

## 第2回再解析国際会議参加報告\*

小出 寛\*<sup>1</sup>・大野木 和 敏\*<sup>2</sup>・安成 哲 三\*<sup>3</sup>・増田 耕 一\*<sup>4</sup>  
大淵 濟\*<sup>5</sup>・R. クリシュナン\*<sup>6</sup>・谷田貝 亜紀代\*<sup>7</sup>・金丸 秀 樹\*<sup>8</sup>

### 1. はじめに

気象機関で使われている現業的な数値予報のための予報解析サイクルでは、予報精度向上を第一の目的として頻りにプログラムの更新が行われる。例えば気象庁の全球スペクトルモデル (GSM) は1996年3月より全面的に更新され、1999年12月にも幾つかの点が変更された。しかし、予報解析サイクルから得られる大気や地表面の客観解析データを、長期間にわたる気候系の監視や解析、系統的な予報実験の初期値などに利用しようとした場合、プログラム変更に伴うデータの不連続は大きな障害になる。このような側面を持つ現業用システムとは別に、最近の高精度の数値予報モデルとデータ同化システムのプログラムを固定して、長期間にわたる予報解析サイクルを実施して均質なデータ

を作ることを再解析と呼ぶ。

再解析は既に世界の3つの気象機関などで実行さ

れ、現時点でデータ入手が可能になっている。うち1つはECMWFによる1979~93年の15年再解析(ERA15)であり、もう1つはNCEPで1948~98年分を完成して引き続き準リアルタイムに実施中の51年再解析(ここでは便宜上NRA1と呼ぶ)である。また、NRA1に見つかった問題点について、NCEP/CPCの金光正郎らが可能な限り修正したシステムとデータで実行中(現在1979~96年途中までが終了)のNCEP-DOE AMIP-II再解析(以下NRA2)がある。ECMWFは現在1958年以降の40年以上の再解析プロジェクトを進行させている(ERA40)。他にNASA/DAOも特に衛星データの同化に力点を置いて1980年より1996年までの再解析を実施中である(GEOS1:現在1994年まで終了)。

このような再解析実施とその出力データを利用した各方面の研究成果をふまえて、1999年8月23日から27日にかけて英国レディングにおいて第2回再解析国際会議を開催され、日本からも数名が参加した。この会議の主催はWMO/WCRPで、事務局はECMWFが担当し、会議場はレディングの中心から南に約10km離れたウォークフィールドパークという美しいゴルフリゾートが選ばれた。同会議の第1回は1997年に米国シルバースプリングにおいて開催されたが(大野木ほか、1998)、当時はERA15が入手可能になって間もなく、NRA1は会議直前に40年再解析が完成したばかりであった。それから2年を経て再解析をめぐる状況は急展開している。

今回のテーマは大きく分けて、再解析システム、品質管理とデータハンドリング、出力の検証といった再解析実施に関係する技術的な事柄と、ユーザーとして再解析データを利用した様々な研究や独立したデータによる検証などであるが、再解析データが入手可能と

\* Report on the Second International Conference on Reanalyses.

\*<sup>1</sup> Hiroshi Koide, 気象庁気候情報課.

\*<sup>2</sup> Kazutoshi Onogi, 気象庁数値予報課(現ヨーロッパ中期予報センター再解析グループ).

\*<sup>3</sup> Tetsuzo Yasunari, 筑波大学地球科学系, 地球フロンティア研究システム.

\*<sup>4</sup> Kooiti Masuda, 東京都立大学地理学教室.

\*<sup>5</sup> Wataru Ohfuchi, 地球フロンティア研究システム地球変動研究所.

\*<sup>6</sup> Raghavan Krishnan, 地球フロンティア研究システム地球変動研究所.

\*<sup>7</sup> Akiyo Yatagai, 宇宙開発事業団地球観測データ解析研究センター.

\*<sup>8</sup> Hideki Kanamaru, ボストン大学 (Boston Univ.) 地理学科.

第1表 実施あるいは予定される再解析プロジェクト.

再解析名称	ERA15	ERA40	NCEP-NCAR Reanalysis	NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis	GEOS1	GEOS2
実施機関	ECMWF	ECMWF	NCEP-NCAR* <sup>1</sup>	NCEP-DOE* <sup>2</sup>	NASA/DAO	NASA/DAO
期間	1979~1993	1958~現在	1948~現在	1979~1999 (1996まで終了)	1980~1996 (1994まで終了)	1979から開始
予報モデルの解像度* <sup>3</sup>	T106, 31層	TL159, 60層	T62, 28層	T62, 28層	2×2.5, 20層	1×1, 48層
データ同化手法	最適内挿法	3DVAR* <sup>4</sup> (4DVAR?)	3DVAR	3DVAR	最適内挿法+IAU* <sup>5</sup>	3DVAR

\*<sup>1</sup>) NCARは過去にさかのぼった観測データを提供し、データ配布を担当。

\*<sup>2</sup>) DOEは計算機資源を提供したU.S. Department of Energyを示す。

\*<sup>3</sup>) 水平分解能について、スペクトルモデルでは表現できる最大波数、格子点モデルでは格子間隔(緯度方向×経度方向)で示す。TとTLはともに三角形切断だが、後者は計算効率のために極付近の格子を疎にしたlinear reduced Gaussian gridを使用。

\*<sup>4</sup>) 末尾の用語解説「VAR」の項を参照。

\*<sup>5</sup>) Incremental Analysis Update: インクリメンタル解析更新法。一種のナジング的手法による連続同化。

なつてから時間が経ち、利用が進んでいることから後者の発表数もある程度含まれ、内容は気候系のほとんど全てにわたるといってもよいほど多岐にわたっていた。セッションは以下のように構成され、プログラムでは口頭発表79件、ポスター発表89件となっている。

1) 歓迎と基調講演, 2) 観測・データ同化, 方法論, 検証とデータマネジメント, 3) 大気海洋相互作用, 4) 大気陸面相互作用, 5) 成層圏と化学輸送モデリング, 6) 水循環, 7) モンスーンと季節内変動, 8) 再解析の極域での利用, 9) 短期気候変動予測, 10) 十年規模変動, 11) モデルの発展と再解析。

(小出 寛)

## 2. 再解析データ使用上の注意点

再解析データは、かつてない長期間にわたる包括的なデータセットであり、様々な関連領域でその利用が進みつつあるが、人為的な誤りや観測データの不均質性、モデルのスキーム等に起因する問題点も幾つか指摘されている。これらはユーザーにとっては極めて重要な情報と考えられるので、本会議で報告されたものを含む既知の問題点をここでまとめておく。

### ERA15の問題点(カッコ内は期間)

1) 1986年までと、それ以降にデータギャップが存在する。例えば高度場の全球平均値を見ると、1986年11月はじめに突然変化している。この問題は、ERA15に使用されていたTOVSの放射輝度データの一種: CCR (Cloud Cleared Radiance) の値そのものが1986年11月はじめに突然変わったこと

に起因する。ERA15ではTOVS CCRから1DVARで気温と湿度の鉛直分布を計算しており、ECMWFではCCRの突然の変化を察知してバイアス補正を再計算して1986年11月を再実行したが、このバイアス補正の再計算が不適切であったため、その時点以降に変化が生じた。これに対して、NCEPの再解析(NRA1)ではNESDISのリトリーバルを使っており、NESDISはデータの突然の変化を直ちに調整したため、プロダクトには影響が出なかった。そのためNCEPの再解析にこの問題は見られない。

2) 陸面過程に起因する問題で、北米やシベリアの冬季内陸の地上気温が大きな低温バイアスを持っている。(全期間)

3) 1986年にアマゾン(ペルーと西ブラジル付近)で地上付近が異常に乾燥した。①半日周期の大気潮汐の扱いの誤り(元の原因)と、②地上付近の湿度解析(問題を加速した)に起因している。①により、解析時に地上付近で誤った正の気圧インクリメントが生じ→下層冷却→相対湿度解析のため実際に減っていないのに水蒸気が減って(②)、地表付近が乾燥→土壌水分は地表付近の湿度にrelaxationさせていたので(②)、土壌が乾燥→ますます乾燥という悪循環に陥った。1979年からのやり直しはできなかったため、1987年の1月から当該領域の地上気象観測点データは使わないこととして切り抜けた。(1986年~1987年の最初の数か月に影響)

- 4) 1986~87年にかけて、アフリカ大陸上の ITCZ (Intertropical Convergence Zone) が、その時を境に、北緯0~10度あたりから、南緯10~0度付近にシフトした。原因の特定は難しいが、1986年11月の TOVS の問題、アマゾン乾燥の問題とほぼ同時期で、これらの問題に関連するものと考えられている。
- 5) 南極ポストーク基地の観測地点の標高を、実際より70 m 低く入力したため、周辺の地上解析や高度場に大きなバイアスがある。例えば ERA15 の500 hPa 高度の解析値はその付近で20~30 m のマイナスバイアスがある (観測値-ERA=+20~30 m)。 (全期間)

### NRA1 の問題点 (カッコ内は期間)

- 1) 衛星データが大量に利用される1979年以降とそれ以前との間には顕著なデータギャップが見られる。
- 2) 南半球の地上気圧ボーガスデータ PAOB が誤って経度180度ずれて与えられていた。(1979-1992)
- 3) 積雪被覆データ入力に誤って1973年のデータを繰り返し使用。(1974-1994)
- 4) 冬季に高緯度で波状に分布する偽の降水が見られる。原因は、モデルの水蒸気輸送の定式化における不適切な取り扱い (シグマ面での拡散を含んでいたこと) により、高緯度の地形のある下層で水蒸気の偽のソースが出来てしまったため。(全期間)
- 5) 海洋上のアルベドの値に不適切に大きな値が使用されていた。(全期間)

これらは会議で報告のあった主要なものであり、これ以外にも問題点が隠れている可能性はある。再解析データ利用者は、作成元などの情報に十分注意して利用することが必要である。(小出 寛・大野木和敏)

## 3. 参加者別の報告

### 3.1 気候・水循環研究における再解析データの重要性

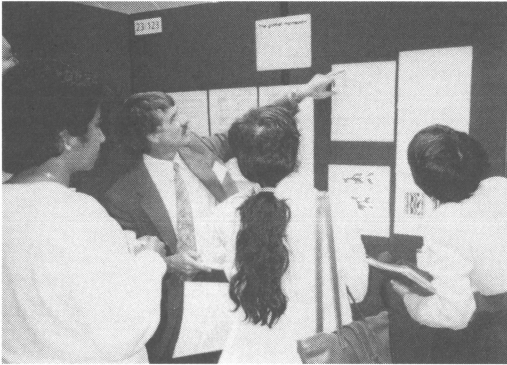
日本の多くの気象・気候研究者は、老いも若きも、再解析データを頻繁に使用して研究を行っている。NCEP/NCAR のデータと ECMWF データはその中心となっている。これらのデータに、しかし、どのような問題点があるか、あるいは逆に、どのように最適に活用することができるか等、データセットそのものの問題と研究内容を相互に関連させて研究を進めると



第1図 口頭発表会場にて。右から順に M. Serr-eze (米国, コロラド大), P. Källberg (ECMWF), J. Gibson (ECMWF), E. Kalney (米国, メリーランド大学), R. Jenne (NCAR), S. Schubert (NASA/GSFC), 筆者の安成。

いう姿勢は、日本では特に乏しい。200人近い参加者を有した大規模な国際会議であったにもかかわらず、日本からの参加者は(欧米滞在者を除き)、数名にすぎなかったことから、その関心の低さがわかる。これだけデータの恩恵に浴しておきながら、なんともなさけない気分もしないではなかった。日本では、特に若手の多くの研究者は、データはすでにあり、ただ ftp など自分のコンピュータに取ってくるものと思っているようで、データの作製過程にはあまり関心がないように感じられる。これは、日本(の気象庁)が、上記ふたつのデータセットに肩を並べて世界の研究者が使用できるような再解析データの作製を行っていないということとも密接に関係していると、私は考える。再解析会議というと、多くの日本の研究者は、客観解析データに関する技術的な側面についての会議と解釈したのかもしれない。しかし、この会議の冒頭で、WCRP 事務局長の Grassl 氏が強調したように、現在の「地球温暖化」問題の検証も、グローバルな気候変動研究も、いかに良い再解析データが作られるか、という問題にかかっているのである。この会議でも、NRA1 のデータセットに見られるさまざまなトレンドや長期変動が、真に気候の長期傾向を示しているのか、それとも入力データの変更や質の変化による見かけ上の変化なのか等について、それぞれの再解析データの入力データの検証をしつつ、慎重な解析を行った結果が多く発表されていた。

気候変動の機構解明の基礎ともなるエネルギー・水循環の定量的把握となると、観測データ、モデルの両方から来るさらに多くの問題がふくまれる。たとえば



第2図 ポスター発表する K. Trenberth (NCAR), 右端は筆者の谷田貝。

私自身も、モンスーンのセッションの招待講演として、GAME 領域を含む世界の主な地域（大河流域）での降水量 (P) 変動が、水蒸気収束量 (C)、蒸発量 (E) の二つの大気水収支要素の変動とどのように関係しているかを、ECMWF の15年の再解析データを用いて計算した結果をもとに、P-C-E をひとつのダイアグラムにして、地域（流域）ごとの特性の違いを議論する発表を行った。幸い、ECMWF 関係者をはじめ、多くの研究者が関心を持ってくれ、Hollingsworth (ECMWF 次長兼研究部長) などからも早くまとめて出してくださいと強く激励された。上記のダイアグラムを私がピース (PCE) ダイアグラムと名づけたため、セッションの座長であった Trenberth (NCAR) は、私の発表が済むと同時に "Give Peace a Chance" というジョン・レノンの名曲を唱って質疑応答のイントロとしてくれた。

さて、この結果から、現在の再解析データは非常にいいデータを提供しているがわかったが、質がかなり良いとされる ERA15 でも、アジアモンスーン地域での水収支変動解析には、降水量の推定も含め、地形による降水・水蒸気収束のバイアスなど、まだまだ定量的な評価には問題のあることが浮き彫りにされた。この地形の問題は、モデルの空間分解能や積雲対流のパラメタリゼーションの改良などが、今後さらに必要であることを示唆している。大気水収支解析への客観解析データの利用に関連し、Entekhabi (MIT) は、アメリカのミシシッピ河流域について、観測精度の悪い水蒸気量データを用いずに、より精度の高い大気柱の放射収支と顕熱収支の残差から潜熱を産出するという手法の有効性を提示していた。なるほどと感心したが、

この手法は衛星による高精度の放射データや、高密度・精度の高層観測データが存在する北米大陸上でのみ有効であろう。アジアを含め、多くの熱帯地域では、やはり SSM/I などのマイクロ波や、GPS などを用いて、入力となる水蒸気量データの時空間分解能を上げるといった正攻法が必要であることを痛感した。

現在、気象庁/気象研究所でも、昨年行われた GAME-IOP (集中観測) データの再解析計画がようやく開始されている。これを機会に、日本でも世界の気候・水循環変動の研究に資することができる客観解析データの作製 (再解析) が恒常的に行われることを強く希望する。世界を真にリードする気候や水循環の研究は、みずからそのデータを取る、あるいはつくるといった過程なしには生まれない。それには、現業官庁である気象庁と大学を含めた気象研究者の密接な連携・協力の体制が必要となろう。ECMWF の成功は、現業と研究のふたつのコミュニティが、非常にうまく融合した結果であると、前述の Grassl 氏も指摘している。日本での再解析データ作製の必要性をつくづくと感じながら、帰国の途についた。(安成哲三)

### 3.2 過去の観測データと再解析の関係

私は現在、気象庁から ECMWF に派遣され、40年再解析プロジェクトに参加している。私自身は、プロジェクトの中で、長期間に渡るラジオゾンデの観測値の経年変化を調べている。今回の会議では、「ラジオゾンデの観測値の長期間の時系列」という題のポスターを発表した。この中で、測器の変化による考えられる観測値の突然の変動が見られる事や、1970年代前半以前のデータの品質にはかなり問題があることを指摘した。1972年以前は全く衛星データがなく、ゾンデ観測は高層の鉛直方向の成層状態の情報を得る唯一の手段である。衛星観測開始以前のゾンデの品質を把握しておく事は、その期間の再解析の実施にあたって極めて重要である。なお、原稿執筆時点では1960年代のデータの多くがまだ使えるようになっていないので、今後調査を続ける予定である。

さて、会議の内容であるが、再解析の作業に実際に携わる者としては、やはり2) のセッションが一番興味があった。NCAR の Roy Jenne は、古い観測データの整備を一手に引き受けて長年やっている。彼の発表の中で、データの種類や数の変遷が示された。その中で、とりえず再解析を実行できると思われる量の観測データは1948年からあることが示された。NCEP も

古いデータを持っているが、NCARが(彼が)古い観測データの整備をしていなければ、1979年のFGGE以前の再解析などできなかったであろう。ERA40用の観測データの多くはNCARから提供されている。再解析を行うものも利用する者も、彼には感謝しなければいけないと思う。

このセッションでは、ECMWF、NCEP、NASAの再解析進行状況と今後の計画が披露された。ECMWFのERA40は現在データの準備および予備実験を行っている。2000年の早い段階で、本番がスタートする予定である。NCEPでは、最初の再解析(NRA1)に含まれていたバグ(第2節、3.6節参照)を修正したNRA2を実行中であるとのこと。NASA/DAOは最初の再解析(GEOS1)に続いて、GEOS2を実行しているらしい。散乱計による海上風、TOVS、SSM/Iの水蒸気量の同化を含めた3DVARだそう(第1表)。今後の計画について、NCEPではまず北米領域の領域再解析を行い、その間に全球システムの改良を行い、満を持して2004年ころから次の全球再解析を行うそうだ。ほかのセッションでは、ERA15とNCEP、NASA/DAOの再解析を比較した解析が多くあった。とはいえ、流通度から言うとNCEPが一番使われており、3者を比較したものは少なく、ERAとNCEPの比較が多かったように思う。

今回、第1回の会議ではなかった極域のセッションが設けられて、再解析データの利用分野の幅広さを表している。この中でERA15にはある時期、データの取り扱いミスにより南極付近の地上解析に大きなバイアスがあることが示された(第2節)。再解析作業を進める上で、モニタリングがいかに重要であるかを改めて感じた。

NASA/DAOの再解析は、特に陸面過程、海面過程の取り扱いが甘く、3)、4)の地表面相互作用のセッションでは、極端に大きなバイアスがあることが明らかにされていた。ECMWF、NCEPに対してNASA/DAOは現業の数値予報センターではなく、この点は決定的に不利といえる。データ同化システム、とりわけ再解析作業は理学的側面だけでなく工学的な側面を持ち合わせており、現業データ同化を持たない機関がやるのは難しいという印象を持った。トータルに見て、3つの再解析データセットの品質は、ERA15が最も良く、次いでNRA1、かなり離れてNASA/DAO(GEOS1)という印象があり、このことを反映してか、NASAの再解析はあまり研究・解析に使われていない

ようである。

また、ECMWFの再解析チームのMike Fiorinoがポスターで発表したERA15の1986年問題は重要である(第2節)。NCEPの再解析でも、1979年を境に全球平均の気温が下がっている(衛星データ量の影響)。ERA40でも1972年からはTOVSの前身のVTPRデータを使うことになっているので、1972年と1979年の振舞いに注意する必要がある。観測データの変化、取り扱いの不適切によるこの種の不自然な変動についてはある程度やむをえないが、少なくとも再解析データを提供する側がきちんと説明する責任があると思う。その意味でERA40実施グループのメンバーであるFiorinoのポスターはとても重要な発表だったと言えるだろう。再解析利用者も、再解析データが決して均一の品質を保证するものではない事を踏まえた上で研究をすすめて欲しいと思う。

今回の再解析会議を実行するに当たって、ECMWF内で組織された事務局の作業は、専任のスタッフが行った。当日の事務も所長秘書、研究部の事務職員と図書館の司書の人たちが担当した。再解析グループは会議開催に当たって事務的準備作業は一切行う必要はなく、期間中、簡単な補助作業をただけで済んだ。ECMWFはこのような体制を組む事で、研究者への事務作業の負担を極力少なくしている。このことを最後に記しておきたい。(大野木和敏)

### 3.3 水・エネルギー収支から見た再解析データ

会議出席者の多くは、ECMWF、NCEP、NASA/DAOなどの再解析を実施している機関の関係者と、季節予報や波浪など、なんらかの意味の予報現業関係者が多かったという印象がある。季節内変動やENSOにかかわる大気や大気海洋結合系の力学の立場からの研究もあったが、海洋深層や陸水を含めた気候システムという観点の研究発表は比較的少なかったように思われた。

その中であって、極域のセッションでは、アカデミックな研究活動の報告が多かった。さらに、座長Serreze(米国、コロラド大学)が、会議の最後に今後の再解析活動に関する勧告をまとめる準備として、セッションのあとの夕方有志の集会を開いて議論をした。再解析によって、これまでできなかった研究(雪水のモデルへの現実的境界条件を与えるなど)ができるようになったという喜びが感じられた。たとえば別のセッションだったが、Appenzeller(スイス、ベルン大学)

は、ERA15のグリーンランド氷床の涵養量の気候値が Ohmura and Reeh (1991) による観測値と驚くほどよく合っていることを示し、年々変動に議論を進めた。しかし、データを使ってみれば不満点も出るもので、たとえば ECMWF にはデータ提供ポリシーをもっとオープンにしてほしい、NCEP には NRA2を過去にさかのぼってやってほしい、水蒸気移流を精度よく計算したデータセットが必要である、検証用の観測データの整備とそれに関する情報の流通がもっと必要である、といった勧告が出された。

再解析データを、大気と海や陸とのエネルギーや水のやりとりの研究に利用する場合、多くの人は、データ同化の過程で計算される数値予報モデルによる短期の予報値を使っている。一方、Entekhabi (MIT)、Trenberth (NCAR)、筆者らは、予報値を背景として観測データを空間内挿した直後の解析値（あるいは初期値）の状態量による収支解析から、間接的に地表面でのフラックスを求める方法をとった。同化が理想的に行なわれていれば、降水、蒸発、移流からなる大気の水収支は、少なくとも長期平均ではつりあっているはずである。しかし現実には系統的な残差がある。筆者らの予備的調査によれば、水収支の残差は、NRA1のほうがERA15よりも小さい。また、エネルギー収支の残差は、両データセットとも、南半球の海洋のエネルギー輸送の向きを逆にしてしまうほど大きい (NRA1については筆者の試算、ERA15についてはレディング大学の Berrisford の発表による)。再解析のフラックスを海洋や陸水にとっての境界条件として使う場合、こうしたことにも注意が必要だろう。また、今後の同化技術の改善に向けては、グローバル、長期的なエネルギー循環の観点からの品質の検討も必要であろうと思う。

再解析データは、一定の予報モデル、一定の統計プログラムによって作られているとは言っても、観測網は年代とともに変化しているので、データの質が一定であると思いきいで使うのは危険である。特に、長期平均値からの偏差を使って解析する前には、注目する量について時系列を見てデータの質の変化がないか確認すべきである (第2節のERA15やNRA1のデータギャップの記述参照)。White (NCEP) は、NRA1の50年間のいろいろな量のトレンドをデータ密度と関連させて示した。この話題は、Bull. Amer. Meteor. Soc. 出版予定の Kistler et al. の解説とその付録の CD-ROM (試作版が出席者に配布された) にも含まれる。

また、Bromwich (米国、オハイオ州立大学) は、NRA1の南極大陸海岸部などに、観測値には見られないトレンドが見られることを示した。

NRA1の、特に1979年より前についての観測データの収集、整理に関しては、NCARのデータサポートセクションの Roy Jenne らの働きが大きかった。ERA40のためのデータについても、NCARがまとめている。日本の気象庁もそこへのデータ提供機関のひとつである。なお海面水温と海水については、UKMOの研究機関ハドレーセンターが整備している。しかしまだ、Bromwichが南大洋や中央アジアの事例を示していたように、実際は観測されていても再解析の入力に取りこまねば抜け落ちていたものもかなりあるようである。過去の観測網を現在と同じ質にするのは無理としても、特に観測地点密度の低い地域では、可能な限りデータを掘り起こすことも重要だろうと思われた。そのためには、まず、再解析の入力のために統合された観測データセットをよく見ることが先決だろう。NRA1の報告でも述べられているように、これも再解析の重要なプロダクトであり、従来より少ない手間で、なまに近い観測値の解析ができるはずである。それに続いて、各国 (たとえばアジア諸国) の現業機関や研究機関に保存されているデータをそれと比較し、どのデータをデジタル化したり標準形式に変換するかの優先順位を判断する、という順序で仕事を進めることが有益ではないかと思った。(増田耕一)

### 3.4 長期再解析への研究コミュニティの期待

会議の名前だけを聞くと、あたかも再解析プロジェクトの報告と今後の計画発表のための会議のようであるが、それらは初日のセッション1)と2)にまとめられ、あとの4日間は、再解析データを使ったさまざまな研究の発表が行われた。やや野心的に過ぎる、とも思える発表もあったが、それは研究コミュニティが再解析データを待ち望んでいたこと、また、要求が非常に高いことを示したものであると感じられた。

観測の量や質、モデルの精度などの問題で、成層圏と化学輸送モデリングや極域に関する研究にとって再解析データは万全とはいえない。しかしながら、それらのセッションでもそれなりに多数の発表 (特に極域研究) があり、再解析データと観測データとの比較などによる再解析データの問題点の指摘もされた。会議での議論が今後の再解析プロジェクトの改善に反映されることと思う。また、NCEP/NCAR再解析は50年以

上のデータを供給したが、観測網の発達、観測機器の変更などにより、本当の意味において均一なデータとは言い難い。経年変動の研究をする際には十分な注意を要するが、10年規模変動のセッション(10)には興味深い研究発表が数多くあった。また、筆者が研究発表をしたモンスーンと季節内変動のセッション(8)でも、長期にわたる再解析データがあつてようやくできるようになったと思われる研究発表があつた。以上のセッションで、とくにユーザーの要求の高さを感じた。

再解析の実行者たちの前でユーザーが研究成果を発表するとともに、データの問題点を指摘したり、今後の改善の要求をすることもできて、バランスのとれた非常に良い会議になったと思う。(大淵 濟)

### 3.5 再解析データプロダクトの改良

再解析データは気候診断にとって有用な情報源であるが、品質や信頼性の改善にはまだまだ余地があるようである。会議では、データ同化、また、それに使用されたモデルの物理過程の扱いに関する発表があつたが、衛星で観測された放射データを直接同化につかうことの重要性は議論の一つのトピックであつた。また、TRMMやSSM/Iで得られる雨量や可降水量を再解析の改善に使うという議論も非常に興味深かつた。

ECMWFはERA40のために、高層データ、衛星、航空機、船舶、漂流ブイ、地上からのデータなどの観測データの同化の改善の計画をしている。これには、海洋波動モデルと結合した60層T159の解像度の気象大循環モデルが使用される。鉛直方向の高解像度化は成層圏と対流圏(特に境界層)でのデータの改善を目的としている。

会議での発表は、再解析データがさまざまな興味深い応用に使用できることを示していた(気候変動研究、水循環、河川流域毎の水収支、夏期モンスーン期の上部対流圏および下部成層圏への水蒸気輸送、極域研究、成層圏化学、大気海洋陸面相互作用など)。ERA40が1950年代後半からの気候の変化の信頼性の高いデータを提供してくれることが期待される。また、GCMシミュレーションの検証にも有用な道具となるであろう。(R.クリシュナン)

### 3.6 再解析と気候系監視

筆者は現在、現業的な気候系の監視と解析を職分としており、安定したデータ同化システムと独自再解析

の必要性を日々強く感じている。再解析のこれまでの進展には、WCRPのGrasslが述べたようにNCEPとECMWFの友好的な競合関係と、新しい同化テクニックの発展が重要な役割を果たした。彼は将来の展望に、成層圏、境界層の精度向上と、IPCCをサポートできるような、より安定した品質の長期データ同化を目指すことを挙げる一方、第一回会議での目標、大気海洋結合系でのデータ同化については、海洋の観測データ不足によりまだ達成されていないことにも触れた。

ECMWFのHollingsworthは今後の戦略について語り、特に現業的季節予報の能力を上げることを目標として示した。その要件として、新しい衛星データの同化と、データ同化の新たなテクニックの開発が挙げられた。また、ECMWFの1999-2008年のモデル/同化開発計画に関係して水平解像度増加のタイムテーブルが示され、水平解像度T159, 639, 1279のストーム予報実験で、初期値と入力データは同じでも、解像度が高いとアンサンブルメンバーの全てが顕著なストームを予報する例を渦位のカスケードの解像によって説明した。

ERA40の下部境界条件として、英ハドレーセンターの海水SSTデータセットの新しいバージョンGISST4.0(またはHadISST1.0)を作成中であることが、N. Raynerにより示され、GISST2.3bからの主要な変更は、これまでは0か1だった海水に面積被覆率を導入し、開水面におけるSSTを付加する点であつた。

NCEP再解析の修正版であるNRA2についてはNCEP/CPCの金光博士から詳細に紹介があつた。現在1979~96年までが完成していて、月平均値のみはウェブで配布されている(<http://wesley.wwb.noaa.gov/reanalysis.html>)。NRA2はNRA1と解像度、出力データ種別・形式は同じだが、次の点で改良が加えられ、人為的なミスは修正された。

- 1) 土壌水分のドリフトを防ぐための簡単な雨量同化
- 2) 海洋上のアルベドを変更
- 3) 平滑化した地形データを導入
- 4) 対流スキーム
- 5) 境界層スキーム
- 6) 地表面短波放射スキーム
- 7) 雲量のパラメタリゼーション

この結果NRA2には次の点で改善が見られる。

- 1) 土壌水分、とりわけその年々変動
- 2) 高緯度での冬季の降水、地表面付近での温度場と

フラックス

- 3) 熱帯の降水分布
- 4) 海洋上のアルベドがより適切な値
- 5) 短波放射の分布
- 6) 雪と地上気温

このため、南半球の高周波変動や地表面付近、雪の水収支などの研究には NRA2 の使用が推奨された。NRA2 は 1999 年まで延長される予定であるが、過去を 1958 年までさかのぼって実施するかどうかは現在検討中とのことであった。

White (米国 NCEP) は NRA1 の長期トレンドについて話したが、彼の示した時間緯度プロットは、先の大戦末期、IGY (1958)、極軌道衛星 (1969) と静止軌道衛星 (1979) の観測開始、FGGE (1979) 等のイベントごとに、再解析で使用された観測データの密度が不連続に増加することを示しており、1978 年以前の南半球中高緯度では使用された観測データは皆無に近いことが良く分かった。これらを使って長期的に均質なデータセットを作ることが困難であることは想像に難くない。この点について金光氏は実行プログラムサイズが小さく運用に人手のかからない再解析システムを構築し、研究目的別に入力データを選んで適切な再解析を行うことを提唱していた。彼らは NRA2 のために実際にこのようなコンパクトで省力化したシステムを完成させている。

筆者は NRA1 を用いて、北半球冬季中高緯度の季節進行における高周波変動と月平均場の関係についての解析的研究をポスター発表した。発表を聞いてくれた Hollingsworth は、内容についての議論の後に、「われわれは再解析データを作る話をしたが、これは再解析データを使った研究だな」と述べ、再解析分野でも日本がその役割を果たすことを期待する口振りであった。実際、彼は議長団の安成教授に対して、日本は再解析をやるのか、としつこく尋ねていたそうである。

最終日の夕方に筆者の 1 人、大野木和敏のはからいで、ECMWF を見学する機会を得たが、監視・検証の現業室に貼られたマップ類は全てカラー図で、入電状況とそのデータの示す値、実況と予報の重なりなどが一目で分かるように工夫されていたのが印象的だった。

(小出 寛)

3.7 水・エネルギー循環の気候値を提供する再解析  
大規模な水・エネルギー循環に関する研究を客観解析データや衛星データを使用して行っているの、使

用するデータの精度が常に問われる。2 年前の第 1 回会議に続き、今回も出席し、情報収集と、データを作っている人と話が出来たことは非常に幸いであった。

今回の会議は、口頭発表とポスターの割合や、時間配分などが非常に良かったと思う。ただ、セッションは、第 1 節にあるようにプログラムされたが、聞いていると、他のセッションに適する内容だという印象を受けるものがいくつかあった。プログラムを作成する方も大変だと思うし、会議当日までにエントリーした時と違った内容が中心になることもよくあることから、仕方が無い面もある。今回の会議は、口頭発表の会場がひとつであったことから、これらの問題はカバーされるので、ここでは、セッションにこだわらず、印象に残ったことについて報告する。

再解析データにより、ある程度の気候変動の研究が可能であると期待されてきたが、今回の会議からは、モンスーンや水・エネルギー循環の経年変動といってもそのメカニズムにせまる発表は少なく、計算は膨大であろうが、解析としては簡単なコンポジットや比較が多かった (Trenberth, NCAR; Fasullo and Webster, 米国, コロラド大; Annamalai *et al.*, 英国レディング大など)。ERA15 と NRA1 を水循環・エネルギー循環の視点から比較したものは、筆者らのものも含めて、ERA15 のほうがよいと言っている。しかし、第 2 節にあるように、ERA15 にも、いくつかの問題が指摘されており、重要なものもある。ERA15 は有償のためか、NRA1 よりも普及が遅く、問題点が NRA1 ほどはまだ知られていないという面もあると思うので、ERA15 の使用にも注意を怠るべきではない。主観だが、NRA2 はかなりよさそうである。

再解析によって精度のよい気候値が得られる。それは、特に水・エネルギー循環場では、従来得られなかったものである。そのことに、今回自分の解析をしながら気づき、また会議で再確認した。再解析というと、温暖化との関係を知るとか、経年変動のメカニズムを知るために期待され、データの不連続性などがあると、ユーザーは、使い方に工夫を迫られるわけであるが、再解析プロジェクトの成果として、質のよい気候値が得られるようになったことは、もっと強調されてよいのではないかと思う。

そして 15 年分のサンプルがある、という使い方や、現業解析より質が格段によくなった 80 年代のデータのみで解析するだけでも、よい成果が生まれていると思う。Dethof *et al.* (英国, レディング大) は、モンスー



ン地域の水蒸気が強い対流活動で成層圏下層の水蒸気源となっていることをERA15により解析した。ERA15は10 hPaまでのデータがあるので、このような解析が可能であり、よい例を見たように思う。

データ作成者にとっては自明のことだと思うが、海陸の地表面フラックスのモデルの扱いは、非常に重要である。再解析データの同士の比較をした報告はいくつかあったが、データセット間の違いの特徴は海陸で異なることに注意しなくてはならない。この点、単に帯状平均したり波数展開してデータセットの違いを議論するだけでなく、海陸にわけて特徴を論じたものはいくつかあった。ERA40では、同化手法や解像度がよくなるだけでなく、上層のデータがさらに増え、地表面過程が格段によくなるそうである。単に使える期間がのびるというだけでなく、今ERA15やNRAで出来ること、ERA40が出たときに新たに期待されることを考えながら、研究を進めていきたいと思った。

(谷田貝亜紀代)

### 3.8 会議についての雑感

今回の会議には、研究を一緒にやっているMITのDara Entekhabi教授と一緒に参加した。彼は招待講演で、リモートセンシングからの大気上端の正味放射量と再解析データを用いて、水とエネルギー収支のバランスから地表面の流出量を推定するアイデアをGEWEXの大陸スケールの流域でテストした成果を発表した。私は、この新しい方法と従来からの水蒸気フラックスの収束のみによる方法の両方で、ラジオゾンデのデータを使ってミシシッピ河流域の流出量を計算した結果を、河川流量計による測定値と比較してポスター発表した。会議では論文で名前だけは知っている有名な研究者と意見を交換することができた。

初日にデータ管理やデータ同化手法などについての発表があった以外はすべて、そのデータセットを使っている研究の発表で、気象学のあらゆる分野にわたってのバラエティに富んだトピックに触れることができ、たいへん勉強になった一週間であった。また、日本を出てから気象学を学び始めた私にとって、日本で研究の第一線で活躍している方々に出会えたことは大きな収穫だった。

(金丸秀樹)

### 略語一覧/用語解説

AMIP: Atmospheric Model Intercomparison Project 大気モデル相互比較計画

CPC: Climate Prediction Center 気候予報センター (NCEPの下部組織)

ECMWF: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ヨーロッパ中期予報センター

FGGE: First GARP Global Experiment 第1回GARP全球実験

GEOS: Goddard Earth Observation System NASA/GSFC (ゴダード宇宙センター)のモデル/データ同化システム

GPS: Global Positioning System 全球測位システム

IGY: International Geophysical Year 国際地球観測年

GEWEX: Global Energy and Water Cycle Experiment 全球エネルギー水循環実験

GISST: Global Seaice and Sea Surface Temperature ハドレーセンター作成の海水・海面水温データセット

MIT: Massachusetts Institute of Technology マサチューセッツ工科大学

NASA/DAO: National Aviation and Space Agency/Data Assimilation Office 米国航空宇宙局/データ同化室

NCEP: National Centers for Environmental Prediction 米国環境予測センター (NOAAの下部機関)

NCAR: National Center for Atmospheric Research 米国大気科学研究センター

NESDIS: National Environmental Satellite Data, and Information Service 環境衛星資料情報局 (NOAAの下部機関)

ERA15: ECMWF再解析の第一弾として既に実施された1979~93年の15年再解析

ERA40: ECMWFにおいて現在準備中の1958~現在までの40年以上の再解析

SSM/I: Special Sensor Microwave/Imager マイクロ波画像センサー

TOVS: TIROS Operational Vertical Sounder TIROS実用型鉛直探査計

TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission 熱帯降雨観測衛星

UKMO: United Kingdom Meteorological Office 英国気象局

VAR: VARiatational method 変分法, 誤差共分散行

列を含む評価関数が最小になるように定式化した変分原理を用いるデータ同化手法の一種、衛星データなどで鉛直1次元で行う1DVAR、空間3次元で同化する3DVARと時間軸も加えた4次元で行う4DVARがある。

VTPR: Vertical Temperature Profile Radiometer  
鉛直温度分布放射計

WCRP: World Climate Research Programme 世界気候研究計画

リトリvable 衛星観測の放射強度などから気温などの物理量への変換(リトリブ)を行う方法

以下は本文中で便宜上用いた表記で、必ずしも一般的に確立したものではない。

NRA1: 1948~98年の51年分が既に完成し、引き続き準リアルタイムで続行中のNCEP-NCAR Reanalysis, Reanalysis1とも呼ばれる。

NRA2: NRA1で既知の問題点を可能な限り修正した上で実行中のNCEP-DOE AMIP-II Reanalysis, Reanalysis2とも呼ばれる。

#### 参考文献

大野木和敏, 露木 義, 松村崇行, 高野清治, 谷貝 勇, 楠 昌司, 田中 博, 谷田貝重紀代, 1998: 再解析に関するWCRP第1回国際会議の報告, 天気, 45, 475-482.

Ohmura, A. and N. Reeh, 1991: New precipitation and accumulation maps for Greenland, J. Glaciol., 37, 125.

## 2000年度東レ科学技術研究助成の募集

標記の助成は東レ科学振興会が運営しているものです。興味のある方は下記の要領で応募して下さい。

### (1) 候補者の対象

国内の研究機関において基礎的な研究に従事し、今後の研究の成果が科学技術の進歩、発展に貢献するところが大きいと考えられる独創的、萌芽的研究を活発に行っている若手研究者

### (2) 助成の内容

総額1億3千万円、1件3千万円程度まで10件程度

### (3) 推薦件数制限

1学協会から2件以内

この助成の応募には学会の推薦が必要です。気象学会の推薦を希望する方は、9月22日(金)必着で気象学会(右記)あて申請して下さい。推薦用紙等は6月

頃に学会事務局に届く予定です。応募件数が左記(3)の制限を超えた場合の扱いは学会に一任して下さい。

連絡先: 〒100-0004 東京都千代田区大手町1-3-4

気象庁内 日本気象学会

学会外各賞候補者推薦委員会

### 付記:

(1) 東レ科学振興会から「東レ科学技術賞」の候補者推薦依頼が併せられています。これについては、昨年気象学会から推薦した候補者が今年度も引き続き審査対象になる見通しであるため、気象学会として新たな推薦は行わない予定です。

(2) 推薦用紙は下記ホームページからもダウンロードできます。

<http://www.toray.co.jp/kagaku.html>