

持続可能な発展と世界の環境クズネツツ曲線の研究

—経済発展と環境保全の両立を目指して—

野 上 健 治 (社会環境学科)

A Study on Sustainable Development and Environmental Kuznets Curve in the World —Trying to Achieve both Environmental Preservation and Economic Growth—

Kenji NOGAMI (Department of Social and Environmental Studies)

Abstract

In advanced countries there has been a common understanding that economic growth causes deterioration of the environments since 1970s. Is this understanding actually true? In other words, is it true that Environmental preservation cannot be compatible with Economic growth? Environmental Kuznets Curve (EKC), however, implies that environmental preservation could be compatible with economic development. Firstly, this paper discusses theoretically the compatibility of environmental preservation and economic growth. Subsequently, based upon the applicable statistical time series data (1971~2006), we test and analyze the EKC of Japan, China, Korea, India, USA, and EU15 (15 EU countries) between the income and CO₂ emissions.

Key words: *EKC, Sustainable Development, Environmental preservation, An advantage of later participation, Economic growth.*

1. はじめに

先進諸国では、経済成長は環境悪化という「歪み」を生んだという認識が1970年代から広がっていった。そこで環境を保全するために、経済成長の速度を落とすこと、あるいはゼロ成長を目指すべきといった主張が出てきた。『スモールイズビューティフル』という書名を掲げた本(E. F. Schumacher 著, 1973年)が世界的にベストセラーになったのもこの頃であった。

他方では、環境対策を進めると経済成長は犠牲になるという理由で、いまだに必要な対策に消極的な企業経営者もいる。環境保全が経済成長を制約するとか、環境と経済成長は両立しないという議論は、本当に正しいのだろうか。

ややデータは古いが、1970~80年代の先進諸国を対象にして、環境対策が経済成長に及ぼした影響を測った調査がある。それによると、マイナスの影響が出た場合でも、せいぜいGNP 1%以内であり、逆に同じような範囲でGNPを押し上げた国の例もいくつか見られた。要するに、環境対策の経済成長に与える影響は意外に小さく、しかもプラ

ス、マイナスの両方向に働くのである(Pearce and Warford (1993) pp44-45)。

ただしこうした事例は、公害といった局地的な環境対策が主な課題であった時代のものであったことに留意しなければならない。温暖化ガス削減のように、地球規模の対策になってくると、影響の範囲がはるかに広く、大きくなるかもしれない。

このように環境問題が変質してくると、果たして経済成長に及ぼす影響も変わってくるのだろうか。

環境保全と経済成長とが必ずしも対立しないことは、環境クズネツツ曲線(EKC)として広く知られるようになった現象からも示唆される。本稿では、次章以下、「環境保全と経済成長は両立するか」について理論的な検討を行う。さらにその後、日本、中国、韓国、インド、米国の5カ国及びEU地域15カ国の地域集合体(EU15地域と呼ぶ)^(注1)を取り上げて、所得の増加とCO₂排出量との関係におけるEKCの実証分析を行い、その妥当性等について検討する。

2. 環境保全と経済成長は両立するか

2.1 価格・費用関係と需要

環境対策が経済成長に及ぼす効果をまず価格・費用関係

から考えてみよう。

経済成長とは、いうまでもなく GDP の規模が大きくなることである。逆にマイナス成長は、GDP の規模が小さくなる（減少する）ことを意味するが、以下では GDP が増加するか、しないかに着目する。GDP が増加していても、その増加率が低下すること（低成長）もあるが、成長率が高いか低いかは、さしあたり度外視することにする。

環境対策が講じられると、多くの場合は生産費用を押し上げることになる。自動車の排ガス規制が導入されて、新たに排ガス装置をつける必要が生じたとしよう。そうになると、自動車の生産費は排ガス装置を取り付ける分だけ増加する。それがどのような影響を及ぼすかは、第1に、生産費の増加がどこまで価格に転嫁されるか、第2に、影響を売上高でみるか、利益（付加価値）でみるかによって違ってくる。GDP に算入されるのは、後者の付加価値である。

生産費の増加分を価格に転嫁しない場合

まず、生産費の増加分を販売価格に転嫁できないと仮定すると、その分だけ当該企業（ないし産業）の付加価値が縮小することは避けられない。しかし、販売価格は変わらないので、売上高に変化はない。その一方で、増加した環境費用は、排ガス装置の生産部門の新たな需要を生み出す。この追加的な需要は、自動車製造企業の付加価値の縮小分に対応し、排ガス装置企業の付加価値（利益）も増大させる。そして全体としては、以下でみるように GDP は変化しない。

排ガス装置企業の売上増加は利益も増加させるが、この利益の増加分は、売上高の増加よりも生産費用の分だけ小さくなる。したがって、この限りでは、排ガス装置企業の付加価値増加分は、自動車企業の付加価値の減少額に比べて小さくなる。しかし、前者の生産費に当たる部分は、その原材料への需要を増加させ、原材料の生産企業には売上高と利益の増加をもたらす、そしてまた……、というように、この連鎖は無限に続いていく。

結局、自動車製造企業の利益減少は、産業連関によってつながった多数の企業の利益増加によって相殺されるのである。

しかし、厳格な環境基準の導入が排ガス装置の生産部門に新たな投資を誘発すれば、需要の連鎖を通じて、かえって GDP が増えることもある。

生産費の増加を価格に転嫁する場合

環境対策費用が転嫁されて、価格が上昇した場合にはどうなるだろうか。まず、売上高がどのように変化するかを考える。図1では供給曲線が SS から S'S'へ移動する場合を想定している。需要曲線 D_1D_1 のように需要の価格弾力性が大きいと、需要が a_1 から a_2 まで大きく減少する。供給曲線が移動する前の需要（＝供給）額は $Oa_1c_1e_1$ の面積で表されるのに対し、移動後は、 $Oa_2c_2e_2$ の面積になる。この場合

は、 $a_1c_1ga_2$ の面積と $e_1gc_2e_2$ の面積とを比べると分かるように、前者が後者よりも大きい。すなわち、売上高は減少したのである。しかし、たとえ価格が上昇しても、需要曲線 D_2D_2 のように、 b_1 から b_2 までその品目に対する需要がさほど減少しなければ（価格弾力性が小さければ）、売上高はかえって増大することもある。供給曲線が移動する前の供給が一致したときの額は、 $Ob_1d_1f_1$ の面積で表されるのに対し、移動後の額は $Ob_2d_2f_2$ で表される。図では $b_1d_1hb_2$ の面積と $f_1f_2d_2h$ の面積を比べると分かるように、前者よりも後者のほうがむしろ大きくなっている。

追加費用が環境税の場合

追加費用が環境税という形をとって、政府部門に吸収される場合を考えてみよう。

財政収支に中立的という原則が保たれる限りは、他の税項目で同じ額の減税が行われたり、あるいは最終的に、同額の政府支出を呼び起こしたりする。したがって、この場合でも全体として GDP に対して、プラスにしるマイナスにしる影響を及ぼすことはないのである。しかし、環境税の歳入を引当てに、非効率な税が整理されたり、撤廃されたりすると、かえって経済成長が実現する場合もある。

以上のように売上高は減ることも、増えることもあるが、自動車会社の利益（付加価値）はどのような影響を受けるだろうか。増加した費用が全て販売価格に転嫁されると、1台当りの利益は変わらない。しかし、販売価格が上昇したことで、自動車の売れ行きは、多かれ少なかれ落ちることが予想される。そうすると付加価値の合計は減少せざるを得ない。しかしどこまで売れ行きが落ちるかは、消費者がどの程度、価格変化に敏感であるか（需要の価格弾力性）によって、決まってくる。例え価格が上昇しても、下図のように、自動車の売れ行きがさほど減少しなければ、自動車会社の利益もそれほど低下しない。

また、自動車会社が生産費用の増加をすべて販売価格に転嫁しないと、売れ行きも付加価値合計も異なってくる。要するに、価格がどの程度まで押し上げられるか、またそれに応じて需要がどの程度減少するかによって、企業の利益減少の程度は変わってくるのである。

とはいえ、経済全体への影響となると、もう1つの因果関係を忘れてはならない。

自動車の排ガス装置には新たな需要が生まれるので、その乗数効果が大きければ、GDP が伸びる可能性も大きくなる。この影響によって GDP が増加すると、先程述べた自動車への需要にも跳ね返ってくるかもしれない。

価格上昇によって需要が減る効果（価格効果）は、GDP の増加につれて販売が増える効果（所得効果）によって相殺されるかも知れないのである。このような因果関係まで含めて考えると、環境対策が経済全体の成長を抑制するかどうかは、需要動向やそれに関連した投資の波及効果次第で、いちがいには何とも決めがたいのである。

もっとも、環境対策の技術が新たに有害物質を生み出すこともあり、そうなると、また別の環境対策が必要になるが、その後の影響は、上に述べたことの繰返しになるだけで、大筋は同じ論理で考えればよい。

以上の展開において、需要が次々に波及して経済が成長するという想定は、ケインズ理論の乗数効果と同じく、暗黙のうちに生産要素に余裕がある状態を前提としているが、逆に、逼迫しているときには、潜在需要があっても生産増加にはつながらないのは当然である。とはいえ、多くの国（主として途上国）では生産要素の不完全雇用が一般に見られるので、波及効果が実現する可能性は大きいといえるだろう。

2.2 環境改善に必要な経済成長

環境対策を講じても経済成長を阻害するとは限らないことは、以上でほぼ明らかになったと思われるが、他方では、より積極的に、環境保全と経済成長は両立する、あるいは両立させるべきという理由もいくつか挙げることができる。

第1に、環境対策を進める上で、例えば社会資本の整備にはかなり大きな額の資金が必要になる。たしかに社会資本の中には、道路建設のように環境保全に逆行する場合もあるが、公共交通機関や下水道の整備が環境の改善に必須の条件になることは明らかであろう。

交通渋滞や大気汚染の弊害が著しい東南アジアの大都市では、バンコクで高架鉄道が建設され、ジャカルタでは地下鉄の建設が進んでいる。こうした社会資本の整備に必要な資金は、結局、経済成長によってまかなうしかない。発展途上国の資金不足は、当面は経済援助や外資導入によって解決できるが、中長期的には、それらを返済するために経済成長が必要になる。仮に、寛大な先進諸国が借款援助の条件を緩和したり、贈与に切り替えたりすると、途上国の元利払いの負担は軽減されるかもしれない。しかしその場合でも、先進諸国の国民は大幅な所得の低下までは受け入れないであろう。とすると、対途上国への寛大な援助を可能にするように、先進諸国内部の成長によってパイ（GDP）を大きくすることが必要になる。

第2に、環境に配慮した設備（例えば、排気ガス規制に適合したものは、新規投資によって初めて可能になる。そして新規投資を可能にする条件は、やはり成長（の見通し）である。一般的には事後的な環境浄化よりも、事前的な対策のほうが費用は小さくてすむといわれる。途上国が先進国から環境対策技術を移入するには、資金ばかりではなく、その動機付けが必要になり、その場合も、鍵になるのは成長の見通しであるといつてよい。

3. 環境クズネツ曲線（EKC）とは

環境保全と経済成長とが必ずしも対立しないことは、「は

じめに」でも述べたように、環境クズネツ曲線（EKC）として広く知られるようになった現象からも示唆される。

以下のセクションでは、環境クズネツ曲線（EKC）について論考する。

経済発展論において所得格差と経済発展との関係については、「クズネツ曲線」に関する議論が有名である。クズネツ（S.Kuznets）は、長期の経済成長に関する理論的、実証的研究によって1971年にノーベル経済学賞を授与された。

クズネツの仮説は、（一人当たり）所得が上昇するにつれて格差は拡大するが、所得がある一定水準を超えると逆に格差は縮小するというものであり、つまり、経済が成長するにつれて相対的貧困は解消していくという含意であり、先進諸国が19世紀以来たどってきた歴史とほぼ符合している。この経験的な事実の検証により、経験則としての「クズネツ曲線」が注目されたのであった（図2参照）。

以上のような「クズネツ曲線」の縦軸を表す経済格差を環境悪化（汚染）に置き換えると「環境クズネツ曲線（EKC）」となり、その後の説明は基本的に同じことである。

このように環境汚染と所得水準の間にいわれる逆U字型の曲線が見られることは、World Bank（1992）『世界開発報告1992年』の紹介がきっかけになり、その後、環境経済学者の間で流行の研究テーマになっている。

しかしながら、世銀の報告書は、EKCという用語を使っているわけではなく、また、環境汚染の種類によっては、必ずしも逆U字型の曲線ではなく、右下がりの曲線も右上がりの曲線もあり得ることを指摘している（図4参照）。

例えば、良質な飲料水や衛生設備を享受できない人口数には、単純な右下がり曲線が見られる。すなわち、飲料水の質や公衆衛生は、所得が上昇するにつれて改善するというのである。この点は、上下水道や衛生設備の拡充にはかなりの資金が必要になるので、理解しやすい。他方、二酸化硫黄（SO₂）や粉塵・煤煙（浮遊性粒子状物質、SPM：suspended particulate matter）の排出には、逆U字型のクズネツ曲線が妥当するとされている。ところが、都市の廃棄物やCO₂には単純な右上がり曲線が現れる。これはたいへん気になるところである。所得が増加するにつれてCO₂の排出量も増加する。換言すれば、排出を減少させようとするれば、マイナス成長は避けたいことになるからである。もっとも、CO₂排出量を一人当たり所得の2次式に回帰させると符号はマイナス、すなわち、逆U字型の曲線が成立するという説もある。

EKCが妥当するとすれば、どのような理由が考えられるかという点、第1に、産業構造の転換があげられる。ペティ＝クラークの法則によれば、経済は第一次産業→第二次産業→第三次産業とその発展段階に応じて構造が転換していく。経済が第一次産業から第二次産業へ重点を移すにつれ

て、環境は劣化するが、やがてその後、第三次産業（サービス業や情報集約的産業）が比重を増すにつれて、環境への負荷が減少すると予想されるからである。

たしかに工業は有害な化学物質や重金属の発生源である。しかし、エネルギー消費を例にとると、第三次産業が必ずしも小さいとはいえない。また所得や生活水準が向上するにつれて、産業用のみならず、民生用のエネルギー消費も追加される。OECD 諸国についてのある調査報告によると、「サービス経済化」は全体としてのエネルギー消費を減少させない。それは、サービス業それ自体の成長や、事業用の照明や空調などの電力消費が原因であるとされている。最近の日本での象徴的なのは、コンビニ店の普及が分かりやすい。似たような事例として、インターネットの利用で、コンピューターがいつも稼働状態ということが多くなり、その電力消費も無視できない。

あるいは、第2に、ある特定の所得水準を超えると環境保全への社会的要求が大きくなるという解釈も可能である。すなわち、環境の改善は、社会運動やそれに対する政策的対応の結果として実現するのが通例であり、産業の発展や市場の自己調整作用にのみ原因を帰するのは無理があるということになる。環境改善への要求が必ずしも所得水準の上昇につれて大きくなるわけではないかもしれないが、少なくとも西ヨーロッパの諸国では、一人当たり GDP と環境保護の意識に明確な相関関係があるといわれる。

実際、どのような場合に、どこまで EKC が妥当するかは、未解決の問題である。また、EKC が成立するとしても、実証分析用のデータの利用可能性に注意しなければならない。

これまでの先行研究においては、先進諸国のデータをクロスセクションで分析した研究が多かった。その結果を発展途上国の時系列的な変化に当てはめることには、慎重でなければならない。途上国においては、概して環境汚染に関するデータが未整備なので、研究の対象を広げることが難しいが、それでも最近では、環境意識の高まりを反映して、データの公表が進み、それらを利用した研究が現れ始めている。同時に、各国毎の社会的、制度的な相違を踏まえながら、後で述べる途上国における環境対策やその技術に関する「後発の利益」等を考慮した実証研究が必要である。

4. EKC の実証分析

4.1 EKC における「後発の利益」

「後発の利益」という概念を有名にしたガーシェンクロン（1962）は、「後発」資本主義国に「利益」をもたらす要因として、政府や金融機関の特有の役割や技術移転に着目しているが、もう1つの要因として、先進諸国の経験に学ぶことも付け加えることができるだろう。

ここでは、「後発の利益」が環境保全にどのような影響を

及ぼすかを考えよう。

この影響は2つの側面がある。一方では、短期間で工業化に成功すれば、大気汚染やその他の環境破壊がより早く進行する。しかしながら、他方では、環境対策やそれに必要な技術にも「後発の利益」が働くはずである。実際に後発国において環境汚染が改善しているとすれば、前者のマイナスの効果よりも後者のプラス効果の方が大きいことになる。

すでに取り上げた EKC の議論を「後発の利益」に関連させると、所得水準が上昇するにつれて、同じように環境の改善する局面が訪れるにしても、「後発の利益」が働くと、汚染のピークがより低くなったり、あるいは転換点がより早く、所得水準がより低い時点で訪れたりするのである（図3参照）。それは、環境被害を防ぐ技術が導入されたり、早めに対策が打ち出されたりするからである。

例えば、中国大連市は、1990年代は工業化の進展による公害問題で悩まされていたが、友好都市である日本の北九州市の環境ガバナンスシステムの導入により、2000年代は大気汚染やその他の環境汚染も非常に軽微になってきた。北九州市は、かつて1960年代の高度経済成長時代に公害問題に苦しみながらも、行政、企業、住民が三位一体となって環境保全に努め、見事に公害問題を解決しており、環境ガバナンスシステムの成功事例といわれている。

また、CO₂に関しては、1997年末の京都会議（COP3）で合意された京都メカニズムの1つである「CDM」が「後発の利益」の代替的效果をもたらすであろう。

4.2 EKC の実証分析

環境クズネツ曲線（EKC）については、これまでに実証分析に関する多くの研究が行われてきた。これはもともとこの分野の研究が実証分析から始まったことや EKC が素朴な概念であって、解明されていない点が多く不完全であるがゆえに研究者の関心を引いていること、などの理由によるものと考えられる。

実証分析においては、一人当たり所得水準の2次式によって一人当たり汚染水準を説明しようとするものが一般的となっている。標準的な回帰式は次のようなものである。

$$(E/P)_{it} = \alpha_1 + \gamma_t + \beta_1 (GDP/P)_{it} + \beta_2 (GDP/P)_{it}^2 + u_{it} \cdots (1)$$

ここで、Eは環境汚染の指標、Pは人口、GDPは国内総生産、また、添字*i*は国や地域、*t*は時間である。 α_1 は個別国や地域に特有の観察不能な効果（ただし時点を通じて）であり、例えば、所得の高い国は寒冷地に位置する場合が多いなどの要因をコントロールするためのものである。 γ_t は観察不可能な時点特有の効果（ただし個別国や地域間で共通）を表している。例えば、全世界共通に影響を及ぼすような石油価格、技術変化、景気変動、環境政策や環境水

準などの要因をコントロールするためのものである。 u_{it} は誤差項である。実際の分析では、(1)式を対数線形や半対数線形にしたモデルもある。また、説明変数として所得（GDP）だけではなく、後述する本研究のように追加的な変数を伴った研究も多い。

EKC が実証的に成立するとされる条件は、

$\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$, かつ統計的に有意であって、汚染水準が低下に転じる「転換点 (turning point)」が常識的に考えて納得できる水準にあるというものである。

(1)式の場合、転換点を示す一人当たり所得水準は、 $-\beta_1 / (2\beta_2)$ で与えられる。そして最大の関心は、転換点の水準（一人当たり環境汚染指標及び一人当たり所得水準）がどのくらいであるかということにある。

大気質に関しては、汚染物質は大きく2種類に分類される。人間の健康に直接的な被害や影響を及ぼすものと、直接的には影響がないものである。

前者のタイプには二酸化硫黄、窒素酸化物、粒子状浮遊物質、一酸化炭素などがふくまれる。こうした汚染物質に関しては、多くの研究成果が蓄積されており、EKC の成立を支持する結論を得ているものが多い。

一方、後者のタイプには二酸化炭素をはじめとする地球規模での汚染物質の多くが分類される。これらに関しては、前者ほどの研究蓄積はなく、EKC は単調増加するという場合と成立するという場合が並存しており、成立の是非については現状では明確な結論が得られていない。

4.3 分析結果

4.3.1 ケース1（一人当たりの排出量の分析）

ここでは、CO₂の排出が所得の向上に伴って必ず増加し続けるかどうか、別の表現をすると、EKC が CO₂の排出にも妥当するかどうかを、前述したように日本、中国、韓国、インド、アメリカの5カ国及びEU15地域^(*)におけるデータから検討した結果を示そう。

利用したデータは、日本エネルギー経済研究所・計量分析ユニット編『エネルギー経済統計要覧'09』によっている（付属資料の図1～図8参照）。

前節で述べたように、EKC に関する議論を広げるきっかけになった世銀の『世界開発報告』では、SO₂については妥当するが、CO₂については妥当しないという結論になっていた。

地球温暖化にとって最終的に問題になるのは、排出総量であるが、人口が増加傾向を示しているときに、いきなり総量を問題にすると、排出削減の目標はかなり厳しくなる。とりあえずは、一人当たりの排出量を検討することが現実の意味を持つであろう。

本研究では、以下のような2種類の方程式について回帰分析を行い、CO₂の排出量に影響する要因を検討した(期間は1971年～2006年)。

$$Y = a + bX + cX^2 + dZ + eW \quad \dots (1)$$

$$Y = a + bX + cX^2 + dV + eU \quad \dots (2)$$

ここで、

Y：1人当たり CO₂排出量（二酸化炭素トン/人）

…付属資料図1

X：1人当たり実質 GDP（2000年価格米ドル人）

…付属資料図3

Z：エネルギー効率（一次エネルギー消費量単位当りの実質 GDP：2000年価格米ドル/石油換算トン）

…付属資料図6

W：GDP に占める第二次産業の付加価値構成比

…World Bank データより

V：エネルギー原単位（実質 GDP 単位当りの一次エネルギー消費量：石油換算トン/2000年価格米ドル）

…付属資料図4

U：CO₂排出係数（一次エネルギー消費量単位当り CO₂排出量：CO₂二酸化炭素トン/石油換算トン）

…付属資料図5

もし、EKC が妥当し、逆U字型の曲線が当てはまるならば、所得（一人当たり実質 GDP）X の2次係数の符号はマイナスで、1次係数の符号はプラスになるはずである。

2次の係数がマイナスという条件は逆U字型の曲線から導かれるが、1次の係数がプラスというのは、極大値に対応する所得がプラスになるための必要条件である。

そして(1)式においては、エネルギー効率が高くなれば、排出量は減るはずなので、この係数の符号はマイナスになる。第2次産業の比重が大きくなれば、排出量は増えると思定されるので、この係数の符号はプラスになるはずである。

他方、(2)式においては、エネルギー原単位が大きくなれば、排出量は増えると思定されるので、この係数の符号はプラスになり、CO₂の排出係数が大きくなれば排出量は増えるので、この係数の符号もプラスとなるはずである。

各国単位に、(1)式及び(2)式を適用して回帰分析を行った。その結果、統計的に有意な方程式がそれぞれの国単位で得られたので、以下に示す。

(1) 日本の場合

日本の場合、(1)式での回帰分析結果は統計的に有意となる結果が得られなかった。

(2)式については、次のように、全ての係数においてt値も十分大きく、有意な結果が得られた。

$$Y = -19.378 + 0.00056 * X - 0.0000000047 * X^2$$

$$(-14.577) \quad (13.492) \quad (-7.592)$$

$$+ 62630.42 * V + 3.268205 * U$$

$$(25.180) \quad (12.801)$$

$$R^2 = 0.99557$$

これを、書き直すと、

$$Y = \frac{-2.6973 - 0.000000047*(X-59,574)^2}{+62,630.4*V+3.2682*U}$$

(2) 中国の場合

中国の場合、(1)式および(2)式の分析結果は、完全な形では統計的に有意なものが得られなかったが、(1)式において、t値が1以下であった第2次産業の付加価値構成比の項目をはずして、再度回帰分析を行うと、以下のような極めて良好な結果が得られた。

$$Y = 1.6607 + 0.006847*X - 0.0000018*X^2$$

(44.122) (21.782) (-13.964)

$$-0.00309*Z$$

(-18.293)

$$R^2 = 0.99336$$

これを、書き直すと、

$$Y = \frac{8.1724 - 0.0000018*(X-1,902)^2}{-0.0031*Z}$$

(3) 韓国の場合

韓国の場合、(1)式の結果は、有意なものが得られなかったが、(2)式については、日本と同じように有意な結果が得られた。

$$Y = -14.3327 + 0.00137*X - 0.00000003*X^2$$

(-10.072) (12.833) (-6.654)

$$+15024.6*V + 2.8263*U$$

(9.921) (7.239)

$$R^2 = 0.9981$$

これを書き直すと、

$$Y = \frac{1.3081 - 0.00000003*(X-23,000)^2}{+15,024.6*V+2.8263*U}$$

(4) インドの場合

インドの場合、(1)式においては、中国と同様に、2次産業の付加価値構成比の要因が十分な説明変数になっていなかったが、それを外して、再度計算すると、有意な結果が得られた。さらに、(2)式についても、良好な回帰式が得られた。

(1)式適用：

$$Y = 0.2422 + 0.00327*X - 0.0000018*X^2$$

(2.585) (12.126) (-5.550)

$$-0.00027*Z$$

(-9.100)

$$R^2 = 0.9968$$

即ち、

$$Y = \frac{1.7295 - 0.0000018*(X-909)^2}{+62,630.4*V+3.2682*U}$$

$$-0.00027*Z$$

(2)式適用：

$$Y = -1.5674 + 0.00344*X - 0.0000019*X^2$$

(-7.639) (16.982) (-8.000)

$$+652.61*V + 0.2862*U$$

(10.520) (4.523)

$$R^2 = 0.9988$$

即ち、

$$Y = \frac{-0.015 - 0.0000019*(X-904)^2 + 652.61*V}{+0.2862*U}$$

(5) 米国の場合

米国の場合、(1)式からは、有意な結果が得られなかった。しかしながら、日本と同様に、(2)式の方程式に関しては、以下のような良好な結果が得られた。

$$Y = -55.764 + 0.00196*X - 0.0000000234*X^2$$

(-17.073) (22.616) (-18.824)

$$+58281.8*V + 8.9862*U$$

(36.92) (11.189)

$$R^2 = 0.9889$$

即ち、

$$Y = \frac{-14.637 - 0.0000000234*(X-41,923)^2}{+58,281.8*V+8.9862*U}$$

(6) EU15地域の場合

EU15の場合、日本や米国と同様に、(1)式では、良好な結果は得られなかったが、(2)式のケースでは、有意な結果が得られた。

$$Y = -24.974 + 0.00140*X - 0.000000026*X^2$$

(-26.396) (27.531) (-22.789)

$$+33,997.0*V + 4.1910*U$$

(25.574) (24.596)

$$R^2 = 0.9915$$

即ち、

$$Y = \frac{-6.1819 - 0.000000026*(X-26,885)^2}{+33,997.0*V+4.1910*U}$$

4.3.2 ケース2 (排出総量の分析)

ケース1では、各国、地域の一人当たりのCO₂排出量を一人当たりGDPの2次式に適切な説明変数を追加した回帰方程式を構築して、統計的に有意なEKCが妥当することが立証できた。

しかしながら、ケース1の分析に対しては次のような問題が考えられる。即ち、地球温暖化にとって最終的に問題になるのは、排出総量であるにもかかわらず、一人当たりの排出量を被説明変数にしていることである。勿論、人口が増加傾向を示しているときにいきなり総量を問題にすると

排出削減の目標はかなり厳しくなる。しかしながら、排出総量を被説明変数とする分析は不可避であろう。さらに、ケース1では、一人当たり GDP の2次式に適切な説明変数を加えて回帰分析を行ったが、それらの付加された説明変数と一人当たりのCO₂排出量との間に計量経済学でいうところの多重共線性が存在していないとは言い切れない。

以上のような考えから、本ケース2では各国、地域のCO₂排出総量を被説明変数、そして当該国、地域のGDPの2次式を説明変数とし他の説明変数は導入しないで回帰分析を行うことにした。

即ち、

$$Y_i = a + bX_i + cX_i^2 \quad \dots\dots (3)$$

という基本の2次方程式を仮定して、回帰分析を行った。ここで、

Y_i : i国、地域におけるCO₂排出総量
(単位：二酸化炭素百万トン) …附属資料図7

X_i : i国、地域における実質GDP
(単位：2000年価格10億米ドル) …附属資料図8

利用データは附属資料図7及び附属資料図8に示す。

(1) 日本の場合

日本の場合、以下に示すように、1兆7400億ドルの実質GDPのとき、CO₂排出総量は8億4650万トンを底としてGDPが増加するにつれて、CO₂排出総量も増加するという分析結果になった。回帰式はt値の妥当性も含めて、統計的には有意である。

$$Y = 977.0 - 0.15 * X + 0.0000431 * X^2$$

(9.47) (-2.47) (4.90)

括弧内はt値, R=0.97, R²=0.944

上式を書き換えると、

$$Y = 846.5 + 0.0000431 * (X - 1740)^2$$

この回帰式は、(1740, 846.5)を頂点とする下に凸の双曲線(逆U字型ではない)である。

従って、日本の場合には、本ケースでは、クズネツ曲線は該当しない。

附属資料図8によれば、実質GDPは1970年以降は1兆9000億ドル以上であるから、1兆7400億ドル近辺は、1960年代と考えられる。まさに産業公害がピークに達していたときである。それ以降、緩やかな2次関数的に二酸化炭素の排出総量が増加するパターンである。

(2) 中国の場合

中国の場合の回帰分析の結果は、以下の通りである。

$$Y = 1089.4 + 1.94 * X + 0.0000214 * X^2$$

(10.71) (6.40) (0.14)

括弧内はt値, R=0.97, R²=0.942

この回帰式は全体として重相関係数等は、極めて有意な数値を示してはいるが、GDPの2次の項のt値が0.14という数値を示しており、中国の二酸化炭素排出総量の説明変数としては、統計的に有意でないことを表している。さらに、その係数がプラスであり、クズネツ曲線は該当しない。

そこで、2次の項を除いて再度回帰分析を試みた結果、次の単調増加の一次式を得た。

$$Y = 1079.4 + 1.98 * X$$

(15.54) (24.13)

括弧内はt値, R=0.97, R²=0.943

これは、1971年から2006年までの時系列データによる統計的には有意な回帰式である。今後、中国において顕著な排出量削減努力がなされないならば、排出総量は毎年実質GDP(単位：2000年価格10億米ドル)比が2倍程度の単調増加が続くことが懸念される。

(3) 韓国の場合

韓国の回帰分析の結果は、

$$Y = -13.30 + 1.08 * X - 0.00048 * X^2$$

(-1.59) (17.48) (-5.44)

括弧内はt値, R=0.99, R²=0.989

この回帰2次方程式は統計的に有意である。さらに、2次の項の係数はマイナス、かつ一次の項の係数はプラスであり、この回帰式は、逆U字型の環境クズネツ曲線の条件を満たしている。

上式を書き換えると、

$$Y = 594.2 - 0.00048 * (GDP - 1,125)^2$$

即ち、韓国の場合、二酸化炭素排出総量とGDPとの関係は、EKCが該当し、その転換点は実質GDPが1兆1,250億米ドル(2000年価格)に達したときで、そのときの排出量は6億トン位となることが読み取れる。因みに2006年実績は、実質GDPは6,710億米ドル(2000年価格)で、排出量は4億6,000万トンである。

(4) インドの場合

インドの回帰分析の結果は、

$$Y = -201.46 + 3.54 * X - 0.00215 * X^2$$

(−13.89) (38.26) (−17.67)

括弧内は t 値, $R = 0.99$, $R^2 = 0.996$

韓国の場合と同様に、インドの回帰式は統計的に全く有意であり、かつ逆U字型の環境クズネツ曲線の条件を満たしている。

上式を書き換えると、

$$Y = 1255.86 - 0.00215 * (X - 823.3)^2$$

即ち、インドの場合は、二酸化炭素排出総量と GDP との関係は、EKC が該当し、その転換点は実質 GDP が 8,233 億米ドル (2000 年価格) に達したときで、そのときの排出量は 13 億トン位となることが読み取れる。因みに 2006 年実績は、実質 GDP は 7,100 億米ドル (2000 年価格) で、排出量は 12 億 6,000 万トンである。インドは、極めて近い将来 (数年後か) に転換点が到来すると予測される。

(5) 米国の場合

米国の場合の回帰分析の結果は、次の通りである。

$$Y = 4351.0 - 0.00484 * X + 0.0000133 * X^2$$

(14.15) (−0.05) (2.24)

括弧内は t 値, $R = 0.95$, $R^2 = 0.890$

この回帰式は全体として重相関係数等は、有意な数値を示してはいるが、GDP の 1 次項の t 値が −0.05 という数値を示しており、米国の二酸化炭素排出総量の説明変数としては、統計的に有意でないことを表している。さらに、その係数がマイナスであり、2 次項の係数がプラスとなっており環境クズネツ曲線には該当しない。

そこで、GDP の 1 次項を除いて、再度回帰分析を行った結果、以下のような回帰式が得られた。

$$Y = 4334.4 + 0.000013 * X^2$$

(90.64) (17.11)

括弧内は t 値, $R = 0.95$, $R^2 = 0.893$

米国の場合は、1971 年から 2006 年までの時系列データによれば、EKC のようにある転換点以降は排出総量が減ずることではなく、GDP の 2 乗に比例して増加していくという形が読み取れる。米国において特別な削減努力が必要である。

(6) EU15 地域の場合

EU15 の分析結果は、次の通りである。

$$Y = 4043.4 - 0.31113 * X + 0.0000257 * X^2$$

(12.5) (−2.97) (3.16)

括弧内は t 値, $R = 0.53$, $R^2 = 0.283$

この回帰式は、重相関係数が 0.53 であり、二酸化炭素排出総量と実質 GDP の関係を説明する有意な回帰方程式とはいえない。そして各項目の係数の符号に注目すると、これは、EKC には該当しない。

しかしながら、各項目の係数の t 値は有意であることを示している。EU15 の場合は、説明変数がさらに追加されなければならないことを示しているのである。

やや強引だが、この回帰式を書き換えると、

$$Y = 3101.8 + 0.0000257 * (X - 6053.1)^2$$

となり、日本の場合と同様に、下に凸 (逆 U 字型ではない) の緩やかな放物線を表している。これは、実質 GDP が 6 兆 0531 億米ドル (2000 年価格)、二酸化炭素排出総量が 31 億トン前後を底として、その後の排出総量は緩やかな GDP の 2 次関数的に増加している。付属資料図 7 及び 8 によれば、この底はちょうど 1988 年の実績に該当している。

5. 分析結果のまとめ

5.1 ケース 1 (一人当たりの排出量の分析)

前節で示した分析結果をまとめると、以下のようになる。

まず、一人当たり GDP の 2 次式に、適切な説明変数を追加した回帰方程式では、統計的に有意な EKC が妥当することが、判明した。

そして CO₂ 排出量のピークアウトはそれぞれの国の事情を反映して、それぞれの所得レベルに差があることが示された。誤解を避けるために繰り返すが、これらの数字はあくまでも日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編纂の「エネルギー・経済統計要覧'09」のデータに基づいて計算されたものであり、例えば、中国の Per Capita GDP については、「中国統計年鑑 (2008 年版)」のデータより、200~500 (2000 年価格米ドル) 程度小さい評価となっていることに留意する必要がある。

中国の場合、一部新聞報道によれば、2009 年の一人当たり GDP は 3000 ドル前後との推測もあり、そうだとすれば、すでにピークアウトレベルを超えていることになる。また、日本のピークアウトレベルが計算上は 59,000 ドルとなっているが、これが現実的に納得できるものかどうかは、大いに議論の余地がある。

いずれにせよ、分析結果の数字 (表 1 参照) は、多くの問題を残しているが、今後の CO₂ 排出と所得に関する

表1. ケース1の分析結果

国・地域	1人当り実質 GDP の2006年実績 (2000年価格米ドル)	CO ₂ 排出量のピーク アウト時点の1人当 り実質 GDP (2000 年価格米ドル)
日本	39,824	59,000前後
中国	1,598	2,000前後
韓国	13,865	23,000前後
インド	644	910前後
米国	37,791	42,000前後
EU15	23,115	27,000前後

(筆者作成)

EKC 分析に対する議論のたたき台として、1つの参考資料になるのではないかと考えている。

これまでの先行研究では、前提として、ピークアウト時点の所得レベルは、先進国や発展途上国という各国の事情によらない共通の所得レベルが存在すると考えられていたが、前にも述べたように、「後発の利益」等によって、EKCのピークアウト時点の所得レベルがそれぞれの国によって、異なるのではないかという議論もあった。それについては、本研究によっても裏付けられたと考えている。

一人当りのCO₂排出量は、所得(Per Capita GDP)以外の要因、即ち、エネルギー原単位(エネルギー効率の逆数)やCO₂排出係数等にも大きく影響される。エネルギー原単位やCO₂排出係数を今後、どの程度減少させることができるか(エネルギー効率を増大させることができるか)は、経済生産活動における人々の省エネ行動や省エネの技術革新がどのように進展するかにかかっている。

本研究の今後の課題として、具体的に、各国において、ピークアウト時点がいつ頃になるのか、そして、ピークアウト時点のCO₂排出量(転換点の環境汚染指標)はどれ程になるのか、等について詳細を検討していきたい。

5.2 ケース2(排出総量の分析)

各国、地域の二酸化炭素排出総量と実質GDPとの関係は、ほぼ三つのパターンが存在することが判明した。ここで、Y:二酸化炭素総排出量、X:実質GDPを表す。

$$\text{パターン①} \quad Y = a - b \cdot (X - c)^2$$

このパターンは環境クズネツ曲線が妥当する場合であり、韓国およびインドがこのパターンであった。

$$\text{パターン②} \quad Y = a + b \cdot (X - c)^2$$

このパターンに属する国、地域は、日本およびEU15。

$$\text{パターン③} \quad Y = a + b \cdot X^2$$

$$\text{又は} \quad Y = a + b \cdot X$$

このパターンに属する国は、中国およびアメリカ。

以上の結果は大変興味深い。

即ち、まず、パターン②に属する日本及びEU15のように京都議定書を批准し、GHG削減に注力している国、地域は2006年までの実績データによる分析では、過去のある時点をもととして実質GDPの2次関数的に増加傾向を示している。

また、パターン③に属する中国やアメリカは現在世界の1、2位の超排出大国でありながら、京都議定書には参加していない。しかも実質GDPあるいは実質GDPの平方値に比例して二酸化炭素を増加させる傾向を示している。

他方、パターン①に属する韓国及びインドは環境クズネツ曲線に沿って近い将来のある時点から、二酸化炭素排出量の減少が予想される。

以上の時系列回帰分析による予測に対して、各国、地域がどれほどGHG削減努力を行うかによって、このパターンに変化が生じることになる。そして各国の努力の結果として最終的に、地球温暖化が抑止できることを期待したいものである。

図1 環境対策と需要曲線

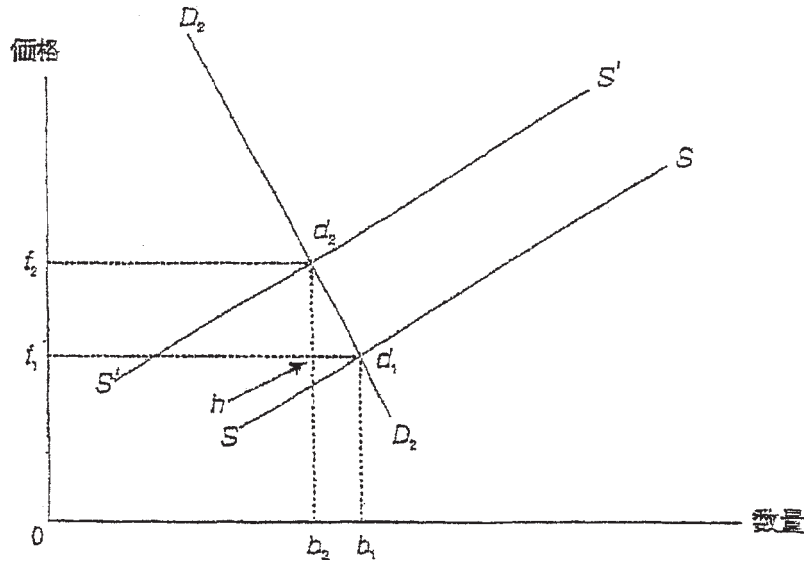
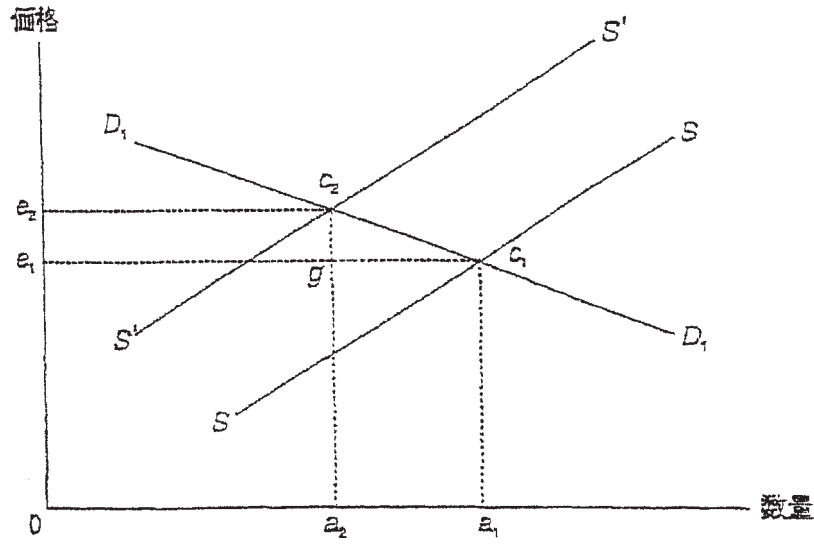


図2 クズネッツ曲線

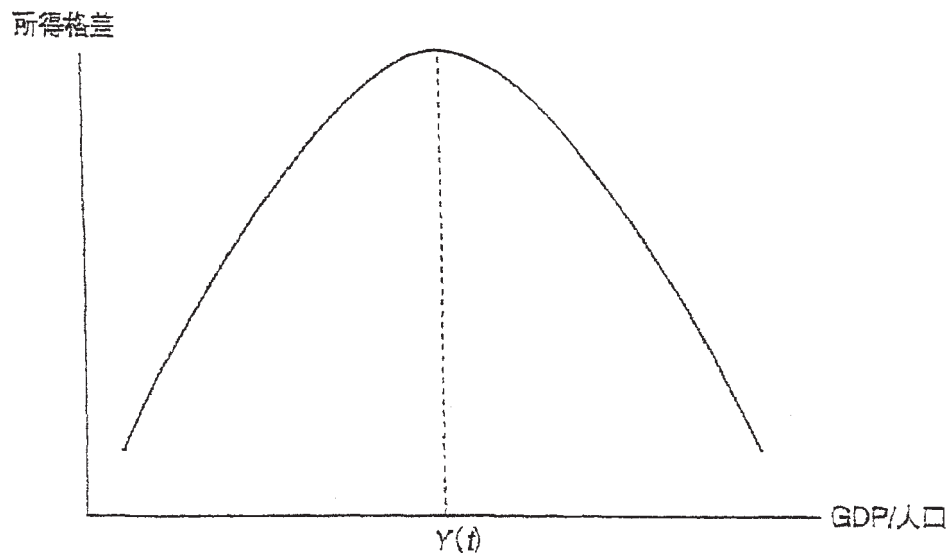


図3 EKCと「後発の利益」

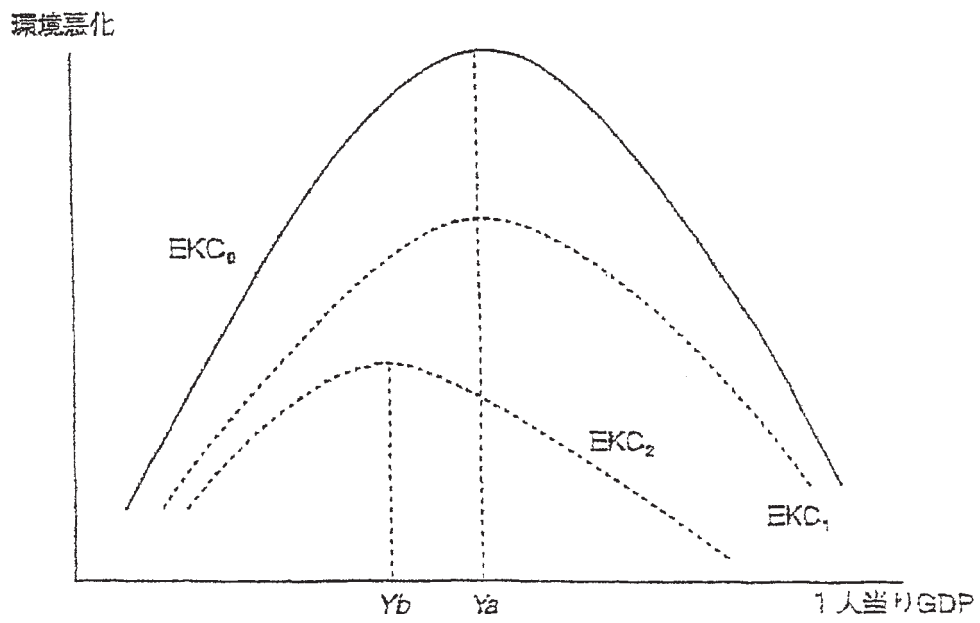
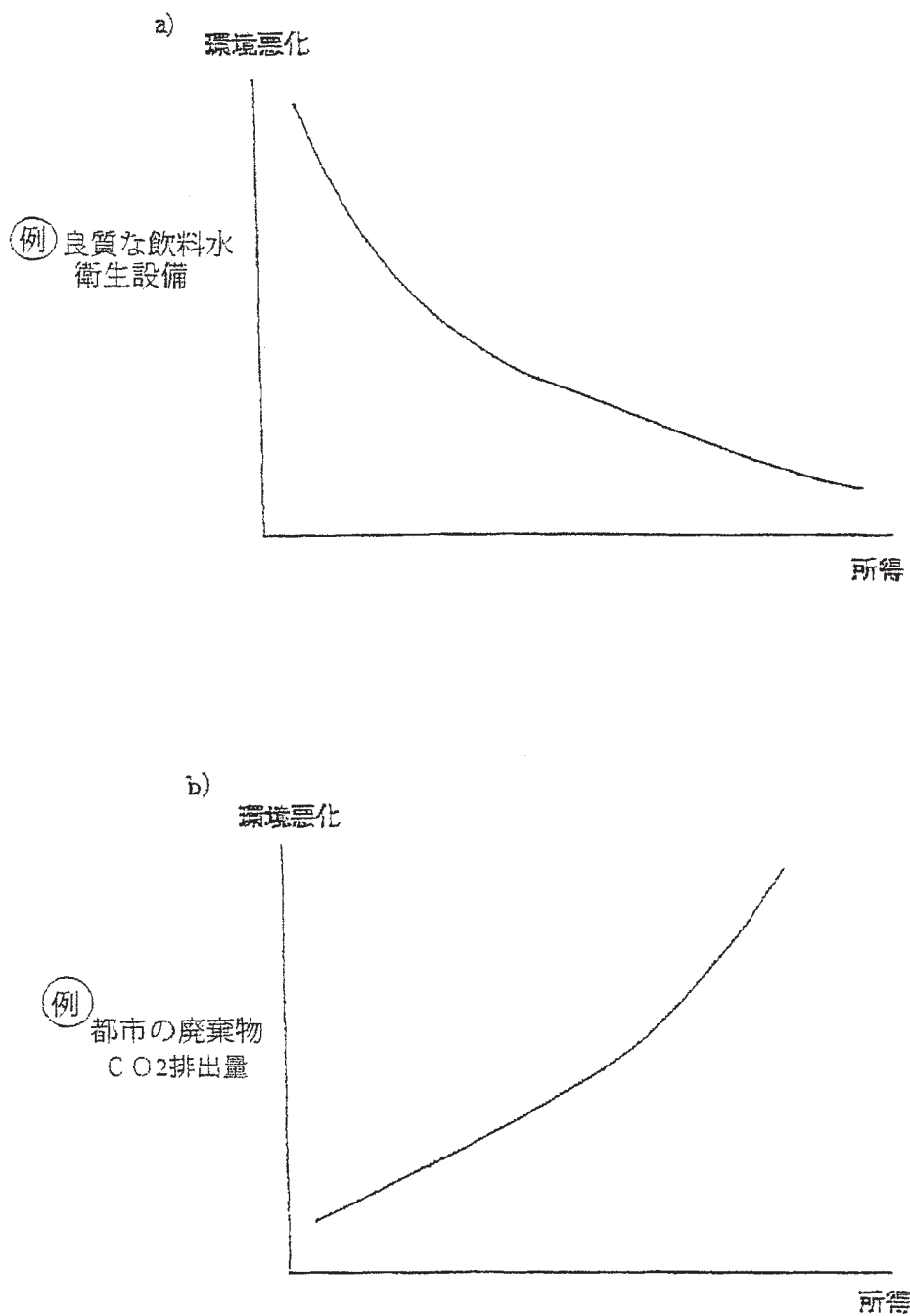


図4 所得水準と環境



(EKCの妥当例)

SO₂排出量

粉塵・煤煙 (浮遊性粒子状物質 SPM: Suspended Particulate Material) の排出量

6. あとがき

経済発展と環境保全とが両立するかないかという素朴な疑問から始まった本研究においては、環境クズネツ曲線の論考は不可避である。現在地球環境問題の中でも、特に地球温暖化に関する議論が活発であるが、GHG とりわけ二酸化炭素排出量の削減が問題になっている。そこで、筆者は、二酸化炭素排出量と所得との関係について、環境クズネツ曲線を意識しながら、6カ国・地域における実証分析を試みた。色々なケースにおける回帰分析を行い、計量経済学的に有意な関係を取り出して論じたものである。この分野に興味ある研究者にとって参考になれば、幸いである。

ところで、昨年末のコペンハーゲンで開催された COP15 において、特に2013年以降(ポスト京都)の各国の GHG 削減交渉が行われたが、議論百出の中で、先進国と発展途上国との考え方の相違をはじめとして、なかなか効果的な結論が出なかったことは大変残念であった。

地球温暖化のような、グローバルな環境問題は、国益レベルの問題ではなく、いわゆる地球益の問題として、すなわち、全人類共通の問題であることは論をまたない。まさに今現在宇宙船地球号が沈んでいこうとしているときに、その地球号に乗っている全世界の国々の人達は、「先進国の責任だ！ いや発展途上国にも問題がある！」等々の議論をしている時間的余裕はあるのだろうか。

(注1)

EU15地域とは、2003年時点での欧州連合加盟国であった、オーストリア、ベルギー、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、アイルランド、イタリア、ルクセンブルグ、オランダ、ポルトガル、スペイン、スウェーデン、イギリス を指す。

参考文献

- 世界銀行(1992)『世界開発報告1992年—開発と環境—』オクスフォード出版
- 井村秀文・勝原健編著(1995)『中国の環境問題』東洋経済新報社
- 石見徹(2004)『開発と環境の政治経済学』東京大学出版会
- 中谷巖(2004)『入門マクロ経済学第4版』日本評論社
- 野上健治(2005)『社会環境学のアイデンティティ』学文社
- 井村秀文(2007)『中国の環境問題—今何がおきているか—』(DOJIN 選書)
- 茅陽一編著, 秋元圭吾, 永田豊著(2008)『低炭素エコノミー』日本経済新聞出版社

野上健治(2008)「中国における環境経済政策の課題」『地域の政策と科学』和泉書院

一方井誠治(2008)『低炭素化時代の日本の選択』岩波書店
ジェニファー・クラブ, ピーター・ドゥヴァーニョ著
野修訳

(2008)『地球環境の政治経済学』法律文化社
宇沢弘文, 細田裕子編著(2009)『地球温暖化と経済発展』
東京大学出版会

野上健治(2009)「中国の今日的課題—中国トリレンマ問題の現状分析—」国際東アジア研究センター, 第20巻4号
日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編『エネルギー・経済統計要覧各年版』

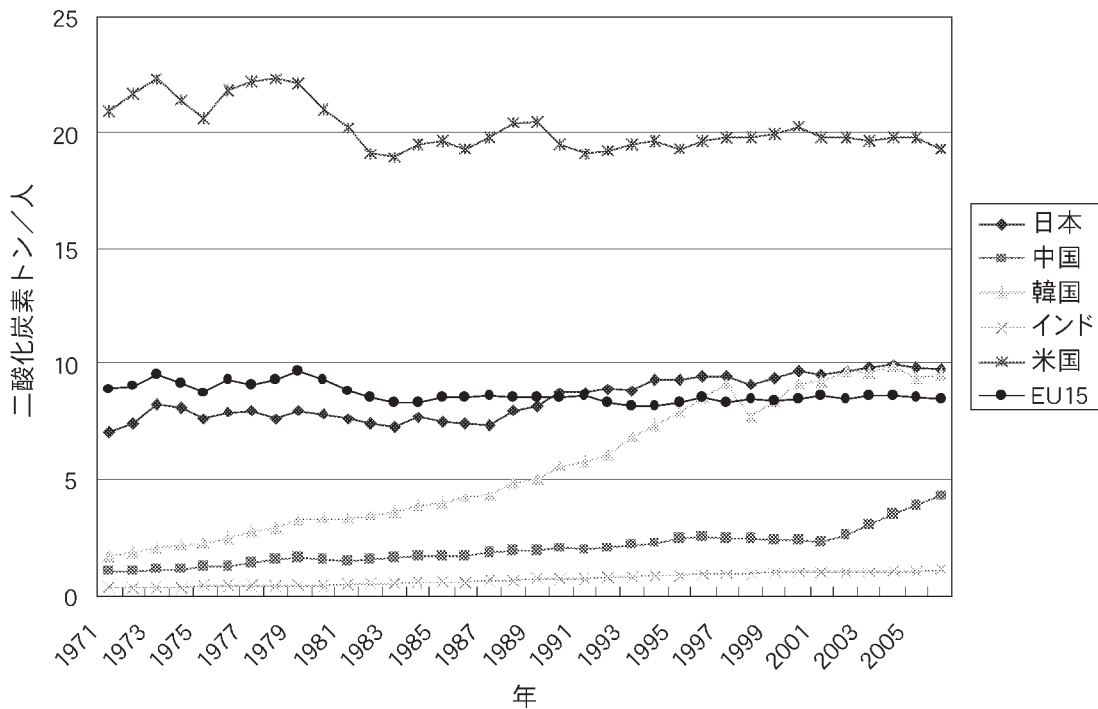
データベース(省エネルギーセンター)

中国国家统计局『中国統計年鑑(各年版)』

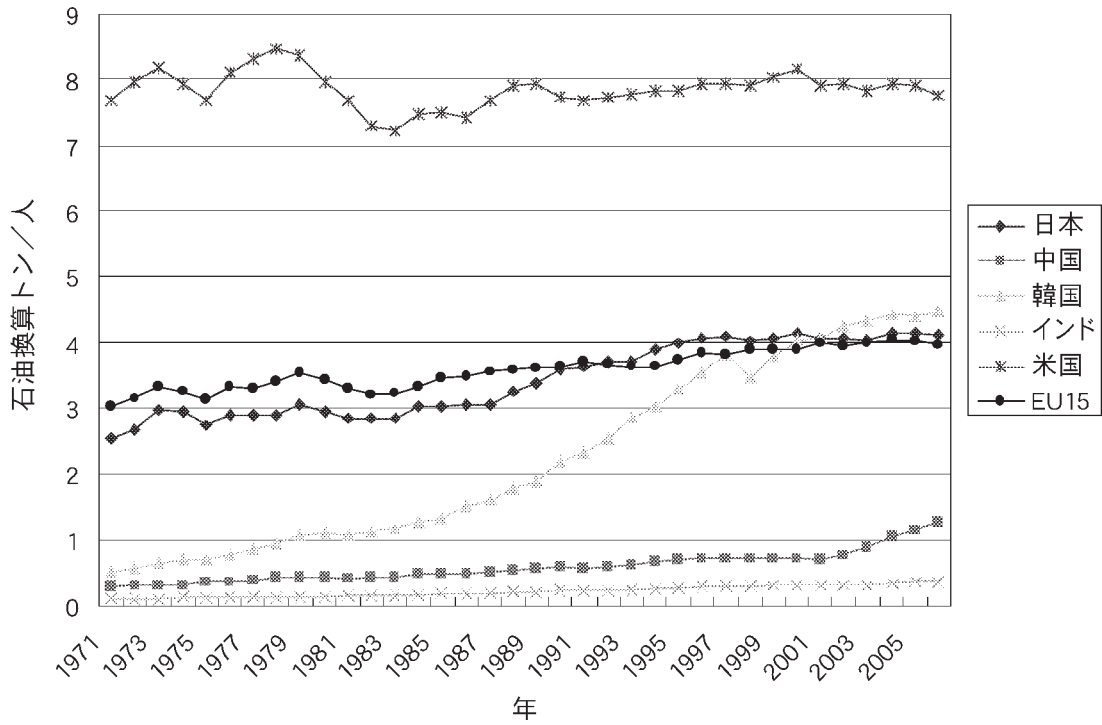
付属資料

以下に示す，図1～図8は全て，(財)日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット（EDMC）編『エネルギー・経済統計要覧』（各年版）のデータに基づいて作成したものである。

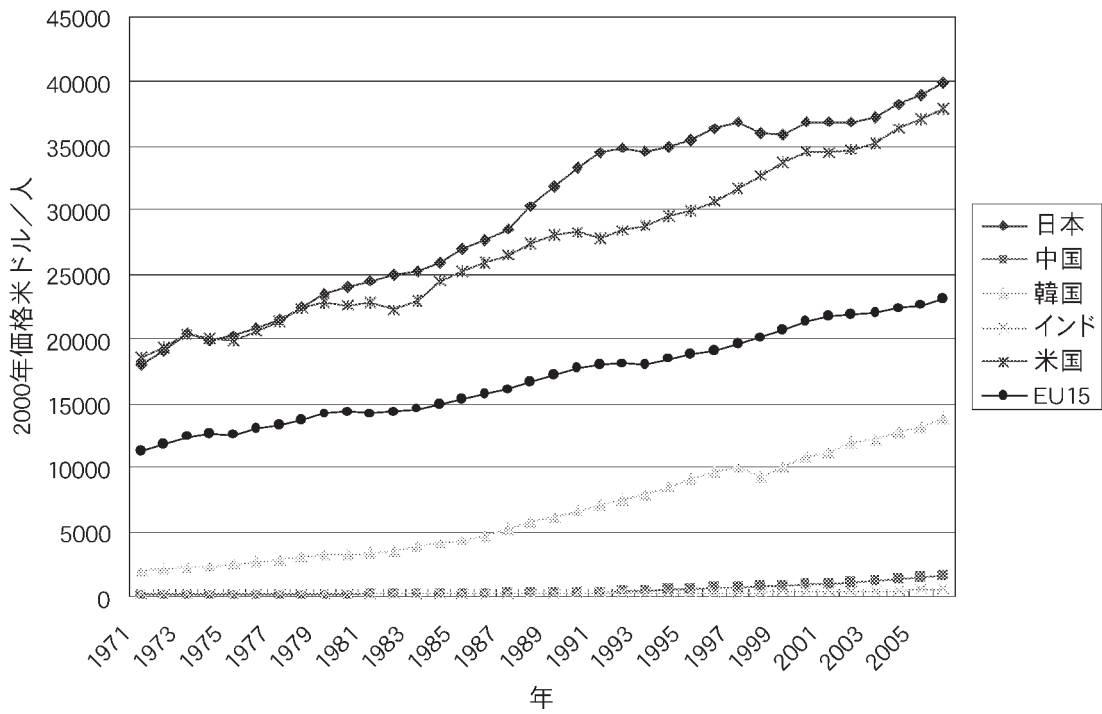
(図1) 1人当り CO₂排出量



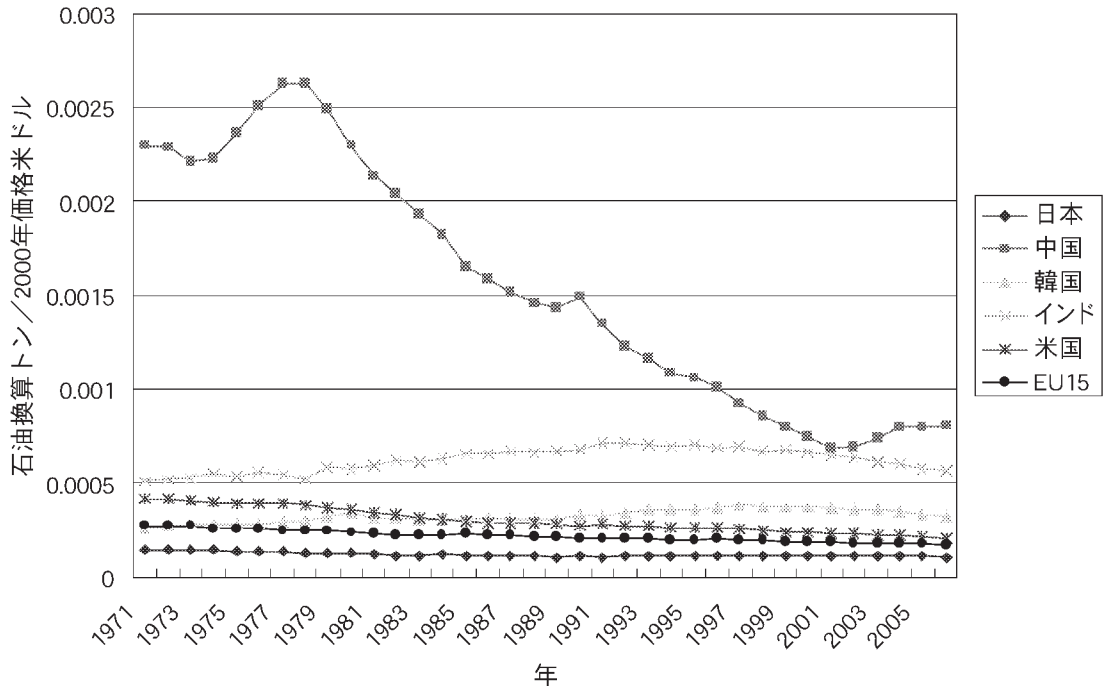
(図2) 1人当たり一次エネルギー消費量



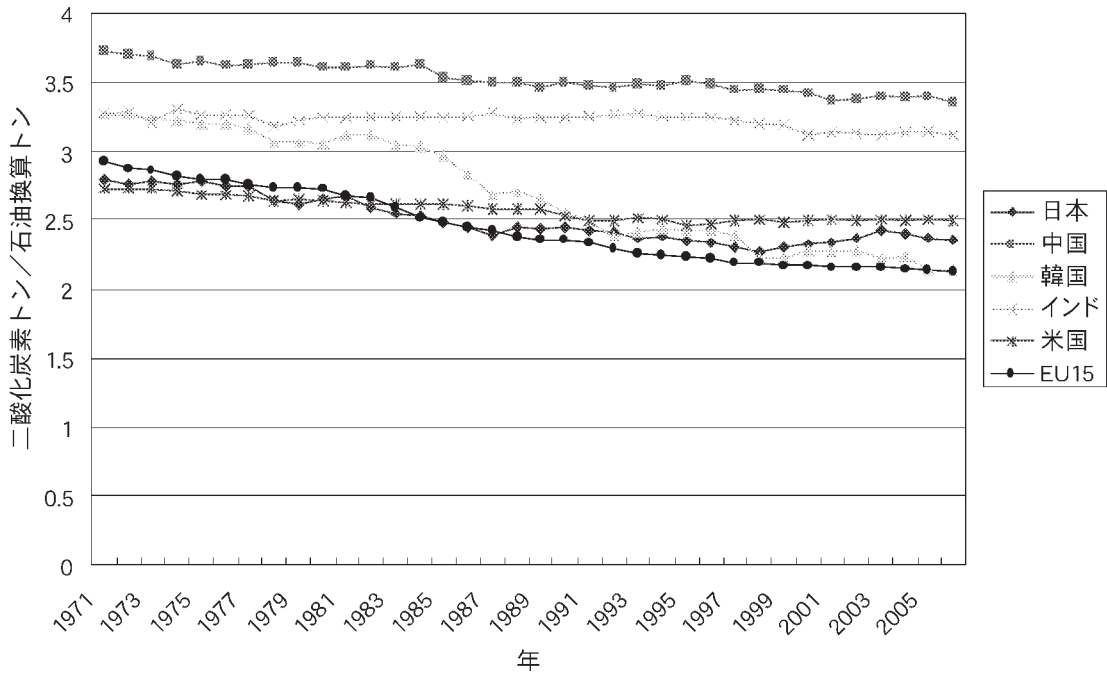
(図3) 1人当たり実質 GDP



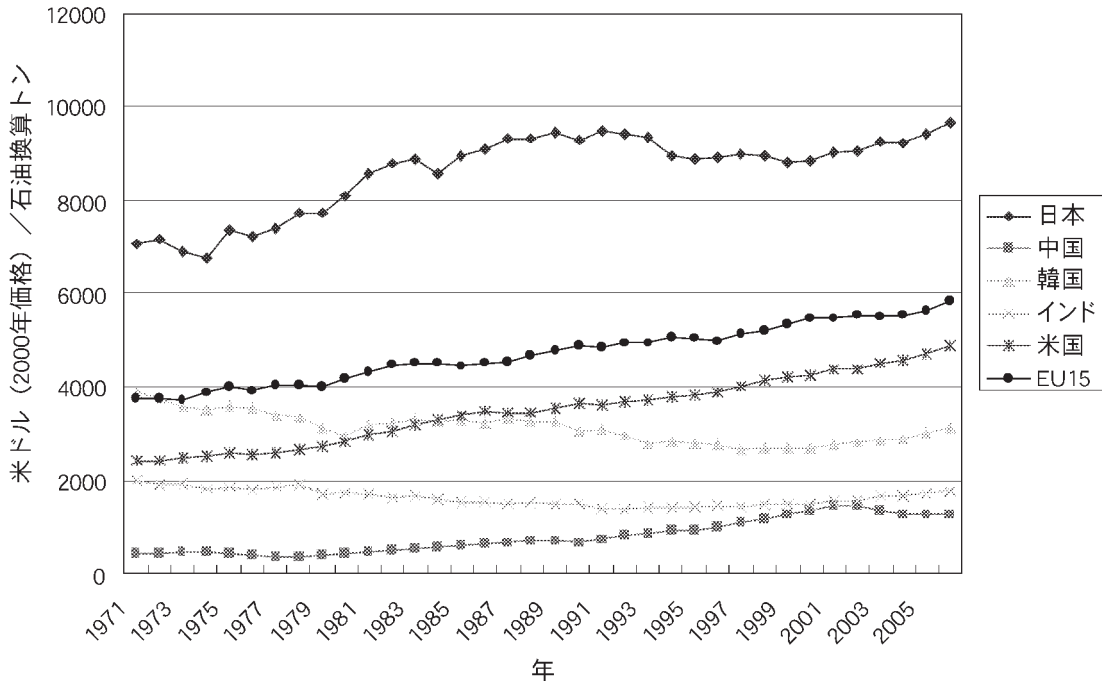
(図4) エネルギー原単位



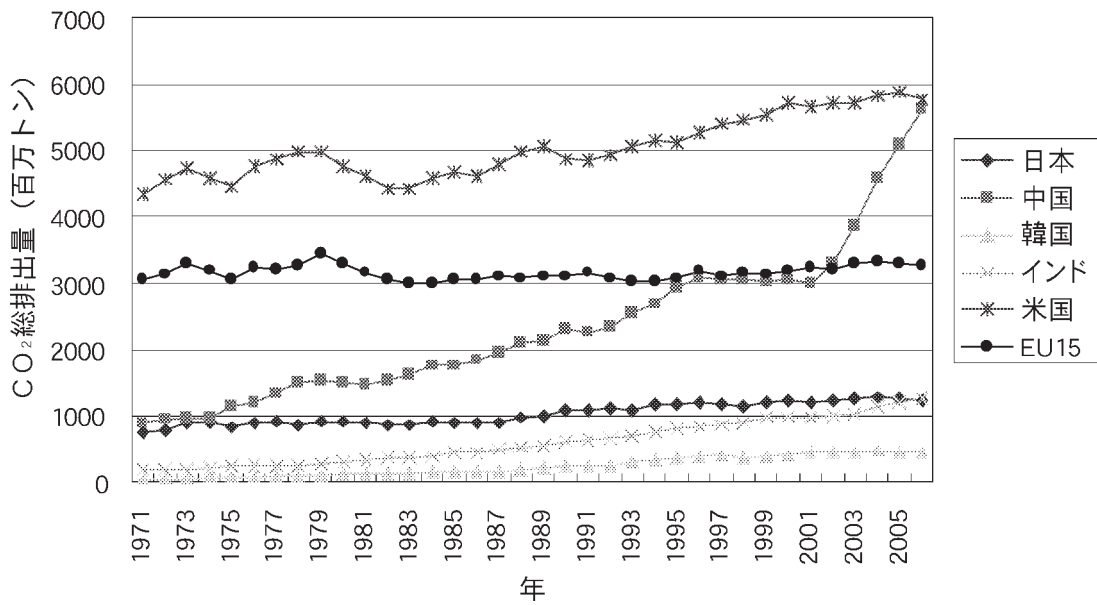
(図5) CO₂排出係数



(図6) エネルギー効率



(図7) 世界の国別 CO₂総排出量



(図8) 世界の実質 GDP (世銀統計)

