

## わが国の気候変動研究計画について (I)

世界気候小委員会

## 1. 緒言

国際学術連合会議 (ICSU) と世界気象機関 (WMO) は、適去十数年の間、天気予報の向上を目指し、大気大循環の機構解明のために協力して地球大気開発計画 (GARP) を推進して来た。その計画の一部として、わが国が提案し国際協力の下に実施した気団変質観測計画 (AMTEX) も、多大の成果を挙げた。GARP の総決算として、1978年12月から1979年11月まで1年間にわたって、第1回 GARP 全球観測実験 (FGGE) が実施され、大気大循環の機構解明のための観測資料として今までにない高密度かつ詳細なものが獲得された。これによって、大気大循環の短期の変動の機構解明がすすみ、2週間程度の天気予報の精度の飛躍的向上が期待されている。

大気大循環のより長期の変動、すなわち世界気候の変動の研究について、GARP 合同組織委員会 (JOC) は、かねてから討議を重ねて来た。そして、GARP の第2期計画として気候変動の機構解明の研究計画を立案しようとしていた。

近年、人類の社会・経済活動が、かんばつ、異常低温などの気候変動により著しく影響を受ける事が頻繁になり、またその程度も強まって来た。一方、工業活動、土地開発など人間活動が世界気候に影響を与える可能性が懸念されて来た。特に大気中の二酸化炭素濃度は、19世紀末の約 290 ppmV から着実に増加し、最近では 330 ppmV 以上となり、年間に 0.4% の割合で増加しつづけ 21世紀には 600 ppmV を越えるであろうとの予測は、世界の研究者の一致した意見である。このような二酸化炭素の増加は、地球大気の温室効果の増強をもたらすので、世界気候に著しい変化が生ずるであろうという懸念は、多くの研究者が抱いている。

世界気候の変動は、世界の穀倉地帯の食糧生産に変動を与え、その需給・価格を左右する。またエネルギー消費も気候変動に著しく支配される事は明らかである。このように、世界気候の変動は、世界の人類の生活活動にとって、重要な支配要素であるとの認識が高まり、国家

的・国際的政策決定に際して大幅に考慮すべきであるとの意見が強くなって来た。

このような情勢にかんがみて、WMO は、1979年2月にジュネーブにおいて、世界気候会議\* (WCC) を開催した。この会議は国連の専門機関である国連教育科学文化機関 (UNESCO)、食糧農業機関 (FAO)、世界保健機関 (WHO)、国連環境計画 (UNEP) および ICSU、国際応用システム研究機関 (IIASA) の協力のもとに開かれ、世界気候およびその影響について、多くの方向からの討議が詳細に行なわれた。その結果をふまえて、WMO は1979年4月—5月の総会において、世界気候計画\* (WCP) を決議した。

この計画の主な目的は、気候に関する知識理解を深める事のみならず、人間の社会・経済発展を改善するために、気候のデータおよび知識の応用法の開発も含んでいる。この WCP は、次の4つの計画から成り立っている：(1)気候データ計画 (CDP)、(2)気候応用計画 (CAP)、(3)気候影響計画 (CIP)、および、(4)気候変動研究計画 (CRP)。

WCP は、極めて学際的なもので多くの分野の人間活動に関係しているので、あらゆる国々や、多くの国連専門機関の参加が必要である。CDP と CAP を組織し、調整する指導的役割は WMO が行なう。CIP の実施については、WMO と UNEP とが共同して指導的立場をとる事となっている。CRP (世界気候変動研究計画) については、GARP と同様に、ICSU と WMO とが協力して推進する事になり、両機関の間に合意が成立している。そして、CRP のための合同科学委員会 (JSC) を、GARP の JOC に代って設ける事とし、1980年の始めに発表した。これは、WMO と ICSU の合同組織であり、当初2—3年間は GARP の残務も行ないながら、CRP の推進に当る事となっている。

当世界気候小委員会は、上記の国際的な動きに対応して、わが国における CRP の実施計画を立案するために日本学術会議地球物理学研究連絡委員会内に設けられたものである。以下に、WMO と ICSU との間で合意された CRP の概要と、わが国での CRP の実施計画の立案のための討議の経過について述べる。

\* 世界気候会議 および 世界気候計画の詳細については、片山 (1979) の報告がある。

## 2. 気候変動研究計画\*

### 2.1. 目的

気候変動研究計画 (CRP) の主な目的は次の2つである:

- (1) 気候変動の予測がどの程度可能であるかを知る事
- (2) 気候に対する人間活動の影響を確かめる事

これらの目的を達成するために、次の4項目の研究を実施する事が必要である:

- (a) 全地球的ないし地域的気候と時間的変化に関する知識を改善し、それらを支配する機構の理解を深める事。
- (b) 全地球的ないし地域的気候の有意な長期変動を確認する事。
- (c) 気候システムをシミュレートしそして予測可能性を確認出来るような数値モデルを開発・改良する事。
- (d) 起り得る自然および人為的な刺激に対する気候の敏感度を調べる事。

### 2.2. CRP で取り上げる気候変動の時間・空間スケール

気候は、天気が瞬間的な大気状態を意味するのに対して、時間平均など天気の統計的特性を指している。気候と相互に作用を及ぼしあっているものを総称して気候システムと呼ぶ。気候システムは、大気、海洋、雪氷圏、地表面および生物圏から成り立っている。

CRP が主な対象とする現象の時間スケールは、数週間ないし数十年である。数十年という上限は、既存のデータの期間、数値モデルの有効な適用期間および政策立案者の主な関心と、大体一致している。海洋の深層は、100年又はそれ以上の時間スケールで変化するが、上層海洋は1ヶ月ないし数十年の時間スケールで変化しているので、CRP においては上層海洋に関心が集中される。CRP の主な対象とする気候の空間スケールは、地域的(約1000 km 程度)から全地球的なものである。このように大規模なものに限定する事は、気候の数値シミュレーションを行なう時の技術的制約や異常気象の発現の相関のスケールと調和している。より小規模な現象も、大規模な気候に重要な役割を演じているが、それらの理解を深め、そしてその効果を気候の数値モデルに包含するためにどのようにパラメタライズするかは、CRP の重要な課題の一つである。

理論的又は経験的に得られる広域の気候情報は、どの国の局地的な政策決定にも役立つはずであり、そのために、広域気候情報か特定の地域における局地的気候特性を抽出する方法の確立が望まれる。実測データの解析やモデルシミュレーションの両方について、単に時間的平均値を取り上げるに止まらないで、稀にしか起らない現象や極値などを含めた変動度に関する研究も必要である。

### 2.3. 研究課題

CRP の成果を十分なものにするために必要な研究項目の概要を以下に述べる。

#### 2.3.1. 気候の診断

気候とその変動の実態を包括的・定量的に把握する事は、気候の研究にとって基本的に重要である。気温・降水量などの気候要素の平均・分散・共分散等の統計量については、既にかなり明らかにされている。しかし、それ以上の統計量を明らかにする事が必要であり、それらは気候システムが、たとえば火山大噴火による成層圏エアロゾルの急増のような擾乱に対してどのように反応するかの研究に役立つものと期待される。長期間にわたる上層海洋の観測データを確保する事は容易ではないが、その統計量を求める事も重要である。

気候を表現する要素たとえば気温が日射・雪氷被覆・海面水温など大気以外のパラメータとどのような相互関係をもつかを研究する事が重要である。これにより、気候変動のうち、どの部分が気候の内部的な変動であるか、又は外部パラメータの変化に対応したものであるかを明らかに出来ると期待される。統計的研究の他に、低気圧の移動経路の変化やブロッキングの発現など唐突な変化に関する総観的研究も気候の variability を解明するために必要である。

#### 2.3.2. 気候モデルの開発

気候モデルは、気候システム内の物理的・化学的・生物学的な種々の過程を定量的に表現する目的で作られて来た。全球大気の振舞いを種々の見地から研究するための数値モデルは、気候の研究にとって極めて有用な武器である。しかし、気候の研究をすすめるに当たって、数値モデルは今までのものでは不十分であり、特にパラメタライゼーションの改善が必要である。モデルの開発は、単に研究手段の確立ではなく、気候研究の中心課題である。

気候モデルには、種々の階級のものがあり、3次元の海洋・大気結合大循環モデルから簡単なものまでである。簡単なモデルでは、多くのパラメタライゼーションが必要

\* WMO の第18回総会の議事録、附録BおよびICSU の一般委員会(1979年10月、パリ)の議事録による。

であるが、このモデルは3次元大循環モデルに比べると電算機の使用時間が遙かに少なくてすむので、気候変動に関する有用な知見が得られる。室内実験の寄与も大きいと期待される。モデルの設計やモデルの有用性の確認に際して、観測データが重要である。

### 2.3.3. 気候にとって重要な過程

気候システムの構成要素の内部過程やいくつかの要素の間の相互作用は、気候に大きい影響を与える。特に注目すべきものを以下に記す：

#### (i) 海洋過程

海洋は、熱の輸送・貯留を通して全球熱平衡に重要な役割を演じているので、これらの海洋過程を理解し、そのモデルを作り、変動を予測することが重要である。

数10年以下の時間スケールでの海洋—大気間の相互作用は、多くの場合 200—300 m までの上層海洋に限定されている。この相互作用が活発に起っている場所は、黒潮やメキシコ湾流の発現する低緯度地方、海氷の端の不安定成層域、湧昇域およびモンスーン形成域である。気候予測のために、海洋—大気結合熱力学モデルに必要な観測データを確保する必要があるので、上層海洋の観測技術を開発してそのモニタリングを計画する必要がある。

海流による極方向への熱輸送および海域間の熱輸送にも多大の関心を払い、それが全球気候モデルにおいてどのような役割を演じているかを知る必要がある。さらに、生物生産性の変化が、海面のアルビードを変えるので全球気候に著しい影響を与える事にも注目すべきである。

海水の影響を把握する事は気候システムの十分な理解に不可欠である。南極・北極域の海水の範囲や非氷結域の存在など、海水の特性を知る必要がある。海水の問題は極めて複雑であり、観測データを充実しなければ、そのモデリングは成功しない。

#### (ii) 生物地球化学サイクル

二酸化炭素、オゾン、水素酸化物、窒素酸化物、塩素化合物などの大気中の微量成分は、その放射特性のために、気候に大きい影響を与える。人間活動の結果として、これらの濃度が将来どの位になるかを予測するために、生物地球化学サイクルとその影響について研究を推進すべきである。これらの微量成分の大気中の濃度をモニターする事および既存のモニタリングの方法の妥当性を検討する必要がある。

#### (iii) 雲とその放射特性

雲は、入射太陽光および放出赤外線に大きい影響を与え、地球大気の放射収支に支配的な役割を演じている。雲の放射効果の計算は原理的には可能であるが、雲の分布やその光学・放射特性が十分に把握されていないので、信頼のおけるような雲の放射効果はまだ得られていない。雲量と気候要素との間の関係を、データ解析から把握する事も気候モデルの改善にとって重要である。

#### (iv) エアロゾルとその影響

エアロゾルは、直接的には放射伝達に影響を及ぼし、間接的には雲の形成やその特性に関係している。エアロゾルには人為的起源のものと天然起源のものがあるが、どのようなエアロゾルが気候に重要な影響を及ぼすのか、またその気候学的分布を明らかにする必要がある。また、モデル実験などによって、他の物理過程と比較して、エアロゾルの効果の相対的重要性を確かめる必要がある。

#### (v) 水循環

水蒸気の凝結に伴う潜熱の放出は、大気運動に対する大きいエネルギー源である。それ故、水蒸気の凝結、降水、蒸発散、土壌水分変化、流出などについて、全球規模の水循環を研究すべきである。

#### (vi) 地表面および雪氷圏過程

数値実験によると、地域的なアルビードや土壌水分は気候に大きい影響を与えている。しかし、その数値実験において、アルビード、蒸発、蒸散、地表摩擦および雪氷被覆の取扱いは、改善の余地がある。地表面特性が一樣でないために、その定式化の改良は容易でない。

気候システムのモデルを作る場合、大気と雪氷圏の間の相互作用は重要であるという事は既に理解されている。それ故、大気と雪氷圏の間のエネルギー交換について研究をすすめるべきである。

#### (vii) 太陽活動の影響

気候に対する太陽活動の影響について、定量的な研究をすすめるべきである。また、上層大気と下層大気間の相互作用が、気候変動に対してどのような役割を演じているかについても研究する必要がある。

### 2.3.4. 気候の予測可能性

気候変動のうち、2—3ヶ月の時間スケールの変動の大部分は、日々の天気系の複合効果と見てよい。日々の天気系については1週間程度の予測が可能である。しかし、低気圧の移動経路、ブロッキングの発現、モンスーン特性などについては、より良い時間スケールの予測が可能ではないかと期待される。数週間から数10年の期

間に対して、モデルが大気の変動特性を予測出来るかどうかを検討する事が望まれる。その際、気候システムの構成要素が徐々に変化する事も考慮する必要がある。

### 2.3.5. 気候の敏感度

気候が、次の条件の変化に対して、どのように反応するのかを実験する事に大きい関心が持たれている：

- (a) 境界条件 (太陽放射, アルビード, 海洋—大気境界, 植生など)
- (b) 大気成分 (二酸化炭素, オゾン, エアロゾル, フレオンなど)

この研究には、人間活動が気候に与える影響の多くが含まれる。

### 2.3.6. 気候の長期変動

前世紀の気候データや最近 1000 年の間の種々のデータを解析して、気候システムの長期の変動性を確かめる必要がある。古気候の研究は、気候予測の研究の基礎となる。

### 2.4. 気候研究のためのデータの必要性

気候の研究を実施するに際して、気候データは、統計的診断の他に、次の目的に対しても重要である：

#### (a) パラメタリゼーション

気候モデルの作製に際して取り上げるべき物理過程の中には、現象の個々の振舞いを考慮しないで統計的特性のみを考慮するものがある。境界層の乱流過程などがその例であり、鉛直乱流熱輸送量の平均値というような統計量を、風速や温度の広域分布特性を用いて表現する (パラメタリゼーション)。このパラメタリゼーションの改善のために、適当な時間・空間スケールでの特別観測が必要である。

#### (b) モデルの妥当性の立証

天気予報などの目的のために現在実施されている全球観測網は、気候モデルから得られる結果の妥当性を立証するのに、有用であろう。しかし、既存の観測網データで十分であるかどうかを確かめる必要がある。また、古気候の復元によっても、気候モデルの妥当性が確認出来るものと期待される。

### 2.5. 重要テーマ

CRP における重要研究課題として、次の 9 つを掲げる。これらは、基本的に重要であると共に、学術的に実施可能であると考えられるものである：

- (a) 全球および地域の気候システムについて、観測データを総合する事。
- (b) 全球および地域の気候の力学および統計的特性を

研究するために、気候モデルを開発する事。

- (c) 気候システムにおける海洋の役割を把握する事。
- (d) 放射過程において重要な役割を演じている微量成分気体の生物地球化学サイクルを把握する事。
- (e) 雲の生成・分布および放射特性を把握する事。
- (f) エアロゾルのタイプ、光学特性および雲に対する影響を把握する事。
- (g) 蒸発・降水など、水循環を把握する事。
- (h) 地表面と雪氷圏の特性と過程、および気候に対する影響を把握する事。
- (i) 全球および地域的古気候を復元する事。

### 3. 世界気候小委員会とその活動

気候変動研究計画 (CRP) が国際的に準備されつつあった 1978 年 10 月に、日本学術会議地球物理学研究連絡委員会に世界気候小委員会が作られた。これは、WCRP のわが国の計画を立案する事を主目的として、研究連絡委員会の気象分科会の提案によって設置されたものである。同研究連絡委員会の気象分科会の他に、陸水、海洋、地球電磁気、火山分科会および天文研究連絡委員会からの参加もあり、研連メンバー以外の専門家を含めて、30名のメンバーで構成されている。

1978 年 12 月に、第 1 回の委員会を開いて、委員長に山元龍三郎、幹事に田中正之と朝倉正を選出した。1979 年には 3 回の会合を持ち、WCP および CRP に関する情報の交換を行い、また、日本気象学会および文部省科学研究費環境科学特別研究「気候変動と人間活動」検討班と共催して、次のようなシンポジウムを開いた：雲に関するシンポジウム (8 月 24 日)、海の役割に関するシンポジウム (9 月 13 日)、地表面および雪氷圏のシンポジウム (11 月 19 日)。

CRP のわが国の計画の立案については、一応、1983 年度から研究を発足させる事を目標に作業を進める事にした。しかし、既に実施又は実施が決定している GARP, MAP (中層大気観測計画) などとの調整が必要であるので、若干のずれが生ずる可能性がある。わが国の計画の具体案作製のために、重要テーマ毎に 2—4 名から成る作業委員会を設けた。これらの各作業委員会から、それぞれのテーマに関する研究計画が、1980 年 1 月の委員会で提案された。それらを全体として調整し、わが国の CRP 計画の枠組みを策定すべく現在作業を進めている。

#### 4. あとがき

世界気候変動研究計画 (CRP) は、気候予測の可能性を研究し、また気候に対する人間活動の影響を確かめる事を主な目的としているが、人類の社会・経済活動の改善のための気候データ、気候知識の応用法の開発を包含した世界気候計画 (WCP) の一部である事に留意すべきである。

わが国の CRP を立案するに当って、GARP 計画の成果や気候変動に関するわが国の研究実績などを考慮し、また MAP などの国際協力事業との関連について配慮する必要がある。また、CRP の合同科学委員会 (JSC) の勧告などを勘案し、国際的視野からわが国の研究者のになうべき分担を認識して、CRP のわが国の計画をまとめねばならない。近く、その枠組みをまとめて、関連の学会の機関誌に掲載する予定である。そし

て、それに対する研究者からの意見をふまえて、各テーマ担当研究機関を決めるなど具体的項目をまとめ、わが国の CRP としたいと考えている。このような企画に関する意見を、世界気候小委員会へ寄せられる事を期待している。

---

#### 世界気候小委員会の委員名簿

○朝倉 正, 有住直介, 内嶋善兵衛, 内田英治, 片山昭, 勝井義雄, 加藤 進, 上山 弘, 神山恵三, 川口市郎, 川口貞男, 岸保勘三郎, 菊池幸雄, 小林寿太郎, 駒林 誠, 坂上 務, 沢田竜吉, 関口理郎, 関原 疆, 高野健三, 武田喬男, ○田中正之, 寺本俊彦, 鳥羽良明, 内藤 勲, 樋口敬二, 孫野長治, 増田善信, 三崎方郎, 守山史生, ◎山元龍三郎, 吉野正敏 (◎は委員長, ○は幹事)

---

### 昭和55年春季大会座長の変更について

天気27巻3号および予稿集(37号)記載の座長の一部が次のように変更になりましたのでお知らせします。

エーロゾル  
大気化学

座長 中谷 茂  
座長 杉村行勇

(講演企画委員会)

#### 記

大会第2日, 5月22日(木)午前中第3会場