

アジアにおける環境インパクトの比較研究

内嶋善兵衛

〈前宮崎公立大学学長／お茶の水女子大学名誉教授〉

要 旨

現在、人類は莫大な資源を利用して、豊かで便利な科学技術文明を謳歌している。このため、膨大な廃棄物・廃熱が地球環境へ放出されている。人口・GDP・エネルギー生産量および技術発展指標の時代的な変化資料をインパクト方程式で処理して、地球環境への人類活動のインパクトを定量的に評価した。その結果、18世紀半ばの産業革命後、人類活動のインパクトは急増し、1990年代半ばには、地球生態系の持続可能なレベルを超えたと推測された。アジア諸国の環境インパクトは、20世紀半ばから増大し始めたが、現在でも急激な増大傾向が続いている。また、アジア諸国のエネルギー使用効率は、日本のその約1/6とエネルギーを浪費しており、省エネルギー技術の導入により環境インパクトを大幅に低減できる可能性の高いことが分かった。最後に、人類の生産活動を地球生態系の持続可能域に引き留める方策を、人口抑制・豊かさの適正化・生産技術と生活様式の改革の三つの面から検討した。

キーワード 生産活動、技術発展、エネルギー資源、環境インパクト、持続的共生

1. はしがき

人を含む全生物を取り囲んでいる環境は、大気圏・地圏・水圏そして生物圏からなっている。これらの各圏は、入射する太陽エネルギーの流れと、それによって駆動されている物質の循環によって相互に連結し、一つの動的なシステム——環境を作り上げている。環境は全生物に対して、つぎの役割を果たしている（内嶋，1990）。

- 1) 環境は全生物が生命活動を営んで次世代を育てる場、
- 2) 環境は生命活動に必要なエネルギーと物質が生産され蓄えられている場、
- 3) 環境は生命活動と生産活動とに関係するエネルギーと物質が運搬される場、
- 4) 環境は生命活動と生産活動で排出される物質が再利用のために分解処理される場。

多くの経験から分かるように、上記の四大機能が備わった環境においてのみ、生物は豊かな生態系を築き、生き長らえることができる。

地球上に人類が現れてから長い間、他の生物と同様に、人類は地球生態系の恵みにすがって生きてきた。しかし、他の生物には見られない大脳皮質の異常な発達を背景に、人類は言葉と文字とを発明した。これにより、個々人の経験と知識は時間と距離の障壁を乗り越え、次々と蓄積され肥大して現在に至っている。

その結果、自然現象の奥に潜む法則を明らかにし、自然現象を自らのために利用する科学と技術が急速に発達してきた。それは約250年前にヨーロッパで産業革命として開花し、次々と各地域へと広がっている。科学技術の発達につれ、人類の資源利用速度はすべての分野において急増し、いまや地質時代における資源形成速度（例えば原

油・縞状鉄鉱石) の約10万倍に達している (Budyko, 1984; 松井, 2003)。

このように多量の資源を利用して行われる人類の生存活動と生産活動は、現在すでに地球生態系の内蔵する自然浄化能または環境容量を、はるかに上回っている。このため、地球のいたる所で環境破壊が進行し、上に説明した環境の四大機能も損なわれ始めている。そして、多くの生物種の生存が危険にさらされている。その影響は、人工的な人間圏を構築して地球を完全に征服したかにも見える人類にも及んでいる。

これらの人為的な環境破壊を軽減し、近未来の地球生態系したがって人間圏の崩壊を回避するには、地球環境および地球生態系への人類活動のインパクトを定量的に評価し、対策を講ずることが必要である。20世紀後半から、とくに21世紀に入ってから爆発的な経済成長が世界中で生じている。このため、各種資源の利用量が急増している。なかでも多くの人口を抱え経済成長の著しいアジア諸国の環境インパクトの評価は、それらの国々のためばかりでなく世界の環境と生態系の保全にとっても非常に重要である。

そこで本研究では、人口と生産技術の発展そして豊かさ (GDP で表される) とエネルギー量に関する統計資料を利用して、人類活動の環境への影響を総合的に示す指標——環境インパクトを求める。これに基づいてアジア諸国の環境インパクトを比較するとともに、各国のその時代的な変化を明らかにする。さらに、環境インパクトの急増を防止し、自然生態系を保全するための方策のいくつかについて考察を進める。

2. 環境インパクトの評価に用いた統計資料

環境インパクトの評価には、人口・所得・エネルギー生産量 (または消費量) および生産技術発展に関する長期資料が必要である。このため本報告では、次の書物に掲載されている各種の統計デ

ータを用いた。

- 1) 中国国家統計局編 (2004) 『中国統計年鑑—2004』. 中国統計出版社.
- 2) Lilley, S. (1957) 『人類と機械の歴史』 (小林秋男・伊藤新一 訳). 岩波書店.
- 3) Lucas, Jr. R. E. (2002) “Lectures on Economic Growth” Harvard University Press.
- 4) Lucas, Jr. R. E. (2003) “The Industrial Revolution: Past and Future” The Region—2003.
- 5) Madison, A. (2004) 『世界経済・2000年史』 (金森久雄 監訳). 柏書房.
- 6) 日本エネルギー経済研究所・計量分析ユニット編 (2005) 『エネルギー・経済統計要覧—2005』. 省エネルギーセンター.
- 7) 世界銀行編 (2000–2005) 『世界経済・社会統計』 (鳥居泰彦 監訳) 東洋書林.
- 8) 統計研修所編 (2000–2005) 『世界の統計』. 国立印刷局.
- 9) 矢野恒太郎記念会編 (2000–2005) 『世界国勢図絵』. 矢野恒太郎記念会.

3. 生産活動と環境インパクト

1) 人類の生存活動・生産活動とエネルギー

最近の遺伝人類学的な調査研究によると、地球の隅々までに広がり地球を人類の惑星に作り替えているホモ・サピエンスは、10数万年前の出アフリカに起源するらしい (たとえば海部, 2005)。それ以来、異なる環境条件に適応するため、生存技術を磨きながら世界各地へと拡散し定住したのが現在である。

すでに述べたように、人類は初期には自然生態系の一員として、その恵みにすがって生きてきた。しかし、その優れた知能を利用して自然の準備した資源を、自らの生存のために積極的に利用するようになった。それ以降、地球上のすべてを自分たちのためだけに利用する地球資源化技術の完成を目指して、人類はひた走ってきた。この動きは、

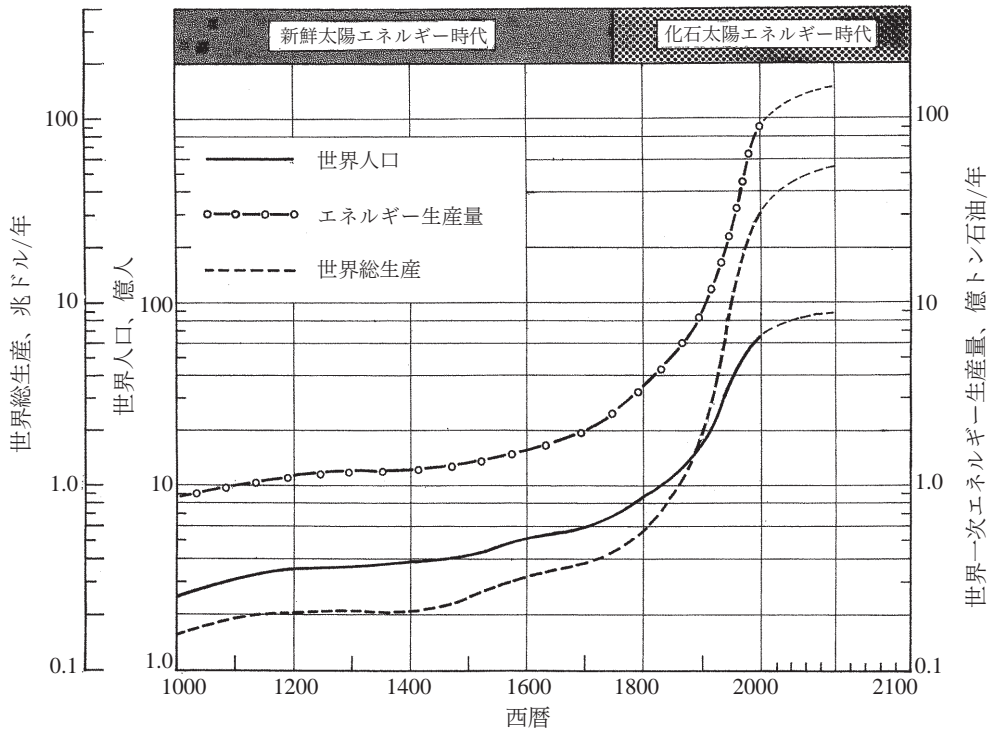


図1 前千年紀における人口・豊かさ (GDP)・一次エネルギー生産量の動きと21世紀前半における予想 (Lucas, 2002に追加)

知の集積が科学技術として開花した産業革命 (1760年イングランドに始まる) の広がりとともに、より顕著になっている。

このような科学技術の発展につれ、人類が地球と地球生態系から取り出して利用する資源量は指数関数的に急増している。それに比例して世界人口も増加し、豊かさも急上昇してきた。その様子が図1に示されている。これは、ノーベル賞経済学者 Lucas 博士の原図に一次エネルギー生産量の時代的变化とそれぞれの今世紀半ばまでの予想を補足したものである。

この図から、人類が主として薪炭などの木質燃料と風力・水力にエネルギーを頼っていた1750年以前の、いわゆる新鮮太陽エネルギー時代の約800年間は、世界人口と世界GDPとはほぼ平行して、緩やかに増加したことが分かる。Lucas (2002) は、これらから新鮮太陽エネルギー時代には、人口と豊かさの世界的な年間増加率は1%以下で、人当所得は約400ドル/年のレベルであ

ったと結論している。この所得水準は、現在世界の最貧国の自給自足的な農家所得にほぼ等しい。

このような低所得の停滞経済を破ったのは、18世紀半ばに始まる産業革命であった。長年にわたる知と経験の集積から生み出された各種生産技術とそれによるエネルギー利用量の増大によって、種々な産業が一斉に活動を始めた。これにより停滞経済から生産力上昇の新時代へと急激に転換した。これは、西暦1900年頃における人口曲線と所得曲線との交叉に良く反映されている。所得曲線の上昇は20世紀に入ってから特に顕著である。Lucas (2003) は各世紀の所得上昇率を次のように示している。

- 18世紀：0.33%
- 19世紀：1.0%
- 20世紀 (1-60)：2.4%
- 20世紀 (60-00)：4.0%

世界所得のこのような劇的な変化をもたらしたのは、種々な生産技術が開発され、生産過程で使

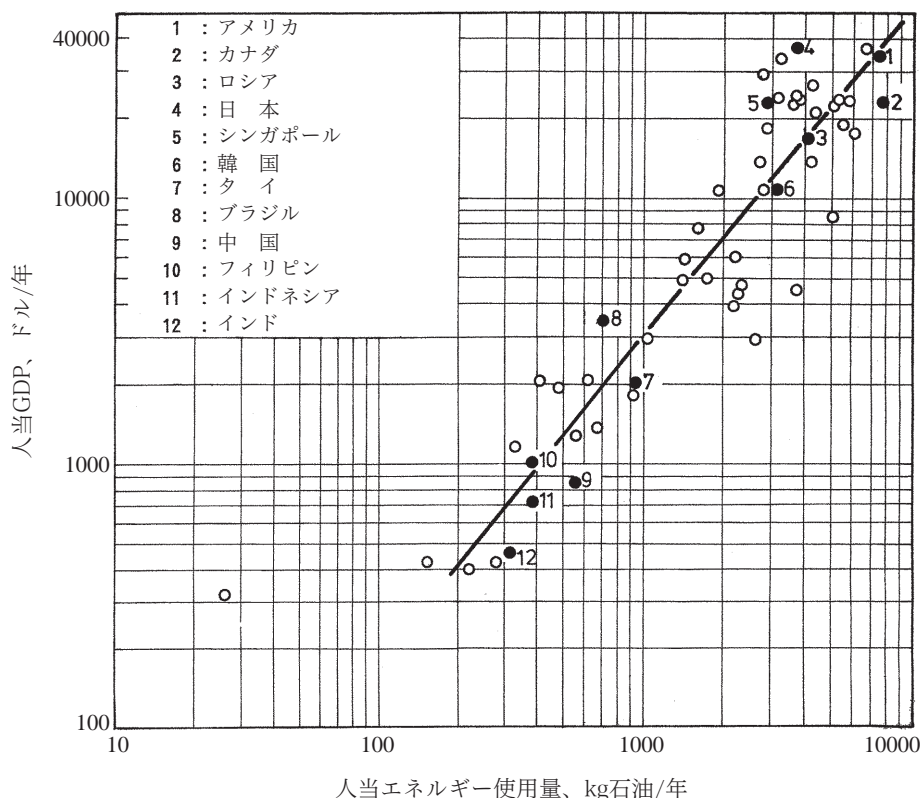


図2 西暦2000年における人当エネルギー使用量 (M) と人当所得 (GDP) との関係 (世界の統計—2005より作成)

用される資源とくにエネルギー資源が、18世紀以前の新鮮太陽エネルギーから化石太陽エネルギー（地質時代に入射した太陽エネルギーが生物過程と地質過程とを通じて濃縮されたもの）へ移行したことである。20世紀後半に入ってから、一部原子力の利用はあるが、18世紀半ば以降は化石太陽エネルギー時代といえることができる。

化石太陽エネルギー時代に入ってから、人類の利用するエネルギー量は急増しており、2000年には石油換算で年間90億トンに達した。このような多量なエネルギーの投入により、農業から始まってすべての産業の生産力は飛躍的に増大した。そして多くの生産物が市場に溢れ、少なくとも先進国の住民はかつて夢想もしなかったような豊かで便利な生活を享受している。その様子が図2に示されている。

図に見られるように、各点のバラツキは相当に大きいですが、各点は(1)式で近似できる線を包む帯内

に分布している。この関係は国民の平均的な豊かさ（人当GDP）がエネルギー消費量に比例して上昇することを示している。すなわち、国民の所得水準をあげて豊かな生活を保証するには、エネルギーを多く消費する産業を国内に整備することが必要である。

$$GDP = 9.31 + 0.55M^{1.25} \quad (1)$$

ここでGDP：人当GDP（ドル/年）、M：人当エネルギー消費量（kg石油/年）。

点の著しいバラツキは、あとで説明するように投入エネルギーの生産効率が国の間で大きく違っているためである。

Perry・Landsberg（1977）は近未来のエネルギー必要量を推測するために、1970年代の統計データを使用して、MとGDPとの関係をしらべ(1)式と同様な関係をえている。しかし、Mのベキ指数として約1.0をえている。これは最近になるほ

ど世界全体としてエネルギーの GDP 生産効率が上昇してきたことを示している。また、GDP < 400ドル/年地域では、Mにかかるベキ指数が約 0.5になることも報告されている（内嶋，1999）。これは、低所得国では、投入エネルギーのほとんどが生存のためだけに使用され、生産効率の向上に必要な生産基盤の整備に向けられないためである。アフリカとアジアの多くの国がこのグループに属し、化石太陽エネルギーの大量使用によって始まった経済の離陸、すなわち貧困からの開放から取り残されている。

2) 生産活動と環境破壊

科学技術の発達と資源利用の増大によって、長い時間をかけて作り上げられた地球上の原風景は次々と消え去り、いまや地球は人類だけの惑星になろうとしている。そして、人類だけの物質的な豊かさの向上の代償として、地球環境と地球生態系はいたる所で綻びを見せている（Goudie, 1982；内嶋，1990；Meyer, 1996）。このため生命を扶養してきた環境の四大機能も乱調気味である。

人類の生存活動と生産活動の拡大と深化による地球環境の劣化と破壊は、図3のようにカスケード的に進行していると考えることができる。人類は、まず住居を構え食料を得るために、森林を切り払い土地をならし溝を掘るなどして、周辺の細かい地形を小規模に改変した。この動きは、メガロポリスの構築や大規模な灌漑・排水など大型機械の導入によって自然改造のレベルに達している。これらは、地球表面上での熱・水の配分という物理過程、すなわち生物の基本的な生存環境——気象環境への働きかけに他ならない。

さらなる科学技術の進歩により、20世紀になってから大量の化学物質（肥料・農薬などの多種多様な合成化学物質）が、生産過程の効率化のために投入されるようになった。これらの物質は、環境内および生物内の化学・生理過程の制御を可能にし、生産物の増産に大きく寄与した。本来、

これらの物質はその役目の終了後は、無害な化合物として環境内へ放出されるはずであった。しかし、そのような理想状態の実現はほとんど不可能で、多くの化学物質が効力を保持したまま、環境内へ放出されている。このため、自然環境内の多くの化学的過程と生物的環境に乱れが発生している。世界の各地で観察されている水質汚濁・大気汚染・土壌汚染そして成層圏オゾン層の衰退などが、その好例である。

環境内の物理的条件と化学的条件とは一体となって生態的条件をつくり出し、生物群の生存に密接に関係している。20世紀後半に入ってから、大量の化学物質の使用により、陸地・河川・湖沼・大気中の化学条件が劣化してきている。なかでも大きな成果を挙げた有機塩素系化合物（DDT, BHC, フロン類など）は、微量ながら地球環境と生態系のいたる所に拡散し、地球環境の生態的な機能を劣化させている。とくに、これらの化学物質は食物連鎖を経由して濃縮される特性をもち、生命自身を危険にさらす恐れがある。

産業革命が始まってから約250年、図1に見られるように、地球上での人類の活動は休むことなく拡大し続けている。このため地球環境の改変と劣化も進行し、いまや最終段階——生物自身の劣化・破壊の段階へと進んできたということが出来る。約40億年の進化の歴史をもつ生物の基本的な特徴は、つぎのように表すことができる。

- 1) 複雑な生体膜によって外界から隔離・保護されている、
- 2) 生体膜を通して外界と生存エネルギー・物質を交換している、
- 3) 自己複製能力を保持している。

この三つの基本的な特徴を系統発生と個体発生の歩みのなかで、統一的に維持・制御しているのが生物である。これらの過程を司っているのは細胞内の遺伝子—DNAである。生産の効率化のために合成・使用された多くの化学物質は、生態系の編み目構造と食物連鎖を通じて運搬され濃縮さ

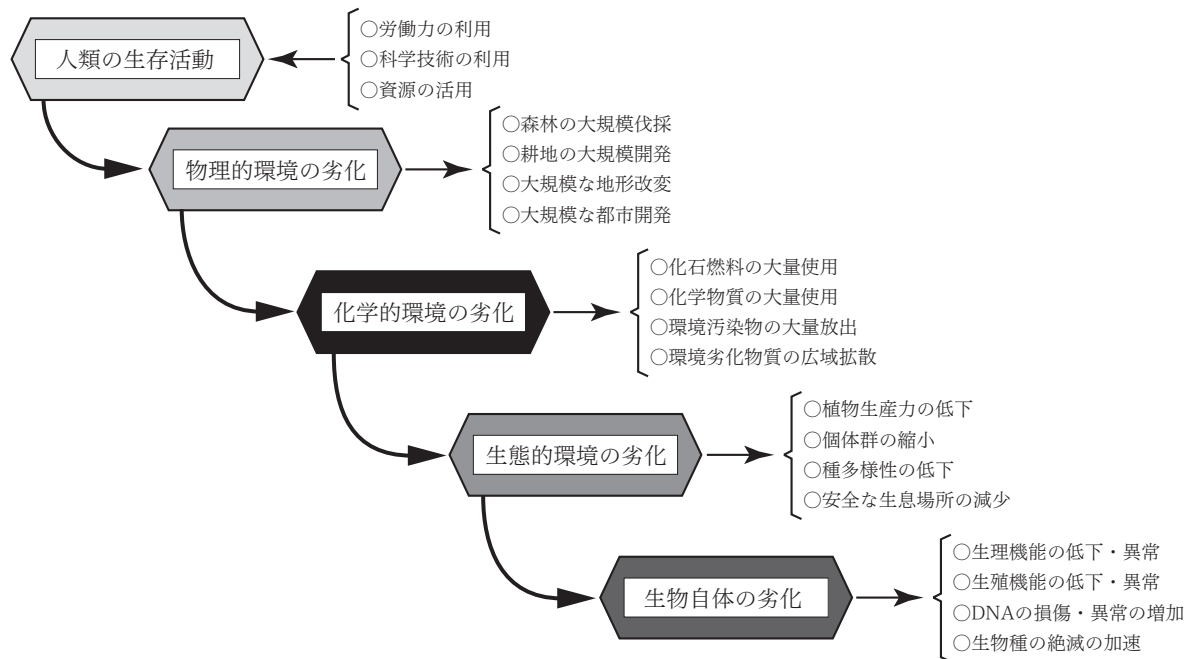


図3 人類の活動による環境破壊のカスケード的な表現 (内嶋, 1999を改変)

れて、生物の多くの生理機能を乱し、また生殖機能へ攪乱を与えている。このため、生物自身の変質と劣化が静かに進行している。これは約40億年の進化史をもつ生物群にとって、過去に例のない人為的な攪乱である。それゆえ、生物群はそれらに対応する機能を体内に備えていない。それは人類においても同様である。

図3および以上の説明からわかるように、人類の生産活動は地球上の物理環境・化学環境・生態環境そして生物自身へとカスケード的に作用している。生物群への影響度は下の段階ほど厳しくなってくる。現在、多くの科学的な手法が各段階の環境劣化や生物への影響を確かめるために工夫され利用されている。しかし、人類の生産活動の地球環境と地球生態系への総合的な影響——環境インパクトを定量的に評価する研究はあまり多くない。

4. 環境インパクトの評価

1) 環境インパクトの評価法

個々の環境条件の人為的な変質・劣化を測定し評価する研究は多くなされ、有益な成果が得られている。それに比べて、人類の生存・生産活動の環境への影響を総合的に評価する、環境インパクトに関する定量的な研究は比較的にすくない。いま、そのいくつかを挙げるとつぎのようである。

Ehrlich・Ehrlich (1994) は、地球の環境容量と地球レベルでの人間活動のインパクトに関する総説で、つぎのような考えを示している。

$$I = P \times A \times T \quad (2)$$

ここで I : 人間活動の環境インパクト、P : 人口の影響、A : 豊かさの影響、T : 技術の影響。この関係は人間活動の環境インパクト指標——IPAT とよばれている。最近、Meadows ら (2005) は、Wackernagel ら (1996, 1999) が提示したエコロジカル・フットプリント (EFP) への人間活動の評価に、IPAT が利用できるとのべている。また、

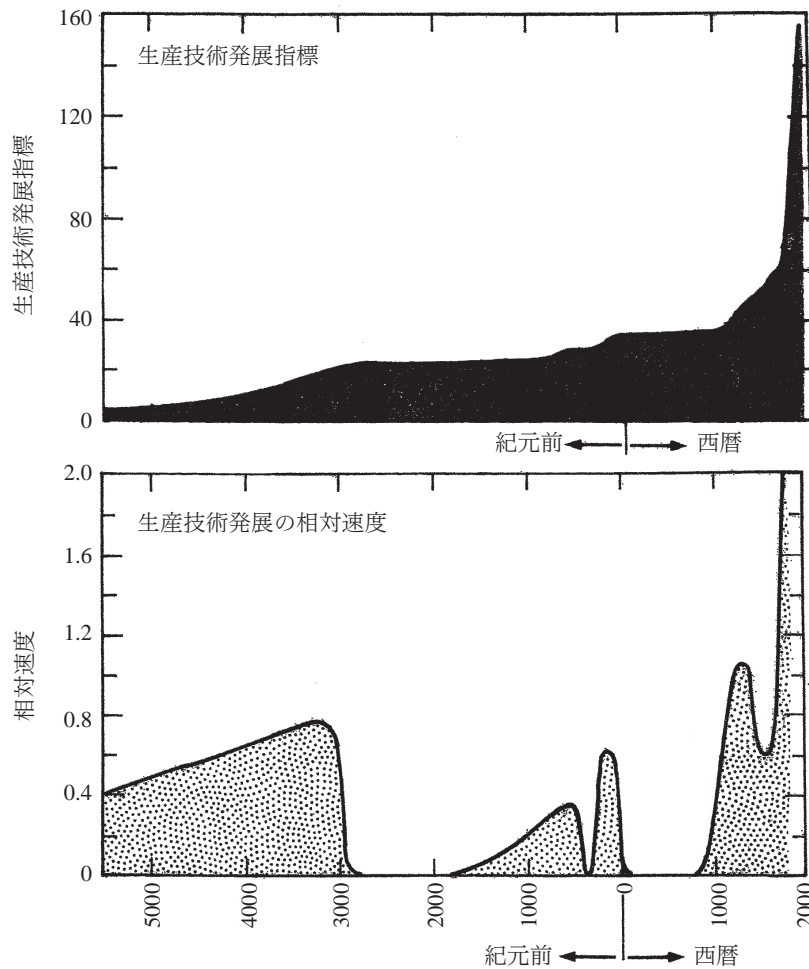


図4 上：紀元前5500年から20世紀半ばまでの間における生産技術発展の積算スコアの時代的な変化
 下：同期間における生産技術発展の相対速度の変化。(Lilley, 1957より作成)

Peijun ら (2005) は、環境影響の評価のために、EFP に類似したエコロジカル・ハーモニー (Ps) を提示している。

(2)式において、人口および豊かさ (GDP) の時代的な変化に関するデータは比較的容易に得られるが、生産技術進歩 (T) の時間的な変化を定量的に評価するのはむずかしい。Lilley (1959) と Headrick (1990) は西欧を中心にして技術発展を研究している。Lilley は生産技術の発達を定量的に評価するために、紀元前5500年から西暦1945年頃までの多くの技術史をひもどいている。かれは、個別技術の重要度に0.0から1.0までのスコアを与え、それらを積算して生産技術の発達の

時代的な変化を評価している。その結果が図4に示されている。

図に見られるように、生産技術発展の積算スコアは、5500年前の約5から非常に緩やかに増加し、西暦の始めに約30に達した。その後、約1000年間は停滞したが、それ以降とくに19世紀に入ってから、爆発とよべるように急上昇した。これは、長い助走期間をへて科学技術が産業革命として一気に開花したことを反映している。図の下には、積算曲線の時間微分すなわち技術発展速度の時代変化が示されている。これから、過去の生産技術の発展が、社会体制の変化などに応じて脈動的に生じたことがわかる。

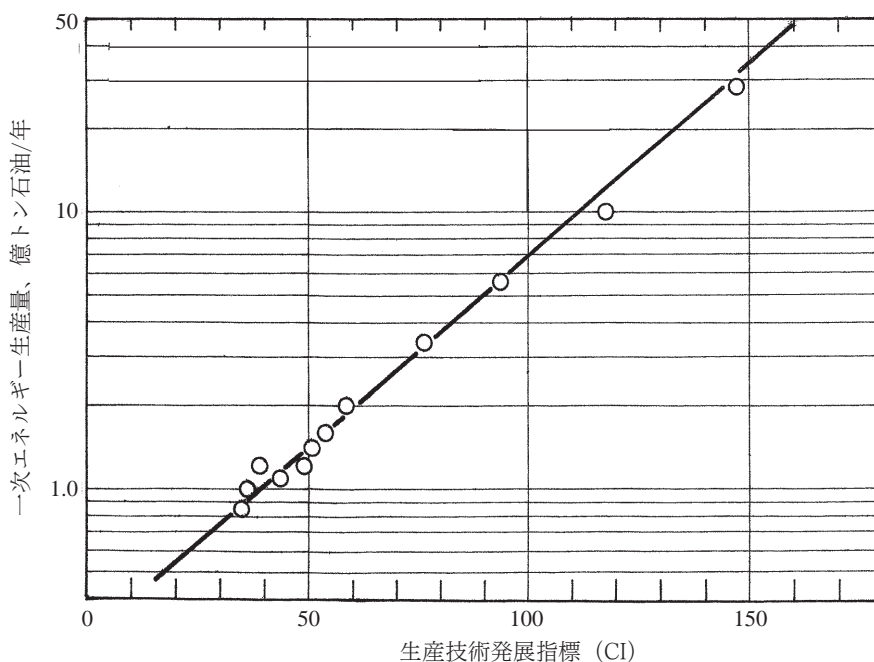


図5 生産技術の発達の積算スコアとエネルギー生産量との関係

図4を用いると、世界的な規模での生産技術発展を計量し、(2)式に代入して人類活動の環境インパクトを評価することができる。しかしながら、多くの国の生産技術の発達を個別的に評価することは、Meyerが引用しているHeadrick(1990)の報告を除いて、ほとんどなされていない。それゆえ、(2)式を各国の環境インパクトの評価に利用するのはむずかしい。Meadowsら(2005)は、IPATのTは各種資源の流れを生み出し、必要場所へ運ぶのに要するエネルギー量と単位エネルギー当たりの環境影響との積であると説明している。それゆえ、技術発展(T)の影響は、投入するエネルギー量で近似的に代替できるものと思われる。

この考えを実証するために、図1に示した過去1000年間における一次エネルギー生産量と図4に示した生産技術発達曲線を用いて、両者の関係をしらべた。その結果が図5に示されている。図に見られるように、生産技術発達の積算スコアの増加につれて、エネルギー生産量は急増している。この関係は次式で近似できる。

$$E = 0.285 \exp(0.032CI) \quad (3)$$

ここでE：エネルギー生産量(×10⁸トン石油/年)、CI：生産技術の発達の積算スコア。

この関係が20世紀後半にも適用できると考えると、この期間のエネルギー生産量から生産技術の発達の積算スコアを推測できる。いま西暦2000年のエネルギー生産量を90億トン石油/年とすると、上の関係から下の値がえられる。

$$CI = 178.6$$

約50年間に革新的な生産技術が次々と開発され、生産技術の積算スコアはこの間に約32増大した。これらの技術発達を原動力として、地球上の全て(空間・現象・資源・生物)を人類のためだけに利用する、地球資源化技術が完成されようとしているのが21世紀である。(3)式を用いると、世界のエネルギー生産量(または消費量)から世界全体の生産技術の発達を知り、(2)式を環境インパクトの評価に利用できる。しかし、各地域または各国の生産技術の発達を個別に評価できる方法

は開発されていない。そこで、(2)式をつぎのように変形して、各国の環境インパクトの評価に利用した。

$$I = P \times A \times E \quad (4)$$

2) 環境インパクトの評価

a : 世界の環境インパクトの時代的な変化

図1の資料及び上で説明した環境インパクト評価法を用いて、地球上での人類の生産活動の地球環境へのインパクトを評価した。計算に際して、人口と所得（GDP）及びエネルギー量は億の桁を単位として、生産技術発達の積算スコアでは1の桁を単位として計量した。このような人為的な計算操作が、評価結果にどのような影響を与えるかについては、一層の研究が必要である。環境インパクトの評価には、つぎの関係を利用した。

$$IPAT = P \times A \times CI$$

$$IPAE = P \times A \times E$$

西暦1000年から2000年までの間の統計資料および2050年までの予想値から求めた環境インパクトの時代的な変化が図6—上に示されている。図下には、(3)式からえた $CI = (\log E - 0.546) / 0.014$ から求めた生産技術発達の積算スコアの時代的な変化も示されている。

図にみられるように、両者の絶対値の違いはあるが、IPAT と IPAE は時代の進みにつれて増加している。とくに18世紀の産業革命以降の生産技術の発展にともなう人口と所得そしてエネルギー量の急増によって、環境インパクトは急激に増大している。このため、地球上のいたる所で環境の劣化と破壊が進行するようになった。いま西暦

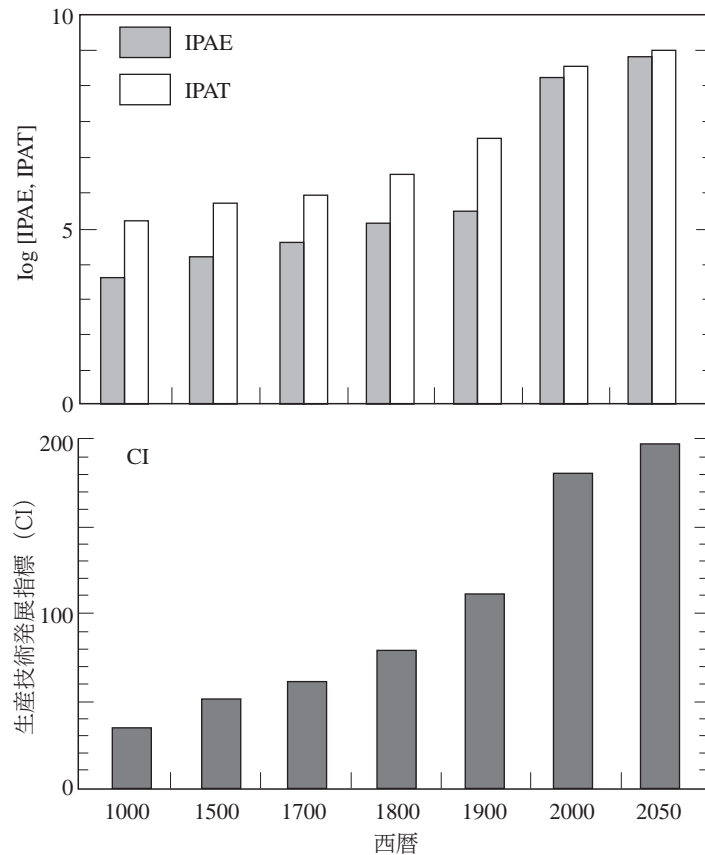


図6 上：IPAE と IPAT の時代的な変化と予想
下：生産技術発達の積算スコア (CI) の時代的な変化と予想

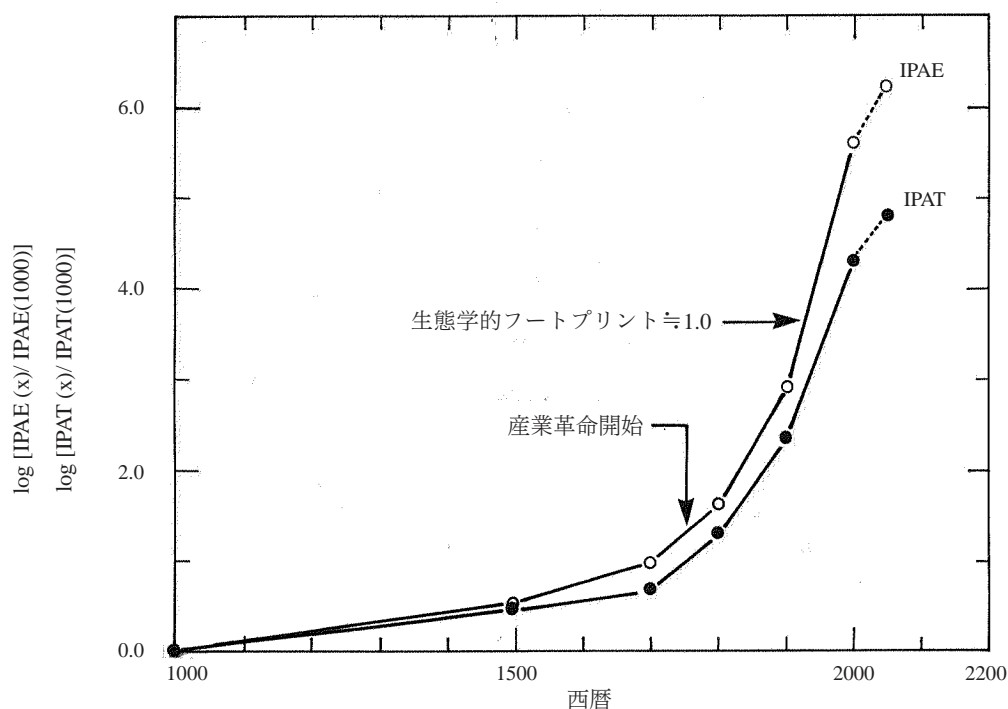


図7 前千年紀における世界の相対環境インパクトの変化

1000年の環境インパクト ($IPAT=171.56 \times 10^3$, $IPAE=4.32 \times 10^3$) を1.00として、西暦1000年以降の相対環境インパクトを求めると、図7のようになる。

図7から、環境インパクトは約1750年の産業革命を契機として急増し始め、とくに第二次産業革命ともよべる20世紀の経済活動の爆発から異常に肥大し、1000年間にIPAEで約40万倍、IPATで約2万倍も増大したことが分かる。この傾向は21世紀に入っても衰えず、ますます強まっている。環境インパクトは、2000年から2050年までにIPAEで4.26倍 (167×10^4 へ)、IPATで2.78倍 (5.45×10^4 へ) になることが推測される。これらの環境インパクトをMeadowsら(2005)のヒューマン・エコロジカル・フットプリント(HEF)と比較すると、21世紀の環境インパクトは彼らのいう持続可能レベル(HEF ≈ 1.1)をはるかに超え、持続不可能な域(HEF > 1.5)に位置する。これは人口・所得・エネルギー使用の現在の増加傾向が続くならば、21世紀末には地球生態系したがって人間圏が持続不可能になる危険性のある

ことを示唆している。

図6一下には(3)式とエネルギー生産量から推測した、生産技術発達の積算スコアが示されている。新鮮太陽エネルギー時代を通じて、生産技術の年間発達速度は0.03-0.081と非常に低い。しかし、産業革命を契機として急増し、産業革命前の約10倍になっている。この傾向は今後さらに強化されるだろう。ただ、各種の省エネルギー技術や高効率の生産技術の開発普及により、エネルギー使用量と生産技術発達との関係は、現在までと違ってくるのが予想される。それゆえ、(3)式の関係はより新しい資料に基づいての検討が必要である。

b: アジア諸国の環境インパクト

すでに説明したように、生産技術の発達速度を国別に評価するのは難しいので、国別の環境インパクトの評価には(4)式を使用した。すなわち、西暦2000年の人口・GDP・エネルギー生産量に関するデータを(4)式で処理して、アジア各国の環境インパクト(IPAE)を求めた。その結果が図8に示されている。図には参考のために、アメリカ

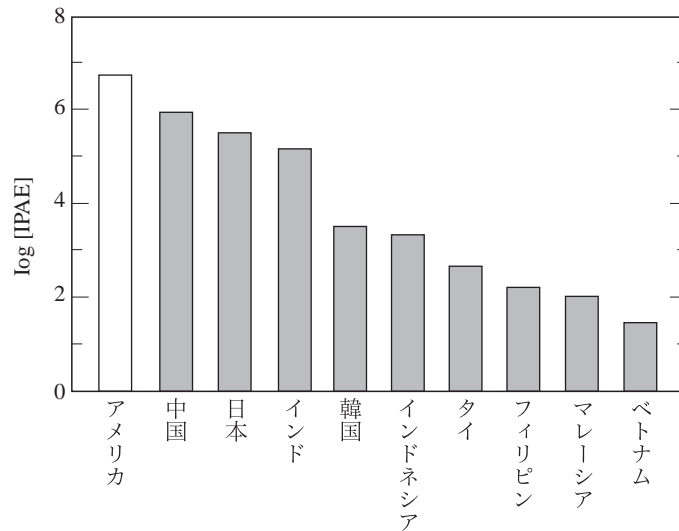


図8 西暦2000年でのアジア諸国とアメリカ合衆国の環境インパクト (IPAE) の比較

合衆国の環境インパクトも示されている。

世界の超経済大国アメリカの環境インパクト (IPAE=6.12×10⁶) に比べて、アジア諸国の環境インパクトはかなり小さい。巨大人口国で経済発展の著しい中国でアメリカの16%、世界第二の経済大国——日本で4.7%、インドで2.5%に過ぎない。しかし、今世紀におけるアジア諸国の経済発展は著しい。とくに中国とインドは BRICs の一員として、2050年を待たずアメリカに匹敵する経済大国になる可能性が高い。このために、各種資源とくに石油と鉄鉱石そして食料が世界各地から輸入され、生生活動と生産活動に利用されている。そして、膨大な生産物を世界中へ輸出し、その代償として多量の環境汚染物質を排出し続けている。最近の研究によれば、東アジアは地球大気汚染そして海洋汚染の主要な源の一つになっている。それゆえ、これらの国々から排出される汚染物質の抑制・軽減はアジア諸国のみならず世界にとっても重要な課題である。

Lucas (2002) が指摘しているように、日本・中国・韓国を中心とする東アジア諸国が世界経済の檣舞台に登場したのは1950年以降である。それらの経済発展したがって資源消費の持続的な増大により、各国の環境インパクトも20世紀後半

を通じて連続的に肥大してきた。その様子が、アジア5カ国 (中国・日本・インド・韓国・タイ) を例として図9に示されている。

この図から、20世紀後半になってから急激な経済成長期に入り、膨大な資源を輸入・加工して輸出する体制を構築した5カ国は、それに相応して環境インパクトも右肩上がりに増加し続けていることが分かる。このため、各国で環境の深刻な汚染と破壊が頻発し、多くの野生生物と住民に悪影響を与えつづけてきた。また、経済発展のために貴重な自然植生が急減し、生物多様性などに大きな被害が生じていることは周知の通りである。

図中の括弧内の数値は、西暦2000年における環境インパクトの相対値(日本の値を1.00として)を表している。2000年の環境インパクトの相対値は、中国：3.04；インド：0.45；韓国：0.012；タイ：0.002になる。巨大な人口と著しい経済発展の国——中国の環境インパクトは日本の3倍で、アジア最大である。近い将来、人口と経済活動で中国にならぶ可能性のあるインドは、現在は日本の約半分であるが、今世紀半ばには日本を大きく上回り、中国に近い環境インパクト大国になるだろう。

図9を利用すると、1950年から2000年までの

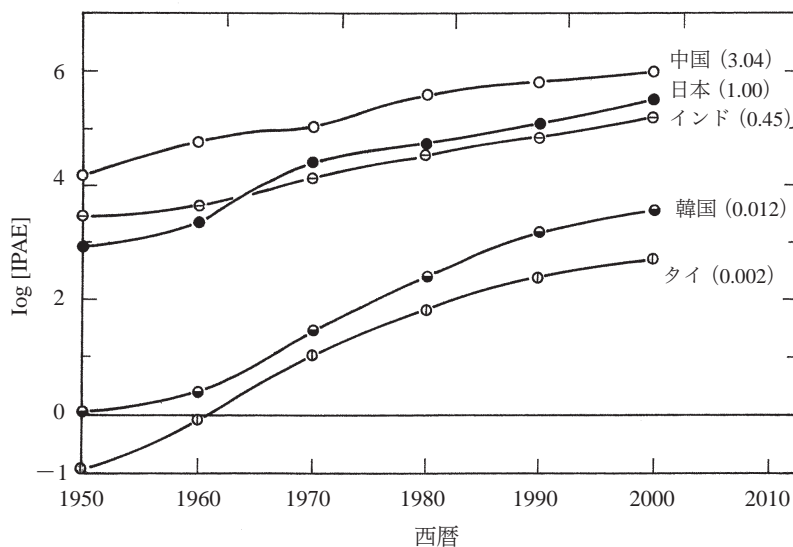


図9 20世紀後半におけるアジア5カ国の環境インパクトの変化

表1 50年間（1950-2000）における環境インパクトとその3要素の増加倍率

	中国	インド	日本	韓国	タイ
IPAE	62.3	52.8	365	1542	4415
人口	2.33	2.86	1.52	2.21	3.02
所得	4.50	2.09	29.48	31.89	7.49
エネルギー	6.09	8.79	8.15	77.61	195.0

50年間における環境インパクト（IPAE）の増加倍率が求まる。その結果が、環境インパクトの3要素（人口、所得、エネルギー消費量）の増加倍率と一緒に表1に示されている。50年前の大人口国（3.6-5.5億人）で経済規模も比較的に大きかった（約2000億ドル/年）、中国とインドの環境インパクト倍率は、五カ国のなかで最も小さい（53-62）。一方、50年前に小規模な経済活動（約150億ドル/年）と人口（約2000万人）であった韓国とタイでは、環境インパクトの増加倍率が最も大きい（1542-4415）。当時、中規模の人口（8000万人）と経済規模（1600億ドル/年）であった日本の環境インパクトの増加倍率は両者の中間（365）であった。

中国・インドでは、3要素の増加倍率はそれぞれ10倍以下である。韓国とタイでの大きいIPAEには、エネルギー使用量の増加倍率が特に大きく寄与している。中国・インド群と韓国・タイ群の

中間にある日本では、経済規模（所得）の増加倍率の寄与が最も大きい（29.8）。これらの結果から、環境インパクトの大小および内容には、それぞれの国の経済発展の内部構造が色濃く反映されていることがわかる。

5. 環境インパクトの軽減

現在、地球規模の環境と生態系の劣化・破壊に関して多くの研究が行われ、世界の各地から環境の現状が詳細に報告されている。また精緻なモデルが未来予想のために開発され、近未来の地球環境をコンピュータ画面に映し出してくれている。それらを受けて、地球環境と地球生態系への人類の生産活動のインパクトを軽減し、それらを持続可能な範囲に管理する種々な方策が研究され提示されている。

たとえば、Meadowsら（2005）は、地球環境

—資源—人類の相互関係に関する研究から、環境インパクトの軽減（彼らではヒューマン・エコロジカル・フットプリントの低減）方法を概念的に整理している。それらを参考にして、環境インパクトの軽減方法を記すと表2のようになる。表に見られるように、環境インパクトの軽減には ①人口増加の抑制、②豊かさの水準の適正化、③省エネルギー技術の開発・普及の三方策が考えられる。これらの方策、とくに①と②を効果的に実施するには、多くの住民の理解と賛同をえて社会全体に系統的に導入することが必要である。Meadows ら（2005）は、産業革命に代わる持続可能性革命のためには、①未来を描くこと、②ネットワークを作ること、③真実を語ること、④学ぶこと、⑤地球と自然生態系を慈しむことの重要さを強調している。

以上のような社会倫理的な方策の他に、多くの努力が省エネルギー技術や高効率機器の開発という科学技術分野で、現在行われている。これら技術的な方策を成功裏に進めるには現在の社会全体のエネルギー効率を把握する必要がある。西暦2000年のデータから求めたアジア諸国の社会全体のエネルギー効率が図10に示されている。図には比較のために、アメリカ合衆国の効率と日本でのエネルギー効率の年代変化（枠内）も示されている。

図に見られるように、社会全体のエネルギー効

率（億ドル/億トン石油）は、日本の9000からインドの1333までと国の間で大幅に違っている。すなわち、日本はインドの約6.8倍という高い効率でエネルギー資源を活用している。現在、世界の工場として多量のエネルギー資源（約7.2億トン/年）を使用している中国のエネルギー効率は、インドなみで非常に低い。すなわち、1単位の生産物（富）を得るのに、日本の約6倍のエネルギーを投入している。

図10の枠内には、日本社会のエネルギー効率の時代的な変化が示されている。現在世界最高のエネルギー効率を誇る日本も、30年前には相当に無駄にエネルギーを使用していた。当時は、1単位の富を生産するのに、現在の約8倍のエネルギーを投入していた。しかし、1970年代の数次の石油ショックを乗り切るなかで、多種多様な省エネルギー技術そして効率の高い機器が開発され、国民の協力で広く社会へ浸透していった。これらの努力によって、図10に見られるようにエネルギー効率の高い社会が出来上がり維持されている。この日本の経験は、省エネルギー技術・機器の整った省エネルギー社会基盤を築くことで、より少ないエネルギー資源でより多くの富を生産し、豊かな社会を築くことの可能なことを示している。これは当然エネルギー資源や他の資源の浪費を抑え、環境汚染物質の排出量の減少をもたらす。すなわち、それぞれの国そして世界全体の環

表2 環境インパクトの軽減法の分類と内容

人口増加の抑制	豊かさの適正化	生産技術と生活方法の改良
<ul style="list-style-type: none"> ○女性の地位の上昇 ○教育制度の改善と充実 ○女性の識字率の向上 ○人口再生計画の策定と実践・普及 ○福祉制度の改善と充実 ○土地制度の改革 ○避妊技術の改良と普及 	<ul style="list-style-type: none"> ○基本的な豊かさの確立 ○物質的豊かさの上限の教育 ○心の豊かさの教育と追求 ○生態系との持続的な共生に役立つ生きかたのための社会倫理の追求と教育 ○もったいない気持ちの普及と活用の推進 ○自然を慈しむ心の育み 	<ul style="list-style-type: none"> ○省エネルギー機器の開発と普及 ○生産過程と利用過程でのエネルギー効率の改善と向上 ○エネルギー効率の高い家屋と市街の設計と構築 ○全製品の長寿命化 ○原材料の使用を抑える製造法の開発 ○環境影響の少ない原料と製造法の開発

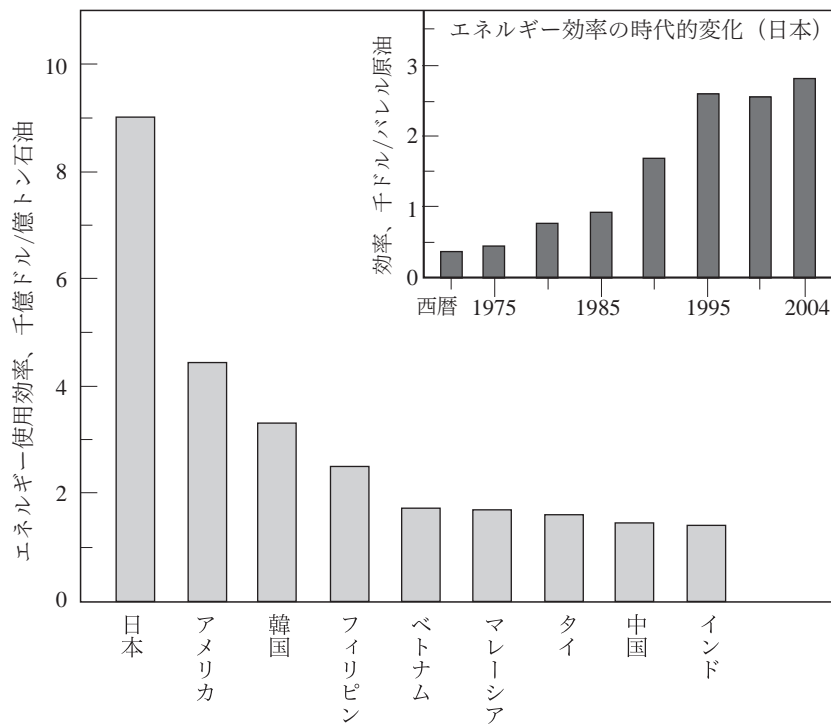


図10 西暦2000年におけるアジア諸国のエネルギー効率の比較
(世界の統計—2005より作成)

境インパクトの減少へと繋がるだろう。

しかしながら、地球環境および地球生態系と人間圏との間に、持続的で共生的な関係を築くには、省エネルギー技術などの単なる技術工学的な方策だけでは不十分である。すでに図7で指摘したように、人類の活動が地球生態系の持続可能域を超えていると思われる現在、地球生態系への人類の物質的な要求を、持続可能な域内に抑制するという社会倫理的な対応が不可欠である（内嶋，2005；Meadowsら，2005）。しかし、世界の人々は産業革命以降、つぎのような考えに従って地球自身の利用を世界的な規模で押し進めてきた（加藤ら，1991）。

- ①すべての人々の物質的な生活水準を上げることが必要である
- ②人類の達成できる生活水準には上限はない
- ③人類は科学と技術により環境を克服できる
- ④生活水準の向上は幸福を意味する
- ⑤政府の主たる目的は物質的な繁栄である

この五つの考え（加藤らは、これを五つのドグ

マと呼んでいる）が、科学と技術を強力に推進させ、経済活動を離陸させて世界の多くの地域で貧困を追放し、豊かな文明社会をもたらしたことは事実である。しかし、この路線を歩み続けるならば、人類の生産活動が地球生態系の持続可能域から逸脱することは避けられない（すでに広域酸性雨・地球温暖化・異常気象の多発・多くの生物種の絶滅などがそれを実証している）。それゆえ環境インパクトの増大を抑え、地球生態系と人間圏との持続的な共生関係を、わずか半径6380kmに過ぎない小さい地球上で築くには、表2に示したような人口増加の抑制、物質的な豊かさの適正化、そして省エネルギー技術の開発といった方策を社会のなかへシステム的に導入・定着させることが必要である。その基本は、人類は地球生態系の居候で（内嶋，1994）、健全な地球生態系無しでは生存できないという認識である。

6. むすび

全生物を扶養している地球環境への人類の生産活動の影響を評価するために、人口・所得・エネルギー消費・生産技術の発展度に関する資料を用いて、2種類の環境インパクト (IPAT, IPAE) を世界全体とアジア諸国について求めた。その結果、18世紀半ばに始まる産業革命を契機として、人口・所得・エネルギー生産量が急増し、多くの国が貧困から開放されたことが分かった。しかし、貧困からの開放の代償として、世界の環境インパクトも18世紀半ばから急増し、それは1000年間に IPAE で40万倍、IPAT で2万倍に増加したことが分かった。現在の傾向がつづく、今世紀末には地球生態系と人間圏は持続不可能になる危険性があると予想された。

アジアでは、多くの国が1950年以降活発な経済成長期に突入し、いわゆるアジア的貧困から開放され始めているが、それに比例して環境インパクト (IPAE) も急増して現在に至っていることが分かった。西暦2000年の環境インパクトは、日本を1.00とすると中国で3.0、インドで0.45、韓国で0.012、タイで0.002になった。環境インパクトに影響する社会全体のエネルギー効率の比較から、中国・インドのエネルギー効率は日本の約1/6に過ぎないことが分かった。

これは、他の国でも省エネルギー技術と高効率機器の導入によって資源を節約し、環境インパクトの低減の可能なことを示唆している。しかし、中国・インドは BRICs の一員として今後著しい経済発展が予想されるので、日本・韓国・中国・インド等を中心とするアジアの環境インパクトは、近い将来経済超大国アメリカに匹敵するようになるだろう。それゆえ、アジアとくに東アジアでの環境汚染物質の排出対策や人口増加対策そして豊かさの適正化対策は、この地域の環境保全および地球環境の保全にとって重要な課題である。

現在、急激な経済成長のために、地球環境と地

球生態系に多様な歪みが生じている。そして、広域酸性雨・海洋汚染・温暖化・森林の減少・環境ホルモンなど環境と生態系の劣化と破壊が進行し、その影響は人間圏へも及んでいる。これらの環境破壊を軽減し生態系を保全するためには、①人口増加の抑制、②所得水準の適正化、③省エネルギー技術の開発・普及の広汎な実施が必要である。これらの対応策を成功裏に社会に定着させるには、人類は地球生態系の居候で、これ無しには生存できないことを認識し、地球生態系と持続的に共生できる生活様式と社会システムへの移行が必要である。

引用文献

- Budyko, M. I. 1984: 生物圏の進化——地球上の生物と気候の歴史と未来 (内嶋善兵衛 訳). バイオマス関連文献翻訳シリーズ, No. 2, 農林水産技術会議事務局, p. 305.
- 中国国家统计局編. 2004: 中国統計年鑑—2004. 中国統計出版社.
- Ehrlich, R. R. and Ehrlich, A. H. 1994: 人口が爆発する (水谷美穂 訳). 新曜社, p. 347.
- Goudie, A. 1982: *The Human Impact-Man's Role in Environmental Change*. Basil Blackwell, p. 326.
- Headrick, U. 1990: Technological change. In *The Earth as Transformed by Human Action* (eds. by Turner, G. J., et al), pp. 55-67, Cambridge University Press.
- 海部陽介. 2005: 人類がたどってきた道. 日本放送出版協会, p. 332.
- 加藤秀俊・田中圭治郎・半田章二. 1991: 学校・社会教育における環境教育の国際比較. 加藤秀俊編「日本の環境教育」, pp. 277-344. 河合出版.
- Lilley, S. 1957: 人類と機械の歴史 (小林秋男・伊藤新一 訳). 岩波書店, p. 315.
- Lucas, Jr. R. E. 2002: *Lectures on Economic Growth*. Harvard University Press, p. 204.
- Lucas, Jr. R. E. 2003: *The Industrial Revolution: Past and Future*. The Region—2003, p. 14.
- Madison, A. 2004: 世界経済・2000年史 (金森久雄 監訳). 柏書房, p. 441.
- 松井孝典. 2003: 宇宙人としての生き方——アストロバイオロジーへの招待. 岩波書店, p. 218.
- Meadows, D., Randers, J. and Meadows, D. 2005: 成長の限

- 界 (枝広淳子 訳). ダイヤモンド社, p. 408.
- Meyer, W. B. 1996: *Human Impact on The Earth*. Cambridge University Press, p. 253.
- 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—2005. 省エネルギーセンター, p. 342.
- Peijun, S., Tao, Y. and Jing, C. 2005: Ecological Capital Assessment and Land Use Adjustment: the Path to Sustainability. *Global Change News Letter*, No. 62, pp. 13–17.
- Perry, H. and Landsberg, H. N. 1977: Projected World Energy Consumption. *Studies in Geophysics, Energy and Climate*, pp. 35–50, National Academy of Sciences.
- 世界銀行編. 2000–2005 : 世界経済・社会統計 (鳥居泰彦 訳). 東洋書林.
- 統計研修所編. 2000–2005 : 世界の統計. 国立印刷局.
- 内嶋善兵衛. 1990 : ゆらぐ地球環境. 合同出版, p. 222.
- 内嶋善兵衛. 1994 : 地球と生物と人類の未来は決して明るくない. 東京書房編「環境論を批判する」, pp. 6–32. 朝日新聞社.
- 内嶋善兵衛. 1999 : 地球と人類の行くえ. 宮崎公立大学公開講座〔4〕環境の時代を読む, pp. 11–32, 宮崎公立大学.
- 内嶋善兵衛. 2005 : 〈新〉地球温暖化とその影響. 裳華房, p. 216.
- 矢野恒太郎記念会編. 世界国勢図絵, Vol. 1–14. 矢野恒太郎記念会.
- Wackernagel, M. and Rees, W. E. 1996: Our ecological footprint: reducing human impact on the Earth. *New Society*, Gabroala Island, B. C.
- Wackernagel, M., Lewan, L. and Hansson, C. B. 1999: Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint. *Ambio*, 28, pp. 604–612.