

19. 途上国における環境クズネツ曲線の実証可能性

林山 泰久^{1*}・菊池 愛美²・中畠 一憲³

¹ 東北大学大学院経済学研究科 (〒980-8576 仙台市青葉区川内27-1)

² 三菱UFJリース株式会社 (〒100-6525 千代田区丸の内1-5-1 新丸の内ビルディング)

³ 東北大学大学院生命科学研究科グローバルCOEプログラム (c/o 〒980-8576 仙台市青葉区川内27-1)

* E-mail: yhaya@econ.tohoku.ac.jp

途上国において自国の経済成長と環境保全との共存は、重要な課題であることは言うまでもない。この課題に対して、所得分配の不平等性と経済成長との関係を表す曲線にちなんで、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環境クズネツ曲線仮説が存在する。本研究では、先進国からの技術援助と内生的技術進歩を考慮した動学モデルを構築し、理論分析によって逆U字型環境クズネツ曲線の成立可能性を示すことを第1の目的とする。また、第2の目的として、実証分析によって途上国における環境クズネツ曲線仮説の実証可能性を検討する。

Key Words: *Environmental-Kuznets Curve, Advantage of Latecomer, Technical Change*

1. はじめに

途上国において自国の経済成長と環境保全との共存は、重要な課題である。近年の国際社会における環境意識の高まりによって、途上国は今後ますます環境に配慮した国家開発が求められるであろう。この環境保全と経済成長というテーマは、ローマ＝クラブの「成長の限界」(Meadows et al.(1972)¹⁾)に始まり、現在に至るまで長年論争が続いてきた。この環境・資源問題が経済成長の制約条件となりうることを指摘した「成長の限界」に反証する形で登場した仮説が、環境クズネツ曲線(Environmental Kuznets Curve: 以下、EKCと略す)仮説である。

EKC仮説とは、Kuznets(1955)(1965)(1966)^{2),3),4)}による所得分配の不平等性と経済成長との関係を表す曲線にちなんで、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ものの、一人当たりGDPがある水準を超えると、その傾向が変化し、環境改善が起こるというものである。このような傾向の逆転が起こる要因としては、環境低負荷型への産業構造の変化、技術進歩による汚染排出量の削減、環境政策の発展および人々の環境意識の高まり等が挙げられる。このEKC仮説に関する研究は、World Bank(1992)⁵⁾によって取り上げられたことを契機として現在まで実証および理論の両アプローチから多くの研究が進められてきた。

このEKC仮説は、特に、途上国等において経済開発を優先する行為の正当化手段として、しばしば批

判をうける場合もある。しかしながら、経済発展による技術水準の向上が、後発国における工業化の初期段階における汚染水準を低下させ、さらに、EKCが従来のものよりも左下にシフトすることによって、転換点の所得水準が従来よりも低くなる、という楽観的批判も存在する(例えば、内藤(2006)⁶⁾)。この楽観的批判は、途上国および工業後発国が環境低負荷型の経済成長経路をたどる可能性を示唆している。このように途上国(後発国)のEKCを従来のものから左にシフトさせる要因として挙げられるのが、途上国(後発国)が持つ、後発性の利益(Advantage of Latecomer)である。この後発性の利益とは、途上国(後発国)は先進国の過去の公害経験や環境政策から学び、先進国に既に存在する技術・ノウハウや開発された新技術等を研究開発において試行錯誤することなしに自国に導入することができる、という優位性のことである。この後発性の利益によって、途上国(後発国)は従来描かれてきたEKCよりも、一人当たりGDP、環境汚染ともに低水準のピークを持つ可能性を得ることができるのである。

このように、後発性の利益は途上国の経済成長と環境の関係を分析する上で非常に重要な概念であるが、これまでのEKC仮説の研究では理論、実証ともにこのような途上国の特徴が反映されておらず、特に実証に関しては途上国一国を対象としたEKC仮説の検証は未だ多くはない。

そこで、本研究では、先進国からの技術援助と内生的技術進歩を考慮した動学モデルを構築し、理論分析によって逆U字型EKCの成立可能性を示すこと

を第1の目的とする。また、第2の目的として、実証分析によって途上国におけるEKC仮説の実証可能性を検討する。なお、本研究ではタイを事例とする。

2. 既存研究の整理とその問題点

2-1 EKC仮説に関する理論研究

EKC仮説の理論的研究は、先行した実証研究の後に続き、EKCの存在が理論的にも成立するかどうかを検証されてきた。その中で環境問題を汚染の外部性として理論分析を行った代表的な論文として、Gradus and Smulders(1993)⁷⁾およびStokey(1998)⁸⁾を挙げることができる。

まず、Gradus and Smuldersは、新古典派モデル、AKモデルおよび人的資本を伴う内生的成長モデルを想定し、定常状態における汚染排出量と成長率の関係に焦点を充てた研究である。特に、人的資本を伴う内生的成長モデルでは、環境水準が人的資本の蓄積に対して悪影響を与える場合には、汚染に対する不効用の程度が大きい社会ほど長期的な成長率が高くなるという結論を導いている。一方、Stokeyは、経済がある一定以上に発展したとき、厚生を上昇させるためには、生産量を抑制してでも汚染排出物に対する規制を行い、汚染排出量を減少させるべきであることを主張した。そのため、AKモデルを用いて、EKCを理論的に導出している。このStokeyのモデルに関し、内山(2007)⁹⁾ではその特徴を次のようにまとめている。

- ① 資本蓄積が少ない発展の初期段階では汚染削減支出を行わず、クリーンな技術を導入しないコーナ解の状態にある。
- ② 資本蓄積に伴いこれらの汚染削減活動を導入するよう内点解への移行が生じ、その結果、逆U字型の関係がもたらされる可能性を示している。
- ③ 汚染削減支出やクリーンな技術の導入は汚染物質ごとに収益性に差があると考えられ、端点解からの離脱をもたらす所得水準は汚染物質ごとに異なる可能性がある。

このようにEKCが成立する要因を説明するものとしてAndreoni and Levinson(2001)¹⁰⁾は、生産や消費の構成が変化、環境に対する選好が強まること、外部不経済を内部化するような制度の導入、汚染削減活動における規模に関する収穫逓増を挙げている。

また、この他にもEKCの動学的モデルの背景を有する理論的研究も存在する。まず、John and Pecchenino(1994)¹¹⁾やMcConnell(1997)¹²⁾は世代重複モデルを用いてEKCの導出を行っている。また、Lopez(1994)¹³⁾は一般均衡理論モデルにおいて汚染の社会的費用がEKC仮説に重要な役割を果たしていることを指摘した。さらに、Lopezは自然資源ストッ

クの枯渇に着目しており、森林破壊と経済発展に関する理論に発展させている。Brock and Taylor(2004)¹⁴⁾は、Solowモデルを応用したGreen Solow Modelを開発し、所得と汚染質の関係についてEKC仮説を分析している。

2-2 EKC仮説に関する実証研究の整理

EKCは、World Bankによって取り上げられたことを契機とし、1990年代初頭からEKCに関する実証研究が数多く行われているものの、近年では関数型の特定や頑健性に対する批判が複数なされている(例えば、Stern(2004)¹⁵⁾)。

その中で、Panayotou(2000)¹⁶⁾は、EKCの実証における論点として以下の5項目を挙げている。

- ① そもそもEKCの関係は、現実の経済で普遍的にみられるものか否か。
- ② 人口成長、所得分配、国際貿易等の構造的要因によって、EKCはどのような影響を受けるか。
- ③ 経済の発展段階を異にする国々のデータを基にした推定結果から、一国の経済発展と環境との関係を導くことの是非。
- ④ 生態系の閾値や不可逆な環境ダメージの存在等の生態学的な要因が、EKCに関係しているものか否か。
- ⑤ 環境政策はEKCの形状にどのような影響を与えるのか、また、EKCのピークを低めるためにはどのような政策が有効か。

EKCの実証研究は、Panayotouが挙げたこれらの論点に沿って、その成立の可否を検証するものから、要因分析や政策提言に至るまで様々なアプローチによる分析へと発展した。

前述したように、実証研究の初期は単純にEKCが成立するか否かを検証するものであったものの、その最も基本的な方法は、環境負荷を示す指標を被説明変数とし、一人当たり説明変数として式(1)のような回帰式を推定するものである。

$$EI_{i,t} = \alpha + \beta_1 y_{i,t} + \beta_2 y_{i,t}^2 + \beta_3 y_{i,t}^3 + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

ここで、 EI は環境負荷を示す指標、 y は一人当たりGDP、 ε は誤差項を意味する。なお、 i は国、 t 時間を意味するサブスクリプトである。また、 α および β はパラメータであり、 $\beta_1 > 0$ 、 $\beta_2 < 0$ および $\beta_3 = 0$ が統計的有意、かつ、転換点 $-\beta_1/(2\beta_2)$ が常識的な範囲で納得ができる水準であれば、逆U字関係の存在は実証されることになる。Grossman and Kruger(1993)¹⁷⁾は、この回帰式にタイムトレンドや貿易の集約度等の変数を加えて、 SO_2 、煤煙、浮遊物質(Suspended Particulate Matter: SPM)の3種類の大気質データと所得との関係について分析している。こ

の研究ではGEMS(Global Environmental Monitoring System)のパネルデータを使用しており、推計の結果SO₂と煤煙の2つに逆U字関係が成立することが確認された。一方、Shafik and Bandyopadhyay(1992)¹⁸⁾では、大気質や水質、森林破壊指標、都市における生活指標(安全な水の供給やごみ排出量等)と多岐にわたる環境指標についてEKC仮説の実証を試みており、大気質のSO₂とSPMについてのみEKC仮説が成立しているとした。同様に、Panayotou(1993)¹⁹⁾やSelden and Song(1994)²⁰⁾もクロスカントリーによる分析を行っている。これに対し、Arrow *et al.*(1995)²¹⁾は、環境被害や環境資源にはある種の不可逆性(Irreversibility)が存在することを主張し、限界を超えてしまうと改善が不可能になることを指摘しており、EKC仮説を批判している。また、クロスカントリーによる分析で実証可能性が確認されたからと言って、果たして一国の経済成長と環境汚染との関係に置き換えて論じることが可能であるのかという議論もなされている(Panayotou(2000)における③の論点)。

一国を対象とした実証研究としては、Carson *et al.*(1997)²²⁾およびVincent(1997)²³⁾が挙げられる。まず、Carson *et al.*は米国50州を対象としてEKC仮説を検証しており、7種類の大気汚染指標に対して、全ての指標において逆U字型EKCが推計されている。また、Vincentは途上国のマレーシアを対象として、大気汚染指標のほか水質汚染指標についてEKC仮説の分析している。ここでは、Selden and Songの結果とマレーシアの実際の環境データおよびGDP水準を比較分析しているほか、1970年代後半から1990年代初期までのパネルデータを使用し、TSP(Total Suspended Particulate)と5種類の水質汚染物質(BOD, COD, アンモニア態窒素, pH, 浮遊物質)に関してEKCの導出を試みている。この研究では、TSPと5種類の水質汚染物質一人当たり所得の間には、逆U字型EKCは得られなかった。この他に、発展途上国を対象にしたものとして、二宮(2005)²⁴⁾は中国のSO₂排出量に関してSO₂排出を決定する要因の分解分析と合わせてEKCの推計を試みている。この結果、中国のSO₂排出量と所得との間に逆U字型EKCの関係が成立し、要因分析では産業構造の汚染集約的変化や汚染処理技術の導入による排出削減効果が確認されている。

3. 先進国からの技術援助と内生的技術進歩を考慮した動学モデル

3-1 モデルの考え方

ここでは、伊ヶ崎(2004)²⁵⁾に依拠し、先進国からの技術援助(外生的技術進歩(Exogenous Technical Change))と自国の自助努力による内生的技術進歩(Endogenous Technical Change)の双方を考慮した動

学モデルを構築するものとする。

本研究では、先進国からの技術援助(外生的技術進歩)と自国の自助努力による内生的技術進歩の双方を考慮した動学モデルを提案することを目的としている。本研究においては、モデルを単純化しているものの、de Bruyn and Heitz(1999)によるEKCの成立要因の一つである、技術上および構成上の変化(Technological and Organizational Changes)に着目するものとした。すなわち、これは経済成長の過程における資本蓄積や技術革新は、効率化され、それに伴い、環境負荷を軽減するような技術開発等が更に促進され、製品の構成においてもリサイクル部品の利用や有機分解され易い製品等、よりクリーンなものへと変化していくことを意味する。

そこで、本研究のモデルでは、まず、途上国内においては環境負荷の少ない中間財の種類を増加させるために、研究・開発活動を行うためにR&D部門(Research and Development Sector)へ労働を投入するという内生的技術進歩が促進されるものと仮定する。さらに、先進国は途上国に対して、環境に特化した技術援助を行い、環境負荷の軽減をもたらすという外生的技術進歩と仮定する。図-1には、その概念図を示す。

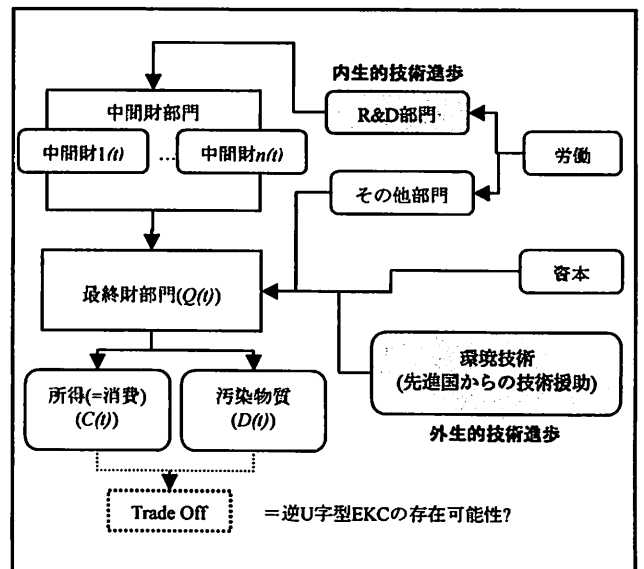


図-1 モデルの概念図

3-2 モデル

(1) 生産技術と汚染物質

本モデルにおいては、最終財部門において、最終財は同質であり、消費および物的資本を蓄積するための投資に用いられるものと仮定し、式(2)で表現できるものとする。

$$Y(t) = Ae^{g^t} K(t)^{\alpha} Q(t)^{1-\alpha} z(t) \quad (2)$$

$$Q(t) = \left[\int_0^{n(t)} x_i(t)^\xi di \right]^{\frac{1}{\xi}} \quad (3)$$

ここで、 $Y(t)$ は総生産量、 A は生産性を示すパラメータ、 α は資本と中間財の指標との代替性を示すパラメータ、 g は外生的な技術進歩率、 $K(t)$ は資本ストック量、 $Q(t)$ は中間財の指標であり式(3)で表現され、 $x_i(t)$ は第 i 中間財の投入量、 $\xi(0 < \xi < 1)$ は中間財の代替性を意味するパラメータである。なお、 g は先進国からの技術移転であると解釈する。したがって、生産関数である式(2)は、潜在的な生産量(生産可能な最大生産量)は、 $Ae^{gt}K(t)^\alpha Q(t)^{1-\alpha}$ であり、資本ストックと中間財の指標とのコブ=ダグラス型生産関数である。また、中間財は、水平的に差別化されているものとし、中間財の種類の数を示す $n(t)$ が増加することにより、中間財部門における生産性の向上をもたらすというメカニズムを有する。さらに、 $z(t)$ は環境技術の指標を意味し、 t は時間を意味する。この生産関数において、本研究で極めて重要な変数となる $z(t)$ は、 $z(t) \in [0, 1]$ であるものとし、 $z(t) = 1$ である場合には汚染物質を最大に排出する生産技術であり、一方、 $z(t) = 0$ である場合には最もクリーンな生産技術であることを意味するものとする。

式(3)における中間財の種類の数を示す $n(t)$ は、式(4)で示すように蓄積されるものとする。すなわち、中間財の種類を増加させるためには、研究・開発活動を行うためにR&D(Research and Development)部門へ労働を投入するものと仮定していることを意味する。なお、変数に関するドットは時間に関する導関数を示す($\dot{n}(t) \equiv dn(t)/dt$)。ここで、 ε はR&D部門の生産性を示すパラメータであり、 $L_{R\&D}(t)$ はR&D部門の労働供給量を意味する。

$$\dot{n}(t) = \varepsilon n(t) L_{R\&D}(t) \quad (4)$$

さらに、労働部門における制約条件として式(5)を考える。ここで、 $L_x(t)$ は非R&D部門(或いは、中間財生産部門)の労働供給量、 L は総労働供給量(時間を通じて一定)を意味する。

$$L_{R\&D}(t) + L_x(t) = L \quad (5)$$

また、各中間財は労働を唯一の本源的な生産要素として生産されるものとし、任意の $i(i \in [0, n(t)])$ に対して、中間財1単位を生産するために労働1単位が

必要であるものと仮定すると、中間財生産部門における労働供給量 $L_x(t)$ は、式(6)で表現することができる。

$$L_x(t) = \int_0^{n(t)} x_i(t) di (= X(t)) \quad (6)$$

一方、汚染フローの各時点の排出量 $D(t)$ は、式(7)で表現され、 β は環境技術と汚染フローの関係を意味するパラメータであり、 $\beta > 1$ であるとする。なお、この仮定は、汚染物質は個人の消費からは排出されないことを意味している。

$$D(t) = Ae^{gt}K(t)^\alpha \left[\int_0^{n(t)} x_i(t)^\xi di \right]^{\frac{1-\alpha}{\xi}} z(t)^\beta \quad (7)$$

また、式(2)および式(7)より、 $z(t) = 1$ のとき、一人当たり生産量および汚染排出量は最大となり、実際の生産量と潜在的生産量は一致することになる。したがって、 $z(t)$ が1から減少する、すなわち、クリーン技術を導入することにより、環境汚染は改善されるものの、生産量は減少するというトレード・オフに直面することになる。ゆえに、 $z(t) = 0$ の場合には、生産量および汚染量ともにゼロとなる。

さらに、式(2)および式(7)より、式(8)が成立することになる。

$$D(t) = Y(t) z(t)^{\beta-1} \quad (8)$$

(2) 効用関数

無限期間生存する代表的個人の t 期における瞬時的効用関数は式(9)で表現されるものとする。

$$u(t) = \frac{c(t)^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} - BD(t)^\gamma \quad (9)$$

ここで、 $u(t)$ は代表的個人の効用、 $c(t)$ は一人当たりの財の消費量、 σ はArrow-Prattの相対的リスク回避測度(消費の異時点間代替弾力性の逆数: Arrow-Pratt Index of Relative Risk Aversion)を表すパラメータであり、 $\sigma > 0$ とする。ここで、相対的リスク回避測度は、式(10)で表現される。

$$\sigma = -c(t) \frac{\partial^2 u(t) / \partial c^2}{\partial u(t) / \partial c} \quad (10)$$

また、 B および γ は汚染に対する不効用の程度を表すパラメータであり、 $B > 1$ 、 $\gamma > 1$ であるとする。

式(9)の右辺第1項は、標準的なCRRA(Constant Relative Risk Aversion)であり、右辺第2項は汚染フローから発生する不効用を意味する加法分離的な効用関数である。すなわち、汚染の増加は代表的個人の効用を低下させ、さらに、その限界不効用は通増することになる。

(3) 資本の蓄積方程式

資本の蓄積方程式は、式(2)との関係で式(11)となる。

$$\dot{K}(t) = Ae^{gt} K(t)^\alpha \left[\int_0^{n(t)} x_i(t)^\xi di \right]^{\frac{1-\alpha}{\xi}} z(t) - C(t) \quad (11)$$

(4) 社会的計画者

以上の定式化により、社会的計画者は、式(12)に示す代表的個人の目的関数最大化問題を解くことになる。なお、 ρ は主観的割引率であり $\rho \in [0, 1]$ とし、 $C(t) \equiv c(t)L$ であるとする。

$$\begin{aligned} \max \int_0^\infty e^{-\rho t} & \left[\frac{c(t)^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} - BD(t) \right] dt \\ \text{s.t. } \dot{K}(t) &= Ae^{gt} K(t)^\alpha \left[\int_0^{n(t)} x_i(t)^\xi di \right]^{\frac{1-\alpha}{\xi}} z(t) \\ & - C(t) \\ L_x(t) &= \int_0^{n(t)} x_i(t) di (\equiv X(t)), K(0) = K_0, \\ n(0) &= n_0 \end{aligned} \quad (12)$$

以下では、式(12)の最適成長経路を導出する。

まず、式(12)に示した最適化問題の当該期価値ハミルトニアン(Current-value Hamiltonian)は、式(13)で表現される。なお、 $\lambda_1(t)$ および $\lambda_2(t)$ は、各々、資本ストックと中間財の数のシャドウ・プライス(Shadow Price)、或いは、効用単位での帰属価値を意味する。

$$\begin{aligned} H \equiv & \frac{c(t)^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} \\ & - B \left(Ae^{gt} K(t)^\alpha n(t)^{\frac{1-\alpha}{\xi}} x(t)^{1-\alpha} z(t)^\beta \right)^\gamma \\ & + \lambda_1(t) \left(Ae^{gt} K(t)^\alpha n(t)^{\frac{1-\alpha}{\xi}} x(t)^{1-\alpha} z(t) \right) \\ & + \lambda_2(t) (\varepsilon n(t) (L - n(t)x(t))) \end{aligned} \quad (13)$$

さらに、最大値原理(Maximum Principle)より、最適化のための一階の条件(First-Order Condition)は式(14)～式(18)、また、横断性条件(Transversality

Condition)は式(19)および式(20)となる。

$$\frac{\partial H}{\partial c(t)} = 0 \quad (14)$$

$$\frac{\partial H}{\partial z(t)} \geq 0 \quad (15)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x(t)} = 0 \quad (16)$$

$$-\frac{\partial H}{\partial K(t)} = \dot{\lambda}_1(t) - \rho \lambda_1(t) \quad (17)$$

$$-\frac{\partial H}{\partial n(t)} = \dot{\lambda}_2(t) - \rho \lambda_2(t) \quad (18)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} \lambda_1(t) K(t) = 0 \quad (19)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} \lambda_2(t) n(t) = 0 \quad (20)$$

ここで、 $z(t) \in [0, 1]$ であることに注意すると、式(15)においては $z(t)$ が内点解であるときに等号が成立することになる。また、 H が制御変数 $c(t)$ および $z(t)$ と状態変数 $K(t)$ および $n(t)$ について凹関数であることから、式(14)～式(20)は最適化のための必要十分条件となる。したがって、定常状態(Steady State)への最適経路上においては、式(21)～式(25)の条件が満たされることになる。

$$c(t)^{-\sigma} = \lambda_1(t)L \quad (21)$$

$$z(t) = \begin{cases} 1, & \text{if } m(t) \geq 1 \\ m(t)^{\frac{1}{\beta\gamma-1}}, & \text{if } m(t) < 1 \end{cases} \quad (22)$$

$$X(t) = \begin{cases} (1-\alpha) \left(1 - \frac{1}{\beta m(t)} \right) \frac{Y(t) \lambda_1(t)}{\varepsilon \lambda_2(t) n(t)}, & \text{if } z(t) = 1 \\ (1-\alpha) \left(\frac{\beta-1}{\beta} \right) \frac{Y(t) \lambda_1(t)}{\varepsilon \lambda_2(t) n(t)}, & \text{if } z(t) < 1 \end{cases} \quad (23)$$

$$-\frac{\dot{\lambda}_1(t)}{\lambda_1(t)} = \begin{cases} \alpha \left(1 - \frac{1}{\beta m(t)} \right) \frac{Y(t)}{K(t)} - \rho, & \text{if } z(t) = 1 \\ \alpha \left(\frac{\beta-1}{\beta} \right) \frac{Y(t)}{K(t)} - \rho, & \text{if } z(t) < 1 \end{cases} \quad (24)$$

$$\frac{\dot{\lambda}_2(t)}{\lambda_2(t)} = \begin{cases} \rho - \frac{1-\alpha}{\xi} \left(1 - \frac{1}{\beta m(t)} \right) \frac{Y(t) \lambda_1(t)}{n(t) \lambda_2(t)} \\ \quad - \varepsilon (L - 2X(t)), & \text{if } z(t) = 1 \\ \rho - \frac{1-\alpha}{\xi} \frac{\beta-1}{\beta} \frac{Y(t) \lambda_1(t)}{n(t) \lambda_2(t)} \\ \quad - \varepsilon (L - 2X(t)), & \text{if } z(t) < 1 \end{cases} \quad (25)$$

なお、 $m(t) = \frac{\lambda_1(t)}{B\beta\gamma} \left(Ae^{\sigma t} K(t)^\alpha n(t)^{\frac{1-\alpha}{\xi}} x(t)^{1-\alpha} \right)^{1-\gamma}$ とする。

(5) 定常状態における長期的成長率

ここで想定している経済では、唯一の定常状態に収束する。この定常状態においては、式(21)から $-\sigma \dot{c}(t)/c(t) = \dot{\lambda}_1(t)/\lambda_1(t)$ は一定となる。さらに、式(24)より、 $Y(t)/K(t)$ も一定となることから式(26)が成立することになる。なお、 g_x は、添字の変数に関する成長率を意味する ($g_Y \equiv \dot{Y}(t)/Y(t)$)。

$$g_Y = g_K \quad (26)$$

一方、 $\dot{K}(t) = Y(t) - K(t)$ であることから、式(27)が成立する。これは定常状態において一定であることから $c(t)/K(t)$ も一定となる。したがって、式(28)が成立し、 $Y(t)$ 、 $K(t)$ および $c(t)$ は一定の率で成長することになる。

$$g_K \equiv \frac{\dot{K}(t)}{K(t)} = \frac{Y(t)}{K(t)} - \frac{c(t)}{K(t)} \quad (27)$$

$$g_Y = g_K = g_c \quad (28)$$

さらに、式(21)～式(23)より、式(29)～式(31)を得ることができる。

$$g_Y = -\frac{1}{\sigma} g_{\lambda_1} \quad (29)$$

$$g_x = \frac{1}{\beta\gamma-1} g_{\lambda_1} + \frac{1-\gamma}{\beta\gamma-1} \left[\alpha g_Y + \frac{(1-\xi)(1-\alpha)}{\xi} g_n \right] \quad (30)$$

$$g_Y + g_{\lambda_1} - g_n - g_{\lambda_2} = 0 \quad (31)$$

また、生産関数が式(2)であることから、式(32)が導かれ、式(33)が成立する。

$$Y(t) = Ae^{\sigma t} K(t)^\alpha n(t)^{\frac{1-\alpha}{\xi}} \left(\frac{X(t)}{n(t)} \right)^{1-\alpha} z(t) \quad (32)$$

$$(1-\alpha)g_Y = \frac{(1-\xi)(1-\alpha)}{\xi} g_n + g_x \quad (33)$$

式(29)および式(30)を式(33)に代入することにより、式(34)が得られ、書き改めると式(35)となる。

$$\begin{aligned} & \left[(1-\alpha) + \frac{\alpha(\gamma-1)+\sigma}{\beta\gamma-1} \right] g_Y \\ &= \frac{(1-\alpha)(1-\xi)\gamma(\beta-1)}{\xi(\beta\gamma-1)} g_n \end{aligned} \quad (34)$$

$$\left[1 + \frac{\sigma+\gamma-1}{(1-\alpha)(\beta-1)\gamma} \right] g_Y = \frac{1-\xi}{\xi} g_n \quad (35)$$

また、式(23)、式(31)および式(25)より、式(36)を得ることができる。

$$(1-\sigma)g_Y - \rho + \frac{1}{\xi}\varepsilon L - \frac{1}{\xi}g_n = 0 \quad (36)$$

さらに、式(5)を用いて整理すると式(37)が得られ、式(38)のような関係が成立する。

$$(1-\sigma)g_Y + \frac{1-\xi}{\xi}\varepsilon L - \rho - \frac{1-\xi}{\xi}g_n = 0 \quad (37)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1-\xi}{\xi}\varepsilon L - \rho = (\sigma-1)g_Y + \frac{1-\xi}{\xi}g_n \\ &= \left[\sigma + \frac{\sigma+\gamma-1}{(1-\alpha)(\beta-1)\gamma} \right] g_Y \end{aligned} \quad (38)$$

以上のことから、定常状態における成長率として式(39)が成立する。したがって、式(39)より、この経済が長期的にプラス成長するためには、 $[(1-\xi)/\xi]\varepsilon L - \rho > 0$ が条件となることが分かる。この条件は、成長率は ε および L が大きい場合、或いは、 ξ および ρ が小さい場合に高くなるということを示している。まず、 ε が大きいということはR&D部門の生産性が高いことを意味し、 L が大きいということは規模の経済性が大きく働いていることを意味する。一方、 ξ が小さいということは製品間の代替性が低く、 ρ が小さいということは代表的個人の将来に対する割引が小さいことを意味する。

$$\begin{aligned} & g_Y = g_K = g_c \\ &= \left[\sigma + \frac{\sigma+\gamma-1}{(1-\alpha)(\beta-1)\gamma} \right]^{-1} \left(\frac{1-\xi}{\xi}\varepsilon L - \rho \right) \end{aligned} \quad (39)$$

一方、汚染物質の動学挙動は式(40)であり、式(29)、式(30)および式(36)から式(41)を導くことができる。

$$g_D = g_Y + (\beta-1)g_x \quad (40)$$

$$g_D = \frac{1-\sigma}{\gamma} g_Y \quad (41)$$

式(41)は、 $\sigma > 1$ の場合には、長期的に汚染は通時

的に減少することを意味している。すなわち、理論的な結論として、技術進歩を外生的、或いは、内生的に係わらず、 $\sigma > 1$ の場合には、長期的に汚染は通時的に減少し、先進国からの技術援助と内生的技術進歩を考慮した動学モデルにおいても $\sigma > 1$ の場合には、長期的に汚染は通時的に減少することになる。

4. タイにおける逆U字型EKCの実証可能性

4-1 実証分析に用いるデータ

本研究において途上国のEKCを推定するにあたり、途上国の事例として、フランス通信社(Agence France-Presse)により「近年、タイの大気汚染が急速に改善している」との報道(2007.10.25)に依拠し、タイを取り上げるものとした。

タイの大気汚染データは公害管理局(Pollution Control Department)PCDが全国55カ所に設置している大気質観測所(Ambient Monitoring Station)においてCO, SO₂, NO_x(NO, NO₂), O₃, PM₁₀, PM_{2.5}, THC, CH₄, NMHC等の大気汚染物質データが24時間自動的に観測されている。また、バンコク(Bangkok)ではこの他、交通渋滞の著しい通りにも設置されており(Roadside Monitoring Station), PM₁₀やCO, Pb等のデータが観測されている。本研究では、これらの観測されている大気質の中でもデータが揃っている各地域および都市のSO₂, CO, NO₂, O₃, PM₁₀とバンコク道路付近のPM₁₀, CO, Pbの大気汚染指標(濃度)を使用した。なお、各地域の観測データの期間は1997年から2007年の11年間である。

一方、経済指標に関しては、タイのNESDBによるGross Regional Products(GRP) and Gross Provincial Products(GPP) 2006 editionおよび2007p1 (Estimation)を用いるものとした。なお、価格年次は1990年US\$価格に実質化した。

4-2 構造推定結果とその解釈

本研究における実証分析で用いた推定式は、式(42)である。まず、本研究では時系列データを用いて各地域におけるEKCの推定を試みたものの、データのサンプル数が少ないこと等の影響により統計的に有意な結果を得ることができなかった。そこで、本研究では、プーリング・データを用いて再度、構造推定を行うものとした。なお、ここでの構造推定においては、観測データ期間が共通する11年間におけるタイを10カ所に地域区分(大気質観測所の設置場所に依存し、北部、東北部、中央部、東部、南部およびバンコクとその周辺都市であるサムットプラカーン(Samutprakan), パトゥムターニー(Pathumthani), サムットサーコーン(Samutsakhon), ノンタブリー(Nonthaburi))した年間平均値をプーリングして用いるものとした。

また、実証分析によって後発性の利益を明らかにするためには、先進国のEKCと途上国のEKCを比較する必要があるものの、環境指標データの整合性が確保できないことから今後の課題とした。

その構造推定結果を表-1に示す。

$$EI_{i,t} = \beta_1 + \beta_2 \left(\frac{GPP_{i,t}}{POP_{i,t}} \right) + \beta_3 \left(\frac{GPP_{i,t}}{POP_{i,t}} \right)^2 + \beta_4 \left(\frac{POP_{i,t}}{AREA_i} \right) + \varepsilon_{i,t} \quad (42)$$

ここで、 $EI_{i,t}$ は環境負荷を示す指標、 $POP_{i,t}$ は人口、 $GPP_{i,t}/POP_{i,t}$ は一人当たりGPP、 $POP_{i,t}/AREA_i$ は人口密度を表しており、 $\varepsilon_{i,t}$ は誤差項を意味する。なお、 i は地域、 t は時間、 β ベクトルはパラメータを意味する。

表-1を見ると、SO₂, NO₂およびPM₁₀において、パラメータ β_3 は負値を示していることが分かる。まず、NO₂は、全てのパラメータが1%水準で統計的に有意であり、自由度修正済み R^2 の値はある程度満足していることから、逆U字型EKCが成立している。また、PM₁₀については、自由度修正済み R^2 が低いものの、 β_2 および β_3 は1%水準で統計的に有意な値を示している。一方、SO₂についてはパラメータの符号条件は満たしているものの、何れも統計的に有意ではない。さらに、COとO₃に関しては、符号条件の不一致により逆U字型EKCは導かれなかった。ここで、図-2～図-6には、各環境指標におけるタイのEKCを示す。

表-1 タイの環境クズネッツ曲線の構造推定結果

	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃	PM ₁₀
β_1	1.6053 (1.523)	9.0197*** (7.194)	0.7235*** (10.417)	18.4082* (10.438)	37.0737*** (5.555)
β_2	0.0010* (1.822)	0.0020*** (2.944)	-0.0001* (-1.753)	-0.0012 (-1.338)	0.0124*** (3.507)
β_3	-2.188×10 ⁻⁸ (-0.529)	-1.662×10 ⁻⁷ *** (-2.631)	4.108×10 ⁻⁹ (1.173)	8.619×10 ⁻⁸ (0.970)	-1.095×10 ⁻⁶ *** (-3.255)
β_4	0.0002 (0.646)	0.0028*** (-8.604)	0.0001*** (7.028)	-0.0001 (-0.226)	-0.0018 (-1.077)
Adj. R ²	0.305	0.540	0.333	0.054	0.088
N. of Sample	110	110	110	110	110
Note:	GPP _{i,t} /POP _{i,t} : 一人当たり域内総生産(1990年US\$価格) 表中の括弧内はt値, ***1%水準で有意, **5%水準で有意, *10%水準で有意				

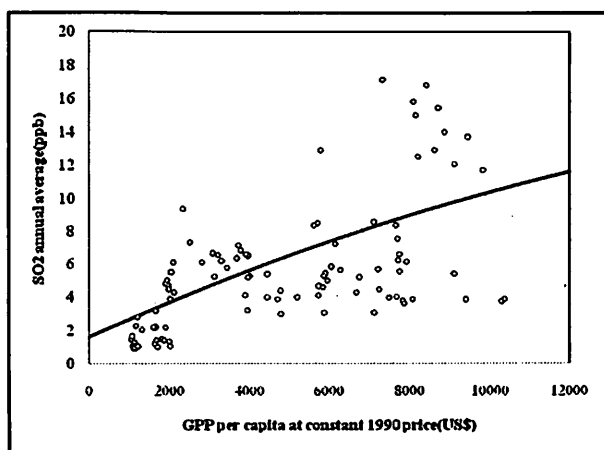


図-2 タイの環境クズネッツ曲線(SO₂)

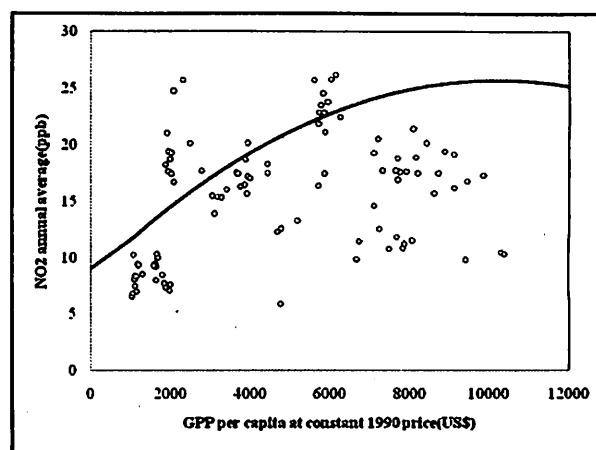


図-3 タイの環境クズネッツ曲線(NO₂)

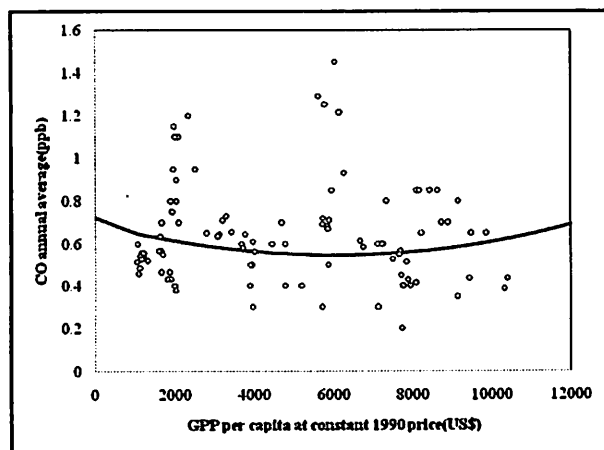


図-4 タイの環境クズネッツ曲線(CO)

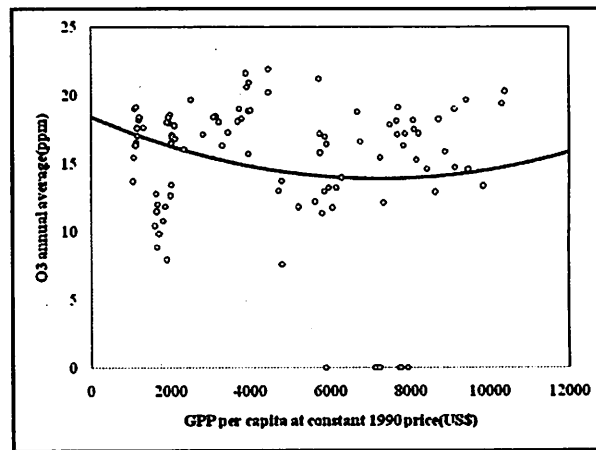


図-5 タイの環境クズネッツ曲線(O₃)

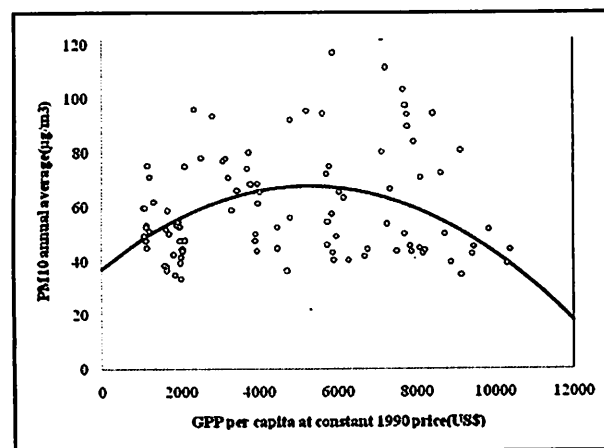


図-6 タイの環境クズネッツ曲線(PM₁₀)

まず、図-3のNO₂のEKCは、いくぶん緩やかではあるものの、逆U字型を呈している。また、図-6のPM₁₀のEKCは、逆U字型の形状を示しているものの、自由度修正済み R^2 の値が低いことから分かるように、データにばらつきみられることに注意する必要がある。この2つの指標におけるそれぞれの転換点、すなわち、環境負荷のピーク($-\beta_2/(2\beta_3)$)は、NO₂が約6,000US\$であり、PM₁₀は約5,700US\$である。これは、EKC仮説の先行研究における結果から得ら

れた転換点と比較すると、一人当たりGPPは妥当な範囲に収まっている。しかし、現在のタイの一人当たりGDPは1990年価格で約1,700US\$であるため、未だに転換点の所得水準に達していないことが分かる¹。また、図-2のSO₂のEKCは、ほぼ直線を描いている。これは、図中右上方に分布しているサムットサーコーンのデータが、構造推定結果に大きく影響していることは否めない。

他方、図-4および図-5で描かれているCOとO₃のEKCは、緩いU字型を呈していることが分かる。

ここで、EKC仮説の概念を再掲すると、「経済発展の初期段階において環境は悪化していくものの、環境悪化にはピークが存在し、そのピークを過ぎると経済発展に伴い、環境は改善される」というものであった。しかし、仮に、逆U字型のEKCが確認されたとしても、そこから、所得水準の上昇自体が環境問題の解決を可能にするか否かは不明である。むしろ、EKC仮説において極めて重要なことは、EKCのピークを下げるような開発・施策を行うことである。例えば、速水(1995)²⁰は、開発経済学の立場か

¹ 2007年現在におけるタイの1人当たりGDPは約3,700US\$である(IMF為替レート2007年価格)。これは日本の約10%(約34,000US\$)に相当する。

ら、発展途上国における経済成長の持続のためには逆U字型EKCのピークを下げなければならないとし、その理由として「農村と都市を問わず環境の劣悪化によって生活が困難になるのはまず貧困層である。それが所得分配の不平等化と重なれば、社会の不安定性は高まり、経済成長の基盤を揺るがす結果となるだろう」としている。なお、本研究における構造推定結果は、一切、地域特性を説明する変数を導入しておらず、必ずしも忠実に実態を表現したものとはいえない部分が多々あり、この点については今後の課題としたい。

5. おわりに

本研究は、先進国からの技術援助と内生的技術進歩を考慮した動学モデルを構築し、理論分析によって逆U字型EKCの存在可能性を示した。さらに、タイを事例として、途上国におけるEKC仮説の実証可能性を検討した。本研究で得られた知見を以下に示す。

まず、理論モデルにおいては、先進国からの技術援助を外生的技術進歩とすることによって、ハード面における後発国としての利益と位置付けた。その結果、先進国からの技術援助と内生的技術進歩を考慮した動学モデルにおいてもArrow-Prattの相対的リスク回避測度(消費の異時点間の代替弾力性の逆数)を表すパラメータである σ が $\sigma > 1$ の場合には、長期的に汚染は通時的に減少し、逆U字型EKCが導出されることを明らかにした。

次に、実証分析では、 NO_2 および PM_{10} において逆U字型EKCが導かれた。また、逆U字型EKCが推定された転換点の一人当たりGPPは、何れも現在のタイの一人当たりGDP水準よりも高い数値であった。したがって、未だEKCのピークを向かえてないタイは、今後、環境改善への転換点を向かえるにあたって、予測されるピークよりもできるだけ左下にシフトさせるような環境政策の展開を行うべきであろう。

最後に、本研究における今後の課題を示す。実証研究においてタイを対象としたEKCの推計を行ったものの、本来であれば後発性の利益を検討するには、先進国のEKCと途上国のEKCの比較分析を行うことが望ましい。しかしながら、このような比較を行う場合には、データの計測基準や計測方法には整合性に関する問題が存在する(例えば、石見(2001)²⁷⁾)。したがって、このような後発性の利益を検証する研究にあたっては、国際比較研究を行うと同時に、データの取り扱いに十分注意する必要があると言えよう。さらに、本研究の最大の問題は、理論分析と実証分析との関連性が脆弱であることである。すなわち、実証分析においては、明確に後発性の利益を説明する変数を導入していないことから、タイという途上

国のEKCを推定するに留まっていることである。この点については、地域特性、無償技術移転および民間によるコマーシャル・ベースの技術移転といった説明変数を導入した分析を行う必要があるものの、別稿に譲りたい。

謝辞

本稿を草するにあたり、東北大学大学院環境科学研究科佐竹正夫教授および藤崎成昭教授には、貴重なコメントを頂いた。また、両教授をはじめとする東北大学大学院環境科学研究科および経済学研究科における環境フロンティア国際プログラムの関係各位に、深甚の謝意を表する次第である。さらに、本稿は、東北大学生態適応グローバルCOEプログラムにおける研究活動の一環であることをここに付記する。なお、本稿における誤りの全ては、筆者らに帰することは言うまでもない。

参考文献

- 1) Meadows,D.H., L.M.Meadows, J.Randers and W.W.Behrens III(1972): The Limits to Growth; a Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind, Universe Books.(大来佐武郎監訳(1972): 成長の限界, ダイヤモンド社.)
- 2) Kuznets,S.(1955): Economic Growth and Income Inequality, *American Economic Review*, Vol.45, pp.1-28.
- 3) Kuznets,S.(1965): *Economic Growth and Structural Change*, Norton.
- 4) Kuznets,S.(1966): *Modern Economic Growth*, Yale University Press.
- 5) World Bank(1992): *World Development Report 1992: Development and the Environment*, The World Bank.
- 6) 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, *Journal of the Faculty of Economics*, KGU, Vol.15, pp.117-132.
- 7) Gradus,R. and Smulders,S.(1993): The Trade-off Between Environmental Care and Long-term Growth: Pollution in Three Prototype Growth Models, *Journal of Economics*, Vol.58, No.1, pp.25-51.
- 8) Stokey,N.L.(1998): Are There Limits to Growth?, *International Economic Review*, Vol.39, No.1, pp.1-31.
- 9) 内山勝久(2007): 二酸化炭素排出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, pp.1-64.
- 10) Andreoni,J and A.Levinson(2001): The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve, *Journal of Public Economics*, Vol.80, No.2, pp.269-286.
- 11) John,A. and R.Pecchenino(1994): An Generations Model of Growth and the Environment, *Economic Journal*, Vol.104, pp.1393-1441.

- 12) McConnell, K.E. (1997): Income and the Demand for Environmental Quality, *Environment and Development Economics*, Vol.2, No.4, pp.383-399.
- 13) 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, No.2, pp.163-184.
- 14) Brock, W.A. and M.S. Taylor (2004): The Green Solow Model, *NBER Working Paper*, No.10557.
- 15) Stern, D.I. (2004): The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve, *World Development*, Vol.32, pp.1419-1439.
- 16) Panayotou (2000): Economic Growth and the Environment, *CID Working Paper*, No.56.
- 17) Grossman, G.M. and A.B. Kruger (1993): Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement, in Garber, P. (eds.), *The U.S.-Mexico Free Trade Agreement*, MIT Press.
- 18) Shafik, N. and S. Bandyopadhyay (1992): Economics Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross-country Evidence, *Background Paper for the World Development Report 1992*, WPS904, The World Bank.
- 19) 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.
- 20) 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, No.2, pp.147-162.
- 21) Arrow, K., B. Bolon, R. Costanza, P. Dasgupta, C. Folke, C.S. Holling, B. Jansson, S. Levin, K. Mäler, C. Perrings and D. Pimentel (1995): Economic Growth, Carrying Capacity and the Environment, *Science*, Vol.258, No.5210, pp.520-521.
- 22) Carson, R.T., Y. Jeon and D. McCubbin (1997): The Relationship between Air Pollution Emissions and Income: U.S. Data, *Environment and Development Economics*, Vol.2, No.4, pp.401-416.
- 23) Vincent, J.R. (1997): Testing for Environmental Kuznets Curve within a Developing Country, *Environment and Development Economics*, Vol.2, No.4, pp.417-431.
- 24) 二宮佳子 (2005): 環境クズネッツ曲線を用いた中国の経済発展とSO₂排出動向に関する実証分析, 国際協力研究, Vol.21, No.1, pp.19-29.
- 25) 伊ヶ崎大理 (2004): 地球環境と内政的経済成長: マクロ動学による理論分析, 九州大学出版.
- 26) 速水佑治郎 (1995): 開発経済学, 創文社.
- 27) 石見徹 (2001): 大気汚染における「後発性の利益」: 東アジアの経験か, CIRJE-J-64.

(2009.7.29受付)

An Empirical Analysis of the Environmental Kuznets Curve in Developing Country : Case Study of Thailand

Yasuhisa HAYASHIYAMA¹, Manami KIKUCHI² and Kazunori NAKAJIMA³

¹ Graduate School of Economics and Management, Tohoku University

² Mitsubishi UFJ Lease & Finance Company Limited

³ Global COE Program, Graduate School of Life Sciences, Tohoku University

The Environmental Kuznets Curve (EKC hereinafter) hypothesis has been used in various empirical studies to verify that there tends to exist an inverted U-shape relationship between economic growth and environmental quality as the Kuznets hypothesis attempts to show between economic growth and income inequality. The purposes of this paper clarify formation possibility of an inverted U-shape EKC by theoretical approach and empirical analysis as case study of Thailand.