

再解析に関する WCRP 第 1 回国際会議の報告*

大野木 和 敏^{*1}・露 木 義^{*2}・松 村 崇 行^{*3}・高 野 清 治^{*4}
谷 貝 勇^{*5}・楠 昌 司^{*6}・田 中 博^{*7}・谷田貝 亜紀代^{*8}

1. はじめに

標記の「再解析に関する WCRP 第 1 回国際会議」が、アメリカ合衆国メリーランド州シルバースプリングにあるアメリカ海洋大気庁 (NOAA) のシルバースプリング気象センター (SSMC4) で、1997年10月27日から31日までの 5 日間にわたって開催された。

会議の内容に言及する前に、再解析 (Reanalysis) について説明しておく。数値予報の黎明期から現在に至るまで、世界の各数値予報センターは数値予報・データ同化の改良のための努力を続けてきた。その結果、初期には現実的な使用に堪えない精度だった数値予報も今では高い精度を持つに至った。

これまでに世界各地の数値予報センターで現実的に作成された膨大な大気解析データは、様々な調査・研究のための貴重なデータセットとして活用されているが、これらは数値予報モデルやデータ同化手法の変更など、数値予報の発展の過程をそのまま反映したものであり、均質であるとは到底言い難い。また、使用さ

れた観測データも、現実的に入手可能なリアルタイムのデータに限られている。

そこで提案されたのが「再解析」である。再解析とは、簡単に言えば、「最新の高性能の数値予報モデルとデータ同化手法を用いて、過去数十年間にわたってデータ同化を行い、長期間にわたってできるだけ均質な大気の数値データセットを作成する」ことである。均質な大気解析データセットは、気候変動をはじめとする以下のような様々な研究分野において、極めて信頼度の高い基礎資料となる。

- ・気候変動の解明
- ・気候予測可能性の研究
- ・効率的な観測システムの設計・構築
- ・大気大循環の解析と全球水エネルギー循環の研究
- ・大気海洋結合モデルの構築

また、信頼度の高い気候値の作成や気候予報モデルの初期値としても利用できるだろう。

再解析によっても過去の観測データの品質そのものについてはもはやどうすることもできないが、品質管理の高度化によってデータ同化に使用される観測値の品質は現実のものよりよくなるはずであるし、現実のスケジュールに入電が間に合わなかった多くの観測データを取り込むことができる。

「再解析」は1988年に、Bengtsson (Max Plank 研究所, ドイツ) と Shukla (COLA, USA) が提案したのが最初である。しかし再解析には膨大な人的資源・計算機資源が必要なことから当時は現実的なものとは考えにくかった。しかし、計算機の高性能化はめざましく、それから10年足らずで再解析が現実のものとなった。これまでに再解析を実施したのは ECMWF (ヨーロッパ中期予報センター)、NCEP (アメリカ環境予報センター) の 2 つの数値予報センターに、NASA/GSFC/DAO (アメリカ航空宇宙局/ゴダード宇宙飛行

* WCRP First International Conference on Reanalysis.

^{*1} Kazutoshi Onogi, 気象庁予報部数値予報課 (現: ヨーロッパ中期予報センター)。

^{*2} Tadashi Tsuyuki, 気象庁予報部数値予報課。

^{*3} Takayuki Matsumura, 気象庁予報部数値予報課 (現: アメリカ気象局環境予報センター環境モデル開発課)。

^{*4} Kiyoharu Takano, 気象庁気候・海洋気象部気候情報課。

^{*5} Isamu Yagai, 気象大学校。

^{*6} Shoji Kusunoki, 気象研究所気候研究部。

^{*7} Hiroshi Tanaka, 筑波大学地球科学系。

^{*8} Akiyo Yatagai, 宇宙開発事業団地球観測データ解析研究センター。

© 1998 日本気象学会

第1表 各数値予報センターの再解析の比較.

実施機関名	ECMWF	NCEP	NASA
再解析期間	1979～1993 15年	1957～1996 40年	1980～1994 15年
予報モデルの 水平分解能	T 106	T 62	緯度方向2度 経度方向2.5度
予報モデルの 鉛直分解能	31層	30層	20層
データ同化手法 と解析レベル	最適内挿法 モデル面	3次元変分法 モデル面	最適内挿法+ IAU [*] 指定気圧面

^{*}Incremental Analysis Update; インクリメンタル解析更新法. 一種のマジング的手法による連続同化.

センター/データ同化局)を加えた3つの機関である. NASAはこれまで現業的にはデータ同化を行っていない.

日本の気象庁は、数値予報課の野村厚予報官を1993年4月から1995年3月まで再解析の実行スタッフとしてECMWFに派遣するとともに、観測データをECMWFとNCEPに提供してこれらの再解析に貢献している.

会議では、まずOpening Sessionとして、再解析の提唱者であるBengtssonから数値予報とデータ同化の歴史と現状についての基調講演があり、次にShukulaからは、自らが提唱した再解析の構想についての回想が述べられた. Shukulaは、当初は世界の数値予報センターがほとんど興味を示さなかった再解析が、現実に実行され、国際会議が開催されるに至るまでの経緯と、再解析データセットがいかにすばらしいものであるかを自信に満ちた口調で力説していた.

以下の報告では、各参加者がそれぞれのセッションについて報告する. 報告ではセッションの内容に限らず、会議全体に対する感想を交えながら自由に述べていただいた.

(大野木和敏)

2. Session 1: 再解析の概要

会議の最初のセッションとして、まず再解析を実行したECMWF, NCEP, NASAから、それぞれの再解析について紹介があった. 各センターとも再解析のプロジェクトリーダーが発表を行った. ECMWFはJ.K. Gibson, NCEPはE. Kalnay, NASAはS.D. Schubertである. 各センターの発表の中では再解析のための観

第2表 再解析で使用可能なデータに観測開始時期.

レーウィンゾンデ	1948～1950年頃から存在するが、南米と南極は1957年からデータがある. FGGFに実施された1979年はデータが豊富にある.
パイロットバルーン 観測(下層に風観測)	1967年から比較的豊富にある.
地上(陸上)観測	1969年以後、非常によく全球域をカバーしているが、それ以前にも多くの観測データがある.
極軌道衛星による 大気鉛直構造(気温) の観測	1969年4月以降にデータがある. NIMBUS-3が最初
静止衛星による風観 測	1979年以降、アメリカのGOES, ヨーロッパのMETEOSAT, 日本のGMS

測データの取得と品質管理の困難さ、バグによる再実行などの苦労話が披露された. NCEPの再解析は本国際会議の2週間前に終了したそうである. 各センターの再解析の概要を第1表に示す. 細部についてはそれぞれのドキュメントを参照していただきたい. ECMWFの発表では野村厚氏が作成した海水データセットについても紹介された. 主観的な印象であるが、これら3つのセンターの中では、ECMWFが再解析に対して最も強固な実施体制をとっていたようである.

このあと、NCARのRoy L. Jenneから、再解析に使用できる観測データについての発表があった. その中で、過去何十年にもわたる観測データの整備の困難さが強調されたのが印象的であった. 気象庁で数値予報に使用する観測データの品質管理を担当している筆者としては大変共感できる内容であった. 世界の気象関係機関の中で、1940年代からの観測データを整備された状態で保存しているのはNCARだけである. 再解析実施の絶対的前提条件である観測データを保存していたNCARに対して敬意を表したい. 再解析では、数値予報・データ同化モデルは統一したモデルを使用しているが、観測データの質・量の変化については如何ともしがたい. 他の報告者も述べているが、再解析データセットで表現された気候変動が実は観測データの変化によるものである場合も多い. 誤った気候変動が解析されないよう注意を喚起するため、観測種別ごとの観測開始時期について、第2表に簡単に示しておく. 1969年以前には衛星による観測データが全く存在

しないことに注意していただきたい。

最後に本会議の事務局長を勤めた Paul D. Try (International GEWEX Project Office) から、全球エネルギー水循環実験 (GEWEX) についての紹介があった。

(大野木和敏)

3. Session 2: 大気大循環

初日の午後からは大気大循環をテーマに再解析データを用いた研究発表があった。

特に興味を引いたのは Fiorino による40年間の気温の経年変動の解析結果であった。ECMWF は始めから1979~1993の15年を目標に解析を行なってきたので、40年間の経年変化を調べられるのは NCEP の再解析だけである。NCEP の再解析は本国際会議の2週間前に終わったばかりなので、まさに最新の結果であった。それによると、1979年を境にそれ以前の全球平均気温は低く、1979年以降は気温が高くなっている。40年間の時系列によると1979年に明瞭な不連続が見られるのである。この不連続は、南半球の成層圏で特に著しい。これは、1979年の FGGE の年に初めて人工衛星 TIROS が上がって、客観解析に初めて衛星データが入力されたことによるもので、現実の昇温ではないという。再解析によって、モデルや解析スキーム等の変更による見かけの気候変動は取り除かれたのであるが、入力データの質の不連続は明瞭に残っており、再解析データが気候変動研究に対し万能であるとの誤解はせぬよう注意が必要である。今後、再解析データの結果から、1979年に気候の不連続的变化が生じた、などという論文が世に出回らないようにしたい。その点、ECMWF は始めから人工衛星データのない1979年以前は、データの質が相当異なるとの認識により、あえて再解析を行っていない。

また、Shukula をはじめ多くの人が言っていることであるが、NCEP、ECMWF、NASA などの複数の再解析データが相互に異なる場合、どれを使うべきかとの問題が残っている。Berrisford によると、それぞれの機関が平年値として世に出している値には、帯状流について言えば7 m/s に達する差が見られる。平均期間がそもそも異なっているので、仕方のないことかもしれない。

筆者は、対流圏中層における ECMWF 再解析の鉛直流オメガ (谷田貝氏の協力) と NCEP 再解析のオメガとが解像度の点で相当異なり、両者の差は100%に達することを示した。具体的には、 $2.5\text{deg} \times 2.5\text{deg}$ の等

圧面データを比較すると T106を用いた ECMWF のオメガは細かいスケールが目立ち、T62を用いた NCEP のオメガは総観規模擾乱を残して平滑化されている。発表後のコメントとして実際に再解析を行った Kistler (NCEP) が、NCEP の $2.5\text{deg} \times 2.5\text{deg}$ の等圧面データにはすべての変数に対して T30の波数切断で平滑化が施されていると説明した。40年間の再解析が完了してからそのことを文章にして報告する予定だったそうで、外部にはほとんど伝わっていない情報であった。

再解析プロジェクトの成果は大変素晴らしいものであるが、再解析データは決して完璧ではないので、その特徴をわきまえ、今後データの利用に際しては十分な注意が必要である。

(田中 博)

4. Session 3: 地表面フラックスと水循環

本セッションは21件の発表があり、うち17件が表面フラックス、4件が水循環に関するものであった。前者のうちでは、Kallberg (ECMWF) の発表が、情報量も多く、特に ECMWF 再解析データを解析している自分にとって参考になった。いくつかをあげると、ECMWF 再解析データの総降水量は特に熱帯収束帯 (ITCZ) のところで10%程度過大評価しているようであるが、小砂漠や地形の効果など、地域的な特徴を非常によく表現できていること、積雪に覆われたタイガ地域では過大評価したアルベドを使用したために地表気温に負のバイアスがあること等々である。

水循環に関するセッションでは、Higgins (NCEP) ら、Min (NASA) ら、筆者ら、Trenberth (NCAR) の順で発表があった。Higgins らは、米国の夏季降水量レジームにおける北米モンスーンシステムの影響について、NCEP 再解析データを使用して解析し、水蒸気輸送などの特徴は、それまでの研究と一致することを示した。Min らは、3種 (NASA, NCEP, ECMWF) の再解析データにより北米、インドモンスーン地域、アルゼンチンにおける水蒸気フラックスとその収束の経年変動を評価した。中緯度地域においての対流圏下層の風の不確かさが、水蒸気フラックスの不一致の主な原因であること、一方インドモンスーン地域は、下層風の経年変動が比較的小さいので、水蒸気のバイアスが実質的な役割をしていることや、3種のデータセットの水蒸気収束量の違いは、北米では小さい (25%) が他の2地域では100%に達することを指摘し

た。バイアスの原因が地域により異なることは予想されるが、それを徹底的に調べることは非常に重要なことだと感じた。

筆者はECMWFの再解析データにより計算した水蒸気量、水蒸気収束量をまず従来の現業データによるものと比較し、さらに気象庁、NCEP再解析、NVAP水蒸気量データセットと比較した結果を発表した。Kallberg (ECMWF) も話していたことだが、ECMWF再解析では、地形の効果が現業のものよりも非常になくなっていること、NCEPの熱帯の水蒸気量が、ECMWF、JMA、NVAPと比較すると過少評価であることなどを指摘した。

Trenberthは、NCEP再解析データにより水循環を、Xie-Arkinの降水量データ、NVAP水蒸気量データと併せて評価した。NCEPの水蒸気量は熱帯で大きなバイアスがあること、経年変動も過少評価していること、空間構造の問題などいくつかの欠点を指摘した。また、E-Pの値を収支とモデルのoutputで比較すると、系統的な誤差がみられ、両者の差をとると、島の上に、bull's-eyes(目玉)のような差の大きい部分が分布していた。Trenberthは、エネルギー収支計算を行った時の最大の誤差は何に起因するか、という会場からの質問に対し、質量収支があっていないことであると返答していた。

再解析データの入力データを知っておくことは、経年変動を議論する時だけでなく、再解析データ同士、あるいはそれらを他のデータ(例:合成された降水量データや水蒸気量データ)とを組み合わせで解析する場合にも非常に重要なことである。そのためにも、今回の会議参加によりデータ作成機関の方と知り合いにれたことは収穫であった。

(谷田貝亜紀代)

5. Session 4: 予測とテレコネクション

S. Saha (NCEP) は、最新の予報モデルによって、NCEPの再解析データを初期値とした8日予報を行った。この再予報実験と現業予報とを比較することにより、大気状態に依存した予報精度変動から予報解析システムの向上による寄与を分離した。流行のアンサンブル予報に関する発表は多かった。

C. Brankovic (ECMWF) は、ECMWFの再解析期間15年分のすべての季節について行ったアンサンブル季節予報の結果を発表した。冬の予報は予報期間を通じて良いが、春は予報期間の後半でスキルが低下するこ

と、秋はスキルが非常に悪いことを指摘した。同様の実験が仏気象局、英国気象局、仏電力協会で行われている。

Y. Chang (NASA/GLA) は、1993年夏にミシシッピ川の大洪水を引き起こした米国上の多雨現象のアンサンブル季節予報実験を行った。土壌水分の初期値に観測値を与えると、北米上で水蒸気の収束が増し、予報が向上した。楠(気象研究所)は、1987、88年夏のインドモンスーンを対象としたアンサンブル季節予報実験について発表した。インドモンスーンの両年の強弱の違いに関しては、風に比べて雨の予報が難しいことを指摘した。

(楠 昌司)

高野(気象庁)は気象庁全球モデルによる観測された海面水温を与えた季節予報実験に関して発表を行った。予報実験は夏4例、冬4例行ったが、エルニーニョ発生年の冬の事例では、北半球中・高緯度でも日本を含む太平洋側を中心に予報成績がよいことが示された。同様な実験はECMWFでもより本格的に行われているが、それと比べても予報成績は遜色はない。一方夏については楠の発表にも示されているとおり、アジアモンスーン予報が課題であることが示された。

(高野清治)

大気大循環モデル(GCM)を扱っている立場からは、GCMの結果と比較できるデータが増えてくれれば十分だが、個人的にはECMWFのデータを解析していて全球データの進歩に関心がありこの会議に参加した。

再解析は気候データの作成には重要な作業であるが、データ精度のギリギリのところでは量的な議論をする場合にはもどかしが残る。再解析では以前には利用できなかった定時以外の気象衛星データの取り込みや、最新の解析システムを使用するが、基本的に新しい観測を行ったのではないからだ。

全体会議で「加熱の計算精度を上げるためには日変化を正確に再現することが必要である」ということが何度か語られ、日変化の重要性は共通の認識になっているようである。ECMWFの再解析データが以前の12時間から6時間毎の出力になったことでも分かる(もちろん高層観測は特別な期間を除いて12時間毎である)。しかし、日変化とtide(大潮小潮)がほとんど同等なくらい密接に関連していることの認識はまだ一般化していないようである。それでも数年前の解析データのワークショップではtideの発表が筆者1人だったことを考えると、今回は3倍に増えていて心強かつ

た。

筆者は non-migrating tide に関する講演をした。この正式名称は「南半球低緯度で卓越する波数4の地形で強制される西進する波数5と東進する波数3の太陽と同期しない大気潮汐のモード」という長たらしいもので、海面気圧データではGCMの結果とよく対応しており、成層圏でも見える。この結果は tide に関連した専門家の間では国際的に評価されている発見であるが、それ以外には、どうも non-migrating tide を知っている研究者の絶対数はあまり多くないようである。略称として yagai wave とでもすればもっと一般的になるかもしれない。

Van den Dool が NCEP の再解析データから1時間毎の出力を計算して基本的な tide の解析をしていた。1日2回のデータから加工した結果では、どの程度真実かの問題はあるが、月齢ごとにまとめると lunar tide が出るというのには（解析システムのモデルに月はないので）感心した。

個人的に面白かったのは Potter の short-wave cloud forcing について AMIP のシミュレーションと NCEP の再解析データを比較した結果で、モデルと観測が合わないのは特定の地域で誤差が大きくそれが全体の誤差にきいてくるとのこと。地球は多様である。

(谷貝 勇)

6. Session 5: 収支と降水量変動

この Session には20件の発表があり、多くは GEWEX プロジェクトに関わっている研究であった。GCIP (GEWEX Continental-scale International Project) に関係するミシシッピー川流域や北米大陸上の水蒸気輸送・収支、降水量変動の研究が続いた。また、GEWEX の気候データである降水量データや水蒸気量データ (NVAP) の作成、それらを再解析データと比較、使用しての研究が目立った。1年前に同じくメリーランドで開催された第2回 GEWEX 国際会議(天気1997年3月号)に出席したせいかもしれないが、斬新だと感じるものには出会えなかった。

印象に残ったものをいくつかあげる。Roads (Scripps Institution of Oceanography) らは、ミシシッピー川流域の水・熱収支の残差 (Analysis residual) を NCEP 再解析と NCEP の現業データ同化システムについて調べていた。Gutowski (Iowa State University) らは、NCEP 再解析により計算された水蒸気収束量を河川流量と比較し、観測データの密なミシシッピ

川上流、オハイオーテネシー川流域では、大気側の input と流出の output がよい一致を示し、経年変動、数日の時間スケールでは両者の間に有意な相関が得られることを示した。Lau (NASA) らは、NASA 再解析データを使用し、ENSO に関係する大気側の水循環を調べた。ENSO に伴う海面水温の偏差は対流圏上層の温暖化、成層圏の寒冷化をひきおこす。対流圏下層における水蒸気と温度の偏差は、熱力学的に SST に結びついており、それらは、対流圏上層と成層圏下層の大規模な dynamics に支配されることを指摘した。さらに雲の放射強制力についても言及し、ENSO の時の放射フラックスの変化の約80%は大規模循環パターンのシフトのためであり、20%以下が局地的な放射-熱力学フィードバックによるものであることを示した。

セッション3、5では、ECMWF と NCEP/NCAR の再解析データセットを比較した研究がいくつか行われていたが、ECMWF のほうが解像度がよく、熱帯の降水、水蒸気特性をよく表現出来ているということが、何度か指摘された。現在のところ、どの機関も海上の水蒸気量などを精度良く測定できる SSM/I データは (ECMWF が Seaice limits の情報として使用している以外)、使用しておらず、次期再解析での使用を検討するということであった。NASA/DAO では、TRMM (熱帯降雨観測衛星) データの同化を積極的に考えるそうである。

本国際会議参加に際し、つくば科学万博記念財団の若手研究者海外派遣助成事業により、旅費を支給して頂きました。ここに記して感謝いたします。

(谷田貝亜紀代)

7. Session 6: TOGA, AMIP, 陸面と雲

B. F. Smull (NOAA/NSSL) は、NCEP の再解析の海上風が TOGA-TAO のブイデータに比べて弱いことを指摘した。AMIP の結果を再解析データと比較した発表が多かった中で、R. A. Stratton (英国気象局) は既に終了した AMIP 第2期実験の結果を速報した。ハドレーセンターの T42モデルの17年ランでは、対流圏上層に相変わらず気温の冷却バイアスがあるものの、ブロックングの発現頻度が増加して観測に近づいた。

T. J. Phillips (PCMDI/LLNL) は ECMWF モデルのアンサンブル10年ランを用い、季節の時間スケールにおける陸面変数の予測可能性を議論した。熱帯、特

にアマゾン、アフリカ、南アジアで予測可能性があるが、エルニーニョ時には中緯度でも予測可能性が高くなる。また、一般に降水よりは地上気温や気圧の方が予測可能性が高い。

S. Das (NASA/GLA) は、雲水量を予報変数としたモデルでは熱帯の中下層雲が増加して積雲対流が弱まり、その結果熱帯収束帯が弱くなる事を指摘した。

S. Corti (イタリア) はユーラシア大陸の冬の積雪偏差の予測可能性を、アンサンブル季節予報の結果と統計的手法を組み合わせで議論した。

R. H. Kripalani (インド) は、ユーラシア大陸上の1月の積雪量とその夏のインドモンスーンの降水量が負相関であることを示した。

(楠 昌司)

8. Session 7: 大循環に関する研究

大循環のセッションでは、Liang and Wei-Chung Wang が東アジアと北アメリカでのGCMのシミュレーションと観測との比較をしていた。今回多く出席していた中国(台湾)からの研究者がAMIPの解析などで東アジアにこだわるのには共感する。

ロシアのZaitsevaはラジオゾンデの精度の比較をしていたが、精度を下げる最大の問題はソ連崩壊後の経済事情でゾンデの絶対数が減っていることだそうだ。

Alpert 他はデータ同化システムからDust forcingを見積もっていた。このセッションは再解析データを観点を変えて解析する発表が多かった。データ解析の集会に行くと、日本と比べて研究者数の多さに驚く。それほどのレベルでない研究(一次データを扱う苦労を知らない筆者からの印象だが)が多いけれど、全体としてのパワーは大変なものである。

(谷貝 勇)

9. Session 8: 地域研究

このセッションでは地域的な現象を再解析データを使って調査した研究が報告された。テーマごとの発表件数は「アジアモンスーン」が4題、「インドモンスーン」が3題、「北極圏」が7題、そして地面を離れて「成層圏「地域」」が3題であった。

「アジアモンスーン」と「インドモンスーン」では再解析データを使って夏のモンスーンの発生や終息の年々変動を解析した例が多くを占めた。またエルニーニョ年(87年)とラニーニャ年(88年)を比較してモンスーンとENSOの関係を解析した例も見られた。

Song Yang (GSFC) らは東シナ海におけるSSTの急激な昇温が夏のモンスーンの発生に重要であることを示した。また、Huang-Hsiung Hsu (台湾大学) らは大気との熱輸送におけるベンガル湾(海)やインドシナ半島(陸)の役割について論じた。

「北極圏」では極域での放射収支や水収支が検証された。Jennifer M. Adams (NOAA) らは、NASAの再解析データは冬季の雲が薄く下向き長波放射が弱いため地上気温が観測データに比べて10度以上も低くなっていると指摘した。また、John E. Walsh (イリノイ大学) らはECMWFとNCEP/NCARの再解析は夏季の曇天率が低いいため短波放射が強すぎると指摘するとともに、水循環の観点ではECMWFの再解析は主要な河川の流出量観測と良い整合性が見られると報告した。

「成層圏」では再解析データにおける準二年振動(QBO)の再現性を評価した発表が続いた。Steven Pawson (ドイツ Freie 大学) らはECMWFとNCEP/NCARの再解析データをゾンデ観測等と比較し、再解析データでは定性的にはQBOが再現されているがその強度はいずれの再解析でも弱いことを指摘した。海洋上や北極圏、成層圏における研究のように観測データの不足に悩まされてきた分野では、再解析の意義は大きい。いずれの発表も再解析データの利用にあたり、従来から得られている気候値や解析値、観測データ(地上、衛星)などを用いて比較検討し、再解析データの有効性を評価している。その中で、再解析プロジェクトでは使用した数値予報モデルやデータ同化手法は固定されているにも関わらず、利用される観測データの質や量が年ごとに変動するため再解析データにもその影響が現れていることが指摘された。たとえば30 hPa高度の年々変動を調査したS. Leder (ドイツ Freie 大学) らは、衛星観測が始まった1979年とNESDISがデータ処理方法を変更した1986年には年々変動に顕著な遷移が見られると報告した。また、複数の発表者から、NCEPの再解析データには波数切断によると見られる波動状の誤差が特に高緯度地方で顕著であることが指摘された。

最後に、質疑応答の中で成層圏の研究者から、モデル上限の引き上げや鉛直解像度の向上など成層圏の再解析データの充実を求める意見が出された。このような要望は、各センターで計画されている次期再解析プロジェクトに反映されることが望まれる。

(松村崇行)

10. ポスターセッション

ポスターセッションは2日目から4日目までの3日間、口頭発表とは別の会場で行われた。テーマは分けられているわけではなく様々な分野のものがあつた。その中のいくつかを紹介する。

Bonekamp (オランダ気象研究所) らは波浪モデルをECMWFの再解析データの海上風を入力として動かしてみることににより、再解析データの海上風の品質調査を行っていた。その結果によれば、波浪モデルの計算結果による波浪の空間分布は観測とよくあっているが、高い波については、系統的に波高が低すぎるということがわかった。従って、強い風については再解析の風は少し(5%以内)弱いことが結論されるが、弱い風については結論は出せないとのことである。このようにいろいろな間接的なツールを使い多角的に再解析データの品質管理を行うことは重要なことであろう。なお、ECMWFでは次期の再解析ではこの波浪モデルも含めて再解析を行うとのことである。このことは大気と海洋の間の水(水蒸気)、熱、運動量フラックスの品質向上のためには重要なことであろう。このほか、再解析データの水蒸気(NASA/NSFCのChangら)や放射(NASA/NSFCのHoら)、降水量の分布の年々変動(General Sciences CorporationのYangら)の品質の調査のポスターが数多くあつた。

大野木(気象庁)は、データ同化システムにおける観測データの動的品質管理に関する発表を行った。これは大気の場の変動が激しい領域では予報誤差が大きいという非常に単純な仮定に基づいて、場の状態を考慮して品質管理のしきい値(基準値)を変動させる方法である。動的品質管理によって、モデルの改良に匹敵する大幅な予報精度の向上が得られることを紹介し、ECMWF等世界の数値予報センターの解析担当者に関心を引いていた。

ECMWFのBrankovicらは口頭発表のほかにポスターセッションでもECMWFの季節予報に関するものを発表していた。ECMWFでは力学的季節予報のために、再解析(もちろんこのためだけではないが)、観測された海面水温を与えた大気モデルの数値実験による予測可能性の調査、フラックスコレクションを行わない大気海洋結合モデルの開発と、極めてシステマティックに研究・開発を行っている。日本においても見習うべきことは多い。

(高野清治)

11. セッション9: データ同化の方法論と将来計画

ECMWFの15年再解析における第一推定値との比較統計から、1990年以降減少しつつあるラジオゾンデ・データや、逆に近年増加しつつある衛星風データの品質が、再解析期間中に持続的に向上していることが示された。また、観測システムの変更による解析値の品質の変動が意外に大きく、再解析の結果を気候変動の解析に使うには、観測システムの変更の影響を分離する必要性が指摘された。この点は、次の週に行われたCAS/JSC数値実験作業部会(WGNE)第13回会合でも強調されたことであり、NCEPの40年再解析値を初期値とする中期予報の成績にも、解析値の品質の変動の影響が明確に現れていた。これは予想されたことではあるが、気候変動の検出が目的の1つだったことからすると、やや残念な結果である。しかし、ルーチンの解析に比べれば品質はるかに均質だけでなく、再解析の過程で観測データの品質についての膨大なデータが蓄積されたことや、力学的季節予報のための初期値や検証用データが数十年の期間に渡って提供されたことなど、非常に大きな成果が得られたことは確かであろう。

ECMWFは、新たに1958年からの40年再解析に取り組み始めている。使用する大気モデルの解像度は、水平方向はT106かT159で、鉛直方向は40層である。現在ルーチンで使われている3次元変分法を用い、極軌道衛星NOAAの観測データについては、すべて放射強度データを直接同化する。オゾン濃度を大気モデルの予報変数に組み込み、衛星によるオゾンの観測データも同化する。また、海洋モデルへの利用を念頭に置いて、波浪モデルと結合させて海面フラックスを算出する。ECMWFにメイン・コンピュータを納入した富士通は、この40年再解析のために新たなコンピュータを無償で提供するそうである。今回の15年再解析と同じく、ヨーロッパ連合(EU)の強い支持を受けている。2001年に終了する予定で、話を聞いている限りでは、壮大な計画に思えた。それだけの組織と人材に恵まれているのであろう。直接話をしたJ. K. Gibsonの自信に満ちた口調が印象に残っている。なお、気象庁は、40年再解析のスタッフとして大野木氏をECMWFに1998年4月から2年間の予定で派遣している。

NCEPは、当初5年間間隔で再解析を繰り返す予定であったが、計画を変更し、4~5年待って4次元変分法が完成した後に再解析に取り組むことになった。ECMWFに対する対抗意識の現れだろうか。それ以前

の2002年までには、1946～1956年の全球再解析と、40 km 以下の水平解像度のモデルを用いて、北米地域の20年間の領域再解析を行う。分解能の細かい領域再解析は、アメリカ社会にとってより有益であろう。一方、NASA/GSFC は、彼らのデータ同化システム GEOS のバージョンを3に上げて、1999年から新たな再解析に取り組む。大きな特徴は、彼らが開発した変分法の一つである PSAS をデータ同化法として採用することと、70層モデルを用いて中間圏までを再解析の対象にすることであるが、水平分解能は $2^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ で粗い。

(露木 義)

12. パネルディスカッション再解析：教訓と勧告

最後に、今回の再解析を行った各センターの代表者と、資金を提供した米国科学財団 (NSF)、NOAA、NASA の代表者によるパネルディスカッションがもたれた。資金提供者は今回の結果に満足しているが、将来はNCEP と NASA/GSFC の再解析プロジェクトを統合したい意向のようだった。なお、再解析担当者の一人から、1970年代末の静止気象衛星「ひまわり」による衛星風の精度が良くないので、計算し直してほしいとの要望が出されたことをつけ加えておく。パネルディスカッションの後、希望者だけによる公開討論がもたれ、今回の再解析の問題点と意義の集約と、再解析を改善するための方策の検討が行われた。また、WGNE 第13回会合で、2年後に第2回目の国際会議を開催することが決まった。

今回の国際会議と WGNE 第13回会合への参加に際し、東京大学気候システム研究センター科学研究費補助金から旅費を補助していただきました。ここに記して感謝致します。

(露木 義)

略語一覧

AMIP : Atmospheric Model Intercomparison Project
 CAS : WMO Commission for Atmospheric Sciences
 ECMWF : European Centre for Medium-range Weather Forecasts
 ENSO : El Nino and Southern Oscillation
 FGGE : First GARP Global Experiment
 GEWEX : Global Energy and Water Cycle Experiment
 NASA : National Aeronautics and Space Administration
 NCAR : National Center for Atmospheric Research
 NCEP : National Centers for Environmental Prediction
 NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration
 SSM/I : Special Sensor Microwave Imager
 TAO : Tropical Atmosphere Ocean
 TOGA : Tropical-Ocean Global Atmosphere
 TRMM : Tropical Rainfall Measuring Mission
 QBO : Quasi-Biennial Oscillation
 JSC : WCRP Joint Steering Committee
 WCRP : World Climate Research Programme
 WGNE : Working Group on Numerical Experimentation

参考文献

- Bengtsson, L., and J. Shukula, 1988 : Integration of Space and In Situ Observations to Study Global Climate Change, Bull. Amer. Meteor. Soc., 69, 1130-1143.
 Gibson, J. K., P. Kallberg, S. Uppala, A. Nomura, A. Hernandez, and E. Serrano, 1997 : ERA Description. ECMWF Re-Analysis Project Report Series, 1, 72 pp.