

環境クズネツ曲線仮説の再検討

ノンパラメトリック手法を用いて

要旨

環境クズネツ曲線 (EKC) 仮説とは経済発展の初期段階では環境汚染は進行し、その後ある段階まで経済発展が進むと環境汚染が逆に改善されていくことを意味する。この仮説は 1970 年代から議論されてきた「成長の限界」の問題に対する反証仮説として大きな関心を集め、1990 年代初頭から多くの実証研究が行われてきた。しかし最近になってこの分析の頑健性に対して疑問が投げかけられるようになった。そこで、本研究では事前に関数形を仮定する必要のないノンパラメトリック手法を用いることでこの仮説の妥当性をより頑健に再検証する。具体的には SO₂・CO₂・NO_x・BOD の 4 つの環境指標について、90 カ国強の国別データを用いパネルデータ分析を行った。その結果 SO₂ にはのみ仮説が成立し、CO₂ は単調増加、BOD に対しては単調減少の傾向があることが見出された。

Abstract

The environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis proposes that indicators of

environmental degradation first rise and then fall with increasing income per capita.

Because this hypothesis was presented as evidence against limit to growth, it attracted a lot of attention and many empirical studies emerged in the early 1990s. However, recently some controversial studies have questioned the robustness of their studies. Therefore this study reexamines validity of this hypothesis more robustly than ever before with nonparametric approach, which doesn't require the pre-specification of functional forms prior to estimation. Specifically we use panel datasets of four environmental indicators, SO₂ and CO₂ and NO_x, and BOD, for over 90 countries. The results show that the EKC is applicable only to the case of SO₂. The case of CO₂ indicates monotonic increase tendency, and that of BOD monotonic decrease tendency.

1. はじめに

環境クズネツ曲線 (environmental Kuznets curve ; EKC) 仮説とは経済成長と環境破壊の間に逆 U 字型の関係が存在するという仮説である。すなわち、経済成長の初期の段階で

は汚染が増大するが、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ものである。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 (Stern、2004)。

そこで、本研究では EKC の妥当性を再検討するために、以下の 3 つの異なる分析手法を用いる。

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 (CO₂, SO₂, NO_x, 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、我々は Frankel and Rose(2005)にならい、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 システム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 CO₂ の削減技術が同時に NO_x や SO₂ の削減にもつながっているということを想定している。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精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。この目的に適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 (Stern and Common(2001)、Stern(2004))。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。

2 . 先行研究

2 . 1 実証研究

EKC 仮説に関する研究は理論研究よりも実証研究が先行している。その先駆的研究は Grossman and Krueger(1991)、 Shafik and Bandyopadhyay(1992)、 Panayotou(1993)の 3 つの実証研究とされており、これらの研究で EKC の存在が示唆され、その後の活発な議論が喚起された。

多くの実証研究で EKC の存在が示されているが、一貫した結果が得られているわけではない。例えば CO₂ が良い例で、Robert and

Grimes(1997)、 Schmalensee et al.(1998)、 Sun(1999)などにおいては EKC の存在が示されているが、 Shafik(1994)、 Holtz-Eakin and Selden(1995)、 Heil and Delden(2001)、 Taskin and Zaim(2000)などではそれに矛盾した結果が得られている。

こうした状況を背景として、 Stern and Common(2001)は SO₂ の排出量と所得の関係は分析手法やデータのサンプリングに敏感であるとした。彼らは彼らの用いた全データにおいては単調増加の傾向、一方で高所得の国に絞ったデータでは EKC が当てはまる、そして、一年の差分をとった分析では全データそして高所得のデータ双方とも単調増加の傾向があることを見出している。また、 Harbaugh et al.(2002)も同様に汚染と所得の関係は関数形やデータのサンプリングに非常に敏感であるということを示している。

こうした膨大な研究の中、関数形をより柔軟に設計する流れが Shmalensee et al.(1998)により始められた。彼らはスプライン回帰を使用し CO₂ に関して EKC の存在を確認している。また、 Millimet and Stengos(2000)と Millimet et al.(2003)ではアメリカの州別のデータを使用し

てセミパラメトリック手法を用いて SO₂ と NO_x について EKC を確認している。また、Bertinelli and Strobl(2005)は SO₂ と CO₂ について差分をとったものにとらないものの二種類についてノンパラメトリックに分析し両物質に単調増加の傾向を見出し、最近では Azomahou et al.(2006)が CO₂ について差分をとったノンパラメトリック手法で単調増加の傾向を見出している。

以上のように、分析結果は使用される環境指標、国や地域、推定モデル、推定方法、モデルに含まれる説明変数、時間スパンなどの違いによって多種多様である。

2.2 理論研究

EKC 仮説に関する理論的研究は、Lopez(1994)によって始められた。彼は生産者が汚染の社会的限界費用を払うならば、汚染排出と所得との関係は生産者の利用できる技術や消費者の持つ嗜好に依存することを証明した。Seldon and Song(1995)は新古典派の成長-汚染モデルを使用して、最適汚染量と資本ストックの間の逆 U 字型の関係を導き出した。その後 Stokey(1998)も同じ成長モデルを用いて EKC 仮説を導き出している。以上のモデルでは経済

主体は無限の時間軸の仮定に基づいていたが、John and Pecchenino(1994), John et al.(1995), McConnell(1997)によって世代重複モデルも開発されている。このモデルでは、汚染の外部性は部分的にのみ内部化され、生産活動からよりもむしろ消費活動によって汚染が生み出される。また、McConnell(1997)は環境質の所得弾力性が負であっても汚染の悪化を減少させることができることを証明した。その他にも Andreoni and Lebinson(2001)は単純な静学的モデルを使用して、消費活動と汚染削減活動の間の技術的リンクから EKC 仮説を説明した。さらにはゲーム理論的アプローチも存在し、Hauer and Runge(2000)は大気のような公共財では多くの異なる国々の間で様々な戦略的な行動がとられるが、特に高所得国が環境汚染の外部性に反応することによって EKC 仮説が導き出されることを明らかにした。最近では、Brock and Taylor(2004)が Solow モデルを応用して「グリーンソローモデル」という理論モデルを発展させて EKC 仮説を導き出している。

3. 手法とデータ

3.1 操作変数法

GDP は一般に内生変数とされ、その扱いには

注意を要する。本研究は一人当たり GDP と誤差項の相関の問題を回避するために操作変数法を用いる。我々の知る限りでは EKC 論文で操作変数法を用いたものは Frankel and Rose (2005) 一つのみである。

さて、Frankel and Rose (2005) は一人当たり GDP の操作変数として一人当たり GDP の推計値を使用している。我々も彼らの方法にならぬ推計値を算出し操作変数とした。彼らは成長論に基づき推計値を算出しており、算出に際しては説明変数として以下のものを使用している。すなわち条件収束仮説に基づいて 20 年前の一人当たり GDP、Frankel and Romer(1999)に基づいて GDP、人口、面積の三つ、そして最後に新古典派の成長論の要素賦存量に基づいて投資率と人的資本である。

操作変数を用いたモデルは以下のとおりである。

$$\ln(S/\text{人})_{it} = \alpha_i + \gamma_t + \beta_1 \ln(GDP/\text{人})_{it} + \beta_2 \ln(GDP/\text{人})_{it}^2 + \beta_3 \ln(GDP/\text{人})_{it}^3 + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

ここで、 i は国、 t は年度を表している。また、 S は環境指標 (排出量)、 α_i は年度に影響を受けない国固有の特徴、 γ_t は年度に固有の特徴、

そして ε_{it} はその他の要因をコントロールする誤差項である。 α_i と γ_t の処理の仕方には固定効果推定法とランダム効果推定法があるが、本研究では F 検定とハウスマン検定を用いて各スペシフィケーションに最適な手法を採用した。

なお、 ε_{it} が系列相関を持ちやすいということはこの分野でよく指摘される問題であるが、差分をとることでこの問題の緩和が期待され、さらに 1 節で述べたように国固有の特徴 α_i をモデルから排除することができる。差分方程式は以下のモデルである。

$$\Delta \ln(S/\text{人})_{it} = \gamma_t + \beta_1 \Delta \ln(GDP/\text{人})_{it} + \beta_2 \Delta \ln(GDP/\text{人})_{it}^2 + \beta_3 \Delta \ln(GDP/\text{人})_{it}^3 + \Delta \varepsilon_{it} \quad (2)$$

なお、以上の(1)、(2)ではタイムトレンドをモデルに含めることで γ_t のコントロールをおこなっている。

3.2 SURE 法

1 節で述べたように CO₂ の増減に結びつく要因は同時に他の汚染物質の増減にも影響を与えることが多い。本研究では相互に関連する被説明変数の組み合わせとして、(a)SO₂・CO₂、(b)NO_x・CO₂ の二組を想定し分析を行った。ただし NO_x はデータ数が少ないため CO₂ の結

果はデータ数の確保を目的として(a)を採用している。

3.3 LOESS 法

モデルは以下のとおりである。

$$\ln(S/\text{人})_{it} = \alpha + G(\ln(\text{GDP}/\text{人}))_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

この(3)において $G(\cdot)$ は事前に形を特定しない関数、 α は定数項である。上記のモデルで表されるノンパラメトリック手法の代表例はナガラヤ・ワトソン推定量、局所多項式回帰、スプライン、そして LOESS である。これらは局所的に回帰を行う点で同様の手法と言えるが、データの区間を決める際に違いが存在している。具体的にはデータの密度が小さくなるにつれて広い範囲のデータを参照する傾向がナガラヤ・ワトソン推定、局所多項式回帰、スプライン、LOESS の順で強い。すなわち、この傾向が強ければ強いほど、データが疎な領域において一つの推定値を求める際、参照するデータ数が極端に少なくなることを防ぐことができる。また、このことは「境界バイアス」の問題の緩和にもつながる。例えばナガラヤ・ワトソン推定では最左端の推定値はその位置よりも左側にデータがないと認識されるためその位置よりも右側にあるデータにのみ影響を受ける。一方、同様の

左端の推定値を求める際に右側のデータをより広く拡張させることが他の手法では可能となる。これによってバイアスを緩和することができる。本研究のデータは疎な部分と密な部分があり、さらにはデータの端の位置は特に疎になっているため LOESS 法を採用している。

3.4 データ

SO₂ 排出量(kt)は Center for Air Pollution Impact and Trend Analysis(CAPITA)が推計したデータを基にして Stern が年数と国数を増強したものをを用いた(Stern(2005))。この排出量は化石燃料の消費量と鉱石の精錬量に排出原単位を乗じて求められている。排出原単位は燃料や鉱石中の硫黄含有率に排出要素を掛け合わせて算出してあるため、各国・各時点の排煙脱硫技術や燃料の低硫黄化の効果が反映されている。NO_x 排出量(kt)は Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)の EDGAR 3.2 と EDGAR 3.2 Fast Track 2000 を使用している。CO₂ 排出量(kt)と BOD 排出量(kg)は World development indicators を使用した。

データ期間と国の数は以下のとおりである。すなわち、SO₂ のデータは 1960 年から 2000

年・91カ国、NO_xは1990, 1995, 2000年の3年分・93カ国、CO₂は1960年から2000年・94カ国、BODは1980年から2000年・93カ国である。

また、一人当たりGDPはPPPで調整されたドル表示の2000年基準の値であり、Penn World Table 6.1から入手した。また、操作変数は3.1節で述べたようにFrankel and Rose (2005)と同様の方法で作成した。

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世界的な特徴を見出すことが期待できる。

4. 分析結果と考察

2節で述べたように先行研究ではEKC仮説を支持するものもあればそうでないものもある。我々の研究の目的はより頑健な手法を用いて結果を再検討することである。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。

SO₂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乗項を含めない二乗項までのスペシフィケーションでも二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。

CO₂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。我々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。総合すると我々の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。

NO_x 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。今後全世界的なモニタリングが継続

して行われることを期待する。

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も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。以上より単調減少の傾向が見出されると考えられる。

5 . 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、NO_x についてはデータ数の少なさもあ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) ²	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) ³	-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) ²	-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) ³	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。

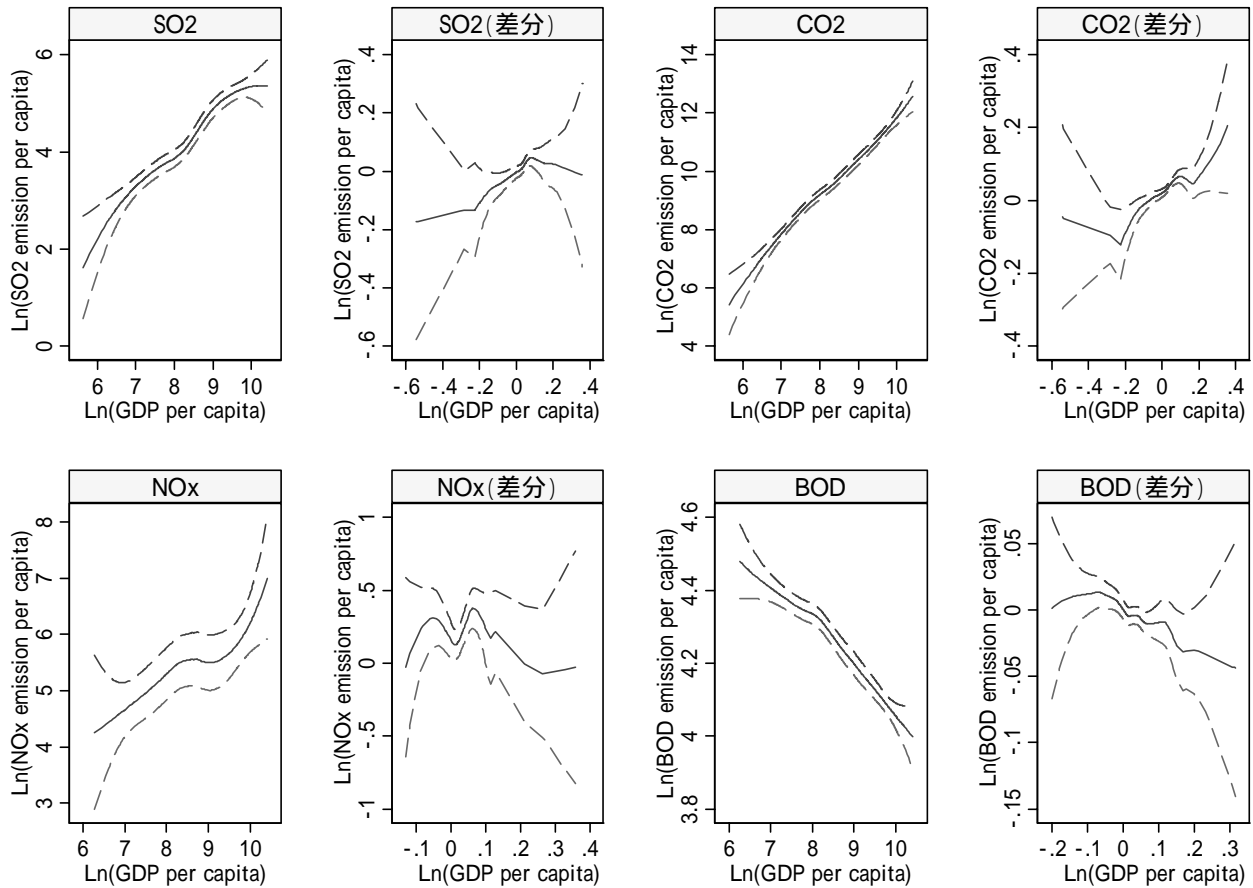


図 分析結果 (ノンパラメトリック) 破線は 99%の信頼区間を表している。

Appendix A 基本統計量
付表 基本統計量

	変数	データ数	平均	標準偏差	最小値	最大値
SO2 (91 カ国) (1970-2000 年)	GDP/人 [2000 PPP]	2374	7769.746	6963.506	281.258	33292.99
	SO2 [kt]	2374	515.093	1568.733	0.0468	14421.31
CO2 (94 カ国) (1970-2000 年)	GDP/人 [2000 PPP]	2454	7624.715	6905.202	281.2581	33292.99
	CO2 [kt]	2454	168485.6	594062.8	54.96	5829901
NOx (93 カ国) (1990, 1995, 2000 年)	GDP/人 [2000 PPP]	263	8556.627	8166.303	528.158	33292.99
	NOx [kt]	263	917.540	2479.156	1.9	19447
BOD (93 カ国) (1980-2000 年)	GDP/人 [2000 PPP]	1428	9027.849	7400.181	528.158	33292.99
	BOD [kg]	1428	70.9194	18.773	25.55	156.95

Appendix B 国名

本研究で扱った国は以下のとおりである。4つの物質全てにおいて扱った国は以下の88カ国である。すなわち、アイスランド、アイルランド、アメリカ、アルゼンチン、イギリス、イスラエル、イタリア、イラン、インド、インドネシア、ウガンダ、ウルグアイ、エクアドル、エジプト、エチオピア、エルサルバドル、オーストラリア、オーストリア、オランダ、ガーナ、ガイアナ、カナダ、カメルーン、韓国、キプロス、ギリシャ、グアテマラ、ケニア、コスタリカ、コロンビア、コンゴ、ザンビア、シエラレオネ、ジャマイカ、シリア、シンガポール、ジンバブエ、スイス、スウェーデン、スペイン、スリランカ、セネガル、タイ、中央アフリカ、中国、チュニジア、チリ、デンマーク、トーゴ、ドミニカ、トリニダード・トバゴ、ニカラグア、ニジェール、日本、ニュージーランド、ネパール、ハイチ、パキスタン、パナマ、パプアニューギニア、パラグアイ、バルバドス、ハンガリー、バングラデシュ、フィジー、フィリピン、フィンランド、ブラジル、フランス、ブルンジ、ベナン、ベネズエラ、ベルー、ベルギー、ポーランド、ボツワナ、ボリビア、ポルトガル、香港、ホンジュラス、マラウイ、マレーシ

ア、南アフリカ、メキシコ、モーリシャス、モザンビーク、ヨルダン、ルワンダである。この他にSO2ではマリ、モーリタニア、ルーマニアの三カ国、CO2ではガンビア、セイシェル、トルコ、マリ、モーリタニア、ルーマニアの六カ国、NOxではガンビア、セイシェル、トルコ、ルーマニア、レソトの五カ国、そしてBODではガンビア、トルコ、マリ、モーリタニア、レソトの五カ国を扱っている。

参考文献

Andreoni, J., & Levinson, A. 2001. The simple analytics of the environmental Kuznets curve. *Journal of Public Economics*, 80, 269-286.

Azomahou, T., Laisney, F., Nguyen Van, P., 2006. Economic development and CO2 emissions: a nonparametric panel approach. *Journal of Public Economics* 90, 1347-1363

Bertinelli, L., Strobl, E., 2005. The environmental Kuznets curve semi-parametrically revisited. *Economics Letters* 88, 350-357.

- Brock, W. A. and M.S. Taylor, 2004. The Green Solow Model, *NBER Working Paper* No. 10557.
- Frankel, Jeffrey, and David Romer, 1999, "Does Trade Cause Growth?" *American Economic Review*, 89, no. 3, June, 379-399.
- Frankel, J. and Rose, A. 2005. In Is Trade Good or Bad for the Environment? Sorting out the Causality. *Review of Economics and Statistics*. 87 (1): 85 - 91.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement. *NBER Working Paper* 3914, NBER, Cambridge MA.
- Harbaugh, W.T., Levinson, A., Wilson, D.M., 2002. Reexamining the empirical evidence for an environmental Kuznets curve. *The Review of Economics and Statistics* 84, 541– 551.
- Hauer, G. and C. F. Runge, 2000. Transboundary Pollution and the Kuznet's Curve in the Global Commons. *Working Paper* WPOO-4, Center for International Food and Agricultural Policy. University of Minnesota.
- Heil, M.T., Selden, T.M., 2001. Carbon emissions and economic development: future trajectories based on historical experience. *Environment and Development Economics* 6, 63– 83.
- Holtz-Eakin, D., Selden, T.M., 1995. Stoking the fires? CO2 emissions and economic growth. *Journal of Public Economics* 57, 85–101.
- John, A., & Pecchenino, R. (1994). An overlapping generations model of growth and the environment. *Economic Journal*, 104, 1393 1410.
- John, A., Pecchenino, R., Schimmelpfennig, D., & Schreft, S. (1995). Short-lived agents and the longlived environment. *Journal of Public Economics*, 58, 127 141.
- Lopez, R. (1994). The environment as a factor of production: The effects of economic growth and trade liberalization. *Journal of Environmental Economics and Management*, 27, 163 184.
- McConnell, K. E. (1997). Income and the demand for environmental quality. *Environment and Development Economics*, 2, 383 399.

- Millimet, D.L., Stengos, T., 2000. A semiparametric approach to modelling the environmental Kuznets curve across US States. Department of Economics Working Paper. Southern Methodist University.
- Millimet, D.L., List, J.A., Stengos, T., 2003. The environmental Kuznets curve: real progress or misspecified models? *Review of Economics and Statistics* 85, 1038–1047.
- Panayotou, T. (1993). Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. Working Paper WP238, Technology and Employment Programme, International Labour Office, Geneva.
- Roberts, J.T., Grimes, P.E., 1997. Carbon intensity and economic development 1962–91: a brief exploration of the environmental Kuznets curve. *World Development* 25, 191–198.
- Schmalensee, R., Stoker, T.M., Judson, R.A., 1998. World carbon dioxide emissions: 1950–2050. *Review of Economics and Statistics* 80, 15–27.
- Selden, T. M., & Song, D. (1995). Neoclassical growth, the J curve for abatement and the inverted U curve for pollution. *Journal of Environmental Economics and Management*, 29, 162–168.
- Shafik, N., 1994. Economic development and environmental quality: an econometric analysis. *Oxford Economic Papers* 46, 757–773.
- Shafik, N., & Bandyopadhyay, S. (1992). Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Crosscountry Evidence. Background Paper for the World Development Report 1992, The World Bank, Washington, DC.
- Stern, D.I., 1998. Progress on the Environmental Kuznets Curve? *Environment and Development Economics* 3, 175–198.
- Stern, D.I., 2004. The rise and fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Development* 32, 1419–1439.
- Stern, D. I. 2005. Global sulfur emissions from 1850 to 2000, *Chemosphere* 58, 163–175.
- Stern, D.I., Common, M.S., 2001. Is there an Environmental Kuznets Curve for sulfur? *Journal of Environmental Economics and Management* 41, 162–178.
- Stokey, N.L., 1998. Are there limits to growth?

International Economic Review 39 (1), 1– 31.

Sun, J.W., 1999. The nature of CO2 emissions
Kuznets curve. *Energy Policy* 27, 691–694.

Taskin, F., Zaim, O., 2000. Searching for a
Kuznets curve in environmental efficiency
using kernel estimation. *Economics Letters*
68, 217–223.