

日本のエネルギー構造の現状と課題

月尾嘉男*

化石資源に過度に依存した現在のエネルギー供給構造は資源涸渇と環境破壊という課題に直面している。再生可能資源に転換する政策が推進されているが、量的にも価格においても、短期で問題を解決する手段にはなりえない。当面は技術革新により、同等の効果をもたらしながらエネルギー消費を減少させる政策が重要であるが、長期の視点では社会の構造を転換し、さらには人類の精神の構造を変換する必要がある。

The Present State and Problems of the Japanese Energy Structure

Yoshio TSUKIO*

The current energy supply structure, with its over-reliance on fossil fuel resources, faces the challenges of resource depletion and environmental destruction. Although policies for a switch to renewable resources are being promoted, they cannot be the means for resolving these problems in the short term, owing to both quantity and price constraints. For the time being, policies to induce equivalent effects by reducing energy consumption through technical innovation are crucial, but from a longer term perspective, it is necessary to achieve a fundamental change in the overall social structure and, moreover, a transformation of the human mindset.

1. エネルギー問題の構造

現在のエネルギー問題の構造は複雑なものではない。第一はエネルギーを消費する人間の増加、第二は人間が1人あたり消費するエネルギーの増加、第三は利用している大半のエネルギー資源が地球の表層では有限ということである。

人間が狩猟採集生活から農耕牧畜生活に転換しはじめた1万年前に地球の人口は500万人程度と推定されているが、直近の1万年間で70億人まで増加し、人類が誕生してから最後の0.2%という時間に1400倍の増加をしたことになる(Fig.1)。

人間1人が1日に消費するエネルギーについては狩猟採集時代は自身の肉体を維持する2500kcal程度であったが、農業革命や産業革命によって急速に増加し、現在では世界平均で25万kcalになっており、過去1万年で100倍に増加している(Fig.2)。

掛算すると人類が消費するエネルギーは14万倍に増加したことになるが、その時間は生物が陸上に登場してからの0.0025%、人類の最初の祖先の登場からの0.2%、直系の祖先の登場からの5%という時間に発生したことに問題の根源がある(Fig.3)。

2. 化石資源消費の問題

しかし、そのような急増する消費を実行しても問題が発生しなければ結構であるが、ここにもいくつかの問題が発生している。第一は有限なエネルギー

* 東京大学名誉教授
Professor Emeritus, The University of Tokyo
原稿受理 2013年7月22日

資源の涸渇、第二は自身が生活する自然環境への影響である。

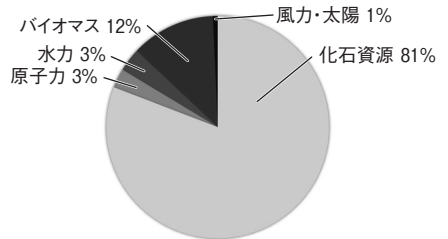
第一の問題は周知のことであるので、詳細に説明するまでもないが、現在の人類社会が消費するエネルギーの80%を依存している化石資源(Fig.4)、すなわち過去の蓄積に依存する構造は終局に接近しつつある。

化石資源の利用可能年数について2種の数値が表示してあるが、左側は現在確認されている総量を現在の年間消費で割算したもの、右側は地球に賦存するであろうと推定される総量を同様に割算した結果である(Fig.5)。

当然、人口や消費が増加すれば年数は減少していく一方、最近話題のシェールガスやメタンハイドレートのように新規の資源が発見されれば全体の年数は増加していく。ただし注意すべきことは、採掘費用は勘案されていないことである。

第二の自然環境への影響についての最初の問題は人間以外の生物への影響である。国土地理院作の興味ある地図がある。世界各国の地図を収集し、現在の森林の面積と、現状のまま推移した場合の100年後の状態を推定した地図である(Fig.6, 7)。

同様に、過去80年間の北海道内の湿原面積の減少を調査した地図も作成されているが、開拓開始から



出典) IEA: Energy Balance of OECD Countries, Non-OECD Countries.
Fig. 4 世界のエネルギー供給の構造 (2009年)

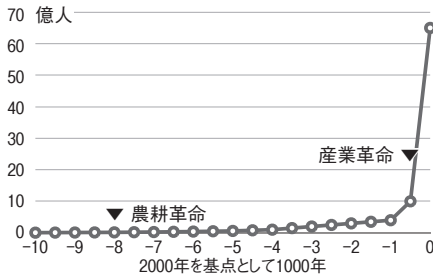


Fig. 1 人口の増加

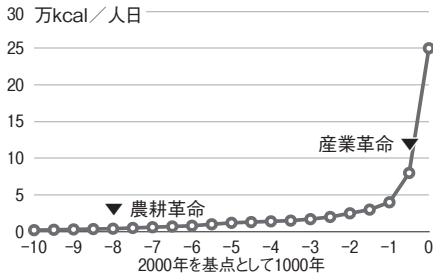


Fig. 2 エネルギー消費の増加

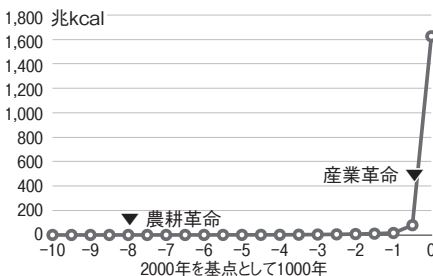


Fig. 3 人類のエネルギー消費の増加

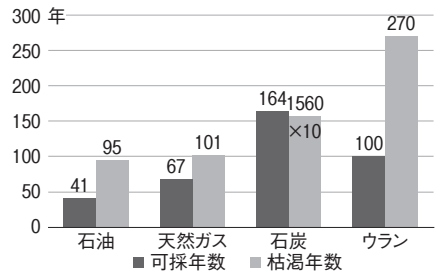
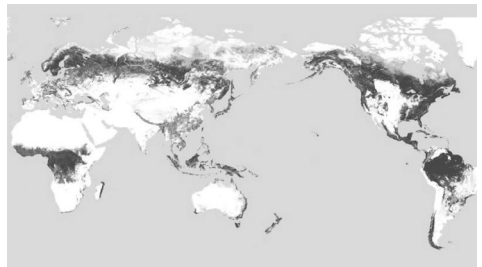
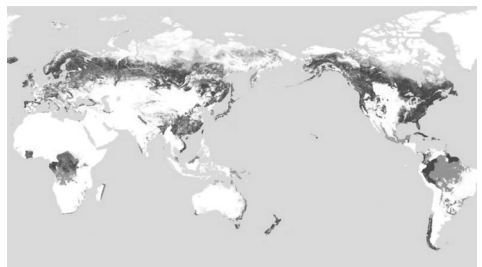


Fig. 5 化石燃料の終焉までの時間



出典) 国土地理院。
Fig. 6 森林の現状 (2000年)

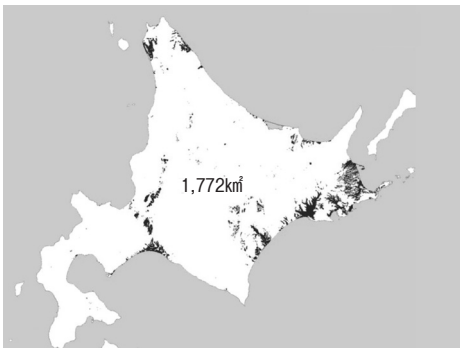


出典) 国土地理院。
Fig. 7 森林の将来 (2100年)

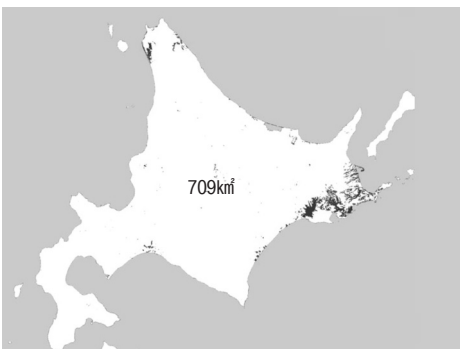
130年間で60%も減少したことが明瞭である。この状況を現代の視点で非難することは適切ではないが、自然開発の実態を明示している (Fig.8, 9)。

世界規模で森林や自然海岸も減少しているが、それらは人間以外の生物の生存に影響し、国際自然保護連合 (IUCN) が調査対象としている4万種の生物のうち、1万8000種、すなわち45%が絶滅の危機に直面している (Fig.10)。

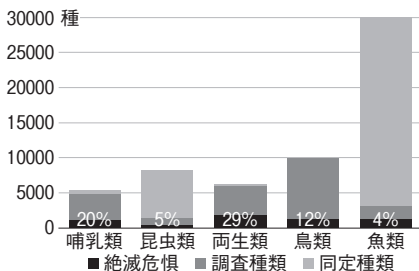
人間は無数の生物で構成されるピラミッド構造の生態システムの頂点に君臨しているので、大量の生物が消滅していくということは、食糧が不足すると



出典) 国土地理院。
Fig. 8 北海道の湿原面積 (1920年)



出典) 国土地理院。
Fig. 9 北海道の湿原面積 (2000年)



出典) IUCN : 2007 IUCN Red List of Threatened Species.
Fig. 10 世界の生物の絶滅危機種率 (2006年)

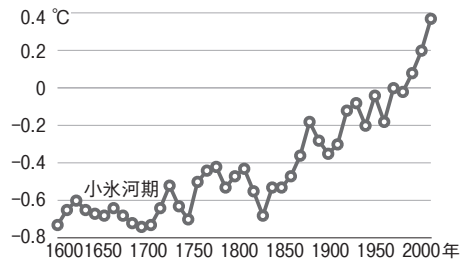
か、資材が不足するという問題ではなく、ピラミッドの崩壊が到来するという問題である。

それと同等に重要な問題は地球の大気温度変化である。これについては一部に寒冷になるという意見もあるが、過去400年間の変化では温暖の方向にある。大気の炭酸ガス濃度も確実に増大しており、当分は温暖の方向になると推定される (Fig.11)。

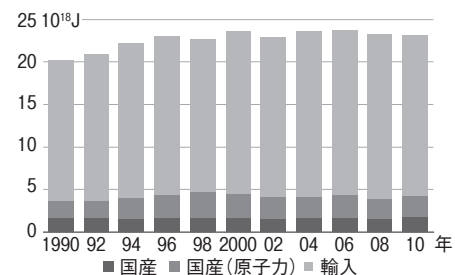
3. 日本のエネルギー問題

このような背景を前提に、日本のエネルギー利用の現実を分析してみたい。過去20年間の一次エネルギー供給の総量について、以下に2種の資料を提示するが、第一はエネルギーを国産で供給しているか、輸入に依存しているかの資料である (Fig.12)。

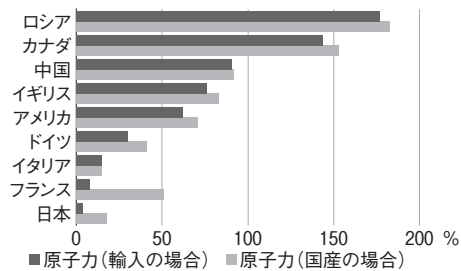
注意すべきことは原子力エネルギーを国産に区分



出典) IPCC「第4次評価報告書」。
Fig. 11 1960年代平均を0°Cとしたときの気温の変化



出典) 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」。
Fig. 12 日本の一次エネルギーの供給



出典) IEA : Energy Balance.
Fig. 13 一次エネルギーの自給比率 (2009年)

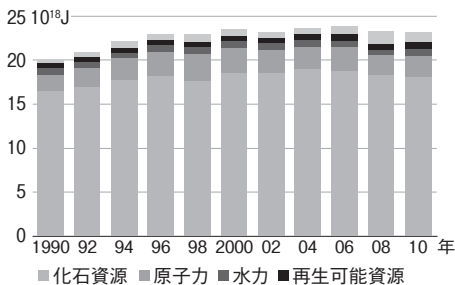
していることである。これは資源のウラン鉱石はほぼ全量輸入であるが、燃料に加工して以後は長期に使用でき、かつ核燃料再処理サイクルによって再生できるため国産とみなすという解釈によっている。

この国産比率が異常なことは、世界の先進諸国の自給比率を比較すると明確である (Fig.13)。残念ながら化石エネルギー資源が賦存しない国土の宿命であり、これを前提としたエネルギー安全保障政策を構築していくことが必要である。

第二はエネルギー資源の種類についての資料である (Fig.14)。大半が輸入に依存している化石資源の比率が80%以上であり、化石資源を石油、石炭、天然ガスに分散させ、輸入相手地域も分散させるなどの努力をしてきたが、依然として脆弱な構造である。

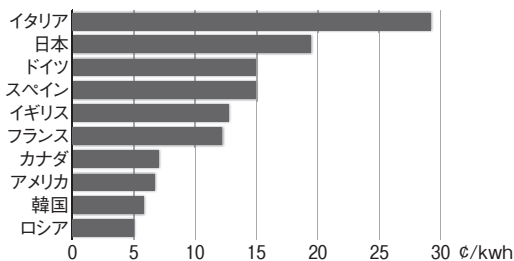
しかし、注目すべきことは世紀の転換時期を境界に供給が減少傾向に転換しはじめたことである。いくつかの理由があり、日本の人口が減少しはじめたこと、生産施設が海外へ転出しはじめたこと、そして節約技術が普及したことなどである。

ただし、生産施設の海外移転は歓迎すべきことではない。地域経済への打撃や雇用の減少も背景にあるが、日本のエネルギーが世界有数の高価な価格で提供されていることの証明である。産業電力の価格を比較すると問題が明確になる (Fig.15)。



出典) 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」。

Fig. 14 日本の一次エネルギーの供給

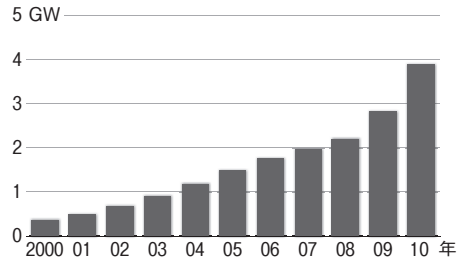


出典) OECD : Energy Price and Taxes.

Fig. 15 産業電力価格の比較 (2012年)

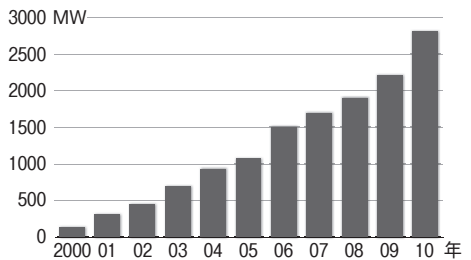
4. 再生可能資源の課題

このような供給の問題を背景にし、電力については国産可能で、かつ炭酸ガスの排出が少量の再生可能資源への関心が増大し、太陽、風力などが期待されているが、現在、水力を合計しても全体の7%程度の再生可能資源を拡大することは容易ではない。



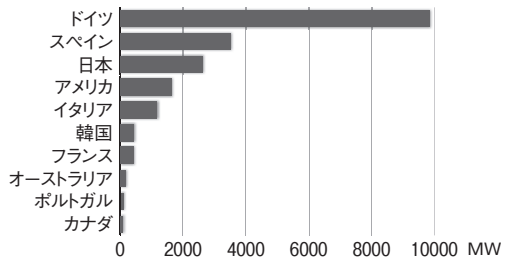
出典) European Photovoltaic Industry Association 2009.4.

Fig. 16 日本の太陽発電の施設累計



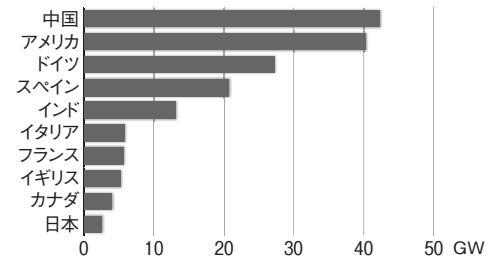
出典) Global Wind Energy Council.

Fig. 17 日本の風力発電の施設累計



出典) European Photovoltaic Industry Association 2009.4.

Fig. 18 世界の太陽電池施設の累計 (2009年)



出典) Global Wind Energy Council.

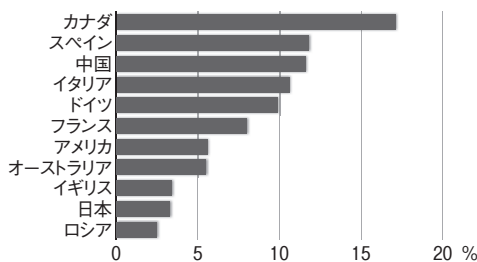
Fig. 19 世界の風力発電施設の累計 (2010年)

日本の太陽発電施設の蓄積も風力発電施設の敷設も順調に増大しているかのようである(Fig.16,17)が、世界の先進諸国と比較すると、十分ではない(Fig.18,19)。結果としてエネルギー供給全体の再生可能資源の比率は低率である(Fig.20)。

昨年から日本でも自然エネルギーを電力会社が購入する固定価格買取制度が導入された結果、空地に太陽発電施設や風力発電施設を敷設することが流行のようになってきているが、これは利点だけではなく、数多くの問題も内包している。

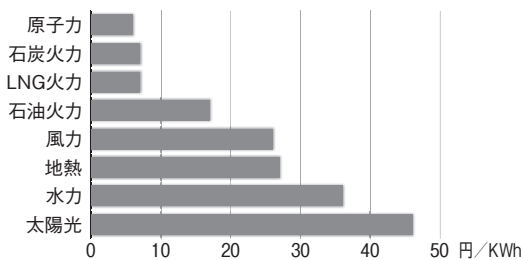
最大の問題は発電費用が桁違いに高価ということである(Fig.21)。旧来の発電技術は燃料の国際価格が高騰すれば発電価格も上昇する一方、太陽発電などは技術革新によって設備単価も低下するので一概には比較できないが、現状では大差である。

しかも現在の制度では、買取費用は電力価格にそ



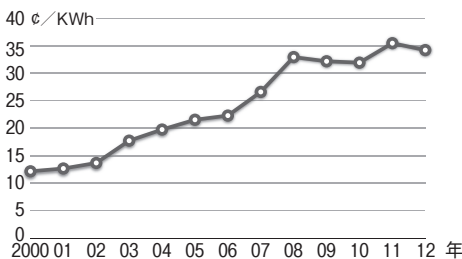
出典) OECD/IEA : Renewable Statistics 2012。

Fig. 20 再生可能エネルギー比率 (2010年)



出典) 総合資源エネルギー調査会資料、2011年。

Fig. 21 発電費用



出典) OECD : Energy Price and Taxes。

Fig. 22 ドイツの家庭用電力料金

のまま転嫁されるので、消費者側が負担することになる。日本に先行したドイツでは、過去10年間で電力単価は1.8倍に高騰しており(Fig.22)、日本でも同様の結果になりかねない。

地球規模の環境問題に配慮すれば、補助制度や消費者側の負担によって、一次エネルギー資源を発電単位あたり温室効果ガスの発生が低率な再生可能資源に転換していくことは意味がないわけではないが(Fig.23)、問題が存在する。

社会に逆累進性をもたらすことである。家計に余裕のある家庭や、資金に余裕のある企業が再生可能資源を利用した発電施設に投資し、その経費を貧富に関係なく、国民や企業が電力使用程度に比例して負担するという仕組みである。

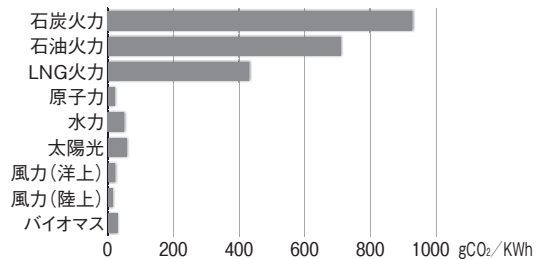
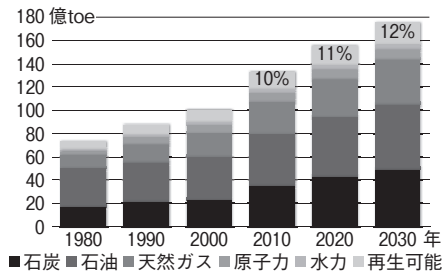
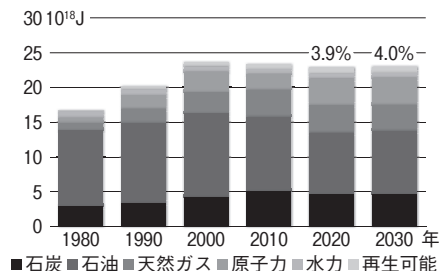


Fig. 23 温室効果ガス排出



出典) IEA : World Energy Outlook 2007。

Fig. 24 世界の一次エネルギー供給推移



出典) 経済産業省「長期エネルギー需給見通」2009年。

Fig. 25 日本の一次エネルギー供給推移

そのような努力によって、どの程度、再生可能資源への転換が進展するかについては様々な予測が提出されているが、世界全体と日本についての現状を紹介しておく(Fig.24,25)。この判断については立場によって相違するので、ここでは提示だけとする。

5. エネルギー消費の構造

ここまで供給の視点から、日本のエネルギー事情を紹介してきたが、ここからは需要の視点から議論を展開したい。最初に、一般に紹介されている4部門別のエネルギー消費の過去20年間の変遷の資料を紹介する(Fig.26)。

部門ごとの比率では、産業部門が44%、業務部門が19%、家庭部門が14%、運輸部門が23%であるが、この表現では増減が明瞭ではないので、表現を変更してみると、エネルギー消費の傾向が明瞭になる(Fig.27)。

どの部門もリーマンショックなど様々な経済破綻の影響で減少しているが、過去20年間で、産業部門が0.94倍と減少傾向であるのに対比して、家庭部門が1.3倍、業務部門が1.4倍、運輸部門が1.1倍と増加傾向にある。

6. 問題解決の諸相

このような状況に対処していく政策は数多く提言

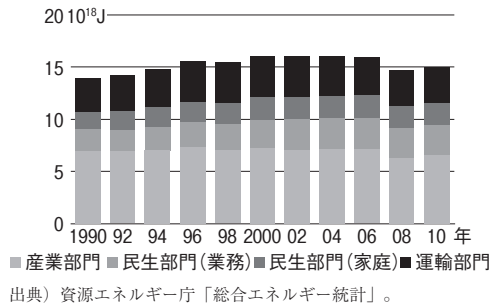


Fig. 26 日本の最終エネルギーの消費

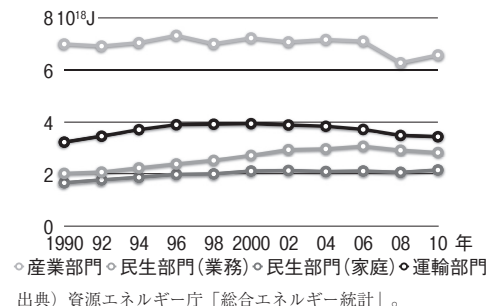


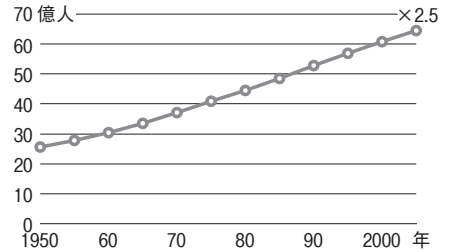
Fig. 27 日本の最終エネルギーの消費

され、一部は実施されており、それらは本号の以下の論文等で紹介されている。そこでここでは従来の社会の基本構造を転換する必要があるという視点からの政策を紹介したい。

これまでの社会の基本構造は人々の生活水準を向上させ、それによって経済活動が活発になるという循環を想定してきた。ヘンリー・フォード一世が目指した経営方針で、社員の給料を増加し、それによって製品の購入が増大するという仕組みである。

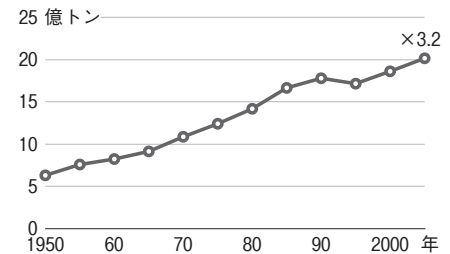
この裏側では資源やエネルギーの消費が増大するが、当時は地球の許容範囲であり、環境問題も地域に限定される程度であった。しかし、この循環が拡大してきた結果、資源の涸渇や環境の破壊など、許容範囲を突破する状況になったのが現在である。

この構造を数字で紹介したい。1950年から2005年までの55年間で世界の人口は2.5倍に増加した(Fig.



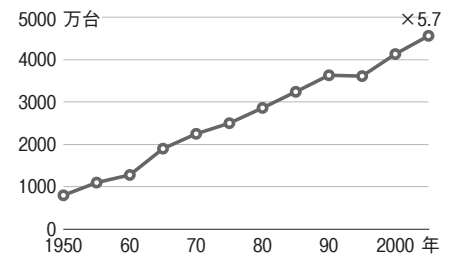
出典) US Bureau of the Census.

Fig. 28 世界の人口の増加



出典) FAOSTAT.

Fig. 29 世界の穀物生産の増加



出典) American Automobile manufacturers Association: World's and Global Insight.

Fig. 30 世界の自動車生産の増加

28)が、同一の期間に穀物生産は3.2倍(Fig.29)、自動車生産は5.7倍(Fig.30)と人口以上に増加したから、平均として生活水準は向上した。

その結果、世界の総生産額も9.0倍になったので(Fig.31)良好な循環を実現したが、その裏側でアルミニウム消費が20.8倍(Fig.32)、天然ガス消費が

14.2倍(Fig.33)と、経済成長以上に増加し、空中への炭素排出を4.6倍(Fig.34)にも増加させた。

これは日本についても同様で、人口は1.4倍に増加したが(Fig.35)、食肉消費は20.9倍(Fig.36)、小売販売は51.8倍(Fig.37)となり、経済規模は55.8倍(Fig.38)に拡大した。しかしエネルギー消費も電力

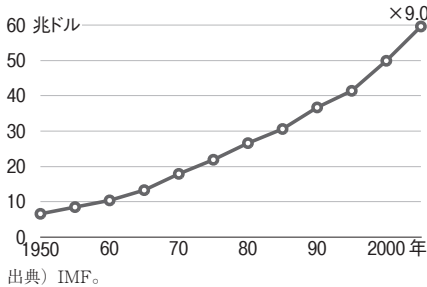


Fig. 31 世界の名目国内総生産額の拡大

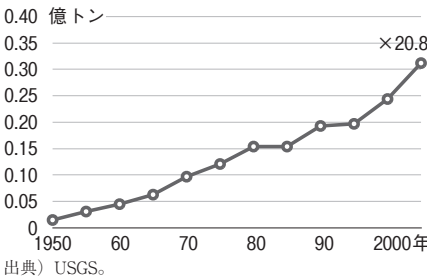


Fig. 32 世界のアルミニウム消費の増大

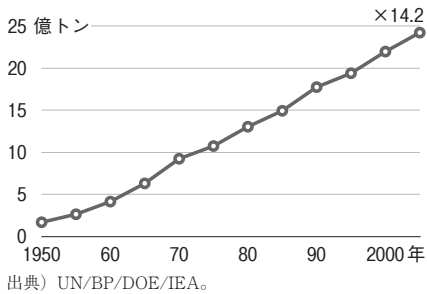


Fig. 33 世界の天然ガス消費の増大

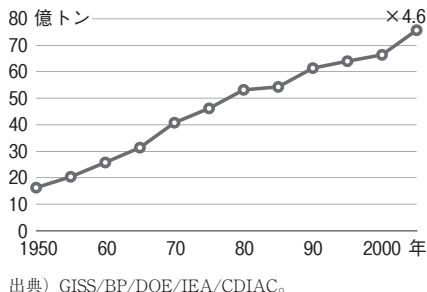


Fig. 34 世界の炭素排出量の増大

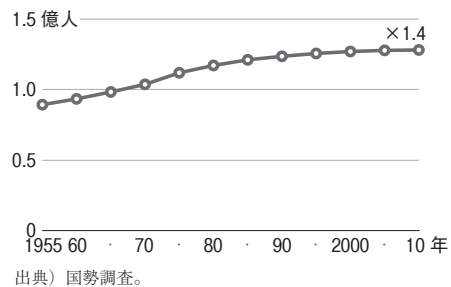


Fig. 35 日本の人口増加

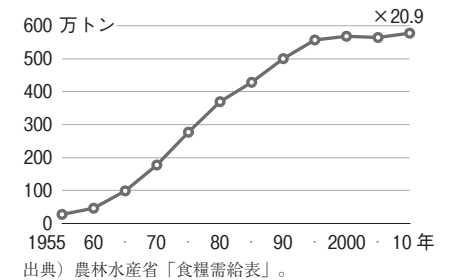


Fig. 36 日本の食肉消費の増大

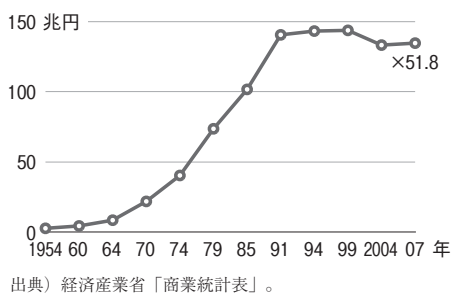


Fig. 37 日本の名目小売販売額の増加

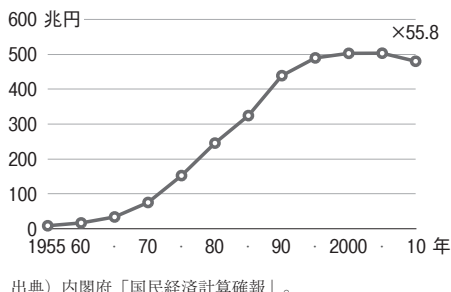
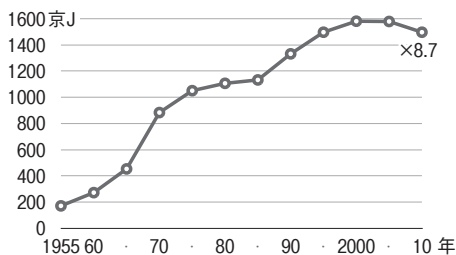
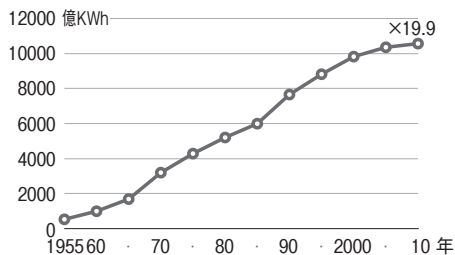


Fig. 38 日本の名目国内総生産額の拡大



出典) 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」。

Fig. 39 日本のエネルギー消費の増大



出典) 日本電力調査委員会「日本電力調査報告書」。

Fig. 40 日本の電力消費の増大

消費も人口以上に増大している (Fig.39,40)。

この問題の単純な解決方法は、循環を逆転させることで、生活水準を低下させてでも資源消費や環境悪化を低減させることであるが、この逆転は現在の社会構造の否定となり、人類によほどの危機意識が醸成されないかぎり、実現できない。

そこで妥協の産物として登場したのが、持続可能という概念である。生活水準の向上、それによる経済活動の発展を推進しながら、資源やエネルギーの消費を抑制する手法を考案し、資源や環境の限界への到達を遅延させるという構想である。

7. 縮小文化こそ問題解決の本質

持続可能な社会を実現する方法については本号に多数の論文等が執筆されているので、以下では目次程度にする。第一は技術革新による解決である。現在の問題の原因は技術文明にあるので、技術自身で解決の努力をするという発想である。

計算過程は省略するが、現在使用されている白熱電球をすべてLED電球に交換すると、照明のために使用されている電力消費は14.1%減少することになるが、これは日本全体の電力消費の3.45%に相当するので、無視できない効果になる。

情報通信技術も有力な手段で、既存の新聞を電子新聞に転換すると消費エネルギーは20分の1、既存の書籍を電子書籍に転換すると40分の1になるという計算もある。出張をビデオ会議に転換すると桁違いの削減が実現する。

第二は社会構造を変革する解決である。アメリカが典型であるが、かつて都市は拡大分散の方向に進化し、そのために鉄道や道路のネットワークを整備してきた。しかし、このような生活形態はエネルギ

ー効率が低下する。

そこで縮小集約の方向に転換した社会構造の構築を推進する。その一種が話題のスマートシティであるが、高度な通信制御技術により効率を向上させるとともに、生活形態の基本構造を縮小集約の高密度状態に変換するのである。

東京では公共交通の営業を24時間に延長するという愚案が提案されているが、むしろ業務や生活の時間を圧縮して、社会全体として効率が向上した状態に移行すべきである。世界全体からみれば、巨大都市の生活は異常なのである。

第三は資源やエネルギーの消費を低下させた生活や業務が美徳であるという精神改革を推進する必要がある。過去の趨勢の影響で抵抗があり、相当に危機が切迫しないと転換は困難であるが、それが実現した事例がある。

東日本大震災の発生により、夏季には電力消費を大幅に低下させる必要があり、東京電力管内では15%の節約が義務となった。ところが実際には18%も削減され、電力会社は早目に規制を撤回することを要望する事態になった。

韓国の学者が指摘したように、日本には縮小文化の伝統が存在する。団扇を扇子にし、植木を盆栽にする文化である。茶道が典型であるが、狭小な小屋と坪庭程度の庭園で一杯の抹茶を喫茶しながら、広大な宇宙を感得するのが本質である。

狭隘な国土に多数の国民が生活する日本が育成してきた縮小文化は、資源問題や環境問題が切迫した事態になってきた現在、世界に理解してもらうべき重要な精神になりつつある。吾唯知足こそ時代を主導する精神である。