

脱物質経済は可能か

私達はどれだけ消費を下げるべきか

東京大学国際・産学共同センター
教授 山本 良一



地球生態系はいつまで人口圧力に耐えうるか

私達の生活を支える“生命維持システム”が危機的状況にあることはどうも疑い得ようもない事実であるらしい。TIME誌のアースデイ2000特集号には次のようなデータが紹介されている。海洋、海岸には20億人が居住しているが、主要な魚種の内その1/3で漁獲高が減少し特に東南アジアで深刻であること、人類の水利用はこの100年で6倍に増加し23億人が水不足であること、毎年、日本の本州の面積の半分に相当する1130万haの森林面積が減少しつつあり、これは環太平洋地域で深刻であること、更に1分間に平均して247人が誕生し、年間7800万人ずつ世界人口が増大していること等である。

試みにこの人口増に伴う必要な穀物量を計算してみよう。1人あたりの年間平均穀物消費量を273kgとすると、必要穀物量は2130万tとなる。単収を2.88t/ha、必要な水の量を1000t/tとすると、2130万tの穀物生産に、720万haの耕地面積と213億tの水（これは利根川の年間流量の約5倍に相当する）が必要という勘定になる。これは容易ならざる数値であり、地球生態系がいつまでこの人口圧力に耐え得るかということが問題である。

暴走する消費経済と南北格差

既に述べたように、その地球生態系そのものが急速に劣化しているのである。例えば砂漠の拡大である。中国では砂漠は2460km²/年で拡大している。砂漠は首都北京に3.4km/年で接近しており、このままでは30年程で北京は砂漠化するということが懸念されるようになった。

地球環境問題の根底には、人口問題の他に、世界に拡大する“暴走する消費経済”があるということは多くの論者の意見の一致するところである。使い捨て商品、生態系に大きな負荷を及ぼす食生活、世界に広がるショッピングモール、自動車への過度の依存、常に刺激される欲望（アメリカ人は一生の間に175万回のテレビのコマーシャルを見ると言われている）などがアラン・ダーニングの指摘する現代の消費社会の特徴である。

私達は本当にどこまで消費すれば満足するのか。地球環境問題の解決にはこの問いを避けて通ることはできないのである。消費とは“使えなくする、破壊する、浪費する、濫費する、使い尽くす”ことである（オックスフォード小辞典）。20世紀の経済成長エンジンは無限の資源、無限の環境（汚染物質の捨て場所としての）を前提とした大量生産、大量廃棄の正に使い捨て経済であった。短寿命製品を大量生産して普及させ、使い捨てることによって再び大量生産し、そのことによって経済を成長させてきた。

確かに私達は豊かな（しかし持続不可能なすなわちバブルな）生活を享受している。しかしながら豊かな生活を享受している人口の世界人口に占める比率は極めて限られており、また貧富の格差は隔絶したものとなっている。人口20%の先進国が世界の資源の80%を使用していると言われていたのである。単純に計算すれば先進国の1人あたりの平均年間資源消費量は途上国のその16倍になる。Weizsäcker等によれば年間の使用量と排出量の南北格差は次のようである。ドイツ人はエネルギー消費においてエジプト人の7倍、オゾン層破壊物質の排出量はフィリピン人の28倍、アルミニウムの使用量はアルゼンチン人の14

倍、鉄鋼使用量は何とフィリピン人の131倍である。

これらの値は、アメリカと世界の最貧国を比較すれば更に大きくなるであろう。大ざっぱに言って現世代の南北間には資源消費、環境消費(排出した汚染物質を環境に浄化させるという意味)において10~100倍の格差がある。勿論最も物質的に豊かなアメリカ国内においても、或いは最貧国においても貧富の格差(資源と環境へのアクセスについて)がある。

また資源枯渇を考えると、このままでは現在の世代と将来の世代の間には更に大きな格差が生ずることになる。多くの金属元素はこのまま使い捨てていけば50年以内に枯渇すると言われており、石油、天然ガスも21世紀中には使い尽くしてしまうからである。更に熱帯雨林や地下水等の再生可能資源も再生速度を大幅に上回る速度で採取すれば枯渇化してしまうことは間違いない。その回復には膨大な時間が必要である。

私達はどれだけ消費すれば満足なのか、或いはどれだけ所有すれば満足なのであろうか。地球限界はそれをどこまで許容できるのであろうか。地球限界、生命維持システムの限界を考えると、私達が直面している問題は主として次の2つにまとめられると考える。

(1) 先進国の享受する資源多消費、環境負荷の高いバブルな生活をこのまま継続することは環境破壊の促進という点で継続困難であるし、現世代の南北間、現世代と将来世代間の不公平という倫理の観点からも問題である。

(2) 途上国が先進国と同様の20世紀型経済成長をすることによってバブルな生活を追求することは、人類全体を速やかに危機に陥れてしまうであろう。

つまり、“北のバブルな生活の継続”と“南の20世紀型の経済成長”は資源と環境の限界が明確になった現在、共に到底容認できる経済政策ではあり得ないのである。

「持続可能水準」をすでに突破

さてそれでは今日人類の置かれている状況はどれほど危機的なのであろうか。次に紹介する3つの研究は、私達の資源消費水準(あるいは環境負荷水準)が持続可能水準を既にオーバーしていると結論している。

第一の研究はHaushildとWenzelが詳述している環境収容能力(Ecological Carrying Capacity)に関するものである。環境収容能力とは“一定面積の生態系に無理なく永続的に負わせることの出来る人間の経済活動による環境負荷の上限”と定義される。彼らはグローバルな環境収容能力として生態系による温暖化効果ガスの吸収量とオゾン層破壊物質の除去量を、ローカルなそれとしてEUにおける酸性化物質の除去量、デンマークにおける富栄養化物質の除去量等を評価している。

1990年、世界人口52.9億人において、温暖化効果ガスの環境収容能力が3.8tCO₂-eq./年であるのに対して排出量は8.7tCO₂-eq./年・人であることから、地球温暖化については環境収容能力(すなわち地球の限界)を超えていることになる。オゾン層破壊物質の除去量は8.3gCFC11-eq./年・人であるのに対して、排出量は8.8gCFC11-eq./年・人であるので環境収容能力をオーバーし、オゾンホールが生成していると説明する。一方地域的な環境収容能力としてEUにおける酸性化物質について考えてみよう。人口3.2億のEUの酸性化物質の排出量は83kgSO₂-eq./年・人であるのに対して、環境収容能力(酸性雨問題の顕在化していなかった前産業革命時代の推定排出量)は7.5kgSO₂-eq./年・人であるので、EUは1/10以上の削減をしなければこの問題の解決はできないということになる。更にスカンジナビア半島等における許容限界は土壌の問題もあり臨界量は更に小さく、必要削減量も更に大きなものとなっている。

第二はエコロジカル・フットプリント分析である。札幌大学の和田喜彦によれば、エコロジカル・フットプリント(Ecological Footprint=EFと略記)は

“ある特定の地域の経済活動、又はある特定の物質水準の生活を営む人々の消費生活を永続的に支えるために必要とされる生産可能な土地及び水域面積の合計”と定義される。EFは“生態学的な意味での足跡”、“経済の生態系に対する踏みつけ面積”、あるいは“経済の環境面積要求量”と解釈することも出来る。EFはカナダ、ブリッティッシュ・コロンビア大学のRees教授のグループによって提案され、システムティックに研究されて来たものである。同グループのWackernagelらは世界各国のEFを評価した結果、「主要52カ国のエコロジカル・フットプリントの合計は、1993年の時点で既に地球上の生産可能な陸地・水域面積の1.33倍に達している（言い換えれば地球生態系の再生・処理能力を33%オーバーしている）」と結論している。

第三にManfred Max-Neefは、2000年6月ハノーバーで開催されたWorld Engineers Congressで興味深い報告を行った。これはミュンヘンにあるマックスプランク物理研究所のHans-Peter Durrが提唱した概念エコソン(Ecological Person)に基づいている。Durrは人類の永続的に利用可能な太陽エネルギーを種々の考察から9TW年/年とした。現在の世界人口60億で割ると、1日あたり1.5kwh、1年間13,000kwhに相当するエネルギーで生活するのがエコソンということになる。現在の世界人口60億人の年間エネルギー消費量で養えるエコソンは84億人となるので、持続可能なエネルギー消費の観点からは40%オーバーシュートしていることになる。Max-Neefはエコロジカル・フットプリント分析の結果と合わせて、現在の人類の資源環境消費水準は既に持続可能水準を約40%オーバーしているのではないかと示唆している。

資源効率・環境効率の向上が急務

以上のような分析結果と、既に述べた地球環境の深刻な劣化の現状から、多くの研究者は経済成長と資源エネルギーの多消費を分離することが緊急の課題であると考えに至った。資源エネルギー消費量（及び環境負荷）の削減は脱物質化

(Dematerialization)と呼ばれている。同様な意味において日本大学の水谷広は、人間が意図する意図しないに係わらず移動し変換される物質量の削減(“物縮”)と、人間による物質循環に要するエネルギーの削減(“熱縮”)の二つ、すなわち熱物縮が必要であると主張している(「地球の限界」日科技連出版社)。

それでは2050年までにどこまで、そしてどのように脱物質化をはかれば持続可能な経済を実現できるのかが問題となる。資源エネルギーの消費量(と同時に環境に放出する汚染物質)を削減しながら、生活の質、享受し得るサービスの質と量を向上させること、すなわち資源効率(あるいは資源生産性)環境効率の向上が中心的課題となる。資源効率及び環境効率を向上させる事が出来れば、先進国はそれ程痛みを伴うことなく資源エネルギー使用量を削減することができ、一方途上国は資源エネルギーの使用量をそれ程増加させずに生活の質を大幅に向上させることが可能となるからである。資源エネルギーの消費量をそれではどこまで削減すべきか。資源生産性はどれ程の倍率(ファクター)で高めるべきであろうか。

(1)ファクター4(Factor4=F4と略記)

Weizsäckerは先進国は直ちに資源エネルギー消費量を1/4に削減し、資源効率、環境効率を4倍(ファクター4)に増加させるべきであると主張している(「ファクター4」省エネセンター)。

これは、人口20%の先進国が世界の資源の80%を使用している現状を踏まえ、先ず平等の原則(Equity Principle)に則って先進国は1/4まで消費量を削減すべきであるということから来ている。資源効率=製品性能/資源投入量であり、環境効率=製品性能/環境負荷であることから、ファクター4の向上を達成するためには従来の製品に対して、資源投入量(直接、間接投入を加えて物質集約度とする場合もある)と環境負荷を半分に抑えながら製品性能を2倍に高めればよい。旧製品と新製品で製品性能が同一ならば資源投入量、あるいは環境負荷を75%削減することが出来れば同様にファクター4の向上を達成することができる。後に述べるように資源とエネルギー

ギーについて既にファクター 4 を達成した技術、製品は多数存在する。

(2) ファクター 10 (Factor10=F10)

直ちに資源エネルギー消費量を先進国は 1/4 に削減せよという主張に対して、2050 年に世界人口が 90 ~ 100 億人に増加したときには 1/4 削減では不十分であるという考え方がある。Schmidt-Bleek は 2050 年までに資源消費量を 1/10 に、資源効率、環境効率を 10 倍 (ファクター 10) に高めることを提唱している (「ファクター 10」シュプリング東京)。これは以下のようにいくつかのやり方でその必要性が説明されている。

先進国の人口は世界人口の 20% でありながら CO₂ 排出量は 1/2 である。2050 年までに人類全体からの CO₂ 排出量を現在の 1/2 に削減し (持続可能社会を実現するために予防の原則に立って) 1 人あたりの年間排出量を先進国も途上国も同一とすると (平等の原則) 先進国の市民は現在の CO₂ 排出量を 1/10 までに削減しなければならないことになる。但し 2050 年の先進国人口の世界人口に対する比率を 1/10 とする。もっと簡単に考えると、持続可能性を考えて資源消費量を半分に削減することでファクター 2 が、現在世界人口の 1/5 の先進国市民の享受する生活を全ての途上国の人々へも分かち与えると言うことでファクター 5 が出るので、結局ファクター 10 の必要性が出てくる。一方経済学におけるマスター方程式を利用した次のような説明もなされている。人類全体の地球に及ぼす環境影響 (環境負荷でも良い) は次のように書ける。

$$\text{環境影響} = \text{世界人口} \left[\frac{\text{世界の GDP}}{\text{世界の人口}} \right] \left[\frac{\text{環境影響}}{\text{世界の GDP}} \right] \quad (1)$$

1990 年を比較年とすると、2050 年において世界人口は約 2 倍、(世界の GDP/世界人口) は途上国の経済成長のために約 5 倍に増加するものと予想される。従って 2050 年の環境影響を 1990 年の水準に保つためには、(環境影響/世界の GDP) を 1/10 に削減する必要がある。逆に言えば (世界の GDP/環境影響) を 10 倍 (ファク

ター 10) に高めなければならないことになる。これはよりわずかな環境影響でより多くの経済的付加価値を創出するということであるから、資源効率、環境効率を高めることと同値である。F10 は一部の技術については可能であるが、エネルギー関連技術については F10 はきわめて困難で、せいぜい F4 止まりであるという指摘もなされている。

(3) ファクター 20、F10 に対して、それではまだ足りないと言う意見もある。F10 では 2050 年の人類活動に伴う環境影響を 1990 年水準に抑制することを目指すのみであり、環境影響を持続可能水準以下に下げた持続可能社会を実現するには不十分だというのである。そこで環境影響を 1990 年水準の 1/2 に削減することを目標とすると (世界の GDP/環境影響) を 20 倍 (ファクター 20) に高めることが必要になる。以上が F4, F10, F20 の根拠である。

(4) ファクター 16

Cramer と Tukker は (1) 式を更に詳細に検討した。2040 年の世界各国の予想される人口と、1 人あたりの GDP (GDP/人口) をすべて 35,000 \$ (理想的な年間所得) として世界の総所得を計算すると、1990 年のその 16 倍となった。従って 2040 年の環境影響を 1990 年水準に抑制するためには (世界の GDP/環境影響) を 16 倍 (ファクター 16) にしなければならないと結論している。

(5) ファクター 10 ~ 20

このような議論の他に、Weterings と Opschoor は資源消費量と環境汚染物質の排出量をそれぞれ個別に検討して、持続可能水準、2040 年の予想水準を導き、必要な削減率を評価した。これを表 1 に示す。これより最も少なくても F5、最も多くても F100、大体 F10 ~ F20 が必要であるという結論が下されている。

一方 Schmidt-Bleek は MIPS という指標を定義している。これはサービス単位あたりの物質集約度 (直接、間接の資源投入量の総和) のことである。したがって資源生産性は MIPS (Material Intensity Per Service Unit) の逆数となる。ここで考察

して来たファクターは、脱物質化あるいは資源生産性向上の必要な大きさの程度を示すものである。F10あるいはF20はそういう意味で、持続可能社会を実現するためには相当な程度の技術革新、社会制度の変革が必要であることを示している。

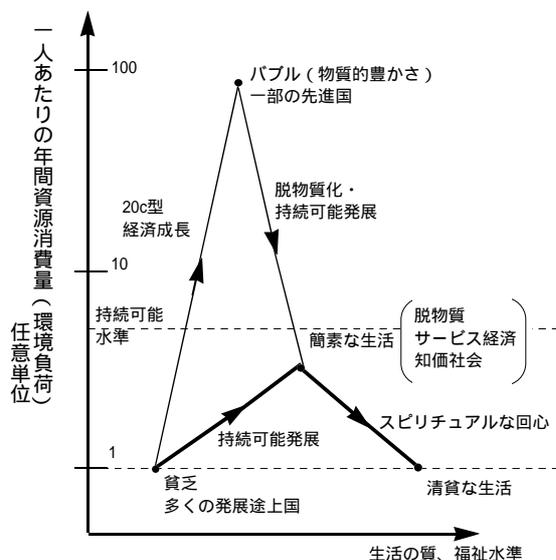
先進国 VS 途上国の 資源消費と環境効率に関する考察

さて以上のような研究とは別の方法で、必要な脱物質化因子を見積もってみよう。地球の限界を深刻に考えると図1に示すように、先進国と途上国は別のルートをたどって持続可能発展をし、最終的には脱物質・サービス経済を実現する必要がある。途上国が先進国と同一経路でバブルを経由して脱物質経済へ行くことは人類の破滅をもたらす危険性が高い。この脱物質経済においては資源効率、環境効率が究極的に高められた技術、製品・サービスが採用されており、市民はほとんど耐久消費財を所有することなく多様で常にバージョンアップされるサービスを楽しみ、自然エネルギーに基礎を置く安全で豊かな質の高い生活を営んでいる。ただし、資源消費量、環境負荷量は極めてわずかなライフスタイル（モノ的には簡素な生活）である。脱物質・サービス経済は文化の多様性を包含し、一つのライフスタイルを強制するものではないし、またそうであってはならない。以下次のように仮定しよう。

表1. 環境容量 (Weterings and Opschoor, 1992)

| インジケータ | 持続可能水準 | 2040年の予想水準 | 必要な削減率(%) | スケール |
|---------|---------------|-----------------------|-----------|-------|
| 石油 | 50年 | 資源枯渇 | 85 | グローバル |
| 天然ガス | 50年 | 資源枯渇 | 70 | グローバル |
| 石炭 | 50年 | 資源枯渇 | 20 | グローバル |
| アルミニウム | 50年 | 50年分以上あり | 0 | グローバル |
| 銅 | 50年 | 資源枯渇 | 80 | グローバル |
| ウラニウム | 50年 | 原子力への依存度による | 定量評価不可能 | グローバル |
| 再生資源 | | | | |
| 第一次生産性 | 全体の20% | 全体の50% | 60 | グローバル |
| 動物バイオマス | 全体の20% | 全体の50% | 60 | グローバル |
| 生物多様性 | 5種絶滅/年 | 365種/年 | 99 | グローバル |
| 炭素排出 | 2.6Gt/年 | 13Gt/年 | 80 | グローバル |
| 酸性化物質沈着 | 400acid-eq/ha | 2400-3600acid eq./ha年 | 85 | 大陸 |
| P | 30kg/ha.年 | 定量的データなし | 評価不能 | ナショナル |
| N | 267kg/ha.年 | 定量的データなし | 評価不能 | ナショナル |
| Cd沈着 | 2t/年 | 50t/年 | 95 | ナショナル |
| Cu沈着 | 10t/年 | 830t/年 | 90 | ナショナル |
| Pb沈着 | 58t/年 | 700t/年 | 90 | ナショナル |
| Zn沈着 | 215t/年 | 5190t/年 | 95 | ナショナル |
| 土壌損失 | 93億t/年 | 450-600億t/年 | 85 | グローバル |

図1. 2つの持続可能発展の経路



copyright 山本良一

A 途上国における資源消費あるいは環境負荷 (1/1 億人・年)

B 先進国における資源消費あるいは環境負荷 (＂)

C 持続可能社会における資源消費あるいは環境負荷 (＂)

先進国と途上国で1人あたりの資源消費あるいは環境負荷を同一とする。

S 持続可能水準 (資源消費あるいは環境負荷)(1/年)

仮定

(1) 現状において既に人類全体で持続可能水準を40%オーバー。

(2) 人口は2050年までに途上国で更に30億人増加する。

ここで2050年において南北で1人あたりの資源消費量を同一とした(平等の原則)のは、そうでないと途上国は21世紀型の経済成長路線を採用するか、グローバルな環境保全に全く協力しない、という路線を採用する可能性が高く、南北が共倒れに至ることはほぼ確実だからである。

まず B/A=100 の場合について計算しよう。

$$\frac{B}{A} = 100 \text{ の場合} \quad \dots (2)$$

$$48A + 12B = 1.4S \quad \dots (3)$$

$$78C + 12C = S \quad \dots (4)$$

$$(4) \text{ より } 90C = S$$

$$(2) \text{ より } B = 100A$$

(3) より

$$48A + 1200A = 1.4 \times 90C = 126C$$

$$1248A = 126C$$

$$\frac{C}{A} = \frac{1248}{126} \sim 10 \text{ (途上国は 10 倍に)}$$

同様に

$$\frac{C}{B} = \frac{12.48}{126} \sim \frac{1}{10} \text{ (途上国は 1/10 に)}$$

このようにして計算した結果を表 2 に示した。すなわち途上国と先進国で資源消費量に 100 倍もの差がある場合は、途上国は資源消費量を現在の 10 倍に増加させ、先進国は 1/10 に削減する事が必要だが、格差が 10 倍の場合には途上国における人口増のために、途上国はわずかに 33% しか増加させることができず、先進国は 1/7.5 まで削減すればよいことになる。

既に述べたように、現状での南北格差は平均的に 16 倍といわれているので、先進国は F8 の向上が求められることになる。この場合途上国は 2 倍まで消費量を増加させることができる。但しこれまでの講義では (1) スタートラインにおける先進国と途上国のインフラ等における隔絶した差については全く考慮していないこと、(2) 持続可能な社会形態並びに経済にも様々なものが可能であり、途上国も必ずしも資源消費量を 2 倍まで増加させる必要はないかも知れない等については考慮していない。

上記結果では途上国において一人あたりの資源消費量を更に増加させるためには人口抑制をやはり避けては通れないことを意味している。

表 2. 先進国の必要な脱物質化の大きさ ファクター X の評価

| 研究者 | ファクター X | 先進国 | 途上国 |
|----------------------------|---|--------------|------|
| Weizsäcker & Schmidt-Bleek | 4 | 1/4 | |
| Cramer & Tukker | 16 | 1/16 | |
| Ryan | 20 | 1/20 | |
| Weterings & Opshoor | 10 ~ 20 | 1/20 ~ 1/10 | |
| 山本 | A 途上国・一人当たりの年間資源消費量 B 先進国・一人当たりの年間資源消費量 B / A = 100 の場合 | 10 1/10 | 10 |
| | B / A = 16 の場合 | 8 1/8 | 2 |
| | B / A = 4 の場合 | 7.5 1/7.5 | 1.33 |
| | B / A = 4 の場合 | 5.2 1/5.2 | 1.31 |

2050 年までの世界の持続可能戦略

さて 90 年代に提唱された F4, F10, F16, F20 と本稿での評価を統合して考えると、2050 年までの世界の持続可能戦略は以下のように要約される。

(1) 先進国、途上国は共に資源効率、環境効率の飛躍的向上 (例えば F10) を目標に技術開発、制度変更、価値観変革に取り組む必要があること、(2) 先進国が脱物質化を進める一方で、途上国も資源消費量を少しずつ増加させながら脱物質的経済成長を進める必要があること、(3) スタートラインにおける隔絶した南北の貧富の格差を考えれば、先進国は文化の多様性を極力保全しながら途上国のインフラの建設、環境先進技術の供与において全力を挙げなければならない。そうでなければ途上国を、20 世紀型経済成長路線を採用するという “共倒れ路線への誘惑” から引き離すことが困難になる。

(4) 日本は欧米の先進国と比較して既に F2 だけ資源生産性が高い。しかしながら資源・エネルギー・食糧の海外依存度が高すぎるという欠陥がある。そこで、日本の

表3.生産性インジケータの歴史的推移 (by OECD)

| | 地域 | 生産性指数 | 期間 | 年間生産性変動(%) |
|------|-------------|------------------|-------------|------------|
| 経済全体 | OECD 16ヶ国 | GDP / 労働時間 | 1820 - 1992 | 2.4 |
| " | 日本 | " | 1950 - 1973 | 7.7 |
| " | OECD | GDP / エネルギー投入量 | 1971 - 1995 | 1.27 |
| " | 日本 | GDP / 資源投入量 | 1975 - 1994 | 2.0 |
| " | アメリカ | " | 1975 - 1994 | 2.5 |
| " | OECD | GDP / 都市・ゴミ発生量 | 1980 - 1992 | -0.5 |
| " | OECD・主要6ヶ国 | GDP / 都市・水使用量 | 1980 - 1990 | 1.0 |
| " | ドイツ、アメリカ | GDP / VOC排出量 | 1980 - 1993 | 4.0 |
| " | ドイツ、日本、アメリカ | GDP / 大気への重金属排出量 | 1965 - 1995 | +7 ~ 10 |

採用すべき戦略は国内的に環境法規制を強化し、エコロジカルな税財政改革を断行し、資源生産性、環境効率を世界に先駆けてF10～F20に高め、食糧の自給率をヨーロッパ諸国の水準にまで高める。次にこの実績を基にヨーロッパの環境先進国などと共にバブルな生活にしがみついた米国と環境破壊を伴いながら経済成長を強行しつつある中国を説得する。また世界的な環境ガバナンスを確立するために、国際環境開発機関を設立する一方で、途上国の持続可能な経済発展を支援するためのグローバルな環境公共事業を実施する（軍事費を削減してこれにあてる）。

そこで問題はF10は本当に可能かどうかということである。表3はOECDによって作成された生産性指標の歴史的推移を示している。日本の資源生産性は1975～1994年において年率2.0%で成長してきたことが分かる。よりわずかな資源でより多くの経済的付加価値を創出してきたわけであるが、30年間でF10を実現するには年率8%で脱物質化しなければならず、社会全体で資源生産性を向上させることは容易ではないということが窺える。

デルフト工科大学のBrezet教授はエコデザイン（環境に配慮した物作り、環境適合設計）は製品改善、再設計、機能革新、社会システム革新の4段階で発展する（あるいは4種のエコデザインに分類される）として、それぞれでF2,F5,F10,F20の資源効率、環境効率の向上が達成されるとした。筆者は日本のエコデザインのベストプラクティス100について環境効率、資源効率を定性的、定量的に検討した結果、製品カテゴリーによって差があるものの、1990年比でF2～F5の向上が既に達成されたものと考えている（詳しくは拙著「エコデザイン」・ダイヤモンド社参照）。当然製品カテゴリー毎、産業毎に資源効率、環境効率向上の難易は異なり、一技術についてF10が実現されたとしても、既に述べたように社会全体でF10を実現することは容易ではない。F4については表4に示すように多くの事例がある。

ここに注目すべき調査がある。スウェーデンはF10の技術革新の可能性を産業毎に調査した。その結果を表5に示した。これは各産業セクターの専門家に対する聞き取り調査をまとめたものであって、必ずしも

表4.F4技術 (Weizsäcker Robins)

1. 燃費のきわめて高いハイパーカー
2. 完全バイオ型オフィスビルのモデルであるロッキーマウンテン研究所
3. ダルムシュタットに建てられた省エネアパート
4. 省エネ型の照明機器
5. レンタケミカル社の化学物質のレンタルサービス
6. 電子辞書-ポケットに入る図書館
7. 砂漠で成功を収めた滴下灌漑
8. 新しく設計された冷蔵庫「フリア」-冷蔵庫が冷蔵庫にとって代わる
9. 出張旅行を節約するビデオ会議
10. クリチバ市の公共交通政策
11. 自動車のシェアリングシステム
12. 長寿命とモダンなデザインを両立させたオフィス家具
13. 家電製品などについてのサービスによる製品の代替化
14. 自然に空調する真夏のカリフォルニア住宅

表 5.スウェーデン産業のF10の可能性 (by Johanna Janson)

| セクター | F10の可能性 | コメント |
|---------------|----------|---|
| 林産物 | No | この数十年に既に相当な進歩を遂げた。更にF10の向上は困難。輸送やエネルギー変換での新技術及びシステム技術の導入によって生産性向上の見込みはある。 |
| 農業、食品 | Yes | 化石燃料の使用、系への必要なPの投入においてF10の可能性はある。伝統的及び遺伝子組み換え技術による作物開発が重要。 |
| 化学、医薬品 | Possible | エネルギーと水の利用の分野で可能性がある。よりわずかの資源ですむような新製品が開発される。“機能販売”による方法も達成の一方法。 |
| 鉄鋼 | No | 鉄鋼業はコスト圧力によって既に長期間にわたりその効率改善に注力してきた。F10へのポテンシャルは小さい。 |
| 半導体 | Yes! | 現在の技術によってもF10は可能。新技術も急速に開発されつつある。これによってエネルギーや輸送の分野で大きな資源節約をもたらすであろう。 |
| 機械 | May be | 生産及び製品自体でポテンシャルあり。物理的なサイズによる制約がある製品についてはF2~4、それ以外についてはF5~10。 |
| エネルギー、土地、水の供給 | Yes | 特に太陽電池技術によってF10は可能。燃料電池にも可能性あり。 |
| 建設 | May be | ビルのライフタイムでのエネルギー使用量を考えるべき。また、建設材料のリサイクルも重要。 |
| 輸送、通信 | No | 輸送部門では技術的に改善の余地ある。F2の改善が指摘されている。 |
| 廃棄物 | May be | この産業部門の他の社会が変化すればF10は可能。 |

産業界全体の意見を反映しているとは云えないが、産業セクター別のF10の潜在的可能性を示すものとして大変興味深い。林産物、鉄鋼、輸送、通信産業についてはF10の可能性は否定的であるが、半導体、農業・食品、エネルギー・水・土地等については大いに可能性があるとしている。わが国においても各産業毎にF10の可能性を詳しく調査し、技術的ブレークスルーのシーズを探索し、研究開発のベクトルをその方向に合わせて行くことが重要なように考えられる。

このように21世紀経済の成長エンジンは「エコデザイン」でなければならないのは明らかである。再利用、修理、再製造、リサイクルの他に製品のサービスによる代替などの脱物質化のためのビジネスモデルの開発・普及がきわめて重要となるであろう。モノのエコデザインを窮極的に高めると同時に、共同使用などによってサービス集約度を高めることが社会的に優先されなければならない。環境効率の高いサービス提供のための新しいビジネスモデルが開発

されてなければならない。

本稿では脱物質経済を実現するためにはF10に相当するような資源生産性の向上が不可欠であることを論証したつもりである。読者はこのような持続可能戦略についていかが思われるであろうか。

山本良一プロフィール

1946年茨城県水戸市生まれ。東京大学東京大学工学系研究科博士課程修了。工学博士。東京大学生産技術研究所教授。通産省LCAプロジェクト運営委員長、ネットワーク代表幹事、環境報告書ネットワーク代表幹事など、学外でも多くのを兼務。地球環境と共存するパラダイムシフトの実現に向けた献身的な活動は、海外でも高く評価されている。著書に『地球を救うエコマテリアル革命』『戦略環境経営CODEデザイン』ほか多数。