

地球温暖化問題とエネルギー資源問題 -今世紀の課題-

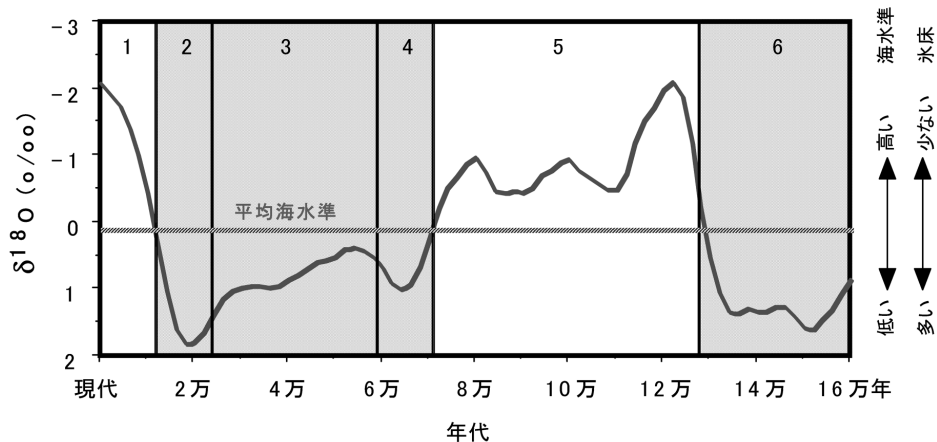
川 幡 穂 高^{1)・2)・3)}

1. はじめに

地球が誕生してから現在までの期間(46億年)を1年間に例えると、私の直接の祖先である人類(ホモ・サピエンス(新人))が出現した15-17万年前は12月31日の23時41分頃に相当する。さらに、人類の影響によって地球環境が大きく影響を受けた20世紀は、1秒間にも満たない短い時間で1年間が終了する12月31日の23時59分59秒過ぎに相当する。地球環境問題

に対応した環境変化のスピードは非常に速く、自然が経験してきたスピードの1-3桁にのぼっている。

地球温暖化では化石燃料の燃焼に伴う二酸化炭素の排出が話題になっているが、一方で、化石燃料の消費は、従来より資源エネルギー問題の観点からも論じられてきた。そこで、本小論では温暖化問題を中心に、最近の動向と最終的に資源問題との関わりについて述べる。



第1図 過去16万年における海水の酸素同位体比変動。Y軸は通常と逆にプロットしてある。上側は氷床量が少ないので海面が高く、下側は逆に氷床量が多いので海面が低いことを表わす。酸素同位体比 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ は、 $\delta^{18}\text{O} = ((^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{試料}} / (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{標準物質}} - 1) \times 1000$ より、標準物質との千分偏差として定義される(単位:パーミル)。世界標準物質であるPDB (Peedee層産ベレムナイト化石)が枯渇してしまったため、現在は、石灰岩試料であるNBS-19 ($\delta^{18}\text{O} = -2.20$ パーミル)を用いて標準化される(VPDBスケール)。第四紀の氷期・間氷期の研究では、よりわかりやすくするために、期間ごとにステージ番号が付けられている。すなわち、偶数番号が氷期、奇数番号が間氷期が原則であり、図中で氷期は灰色で表示されている。例外的にステージ3のみは、ステージ2, 4より氷床の発達が悪化したが、実際には氷期の特徴をより強く示すので灰色で表示した。なお、最終氷期最盛期は2万5,000年~1万8,000年前の間とする人もいる(IPCC, 2001)。

1) 東京大学 大学院 新領域創成科学研究科環境学系自然環境学専攻
2) 東京大学 海洋研究所
3) 産総研 地質情報研究部門

キーワード:地球温暖化問題, 二酸化炭素, 石油, 石炭, 天然ガス, エネルギー資源

2. 人類の誕生と氷期・間氷期の環境変化

第1図は、海水 (H_2O) に含まれる酸素 (O) 原子の原子量16と18の酸素同位体比の時間変動を表わしている。図の中で値は-2~2パーミルの間を変動しているが、これは大陸氷床の発達度と密接な関係がある。すなわち、水が蒸発すると液体より気体の水分子中の $^{18}O/^{16}O$ 比は小さいために、その蒸気が沈積した氷の $^{18}O/^{16}O$ 比も小さくなる。よって、氷床が発達すると海水の水の $^{18}O/^{16}O$ 比は大きくなる。図の中のY軸は通常とは逆に上側が小さな値、下側が大きな値を示している。このようにプロットされている理由は、氷床が発達すると海水準、すなわち海面のレベルも下がるので、それをわかりやすく表示するためである。

第1図は過去16万年間における海水中の水の酸素同位体比を表わしたものである。この図を見ながら人類の歴史を考えると、私達の直接の祖先(ホモ・サピエンス)は、東アフリカで15~17万年前の氷期(寒冷期)に誕生した。その後、気候は12万年前あたりに改善されたものの、その後再び寒冷化した。数万年前にさらに寒冷化し、たぶん食料などが不足したため、ホモ・サピエンスの一部はアフリカを出発し、ヨーロッパあるいはアジア大陸へと旅立っていった。

しかしながら、酸素同位体比のデータから明らかのように、気候は改善されるどころか氷床はさらに拡大し、北米およびスカンジナビアを中心とした広大な地域が氷床に覆われてしまった。その氷床量が最大になった時は最終氷期最盛期(Last Glacial Maximum)と呼ばれており、暦年で2万1,500年前(^{14}C 年代で約1万8千年前)であった。その後、氷床は急速に溶解し、地球表層も温暖化し、それに伴い、人類の活動範囲も急速に拡大した。

推定された気候と人類の歴史を併せて考えると、現代は人類が誕生してから15-17万年間で最も温暖な時代で、このレベルまで氷床が減少したのは、約12万年前だけで、現代がいかに特殊な時期であることがわかる。人類は概して寒冷化の気候の中で、苦勞しながら、工夫しないと生きていけない時代を過ごし、環境にうまく適応できたグループを中心に発展してきたということが示唆される。

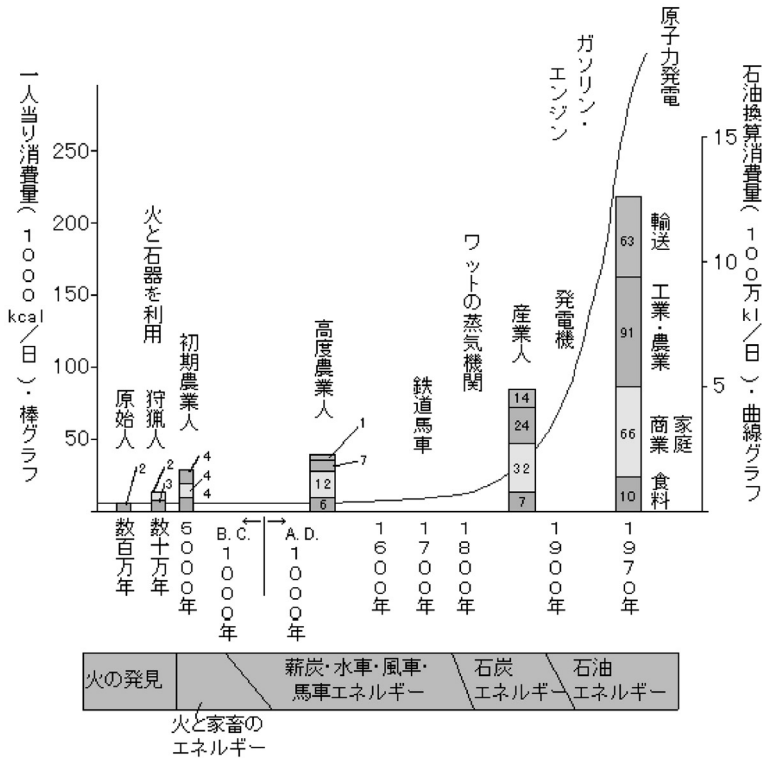
なお、第1図に示された海水の酸素同位体比の変化(氷床の盛衰)は、地球の公転軌道のゆがみなどに

基づくミランコビッチ理論で説明可能である(例えば、町田ほか, 2003)。現代は最終氷期(酸素同位体比ステージ2)の後の温暖期であることから後氷期と呼ばれることもあるが、第1図を見る限り氷期・間氷期の繰り返しの途中であると考えるのが妥当で、人類活動による地球温暖化問題がなければ、あと3-5千年で氷期に逆戻りすると推定される。実際、1970年代の気温はそれ以前と比べると寒冷化の傾向を示していたので、カナダやスカンジナビアの国々では、気候が氷期に戻っていった場合にはどのようなかといった点について真剣に議論がなされていた。

3. 人類活動の発展とエネルギー消費

人類活動の発展とともにエネルギー消費は急激に増加してきた(第2図)。人類をエネルギー消費によって分類すると①原始人、②狩猟人、③初期農業人、④高度農業人、⑤産業人、⑥技術人に分類できる(電力中央研究所編, 1998)。食料のみを消費していた最も原始的な形態の生活をしていたのが原始人で、2,000kcal/日を消費していた。少し発展して、薪を燃やして暖房や料理などにエネルギーを使用するようになった狩猟人では、消費量は5,000kcal/日に増えた。初期農業人は紀元前5000年位に文明を切り開いた人々で、穀物を栽培し、家畜のエネルギーを使った。これにより消費量は原始人の数倍(12,000kcal/日)となった。14-15世紀の北西ヨーロッパでは、石炭、水力、風力などを使用して暖炉をたいたり、家畜を輸送道具として利用した。これら高度農業人は26,000kcal/日と原始人より1桁高いエネルギーを消費した。その後、産業革命を経て、ワットの蒸気機関が発明され、18世紀には産業人が現れた。彼らは合計で77,000kcal/日(内訳は食料関係、家庭・商業関係、工業・農業関係、輸送関係でそれぞれ、7,000、32,000、24,000、14,000kcal/日)消費した。1970年代のアメリカ人を中心とした技術人は合計で230,000kcal/日と実に原始人より2桁を上回る(>100倍)エネルギーを消費し、その後も非常に高いエネルギー消費の伸びを示している(電力中央研究所編, 1998)。特に、産業革命以降のエネルギー消費の伸び率は非常に高く、18世紀以降、石炭、石油を燃焼させて大量の二酸化炭素を放出してきた。

ここで示した高度農業人、産業人、技術人という



第2図.
人類とエネルギーの関わり
(電力中央研究所編, 1998).

区分けは経済発展の段階に応じて現代でも世界中に存在している。そこで、例えば、発展途上国の農業人が産業人に、あるいは産業人が技術人へと発展すると世界全体のエネルギー消費はたとえ世界の全人口が同じであってもエネルギー消費は増加してしまう。

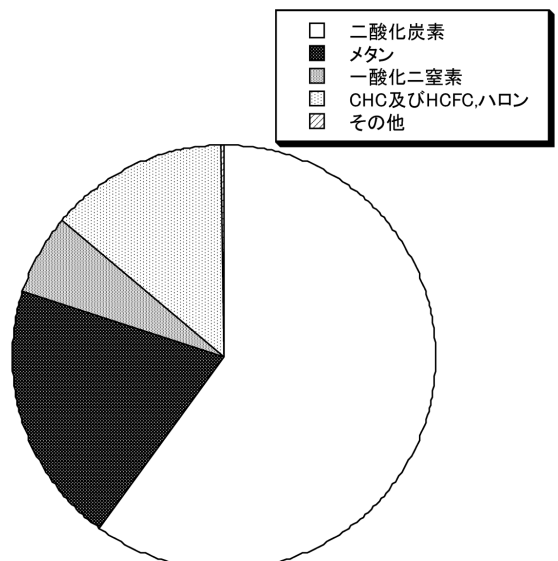
である。

メタンは牛などの家畜の胃から排出されるが、現在の排出量の半分強は農業、ゴミ、化石燃料の使用などの人類活動に起因している。また、フロン類はそも

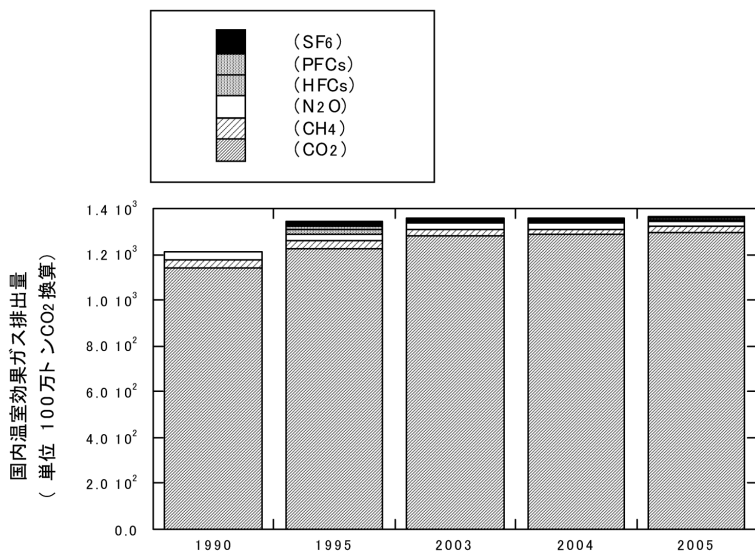
4. 地球温暖化

地球表層の温度は、基本的に太陽放射と地球から宇宙に向けて放射される熱放射とのバランスによって決定される。太陽は6,000℃と高温なため可視光線が、地球の表層温度は20℃前後なため赤外線が、それぞれ主に放射される。赤外線は数種類の気体を構成する分子の運動によって吸収されるが、このような気体は温室効果気体と呼ばれている。

温室効果気体の地球温暖化への寄与度は、二酸化炭素が約60%、メタンが20%、一酸化二窒素が約6%、特定フロンなどのCFC及びHCFC、ハロンなどが約14%となっている(第3図)。天候・気候により変動が激しいため、大気中濃度が安定しないため省略されることが多いが、水蒸気も重要な温室効果気体



第3図 温室効果気体の地球温暖化への寄与度。



第4図
国内温室効果ガス(六ふっ化硫黄(SF₆), パーフルオロカーボン類(PFCs), ハイドロフルオロカーボン類(HFCs), 一酸化二窒素(N₂O), メタン(CH₄), 二酸化炭素(CO₂)) 排出量の変化(総務省統計研修所, 2007: 「日本の統計」).

そも自然界には存在せず、すべて人類が作り出した化合物である。特定フロンについては、規制により近年排出が抑制されているが、代替物質もまた、温室効果気体であるので、問題視されている。また、一酸化二窒素については相当量が燃焼や窒素肥料の施肥などに関係しており、人類活動に関係している。このように現代では温室効果気体の排出には人類の活動が大きく関与している。

5. 地球温暖化の影響

地球温暖化の影響として以下のものが指摘されている。

- (1) 陸上の氷床量の減少(グリーンランド等)
- (2) 海洋の海水量の減少(北極水等)
- (3) 海面の上昇による砂浜の消失などを含む陸地の海没
- (4) 沿岸地域の高潮がもたらす被害の増大
- (5) 表面水温の上昇による熱帯性低気圧の巨大化
- (6) 温暖化によるマラリヤやデング熱等の伝染病の増加
- (7) 急速な温暖化による地域・海域の気候の変化に伴う生態系の破壊(産業として、漁業への影響も含れる)
- (8) 降雨などの変化による海洋表層および中層の成層化と海洋大循環への影響

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate

Change, 気候変動に関する政府間パネル)の第三次(2001)および第四次(2007)報告書などを参考にすると、20世紀の平均気温は1世紀間で0.6℃上昇し、21世紀末までには、平均気温は、さらに1.4~5.8℃程度上昇すると予想されている。地球温暖化問題の特徴は、(1)この暑くなった地球の温度が、文明社会がまだ経験したことのない位高いものであること、(2)温度変化のスピードが自然状態で変化する時よりはるかに速いことである。

水温が上昇すると熱膨張により海水面も上昇する。さらに、気温上昇により極域の氷床あるいは海水が融解する可能性が指摘されている。陸上の氷床が融けると、水は海に流れこみ海面上昇を引き起こす。水面の上昇量は2100年までに9~88cm程度と予測されている。海面が上昇すると、東京湾やバングラデシュなどの低地では高潮などの被害が予測され、モルジブ(北緯4度, 東経73度周辺)あるいはマジュロ(北緯7度, 東経171度周辺)などのインド洋や太平洋のサンゴ礁でできた環礁等の国々にとってはもともと標高がわずか1~2m位であるために、海面上昇は深刻な問題となる。ちなみにマジュロ環礁の場合、最高標高地点は日本の海外援助で作られた橋の上(4m)であるという。また、海面上昇は大陸の沿岸地域でも高潮以外に海岸浸食を促進させるおそれがある。65cmの海面上昇があった場合には現在の砂浜の80%以上が侵食されるのではないかと推定されている。

気温が2℃上昇したとすると、同等の植物が分布す

る気候帯が緯度方向(南北方向)で約300km、垂直方向で300m(高度)移動すると言われている。過去の種子植物の植生変化に基づくと、自然環境での水平移動速度は年間数十mから1km程度なので、急速な温暖化により植生が気候変化に追いついていけないおそれがある。

6. 京都議定書

地球温暖化問題は、1980年代に科学者の間で問題視されるようになり、行政レベル、そして国連レベルへと発展していき、「気候変動枠組み条約」が1992年に国連総会で採択された後、「地球サミット」で署名が開始された。この条約は「気候系に対して危険な人為的な干渉を及ぼすこととしない水準において大気中の温室効果気体の濃度を安定化させること」を究極の目的としている。これは法的拘束力ある削減数値目標を欠いていたため、1997年に京都で「気候変動枠組み条約第三回締約国会議」が開催され、先進国に法的拘束力のある各国ごとの数値約束を定めた「京都議定書」が採択された。

この議定書では、

- (1) 先進国全体で、温室効果ガス6種類の排出量を2010年の時点(期間は2008年から2012年までの平均)で、1990年レベルから平均5.2%削減する。共同達成方式で、日本6%、米国7%、EU8%の削減目標が設定された。
- (2) 削減目標値達成のため、次の方式を認める。
 - A. 吸収源として森林などの分を差し引くネット方式
 - B. 先進国の間でプロジェクトを行う共同実施
 - C. 途上国とのプロジェクトを通して削減する、クリーン開発メカニズム
 - D. 排出量取引

7. 京都議定書の問題点と今後の課題

京都議定書は京都で採択されたにもかかわらず、1990年以来の日本のエネルギー消費は1999年までに7%も増えてしまった(第4図)。そこで、政府は2002年3月に地球温暖化対策推進新大綱を発表し、代替フロン総排出は2%の増加、メタンは0.5%の減少、一酸化二窒素は0.5%の減少、森林吸収では3.9%の減

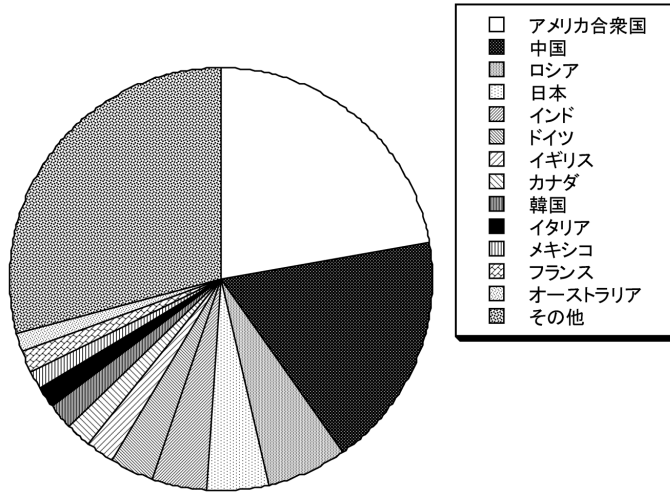
少、革新的技術等により2%の減少を目標として、不足分は京都メカニズム(クリーン開発制度、排出権取引等)を活用するとしたが、その達成は危ぶまれている。実際エネルギー消費は、1990年と比較すると業務部門(143.9%)、旅客部門(141.9%)、家庭部門(126.5%)で高率での増加となり、産業部門(102.6%)、貨物部門(96.5%)ではほぼ横ばいあるいは微減であった(経済産業省、2007)。ちなみに、2004年での部門別エネルギー消費は、産業部門が44.8%、民生部門の家庭と業務がそれぞれ13.0%、18.1%、運輸部門の旅客と貨物がそれぞれ14.8%、9.3%であった。

第5図に2004年における各国の温室効果気体の排出割合についてまとめた。米国は温室効果気体の排出で世界の22%を占めているにもかかわらず、京都議定書不支持の姿勢を変更していない。実効性のある地球温暖化対策を確保する意味でも米国の京都議定書への参加は重要である。また、中国、インドなどもかなり多くの量の排出をしているにもかかわらず本議定書では削減の対象国とはなっていない。

そこで、2007年のドイツ国ハイリゲンダム・サミットにおいて、地球規模での排出削減目標として、2050年までに地球規模での排出量を少なくとも半減させることを含む決定をEU、カナダ、日本が真剣に検討することとなった。特に、すべての主要排出国を対象として、2012年以降(ポスト京都議定書)の合意に達するための努力が求められている。この中では、中国、インド、ブラジル、メキシコ、南アフリカの5カ国が「共通だが差異のある責任」の原則のもとで、気候変動に関し、貢献していくことで合意とあるように、主要排出国すべての国が参加することが要請されている。

8. 排出権取引

欧州連合(EU)は2007年3月、二酸化炭素などの温室効果気体の排出量をEU内部で1990年を100として、2020年までに20%以上減少させることで基本合意した。EUは、2005年1月からEU加盟国内でキャップ・アンド・トレードという温室効果気体の排出量取引の一種を開始した。これは、加盟各国が総排出量を決定し、その上で、企業や業種ごとに排出量の枠を決めて、実施に排出量が枠を下回った企業などが、上回った企業などにその差を「排出権」として売却できるシステムのことで、昨年度中に約3兆円に相当す



第5図 2004年における国別の二酸化炭素排出量。

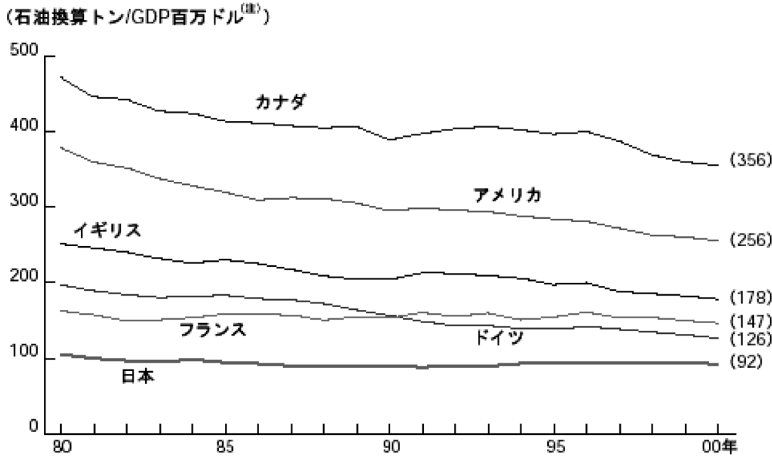
第1表 2004年における二酸化炭素排出量 (総務省統計研修所, 2007 : 「世界の統計」)。

	二酸化炭素 排出総量 (CO ₂ 換算百万t)		二酸化炭素 排出総量 一人あたり	二酸化炭素 排出総量 1,000\$あたり
アメリカ合衆国	5874	22.1%	20.0	0.50
中国	4807	18.1%	3.7	2.48
ロシア	1591.3	6.0%	11.1	2.70
日本	1279.7	4.8%	10.0	0.28
インド	1144	4.3%	1.1	1.66
ドイツ	847	3.2%	10.3	0.31
イギリス	579.3	2.2%	9.7	0.27
カナダ	542.7	2.0%	17.0	0.55
韓国	469.3	1.8%	9.8	0.69
イタリア	454.7	1.7%	7.8	0.26
メキシコ	407	1.5%	3.9	0.60
フランス	403.3	1.5%	6.7	0.20
オーストラリア	354.9	1.3%	17.6	0.56
その他	7774.1	29.3%		
各国合計	26528.3	100.0%		

排出量の単位は百万t-二酸化炭素換算
EDMC/エネルギー・経済統計要覧2007年度版

人口統計, 日本: 総務省統計局「国勢調査」及び「人口推計」による10月1日現在の人口,
中国: 中国国家統計局による12月31日現在の人口, 台湾, 香港及びマカオを除く,
インド: ジャム・カシミールを含む。

主要国のGDP当たりのエネルギー供給量の推移



(注) 1995年の米ドルで計算

出典: ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES, 1999-2000

第6図

主要国のGDPあたりのエネルギー供給量の推移(総務省統計研修所, 2007, 「世界の統計」).

る規模の市場にまで拡大した。

9. 日本と外国のエネルギー消費の効率性

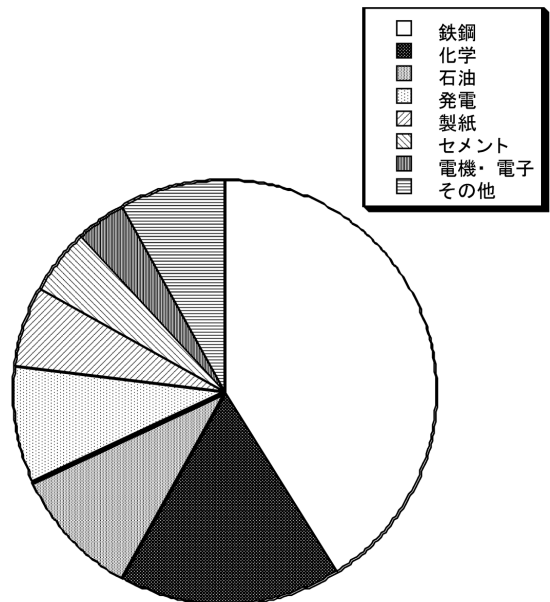
日本は大量の二酸化炭素を排出しているにもかかわらず、二酸化炭素排出の削減があまりうまくいっていないと思う人もいるかもしれない。日本の場合には諸外国と比較して、石油ショック以降の省エネルギーにより非常に効率の高い社会システムが構築されている(第1表)。

2004年の日本人一人あたりの二酸化炭素排出量は10.0tで、これはヨーロッパのイギリス、ドイツと同等、アメリカ合衆国の20.0tなどと比べると半分、中国・インドの3.7t、1.1tなどと比べると数倍以上となる。一般に面積が広く、人口密度の低いカナダ、オーストラリアなどでは、一人あたりの二酸化炭素排出量はアメリカ合衆国程度となっている。

GDP100万\$を稼ぐためにどの位のエネルギーを使用しているのかを時系列にプロットしたのが第6図で、日本は先進国の中でも断トツトップである。この図のもう一つの特徴は、他の国々でも年々値が減少し、効率化が進行中であることである。

これをもう少し数字で比較するために、2004年における統計を第1表に示す。1,000\$を稼ぐために二酸化炭素をどのくらい排出するのかという値をみる

と、日本は0.28tで、世界の中でも最高レベルで経済が運用されていることがわかる。ドイツ、イギリス、イタリア、フランスなども高いレベルで運用されていることがわかる。アメリカ合衆国は日本の2倍である。意外に思われるかもしれないが中国、ロシア、インドなどではこの値がかなり大きい。韓国も日本の値の倍以上である。第6図では日本が断トツトップであったが、表



第7図 国内の産業別の二酸化炭素排出量の業種別割合。

第2表 日本における一次エネルギー国内供給の変化(総務省統計研修所, 2007:「日本の統計」).

(単位 PJ)

年 度	国内供給 計 1)	エネルギー種別					
		石炭	原油 2)	石油製品	天然ガス 3)	事業用 水力発電	原子力発電
1975	14,248	2,519 18%	10,195 72%	106 1%	386 3%	805 6%	237 2%
1980	15,805	2,863 18%	9,674 61%	621 4%	1,012 6%	857 5%	778 5%
1985	16,315	3,291 20%	7,698 47%	1,424 9%	1,600 10%	799 5%	1,503 9%
1990	19,172	3,347 17%	8,974 47%	2,029 11%	2,102 11%	833 4%	1,887 10%
1995	21,528	3,729 17%	10,174 47%	1,626 8%	2,538 12%	761 4%	2,700 13%
2000	22,147	4,206 19%	9,645 44%	1,512 7%	3,133 14%	778 4%	2,873 13%
2004	22,241	4,965 22%	9,077 41%	1,523 7%	3,359 15%	829 4%	2,488 11%

推計方法変更のため平成2年以降は昭和60年以前と接続しない。国内供給は右欄の各々の項目を合計したもの。1) 平成2年度以降は統計誤差を含む。2) 天然ガス液を含む。3) 輸入天然ガス(LNG)を含む。(IPCC, 2001); 資源エネルギー庁長官官房総合政策課「総合エネルギー統計」, ホームページ。

と多少食い違っているように思われるかもしれないが、これは外国為替によるものである。現在、円はドル、ユーロに対して過去30年間で歴史的にも非常に安いレベルで、実効ベースの為替で計算すると、日本のエネルギー効率の値は非常に高くなる。

日本は、石油ショック以降、エネルギー効率を高めてきたので、京都議定書のような、総量規制のみでは外国の国々と比べて非常に不利である。もともとある物を作ったり、ある事柄を実施するのに必要なエネルギー消費で比較することが重要である。例えば、ある金属1トンという製品を製作するのに必要な燃料などのエネルギー消費量を表わしたのが「エネルギー原単位」である。この値が低いほど省エネルギー効率が高く、二酸化炭素の排出などが削減されていることを意味している。日本は「エネルギー原単位」をベースにした二酸化炭素削減案を世界に提案してゆくことが必要かもしれない。

日本の産業の中での二酸化炭素排出の相対的な割合を示したのが、第7図である。これによると、鉄鋼業が全体の41%を占め、非常にエネルギーを消費する産業であることがわかる。鉄は酸化鉄である鉄鉱

石を高炉で2,000℃以上に加熱し、酸素を取り除いて生産するが、その際、コークスが酸素と反応して、二酸化炭素が放出される。将来的には、「水素還元製鉄」というコークスの代わりに水素を利用して酸化鉄を鉄に変える方法が検討されている。

10. 化石燃料と資源保護

二酸化炭素の発生源として化石燃料が重要なことを述べてきたが、主な化石燃料としては、石油、石炭、天然ガスがある。2004年の統計によれば(第2表)、一次エネルギーの国内供給は、石炭が22%、石油関係48%、天然ガス15%、水力発電4%、原子力発電11%となっている。約30年前の1975年では、石炭が18%、石油関係73%、天然ガス3%、水力発電6%、原子力発電2%となっており、石油が減少し、天然ガスと原子力発電が大幅に増加している(総務省統計研修所, 2007:「日本の統計」)。

炭化水素を主体とする石炭、石油関係、天然ガスについて、同量のエネルギーを得る時に排出される二酸化炭素の量に大きな違いがある(第3表)。相対

第3表 化石燃料間の二酸化炭素排出特性と資源量の比較。

特性、資源量	石油	石炭	天然ガス
CO ₂ 発生量 (t-C/teraJ)	20	26.8	15.3
CO ₂ 発生量割合	75%	100%	57%
NO _x 発生量割合	71%	100%	20%
SO _x 発生量割合	68%	100%	0%
確認可採埋蔵量：R*	1.2	9091	180
究極埋蔵量：E*	2.4	92880	296
年生産量(億t)：P**	0.0296	58.65	2.763
可採年数 R/P比	40	155	65
E/P比	81	1580	107

備考：* 単位：原油は兆バレル、石炭は億t、天然ガスは兆立方m。

** 単位：原油は兆バレル/年、石炭は億t/年、天然ガスは兆立方m/年。

比として表わすと、石炭、原油、天然ガスで100：75：57となる。窒素酸化物NO_xでは、石炭100、原油71、天然ガス20となる。日本に輸入される液化天然ガスではすでに硫黄分が除去されているので、硫黄酸化物の排出量は石炭100、原油68、天然ガス0である。このような状況から環境保全にとって天然ガスの使用が最も好ましいことがわかる。このことは、「環境に優しい生活」のためには、石炭を主に使っている人は石油を、石油を主に使っている人は天然ガスに転換することにより、二酸化炭素および関連の汚染物質の排出量を減らせるということになる。実際、日本など先進国はこの20-30年、天然ガスの消費を急速に拡大してきた。しかしながら、天然ガスは価格が高いため発展途上国での普及は相対的に進んでいない。

11. 地球環境問題と資源問題

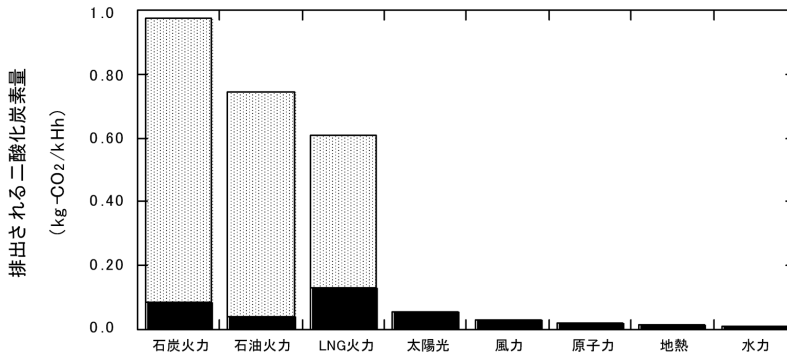
さて、IPCCの将来予測などはだいたい100年先の西暦2100年あたりがターゲットになっている。一方、資源の可採年数は確認可採埋蔵量で計算した場合、原油では40年、天然ガスでは65年、石炭では155年と計算される。原油については、過去数十年にわたり可採年数は40年程度で推移してきた。生産量も増加したが、それに比例して新たな油田が発見され、可採埋蔵量も増加したためである。しかしながら、サウジ

アラビアのガワール、クウェートのブルガン油田などの巨大油田の発見は1950年より以前で、それ以降は比較的小・中規模の油田の発見が多く、将来同じような割合で可採埋蔵量が増加するとは言えない。この分野の専門家の一人であるEdwards(1997)によれば、2020年あたりに生産量のピークがきて、今世紀末には現在未発見の原油資源も含めて、原油はほとんど枯渇するとの予測をしている。そこで、究極埋蔵量を基にした原油の可採年数は今後この計算よりあまり伸びない可能性が高いと言える。また、可採年数は現在の使用量によるので、天然ガスの消費が現在より急速に伸びれば、この可採年数は短くなると予想される。そこで、究極埋蔵量を基にするとエネルギー資源は、原油と天然ガスで100年程度、石炭で1,500年程度もつものとして予想することができる。

この資源問題を前述した地球環境問題と併せてその特徴を考えると、地球環境の保全という意味では、石炭→原油→天然ガスのように転換するのが望ましいが、資源保護という観点では原油・天然ガス→石炭という方向が望ましく、両者の関係は全く逆になってしまう。今世紀は両者の問題の対立点がクローズアップされると予想される。

もちろん、化石燃料の消費量を減らすような生活が望ましいが、1990年から2004年での部門別エネルギー消費で、私達個人個人の意志でもある程度抑制できる家庭部門および旅客部門のエネルギー消費が141.9%、126.5%と高く伸びていることは、人間というものが快適さを求め続ける生き物であることを示しており、エネルギーを消費しないような生活に逆戻りすることは現実的な解決策ではないことを意味している。そこで、従来から言われているようなエネルギー効率を上げる以外に、あまりよい方法はないかもしれない。

危険化学物質による環境問題から、反対の声もあるが、原子力発電は二酸化炭素の排出が極めて小さいという特徴がある(第8図)。最近アメリカ合衆国は、新しい原子力発電所を再び建設するように政策を転換した。ヨーロッパでは、ドイツ、イタリアなどでは、原子力発電所の新規建設は近年行われてこなかったが、両国ともフランスより電力を輸入している。フランスでは発電量の実に78%が原子力で、フランスからの輸出される電力の相当量は原子力起源の電力が寄与している。



第8図 日本の電源別ライフサイクルアセスメント二酸化炭素の比較(電機事業連合会, 2005)。暗色は設備・運用に関わる部分を、淡色は発電燃料燃焼に伴う二酸化炭素排出量を表わす。原子力は二酸化炭素を排出しないため有望ではあるが、ウランを燃焼させる方法のみであると、可採年数は85年と石油・天然ガス程度の可採資源量しかない。

12. 地球環境問題の解決と環境保全

オランダ、ノルウェーでは地球環境問題を改善するため、「炭素税」等の導入などにより環境対策が強化されている。特に、ノルウェーでは、スタットオイル社が原油採掘の時に原油に不純物として含まれる二酸化炭素を分離し、帯水層に年間100万tを圧入貯留しているとされ、炭素税の導入が引き金となり、投資額は2年間で回収されたと報告されている。将来的には世界の国々で、代替エネルギーに加えて緊急避難的方法、すなわち二酸化炭素の地中あるいは海洋隔離・貯留も採用されるかもしれない。

但し、海洋では二酸化炭素が産業廃棄物として分類されるため、ロンドン条約で海洋投棄が禁止されている。そこで、二酸化炭素の海洋隔離・貯留は現在のところ難しいとされる。これらの方法が地球環境問題の解決方法の一つであっても、現在の環境保全の方が優先されているということになる。

しかしながら、現在の地球表層環境では、化石燃料などにより大気中に放出された二酸化炭素のそれぞれ25%づつが陸域および海洋で吸収されている。そこで、数十年経過すると海洋はかなり大量の二酸化炭素を吸収することになる。そこで、この将来にわたって吸収する分をあらかじめ海洋中層あたりに注入することは、最善でないにせよ、吸収量を前倒して、地球環境問題の対策の一助になるのではないかと考える人もいる。

13. 資源と地球環境問題とのつなひき

産油国は京都議定書に非常に慎重である。環境保護の観点からは、原油の生産に伴う不純物としての二酸化炭素を産油国の油田で圧入貯留して、排出量取引などとリンクすることでもう少し前向きな対応が期待できるかもしれない。

もともと原油には数%以上の二酸化炭素が含まれており、二酸化炭素は酸性化をもたらし、生産ラインのパイプを傷めるので、二酸化炭素の圧入自体は生産からみても合理的と言える。その上、回収した二酸化炭素をそのまま地中に圧入して、排出権として機能するならば環境にとっても好ましいと言える。2002年4月IPCCでは二酸化炭素地中貯留・海洋隔離について言及している。

14. 地球の容量の限界と将来の課題

これまで地球温暖化問題や資源問題について述べてきたが、このような問題がクローズアップされてきたのは、一言で言うと、人類の活動の影響が地球的レベル(Global)で認識できる所まで大きくなってきたと言えることができる。しかしながら、自然の力は依然として大きいので、人類活動が自然の状態を支配しているとの考えは正しくない。

1970年代にローマクラブで資源に関連して「地球の容量の限界」が認識されたが、環境においても「容量

の限界」という言葉に表れる現象が明らかになってきたとすることができる。この概念は、近年の水問題、フロンやハロンによるオゾンホールが発生、危険化学物質による環境汚染などにもあてはまる。

今世紀は人口増加とあいまって、資源消費が増加し、地球環境にも多方面で人類活動の影響がでてくるものと予想される。人類はこれまで「公害」のような比較的狭い範囲で加害者と被害者が特定できるものについては問題を解決してきたが、「地球環境問題」のように範囲が広く、しかも、加害者と被害者の関係が特定できないものについては、抜本的な解決法を見出してこなかった。フロンガスの規制はこのような中であって画期的なものであった。しかし、フロンガスについては、この化学物質を生産する会社や国が限られていたために実施できたという側面も否定できない。この小論では、現代社会が、地球環境問題と資源問題が密接に関わる所まで到達したことを述べたが、問題解決に際しては、個々の分野で省エネルギーを推進するとともに、人類にとって新しい解決法を見出すことが必要であるということを最後に指摘したい。

謝辞：本稿を準備するにあたって、文科省科学研究費補助金基盤研究A(17253006)「熱帯域の高精度環境復元と高緯度氷床と低緯度域環境とのリンケージの評価」と科学研究費補助金基盤研究(B)「浮遊性有孔虫殻の安定同位体と微量化学成分のグローバルマッピングと古海洋への応用16340161」の研究費を使用した。

用語解説

究極可採埋蔵量：石油およびガスなどの資源が地下に存在すると推定される総量が埋蔵量である。実際の開発

において地表に取り出せる量は地下に存在する資源総量の一部となってしまうが、採取の経済的技術的条件を無視し、物理的に採取可能な埋蔵量が究極可採埋蔵量と呼ばれる。

確認可採埋蔵量：資源の場所が特定され、現在の技術で、経済的に見合うというコストで採掘できるという条件を充たすのが確認可採埋蔵量である。

可採年数：ある年の確認可採埋蔵量(R：reserve)を、年生産量(P：production)で割った値のことで、通常R/Pで表される。これは、現状のままの生産を続けた場合、何年生産が可能であるかを表す。新しい資源が見つかるるとRが大きくなるので可採年数は増加し、Rが一定で生産量が大きくなると可採年数は小さくなる。

引用文献

- Edwards, J.D. (1997) : Crude oil and alternate energy production forecasts for the twenty-first century: The end of the hydrocarbon era. American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Bulletin vol. 81, no. 8, 1292-1305.
- IPCC (気候変動に関する政府間パネル) (2001) : IPCC第三次評価報告書. 気候変化2001, 統合報告書, pp.30.
- IPCC (気候変動に関する政府間パネル) (2007) : IPCC第4次評価報告書第一作業部会政策決定物向け要約. pp.25.
- 経済産業省 (2007) : 平成17年度 (2005年度) エネルギー受給実績 (確報) 概要. pp.4.
- 資源エネルギー庁長官官房総合政策課「総合エネルギー統計」, ホームページ.
- 総務省統計研修所 (2007) : 世界の統計2007. 総務省, pp.414.
- 総務省統計研修所 (2007) : 日本の統計2007. 総務省, pp.405.
- 電機事業連合会 (2005) : Energy Note 5, 3.
- 電力中央研究所 (編) (1998) : 次世代エネルギー構想-このままでは資源が枯渇する-, p21, 電力新報社.
- 町田 洋・大場忠道・小野 昭・山崎晴雄・河村善也・百原新 編著 (2003) : 第四紀学. pp.336, 朝倉書店, ISBN978-4-254-16036-9.

KAWAHATA Hodaka (2008) : Global warming and energy resources problems - A subject to be solved in this century-

<受付：2007年7月31日>