

地球温暖化問題の動向と

環境・社会経済影響

西岡 秀三

はじめに

1970年代末から研究されてはいたが、それほどまでには世間で取り上げられていなかった温暖化の問題が、1988年から急激に問題化されてきた。11月のIPCC（気候変動に関する政府間パネル）開始に始まり、いくつかの政治会合、1990年11月の第2回世界気候会議での合意により、1992年ブラジル国連環境と開発会議での枠組み条約締結によるスケジュールが形づくられたようにみられる。

本稿では、国際会議での議論をもとに、どのような論点にもとづき、政策・科学が動きつつあるのかをみると同時に、筆者が参加したIPCC第2作業部会（影響）の報告結果についてふれたい。

1. 温暖化問題の動向

1.1 No regret policy 対 Precautionary policy

地球温暖化にどう対処するかをめぐって、もっか「枠組み条約」交渉が進行中であるが、国によって対処の態度が大きく異なっている。

世界の二酸化炭素放出の1/5を占め、1人当たりでも日本の2~3倍を放出しているアメリカは、「いまだ温暖化現象が進行しつつあるという確証はないし、やみくもに二酸化炭素排出削減のような経済的に影響の大きな手を打つべきではない」という態度であるし、オランダ・ドイツなどの欧州勢は、「いったん、ことが起きてからでは取り返しがつかない。早急に打てる手は打つべきである」という態度で臨んでいる。日本は、1990年11月に出した「地球温暖化防止行動計画[1]」で、基本的には後者の線を打ち出した。

米国が一貫して唱えているのは「No regret policy」、あるいは「Minimum regret policy」である。No

regret policy は「おまけ作戦」ともいうべきものである。たとえば植樹をやってCO₂を吸収させよう(America the beautiful plan)による年間10億本の植樹作戦。米国の年間二酸化炭素相当放出全量1,310百万トン（炭素換算以下同じ）に対して9百万トン削減可能。都市ごみの削減や有効利用にむけた埋立地規制をすすめる（同44百万トン相当）、オゾン層破壊を防ぐフロン規制（同551百万トン相当）のように、二酸化炭素削減を直接のターゲットにする規制ではなく、他の政策の副次効果で温暖化を抑えようというのであり、第1歩の政策としてこれに反対する国はもろい。

Minimum regret Policyの方は、ゲームの理論でおなじみのように、あとでしまったとほぞをかむ分を最小にしようという手である。この手を正しく打つためには、手を打つためのコストと、それによって救われる被害の額が同定されていなければならない。対策をうつことの費用は、エネルギー経済モデルなどを用いて、いくつか算出されているが、被害の見積りは後述のようにほとんどできていないから、ペイオフマトリックスはまだかけない。あるいは温暖化の被害が不可逆的におこるのであれば、被害額は無限大となるかも知れず、このときはゲーム論的決定はなじまない。

一方欧州勢は「Precautionary policy」すなわち、最悪回避の考え方をとっている。この場合も、自然の手と人類の手との組合せによる損失マトリックスは、明確に定量化されていないから、たしかに米国が指摘するように過剰な防衛手段をとってしまう可能性がある。この論争は、1990年2月のIPCC全体会合にはじまり、11月のSWCC第2回世界気候会議（科学/技術部門）でも「Precautionary principle」ということばを声明文に入れるか否かで議論がなされた。

1.2 科学・政策決定と仲介者

科学的観点からいうとたしかに温暖化の現象については、わからないところが多い。1990年は日本でも全国のほとんどの地点で平年値を1~2℃上まわる観測史上最

高を記録したし、世界でも平均気温が134年間で最高となり、1888年の最高記録を更新し、過去40年間の平均を0.54℃上まわったとされる。これに対する日本気象庁のコメントとして報道されたところによると[2]、「地球温暖化の現われという見方は早計だが、あとになってみたら1990年代が温暖化の始まりの年だったということになるかもしれない」ということであるが、このコメントは正確に科学の立場と限界を示している。

1990年8月に完成したIPCC第1作業部会の報告は、きわめて慎重に科学者としての立場を守った書き方で、温室効果の理論的存在と温室効果ガス増加の観測結果については「確認」、二酸化炭素が温暖化に半分以上関連し、60%以上の削減によって大気濃度が現在の濃度レベルに保てることは「自信をもった計算結果」であり、「現在のモデル計算の結果で予測すれば」10年間で0.3℃(0.2-0.5℃の幅)の温度上昇になると報告している。さらに過去のデータの解釈については、ここ100年で0.3-0.6℃の温度上昇があったこと、これは予測と一致するが自然の変動の範囲内であること、温室効果であると判定するにはあと10年以上の観測が必要なことを述べている。

IPCCのレポートは温度上昇を認めたかのように受け取られているが、SWCCで米国のクナウスNOAA局長が述べたように、不確実性が多く存在することを明らかにしたことも事実である。科学の役目として確実なデータと整合性のある理論でいえること以上をいう必要はない。ここまでわかったということをおまえて、どう手を打ってゆくかは、先節でみた政策決定の問題なのである。

しかし政策決定者が、科学的判断をみずから行なうことは重荷である。米国では1989年の春に出されたマーンシャル研究所のレポート[3]のように、地球上の気候変動をおこす地球の回転運動、太陽活動の変化と比べると、人間活動による温室効果はいかほどのものかを指摘するものもあれば、気候の予測における雲や海洋のパラメータの不正確さをもとに予測に疑問を投げかける説も多い。

政策決定者は科学者に早急に答えを出すことを強要するが、“まとも”な科学者は決してあやふやな答えを出そうとしない。1990年11月のSWCCでは、温暖化に関する科学的解明を、すでに1980年代から始まっている世界気候研究計画(WCRP)に人間活動要素を強力に組み込んで続けてゆくこと、および1990年よりスタートした国

際地球化学圏・生物圏研究プログラム(IGBP)にもとづき行なわれることとした。

IPCCはそのまま継続され、長期・中期にわたり科学の結果を評価し、政策決定者にタイムリーに伝えるという仲介者の役目を続けることになった。なにしろ温室効果ガスを間にして、直ちにしかもこれほど急激に、科学的知見がエネルギー抑制といった世界の経済政策に影響を与えるといったことは、いまだかつてなかったことといてよい。しかもそれが核物理や半導体、DNAといったひとにぎりの専門家の知見によるのではなく、世界各地にちらばった多分野の研究者の知見と観測データを集めてはじめて何かがわかるいわば「分散型巨大(システム)科学」というものであるから[4]、ここで科学と政策の仲介をやるものの役目は重い。

1.3 おくれ/予測と情報

先にみた気象庁のコメントのように科学者はあとづけの判定しかしないとすれば、政策決定には大きい問題が残る。それは制御における「おくれ」の問題である。このままだとあと40年で地球の温度は1℃程度上昇するとされる。温暖化とその解決の間には、いくつもの「おくれ」がともなう。気がついたその時に手を打てて事がただちに是正されるわけではないのである。IPCCの第1作業部会は、排出の増加が続けば続くほど、そのあと大気中濃度を安定化するのに時間がかかるであろうと述べ、「おくれ」のおそろしさを予告している[5]。

第1のおくれは事象自体の持つおくれである。海の熱容量は大気と比べて数十倍も大きい。すでに二酸化炭素による温暖化がはじまっているとしても、大気の熱が海洋に吸収されていて大気温度は予測される温度よりも低めにしか現われていない可能性もある。大気中二酸化炭素の濃度も吸収速度に律速があるらしく、排出量をただちに削減しても、温度の低下はすぐには起こらない。

第2に認識のおくれがある。人間社会が温度上昇の事実と温暖化を結びつけ、自信をもって変動を認識するのがいかに困難かは、先にみたとおりである。データが不足していれば統計的に有意な上昇の確認はできないのである。大気中の二酸化炭素の増加ですら、キーリングがマウンロアで計測を開始してから30年をこえるというのに、いまだそれが温暖化に結びつくのか論議をしている。

さらに第3に行動に向けた合意に達するまでのおくれが大きい。IPCCが1988年11月にはじまって、枠組み条約が1992年6月に締結されるまでに4年近くかかる。さらに各国別削減量を定める議定書の合意まで何年もか

かるであろう。

「おくれ」に対処するために「予測」は必然である。温暖化問題において、予測のなかには大気海洋大循環モデルがあるし、そこにインプットするサブモデルとして、森林モデル、農業モデルがある、温暖化がいかなる影響を世界にもたらすかを予測するために自然植生、農業、水資源、沿岸影響などの地域モデルが開発されつつある。また行動のおくれを短くするためには、情報の伝達を早くするための研究会合や協同研究プロジェクトの進行、枠組み条約を軸とした政府間会合などがひんばんにもたれるようになってきている。

I P C Cも科学的なアセスメントを行なう半面で、途上国・先進国間のコンセンサスを得るための交流のしかけという面をも持っている。

2. 温暖化による社会経済影響

2.1 温暖化の影響評価は？

地球温暖化の問題にかぎらず、人間活動の環境影響がいったいどれくらいあり、それがどこまでなら許されるのかという判定は、きわめて困難であり、定量化しにくいものであるから、逆に恣意的な利用がされやすいものである。温暖化の論議においても、極端な地獄絵が描かれたり、あるいは対策の経済的影響と比較して軽視されたりしている。I P C Cの第2作業部会は、これまでなされた研究の結果をサーベイし、別表に概略を示したような結論を出した。詳細については、元レポート[6]を参照されたい。また、米国環境庁の研究集約[7]やBolin[8]、Riebsame[9]にもまとめられているし、日本の研究状況は国立公害研究所報告[10]やC I E Sの国際会議論文集[11]を参照されたい。

ひと口にいて温暖化影響の研究はまだ端緒についたところである。地域的にもカバーされているところは少ないし、方法論もまちまちである。また純粋な分析研究にとどまらず、予測の分野に入るため科学面からは評価されにくい点もあるため、これまた科学と政治の仲介者とならざるをえない。しかし第2作業部長であったソ連の国家水文・気象委員会議長（気象庁長官）イзраエル氏がS W C Cで述べたように、「影響が深刻でなければ、大騒ぎして削減をする必要がどこにある」のかという面からみると、最後の論議のおとしどころとして重要な判断なのである。

2.2 影響評価における問題点

この第2作業部会の報告作業を通じてみた、現段階に

おける影響評価の主要な問題点は以下のとおりである。

(1) 影響評価の範囲に関して

地域的にみると、研究の進んでいる国はわずかであり、W C I P (世界気候影響研究計画)にもとづき、研究をすすめてきたカナダやアメリカなどの国の研究が主であった。日本での研究は、農業面ではいくつかあるが、決して多くなくこれからである。とくに途上国のデータはほとんどない。たとえば、途上国では薪炭エネルギーへの依存が多く、温暖化で予想される干ばつなどの影響を受けやすいと考えられるが、肝心の薪炭エネルギー利用の実態が十分つかめていない状況である。気候変動による影響は、対応策がとりうる先進国よりも、資本・技術のない途上国への影響が深刻になると考えられるが、途上国での影響研究はほとんどない。

影響の項目については、おおむねカバーされたと思われるが、海洋は手薄であった。また第1次影響はともかく、波及的影響にまでは研究は進んでいない。影響範囲同定のための一例を図1にあげる。経済影響はすべての影響をカウントアップしてからでないと推定できない。また二酸化炭素削減のためエネルギー政策等を変更したときに生じる環境影響の方が深刻ではないかとの指摘もされている。

(2) 影響推定の方法論

影響をもたらす気候条件は、大循環モデルなどから地域的にこまかく与えられねばならないが、現在の高解像度のモデルでも200km程度のメッシュであり、たとえば日本で県・流域単位の降水量の地域差が出せるような状況にない。ゆえに研究は、温度・降水量などを一定量変化させたときにどのような影響がでるかを見るセンシティブィティアナリシスの域を出ない。さらに台風や干ばつのような局地的気象変化の増減に対しての予想は困難である。気候条件変動のみでなく、土質など地域的な条件を加味した地域的な研究をさらにつみかさねる必要がある。

(3) 評価基準の問題

現在影響評価にまつわる従来からの問題点が今回も残った。それは重大性をどのようなクライテリアで判定すべきかである。自然・生態系への打撃が生物の多様性が失われたとしてそれが人類としてどれだけの価値の損失なのか？ キリバスという島しょ国家が沈んだとしても、そのわずかな人口はどこかの国で吸収できるではないか。農業生産量はおおむね現在量を保持できるとしても、今でも飢餓に苦しむ地域への被害をどう計測する

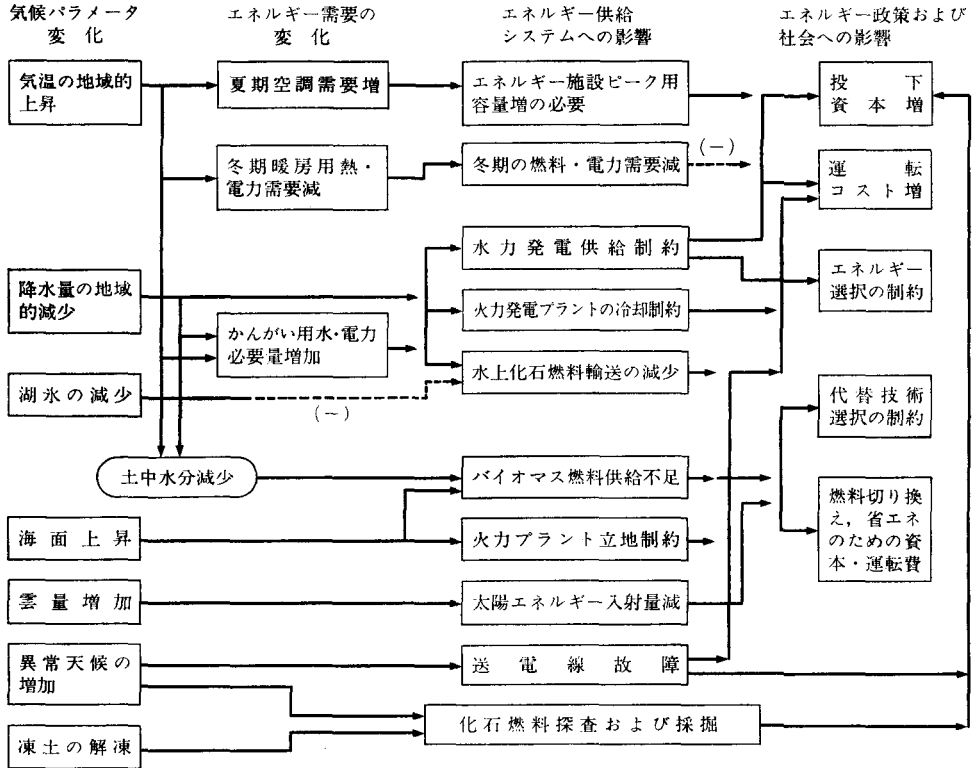


図1 気候変化によって生じる可能性のあるエネルギーへのインパクト例（変化は逆の効果をもたらすこともある）出典[6]

か、各国のエネルギー計画に配慮しなければならぬほどの重大事なのか、本当に自然破壊は不可逆な結果をもたらすのか。

IPCCはこのような問題に解答を与えていない。章によっては慎重に部分的予測結果を述べただけのものも

あれば、推測的に評価までふみこんだ章もある。

ひとつの評価基準として、温度上昇の絶対値と速度を指標として、危険な変動の範囲をさぐるうとした試みが図2[12][13]である。第2作業部会がおおむね前提としたシナリオは、図のフィラハ予測の範囲である。大部分が安定化の範囲からとびだし、破局的な局面へと入り込んでいる。ここではおおむね絶対値で2℃の上昇、速度で0.2℃/10年を危険領域、としている。これがまた今の二酸化炭素削減論の根拠とされている。この試みは、overallな判定としてひとつの基準を与えているが、このデータの妥当性の検証はさらに続けなくてはならないし、地域に独特の問題、それから生じる国際的問題については、さらに別な評価基準が存在するであろう。今後この面での研究と合意が重要になってこよう。

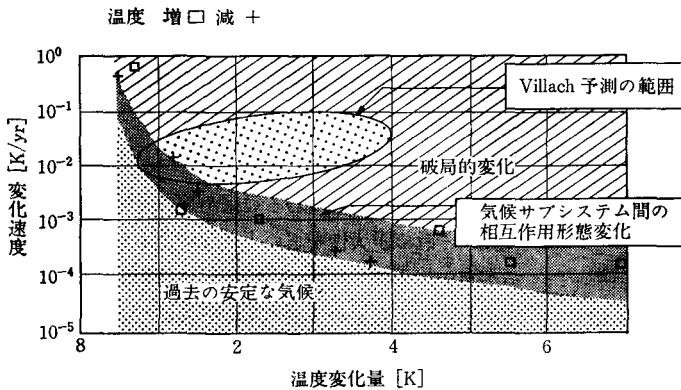


図2 北半球温度の変動（過去の範囲と人為的变化）過去85万年間の温度レベル 出典[12]

参 考 文 献

- [1] 地球環境保全に関する関係閣僚会議：「地球温暖化防止行動計画」(1990)
- [2] 日経新聞12月27日 (1990)
- [3] George C. Marshall Institute: Scientific Perspectives on the Greenhouse Problems, 1989.
- [4] 市川惇信：分散型巨大科学としての地球環境科学，地球環境研究センター開所記念講演会，1990，11 東京 (1990)
- [5] WMO/UNEP・Intergovernmental Panel on Climate Change: Vol. 1~3, (1990)
地球温暖化問題研究会編：IPCC 地球温暖化レポート「気候変動に関する政府間パネル報告書サマリー」，中央法規，1991.
- [6] WMO/UNEP・Intergovernmental Panel on Climate Change: Potential Impacts of Climate Change-Report prepared for IPCC by working group II, June 1990.
- [7] USEPA: The Potential Effects of Global Climate Change on the United States. 413, 1989.
(抄訳 地球温暖化影響研究会編：地球温暖化による社会影響：技報堂出版，1990)
- [8] B. Bolin et al.: The Greenhouse Effect, Climatic Change, and Ecosystems (Scope 29), John Wiley & Sons, 544, 1986.
- [9] W. E. Reibsame: Assessing the Social Implications of Climate Fluctuations, UNEP/World Climate Impacts Programme, 83, 1989.
- [10] 西岡秀三編：公開シンポジウム「地球環境基準設定にむけて—地球温暖化による環境・社会経済影響研究の方向」，国立公害(環境)研究所，1989.
- [11] 吉野正敏編：気候変動による環境・社会経済影響に関する国際会議前刷集，CIES委員会，1991.
- [12] F. R. Rijsberman and R. J. Swart (ed): Target and Indicators of Climatic Change, The Stockholm Environment Institute, 1990.
- [13] P. Vellinga: The Global Warming Marathon Government of the Netherland, 1990.

別表 温暖化による環境影響—気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第2作業部会の結論

(1)農業への影響

- 気候の変動は一部地域にはより適した気候をもたらす，一部地域には悪い影響をあたえる。二酸化炭素増加は，他の影響がなければ一般的に増産をもたらす。
- 世界の農産物の地域分布が変わるが，世界全体の生産量増減の確実な予測は現状では困難，しかし世界全体としての食糧需給は，コスト増があるがバランスするとみられる。
- 高緯度地域での潜在的生産可能地域増加だけでは，現在の中緯度穀倉地帯の減少をおぎなえず，現在の高生産性地域での一層の増産が必要。
- 気候変動に対応した農業技術の変化が広範囲で必要となる。
- GCMモデルで予測されているように土壌水分の減少が起きれば，穀倉地帯の農業生産に重大な影響がある。
- 世界中で脆弱な地域としては，ブラジル・サヘル・東南アジア・ソ連(アジア)・中国があげられる。現在の高生産性地域で生産減がみられるのは，西ヨーロッパ・合衆国南部・南アメリカの一部・西豪等である。
- 紫外線の増加・病虫害の増加による被害の可能性がある。また台風・干ばつ等の増加があれば被害は増加する。

(2)管理されている森林への影響

- 高齢化樹林の気候適応性の喪失が大きい。個々の樹木の適応性だけでなく，樹木・生態系としての一体的適応性が重要である。全般に野火等への抵抗力の減少がみられる。
- 気候帯移動に適応するための管理コストが増大する。
- 森林の自立的移行は困難であり，林業への影響は大きい。樹種目の変化，樹齢の減少，病虫害への耐性減少等が顕著となる。

(3)陸上自然生態系への影響

- 気候帯移動は50年間に数百キロになるとみられ，この変化速度は生物種対応能力より早いいため，動植物移動はおくられる。そのため生物種の構成変化・植生変化が生じる。
- 生物へのストレスが顕著となる。病虫害や山火事発生に対する抵抗力が減少する。
- 山岳・極域・島嶼・沿岸域等の貴重な生態系は移動不可能であり絶滅の危険がある。

- 自然生態系に依存する食糧・燃料・医薬品・建築資材・繊維等の地域経済への影響大。
- CO₂ 増大による植物の成長増加は他のマイナス影響に打ち消される。

(4) 水文、水資源への影響

- 温暖化により全球的に水循環は増加するが、一方温度上昇によって、干ばつがより激しくなる地点も生じる。また地域的降水パターンや降水性状が変化するため、水資源計画・管理をそれに適応させねばならない。
- 気候シナリオの設定によりある程度の変化予測は可能だが、地域的に信頼性のある予測は現状では困難。
- 多くの地域で降水量・土壌水分・水貯蔵が増大する。
- 乾燥地域等限界地域では、水の入手可能性が減少する。旱魃への対応が重要（1~2℃上昇・10%降水量減の場合、40~70%の流出量減少がみられる。）
- 管理されない河川系に依存している東南アジアの農業等の対応は困難であり、対策を要する。灌漑システム依存の米国西部・ソ連西部は対応可能。
- 湿潤地域では温度変化より降水量変化に対し敏感、季節的積雪に水資源を依存する地域では温度変化に敏感。
- 将来の水資源計画は、気候を考慮するとともに構造物の耐用年数内の気候変動に適応できるように配慮すべき。

(5) エネルギー、人間居住、産業等への影響

- わずかな海面上昇によっても、沿岸地域や島嶼部の人間居住に破壊的影響の可能性があり、温暖化により凍土域のインフラストラクチャーや生活環境に重大な影響が予想される。
- 開発途上国の水資源やエネルギーの取得を阻害し、その結果居住条件にも悪影響をおよぼす。
- 1次産品依存産業の地域的変動が予想され、国際競争力への影響が予想される。
- 熱帯地域の伝染病が温帯地域にも広がり、熱ストレスによる死亡増の可能性がある。
- 台風の大規模化等があると、生命、生活、産業への影響が増大
- 途上国では自然依存生産・生活の破綻によって、都市への人口集中がすすみ、都市の汚染等を加速する。また大規模移民が国際摩擦をひき起こす可能性がある。

(6) 海洋への影響

- 成り行きのまま二酸化炭素放出がすすむと、2050年に30~50cmの海面上昇となり、島しょ部やデルタ地帯の生活環境や生態系に悪影響がある。2100年に予想される1mの海面上昇で、水没地域や移住問題が発生しよう。
- 海水温の上昇や海面上昇により水産資源の分布等が変化する。
- 沿岸生態系（マングローブ林・沼地）が消失、生産力の減少
- 海面上昇による湿地や有機物の浸食が生じ、短期的には沿岸域の生産性が増加するが、海面上昇の速度が早いと沿岸生態系は破壊される。
- 生態的・生物的影響は地域により異なる。
- 海水の減少によって、海運は利益を受ける。渡り鳥等の移動性動物は生息地域を奪われる。

(7) 極氷圏・凍土地帯への影響

- 極域を除き、季節的な積雪は減少・氷域要素は減少する。水資源・地域交通への正負の影響がある。
- 氷河の後退は今後50年起きるが、積雪量との関係で地域的には異なる。
- グリーンランドや南極の氷床の大きな変化は21世紀には起こらない。
- 永久凍土（北半球土地の20~25%）の減少により、表層の活動層が今後40~50年間に1m程度増加する。その結果、生態系やインフラストラクチャーに影響が生じる。

(8) 今後なすべき行動

- 全般的に知見の不足がある。特に地域的・脆弱な地域に関する研究が必要。
- 今後の研究の重点
 - ① 農業・畜産生産性およびコスト
 - ② 気候変動に対応する農業技術
 - ③ 生物種の分布への影響要因
 - ④ 陸上・海洋生態系の総合モニタリングの開始
 - ⑤ 砂漠・半砂漠地帯を中心とする水資源・水質影響
 - ⑥ 土壌水分分布・流速変化
 - ⑦ バイオマスなど地域エネルギー資源への影響
 - ⑧ 熱ストレスに対する人間の反応
 - ⑨ 島しょ諸国中心の海水面変動観測
 - ⑩ 沿岸、島しょの人口・農業・産業影響
 - ⑪ 氷域の動態に関する研究
 - ⑫ 途上国の開発計画へのおりこみかた
 - ⑬ 影響評価の開発
 - ⑭ IGPBなど既存研究計画への支援。

(9) 結語

- 気候変動は世界的に大きな影響をもたらす。
- 早すぎる変化は生物の適応能力をこえ、多様性を減少させる。
- コスト/ベネフィット分析ではリスクの分析に十分ではない。
- 場所の同定は困難、しかし防止手段を打たねば破壊的な影響があるのは確実。
- 漸進・確実な影響（海面上昇）、予測不可能な影響（洪水・旱魃）など種々のリスクがある。
- 一般的に気候変動は地域的脆弱性を増幅する。
- 対応の手段が不十分な途上国に、先進国は影響評価方法と対応手段に関して十分な援助を行なうべきである。