



令和6年度長期再解析推進懇談会(令和7年1月31日)

数値予報課における検討状況

気象庁情報基盤部数値予報課
地球システムモデル技術開発室

目次

- 今後の気象庁長期再解析に関する方向性
- 最新の現業システムの利用により期待される改善点
- JRA-3Qの品質上の課題を踏まえた調査検討
 - 海面境界条件の改善の検討
 - 観測システムの変遷に応じた背景誤差共分散調整調査
 - 放射強制力の課題
- まとめ

今後の気象庁長期再解析に関する方向性

- **JRA-3Qの準リアルタイム更新継続**
 - 異常気象分析等には長期間の再解析データが不可欠であり、今後も作成を継続する必要がある。また、WMO全球気候再解析 (GCR) センターとして、JRA-3Qデータ及びその準リアルタイムデータを提供する。
- **計算期間を限定した高精度なパイロット（試験的）再解析データの作成を通じた次期長期再解析の検討**
 - 週間～季節予報を担う全球・季節アンサンブル予報システムの高度化には、2018年12月時点の全球現業データ同化システムに基づいて作成しているJRA-3Qよりも更に高品質な再解析データが必要不可欠である。このため、大気・陸面・海洋データ同化の高度化や、気象研究所と連携した大気海洋結合同化の研究開発を行い、その有用性をパイロット（試験的）再解析をとおして評価しながら、次期長期再解析の仕様検討を進める。

最新の現業システムの利用により期待される 改善点

JRA-3Q以降の現業全球データ同化システムの改良

	JRA-3Q（2018年12月時点の現業システム）	2024年12月時点の現業システム	効果
水平格子系	一次格子	二次格子 モデル標高に施すフィルタや大気モデルの数値拡散の見直し	実効解像度の向上
数値標高モデル	GTOPO30	MERIT DEM（南緯60度以北）+ RAMP2（南緯60度以南）	北半球の循環場の表現改善
解析手法	4次元変分法	局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (LETKF) を用いたハイブリッド4次元変分法 アウトーループの繰返しによるトラジェクトリ更新	解析精度の向上
衛星輝度温度	RTTOV-10.2 (EUMETSAT NWP SAF開発高速放射伝達モデル)	RTTOV-13.0 マイクロ波水蒸気チャンネル輝度温度の全天同化	水蒸気場の精度改善
土壌水分初期値	前のサイクルで作成された陸面予報値	土壌1～3層（表層19cm）： 地上解析値を用いた簡略化拡張カルマンフィルタ 土壌4～7層目（地中19cm～349cm）： 気候値	北半球対流圏下層の要素の改善
湖面温度	外洋の海面水温を外挿	可視赤外放射計MODISプロダクトによる月別気候値	対流圏下層気温の精度改善

JRA-3Q以降の現業全球モデルの改良

	JRA-3Q (2018年12月時点のGSM)	2024年12月時点のGSM	効果
雲放射	雲氷有効サイズ診断式 : Wyser (1998)	雲氷有効サイズ診断式 : Sun (2001)	大気上端上向き長波放射の過剰バイアスの軽減
層積雲	川合 (2004) • 発動条件に相対湿度の閾値を追加	川合 (2004) • 海氷域で層積雲が診断されないトリガー条件を追加	北極域における地表面下向き短波放射の過少バイアスの改善
地形性抵抗	Iwasaki et al. (1989)	重力波抵抗 : Lott and Miller (1997) 乱流地形抵抗 : Beljaars et al. (2004)	対流圏中上層の気圧の谷や尾根の表現の改善
非地形性重力波抵抗	Scinocca (2003)	Scinocca (2003) • 射出運動量フラックスの緯度依存性の導入	QBOの表現改善
鉛直拡散		成層圏で成層安定時の拡散を抑制	QBOの表現改善
陸面	改良型SiB	改良型SiB • 陸面過程の各種パラメータの更新 • 下草断熱効果スキーム、積雪被覆率診断式等の改良	地表面におけるバイアスの緩和
海氷	4層海氷モデル	4層海氷モデル • アルベドに積雪の効果を導入	北極域における上向き短波放射の過少バイアスの改善

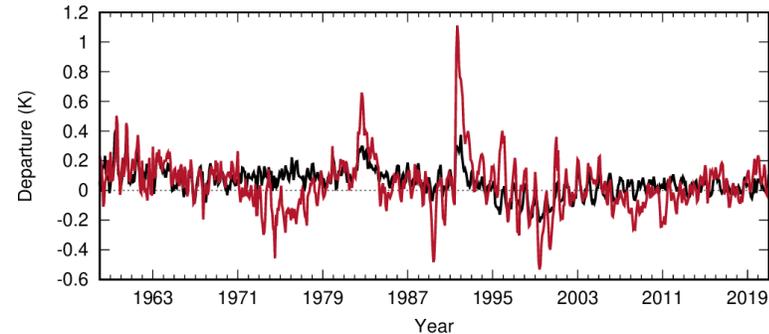
JRA-3Qの品質上の課題を踏まえた調査検討

海面境界条件の改善の検討

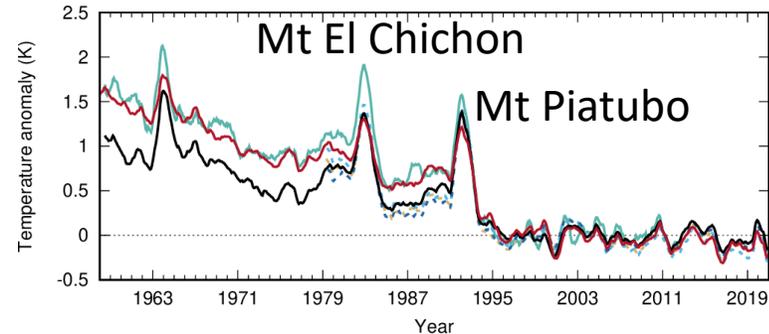
- **JRA-3Qの海面境界条件として利用しているMGDSSTには短周期成分に課題**
 - 例、熱帯低気圧通過後の海面水温低下を過小評価
 - 改善に向けた選択肢
 - より高精度なSSTデータセット COBE-SST3 (Ishii et al. 2025) の利用
 - 海面境界条件として海洋データ同化を利用
- **大気と海洋のデータ同化を統合的に行う必要性**
 - JRA-3Qの全球海面エネルギーバランス (-6.5 W m^{-2}) は、JRA-55 (-15.9 W m^{-2}) から大幅に改善しているが、観測・CMIP5に基づく見積り ($+0.8 \text{ W m}^{-2}$) に対して依然として大きなバイアスがある。
 - 改善に向けた選択肢
 - 気象研究所と連携した大気海洋結合同化の研究開発

観測システムの変遷に応じた背景誤差共分散調整調査 (1)

- 過去の観測システムに対してデータ同化システム（背景誤差共分散）が適切に調整されていないと、モデルバイアスを十分に拘束できない場合があり得る。
 - JRA-3Qにおけるラジオゾンデ観測のインパクトはJRA-55よりも小さい。
 - その結果、大規模火山噴火後の成層圏の昇温量が小さい傾向がある。
- JRA-3Qでは現在の充実した観測システムに対して最適化された水平相関距離が短い背景誤差共分散を利用
 - 観測データによる修正の効果が広がる範囲が狭い。

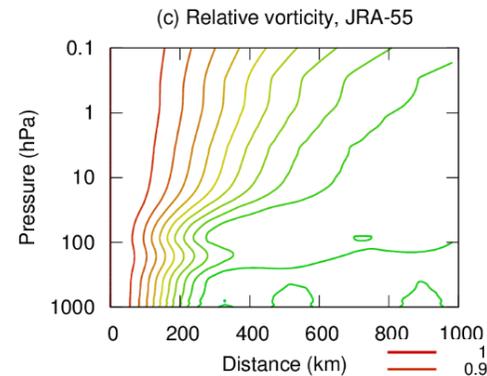
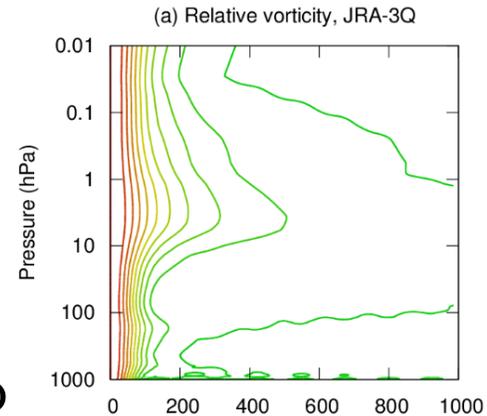


30hPaラジオゾンデ気温観測値－背景値の時系列



下部成層圏の全球平均気温偏差の12か月移動平均値の時系列

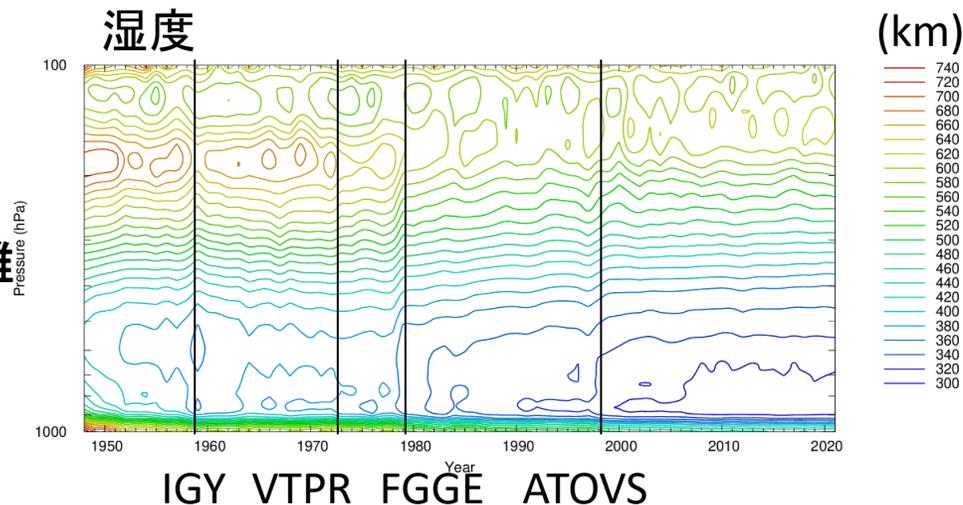
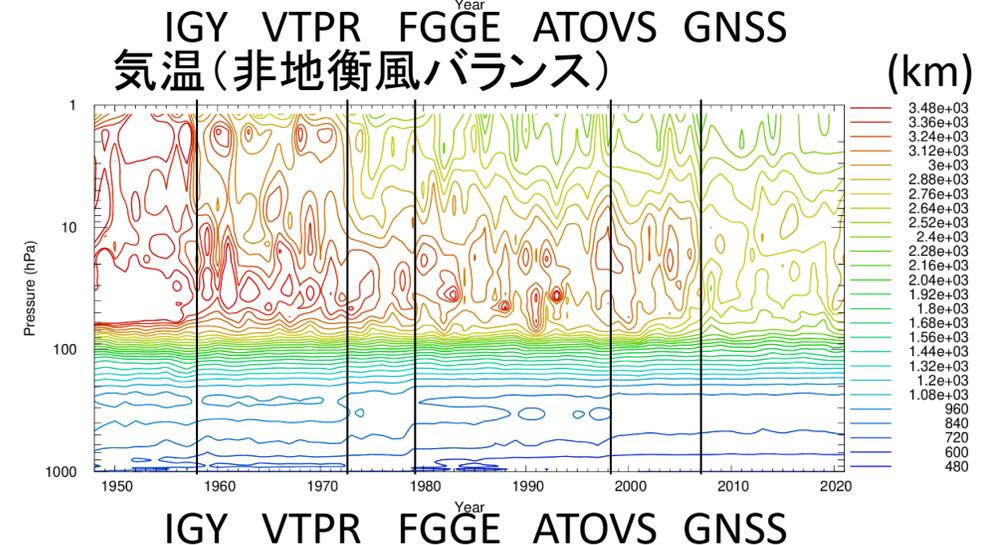
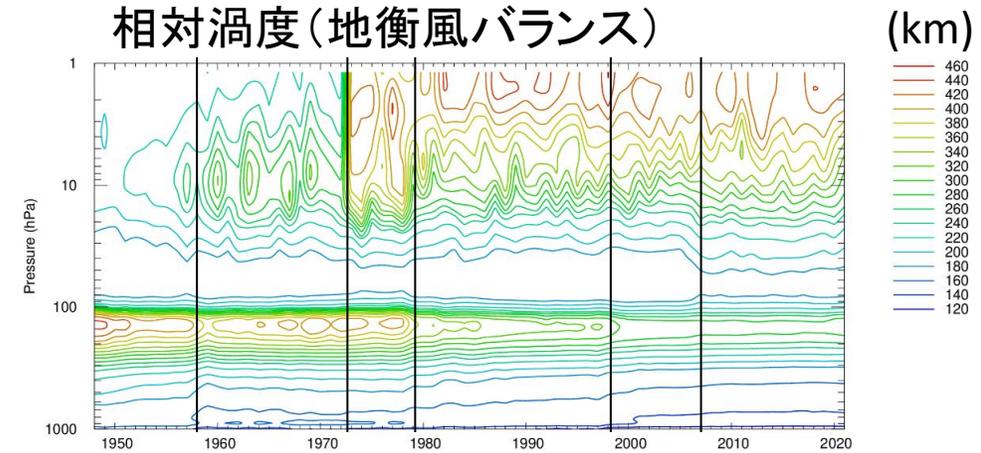
Legend for Figure 2:
 — HadAT2 (cyan), NOAA v4.1 (orange), UAH v6.0 (blue), RSS v4.0 (green), JRA-55 (black), JRA-3Q (red)



背景誤差共分散の水平相関

観測システムの変遷に応じた背景誤差共分散調整調査 (2)

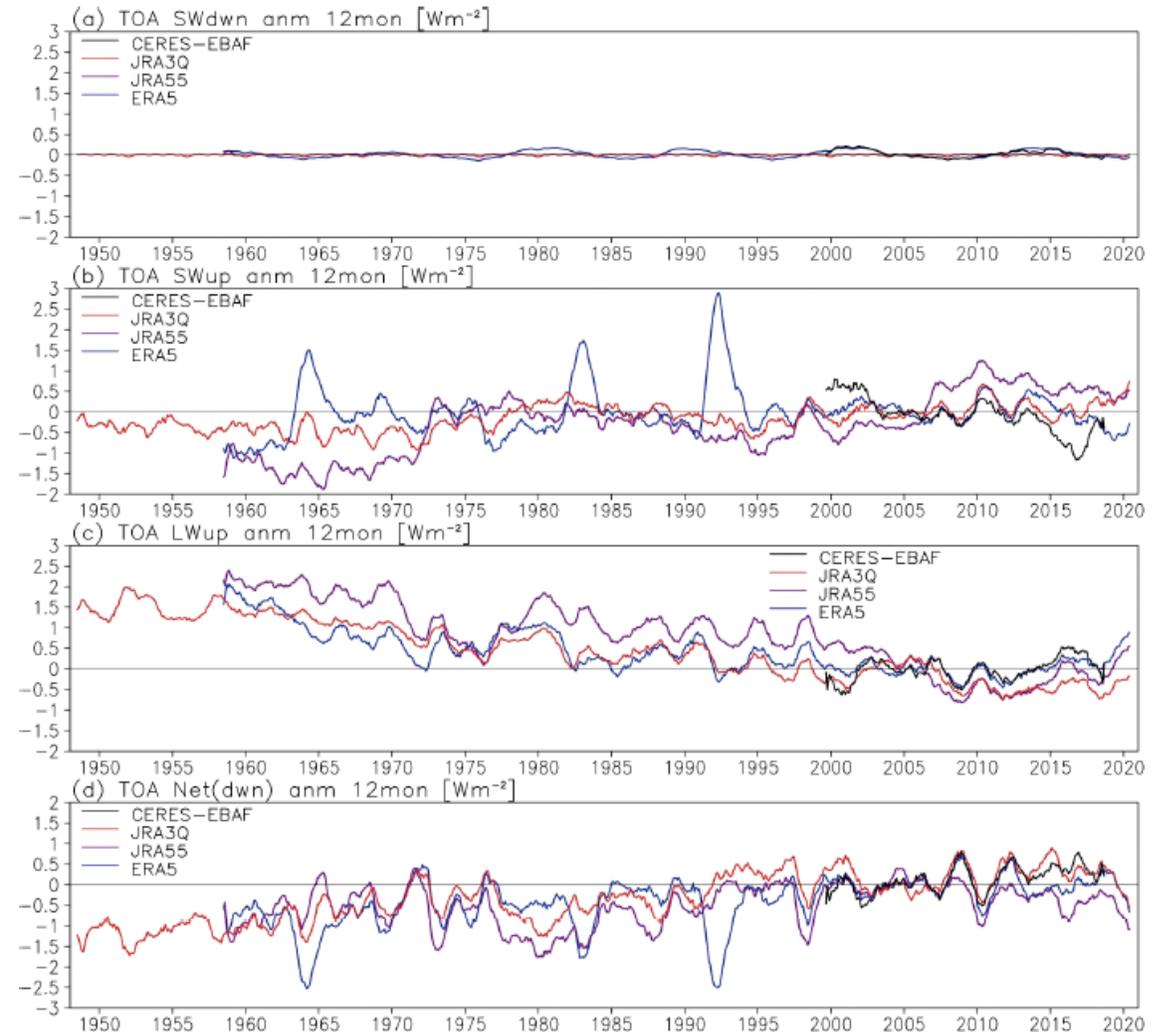
- 観測システム的大幅なアップグレードに伴って相関距離の推定値も減少
- 将来の再解析では、背景誤差共分散の動的推定、若しくは少なくとも切替えを検討すべきと考えられる。



相関が0.1に減少する距離
相関はJRA-3Qの延長予報に
NMC手法を適用して推定

放射強制力の課題

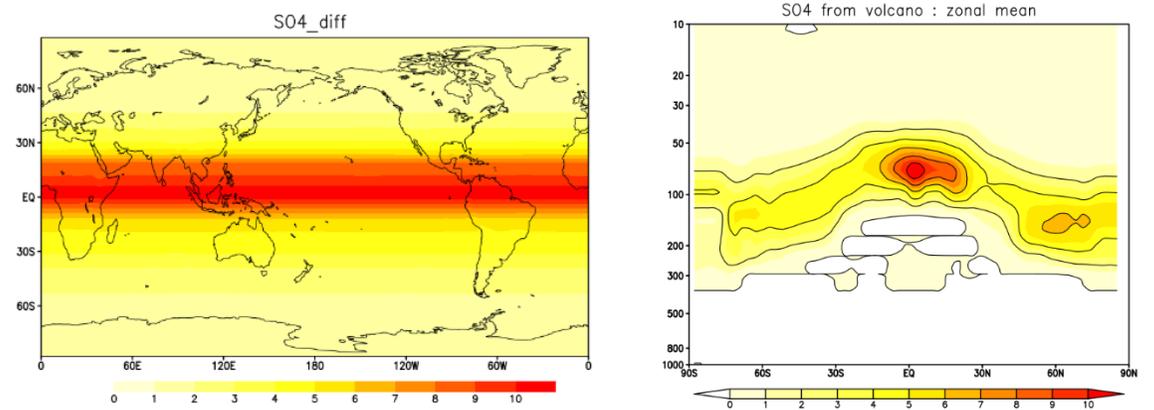
- JRA-3Qではエアロゾルの経年変化が考慮されていない。
 - 大規模火山噴火後の大気上端における正味短波放射入射量の減少が表現されていない。
 - アグン（1963～1964年）
 - エルチヨン（1982年）
 - ピナツボ（1991年）
 - 成層圏の昇温を過小評価
 - 地表面における下向き短波放射の減少が表現されていない
- 火山性エアロゾルの変動を考慮する必要性



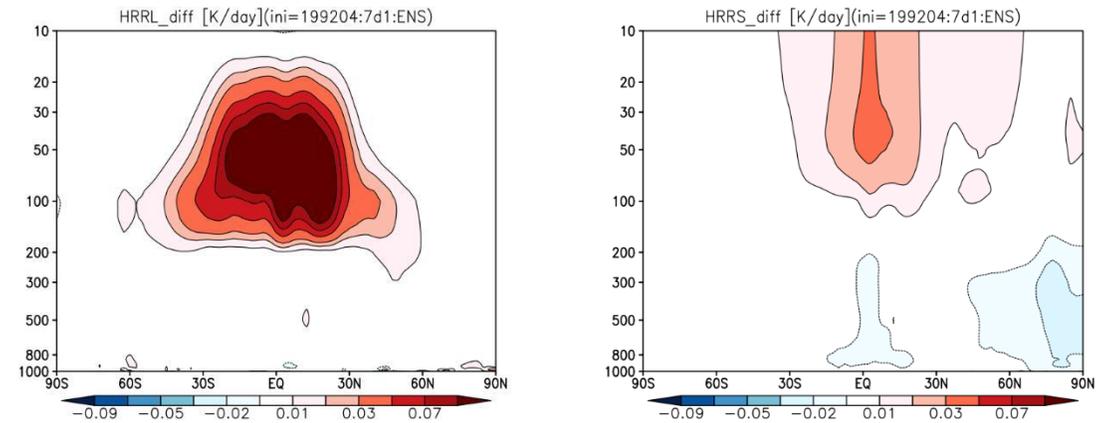
大気上端全球平均放射フラックス偏差 Kosaka et al. (2024)

火山性エアロゾル累年値利用調査

- ピナツボ火山噴火を対象とした全球アンサンブル予報システムによる先行調査（大塚ほか 2019）
 - CMIP6 実験での境界条件から火山性エアロゾルを含む硫酸エアロゾルを新たな化学種「火山性エアロゾル」として成層圏 (< 300 hPa) で利用
 - 光学特性および粒径分布の中心と広がりを決めるパラメータは、OPAC (Hess et al. 1998) の Sulfate droplets のリファレンスを参照
 - 南極大陸や成層圏のバックグラウンドでよく見られる硫酸塩
- データ同化サイクルに導入した場合にラジオゾンデ気温観測とのフィッティングが改善するか調査が必要



1992年5月の火山性エアロゾル濃度分布 ($S \text{ mg/m}^2$)
(左図: 70hPa (三角の印はピナツボ火山の位置)、右図: 東西平均)



長波放射(左図)及び短波放射(右図)による
帯状平均加熱率[K/day]の差 (TEST-CTL)

大塚ほか (2019)

太陽定数累年値利用調査

- 太陽総放射量の変動には、光化学反応を生ずる短波長成分の寄与が大きい。

→ 波長依存性も考慮する必要性を示唆

- 太陽活動の変動は、成層圏オゾンによる短波放射加熱だけでなく、成層圏オゾンの生成量にも影響を与える。

→ 大気再解析だけでなく、オゾン再解析でも太陽活動の変動を考慮する必要性を示唆

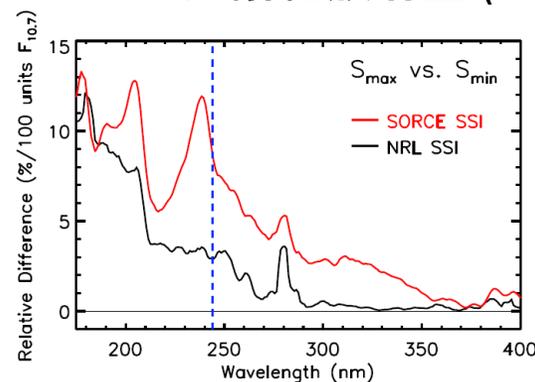
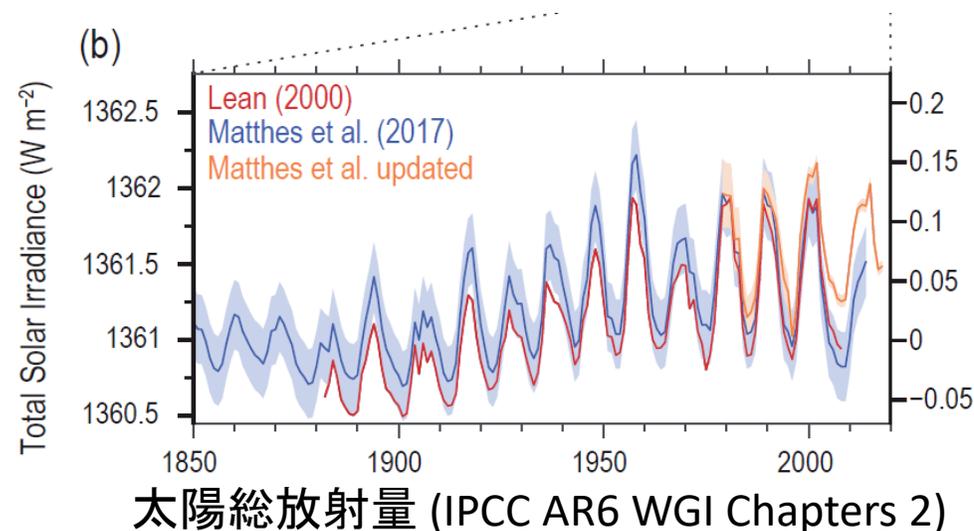


Fig. 1. SSI spectral differences, S_{max} relative to S_{min} per 100 units of $F_{10.7}$, derived from NRL and SORCE SSI time series. The vertical dashed line at 244 nm represents both the wavelength cut-off separating the SORCE SOLSTICE and SIM spectra used and the O_2 photolysis threshold (O_2 photolysis occurs at wavelengths shorter than 242 nm).

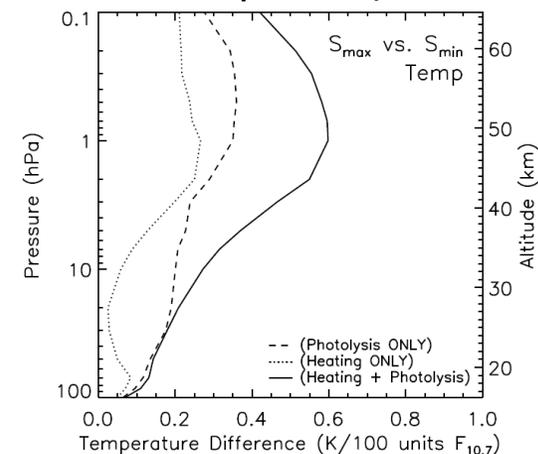


Fig. 3. Same as Fig. 2, but for the temperature response to the solar cycle.

Swaltz et al. (2012)

まとめ

- **今後の気象庁長期再解析に関する方向性**

- JRA-3Qの準リアルタイム更新継続
- 計算期間を限定した高精度なパイロット（試験的）再解析データの作成を通じた次期長期再解析の検討

- **次期長期再解析に向けた検討課題**

- 現在の現業数値予報システムで用いられているハイブリッド同化やアウトーループ、衛星輝度温度データの全天同化等を導入し、雲・降水域を含めより多くの観測情報を解析に反映
- 海面境界条件の改善に向けた選択肢の検討
 - より高精度なSSTデータセット COBE-SST3 の利用
 - 海面境界条件として海洋データ同化を利用
 - 気象研究所と連携した大気海洋結合同化の研究開発
- 観測システムの変遷に応じた背景誤差共分散調整
- 放射強制力の改善
 - 火山性エアロゾル累年値利用
 - 太陽定数累年値利用