

特集  
エネルギー  
効率的な利用の実現に向けて

Special Features  
Energy  
To achieve effective use of it

基本的な解決すべき問題  
Basic problems to be solved

## 化石燃料の利用に伴う諸問題

環境面、枯渇性

北野 大

KITANO Masaru

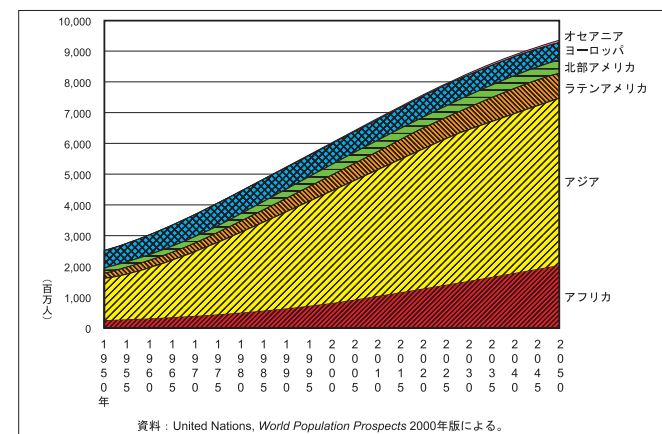
淑徳大学/国際コミュニケーション学部/教授



### 1—20世紀とは

20世紀は西暦1901年から2000年までの100年間の時代区分である。21世紀に入ってから約5年になるが、今ここで20世紀を振り返り21世紀のあり方を考えることは意味があると思う。20世紀をどのような世紀と見るか。その切口によりまた人により異なるが、1914年から4年間続いた第一次世界大戦、1939年から6年にわたる第二次世界大戦と20世紀前半には2つの世界大戦を経験した。その後も1990年の湾岸戦争など局地的な戦争は枚挙に暇がなく、正に20世紀は戦争の世紀だったと言える。これらの戦争の主たる原因は民族の相違、宗教の相違、そして資源の獲得であった。

一方、別の切口から見れば20世紀は人口爆発の世紀でもある。総務省統計局のデータによると、1801年～1900年の19世紀の100年間に世界の人口は9億7,800万人(1800年)から16億5,000万人へと6億7,200万人増加したが、2000年の人口は60億5,700万人であり、20世紀には約44億人も増加している。まさに人口増加ではなく人口爆発という表現が当てはまる。それでは世界の人口



■図1—世界の地域別人口の推移(1950年～2050年)

口は何人まで増えるのであろうか。2050年には93億人になると推計されている。問題は図1に示すように今後の地球の人口増加が主として発展途上国での人口増加によるものであることである。逆に我が国の人口は2006年をピークに減少するものと考えられている。江戸末期3,400万人程度と推定されていた人口は、その後増え続け、2005年には1億2,770万8千人となった。人口の減少は従来の増加する人口にどのように対処するかという命題とは全く逆の発想と知恵を必要とするものである。

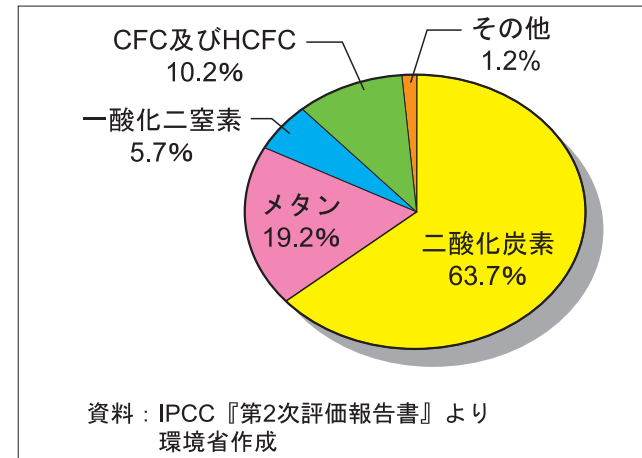
先に述べた戦争は一方の面では技術の進歩を促した。また人口の増加、長寿命化も技術の成果と考えられる。従って20世紀は技術の世紀とも言えよう。

### 2—20世紀の人類

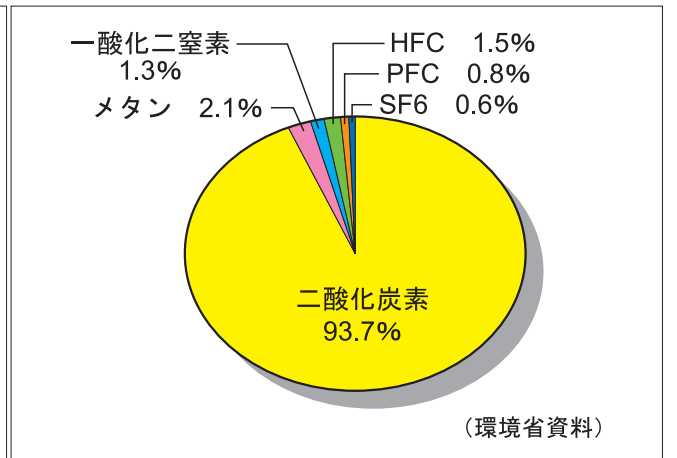
#### ●1 資源の枯渇性の認識

1972年民間のシンクタンクであるローマクラブは「成長の限界」を発表した。この中で経済の急速な成長や人口の増加が環境破壊や食料不足の問題を引き起こすこととともに、人間活動の基盤であるエネルギーや鉱物資源が有限であることを警告した。ここでいう有限とは別の表現をすれば枯渇となる。化石燃料の場合の枯渇とは石炭、石油、天然ガスの主成分である有機炭素化合物が燃焼(酸素との反応)により二酸化炭素と水に不可逆的に変化することを意味する。即ち化石燃料そのものの量が減少していく訳である。

一方、鉱物資源の場合、枯渇の意味は化石燃料の場合と異なることに注意したい。この場合の枯渇とは現在の我々が有する技術と経済水準では使えない状態になることを意味する。鉄を例として考えてみる。現在の技術、経済水準では製鉄原料となる鉄鉱石は鉄分含有量として40～50%以上が必要とされる。鉄やアルミ製の



■図2—産業革命以降人為的に排出された温室効果ガスによる地球温暖化への直接的寄与度(1992年現在)



■図3—我が国が排出する温室効果ガスの地球温暖化への直接的寄与度(1999年単年度)

飲料容器を使用後に回収、リサイクルすることの必要性はまさにここにある。鉄は使用後、環境に放置すれば酸化されてFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(赤サビ)、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(黒サビ)となるが、Fe(鉄)という原子自体が別の物質に変化する訳ではない。きちんと回収しないで環境中に放置すると鉄分の含有量が低くなり使えない状態になってしまう。ちなみに海水中には地中の約1,000倍のウランが存在すると推定されるが、イオン交換繊維を用いて回収する現在の技術では、通常の数倍のコストがかかり、現在の経済水準では利用できる状態にはない。

#### ●2 人為的な気候変動

ここでいう気候変動は具体的には温暖化である。代表的な温室効果ガスである二酸化炭素の大気中濃度は18世紀の産業革命のころは約280ppmであったが現在は約370ppmに上昇し、その結果として地球の気温は過去100年間で0.6±0.2℃上昇した。問題はわずか100年間でのこれだけの増加であること、またこの傾向が今後も続くと考えられることである。地球の平均気温15℃に対する絶対値としての0.6℃は人間の体温に換算すると約1.5℃の上昇、体温は38℃となる。

気温上昇の将来予測であるが、2100年には1.4～5.8℃さらに上昇することが予測され、異常気象の頻度・規模が激化する恐れがある。確かに個々の異常気象(昨年の10個の台風の上陸、東京での70日の夏日、集中豪雨の数)を直接に地球温暖化を原因とするには現在の科学的知見からは不明確であるが、先述したように温暖化の進行が洪水や干ばつなどの異常気象を増加させることは間違いないであろう。

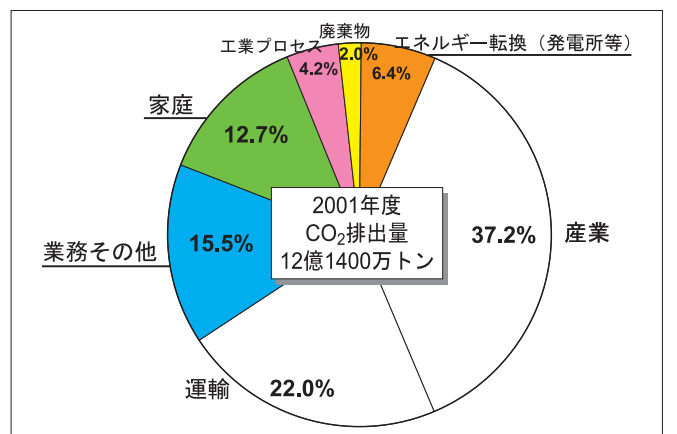
### 3—化石燃料の使用と地球温暖化問題

#### ●1 温室効果ガス

京都議定書では6種類の温室効果ガスを排出削減対象としているが、地球温暖化への寄与度は図2、図3に示すように二酸化炭素が地球全体としては約2/3、我が国では実に93.7%であり、温暖化問題＝二酸化炭素の問題、即ち化石燃料の使用というエネルギー問題と理解されよう。

#### ●2 二酸化炭素の部門別排出内訳

図4に示すように我が国の二酸化炭素排出量は年間約12億トンであり、産業部門が約37%、運輸部門が22%と続いている。排出量は2003年にはさらに増加し13億3,600万トンにもなっており、これは京都議定書での基準年の1990年よりも8.0%の増加となる。京都議定書は本年2月16日発効したが、これにより我が国の義務は基準年から14%の削減となる。14%の削減とは約1/7のエネルギー使用の削減であり、その困難性が十分に理解されよう。なお京都議定書では森林吸収源として3.9%、その他にいわゆる京都メカニズム(温室効果ガス削減を



■図4—2001年度のCO<sub>2</sub>排出量の部門別内訳



より柔軟に行うための経済的仕組み)が用意されているが、これらに頼る前に排出削減の手段を講じることが問われていることは言うまでもない。

### ●3 温暖化の例と被害

20世紀最後の1990年代は過去1,000年間で最も地球の平均気温が高い10年であった。我が国においても年平均気温の上位10位のうち、1位から7位までが1990年以降の年に入っている。昨年(2004年)の東京の夏については既述したが、2004年は過去2番目の高水準の年であった。

温暖化の影響は気象条件の変化、生態系への影響をもたらすほか、人の健康に対しても直接、間接に大きな影響を及ぼす。WHO(世界保健機関)の調査によると全世界のマラリア患者の2%、下痢性疾患の2.4%が気候変動の影響によるものとしており、これにより2,000年の時点で年間15万人の死者が出ると推計している。この他に海面上昇の問題もある。IPCC(気候変動に関する政府間パネル:政府間機構)の予測によれば2100年までに1990年に比し9~88cm水位が上昇すると考えられている。我が国の海岸線は約35,000km、海に面する市町村には全人口の46%、工業出荷額の47%、商業販売額の77%が集中している。温暖化→水位上昇→災害発生→被害規模の拡大という負の連鎖も心配される。また水位の上昇そのものが海岸の地形を変えることになる。試算によると海面水位が30cm上昇すると、我が国の砂浜の50%以上が消滅する。このような変化は生態系への影響ばかりでなく産業(漁業、レジャー産業など)への影響としても現われてくる。

### 4—人類のエネルギー利用の歴史

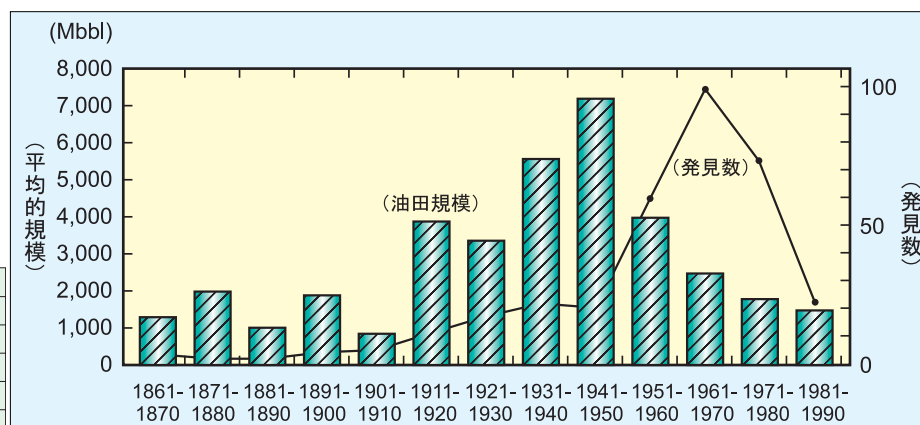
前節では温暖化の問題を化石燃料の使用に伴う、エネルギー問題として捉えてきた。ここでは人類のエネルギー利用について振り返る。表1に示したように18世紀の産業革命の前までは人類は地上に輝く太陽を

■約50万年前	火の利用
	山火事、火山の噴火、落雷
■約1万年前	農耕の開始
■約2,200年前	水車の発明
■約1,300年前	風車の発明
■8世紀	黒色火薬の発明
■18世紀	石炭の利用
■19世紀	石油の利用
■20世紀	天然ガスの利用 原子力の開発

エネルギー源としてきた。火の利用では太陽の光合成産物である、いわゆるバイオマスが燃料であり、農耕は太陽エネルギーの意図的な利用、水車は太陽の熱エネルギーを雲としての位置のエネルギーへの変換後、水流により回転、風車は陸地と海との比熱の差により生ずる気圧差としての風を利用するものである。これらの太陽エネルギーは無敵、クリーンというメリットを持つ一方、エネルギー密度が低く、安定性に欠けるというデメリットがあった。18世紀の産業革命では人々は新たなエネルギー源として地下の化石燃料を用い出した。これらは地下に貯蔵されたかつての太陽エネルギーの産物であり、別の表現をすれば人々は産業革命を契機に地上の太陽から地下の太陽にエネルギー源をシフトし、それにより大量のエネルギーを安定に得た。その反面、地域的には大気汚染、地球規模では温暖化という負の影響を受けることになった。なお、表1中の黒色火薬の発明は人類が新たにエネルギーを創出したという意味を持つ。

### 5—化石燃料、特に石油の利用と枯渇性

ここでは現在の我が国の一次エネルギー供給の約50%を占める石油について考えてみる。確認可採埋蔵量(現在の技術と経済水準で採掘が可能な量)を生産量で除して、確認可採年数を算出しているが、2000年時点では39.6年である。筆者が中学生の時に石油はあと30年と学んだことを今でも記憶しているが、可採年数のトレンドは25~45年であり、枯渇どころか最近では可採年数がむしろ長くなってきているとも言える。その理由の1つには新たな油田の発見による確認可採埋蔵量の増加(1980年0.65兆バレルが現在では1.05兆バレル)がある。しかしながら図5に示すように最近では新たに発見される



内山洋司、エネルギー工学と社会(2003)より引用。

図5—発見された油田の平均的規模と発見数

表2—湾岸5か国における埋蔵量の再評価 (単位:億バレル)

国	1979年12月末	1989年12月末
イ ラ ン	580	929
イ ラ ク	310	1,000
ク ウ ェ ー ト	654	945
サウジアラビア	1,634	2,550
アラブ首長国連邦	294	981
湾 岸 計	3,472	6,450
O P E C 全 体	4,536	7,671

内山洋司、エネルギー工学と社会(2003)より引用

油田の数も減り、またその規模も小さくなっている。それにも増して確認可採年数が40年台を維持しているのは表2に示す既存油田の埋蔵量の再評価がある。これには資源量自体の再評価に加えて回収技術の進歩が大きな貢献をしている。

さて、究極的には石油はあと何年持つのであろうか。筆者は石油の有機起源説を支持するものであり、また燃

表3—石油の究極可採埋蔵量の推計 (単位:10億バレル)

発表年	発表者	究極可採埋蔵量	発表年	発表者	究極可採埋蔵量
1942	プラット、ウィーク 及びステビンガー	600	1977	世界エネルギー会議	2,193
			1978	CIA (Rand Corp.)	2,300
1946	デュース	400	1979	ウッド	2,200
◇	ボーグ	555	◇	ハルプーティ、 ムーディ	2,128
1948	ウィークス	610			
1949	レポーセン	1,500	◇	ルールド	2,400
◇	ウィークス	1,010	1980	世界エネルギー会議	2,574
1953	マックノートン	1,000	1983	マスターズ、ルーツ、 ダイツマン (第11回世界石油会議)	1,718
1956	サッバート	1,250			
1958	ウィークス	1,500			
1959	◇	2,000	1986	石油鉱業連盟	1,978
1965	ヘンドリックス (米国地質調査所)	2,480	1988	第12回世界石油会議	1,744
			1991	第13回世界石油会議	2,171
1967	ライマン	2,090	1992	キャンベル	1,650
1968	シェル	1,800	1992	モントデント、 アラツァード	2,200
◇	ウィークス	2,200			
1969	ハッパート	1,350~2,100	1993	タウンス	2,600~3,000
1970	ムーディ	1,800	1994	マスターズ、アタナシ、 ルーツ	2,272
1971	ワーマン	1,200~2,000			
◇	ウィークス	2,290	1996	キャンベル	1,750
1975	ムーディ及びガイガー	2,000			

引用:内山洋司、エネルギー工学と社会(2003)より引用

焼により無機物へと人類のスパンでは不可逆的に変化することは疑いもない事実である。表3に石油の究極可採埋蔵量を示す。現在の世界の石油生産量は年間270億バレル、究極可採埋蔵量は2.2兆バレル、既に0.75兆バレルの石油が消費されていることから、可採年数は(2.2-0.75)兆バレル/270億バレル=53.7年ということになる。しかしながら一般的には資源が枯渇するに従い生産量も減少するため、可採年数は無限となる。しかしこの可採年数の無限は何ら意味を持たないことは言うまでもない。内山\*によると油田の生産量は初期段階では指数関数的に増え、ある生産レベルに達するとプラトー状態(伸び悩み)になり、その後は油田の持つ初期埋蔵量の50~60%が消費されると次第に減産していくとしている。この考え方によると2015~2020年頃になると減産がはじまることになる。これは生産量が変化しないという前提での計算であり、今後は発展途上国での石油需要が大きく増加することは間違いのない。従って非在来型の重質油、オイルシェール、タールサンドなどの資源を考慮しても、そう遠くない時期に石油の減産が始まると覚悟をする必要がある。石油に代わるエネルギー源の開発である。

### 6—今後のエネルギー対策

政府の定めたエネルギー基本計画の考え方が最も妥当な方向であろう。即ち化石燃料と原子力を基本としつつ、新エネルギー(太陽光発電、風力発電、バイオマス)をさらに普及発展させベストミックスの考え方(供給の安定性、価格、資源の枯渇性、環境面)に加えて新エネルギーの持つ副次的効果(分散型のエネルギー源、エネルギー自給等の向上)も併せ期待しつつ進める方向である。

エネルギーは人類にとって不可欠なものであり、ハード面でのエネルギー技術の発達とエネルギーユーザーとしてのソフト面でのモラルの発達の両輪が更に重要になる。Good Energy Practiceを教育の場でも推進していかなければならない。

\*内山洋司、新訂エネルギー工学と社会 (財)放送大学教育振興会(2003年3月)



写真1—Good Energy Practiceの教育(日本科学未来館にて)