

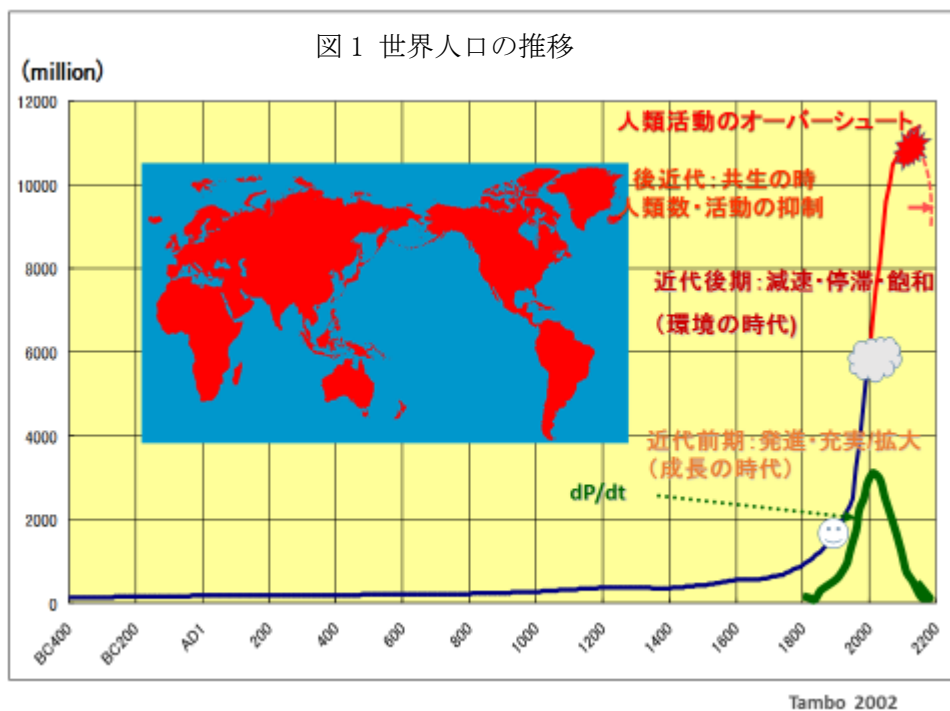
地球的環境容量に応じた持続可能性と地域自立への道

1 地球の容量限界：環境容量の視点を再考する

1.1 人類の大成長の果てに

われわれは、近代という人類史上きわめて特異な時代に生きています。現人類（Homo sapiens）は 19 万年ほど前に共通の祖先をもつ種であり、6 万年ほど前にアフリカの地溝帯を旅立って東へ北へと進み 4 大陸に散らばって以来の長い現人類史の中で、ここわずか 300 年余ぐらいでしかない近代と称する我々の時代に、世界人口は数億人から 70 億人前後まで一挙に増えました。植物採取と狩猟とで生命を営んだ旧石器時代、動物を家畜化し農耕を始め、火を安定的に維持し定住を始めた 1 万年ほど前からの新石器時代、そして金属器を持ち土木を起し集落を拡大して都市・国を造るまでに至った古代から、中世の農耕・舟運・貿易を営んだ国家群に至るまで、太陽エネルギーのみに基盤に置いた文明が地球上に広がっていました。完全グリーン社会です。人類が化石エネルギーを使うことを覚え、エネルギーの使用に大きな制約がなくなってきた 18 世紀の終わりころ、エネルギー革命の成果として産業革命がおこり、近代産業社会が始まります。太陽エネルギーで暮らしていた人類は、農業を覚え定住化が可能になってからでも何千年もかかって、17 世紀の終わごろまでにやっと 7～8 億人にまで増えてきました。ところが、数億年以上もかけて地中に溜めこんだ太陽エネルギーの貯蓄である化石エネルギーを地下から取り出して使うことを覚え、日々のエネルギー使用率を桁違いに高め、利用の場所的制約を大幅に緩めることが出来た人類は、あっという間に近代文明なるものを創りだし、わずか 300 年余のうちにその総数を一挙に 10 倍近くに増やしました。

いま世界の人口は図-1 に示すようにすさまじい速度で、増加しています。世界人口曲線の一次微分、つまり人口増加の加速度（ dP/dt ）は 20 世紀から 21 世紀への変わり目あたりが最大値を示しているようです。これから人口増加は減速し始めると考えられるわけですが、どこまで伸びていくかが問題です。駆動力である化石エネルギーが簡単に手に入る次代はもう 100 年も続かないという、行く先がきわめて不明瞭な、人類史上では非常に短い化石エネルギー駆動の近代という特殊な時代の真中に我々は生きています。それを、長期に続く普遍的文明と勘違いしているところに現代の悲劇がありそうです。



出アフリカから産業革命の始まる前の18世紀まで太陽エネルギーのみに依存して、生存してきた現人類（ホモサピエンス）の数と、化石エネルギーの使用を覚え近代産業社会を営んできた19世紀以降の近代人の数がそれぞれどのくらいのものであるかを推算してもらったのが図-2です。筆者が働く北海道立総合研究機構本部の研究主幹山口幹人博士の労作です。産業革命の始まる前の出アフリカ以来6万年に及ぶ近代前（人類史の殆どの期間）に存在していた現人類の総数は700億人ぐらいなのに、近代の僅か300年に満たない時間で、大量の資源とエネルギーを使いまくり近代前の数万年をはるかに超す時間に存在した人類数の半分にもなる350億人近くの近代人が誕生し地球にあふれつつあります。

図-2

近代人の異常増殖(概数値)

- 西暦紀元前1万年から西暦1800年まで(近代以前)に生まれた人の数 688億人
- 西暦1800年から2010年まで(産業革命を経て近代世界が始まってから今日まで)に生まれた人の数 338億人
- 人類類の概総数: 1,026億人 (1万2000年前から今まで)

• 北海道立総合研究機構 中央水産試験場 資源管理部 山口幹人/志田修氏による: Virtual Population Analysisを用いた前進計算による推計

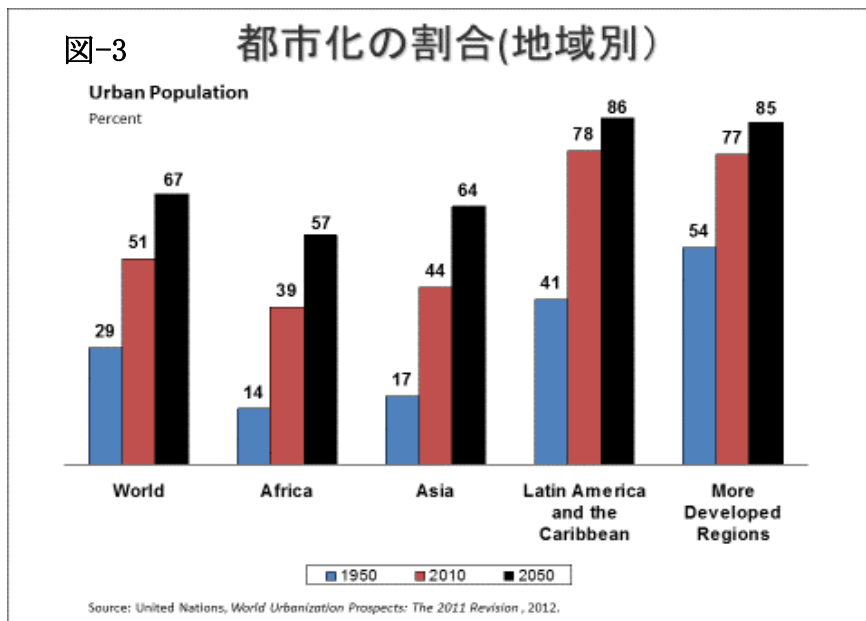
地球が収容できる人口はこれから人々がどのような暮らしをしていくつもりか、どのような食物を食べるつもりかによって大きく異なります。穀物だけを食べて行くのであれば140億人位まで暮らせるのではないかという人もいます。肉を食べ、高級な魚を食べると

一挙に養える人口は減ります。牛肉 1kg を作るのに穀物 11kg が、豚肉 1kg は穀物 7kg、鶏肉 1kg は穀物 4kg、卵 1kg は穀物 3kg を要します。魚でもクロマグロ 1kg を養殖するのに小魚(生)15kg を要しますし、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。自然生態系が水と太陽エネルギーを最も有効に利用するシステムとして何万年もの長い時間をかけて成立してきたのと全く違う、経済の論理です。都市の論理といってもよいのかもしれませんが。近代社会の大きな特徴が都市化社会の拡大にあることを後に述べます。国連の統計や我々の推算によっても、地球人口 100 億人前後が近代文明下での地球人口の飽和値(最大値)でないかと想定してしていますが、詳細は分かりません。後の項で筆者らの推論をお話しします。

筆者が頭の中で描きたいのは、地球の環境容量:環境収容力 (Carrying capacity) といったものなのですが、そのようなものは一義的に有るわけではなく、「人口と人の活動度」、「地球資源利用の倫理と論理」などの相対関係で決まってくる複雑な現象です。それらを総括するであろうとして用いられる、サステナビリティ (Sustainability: 持続可能性) という言葉も定義がずいぶん難しく、人それぞれに都合よく使っている節さえある言葉です。

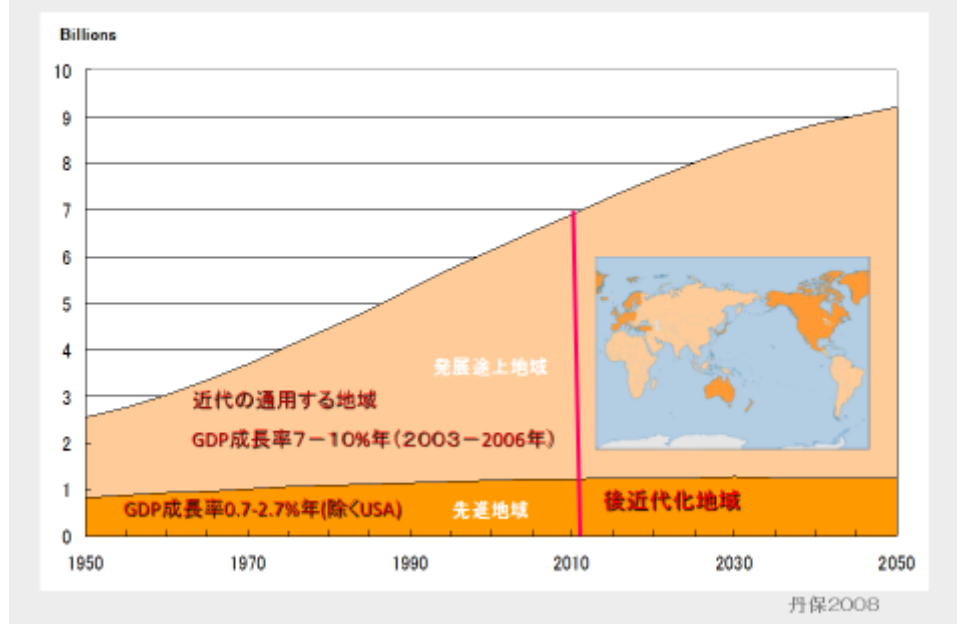
現象的に言うならば「文明の都市化」が近代の人類活動の大拡大を主導してきました。図-3 に示すように筆者が大学生であった 1950 年に 30% ほどであった世界の都市人口 (10 万人以上の集住地域を国連では都市圏と定義しているようです) が 21 世紀初頭には人類の半数の 50% を超えるようになり、21 世紀の中葉には 70% に近づこうとする勢いです。先進国では 80% に近い人口が都市に住み、21 世紀半ばには 85% にもなりそうです。近代社会は都市化社会であるということです。中南米などでは大都市周辺への貧困層の集中がこの数字を押し上げています。都市へ行けば何とかなるといったことでしょうか。アジア、アフリカはまだ都市化率が高くありませんが、中国の台頭はこの比率を押し上げるでしょう、すでに沢山の 500 万都市が各地域に出来ています。都市戸籍民と農民戸籍民が半々であり、その扱いが異なるという世界でも稀な大国・中国が、他の先進国のように均一の戸籍を持つようになれば一挙に都市集中が進むかもしれません。もっとも都市化の進んでいないアフリカでは、ヨーロッパに近い旧植民地であった地域から多くの人々が難民・移民としてヨーロッパ大都市に押し寄せ、中南米で起こっていると同様な都市への貧困の蝸集問題が、地域住民の経済格差に加えて、関連する人種問題・宗教・基礎文化の違いまで多面的に顕在化して対応困難な状況を起こしているように思います。

財貨の獲得が最も容易なのが大都市であることが原因です。現代社会では金が唯一の活動指標になっており、情報化、金融経済化、最終的には実質経済がなくて、実質でない経済は何かよくわかりませんが、金融工学などが主導して金(指標としてのカネ)だけが動いて金が生み出されるような時代にまで来て、それがリーマンショックに見られるような大破綻を見せ始めたのです。秒単位のコンピューターゲームが世界規模で展開しています。近代の終わりに近づいたのかと思います。



「グローバリゼーション」という言葉があります。20 世紀前半までの近代 250 年ほどの間で、植民地であった国々と植民地を作った国々が、成長領域と成熟領域に分かれて現在の世界を形作っています。BRICs をはじめとする発展途上国群と G7 に集まっている先進諸国群です。成熟した先進諸国群に属する国々では人口はほとんど増えませんし、経済も大成長しませんが、現時点で前近代を脱し急速に近代化しつつ大成長している国々の高度成長（財貨獲得への高い欲望：活力、近代定型技術を広範に使へる可能性）の余剰にあずかろうとしているのが昨今のグローバリゼーションの実態だと思います。グローバリゼーションの現在は、成長飽和した近代の先進国を追って途上国が近代化を急速に進め、とどのつまり地球が総じて成長飽和（真のグローバル化）になるまでの経過過程であると思われます。先進国群と発展途上国群はお互いに持ちつ持たれつでありながら、自分達の利益を何とか確保したいという願望を持ち、それぞれが自己運動を実施しているのが現状です。だからこそ、南北問題が依然としてあり続けるのです。

図-4 世界の人口増加 主体は発展途上国



後にも述べますが、近代文明の特徴は「縦割りの分業構造(産業・行政・教育)」を一貫して採り、「個々の分業構造を進歩・成長・拡大・精密化」させるために「高速大量輸送手段」で総体の構造を維持し発展させたものと考えて良いでしょう。科学技術を基礎に置いた学習可能な近代文明は、学校教育、特に高等教育の充実拡大によって普通の人々(常民)が文明を担う主体であることを可能にし、後発の国が先進国を容易に追うことが出来ます。『進歩』と『成長』が近代の錦の御旗です。それを支えたものが「巨大なエネルギー・資源利用可能量」の増大です。「食料の供給可能量の増加」がひたすらに進んだ時代でもあります。「消費の拡大：財貨の獲得への願望が社会・経済の活力を高め続け」ました。「科学技術の確立と普及が、普通の多くの人間が近代構造で中心的な役割を果たす」ことを可能にしました。教育とりわけ「基礎教育の必修化と高等教育の拡大」です。筆者が定義する近代前期の文明の基本構造です。

然しながら、拡大する「人類の活動度と総数の積 (Total activities)」は、一つしかないこの地球の大きさに収まりきれなくなってきたことに、20 世紀の中葉になって人類が気付始めました。ひたすらに進歩と成長に励み、自己の安全と快適な生存を求めることが、その先に自分に降りかかってくる大きな反動の基になることに気が付き始めます。「地球は思っていたほど大きくはないらしい」という事に気づきます。1972 年 6 月国連のストックホルム人間環境会議 (United Nations Conference on the Human Environment) が開かれ、113 か国が政府代表を送り、公式に地球環境問題 (Environmental issues) が世界の核心的な問題であることを確認しました。世界の環境問題の国際条里における公的認知の始まりとして記憶すべき会議でした。『かけがえのない地球 (Only One Earth)』『宇宙船地球号』という概念が公的に広められ、環境からの反動を考えずにことを進めると、一つしかない地球上に住む人類の生存が怪しくなるという事が小学校レベルの教材にも表れてくるようになります。すでに、水俣の水銀汚染等に襲われた公害問題を抱えた日本では、ベトナム戦争のさなかである東南アジアとその当事者・支援国などが最大の地球の破壊者であるという運動まで巻き込んで、事柄は進行していきます。「地球にやさしい」などの良く分けのわからない包括的表現が蔓延するのもこの後です。本当は、「地球生態系を考慮しない人類活動はもうできない」といった、後の「生物多様性保全 (Ecological Diversity)」「気候変

動枠組（UN Framework on Climate Change）」条約にまで展開していき、1992年6月のリオデジャネイロサミットの『持続可能な開発（Conference on Environment and Development）』と2012年8月のヨハネスブルグ首脳会議が時間をおいて開かれ、地球上での近代人類の活動と地球環境・生態系の相克管理の問題が地球人類の大きな課題として国際間、地球市民間で様々な論議をきしませながら進んでいきます。「環境の時代」の到来です。後に「近代後期」というとらえ方でもう少し広く文明の展開を見ていきたいと思います。

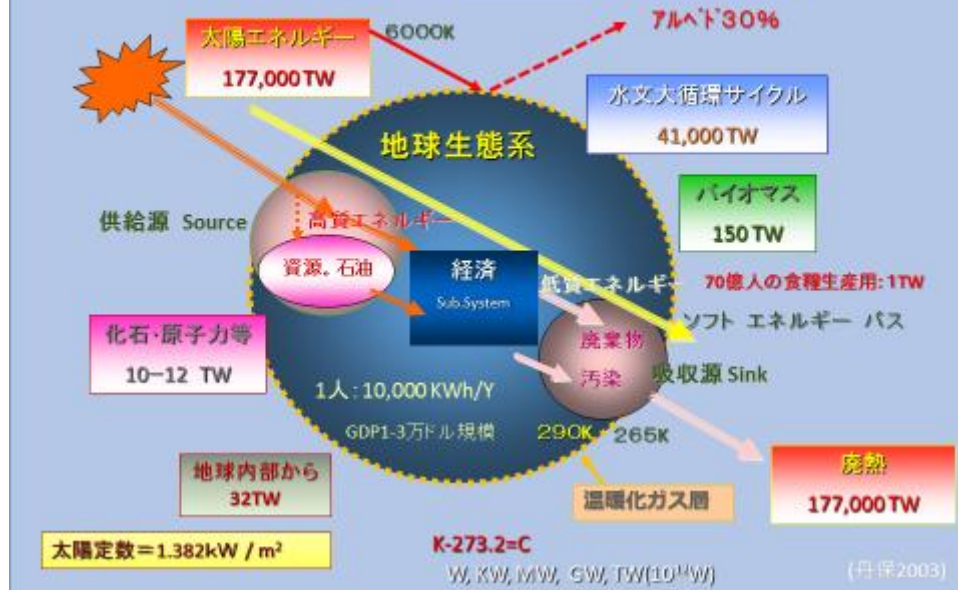
1.2 地球生態系と経済を駆動するエネルギー

地球は活動の全エネルギーを太陽から貰います。地球上の諸自然現象と人類などの諸活動はすべて太陽エネルギーで動いている『系』の一部であり、17万TW（あるいはTJ/s）余のエネルギーを太陽から貰っています。そして、地球に入ったエネルギーはすべて再び、宇宙空間へ廃熱として捨てられます。ですから、地球はエネルギー的には中立の『系』で、熱力学的にはクローズドシステム（閉鎖循環系）です。クローズドシステムでは、『系内』（地球内）で物質は回りますが、エネルギーは『系』（地球）を突き抜けていってしまいます。地球から17万TWが廃熱として放射によって宇宙空間へ再び出ていきます。

地球を通過するエネルギー量は、入る時もある時も同じですが、入出力時の質が大きく違います。「エントロピー（Entropy）」という言葉聞いたことがあると思います。簡単に言うとエネルギーの質を表す指標ですが、いろいろな表現、意味内容を持った大変重要な概念で、熱力学の第二法則から説明されます。ここでは簡単にエネルギーの質を示す指標としておきましょう。エントロピー E の一つの表現が $E = Q/T$ で（ Q ：エネルギー強度、 T ：絶対温度K）で、地球システムで言えば、太陽エネルギーの入射の温度6,000K、地球から宇宙への再放射の温度300K弱ぐらいですから、太陽放射を受けての地球でのエネルギーの入・出のエントロピーは、 $Q/6000$ と $Q/300$ で、20倍も大きな値になって廃熱として地球を出ていきます。地球に入った質の高い（エントロピーの小さな）太陽エネルギーは、放っておけばどんどんと秩序の乱れる（熱力学の第二法則）地球環境・生態系に挺入れして、地球の秩序を保つように働き、その代わり太陽エネルギー自体は消耗して質の悪い（エントロピーの大きな）廃熱となって宇宙空間に捨てられると考えます。

図-5

地球生態系と経済システム



太陽から地球に降り注ぐ総エネルギーの3分の1ぐらいは地球の表面で反射して宇宙に戻ってしまいます。このような反射率を「アルベド (Albedo)」と言い、平均して30%ぐらいの値をとります。地球表面の氷や雪や雲では90%近くも反射します。

地表に入ってきた太陽エネルギーは、最終的には地球放射によって再び宇宙空間に出ていくのですが、出ていく時に大気圏を構成する水蒸気、 CO_2 などの温室効果ガスによって再び一部が地上に再放射されて地表に戻り地球をもう少し温めます。もし地球表面の大気層に温室効果ガスがなければ、地球表面の温度は現在の290K (17℃ほど)ではなくて265K (-8℃ほど)くらいになり、火星の様に凍った惑星になってしまいます。一番影響が大きい温室効果ガスは水蒸気で、その次が二酸化炭素、メタン、それから二酸化窒素になります。地球には温室効果ガスの衣があったからこそ、水の惑星として温暖な生態系を持つことができるようになったわけです。

地球に入った太陽エネルギーを最大に消費する部分は、地球を暖めて風を起こしたり、海流を起こしたり、ジェット気流を出したりする気象・気候要素で水・熱の移動を伴う現象です。すべて水蒸気の輸送や相変換を伴う現象です。

人間は偉そうに威張っていますが、他の動物全般と同様に、太陽エネルギーを直接固定し利用する能力を持っていません。一度植物が固定したものを利用させてもらう従属栄養性の生物です。太陽の光エネルギーによって CO_2 からブドウ糖を作り出す際の光合成の理論最大エネルギー効率33%強です。実際には、地球生態系全体で植物が固定するバイオマスの総量はおおよそ150TWほどです。入ってくる太陽エネルギー総量の17万7千TWの0.1%にも満たない大きさです。従属栄養性の生物であるわれわれ人間や動物は、植物が固定したバイオマスに頼るしか生存の方法がないのです。

近代経済社会を営む人類は、都市産業域と生産緑地を『場』として経済活動を展開し、金を稼ぎます。昨今、みんな朝から晩まで経済、経済で、GDPの成長を図るべく活動をしています。それに使われているエネルギーは20世紀末には10TW程度で、自然が遣り取りしているエネルギー量と比較すると絶対値ではきわめて小さなものです。このエネルギーを近代の人類は化石燃料を集中的に利用することで賄ってきました。たったこれだけの

量のエネルギーですが、集中利用する技術を獲得することで、人類は 17 世紀末の 10 億人弱から現在 21 世紀初頭の 70 億人位までその数を増やしました。その半面で大気圏における二酸化炭素の蓄積による地球気候変動（地球温暖化）が問題になってきたのです。京都議定書が論じられ始めてから現在までの短い期間でも、2TW 増えて 12TW になりました。しかしながらここで議論されているエネルギー消費量（炭酸ガス放出量）は、自然系・田畑が固定する、バイオマス生成による太陽エネルギー固総量 150TW の 10 分の 1 弱です。このわずかな量の高質エネルギーの集中利用で近代経済システムは動いているのです。バイオマスのほとんどは熱帯雨林などの森林で固定され、農耕地で固定されるのはこのうちの 8% ほどの 12TW ほどで、食糧をすべてエネルギーに換算してようやく化石エネルギー相当の熱量を得られるにすぎず、バイオマス燃料で化石燃料を代替して持続可能な社会を営むことは、量的にあり得ないという事になります。バイオマスのみに依存したグリーン文明である前近代の人口が 10 億人にまで至りえなかったことの説明でもあります。

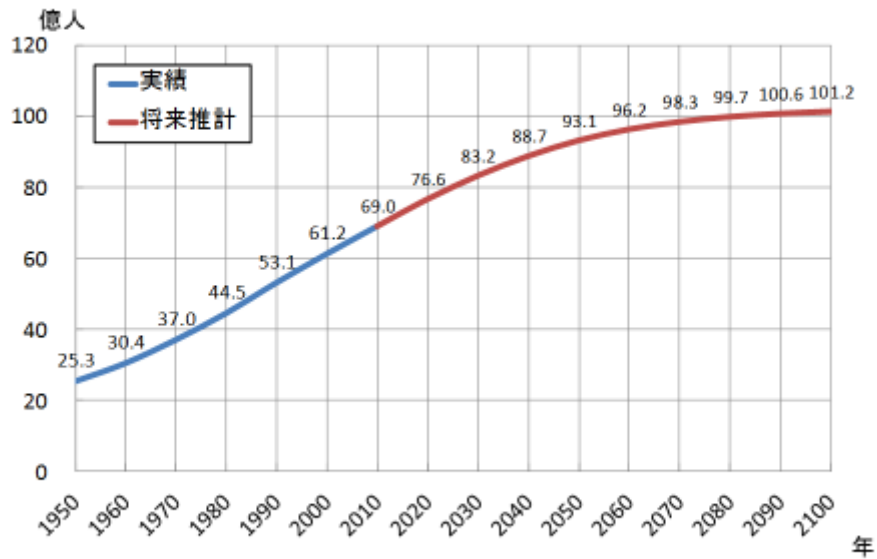
人類が現在の産業構造と技術構成で成長を続けようとする、2050 年には都市産業域とそれを支える生産緑地が必要とする商業エネルギーの消費率は 22~40TW になるとも言われています。エネルギー消費率がこのように増加した場合、何をエネルギー源として拡大する需要を賄うのでしょうか。この時の地球の熱収支はどうなるのでしょうか。たった 12TW の商業エネルギー消費率で地球温暖化という現象が起きると IPCC は警告しています。地球全体のエネルギー収支から見れば僅少の 10~12TW と云ったエネルギー消費でも、化石燃料によると現在の CO₂ 排出量で地球温暖化（気候変動）問題が起きるというわけですから、二酸化炭素が発生しないようなエネルギーの使い方をする社会技術を獲得しなければなりません。しかも今までに吐き出した二酸化炭素がすぐ減るわけではありません。化石燃料に頼らない再生可能エネルギーをいつ、どのように、どれだけ使えるようになるかが次の時代の生死を決めます。

2 文明の転換

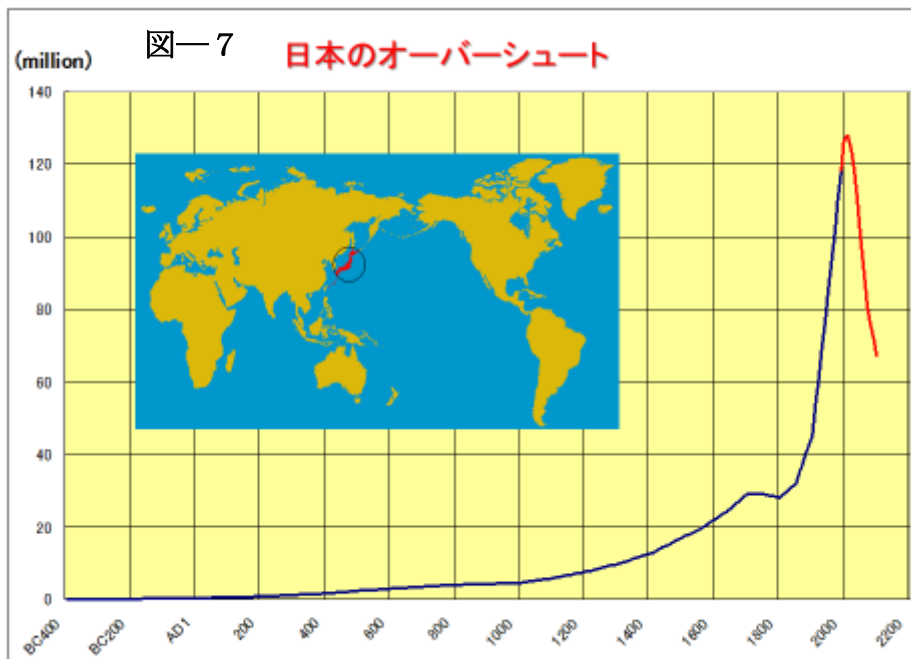
2.1 世界人口の推移

先にも述べたように、近代になって地球の総人口は急増しました。そして、2100 年ごろに 110 億人ぐらいになるのではないかと言われていたのですが、いったん 100 億人を超えるかもしれませんが、また落ちるのではないかという意見が出てきます。人類はかつて、総人口を落としたという経験を持っていません。人口が減っているのはイタリア、日本、ロシア、スペインなどです。ヨーロッパのほとんどの国々では人口は飽和に達し、総体として平衡点を求めて振動しています。先進国群では、近代成長が終わろうとしているのです。

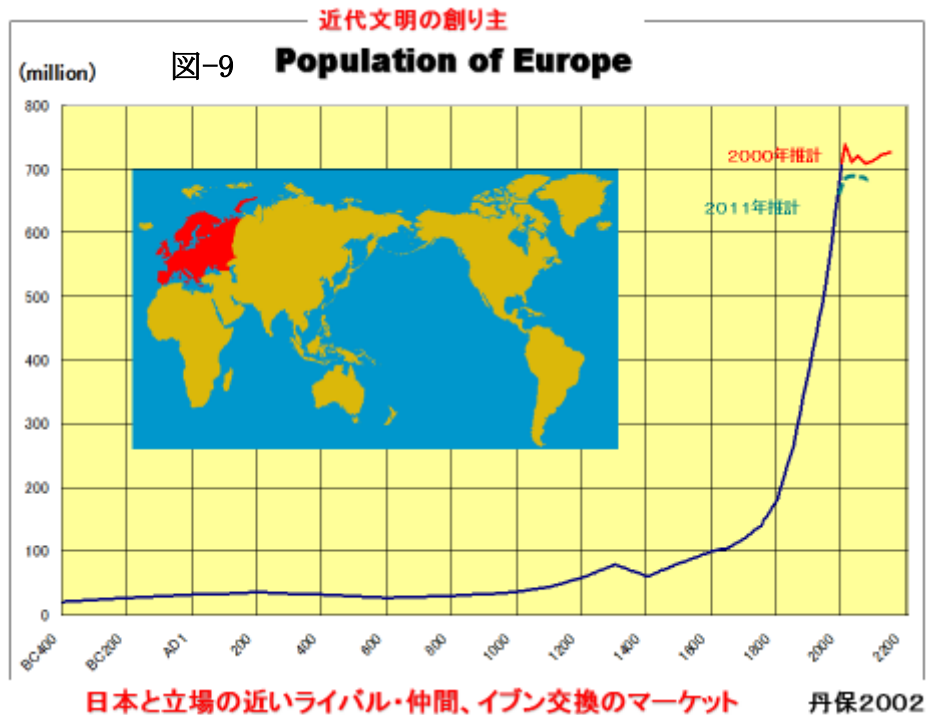
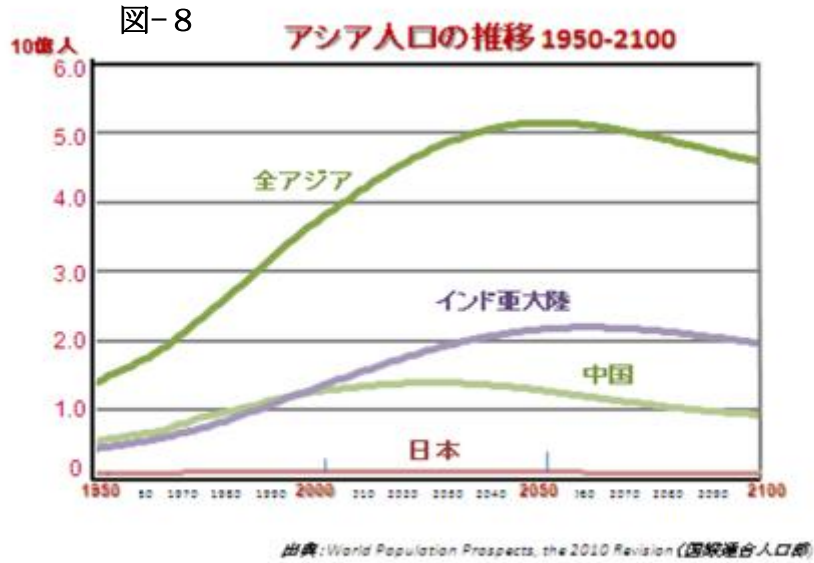
図-6 世界人口の推移



Source: United Nations, World Population Prospects: The 2011 Revision, 2011.

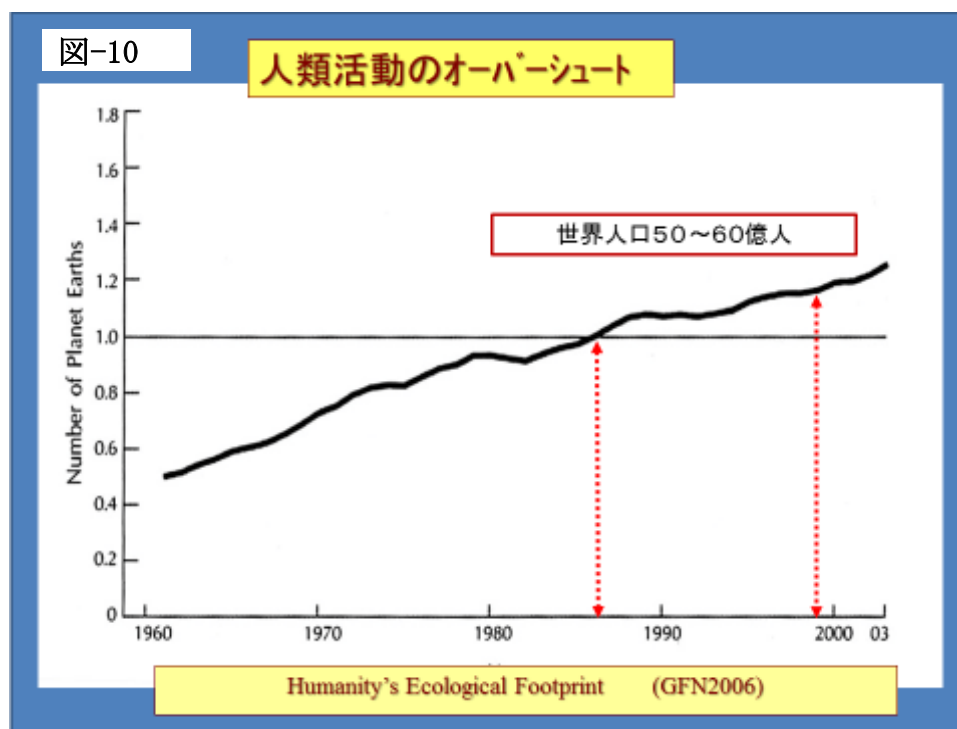


では、これから世界人口はどうなるのでしょうか。象徴的に言えば、何を食べるかにかかっているといってもよいのです。牛肉を食べるか、豚か、鶏か、穀物を食べるか、です。インドは今現在では穀物を主食としますから、2050年には18億人などという推計数字が出てきます。中国は既に豚だけではなく牛を食べたくなっていますから、そんなに成長を続けられなく、昔云われていた16億人などと云う数値には到底到達しないでしょう。穀物だけを主食にすれば140億人という世界人口にまで行けそうとも言われます。



アメリカ人のような食べ方（生き方）をしたら 2003 年のデターで、地球は 5.5 個なければいけないといわれますが、地球は 1 個しかありません。日本人のような食べ方をすれば地球が 2.4 個必要であるということを、カナダのワケナーゲル達 (Wackernagel, M.、Ree, Willeiam E.) が、エコロジカル・フットプリント (EF) という考え方を提示して計算しました。現在の世界は図 10 に示すように、地球が適切に維持できる人口を既に 25% も超えており、1985 年ごろまでに地球の収容能力は満杯に達していたというエコロジカル・フットプリントの推計があります。地球上の不毛地面積や海を除いて一人が生存するために使うことのできる有効生物生産面積の平均値は $EF \div 1.8ha$ と推測されています。このように想

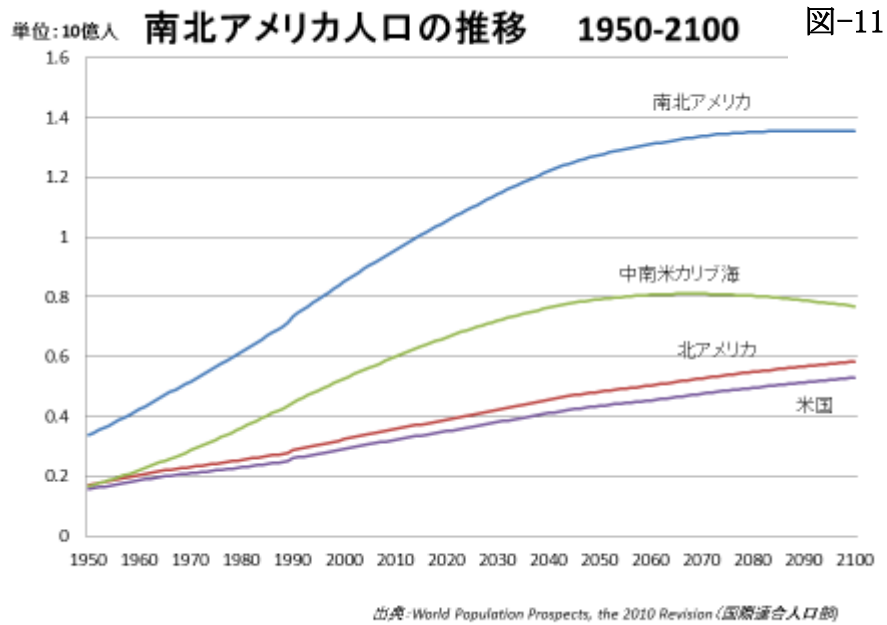
定される地球上の有効空間の総人口分を越えても、過剰(地球が1個以上必要という)人口が許容されているのは、インドのような大人口国のEFが0.44 (ha/人)といった低い値に止まっており、中国ですら2010年ぐらいまでは0.9 (ha/人)といった値に止まっていたことのお蔭ということが出来でしょう(2015年現在では1.0ha/人を越えました)。然しながらこれらの国々では急速に近代化が進んでおり、地球の余裕は間もなく終りに至るでしょう。近代化とグローバル化の行きつく先です。



19世紀半ばの世界近代化が進み始めた時点で、日本の人口は3,000万人、アメリカはやや少なく2,500万人でした。そこまで戻すことはあり得ないにしても、人類の持続的生存のための解として、地球人類社会は総体として人口減少と消費減の相乗効果を求めざるを得ないと思います。途上国、とりわけ中国人、インド亜大陸人、東南アジア人、中近東人、アフリカ人の人口大増加と近代文明上での成長(GDPの増加)は未来の世界の大きな不安定要因であり得ます。人口の安定化についての議論を、省資源・省エネルギーの新しい生き方の模索と共にあまり遅れることなく始めなければならないと思います。

エコロジカル・フットプリント(地球人類一人あたりが持っている生物生産力)から推算した地球が収容できる総人口(P 人) $\div$ 地球の総EF($14,073 \times 10^6$ ha)/地球の一人あたり生物生産力(1.8 ha/人) $\div 7818 \times 10^6$ 人となり、約80億人程度が極限数という事になります。中所得国のEF/人 $\div 1.9$ (ha/人)と推算され、日本・ヨーロッパ高所得諸国のEF/人 $\div 5.0$ (ha/人)程度です。米国は突出してEF/人 $\div 9.6$ (ha/人)といった値をとるようです。もし世界人類が近代化成長の果てに、日本人・ヨーロッパ人のような暮らしをすると、世界の収容可能人口は $7818 \times (1.8/5.0) \times 10^6$ 人 $= 2,414 \times 10^6$ 人となり、約25億人弱しか地球上で暮らせないことになります。近代文明の所作のままで、中所得国レベルの生活で我慢すれば、78億人 $\times (1.8/1.9) = 74$ 億人程度という事になります。現在の地球人口です。もし平均値としてEF3.0 (ha/人)といった、今の中進国と先進国の消費量の間程度の消費レベルで高度なサステナブルな地球を求めて、22世紀の人類が文明転換(ポスト近代文明化:循環型省

資源社会)を招来することが出来れば 78 億人 $\times$ (1.8/3.0) $\div$ 57 億人といった数の地球人類の収容が可能になるでしょう。いずれにしても、物質・エネルギー消費レベルと総人口の抑制制御が近代後期の最大課題になり、新しい近代の次の時代への歩みを人類は始めなくてはならないでしょう。



2.2 世界の人口増加地域と飽和地域

世界諸地域の人口の増加パターンは近代の経済成長社会での成功体験・歴史的展開の過程と地域の政治状況に大きく左右されています。先進国、すなわち昔、植民地を作った国々の人口は現代ではほとんど伸びておらずに成熟飽和状態です。人口が伸びているのは途上国であると同時に、かつては植民地あるいは抑圧されていた地域です。それらの国や地域では政治状況が安定していれば、総GDPも年率で数%以上も伸びています。先進国と言われている国々（特にG7）は、人口が伸びないだけでなく、自分のところでは人件費も高く、みんなうまいものを食べたがり、きれいな服を着たがり、ある大きさの内需はあるけれども自らの手による生産は大きくは増えない状況にあります。そこで、何とか遣り繰りをしてより高いGDPを稼ごうとして、発展途上国の経済成長力を自国の成長代に使い、その成長にぶら下がるということが始まるのです。

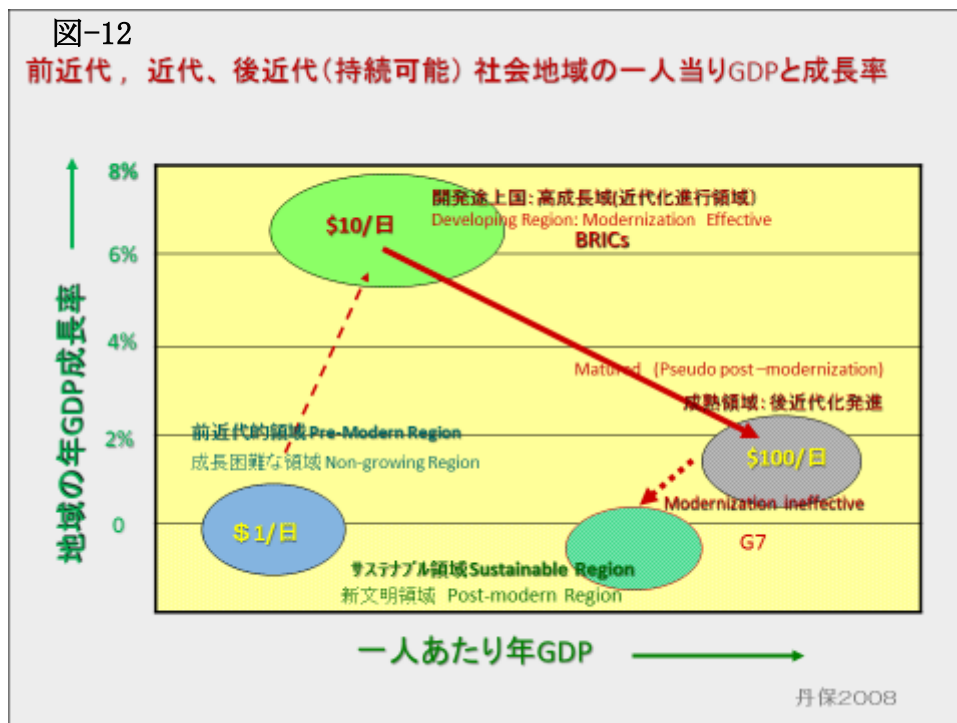
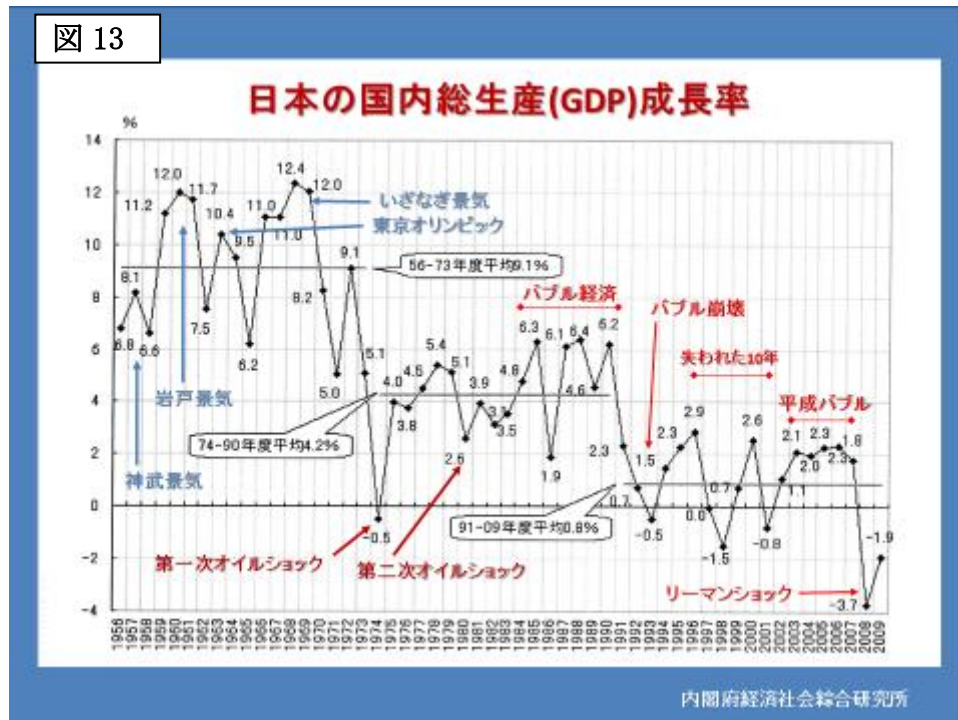


図12は、横軸に国民1人当たりの年GDP、縦軸に年当たりの地域(国)の総GDPの成長率で表した模式図です。この、個人所得と成長率の関係を描いた図を見ますと、低いGDPの側にも高いGDPの側のどちらにも極めて成長率の低いゾーンがあります。左下隅が前近代的領域で、年1人当たりGDP100USドル台（一日1ドルのオーダー）と所得も低く、成長もほとんど見込めない貧困地帯です。初等教育すら満足に整備されておらず、電気も水道もほとんどなく、道路も整備されていないという状態で、しばらくは動きが取れない状況です。近代化がまだ発進していない地域ということが出来ます。世界に30ぐらいの国と地域があるようです。

ところが、国連や先進諸国・近隣諸国の支援を受けて、いったん近代社会の基盤となる初等教育システムができ、道路ができ始め、電気・水道ができ始めると、近代化に向かって地域社会が動き出します。1人当たりGDPが1日当たり1ドルといったが大変に低い所から、1人当たり年GDPが1,000USドルとか2,000USドル（一人一日当たり10～20ドルレベルの収入）位に増え、常識的に言うところの初歩的な社会基盤ができてくると、その後は急激に成長率が上がります。近代化が始まったということです。中国は今(2015年)、1人当

りの平均 GDP が 7,500US ドル/人・年ほどあるでしょう(沿岸部だけを見ると 1～2 万 US ドル/人・年を超えています)。この間までは 2,000US ドル/人・年にも達していませんでしたが、あっという間に成長率が 10%にもなりました。**開発途上国の高度成長域の出現**です。

図 13



日本も図-13 に示すように、1960 年代初めには、1 人当り GDP が 100 万円/年 (3,000US ドル/年) くらいの GDP で、年成長率は 10% ぐらいでした。日本もかつては同じ道を通ってきたのです。さらに一所懸命働いて、個人所得が次第に上がっていきます。現在では、1 人当り名目 GDP は、3 万 6,000US ドル強ぐらいあるでしょうか。最大成長率期の 10 倍をはるかに超える高所得国民になりました。スイスなどは 87,000US ドルぐらいあるのですが、この辺までくると、GDP 成長は年率 2% ぐらいが上限で、日本などもその辺で上がったり落ちたりするわけです (アメリカは移民国で他の先進国と少し違った形の人口増加があり、基軸通貨ドルを操ることができ、唯一成長を演出できる国でしたが、サブプライムローン問題で他の先進国と似たような状態になりつつあるように思えます)。一人当たり一日 100 ドル、年 GDP 4 万ドルの収入のある、図の右下の成熟領域 (低成長高所得部) になってきますと、後近代化 (近代社会の卒業) が発進します。近代化がほぼ終わった先進諸国領域 (特に G 7) は、そのまま衰亡するわけにはいきませんから、「少しぐらいならば総 GDP が下がってもいいや。だけどあまり下がりたくない」。しかし、「個人成長率もあまり高くするのはできない相談」ということになります。これが今の日本の状況だと思うのです。

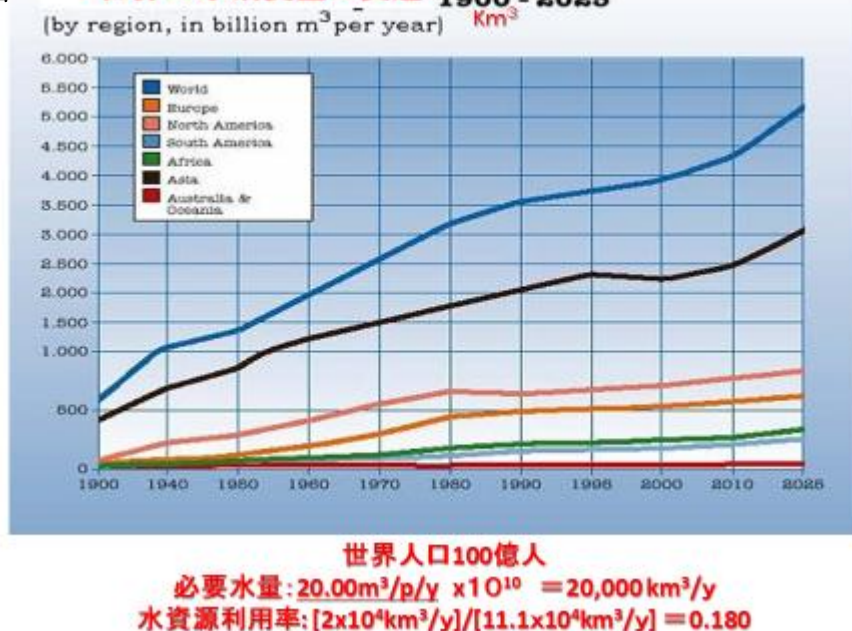
成熟した国々ではこのようにして、1 人当り GDP をあまり落とさずに、総体としての GDP が漸減する経路をたどっていきます。持続可能な、活発な社会活動を後世にまで何とか維持しよう努力を始めた領域です。

2.3 水・エネルギー使用量の増加と経済成長

近代の中核をなす 20 世紀という時代の 100 年で、世界人口は 16 億人から 60 億人に 4 倍

ほど増加しました。水の使用量はその間、図-14 に示すように、約 8 倍に拡大しました。人口が 4 倍に増え、水使用量が 7.5 倍になりましたから、1 人当り 2 倍弱水を多く使うようになったのです。この間、総 GDP が時価換算で 17 倍になりました。1 人当り GDP は 4 倍強になりました。これはアフリカからアメリカ、日本などの全部の世界平均ですから、すごいことです。

図-14 **世界の水消費量の変遷 1900 - 2025**



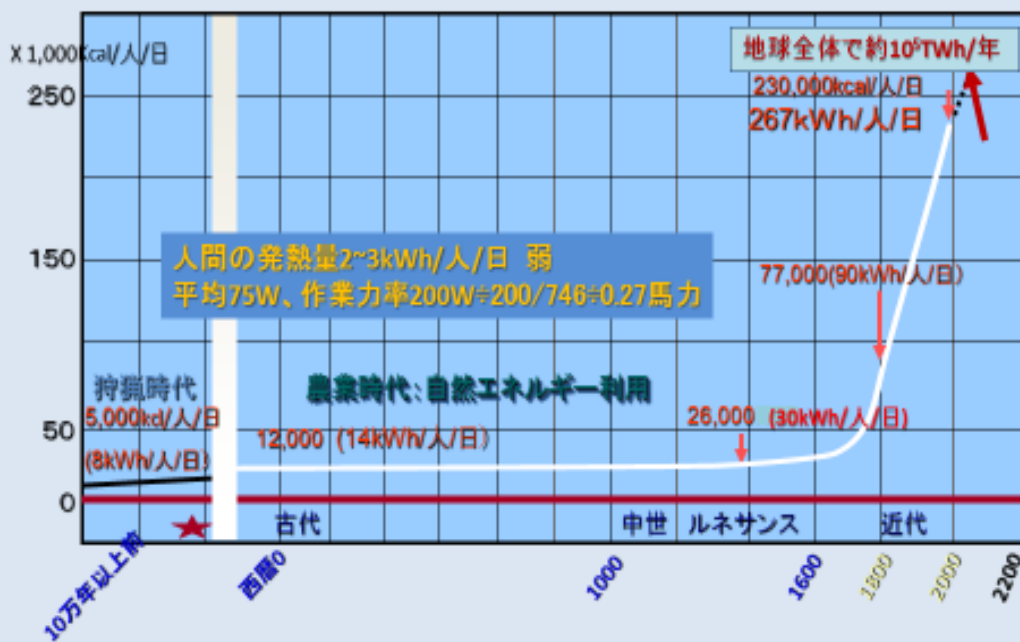
工業化が急拡大し図-15 に示すように、エネルギーが 11 倍使われて、1 人当りの所得が 4 倍になることから、1 人当りに換算すると 2.8 倍近くのエネルギーを消費して、4 倍の GDP を稼ぎ取ったことになります。エネルギーを 3 倍弱しか使わなかったわけですから、GDP 獲得のエネルギー効率は 1.43 倍に向上したわけです。金額基準の収支でいえば効率が良くなったという意味で技術が進んだと受け取れますが、人の一生で使うエネルギー総量は 3 倍近くに増えたわけですからですから、生物個体としての人間一人の生涯の物理的 (エネルギー消費) 能率は 3 分の 1 に落ちたともいえるわけです。

このように、近代の特徴は、財貨を稼ぐために資源・エネルギーをたくさん使って、使った資源量に比例して収入が増えるという勘定になります。

エネルギー消費率の変化

図 15

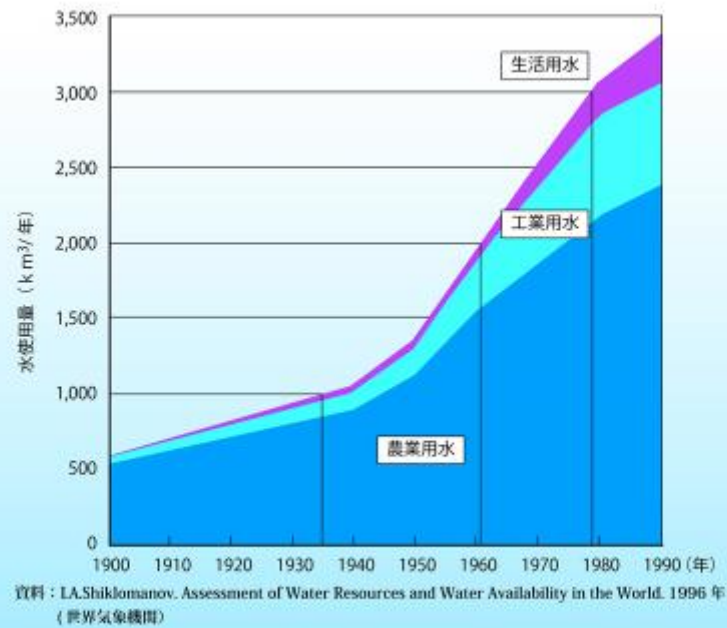
1.0 kcal = 0.00116 kWh



NIRA「エネルギーを考える」-エネルギー白書2004を参照(丹保2006)

このことにより得た日常生活の利得を、人の幸せとして現代人はどのように認識しているのでしょうか。日々の生活の大きなモード変化に直接関わった 1930 年～1940 年生まれの私どものような 80～70 歳代のシニア後期の日本人は、この急速な成長の成果を身にかけて理解しているように思えます。中国の現代に生きる壮年期の人々のいささか粗放な自信も我が身を振り返って理解できそうです。そして、その結果、近代を作るための基盤エネルギーである化石エネルギーの全地球的な過剰使用による地球レベルの異常気候変動という問題が噴き出てきたようです。

図-16



20 世紀後半に入り灌漑農地が猛烈に増え、図 16 に示すように、7.5 倍になった水使用によって、世界の食糧の 60%が灌漑された農地から出てきます。その結果、地下水が枯渇し始めます。図-17 と 18 に示すアメリカ中部平原の穀倉地帯のオガララ地下滞水層は、蓄えを半分近く使ってしまいました。300 年以上かけて溜めた水を、30 年で半分ほど使ったことになります。



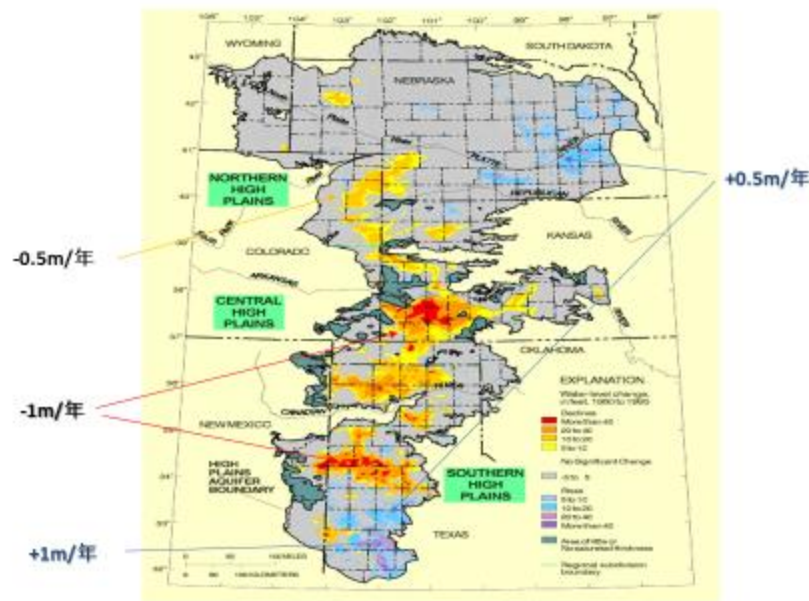


図-18 オガララ帯水層の地下水位の変化 1980-95 (Wikipedia)

中国の華北平原では灌漑用水や都市・工業用水への大量汲み上げによって地下水位は、太行山脈に近い西部の石家庄(平原の上流側)でも、1960年代から1990年代にかけて30mも低下しています。大量の地下水が揚水されて深井戸レベルはどんどん深くなってきました。西部の渤海寄りの低平地では古い地下水層が存在しますが、渤海の影響もあって塩類濃度が高く水質は良くありません。上流側の太行山地にたくさんのダム湖を作って用水の確保に努めたため、乾季に黄河下流部の河道への供給が減り、流域の平原部の地下水涵養能も低下してしまったにも拘らず、黄河水を上流域では取水し続けたため、図-19と20に示すように、鄭州より下流の黄河は年間最大150日近く、700km近くにわたって河口まで流れないこと(断流)がありました。また一方では水を安易に輸送媒体、反応媒体として大量に使った結果、かつてない水質汚染が黄河全域に広がりました。都市排水を処理しないまま、灌漑に向けるというようなことも行われていて、衛生上の問題も生じています。

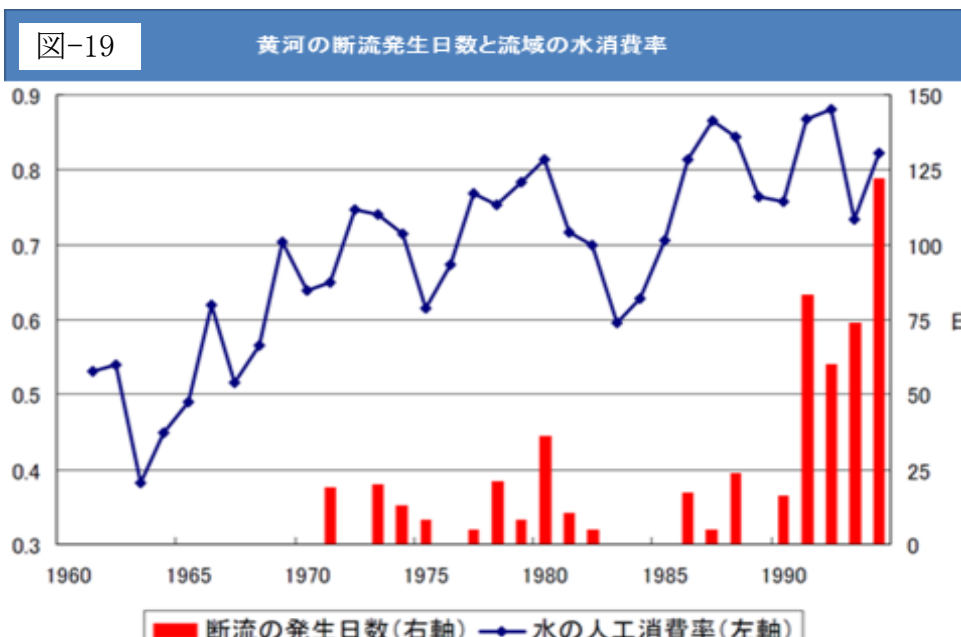




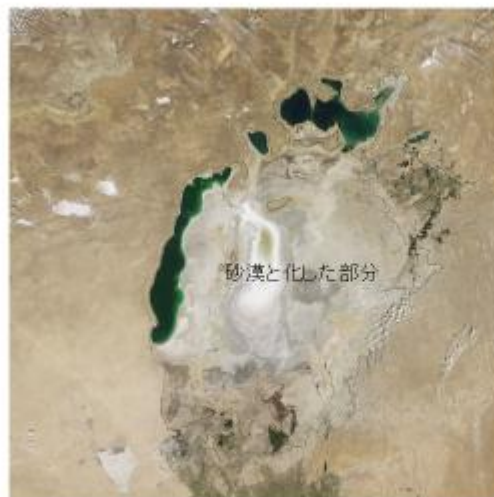
図-21 に示すように、かつて世界第四の淡水湖であったアラル海の水は、今はほとんどなくなろうとしています。旧ソ連やその後独立したカザフスタン、ウズベキスタンなどの旧ソ連邦諸国は、ヒマラヤから流れ出るアムダリア、シルダリアの二大河川の流域で綿花を大規模に栽培するため大量の水を綿花畑に灌漑した結果、最下流に位置するアラル海への流入水量は激減し、2000 年にはアラル海は面積で 3 分の 1、水量で 10 分の 1 になってしまいました。そして 10 年後の 2009 年には本体部分は消滅し、かろうじてダムを造って縁を切った北部の小アラル湖（Kleiner Aral）が残るだけの塩集積の進んだ砂漠になってしまいました。

図-21

消えていく世界第4の淡水湖
アラル海



2000年のアラル海



2009年のアラル海

2.4 20 世紀という時代の総括

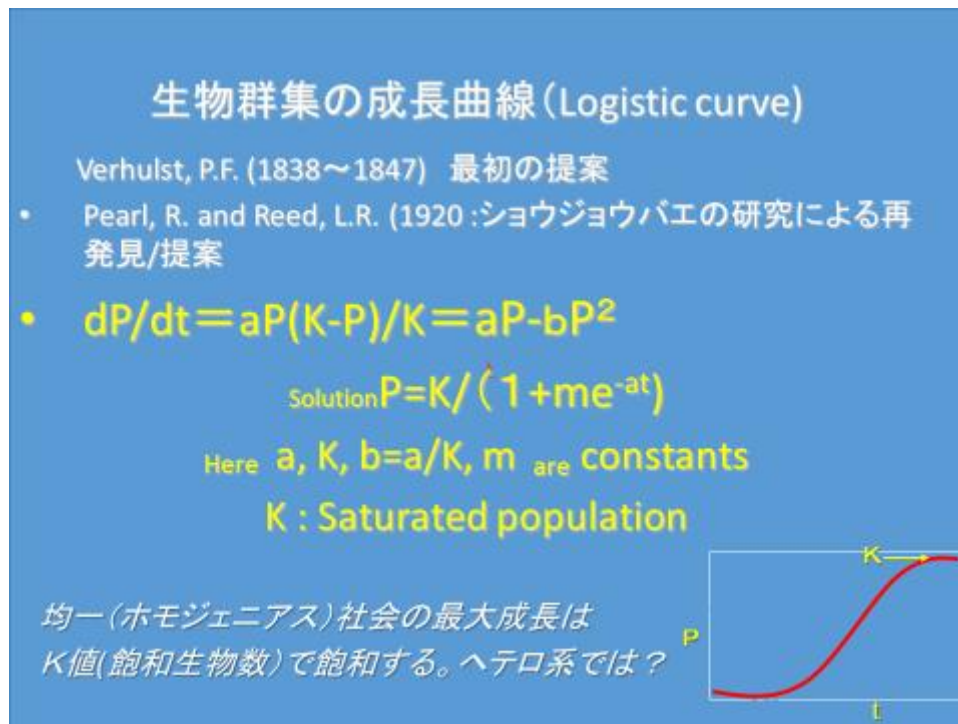
アメリカという農業生産性が一番高いと言われる国で、20 世紀の初めに 1 人のアメリカ農民は 7 人ほどの非農民を養えたのですが、今は 1 人で 100 人以上養えるようです。昔の日本農家は、自家用の食いを半分ほど作り、残り半分を売っていたのです。ですから、2 軒分しか養えなかったのです。この方式ですと、少なくとも農民の人口が 50% は必要ということになります。戦前の日本の状況であり、現代でも中国や発展途上国の農民の比率はこれに近いと思います。ところが、それでは、大量生産・大量消費を基盤において、資源取得・製品産物の長距離輸送を基盤において構成される近代システム下では、大規模農業産業国のアメリカやオーストラリア、カナダ、南アフリカなどが主導する自由貿易システムの下で、競争しようとしてもとても商売になりません。競争になりませんから、多くの自給型地域農業は崩壊してしまいました。

そして、石油などの化石エネルギー資源があまり遠くない将来、無くなります。加えて、希少金属類や食物生産に不可欠なリンもあまり遠くない将来に無くなります。そのため、非再生資源が不足してきて、食糧と財貨の大量集中生産を基盤に置いた、20 世紀型の大成長の持続はもうできそうもないことが誰の目にもはっきりしてきました。

要するに 4 倍の金を稼ぐために、3 倍もの資源を使う近代社会は、人間個体の生涯物理効率から考えると、ご先祖様より一人当たり 3 倍以上も地球の資源を消費するわけで、現代人が得たもの、失ったものが何であるかが問題になります。これが進歩かどうかはわかりません。資源が十分にあれば、得たものの価値のみで進歩が図られます。資源と地球空間が十分でなくなった現代ではもう一つの大きな判断基準、「資源制約・空間有限制約」が加わります。地球環境時代の到来です。これこそが近代前期と近代後期を判然と区別する要件です。

昨今の地球温暖化における二酸化炭素の議論でも、発展途上国と成熟した G7 諸国とで利害は完全に分かれています。その中に見えてくるのは、近代という成長の時代、進歩を唯一の神とあがめた時代が終わろうとしていることです。それが 2050 年ごろになると、進歩と成長が神であるという時代（近代という時代）が終わりに近づき、別な普遍的価値を世界が共有する新しい時代を模索し、価値観の根本的転換がたぶん起こるだろうと思います。それが何であるか私には十分にはわかりません。価値観の転換がなければ、いつまでたっても成長即エネルギーと資源の大量消費となり、その争奪戦が続いた結果として人類が破滅の道を行くということになりそうです。

世界の人口は現在最大成長速度で増加しています。図-22 に示すような、閉ざされた空間でのショウジョウバエの増殖の観察から導かれた、生物群集の増加を示すロジスチック曲線のように、宇宙船地球号という閉じた空間に存在する卓越生物である人間も同じようなルールで増殖しているとも考えられます。最初の図-1 に示したように、地球上の人類数も加速度が最大になる変曲点、最大増殖速度の点に今いるわけです。後ろ振り返って見れば、20 世紀までの近代文明の成功体験が現代人の行動を支えます。これが多くの途上国の現況です。

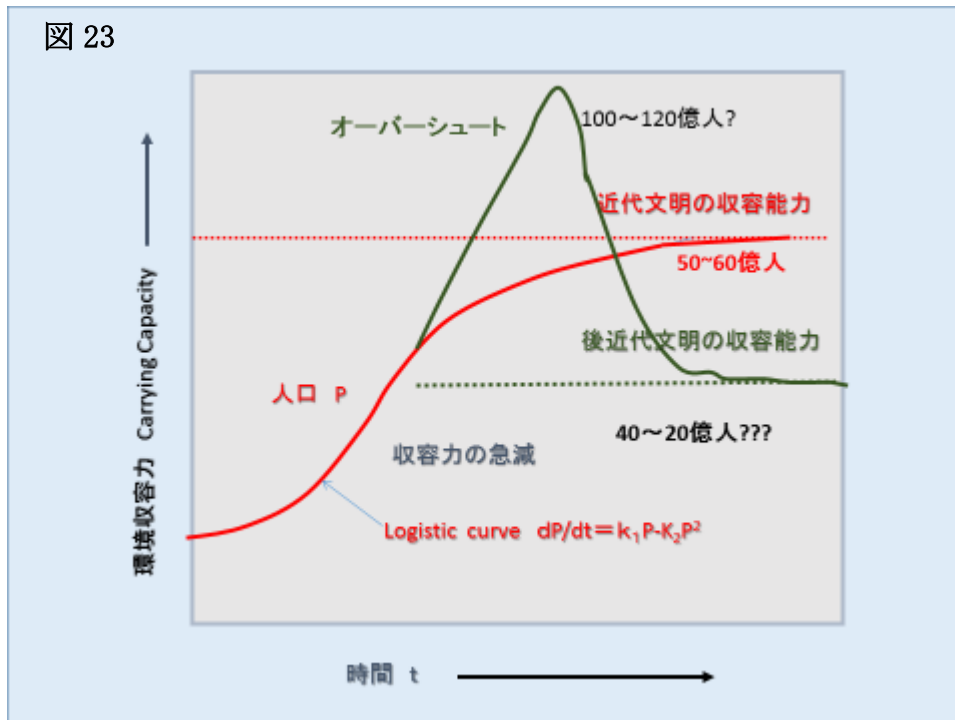


地球上の人類の暮らしは、地域が経てきた歴史に応じて、それぞれの地域の文明の展開段階は同じではありません。先に先進国と途上国といった近代化の進み方の違う、歴史時間を異にする地域があることを述べました。第2次世界大戦を境にして、宗主国と植民地といった区分から、国家主権を持った先進国群と発展途上国群に二分されて、さらにアフリカなどの大きな人口が発展途上国群に加わります。このように地球上の歴史時間の進行は均一で無いので、先にも述べたように、その地域固有の環境容量 (自立可能な EF) を越えても、近代化途上にある後発地域の環境容量を借りて、先進国群は成長しよう (高度レベルを維持しよう) と試みます。したがって、図 23 に示すように、先進国群では部分的には地球の平均的環境容量を超えても成長がしばらくは続きますが、途上国が近代化を進めていくにつれて、次々と地球上の余裕が無くなっていき、地球全体を探しても空き容量を見つめることが出来なくなります。そうすると、先進地域や急速に近代化を進めてきた地域では、一旦過剰に成長した社会を縮減させて、全体のバランス (途上国の成長要求を受け入れる形) をとらざるを得なくなります。

まず、第一段階は、図 23 に示すように近代文明下での地球全体の収容可能レベルにまで活動総量を漸減させることが求められるでしょう。近代文明下で考えるとすれば、人口 60 億人台がおそらくもっともらしい数字になるのではないかと思います。さらに、近代社会が全面的に依存してきた地下からの鉱物資源・エネルギー資源 (金属・非金属資源、石油、石炭、天然ガス、ウランなどの鉱物エネルギー資源) の殆どは 21 世紀の終わりにはいずれも枯渇してくるであろうことを考えると、その先は再生可能 (自然) エネルギーに依拠せざるを得ない第二段階を考えなければならず、エネルギー多用による再生循環型物質利用 (現代の循環型社会) が難しくなり、再生可能エネルギーと自然循環に依拠することを核に据えた社会システムで地域の代謝 (Metabolism) を維持し続けられなくなります。その段階に入ってくると、地下資源全面依存が難しい、新しい後 (脱) 近代文明が支えることのできるのところまで、地球人口を大幅に縮減して定常状態 (Sustainability) を求めることになるでしょう。この第2段階の平衡人口は、18 世紀初頭に 10 億人近くまで太陽エネルギーのみで地球人口を維持してきた近代化前のグリーン社会の実績と、近代文明 300 年に獲得した未来社会でも活用し続けることのできる有形の近代遺産を峻別して使い、生存を

維持していくことになるでしょう。近代文明のグリーン部分の成果にその後の科学技術・管理技術の進歩をプラスする形で、20 世紀初頭の近代の大拡張直前の地球人口 20 億人前後を出発点として問題を再考するという厳しいことになるのではないかと愚考します。

図 23



地球人類の現実の状態は地球上全体に均一ではなく、既に近代の成功が陰すら見せる地域（近代化先進国群）では飽和停滞の予感が人々の頭をよぎり、生き方を変えねば未来は危ういという声が高まります。途上国の多くの人々はしばらく（2050 年ころまで？）の間は、近代化により成長がもたらす近代文明の恩恵を日本人が 1970 年代に感じたようにポジティブに受け止め、元気よく近代文明をなぞるでしょう。その間にこのグローバル化した情報社会では様々な言説が全地球を走り回り、それぞれの地域では様々な地域の特性がそれぞれ見せる困難にぶち当たり、人々は苦勞し、右顧左眄して、何が何だかわからなくなって、右足でアクセルを踏み、左足でブレーキを踏むようなことが繰り返され、世の中はガタガタするようなことの連続がしばらくの間(半世紀ぐらい?)続くと思います。

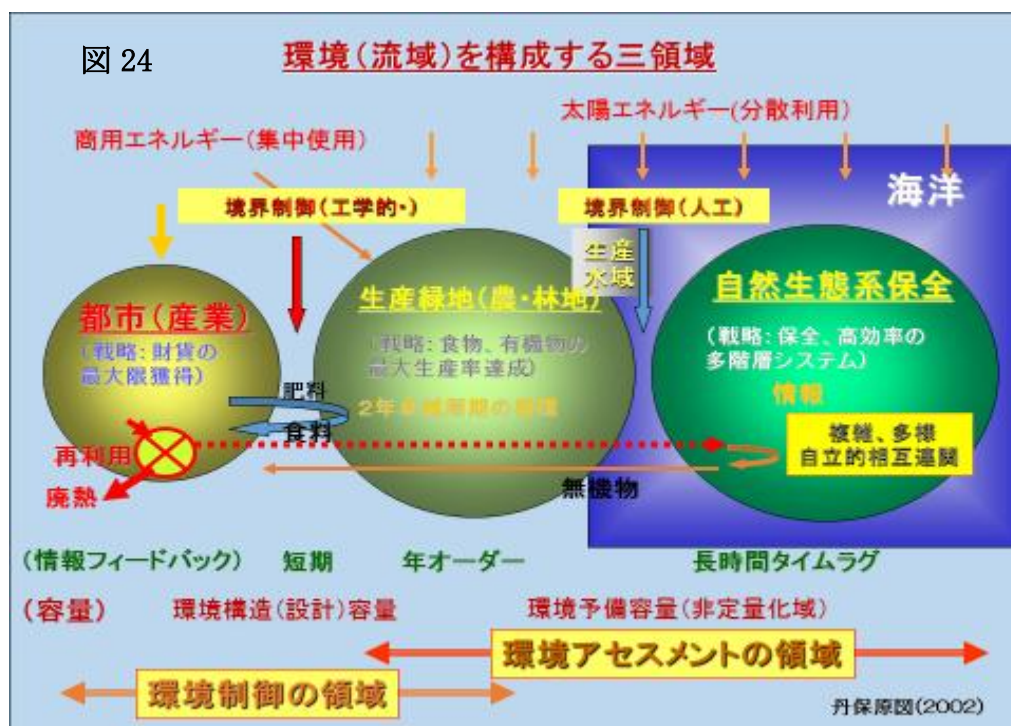
ここで、近代文明の聖句であった Growth（成長）と、似たようでも違う言葉 Development（発展）の区別を明確にする必要があります。Development（発展）は、価値（内容）の転換を含んだ言葉です。それでも進歩であるには違いありませんが、進歩（Progress、Advance、Improvement）と進化（Evolution）の違いも考えねばならないでしょう。近代を駆動した「進歩」というのは何であるかということがこれから、きっと問われると思います。

3 人類活動と都市化社会

図-3 に示したように、1950 年には世界人口 25 億人強の 30%が都市に住んでいました。人口 10 万人以上が集住している域圏を都市域（Urban Area）という定義で国連は括っているようです。2010 年代の終わるころの都市人口は、世界人口 60 億人の半分ぐらいです。

そして、2050 年には恐らく、7 割の人間が都市に住みます。都市が一番お金を稼ぐことができる、もしくは貧しい人々が、そこへ寄っていけば何とか生きられるのではないかと思います、集まるからです。大都市郊外のスラム化は途上国の典型的な都市問題です。

図-24 は、1986 年に筆者が学術会議の第 1 回環境工学シンポジウムで基調講演をした折、地球上の空間をその用途特性によって 3 領域に分けて示し、その上で様々な社会・環境状況を理解しようと考えた絵です。各々の領域はそれぞれ特徴的な戦略目標、駆動エネルギー、システム構成の複雑さ、制御・評価容量、評価の秩序などを持っています。



三領域の一つは「都市・産業域」です。人間活動の集中度が一番大きな空間で、財貨の獲得を最大限に効率よく果たしたいと考える戦略空間です。財貨の生産・流通業、情報・管理産業などが主体となるのがこの都市領域の特徴です。その反面、生物生産機能をほとんど持っていません。ここは商業エネルギー（化石エネルギーと原子力エネルギーなどの高質な低エントロピーエネルギー）を集中的に使って駆動される領域です。この領域で生きていくためには、活動する人間の食物をほとんど他領域から貰わなくてははいけません。

もう一つの人間活動領域は、都市産業域に活動する人々のために、食物・有機物などを供給する「生産緑地、食料生産域」です。ここの領域の戦略目標は有機物の生産量を最大に上げることです。1 粒の麦をまいたら、なるべくたくさんの麦粒を収穫したいということです。昔であれば都市域の人の代謝廃棄物である糞尿を田畑に肥料として返し、食料を生産して都市に戻すという 2 年に一遍の有機物・リン・窒素のサイクルが成り立っていたのですが、海を越えての食料の大量輸入や化学肥料の大量使用により今の日本ではこのような自然の循環が切れてしまっています。

また、生産緑地のもう一つの大きな部分に人工林地があります。人工林というのは早ければ 30～40 年に一遍、成熟林であれば数十年から百年サイクルで、伐採と植樹を繰り返して交代します。これは毎年のように、種まきと収穫を繰り返す農地とは違いますが、人工の林地も 1 本の苗を植えればできるだけたくさんの木材を取りたい、たくさんの再生産をしたいということでは同じです。人工的に有機物を再生産することが目的の人工林も、成長と収穫の期間が 30～50 年以上と長いので、人工空間でありながら狸、狐、兎、栗鼠、鳥