WCRPと農業気象研究

—日本のWCRP研究と関連して—

内 嶋 善兵衛

(農業環境技術研究所)

World Climate Research Programme and Agrometeorology

Zenbei UCHIJIMA

(Natl. Inst. of Agro-Environmental Sciences)

1. ま え が き

1972年の世界的な大旱魃発生を契機として、約20年間続いた安定気候期は終了し、新しい気候変動期へ突入したといわれている。80年代に入っても気候変動の様子は収まらず、逆に大きくなっている傾向さえうかがわれる。このため、超農業大国の米ソを初めとして、大小様々の国の農業生産は、とみにその変動性を高めている。また、約10年来続いているアフリカ中央部の旱魃のため、多くの人々が飢饉に見舞われている。そして、社会崩壊の一手手前にまで追いこまれているのは、TVや新聞などの報ずる通りである。

しかも、人間活動による大気環境や地上環境の改変は着実に進行しており、それらは気候形成過程に作用して気候変化を激化させるだろうと心配されている。一方、多くの努力にもかかわらず、地球上の人口増の勢は弱まらず、西暦2000年に60億、2050年に約90億に達するだろうと推算されている。激化の予想される気候条件下で、増大する人口にいかん食糧を確保するかは、現在及び近い将来の農業技術者に課された大きな問題であろう。

このような状況を背景として、地球上の気候がいかに人間活動にレスポンスするのか、それを予測するには現在の気象モデルをいかに改良したらよいのか、気候形成の重要過程である地球表面—大気界面でのエネルギーと物質の輸送・交換はどうなっているのか、などが重要な研究課題になってきた。そして、次の国際機関は、

世界気象機関(WMO)

国際学術連合会議(ICSU)

国際教育科学文化機関(UNESCO)

国際食糧農業機関(FAO)

1978年2月に世界気候会議をジュネーブに開いて、気候変化、人類社会へのその影響に関する現状と問題点について広範な討論を実施し、今後の気象・気候研究の重点及びその影響評価についてとりまとめた。この会議をうけて同年5月の総会で、WMOは世界気候計画(World Climate Programme)の実施を決議した。

すでに福島(1980)、吉野(1983)、世界小気候委員会(1982)が述べているように、本計画は次の四つの柱からなっている：

- 1：世界気候データ計画(WCDP)、
- 2：世界気候利用計画(WCAP)、
- 3：世界気候影響調査計画(WCIP)、
- 4：世界気候研究計画(WCRP)。

WCDPとWCAPとは、各国の気象機関が担当することになるので、WMOがこれらの計画の組織化・調整・推進にあたることになっている。WCIPの推進には、UNEP(国連環境計画)とWMOとが共同してあたり、ICSUのなかのSCOPE(環境問題科学委員会)が協力することになっている。

2. WCRPの目標

WCRPでは数週間から数十年間の時間スケールの気候変動を対象としているが、その解明のために次の三つの目標を設定している：

- i：長期予報の物理的基礎の確立
- ii：大気大循環の年々変動の解明
- iii：長期気候変動の機構と気候に対する人間活動の影響

図1 地球上における気候形成過程と作用因子

響の解明

図1に示されているように、人類を含む全生物の生存を可能にしている地球大気環境は、入射する太陽エネルギーの再分配、それに伴う水の動き、そして赤外放射としての宇宙空間への放出によって形成・維持されている。この気候形成過程は長い間地質学的及び生物学的作用によって運動してきたが、ここ200年来急激に肥大する人間活動によって大きなとまどいを見せ始めている。

このような変動気候条件下で人間社会の安定的発展を図るには、気候変動の実態の解明、その物理的メカニズムの解明、それに基づく気候変化の予測、そして予測された気候変化の人間社会及び生物界に対する影響の評価などが大切である。これらの情報にもとづいて、もし気候変化が有害である場合には、気候変化をひき起こすかも知れない人間活動の抑制が必要になってくる。それゆえ、WCRPの研究目標は、自然的大気環境ばかりでなく、大気環境に関係のある社会経済活動をも、その視野に含んでいる。

このことから、WCRPはWCPの中核をなす研究課題で、WMOとしてもこの推進に力を注いでおり、WCP自身の成功は、WCRPの成功に大きくかかっているといわれている。

3. 日本におけるWCRP活動

1979年7月9日付の手紙でICSU会長のJager氏は、1980年2月11日にはICSU事務総長KendrewとWMO

事務総長Wiin-Nielson氏が、同年6月6日には、ICSU執行部のMalone氏が、相次いで日本学術会議会長(当時伏見康治氏)へWCRPへの正式の参加要請状をとどけた。我が国では、これらの国際的呼びかけへ応えるべく、1978年10月に同会議地球物理学研究連絡委員会内に世界小気候委員会(委員長、山元龍三郎京大教授)が設けられ、WCRP国内計画の推進にあたることになった。この小委員会には大学・気象庁・国立研究機関から44名の研究者が参加し、計画の具体化にあたっている。農業気象の分野からは、坂上九大教授と内嶋農林水産技官とが参加した。

これらの国内準備でととのえられたWCRP国内研究計画が日本学術会議第91回総会で議決された。そして、同会議は1983年11月18日付の文書で、関連省庁に対して次のように勧告した。

「国際学術連合会議は、1978年9月の第17回総会で、世界気象機関と協同して、気候変動国際協同研究計画(WCRP)を、国際的協力により推進する事を決定した。我が国の研究者も国際的立案の段階からこの研究計画の審議に参画してきており、この国際協力事業に我が国の研究者を参加させることは、その意義が極めて大きいと考えられる。したがって、この国際的かつ学際的事業を成功させるために、政府は気候変動国際協同研究計画の我が国での実施について必要な予算措置を講じられたい」。

では、我が国のWCRP研究計画はどう組まれている

のだろうか。それを次に説明しよう。

a. WCRP 目標 1 に関連する研究

- i : 異常天候をもたらす大循環構造の解明
- ii : 大気大循環モデルの開発
- iii : 長期予報可能性の研究
- iv : ブロッキング・テレコネクションの研究
- v : 成層圏循環とその影響
- vi : 広域の雲の分布と放射特性

b. WCRP 目標 2 に関連する研究

- i : モンスーン等熱帯大循環の年々変動とその日本への影響
- ii : 準 2 年振動の中・高緯度気候への影響
- iii : 海洋の年々変動と大気との相互作用
- iv : 異常天候の諸要因についての統計的研究
- v : 海洋大循環数値モデルの開発
- vi : 大気-海洋結合モデルの開発
- vii : エル・ニーニョ, 南方振動の数値実験
- viii : 大気大循環の年々変動の力学モデルの開発
- ix : 海洋の年々変動のモニタリング
- x : 南極の大気状態の年々変動

c. WCRP 目標 3 に関連する研究

- i : 観測時代の気候変動の解析
- ii : 古気候の復元
- iii : 火山爆発, 太陽活動, 雪氷分布と気候変動との関連の解明
- iv : 大気-海洋-陸水-雪氷結合モデルの開発
- v : 数値モデルによる CO₂, エアロゾル, 火山爆発, 太陽活動等に対する気候の感受度の実験
- vi : エアロゾル・微量気体の経年変化と放射特性の変化
- vii : 地表-大気間交換過程の観測とパラメタリゼーション
- viii : 海洋表層混合層の観測
- ix : 海洋による熱輸送の観測
- x : 海水と大気の相互作用の解明
- xi : 氷床変動の観測
- xii : 氷床コア分析による気候変動の研究

以上の研究課題からわかるように, 大気科学, 海洋科学及び氷雪科学ならびに関連科学分野の多くを包括する極めて学際的な研究である。この WCRP の実施計画は 1980 年代から 1990 年代にかけて長期にわたることが予想されており, 一応第 I 期(1986~'89)と第 II 期(1990~'93)が想定されている。そして 4 年目ごとに研究の見直しと評価をやることが計画されている。

国内委員会では, WCRP 研究の推進をスムーズにするため, 1984 年 8 月 6~8 日の 3 日間にわたって, 気

象庁第 1 会議室で世界気候変動研究計画発表会を開いた。その内容を記すと次の通りである:

1) 偏西風帯のグロスベクターラーゲ形成と変動

地形及び熱源に対する大気の応答に関する覚書き(岸保, 東大理)他 10 題

2) 亜熱帯高気圧・モンスーンの変動

夏季の亜熱帯高気圧について(河原・酒井, 気象庁)他 9 題

3) 熱帯大循環の年々変動と ENSO

熱帯西部太平洋雲量の季節変動と経年変化(新田, 東大理)他 8 題

4) 長期変動・古気候

グローバル平均地上気温変動(星合・山元, 愛知学院大, 京大理)他 13 題

5) モデリング, 気候システムの物理過程(1)微量気体

MRI・GCMを用いた研究とその総合気候モデル化(II), (MRI・GCMグループ, 気象研)他 10 題

6) 気候システムの物理過程(2)エアロゾル

日射スペクトルとエアロゾルの地域特性(竹内・仲野, 名大・空電研)他 5 題

7) 気候システムの物理過程(3)地表面・海洋・海水・南極

複雑現実地形の地表面のパラメータ化の研究(近藤, 東北大・理)他 11 題

8) 気候システムの物理過程(4)雲の分布

日本付近の広域の雲の気候的性質に関する解析(松尾, 気象研)他 8 題

9) 気候システムの物理過程(5)雲の構造と放射特性

雲の放射特性の観測計画(田中・中島, 東北大・理)他 9 題

以上 92 題の研究計画(なかには研究成果そのものもあった)が 3 日間にわたって発表され, 熱心に討論された。そのあと, さらに 2 時間にわたって「気候変動研究への衛星データの利用と保存」のワークショップが開かれた。これからわかるように, WCRP に対する気象研究者の熱意は非常に大きく, 本発表会の計画・実施にあたった諸関係者を驚かせるに十分であった。なお, 本発表の要旨集(1 課題当り 4 頁)は後日, 世界小気候委員会より刊行されることになっている。

4. 農業気象研究と WCRP

激化する気候変動, そして近い将来に予想される CO₂ 濃度上昇に基づく気候変化を背景として, 大気環境へ多くの人々の関心があつまっている。そこには, これらの研究を通じて気候変化・変動のメカニズムを解明して,

よりよい地球環境を守ろうという意気込みが感じられる。以上説明した WCRP 三大目標のなかで、農業気象研究に密接な関係をもっているのは、目標 3 に関連するものである。特に、そのなかの i と vii の課題が関係をもっていて、これらの研究課題への農業気象分野からの参加が要請されている。

よく知られているように、農業生産は変動する自然環境内で営まれており、高度な技術をもってしても、作物の生育・収量を変動気候から完全に保護することは不可能である。それゆえ、作物生産に影響する危険気象・天候（例えば、冷害気象、旱魃気象、厳冬など）の出現頻度の季節的・地理的変化の解明、またはその予測は農業生産の安定化にとっては欠くことのできない情報である。しかし、現在までの農業気象の研究では、平年気候を対象として、いわゆる農業気候資源の分布を研究することが多かった。上に説明した近い将来の CO_2 濃度に伴う気候変化（暖化）を考えると、農業気候帯の緯度シフトや高度シフトの解明は、気候変化の農業生態系、農業生産へのインパクト評価のための出発点として重要な意味をもっている。

vii の地表一大気間交換過程の観測とパラメタリゼーションの分野は、ある意味では農業気象研究が最も得意とする所である。1960 年代初めから、農業気象研究陣は、熱収支法や空気力学的方法を導入して、耕地の蒸発散量の観測を実施し、その量的な変化を明らかにしてきた。そして、この方法は CO_2 フラックスや N_2O フラックスの決定にも利用されている。そのなかで、電子技術の進歩を背景として長期間観測もかなり手軽に行なえるように

なっている。

しかし、農業関係で得られた資料は、地理的にも時間的にも断片的で、気候形成過程への境界条件の解明という立場からみると、かなり不十分である。これは、特に観測が均質（空気力学的及び熱力学的に）で平坦な場所に限られている点で大きな欠点をもっていた。実際の地表面は水田あり、畑あり、森あり、水面ありで、また凹凸をもっている。このような複雑地形をもつ広域面での平均的フラックスの評価は、その困難さゆえに、取残されてきた。しかし、現在の観測技術、データ処理技術及び理論的アプローチを精力的に採用するならば、その突破は可能と思われる。その一つの試みが、東北大の近藤教授を中心とするグループで進められている。このような方法の援用と発展は、農業の実際にとって非常に大切な、局地気候の新しい展開を大きく助けるものと思われる。

交換過程のパラメタリゼーションにおいては、 CO_2 フラックスや水蒸気フラックスの長期観測データを用いて、種々な植生の CO_2 吸収（一次生産）と気候条件（特に気候の乾湿度とエネルギーベース）との関連づけ、パラメタリゼーションすることが大切である。極く最近まで、この問題は別個になされてきたが（これは多湿気候下の日本農業気象の特異性である）、乾燥気候の卓越する諸外国では、農業気象を生物物理生態学または環境生物物理学へ発展させる大きな力となっている。それゆえ、WCRP の研究を一つのバネとして、全国的に観測ネットを組み、 CO_2 フラックス、乾物生産、蒸発散、群落微気象を長期観測して資料を整え、微気象研究の再活性化と実際問題への寄与を図ることが大切であろう。

図 2 農業生産への高 CO_2 濃度大気の影響(内嶋, 1984)

この他、CO₂濃度上昇に伴う気候暖化を予想すると、土壌有機物分解の促進、水田における嫌気発酵の促進によるメタン(CH₄)放出の増進などが考えられる。これらのガスは、いわゆる温室効果ガスである。それゆえ、これらのガス放出量の野外測定法の確立、そのフラックスの長期間観測も大きな問題として登場してくるだろう。

CO₂濃度上昇は、図2に示すように農業生産に影響するものと思われるが、この問題に関する農業気象研究は全く手がつけられていない。この問題への農業気象的アプローチとしては次のようなステップが考えられる(内嶋, 1984)。

- i : 高CO₂濃度での、作物葉の気孔抵抗, メソフィル抵抗などの環境条件への反応の解明,
- ii : 高CO₂濃度下での、作物葉の熱収支特徴の解明,
- iii : 高CO₂濃度下での作物群落構造の測定と一般化,
- iv : 以上の資料から、高CO₂濃度下での群落微気象モデルの開発,
- v : 高CO₂濃度, 高温, 高水分効率下での作物の生長解析とパラメタリゼーション,
- vi : ivとvの複合による高CO₂濃度下での作物-気象生態予測モデル及び収量予測モデルの開発

5. む す び

以上の説明からわかるように、WCRPには農業気象研究の大きな発展をうながす芽が多く含まれている。これらの新しい発展の芽を自分のものとし育てるには、新しい研究の流れと新しい研究手法を吸収して、農業気象

という既成概念にとらわれずに、われわれの目前に提示されている問題にアタックすることが大切である。この状況は約20年前10年間にわたって行なわれたIBPと農業気象研究者との関係に酷似している。IBP研究への参加によって、農業気象学は新しいいくつかの面を身につけ、より大きな多面体になったように思う。これは、それぞれの時代要請に応じて新しい面を加え、より大きな多面体に生長することが農業気象学または学会の発展をもたらすことを意味しているように思われる。

参考・引用文献

- 朝倉 正・内嶋善兵衛・久保木光熙・長坂昂一, 1984: 異常気象時代. 講談社, p. 226.
- 福島要一, 1980: 世界気候の環境に与える影響研究. 農業気象, **36**(2), 123~130.
- 世界気候小委員会, 1982: わが国の気候変動研究計画(WCRP), 1. 世界気候小委員会の討議の概要. 天気, **29**(1), 35~41.
- Slater, L. E., & Levin, S. K. (ed.), 1981: Climate's Impact on Food Supplies. AAAS Selected Symposium 62, Westview Press, Inc., p. 243.
- 内嶋善兵衛, 1984: 農業気象研究とCO₂問題. 関東の農業気象, No. 6, 19~20.
- WMO, 1979: Proc. World Climate Conference. WMO-No. 537, p. 791.
- 吉野正敏, 1983: 気候影響・利用研究会—日本のWCIP・WCAPに関連して—. 農業気象, **39**(2), 117~120.