	HAR	ロシア、東欧 (ブルガリアなど)
	rr9	CHN	中国
	rr10	OAS	その他アジア (韓国など)
	rr11	OAM	その他アメリカ (メキシコなど)
	rr12	OEU	その他欧州 (トルコなど)
	rr13	M_E	中東 (サウジアラビアなど)
	rr14	ROW	その他

本研究では、GTAPモデルの産業部門および、地域構成を表1・2に示す15部門・14地域にそれぞれ統合してモデル化した。本研究は炭素税のCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>排出とエネルギー使用に注目して部門統合した。そして、地域統合は、先進国・途上国、CO<sub>2</sub>排出量、位置関係に応じて行った。

ここで、全ての部門番号の集合を $S = \{SS_1, SS_2, \dots, SS_{15}\}$ 、上流部門の集合を $S' = \{SS_1, SS_2, SS_3\}$ 、CO<sub>2</sub>排出量計算の対象部門の集合を $S'' = \{SS_1, SS_2, SS_3, SS_4, SS_5\}$ と置く。また、全ての部門と家計の集合を $S''' = \{SS_1, SS_2, \dots, SS_{15}, \text{家計}\}$ と置く。

表2に示す地域構成のうち、AUSからWEUを先進国、それ以外の地域を途上国と位置づける。そして、地域番号の全体集合を $R = \{rr_1, rr_2, \dots, rr_{14}\}$ と置く。

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4ケースの炭素税を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、結果の比較分析を行う。

## 2.2 炭素税率の設定

$r$ 地域の帰属炭素税(炭素の帰属価格、炭素重量あたりの税率)は、その地域の1人あたりの国民純所得(\$) $Y_r$ に比例し、次式の宇沢フォーミュラより得られる<sup>9,10</sup>。

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

$r$ : 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)<sup>11</sup>、 $N$ : 世界人口(人)、 $D$ : 大気中CO<sub>2</sub>蓄積量(t-C)、 $\delta$ : 割引率、 $\rho$ : 人口増加率、 $\mu$ : 表層海洋圏のCO<sub>2</sub>吸収率( $0.02 \leq \mu \leq 0.04$ )、 $\phi(D)$ : 環境影響指標関数。

また、式(1)内の環境影響指標関数 $\phi(D)$ として式(2)を用いた<sup>12,13</sup>。

$$\phi(D) = (V - D)^\beta \quad (2)$$

$V$ : 大気中CO<sub>2</sub>蓄積量の臨界的水準(t-C)<sup>14</sup>、 $\beta$ : 大気中CO<sub>2</sub>蓄積量変化に対する効用の感度( $0 < \beta < 1$ )。

9 式(1)は文献[32]より。

10 宇沢フォーミュラの導出過程に関する簡単な説明は文献[22]を、詳細は文献[31]、[32]を参照。

11 t-CはCO<sub>2</sub>の量を炭素換算の重量(トン)で表したものであり、帰属炭素税(\$/t-C)は炭素換算重量あたりの帰属炭素税率(\$)を示している。

12 式(2)は文献[32]より。

13 宇沢フォーミュラは、CO<sub>2</sub>排出量・CO<sub>2</sub>蓄積量・気候変動の複雑な関係を単純化して捉え、モデル化している。

14 臨界的水準とは、CO<sub>2</sub>蓄積量がこの水準を超えると甚大な地球的被害が現れることを意味する。

式(2)は、大気中CO<sub>2</sub>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。そして、式(1)・(2)より、本研究で帰属炭素税を求める式、式(3)が得られる。

$$\Pi_r = \frac{1}{(\delta - \rho) + \mu(V - D)} \beta NY_r \quad \text{for all } r \in R \quad (3)$$

式(1)・(3)が示すように、炭素の帰属価格は各地域の1人あたりの国民純所得に比例するため、帰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(3)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人あたりの国民純所得および、帰属炭素税率を表4に示す。

表3. 式(3)の地域共通パラメータの値

パラメータ	値
$\delta^*$	0.05
$\mu^*$	0.04
$\beta^*$	0.1
$\rho^{**}$	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[32]より、\*\*文献[7]より計算、\*\*\*文献[5]より推定

表4に示す帰属炭素税率 $\Pi_r$ は、基準ケース(全帰属税)の税率として用いる。

上流帰属税や一律炭素税の税率は、基準ケースと比較するために、前述のように、シミュレーションの結果として全てのケースで全世界の経済厚生の変化が等しくなるように設定している。そのため、上流帰属税には表4で示した帰属炭素税の地域間の比例関係は保持するが、そのままの値を用いずに改めて税率を設定した。表5に上流帰属税の各地域の炭素重量あたりの税率を示す。

同様にして2つの一律炭素税率についても基準ケースと等しい経済厚生の変化となるように設定すると、全一律税率は\$444.17/t-C、上流一律税は\$98.33/t-Cとなる。

これらの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、両一律炭素税率ともに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で示した各炭素重量あたりの炭素税率をモデルに組み込むために、各地域の各部門に対する税率を以下の式より算出した。

表4. 各地域の国民純所得、人口、1人あたりの国民純所得、帰属炭素税率

地域	国民純所得(百万\$)*	人口(千人)**	$Y_r$ (\$)	$\Pi_r$ (\$/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[27]、[28]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、文献[30]の国民純所得と国民総所得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[7]、[29]より

表5. 上流帰属税の地域ごとの炭素税率(\$/t-C)

地域	税率
AUS	78.80
N_Z	55.60
JPN	134.89
USA	157.03
CAN	96.09
E_U	91.55
WEU	156.89
HAR	9.28
CHN	4.39
OAS	4.10
OAM	16.68
OEU	8.74
M_E	14.99
ROW	2.81

$i$ : 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),  $ES_{si}$ :  $s$ 部門に属する $i$ 部門の排出強度(国内生産額あたりCO<sub>2</sub>排出量(文献[17]より, t-C/円),  $ES_s$ :  $s$ 部門の排出強度(t-C/円),  $DP_{si}$ :  $s$ 部門に属する $i$ 部門の国内生産額(文献[17]より, 円),  $EP_s$ :  $s$ 部門の生産するエネルギーの価格あたりCO<sub>2</sub>排出量(t-C/\$),  $EM_s$ :  $s$ 部門の生産するエネルギーの単位あたりCO<sub>2</sub>排出量(t-C/単位),  $FP_s$ :  $s$ 部門の生産するエネルギーの単位あたり価格(\$/単位),  $T_{sr}$ :  $r$ 地域 $s$ 部門の全帰属税率(%),  $T_s$ :  $s$ 部門の全一律税率(%),  $T_{sr}$ :  $r$ 地域 $s$ 部門の上流帰属税率(%),  $T_s$ :  $s$ 部門の上流一律税率(%),  $IT_r^1$ :  $r$ 地域の全帰属税率(\$/t-C),  $IT_r^2$ :  $r$ 地域の上流帰属税率(\$/t-C),  $UT^1$ : 全一律税率(\$/t-C),  $UT^2$ : 上流一律税率(\$/t-C),  $\gamma$ : 為替レート(円/\$).

ここで、産業連関表の407産業部門を $ii_1, ii_2, \dots, ii_{407}$ , その集合を $I$ と置き、また $I_s$ を各 $s$ 部門に属する $i$ 部門の集合と置く。つまり、 $I = I_{s1} \cup I_{s2} \cup \dots \cup I_{s15} = \{ii_1, ii_2, \dots, ii_{407}\}$ である。

式(4-1)~(4-4)では地域別・部門別の全帰属税、全一律税、上流帰属税、上流一律税の税率をそれぞれ算出している。式(5)では、文献[17]の元データの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ており、各 $s$ 部門に属する各 $i$ 部門の排出強度を当該部門の国内生産額により加重平均している。407部門から15部門への対応は、文献[4]と[17]の各部門構成から判断している。そして、式(6)ではエネルギー価格あたりのCO<sub>2</sub>排出量を計算している。

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/\$ (2001年の値)<sup>15</sup>とした。

式(5)より得られた部門ごとの排出強度を表6に、式(6)に用いた各エネルギーの単位あたりのCO<sub>2</sub>排出量および、単位あたりの価格を表7に示す。

そして、式(4-1)~(4-4)より得られた各炭素税率を表8・9に示す。

全ての炭素税について、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<sup>16</sup>。

・ ケース1(全帰属税) :

$$T_{sr} = \gamma ES_s IT_r^1 \quad \text{for all } r \in R \ \& \ s \in S \quad (4-1)$$

・ ケース2(全一律税) :

$$T_s = \gamma ES_s UT^1 \quad \text{for all } r \in R \ \& \ s \in S \quad (4-2)$$

・ ケース3(上流帰属税) :

$$T_{sr}^1 = \begin{cases} EP_s IT_r^2 & \text{for all } r \in R \ \& \ s \in S' \\ 0 & \text{for all } r \in R \ \& \ s \notin S' \end{cases} \quad (4-3)$$

・ ケース4(上流一律税) :

$$T_s^1 = \begin{cases} EP_s UT^2 & \text{for all } r \in R \ \& \ s \in S' \\ 0 & \text{for all } r \in R \ \& \ s \notin S' \end{cases} \quad (4-4)$$

ただし、ここで、

$$ES_s = \frac{\sum_{i \in I_s} ES_{si} DP_{si}}{\sum_{i \in I_s} DP_{si}} \quad \text{for all } s \in S \quad (5)$$

$$EP_s = \frac{EM_s}{FP_s} \quad \text{for all } s \in S' \quad (6)$$

と置く。

15 文献[30]より計算。

16 文献[1]、[6]によると、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。

表6. 各部門の排出強度(t-C/百万円)

部門	$ES_s$
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7. 石炭、原油、天然ガスの単位あたりのCO<sub>2</sub>排出量と単位あたりの価格

	$EM_s^*$	$FP_s^{**}$
COA	0.000654 (t-C / kg)	0.0393 (\$ / kg)
OIL	0.000713 (t-C / l)	0.149 (\$ / l)
GAS	0.000734 (t-C / kg)	0.229 (\$ / kg)

\*文献[15]より計算、\*\*文献[24]より計算

表8. 全帰属税(AUSからROW)と全一律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
$T_s$ NZ	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

表9. 上流帰属税(AUSからROW)と上流一律税に基づく炭素税率(%)

	COA	OIL	GAS
$T'_s$ AUS	131.00	37.59	25.24
$T'_s$ NZ	92.43	26.52	17.81
$T'_s$ JPN	224.25	64.35	43.20
$T'_s$ USA	261.05	74.91	50.29
$T'_s$ CAN	159.75	45.84	30.78
$T'_s$ E_U	152.20	43.67	29.32
$T'_s$ WEU	260.82	74.84	50.25
$T'_s$ HAR	15.42	4.42	2.97
$T'_s$ CHN	7.30	2.09	1.41
$T'_s$ OAS	6.81	1.95	1.31
$T'_s$ OAM	27.74	7.96	5.34
$T'_s$ OEU	14.53	4.17	2.80
$T'_s$ M_E	24.92	7.15	4.80
$T'_s$ ROW	4.67	1.34	0.90
$T'_s$	163.47	46.91	31.49

2.4 CO<sub>2</sub>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、ガスの5種類で、それぞれCOA、OIL、GAS、P\_C、GDTにあたる)<sup>17</sup>に伴って排出されるCO<sub>2</sub>のみを考慮してシミュレーション前後のCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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(7)~(11)より推定した。式(9)はIPCCのガイドラインである文献[12]に基づいている。

17 電力もエネルギーではあるが、CO<sub>2</sub>を間接的にしか排出しないため、CO<sub>2</sub>排出量の二重計算を避けるために、下記の計算では電力消費に伴うCO<sub>2</sub>排出は含めていない。

$$P_{jkr} = \frac{CV_{jkr}^0}{Q_{jkr}^0} \quad \text{for all } j \in S'', k \in S''', \& r \in R \quad (7)$$

$$Q_{jkr}^1 = \frac{CV_{jkr}^1}{P_{jkr}} \quad \text{for all } j \in S'', k \in S''', \& r \in R \quad (8)$$

$$E_{jkr} = Q_{jkr} (1 - \sigma_{jkr}) \omega_j \varepsilon_j \eta_j \quad \text{for all } j \in S'', k \in S''', \& r \in R \quad (9)$$

$$E_r = \sum_{j \in S''} \sum_{k \in S'''} E_{jkr} \quad \text{for all } r \in R \quad (10)$$

$$E = \sum_{r \in R} E_r \quad (11)$$

$j$ : エネルギー(部門番号 $ss_1 \sim ss_5$ )、 $k$ : 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  $j$  の実質消費額(\$)、 $CV_{jkr}^1$ : シミュレーション後の  $k$  部門  $r$  地域のエネルギー  $j$  の実質消費額(\$)、 $Q_{jkr}^0$ : 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  $CO_2$  排出量(t- $CO_2$ )、 $E_r$ :  $r$  地域の  $CO_2$  総排出量(t- $CO_2$ )、 $E$ : 全世界の  $CO_2$  総排出量(t- $CO_2$ )、 $\sigma_{jkr}$ :  $k$  部門  $r$  地域のエネルギー  $j$  の原料としての利用率、 $\omega_j$ : エネルギー  $j$  の単位発熱量(TJ/Mtoe)、 $\varepsilon_j$ : エネルギー  $j$  の排出係数(t- $CO_2$ /TJ)、 $\eta_j$ : エネルギー  $j$  の炭素酸化率。

式(7)で各エネルギーの部門および家計・地域別価格を推定し、式(8)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

(9)よりシミュレーション前後の $CO_2$ 排出量をエネルギー・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(10)・(11)は、式(9)より得たエネルギー・部門および家計・地域別 $CO_2$ 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。

本研究において、式(9)に用いた各地域共通のパラメータの値を表10に、各地域のパラメータの値を表11に示す。

### 3. シミュレーション結果と考察

図2・3に、4ケースの炭素税をそれぞれ組み込んだモデルのシミュレーションより得られた地域ごとの $CO_2$ 排出量変化および、GDP変化をそれぞれ示す。

表10. 式(9)の地域共通パラメータ

部門	$\omega_j$ (TJ/Mtoe)	$\varepsilon_j$ (t- $CO_2$ /TJ) *	$\eta_j$ **
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[15]より、\*\*文献[12]より

表11. 式(9)の各地域のパラメータ

地域	$\sigma_{COA P_C r}$	$\sigma_{OIL P_C r}$	$\sigma_{GAS GDT r}$	$\sigma_{GAS CRP r}$	$\sigma_{P_C CRP r}$
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[18]より、\*\*上記以外のパラメータ  $\sigma_{jkr}$  の値は全て 0.000



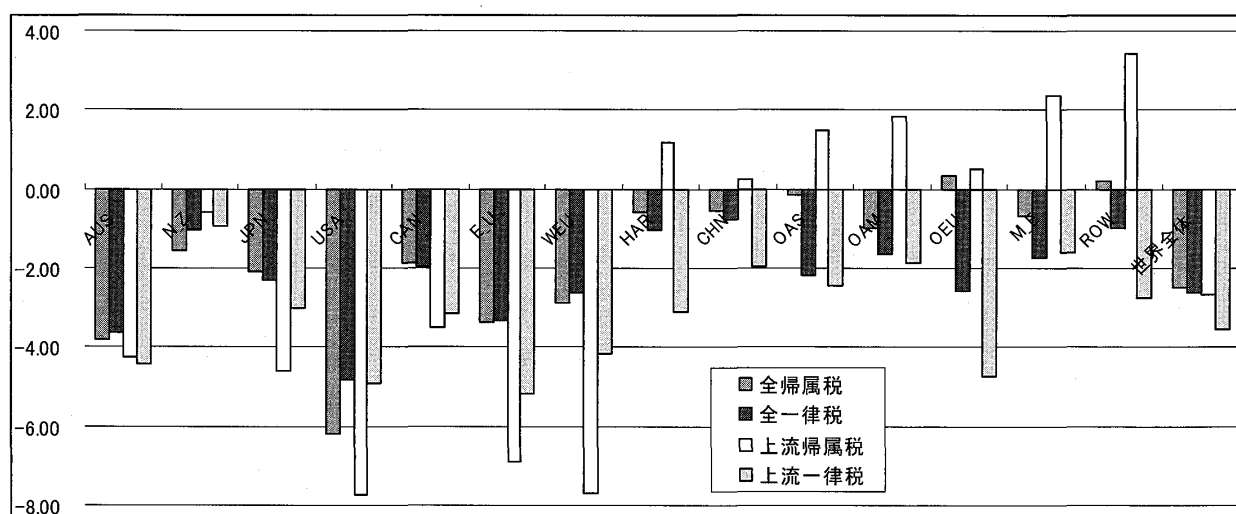
図2. 各地域のCO<sub>2</sub>排出量変化率(%)

図3. 各地域のGDP変化率(%)

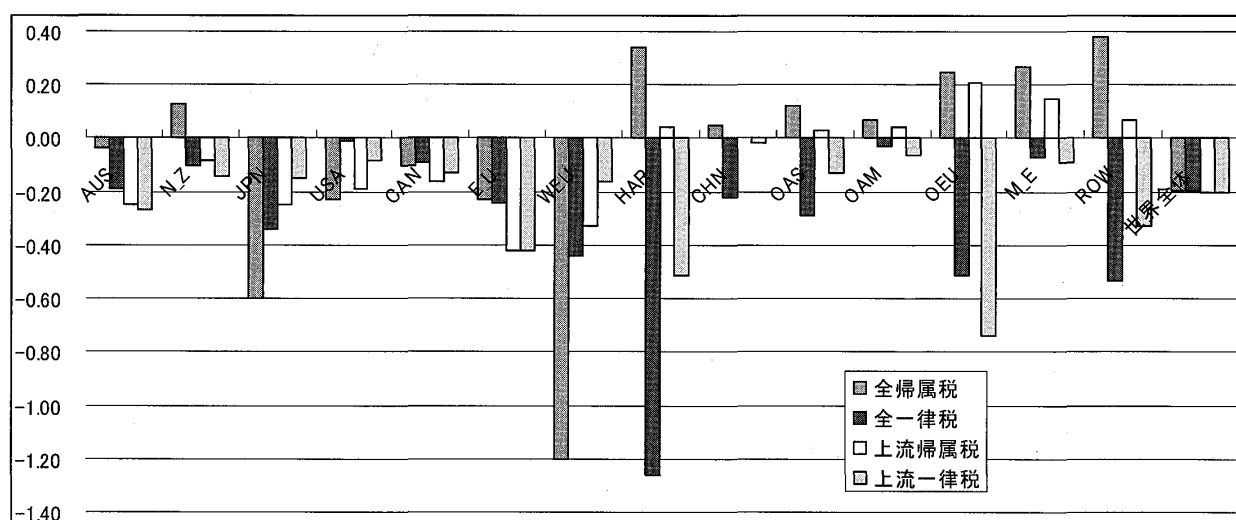


図2が示すように、世界全体のCO<sub>2</sub>排出削減量は全帰属税で2.49%、全一律税で2.62%、上流帰属税で2.66%、上流一律税で3.52%と、各ケースで同等の等価変分を仮定した場合、炭素税を上流部門に賦課する方が全部門に賦課するよりも全体的なCO<sub>2</sub>排出削減への寄与度が高い。また、帰属炭素税よりも一律炭素税の方がCO<sub>2</sub>排出削減への寄与度が高い。前者は、各化石燃料に直接的に高税率を賦課することが、エネルギー価格の高騰を通じて家計を含む各部門に課税効果を波及させ、全部門的にエネルギー使用量の抑制と低炭素エネル

ギーへの転換に対するインセンティブをより高めたことが要因である。後者は、文献[20]～[23]でも示されているように、各地域に異なる税率を賦課する帰属炭素税の方が地域間(特に先進国と途上国の間)でCO<sub>2</sub>限界削減量に大きなばらつきを生み、非効率的なCO<sub>2</sub>排出削減につながっていることが要因である。また、帰属炭素税の2ケースでは途上国の一部または全部で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、世

界全体での変化率は同一の-0.20%である。しかし、地域ごとの変化率を見ると帰属炭素税と一律炭素税でその傾向が大きく異なっている。2ケースの帰属炭素税ではほぼ全ての先進国にマイナスの影響(先進国全体で全帰属税は-0.31%、上流帰属税は-0.28%)・途上国にプラスの影響(途上国全体で全帰属税は+0.16%、上流帰属税は+0.05%)を及ぼすのに対し、一律炭素税では全地域にマイナスの影響を及ぼしている(先進国全体で全一律税は-0.16%・上流一律税は-0.21%、途上国全体で全一律税は-0.32%・上流一律税は-0.16%)。

上記の結果より、環境的側面だけを見ると上流部門へ一律炭素税を賦課する手法が最適であるが、経済的側面も考慮すると一概にそうとは言えない。上流一律税は、2ケースの帰属炭素税と比較して途上国に対して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、より大きな炭素リーケージにより先進国によるCO<sub>2</sub>排出削減の一部が相殺される<sup>18</sup>。その一方で、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、上流一律税には劣るものの一定のCO<sub>2</sub>排出削減効果も得られる。帰属炭素税の2ケースを比較すると、上流帰属税は途上国のGDP増大効果では劣るものの全途上国でプラスの効果は得られ、CO<sub>2</sub>排出削減効果や先進国のGDP減少率の面では優れ、また先進国間でのGDP負担割合に大きな差が見られないなどから、全帰属税よりも優位な手段であると考えられる。先述のように、上流帰属税では途上国で炭素リーケージが見られるが、現在のところ途上国におけるCO<sub>2</sub>排出の絶対量がそれほど大

きくないことを踏まえると、その影響は僅かである。上流一律税でも、文献[11]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、一律炭素税のCO<sub>2</sub>排出の効率性が保持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考えると、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、特に上流帰属税が政策的に実効性が高い手法と言える。

#### 4. まとめと今後の課題

本研究では、多部門・多地域応用一般均衡モデルを用いて、全産業部門への帰属炭素税の賦課、全産業部門へ一律炭素税の賦課、上流部門への帰属炭素税の賦課および、上流部門へ一律炭素税の賦課の4ケースの炭素税の環境的・経済的効果を政策的観点から実証的に評価した。そして、帰属炭素税の導入は上流一律税と比較するとCO<sub>2</sub>排出削減効果は0.86~1.03%ポイント小さいものの、途上国に対する経済的影響も考慮すると政策的実効性は高いと言える。特に、上流帰属税は環境効果や先進国への経済的影響も同時に考慮すると、全帰属税よりも優れた手法である。ただし、帰属炭素税には炭素リーケージの問題が残るため、例えば途上国のGDPにマイナス影響を及ぼさ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、CO<sub>2</sub>排出削減政策として炭素税のみを導入し、その税収は全て地域家計の一般財源とした。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CO<sub>2</sub>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。

18 脚注4を参照。

## K. Matsumoto, Environmental and Economic Analyses of the Carbon Tax Based on the Imputed Price of Carbon

## 参考文献

- [1] 足立治郎(2004)『環境税』, 築地書館.
- [2] Barrett, S. (1998) "Political Economy of the Kyoto Protocol", *Oxford Review of Economic Policy* 14(4), pp.20-39.
- [3] Brockmeier, M. (2001) "A Graphical Exposition of the GTAP Model", GTAP Technical Paper 8.
- [4] Center for Global Trade Analysis (2005) "Global Trade Analysis Project" <http://www.gtap.agecon.purdue.edu/>, (Accessed on June 15, 2005).
- [5] 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)『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』, pp.16-18, [http://www.env.go.jp/press/file\\_view.php3?serial=6749&hou\\_id=5988](http://www.env.go.jp/press/file_view.php3?serial=6749&hou_id=5988), (2005/06/15現在).
- [6] 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)『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).
- [7] Food and Agriculture Organization (2005) "FAO Statistical Database", <http://faostat.fao.org/>, (Accessed on June 15, 2005).
- [8] Golombek, R. (1994) "Incomplete International Climate Agreements: Optimal Carbon Taxes, Market Failures and Welfare Effects", *The Energy Journal* 15(4), pp.141-165.
- [9] Hertel, T.W. (ed.) (1996) *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*, New York: Cambridge University Press.
- [10] 日比野剛・松岡謙・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』, pp.68-79.
- [11] Hoel, M. (2001) "International Trade and the Environment: How to Handle Carbon Leakage", in Folmer, H., Gabel, H.L., Gerking, S. and Rose, A. (eds.), *Frontiers of Environmental Economics*, Cheltenham: Edward Elgar, pp.176-191.
- [12] Houghton, J.T., et al. (eds.) (1997) "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual (Volume 3)", Bracknell: IPCC/OECD/IEA UK Meteorological Office, pp.1.8-1.33.
- [13] 甲斐沼美紀子・森田恒幸・松岡謙(1999)「京都議定書達成のコスト分析」『三田学会雑誌』 92(2), pp.281-295.
- [14] 環境省(2005)『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).
- [15] 環境省地球環境局(2003)『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)』, pp.2-72, [http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/guide/pdf1\\_5/mat\\_01.pdf](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/guide/pdf1_5/mat_01.pdf), (2005/06/15現在).
- [16] 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』, pp.158-177.
- [17] 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.
- [18] Lee, H.L. (2002) "An Emissions Data Base for Integrated Assessment of Climate Change Policy Using GTAP: GTAP/EPA CO<sub>2</sub> Emissions (for v5.4)", pp.2-3, [http://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res\\_display.asp?RecordID=1143](http://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=1143), (Accessed on June 15, 2005).
- [19] 増井利彦・松岡謙・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』, pp.57-67.
- [20] 松本健一(2005a)「帰属価格に基づく炭素税に関する環境・経済分析: 上流部門に対する課税」(環境科学会2005年会報告論文, pp.120-121).
- [21] 松本健一(2005b)「応用一般均衡分析による帰属価格の概念に基づく炭素税の効果分析」(環境経済・政策学会2005年大会報告論文).
- [22] 松本健一・福田豊生(2006)「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」『環境科学会誌』19(2), pp.89-98.
- [23] Matsumoto, K. and Fukuda, T. (forthcoming) "Environmental and economic analyses of the carbon tax based on the imputed price using applied general equilibrium model -Taxation on the upper industrial sectors-", *Environmental Economics and Policy Studies*.
- [24] 日本エネルギー経済研究所計量分析部(編)(2004)『EDMC/エネルギー・経済統計要覧(2004年版)』, 省エネルギーセンター, pp.44-45.
- [25] Stavins, R.N. (1998) "What Can We Learn from the Grand Policy Experiment? Lessons from SO<sub>2</sub> Allowance Trading", *Journal of Economic Perspectives* 12(3), pp.69-88.
- [26] United Nations (1992) "United Nations Framework Convention on Climate Change", <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>, (Accessed on September 13, 2005).
- [27] United Nations (2003a) *National Accounts Statistics: Main Aggregates and Detailed Tables, 2001 Part I*, New York: United Nations.
- [28] United Nations (2003b) *National Accounts Statistics: Main Aggregates and Detailed Tables, 2001 Part II*, New York: United Nations.
- [29] United Nations (2005a) "Demographic Yearbook System", <http://unstats.un.org/unsd/demographic/products/dyb/dyb2.htm>, (Accessed on June 15, 2005).
- [30] United Nations (2005b) "National Accounts Main Aggregates Database", <http://unstats.un.org/unsd/snaama/Introduction.asp>, (Accessed on June 15, 2005).
- [31] Uzawa, H. (1991) "Global Warming Initiatives: The Pacific Rim", in Dornbusch, R. and Poterba, J.M. (eds.), *Global*

Warming: Economic Policy Responses, Cambridge: The MIT Press, pp.275-324.

[32] 宇沢弘文(2003)『経済解析 展開篇』, 岩波書店, pp.11-37.