

4．次期長期再解析に向けた検討状況

4－1．気象庁第3次長期再解析 (JRA-3Q) の品質評価

気候・環境研究部 第一研究室
(室長 直江寛明)

目次

- JRA-55からJRA-3Qへの主な改善点
- JRA-3QでのQBO表現
- エネルギー収支
- 再解析で利用しているオゾン: 現状維持(+改善)
- 再解析で利用しているエアロゾルの現状と改善

JRA-55からJRA-3Qへの主な改善点

➤ 降水量

積雲対流スキームを中心とした物理過程の改良により熱帯における降水量の過剰バイアスが軽減され、降水量バイアスの経年変化も6割程度に抑制されている。また熱帯域における日別降水量の空間分布の表現性能も改善した。

➤ 水蒸気

雲スキームを中心とした物理過程の改良により対流圏中層の乾燥バイアスが大幅に軽減され、同領域における長期変化傾向の表現が改善された。またこれに伴い成層圏水蒸気の経年変化も安定した。

➤ 熱帯低気圧

熱帯低気圧の改善 気象庁独自の台風ボーガス在全球の熱帯低気圧に適用することにより、JRA-55でみられた人工的な弱化トレンドが解消された。

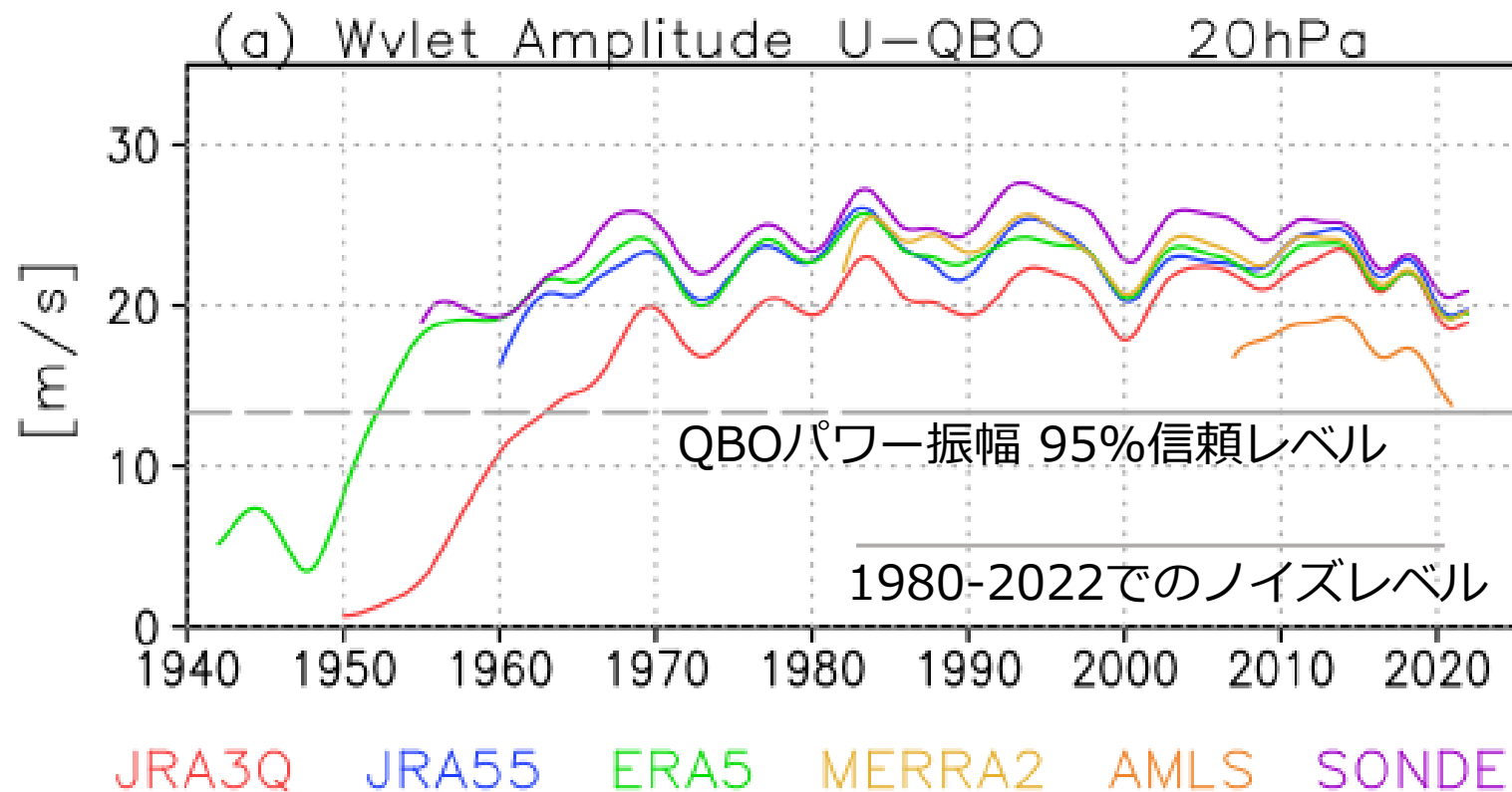
➤ 全球エネルギー収支

長波放射やNETフラックスはバイアスが依然あるもののJRA-55と比べて改善。

➤ 品質改善されたオゾン再解析データの利用

対流圏成層圏オゾン化学の導入、境界条件の改善により成層圏オゾンのバイアス改善。非衛星時代のオゾン表現や年々変動のオゾン全量が改善。

JRA-3QでのQBO表現



新規性：非衛星時代の95%信頼レベルは、衛星時代のノイズから推定

QBO の表現は、以下の点で特に高解像度モデルで依然として challenging

- 1) 気候用の低解像度版設定された QBO 表現を高解像度版に適用し、かつ現在の数値天気用予報にも一致させること
- 2) 膨大な衛星データを使った解析値からデータ利用が限られた過去時代の解析値まで QBO 表現を維持すること。

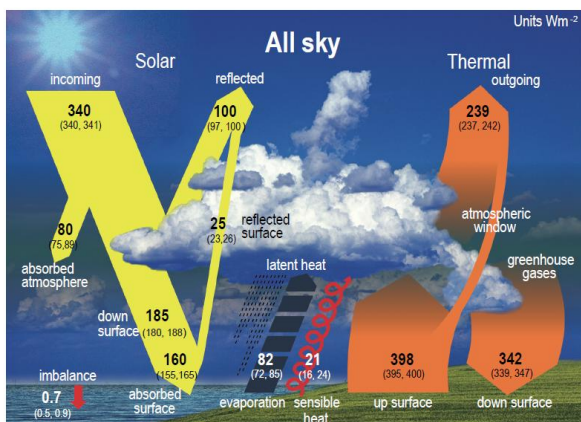
(Naoe et al. 2025 JMSJ, EOR公開)

図. 各種再解析データからQBO成分 (20-40か月)をウェーブレット解析で抽出、20hPa 東西風パワー振幅の時系列 (AMLS は衛星高度データから疑似的に算出)。直近の高密度な衛星観測がある2010年半ば以降はどの再解析も一致するが、観測で拘束できなくなるにつれ信頼度が低くなる (灰色実線は信頼度95%以上)。本評価結果はAIなど再解析利用で limitation の理解にも応用可能

次期再解析へむけての課題：一気候変動モニタの役割を担う上で

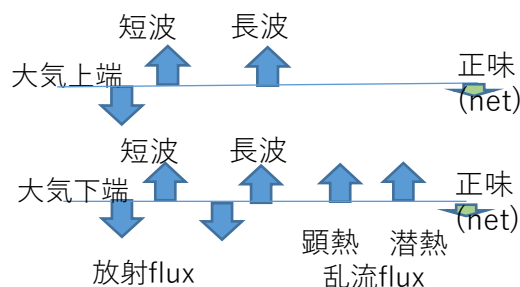
気候変動予測では、放射収支を重視（正味の収支ほぼバランス。 0.7W/m^2 入射多→地球温暖化）
→長期再解析での全球エネルギー収支もモニターされる（JRAの全球収支バランスは寒冷化）

全球平均エネルギー収支

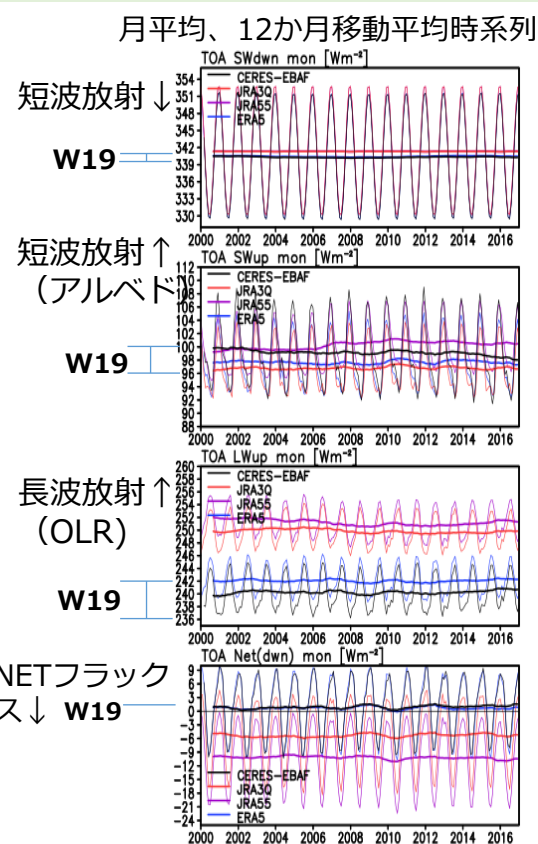


(IPCC AR6 7章から(Wild et al, 2015, 2019))

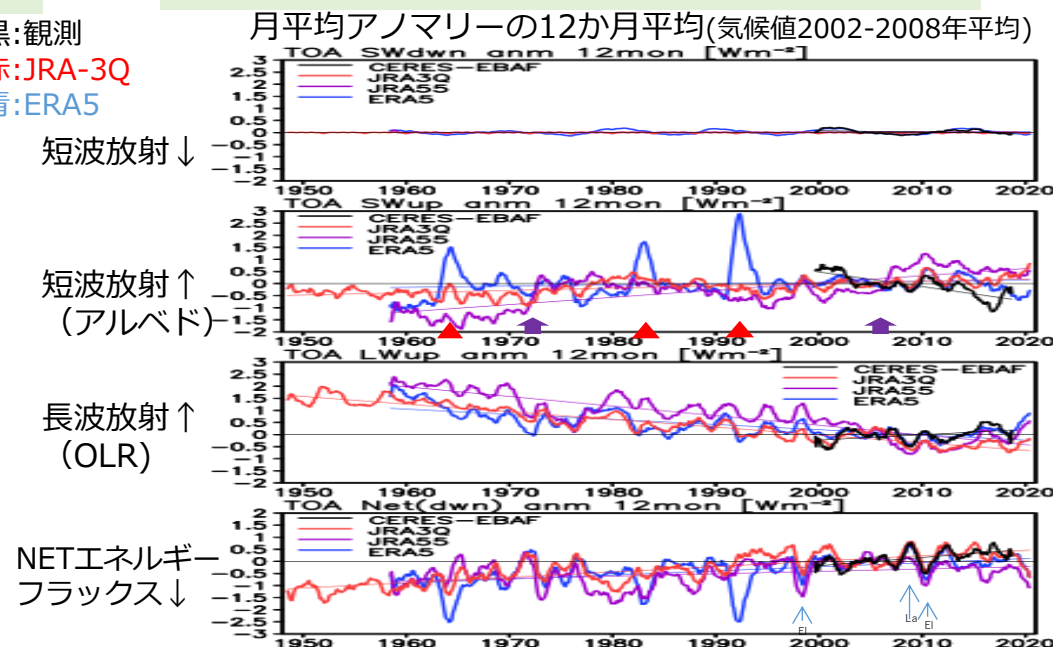
衛星観測、現場観測、
CMIPモデル結果、
→現在気候の収支が推定



大気上端(TOA)全球平均エネルギーフラックス



大気上端(TOA)全球平均エネルギーフラックス年偏差



JRA-3Q年々変動
→太陽黒点周期やエアロゾル(火山性)変動の考慮なし

JRA-3Q:気候値バイアス

→軽減したがTOA長波放射はまだ過剰 10W/m^2 （特に熱帯降水域）
>地表面(図略):潜熱は 7W/m^2 過剰→水収支として降水過剰と関連

JRA-3Qで利用しているオゾン

➤ JRA-55からの改善点

- ・ 非衛星期間、気候値オゾンから、より現実的な気象再解析駆動の解析値
- ・ モデル精緻化、上部成層圏と対流圏のバイアス減少
- ・ L2から時別L3データを作成 (JRA-25,-55 では提供側L3を時別的に利用)
- ・ 中間圏でのバイアス補正、1978以前はモデル出力値をバイアス補正
- ・ JRA-3Qのオゾン、JRA-55の風駆動解析値にオゾン全量をデータ同化 (JRA-25, -55オゾンは問題はあるものの、当時は最大限の努力して作成)

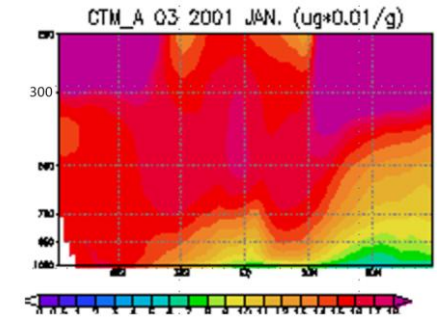
➤ 次期再解析で利用するオゾン

- ・ 基本、JRA-3Qで作成手法を踏襲、現状維持
- ・ 現業システム(Ozf)のオゾン解析値を用いる

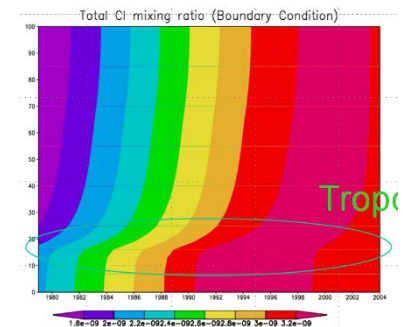
➤ Minor な改善項目（できれば）

- ・ オゾンの利用、daily でなく 6 hourly がよい (日中と夜間は異なるため)
- ・ オゾン全量のデータ同化、鉛直一様補正でなくある高度以上は補正しない

➤ Major な将来的改善項目： 準リアルタイムの発展 → 気象場とオゾン化学、予報値を使用することで双方向の同時計算を実施



JRA-25 予備実験
オゾン。CCM1は
成層圏化学だった
ので対流圏にもれ
てくる。AMIP気候
値オゾンで補正

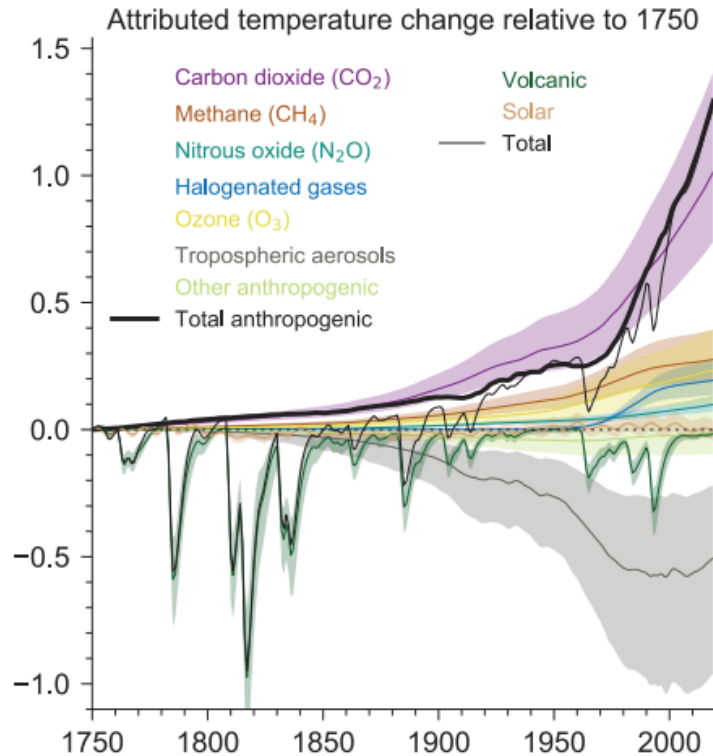


JRA-25, -55 オゾ
ン破壊物質Cl, Brの
鉛直分布. 1次元モ
デルで別途作成

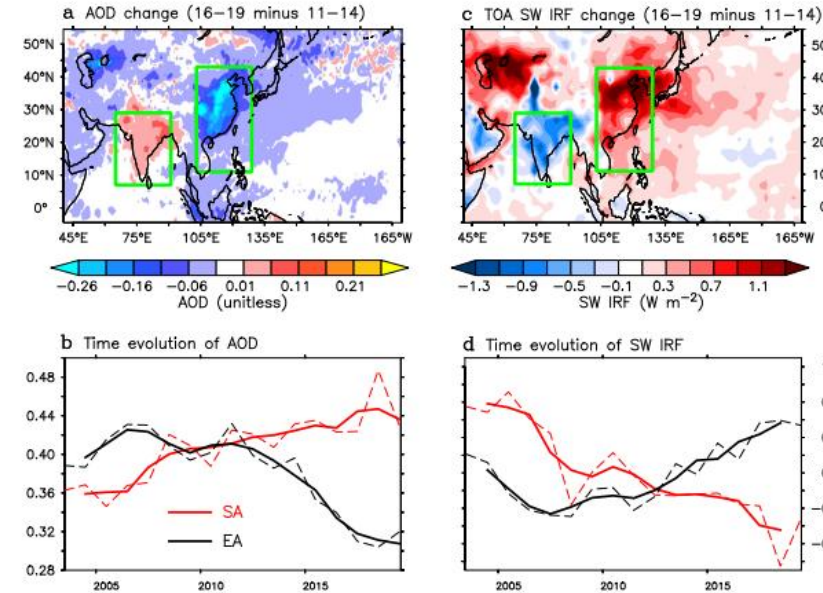
気温の経年変化に対するエアロゾルの寄与および近年の傾向

AR6第7章より抜粋

- ・CO₂による有効放射強制力は、対流圏エアロゾルと符号は逆で同程度。
- ・但し、対流圏エアロゾルの不確定性は大きい。
- ・パイロット再解析でもエアロゾルの経年変化の効果を入れることが望ましい。



1750年から2019年までの世界平均気温変化の要因別評価。第7章で導出した有効放射強制力（第2章、図2.10に表示）、主要な気候指標の評価範囲に制約した気候応答（cross chapter box 7.1参照）を用いて2層エミュレータ（補足資料7.SM.2）を用いて作成した。ここに示す結果は、強制力と気候応答の不確実性を含む2,237個のメンバーからなるアンサンブルの中央値である（いくつかの成分については、図7.7に2019年のベスト推定値と不確実性を示す）。



2003年以降のTOAにおけるエアロゾル光学的厚さ（AOD）と短波放射強制力（SW IRF）の観測変化

(a) MODIS TerraとAquaの合成データセットによる2016-19年と2011-14年のAODの差。(b) 南アジア（SA）と東アジア（EA）のAODの時間変化（2003～2019年）。破線（実線）は年平均（3年移動平均）。(c), (d) c, dは(a)と(b)と同様であるが、TOAで観測されたAll sky SW IRFの変化を示しているXiang et al. 2023

- ・近年、東アジア(中国)でエアロゾル減少傾向が明瞭
- ・インド付近は増加傾向が続いている
- ・パイロット再解析でも、アジアにおける近年のエアロゾルの効果（光学的厚さや放射強制力など）を入れることが望ましい。

再解析で使用するエアロゾル

➤ エアロゾル再解析、データ同化について

- エアロゾル再解析（気象研）

（現状）エアロゾル再解析（**JRAero V1**:2011～2019）エアロゾルモデル + MODIS（AOD）

- エアロゾルデータ同化システム（本庁、気象研）

（現状）黄砂予測情報、SDS-WAS: 全球エアロゾルモデル + ひまわり9号（AOD）

（現状）（気象研）ICAP、JAXA、VFSP-WAS: 全球エアロゾルモデル + ひまわり9号+MODIS

- 計画（NAPS11）本庁、気象研共にJAXAのGCOM-C（AOD；2018～）の導入試験中

➤ 次期再解析の改善項目の一つ

- （現状）月別3次元気候値: エアロゾルモデル(5種) +MODIS

- **改善: CMIPの境界データ、成層圏エアロゾルの表現改善**

- （今後）エアロゾル再解析の実施及び全球長期再解析への利用について、可能性の検討

まとめ（品質評価、次期のパイロット再解析に向けて）

➤QBO

- 高解像度のQBO表現は今でも challenging。観測データの変遷に合わせた、背景誤差共分散の水平相関距離の調整が必要 (資料4-3参照)。

➤エネルギー収支

- 軽減されたがJRA-3Qには全球エネルギー収支にバイアスがある。
- TOA長波放射の過剰バイアスの修正とともに、放射エネルギーの年々変動要素（太陽黒点周期、火山性エアロゾル）を取り入れる修正が必要。

➤オゾン

- daily でなく 6 hourly を利用した方がよい (日中と夜間のオゾンが異なるため)
- オゾン全量と同化手法、プロファイラー様ナッジングから改善できないか

➤エアロゾル

- 対流圏エアロゾルによる放射強制は20世紀中に大きな経年変化を示している。21世紀でも、ユーラシア大陸（北米大陸も）における減少、インド亜大陸における増加がみられるなど地域間の変化傾向も大きく異なる。将来的にこれら経年変化を考慮できるようになることが気候再解析として望ましい。