

科学は政策になにを伝えたか-IPCC 第2次評価報告書

西岡 秀三 (国立環境研究所)

キーワード：IPCC 第2次評価報告書，気候変動の予測と影響評価
気候変動対策，環境政策，二酸化炭素排出量

1. 気候変動対策強化の必要性を示唆

1.1 IPCC 作業の意味

1988年に開始された「気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)」は、1995年12月ローマでその第2次評価報告書を採択した。1990年の第1次評価報告書は、気候変動あるいは地球温暖化の理論的根拠をしめし、その原因となる温室効果ガスが大気中で増加しつつあることなどの状況証拠から、温暖化の可能性を警告、さらに気候変動がすすむと大きな環境影響が起りうることへの懸念を表明した。その結果、報告書採択後ただちに1990年秋から世界の殆どの国が参加して「気候変動に関する政府間交渉会議」がもたれ、1992年6月の「国連環境と開発会議-UNCED(地球サミット)」で「国際連合気候変動枠組条約 (Framework Convention on Climate Change, FCCC)」に155ヶ国が署名をし、1995年の条約発効、1995年3月のベルリンにおける第1回締約国会議へと進んだのである。

おなじ国際問題でも、通貨や人権の問題は自然とは全く関係なく、自然科学の出番はない。しかし、環境問題のすべては地球上の自然の持つ機能と人間活動の接点にある。自然の知識を踏まえなくてはものごとは進められない。しかるに、自然科学は地球上の環境に関してまだ十分の知識の蓄積はなく、地球診断の本格作業は1980年代にようやく始まった段階である。こうした状況で気候変動に関してなにか手を打たねばならぬのか否かを政策決定者が判断するには、まだばらばらの気候変動に関する科学的知見を、科学・技術面より客観的に評価して、どこまで分かっているのか、どこが分からないのかを明確にすることが必要である。この使命がIPCCに課せられたのである。

気候変動の制御は、人間活動の基礎であるエネルギー利用や農林業生産を抑制することにつながり、世界の経済活動に影響するところ大であるから、このパネルの役割はまことに重大であり、実際1990年からの国際環境政策を形成する骨幹をなしたのである。ただし、誤解されやすいことであるが、IPCCは何かを決めるための会合

では決してない。たとえば、「気候変動がもたらす変動によって地球が危険になるとみられる温室効果ガス濃度は何ppmか」という問いに対しては、なにをもって「危険」とするかという論議は国際世論が決めることであって、IPCCが決めることではないとする。「科学技術的評価の機関」であるIPCCは、せいぜい、何ppmではこんな被害が生じる、これに対応した政策の打ち方の考え方としては例えば費用効果分析もひとつの方法であるが、その方法の得失はこれこれであると述べるまでである。

こうした歴史と背景をふまえてみると、1995年の第2次評価報告書は以下のような意味をもっていると言える。

- (1)第1次評価報告書の経験を生かし、作業体制と内容が一層システムティックとなり、科学的な裏付けが強化された。
- (2)この5年間の最新の科学の進歩が取り入れられ、より一層気候変動に関する知見が集積した。その結果、気候変動の可能性がより確実であることが示され、対策強化の必要性が示唆された。
- (3)1992年の枠組条約の成立で示されるように、気候変動の問題が科学的知見に基づく政策実行に重点が移りつつあることをふまえ、第3作業部会報告では政策科学面での研究成果を集約し、国際環境政策実施を支援する知見を取りまとめて、今後の国際協議での議論に材料を提供した。

1.2 報告書の構成

IPCCは、気候変動のメカニズムに係わる科学を取扱う第1作業部会、気候変動の影響を予測評価し対応策を検討する第2作業部会、気候変動にかかわる社会経済的側面を検討する第3作業部会からなる。報告書は、それぞれの部会が編纂した全部で2000頁に近い分厚い「作業部会報告」、このそれぞれに対応し、全部会合計で約60頁になる「政策決定者のための要約」、そしてさらにそれらをまとめた28頁の「総合報告」からなる。

「総合報告」は正式には「国際連合気候変動枠組条約第2条の解釈に関する科学的・技術的情報の第2次総合評価」という題名である。これらは、近日中に邦訳出版さ

れる予定であるが、一般には要約と総合報告書が人口に膾炙することになる²⁾。

2. 報告書が示す気候変動の予測と対応の手立て

2.1 地球の気候に対する検出可能な人間の影響が示唆される-第1作業部会報告

第1作業部会の報告書は、温室効果ガスの放射強制力と、炭素サイクル、予測モデルの状況とそこから予想される気候変動、海面上昇のメカニズムと予測などを取りあつたついている。

放射強制力と炭素サイクルの部分は1994年報告とおなじものである(図1)。温室効果ガスの温暖化寄与率がその科学的知見の確かさとともに記されている。ここでは後述の予測モデルで重要な要因として登場してきた硫酸エアロゾルの冷却効果が注目される。炭素サイクルについては、これまで「ミッシングシンク」と称されていた二酸化炭素の吸収先が不明な分について、おもに中緯度帯の温帯林の成長や二酸化炭素増加や施肥等の肥沃効果による植物への吸収であったとして、「ミッシングシンク」という概念はもういらなくなったとしている。しかしながら、炭素サイクルはまだ十分に解明されたものとは到底いえず、今後のおおきな研究課題として残される。

今回の報告書のハイライトの一つは、「はたして気候変動へ人間活動が影響しているか否か」の論議に、1990年報告での慎重な状況証拠的記述から一歩ふみこんで、「地球の気候に対する検出可能な人間の影響が示唆される」とした点にある。これまで国際政治の場でもしばしばな

された、不確実だから手を打たないという論議にピリオドをうち、具体的な政策推進へと検討をすすめる根拠を与えるものである。

この記述は、この文章のもってまわった言い回しが示すように、これが温暖化進行の証拠だとする数個のデータがあるという事実にもとづいての検証ではない。研究者は気候変動を再現し予測しようとして、種々の科学的知見を駆使して気候モデルを組み立てる。そのモデルの計算結果が長期且つ空間的になされた観測結果と一致したときに、その前提となる知見の組み合わせが一つの正しい説明として受け入れられる。1990年報告当時のモデルは、観測値との整合性が良いとは言えなかったが、それは当然取り入れねばならない要因をモデルが考慮していないからとみられていた。しかしこの5年の間に、以前から問題にされていた硫酸エアロゾルによる温暖化への負の効果を組み込んだり、自然の内部変動についての知見を加えて計算した結果、モデルは過去の気候変動をよりよく説明できるようになり、前提とする知見がより正しいという確信をもつに至ったのである。そしてここ100年間に観測された0.3~0.6°Cの全球平均気温の上昇が、すべて自然の変動に帰属出来ない、即ち人為的影響(温室効果ガスの排出からくる大気中濃度の上昇によるもの)が示唆されることになったのである。

こうして改善されたモデルによる予測例を図2に示す。ここで、エアロゾルを考えに入れると入れないでは、温度上昇の速さに約0.1°C/10年の差がみられる。エアロゾルのうち酸性雨のような公害の原因は、なくなるにこしたことはない。またエアロゾルの寿命は極めて短く、排

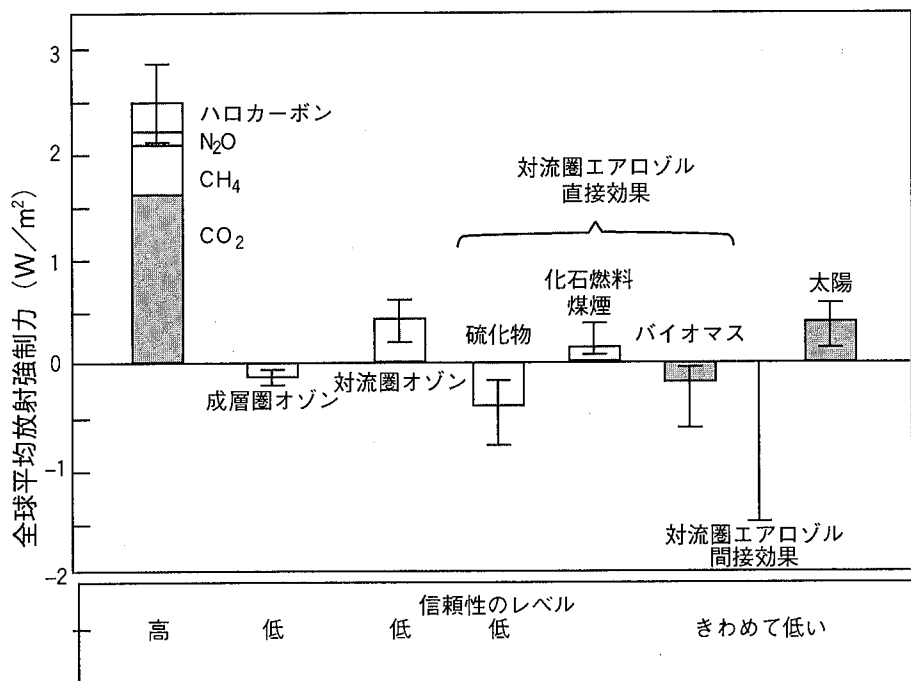


図1 全球平均放射強制力

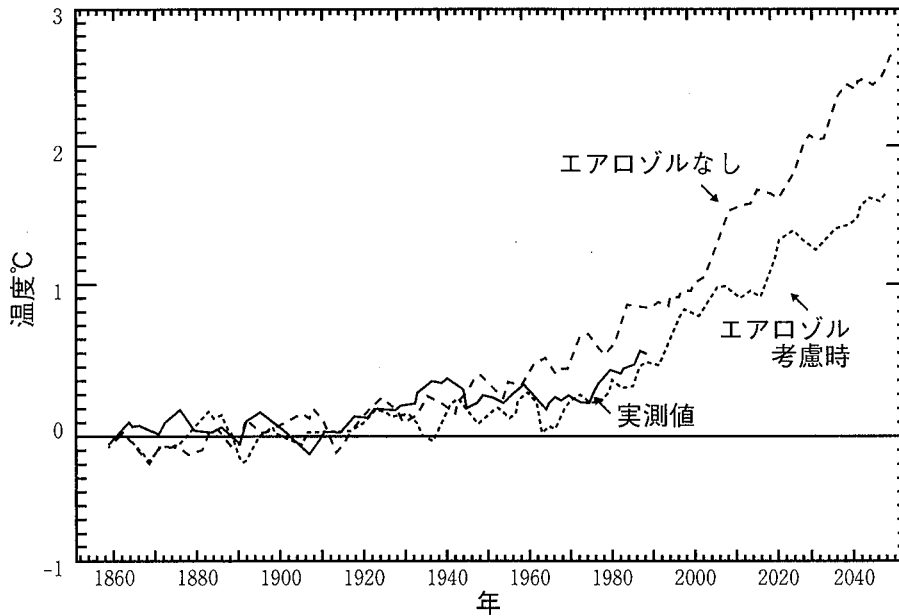


図2 地表気温変化 (°C)
計算値 (1860-2050) 実測値 (1860-現在)

出が止めばその冷却効果は比較的短時間に解消して、他のガスによりもたらされる早い温度上昇へと移行する。

温度上昇の将来予測は、①予測される温室効果ガスの人為的排出量②モデルが前提としている気候感度（大気中の二酸化炭素濃度を2倍にした後でもたらされる全球平均気温の長期的変化）③硫酸エアロゾルの冷却効果を考えるか否か、の組み合わせで幅ができる。今回報告では中位の予測として、中位の排出シナリオ、気候感度の最良推定、エアロゾル効果ありの組み合わせで、2100年には1990年と比較して2°Cの上昇を予測した。これは1990年報告と比較して約1/3低い値となっているが、その原因は排出量予測の下方修正、炭素循環の取扱いの改善、エアロゾル効果の採用にある。上記組み合わせを変えることによって、予測の幅としては、2100年には約2°Cから3.5°Cの上昇の可能性を示している。いずれの値にしても平均昇温率は過去1万年に見られたどの時代の平均昇温率よりも大きい。さらに2100年のこの値は、究極的な平衡温度変化のせいぜい50~90%しか実現しておらず、例えば温室効果ガス濃度がその時点で安定化しても、温度は上昇し続けることになる。

海水面の上昇は海洋の熱膨張と氷河および氷床の融解でおこる。上記の気候変動の組み合わせにさらに氷の融解感度をいれると、2100年で約50cmの海面上昇が予測され、予測の幅は15~95cmである。海面は温室効果ガス濃度が安定化しても数世紀上昇を続け、地球平均温度が安定化してもこれが続く。

台風の発生数が増えるか減るか等の疑問に対しては、

まだ知識が不十分であるとしている。気温上昇は一般に水循環を活発化させるが、その結果一部の地域では厳しい洪水や干ばつがおこり、一部の地域ではこれらが緩和される。また、降水強度は増加する、即ち降ったら土砂降りとなりやすい。

2.2 気候変動はすでに脆弱になっている人間社会に追加的に大きな影響をあたえる-第2作業部会報告

第2作業部会報告書は、まず気候変動による環境や人間社会への影響を、生態系、水文及び水資源、農林水産業、インフラストラクチャ、人間の健康、金融・経済などあらゆる分野にわたって検討した。そして、人口増加と都市化、それにとまなう経済活動増大による資源利用の拡大と汚染の発生等で、すでにおおくの生態系や社会経済システムは深刻なストレスを受けており、予想される気候変動の大きさと速度はこれにさらなる重大な影響を与えるものであることを示した。また、人間は変化に対して種々の適応手段をもっており、気候変動に対する脆弱性をおぎなうことができるが、島国のように物理的対応策のない集団や、対応への経済力を持たない途上国のような集団はより一層その影響を受けるため、弱い集団は一層弱くなるという不公平性の増大がみられる。表1に影響の例示をする。

2.3 排出の大幅な削減は可能

第2作業部会報告のもう一つの重点は、温室効果ガス発生抑制と吸収についての評価である。ここでは、温室効果ガスの大幅な低減は技術的に可能で、経済的にも実現可能であり、そのために広範な技術の利用、エネルギー

表1 気候変動の影響予測

- ・森林-二酸化炭素倍増時には、地表面の1/7~2/3、平均で1/3の植生が変わる。とくに高緯度地域で変化は大。二酸化炭素増の肥沃効果で一次生産は増えるが、病害虫の発生や火災の増大などでバイオマス総量は増えない。
- ・雪氷圏-今後100年間に山岳地帯の氷河の1/3から半分が消滅。凍土の融解によるメタン放出など大気プロセスへの影響が予想される。
- ・沿岸生態系-塩沼地、マングローブ生態系、沿岸湿地、珊瑚礁、河口デルタ生態系への影響大
- ・海洋-海洋循環、垂直混合などの海洋メカニズムを変え、炭素貯蔵能力も変化
- ・水文-高緯度地域では降水量増加によって流出水が増加、低緯度地域では蒸発散量の増加と降水量減少がかさなると流出量の減少の可能性大。すでに水不足が深刻なヨルダン・イスラエル・ルワンダ・ケニア等でより深刻な渇水となる(図3)。
- ・農業-二酸化炭素増による肥沃効果や技術進歩、さらに気候変動に対する灌漑や品種改良等の適応策をとることによって、倍増時でも気候変動がない場合の生産見通しを維持できる可能性がある。ただし、病害虫被害の変化や台風干ばつ等気候パターン変化は考慮されていない。また地域差が大きくなり、半乾燥・乾燥地帯などすでに脆弱な地域で飢饉・飢饉のおそれが増大する。適応能力増大のために世界的な技術・資金援助が重要となる。
- ・林産-寒帯林では、予想される気候変動の影響で立木が不規則大量喪失のおそれ。
- ・インフラストラクチャーエネルギー・産業・輸送部門の感受性は小さい。洪水や侵食による沿岸住民の脆弱性が増大する。50cmの海面上昇で、洪水高潮の影響をうける沿岸住民数は、現在の約4600万人から9200万人になるし、1mでは1億1800万人に増加する。これらは、難民の移動をうながす。また現在でもあい続く気候変動で数十億ドル規模の保険請求の圧迫を受けている保険業界を一層弱体化させ、金融システム全体にも影響する。
- ・人間健康-熱波による死亡増、媒介性昆虫による伝染病増が予想される。マラリア伝染の可能性のある地域は増大、人口比で現在の45%から60%となる。飢饉・洪水増等からの間接影響も大きい。

表2 農業による炭素固定の可能性(年間及び50年累積)

カテゴリー	単位 PgC	
	年 間	50年間累積
炭素放出削減		
工業国における農業利用化石エネルギー削減 (現状より10~50%削減を仮定)	0.01-0.05	0.5-2.5
炭素吸収の増加		
現存農用土壌の管理改善による土壌炭素増	0.4-0.6	22-29
中緯度地域余剰農業用地永久保存による土壌炭素増		
1) 陸上土壌	0.015-0.03	0.75-1.5
2) 湿地貯留	0.006-0.012	0.3-0.6
荒地土壌での炭素の貯留 (世界合計の10~50%貯留を仮定)	0.024-0.24	1.2-12
化石炭素のオフセット		
専用作物によるバイオ燃料生産	0.03-1.3	15-65
作物残渣によるバイオ燃料生産		
CO ₂ 抑制の潜在的可能性合計	0.86-2.44	45-122

ギー・産業、輸送、住宅・商業・農林業等あらゆる部門での技術の開発・普及・移転を加速する政策を活用しなければならぬとしている。

現在のエネルギー効率を10~30%改善することは技術的節約策や管理的慣行を改善することによって正味費用をかけずとも可能である。さらに現在の省エネルギー技術を普及することによって50~60%の効率改善も多くの国で可能となる。しかし、エネルギー需要の伸びが大きく、排出量の絶対的増加の可能性がある。主要工業国の製造部門のエネルギー効率改善は短期的には25%可能と推定される。輸送部門では車両設計によってエネルギー使用が1/3軽減され、土地利用パターン、輸送システム変化をおこなえば2025年には現在の排出量は最高40%も削減されよう。

エネルギー供給部門では、発電効率を現在の30%から

60%へ向上できるし、天然ガスなど低炭素化石燃料への転換によっても二酸化炭素排出を低減できる。発電所排煙からの二酸化炭素除去は発電効率を低下させるおそれがある。固定化した二酸化炭素の枯渇天然ガス田への貯蔵の可能性もあるが、コストや環境への影響など検討すべき課題が多い。

安全が保証された原子力も一つのオプションである。太陽・水力等再生エネルギー源への転換は進めねばならない。バイオマスは、燃焼からの温室効果ガスを光合成によって再びバイオマスに取り込むので正味排出はなく、その開発は今後農村部の雇用と収入増加をもたらす。農業や森林施業による温室効果ガス抑制の効果も大きい(表2)。

将来のエネルギーシステムを予測するひとつの「思考実験」が今回提示されている(図4)。これによると、た

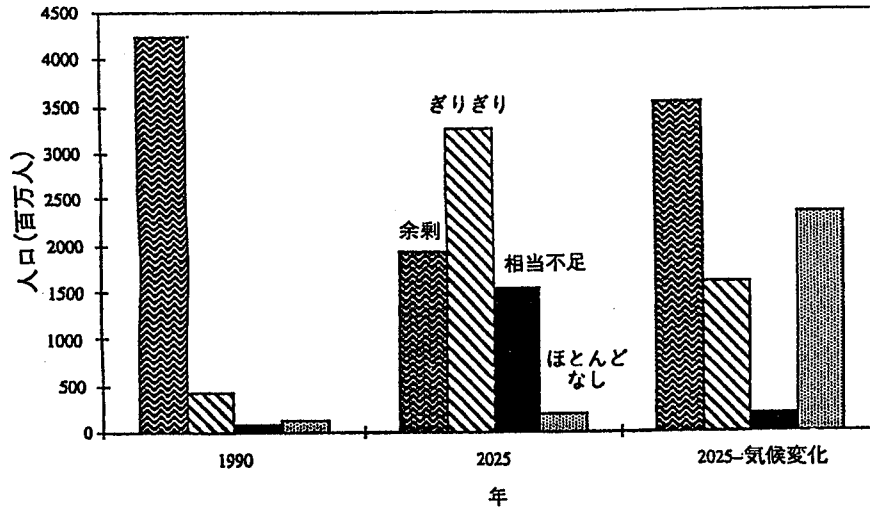


図3 世界的淡水供給の脆弱性³⁾

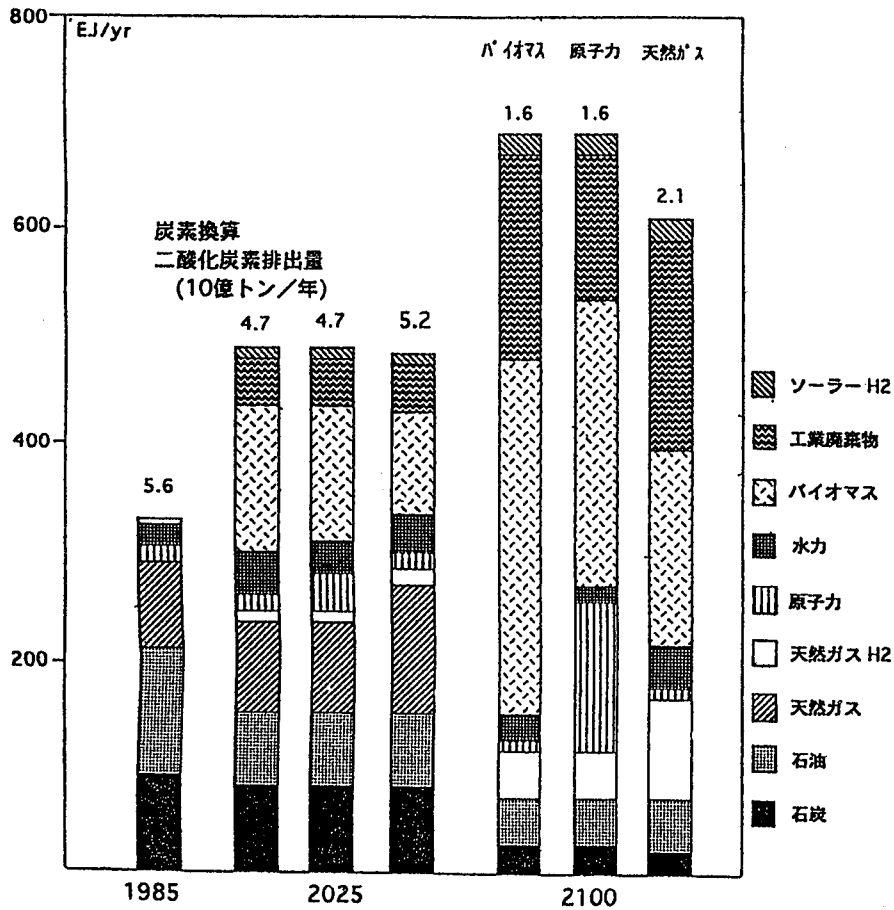


図4 二酸化炭素排出をおさえこむためのエネルギーシナリオの例

たとえば2100年に現在化石燃料が得ているのとほぼ等量をバイオマスで補うシステムが可能となれば、二酸化炭素放出量は大気中温室効果ガス安定化可能なレベルまで下げうる。しかしながら、それを実現するには相当の政策手段の組み合わせによる技術開発や社会システムの変化促進、バイオマスのための森林プランテーション用地(日本全土の15倍位の面積が必要)と農業生産用地との競合、移行期における二酸化炭素の急激な排出と遅い吸収のバ

ランスなど、乗り越えねばならない問題も多く残されている。

2.4 思慮深くかつフレキシブルな戦略を選択せよ-第3作業部会報告

第3作業部会報告書では、気候変動に関する社会経済的文献の評価、費用便益分析の適用可能性、公平性並びに社会的配慮の取り入れ、抑制・吸収政策の経済社会的利益と費用、対応オプションの費用と効果、統合的評価

方法の説明などがなされている。

気候変動問題は、科学的経済的不確実性、非線形性と不可逆性の可能性、地理的並びに時点間で影響が異なること、非常に長い時間的視野、地球公共財としての性格からくる「ただ乗り」の可能性など、これまでの国際問題にない固有の特徴を持っている。これに対する世界的あるいは各国の戦略選択はなかなか容易ではない。

報告書は政策決定者に有益な考察として、以下のものをあげている。

- 気候変動の不確実性に対処する適切な方法は、気候変動の防止、適応、不確実性の減少すべてに対して、行動のポートフォリオを検討することである。適切なポートフォリオは国によって異なる。必要なのは100年間通用する最良な政策を見つけることではなく、思慮深い政策を選択して、新しい情報にもとづいてこの戦略を調整していくことである。
- 種々の研究、すなわち気候プロセスや影響と対応に関する情報の改善価値は大きい。とくに温室効果ガスやエアロゾルの気候感度、気候変動の損害評価、経済成長率やエネルギー効率の改善に関する情報の価値が高い。
- 初期の防止策をしっかりとやるほど、政策選択に幅が出てくる。対応を遅らせること自体、費用のかかる決定である。遅らしたほうがコストがかからないとする研究もあるが、これはまた打撃を受けやすい国々にリスクを転移することでもある。早すぎる策のコストと遅れによるリスクのバランスをとった考慮が大切。
- 主権国家の集团的行動が不可欠である一方、各国の置かれている気候変動に対するポジションが異なるため、世界規模での最適化を考えると同時に、結果の公平性と手続き上の公平性の両方をも勘案しなければならない。公平性と効率性の両方を勘案することは極めて重要である。

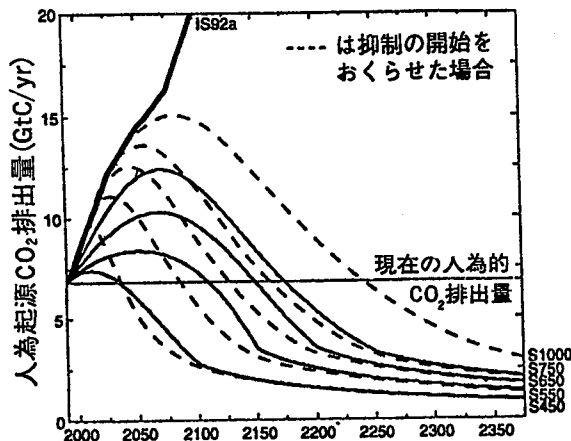


図5 二酸化炭素濃度安定化のための排出量のシナリオ

- 「後悔しない政策（とにかく実施して損はない政策）」で相当の削減可能。しかし全体のリスク回避を考えれば、それ以上の行動が必要。
- 気候変動に関する経済社会分析の研究は遅れている。途上国の研究や統合的評価方法 (Integrated Assessment) や意思決定分析に関する研究が必要である。統合的評価方法は、複雑な気候変動の問題を総合的に評価するモデルを中心にした政策検討手段であり、今後の政策決定にきわめて有効と考えられる。日本のAIM、オランダのIMAGE 2、米国のSGMなど多くのモデルが開発されつつある。その結果が政策に直結するものであるから、慎重な評価が必要で、今回の報告では具体的な結果は時期尚早としてまとめからははずされた。
- 気候変動とその対応の費用便益の見積もりは、安定化目標濃度、経路、割引率、算定費用の前提、技術対策の利用可能性で大きく変わる。これらは、国際的な話し合いのなかで決定する要因が多い。損害はおおむねGNPの1.5～2%、1990年レベルを押しえ込む対策費用はGNPの-0.5～2%という試算もある。しかし、たとえば人命価値が経済発展レベルによって異なるような計算に対して、途上国からの反発があるなど、費用便益の試算には困難が残されている。
- 国民総生産 (GDP) に変わって、自然環境の劣化を折り込んだ指標が政策評価の目安となりうる。
- ある地域が防止策をとると他の地域の排出が増加するという「漏れだし効果」は国際協調で抑制できる。また、経済的な誘導策や共同的手段によって排出削減措置の費用効果が向上する。

3. 気候系に危険を与えないレベルに安定化できるだろうか—総合報告書

統合報告書は、気候変動枠組条約第2条「目的」に書かれた、「気候システムに対する危険な人為的干渉」のないような温室効果ガスの大気中濃度は決めうるか、あるいはどのような道筋でそこに到達できるかについて論じている。しかしこの問題に関する客観的考え方の提示はできるが、望ましい大気濃度の決定やそれに至る政策選択は、世界世論即ち政策決定者がおこなうものとしている。

図5は1994年報告にもあげられた二酸化炭素濃度安定化のための排出シナリオであり、炭素循環のモデルを前提としている。もし安定化のレベルをある濃度に設定したとしたら、排出の道筋としてどのようなことを考えに入れなければならないかを検討するために使われるもの

である。安定化レベルとして、450~1000ppmの幅がとられているが、どのレベルを選択しなければならないかを勧告するものでは決していない。IPCCの中位の排出シナリオでありいわゆる成り行きを示すIS92aは、これら曲線の包絡線上に昇ってゆき、2100年には20Gtの排出を示すほど急な上昇である。濃度増加が急であればあるほど、気候変動の速度は早く危険である。

たとえば二酸化炭素濃度倍増に近い550ppmに押さえ込もうとしたならば、550の実線に沿った、いまずぐ抑制に動き、2050年に8 Gt程度の最大値をとって、2110年には1990年の排出量以下におさえこむ策がある。あるいは550破線に沿った、当面は成り行きにまかせて排出し、2040年頃の11Gtをピークに一举に抑制に入り、2090年に急激に1990年の排出量以下に押さえ込む策もある。気候変化は排出された温室効果ガスの累積で効くことから、早い時期に大量の排出を認めればあとでその分厳しい抑制が必要になるからである。

この図から①この範囲のどのレベルに安定化させるにしても、いつかは現在の排出量より大きく下げねばならない。②早く抑制に入るほどゆっくりとした対応が可能。③この範囲のどの策をとっても、成り行きシナリオと比較してきわめてドラスティックな抑制が要求されるといえる。

第2作業部会の影響評価は、おおむね二酸化炭素濃度倍増時での影響評価研究にもとづくものが多い。そこで示された気候変動影響を、生じるであろう南北間・世代間の不公平性を考慮にいれながら、大変なものと考えるか大したものではないととるかは、政策決定者の判断である。

文 献

- 1) IPCC (1996) : Climate Change 1995. The Science of Climate Change, Cambridge University Press. 572pp.
- 2) IPCC (環境庁地球環境部監修) (1996) : IPCC 地球温暖化第二次レポート. 中央法規, 126pp.
- 3) Strzepek, K., J. Niemann, L. Somlyódy, and S. Kulshreshtha, 1995 : A Global Assessment of National Water Resources Vulnerabilities : Sensitivities, Assumptions, and Driving Forces. IIASA Working Paper.
- 4) IPCC (1996) : Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change : Scientific-Technical Analyses, Cambridge University Press. 879pp.