

ポスト京都議定書における帰属炭素税

A Carbon Tax Based on the Imputed Price of Carbon for the Post-Kyoto

松本 健一¹

Ken'ichi Matsumoto

In this article, a carbon tax based on the imputed price of carbon (ICT) is proposed for the post Kyoto Protocol considering the global participation and economic equity. Although the first commitment period of the Kyoto Protocol has come, climate change measures have made little progress globally due to the institutional defects and problems of the Kyoto Protocol and the Kyoto-type international climate change policy. Considering such defects and problems, a carbon tax is a suitable method. In this study, the effect of ICT is compared with that of the internationally common carbon tax from environmental and economic perspectives applying an applied general equilibrium model. It is shown that ICT is a more appropriate method for the post Kyoto Protocol international climate change policy considering the environmental and economic aspects simultaneously.

キーワード：国際的気候変動政策、ポスト京都議定書、炭素の帰属価格、炭素税、経済的公平性

Key Words : International Climate Change Policy, Post Kyoto Protocol, Imputed Price of Carbon, Carbon Tax, Economic Equity

1. はじめに

2008年に京都議定書の第一約束期間がスタートしたにもかかわらず、世界的に気候変動問題への対策は十分に進んでおらず、議定書の数値目標の達成はほとんどの議定書附属書B国にとって非常に遠い状況にある。さらに、ポスト京都議定書における国際的な気候変動政策をできるだけ早期に合意する必要があるにもかかわらず、関連する議論が十分に進んでいるとは言えない。そのため、気候変動問題に対する国際的な取り組みを継続するために、ポスト京都議定書における政策枠組みを早期に構築する必要がある。

これまでも多くの研究によりポスト京都議定

書に関する政策提案がなされてきた。その例としては、収縮・収斂アプローチ(Mayer(2000))、ブラジル提案(Brazil(1997))、マルチステージアプローチ(Den Elzen and Lucas(2003)、Criqui et al.(2003))などが挙げられる。それら多くの提案では、「共通だが差異のある責任」(経済的公平性)に基づいて先進国だけでなく発展途上国も温室効果ガス(GHG)排出削減に対して寄与すべきであるとしている。しかしながら、ポスト京都議定書に用いる政策手法に関する議論は結論に至っておらず、それゆえに現在も対策決定のための議論の余地は大きい。

このような状況を踏まえて、途上国も含めた全世界的なGHG排出削減の必要性を考慮して、本

論文ではポスト京都議定書の政策手法として炭素の帰属価格に基づく炭素税(帰属炭素税)の導入を議論する。

本論の構成は次のとおりである。第2節では、京都議定書や京都議定書型の国際的気候変動政策(京都型政策)の問題点・欠点を指摘しつつ、気候変動政策としての炭素税の有効性を示す。第3節では、本研究の分析手法と前提を述べる。第4節では、本研究の分析結果と考察を示す。そして、第5節では本研究の結論を述べ、また帰属炭素税を中心としたポリシーミックスの可能性について簡単に議論する。

2. ポスト京都議定書への炭素税の導入

本節では、京都議定書および京都型政策の問題点・欠点を指摘し、炭素税、特に帰属炭素税の有用性を示す。ここでは、「京都型政策」を京都議定書のようにGHG排出キャップを各国に割り当て、排出権取引などを用いることにより効率的なGHG排出削減を実現しようとする気候変動政策と定義する。

以下では、京都議定書や京都型政策に見られる問題点・欠点を示す。1つめは、京都議定書ではGHG排出キャップが非排出主体である国(政府)に割り当てられ、排出主体である産業や企業、消費者に対して直接的に割り当てられていないことである。これにより、政府が何らかの排出規制を行わない限り排出主体に対する削減インセンティブが働かない。そのため、排出削減目標を達成することが困難である。事実、議定書附属書B国のほとんどで1990年以降のGHG排出量は増加し続けており(UNFCCC(2006))、その排出量と排出目標の差は拡大している。政府に割り当てられた排出キャップをすべての排出主体に対して国内的

に割り当てることができれば議定書目標の達成は可能である。しかし、排出主体の数を考えるとそれは極めて困難である。

2つめは、京都議定書では途上国に対してGHG排出削減義務が課せられていないことである。効果的で効率的な排出削減を実現するためには、途上国における気候変動政策の導入が不可欠である(Matsumoto(2006, 2007b)、松本(2007))。これは、先進国と比較して途上国におけるエネルギー効率が低く、発電効率が低く、そしてGDPあたりのGHG排出量が大きいことに起因する。例えば、中国におけるGDPあたりのCO₂排出量は日本の約10倍である(Matsumoto(2007b)、松本(2007))。また、上の研究では、ロシアなどの経済移行国も効果的で効率的なGHG排出削減に大きく寄与する可能性も示している。

3つめは、国際排出権取引市場において排出権供給者による独占力が行使される可能性である。Matsumoto(2007a)や松本(2007)では京都議定書下の排出権取引における独占力行使の影響が分析され、経済移行国が供給独占力を行使することにより排出削減効率が低下することが示されている。それゆえ、このような問題を引き起こし得る制度は避けるべきである²。

4つめは、ポスト京都議定書において京都型政策を構築する場合、各国に排出キャップを適切に割り当てするための交渉に困難が生じることである。現実には、京都議定書の交渉時に交渉問題が起こっており(高村・亀山(2002))、UNFCCC第3回締約国会議(COP3)以降の議定書に関連する交渉でも多くの困難が生じ、政治的問題となった(浜中(2006))。特に、次期枠組みを途上国や経済移行国が参加するように構築する場合、それらの国々を説得し、また先進国との義務のバランスを取るための交渉はさらに困難になると予想される。

2 排出権取引におけるこのような問題は、バンキングやボローイング、価格の上限設定など制度の工夫により部分的には緩和できると考えられる。ただし、それらの措置もそれぞれ問題が内在している(例えば越川(2008)を参照)。

最後に、気候変動政策を排出権取引などの「数量的手法」と炭素税などの「価格的手法」の側面から考えるとき、限界削減費用に不確実性があり、限界削減便益曲線の傾きが限界削減費用曲線よりも緩やかな場合、数量的手法の方が価格的手法よりも非効率的となる(ワイツマン定理:新澤(2002)、Pizer(1997)、Weitzman(1974))。Pizer(1997)によると、気候変動による被害は各年のGHG排出量というよりは大気中のGHGストック(濃度)により決まるものであるため、各年の排出削減の限界便益への効果は非常に小さい。つまり、理論的には炭素税の方が排出権取引よりも気候変動政策として適していると言える。

また、朴(2008)は排出権取引と炭素税を比較して、特に(1)制度の実施可能な対象の範囲、(2)排出削減義務の公平性と既存の削減努力への配慮、(3)ワイツマン定理、(4)炭素価格の安定性、(5)政府に対する税金による効用、(6)一部のグループに対する不当な不労所得、(7)遵守監視と不正行為、(8)長期的な排出削減強化の可能性、の8つの点に注目して炭素税優位論を展開している。

上述のように、京都議定書や京都型政策にはいくつかの重要な問題が見られるため、本論文ではポスト京都議定書のシナリオとして炭素税の導入を議論する。また、GHG排出削減を効果的かつ効率的に実施するために、各国の経済状況を考慮した途上国も含めた全世界的な炭素税の導入が不可欠である。さらに、京都議定書や京都型政策と異なり、国際的気候変動政策としての炭素税の目標は、それを国内政策として導入するだけであるため、各国にとって目標達成は比較的容易である。

3. 分析手法

前節より、既存のシステムには多くの問題が見

られ、炭素税に国際的気候変動政策として大きな可能性があることが示唆された。しかし、上述した議論からはどのような炭素税が世界規模の制度として適切であるかということは明らかになっていない。そこで、本研究では帰属炭素税を理論的に最も効率的な炭素税である国際共通炭素税(共通炭素税)と比較する。

本節では、まず分析に用いるモデルと前提条件を示し、続いて帰属炭素税の定義や分析に用いる帰属炭素税と共通炭素税の税率を示す。

3.1 分析モデルと仮定

本研究では、応用一般均衡モデルであるGTAP-Eモデル(Burniaux and Truong(2002))を用いて分析する。モデルは、Wolfram Research社のMathematica 5.2を用いて構築する。GTAP-EモデルはGTAPモデル(Hertel(1996))の拡張版であり、CO₂排出や排出権取引、炭素税などの枠組みが組み込まれている。本モデルの構造上、本研究ではGHGのうちCO₂のみを考える。

現在のGTAPモデルはGTAPバージョン6であり、産業部門と地域はそれぞれ57部門・87地域から構成されている。本研究では、産業と地域をそれぞれ10部門・10地域に統合して分析する。下の表1と表2はそれぞれ産業部門と地域の構成を示している。

本研究で用いるデータは以下のとおりである。経済データに関しては、GTAPデータベースを用いている³。また、CO₂排出量データに関しては、GTAPデータベースのエネルギーデータ⁴に基づいてHoughton et al.(1997)とLee(2002)の手法とパラメータを用いて計算している。下の表3に各地域のCO₂排出量を示す。

3 Dimaranan(2006)や<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/>を参照。

4 脚注3を参照。

表1. 産業部門の構成

	略称	範囲
[エネルギー部門]	COA	石炭
	OIL	原油
	GAS	ガス
	OLP	石油・石炭製品
	ELY	電力
[非エネルギー部門]	AGR	農林水産業
	EIN	エネルギー集約産業
	OIN	その他産業
	TRP	運輸・交通
	SVC	その他サービス業

表2. 地域の構成

	略称	範囲
[先進国]	JPN	日本
	EU	EU15ヶ国
	KPI	その他先進議定書締約国
	AUS	オーストラリア
	USA	アメリカ合衆国
[経済移行国]	EFS	経済移行議定書締約国
[発展途上国]	CHN	中国
	IND	インド
	EEX	エネルギー輸出国
	ROW	その他

表3. 各地域のCO₂排出量(Mt-C)

地域	CO ₂ 排出量
JPN	325.83
EU	1030.08
KPI	210.53
EFS	886.82
AUS	112.82
USA	1759.82
CHN	1102.00
IND	334.81
EEX	1123.88
ROW	805.37

3.2 炭素税

本研究における炭素(あるいは、大気中のCO₂ストック)の帰属価格の概念は、市場で取引されず、価格付けがされていない炭素の価値をシャドウプライスによって評価するものである。この帰属価格はグローバルな静学的最適化問題より導出される。このモデルは気候変動の因果関係を詳細化している大規模な物理学的モデルとは異なり、政策議論のためにそのような因果関係を簡易に記述したものである。帰属炭素税はこの概念に基づく炭

素税であり、式(1)を用いて計算される⁵。式(1)を導出するための最適化問題とその導出過程は付録Aに示す。

$$t_r = \frac{\beta}{V-D} \left[\sum_r \frac{N_r y_r^{1-\sigma}}{1-\sigma} \right] y_r^\sigma \quad (1)$$

t_r : 地域 r の帰属炭素税の税率(\$/t-C)、 N_r : 地域 r の人口(人)、 y_r : 地域 r の1人あたりの国民純所得(\$/人)、 V : 世界全体での大気中CO₂ストックの臨界的水準(t-C)、 D : 世界全体の大気中CO₂ストック(t-C)、 σ : 弾力性パラメータ($0 < \sigma < 1$)、 β : 大気中CO₂ストックに対する効用の感度パラメータ($0 < \beta < 1$)

式(1)に示されているように、各地域の帰属炭素税の税率は1人あたりの国民純所得に弾力性パラメータを乗じたものに比例するため、税率は

より豊かな地域(先進国)で高く、より貧しい地域(途上国や経済移行国)で低くなる。表4には式(1)に用いるパラメータを示す。また、表5には各地域の国民純所得、人口、および1人あたりの国民純所得を示す。そして、表6には式(1)より計算される各地域の帰属炭素税の税率を示す。

表4. 式(1)の全ての地域に共通するパラメータ

パラメータ	値
β^*	0.1
σ^{**}	0.927
$D(t-C)^{***}$	7929億
$V(t-C)^*$	1兆2000億

*Uzawa (1991) より

**付録Bを参照

***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)、Marland et al. (2006) より

表5. 各地域の国民純所得、人口および、1人あたりの国民純所得

地域	国民純所得 (Mil\$) *	人口 (千人) **	1人あたりの国民純所得 (\$/人)
JPN	3375317	126802	26618.80
EU	6811926	376256	18104.50
KPI	997569	47079	21189.25
EFS	695305	387760	1793.13
AUS	299805	19426	15433.19
USA	8892100	277498	32043.84
CHN	1064500	1269909	838.25
IND	430440	1032127	417.04
EEX	2140180	1446053	1480.01
ROW	1861378	1149620	1619.12

*United Nations (2003a, 2003b) より計算。ただし、各文献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、United Nations (2005a) 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 = $1.04 \times$ 対数国民総所得 - 0.63、相関係数は 0.99 である。

**GTAPデータベースより

5 帰属炭素税の税率はこの式(1)により決定されるため、これが交渉のベースとなり、交渉をよりスムーズに進めるのに役立つであろう。

表6. 各地域の帰属炭素税の税率(\$/t-C)

地域	税率
JPN	451.54
EU	315.83
KPI	365.44
EFS	37.00
AUS	272.37
USA	536.28
CHN	18.28
IND	9.57
EEX	30.97
ROW	33.66

表6に示すように、帰属炭素税の税率は先進国では炭素1tあたり数百ドルレベルであるのに対して、途上国や経済移行国では炭素1tあたり数ドルから数十ドルレベルである。

本研究では、帰属炭素税と共通炭素税をCO₂排出量とGDP(環境と経済の側面)から評価し、比較する。

一方、共通炭素税の税率に関しては、モデルによる分析の結果として帰属炭素税と世界全体で同一のGDPの変化が得られるように設定する。表6に対応する共通炭素税の税率は\$214.28/t-Cである。2つの炭素税を比較すると、帰属炭素税の税率は先進国のみで共通炭素税よりも大きくなることから、共通炭素税は途上国や経済移行国にとって非常に高いものであることがわかる。

4. 分析結果と考察

図1と図2はそれぞれ各地域および世界全体のCO₂排出量とGDPの変化を示している。

図1が示すように、帰属炭素税による世界全体のCO₂排出削減量は29.35%で、共通炭素税による削減量は43.09%である。この結果より、共通炭素税によるCO₂排出削減効果は帰属炭素税の約1.5倍であることがわかる。これは、帰属炭素税の場合は先進国に対してより大きな税率が、途上国や

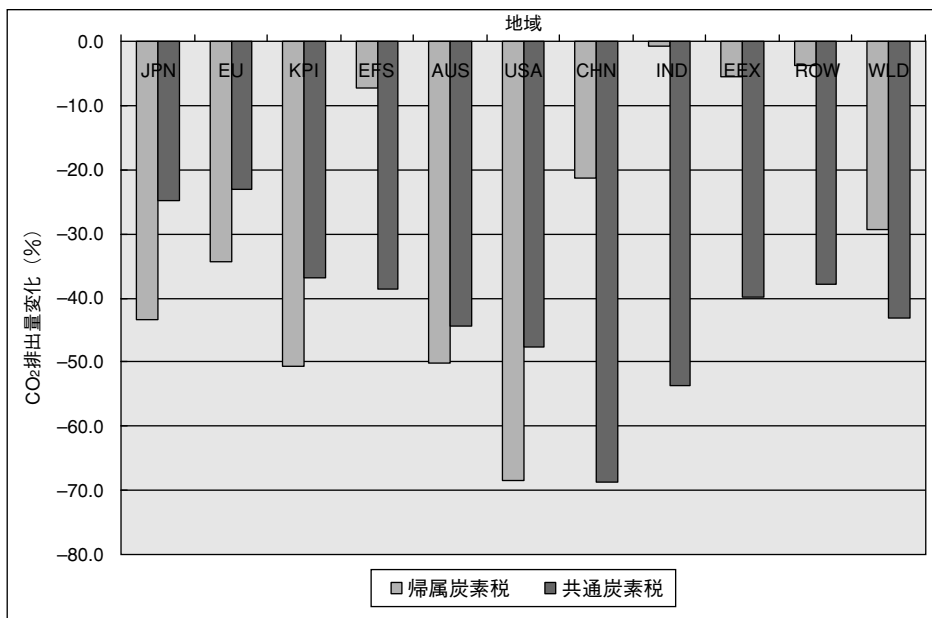


図1. 炭素税の賦課による各地域・世界全体のCO₂排出量変化(%)

*図中の“WLD”は世界全体を示している(以下の図でも同様)

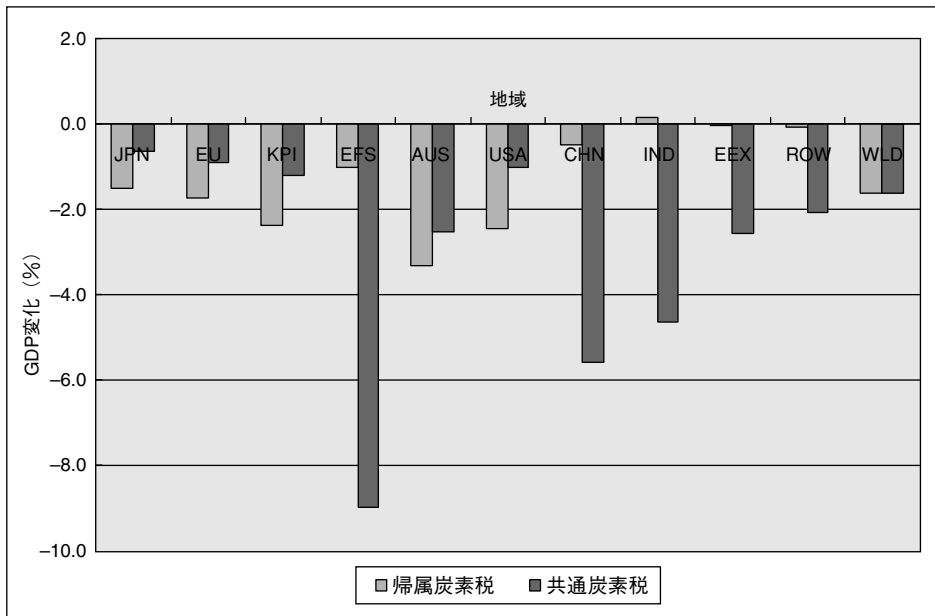


図2. 炭素税の賦課による各地域・世界全体のGDP変化(%)

経済移行国に対してより小さな税率が賦課されるため、各地域の限界排出削減費用に差異が現れることによるものである。その結果、帰属炭素税ではCO₂排出削減効率が全体的に低下する。その一方で、共通炭素税の場合は全世界で税率が共通であるため、限界削減費用が全ての地域で等しくなる。そのため、CO₂排出量が効率的に削減され、より大きな削減が実現する。

次に、図2が示すGDP変化を比較すると、本研究の仮定により、世界全体では帰属炭素税と共通炭素税で等しい変化を示している(-1.61%)。しかし、各地域のGDP変化を見ると、その傾向は異なっている。帰属炭素税に関しては、ほぼ全ての地域でマイナスの影響が見られるが、途上国や経済移行国への影響は先進国よりも小さい(先進国平均は-2.05%、途上国と経済移行国の平均は-0.21%)。そして、途上国の1つであるINDではプラスの影響が見られる。その一方で、共通炭素税の場合は、全ての地域でマイナスの影響が見ら

れ、その影響は途上国や経済移行国でより大きい(先進国平均は-0.95%、途上国と経済移行国の平均は-3.69%)。

これらの結果を見ると、環境の側面からはCO₂排出削減量の大きい共通炭素税の方が帰属炭素税よりも適した炭素税であると言える。しかし、経済的な側面も同時に考慮すると、帰属炭素税は途上国に対する経済的影響を低く抑えることができるため、共通炭素税の適切性は低減する。つまり、帰属炭素税と共通炭素税の間に経済的公平性とCO₂排出削減のトレードオフの関係が存在するのである。共通炭素税は途上国や経済移行国に対して過度な経済的負担を負わせるために、これは“The Parties should protect the climate system ... on the basis of equity and in accordance with their common but differentiated responsibilities and respective capabilities”というUNFCCCの原則(第3条)に反する⁶。さらに、途上国や経済移行国がその大きな負担ゆえに世界的な炭素税政策の導

6 COPなどの気候変動政策に関する最近の議論を見ると、先進国と途上国ともにこの原則が重要であると認識し、合意していると考えられる。

入を拒否するリスクも存在する。共通炭素税が先進国のみで導入された場合、先進国によるCO₂削減努力の一部が途上国や経済移行国への炭素リーケージにより相殺される。事実、図3に示すように、先進国のみで共通炭素税が導入された場合、

税が導入されていない地域(途上国と経済移行国)でCO₂排出量が増加する。図3の分析では、炭素リーケージ率は16.38%である。その結果、世界全体のCO₂排出削減量は14.72%と、帰属炭素税の半分程度になる。

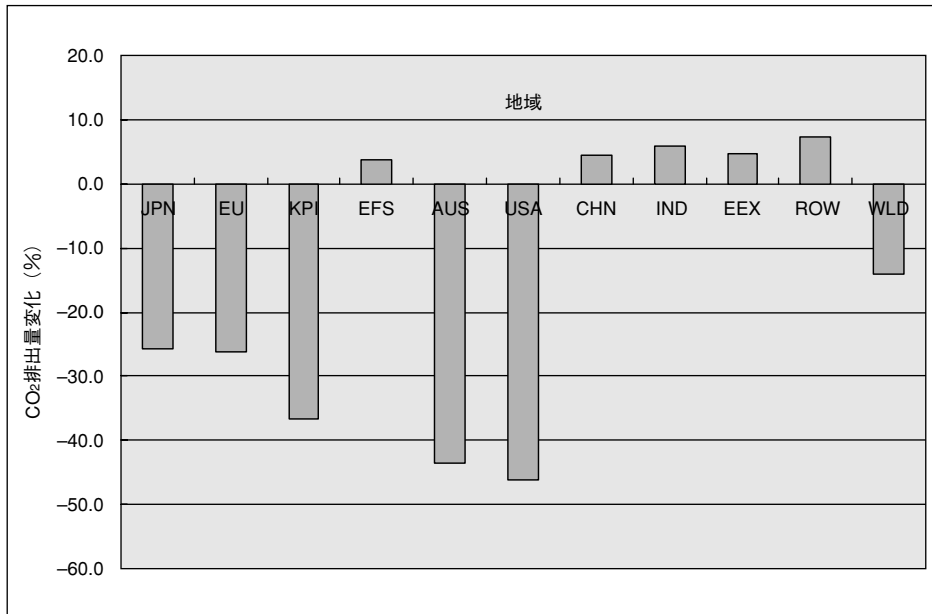


図3. 先進国の共通炭素税導入による各地域・世界全体のCO₂排出量変化(%)

その反面、帰属炭素税であれば途上国や経済移行国に対する過度な負担はなく、先進国、途上国、および経済移行国の発展の度合いを考えると、それらの中で経済的な公平性が実現される⁷。経済的な問題は途上国や経済移行国で特に重要であり、できる限りコストを低減することにより政策の実効性を高められるため(Tol(1999))、それらの国々に対する経済的負担を低減するような手法を用いることが重要である。また、気候変動に関する意思決定に関して、環境と経済の両面の帰結を考慮することが重要になる(Watson and the Core Writing Team(2001))。そのため、世界全体で国際的気候変動政策を導入することの効果と

上述した議論を踏まえると、帰属炭素税の方が世界全体で導入される可能性が高く、共通炭素税よりも効果は低いもののCO₂排出削減も達成できる。

上述した分析と議論より、ポスト京都議定書のシナリオとして、帰属炭素税が適切な手段であると示唆された。

5. おわりに

本論文では、京都議定書、および京都型政策の問題点を指摘することにより、ポスト京都議定書における国際的気候変動政策としての炭素税の可

7 式(1)が示すように、帰属炭素税はその税率が経済レベルに応じて柔軟に修正できるという性質を持つ。

能性を示した。分析には応用一般均衡モデルを用いて、CO₂排出量とGDPの変化から帰属炭素税と共通炭素税を比較した。そして、分析の結果、帰属炭素税と共通炭素税の間には経済的公平性とCO₂排出削減に関するトレードオフの関係が見られた。帰属炭素税は共通炭素税と比較してCO₂排出削減量は小さいが、各国の経済状況や世界全体で政策を導入すること(途上国や経済移行国の政策枠組みからの離脱の回避)の重要性を踏まえると、帰属炭素税の方が有用性が高いことが示唆された。上述した議論から、帰属炭素税はポスト京都議定書の政策として有効な手段であると言える。この方法では全ての国が政策枠組みに参加する(と考えられる)ため、将来の国際的気候変動政策のさらなる進展につながるものと期待できる。

帰属炭素税は価格的手法であるため、排出権取引のような数量的手法とは異なりそこにはCO₂排出削減量に関する不確実性が存在する。そのため、ある一定の排出削減量を実現するための税率を決定するためには、例えば何らかのモデルを用いたシミュレーション分析のような方法により税率を推定するしか方法がないであろう。また、現実には一定の排出削減量を達成するには、ポーモル・オーツ税(Baumol and Oates(1971))のような方法により試行錯誤の上で税率を決定するのが唯一の手法であろう。

上述した議論では、帰属炭素税を単独で国際的気候変動政策として導入することを考えてきた。しかし、帰属炭素税を他の政策手法とのポリシーミックスとして導入することも可能で、それにより追加的なCO₂排出削減が実現される。例えば、クリーン開発メカニズム(CDM)のようなプロジェクトベースの排出削減手法を導入することにより、CO₂排出削減ポテンシャルの高い途上国(Matsumoto(2006, 2007b))でのさらなる削減が期待できる。また、京都議定書やUNFCCCでも示されているように特に途上国に対する技術移転や

資金援助などの追加的な気候変動対策も、ポスト京都議定書において引き続き実施する必要がある。

参考文献

- Baumol, W.J. and Oates, W.E. (1971) The use of standards and prices for protection of the environment, *Swedish Journal of Economics* 73: 42-54.
- Brazil (1997) Proposed elements of a protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Presented by Brazil in response to the Berlin Mandate, FCCC/AGBM/1997/MISC.1/ADD.3.
- Burniaux, J.M. and Truong, T.P. (2002) GTAP-E: An energy-environmental version of the GTAP model, GTAP Technical Paper 16.
- 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, http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=6749&hou_id=5988, 最終アクセス:2005年6月15日.
- Criqui, P., Kitous, A., Berk, M., den Elzen, M.G.J., Eickhout, B., Lucas, P., van Vuure, D., Kouvaritakis, N., and Vanregemorter, D. (2003) Greenhouse gas reduction pathways in the UNFCCC process up to 2025, B4-3040/2001/325703/MAR/E.1 for the DG Environment.
- Den Elzen, M.G.J. and Lucas, P. (2003) FAIR 2.0 -A decision-support tool to assess the environmental and economic consequences of future climate regimes, RIVM Report 550015001.
- Dimaranan, B.V. (ed.) (2006) Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 6 Data Base. Center for Global Trade Analysis, Purdue University.
- 浜中裕徳(編)(2006)京都議定書をめぐる国際交渉 COP3以降の交渉経緯. 慶應義塾大学出版.
- Hertel, T.W. (ed.) (1996) Global Trade Analysis: Modeling and Applications. New York: Cambridge University Press.
- Houghton, J.T., Filho, L.G.M., Lim, B., Treanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J., and Callender, B.A. (eds.) (1997) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual (Volume 3), Bracknell: IPCC/OECD/IEA UK Meteorological Office, 1.8-1.33.
- 越川敏忠(2008)排出量取引とマネーゲーム, みずほ情報総研研究レポート, <http://www.mizuho-ir.co.jp/research/kankyo080818.html>, 最終アクセス:2008年8月30日.
- Lee, H.L. (2002) An emissions data base for integrated assessment of climate change policy using GTAP, GTAP Working Paper Draft.

- Marland, G., Boden, T.A., and Andres, R.J. (2006) Global, regional, and national fossil fuel CO₂ emissions. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A., <http://cdiac.ornl.gov/>, Accessed on June 12, 2006.
- Matsumoto, K. (2006) China's potential roles on climate change measures -Concept of multi-agent model-, Annual Conference of Society for Environmental Economics and Policy Studies 2006: Kyoto, Japan.
- Matsumoto, K. (2007a) Quantitative analysis of the monopolistic power of economies in transition in the international emissions trading, Tenth Annual Conference on Global Economic Analysis: West Lafayette, U.S.A.
- Matsumoto, K. (2007b) Potential role of developing countries on the international climate change policy from the viewpoint of participation, International Conference on Energy and Environmental Modeling 2007: Moscow, Russia.
- 松本健一(2007)ポスト京都議定書に向けた国際的気候変動政策に関する研究-経済移行国・発展途上国の参加を考慮した帰属炭素税の導入効果の分析-, 博士論文: 関西学院大学.
- Mayer, A. (2000) Contraction & Convergence, Bristol: Green Books.
- 新澤秀則(2002)地球環境の保全と京都メカニズム, 森田恒幸・天野明弘(編), 岩波講座 環境経済政策学第6巻 地球環境問題とグローバルコミュニティ, 岩波書店, 67-93.
- 朴勝俊(2008)ポスト京都議定書を巡る議論における炭素税優位論について, Discussion Paper 2007-02, 京都産業大学.
- Pizer, W.A. (1997) Prices vs. quantities revisited: The case of climate change, Discussion Paper 98-02, Resources for the Future.
- 高村ゆかり・亀山康子(編)(2002)京都議定書の国際制度, 信山社.
- Tol, R.S.J. (1999) Spatial and temporal efficiency in climate policy: Applications of FUND, Environmental and Resource Economics 14(1): 33-49.
- UNFCCC (2006) Greenhouse gas inventory data, <http://ghg.unfccc.int/index.html>, Accessed on Aug. 13, 2006.
- United Nations (2003a) National Accounts Statistics: Main Aggregates and Detailed Tables, 2001 Part I, New York: United Nations.
- United Nations (2003b) National Accounts Statistics: Main Aggregates and Detailed Tables, 2001 Part II, New York: United Nations.
- United Nations (2005) National accounts main aggregates database, <http://unstats.un.org/unsd/snaama/Introduction.asp>, Accessed on April 9, 2006.
- Uzawa, H. (1991). Global warming initiatives: The Pacific Rim, In Global Warming: Economic Policy Responses, edited by R. Dornbusch, and J. M. Poterba. Cambridge: The MIT Press.
- Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds.) (2001) IPCC Third Assessment Report - Climate Change 2001: Synthesis Report, Cambridge: Cambridge University Press.
- Weitzman, M.L. (1974) Prices vs. qualities, American Economic Review 41(4): 477-491.

付録A 帰属炭素税の導出

この付録Aでは、炭素の帰属価格(式(1)で表わされる帰属炭素税)の導出過程を示す。

グローバルな静学的最適化問題は以下のように定式化される。

$$\max \sum_r N_r u_r(y_r) \phi(D) \quad (2)$$

$$\text{s.t. } Y_r = N_r y_r \quad (3)$$

$$D_r = D_r(Y_r) \quad (4)$$

$$D = \sum_r D_r \quad (5)$$

$u_r(\cdot)$: 地域 r の通常の効用関数(気候変動の影響を考慮していない効用)、 $\phi(\cdot)$: 環境影響指標関数、 $D_r(\cdot)$: 地域 r の大気中CO₂ストック関数、 Y_r : 地域 r の国民純所得(\$)、 D_r : 地域 r の大気中CO₂ストック(t-C)

式(2)は世界全体の総効用を示しており、大気中CO₂ストックによる効用のマイナス影響が考慮されている。式(3)は各地域の国民純所得に関する条件を、式(4)は各地域の大気中CO₂ストックの条件を、そして、式(5)は世界全体の大気中CO₂ストックを表している。

ここで、通常の効用関数 $u_r(y_r)$ は、全ての $y_r > 0$ に対して $u_r(y_r) > 0$ 、 $u_r'(y_r) > 0$ 、 $u_r''(y_r) < 0$ で定義される関数である⁸。また、環境影響指標関数 $\phi(D)$ は全ての $0 < D < V$ に対して $\phi(D) > 0$ 、 $\phi'(D) < 0$ 、 $\phi''(D) < 0$ で定義される関数である。

8 「'」は関数の微分を表す。

この最適化問題は以下のように解く。

まず、最適化問題のラグランジュ関数 L は式(6)で表わされる。

$$L = \sum_r N_r u_r(y_r) \phi(D) + \lambda (Y_r - N_r y_r) + \mu (D_r - D_r(Y_r)) + \rho (D - \sum_r D_r) \quad (6)$$

λ : 式(3)に対するラグランジュ乗数、 μ : 式(4)に対するラグランジュ乗数、 ρ : 式(5)に対するラグランジュ乗数

次に、式(6)から得られる最適化の一次条件は式(7)~式(10)のようになる。

$$\frac{\partial L}{\partial y_r} = N_r u_r'(y_r) \phi(D) - \lambda N_r = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial L}{\partial Y_r} = \lambda - \mu D_r'(Y_r) = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial L}{\partial D_r} = \mu - \rho = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial D} = \sum_r N_r u_r(y_r) \phi'(D) + \rho = 0 \quad (10)$$

そして、これらの式は以下のように書き換えられる。

$$\lambda = u_r'(y_r) \phi(D) \quad (7')$$

$$\mu = \frac{\lambda}{D_r'(Y_r)} = \frac{u_r'(y_r) \phi(D)}{D_r'(Y_r)} \quad (8')$$

$$\rho = \mu = \frac{u_r'(y_r) \phi(D)}{D_r'(Y_r)} \quad (9')$$

$$\rho = -\sum_r N_r u_r(y_r) \phi'(D) \quad (10')$$

その結果、式(9')と式(10')より式(11)が得られる。

$$\frac{u_r'(y_r) \phi(D)}{D_r'(Y_r)} = -\sum_r N_r u_r(y_r) \phi'(D) \quad (11)$$

経済が競争的で、税率 t_r の炭素税が各地域の大気中CO₂ストックに対して賦課されるとすると、

この経済は $Y_r - t_r D_r(Y_r)$ を最大化する。そのため、次の式(12)を満たすように国民純所得 Y_r は決定される。

$$\frac{\partial}{\partial Y_r} [Y_r - t_r D_r(Y_r)] = 1 - t_r D_r'(Y_r) = 0 \quad (12)$$

式(12)は式(12')のように書き換えられる。

$$t_r = \frac{1}{D_r'(Y_r)} \quad (12')$$

その結果、式(11)と式(12')より各地域の炭素税(帰属炭素税)の税率を計算する式(13)が得られる。

$$t_r = \frac{-\phi'(D)}{u_r'(y_r) \phi(D)} \sum_r N_r u_r(y_r) \quad (13)$$

式(13)が示すように、帰属炭素税の税率は地域間で異なっており、限界効用関数 $u_r'(Y_r)$ の逆数に比例する。

本研究では、限界効用関数 $u_r'(Y_r)$ を式(14)と定義する。

$$u_r'(y_r) = y_r^{-\sigma} \quad (14)$$

そして、通常の効用関数(式(15))は式(14)を積分することで得られる。

$$u_r(y_r) = \frac{y_r^{1-\sigma}}{1-\sigma} \quad (15)$$

また、環境影響指標関数 $\phi(D)$ を式(16)と定義する(Uzawa(1991))。

$$\phi(D) = (V - D)^\beta \quad (16)$$

式(16)は世界全体の大気中CO₂ストックの増加による人への影響(効用の低下)を表している。そして、式(16)を微分すると限界環境影響指標関数 $\phi'(D)$ が得られる(式(17))。

$$\phi'(D) = -\beta(V-D)^{\beta-1} \quad (17)$$

式(14)～式(17)を式(11)に代入することで、式(1)が得られる。

付録B 弾力性パラメータの導出

式(1)で用いる弾力性パラメータ σ の値は以下のようにして得られる。式(1)が示すように、パラメータの値が1に近づくほど帰属炭素税の税率は地域間の国民純所得 y_r との比例関係に近くなる。一方、その値が0に近づくほど地域間での税率の差は小さくなる。Uzawa(1991)では各地域の国民純所得に比例する炭素税を提唱しており、その性質は式(1)に類似している。式(1)と以下の式(18)では、各地域で共通する部分の式の構造は異なるが、各地域で差異のある部分の式の構造は弾力性パラメータが存在するか否かの違いのみである。パラメータの値が大きくなるほど2つの式で地域間の関係は近くなる。両者とも豊かな国ほど税率が大きくなることは同じである。そこで、本研究では、Uzawa(1991)で示されている炭素税の税率を計算する式(18)に基づいて弾力性パラメータ σ の値を決定する。

$$\rho_{rs} = \frac{\beta}{(\delta + \gamma)(V - D_s)} N_s y_{rs} \quad (18)$$

ρ_{rs} : 地域 r ・時間 s におけるUzawa(1991)に基づく炭素税の税率(\$/t-C)、 N_s : 時間 s における世界人口(人)、 D_s : 時間 s における D (t-C)、 y_{rs} : 時間 s における y_r (\$)、 δ : 割引率、 γ : 海洋によるCO₂の吸収率

式(18)は動学的モデルより導出されるために、時間を表す s の付く変数が存在する。しかし、本研究では静学的モデルを用いているため、 s を考慮しない。ここでは、式(1)と式(18)から計算される最も税率の高い税率(USAの税率)が共通となるように弾力性パラメータの値を決定する。式

(18)の計算に用いるパラメータの値は、 $\delta = 0.05$ と $\gamma = 0.04$ についてはUzawa(1991)に倣い、その他のものについては表4と表5に示すものを用いる。このとき、弾力性パラメータの値は0.927となる。