

2019/2020 年の大暖冬のイベント・アトリビューション

今田由紀子 (気象研究所)

1. はじめに

2019/2020 年の冬は、東・西日本で記録的な暖冬となり（日本の冬平均地上気温は歴代 1 位）、日本海側では記録的な少雪となった。世界では、シベリアの熱波やオーストラリアの高温と干ばつなど、2020 年の前半に高温現象が多数観測された（図 1 上；世界の冬平均地上気温は、2015/2016 年の冬に次ぐ歴代 2 位）。

本研究では、「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース」(d4PDF) を利用して、大気大循環モデルのラージアンサンブル実験によるこの時期の循環場の発生要因や地球温暖化に寄与を調査した。

2. 方法

d4PDF では、水平解像度 60km の全球モデル MRI-AGCM および水平解像度 20km の地域気候モデル NHRCM を用いて実施された、過去 60 年（1951～2010 年）に渡る 100 メンバーの過去再現実験 (HIST)・非温暖化実験 (Non-W；人為起源の外部強制要因を産業革命以前の条件で固定、海面水温と海水分布から長期トレンドを除去) および将来実験が利用可能である。本研究では、HIST 実験と Non-W 実験を準リアルタイムに延長し、HIST による 2019/2020 年冬季の場の再現性を検証するとともに、両実験の比較を通して地球温暖化の寄与を定量的に推定した。

実況値として、大気循環場の検証には JRA-55 (Kobayashi et al. 2015) を、降水量の検証には GPCP (Adler et al. 2003) をそれぞれ用いた。全球大気モデルは実際に観測された海水温と海氷 COBE-SST2 (Hirahara et al. 2014) によって強制されている。

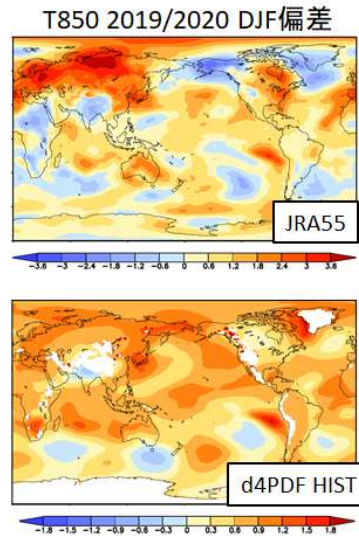


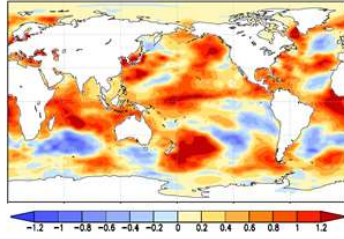
図 1. 2019/2020 年 12～1 月の地表気温偏差(単位:K)。上:JRA-55、下:HIST 実験の 100 メンバー平均。

3. 結果

図 1 に、2019/2020 年 12～1 月の地表気温の偏場差を示した。HIST 実験のアンサンブル平均は、観測された日本の暖冬やシベリア、オーストラリアなどの高温をよく再現していることが分かり、この時期の海面水温や海氷がそのシグナルの駆動源になっていることを示唆している。

図 2 に、この時期の実際の海面水温パターンと、JRA-55 および HIST 実験による降水量偏差を示した。この年の海面水温は、熱帯中央太平洋に正の偏差のピークを持つ Central Pacific (CP) エルニーニョのパターンと、西インド洋の高温（正のインド洋ダイポールの終息）が特徴的であった。これに伴い、高温偏差の上空では対流が活発になり、降水量の増加が見られた。これらに

COBE-SST2 2019/2020 DJF偏差



降水量 2019/2020 DJF偏差

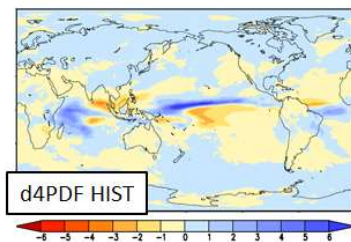
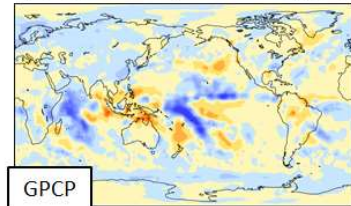


図 2. 2019/2020 年 12~1 月の海面水温偏差 (上図: COBE-SST2、単位: K)、GPCP による降水量偏差 (中央図、単位: mm/day)、および HIST 実験 100 メンバー平均の降水量偏差 (下図、単位: mm/day)。

Z200 2019/2020 DJF偏差

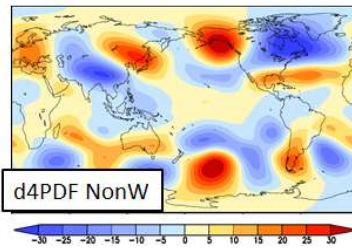
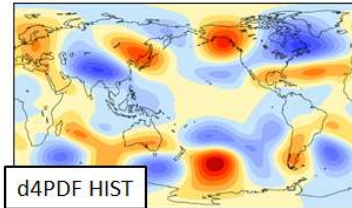
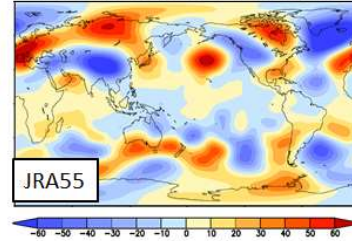


図 3. 2019/2020 年 12~1 月の 200hPa 面のジオポテンシャル高度偏差 (単位: m)。上: JRA-55、中央: HIST 実験の 100 メンバー平均、下: NonW 実験の 100 メンバー平均。

挟まれた海洋大陸付近には下降流が形成され、降水量の減少が見られた。このような三極子構造は HIST 実験でもよく再現されていることが分かる。

次に、対流圏上空のジオポテンシャル高度の偏差を図 3 に示した。この時期、インド洋西部の高温偏差に応答したロスビー波列が、正・負・正の偏差を連ねて日本域に達しており、これが日本の暖冬の主要因であったことが報告されている (気象庁異常気象検討会)。また、北半球中高緯度に目を向けてみると (図 4)、極域が負偏差、中緯度帯でが正偏差となる正の北極振動が卓越しており、北からの寒気流出を抑える働きをしていたと考えられる。

インド洋からのロスビー波列伝搬は HIST 実験のアンサンブル平均にも現れており、これらの偏差が海面水温偏差によって強制されたシグナルであることを示している (図 3 中段)。また、同様の特徴が NonW 実験にも現れていたことから (図 3 下段)、このパターンに対する温暖化の影響は小さかったことが示唆される。正の北極振動については、HIST および NonW 両実験において、ピークの位置が若干ずれている場所も見られるものの、おおむね傾向は再現されていた。これらの結果は、大気の内変動モードである北極振動に対して海面水温もしくは海水変動が何らかの強制を与えている可能性を示唆しており、今後詳細に解析を行う予定である。

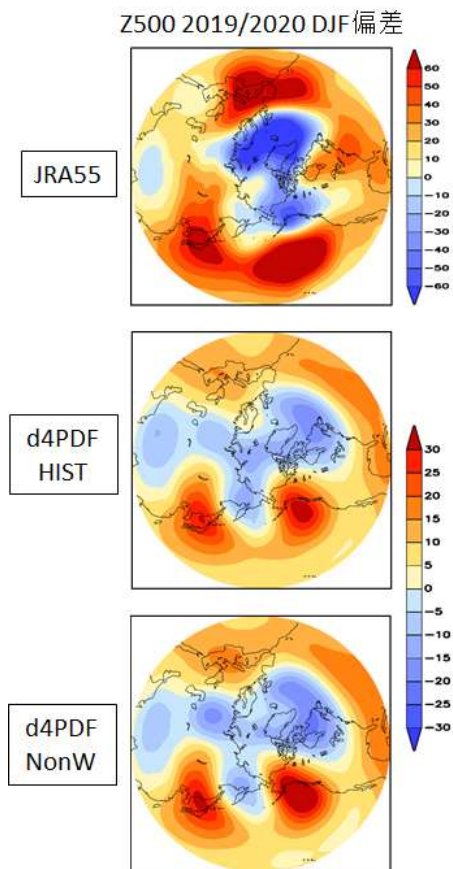


図4. 2019/2020年12~1月の500hPa面のジオポテンシャル高度偏差(単位:m)。上:JRA-55、中央:HIST実験の100メンバー平均、下:NonW実験の100メンバー平均。

次に、日本域の気温と地球温暖化の関係について調査した。図5は、日本上空の対流圏下層の気温の時系列と確率密度分布を示している。ここで、モデルには日本域の気温を系統的に過小評価するバイアスが見られたため、モデルの結果には平均値を補正する処理を行っている。HIST実験においても、実況と同じく2019/2020年の冬季に歴代1位の高温となっていた。興味深いのは、NonW実験においても最高気温となっていることで、このことは、地球温暖化がなかったとしても、図2~4で見えてきたような循環場自体が過去に稀に見る極端な状態であったことを意味している。

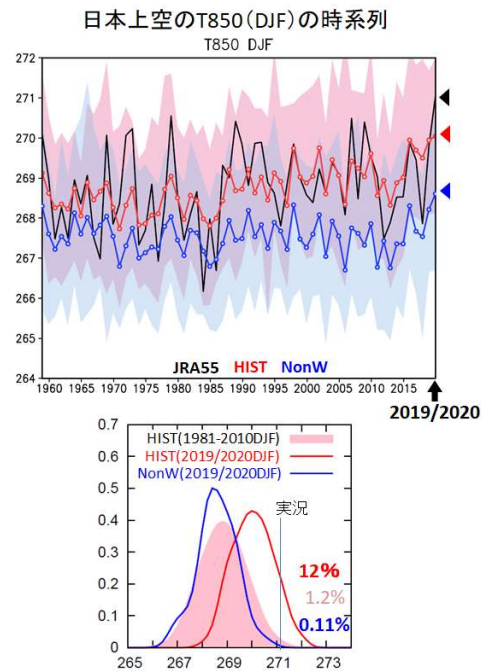


図5. 上図:日本上空()で平均した850hPa面の気温の時系列(単位:K)。黒線はJRA-55、赤線はHIST実験の100メンバー平均、青線はNonW実験の100メンバー平均、陰影部はd4PDFの全メンバーの幅を示す。下図:上図のインデックスの確率密度分布。赤線(青線)は2019/2020冬季のHIST実験(NonW実験)の結果、陰影は平年(HIST実験1981~2010年)の確率密度分布。

図5の確率密度分布の比較から、地球温暖化が進行している現実の状況下では、2019/2020年の冬季のような高温が発生する確率は約12%、温暖化が起らなかったと仮定した条件下では0.11%と推定され、人為起源の地球温暖化によってこの年の暖冬の確率が約100倍になっていたことが示された。

4. おわりに

2019/2020年12~1月の大暖冬の発生要因をラージアンサンプルデータベースd4PDFを用いて調査した結果、地球温暖化に加えて、この年の海面水温や海氷分布の

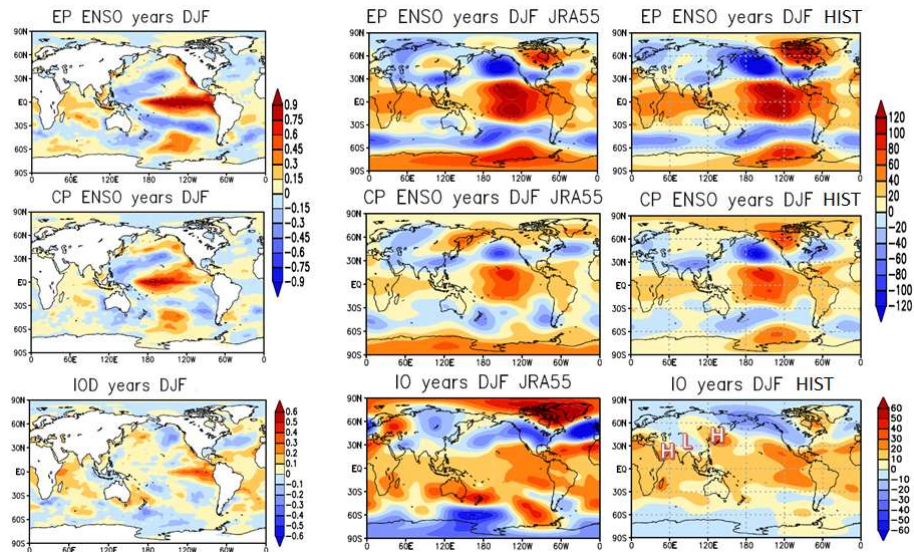


図 6. NINO3 インデックス、Modoki インデックス、ダイポールモード指数に回帰した海面水温（左列、単位：K）と 200hPa ジオポテンシャル高度（中央列と右列、単位：m）。中央列は JRA55、右列は HIST 実験 100 メンバー平均の結果。

パターンが強制した大気循環の応答自体も極端な振幅を持っていたことが明らかになった。

最後に、どの海域の海面水温が重要であったかを考察するため、この年同時に発生していた CP エルニーニョおよび正のインド洋ダイポールに注目し、それぞれのそれぞれのインデックスに対する対流圏上層の循環場の回帰マップを図 6 に示した。参考に、通常のエルニーニョ（NINO3.4 インデックス：[170°-120°W, 5°S-5°N] で平均した海面水温偏差）に対する回帰マップもあわせて示している。ここで、CP エルニーニョの指標には Modoki インデックス（Ashok et al. 2007; 領域 A[165°E-140°W, 10°S-10°N]、B[110°W-70°W, 15°S-5°N]、C[125°E-145°E, 10°S-20°N] のそれぞれの領域平均した海面水温偏差から、 $A - 0.5 \times (B + C)$ で求められる）、ダイポールモード指数（DMI：西インド洋[50°E-70°E, 10°N-10°S] の海面水温偏差から東インド洋[10°S-0°S, 90°E-110°E] の海面水温偏差を差し引いたもの）を用いた。通常のエルニーニョ時の北太平洋域には

Pacific-North American (PNA) テレコネクションパターンが見られ、日本周辺は高気圧性循環になってジェットが北偏する傾向となり、暖冬となることが多い。CP エルニーニョ時は PNA 構造は弱まるものの、日本域のジェット北偏傾向は同じで、これらの特徴は JRA-55、HIST 実験の両方に共通して見られる。一方、正のインド洋ダイポール時に期待されたロスビー波列は JRA-55 には見られなかったが、HIST 実験には明瞭に現れていた。このことは、2019/2020 年の冬に観測された西インド洋からのテレコネクションをシグナルとして抽出するには、大規模なアンサンブルが必要であることを示唆している。

今回の解析では d4PDF の全球モデル（水平解像度 60km）のみを利用したが、今後は領域モデル（20km）の結果もあわせて解析することで、2019/2020 年の極端な少雪に関する要因分析を行う予定である。