

ガス経済研究序説

山田健治

1 はじめに

チェルノブイリの原子力発電所での大規模な事故による被害の解明や、フロン問題への国際的な対応（先進国間に限定されているが）が進展して以来、地球的規模での環境問題に対する関心が世界的に高まってきた。フロン問題のみでなく、国際的な酸性雨問題、熱帯雨林の保全、炭酸ガス排出量の世界的な削減、産業廃棄物の世界的な蓄積など、現在提起されている環境問題は多くある。

環境問題は、その性格が国際的、いいかえれば広域的、越境的になってきている¹⁾。酸性雨問題は、その広域的性格の故に、ついにイギリスまでが広域的な亜硫酸ガスや窒素酸化物排出規制に、国際的な枠組みの中で取り組まざるをえなくなった。

環境汚染問題への接近方法については、汚染発生源での排出を如何に少なくするかが最も大切である。亜硫酸ガスや窒素酸化物への対応には、硫黄含有量の少ないエネルギー源の採用、燃焼などによる化学反応の結果として発生するガスを大気中に拡散させないことが重要である。

地球規模の国際環境問題に対応するには、技術面の解決のみでなく、制度面、経済面の対応が重要である。酸性雨の国際交渉に関わる研究で解明したように²⁾、各国のエネルギー構造の相違、環境技術・投資の水準、経済面で

の環境制御費用の吸収力、などが鍵となる。

最近、炭酸ガスの排出量を地球的規模で削減しようという計画がすすめられている。炭酸ガスの排出量の少ない燃料の使用、エネルギー効率の上昇、エネルギー使用の削減、炭酸ガスの吸収余力を高めるための熱帯雨林の保全や海洋汚染の減少、炭酸ガス吸収技術の開発などが現在、問題とされている。

以上のような環境問題への対応を考えるに当り、本稿では、まず炭酸ガスの排出量の少ない天然ガスを中心とした経済のあり方に焦点を絞り、「ガス経済」の基本概念を以下に検討する。

2 エネルギー源の変遷

エネルギー源は人間の活動に不可欠なものである。原始時代は、明りとして、また煮炊きや、猛獣から人間を守るためにも必要であった。金属器の時代になると、金属の加工のためにエネルギー源は不可欠であった。木炭から石炭への転換は、第一次産業革命による蒸気エネルギーの開放と共に起きた。水力に依存していたエネルギー源を、天候に左右されることのない物質に転換して、紡績機械、織機の改良と共に生産性が高まった。また、輸送面においても風力から石炭エネルギーへの代替により、船舶や鉄道による輸送力が増大した。

水力・風力から石炭エネルギーへの転換の次に電気エネルギーが注目された。ガス灯は人々を暗闇から開放し、さらに電灯の普及により生活時間が拡大した。輸送能力の増大は生活圏を拡大した。電気エネルギー革命により、水力発電や火力発電の発達と共に、送電線網や変電所が拡充され、電気は家庭や産業の中に組み込まれていった。

しかし、第一次大戦後から人類が経験した大きなエネルギーの変革は、石炭から石油へという流体エネルギー革命であった。石油資源がアメリカで商

業生産され、鯨油に代わるランプの燃料としての重要性から、自動車の利用拡大による石油消費量は急速に増大した。また、軍事上の重要性から、飛行機、軍艦、戦車などの燃料にガソリンや重油が利用されるようになって、石油の利便性による石油の消費と生産はますます拡大していった。

石油は、エネルギー源としてのみでなく、化学工業、製造工業の原材料にもなり、われわれの生活は石油なしには考えられない。石炭ガスから石油ガスへ、石炭火力から石油火力へ、エネルギー源としての石油の重要性は、戦後の安価な、中東における大量の石油資源の発見と開発により、一層加速されることになった³⁾。

炭化水素資源の一種であるガス資源に恵まれた地域、例えばアメリカやオランダなどは、天然ガスの利用に力をいれてきた。パイプライン網の整備により、消費者にガスの直接供給が可能になったことは、ガス・エネルギーの利便性を一層高めてきた。

70年代の二度にわたる石油ショックを契機にして、70年代後半から、石油から原子力・天然ガス・石炭その他の利用拡大へと、徐々にエネルギー源はシフトしてきた。省エネルギーの進展により、先進国の産業構造も変化してきた。しかし、先進国経済と一部の新興経済諸国群（NIES）の成長が続き、エネルギーの利用が世界的に拡大している現在、安定的で経済的、さらに汚染の少ない90年代のエネルギー源の確保が問題となっている。次世代のエネルギー源といわれる核融合の研究は巨大プロジェクトとなっているが、現在のところ商業化実現の可能性については未知数である。

3 エネルギーと環境問題

エネルギーを使用することは、何等かの意味で環境問題を引き起こす。人間の活動自体が自然からの搾取（exploitation）を意味し、人間が食物連鎖の頂点にあることから、地球の生態系にも人間活動は大きく影響する。

問題は環境への影響を最小限にとどめること、人間の厚生水準の維持、所得分配の公平性の保持をどのようにして並存させるかにある。これらの観点からは、国内のみでなく、国際的にも容認されるものであることが望ましい。

エネルギー源を木材に依存する場合には、人口増により薪の消費量が増えて森林が消滅し、土地の砂漠化が起きるとか、石炭が使用される以前のイギリスの製鉄によって森林が消滅したとかが考えられる。森林の消滅は気候を変化させ、生活様式をも変化させるものである。

石炭時代のイギリスでは、ばい煙によるスモッグの大量発生による死者、チャールズ・ラムの煙突掃除人にみられるような粉塵の排出と石炭の燃焼によって発生する亜硫酸ガスによる大気汚染が問題となった。

石油の大量消費にともなって、亜硫酸ガス、窒素酸化物の大気への排出が増加し、大気汚染が問題とされてきた。日本では、60年代から「公害」という名称で大気汚染防止への対応が求められ、自動車の排ガス対策の推進、発電所からの排出物削減のための公害防止装置の取り付けや、排出物削減のための低硫黄原油の調達、天然ガスへの燃料転換などの対応策を取ってきた。

石油は、輸送面においても汚染を引き起こしてきた。海上のタンカー輸送の事故による油汚染⁴⁾、タンカーなどからの廃油の投棄による汚染も問題となってきた。結局のところ、内部化された環境対策費をどう負担するかが、経済問題として浮上する。

次世代のエネルギー源といわれて注目されている原子力は、アメリカのスリーマイル・アイランドでの事故、ソ連のチェルノブイリの事故などで、安全性への疑問が投げかけられた。発展途上にある原子力発電技術の未確定さ、事故の広域性、被害の長期化、廃棄物の処理技術、事故への対応技術の未確定や原子力発電所への不信感の増大などが、現在のところ大きな問題となっている⁵⁾。

酸性雨と炭酸ガス問題

最近のエネルギーをめぐる環境汚染問題は、広域性に特徴がある。

原子力発電の事故は非常に広域的なものである。さらに、 SO_x や NO_x が雨となって降下し、水循環や大気循環の中で森林、建造物などに被害を与えるといわれる「酸性雨（acid rain）」問題は、多国間の対応が必要といわれている。

酸性雨の問題は、排ガス装置をつけるか、燃料を転換するかという技術上、経済上の問題であり、地域間および地球規模の所得分配問題となる。

現在、国際世論で注目されているのは、炭酸ガスの排出増加による地球温暖化への危機である。熱汚染については、これまでも議論されてきたが、地球規模の環境問題として炭酸ガス増による熱汚染にどのように対応するかが議論されている⁶⁾。しかしながら、炭酸ガスへの対応は、酸性雨よりやっかいな問題である。

第一に、技術的には未知の分野である。燃焼にともなう炭素の関わりを少なくするためには、天然ガスなどのような処理しやすいエネルギー源から炭素を除去する方法とか⁷⁾、石油における炭素、さらにやっかいな石炭中の炭素の問題がある。

第二に、燃焼によって発生する炭酸ガスをどのように閉じ込めるのか、あるいは、炭酸ガスを産業としてうまく利用し、経済財の循環にのせるにはどのようにすればよいのか、大量に経済的に処理する方法が発見されねばならない。

第三に、炭酸ガスの削減、産業化の途上では、エネルギーのコストアップは不可避であるが、そのための所得補償メカニズムを国内的、国際的にどのように確立するかが問われねばならない。石炭産出国は不利になるが、石炭価格の下落のために規制を受けない開発途上国が石炭の利用を増すかも知れない。

また、大規模な発電所ではうまく対応できても、自動車のような移動体の

内燃機関はどのように対応すべきか、考察すべき問題は多い。

第四に、エネルギー構造との関係からすれば、太陽エネルギー、風力、水力、などの自然エネルギーは炭酸ガスの排出とは無関係である。さらに、将来のエネルギーとして注目されている水素エネルギーも無関係である（経済的に大量の水素をどのようにして経済的に生産するのが現在問われている）。しかしながら、自然のエネルギーは、大量に、安価に、24時間中、利用可能という条件を満たしそうにないであろう。

いずれにしても、エネルギー体系が大きく変化すれば新たな投資機会が誕生すると共に、エネルギー産業構造の転換が起きるのであろう。高硫黄炭の生産が縮小し、天然ガスの生産が拡大することは予想できるのであろう。国内的に、労働力の再転換が発生し、国際的にも技術と資金に恵まれた国とそうでない国の間の、経済的な差が拡大することになる。

炭酸ガスの発生に対応するのが酸素の生成である。自然のメカニズムによる生成という点では、熱帯雨林の保全や海洋汚染の防止が重要である。熱帯雨林の保全は、森林が特定国家の管轄下にあるために、国際的な世論とどのように協調できるのかが問題である。国際的には、日本がアマゾンの熱帯雨林から発生する酸素の消費者としてブラジルに代金を支払う市場機構が存在するのか、提案されているような累積債務の支払いと雨林の保全をスワップするメカニズムを確立するのか⁸⁾、インドネシアから輸入する木材の価格に酸素発生のお金費用を上乗せするのか、いずれにしても、占有することの困難な酸素をどのようにして、市場における取引対象とするのかが問題とされる⁹⁾。

逆に、海水から人工的に酸素を低コストで大量に分離できるようになれば（水素が同様に分離できることであるが）、熱帯雨林の意味が変化するかも知れない。

4 ガス経済の概念

エネルギーによる環境汚染への対策については、炭素含有量の少ないエネルギーが望ましい。例えば、天然ガスの炭素含有量は石炭より少ない。環境汚染対策という点からすれば、少なくとも天然ガスの方が石炭より望ましい。

地球をめぐる炭酸ガスの長期循環を考慮せずに、エネルギーによる環境汚染の問題を考えることはできない。熱汚染といわれるものを地球規模で考える場合には、地球の大気循環、水循環を総体として考察しなければならないが¹⁰⁾、以下ではガス循環を中心とした「ガス経済」を考察する。

「ガス経済」とは、ガスを中心として経済が循環するメカニズムを探ることである。「石油経済」(oil economy)とは、石油を中心とした経済の循環プロセスの分析であった。石油の上流、下流、さらには石油産業の位置、汚染の問題など国内経済、国際経済の面から分析される。

ガス経済(gas economy)を考察するについては、地球のガス循環の枠組みの中で、その働きを捕らえねばならない。もちろん、ガス産業組織やエネルギー経済からの分析視点は不可欠であるものの、地球とガスとの関わりを無視できないことは、地球の環境が重視される以上、当然のことである。したがって、まず、地球の化学的な炭素循環モデルの大枠を紹介することによって、「ガス経済」という研究課題の存立基盤を明らかにする。

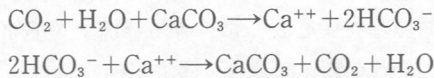
バーナー・ラサガの炭素循環モデル

R. A. バーナー/A. C. ラサガは彼らの論文において¹¹⁾、炭酸ガスの循環モデルを扱っている。以下、彼らの論文を紹介して長期的な炭酸ガスの循環を見てみる。

長期を取ると、土壌中にあるケロゲン（大昔の動植物の柔組織の残存物）

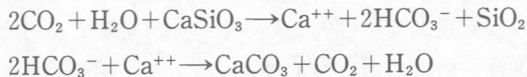
が土壌中のガスやさまざまな酸によって破碎される過程において、ケロゲン
は酸と反応して二酸化炭素となり大気中に放出される。

また、植物の光合成プロセスでは取り込まれた二酸化炭素が土壌中に固定
される。土壌中で水と結合した二酸化炭素は、炭酸 (H_2CO_3) を形成する。
この炭酸によって、炭酸塩岩石 (CaCO_3 が代表的) やケイ酸岩石 (CaSiO_3 が代
表的) が風化されることになる。炭酸塩岩石の風化からはカルシウムイオン
(Ca^{++}) や重炭酸イオン (HCO_3^-) が生成されるが、このカルシウムイオンと
重炭酸イオンは地下水により最終的に海洋に到着して、プランクトンや珊瑚
のような海洋生物が炭酸カルシウムを形成して海底に堆積することになる
(このプロセスを記号で示すと次のようである)。



すなわち、大気中の二酸化炭素は、結局はまた二酸化炭素になって大気にも
どることになる。

ケイ酸塩岩石の風化からは、カルシウムイオンと重炭酸イオンと二酸化ケ
イ素 (SiO_2) が形成される。カルシウムイオンと重炭酸イオンは海中で炭酸
カルシウムとなって海中に沈澱する。このプロセスは次のように書ける。



また、ケイ酸塩が二酸化炭素と反応すれば、同様に炭酸カルシウムと二酸
化ケイ素ができる。したがってケイ酸塩は二酸化炭素を吸収する役割を果た
すことになる。

他方、形成された炭酸カルシウムと二酸化ケイ素からは地球マンツルの動
きによる変成作用により、新しいケイ酸塩と二酸化炭素ができる。これは、
炭酸泉や火山からの脱ガスとなるのである。

人類の化石燃料の使用による二酸化炭素の発生は、以上のような自然界に

における二酸化炭素の循環の中に組み込まれていくのである。自然の変化のオーダーが長期的なものであるのに、人工的な二酸化炭素の増加は化石燃料の使用の増加と共に急速に増大するのである。自然の受容量を越えた二酸化炭素の増加が続けば、いわれているように大気温の上昇が起きるのであろうか。

二酸化炭素削減のメカニズム

人類の生産・消費活動で発生する二酸化炭素を削減することが望ましいとするならば、どのように削減すればよいのであろうか。

現在のところ、自然界における二酸化炭素の吸収と排出のメカニズムをコントロールすることはむずかしい。ただ、海洋の二酸化炭素の吸収力を高めるために海洋の油汚染を減少させるとか、熱帯雨林を保全するためのメカニズムを確立するとかは、長期的で不断の国際交渉によってのみ可能である。

生産・消費活動において短期的に二酸化炭素の発生量を削減するには、第一に、二酸化炭素の発生量が少なく経済的に利用可能なエネルギーを使用することが必要である。その一つとして、天然ガスが注目される。LNGには大規模な爆発の可能性があることは否定できない。パイプラインによる天然ガスの輸送が最も適しているが、現在のところLNGタンカーの使用を否定することはできない。

第二に、現行のエネルギー利用効率を高めることである。自動車ならば走行距離の伸びるような燃費改善技術の一層の進歩、節電タイプの電気製品の開発などである。

第三に、世界全体として化石燃料によるエネルギー使用を抑えるように産業配置を変化させることである。人為的な再配置は失敗する可能性が大きいので、価格メカニズムを利用した長期的な手段を考えざるをえない。

第四に、南北間の経済ギャップの問題をどのように考えるかが大切である。地球上のすべての国の生活水準を、平均的なアメリカ人や日本人の水準

に上昇させることを可能にするクリーンなエネルギー源など存在しないのではないか。したがって、各国はその国に最も適した生産・消費のパターンを考えるべきであろう。しかし、西欧文明の浸透が生活パターンの均質化（アメリカ流の高エネルギー消費型文明）を促すため、独自性の追求はむしろ正しいのではないか。

社会混乱を引き起こす急速な経済成長より、緩慢な成長政策が望ましいが、結局は、その国が自分の所得の枠内でやれることが望ましい（その意味からすれば、巨額の累積債務をだかえてゆくことは、単に他国の責任として片付けることのできないものである）。

第五に、もし成長抑制政策が社会の活力をそぐものであれば、発生する二酸化炭素を固定化し、商品化できるような産業技術を開発しなければならない。空中窒素の固定化によって磷鉱石枯渇の限界を打破したように、経済的な空中炭素の固定法を開発することが現在求められるのではないか。

「ガス経済」研究の方向性

以上のような二酸化炭素循環の過程において、炭素含有量の少ない天然ガスのエネルギー源としての重要性に着目し、天然ガスを中心としてエネルギー体系を構築することの経済的な研究の意味は、十分にあるといえるであろう。

考えられる今後の研究の諸項目を列挙すれば、次のようである。

第一に、世界のガス生産および消費のパターン、ガス貿易について考察する。

第二に、世界のガス産業の現状について見てみる。

第三に、新たなガス供給先としての北海ガス、ソ連ガスを中心として開発および配給システムについて考察する。特に、ソ連の西シベリアからヨーロッパに向けてのガス・パイプライン、北海のトロールガスの状

況を探る。

第四に、天然ガスの古い歴史を持つアメリカの状況を分析する。

第五に、ガス経済のインフラとなるガス・パイプライン網やガスをめぐる新たなエネルギー技術の動向を日本とも絡めて考察する。

第六に、ガス経済の環境へのインパクトを他のエネルギー源と比較して分析する。

第七に、日本のガス経済化の影響を、実証的に探ってみる。

〔注〕

- 1) 広域汚染のさまざまな問題点については、菅原正孝・山田健治『広域汚染と環境政策』（水資源・環境学会叢書1）成文堂、1989年。
- 2) 同上書、第5章。
- 3) これらの数字については、*BP Statistical Review of World Energy* の各年版を参照されたい。
- 4) 最近の例では、エクソン社のアラスカ沖の原油流出事故が記憶に新しい。また、その影響については、「サケは戻ったが……原油流出後のアラスカ」『日本経済新聞』1989年8月12日付を参照。
- 5) 例えば、「90年代のエネルギー17, 18」『日本経済新聞』1989年8月24, 25日付。
- 6) 例えば、「地球号のSOS：第2部」『日本経済新聞』1988年9月8日付より。
- 7) 例えば、深海に二酸化炭素を閉じ込めるというような方法など（『日本経済新聞』1989年6月17日付）。
- 8) 累積債務を発展途上国の環境保護とスワップするという環境スワップ論（例えば、『日本経済新聞』1989年8月19日付）などがあるが。
- 9) 酸素の市場ではなく、逆に酸素を生産する財の市場価格が問題とされるのかも知れない。熱帯雨林諸国の本音は、熱帯森林からの付加価値を最大限に獲得することにあるのではないか（例えば、『日本経済新聞』1989年9月5日付の記事に見られるような、日本の環境庁による南洋材の輸入制限措置に対するインドネシアの反対論）。
- 10) 例えば、西沢利栄『熱汚染』（三省堂選書6）三省堂、1977年、北野康『水と地球の歴史』（NHK ブックス 380）、日本放送出版協会、昭和55年。
- 11) R. A. バーナー・A. C. ラサガ「地球化学的な炭素循環モデル」『サイエンス』1985年5月号。