

パネルデータを使った二酸化炭素排出における主要国の個別特性に関する一考察¹

坂本智幸², 後藤智弘³, 中畠一憲⁴

1 はじめに

2007年2月に気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC）第4次評価報告書 第1作業部会報告書が発表された。同作業部会報告書では、20世紀半ば以降に観測された世界の平均気温の上昇について、人為起源の温室効果ガス（Greenhouse Gas, 以下GHGと略す）の排出増加による可能性がかなり高いとの評価がなされている。これは前回の第3次評価報告書からさらに踏み込んだ内容であり、世界が地球温暖化を食い止めるために温室効果ガスの排出削減を行うことが必要である事を改めて認識することとなった。2008年からは京都議定書の第1約束期間が開始され、批准した国は京都メカニズムの活用も含めたGHGの排出削減に取り組むことになる。一方、京都議定書第1約束期間終了後の枠組みに関しては議論が開始されたばかりであるが、地球温暖化と温室効果ガスとの因果関係について科学的に明らかにされことなどを背景に今後活発に議論されるものと考えられる⁵。

次期枠組みに関する主要な議論は、「米国や豪州といった京都議定書未批准国や削減義務が課されていない途上国を含める実効性のある枠組みの構築のあり方について（気候変動に対応するための長期的協力のための行動に関する対話）」、「先進国及び市場経済移行国のさらなる削減約束に関するありかたについて（京都議定書3条9項）」、「今後GHGの排出増加が見込まれる途上国へも削減努力を実施させる枠組み作りについて（京都議定書9条）」の3項目である。すなわち、現在の京都議定書は米国や中国といった主要排出国が不参加であるために衡平性及び、実効性に欠けており、この3つのプロセスを通して世界全体で応分の排出削減に取り組む体制作りが今後の重要な問題となる。

一方、国連を中心としたフレームワークを補完するかたちで、省エネルギーを中心とした温室効果ガスの抑制に関する国際的な取り組みが進められている。具体的には、グレンイーグルズ行動計画やクリーン開発と気候に関するアジア太平洋パートナーシップである。いずれも、潜在的に省エネルギー量が大きいセクターを個別に特定化し、省エネルギー対策に係る検討及び実施により、エネルギーコストを抑えると同時にCO₂排出削減を目的とするものである。この考え方の背景には経済性を通じて実効性のある枠組みが構築できるとの考え方が基礎としてある。そのため、主要部門において比較可能なエネルギー効率指標とそれを用いたベンチマークの検討が行われているほか、各部門における利用可能な技術及び、政策に関するベストプラクティスの特定化を検討している。

国連による検討及び、それを補完する国際的な活動を通して将来の排出削減における取り組みを

¹ 本稿はあくまでも筆者の見解であり、ありうべき誤りはすべて筆者の責任である。

² 財団法人 日本エネルギー経済研究所 地球環境ユニット

連絡先：〒104-0054 東京都中央区勝どき 1-13-1; sakamoto@tky.ieej.or.jp

³ 青山学院大学 経済学部

⁴ 東北大学大学院環境科学研究科 博士課程後期

⁵ 2007年6月に開催されたG8・ハイリゲンダムサミットにおいて2050年半減目標が確認された。その前後には、安倍元首相の『美しい星50』の発表、米国・ブッシュ大統領によるエネルギー安全保障と気候変動に関する主要国会合の開催などが行われた。

論ずる際には、衡平性及び、実効性を考慮した枠組み作りに配慮する必要があり、そのためには排出主要国の様々な事情を考慮した上でどこに潜在的な排出削減量があるのかを特定化することが求められる。本研究の目的は、主要な GHG である二酸化炭素（以下、CO₂と略す）排出量データ、人口、及び経済データを用いて各国固有の排出特性を評価し、排出量との関係から推定された排出特性をその国が有する排出構造の効率性と考えることで潜在的な排出削減量を定量的に評価することである。具体的には、化石燃料の燃焼に伴う CO₂ 排出量に着目し、人口、GDP データとの関係についてパネルデータ分析を行う。これにより、これまで評価し切れなかった排出国の実情について各国でどの程度の差があるのかを明らかにする。たとえば、わが国では 2 度の石油危機を経験し、産業部門では省エネルギーに取り組んできた。その結果として、産業部門では 2006 年における CO₂ 排出量が 1990 年比 -5.6%（4 億 5,500 万 t-CO₂）の水準に達している。これはエネルギー利用効率の改善努力によるものであるが、各国における不断の努力、省エネに関する知識の集積度合は、その国のエネルギー市場における構造の違いなどもあり差があるものと考えられる。この差を埋めることが今後の枠組みにおいて検討すべき課題となるものと考えられる。

本研究における問題意識のもとで実証モデルを特定化する際には、CO₂ 排出量と社会・経済的要因との関係について検討を行うことが必要である。そこで、環境経済学において論じられる環境クズネツ曲線における環境汚染と経済成長との関係に着目し、実証モデルに関する考察を行った。環境クズネツ曲線とはある環境負荷と所得水準との関係において、ある一定の所得水準までは環境負荷の増加が見られるが、ある一定の所得水準を越えると環境負荷が減少するという関係（逆 U 字）を示したものである。CO₂ 排出抑制あるいは、エネルギー効率の改善のための投資は高額なものも多く、経済成長の最中にある場合には、生産規模の拡大のための設備投資に資金が向きやすい。そのため、CO₂ の排出抑制は後回しとなることが多い。しかし、成長が一巡し所得が十分大きくなると環境投資あるいは、省エネ投資への資金供給も可能となり、CO₂ の排出量は抑制されることとなる。前者については、中国やインドのようにまさに成長を続ける国の状況にあり⁶、後者については、一部先進国が該当するものと考えられる。

環境クズネツ曲線における研究は 1992 年に世界銀行が取りまとめた報告書のなかで行われた研究が初期のもの 1 つである。近年、わが国においても環境クズネツ曲線に関する研究が進んでいる。一連の研究を概観するものとして内藤（2006）がある。これは環境クズネツ曲線に関する多数の研究結果について広くサーベイを行ったものであり、本研究の位置付けを確認する一助となる。実証分析の分野では、内山（2007）があり、ここではパネルデータを利用し、CO₂ 排出において環境クズネツ曲線の成立を確認している。この推定に際しては、静的パネルデータ及び、動的パネルデータ分析を行っている点に特徴がある。また、矢口・園部（2007）では、国際比較データと日本の都道府県データを用いて環境クズネツ曲線の成立を確かめている。さらに、都道府県データによる大気環境物質排出量とエネルギー消費量の決定要因について分析を行っている。硫黄酸化物による大気汚染について、汚染源を有する地域や所得水準の高い地域において比較的速やかに防止対策が行われており、環境クズネツ曲線で論ずる仮説と整合的であるが、CO₂ 排出量は、都道府県レベルにおいて排出状況や所得水準とは無関係であるとの結果を導いている⁷。

本研究の構成は以下の通りである。本稿では、第 2 節で将来枠組みに関する動向を概観するとともに、そこで議論されている潜在的削減量に関する関心の高まりについても言及する。第 3 節では先行研究を踏まえ実証モデルについて検討を行い、第 4 節において分析結果をまとめる。最

⁶ ただし、今後の中国やインドといった途上国が、逆 U 字を描いて排出削減が進むかは分からない。たとえば、現在の国際的な取組みなどによりスムーズな排出削減の技術が行き渡れば、急激な削減も可能であろう。

⁷ また、環境クズネツ曲線を理論的に導出した研究として、Stokoy(1998)、Simone(2000)などがある。これらは最適成長理論を拡張したものである。

後に、分析結果をもとに今後の枠組みにおいては、現在京都議定書に参加をしていない主要排出国にも十分削減の余地が残されていることを明らかにする。また、今回の研究において残された課題についても検討を加え本稿を閉じることとする。

--

2 排出動向と温暖化交渉における最近の議論

2.1 主要国の二酸化炭素排出量

産業革命以来、化石燃料の利用と大量のエネルギー消費により経済発展を遂げてきたが、そこには、地球温暖化の原因と言われる GHG の 1 つである CO₂ の大量の放出が伴っていた。図 2-1 は UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) の GHG 排出インベントリーデータを下 に 1994 年における世界の GHG の排出量シェアを示したものである⁸。この図が示すように、GHG の約 7 割が CO₂ である。CO₂ 排出量のほぼすべてがエネルギー利用により排出されており(1994 年における付属書 I 国の 99.9%がエネルギー利用による)、気候変動問題における大きな課題としてエネルギー問題が取り上げられる理由である。

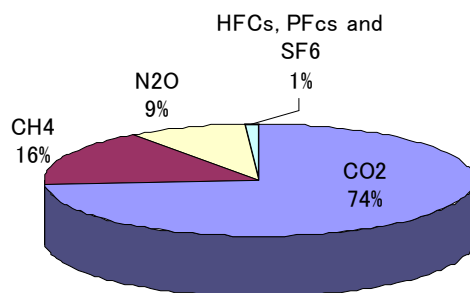


図 2-1 1994 年における世界の温室効果ガス排出量シェア

(出所)UNFCCC ホームページ (<http://unfccc.int/>)

(注)非付属書 I 国を含む。データは LULUCF を除いたものを使用。

図 2-2 は、最近までの世界主要国における化石燃料の燃焼に伴う CO₂ 排出量の推移を示したものである。2004 年における世界の CO₂ 排出量は 1990 年比約 26%増の 256 億 t-CO₂であった。世界最大の排出国は米国で 2004 年において同比約 18 増の 59 億 t-CO₂、次いで中国が同比 98%増の 48 億 t-CO₂であった。同年における両国の CO₂ 排出量は世界全体の 40%を占めており、いずれも京都議定書の下で排出削減目標を持たない国である。

⁸付属書 I 国及び、非付属書 I 国の合計である 141 カ国のデータより計算。

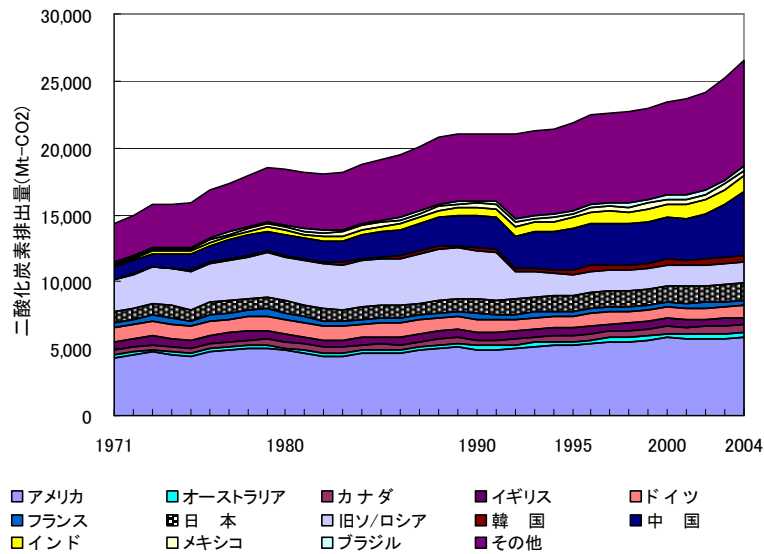


図 2-2 主要国の二酸化炭素排出量推移

(出所)EDMC「統計要覧 2007」

2.2 主要国のエネルギー効率

各国の CO₂ 排出量は効率的なエネルギー利用の程度によって大きく左右される。特に、わが国は 2 度の石油危機を経験し産業部門を中心に省エネルギー化を実現してきた。図 2-3 は一次エネルギー総供給を GDP で除したエネルギー原単位の推移である。GDP は 2000 年価格で実質化したドル評価によるものである。このグラフによれば、日本は自国の付加価値を生産するために供するエネルギーを最も効率的に消費していることがわかる。

一方、米国、ドイツ、フランス、英国の水準は、日本同様石油危機を境にエネルギー原単位は改善されているが、その水準は英国の 0.15 と比べても日本の水準の約 1.25 倍の大きさである。また、アジア経済が歩んだ経済成長の経路において、発展段階に入ったのは石油危機後であったことにより、韓国のエネルギー原単位はアジア通貨危機の 1997 年まで悪化の傾向を示している。

各国のエネルギー原単位が大きく異なることから分かる通り、GHG を効率的に削減するには、各国におけるエネルギー消費効率の実態と効率改善のポテンシャルを把握し、GHG 排出量削減に向けた取組みのあり方を考える必要がある。その際には、わが国が進めた省エネルギーへの取組みに関する様々な経験は、他の国における今後のエネルギー消費効率改善あるいは、GHG 排出量削減に有益な示唆が与えられるものとする。

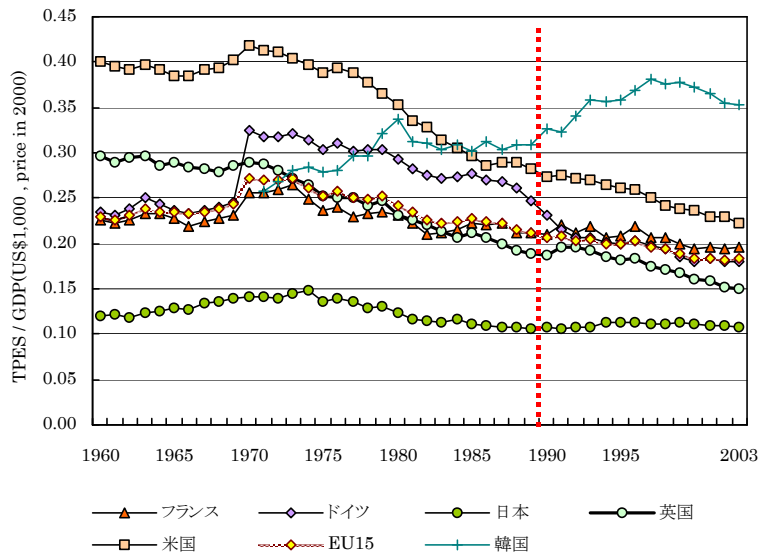


図 2-3 主要国におけるエネルギー原単位の推移

(出所) IEA, Energy Balances of OECD Countries 及び世銀より作成

--

2.3 温暖化交渉における最近の議論

次期枠組みに関する議論の1つに京都議定書第3条9項に基づき先進国及び、市場経済移行国のさらなる削減約束に関するあり方について検討を進めている。検討に際しては、ホック・ワーキンググループ (AWG) において、先進国の削減ポテンシャルと削減目標の幅に関する要素や基準について分析を行っているが、この分析を通じて全締約国間において排出目標に関する共通認識の形成を図ることとしている。

2.2節において、GHG 排出量削減に向けた取組みのあり方を考える際には、各国におけるエネルギー消費効率の実態と効率改善のポテンシャルを把握することが必要であると述べたが、将来枠組みにおける検討において、削減ポテンシャルの評価は重要なものとなっている。

先進国の削減約束の検討に加えて、京都議定書第9条に基づき今後 GHG の排出増加が見込まれる途上国へも削減努力を実施させる枠組み作りについての検討も行われている。加えて、気候変動に対応するための長期的協力のための行動に関する対話において、京都議定書未批准国や途上国も含めた全ての国の参加が最大限の削減努力をする効果的な枠組みを構築に向けて検討をしている。

次期枠組みにおけるこれらの取組みは、現行の京都議定書における課題の克服を目指すものである。すなわち、米国や中国、インドといった主要排出国に削減義務が課せられていないことによる衡平性の欠如が存在することである。また、京都議定書を批准する国の間においても GHG を削減するコストが異なることから、費用負担を均等にするといった目標作りが求められている。次期枠組みにおいて着実に GHG を削減するためには、先進国と途上国及び、先進国間における衡平性を如何に担保することが可能かを探っていくことになる。その際、主要排出国における削減ポテンシャルの大きさを知ることが必要であるということは、最近の温暖化交渉における議論から推して知ることができる。

--

3 実証モデルとデータ

3.1 データ

本項では、実証分析を行うために用いたデータについて概観する。今回の実証分析において用いたデータセットは、豪州、ブラジル、カナダ、中国、フランス、ドイツ、インド、日本、韓国、メキシコ、ロシア、南アフリカ、英国、米国の 14 カ国について、1992 年から 2004 年までの時系列データを基本とした。

分析の対象とした 14 カ国は、次期枠組みにおいて参加が期待される主要国である。現在の枠組みにおける関係について図 3-1 で表した。議定書において削減義務が課せられていない中国、インド、韓国はアジア・太平洋パートナーシップに加盟している。目標達成が困難なわが国及び、この 14 カ国で世界の化石燃料の燃焼による CO₂ 排出量の約 7 割を占めている。また、時系列で 1992 年からとしたのは、旧ソ連と現在のロシアとの間でデータに断裂が生じているためである。

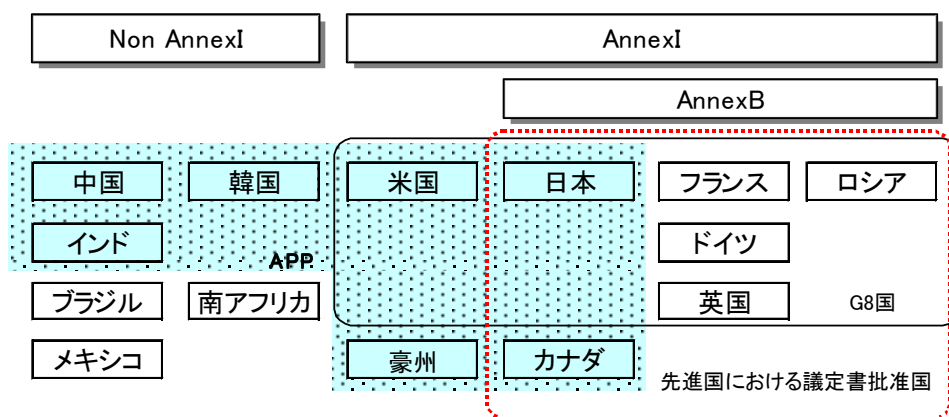


図 3-1 対象とする国の関係図

(註) 網掛けの部分は APP(アジア・太平洋パートナーシップ)参加国

各国のエネルギーデータは、IEA (International Energy Agency) のエネルギーバランス表から一次エネルギー供給 (TPES) データを用いた。一次エネルギー供給とは、1 国内に供給されるエネルギー量のことである。CO₂ データを一次エネルギー供給データで除して、エネルギーあたりの CO₂ 排出量データを作成する際に利用する。エネルギーあたりの CO₂ 排出量は、原子力発電や再生可能エネルギーの割合が高い国において小さくなる。

CO₂ 排出量データについても、IEA が毎年公表している”CO₂ emission from fuel combustion 2004 edition”を用いた。この排出量データは、化石燃料の燃焼による CO₂ 排出量であり、先に述べたエネルギーバランス表にあるエネルギー消費量と換算係数から求めている。その際、IPCC のガイドラインに沿って排出量を計算している。また、GDP (PPP) 及び、人口については世界銀行の”World development indicators”を用いた。

--

3.2 推定モデル

本節では、パネルデータ分析を用いた各国の排出属性を評価するための実証モデルについて概観する。本研究では、近年、理論的側面及び、実証的側面から多数の研究成果が出されている環

環境クズネツ曲線の推計の際に用いられる実証モデルを援用した。環境クズネツ曲線は環境負荷と所得水準との関係において、ある一定の所得水準までは環境負荷の増加が見られるが、ある一定の所得水準を越えると環境負荷が減少するという関係（逆U字）を示したものであり、横軸に経済成長の程度をとり、縦軸に汚染の程度をとると、両者の関係は逆U字型の曲線が描けるとするものである。

環境クズネツ曲線における研究は、まず経験的に知られた経済成長と環境汚染との関係について、データを用いた実証分析が試みられた。Selden and Song(1994)は、大気汚染物質(二酸化硫黄、亜酸化窒素、SPM、一酸化炭素)に着目し、経済成長との関係をパネルデータ分析している。一方、実証分析が進むなか、環境クズネツ曲線に関する理論的考察も行われている。Stokey(1998)は汚染と一人当たり所得との関係について新古典派成長理論の枠組みで環境クズネツ曲線の仮説を分析している。その他に多くの研究者が理論的研究及び、実証分析を試みているが、いわゆる逆U字型のカーブを描くことが確かめられている。しかしながら、その多くは、大気汚染関連との関係のものである。Arrow et al.(1995)はCO₂のような広範囲に及ぶ物質について留意する必要があると指摘している。

多くの環境クズネツ曲線の実証分析において、その推計モデルは一人当たりの汚染物質を非説明変数とし1次と2次の一人当たりの所得変数を基本形とし、人口や国土面積などの追加的な変数を加えたものである。本研究において汚染物質は化石燃料の燃焼による二酸化炭素(co_{2it})とし、所得変数は購買力平価によるGDP(gdp_{it})とした。また、一人当たりの指標化には人口(pop_{it})を除した。パネルデータ分析による推計モデルの基本形は以下の通りである。

$$\text{基本形} \quad co_{2it}/pop_{it} = \alpha_i + \beta_1 gdp_{it}/pop_{it} + \beta_2 (gdp_{it}/pop_{it})^2 + \varepsilon_{it} \quad (3-1)$$

ここで*i*は個別主体(国)、*t*は期間である。 α_i は個別効果を表すパラメータである。これは観察が不可能な各国の属性を表すものと理解することができる。このパラメータが大きいことは、その国の経済成長の過程で固定的に排出されるCO₂が大きいことを意味するが、他の国との比較において改善ポテンシャルとして評価を試みる。期待されるパラメータの符号条件であるが、 $\beta_1 > 0$ 及び、 $\beta_2 < 0$ である。

また、化石燃料の燃焼によるCO₂排出量は各国のエネルギー構成に大きく左右される。たとえば、原子力発電や水力発電を利用すれば、火力発電による電力供給を主とする国に比べてその排出量は小さい。また、原子力発電や風力、太陽光といった再生可能エネルギーによる発電は化石燃料による発電に比べてそのコストが高い。環境クズネツ曲線に従えば、ある国で消費するエネルギーに占めるCO₂排出量は途上国に比べて先進国の方が低いと考えられる。そこで、エネルギー消費に占めるCO₂排出量を一次エネルギー供給($tpes_{it}$)に占める排出量として、以下の推計モデルによる検討も行うこととする。符号条件については、基本形(3-1)と同じである。

$$\text{推計モデル} \quad co_{2it}/tpes_{it} = \alpha_i + \beta_1 gdp_{it} + \beta_2 gdp_{it}^2 + \varepsilon_{it} \quad (3-2)$$

表 3-1 は推計モデルをまとめたものである。その結果は4節において紹介する。

表 3-1 推計モデル一覧（固定効果モデル）

<i>model 1</i>	$co_{2it} / pop_{it} = \alpha_i + \beta_1 gdp_{it} / pop_{it} + \beta_2 (gdp_{it} / pop_{it})^2 + \varepsilon_{it}$	(3-3)
<i>model 2</i>	$co_{2it} / pop_{it} = \alpha_i + \beta_1 gdp_{it} / pop_{it} + \beta_2 (gdp_{it} / pop_{it})^2 + tpes_{it} + \varepsilon_{it}$	(3-4)
<i>model 3</i>	$co_{2it} / tpes_{it} = \alpha_i + \beta_1 gdp_{it} + \beta_2 gdp_{it}^2 + pop_{it} + \varepsilon_{it}$	(3-5)
<i>model 4</i>	$co_{2it} / tpes_{it} = \alpha_i + \beta_1 gdp_{it} / pop_{it} + \beta_2 (gdp_{it} / pop_{it})^2 + \varepsilon_{it}$	(3-6)

--

4 分析結果

以下に実証分析の結果を示す。表 4-1 は環境クズネツツ曲線を推計する際の基本形である推計モデル 1 における固定効果モデルの結果を示している。パラメータの符号条件は、 $\beta_1 > 0$ 及び、 $\beta_2 < 0$ と期待されたものと一致した。その他のモデルについては、付属資料に示してある。

表 4-1 は固定効果モデルによる推計結果を示したものである。個別属性を表すパラメータ α_i は正の値から負の値まで推計された。推計モデルは、1 人当たり CO₂ 排出量と 1 人当たり GDP との関係を示したものであり、個別属性の値が高い国は同じ 1 人当たり GDP の水準において多くの排出構造を有すると理解することができ、相対的に非効率な構造を持つと解釈することができる。個別属性がもっとも大きい国は米国、もっとも小さい国はフランスという結果を得た。モデル 3、4 はパラメータの符号条件が期待されたものと一致しないという結果となった。自由度修正済み決定係数を見るといずれも 0.97 と高い値だが、符号条件が期待されたものと一致するモデル 1 や 2 の 0.99 に比べて小さい。このことから、牛などの糞尿をエネルギーとして利用する途上国があるが、このような各国におけるエネルギーの使い方を考慮した説明変数が不足している点が考えられる。

その他の推定モデルの結果は付属資料に示した。推定モデル 1 にエネルギー項を加えたモデル 2 では、 gdp_{it} / pop_{it} 及び、 $(gdp_{it} / pop_{it})^2$ のパラメータが期待されたものと一致した。また、1 次エネルギー総供給の項は統計上有意な結果を得られなかったが、その符号は化石燃料を主とするエネルギーの利用により CO₂ を排出するという関係を表していると考えられる。

すべての国について個別属性に差があるかどうかを仮説検定した。検定統計量は制約のない残差平方和と制約のある残差平方和から F 統計量を計算して検定を行う（表 4-1 の F-test I）。検定の結果、すべての国について差があるという帰無仮説は棄却された。

なお、個別属性を現す α_i を確率変数とする変量効果モデルの推計も行った。その結果は表 4-2 の通りである。傾きを表すパラメータは固定効果モデルとあまり変わらない。その他の推計モデルにおける結果は付属資料に示した。さらに、固定効果モデルと変量効果モデルにおける特定化についてハウスマン検定を行った結果は表 4-3 の通りである。いずれの推計モデルも有意水準 1%、5% で帰無仮説が採択されることから、変量効果モデルによって推計したパラメータの方が統計的に効率的であるとの結果を得た。

表 4-1 固定効果モデルによる推計結果 (model 1)

	coefficient	t-value		
gdp/pop	5.239E-10	7.79 **	Ajusted R-squared	0.99
(gdp/pop) ²	-7.082E-15	-5.12 **		
consAU	8.204E-06		sample size	182
consBRZ	-1.709E-06			
consCN	7.684E-06		F-test I	
consCH	6.995E-07		F(13, 166)	940 **
consFR	-2.233E-06			
consGE	1.922E-06		F-test II	
consIN	-2.524E-07		F(26, 140)	9.736 **
consJP	3.698E-07			
consKR	2.177E-06			
consMX	-3.416E-07			
consRU	7.291E-06			
consSAF	2.594E-06			
consUK	4.077E-07			
consUS	1.018E-05			

(注) **は 1%水準で有意、*は 5%水準で有意であることを意味する。
 F-test I は定数項がすべて等しいとする仮説検定の結果
 F-test II は傾きがすべて等しいとする仮説検定の結果

表 4-2 変量効果モデルによる推計結果 (model 1)

	coefficient	t-value
gdp/pop	5.431E-10	8.35 **
(gdp/pop) ²	-7.370E-15	-5.44 **
cons	2.430E-06	2.16 *
Ajusted R-squared		0.570
sample size		182

(注) **は 1%水準で有意、*は 5%水準で有意であることを意味する。

表 4-3 推計モデルにおけるハウスマン検定の結果

Model	Hausman test
Model 1	1.30 -
Model 2	0.54 -
Model 3	0.00 -
Model 4	1.29 -

(注) **は 1%水準で有意、*は 5%水準で有意であることを意味する。

5 おわりに

本研究では、次期枠組みにおけるこれらの取組みにおいて現行の京都議定書が抱える課題克服を目指すために、主要国における CO₂ 排出量及び、マクロ経済データによるパネルデータ分析を行い、主要国の排出における個別属性の評価を行った。衡平な枠組み作りにおいて各国の排出属性を評価することで、将来の負担割合に対する示唆を得るためである。

図 5-1 は推定モデル 1 において固定効果モデルで推計した各国の個別属性をグラフ化したものである。ここでは日本を 1 としたものである。ただし、統計的には固定効果モデルを採用することが出来なかったため、パラメータの符号条件を満たす推定モデル 1 の結果を示した。

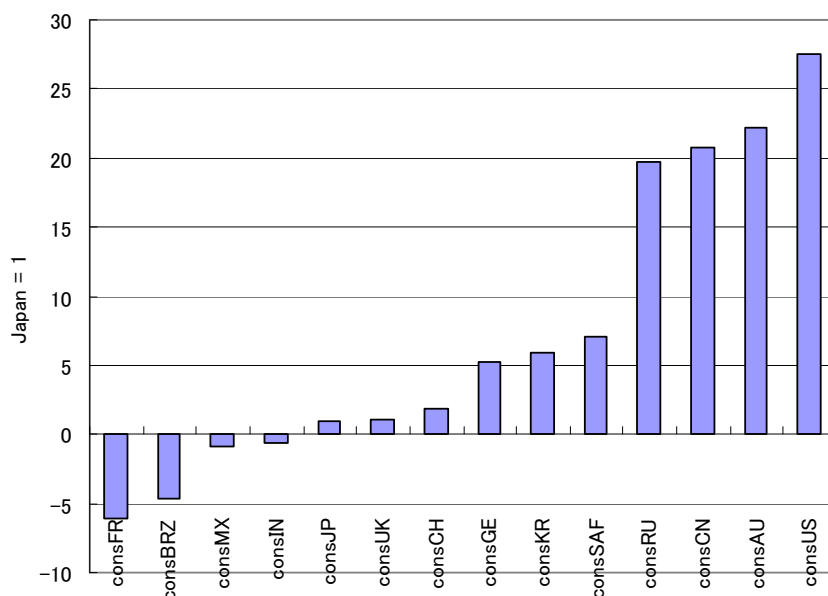


図 5-1 排出主要国の個別属性評価（モデル 1）

(注) 日本の固定効果の推定値を 1 として評価している。

個別属性を各国別に見ると、フランスが最も小さい値となった。今回推計に利用したデータは化石燃料の燃焼による CO₂ である。フランスは原子力発電の割合が大きいく、発電部門における CO₂ 排出量が他の先進国に比べて小さいことが起因していると考えられる。各国のエネルギー市場を考慮した個別属性の評価については今後検討を行う点の 1 つであろう。[n1]

一方、最も大きい値となったのは米国であるが、主要国においても CO₂ 排出の排出量が多い同国が今後の次期枠組みにおいて排出削減に取り組むべき国であるとともに、十分排出削減の余地があるものと考えられる。

わが国は、先進國中フランスに次いで値が小さいという結果になった。これは 2 度の石油危機を通じた省エネ化への取組みと省エネ技術の開発や知識の蓄積そして経験を通じて排出抑制を行ってきた事実と整合的であると考えられる。

現在、国連のもとで次期枠組みの検討を進めているほかに、国際的な取組みとしてグレンイーグルズ行動計画やアジア・太平洋パートナーシップがある。これらの取組みは削減余地が残され

ている産業部門を有する国を特定化し、削減技術を有する国から削減余地のある国へ様々なインセンティブを付与することで削減技術を移転し、実効性のある削減を行うことを目指すもので、セクトラル・アプローチと呼ばれるものである。本研究は、このセクトラル・アプローチによる取組みを評価するツールとしてさらに検討を進めていきたい。そのためには、セクター別の評価を行うためのモデルを検討することが必要である。たとえば、セクター別に CO₂ 排出削減費用関数の検討と推定モデルによる推計を行うとともに、その結果を応用一般均衡モデルあるいは、最適成長理論を援用した最適化モデルのパラメータとしたモデル評価の実施を行うことを考えている。

参考文献

- [1] Arrow, Kenneth, Bert Bolin, Robert Costanza, Partha Dasgupta, Carl Folke, C. S. Holling, Bengt-Owe Jansson, Simon Levin, Karl-Goran Maler, Charles Perrings, and David Pimentel.(1995) "Economic growth, carrying capacity, and the environment," *SCIENCE*, Vol. 268, pp. 520-521.
- [2] Selden, Thomas M. and Song Daqing.(1994) "Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 27, Issue 2, pp. 147-162.
- [3] Stokey, Nancy L..(1998) "Are There Limits to Growth?," *International Economic Review*, Vol. 39, No. 1, pp. 1-31.
- [4] 内山勝久 (2007) 「二酸化炭素と環境クズネッツ曲線—ダイナミック・パネルデータ推定による検証—」『経済経営研究』Vol. 27, No. 3
- [5] 内藤登世一 (2006) 「環境クズネッツ曲線仮説」に関する論文サーベイ」『京都学園大学経済学部論集』
- [6] 矢口優・園部哲史 (2007) 「経済発展と環境問題—環境クズネッツ・カーブ仮説の再検討—」清野一治・新保一成編『地球環境保護への制度設計』東京大学出版会

付属資料

推計結果⁹

表. 付属資料- 1 推定モデル 2 の結果 (固定効果モデル)

	coefficient	t-value		
gdp/pop	4.861E-10	6.49 **	Ajusted R-squared	0.99
(gdp/pop) ²	-6.552E-15	-4.49 **		
tpes	7.027E-13	1.14 ·	sample size	182
consAU	8.732E-06			
consBRZ	-1.592E-06		F-test I	
consCN	8.128E-06		F(13, 165)	810.24 **
consCH	4.067E-08			
consFR	-1.804E-06		F-test II	
consGE	2.287E-06		F(39, 126)	21.581 **
consIN	-5.062E-07			
consJP	6.303E-07			
consKR	2.503E-06			
consMX	-1.647E-07			
consRU	7.085E-06			
consSAF	2.828E-06			
consUK	8.557E-07			
consUS	9.309E-06			

表. 付属資料- 2 推定モデル 3 の結果 (固定効果モデル)

	coefficient	t-value		
gdp	-5.622E-17	-1.57 ·	Ajusted R-squared	0.97
gdp ²	4.997E-30	1.91 ·		
pop	2.746E-13	1.91 ·	sample size	182
consAU	3.047E-03			
consBRZ	1.593E-03		F-test I	
consCN	2.086E-03		F(13, 165)	481.57 **
consCH	2.633E-03			
consFR	1.528E-03		F-test II	
consGE	2.564E-03		F(25, 140)	9.6029 **
consIN	1.666E-03			
consJP	2.360E-03			
consKR	2.337E-03			
consMX	2.341E-03			
consRU	2.465E-03			
consSAF	2.673E-03			
consUK	2.382E-03			
consUS	2.509E-03			

⁹ 結果表の見方は第 4 節と同じである。

表. 付属資料- 3 推定モデル 4 の結果 (固定効果モデル)

	coefficient	t-value		
gdp/pop	-2.403E-08	-2.1909136 *	Ajusted R-squared	0.97
(gdp/pop) ²	3.879E-13	1.7164693 -		
consAU	3.381E-03		sample size	182
consBRZ	1.729E-03			
consCN	2.412E-03		F-test I	
consCH	2.916E-03		F(13, 166)	522.77 **
consFR	1.829E-03			
consGE	2.850E-03		F-test II	
consIN	1.888E-03		F(26, 140)	7.2412 **
consJP	2.627E-03			
consKR	2.585E-03			
consMX	2.499E-03			
consRU	2.605E-03			
consSAF	2.856E-03			
consUK	2.682E-03			
consUS	2.853E-03			

表. 付属資料- 4 推定モデル 2 の結果 (変量効果モデル)

	coefficient	t-value
gdp/pop	5.055E-10	7.21 **
(gdp/pop) ²	-6.873E-15	-4.93 **
tpes	8.492E-13	1.49 -
cons	2.464E-06	2.31 *
Adjusted R-squared		0.626
sample size		182

表. 付属資料- 5 推定モデル 3 の結果 (変量効果モデル)

	coefficient	t-value
gdp	-5.262E-17	-1.56 -
gdp ²	8.395E-30	1.36 -
pop	2.580E-13	1.92 -
cons	2.263E-03	18.37 **
Adjusted R-squared		0.025
sample size		182

表. 付属資料- 6 推定モデル 4 の結果 (変量効果モデル)

	coefficient	t-value
gdp/pop	-1.998E-08	-1.93 -
(gdp/pop) ²	3.191E-13	1.468 -
cons	2.509E-03	16.667 **
Adjusted R-squared		-0.01
sample size		182