

エネルギー問題

京都大学・原子炉実験所 小出裕章

I. エネルギー消費の歴史と現代

エネルギーと寿命

人類を他の生物と区別して人類らしくしたものは火や道具の使用でした。そして、エネルギーの消費は人類の寿命にも密接に関係しています。図1に過去の日本のエネルギー消費量と寿命との関連を示します。現在、日本は世界一の長寿命国になっていますが、100年前は、日本人の平均寿命は40歳代でした。当時はまだ日本では電気すらろくに使えない時代でしたし、一人ひとりのエネルギー消費量も現在の私たちに比べれば10分の1ほどしかありませんでした。ただ、図1を細かく見れば、幾つか大切なことに気づきます。第一に、利用できるエネルギー量が絶対的に少ないと人は長生きできないということです。第二は、絶対的に不足していたエネルギー消費量をわずかに増加させることができれば、寿命が飛躍的に延びるということ、そして第三に、ある程度以上のエネルギー消費は寿命の延長に役に立たないということです。1960年代の高度成長期やバブル期を含めた1990年前後には、エネルギー消費は急激に伸びましたが、その期間における寿命の伸びはほんのわずかでしかありません。今の日本では、生きるのではなく、贅沢をするためにエネルギーが使われています。

平均寿命 [歳]

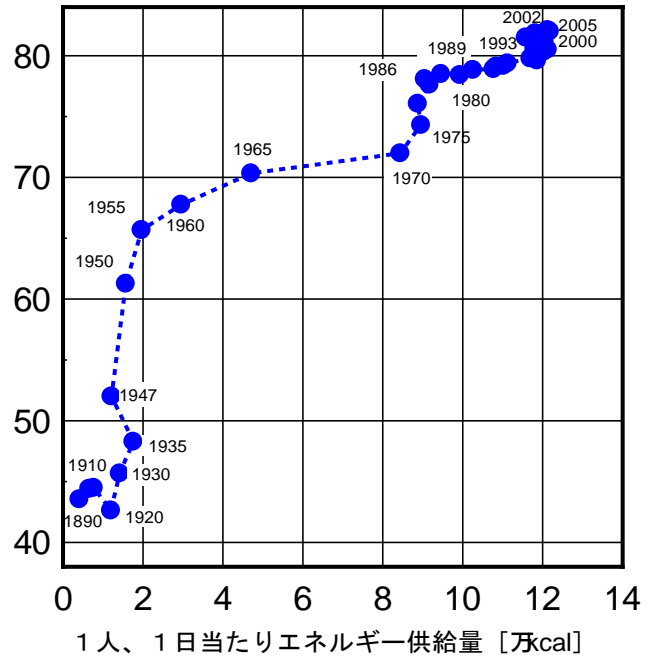


図1 日本におけるエネルギー消費量と寿命

地球の歴史と人類の歴史

地球は46億年前に誕生したといわれます。誕生当初の地球は生命が根付くには過酷過ぎ、生命が誕生するまでには数億年の時の流れが必要でした。40億年前に生まれた生命は、おそらくは今の常識から言えば、生命と呼ぶにはあまりにも原始的なものだったでしょう。その後、様々な生物種が生まれ、そして滅びました。人類と呼べるような生物種がこの地球上に誕生したのは、400万年前とも600万年前とも言われますが、地球や生命の歴史に比べれば、人類の歴史などいづれにしても1000分の1の長さでしかありません。もし、地球の歴史を1年として1月1日から時をたどれば、人類が発生したのは春も夏も秋も過ぎ、冬が来て、大晦日の午後になってからに過ぎません。

その人類は現在地球上で栄華を極めていますが、人類が今日のようにエネルギーを膨大に使い始めるようになったのは18世紀末の産業革命からで、それ以降わずか200年しか経っていません（図2参照）。それを地球の歴史を1年と考える尺度に当てはめれば、大晦日の夜11時59分59秒にしかならず、残り1秒のことです。その200年の歴史で人類が使ったエネルギーは人類が数百万年で使った全エネルギーの6割を超えます。

人類の贅沢の陰で絶滅する生物

そのため、地球の生命環境は危機に瀕しています。命あるものいずれ死ぬのは避けられません。個体にしてもそうですし、種としての生物もそうです。地球上には、これまでもたくさんの生物種が生まれては滅んできました。数千万年前までこの地球を支配していたといわれる恐竜たちも、忽然と姿を消しました。その原因は、宇宙からの巨大隕石の落下だという説もあれば、肉体が巨大化しすぎて生命を維持できなくなったとの説もあります。しかし、恐竜たちからみれば、いずれにしても万やむをえない理由で絶滅に追い込まれたのでしょう。人類も一つの生物種として、いずれは絶滅します。ところが、図3に示すように、人類は自らの栄華のために地球上に住む多くの生物種を絶滅に追い込んできました。結局、人類は、他の生物種を含めた地球の生命環境を破壊し、その挙句に自らも絶滅することになります。人類は自らを万物の霊長と呼んでいますが、むしろ愚かな生き物というべきでしょう。

II. 地球温暖化と原子力

原子力発電もまた大量の二酸化炭素を放出する

現代の人類にとっての環境の危機の一つに地球が温暖化している問題があります。日本の国は、その

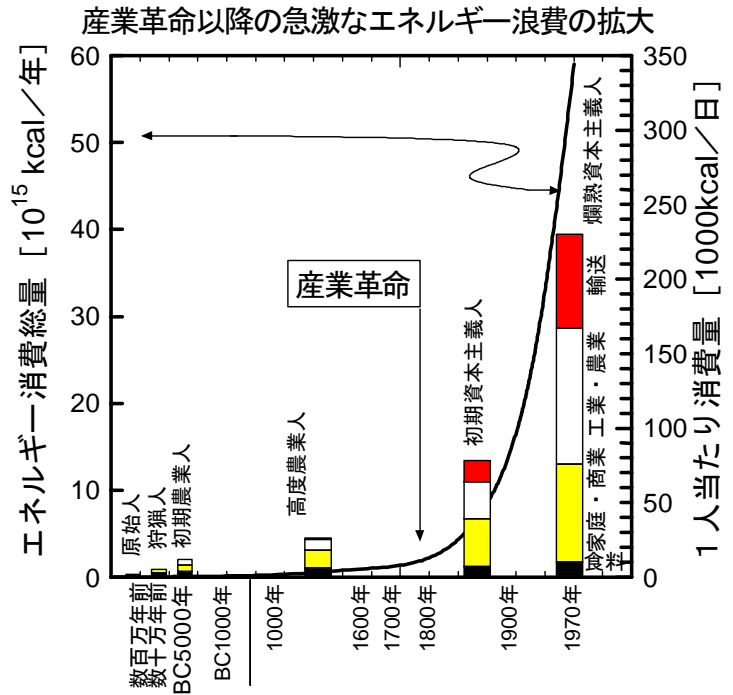


図2 人類のエネルギー消費の歴史

原子力工業,第38巻,第5号,55頁(1992)の図に示されたデータを参考に作成
 原始人 : 100万年前の東アフリカ。食料のみ。
 狩猟人 : 10万年前のヨーロッパ。暖房と料理に薪を燃やした。
 初期農業人 : BC5000の肥沃三角州地帯。穀物を栽培し、家畜のエネルギーを使った。
 高度農業人 : 1400年の北西ヨーロッパ。暖房用石炭、水力、風力を使い、家畜を輸送に使用した。
 初期資本主義人 : 1875年の英国。蒸気機関を使用していた。
 爛熟資本主義人 : 1970年の米国。電力を使用。食料には家畜用を含む。

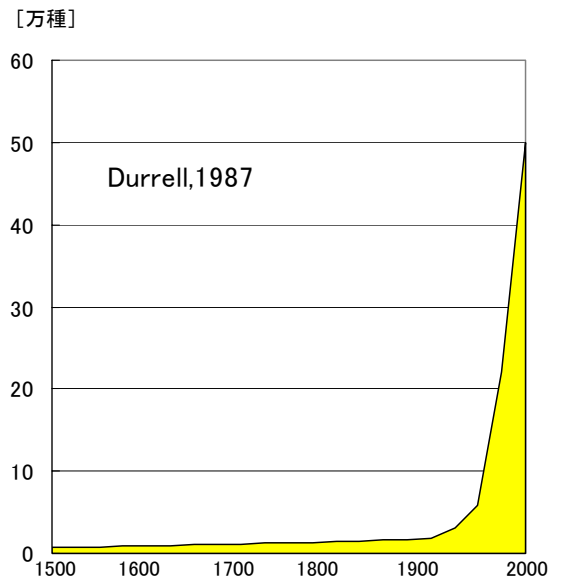
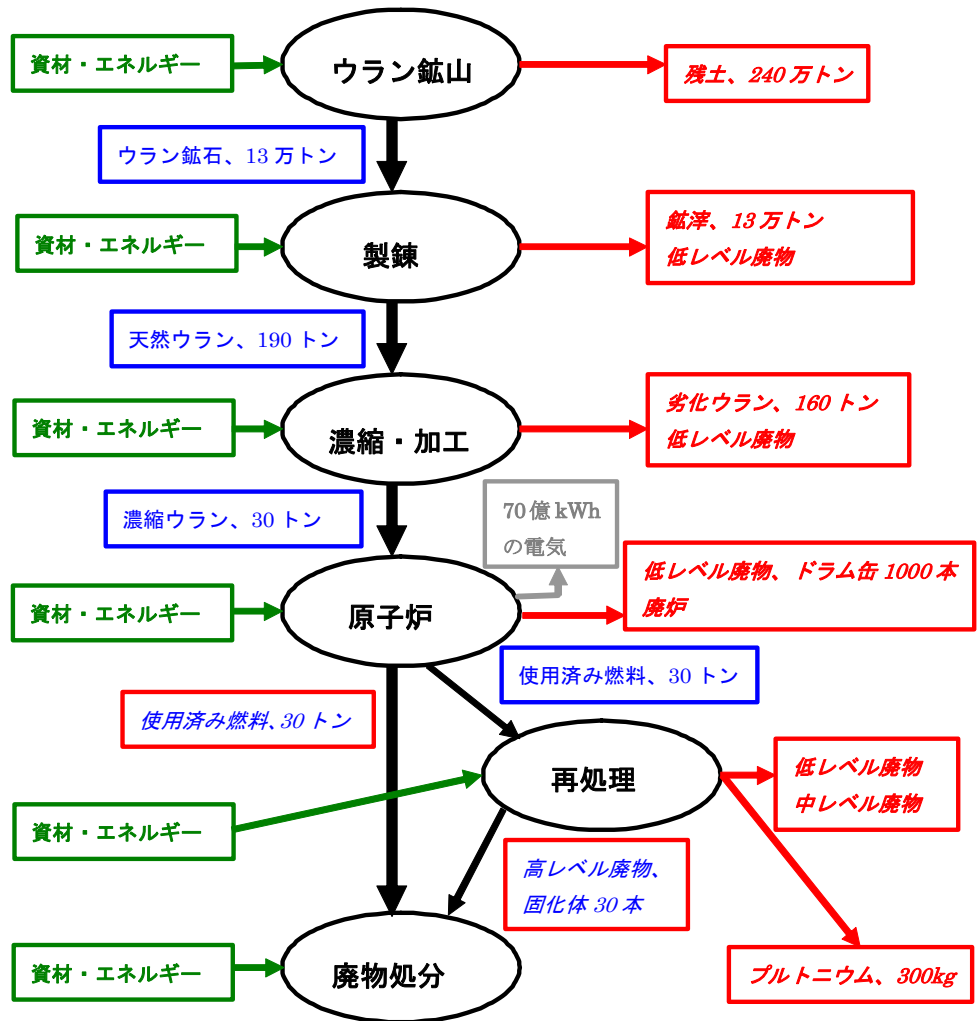


図3 人類が絶滅に追い込む生物種

原因が化石燃料を燃やして二酸化炭素を放出しているからだと言っています。原子力とはウランやプルトニウムの核分裂現象を利用します。核分裂現象は、通常の物が燃える場合に二酸化炭素が出る現象とは異なります。そのため、日本の国や電力会社は「原子力は二酸化炭素を出さず、環境にやさしい」と宣伝しています。ただし、その宣伝は、最近では「原子力は発電過程で二酸化炭素を出さない」に微妙に変わってきています。何故でしょう？

原子力発電を行うにあたって必要な作業の流れを図4に示

図4 100万kWの原発を巡る一連の流れ



します。図4で中央やや下よりに「原子炉」と書いた部分が原子力発電所です。これを動かせば、今日標準的となった100万kWの原発の場合、1年間に約70億kWhの電気が生み出されます。しかし、この原子炉を動かそうと思えば、ウラン鉱山でウランを掘ってくる段階に始まり、それを製錬し、核分裂性ウランを「濃縮」し、原子炉の中で燃えるように加工しなければなりません。そのすべての段階で、膨大な資材やエネルギーが投入され、膨大な廃物が生み出されます。さらに原子炉を建設するためにも膨大な資材とエネルギーが要り、運転するためにもまた膨大な資材とエネルギーが要り、そして、様々な放射性核種が生み出されます。これら膨大な資材を供給し、施設を建設し、そして運転するためには、たくさんの化石燃料が使われざるを得ません。結局、原子炉を運転しようと思えば、もちろん膨大な二酸化炭素が放出されてしまいます。この事実があるため、国や電力会社も「発電過程で」という言葉を追加せざるを得なかったのです。しかし、「発電過程」と言うことが原子力発電所を動かすことを示すのであれば、原子力発電所の建設にも運転にも膨大な資材や化石燃料を必要としているのですから、その宣伝もまた正しくありません。その上、たしかに核分裂現象は二酸化炭素を生みませんが、その代わりに生むものは核分裂生成物、つまり死の灰です。二酸化炭素を生まないとの理由だけを強調して、

死の灰に目をつぶる議論もまた正しくありません。

日本の原子力発電は 1966 年の東海 1 号炉の運転で始まりましたが、今日までに生み出してしまった核分裂生成物の量を図 5 に示します。この図の右の軸に示したように、生み出した核分裂生成物 (Cs-137 で測る) の量は広島原爆のその 100 万発分を超えてしまいました。図 4 には原子炉の運転に伴って「低レベル放射性廃物」が生じることを記しましたが、その廃物は現在青森県六ヶ所村に次々と埋め捨てにされています。そして、日本の国は、それが安全になるまでに 300 年間管理するのだと言っています。日本で原子力発電を行って利益を得ているのは電力会社です。当然、生み出す放射能のごみに責任があるのは、電力会社のはずです。

しかし、現在の九電力が生まれたのは戦後で、その歴史は未だに 56 年しかありません。その電力会社が放射能のごみを 300 年間管理すると保証ができる道理がありません。そこで、電力会社は放射能のごみは国の責任で管理してくれるよう求め、日本の国はそれを受け入れました。しかし、300 年と言う時間の長さほどの程度の長さなののでしょうか？ 明治維新で現在の日本の国家体制ができてからわずか 140 年しかたっていない。米国など未だに 230 年の歴史しかありません。現在から 300 年昔にさかのぼれば元禄時代、忠臣蔵討ち入りの時代です。その時代の人々が現在の私たちの社会を想像できた道理がないように、私たちが 300 年後の社会を想像することなど到底できません。もちろん現在の電力会社など存在しないでしょうし、自民党という政党もないでしょう。日本の国すらないかもしれない彼方です。それにもかかわらず、生み出した放射能のごみを 300 年にもわたって一体どうやって誰の責任で管理するのでしょうか？ ましてや、図 5 に示した核分裂生成物は「高レベル放射性廃物」として 100 万年にわたって、生命環境から隔離しなければいけない毒物です。日本の国はそ

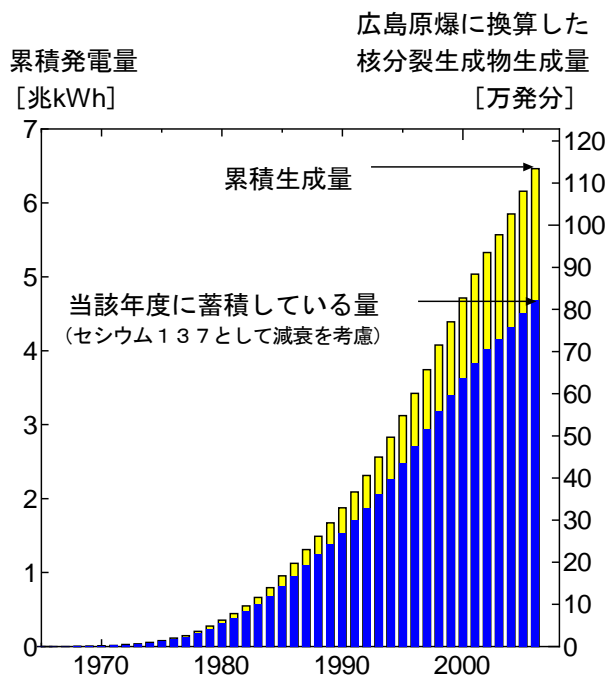


図 5 日本の原子力発電による累積発電量と核分裂生成物の累積生成量

表 1 気が遠くなる時間の長さ (2007 年現在)

日本で原子力発電が動き始めて(1966年)から	41年
現在の9電力会社ができて(1951年)から	56年
日本初の電力会社(東京電灯)ができて(1886年)から	121年
明治維新(1868年)から	139年
アメリカ合州国建国(1776年)から	231年
忠臣蔵の討ち入り(1702年)から	305年
邪馬台国(卑弥呼)から	約1,800年
神武天皇(?)即位から	2,667年
低レベル放射性廃物のお守り	300年
高レベル放射性廃物のお守り	1,000,000年

れを地中に埋め捨てにしようと言っていますが、その安全は科学的に保証できません。もし、高レベル放射性廃物を現在の日本の国が言っているような方法でなく、きちんと管理し続けようとするれば一体どのような手段があるのか、現在の科学では、シナリオすら書けません。したがって、一体どれくらいのエネルギーが必要になるか定量的に示すこともできませんが、発電して得たエネルギーをはるかに上回ってしまうことは想像に難くありません。もちろん、二酸化炭素の放出も膨大になってしまうでしょう。

Ⅲ. 地球温暖化問題の本質

地球温暖化と龐大な温排水

今日 100 万キロワットと呼ばれる原子力発電所が標準的になりましたが、その原子炉の中では 300 万キロワット分の熱が出ています。その 300 万 KW 分の熱のうちの 100 万 KW を電気をしているだけであって、残りの 200 万 KW は海に捨てています (図 6 参照)。私が原子力について勉強を始めた頃、当時、東大の助教授をしていた水戸巖さんが私に『原子力発電所』と言う呼び方は正しくない。あれは正しく言うなら『海暖め装置』だと教えてくれました。300 万 KW のエネルギーを出して 200 万 KW は海を暖めている、残りの僅か 3 分の 1 を電気をしているだけなのですから、メインの仕事は海暖めです。そういうものを発電所と呼ぶこと自体が間違いです。

その上、海を暖めるといことは海から見れば実に迷惑なことです。海には海の生態系があって、そこに適したたくさんの生物が生きています。100 万 KW の原子力発電所の場合、1 秒間に 70 トンの海水の温度を 7 度上げます。近畿一の大河である淀川でもその流量は 1 秒間に 150 トンしかありません。日本全体でも、1 秒間に 70 トンの流量を超える川は 30 に満たません。原子力発電所を造るといことは、その敷地に忽然として暖かい川を出現させることになります。

日本というこの国が国

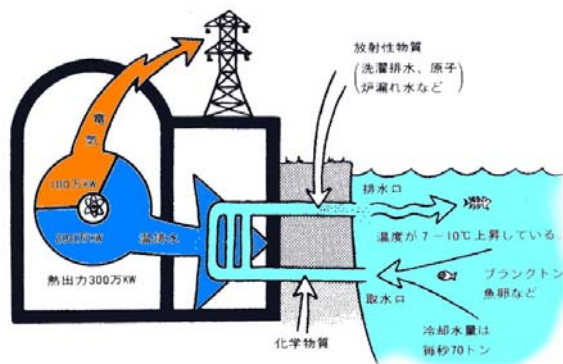


図 6 「原子力発電所」は「海暖め装置」

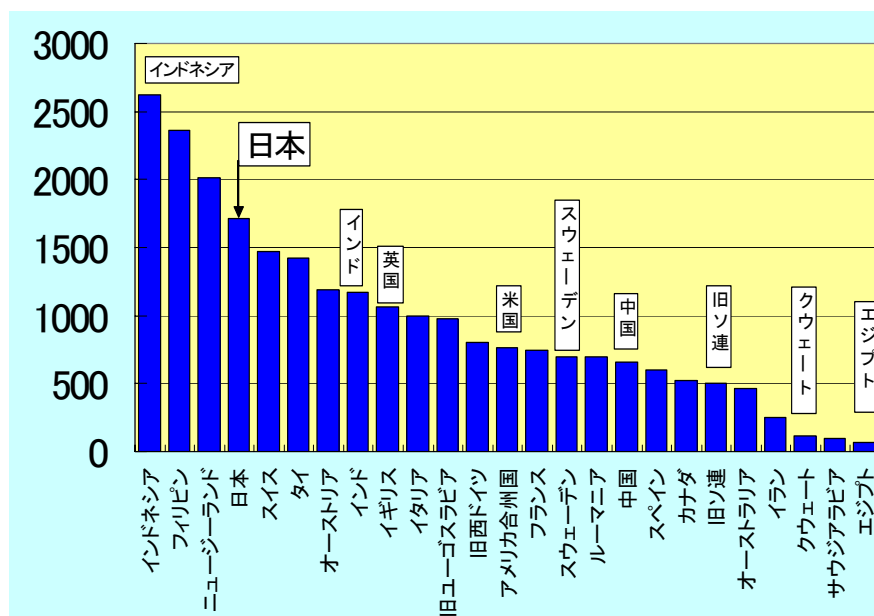


図 7 世界各国の年間降水量 [mm]

家として「美しい」とは思えませんが、気候に恵まれた、得がたい生命環境だと私は思います。たとえば、雨は地球の生態系を持続させる上で決定的に重要なものですが、日本の降水量は図7に示すように平均で1700mm/年を越え、世界でも雨の恵みを受けている貴重な国の一つです。国土全体では毎年6500億トン近い雨水を受けています。それによって豊かな森林が育ち、長期にわたって稲作が持続的に可能になってきました。また、日本の河川の総流量は約4000億トンです。一方、現在日本には55基、電気出力で約5000万kWの原子力発電所があり、それが流す温排水の総量は1年間に1000億トンに達します。日本の全河川の流量に換算すれば約2度も暖かくしていることになり、これで温暖化しなければ、その方が不思議です。

もちろん日本には原子力発電所を上回る火力発電所が稼働していて、それらも冷却水として海水を使っています。しかし、現在の原子力発電所は、燃料の健全性の制約から1次冷却水の温度を高々330℃までしか上げることができず、そのため発電の熱効率は約33%でしかありません。一方、最近の火力発電所の熱効率は50%を超えており、もし原子力から火力に転換することができれば、それだけで海に捨てる熱をはるかに少なく済ませることができます。

危機的な日本の環境

日本においては1880年代以降、50年で10倍になるような率でエネルギー消費の拡大を続けてきて、現在、日本に入射する太陽エネルギーの総量に比べて約0.6%のエネルギーを人為的に消費しています

(図8参照)。このままエネルギー消費の拡大を続けるならば、数年後には太陽エネルギーの1%、2050年には10%、2100年には太陽が我々に与えてくれているエネルギーと等しいだけのエネルギーを人為的に消費することになってしまいます。そうした時代がどんな時代になるか人類には経験がありません。またそれを予測できるような学問もありません。しかし、かりにその時代の日本においてまだ人が生きられたとしても、従来と同じスピードでエネルギーの浪費を続けるかぎり2150年には太陽エネルギーの10倍、2200年には100倍のエネルギーを使うことになってしまいます。そのような未来に人類が生き延びられないことは当然です。

地球温暖化の問題を含め、現在の環境の危機の本質は、エネルギーを大量に消費していること自体にあります。エネルギーの浪費に慣れてしまった日本人にとって、エネルギー消費を抑えることは容

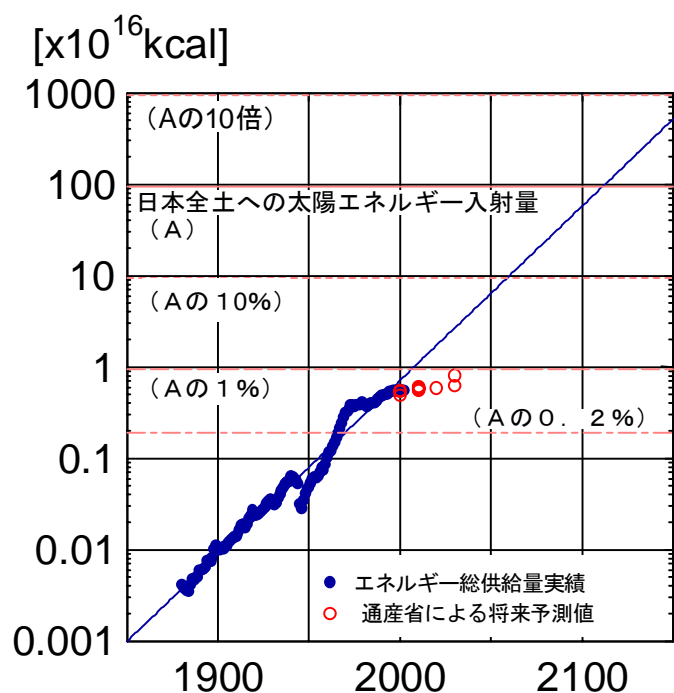


図8 日本におけるエネルギー総供給量の変遷

(太陽エネルギーの0.2%の部分は、風、浪、空気の対流など、いわゆる自然現象を引き起こすために使われている。) 日射量の平均値として256kcal/cm²/yr、日本の総面積は37.8万km²とした。

易なことではありません。そのため、多くの日本人は消費を抑えることなど出来ない、もっと便利に暮らしたいと言います。しかし、できなければ、自らの生きる環境を失うだけです。

IV. 未来の選択

エネルギー消費の著しい格差

世界でエネルギーがどのように分配され使用されているかを図9に示します。一人当たりの消費量で言えば、最もエネルギーを消費している国と最もエネルギーを利用できない国とでは1000倍の格差があります。また、私たち日本人一人ひとりも世界平均の約2倍、アジア諸国に比べれば10倍から100倍のエネルギーを使っています。

また世界人口を四つにわけ、エネルギーをたくさん使う順番に「工業文明国（いわゆる先進国）」、「工業文明追従国（いわゆる発展途上国）」、「第三世界の半分」、「極貧の第三世界」としましょう。それぞれのグループには、いずれも約16億人の人間が含まれます。そして、それぞれのグループが世界全体で使うエネルギーのどれだけの割合を使っているかを考えてみます。まず、「工業文明国」の人間が、エネルギー使用量全体の68%を使ってしまいます。次に「工業文明追随国」が17%を使い、世界人口の半数を占める第三世界の人々には、全体のわずか15%しか残されません。第三世界の中でも奪い合いがあり、強い方のグループが全体の10%を使い、最もエネルギーを使えない「極貧の第三世界」はわずか5%しか使えません。

世界の国々の平均寿命

図1は日本という一つの地域について、時間的なエネルギー使用量の変化を尺度として寿命がいかに変わるかを示しました。同じことは、今日というある時刻の中での、世界各国のエネルギー使用量の違いを尺度にしても言えます。図10に世界各国のエネルギー消費量と寿命との関係を示します。上部に横に長く分布している「エネルギー浪費国家群」では、現在の日本がそうであるように、エネルギー使用量

1人1日当たりエネルギー消費量[kcal]

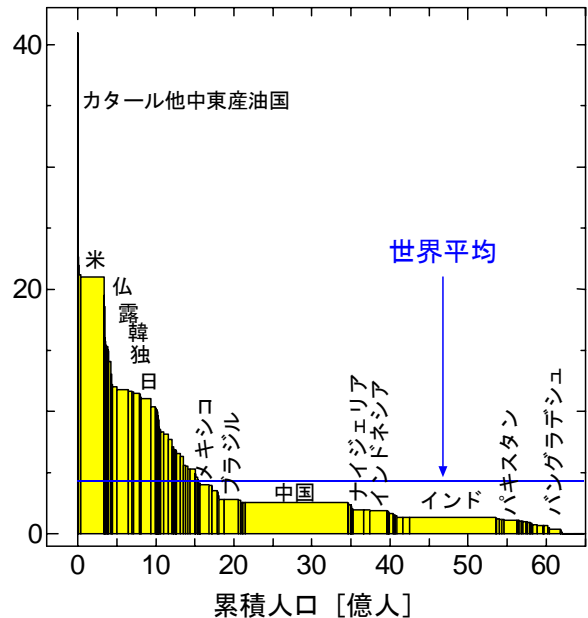
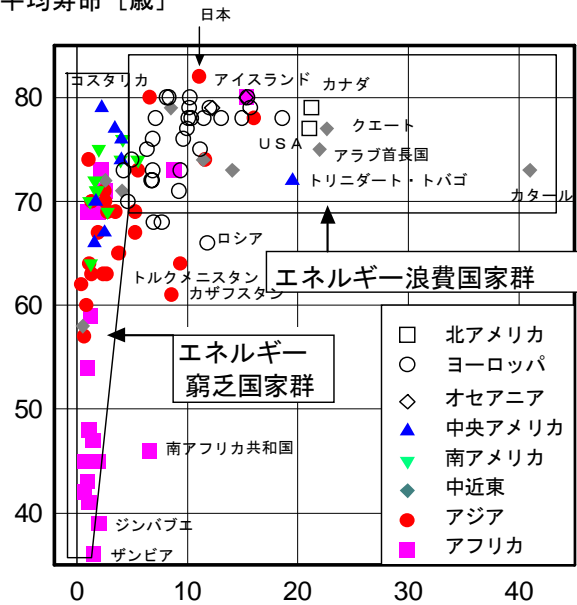


図9 エネルギー消費の格差と不公平
人口は2006年、エネルギー消費は2002年の値

平均寿命 [歳]



1人、1日当たりエネルギー消費量[万kcal/日]

図10 世界各国のエネルギー消費量と平均寿命の関係（2003年）

をいくら増やしても寿命を延ばすことはもはやできません。逆に、図の左の軸周辺に「エネルギー窮乏国家群」として示した国々の中では、使用できるエネルギー量が絶対的に欠乏しているため、生命自身を維持できない国があります。そうした国の中には平均寿命がいまだに 30~40 歳代の国があります。もし、そうした国で、エネルギー消費を少しでも増やすことができれば寿命は飛躍的に長くなりますが、残念ながら世界の政治の状況はそれを許しません。

種としての人類が地球環境を破壊してきて、今またそれを加速していることは確実です。しかし、人類の内部を見れば、一方には生きることに関係ないエネルギーを厩大に浪費する国がある一方、生きるために必要最低限のエネルギーすら使えない人々も存在しています。

今この地球上には、11 億もの人々が「絶対的貧困（1 日 1 ドル以下で生活し、食べるものがない、きれいな飲み水がないなど、生きていくのに最低限度必要なものさえ手に入れることのできない状態）」に喘ぎ、5 億の人々が飢餓に直面しています(図 11 参照)。「先進国」に住む私たちが贅沢な暮らしをすれば地球環境はますます悪化しますが、悪化に対処することができない貧しい国々の人々はますます苦況に迫いやられます。私たち日本人が、そうした事実を目をつぶって当面過ごしていくことは多分できるでしょう。でも、それで平和な世界が築けるのでしょうか？

小欲知足、自分自身の生活を見直さなければ、生きる環境を失う

いったい、私たちはどれほどのものに囲まれて生きれば幸せといえるのでしょうか？

人工衛星から夜の地球を見ると、日本は不夜城のごとく煌々と夜の闇に浮かび上がります。建物に入ろうとすれば、自動ドアが開き、人々は階段ではなくエスカレーターやエレベーターに群がります。夏だというのに冷房をきかせて、長袖のスーツで働きます。そして、電気をふんだんに投入して作られる野菜や果物は、季節感のなくなった食卓を彩ります。

残念ではありますが、人間とは愚かにも欲深い生き物のようです。種としての人類が生き延びることに価値があるかどうか、私には分かりません。しかし、もし地球の生命環境を私たちの子供や孫たちに引き渡したいのであれば、その道はただ一つ「知足」しかありません。浪費社会を変えるには長い時間がかかります。私たちが日常的に使っているエネルギーが本当に必要なものなのかどうか真剣に考え、一刻でも早くエネルギー浪費型の社会を改める作業に取り掛からなければなりません。そのために残されている時間はそう長くはありません。

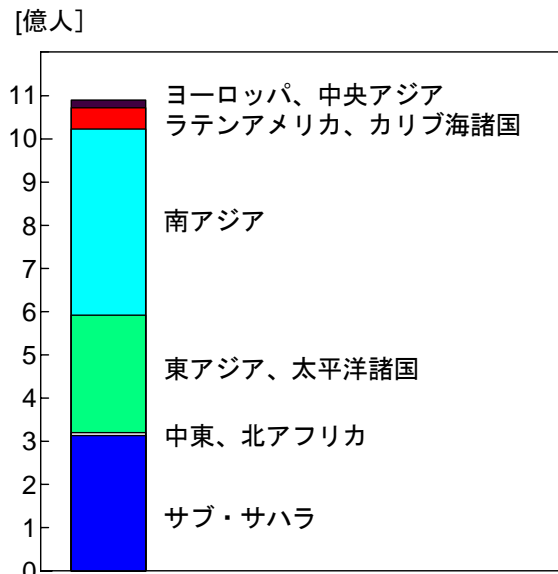


図 1 1 絶対的貧困に苦しむ人々