

気象庁第3次長期再解析 JRA-3Q

千葉丈太郎、古林慎哉、高坂裕貴、徳廣貴之

(気象庁 数値予報開発センター)

直江寛明、小林ちあき、原田やよい

(気象庁 気象研究所)

1. はじめに

気象庁では、現在、気象庁第3次長期再解析 (Japanese Reanalysis for Three Quarters of a Century; JRA-3Q; 気象庁 2021) の本計算を実施している。JRA-3Q では、現行の気象庁 55 年長期再解析 (JRA-55; 古林ほか 2015) 実施以降の全球数値解析予報システムの開発成果とデータレスキューや衛星データの再処理による過去の観測データ拡充の成果を活用することで、長期再解析データの更なる品質向上を目指している。JRA-3Q では 1940 年代末以降を対象としており、1990 年代～現在まで (ストリーム A) の本計算は 2021 年 5 月に完了し、1960 年代～1980 年代 (ストリーム B) 及び 1940 年代末～1950 年代 (ストリーム C) の本計算についても 2021 年度中に完了する予定である。

本稿では、JRA-3Q の概要及び既に計算が完了した期間の品質評価結果について述べる。

2. JRA-3Q の概要

JRA-3Q は 2018 年 12 月時点の現業全球データ同化システム (JMA 2019) の低解像度 (TL479 解像度) 版に基づいており、JRA-55 実施以降の現業システムにおける開発成果が反映されている。例えば、物理過程の大幅な改良により、放射収支、地表面顕熱・潜熱フラックス、降水分布等における系統誤差が縮小した気象庁の全球スペクトルモデル (GSM) が利用されている。また、2018 年 6 月に導入した高性能のスーパーコンピュータシステムの計算能力を活用し、JRA-55 よりも高解像度化されている。

大気モデルの境界条件として与えられる海面水温及び海氷について、ストリーム A 期間では、西岸境界流付近の海面水温の急峻な水平勾配が大気境界層に与える影響をより適切に表現できるよう、衛星観測に基づいた 0.25 度解像度の MGDSST (栗原ほか 2006) を利用している。ストリーム B 及び C 期間では、海面水温の時空間変動特性の表現向上のためのリコンストラクション手法、及び品質の向上した海氷データを用いた、現場観測に基づく 1 度解像度の COBE-SST2 (Hirahara et al. 2014) を利用している。

また、予報モデルの放射過程及び衛星赤外測器輝度温度同化における放射伝達計算の入力データとして、下部成層圏のオゾン濃度ピークの過小バイアスが改善した化学気候モデル MRI-CCM2 (Deushi and Shibata 2011) を用いて作成されたオゾン再解析データを使用している。

3. 品質評価結果

3.1. 2 日予報スコア

図 1 と図 2 はそれぞれ、北半球及び南半球の中・高緯度 500hPa 高度 2 日予報と熱帯域対流圏上層及び下層の風ベクトル 2 日予報について、JRA-3Q、JRA-55、JRA-25 (Onogi et al. 2007) 及び現業全球データ同化システムの二乗平均平方根 (RMS) 誤差を示している。予報スコアの良い順に JRA-3Q、JRA-55、JRA-25 となっており、データ同化システムの着実な性能向上の効果が認められる。また、再処理衛星データの取得・利用等による観測データの拡充・品質向上も予報スコア向上に寄与している。特に、JRA-3Q では

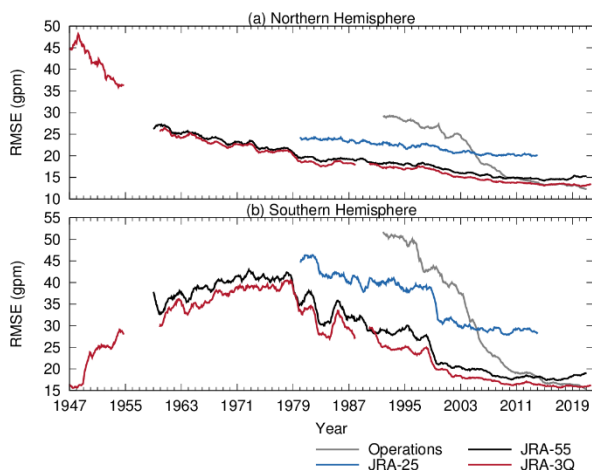


図1 JRA-3Q、JRA-55、JRA-25 及び現業全球データ同化システムの 500hPa 高度 2 日予報 RMS 誤差。検証対象はそれぞれの解析値。値は直前の 12 か月間の平均値を表す。(a) 北半球中・高緯度、(b) 南半球中・高緯度。

1990 年代の南半球中・高緯度の 500hPa 高度 RMS 誤差が大きく改善した結果、他の期間・領域との予報スコアの差が縮小しており、プロダクトの均質性が向上していると言える。

3.2. 放射フラックス及び降水

図 3 は、大気上端上向き長波放射フラックスと大気下端下向き短波放射フラックスの期間平均値について、JRA-3Q と JRA-55 の CERES-EBAF (Loeb et al. 2018) からの差を示している。まず、大気上端上向き長波放射フラックスについては、JRA-3Q、JRA-55 とともに全球的な過大バイアスが見られるが、JRA-3Q では南・東南アジアや中央アフリカの過大バイアスが改善している。次に、大気下端下向き短波放射フラックスについては、JRA-3Q ではアフリカ大陸のバイアスが改善し、熱帯域の海上に世界的に見られる過小バイアスについても JRA-55 より緩和している。

図 4 は、降水強度の期間平均値について、JRA-3Q と JRA-55 の GPCP (version 2.3; Adler et al. 2003) からの差を示している。JRA-55 では、熱帯収束帯 (ITCZ) 付近で顕著な過大バイアス

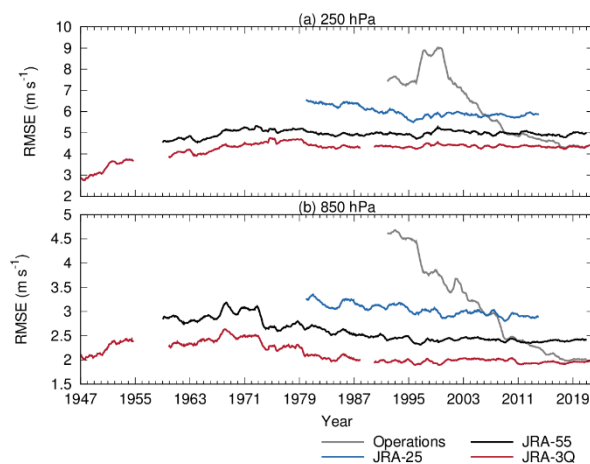


図2 JRA-3Q、JRA-55、JRA-25 及び現業全球データ同化システムの熱帯域風ベクトル 2 日予報 RMS 誤差。検証対象はそれぞれの解析値。値は直前の 12 か月間の平均値を表す。(a) 250hPa、(b) 850hPa。

が見られたが、JRA-3Q では大幅に改善している。本稿では省略するが、JRA-3Q では水蒸気の三次元的な分布も改善していることから、放射フラックス及び降水に見られる改善は、大気物理過程の大幅な改良が寄与していると考えられる。

3.3. 熱帯低気圧

JRA-3Q で用いる熱帯低気圧ボーガスについては、JRA-55 と異なり、気象庁の北西太平洋用の台風ボーガス作成手法 (JMA 2019) を用いており、同手法を全領域に適用できるように拡張したうえで、熱帯低気圧ボーガスを自主作成し利用している (気象庁 2021)。図 5 は JRA-3Q、JRA-55 及び ECMWF 再解析 ERA5 (Hersbach et al. 2020) における領域別の熱帯低気圧検出率の比較を示している。JRA-55 では、熱帯低気圧周辺風での算出方法の不具合による、解析された熱帯低気圧強度の不自然な長期変化傾向により、1990 年代以降、検出率が低下していることが分かる。JRA-3Q では、前述の熱帯低気圧ボーガス作成手法に変更したことにより、2010 年代初めまでは概ね 90% 以上の検出率を維持しており、熱

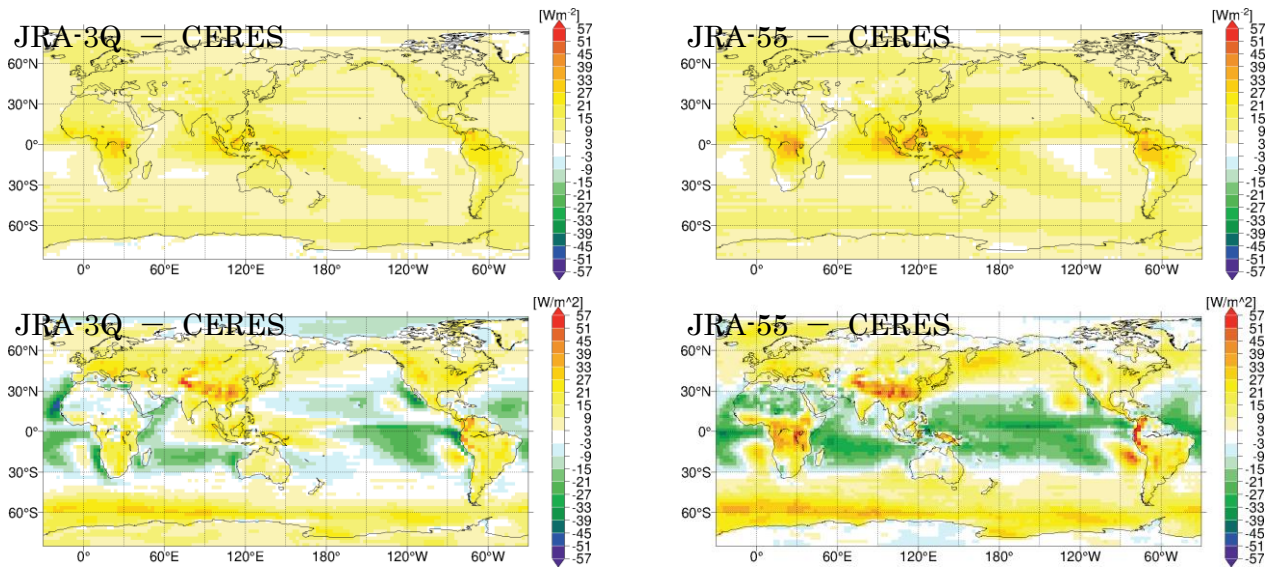


図 3 放射フラックスの期間平均値(2001~2013 年)の CERES-EBAF からの差[W/m²]。(上段) 大気上端上向き長波放射フラックス、(下段) 大気下端下向き短波放射フラックス。(左列) JRA-3Q、(右列) JRA-55。

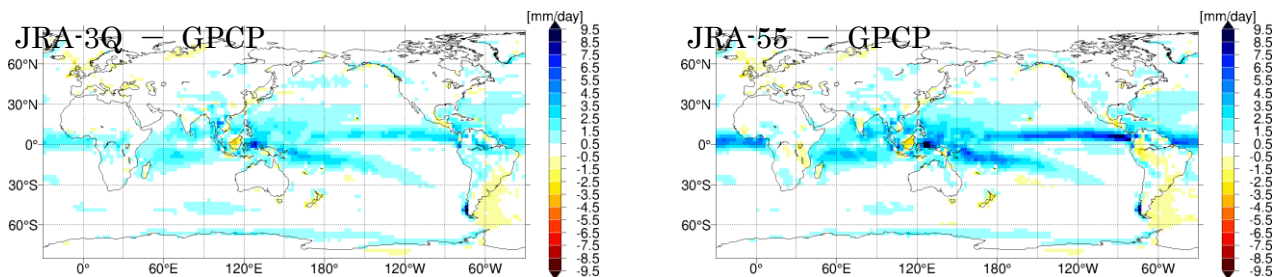


図 4 降水強度の期間平均値(2001~2010 年)の GPCP からの差[mm/day]。(左図) JRA-3Q、(右図) JRA-55。

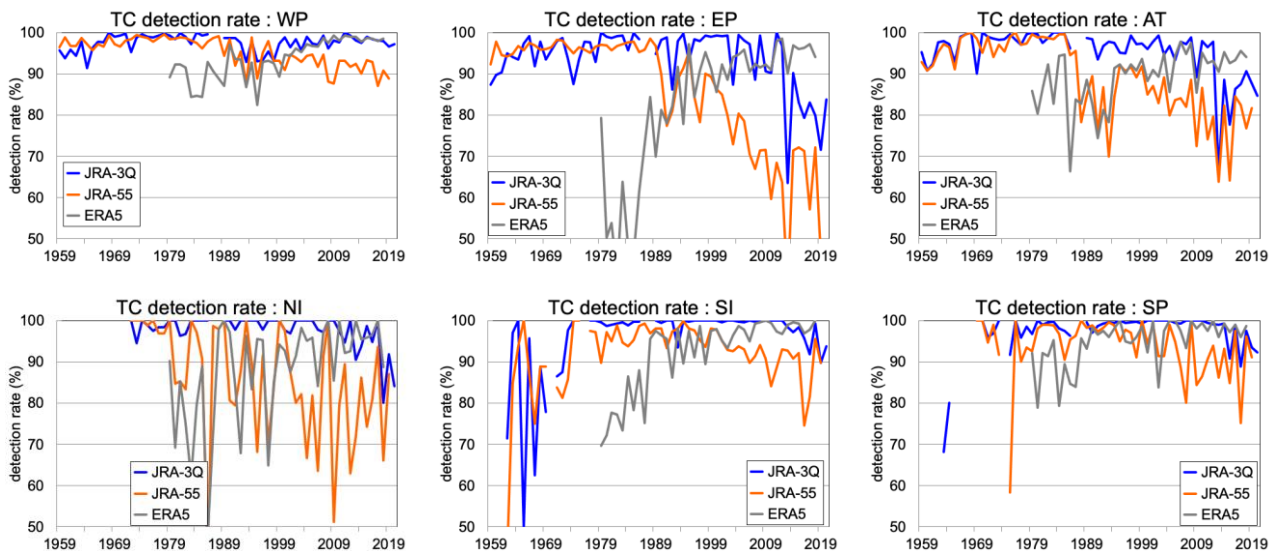


図 5 (a) 北西太平洋、(b) 中部北太平洋及び北東太平洋、(c) 北大西洋、(d) 北インド洋、(e) 南インド洋、(f) 南太平洋における JRA-3Q、JRA-55 及び ERA5 の熱帯低気圧検出率。熱帯低気圧の検出方法は Hatsushika et al. (2006) に準拠し、合同台風警報センターおよび米国国立ハリケーンセンターのベストトラックデータを使用した。(気象研究所客員研究員釜堀弘隆氏提供)

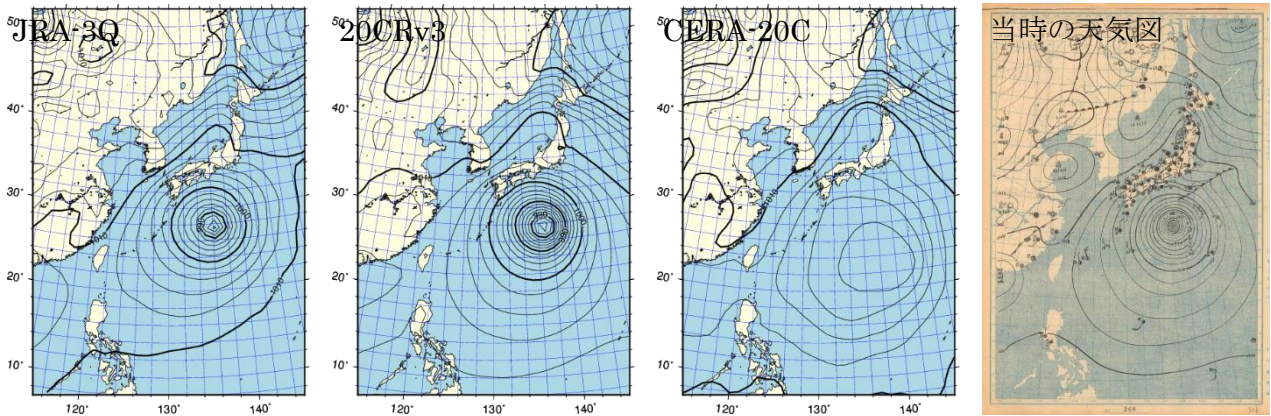


図 6 1947 年 9 月 13 日 18UTC における海面更正気圧[hPa]。(a) JRA-3Q、(b) 20CRv3、(c) CERA-20C の解析値、(d) 当時の天気図(気象庁図書館所蔵)。

帯低気圧解析の一貫性が大幅に改善している。一方、2013 年以降の期間については、北西太平洋以外の領域で検出率の急落が見られる。調査の結果、熱帯低気圧情報の時刻・形式が想定外のものであったことなどにより、熱帯低気圧ボーガスが欠落したことが原因であることが判明したため、2013 年以降の期間について再計算を実施する予定である。

また、JRA-3Q では JRA-55 よりも更に約 10 年遡ってプロダクトを作成しており、この期間には、利根川・荒川決壊で東京など関東平野に大きな被害をもたらしたことで知られるカスリーン台風(1947 年 9 月)が含まれている。図 6 は、カスリーン台風接近時の日本付近の海面更正気圧について、JRA-3Q、NOAA/CIRES 20 世紀再解析 20CRv3(Slivinski et al. 2019)、ECMWF 20 世紀結合再解析 CERA-20C(Laloyaux et al. 2018)の各解析値と当時の天気図を示している。熱帯低気圧の位置や強度について、JRA-3Q は他センターの再解析及び当時の天気図と比べ、遜色ない再現性であることが確認できる。

4. まとめと今後の予定

本稿では、JRA-3Q の概要と現時点における品質評価結果について報告した。JRA-3Q では、現行の JRA-55 以降の現業全球数値解析予報シ

ステムの開発成果や過去の観測データ拡充の成果の活用により、2 日予報スコア、放射フラックス、降水及び熱帯低気圧について、JRA-55 から更にプロダクトの品質が向上していることが確認できた。ただし、熱帯低気圧については、2013 年以降の北西太平洋以外の領域において、不具合による品質低下が判明したため、同期間の再計算を実施する予定である。

JRA-3Q 本計算は、2013 年以降の再計算も含め、2022 年度中に完了する見込みであり、全期間のプロダクトを 2023 年春頃に公開する計画である。引き続き、プロダクトの品質評価を進める。

参考文献

- Adler, R.F., G.J. Huffman, A. Chang, R. Ferraro, P. Xie, J. Janowiak, B. Rudolf, U. Schneider, S. Curtis, D. Bolvin, A. Gruber, J. Susskind, and P. Arkin, 2003: The Version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979-Present). *J. Hydrometeor.*, **4**, 1147-1167.
- Deushi, M. and K. Shibata, 2011: Development of a Meteorological Research Institute Chemistry-Climate Model version 2 for the study of tropospheric and stratospheric chemistry. *Pap. Meteor. Geophys.*, **62**, 1-46, doi:10.2467/mripapers.62.1.
- Hatsushika, H., J. Tsutsui, M. Fiorino, and K. Onogi, 2006: Impact of wind profile

- retrievals on the analysis of tropical cyclones in the JRA-25 reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 891-905, doi: 10.2151/jmsj.84.891.
- Hersbach, H., B. Bell, P. Berrisford, S. Hirahara, A. Hornyi, J. Muoz-Sabater, J. Nicolas, C. Peubey, R. Radu, D. Schepers, A. Simmons, C. Soci, S. Abdalla, X. Abellan, G. Balsamo, P. Bechtold, G. Biavati, J. Bidlot, M. Bonavita, G. De Chiara, P. Dahlgren, D. Dee, M. Diamantakis, R. Dragani, J. Flemming, R. Forbes, M. Fuentes, A. Geer, L. Haimberger, S. Healy, R. J. Hogan, E. Hlm, M. Janiskov, S. Keeley, P. Laloyaux, P. Lopez, C. Lupu, G. Radnoti, de P. Rosnay, I. Rozum, F. Vamborg, S. Villaume, and J.-N. Thpaut, 2020: The ERA5 global reanalysis. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **146**, 1999-2049, doi:10.1002/qj.3803.
- Hirahara, S., M. Ishii, and Y. Fukuda, 2014: Centennial-scale sea surface temperature analysis and its uncertainty. *J. Climate*, **27**, 57-75, doi: 10.1175/JCLI-D-12-00837.1.
- JMA, 2019: Outline of the operational numerical weather prediction at the Japan Meteorological Agency. Appendix to WMO Technical Progress Report on the Global Dataprocessing and Forecasting System (GDPFS) and Numerical Weather Prediction (NWP) Research. Japan Meteorological Agency, Tokyo, Japan, 229 pp., <https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/nwp/nwp-top.htm>.
- 気象庁, 2021: 気象庁第3次長期再解析(JRA-3Q)の本計算進捗. 数値予報開発センター年報(令和2年), 気象庁数値予報開発センター, 115-124 pp.
- 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, 気象庁, **73**, S1-18.
- 古林慎哉, 太田行哉, 原田やよい, 海老田綾貴, 守谷昌己, 小野田浩克, 大野木和敏, 釜堀弘隆, 小林ちあき, 遠藤洋和, 宮岡健吾, 高橋清利, 2015: 気象庁55年長期再解析(JRA-55)の概要. 平成26年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 66-115.
- Laloyaux, P., E. de Boisseson, M. Balmaseda, J.-R. Bidlot, S. Broennimann, R. Buizza, P. Dalhgren, D. Dee, L. Haimberger, H. Hersbach, Y. Kosaka, M. Martin, P. Poli, N. Rayner, E. Rustemeier, D. Schepers, 2018: CERA-20C: a coupled reanalysis of the twentieth century. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, **10**, 1172-1195, doi: 10.1029/2018MS001273.
- Loeb, N. G., D. R. Doelling, H. Wang, W. Su, C. Nguyen, J. G. Corbett, L. Liang, C. Mitrescu, F. G. Rose, and S. Kato, 2018: Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) Energy Balanced and Filled (EBAF) Top-of-Atmosphere (TOA) Edition-4.0 Data Product. *J. Climate*, **31**, 895-918, doi: 10.1175/JCLI-D-17-0208.1.
- 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, doi:10.2151/jmsj.85.369.
- Slivinski, L. C., Compo, G. P., Whitaker, J. S., Sardeshmukh, P. D., Giese, B. S., McColl, C., Allan, R., Yin, X., Vose, R., Titchner, H., Kennedy, J., Spencer, L. J., Ashcroft, L., Brönnimann, S., Brunet, M., Camuffo, D., Cornes, R., Cram, T. A., Crouthamel, R., Dominguez - Castro, F., Freeman, J. E., Gergis, J., Hawkins, E., Jones, P. D., Jourdain, S., Kaplan, A., Kubota, H., Le Blancq, F., Lee, T., Lorrey, A., Luterbacher, J., Maugeri, M., Mock, C. J., Moore, G. K., Przybylak, R., Pudmenzky, C., Reason, C., Slonosky, V. C., Smith, C., Tinz, B., Trewin, B., Valente, M. A., Wang, X. L., Wilkinson, C., Wood, K. and Wyszyński, P., 2019: Towards a more reliable historical reanalysis: Improvements for version 3 of the Twentieth Century Reanalysis system. *Q J R Meteorol Soc.* (accepted) doi:10.1002/qj.3598 and open access NOAA IR.