

## 2019年夏の気候循環場と日本の天候の特徴

南 敦\*、新保 明彦、佐藤 均、若松 俊哉（気象庁気候情報課）

### 1. はじめに

2019年の夏は、梅雨前線の北上が平年と比べて遅れたことにより、6月は九州北部～近畿地方の梅雨入りが大幅に遅れたほか、7月上・中旬は梅雨前線が本州南岸に停滞する日が多く、本州の太平洋側を中心に記録的な寡照となった。一方、本州各地で梅雨明けした後の7月下旬から8月中旬にかけては、太平洋高気圧に広く覆われて東・西日本でかなりの高温となったものの、その後は台風や湿った空気の影響で全国的に不順な天候が続き、変動の大きい天候経過となった。本稿では以上のような今夏の日本の天候の特徴と、それをもたらした気候循環場について、主に九州北部から近畿の梅雨入りが記録的に遅くなった事例に着目して報告する。

### 2. 使用データ

気候循環場の解析には、主に気象庁55年長期再解析（JRA-55; Kobayashi et al. 2015）を使用した。また、海面水温（SST）データには全球客観解析 COBE-SST（Ishii et al. 2005）を、対流活動の指標となる外向き長波放射量（OLR）は、米国海洋大気庁（NOAA）提供のデータを使用した。なお平年値は、特段断りのない限り1981年から2010年までの30年平均値とし、偏差は平年値からの差と定義する。

### 3. 2019年夏の気候循環場と日本の天候

#### 3.1 SSTの状況

\*1 NINO.3 指数の5か月移動平均値が6か月以上続けて $+0.5^{\circ}\text{C}$ 以上となった場合を「エルニーニョ現象発生」、 $-0.5^{\circ}\text{C}$ 以下となった場合を「ラニーニャ現象発生」とする。

\*2 IOBW 指数は、IOBW 領域（ $40^{\circ}\text{E}$ - $100^{\circ}\text{E}$ 、 $20^{\circ}\text{N}$ - $20^{\circ}\text{S}$ ）平均 SST の基準値との差（ $^{\circ}\text{C}$ ）。ここで IOBW の基準値とは、IOBW 領域平均 SST の前年までの30年間の線形回帰直線を当該年に外挿した値。

図1に、2019年6月から8月の3か月平均 SST 偏差と、今夏見られた特徴的な SST 偏差パターンに関連する指数の時系列を示す。太平洋熱帯域では、2018年秋に発生したエルニーニョ現象が2019年春まで続き、2019年夏はエルニーニョでもラニーニャでもない平常の状態<sup>※1</sup>で推移した（図1b）。また、夏の後半に向かって太平洋赤道域の中部で SST が平年より高く、東部及び西部で平年より低いエルニーニョモドキ的な SST 偏差パターンが発達した（図1c）。一方インド洋熱帯域では、Indian Ocean Basin Mode（IOBW）指数<sup>※2</sup>で見られるように、エルニーニョ現象終息後、キャパシタ効果により海盆スケールで SST の昇温が見られ、夏の前半を中心に正偏差となった（図1d）。さらに、インド洋熱帯域の東部で SST が平年より低く、西部で平年より高い、正のインド洋ダイポールモード（IOD）現象的な SST 偏差パターンが秋にかけて発達した（図1e）。

#### 3.2 アジアモンスーンの状況

図2に、アジアモンスーンの活動度指数（Summer Asian Monsoon OLR Index Activity; SAMOI-A; 気象庁1997）とインド付近（ $70^{\circ}\text{E}$ - $100^{\circ}\text{E}$ 、 $10^{\circ}\text{N}$ - $25^{\circ}\text{N}$ ）で領域平均した OLR 偏差の時系列を示す。ここで SAMOI-A は、図2(a)下の緑枠領域で平均した OLR 偏差を、年々変動の標準偏差で規格化した後に符号を反転させた値であり、正（負）の値はアジアモンスー

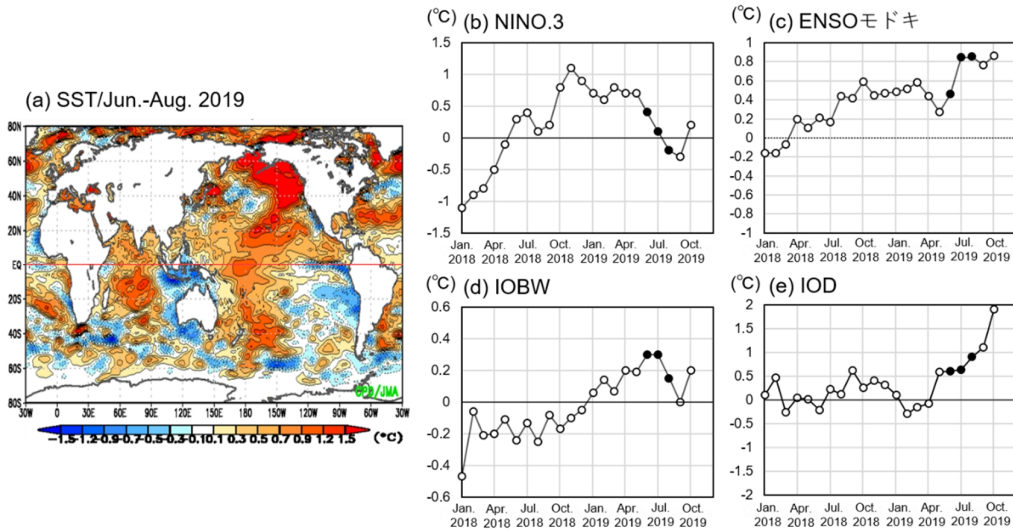


図1 (a) 2019年6~8月平均のSST 年偏差と、(b) NINO.3 指数、(c) ENSO モドキ指数、(d) IOBW 指数、(e) IOD 指数の時系列 (2018年1月~2019年10月)

NINO.3 指数は、NINO.3 領域 (150° W-90° W, 5° S-5° N) 平均 SST の基準値との差 (°C)。ENSO モドキ指数は Ashok et al. (2007) に基づく。IOBW 指数は、IOBW 領域 (40° E-100° E, 20° N-20° S) 平均 SST の基準値との差 (°C)。IOD 指数は、インド洋西部領域 (50° E-110° E, 10° N-10° S) 平均 SST の基準値との差から、インド洋東部領域 (90° E-110° E, Eq-10° S) 平均 SST の基準値との差を引いた値 (°C)。ここで基準値とは、NINO.3 はその年の30年前から前年までの30年間平均値、IOBW、IOD は各海域について前年までの30年間の線形回帰直線を当該年に外挿した値である。図1(b)~(e)の黒丸は2019年6~8月の値を示す。

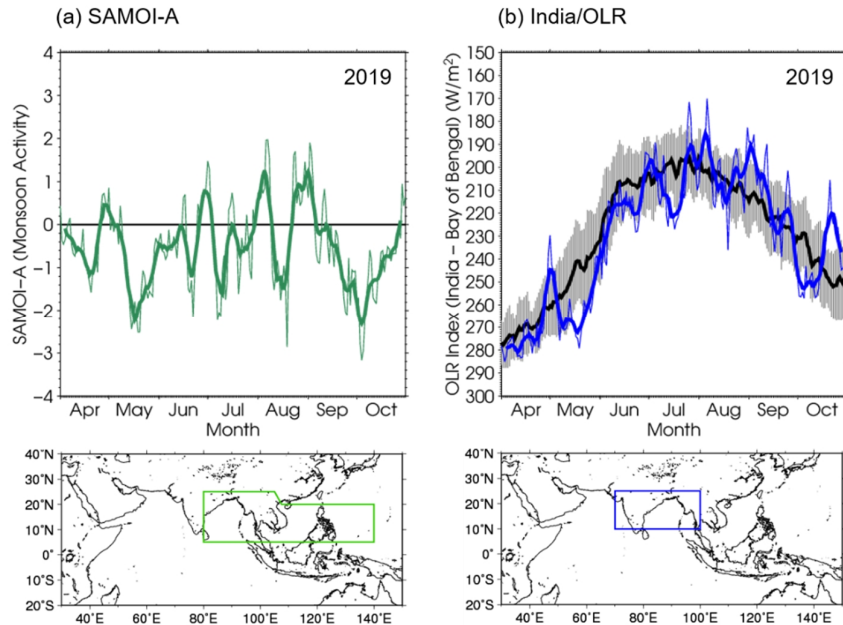


図2 (a) SAMOI-A、(b) インド付近の領域平均 OLR の時系列 (2019年4~10月)

(a) の SAMOI-A は、OLR 偏差を (a) 下図の緑枠の領域で平均し、年々変動の標準偏差で規格化した後に符号を反転した値で、正 (負) の値は夏季アジアモンスーンの対流活動が活発 (不活発) であることを示す。(b) の領域平均 OLR の平均領域は (b) 下図の青枠の領域 (70° E-100° E, 10° N-25° N) で、単位は W/m<sup>2</sup>。

ンの対流活動が活発（不活発）であることを示す。春まで続いたエルニーニョ現象に関連し、夏季アジアモンスーンの対流活動は7月中旬頃までは全般的に不活発傾向が見られたが、8月にかけては徐々に平年に近い傾向となった（図2a）。こうした特徴は概ねインド付近の対流活動でも同様に見られた（図2b）。

### 3.3 日本の天候と日本付近の偏西風及びOLRの状況

図3は、日本付近（120°E-150°E）で平均した200hPaにおける東西風とOLRの時間緯度断面図である。日本付近の偏西風は、夏季アジアモンスーンの不活発傾向と対応して7月中旬頃までは全般的に南偏傾向が見られ、その中で6月中旬頃と7月上旬頃の2回、大きく南に蛇行するイベントが発生していたことが分かる。このような偏西風の南偏と良く対応し、7月中旬頃までは、梅雨前線に対応する平年のOLR極小域の南側でOLRの負偏差が明瞭に見られる（図3b）。これは、梅雨前線の北上が平年と比べて遅かったことを意味しており、今夏の前半は季節進行が平年よりも遅かったと言える。特に、九州北部から近畿地方の梅雨入りは平年と比べて20日以上遅れ、1951年以降で最も遅かった。その後7月下旬には、梅雨前線に対応する対流活発域や偏西風の北へのジャンプ（例えば、Ueda et al. 1995; Lin and Lu 2008）が見られ、本州付近では梅雨明けとなった。その後8月上旬頃まで日本付近は広くOLRの正偏差に覆われ、本州付近は広く高温・多照となり、東・西日本の8月上旬の地域平均気温は、とも

に1961年以降で2番目に高くなった。しかし高温・多照傾向は長くは続かず、8月下旬になると再び偏西風が南に大きく蛇行し、本州付近は低気圧や前線の影響で不順な天候が続いて全国的に低温傾向となった。特に8月末頃は、前線と湿った

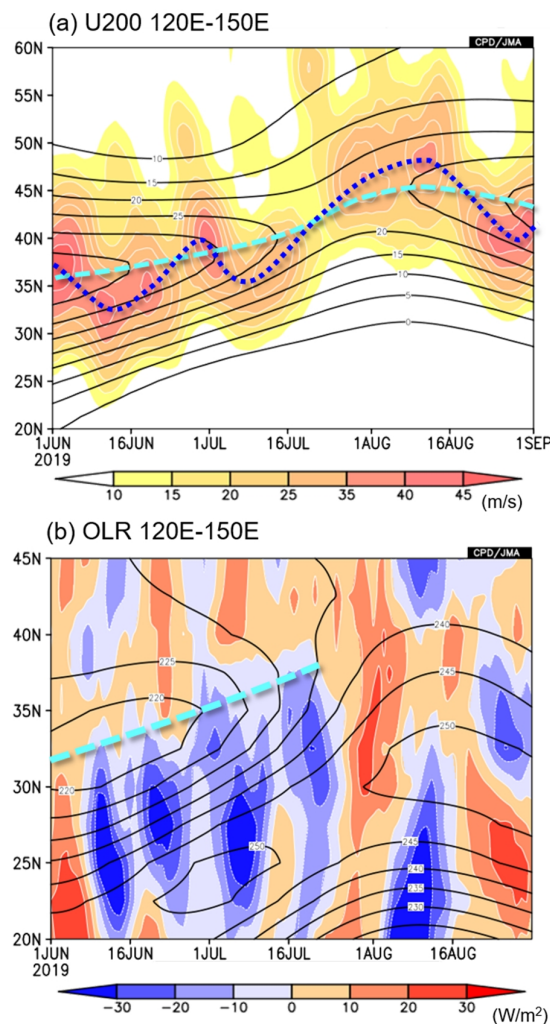


図3 日本付近の(a)200hPaにおける東西風、(b)OLRの時間緯度断面図  
 (a) 日本付近（120°E-150°E）で平均した200hPaにおける東西風（U200、m/s）の平年値を黒の実線で、実況値を陰影で示す。水（青色）の破線（点線）は、平年（実況）のU200の極大軸（極小軸）の変化を示す。(b) 日本付近で平均したOLR（W/m<sup>2</sup>）の平年値を黒の実線で、偏差を陰影で示す。水色の破線は平年のOLRの極小軸（梅雨前線帯に対応）の変化を示す。

空気の影響で九州北部地方を中心に記録的な大雨となり、佐賀県、福岡県、長崎県で大雨特別警報も発表された。以上のように、今夏の天候の特徴は、偏西風の変動とよく対応して前半は季節進行が遅く、後半は高温・多照から低温・多雨と変動の大きい天候となった。

#### 4. 九州北部から近畿地方の記録的に遅い梅雨入りと循環場

本節では、2019年夏に見られたいくつかの特徴的な事例のうち、九州北部から近畿地方に記録的に遅い梅雨入りをもたらした循環場について報告する。

図 4a, c に、6月平均の 200hPa、850hPa における流線関数偏差と OLR 偏差を示す。対流圏上層（図 4a）では、寒帯前線ジェット及び亜熱帯ジェット沿いの波束伝播がみられ、6月中旬から下旬頃に特に明瞭であり、波の位相もほぼ固定されていた。これにより、日本付近は低気圧性循環偏差に覆われ、偏西風が平年と比べて南に蛇行し続けた。偏西風の南への蛇行とよく対応して日本の南海上には明瞭な OLR の負偏差が広がっており、これは梅雨前線が日本の南に停滞していたことに対応する。オホーツク海高気圧の出現等により、湿った空気の影響を受けた東北南部から東海地方にかけての梅雨入りは 6月上旬ごろで、平年並～平年より数日程度早かったが、これらや梅雨前線の影響を受けにくかった九州北部から近畿地方にかけては、梅雨入りが 6月末頃となり、非常に遅い記録となった。

6月に見られたユーラシア大陸上の波束伝播について、熱帯からの外部強制に

よる影響を調べるため、夏前半に対流不活発が続いたインド付近に着目し、この領域（60°E-100°E、10°N-30°N）のみに実況の非断熱加熱を与えた線形傾圧モデル（LBM; Watanabe and Kimoto 2000）による数値実験を行った。図 4b, d, e に、6月における 200hPa 及び 850hPa の流線関数の LBM の応答と、LBM に与えた非断熱加熱を示す。実況では、第 1 節で述べた通り、インド付近は対流不活発に伴う正の OLR 偏差が明瞭にみられる。またインドの北西付近は、対流圏下層で高気圧性循環偏差、対流圏上層で低気圧性循環偏差が見られ、インド付近の対流不活発に伴う冷源応答を想起させる傾圧的な構造となっている（図 4a, c）。LBM の応答は、対流圏上層ではインド北部付近に低気圧性循環の中心が見られ、西からの波束伝播の影響も強く見られる実況と比べるとやや南寄りではあるが、前述の傾圧構造は一致している（図 4b, d）。また、インド付近からアリューシャン列島の南にかけて、位相の若干のずれは見られるものの、実況で見られるような波列パターンが現れている。この結果は、インド付近の対流不活発が対流圏上層に見られた波束の位相の固定や、日本付近の偏西風の南への蛇行に寄与した可能性を示唆している。

次に、インド付近の対流不活発について、この夏見られた特徴的な熱帯の SST 偏差パターンとの関連を調べた。図 5 に 6月の OLR 偏差と、IOBW 指数に回帰させた OLR の統計結果を示す。ここで統計期間は、OLR データが連続して存在する 1979 年から 2018 年の 40 年間で、6月の月平均場を対象とした。実況では、インド洋赤道域の

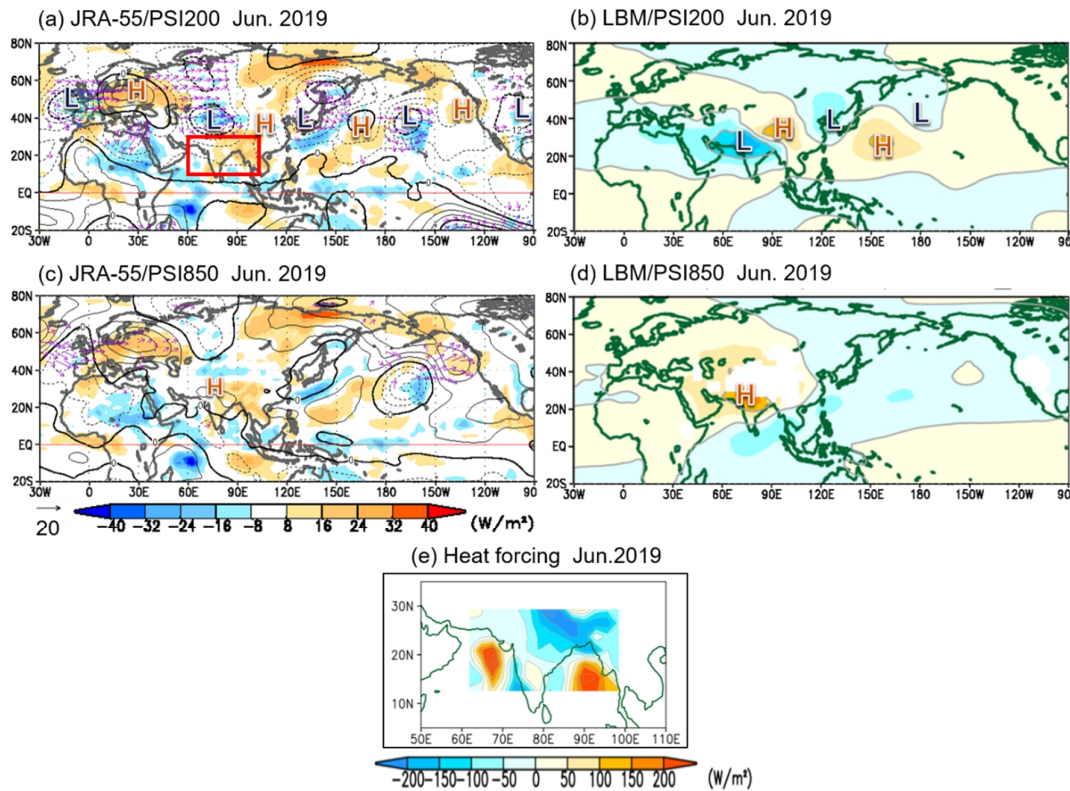


図4 6月平均の対流圏上・下層における流線関数偏差及び OLR 偏差と、6月平均場においてインド付近のみに実況の非断熱加熱を与えた線形傾圧モデルの応答

(a) 6月平均の200hPaにおける流線関数偏差 ( $10^6 \text{m}^2/\text{s}$ , PSI200) を実線で、200hPaにおける波の活動度フラックス (Takaya and Nakamura 2001) をベクトルで、OLR 偏差 ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) を陰影で示す。(b) 6月平均場においてインド付近 (図4(a)赤枠:  $60^\circ \text{E} - 100^\circ \text{E}$ ,  $10^\circ \text{N} - 30^\circ \text{N}$ ) に非断熱加熱を与えた線形傾圧モデル (LBM) の PSI200 の応答を示す。(c) 実線、ベクトルが各々850hPaにおける流線関数偏差 ( $10^6 \text{m}^2/\text{s}$ , PSI850)、波の活動度フラックスである以外は(a)と同じ。(d) 850hPaにおけるLBMの応答である以外は(b)と同じ。(e) LBMに与えた非断熱加熱 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )。“H”、“L” マークは各々、高気圧性、低気圧性の循環を示す。

東部で対流不活発、インド洋赤道域の西部で対流活発な領域が見られるほか、フィリピンの東海上からインドシナ半島、インド付近に明瞭な対流不活発領域が広がっている (図 5a)。図 5b の統計結果を見ると、インド付近から日本の南海上にかけて実況とよく似たパターンが現れており、6月のインド洋高温時には、実況と同様にインド付近で対流不活発となる傾向が見られる。一方で、2019年夏に見られた熱帯の SST 偏差パターンに関連して

IOD 指数や ENSO モドキ指数 (Ashok et al. 2007) を用いて同様の回帰分析を行ったが、前述の結果と比べて実況をよく説明できるような関係は得られなかった (図略)。このことから、本事例で見られたインド付近の対流不活発は、インド洋の SST が高温であったことと関連している可能性がある。実際、6月のインド洋高温時には、実況でも見られるようにインド付近で下層高気圧性循環が現れやすい傾向があり (図 5c, d)、これは夏のアジアモンス

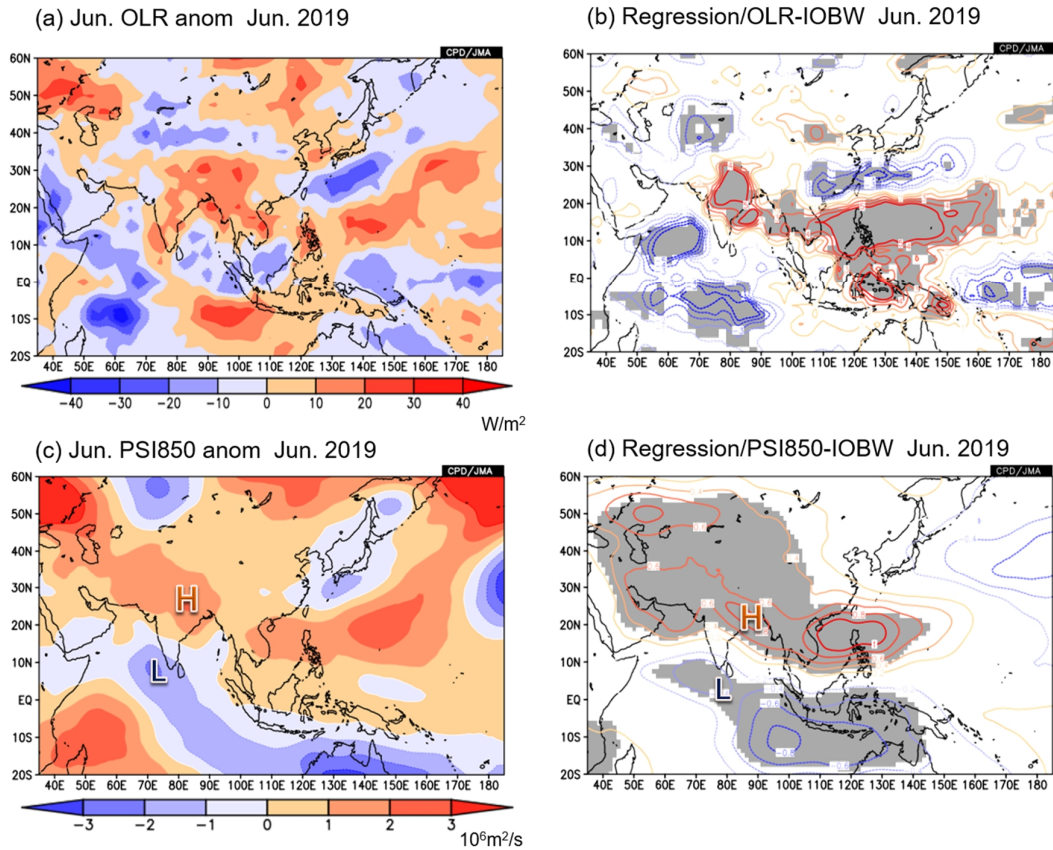


図5 6月平均の OLR 偏差及び PSI850 偏差と、6月において IOBW 指数に回帰させた OLR 及び PSI850

(a) 6月の OLR 偏差 ( $W/m^2$ )。 (b) 6月において IOBW 指数に回帰させた OLR。 (c) 6月の PSI850 偏差 ( $10^9 m^2/s$ )。 (d) 6月において IOBW 指数に回帰させた PSI850。 図中の“H”、“L”マークは各々、高気圧性、低気圧性の循環を示す。(b, d)において、灰色領域は t 検定で 90%以上有意なことを示す。なお、統計期間は 1979 年から 2018 年の 40 年間である。

ーンに伴う水蒸気の流入が弱い状況と対応する。ただし、6月において IOBW 指数と対流圏上層の流線関数やジオポテンシャル高度等との回帰分析を行うと、実況のような波列パターンはやや不明瞭かつ位相が 15 度ほど西にずれて現れる(図略)。従って、この時期のインド洋高温 SST とインド～日本付近の波列パターン、日本付近の偏西風の南への蛇行を常に結び付けて考えられるかどうかは注意が必要であり、その妥当性も含めて更なる調査が必要である。

最後に、本事例を対象とした世界の数値予報センターによる予測結果について、インド付近の対流活動と対流圏上層の波列パターンに注目して調べた。ここでは、月平均ではなく、1 か月予報の時間スケールにおける週平均場の予測に注目した。解析対象は、気象庁 (JMA)、ヨーロッパ中期予報センター (ECMWF)、英国気象局 (UKMO)、米国国立環境予測センター (NCEP)、フランス気象局 (Meteo France) の 5 つである。各数値予報センターの予測データは季節内から季節予測プロジェ

クト (S2S; Vitart et al. 2017) から取得した。アンサンブル数は4、偏差は全てのモデルでデータが利用可能な1999年から2010年の12年平均からの差とした。また、予測の偏差は同期間におけるモデル平年値からの差を用いることで、モデルのバイアスを除去した。ここでモデル平年値は、本事例の初期値と対応するハインドキャスト初期値があればその初期値を、無い場合は本事例の初期値前後のハインドキャスト初期値を12年平均することで求めた。図6,7に、対流圏上層で明瞭な波列パターンが見られた2019年6月10日から16日の7日平均場の解析

及び予測結果を示す。予測は、図6が約2週間前、図7が約1週間前の初期値の結果である。実況では、寒帯前線ジェット沿い、亜熱帯ジェット沿いの波列パターンが見られ、亜熱帯ジェット沿いではインド付近の対流不活発の北西付近に低気圧性循環偏差、中国東部付近で高気圧性循環偏差、日本付近で低気圧性循環偏差となっている。このようなインド付近の対流不活発とインド付近から日本にかけての亜熱帯ジェット沿いの波列パターンは、約2週間前の初期値をみると、JMA、ECMWF、UKMO、NCEPのモデルではある程度予測されている(図6b, d, e, f)。

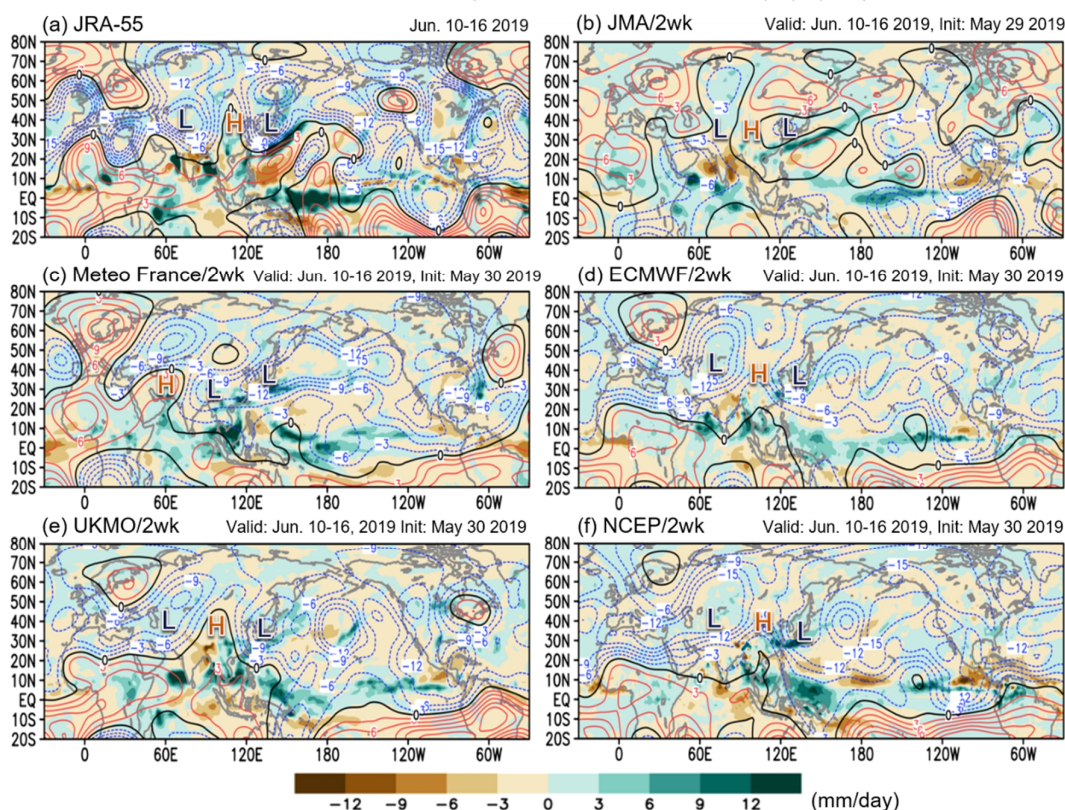


図6 PSI200及び降水の実況と各センターの予測(2週間前初期値)

(a) 6月10日~6月16日平均のJRA-55のPSI200偏差( $10^6 \text{m}^2/\text{s}$ , 等値線)、降水量偏差(mm/day, 陰影)。(b-f) 同期間における気象庁(JMA)、フランス気象局(Meteo France)、ヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)、英国気象局(UKMO)、米国国立環境予測センター(NCEP)の予測。予測初期値は、JMAが5月29日、それ以外は5月30日。“H”、“L”マークは各々、高気圧性、低気圧性の循環偏差を示す。

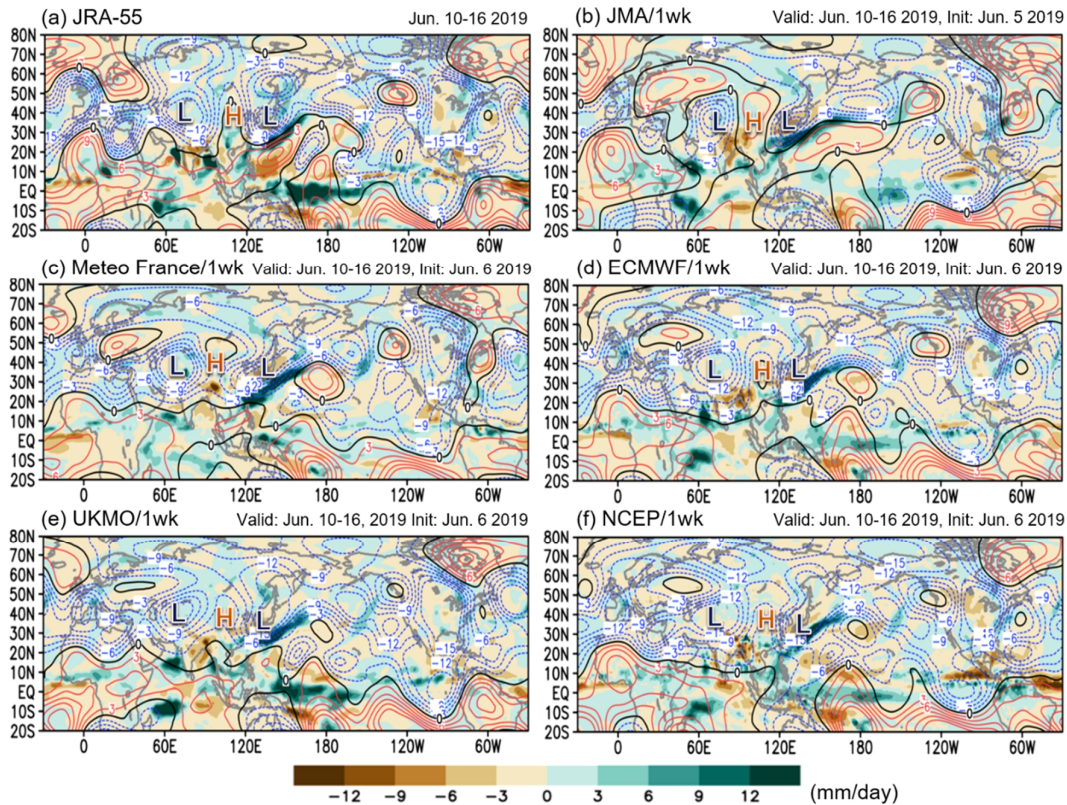


図7 PSI200及び降水の実況と各センターの予測（1週間前初期値）  
 JMAの初期値が6月5日、それ以外が6月6日であるほかは図6と同じ。

一方、Meteo Franceのモデルでは、インド付近の対流不活発が不明瞭であり、加えて実況で見られるようなインド北西付近の低気圧性循環偏差から日本まで連なる波列パターンが予測されていない（図6c）。1週間前の初期値になると、Meteo Franceのモデルを含めて全てのモデルで前述のような解析で見られる特徴が予測されるようになる（図7）。各モデルの解像度の違いをはじめ、予測の違いに影響与えた要因は様々考えられるが、前述の結果は本事例において、インド付近の対流不活発の予測もインド～日本付近の波列パターンの予測において重要な要素の一つであった可能性を示唆している。

## 5. まとめと議論

2019年の夏前半は季節進行が平年と比べて遅く、夏後半は全国的に高温・多照から低温・多雨と変化し、変動の大きい天候経過となった。特に夏の前半は九州北部～近畿地方で梅雨入りが大幅に遅れ、統計を開始した1951年以降で最も遅くなった。この主な原因は、春まで続いたエルニーニョ現象の影響でアジアモンスーンの活動が夏前半を中心に弱く、日本付近の偏西風が南偏傾向だったことに加え、西からの波東伝播により日本付近で偏西風が大きく南に蛇行し続けたことが考えられる。偏西風の蛇行には、インド付近の対流不活発が影響した可能性があり、さら



にこの対流不活発は、エルニーニョ現象終息後に発生するインド洋 SST の海盆スケールの高温化と関連している可能性が示唆された。ただし、6 月における IOBW 指数と対流圏上層の流線関数やジオポテンシャル高度等との回帰分析の結果には実況とのずれが見られるため、この時期のインド洋高温 SST とインド～日本付近の波列パターンを常に結び付けて考えられるかどうかは注意が必要であり、その妥当性も含めて更なる調査が必要である。

また本事例について、S2S のデータを使用して世界の 5 つの数値予報センターの予測結果を、インド付近の対流と対流圏上層の波列パターンに着目して比較した。インド付近の対流不活発が予測できているモデルは、対流圏上層で見られたインド～日本付近の波列パターンも概ね予測されていた一方、この対流不活発が予測されていないモデルは、波列パターンの予測もみられなかった。この結果は本事例において、インド付近の対流不活発が、インド～日本付近の偏西風の蛇行の予測という点において重要な要素の一つであった可能性を示唆している。

## 参考文献

気象庁, 1997: 表紙の説明: 夏のアジアモンスーン OLR インデックス. 気候系監視報告, 平成 9 年 6 月, 44-46.

Ashok, K., S. K. Behara, S. A. Rao, H. Weng, and T. Yamagata, 2007: El Niño Modoki and its possible teleconnection. *J. Geophys. Res.*, **112**, C11007.

Ishii, M., A. Shouji, S. Sugimoto,

and T. Matsumoto, 2005: Objective analyses of sea-surface temperature and marine meteorological variables for the 20th century using ICOADS and the Kobe collection. *Int. J. Climatol.*, **25**, 865-879.

Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebita, 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. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **93(1)**, 5-48.

Lin, L., and R. Lu, 2008: Abrupt northward jump of the East Asian upper-tropospheric jet stream in mid-summer. *J. Meteor. Soc. Japan*, **86(6)**, 877-866.

Ueda, H., T. Yasunari, and R. Kawamura, 1995: Abrupt seasonal change of large-scale convective activity over the Western Pacific in the northern summer. *J. Meteor. Soc. Japan*, **73**, 795-809.

Takaya, K., and H. Nakamura, 2001: A formulation of a phase-independent wave-activity flux for stationary and migratory quasigeostrophic eddies on a zonally varying basic flow. *J. Atmos. Sci.*, **58**, 608-627.

Vitart, F., et al., 2017: The Subseasonal to Seasonal (S2S) prediction project database. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **98(1)**, 163-173.

Watanabe, M., and M. Kimoto, 2000:  
Atmosphere - ocean thermal coupling  
in the Northern Atlantic: A  
positive feedback. *Quarterly J. Roy.  
Meteor. Soc.*, **126**, 33443-3369.