

モデル相互比較実験研究会議に参加して*

鬼頭 昭雄・岩崎 俊樹**

1. 概要

1992年2月17日～21日、世界の30の大気大循環モデル(GCM)グループの代表を含む約60人が参加して、Combined Meetings of FANGIO and AMIP and Special Session on Climate Model Intercomparisonが、米国カリフォルニア州のオークランド市とバークレー市の境界の高台にあるホテルで行なわれた。FANGIOはFeedback Analysis for GCM Intercomparison and Observation, AMIPはAtmospheric Model Intercomparison Projectの略である。これらのセッションが2日づつ行なわれ、その他のモデル相互比較プロジェクトの紹介に1日があてられた。日本からは鬼頭・谷貝(気象研), 岩崎(気象庁), 加藤(電力中研)の4名が参加した。ここではAMIPを中心に国際的なモデル比較の動向を報告する。

2. AMIP とは

AMIPはAtmospheric Model Intercomparison Project(大気大循環モデル相互比較実験)の略である。GCMの相互比較はこれまでも世界気候研究計画(WCRP)の数値実験ワーキンググループ(WGNE)により行われてきたが、温室効果気体の増加に伴う温暖化問題が緊急性を増すにつれ、気候モデルの系統的誤差の性質やその地域特性について、より詳しく、しかも早急に知る必要が生じてきた。これらのことからWGNE/WCRPでは国際的にモデル相互比較を拡大するよう勧告を出した。最近ではCess et al (J. Geophys. Res. 1990)によって、19のGCMで海面水温偏差を全球的に $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 与えて結果を比較することで雲-放射フィードバックの相互比較が行なわれた。またWMOから出たWGNEのレポート(Boer et al. 1991)では、14のGCMの夏と冬

の気候値の比較がなされている。AMIPはこれらの流れをふまえ、その目的を拡張し、かつモデル実験を行なう条件をより一層標準化した形で行なおうとするものである。

気候モデルの改良、系統的な数値実験の実行、革新的なソフトウェアの開発、温室効果気体増加に対する地域的な気候変化の見積り、モデル・コミュニティ間の協力推進のために、米国エネルギー省(DOE)はカリフォルニア大学ローレンス・リバモア国立研究所(LLNL)にProgram for Climate Model Diagnosis and Intercomparison(PCMDI)を設立した。所長はオレゴン州立大から移ったL. Gatesである。所員は16人で、科学者とスタッフが半々である。AMIPはWGNE/WCRPとPCMDIの両者により実行される。相互比較の舞台はLLNL内にあるNational Energy Research Supercomputer Center(NERSC)であり、これらの実験を行なうために2年間に23,000計算単位(入出力やメモリーも勘定に入るので換算は困難だが、あえて行なうとHITAC-S810/10で7,000時間位か)、1.5テラバイト(磁気テープ1万5千本分)のアーカイブ用領域が確保された。自前の計算機を持っていないグループ(大学等)はここで計算を行なう(ただしU.S DOEに計算時間の申請をし、審査を受ける必要がある)。それ以外のグループも決められた出力を磁気テープ等の形でPCMDIへ送ることになっている。

ちなみにLLNLは予算が政府から来る国立研究所であり、一方事務は州立大学であるカリフォルニア大学が行なっている(GFDLも同様の組織である)。DOEはPCMDIのために1991-1992両会計年度で約100億円を拠出しているとのことである。この動きは英国気象局でのハドレー・センター設立やハンブルグのマックス・プランク研究所(MPI)での気候研究拡大に対応している。一方NERSCは磁気融合エネルギー、超伝導加速器、高エネルギー・核物理学、基礎エネルギー科学、環境科学の研究のためにDOEが設けた計算センターである。

* Report on the Model Intercomparison Meeting (Berkeley, February 17-21, 1992).

** Akio Kitoh (気象研究所気候研究部), Toshiki Iwasaki (気象庁数値予報課).

第1表 AMIP に参加の GCM (1992年2月現在)

ANL	4x5'L7	Oh	Argonne National Laboratory, Argonne, USA
BMRC	R31 L19	McAvaney	Bureau of Meteorology Research Centre, Melbourne, Australia
CCC	T32 L10	Boer	Canadian Climate Centre, Downsview, Canada
CNRM	T42 L30	Mahfouf / Cariolle	Centre National de Recherches Meteorologiques, Toulouse, France
COLA	R40 L18	Straus	Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions, College Park, USA
CSIRO	R21 L9	Hunt	CSIRO, Division of Atmospheric Research, Mordialloc, Australia
CSU	4x5'L17	Randall	Colorado State University, Fort Collins, USA
DNM	4x5'L7	Galin / Dymnikov	Department of Numerical Mathematics, Academy of Sciences, Moscow, Russia
ECMWF	T42 L19	Ferranti / Burridge	European Centre for Medium Range Weather Forecasts, Reading, UK
GFDL	R30 L9	Wetherald	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Princeton, USA
GFDL/DERF	T42 L18	Miyakoda	GFDL/Dynamical Extended Range Forecasts Group, Princeton, USA
GISS	8x10'L9	Lo / Del Genio	NASA Goddard Institute Space Study, New York, USA
GLA	4x5'L17	Lau / Fiorino	NASA/GSFC Laboratory for Atmospheres, Greenbelt, USA
HMC	T21 L15	Trosnikov	Hydrometeorological Center, Moscow, Russia
IAP	4x5'L2	Zhang / Zeng	Institute of Atmospheric Physics, Beijing, PRC
JMA	T42 L21	Iwasaki / Sato	Japan Meteorological Agency, Tokyo, Japan
LANL	R15 L20	Kao	Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, USA
LMD	3.6x5.6'L11	Le Treut	Laboratoire de Météorologie Dynamique, Paris, France
MGO	T30 L14	Meleshko	Main Geophysical Observatory, St. Petersburg, Russia
MPI	T42 L19	Dumenil / Schlese	Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, Germany
MRI	4x5'L15	Kitoh / Tokioka	Meteorological Research Institute, Tsukuba, Japan
MSFC	T42 L12	Fitzjarrald	Marshall Space Flight Center, Huntsville, USA
NCAR	T42 L18	Williamson	National Center for Atmospheric Research, Boulder, USA
NMC	T40 L18	van den Dool / Kalnay	National Meteorological Center, Washington DC, USA
NRL	T42 L18	Rosmond	Naval Research Laboratory, Monterey, USA
SUNYA	R15 L12	Wang / Liang	State University of New York, Albany, USA
UCLA	4x5'L17	Mechoso	University of California, Los Angeles, USA
UGAMP	T42 L19	Blackburn / Slingo	UK Universities Global Atmospheric Modelling Project, Reading, UK
UILL	4x5'L7	Schlesinger	University of Illinois, Urbana, USA
UKMO	2.5x3.75'L20	Rowell	UK Meteorological Office, Bracknell, UK

1991年度には CRAY X-MP2, CRAY2 8-128, CRAY2 4-128, CRAY2 4-64 の4台のスーパーコンピューター(計18の CPU) が約150の研究機関, 4,500人のユーザーに利用されていたが, 現在は CRAY YMP8 と CRAY YMP C90/16-256 が陣容に加わっているようだ。さらに米国内の19の主なセンター間は Energy Sciences Network (ESnet) という1.5 Mbps の高速回線で結ばれており, 6.4テラバイトのマイクロビデオテープを持つ National Storage Laboratory なる組織も出来る見込みである。

さてこの大気モデル相互比較実験では, どのモデルでも同じ1979-1988年の10年間の観測された月平均海面水温/海水分布を境界条件として使う。これまで各 GCM で使われている海面水温「気候値」は必ずしも同じではなく, 特に熱帯においてはそのわずかな違いにも敏感な積雲対流の立ち方を通して, モデル間の違いの一原因として指摘されることもある。長期間の観測された海面水温を境界条件として GCM を積分する実験はこれまでもあるもの(例えば地球流体力学研究所(GFDL), 米国大気研究センター(NCAR), MPI, 気象研), この

プロジェクトでは海水分布の年々変化をも与えて10年間の積分を行なう。データは AMIP SST and SEA-ICE DATASET と呼ばれ, メリーランド大学海洋陸面大気相互作用研究センター(COLA)と米国気象局気候解析センター(CAC)により作成された。この実験では更に太陽定数(1365 W/m²)や CO₂ 濃度(345 ppm)もすべての GCM で同一値が使われる。

積分結果は, ヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)および米国気象局(NMC)で行なわれる船やラジオゾンデ等のオフタイム・データを含めた最新データ同化システムによるデータ再解析結果や, 国際衛星雲気候計画(ISCCP)の雲データ, 全球降水気候計画(GPCP)の降水量データ, 地球放射収支実験(ERBE)の大気頂放射データ等と比較される。

3. 会議の概要

1年前の1991年4月4日～5日に同じ場所で行なわれた AMIP の第1回会議には鬼頭が出席した。この時には L. Gates (PCMDI 所長) の「これまで最大の大気モデルグループの会合」への歓迎の言葉のあと, AMIP

全体計画のレビュー、出席した23のGCMグループの代表によるそれぞれのGCMの紹介、解析内容・手法の議論があった。鬼頭は気象研究所GCMで1970-1989年の観測された海面水温を使用して行なった20年積分結果を紹介した。

今回の第2回会議はL. Gatesの歓迎と参加GCMが30になった現状紹介から始まり、スポンサーであるDOE, WCRP, WGNEの役割についてM. Riches (DOE), R. Newson (WMO), D. Burridge (ECMWF)がそれぞれ話した。

第1表に参加している30のGCMのリストを掲げておく。格子点モデルが11, スペクトルモデル(平行四辺形切断)が6, スペクトルモデル(三角形切断)が13という内訳になっている。ちなみにBoer *et al.* (1991)の14のモデル相互比較ではそれぞれ4, 4, 6であった。

今回の会議には、30のGCMグループのうち28グループの出席があり、22の代表が発表を行なった。すでにAMIP 10年積分を終えたコロラド州立大(CSU), ECMWF, GFDL/DERF(力学的延長予報グループ), MPIはそれぞれの予備解析結果を、その他のグループは自分達のモデルや特徴的なパラメタリゼーションの紹介、AMIPとは別途行なった長期積分結果などについて話した。AMIP SSTと違うSSTを使って比較しているグループ、いくつかの異なる解像度のモデルで実験しているグループ、おなじSSTだが違う初期条件で数回の積分を行なっているグループ、異なるパラメタリゼーションを用いたモデルで実験しているグループなどそれぞれの興味が出ていておもしろかった。ただ積分結果の掘り下げた解析についてはまだまだという感じだった。鬼頭は年々変動する実測のSSTを与えた場合と気候値SSTを与えた場合とで、得られるモデル気候値に有意な差があることを話し、岩崎は気象庁全球モデルで得られた季節内変動について話した。

積分結果の診断方法についての議論を半日かけて行った。これはテーマ毎のいくつかのサブ・プロジェクトに分かれる。今回提案のあったテーマとしては、(1) 季節内振動、(2) モンスーン、(3) 雲の放射強制力(cloud-radiative forcing: CRF)、(4) 地表面フラックス、(5) 成層圏現象、(6) 海水、(7) 南半球高緯度、(8) モデル中の極端な現象(干魃や寒冬など)、(9) 地表水文過程、(10) 渦位/エントロピー、(11) 水蒸気、であり、それぞれの目的についての議論が行なわれた。他にも角運動量、ブロッキング、ストームトラック、大気のエネルギ

ー収支などのサブ・プロジェクトがこれから組織されよう。

このプロジェクトは今後の感度実験の基礎となるデータベースを提供し、かつ海洋モデルや大気海洋結合モデルの相互比較を通して、気候モデル作りへの一里塚となる。各GCMによる10年積分は1993年中に終了する予定である。その後結果の診断・相互比較が行なわれる。次回の会議は1993年中頃に予定されている。

(鬼頭)

4. AMIP プロジェクトに参加して

(予報センターの気候研究取り組みについて)

AMIPのプロジェクトには研究機関だけでなく全球モデルを持つ世界の主な予報センターがほとんど例外なく参加しており、予報センターの気候研究に対する関心の高まりを強く印象づけた。遅ればせながら気象庁数値予報課も今回よりAMIPのプロジェクトに参加することにした。

今、数値予報では系統誤差(気候ドリフト)をいかにして減らすかが重大な関心事になっている。どのモデルも枠組みは一応出来上がってはいるが、モデル気候値と現実大気との間にはなお大きな隔りがある。AMIP以前にも様々なモデル相互比較プロジェクトが行なわれてきた。この会議でも、カナダ気候センター(CCC)のG. Boerはモデル比較に基づく研究が系統誤差解析にいかに有効であるか強調した。特に対象としている誤差が各モデルに共通であるか否かが大きなポイントとなる。特定のモデルにだけ現われる特殊な誤差は各計算のプロセスを較べれば原因に行き当たる。共通の誤差は我々の自然認識が一致して未だ不十分であることを示唆する。その解決には気候システム研究との広範な連携が必要である。

数値予報でこれほど系統誤差が重視される背景には2つの理由がある。第一は気象庁を含め各数値予報センターとも長期予報の実現に向けて大きく動き出したためである。モデル大気の気候値誤差は長期予報精度向上の大きな障壁となっている。もう一つの理由は毎日の予報の初期値である客観解析の精度を向上させるためである。予報モデルの性能が向上すると、予報精度は初期条件の精度を一層大きく反映するようになる。しかし、よく知られているように今日の客観解析はデータ同化システムの産物である。その精度は予報モデルの気候値に大きく支配されている。結局、短期・中期予報といえどもその

予報精度を更に向上させるためにはモデル気候値の改善が不可欠になってきている。英国気象局 (UKMO) は狭領域の短期予報モデルから気候研究モデルまで全てフレームを共有する統一モデルを採用している。時間スケールに応じた経済的モデル設計とは相反する考え方で業務上は受け入れ難い面もあるが、「予報モデルは気候研究にも使えるものでなければならない」という思想に貫かれている。

もちろん、各予報センターは毎日の予報に使っているモデルが気候研究にどれだけ使えるものか試してみたいという積極的な意図も持っているだろう。ヨーロッパ中期予報センター (ECMWF) をリードしてきた L. Bengtsson は ECMWF のモデルを持ってマックスプランク研究所 (MPI) に移り大々的に気候研究に乗り出している。

このプロジェクトには随分とたくさん研究機関、予報センターが参集した。また、シミュレーション結果の診断方法も様々提案されている。L. Gates を始めとする主催者の熱意は相当なもので活発なモデル情報の交換の場になることは疑いない。しかし、モデル比較がどれほどの科学的成果を生みだせるか、なお未知数ではある。各参加機関それぞれにしっかりした研究目的を設定していく努力がこのプロジェクトの成功の鍵を握っていると思う。

(会議の後半に同僚、山田慎一君の突然の悲報を聞きました。彼は現在の気象庁全球モデル構築に多大な貢献をしました。UCLA では荒川昭夫先生の指導のもと温位座標系に基づく予報モデルの開発中でありました。卓抜した才能の死はこれからの気象学の発展に大きな痛手です。また、人望も極めて厚く、帰国後は数値予報課を世界屈指の予報センターへ導いてくれるものと確信していただけに、大変残念なことでした。心からご冥福を祈ります。)

(岩崎)

5. その他の気候モデル比較実験について

会議の前半に開かれた FANGIO およびその他の気候モデル相互比較について簡単に紹介する。

• Feedback Analysis for GCM Intercomparison and Observation (FANGIO)

これは温室効果気体増加に対する気候モデルのフィードバック過程を調べることを主目的とした比較実験である。既に1988年から R. Cess (ニューヨーク州立大) と

G. Potter (LLNL) が中心となって、特に雲と放射過程の比較実験が行なわれている。雲が放射収支に及ぼす影響を評価するために放射強制力 (CRF) という量を導入し、衛星データ (ERBE) との比較を行う。温暖化を想定して SST を $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 変化させてその差を調べる実験、 CO_2 を変化させて炭酸ガス強制力を比較する実験が行なわれている。

• Atmospheric Model Intercomparisons (WGNE)

G. Boer が14の GCM で得られた気候値の比較を行なった結果 (WMO/TD-No. 425, July 1991; J. Geophys. Res., 1992) を紹介した。これは各モデルの気候値の図を持ち寄る古典的な比較方法であるが、高緯度上部対流圏の低温、低緯度下部対流圏の低温が、モデルに共通の誤差として指摘されている。どのモデルにも見られる誤差とは何を意味するのか。モデルに取り込むべき過程で、見過ごされているものがあるのではないか。

• Monsoon Simulation Intercomparison (MONEG)

M. Fennessy が1991年10月21-23日に NCAR で行なわれた MONEG workshop の結果を中心に、MONEG (TOGA Monsoon Numerical Experimentation Group) の活動を紹介した。1987年と1988年に観測された SST を与えて、それぞれ6月1日から3ヶ月積分し、気候値としてのインドモンスーンのシミュレーションと、1987年と1988年の差 (1987年はエル・ニーニョでアジア/アフリカのモンスーン降水量は平年以下、1988年はラ・ニーニャでモンスーン降水量は平年以上) をどの程度シミュレート出来るかを調べている。この過程で ECMWF と NMC の解析値に、予報・解析モデルの更新のためと考えられる大きな差が見いだされた。このことはモデルの検証あるいは気候研究にとって、統一した解析システムで解析データを作る必要性を示している。実際、過去に遡って、1979-1993年の再解析が ECMWF および NMC で行なわれつつある。この再解析結果が AMIP では使われる。

• Variability of the Coupled Ocean-Atmosphere System and Climate Prediction (CLIVAR)

ECMWF から MPI に移った L. Bengtsson が、気候予報のための戦略と、MPI を中心に組織しようとしている European Climate Network (ECN) について述べた。ECN は EC の気象機関が集まって気候研究のサポートを増強しようとするもので、データセットの共有化/ヨーロッパ宇宙機構との共同研究/コミュニティ

気候モデル/計算機をその課題とする。具体的には EC MWF 再解析プロジェクト, 高解像度モデルによる気候シミュレーションを掲げていた。

・Paleoclimate Model Intercomparison Project (PMIP)

S. Joussaume が NATO Workshop on Paleoclimate Modeling (1991) の紹介を行なった。現在 12 のグループが参加している古気候のモデリングでは、気候変動のメカニズム解明/古気候データによるモデルの気候敏感度のテストを目的として、データがかなり整備されており、かつ現在との気候の差が大きかった 6,000 年前と 18,000 年前をターゲットとしている。6,000 年前のケースは太陽の軌道要素と CO₂ の違いのみを調べる。18,000 年前のケースでは大気・海洋混合層モデルを用いて、氷床・海面レベル・海面水温の違いも考慮して比較実験を行なう。

・Intercomparison of Air-Sea Interaction (TOGA)

D. Neelin が「Tropical air-sea interactions in GCMs」(Neelin and Latif et al., 1992, Clim. Dyn., 7, 73-104) を紹介した。

・Ocean Model Intercomparison (TOGA-NEG)

T. Stockdale が同じ外力(Hellerman and Rosenstein (1983) の応力を 0.7 倍したもの) で駆動した 7 つの海洋モデルの比較実験の話をした。多くの海洋モデルは西太

平洋で海面水温が観測より 1°C 高く、中部太平洋で 1.5°C 低い。高解像度で水平粘性係数が小さいモデルほど赤道の海流系の表現がよく水温バイアスも小さいと強調していた(参加者からの異論あり)。次回は時間間隔の細かい応力 (ECMWF/NMC の再解析) を強制力として与えるそう。

・Intercomparison of Coupled Ocean-Atmosphere Models (SGGCM)

U. Cubasch が「気候変化 1992-IPCC レポート」に用いられている 4 つの結合モデル (GFDL, MPI, NCAR, UKMO) による CO₂ 漸増実験の話をした。なお WCRP SGGCM とは Steering Group on Global Climate Modelling で、Gates, Cubasch, Meehl, Stoufer, Mitchell がメンバーである。

朝 8 時半から午後 5 時まで一日中いろんなモデル比較実験の話があったわけだが、GCM を使っている者にとって興味深い 5 日間だった。今のところいくら興味があってもすべてに付き合っていくには日本はマンパワー不足だが、GCM を持つ機関が増えるに連れ多少なりとも解消されることを望む。

(鬼頭)

月例会「レーダー気象」のお知らせ

標記の月例会を下記の通り開催しますのでご参加下さい。

日時：1992年12月15日(火) 13:30~16:00

場所：気象庁 8階 東京管区気象台会議室

プログラム

1. 「ドップラーレーダーデータの 3 次元表示」
真木雅之(防災科学技術研究所), 宮地英生(クボタコンピュータ)
2. 「梅雨期に宮古島で観測された中規模対流系」

田畑 明, 山田芳則, 岩崎博之, 榊原 均(気象研究所), 中井専人(防災科学技術研究所)

3. 「数値モデル出力の風データを用いたリトリバ
ル法の開発-ユニセル, マルチセルの場合」

瀬古 弘(気象研究所)

連絡先：気象研究所 台風研究部 田畑 明
榊原 均

TEL 0298-51-7111