

世界気候会議と世界気候計画*

片 山 昭**

1. はじめに

「気候と人類の専門家会議」のサブタイトルを付した世界気候会議 (World Climate Conference, WCC) がジュネーブで開催されたのは、1979年2月12日より23日に至る2週間であった。現在、人類と気候との関わり合いは看過し得ない段階に近づきつつあり、これに対処するために世界気候計画 (World Climate Programme, WCP) の立案が急がれていた。WCC の目的は、多方面に及ぶ関連分野の専門家が一堂に会して WCP の骨子を作成することであった。それから3か月後の本年5月の第8回 WMO 総会において WCP は決議され、1980年からスタートすることになった。

ここ数年、世界の気象界は WMO と ICSU (国際学術連合) との協力のもとに GARP (地球大気開発計画) という国際的大事業を推進中であり、現在はその本命である FGGE (第1次 GARP 全球実験、全球気象実験ともいいう) という空前の巨大観測計画を実施中である。この計画は、昨年12月から始まり今年の11月に終了する。この1年間にわたる膨大な観測データは、大気大循環の研究の上に測り知れない価値をもたらすものと期待されている。GARP のタイム・スケジュールとしては、1980年代に FGGE に続く第2次総合計画として気候の問題を取り上げるべく準備が進められていた。しかし今回の WCP の発足に伴い、GARP は WCP の中に組み入れられ発展的に解消することになった。

ここでは、WCC における報告や結論を WCP と関連をもたせつつ紹介したいと思う。とはいって、すでに気

象 (5月号) や科学 (7月号) に WCC のトピックスや印象記を断片的に紹介し、測候時報 (46巻、9・10号) にその全体像について詳述しているので、それらとの重複は避けがたく筆が進まなかった。WCC に関連するかなりの部分は測候時報へのものからの抜粋であることを断わっておく。なお、WCC については高橋 (1979) の紹介もある。

2. WCC の目的と概要

この十数年間、世界の各地で毎年のように厳しい異常天候に見舞われ、手痛い被害を被っている。そのうちで最も衝撃的であったのは、1968~1973年の5年間にわたり、サハラ砂漠やリビア砂漠の南辺に位置するヌーダン・サヘル地方を襲った大干ばつである。その地方に住む6,000万人が影響を受け、約10万人が餓死し家畜の1/3を失なったという。このような一連の気候的打撃は、無秩序に拡大し続ける人間社会が、気候の変化や変動に対する順応性を失ない弱点を増大させていることを強く印象づけるものである。さらに一方、増大する人間活動により全球規模での気候が変化する恐れも強くなっている。

このような状態を放置することは極めて危険であり、WMO はその第29回執行委員会 (1977) において、上記の問題に対処する方策を探るため世界気候計画の推進の必要性について合意に達し、その骨子を設定するため、広い分野の専門家による WCC を2年後の WMO 総会の前に開くことに決定し、関連する他の国連機関である UNESCO (国連教育科学文化機関)、FAO (食糧農業機関)、WHO (世界保健機関) や UNEP (国連環境計画)、非政府国際機関である ICSU (国際学術連合) や IIASA (国際応用システム研究機関) の協力のもと

* World Climate Conference and World Climate Programme.

** Akira Katayama, 気象庁長期予報課。

に準備が進められた。

WCC には、気候や気象の専門家（約 1/3）のみならず、気候に関係あるエネルギー、食糧、水資源、土地利用、農業、林業、漁業、海洋資源、保健、経済および社会の専門家が世界の 53か国から約 350 名参加した。日本からの参加者は 7 名であった。

WCC の目的は、すでに触れたように、気候の変化と変動、およびそれらと人間活動との関わり合いについて現在われわれが持つ知識をサーベイし、それに基づいて WCP の骨組を作ることであった。なお、気候問題を国際政策の場に反映させるために、政策決定権を持つ閣僚レベルの世界気候会議の開催の可否についても討議することが求められていた。対外的には、気候の変化と変動と人間活動との関わり合いが見過ごし得ない重大な曲角にきていることについて、世界の国々や人々の認識を強く喚起することも重要な目的であったといえよう。

WCC は二つの部分からなる。前半の 1 週間は公開のシンポジウムであり、指名招待された 24 名の専門家が、その各々の専門分野と気候との関わり合いについての知識の現状の総合報告を行ない熱心な討論が交された。

後半の 1 週間はあらかじめ指名されていた約 120 名が残り、四つの作業委員会 (WG) に分かれ、先週の討論に基盤を置きながら、与えられた問題について論議を重ね、WCP の骨子となるべき対象や基本的な考え方を、それぞれ 10 頁内外のドキュメントにまとめた。四つの作業委員会とは次のものである（括弧内は参加人数と日本からの参加者名）。

WG-I. 気候資料とその応用 (33 名、安井正、土井長之)

WG-II. 人間活動の気候への影響 (28 名、高橋浩一郎)

WG-III. 気候の変化と変動の社会へのインパクト (34 名、市村真一、福井捷朗)

WG-IV. 気候の変化と変動の研究 (24 名、片山昭)

そして、最終日の総会において、2 週間の討論を集約して、WCP 実施の緊急性を勧告する WCC 宣言が採択された。

この会議で特に強調された対象は、大気中の CO₂ 増加の問題、森林破壊と砂漠化の問題、気候システムに占める海洋の重要性、気候資源の概念、最適気候と人工気候調節の問題などであった。もちろん、熱放出の増加、クロロフレオメタンや窒素肥料の使用がもたらす影響やエーロゾルの問題も討論的になつた。

なお、閣僚レベルの世界気候会議の開催の可否については、現在われわれの持つ気候の知識は不充分であり、より研究を積み重ねてから開くのが得策とする時期尚早論が多数を占めた。

3. 基調演説について

シンポジウムの冒頭において、WCC 議長の R.M. White が「千年期 (millennium) をめぐる気候」と題する基調演説を行なった。2000 年をめぐって人類が直面するであろう、人口、エネルギー、食糧などに関わる難問題を抽出し、それと密接な関連を持つ気候問題を考察し、気候資源の賢明な活用や配分の方策を探ることの重要性を強調し、今からその解決のために WCP を発足させるのが、後世代の人類のためにわれわれがなすべき責務であり、もはや失なう時間は無いとする格調高いものであり、参加者の心に強く訴えた。

その演説草稿の中から 2 ～ 3 の名文を拾ってみよう。まず、政策指導者が極端に短かい時間スケールで行動しがちであるのを指摘して「策策者は昨日の災害を忘れ今日の良い時間のみを記憶している」と批判する。気候予測の問題に関しては、「われわれは、科学的信頼度を超えて期待感を強調すべきでないし、また科学的警告を超えて恐怖を強調してもならない」とアドバイスしている。さらに、「気候の変化は、世界の種々の地域に異なる影響を与えることは明らかである。勝者があれば敗者もある。気候の変化は、人間の側から見れば全く任意的ともみえる富の広汎な再配分をもたらすのである」と強調している。

White 議長の演説に統いて、副議長の E.K. Fedorov (ソ連の指導的気候学者) の「気候変化と人間戦略」と題する報告があった。プログラムでは総合報告の部門に入れられていたが、基調演説に準ずる内容であった。まず、過去の気候変化や人間活動の気候への影響をサーベイする。そして、多くの科学評論家が唱えている氷期襲来説を全く根拠なき創作と批判し、北半球はすでに温暖化に転じたと見るべき証拠があると発言した。

さらに、気候変化に対する人間戦略として三つを挙げる。最も重要な第 1 戦略として、気候変化の予測への挑戦を挙げ、第 2 戦略としては、自然および人間起因による気候変化のアセメント、第 3 戦略としては、気候変化による悪影響、あるいはそのような気候変化を避け得る方策を確立することであるとした。第 3 戦略に関連して、人工気候調節問題に言及し、いたずらに危険視する

ことなく、世界平和のもとに推進する必要について再考することを提案した。

最後に、WCP を実施するうえで必須の条件として：

(1) 社会体制の異なる国々の平和共存を通してのみ密接な協力活動は可能であり、ために世界の紛争を防ぎ、永続する世界平和を確立すること。

(2) 軍拡競争を止め軍縮を推進すること。これによってのみ WCP のような国際的大事業に必要な膨大な資金を得ることが可能である。

と述べ、参加者全員の合意を期待すると結んだのである。全く正当な提言であり、早く実現して欲しいものであるが、WCC の席上でなぜこのような発言をしたかの意図がはっきりしなかった。会議の最初の 2 日間には、ソ連圏の専門家が機を見ては次々と質問に立ち、質問事項にかこつけて、この Fedorov の軍縮問題提案を支持する発言をながながと続けるのでプログラムの進行は著しく妨げられ、さき行き不安に包まれた。3 日目の会議の冒頭において、White 議長が「WCC での討論は学術的なものに限る」との強い判断を示したことにより、この問題は一応おさまった。

これに続く総合報告は、それぞれ力作である。一つ一つを紹介することは紙数の関係で無理である。人間活動の気候への影響は WCC の一つの焦点になったが、それについては 4.5 節で簡単に触れることにする。なお、WCC の Proceeding は本年(9 月に発刊された WMO Pub., No. 573)、800 頁に及ぶ大部なものである。

4. WCP の骨子——作業委員会の結論

すでに触れたように、各々の作業委員会で得られた結論は WCP の supporting documents としてまとめられた。これは、第 8 回総会での WCP 実施決議の付属文書「Outline Plan and Basis for the World Climate Programme, 1980-1983」にそのまま活かされている。WCP は次の四つの柱 (components), すなわち、

Climate Data Programme (CDP, 気候資料計画)

Climate Application Programme (CAP, 気候応用計画)

Climate Impact Study Programme (CIP, 気候インパクト研究計画)

Climate (Change and Variability) Research Programme (CRP, 気候変動研究計画)

から構成されることになっているので、この線に沿って各々の WG のドキュメントを簡略に紹介することにす

る。なお、WG-II で討議された「人間活動の気候の変化と変動に及ぼす影響」は WCP の独立した柱とはなっていないが、それは WCP の全体計画の中で総合的に取り上げられるべき重要問題と認識されたからである。なお、WCC ではこの主題に取り組む特別作業委員会を設けることを決定している。

4.1 気候資料計画 (CDP)

CDP の目的は、WCP 推進のために信頼度の高い資料の利用可能性を促進することである。そのため、参加各国、WMO およびその他の関連国際諸機関は次のプロジェクトに優先度を付することが要請される。

(a) 100 年あるいはそれ以上継続してなされた測器観測の所在を探索し、収集し、資料の品質を点検し、それ等資料の容易な利用を可能にする方式を確立すること。

(b) 気候観測網を確立し、維持し、改善すること(観測点の空間的配置の改善、資料の品質管理と均一化など)。

(c) 海洋観測網を確立し、維持し、改善すること。

(d) 水文観測網を確立し、維持し、改善すること。

(e) 國際的に適合する資料管理計画を確立し、資料の交換を促進すること。

(f) 気候資料を容易に利用しやすい方式に編集し、処理すること。

(g) 気象、水文、海洋、古気候、生態および社会・経済に関係する資料の所在を探索し、それらの照合システムを確立すること。

(h) 新しい観測技術、特に全球規模での気候監視に利用し得る宇宙空間技術を開発すること。

以上の優先的なプロジェクトの実施にあたり、発展途上国への支援についての特別な配慮が必要である。

CAP, CIP および CRP の諸計画を成功に導くには、広汎な資料すなわち、

(a) 気象、海洋、水文および地球物理学的資料

(b) 生物および生態的資料

(c) 社会および経済的資料

の開発が必須であるが、まずその第 1 目標として、タイプ (a) の資料の取得のための国際協力がなされるべきである。第 2 目標は (b) および (c) のタイプの資料の取得の促進であるが、WMO の守備範囲を越えるものも多く、適切な国際組織の下に、国家レベルおよび地域レベルでの協力を進める必要があろう。

最高位の優先度を、既存の気候観測網の拡大と改善、

国際的に適合する資料システムの開発に付すべきである。前者に関しては、特に衛星資料の増加、放射や水収支観測を含む地上観測網の拡大と全世界的海洋観測の推進に焦点を置くべきである。後者に対しては、気候資料の適時収集、品質管理、保存および交換のために融通性ある処理方式とformatの開発に重点を置くべきである。

4.2 気候応用計画 (CAP)

世界の多くの地域では、現在でも気候サービスを実施する上で充分な情報を持っている。これらの情報は、社会経済開発の立案や日々の管理業務にとって価値あるものである。気候情報の利用を通じて、計画の立案者や施行者は、異常気候によって受けるであろう損失を減少し得るのである。しかし、現状においては、気候知識の価値が過小評価されがちでわずかしか活用されていない。一方、発展途上国はスタートしたばかりであり、気候の資料や専門技術に一般に欠けているのである。

広い分野の人間活動が気候に対して敏感であるが、特に強い影響を受けるのは、食糧生産、水資源、エネルギーや人間の居住や保健の分野である。これらの分野への気候サービスのため、気候専門家は農業専門家や工学専門家などの異なる分野の人々との密接な協力が必要である。

気候応用計画の目指すゴールは、社会・経済問題への気候知識応用の価値について、国民および施策者の認識を啓発すると共に、気候知識を適時利用できるよう準備しておくことである。そのため、CAPの実行計画の中に、

(a) 気候情報の利用により得られる潜在的利益についてのユーザーの認識の増大

(b) 気候情報を提供し配布する機能の改善

(c) 気候応用についての研修の促進

のために、国の気象および水文サービス機関を支援する計画を含む必要がある。さらに、国際的には、気候資料の食糧、水資源、エネルギーおよび保健の分野へのより効率的な応用を可能にする新しい方法論を開発する計画も含むべきである。最後に、研修や適切な技術導入を通じて、発展途上国がWCPに全面的に参加し得るような支援計画を設定することを忘れてはならない。

4.3 気候インパクト研究計画 (CIP)

WCCでのWG-IIIによるドキュメントである。この問題は多くの分野にまたがり、また総合的討論の歴史も浅かったため、3日間のWCCの討論からは具体的でコンクリートな結論を得ることは難かしかったよ

うで、原則的な基本方針を示すに止まっている。

CIPの究極の目的は、合理的な政策の選択のために気候を考慮することの重要性を明らかにすることである。異なる自然環境、社会構造や経済体系および異なる開発レベルによって受ける気候のインパクトは異なるものになる。基本的な研究としては、食糧、水、エネルギー、保健などのような人間社会にとって極めて重要であり複雑な問題に含まれている、気候、生態、社会・経済などの諸因子の間の関係を解明することを目指すべきであり、そのため次に掲げる問題に特別な関心を払うべきである。

(a) 気候の変化と変動が人間活動に及ぼす直接的影響 (primary responses) を明らかにすること。

(b) 気候の変化と変動と人間活動との間の相互作用についての知識の改善。

(c) 気候、環境および社会経済因子の間の相互関係の理解を深めるための方法論 (事例解析や数値モデル) の開発。

(d) 異なる発展段階において、そして異なる自然環境の中において気候の変化と変動に対して、特に大きな弱点を持つかあるいは特に強い適応性を持つような人間社会の特性を明確にする。

気候インパクトの解析に適用されるべき研究方法は、効率性、時間および資金の制約、結果の均一性、両立性、対応性および信頼性の観点にたって選択する必要がある。また、CIPの推進にあたりその研究成果についての定期的な総括と価値評価をなすべきであろう。

4.4 気候変動研究計画 (CRP)

この骨子はWCCのWG-IVで討議された。この主題はGARPの第2次対象として、数年来論議を重ねてきた問題であったため、他のWGのドキュメントと比較してかなりコンクリートなものとなっている。CRPは、国際的にはWMOとICSUの協力のもとに推進されることに合意が成立しており、気象学会とも直接関わりがある計画である。

まず、CRPの主要な目標として、

(1) 気候をどの程度予測できるか

(2) 人間活動の気候への影響の範囲

を決定することに置く。この目標を達成するためには、

(a) 全球および地域的気候およびその変動の実態とメカニズムの知識の改善

(b) 全球および地域的気候の変化傾向の検出

(c) 理論的な気候モデルの改善と開発

(d) 可能な自然および人間起因の刺激に対する気候の感応性 (sensitivity) の研究
を必要とする。

研究を進めるに当たり、対象とする時間と空間スケールを設定するのが有効である。時間スケールは、数週間から数十年とする。下限の数週間という時間は気候の通常概念から外れているが、決定論的な予報限界を超える長期予報の守備範囲に入ることから選ばれた。上限を数十年としたのは、総合的な資料ベースの利用可能性、数値気候モデルの現実的な適用性、計画立案者や施行者が関心とする歳月を考慮して選んだのである。空間スケールは、地域規模 (1,000 km のオーダ) から全球規模 (10,000 km のオーダ) までとする。この下限は利用可能な気候観測網の分解能から規定された。

ドキュメントでは、これに統いて CRP の効果的な推進に必要な研究のエレメントにつきやや詳しく述べ、それに必要な資料について触れているが、ここでは省略する。最後に、CRP において高度の優先度を付すべきものとして次の九つの課題を挙げている。

- (1) 全球および地域的気候システムの総合解析
- (2) 各種気候モデルの開発
- (3) 気候システムにおける海洋の役割
- (4) 放射的に重要な大気中の微量気体の生物地球化学的サイクルの研究 (対象のガスとしては CO_2 , O_3 や水素、窒素および塩素の酸化物が含まれる)
- (5) 雲の生成、分布と放射特性
- (6) エーロゾルの型、光学特性および雲への影響
- (7) 水文サイクル
- (8) 陸地表面と氷雪圏の特性と過程およびその気候への影響
- (9) 全球および地域的気候変化に関連する古気候的再構成

気候およびその変化と変動の実態を把握するための総合解析と、気候の予測可能性や感応性を研究しひいては予測の問題につながる気候モデルの開発が、1位と2位を占めることは当然であろう。注目すべきことは、海洋の研究に第3位の優先度が付されたことである。(9)の古気候の問題は、CRP の時間スケールを数十年以下にしぼったことと矛盾して見えるので註釈が必要であろう。この課題は、古気候に見られる温暖期 (エーム間氷期、現代温暖期 (気候最適期)、中世温暖期など) や寒冷期 (ウルム氷期や小氷期など) に、気温や降水量の地理的分布はどうなっていたか、それが現在とどう違うかをサ

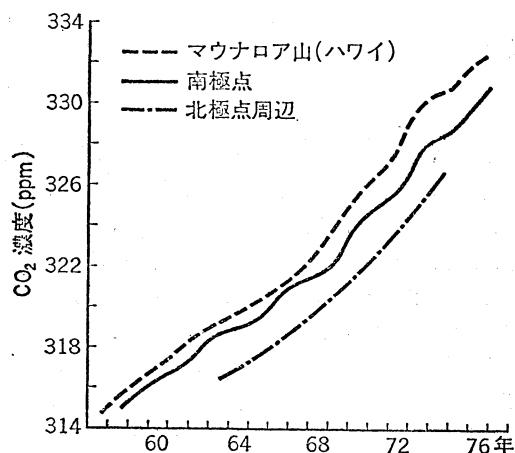
ーペイすることを目的としている。これは、地球が温暖化あるいは寒冷化した場合、気候分布がどう変わるかについて貴重な一つの判断材料を提供してくれるものである。

4.5 人間活動の気候への影響

この主題は、WCC の WG-II で討論された。この章の初めにも触れたように、これは WCP の独立した柱とはなっておらず、全般的に取り扱われることになるが、その主要な問題は気候変動研究計画 (CRP) の中で研究されることになっている。ここでは、WG-II のドキュメントにシンポジウムの総合報告の内容を加味しながら紹介することにする。

現在われわれのもつ気候の知識からでは、人間活動によってどのような気候の変化が起こるか、またどのようなスピードで変化するかについての信頼し得る予測を出することはできない。しかし、ある種の人間活動が現在のレベルで持続するかあるいはより加速される場合、数十年のうちに顕著な気候変化がもたらされる可能性が充分ある。多分、今世紀末までは自然起因の気候変化が卓越すると思われるが、その後の気候の変化と変動に関し、人間がその鍵を握ることとなる。ここで、気候変化の誘因となり得る主要な人間活動について簡単に紹介しよう。

4.5.1 化石燃料の燃焼と森林破壊に伴う CO_2 の放出
大気中の CO_2 濃度の精密な常時観測は、IGY (国際地球観測年、1958年) を契機として始められた。観測点はいずれも人里離れた所が選ばれた。第1図には、ハワ



第1図 世界各地で測定された大気中の CO_2 濃度 (ppm) の年々変化。

第1表 大気中の CO_2 濃度が 600 ppm (現在の約 2 倍) になった場合の地表気温の上昇量。

昇温量 ($^{\circ}\text{C}$)	研究者	用いたモデルの特徴
2.9	Manabe・Wetherald (1975)	3次元大循環モデル。大陸表面は完全湿潤、雪氷分布を含む水サイクルの予報、雲量は固定；極近くで数倍の効果をもつ。
2.4	Manabe・Wetherald (1967)	1次元 放射-対流モデル、相対湿度と雲量を固定。
2.0	Augustson・Ramanathan (1977)	1次元 放射-対流モデル、雲頂高度を固定。
1.9	Manabe (1971)	Manabe・Wetherald (1967) と同じ、ただし Rodgers-Walshaw の放射スキームを採用。
1.5	Ramanathan (1975)	1次元 放射-対流モデル、相対湿度と雲量を固定。
1.3	Sellers (1974)	2次元 熱バランスモデル、氷-温度-アルベードのフィードバックを含む。相対湿度、気温減率と雲量を固定；極近くで数倍の効果をもつ。
0.8	Rasool・Schneider (1977)	1次元 放射バランスモデル、気温減率、相対湿度、成層圏気温と雲量を固定。
0.7	Weare・Snell (1974)	1次元 放射バランスモデル、雲量予報と氷-温度-アルベードのフィードバックを含む。気温減率と相対湿度を固定。

イ島のマウナロア山 (17°N , 高度 3,400m) と南極点および北極点周辺のものが示してある。北極点周辺のものは、その上空を通過する旅客機で測定されたもので規準化されていないので、その変化傾向だけを見て欲しい。南極、北極や熱帯で、すなわち全球的に、ほぼ一様に増加しているのが伺われる。最近の年增加率は約 0.4% で、今後この状態が続くとすれば 21 世紀の半ばまでには現在の 2 倍に達することになる。

CO_2 増加の主要な原因是、化石燃料の燃焼と森林破壊である。森林破壊とは農地拡大のための森林の伐採と焼畑農耕や過放牧による草原の裸地化などを含み、差し引きとして CO_2 を大気中に放出することになる。Bolin の報告によれば、化石燃料の燃焼による CO_2 の形での炭素放出率は最近 $4.5 \text{ Pg}/\text{年}$ ($1 \text{ Pg} = 10^{15} \text{ g}$) であり、森林破壊に起因する年間放出量は 1 Pg から 5 Pg の間にすると見積もっている。大気中の炭素の增加率は $2.2 \text{ Pg}/\text{年}$ である。

今まで、炭素サイクルでは森林破壊は考慮せず、化石燃料使用により大気中に放出された CO_2 のうち、45% が大気中に残留し、25% が植物に吸収され、35% が海洋中に溶け込むとされていた。しかし、森林破壊が有力な CO_2 放出源であることが明らかになったため、今までの説は矛盾を生じ、再検討が迫られている。

大気中の CO_2 濃度が増えると、温室効果により大気下層の気温の上昇をもたらす。21 世紀の半ばには CO_2 濃度が 2 倍と推算されているが、その場合どんな気候の変化が起こるであろうか。第1表は、多くの研究者がそれぞれ異なった数値モデルを用いて、全球平均地表気温

の上昇量を評価したものである。その値はまちまちで、 0.7 ~ 2.9°C にまたがっている。最も精密な 3 次元大循環モデルを採用した Manabe・Wetherald (1975) の結果では、 2.9°C となっている。現世代 (1 万年前より現在) の最も暖かったといわれる 6000 年前の現代温暖期 (気候最適期ともいわれる) でさえ現在より 1.5°C しか高くなかったと推定されているのに較べれば、恐怖的な値である。

また真鍋らの結果によれば、昇温は一様でなく、低緯度では 2°C 程度であるが、高緯度にゆくに従って昇温量は大きくなり、 80°N では 10°C に達する。すなわち気温の南北傾度は弱まることになり、大気の大循環は不活発になり気候帯も変化するであろう。真鍋らの結果によれば、低緯度のハードレイ循環が拡大し (熱帯の上昇域が幅広くなり降雨域が南北に拡がる)、それに伴い亜熱帯高圧帯の中心 (乾燥帯に対応する) が高緯度側に数度ずれることを示唆している。これは真鍋の結果をそのまま紹介しただけであり、決して確信のあるものではないが、 CO_2 の増加により顕著な気候の変化をもたらす可能性が強いのである。

また、極地方の著しい昇温は冰雪分布に明らかに影響し、夏季には北極海の海水が消滅する可能性があるし、南極やグリーンランドの氷床の融解により、海面の水位が世界的に上昇する可能性もある。

4.5.2 他の赤外線吸収ガス

CO_2 以外でも、人間活動によって大気中に放出されている数種のガスは、放射特性したがって気候への影響も CO_2 に類似している。これらのガスのうちで、クロ

第2表 大気中の微量ガスの濃度変化に伴う地表気温の変化の見積もり。1次元放射モデルを採用。(a)は雲頂高度を、(b)は雲頂温度をそれぞれ固定した場合。

温室効果ガス	初期濃度 (~現在値)	変化率 (%)	温室効果(°C)	
			(a)	(b)
CO ₂	320 ppm	+100	2.0	3.2
CO ₂	330 ppm	+ 25	0.5	0.8
O ₃ (オゾン)	0.34 cm	- 25	-0.3	-0.5
H ₂ O(成層圏の水蒸気)	3 μg/g	+100	0.6	1.0
N ₂ O(酸化窒素)	0.28 ppm	+100	0.4	0.7
CH ₄ (メタン)	1.6 ppm	+100	0.2	0.3
CFCl ₃ +CF ₂ Cl ₂ (フレオゾン+フレオゾン12)	0.2 ppb	20倍	0.4	0.5
CCl ₄ +CH ₃ Cl (四塩化炭素+塩化メタン)	0.6 ppb	+100	0.01	0.02
NH ₃ (アンモニア)	6 ppb	+100	0.09	0.12
C ₂ H ₄ (エチレン)	0.2 ppb	+100	0.01	0.01
SO ₂ (亜硫酸ガス)	2 ppb	+100	0.02	0.03

ロフレオロメタン(商品名をフレオンといふ CFCl₃, CF₂Cl₂), 四塩化炭素とメチルクロロホルム(工業用溶剤)やその他の塩素化合物は、大気中の滞留時間が非常に長く蓄積されつつあることが観測されている。また、工場、家庭および農作により放出される窒素化合物の分解によって生ずる窒素酸化物も、今後1世紀にわたり大量に大気中に付加される可能性が強いので注意を払う必要がある。

第2表は、大気中に存在する微量ガスの可能な濃度変化に伴う、温室効果による地表気温変化を見積もったもので、第1行目のCO₂に対するものは Augustssen・Ramanathan(1977), あとは Wang *et al.*(1976)による計算結果である。CO₂ほど効果的ではないが、これらを加え合わせれば相当な昇温量になり得る可能性を持っている。

4.5.3 陸地表面の変化

大陸の表面は、人間のさまざまな活動により急速に変化している。世界の多くの地域で、農業のため森林の伐採、広大な貯水池やかんがい施設の建設が進められ、道路の建設は進み、都市は拡大し続けている。これらによる陸地表面の変化は、局地的あるいは地域的規模の気候に影響を与える可能性も生じてきた。すなわち(括弧内は森林から裸地になった時の変化):

- (a) 地面粗度の変化(200→1 cm, 大気と地表間の運動量やエネルギーの交換量を減少させる)
- (b) 地表面のアルベードの変化(15→25%, 地表層による日射吸収量の減少)
- (c) 地表層の熱特性の変化(熱容量の減少)
- (d) 地表層の水分保有能の変化(保有能は著しく減少し、蒸発量も減る)

を通して、熱収支や水収支を変化させる。このような影響は局地的にはすでに顕著に現われるようになっている(砂漠化現象など)。地域的規模への重要性はまだはっきりしておらず、早急に解明されるべき問題である。

4.5.4 成層圏での変化

成層圏中のオゾンなどの化学成分は、人間活動により放出される汚染物質により変化する可能性がある。1970年代におけるクロロフレオロメタンの生産状態(年産70万t)が今後も続くならば、21世紀の半ばには約15%のオゾンの減少を招くと推算されている。成層圏のオゾン層は、生体に危険な太陽紫外線(2700-2900 Å)を吸収してしまう能力を持っているが、オゾンの減少により一部通すようになり地上の生物や人間の健康(皮膚がんなど)に著しい影響を与える恐れが出てくる。

また成層圏オゾンの減少は、成層圏の放射収支を大きく変え、顕著な気候変化をもたらす可能性も示唆されている。

4.5.5 大気中の微粒子(エーロゾル)

多種の人間活動により、種々の微粒子が大気中に放出されている。多くの国々での大気汚染防止対策の結果、大型粒子の大気中への放出は減少の傾向にある。しかし、1 μmより小さい粒子(サブミクロン・エーロゾル)はなお多量に放出されており、それが大気中の放射過程に重要な効果を与えるかも知れない。気温や降水へのエーロゾルの差引きの効果は、エーロゾルに関する詳細な情報なしで評価することは難しいが、現在の知識からは、局地的あるいは地域的な高濃度領域(都市、工業地帯など)を除いては、気候への影響は小さいと考えられる。しかし、結論を出すにはより綿密な研究を必要とする。

4.5.6 熱の放出

人類の使用するエネルギーのほとんど大部分は、終局的には熱として大気に放出される。その年間総量は、8 TW(1 TW=10¹²W)であるが、それを地球表面上に均一にならすと 0.016 W m⁻²となり、地表面に到達する日射量の 160 W m⁻²と比べればその0.01%に過ぎない。将来的なエネルギー需要予測によれば、2050年は 30-50 TW

であり、日射量の0.05%前後である。人間活動による熱放出は地表から均一に放出されるわけではなく、重工業地帯や人口稠密地帯に集中し、そのような所ではすでに局地的（たとえばヒート・アイランド現象）な影響を受けており、将来地域的な影響を受ける可能性もある。しかし、より大規模な気候への影響は当分ないとするのが大方の意見であった。

4.5.7 結論

以上のうちで、CO₂の問題は世界の国々が早急に取り組むべき最重要なものと考えられる。その理由は、

（a）主要なエネルギー源として長期にわたる化石燃料への依存と、今後も継続する森林破壊により、将来數十年そして数百年にわたり大気中のCO₂が多量に増加する可能性が非常に強い。

（b）CO₂のかかる増加により、全球的気候の顕著で長期にわたる変化がもたらされる可能性が大である。

（c）人間活動により大気中に付加されたCO₂に対する自然の清浄作用は、非常に弱い。そのため、CO₂の増加により起こるであろう気候変化に、長年月にわたり悩まされることになろう。

非常に長い滞留時間を持つCO₂以外の温室効果ガスに対しても、同様な関心を払う必要がある。その使用あるいは放出の抑制により重大な経済的打撃を招かない場合には、近い将来それらの大気中への放出を減少させる政策をとることが望ましい。

CO₂増加が全球および地域的気候に及ぼす影響を明確にするために、CO₂に関わる種々の問題、大気・海洋・生物体系に関わる炭素サイクルや、社会・経済分野への影響についての研究活動を、国家レベルおよび国際レベルで強力に促進すべきである。

5. WCPに関わる組織問題

WCPの実施に当たり、WMOは当然指導的な役割を果たす義務がある。WCPの対象は、高度に学際的でありあらゆる分野の人間活動に関係を持っている。そのため、その立案と実施にあたっては、すべての国々、多くの関連国際機関、すなわち、FAO、UNESCO、UNEP、WHO、ICSUやIIASAなどの参加が不可欠である。この計画を成功させるためには、その初期段階において、すべての関係諸機関との間の協力関係を確立する方策を探求する必要がある。すでにICSUやUNEPはWCPに参加する意志を表明しており、WMOとの協力体制を確立しつつある。

WMO総会において、WCP推進のための組織の問題が詳細に討議されたが、結論として何らかの総合調整機関を設ける必要性が認識され、WMOの執行委員会でその問題を討議することを付託した。この総合調整機関は、参加各国、国際的な政府および非政府諸機関の代表機関としての機能を持つこととなろう。

なお、WCPにおける気候資料計画(CDP)と気候応用計画(CAP)を組織し調整する指導的役割はWMOが持つことになり、その技術的事業の大部分はWMOの枠内で実施されることになるであろう。WMOの下部組織として多くの技術委員会があり、そのすべてが程度の差はあるが気候に関連する活動を実施しており、その多くは気候知識の応用といった問題を直接取り扱っている。そのため、WMOの枠内でのWCPの立案や実施には、これら技術委員会の機能を最大限に活用するのが策策であり、それらの活動を調整するための機関として、Technical and Scientific Advisory Committee（科学技術諮問委員会）の設置についての検討がWMOの執行委員会でなされることとなった。この委員会は、WMOの枠内でのWCP活動の調整、立案および実施についての管理任務を持ち、またCDPとCAP計画への他機関の参加を促進し、その分担などを調整する任務を負うことになろう。

気候変動研究計画(CRP)は、現在実施されているGARPと同様にWMOとICSUの協力事業として実施されることとなり、両機関の間に詳細な合意書が手交された。CRPを推進するに当たり、WMOとICSUが全く対等の立場で協力することを規定する条項がむやみと多い。GARPの活動がICSUサイドに偏重したことが原因であろう。それは別として、国際的なCRP活動を総括する機関としてJSC（Joint WMO/ICSU Scientific Committee）を設置し、その活動を円滑に推進する事務局としてJPS（Joint Planning Staff）を位置することになっている。JSCはWMOとICSUからそれぞれ6名ずつの12名で構成され、JPSにはWMOの職員が当たることになる。それに伴い、GARPにおけるJOCは2～3年以内にその任務を閉じ、その残務はJSCに引き継がれることに決まった。なお、WMOの枠内でのCRPの推進母体としては、CAS（Commission for Atmospheric Science）とその下部組織がその任に当たることになった。

気候インパクト研究計画(CIP)の実施に当たっては、その性格上、UNEP、FAO、UNESCO、WHOやIIASA

などの諸機関の協力が不可欠である。現在、WMO と UNEP の間には密接な協力体制が成立しつつある。すなわち、UNEP は CIP 計画に全面的に協力し、その実施のために必要な資金を可能な限り提供する意志を表明し、WMO はそれを歓迎し UNEP との実務的な協議を重ねている段階である。

6. WCC 宣言

宣言文としては比較的長文であるので、全文をそのまま載せるわけにはいかないが、できるだけ忠実に紹介することにする。

国々へのアピール

人間社会や人間活動の多くの分野のすみずみまで拡大した気候の影響を考察し、WCC は今や世界の国々が次の行動を取ることが緊急に必要であることを確認した：

- (a) 人類が現在所有する気候の知識を充分に活用すること
- (b) 気候の知識を顕著に改善すべき方策をとること
- (c) 人類の繁栄をそこなう恐れのある人間起因の気候の変化を予見し、それを防ぐ方策をとること

* * *

問題点

地球の気候は過去数千年、数百年そして数十年にわたりゆっくりと変化してきたし、今後もそうであろう。人類は好ましい気候により恩恵を受けるが、異常天候に対しては弱点を持っている。人間活動の拡大に伴い、エネルギー、食糧、水資源その他多くの分野でその弱点を増大しつつあり、最近では平年並の変動にさえ顕著な影響を受けるようになっている。

すべての国々は気候の変動に弱点を持っている。しかし、気候の知識の豊富な活用により、好ましからざる影響を弱めさらに進んで正の効用にまで転化し得る可能性が残されていることを、深く認識すべきである。

世界の国々の気候は相互に関連している。生活レベルの向上と世界人口の増大により、今後より多くの資源を必要とすることは明らかであり、深い認識のもとに気候資源の合理的利用についての国際的方策をすみやかに開発する必要がある。

人類は現在、予期せずして局地的気候を改変し、地域的気候にさえ弱い影響を与えるようになってきた。もし、人間活動が現在のペースで拡大し続けるならば、遠からずして地域的あるいは全球的規模での顕著な気候変化をもたらす可能性は充分ある。そのため、全球規模で

の気候の将来を予測し、それを人間社会の発展のための計画に組み入れるために世界的な国際協力の必要性が倍加している。

気候とその将来

気候は自然の摂理により変化し変動を続けるであろう。過去数十年間（正確には 1940 年頃から）、北半球のところどころで観測されるゆっくりした冷却傾向は自然起因のものと考えるべきであるが、この傾向が今後続くかどうかは不明である。

化石燃料の燃焼、森林破壊、土地利用の改変は、過去 100 年間に大気中の CO_2 濃度を 15% 増加させ、現在 1 年につき 0.4% 増加させていることは確かであり、将来もこの増加が続く可能性は強い。 CO_2 濃度の増加は、下層大気の気温の上昇をもたらすと共に、気温や降水量の地理的分布を変える可能性を持っているが、その詳細についての知識はまだ貧困である。

しかし今世紀末までには、その何らかの影響が地域的そして全球的規模で検出可能になり、21 世紀半ばまでには顕著になる恐れがある。気候の変化は、世界のある地域には恩恵を、他の地域には損失を与えることになり、強力な社会的技術的再調整が要求されることになる。

増加するエネルギー使用とそれに伴う熱の放出は、すでに局地的な気候の変化をもたらしている。将来、人口稠密地帯や重工業地帯からの熱の放出は、より大規模な気候に何らかの影響を及ぼす可能性がある。農業、牧畜、森林破壊、増大する窒素肥料の使用やクロロフレオロメタンの放出のような人間活動も気候に影響を与える可能性があり、細心の研究が必要である。

ある種の軍事活動は局地的気候に影響を与える。世界的熱核戦争は、人類の破滅につながるが、自然環境を著しく退化させると共に、大規模な気候変化をもたらすこととなろう。

将来、人類は人工的にある程度まで大規模な気候を変える得ると思われる。しかし、気候を支配するメカニズムの本質を理解し、それによってもたらされる結果を予測できる前に実施することは、無責任である。さらに、そのような計画が実施される前に充分な国際的合意が必要である。

結論と勧告

「WMO により提案される世界気候計画はすべての国々の最大の支持を受ける価値がある」その主たる対象は、

- (1) 自然および人間起因の気候変化の相対的役割を解

明するための気候のメカニズムの研究

(2) 気候資料の収集と利用の改善

(3) 計画、開発、管理面への気候知識の応用

(4) 気候の変化と変動の人間活動に及ぼすインパクトの研究

この計画の最終目標は、気候の可能な将来の変化を予見する方策を見出し、人間活動のあらゆる分野での立案や管理に気候の資料や知識を活用することを通じて、国家を支援することである。WCPの推進には、すぐれた指導性のもとに、先例のない広い分野にわたり、各々の国、各々の国際機関の間での協調と協力を必要とする。そして、かかる国際協力事業は世界平和のもとでのみ成功し得ることを充分認識すべきである。

現在われわれが持つ気候およびその変化と変動の知識を国家の社会および経済開発の計画に活用することは今でも必要である。世界のかなりの地域では、多様な気候サービスを提供するに充分な情報をすでに持っている。しかしながら、発展途上国はスタートしたばかりであり、気候資料や専門技術に一般に欠けている。研修や適切な技術の導入により、これらの国々が全面的にWCPに参加できるように支援すべきである。

* * *

人類の末長き存続は、人類と自然との間のハーモニーが達成されるかどうかにかかっている。とはいっても、気候は賢明に活用すべき自然環境の一つの特性でもある。環境のすべての要素は、局地的そして遠隔的に関わりを持っている。いかなる国、いかなる地域における環境の退化も、どこか他の地域の気候に影響を与える恐れがある。ゆえに、人間社会の最大の関心事とすべきである。世界の国々は、土壤の地力を維持し、水資源・森林や広野の誤用を避け、砂漠化をはばみ、大気や海洋の汚染を減らすべく共に行動しなければならない。国々によるこれらの行動は、偉大な決断とかなりの投資を必要とするであろう。

7. あとがき

いよいよWCPが実施されることとなった。世界の気象界が未だ経験したことのない、広い分野にわたる大型プロジェクトである。WMOは第1次計画(1980-1983)の実行案の作成に着手したが、その推進には幾多の困難を克服しなければならないだろう。アメリカはすでに、WCPの国内版ともいべき国家気候計画法(Ep-

stein, 1978参照)を昨年(1978年)9月に制定し、第1次の5か年計画をスタートさせている。

日本としても、WCPに対する総合的な基本方針を決めることがぜひ必要となろう。現在二つの具体的な動きがある。気象庁としては、気候変動に関する対応(WCPへの対応も含む)の方向を検討することを目的とし、学識経験者および関係行政機関の職員より成る気候問題懇談会を11月からスタートさせた。一方、気象学会はWCPの中の気候変動研究計画(CRP)へ取り組むべく、学術会議の地球物理学研究連絡委員会のなかに付置された世界気候小委員会が主体となって、1983年からの実施を目指してCRPの国内計画を作成しつつある。

WCC宣言の終わりにも述べられているように、限りある地球の自然を守りつつ、人間の存続をはかる方策を気候の面から探究する責務を私たちは持っております。それを果たすべき努力を、これから積み重ねてゆくことになろう。

文 献

- Augustsson, T., and V. Ramanathan, 1977: A radiative-convective model study on the CO_2 Climate problem, *J. Atmos. Sci.*, 34, 448-451.
- Epstein, E.E., 1978: Beginnings of the National climate Program, *Bull. Amer. Met. Soc.*, 59, 1402-1408.
- 片山 昭, 1979: 世界気候会議をめぐって、気象, 5月号, 7-13.
- _____, 1979: 世界気候会議の印象、科学, 49, 457-460.
- _____, 1979: 世界気候会議、測候時報, 46, No. 9-10(印刷中).
- Manabe, S., 1971: Estimates of future changes of climate due to increase of carbon dioxide concentration in the air, *Man's impact on climate*, MIT Press, 256 pp.
- _____, and R.T. Wetherald, 1967: Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity, *J. Atmos. Sci.*, 24, 241-259.
- _____, and _____, 1975: The effect of doubling the CO_2 concentration on the climate of a general circulation model, *J. Atmos. Sci.*, 32, 3-15.
- Ramanathan, V., 1974: A simplified stratospheric radiation transfer model, *Preprints 2nd Intern. Conf. Environmental Impact of Aerospace Operations in the High Atmosphere*, Amer. Met. Soc., San Diego, Calif., 147-154.
- Rasool, S.I., and S.H. Schneider, 1971: Atmos-

- pheric carbon dioxide and aerosols: Effect of large increases on global climate, *Science*, 173, 138-141.
- Sellers, W.D., 1974: A reassessment of the effect of CO₂ variation on a simple global climate model, *J. Appl. Met.*, 13, 831-833.
- 高橋浩一郎, 1979: 世界気候会議から, 地理, 24, No.6, 67-76.
- Wang, W.C., Y.L. Yung, A.A. Lacis and J.E. Hansen, 1976: Greenhouse effects due to the man-made perturbation of trace gases, *Science*, 194, 685-690.
- Wears, B.C., and F.M. Snell, 1974: A diffuse thin cloud structure as a feedback mechanism in global climatic modeling, *J. Atmos. Sci.*, 31, 1725-1734.

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
月例会「長期予報・大気循環」	昭和55年2月23日	日本気象学会	気象庁
日本気象学会昭和55年総会・春季大会	昭和55年5月21日～23日	日本気象学会	日本教育会館
第17回理工学における同位元素研究発表会	昭和55年6月30日～7月2日		国立教育会館

統 気象学入門講座

こ れ か ら の 予 定

(太字は既に掲載されたもの、カッコ内は掲載された巻号)

- 気象学へのガイダンス (25.4)
 [基礎コース]
 気象解析の手引き (25.5)
 気象力学・気象熱力学 (25.6)
 気象放射学への手引き (26.10)
 高層大気物理学入門 (25.5)
 環物理学・降水物理学 (25.8)
 大気電気学・大気化学 (25.12)
 気象の観測と測器 (26.11)
 気象統計について (25.7)
 気候学
 生活と気象 (25.6)
 [アドヴァーンスド・コース]
 気象予測論 (25.7)
- 回転流体力学を学ぶために(25.6)
 対流論 (25.6)
 中小規模現象の気象学 (25.11)
 大気大循環論 (26.2)
 エーロゾルの気象学
 気候変動論
 热帯気象学 (25.8)
 高層大気力学の諸問題 (25.9)
 高層大気物性 (26.3)
 大気境界層 (26.12)
 衛星気象学 (25.8)
 レーダー気象学 (26.12)
 惑星気象学 (25.7)
 自動気象観測(隔測)・通報システム
- 応用気象学
 大気汚染 (26.10)
 実験気象学 (25.10, 26.5)
 天候・気候変動の気象学
 海洋気象学 (25.9)
 極地気象学 (26.9)
 気象災害論 (25.9)
 気象教育論
 気象データ処理法 (26.4, 26.11)
 [研究のすすめ方]
 最近の気象資料 (26.8)
 論文の書き方
 気象学教科書・参考書のリスト

ム