

## 第5回再解析国際会議報告

古 林 慎 哉<sup>\*1</sup>・原 田 昌<sup>\*2</sup>・小 林 ちあき<sup>\*3</sup>・原 田 やよい<sup>\*4</sup>  
 大 島 和 裕<sup>\*5</sup>・中 村 尚<sup>\*6</sup>・福 井 真<sup>\*7</sup>・藤 原 正 智<sup>\*8</sup>  
                   山 崎 哲<sup>\*9</sup>・芳 村 圭<sup>\*10</sup>

### 1. はじめに

2017年11月13日から17日の5日間、第5回再解析国際会議がイタリア・ローマで開催された (Buizza *et al.* 2018)。再解析国際会議は、再解析に関する国際的な情報共有及び協力推進を図るため、WCRPと主要な再解析実施機関の共催により開催されており、2012年の米国メリーランド州シルバースプリングでの第4回 (大野木ほか 2012) に続く5年半ぶりの開催となった。第5回会議は、ECMWF、欧州委員会C3S、WCRPの3機関の共催により開催され、再解析実施機関の専門家及び再解析データの利用者等、37か国から259名が出席して、再解析に関する最新の技術的知見や、再解析の将来の方向性等についての活発な議論が行われた。

会議のプログラムは、基調講演、5つのテーマに関する口頭・ポスター発表セッション、パネルディスカッション、全体討論で構成され、合わせて60件超の口頭発表、200件超のポスター発表が行われた。口

頭・ポスター発表セッションのテーマは以下のとおり。

- (1) 再解析の状況と将来の計画
- (2) 再解析のための観測
- (3) 再解析の手法
- (4) 再解析の評価
- (5) 再解析の応用

本稿では、会議で行われた発表や議論の内容について、それぞれの印象に残った講演を中心に、所感を交えながら報告する。この会議のウェブサイト (<https://climate.copernicus.eu/events/5th-international-conference-reanalysis>, 2018.2.8閲覧) には、口頭・ポスター発表資料に加えて、会議中の発表や議論の録画映像も掲載されているので、興味のある方はあわせてご覧いただきたい。(古林慎哉)

### 2. 基調講演

初日の開会セッションでは、数値予報に関する研究開発や再解析の実施において長年指導的役割を果たして来た Simmons (ECMWF) から「再解析：過去、現在、未来」というテーマで基調講演が行われた。まず、長期間にわたる高品質で均質な気候データセットの作成を目的として過去の観測データと最新の数値解析予報システムを用いて解析し直す「再解析」が Trenberth and Olson (1988) と Bengtsson and Shukla (1988) によって提唱されるに至った経緯が示された。続いて、最初の全球大気再解析が実施された1990年代前半から現在に至るまでの主要な数値予報機関における再解析の高度化の継続的な取り組みが述べられた。さらに、地上観測データのみを用いた100年以上の長期間を対象とする再解析や、大気のみならず

<sup>\*1</sup> Shinya KOBAYASHI, 気象庁.

<sup>\*2</sup> Masashi HARADA, 気象庁.

<sup>\*3</sup> (連絡責任著者) Chiaki KOBAYASHI, 気象研究所, ckobayas@mri-jma.go.jp.

<sup>\*4</sup> Yayoi HARADA, 気象研究所.

<sup>\*5</sup> Kazuhiro OSHIMA, 海洋研究開発機構.

<sup>\*6</sup> Hisashi NAKAMURA, 東京大学先端科学技術研究センター.

<sup>\*7</sup> Shin FUKUI, 東北大学/気象研究所.

<sup>\*8</sup> Masatomo FUJIWARA, 北海道大学.

<sup>\*9</sup> Akira YAMAZAKI, 海洋研究開発機構.

<sup>\*10</sup> Kei YOSHIMURA, 東京大学生産技術研究所.

海洋・陸面を対象とする再解析，及びそれらを一体として取り扱う結合再解析等，対象期間や対象分野を広げている再解析の発展の歴史が語られた。また，今後の再解析データの利用促進にはデータの信頼性に関する情報提供が重要であり，そのためには系統的な評価活動の実施が鍵となることが強調された。再解析の評価は今回の会議で初めて取り上げられたテーマでもあり，この会議の主要議題の背景が簡明に語られた。

再解析の対象が地球システム全体に発展しつつあることを反映して，上記講演に加えて，大気，海洋，陸面分野の再解析の専門家3人（Compo（コロラド大，米国），Balmaseda（ECMWF），Seneviratne（チューリッヒ工科大，スイス））による基調講演が2～4日目にかけて1件ずつ行われ，それぞれの立場から地球システム再解析に向けた展望が語られた。

（古林慎哉）

### 3. 各セッションの発表内容

#### 3.1 再解析の状況と将来の計画

本セッションでは，中村（東大）による大気再解析における高解像度 SST の重要性に関する招待講演，全球再解析実施機関からの発表のほか，海洋再解析，大気海洋結合再解析，領域再解析，大気組成再解析に関する発表を合わせ計14件の口頭発表があった。

Hersbach（ECMWF）は同センターではERA-Interim 以来の本格的全球大気再解析となる ERA5 を紹介した。ERA5 は2016年時点の現業システムを用いて作成が進められており，アンサンブルデータ同化手法により不確実性の推定が可能なこと等，大幅な仕様向上が図られている。ECMWF は気候変動の適応・緩和に資する気候監視・予測情報を提供する業務 C3S を立ち上げたところであり，ERA5 はこの業務を支える基盤データと位置づけられている。ECMWF では将来の再解析を見据えて大気海洋結合同化の開発も行われており，衛星観測期間を対象とした実験的大気海洋結合再解析 CERA-SAT の紹介が Schepers（ECMWF）から行われた。ECMWF は前述の C3S に加えて大気組成監視業務（CAMS）も新たに立ち上げたところであり，その基盤データである大気組成再解析 CAMS-Interim についても Inness（ECMWF）から紹介された。ECMWF では「地球システム再解析」構築に向けた開発作業が現業数値解析予報システム IFS を核としながら大気・海洋・化学等，各分野の開発者の協調のもとで推し進められており，ECMWF

の組織力の高さを感じさせられた。

Mariotti（NOAA，米国）は NCEP/EMC（米国）の戦略的ビジョンとして，週間予報用の GFS，1 か月予報用の GEFFS，季節予報用の CFS の開発を統一的な地球システムモデル・アンサンブルデータ同化システムのもとで行い，それを用いて再解析・再予報を実施する計画を示した。一方，現状としては，CFS の再予報に大気海洋結合再解析 CFSR が利用されているものの，均質性の問題のため気候監視には NCEP/NCAR 再解析が未だに利用されている。このような経緯から，「1つの再解析を気候監視とモデル初期値の両方に使えるよう，均質性と精度をバランスさせることができるか」という興味深い問いを投げかけていたのが印象的であった。

Gelaro（NASA/GMAO，米国）は MERRA-2 と統合的地球システム解析（IESA）に向けた取り組みを紹介した。GMAO は NASA の地球観測データが気候研究に有用であることを示すことにより将来の地球観測ミッション立案に役立てることを目的として再解析に取り組んでいる。MERRA-2 では IESA に向けた第一歩としてエーロゾル同化を行っていることや，MERRA-2 データを大気強制力としてオフラインで海洋再解析，大気組成再解析等を実施する計画が紹介された。

Liu（CMA/NCAR（米国））は CRA-40 計画を紹介した。これは CMA が初めて実施する全球大気再解析であり，再解析システムの構築や観測データの整備等の準備が試行錯誤を重ねながら進められている。今後どのような品質のデータが出来上がるか，注視していく必要があるだろう。なお，CRA-40 の作成には NCEP の GFS/GSI が利用される予定である。

古林（気象庁）は JRA-55 の現状と次期再解析計画を報告した。JRA-55 は季節予報・気候監視等の気候業務や国内外の研究活動を含む幅広い用途に活用できるよう，均質性と精度の両立を目指した再解析である。JRA-55 では気温解析値の均質性が前世代の再解析と比べて大幅に向上した一方，湿度解析値には予報モデルの対流圏上・中層の乾燥バイアスに起因した問題があり，均質性の向上にはモデルバイアスの低減が重要であることを指摘した。現在，新たな全球大気再解析 JRA-3Q 作成に向けた準備を進めており，均質性の向上や地表面フラックスのバイアス縮小等の品質改善を図ることにより，気候業務・気候研究の発展に資する再解析データの作成を目指している。

中村(東大)は、全球大気再解析に用いる予報モデルの高解像度化に伴い、黒潮・湾流など中緯度の強い海流や付随する水温前線からの大気への影響の表現が改善したのを反映し、再解析品質向上へ高解像度 SST を用いる重要性を訴えた。例として、2002年以降 SST 解像度が大幅向上した ERA-Interim で、水温前線近傍での海面顕熱・潜熱フラックス、海上風収束、雲・降水分布が、近年の衛星観測に基づく推定と整合的になったことを示した。また、これらの場が海洋変動に呼応して変化する様子も、JRA-55の新追加プロダクト (JRA-55CHS; Masunaga *et al.* 2018) で捉えられることを示した。他の JRA-55プロダクトに用いられた現場観測による COBE-SST (Ishii *et al.* 2005) に替わり、JRA-55CHS では1980年代以降の衛星観測に基づく高解像度の MGDSST (栗原ほか 2006) が用いられており、JRA-3Q でもその予定である。(古林慎哉・中村 尚)

### 3.2 再解析のための観測

再解析のための観測のセッションでは9件の口頭発表と32件のポスター発表があった。地上および海洋観測データの統合的な品質管理や1950年以前の地上観測のデータレスキュー、衛星データの初期年代のデータ復旧や再処理、再解析を利用したラジオゾンデ観測のバイアス補正などの取り組みが紹介された。

Haimberger (ウィーン大、オーストリア) はラジオゾンデ観測のバイアス補正の期間拡張の取り組み等について報告した。まず、バイアス補正を行うことによって1960年代以前の気温トレンド分布が大きく変わること示し、バイアス補正の重要性を示した。次に JRA-55の気温第一推定値が衛星輝度温度観測データと最も良く一致していると指摘したほか、ラジオゾンデ気温観測の均質化に重要なバイアス補正の参照値として CERA-20C と JRA-55を組み合わせたものが最も良い組み合わせと述べた。一方、GNSS 掩蔽観測との気温比較で2007年頃を境にどの再解析値にも品質の変化が見られることが指摘された。彼らが提供している RAOBCORE というバイアス補正值は JRA-55 で利用され、長期的な気温トレンド表現向上に寄与していた (Kobayashi *et al.* 2015)。今後、彼らが JRA-55 を利用して更に高品質なバイアス補正值を作成し、気象庁次期再解析 JRA-3Q で利用されることが大いに期待される。

Rayner (英国気象局) は海面水温観測の品質管理

について講演した。例えばブイについてはセンサーがノイジーか、陸地を移動していないか、船舶に回収されていないか、のチェックに加え、内部的な整合性チェックを行い、必要に応じてバイアス補正や均質化などを行っている。このような品質管理をブイだけでなく採水バケツ法についても行い、各観測のバイアスを把握している。また1950年以前の海水観測データを紙媒体資料からデータレスキューする計画があると報告した。20世紀前半の海水観測が得られれば、大気再解析の境界値として非常に有用であり、計画の進捗が期待される。Thorne (メイヌース大、アイルランド) は ECMWF の C3S 業務で提供を予定している地上および海洋観測データベースについて講演を行い、利用者が適切に利用できるような、収集したデータの併合や均質化などの適切な品質管理を行っていることを述べた。また Kent (英国国立海洋研究所) は海洋データセット ICOADS についてデータソースからの重複問題を指摘した。データを再処理することによってデータ併合のミスを正し、データを適切に識別できるように改善する方向性を示した。

Brunet (Rovira i Virgili 大学、スペイン) は EU から資金提供を受けている EURO4M プロジェクト (2009~2013年) および UERRA プロジェクト (2014~2017年) における各国のデータレスキューの取り組みについて講演した。参加国はヨーロッパ主要国のほかにスペインのカタルーニャ州、エジプト、ヨルダン、リビア、マケドニア、モンテネグロなど多数となっている。UERRA プロジェクトでは1950年以前の期間がターゲットとなっており、レスキューされたデータは全て ECMWF の MARS システムで入手可能となる予定である。またターゲットとする観測要素には最高気温、最低気温、降水量、気圧などが含まれている。公開データには事前に品質管理も施すとのことだった。地上気象観測データのデータレスキューに関する口頭発表はこの1件のみであったが、ポスター発表では、アフリカのコンゴ民主共和国やタンザニアなど、これまで観測データの過疎地域とされてきた領域での長期的なデータレスキューの取り組みが紹介されていた。これらのデータはインターネット上で公開予定であり、今後の長期再解析において利用されるのみならず、これまで作成された長期再解析プロダクトの検証用データとして期待される。

Johnson (ADNET/NASA, 米国) は、1979年以前の古い年代の衛星データ復旧や再処理への NASA

の取り組みについて講演を行った。1960, 1970年代の Nimbus, Explore および Tiros 衛星などによる観測は、IBM のテープに収録されており、昔のフォーマットを読まなくてはならないことに加えてテープの物理的な癒着や破損など様々な問題があり、非常に時間のかかる作業であることを述べていた。また Schulz (EUMETSAT) は1970年代の衛星 Meteosat-1のデータレスキューや Metop-A 衛星搭載の ASCAT による散乱計データの再処理、Meteosat や NOAA 衛星の AVHRR データから得られる大気追跡風の再処理計画について紹介したほか、Fennig (ドイツ気象局) は従来の SSM/I および SSMIS に加えて SMMR (1978年～) による輝度温度データをデータセットとして追加する取り組みを紹介した。これらのデータの均質化には ERA-Interim や ERA-20C などの長期再解析プロダクトが利用され、観測データセットの再処理等による高品質化や期間拡張によって、今後作成される長期再解析の高品質な期間が過去に拡張される可能性が示唆された。

(原田やよい)

### 3.3 再解析の手法

このセクションでは11件の口頭発表があり、(1)長期海洋再解析の高度化や境界条件としてのインパクトについて、(2)再解析作成の同化手法、特にアンサンブル化とそれを用いた不確実性の評価について、(3)アイスコアの同位体や樹木の年輪などを用いた古気候再解析について、(4)超高層大気や雪などの再解析作成手法についての講演があった。

まず(1)について、Heimback (テキサス大, 米国) は、海洋再解析として有名なデータセットの一つ、ECCO での取り組みについて紹介した。ECCO では、解析全期間 (24年間) を一つの同化ウィンドウとして設定し、4次元変分法を適用している。そうすることで物理量の連続性が担保されることが特徴とのことだった。Horanyi (ECMWF) は、ERA 5 から導入された再解析のアンサンブル化について紹介した。現業予報ではすでにアンサンブル予報が一般化しているが、一部の再解析 (20世紀再解析等) を除いて現在の再解析データではアンサンブル情報は提供されていない。しかしながら、解析値の信頼性を測る指標として有用であるため、低解像度 (それでも約60 km) での10メンバーによる解析が進んでいるとのことであった。そもそも一つの再解析の作成にも大きな資源が必

要なところ、さらに大きな負荷をかけられるあたり、ECMWF の本気度を感じずにはいられなかった。

(2)について、Zhang (中国海洋大学) が AMOC 再現のためのアンサンブル結合データ同化を紹介した。大気・海洋におけるそれぞれのデータ同化ウィンドウの違いによる影響について調べ、サブデイリーなどの高頻度な観測が AMOC 再現性に影響を及ぼすことを明らかにした。Goddard (ECMWF) から同様に、ERA-Clim2でのデータ同化ウィンドウの違いによる影響について紹介があった。Akkraoui (NASA) は、2016年に公表された MERRA-2 での誤差共分散について、1980年代と2010年代で異なることを指摘し、今後 NASA で検討している4次元アンサンブル変分法及び Hybrid DA (ここではアンサンブルデータ同化手法と変分法のハイブリッド) への適用可能性を議論した。Laloyaux (ECMWF) は、今後主流になっていくであろう「地球システムデータ同化」の概念と、ECMWF の結合再解析 (CERA) についての紹介を行った。ECMWF では大気海洋結合再解析を目指しており、特に強結合することで海洋同化の影響が数時間で大気に伝わる点を強調した。日本の気象庁における次期再解析へ向けた取り組みとして、原田 (気象庁) は JRA-3Q で使用が予定されている SST の仕様とその特徴について、小林 (気象研) は気象研究所で取り組まれている大気海洋結合同化システムについてポスター発表で報告を行った。また、原田 (気象研) は JRA-55 で表現された大気変動についてポスター発表を行った。その他、山崎 (JAMSTEC) は実験的アンサンブル再解析 ALERA2 とそれに実装した観測インパクトの診断的評価ツールの紹介を口頭発表で行った。

(3)は、これまでの再解析会議では含まれていなかった、数百年スケールでの古気候再解析 (Paleoclimate Reanalysis) への取り組みについてであった。かつて年輪やサンゴの同位体比などのプロキシ情報は、気候情報へ経験的に「復元」されることが主流であったが、近年では様々なやり方での「データ同化」が提案されてきている。芳村 (東大) が、古い日記に書かれた天気情報と年輪やサンゴの同位体比などのプロキシ情報をデータ同化して作成する長期再解析データへの挑戦について説明した。オンラインデータ同化に対してオフラインデータ同化という手法が、長期間を対象としたデータ同化では用いられることも示した。ついで Goosse (ルーヴァン大, ベルギー) が、

自身が開発した LOVECLIM に粒子フィルタを適用してアイスコア情報をデータ同化した、1000年規模のデータセットを紹介した。しかし、20世紀に入って顕在化している南極大陸東西のアイスコアデータの違いは、どれだけ粒子数を増やしてもそれを満たすランは出てこない、ということの問題点として挙げていた。さらに Brönnimann (ベルン大, スイス) は、プロキシから復元された気候情報で拘束された長期間大気データ (約500年, 月単位; Franke *et al.* 2017) を紹介した。これは、CMIP などで実施されているミレニアム実験結果に、いわゆるオフラインデータ同化を用いることで、時間変動 (特に ENSO に起因する変動) を現実に合わせてという意味合いを持つ。

最後に (4) について、Yudin (NOAA) は、地表から 500 km 上空に及ぶ大気全体 (whole atmosphere) のデータ同化について紹介した。また Giroto (NASA) は、雪の再解析データとして、連続性が担保されるスムーザを使用したデータ同化プロダクトを示した。そういったストック量については、連続性に強みをもつスムーザの良さが際立つことが印象的であった。(芳村 圭・山崎 哲)

### 3.4 再解析の評価

本セクションでは、13件の口頭発表と78件超のポスター発表があった。評価対象は、全球大気再解析、領域再解析、海洋再解析であり、対象とする診断量、空間スケール (全球から特定地域まで)、高度領域は多岐に渡っていた。ERA5や MERRA-2など各再解析実施機関の最新の再解析データでは、降水や土壌水分等さまざまな診断量において、以前のバージョンのものよりも改善していることが報告され、継続的な技術改善の重要性が確認された。一方で、最新版においてもデータ同化システムや予報モデルに依然として問題も残っており、診断量によって「最適な (より真実に近い) 再解析データ」は異なっていると考えられる。従って、複数の再解析データからの結果を比較し、平均を取るなり、ばらつき具合から不確かさの情報を得るなりすることが望ましい。

冒頭の招待講演として、藤原 (北大) が、成層圏を中心とする大気科学コミュニティー SPARC による S-RIP (Fujiwara *et al.* 2017; <https://s-rip.ees.hokudai.ac.jp/>, 2018.2.8閲覧) という再解析比較プロジェクトの7年に渡る活動といくつかの科学的成果を紹介した。さらに、S-RIP によるオゾン・水蒸気

データの比較・評価 (Davis (NOAA); Soci (ECMWF)), 成層圏大気寿命の比較・評価 (Charbrillat (BIRA-IASB, ベルギー)) に関する口頭発表が続いた。また、海洋再解析データについては、CLIVAR と GODAE による ORA-IP (Balmaseda *et al.* 2014) という比較プロジェクトが実施されてきており、診断量として、大気海洋間熱フラックスと海面水温、大西洋子午面循環、貯熱量、海洋混合層深、塩分、海水、ステリック海面水位 (密度変化由来) が扱われている。口頭発表では、Chevallier (フランス気象局) による北極海の海水の再解析間比較に関する議論があり、結果のばらつきの原因として予報モデルの海域による癖、同化する観測データの違いなどが挙げられていた。これまで、再解析データ選択の指針やユーザー・再解析実施機関間のコミュニケーションのプラットフォームとして、NCAR Climate Data Guide (<https://climatedataguide.ucar.edu/>, 2018.2.8閲覧) や Reanalysis.org (<https://reanalyses.org>, 2018.2.8閲覧) の質疑応答の機能などがあったが、S-RIP や ORA-IP のようなコミュニティーレベルの比較プロジェクトは、このような目的に適していると認識されるようになってきた。WCRP では2016年に TIRA を立ち上げ、こういったコミュニティーレベルの比較検証活動をさらに推進しようとしている。(藤原正智)

高解像度大気場データに対する需要は、気象・気候以外の分野 (たとえば風力発電業界) から大きい。大気場を高解像度で精度よく再現するには、福井 (東北大) が「再解析の手法」のセクションのポスター発表で指摘したように、単に高解像度領域モデルを駆動させる力学的ダウンスケールでは不十分で、観測の同化も行う領域再解析が必要である。既にいくつかの領域再解析が試みられ始めている。全球再解析よりも解像度が高い再解析である特長として、Wahl (HErZ, ドイツ) 及び Keller (HErZ) は、欧州を対象とした領域再解析の様々な地上要素の再現性について紹介した。領域再解析の信頼性の観点からは、Niermann (ドイツ気象局) が複数の領域再解析を相互比較した結果について紹介した。欧州では、ECMWF が全球再解析を行い、それを側面境界として、英国気象局やドイツ気象局などが各々のシステムで、共通した欧州域を対象に領域再解析を実施する構図となっており、その強みを生かした形である。また、Jerney (英国気象局) は、アンサンブルデータ

同化により欧州を対象とした領域再解析を行い、アンサンブルスプレッドが誤差の変動とよく対応し、信頼性の目安となることを示した。欧州域を除けば、共通した領域を対象とする領域再解析が複数存在する地域はほとんどなく、単一システムによって信頼度情報を得られるアンサンブル手法の導入が、領域再解析では、全球再解析以上に重要であろう。(福井 真)

高緯度・寒冷域に関する発表をいくつか報告する。北極や南極域の気候研究には再解析が多く使われるが、観測が少ないため不確実性は高く(Karl *et al.* 2015)、観測に基づく比較検証が必要である。本会議では大気再解析について、Cullather(メリーランド大, 米国)は北極における気温の相互比較、大島(JAMSTEC)は太平洋側北極海のラジオゾンデ観測に基づく再解析とTIGGEの評価、Wegmann(グルノーブル大, フランス)はロシア域の積雪深と放射、Valisuo(ノルウェー気象研究所)はグリーンランドの表面融解、Przybylak(ニコラウス・コペルニクス大, ポーランド)は19世紀以降の観測を使った20世紀再解析(20CRv2)の評価を発表した。また海洋再解析について、ORA-IPの一環でChevallier(フランス気象局)とIovino(CMCC)は北極と両極の海水の比較評価、Pietschnig(ウィーン大)は北極海を出入りする熱水輸送を発表した。Bromwich(オハイオ大, 米国)からは前回に引き続き、北極域の領域大気再解析について、ASRv1(30 km, 2000~2012)に対して高解像度化、モデル・同化手法が改良されたASRv2(15 km, 2000~2012, Bromwich *et al.* 2018)が発表され、後継として北極プロジェクトのYOPP・MOSAiCに伴って過去40年間に延長したASRv3の計画が紹介された。Reichle(NASA)はMERRA-2の陸面プロダクト(MERRA-2 Land)について、観測で修正した降水量を陸面モデルへ入力することで陸面過程の改善が示された。残念ながら高緯度域は観測の信頼性が低く対象外であるが、今後GPM等の利用により高緯度への拡大を期待したい。往復路ではハバロフスク付近でアムール川が凍結し始めている様子が見え、このような現象をASRv3やMERRA-2 Landで解析できると良いと思った。また全体を通して、最近では複数の大気・海洋再解析が作成され、相互比較や不確実性評価がなされるようになってきたことから、地球温暖化研究のCMIPと似た側面があるような印象を受けた。(大島和裕)

### 3.5 再解析の応用

本セクションでは、再解析データの応用事例として、地球システムのエネルギー収支推定等の大気科学分野での利用から、再生可能エネルギー(風力、水力等)のポテンシャル評価等の応用分野での利用まで、様々な分野からの発表があった。口頭発表は15件、ポスター発表は約50件と、前回会議の同セクション(口頭発表で6件)に比べると発表数が増加しており、再解析利用の進展が実感できるものだった。

招待講演のVon Schuckmann(Mercator Ocean, フランス)からは、海洋再解析を用いた地球のエネルギー収支評価についての発表があった。全球的な気候変化は、全球地上気温でなく地球のエネルギー収支を指標として評価すべきであり、海洋貯熱量の変化からエネルギー収支の推定ができるので、海洋再解析が地球のエネルギー収支の推定に重要な役割を果たすことが示された。

Buizza(ECMWF)はECMWFの現業数値予報における再解析データの利用例について報告した。中期予報や季節予報等においてはモデルの検証や系統誤差の補正等のため過去の再予報が必要であり、ECMWFではその初期値として大気再解析(ERA-Interim)及び海洋再解析(ORAS5)が利用されている。再予報の応用例として、アンサンブル予報に基づく確率予測情報の表示(Extreme Forecast Index; Lalaurette 2003)や、顕著現象に関する予測スキルの評価等があり、再解析はこれらの基盤データとして非常に重要な役割を果たしていることが示された。

Kaspar(ドイツ気象局)は、再生可能エネルギー分野における領域再解析データの利用可能性について議論を行った。近年のドイツにおけるエネルギー政策の転換に伴い、ドイツ気象局には風力発電施設の立地評価等に必要となる風速・風向データについてユーザー(政府機関や民間投資家等)からの問い合わせが急増している。しかしながら、従来の気候監視業務等で利用されている観測データでは、立地想定地と観測点が空間的に離れており代表性が必ずしも担保されない、観測の開始時期・欠損等により長期間のデータが利用できない場合がある等の理由で、ユーザーのニーズに応えうる信頼性の高い情報の提供が困難という課題がある。領域再解析は、空間・時間方向に均質かつ高解像度の情報を不確実性ととも提供可能という点でこのような課題の解決に貢献する可能性があり、本報告では欧州委員会のファンドで実施された領域再解析プ

プロジェクト (UERRA) の出力値を例にその有用性が主張された。

その他、再解析で表現された低気圧に伴う圏界面の折れ込み (folding) 現象を地上オゾン観測で検証し、数週間から長期変化までの気象要素・オゾンデータをセットとして提供することで大気汚染の管理におけるデータの利用価値が高まることを示した発表や、風力発電のポテンシャル評価を目的として地上風の再解析間比較を行い、不確実性を推定する試みが行われていることを示す発表があった。

このように、大気科学のみならずエネルギー工学・水文学まで様々な分野において再解析データの利用が進みつつあり、今後時空間的により高解像度で高精度な再解析データに対するニーズが更に高まると期待されている。しかしながら、大気科学分野の専門家ではない利用者 (特に再生可能エネルギー分野等) が再解析データにアクセスすることは容易ではなく、不確実性に関する情報の提供も不十分である等の課題が出席者から指摘された。現時点では再解析データの作成者と利用者のコミュニケーションが不足していることも課題である。今後再解析の作成者・利用者の対話が進み、再解析データが様々な分野において効果的・効率的に利用されるようになることを期待したい。

(原田 昌・小林ちあき)

#### 4. パネルディスカッション

2日目午後のパネルディスカッションでは、「再解析: 研究における課題から気候業務・応用分野における現業的利用まで」と題して Terblanche (WCRP 事務局長) の司会のもと討論が行われた。再解析作成から評価を経て利用に至るバリューチェーンをレビューすることを目的として、以下の5人のパネリストがその各分野を代表して討論を行った。

- (1) Schulz (EUMETSAT): 観測
- (2) Pawson (NASA): データ同化
- (3) Mariotti (NOAA): モデル開発
- (4) 古林 (気象庁): 品質評価
- (5) Pinty (欧州委員会): 応用利用

主な論点としては、地球システム再解析が今後の方向性として明確になる中で、それに向けた研究開発では計算機資源の制約や使用目的を踏まえながら様々なアプローチ (結合同化、大気・海洋・陸面を個別に同化等) を検討する必要があること、高解像度化によるデータ容量の増加に伴いデータを効率的に保管・交換

することが課題であること、再解析データの更なる改善・効率的な利用には現業機関と研究コミュニティの間の意見交換の促進が必要であること等が述べられた。(古林慎哉)

#### 5. 全体討論

最終日の全体討論では、各セクションの議長及びラポーターによってまとめられたセクション毎の発表・議論の概要が報告され、再解析実施機関や関係機関に向けた再解析を更に発展させるための勧告が示された。以下に勧告の要点を記す。

- ・再解析実施機関が地球システム結合再解析の方向に進む中で、対象とする期間の長さに応じて異なる観測システムを用いてプロダクトを作成する「ファミリー」の概念 (代表例としては JRA-55, JRA-55C, JRA-55AMIP, JRA-55CHS のファミリー (Kobayashi *et al.* 2014; Masunaga *et al.* 2018)) を採用し、多様な研究や応用利用を支援できるよう様々な再解析プロダクトを作成すべきである。
- ・再解析の適用範囲を広げるためには、データレスキュー、観測データの再処理・再校正・品質管理を支援し、観測データセットの利用可能期間を過去に向かって延長することが重要である。
- ・大気及び海洋再解析相互比較プロジェクトの成功事例を踏まえながら、大気・海洋・陸面を結合した地球システム再解析の表現する気候の平均場、変動特性、極端現象の診断及び評価活動を促進すべきである。
- ・気候業務や政策決定等における再解析の利用を広げるためには、再解析の品質の適切な定量化と情報共有を行うことが重要である。(古林慎哉)

#### 6. おわりに

この会議では、「地球システム再解析」構築に向けた研究開発、再解析の実施に不可欠な観測データのデータレスキューや品質向上のための再処理、コミュニティレベルでの再解析相互比較プロジェクトの実施による品質情報の拡充等、関係機関における様々な活動の成果が報告された。また、再解析の更なる改善のために取り組むべき課題について活発な議論が行われた。今後、再解析の利用を気候研究や気候業務から応用分野や政策決定など幅広い分野で促進するためには、関係機関の連携のもとで、それらの課題に取り組んでいくことが必要不可欠である。

諸外国における取り組みには、日本の長期再解析の更なる発展のために学ぶべきことが多くあった。特に、ECMWFでは、「地球システム再解析」構築に向けた開発作業が現業数値解析予報システムIFSを核としながら大気・海洋・化学等、各分野の開発者の協調のもとで推し進められている。異分野の開発者を結集・連携させて全体として力を発揮させるECMWFの組織力の高さを見習う必要があるだろう。そしてその一環として、日々の再解析場を巨大アンサンブルによる再予報の初期場として用い、この再予報を30年以上前から今日まで実施し続ける方針がBuizza (ECMWF)の講演で紹介された。こうした我が国のd4PDF (Mizuta *et al.* 2017)の発展型とも言えるシステムの運用により、今起きている極端現象が現時点でどれほど稀なのか、そして同様な現象がもし30年前に起きたならばさらに稀だったのか等を即座に評価できることになる。温暖化が進行する中で極端現象発現リスクに関する情報を社会へいち早く効果的に発信するシステム構築に組織的に取り組む戦略が印象に残った。

次回の第6回再解析国際会議は約5年後にアジア域での開催が想定されている。その時までに日本の長期再解析が更に発展し、その成果を世界に向かって発信する機会とできることを願う。

(古林慎哉・中村 尚)

## 謝 辞

本会議への出席に際し、科研費17H00728から小林が、17H01159から原田(や)が、16K05548から藤原が、ポスト「京」重点課題4から福井が、それぞれ支援を受けた。この場を借りて感謝いたします。

## 略語一覧

20CR : 20th Century Reanalysis  
 ADNET : ADNET Systems, Inc.  
 ALERA2 : AFES-LETKF experimental ensemble reanalysis 2  
 AMOC : Atlantic Meridional Overturning Circulation  
 ASCAT : Advanced Scatterometer  
 ASR : Arctic System Reanalysis  
 AVHRR : Advanced Very High Resolution Radiometer  
 BIRA-IASB : Royal Belgian Institute for Space Aeronomy  
 C3S : Copernicus Climate Change Service  
 CAMS : Copernicus Atmospheric Monitoring Service

CERA : Coupled ERA  
 CERA-20C : Coupled European Reanalysis of 20th century  
 CFS : Climate Forecast System  
 CFSR : Climate Forecast System Reanalysis  
 CMA : China Meteorological Administration  
 CMCC : Euro-Mediterranean Center on Climate Change  
 CMIP : Coupled Model Intercomparison Project  
 COBE-SST : Centennial Observation-Based Estimates of SST  
 CRA : CMA Reanalysis  
 d4PDF : Database for Policy Decision Making for Future Climate Change  
 ECCO : Estimating the Circulation and Climate of the Ocean  
 ECMWF : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts  
 EMC : Environmental Modeling Center  
 ENSO : El Niño-Southern Oscillation  
 ERA : ECMWF Reanalysis  
 ERA-20C : European 20th Century Reanalysis  
 ERA-Clim2 : European Reanalysis of Global Climate Observations 2  
 EU : European Union  
 EUMETSAT : European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites  
 EURO4M : European Reanalysis and Observations for Monitoring  
 GEFS : Global Ensemble Forecast System  
 GFS : Global Forecast System  
 GMAO : Global Modeling and Assimilation Office  
 GNSS : Global Navigation Satellite System  
 GODAE : Global Ocean Data Assimilation Experiment  
 GPM : Global Precipitation Measurement  
 GSI : Gridpoint Statistical Interpolation  
 HErZ : Hans-Ertel Centre for Weather Research  
 Hybrid DA : Hybrid Data Assimilation  
 IBM : International Business Machines Corporation  
 ICOADS : International research community in products of the Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set  
 IESA : Integrated Earth system analysis  
 IFS : Integrated Forecasting System  
 JAMSTEC : Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology  
 JRA-3Q : Japanese Reanalysis for Three Quarters of a Century  
 JRA-55 : Japanese 55-year Reanalysis

- JRA-55AMIP : JRA-55 AMIP run  
 JRA-55C : JRA-55 using Conventional data only  
 JRA-55CHS : JRA-55C with high-resolution SST  
 LOVECLIM : LOch-Vecode-Ecbilt-CLio-agIsM Model  
 MARS : Meteorological Archival and Retrieval System  
 MERRA : Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications  
 MGDSST : Merged Satellite and In-situ data Global Daily Sea Surface Temperature  
 MOSAiC : Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate  
 NASA : National Aeronautics and Space Administration  
 NCAR : National Center for Atmospheric Research  
 NCEP : National Centers for Environmental Prediction  
 NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration  
 ORA-IP : Ocean Reanalysis Intercomparison Project  
 ORAS 5 : Ocean ReAnalysis System 5  
 RAOBCORE : the Radiosonde Observation Correction Using Reanalyses  
 SMMR : Scanning Multi-channel Microwave Radiometer  
 SPARC : Stratosphere-troposphere Processes And their Role in Climate, a core project of the WCRP  
 S-RIP : SPARC Reanalysis Intercomparison Project  
 SSM/I : Special Sensor of Microwave Imager  
 SSMIS : The Special Sensor Microwave Imager/Sounder  
 SST : Sea Surface Temperature  
 TIGGE : THORPEX Interactive Grand Global Ensemble  
 TIRA : WCRP Task Team for the Intercomparison of Reanalyses  
 UERRA : Uncertainties in Ensembles of Regional Reanalysis  
 WCRP : World Climate Research Programme  
 YOPP : Year of Polar Prediction
- 参 考 文 献
- Balmaseda, M. A. *et al.*, 2015: The Ocean Reanalyses Intercomparison Project (ORA-IP). *J. Oper. Oceanogr.*, **8**, doi:10.1080/1755876X.2015.1022329.  
 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.  
 Bromwich, D. H. *et al.*, 2018: The Arctic System Reanalysis version 2. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **99**, doi:10.1175/BAMS-D-16-0215.1.  
 Buizza, R. *et al.*, 2018: Advancing global & regional reanalyses. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, doi:10.1175/BAMS-D-17-0312.1.  
 Franke, J., S. Brönnimann, J. Bhend and Y. Brugnara, 2017: A monthly global paleo-reanalysis of the atmosphere from 1600 to 2005 for studying past climatic variations. *Sci. Data*, **4**, doi:10.1038/sdata.2017.76.  
 Fujiwara, M. *et al.*, 2017: Introduction to the SPARC Reanalysis Intercomparison Project (S-RIP) and overview of the reanalysis systems. *Atmos. Chem. Phys.*, **17**, 1417-1452.  
 Ishii, M., A. Shouji, S. Sugimoto and T. Matsumoto, 2005: Objective analyses of sea-surface temperature and marine meteorological variables for the 20th century using ICOADS and the Kobe Collection. *Int. J. Climatol.*, **25**, 865-879.  
 Karl, T. R., A. Arguez, B. Huang, J. H. Lawrimore, J. R. McMahon, M. J. Menne, T. C. Peterson, R. S. Vose and H. Zhang, 2015: Possible artifacts of data biases in the recent global surface warming hiatus. *Science*, **348**, 1469-1472.  
 Kobayashi, C. *et al.*, 2014: Preliminary results of the JRA-55C, an atmospheric reanalysis assimilating conventional observations only. *SOLA*, **10**, 78-82.  
 Kobayashi, S. *et al.*, 2015: The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5-48.  
 栗原幸雄, 桜井敏之, 倉賀野 連, 2006: 衛星マイクロ波放射計, 衛星赤外放射計及び現場観測データを用いた全球日別海面水温解析. *測候時報*, **73**, S1-S18.  
 Lalaurette, F., 2003: Early detection of abnormal weather conditions using a probabilistic extreme forecast index. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **129**, 3037-3057.  
 Masunaga, R., H. Nakamura, H. Kamahori, K. Onogi and S. Okajima, 2018: JRA-55CHS: An atmospheric reanalysis produced with high-resolution SST. *SOLA*, **14**, 6-13.  
 Mizuta, R. *et al.*, 2017: Over 5,000 years of ensemble future climate simulations by 60-km global and 20-km regional atmospheric models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **98**, 1383-1398.  
 大野木和敏ほか, 2012: 第4回WCRP再解析国際会議報告. *天気*, **59**, 1007-1016.  
 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.