

# Climate System Modeling Initiative (CSMI)

## 第1回研究集会に出席して\*

田 中 博\*\*

1989年1月25日より27日にかけて、コロラドのNCAR<sup>1)</sup>において表記の研究集会がUCARの協力の下に開催された。以下にその背景と概要を述べる。

産業革命以降の急激なCO<sub>2</sub>の増加という観測事実に基づいてGFDL<sup>2)</sup>のManabe等は、CO<sub>2</sub>倍増に伴う温室効果をもたらす人為的気候変動をGCM<sup>3)</sup>を用いて予測してみせた。これを機会に現在稼働中のGCMを保有する研究機関は、一勢にCO<sub>2</sub>倍増と気候変化の研究に着手し、その問題意識が高まってきた。このような状況下で、気候モデルがこれまでに予測してきた事柄を実証するかのように、米国では1988年夏に記録的大かんばつが発生し、バングラディッシュでは洪水による大被害が出た。そして、CO<sub>2</sub>増加の問題は温室効果の名と共にマスコミを通じて一般市民の関心へと拡大した。

米国における今後のかんばつや世界的大災害を懸念したJ. Hansen (NASA<sup>4)</sup>)は、観測される近年の温暖化と一連の異常気象が、人為的なCO<sub>2</sub>の増加によるものであると判断し米国議会に向けて早急な対処を提言した。これを受けたFederal Coordinating Council for Science, Engineering, and Technology (FCCSET)に属するCommittee on Earth Science (CES)は「変わりゆく地球：米国における気候変化研究の今後の方針」という報告書をまとめ、各学協会に気候系モデリングの促進を要求した。

このような背景のもとに1988年10月にはCSMIの実行委員会が結成され、その第1回研究集会がにわか開催されることになった。本集会のコンピナーはGate (オレゴン州立大)とSchneider (NCAR)が勤め、Anthes (UCAR, President)やEddy (UCAR, IGBP)を含む16人の実行委員会がその運営にあっている。参

加者としてUCAR所属の大学やNASA, NOAA<sup>5)</sup>, NMC<sup>6)</sup>等の研究機関の代表をはじめ、NSF, USDA, EPAなどのfunding agency, GM, DIGITAL等の一般企業の代表の総勢約100人が会場に集まった。気候変化は最近のホットな話題であるため、本集会の開催中にNBCは、1988年のJune Draughtに関するTrenberth等の力学的解説を全国に放送した。

本集会は次の6つのSessionに分けて行われた。

Session I : The need for climate system modeling

Session II : Present state of climate modeling

Session III : Climate subsystems

Session IV : Climate variability and trends

Session V : Observational needs and computer technology for climate system modeling

Session VI : Roadmap for the future

Session I (Chair: MacQueen)では、はじめに、上記のCESによる報告書にまとめられている気候変化研究に関する問題点、研究課題、研究予算について、Anthesが説明を行った。

温暖化、かんばつ、砂漠化や火山現象などの地球系の変化が、我々の社会経済に与える影響は計り知れない。地球系の変化に対する自然現象と人間活動の相対的影響度の理解は非常に重要なものであるが、現時点において科学的に解明されているとは言い難い。地球系の変化の理解と予測技術の向上は、たとえその変化が自然現象と人為的なもののどちらであろうと、今後の対策を考えてゆく上で本質的に重要である。従って、そのための効率的で組織化された連邦研究計画が必要である。(注：これがCSMIの動機となる。)地球系の変化とは、空間的のみならず政治的境界をも越えるのであるから、その計画は米国のみならず国際的なものでなければならない。

気候変化研究における主な問題点は、次の4つにまとめられる。

\* The First Workshop of UCAR Climate System Modeling Initiative (CSMI).

\*\* H.L. Tanaka, Geophysical Institute, University of Alaska-Fairbanks.

1. 地球系の変化を引き起こしている作用は何か.
2. その作用に対して地球系はどのように反応しているのか.
3. 過去において、地球の環境はどのように変化してきたのか.
4. 地球系の変化は、どの程度まで予測可能か.

そして、これ等の問題に取り組むための本計画の研究課題は、次の3つにまとめられる。

1. 地球規模の総合的観測システムの計画とその確立.
2. 地球系の変化傾向を左右する物理、化学、生物学的過程の理解.
3. 総合的な地球系モデルの開発

大気科学、海洋科学などが発展期を迎えた時点において、次の課題は各々の研究分野の枠組を越えた総合的研究の推進である。そのための研究予算を参考までに述べると、1989年度における地球変化研究の活動予算の総額は1,339億ドルであり、1990年度にはこれを1,905億ドルに増加するよう申請している。本計画の課題と方針は、U.S. Academy of Science の地球変化に関する委員会や ICSU の IGBP の計画とも関連している。

Session II (Chair: Beker) では Cess (SUNY<sup>7)</sup>) と Dickinson (NCAR) が気候モデルの現状を解説した。はじめに Cess は観測される放射収支を説明し、それが温室ガスの増加により現在と異なる平衡状態に達するであろうことを定量的に解説した。現在稼働中の12種類の気候モデルにより推測されたこの最終的平衡状態を相互に比較してみると、相当量のばらつきがあることを示した。そこで彼は、放射過程のパラメタライゼーションが気候モデルの最終的平衡状態に及ぼす感度を、定量的に評価することを試みた。その結果によると、晴天放射過程だけを含む場合、どのモデルも同じような気候状態に落ち着くのに対し、雲による放射過程を導入することにより最終的平衡状態は大きくばらついてしまうことを示した。このように、気候モデルによる将来の予測は雲による放射過程のパラメタライゼーションに大きく依存している。従って、モデルの層数の変化により放射過程が変化し、結論が変わることも有り得ることを主張した。

一方、Dickinson は気候モデルが含む不確かさを統計的手法を用いて分析してみせた。大気・海洋・地表の個々の物理過程に含まれる不確かさを、正規化されたRMSの概念で分析してゆくと、不確かさ全体の35%が大気、35%が海洋、そして25%が地表に含まれるという。さら

に、不確かさを(1)現象の理解度、(2)現象のモデル化の技術、(3)モデルの解像力とに分けてみると、大気では(1)~(3)が20%、20%、20%と均一に分割されるのに対し、海洋では25%、5%、20%と現象の一層の理解が必要であるという結果になり、地表では9%、12%、20%と解像力が問題になっているという結果を示した。また、不確かさを(1)データ、(2)研究、(3)計算機の限界に区別した場合には、(1)~(3)が33%、30%、28%となり、データの向上と観測の一層の充実が重要であることを示した。上述の雲による放射過程の他、海洋の熱量や極圏の雪氷の観測の充実が、気候モデルの向上にとって優先されるべき課題であると結論を下した。ただし、今後10年間に不確かさ全体の10%程度を取り除くのが限界であろうと述べている。

Session III (Chair: Moore) では、気候サブシステムとして以下の分野を代表する第一線の研究者から話題の提供があった。

1. Physical oceanography (Jutro)
2. Chemical oceanography (Bacastow)
3. Atmospheric chemistry (Cicerone)
4. Biogeochemical cycle (Melillo)
5. Ice (Untersteiner)
6. Hydrology (Lin)
7. Ecology (Shugart)

Jutro は1470 CPU 時間を注ぎ込んだ25年間に渡る海洋モデルシミュレーションの結果を示し、Bacastow は海洋のカーボンサイクルモデルについて説明した。Cicerone は  $\text{CH}_4$  や  $\text{O}_3$  などの温室ガスが  $\text{CO}_2$  と共存する場合には、 $\text{CO}_2$  倍増だけから予測される昇温のその2倍の昇温が生じる可能性のあることを述べた。Untersteiner は極圏における近年の昇温は認めるものの、海水の進退、積雪面積、氷河活動や永久凍土の観測結果によると、明瞭な温暖化傾向を確認することはできないと報告した。Lin は大気科学における GCM の類推で、植物の GCM 土壌の GCM といったものが開発されていることを紹介した。

Session IV (Chair: Hall) では Ghil (UCLA) が気象現象における trend と variability を予測可能な部分と不可能な部分に分解し、予測可能部分を抽出するために Singular Spectrum Analysis を非線形力学に適用した結果を紹介した。各 Session ごとに、代表者によるこれまでの研究成果の解説が行われた後に、パネルディスカッションの時間が設けられ、集会参加者の意見やアイ

データの交換が行なわれた。

夕方にはレセプションが開かれ、そこで筆者は June Draught の原因について Trenberth, Ghil, Kalnay 等と議論した。CO<sub>2</sub> の増加と今回の Draught の関係に対しては、先月行われた AGU 総会議での議論からも明らかかなように大方の気象学者は否定しているように思える。しかし、赤道付近の SST 偏差を線形論である定常ロスビー波の子午面伝播で北アメリカまで引き寄せた Trenberth 等の解説は、(1) 基本場の選択のしかたで結果の安定性が疑われる線形論の結果であること、(2) OLR 観測によるとより強い熱的外力が作用したと考えられる西部太平洋とメキシコ湾上の外力が無視されていること、の2点から疑問が残る。

研究集会2日目の Session V (Chair: Carruba) は、Suomi (U. of Wisconsin) による観測の必要性の主張で始められた。人工衛星による地球観測という点で、現在の観測活動は谷底状況であるという。1990年以降にその活動は拡大傾向を示すと予測されるものの、その努力は米国よりもむしろ日本やヨーロッパ諸国によって成し遂げられるであろうと述べた。また、Kasahara (NCAR) は FGGE<sup>8)</sup> の教訓を顧みて、今後の観測計画には水蒸気に重点をおくと共に、上昇流の推定法の改善が重要であることを指摘した。

続いて Kutzbach (U. of Wisconsin) による古気候のシミュレーションの結果と、Buzbee (NCAR) による今後のスーパーコンピュータの発展の見通しが述べられた。ここで Shukla (U. of Maryland) は、CSMI の目的が多くの参加者にとって今だに明確でないことを指摘したため、委員会側は予定を変更し、CSMI の目的と今後の方針を参加者全員で議論する時間を設けた。目的文の一語一句に対しても深長な吟味がなされ、熱気あふれ

る雰囲気の中で参加者の知識と判断が結集された。

午後には次の4つの Working group session が行われた。

1. 社会的政治的影響
2. 科学的目標
3. 研究施設
4. 組織と基金

それぞれのグループが、CSMI の目的を再吟味し、今後の研究計画の案を持ち帰り全体集会で報告し合った。

研究集会最後の日の Session VII (Chair: Anthes) では、コンビナーを勤めた Schneider と Gate が、はじめに述べた CES によるレポートに盛られている研究計画に対し、CSMI は以下の点を目的に組み込むことを全体集会で確認した。

1. CSMI で取り扱われる気候系モデリングの時間スケールとして、基本的には今後5~50年の変化に注目する。
2. CO<sub>2</sub> に限らず、昇温に関係すると考えられる温室ガス全般を対象とし、それ等のガスの増加に伴う温室効果の研究にも重点を置く。
3. 気候系モデリングの開発には、大学や政府研究機関ばかりでなく、一般企業の協力も望まれる。
4. 気候系モデルの開発を停滞させることなく一層の増強を図る。

単一の学問分野を抜け出した総合研究の典型とも言える気候系モデルの開発は、今後米国のみならず全世界の将来に大きな役割を果たすことになるであろう。国際協力が必要なことは言うまでもない。新たな目的と方針のもとに気候系モデルの開発を促進しようとする CSMI の今後の成果に期待したい。

略号について (編集部注釈)

1) NCAR	National Centre for Atmospheric Research
2) GFDL	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
3) GCM	General Circulation Model
4) NASA	National Aeronautics and Space Administration
5) NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
6) NMC	National Meteorological Center
7) SUNY	State University of New York
8) FGGE	First GARP Global Experiment