

第4回 WCRP 再解析国際会議報告

大野木 和 敏*1・原田 やよい*2・古林 慎 哉*3・釜 堀 弘 隆*4
 小林 ちあき*5・遠藤 洋 和*6・石橋 俊 之*7・久保田 雅 久*8
 芳村 圭*9・三好 建 正*10・小守 信 正*11・大島 和 裕*12

1. はじめに

2012年5月7日から11日の5日間、第4回 WCRP 再解析国際会議が米国メリーランド州シルバースプリングで開催された。

長期再解析とは、現業数値解析予報システムで培われた技術を基盤として、過去数十年間の地球全体の大気の状態を均質・高精度に再現するものである。できるだけ多くの過去の観測データを収集して精密な品質管理を行い、最新の数値解析予報モデルを使用してデータ同化サイクルを数十年分実施することにより、高精度の均質な気候データを提供する。

世界気候研究計画 (World Climate Research Programme: WCRP) は、気候研究のための高精度の気候データベースとして、長期再解析 (以下、単に再解析と称する) の実施を強く推進している。米国環境予測センター (National Centers for Environmental Prediction: NCEP)、米国航空宇宙局 (National Aeronautics and Space Administration: NASA) の全球モデル・データ同化局 (Global Modeling and Assimilation Office: GMAO)、欧州中期予報セン

ター (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts: ECMWF)、日本の気象庁 (Japan Meteorological Agency: JMA) などが再解析を実施している。

再解析国際会議は、1997年に米国海洋大気庁 (National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA) が主催した米国メリーランド州シルバースプリング NOAA 本庁での第1回 (大野木ほか1998)、1999年のECMWFが主催した英国レディングでの第2回 (小出ほか2000)、2008年の東京での第3回 (大野木ほか2008) に続く4年4か月ぶりの開催となる。1990年代に開催された第1回、第2回会議では、利用可能な再解析データが少なく、再解析とは無関係の気候研究に関する報告も多かったが、第3回では、再解析データの作成、評価に関する発表がほとんどとなり、海洋再解析も初めて取り上げられた。

今回の第4回会議は、NASA/GMAOが主催し、26か国から244名が出席して63の口頭発表と138のポスター発表がなされた。出席者の多くは開催地の米国からであった。その内容も、大気再解析だけでなく海洋再解析、大気組成物質の再解析、データ同化手法など、多岐にわたった。発表やポスターの資料は会議のウェブサイト (<http://icr4.org/>, 2012. 8. 16閲覧) に掲載されている。

2. 再解析の歴史

全球大気再解析は、Trenberth and Olson (1988)、Bengtsson and Shukla (1988) が提唱したのが始まりである。それを受けて1990年代にNCEPと米国大気研究センター (National Center for Atmospheric Research: NCAR) がNCEP/NCAR R1 (対象年1948～, Kalnay *et al.* 1996)、NCEPと米国エネルギー省 (Department of Energy: DOE) がR1の問題

*1 Kazutoshi ONOGI, 気象庁.

*2 Yayoi HARADA, 気象庁.

*3 Shinya KOBAYASHI, 気象庁.

*4 Hirotaka KAMAHORI, 気象研究所.

*5 Chiaki KOBAYASHI, 気象研究所.

*6 Hirokazu ENDO, 気象研究所.

*7 Toshiyuki ISHIBASHI, 気象研究所.

*8 Masahisa KUBOTA, 東海大学.

*9 Kei YOSHIMURA, 東京大学大気海洋研究所.

*10 Takemasa MIYOSHI, メリーランド大学.

*11 Nobumasa KOMORI, 海洋研究開発機構.

*12 Kazuhiro OSHIMA, 総合地球環境学研究所.

© 2012 日本気象学会

を修正した NCEP/DOE R2 (1979~, Kanamitsu *et al.* 2002), ECMWF が ERA-15 (1979~1993, Gibson *et al.* 1997) を実施した。これらは再解析の第1世代と呼ばれる。R1 と R2 は準リアルタイムに現在も同じシステムでデータ同化サイクルが継続されており、データの入手も容易なことから、広く使われている。ただし、これらは15年以上前のデータ同化システムで分解能も低いため、最近の新しい再解析データに比べて品質が劣ることは否めない。

2000年代に入ると、ECMWF が ERA-40 (1957.9~2002.8, Uppala *et al.* 2005) を実施し、日本でも気象庁と(財)電力中央研究所が共同で JRA-25 (1979~2004, Onogi *et al.* 2007) を実施した。JRA-25の完了後は、気象庁が JCDAS (JMA Climate Data Assimilation System) として準リアルタイムに継続している。これらは再解析の第2世代と呼ばれている。データ同化手法に3次元変分法を用い、衛星の放射輝度温度データを直接同化していることが特徴である。ここまでの第3回再解析国際会議までに完成した再解析である。

その後、各再解析センターでは新たな再解析が取り組まれ、最近約2年の間に、米国 NCEP の Climate Forecast System Reanalysis (CFSR: 1979~, Saha *et al.* 2010), NASA の GMAO による Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications (MERRA: 1979~, Rienecker *et al.* 2011), ECMWF の interim reanalysis (ERA-Interim: 1979~, Dee *et al.* 2011) と、コロラド大学と NOAA による地上気圧データのみを使用した20世紀再解析 (20CR: 1871~2010, Compo *et al.* 2011) の4つの再解析が完了している。気象庁では第2次再解析として JRA-55 (Ebita *et al.* 2011) を実施しており、2013年の春に計算を完了する予定である。CFSR では、大気再解析としては世界で初めて間欠的ながら海洋との結合同化を導入している。ECMWF の ERA-Interim は、ERA-40の1990年代以降の期間で降水量に不自然な振動と増加がみられたため、当初はその期間をやり直すための暫定的な再解析という位置づけで開始され、ERA-Interim という名称もそれに由来している。しかし実際には、物理過程の改良だけでなく、分解能を上げ、4次元変分法(4D-var)を導入して ERA-40から大きく改良されたデータ同化システムを使っている。そのため品質も大きく改良されており、当初の予定(1989年以降)を1979年まで遡り、ERA-

40から独立した30年以上の一貫した再解析となっている。なお、各再解析システムの詳細はコロラド大学の Compo らがまとめている再解析ポータルサイト (<http://reanalysis.org>, 2012.8.16閲覧) を参照されたい。

3. 会議の内容

3.1 各再解析の最新状況

最初の Status and Plan のセッションでは、再解析実施センターから各々の再解析について報告された。最初に、Bosilovich (NASA/GMAO) が、MERRA を紹介した。MERRA は衛星データの同化に重点を置いている。降水量に不自然な増加がみられるものの、衛星データの同化による不連続性の影響の少ない比較的安定した品質のようである。また、MERRA の今後の発展として、MERRA+ (オフラインで大気組成物質を評価)、間欠的大気海洋結合同化再解析、衛星データから得られる大気組成物質の同化を含めた Integrated Earth System Analysis (IESA) 計画が紹介された。

Kistler (NCEP) は、CFSR を紹介した。CFSR は、全球大気再解析としては初めて、間欠的ながら海洋と結合した再解析として注目された。ただ、CFSR では、30年余の期間を5~6年の短期間ずつに6つのストリームに分割したことによる弊害で、成層圏気温の極端な不連続や長期変化傾向が強くと出過ぎている等の問題がみられる。報告では問題点の説明に時間が割かれ、CFSRv2としてやり直す計画が示された。

Compo (コロラド大学) は、地上気圧観測データのみを同化した20世紀再解析(20CR)を紹介した。20CR は他の再解析とは異なり、100年以上の長期間を同一種類の観測データのみを同化して、品質より一貫性を重視した気候データを作る目的で実施された。20CR は極域以外の地上及び対流圏中下層大気の再現性があり、100年以上にわたる長期気候データとして利用できるようだ。懇談時に対流圏上層や成層圏の性能について彼に尋ねたところ、やはり再現性がないそうで、目的を限定すれば有効に活用できるそうである。なお、米国では、科学技術予算の削減により再解析の予算事情が厳しいため、将来計画は未確定部分が多く、20CR の今後についてはまず予算確保の方策を考えるのが先のようなのである。

Dee (ECMWF) は、ERA-Interim を紹介した。ERA-Interim は、ECMWF の最新の再解析として、

前章で言及したような ERA-40 の問題点を解決し、衛星移行時の品質変化も少ない安定した再解析として利用が急速に進んでいる。また、データ提供の面でも、オリジナルのモデル面解析値データなどに加えて、品質管理結果などの情報を付加した観測データも近いうちに公開する予定とのことである。ECMWF は、プロダクト公開に関しても、計算機資源や提供体制などを充実させている。そのほか、EU の予算で進めている European Reanalysis of Global Climate Observations (ERA-CLIM) も紹介された。ERA-CLIM では、過去の観測データの掘り起こしと電子化にも取り組んでいる。再解析では地上データのみでの100年再解析、陸面解析などいくつかの実験的な再解析をパイロットプロジェクトとして実施し、最終的には掘り起こしたデータを含む観測データを最大限使った100年再解析を実施する構想である。

気象庁の JRA-55 については、大野木から報告した。JRA-55 はこのセッションで報告された5つの全球大気再解析の中で唯一未完成の再解析であることから、JRA-25 からの改善点を重点的に説明した。まず、新たに使用する観測データとして、気象衛星センターが再処理した Geostationary Meteorological Satellite (GMS) と Multi-functional Transport Satellite (MTSAT) の大気移動風と晴天放射輝度温度について紹介した。品質については、JRA-25 でみられた成層圏の気温バイアスの解消、アマゾン域の乾燥問題の緩和、等温位面解析での円滑な大気の流れの再現、総合的な性能としての予報スコアの大幅改善などを示した。一方、依然として残っている問題として熱帯海洋域で降水量が過剰な点を挙げた。

日本の再解析が欧米の新しい再解析に埋没する懸念がある中で、会議期間中、気象庁からの参加者全員で JRA-55 の宣伝に努めた。大野木は発表の中で、数字の5をGoと読むことで JRA Go! Go! とする愛称を紹介した。また、気象研究所で実施中の JRA-55C (衛星データ不使用)、JRA-55AMIP (観測データ全面不使用の AMIP タイプラン) のサブプロダクトを JRA Go! Go! ファミリーとして気象庁のマスコットキャラクター「はれるん」(第1図)を使って紹介するなどした結果、JRA Go! Go! の愛称を広く浸透させることができた。

会議では、全体を通して最新の4つの全球再解析データ (CFRSR, MERRA, ERA-Interim, 20CR) を利用・比較した発表が多かった。日本の JRA-25



第1図 「はれるん」JRA-55バージョン。

は、完成から約5年経過しているため、利用はされているものの、前四者ほどではなかった。今回の会議開催のタイミングは、JRA-55が未完成の我々にとっては不利とも言えるが、最近の4つの再解析は、20CR以外はいずれも1979年以後を対象としている。高分解能で4D-varを導入して1958年以降の50年以上を対象としているのはJRA-55が初であり、JRA-55C、JRA-55AMIPといったサブプロダクトを並行して作成するのもJRA-55が初である。これらサブプロダクトの並行実施により、観測システムの歴史の変遷の影響が評価できる点、モデルの特性を把握できる点については高い関心が集まり、期待の声が聞かれた。JRA-55に対する期待は大きい。

領域再解析に関しては、欧州で European Reanalysis and Observations for Monitoring (EURO4M) プロジェクトが実施されている。欧州全体を領域として各国がいくつかの計画を分担する。英国は分解能12kmでまず最近2年分の試験を行う。スウェーデンやフランスはそれと地域限定の力学的ダウンスケーリングを組み合わせる計画であり、スイスは検証を担当する。データ同化としての厳密な意味での領域再解析としては、降水量や雲データ、Global Navigation Satellite System (GNSS) の大気遅延量やリトリブした可降水量など、最近約10年余で利用可能となった新しい観測データを同化して顕著現象を再現することが主目的とされ、対象期間は2000年以降が考えられている。他には北極域を対象とする領域再解析の計画が紹介された。今後、全球再解析自体が高分解能化するため、領域再解析は、気候目的として長く遡る必要性は薄いとみられる。(大野木和敏)

3.2 大気再解析関連

原田は、ポスターセッション「大気再解析」において「気象庁55年再解析“JRA-55”の品質の検証～成層圏気温の様々な時間スケールの変動と対流圏における等温位面上の大気の流れについて～」という題目で発表した。その中で、まずJRA-55の全体的な品質がJRA-25より大幅に改善されたこと、特に1960年代の北極域、南極域における成層圏気温の再現性について、他の解析値より良好であることを示した。例えば1960年代の南極域の下部成層圏気温については、ERA-40では明瞭な負バイアスが見られるが、JRA-55ではそのようなバイアスはほとんど見られない。また熱帯域については、JRA-25と比較すると赤道波の再現性の向上が著しい。次に等温位面プロダクトを用いて対流圏の大気の流れの再現性が向上したことを示した。等温位面上に描かれた渦位分布は対流圏上層の大気の流れの追跡に最適で、ロスビー波の砕波やブロッキングの発達・維持の様子などを陽に解析可能であることから、解析値の品質向上を分かりやすく示すことができる。

次に、会議において印象に残ったポスター発表について述べておく。Jie Gong (NASA ジェット推進研究所)の重力波に関する発表では、ハイパースペクトル赤外サウンダ Atmospheric Infra-Red Sounder (AIRS)の衛星データとECMWF解析値の重力波に伴う気温変動とを比較した結果、地形性重力波に対して非地形性のも(熱帯の対流起源)が弱すぎることを指摘されていた。非地形性重力波についてはモデルの高解像度化により再現性が向上することも示されていた。Tilina Natalia (P.P. Shirshov Institute of Oceanology)の低気圧の活動度の年々変動に関する発表では、まず再解析間の低気圧の抽出状況が比較され、より高解像度の解析値の方が低気圧の抽出率が高いことが示された。また低気圧の活動度の年々変動は、北極域付近では近年では活動度が低下する傾向が見られることが指摘されていた。Natalia氏は、極域の高温化に伴い気温の南北傾度が小さくなり、傾圧性が弱まったことが要因の一つと推測されると指摘していた。(原田やよい)

気象研究所ではJRA-55プロジェクトの一環として、均質性を重視した再解析データの作成を目的として、従来型観測データ(ゾンデ観測、地上観測等)のみを同化に用いたJRA-55Cと、データ同化を行なわ

ず同化システムで使用している数値モデルをJRA-55と同一境界条件でシミュレーションするJRA-55 AMIPを実施しており、小林はこれらの初期解析結果について発表した。

JRA-55Cの気温や東西風などの気候値分布は、対流圏から下部成層圏では南半球高緯度を除いてJRA-55との差が小さく、比較的良好な解析結果が得られている。また、極東域の降水気候分布は、JRA-25よりJRA-55Cのほうが観測分布に近い。JRA-55AMIPでは表現されていない赤道成層圏の準2年周期振動(Quasi-Biennial Oscillation: QBO)を、JRA-55CではJRA-55と同様に表現している。これらを示し、下部成層圏の現象の表現には、従来型観測データの同化が重要であることを示した。JRA-55Cは、JRA-55と同化観測データが異なるだけの条件で実施しており、観測システム実験(Observing System Experiment: OSE)としての意義もある。JRA-55との比較を通して、同化システムの改良にも貢献できる可能性がある。(小林ちあき)

遠藤は、「再解析の利用」のセッションで、「過去半世紀の夏季東アジア循環場の長期変動」の題目でポスター発表を行った。先行研究では、揚子江流域の降水増加と華北の降水減少のトレンドや、東アジア対流圏中上層の気温低下トレンド、などが指摘されている。発表では、日本国内の夏季気温は他の季節より上昇率が小さく、北日本太平洋側地域では低下傾向にあることを指摘した。また再解析データから、東アジアを含む太平洋中緯度で500hPa高度および850hPa気温が低下する傾向、極東域のブロッキング頻度が増加する傾向を示した。さらに、このようなトレンドは、観測された海面水温や温室効果ガスを大気モデルに与えるAMIP実験である程度再現されることを示した。今後も、地上観測データ、再解析データ、大気モデル実験などの解析を組み合わせて、夏季東アジアの過去の気候変動の理解を深めたい。

初日のKistler (NCEP)によるCFSRの紹介で、興味深い結果が示されていた。CFSRでは、ATOVSのデータを同化し始めた1998年頃に全球降水量が不連続的に明瞭に増加している。同じ大気モデルによる観測データを同化しないAMIP実験との比較などから原因を探ると、低温・乾燥バイアスを持つ大気モデルに対し、以前よりも多い(しかし現実に近い)水蒸気量を同化した結果、積分初期の段階で多量の水蒸気が

降水に変換され、降水量が増加したようだ (Zhang *et al.* 2012). 再解析プロダクトにおけるこのような見かけの変動は、入力される観測データの変遷と大気モデルのバイアス特性との関係で決まるため、応答の仕方は再解析ごとに異なる。このため、AMIP 実験などの長期積分を通して、大気モデルのバイアス特性を把握しておくことが重要となる。気象研究所で実施している JRA-55C, JRA-55AMIP は、再解析プロダクトのみかけの変動の検出や原因特定を行う上で有効な道具になると考えられる。(遠藤洋和)

熱帯海洋上で発生発達するメソ現象である熱帯低気圧 (Tropical Cyclone: TC) は全球大気再解析では完全に再現することが難しい。たとえば、ERA-40における TC 再現率は全球平均で50%程度である。TC の影響の大きい日本をはじめとした東アジアの国々にとっては、TC を適切に再現できる再解析が望まれる。そのため、JRA-25ではベストトラックデータに基づく TC 周辺風を同化した。TC 周辺風は TC 中心の周りに配置された疑似高層観測風である。TC 周辺風の同化により、JRA-25における TC 再現率が89%という高水準であることはすでに確認されている (Hatsushika *et al.* 2006)。JRA-55でも JRA-25と同様な TC 周辺風が同化されており、やはり良好な TC 再現が期待される。

釜堀は、JRA-55における TC 再現率と再現された TC の構造について発表した。2012年5月現在で計算が完了している1980-1998年の19年間平均で、JRA-55における TC 再現率は93%であった。これは、同期間の JRA-25に比べ4%の改善である。4D-var の導入や予報モデルの高解像度化・物理過程の改善など、JRA-25以降の技術開発の成果であろう。一方、ERA-Interim では同期間の再現率は65%であった。TC 周辺風の利用の有無が再現率の大きな差の原因と考えられる。また、JRA-55では TC 活動が活発な各海域で安定して高再現率を示しているのに対し、ERA-Interim では北東太平洋における再現率が30%台であるなど、海域間のバラツキが大きく、TC 周辺風の効果の大きさを示している。TC 周辺風を使わない ERA-Interim において、海域間の差が大きい理由も興味ある問題である。JRA-55と ERA-Interim とを比較解析することにより、TC 発生発達に関する貴重な情報が得られると期待される。釜堀は、再現された TC における中心気圧とベストトラックの最大風速

との関係も紹介した。飛行機観測により、両者の間の観測的關係はよく知られている。JRA-55では観測より弱いものの確かな関係があるが、ERA-Interim では関係がさらに弱い。海域によっては全く関係がない場合もあった。JRA-55C においても TC 周辺風が同化されている。JRA-55および JRA-55C を利用して、今後 TC 研究が大いに進展することを期待したい。(釜堀弘隆)

北半球寒冷域の気候変動、特に水循環に関わる発表を幾つか紹介する。Serreze (米国雪氷データセンター)、Hurley (コロラド大学)、Lindsay (ワシントン大学) は、新しい3つの大気再解析データ (ERA-Interim, CFSR, MERRA) を用いて北極域の気候の長期変化傾向を調べた。気温や降水量、水蒸気量のトレンドは概ね一致するが、地域分布やトレンドの大きさにはデータ間の違いがあることを報告した。

Trenberth (NCAR) は、大気を介して海洋から陸域へ運ばれる水蒸気輸送に着目し、全球水循環の構成要素を8つの大気再解析データから見積もり、それぞれを比較した結果を示した。降水量や蒸発量のばらつきは大きいものの、それらに比べ、水蒸気フラックスはデータ間で良く一致することを指摘した (Trenberth *et al.* 2011)。このような水蒸気フラックスの解析によって、Cullather (メリーランド大学) は北極域へ運ばれる水蒸気輸送について、大島はシベリア3大河流域の大気水収支についての結果を紹介した。

Bromwich (オハイオ州立大学)、Liu と Barlage (NCAR) は、北極域再解析データ Arctic System Reanalysis (ASR) を紹介した。ASR は極域で重要な雪氷・海氷過程の取り扱いが改良された極域用 Weather Research and Forecasting モデル (Polar WRF) を使って開発されており、初期値、境界条件として使われている ERA-Interim に比べて、地表面気圧、気温、露点温度が観測と良く一致する結果が示された。現在2000年から2011年までの30km データが公開されており、今年9月には2011年までの10km 高解像度データが完成予定であるとの報告があった。帰路の飛行機で見たバレンツ海、ポーフォート海、オホーツク海の海水を再現する2012年までの延長が待ち遠しいところである。(大島和裕)

3.3 データ同化手法

データ同化手法のセッションでは、8件の口頭発表

と11件のポスター発表があった。まず、最も印象に残った Dee (ECMWF) の発表について記す。Dee は ERA-CLIM 以降の ECMWF の再解析に導入される同化スキームの開発状況や展望を述べた。ERA-Interim からの改善点として、アンサンブルデータ同化 (Ensemble Data Assimilation: EDA) やアンサンブルカルマンフィルター (Ensemble Kalman Filter: EnKF) のアンサンブル技術を用いた誤差共分散推定が挙げられた。実質的には EDA (や EnKF) と 4D-var とのハイブリッドであった。これはまた Bosilovich (NASA/GMAO) が将来の再解析の要件として挙げた再解析場の不確実性情報の追加につながるものであろう。この他、数値予報モデルの誤差 (成層圏バイアス) の考慮、長い同化窓 (24時間) についても導入が予定されている。これらの多くはすでに同センターの数値予報システムに導入済み、あるいは導入試験が進んでいる技術であり、数値予報システムの開発が再解析の進化に直結する現状を端的に示している。彼らの EnKF の開発が Whitaker (NOAA) との共同開発であることから、数値予報システムとの連携の重要性を伺うことができる。ECMWF のシステムでの 4D-var と EnKF の精度比較では、海面気圧観測だけ同化した場合は EnKF、衛星データを含む全観測を同化した場合は 4D-var の精度が良いという結果が示された。

本会議全体を通じて印象に残った言葉として、基調講演における Simmons (ECMWF) の「再解析は単に解析を生成するだけでなく、品質管理情報が付加された観測データセットの構築という大きな意義をもつ」を挙げたい。この意義は将来的には個々の再解析以上に大きくなるかもしれない。数値予報センターだけでなく、今後の大学や研究機関等の一層の貢献にもつながる可能性があるだろう。当然これらの機関がしるべき責任を果たすことが期待、または前提とされることは言うまでもない。また、データセットの構築がある程度できた段階 (次々世代?) の再解析では、再解析独自の同化技術の開発が主要テーマの一つになるかもしれない。石橋の口頭発表のテーマの一つは、真値代替場の生成であった。ここで、真値代替場というのは、現在の数値データ同化システムを超える精度の解析場であり、応用先の一つとして再解析が挙げられる。

(石橋俊之)

データ同化手法に関する12件のポスター発表のうち、

筆者 (三好) が特に興味を持った2件及び筆者自身の発表について紹介する。

Kang (メリーランド大学) は、二酸化炭素を含む大気大循環モデルに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) を適用し、二酸化炭素の表面フラックス (ソース及びシンク) を2次元のモデルパラメータとして扱うことで、精度よく推定できることを示した。また、同じ手法を潜熱及び顕熱の表面フラックスにも適用し、2次元のモデルパラメータとして精度よく推定できたことは興味深い。また、Montabone (フランス気象力学研及びオープン大学) は、火星大気の再解析という、地球を超えた再解析の適用例を示した。ここでは Successive Correction 法という古い手法が用いられたが、世界初の火星大気の再解析であり、興味深い。今後ますます再解析の考え方が多様なデータ同化システムに広がっていくかもしれない。この他、三好 (メリーランド大学) は、領域大気モデル WRF の双方向ネストを使って、高解像度領域が埋め込まれた非一様な格子系に対して、単一の LETKF を適用する非一様 WRF-LETKF システムについて発表した。このシステムを使うことで、任意領域を高解像度化した効率的な再解析が可能となるだろう。

(三好建正)

3.4 リモートセンシング観測

古林は Remotely Sensed Observation のセッションで JRA-55 における再処理 GMS/MTSAT 観測データの利用について発表した。各国の気象衛星機関では、気候関連の用途に適した均質なデータセットを作成するために、過去期間の衛星観測データに最新の処理アルゴリズムを適用して高品質で均質な衛星プロダクトを作成する“再処理”の取り組みが盛んに行われている。気象庁気象衛星センターにおいても再解析での利用を目的として、過去期間の GMS/MTSAT 観測データの再処理が行われている。発表では、これらのデータが JRA-55 プロダクトの品質向上に寄与していることを示しながら、気象衛星機関における再処理への継続的な取り組みが、再解析データの更なる品質向上のために非常に重要であることを述べた。本会議への気象衛星機関からの参加者は少ないながらも、European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT), National Institute of Information and Communications Tech-

nology (NESDIS) 等の参加者からもそれぞれ、再解析での利用を目的とした過去期間の衛星プロダクトの整備について発表があった。残念なのは、静止気象衛星の中で Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) のみ、現時点で再処理の計画がないことである。米国の厳しい予算事情が理由のようだが、状況が好転することを期待したい。それから、最終日の Advancing Reanalyses のセッションでは Saunders (英国気象局) から ERA-CLIM における過去衛星のデータレスキューの計画が示された。再解析の“衛星観測時代”といえは1979年の First GARP Global Experiment (FGGE) 以降をさすことが多いが、この計画では1970年代の衛星観測データの掘り起こしが集中的に行われるということで、“衛星観測時代”を10年遡らせることができるだろう。

このように、過去期間の衛星観測データの整備が進む中、それらを用いて均質な再解析データセットを作成するための手法面にも多くの課題があると思う。時代とともに変遷する衛星観測システムを用いながら再解析データの均質性をどこまで高められるのか？それには衛星観測データの精度を高めることに加えて、同化モデルや同化スキームの性能も高めていく必要があるだろう。今回の再解析国際会議までにこれらの面でのどのような進展が見られるのかについても注目していきたい。(古林慎哉)

3.5 先進的な地球システム解析

2日目午前に行われた「Integrated Earth System Analysis」のセッションにおいて、芳村は自身を手掛ける「20世紀同位体再解析」についての発表を行った。ここでいう同位体とは、水に含まれる ^2H と ^{18}O のことである。 ^2H と ^{18}O は、気候プロキシとして古気候研究を中心に幅広く使われており、またそれらの同位体を実装した気候モデルもちらほら出始めている。今後、特に直接の観測データがない時代の再解析に向けて、こういった気候プロキシを直接データ同化できるようになることを目指している。発表の後、「再解析の祖」の一人である Adrian Simmons さんから「大変 Exciting な取り組みだ」といってもらえたことや、他にもたくさんの人から声をかけてもらったことは非常にありがたかった。ほかには、MERRA で行われているエアロゾル同化や NCEP での陸面同化の取り組み、さらに北極圏での高解像度データ同化に関する話題が紹介された。

また木曜夜には、NCEP の Jack Woollen さんの自宅に、NOAA の Russell Vose さんと Imke Durre さん、海洋研究開発機構の小守信正さんと共に招かれ、お手製の crab cake をごちそうになった。2010年のポルティモアでの会合以来の再会で、大変楽しい時間を過ごさせていただいた。改めて感謝したい。

個人的には、これだけ再解析データが気象海洋コミュニティに浸透しているにもかかわらず、日本からの参加者が極めて限定的だったことを残念に感じた。単に再解析データを利用するだけに留まらず、品質の比較、エラーの発見、新しい利用法の提案等々、コミュニティに報告すべきことはたくさんある。この記事を読んでいる再解析に興味を持つ皆さんの今後の積極的な参加・貢献をお願いしたい。そういった盛り上がり、日本の再解析開発コミュニティの活性化、並びに猛烈なスピードで様々な方向に向かっている米国と欧州へのキャッチアップにつながると考えている。(芳村 圭)

3.6 海洋再解析関連

久保田の研究グループでは、海面での熱フラックスのプロダクト Japanese Ocean Flux Data Sets with Use of Remote Sensing Observations (J-OFURO) を作成し提供している。再解析プロダクトも同様なデータを提供しているので、我々にとって再解析プロダクトはライバルのような存在であり、その現状などを知ることは非常に有意義であると考え、前回に続き、今回の会議にも参加した。今回の会議の1つのポイントは、やはり、CFSR や MERRA などの第3世代の再解析プロダクトの出現だろう。海面フラックスの国際会議などでは、こういったプロダクトの解析結果は示されていたので、その存在自体は既に知っていたが、他のプロダクトも含め、その全容についての情報はこの会議で初めて詳しく知ることができた。また、従来の再解析プロダクトとは少し異なる種類の再解析(20世紀再解析や領域再解析等)の紹介も非常に興味深いものであった。ただ、20世紀再解析の結果の再現性については十分に検討される必要があり、結果だけが一人歩きすることの危険性を感じた。

久保田は、北半球高緯度域での海面乱流熱フラックスを、多くの再解析プロダクトや衛星プロダクトについて比較した結果について発表した。我々の結果では、ERA-Interim だけが、北大西洋東部において他のプロダクトに較べて非常に大きな値を示していたの

だが、これに関して、ERA-Interim の空間解像度が他のプロダクトより高いことにその差が起因している可能性があることを質疑の中で指摘された。だとすると、むしろ ERA-Interim の結果が正しいのかもしれない。この点については、今後、詳しく解析する予定である。

最後に、ユーザー側から見たときの再解析プロダクトの落とし穴について簡単に触れておく。MERRA には海面表皮温度というデータが存在するが、これには海面表皮水温が本来持っているべき高周波の変動が全く再現されていない。それにも関わらず、このデータを使用しているポスター発表をたまたま見つけ、発表者にこの点を知らせるとともに、実際に自分で現実のデータを見たことがあるかと尋ねたら、見ていないとの返事が返って来て愕然とした。再解析データの利点の1つは、いろいろな物理量の格子データが簡単に得られる使いやすさにあるのだと思うが、ともすると、その使いやすさに安住して、中身に対するユーザーの注意が不足しやすい傾向も否定できない。再解析プロダクトのプロバイダーとユーザーの双方が、この点については十分に注意する必要があるだろう。

(久保田雅久)

Stammer (ハンブルク大学) は、日本を含む各国の海洋再解析や Global Synthesis and Observations Panel / Global Ocean Data Assimilation Experiment (GSOP/GODAE) を通じた国際的な取組を紹介した。特に、気候システムにおける全球規模の熱収支や水循環、水位変動を評価し、気候モデルを初期値化する上での海洋再解析の重要性を強調した。衛星観測のない時代や、アルゴが到達しない2000m 以深の取扱いが今後の課題である。一方、Metzger (米海軍研究所) による Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) を用いた米海軍の全球渦解像海洋再解析の発表や、Barnier (Le Centre National de la Recherche Scientifique: CNRS) による欧州の MyOcean プロジェクト (<http://www.myocean.eu.org/>, 2012. 8. 16日閲覧) での全球渦許容海洋再解析など、高解像度化・現業化の流れを再認識させられる発表も多かった。

Zhang (NOAA/地球流体力学研究所) は、アンサンブル結合データ同化による再解析と季節予測について、特に熱帯域では良好な結果が得られることを示した。また、大気・海洋ともに立方体格子モデルを用い

て高解像度化し、同化手法も改良した新バージョンの予備的な結果も紹介した。小守は、大気循環モデルを用いたアンサンブル解析に見られる海面付近のスプレッドの過小評価が、大気海洋結合モデルを用いることにより大幅に改善されることを示した。天気スケールから季節スケールへの「継ぎ目のない予測」が進展するのに伴い、大気海洋結合データ同化の重要性は、今後ますます高まると思われる。

再解析 (Reanalysis) とは本来、現業センターが日々行っている解析を、最新のシステムを用いて統一的にやり直す、という意味だが、近年では、リアルタイムではない解析全般を指す語として使われる場合も多い (後者の用例としては Retrospective Analysis の方が適切かもしれない)。日本においても、プロダクトの利用に留まらず、気象庁以外の研究者が積極的に「再解析研究」に参入し、この分野が活性化することを期待している。

(小守信正)

4. パネルディスカッション

パネルディスカッションでは、Agency Priority と題して大野木を含む7名のパネリストが参加した (第2図)。会議事務局の Bosilovich 氏による会議のまとめの報告、各パネリストによる報告のあと、議論が行われた。

話題提供としては、再解析実施センター以外の機関が協力する必要性、気候研究コミュニティ全体で再解析をバックアップする必要性が指摘された。また、再解析を担当できる次世代の同化・予報モデルの開発者の育成強化の必要性も指摘された。米国での20世紀再解析の予算カット、NCAR の予算削減の事情から予算事情に関する話題もあった。再解析の実施には長期間の継続的な予算が必要であるが、現状は短期間のファンドをつながなければならぬ問題も指摘された。

大野木からは、現在では研究者に当たり前のように使われている再解析データについて、これまでの JRA 再解析の実施に関する経緯や気候同化サイクル維持に関する問題を紹介するとともに、最も重要なのは使用する数値モデルの系統誤差軽減であることを述べた。さらに、気象に限らず農業など応用分野での再解析データの利用調査、成果の宣伝が必要である旨、意見を述べた。



第2図 パネルディスカッションのパネリスト。左端が司会のWCRPのAsrar事務局長，右から3番目が大野木，その左隣がECMWFのDee氏。

5. おわりに

再解析が気候研究の基盤データであることは誰もが認めるところである。今回の会議を通して、再解析プロダクトの利用面だけでなく、過去観測データの整備を進めること、品質情報を共有すること、衛星データの高度利用の重要性が指摘され、共通の認識として確認された。再解析の将来については、全球大気再解析・海洋再解析の高性能化とともに、大気海洋結合再解析、領域再解析、極域再解析、長期間遡る再解析、大気組成物質の再解析、さらには惑星大気再解析などの多様な再解析の進展が期待されている。

日本の再解析JRA-25は、海外でも様々な研究に利用されており、これは論文の早期発表など情報発信に努めた成果と考えられる。会議では、JRA-55の宣伝とともに、各再解析センターの最新の情報、観測データ整備に関する情報など、多様な情報を得ることができ、大変有意義だった。JRA-55については、JRA-55C、JRA-55AMIPを含めたJRA-55ファミリーとしてのプロダクト作成計画への評価が高い。欧米で新たに多様な再解析が計画される中で、今回の会議での意見を今後の日本の長期再解析計画や利用促進に活用し、この分野での我が国の国際的地位を高めていきたい。

会議の運営については、事務局長のBosilovich氏が、企画委員長としての事前のプログラム調整、会議の案内、複数のセッションの座長、自らの発表、会議のとりまとめ作成など、フル回転の仕事ぶりで、会議の成功には彼が大きく貢献している。

次回の第5回再解析国際会議は、4～5年後に、欧州で開催との提案があった。その時点で再解析がどのような展開になっているか、興味深い。

謝 辞

会議の出席に際し、科研費「モンスーンアジアにおける大気海洋雪氷系の鉛直結合変動」から大野木と小林、科研費「モンスーンアジアの降水強度の長期変化」から釜堀、GRENE北極気候変動研究事業（研究課題「北極温暖化のメカニズムと全球気候への影響：大気プロセスの包括的研究」から原田、JAXA「GCOM研究公募共同研究」から石橋、気候変動適応研究推進プログラム（研究課題：「東北地域のヤマセと冬季モンスーンの先進的ダウンスケーリング研究」）から遠藤、研究課題「海上気象パラメータの日内変動」から久保田、科研費「人工衛星観測データを用いた実験的海水変動予測システムの開発」から小守が支援を受けた。この場を借りて感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- Bengtsson, L. and J. Shukla, 1988: Integration of space and in situ observations to study global climate change. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **69**, 1130-1143.
- Compo, G.P. *et al.*, 2011: The Twentieth Century Reanalysis Project. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **137**, 1-28.
- Dee, D.P. *et al.*, 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **137**, 553-597.
- Ebita, A. *et al.*, 2011: The Japanese 55-year Reanalysis "JRA-55": An interim report. *SOLA*, **7**, 149-152.
- Gibson, J.K. *et al.*, 1997: ERA Description. ECMWF ERA-15 Project Report Series 1, 71pp.
- Hatsushika, H. *et al.*, 2006: Impact of wind profile retrievals on the analysis of tropical cyclones in the JRA-25 reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 891-905.

- Kalnay, E. *et al.*, 1996: The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.
- Kanamitsu, M. *et al.*, 2002: NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **83**, 1631-1643.
- 小出 寛ほか, 2000: 第2回再解析国際会議参加報告. *天気*, **47**, 267-276.
- 大野木和敏ほか, 1998: 再解析に関する WCRP 第1回国際会議の報告. *天気*, **45**, 475-482.
- 大野木和敏ほか, 2008: 第3回 WCRP 再解析国際会議報告. *天気*, **55**, 947-959.
- Onogi, K. *et al.*, 2007: The JRA-25 reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 369-432.
- Rienecker, M.M. *et al.*, 2011: MERRA: NASA's modern-era retrospective analysis for research and applications. *J. Climate*, **24**, 3624-3648.
- Saha, S. *et al.*, 2010: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **91**, 1015-1057.
- Trenberth, K.E. and J.G. Olson, 1988: An evaluation and intercomparison of global analyses from the National Meteorological Center and the European Centre for Medium Range Weather Forecasts. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **69**, 1047-1057.
- Trenberth, K.E. *et al.*, 2011: Atmospheric moisture transports from ocean to land and global energy flows in reanalyses. *J. Climate*, **24**, 4907-4924.
- Uppala, S.M. *et al.*, 2005: The ERA-40 re-analysis. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **131**, 2961-3012.
- Zhang, L., A. Kumar and W. Wang, 2012: Influence of changes in observations on precipitation: A case study for the Climate Forecast System Reanalysis (CFSR). *J. Geophys. Res.*, **117**, D08105, doi:10.1029/2011JD017347.
-