

[はじめに]

これまでの5回にわたる連載のテーマは次のとおり。

- 1.自然科学的事実としての温暖化(C E LレポートNo.1)
- 2.南北間の公平性(C E LレポートNo.2)
- 3.世代間の公平性(C E LレポートNo.3)
- 4.原発という選択<その1>(C E LレポートNo.5)
- 5.原発という選択<その2>(C E LレポートNo.6)

すなわち、第1回で問題の自然科学的側面を取り上げた後、第2回と第3回では最終的に達成すべき目標は何かについて検討した(世代間および世代内における1人あたり平等な排出権という基準の導出)。第4回と第5回では、エネルギー源として一定の実績を有し、わが国で温暖化対策の支柱の1つとされている原子力発電の妥当性について議論を整理し、私見を述べた。今回は、これまでの議論の要旨と地球温暖化対策(その1)に当てられる。目次と本文の見出しに(要旨)とあるのは、前回までの議論の要約であることを示すもので、箇条書きで述べられている。

【目次】

- 1.地球温暖化問題とは(要旨)
 - 2.政策の体系
 - 3.固定
 - 4.排出量の削減規模 長期目標の目算(要旨)
 - 5.原子力と化石燃料の低炭素化(一部要旨)
- (以下次号へ)

【要旨】

- ・ 温暖化の進行はほぼ確実である。主因は、化石燃料の過剰使用と森林伐採による多量の二酸化炭素の排出である。このうち、前者による二酸化炭素の排出は急増しており、有効な対策がなければ今後も急増を続ける見通しである。温暖化の影響については、深刻性、不確実性、超長期性(不可逆性)の3点が重要である。
- ・ 防止政策としては、二酸化炭素の発生源での分離回収・処分(工学的固定)、海洋生態系による固定、陸上生態系による固定(森林政策)、化石燃料起源の二酸化炭素排出の

抑制（原子力、化石燃料の低炭素化、再生可能エネルギー、省エネ、節エネ）がある。中心となるべき対策は何であろうか。

- ・ 火力発電所等の排ガスからの二酸化炭素の分離回収は技術的には可能であるが、大量のエネルギーが必要であるなど難しい課題を抱えている。回収された二酸化炭素の処分はそれ以上の難問で、様々な方法が検討されているものの、輸送や処分のためのエネルギー、処分の確実性（再放出の危険性）、環境への悪影響などの問題がある。結局、排出ガスから炭素を除去するという道に多くを期待するのは、少なくとも現在のところ妥当とは思われない。海洋生態系による吸収固定についても、メカニズムの未解明、固定の不確実性、環境への影響、規模の制約などの難点がある。
- ・ 森林政策（森林の伐採抑制あるいは植林）は重要だが、これもまた大きな期待をかけるべきではない。その理由は、温暖化防止策としての森林政策の量的限界（膨大な面積と時間、政策の一回性）、効果の不確実性（森林の炭素収支や単位面積あたりの吸収量の未解明）、実施の困難（熱帯林伐採の背後にある途上国の貧困と人口増加など）である。
- ・ 結局、エネルギー起源の二酸化炭素の排出削減が、温暖化対策の中心である。化石燃料の消費が問題なのではなく、その過剰消費が問題なのである。
- ・ どのような水準の安定化濃度を目指すべきか、したがって排出量をどの程度に抑制すべきなのか　これは合意の問題であるが、いかなる水準の安定化濃度を目指すにしても、少なくとも地球全体の排出量を現在の半分以下に削減しなければならない。現代世代を含むあらゆる世代が同一の排出権を持つという考え方に立つとすれば、できるだけ低い安定化濃度（早期の排出削減）を目指すべきだということになる。次に、合意された世界全体の許容排出量を各国にどう配分するか　人口1人当たり平等な排出権が最終的な合意点ではないか。
- ・ <世代間および世代内における1人あたり平等な排出権>という上述の基準を適用した場合、例えば1つの目算として、2100年に日本は人口あたりで現在の排出量を26%～41%に縮小しなくてはならない（最終的には現在の12%に縮小）。
- ・ 大幅な排出削減をどのように実現するか。まず、二酸化炭素を排出しない原子力はどうか。本格的な高速増殖炉時代が実現されないかぎり、温暖化対策としての原発の有効性は限定的なものでしかない。そして、高速増殖炉の実用化に対してはそれを疑問視する見方も有力である。仮にそれが可能だとしても、時期の明示も難しいずっと将来のことであろう。
- ・ それとは別に原発自体には多くの解決困難な問題が付きまとっている。原発事故の潜在的危険性は巨大であるが、そうした巨大大事故は起こり得るとみるべきだろう。高レベル

放射性廃棄物の地層処分の信頼性については大きな見解の相違があり、計画どおりの「処分」は困難だろう。LNGや石油と「互角」とされる経済性も恣意的な部分が多く、長期かつ広範囲を考慮すればするほど原発は経済性を喪失だろう。目を世界に転じると原発の退潮は明らかである。核融合はまだ実験の段階で、実用化が可能かどうか不明である。

- ・ 石炭や石油よりも相対的に二酸化炭素排出の少ない天然ガスへの転換はどうか。この政策は一定の有効性を有するものの、二酸化炭素の排出削減効果の限定性、天然ガスの資源制約、公平性の観念に抵触する可能性などの理由で、一時的・限定的であると考えざるを得ない。
- ・ 結局のところ、再生可能エネ・省エネ・節エネの3つが残る

【本文】

1. 地球温暖化問題とは（要旨）

- ・ 温室効果の存在には疑問の余地はない。時間的なずれはあるものの、他の条件が一定であれば、高い温室効果ガス濃度には高い地表温度が対応し、低い温室効果ガス濃度には低い地表気温が対応する。これは自然科学的事実である。
- ・ 産業革命以来、二酸化炭素・メタン・一酸化二窒素などの温室効果ガスの大気中濃度が上昇してきたことも確実である。他方、地表平均気温は過去1世紀の間に0.3~0.6 上昇した。両者の関連について、IPCCは、大部分の研究が「観測された温暖化の傾向がすべて自然起源によるものであるとはいえないことを示している」¹としている。
- ・ 地球温暖化問題にとって二酸化炭素が最も重要な温室効果ガスである。温暖化への寄与が最も大きいこと（将来さらに大きくなると予想されること）、現代のエネルギーの大部分を占める化石燃料の使用に伴って必然的に排出されること、有用な物質への変換や処分が困難であること（3.(2)[再資源化]参照）がその理由である。以下、議論を二酸化炭素に絞る。
- ・ 炭素は、地球の表層部分を構成する大気圏・海洋面・陸上生物圏の3つ貯蔵庫の間を循環している（炭素循環）。この循環は産業革命以前には安定的であった。大量の炭素を含有する化石燃料はこの循環に参加していなかった。しかしそれ以降、主として化石燃料の使用と森林伐採による多量の二酸化炭素の排出によって安定状態が攪乱され、大気中の二酸化炭素濃度が上昇し続けている。

¹ [24]p58

- ・ IPCCの推計によって現在の人間活動に基づく炭素収支（1980～1989年）をみると、年間排出量71億トンのうち、33億トンが海洋等によって吸収されずに大気中に蓄積されている。年間排出量71億トンの内訳は、化石燃料の使用によるものが55億トン、熱帯林の伐採によるものが16億トンであると推定されている。今後、化石燃料の使用による二酸化炭素の排出がますます大きな部分を占めるようになるとみられている。
- ・ 化石燃料の使用に基づく排出量(炭素換算)の推移をみると、1950年1638百万トン(100)、1960年2586(158)、1970年4091(250)、1980年5264(321)、1990年6097(372)、1995年6506(397)と急増している²(()は1950=100)。
- ・ 将来はどうか。IPCCの「IS92シナリオ」と呼ばれる想定によると、2100年における排出量は103～358億トンとなっている³(基準時の1990年は74億トン。化石燃料使用以外のものを含む)。このうち、「中庸排出シナリオ」であるIS92aにおける2100年の排出量は203億トンであるが、これは現状の3倍近い水準である。「中庸排出シナリオ」における2100年の気温上昇は2.0、海面水位上昇は50cmであると推測されている。ただし、それ以降も気温上昇は続く。また、気温が安定化した後も海面上昇は続く。
- ・ 温暖化の影響については、深刻性、不確実性、超長期性の3点が重要であろう。第1に深刻性。現行の温暖化の影響予測は、大部分が大気中の二酸化炭素濃度が産業革命前の2倍あるいは現状の2倍になるという条件設定の下におけるもので、しかも限られた項目についてのものに過ぎない。IPCCの第2次報告書は、濃度2倍時の影響について、天候災害、森林、氷河・降雪、水資源、農林業、インフラ、人間の健康など、多方面にわたる深刻な被害の可能性を報告している。有効な対策がとられないなら最終濃度が2倍を超える可能性は大きいし、温暖化による被害は非線形的に増大していく(気温がx倍になれば被害はx倍以上になる)と考えられている。
- ・ 第2に不確実性。温室効果ガス濃度の上昇がもたらす気候への影響についても、気候の変動が生態系や社会経済に及ぼす影響についても不確実性は大きい。そこには多くのフィードバックがあるといわれている。たとえば温暖化による水蒸気(強力な温室効果ガスである)の増加がさらに温暖化を加速したり、あるいは温暖化による永久凍土からのメタン排出の増大が温暖化を加速するなどの可能性である。
- ・ 第3は超長期性である。人為によって高められた二酸化炭素濃度は、最終的には海洋に吸収されると考えられるものの(3.(3)[深層水汲み上げ法]参照)、それには1000年以

² 米オークリッジ研究所の推計。[123]p37

³ 対策実施ケースとみられるIS92cを除外している。

上ものきわめて長い時間が必要だと見られるからである。また、排出と影響の間に大きな時間的ずれが存在することも重要である。＜排出量の変化 濃度の変化 気温・海面水位の変化 生態系・経済社会の変化＞という一連の変化に長時間を要するのは、排出量と比較して膨大な量の二酸化炭素が大気中に蓄積されていることや、海洋が大きな熱容量を持つこと、氷河の融解などのためである。排出の影響がずっと先であるということは、排出削減という行為の効果が顕在化するまでの間に大きなタイムラグがあるということを意味する。温暖化の影響の顕在化に驚いて直ちに大幅な削減に踏み切ったとしても手遅れである。

2. 政策の体系

[3つの態度]

地球温暖化問題への態度としては、「放置」、「適応」、「防止」の3つが考えられる。

まず「放置」という態度。この背後にある理由としていくつかのものが考えられる。1つは、「後は野となれ山となれ」「我が亡き後に洪水は来たれ」という考え方である。2つには、「地球温暖化問題は存在しない」あるいは「その存在が不確実である」から対応の必要はない、というもの⁴。3つ目として、「地球温暖化の防止は不可能だから放置するより仕方がない」というもの。それ以外にもあるかもしれないが、要するに「放置」という態度は、温暖化の影響を受ける将来世代への配慮の放棄（将来配慮義務の拒否）であって、これ以上議論する必要はなからう。付言すれば、2番目の理由に関連して、気候変動枠組み条約は「深刻な又は回復不可能な損害のおそれがある場合には、科学的な確実性が十分でないことをもって、このような予防措置をとることを延期する理由とすべきではない」（第3条）と述べている。

次の「適応」という態度。これは温暖化の被害を直接的に対応しようとするもので、具体例としては「気候乾燥地域における灌漑用水の利用可能性の拡大、温暖化する気候の影響を相殺する冷房・冷蔵技術の向上、海面が上昇した沿岸地域からの経済活動の移転」⁵などである。海面水位の上昇に備えて堤防を築く（「万里の長城」ならぬ「万里の堤防」）といった例に明らかなように、適応的な政策が必要であることは明らかである。しかしまた、適応的な手段は、あくまで補完的なものであるべきだと思われる。なぜなら、既述のように、温暖

⁴ ある人は次のように書いている。「普通に考えれば燃料が足りないのに、なにかの間違いを期待して、飛び立つ飛行機があるだろうか」[21]p203。

⁵ [28]p339

化の影響がきわめて広範囲に及ぶこと、それが深刻性・不確実性・不可逆性といった性質を持つことが第1の理由。第2に、適応策が、温暖化の影響を本格的に受ける将来世代の負担において行われるとすれば（そうであらざるを得ないだろう）、世代間の公平性に反するからである。第3に、途上国の受ける温暖化の影響が相対的に大きいとみられているから、南北間の公平性にも悖ることになる。これについては補償を行えばよいという理屈は成り立つが、現実には極めて困難であろう。

結局のところ、「防止」という態度が妥当である。

[政策体系]

地球温暖化を防止しようという態度が選択されたとして、どのような政策があるだろうか。表1.はそれをまとめたものである。以下においてこれらを、中心となるべき対策は何かという観点から、順次検討していく。

表1.温暖化防止政策の体系

地球の反射率上昇による吸収エネルギーの制御
二酸化炭素濃度の制御
(a) 大気中の二酸化炭素の生態系による固定
・海洋生態系による固定
・陸上生態系（森林）による固定
(b) 排出抑制
・発生源での分離回収
・森林伐採の抑制
・エネルギー起源の二酸化炭素排出量の抑制
・二酸化炭素を発生しないor 発生が少ないI ₂ HP ⁺ の採用
・原子力
・化石燃料の低炭素化
・再生可能エネルギー
・エネルギー効率の向上（省エネ）
・節エネ
・時短選択
・人口減

3. 固定

本節では表1の (a) 、 (b) と (b) を取り上げる。

(1) 反射率上昇による吸収エネルギーの制御

まず、地球が太陽から受け取るエネルギーの量を変えてしまおうという大胆な方法を見ておこう。この方法は二酸化炭素の固定策ではないが、本節で取り上げ、最初に片付けてしまおう。

この対策は、地球の反射率（アルベド）を人工的に変えて、大気と地表面の吸収エネルギーを抑制することによって温暖化を防止しようとするものである。具体的には、大気中に太陽光線を反射する硫酸化物等の物質を散布したり、太陽と地球の間に太陽光反射装置を設置するなどの方法である（前者はいわゆる日傘効果の利用である）。

IPCC は「このような手法は一般的にあって、効果が少なく、維持に高い費用がかかり、多くの場合ほとんど理解されていない深刻な環境などへの影響がある可能性が高い」としている。多くの研究者の評価も同様であり、筆者を含めた大部分の人々も同意するであろう⁶。

地球が吸収するエネルギーの量を人為的に変更する方法が否定されたとすると、大気中の二酸化炭素濃度を減少させるという政策が採用されなくてはならないことになる。気候変動枠組条約が「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを究極的な目的」（傍点引用者）としていることは周知のとおりである（第2条）。

(2) 発生源での分離回収

二酸化炭素の固定とは、炭素の3つの貯蔵庫（レゼルポワール） 大気圏・海洋面・陸上生物圏 のうち、海洋面と陸上生物圏の炭素蓄積量を増加させることによって、大気圏における蓄積量の増大の抑制あるいは削減を図ろうというものである。順序は表1とは逆になるが、まず二酸化炭素の分離回収という方法を検討し、次いで、生態系による固定を取り上げよう。

[分離回収]

⁶ 「...その対応のために、生態系にとってより基本的な因子、地球上のもろもろの活動の根源である太陽光を4%も遮るといのは、最後の手段として以外ありえないだろう」[21]p56。（亜硫酸ガスという）
「酸性雨の原因物質を大気にまき散らすことが対策技術となる。他のガスも、対策技術にはなるだろうが、気が進まないのは私だけではないだろう」[20]p32。

考え方としては、火力発電所や工場などの集中発生源の排ガスから、二酸化炭素を分離回収し、処分⁷してしまうというものである。したがってまず、この政策の限界として、家庭や自動車など分散発生源からの二酸化炭素の排出削減にはならない、ということを目指しておかなければならない。

二酸化炭素の分離回収について様々な手法が研究されているようだが、主なものとしては、化学吸収法、物理吸収法、吸着法、膜分離法がある。

化学吸収法は、冷却した吸収液（アルカノールアミノ液など）に二酸化炭素を吸収させた後、吸収液を過熱して二酸化炭素を回収する方法である。石油精製などで既に多くの実績がある。問題点として、吸収液の冷却・加熱に多くのエネルギーが必要であること、大量処理のためには大きな設備が必要であることが指摘されている。火力発電所に適用された場合、発電効率が現状の40%程度から30%ほどに低下するといわれている。また、発電所と同規模の設備が必要だという。

物理吸収法とは、加圧・冷却した溶媒に二酸化炭素を物理的に溶解させた後、減圧・過熱して二酸化炭素を分離するものである。これも大容量化が比較的容易だとされているが、やはり溶媒の加圧・減圧および加熱・冷却に多くのエネルギーが必要である。

吸着法は、吸着剤（活性炭・ゼオライト等）に二酸化炭素を吸着させ、加減圧または冷却・加熱によって回収する。ここでもエネルギー消費が大きいことが問題となる。また、いまのところ大容量での実績が少なく、「大規模な実用化には高性能な吸着剤開発が必要」⁸とされる。

膜分離法では、排ガスに膜を通過させることによって、二酸化炭素を選択的に分離する。「排ガスの主成分である窒素と二酸化炭素の分離はかなり難しい課題であるが、省エネルギーで操作が簡便になるなどの長所が期待され、二酸化炭素を選択的に大きな速度で透過させる膜の開発が急がれている」⁹。大容量での実績が少ない。

まとめてみよう。二酸化炭素の分離回収は技術的には可能であるが、大量のエネルギーが必要であったり（化学吸収法・物理吸収法・吸着法）、大容量化が困難であったり（吸着法・膜分離法）、難しい課題を抱えていたり（膜分離法）、大きな設備が必要（化学吸収法）などといった難点を抱えている。とりわけ、大きなエネルギーを必要とするという点は、省エネ・

⁷ 隔離・投棄・貯留などの表現も見られるが、ここでは処分という。

⁸ [132]p153～154

⁹ [132]p154

節エネの推進に反しており、最大の問題であろう¹⁰。

[処分]

排ガスから二酸化炭素を分離回収するよりも、回収された二酸化炭素を処分する方がずっと難題であるように思われる。様々な方法が研究されているが、大きく、海洋処分と地中処分の2つに分類できる。

海洋処分としては、深海投入と浅海投入がある。深海投入では液化した二酸化炭素をパイプで深海に投入する。液化二酸化炭素は自重で海底へ沈んでいく(したがって注入のためのエネルギーは不要)。浅海投入では、気体または液体の二酸化炭素を浅海に投入して海水に溶解させる。比重の重くなった海水は深海域へ沈んでいく。

海洋の処分容量は膨大である。しかし、深海投入、浅海投入のいずれであっても、二酸化炭素を回収場所(例えば火力発電所)から処分海域まで輸送するためのエネルギーその他のコストが必要である。また、方法によっては、二酸化炭素を液化するためのコスト、海洋へ放流・注入するためのコストも必要となる。これが問題点の第1である。第2は、環境への影響である。二酸化炭素が海洋でどのような動きを見せるか、生物への影響はどうかなど多くの問題が未解明である。第3は、再放出の可能性あるいは処分の確実性への危惧である。海水に過飽和に溶け込んだ二酸化炭素が突然噴出する「シャンパン現象」による酸欠事故や海難事故、温暖化の進行による海流の変化によって二酸化炭素が海洋表面に還流する可能性などの指摘がある。海洋処分についてIPCC第2次報告書は「...注入された炭素のほとんどは、注入の深さと方法よるが、50年から数百年後には表出するだろう。またその方法が環境に影響を及ぼす危険性があるため海洋貯蔵には反論もあるだろう」と述べている¹¹。

地中処分はどうか。主な方法の1つは、廃油井や天然ガス廃坑への処分である。前者は技術的に容易で、石油の回収率向上のために既に実用化されている。但し、廃油井への処分容量(炭素換算)は、100億トンあるいは200億トン程度と推定されており、それほど大きなものではない(オークリッジ研究所の推定による化石燃料起源の1995年の炭素排出量は約65億トンである)。天然ガス廃坑の処分容量はこれより大きく、最終的には600億トンになると推定されているが、技術開発が進められている段階である¹²。

¹⁰ 二酸化炭素の分離回収については[21]p135～139、[22]p148～149、[132]p151～154などを参照した。

¹¹ [28]p218。海洋処分については[21]p139～142、[22]p140～144、[31]p173～176、[121]p513、[132]p156～158などを参照した。

¹² 廃油井の場合、得られた石油から発生する二酸化炭素の3分の1しか貯留できない。天然ガス廃坑では、

地中処分の別の方法として、地中の帯水層への処分がある。帯水層へは膨大な量の二酸化炭素の処分が可能であるとされている¹³。既にノルウェーで沖合の大陸棚の地下帯水層への処分が開始されている（二酸化炭素 100 万トン/年）。これは、北海のスレイブナー天然ガス鉦区において二酸化炭素を多量に含む天然ガスから二酸化炭素を分離して塩水地下水層へ圧入する事業で、砂岩層に含まれる地下水を押しよけるかたちで二酸化炭素が圧入されている。ただし、二酸化炭素の地中での挙動の解明など多くの課題が残されている¹⁴。

地中処分についても、二酸化炭素の処分地までの輸送エネルギーが必要であること、二酸化炭素の突発的な噴出による災害や大量の二酸化炭素の放出による温暖化の可能性、二酸化炭素の溶解による地下水の酸性化など、無視できない問題があり、多くの論者は、海洋処分とともに、緊急避難的な手段と位置づけている。例えば、政府の「地球再生計画」（1990年）に対応して設立された「（財）地球環境産業技術研究機構（RITE）」による『CO₂削減戦略』という書物においてすら、「廃ガス田処分、帯水層処分、海流貯留については、技術開発が進められているものの、その実施についての総合的影響の評価が必要であり、社会的・政治的合意が得られるかどうかはまだ分からない」「排ガスから分離・回収したCO₂をそのまま物理的に海洋や地中に隔離・貯蔵する技術は...地球温暖化の緊急性に鑑みれば、もっとも実用化が早くなる技術である。ただし、省エネルギーの推進や新規エネルギーの導入により地球温暖化が防止できない状況に陥ったときの緊急避難的な位置づけの技術である」¹⁵という表現が見られる。IPCC第2次報告書は「CO₂の固定化及び処分は、最終的には技術上ならびに環境上の理由により制約されるであろう。なぜなら、すべての処分形態が大気中への炭素の再還流を確実に防止できるとはいえないからである」と述べている¹⁶。

発生源での分離・回収・処分という政策の問題点として、この政策はさらなる化石燃料消費の増大を容認するものだという指摘があるが¹⁷、重要な論点であろう。温暖化対策としての省エネや節エネの重要性については後ほど強調することになるが、この政策はそれらと矛

得られた天然ガスとほぼ同量の二酸化炭素が隔離できる。[22]p146

¹³ 地下帯水層の処分可能量は 1000～3000 億トンといわれる[132]p156

¹⁴ [31]p168～171。「この方法には、二酸化炭素注入法の開発を始めとして、二酸化炭素溶解による水の酸性化、二酸化炭素と炭酸塩との反応などによる漏洩などのリスクアセスメントが必要であり、油田、ガス田注入に比べて不確実性が高い」[132]p156.

¹⁵ [129]p70、p160～161

¹⁶ [24]p115～116

¹⁷ [130]p112

盾することになる。また、化石燃料の使用増大は枯渇問題の顕在化を早めることになる。

[再資源化]

回収した二酸化炭素を有用な有機物質（エタノールなどのエネルギーやエチレン・プロピレンなどの化学製品）に変換できないかという研究がある。

問題点の第1として、二酸化炭素の分離・回収が前提となっているから、分離・回収における問題点はそのままここでの問題点となる。

第2に、化学製品への転換の場合、まず需要があるかどうかの問題である（エネルギーへの転換の場合はこれは問題にならない）。再資源化が温暖化防止のための政策であるなら、膨大な量の化学製品できてしまう。加えて、再資源化のためのエネルギーは当然化石燃料であってはならず、再生可能エネルギーということになるが、その場合、コストの問題、すなわちナフサ等を原料とする製品と価格面で競合できないという点が問題である。これに対しては次の反論が可能である。「...エネルギーとして価値のないCO₂を、現在のところ利用するのが高価な自然エネルギーを用いて有用な物質に変換する技術が、安価な化石燃料を原料とし、CO₂という環境負荷物質をフリーに排出しながら生産する技術に対してコスト競争力を持ち得ないのは当たり前で、地球温暖化防止技術としてのCO₂削減の実効を高めるような、例えば、CO₂排出に税を課すというような対策がとられたなら、十分実用化可能な技術として準備しておくべきものと思われる」¹⁸。しかしながら、「有用物質をつくりたいのなら、おおもとから考えてもっともつくりやすい方法でつくるのがもっともエネルギー的に得であり、わざわざ二酸化炭素を回収・分離してまで二酸化炭素を原料とする意義はどこにもない」¹⁹というのが正論であろう。さらに、温暖化対策として意味のある時間（数百年？）化学製品という形態で二酸化炭素を固定できるかどうかという疑問もある。

第3に、エネルギーへの転換の場合はどうか。この場合も再資源化のためのエネルギーは化石燃料ではなく、再生可能エネルギーでなければならない。そうであるなら、既に多くの指摘があるように、二酸化炭素と再生可能エネルギーを用いてメタノール等のエネルギーを得るのであるから、二酸化炭素の再資源化ではなく、再生可能エネルギーの変換のための媒体として二酸化炭素が利用されたということになる（なお、メタノールの燃焼時に発生する二酸化炭素は再び回収されなければならない）。このことは、地球環境産業技術研究機構が開発中の「CO₂ グローバルリサイクルシステム」の例で明らかである。これは「先進国の発

¹⁸ [129]p158

¹⁹ [22]p126

電所工場から排出されたCO₂を分離回収して、太陽光、水力、風力など自然エネルギーが豊富な国に輸送する。そこで自然エネルギーにより水を電気分解して生成した水素と二酸化炭素を触媒を使って反応させ、燃料電池などに使用可能なメタノールへ転換する。そのメタノールを再び先進国に持ち込むというもの」²⁰である。二酸化炭素の回収場所と再生可能エネルギーの豊富な場所は一般的に離れているから、二酸化炭素の再資源化ではなく、再生可能エネルギーの輸送方法の1つとして位置づけるべきであろう²¹。もっと重要なことは、再生可能エネルギーの大量利用がこの前提となっていることである。初めに大量の再生可能エネルギーの捕獲ありき、である。それが実現しているくらいなら、化石燃料の大幅削減が可能なのはである。

化石燃料の使用により発生した二酸化炭素を大気中に放出させないで、発生源において化学的あるいは物理的に分離回収し、処分ないしは再資源化するという方法について、『平成12年版環境白書』は次のように述べている。「二酸化炭素の固定化、有効利用や貯留については、まだ実験段階にあり、今後、実用化に向けた開発が必要である。また、実用化に当たっては、全体としての環境への負荷を低減する観点が必要である」²²。

(3) 海洋生態系による固定

本項と次項では、生態系の利用によって大気中の二酸化炭素を吸収・固定させる方法をみる。

海洋生態系の働きによる二酸化炭素の固定方法として、多くの文献で紹介されているのは、珊瑚礁、植物プランクトン、藻類が行う光合成を利用することによって大気中の二酸化炭素を吸収する方法である。なお、生物による固定ではないが、海洋を利用する固定技術として、深層水汲み上げ法も言及が多い。

[珊瑚礁の光合成の利用]

温暖化対策としての珊瑚礁の増殖についてはその有効性について見解が大きく分かれて

²⁰ 日本経済新聞 2000年11月22日。なお、このシステムは多くの文献で紹介されている（[22]p127～128、[121]p514～515、[129]p153～154、[132]p163～164など）。

²¹ 「本法は二酸化炭素の再利用法というよりも、自然エネルギーの化学媒体としての炭素のリサイクル利用と考えるべきであろう」[121]p515。

²² 環境庁編『平成12年版環境白書』（ぎょうせい 2000）p92

いる。主な論点は次の3つである²³。第1は、珊瑚が行う光合成（大気中の二酸化炭素の吸収）と石灰石（炭酸カルシウム CaCO_3 ）の析出（二酸化炭素の放出）のどちらが優勢かである。後者は、海中のカルシウムイオンと炭酸水素イオンが、炭酸カルシウムと二酸化炭素と水となる反応であり²⁴、二酸化炭素が放出される。第2に、珊瑚の光合成に必要な窒素や燐などの栄養分が植物プランクトンの光合成に必要な栄養分を奪っているかどうかである。奪っているとすれば、珊瑚の光合成の活発化は植物プランクトンの光合成の抑制によって相殺される。これに対しては、珊瑚礁には空中の窒素を固定する藻類が存在するとの反論がある。第3は、光合成によってできた有機物がどうなるかである。すぐに分解されるのであれば再び二酸化炭素は放出されることになる。深海へと沈殿するのであれば、二酸化炭素の吸収策として有効である。要するに、珊瑚礁の増殖が大気中の二酸化炭素を吸収することになるのかどうかについて未だ意見の一致が見られない状況にある。

[海洋施肥法]

これは、肥料である窒素・燐などを海洋に散布することによって植物プランクトンを増殖させ、大気中の二酸化炭素を吸収させようとするものである。固定された炭素の一部は深海へ沈んでいくと考えられる。これに必要な窒素や燐の量は非現実的なものではないと計算されている²⁵。また、「外洋の実情は貧栄養状態にあり、とすれば外洋に施肥する限り、影響は少ないと期待される」²⁶。しかしながら、まだ実用化からは遠いようである²⁷。南極海や赤道付近で窒素や燐が豊富な海域に、光合成の活発化のために必要な鉄分を散布するという研究もされているが、「そのメカニズムが科学的に成立するかどうかを解明している段階であり、技術的成立性の見通しは現状では不明である」²⁸という。

²³ [21]p147～149による。他に、[22]p134、p210～212、[121]p511など。

²⁴ $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

²⁵ 「50億トンの炭素の固定には全世界の窒素、リン肥料の生産量の十数倍が必要である」[121]p510

²⁶ [22]p209

²⁷ 「光合成によって海洋に移った二酸化炭素が大気中に戻らないためには、海洋表層で有機物が増加するか、それが深海へ移動し無機炭酸の濃度が増加することが必要である。海洋の炭素循環のメカニズムを解明する研究を進めなければならない」[132]p192（傍点引用者）

²⁸ [31]p181～182。フィールド実験も行われたが（1993年）、期待されたほどのプランクトンの発生は見られなかったという[21]p152。

[藻類培養]

火力発電所の排ガス中の二酸化炭素を利用して人工的に藻類を培養し、得られた藻類を乾燥させて家畜飼料や食糧などに利用するという研究が電力中央研究所で行われている²⁹。しかし、資料や食糧として利用されれば二酸化炭素の放出時期がほんの少しずれただけである（バイオエネルギーとして利用する場合も同じ）から温暖化対策にはならない。ただ森林の耕地化を防止するので温暖化対策であるという。なるほどそうだが、それなら固定政策とはいえない。もっと重要なことは規模の制約である。1つには培養に広大な面積を要すること³⁰、もう1つは、温暖化対策として大量に生産した場合に需要があるかということであろう。

[深層水汲み上げ法]

「海洋は、風や太陽光の熱により混合され大気中の二酸化炭素分圧と平衡にある表層と、太陽の熱を受けない深層に分けられ」³¹ており、両者が混合するためには1000年以上もの時間が必要とされている。深層水は産業革命以前の低い大気中二酸化炭素濃度と平衡状態にあったもので、高くなった現在の二酸化炭素濃度の大气と接触すれば、表層水以上に大気中の二酸化炭素を吸収することができる³²。そこで深層水を汲み上げて表層水との混合を促進することにより、大気中二酸化炭素の吸収量を増大させようとするのが深層水汲み上げ法である。誰でもが気づくように問題は深層水を汲み上げるエネルギーをどうするかである。「...現実味の高いエネルギー源として温度差発電があげられる。温度差発電は表層と深層の温度差を利用した熱機関であり、深層水を汲み上げるのに必要なエネルギーより取り出されるエネルギーの方が大きくなると期待される」³³と述べられているように、少なくともしばらくの間は期待できそうにない。温度差発電の大規模利用が可能なることが先決である。

(4) 陸上生態系による固定（森林政策）

²⁹ [31]p182～186。他に[22]p130～131

³⁰ 「例えば、60万キロワット級LNG火力に適用した場合、総排出量の10%を固定するためには、2000ヘクタールという広大な面積が必要である。京都会議で議論された現実的な数値目標に、どのように貢献するかを考えた場合に、難しい面がある」[31]p184

³¹ [121]p507

³² [22]p206。[22]p37～38を参照。

³³ [121]p510

森林はきわめて多様な機能と価値を持っているが³⁴、ここでは炭素の吸収源・貯蔵源としての機能に視野を限る³⁵。植林は二酸化炭素の生態系による固定 or 吸収源拡大であり、森林伐採の抑制は排出の抑制である。温暖化防止政策の観点から、森林政策はこのように両面を持っている。ここでは両方を検討する。

[森林面積]

国連食糧農業機関（FAO）による世界の森林面積の現状は、表 2.のとおりである。これによると、森林³⁶全体では5年間で56百万 ha（年平均11百万 ha）減少している。森林を熱帯林（南北回帰線間の森林）とその他に分けると、その他が微増であるのとは対照的に、熱帯林は大きく減少している。熱帯林の減少が地球環境問題³⁷の1つとされている所以である。熱帯林の大部分は途上国に属している。5年間の森林の減少を先進国と途上国に分けると、前者は9百万 ha の増加、後者は65百万 ha の減少となっている³⁸。ストックホルム環境研究所によると（1998年）現在のペースで森林の減少が続くと、1995～2050年の間に約6億 ha の森林が消失する、他方、各途上国が適切な施策を講じると、森林破壊面積は2025年までに徐々にゼロに近づき、その後は拡大に向かうという³⁹。

表 2. 世界の森林面積とその変化

	1995年	1990年	1995年 - 1990年
熱帯林	1734	1797	- 63

³⁴ 1992年に採択された森林原則声明には、森林が次のような人間の必要を満たしていると述べている（原則2（b）） 「木材、木製品、水、食料、飼料、医薬品、燃料、住居、雇用、余暇、野生生物の生息地、景観の多様性、炭素の吸収と貯蔵源、その他の森林産物及びサービス」。

³⁵ 「森林、地上動植物の果たす役割は、生態系、種の保存、気象、水資源などさまざまであり、森林破壊の問題を二酸化炭素問題からだけ議論することは、おおきな過ちを犯すことになりかねないが...」[121] p501～

³⁶ FAOは森林を「天然林と植林を含む。林冠面積が20%以上あり、樹高7m以上の連続した立木からなる木材生産の可能な林地」と定義している[123]p67。

³⁷ 環境庁は、地球環境問題として、オゾン層の破壊、地球温暖化、酸性雨、熱帯林の減少、砂漠化、開発途上国の公害問題、野生生物種の減少、海洋汚染、有害廃棄物の越境移動 の9つの現象を取り上げている[37]p2

³⁸ 『平成12年版環境白書』p5

³⁹ 『平成12年版環境白書』p5

その他	1720	1714	7
合計	3454	3511	- 56

* 単位：百万 ha 出所：[123]p67 の表 1.6.1 より作成。

原典：FAO State of the world's Forests 1999

[森林の炭素固定量]

表 3. 生態系の炭素保持量（有機物）

	面積（億 ha）	有機物（億 t-C）		密度（t/ha）		
		生体	遺体	生体	遺体	総計
熱帯林	18 [24.5]	2700 [4610]	1260 [1470]	150 [188]	70 [60]	220 [248]
温帯林	12 [12.0]	1300 [1740]	1530 [1080]	110 [145]	130 [90]	240 [235]
亜熱帯林	13 [12.0]	1100 [1080]	2250 [1560]	8 [90]	175 [130]	260 [220]
低木林	8 [8.5]	400 [220]	800	50 [26]	100	150
その他 ⁴⁰	98 [92]	580 [615]	6290 [-]	6 [7]	64	70
全陸域	149 [149]	6080 [8265]	12130	41 [55.5]	81 [-]	122 [-]
全海域	361	17.4	9000	0.048	25	25
全地球	510 [510]	6100 [8280]	21000 [-]	12 [16]	41 [-]	53 [-]

* [] は出典が異なるデータ。出所：[22]p160～1 の表 6.1 より作成。

表 3. にみるように森林には膨大な量の炭素（熱帯林・温帯林・亜熱帯林の合計は 10140[11540]億トン）が貯蔵されている。森林を伐採すれば二酸化炭素が大気中に放出され、森林を拡大すればその分だけの炭素が大気中から吸収される。

以下、温暖化防止政策としての森林政策（植林と伐採抑制）について、固定可能量の量的限界性、炭素の吸収・排出における不確実性、植林と伐採抑制の困難性の 3 点を述べる。

[量的限界]

熱帯林の伐採抑制によって最大どれぐらいの二酸化炭素排出量が削減できるか。既述のように（1.）IPCC 第 2 次報告書によると「熱帯の土地利用変化による正味の排出」は 16 億

⁴⁰ 湿原、草原、農耕地、ツンドラ、（半）砂漠、放棄地

トンである。熱帯林の伐採がゼロになればこれだけの排出量が減少する。他方、「化石燃料燃焼およびセメント製造からの排出」は 55 億トン、大気中への蓄積は 33 億トンである（いずれも 1980～1989 年平均）。重要なことは、1. で述べたように、化石燃料起源の二酸化炭素の排出量が急増しつつあるという事実である（例えば、1985～1995 年間に化石燃料起源の二酸化炭素排出量は約 11 億トン増加している⁴¹）。将来については、多くの想定が熱帯林伐採の排出量への寄与率が低下するとしている⁴²。

植林はどうか。最初に確認しておくべきことは、森林が二酸化炭素を吸収するのは成長過程（数十年）だけであって成熟林は吸収しないということである。熱帯林について数字例を示すと⁴³、まず光合成によって形成される有機物の総生産量は 100 t / ha / 年であるが、そのうちの 75 は呼吸に使われるので、純一次生産は 25 となる。このうち、20 は土壌呼吸（枯葉・枯れ枝として土中で分解）として使われるので、実質的な成長量（吸収量）は 5 となる。しかしこの 5 も、火事や枯れ死によって大気中に戻ると考えられる。要するに、成熟林の炭素収支はバランスしている。したがって、植林可能面積のすべてに植林が行われ、それらが成熟林になってしまえば、それ以上の二酸化炭素の吸収は期待できない。その意味で、植林による吸収は一回だけ使用可能な方法である⁴⁴。

さて、植林によってどの程度の吸収固定が見込まれているのだろうか。IPCC 第 2 次報告書の「総合報告書」は、「多くの方策によって今後 50 年間に大量の炭素（林業部門だけで約 60～90GtC<年平均 12～18 億トン 引用者>）を保持し吸収できる可能性がある。林業部門では、現在の森林被覆の保全、森林伐採の減速化、自然森林の再生、植林地の確立、アグロフォレストリーの促進などの対策が含まれる」と述べている⁴⁵。William Cline のモデル（1992 年）においては、植林可能面積 26000 万 ha、平均年間吸収量約 16 億トン、吸収期

⁴¹ 1985 年 5416 億トン、1995 年 6505 億トン（オークリッジ研究所推定）。

⁴² 「ほとんどのシナリオは、この比率（エネルギー関連の排出と土地利用変化による排出の比率 引用者）は将来は減少していくと仮定している」[28]p374。

⁴³ [22]p156～159

⁴⁴ 「しかし、森林を際限なく拡張することはできない。したがって、炭素の一時吸着は、温室効果ガス排出増大に対する持続的な解決にはならない」（IPCC 第 2 次報告書[28]p35。

⁴⁵ [24]p35。「総合報告書の要点」は「森林、農地、放牧地の管理は温室効果ガス排出の低減と炭素の固定に重要な役割を果たすことができ、種々の対策を講じることにより今後 50 年間に大量の炭素（林業部門だけで約 600～900 億トン）の排出抑制又は固定が可能」と表現している[24]p7。Cf . p93

間30年とされている⁴⁶。Dynamic New Earth 21モデルにおいては⁴⁷、植林可能面積25092万ha、平均年間吸収量約11億トン（総固定量325億トン）、吸収期間30年とされている。

以上の例からも分かるように、植林による年間吸収量あるいは総固定量は、排出量の現在の規模と比べても、また今後の排出量の大幅な増加の見通しから見るとなおさらのこと、決して大きな量とはいえない。

極端なケースとして、砂漠をすべて森林化すればどうなるか。1ha当たりの固定量は表を参考に、230t/haとしておこう。砂漠の面積は約45億ha（45百万km²）である⁴⁸。これは南北アメリカ大陸の面積（42.5百万km²）を上回る。砂漠が完全に森林化することができれば、10350億トンの炭素が固定できる（230×45）。因みに、IPCCの排出シナリオにおける1991～2100年の累積排出量は9800～21900億トンである⁴⁹（中庸シナリオであるIS92aでは15000億トン）。繰り返しになるが、砂漠の森林化という手法は1回しか使えない。また、「緯度20度と30度のあいだの地域にはつねに高気圧が居座っているので、砂漠が多いのである。…地球大気 of 巨大な構造の一要素として、緯度20度と30度のあいだには雨が降らず、砂漠となっているのだ」⁵⁰とすれば、砂漠の森林化は容易ではない。そのために必要なエネルギーは当然太陽エネルギーでなければならないとすれば、まず太陽エネルギーの大規模な利用が可能になっていなければならない。もしそれが可能になっているのなら化石燃料の大幅な使用減が可能であり、それに伴う二酸化炭素の排出の大規模な削減が実現しているはずだから、ここでもまた、砂漠の緑化は必要でなくなっているはずである（どこかで聞いた話である）。現実に戻ると、毎年約600百万haの土地が砂漠化しているとされ⁵¹、砂漠化それ自体が地球環境問題の1つとなっているのは周知のとおりである。砂漠の森林化が仮に可能だとしても、温暖化防止には間に合わないと考えた方がいいだろう

[不確実性]

第2の問題点は不確実性である。すなわち、森林伐採によってどれだけの炭素が大気中

⁴⁶ [33] p113

⁴⁷ 東大の山地憲治教授、藤井康正助教授、地球環境産業技術研究機構（RITE）の開発による。[129]p202～203

⁴⁸ [22]p160～161

⁴⁹ 政策シナリオであるIS92cを除く（IS92c=7700億トン）。

⁵⁰ [21]p170

⁵¹ imidas1999、p929

に放出されているのか（伐採抑制によって排出がどれだけ削減できるのか）、植林によってどれだけの吸収が期待できるのか について大きな不確実性が存在する。

表4. は人為起源の炭素収支の推計である。注目すべきは、「熱帯の土地利用変化による正味の排出」と「北半球の森林再生による吸収」において、推定の幅（中心値に対する推定幅の大きさ）が大きいということである⁵²。これに対して、「化石燃料燃焼およびセメント製造からの排出」と「大気中への蓄積」の推定幅は小さい（前者は化石燃料使用量から、後者は大気中濃度と大気量の量から算出されるからである）。

表4. 人為起源の炭素の年平均収支（1980～1989）

CO₂の発生源

（1）化石燃料燃焼およびセメント製造からの排出	55 ± 5
（2）熱帯の土地利用変化による正味の排出	16 ± 10
（3）人為的排出の総計	71 ± 11

貯蔵場所への配分

（4）大気中への蓄積	33 ± 2
（5）海洋の吸収	20 ± 8
（6）北半球の森林再生による吸収	5 ± 5
（7）推定される吸収源：（3） - （（4） + （5） + （6））	13 ± 15

* 単位：億トン。「推定される吸収源」：窒素施肥による炭素の取り込み、二酸化炭素施肥と気候の影響による他の取り込み。出所：[17]p34の表1.1.2より作成。

原典：IPCC（1995）

IPCC 第2次報告書（第3作業部会報告書）は「炭素隔離の潜在的可能性に関する諸研究の推計は、広範なばらつきの傾向を示している」⁵³とし、一覧表にまとめているが、その中で全世界を対象にした研究2つを表5.にまとめる。両者の利用可能面積に大きな違いはないが、炭素収率には非常に大きな差がみられる⁵⁴。

⁵² 2000年5月のIPCC吸収源特別報告書（政策決定者向け要約）には「この表（全地球における平均的な年間炭素バジェットを示した表 引用者）は、陸上生態系における炭素の吸収速度と傾向が極めて不確実なものであることを示しているものの…」という記述が見られる。地球環境研究センターのホームページによる（<http://www-cger.nies.go.jp/index-j.html>）。

⁵³ [28]p292

⁵⁴ 同上

表 5. 炭素の潜在的固定可能量に関する 2 つの推計

	利用可能面積 (百万 ha)	炭素収率 (t/ha/年)	潜在的可能量 (百万 t)
Sedjo and Solomon (1989)	465	6.24	2900 / 年
Nordhaus (1991b)	510	0.8 ~ 1.6	280 / 75 年 (or 3.7 / 年)

* Nordhaus は、貯蔵容量・平均フロー・生育時間に関する推定を基礎にロジスティック曲線を用いた収率曲線を開発している。Nordhaus の潜在的可能量は、35 年に及ぶ植林期間と 40 年の生育期間を仮定した場合の平均炭素捕獲率であり、実際の炭素捕獲は 75 年にわたる。出典：[28]p288 の表 9.27、p290 の表 9.31、p293 の表 9.36 より作成。

アメリカのある研究によれば、北米の森林の二酸化炭素吸収量は 17 億トン、ユーラシアの吸収量が 1 億トンに対して、熱帯・南半球は 2 億トンの排出であるという（1988～1992 の平均、炭素換算）。他方、英国と南米の共同研究によると「アマゾンを中心とした熱帯雨林による CO₂ 吸収が大きい」という⁵⁵（傍点引用者）。また、オランダの研究では、原生林の保護、森林火災の防止、木材製品の寿命の長期化など 23 項目の活動を考慮すると、日本の場合、1990 年の温室効果ガスの 11% を森林や木材製品が吸収・蓄積していることになり、2010 年で 6% の削減ではなく、5% の排出増が認められることになるという⁵⁶。

IPCC 報告書には、「主要な森林の種に対する ha あたりの炭素収支の（年間）増分と純累積量はいまだに信頼できる実績値はない」⁵⁷「もっとも困難な点のひとつは、多くの樹木が森林以外にも存在し、リモートセンサーを用いてその炭素固定への貢献度を評価することがきわめて困難であるという点である」「現在のところ、樹木に蓄積される炭素量を測定すること、そしてその時間経過にともなうその変化を追うことにはかなりの困難がある」⁵⁸などの表現が見られる⁵⁹。

⁵⁵ 日本経済新聞 1998 年 10 月 31 日

⁵⁶ 日本経済新聞 1999 年 11 月 8 日

⁵⁷ [28]p207

⁵⁸ [28]p336

⁵⁹ 森林の炭素収支の不確実性についての指摘は多い。例：「このように（IPCC の収支バランスに見るように引用者）推定幅が大きいことから推察されるように、科学的にはかなり不確実な値である。京都会議では、二酸化炭素の吸収源として森林をカウントするかどうかで議論が白熱したが、その背景には二酸化炭素の収支バランスの不確実性が依然として高いことがある」[31]p28～29。「毎年地球上の森林

[困難性]

第3の問題点は実施の困難である。まず熱帯林の伐採抑制と再生・植林は一筋縄では行かない難事業である。松岡俊二（広島大学）は、熱帯林伐採の原因を5点に整理している

「地力収奪的な「近代的」焼畑耕作（市場経済の浸透による商品作物栽培や都市スラム住民の逆流による耕地拡大等の「近代的」焼畑）、農業用地拡大などを目的とした土地開発、

家事燃料用の薪炭生産を目的とした森林伐採、輸出用の丸太・合板生産を目的とした商業伐採」。そして「熱帯林減少の広義の経済的メカニズムの基底には、近代化の影響、市場経済の浸透による人口の急激な増加が存在する。途上国では人口増加にみあった経済成長が達成されないため、食糧・現金・薪炭材等の手っ取り早い生産のために森林が犠牲となっている。...さらに、不安定な政治状況や土地所有制度が、さらには開発独裁による経済発展戦略が人口圧力による無秩序な森林減少を加速させている」と述べている⁶⁰。また、熊崎実（筑波大学）は「熱帯林破壊のプロセスは一種の悪循環である。人口増加、森林消失、土壌劣化が相互に絡んで農村の貧困を生み、その貧困が森林消失を加速するという構図である。その一方で、農業開発、林産業の振興、社会資本の整備、外貨の獲得といった面から森林開発の圧力が絶えず働いていて、焼畑や燃料採取の伝統的要素としばしば対立する。各方面から殺到するこれらの要求が適切に調整されなければ、秩序ある森林利用の実現は難しい。ところが、これを調整するための社会システムには、土地制度の不備、行政の未熟、市場メカニズ

が1000万から2000万ヘクタールのオーダーで農地など他の用途に転用されているとすれば、森林が破壊される過程で相当量の炭素量が放出されているとみななければならない。ただし、その量については推計者によってかなりの開きがあり、化石燃料による放出量の10分の1以下というものから、半分ないしそれ以上というものまで、さまざまである」[54]p264。「森林によるCO₂吸収量の測定・評価は非常に難しく、気候の変化、日射、樹種などの条件の違いで数倍以上のばらつきがある。さらに土壌の肥沃度などを条件に含めた場合、千倍以上の差が生じるともいわれる。統計データも不十分で、国全体の吸収量を測定するための方法はまだ確立されていない。このような測定精度が低い吸収量を、精度の高い化石燃料からのCO₂排出量と同列に扱えば、数値目標自体が意味のないものになるだろう」[122]p65～66。「政治的妥協と外交上の成果作りが先行し、まったく未成熟な概念まま採用されてしまった代表例が、シンク（吸収源）概念の導入である。植物による二酸化炭素の吸収については、科学的に未解明の部分が多いという理由で、IPCCは、繰り返しこれを外交概念として採用することに反対してきた」[34]p293。

⁵⁹ [37]p27

⁶⁰ [37]p27

ム機能不全などの問題が山積して、森林の消失になかなか歯止めがかからないのである。」と述べる⁶¹。加えて、熱帯林の植林技術が確立していないという問題もある⁶²。1985年のFAOのレポートによれば、熱帯林の破壊と植林の比率は11:1である⁶³。

先進国における植林も決して容易ではなかろう。温暖化防止によって意味のある規模での植林を行うには膨大な土地が必要である。先述の230t/haという数字を使うと、例えば吸収期間累計で1億トンの炭素(1997年の先進国のエネルギー起源の二酸化炭素排出量は38億トン)を固定するには43万haの土地が必要である。2000年5月のIPCC吸収源特別報告書は、1990~2010年に先進国で実施される植林等によって、2010年ごろに吸収される二酸化炭素を約2億トン/年と算出している(これ以外に森林火災防止対策や農地の耕し方の工夫などによる吸収量が5億トンで、合計で7億トン)⁶⁴。

IPCC第2次報告書は、森林管理対策を7つに分類している。森林伐採の停止または抑制、森林再生、植林、アグロフォレストリーの採用、期間の短い木質バイオマス植林の設立、森林周期の長期化、影響の少ない収穫法もしくは森林に蓄えられている炭素を維持、増加させる経営方法の採用、寿命の長い森林製品の中に炭素を閉じ込めることを含めた維持可能な森林利用。そして次のように評価している。「しかし、実際にはすべての森林対策には最終的に限度がある。はじめの6つの対策はそれ以外の土地利用と競合するため、使える土地面積に限りがあり、最後の対策にしても木材やその他の寿命の長い森林製品に対する需要は飽和しつつあり、また樹木もいずれは衰弱することから限界がある。したがって、森林管理対策は除去オプションと同様に、中期的な対応政策と見られている」⁶⁵。

森林などの二酸化炭素の吸収源をどう扱うかが、気候変動枠組み条約第6回締約国会議(COP6、2000年11月)の大きな論点となったことは記憶に新しい。吸収源の扱いが削減目標達成に大きく影響するからである。しかし長期的な観点に立つなら、枝葉の議論と言わざるを得ない。全体として二酸化炭素の大幅な排出増加が見込まれている状況において、恣意的に設定された基準年(1990年)からの1つの吸収源の吸収量が増加しているからといって、最初の第1歩の意味しか持ち得ない当面の削減目標の達成努力を緩和すべきかど

⁶¹ [54]p271~272

⁶² [37]p51

⁶³ 同上

⁶⁴ 日本経済新聞 2000年5月1日

⁶⁵ [28]p207

うかを争っているのである⁶⁶。「吸収源は短期的には確かに削減目標の達成を助ける。しかし、森林は永久にCO₂吸収を続けるのではなく、長期的には吸収と排出が平衡するし、科学的な不確実性も大きい。過大に依存せず、温暖化の抑制はガスの排出削減でしか達成できないことを強調したい」⁶⁷ これは、COP6の議長を務めたオランダのヤン・プロンク環境相が、インタビューに答えて述べたものだが、正論である。

[小括]

本章までの結論は、結局のところ、エネルギー起源の二酸化炭素の排出削減⁶⁸が、温暖化対策の中心である、というものである。二酸化炭素の濃度や温暖化といった結果に対応するのではなく、主因である二酸化炭素の発生を抑制するという方向が対策の本道であることは理の当然である。原因である食べ過ぎをそのままにしてのダイエットは的外れであるのと同じである。

「何をわかりきったことを」と思われるのなら、大変結構である。しかし本当にそうか。例えば、日本の2010年に向けての温室効果ガス6%削減目標(対1990年比)の内訳は、エネルギー起源の二酸化炭素：±0%、メタン・一酸化二窒素などエネルギー起源以外の二酸化炭素：-0.5%、「革新的技術開発」・「国民各層の更なる努力」による二酸化炭素：-2.0%、HFC・PFC・SF₆：+2%、森林等の二酸化炭素吸収：-3.7%、排出量取引・共同実施・クリーン開発メカニズム：-1.8%となっている(地球温暖化対策大綱(1998年6月決定))。つまり、エネルギー起源の二酸化炭素排出量は1990年水準を維持する、ということである⁶⁹。

⁶⁶ 付言すれば、ある時点(例えば1990年)から以降の森林伐採を二酸化炭素の排出と見なし、植林等を吸収と見なして、必要削減率に加味するというやり方は、筆者には公平でないと思われる。なぜなら、森林が再生しつつある先進国は既に過去に大量の森林伐採を行ってきたのに対し、途上国は比較的近年(20世紀の後半)にそれを行っているからである。いわば、時期のずれに過ぎない。先進国の過去の伐採を不問に付しておいて、途上国の現在のそれを問題視するのは公平性の観点から問題なのではないか。「中緯度から高緯度地域では過去数世紀に渡り、また熱帯地域では20世紀の後半において、皆伐により膨大な量の炭素が放出されている」(2000年5月のIPCC吸収源特別報告書[政策決定者向け要約]p3)。

⁶⁷ 2000年9月7日朝日新聞

⁶⁸ セメント製造からも二酸化炭素が発生するが、大した量ではない(化石燃料使用からの二酸化炭素排出量の0.05%、1995年、オクリッジ研究所推計、[123]p37)

また、上述のとおり、COP6が決裂した大きな原因は、森林の二酸化炭素吸収量をどこまで認めるかについての対立であった⁷⁰。

主因をそのままにして他の対策（地球の反射率制御、人工的分離回収・処分、海洋や森林による吸収）に頼ることによって当面の苦境を脱出できたとしても、何らかの形で将来ツケが回ってくる可能性は高いように思われる。

くりかえせば、エネルギー起源の二酸化炭素の排出削減抜きの温暖化防止はあり得ない。念のためにいえば、化石燃料の消費が問題なのではなく、その過剰消費が問題なのである。当然ながら、この選択は化石燃料の枯渇問題の緩和に資する。

それでは、中心としての〈エネルギー起源の二酸化炭素の排出抑制策〉はどのようなものか。その検討は5.以下にまわし、次節では、二酸化炭素の排出量をどの程度のレベルに抑制すべきなのかを考えてみたい。それは、化石燃料の許容使用量の近似値となるはずである⁷¹。

4. 排出量の削減規模 長期目標の目算（要旨）

[許容排出量の水準]

- ・ 世界全体として、最終的に二酸化炭素の排出量をどのレベルに抑えるべきなのかという間に、一般的な解答を与えるのは困難ではない。炭素循環によって大気中から除去される水準以内に、ということになる。これを超えれば大気中濃度が上昇し、温暖化の進行が続くことになるから、最終的排出水準としては議論の対象になり得ない。既述のとおり⁷²、現在、排出量の約半分が大気中から除去されている⁷³。この数字が将来も一定だ

⁶⁹ [123]p75。「対策がなければ2010年のエネルギー起源の二酸化炭素は対1990年比で大きく増加しているはずだから、それを0%に抑えることは大変な努力だ」という主張があるが、余り説得的でない。まず、2010年の排出量見通しはいわば架空のものであること（例えば2050年の「自然体ケース」は対1990年比で大幅な排出増になっているはずだが、それを1990年水準に抑えるのは、画期的なことだ、となってしまう）、次に、基準年の1990年の排出量は許容量を大幅に超えており、本来目標値の基準たり得ないこと。2010年以降はどうするのか。

⁷⁰ 朝日新聞 2000年11月26日

⁷¹ 二酸化炭素の許容排出量の大部分は、化石燃料からの許容排出量になるはずという意味で。

⁷² 表4参照。

⁷³ 「1850年から1998年の間に、およそ270(±30)Gtの炭素が、化石燃料の燃焼とセメント生産によって二酸化炭素として排出された。約136(±55)Gtの炭素が土地利用変化、大部分は森林地帯からは排

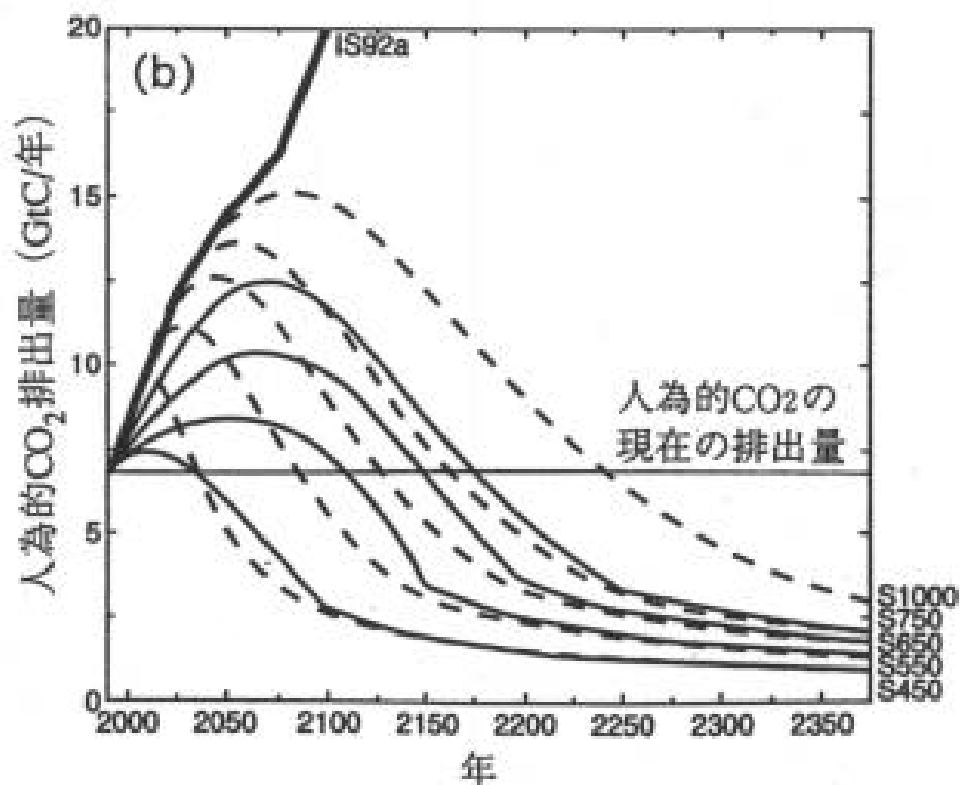
と仮定すると（今後大気中の二酸化炭素濃度が上昇を続けた場合もこれまでの吸収率が一定である保証はないが）最終的には、排出量を現在の半分以上に削減しなければならないということになる。これは自然科学の問題である。

- ・ IPCC は、二酸化炭素濃度をある一定の水準に安定化させるための許容排出量を試算している。試算は、安定化濃度が 450ppmv、550ppmv、650ppmv、750ppmv、1000ppmv の 5 つのケースについて行われている（次ページの図 1）。実線は IPCC の設定した排出経路に従った場合、破線は 2000 年までは IS2 a の排出に従った場合を表わす（1000ppmv ケースは破線のみ）。
- ・ 図 1 から 3 つのポイントを読み取るべきだろう。第 1 は、排出量の増加が予想される中で、逆に排出量を大幅に抑制・削減しなければならないということである。図中の IS92a は既述の「中庸排出シナリオ」であるが、この曲線と安定化シナリオの曲線群との乖離は著しい。第 2 は、どのような安定化レベルを目指すとしても最終的には排出量を現在の半分以上にする必要があるということである（このことは最終的に到達すべき排出水準の上限について上に述べたことと符合する）。第 3 に、早期の抑制・削減率が大きいほど達成される安定化濃度は低くなる。以上に加えて（図からは読み取れないが）第一次近似として最終的な濃度は累積排出量で決まる、という点は重要だろう。したがって、一定の濃度で安定化するには、早い時期に多く排出するとその後の排出は少なくしなければならない（逆に早期に多くの排出削減を行えば、後はその分楽になる）。後の 2 点を繰り返せば、早期の抑制・削減が大きいほど低い水準での安定化が可能になるし、同一水準を目指すにしても後が楽になる。逆に、対策を遅らせれば、高い安定化水準あるいはより急激な削減という形で、ツケが後へ回る構造になっている。
- ・ どのような水準の安定化濃度を目指すべきか、換言すれば、どのようなスピードで排出の抑制・削減をおこなうべきか。これは選択の問題であり、難問である。難問である理由の 1 つは、先述の影響の不確実性である。すなわち、各レベルの濃度の下で生じる影響がどの程度のものであるかが不明確であることが合意形成を困難にする。もう 1 つの理由は、各濃度とそれに対応する影響の組み合わせの中からどれを選択するかという決定には価値観が絡むという点である。温暖化の影響を受けるのは将来世代であるから、

出された。このことが大気中における 176 (± 10) Gt の二酸化炭素の増加につながっている」（2000 年 5 月の IPCC 吸収源特別報告書（政策決定者向け要約）p4）。Gt は十億トン。これらの数値から、排出の 43% が大気中に蓄積されたことになる。

安定化濃度の選択は現代世代が<世代間の公平性>をどのように考えるかに依存する。

図 1. 特定のレベルに濃度を安定化させる場合の排出量の経年変化



* 出所：[42]p24

- ・ 現代世代と将来世代の間の公平性をどう考えるべきか。様々な考え方が可能であろう。将来世代の価値観・選好や技術水準は分からないのだから、現代世代には将来世代を配慮する義務（将来配慮義務）があるとは必ずしもいえない、という主張も不可能ではない。また、現代世代が行う温暖化防止政策によって将来世代が受ける利益は、「割り引かれる」べきである、なぜなら、不確実な将来の利益は確実な現在の利益よりも低く評価されるべきであるし、将来世代は現代世代よりも経済的に豊かであろう（その保証はないが）から、という議論も成り立ち得る。

- ・ かししながら、現代世代を含むあらゆる世代が合意できる唯一の考え方は平等基準であろう。すなわち、将来の任意の世代は現代世代と同一の排出権を持つという考え方である。この考え方に従えば、持続可能な排出水準を超えた排出は公平性に反する。先行世代の過剰な排出によって後続世代が受ける被害は公平性に反する。したがって、できるだけ早期に排出の抑制・削減を図るべしということになる。できるだけ低い安定化濃度を目指すべきだということになる（それまでの過剰排出量は負の遺産とならざるを得ない）。

[許容排出量の配分]

- ・ 何らかの世代間の公平性の判断に基づいて、たとえば 2100 年における世界全体の排出量を特定の水準にしようという合意がなされたとしよう。それをどう配分するか。見通し得る将来における温暖化対策の遂行責任単位は国家であろうから、許容排出量は各国間に割り振られることになる。その際の排出権の配分基準をどうすべきか。
- ・ 二酸化炭素排出の現状の重要な特徴は大きな南北間格差の存在である。数字をみておこう。人為による排出の大部分を占めるエネルギー起源のものについてみると、先進国⁷⁴（人口 1298 百万人）の 3750 百万トン（炭素換算、以下同じ）に対して、途上国（人口 4341 百万人）は 2140 百万トンである（1995 年）。人口 1 人当たりでは、先進国 2.89 トンに対して、途上国 0.49 トンとなっている（同年）。ちなみに日本の排出量はそれぞれ、313 百万トン、2.50 トンであった⁷⁵。南北間の排出量格差がきわめて大きな現状では、許容排出量の各国への配分のあり方は、＜南北間の公平性＞をどう考えるかに大きく依存する。基本的な配分基準としては、実績基準と平等基準（1 人当たり平等な排出権）がある⁷⁶。前者は、現在の実績排出量を基準とするもので、たとえば 2100 年に世界の排出量を半減させる場合、各国は基準年（たとえば 1990 年）の排出量を半減させることになる。具体例としては、京都議定書（1997 年）における排出削減目標がある。後者は人口比に応じて許容排出量を配分するという考え方である。具体例としては、EU が COP3 に提出した削減案の国別内訳において、「民生部門では EU 全体では 2030 年には 90 年の 20 パーセントから 30 パーセント減らすという目標を設定し、その 2030 年の時点で、

⁷⁴ 北米・欧州・日本・オーストラリア・ニュージーランド

⁷⁵ [41]p207、209、218

⁷⁶ この 2 つ以外にも折衷的な配分基準が考えられるが（GDP 基準など）、ここで論じる余裕はない

『各国の1人当たりの排出量を同一にする』ことにした」⁷⁷という事例がある。

- どちらの配分基準が妥当であろうか。筆者の結論は人口基準である。人口基準にも様々なヴァリエーションがあるが⁷⁸、筆者が念頭に置いているのは、年間許容排出量を各時点の世界人口で除した値を1人あたり排出量とするというものである。長期的な配分原理として平等基準が妥当だと考える理由の第1は正当性である。実績基準はどう考えても「公平的」とはいえず、取組みへの最初の一步という以上の意味を持たないと思われる。これに対して、大気は究極の共有財産であり、二酸化炭素の排出という形態での大気の使用が経済発展にとって必需的であるという点で、平等基準は公平性の概念に合致している。平等基準は先進国に一方的に大きな負担を強いるものだという批判は妥当でない。なぜなら、今日の先進国の1人あたり排出水準は許容水準を大きく超えており、許容排出量を世界人口で割るという平等基準の採用は、途上国が「今日の先進国」になる道を閉ざしているという点では平等基準は途上国にとっても「苦い薬」だからである。それに、先進国の相対的に大きな負担は温暖化の被害の軽減という点で、長期的な自己利益にかなっていることを忘れるべきではない。
- 平等基準は公平であるだけではない。第2にそれは必要不可欠である。というのは、途上国の有効な参加がなければ温暖化問題の解決はあり得ず、そのためには、(途中経過としては駆け引きの要素があるにせよ) 結局のところ、平等基準以外の基準はないと考えるからである。「富める国がどのようにドラスティックな方法をとっても、彼らだけで来世紀にかけ気候変動を制御することは不可能である」⁷⁹。
- 第3は目的合理性である。平等基準は世界の二酸化炭素排出量の大幅な削減という目標の実現にとって合理的である。平等基準の実現までの過程においては(そして実現した後も部分的には) 途上国から先進国への排出権の移動が発生する。その見返りに先進国から途上国へ資金が流れる。途上国は「販売」可能排出権を増加させようとするインセンティブを持ち、先進国は「購入」必要排出権を減少させようとするインセンティブを持つから、全体の排出削減は促進される。平等基準は、人口を増加させようというインセンティブを持つとの指摘があるが、ありそうにない事態である⁸⁰。

⁷⁷ [30]p140

⁷⁸ 例えば、一定期間の許容排出量をその間の累積人口で割るという考え方があ

⁷⁹ [28]p77

⁸⁰ 人口を増やしても1人当たりの排出権は不変であるし、結果としての世界人口の増加は1人当たりの割当量を減少させるのは明らかである。それに、これまでの先進国の経験では、政策によって人口

- ・ 平等基準は非現実的だろうか。平等基準から大きく乖離している現状からは、短期的には、現実の姿に近い実績主義が現実的で平等基準が非現実的であると見えるだろう。しかし長期的にはむしろ、実績主義が非現実的で平等基準が現実的になるとみるのが妥当と思われる。実績基準の現実から < 平等基準への漸進 > が唯一の現実的な道だと思われる。

[長期目標の目算 (日本の場合)]

- ・ 温暖化対策のような長期間にわたる政策の実施にあたっては、いつまでにどの程度の排出削減を実現するかという長期目標の設定が不可欠である。目標達成の重大性 (やり直しはきかない)、実現すべき目標の困難性、政策の一貫性の確保、新しい状況へのスムーズな適応などを考えればこれは自明である。いうまでもなくこの長期目標は、究極的な目標 (いつまでにどの程度の安定化濃度を達成するか) と連動したものでなければならぬ。また、長期目標は追求途上で修正可能である。自然科学的知見の進展、温暖化対策における画期的な技術革新の実現、政策効果の予測外の顕在化などの大きな事情の変更があった場合には、目標を修正するか、達成時期を変更することは可能であるし、目標・達成時期を変更せず政策の強度を変更するという選択も当然あり得る。
- ・ これまでの議論の結論である《世代間および世代内における 1 人あたり平等な排出権》という基準を適用した場合どうなるか。2100 年における目標を考えてみよう。もちろん以下は、長期目標に目処を付けようとする一つの試みに過ぎない。
- ・ 図 1 から、それぞれの安定化ケースにおける 2100 年の排出量を読み取ると、2100 年の許容排出量は、安定化濃度に応じて 25 億トン ~ 150 億トンである。2100 年に人口あたり排出量の均等化を実現するとし、2100 年の世界人口に 113 億人という数字 (I S 92 a における世界人口) を使うと、世界人口 1 人あたりの許容排出量は、0.22 ~ 1.33 トンとなる。
- ・ 日本の場合はどうか。日本の二酸化炭素排出量の大部分はエネルギー使用によるものであるから⁸¹、大まかに言って、現在の 1 人あたり排出量 (2.50 トン) を 8.8 ~ 53% に縮小

を増加させることはきわめて困難である。また、人口増へのインセンティブを削ぐために、割り当て対象人口を一定年齢以上に限るといった対応も可能であろう。

⁸¹ 1997 年度で 91.7% がエネルギー関連 (環境庁 『平成 9 年版環境白書』 p62)

しなければならない。日本の人口は減少すると見込まれるので⁸²、日本全体ではその分さらに削減する必要がある。産業革命前のほぼ倍の 550 p p m v あるいは現在のほぼ倍の 750 p p m v だとすると、2100 年の 1 人当たり排出量はそれぞれ 0.64 トンと 1.03 トンとなる。したがって、日本は現在の水準から人口あたり 26%あるいは 41%に縮小しなくてはならない。

- ・ もちろんここでの長期目標は最終目標ではない。繰り返しになるが、いかなる安定化濃度を選択するにしても、最終的に到達すべき許容排出量は世界全体で現在の約半分以下である。それを 3.5 億トンと仮定し、世界人口が 113 億人で定常人口に達すると仮定すると、1 人当たりの許容量は 0.31 トン (35 億トン / 113 億人) となり、日本は現在の 2.50 トンから 12%に縮小しなければならない。
- ・ なぜ安定化濃度が 1000ppmv あるいはそれ以上であってはいけないのかという主張に対しては、影響の深刻性、不確実性、超長期性 (不可逆性) という事実、世代間の公平性など、既に述べた議論を繰り返すほかはない。付言すれば、日本の代表的な自然科学者グループが提出した報告書が、550ppmv でも危険でないとはいえないとしていることは注目される⁸³。
- ・ 要約すると、日本のような先進国は、化石燃料の自国での使用を大幅に削減する必要がある、ということである。他国からの排出権購入などの「柔軟性措置」は、一時的かつ補助的なものでなければならない (最終的な到達点が 1 人あたり平等な排出権であればこうなる)。

5. 原子力と化石燃料の低炭素化

エネルギー起源の二酸化炭素排出量を削減するためには、下式右辺の 3 要因のどれかを減少させる必要がある (E_1 : 投入エネルギー、 E_2 : 利用エネルギー)。第 1 項は、エネルギー供給側の問題であり、第 2 項と第 3 項はエネルギー需要に関する。

$$CO_2 = [CO_2 / E_1] \times [E_1 / E_2] \times [E_2 / GNP]$$

第 1 項を減少させるためにはどうすればよいか 次の 3 つが考えられる。すなわち、原

⁸² 2100 年の推計人口は 6737 百万人である (中位推計。国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口」)。

⁸³ [9]p176 ~ 177

子力の利用(軽水炉・高速増殖炉・核融合)、化石燃料の低炭素化(石炭 石油 天然ガス)、再生可能エネルギーの利用(太陽光・太陽熱・風力等)である。本節では、最初の2つを検討する。

ここで、言葉の定義をしておこう。 $[CO_2/E_1]$ の低減を「代替エネルギー(代替エネ)」、 $[E_1/E_2]$ の低減を「省エネルギー(省エネ)」、 $[E_2]$ の低減を「広義の節エネルギー(広義の節エネ)」と呼ぼう。 E_2 は、「 $[E_2/GNP] \times [GNP/人口] \times 人口$ 」に分解できるが、このうち「 $[E_2/GNP]$ 」の減少を「狭義の節エネルギー(狭義の節エネ)」と呼ぶことにしよう。

(1) 原子力発電(要旨)

- ・ 原子力発電(以下、原発)はエネルギー供給に既に一定の地歩を占めている。さらに、原発の推進は、日本のエネルギー政策と温暖化対策の主柱の1つとなっている⁸⁴。しかしながら、原発反対の声も大きい。原発推進の是非は、温暖化防止政策を論ずる際に避けて通れないテーマである。2回にわたって取り上げた所以である(『CELレポート』第5号・6号参照)。
- ・ 原発推進派は、二酸化炭素を排出しない原発の推進によって温暖化の進行を抑制するとともに、エネルギー供給の確保と化石燃料の資源制約の緩和を目指す。長期的には増殖炉時代の実現により、ウランの資源制約の克服を展望する。
- ・ 反対派は、温暖化対策としての原発の限界、他の温暖化対策との矛盾、原発自体の問題性を指摘する。このうち、最初の2つは、温暖化対策としての原発の部分否定であり、結局「温暖化対策としての原発という選択」の妥当性は、原発自体の是非に帰着する。
- ・ 原発論争の中心的テーマの1つは安全性に関するものであるが、なかでも原発事故をどう見るかが大きな争点である。原発事故の潜在的危険性はこれまでの多くの被害想定(推進側のそれを含む)から明らかである。焦点は大きな被害を及ぼすような巨事故が起こるかどうかである。
- ・ 「原発は安全である」とする推進派は、その主な根拠として、多重防護の考え方に基づく各種の安全対策、これまでの安全運転の実績、巨事故の発生確率は無視し得るほど小さいことを挙げる。「危険である」とする反対派の主な論拠は、多重防護の絶対的有効性に対する疑問、外的要因による事故の可能性、技術の巨大性に基づく危険性、確率

⁸⁴ 「長期エネルギー需給見通し」(1998年)[6]p5 および「地球温暖化対策推進大綱」(1998年)[122]p76 参照。

論的安全評価への懐疑などである。TMIとチェルノブイリの2大事故についても、推進派は「日本では起こり得ない」とするが、当然反対派は同意しない。

- ・ 筆者は、巨大大事故は起こり得るという前提に立つべきだと考える。その場合、原発のリスクとメリットのバランス論と、リスク回避論の2つの態度が考えられるが、後者も十分に合理的な態度というべきであろう。
- ・ 日本は、高速増殖炉による核燃料サイクルの実現を過去一貫して追求してきた。それが実現すれば、日本のエネルギーセキュリティが飛躍的に向上するのみならず、人類はエネルギー資源や地球環境の制約から脱却できるというのが推進理由である。
- ・ 核燃料サイクル政策に対する反対派は、その理由として、再処理工場や高速増殖炉の危険性、プルトニウム問題、高速増殖炉実用化の技術的・経済的困難性、欧米諸国の核燃料サイクルからの撤退などを挙げている。
- ・ 核燃料サイクル全体の意味は高速増殖炉の実用化の成否にかかっているが、その実用化の可能性に大きな疑問が提出されている現在、合意可能な差し当たっての施策の要点は次のようなものだと考える。すなわち、現段階での実現可能性の見極めと他のサイクル政策の凍結、見極め後の（一定条件下での）高速増殖炉への努力の集中とスケジュール管理の厳格化。
- ・ 高速増殖炉の実用化が可能だとしても、時期の明示も難しいずっと将来のことであろう。また、高速増殖炉の実用化は、ウランの資源制約を大幅に緩和するものの、安全性や廃棄物など現在の原発が抱える諸問題はそのまま残る。
- ・ 数万年以上にわたる隔離を必要する高レベル放射性廃棄物問題は、原発の最難問の1つである。高レベル放射性廃棄物を数百～千m地下の地層岩盤中に埋めてしまおうという地層処分が日本を含む多くの国の考え方であるが、地層処分の信頼性については専門家の間にも大きな見解の相違がある。課題の困難性、失敗時の被害の性格、世代間の公平性といった問題の性質を考慮すると十分に慎重な態度をとるべきだろう。具体的には、大方の納得が得られるまでは人間の管理下に置くべきであろう。これは処分の棚上げである。棚上げ期間は長期に及ぶ可能性がある。
- ・ 通産省試算の電源別発電原価によると原子力はLNGや石油とほぼ同等であるが、この数字によって原発の経済性を判断するのは早計に過ぎる。利用率・耐用年数・燃料価格の設定、送電コストや税金の投入、立地難・規制強化によるコストアップ、高レベル放射性廃棄物の扱いなど多くの考慮すべき要因があるからである。原発の経済性を短期的な視点で判断すべきでないとの推進側の主張は正しい。しかし、長期かつ広範囲を考慮すればするほど原発は経済的でなくなると思われる。

- ・ 「(a) 二酸化炭素の排出を抑制し、(b) 化石燃料の資源制約を緩和しつつ、(c) 増大するエネルギー需要を賄うためには、(d) 太陽光等の再生可能エネルギーの大規模な導入が期待できない近い将来においては、原発に期待するしかない」という原発不可論をどう考えるか。これへの反論として、原発自体の問題性を指摘するだけでは不十分である。
- ・ 原発不可結論の是非は、結局のところ、代替エネ ($[CO_2/E_1]$)、省エネ ($[E_1/E_2]$)、節エネ ($[E_2]$) の可能性をどう見るかに帰着する(化石燃料の使用にとっては環境制約の方が資源制約よりもタイトであるから(b)は除外してよい) <これは次回のテーマである>。
- ・ 「原発という選択」はとりあえずの最も安易な選択である。なぜなら、温暖化への本格的な取り組みは従来の経済社会のあり方に大きな変更を迫ると思われるが、必要な事態への適応は、これまで潤沢なエネルギーを享受してきた社会にとっては容易な課題ではないだろうからである。原発は差し当たりそうした困難を回避・緩和してくれるという意味で当面の苦痛の最も少ない選択だろう。しかしそれは真に有効な取り組みを遅らせてしまう。かつ、それ自身に大きな問題を抱えている or 先送りしている。「原発という選択」は未来への展望を欠いていると考える。繰り返せば、原発という選択は、とりあえずの最も安易な選択であるが、長期的展望を欠いている。

(2) 核融合

[開発の現状]

核融合炉の研究は 1950 年代に始まる⁸⁵。当初は、水の中に無限に存在する重水素(デュテリウム D)と重水素を反応させる方式(DD反応)が想定されていたが、技術的にきわめて困難であるため、比較的容易な重水素と三重水素(トリチウム T)⁸⁶の間の核融合(DT反応)が現在研究の中心となっている。

核融合反応を起こすためには、物質の温度を上げて原子核と電子がバラバラのになった状態(プラズマ)を実現することが前提となる。現在、外部からの入力エネルギーと核融合による出力エネルギーが等しい「臨界プラズマ条件」が秒単位で達成できた(1996年)段階にある⁸⁷。次のステップとして、ITER(国際熱核融合実験炉 International

⁸⁵ 平凡社大百科事典第3巻 p177。

⁸⁶ 陽子1個と中性子2個で構成される水素の同位体。

⁸⁷ 日本原子力研究所で「...1996年秋、ついに閉じ込め時間1秒、温度 10^8 K以上、電子密度 $1 \times 10^{20} / m^3$

Thermonuclear Experimental Reactor イータ)計画が、日本、アメリカ、ロシア、EUの共同で進められようとしている(2014年運転開始予定)⁸⁸。これは、核融合による出力エネルギーが外部入力エネルギーを大きく上回る「自己点火条件」を時間単位で持続させることを目的とした装置であり、現在設計中である。他方、日本の核融合科学研究所では、時間単位の持続的な運転を目指した別のタイプの核融合炉が稼働を開始している(臨界条件未達)⁸⁹。これらは、「実験炉」と呼ばれる段階のもので発電は行わない。実験炉の次のステップとして、発電を行う「原型炉」が建設され、ついで経済性等を確認する「実証炉」の段階を経て、実用化となる⁹⁰。

[実用化の見通し]

1950年代には、核融合はずっと早く実現するものと考えられていた。1958年の第2回原子力平和利用国際会議の議長を務めたインドのH. J. バーバ博士は、20年以内に実現すると予言した⁹¹。「1950年代後半には“人類が月面に立つのが先か、地上に太陽が実現するのが先か”とよくいわれていたものである。人間の月面到達は1960年代の終わりに実現したものの、核融合をエネルギー源として用いる計画は、半世紀たった現在でもその明確な見通しが立っていない」⁹²。

核融合炉はいつ頃実用化できるのか。そもそも実用化が可能かどうかということ自体を疑問視する意見も少なくない。筆者が見た限りではあまり楽観的な見通し見当たらなかった。以下、いくつかの意見を挙げておこう。「『30年後に実証炉を建設する』という計画が30年以上も前からいまだに続いていることを考えても、21世紀のエネルギーとして核融合を想定することは無理であろう」(東京大学教授・小宮山宏)⁹³。「核融合に至っては、

の重水素プラズマを実現した。これを重水素と三重水素の混合によるDTプラズマに置き換えると、外部加熱入力と核融合反応で発生する出力がちょうど釣り合うエネルギー増倍率 Q (出力/入力)=1の臨界プラズマ条件を実現したことになる」[139]p1054

⁸⁸ アメリカは1998年撤退決定。

⁸⁹ ITERはトマカク型、核融合科学研究所のものはヘリカル型と呼ばれるタイプ。

⁹⁰ 以上は、[82]p100~104、[139]、本島修・井上徳之「核融合実験装置LHD」(ニュートン1999年2月号)等を参考にした。

⁹¹ 『イミダス1999』(集英社1999)p869

⁹² [139]p1054

⁹³ [127]p133~134

その実用化の可能性はかなり低く、期待すべきでないのかもしれない」(近畿大学助教授・青山政利)⁹⁴。「太陽で起きている核融合反応を人工的に起こしてエネルギーを得る核融合炉の研究が進んでいるが、まだ反応を制御するどころか持続的に起こすことすら難しい段階である」(東京大学教授・柴橋博資)⁹⁵。「原子力については核融合という夢の技術はあるが、近い将来実用化するとは思えない。」(成蹊大学教授・小島紀徳)⁹⁶。「もちろん合理的な予算範囲内の話であるが、科学研究であれば、何に使えるかわかっていなくても許される。しかし、ITERは実用的なエネルギー源を目指す研究開発の1ステップである。先の見えない1ステップにかかる金額としては大きすぎるのではないか？」(原子力未来研究会)⁹⁷(傍点引用者)。「このエネルギー利用は、まだ、実験段階であり、今後、実用化に至るまでには少なくとも50年はかかるのではないかと考える学者も少なくない」「当面の目標であった臨界プラズマの生成と制御は達成された。しかし、核燃料の点火および定常実験、非常に強い中性子照射による材料の性能劣化、プラズマを閉じ込めるための超伝導材料をはじめ建設に必要な量と性能を有する材料の調達、発電コストといった極めて大きな課題がある」(北海道大学助教授・佐藤正知、エネルギー総合工学研究所・蛭沢重信)⁹⁸。「課題は多いが、核融合炉実用化への道筋がみえてきた段階だといえる」(核融合科学研究所教授・本島修、同助手・井上徳之)⁹⁹。「今では、どんなに楽観的な研究者も、経済的に存立しうる核融合炉を建造するには少なくとも50年はかかると予測している。現実主義者は、核融合エネルギーの夢は、おそらく決して実現しないだろうと認める。技術的、経済的、政治的障害が、乗り越えられないほど大きいのだ」(アメリカの科学ジャーナリスト・ジョン・ホーガン)¹⁰⁰。「あと何年で実験炉による成果が得られ、その後何年で原型炉ができるといった目標を立てることは困難で、たとえそれを立ててもこれまでの経過で明らかのように、それが“逃げ水”のように遠ざかっていくことは大いにありうると思われる」「ITER計画には基礎科学推進にとって一定の意義が認められるものの、実用のための科学研究であることを強調することは、大きな誤解を与えることになる。したがって、ITER計画推進の是非に

⁹⁴ [128]p186

⁹⁵ 日本経済新聞 2000年6月25日

⁹⁶ [22]p95

⁹⁷ [81]p173

⁹⁸ [82]p101、p103

⁹⁹ 本島修・井上徳之「核融合実験装置LHD」(ニュートン 1999年2月号)

¹⁰⁰ 『イミダス 2001』(集英社 2000)p30

については...広い意味での基礎科学の範ちゅうで論ずべきであると考える」(福井工業大学・政池明)¹⁰¹(傍点引用者)。なお、最後に引用した政池明論文にある核融合開発の年表では、「～2030年：原型炉建設開始」「～2050年：実用化のための判断」となっている。

注意すべきは、仮に実用化が可能だとしても温暖化防止策として間に合うかどうかという問題がある。2050年に実現したのではおそらく手遅れだろう。そこからさらに普及に時間がかかる。図1の曲線を眺めているとそれでは間に合わないであろう。

[問題点]

実用化の可能性、その技術的困難もさることながら、核融合には様々な問題が指摘されている。簡単に触れておこう。

第1はトリチウム(三重水素)の危険性である。核融合炉の燃料であるトリチウムは揮発性の放射性物質である(半減期12年)。トリチウムは科学的には水素であり、金属壁を透過しやすい。トリチウムが環境中に放出されれば、水を構成する水素と容易に入れ替わる。この水が体内に入ると排出されにくく内部被爆が大きな問題となる。

第2は資源的制性である。重水素に容易に入手できるのに対して、トリチウムは自然にはほとんど存在しない。トリチウムはリチウムに中性子を当て生産されるが、リチウムの賦存量は限られており、かつジンバブエやアメリカに偏在している。核融合炉に必要なニオブやヘリウムも同様である。リチウムは海水にも豊富に存在するという指摘があるが¹⁰²、塩分を分離するのに多大のエネルギーが必要で割に合わないという反論がある。どちらが正しいのは筆者には判断できない¹⁰³。また「ITERでは開発試験を行うだけであるが、それ以降の発電炉では中性子増殖ブランケットで増殖比1.2のトリチウム生産がおこなわれる計画である」とのことである。それが実現すれば、トリチウムの資源制約性はなくなるわけだが、その技術的困難性と実現可能性についても同様に判断できない。

第3は、炉の放射化による脆弱化と放射性廃棄物の問題である。炉壁が大量の中性子に晒されて放射化し脆弱化するので、大量の放射性廃棄物(低レベル放射性廃棄物)が発生する¹⁰⁴。放射化しにくい材料の開発大きな課題となっている。「核融合の実用化の向けてのこれ

¹⁰¹ [139]p1059

¹⁰² 例えば、本島修・井上徳之前掲論文 p98

¹⁰³ 資源的制約については[74]p11～12、96～98による。(リチウムの)「埋蔵量はエネルギー資源として、ウランと同程度といわれている」p97。

¹⁰⁴ 同規模の核分裂炉の約2.5倍の低レベル放射性廃棄物が発生するとの試算がある[139]p1061。cf.「約

からの最大の難関の1つは、耐熱・耐放射線性のよい材料の開発である」¹⁰⁵。

第4は、大事故の可能性である。「トマカク炉では部分的に反応が進行し、制御できなくなる可能性がある。その場合、暴走して炉心溶融を引き起こすが、数千 m³ の真空槽の爆発は、1億キュリーのトリチウムの放出を意味する」¹⁰⁶。これと反対の意見もある 「核融合炉においては、炉心プラズマの内部加熱が何らかの原因で増大しても、壁等からの不純物混入が増大するなどの冷却効果が自然に働き熱暴走は起きない」¹⁰⁷。

[まとめ]

核融合はまだ実験の段階である。いつ頃実用化できるのか。そもそも実用化が可能かどうか不明である。実用化したとしても、いくつもの問題を抱えた技術である 「しかし核融合には、核分裂と同じくらい大きな政治上、環境上の不安がある。中性子の永久的で巨大な流れは、考えられる炉壁材料のすべてを放射性同位元素に変えてしまうし、水素と置き換わって生体組織の水素の代わりに容易に入り込む半減期12年のトリチウムの大量貯蔵は悪夢でしかない。しかもテロリストや軍事的悪用などのまだ評価されていない危険は、世界的規模でのエネルギー供給に寄与する核融合に対するいかなる性急な信頼にもわたしが警告を発する十分な根拠である」(E.U.フォン・ワイツェッカー)¹⁰⁸。

(3) 化石燃料の構成変更(低炭素化)

よく知られているように、同量のエネルギーを得る際に発生する二酸化炭素の量は、石炭、石油、天然ガスの順に少ない。したがって、石炭や石油を天然ガスに換えれば、二酸化炭素排出量を削減できる。すなわち、化石燃料の天然ガス化は温暖化防止政策となり得る。しかしながら、この政策の温暖化防止への寄与は一時的・限定的なものでしかなく、抜本策足り得ないことを確認しておく必要がある。その理由としてよく指摘されるのは、二酸化炭素の排出削減効果の限定性、天然ガスの資源制約の2つである。それ以外に、公平性の観念に抵触する可能性、が考えられる。順次検討しておこう。

10倍」という数字もある[74]p103。

¹⁰⁵ [139]p1060

¹⁰⁶ [74]p103

¹⁰⁷ 平凡社大百科事典第3巻 p179。

¹⁰⁸ [36]p77～78

[二酸化炭素削減効果]

10¹⁰kcal の熱量を発生させるための燃焼から放出される二酸化炭素は、石炭 1032 トン、原油 781 トン、天然ガス 564 トン(炭素換算)である¹⁰⁹。すなわち、天然ガスは石炭の 5.5%、原油の 7.2%のしか二酸化炭素を排出しない。しかし逆にいえばなおこれだけの二酸化炭素を排出する。

日本の 1 次エネルギー供給の構成は、石油 52.4%、石炭 16.4%、天然ガス 12.3% (化石燃料計 81.1%)、原子力 13.7%、水力・地熱 3.9%、新エネ等 1.3%である (1998 年)。これらの数字を使って、日本ですべての石油・石炭を天然ガスで代替した場合の二酸化炭素削減効果を計算すると、削減率は 22%、天然ガス使用量は 6.6 倍となる¹¹⁰。

世界全体ではどうか。世界の 1 次エネルギー消費の構成は、石油 40.0%、石炭 26.2%、天然ガス 23.8% (化石燃料計 90.0%)、原子力 7.4%、水力 2.6%である (1998 年、B P 統計)¹¹¹。上と同じ二酸化炭素排出原単位を使って計算すると、削減率は 23%、天然ガス使用量は 3.8 倍となる。

世界の数字で話を進めよう。4. で述べたように、最終的な二酸化炭素の許容排出量は現在の半分以下だと見られている。したがって第 1 に、削減率 23%ではまだまだ不足している。第 2 に、石油と石炭の天然ガスによる代替が直ちに実現したとしても、需要が 2.3%増えれば排出量は現在と変わらないことになる。それ以降の需要増はそのまま二酸化炭素の排出増となる¹¹²。この意味で、天然ガス代替は 1 回だけ使用可能な手段である。因みに、I E A による世界の 1 次エネルギー需要見通し (1998 年)によれば、化石燃料の消費は 1995 年 7481 百万トン (石油換算) が 2020 年には 12679 百万トになるとされている¹¹³。増加率 69%である。

もう 1 つ指摘しなければならないことは、いまの議論で使った二酸化炭素排出原単位は燃焼時のものであるが、生産から燃焼までのすべての過程における排出を考えると、天然ガス代替による削減効果はかなり縮小することである。表 6. はその試算例である。これによる

¹⁰⁹ 少し異なった別の数字があるが、ここでは環境庁の数字を使った[6]p146、[17]p93。Cf.[18]p98~99。
[121]p497

¹¹⁰ 削減率： $52.4\% \times 564/781 + 16.4\% \times 564/1032 = 46.8\%$ 。 $52.4 + 16.4 = 68.8$ 。
 $68.8 - 46.8 = 22.0\%$ 。天然ガス使用量： $81.1 \div 12.3 = 6.6$ 。

¹¹¹ [98]p212

¹¹² 世界の 1 次エネルギー消費における化石燃料の構成比が変わらないと仮定している。

¹¹³ 『平成 11 年度版総合エネルギー統計』 p392

と、天然ガスは石炭の64%、石油の83%となり、上述の対石炭55%、対石油72%という数字よりも格差が縮小する。

表6.化石燃料の二酸化炭素排出量

	石炭	石油	天然ガス
生産（精製・液化含む）	0.79	4.61	10.02
輸送・その他	2.13	1.25	2.26
メタン漏れ	4.39	0.03	1.10
燃焼	101.07	78.01	56.39
合計	108.38	83.90	69.77

*総発熱量1000kcalあたりの炭素換算グラム。「メタン漏れ」が二酸化炭素換算で含まれている。対象は1997年度に日本で消費されたもの。日本エネルギー経済研究所による。出所：朝日新聞1999年9月21日夕刊。

[資源制約]

天然ガスによる代替が限定的である第2の理由は、天然ガスの賦存量が限られていることである。周知のとおり、天然ガスの可採年数（1998年末確認可採埋蔵量 / 1998年生産量）は63年程度である（1998年末）¹¹⁴。いうまでもなく、生産量が2倍になれば可採年数は半分になる。

未発見の天然ガスを含めればどうなるか。藤田和男によれば、地球上の天然ガスの究極資源量は12000兆cf程度が妥当な見方とされている。藤田和男ら石鉱連の資源評価ワーキンググループによる推計（1997年）は表7.のとおりである¹¹⁵。これをみてもそれほど大きな資源量とはいえない¹¹⁶。

表7.天然ガスの資源量

(a) 既発見可採鉱量	7658.6 兆 cf
(b) 生産量累計	2513.5

¹¹⁴ 石油41年、石炭212年。出所：『平成11年度版総合エネルギー統計』p390

¹¹⁵ [140]

¹¹⁶ H-H.Rongerによる推計(1997)では、追加的埋蔵量を加えた資源量は3940億トン(石油換算)[29]p191付表2、すなわち15366兆cfである(石油1億トン=3.9兆で計算)。この数字を藤田等による生産量で割ると、144年となる。

(c) 残存確認可採鉱量	5145.2	
(d) 未発見回収潜在量	3982.4	
(e) 究極可採資源量	11641.0	(b) + (c) + (d)
(f) 残存可採資源量	9127.6	(c) + (d)
(g) 1998年生産量	106.6	
(h) 可採年数	86年	

* 生産量には非商業生産を含む。出所：[140]表4より作成。

以上の「在来型」と呼ばれる天然ガス以外に、「非在来型天然ガス」と総称されるものがある。周知のメタンハイドレートはここに含まれる。「もしも低温深層の掘削技術とハイドレートの採取方法が研究開発されれば、その資源量は世界の陸域で500兆cf、海域で8750~17000兆cfと、在来ガスを超える大規模なガス資源量となろうとわが国の地質調査所は推定している」¹¹⁷。これが実用化されれば、温暖化対策としての天然ガスによる代替の1つの制約条件は大幅に緩和される。しかし今の引用にもあるとおり、少なくとも現在のところは「もしも」であるに過ぎない。加えて、メタンハイドレートの利用が環境に悪影響をもたらす可能性を危惧する声も多い。海底のメタンが一気に噴出すシャンパン現象の可能性¹¹⁸、大量のメタン放出による温暖化の加速、生態系への影響、海底地すべりや津波のおそれなどが指摘されている¹¹⁹。メタンハイドレートとは別に、膨大な量の地球深層ガスが存在するという仮説もあるが、依然として仮説の段階にとどまっている¹²⁰。

メタンハイドレートや地球深層ガスに対してどういう態度をとるべきだろうか。筆者は、温暖化問題を一挙に解消する画期的技術革新の実現に対する態度と同じ態度で望むのが妥当だと考える。それは、<可能性としては追求するが当てにはしない>というものである¹²¹。

天然ガスの資源制約と関連するが、天然ガスによる代替政策が、天然ガス枯渇後に石油・石炭による逆代替を結果するのであれば、総量としての(例えば100年間での)二酸化炭素排出量は変わらないという指摘がある。この場合、大気中濃度が高いほど海の吸収量が高いと

¹¹⁷ [140]p59

¹¹⁸ カリブ海の「パーミューダ謎のトライアングル」海域での事故の原因は、メタンのシャンパン現象である可能性が高い、という[21]p140~140.

¹¹⁹ [127]p157~158、[122]p211、日本経済新聞2000年2月13日。

¹²⁰ [21]p48、[140]p59。

¹²¹ 小宮山宏は「期待はしても前提としない」と書いている[127]p157。

すると「天然ガスを先に作用すると、石炭を先に使用するより、100年後の大気中のCO₂濃度は高くなる」¹²²、つまり逆効果だというのである。

[公平性]

石油・石炭を天然ガスによって代替する温暖化防止策は、南北間および世代間の公平性に抵触すると非難される可能性もある。

表8. 先進国・途上国別の1次エネルギー消費および天然ガス消費(1997年)

	1次エネルギー消費	天然ガス消費
先進国	5745(67)	1484(78)
途上国	2875(33)	427(22)
世界計	8620(100)	1911(100)

* 単位：石油換算百万トン(%)。先進国：北米・欧州・日本・オーストラリア、ニュージーランド。

出所：日本エネルギー経済研究所編『エネルギー・経済統計要覧2000』((財)省エネルギーセンター 2000)p191、194、189より作成。

表8.は、世界の1次エネルギー消費と天然ガス消費を先進国と途上国に分けたものである。天然ガス消費の南北格差は1次エネルギー消費のそれよりも大きい。この状態でさらに、先進国が二酸化炭素削減政策として天然ガス化に走れば、公平ではないという批判が当然予想されよう。なぜなら、二酸化炭素の許容排出量を一定とすれば、天然ガスを使う国のほうが石油や石炭を利用する国よりもより多くのエネルギーを使用できるからである。また、二酸化炭素排出以外の面で天然ガスが「クリーンな」エネルギーであることに関しても同様の主張が可能である。「化石燃料の中でいえば、扱いにくい石炭こそ、技術力をもつ、そして、経済力を有する国が『ちゃんと』、『効率よく、環境汚染物質を出さないように』使うべきである。…資本力のある先進国がこのように安易な二酸化炭素低減策をとるよりも、このような資源をむしろ技術面での発展途上の国にまわし、先進国は二酸化炭素対策技術あるいは新エネルギー開発に努力するべきともいえよう」¹²³。

また、現在世代が、地球環境の面で比較的良質な化石燃料である天然ガスを優先的に使ってしまうのは、世代間の公平性の観念に抵触するおそれがある。

¹²² [22]p87～88、p217.

¹²³ [22]p89

まとめておこう¹²⁴。現行の原発（大部分は軽水炉）は、それ自体に多くの問題を抱えている。高速増殖炉は実用化時期が不明であるし、実用化を疑問視する声も強い。実用化しても原発の抱える多くの問題点を免れない。核融合の実用化の可能性はさらに曖昧である。化石燃料の構成変更(低炭素化)は一定の有効性を有するものの、その効果は限定的・一時的で抜本策足り得ない。

結局のところ,再生可能エネ・省エネ ($[E_1 / E_2]$ の低減)・節エネ ($[E_2 / GNP]$ の低減) の3つが残る。これが次回以降のテーマである。

[本稿は筆者個人の見解に基づく]

¹²⁴化石燃料の低炭素化政策についての諸見解を引用しておこう。

「化石燃料の中では、天然ガスが最も CO₂ 発生量が少なく...したがって、適切な範囲内での天然ガスの導入が望まれており...」(平成9年版環境白書) [17]p93 (傍点引用者)

「資源量の問題、石炭と比べて半分とはいっても大量のCO₂ を発生するという事実、この2点から長期的な解決にはならない。しかし、CO₂ 問題は、解決の困難さと比べて許される時間が短すぎる。少しでも時間が延ばせるとしたら、それは大いに価値がある」「化石資源の天然ガスへのシフトは、本格的な対策技術導入までの時間稼ぎという意味で、無視はできない」(東京大学教授・小宮山宏) [21]p49、p153。

「低炭素燃料への転換は、人類の浅はかな対応策であると知るべきである」「化石燃料間での競争は無意味である」(成蹊大学教授・小島紀徳) [22]p88 ~ 89。

「また天然ガスの場合、石炭に比べて埋蔵量が少なく、現在の消費量でも65年分しか埋蔵量がないのだから、消費量が増加すると非常に短期間に枯渇しまう可能性がある。だから地球にやさしいからといって、主要なエネルギー資源を天然ガスにするというのは、資源の分布や埋蔵量から考えて、かんたんにできるものではない」(東京大学教授兼ハーバード大学教授) [23]p74 ~ 75。

「天然ガスは、石油と同様に資源制約が強いため、需要が拡大すると供給上の問題がたちまち顕在化する恐れがある。天然ガス転換は、短期間の補助的な対策としての役割を果たしえるが、地球規模の持続的な対策としては多くは期待できない。資源は世代間にわたる、共有財産であり化石燃料は将来の世代のために温存すべき資源である」(日本エネルギー経済研究所・伊藤浩吉) [54]p174。

「その結果として新たに大量の資源消費を招くために資源量の見通しが不明確であること、また生産が偏在して天然ガスなどはその輸送に技術とコスト、エネルギー消費を伴うなどの問題も指摘される。特に賦存量のきわめて大きな石炭から天然ガスに切り替えるという方法は資源量の点から最終的な解決策としては期待しにくい」(東京大学教授・石谷久) [130]p108。

[参考文献]

- [06]通産省 『21世紀、地球環境時代のエネルギー戦略』(通商産業調査会出版部 1998)
- [09]佐和隆光 『地球温暖化を防ぐ』(岩波新書 1997)
- [17]環境庁 『平成9年版環境白書 総説』(大蔵省印刷局 1997)
- [18]宇沢弘文・國則守生 『地球温暖化の経済分析』(東大出版会 1993)
- [20]後藤則行 『やさしい地球温暖化入門』(あすなる書房 1998)
- [21]小宮山宏 『地球温暖化問題に答える』(東大出版会 1995)
- [22]小島紀徳 『二酸化炭素問題 ウソとホント』(アグネ承風社 1994)
- [24]I P P C 編 『I P P C 地球温暖化第2次レポート』(中央法規 1996)
- [28]IPPC 第3作業部会編 『地球温暖化の経済・政策学』(中央法規 1997)
- [29]佐和隆光 『漂流する資本主義』(ダ・ヴィンチ社 1999)
- [30]竹内敬二 『地球温暖化の政治学』(朝日新聞社 1998)
- [31]電力中央研究所編著 『どうなる地球環境』(電力新報社 1998)
- [32]国連人口基金 『世界人口白書 1998』(世界の動き社 1998)
- [33]天野明弘 『地球温暖化の経済学』(日本経済新聞社 1997)
- [34]安成哲三・岩坂泰信 『地球環境学3 大気環境の変化』(岩波書店 1999)
- [36]E.U.フォン・ワイツェッカー 『地球環境政策』(有斐閣 1994)
- [37]植田和弘監修 『地球環境キーワード』(有斐閣 1994)
- [41]日本エネルギー経済研究所編 『エネルギー経済統計要覧』(省エネルギーセンター 1999)
- [54]橋本道夫他編 『地球環境と経済』(中央法規 1990)
- [74]槌田敦 『石油と原子力に未来はあるか』(亜紀書房 1989)
- [81]山地憲治他 『どうする日本の原子力』(日刊工業新聞社 1998)
- [82]佐藤正和・蛭沢重信 『エネルギーと環境』(三共出版 1998)
- [98]資源エネルギー庁編 『エネルギー2000』(電力新報社 1999)
- [121]地球環境工学ハンドブック編集委員会編 『地球環境工学ハンドブック』(オーム社 1993)
- [122]気候ネットワーク編 『よくわかる地球温暖化問題』(中央法規 2000)
- [123]地球・人間環境フォーラム 『環境要覧』(古今書院 2000)
- [127]小宮山宏 『地球持続の技術』(岩波新書 1999)
- [128]林智他 『地球温暖化を防止するエネルギー戦略』(実教出版 1997)
- [129]地球環境産業技術研究機構 『CO₂削減戦略』(日刊工業新聞 2000)
- [130]エネルギー・資源学会 『21世紀社会の選択』(省エネルギーセンター 2000)

[132] 通産省工業技術院編『地球環境・エネルギー最前線』（森北出版 1996）

[139] 政池明「ITER計画のゆくえ 核融合研究の分岐点に立つて」（「科学」2000年12月号）

[140] 藤田和男「石油と天然ガス資源の現状と将来」（「エネルギー・資源」2000年5月号）