

## 地球環境問題への視点

二 宮 勘 輔

### 1 はじめに

著者はこの 10 数年、地球環境問題をテーマにして、ゼミの授業で学生達と接触してきた。その経験から、学生達の地球環境問題への関心は、近年になるほどとみに高まっているように思われる。学生たちは、人間と生命の存在基盤として地球が今日破綻しつつあるという、漠然とした不安の意識を持っている。宇宙船地球号に乗り合わせた自分達皆が、地球に優しくしなければならぬ、ゴミを分別してリサイクルに協力しなければならぬといった心情ないしは倫理観を強くもっている。これらは最近の若者がもっている市民としての優れた意識である。しかし、リサイクルに協力するといったことがどのような道筋でどのくらい地球環境に寄与するのかについて、学生達がしっかりした認識を持っているわけではない。リサイクルすることは地球のためにならないと言った見解にとまどったり、一人の人間が努力してもどれだけ意味があるのかわからないと悩む。この背景には、地球環境問題はその全体的構造が見えにくく、切迫度の認識や解決の見通しをもつことが、学生たちにとって大変難しいということがあるように思われる。

地球環境問題は二重の意味で複合的である。個々の地球環境問題、たとえば地球温暖化、森林破壊、人口増加などは、お互いに原因となり結果となりつつ相互に影響しあう関係にある。さらに、環境問題の発生と解決の過程には、政治、経済、社会、科学技術、人間の生き方にいたるまでの、様々な側面が複合的に関わっている。むしろ、環境問題に限らずあらゆる問題がその背後をたどれば複合的であるが、地球環境問題はその複合性が直接的であり、その絡みが極めて複雑である。問題の認識が困難であるのは学生だけではない。今日、地球温暖化に関する京都議定書の実施をめくり、米国が協定締結国からの離脱を宣言するなど、混迷した状況が生じている。このことは、いまだ人類が、地球環境問題に対する基本的なところでの、しっかりした共通認識をもちえていないことを示している。このような事態に対し、地球環境問題はいまだのような段階にあり、どのような解決の見通しが立てられるのであろうかを、あらためて考えて見る必要があると感じた。そこで以下では、地球環境問題の基本点について、著者なりの問題整理を行い解決の見通しをたてることを試みる。

ここでは地球環境問題の一応の定義として、「人間の活動に伴って生じる自然環境の広域的な変化による人類の生存への悪影響」とする。「人間の活動に伴って生じる」としたのは、地震による地殻変動のような、人間活動の影響外にある自然現象にもとづく自然条件の変化は、環境の変化ではあるが環境問題の対象ではないと考えるからである。また、単に環境ではなく地球環境ということから、広域な変化でかつ自然環境の変化を対象とした。ただし、自然環境と対比されるのは人工環境であるが、たとえば騒音公害のような人工環境問題とみなされる問題でも、空間そのものも自然の一部と考え、これを静寂な空間の消失と見なせば、自然環境の問題ととらえることも可能であるので、両者の区別は厳密にはつけがたいこともある。

地球環境問題を「人類の生存への悪影響」としたが、これを人類だけでなく、「人類と生命・生態系への悪影響」とする考え方もあるであろう。たしかに、生命体によって養われている人類であるから、人類は生命・生態系と一体の関係にあるともいえる。しかし、生命・生態系の存続を絶対的目標とするならば問題を誤ることになる。このような立場にたつと、たとえば生態系への人為による干渉は基本的に悪であることになる。今日の生態系は、農業をはじめさまざまな人為によって、大きく変えられた姿であって、手つかずの自然などは今の世界には存在しない。人類のこれまでのこのような行為をすべて否定するわけにはいかない。また、貧窮のため燃料もままならない人々がまわりの木を切りつくす行為を、生態系の破壊を理由に非難することは、あまり意味をなさない。人間と生態系を同等に位置づけ人間と自然の共生を唱えることは、言葉の響きとしてはよく聞こえるが、あくまでも、究極的には人間にとっての自然環境が問題である。

他方、たとえば熱帯雨林の破壊など、目先の利害にとられ安易に生態系を乱すような行為に対しては、生態系を人間に準じてできるだけその存続をはかる立場に立って、それを阻止しなければならない。それは人為による生態系の変更がたとえわずかであっても、長い年月を経た後にその悪影響が人類に思わぬしっぺ返しをすることがあり、しかも、人類がそれを完全に予測することが不可能であるからである。また、生態系は環境変化の影響をもっとも敏感に反映するいわばバロメーターでもある。

学生のなかにも生命・生態系の存続を絶対視する見方がしばしば表れる。ある学生が、人類が将来宇宙へ移住すべき理由として、人類が地球を放棄することで人類が痛めつけてきた地球自然が元に回復するからと述べた。地球自然を擬人化し、人類と地球自然を対等な存在ととらえ、人類が地球自然のため譲るべきだという発想である。地球環境問題の解決は最終的には人間のためか、生命・生態系のためにもかをめぐる観点の違いは、むろん学生だけでなく、さまざまな環境問題をめぐる論争の中にもしばしば現れる。その例として、捕鯨禁止に対する世界の対立した見解や、世界遺産である白神山地への入山禁止をめぐる賛否などをあげることができる。

地球環境問題の一応の定義で、「人類の生存への悪影響」と述べた。地球環境問題では、その悪影響の現れ方に特徴がある。地球環境の変化をもたらす個々の人間の活動は、その時々合理的利益追求の結果である。ある特定の人間活動が他者に悪影響を与えるならば、通常はそれには何らかの代償がはられるか、社会的規制がくわえられることで、自然と社会の秩序が保たれる。

ところが地球環境変化による悪影響は、その代償がはらわれることも社会的規制がくわえられることもないまま、利益追求者もふくめ、広くかつ世代を超えて及んでいく。たとえばクーラーを使えば適度な室温という利益がえられる。ところが皆がクーラーを使うと、その廃熱で地域の気温は上昇し、ますますクーラーが必要になる。この悪循環は誰も気づいていることであるが、これらの悪影響に対しては、直接的に代償や規制を定める社会的思想はない。強いてあげれば、燃料や電位料金の中にふくまれる税金が、間接的なある種の代償に当たるかもしれない。1国の範囲でおさまる悪影響ならば、何らかの代償や規制を定めることも比較的容易かもしれない。現にデンマークやドイツなどヨーロッパ各国では、環境問題にかかわる社会的規制の取り組みが進んでいる<sup>(1)</sup>。しかし、国を超えた定め、ましてや世界共通の規制となると容易なことではいかなくなる。利益と悪影響の評価が地域や国によって異なるからである。

要するに地球環境問題における悪影響は、ある広い地域あるいは人類全体の共有資源、いわゆるグローバル・コモンズ<sup>(2)</sup>の劣化ないしは消滅という形で起きる。しかもそのグローバル・コモンズに、大気や気温やオゾン層といった、従来は資源の範疇には入っていなかった自然まで含まれるようになったのである。この悪影響をなくすには、ひとつには、人類全体でそれを生み出す利益追求の行為を抑制ないしは止めることである。このためには、人類全体が、しっかりとした合意のうえで、何らかの代償や規制を定めることが必要である。今ひとつは、同じ利益追求の行為によっても悪影響が生じないように、技術を改善することである。

## 2 地球史にみる変動の規模と時間

自然条件の広域的な変化が問題の対象であるが、その変化の規模をどう認識するかは人によって分かれるところであり、その認識によっては問題の見方が大きく異なってくる。人間の活動によってもたらされつつある今日の様々な変化は、地球自然にとって回復しがたい破壊的な変化なのか、あるいは一時的で容易に回復できるような変化なのか問題である。これを見定める有効な方法は、地球の歴史のなかに今日の事態を位置づけてみることである。

天体としての地球が誕生して46億年、生命が誕生して30数億年を経るなかで、地球と生命はさまざまなタイムスパンで大小の変動をとげてきた。数億年単位で見ると、大規模なマントル対流の変動や小惑星の衝突によって、地殻、大気成分、気候などの環境が激変している。その変動の規模は、たとえば、ある時期には地球の平均気温がマイナス数10度にまで下がり、赤道付近の海も含めて地球全体が凍りつく、いわゆる全球凍結<sup>(3)</sup>の状態に至ったこともある。このような地球の激変によって、生命は大絶滅の危機を5回も経験している。その大絶滅の危機のたびに生命は大進化をとげた。これら大進化によって、たとえば光合成の開始といった、代謝方式の根本的変更がもたらされた。光合成によって大気中に酸素が蓄積しオゾン層が形成された結果、呼吸する動物や陸上生物など、次なる生物を生み出す新たな地球環境が生まれた。このように、生命はただ受身的に地球環境に適応してきただけでなく、みずからが地球環境を大規模に変化させて

きたのである。いわゆる生命と地球の共進化である。以上のような大変動は、数億年の時間単位のなかでおきたことがらである。ところが今日、われわれ人類は、部分的とはいえオゾン層をわずかに 100 年で破壊しようとしているのである。

大陸移動などの中規模の変化は数千万年の時間をかけ生じ、造山運動は数 100 万年単位でおきている。このくらいの時間単位のなかでは、生物は一つの属の中でのさまざまな新たな種の登場と交代という小進化をとげてきた。そのひとつが約 500 万年まえの人類の誕生である。この数 100 万年の間にも、二酸化炭素の濃度が大きく変わり、地球の平均気温は約 10 万年周期で上下の幅が約 8 度前後に及ぶ変化を経てきた<sup>(4)</sup>。これによって海洋面の高さが最大で約 100 メートルの幅で上下してきた。

10 万年単位の短い期間でもこれだけの環境変化が生じた。その結果、たとえばマンモスのように多くの種が絶滅し、生き延びた種も生存地域の大幅な変更をよぎなくされた。IPCC (気候変動に関する政府間パネル) の最近の報告<sup>(5)</sup>によると、地球温暖化で予測されている変動幅は、今世紀末までの 100 年間に、地球の平均気温の上昇が 1.4~5.8 度、海面の上昇が約 9~88cm である。この数値だけみると、人類誕生以来の地球環境の変動幅に比べても、変動の規模は決して大きくはないようにみえる。すでに経験済みの変動といってもよい。しかし、問題は変動の速度である。10 万年の時間単位で生じた変動が、100 年単位でおきていることになる。このような急激な変動は、少なくともこの数 100 万年の範囲の地球史では、かつてなかったことではないだろうか。変動の速さについていけない生物種が続出し生態系が大きく乱れることが懸念されている。変動の速さは人類にとっても多大な影響をあたえるであろう。たとえば農業環境の激変である。最近の有明海の高苔やタイラギの不作の原因が、そのわずか 3%の面積を占めるに過ぎない諫早湾の締め切りで、潮流や潮位が変わったことにあるとの指摘がされている<sup>(6)</sup>。その真否については早急には結論が下せないだろうが、生態系が環境との微妙なバランスのうえで成り立っていることを考えると、大いにありうることである。農業がその微妙さのうえに営まれている行為であるがゆえに、わずかであっても、急速な変化がもたらす影響は、無視できないものになる危険性がある。

地球温暖化はいまのまま放置すれば 100 年で終わらない。海洋の二酸化炭素吸収率などに不確かさがあるので、長期的変動幅は明確に予測しがたい部分もあるが、たとえば二酸化炭素排出量を今のレベルにとどめておくと、大気中の二酸化炭素濃度と気温は数 100 年の長期にわたって上昇しつづけることが予想される。IPCC 報告のモデル計算<sup>(7)</sup>では、二酸化炭素濃度を来世紀中に産業革命以前の 2 倍で安定にさせるには、二酸化炭素排出量を 1990 年レベルの半分に削減しなければならないとしている。また、熱慣性の効果で南極などの氷が溶け出すのに時間がかかるため、たとえある時期に気温上昇が止まっても、海面上昇はそのあと数 100 年のあとにまで続く。今から約 5000 年前頃のいわゆる縄文海進の時期には、今より平均気温が約 2 度高かっただけで、東京湾の海面が 4~5m も高かった<sup>(8)</sup>ことを考えると、来世紀には海面がメートル単位で上昇することもありうることである。このように考えると、今のまま放置しておくと、地球温暖

化による今後数 100 年の変動は、この数 100 万年の地球史のなかで、かつて経験したことがないほどの高温で高い海面の地球環境をもたらすことにもなりかねない。その場合、生態系の激変と人類の文明への重大な影響が避けられないことになる。

地球環境はこの数千年の間にも少なくない変動をきたしている。その原因はもっぱら人類の文明の影響による。人類が農業をはじめたことによって、森林は農地へ、植物品種は野生のものから農作物に転換され、水系は灌漑などで変えられ、それまでの地球環境から一変した。このことによって多くの生物種が絶滅した。産業革命以前でも、西欧には手付かずの森林は存在せず、森の木はほとんどが植林されたものになっていた。すでにメソポタミアなどの古代文明において、森林伐採などの自然破壊の行為が、自らの文明を滅ぼすことになったといわれる<sup>(9)</sup>。このことの指摘と警告<sup>(10)</sup>がすでに 19 世紀にはなされている。このように、地球環境問題は産業革命以前にも発生していたが、その規模は、今日のように大気や気候、オゾン層といった、地球の天体としての属性までも変えるには至っていなかった。

以上で見てきたように、あるものでは数億年単位、短いものでも 10 万年単位で築かれてきた地球惑星の環境が、今日わずか 100 年の短い時間単位のなかで変えられようとしている。したがって、地球環境は放置すれば、早ければ 100 年後遅くとも数 100 年後には、人類と生命の存続にとって深刻な状況にいたる危険性がある。何 10 万年以上の時間単位でのゆっくりとした環境変動であるならば、生物はこれまでもそうあったように、進化によってそれに適応できるであろう。人間も進化するかもしれない。たとえば身長が今の 2 分の 1 の省エネ人間になるなど。しかし、100 年の短い時間単位ではそれもかなわない。人間の場合、1000 年単位の未来なら、もしかして今日では夢のような技術が開発され、たとえば人類ごぞつての宇宙移住が可能になるなどで、問題が解決されるかもしれない。しかし 100 年単位ではそれは困難である。結局、地球環境問題はおそくとも 100 年から 200 年のタイムスパンでの解決をめざさなければならない。したがってその解決は、今日の技術の延長のうえに、経済社会システムから人口問題やライフスタイルなど、あらゆる側面を視野に入れた人類共通の総合的施策を、できるだけ早く打ち立てることにもとめられる。しかも、後で見るように、これからの 100 年 200 年の間は、化石燃料も原発のウラン燃料も枯渇が確実に訪れる時期でもある。これにどう対応していくかの大問題も同時に解決しなければならないのである。

### 3 問題の構造と解決への道筋

#### 1) 環境影響度の評価

前節で、地球環境問題の解決はおそくとも 100 年から 200 年のうちに解決しなければならない急ぐ問題であり、しかも来世紀中に二酸化炭素排出量を今日の半分以上にまで削減するといった、大変困難な課題をクリアしなければならないことを見てきた。いったい解決できるのだろうか、解決できるとすればその道筋はどこにあるかをさぐっていきいたい。そのため、そもそも地球環境

問題がどのような要因でどのような構造で生じているのかを見て生きたい。

できるだけ単純化して考えるため、人間活動による地球環境への影響度、あるいは負荷を

$$\text{地球環境への負荷} = \text{人口} \times 1 \text{人当たり資源の消費量} \times \text{非再生率}$$

であると捉えてみる。ここでいう資源は、人間の活動にとって何らかの価値を持つ自然物といった、きわめて包括的概念である。それは石油や材木や水道水のような物的資源もあれば、土地や空間や景観なども資源にふくまれる。また経済的取引の対象外である大気や太陽光といったものもふくめて考える。資源のなかにはむしろエネルギーも含まれる。エネルギーは何らかの物的資源と一体になって消費される。例えば化石の燃焼エネルギーは物質として化石燃料の消費によって、水力発電はダムにためられた水資源の消費である。

資源を自然物に限った。資源一般のなかには、たとえば経済的資源として、科学技術をふくむ情報や労働などもふくまれるが、ここでは除外した。情報も紙やコンピュータなどの媒体となる自然物資源の消費によってやり取りされる。しかし、原理的には情報は無限小の媒体の上に乗ることができ、その内容や価値は媒体に依存しない。したがって、情報それ自体は直接に環境に負荷をあたえる原因とはなり得ない。労働も類似の位置にあると考える。

ここでの消費の概念もまた包括的なものとして考えた。一般に消費のない生産はないし、なにも生産のない消費はありえない。例えば、料理をつくることは食材や燃料の消費であるし、ゴミや二酸化炭素の生産である。したがって消費を生産に置き換えても同じこと考える。このような漠然とした定義であるから、消費量を測る換算基準も定めることができないが、後で見るように、量的に評価する必要がある場合は、基準の明確なエネルギー消費量で置き換える手法をとる。現実の環境への負荷の大きさは、たとえば石炭と天然ガスを同じカロリー量消費しても、両者による大気汚染度が異なるように、資源の種類や環境への負荷の種類に依存する。したがって、本来なら上記の関係式の前には、これらの種類に依存した何らかの係数をかけねばならない。ここでは、まずはそれらの一切を平均した、きわめて概念的関係を表現するものとして関係式を提起し、これらの細かい補正は後ほど必要などころでおこなうこととする。

近年における地球環境の大変化の第一の原因は、一人当たり資源の消費量が、産業革命以降に飛躍的に増大していることである。資源消費量の大きさを見るには、エネルギー消費量がよい目安となる。このことはエネルギー消費量が国民総生産と見事な相関関係を持つことからもうなずける。今日、先進国の人間の一人あたりが消費しているエネルギーは石油換算で年間約 4 トンである<sup>(11)</sup>。これは、カロリーに換算すると一人の人間が動物として摂取しているエネルギー、つまり食物摂取のカロリー量の約 50 倍になる。つまり一人の先進国の人間は、人間と同じような体躯の猿に換算すると 50 匹分の存在になる。これが地球環境に大きな負荷をかけている要因の一つである。産業革命以前の人間のエネルギー消費量は今日の最貧国のそれ<sup>(12)</sup>程度と推測すると、先進国ではこの 200 年で 25 倍前後の増加であり、これは人口の増加率 6 倍を大きく上回る。なお、今日の一人あたりエネルギー消費量は開発途上国の平均と、先進国の平均のあいだに 10 倍以上の開きがある<sup>(13)</sup>。この数値は地球環境問題に複雑さを生み出している南北格差を象徴してい

る。

上記関係式のなかの非再生率は1から再生率を引いた値として定義する。近年における大規模な地球環境変化の第二の原因は、資源の再生率の低下すなわち非再生率の上昇にあると考える。再生資源には、太陽光のように汲めども尽きないほど無尽蔵に存在するがゆえに変化しない資源と、生物起源の資源のように廃棄分解によって短期間に再びもとの資源に戻っていき、循環することによって全体系が変化しない資源がある。現代において大量消費されている資源の圧倒的な部分が再生不可能な化石資源であることが地球環境問題のもうひとつの大きな要因となっている。

地球環境への負荷を増大させる要因である人口、1人当たり資源の消費量、非再生率については、後ほど個別に、今後の動向をも含め詳しく考察する。

## 2) 資源の枯渇の見通し

地球環境への負荷は、人類が消費する資源の量、とくに再生不可能なそれに依存すると考えた。そうであるならば、地球環境問題の今後を見通すためには、利用可能な資源の行方を見定めておくことが必要である。とくに、今日消費している資源の大部分をしめる有限な埋蔵資源が、いつ枯渇の時期を迎えるのかは焦眉の問題である。稀少金属など、さまざまな資源がいろいろな時間単位で枯渇する運命にあるが、人類にとってもっとも基本となる資源はエネルギーである。北朝鮮で食糧危機が続く背景には、ソ連からの援助物資であった石油がストップしたため、肥料生産もままならなくなったことがあるといわれる。このようにエネルギー資源はいまや食料生産をはじめ、あらゆる生活と生産の基盤となっている。将来、ある特定の天然の資源や素材が不足ないし枯渇するようなことがおきても、エネルギーさえ確保されていれば、おおかたはそれを補う代用物を人工的に作り出すことが基本的には可能であろう。たとえば淡水の不足にたいしては、エネルギーを使って海水からこれを得ることができる。

人類の将来のエネルギー資源を考えると、最も重大なのはいうまでもなく化石資源の枯渇の問題である。かの「ローマクラブの報告」が世に出たころに石油枯渇が40年先といわれたのに、今の確認埋蔵量が約40年分<sup>(14)</sup>であるように、新規の油田が次々に発見され、埋蔵量は増え続けている。また水素対炭素比が高く石油以上に良質な天然ガスも近年利用されるようになった。これらのことから、今の段階で化石資源の枯渇が現実味を帯びて語られることはない。しかし、そろそろ新規油田の発見も頭打ちといわれ出しており<sup>(15)</sup>、40年が200年にもなるようなことはないではあろう。

早晩近い将来化石資源の枯渇が訪れることは間違いない。今40年分というのは、いまの消費量が増えないと計算しての値である。仮に中国がアメリカ並みの石油消費量になれば、40年分は10年足らずで消滅する。石炭は200年以上の埋蔵量があるといわれるが<sup>(16)</sup>、石油や天然ガスが枯渇してくるとその分の石炭の消費量が増えることになるであろうから、これもその数分の1の寿命しかないことになる。いずれにしても今世紀後半には化石資源の枯渇が現実味を帯び、まずは化石資源が高価になり、これを燃やして発電するといったことができなくなる可能性は十

分予測される。この場合、化石資源に変わる資源からエネルギーを獲得しなければならない。ウラン燃料も約 40 年の埋蔵量しかなく、今日の軽水炉型の原子力発電が、長期にわたって化石資源の代わりを務めることはできない。近い将来、画期的なエネルギー源の開発が行われずとも断言できないが、大方の見方は、太陽光など再生可能な自然エネルギーを化石エネルギーの代替物にするしかないとしている。この場合、人類が獲得できるエネルギー量を将来さらに増やすことは困難なこととなる。人類はこれまで、一貫して一人当たりのエネルギー消費量を増やしてきたが、おそらく今世紀の後半には、それをはじめて減らさざるをえなくなるであろう。地球環境への影響のいかんによらず、早ければ 100 年遅くとも 200 年先までには、人類は大幅な省エネルギーの生産と生活の様式への転換を済ませておかねばならないであろう。

### 3) 資源消費量の削減に向けて

100 年から 200 年のうちに地球環境問題の解決をはかるためには、環境への負荷をいまより減らさなければならない。人口は当面増えることはあっても減ることはないであろう。それならば、1 人当たり資源の消費量と非再成率を減らすことが不可欠である。1 人当たりの資源消費量はなにによってきまるのか、それを減少させる道はあるのかを考えてみる。1 人当たりの資源消費量を左右する要因はいろいろあるが、ここでは単純に三つの要因を考える。一つは所得である。所得は大雑把には生活のレベルあるいは一人当たりの生産力の目安でもあるといえよう。一般に、これが増えると 1 人当たり資源消費量は増える。先進国と開発途上国での 1 人当たりの資源消費量の大きな違いは、所得の違いの反映と見ることができる。資源の消費量を左右する 2 番目の要因は技術である。ここでは、技術は社会システムの整備などもふくむ包括的概念として定義する。たとえば同じ料金で購入する車であっても、技術が進めば燃費のよい車となって省資源となる。道路が舗装されるという社会基盤の整備でもそうなる。

3 番目の要因は生活スタイルである。たとえば、できるだけマイカーに乗らず公共交通機関に乗れば省資源となる。さらに、紙の裏表を使い、液体の容器に詰め替えのピンを用い、次々に買い替えるのではなく、修理してできるだけ長くものを使うようにすることである。よく、環境にやさしい行動に関する三つの R として、リサイクル、リユース、リデュースのキーワードが唱えられる<sup>(17)</sup>。後の二つの R は生活の場で行われれば生活スタイルの改善である。ちなみに後の二つの R が生産の場で行われれば技術の改善と解釈でき、リサイクルは再生率を高める行動である。リサイクルについては後ほど触れる。

上記三つの要因、所得、技術、生活スタイルをどのように変えていけば、100 年から 200 年のうちに、世界の 1 人当たりの資源消費量を減らすことが可能になるであろうか。今日の貧しい国々がいつまでも貧しいままであっては、地球環境問題への世界的合意そのものも難しいであろう。地球環境問題の解決には、今日の貧しい国々が一定水準の所得を得、極端な南北格差が解消されることが必要である。先進国の所得を大幅に減らすことも無理である。したがって、所得は世界平均では今後増大するとせざるを得ない。あとは生活スタイルを変えることと技術改善によって

資源の消費量を減らすしかない。あくまでも感覚的な判断だが、今の先進国の人々の生活スタイルを変えることで資源の消費量を20%くらいは減らせるかもしれないが、それを半減すること困難なことではなからうか。ただし、米国は別である。一人当たりのエネルギー消費量は現在、米国が日本など先進国の平均の2.5倍の多さになっている<sup>(18)</sup>。われわれから見ると安価なエネルギー政策のもとでエネルギーが湯水のごとく消費されていると映る。近い将来、化石燃料枯渇が目前になり、地球温暖化がますます進行するなかで、米国がこのような政策と生活スタイルをいつまでも続けていくことは許されもしないし、不可能なことでもあろう。

残りは技術改善で資源の消費量を減らすことである。ただし、これによって消費量を減らすべき資源の種類は、再生不可能つまり非再生率が大であり、そのなかでもとくに消費により二酸化炭素など地球温暖化物質を排出する資源である。いうまでもなくその主要な対象は化石燃料資源である。ところが有限な化石燃料資源は、100年200年の後には確実に枯渇するのであるから、何もなくてもいずれその消費量は減る運命にある。したがって、この資源の消費量減自体は技術の問題ではないともいえる。技術の課題は化石燃料にかわる、再生可能で地球温暖化物質を大量に排出しない資源を、いかに獲得するかである。生活水準や所得を維持するためには、ある程度の資源の消費は必要である。それを確保しながら環境への負荷を減らす技術に将来はかかってくることになる。

#### 4) 再生率と循環システム

風力や太陽光発電などの再生可能なエネルギーを使えば、初期投資のための資源消費などは別として、運用時のエネルギー利用そのものは環境への影響をもたささない。このような場合、再生率が1であり非再生率が0とみなされる。これは、この種の自然資源が無尽蔵に存在することによって可能となる。ただし、無尽蔵といっても現段階でそうであるだけで、永久不変にそうである保証はない。かつて、生活廃水を垂れ流しても川や海はその無尽蔵の浄化作用で変ることのない姿を見せていたが、いまはそうではない。将来、風力発電が大規模化し世界中に広まった場合、風が変わり気象や海流に悪影響を及ぼす可能性は絶対無いとは言えない。

農業文明までの人間のほとんどの資源消費の行為は、非再生率が0に近かったと思われる。例えば、里山は人々に薪炭や飼料草を供し水田の水源にもなったが、人々は収穫量の制限と保全の努力を厳しい規制をもって続け、山を持続可能な地域の共有資源として守った<sup>(19)</sup>。20年以上の昔になるが、イタリアの中近世の時代を舞台とする「木靴の木」という映画を見た。村人の木靴を作るために植えられた村共有の並木の一本を、ある農民があまりの貧しさに耐え兼ねてひそかに切ってしまい、一家が村から追放されるストーリーが印象深かった。このようなタイプの再生は、消費の規模が一定以下に抑制されていて、はじめて可能となる。これらの例では、太陽光エネルギーの恵みよってもたらされた光合成資源のうち、汲み取られているのがそのほんの一部であるがゆえに、持続可能なのである。

日本の農民は戦後数年を経たころまで、町の住宅から糞尿を買い集め、田畑の肥料にしていた。

廃棄物が次の生産のために有用な資源として消費された。このように、廃棄物の資源化の連鎖がめぐりめぐってもとの資源に戻ってくるシステムが、循環型システムと呼ばれる。再生が循環によって保証されているのである。循環システムがどこかでとぎれたり、乱れたりすると廃棄物は不要なゴミと化す。これが環境を様々に汚染させる元凶となる。再生率は循環システムの完成度に依存する。最も完成された循環システムはエコシステムである。生物は何らかの有機的廃棄物が存在すれば、必ずそれを利用する新たな種を進化のなかで登場させてきたからである。

農業文明までの人類は、衣食住の原材料を水と土石と生物由来の資源に頼ってきた。原材料として、土石は基本的には無尽蔵に近い資源であり、水と生物由来の原材料は基本的には循環し再生する資源であった。工業文明になって、人類は生物由来の循環系から採取した物質ではなく、便利で効率のよい非循環型の人工化合物を作り出し利用するようになった。これらは化学肥料であったりプラスチックであったりする。フロンや放射性核物質など、わざわざ分解しにくい化合物や何万年もの後にまで汚染の危害が残るものを作り出した。エコシステムの循環系にのらないこのような廃棄物がゴミとなり環境に蓄積していった。のみならず、糞尿や台所ゴミや廃材など、今まで循環していた生物由来の有機系の廃棄物もかつてのように再利用されなくなり、行場を失いゴミと化した。二重の意味で循環システムの破壊がおきた。しかも大規模に。その結果が環境汚染を招き、オゾン層を破壊し、ダイオキシンや環境ホルモンが人間と生態系に害悪をもたらすようになった。

農業中心の時代に比べて、今日の資源の非再生率がどれほど高くなったかを数値で示すことは困難であるので、感覚的に答えるしかない。しかし、表 1 にみられるように、エネルギー使用量のうちの再生可能な資源の占める割合がたった 100 年たらずで半減していることなどを参考にとすると、非再生率が 2 倍に達したといっても、決して言い過ぎではないであろう。

仮に 2 倍とすると、この効果が先に述べた一人当たり資源の消費量の 25 倍の増大と相乗し、一人当たり発生する地球環境への負荷を、200 年前の 50 倍にも増大させてきたことになる。しかし、今の生活と生産様式から、再生率が 1 に近かった農業文明の時代に、逆戻りさせることはできない。わらじをはいたり、木桶を使ったりするといった、生活のスタイルを変える程度のことでは済めば可能だが、例えば、化学肥料を一切使わないとすると、たちまち世界中で食料危機が

表 1 世界のエネルギー使用量, 1900 年および 1997 年<sup>(20)</sup>

	石炭	石炭	石油	天然ガス	原子力	再生可能エネルギー	合計
1900 年	合計 (100 万トン)	501	18	9	0	383	911
	割合 (%)	55	2	1	0	42	100
1997 年	合計 (100 万トン)	2122	2940	2173	579	1833	9647
	割合 (%)	22	30	23	6	19	100

注) 合計単位は石油換算量

再生可能エネルギーはバイオマス、水力、風力、地熱、太陽エネルギーを含む

発生し人口は半減しかねない。いまやらねばならぬ課題は、今の生活レベルと生産力を保ちながら、再生率をいかに高めるかである。

現代では、リサイクルが再生率を高め循環系を取り戻そうとする行為である。しかし、廃棄物をリサイクルするのに一定量の資源と労力を要する。現段階では、アルミや鉄などの例外を除いた多くの製品は、その廃棄物をリサイクルし再生させるために消費する資源量が、新品をつくるより多くなっている。労働のコストもかかっている。その場合、リサイクルすることがかえって地球環境にマイナスになりかねないので、「リサイクルしてはならない」<sup>(21)</sup>という逆説が真となってくる。一般に、廃棄物のリサイクルに要するエネルギー・資源を無限小にすることは原理的にできない。なぜなら、熱力学の第2法則により、エントロピーの高い状態から低い状態への変化は、エネルギー・物質の供給なしには起こりえないし、一般に廃棄物は元のものよりエントロピーが高い状態にあるからである。したがって、原理的にゼロにはできないが、これも原理的には、再生させるための資源消費量は新品生産のそれより少なくなるはずである<sup>(22)</sup>。それができていないのは今の段階ではさまざまな余分なプロセスが重なっているからであり、将来の方向としては、できるだけリサイクルが省資源として有効になるよう、分別システムの整備をふくめ、技術の向上をはかっていく必要がある。また、リサイクルできない廃棄物であるゴミは処理する必要があるが、ゴミの処理にも多量の資源を消費する。ゴミ処理の技術も今後一層の改善がなされなければならない。そのうえで、リサイクルにまわすかゴミとして処理するかの選択が、トータルな省資源の観点からの最適な判断のもとに行われなければならない。

リサイクル以前に、地球環境への負荷を減らす基本的方法は、同等の機能を得るのに、できるだけ再生可能な資源を有効に使うことである。たとえば、紙はリサイクルによって多量の化石燃料をつかって再生するよりは、輸入などではなく近くで植林された森から採れるパルプを原材料にして作るほうが、原理的な観点からは再生率を高める正道であろう。生物系の資源いわゆるバイオマスは、すべてもとは光合成を通して得られた、無尽蔵な太陽光のエネルギーの変換物である。しかもバイオマスはゴミ化してもそれを燃やして処分することで、処分のための過大な資源の浪費を必要としない。のみならずその燃焼で得られるエネルギーを発電や熱源として利用することができる。燃焼にはむろんダイオキシンの発生など、問題となる要因はかかえてはいるが、今後の技術で解決できるはずである。紙や木を燃やすことに抵抗を感じるむきもあるが、化石燃料など有限な資源を燃やすことに比べれば罪悪性はすくない。また、燃やすことで二酸化炭素が排出されることが心配されるが、燃やさないで埋め立てても、最後は分解されて大気中の二酸化炭素にもどるので同じである。さらに、燃やしたバイオマス分の植物を植林などで増やせば、その植物が二酸化炭素を吸収してくれるので、二酸化炭素濃度の増加の原因とはならない。

##### 5) 資源と人口問題

近代の急速な人口増が、地球環境への負荷を大きくしてきたことは明らかである。今日の世界の人口は産業革命以前のそれに比べ約6倍に達している。前節までの試算で、一人当たりの資源

消費量と非再生率の増大で、環境負荷が 200 年前のおよそ 50 倍以上増大したことを述べた。したがって、人口増も加味すると、我々今日の人類は、全体としてわずか 200 年前の人類の 300 倍にもなんなんとする負荷を、環境に与え続けていることになる。この数字はちょっと大きすぎるように思われるかもしれない。しかし、今日人々が、日常的に自動車や飛行機で移動し、エアコンの効いた巨大なビルの中で働き、多くの人が飽食により肥満に悩んでいることを考えるなら、決して非現実的数値ではない。またこれだけの負荷を受けているからこそ地球という天体がその気象まで変えてしまうことになったのである。

これからの人口の変動およびその地球環境への影響は、これまでのようには単純ではないと思われる。産業革命いらい、特にこの 100 年は、どこの地域でも一様に人口が著しい勢いで増加してきた。その直接の原因には科学技術の進歩や社会システムの発展に伴う医療の発達と食料増産があった。しかし、前世紀の最後の 4 半世紀になると、少産によって人口増加率が 0 またはマイナスになる国々が現れた。豊かな国で人口増がとまる直接的原因としては女性の地位や意識の向上、子供の養育コストの高騰などが言われる。しかしここでは、問題を思い切り単純化してとらえるため、その原因として、これらを可能にする根底条件である、一定以上の生活水準あるいは所得水準の高さのみに着目する。

以下では、所得水準が一定の値を越えると人口は飽和ないし減少することが、未来にわたってあらゆる国々に普遍的に成立することを前提として考える。つまり、人口増加率を所得水準を変数とする関数と考えた場合、変数がある値にいたるまではプラスの増加率を保ち、それを越すと増加率の逡減をへて 0 ないしにマイナスの値に至るとする。なおこの関数は変数が極端に小さい場合は当然マイナスとなる。所得水準が一人の人間が生存できる最小限の値を切る場合である。以上のことを別な言い方にすると、所得水準が低く貧しい国の人口増はその国がある程度豊かになるまでは止まらない、貧しいままで人口が増えないのは、生存に必要な最小限の条件さえ満たされないほど貧しい場合であるといえる。ただし、中国が今の人口政策を採り続けるならこの例外となりうる。

以上の前提に立ち、なおかつ持続可能な社会、すなわち地球環境への負荷が大きく増大しない社会が成立することを仮定するとして、これから 200 年後くらいまでの人口と資源消費量の見通しについて、いくつかのシナリオを考えてみる。一つには、今なお人口が増加しつつある開発途上の大部分の国が、所得を増やしながらかある時点で人口が飽和し、この間先進国は、人口と所得水準は今と同じ水準を保ちつつ、技術の向上と生活スタイルの変更によって、1 人当たりの資源消費量がある程度減らすシナリオである。この場合、途上国の人口増と一人当たりの資源消費量の増加が世界の総資源消費量を二重に押し上げる。ただし、省資源の技術の向上をみこむならば、世界の人口が飽和に達した時点で、総資源消費量が今日と同じか微増程度で済むことも考えられる。また技術の向上により、資源の再生率を大幅に高めることによって、地球環境への負荷は減少か現状程度に維持される可能性がある。逆にそれが不可能であるならば、このシナリオは現実性をもたなくなる。

第2のシナリオは、今なお人口が増加しつつある国々の大部分が人口に見合う生産力の増大ができなくなり、一人当たり所得水準が最低限の水準に陥り、人口増が頭打ちになるものである。この間先進国は、人口と所得を同じ水準に保ちながら、再生資源の消費量を減らすとする。つまり、富める国と貧しい国の格差は残ったまま、地球全体の人口増がある時点で止まるというケースである。この場合、世界の総資源消費は今と同じ水準が微増となろう。しかし、極端な南北格差が残ったままであるから、国益優先の意識や民族と文明の対立が依然として続き、人類全体としての地球環境問題解決への合意は困難となろう。また、再生率を大幅に高めるなどの技術の向上と移転が人類全体に行き渡らないままにおわるであろう。その結果、世界全体の環境への負荷は第1のシナリオとさして変わらないことになる危険性をはらんでいる。

第3は、一つには今なお人口が増加しつつある国が一人当たり所得を増やしながら人口が飽和状態に至る。この点では第1のシナリオと同じであるが、異なるのはこの間に先進国が人口を同じに保ったまま、一人当たり資源消費量を大幅に減らすことである。この場合、世界の総資源消費量は今と同じか一定割合の減少が可能であり、再生率をたかめる技術の向上も期待されるので、地球環境への負荷は今日より大幅に減少する。このシナリオが成立すれば理想的であるが、地球環境問題解決へむけた世界的合意が高いレベルで形成され、かつそれを可能にする技術の大幅な向上が達成されなければならない。

むしろ実際はこれらの三つのシナリオの中間的な展開もありうる。発展途上国のいくつかの国が第1また第3のシナリオに沿って進み、残りの国々が第2のシナリオのコースにとどまるなど、いくつかの混合案が考えられる。ただし、実際がどのコースを進むのかを予測するうえで、考慮しておかねばならないもう一つの基本的要因がある。それは食料資源の供給量である。食料資源はそれが不足すれば直接に人間の生存にかかわるので、人口の動向に大きな影響をあたえる。さきに、エネルギーさえ確保されていれば、他の資源が不足しても、それを補う代用物を人工的に作り出すことが、基本的には可能であると述べた。しかし、食料は例外である。人工たんぱく質や人工光合成は実験室レベルでは可能になってきているが、大量かつ低コストの生産が可能な技術の困難さと食文化の慣性の両面で、これらが世界の食料の多くをまかなう時代は来るとしても、相当遠い未来になるであろう。

マルサスの「人口論」にもかかわらず、人類はこの200年、特に前世紀初頭以後、急速な人口増にもまさる勢いで食料を増産してきた。それを可能にしたのは農地の拡大もあったが、なによりも品種改良、化学肥料、農薬、灌漑設備、機械化など、技術の向上と資源の投入によって単位面積あたりの収穫高を大幅に増やしてきたことである。そして今、大量の穀物が家畜の飼料にまわされ、動物性たんぱく質というより高質な食料の形で世界に供給されているが、それでも食料資源は基本的には不足していない状況にある<sup>(23)</sup>。

問題はこのような食糧増産がどこまで続きまたどれくらいの人口をまかなえるかである。人口増にみあった農地の大幅な拡大はもはや見込めず、農業用の水不足の制約も心配される<sup>(24)</sup>。しかし、現代的な技術と資源の投入がいまだ及んでいない農地はかなり残されており、バイオテクノ

表 2 地球の人口収容力の計算例<sup>(26)</sup>

	1人当たり必要な土地面積	収容人口
A 穀物だけを食べる	0.100 ha	370 億人
B A + 豚肉 40g/日	0.124 ha	298 億人
C B + 居住地 0.05ha/人 *	0.174 ha	213 億人

\* ) 人口 1 人当たり土地面積は東京で 0.019 ha/人, アメリカ東部メガポリスで 0.07 ha/人

ロジックなどのさらなる技術の向上も一層期待されるので、大幅ではないにしろ、いまよりさらに単位面積あたりの収穫高を増やす余地はある。これらのことがうまくゆくとすれば、単位面積あたりの収穫高の世界平均が、将来には今の 2 倍程度に増加することも可能であるとする見方もある<sup>(25)</sup>。このような見方になつて、地球がどれほどの人口を養うことができるかが算定されている。表 2 はその 1 例である。

これらの算定には、食料資源が効率よく生産され分配されるために必要な、安定して秩序だった社会システムの存在が前提にされている。また地球環境破壊の反作用が及ぼす食料資源の減少要因は考慮されていない。たとえば、水源としての森林破壊や地下水の汲みすぎなどに伴う農業用水の減少、温暖化に伴う海水位上昇による農地の減少、気候変動に伴う不作、オゾン層破壊にともなう紫外線増加による植物の成長阻害など、大抵の環境変動は農業生産力へ悪影響をおよぼす。このようなことにくわえて、もともと楽観的前提にもとづく算定であることを考慮するならば、表 2 の予測は上限値を示すもので、実際にはこれをかなり下回る値になると見なければならぬであろう。現にこの 10 年くらいの動向は、食料増産の伸びがもはや頭打ちになってきている兆候を示している<sup>(27)</sup>。

楽観は許されないが、以上のように今日でも食料増産の余地がまだ残っていることから、先の人口と資源の動向の三つのシナリオのどれをも、最も厳しい第 1 のシナリオですら、不可能であるとは断定できない。問題は食料増産と発展途上国の人口増の速度の競争、および将来の飽和人口と食料資源の上限の関係が、どのように決着していくかにかかっている。ちなみに、国連による世界人口長期推計では、表 3 に見られるように、ほぼ 2100 年には最後のアフリカ地域も人口が飽和に達し、以後世界の人口が 100 億余の値でほぼ一定するという筋書きになっている。これくらいの値で推移するならば、先に描いたシナリオは現実的の意味を持つと考える。

表 3 世界主要地域別長期推計人口<sup>(28)</sup>

地 域	(100 万人)				
	1950 年	2000 年	2050 年	2100 年	2150 年
世 界	2,524	6,091	9,367	10,414	10,806
欧州, 北米, 豪州	732	1,068	1,067	1,029	1,061
その他	1,792	5,023	8,299	9,385	9,745

#### 4 科学技術の役割

前節までで、地球環境問題解決のためには、この100年200年の間に地球環境への負荷を減らすことが必要であり、その可能性は多くが技術の向上にかかっていることを述べた。ここではその技術の行方について考えてみる。必要なのは、生活のレベルを維持したまま資源の消費量を減らし再生率を高める技術である。省資源の技術は進めなければならないが、減らせる一人当たりの資源の消費量には限度があろう。したがって、再生不可能な資源の消費量は大幅に減らし、それに近い量の再生可能な資源は増やさねばならぬ。つまり、再生可能な資源はこれから開発していかねばならない。これは資源の枯渇によっていやがうえにもいずれは強いられる道でもある。

先にも述べたように、食料資源そのものは別として、たいいていの資源はエネルギー資源が確保されれば、その代替資源を作ることができる。また、人口に見合う食料資源増産のためにも、肥料生産などのエネルギー資源が確保されねばならぬ。このようなことから、エネルギー資源の動向が、将来の地球と人類の帰趨を大きく左右することとなる。そこで以下では、エネルギー資源にかかわる技術、つまり、省エネルギーと再生可能エネルギー開発の行方をさぐってみる。省エネルギーの技術改善はこれまでも少しずつ進行してきた。電熱併給システムやヒートポンプの普及などが、放置すればもっと増大したであろう先進国のエネルギー消費量を抑えてきた効果大きい。このような、個別の装置や生産システムに対する更なる省エネルギーの技術改善は、これからも見込まれる。ことに、ハイブリッドカーのようなコンピュータ制御、あるいは通信ネットワークによるシステムの最適化など、情報技術の一層の進展はこの改善に大きな手助けとなるであろう。

同じ化石燃料であっても、燃焼効率が高く二酸化炭素の排出量が少ない天然ガスへの期待が高まってきている。ただし、これは長期的には当面のつなぎの策でしかない。なぜなら天然ガスも石油と同じ位の寿命では枯渇するのであるから、それまでに再生可能なエネルギー資源が十分確保されないとすると、あとで石炭など、劣った化石燃料も使わざるをえなくなるからである。さらに高いエネルギー効率と少ない二酸化炭素排出量がみこまれるとして、いま注目を浴びつつあるのが燃料電池である。すでに試験段階から電気自動車などへの実用化の段階に移りつつあり、将来は火力発電にかわる大規模発電への利用もみこまれる<sup>(29)</sup>。燃料電池は、水素と酸素を反応させ水を生成させる際の電気エネルギーを利用するものであり、ガソリンエンジンなどより大幅なエネルギー効率の向上が期待される。また、排出物も水であるから、環境への負荷もゼロであるどころか最利用すら可能である。

しかし燃料電池も当面は完全なエネルギー源ではありえない。問題は水素をどこから供給するかである。1次エネルギー源として存在する大気中の水素はその希薄さによって効率的利用は困難である。したがって、エネルギーを使って何らかの水素を含む物質から水素を取り出す必要があり、燃料電池は2次エネルギーとしての宿命を背負う。水の電気分解による水素は、燃料電池

で獲得できるのと同じ量のエネルギーを分解に要するため、エネルギー転換プロセスとしての利用は別として、エネルギー獲得資源としては使えない。結局、分解にエネルギーをそれほど要しない何らかの水素化合物などから水素を得るしかない。現在はメタノールや天然ガスなどの炭化水素化合物がその対象となっている。当面は、技術およびコストの面から、炭化水素化合物の元を化石資源に頼らざるを得ない点が大きな問題である。また、炭化水素化合物から水素を取り出した残りとして炭素が排出される。最終的にこれが二酸化炭素となって大気中に放出されない保証もない。もっとも、100年200年先には、燃料電池の水素供給源が、再生可能なバイオ資源、あるいは人工光合成物質に変わっていく可能性はある。また、太陽光により効率よく水を分解して、直接水素を獲得する道<sup>(30)</sup>も開けるかもしれない。その場合は、燃料電池は再生可能なエネルギー利用方式として、重要な位置を占めるかもしれない。

再生不可能ではあるが、化石燃料以外に大規模なエネルギー減として利用可能なものに、核エネルギーがある。これをどう評価しどう見通すかも、今後のエネルギーのあり方を占ううえで、避けて通れない課題である。核エネルギーの取り出し方には核分裂反応と核融合反応があり、前者のうち、ウラン235を燃料とする軽水炉型の原子力発電によって、現在は世界のエネルギー需要の6%をまかなっている(表1)。原子力発電に限らず、核エネルギー資源は地球温暖化物質を排出しないという優れた性質を持っている。しかし放射性廃棄物というより厄介で危険な物質を産出する。チェルノブイリの重大事故や日本でも頻発する事故を考えると、現段階では、その危険性に十分に対応できるほど、放射性廃棄物を環境に漏洩させない技術が完成しているとは思われない。安全性において未完成なままこれが実用化されている観がいなめない。したがって、いまのままの技術で次世代にまで継続利用することは止めるべきである。しかし、人類にとって貴重なエネルギー源であることには変わりないので、完全に捨てることすべきでない。しばらく実用を凍結し研究を重ね、もう1段の技術の改善を待つべきであろう。

安全な技術が完成したとしても、ウラン235を燃料とする原子力発電であるならば、それは次のエネルギー資源開発までのつなぎでしかない。なぜなら、ウラン資源も有限であり、その埋蔵量は石油と同程度の寿命しかない<sup>(31)</sup>からである。高速増殖炉の技術が完成し、核燃料サイクルが軌道に乗るようになると、依然として有限ではあるが、数100年という長きにわたって人類のエネルギー源を確保することも可能である。しかし、過去50年の努力のいかにもなく、いま世界の高速増殖炉開発研究は実証炉以前の段階で失敗を重ね、日本以外のすべての国が開発からの撤退を余儀なくされている。このような状況を目にすると、核燃料サイクル技術が100年200年のうちに完成を見ることを安易に前提にして、今後を見通すわけにはいなくなる。核融合エネルギーは1950年代には50年後の夢のエネルギーとしてその輝かしい未来を期待された。しかし50年近くを経た今日、いまだに基礎研究の域を出ていない。これが実用化されるとしても核燃料サイクルよりはるかに先の遠い未来になるであろう。しかし、これも今後とも研究は続けるべきである。

安全な原子力発電の技術が確立されれば多少の先に伸びるかもしれないが、いずれにしても、

人類は 100 年前後の後には地球環境問題と化石燃料の枯渇の両面から、エネルギーのほとんどすべてを、再生可能なエネルギー源から獲得しなければならなくなる。現在、表 1 で見たように、水力を主として、世界のエネルギー需要のわずか 19% が再生可能なものであるに過ぎない。前節で 100 年 200 年後の世界の資源消費量がどの程度になるかを人口とあわせて推測してみた。最も少ない第 3 のシナリオで一定割合の減少、第 1 と第 2 のシナリオで現状維持か微増であった。将来、エネルギー消費も全資源消費量と同じ歩調で推移し、しかもエネルギーのほとんどすべてを再生可能なエネルギーでまかなうとすると、現在の再生可能なエネルギー消費の少なくとも 3、4 倍、多ければ 6、7 倍のエネルギー源を確保しなければならない。はたしてそれが技術的に可能であろうか。

再生可能なエネルギーのうち、ある程度の規模で利用可能なものは水力発電、バイオ、風力、地熱であろう。水力発電は電気エネルギーへの変換効率にすぐれ、しかも安定して大規模なエネルギーを供給することができ、現在も世界のエネルギー需要の 5% をまかなっている。しかし、世界で今後これを大幅に増やしてゆける余地はもはや少ない。土地の水没の問題もあり、小規模の水力発電を分散的に増やしていくなどの工夫で、せいぜい現状の数割の増加が見込める程度であろう。風力発電は世界のあらゆる場所に設置されるならその合計の潜在的なエネルギー量は大きい。しかし、エネルギーの密度が希薄で不安定であり、多くの初期投資と土地面積が必要である。需要地に近いことを含め、適切な立地条件の場での限られた形での利用が増えることは間違いないが、これが世界のエネルギー供給の中核になることはむずかしい。地熱発電も高温岩体発電まで含めると潜在的なエネルギー量は無尽蔵である。しかし、そのエネルギーを取り出す技術がまだ研究段階で実用化のめどが立っていない。温水が自噴するところでの発電は実現しているが限られた量でしかない。バイオマスは太陽光のエネルギーが光合成をへて植物の糖に蓄積された資源である。今日、そのうちほんの一部が食料や薪や建築資材として利用されているが、なお未利用のバイオマスは農業と林業で、炭素換算で現在の化石資源の年間消費量の 30% に相当するほどになるという<sup>(32)</sup>。バイオマスエネルギー取得の中心的方法は燃焼であるから、それほどの技術の進歩を要しないし、施設への初期投資も比較的少なくてすむ。社会システムを整備し、分散しているバイオマスをうまく集中させることができれば、大規模で高密度のエネルギー源が比較的簡単に可能となる。このようなことで、バイオマスエネルギーは将来のエネルギー供給の少なくない部分をしめるものと思われる。

バイオマスは今後エネルギー資源の中核のひとつになりうる資源であるが、これにいまままでに触れた水力発電その他のエネルギーを加えただけでは、現在の化石資源のエネルギー消費量にはるかにおよびそうもない。その不足分を補うことが期待されているものとして、先ほど述べた燃料電池以外に、太陽電池がある。地球に降り注ぐ太陽光の全エネルギーは、現在の世界の全エネルギー消費量の約 1 万倍といわれる。したがって、原理的には地球表面積の 1% の場所で 1% のエネルギー効率で太陽光を利用できればよいことになる。これはいかに太陽光のもつ潜在力が大きいかを物語る。しかし 1% の面積といえばわずかのようだが、世界中の耕地面積が 3% である

ことを考えるとこれは膨大な面積であり、逆に太陽光が大変希薄なエネルギー源である事をしめす。1%のエネルギー効率も決して小さな値ではない。植物が光合成をへて糖の形で蓄積するエネルギー効率は特殊な例を除いて1%に及ばない。ところが、太陽電池は現在の技術でも、15%の効率で太陽光のエネルギーを電気エネルギーに転換する。将来は20%を超えることもみこまれる<sup>(33)</sup>。無論、実際にはこれだけの高い効率で利用できるわけではない。天候や場所によって効率は大きく左右されるし、希薄なエネルギーであるから、高密度に集中させたり、蓄電する必要がある、この過程でも効率の低下は避けられない。実際がどれだけの高い効率で利用できるかによるが、広い面積を必要とすることは間違いなく、世界のすべての建物の屋根を埋め尽くすぐらいのことは、最低必要であろう。もうひとつの問題は、施設・設備をつくるための初期投資額が、バイオマスなどに比べ高いことである。無論、長期に使えば初期投資に要する資源量を上回る資源を得ることができるが、初期投資額の大きさと必要面積の広大さから、一気に太陽電池が世界中で主要なエネルギー源になることは難しい。しかし、今から備えて100年前後の年月をかけていけばその可能性は十分ある。

以上で、今後の100年200年の間に、持続可能な地球と人類へ至るための、すなわち、人口が一定の増加の後に安定し、世界の総資源消費量が現在と同じ程度に維持されるか減少に転じ、しかも温暖化をはじめとする地球環境への負荷が大幅に減るための、エネルギーを中心とした科学技術の可能性を見てきた。結論的には、予断は許さないが可能性は残されているといえる。ただし、世界がもし、社会システムの整備をおこたったり、国益を超えた解決の合意にいたらなかったりして、総資源消費量の抑制に失敗するならば、科学技術が持続可能な地球と人類への道を支えることは困難となろう。

#### 参考文献

- (1) 林智・矢野直・青山政利・和田武 『地球温暖化を防止するエネルギー戦略』 実教出版、1997年、第4章。
- (2) 加藤尚武編 『地球環境読本』 丸善、2001年、第19話。
- (3) 川上紳一 『生命と地球の共進化』 NHK ブックス、2000年、p.156。
- (4) 前掲(1)、p.90。
- (5) Climate Change 2001: The Scientific Basis, <<http://www.ipcc.ch>>. クリストファー・フレイヴィン編著、福岡克也監訳 『ワールドウォッチ研究所 - 地球環境データブック 2001 - 02』 家の光協会、2001年、p.61。
- (6) 「昨冬の赤潮は諫早湾ではじまる 長崎大教授らが有明海分析」 朝日新聞、2001年11月6日夕刊。
- (7) IPCC 編 『IPCC 地球温暖化第2次レポート報告』 中央法規出版、1996年。前掲(1)、2章。
- (8) 前掲(1)、p.100。
- (9) エングルス著大月書店編集部編 『猿が人間になるにあたっての労働の役割他10篇』 国民文庫 大月書店、1965年、p.35。安田喜憲 『森のこころと文明』 NHK 出版、1996年、第4章。
- (10) 前掲(9) 『猿が人間になるにあたっての労働の役割』。
- (11) 日本エネルギー経済研究所計量分析センター編 『エネルギー・経済統計要覧 '2000年版』 省エネルギーセンター、2000年。前掲(1)、p.153。

- (12) 同上.
- (13) 同上.
- (14) 前掲(1), p.154. 前掲(11).
- (15) 同上.
- (16) 同上.
- (17) クリーン・ジャパン・センター編 『循環型社会キーワード 3R - リデュース・リユース・リサイクル』 経済調査会, 2002 年.
- (18) 前掲(11)
- (19) 富山和子 『環境問題とはなにか』 PHP 新書, 2001 年, 2 章, 3 章.
- (20) レスター・R・ブラウン編著, 浜中裕則徳監訳 『地球白書 1999 - 2000』 ダイヤモンド社, 1999 年, p. 39.
- (21) 武田邦彦 『リサイクルしてはならない』 青春出版社, 2000 年.
- (22) 小宮山宏 『地球持続の技術』 岩波新書, 1999 年, 5 章.
- (23) 前掲(20), 第 7 章.
- (24) 同上.
- (25) 竹内啓 『地球の有限性と人間』, 岩波講座科学/技術と人間 8 『地球システムのなかの人間』 7 章, 1999 年, p.226.
- (26) 吉良竜夫 『日本栄養・食糧学会誌』 41 巻 4 号, 1988 年, p.256. 本間慎監修 『新版データガイド地球環境』 青木書店, 1995 年, p.119.
- (27) 前掲(20), p.228.
- (28) UN, World Population Projections to 2150. 国立社会保障・人口問題研究所編集 『人口の動向 - 日本と世界 人口統計資料集 2000』 厚生統計協会, 2000 年, p.18.
- (29) レスター・R・ブラウン編著, エコ・フォーラム 21 世紀日本語版監修 『地球白書 2001 - 02』 ダイヤモンド社, 2001 年, p.164.
- (30) エネルギー・資源学会編 『21 世紀社会の選択 - エネルギー・環境制約下での発展のために』 省エネルギーセンター, 2000 年, p.223. 前掲(29), p.167.
- (31) 前掲(1). 前掲(14).
- (32) 山地憲治 『グローバルエネルギー戦略』 電力新報社, 1995 年. 前掲(22), p.179.
- (33) 前掲(22), p.145.