

## 力学的延長予報に関する WMO ワークショップの報告\*

石井正好\*<sup>1</sup>・小林ちあき\*<sup>2</sup>・余田成男\*<sup>3</sup>

### 1. 会議の概要

国連の世界気象機関(WMO)のプログラムのひとつに「大気研究と環境プログラム」があり、その中の主要要素に天気予報研究がある。おもに中長期予報の改善のためにワークショップ等を開催して、世界各国間の研究交流を行なっている。この一環として、「力学的延長予報(Dynamical Extended-Range Forecasting; DERF)に関するワークショップ」が1997年11月17日から5日間、ツールズにあるフランス気象局国際会議センターにおいて開催された。今回のワークショップの主な目的は、2週間から1年程度の期間の中長期予報に関する予測可能性についての研究の発展をレビューし、理論的基盤から現業予報モデルを用いた実用化までの幅広さで研究交流を行なうことであった。世界約30か国から70名ちかい参加者があり、終日活発な議論が繰り返された。

会議は次の8セッションに分けて進められた。

1. DERFにおける新世代の数値モデル
2. 予測可能性の研究
3. DERFにおけるアンサンブル手法の利用
4. 数値モデルと統計的手法の融合
5. 季節のオーダーの海洋予報
6. 経験的予報とDERF
7. 情報伝達方法と社会的影響
8. スキルスコアとモデルの相互比較

\* Report on the WMO Workshop on dynamical extended-range forecasting held in November 1997.

\*<sup>1</sup> Masayoshi Ishii, 気象庁エルニーニョ監視予報センター。

\*<sup>2</sup> Chiaki Kobayashi, 気象庁気候情報課。

\*<sup>3</sup> Shigeo Yoden, 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻。

© 1998 日本気象学会

新世代モデルや相互比較のセッションでは、気象庁、ヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)、米国環境予測センター(NCEP/NOAA)などをはじめとして世界の主要な予報機関の1か月予報、季節予報の現状が報告された。10日程度の中期予報では、数十の似た初期値から予報を繰り返してその平均値や分散をもとに予報を行うアンサンブル予報が主流になっているが、ECMWFでは、大気海洋結合モデルを用いた6か月予報でも大気の初期値を1日ずつずらしたアンサンブル予報を行っている。エルニーニョの季節予報においても大気の初期値に対する敏感性が大きいことが報告され、また挑戦すべき新たな壁が出現した様相である。また、このモデルを用いた1979~93年間の季節予報結果データのCD-ROMができたことを宣伝していた。これによりECMWFアンサンブル季節予報データの利用経験ができ、興味ある特定の領域に関する確率予報ツールを開発することが容易にできるようになった。

予測可能性やアンサンブル予報のセッションでは理論的研究の招待講演が続き、これらが数理科学的にも興味あるテーマであることが述べられた。アンサンブル予報は現実化されつつあるが、そこで出てくるたくさんの方予報データからいかに有益な情報を抽出するかは今日的な重要課題である。アンサンブル平均をとることにより予測誤差を減らすこと、各予報の分散よりスキルを予報すること、に加えて、特定の事象の確率予報や極端な事例の検討などさまざまな利用法が考えられる。これらは、モデルは完璧であると仮定した純粋な理論的考察から現実大気を相手にした現実化までの幅広さで取り組むべき課題であろう。ちなみに、気象学会1998年春季大会のシンポジウムは「予測可能性—カオスとの永遠の戦い」のテーマで行われる予定である。

統計的手法の融合や経験的予報のセッションでは、

線型回帰式、正準相関解析、識別解析、特異スペクトル解析など、伝統的手法と今日的手法を交えた世界各地での研究例・実用例が報告された。力学的延長予報はまだまだ不完全であり限界があるので、このような経験則に基づく予報は重要である。しかし、全球的な気象観測データの蓄積は高々40年程度であり、統計的に有意な季節予報の指標を見出すことはなかなか難しい。最近では気候モデルを何十年何百年と長期間積分できるようになったので、数値モデルと統計的手法を融合した季節予報研究は観測年数の問題を克服する一方法であろう。

アンサンブル予報にしても経験的季節予報にしても、実際に利用者にどのような形で情報を伝えるかが大きな問題である。情報伝達方法と社会的影響のセッションで聞いたフレーズで今も記憶に残るものに「使われない予報は価値がない」というのがある。季節予報の主な利用者は、農業、治水、エネルギー生産などに関して何らかの判断をする人々であろうが、どのようなタイミングでどのような予報情報を伝達すべきかは自然科学と社会科学の両方にまたがる問題である。短期の気象災害に対して注意（2日前）—警戒（1日前）—警報（当日）の段階があるように、早魃、大洪水、熱波などの苛酷な気候災害に対しても、数か月または数週間前に注意や警戒の情報を段階的に出せるようにするにはどうすればよいかという研究が始まっている。（余田成男）

## 2. 海洋とくにエルニーニョの予報

季節予報における海洋の役割は大きいと考えられるが、海洋の話題を取り上げた「季節のオーダーの海洋予報」のセッションではわずか3題の発表しかなかった。3題ともエルニーニョ予報に関するものであったが、世界の主要な気象機関からの報告はなかった。世界の潮流では、海洋現象の予報の中でもとりわけエルニーニョの予報については、開発に一段落がついているということであろうか。後発の感を抱きながらも、このセッションで、気象庁で開発している結合モデル「空海」による予報実験結果とモデルの基本的な予測性能などを報告した。

後発とは述べたが、これまで開発されてきているエルニーニョ予測モデルに問題がないわけではない。1997年になって、太平洋赤道域の東部で海面水温が上昇しはじめ今世紀最大のエルニーニョ現象が起ったと日本でもマスコミを連日騒がせている（同年12月現

在）。ワークショップではこのタイムリーな話題を取り上げ、今回のエルニーニョの予報は上手くできていたのか、現在の技術水準はいかほどのものかを問う1時間の議論が行われた。現在、ECMWF、NCEP、そしてオーストラリアでは定期的にエルニーニョ予測を行っている。議論はオーストラリア気象研究所（BMRC）のNicholls博士の司会で進められ、まず、それぞれの国で開発を進める予測モデルの結果が順番に発表された。ここで「空海」で実験的に行った予測結果も示された。一般に海洋の予報では、2季節から4季節先の精度が問われる。1～2月先までは、現在の状態が継続するという持続予報をなかなか越えることができない。多くのモデルで、今回のエルニーニョ現象の発生が前年の秋頃から適度に予報されていたが、エルニーニョ予報を最初に行ったCaneとZebiakらのモデルと類似のモデルを使用するオーストラリアのモデルでは最近の予報の成績は芳しくないことが報告された。この原因として、結合モデルで使用する海洋の初期値に、海洋内部の状態、特に、100～200 m 深に位置する水温の鉛直勾配が大きい層（水温躍層）の状態をきちんと与えてやることが重要であることが指摘された。Cane-Zebiak型の簡単モデルでは、海洋の初期値は海面水温または表層100 m 位までの海洋混合層までである。

ワークショップの大きなテーマであった季節予報では、ECMWFのAnderson博士が予測可能性のセッションでのある講演者にコメントしたように、熱帯域ばかりではなく全球的な海面水温の予測精度にも大きく依存するであろうことにも着目する必要がある。季節予報では海洋の状態は重要な境界条件であり、力学モデルを使用しないとしても、海面水温と地域的な気候状態の相関を統計的に調査することは精神的になされている。そのような統計的な調査結果が「経験的予報とDERF」のセッションで数多く報告されていた。ワークショップでも多く指摘されていたように、エルニーニョやラニーニャの現象は確かに全球的な気候状態を左右するものであるがヨーロッパや東アジアではそのシグナルが必ずしも強いとはいえない。ヨーロッパやアフリカの気候予測に従事する人の間では、大西洋やインド洋の海面水温変動が大いに注目されている。

季節予報の成功のために海洋関係者が取り組むべき課題も多い。（石井正好）

### 3. スキルスコアとモデルの相互比較

「スキルスコアとモデルの相互比較」のセッションでは、「ユーザーの求める予報の価値と予報者の求める予報の価値は異なり、予報の質と情報価値はストレートには関係しない」という予報評価についての研究発表や、力学モデルを利用した予報実験の解析の結果が発表された。AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Project) と AMIP2の結果を比較した解析では、モンスーンの風を表すインデックスの予報は、陸面過程を改良したものの方が対流スキームを改良したものより成績が良くなっていた。しかし、サヘルの雨についてはモデル改良によっても成績が改善されない、という報告があった。また、ECMWFが行っている季節予報実験の PROVOST 計画 (PRediction Of climate Variations On Seasonal to interannual Timescales) についての報告では、季節予報に関して北米域では比較的良い成績が得られるが、ヨーロッパ域では成績が悪い、という結果が示されていた。筆者もこのセッションで「気象庁における力学的1か月予報の精度」についての紹介を行い、後処理(ガイダンス)から求めた地上気温の予測が良い成績を示していることを報告した。他のセッションにおいても、いろいろな力学モデルを用いた予報結果が示されており、大量の予報実験を行った時の平均的な予報成績の傾向は、多少のちがいはあるもののほぼ同様であるように思えた。研究者の興味はそれらのデータを用いてのバリエビリティの研究や、シグナルとノイズの研究に向かっているようだった。

今回の会議では、いろいろな力学的及び統計的モデルを用いた延長予報の精度が示されていた。これらの発表は、スコアをとる予報の対象が各観測サイトの予報であったり、数値予報の結果のようにある程度の範囲を持つものであったり、あるいは、予測方法が統計的な手法を用いたものであったり、力学的方法を用いていたりと様々であった。また、決定論的な予報や、確率予報もあり、研究によって異なる種類の予報が示され、それぞれの方法で予報精度の評価が行われていた。今回の会議の発表に限らず、現在の中長期予報の精度の評価は、研究によっていろいろな方法が使われており、同じ評価方法を使用したもの同士は比較できるが、違う評価方法を使用したものは比較できない状態となっている。

1996年6月にWMOの大気科学委員会(CAS)の中長期予報研究に関するワーキンググループの会合が行

われた際に、中長期予報の精度評価方法の標準化を行うことについて提案が行われている。それに基づき、現在個別に行われている中長期予報の精度評価を统一的に評価できる方法が模索されていた。今回の会議の前に2つの方法が参加者に提示されており、それらについての説明と意見交換を行うこともこの会議の1つのテーマであった。

示された方法の1つは、RMSSS (Root Mean Square Skill Score)と言われる方法で、RMSE (Root Mean Square Error)の持続予報からの改善率である。この方法は、決定論的な予報の評価にはわかりやすい方法であるが、確率予報を評価することができない、という欠点を持つ。もう1つはROC (Relative Operating Characteristics)という方法で、予報が当たった率とはずれた率の特性曲線を示すものである。もともとガウス分布をするものに対して判断されるものであり、ガウス分布をしない気象要素にあてはめても良いのか、という質問が出ていた。また、どのような曲線を示すものが良い予報であるのか、わかりにくいという意見もある。

ここでの意見が反映され、1998年の終わりに中国で開催が予定されているワークショップで再び話し合いが持たれた後、WMOに中長期予報の標準の精度評価方法として推薦される予定になっているそうである。試みとして事前に提出されたRMSSSの平均は25%であるとのことであった。最終的な提案までにはまだ時間があるので、意見や新しいアイデアも募集していた。(小林ちあき)

### 4. 個人的な印象

1994年に、米国の主導で行われていた国際気候予測機関(IRICP、現在はIRI)のパイロットプロジェクトに参加し、アフリカ、南米、中国、インドなどの国々からの参加者と一緒に9か月の研修を受けたことがある。IRICPで講師として来ていた、ケニア・ナイロビ大学のL. Ogallo教授とワークショップで再会した。彼から気候予測についての各国の活動のその後を伺う機会を得た。人材とファシリティーの確保は大きな問題であることは依然として変わっておらず、「毎日がAMIPである」、つまり他の複数の気象機関のモデルの結果を入手し、比較しながら使用することを繰り返しているとのこと。このような現状を嘆きながらも、ケニアで領域モデルを用いた気候予測を始めるという進行中の野心的な計画について話してくれた。

また、IRI のヨーロッパ版といえるかどうか定かではないが、新たな気候予測コミュニティも形成されようとしている。特別な組織は持たないが、ENSARCOF と称されたフォーラムが南アフリカ諸国を対象に開催されている。ここでは、イギリス気象局 (UKMO) の主導で EC 内の気象機関で作成される気候予測のためのデータを提供し、ユーザーはこれらのデータを利用して、地域毎に、気候予測の活動をを進める。将来このような活動を西アフリカ、南米、東南アジアに展開するという計画を UKMO の M. Harrison 氏が説明していた。

フランス語を 2 年間学んだ経験が唯一の拠所であったが、成田を後にしてすぐ不安に変わっていた。しかし、歴史的建造物が身近に存在する街の雰囲気はまもなく私の不安をかき消してくれ、「一生ここで和食と生牡蠣とともに暮していけたら」という憧れをずーっと抱きながら過ごした。

今回のワークショップ参加にあたり、文部省平成 9 年度科学研究費補助金 (重点領域研究 (1)) から旅費の援助を受けました。東京大学気候システム研究センターの住教授はじめ関係者の皆様には深く感謝申し上げます。(石井正好)

今回の会議では、季節予報への各国の取り組みの紹介が多かったように思う。「予測可能性の研究」のように理論的な研究から、現業予報モデルを用いた成果の発表、さらには、「情報伝達方法と社会的影響」のように予測情報が社会に与える影響を扱った発表もあり、あらためてこの分野の幅の広さを思い知らされた。

季節予報は、農業などへの社会的な影響も大きく、そのためかアフリカの国々の研究者たちが、熱心に研究、活躍している姿が多く目に付いた。また、これに対してヨーロッパ諸国の研究者たちが積極的に協力しているのが感じられた。大きなコミュニティが形成されつつあるようである。

季節予報を力学的な手法を用いて行うというのは世界的な傾向で、結合モデルを利用した季節予報実験や、大気モデルに観測の SST を与えた季節予報実験が大規模に行われている。ネットワークの発達により、モデルを流すことやデータの解析は世界中どこでもできるようになりつつあるのだなと実感した。上で述べたコミュニティを通して、これらのデータと統計的な手法とを合わせた季節予報の研究が熱心に行われている。1 つのモデルあるいはプロジェクトに、多くの人が

関わっている印象を受けた。

ツールズの街は、煉瓦づくりの建物が並び、色彩が統一されたとても良い雰囲気の街だった。1 日だけ雨が降りとても寒い日があったが、他の日はそれほどでもなく、晩秋のフランスを少しだけ味わうことができた。気象局の食堂や街のレストランでメニューが読めないのには困ったが、出てくる料理はどれもおいしく、さすがフランスという感じがした。

今回のワークショップ参加にあたり、文部省平成 9 年度科学研究費補助金 (基盤研究 (B) (2)) から旅費の援助を受けました。東京大学気候システム研究センターの新田教授をはじめ、関係の皆様には深く感謝いたします。また、気候情報課の皆様にも様々な支援をしていただきました。あわせて感謝いたします。

(小林ちあき)

今回、予測可能性のセッションの基調講演者として科学組織委員会より招待を受け、文部省国際研究集会派遣研究員として参加した。半年前に京都の研究室を訪ねてくれたオックスフォード大学数学研究所の L. Smith 博士と再会して理論的な議論ができたことは有意義であったし、1993年に横浜で開かれた IAMAP 集会での「大気予測可能性に関するシンポジウム」に参加した人々と再会できたのも良かった。さらにまた、天気予報という社会と直結した業務について世界各国の研究者の発表を聞き、いろいろなことをゆっくりと考えることができて、意義深い 1 週間であった。

イギリスやフランスの気象局は、DERF の分野でアフリカや東欧、南米など多くの国々と積極的な交流を行なっている。たとえば、旱魃・洪水予報のための ACMAD (African Centre for Meteorological Application for Development) を通しての情報提供や技術支援などである。わが国の気象庁においても、「ひまわり」や数値予報のデータ提供、専門家の派遣や研修生の受け入れなどを通して国際的な交流が行われている。このような活動は当該地域の気象・気候災害の低減に寄与しているばかりでなく、活動自体が「ソフトウェアによる国防策」(森嶋通夫, 1995)にもなっていると思った。私の旧知のなかにも、国際協力事業団の専門家派遣で南米に滞在し気象技術協力に取り組んでいる研究者や、戦争という日本の歴史的経験を深く意識して熱帯太平洋域の観測に向かう研究者がいる。この会議の中で、それぞれに国際社会の中でしっかりとした信念を持ち行動する彼らの偉さを再認識した。

朝 9 時から夕方 6 時過ぎまで講演が続くという日も

あったが、昼食とコーヒーの時間がゆったりとあり、ちょうど木曜日の昼食時には気象局の食堂にもボージョレヌーボーが並ぶというところにフランスを感じた。長い歴史をもつツールズの街は適度な広がりであり、フランス気象局はその中心部から地下鉄とバスで30分あまりの郊外にゆったりと配置されている。田舎者の私にとっては気分が落ち着き、フランス語はわからないけれどとても居心地の良いところであった。

(余田成男)

DERF : Dynamical Extended-Range Forecasting  
 ENSARCOF : El Nino Southern African Regional Climate Outlook Forum  
 PROVOST : Prediction Of climate Variations On Seasonal to interannual Timescales  
 RMSE : Root Mean Square Error  
 RMSSS : Root Mean Square Skill Score  
 ROC : Relative Operating Characteristics

## 略語表

AMIP : Atmospheric Model Intercomparison Project

## 参 考 文 献

森嶋通夫, 1995 : 日本の選択. 岩波書店, 同時代ライブラリー246, 291pp.



## 教官の公募について

東京大学気候システム研究センターでは、下記の要領で教官を公募しますので広告します。

### 記

公募人数 : 教授 1名

専門分野 : 気候システムのモデリング。特に、モデリングと観測・データ解析の融合、モデルの開発、物質循環モデリング等に意欲のある方。本センターは平成13年に改組が予定されておりますが、引き続きモデリングを主体とした気候システムの研究・教育を行っていくつもりです。

着任時期 : 決定後出来るだけ早い時期

提出書類 : 1) 略歴書 (学歴及び職歴)  
 2) 業績目録 (レフェリーの論文と、それ以外の総説等に分けて下さい)

- 3) 主要論文3編の別刷またはコピー
- 4) 他薦の場合は推薦状、自薦の場合は応募者に関する所見が頂ける2名の方の氏名と連絡先
- 5) 自薦、他薦ともに、今後の研究計画・抱負など (A4版1~2枚程度)

応募・推薦締切 : 平成10年7月31日 (金) 必着

書類の提出先 : 〒153-8904

東京都目黒区駒場4-6-1

東京大学気候システム研究センター  
 センター長 住 明正 (宛)

(封筒には「教授応募」又は「教授推薦」と朱書し、簡易書留で郵送して下さい)

問い合わせ先 : 杉ノ原 伸夫

TEL : 03-5453-3956

FAX : 03-5453-3964

E-mail : nobuo@ccsr.u-tokyo.ac.jp