

エネルギー環境問題

井口 春和

自然科学研究機構・核融合科学研究所

これは2011年7月11日から15日まで、核融合科学研究所で行われた
総研大レクチャー「科学における社会リテラシー」における講義の記録です。

題：エネルギー環境問題

CPIS-Report-2012/07/001 (Lecture)

著者：井口 春和

出版担当者：平田光司

発行日：2012年7月17日

発行：総合研究大学院大学学融合推進センター

無断複写・転載禁止

Printed in Japan

エネルギー環境問題

井口春和

自然科学研究機構・核融合科学研究所

はじめに

エネルギー問題は、かつては資源の問題として扱われることが多かった。一方、環境問題は、ほぼ地域の公害問題であった。しかし、環境問題が地球規模の広がりを見せるようになった20世紀最後の四半世紀には、二つの問題は表裏一体の「エネルギー環境問題」として議論されるようになった。こうして、「エネルギー環境問題」は、国家の枠を越えて人類共通の課題となった。ここでは、このような問題の設定にいたる歴史的展開をたどりつつ、地球的視野に立って問題解決の道筋を探る議論をしたいと思う。

1. エネルギー環境問題の背景

人類の直面する様々な問題群は、基本的には資源を大量に消費する人類という種の個体数が増大し、有限の大きさの地球がその活動を吸収し切れなくなったことに起因する。こうした概念を明確に意識して

警告を発したのがローマクラブのレポート「成長の限界」(1972 年)であった。本格的なシミュレーションを使った世界モデル計算によって、人口増加による資源の枯渇と汚染の拡大によって、21 世紀半ばにも文明の成長が止まるだけでなく、崩壊さえ招くことになるであろうと予測したのである。その後 40 年の社会の進展と比較して、その予測は外れたと批判する意見はあるが、このレポートの意図したところは、暗黙のうちに無限の地球を仮定して拡大する現代文明のあり方に警告を発することであり、それがその後の世界観の転回を促した点で大きな一歩であったといえる。それは一言でいえば、「有限地球観」と表現してよいだろう。今日のエネルギー環境問題を考える上で、まず初めに、「有限地球観」の視点を持つことの重要性を強調しておこう。

1.1 拡大する世界の人口とエネルギー消費

地球上の人口は、西暦 2000 年の段階で 60 億人に達し、21 世紀の半

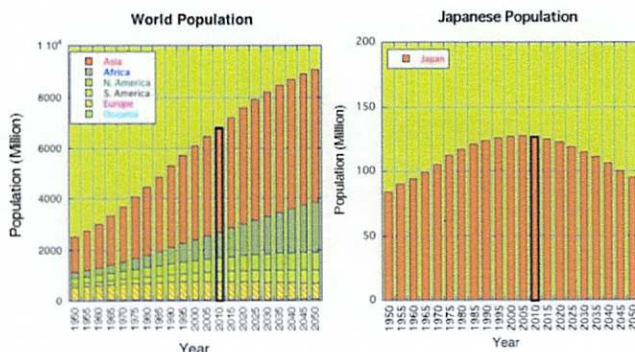


図 1 1950 年～2050 年における世界と日本の人口推移（国立社会保障・人口問題研究所等の統計資料をもとに作成）

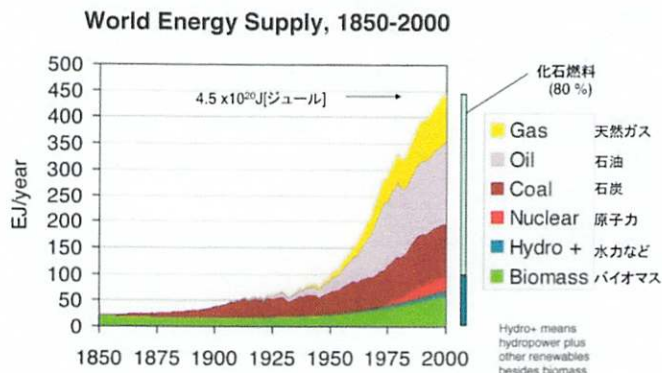


図2 世界の一次エネルギー供給量の推移

(原図出典：M. K. Levine; presented at 2007 RITE International Symposium, 18 January 2007, Tokyo; Copyright [2012] M. K. Levine)

ばには 90 億人を越えるであろうと予測されている。現在、日本や欧米先進国では人口の成長はほぼ止まっており、これから増加するのは、アジアやアフリカを中心とする開発途上国である (図 1)。一方、世界のエネルギー消費は 20 世紀半ばから急拡大を続けてきた。図 2 は、過去 150 年の世界の一次エネルギー供給量の拡大のあとをエネルギー資源別にたどったものである。2000 年の段階で総エネルギー供給量は、石油に換算しておよそ 1×10^{10} トン、すなわち 10 Gtoe (Giga-ton oil equivalent) である。この内の 80% は、石炭、石油、天然ガスの三大化石燃料である。ちなみに、日本の総エネルギー供給量は約 0.5 Gtoe であり、世界全体の 5% ほどになる。[註1]

21 世紀初頭の今、人類のエネルギー消費がこれほど拡大しているにもかかわらず、安定したエネルギー供給を受けられているのは、世界

¹ 大きなエネルギー量を表現する時にしばしば Q という単位が使われる。

1 [Q] = 1.05×10^{21} [Joule] である。この単位を使うと、世界の一次エネルギー供給量は 0.4 Q となる。

人口の 3 分の 1 程度に過ぎない。3 分の 2 の人々は主にアジア・アフリカに住み、いまだ発展途上にある。今後、この地域のエネルギー需要は加速度的に増大するであろう。このような状況を考えれば、ローマクラブの警告は決して的外れではなかったといえる。

1.2 豊かさとエネルギー消費

では、我々が健康で文化的な生活を維持するためにはどの程度のエネルギーが必要であろうか。人々が豊かであると感じることのできる生活水準に明確な基準はないが、ここでは一つの指標として、国連による人間開発指数 (Human Development Index / HDI) を採用してみよう。これは、(1)平均寿命、(2)教育レベル(識字率や就学率から評価)、(3)一人あたりの国民総生産、という 3 つの指数の平均値を国ごとに計算し、その国際的相対分布を数値化したものである。いわば国の豊かさを表す指標と言ってよい。各国の HDI と一人あたりの年間電力消費量との相関を図示したものが図 3 である。この図を見ると、電力使用量が大きい国ほど豊かであることがわかる。しかし、4,000kWh を大きく上回る電力供給が得られている西欧諸国や日本では、HDI はほぼ 0.9

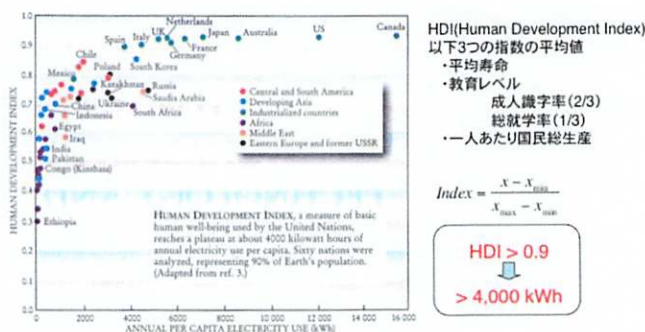


図 3 国連人間開発指数と電力消費量の相関

(Left-side Figure: Reprinted with permission from: Benka, "The Energy Challenge", Physics Today, Apr. 2002, p39; adapted from A. Pasternak, LLNL rep. UCRL-ID-140773 (2000). Copyright [2012], American Institute of Physics.)

5 エネルギー環境問題

を越えており大きな差はない。即ち、先進国には豊かさを損なうことなくエネルギーを節約する余地があると言ってよい。

一次エネルギー供給量に占める電力消費の割合は先進国ほど高くなる傾向があるが、二つの量はほぼ比例関係にある。そこで、地球上の人々が等しく年間 4,000kWh の電力消費が可能な世界を想定すると、21 世紀半ばに必要とされる一次エネルギーの総量を計算することができる。必要なエネルギー量は 2000 年に比べて倍増することは確実である。[井口、2009]

では、今後 50 年に亘って拡大するエネルギー需要 (Energy) に対して供給は可能であろうか、そうしたエネルギー消費を地球環境 (Environment) は受容できるであろうか、さらには、そのような制約の下で経済活動 (Economy) は発展させられるだろうか。相矛盾する三つの課題が今我々に突きつけられているのである。これをしばしば「3E のトリレンマ」と呼ぶことがあるが、それは「エネルギー環境問題」そのものである。

1.3 エネルギー問題：三つの視点

さて、環境問題との関わりの中でエネルギー問題を考えるために、視点を三つに切り分けて議論しよう。

- 1) エネルギー資源
- 2) エネルギー消費
- 3) エネルギー廃棄

たとえば、石炭・石油などのエネルギー資源を採掘し、様々な方法でこれを利用・消費する。その結果、煤煙や二酸化炭素といった廃棄物が発生し、最終的には熱として地球の負荷になる。いわば、エネルギーの一生をたどるのである。1) はエネルギー資源問題であり、3) はエネルギーに関わる環境問題である。そして 2) は、その間をつなぐエネルギーの利用・消費に関わる様々な形態・技術・政策などである。簡略化して表現すれば、資源論、環境論、政策論と言ってもよい。

以下では、こうした視点に基づいて、議論を進めよう。

2. エネルギー資源論

人類がエネルギーを大量に消費するようになったのは、産業革命に由来する科学技術の発展と歩調を合わせてのことである。その間、エネルギーの主役は時代とともに変化してきた。

2.1 基幹エネルギーの変遷

産業革命以前は、主たるエネルギー資源は草木類(バイオマス)であった。しかし 19 世紀以降、石炭の利用が拡大した。蒸気機関を中心とする産業革命の進展がこれを後押しした。続いて 20 世紀初頭に、米国テキサス州スピンドルトップにおいて大油田が発見されたことにより、それまで灯油程度にしか使われなかった石油の本格的な利用が始まった。石油採掘には、蒸気機関という動力源の発達が大きく寄与した。固体燃料である石炭よりも、液体燃料である石油の方が利便性が高い。石油の世紀は、とりわけ自動車産業の拡大につながった。また、石炭

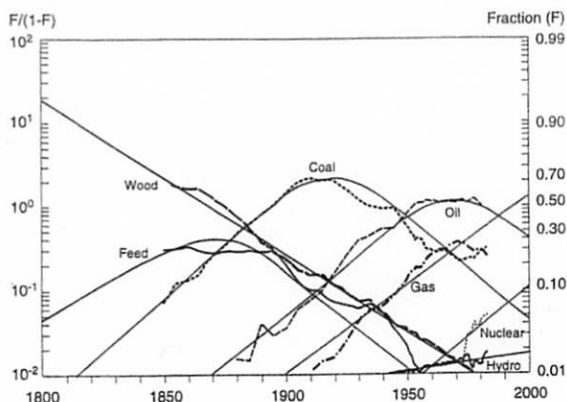


図4 エネルギー資源シェアの年代推移 (米国)

(Reprinted from : A. Grubler, et al.; Energy Policy 27, 1999, p.265; Copyright [2012] Elsevier.)

7 エネルギー環境問題

に比べて石油の方が燃料中の水素/炭素比が高く、燃焼時の煤塵などが少ないというメリットもあった。続いて 20 世紀後半からは気体燃料である天然ガスの利用が拡大してきた。天然ガスの主成分はメタンであり、水素/炭素比は石油よりもさらに高い。環境問題の視点からメリットが大きいため、21 世紀は天然ガスの世紀とも言われることがある。

図 4 は、このような主要エネルギー資源の過去 200 年の時代変遷を示したものである。縦軸はそれぞれのエネルギー資源の全体に占める割合である。ここでは、資料統計の揃っている米国のデータを示している。エネルギー資源の主役は、数十年から百年の時間スケールで時代とともに変化してきた。

これら化石燃料に加えて、20 世紀後半に立ち上がったのが原子力エネルギーである。原子爆弾によって実証された核のエネルギーを平和利用しようとするものである。途中、スリーマイル島(米国)やチェルノブイリ(ソ連)における深刻な炉心溶融事故により、成長はまもなく鈍化した。とりわけ欧米先進諸国における原発の新規建設はほとんど止まった。しかし、世界全体で見れば拡大は続いた。現在、原子力エネルギーが世界の一次エネルギー全体に占める割合は数%程度である。そうした流れの中で、2011 年 3 月 11 日、東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、「フクシマ」）が発生した。それに伴う深刻な放射能汚染は、原子力を 21 世紀の基幹エネルギーとして利用することに対する懸念を、再び世界に広げた。

一方自然エネルギーの可能性はどうか。石油危機による世界のエネルギー問題の顕在化と同時に、原子力発電への懸念が拡大した 1980 年代には、各国で自然エネルギーが注目されるようになった。日本では通産省の主導で「サンシャイン計画」と名付けられた太陽エネルギーの利用が試みられた。しかし、当時はまだまだ開発コストが高く、まもなく生じた原油価格の下落によって開発意欲がそがれてしまった。実際に、20 世紀末までに導入された自然エネルギー量は、従来からあった水力やバイオマスを除けば 1%にも満たない。しかし、欧米、とりわけ西欧諸国で地道な開発努力が続けられ、21 世紀に入ると風力発電

を中心にして急速な拡大を見せるようになった。フクシマの事故は、自然エネルギーへの回帰をさらに加速することになるだろう。

図 4 が示すように、様々なエネルギー資源が成長、その後の競争相手の出現による主役の交代と、同じようなパターンをたどっている。しかし、主役を譲った石炭でさえ、世界的なエネルギー需要の拡大によって、需要は今も拡大して続けていることを忘れてはならない。

以下、資源論の観点から個別のエネルギー資源の状況を見てみよう。

2.2 化石燃料エネルギー

2.2.1 石炭・石油・天然ガス

さて、現在も世界のエネルギー供給の 80%が、石炭・石油・天然ガスの三大化石燃料である。化石燃料は過去の地球が蓄えた濃縮されたバイオマスであり、使い切ってしまうえなくなるものである。では、これら化石燃料は今後どれほどの期間利用できるのだろうか。その寿命を計るのに「可採年数」が使われる。これは確認されている採掘可能な埋蔵量「確認可採埋蔵量」を「年間生産量」で割ったものである。可採埋蔵量は新たな油田等の発見や採掘技術の進歩によって拡大される。年間生産量も需要の拡大と共に増大している。いずれも年々変化する量である。かつて石油危機が叫ばれた 1970 年代、石油は 40 年程度で枯渇すると言われた。しかし、それから 40 年が過ぎた今も可採年数は 40 年と言われる。そのため可採年数など信用できないと言われることもある。なぜだろうか。

ここで、石油資源を例としてそのからくりを解き明かしておこう。一つは、採掘技術の進歩である。人工地震とシミュレーションを駆使して地下構造を詳細に調べ、原油の埋蔵地域を高い確率で発見できるようになった。また、かつて油井は垂直にしか掘ることができなかったが、今や地下深部でさえ、水平に数 km にもわたって掘削できるようになった。さらに、古い油田の中に水や二酸化炭素を注入することによって残る原油を絞り出す方法も開発された (Enhanced Oil Recovery)。こうした「埋蔵量成長」が可採年数の延長をもたらした。

9 エネルギー環境問題

しかし、こうした技術によって絞り出してしまえば、いずれは枯渇する。世界的に見ても新たに大きな油田が発見されることは少なくなった。埋蔵量成長がいつまでも続くことは期待できなくなっている。(最後の未開拓地として北極海、南極大陸が注目されているが、はたして人類は、そこまで欲望の手を伸ばすべきであろうか。)

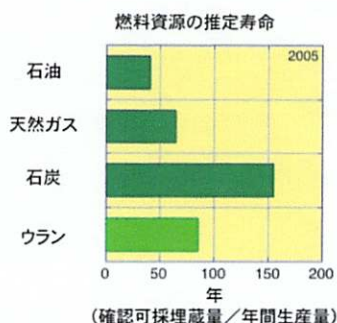


図5 エネルギー資源別推定可採年数

こうして推定した化石燃料の可採年数を 2005 年の時点で評価したものが図 5 である。今後需要が拡大すれば、可採年数はさらに短くなるであろう。参考のため、原子力エネルギー資源であるウランについて、同様の推定を行ったものも載せておく。

2.2.2 非在来型化石燃料

さて化石燃料について以上に述べたことは、在来型の資源についてのものである。資源需要の伸びは必然的に価格の上昇を引き起こす。そうすると、従来の方法では商業的に採算がとれなかった資源であっても、コストをかけて採掘することができるようになる。例えば、オイルシェールやオイルサンド（油分を含む岩石や砂）など、かつては採算のとれなかった資源も、原油価格が 1 バレル 100 ドルに近い時代になると十分に採算がとれるようになる。過去四半世紀の原油価格の推移を図 6 に示す。近年の価格の急上昇は、商品としての原油に対する投機的要素が含まれており、必ずしも実際の需要と供給のバランスで決まっているわけではないが、資源論の観点からみても価格上昇の傾向は避けられないであろう。実際、カナダ（アルバータ州）では、近年、オイルサンドからの抽出油が商業化されるようになっている。

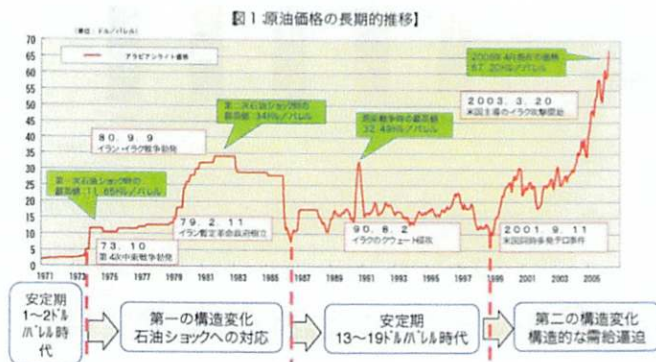


図6 原油価格の推移

(出典: 経済産業省「新国家エネルギー戦略」; 2006年5月)

天然ガスについてはどうか。液化プラントにコストのかかる天然ガスは、従来は大型のガス田しか開発の対象にならなかった。しかし、ガスハイドレートを利用する新たな貯蔵・輸送技術開発も試みられており、今後中小天然ガス田も開発対象になる可能性も出てきた。さらに、米国では最近シェールガスの商業化も始まっている。

その他の非在来型化石燃料として期待されているのが、メタンハイドレートである。これは水分子の作る籠状構造の中にメタンガスを閉じ込めたもので、世界中の大陸周辺の比較的浅い海底地下に埋蔵されていることが確認されている。その生成過程はよくわかっておらず、化石燃料と表現することは適切ではないかもしれない。日本近海では、太平洋岸の南海トラフにおいて埋蔵が確認されており、最近商業化を目指した試掘が始まっている。日本にとっては国産のエネルギー資源となる可能性を秘めており、期待も高い。

こうした「非在来型化石燃料」を含めると上記の可採年数は変わってくる。今後は化石燃料資源全体の中に占める非在来型資源の割合が少しずつ増大していくことは確実であろう。

このような新たな化石燃料への期待の一方で、化石燃料から排出される二酸化炭素による地球温暖化の促進が懸念される。図7は、発電プラントの寿命全期間における二酸化炭素の排出量を燃料資源別に表したものである。化石燃料の発電プラントでは燃焼による二酸化炭素が大半を占める。化石燃料に関わるこの問題を解決する切り札と考えられているのが、二酸化炭素回収・貯留

(CCS: Carbon Capture & Storage)である。地下の古い油田や帯水層がその候補地であり、貯蔵容量は十分大きいと見積もられている。二酸化炭素回収・貯留の技術開発は各国で始まったばかりで、現在は安全性、経済性に対する実証試験の段階にある。

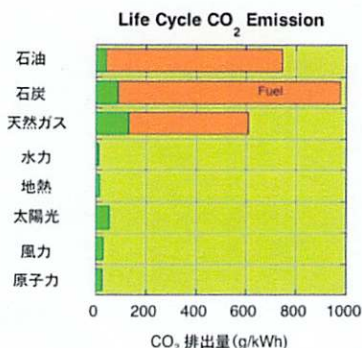


図7 燃料資源別二酸化炭素排出

(電力中央研究所2000年レポートのデータに基づいて作成)

2.3 原子力エネルギー

ここでは、まず資源論の観点から原子力エネルギーを見ておこう。

これまで日本は、原子力政策の中核に核燃料サイクル路線を堅持してきた。これは使用済み核燃料を再処理し、プルトニウムを新たな燃料として使うことによって、ウラン資源の寿命を延長することを意図するものである。

核燃料サイクルが目指すループには2種類ある。高速増殖炉サイクルは、高速中性子を使って、軽水炉ではほとんど利用できないウラン238をプルトニウムに変換するとともに、それを回収してウラン・プルトニウム混合酸化物燃料(MOX燃料)を生成し、新たな燃料として使おうとするものである。日本では、高速増殖炉原型炉「もんじゅ」がその開発研究を担うことになっている。もう一つの軽水炉サイクルは、

軽水炉の使用済み燃料を再処理して MOX 燃料に加工し、再び軽水炉で燃やすものである。このサイクルは、実際にはウラン寿命延長にはほとんど寄与しない。軽水炉で発生するプルトニウムを消費することが当面の目的である。

先に示したように、ウラン資源は軽水炉で燃やすだけでは数十年で枯渇すると予想されている。高速増殖炉サイクルが使えらるならば、天然ウランの 99.3% を占めるウラン 238 が燃料資源となるため、その寿命は 1,000 年以上になると言われる。

原子力開発初期には増殖炉こそが原子力利用の本命と見なされ、研究開発が進められた。しかし、技術的困難や経済性だけでなく、プルトニウムに関わる核拡散への懸念から、米、英、独など多くの国が計画を止めた。実証炉「スパーフェニックス」まで建設した原子力大国フランスでさえ、1998 年にこれを止めた。技術的困難だけでなく、経済性の観点からも採算がとれないと判断した。

高速増殖炉の困難とは別に、近年、資源論の観点から核燃料サイクル路線の意義が薄れる開発が行われた。日本原子力研究所(現日本原子力研究開発機構)高崎研究所が進めてきた海水ウラン採取の技術開発において、経済性の観点から一定の目処が立つようになった。もちろん現状では陸のウランに比べてコストは高いが、元々原子力発電所では、施設設備費に比べて燃料費の占める割合は小さく、多少燃料が高くて、発電単価への影響は少ないのである。海水ウランが採取できれば、ウラン資源の寿命は大幅に延長されるであろう。さらに、その採取コストはすでに核燃料サイクルによる燃料調達コストよりも安いと言われるようになった。核燃料サイクル路線は、資源量および経済性の両面から疑問符が投げかけられている。

もう一つの原子力エネルギーとして期待されているものに、核融合エネルギーがある。海水中の重水素、あるいはリチウムを燃料として核融合反応をおこし、エネルギーを取り出そうとするものである。単純に言えば、水爆(水素爆弾)の平和利用である。現在、国際協力によって核燃焼実験を行うために、国際熱核融合実験炉(ITER)をフラン

スに建設中であり、2020年代に発電実証を行うことが計画されている。しかし、実験炉の後に、実証炉を経て実用炉に致る道程を考えると、実用化は21世紀半ば以降になるであろうと予想されている。

高速増殖炉と核融合炉は、初期には資源量の観点から長期エネルギー資源として大きな期待が寄せられた。しかし、いずれも明確な展望を描き切れていない。

2.4 自然エネルギー

人間は他の動物と異なり、火という外部エネルギーを使うことによって文明を築いてきた。そこでは主として草木が燃料であった。今日のエネルギー論の中では、それはバイオマスとして自然エネルギーに含まれるものである。

ダムに水をため、落下する水の位置エネルギーを利用する水力発電も自然エネルギーの仲間である。エネルギー密度が小さいと言われる自然エネルギーの中で、広い領域から雨水を集めてダム湖に貯水することによってエネルギーを濃縮する効果を持つ水力発電は、例外的に高いエネルギー密度を有する。

これら二つの自然エネルギーは、化石燃料エネルギーが支配的な現代であっても、世界全体で見ればエネルギー供給量の10%以上を担っているのである。ここでは、従来から利用されてきたこれら二つを除く、いわば新たな開拓としての「自然エネルギー」について述べる。

自然エネルギーと言えば、太陽光、風力、地熱、海流、など様々あるが、自然界に存在するエネルギーは枯渇することはない、また、森林バイオマスなどについても自然の生長サイクルに従って使う限り枯渇することはない。そのためしばしば「再生可能エネルギー」とも呼ばれる。言葉の意味するところは厳密には同じではないが、ここでは両者を区別せずに扱うことにする。

2.4.1 太陽エネルギー

地球の温度は、太陽から受ける放射エネルギー（主に可視光領域）

と宇宙に向かって地球が放射するエネルギー（主に赤外線領域）の収支で決まっている。地球が太陽から受けるエネルギー密度は大気圏上空で約 1.4 kW/m^2 （太陽定数と呼ばれる）である。地球は球体であり、また昼夜があるため、全球で平均すればその $1/4$ にあたる約 340 W/m^2 となる。また、大気中の雲や塵による反射（アルベド効果）のため、地上に達する太陽光はその 70% 程度であり、約 1.0 kW/m^2 になる

（図8）。こうした効果を考慮して1年間に地表を照らす太陽エネルギーの総量を計算すると約 $4,200\text{Q}$ となる。現在、世界の一次エネルギー供給量は先に述べたように約 0.4Q であり、太陽エネルギーのおよそ1万分の1と言うことになる。エネルギー密度は低いが地球に届く総量は莫大である。

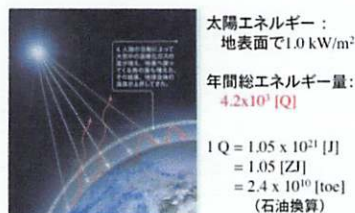


図8 地球が受け取る太陽エネルギーの大きさ（原図出典：日経サイエンス 2006 年 12 月号 22 ページ）

太陽エネルギーは光を電気に変える使い方と、熱に変える使い方がある。石油危機に対応して立ち上げられた太陽エネルギー利用計画（サンシャイン計画）は、国家プロジェクトとして進められたが、結局失敗に終わったと言われている。しかし、その頃の技術開発により、日本の太陽光発電量は2000年代初めまでは世界のトップにあった。しかし、1990年代から議論が盛んになった温暖化問題に対して、日本は原子力重視の方向を打ち出し、自然エネルギー開発への動機付けが失われた。

一方、チェルノブイリ事故以降、脱原子力の指向を強めたドイツや北欧諸国では、積極的な導入支援によって自然エネルギーは成長した。日本は、リードしていた太陽光利用でさえ、ドイツや中国に遅れをとることになってしまった。

各国で進められた政策的誘導による生産量の拡大と技術開発により、

太陽電池の設置コストは飛躍的に改善されてきた。現在はkW あたり、およそ 40-50 万円程度にまで下がってきた。1 GW の設備容量（原発 1 基分程度）に対するコストとして 4,000-5,000 億円に相当する。しかし、太陽エネルギーの弱点は、大きく変動することであり、そのため、実際の発電量は設備容量の 10-15% 程度である。したがって設備容量だけの単純な比較は出来ない。太陽光から電気への変換効率は材料のシリコンの形態（結晶、アモルファス、薄膜など）により様々であるが、10%～30% くらいであり、変換効率の高いものほど価格は高い。今後の技術開発が期待されている。太陽熱発電は、サンシャイン計画における官製プロジェクトの失敗により、期待が大きく損なわれた。しかし、熱の直接利用など開発の余地は十分ある。

2.4.2 風力エネルギー

オランダの風車に代表されるように、風力エネルギーは古くから排水や製粉ほか、様々な目的で利用されてきた。一方現代の利用は主として風力発電である。太陽エネルギーの数%が風のエネルギーに転換していると言われており、風力の潜在的エネルギー容量は大きい。1990 年代の環境意識の高まりにともない、特にドイツ、スペインを中心とする西欧諸国で急速に拡大されてきた。近年は、米国、中国も設備増加が著しい。これらの新規導入には「固定価格買い取り制度」という政策誘導が大きく後押しをした。世界の風力発電設備容量は、現在すでに 200GW に達しようとしている。ただし、風力も変動性であり、平均発電量としては設備容量の 20% に満たないと言われる。風の通り道として優れた場所に設置することが重要である。こうした観点から、近年は陸上だけでなく海上に風車を設置する例も増えてきた。設置コストは高くなるが、発電効率でそれをカバーすることができるためである。

風力発電は、自然エネルギーのなかでは最も発電コストが低く、最近の大型風車を利用した（数 MW クラス）設備では十数円/kWh となり、化石燃料による火力発電の発電コストにかなり近づいてきた。

3.2.3 その他の自然エネルギー

火山の多い日本では地熱はエネルギー資源として大きな可能性を秘めているが、これまでは、九州九重連山の山中にある八丁原地熱発電所において、数十 MW クラスの発電機 2 基が稼働している等の少数例に過ぎない。これまで開発が進まなかったのには、いくつかの理由がある。まず、こうした資源は主として国立公園の中にあり、立地規制が厳しい。温泉施設との競合も懸念される。自然エネルギー促進のための補助金制度がスタートした時にその対象から外されたことも一因である。しかし、火山国日本における潜在的可能性は大きい。太陽光や風力と異なり、安定した電力供給が期待できることは大きな利点である。

バイオマスエネルギー利用では、これまでのところ廃棄物を利用した発電がほとんどの量を占めている。しかし、現在までの導入量は 2GW 程度である。バイオマスは、空気中の二酸化炭素を固定して成長するため、伐採してそれを燃やしても、全体のサイクルとして二酸化炭素を増やすことにはならない。このことをさして「カーボンフリー」と言う。日本の森林資源における年間生長量から言えば、全消費エネルギーをまかなうことができるほどの量がある。しかし、伐採・搬出コストが高く、そのまま燃料に使う方法は採算がとれないとされている。一方、老化した森林の樹木は二酸化炭素の吸収量が小さくなるばかりでなく、倒木などは朽ちて二酸化炭素の放出源になる。二酸化炭素を吸収する森林を維持する視点と合わせて、バイオマス利用の道を模索すべきであろう。

バイオ燃料は植物からエタノールなど燃料として利用できる物質を生成したものである。特に自動車用の液体燃料の開発として各国で進められている。これまでも、サトウキビや大豆からバイオ燃料を取り出すことは、すでに実用化されていた。例えばブラジルでは、エタノール 100%を燃料とする自動車が街を走っていた。しかし石油開発が進められて次第に陰を潜めた。しかし、近年、石油価格の高騰で再び脚光を浴びるようになった。一方でこうした食用農産物を利用するこ

とは、食料価格の上昇を招くとの批判がある。そのため現在は、植物繊維からバイオ燃料を生成する開発努力が進められている。

その他、海流、海洋温度差、波力等を利用した発電など、海洋における自然エネルギー開発も取り組みが広がっている。しかし、量的な寄与が出来るようになるためには、時間がかかりそうである。

2.5 資源論の限界

エネルギー資源の中心は未だに化石燃料であると述べた。このような枯渇性の資源は次第に価格が上昇する。それに伴って非在来型化石燃料の開発が進む。長期的に見ればこうした循環により、当分はエネルギー資源の主力であり続けるであろう。しかし、そこには 21 世紀前半にも解決の見通しを付けなければならない地球温暖化の問題が立ちはだかる。資源論としての優劣だけでエネルギーの選択をすることはできなくなっている。原子力エネルギーの問題点、自然エネルギーの課題、いずれも 21 世紀の基幹エネルギーたりうるビジョンを描き切れていない。そうした中で、地球温暖化という環境問題との整合をいかにとるべきかが問われている。

3. 地球環境問題としての温暖化

3.1 公害問題から地球環境問題へ

18 世紀初頭、イギリスにおいて石炭を純化して生成したコークスを利用する鉄鉱石の溶解技術が開発された。産業革命の申し子である蒸気機関は鉄の圧延工程に利用され、鉄の生産技術革新がその後の産業革命を牽引した。こうして石炭はエネルギー資源の主役になった。

19 世紀に入り、石炭は、工業用燃料としてだけでなく、家庭の暖房や燃料としても利用されるようになった。このような石炭の利用拡大は、不完全燃焼による一酸化炭素やスス(煤煙)、石炭に含まれる硫黄分から生じる亜硫酸ガス等による公害問題を引き起こすことになった。

「smog」と言う言葉が誕生したのは 1905 年のロンドン公衆衛生会議

においてと言われている。その後もスモッグによる大気汚染は進行し、1952年12月、それは頂点に達した。高気圧と大気の逆転層が生み出した気象条件により、ロンドンの街を厚い霧が覆った。視界が遮られ、交通は大混乱に陥った。立ちこめる亜硫酸ガスによる気管支炎や肺炎が引き起こした死者は1万人を超えた。後に「ロンドンスモッグ事件」と呼ばれた、時代を画する公害事件である。

イギリス政府は1956年、大気浄化法を制定して、煤煙や汚染物質の排出を規制した。そのため工場などでは高層の煙突を設ける等の対策がなされたが、規制は目に見える煤煙のみが対象であり、汚染の広域化を引き起こすことになった。イギリスの工場の排煙が風に乗って北欧にまで達し、酸性雨の被害を引き起こした。亜硫酸ガスが大気中の水蒸気と結合して硫酸を発生させたためである。その後イギリスでは、北海油田の発見によって石炭から石油へのエネルギー転換が進み、また天然ガスの利用も増えて、大気公害の問題は1970年代になってようやく改善されることになった。

日本における大気汚染公害が注目されるようになったのは「四日市ぜんそく」による。1960年代の高度成長期に三重県四日市市では石油コンビナートが次々に建設された。日本が主に輸入していた中東の石油には硫黄が多く含まれ、そこから発生する硫黄酸化物がぜんそくを引き起こしたのであった。四日市公害訴訟における住民勝訴によって、公害対策基本法が成立した。しかし、コンビナートのみならず自動車排気ガスによっても窒素酸化物や炭化水素は大気中に増大した。これらのガスと紫外線との反応によって生じる有毒ガス(アルデヒドなど)は「光化学スモッグ」と呼ばれ、東京をはじめ日本各地で発生した。体育授業中の生徒が目やのどの痛みを訴えるケースが続出した。不特定多数の加害者による真に「公害」問題の表出といえるものであった。

酸性雨の問題は西欧に限らず、アメリカ北東部からカナダに至る地域、中国内陸部など、世界各地で見られるようになった。こうして、公害問題は一地域の問題からやがて国境を越え、世界的な広がりを見せるようになった。その対策には国をまたいだ議論が必要となり、国

連欧州経済委員会で長距離越境大気汚染条約（1979年）が締結されるといった状況が生まれた。

オゾン層破壊の問題も、同様の構造を持つ国境を越えた広域環境問題である。オゾン層は地球大気上空数十キロの領域に存在し、地球外から届く紫外線を吸収することによって、地上の生命を保護する役割を果たしている。

1928年に発明された安定で無毒なフロン（クロロフルオロカーボン）は、“夢の化学物質”と言われ、電気冷蔵庫の冷媒やスプレーなど幅広く利用されるようになった。しかし、1974年、F. Rowland(米)、M. Molina(米)が、フロンがオゾン層の破壊原因になるという学説を発表し、負の側面にも目が向けられることになった。そして1985年、J. Farman(英)らが南極上空大気におけるオゾン濃度の減少を実際に観測した。紫外線によってフロンから乖離された塩素ラジカルが、オゾンを破壊しつつ酸素と反応するサイクルを何度も繰り返すため、一個の塩素が10万個のオゾンを破壊すると見積もられている。したがって、わずかな量であっても大きな影響を及ぼすのである。こうして地球規模の環境影響への認識が広がり、オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書が採択され（1987年）、1996年までにフロンを全廃することが求められた。翌年日本もこれに参加した。

こうして、特定の地域、あるいは国内問題であった公害問題が、やがて国境を越えた国際問題に発展し、国際条約の締結が議論されるようになった。さらにその範囲は地球規模にまで広がった。その中で現代の最大の地球環境問題として認識されるようになったのが「地球温暖化問題」である。化石燃料エネルギーの大量使用に伴って排出される二酸化炭素が、温室効果ガスとして地球規模の気候変動をもたらすのではないかと懸念されるようになったのである。次にこの問題に焦点を当ててみよう。

3.2 気候と文明

地球の歴史をひもとけば、地球環境は劇的ともいえる変動を繰り返

してきた。直近の過去 100 万年を見て、氷河期と間氷期を頻繁にくり繰り返してきたことが知られている。(例えば、「全地球史解説」) 現生人類 (ホモサピエンス) の誕生は 10-20 万年前とされているが、その間にも、地球の気候は激しく変動してきた。しかし、人類が農耕を開始して今日の文明を築くにいたる過去 1 万年は、それ以前に比べて驚くほどに気候が安定していたことが、様々な研究からわかってきた。

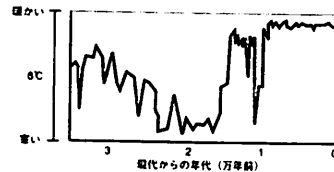


図 9 過去 35,000 年の気温変化

(出典：T・E・グレーデル他、松野太郎他訳；「気候変動」日経サイエンス社、1997、229 ページ)

図 9 に示すのは、化石調査から推定した北大西洋表面水の温度の変遷を過去の 35,000 年にわたって記録したものである。氷河期が終わり、間氷期に入った後、およそ 11,000 年前に大きな揺り戻しがあったが(ヤンガー・ドリラス期と言われる)、その後 10,000 年に亘って驚くべき安定が続いていることが記録されていたのである。

同様のデータは南極ヴォーストーク基地(当時ソ連)で採取された氷床コアからも示された。図 10 は氷の中に閉じ込められていた空気中の酸素同位体分析から得られた過去 15 万年の二酸化炭素濃度、気温変化、メタンガス濃度を示したものである。気温の変化のグラフは、前図と同様過去 10,000 年間の安定した気候を示している。この図でもう一つ注意しておくことは、二酸化炭素の濃度は地球の平均気温と良い相関を持っているが、過去 10 数万年にわたって 300ppm を越えていなかったと言う事実である。このような地球規模で安定した気候をもたらしているのは、地球全体の海を大きく巡る地球深層海流の安定した循環であると考えられている。つまり、海流による熱の循環である(図 11)。メキシコ湾流によって北大西洋を北上した海流は、北極海の氷床形成により、塩分濃度を上げて深海へと沈み込む。深層海流はこうした微

南極ヴァーストック基地の氷床コア

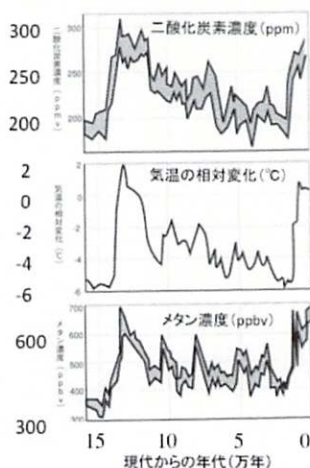


図 10 南極ヴァーストック基地の氷床コアから観測された、過去 15 万年の記録（出典：T・E・グレーデル他、松野太郎他訳；「気候変動」日経サイエンス社、1997、132 ページ）

妙なバランスから生まれており、北極海の氷が溶けて塩分濃度が減少すると、その循環が阻害され、大きな気候の変動をもたらすのではないかと懸念されている。このような熱循環が、それ以前に比べて、なぜ長期にわたって安定に維持されているのかについてはよくわかってはいない。

地球温暖化問題を議論する時に、地球科学的時間スケールで見た気候変動問題と現代文明の直面する気候変動問題を混同してはならない。

3.3 地球温暖化の発見

近年地球温暖化問題が注目されることになった発端は、1981年にジ



図 11 地球深層海流の模式図

（出典：NHK スペシャル「海 知られざる世界」第 2 巻、p. 78 (NHK 出版)；Copyright[2012], W. S. Broecker.

エームズ・ハンセン (J. Hansen) がサイエンス誌に発表した論文といえるであろう [J. Hansen, 1981]。過去 100 年に亘る地球の平均気温の上昇が、観測された二酸化炭素濃度の上昇に伴う温室効果によるという見方を示し、21 世紀の気候変化への警鐘を鳴らしたのである。当初から注目を浴びたわけではなかったが、1980 年代に平均気温の記録を更新する暑い年が続いたため、次第に関心が高まった。そして、1988 年にハンセンが議会聴聞会で「99%の確信を持って」長期的な温暖化が進行中であると述べたことにより、世界的関心事となった。この年、国際連合環境計画 (UNEP) と世界気象機関 (WMO) によって、「気候変動に関する政府間パネル (IPCC/Intergovernmental Panel on Climate Change)」が設立された。以後、IPCC が気候変動に関する世界的な議論の場として中心的な役割を果たしていくことになる。

温暖化の議論でしばしば取り上げられるデータのの一つに、1998 年にマイケル・マン (M. Mann) が発表した、いわゆる「ホッケースティック曲線」がある (図 12)。これは、年輪分析から求めた過去 1000 年の気温変化と近年の観測データを比較したものである。近年の急激な気温上昇の様子が、ホッケー競技で使われるスティックに似ているため、そのような呼び方がされるようになった。[M. Mann, 1998]

このように地球温暖化問題が世界の関心事になったのは過去 20 数年のことである。しかし、科学的な関心としては 100 年以上の過去にまでさかのぼることが出来る。スペンサー・ワートはこの歴史経緯を著書 [S・R・ワート, 2005] の中で詳しく記述した。この歴史経緯を確認しておくことは、様々な温暖化論争を読み解く上で重要であると考えられ

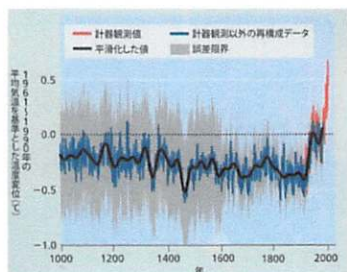


図 12 過去 1,000 年の気温変化

(出典：日経サイエンス 2006 年 12 月号 p. 22； Michael Mann； Scientific American, March 2005)

るので、ここで簡単に振り返っておこう。

3.4 温暖化研究の歴史的背景

19世紀初頭、ジョセフ・フーリエ (J. Fourier) は、地球の平均気温を決める機構は太陽放射(主に可視光)の流入と地球が発する赤外線放射のバランスであると考えた。その計算によると地球の温度は氷点下になってしまう。そのため、大気のはたす役割に気づいていた。その後、ジョン・ティンダル (J. Tyndall) は赤外線に対する各種気体の透明度を調べる中で、地球の温室効果をもたらしている気体が水蒸気であることを突き止めた。さらに1996年、スヴァンテ・アレニウス (S. A. Arrhenius) が、火山爆発による大気中の二酸化炭素の変化が気温に与える影響を研究する中で、大気中の二酸化炭素が2倍になると気温は5-6℃上昇すると試算した。彼の研究は、当時はほとんど否定的にしか受けとられなかったが、CO₂の温室効果によって地球気温が影響を受けることを初めて指摘したことは、この時期にまでさかのぼることが出来るのである。しかも、その数値は今日予想されている値とほとんど変わらない。

その後、気候の研究は次第に科学の対象として研究されるようになっていった。特に軍事行動は気候に大きく影響を受けるため、研究の進展には軍の支援が大きかった。

1930年代になり、ミルティン・ミランコヴィッチ (M. Milanković) は、地球回転軸のすりこぎ運動がもたらす太陽放射の変動が地球の気温変化に影響することを示唆した。同じ頃「年縞」調査によって、実際に周期的気温変化が発見された。ミランコヴィッチの仮説は、氷河期と間氷期を繰り返す地球の気候変動をよく説明していた。地球史的時間スケールでは、このような長周期の気候変動が何度も繰り返されてきたのである。

二酸化炭素の温室効果に関しては、限定的であるとする見方が有力であった。CO₂の赤外線吸収があったとしても、その吸収スペクトルはすぐに「飽和」してしまう、あるいは、CO₂の増加分は海に吸収さ

れてしまうだろうと考えられた。そうしたなかで、1956年、ギルバート・プラス（G. Plus）が大気上層部においては、吸収スペクトルは飽和しておらず、人間活動の拡大により二酸化炭素が増加すれば、気温が上昇する可能性があることを再び指摘した。

このころ、地球観測を国際的な規模で行うことの重要性が指摘されるようになり、1957-8年が国際地球観測年と位置付けられることになった。エクスポローラ（米）やスプートニク（ソ）といった人工衛星が打ち上げられる一つの契機となった。また、これを機に本格的な南極観測が始まり、日本でも第1次南極観測隊が組織され、南極に昭和基地が建設された。

このような地球研究の一環としてチャールズ・キーリング（C.D. Keeling）は、ハワイ・マウナロア山頂と南極において CO_2 の継続的観測を開始した。そのデータはまもなく大きな注目を浴び、その後の気候変動研究において大きな役割を果たすことになった。「キーリング曲線」と呼ばれるものである（図13）。また、グリーンランドや南極ヴォストーク基地における氷床コアの研究が進展して、地球の気候変動が科学的観測として精密化され、再び、温暖化問題が研究者の関心を集めることになってきた。こうして1988年のIPCCの設立に至るのである。

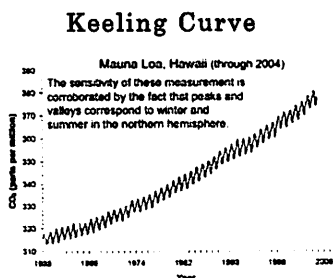


図13 ハワイ・マウナ・ロア山頂における二酸化炭素濃度の年次変化

（出典：M. K. Levine; presented at 2007 RITE International Symposium, 18 January 2007, Tokyo, Copyright [2012] M. K. Levine ;

原図出典：C.D.Keeling et al., Scripps Institution of Oceanography, University of California, La Jolla, CA)

4.5 温暖化懐疑論

こうした世界的な議論に発展した地球温暖化にたいして、科学的な根拠に乏しいとする温暖化懐疑論も生まれるようになった。温暖化対策の柱とされる二酸化炭素の排出規制に対する反対論もその背景にある。一つは産業界を中心として、産業用エネルギーのコストが上がることに對する警戒である。すなわち、科学的根拠の曖昧なまま、温暖化対策のために膨大な投資をすべきでないと言うのである。二つ目に、二酸化炭素削減のために、原子力エネルギーを化石燃料の代替とする政策誘導に対する警戒である。つまり、温暖化論をあおっているのは、原子力推進派ではないかという疑念を背景とするものである。実際 21 世紀に入ると「原子カルネッサンス」と呼ばれるような原子力エネルギーの再評価が行われるようになったことは、温暖化問題と無縁ではないであろう。

ここで、懐疑論のいくつかを紹介しておこう。

ひとつは、そもそも二酸化炭素の増加による温暖化という問題設定そのものを疑う議論である。気温が上昇すれば、海水に溶け込んでいる二酸化炭素の許容溶解量が減少し、大氣中に放出される。したがって、大氣中の二酸化炭素が増大している観測事実は認めるが、それは、人間活動とは関係のない地球の気温上昇によるものであって、その結果として二酸化炭素が増えただけであると主張する。

もう一つは、地球の気温は太陽活動などの宇宙現象に支配されており、人間活動の影響はほとんど無視できるとする考え方である。太陽黒点数の周期的変動や宇宙線強度の変動と、地球平均気温の歴史変動との間には相関がある。その周期にしたがえば、現在はむしろ寒冷化に向かっており、人間活動の気候への影響は取るに足らないと主張する。1990 年代後半からこのような懐疑論が盛んになってきた。

一方、数年おきに出される IPCC 報告書は「人為的な活動により温暖化の進行が進んでいる」ことについて、回を追うごとに精密化されてきた。その中でも人為的に排出される二酸化炭素の影響が最も大きい(図 14)。2007 年の第 4 次レポートでは、「人為的な影響があること」

について「very likely」であるとの表現を使った。これは「ほぼ確実である」と言い換えてよからう。

これに対して、懐疑論は科学的な反証が不十分で、現在では懐疑論は次第に不利になってきている。2009年には、IPCC委員のデータ偽装疑惑が「クライメートゲート事件」として報道され、IPCC報告書への疑念が提出されたが、結局大勢が変わることはなかった。

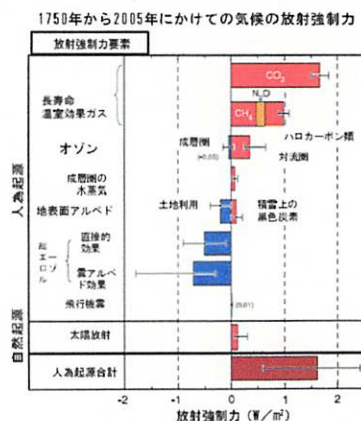


図 14 1750 年頃を基準とした、大気成分ごとの放射強制力

(出典：「IPCC 第 4 次評価報告書第 1 作業部会報告書」

概要及びよくある質問と回答」気象庁訳 2007)

3.6 温暖化問題の本質

IPCC が発足して 20 年が経過した。その報告書は回を追うごとに精密化され、人為的な温暖化が進行中あることについては、科学者や政治家、一般市民を含めてほぼ合意が得られる状況になった。今は、今後 50 年、100 年を見通して、どのような対策をとるべきかの議論に移行してきたといってよいだろう。事実、地球上の二酸化炭素濃度は過去 100 万年の時間スケールで 300ppm 以下であったものが、現在は 380ppm を越え、このまま推移すれば 21 世紀末には倍增することは確実であろう。しかし、100 年後の温暖化予測はシミュレーションに頼ら

ざるを得ない。複雑システムである地球の気候を 100 年の時間スケールで推測することは最先端のシミュレーションと言えども容易ではない。

ここで大切なことは、人間の活動が地球規模の環境影響を与えるほどに拡大されたという事実であり、二酸化炭素濃度はそれを端的に示す一つの指標に過ぎないと言う点である。地球規模の環境影響を及ぼすようになった人類活動の拡大は、人類の生存圏としてみた地球の許容範囲に制御していかなければならない。温暖化問題の本質はそこにあると思われる。

4. 日本のエネルギー政策

ここでは、フクシマの現実を踏まえ、今後のエネルギーの選択肢について考えたい。そのためには、過去の政策とその歴史評価を避けて通ることは出来ない。まず戦後の日本のエネルギー政策の大きな流れを振り返っておこう。

4.1 石炭・石油産業の振興

太平洋戦争において敗戦したとき、日本は米国の物量に負けたと言われた。日本は資源小国であり、とりわけエネルギー資源のほとんどないことを自覚せざるを得なかった。このことが戦後のエネルギー政策にとってのトラウマとなった。

戦後まもなく、国産の石炭開発に重点を置いたエネルギー政策がとられた。1947 年「臨時石炭鉱業管理法」が制定され、炭鉱は国家管理の下におかれた。極端に石炭依存のエネルギー体制であった。国内にもわずかな油田が存在したが、産業振興のために需要は拡大し、石油はほとんど輸入に頼らざるを得なかった。この間世界では、急速に石油へのエネルギーシフトが進んだ。日本政府は外貨割当制度をてこに、民族系石油産業の保護と育成に力を注いだ。そして 1967 年になってようやく、念願であった「石油開発公団」を設立し、国家プロジェ

クトとして海外の油田開発に乗り出したのである。

ところが、1973 年、第 4 次中東戦争を契機に、サウジアラビアを盟主とする石油輸出国機構（OPEC）が石油戦略を発動した。それまで国際石油資本（メジャーズ）に握られていた価格決定権を産油国がはじめて手にした瞬間であった。これにより原油価格は一気に 4 倍に跳ね上がった。先進諸国には激震が走り、高度成長を続けてきた日本においても、経済成長に急ブレーキがかかった。第 1 次石油危機である。この時政府は「石油備蓄法」を制定し、「石油公団」（石油開発公団の改称）には国家石油備蓄の役割も担わせることになった。（当時国内の備蓄は 2 ヶ月程度しかなかったが、その後備蓄を積み増し、1992 年には 140 日に達した。）

さらに 1979 年にはイラン革命に伴って第 2 次石油危機が発生した。この年から翌年にかけて、政府は「省エネルギー法」「代替エネルギー法」を成立させ、また通産省に新エネルギー総合開発機構（NEDO）を設立した。このように 1970 年代、日本はエネルギー対策に追われた。

この経験を契機として、日本では石油依存、とりわけ中東の石油への依存を減らすことに務めた。官民挙げての省エネルギー努力によって、産業界は世界屈指の省エネルギー技術開発を進めた。

しかし、世界経済の変調が産油国にも跳ね返り、1980 年代半ばになると石油価格は暴落した。OPEC は再び主導権を失うことになった。しかし、石油危機を経験することによって、エネルギー源の多様化が進み、極端な石油依存は徐々に改善されていった。

このように、1970 年代までのエネルギー対策は、その資源ごとの事情により対応すればよかった。しかし、1980 年代以降は、地球温暖化問題など外的要因を含む総合的な判断が必要になり、一つの資源の内側の論理だけで解決策を講じることができなくなった。今日、ますますその傾向を強めている。

4.2 電力再編と原子力導入

明治維新後の電気の導入は文明開化の象徴であった。1886 年には、

初めての電気事業者として東京電灯（現在の東京電力の前身）が設立された。この時、東京電灯はドイツ製発電機（50 Hz）を導入した。一方その翌年に設立された大阪電灯は、米国製発電機（60 Hz）を導入した。この周波数の違いは今日にまで尾を引いており、日本を東西に分断している。周波数変換をしなければ互いに電力を融通しあうことができないのである。

戦前の電力は民営で、大小あわせて数百の電力会社がひしめいていた。昭和に入ると、国家主義と軍部の台頭によって、電力の国家による集中管理への要求が高まり、ついには「国家総動員法」と並んで施行となった「電力国家管理法」によって、1939年国営電力会社「日本発送電株式会社」が設立され、国家統制の元に置かれることになった。

終戦後、民主化の一環として過度の集中を排除するGHQの方針に従って、電力再編が議論された。この時国内においては、国営か民営か、全国一社体制か分社体制かについて激しい綱引きが繰り返されたが、結局、自由主義体制を標榜する米国の意向により、1951年、GHQによるボツダム政令として、発送電一貫の九つの民営会社に分離することが決まった。今日の九電力会社（この時点では沖縄電力はない。）の体制ができあがった。

一方、国の側は、完全民営では日本の産業振興のために必要となる電力開発が進まなくなると主張し、1952年「電源開発促進法」を制定して、政府出資の電源開発株式会社を設立した。[註]²

この時期、民間会社としての電力会社には戦時中の記憶故に、国家の介入を嫌い、独立精神が強かった。初期の発電用原子炉導入についてもこの対立が影響した。政府内においても、民間会社で進めるべきとする原子力委員長正力松太郎と、原子力は国家管理の下で進めるべきという経済企画庁長官河野一郎とが対立した。この時電力会社は強引に民間会社として「日本原子力発電」を設立し（1957年）、発電用

² 電源開発(株)は、2004年に民営化されてJ・Power(株)となった。日本各地で原子力を除く様々な発電設備を持ち、日本最大の電力卸会社となっている。

原子炉導入の主導権を握った。その後、東京電力は福島県に原子力発電所を建設することを決めた（1961 年）。これが現在の福島第一原子力発電所の始まりである。

このような官民の綱引きの中で拙速に原子力の導入が決まっていた。知識の乏しいまま設計不十分な GE 製の原子炉を導入したことにより、後々様々なトラブルに見舞われることになった。そうした原子炉そのもののトラブルに加えて、石油危機によるエネルギー事情の大転換がおり、次第に原子力開発における電力会社と行政との癒着体質が生まれ、初期の電力会社にみられたような独立精神は次第に失われていった。[佐高、2011]

4.3 エネルギーの選択

近年の日本の電力政策は、政府の総合資源エネルギー調査会が 2006 年にまとめた「新・国家エネルギー戦略」の中で打ち出した「原子力立国」構想が柱になっている。しかし、フクシマ事故で事態は全く変わったといってよい。原子力に関わる様々な議論がある中で、「安全神話」を信じてきた多くの人々は、ある意味で消極的支持者であった。しかし、今回の事態を目の当たりにして、原子力技術とそれを扱う官民の組織の仕組みに大きな失望を抱いただけでなく、裏切られた思いもしたに違いない。現状では、定期点検のための停止した原子炉が再稼働できない事態が進行し、54 基ある日本の原発がすべて停止となる可能性がある。電力全体に占める原発依存度の高い関西電力管内など、緊急の対策が求められている。

2007 年の新潟県中越沖地震により、東京電力柏崎刈羽原発の 7 基の原発（合計発電容量約 800 万 kW）がすべて停止したときにも、東電管内では一時的に電力危機が発生した。原発の集中立地が仇となったのである。それでも政府の原子力エネルギー政策が揺らぐことはなかった。しかし、今回こそは、徹底的な事故検証に基づいて、技術面、制度面を含む根本的な見直しが必須であろう。

これまでのエネルギー政策のもとでは、自然エネルギー導入への動

議付けも支援も弱く、その普及が遅れた。電力供給が10の電力会社の地域独占となっていることも、新たな参入を阻害してきた要因である。

世界的な環境意識の高まりや、電力自由化の流れを受けて、日本でも再生可能エネルギーを促進するための政策的措置として、2003年、補助金制度が導入された（Renewable Portfolio Standard /RPS法）。しかし、その内実は、導入目標量をきめるのは経済産業省であり、原子力立国を掲げる経済産業省は当然その値を低く抑えた。その基準以上の導入は電力会社が拒否出来る仕組みになっていた。さらに、配電網を独占する電力会社が拒否すればいくら発電しても売ることが出来ない。日本におけるRPS法は、電力自由化の流れや自然エネルギー促進の声に対する見せかけだけの対策だったといえる。

本気で自然エネルギーの導入を目指したヨーロッパ、特にドイツでは、長期に亘る固定価格買い取り（Feed-in Tariff/FIT）を電力会社に義務づけた。そのため、多くの中小発電会社が参入し、急速な拡大につながった。図15は、太陽光エネルギーの導入に関する日独の比較が示されている。ドイツでは、1990年代に国内の一地域（アーヘン）でFIT制度を試験的に導入し、その成果に基づく綿密な制度設計により、これを全土に広げた。かつて太陽光では日本が先端を走っていた。しかし、この政策の違いにより2000年代半ばにはドイツに追い越された。風力発電に至っては、ドイツの設備容量は日本に比べて一桁大きい。

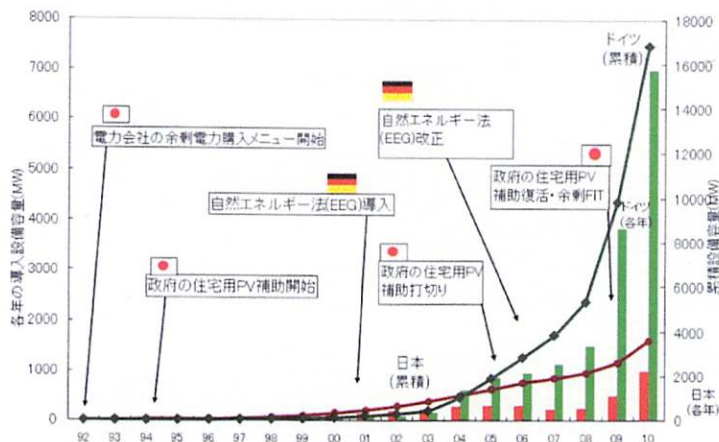


図 15 太陽光発電の導入量の推移にみる日独の政策比較とその影響
(出典：IEA PVPS データ等より環境エネルギー政策研究所が作成)

フクシマの事態を受けた原子力の見直しに伴い、日本でも固定価格買い取り制度の本格的な導入が法律化された(2011年8月)。しかし、買い取り価格など詳細な条件が決まっておらず、効果を疑問視する声もある。さらには、送電網の電力会社による独占が続いている限り、本格的な拡大は期待できないとも言われる。風力資源の有望な地域には送電網がほとんどなく、新たな設備投資が必要になるからである。エネルギー密度が薄く、分散型が基本である自然エネルギーを本格的に導入するためには、送電網の発電会社からの分離が必須であるとの意見が強い。

ここでは、エネルギー政策の持つインパクトを示す代表例として、固定価格買い取り制度を取り上げた。しかし、それはエネルギー政策のほんの一部に過ぎない。二酸化炭素排出抑制のために、日本でも排出権取引の導入が議論されることになるであろう。これらの課題に対して、一人一人が積極的に関与することが必要になっている。

おわりに

2011年3月11日のフクシマ原発事故によって、日本のエネルギー政策が大きく揺らいでいる。原子力立国を唱えた政府のエネルギー政策が根底から見直しをせまられているからである。それは一つのエネルギー資源に偏った政策の危うさを教えているとも言える。

エネルギー問題はいまや資源の問題であるよりも、地球環境問題としての側面が強くなりつつある。国家の利益を超えた地球的視野も必要とされる。その選択は、未来世代に対する責任として現在の我々自身にゆだねられている。

参考文献

- [1] 内橋克人；「日本の原発、どこで間違えたのか」朝日新聞出版、2011.
- [2] 北野康；「新版 水の化学」NHK ブックス、1995.
- [3] 熊沢峰夫他編；「全地球史解説」東京大学出版会、2002.
- [4] T. E. Graedel 他、松野太郎他訳；「気候変動」日経サイエンス社、1997.
- [5] 佐高信；「電力と国家」、集英社新書、2011.
- [6] 富山和子；「環境問題とは何か」PHP 新書、2001.
- [7] 北海道大学大学院環境科学院編；「地球温暖化の科学」北海道大学出版会、2007.
- [8] 松井賢一；「国際エネルギーレジーム」、エネルギーフォーラム、2006.
- [9] D. H. Meadows、他、大来佐武郎監訳；「成長の限界」ダイヤモンド社、1972.
- [10] 吉岡斉；「原子力の社会史」朝日新聞社、1999.
- [11] 吉岡斉編集代表；「新通史 日本の科学技術」第1巻第2部「エネルギーと原子力」原書房、2011.
- [12] K. J. Laidler、寺嶋英志訳；「エネルギーの発見」青土社、2004.
- [13] S. R. Weart、増田耕一、熊井ひろ美、共訳；「温暖化の＜発見＞とは何か」みすず書房、2005.
- [14] IPCC 第4次評価報告書、(2007)
- [15] J. Hansen, et al.; Science 213, No.4511 (1981) p.957.
- [16] M. E. Mann, R. S. Bradley, et al.; Nature 392 (1998) p. 779.
- [17] NHK スペシャル「海 知られざる世界」第2巻、NHK 出版.

以下、エネルギー問題、環境問題に関係して、筆者自身が発表したいくつかの論考を、参考のためリストとして上げておく。

- [18] 「エネルギー開発における認識論的転換」総研大共同研究論文集「科学と社会 200」、総合研究大学院大学、2002、pp. 59-78.

- [19] 「原子力開発の歴史から学ぶこと」;総研大共同研究論文集
「科学と社会 2002」、総合研究大学院大学、2004、pp. 209-211.
- [20] 「有限地球観のエネルギー論」;総研大共同研究論文集「〈科学・
技術・社会〉論の構築」、総合研究大学院大学、2005、pp. 27-44.
- [21] 「巨大化した核融合研究のゆくえ」;岩波「科学」Vol. 75, No. 8
岩波書店、2005、pp.976-982.
- [22] "Important Roles of Asian Countries in the Energy and Environmental
Problems"; Proceedings of SOKENDAI International Symposium
2009, 2010, pp.5 - 23.
- [23] 「核融合研究の停滞」;「新通史 日本の科学技術」第1巻、原書
房、2011、pp.489-511.