

環境クズネッツ曲線仮説の再検討  
ノンパラメトリック手法を用いて

国際協力学専攻 2007年3月  
56853 鶴見 哲也  
指導教員 池本 幸生 教授

キーワード 環境クズネッツ曲線・経済成長・環境破壊・ノンパラメトリック

1. はじめに

環境クズネッツ曲線 (Environmental Kuznets Curve ; EKC) 仮説とは経済成長の初期の段階では汚染は増大するが、一人当たり GDP がある水準を超えるとその傾向は変わり環境の改善がおこるといふ仮説である。1990年代初頭から実証研究が多数行われてきているが、ごく最近になって関数形の特定や頑健性に対する批判が複数なされるようになってきている。そこで、本研究では事前に関数形を特定する必要のないノンパラメトリック手法を中心に最新の有力な三つの統計手法を用いることで先行研究よりも頑健な分析を行い仮説の再検討を行った。

2. 手法

第一は固定効果・ランダム効果推定量による操作変数を用いた分析である。本研究では、国別の環境指標 (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, BOD) と一人当たり GDP のパネルデータを用いる。本研究の目的は純粋に環境指標と一人当たり GDP の関係性を特定することであり、環境負荷に影響を与える他の要因は誤差項に含まれることになる。したがって、誤差項と説明変数との間に相関が存在することとなる。この問題に対処するために成長論に基づいた操作変数を使用して分析を行う。

第二に Seemingly Unrelated Regression System ; SURE 法を用いた分析も行う。本研究で用いる環境指標は相互に影響を与えていると考えられる。すなわち例えば CO<sub>2</sub> の削減技術が同時に NO<sub>x</sub> や SO<sub>2</sub> の削減にもつながっているということ想定している。こうした相互に関連する被説明変数をシステムとして捉える SURE 法を用いることで通常の最小二乗推定量よりも正確な推定量である一般化最小二乗推定量を得ることができる。

第三はノンパラメトリック手法である。EKC 論文では関数形の特定には一般的にはパラメトリックに一人当たり GDP の一乗、二乗、三乗を用いるが、本研究では局所的に関数形を特定することでよりデータに即した結果が期待できる局所回帰 (Local Regression ; LOESS 法) を用いる。この手法は事前に関数形を仮定しないため、データの特徴をより柔軟につかむことが期待できる。

なお、本研究は全世界の平均的傾向を見出すことが目的である。この目的に合うよう既存のパネル分析では固定効果あるいはランダム効果を用いて各国に“共通する”静的な特徴を取り除くことを試みているが、各国に“固有の”特徴について

は十分にコントロールできていないという指摘がある。環境汚染に対する社会的費用のような共通の特徴だけでなく、特殊な政治体制・内戦といった各国に固有の特徴をきれいに取り除くことができなければ全世界の平均を計測することはできず、さらには固定効果・ランダム効果の推定量は一致推定量となりえない。また、同様の理由で SURE 法や LOESS 法においても結果にバイアスを生じる。そこで本研究ではこの問題に対処するために、上記 3 つの手法それぞれに対して通常の分析に加え差分方程式の分析も行った。また一時的な政治ショック、経済危機等の影響を排除する目的でタイムダミーを使用した。

なお、先行研究はデータの利用可能性からデータが先進国に偏ることが多かった。しかし、環境クズネッツ曲線仮説に対して全世界の平均的傾向を見出すには途上国のデータを確保する意義は非常に大きい。データの利用可能性によるバイアスを回避するために、本研究は先行研究と比較して最大級のデータ数を確保している。このことによって途上国も含めた全世界的な特徴を見出すことが期待できる。

3. 分析結果と考察

表に操作変数法と SURE 法の結果を、そして図に LOESS 法の結果を載せた。

SO<sub>2</sub> に関しては、操作変数法と SURE 法の有意なスペシフィケーションでは 3 乗項が負になっており、また LOESS 法の図でも同様に高所得の範囲で排出量減少の傾向が見られ、さらに表では報告していないが 3 乗項を含めない 2 乗項までのスペシフィケーションでも 2 乗項が負で有意な結果となった。したがって、総合すると EKC 仮説を支持する結果となった。ただし、LOESS 法の差分をとった図を見ると低所得と高所得の部分は信頼区間が非常に広く、標準誤差が大きくなっている。先行研究で EKC 仮説を支持する結果と支持しない結果が得られている原因はこのデータ数の少ない区間の敏感さにあると考えられる。

CO<sub>2</sub> の差分をとったものに関しては操作変数法と SURE 法の両方で 3 乗項が負という共通の結果が得られた。しかし一方で差分をとっていないスペシフィケーションでは符号が食い違う結果となった。本研究では頑健性の高い方法として LOESS 法を用いているが、この図では単調増加の傾向を示している。ただし、差分をとった図の低所得の範囲にはこの傾向が見られないが、この範囲は標

準誤差が大きいため考察の対象からはずしている。なお、結果の表には報告していないが、一人当たり GDP の一乗項のみのスペシフィケーションでは単調増加の傾向が見出される。総合すると分析結果からは単調増加の傾向が見出されると考えられる。なお、この単調増加の傾向が強いために3乗項の符号が敏感になっていると考えられる。

NOx に関しては、パラメトリック手法の結果は差分をとらないものは3乗項が正、そして差分をとったものが負、これに対して LOESS 法の差分をとらないものはパラメトリックの差分をとらない結果と同様の傾向、そして差分をとっている LOESS 法の図は標準誤差がほぼ全区間で広いため判断ができない。総合すると、非常に敏感な結果といわざるを得ず、本研究から強い結論を提示することは難しい。先行研究で食い違う結果が生じる背景には LOESS 法の図が示している標準誤差の大きさが影響していると考えられる。そしてこの根本の原因は他の物質に比べて得られるデータ数が乏しいことが挙げられる。

BOD に関しては、パラメトリックな手法では差分をとらないスペシフィケーションのみ有意となった。これは以下のことが影響していると考えられる。すなわち、LOESS 法の図で分かるように差分をとったスペシフィケーションでは低所得と高所得において標準誤差が大きくなっているということである。表には含めていないが1乗項のみのスペシフィケーションでは差分をとらないに関わらず3乗項は負で有意となった。一方で LOESS 法の図から分かるように差分をとったほうは標準誤差が大きいものの全体としては単調減少の傾向が見出されると考えられる。

#### 4. まとめ

SO2 においては EKC 仮説を支持する結果が得られたが、CO2 については単調増加の傾向が見出され、BOD については単調減少の傾向が見出された。なお、NOx についてはデータ数の少なさもより安定した結果は得られなかった。

表 分析結果 (パラメトリック)

	SO2		SO2 (差分)		CO2		CO2 (差分)	
	IV 法 (N=2374)	SURE 法 (N=2374)	IV 法 (N=2282)	SURE 法 (N=2371)	IV 法 (N=2454)	SURE 法 (N=2374)	IV 法 (N=2358)	SURE 法 (N=2371)
GDP/人	-18.914 (-1.47)	7.156 (0.92)	-383.619 (-0.51)	-8.439* (-1.82)	-35.568*** (-4.63)	22.926*** (3.23)	-76.784** (-2.21)	-9.406*** (-3.75)
(GDP/人) <sup>2</sup>	3.153** (2.14)	-0.784 (-0.88)	49.582 (0.51)	1.131* (1.94)	4.767*** (5.47)	-2.646*** (-3.07)	9.372** (2.14)	1.199*** (3.80)
(GDP/人) <sup>3</sup>	-0.154*** (-2.77)	0.032 (0.88)	-2.007 (-0.51)	-0.047* (-1.96)	-0.202*** (-6.17)	0.107*** (3.08)	-0.372** (-2.13)	-0.048*** (-3.68)
	NOx		NOx (差分)		BOD		BOD (差分)	
	IV 法 (N=263)	SURE 法 (N=258)	IV 法 (N=169)	SURE 法 (N=168)	IV 法 (N=1428)	SURE 法	IV 法 (N=1297)	SURE 法
GDP/人	7.246 (0.25)	40.066* (1.96)	20.427 (0.02)	-42.705* (-1.83)	6.932** (2.49)		39.290 (0.77)	
(GDP/人) <sup>2</sup>	-0.878 (-0.25)	-4.790* (-1.95)	-4.622 (-0.03)	5.308* (1.82)	-0.875*** (-2.72)		-4.572 (-0.91)	
(GDP/人) <sup>3</sup>	0.037 (0.27)	0.191* (1.96)	0.225 (0.03)	-0.215* (-1.80)	0.036*** (2.90)		0.174 (1.01)	

注 \*\*\*は1%、\*\*は5%、\*は10%の有意水準で有意であることを示す。( )内はt値である

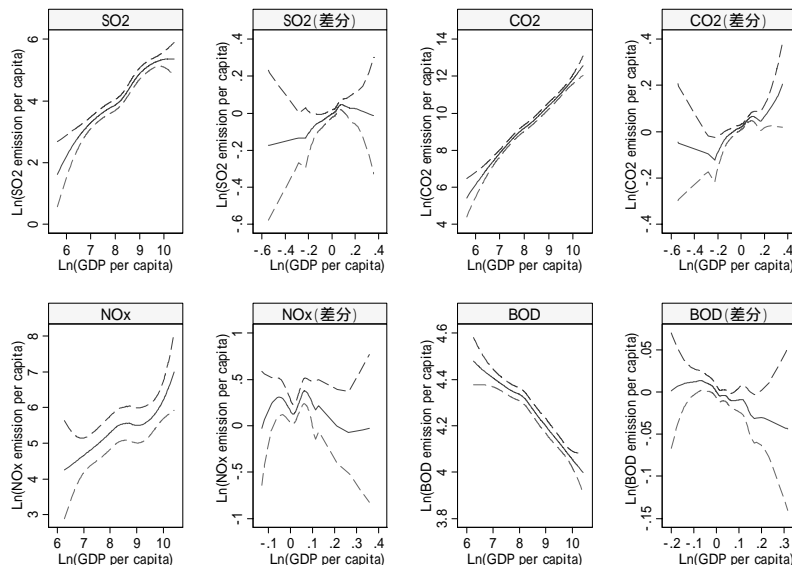


図 分析結果 (ノンパラメトリック) 破線は99%の信頼区間を表している