

構造方程式モデリングを用いた炭素価格形成決定要因の分析

(一財) 日本エネルギー経済研究所

1. 分析概要

近年、エネルギー使用起源の CO2 排出に伴う外部費用を内部化する手法として炭素価格制度（代表的なものとして炭素税）の強化が日本において議論されている。その際、各国炭素価格との比較において低いとされる日本の炭素価格を上昇させるべきであるとの指摘がある。他方で、炭素価格は地球温暖化対策のみならず、各国の政治、経済、国民性、地政学的な要素に影響を受けているとの指摘もある。

経済学理論に基づく外部費用の内部化は「その財の供給・使用によって発生するすべての費用が需要者の負担する費用に反映されなくてはならない」としている。一方、炭素価格導入の先進事例における税率の決定方法は、その国の個々の事情・当該関係者との調整を経て決定している様子が伺えた。

そこで本研究では、OECD 加盟国のマクロデータを用いて、炭素価格水準を決定する主要因と、それらの要因が炭素価格に影響を与える様子についてのモデル化を試みた。

モデル化分析の結果から、炭素価格水準は、各国の税制体制、産業海外依存度、再エネ比率、省エネ進展度など、様々な要素に強く影響を受けていることが判明した。諸外国の炭素価格水準と日本の炭素価格水準の比較評価を行なう際には、炭素価格水準のみならず、その背景にある政治・経済・エネルギー需給の様子といった様々な要素も合わせて評価をする必要があるとの示唆を得た。

2. 分析手法

本報告では、以下の手順で分析を進めた。

(1) 重回帰分析

炭素価格に影響を及ぼす主要因の特定を行なった。

(2) 構造方程式モデリング

(1) で求められた主要因については、炭素価格に直接的な影響を及ぼしているのみならず、間接的に影響を及ぼしている可能性もある。そこで、各要因が炭素価格へ影響を及ぼす様子や強度とその背景にある因子について構造方程式モデリング手法を用いて分析を行った。

分析概要を以下に示す。

2-1. 重回帰分析

表 重回帰分析結果概要

目的	炭素価格に影響を及ぼす要因の特定	
対象国	OECD 全加盟国（※ただしデータ欠損のあるラトビアを除いたため 34 カ国となった）	
対象期間	炭素価格決定要因を特定することを目的とするため、炭素税や排出量取引が導入される以前のデータを活用することとした。World Bank (2018) によれば、1990 年代に炭素税を導入した一部の欧州諸国以外は、2000 年代以降に制度を導入した国が多いことから、本分析では 2000 年を採用した。	
データ出所	-Effective Carbon Rates (OECD,2016) -National Accounts (OECD) -Tax Revenue Statistics (OECD) -Inter-Country Input-Output Tables (OECD) -Energy Balance Tables and Indicators (IEA) -CO2 Emission from Fuel Combustion (IEA)	
結果	目的変数を 2012 年の実効炭素価格（米ドル/t-CO ₂ 、データ出所 OECD2016）として以下に示す変数を用いた重回帰分析を実施。いずれの説明変数も有意水準 5%で統計的に有意な結果を得た。	
	説明変数	説明変数が考慮する内容
	GDP に対する税収の割合	税制体制のあり方 （大きな政府・小さな政府）
	付加価値海外依存度	産業構造、 産業部門の海外依存度・空洞化
	GDP あたり最終エネルギー消費量	省エネ化率
	一次エネルギー供給に占める再エネルギー比率	低炭素化率
	ガソリン価格	物価、エネルギー価格

2-2. 構造方程式モデリング分析

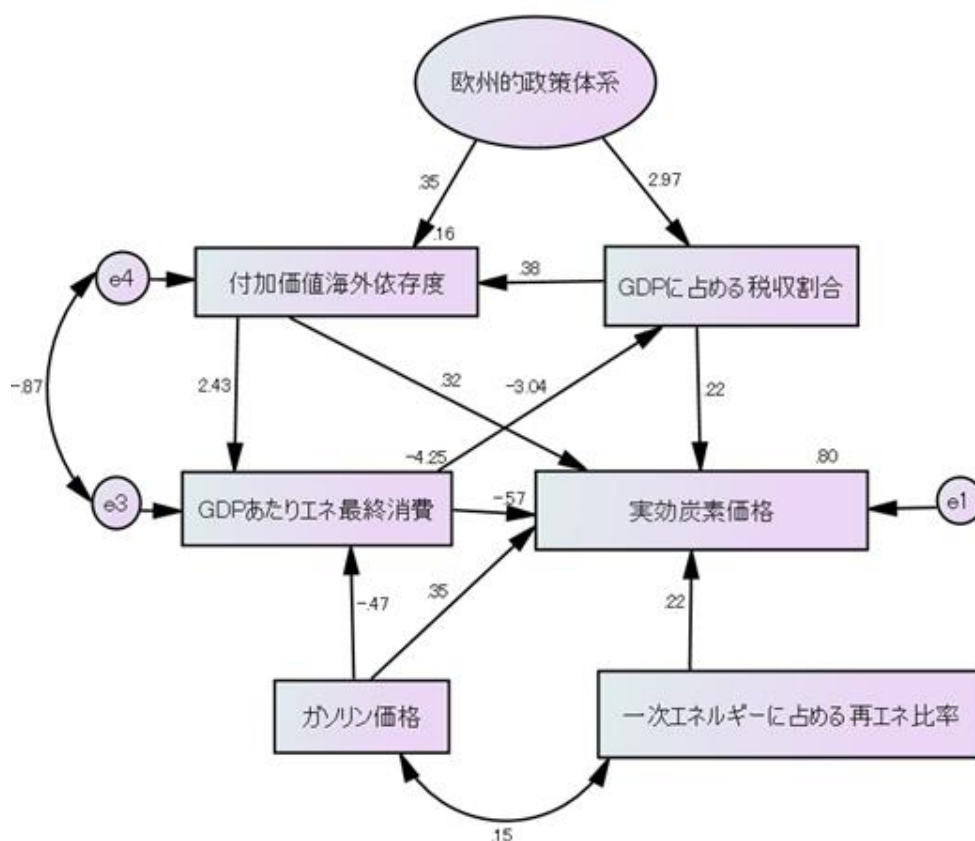
2-1 で得られた炭素価格決定に影響を及ぼす主要因については直接的な効果のみならず、間接的な効果の存在が想定される。さらに変数間に共通する潜在因子の存在も想定される。そこで、変数間の分散・共分散の構造を分析することによって、観測変数間（実測されたデータ）の関係および直接観測できない潜在変数（実測されないデータ）との因果関係を同定することにより社会現象や自然現象を理解するための統計的手法として活用される構造方程式モデリングを採用することとした。2-1 と同様に、本分析では、炭素価格決定要因の特定を目的とすること、ならびに炭素価格が説明変数に及ぼす影響を排除するために、モデルに使用する説明変数は炭素価格（炭素税や排出量取引）が導入される以前のデータを使用することが適切と考えた。World Bank (2018) ¹によれば、1990 年代に炭素税を導入した一部の欧州諸国以外は、2000 年以降に制度を導入した国が多いことが示されているため、本分析では 2000

¹ World Bank, State and Trends of Carbon Pricing 2018

年のデータを採用し、説明変数である炭素価格には OECD (2016) ² による 2012 年の Effective Carbon Rates を採用することとした。

炭素価格水準に影響を及ぼす経路について下図に示すパス経路の想定を行なった。2-1 で取り上げた説明変数に加えて、共通する因子として「欧州的政策体系」を追加し（詳細は 3. で説明）、モデル適合度分析を行った。

図 構造方程式モデリングを用いた実効炭素価格水準決定経路



本モデルの適合度は、GFI（適合度指標）0.985、AGFI（修正適合度指標）0.894、CFI 1.000、RMSEA .000、CMIN（カイ二乗）1.555、確率 .670 となった。豊田(2017)³によれば、GFI はデータ個数に影響を受けない指標であり、一般的に 0.9 以上であれば、「説明力のあるパス図であると判断する」としている。また、同様に AGFI は 1 に近いほど当てはまりがよく、CFI は 0.95 以上、RMSEA は 0.05 以下、CMIN および確率は大きいほどモデルの当てはまりが良いという基準を提示している。本基準に照らし合わせると、上図の炭素価格水準決定モデルは、十分な適合を示したと言える。また、実効炭素価格水準の 8 割が本モデルの中に包含した説明変数で説明ができるという結果を得た。

² OECD Effective Carbon Rates Pricing CO2 through Taxes and Emissions Trading Systems

³ 豊田編、共分散構造分析[AMOS 編]、東京図書

3. 結果の解釈

2-2 の図中の矢印に示す数字は、各説明変数の標準化偏回帰係数であり、その他の説明変数を一定とした場合に、当該変数が炭素価格に与える影響の大きさを示している。符号がプラスの場合、説明変数の数値が大きくなれば、目的変数の数値も大きくなる。他方、マイナスの場合は目的変数の数値は逆の方向に変化することを意味する。

まず、炭素価格に直接的に影響を及ぼしている説明変数と炭素価格の関係を見してみる。「GDP に占める税収割合」の係数符号はプラスであることから、炭素税導入以前から税収比率が高い国においては大きな政府志向の国であったことが推察され、国民の税に対する受容性が高く、税導入の受け入れ素地があったことが伺える。「付加価値海外依存度」の係数符号はプラスであり、産業の海外依存が高かった国においては、高い炭素価格を導入が可能であった傾向にある。これは、特に製造業の海外依存が高かった、いわゆる炭素リーケージ率が炭素価格導入前に既に高かった場合においては、国内に高い炭素価格を課したとしてもその影響が軽微だったことが推察される。「一次エネルギーに占める再エネ比率」の符号はプラスであることから、炭素税導入以前から再エネ率の高い国において、高い炭素税が導入できたことが推察される。さらなる炭素排出の削減には高い炭素価格が必要であったという考え方もできる一方で、再エネ比率が既に高い国においては、化石燃料に高い炭素価格を課したとしてもその影響が限定的であったという考え方もできる。同じく「GDP 当たり最終エネルギー消費」については省エネ率が高かったほど、実効炭素価格が高いという結果が得られたが、省エネが進むほど、追加的な対策を模索して炭素税率を高くするという行動が考えられる一方で、既に省エネ率が高いため、高い炭素価格の影響度合いが限定的であったとも考えられる。また、分母である GDP 構成が影響を及ぼしている可能性もある。高付加価値化産業の割合が大きい国では「GDP 当たり最終エネルギー消費」の見かけ上の数字は小さくなり、重厚長大産業の割合が大きい国では同数値は大きくなるという傾向がある。このような産業構造の影響を排除するために、省エネ率においては産業サブセクターの生産量あたりエネルギー消費で比較すべきであるが、データ入手に制約があり、本分析では GDP を生産量の代理変数として扱わざるを得なかった点が影響をしている可能性もある。「ガソリン価格」については符号がプラスになっており、エネルギー価格が高い程、炭素価格も高くなるという傾向が見られた。これは、エネルギー価格に対して炭素価格がインパクトを持つためには高い価格水準が必要であったと考えられる。他方で、①エネルギー自給率が低いためにエネルギー本体価格そのものが高くなり、エネルギー小売価格が高くなった（海外からエネルギーを調達するためのコストや安全保障費が上乗せさせる）ケースと、②エネルギー自給率は高くエネルギー本体価格は相対的に低いが高い税率のためにエネルギー小売価格が高くなったケースが存在することが分かった。これらの異なる 2 つのケースをどのように切り分けて分析をすべきであるか今後の課題である。

次に、炭素価格に直接影響を及ぼしていない変数間の効果について見てみる。「GDP に占める税収の割合」が大きいほど「付加価値海外依存度」が高くなるという特徴が見られた。

34 カ国の主要因別傾向をみると欧州諸国でこの傾向が多く観察された。欧州ではエネルギー最低税率指令に見られるように、あらゆる制度が調和的に実行されていること、また教育・医療の無償化、社会福祉などが政府により手厚く実施されている国が多いという実態からも現実をよく反映しているデータであると言える。また、国内の高い税率のため海外に生産拠点を移すという空洞化が（特に欧州先進国において）既に生じていたということも仮説として考えられた。そこで、この二つの変数の関係を「欧州的政策体制」と仮定し、潜在因子として設定した。モデル適合度も高く、欧州政策体制の特徴を表現できていると言える。

4. 示唆と課題

4-1. 分析からの示唆

本分析において、マクロデータに基づく統計分析を行ったところ、分析で用いた説明変数とそれらが影響を及ぼすパス経路によって 80%の炭素価格決定要因を説明できるという結果を得ることができた。炭素価格水準は、各国の税制体制、産業海外依存度、再エネ比率、省エネ進展度など、様々な要素に強く影響を受けていることを示している。このことは、各国の炭素価格水準だけを用いた比較では不十分であることを意味する。各国の炭素価格水準と日本の炭素価格水準の評価を行なう際には、炭素価格の背景にある政治・経済・エネルギー需給の様子といった様々な要素も合わせて検討すべきとの示唆を得ることが出来たと言える。

4-2. 分析の課題

今回対象とした主要因によって炭素価格決定の 80%が説明できるという結果を得たが、残り 20%は他の要因が影響しているということを意味する。例えば、各国の税に対する受容性や温暖化問題への関心度、各国政府の温暖化対策取り組み姿勢という要素も影響を及ぼすことが想定できる。

また、本分析では、一カ国に一つの炭素価格を設定した分析を行ったが、産業、運輸、家庭といった分野別分析を行うことによって、分析を精緻化できる可能性もある。ただし、分野を詳細に分割するほど、各国で統一定義において収集されるデータの入手難度も高くなるという問題に直面する。分野細分化とデータ入手可能性はトレードオフの関係にあるため、これらのバランスを的確に見極めることが分析の精緻化の鍵となると言える。

謝辞

本研究のご支援をいただきました一般財団法人環境封策推進財団に厚く御礼を申し上げます。