

第4回合同科学委員会 (JSC-IV) の報告*

—1983年3月, ヴェニス—

浅井 富雄**

1. はじめに

WCRP のための ICSU と WMO の合同科学委員会 (WMO/ICSU Joint Scientific Committee for the World Climate Research Programme, 略称 JSC) が 1983年3月1~8日, ヴェニスの地球力学研究所 (ホスト: R. Frassetto 教授) で開催された。なお, 今回から, 新しく, T.C. Yeh (中国科学院大気物理研究所長) と P.Yu. Pushistov (西シベリア水理気象局長) が JSC メンバーとなり, G.B. Tucker と M.A. Petrossiants が退いた。また, 事務局長は GARP 時代から長年その任にあった B.R. Döös から P. Morel に交代した。

今回は「地表面過程とそのパラメタリゼーション」に関する総合報告と討論に最初の2日間があてられ, その後, 以下のような議題についてそれぞれ検討がなされた。

主な議題は

1. Review of the overall plan for WCRP
2. Climate data base
 - 2.1 Detection of climate changes
 - 2.2 Data requirements
3. Land surface processes
 - 3.1 Presentation of background information
 - 3.2 Land processes parameterization について
 - 3.3 International satellite land surface climatology project の提案
 - 3.4 Joint hydrological-atmospheric experiment の提案

4. Ocean and sea-ice

- 4.1 Oceanographic programmes related to WCRP
- 4.2 Sea-ice

5. Radiation processes

- 5.1 International satellite cloud climatology project
- 5.2 CO₂
- 5.3 Aerosols

6. Climate models

- 6.1 Report of the Leningrad and Princeton conferences***
- 6.2 数値実験作業グループ (WGNE) の報告

7. GARP 関係

- 7.1 FGGE-related data processing and research
- 7.2 アルプス実験 (ALPEX)

8. Organization of future work

2. WCRP の科学的方策—三目標—

JSC 第1回会議 (1980) でとりまとめられた第1次案は“Preliminary Plan for the WCRP”として発表された。第1次案は WCRP の目標とする気候に重要な役割

*** (1) The WMO/ICSU Study Conference on Physical Basis for Climate Prediction on Seasonal, Annual and Decadal Time Scales, Leningrad, 13-17 September 1982.

報告書は WCP-38, 論文集は WCP-47 として出版されている。日本からは遠藤昌宏氏 (気象研) が出席した。

(2) The WMO-CAS/JSC Expert Study Meeting on Long-range Forecasting, Princeton, N.J., 1-4 December 1982.

日本からは片山 昭氏 (気象庁) が出席した。

* Report of the fourth session of the joint Scientific Committee for WCRP/GARP, Venice, 1-8 March 1983.

** Tomio Asai, 東京大学海洋研究所。

を果たすであろう物理過程をとり上げ、また、観測・診断的方法と理論的方法・モデリングとを有機的に結合させ、全体として調和のとれた内容のものとなっている。しかしながら、計画の具体化—実施計画—の段階では、社会的にも重要な寄与をなし得る最も実効のある実現可能なものにならなければならない。JSC-IVでは次に述べる三つの目標に向けて研究計画を集約することとし、実施計画立案にとりかかった。

(1) 第1目標：長期天気予報の物理的基礎の確立

大気大循環の予測を、指定された地表面（陸地面と海面）境界条件のもとに、初期値問題として取り扱う。すなわち、大気変動を指定された表面境界条件を用いて決定論的な観点から大気内部系の調節過程として考察しようとする方向である。～月の時間スケールの問題であり、天候アノマリの長期予報に対する物理的基礎を確立することを目指す。

(2) 第2目標：大気大循環の年々変動の機構の解明

ある指定された初期値から海洋変動を決定論的に予測する際に、大気を外力として作用する確率的成分として取り扱う。すなわち、海洋を決定論、大気を確率論的な観点から両者の応答過程を考察しようとする方向である。～年の時間スケールの問題であり、「全球的大気大循環と熱帯海洋の年々変動」の機構を解明する。

(3) 第3目標：長期気候変動の物理機構と気候の外因に対する敏感度の解明

大気大循環と海洋大循環の両者を、初期条件にはよらず特定の外的要因に応答して気候型を表現する大気・海洋結合モデルで考察する方向である。～10年の時間スケールの問題で、大気のみならず海洋も全球的にとり入れ、気候変動の予測というより外因に対する敏感度を調べる。ここでは、二酸化炭素濃度の増大など人間活動の気候に及ぼす影響を評価することも重要な課題となる。

3. 長期予報の物理的基礎の確立

個々の天気現象の予報限界は約2週間であり、これを越えると、大気運動自身の非線型性によってノイズと呼ばれる予測不可能な変動が大きくなる。しかしながら、ノイズレベルより高い、より緩慢な変動の存在することが観測により確かめられている。中緯度帯でときおり見られるブロッキングのような準定常な循環型がその一例である。これらの変動は一般に大規模な大気運動と結びついており、その時間スケールは1カ月オーダーのものである。したがって、実際の天候パターンの持続性は非線

型作用を考慮した理論で評価されたものより長いようである。そこで、大規模大気循環型の予報の可能性を説明し得る大気の物理過程を理解すること、そして1～2カ月の長期予報の物理的基礎を確立することを気候研究の目標の一つとする。次のような研究課題あるいは計画が検討されており、1980年代に実施される。

3.1. 雲と放射

(1) 国際衛星雲気候計画 (ISCCP)：業務的な部分は1983年7月から5年計画として既に実施に入った。

(2) 雲のパラメタリゼーション。

(3) 衛星観測による地球放射収支：精度の評価 (ERBE)、地球放射モニタリング。

(4) 地球表面での放射収支の観測と算定。

(5) 大循環モデルのための放射伝達の計算法

予報モデルの系統的な誤差—それによって長期予報を無意味にする—を大幅に減じなければならない。その際、とりわけ、衛星観測から導出される広域の雲の気候学の知識を改善し、モデルにおける雲と放射フラックスのシミュレーションを改善せねばならない。

3.2. 陸地面過程

(1) 積雪なしの地面：土壌水分と蒸発。

(2) 雪氷で被われた地面：大気へのエネルギー輸送。

(3) 地面水文学：地面上の降水、流出と貯留。

大規模天候パターンは大気中への蒸発可能な土壌水分の変化に敏感である。したがって、蒸発と降水を含む土壌内の水文過程、植被の蒸散に果たす役割、大気境界層過程、それらの間の相互作用は乾燥期、湿潤期などのより長期の持続を説明し得る要因の一つである。

3.3. 海から大気への顕熱・潜熱輸送：熱帯・温帯で持続する海面温度アノマリに対する大規模天候の敏感度の記述

(1) 表面パラメータから鉛直輸送量を評価する技術水準

(2) 大気境界層力学と海面温度から導出される鉛直輸送量の評価（大気の熱/水収支法）

海面・海氷面での熱・水蒸気フラックスが数週間の時間スケールでの大気循環に影響することも認められる。海面温度アノマリはその持続性のゆえに長期予報の重要な予報因子となる。しかしながら、海面温度の変化を予測することによって、初期の温度場と海氷域の単純な持続に基づく予報が改善されるという結果は現在のところ得られていない。したがって、1～2カ月の長期予報の改善は内部海洋力学の知識に強く依存することなく

進められるであろう。

4. 大気大循環の年々変動

気候系の非線型的性格のゆえに、第一目標で考えられた時間スケールでの天候アノマリを生ぜしめる過程あるいは強制因子はまた、数年の時間スケールの気候変動にも寄与するであろう。海面温度アノマリ、地面からの蒸発をもたらす土壌水分や海水の拡がりの変化、火山噴火による成層圏エアロゾル負荷のような環境因子などは数年前の同季節と異なる天候をもたらすことに寄与する。しかし、全地球大気の間年々変動への最大の寄与は海洋に起因すると考えられる。

とりわけ熱帯大気は海面温度の比較的僅かな変動によっても水蒸気の潜熱解放量が大きく変化するため敏感に応答する。また、コリオリ力が赤道域では小さいため熱帯海洋は大気の季節変動に相当する時間スケールで風に対して敏速に大規模な応答を示す。したがって、大気・海洋両者の力学的結びつきが一層強められる。この事柄は風系の季節変動が主に局所的海洋応答を生成し、世界海洋の大規模運動とあまり相互作用しない中・高緯度帯の状況と対照的である。これらの理論やその他の多くの経験的知識は、全地球大気と熱帯海洋の相互作用が数年にまたがる気候変動の予測可能性を示唆しており、気候研究の第2目標を大気大循環と熱帯海洋の相互作用に基づく変動を理解しモデル化することとする。

TOGA 計画 (Tropical Ocean and Global Atmosphere 熱帯海洋と大気大循環の相互作用に関する研究計画) は第2目標の重要な部分をなすものであり、その目的は熱帯海洋循環と海面温度アノマリ形成の力学、それに対応する大気大循環と降水パターンの変動との関係を明らかにすることである。このような現象の顕著な例は赤道太平洋に見いだされ、El Niño として知られている。

年々の気候変化を表現するために必要な大気大循環モデルは主要な点で第1目標である長期予報に必要な水準と異なるが、少なくとも(1)海洋を駆動する風による海面ストレスの導出と(2)海水過程の定式化の2点の改良が必要である。後者では大気や海洋の変動と応答する北極・南極の海水域の変動が重要である。

アジアモンスーンの間年々変動と大気大循環との大規模相互作用についての研究を目指す Monsoon Climate Programme は第2目標に合致する。

1982年 JSC-III で設けられた TOGA Study Group (議長 A. Gill) の報告に基づき、研究計画立案へ向け

さらに前進するため、JSC と CCCO 合同の TOGA Scientific Steering Group を設置することとした。Group のメンバーは A. Gill (議長)、S.K. Das, V. Dymnikov, 松野太郎, P.P. Niiler, J.M. Wallace, F. Webser, P.J. Webster である。1984年5月には Study Conference on TOGA が開催される予定である。TOGA 観測計画の主要部は現存の技術で進めることができ、多くの関連する活動は各国で national あるいは multi-national projects として既に始まっている。この活動は計画が発展するに依りて強化されるであろう。TOGA は10年程度の研究計画である。

5. 長期気候変動と外因に対する気候の敏感度

海洋は入射太陽エネルギーの大部分を吸収し、全地球規模でそのエネルギーを熱のかたちで輸送し、全地球水文サイクルや雲の形成に対する水分源となり、海氷を形成し、CO₂ など放射的に活発な微量成分の分布にも関与する。したがって、数年から数十年以上の長期の気候の変動は全地球的な大気・海洋結合系の振る舞いに強く依存するのである。海洋は大きな貯熱槽であるから、CO₂ 過剰による温暖化を緩慢にし、さらに、化石燃料消費により大気中に放出される CO₂ の半分を吸収する大きな貯蔵庫でもある。したがって、海洋はまた人間活動による CO₂ 増加などの外的刺激に対する気候の応答に大きな影響を及ぼす。

大気中におけると同様、海洋内でも定期的大規模流、環流、非定常渦など、種々のスケールや性状の運動が存在し、海洋熱輸送を評価するためには海洋循環を平均および渦輸送を含めて精確に表現せねばならない。そこで、海洋モデリングを進めるために必要な観測データセットを獲得することが不可欠であり、WOCE (World Ocean Circulation Experiment 海洋大循環実験計画) がそのために提案されている。

地球上の動植物は太陽放射、降水、温度などの気候要素に依存するが、一方、植物の分布、サイズ、放射特性は、その蒸発散に及ぼす支配的效果とともに陸地-大気間交換過程に影響を及ぼす。植物の地理的拡がりや性質は数十年にわたる気候変動に応答するから、自然的・人為的地球生態系もまた長期の気候敏感度の研究において気候系の相互作用成分として考えねばならない。

第3目標では、大気 CO₂ 増加に対する気候の変動の定量的評価は主要課題の一つであるが、対流圏・成層圏のエアロゾル、放射的に活性な微量気体成分、太陽活

動・太陽放射の変動、地球軌道の永年変化などの気候変動に及ぼす影響の評価もここでの研究課題となる。全地球気候の総合的モニタリングのみならず、その長期変動に寄与する要因のモニタリングも大切である。モデリングと診断的研究に基づくバランスのとれたアプローチによって長期気候変化を高い信頼度で検出できるであろう。

世界海洋の観測は海洋観測衛星などを含む新しい測定技術の発達を要するから、WOCE のための強化観測期間は1980年代末か1990年代に始まるであろう。したがって、第3目標は1990年代末に成果が期待される。以下に主要な研究課題を列記する。

5.1. 海洋大循環

WOCE を立案するに際し、1981年 WOCE Design Options Study Group (議長 F. Bretherton) を設け、そこで WOCE の科学的目標を明確にするための検討がなされ、さらに1982年5月国際研究会議(東京)での議論を経て目標を設定した。すなわち、(1) 海洋大循環の研究のためのデータセットを提供すること、(2) 水塊交換時間や交換率を決定するため大規模な水塊変質の指標をモニターすることである。

WOCE を立案する段階へさらに前進するため、JSC と CCCO 合同の WOCE Scientific Steering Group を設置した。構成メンバーは、C. Wunsch (議長)、F. Bretherton, W.S. Broecker, J. Crease, K. Hasselmann, 木村竜治, M.P. Lefebre, A. Sarkissian, J. Woods である。第1回会合が1983年8月3～5日、ウッズホールで開催された(「天気」第30巻第10号参照)。

(1) 海洋大循環実験(WOCE)の概念明確化。

(2) WOCE のための海洋モデルとその検定のための観測資料。

(3) 大規模循環と渦の統計的特性を推測し得る観測技

術。

5.2. 海水過程

5.3. 地球生態系を含む相互作用過程

5.4. 活発な放射特性をもつ分子とエアロゾル

(1) CO₂, (2) 他の活性気体, (3) エアロゾル

放射過程で重要な気体とエアロゾルの変動の意義、それらの放射収支に及ぼす影響の評価。

なお、衛星観測は WCRP の三つの目標すべてに重要な役割を果たすであろう。とりわけ、全地球的分布のモニターにとって不可欠である。そこで、衛星観測データに対する要請を調整し、観測システムを検討するため、JSC と CCCO 合同の衛星観測システム作業グループ(Working Group on Satellite Observing System, 略称 SOS)を設置した。メンバーは V.E. Suomi (議長), J. Gower, J.T. Houghton, 内藤恵吉, S. Tilford, H. Yates であり、第1回会合が1983年6月アビントンで開催された。

6. おわりに

三つの研究目標から成る WCRP の基本方針を明確にしたことが JSC-IV での最も重要な決定事項であったので本報告ではその概要を述べることにし、その他の議事については他の機会に譲ることにした。

JSC-IV が開かれる1カ月余り前、1月18～22日パリの Unesco 本部で CCCO-IV (SCOR と IOC 合同の気候変動と海洋に関する委員会第4回会議)が開催された。WCRP の海洋にかかわる研究計画、とりわけ TOGA と WOCE などを JSC と協力して立案・推進するため、その方策を検討することが CCCO-IV の主要議題であった。その報告は日本海洋学会誌(1983年、第39巻第5号)に掲載されているので参照していただきたい。