

## 世界気候計画の基礎と内容 (1980-1983)\*

朝 倉 正\*\*

## 目 次

1. はじめに
2. 世界気候計画が必要な背景と各国の取り組み
3. 世界気候計画の生い立ち
4. 世界気候計画の4本柱
  - 4.1. 世界気候資料計画
  - 4.2. 世界気候応用計画
  - 4.3. 気候変化が社会に及ぼす影響の調査計画
  - 4.4. 社会が気候に及ぼす影響に関する調査計画
  - 4.5. 気候研究計画
5. 世界気候研究計画に関する世界気象機関と国際学術連合会議間の協定
  - 5.1. 世界気候研究計画の定義
  - 5.2. 最近の動き
6. おわりに

## 1. はじめに

1957~1958年, 太陽活動の極大期に向けて, IGY (国際地球観測年) と呼ばれる研究観測が世界的に展開された。このとき始められたハワイのマウナ・ロアにおけるCO<sub>2</sub> 観測は, 大気中のCO<sub>2</sub> 濃度が着実に増加していることを, いま我々の前に提示している。その原因は人間活動のせいかどうか定かでないが, 化石燃料使用増加と比例しているところから, 人間活動のせいだとする考え方は強い。観測を始めて20数年たった現在, その観測成果が世界気候計画を推進する大きな力になっている。先見の明があったというべきであろう。

10年前, GARP (地球大気開発計画) という言葉がよく使われた。その言葉にやっとなじんだ頃に, 今度はWCP (世界気候計画) という言葉が使われるようになった。GARP は天気予報や週間予報の予報精度を高め

ることが目的であった。FGGE が研究用の特別観測をしたことはよく知られている。“ひまわり”はそのために打ち上げられたのである。FGGE の F は First の意味である。それでは Second は何をするのか。1970年代前半の頃, Second GARP は気候を対象にすることが決まっていた。日本でも, それに向けてのシンポジウムが気象庁の講堂で開かれた。いま, Second GARP という言葉は通用しないが, その考え方は, 世界気候研究計画の中に生かされている。このように考えると, 気候にかかわる研究計画は大分前から考えられていたことで, 最近になって, 突然姿をみせたのではない。

しかし, 世界気候計画は, 何となく, 急にやかましく云われているような印象を与えている。一体世界気候計画とは何なのか, どのような背景のもとに生まれたのか, 知っている人は少ないようである。幸い, 1981年3月に「気候変動と人間活動」と題する報告書(文部省「環境科学」特別研究「気候変動と人間活動」検討班)が出され, その中にWMO が決めた世界気候計画1980—

\* Outline Plan and Basis for the World Climate Programme (1980-1983).

\*\* Tadashi Asakura, 気象庁気候変動対策室。

1983年の計画概要とその基礎が日本語に訳されている。そのすべてを紹介することは出来ないが、重要と思われるポイントを紹介する。また、正確さよりも分かりやすさに重点をおいたが、筆者の不勉強のために誤解や不十分な点が多々あるのではないかとおそれる次第である。

## 2. 世界気候計画が必要な背景と各国の取り組み

気候は、人間にとっても生物にとっても重要な自然環境の一部である。温帯地方の気候は人間に恵みをもたらすだけでない。ときに干ばつが続いて、人間を苦しめることもある。また、1977~1979年の冬、アメリカでは建国以来の寒冬におそわれ、エネルギーが不足したり経済活動が低下した。ソ連では1979年以来3年つづいて天候不順のため不作が続いたりしている。日本とても同じで、1978年夏は気象庁創立以来の猛暑になったかと思うと、1980年夏は明治以来の三大冷害年に匹敵する冷たい夏になった。米の不作が九州にまで及んだことは驚くべき異常天候で、その影響は経済活動の低下をもたらした。

いま求められているのは、正確な気候情報である。短期的には夏や冬の異常天候の予測であり、長期的には10年、20年先の気候が温暖化するのか寒冷化するのか、多雨期なのか少雨期なのか問われている。

さらに、人間活動が気候を変えるかも知れないというのである。エネルギー消費、CO<sub>2</sub>の増加、廃熱の放出、森林破壊、砂漠化、海の油汚染、土地利用の改変はいずれも経済活動の拡大にともなうものであるが、これらは地球大気の放射バランスを乱し、新しい気候系を作り出しかねないのである。それが人間にとって、どうしても避けられないみちならば、それと共存することを計画しなければならない。このような問題について国連やいろいろな国連政府間会議、たとえば1972年、ストックホルムでの環境会議や、1974年、ローマでの世界食糧会議が、WMOに対してその問題の解明を求めている。

そこで、WMOは、1974年に執行委員会が気候変動に関する専門家パネルを設けて検討を重ねた。その成果の1つが1979年の世界気候会議\*で、UNESCO(国連科学教育文化機関)、FAO(食糧農業機関)、WHO(世界保健機関)、UNEP(国連環境計画)、ICSU(国際学術連合)、IIASA(国際応用システム研究機関)の協力

で開催され、大成功をおさめた。この会議では気象以外の専門家が全体の3分の2を占め、そこで、世界気候計画が討議された。そして、圧倒的な支持を得て、WMOの総会は、1979年に同計画を承認して、推進することになった。

従来は観測と天気予報のためのWMOという色彩が強かったが、経済、社会や政府機関に対して、積極的に役立つ気候情報を提供しようとするもので、すでにアメリカでは1978年9月の議会で「国家気候計画法\*\*」を制定し、ECではヨーロッパ気候調査5カ年計画をたてている。また、カナダでは1978年に気候計画幹事会が計画を検討した。現在は、資料、応用、研究、影響の4本柱をたてて、カナダの気候計画を推進している。

日本では1978年12月6日に日本学術会議地球物理研究連絡委員会に「世界気候小委員会」を付置して、日本の気候研究計画を推進しており、近く具体案がきまる。

また、気象庁では1980年7月に総務部企画課の中に「気候調査企画室」1981年4月、同改め「気候変動対策室」を設置して、気象庁の気候変動対策基本計画を同年6月に定めて、現在それに基づいて活動している。また、気候変動研究の基本計画も作られる予定である。

## 3. 世界気候計画の生い立ち

GARPを推進していた今から10年以上前から、気候の研究について核があったことはすでにふれた。しかし、気候問題の芽生えはそれだけでなかった。どうも2つの流れがあったように思われる。1965年以降のWMO Bulletinを見ると、1つは環境問題、もう1つは異常天候問題である。

気象にかかわりを持った環境問題が狙上に上り出したのは1968ないし1969年でなかろうか。この頃の時代は、地球規模の汚染がやかましかった時代で、1970年にはニクソン大統領環境報告「公害教書」が発表された。この教書の中の第5章には気候の改変がとり上げられ、「いかにして人間は気候を変えうるか」が論じられている。そこで指摘されている問題点は、炭酸ガス、エアロゾル、放熱、油汚染などで、今日でも解決されていない重要な問題点である。

WMO執行委員会や他の報告書をひもといて気候問題の源をたどるとつぎの通りである。

第21回執行委員会(1969):「人間と環境」を初めて取り上げた。地球規模での大気汚染のバックグラウンド・レベルの監視について、他の国際機関と協力する。一方、

\* 片山 昭(1979):世界気候会議, 気象, 1979年5月号, 7-13.

\*\* 栗原弘一(1981):アメリカの気候変動対策, 気象, 25, 4~8号.

気候委員会は「最近の気候と人間活動」を取り上げた。

第6回世界気象会議(1971):「人間と環境の相互作用」が取り上げられた。その中で、食糧不足と農業気象、環境汚染に対する WMO の役割、人間環境と社会・経済発展の間には密接な関係があるので、気象と経済の専門家が共に考える必要性が強調された。

人間環境会議 (1972): ストックホルムで開催され、WMO の委員もこの会議に出席した。環境問題に関するはじめての重要な国際的活動は国連の経済・社会理事会在1968年7月に提起した。この提案に応じて開かれたのが人間環境会議である。この会議に対して WMO が用意した項目は

- (1) 都市気候、建築気候
- (2) 生命を維持する資源としての大気の状態
- (3) 汚染質の輸送
- (4) 人間環境に対する国際的気候改変の意義
- (5) 大気汚染の各種資材に及ぼす影響
- (6) 大気汚染の気候に及ぼす影響

である。

この会議で、WMO から、緊急の事項としてすでに設置されていた“気候の環境問題への応用”に関する作業委員会の報告が提出され、経済発展と環境保全とは密接な関係にあることが報告された。

大気科学委員会第6回会議 (1973): 気候変動をとり上げ、大気汚染が大気の運動に及ぼす影響について作業委員会が設けられた。

第25回執行委員会 (1973): 環境問題について、WMO と UNEP (国連環境計画) とが協力するようになった。大気汚染基準観測所の全球ネットワークの整備が少し進んだ。

第26回執行委員会 (1974): アメリカ政府の要望があって、気候変動に関連する WMO の活動について分析し、これらの活動を国際協力のプログラムに含めることになった。このプログラムを発展させる責任は“Panel on Climatic Change”が受け持つことになった。この panel の座長は Dr. E. Süssnerberger で、委員は大気科学委員会、気象・気候特殊応用委員会、農業気象委員会、GARP 委員会の各 Chairman から指名された専門家によって構成された。この専門家パネルが世界気候計画の生みの親になった。

また、この年ストックホルムで、「気候と気候モデルの物理的基礎」に関する国際研究会議が WMO/ICSU と UNEP によって開かれた。

国連総会第6特別会期 (1974): WMO に対し、環境、食糧、エネルギー問題等に関連して、気候分野からの協力が要請された。

世界食糧会議 (1974): WMO は気候変化の原因の調査を促進するように要請された。

WMO 第7回世界気象会議 (1975): 気候変化について国際的計画と実行に必要な調整指導を、WMO が行なうことを決めた。

第27回執行委員会 (1975): 世界食糧会議の決議に対応するよう農業気象の活動をはじめよう要請し、中・長期予報の技術開発の必要性が再確認された。また、成層圏オゾン量と気候変化に関連し、オゾンのモニタリングの必要性が強調された。

なお、この年イギリスの Norwich で、WMO 主催のシンポジウム「気候の長期変動」が開かれた。

第28回執行委員会 (1976): この年になってから、気候変化は環境の面からとらえるのではなく、研究の面からとらえるように変わった。この会では気候変化の研究の国際協力を進め、その一環として UNEP, UNESCO, FAO, ICUSU とも協力を続ける。また、気候変化の人間環境や食糧へのインパクトをレビューする世界会議を開くことで意見が一致した。執行委員会は気候専門家パネルの報告に基づいて、「気候変化」についての声明を決めた。

気候変化に関する WMO 声明 (1976): 主旨だけをのべると、人間社会は技術革新があってもなおかつ気候の影響を大きく受け、とくに食糧備蓄は最近減少している。異常高・低温、干ばつ、洪水は社会、経済の発展を阻害している。このような異常天候は近年、数週間、数カ月、ときには数年も続いた。これは大きな気候変化が地球規模で起こっているのではないかと推測させるものがある。この原因は自然的要因であろう。人間活動の影響も同様に關心がある。たとえば、CO<sub>2</sub> の増加は降水分布を変えるかも知れない。

重要度が高いのは、異常天候がいろいろな人間活動に影響を与えていることである。経済、社会活動で計画をたてる時、過去の資料を活用して、どの程度の変動が統計的には起りうるかを計画立案に利用することが望まれる。

結論として、気候は必ず変るであろうし、人間活動の影響を含め、異常天候を予測する能力を高めることが必要であると訴えている。

第29回執行委員会 (1977): 気候変化の専門家パネル

が作った世界気候計画を検討した。世界気候計画という用語が使われたのは、このときが初めてである。この初期の計画内容は現行と同じだが、次に示すとおり、表現の仕方はこの方が分かりやすい。

- 1) Climate monitoring and climate data service.
- 2) Natural climate change and variability.
- 3) Human impact on climate.
- 4) Impact of climatic change and variability on human activities.

かくして世界気候計画が生まれた。この計画はさらに世界気候会議でも検討され、支持された。そして、第8回世界気象会議(1979)で承認されて、正式にスタートすることになったのである。この計画は国連総会(1974)や環境会議(1972)、世界食糧会議(1974)、人間居住会議(1974)、水資源会議(1977)、砂漠化防止会議(1977)の要請がWMOへ寄せられて、それに対応すべく作られたものである。第1表はIGYからWCPが誕生するまでの経過を表にして見やすくしたものである。

#### 4. 世界気候計画の4本柱

世界気候計画につき4つが柱になっている。

世界気候資料計画(WCDP).....WMO

世界気候応用計画(WCAP).....WMO

世界気候影響調査計画(WCIP)\*.....UNEP

世界気候研究計画(WCRP).....WMO/ICSU

これらの計画はWMOがすべてとりしきるのでなく、関連のある機関と協力して進めることになっている。とくに、WCIPはUNEPが主勢力になって進められ、WCRPはICSUと合同委員会(Joint Scientific Committee. 略してJSC)を設けて推進されている。

現在までのところ、これら諸計画はこれから推進する方向づけが大半を占め、本来の意味の具体的な計画はこれから除々に進められるのであろう。したがって、本論も具体的な事項が少なく、期待外れな内容になっている。

##### 4.1. 世界気候資料計画

一口で云うと、世界気候計画の応用、影響調査、気候研究に必要な資料を提供することが世界気候資料計画である。そのために、気候データ・ベースは通常気候資料だけでなく、地球物理、生物、社会、経済のデータで

\* WCIPは、気候変化・変動が社会に及ぼす影響の調査、及び社会が気候に及ぼす影響の調査という2つのテーマを含んでおり、4.3.節及び4.4.節でそれぞれ解説した。

構成することが要求されている。理想としてはそうであるが、実行することはむずかしそうである。

気候資料計画にはつぎの3つの柱がある。

(1) 気候モニター、(2) 気候研究、応用、影響調査のためのデータ、(3) データの運用。これらについて要約するとつぎの通りである。

##### 4.1.1. 気候モニターとシステム

気候変化の実態を知り、気候と生物、人間活動との相互作用を理解するために気候のモニターをする。これが成功すると、環境問題に関する情報が提供できるようになる。

モニターのためのデータには通常地上・高層データの他に、大気境界条件である海洋、雪氷、太陽定数のデータもある。詳しくは下記の通りであるが、最も重要なことは、大気・海洋の相互作用をモニターすることである。

##### データの型

気候モニターのためには次のようなデータの型が必要である。

##### 1. 主要データ

(1) シノプチック観測所、気候観測所、特殊観測所(例えば放射観測所)からの地表データ

(2) 高層データ

(3) 大気組成およびエアロゾルのデータ

(4) 海水データを含む海洋データ

(5) 雪や氷データを含む水文学的データ

##### 2. 他の地球物理学的データ

(1) 大気境界における放射収支

(2) 太陽定数の測定

(3) 成層圏のちり荷重データ

(4) 地形学データ

##### 3. 海洋データ

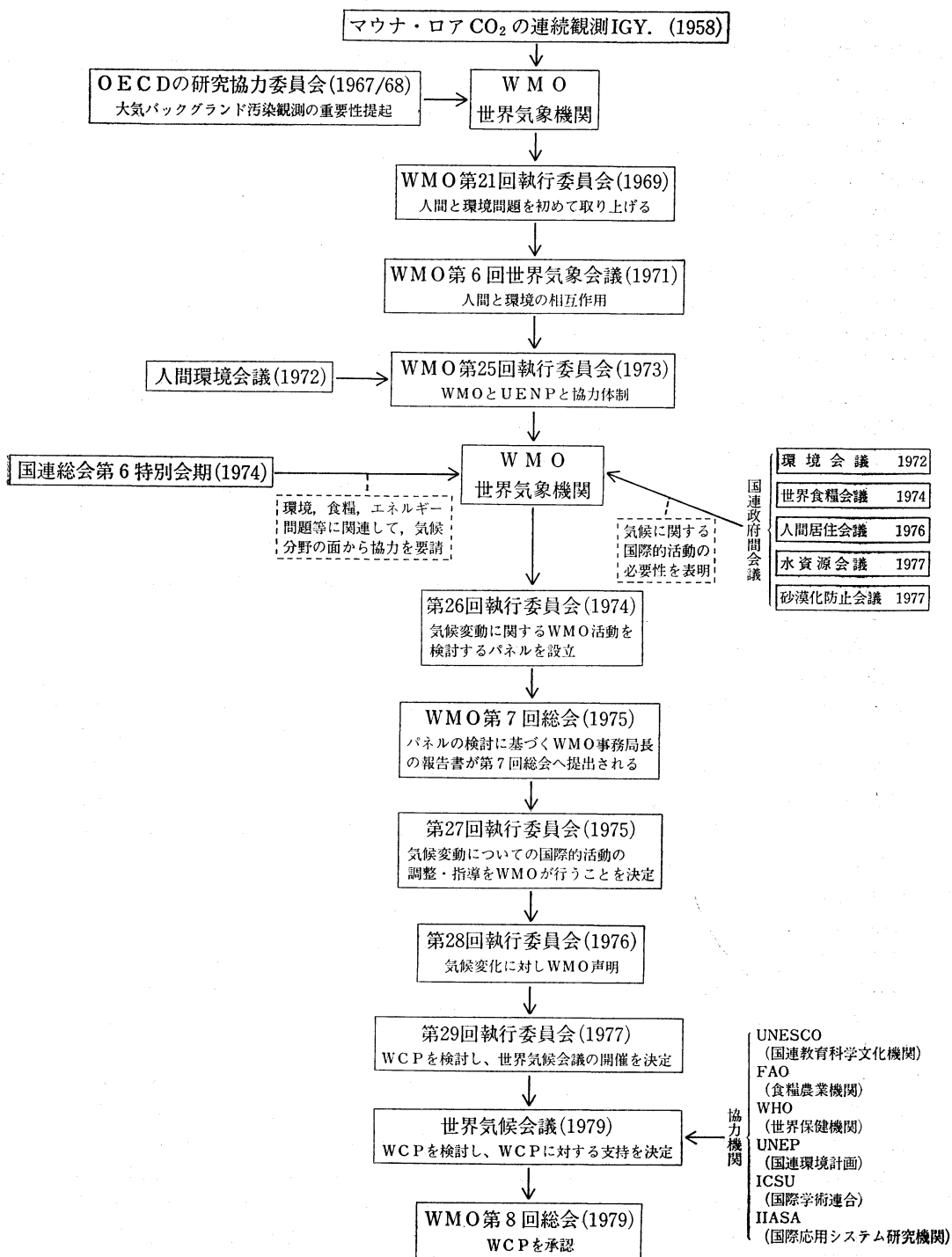
気候をモニターするシステムとして、WMOがすでに活動を推進しているのは(1)世界気象監視、(2)世界放射観測網、(3)気候観測網、(4)海上気候観測網、(5)世界オゾン観測網、(6)バックランド大気汚染観測網、(7)総合全球海洋観測システムである。

モニター・システムで最も望ましいシステムは、すでに開発されている宇宙環境観測システムに加えて、全球スケールの気候モニターに応用できる衛星を開発することである。

##### 4.1.2. 調査・研究のためのデータ

気候応用や影響調査に必要なデータは、ふつうの気候

第1表 世界気候計画 (WCP) 設立の経緯。



資料以外に(1)農業データ、(2)土地の利用目録、(3)工業データ、(4)生態学的データがある。これらのデータを新たに集めるのではなく、既存のデータを提供する基礎組織を發展させることである。

研究のために必要なデータは目的によって違う。目的には3つあって、気候理論の大成、モデルの有効性のチェック、気候変化の実態明確化のための資料が要求される。これらの資料はそれぞれ違うが、少なくとも最近30年間の大気、海洋、地表上の完全なセットを集めることが主要な業務である。それに加えて、100年以上にわたる品質管理されたデータ、気候モデルのパラメータ化に必要な特殊データも必要である。また、気候モデルで予測される気候パターンを理解するためには、過去の気候の文書類や古気候記を集めることも重要である。

人間活動が大気環境を変えるおそれが考えられ、それが気候を変える可能性があるので、大規模な工学プロジェクト、熱帯の森林破壊、過放牧、河川の方角転換について、モニターした資料を整備しておくことが望ましい。

#### 4.1.3. データの運用をどうするか

気候データの管理、運用は気候計画にとって重要だが、データの品質管理が十分でないし、利用しにくい上に、入手しにくいとあって、問題は山積している。近代的なデータ処理方式を導入し、献索技術の応用、国際間のデータ処理交換手順の開発をまず進める必要がある。気候学的データの入手、蓄積、献索の責任は国家の保管場所に任すべきである。これら保管機関ごとの情報交換を組織化するために、次のことが勧告されている。

- (1) 気候学的観測所の目録を作成し維持すること。
- (2) 利用可能な信頼できる気候データの日録を作成し維持すること。
- (3) 代表性のある全球的な観測網から標準の品質レベルと標準の形式の気候データ収集対照して利用可能にすること。
- (4) 生のままの大量の気候学的データを管理可能なデータ・セットに圧縮するために、適当な統計的な処理方式を開発すること。

#### 4.1.4. データの優先順位

WCPの他の要素を支援し信頼できるデータの利用を改善するためには、参加国、WMOおよびその他の国際機関は、各自の優先順位の高い計画に次のような業務を適当に含めるよう勧告されている。

- (1) 最近100年またはそれ以上にわたって実行された測器観測の場所を明らかにしそれを集めること、

またそのデータの品質や一貫性を検討し、またこれらのデータが人手と計算機処理の両方に容易に可能となるよう確保すること。

- (2) 気候学的観測所網を設立、維持また改善すること。
- (3) 海洋上の観測所網を設立、維持また改善すること。
- (4) 水文学的観測所網を設立、維持また改善すること。
- (5) 一般に同意されたデータ管理計画を立て、データ交換を促進すること。
- (6) 気候学的データを照合、組織化して容易に使用できるような形式に処理すること。
- (7) 気象学的、水文学的、海洋学的、古気候学的、地球物理学的、生態学的また社会経済学的データのソースの調査を行ない、データ・ソースの参照システムを設立すること。
- (8) 新しい観測技術の開発を促進すること。特に全球スケールの気候モニターに適用できる宇宙空間からの観測技術の開発を促進すること。

上記の優先的業務を実施するための援助を提供することによって発展途上国に特別な考慮を払わなければならない。

#### 4.1.5. 最近の動き

研究用データの必要性は具体的になって来たが、応用や影響調査についてのデータはむずかしく、余り具体化していない。WMO事務局は加盟国から寄せられたデータ・リストをコンピューターに入れて検索するシステム化を計画している。また、気候資料システムの確立を長期の目標にする。そのために1981年11月16~20日に非公式計画会議を開くことになっている。

#### 4.2. 世界気候応用計画

国家経済や人々の福祉が気候に影響されることが、最近になってよく認識されるようになった。理由の1つには異常気象の頻発があげられる。気候の異常なふるまいのためにさけられない損失がある場合、それを軽減するためには気候の知識を活用することである。すなわち、計画立案と設計、作業と管理のさいに気候知識を利用して意志決定に役立てることが出来る。

このようなことは、国家の社会・経済開発の計画立案においても、気候に関する知識の応用が重要な役割を果たすべきであるという認識が高まって来た結果、より効果的な国際活動が必要であることが理解されるようになって

た。

しかし、不幸にも、計画立案者や経営管理者は、経済変数としての気候を過小評価し、その結果、この社会・経済上の資料を上手に利用しないか、あるいはほとんど利用しない。

気候変動にかかわる一般的な統計的特性は気候情報として、寿命の長い政策に利用することができる。たとえば、一世紀以上にわたって運用される水管理システムの場合、平均降水量とその変動性に関する情報を用いて、洪水災害、灌漑用水の利用可能性、経費等が一定の限界を越えないように安全設計に役立てることが出来る。このほか、気候情報は農業開発の計画立案、また新しいエネルギー資源の導入に利用できる。

#### 4.2.1. 気候応用計画の目的

気候応用計画の目的は、環境を保全しながら、最大の経済的利益や社会的利益を得ることである。気候情報を有効に利用するために、いくつかの一般的な原則がある。

- (1) 気候情報を有効に利用するために、必要な情報を必要に応じて類別できるように、気候に敏感な過程を識別すること；気候の情報と行動間の関係を、立証的に記録され、計量化された関係として明らかにすること；利用出来る形式の情報を作ること；その情報を、意志決定の過程に利用する方法を利用者に伝達すること。
- (2) 気候の情報は、大きな資源利用パターンを確立する際に、あるいは、変更する際に、作成され利用されるならば非常に大きな経済的な影響をもつであろう。もしも、気候情報を考慮することなしに長期の戦略的な決定がなされるならば、関連するシステムの将来の管理や運用に対する短期の天候情報の最適利用を不可能にするかも知れない。
- (3) ある企業のために特別に準備された気候情報およびガイダンスは、特定の計画の立案・設計・政策決定のために、通常総経費のうちのわずかな費用で開発することができる。
- (4) 利用できる気候情報について、その応用と性質の双方を理解している人々は、利用者と、その利用者が必要とする情報を結びつけるのに決定的な役割を演ずる。

気候応用計画の特別な目的は、一般および政策決定者に、気候の知識を社会・経済問題に適用することが、いかに価値のあることなのか啓蒙することにある。したが

って、各国の活動計画には次のプログラムが含まれねばならない。

- (1) 気候情報の利用によって得られる潜在的な利益について、利用者の認識を高めること。
- (2) 気候情報を提供し、広報する能力を改善すること。
- (3) 国内の気候応用の訓練を促進すること。

その他、全球的規模での活動計画には、食糧、水、エネルギー、健康の部門における気候データ応用のための新しい方法論を開発するプログラムが含まれるべきである。

#### 4.2.2. 気候応用計画の優先度

つぎは列記した諸分野は、気候にかかわる応用計画にとっていづれも重要で優先度も高い。この優先度は地域の事情によって変る。

- (1) 食糧生産、漁業、病虫害の軽減、土壌の保全、土地利用、砂漠化の制御
- (2) 水資源
- (3) エネルギーの生産、輸送、保存、需要
- (4) 健康と居住、建築、観光、レクリエーション、環境汚染、自然災害
- (5) 輸送と通信、製造業
- (6) 海洋および沿岸開発

これらの諸分野に気候情報を応用するためには、つぎのことを開発することが条件になる。

- (1) 適切なデータ・情報システムの開発
- (2) 応用に関する教育および訓練の開発と実施
- (3) より効果的な技術の移転
- (4) 応用の推進
- (5) より効果的で能率のよい技術論の開発

があげられる。

#### 4.2.4. 組織上の問題点

気候の応用計画は気象だけの知識では成功しない。学際的な内容を持っているので、気候学者と利用者との間に緊密な協力が成功する上で欠かせない条件である。それらはまた、国内、国際によって違うので、次のような考え方が考慮されねばならない。

- (1) 国内段階：気候の知識の応用を調整し、奨励するために、国内の委員会は有用である。このような委員会は、気候専門家をも有する政府の機関および、農業、水資源、エネルギー、海洋資源等の国の経済の実施や計画立案部門の代表者を含むであろう。

- (2) 世界気象機関内：直接あるいは間接に応用に関連した現在進行中の多数のプログラムやプロジェクトがある。世界気象機関の技術専門委員会および地区協会は、人間活動の種々の分野に対する気候学の応用に関する、多くの、適当な場面に係っている。調整のステップは、現在ある能力の改善に必要な場合や、有用な新しい努力を促進する必要がある場合にとられるべきである。
- (3) 国際機関相互間：国際的なレベルでの気候学者と利用者による努力の調整を改善すること、また同時に、特別な国際機関とそれに対応する国の機関との間の調整を円滑にすることは重要である。国際的なグループまたは委員会を利用する場合の条件には——協同して行う国際的プロジェクトの定義、計画立案、適当なものとしての評価；協同する国際機関からの資源を要求する場合は、国のプログラムおよび国際的なプログラムの計画立案者に対する援助；国際的なプログラムに対しての、国の資源の委託による調整——が含まれるだろう。

#### 4.2.5. 最近の動き

WCP の中で気候応用計画が最も重要であると執行委員会は考えている。気候情報を活用することが、いかに有用なことであるかを示すために、食糧生産、水資源管理、エネルギー生産などで実際に利益が上る学際的デモンストレーション・プログラムが考えられている。その適地として、サヘル地方が注目されている。WCP を成功させるためには、このデモンストレーション・プログラムはかなり役立つとみられ、成功してほしいところである。

#### 4.3. 気候変化が社会に及ぼす影響の調査計画

世界気候会議第1週の間、気候と人間活動との相互作用に関する多くの例が総合報告と討論の中で述べられている。気候の社会に及ぼす影響は各分野(エネルギー、水資源、健康、林業、漁業海洋資源、沿岸漁業開発)ごとに、そして各地域(温帯地方、湿潤熱帯、半乾燥熱帯、中国、ラテンアメリカ、アフリカ)の農業についても述べられている。加えるに、気候変化のマクロ経済に及ぼす重要性についての総合解析の試みがのべられた。講演および討論によると気候は賢く利用されるべき資産であると同時に克服すべき問題として考えられることを示唆した。

気候影響の十分な評価は、その推論が経済や社会構造

にまでふみこんだものでなければならない。また、気候の生物圏や人間活動に及ぼす影響において、連鎖やフィードバックをたしかめるものでなければならない。これに関連して、気候——社会相互作用の敏感度の解析はもっとも重要な課題である。

##### 4.3.1. 気候と社会の相互作用

ある地域における気候影響の特性は1つには気候変動の性質、1つには社会の性格によって左右される。たとえば、極値の発生の中には(洪水や霜のように)突発的なものと、(干ばつや永久凍土層のように)ゆっくりとしたものがある。気候変動の影響はその国とか地域における環境、社会・経済状態によって、いろいろなうけ方をすることは明白である。気候変動、環境条件、社会・経済状態や他の関連要因との相互作用は同じ気候変動に対して地域が異なればそれなりにかなり違った脆弱性をひき起しうるものである。

気候変化は人間活動の多くの分野に影響をあたえる。これらは(a)人間の健康と運動量、(b)家と住い、(c)あらゆる型の農業、(d)水資源の開発と管理、(e)森林資源、(f)漁業と海洋資源、(g)エネルギー生産と消費、(h)商工業活動、(i)運輸・通信、(j)あらゆる種類の公共事業を含んでいる。これらすべては人間社会と気候変動との相互作用を調査するのに可能な分野である。

##### 4.3.2. 影響調査計画の目的

世界気候計画の中の影響調査計画の最終目的は、合理的な政策の選択を方式化するとき、気候的思考の重要性を明らかにすることである。世界の諸地域は自然環境条件、社会構造、経済組織、発展のレベルの相違によって、気候変動との相互作用はそれぞれに違っている。基礎的な調査は水、食糧、健康、エネルギー源など社会にとって極めて重要性のある複雑な問題に取り組まれている気候、生態、社会・経済的要因の総合を計ることを目的としなければならない。つぎの目的はとくに注意を払うべきである。

- (1) 自然と人間系(例えば農業、水資源、エネルギー、海洋資源と漁業、輸送、健康、土地利用、生態と環境など)のとくに重要な反応によって気候変化と変動の影響の知識を改善すること。
- (2) 気候変化・変動と人間の社会・経済活動との相互作用に関するわれわれの知識と認識を開発する。
- (3) 気候、環境、社会・経済要因の相互作用のシミュレーションの理解を深め、改善するために方法論



(ケース・スタディとモデル)の改善

- (4) 気候変化・変動に対してとくに脆弱性があるか、とくに回復力があるか、また、このような変化によって課せられた機会を利用することが許されるかどうかに関連させて、人間社会の発展段階の違い、自然環境の違いについての特性を決めること。

#### 4.3.3. 調査の型

多くの潜在的可能性を指摘した調査は世界気候会議で講演した over view paper や会議中の 討論の中で述べられている。なすべき調査の型を考えると、実行計画の草案にある提案は特定の地域領域だけでなく地球規模の研究や社会・経済分野(農業、水資源、エネルギー、海洋資源など)による調査を認識していることに注目すべきである。

#### 4.3.4. 既存の知識の概観と総合

過去の情報やケース・スタディに基づいた気候と社会との間の相互作用に関する既存の知識の総合をすることが、このような調査の一例になるであろう。もう一つは既存の定量的なモデル(地域あるいは国家気候モデル、全球系モデル)に気候変数を取り入れたものを概観することである。

#### 4.3.5. 地理的、地域的、社会的調査

行動の選択にともなう危険や利益によって初歩的な影響評価をすることは早急に必要であり、とくに、気候が人類の繁栄に大きな影響をおよぼす地域で必要性が大きい。この項には多くの食糧の乏しい領域(半乾燥地帯あるいは混潤熱帯)における農業活動に関する気候因子を取り入れたモデルやケース・スタディが含まれるであろう。気候と水資源、気候とエネルギーとの間の複雑な相互作用もまたこの項目に入る。

#### 4.3.6. 開発途上国に緊急に必要な調査

この項の1つの例は、気候と気候変化が人間の健康や病気に及ぼす影響である。第2の例は災害(たとえば、洪水、干ばつや砂漠化)に関する研究で、この災害は開発途上国にとくにきびしい影響を与えている。開発途上国にとって非常に重要なのは、いろいろな型の社会が気候変動や変化に対する脆弱性や回復力に関する研究であろう。アフリカのサヘル地方では、この型の研究はケース・スタディとして有効であろう。

#### 4.3.7. 方法論的調査

この項の1例は CO<sub>2</sub> の増加にともなって起りうる気温や降水量の地域的変化の影響がどの程度になりうるか

を調査するために、気候モデル実験の結果を利用することであろう。第2の調査領域は地域、国家、全球経済モデルに気候因子を取り入れる調査であろう。第3の例は気候変化と変動に関する新しい情報に対する政府や国民の予期される反応を調査することである。

#### 4.3.8. 影響調査計画優先度の基準

行動計画の中の重要な部分は調査すべき問題領域の実体および選択に用いられる一組の基準である。初期の計画は下記の特性の1つ以上を持った問題領域に集中すべきである。

- (1) 開発途上国にとって緊急に関心のあることに役立つもの、あるいは、あらゆる国に共通して必要なもの
- (2) 局地的または地域的に重要な問題に関係するもの
- (3) 理論的にみて意義があり、科学的に重要な問題(例えば全地球系の解析、または CO<sub>2</sub> 問題)
- (4) 総合的で学際的(社会および経済学を含む)ある優先度をもって、プロジェクトの最終選択をするためには、さらに追加してつぎのようなことを考慮する必要がある。
  - (a) 資源利用を極大にするように既存の他の計画と共に開発できる研究に対して、高い優先度を考えるべきである。他の国際機関によって遂行される気候関連のプログラムは沢山ある。たとえば、FAOの農業計画、MAB や IHP のような UNESCO の計画、食糧系に関する UNRISD の計画、砂漠化に関する UNEP の計画; ICSU の計画(例えば、生物地球化学サイクルに関する SCOPE のプロジェクト、等)
  - (b) ある調査は、独立的にあるいは国際的によりどころから援助される割合を変えながら、個々の国々やいくつかの国のグループで遂行することができよう。国際影響調査計画はこれらの計画を重複することなく完全にするものでなければならない。
  - (c) ケース・スタディの選択は、すべての計画の目的からみて関連のあるケースを幅広い視野で成しとげられるように、国際的あるいは国家的に提供された研究に関する内容の知識でなければならない。
  - (d) 複雑な調査分野で促進を計るための必要条件は学際的研究に好ましい環境が研究所にあるかどうかたしかめる努力を払うべきである。
  - (e) プロジェクトの最終選択をする前に、個々のプロ

ジェクトが投資に対して最大可能な効果を確実に生むようにするためには、資料、研究者、資源の利用度に基づいた実行しうる調査でなければならない。

#### 4.4. 社会が気候に及ぼす影響に関する調査計画

文明の誕生以来、人類は気候変化を経験して来たが、大規模に人間が誘発する変化は記録されたことはなかった。しかし、世界人口の増大、人間の活動規模の拡大にともない、いまや人間がこの惑星上の気候をつぎの数世代のうちに、自然の気候変化と同程度に知らずに変えてしまうことができそうに見える。このような好ましくない変化を防ぐために、賢明な行動をとるべき時機に当たっている。

人間の気候への影響は単独には考えられない。将来における気候の自然の変化や展開をあらゆる人間環境、社会・経済発展に関係のあるいろいろならえ難い分野とも関連させて調べる必要がある。自然的なものと同程度に人間活動に起因して起る気候変化と変動を識別できるためには、非常に多くの研究が必要になる。現在の推定では、少くとも今世紀末までは、気候的特徴は主に自然の地球物理的過程によって記述され続けることになろう。しかし、それから先の時代には、人間自身が気候進展の鍵をにぎるようになるであろう。そして、その程度は気候に関する長期間の運命に大いに影響するほどになろう。

世界気候会議では、地球上の気候に影響するかも知れない人間活動について関心を集めた。これらの影響は二酸化炭素や他の赤外吸収気体の大気への放射、地表面特性の変化、軍事活動、エアロゾル集中の増加、オゾン層への影響、腐熱の放出、天候や気候改変を含むように思われる。

このような問題点を1つの国が単独で処理出来るものでないから、気候変化に対応する計画、有害な影響をそらすための行動は明らかに国際的に起さねばならない。一例として、化石燃料の使用を削減しなければならないとすると、それを効果的にするためには世界中の行動が必要になる。このような決定は、ある国民や地域では得するであろうが、他のところではかなりの費用がかかるということを中心に留めて履行されねばならない。

##### 4.4.1. 人間活動が気候に及ぼす影響のカテゴリー

多分野にわたる人間活動は気候の変化に寄与するであろう。しかし、これら諸活動による主な気候的影響は、地理的スケールやその影響が蓄積される期間によって違ってくる。これらの気候を変える過程の時間・空間スケ

ールを明らかにすることは、緊急に必要とされる。

人間の気候に対する影響の中で、より重要なカテゴリーは次の通りである。

##### 4.4.2. 化石燃料の燃焼と森林破壊から放出される二酸化炭素

人間によって大気中に放出される二酸化炭素は、光合成によって大気からうばう炭素や昔の炭素を含め、大気中の二酸化炭素の蓄積量として、結果的には知ることができる。このような蓄積は1958年のIGY以来、バックランドCO<sub>2</sub>レベルの測定により確かに観測されている。CO<sub>2</sub>の気候的影響は赤外放射の吸収によって起こり、地球の下層大気を温めることになる。これは一般に“温室効果”と云われている。今世紀における大気中のCO<sub>2</sub>濃度の増加は下層大気の昇温を測定できるほど十分ではない。しかし、現在、提起されているCO<sub>2</sub>濃度は来世紀のはじめに有意な温暖化をもたらすかも知れない。大気大循環や降水量、蒸発(水文サイクル)への間接的な気候的影響もまたおこりそうである。

気候を決定し、CO<sub>2</sub>やほかの赤外吸収気体の影響を予測する問題の複雑さを説明するには数多くの相互作用のメカニズムがある。極付近の氷床の安定性は関心の大きい問題である。モデル実験の示すところによると、極地方は赤道地方よりもはるかに温暖化するであろう。その影響は海洋や大気の大規模な循環に変化をもたらし、それに付随して地球の多くの地域で降水量や気温分布が変化し、少くとも夏の期間に北極の氷山が消失する可能性がある。このような温暖化は、また極付近の氷床について関心をおこすであろう。とくに、海面下に底部のある南極西部の氷床はとけやすく、そのために海面の高さが世界的に上昇することに寄与することになるかも知れない。

##### 4.4.3. 他の赤外吸収気体

人間活動の結果、大気中へ放出される他のいくつかの気体には放射効果に関連してCO<sub>2</sub>と似た作用をするものがあり、気候に影響する可能性がある。これらの気体の中にはクロロフルオロメタン(冷却作用、スプレーカンの推進体や他の目的に用いられる)、炭素四塩化物やメチルクロロホルム(工業溶剤として用いられる)、塩素化合物がある。これらは大気中における寿命時間がかなり長く、蓄積されているのが観測されている。NOはまた、工業、家庭、農業活動から発生する窒素化合物の分解によって、来世紀にかけて大気中に大量に投入される可能性がある。

#### 4.4.4. 土地利用の変化

時間がたつにつれて、大陸の地表面はいろいろな人間活動によって著しく変化している。多くの地域では、森林は農業のために切り拓かれ、大きな貯水池や灌漑組織が作られ、道路が作られ、都会地が拡大している。このようなあらゆる地表面の変形は局地的ないし地域的なスケールの気候に影響する可能性を持っている。この影響はつぎの4つの主な原因の1つないしそれ以上のことから生じている。

- (1) 地表粗度の変化。これは大気と地面との間で大気運動の運動量やエネルギー交換を支配する。
- (2) アルベドの変化。これは太陽放射が地面を加熱する割合を決める。
- (3) 地表面の保水能力の変化。これは地表面と大気との間の水の流れを空間、時間的に再配分する。

気候に対するこのような影響は局地的レベルでは重要である。しかし、より大きなスケールの場合におけるそれらの重要性は余り明白でない。これは地域または地球規模における気候の適切な研究によって、明らかにされよう。

#### 4.4.5. 成層圏の変化

上層大気におけるオゾンや他の化学物質の変化は、人間活動によりある汚染物質が入りこむことによって生ずるかも知れない。これらの変化は人間活動によって成層圏へ持ちこまれる塩素化合物（たとえばクロロフルオロメタン）や他の物質によって変えられうる複雑な化学反応の組合せによって左右される。1970年代に世界中で生産されるクロロフルオロメタンの量は全大気オゾンを除々に減少させ、来世紀の半ば頃には約15%に達すると推定されている。オゾンの減少は紫外線の透過を強め、それが生物圏や人間の健康に重大な影響を及ぼすであろう。成層圏オゾン減少が気候に及ぼす影響は大きいであろうが、成層圏の化学過程や影響が十分に表現されている気候のモデル実験によって確かめる必要がある。

#### 4.4.6. 大気微粒子（エアロゾル）

多くの人間活動は（チリ、煙など）微粒子や  $\text{SO}_2$  のような気体を作り出し、それらはのちに、大気中で加水分解されて粒子になる。多くの国々において大気汚染規制法案によって、大きな粒子の大気中への放出は最近の数10年間に減少した。しかし、1マイクロメートルより小さな粒子はいまだにつくられ、大気中の放射過程に重要な影響をもたらす光化学過程に関する詳細な知識なしに冷却作用をするか温暖化作用をするのか、あるいは曇量

や降水量をふやすのか減らすのか気候への影響を評価することはむずかしいが、現在の知識では小さいようである。

#### 4.4.7. 熱放出

人間に用いられるあらゆるエネルギーの最終作品としての熱は、直接的あるいは間接的に大気中へかなりの量が放出される。この熱の大部分は発電所や重工業から放出される。現在、あるいは将来、相当の期間にわたって熱の放出がつけられるであろうが、大気中への総熱量は地球へ達する太陽放射にくらべると非常に小さい。しかし、熱放出は現在、将来とも地表面で均等に分布することはないであろう。局地的な影響を与えるのは熱放出の集中であり、地域のスケールにも影響しうるであろう。大規模に気候に影響することは、予見しうる将来について、まず起ることはないであろう。

#### 4.4.8. 天候調節

世界のある地域では、ある特別の目的のために局地的天候を調節する努力がなされている。たとえば、降水をふやしたり、雹の発生を抑制したりすることである。もし、これらの活動がさらに広範囲に発展すると、地域気候あるいは大規模な気候に影響が及ぶ可能性について確かめることが必要となろう。

#### 4.4.9. 軍事面

世界気候に影響を持つ人間活動の中には、戦争の可能性を含むことが必要である。地球熱核戦争は、人類にとって破局的結果をもたらすこと以外に自然環境の崩壊をもたらし、大規模な気候変化をひき起すであろう。

#### 4.4.10. 結論

すでに明らかにされている人間が気候へ影響する可能性についてのいくつかの形態の中で、大気中における  $\text{CO}_2$  の蓄積のために明らかに生ずる影響は、諸民族の世界共同体のもっとも緊急に関心を持つに価する。これはつぎのようなことが根拠になっている。

- (1) 将来の主要なエネルギー源として化石燃料に長期間にわたって社会が依存し、並行して森林破壊を続けると、将来数10年、数世紀にわたって大気中の  $\text{CO}_2$  が大量に増加する結果になるように考えられている。
- (2) 気候過程に関する現在の理解によると、 $\text{CO}_2$  の増加は地球規模の気候に、重大なそしてかなり長期間にわたる変化をもたらす可能性ははっきりしている。
- (3) 人間活動によって大気に加えられる  $\text{CO}_2$  は、自

然過程によってかなりゆっくりと取り除かれる。したがって、CO<sub>2</sub> 濃度の増加の気候的にみた重要性は長期間つづくであろう。

増加しつつある CO<sub>2</sub> が地球全体の気候および地域的な気候にあたる影響、大気—海洋—生物系内における炭素サイクルに及ぼす影響、これらの影響が社会—経済に及ぼす重要性について明らかにするために CO<sub>2</sub> 問題にかかわるいろいろな分野を国内および国際的なレベルで、研究を促進すべきである。

#### 4.4.11. CO<sub>2</sub> インパクトの最近の動き

1980年11月17日から21日にかけて、オーストリアの Villach において「CO<sub>2</sub> の気候変化に及ぼすインパクトの評価」に関する専門家会議が UNEP, WMO, ICSU の共催によって開かれた。この会議の主テーマはつぎの通りである。

- (1) 21世紀の化石燃料消費の予測
- (2) 21世紀における地球生物圏の管理の予測
- (3) 炭素サイクルの明確化と大気、海洋、生物圏中の CO<sub>2</sub> 量
- (4) 大気中の CO<sub>2</sub> 増加が気候に及ぼす影響
- (5) 気候変化への潜在的影響

2025年における大気中の CO<sub>2</sub> 濃度は 410 ないし 490 ppm で、最もあり得そうな値は 450 ppm。化石燃料だけによる増加は2025年までに 425±25 ppm に達しよう。

CO<sub>2</sub> 濃度が2倍になったとき、地表温度の昇温はモ

デルによって違うが、つぎのようにまとめられる (第2表)。

また、1981年9月に開催される WMO/UNE/ICSU 主催の「大気 CO<sub>2</sub> データの解析と解釈に関する科学会議」ではつぎの項が討論される。

- (1) 大気中の CO<sub>2</sub> の時間変化に影響する要因
- (2) 観測所、船舶、航空機、風船観測から推定される CO<sub>2</sub> の地球的分布
- (3) CO<sub>2</sub> の地球的分布に影響する大気過程 (小規模、大規模) の確定化
- (4) CO<sub>2</sub> の自然的なソースとシンクを明確化するための大気 CO<sub>2</sub> データの利用
- (5) C<sup>13</sup> と radio-carbon の空間分布、収支、時間変化
- (6) 炭素収支における大気輸送と大気を含めたモデル。

#### 4.5. 気候研究計画

##### 4.5.1. 目的

われわれの社会的、経済的生活は、気候変化により被害を受けやすい。一方、人間活動は局所的、地域的、全球的気候に影響を与えるかもしれない。これらは、気候の変化と変動が、なぜ起こるか、どのように起こるか、どこで起こるかを決定し、それによって気候の変動と変化の将来の発生を予測しようとする世界気候研究計画 (WCRP) を通して、国際社会が提言すべき問題である。

WCRP の主な目的は

- 気候がどの程度まで予測され得るか。
- 気候に対する人間の影響はどの程度か。

を決定することである。

これらの目的を達成するためには

- (1) 全球的、地域的気候やその時間的変動の知識、及びそれらをつくりだしている機構の理解を深めること。
- (2) 全球的、地域的気候の有意な長期傾向についての事実を評価すること。
- (3) ある範囲の空間と時間スケールに関して気候系をシミュレートでき、また、気候系の予測可能性を評価できる物理・数学モデルの開発、改良を行うこと。
- (4) 自然や人間に起因して起りうるインパクトに対する気候の感応度を調べ、特殊な乱れの影響に起因して起こりそうな気候の変化を評価すること。

が必要である。

##### 4.5.2. 気候の定義

第2表

(a) Results from radiative, convective equilibrium models	
Manabe and Wetherald (1967)	2.3°C
Manabe (1971)	1.9°C
Ramanathan (1975)	1.5°C
Wang <i>et al.</i> (1976)	1.6°C
Augustsson and Ramanathan (1977)	2.0°C
(b) Results from general circulation models of climate	
Interactive ocean	
Manabe and Wetherald (1975)	2.9°C
Manabe and Wetherald (1980)	3.0°C
Manabe and Stouffer (1979/80)	2.0°C
Hansen <i>et al.</i>	3.5°C
Non-interactive ocean	
Gates and Cook (1979)	0.3°C
Mitchell (1979)	0.2°C

これまで、天気と気候を区別するのに、いろいろな定義があった。この文書の目的のために、次のような定義を採用する。

- 天気とは、時間的にある特定の瞬間における大気の完全な状態、および個々のじょう乱の発生、発達、衰弱に伴う大気状態の進展に関連するものである。
- 気候とは、資料全体の統計的性質（平均値、分散、異常な事象の確率等）が有意といえるほど充分長い期間がとられているとき、その全期間にわたる天気を総合したものであって、瞬間の状態をいうものではない。
- 気候変化とは、気候パラメータや気候統計量の長期間にわたる平均値に差が生ずることをいう。ここで平均は、ある指定された期間、通常は数10年にわたってとられる。
- 気候変動とは、月の値、季節の値、年の値が気候的に期待される値（時間平均）からずれることをいう。このずれを、通常、偏差という。

#### 4.5.3. 気候系の成分

気候系は次の成分から成立っている。

- 大気；大気は気候系の最も変わりやすい部分である。対流圏は特徴的な応答をする。すなわち、1週間のオーダの熱的調整時間をもっている。一方、成層圏やより高い大気層における過程や時間スケールは全く異ったものである。
- 海洋；海洋の上層部は、その上にある大気や氷と、数カ月から数カ年のオーダの時間スケールで相互に作用し合っている。一方、海洋の深層部は、数百年のオーダの熱的調整時間をもっている。
- 氷雪圏；世界の氷塊や雪の堆積物から構成される氷雪圏は大陸上の氷原、山岳氷河、海氷、積雪を含んでいる。積雪と海氷の拡がりの変化は、大きな季節変化を示す。一方、氷河や氷原は非常にゆっくりと応答する。
- 陸地表層；陸地表層とは、ここでは、大陸の陸地部分を指すものとする。それは山岳や平野、表面岩石、土壌、植生は勿論のこと、水循環の重要な成分である湖、河川、地下水も含んでいる。これらも気候系の一部で、いろいろな時間スケールで変化する。地球の表面は、気候的に重要であるかもしれない空気中の浮遊粒子の主要な発生源である。土壌は気候や植生に応答しながら変化してい

く。

#### 4.5.4. 時間と空間のスケール

WCRP は、主として、数週間から数10年までの時間スケールの現象に関係すべきである。しかしながら、総観規模じょう乱のような数週間以下の時間スケールをもった個々の天気現象のアンサンブルの性質も WCRP の対象となる。数10年までという一般的制約は、広範囲なデータ・セットの利用性、数値モデルの実用性、計画立案者や政策決定者の主な関心事等を考えると妥当である。

WCRP は、主として、地域的スケール（約 1000 km）から全球的スケールまでの空間スケールに関係する。このような大きなスケールに着目することは、気候モデルについての技術的制約や気候的偏差の相関のスケールから考えて妥当である。小規模過程が気候に対して重要な役割を果し得ることは認識されている。これらの過程の理解およびこれらの効果を、モデルの中でパラメータ化することあるいは表現することは、重要な研究課題である。

また、反対に、経験や理論から導かれた気候情報を適用する場合、最終的には局所的な政策決定に使うことが多い。したがって、大規模な気候情報を適切な小規模のものに翻訳することを可能にする方法を開発することが望まれる。

実際の資料やモデル・シミュレーションにもとづく気候の研究は、平均値のみならず、稀な事象や異常な事象の発生確率も含む平均値のまわりの変動特性にも焦点をあわせるべきことが勧告される。

#### 4.5.5. 研究要素

以下の小節においては、効果的な気候研究計画の発展のために必要な研究や努力が6つの項目に分けられ、簡単に述べられている。

##### 1. 気候診断

地球の気候の広範な定量的記述は、研究のための本質的基盤となる。比較的簡単な統計量、すなわち、平均値、分散、共分散のあるものは、基本的変数としてかなりよく知られている。しかし、現在利用し得るものよりも、さらに完全な気候の統計的記述が要求されている。このため、より高次の統計量の決定がなされるべきで、これらは気候系の乱れに対する応答の研究の助けとなるであろう。

さらに、大気の統計的記述は、海洋についての対応する記述によって補足される必要がある。しかし、このために充分なデータを収集することは非常に困難である。

大気の変動量と大気外のパラメータ（例えば、太陽入射量、氷雪積、海水温度等）を相互に関係づける物理過程の研究は、観測される変動のどの部分が準無作為的な内部変動によるものか、また、どの部分が外部からの強制力によるものかを説明するために必要であろう。

統計的診断とは別に、大気の振舞の突然の変化、例えば、低気圧経路の突然の変化、ブロッキングの突然の開始等の癖を調べるため、総観的・経験的研究が続けられるべきである。

## 2. 気候モデルの開発

気候モデルは、集合的に気候を決定する気候系の中の物理的、化学的、生物学的諸過程を定量的に記述する目的のために開発される。

全球大気の振舞のいろいろな分野の研究のため、数値モデルは十分に確立された研究道具となっており、また、疑いもなく、それらは気候および人間の影響に対する気候感応度の研究において主要な役割を果たすであろう。しかしながら、気候研究のため、モデルに対する要求は、ある点では過去におけるよりも遙かに大きくなるであろう。特に、パラメータ化の問題は、より広範になり、困難になるであろう。

モデルの開発は、単に目的達成の手段を求めているのではなく、全体的気候研究の中の中心的な組織化と総合化の過程である。

モデル研究の社会では、完全な大循環モデルあるいは海洋・大気結合モデルから完全な3次元系の時間積分を必要としない簡単なモデルまで、モデルづくりの問題を階層別に取り扱うことが必要であろう。簡単なモデルは高度のパラメータ化を必要とするが、これが成功裡に達成され得ると、それらのモデルは、少い計算機費用のわりには有用な洞察を得る手段を提供する。室内実験モデルも、何か役割を果たすかもしれないので、無視されるべきではない。

すべてのモデルづくりには、その設計をたすけ、また、その有効性確認のため、4.1. で議論したデータ・ベースが必要であろう。

## 3. 気候学的に重要な諸過程

気候系の成分の中の諸過程や成分間の諸過程は気候に影響を与えるであろう。これらのうち、次のものには特別な注意を払う必要がある。

### 3.1. 海洋の諸過程

海洋は熱の貯蔵や輸送を通して、全球的熱収支の鍵をにぎる役割を果たしており、気候および気候変動の記述や

予測を試みる計画の中では、常に考慮されるべきである。したがって、気候計画の展開には、海洋と大気の気候的相互作用に主要な役割を果たす海洋諸過程の観測、解析、モデル化、予測を探究する海洋計画を結合すべきである。

数カ月から数年の時間スケールの海洋・大気相互作用は、主として海洋の上層数 100 m に限られている。最も活発な相互作用は、ジェット流（例えば、メキシコ湾流、黒潮海流）が発生する低緯度地域、不安定成層地域、氷の境界域、湧昇流地域、季節風形成地域で起こる。気候予測のためには、海洋上層部の監視体制を設計し、より実行可能な観測技術の開発をすることが必要である。観測体制は、海洋・大気結合モデルに関するデータを利用し、また、そのモデルにデータを提供するように設計されるべきである。

北向き熱流束とその全球気候モデルへの組み入れ、および無氷海洋のじょう乱によりかなりの変動を示すある海域から他の海減への熱輸送にも注意が払われるべきである。さらに、生物生産力の変化に帰因するかもしれない海洋アルベドの変化は、全球気候に重大な影響を与え得るということは注意されるべきである。

数10年から数100年の、より長い時間スケールに関しては、海洋の深海循環および極地方において深海へと海水を沈降させる過程について考慮がなされねばならぬ。これに関連する問題は、観測が困難なため、当分の間は研究の範囲にとどまっていなければならないであろう。

気候系の比較的完全な理解は海水の影響についての理解なしには達せられ得ない。海水の影響の理解には、例えば、北極と南極における海水の拡がり、氷原中の非氷結水圏の存在、熱交換に影響するその他の現象についての研究も関係がある。氷の問題は、海流にも関係し複雑であって、観測にもとづくモデルづくりの成功によってのみ解決されるであろう。

### 3.2. 生物地球化学循環

ある種の微量ガスは、放射伝達に対する影響を通して気候に影響し得るので、考察の対象にしなければならない。CO<sub>2</sub>、オゾン、水素酸化物、窒素および塩素を含む化合物がこれに属する。人間活動の結果として、大気中のそのような微量ガスの組成が、将来どの程度の値になるかを予測する能力を備えるため、生物地球化学循環とそれらの循環の各々の間の相互作用に関する力学についての研究を強化する必要がある。また、大気中に存在するそのような微量ガスの濃度を監視する必要があることは明らかである。したがって、現在行っている監視が適

切かどうかを再吟味する必要がある。

### 3.3. 雲と放射の諸過程

雲は入ってくる短波放射と出て行く長波放射のバランスを決定する上で、中心的な役割を果たしている。複雑な放射効果の計算は原理的には可能であるが、雲の分布と雲の光学的特性および放射特性の知識が不充分なので、そのような計算をすることはむずかしい。将来の気候モデルに使用するため、雲量とモデル変数の間の経験的関係をよりよくしていくことが必要であろう。

### 3.4. エアロゾルとそれらのいろいろな影響

エアロゾルは放射伝達に対する直接的な影響あるいは雲の形成と雲の特性に対する間接的な影響を通して気候に影響を与え得る。エアロゾルには、自然起因のものと、例えば工業によるもののように、人間起因のものがある。まず、重要な影響をもつエアロゾルの型を識別し、それらの気候学的分布を決定することが必要である。次に、他の物理的效果と比べて、エアロゾル効果の相対的重要性をモデル実験によって調べることが必要である。

### 3.5. 水循環

水循環は、大気の運動を引き起こす有力なエネルギー源を提供する。したがって、降水、蒸発、土壌水分、流出等のような水循環の諸成分を全球規模で研究する必要がある。

### 3.6. 陸地表層と氷雪圏の諸過程

数値実験は、地域的なアルベドや土壌水分の変化が気候に重大な影響を与えるであろうことを示している。モデル実験はいろいろな事実を明らかにしてきたけれども、モデルにとって、アルベド、蒸発、蒸発散、表面摩擦、氷雪積についてのより良い取り扱い、なお必要である。これら陸地表層効果の定式化の改善の設計は、格子間隔より小さいスケールの著しい不均一性によって困難にされている。

大気と氷雪圏の間の相互作用過程が、気候系のモデルづくりにおいて考慮されるべきことはよく理解されている。したがって、氷雪積と大気間のエネルギー交換について、研究のなされるべきことが勧告される。

### 3.7. 太陽・地球間関係調査

気候に対する太陽活動の影響について、定量的な評価のなされるべきことが勧告される。気候変動に関して、上層および下層大気中の相互作用過程の役割を評価することが必要である。

## 4. 気候の予測可能性

数カ月までの時間スケールの気候変動の大部分は、1週間前後の期間にわたって予測可能な個々の天気系の合成効果であるけれども、その変動のある特徴、例えば、低気圧径路、ブロッキングの出現率、季節風的情況等をもっと長い期間にわたって予測が可能であるかもしれないと期待するのは妥当である。したがって、数週間から数10年の期間にわたる大気変動の主要な特徴を予測するためのモデルの能力をテストすることが要請される。このモデルには、気候系のゆっくりと変化する成分の影響が含まれているべきである。

### 5. 気候感応度

ここでは、次の条件の変化に対する気候の感応度を評価する実験が関心事となる。

- (a) 境界条件 (太陽放射、アルベド、海洋・大気境界面の現象、植生等)
- (b) 大気組成 (CO<sub>2</sub>, オゾン, エアロゾル, クロロフルオロメタン等)

そのような研究は、気候に対する人間の影響に関する研究の大部分を包含するであろう。

### 6. 気候の長期傾向

前世紀および最近の千年の気候に関するもっとも有効なデータ・セットを用いて、現代の気候体制の変動の長期傾向を評価、解析すべきことが勧告される。

古気候の研究は、そのような評価および可能な気候シナリオの作成を含む気候予測研究のための基盤を与えるから、その研究の拡大が強調されるべきである。更に、現代的な地形学的、古地理学的、生物学的の方法の開発がなされるべきである。

### 4.5.6. 気候研究のための資料要請

前節で論議された統計的診断を確立するため必要なデータとは別に、気候研究の他のいろいろな目的のためにもデータが要求される。

- (1) パラメータ化。一般に、ある種の物理的諸過程は、統計的な意味でのみ気候モデルの中で考慮され得る。これらのパラメータ化の方式のうち、ある種のもの設計には、適切な空間と時間スケールの特別観測計画が必要であろう。
- (2) 検証。天気予報を含む一般的な目的のために存在する全球観測体制から得られたデータ・ベースは、おそらく気候モデルの結果の検証に充分役立つであろう。しかしながら、この目的のために、そのデータ・ベースを適切に利用するには研究が必要である。さらに、過去に起こったことが知ら

れている地球上の気候体制の非常に大きなふれを再生する気候モデルの能力を確認するための重要な唯一の手がかりは、古気候の再現によって得られる。

#### 4.5.7. 科学的優先度

次の特別な話題は、WCRP の中でも高い優先度をうけるべきである。それらは、気候研究において、科学的に扱いやすく、また、基本的な重要性をもっているものとして認められてきた。

- (1) 全球的、地域的気候系の観測の総合 (研究要素 1. 参照)
- (2) 全球的、地域的気候の力学と統計学の研究のための階層別モデル開発 (研究要素 2. 参照)
- (3) 気候に対する海洋の役割 (研究要素 3.1. 参照)
- (4) 放射に対して重要な影響をもつ微量ガスの生物地球化学循環 (研究要素 3.2. 参照)
- (5) 雲の形成と分布 および その放射特性 (研究要素 3.3. 参照)
- (6) エアロゾルの型、光学的特性および雲に対する影響 (研究要素 3.4. 参照)
- (7) 水循環、蒸発、降水等 (研究要素 3.5. 参照)
- (8) 陸地表層、氷雪圏の特性と諸過程およびそれらの気候に対する影響 (研究要素 3.6. 参照)
- (9) 全球的、地域的気候変化に関連する古気候の再現 (研究要素 3.7. 参照)

### 5. 世界気候研究計画に関する世界気象機関と国際学術連合会議間の協定

#### 付則 B

#### 5.1 世界気候研究計画の定義

##### 5.1.1. 目的

われわれの社会経済生活は、気候の悪化に非常に弱体である。人類活動そのものも局地的、地域的または全球的な気候に影響を与えているかもしれない。このようなことが国際社会で世界気候研究計画 (WCRP) を通して呼び掛けている問題である。この世界気候研究計画は気候変化と変動が起る原因、その程度およびその場所を決定し、それによってその将来の発生の予想を試みることになる。

WCRP の主要目的は次のことを決定することである。

— 気候の予想可能な限界

— 人類の気候への影響の限界

このような目的を達成するためには、次のことが必要

となる。

- (1) 全球的また地域的な気候、それらの一時的な変動に対するわれわれの知識およびその応答機能に対するわれわれの理解の改善
- (2) 全球的また地域的な気候における重大なトレンドの証拠を評価すること。
- (3) 空間スケールおよび時間スケールの範囲にわたる気候システムをシミュレートし、またその予想の可能性を評価することが可能な物理的数学的モデルを開発し、また改善すること。
- (4) 起こり得る自然的また人工的な刺激に対する気候の感応度を研究し、また特定の乱れの影響によって生ずると考えられる気候の変化を推定すること。

#### 5.1.2. 時間および空間スケール

WCRP は初期の段階には数週間から数十日にわたる時間スケールを取扱うべきである。しかしながら、例えばシノプチック擾乱のような数週間以下の特定の時間スケールを持った個々の気象現象による総合特性は含まれる。数十日に対する一般的な制約は広範囲なデータセットの利用可能性、数値モデル化の実用性およびその計画者や決定者の主要な関心と一致している。古気候学的な復現のような幾つかの要求は疑いもなくより大きな時間スケールを含むことになろう。

WCRP は初期の段階には地域 (約 1000 km) から全球にわたる空間スケールを取扱うべきである。これらの大スケールについて強調すべきことは、気候モデル化の技術的制約および気候偏差の相関スケールの技術的制約と一致している。小スケールの過程も気候の重要な役割を演ずることができることが認められている。これらの過程の理解およびそれらの効果のパラメーター化あるいは表現性は重要な研究問題である。

#### 5.1.3. 研究要素

WCRP 内では次の要素に分類されている。

— 気候モデルの開発

— 気候の予測可能性

— 気候の感応度

— 気候学的な重要過程

— 気候診断

— 気候データ要求

#### 5.1.4. 学術的な優先順位

次のような特定の題目が WCRP 内では高い優先順位を受けるべきである。これらのものは学術的にも取扱い



が容易であり、また気候研究に基本的に重要であるとして同定されている。

- 全球的また地域的な気候系の観測データの統合
- 全球的または地域的な気候の力学および統計学研究のための階層別のモデル開発
- 気候系における海洋の役割
- 放射上から重要な微量ガスの生化学的なサイクル
- 雲の形成、分布および放射特性
- エアロゾル、光学特性および雲への影響
- 水文学的サイクル、蒸発および降水等
- 地表面と冰雪圏特性と過程およびそれらの気候に対する影響
- 全球的また地域的な気候変化に関連する古気候の復現

5.1.5. 世界気候研究計画の機能

気候に関連する診断的、理論的また実験的な研究活動は、国家内の学術研究設立機関で実行されることを了承し、WCRPの幅広い目的は、これらの国家努力を調整し増大させることにあるべきである。WCRPの主要機能は次のことにある。

- 特殊現象や特殊なメカニズムの研究のための特定の地域的または全球的な実験を要請に応じて発足させること。
- 国家機関または研究所に対する勧告のための研究

優先順位を同定すること。

— 要請に応じて関連の国際研究活動を奨励し、また調整すること。

— 気候研究に関する情報の急速な伝達を計ること。

5.2. 最近の動き

JSCはWCRPの予備的な計画を流したが(1981年1月)、その中で国際衛星雲気候計画を推進することになった。その一環として、NASAの気候研究を管理しているSchifferが来日した。また、1981年5月に東京ではPilot Ocean Monitoring Study (POMS) Time Seriesの会議がJSC/CCCO主催で開かれた。また、1982年には再び東京でJSC/CCCO主催の「海洋実験」の研究会議が開かれる予定である。

6. おわりに

世界気候計画はWWW計画と同じように、今後、長期間にわたって推進されるであろう。この計画が花を開き、実を結ぶのは、現在、指導的立場にある有名な方々の時代ではなく、むしろ無名に近い若い人達の手によってなされるだろう。何度か述べたように、世界気候計画はまだ検討の段階で、手さぐりのところが多いが、年を追って、具体化され大きなプロジェクトに成長するであろう。将来が期待される。

気象学会および関連学会行事予定

行 事 名	開 催 年 月 日	主 催 団 体 等	場 所
第7回「リモートセンシングシンポジウム」	昭和56年11月17日～18日	(社)計測自動制御学会	機械振興会館
第28回風に関するシンポジウム	昭和56年11月27日	日本建築学会ほか	東京大学生産技術研究所第1会議室
昭和56年日本気象学会秋季大会	昭和56年12月1日～3日	日本気象学会	愛知県中小企業センター
月例会「レーダ気象」	昭和56年12月9日		気象庁東京管区気象台会議室