

## 2016年春季「極域・寒冷域研究連絡会」の報告

## —極域における気象庁客観解析データの再現性と利用—

## 1. はじめに

現在, 世界各国の気象機関によって数値解析予報システムに基づく大気再解析が実施され, それらによって提供される長期間に渡るほぼ均質な大気データは極域の気候と気象研究においても欠かせなくなっている。日本においては, 気象庁と電力中央研究所との共同で JRA-25が開発され, その後 JRA-55とバージョンを重ね, 現在は次期プロダクトである JRA-3Q (Three Quarters of a century) が計画されている。今回の研究連絡会では, JRA 長期再解析や現業客観解析などの気象庁モデルがベースとなっているデータの, 極域における再現性と利用をテーマとし, 開発者と利用者の両方から5名に話題提供していただいた。2016年の3月にベースとなる GSM モデルが更新されたタイミングでもあり ([http://www.jma.go.jp/jma/press/1603/17a/20160317\\_nwp\\_himawari8.html](http://www.jma.go.jp/jma/press/1603/17a/20160317_nwp_himawari8.html), 2016年12月16日閲覧), その再現性をめぐり約40名の参加者の活発な質疑, 意見交換が行われた。以下に講演内容の抄録を記す。

担当世話人: 大島和裕\*

堀 正岳\*\*

[http://polaris.nipr.ac.jp/~pras/coolnet/cl\\_index](http://polaris.nipr.ac.jp/~pras/coolnet/cl_index)

## 2. 気象庁再解析プロダクト

## 2.1 JRA-55 (気象庁55年長期再解析) の品質について

釜堀弘隆 (気象庁気象研究所)

気候研究や異常気象分析などにおいては, 過去と現

在の現象を定量的に評価する上で長期間にわたる高品質で均質なデータセットが必要不可欠である。一方, 現業における数値解析予報システムの品質の向上は近年めざましいものがあり, 過去に作成されたデータと近年のデータとでは品質が均一とはいいがたい。長期再解析はこのギャップを埋めるデータプロダクトで, 現在存在する最も高性能の解析予報システムを用いて過去のデータを作成することで, 過去数十年にわたる高品質・均質なデータを提供することを目的としている。

気象庁55年長期再解析 (JRA-55) プロジェクトは2009年12月時点の現業システムに準拠し, 1958年からの55年間を対象とした再解析プロダクトであり, 先行した JRA-25 (Onogi *et al.* 2007) に対して大幅な改良と精緻化を実現した。

JRA-55は JRA-25と比較してより高度なデータ同化手法 (4D-Var) を採用し, モデルの解像度は T106・40層 (約120 km) から TL319・60層 (約60 km) に向上すると同時に, 物理過程においても数多くの改良を加えている。これによって下部成層圏の気温や熱帯における降水などといった物理量の品質は向上している。

しかし, 再解析の品質は物理量によって異なり, その地点における観測値にも大きく左右される。極域は北緯60度以北において1990年代以降に高層観測の回数が減った影響で品質が低下した一方で, 航空機観測, 衛星観測が増加したために期間によって品質は異なっている。

JRA-55の性能を観測値と比較するために気温に関して HadCRUT3データセットとのアノマリ相関を計算すると, 南緯60度以南, 北緯65度以北においては特に相関が悪いことが示される。降水については GPCPv2.2との同様の比較では, 北極およびユーラシア大陸上で10-20%ほど降水量が多い傾向が存在することが示される。

\* (連絡責任著者) Kazuhiro OSHIMA, 海洋研究開発機構 北極環境変動総合研究センター。

[kazuhiroo@jamstec.go.jp](mailto:kazuhiroo@jamstec.go.jp)

\*\* Masatake E. HORI, 海洋研究開発機構 北極環境変動総合研究センター。

© 2017 日本気象学会

JRA-25を用いた過去の研究ではJRAシリーズが積雪深を過小評価する傾向があることが示されている一方で、ERA-40やNCEP/DOEなど他の長期再解析プロダクトでは積雪期の過大評価と融雪期の過小評価が報告されており、積雪の季節変化を扱う研究においては注意が必要となる (Khan *et al.* 2008).

また、JRA-55には積雪データについて格子点の内挿時におけるバグが存在し、これらのグリッドにおいては積雪が過小・過大評価されていることに対応して顕熱や短波フラックスにも影響が出ている。

これらの問題は2018年から計算を開始する予定の次の長期再解析プロジェクトJRA-3Qにおいて対応予定である。

なお、JRA-55についての詳細は基準論文であるKobayashi *et al.* (2015), Harada *et al.* (2016) を参照されたい。

## 2.2 JRA-3QにむけたGSM1603の改良点概要

保坂征宏 (気象庁気象研究所)

JRA-3Q (Three Quarters of a century=75年とともに、Thank Youの語呂合わせも意図している) では2016年3月における最新の短期予報システムであるGSM1603,あるいはさらに修正を加えたGSM1703を再解析モデルとして採用予定である。本稿ではその改良点について概要を説明する。

まず、JRA-55に比べ、JRA-3Qではモデルの鉛直解像度が60層から100層に増え、積雲スキーム、放射スキーム、海面過程、陸面モデルにも改良が施されている。

特に海洋過程で懸案であった海水については、開水・海水混在格子の取り扱いを可能にすることで、海水密度はこれまでの0/1ではなく解析値を用いることができるようになり、海水縁辺部における性能が向上した。また海水温度は鉛直4層で計算するよう改良された。

陸面モデルはiSiBを採用し、地表面フラックスの計算方法が改良されている。積雪はこれまでの1層が4層、土壌についても1層から7層になったことで強制復元法ではなく、熱伝導方程式を用いた計算が可能となった。

鉛直拡散・地表面スキーム全体として、安定時のスキームが改良されており、これも極域での振る舞いの改良につながると期待される。

JRA-3Qについては対象年を1948年以降としている

が、データレスキューが間に合う限りできるだけ計算期間をさかのぼることを検討しているため、提供可能なデータが存在する場合はぜひ協力を検討していただきたい。また、長期再解析に用いられるモデル自体についても、現在の数値予報GPVデータと観測値の比較などのフィードバックを提供していただくと、改良・修正される可能性がある。データ利用者によるアクティブな利用を期待している。

## 3. 気象研究所における海洋・海水データ同化システムの開発

豊田隆寛 (気象庁気象研究所)

極域を含む海洋・海水現象に対するモデリング研究は、近年活発に行われている。これは、極域におけるプロセスの理解のみならず、深層水形成・温暖化の増幅・中緯度気候への影響などと関係して、全球的な気候変動研究として重要である。モデリングにおいて現実的な再現を得るために、モデル性能の向上に加えてデータ同化による取り組みが行われており、プロセス研究のための再解析や予測のための初期値化などに利用されている。気象研究所においても、気象庁による季節予測の精度向上のために全球海洋データ同化システムの開発を行っている。今回は、気象研究所で開発した海水データ同化スキームについて紹介した。

衛星観測を利用することで、長期間・広範囲で使用できる海水密度データ同化が可能となる。海水密度データの同化は、同様のモチベーションから他のいくつかの現業機関で行われているが、いくつかの課題も残っていると考えられる。極域では中低緯度と比べて、大気場においても観測が十分ではないので、大気フォーシングとして用いられるデータ、主に大気再解析データには表面付近で大きな誤差が報告されている (例えば、Liu *et al.* 2008; Inoue *et al.* 2011; Jakobson *et al.* 2012; Lindsay *et al.* 2014)。海洋・海水モデルで再現される海水場は、大気フォーシングに強く影響されるので、この誤差が再現性に影響することになる。我々の予備実験においても、モデルの海水密度を衛星観測データに強く復元しても (短い時定数でモデル計算値を観測に近づける修正を行っても)、グリッド内の海水上端温度と開水部水温の面積平均 (グリッド上端温度) はほとんど変化しない結果となった。これは、大気フォーシングである気温がグリッド上端温度の決定に支配的であるためである。確水ほか (2010) の結果からも、この状況では海水の時

間変化は熱力学項とデータによる復元項のバランスが支配的となっており、海水モデル内での自然な熱バランスではないため、(復元項のない) 予報実験の際には大きな初期ショックが予想される。

以上の問題意識から、我々は海水密度データを同化する際に大気フォーシングを修正するようなシステムの開発に取り組んだ。ベースとなる既存のシステムは、海洋の水温・塩分・海面高度データを3次元変分法により同化するシステム (Toyoda *et al.* 2013) である。これに加えてMGDSSTの海水密度データ (栗原ほか 2006) を同化する。3次元変分法により海水密度の解析値を作成し、これを用いて同化ウィンドウ (10日間) 内でIncremental Analysis Updates法 (Bloom *et al.* 1996) によりモデル値を修正する。この際、インクリメントが熱力学的に整合的に挿入されるように、大気フォーシングの海上気温を修正する。ここで (インクリメントにより) 海水面積を変えても海水の鉛直構造 (エンタルピー、厚さ、積雪深など) は変わらない。また、グリッド上端温度と大気フォーシングの海上気温との関係は変わらないと仮定する。海上気温の修正と整合するように、比湿も修正する。

上記のように大気フォーシングの修正を行うことで、それを行わない実験よりも解析場に近い場が得られた。これはより熱力学的に整合した海水場が実現していることを意味する。また、大気場の修正は、報告されている大気再解析データの誤差と整合するものであった。今後、4次元変分法などによる、より高度な境界条件の修正に向けた取り組みが求められるが、本研究では比較的簡便な手法により予測における初期ショックの少ない熱力学構造の改善を実現することが出来た。詳細は、Toyoda *et al.* (2016) を参照されたい。

#### 4. GTMIP入力データセット作成を目的とした北極陸域再解析データ比較

森 淳子 (国立極地研究所・海洋研究開発機構),

斉藤和之 (海洋研究開発機構),

宮崎 真 (株式会社ソニック),

末吉哲雄 (国立極地研究所), GTMIPグループ

GRENE北極研究の陸域課題 (GRENE-TEA) では、「北極陸域モデル相互比較プロジェクト (GTMIP, Miyazaki *et al.* 2015; Sueyoshi *et al.* 2016)」のために、GRENE-TEAなどで実施された

現地観測のデータに基づいてモデル入力および検証データを作成し、モデル間および各サイト間の比較を行った。Fairbanks (米国), Kevo (フィンランド), Tiksi (ロシア), Yakutsk (ロシア) の4カ所のサイトを対象に、1980年から2013年まで34年間のそれぞれのサイトの特徴を有したモデル入力データ (Lv1) を作成した。

これらの観測サイトはCRUのデータ作成や再解析のデータ同化には使われていない。観測サイトが分布する北緯60度以北の状況を最もよく再現しているデータセットを選択するために、陸面モデルの計算に重要な地表面気温と降水量についてCRUの月平均気温とGPCPの月平均降水量を使用して、JRA-55, ERA-Interim, NCEP-1, NCEP-2再解析データとの比較を行った。これらの比較の結果、気温はいずれもERA-Interimの再現性が良かった。降水量も同様にERA-Interimの再現性が全体的に高かったが、観測サイトによってはJRA-55が良い地点もあった。これらの結果に基づき、GTMIP入力データセットLv1の作成には、ERA-Interimをベースデータとして採用した (Sueyoshi *et al.* 2016)。

#### 5. 北ユーラシアの降水比較

廣田渚郎 (国立環境研究所)

高緯度における降水のデータ再現性を検討するため、北ユーラシアにおける降水量をGPCP2, CMAP, APHRODITE, GSMaP (ver.5) の観測データ, JRA-55, JRA-25, ERA-Interim, MERRA, NCEP, NCEP-2再解析と比較した。陸域 (0-180°E, 45-90°N) で平均した降水量の季節変化をGPCP2データで調べると、2-3月頃に1.2 mm day<sup>-1</sup>程度の極小値になり、7-8月頃に2 mm day<sup>-1</sup>程度の極大値になる。この季節変化は全ての観測データに見られ、全ての再解析データで表現されている。ただし、定量的にはデータ間に大きなばらつきが見られた。例えば、APHRODITEの冬の降水極小値は0.5 mm day<sup>-1</sup>程度で、夏の極大値は1.5 mm day<sup>-1</sup>程度である。特にGPCP2で冬の降水量が多いのは、例えば雪が風に流されて測定機に入らないことを補正している為だと考えられる。JRA-55再解析では、冬の降水極小値は0.8 mm day<sup>-1</sup>で観測のばらつきの中に入るが、夏の極大値は2.5 mm day<sup>-1</sup>で他の観測・再解析データよりも多い。JRA-25と比較すると、JRA-55の降水は全季節で0.2-0.5 mm day<sup>-1</sup>程度

多くなっている。

蒸発散量や雲放射効果（全天の短波/長波加熱を晴天のものから引く）についても比較した。蒸発散量も夏季に多くなる季節性が全ての再解析データで表現されており、JRA-55は他のデータばらつきの中にある。一方で、JRA-55の雲放射効果は、CERESの観測データやERA-Interimと比較して非常に小さかった。この雲が少ない傾向は、JRA-25でも見られていた。特にJRA-55の特徴として気が付いたことは、夏季の降水が他のデータに比べて多いことと、雲が少ないことである。

### 謝 辞

講演を快く引き受けてくださった諸氏に感謝申し上げます。また、会場の準備をしていただいた大会実行委員会の皆様に感謝いたします。

### 略語一覧

APHRODITE : Asian Precipitation - Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation  
アジア地域の日降水量グリッドデータ

CERES : Clouds and the Earth's Radiant Energy System  
NASAの雲・地球放射エネルギー観測システム

CMAP : Climate Prediction Center (CPC) Merged Analysis of Precipitation  
アメリカ国立気象局気候予測センターの全球降水量データ

CRU : Climatic Research Unit  
イースト・アングリア大学気候研究ユニット

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

ERA : ECMWF Re-Analysis  
ECMWF再解析データ

GTMIP : GRENE-TEA model intercomparison project  
GRENE-TEA陸域モデル相互比較プロジェクト

GPCP : Global Precipitation Climatology Project  
NASAゴダード宇宙センターの全球降水量データ

GPV : Grid Point Value  
解析値および予報値の格子点値

GRENE : グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス

GRENE-TEA : GRENE Terrestrial Ecosystem in Arctic  
GRENE北極プロジェクトの陸域課題

GSM : Global Spectral Model  
全球数値予報モデル

GSMaP : Global Satellite Mapping of Precipitation  
JAXA衛星全球降水マップ

HadCRUT3 : Met Office Hadley Centre Climate Research Unit temperature, version 3  
イギリス気象庁ハドレーセンターとCRUによる全球気温データ

iSiB : improved Simple Biosphere model  
植生キャノ

ピーサブモデル

JRA : Japanese Re-Analysis  
気象庁再解析データ

MERRA : Modern Era Retrospective-analysis for Research and Applications  
NASA再解析データ

MGDSST : Merged satellite and in-situ data Global Daily Sea Surface Temperature  
気象庁の全球海面水温データ

NCEP/DOE : National Centers for Environmental Prediction/Department Of Energy  
アメリカ環境予測センター/エネルギー省

### 参 考 文 献

Bloom, S. C., L. Takacs, A. M. da Silva and D. Ledvina, 1996: Data assimilation using incremental analysis updates. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 1256-1271.

Harada, Y., H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, S. Kobayashi, Y. Ota, H. Onoda, K. Onogi, K. Miyaoka and K. Takahashi, 2016: The JRA-55 Reanalysis: Representation of atmospheric circulation and climate variability. *J. Meteor. Soc. Japan*, **94**, 269-302.

Inoue, J., M. E. Hori, T. Enomoto and T. Kikuchi, 2011: Intercomparison of surface heat transfer near the Arctic marginal ice zone for multiple reanalyses: A case study of September 2009. *SOLA*, **7**, 57-60.

Jakobson, E., T. Vihma, T. Palo, L. Jakobson, H. Keernik and J. Jaagus, 2012: Validation of atmospheric reanalyses over the central Arctic Ocean. *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L10802.

Khan, V., L. Holko, K. Rubinstein and M. Breiling, 2008: Snow cover characteristics over the main Russian river basins as represented by reanalyses and measured data. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **47**, 1819-1833.

Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebata, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka and K. Takahashi, 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**, 特別号, S1-S18.

Lindsay, R. W., M. Wensnahan, A. Schweiger and J. Zhang, 2014: Evaluation of seven different atmospheric reanalysis products in the Arctic. *J. Climate*, **27**, 2588-2606.

Liu, J., Z. Zhang, Y. Hu, L. Chen, Y. Dai and X. Ren, 2008: Assessment of surface air temperature over the Arctic Ocean in reanalysis and IPCC AR4 model simulations with IABP/POLES observations. *J. Geo-*

- phys. Res., 113, D10105.
- Miyazaki, S., K. Saito, J. Mori, T. Yamazaki, T. Ise, H. Arakida, T. Hajima, Y. Iijima, H. Machiya, T. Sueyoshi, H. Yabuki, E. J. Burke, M. Hosaka, K. Ichii, H. Ikawa, A. Ito, A. Kotani, Y. Matsuura, M. Niwano, T. Nitta, R. Oishi, T. Ohta, H. Park, T. Sasai, A. Sato, H. Sato, A. Sugimoto, R. Suzuki, K. Tanaka, S. Yamaguchi and K. Yoshimura, 2015: The GRENE-TEA model intercomparison project (GTMIP) : overview and experiment protocol for Stage 1. *Geosci. Model Dev.*, 8, 2841-2856.
- 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.
- Sueyoshi, T., K. Saito, S. Miyazaki, J. Mori, T. Ise, H. Arakida, R. Suzuki, A. Sato, Y. Iijima, H. Yabuki, H. Ikawa, T. Ohta, A. Kotani, T. Hajima, H. Sato, T. Yamazaki and A. Sugimoto, 2016: The GRENE-TEA model intercomparison project (GTMIP) Stage 1 forcing data set. *Earth Syst. Sci. Data*, 8, 1-14.
- Toyoda, T., Y. Fujii, T. Yasuda, N. Usui, T. Iwao, T. Kuragano and M. Kamachi, 2013: Improved analysis of seasonal-interannual fields using a global ocean data assimilation system. *Theor. Appl. Mech. Japan*, 61, 31-48.
- Toyoda, T., Y. Fujii, T. Yasuda, N. Usui, K. Ogawa, T. Kuragano, H. Tsujino and M. Kamachi, 2016: Data assimilation of sea ice concentration into a global ocean-sea ice model with corrections for atmospheric forcing and ocean temperature fields. *J. Oceanogr.*, 72, 235-262.
- 碓氷典久, 今泉孝男, 辻野博之, 2010: MOVE/MRI.COM への海水密接度同化の導入に向けて—オホーツク海を対象とした予備調査と簡易同化実験—. *測候時報*, 77, 特別号, S71-S82.