

# 大気大循環モデル相互比較実験 (AMIP)

## 第1回国際会議の報告\*

鬼頭 昭雄<sup>\*1</sup>・田中 博<sup>\*2</sup>・萬納寺 信崇<sup>\*3</sup>  
 沼口 敦<sup>\*4</sup>・長谷川 聡<sup>\*5</sup>

### 1. 概要

1995年5月15日～19日に、AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Project, 大気大循環モデル相互比較実験) の成果報告である標記会議が、米国カリフォルニア州のモントレーで行なわれた。AMIP は世界気候研究計画 (WCRP) の数値実験ワーキンググループ (WGNE) により1991年から行われているもので、同一の境界条件下で行った10年間分の大気大循環モデル積分結果を相互比較することで、モデルの現状把握及びその改良の指針を得ようとするものである。AMIP には世界の主だった30の大気大循環モデル (GCM) グループ (第1表) が参加し、その結果は全て Lawrence Livermore にある PCMDI (Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison) に集約されている。今回の会議はそれらの積分が終了し、モデル結果を種々の観測データと比較した診断研究もある程度の成果を出し始めているのを受けて開かれた。会議への参加登録者は150名に達し、口頭約70編、ポスター約20編の発表があった。なお AMIP コミュニティの会議はこれまでに1991年4月 (バークレー)、1992年2月 (バークレー)、1993年5月 (ポローニャ) と3回開催されており、本誌には鬼頭・岩崎 (1992) の報告がある。

会議のセッション名は以下の通りである (括弧内は発表数)。

- 1 : PCMDI AMIP Overview (4)
- 2 : Fluxes, Clouds and Radiation (7)
- 3 : Hydrology and Land Surface Processes (8)
- 4 : Tropical Variability (14)
- 5 : Extratropical Variability (11)
- 6 : Systematic Error Reduction (10)
- 7 : Model Sensitivity (7)
- 8 : Verification Data (2)
- 9 : The Future of AMIP (2)
- 10 : Other Model Intercomparisons (9)
- P : Posters (20)

AMIP の主目的はモデルの改良のための診断であるが、第2表に示すように様々な診断がこのプロジェクトで実行されている。玉石混淆という批判もあるが、膨大なモデル結果を使って色々なアイデアを出し合うのは結構なことと思う。モデル結果を観測と比較して、ほらモデルはこんなに観測とずれていますよ (例えばモデルの陸面は cool で wet である) と言うのが一般的ではあるが、モデル屋はこれを刺激して自分のモデルを良くしようと努力するのである。さらに AMIP の重要な点として、モデルの検証のために利用可能な観測データを集大成し、モデル屋が使いやすいようなフォーマットに整理して AMIP コミュニティに提供しようとしていることを挙げておきたい。

(鬼頭昭雄)

\* Report on the First International AMIP Scientific Conference.

\*1 Akio Kitoh, 気象研究所気候研究部.

\*2 Hiroshi L. Tanaka, 筑波大学地球科学系.

\*3 Nobutaka Mannoji, 気象庁数値予報課.

\*4 Atusi Numaguti, 環境庁国立環境研究所.

\*5 Akira Hasegawa, 筑波大学地球科学研究科

© 1995 日本気象学会

### 2. 印象に残った講演

AMIP の元締めとなっている PCMDI のメンバーや各診断サブプロジェクトの代表による発表は、どれも大気モデリングの現状を良く表しているものであった。多くの変数においては、各モデルの結果はほぼ観測値を中心にばらついているが、ばらつきの程度は観測データの不確定性よりもかなり大きいようである。

第1表 AMIP モデリンググループ

Acronym	AMIP Group	Location
BMRC	Bureau of Meteorology Research Centre	Melbourne, Australia
CCC	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	Victoria, Canada
CCSR	Center for Climate System Research (1)	Tokyo, Japan
CNRM	Centre National de Recherches Météorologiques	Toulouse, France
COLA	Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies	Calverton, Maryland (USA)
CSIRO	Commonwealth Scientific & Industrial Research Organization	Mordialloc, Australia
CSU	Colorado State University	Fort Collins, Colorado (USA)
DERF	Dynamical Extended Range Forecasting (at GFDL)	Princeton, New Jersey (USA)
DNM	Department of Numerical Mathematics (of the Russian Academy of Sciences)	Moscow, Russia
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts	Reading, England
GFDL	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	Princeton, New Jersey (USA)
GISS	Goddard Institute for Space Studies	New York, New York (USA)
GLA	Goddard Laboratory for Atmospheres	Greenbelt, Maryland (USA)
GSFC	Goddard Space Flight Center	Greenbelt, Maryland (USA)
IAP	Institute of Atmospheric Physics (of the Chinese Academy of Science)	Beijing, China
JMA	Japan Meteorological Agency (2)	Tokyo, Japan
LMD	Laboratoire de Météorologie Dynamique	Paris, France
MGO	Main Geophysical Observatory	St. Petersburg, Russia
MPI	Max Planck Institut für Meteorologie	Hamburg, Germany
MRI	Meteorological Research Institute (3)	Tsukuba, Japan
NCAR	National Center for Atmospheric Research	Boulder, Colorado (USA)
NMC	National Meteorological Center	Suitland, Maryland (USA)
NRL	Naval Research Laboratory	Monterey, California (USA)
RPN	Recherche en Prévision Numérique	Dorval, Canada
SUNYA	State University of New York at Albany	Albany, New York (USA)
UCLA	University of California at Los Angeles	Los Angeles, California (USA)
UGAMP	The UK Universities' Global Atmospheric Modelling Programme	Reading, England
UIUC	University of Illinois at Urbana-Champaign	Urbana, Illinois (USA)
UKMO	United Kingdom Meteorological Office	Bracknell, England
YONU	Yonsei University	Seoul, Korea

(1)東京大学気候システム研究センター (国立環境研究所と共同), (2)気象庁数値予報課, (3)気象研究所気候研究部

また、亜熱帯で湿潤すぎるとか、山岳域で低温すぎるなどの、多くのモデルに共通のバイアスも数多くあることも指摘された。中でも、Randall (CSU) 等による、南半球の雲の再現性が悪いために海面での熱収支に大きなバイアスがあるという結果は目を引くものであった。また、季節変化の振幅は過大に表現する一方で、年々の変動は小さく表現してしまうというのも各モデルに共通のようである。

しかし、例えば数多くある各モデル間の違いのうち、どの部分(積雲, 放射, ...)のモデル化の違いが各変数の再現性にとって大きく影響するのか、どのようなモデル化が最も適切かというような情報を得るには残念ながらまだ至っていないようである。Slingo (U. Reading) らの発表は、熱帯の季節内変動の再現性はモデルによって大きな開きがあることを指摘するとともに、その原因を探ることを試みていた。季節内変動

の振幅とモデルの各側面の仕様との相関を調べた結果、どうやら一番効いているのは積雲対流スキームで、水蒸気収束でなく浮力によるクロージャを用いているものが良さそうだという結論であった。しかし、Wang (U. Illinois) らは、Kuo, Arakawa-Schubert, というような形式の違いよりも、積雲対流の起こるための相対湿度の条件が厳しいか否かが重要である(臨界湿度が高いほど良い)ということ、1つのモデルを用いた系統的な実験によって示しており、一見、Slingo らの結論とはかなり異なるように思える。さらに、降水の平均値の再現という点からすると、Slingo らの結論とは逆の傾向(観測との一致が良いものは、水蒸気収束を用いているものが多い)が現れているようであり、現在のところ、これらからクリアな結論を得ることはまだ困難に思える。また、多くの側面で、モデルの気候再現性とその分解能との間に明らかな相関が見出

第 2 表 AMIP 解析サブプロジェクト

Subproject	Scientific Focus
1	Variability of the tropics : synoptic to intraseasonal time scales
2	Intercomparison of low frequency variability
3	Cyclone frequencies and extratropical intraseasonal variability
4	Clear-sky greenhouse sensitivity, water vapor distribution, and cloud radiative forcing
5	Surface boundary fluxes over the oceans
6	Monsoons
7	Intercomparison of hydrologic processes in general circulation models
8	Polar phenomena and sea ice
9	Validation of high latitude tropospheric circulation in the Southern Hemisphere
10	Diagnostics of atmospheric blocking in general circulation models
11	Validation of humidity, moisture fluxes and soil moisture in general circulation models
12	Land-surface processes and parameterization
13	Diagnosis of global cloudiness variation in model results and observational data
14	Cloud radiative forcing : intercomparison and validation
15	Atmospheric angular momentum fluctuations in global numerical models
16	Simulations of the stratospheric circulation
17	Multi-scale water and energy balance processes
18	Capability of current models to simulate extreme events and circulation patterns
19	Model validation by microwave sounding unit (MSU) data
20	Intercomparison of model simulated circulation features related to South Africa
21	Surface monthly and daily time-scale climatologies and regional climate anomalies
22	Comparative energetics analysis of climate models in the wavenumber domain
23	Variations of the centers of action
24	Analysis of Caspian Sea regional climate data as compared to AMIP model outputs
25	General circulation model simulation of the East Asian climate
26	Monsoon simulation in the AMIP runs

せないという結果も、端的に物事の複雑さを物語っているといえるだろう (また、相関があったとしても、それは分解能の高いモデルを使える余裕のあるところほど、パラメタリゼーションの改良やチューニングにも多くの労力を注いでいるためだ、ということかもしれない)。

多くの機関では、AMIP の計算をした後もモデルの改良を継続的に行っており、モデルの改良とその効果についての発表も多くあった。その中で印象に残ったのは、Hall (Hadley Centre) による、夏のモンスーン期の東南アジアの強すぎる西風と西太平洋での降水の集中という、いくつかのモデルに共通して現れる問題点に関する系統的实验の報告である。さまざまな物理過程の改良を順次試した結果、この問題点はかなり解消された。なかでも重力波抵抗の改良と Form Drag の導入によって対流圏下層での減速を大きくすることが、結果の改良に大きく効いているようだ。他の発表の中には、モデルのいろいろな点を同時に変えていたりして、何が結果の改良につながったかが分かりにくいものが多かったのが残念である。

各モデルの比較によって、自分たちのモデルの癖と

というのがわかってきた、というのが今回の大きな成果だろう。しかし、その理由の追求や、モデルの信頼性の評価という点に関してはまだまだこれからやるべきことはいくらでもある、という印象を受けた。AMIP の結果をヒントにしてさまざまな系統的感度実験が行なわれ、どの側面の再現性の向上にはモデルのどの部分の改良が重要かを知り、モデルの共通の欠点から我々の理解に何が不足しているのかを学びとることができれば、このプロジェクトは大成功と言えるのだろう。(沼口 敦)

サブプロジェクトの成果報告のようなモデル比較の発表では、気象庁のモデルがほかのモデルと比べてどうであるか、ということに気にして発表を聞いていた。気象庁モデルの一番の弱点は陸面過程にあるようだ。モデルの結果を比較するにしても、どの量に注目するかで評価が違うことがあるだろう。たとえば、Ferranti (U. Reading) 等は ECMWF のモデルのインドモンスーンの年々変動について報告した。850 hPa の東西風と 200 hPa の東西風の差を見ると ENSO がインドモンスーンに及ぼす影響をモデルは表現しているが、

降水を見るとそうでもない。

多くのモデルグループは競ってモデル改良の結果を発表していた。気象庁は89年11月に改良した全球モデルの計算をAMIPの結果として提出したが、その後改良はされていない。このような場で華々しく改良の成果を発表できないのは残念であった。

Randall (CSU) 等は Colorado State 大学のモデルに積雲対流スキームの変更、陸面過程の変更、雲水の予報変数化などの改良を加えた。その結果、インド洋、インドネシアの雨と OLR (外向き長波放射) が良くなり、10年の AMIP 期間中に積雪が増加していたのも改善されたと報告した。

Hall (Hadley Centre) はイギリス気象局のモデルに重力波抵抗、地形 (orographic form drag) を考慮した粗度、積雲対流、放射、雲水のスキームの変更、水蒸気がマイナスの値になったときの補正方法の変更、水平拡散を小さくする、などの多くの改良を施し、インドモンスーンに伴う西風がフィリピンまで達していたのがベンガル湾で止まり、観測と合うようになったこと、フィリピン近くの多すぎる降水も観測と良く合うようになったことを報告した。陸面過程の変更により積雪の予報が良くなるというように、特定の欠点が1つの物理過程の改良だけで直る場合もあるだろう。しかしそうではなく、多くの物理過程の改良の結果、モデルの振る舞いが総合的に良くなって一部の欠点が直る場合もある、という印象を受けた。

多くの機関のモデルの改良は、陸面水文過程の精密化と雲水の予報変数化の二点に重点を置いているように感じた。これらの改良によってより良い気候モデルになるとすれば、その意味するところは、「水循環を制するものは気候モデルを制する」ということになるだろう。(萬納寺信崇)

Walsh (U. Illinois) は北極域の気温予測の結果を、19の AMIP モデルについて相互に比較した。全 AMIP モデルの年平均結果によると、モデル大気は陸上で観測よりも1~3°Cだけ寒くなっている。ただし、春については多くのモデルが北極海上で温暖傾向を示し、特に MRI モデルの結果は3~6°Cも温かいことを紹介した。個々のモデルについては15°C程度の大きなばらつきがある。AMIP モデルの極域降水量は観測よりも多く、それに伴い北極海に流入するレナ・オビ・エニセイ川の河川流量から算定した極域水循環は観測よりも過大評価されている。北極海の雲量も観測と量的

に異っており、季節変化の最大最小も逆だったりする。さまざまな気象要素の極域におけるモデル大気の相互比較を Walsh が紹介するたびに、聴衆のあいだから“Oh, terrible.”というささやきが聞こえた。それほど、極域での大気の振る舞いはモデル間でばらついており、一見でためめにさえ思える。極域に関しては、やるべきことは山ほどあり今後力が注がれるであろう。

Wang (U. Illinois) 等は UIUC モデルを用いて MJO (季節内振動) のシミュレーションを行なった。積雲対流のパラメタライゼーションとして Arakawa-Schubert, Kuo, 湿潤対流調節の3通りの方法について、降水が始まる臨界相対湿度  $RH_c$  を0~100%まで変動させて MJO の再現性を検討した。その結果、 $RH_c$  を高めに設定することで、3通りの積雲対流のパラメタライゼーションのどれを用いても MJO が再現され、逆に  $RH_c$  を低めに設定すると再現されなくなることを明らかにした。つまり、積雲対流のパラメタライゼーションはどれでもよいわけで、 $RH_c$  を高めに設定することが成功の鍵を握っているのである。この結果は MJO のモデリングをするうえで非常に興味深い。ちなみに、Hayashi and Sumi の実験では  $RH_c = 90\%$  であり、MJO が再現されやすい設定になっていることを彼らは指摘した。

Tibaldi (U. Bologna) 等は AMIP Run のモデル大気中でのブロッキングの発生状況を解析した。Lejenas 等が用いているブロッキング指数を改良し、AMIP の10年 Run に含まれるブロッキング数を客観的に拾いだし、統計処理を行なった。その結果によると、AMIP のすべてのモデル Run に対しブロッキングの発生頻度は観測より少ないことを指摘した。また、持続性に対してもモデルのブロッキングは観測されるものよりも短命である。特に MRI モデルは太平洋上でブロッキングが発生しにくいという特長がある。モデルにおける太平洋のブロッキングは SST を適当に変化させると改善され、大西洋のブロッキングは解像度をあげることで改善されることを明らかにした。

Williamson (NCAR) は AMIP モデルを相互に比較するための客観的な基準としてモデルのスキルスコアを作成・提案し、それに基づいて各モデルの得点を計算し成績報告を行なった。このスキルスコアは現実大気の平均状態の再現性基準と変動特性の再現性基準の和として定義されている。実際例として 200 hPa 高度場等のスキルスコアを計算した結果を紹介し、各々のモデルについて合格・不合格の判定を下

した。

Tanaka (U. Tsukuba) 等は AMIP サブプロジェクトとして、気候モデル大気のエネルギー流の解像度依存性を調べた。運動エネルギーの波数間相互作用を高解像度のモデルや解析データから評価し、それが R15 や T42 程度の粗い解像度でどのように歪むかを調べた。この研究は、電力中央研究所や EPRI (Electric Power Research Institute, USA) が中心となって進めてきた MECCA (Model Evaluation Consortium for Climate Assessment) プロジェクトの内容を引き継いで AMIP として報告したものである。本研究の意義は、全球モデルに局域モデルをネスティングする際に問題となる両者の間のスケール相互作用の大きさを定量的に見積ったことである。その大きさは、全球大気の渦動運動エネルギーを約100日で消費する程度の大きさであり、これだけの相互作用が One-way ネスティングにより無視あるいはパラメタライズされていることになる。この結果はメソ気候モデルによる気候変動予測と影響評価に十分な注意を促すものである。(田中 博)

### 3. 大学院生から見た国際会議

卒論から修論まで、モデルの比較解析を行っていたことで、今回 AMIP の会議に参加する機会を得ることができた。国際会議は、横浜での IAMAP 以来であるが、海外での会議は初めての経験であった。会議は Hyatt Regency の会議室でこじんまりと行われたので、全てのセッションを聞くことができたことは有意義であった。以下、会議全般にわたって感じた点について述べてみたい。

ポスターセッションは、初日に懇親会の傍ら賑やかな雰囲気の中で行われた。我々は、気候モデルや解析データのスペクトルエネルギー解析に関して発表を行った。NMC, ECMWF, JMA の客観解析データを比較すると、各エネルギー項とも、帯状波数空間においてよく一致することが分かった。AMIP モデル (ECMWF, JMA, MRI のみ) について同様の解析を行った結果、JMA モデルの運動エネルギーが 3 乗より急な勾配で減少していることが示された。

モデルの検証にあたって、殆どの研究で ECMWF 客観解析値が用いられていた。現状では最善の選択なのだろうが、検証のための客観解析値が 1 種類だけと

いうのは心許ない。やはり、ECMWF, NMC 及び JMA 等の主要な客観解析の再解析が早急に望まれる。

本論から逸脱するが、AMIP に関する情報は、WWW (World Wide Web) で一般にも公開されている (<http://www-pcmdi.llnl.gov>)。現在のところ、30 に及ぶ AMIP モデルの特徴に関するドキュメントや、AMIP のモデリング及び解析グループのリスト、AMIP の標準的な出力変数の一覧、PCMDI における AMIP のヒストリーデータの最新収容状況等の情報が入手可能である。また将来的には、次期 AMIP モデルの特徴や、AMIP モデルの検証用の再解析データ、PCMDI の開発したソフトウェア、AMIP 関連の文献目録等の情報の提供も予定されているようである。今後は日本でも、インターネットを通じて、研究者や学生が、組織の枠にとらわれず広範に、最新の情報を共有できるような仕組みが求められるように思う。

個人的に、海外の同年代の学生と話をすることは、刺激的な経験であった。次に彼らと会う機会には、彼らに負けない研究成果を手にとるように精進しなければと、身の引き締まる思いがした。

最後に、今回の渡航費を援助していただいた気象学会には、この場を借りてお礼申し上げる。

(長谷川 聡)

### 4. おわりに

多くの GCM モデラーにとって今回の AMIP 国際会議は極めて興味深いものであったであろう。様々な気象要素について AMIP に参加した30程の気候モデルの実行結果のばらつきが紹介されるたびに、自分のモデルがはみ出していないかどうかに一喜一憂し、少なくとも自分のモデルをどちらの方向にチューニングすべきかの資料を与えてくれたのではないだろうか。しかし、Barnett (UCSD) は AMIP そのものが乱数発生実験であると皮肉っている。ばらつきの真ん中に自分のモデルがいるからといって、成績が良い証拠にはならないことを我々は忘れてはいけない。

(田中 博)

### 参考文献

鬼頭昭雄, 岩崎俊樹, 1992: モデル相互比較実験研究会議に参加して, 天気, 39, 673-677.