

第3回 WCRP 再解析国際会議報告

大野木 和 敏^{*1}・釜 堀 弘 隆^{*2}・竹 内 綾 子^{*3}
海老田 綾 貴^{*4}・筒 井 純 一^{*5}・高 橋 清 利^{*6}

1. はじめに

2008年1月28日から2月1日にかけて、第3回 WCRP 再解析国際会議が東京大学生産技術研究所で開催された。この会議は、世界気候研究計画 (World Climate Research Programme: WCRP)、気象庁、財団法人電力中央研究所、東京大学の主催、地球観測に関する政府間パネル (Group on Earth Observations: GEO)、全球気候観測システム (Global Climate Observing System: GCOS) の後援によるもので、世界の21カ国から260名が参加した。「WCRP 再解析国際会議」は、これまで米国海洋大気庁 (National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA) において第1回 (1997年10月27日～31日) が、英国の欧州中期予報センター (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts: ECMWF) 近郊において第2回 (1999年8月23日～27日) が開催されている (大野木ほか 1998; 小出ほか 2000)。今回の会議は第2回以後、約8年半ぶりの開催となるものである。

気象庁は、財団法人電力中央研究所 (以下、電中研) と共同で、「JRA-25長期再解析プロジェクト」 (Japanese 25-year Reanalysis) を平成13 (2001) 年度から5年計画で実施し、2006年3月に計算を終了した。JRA-25 (Onogi *et al.* 2007) は1979年から2004年までの26年間を対象とする全球大気長期再解析で、

その成果は世界の気候業務・研究機関に対して広く公開されており、JRA-25データを利用した研究成果の公表や利活用の促進、さらに再解析技術の進展に貢献している。一方、海外のセンターからも新たな再解析データが公開されるなど、第2回会議以降、再解析データの利用は飛躍的に進んでいる。

このような背景を受け、「WCRP 観測と同化に関するパネル (WCRP Observation and Assimilation Panel: WOAP) 第1回会合」 (2005年6月) において、JRA-25が完成するのを機に、第3回目の再解析国際会議を日本で開催することが提案された。気象庁、電中研としても JRA-25の成果を国際社会に示しその利活用を進めるため、日本での再解析国際会議の開催が必要かつ効果的であると判断し、第3回会議を日本で開催することになった。本報告は、会議開催を事務局として担当した著者らによるものである。なお、長期再解析の意義とこれまでの経緯、既に実施された主要な全球大気再解析についての詳細は大野木 (2007)、大野木ほか (2008) を参照されたい。

2. 再解析国際会議の目的と実施体制

今回の会議の目的は次の3点である。

・再解析データの特性の評価

JRA-25をはじめとする再解析データの相互比較を通じて、それぞれの再解析データの特性を詳細に評価すること。

・再解析データの利用による気候情報の高度化

異常気象の診断、気候変動の監視、地球温暖化予測等への応用について意見交換し、気候情報高度化の促進を図ること。

・再解析技術開発に関する展望

高精度の再解析データ作成に必要な技術開発の方

^{*1} Kazutoshi ONOGI, 気象庁.

^{*2} Hirotaka KAMAHORI, 気象研究所.

^{*3} Ayako TAKEUCHI, 気象庁.

^{*4} Ayataka EBITA, 気象庁.

^{*5} Junichi TSUTSUI, 電力中央研究所.

^{*6} Kiyotoshi TAKAHASHI, 気象庁.

© 2008 日本気象学会

向性を議論して、展望をとりまとめること。

第2回会議から8年が経過し、再解析データはその有用性が認められ、第1回、第2回当時と比べて利用が劇的に進み、今や気候研究の標準的なデータとなっている。利用が進むにつれ、再解析データの特長や問題点が様々な側面から詳細に明らかになっている。再解析国際会議を開催することによって、これらの情報を共有することができる。

また、再解析データ利用上の問題として、利用者側に観測データの専門家が少ないことから、観測データの変動による再解析値の変化を誤って気候変化のシグナルととらえてしまうなど、誤った利用例も見られる。再解析データ作成者からは、その特長と問題点および利用上の注意点を明らかにし、利用者からは、研究側から見た再解析データへの要望を提示することによって相互理解が進み、結果として将来の再解析の改善につながることを期待される。これも本国際会議の目的のひとつである。

会議の開催にあたり、国際企画委員会 (International Programming Committee : IPC, 小池俊雄委員長) と国内実行委員会 (Local Organizing Committee : LOC, 大西晴夫委員長から小佐野慎悟委員長に引き継ぎ) を組織して準備にあたった。IPCでは、応募された演題の査読、採点、プログラム案作成の作業を行った。また、LOCでは会議費用の確保、調整および会場の確保、事務作業の調整を行った。

3. 会議の概要

3.1 口頭発表

本会議では、以下の5項目のセッションを設けた。第1回、第2回の再解析国際会議との相違として、今回は、海洋および地表面の再解析も対象としている。

- (1) 再解析データの紹介
 - (2) 再解析データの利用・応用
 - (3) 再解析データの特性・比較
 - (4) 再解析のためのデータ同化技術
 - (5) 将来の再解析 (パネルディスカッションを含む)
- このうち、(1)と(5)には半日、会議の重要項目とした(2)には1日半、(3)と(4)には1日を割り当てて口頭発表を行った。

開会式では、平木 哲気象庁長官、宮永洋一電中研環境科学研究所長、薬師寺泰蔵内閣府総合科学技術会議議員、Kevin Trenberth WCRP WOAP 議長からの挨拶を頂いた。

以下、各セッションの中の主な講演について紹介する。拡張要旨は、以下の WCRP のサイトから公開されている。

<http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/Workshops/Reanalysis2008/abstract.html>

(1) 再解析データの紹介

本セッションは、招待講演のみとし、既に再解析データを作成したセンターから、それぞれの再解析の紹介と将来の再解析に向けた計画等が紹介された。

最初に大野木 (気象庁) が、JRA-25の概要と特性、JRA-25から作成した気候図 (JRA-25アトラス) の紹介、気象庁の気候業務や研究への利用例について述べ、JRA-25が幅広い用途に利用されている点を強調した。あわせて観測データの変動による JRA-25の特性の変化について、利用上の注意点を示した。最後に次の50年再解析の計画を紹介した。

次に、Uppala (ECMWF) が、ECMWF のこれまでの再解析への取り組みと作成した再解析データについて、歴史を追う形で紹介した。衛星観測データの取り扱いの難しさ、その年代による変化の影響と、同化方法の改善の成果などが示された。ECMWF 40-year Reanalysis (ERA-40) の後半部分の20年を対象とする最新の再解析 ERA-Interim の進捗状況と将来計画も紹介された。

次に、Woollen (National Centers for Environmental Prediction : NCEP) が、NCEP のこれまでの再解析の成果と、開始したばかりの再解析 CFSRR について紹介した。CFSRR は NCEP の気候モデル Climate Forecast System (CFS) を使った、Reanalysis (再解析) と Reforecast (再予報) を行うプロジェクトである。

最後に Schubert (Global Modeling and Assimilation Office : GMAO/National Aeronautics and Space Administration : NASA) が、これまでの NASA の取り組みと、最新の再解析 Modern Era Retrospective-analysis for Research and Applications (MERRA) の進捗とその成果について報告した。MERRA の対象期間は1979年以降である。データ同化手法には3次元変分法が用いられており、特に衛星データの同化に重点的に取り組んでいる。従来の再解析に比べ、全球平均降水量が少なく、Global Precipitation Climatology Project (GPCP) など、観測に基づく降水量データに近いことが紹介された。

紹介された実験結果の比較対象に、JRA-25データが使われていた。

(2) 再解析データの利用・応用

Arkin (メリーランド大学) は、再解析データ全般の現状を概観した。再解析データは、気候研究には最も確からしいデータであり、気候のみならず様々な分野に応用できることを示した上で、今後品質改善が必要なのは地表面過程、成層圏、熱帯および極域であることを示すとともに、モデルバイアスの軽減、観測データの変動の影響の緩和、再解析データの不確実性の評価が重要であるとした。

Kanamitsu (スクリプス海洋研究所) は、NCEPの再解析データを用いた、10 km 領域モデルによる力学的ダウンスケーリング技術の開発について紹介した。NCEP が実施した北アメリカ領域再解析 (分解能約32 km) と比較しながら発表され、結論として、領域同化モデルによって領域再解析データを直接的に作るよりも、全球同化モデルによる既存の全球再解析データから力学的にダウンスケールしたほうが、精度も高く、かつ大幅に経済的であることが示された。芳村 (スクリプス海洋研究所) は、そのダウンスケーリングの手法について発表した。全球再解析データを地域気候解析に応用できることを示す好例である。

Trenberth (NCAR) は、地球システム全体にわたるエネルギーサイクルを各再解析データから求め、Earth Radiation Budget Experiment (ERBE) などの衛星観測との比較評価を行った。再解析データにより、大気-海洋-陸面間のエネルギー輸送の詳細が求まるようになったことを示した。ただし、長期トレンドや十年スケールの変動の再現性はまだ良くなく、再解析自身が発展途上であるとして、将来の再解析への期待を示した。

中澤 (気象研究所) は、JRA-25とERA-40を利用して、日本への台風上陸と6~10月の北西太平洋の平均循環場を長期間にわたり解析した結果を発表した。その結果、台風上陸モードとEl Nino Southern Oscillation (ENSO) モードの2つが卓越していることがわかった。解析に利用した対象期間は異なるが、2つの再解析データの特性は、良く一致していた。台風研究への再解析データ利用の好例である。

新保 (気象庁) は、JRA-25を用いて北半球ストームトラックの特性を調べ、気象庁季節予報モデルによるその変動予測可能性を検証した。JRA-25における

ストームトラックの季節変化特性がこれまでの研究結果と良く一致すると共に、季節予報モデルでもある程度の予測が可能であり、その予測精度を更に向上させるためには、モデル自身の改良と共にJRA-25に表現される現象の理解を進めることが重要であることを示した。

中村 (東京大学) は、再解析データを用いる事によって大循環場およびその変動の研究がいかに進んだかを、P-J パターン、亜熱帯高気圧の形成、導波管によるロスビー波の伝播などいくつかの例を用いて示した。同時に、モデルに依存した物理量を解析する際には、各再解析で用いられているモデルのバイアスのために結果に大きな差が生じる場合があり、注意が必要であることも示し、将来的な方向性として、大気海洋結合系およびアンサンブル手法を用いた、よりバイアスの小さい高精度の再解析データへの期待を示した。

また、海洋再解析についても、このセッションの中でまとめて取り上げ、大気との相互作用の面を中心に発表された。

蒲地 (気象研究所) は、気象研究所で開発された海洋データ同化システムの概要、およびこのシステムを用いた海洋再解析の結果と観測との比較を行った。この再解析において、北太平洋亜熱帯域の海洋中層から表層にかけて塩分濃度の低下トレンドが見いだされ、これが地球温暖化によるものであるとの結論を示した。

Stammer (ハンブルク大学) は、Climate Variability and Predictability (CLIVAR) /Global Synthesis and Observations Panel (GSOP) で行われている海洋再解析の結果を中心に紹介した。更に、ハンブルク大学で行われた50年間のアジョイント法を用いた全球再解析の結果から、海面高度、南北鉛直循環等の長期変動の結果を示した。また上記計画で行われている海洋再解析の比較実験結果、大気海洋結合同化についても紹介した。

高谷 (気象庁) は、JRA-25を用いて開発中の大気海洋結合モデルによる台風発生の季節予測可能性を検証した。熱帯低気圧周辺風を用いているJRA-25は熱帯低気圧 (Tropical Cyclone: TC) の表現が特に優れており、TC 発生のモデル実験の検証データとしても有効である。モデルにおいて、北西太平洋におけるTC 発生数はかなり良く予測されており、熱帯収束帯の活動度とTC 発生の間には密接な関係があることが示された。

沖（東京大学）は、アマゾン川やミシシッピ川などの大河川流域における陸水の季節変化を、モデル実験・再解析・衛星観測から求めた。その結果、アマゾン川流域では河川流量自身が季節変化に大きく寄与しているのに対して、ミシシッピ川流域では河川流量と土壌水分の寄与が同等であるなど、河川によって季節変化のメカニズムが大きく異なることを示すと同時に、このような地表面過程に関する研究が再解析データの利用によって可能になったことを示した。

(3) 再解析データの特性・比較

再解析のデータ特性に関する発表では、複数の再解析データを使用した比較、検証に関するものが多かった。JRA-25を公開して1年半の時点で開催した会議であり、ERA-40とJRA-25およびNCEP/NCAR R1、NCEP/DOE R2（以下、両者を「NCEPの再解析」と総称）（National Center for Atmospheric Research：NCAR, Department of Energy：DOE）を比較した発表が目立った。それぞれの発表者の専門分野からの多くの視点から比較されたJRA-25の性能は、ERA-40とほぼ互角、NCEPの再解析より優れているという印象だった。

筒井（電力中央研究所）は、JRA-25の月平均気温の重回帰分析から、気温変動の特徴的な空間構造を見出し、その結果を他の再解析と比較した。会議声明（付録）に記載されたように、10年以上の気候変動については、現在の再解析の品質は不十分である。この研究は、climate qualityの向上を目指す今後の再解析に向けた基礎情報としても有用である。

安成（名古屋大学）は、梅雨期の揚子江から淮河にかけての地域における対流活動の変動を衛星観測および再解析により調べた。その結果、この地域の対流活動変動に二つのパターンがあることを見だし、これがアジアジェットの基本場の差異によるものであることを示した。

谷田貝（総合地球環境学研究所）は、東アジア域の降水量観測データセットを用いてGAME（Global Energy and Water Cycle Experiment（GEWEX）Asia Monsoon Experiment）再解析およびJRA-25の降水量の比較検証を行った。JRA-25の降水量はアジアモンスーンの時空間構造を良く再現しているが、その絶対値は観測に較べてやや多すぎ、またヒマラヤに沿った降水も観測より南に位置していることなどを指摘した。

Wang（NCAR）は、ERA-40、JRA-25、NCEP/NCAR R1のいずれの再解析でも同化されていないGlobal Positioning System（GPS）の可降水量データを用いた再解析の精度検証について発表した。検証領域は陸上に限られるが、JRA-25、NCEP/NCAR R1では陸上の可降水量がやや少なめであることが示された。現業機関が実施する再解析では利用可能なデータが最大限同化されるため、独立したデータによる全球的な検証は難しくなる。本発表は、GPS可降水量という同化に利用されていない独立したデータを用いた評価の有効性を示す好例であるといえる。

杉（気象研究所）は、JRA-25における熱帯低気圧の発生過程を詳細に調べた。その結果、熱帯低気圧周辺風の入力前後で熱帯低気圧強度に大きなギャップは見られず、JRA-25が熱帯低気圧の連続的な発達を良く再現していることを示した。更に、境界層内での絶対渦度の収束およびその鉛直移流が、その発達に本質的な役割を果たしていることを示した。

岩崎（東北大学）は、各再解析データにおけるブリュワー・ドブソン循環の比較解析結果を発表した。各再解析で循環の大きさが大きく異なると同時に、トレンドも一致していないことが示された。循環場を正しく表現するために、再解析で使用される予報モデルの放射過程や重力波抵抗スキームなどをさらに改良すべきことが示された。

小林（気象庁）は、成層圏オゾン量の季節変動と熱フラックスとの関係を調べ、JRA-25における成層圏下部の渦熱フラックスと北極域のオゾン量とが良好な相関を持つことを見いだした。同様な結果は他の再解析データを用いても得られ、結果の確かさを示した。

眞木（気象庁）は、JRA-25の境界条件として用いられた3次元日別オゾンデータの作成概要について発表した。このオゾンデータは、衛星観測によるオゾン全量を外力とした化学輸送モデルにより作成されたものである。将来的にはオゾン量を境界条件として与えるのではなく、オゾン量もまたデータ同化の対象とする、大気-化学結合再解析が必要となるであろう。

いずれの研究も、再解析データにより気象学が大きく発展したことを示すものであるが、同時に更なる未解明分野の発展のために、更に高精度な再解析データを必要としていることが分かる。また、現在の再解析データは、それぞれに特性が異なるため、複数の再解析データを利用・比較してその信頼性を確認しながら研究を進める必要があると感じた。

(4) 再解析のためのデータ同化技術

過去の観測データの変化による再解析値への影響は、再解析を実施する上で最大の問題になっている。この問題を軽減、克服するための研究成果がいくつか発表された。

観測データのバイアス補正の技術開発として、Haimberger（ウィーン大学）は、ERA-40を利用したゾンデバイアス補正について発表した。再解析データを利用することにより、測器の変更の影響が特定しやすく、その補正が効果的にできることを示した。また、補正は気温だけでなく、風についてもできることを示した。

Dee（ECMWF）は、極軌道衛星のサウンダデータのバイアス補正手法として、変分法バイアス補正について報告した。再解析はその期間が非常に長期に及ぶため、その間に利用される衛星は幾度もの変更が行なわれる。ERA-Interimで変分法バイアス補正を適用した結果、ERA-40に見られた衛星の切り替え時の変化が大幅に軽減されることを示した。

小池（東京大学）は、マイクロ波放射計データを使用した大気陸面結合同化により、積雪と土壌水分等を解析する研究について報告した。再解析データの陸面要素には精度の上で未解決の問題が多く残されており、衛星データを利用した技術開発には大きな期待がかかっている。

古林（ECMWF）は、ERA-Interimへのサウンダデータの同化手法を開発する中で、現在広く使われている高速版放射伝達モデルRTTOV（Radiative Transfer model for TOVS（TIROS Operational Vertical Sounder））に存在するゼーマン効果の取り扱いの不備を発見し、その対処方法について発表した。彼の功績は、RTTOVの改善とともに、今後の再解析における放射輝度温度データの同化の改善に大きく貢献すると思われ、ECMWF、気象庁、米国機関など、再解析コミュニティ全体から賞賛されている。

データ同化手法としては、アンサンブルカルマンフィルター（Ensemble Kalman Filter：EnKF）に関する発表が多かった。EnKFによるデータ同化では、観測データの変動時にモデルの背景誤差を自動的に調整できるという点で、過去の長期再解析に適した同化手法として注目されている。

Kalnay（メリーランド大学）は、EnKFでは新しい観測に対応した背景誤差共分散が数日程度で自動的

に調整でき、再解析に適していることを示した。また、再解析の問題点として、モデルの系統誤差が観測データの変化時における再解析値の急変化の原因になっていることを示した。さらに、計算コストのかかるデータ同化手法（4次元変分法など）において、解析格子を間引いても解析精度を落とさない weighting interpolation の方法を紹介した。

三好（気象庁）は、気象庁における局所アンサンブル変換カルマンフィルター（Local Ensemble Transform Kalman Filter：LETKF）の開発について発表した。4次元変分法に比べて優れている点の紹介や、台風予報について、LETKFによる結果が4次元変分法による現業システムの予報より優れていた例を示した。また、現時点でのLETKFの問題点と今後の計画について紹介した。

Rayner（UKMO）は、再解析に必要な過去の海面水温、海水データの整備について報告した。衛星データのない年代のこれらのデータ整備に関わる不確定性の問題を指摘した。

(5) 将来の再解析

Compo（コロラド州立大学/NOAA）は地上気圧のみを用いた20世紀再解析の発表を行なった。ゾンデ観測が開始されてまだ50年程度であるため、大気鉛直構造を精密に再現できる再解析は50年間程度が限界であるが、気候変動をより良く理解するには、より長期間の再解析値が必要である事は言うまでもなく、極めて野心的な取り組みである。発表によれば、NCEP 全球モデルの72時間予報と同程度の解析精度が得られるとのことである。

Kistler（NOAA/NCEP）は大気海洋結合再解析CFSRRの発表を行なった。CFSRRは、大気と海洋を間欠的に結合させる同化だが、完全な大気海洋結合再解析に向けた取り組みであり、多くのスタッフを割り当てて実施されている。

最後に Voss（National Climate Data Center：NCDC）が、再解析のための過去データの整備の必要性について講演した。彼は、GCOSの「再解析のためのデータ整備作業部会（Working Group on Observational Datasets for Reanalysis：WG-ODR）」の議長を務めている。再解析用の過去観測データとして、共通のデータベースが構築できれば、再解析実施が格段に効率的に行えると考えられる。

3.2 ポスターセッション

ポスター発表は、第2日～第4日の3日間実施された。ポスターは1日交代で、1日あたり最大29件、合計73件の発表が行われた。午前と午後にそれぞれ1時間のポスターセッションの時間を設け、1時間半の昼休みとあわせて、説明、質疑の時間を十分に取れるように配慮した。ポスターセッションは、口頭発表の会場であるホールから出たホワイエで行なった。

午前と午後のセッションの時間帯は同時にコーヒープレイクでもあったため、くつろぎながらも活発な議論がなされ、盛況であった。Trenberth 博士や Kalnay 博士など著名な研究者がほとんど全てのポスターに目を通し、何か必ずコメントしているように見えたのが印象深かった。

日本からは、気象庁気候情報課から8名、気象研究所から9名のポスター発表があったのをはじめ、国立環境研究所、海洋研究開発機構 (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology: JAMSTEC)、様々な大学などから多くの研究成果が発表された。

日本からのポスター発表で多かったのは、全体の傾向と同じく再解析データそのものの評価であった。気温、降水量、大気循環、水循環、土壌水分量、放射量、加熱量、エネルギー収支など、様々な要素についての評価や検証の結果が発表された。上記のような、再解析データから比較的取り出しやすい要素だけでなく、JRA-25における熱帯低気圧の再現性がいかに良いかという内容の発表もあった (初鹿、富山県環境科学センター)。

次に多かったのは、再解析データを、地域気候モデルなどの初期・境界条件として与えた結果の発表であった。地域気候モデルについては、村崎 (気象研究所) が日本付近を対象に、高橋 (JAMSTEC) は東南アジアを対象に、再解析データを与えてダウンスケーリングを行ない、観測データとの比較をしている。山中 (気象研究所) は、海洋大循環モデルに再解析データを与えてインド洋の領域の海面水温、降水量、放射量などを計算させ、再現性を論じた。曾我 (気象庁) は、JCDAS (JMA CDAS: JRA-25を引き継いでリアルタイムに運用されている気象庁の気候データ同化システム) データを大気データとして与える海洋データ同化システムについて紹介した。このシステムは2008年3月から現業運用されている。

また、再解析データを用いた詳細な解析も多く見ら

れた。原田 (気象庁) が2006年7月の日本の豪雨について、長谷川 (気象庁) が2006/2007年の暖冬について、氏家 (気象庁) が2005/2006年の寒冬と2006/2007年の暖冬について発表したほか、横井 (東京大学) が1999年11月のベトナムの大雨について、高橋 (JAMSTEC) が2006年12月のマレーシアの大雨について報告した。

そのほか、現業季節予報モデルの評価は、WMO 長期予報標準検証システムにより地上2m気温の検証を英国の Climatic Research Unit (CRU) (観測値による気温データセット) または ERA-40 のデータを用いて行うように求められているが、成瀬 (気象庁) は JRA-25 を用いても両者と同程度の精度の検証結果が得られることを紹介した。安中 (東京大学) は、再解析作成にも用いられている長期間の海洋データの相互比較を行なった結果を発表した。ほかに、化学輸送モデルへのデータ同化や海洋データ同化について、大気-海洋の結合についても Xue (NCEP) による NCEP における開発状況の報告などがあり、再解析データが様々な技術の集大成であること、さらに利用や応用も多くの方面にわたることが良く示されていると感じた。

なお、連絡のないままキャンセルとなったポスター発表が1日あたり数件あったが、ウガンダ、ナイジェリア、パキスタン、ラオスなど、途上国の発表者が多かった。今回の会議では、途上国の発表者の一部を対象に WCRP 等から旅費が援助されたが、結局来日を断念された方々がいたのは残念だった。

途上国からの発表は、再解析データによる統計的な調査、その季節予報への利用、自国のデータなどと複数の再解析データとの比較、といった話題が多かった。少数ではあるが、再解析データを境界条件とした領域モデルの結果の紹介もあった。途上国からのデータ同化やモデル開発に関する発表が極めて少ないことはやむを得ないが、今後は自国の極端な現象の詳細な解析などに、再解析データが利用されることを期待したい。

3.3 パネルディスカッション

会議の最終日には、パネルディスカッションと会議声明の採択が行われた。パネルディスカッションの議長は、Michael Manton 博士 (オーストラリア Monash 大学) に依頼し、気候解析の分野から Kevin Trenberth 博士 (NCAR)、再解析実施機関を代表

し、また、大気組成物質同化の分野から Adrian Simmons 博士 (ECMWF), モンスーン研究分野から安成哲三博士 (名古屋大学), 海洋分野から Detlef Stammer 博士 (ハンブルク大学) にパネリストを依頼した (第1図)。議長 Manton 博士は, GCOS の気候のための大気観測パネル (Atmospheric Observation Panel for Climate: AOPC) 議長を10年間務められた方であり, 個々の再解析プロジェクトには直接関わってはいないが, 観測データの気候への利用や再解析の重要性を熟知されている。



第1図 パネルディスカッションのパネリスト。左から Manton, Stammer, 安成, Simmons, Trenberth の各氏。

(1) パネルディスカッションの要点

再解析の今後の方向性としては, 1) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) への貢献など気候変動問題への活用, 2) 再解析実施機関相互の連携強化による不確実性の低減, 3) 水循環分野での活用, が強調された。そのため, a) 不確実性を低減するためのデータ同化技術の開発, b) 時間・空間的により高分解能なデータの提供, c) 各種観測の長期継続と質的・量的な改善 (過去データのデジタル化), d) 温室効果ガスや大気組成成分の考慮が必要との意見が出された。

(2) パネリストの冒頭発言

K. Trenberth (米国 NCAR)

観測データの変動の影響を軽減するため, バイアス補正と, そのための観測システム実験による精度向上が重要であり, そのためには, 再解析実施機関相互の連携が重要である。その結果, 「再解析は今後もっと良くなる」というメッセージを資金拠出機関に働きかけることができる。

A. Simmons (英国 ECMWF)

今後ますます, 気候コミュニティが再解析の重要なユーザーとなり, 再解析データの価値は高まる。さ

らに, 現在の再解析では精密には考慮されていない温室効果ガスやエアロゾルなど大気組成物質のトレンドがわかれば気候変化の放射強制力の評価に使えるようになり, 再解析データの不確実性の軽減につながる。

安成哲三 (日本 名古屋大学)

領域気候解析, モンスーン研究の立場からは, 水蒸気フラックスや降水分布の特徴が再解析データによって大きく異なることが問題であり, 今後の再解析での改善を切に望む。降水や湿度の解析向上のため, 空間的・時間的な分解能の向上と, 発散場の正確な解析が課題。衛星データの有効利用も望む。

D. Stammer (ドイツ ハンブルク大学)

今会議に海洋分野を含めて頂いたことに感謝する。海洋データの視点からは, 入力データの不確実性がどのように結果の不確実性につながるかの評価が必要。海洋再解析分野では, Argo フロート, 衛星など解析システムの維持が特に重要。Argo フロートでは, 水深2000 m から海面までの間の水温・塩分の値を 約10日間毎に観測することができる。

(3) 議論

以下, ・印は発言, →はそれに対する意見である。

主なやりとりを紹介する。

a) データ同化手法

- 再解析を引き継いでリアルタイムに運用されている気候データ同化システム (Climate Data Assimilation System: CDAS) (NCEP と気象庁が実施) について、長期間の均質データをリアルタイムに利用することを目的に実施されているが、衛星データが変わる (例えば TOVS → ATOVS (Advanced TOVS)) と、解析データの品質が変わってしまうので、その品質維持が困難になる問題が指摘された。また、現業システムに比べて CDAS の維持に当たるスタッフが極端に少ない点も指摘された。

→各再解析センターがチームを作って取り組むべき重要な問題。新旧のデータで並行して解析を行い、バイアス除去に努めるべき。今後、新しい衛星データが多くなるので、対応は急務。

- 将来のデータ同化のデザインとして、大気海洋結合同化の開発が必要。

→NCEP では、完全な結合ではないが、CFSRR の再解析で大気海洋結合を考慮している。ECMWF でも今後開発を重点化する方向。

- 大気海洋結合再解析では、大気と海洋で異なる時間スケールをどう扱うかの戦略が必要。

→海洋コミュニティでは、長期的なトレンドが中心だが、大気海洋結合モデル・同化システムでは、両者を考慮する必要がある。

- 地域気候をターゲットとした高解像度の再解析 (領域再解析) をどうするか。

→力学的ダウンスケーリングと雲解像モデルを用いたデータ同化の方向がある。後者には相当な資源が必要。ダウンスケーリングは大きな資源を必要とせず経済的で、かつかなりの精度が出せ、地域気候解析の有力な方法である。

- 再解析に適したデータ同化手法として、観測データの変動に適応しやすいアンサンブルカルマンフィルタが有望。

→未解決の問題を克服し、現業での実績が積まれることが望まれる。

- 陸面と氷雪のデータ同化が大きな課題である。観測データが非常に少なく、現状は大気からの強制力や陸面過程のパラメータに依存して大きな不確実性がある。

b) プロダクトの評価

- ①相互比較プロジェクト、②レファレンスサイトに

おける現場観測との比較、③研究者がデータを利用しやすい環境作り、の三点が重要。

→相互比較は有益だが、大規模に行うのは人的・資金的にも大変。当面は非公式な相互比較で不確実性の低減を目指すべき。

- 再解析の気候問題への利用は国際協力のテーマとして重要。

- 海面水温解析値の精度に問題がある。不確実性は低減しているが依然として問題点。

c) 入力データ

- 現在運用されている観測システムが維持されることを当然視できない。海洋では Argo システムの継続性は不明。

- 静止衛星による大気移動風 (Atmospheric Motion Vector: AMV) の再処理は、日本 (気象衛星センター) と欧州 (欧州気象衛星開発機構) で進んでいる。

→全球規模で再処理大気移動風を使用するには、米国の GOES 衛星の再処理が必要。

- 2000年以降衛星観測が急増しているが、一方で再解析用の過去の観測データの整備が進んでいない。

→観測データのデジタル化を進め、データベースに取り入れることが重要。

d) プロダクトのあり方

- 水資源の立場からは、オリジナルの分解能の格子点データ (Grid Point Value: GPV) やさらにアップリケーション志向のデータが必要。

- 再解析データの不確実性低減のための技術開発が必要。

e) 将来戦略

- 人材の育成が重要。次世代の再解析を担う人を教育するシステムが必要。

3.4 会議声明

会議の声明 (statement) は、あらかじめ IPC で作成し、会議初日に参加者に原案が配布され、意見を求めた。出された意見を踏まえた修正案を、パネルディスカッション時に採択した。声明の和訳 (事務局作成) は、付録に掲載した。原文は、http://wcrp.wmo.int/documents/wcrp3_rac_statement.pdf を参照されたい。

4. 会議を振り返って

4.1 国際企画委員会, 国内実行委員会

このような大規模な国際会議の開催には、国際的な意見調整、実施に向けた各段階での周到な準備計画と作業が必要であった。これらの準備には、国際、国内の両委員会の役割は大きかった。第1表に両委員会の委員を示す。国内実行委員会では、250名以上の研究者が参加できる会場の確保や、準備作業の分担調整、

プログラム編成に関する貴重な助言を頂いた。また、国際企画委員には、プログラム案の作成、申し込まれた講演の査読・採点などの負担の大きな作業を依頼する必要があった。国際企画委員は、世界的に著名な研究者の方々に快く引き受けて頂き、負担のかかる作業も超多忙なスケジュールのなか、遅滞なく処理して頂いた。これも、今会議に期待する委員の熱意の現れと考えられる。

第1表 国際企画委員会, 国内実行委員会の委員名簿 (敬称略)。

国際企画委員会 (International Programming Committee)

	氏名	国	所属
委員長	小池 俊雄	Japan	University of Tokyo (WCRP/WOAP 委員)
	安成 哲三	Japan	Nagoya University (WCRP/JSC 委員)
	杉 正人	Japan	Meteorological Research Institute
	露木 義	Japan	Japan Meteorological Agency
	Phillip Arkin	USA	Maryland University (前 GCOS/AOPC 委員)
	Michael Fiorino	USA	National Hurricane Center
	Eugenia Kalnay	USA	Maryland University
	Masao Kanamitsu	USA	Scripps Institute of Oceanography
	Andrew Lorenc	UK	UK Met Office (CAS/WCRP/WGNE 委員)
	Michael Manton	Australia	Monash University (WCRP/WOAP 委員, 前 GCOS/AOPC 議長)
	Siegfried Schubert	USA	NASA GMAO
	Adrian Simmons	UK	ECMWF (GCOS/AOPC 議長, WCRP/WOAP 委員)
	Detlef Stammer	Germany	Hamburg University (WCRP/WOAP 委員)
	Kevin Trenberth	USA	NCAR (WCRP/WOAP 議長)
	Glenn White	USA	NCEP
	Glenn White	USA	NCEP
WCRP 事務局	Venkataramaiah Satyan	Switzerland	WCRP
GCOS 事務局	Gilles Sommeria	Switzerland	GCOS (2006.8までは WCRP 事務局)
	Hans Teunissen	Switzerland	GCOS (2007.6まで)
GEO 事務局	Alexia Massacand	Switzerland	GEO

国内実行委員会 (Local Organizing Committee)

	氏名	所属
委員長	小佐野 慎悟	気象庁 地球環境・海洋部長 (2007.3までは大西晴夫)
副委員長	宮永 洋一	電力中央研究所 環境科学研究所長 (2007.3までは角湯正剛)
	栗原 弘一	気象庁 気候情報課長 (現新潟地方気象台長)
	丸山 康樹	電力中央研究所 環境科学研究所 首席研究員
	鬼頭 昭雄	気象研究所 気候研究部長 (2007.3までは野田彰)
	岩崎 俊樹	東北大学大学院理学研究科 教授
	沖 大幹	東京大学生産技術研究所 教授
	木本 昌秀	東京大学気候システムセンター 教授
	小池 俊雄	東京大学大学院工学系研究科 教授
	中村 尚	東京大学大学院理学系研究科 准教授
	花輪 公雄	東北大学大学院理学研究科 教授
	安成 哲三	名古屋大学地球水循環研究センター 教授

4.2 所感

会議には、260名もの多数の研究者が参加し、しかも世界中の気候分野、データ同化の著名な研究者が一堂に会するまたとない機会となった。日本の若い研究者にとっても、自らの発表に関して著名な研究者と議論する機会を得たことは、今後の調査・研究を進める上で非常に良い刺激になったものと思われる。また、再解析データの作成者側と利用者側との意見交換を通して、相互の理解が格段に深まったものと確信する。

会議全体として、JRA-25, ERA-40, NCEP の再解析の比較をした発表が目立って多かった。JRA-25 を研究者向けに公開して約1年半が経つが、その間に世界中の研究者に広く利用されるようになったことが分かった。JRA-25データは極めて多方面から利用されており、データ作成者としてその特性を知る上で大きな収穫があった。再解析データは多くの幅広い分野の研究者に利用してもらうことで、細かな長所・短所が明らかになり、今後のモデル開発、再解析実施に有益な情報が得られる。再解析データの研究利用に対しては、データをより利用しやすい環境の整備を進めることが重要であることを感じた。

大気海洋結合モデルの更なる精度向上には、大気と海洋との整合の取れた再解析値を用いたハインドキャスト（再予報）が必要であるという事が背景にあるが、今後の再解析は、これまでの大気のみを対象とするのではなく、海洋と大気の相互作用を重視する必要がある。この意味で、今回、海洋再解析も対象に加えたことによる収穫があった。再解析をめぐる世界の動きは極めて速く、ECMWF, NCEP, NASA は新たな再解析を開始している。日本も、この流れに遅れることなく、気象庁を中心として技術開発を進めていく必要性を強く感じた。

再解析データは、データ同化、数値予報技術の集大成ともいえるプロダクトであり、その利用価値は極めて高い。会議を通じて、その有用性と広範囲にわたる応用の可能性をあらためて認識することができた。今後、再解析データのさらなる利用を進め、気候問題等への対処に利用できる科学的信頼性の高い標準的なデータとして、社会的価値を高めていく必要がある。

謝 辞

本会議の開催に当たっては、会議を最初に提案したWCRPをはじめ、GCOS, GEO から資金援助がなされた。これらの援助は途上国からの参加者の旅費補助

に充てられ、21か国からの参加を得ることに大きく貢献した。また、米国のNOAA, NASA, National Science Foundation (NSF) の3機関からは、米国の研究者のための多額の旅費を拠出して頂き、結果として米国から38名の多くの参加を得ることができた。会議の開催費用については、気象庁総務部経理管理官室および地球環境・海洋部地球環境業務課、ならびに財団法人電力中央研究所の多大な尽力により確保され、また、東京大学からは会議場として生産技術研究所のコンベンションホール等の会議施設を提供頂いた。これらの機関、担当者の皆様に深く感謝したい。事務局を担った者として、会議が期待していた以上の成功を収めたことは、望外の喜びである。

最後に、会議の準備作業ならびに会議期間中の作業要員を務めて頂いた気象庁地球環境・海洋部の気候情報課、地球環境業務課、総務部の国際室、財団法人電力中央研究所、東京大学小池俊雄研究室、沖・鼎研究室の皆様、会議開催にあたり助言を頂いた多くの方々に厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 小出 寛, 大野木和敏, 安成哲三, 増田耕一, 大淵 済, R. クリシュナン, 谷田貝亜紀代, 金丸秀樹, 2000: 第2回再解析国際会議参加報告. 天気, **47**, 267-276.
- 大野木和敏, 2007: 長期再解析 JRA-25. 天気, **54**, 773-776.
- 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, 谷田貝亜紀代, 1998: 再解析に関する WCRP 第1回国際会議の報告. 天気, **45**, 475-482.
- Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira, 2007: The JRA-25 Reanalysis. J. Meteor. Soc. Japan, **85**, 369-432.
- 大野木和敏, 筒井純一, 小出 寛, 坂本雅巳, 古林慎哉, 初鹿宏壮, 松本隆則, 山崎信雄, 釜堀弘隆, 高橋清利, 門倉真二, 和田浩治, 加藤浩司, 小山 亮, 尾瀬智昭, 萬納寺信崇, 平 隆介, 大河原 望, 2008: 長期再解析 JRA-25. 気象研究ノート, (217), 163-205.

付 録 会議声明 (和訳)

【前文】

我々は、この第3回 WCRP 再解析国際会議の公式声明が、様々な会議で引用され、再解析の利用価値を広く認識させ、特に観測データ収集からデータ同化に至るあらゆる再解析の活動が強力に支援されるために使われることを望む。本声明は、再解析とその応用利用を促進するため、例えば2009年後半に開催予定の第3回世界気候会議 (Third World Climate Conference: WCC-3) で引用されることが望まれる。また、WCRP の合同科学委員会 (Joint Science Committee: JSC) や GCOS の運営委員会 (Steering Committee) にも引用され、さらに、米国地球物理学連合 (American Geophysical Union) の Eos のような学術交流誌での会議報告にも使われるだろう。

第3回 WCRP 再解析国際会議 会議声明 (Conference Statement)

【主文】

大気再解析は、過去の気候変動の解析を大きく改善してきた。将来、大気組成要素、海洋、陸面、海水までを網羅した再解析の改善により、再解析データは気候変化の学習、研究、応用により幅広く利用されることが確実である。

【本文】

2008年1月28日から2月1日まで東京で開催された第3回 WCRP 再解析国際会議は、再解析データの進歩と研究成果を発表し、将来の展望と開発について議論する第3回目となる国際会議である。

(再解析の現状)

最新のデータ同化モデルを一貫して使用した大気観測の再解析は、過去の観測結果からより均質な気候データを作成し、多くの研究で利用しやすくすることにおいて、非常に役立っている。実際、最初に再解析が提案されてから20年、過去の気候を高精度かつ時間的に均質に再現する能力は飛躍的に向上した。世界気候研究計画 (WCRP) と全球気候観測システム (GCOS) は再解析が必要とする観測と研究開発を支援する活動を主導している。現在進められている海洋、陸面、海水の解析と再解析によって、過

去の気候観測記録はより完全なものとなり、知識の向上をもたらす可能性を大いに秘めている。

(観測データの課題)

気候のための観測データは、天気予報や海洋研究など、元来は他の目的のために観測されたデータから構成されている。今や、地球全体の気候は、大気、海洋、氷雪圏を含む陸面での観測が、気候解析に利用可能な品質 (climate-quality) をもつと保証することによってのみ、理解できると認識されている。しかし、これまでの調査によれば、気候の観測記録は、データの持つ系統誤差 (バイアス) によって実際の長期間の変動が隠されてしまうことが判明している。また、多くの気候データセットは、十年単位の変動をみるには期間が短すぎたり、現業的なシステム変更の影響を受けていたり、観測データの品質に関する正確な履歴情報がないなどの理由により、不均質なものが現状である。したがって、観測データを気候の目的に利用するために、データを均質化するための多大な努力が求められている。

(GCOS の活動)

GCOS は、GCOS 気候監視原則 (GCOS Climate Monitoring Principles: GCMP) を設定した。これは、均質な気候データ作成に貢献したいと考えるすべての機関が従うべき原則である。2004年に策定された GCOS 実施計画では、全球の大気・海洋・陸面をカバーするために、現地観測と衛星観測が重要であるとされている。地球観測衛星委員会 (Committee on Earth Observation Satellites: CEOS) が、GCOS 実施計画に対応する準備をしていることは歓迎すべきことで、その中で CEOS は、将来、気候に使える品質の観測データを保証するための、気候観測に関連した衛星計画を提案することを示している。地球観測に関する政府間会合 (GEO) の計画でカバーされる多くの領域の観測を最適に利用するには、全球データ同化が不可欠のツールである。実際、これらの観測データの改良とともに、気候の再解析は GEO の作業計画のタスクになっている。さらに、GCOS 実施計画では、最新のデータ同化システムを用いた再解析への強力な支援を含めて、将来の気候データを改良するための行動が必要であることを述べている。しかしながら、計画の実施は、望まれたほどには進んでいないのが現状である。

(再解析に必要な資源)

気候システムの全球再解析を実施するには、基礎

的な観測データベースを構築・強化し、計算を実行し、プロダクトの品質を確保するため出力結果を解析して、プロダクトの保存と配布をする作業が必要で、それにはかなり多くの実施基盤と有能な要員が必要であるが、その多くは現業全球数値予報システムの構築・開発のために使われているのが実際である。気候と天候予測の研究と応用は、大気と海洋の再解析データから多くの恩恵を受けている。そのため、再解析に対するスポンサーからの支援は非常に賞賛されている。

(再解析データの利用)

全球再解析のプロダクトは、現在気候の正確な解析 (climate nowcast)、天気システム、モンスーン・エルニーニョと南方振動や他の自然の気候変動、季節予報、および気候の予測可能性といった興味ある事象についての診断的研究など、様々な分野の研究を進展させるための基礎データを提供している。さらに、データ同化と予報システムは、再解析と現業の天気予報・気候予報に利用されることにより問題点が明らかにされ改良されている。全球再解析は、領域再解析や領域へのダウンスケーリングの基盤にもなり、地域的な気候や気候影響の研究を支援するための詳細な気候値を作成できる。長期間の気候変化傾向や変動状況の特定や要因分析といった難しい問題も調査が進んでいる。大気と海洋の再解析は、追加的に復元されたものを含む観測データの問題点の特定と修正にも役立っている。

(大気微量成分の考慮)

大気微量成分は、寿命の短いエアロゾル (微粒子) やオゾン、寿命の長い二酸化炭素やメタン、そのどちらも気候の熱力学と力学に影響を及ぼす。微量成分を同化する技術は洗練・拡張されつづけており、いずれは再解析が、炭素循環を含む大気化学成分の均質な気候データを作成するための有効な手段になることが期待される。その結果、例えば IPCC 第4次報告書で指摘されたような、気候の放射強制力の不確定性を解明することに貢献できるだろう。

(大気以外の再解析と将来の結合再解析)

再解析は、元々は大気の気候と天気を対象にしたものだが、海洋データの再解析 (もしくは統合) に関する研究も大きく進んでいる。過去の海洋観測データは限定されているため、海洋再解析データの均質性を高めるためにはこれまでにない技術開発が必要とされてきた。他にも、海水、北極域、陸面の

再解析において、将来有望な発展がみられる。大気海洋結合同化システムの開発も始まっており、これは、将来の大気海洋結合再解析の基礎となるものであり、エネルギーと水循環をさらに精密に再解析で再現することが期待される。再解析データにおける不確定性の推定を改善することも努力目標である。

(データ同化技術開発)

全球大気再解析は、短期間もしくは総観規模の大気の変動を高い精度で表現しているが、長期間の (特に十年単位の) 変動の把握は現状の再解析の性能では不十分である。この主な原因は、基礎的な観測データセットの品質や均質性が不十分なのと、再解析に使用されるデータ同化システムの性能が不十分なためである。しかしながら、バイアス補正や最新のデータ同化技術の開発により改善が期待される。今後、さらなる新たな再解析の実施が必要である。

(再解析のための国際協力)

再解析の改良は、戦略的な研究、再解析の対象分野を拡張するために必要な包括的な地球システムモデルの開発、および観測データ処理の基盤整備のために必要な継続的な支援に依存する。全球の再解析に必要とされる資源は膨大であり、そのすべてのプロセスを満たすことができると期待されるのは少数の専門的な再解析実施センターだけである。さらに、全球再解析に関係する広範囲のコミュニティとともに、再解析実施センター相互の密接な協力を継続する必要がある。これによって世界的な利益が最大限に得られるとともに、新しい再解析は従前の再解析から得られた知見を学び活用することが保証される。とりわけ、将来の再解析は相互に協力すべきであり、また、それぞれの再解析を開始する前に、その直前に実施された他の再解析の結果を解析し、得られた知見により観測データセットを改良し、それを反映させられる時間を確保できるよう、可能なかぎり実施時期を調整することが望ましい。再解析実施センターとスポンサーは、ユーザーのニーズに常に敏感であることも望まれる。

(再解析の今後)

再解析は、20年前に提案されたときに想定されていたように、気候監視、気候の研究と応用にたいへん有益であることが実証された。しかしながら、全球再解析の対象分野が広がるにつれて、その成果を最適化するために必要とされる研究努力は非常に大きく、国際協力が不可欠となっている。今後も困難

な課題が残されており、さらなる再解析に向けて、過去の観測測器の記録までを含むあらゆる分野で必

要とされる努力、並びに全体としての気候システム研究を支えるスポンサーの継続的支援を強く求める。

第6回天気予報研究会の開催のお知らせ

第6回天気予報研究会を下記要領で開催します。入場は無料です。なお、講演要旨については気象学会の天気予報研究連絡会のホームページに掲載しています。

日 時：2009年1月30日（金）13時30分～17時30分

場 所：気象庁講堂（気象庁2階）

（「天気」55巻7号618頁でご案内しました開催予定場所は、気象庁講堂に変更されましたのでご注意ください）

発表題目（発表順）：

〔総合講演〕

竜巻とダウンバースト

—わが国における実態とその観測—

小林文明（防衛大学校地球海洋学科）

〔講演〕

1. 羽田空港における気圧急下降および北東強風事例の解析

河原直孝（東京航空地方気象台）

2. ロープ雲を伴う寒冷前線の構造と形成過程の事例解析

神津友武・山岸米二郎

（NPO 気象環境教育センター）

3. レーダー三次元データ、雷監視システム及び数値予報資料を用いた雷短時間予測

平原 淳・宮城仁史（気象庁観測部）

4. 強風ナウキャスト手法の開発と検証

守屋 岳（日本気象協会）

5. 局所アンサンブル変換カルマンフィルター（LETKF）やメソ解析をもちいた日本域豪雨実験

瀬古 弘・小司禎教・斉藤和雄（気象研究所）

6. 地上GPS大気遅延量のメソ数値予報での利用

石川宜広（気象庁予報部）

主 催：日本気象学会天気予報研究連絡会

問い合わせ先：古川武彦（気象コンパス）

takefuru@eos.ocn.ne.jp