

第4回全球気候変化と気候変動のモデル化に関する 国際会議に参加して*

楠 昌 司*¹・馬 淵 和 雄*²・鬼 頭 昭 雄*³・
野 田 彰*⁴・高 橋 正 明*⁵

1. はじめに

1999年9月13日から17日までドイツのハンブルグにおいて表記の会議が開催された。この会議はマックスプランク気象研究所 MPI が主催し、世界気候研究計画 WCRP、ドイツ気象学会、米国気象学会、ドイツ気候研究センター等が共催した。会場はマックスプランク気象研究所に隣接したハンブルグ大学の地学系校舎で行われた。この会議は MPI が約3年に一度 MPI で開催しており、今回が4回目である。

欧米、アジア、アフリカ、南米、豪州等の世界中から約370名の気候研究者が集結し、気候のモデリングや観測的研究の最新の成果が口頭で96件、ポスターで148件発表された。日本からは本報告を作成した5名の他、阿部彩子氏（東京大学気候システム研究センター）が参加した。今回は、世界気象機関 WMO が提案している「気候の変動性と予測可能性に関する研究計画」CLIVAR に密接に関連した課題が会議のテーマとして選ばれた。4つの分科会が設けられたが、口頭発表は1つの会場で行われた。各分科会の冒頭には1ないし2件の招待講演があった。

(楠 昌司)

2. 会議の内容

2.1 分科会1「総合気候モデルの開発と検証および諸問題」

口頭発表20件、ポスター発表57件の発表が行われた。筆者はこのセッション1において、陸面植生モデル (BAIM) を導入した全球気候モデルの紹介と、その精度に関して口頭発表を行った。セッション1においては、招待講演として、NCAR の Guy Brasseur と王立スウェーデン科学アカデミーの Will Steffen が冒頭の講演を行った。G. Brasseur の講演は大気化学のモデリングに関する講演であり、W. Steffen の講演はグローバルカーボンサイクルに関する講演であった。G. Brasseur は IGBP のコアプロジェクトの1つである IGAC の科学運営委員会の Chair であり、また、W. Steffen は IGBP 事務局の Executive Director であり、この2人とも IGBP に深く関わっている人物である。本国際会議における気候モデル開発のセッションの冒頭において、この2人が上記の講演内容で講演を行ったということは、現在の気候のモデリングに求められていることをそのまま象徴していると言える。また、このセッションの性格上当然のこととも言えるが、セッション全体を通して、モデルの物理過程に関する話題が多かったという印象を受けた。気候モデルに、必要と考えられる多くの物理過程を導入することは、モデルの複雑化を招くことでもあり、また計算機資源の問題などあらゆる面でいろいろな困難が伴ってくることはあるが、地球システムを総合的に理解し、地球温暖化問題などの社会的な要請に応じて行くためには、より現実に近い気候モデルの開発もやはり必要であるという認識が世界的にあると感じた。

(馬淵和雄)

* Report on the 4th International Conference on Modelling of Global Climate Change and Variability

*¹ Shoji Kusunoki, 気象研究所気候研究部, skusunok@mri-jma.go.jp.

*² Kazuo Mabuchi, 気象研究所気候研究部.

*³ Akio Kitoh, 気象研究所気候研究部.

*⁴ Akira Noda, 気象研究所気候研究部.

*⁵ Masaaki Takahashi, 東京大学気候システム研究センター.

7年ぶりのハンブルグであったが、町の様子をほとんど忘れていた。人口は100万くらいで緑も多いし、のんびりした感じの町ではあるが、印象のうすい町なのだろうか？

初日、Brasseur の話しの始めの部分聞き逃してしまった。彼が Hasselmann のかわりにマックスプランク気象研究所にくるらしい。そのため、いろいろな人が移動しているらしい。海洋から大気化学の人に代わり、ドイツでは権力が集中しているようだから、インパクトは大きいのであろう。

これからの気候モデル研究の1つの方向は、植生モデリングや化学モデリングであろうが、発表件数はあまり多くなかった。大気化学についてはドイツの化学モデルの発表が月曜に2件、最終日にオゾンホール予測実験の話をしてしたが、それ以外はなく(ポスターですこしあったが；この会議はポスターセッションが大事にされていない印象をもった)、自分としてはもの足らなく感じた。メインは気候の物理だからしかたないか。7月のIUGGではもっとあったような気がしたが？

昼食に、ドイツの大気化学をやっている人たちと食事をしたが、お金が必要なのだろうか、プロジェクトをたてようと一生懸命に議論していた。日本の大学にいるとのんびりしているが、ドイツも大変なんだなあと実感した。

月曜の午後、自分の研究(QBO)を発表した。Hibler (米国・アラスカ大学)の海水の話しがキャンセルされて、20分はやく話した。話を聞き逃して残念であるむねが幾人かのドイツの学生から伝えられ、それなりにうれしい気がした。また、大気化学の人から、オゾンQBOの大事さを講演後いろいろ質問され、よくわからずこれから研究しますと返事しておいた。

(高橋正明)

2.2 分科会2「季節から数年の気候変動性のモデリング」

招待講演ではN.-C. Lau (米国・プリンストン大学/GFDL)がアジア・オーストラリア・モンスーンに対するENSOの影響に関する観測的研究とモデル研究のレビューを行った。もう1つの招待講演では、季節予報は可能であると主張する楽観主義者 Shukla (米国・COLA)が季節予測可能性について論じた。予測可能性を高めるにはモデルの気候値の向上が一番重要で、特に熱帯の非断熱加熱および傾圧帯の活動度が良く再現

されている必要があると指摘した。一般講演では Krishnamurti (米国・フロリダ州立大学)が複数のモデルの積分結果を集めた数値予報、特にハリケーン予報の精度が個々のどの予報精度よりも良いことを示した。

1997/1998年のENSOを対象とした数値実験に関する発表も多かった。(楠 昌司)

CLIVARの季節から年々スケールの気候予測作業部会(WGSIP、以前のNEG-1)は、ヨーロッパのPROVOST、米国のDSPを拡大する形で、SMIPを提案し実行してきた。WGSIPではそのとりまとめの研究発表会を今回のハンブルグでの会議のセッションとして設けることを主催者に提案し、特別分科会を持つことになった。PROVOST、US DSP、SMIPと同一目的のプログラムが欧・米・国際で動いているわけだが、唯一PROVOSTのみが予算的に裏付けされたプロジェクトで、他の2つはボランティアである。

季節予測の分野では、モデルが熱帯での海面水温偏差に対して降水量偏差をどう再現するかおよびそれに対して大気がどう応答するかがポイントであり、モデリングにおいても降水量のシミュレーションが最重要である。SMIPでデータの得られた8機関の結果では、1982/83年冬については、強いエルニーニョを反映し、どのモデルも北東太平洋で高度場の負偏差を予測しているが、モデル間の絶対値・位相のばらつきが大きい。熱帯太平洋の降水分布は、日付変更線以东での正偏差、西太平洋での負偏差を再現しているが、これにもモデル間では絶対値に差が見られる。北半球中緯度の高度場の予測スキルが良いモデルは、熱帯での降水量偏差が大きい傾向がある。ただし、最良のスキルを示すモデルの降水量偏差は観測に比べて過大と評価されており、問題を残している。季節内から年々ひいては更に長い時間スケールの現象の気候モデリングに対して、モデルを評価する時の「正しい」降水量とは何かが問題である。(鬼頭昭雄)

分科会2の中に特別分科会「季節予測可能性実験計画 PROVOST」(力学的季節予報モデル相互比較計画 SMIPを含む)が設けられ、海面水温の観測値を与えた大気モデルの季節予測可能性が論じられた。PROVOSTは欧州中期予報センターECMWFが中心となり欧州各国が参加した計画で、15年間4季節を対象としている。一方、SMIPはWCRP/CLIVARの研究計画の1つとしてShuklaが提唱した計画で、米国を中

心とした研究機関および気象庁が参加し、ENSO等を含む4年分の夏冬を対象としている。鬼頭はSMIPの結果を解析し、すべてのモデル出力を平均した場が、個々のどのモデル結果よりも良いことを示した。複数のモデルの平均が最良の推定値であることは、PROVOSTでも確認されている。また、鬼頭は将来、全球土壌水分プロジェクトGSWPの第2期計画と協調しながら、土壌水分の観測値を与えて季節予報実験を行うことを提唱した。楠はPROVOSTとほぼ同じ設定で気象庁の現業全球モデルを使って行った実験で、ほぼPROVOSTと同等の予測可能性が得られたことを発表した。Palmer(ECMWF)は、確率季節予報をユーザーが自らの費用・損失比に応じて戦略的に利用した場合の利益について論じた。PROVOSTに参加した全モデルの結果を用いた場合、最大の便益が得られることを指摘した。Palmerの仕事は季節の時間スケールで経済的な損失を抑制しようとする場合に、有用な理論的根拠を与えるものである。ダイムラー・クライスラー系の保険会社のコンサルタントをしているドイツ人女性がPalmerの仕事に高い関心を示していた。Palmerの理論で保険会社の損失を未然に防げる可能性があるからである。彼女によれば、損失が防げるならば、保険会社はPalmerの仕事に大金をつぎ込んでまで支援する可能性さえあるという。会場がどよめいたのは言うまでもない。Shuklaらの呼びかけで参加自由の非公式な分科会「CLIVAR/SMIP」が15日夜に開かれ、季節予報実験の将来計画が議論された。欧州グループ、米国グループともに次は大気海洋結合モデルによるアンサンブル予報を計画している模様であった。

数年の時間スケールに関連した研究では、アジアモンスーンを対象とした発表が多かった。(楠 昌司)

2.3 分科会3「数十年から数百年の気候変動性のモデリング」

北大西洋振動NAOはすでに18世紀には認識されていた古いテレコネクションの1つであるが、今回の会議では古くて新しい問題として随分脚光を浴びていた。太平洋のENSOが全て解明されたわけではないが、欧州の研究者ばかりでなく米国の研究者もよってたかってNAOがからんだ大西洋の大気海洋相互作用の研究を行っている。獲物に群がるピラニアのように大西洋に食らいついている感があった。(楠 昌司)

2.4 分科会4「人為性の気候変化の予測と検出」

招待講演でBengtsson(ドイツ・MPI)は気候変化に伴いハリケーンやストーム等の極端な現象の変化を予測することの重要性を強調した。もう1つの招待講演でBlackmon(米国・NCAR)はNCARの気候システムモデル(CSM)による計算結果と次のバージョン(2000年6月のCSMワークショップの後に公開予定)の改良点の概略を紹介した。

温暖化予測の新しい流れは、従来ノイズと考えられた自然変動が、温暖化パターンと関連がありそうなことが観測、気候モデルのシミュレーションの両面から明らかになってきたことである。Palmerは温暖化は天候レジーム間の存在確率の変化となって現れるとの仮説を支持する証拠として、観測された北半球の高度場変動のEOFモードの存在確率が変化していることを挙げた。Fyfe(カナダ・CCCma)はCCCmaの結合モデルによる温暖化実験の結果から、高緯度の変動の主要モードである北極振動AOや南極振動AAOの一方の極性に温暖化パターンが似るが存在確率の変化は見られないことを、彼の非線形PC解析を用いて議論した。野田は太平洋の海面水温、北半球の地上気温の変動の主要モードに温暖化パターンが似ていることを、気象研究所の大気海洋結合モデルと大気海洋混合層結合モデルおよび世界の主要研究機関・大学の結合モデルの温暖化予測実験の結果に見られることを示した。Cubasch(ドイツ・ドイツ気候研究センター)はIPCCの第3次評価報告書のために集められた温暖化実験の結果を解析し、エーロゾルは全球平均気温の増加を抑える効果があるが、二酸化炭素とエーロゾルの効果の両方を考慮した場合と二酸化炭素のみの場合の温暖化パターンの空間相関は、二酸化炭素倍增時ではほとんど1に近づく(温暖化パターンは局所的な放射強制パターンと相関が低い)ことを示した。その他温暖化検出に関する講演もあったが、Palmerの仮説を意識した発表が多かった。

フラックス調整なしの実験は新しい流れとはいえませんが、ハドレーセンターのフラックス調整無しバージョン(HadCM3)による温暖化実験はかなりの成功を収めていた。フラックス調整無しバージョンでは、海洋の解像度を上げた他にモデルの飛躍的な改良はないようである。このことは、既存の結合モデルに地道な改良と調整を加えればフラックス調整無しで温暖化実験を行い得ることを示しており、フラックス調整無しが今後の温暖化実験の流れになることは確実である

う。

個人的に驚いたものとして、MPIのECHAM4を用いた温暖化実験によると、温暖化気候では、対流性の降水が減少し、大規模収束凝結による降水が増加するとのポスター発表があった(Brinkop and Sausen, ドイツ・大気物理研究所)。これは、以前気象研モデルで得られた結果(Noda and Tokioka, 1989)と全く正反対の結果である。積雲対流スキームの違い(Arakawa-SchubertとTiedtke)に依るものか否か、現時点では分からない。但し、大気モデルT106の解像度では、Arakawa-Schubertスキームを用いた気象庁モデル(Sugiほか, Yoshimuraほか;投稿中)も、ECMWFのTiedtkeと基本的に同じスキームを用いたECHAM-4(May and Anderson, デンマーク気象研究所, ポスター発表)も、温暖化気候で、熱帯低気圧の発生数は減少するとの点で一致した応答を示している。

(野田 彰)

3. 所感

確率季節予報の実用化も現実味を帯びてきたが、本文中で述べたように損得勘定とも絡む業務でもある。日本の企業や経済界は確率季節予報の経済効果をどの程度認識しているのだろうか？ 予報をどう使うにしても、確率予報の信頼性を高めることがモデラーと研究者の使命である。

研究発表以外の公式行事としては、14日夜にエルベ川に係留された古い帆船内のレストランで晚餐会が開かれた。帆船前の栈橋では、シェリー酒がふるまわれ、エルベ川に沈む夕日を見ながら、世界中の研究者たちが輪を作って話し込んでいた。まるで洋画の1シーンを見ている気がした。文化の違いを感じた。16日夜には市内のアルスター湖上の遊覧船でカクテルパーティが開かれた。同時期にハンブルク郊外で開かれていたGEWEX会議のメンバーも招待されており、沼口敦(北海道大学)や沖大幹(東京大学)氏らと同乗した。カクテルパーティでは食べ物は一切無く、飲み物だけなのですっかり酔ってしまった。船を降り、そのへんに群がっていた人々と食事に出かけた。ブラジル育ちでポルトガル語がうまいイタリア人男性、米国国籍も持ち九州に住んでいて日本語が上手なスイス人、スイスの大学で学んだ日本人女性など、実に奇妙な多国籍グループであった(第1図)。私が札幌で生まれたと話すと、ブラジル人とイタリア人男性が非常に喜んでいるので不思議である。その後、お互いの話しがどうも



第1図 ハンブルグ市内のポルトガル料理店で談笑する様々な国からの会議参加者たち。1999年9月16日夜。国籍は、左から日本(馬淵)、イタリア、ブラジル、デンマーク、スイス、デンマーク、イタリア(S. Corti)、日本(楠)、日本(阿部)、ドイツ。

噛み合わない。彼らは札幌をサンパウロと聞き違いしたことが判明し、一同大爆笑。

(楠 昌司)

その他の印象として、主観的なことではあるが、各ポスターの美しさが印象に残った。各発表者の自分の研究成果をアピールしようという熱意が伝わってくるようで、筆者も少しは見習う必要があると感じた。また、数年おきとは言うものの、一研究機関が資金を調達し国際会議を定期的で開催しているパイタリティーにも感心させられた。

ハンブルグの町は、戦災の影響なのか古い建物が少ないという印象を受けた。しかし、近代的ビルの間に現れる空を突く教会の尖塔や、Cityhallの素晴らしさは、やはりヨーロッパ的であり、自分の気持ちの中にある異文化へのあこがれを認識させられた。

(馬淵和雄)

今回のポスター発表では、ポスターをPDFファイルで作成し、A0版に拡大したものを展示した例が多く見られた。更に、A4版に縮小出力してコピーを大量に用意あるいは電子メールアドレスを書き込めば後で添付書類としてメールで送ってくれるサービス付きのものもかなりあった。A4版に縮小した配布用のコピーも細部までよく分かり、更に、メールで送ってもらったファイルは、パソコン画面上で拡大して見ることも出来、大変有用であった。もらってきたポスターの縮小版の見映えも、(内容は別にして)気象学会のベストポスター賞に近いものが多かった。是非、広まっ

て欲しい発表形式であると思った。

気象学会で、こうした方式が未だ広まっていない理由として、次の2つの障害が考えられる。第一の障害は、計算機で出力された図を、実際に PDF ファイルに取り込む方法や必要なソフトの入手方法等のノウハウが、未だ、計算機マニア諸氏の周辺で停滞していること、第二の障害は、A0 版出力のプリンターを容易に利用できないことである。第一の障害については、ノウハウに詳しい人に Web や「天気」を通して、啓蒙に努めてもらうこと、第二の障害については、メールで送れば出力してくれる業者を探して、リストを公開することで解決出来るのではないかと思う。学会レベルの問題として一考をお願いしたい。(野田 彰)

最後に雑感であるが、Shukla らの政治的な強制力の凄まじさ、それから NAO の仕事の多さにはびっくりした。だれもかれも NAO をやっていて、このモデルではこんな NAO、別のモデルではこんな NAO で、すごい競争をやっている感じである。お金の配分問題と関係しているのであろうが、西洋人の凄まじさみたいなことを相変わらず感じたドイツ旅行であった。

(高橋正明)

略 語 表

AAO : AntArctic Oscillation
 AO : Arctic Oscillation
 BAIM : Biosphere-Atmosphere Interaction Model
 CCCma : Canadian Centre for Climate modelling and analysis
 CLIVAR : CLimate VARIability and predictability
 COLA : Center for Ocean-Land Atmosphere studies
 CSM : Climate System Model
 DSP : Dynamical Seasonal Prediction
 ECMWF : European Centre for Medium-range Weather Forecasts

ENSO : El Niño and Southern Oscillation
 EOF : Empirical Orthogonal Function
 GFDL : Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
 GSWP : Global Soil Wetness Project
 GEWEX : Global Energy and Water Cycle Experiment
 IGAC : International Global Atmospheric Chemistry Project
 IGBP : International Geosphere-Biosphere Project
 IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change
 IUGG : International Union of Geodesy and Geophysics
 MPI : Max Planck Institute for Meteorology
 NAO : North Atlantic Oscillation
 NCAR : National Center for Atmospheric Research
 NEG : Numerical Experimentation Group
 PC : Principal Component
 PDF : Portable Document Format
 PROVOST : PRediction Of climate Variations On Seasonal to interannual Timescales
 QBO : Quasi-Biennial Oscillation
 SMIP : Seasonal Prediction Model Intercomparison Project
 WCRP : World Climate Research Programme
 WGSIP : Working Group on Seasonal to Interannual Prediction
 WMO : World Meteorological Organization

参 考 文 献

Noda, A. and T. Tokioka, 1989 : The effect of doubling the CO₂ concentration on convective and non-convective precipitation in a general circulation model coupled with a simple mixed layer ocean model, J. Meteor. Soc. Japan, 67, 1057-1069.