

## アジアの産業発展と環境問題

### Industrial development in Asia and issues on environment

武石 礼司\*

Reiji Takeishi

#### 要旨

アジア地域は、世界の他の地域と比べると、全体として見て、順調な経済発展を遂げてきたということが出来る。アジア各国では、高い経済発展の結果、エネルギー消費量が増大し、それに伴う負の部分としての環境負荷の増大が生じている。環境問題の深刻化・多様化は、工場立地の拡大、都市化の進展、水需要の増大、汚染物質の大気放出量の増大等、様々な面で生じており、さらに、水処理能力、廃棄物処理能力等の不足があるために、様々な被害が出ている状況にある。

この様に、アジアでは、エネルギー消費量が増大を続けているが、これは主として産業発展によりもたらされており、発電、製造業、民生用、および運輸用の各部門における石炭、石油、ガス等の利用がアジア各国で拡大している。アジア各国とも発電および製造業部門からの CO2 排出量が多い。ただし、従来、効果が上がる CO2 排出量抑制策は、石炭から石油へ、石油から天然ガスへという燃料転換により生じてきた。

今後、アジア諸国においては、エネルギー消費量の急増を抑制しつつ、同時に環境配慮を伴った生産活動と消費活動を行うことができれば、「地球環境問題」に取り組みつつ、「地域環境」の向上も同時に目指すことが可能となる。

従来、エネルギー消費量の動向に関しては、経済成長に伴い不可避免的に生じるとの前提に基づいた検討が行われてきた。ただし、「ピークオイル論」に代表される、(在来型) 資源量の限界が次第に見え、資源価格が高騰してきている状況においては、「資源量制約」が存在することを前提に置いた上で、環境対策、および、温室効果ガス削減対策が打ち出せる可能性 (あるいはその必要性) が出てきている。環境市場の育成も、資源量制約を考慮したものとして設定すると、早期に、大きな可能性をもって進めることができる。枯渇性資源に依存していることに限界が見えてきた状況をとらえ、環境対応・環境対策を進めることが必要となっている。

\*東京国際大学国際関係学部 e-mail: takeishi@tiu.ac.jp

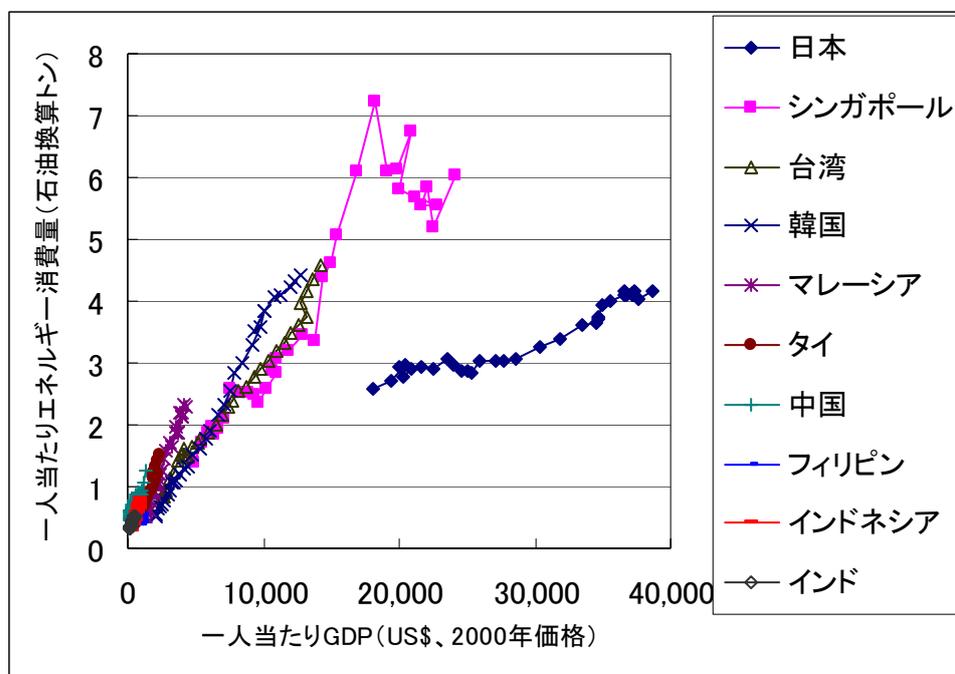
## 1. アジアの経済発展とエネルギー消費の増大

アジア諸国の経済規模は拡大を続けており、この GDP の増大とともに、エネルギー消費量の増加が続いている。図 1 は、アジア主要国における一人当たり GDP 額（単位：ドル、2000 年実質額）の推移を横軸にとり、縦軸に一人当たりのエネルギー消費量（単位：石油換算トン）をとって、1971 年から 2004 年までの推移を示している。

輸出入と国内生産の動向を示す雁行形態論（赤松 1956）が示唆するのと同じく、アジア各国は、一人当たり GDP が増大するとともに、自国より先行する国の経済発展の段階を追うように、エネルギー消費量が同時に増大する傾向が存在する可能性があることが図 1 を見るとわかる。つまり、シンガポールの後を、台湾と韓国が追い、その後をマレーシア、タイ、中国、フィリピン、インドネシア、インドが追うという傾向が生じていると見ることが出来る。

ただし、日本においては、早くからこれらアジア諸国と比べると、エネルギー効率の向上が達成されており、少ないエネルギー消費の中で多くの一人あたり GDP を達成できていることが、図 1 で、日本のみが異なった位置にあることでわかる。アジア各国においては、今後、日本型の省エネ型のエネルギー消費パターンの達成が一つの目標となると考えられる。

図 1 アジア諸国の一人当たり GDP 額（単位：ドル、2000 年実質額）（横軸）および一人当たりのエネルギー消費量（単位：石油換算トン）（縦軸）（1971 年～2004 年の時系列図）



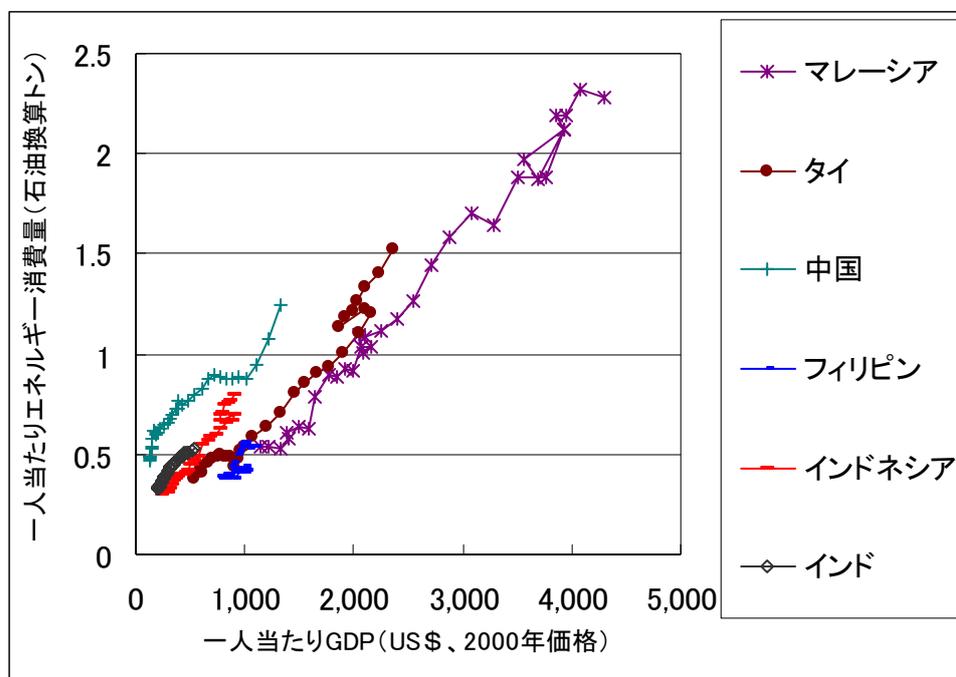
(資料) OECD IEA データ

図1より、一つの都市で構成される都市国家（a city state）であるシンガポールは、アジア諸国中で見て、突出して一人当たりエネルギー消費量が多くなっている。ただし、近年のトップダウン型ではあるものの、自動車数の抑制と公共交通機関の充実に向けた取り組みによる成果が出てきており、この点は注目されている（Barrow, 1999, p.371）。

台湾と韓国は、アジア諸国中でも一人当たり GDP の増大とエネルギー消費の増大の面で、似た傾向を持っており、図1において近い位置にある。その他のアジア諸国についてみると、一人当たり GDP 額でマレーシアが一步先んじており、他の諸国と比べ金額が多くなっている。その後をタイ、中国、インドネシア、フィリピン、インドが追っている状況がある。図2で縦軸の一人当たりエネルギー消費量を見ると、マレーシアが最も多く、続いて、タイ、中国の順となっている。

エネルギーの対 GDP 比での消費効率の点から見ると、マレーシアの効率が比較的高く、タイが次いでおり、中国の消費効率は良くなく、一人当たり GDP を増やすに当って、多くのエネルギーを消費しながら達成しているとの結果となっている。石炭を多量に消費している中国においては、エネルギー効率の向上が大きな課題となっていることがわかる。

図2 アジア諸国の一人当たり GDP 額（単位：ドル、2000年実質額）（横軸）および一人当たりのエネルギー消費量（単位：石油換算トン）（縦軸）（1971年～2004年の時系列図）  
（図1より日本、シンガポール、台湾、韓国を除外）

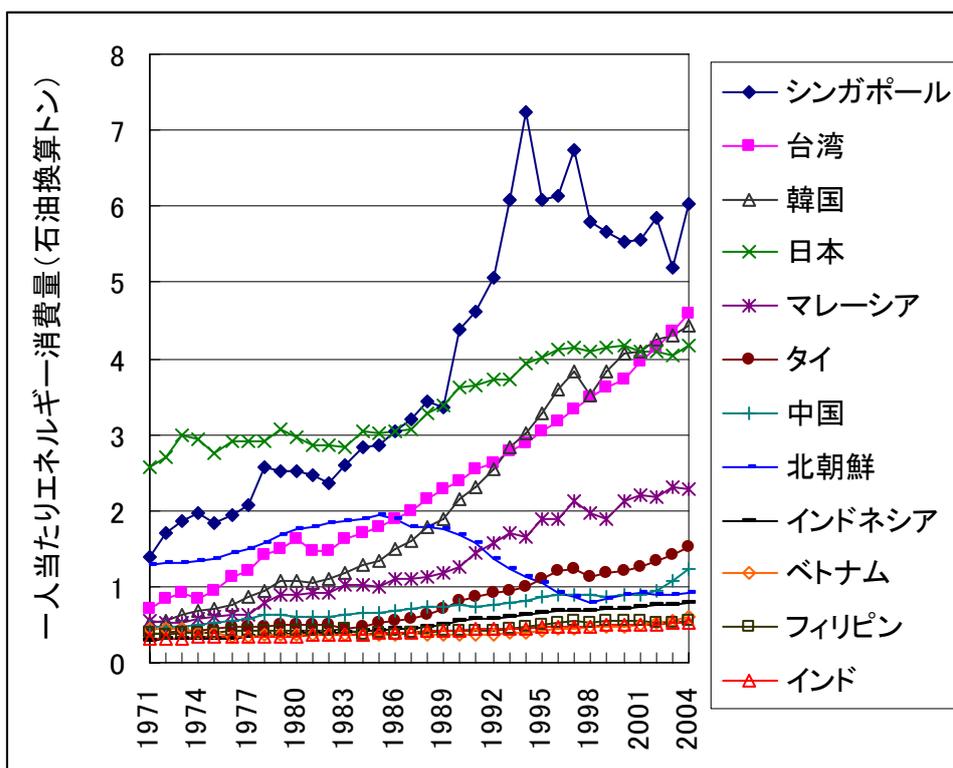


(資料) OECD IEA データ

図3でアジア諸国の一人当たりエネルギー消費量の推移を見ると、一人当たり GDP が多

い国において、一人当たりエネルギー消費量が多くなっており、2004年において、シンガポールが最も多く、日本の1.45倍の一人当たりエネルギー消費量となっている。その後に、日本、台湾、韓国がほぼ同じ消費量で続いている。一人当たりエネルギー消費量を、日本を1として表すと、マレーシアは0.55に止まっている。タイが日本と比べて0.36、中国が日本と比べて0.30となっており、一人当たりエネルギー消費量が日本よりも少なくなっている。ただし、アジア諸国におけるエネルギー消費動向を考えた場合、今後、各国が経済発展を遂げ、一人当たりGDPが増大するにつれて、一人当たりエネルギー消費もほぼ不可避免的に増加傾向をとると予測される。しかも、後ほど確認するように、エネルギー消費の増大により、各国ではCO2排出量の増大も生じていく。従って、いかにして今後、アジア諸国のエネルギー消費量の急増に対応するかは大きな課題である。

図3 アジア諸国の一人当たりエネルギー消費量の推移（単位：石油換算トン）（1971年より2004年まで）



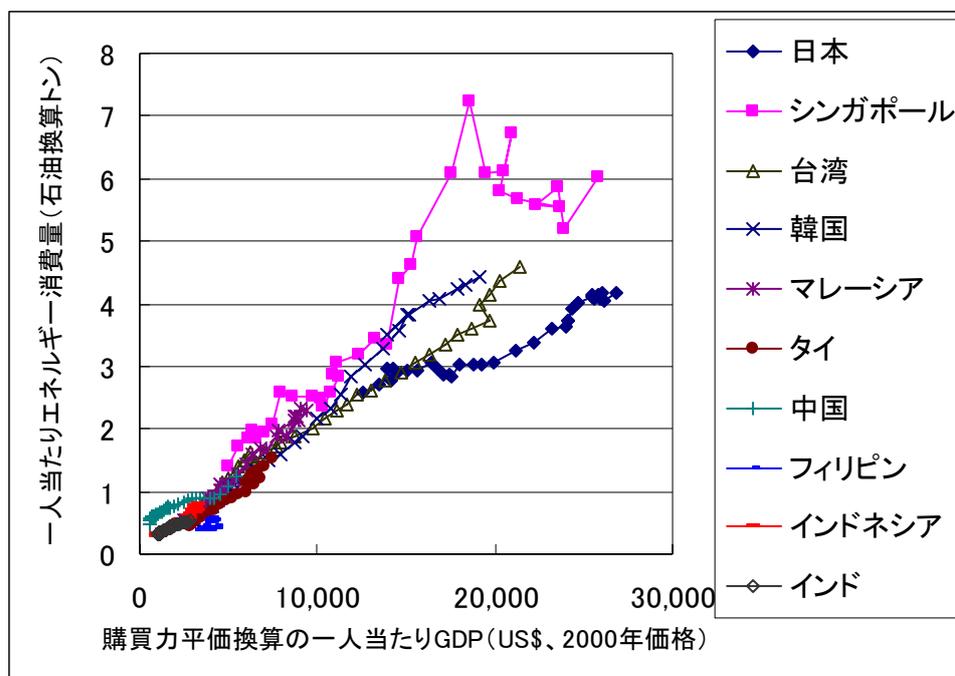
(資料) OECD IEA データ

図4は、購買力平価で見たアジア諸国の一人当たりGDP額（単位：ドル、2000年実質額）を横軸にとり、縦軸には一人当たりのエネルギー消費量（単位：石油換算トン）をとって、1971年から2004年まで時系列で、各国ごとに推移を示している。購買力平価で換

算するとインドの一人当たり GDP 額は、為替換算の場合に比べ 5.4 倍となり、ベトナムは同 5.0 倍、中国は同 4.1 倍、フィリピンは同 3.9 倍、インドネシアは同 3.7 倍、タイは同 3.2 倍、北朝鮮は同 2.9 倍、マレーシアは同 2.2 倍、韓国は同 1.5 倍、台湾は同 1.5 倍、シンガポールは同 1.1 倍となる。一方、唯一日本のみは 0.7 倍であり、購買力平価で換算した一人当たり GDP 額のほうが為替換算した額よりも少なくなっている。

図 4 で明らかなように、購買力平価で換算し直した GDP・PPP 額で見ると、アジア各国は、エネルギー消費量を増大させつつ一人当たり GDP を増やすという面で類似した傾向を持っているということが、改めて確認できる。

図 4 購買力平価で見たアジア諸国の一人当たり GDP 額 (単位:ドル、2000 年実質額) (横軸) および一人当たりのエネルギー消費量 (単位:石油換算トン) (縦軸) (1971 年~2004 年の時系列図)



(資料) OECD IEA データ

ただし、日本、シンガポール、台湾、韓国を比べてみると、GDP 額の割には日本が比較的エネルギー消費量が少なく、一方、シンガポールが多いとの違いがある。両国の中間に台湾と韓国が位置するという傾向がある。一人当たりの GDP 額では、これら 4 カ国に次いで、マレーシア、タイ、中国が位置しており、先行する 4 カ国の後を追いつつ、経済発展とエネルギー消費の増大を遂げてきている。図 4 においても、アジアのいずれの諸国における省エネ型の発展の先行例として日本の実績が存在していると言える。発展途上にあるアジア各国においては、日本との差異がどこにあり、より高効率なエネルギー

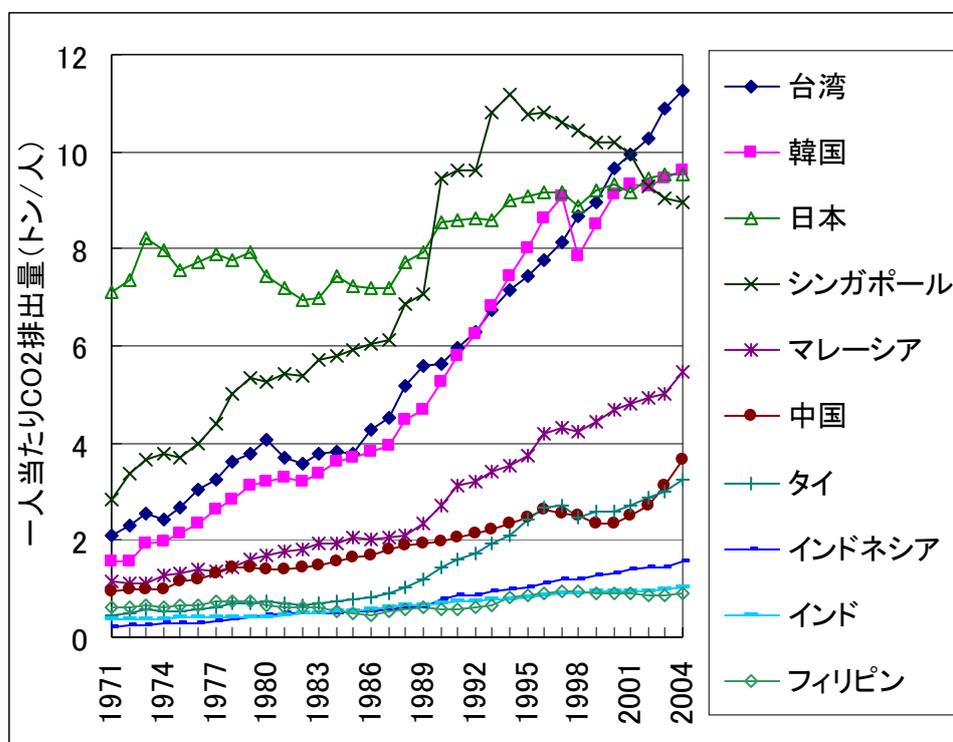
消費を達成するためにどのような産業構成が選択されることが望ましく、また、エネルギー源の選択においてどのような方向性が望ましいかにつき再度検討が行われることが期待される状況がある。

## 2. エネルギー消費の増大と CO2 排出量の増加

図5では、アジア諸国の一人当たり CO2 排出量 (トン/人) の推移を 1971 年から 2004 年まで示している。日本が従来最も一人当たり CO2 排出量がアジア諸国中で多かったが、1990 年にシンガポールに抜かれ、その後、2000 年に台湾に抜かれ、2004 年には韓国に抜かれている。なお、シンガポールは 1996 年をピークとして排出量の削減に成功しており、2002 年以降は日本を下回るに至っている。

韓国のように経済危機の影響を受けて 98 年、99 年と大幅に CO2 排出量を減らした例があるが、その後回復して微増傾向を続けている。アジア諸国においては、シンガポールを除くと、各国とも、日本を含めて CO2 排出量は増加傾向となっていることがわかる。

図5 アジア諸国の一人当たり CO2 排出量 (トン/人) の推移 (1971 年より 2004 年まで)



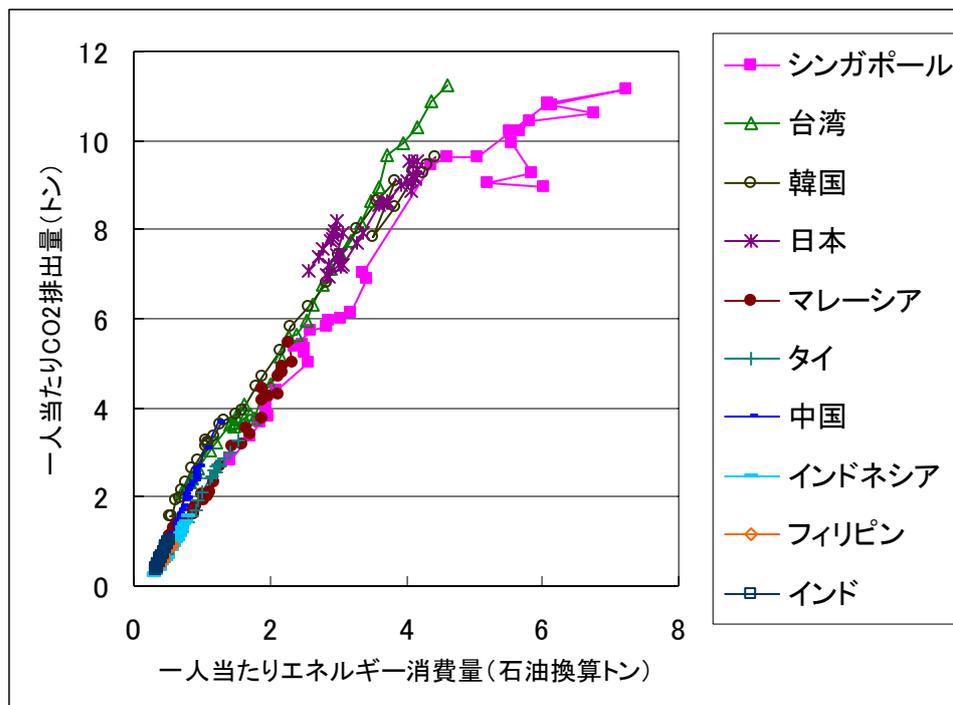
(資料) OECD IEA データ

佐和（1997, p.iv）は、「地球温暖化問題は、エネルギー需給の問題と表裏一体の関係にある。」と述べて、エネルギー消費の増加を伴わない経済成長があり得るのかについて、日本に関する検討を行っている。日本が石油ショック後の不況期においてエネルギー消費の伸びが停滞し、また、90年代の不況期においても再度、伸びが鈍化しエネルギー消費が停滞したことは事実である。ただし、景気が底をうつとエネルギー需要の再度の増大が始まっている。エネルギー消費を増やしながらか、経済成長を続けるという二十世紀型の工業文明が基盤となった状況は現在も続いていると言わざるを得ない。

佐和が検討した中においても未だ明白となっていなかったように、二酸化炭素の多量の排出をその特徴とする二十世紀型の工業文明からの脱却により、二十一世紀型の文明の道筋が見えたといえる状況には未だ至っていないことは確かである。

図6では、アジア諸国の一人当たりエネルギー消費量（石油換算トン、横軸）とCO2排出量（トン、縦軸）の推移を1971年より2004年までの時系列図で示している。一人当たりで見ると、各国ともエネルギー消費の増大がCO2排出量の増大をもたらすという右上がりの関係が、シンガポールを除いては、存在している。

図6 アジア諸国の一人当たりエネルギー消費量（石油換算トン、横軸）とCO2排出量（トン、縦軸）の推移（1971年より2004年までの時系列図）



(資料) OECD IEA データ

図6のデータを用いて、各国の一次近似曲線の数式と決定係数を示すと、以下の表1のようになっている。

中国の係数が3.6598で極めて高く、次いで、インドが3.3542となっており、石炭依存度が高い国でエネルギー消費量に対するCO2排出量が多くなっていることがわかる。

一方、日本およびシンガポールで係数は低くなっている。シンガポールは、一人当たりエネルギー消費量が多くなっているが、CO2排出係数が低いまま、一人当たりエネルギー消費量を減らすことが可能か、が問われる状況があることがわかる。

その他の諸国では、係数が2を超えており、韓国、フィリピン、マレーシア、台湾、インドネシア、タイの順で数値が大きくなっている。

表1 アジア諸国の一人当たりエネルギー消費量と一人当たりCO2排出量の推移の一次近似の結果(1971年より2004年までのデータに基づく)

	一次近似曲線	決定係数
シンガポール	$y = 1.4935x + 1.4273$	0.9472
台湾	$y = 2.4346x + 0.0727$	0.9919
韓国	$y = 2.0730x + 0.8066$	0.9933
日本	$y = 1.4664x + 3.2005$	0.8868
マレーシア	$y = 2.2938x - 0.2606$	0.9808
タイ	$y = 2.5838x - 0.5536$	0.9946
中国	$y = 3.6598x - 0.7679$	0.9915
インドネシア	$y = 2.5640x - 0.5607$	0.9902
フィリピン	$y = 2.1834x - 0.2661$	0.8636
インド	$y = 3.3542x - 0.7364$	0.9981

(注) yは一人当たりCO2排出量、xは一人当たりエネルギー消費量を示す。

(資料) OECD IEA データ

図7で、図6よりシンガポール、台湾、韓国、日本を除いて、その他アジア諸国の一人当たりエネルギー消費量(石油換算トン、横軸)とCO2排出量(トン、縦軸)の推移(1971年より2004年まで)を見ると、明らかに中国がエネルギー消費量当りのCO2排出量が多くなっており、しかも直線近似による当てはまりがよく、エネルギーが増えると、従来の比率のままCO2排出量が増大する傾向が続いてきたことがわかる。

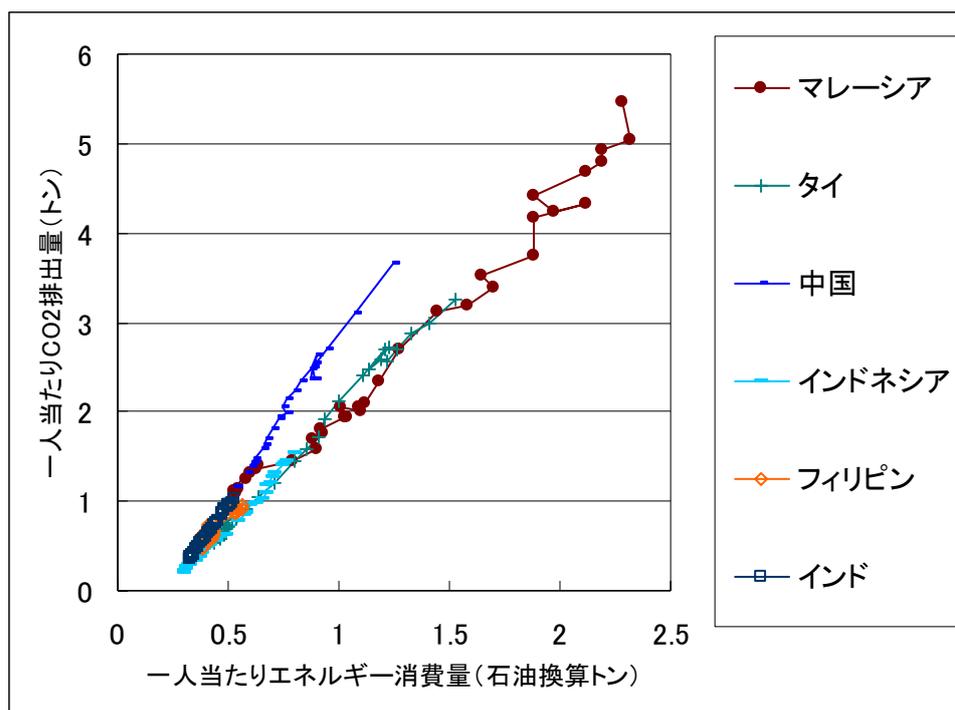
表1で示したように、中国と同じくインドにおいても、直線近似の当てはまりがよい状況があり、しかも係数が3を超えており、エネルギー消費量当りのCO2排出量が多くなっている。このように見てくると、エネルギー消費量とCO2排出量の抑制は、高い経済成長が続いている諸国においては、難しい取り組みとならざるを得ないと考えられる。

図7で見ても、マレーシアの段階まで経済発展が進むと、エネルギー消費量とCO2排出量の関係が、直線的な伸びから次第に変動する幅が大きくなってきていると見なすことが

出来る。仮にそうした段階にあるとすれば、日本で一定程度実現しているのと同じように、マレーシアにおいても、エネルギー消費の伸びを抑制しつつ、CO<sub>2</sub>排出量の増大幅も出来る限り減らす施策が採用できるかどうか議論される必要がある。

アジアにおけるエネルギー消費とCO<sub>2</sub>排出量に関する最大の課題は、人口大国である中国とインドで生じている一人当たりのエネルギー消費量の急増と、しかも一人当たりのCO<sub>2</sub>排出量が他のアジア諸国と比べても多いままの状況が続いている点にある。技術的ブレークスルーの可能性を探ることがまず必要となる。また、マレーシア、日本、韓国、台湾、それにシンガポールがたどってきた一人当たりのエネルギー消費量と、一人当たりCO<sub>2</sub>排出量の傾向値（係数）を実現できるよう、技術面での取り組みに加えて、制度面からの取り組みを強力に進めていく必要が生じている。

図7 アジア諸国の一人当たりエネルギー消費量（石油換算トン、横軸）とCO<sub>2</sub>排出量（トン、縦軸）の推移（1971年より2004年まで）（図6よりシンガポール、台湾、韓国、日本を除く）



(資料) OECD IEA データ

### 3. アジアの産業発展とエネルギー消費動向

アジア各国は、産油国であるか、産ガス国であるか、あるいは産炭国であるか、また、いつの時期からそれらエネルギー資源の開発・生産を開始したかに従い、各国内でのエネルギー消費量の変動が生じてきている。そのほか、経済開放政策を導入し、外国資本の投下が進む時期がいつかに依存して、再生可能エネルギー依存から、石油、ガス、石炭の高度利用の目指すようになる時期が異なってきている。

アジア諸国において、今後エネルギー消費量を抑制し、同時に、CO<sub>2</sub> 排出量の削減を目指すためには、従来から採用されてきたエネルギー政策の結果として設置された石炭火力発電所、ガス火力発電所、石油火力発電所等が、どのような順番で取り替えられ、必要に応じて増強されていくべきか、また、各国で生じている発電需要の増大に対しては、どのような燃料を用いることで対応していくことが望ましいかを検討していくことぜひとも必要となっている。

日本においては、1970年代のオイルショック時以降、一次エネルギー供給に占める石油の比率の引き下げが、エネルギー政策における最大の課題であった。1973年に77.9%あった石油の比率が、2004年には47.8%まで低下している。

韓国においては、1970年代のオイルショック後に、石油消費量の抑制策を導入し、石炭消費量が増大する結果となったが、1985年に42.3%まで高まった石炭依存度の引き下げを目指し、天然ガスと原子力の導入が図られることになった。また、再度、石油消費量も増大する結果となり、いっそうのガス、原子力、さらに石炭導入を図ることで、90年代以降は石油の占める比率の引き下げが行われ、2004年における石油の占める比率は47.6%まで低下している。

中国においては、非商業化エネルギーである再生可能エネルギーの使用量が従来から多かったが、近代化を進める過程で石炭消費比率が増大し、1990年には60%に達した。その後、石油消費比率が増大し、90年代末には石炭消費量の抑制が図られるが、再度、国内に豊富に存在する資源である石炭の活用を図るべきだとの意見が出されて、石炭が占める比率が2004年には61.7%まで上昇してきている。ガス、原子力、水力が占める比率は2004年で、それぞれ2.6%、0.8%、1.9%に止まっており、中国で急増しているエネルギー需要をまかなうためには、石炭の高度利用を最大限目指すことが必要となっている。この点は、2006年に出された中国第十一次5ヵ年計画において重視されている（武石 2006b）。

台湾においては、一次エネルギー供給に占める石油の比率が1977年に79.3%まで高まったが、その後、石油の占める比率の引き下げが石炭消費量を増大させることで目指され、石炭の比率は、2004年で35.9%まで高まってきている。2004年の石油の占める比率は44.0%である。そのほか、原子力が9.9%、天然ガスが8.5%、水力が0.5%となっている。

インドにおいては、一次エネルギー供給において、バイオマス等の非商業化再生可能エ

エネルギーを、石炭、石油等での置き換えが進められてきた。2004年で石炭が占める比率は34.1%まで上昇してきており、石油が22.2%となっている。2004年において、天然ガスは4.1%、原子力は0.8%、水力は1.3%を占めるに過ぎず、インド国内に豊富に埋蔵されている石炭の活用をいかに図るかが、最も重要なエネルギー政策となっている。

インドネシアにおいては、一次エネルギー供給において、バイオマス等の非商業化再生可能エネルギーを、国内生産する石油および天然ガスで置き換えてきている。80年代後半からは石炭の生産も本格化してきており、2004年における一次エネルギー供給の比率は、石油が37.0%、天然ガスが19.4%、石炭が12.8%、水力が0.5%であり、その他再生可能エネルギーが30.3%となっている。

マレーシアでは、1977年に一次エネルギー供給のうち石油が77%を占めたが、その後、石油の比率の引き下げが図られ、国内で産出する天然ガスの活用が目指されてきている。2004年における一次エネルギー供給の比率は、石油が48.0%、天然ガスが36.1%、石炭が10.1%となっており、近年において価格面で有利な石炭火力の導入が進みつつある。

フィリピンでは、一次エネルギー供給に対して、再生可能エネルギーの占める比率が2004年で36.1%あり、このうち20%は地熱発電となっている。70年代に60%を超えていた石油の比率は依然として高く、2004年で37.7%となっている。2004年において、その他には、石炭が12.2%、天然ガスが4.5%、水力が1.7%となっている。

シンガポールでは、石油依存度が従来から圧倒的に高く、ほぼ100%石油に依存する状態が続いてきたが、90年代初めからパイプラインによる天然ガスの輸入が、まずマレーシアから開始され、次いで、インドネシアからの輸入も行われている。石油依存度は、2004年で79.3%であり、ガスの比率が20.7%となっている。

タイにおいては、40%から50%台の石油依存度が70年代から現在まで続いてきている。従来、石油以外のエネルギー供給源としては、再生可能エネルギーに多く依存してきたが、80年代以降、シャム湾でのガス生産が開始され、さらに、ミャンマーからパイプラインによるガス輸入も行われ消費量が急増している。そのほか石炭火力の導入も進められている。2004年における一次エネルギー供給に占める比率では、石油が47.0%、ガスが25.1%、石炭が10.7%、水力が0.5%となっている。

以上のアジア諸国のエネルギー供給における動向からわかることは、各国とも自国で生産できる資源を出来るだけ活用する施策を導入しているという点である。石炭資源を豊富に保有する中国とインド、さらに近年石炭生産量を増やしているインドネシアにおいては、石炭の国内消費量が急増しており、一次エネルギー供給に占める比率も上昇傾向をたどっている。

また、シンガポールのように、近隣諸国からガスの輸入が可能となる機会を利用して、石油のみへの依存度を引き下げる努力を行っている国もある。

そのほか、石炭消費量が多く、増大している点も注目される。石炭は、価格面で有

利であり、2000年代以降、多くの東南アジア諸国が石炭火力の導入を進めており、このため、CO2排出量の増大がもたらされてしまっている。

以上のようにエネルギー需要が急増するアジアにおいては、電力供給と製造業におけるエネルギー消費の面で、いかに効率を高めつつ利用できるようにするかという課題が存在している。

アジア各国では電力需要が急増しており、今後もいっそう電力化率が高まることが予測される。各国における安定的な電力供給を確保し、そのためには自国で産出できるエネルギー資源を最大限活用することを念頭に置きつつ、しかも、効率を向上させる必要がある。その際に考慮されなければならないのが、表2で示す、各国において大きな差異がある発電燃料の選択に則りつつ、今後の方向性を検討していくことである。

選択肢としては、日本のように燃料間のバランスを重視する方向性が一つあり、また、韓国のように原子力を最大限活用するとの選択肢も存在し得る。また、自国産の資源を最大限活用するという点では、中国、インド、インドネシアのように石炭を最大限活用する方針がとられることになる。石炭を出来るだけ効率を上げて利用するとともに、将来的にはCO2排出量の抑制が可能となる石炭関連技術の導入を目指すことが必要となる。

タイ、マレーシア、ベトナム、シンガポールのように、自国、あるいは近隣諸国から産出される天然ガスを最大限利用して、発電用燃料としてはガスを利用する方針を採用することは、石炭および石油と比べると環境負荷も少ないことから、有力な選択肢となる。

またフィリピンのように地熱発電が、総電力供給量の2割を占める国もあり、自国産の資源の活用という点で成果を上げていると評価できる。

表2 アジア各国の電力供給量 (GWh) と発電燃料の比率 (%) (2004年データ)

	石炭	石油	天然ガス	原子力	水力	その他再生可能	発電量(GWh)
中国	88.5%	3.2%	0.4%	2.3%	5.4%	0.2%	2,199,601
日本	24.8%	19.4%	19.2%	30.4%	3.3%	2.8%	1,071,040
インド	81.0%	4.7%	7.1%	2.4%	4.0%	0.8%	667,782
韓国	40.0%	5.7%	12.6%	40.9%	0.4%	0.3%	366,614
台湾	56.9%	7.1%	11.5%	21.0%	1.2%	2.4%	218,384
タイ	18.5%	6.7%	70.0%	0.0%	2.0%	2.8%	125,727
インドネシア	42.4%	25.2%	12.6%	0.0%	2.5%	17.2%	120,160
マレーシア	29.5%	4.1%	63.2%	0.0%	3.1%	0.0%	82,899
フィリピン	21.9%	11.1%	11.6%	0.0%	4.3%	51.1%	55,957
ベトナム	20.3%	5.7%	55.6%	0.0%	18.4%	0.0%	46,029
シンガポール	0.0%	29.2%	70.8%	0.0%	0.0%	0.0%	36,810
北朝鮮	63.6%	10.4%	0.0%	0.0%	26.0%	0.0%	21,974

(注) 中国およびタイは電力輸入を行っているが、輸入量が総供給電力量に占める比率は、中国で0.2%、タイで2.6%にとどまる。

(資料) OECD IEA データに基づき作成

さらに、最終エネルギー消費においてアジア各国がどの程度のエネルギー消費を行っているかの概要を、表3で確認する。最終エネルギー消費量が最も多いのは中国で、日本の3倍となっている。インドもすでに日本を抜いており、1.2倍である。中国およびインドはともに輸送部門でのエネルギー消費量が、日本と比べてそれほど多くない中、中国では工業部門と業務・民生部門のエネルギー消費量が極めて多い点が特徴であり、インドにおいても業務・民生部門が多く、日本の2倍を超えている。

工業部門においては、エネルギー消費量が多い分野は、中国においては、窯業・土石、鉄鋼産業、化学および石油化学、機械産業、非鉄金属、衣料および皮革、食料品およびタバコ、紙パルプ・印刷、建設、鉱業、輸送用機器、木材および木製品の順となっている。

インドおよび日本においては、鉄鋼産業、化学および石油化学においてエネルギー消費量が多くなっている。インドでは、そのほかでは、窯業・土石、食料品およびタバコ、の順で多くなっている。日本では、紙パルプ・印刷、機械産業、窯業・土石の順となっている。各国の産業部門の特徴を反映して、エネルギー消費が多い部門が異なっており、インドネシアでは、窯業・土石が多く、韓国では、鉄鋼産業、化学および石油化学、窯業・土石の順となっている。タイでは、食料品およびタバコ、窯業・土石の順となっている。台湾では、化学および石油化学、鉄鋼産業の順となっている。

このようにアジア各国において、省エネ推進のため、さらにCO2排出量の削減を目指した取り組みを行うに当たって取り組むべき産業部門が異なっていることがわかる。

表3 アジア各国の工業、輸送、業務・民生の各部門におけるエネルギー消費量（2004年）  
（単位：石油換算千トン）

	中国	インド	日本	インドネシア	韓国	タイ	台湾	ベトナム	マレーシア	フィリピン	シンガポール
工業部門	428,453	95,479	102,365	26,120	37,953	21,508	22,161	9,072	14,666	8,445	1,197
窯業・土石	108,126	9,929	7,439	4,417	5,773	4,564	2,998	0	999	1,396	0
鉄鋼産業	103,466	12,614	22,185	866	7,909	926	4,828	0	0	359	123
化学および石油化学	67,263	12,306	22,272	725	7,122	1,336	6,907	0	0	302	74
機械産業	26,547	593	8,651	77	3,519	1,107	2,729	0	0	261	0
非鉄金属	22,194	658	1,865	0	220	0	118	0	0	0	0
衣料および皮革	21,663	1,407	0	1,244	3,586	1,058	1,882	0	0	257	0
食料品およびタバコ	18,429	8,062	4,188	693	1,597	6,460	665	0	0	885	0
紙パルプ・印刷	15,655	2,514	8,813	714	2,146	391	871	0	0	271	0
建設	9,212	0	3,593	368	564	172	135	0	0	155	0
鉱業	8,408	941	732	1,103	163	32	70	0	0	204	0
輸送用機器	8,183	0	0	0	2,299	0	266	0	0	0	0
木材および木製品	3,087	0	0	0	305	187	40	0	0	35	0
その他	16,220	46,455	22,626	15,912	2,750	5,275	652	9,072	13,668	4,321	1,001
輸送部門	103,673	36,319	94,111	27,759	34,247	21,580	14,619	7,093	15,383	9,206	5,172
業務・民生部門	415,921	245,318	114,888	66,517	39,524	16,450	11,593	28,277	6,459	9,088	1,627
合計	948,047	377,116	311,364	120,396	111,724	59,538	48,373	44,442	36,508	26,739	7,996

（資料）OECD IEA データに基づき作成

アジア各国の産業競争力は、多くの国において高まってきている。たとえば、セメント産業においては、1970年代以降、熱効率が高く、また量産効果が高い回転窯である SP キルンおよび NSP キルンが開発導入され、セメント 1 トンを生産するためのエネルギー使用量は約 4 割削減され、また、セメント 1 トンを生産するために必要な電力量も 2 割削減された（武石 2006a）。90 年代には、中国に多くのこの最新式のキルンの導入が行われ、中国でのセメント生産の効率が急上昇した。日中間を比較してみても、セメント生産におけるエネルギー効率の差が、70 年代および 80 年代のように何倍も異なるということはなく、最大でも 50% の差の中で各国のプラントが競争を行うという状況が生まれている。

鉄鋼、紙パルプ、化学および石油化学等の産業分野を見ても、アジア諸国における生産効率の向上が進んでいる。例えば、セメント産業においては、日本よりも韓国の方がエネルギー効率、および生産量あたりでの CO<sub>2</sub> 排出比率で効率が高いとの結果が出ており、どの国がトップランナーを占めるかに関する競争状態が出現しているといえることができる（武石 2006a）。

#### 4. エネルギー需給予測に関する考え方

アジア各国間で、エネルギー効率の収斂と呼べるような状況が始まりつつあることを、前節では確認した。こうした望ましい状況をさらに進めていくためには、エネルギー消費効率の点から見て、高効率・省資源な設備が導入されていくように、経済構造そのものに働きかけていくことができることが有益である。ところが、従来、エネルギー消費量と各種エネルギー間での代替が石炭から石油へ、あるいは石油から天然ガスへというように、どの程度進むかを考えるときには、既存の経済構造の変動の中で、二次的な要素として、経済の変動に単に依存するのみでエネルギー需要を算出するという考察が行われてきてしまっている。

例えば、図 8 は、(財) 日本エネルギー経済研究所で用いられているエネルギー需給予測モデルの概要図である。多くの外生変数を用いて、燃料間の選択に最も重点を置いてモデルが構成されている。エネルギー転換ブロックが、エネルギー需給モデルにおける最終的な数値の決定をつかさどっており、燃料間のシフトがこのモデルにおいて重要な役割を持つことがわかる。

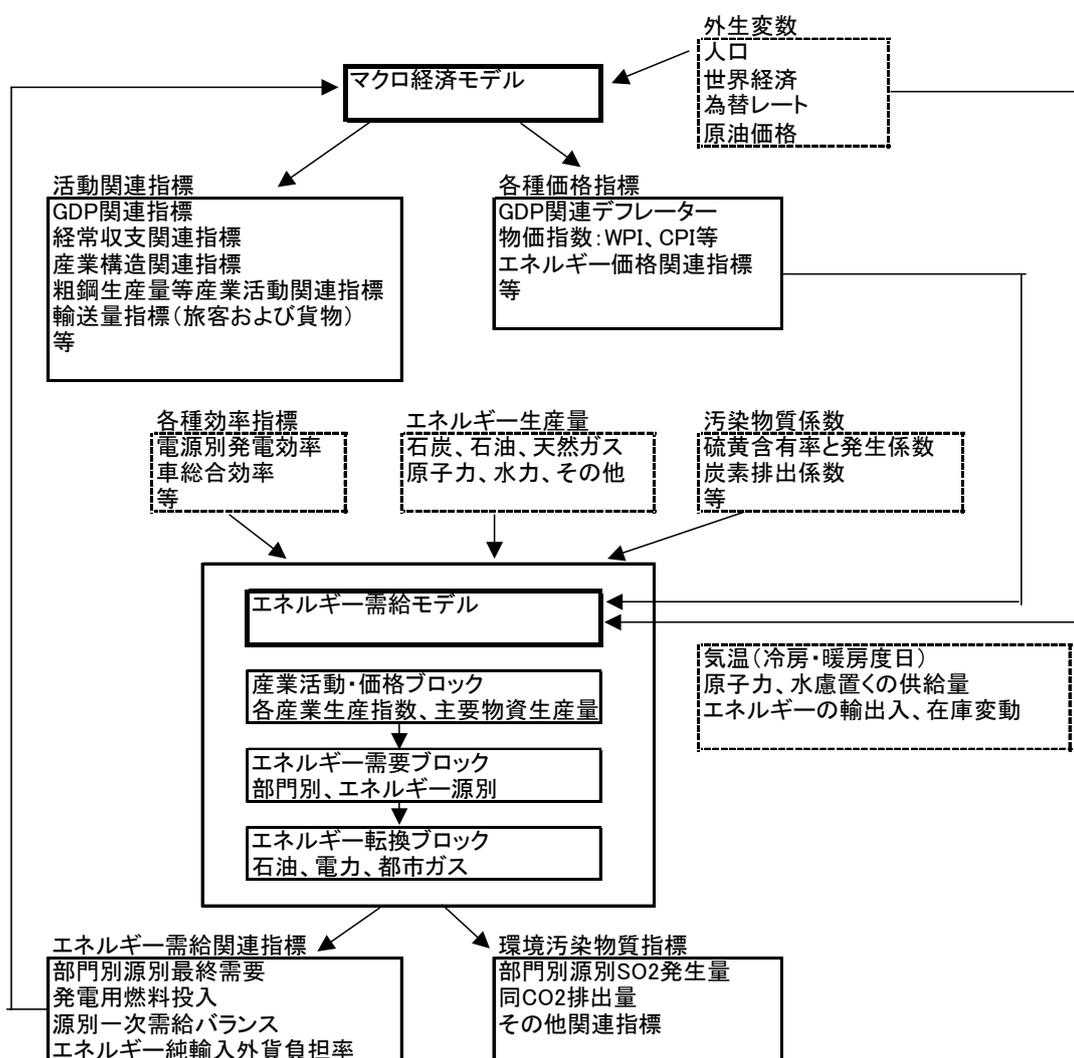
このモデルでは、エネルギー需給を求めるため、マクロ経済モデルを動かしている。外生変数としては、人口、世界経済の成長率、為替レート、原油価格を設定している。原油価格も外生変数となっている点が、大きな特徴である。マクロ経済モデルを動かすのみでは、原油価格の予測が不可能であると判断されていることがわかる。

エネルギー需要量の見積もりは、次のように行なうとされる。

電力に関しては、産業、交通、民生、農業といった部門別の需要がまず見積られる。化石燃料系に関しても、産業、交通、民生、農業の別に、化石燃料需要が算出される。非エネルギー部門に関しては、シェアを一定とする等の工夫が行なわれて、消費量が見積られる。ナフサに関しては、日本では石油化学用に、関税の還付が行なわれながら、原料用として輸入されているので、モデルの処理上で特別扱いが行なわれ、外生変数とされる場合が多い。

このようにして、最終エネルギー需要と最終電力需要が計算されている。

図8 エネルギー需給予測モデル



(資料) エネルギー経済研究所「アセアン4ヶ国および中国、韓国の長期マクロ経済・エネルギー需給モデルによる計量分析」 p.28、エネルギー経済、第 27 巻、第 4 号 (2001 年秋季)、および、同研究所「短期エネルギー需給予測」 p.5、エネルギー経済、第 27 巻、第

## 2号（2001年春季）ほかより作成

以上見たように、大型のモデル計算においても、原油等のエネルギー価格を外生的に置いているのが現状であり、同時推計するモデル計算は行なわれていない。感度分析として、石油価格を振らせる、あるいは、為替レートを振らせるという作業を行ないつつ、シミュレーションが行なわれている。このような手法が採用されている理由は、エネルギー需要が、他の需要の派生需要であるためとされる（日本エネルギー経済研究所 2001 p.12）。

なお、製造業においては、エネルギーは生産のための中間財あるいは中間需要として消費されている。そのため、エネルギーの需要量は、財の生産量と単位当りのエネルギー消費量である原単位との積として表すことができるとされる。

マクロ経済モデルから導かれる需要量として、石炭、石油、ガス等の各種のエネルギーの需要量が選択され、決まってくるのだとすると、エネルギーの分野から積極的に働きかけて高効率な設備・機器等を導入させるインセンティブが存在することを示すことは、上記のモデルの上では難しいことがわかる。また、環境汚染に関しても、CO<sub>2</sub> および SO<sub>x</sub> の排出量に対する制約を設定することは可能であっても、環境面からの選択を基準として、マクロ経済に反映させていくというフィードバックをかけていくという面においては、現状の分析は弱いことがわかる。

今後、環境面からの制約の存在に関しては、次節で検討するように、ますます重視される必要が出てきており、また、エネルギー資源の選択においては、資源量そのものの制約が存在することが明らかとなってきたことから、新たな局面を迎えていると考えられる。この点については、第6節で考察する。

## 5. アジア諸国の経済発展および産業発展と環境問題

現代においては、あらゆる経済活動が、環境面からの何らかの制約を受けるに至っている。目に見える形で地域における環境を悪化させる「地域環境」に関する問題に加え、2005年2月の京都議定書の発効後は、地球環境問題に関する配慮も必要であるとの認識が世界的にいつそう高まってきている。今後は、アジア各国においても、地球規模で見た場合の成長の制約要因である環境問題が存在するとの認識を持ち、常に環境配慮をしつつ、しかも、そうした中での経済発展を目指すこと必要性がますます高まると考えられる。各国、各企業等、あらゆる組織において、広く理解を得て普及を図ることができる環境問題に対する取り組みを行うことが必要である。そのためには、筋道を立てた、説明可能な対策を練っておくことが求められており、しかも、アジア全体として採用すべき施策はどのような方向性を持ったものとなるかを確認しておく必要がある。

ただし、問題なのは、地球環境問題においては、直接の被害がどこでどのような形で生

じているのか、認識するのが困難であるという点にある。日本において依然として熊本水俣病の未認定患者の救済が求められている状況があることからわかるように、いったん生じた地域環境の悪化が、その後長く地域の住民を苦しめる例は多い。首都圏、および関西圏での大気汚染被害者の救済が遅々として進まなかった事実も教訓となる。

従来は、アジア諸国では、十分な環境面からの配慮を払うゆとりを持たずに、ひたすら産業の発展を目指してきた面があったことも事実である。こうした中、既に、より直接的な問題として、アジア各国において、経済発展がもたらした歪みとしての大気汚染、廃棄物、水質・土壌の悪化等の様々な問題が生じてしまっている。表 4 で示すように、アジア諸国で発生している環境問題は、中国の三廃問題をはじめとして、政治・社会問題化した大きな問題となっているものも多い。

表 4 アジア諸国の環境問題

国名	主要な環境問題
中国	大気汚染(石炭利用)、廃棄物(ごみ処理)、水質汚濁(含:砒素、フッ素汚染、工場排水、有害物質流出による国際問題発生)という「三廃問題」、砂漠化(過放牧・過耕作)、酸性雨、黄塵、三峡ダム、地盤沈下、地下水汚染、海洋汚染(渤海、黄海、東シナ海等)、有害廃棄物輸入
韓国	大気汚染(ソウルの排気ガス、蔚山工業団地ほか)、河川汚染(生活排水)、海洋汚染(鎮海湾、光陽湾ほか)、公害病(温山病)、廃棄物(ごみ処理、ダイオキシン)、セマングム干拓事業
台湾	大気汚染、廃棄物(ごみ処理)、水質汚濁、土壌汚染、有害廃棄物処理(処理場の建設が困難、カンボジア等への輸出による被害発生も)、ダム建設
マレーシア	廃棄物(ごみ処理・貯蔵、不法投棄)、排水処理(工場廃液、パーム油、やし油、天然ゴム、すず鉱山等)、鉱害、下水道整備の遅れ、上水用の水供給不足、大気汚染(森林火災による煙霧)、森林減少(オイルパーム)、河川汚染(サバ・サラワクの農薬と化学肥料)
タイ	大気汚染(バンコク、石炭火力)、廃棄物(ごみ処理)、河川汚染、水質汚濁、鉱害、養殖魚池による汚染、パーム油増産と森林保護、東北タイの森林破壊・旱魃・洪水
フィリピン	大気汚染(マニラ等の都市巨大化による)、ごみ処理、森林管理と森林減少(土壌浸食、地下水の枯渇・塩性化)、水質汚濁(マニラ湾、砒素、カドミウム、水銀等)、鉱害(金・銅鉱山の水銀汚染、廃さい流出・投棄)、有害廃棄物輸入
インドネシア	大気汚染(ジャカルタ、および森林火災による煙霧)、廃棄物処理(野焼き)、工場排水(重金属汚染)、鉱害、森林管理と森林減少(移住政策、産業造林:アグロフォレストリー、水田化)、水質汚濁と上下水道の未整備、河川汚染(工場排水)、海洋汚染(マラッカ海峡、ジャカルタ湾、スラバヤ湾等)
シンガポール	重油流出
ベトナム	河川汚染(主要河川すべて、工業廃水と生活排水)、森林破壊(乱伐、枯葉剤)、洪水多発、鉄砲水、ハノイおよびホーチミンの都市化(大気汚染、ごみ、廃水)
ミャンマー	鉱害
バングラデシュ	洪水、土壌流出、塩害、水質汚濁、排水、森林破壊
インド	河川汚染(すべての表流水源は飲用不可)、ダム建設、森林減少、都市部の大気汚染、鉱害、ごみ処理、有害廃棄物輸入、砂漠化、津波被害(地下水汚染も)

(資料) 武石 (2007)、日本環境会議「アジア環境白書」(1998) (2000) (2004)、財団法人地球環境戦略研究所 (IGES) 各種資料より作成

アジア諸国中、特に中国は、「環境問題の百貨店」と言われるように、ほぼすべての問題を網羅しながら、環境問題が深刻度を増しており、早急な対応が求められている問題も多く存在している。中国はすでに、世界最多の環境学者数を擁していると言われている。しかし、その一方で、中国に関しては、「環境学栄えて環境滅ぶ」との評価もあるように、環境対策が、発展のスピードに追いつかず、国内各所で環境悪化が生じてしまっている（日本環境会議 1997）。ただし、黄塵に関しては、負の側面ばかりではなく、栄養分を運ぶという意味も持っていることが知られるようになってきている（三上 2007、伊藤 2003）。

アジア諸国で生じた急速な経済発展が、環境負荷の急拡大を招いたために、事態が深刻化したケースも多い。圧縮型工業化（telescoping of industrialization）と呼ばれる世界の歴史上かつてないほどの急速な経済発展が、環境汚染の複合化を招いた、との指摘がなされている（オコンナー 1996 xiv）。

これらアジア諸国での環境問題による被害の発生、それに環境劣化という問題は、各国において達成された産業発展の結果という側面がある。しかも、アジア全体として見たときに、アジアで最初に重厚長大産業が日本で発展した。その後、重厚長大産業は韓国で発展し、さらに中国その他各国で拡大し、一部企業は海外展開も開始している。産業発展とそれに伴う産業構造の変化が生じたことと、環境問題の発生は密接な関係を持っていることができる。

経済発展のためには産業の発展が必要とされ、そのために必要なエネルギー資源の確保と利用は欠かせない。しかも、エネルギー資源としての化石燃料は有限の存在である。エネルギー資源として利用可能な森林等の自然資源も、過大に使用すると回復に多大な時間と資金を要する。したがって、限られた資源を適切に配分しつつ、いかにして各国が望ましい発展の経路に乗ることができるかという問題として、アジアの環境問題をとらえる必要が生じる。

例えば、中国では三峡ダムの建設が進められており、2009年に26基の発電ユニットがすべて完成した後の発電電力量は約850億kWhが予定されている。しかし、その発電量は中国の現在の電力需要量の6%に過ぎない（海外電力調査会 2000 pp.425 - 458より算出）。発電能力18,200MWは、現在世界最大のブラジル/パラグアイ国境のイタイブダムの12,600MWを抜いて、世界最大となる（電気事業連合会統計委員会編 2002 p.292）。世界最大の発電所となる三峡ダムの建設によっても、中国で毎年8~10%もの比率で増大してきている電力需要増には、1年分の意味しか持たない。ダム建設のケースを考える際にも、そもそも巨大ダムを建設することが社会にとって利益となるのかが疑問視されるようになってきている。中国で建設中の三峡ダムは、17年の建設期間中に110万人の住民移転が予定されており、総投資額は2,000億元（約2兆8,000億円）を要すると見積もられている。豊富な流量を誇る長江が、今後ダム完成後にどのような影響を受けることになるか注目されるが、ダムから得られる利益は、その建設のための投資額よりも小さい場合が多いことが指摘されるようになってきている（瀬戸 2002 p.74）

以上のように、産業が発展するとともに、アジアの人々にとって慣行問題は、地域の問題としても、また地球規模の課題としても、従来にもまして身近な問題として捉えられるようになってきたと考えられる。交通機関が発達し、通信手段も格段の進歩を遂げたため、誰しもが国際化の影響を被るようになってきている。深刻化する環境面での課題に則り、生活環境の改善を図ることが必要となる。ただし、急速なエネルギー消費の増大は、別途の大きな課題である在来型エネルギー資源のピークアウトという問題を引き出すことになった。この点につき次節で検討する。

## 6. なぜ資源量制約が生じるのか

在来型のエネルギー資源である石炭、石油、天然ガスに対しては、いずれも利用できる資源量に制約が存在することが明らかとなってきた。

石炭に対しては、同一熱量の石油、ガスと比べて、燃焼時の CO<sub>2</sub> 排出量が多いという点が多きな環境制約となっている。日本においてはエネルギー安全保障の観点から、一定量の石炭利用（特に発電用）を維持する必要性が指摘されてきている（経済産業省 2006）。日本では発電量の 25%が石炭で発電されており、産炭国以外としては、たいへん高い比率が維持されている。

石炭を使用していくことが今後も可能かという点をめぐっては、ますます風当たりが強くなり、厳しくなっていくことが予測されている。

例えば、世界最大の石炭埋蔵量を保有する米国（世界の 27.1%、2007 年 BP 統計による数値）においては、表 5 で示すように、石炭のガス化のための技術開発を今後強力に推し進め、輸送用燃料となる CTL（Coal-to-Liquid）の供給を 2015 年以降進めるとの計画が、2007 年の米国エネルギー省の見通しの中に盛り込まれることとなった。京都議定書を批准していない米国においてすら、石炭の利用を今後も続けていくためには、石炭のガス化技術の開発を進め、CO<sub>2</sub> の地下貯蔵にも取り組む必要があると考えられており、エネルギー省の研究機関（Office of Fossil Energy）において、多くの商業化を目指した研究が進められているところである（<http://www.fossil.energy.gov/>）。

また、石油に対する資源量制約も明らかとなってきた。世界には未だ 40 年程度の石油確認可採埋蔵量が存在しており、さらに埋蔵量成長と呼ばれる今後埋蔵量が技術進歩、および、経済性の向上により増大すると予測される部分があり、それに加えて未発見量と呼ばれる今後探査が行われることで埋蔵量の増大が可能と積もられる部分があるため、当面は、これらの在来型と呼ばれる石油資源量に関しては枯渇を心配する必要はないと言える。ただし、その一方、これらの在来型と呼ばれる地下に向けて井戸を掘り、自噴させるかあるいはポンプで汲み上げるかして生産する在来型の地下資源を補う役割を期待されているオイルサンド、オイルシェールと呼ばれる重質の油は、生産量の急増は難しく、在来

型の石油資源を、非在来型の石油資源が完全に代替することは無理との見通しが出されている。

表5 米国のエネルギー需給見通し（米国政府発表による見積り）（石油換算百万トン）

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2015	2020	2025	2030	2030
LPG	1,163	1,098	1,132	1,176	1,184	1,171	1,163	1,170	1,187	1,219	1,267	2.4%
E85(85%エタノール)	0	1	1	1	1	1	1	2	3	6	9	0.0%
自動車ガソリン	6,896	6,893	6,964	6,934	6,947	6,984	7,037	7,517	8,070	8,640	9,245	17.8%
航空燃料	1,342	1,336	1,352	1,399	1,452	1,520	1,604	1,723	1,802	1,821	1,866	3.6%
軽油	53	56	56	57	56	57	57	58	57	56	54	0.1%
燃料油	3,449	3,509	3,592	3,614	3,640	3,681	3,731	4,000	4,211	4,517	4,909	9.4%
残渣油	820	847	658	686	694	702	715	749	745	750	759	1.5%
石化原料	611	547	522	565	584	585	589	590	594	605	624	1.2%
液体水素	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0.0%
その他石油系燃料	1,850	1,828	1,821	1,705	1,717	1,722	1,673	1,755	1,788	1,846	1,966	3.8%
石油系燃料合計	16,185	16,116	16,097	16,136	16,276	16,422	16,571	17,564	18,458	19,462	20,702	39.8%
天然ガス	8,463	8,315	8,206	8,578	8,866	9,012	9,116	9,631	9,939	9,965	9,899	19.0%
GTL(Gas-to-Liquids)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
その他	684	665	670	687	697	699	698	716	791	781	770	1.5%
天然ガス合計	9,146	8,980	8,875	9,266	9,563	9,711	9,814	10,346	10,730	10,746	10,669	20.5%
無煙炭	258	244	262	247	245	242	240	233	226	226	226	0.4%
瀝青炭・褐炭	8,656	8,813	8,897	8,971	9,002	9,140	9,369	9,885	10,516	11,651	12,942	24.9%
CTL(Coal-to-Liquids)	0	0	0	0	0	0	0	48	82	266	370	0.7%
コークス(純輸入量)	55	17	22	9	9	8	8	7	7	7	7	0.0%
石炭合計	8,968	9,075	9,180	9,227	9,256	9,390	9,617	10,173	10,831	12,149	13,545	26.0%
原子力	3,262	3,227	3,255	3,286	3,275	3,257	3,264	3,359	3,661	3,664	3,704	7.1%
バイオマス燃料	84	97	125	141	180	243	273	292	309	330	348	0.7%
再生可能資源	2,287	2,228	2,406	2,535	2,592	2,659	2,704	2,806	2,885	2,990	3,060	5.9%
電力輸入量	15	33	37	23	20	8	15	11	15	17	17	0.0%
総合計	39,948	39,756	39,977	40,614	41,162	41,690	42,257	44,552	46,888	49,359	52,046	100.0%
年率伸び(%)		-0.5%	0.6%	1.6%	1.3%	1.3%	1.4%	1.1%	1.0%	1.0%	1.1%	

（資料）米国エネルギー省、Report #DOE/EIA-0383(2007)、Released Date: December 2006

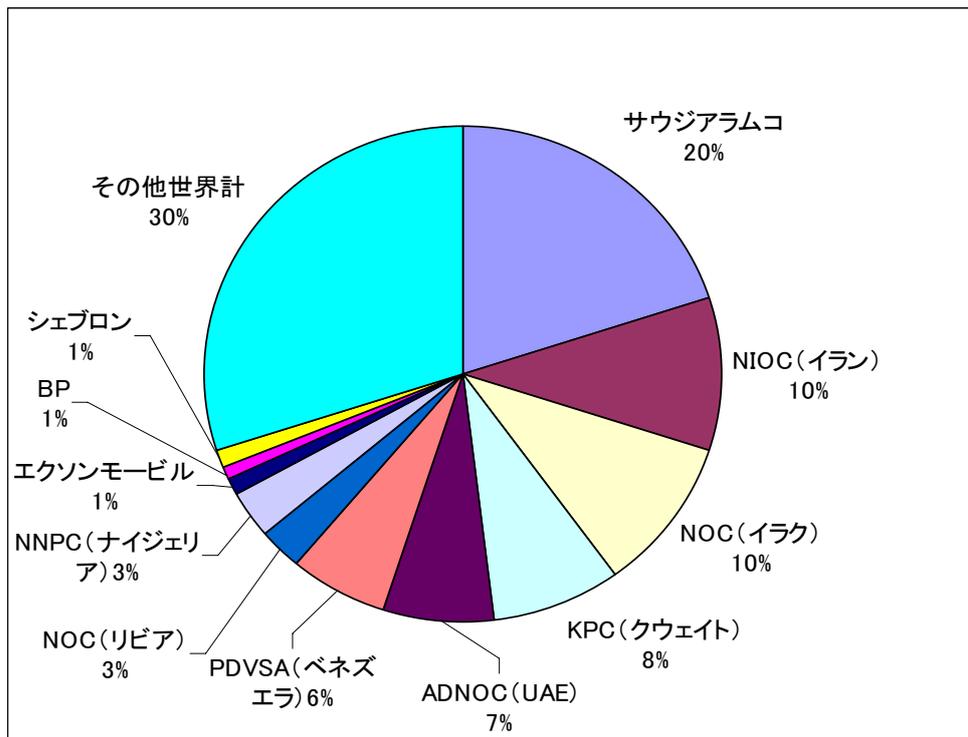
このような見通しがある上に、在来型石油の埋蔵量において世界の埋蔵量の 74.9%を占める OPEC（11 カ国、アンゴラを加えた 12 カ国では 75.7%）参加の国々が保有している（2006 年の数値、BP 統計 2007 より）。

図 9 で示すように、サウジアラビア国営石油会社であるサウジアラムコが、世界の 20% の（在来型）石油の保有しており、そのほか、イランの国営石油会社の NIOC が 10%、イラクの石油会社の NOC が 10%、クウェイトの KPC が 8%、アラブ首長国（UAE）の国営石油会社の ADNOC が 7%、ベネズエラの国営石油会社の PDVSA が 6%、リビアの NPC とナイジェリアの NNPC がそれぞれ 3%となっている。

一方、欧米石油メジャーズが保有する埋蔵量は、エクソンモービル、BP、シェブロンでそれぞれ世界の 1%程度に過ぎない。

現在、OPEC 諸国およびロシア、南米諸国のように、資源主権に再度目覚め、高油かによる財政的余裕を背景として、外国石油企業の参入を阻止するとともに、既参入の欧米等の石油企業に対しては、国外退出を迫る動きが出てきている。こうした状況下では、今後、欧米企業が生産可能な資源量は極めて限定されてしまう。

図9 世界の石油埋蔵量の比較（OPEC およびメジャーズ）（2006年現在）



(資料) US Energy Information Administration, "International Energy Annual, 2006"

図10は、横軸にOPEC各国およびメジャーズ各社の石油埋蔵量（確認可採）をとり、縦軸に生産量をとっている。OPECに関する点を直線近似した線を引くとともに、近似式と決定係数を記している。メジャーズ各社についても同じく、近似式と決定係数を示している。

生産量 $y$ に対する埋蔵量 $x$ の係数を見ると、6.7倍の差があることがわかる。平均10年超の分しか埋蔵量を保有しないメジャーズにおいては、今後、参入困難なOPEC以外の地域で、いままで築いてきた経営資源を生かしながら、いかにして企業体を維持するかが大きな課題となってきている。

一方、OPECにおいては、いずれの国においても、国の収入の礎である石油埋蔵量を末永く活用して、子孫の繁栄を図る必要が生じている。つまり、石油メジャーズとは全く異なる生産計画を、OPECの国営石油会社は保有していることがわかる。

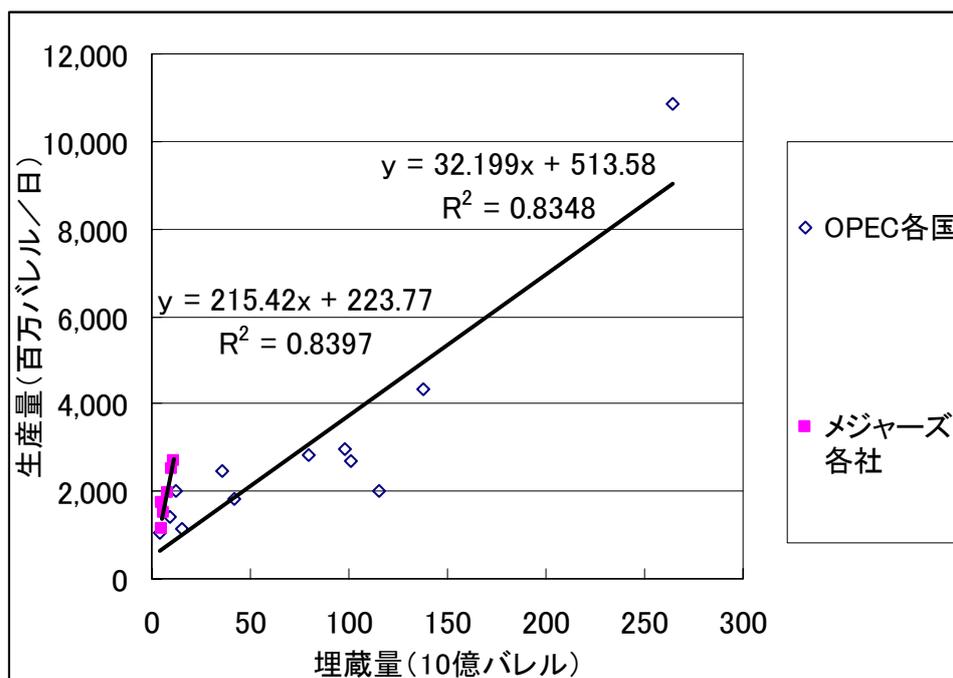
このような状況がある以上、在来型石油が40年以上あるから石油供給に何の不安もないと言う人がいても、その言葉をそのまま受けとることはできない。

すでに、欧米石油メジャーズの年次報告書を見ても、遅かれ早かれ2010年あるいは2030年でピーク生産となる世界の石油生産の状況に対する備えを行っていくと記述している。例えば、燃やしてもなくならない炭素(C)の供給に取り組むと述べて、炭化水素ではなく、

炭水化物の供給の役割を今後は果たしていくと述べる企業が出現している（Chevron 社・2006 年年次報告書）

このような状況が何を生じさせるかという、将来の供給量の大幅な減少を意識した価格の高止まりということにならざるを得ない。

図 1 0 OPEC 各国およびメジャーズ各社の石油埋蔵量と生産量（2006 年データより）



（注）OPEC はアンゴラを含む 12 カ国、メジャーズは、エクソンモービル、BP、シェル、シェブロン、トタル、コノコフィリップスの 6 社で算出。

（資料）BP 統計およびメジャーズ各社 Annual Report より作成

今後も、液体で扱いやすい輸送用燃料として、供給インフラを始め、独占的な地位を築いてしまっている石油に対する高い評価がしばらく続くことになる。石油燃料は、航空、船舶、産業用等、多くの分野で利用が可能であるという点が、改めて高く評価されるようになってきている。

エネルギー価格を見ると、熱量等価で評価すると、2006 年において、天然ガスは百万 BTU<sup>1</sup>当たりで、米国の Henry Hub 渡しの価格で 6.76 ドル、カナダのアルバータの価格で 5.83 ドル、英国の Heren NBP Index で 7.87 ドル、EU 向けの CIF 価格で 8.77 ドル、日本

<sup>1</sup> BTU (British thermal unit) は、熱量を示す基準で、1 Btu = 0.252 kcal = 1.055 kJ となる。他の燃料形態との比較では、1 trillion BTU は、0.028 billion cubic meters の天然ガス (NG) と等価であり、そのほか、1 trillion BTU は、0.025 million tones の石油と等価 (oil equivalent)、0.17 million barrels の石油とも等価となる。さらに、1 trillion BTU は、0.02 million tones の LNG と等価である。

向けの液化ガス（LNG）の CIF で 7.14 ドルとなっている（BP 統計 2007 による）。

一方、原油価格は OECD 諸国向けの CIF で百万 BTU 当たり 10.66 ドルであり、従って、ガスは割安であると言われ、熱量等価で見て、もっと値上がりの余地があると言われ続けてきた。

しかし、2007 年に至り明らかとなってきたのは、常温で気体である天然ガスには使用に当って用途の制約が存在しており、この石油との使い勝手の違いが意識されて、価格が低位に止まり、今後の利用範囲も制限されざるを得なくなってきたという点である。天然ガスは、燃やして熱を発生させ、その熱を利用して、発電するか、温熱、冷熱、あるいは蒸気をとるかしか利用の道がないと考えられ始めているのである。

以上見てきたように、石炭には環境面からの強い制約が加えられており、石油には資源量の限界という強い制約がすでに及んでいる。さらに、天然ガスには、用途の制約が及んでいる。そのほか、ウラン資源と原子力発電には、何度も生じてきた致命的な大事故の記憶が残っている上に、廃棄物処理の問題、途上国における稼働させる能力の問題等、スムーズな普及を妨げるいくつもの要因が存在している。

このように資源量の制約、エネルギー供給量の限界、そして枯渇への危機が現実のものとなろうとしていることがわかる。枯渇性の資源の将来価格の動向に関しては、経済学者ハロルド・ホテリングが唱えたホテリングルールがよく知られている。

資源の市場が存在し、 $P_t$  が資源の 1 単位当たりの価格であるとすると、利率をデルタ ( $\delta$ ) とすれば、

$$P_t = (1 + \delta)^t P_0$$

が成立し、資源価格は利率と等しい率で上昇することを、この式は意味している。「完全予見をもって現在価値を最大化しようとする鉱山保有者から構成される競争的産業は、価格が利率に等しい率で上昇するよう採掘計画をたてる」（コンラッド 2002 p.90）と、ホテリングは考えた。採掘可能な資源 1 単位の資本利得は、割引率と等しくなるということを意味している。

しかし、石油資源の採掘においては、今後明らかに 75% もの埋蔵資源の保有者である OPEC に、さらに 6.6% の埋蔵量保有者であるロシア等も加わって、資源の高値維持を続け、しかも、生産量をできれば現状維持する等、少なめにするとの方針を、これら諸国はいずれも目指すに違いないと予想される。

さらに、石油資源の燃料からは、環境負荷物質である CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、微粒子（パーティキュレート）等が排出されてしまい、蓄積性の汚染を地球環境に与えることになる。

こうした状況下においては、資源の希少性を組み込み、さらに環境制約を盛り込んだモデルを設定し、この制約下において、各国の産業がいかに運営可能であるか、あるいは、産業構造の組み直しを再設計できるかどうかの再検討を行うことが必要となってきたと考えるべきであろう。こうした資源量制約が存在することが、多くの人に明らかな状況

が出現していると考えられる以上、今後は、「持続可能な発展」という言葉が何を指すかという意義も変わって来ざるを得なくなるに違いない。

石油資源については、世界で必要とされる量のうち、市場で自由に取引できる量が限定される一方で、価格については高い市場価格を享受しようと、OPEC が市場価格に従おうとするからである。価格決定においては金融商品化が進んできており、ファンド資金の出し入れにより、資源価格が乱高下する状況が明らかに生じている。石油を始めとしたエネルギー資源を対象としながら、さらに、環境負荷の削減、省資源・省エネの実現を目指すためには、「金融市場類似」の市場での確率的な動きをする「エネルギー資源市場」を対象に、分析する手法の再考が必要となる。つまり、市場の動学的な特性を考慮しつつ分析していく必要が生じる。しかも、マクロ経済動向に、これら「エネルギー資源市場」の動向をフィードバックさせていく必要も出現する。こうした場合に用いられるべき確率的環境 (stochastic environments) に対応できるモデルとして、適応型モデル (Adaptive model) が有効である可能性が高い (コンラッド 2002, p.205)。その場合には「危機的水準 (critical level) の設定」が極めて重要な意味を持つてくることになると思われる。

## 7. 新たな視点を加えた省エネ・省資源・低環境負荷を目指した方向性

前節までの検討により、資源制約と環境制約がともに強く意識されざるを得ない状況が出現してきていることが判明した。従来、制約要因がそれほど強く意識されていなかったために、資源と環境の両面における制約要因に基づいたマクロ経済へのフィードバックが少ないままであったが、今後は、資源賦存状況、環境負荷の発生状況等を考慮しつつ、実物経済の方を調整していくことが必要となってくると考える。

こうした場合に、政府がトップダウンで計画を立てても成果は少ないと考えられる。市場に関する情報は、民間企業が豊富に保有しており、政府が情報を完全予見して、コントロールすることは不可能だからである。

以上のような状況があるとする、企業、地方政府、その他市民団体等が、資源制約、環境制約を意識して行動できるような環境を整備することが、国 (中央政府) の役割であり課題となる。例えば、市場の確保・育成は、環境負荷の軽減のために極めて重要な役割を果たす。この面で、国が、国際協調を図りながら取り組める部分は多い。

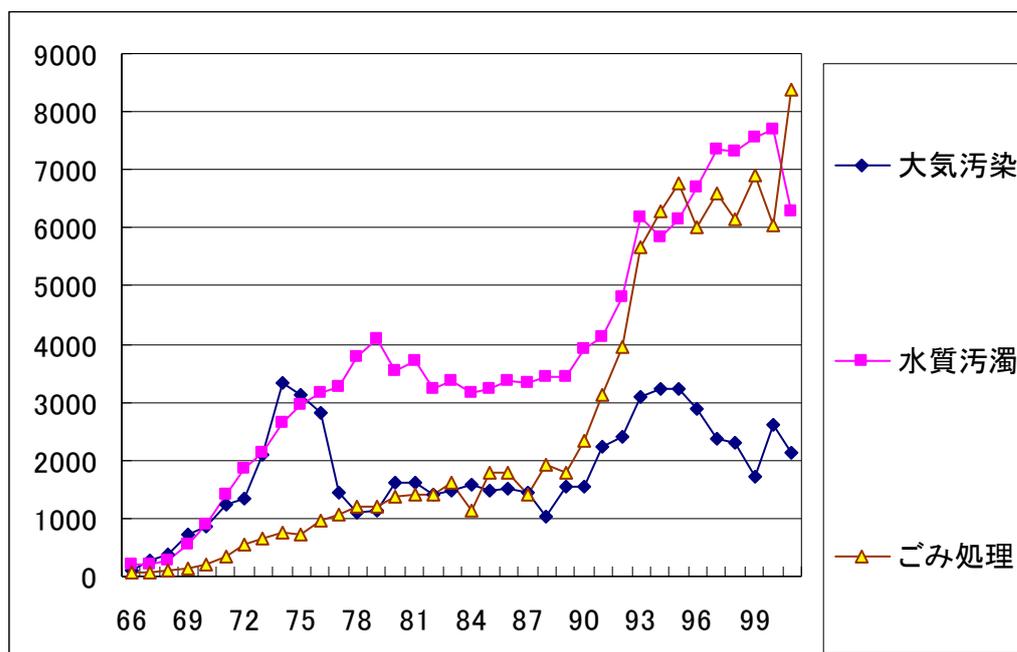
日本の例を見つつ、環境産業の規模を検討しておくことにする。

図 11 で示すように、1970 年代に一度大気汚染の克服が大きな課題となり、大気汚染防止装置への投資が大きく膨らんだ。一人当たり所得が 4,500 ドル程度に達すると脱硫設備の導入が急速に進むとの検討結果が出されたのは、日本のこの 70 年代の経験に基づいてのことである。アジア諸国中では、現在、マレーシアが一人当たり 4,500 ドルの所得に手が届くところに位置しており、これをタイが追っている状況にある。

日本では、90年代半ばに、大気汚染関連のプラント売上高が再度大きく増えている。ただし、ダイオキシン問題に関連して90年代に入り、ごみ処理関連のプラントへの投資が急速に膨らんでおり、大気汚染対策費は水質とごみ処理と比べれば、少額に止まっている。

環境市場の動向としては、少なくとも日本国内においては、最初は公害問題を対象として市場が急拡大し、その後、大気汚染対策で市場が再度膨張し、さらに、ダイオキシン対策というごみ処理問題に関する世論の高まりを背景として、投資が盛り上がりを見せた時期があったことがわかる。

図11 日本国内の環境プラント産業の売上高推移（単位：億円）（1966年より2001年）



（資料）社団法人日本産業機械工業会データに基づき作成

環境市場の特徴は、このように、問題が出現するたびに、その対応をめぐって新たに市場が出現する場合があるという点である。環境産業の定義としては、プラントの受注・販売のみでなく、公害防止技術、ソフトの提供といったサービス面を含む広い意味で考える必要がある。

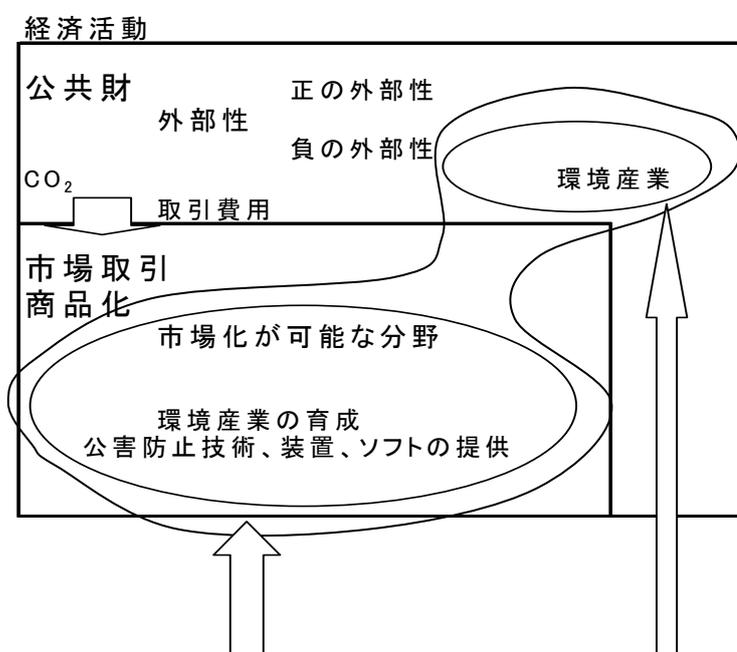
図12で、経済活動の全体を示している。そのうち、民間企業の活動する（図中の下側の）「市場化された部分」と、政府の規制が強い「公共財の部分」（図中の上側の）の両者が存在している。規制が強化されると新たに環境市場の対象とする領域が広がり、出現する状況を図12は示している。

図12を見て明らかなように、環境産業は、図中左下の市場化された部分において、民間企業どうしが自由な市場競争を行なっている。環境産業において特徴的なのは、公共財と

呼ばれる競争原理が本来働かない部門において、法制度あるいは規制制度が変更されることで、突然市場が出現するという点である。

例えば、上下水道分野においても、民営化が実施された際には、公共財の提供の部門（図12の右上）において、環境産業が出現する。ただし、もともと市場化されていた部分と比べると、依然として一定程度の公共性が残存せざるを得ない。このように、上下水道の部門への参入が環境産業に開放された場合には、公共性が依然として残り、行政側からの規制を受けざるを得ない。この右上の部分には、命令・規制・協定・技術基準の設定による市場の創出を意味している。

図12 環境産業の位置付け



市場機能維持のためのモニタリング

命令・規制・協定・技術基準の設定による市場の創出

上下水道、大気汚染、水質汚濁、廃棄物、土壌汚染、CO<sub>2</sub>規制、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、フロン規制等

(筆者作成)

図中の上部の公共財分野においては、政府が担当すべき直接規制として、汚染排出源に対する規制、および運営に関する規制が存在する。このように、環境産業は、行政サイドとの密接な関係を維持しつつ発展することが必要な産業であり、アジアにおける展開を考えた際にも、各国間の制度の一定程度の整合性を目指す必要がある。

アジア大での環境産業の育成と展開が今後は目指される必要があるが、その際には、環

境分野での主導権をとるために、環境関連産業は、①市場化部分でのシェア獲得を図るとともに、②公共財部分での環境産業育成・市場化を目指すことになる。

市場設定の可能性を各国政府は探りながら、国際協調をとりつつ、環境産業の育成を図る必要がある。例えば、上下水道の民営化の進行状況を見つつ、環境産業関連企業による市場化進出の可能性、その是非を判断する必要がある。

図 12 で、公共財に関する外部性と記した部分に関して、配慮が必要となる。被害額と対策費用との関係から見て、「外部不経済」の放置も場合によっては選択肢となる。こうした「外部不経済」の例としては、パレート限界外部性の存在する事象、例えば、森林の保護、農地の保全といった緑化関連の対策をあげることができる。

また、技術基準の設定による市場の創出に関しても、配慮が必要である。技術基準というような各国間の基準に差異が多く存在する例では、基準の設定そのものが大きな非関税障壁となる可能性がある。環境問題への対処を進めたはずにもかかわらず、基準の整合性が無い場合は自由な貿易を妨げ、環境負荷を増大させる可能性が生じてしまう。

このように環境産業は、従来型の市場での自由な競争のみを目指すことだけでは把握し切れない、従来とは異なった意味を持つ産業として把握する必要がある。しかも、環境産業は、グローバル化が進んだ現在、日本一国のみでは対応しきれない側面を含んだ産業であり、アジア全体での取り組みがぜひとも必要となる。

以上、環境産業の育成の重要性を確認したが、制度面での整備が進まないと環境産業の活動できる範囲が確定されず、企業間の十分な競争が生じない可能性が高くなる。制度面からの取り組みが着実に積み重ねられていくことが、環境問題に対応し、成果を生み出していくために極めて重要である。

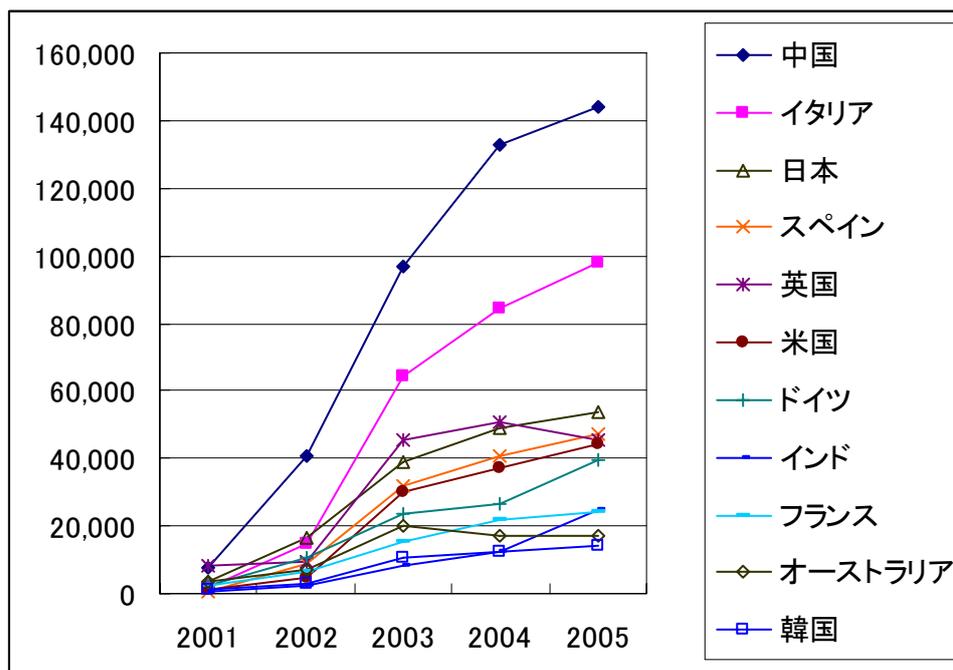
ただし、政府による制度の設定は実際には補完的な意味しか持たず、国際間の取り決めとして規制が強化され、環境産業の活躍できる市場が突然出現する場合があります。

こうした国際間の協調が成り立つのも、その前に、各国企業が、自主的な取り組みを進めて、環境負荷の軽減、省エネ・省資源への取り組みを強化しているためであると思われる。企業のこうした面での自主的取り組みは、ISO（国際標準化機構）の品質規格（ISO9001）、それに、環境規格である ISO14001 への取り組みが強化される中で、成果を生み出してきている。企業・自治体等の組織は、自主的に ISO 規格の取得を企てるのであり、登録をした以上、毎年何らかの成果を加えるために、努力し続けることを要請される。ISO の特徴としてはシステム規格である点が重要で、PDCA サイクルに則り、Plan、Do、Check、Action の繰り返しの中で、自ら効果の出具合を評価していくことが可能となっている。

品質規格である ISO9001（2000 Certification）登録件数の推移を図 13 で見ると、中国が圧倒的に多くなっており、2005 年現在、14 万件を超えている。第 2 位はイタリア、第三位が日本となっている。そのほか、スペイン、英国、米国、ドイツ、インド、フランス、

オーストラリア、韓国の順となっている。インドの急増が目立っており、ISOの本場である欧州企業を押し抜いて、アジア企業が多く品質規格を取得して、自主的な改善に取り組んでいる。今後の省エネおよび環境問題への取り組みによる成果を増大させる可能性が、アジアで増していることがわかる。

図13 ISO9001 (2000 Certification) 登録件数の推移



(資料) ISO ホームページ

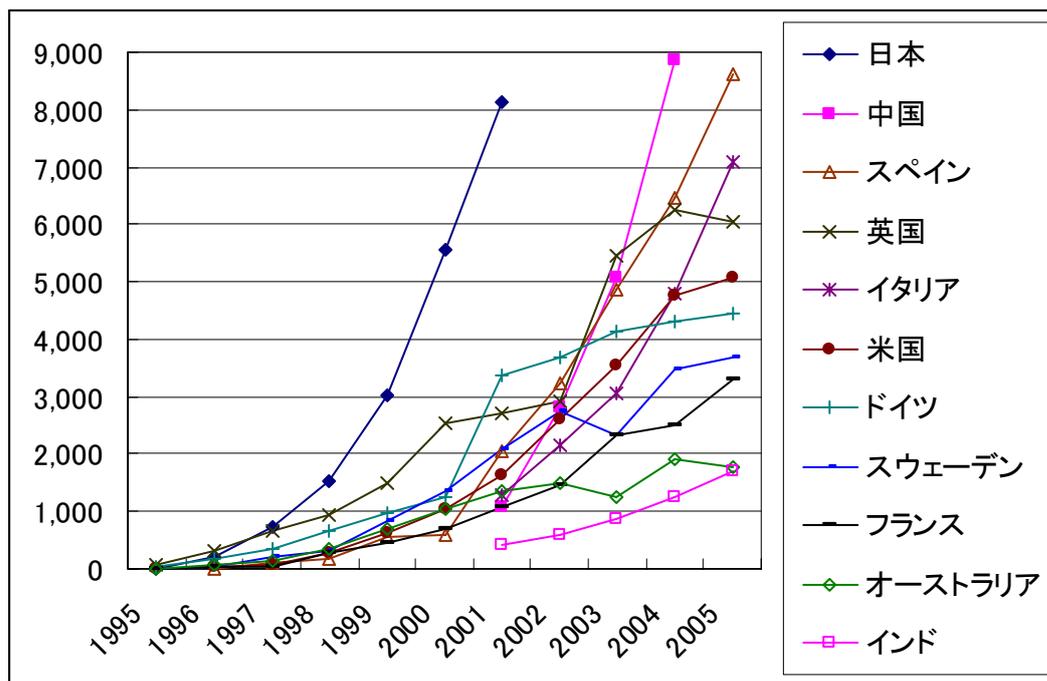
図14は、環境マネジメント規格であるISO14001登録件数の推移を示している。日本はISO14001:2004 Certificationへの移行を2002年以降進めているため、2001年までの数値を記載しているが、近年、中国の環境マネジメント規格取得数が急増しており、スペイン、英国、イタリア、米国、ドイツ、スウェーデン、フランス、オーストラリア、インドの順となっている。

品質規格であるISO9001と比べると、ISO取得による直接の効果は、製品を製造する工場であれば、まず品質規格の取得に取り組むことのほうがメリットは大きい。従って、品質規格を満たしたあとに、環境マネジメント規格の取得に取り組む場合が、製造業であれば多いと考えられる。ISO取得の取り組みが拡大することは、結局は企業の競争力強化に結びついていき、高効率・高精度の製品、競争力の強化が可能となり、しかも、省エネルギー、低環境負荷、クリーンプロダクション(低環境負荷となる製造)を実現できる。

ISO取得は、低環境負荷の経済を形成するに当って、好ましい取り組みであるとして、高い評価を与えることができる。

昨今は、CSR（企業の社会的責任）、および、社会貢献活動の重視も多くの企業が取り組んでおり、企業の従業員、株主に加えて、地域社会への貢献も目指す企業が増えていることは、地域環境問題の未然の解決ももたらす動きであり、たいへん好ましい動向であると言える。

図14 ISO14001登録件数の推移の推移



(注) 日本は ISO14001 : 2004 Certification への移行を 2002 年以降進めており、2001 年までの数値を記載。

(資料) ISO ホームページ

本節では、産業を育てる中で環境への取り組みを強化する「環境産業」育成の重要性を指摘した。また、政府の制度の設定・規制の強化により、環境市場が新しく出現する可能性があることも指摘した。厳しい規制は、それだけ多くのビジネスチャンスを生み出す可能性を生じさせる。

さらに、起業の自主的取り組みとして ISO（国際標準化機構）の品質および環境規格の取得の効果についても考察を行った。

自主的取り組みが多く行われていることは、アジア地域を見た場合にも、たくさんの競争を生み出し、地域住民の利便性を向上させ、環境悪化を食い止め、改善させる働きを考えると考えることができる。

現在では、中国においても、国内に豊富にあるとされる石炭資源も人口比で見ると決して充分ではなく、中国に豊富な資源は労働力であり、したがって、第三次産業の発展する

インド、また、無資源国である日本を見習って産業構造の転換を進めていく必要が認識されるようになってきている（武石 2006b）。

アジア各国において、今後、必要となるのは、エネルギー多消費産業の立地をできるだけ抑制し、重工業に依存した資源重視の発展ではなく、知識重視の発展(Chichilinsky, 2000)への取り組みを強化する選択をすることであるに違いない。環境から得られる経済的効果を正当に評価し、環境市場を育成し、環境価値という外部性を内部化し、市場を形成する必要がある（Nordhaus, 1999）。

資源制約と環境制約が今後ますます厳しくなると予測される中、省資源と環境改善に向けて、自主的な取り組みを着実に進めつつ、適切な段階を踏みつつ規制制度をうまく利用しつつ、環境産業を育て、望ましい低環境負荷で高エネルギー効率の産業構造をもった社旗の形成を目指す必要が生じている。

(参考文献)

Barrow, C. J. 1999, “Environmental Management for Sustainable Development,” second edition, Routledge

Chichilinsky, Graciela, 2000 “Environmental Market,” Columbia University Press

Conrad, John M., 1999 “Resource Economics,” Cambridge, 邦訳、コンラッド（2002）『資源経済学』岩波書店

Nordhaus, William D., Edward C. Kokkelenberg, Editors, 1999 “Nature’s Number, Expanding the National Economic Accounts to Include the Environment,” National Academy Press

O’ Connor, D. “Policy Coherence towards East Asia: Development Challenges for OECD Countries” Development Center, OECD, 邦訳、オコナー・デービッド「環境政策と持続可能な発展」第7章、pp.273-303、『開発のための政策一貫性』明石書店

赤松要（1956）「わが国産業発展の雁行形態」『一橋論叢』1956年11月

伊藤公紀（2003）『地球温暖化』日本評論社

エネルギー経済研究所「アセアン4ヶ国および中国、韓国の長期マクロ経済・エネルギー需給モデルによる計量分析」エネルギー経済、第27巻、第4号（2001年秋季）

エネルギー経済研究所「短期エネルギー需給予測」エネルギー経済、第27巻、第2号（2001年春季）

海外電力調査会（2000）『海外諸国の電気事業』第1編、社団法人海外電力調査会

経済産業省（2006）「石炭安定供給施策研究会中間報告書：エネルギーと石炭の安定供給のために」

- 佐和隆光（1997）『地球温暖化を防ぐ』岩波書店
- 瀬戸昌之（2002）『環境学講義』岩波書店
- 武石礼司（2007）「アジアにおける環境と開発」東京国際大学大学院国際関係額研究科、『国際関係研究』、第 20 号、2007 年 2 月 20 日発行
- 武石礼司（2006a）『アジアの産業発展と環境』石油文化社
- 武石礼司（2006b）「中国の省エネルギー戦略ーマクロ面から見た意義と効果」『東亜』2006 年 5 月号、No.467、財団法人霞山会
- 武石礼司（2005）「アジアの産業分野別の環境負荷-CO2 排出量の分析」『開発技術』第 11 号、2005 年 6 月 30 日発行
- 武石礼司（2003）「アジアにおける環境産業発展と制度的課題」富士通総研経済研究所、研究レポート
- 電気事業連合会統計委員会編（2002）『電気事業便覧』社団法人日本電気協会
- 日本エネルギー経済研究所（2001）『エネルギー・経済データの読み方』（財）省エネルギーセンター
- 日本環境会議（1997）『アジア環境白書 1997/98』東洋経済新報社
- 三上正男（2007）『ここまでわかった「黄砂」の正体』五月書房