

などの短寿命の小動物に対しては、数世代以上にわたり棲み続けることのできる、相対的に安定した空間であり、里山や近郊の森の自然として、次に述べる保全環境領域に準じた役割を人口密度の高い日本では果たしています。

駆動エネルギーは、太陽エネルギーを基本にしますが、近代の緑の革命を招来した領域として、機械力、化学肥料の付加的投入がこの領域の有機物生産性を飛躍的に増大させました。

もう一つの特徴的領域は、「自然生態系保全域」で、前の2領域と違って人間の関与を必要最小限にとどめ、太陽エネルギーと自然の力による物資循環に「系」の作動を任せるのをよしとする系です。人間との関わりに関しては、生物多様性条約というのがありますが、なるべくたくさんの生物種が太陽エネルギーと水を多段階・最大限に利用して、重層的に生態システムを作って生存していくのを保護し、人が動物の一種であり自然の恩恵なしに生きていくことができないことの基本となる部分を守りたいというのが趣旨です。しかし条約そのものは、ABS (Access and Benefit-Sharing) など、地域主権の利用にも関わるやや生臭いもののようにも思われます。

今、人間が地球上に60億人余います。その人間と、人間のためだけに存在する家畜が地上に棲む全動物質量の70%以上もなっているようです。そして、人間が自分勝手に牛や豚を大量に生産して食っていながら、環境生物の「生物多様性」を言っているのです。絶滅種が出て、シロクマがいなくなると大騒ぎしているのです。人間がはびこり過ぎたというのはこういうことです。しかし自分の過剰増殖をほとんど考えずに、自然との共生とか、生物多様性の保全などと言っているわけです。

生産緑地の人間活動が保全域へ侵入することが、人口の増大、特にバイオマス産業の拡大とともに次の時代の最大問題になりそうです。熱帯と南半球の自然が開発の進んだ北半球のようになりそうなのが次の地球危機における最大のものでしょう。制御評価の観点で言えば、自然生態系保全域は、環境アセスメントが主として担う領域です。生じる現象が複雑多様でかつ変動に対する応答が長期間かかってようやく現れてくるものを含みますから、長期にわたる常時監視・観察を含む科学的データベースの蓄積と現象の研究的観察が不可欠です。

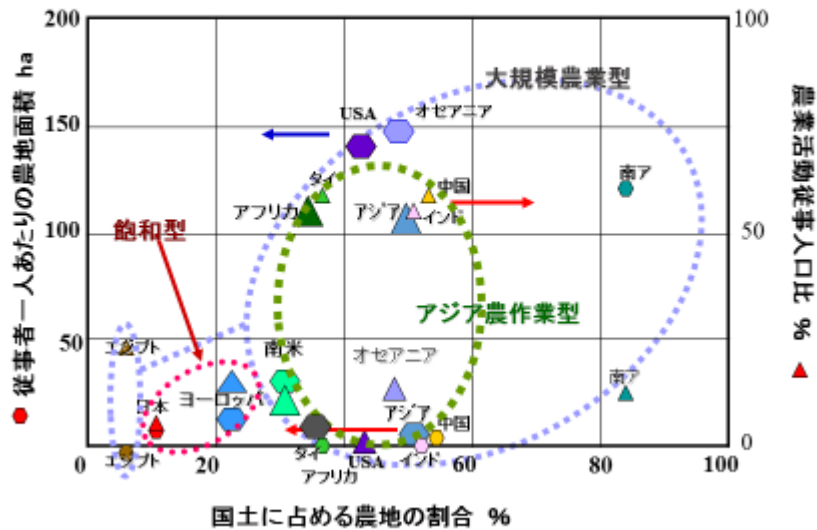
4 食糧生産と農業

4.1 国別農地面積、農業活動従事人口

都市で金を稼ぐ連中を食べさせているのは、図25に見られるように、それと対になって存在している大規模農業です。アメリカは1人の農民が持っている土地が平均100ha以上あるのにかわらず、農業従事人口は2%弱に過ぎません。その他オセアニア、南米などの同じような農地を持った大規模農家が世界の都市民を養ってきたわけです。日本を除くアジア諸国では各国50%以上も農民がいても、個々の農地は小さいですから、中国は自給自足が精いっぱい、都市化の進行とともに自給自足が段々と難しくなります。したがって、近代世界では大規模農業域と都市化した産業域とが遠距離高速輸送システムの成立を受けて組んでいくというような形で、地球人類は動いているのです。

図 25

都市化を支える大規模農業



丹保原図(世界国勢図会より)

人間の数と食料・飼料の基本となる穀物生産量の時間的増産の関係を図 26 によって見ることにしましょう。1950 年ころには、25 億人の人類 1 人当たりの穀物量が一日 750g ぐらいしかなかったのです。それが 20 年間で、人口が 1.5 倍近くにも増えたにもかかわらず、1 人 1 日 800g 食えるようになったのです。30 年後の 1980 年代には人口が 1.8 倍の 45 億人にまで増加したのに、1 人 1 日 850~900g にまで増えました。これは「緑の革命」と言われる現象です。この革命は、地下水を深井戸ポンプでどんどん汲み上げ、ダムをたくさん造って大規模灌漑を世界に押し広めた農業水利の拡大と、もう一つ、空中の窒素を化石燃料の使用によって固定して、化学肥料としてどんどん使うことができるようになったことによって実現しました。トラクターを石油で走らせて、いろいろなことが大規模にできるようになりました。そうして、緑の革命が起こり、急増する世界の人に 1 人当りに 10% も多くの穀物を供給できるようになったのです。その後、1980 年代から人口がまたどんどん増えて、やがて 2005 年には 65 億人になりました。この 25 年間に穀物生産量は 1.5 倍近くになり、人口増加に追従して農業生産を上げてきましたが、1 人当たりの穀物の量は 850~900g から全く増えていないのです。これは、マーケットがコントロールをしている可能性もありますが、緑の革命が終わってしまったと考えることもできます。つまり、人口増加が食物の増産に追いついて、食物と人口の増加が並行で走っている状態であるということです。

図 26 穀物の生産量と人口

西暦	穀物生産 (百万ト/年)	世界人口 (百万人)	1. 一人当たり穀物量 (ト/年)
1950	691	2,535	0.273
1955	790	2,771	0.285
1960	889	3,023	0.293
1965	988	3,343	0.296
1970	1,079	3,699	0.292
1975	1,204	4,076	0.295
1980	1,410	4,451	0.317
1985	1,632	4,855	0.336
1990	1,673	5,295	0.316
1995	1,756	5,719	0.307
2000	1,872	6,124	0.306
2005	2,043	6,515	0.314

出典：穀物生産 1950～1965 は丹保作成。1970 年以降は「USDA Grain: World Markets and Trade, January 2007」
人口 「UN World Population Prospects: The 2006 Revision」

図 27 穀物の生産量、消費量、期末在庫量の推移

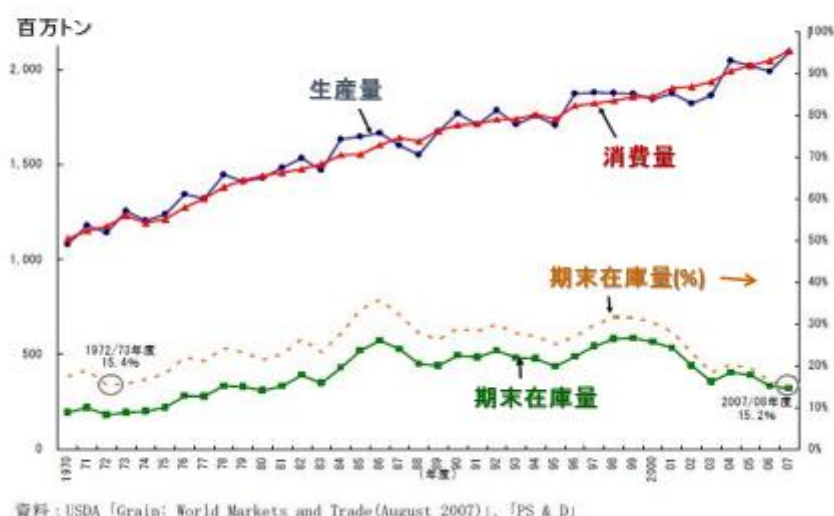
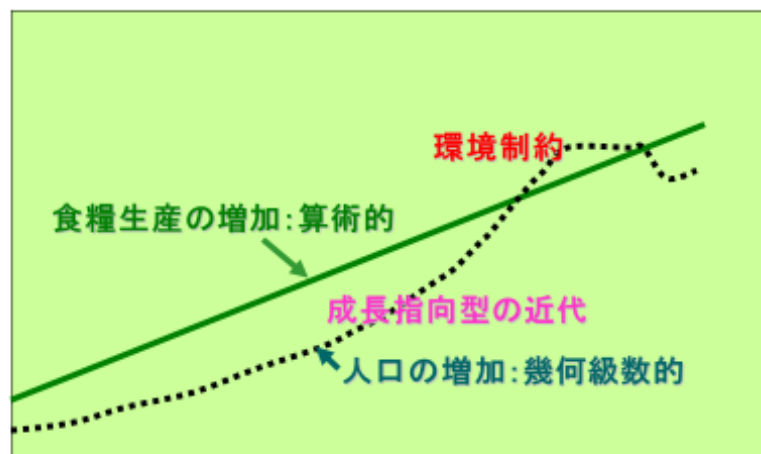


図 27 に見られるように、世界の食糧備蓄率が、1970 年代はその年の端境期で食糧生産量の 15% ぐらいしかありませんでした。緑の革命の成果として 1980 年代後半には 30% 台に上がり、金があれば穀物は世界のどこからでも買えると考えたのです。ところが、近年では備蓄率がまた 15% に落ちています。ということは、人口増加の圧力（指数関数的増加）が遂には食料生産の増加（算術関数的増加）に追いつき不足が始まるという、マルサスの人口論の言う「マルサスの罠」に地球人類が掛かりそうと考えた方がよいように思います。フランス革命が進行していた時代、マルサスは「人口は指数関数的に増加していくが、食糧の生産量は算術的にしか増加しないので、いつか人口が食料供給力を越えてしまう」（図 28 参照）といったことを述べました。その後ヨーロッパ世界が拡大し、地球にまだ余裕空間のある近代前期にはマルサスの罠は開きませんでした。中国でも毛沢東が「社会主義に

は人口問題はない」と最初云っていたように、社会主義(マルクス)派の人々からはマルサスはずっと評価されませんでした。中国革命後、舌の根も乾かないうちに中国共産政権は一人っ子政策をとり今に至っています。地球人類が 70 億人に近づき、地球上に空きが殆ど無くなってきたこの時代、とうとうマルサスの罠が開いて来たのではないかと思っています。インド・アフリカの多産社会に比して毛沢東の最大の遺産の一つが「中国の一人子政策」かもしれず、これが地球の救いになるような気がします。

図 28 Malthus, Thomas Robert (1766-1834)
人口論
“An Essay on the Principle of Population”(1798)
人口増加の圧力は食物生産増加の割合よりもはるかに大きい



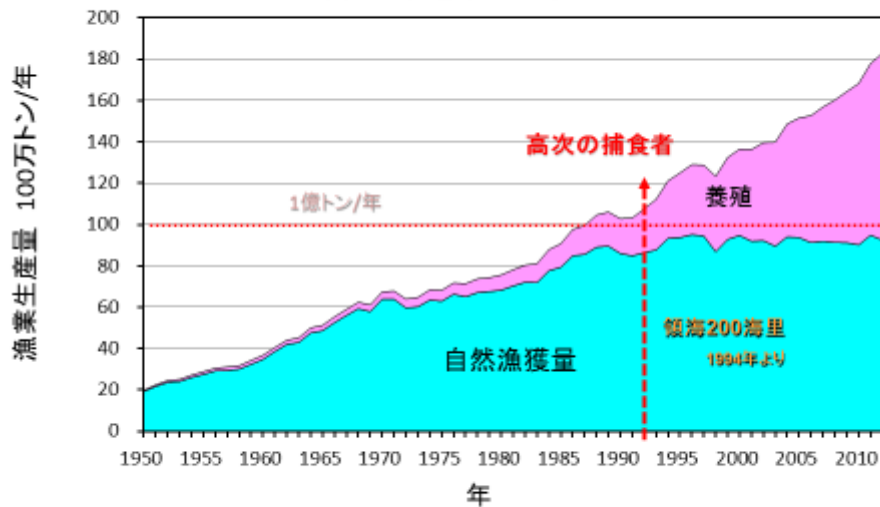
穀物はすべての人間が生きていくための、太陽エネルギー固定の基本です。残念ながら、日本の食料自給率は穀物ベースで 27%、世界でも極端に低いところにあります。カロリーベースで 39%です。日本人は、エネルギーのかなり高い食物を摂取していますから、カロリーベースで 39%です。コストベースでいくと、われわれは大変に高いものを食べていますから、金額基準の自給率は 68%です。

4.2 漁獲量の変遷

日本人は世界で一番たくさん魚を食べているようです。図 29 に見られるように、1950 年ころ世界中で捕れる魚は年間 2,000 万 t しかありませんでした。年とともに漁獲量が直線的にどんどんどんどん増えました。魚群探知技術と漁船の大型化と高性能化が進み、安かった石油燃料に支えられて、地球の裏側まで操業するようになって、七つの海を獲り尽くしました。それでも、年間の海洋漁獲量が 1 億 t にまで増大することではなく、20 世紀末に漁獲量の増大が止まりました。ということは、もう海に過剰な量の魚はいないということです。あとは、魚を獲るのを少し遠慮しなければならないことになります。

それに代わって急拡大してきたのが、養殖漁業です。養殖漁業は 21 世紀初めには自然漁獲量の 50~80% 以上の量を揚げています。われわれがたくさん食べているのはウナギ、鮭、海老、そしてタイなども養殖しています。近畿大学がマグロの完全養殖にも成功しました。

図 29 世界の漁獲量の変遷



世界の海洋の35.6%が200海里水域、5.68%が水深200m以下の大陸棚

出典: FAO

然しながら、養殖は、安い魚や肉を餌としてより大型の高価な魚を商品として作り出す産業(経済行為)です。生態学的食物連鎖の階層から言えば、養殖魚は高次捕食者です。太陽エネルギーを固定するのはすべて植物です。海でしたら、植物プランクトンです。それを動物プランクトンが食います。それを小魚が食います。小魚を中魚が食います。小魚、中魚を大魚が食います。挙句の果てに、クジラが食います。食物連鎖です。食物連鎖が一段上のレベルに行くたびに、太陽エネルギーの利用率は1桁(10分の1)ずつ減るのです。高次捕食者を生産する養殖漁業ではバイオマスの利用率が極端に低くなります。牛なら草を食うだけで、1桁落ちるだけですが、水産資源での落ち方の次数は多段階です。クロマグロ 1kg を養殖するのに小魚(生)15kg を要しますし、鰯(ブリ) 1kg には小魚 6kg、真鯛 1kg には 5kg のエサがいります。食物連鎖で行くと大変なエネルギーの損失です。これだけのエサを与えても得られる収益(お金)が餌代よりも大きければ太陽エネルギーの無駄をしても経済活動は進行します。例えば、イワシをマグロに食わして 20 倍以上の金が稼げれば、太陽エネルギーの利用効率をさらに 1 桁下げても、マグロ養殖が良いということになります。要するに、より多額の金が欲しいという経済活動です。これは完全に経済をベースにした活動評価で、生物学的なエネルギーの流れとは全然違う話になります。

5 エネルギー問題

5.1 人類と化石エネルギーの関係

近代の地球人類の活発な活動に一番大きく寄与したのが図 15 に示した様な急速の増大した化石エネルギーの大量使用です。図 30、31 に示すように、近代以前の世界は、人力、畜力、固定点での水力(水車)、風力(風車)によるもののみで、人力・畜力は高々 200W ~ 1KW の単位出力しかありませんでした、また、風車、水車は固定点でしか動力として使えませんでした。17 世紀末になっての石炭の使用に始まる蒸気機関の発明さらには、20 世紀の 1930 年代に始まる石油燃料による蒸気機関、ガソリンによる内燃機関の普及によって

高速大量輸送時代の幕が切って落とされ、石油大量消費時代を経て、人類史上類を見ない異常さで人口が伸びました。20 世紀に入って、電磁気革命の展開によって、電気エネルギーに変換された鉱物資源エネルギーは瞬時に広域に輸送され、規模の大小を問わず動力に変換され熱源としても用いられ、エネルギー使用の空間制約と供給の時間遅れを皆無にし、現代の主力 2 次エネルギーシステムを構成し、情報通信システムの発達で地球規模の均一な展開を可能にしました。現代の地球人類の成長飽和を招来する最大の駆動力です。然しながら、最新の地下資源取得技術とエネルギー利用技術に裏打ちされたエネルギー多消費型の現代社会の人口増加は、図 31, 32 に示すような大量の石油等の化石燃料消費が招来した有限な地下資源の枯渇によって、21 世紀末には終わるだろうと思います。17 世紀の後半から 18 世紀にかけて急激に人口増加カーブが上昇し始めて、21 世紀初頭の現在、史上最高速で増加が進んでいる世界人口は、先の図 15 に示したように、エネルギー使用量の増加とほとんど 1 対 1 対応する形で進行しています。

図 30

エネルギーシステム

- **近代以前: 人力、畜力** 非力で200W~1馬力(735W)
風車、水車 固定的/非定常的/持続的
- **エネルギー革命: 蒸気機関** 大型化可能
適地へ移動可能/任意の箇所に設置可能
木から石炭へ(50年循環資源から100万年資源使い切)
内燃機関 分散小型化可能
石炭から石油・天然ガスへ(100万年資源: 非再生資源)
- **電磁気革命: 発電機/電動機** 時空間の制約解除
エネルギー輸送利用媒体として電気の利用は殆ど無制約
様々なエネルギー資源から電気は作れる(汎用/瞬時平衡性)

図 31

エネルギーシステム(2) 近代のエネルギー供給システム

・ 一次エネルギー

非再生: 石炭100-150年、石油40-50年、天然ガス50-60年、 U^{235} 70-80年、(U^{238} , Pu^{239} 高速増殖炉1000年～)、メタンハイドレート?、非在来型化石燃料(シェールオイル、タール)

再生可能: バイオマス50年サイクル、風力、太陽光、地熱、水力、潮汐力

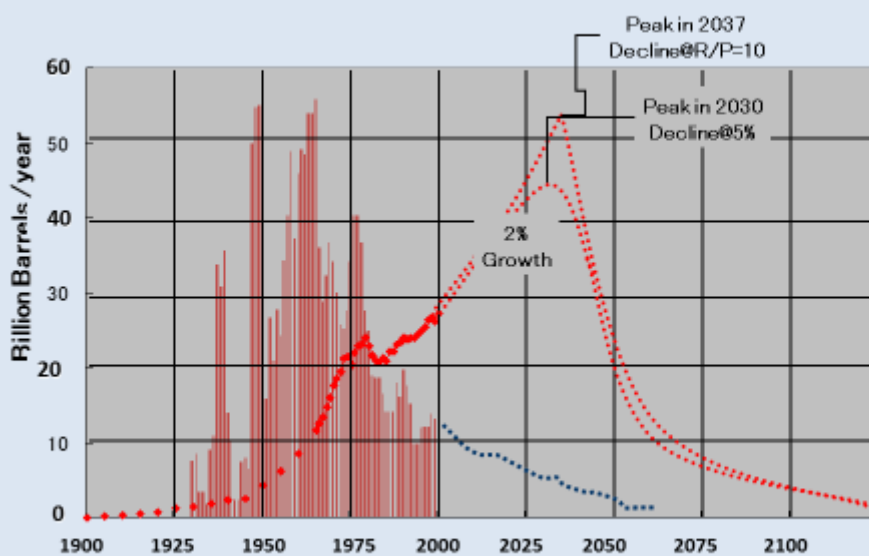
・ 二次エネルギー

電気エネルギー(長距離輸送、広域運用可能: 分散化も容易: ローカルネットワーク、直流網)、
水素(輸送困難、分散移動可能)

図 32 は、1930 年代に始まった石炭から石油への燃料転換が、次々に行われ石油資源探査で 1960 年代頃最大の油田の発見があり採掘量のピークが 2030 年ごろあらわれ、2100 年ごろにはもう採掘できなくなるのではないかという事を示しているようです。ちなみに 1930 年は原油の全く取れなかった英国が、チャーチルの主導の下で英国海軍の主力艦をすべて、石炭炊きから重油炊きのボイラーにして戦力を維持拡大するという重大な決断を行い、世界の海軍の主力艦の個艦の力量を根本から変えた年でもあります。

図 32

OIL FOUND and PRODUCTION



Tambo 2007

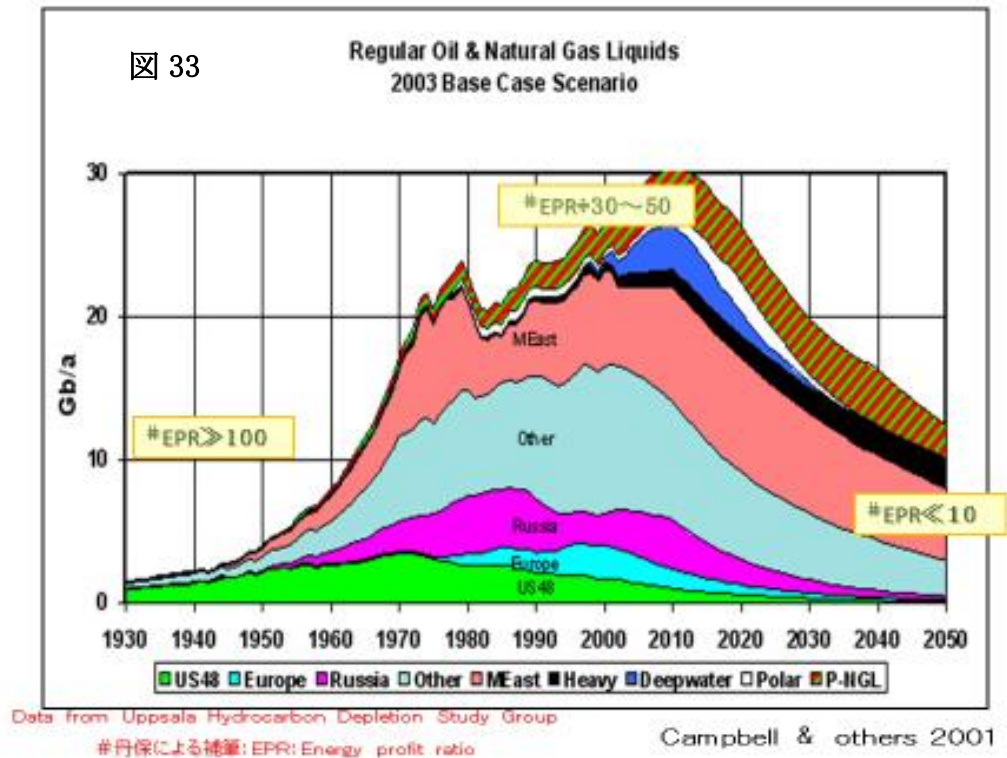
図 33 は、Chambell の示した、ピークオイル説を示す代表的な絵で、石油や天然ガスの資源は、発見され採掘量がピークに達するまで徐々に増加し、ピーク後にまた同じようなカーブを描いて減耗していくという仮説を提示した図です。筆者が米国に留学していた 1960 年代初頭となえられた、アメリカ本土の石油採掘量は 1970 年頃にピークに達し以後増加と同じような曲線を描いて減耗していくという説でした。仮説のように米国本土の原油産出は 1970 頃をピークに減耗し、在来型の油井は今日では本土には殆ど無くなっています。現在では、メキシコ湾の海中油田や非在来型のシェルオイルの産出に切り替わっています。

Chambell の図で重要なことは、同じ石油の産出量がある場合でも、曲線が立ち上がっていくときの左側のスロープと産出量が減っていくときの右側のスロープでは資源としての価値が全く違うことです。EPR(Energy Profit Ratio)という数値が図に書き込まれていますが、資源を採掘するときに使われるエネルギー量と産出した資源の持つエネルギー量の比を示すものです。油田を発見した初期には油井から原油が自噴するかまたは極めて簡単にくみ取れる状況で、採掘に要するエネルギー単位に対して 100 倍以上のエネルギー（原油）が容易に得られます。然しながら油田が古くなってくると、採油層に塩水を圧入して原油を絞り出したり、大深部からくみ上げたりすることが求められて、資源採取に必要な作業用エネルギー量が大きくなって、EPR が一桁台以下まで下がってくると、資源は有っても採算が取れず油田は放棄されてしまいます。現在歴史上で最大の原油を採掘している状況にありますが、EPR が 30~50 といった油田が多いようです。石油は埋蔵量の 50~60% くらいしか採掘できないとも言われていますが、LNG は 80% くらいも可能であり、かつ後発の資源ですが、採掘のしやすさから枯渇に至る時間はほとんど同じころであろうと考えられています。

同じようなことは石炭にも言えて、日本の地下にはまだまだ石炭が残っていますが、経済・安全ベースの収支が取れず採掘は終わっています。地中ガス化などの新技術が実用化すれば、採算の取れなかったシェルオイルやシェルガスなどの非在来型エネルギー資源

(Non-conventional oil) が在来型の油田(Conventional oil field)の EPR の低下（価格の高騰）に伴って経済的に可能になってきたように、石炭資源の再活用が進むかもしれません。シェルオイルは原油価格が 1 バレル 60 ドルを超えると採算が取れるといわれています。

図 33



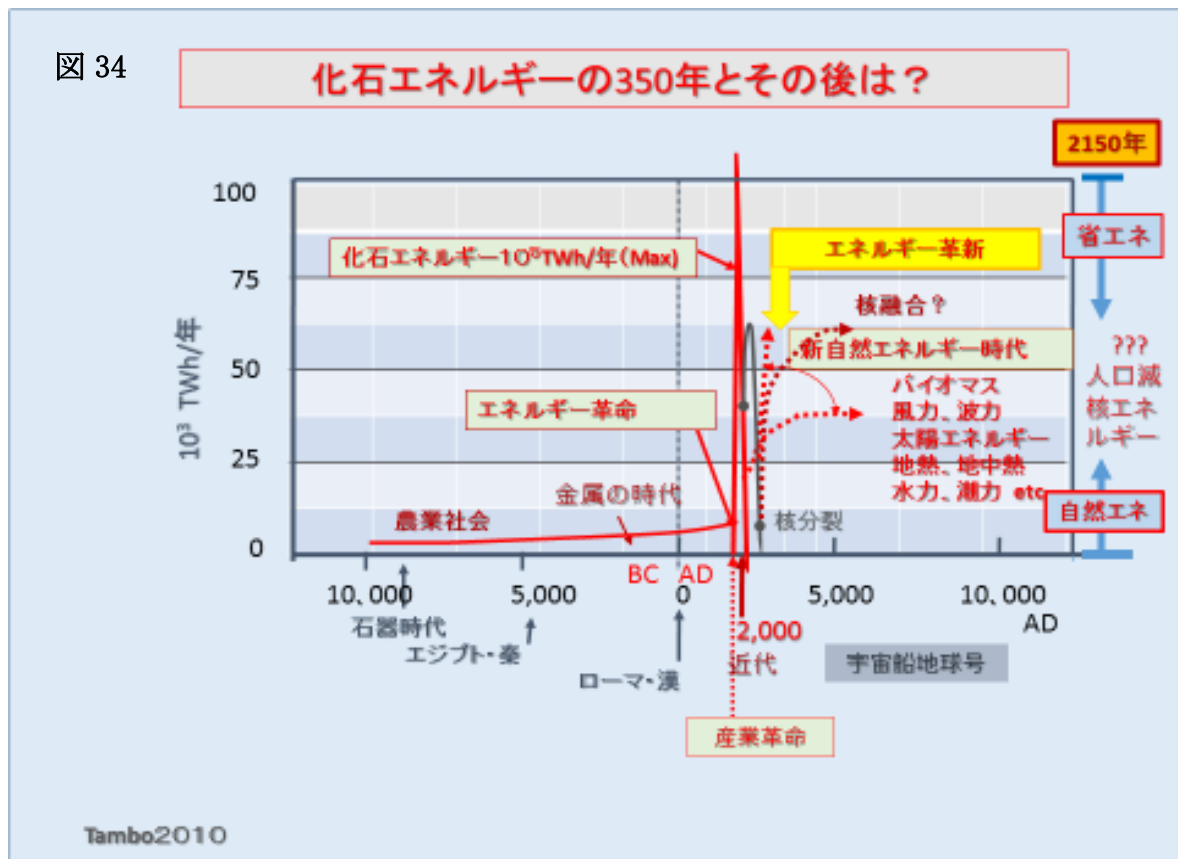
近代の人口増加曲線の先には、石油、石炭、ウラン²³⁵などの非再生エネルギー（鉱物エネルギー）資源が無くなったら、違うエネルギー源を使って人類活動を継続発展できるか、それとも人類の活動が停滞し、衰亡の一途をたどるのかという大きな分岐点が待ち受けています。石油は何時ごろまで使えるのでしょうか。石油のピークアウトと呼ばれる現象ですが、現代では、石油が発見される量よりも生産（消費）される量の方が多くなりはじめました。将来のバランスを図 32 の様な図の上で考えますと、これから発見されると予想される埋蔵量曲線下の面積と、石油生産量の曲線下の面積は、同じになるはずです。そうしますと、2050 年から 2075 年頃には石油は容易には使えなくなると考えられます。長い人類の歴史で見れば、われわれが化石燃料に頼れる時代は、石炭を含めてもきわめて短い時代で、たった 300 年ぐらいに過ぎません。われわれは化石燃料に頼って急激に人口が大成長するという、人類史上の特異な時代に生きていることを自覚する必要があります。

図 34 は、図 5 に述べたよりももっとも長い $10^3 \sim 10^4$ 年というオーダーの時間で人類がどのくらいエネルギーを使って来たか、そして近代という時代はいかに特別な短い高エネルギー消費の歴史時間であるかがわかるでしょう。将来はどうなるかはよくわかりませんが、再生可能エネルギーと核融合（Nuclear fusion）エネルギーなどを念頭に模式的に描いてみました。

最大限の省エネルギー技術を駆使することによって 30%ほどのエネルギー消費量の削減が見込めるのではないかと期待されます。省エネルギー技術社会・生活モードがおそらく最大のエネルギー問題対応でしょう。それに対して、化石エネルギー無きあとの新エネルギー技術がどのぐらいの能力を持ち得るものでしょうか。自然エネルギー源は、地域特性がきわめて強いので地産地消の分散型に重点が置かれてくると思いますが、電気システムを主 2 次エネルギーに用いることによって、止むをえぬ場合には、いくらかの流通損失を見込んで比較的広域での融通も不可能ではありません。2010 年における世界の再生可能エネルギー利用率は大水力 16.1%を含んで 19.4%ですが、風力、太陽光、地熱等は僅かに 3.3%にしか過ぎません。大水力の開発地点は環境問題で大きくはませないで、その他の風力・

太陽光、地熱等の発電に最大努力を重ねて10倍にすることが出来れば、30%をまかなえます。30%省エネルギー、30%新エネルギー増設をしたとして残りの30%は人口減を考えなければならないかもしれません。図23に書いた世界人口40億人の世界です。高速増殖炉の技術を使えるとしてさらなる低エントロピーエネルギーを1,000年は使えますが、核融合技術を獲得できなければ原子力利用もそれまでです。

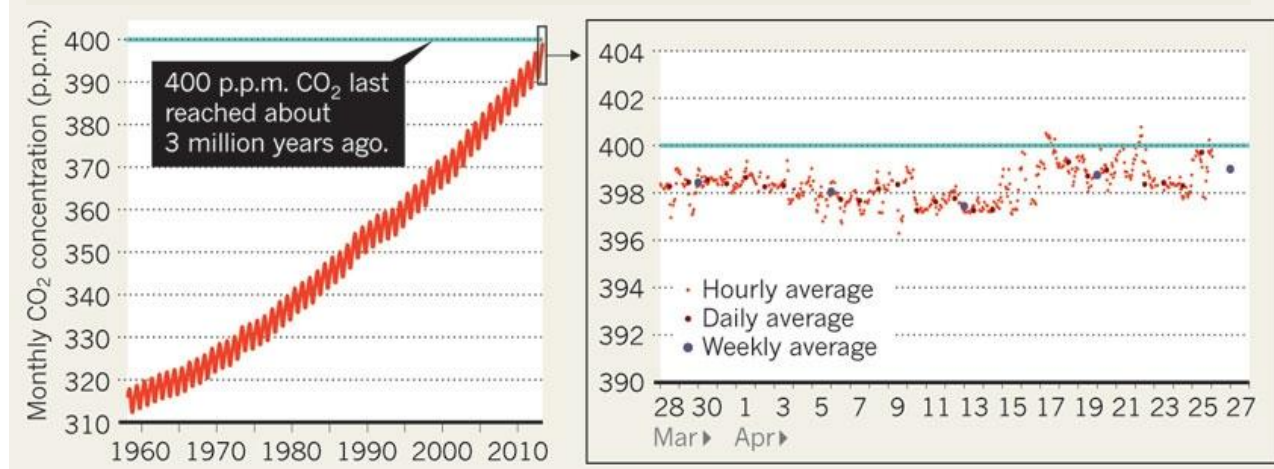
図34



5.2 地球温暖化:気候変動

大気中の二酸化炭素濃度は、キーリング父子らが 1957 年よりハワイのマウナロア火山で行った長期的な観測などが示すところによりますと、図 35 に示すように 1950 年代から 2000 年代にかけて 310ppmv（体積基準で 100 万分の 1 を表す単位）から 380ppmv にどんどん増加しました。産業革命前の化石燃料を使わなかった時代には 280ppmv であったといわれています。2015 年 4 月には 400ppmv を突破する状態に至りました。大量の二酸化炭素などの人為的排出の結果、人類は地球温暖化という問題を起こしているとするのが IPCC 発の世界の主論調です。IPCC（気候変動に関する政府間パネル：Intergovernmental Panel on Climate Change）が終始その中心を担って観測と議論を展開しています。

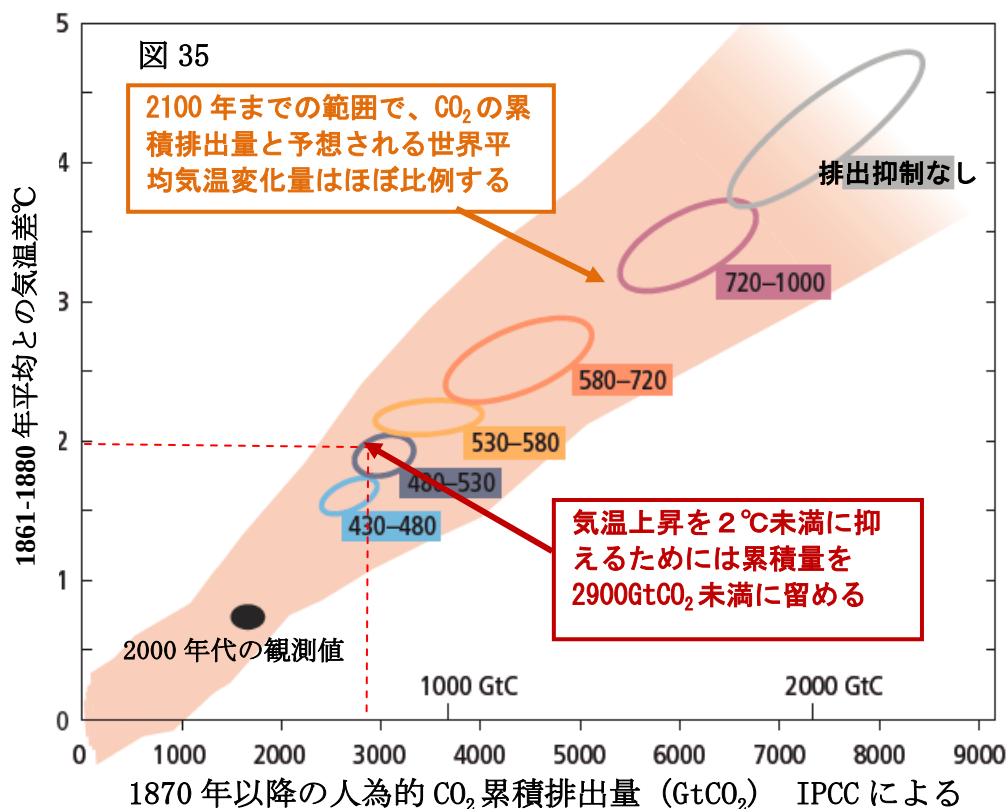
図 35 ハワイ・マウナロアの大気中 CO₂ 濃度の増加（米国 Mauna Loa 気象観測所）



IPCC は 1988 年 11 月に設立され、2001 年に第 3 次報告書、2007 年に第 4 次報告書、2014 年第 5 次報告書がまとめられ、二酸化炭素などの温室効果ガス（GHG）と地球の温度上昇の関係が政府間の主要課題になりました。論議された結果は、①観測された 20 世紀後半からの地上温度の上昇に GHG が及ぼす寄与が大きく、GHG の継続的な排出は、さらなる温暖化と気候システムすべてに長期にわたる変化をもたらす。その結果、人々の暮らしや生態系にとって深刻で広範囲な不可逆的な影響を生じる可能性が高まる。②気候変動を抑制するためには、GHG の排出を大幅に持続的に削減する必要がある、適応策を合わせて実施することによって、気候変動のリスク抑制が可能になる。

今世紀の間で、地球表面の温度上昇は図 36 の IPCC の資料の示すように、1870 年（工業化のが急速に進んだ）以来の累積 CO₂ 排出量に略々比例して増加すると予想されている。工業化以前に比べて地球の温度が 2℃以上昇がると、異常気象が生ずる可能性が高くなるので、2℃のレベルに抑えられないかという事が議論されています。

一方で、CO₂ の増加を中心に置いた地球温暖化の IPCC の議論に対して、地球史のロングスパンの宇宙システム（太陽系）の揺らぎがその主体であろうといった反論も有力な研究者から出されており、もしそうであれば、後述する未来のエネルギー問題の処理の仕方が大きく違ってきます。IPCC の 5 次報告書はかなりの確度を持って、水蒸気、CO₂ などの温暖化ガスの人為的な変化が 20～21 世紀の気候変動の主役であるとし、世界各国はその論を受けて将来のエネルギー計画などの適応策を考えることにしています。



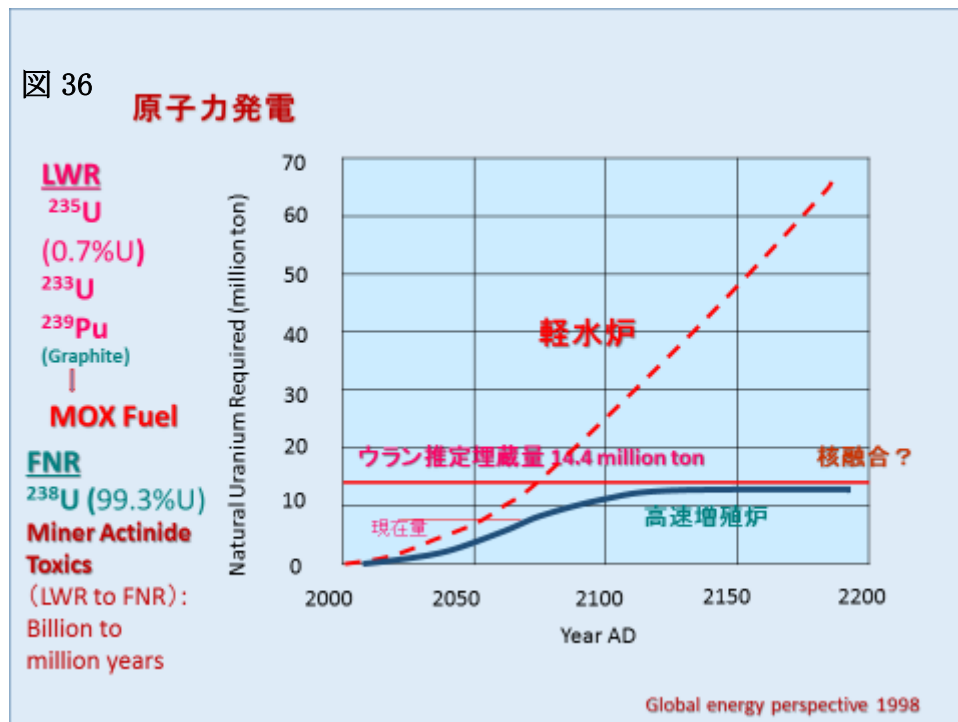
5.3 短期均衡（フロー）型と蓄積資源（ストック）利用型エネルギー社会

近代西欧型社会は、太陽エネルギーに化石・原子力エネルギーを組み合わせ利用し、同量の廃熱を大気圏経由で宇宙空間へ捨てることで成り立っています。化石エネルギーの（もちろん、原子力エネルギーも）なかった江戸時代のように、人類がもしバイオマスと風力と太陽光のエネルギーだけで生きていくとしたら、これを「グリーン」に生きると言いますが、太陽から入力したエネルギーだけで生きるわけですから、バイオマスの生成・燃焼サイクル 30～50 年くらいを周期とした短期間のフロー型（循環）エネルギー収支で運用しなければなりません。

短期間で入ったもの、出たものの熱量がきれいに均衡する、熱収支になるのです。近代西欧型社会は、江戸時代のようなグリーンな短期（30～50 年くらい）エネルギー収支のフロー型社会を、化石エネルギーや原子力エネルギーを使うストック使切り型（一過消費型）近代社会に切り替えることによって、短期間で人類の大増殖・文明の大拡大を達成したと思います。要は、地球資源の超長期の貯金を 300 年ほどで食いつぶしてきたということです。

二酸化炭素を運転時にほとんど出さない原子力発電のことを考えてみましょう。核分裂型の原子力発電が現在の化石（石油・天然ガス）エネルギーを補完する最短近距離にある集中型エネルギーシステムということで、世界的にその運用が進められています。当面はウラン 235 とプルトニウム 239、241 を燃やす、大型の軽水炉が中心になるでしょう。エネルギー資源としてのウランの埋蔵量（コストの掛け方で採掘可能埋蔵量が変わります）は、2005 年現在、474 万 tU くらいあるそうです。現在のウランの使用量が世界で 5.45 万 tU/年です。割り算しますと、85 年で無くなります。多くの新興国が軽水炉型の原子炉を使うようになると、ウラン 235 というのは、一過型の使い方をしますと、数十年しか持た

ないエネルギー資源です。わが国ではウラン 235 の核分裂から発生したプルトニウム 239 を再処理したMOX（プルトニウム混合酸化物：Mixed oxide fuel）燃料を、ウラン 235 の在来型の燃料集合体の 25%だけ炉に挿入することが認められていて、ウラン燃料資源の寿命を 20%ぐらい延ばすことが可能で、それでもウラン 235 は 100 年弱がせいぜいの利用になり遠からず無くなります。発展途上国の原子力発電に対する需要が急増しますと、ウラン資源の一過型利用による枯渇の時期は、石油や天然ガスとあまり変わらなくなってしまう可能性があります。



ただ、高速増殖炉で、ウランに高速中性子をぶつけて、天然ウランの 99.3%を占め、現在の軽水炉では燃やすことができない不活性のウラン 238 を燃やすことによって、1000～2000 年オーダーの資源量が確保できます。高速増殖炉の冷却材は今のところ金属ナトリウム（液体）です。ナトリウムは水を掛けたら爆発しますから、扱いの難しい（あえていえば危険因子が増える）液体金属です。

もし省エネルギーにはじまり、再生可能エネルギー開発、分散型複合エネルギー、自然系を用いた電力・熱併給システムなどの開発が不十分で、様々な技術革新がうまくいかなければ、人類は高速増殖炉を集中型電源として使わざるを得なくなるだろうと思います。望むと望まざるとにかかわらず、使わないで自分たちが死ぬか、恐ろしい思いをしても高い技術と最も慎重な配慮で使うかという判断を、いつか迫られるだろうと思います。核エネルギーは、資源としてはエネルギー源としてしか使えないウラン、プルトニウムを使うわけですから、化石燃料のように化学工学原材料として多様な目的に使える貴重品を単に燃やして熱だけを取り出すようなもったいないことがない反面、核爆発・炉の暴走の危険があり、廃棄物の管理処分が超長期にわたる危険との付き合いになります。特に高速増殖炉は、冷却材の金属ナトリウムの危険に加えて、超長期寿命の毒性の強い廃棄核種（Miner Actinide Toxics : MAT）が原子炉内で新たに作られ、処分場の選定と管理がさらに困難になります。原子炉を MAT の処分のために使い、短寿命化する試みもあるようですが、日本

の高速炉や再処理工場運用組織の現況を考え、福島後を考えると、現在の人間の能力と気力をもってしての展開に自信を持つことが難しいように思います。

環境(廃棄物処理処分)問題の解には二つの道しかありません。徹底的に薄めて分散させる方法と、固めて最小空間に押し込める方法です。その中間は有りません。すべての活動は、それを駆動するエネルギー源があつてのことです。図5に示したように、地球は熱力学的に言えばクローズ(閉鎖)系ですから、太陽エネルギーは177,000 TW という巨大な量で地球を通過してしまい、途中で自然エネルギーをいくら利用しても廃熱となって宇宙に抜けていきます。ところが、物質は地球上に止まり循環しますから、化石燃料を燃やしてエネルギーをとりだした後、炭酸ガス、水蒸気などの形で温室ガスとして地球の大気圏に広く薄めて分散されて長くとどまり、地球温暖化といった現象を起こします。IPCCを先頭に温暖化ガス起因で地球の未来問題を論じていることは、廃棄物を薄く分散し続けたことの結果です。一方、核廃棄物は最大限に濃縮して集中廃棄します。処分場の問題では今のことも大変ですが、何千年も先のことを心配する人が多くあります。廃棄物処分の薄めと集めの時空間上の別な形の二つの困難問題をそれぞれ起していることに注目したいと思います。逃げ場のない近代の終焉が迫っている事柄の一つです。

自然エネルギーで生きていこうとすればどうなるでしょうか。図33に示したように、石油も石炭もウランもこの先100年は有りません。自然エネルギーのうちバイオマスは森林に頼って人類がエネルギー革命・産業革命に至るまで何千年も使ってきた、基本エネルギー源です。図13に示すように、総量で150TWしかありません。光合成反応で植物が固定した太陽エネルギーです。近代文明社会は集中型のエネルギー供給システムを、10~12TWほどの化石・原子力エネルギーなどの集中使用で経済産業社会を営んできました。10億人足らずの18世紀の人類はこのわずか10TWほどの化石・原子力エネルギーの助けで、300年間に70億人にまで増えました。質の良い集中型エネルギー供給システムによる産業革命以後の展開です。

バイオマス150TWの大半は熱帯雨林その他の森林地帯にあります。中世の終わりには国土の山林を裸にしてバイオマスエネルギーを獲得しようやく数億人の人類を養い文明を維持しました。図37は地球上のバイオマスの存在状況を示しています。炭素C基準で、農耕地の生産量は4.1%にしか過ぎません。すべてを熱量に変えても畑での獲得可能量は $150\text{TW} \times (4.1/77.6) = 7.9\text{TW}$ にしかありません。食料残渣の1/2と森林の半ばを25年サイクルで利用すると仮定したものを足しても、 $[150\text{TW} \times (24/77.6 \times 25)] + (7.9/2\text{TW}) = 1.86\text{TW} + 3.95\text{TW} = 5.8\text{TW}$ 最大という事になります。バイオマス利用の限界数値でしょう。後は、地熱ですが地球内部の核分裂による発熱量が10TW位という事ですから、地表での発電はマグマ発電が可能になって最大限1/3位まででしょうし、温泉・水蒸気でしたら最大でも1/10の1TWというところでしょうか。後は風力と波力、潮流でしょうか。風力は風車出力KWの20%くらいが有効出力KWhに出来るようですから、5,000kW(実効1,000KWh)の風力発電所を1万基作ったとして、 $10,000,000\text{KWh} \div 10\text{TWh/年位}$ のエネルギーが確保できるのでしょうか。現代のエネルギー消費量とほぼ同じ、年間 $10 \times 365 \times 24 \div 10^5\text{TWh}$ の電力を創りだせそうです。ちなみに2014年現在の世界の設備容量は0.4TWほどで、有効出力総量は0.7TWh/年程の電力を生み出しているようです。

太陽光の地球への照射量は大きく、サハラ砂漠をすべて太陽電池で覆うと現在の地球のエネルギー需要量をまかなえると言われています。設備容量の10%くらいがKWhで評価できる量であり、夜間は全く発電せず日照による変動も大きく、大量に系統につなぐことは容易ではありません。系統電力供給のパラサイトともなりかねない電源です。

化石燃料が使えない時代になると、風力や太陽光のような変動エネルギー資源を使うときには、系統の安定運用上の電源として、地熱・水力・高速増殖炉などの平滑化されたエ

エネルギー源をかなり大きな割合で持っていることが必要になります。適切な質と量のエネルギー資源ミックスが化石燃料、 U^{235} が尽きた後の電力システムには必要になります。エネルギーの輸送、製造、消費を総合的にかつ詳細に瞬時に時空間で均衡をとって詳細に運用していく、新しい情報・運転管理システムを作ることでも一大科学技術活動です。さらに、再生可能エネルギー施設の寿命は20年ほどと現今の水力・火力・原子力に比して短寿命ですから、ここでも廃棄物処理処分問題と大きな減価償却が問題になります。太陽光発電は高密度社会では大きな数値は望めません。砂漠、海洋、宇宙空間の活用ではまだ具体的な数値をはじきかねます。

これ等の新エネルギー政策で、近代型の生活が出来る地球人類の数は最大でも20～60億人位でしょうか。この足し算は、脱近代文明の構造転換と絡む引き算との間でどのような形の数合わせで進んでいくのでしょうか。もう少し精度の高い議論が遠くない将来どうしても必要になります。

図 37 基礎生産量、存在量、滞留時間(C基準)

植物群落		基礎生産量 ($10^{15}gC/Y$)	現存量 ($10^{15}gC$)	炭素の滞留時間 年(Y)
陸地	熱帯多雨林	16.8	344	20
	温帯常緑林	2.9	79	25
	亜寒帯林	4.3	106	25
	農耕地	4.1	6.3	1.5
	陸地の総計	52.8	824.5	15.7(平均値)
海洋	外洋	18.7	0.45	0.002
	湧昇域	0.1	0.004	0.04
	大陸棚	4.3	0.12	0.027
	藻場・珊瑚礁	0.7	0.54	0.77
	河口域	1.0	0.63	0.63
	海洋の総計	24.8	1.74	0.07(平均値)

Whittaker & Likens, 1975 (地球環境科学 4 岩波p.40より修正引用)

6 水が世界人類の未来の生存を支配する

6.1 地球上の水の存在と需要

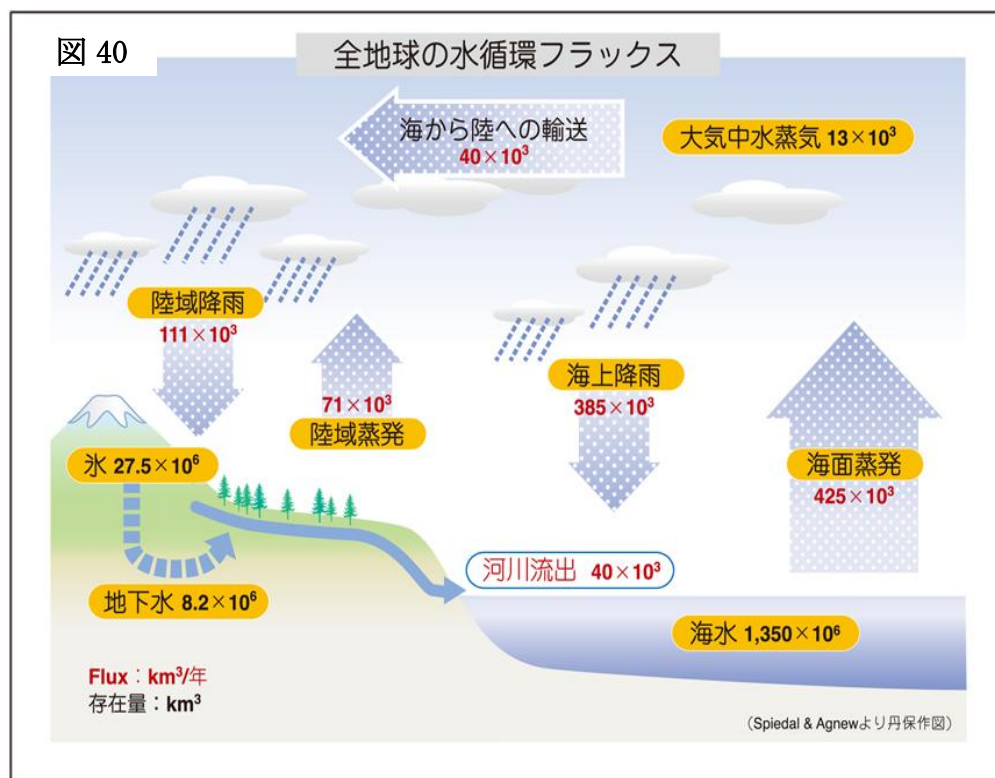
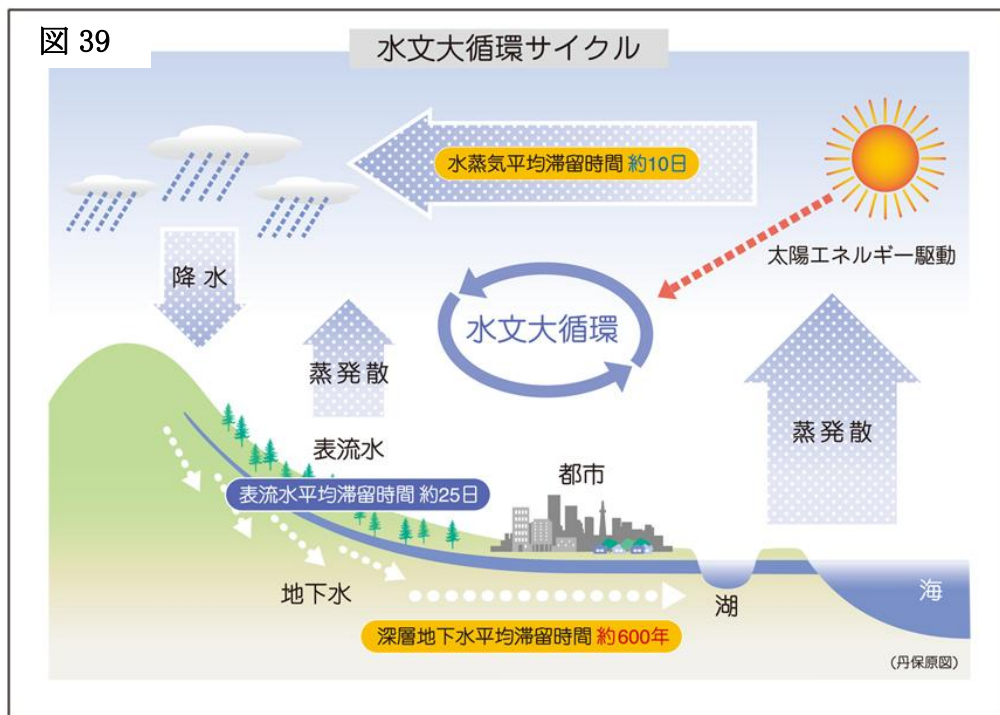
「水」がエネルギー問題とともに、未来の世界を支配する最重要因子となります。地球の表面の3分の2は海です。水の惑星が持つ水の97.3%は海水です。人類や陸上動植物が直接依存するのは淡水です。残念ながらその淡水の大半は氷河にあります。したがって、われわれが直接依存しているのは水資源のフロー部分で、川の水、湖沼の水、地下水などを全部足しても地球の水の0.01%弱しかないのです。淡水は空中で水蒸気等として存在していますが、平均10日の滞留時間しか持っていません。換言すれば平均して10日で地表に降水として戻ってくる、「高速循環資源」です。しかも、水は常に太陽エネルギーで蒸発した水蒸気が凝縮して生成し、純水に近い新鮮な淡水として再生され地上に戻ってきます。地上では、年間 $111 \times 10^3 \text{ km}^3$ といった巨大なフラックスになります。

図 38

地球上の水の存在量

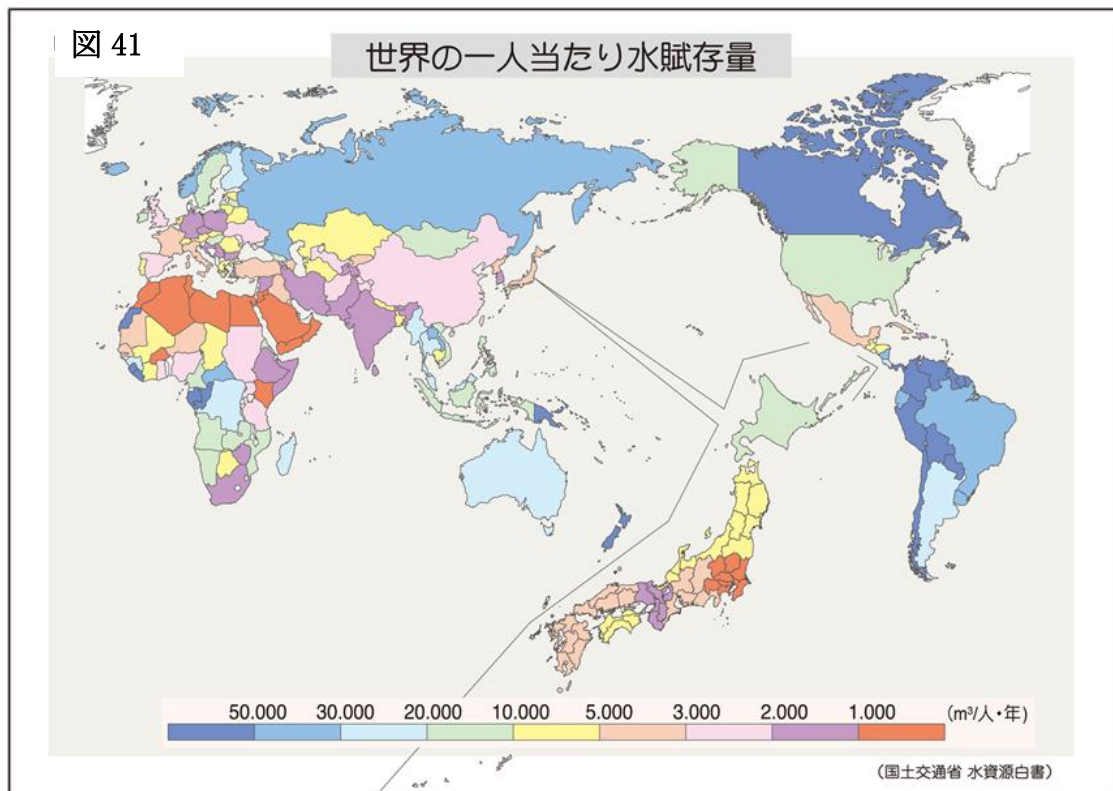
地球上の全水量	$136 \times 10^7 \text{ km}^3$	100 %
海水の総量	$132.3 \times 10^7 \text{ km}^3$	97.3 %
淡水の総量(地表)	$3.67 \times 10^7 \text{ km}^3$	2.7 %
水蒸気(大気中)	$13 \times 10^3 \text{ km}^3$	0.001 %
河川水	$1.25 \times 10^3 \text{ km}^3$	0.0001 %
湖沼水	$125 \times 10^3 \text{ km}^3$	0.009 %
(深層までの地下水)	$835 \times 10^4 \text{ km}^3$	0.61 %
土壌水分	$67 \times 10^3 \text{ km}^3$	0.005 %
氷(極・氷河)	$2.92 \times 10^7 \text{ km}^3$	2.14 %

(Water encyclopedia 1990)



UNEP（国連環境計画）の資料によりますと、水の総需要量は20世紀初頭に僅か500 km³/年でしたが、21世紀初頭には5,500 km³/年に達しました（図16）。世界の水利用量の最大割合が農業利用で、工業用に使われる水量は、途上国を中心に増大していますが、日本では鉄鋼業の97%を筆頭に積極的に排水の再利用を進めていますので、工業用水の自然河川からの取水量はあまり増えていません。一方、都市用水、特に生活用水は1人あたりの

原単位（一定量の製品を作るために必要な原材料・労働力の標準量）が少しずつ増えてきましたが、人口増加の頭打ちと環境意識の増大もあって、規模の拡大は止まり、水質の向上、災害安全の向上などに施策の力点に移りつつあります。世界の水システムの未来は、人口の急増と、途上国の食生活が穀物から肉類へと変化するのに応じて飼料穀物生産量を増大するために、農業を拡大し、それを支える農業用水量確保が最大の問題になります。



世界各地の年間1人あたりの水の賦存量を比較してみると、1人あたり1日3,000L、浴槽10杯分ぐらい以下しか水資源量がない場合には、「水ストレスが非常に強い」と言うようです。ということは、住民1人たり浴槽10杯ぐらいの水があれば、作物を作り産業を維持し、日常生活が基本的にできると考えます。一番の困難地帯、すなわち1人当たり1,000L/年以下の水賦存量しかない地域を塗りつぶしますと、アラビア半島からエジプトそしてモロッコまでのサハラ砂漠北の地帯です。誰でもこの地帯の降水量の少なさから水賦存量の不足を理解できます。

驚くべきことですが、住民1人たりの水賦存量が世界最悪なもう一つの地域が関東です。人口4,000万に対して、年間1,500mmの雨が平均して降ります。それでも、1人当りの水資源賦存量が1,000L/年以下の世界最悪の寡水地帯なのです。これは、関東はすごい大量の生産を上げていて、4,000万人ぐらいの人間でドイツに近く、フランスよりも高いGDPを獲得していることに由来します。そんな大活動をやれば水が不足するのは当たり前です。

6.2 世界で水システムが危機を迎える

現代では、灌漑農業によって穀物の60%以上が生産されており、前述のように緑の革命が起きました。灌漑による畑地農業は、河水や地下水を畑に導いて散水し作物を育てます。これらの灌漑畑で心配なのは塩害による畑地の荒廃や表土流出などです。灌漑畑の多くは乾燥地帯にあり、それら地域の河川水・地下水は一般にはかなり塩分濃度の高い硬水です。灌漑で水をまき、その多くの割合が蒸発すると塩が地表（最大濃度は表面下40～50cm辺りにある）に残り、ひどい時には硬い塩化物層ができたり、灌漑水中の1価ナトリウムイオンで土の団粒構造が壊れて、土壌粒子が分散し流亡したりします。メソポタミアの豊饒な三日月地帯が衰亡したのも塩が畑に溜まることによるようです。東アジア、東南アジアなどのモンスーン地帯の水田農業だけが永続的に塩害がない灌漑農業です。

世界の沿岸大都市の多くは、地下水の大量汲上げによる地盤沈下や塩水楔の地下滞水層への侵入で大きな被害を受けています。過剰揚水をしないことが第一の対策ですが、近年の地球温暖化による海水面の上昇はまた、沿岸に立地することの多い現代都市社会に新たな問題を投げかけました。地球温暖化が進むと、海水温が深海まで徐々に上昇して、その結果、深い海全層の海水の熱膨張が次第に進むことと、グリーンランド、ヒマラヤなどの陸氷河の溶解水が海に流れ込むなどして、海水面がじりじりと上がります。

西暦3000年まで、3℃以上の温度上昇が続くと海水面が3m程度上がると言います。IPCC第4次報告のシミュレーションによりますと、現在の2倍の二酸化炭素濃度750ppmvの場合、2100年に20cm、以後100年ごとに10cmほどずつ上がり、2400年には50cmほどの上昇になるのではないかと予想されています。

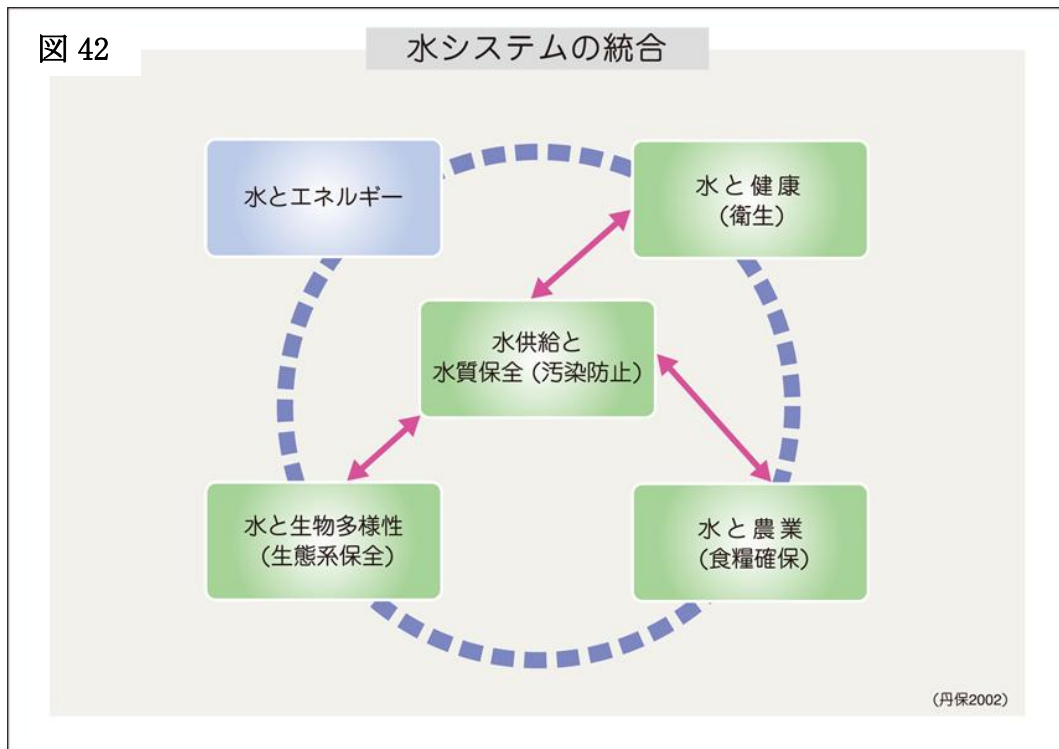
さらには、今世紀に入るところから目立ってきた、世界的に頻発する洪水被害への対応があります。都市化の進展で人々が海の近くまで来て住んで、金持ちがわざわざウォーターフロントに集まって水を楽しむ生活を図ります。アメリカでもオーストラリアでもヨーロッパ低地でも英国でも似たような状況にあります。人口密度も高くなり収入も多くなったので、いったん洪水が起こったら被害は甚大になります。大都市の川沿いにあるスラムの増加も被害を加速します。

急激な大雨に由来する局地洪水、竜巻、猛暑などがヨーロッパやアメリカ、そして日本でまで頻繁に観察されるようになりました。日本は従来モンスーン期の台風由来の大洪水に悩まされてきましたが、ヨーロッパは温和な気候を長く維持して、その上に近代ヨーロッパ型文明を築いてきました。1980年ぐらいまで、国際会議における水問題の論議の中心は、ヨーロッパの連中は流域の水質保全・汚染制御で、日本の連中は流域の洪水と渇水の調整であり、議論が噛み合わないことがあったのを思い出します。京都で開かれた第3回世界水フォーラム（2003年）の時に、国際会議で初めて洪水対応が主課題に躍り出ました。先立つ年に、ヨーロッパ中部を繰り返し大洪水が襲ったことによるように思います。地球温暖化との関係を物語っています。

6.3 水システムの統合

地球上を循環している淡水の大きな部分が農業に使われます。食料の確保が第一義です。生物多様性の保持や自然の確保に必要な水が生態系保全用水です。しかし、農業が生産を上げようとして灌漑用水をさらに求めれば、他の用途（生態系保全と都市産業用水）に回す水が減ることになります。そして、都市産業用水の確保のために、水の再利用、循環システムの導入で対処しようとするれば、エネルギー消費をさらに求めることになります。総合的な流域管理を最小エネルギーで進めなければなりません。

その場合、質の適切な使い分けが基本理念となります。すべての用途に飲用可能水を送るといった、近代水道のような贅沢はできなくなります。都市の上水道も下水道も近現代は、大きな清浄水源を求め、長距離の導水を行い、一括してすべての用途に飲用可能水を供給し、すべての使用済みの污水・排水を一括して下水と称して下流域に排出する大規模集中型を取っています。水処理を除けば、2000年近く前のローマの上下水道、モヘンジョダロの水システムと変わりがありません。来るべき22世紀は、地球に人が溢れ、利用可能な資源に限界が来て、新しい自然と共生する生き方を工夫して近代を卒業しなければ人類の持続可能な未来が心配になってきます。



エネルギー革命がまだ無い時代に、人力・畜力・自然エネルギーを最大限に活用して地域の水源を使い、地域自立型で運営してきた分散型用排水システムが見直され、もう一度環境制約突破の手段として、近代技術の成果をも活用して再認識されるでしょう。

分散型の水システムの工夫によって、上流のダムを減らし、川道の生態系との共生の可能性も上がり、上下流の相克問題も緩やかになってくるかもしれません。現代の集中型システムを採用している限り、ダムはいらなど無限定に言うわけにはいきません。農業用水についてもかなりの程度、分散型灌漑が論議の対象になるでしょうし、水田ではさらに局地循環型採用の可能性は高くなり、自給率向上のための水問題対策の切り札にもなります。

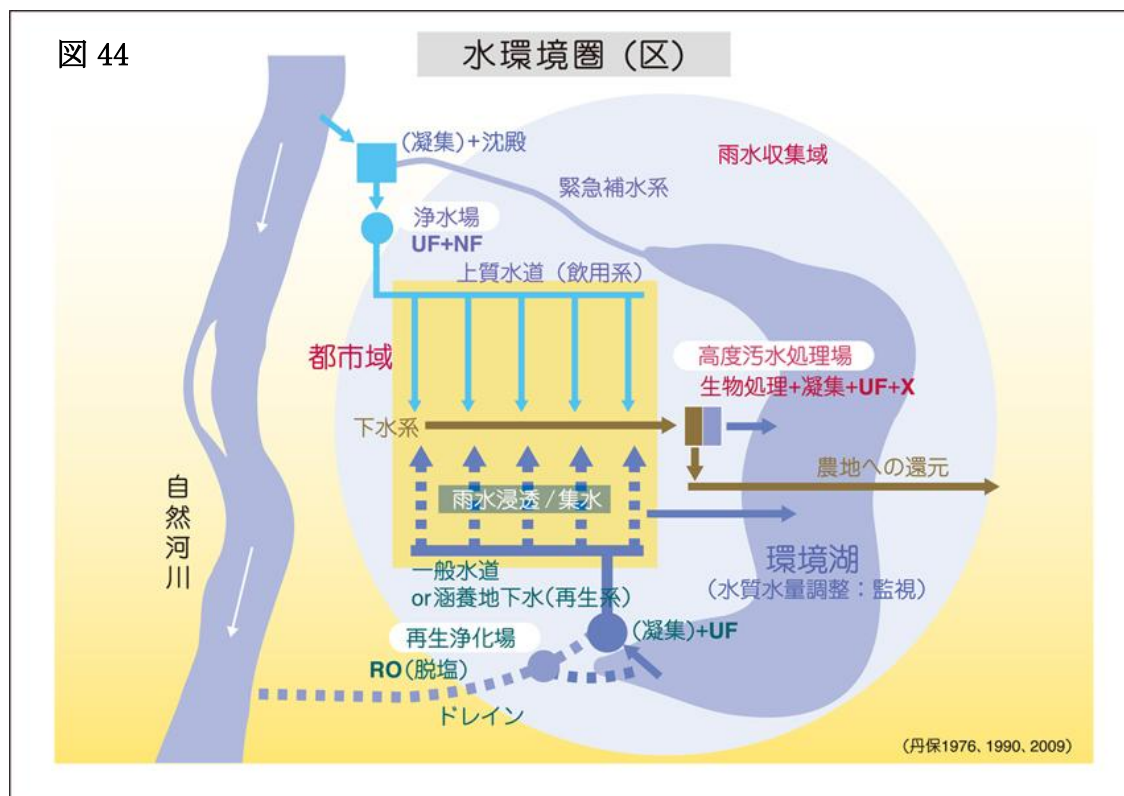
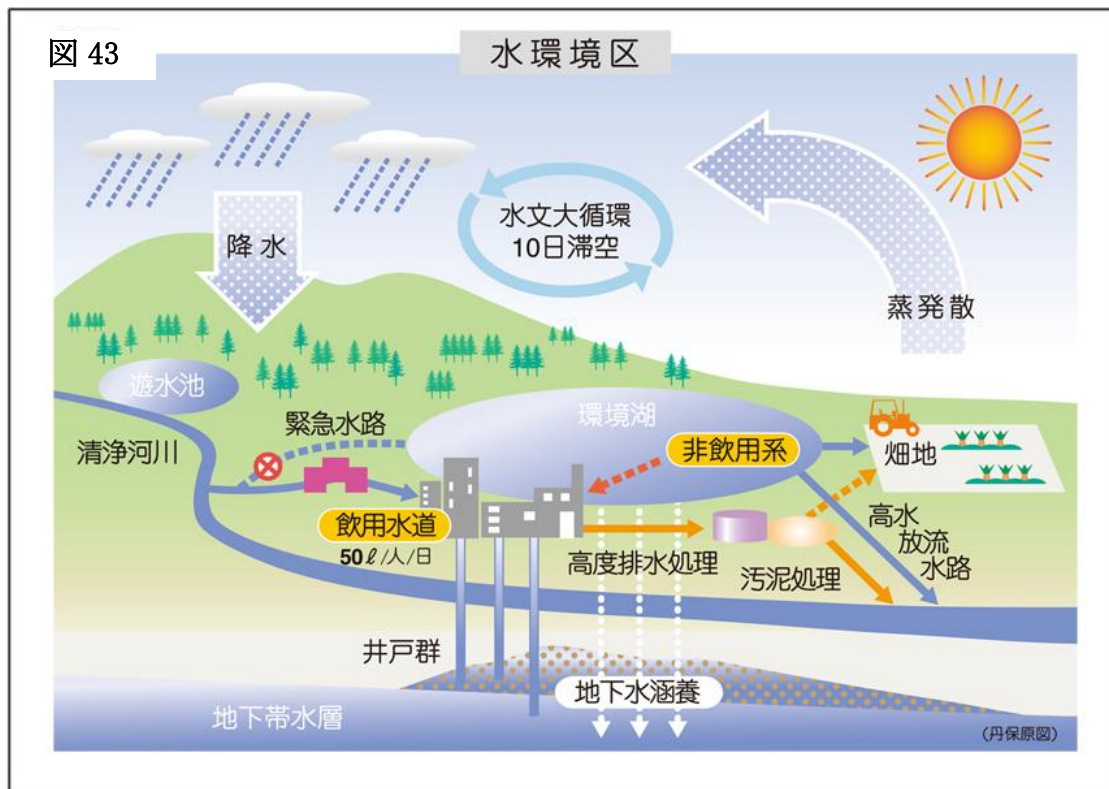
近代都市の高密度発展形（コンパクト都市）は、人体を真似た格好のものになるのではないかと考えています。少なくとも水の利用とか、水処理とか、電気エネルギーの出し方・使い方、熱エネルギーの使い方などは、情報操作とともに、生体の真似をしたいと思います。生物学・生理学をベースに、20世紀後半から大発展した分離機能膜技術を使って、初歩的ながらすべての水処理を生体学的に再設計できます。非常にコンパクトに、ほとんどの物質フラックスを高精度に分離できます。海水まで淡水化できます。その半面、エネルギー消費は少々大きくなります。輸送を含む都市水システムを総合化した、流域システム全体としての水、物質、エネルギー流通を持続可能に設計し、長距離輸送のエネルギーを減じ、災害安全度を高める議論の中での施策となります。

あらゆる水システムは「自分の責任はすべて自分で取る」ということを前提に、水文大循環サイクル内で自立化を最も高めた形で、設計し運用することが目標になります。都市・地域の水利用と排除（水代謝）を“Polluters (users) pay principle”「原因者責任制」で行うことです。動物や人間個体は、生体の必要に応じて最小の水を取得し、必要に応じて最小量で排除する生体水代謝を営んでいます。成人で1日2Lを収支の基底とします。しかしながら、取り込まれた水は、腎臓、膀胱などの泌尿器系で再生回収されます。体重60kgの人の体内水分36L（細胞外液は16Lほど）は平均して1日4～5回（150～200L）腎臓でろ過され、再生利用されています。飲用水が1日2Lとすると、体内水の滞留時間は18日（細胞外液が移動の主体と考えると8日）程度ということになります。尿や汗として排出されるまでに、80～90回（細胞外液を主に考えると30～40回）ほど再利用される勘定になります。廃棄物は最少量の糞尿（1.5L程度）として自然界に戻ります。このような、水再生サイクルと廃棄物濃縮過程を持った生理システムを日常的に運転して、ようやく動物は生態系の中で共生してきたのです。流動部（lotic）と貯留・静止部（lentic）の組み合わせでシステムが作られ、その繰返しで階層化されていきます。

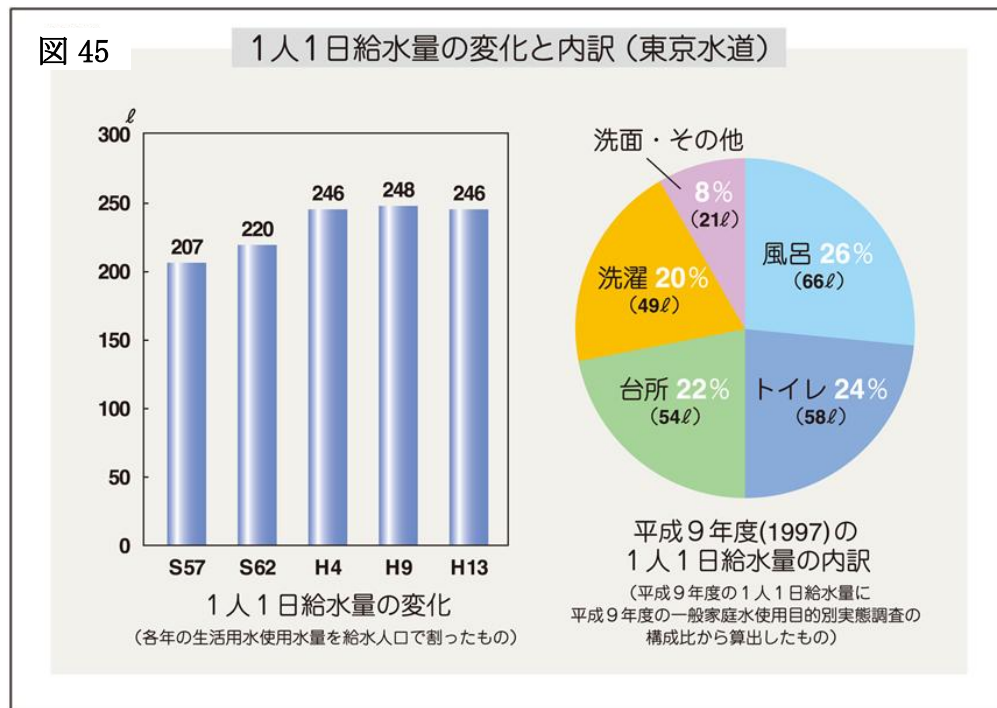
生物個体が持っている体内循環と濃縮廃棄の同様の仕組みを、人口100億人の世界では、都市・集落に導入して社会基盤システム構築し、都市・集落群の相互共生と自然との共生を達成する必要が出てくるでしょう。

6.4 水環境圏（区）の基本構造

水環境圏（区）の模式図(図 43、図 44)は、高人口密度流域において個々の都市が、生物個体のようにそれぞれの水代謝を最小のエネルギー消費と環境負荷で自立し、自然と下流域と農業との共生を図る基礎的構造の提案です。



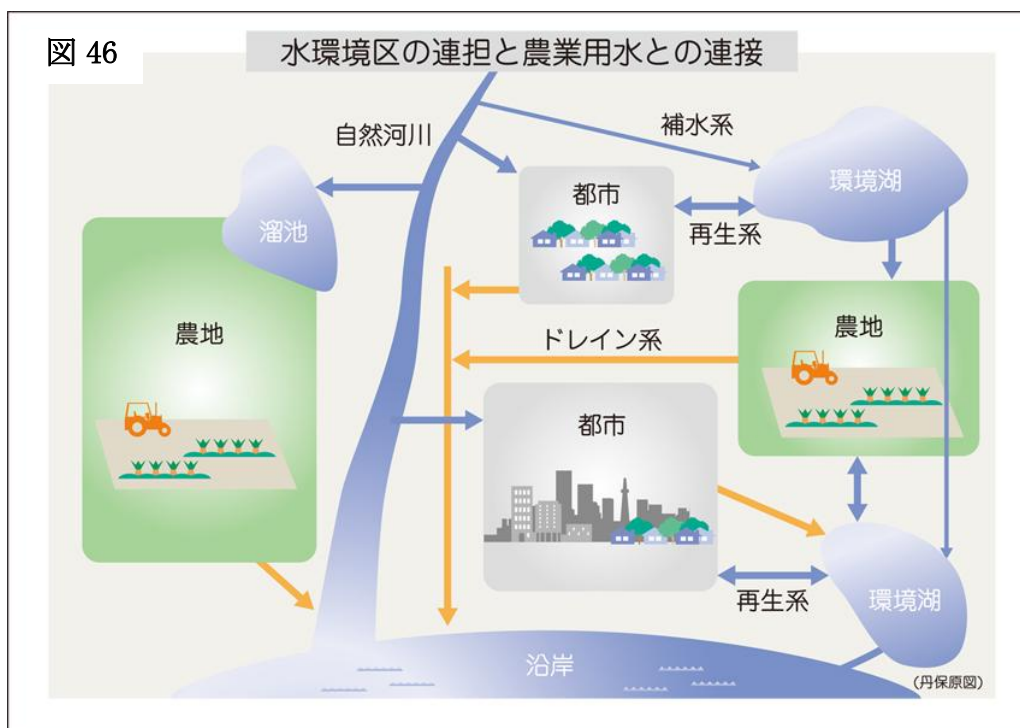
国際連合は1992年のダブリン宣言で「1人当たり1日50Lの清浄水を人類にあまねく供給したい」としましたが、その望み達成への道はまだ半ばです。多くの先進国が1人1日300～400Lもの飲用水を水道で使っているのは図45に東京の例を示すように、洗濯、風呂・シャワー、水洗便所、散水などの飲料外目的にも飲用可能水を使うという水質の贅沢をしているためです。先進国も途上国も飲用可能な水質を要求する水量に大きな違いはありません。また、このような上質水は下流の都市も川に棲む生態系もぜひ欲しい水質であり、共生を言うなら上流の人間だけがすべての用途に上質水を最大要求量すべてにわたり使うことが正当化されるはずがありません。



都市系はできるだけ多くの割合の清浄河川水を下流と自然生態系のために河道に残し、ダブリン宣言の言うように人の健康と生存のために必要最小限の清浄水、市民1人当たり50L/日といった量の飲用可能水（上質水）だけを自然清浄水域から採るといったことが一つの目安になります。都市民は域内の雨水と使用済みの排水を都市用水として利用・再生し、すべての非飲用水に充てます。使用済みの排水（下水）を、適切なレベルまで「生物処理＋物理化学処理」して近隣の環境湖（または地下水盆）に蓄えたものを、再生地下水（井戸）系や非飲用水道系（いわゆる中水道）で再利用します。膜処理という新しい高度水処理技術ができたので、高いレベルの再生水を「環境湖（または地下水盆）」という名前の貯留域に溜めて、生物体と同様に飲用を外した用途に、繰り返し使うことができます。

環境湖の水で魚などがいつも健康であり（バイオアッセイ）、底泥も汚くならず（積分型環境管理）、水処理の成果が常時観測で保証できれば、この水を放流するのはもったいないのです。さらにもう一回、地下水に戻して、井戸などで汲み上げて、飲料以外に使ったらよいのです。夜、昼の使用水量と排出水量の変動を環境湖で調整できます。都市域に降った雨も回収できます。水量、水質の調整と都市域内での継続的に精密なモニタリングができます。広域自然系の全下流域で経済的にも技術的にも容易でない大量のモニタリングをしなくても、環境湖の日々の技術管理で、都市排水を質量ともに明確な高度管理ができることになります。

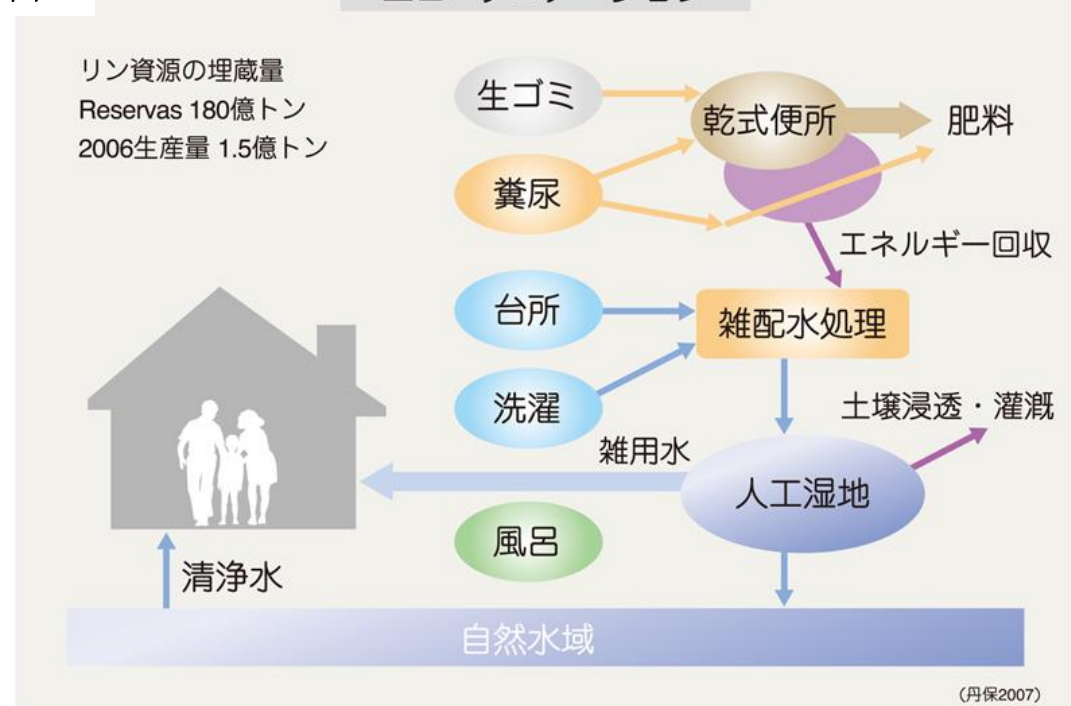
廃水系の由来のはっきりした汚水だけを収集処理し、濃厚汚泥を分離し、有限なリン・窒素など肥料成分をほとんど回収して農地に還元します。集めたものを堆肥にするか、嫌気性発酵過程を経てメタンガスを取り出してエネルギー回収し残滓を有機土として畑・森林に戻します。



農業に不可欠な非再生資源リン鉱石は世界に 180 億 t しかなくて、このままの近代上下水道系の代謝を続け、使い切ってしまったら食べ物が作れなくなってしまうのです。リン鉱石資源は、年 1.5 億 t 使っていますし、人口増加で需要が増えますから、100 年ぐらいしか持たないのです。ですから、リンというのは捨ててはいけない資源なのです。しかもこの大変貴重なリンは、便所排水の中に 80% あります。そして、台所に 9% ありますから、両方足せばほぼ 90% です。ですから、台所の水の一部と便所の水だけ集めておけば、リンも 1,000 年のオーダーで持ちます。

図 47

エコ・サニテーション



水環境区型の水代謝構造を都市・集落が取ることによって、国内の流域河川の上下流問題も国際河川の紛争も緩和され、農業と都市の共生も自然との共生のために正常水を河道に残して自然との共生を図ることも可能になります。沿岸の水質汚染（赤潮）なども、この系ではほとんど発生しません。流域の総合的な水質・水量管理（integrated basin management）を目指す地域水代謝システムは、上述のような質利用・質監視を連携させた日常システムを地域に作って初めて、22 世紀に展開できる新文明の基盤となります。

灌漑用水も、畑作であれば使い切りを考えてドリップ灌漑などの最少量で生産緑地を維持することが寡水地帯での作法になると思います。水田地帯では、ブロック化された水田の上下流間で循環再利用させ、最少の減水深で灌漑ができ、肥料成分の流亡を減じ、清浄河川への汚染負荷発生を極限まで減少できるのです。

7 Carrying Capacity はどう決まるか

末石・南部・丹保らは、1972年に「環境容量」研究のわが国の嚆矢となる成果を「環境容量計量化調査研究報告書」（昭和47年度：財・環境文化研究所）で公にしました。1967年ころから環境構造論として内部的に論じられてきたものです。米国においても Environmental Capacity という言葉がありましたが、その組立ては自然環境問題の聖域といったおもむきさえあり、設計の対象ではなかったのです。末石・南部・丹保らは「Ⅰ型：自然の還元能力」、「Ⅱ型：汚染制御能力」、「Ⅲ型：地域活動容量」、「Ⅳ型：時間的活動容量」に環境容量を分類して、地域とリンクして、未来の時間まで考えた、制御可能な構造容量を計量化して論じました。この頃はまだ、OECDのDPSIRの考えも無かった時代です。

このころは、フォレスターが1970年「Urban Dynamics」を発表し、多くの要素を考えに入れた都市構造モデルを構築し、近代の中心構造である都市域の動的挙動を解析し、自己決定への道程を開いた時期です。ローマクラブが1972年に、同様の動的モデルの世界版として『成長の限界』を公にし、地球有限の理解を世界に定着させたことで大きな波が起きました。いずれも動的モデルを構成する各セクターは近代の構造そのものであって、操作パラメタを介して政策や影響を評価するものでした。

筆者がここでの論講で縷々と述べてきましたのは、1972年に末石・南部らと論じたことを21世紀の地球環境制約の時代にあらためて再定義し、発展させ、人類がこれから採用することのできる「生存システムの構造」に繋げたいと考えているからです。具体的には、次世代の担い手とともに、「資源環境制約に対応し、近代と異なった社会基盤システムへ転換」する形を提案したいと考えています。それはまた、22世紀以降という近代の次の時代に人類が生存を続けるためのDynamicsを創設する糸口にしたいという望みであるとも言えるでしょう。

確かに、依存と影響をわかりやすく表現するカナダのマクナーゲルとリーが提案したエコロジカル・フットプリントの考え方は、今のままでも近代の静的な環境容量評価の優れた方法となっています。しかし、空間構造的、あるいは時間の積分効果を表すには成功していません。いくつかの水指標もかつての「内包水消費概念」の焼き直しであることは否めません。だからこそ、これからは都市産業域・生産緑地・自然環境保全域の構造を地域的に改革していく新しい技術的・文明的提案を重ねることによって、容易に提案が改善され、その成果が特別な訓練を経ない市民にも理解できるものとなり、差分的に動的未来を見る有効な計画手法にもなると確信しております。

もちろん、フォレスターやローマクラブが提案した動的モデルも、都市・緑地・保全の3特性空間、熱帯雨林・乾燥地帯・寒冷地帯・モンスーン地帯などの様々な地域における、人口密度とエネルギー物質消費の極端に異なる活動持続構造の技術的・文明的新提案を読み込めば、提案の諸要素の感度解析を通じて、社会がとるべき対応のよりの確な判断材料を与えることになるでしょう。これは、計算単位が細かくなるだけで構造が見えなくなりやすい地球シミュレーターの次の課題になります。少なくとも、いつまでも地球の炭酸ガス論の上に気候変動ばかりやっているのはもったいないので、地上の様相を反映したシミュレーションになるべきです。

いずれにしても、単純な地球の支持容量 (Carrying Capacity) などというものは存在しないし、共生が叫ばれる時代に近代文明の延長線上で人類の今の都合だけを表に出した持続を主張し、人類の都合だけの Sustainability を語るなどは、醜いことです。本質的に Sustainable Development が何を意味するか、人間の倫理と日々の挙動が 22 世紀に向かってどうなっていくのかの再吟味なくして、人類の生存への道は見出せません。そのためにも、地域、領域の具体的構造の提案と駆動・運用法を明らかにしつつ、環境構造容量として地球の Carrying Capacity を論ずる段階にわれわれの地球社会は突入しているのです。

本稿は、文献 1) をベースにした関西大学での講演 (2011 年) を再編集し、加筆訂正したものである。

文献

- 1) 丹保憲仁：21 世紀の日本と北海道 - 持続可能な社会を目指して、フォーラム 2050、財団法人北海道地域総合振興機構、1-199、2009。
- 2) 丹保憲仁・竹村公太郎：人と水 - 今日から明日へ、フォーラム 2050、財団法人北海道地域総合振興機構、1-171、2010。
- 3) 高崎哲郎：水と緑の交響詩 - 創成する精神環境工学者丹保憲仁、1-260、鹿島出版会、2006。