

## 研究ノート

## 「環境クズネッツ曲線仮説」に関する論文サーベイ

内 藤 登世一

## 要 旨

「環境クズネッツ曲線 (EKC) 仮説」とは、環境破壊と所得との間に逆U字型の関係が存在するという仮説である。それは経済発展の初期段階では環境汚染は進行していくが、経済発展がさらに進むと環境汚染は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であったがゆえに大きな関心を集め、1990年代初頭から多くの研究者によってその実証が試みられてきた。本稿ではこのEKC仮説に関する実証及び理論研究についてのサーベイを行なう。これまでの実証研究では、健康に直接影響を与える大気汚染物質 (SO<sub>2</sub>, SPM, CO, NO<sub>x</sub>) でEKCの存在が示され、健康にそれほど直接影響を与えない地球規模の大気汚染物質 (CO<sub>2</sub>) では示されていない。水質汚染物質ではいくつかの指標でEKCが証明されたが、多くの研究では証明されていない。その他の環境質指標でもほとんどの研究でEKCは証明されていない。一方で森林破壊については多くの研究でEKCの存在が確認されている。分析結果は使用される環境質指標、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。推計されたEKC分岐点 (環境汚染の増大から減少へと逆転する点) は、環境汚染指標では3000ドルから1万ドル、森林破壊では5000ドルから8000ドルの範囲内に存在する (1985年USドル基準)。さらにEKCが存在する要因として、経済成長、経済規模、財価格、国際貿易、経済的構造の変化、政治的・社会的制度や政策、人口成長率、人口密度などが明らかにされている。

キーワード：環境クズネッツ曲線、逆U字型仮説、経済発展、環境汚染、森林破壊

## 1. はじめに

「環境クズネッツ曲線 (Environmental Kuznets Curve) 仮説」に関する研究は、1990年代初頭に始まって以来、多くの研究者や国際機関の政策担当者によって進められてきた (以下、環境クズネッツ曲線をEKCと省略する)。試しに今データベースEconlitを使って“Environmental Kuznets Curve”で論文検索を行なうと、115にも及ぶ学術論文がリストアップされる (公表論文数は175)。まさに膨大な量の学術論文数である。ほとんどの研究が過去10年間ほどの間になされたことを考えると、驚くほどの盛況ぶりである。その一つの理由は、この研究が1970年代に始まった経済発展と環境破壊との関係に関する大論争の一端を担う興味深い問題であるからである。また、この研究が環境経済学、資源経済学、開発経済学、国際貿易学、公共経済学、エコロジー経済学などの幅広い分野にわたる学際的な問題であることも大きい要因である。

本稿では、これまでに展開された EKC 仮説に関する実証及び理論研究について整理してみたい。ここに EKC 仮説の研究のすべてを網羅することは不可能なので、特に 1990 年代の代表的な研究に絞ってまとめることにする。なお本稿は順次以下のように進めていく。まず次章では、EKC 仮説について簡単に概観する。第 3 章では、EKC 仮説の研究の出発点となった 1990 年代初頭の 3 つの先駆的実証研究について紹介する。第 4 章では、その後続く EKC 仮説についての代表的な実証研究についてまとめる。EKC 仮説に関する研究では実証研究が先行したが、一方で理論的研究も発展している。これについては第 5 章でまとめることにする。最終章では、EKC 仮説の研究の中でも特に森林破壊に関する EKC 仮説の研究についてまとめて締めくくりとしたい。

## 2. 環境クズネツ曲線 (EKC) 仮説

経済発展と環境破壊との関係には相反する二通りの仮説が存在し、それらは経済学者の間での論争の一つとして、これまで長年にわたって議論されてきた。一方の仮説は、経済発展は必然的に自然環境や生態系の破滅を引き起こし、そのことがやがては経済発展の足枷になって経済発展そのものを減速させていくという悲観的シナリオである。もう一方の仮説は、経済発展によって一度は環境破壊が起こるものの、やがてさらなる経済発展が進むことによって、環境破壊が改善される方向に進んでいくという楽観的シナリオである。

前者の議論は、特に 1972 年に出版されたローマクラブによる『成長の限界』(Meadows et al., 1972)<sup>1)</sup> に代表される。ローマクラブの経済学者の議論を要約すると、以下のようなものである。経済発展の初期段階では環境資源 (environmental resources) が豊富に存在するので、そこから採取された原材料やエネルギーを使用して経済成長を遂げる事ができる。しかしながら、さらに経済が発展していくとやがては環境資源の限界に至り、経済成長は妨げられるようになる。したがって、彼らは将来的に環境や生態系の破壊が進み、そこから最終的に至る経済的な危機を避けるためには、ゼロ成長率の定常的経済 (steady-state economy) への移行が必要であることを主張する。<sup>2)</sup>

当然のことながら、この議論に対してさまざまな批判的見解が議論され、反証研究も行なわれた。たとえば、Malenbaum (1978) は、所得に対する生産に投入される原材料の比率は、1970 年代の先進諸国ではむしろ減少していることを示した。また、金属製原材料の生産への投入の集約度と所得との関係も分析され、原材料の生産への投入集約度は所得のある閾値を超えると減少していくことが明らかにされた (Canas et al., 2003; de Bruyn and Heintz, 1998)。さらに、これらの反証研究からは、原材料の投入集約度と所得との間に逆 U 字型の関係があることも明らかにされた。これらの反証研究は、経済発展には技術革新という環境破壊に対する自動軽減装置が作用することを暗示する。

その後 1990 年代になると、こうした反証研究は環境質に関する多種のデータが利用可能と

1) 1992 年には『限界を超えて』(Meadows et al., 1992) が続編として出版されている。

2) エコロジー経済学者は、1970 年代の「資源の限界」の問題から、現在は地球の温暖化のような「捨て場の限界」の問題に移行したと主張している。(Costanza et al., 1997)

なったことにより、経済発展と環境破壊との関係の実証的研究へと進んでいった。経済発展と環境破壊との関係は、前述の原材料の投入集約度と所得の関係と同様に逆U字型を示し、この関係はPanayotou (1993) によって初めて“環境クズネツ曲線 (EKC)”と命名された (Dinda, 2004)。EKC のもともとの起源は、クズネツ (Kuznets, 1955) によって考案された“クズネツ曲線”である。クズネツ曲線とは周知のように、所得分配の不平等性は経済の発展の初期段階では上昇するものの、経済発展がさらに進んでいくと、それはやがて改善されていくというものである。

EKC 仮説とは、クズネツ曲線における所得分配の不平等性を環境の汚染度に置き換えたもので、環境汚染は経済発展の初期段階では徐々に悪化していくが、やがて経済発展によって国や社会が豊かになると、環境汚染は改善されていくというものである。経済発展と環境汚染をグラフに表すと (前者を横軸、後者を縦軸にとる)、それらの関係が逆U字型を示すことから、EKC 仮説は逆U字型仮説とも呼ばれている。このような経済発展と環境汚染の逆U字型の関係が成立する根拠は、以下のように説明される。

経済発展の初期段階では、財の生産を増加させることが第一に優先され、人々はきれいな空気や水よりも仕事につく事や所得を増加させることに精一杯で、結果として汚染が急激に広がっていく。さらに、急激な生産の増加はますます天然資源の使用を加速させ、そのことがまた環境汚染物質の排出を増加させていく。ところが、この時期は人々の所得水準はまだ低すぎて環境汚染を削減することに費用をかけける余裕はなく、しだいに明らかになってくる環境問題は無視されてなんら回復することもない。こうして経済発展に伴って、環境質の低下が進んでいくのである (Dasgupta et al., 2002)。しかしながら、経済がさらに発展して人々の所得が増加してくると、第一に、人々は生活必需品だけではなく「良い環境」といった上級財をも求めるようになってくる (良い環境に対する需要の所得弾力性は正の値をとる)。第二に、経済発展に伴って生産の主役が農業から製造業そしてさらにサービス業へと変化し、一単位当たりの生産から排出される汚染の割合は徐々に減少していく。第三に、国や社会が豊かになると技術的 (技術革新) にも社会的 (法制度) にも汚染削減の可能性が飛躍的に向上し、生産の拡大に伴ってますます増加する汚染物質を相殺することができるようになってくる。こうして社会がある所得水準の一定の閾値 (EKC 分岐点と呼ばれる) に達すると、その後は環境質が改善されるようになるのである (Bardhan and Udry, 1999)。

一方で、EKC 仮説に対する批判も存在する。代表的なものは、*Science* 誌上の Arrow et al. (1995) や、*Environment and Development Economics* 誌の政策フォーラム (1996) の中での批判的コメントである。主な批判点は、第一に、これまでに実証されてきた EKC 仮説は、単にいくつかの局地的で短期的な水質や大気汚染物質にすぎず、また汚染物質のストックや資源ストックでは実証されていない。つまり、二酸化炭素のような広範囲で長期に及ぶような汚染物質や、地域的な共有資源については実証されていない。第二に、EKC 仮説がクロスカントリー・データで実証されたからといって、ある低所得水準の国がその国の所得の改善に伴って

3) 所得と環境質との間の関係について初めて言及したのは、1971年の米国農業経済学会の会長講演における Vernon Ruttan であったとの指摘がある。(Antle and Heidebrink, 1995)

動的に環境質を自然に回復していくとは限らない<sup>4)</sup>。第三に、環境被害や環境資源（特に再生可能資源）には、ある種の不可逆性（irreversibility）が存在するので、一度それらがもつ限界（環境容量）を超えると改善することが不可能になる。最後に、EKC 仮説がたとえ個々の国に当てはまったとしても、世界全体の環境質水準は今後 20～30 年の間には悪化していくことが実証研究で予測されている<sup>5)</sup>。

ただ、こうした批判に答えるべく、その後も新たな EKC 仮説に関する研究が次々と進められている。冒頭にも記したが、現在までに 115 もの EKC 仮説に関する学術論文が公表されている。以下ではこの EKC 仮説に関する研究について整理していくが、まずはこの EKC 仮説の研究の起源となった記念すべき 3 つの先駆的実証研究について紹介することから始めたい。

### 3. EKC 仮説についての 3 つの先駆的研究

EKC 仮説に関する実証研究は、米国経済調査局（NBER）、世界銀行（World Bank）、国際労働機関（ILO）の 3 つの機関のワーキング・ペーパーから始まった。NBER のワーキング・ペーパーは、Grossman and Krueger (1991)<sup>6)</sup> による北米自由貿易協定（North American Free Trade Agreement）<sup>7)</sup> のもつ潜在的な環境への影響についての研究であった。彼らは二酸化硫黄（Sulphur dioxide; SO<sub>2</sub>）と煤煙（Darker matter; Smoke）と浮遊粒子状物質（Suspended particulate matter; SPM）の 3 種類の環境汚染物質と所得との関係を分析した。ここで使用されたデータは、世界保健機構（WHO）と国連環境計画の共同プロジェクトである GEMS（Global Environmental Monitoring System）<sup>8)</sup> による 42 カ国のパネルデータであった。分析に使用された推定式は、購買力平価（Purchasing Power Parity PPP；以下 \$PPP と省略する）で示された一人当たりの GDP の 3 次式であり、さらにタイムトレンドや貿易の集約度を表す変数が加えられている。

この研究結果からは、SO<sub>2</sub> と煤煙の 2 つのケースで環境汚染と所得との間に EKC が存在することが確認され、それぞれの EKC 分岐点は 4000 ドルから 5000 ドルになることが明らかにされた。ただし、SPM 濃度のケースでは低所得水準の時から下落する傾向を示し、逆 U 字型は確認できなかった。さらに、3 つの汚染物質のすべてのケースで、環境質は中所得水準において改善されるものの、高所得水準（1 万ドル から 1 万 5000 ドル）ではむしろ悪化することが明らかにされた。

4) 最近の新たな動的な面からの EKC 仮説批判には、悲観的なものと楽観的なものがある。悲観的なものとしては、グローバルイゼーションによって世界的な環境基準がある一定水準に収束するために、所得の増加に伴って環境質は減少しないので一定水準のところで水平線をたどるといふものである。また、新型の有害物質の登場によって、環境質は所得の上昇に伴ってさらに悪化して減少することはないというものもある。楽観的な批判としては、経済発展による技術革新によって、工業化の初期段階における汚染水準を低下させ、また低所得水準からでも汚染が減少し始めるようになるために、EKC が従来よりも左下方へシフトするというものである。（Dasgupta et al., 2002）

5) 世界全体の環境質水準の将来予測は、Seldon and Song (1994) と Stern et al. (1996) によって明らかにされている。

6) 本研究はその後、1995 年に *Quarterly Journal of Economics* 誌に掲載された（Grossman and Krueger, 1995）。

7) 本貿易協定はアメリカ、カナダ、メキシコの 3 カ国間で 1992 年 12 月に調印され、94 年 1 月に発行した。この研究がなされた時期は、1989 年 1 月にすでに発効していた米加自由協定にメキシコを参加させる交渉がなされている状況にあった。

8) GEMS は約 20 年間にわたり、異なる国のクロスセクションの大気質や水質をモニターしてきた。大気質のデータは、1977 年から 88 年までの間に、主に都市部にある観察区域でモニタリングによって得られ、周辺濃度で示されている（1982 年は 32 カ国の 52 都市で、また 1988 年は 14 カ国の 27 都市でモニタリングされた）。

世界銀行の *World Development Report* (IBRD, 1992) に使用された研究は, Shafik and Bandyopadhyay (1992)<sup>9)</sup> によるものであるが, これは世界銀行による研究報告ゆえに, 特に影響が大きかった。彼らは大気質や水質や森林破壊に関する 10 種類の異なる指標<sup>10)</sup>を使用して EKC 仮説を分析した。1960 年から 90 年までの 149 カ国のパネルデータが使用されたが, 一人当たりの GDP (\$PPP) データは, 都市のものと国のものが混在しており, あまり完全なデータではなかった。この研究では対数線形式 (log-linear), 対数二次式 (log-quadratic), 対数三次多項式 (logarithmic cubic polynomial) の 3 つの異なる推定式が使用され, 説明変数にはタイムトレンドや場所や政策に関する変数が含まれた。分析結果は, SO<sub>2</sub> と SPM の 2 つの大気汚染物質だけが EKC 仮説を満たし, それらの EKC 分岐点は 3000 ドルから 4000 ドルと Grossman and Krueger に比べて少し低い水準を示した。

彼らは大気汚染物質を, 所得と大気汚染との関係を示すグラフの形によって 3 つの種類に分類した。第一は, 一酸化炭素 (CO), 窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>), SO<sub>2</sub> などで, 逆 U 字型をかなりはっきり示すものである。これらは一人当たりの GDP の増加と共に排出量が上昇していき, やがてピークを迎えた後に低下していくものである。第二の種類は, 一人当たりの GDP の増加と共に単調的に増加していき, 排出量のピークを持たないものである。CO<sub>2</sub> や揮発性有機化合物 (VOC) がこれにあてはまる。第三の種類は SPM で, 一人当たりの GDP が増加するにしたがって排出量が低下していくものである (単調減少)。

国際労働機関 (ILO) のディスカッションペーパーで報告された研究は Panayotou (1993)<sup>11)</sup> によるもので, 前述したように “環境クズネツ曲線 (EKC)” という名称は, この研究の中で始めて使用されたといわれている (Dinda, 2004)。この研究では, SO<sub>2</sub>, SPM, NO<sub>x</sub> といった 3 種類の環境汚染物質だけでなく, 森林破壊に対する EKC 仮説も分析された。ここで使用されたクロスカントリー・データ (41 カ国の発展途上国と 27 カ国の先進国) は, 各国の名目 GDP を 1985 の米ドル基準の国際為替レート<sup>12)</sup> で変換されている。また, 汚染物質指標として, 周辺濃度ではなく一人当たりの汚染物質質量が使用されている。

3 つの汚染物質の分析に使用された推定式は, 一人当たりの GDP を変数とする対数二次式であり, 推定結果はすべて逆 U 字型を示した。また, 3 つの汚染物質の EKC 分岐点はそれぞれ SO<sub>2</sub> が 3000 ドル, SPM が 4500 ドル, NO<sub>x</sub> が 5500 ドルとなった。これらの EKC 分岐点は, 上記 2 つの研究とおおむね同様の所得水準であった。一方, 森林破壊のケースの説明変数には標本平均の人口密度や熱帯国ダミーが加えられて分析された。分析結果は EKC 仮説を満たし, EKC 分岐点は一人当たりの GDP が 823 ドルとかなり低く推計された。

9) 本研究はその後, 1994 年に *Oxford Economic Papers* 誌に掲載された (Shafik, 1994)。

10) 10 種類の指標は, 生活水の不足, 都市の下水の不足, SPM の周辺濃度, SO<sub>2</sub> の周辺濃度, 年間森林破壊 (annual deforestation), 総合森林破壊 (total deforestation), 川における溶解酸素, 川における糞便性大腸菌, 一人当たりの都市廃棄物, 一人当たりの二酸化炭素排出量である。

11) 本研究はその後, 1995 年に *Beyond Rio: The Environmental Crisis and Sustainable Livelihoods in the Third World* の第 2 章に掲載されている (Panayotou, 1995)。

12) この方法によるデータ変換では, 前述の \$PPP によるものに比べて, 変換された値が開発途上国の所得では低く, 先進国の所得では高くなる傾向がある。

#### 4. EKC 仮説についての実証的研究

前章で紹介した3つの先駆的な EKC 仮説の研究が引き金となって、その後には EKC 仮説<sup>13)</sup>についての多くの実証的研究が開始された。中でも初めて学術雑誌に掲載されたのは Selden and Song (1994) による実証研究である。彼らは World Resource Institute (WRI, 1991) の長期データを使用して、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SPM、CO の4種類の大気汚染物質の EKC 仮説を分析した。使用されたデータは30カ国(各国平均)のパネルデータであった(時系列として、1973-75、1979-81、1982-84のそれぞれの平均値を使用)。彼らは30カ国中の22カ国を高所得国、6カ国を中所得国、残りの2カ国を低所得国と分類している。

彼らの推定式には、GDP (\$PPP) の1次と2次の項、人口密度項、地域及び期間ダミー変数項が含まれている。分析結果はSO<sub>2</sub>とNO<sub>x</sub>とSPMの3つのケースでEKC仮説が確認された。分析された4つの汚染排出物のEKC分岐点は、それぞれSO<sub>2</sub>が8709ドル、NO<sub>x</sub>が1万1217ドル、SPMが1万289ドル、COが5963ドルとなった。これらのEKC分岐点は、前章の3つの先駆的研究よりも高い水準となったが、それは汚染物質の都市周辺濃度は、国全体の平均の汚染物質濃度よりも先に改善されていくためと説明されている。さらにこの研究では、3つの汚染物質の総排出量(全世界)が今後50年間にわたって単調増加してゆくであろうとする将来予測も明らかにされている。

次いで1995年には、大気汚染物質としてのCO<sub>2</sub>に関する2つの研究も報告された。これらは前述したArrow et al.による批判に答える試みである。第一の研究はHoltz-Eakin and Selden (1995)によるもので、彼らはOak Ridge National Laboratory (ODNL)によるCO<sub>2</sub>の排出量のパネルデータを使用してEKC仮説を分析した。彼らの分析結果では、CO<sub>2</sub>のEKC分岐点は、1次と2次のGDP項を含んだ線形推定式を使用した場合には3万5000ドル、対数線形推定式を使用した場合には800万ドルとかなりの高水準を示した。これはCO<sub>2</sub>のEKCは単調増加であるという前述のShafik (1994)による研究を支持する結果である。さらに、彼らはさまざまな異なった条件や収束型の成長モデルを使用して、21世紀におけるCO<sub>2</sub>の排出量の将来予測も明らかにした。CO<sub>2</sub>に関するもう一つの研究は、Schmalensee et al. (1995)によるもので、彼らはスプライン回帰式(spline regression)を使用して、CO<sub>2</sub>に関するさらに精緻な将来予測を行なった。この研究では、所得に対する炭素の弾力性が最低所得と最高所得の場合には負の値をとり、また中間所得水準では正の値をとることが示され、所得増加に伴う一人当たりの炭素排出量が減少していくことが明らかにされた。

これまでに扱われたもの以外の新しい環境汚染指標もEKC仮説の分析に登場した。Cole et al. (1997)は、従来のSO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、SPMに加えて、OECD加盟国のさまざまな種類の新しい環境指標を使用してEKC仮説を分析した。これらの新指標とは、総エネルギー消費量、水中の硝酸量、フロン(CFC)の排出量、交通量、メタン濃度などである。この研究では、地域的な汚染排出物質に関してEKC仮説は確認されたが、交通量や硝酸量やメタン濃度に関するEKC

13) その後EKC研究はかなりの注目を集め、学術雑誌の中でその特集が組まれるほどであった。フォーラムという形でさまざまな議論が、1995年の*Ecological Economics*誌や、1996年の*Environment and Development Economics*誌と*Ecological Applications*誌に掲載されている。また、研究論文としては、1997年の*Environment and Development Economics*誌、と1998年の*Ecological Economics*誌にEKC特集として多くの研究論文が掲載されている。

仮説は実証されなかった。エネルギー消費に関する EKC 仮説は、Horvath (1997) によっても分析された。彼は 114 カ国のパネルデータを使用して、一人当たりのエネルギー消費に対する EKC 仮説を分析した。彼の分析結果では、一人当たりのエネルギー消費は一人当たりの所得の増加に対して増加していくことが示され、エネルギー消費も環境に影響を及ぼすことが確認された（これは Stern et al. (1996) や Suri and Chapman (1998) によっても確認されている）。

初期の EKC 仮説の研究は、多くの国のデータを使用するクロスカントリー分析であったが、1 カ国に絞っての EKC 研究も行なわれるようになった。de Bruyn (1997) は LRTAP 諸国とアメリカの、1990 年から 2000 年までの硫黄排出削減の目標値について分析した。この研究で、より高い排出削減はより高い所得水準と関連していることを明らかにした。アメリカについての研究は Carson et al. (1997) によっても進められた。彼らは米国 50 州における 7 種類の大気環境指標についての EKC 仮説を分析し、すべての指標で EKC 仮説を確認した。また Vincent (1997) は、発展途上国のマレーシアだけに絞って EKC 仮説を分析した。彼の研究からは SO<sub>2</sub> などの汚染物質濃度と所得の間に EKC 関係が存在することが明らかにされた。

EKC 仮説の実証研究では、仮説の存在の実証だけでなく、所得と環境質との間に EKC 関係が存在する要因の分析も行なわれている。Panayotou (1997) は EKC 仮説を社会的・経済的な構造の変化で説明しようと試みた。彼は単位面積当たりの GDP や GDP における産業シェアといった新たな説明変数を推定モデルに付け加えた。彼の分析結果からは、所有権の保障や契約遂行力（社会的強制力）といった社会的な政策や制度が、EKC をより平坦にしたり左方向へシフトさせたりして、その分岐点をより早い経済水準で達成できるようにすることが明らかにされた。Ekins (1997) も、所得と環境質の EKC 仮説を GDP に占める経済セクターの占有率で説明しようと試みた。つまり、EKC 仮説を比較的汚染を多く排出するセクターからそうでないセクターへの構造の変化によって説明しようとしたのである。その他にも、こうした経済的な生産構造を要因とする EKC 仮説の要因分析は、Rock (1996) や Suri and Chapman (1998) にもみられる。

国際貿易を EKC 仮説の要因とする研究もある。Suri and Chapman (1998) は国際貿易に関する変数を推定モデルに追加すると、EKC 分岐点が 22 万 4000 ドルといった大きな所得水準にまで上昇することを示して、貿易が EKC の重要な構造的局面を持つことを明らかにした。Rock (1996) は 4 つの貿易に関する指標を説明変数として推定モデルに含め、有害物質と所得との EKC 関係を確認した。さらに彼は閉鎖経済と開放経済のダミー変数を用いて、閉鎖経済では GDP に対する有害物質の集約度が低く、輸出成長率や GDP における輸出シェアの成長率は有害汚染物質と正の関係を持つことを明らかにした。その他にも Rothmn (1998) は貿易される財の環境に与える影響について分析した。彼は貿易の生産面だけでなく消費の面にも焦点をあてて分析を行ない、消費財の中でも食品と飲料とタバコが EKC 仮説を示し、それ以外は単調増加の関係を持つことを明らかにした。

さらに、政治的な自由度も EKC 関係を生み出す要因として分析されている。Torrás and Boyce (1998) は制度的な要因は、特に低所得諸国において EKC 仮説の係数に影響を及ぼすことを明らかにした。また彼らは幅広い識字能力や政治的自由度や市民権といった要素も環境質に正の影響を与えることを明らかにした。Kaufmann et al. (1998) はある特別な経済活動の水

準（一定面積当たりのGDP）や社会集約度（都市のサイズ）の変化が、SO<sub>2</sub>や煤煙の大気中濃度にどのように影響を与えるのかを特定しようと試みた。

所得と環境質のEKC関係を、構造変化、経済成長、経済規模、財価格などのいくつかの基本的な部分に分けて分析しようとする試みも現れた。de Bruyn et al. (1998b) は、経済規模による影響やエネルギー価格を説明変数とした構造モデルを使用して、汚染物質の排出の変化は経済成長の変化に加えて生産のために排出される汚染物質の量の変化や、汚染を生む投入財の価格の変化によって説明できることを示した。de Bruyn (1997) は Divisia インデックスによる部分わけを試み、構造変化は環境質の回復には小さな役割しか果たさないことを明らかにした。このEKC関係のいくつかの要因への分解は、Panayotou (1997) でも試みられている。最近では、Magnani (2000) が、環境汚染量を生産の構成や生産水準を反映する初期段階における汚染量と、政策に基づく汚染削減量といった2つの量に分解することを試みた。彼の分析からは、環境質と経済発展の関係は、汚染排出に関する2つの部分がどのように成長するかに依存することが明らかにされた。

歴史的な出来事への環境への影響分析といったユニークな研究もある。Moomaw and Unruh (1997) や Unruh and Moomaw (1998) は、2期間モデルを使用して1970年代に起こったオイルショックに関連した歴史的出来事やその後の政策が、一人当たりのCO<sub>2</sub>に影響を及ぼすという新しいEKC仮説の理由付けを試みた。さらに、Komen et al. (1997) は、OECD加盟国で環境保護のために費やされた公共の研究や開発(R&D)と環境質との関係を分析した。彼らの分析結果は、所得に対する研究や開発費用の弾力性がほぼ1となり、EKC仮説を満たさなかった。彼らはその理由として、R&Dへの公共投資はR&Dへの総投資額の小さな部分であり、またR&D自体が環境改善のための全投資の一部であることを挙げている。

本章の最後に、これまでのEKC仮説に関する実証研究による解明点を簡単に整理してみた。EKC仮説の存在については多くの研究で実証されたが、それらはすべてのケースで存在するわけではなく、選択された環境質指標、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結論は異なっている。一般的には、大気汚染に関する指標(SO<sub>2</sub>, SPM, CO, NO<sub>x</sub>)と一人当たりのGDPの間には、大都市か郊外かにかかわらずEKC仮説が実証されている。ただし、健康にそれほど直接的な影響を与えないCO<sub>2</sub>についてはEKC仮説が実証されていない(CO<sub>2</sub>と所得との関係は単調増加)。一方、水質汚染の指標では結論はさまざまである。使用された水質の指標は水中の病原菌濃度(糞便性及び総大腸菌)、水中の重金属量(鉛、カドミウム、水銀、ヒ素、ニッケル)、水中の有害化学物質濃度、水中の溶存酸素量(BODとCOD)などであるが、ほとんどの研究でこれらの指標はEKC仮説を示していない(指標の中にはN字型のEKC関係を示しているものもある)。

環境質指標以外にも都市の固形廃棄物、都市の下水施設、飲料水へのアクセス、エネルギー消費、交通渋滞などが環境質の悪化を示す指標として使用されている。しかしながら、これらの指標のほとんどでEKC仮説が示されていない。都市の下水や飲料水施設といった直接健康に影響を与えるような環境汚染問題は、経済の発展と共にゆっくと増加する傾向を示している。また逆に都市の固形廃棄物のような問題では、所得が高くなってもさらに増加していく傾向を示している。さらに、実証研究の中で推計されたEKC分岐点は、1985年USドル基準で

3000 ドルから1万ドルの範囲内の値である。それらはほとんどのケースで途上国の一人当たりの所得より高く、途上国が未だに環境汚染を回復させ始める EKC 分岐点に至っていないことを明らかにしている。また、EKC 関係が存在する要因の分析からは、経済成長、経済規模、財価格、国際貿易、経済的構造の変化、政治的・社会的制度や政策などが EKC の要因として示されている。森林破壊についても多くの EKC 仮説研究がなされているが、それについては最後の第6章で詳しく述べることにする。その前に次章では、EKC 仮説に関する理論的研究についても少し触れることにする。

## 5. EKC 仮説についての理論的研究

EKC 仮説に関する研究では実証的研究が先行したが、一方で理論的研究も進められている。理論的研究は主に環境汚染、汚染被害、汚染削減費用、資本生産性、汚染削減努力（異なる社会的厚生関数の下で）などの変化の過程を導き出すとするものである。これらの理論的研究では、いくつかの現実的な条件が満たされる場合にのみ、所得と環境質との間の EKC 仮説が満たされることが明らかにされている。それらの条件とは、消費の限界効用が消費の上昇に対して一定あるいは減少する場合や、汚染の負の効用（disutility）や汚染の限界被害や限界削減費用が汚染の増大に対してそれぞれ増加する場合などである。ほとんどの理論モデルでは公共機関（それは汚染削減によって得られる便益と失われる費用についての完全な情報を持ちながら汚染を規制・管理できる）の存在を仮定している。また、モデルの範囲は、汚染の外部性を内部化させようとするインセンティブが働く（汚染を域外に輸出できないため）、一定地域内だけに限られている。（Dasgupta, et al., 2002）

EKC 仮説に関する理論的研究は、Lopez (1994) によって始められた。彼の一般理論モデルでは、2つの生産セクター、汚染を生み出す投入財と一般投入財の間の弱分離可能性（weak separability）、規模に関して収穫一定（constant return to scale）、資本と労働が準固定投入財、外生的技術、固定生産物価格などが仮定されている。彼はこのモデルを用いて、もし仮に生産者が汚染の社会的限界費用を支払うならば、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。消費者の嗜好が相似拡大的（homothetic）な場合には、生産の増加分はそのまま同じ汚染の増加分となるが、そうでない場合には、所得の増加に伴う消費者のさまざまな財に対する消費割合は変わる。したがって、所得の増加に伴う汚染の排出量は、消費者がどの程度リスク回避型（risk-aversion）であるのか（その程度は生産された財の消費の上昇に伴って限界効用が下落する割合によって表わされる）、また汚染を生み出す投入財と一般投入財との間にどの程度の代替の弾力性（elasticity of substitution）があるのかに依存する。

限界効用の下落が早ければ早いほど、また生産において投入財の代替が可能であればあるほど、生産に対する汚染の増大は少なくなる傾向にある。したがって、汚染は所得水準の低い時には増加し、また高い時には下落することになり、所得と汚染の間の EKC が導き出される。汚染の社会的費用が EKC 仮説の重要な役割を果たしているかもしれないことは、EKC 仮説に関する実証研究の結果とも一致する。第2章や第3章で見たように、汚染の社会的費用が明ら

かな  $\text{SO}_2$  (すでに多くの国で制御されている) については、逆U字型の EKC 関係が実証されている。しかしながら、社会的費用が明らかでない  $\text{CO}_2$  のような汚染物質は、単調増加型の関係であることが示されている。Lopez は森林破壊についての理論モデルも発展させ、もし仮に農業生産に対する森林ストックの影響が内部化されれば、経済発展が森林破壊を減速させるであろうことも明らかにした。

Seldon and Song (1995) は、Foster (1973) による新古典派の成長-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。ここではある一定の資本ストックが達成されるまでの最適汚染削減量はゼロであり、達成後は増加的割合で増加することが仮定されている。その後は Stokey (1998) によっても新古典派成長モデルを用いての EKC 仮説の理論的分析が展開された。Lopez や Seldon and Song や Stokey 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 (overlapping generation model) 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。この世代重複モデルによっても、適切な条件の下で EKC 仮説が導き出されている。

消費に関する環境汚染モデルを発展させた McConnell (1997) は、EKC 仮説の要因として指摘されている環境質の所得弾力性が、実はそれほど重要な役割を担っていないことを明らかにした。つまり、環境質の所得弾力性が高ければそれだけ早く環境の悪化を軽減させることができるが、この環境質の所得弾力性が非正 (non-positive) 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のである。また、Andreoni and Levinson (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。

ゲーム理論的アプローチによる分析も進められた。Hauer and Runge (2000) は、グローバルコモンズとしての公共財の見地から EKC 仮説を理論的に分析した。大気のようなグローバルコモンズでは、多くの異なる国々の間でさまざまな戦略的な行動が取られるが、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。前述の Lopez は、所得と汚染の EKC 仮説の一部を、汚職行為 (corruption) によって説明することも試みた (Lopez and Mitra, 2000)。彼らは一人当たりの所得のいかなる水準においても、汚職行為に対応する汚染水準は必ず社会的最適水準よりも高くなることを証明した。さらに、EKC 分岐点が社会的に最適な所得や汚染水準よりも高い水準になることも明らかにしている。最近では、Brock and Taylor (2004) が、Slow モデルを応用して「グリーン・ソロー・モデル」と名づけられた理論モデルを発展させて、所得と汚染質との EKC 仮説を導き出している。

## 6. 森林破壊に関する EKC 研究

本章では、EKC 仮説の研究の中でも、特に森林破壊に関する実証研究に焦点を絞って整理してみたい。森林破壊と経済発展の EKC 仮説に関する最初の研究は、第3章で既述した3つの先駆的研究のうちの2つの研究の中で分析されている。一つ目の研究は Shafik and Bandyopadhyay (1992) による世界銀行の *World Development Report* (IBRD, 1992) としての研究

である。彼らの研究では、森林破壊を表す指標として「年間森林破壊 (annual deforestation)」と「総合森林破壊 (total deforestation)」の2つの指標が使用されたが、これらの2つの指標と所得との間のEKC仮説を実証することはできなかつた<sup>14)</sup>。この結果の原因として、悪名高いことで知られる森林データの質の悪さが指摘されている。サーベイ調査は5年毎の基準年に行なわれるだけなので、年次データはサーベイ調査からではなく基準年のデータを基にさまざまな方法で計算されているのである。

もう一つの先駆的研究は、国際労働機関のワーキング・ペーパーとしてのPanayotou (1993)による研究である。彼の森林破壊に関するEKC研究では、68カ国の森林面積と国際為替レートで変換した国別の名目GDP (1985米ドル基準)のクロスカントリー・データが使用された。推定モデルには対数線形式が使用され、説明変数として一人当たりの所得の他に標本平均の人口密度や熱帯国ダミーが加えられた。推定結果はEKC仮説を満たし、森林破壊のEKC分岐点は、一人当たり823ドルとかなり低く推計された。さらに、森林破壊の進行は、熱帯諸国や人口密度の高い国ほど早くなる傾向のあることも明らかにされた。

これらの先駆的研究を行なったShafikとPanayotouは、その後には森林破壊の要因分析の研究も行なっている。Shafik (1994)は、先駆的研究で使用した推定モデルにいくつかのEKC関係の要因となる変数を新たに付け加えて再分析を行なった。その結果、総合森林破壊指標を用いたケースで、森林破壊と所得のEKC仮説が確認された。ただし、決定係数はゼロに近い値となり、所得がほとんど説明力を持たないことを示している。要因分析の結果では、一般的に森林破壊の重要な要因と考えられている経済成長、国際貿易の自由化、国家的負債などは、統計的に有意な結果を示さなかつた。ただ、これまであまり重要視されてこなかつたGDPにおける投資率や政治的・市民的自由度といった要因には、森林破壊を加速させる影響があることが示された。つまり、投資による資本形成は森林破壊と補完的關係にあり、民主的な政治体制ほど森林破壊を加速させることを示している。ただこれらの分析結果は、森林破壊の2つの指標の両方で確認されることができず、また決定係数が極端に小さい値を示しており、頑強性 (robustness) に乏しい結果であった。

一方、Panayotou and Sungsuwan (1994)はタイ南東部の16県の1973年、1976年、1978年、1982年のパネルデータ (リモートセンシングデータ (LANDSAT)) を使用して、森林破壊の要因分析を行なった。この研究ではEKC仮説の実証は行なわなかつたが、森林破壊の誘導型モデル (reduced model) に、一般木材需要、燃料用木材需要、農業用地需要の3つの需要関数を導入してEKC仮説の要因分析を行なった。彼らの分析結果からは、最も大きい森林破壊の要因は人口密度で、次に木材価格、三番目に所得水準、四番目は首都バンコクからの距離という結果が示された。それ以外に説明変数として使用された地方の道路密度、米の生産量、灌漑システム、高地で生産された穀物価格といった要因も、その度合いは小さいながらも森林破壊に影響を及ぼすことが明らかにされた。さらに、代替財の価格間の共線性 (collinearity) 問題を回避するために、別のモデルを使用して分析された灯油価格 (燃料用木材の代替財) について

14) 前者の指標は、66カ国の1962年から1986年までの間の森林面積の年次変化であり (パネルデータ)、後者は77カ国の1961年度から1986年までの森林面積の変化の1961年度森林面積に対する変化率で表されている (クロスセクション・データ)。

も、森林破壊と関係をもつことが示された。

1994年には、*American Economic Review* 誌にも森林破壊についての EKC 研究が掲載された (Cropper and Griffiths, 1994)。彼らの研究ではアフリカ、ラテンアメリカ、アジアの3つの地域についての森林破壊と所得の EKC 仮説が分析された。使用されたデータは64カ国の1961年から1991年までのパネルデータである。説明変数としては、地方の人口密度、人口の変化率、木材価格、一人当たりの GDP (\$PPP) の変化率、一人当たりの GDP (\$PPP) とその2乗値、国やタイムトレンドに関するダミーなどが使用されている。アフリカとラテンアメリカのケースで、森林破壊と所得の EKC 仮説が示されたが、アジアのケースでは示されなかった (アジアでは植林がかなり進んでいることが理由と説明されている)。EKC 分岐点はアフリカで4760ドル、ラテンアメリカで5420ドルとなり、これらは前述の Panayotou による823ドルの結果に比べてかなり高い水準となっている。彼らはこの高水準の EKC 分岐点の結果から、森林破壊の問題は経済成長では明らかに解決できないと結論づけている。

Antle and Heidebrink (1995)<sup>15)</sup> は、Vernon Ruttan による環境移行仮説 (Environmental transition hypothesis) を実証するために、84カ国のクロスカントリー・データを使用して、公共の公園や保護地域の面積と植林面積に関する所得弾力性の推定を行なった。彼らは EKC 仮説のことは直接触れていないが、ここでの分析は EKC 仮説の分析と同値である。分析結果は、公園と保護地域の両方のケースで環境移行仮説 (EKC 仮説) が満たされた。つまり、公園や森林のような環境サービスに対する需要の所得弾力性は、低所得国では小さい値かあるいは負の値をとり、先進諸国では1よりも大きい値をとることが明らかにされた。EKC 分岐点は、公園のケースでは1224ドル、植林のケースでは2049ドルであることが示された (1985年米ドル基準)。

Koop and Tole (1999) は、推定モデルにおける制約の違いによって、森林破壊と所得の EKC 関係の結果に違いが生じることを明らかにした。彼らは3つの異なる推定モデルを使用して、アフリカ、ラテンアメリカ、アジアの3地域 (76カ国の発展途上国) の1961年から1992年のパネルデータを用いて EKC 仮説の分析を行なった。分析に用いられた3つの推定モデルは、各国の推定係数が一定に固定されている従来の (1) 固定効果モデル (fixed effect model) や (2) 変量効果モデル (random effect model) と、各国特有の推定係数を持つ (3) 確率係数モデル (random coefficient model) である。分析の結果 (1) と (2) のモデルでは、ラテンアメリカのケースでのみ EKC 仮説が実証されたが (EKC 分岐点は8660ドル)、現実に近い仮定を前提にした (3) のモデルでは、EKC 仮説をまったく実証することができなかった。つまりこれは、それぞれの国や地域はそれぞれがユニークな EKC 関係を持っており、クロスカントリー・データを使用して全世界の EKC を一般化することは難しいことを意味している。

Barbier and Burgess (2001) は、従来の実証モデルの被説明変数に森林面積の変化の代わりに農業用地面積の変化を代用して、森林破壊と所得の EKC 関係の要因分析を行なった (悪質

15) 環境移行仮説とは、1971年の米国農業経済学において、Vernon Ruttan 会長によって主張された以下の仮説である。  
『先進諸国における生活必需品の需要の所得弾力性は低く、それは所得の上昇に伴ってさらに低下する。しかしながら、効率的なごみ処理や環境質の良さなどに対する需要の所得弾力性は高く、それは所得上昇に伴って増加する傾向にある。この状況は、生活必需品の需要の所得弾力性が高く、かつ環境質の需要の所得弾力性が低い発展途上国の状況と対照的である (Antle and Heidebrink, 1995)。』

な森林データを比較的良質な農地面積で置き換えた)。使用されたデータは、1961年から1994年までのパネルデータで、アフリカ、ラテンアメリカ、アジアの3地域に分けて分析された。説明変数には、一人当たりのGDPとその2乗値、GDP成長率、人口成長率、構造に関する変数（農業生産量、農用地シェア、農産物輸出シェア）、制度に関する変数（汚職インデックス、所有権インデックス、政治的安定度インデックス）などが使用された。分析結果から、人口成長率も大きな要因であること（特にアジア）や、構造変数が農用地の拡大（＝森林破壊の増加）に影響を与えることや、汚職や政治的安定度も重要な制度的影響を与えることを明らかにした。ただ、EKC仮説の存在は推定モデルの違いに依存し、一人当たりのGDP水準の農業用地面積に及ぼす影響は、地域によって大きく異なることが示された。EKC分岐点における所得水準は、アジアで6182ドル（GDP平均の2倍）、ラテンアメリカで4946ドル（GDP平均の1.3倍）とそれぞれのGDP平均よりも高い値を示した。

同様にBhattarai and Hammig (2001)も、1972年から1991年までのパネルデータを使用して、アフリカ、ラテンアメリカ、アジアの3地域における森林破壊と所得のEKC仮説の要因分析を行なった。彼らの新しい試みは、従来のモデルに政治制度（political institution）やマクロ経済的政策といった説明変数を導入したことである。<sup>16)</sup> 固定効果モデルによる推定結果は、ラテンアメリカとアフリカのケースでEKC仮説の存在を示し、EKC分岐点は、ラテンアメリカで6600ドル、アフリカで1300ドルと推計された。さらに、ラテンアメリカとアフリカのケースで、政治制度の発展やマクロ経済政策の導入によって森林破壊が減少すること、また逆に累積債務は森林破壊を増加させることも明らかにされた（これは債務－自然環境スワップ（Debt-for nature-swaps）の実践の重要性を証明している）。

最近では、森林破壊のために起こるCO<sub>2</sub>の大気中への排出についても分析がなされている。Lopez and Galinato (2005)は、経済成長によって発展する土地利用政策、国内経済政策、国際貿易政策、政治組織（民主的社會）などの変化と森林破壊やCO<sub>2</sub>の排出との関係や、所得とのEKC関係を分析した。彼らは従来のFAOのマクロデータではなく、ブラジル、インドネシア、マレーシア、フィリピンの4カ国のサーベイやリモートセンシングから得られたより信頼性の高いパネルデータ（1975年から1995年まで）を使用した。推定結果からはEKC仮説の存在が確認されたが、推定されたEKC分岐点は、ブラジル、マレーシア、フィリピンで約7000ドルから8000ドル、インドネシアで2600ドルと、各国の現在の所得水準（ブラジル、マレーシアで4500ドル、フィリピンで1200ドル、インドネシアで1050ドル）よりも高い水準となった。

さらに彼らの分析結果からは、国際貿易政策や政治組織・民主的社會体制の変化は、国によって違いが存在するものの、EKCの形や位置に大きな影響を及ぼすことが明らかにされた。また、森林破壊によって生じるCO<sub>2</sub>の排出が、一人当たりの所得の成長率に依存することも明らかにされた。つまり、経済成長が早い場合には森林がより早いスピードで伐採されたり、道路が建設されたり、農用地が増加したりして、結果としてより多くのCO<sub>2</sub>が排出されるようになるのである。

16) 政治的制度変数は、1から7までのレベルで表された、政治的権利インデックス（the political rights index）と市民の自由度インデックス（the civil liberty index）を足し合わせて、2から14の値で表わされている。また、マクロ経済政策変数は、外国為替のブラック市場プレミアムやGDPに占める累積債務の割合によって表わされている。その他にも説明変数として、技術変化の変数としての穀物生産高の変化率、人口成長率、人口密度などが使用されている。

最後に、これまでの森林破壊に関する EKC 研究の結果を整理する。第一に、EKC 仮説の存在であるが、これは多くの研究で確認されている。ただ、それらの分析結果は使用されたデータ（クロスカントリー・データ、パネルデータ、各国別データ）、推定モデル（推定式の種類、説明変数の種類）、推定方法（固定効果モデル・変量効果モデル、確率係数モデル）などに大きく依存することに注意が必要である。第二に、推定された EKC 分岐点は、おおむね 5000 ドルから 8000 ドルの範囲に存在し、これらは熱帯林を所有する国々の現在の一人当たりの GDP をはるかに上回る水準である。したがって、現在の森林破壊が EKC 仮説に従って所得水準の上昇と共に回復されていく保証はない。将来予測として最善のケースでも回復にはかなりの時間がかかるであろうし、最悪のケースでは森林破壊がさらに進んで回復不可能になることも考えられる。

一方、森林破壊の要因分析からは、森林破壊にはさまざまな破壊要因が存在することが明らかにされている。確認された破壊要因としては、人口成長率、人口密度、財価格（木材価格、代替財価格）、構造的要因（農業生産、農産物輸出、技術変化、市場からの距離）、政策的要因（投資、累積債務、国際貿易、土地利用）、制度的要因（経済体制、政治的安定、政治的自由、所有権の保証）などが挙げられる。ただ、これらの森林破壊要因の有意性もデータや推定モデルに強く依存するので、今後のさらなるデータの質の向上や推定モデルの改良が必要である。（2005 年 12 月 30 日）

## 参考文献

- Andreoni, James, A. Levinson (2001), "The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve" *Journal of Public Economics*, Vol.80(2), pp.269-286.
- Antle, J. M. and G. Heidebrink (1995), "Environment and Development: Theory and International Evidence", *Economic Development and Cultural Change*, Vol. 43(3) pp.603-625.
- Arrow, K., B. Bolin, R. Costanza, P. Dasgupta, C. Folke, C. S. Holling, B. Jansson, S. Levin, K. Maler, C. Perrings, D. Pimentel (1995), "Economic growth, carrying capacity, and the environment," *Science*, Vol.268(5210), pp.520-521.
- Barbier, E. B. and J. C. Burgess (2001), "The Economics of Tropical Deforestation," *Journal of Economic Surveys*, Vol.15(3), pp.423-421.
- Bardhan, P. and C. Udry (1999), *Development microeconomics*, Oxford University Press.
- Bhattarai, M., and M. Hammig (2001), "Institutions and the Environmental Kuznets Curve for Deforestation: A Crosscountry Analysis for Latin America, Africa and Asia", *World Development*, Vol.29(6), pp.995-1010.
- Brock, W. A. and M. S. Taylor (2004), "The Green Solow Model", NBER Working Paper No. 10557.
- Canas, A., P. Ferrao, and P. Conceicao (2003), "A New Environmental Kuznets Curve? Relationship between Direct Material Input and Income per Capita: Evidence from Industrialized Countries," *Ecological Economics*, Vol.46(2), pp.217-229.
- Carson, R. T., Y. Jeon, and D. Mccubbin (1997), "The Relationship between Air Pollution Emissions and Income: US Data", *Environment and Development Economics*, Vol.2(4), pp.433-450.
- Cole, M. A., A. J. Rayner and J. M. Bates (1997), "The Environmental Kuznets Curve: An Empirical Analysis," *Environment and Development Economics*, Vol.2(4), pp.401-416.
- Cropper, M. and C. Griffiths (1994), "The Interaction of Population Growth and Environmental Quality", *American Economic Review*, Vol.84(2), pp.250-254.
- Costanza, R., J. Cumberland, H. Daly, R. Goodland, R. Norgaard (1997), *An Introduction to Ecological Economics*, St. Lucie Press, pp.7-8.
- Dasgupta, S., B. Laplante, H. Wang, and D. Wheeler (2002), "Confronting the Environmental Kuznets Curve," *Journal of Economic Perspectives*, Vol.16(1), pp 147-168.
- de Bruyn, S. M. (1997), "Explaining the Environmental Kuznets Curve: Structural Change and International Agreements in Reducing Sulphur Emissions", *Environment and Development Economics*, Vol.2(4), pp.458-503.

- de Bruyn, S. M., and R. J. Heintz (1998a), The Environmental Kuznets Curve hypothesis. *Handbook of Environmental Economics*, Blackwell Publishing Co., Oxford, pp.656-677.
- de Bruyn, S. M., J. C. J. M. van den Bergh, J. B. Opschoor (1998b), "Economic Growth and Emissions: Reconsidering the Empirical Basis of Environmental Kuznets Curves," *Ecological Economics*, Vol.25(2), pp.161-175.
- Dinda, S. (2004), "Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey," *Ecological Economics*, Vol.49(4), pp.431-455.
- Ekins, P. (1997), "The Kuznets Curve for the Environment and Economic Growth: Examining the Evidence", *Environment and Planning*, Vol.29(5), pp.805-830.
- Forster, B. A. (1973), "Optimal Capital Accumulation in a Polluted Environment" *Southern Economic Journal*, Vol.39(4), pp.544-547.
- Grossman, G. M. and A. B. Krueger (1995), "Economic Growth and the Environment," *Quarterly Journal of Economics*, Vol.110(2), pp.353-377.
- Grossman, G. M., and A. B. Krueger (1991), "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement", NBER Working Paper No. 3914.
- 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.
- Holtz-Eakin D., and T. M. Selden (1995), "Stoking the Fires?CO<sub>2</sub> Emissions and Economic Growth," *Journal of Public Economics*, Vol.57(1), pp.85-101.
- Horvath, R. J. (1997), "Energy consumption and the environmental Kuznets curve debate", Department of Geography, University of Sydney, Sydney NSW.
- John, A. and R. Pecchenino (1994), "An Overlapping Generations Model of Growth and the Environment," *Economic Journal*, Vol.104(427), pp.1393-1410.
- John, A., R. Pecchenino, D. Schimmelpfennig, and S. Schreft (1995), "Short-lived Agents and the Long-lived Environment," *Journal of Public Economics*, Vol.58(1), pp.127-141.
- Kaufmann, R. K., B. Davidsdottir, S. Garngam, and P. Pauly (1998), "The Determinants of Atmospheric SO<sub>2</sub> Concentrations: Reconsidering the Environmental Kuznets Curve", *Ecological Economics*, Vol. 25(2), pp. 209-220.
- Komen, M. H. C., S. Gerking, and H. Folmer (1997), "Income and Environmental R&D: Empirical Evidence from OECD Countries", *Environment and Development Economics*, Vol.2(4), pp.505-515.
- Koop, G. and L. Tole (1999), "Is there an Environmental Kuznets Curve for Deforestation?", *Journal of Development Economics*, Vol.58(1), pp. 231-244.
- Kuznets, S. (1955), "Economic Growth and Income Inequality," *American Economic Review*, Vol.45(1), pp.1-28.
- Lopez, R. (1994), "The Environment as a Factor of Production: The Effects of Economic Growth and Trade Liberalization," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.27(2), pp.163-184.
- Lopez, R. and S. Mitra (2000), "Corruption, Pollution, and the Kuznets Environment Curve," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.40(2), pp.137-150.
- Lopez, R. and G. Galinato (2005), "Deforestation and Forest-Induced Carbon Dioxide Emissions in Tropical Countries: How Do Governance and Trade Openness Affect the Forest-Income Relationship?" *Journal of Environment and Development*, Vol.14(1), pp.73-100.
- Magnani, E. (2000), "The Environmental Kuznets Curve, Environmental Protection Policy and Income Distribution," *Ecological Economics*, Vol.32(3), pp.431-433.
- Malenbaum, W. (1978), *World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000*. McGraw-Hill, New York.
- McConnell, K. E. (1997), "Income and the Demand for Environmental Quality," *Environment and Development Economics*, Vol.2(4), pp.383-399.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, and J. Randers (1992), *Beyond the Limits: Global Collapse or a Sustainable Future*, London: Earthscan.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers, and W. Behrens (1972), *The Limits to Growth*, New York: Universe Books.
- Moomaw, W. R. and G. C. Unruh (1997), "Are Environmental Kuznets Curves Misleading Us?The Case of CO<sub>2</sub> Emissions," *Environment and Development Economics*, Vol.2(4), pp.451-463.
- Panayotou, T. (1997), "Demystifying the Environmental Kuznets Curve: Turning a Black Box into a Policy Tool," *Environment and Development Economics*, Vol.2(4), pp.465-484.
- Panayotou, T. (1995), "Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development," in *Beyond Rio: The Environmental Crisis and Sustainable Livelihoods in the Third World*,

- Ahmed, I. and J.A. Doeleman, eds., pp.13-36.
- Panayotou, T. (1993), "Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development," Working Paper WP238, Technology and Employment Programme, ILO, Geneva.
- Panayotou, T. and S. Sungsuwan (1994), "An econometric analysis of the causes of tropical deforestation: the case of Northeast Thailand," in *The Causes of Tropical Deforestation*, eds. K. Brown and D. W. Pearce, London: University College London Press.
- Rock, M. T. (1996), "Pollution Intensity of GDP and Trade Policy: Can the World Bank be Wrong?" *World Development*, Vol.24(3), pp.471-479.
- Rothman D. S. (1998), "Environmental Kuznets Curves - Real Progress or Passing the Buck? A Case for Consumption-based Approaches," *Ecological Economics*, Vol.25(2), pp.177-194.
- Schmalensee, R., T. M. Stoker, and R. A. Judson (1995), "World energy consumption and carbon dioxide emissions: 1950-2050," Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge MA.
- Selden, T. M. and D. Song (1995), "Neoclassical Growth, the J Curve for Abatement, and the Inverted U Curve for Pollution", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.29(2), pp.162-168.
- Selden, T. M. and D. Song (1994), "Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?" *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.27(2), pp.147-162.
- Shafik, N. (1994) "Economic Development and Environmental Quality: an Econometric Analysis," *Oxford Economic Papers*, Vol.46(0), pp.757-773.
- Shafik, N. (1994) "Macroeconomic causes of deforestation: barking up the wrong tree?" in *The Causes of Tropical Deforestation*, eds. K. Brown and D. W. Pearce, London: University College London Press.
- Shafik, N. and S. Bandyopadhyay (1992), "Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross-country Evidence", Background Paper for the World Development Report 1992, WPS904, The World Bank, Washington DC.
- Stern, D., M. Common, and E. Barbier (1996), "Economic Growth and Environmental Degradation: the Environmental Kuznets Curve and Sustainable Development," *World Development*, Vol.24(7), pp.1151-1160.
- Stokey, N. L. (1998), "Are There Limits to Growth?" *International Economic Review*, Vol.39(1), pp.1-31.
- Suri V. and D. Chapman (1998), "Economic Growth, Trade and Energy: Implications for the Environmental Kuznets Curve," *Ecological Economics*, Vol.25(2), pp.195-208.
- Torras M. and J. K. Boyce (1998), "Income, Inequality, and Pollution: a Reassessment of the Environmental Kuznets Curve," *Ecological Economics*, Vol.25(2), pp.147-160.
- Unruh, G. C. and W. R. Moomaw (1998), "An Alternative Analysis of Apparent EKC-type Transitions", *Ecological Economics*, Vol. 25(2), pp.221-229.
- Vincent, J. R. (1997) "Testing for Environmental Kuznets Curves within a Developing Country", *Environment and Development Economics*, Vol.2(4), pp.417-431.

以上