

夏季北西太平洋域の循環偏差が 中高緯度大気循環の予測に及ぼす影響について

田中智之*・向川均

* 京都大学大学院理学研究科

要 旨

気象庁1ヶ月アンサンブル予報実験データを用いて、夏季の北西太平洋域における対流活動が中高緯度域大気循環の予測可能性に及ぼす影響について解析を行った。特に、日本の気候に影響を及ぼす循環パターンとして知られるPJ (Pacific-Japan) パターンと中高緯度域の大気循環の予測精度との関連に注目した。その結果、PJパターンに伴う高気圧性(低気圧性)循環偏差が大気下層の北西太平洋域で卓越するとき、予報6日目から8日目における北太平洋域での対流圏下層の大気循環の予測誤差が有意に小さく(大きく)なることが示された。この北西太平洋域における循環偏差と中高緯度域の予測精度との関係は、PJパターンに伴うロスビー波列の伝播特性がPJパターンの極性に依存することと密接に関連している。

キーワード: PJパターン, 予測可能性, アンサンブル予報

1. はじめに

PJ (Pacific-Japan) パターンは夏季の日本域の気候、特に気温に大きな影響を与える大気循環変動パターンの一つであり、Nitta (1986, 1987) により、フィリピン周辺の対流活動と有意に関連する日本付近の対流圏の高度場偏差パターンとして定義されている。また、PJパターンは、ロスビー波によるエネルギー伝播に伴って、特に対流圏下層では日本域からさらに下流域である太平洋北部や北米付近まで連なる波列構造が形成される。しかし、PJパターンの数日の時間スケールでの予測可能性に関する研究はほとんど存在していない。また、PJパターンが夏季の中高緯度域の大気循環の予測精度に及ぼす影響も未解明である。そこで、本研究では夏季(6月~8月)について、気象庁で実施された1ヶ月アンサンブル予報実験の結果を用いて、PJパターンの予測可能性について解析を行った。特に、北東太平洋域の予測可能性とPJパターンの極性との関係に注目する。

2. 使用データと解析手法

2.1 使用データ

1979 年から 2008 年までの JRA25 再解析/JCDAS データ(水平格子間隔は 1.25° 、鉛直層数は 1000 hPa から 0.4 hPa までの全 23 層: 以下、解析値と呼ぶ)、および、1982 年から 2001 年までの 20 年間について気象庁気候情報課で実施されたアンサンブル予報実験結果(以下、予測値と呼ぶ)を用いた。この予報実験は毎月 3 回、ほぼ 10 日間隔で実施されており、積分期間は 40 日である。本研究では、夏季と定義した 6 月から 8 月を初期日とする全 180 個の予報について解析を行った。各予報のアンサンブルメンバー数は 5 個で、モデル解像度は TL159(水平格子間隔は 1.125°) 鉛直層数は全 40 層であるが、提供されたデータの水平格子間隔は 2.5° 、鉛直層数は全 8 層である。

本研究では、気候値を 1979~2008 年で平均した日々の平均値に、60 日の low-pass filter (Duchon, 1979) を施した値で定義した。さらに、PJ パターンに相当する低周波変動を取り出すため、解析値と予測値に 5 日移動平均を施したデータを解析した。

2.2 予測精度の定義

大気循環の予測精度の評価にはアンサンブル平均予測値の根二乗平均誤差（以下、RMSE と記す）を用いた。ある格子点 (i, j) における RMSE は、次のように、アンサンブル平均値（全アンサンブルメンバーの平均値） $X_m(i, j)$ の予測誤差を M 個の予報事例で平均した値として定義した。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (X_m(i, j) - a_m(i, j))^2} \quad (1)$$

ここで、 $a_m(i, j)$ は解析値を表す。

2.3 事例抽出

PJ パターンの極性に着目するため、Fig. 1 で青色を施したフィリピン沖の北西太平洋域（10°N～20°N、110°E～140°E）を基準領域と定義し、この基準領域の対流圏下層（850 hPa）で予報初期に持続的な高気圧性あるいは低気圧性の循環偏差が存在している予報を、それぞれ高気圧事例（12 事例）、低気圧事例（23 事例）として別々に取り出し、各事例について合成図解析を行った。この合成図解析により、ロスビー波の伝播の仕方や中高緯度域の大気循環の予測精度が、PJ パターンの極性にどのように依存するのかについて調べた。なお、各事例で合成した基準領域における 850 hPa 高度場（Z850）解析値の時間発展を調べたところ（Fig. 2）、高気圧事例（青線）、低気圧事例（赤線）ともに予報初期日で循環偏差の大きさがピークとなっていることがわかった。従って、抽出された事例はPJパターンの成熟期～衰退期に相当していると考えられる。

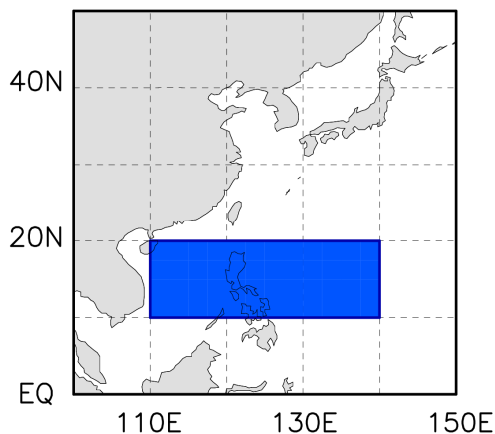


Fig. 1 Definition of the reference area in the northwestern Pacific (blue-colored region).

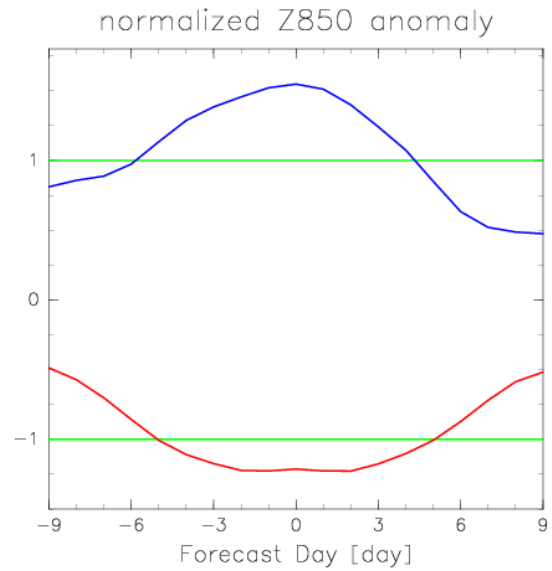


Fig. 2 Time series of normalized observed Z850 anomaly averaged over the reference area for the High-case (blue line) and the Low-case (red line). A horizontal green line shows the standard deviation.

3. 解析結果

3.1 伝播特性

まず、解析値を用いた解析から、高気圧事例では大気下層（850 hPa）でフィリピン付近から北米西岸へと連なる明瞭な波列構造と、低緯度域から高緯度域へと向けたロスビー波のエネルギー伝播が存在していることがわかった。このことは、基準領域における対流圏下層の高気圧性循環が、北東太平洋域や北米西岸域の中高緯度域の大気循環に影響を及ぼしていることが示される（Fig. 3a）。

一方、低気圧事例では北東太平洋域に連なる明瞭な波列構造や、ロスビー波のエネルギー伝播は確認できない（Fig. 3b）。一方、北太平洋域から北東太平洋域へのエネルギー伝播が見られる。従って、北東太平洋域の循環偏差は、中高緯度大気循環の影響を受けて形成されていることが示唆される。

このようにPJパターンの極性に依存して、波列の伝播特性に違いが生じた原因について、ロスビー波の伝播可能領域及び、ロスビー波源の2つの観点から比較検討を行った。まず、Sardeshmukh and Hoskins (1988) によって示されたロスビー波源について調べた。その結果、ロスビー波源は両事例ともに北西太平洋域に存在し、符号を除くと、その分布は両事例で良く似ていた（図略）。一方、ロスビー波の伝播可能領域を調べるため、Hoskins and Ambrizzi (1993) が定式化した全定常波数Ksについて解析を行った。Ks は定在性ロスビー波の分散関係式より、

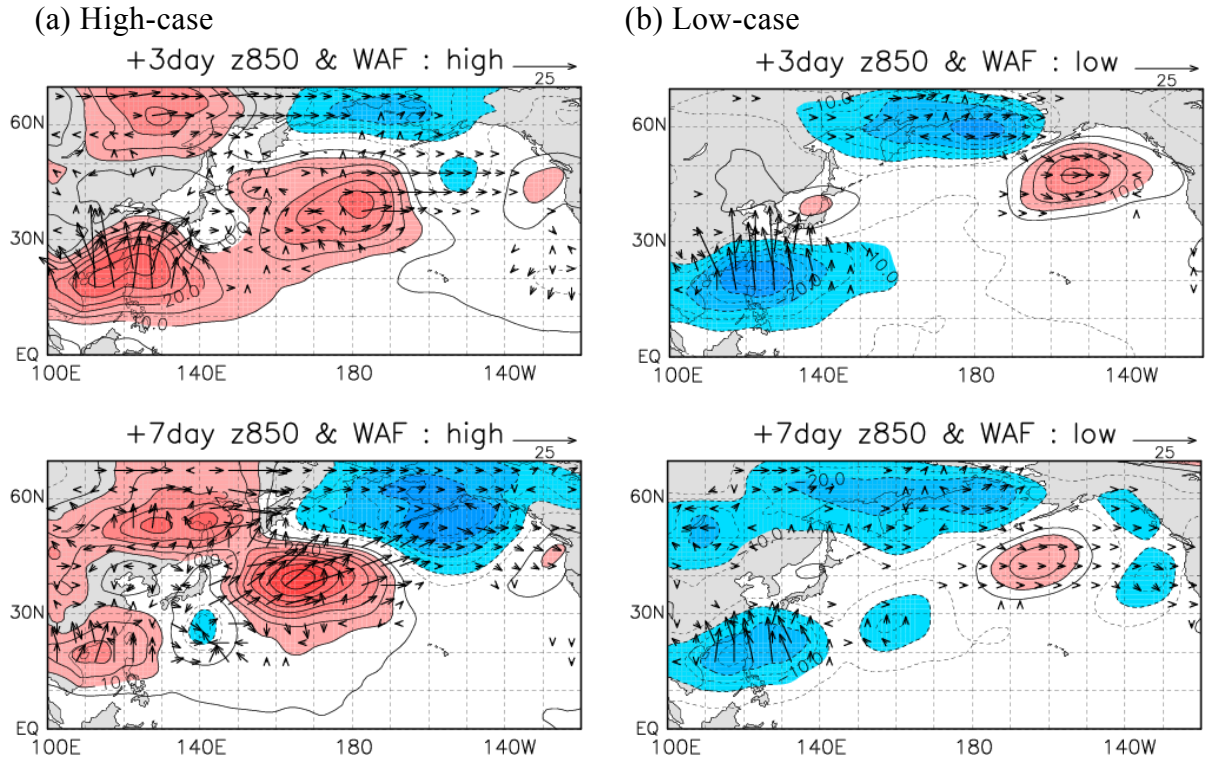


Fig. 3 Composites distribution of 5-day-mean observed Z850 anomaly fields (contour interval is 5.0 m) and the associated wave activity density flux (arrows: the magnitude of the orientation arrow is 25 m²/s²) defined by Takaya and Nakamura (2001) for High-case (a) and Low-case (b). Upper (Lower) panels show the anomaly observed at 3 (7) days after the initial time of the forecast.

$$K_s = \sqrt{\frac{\beta_*}{U}} \quad (2)$$

$$\beta_* = \beta - \frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial y^2} \quad (3)$$

と表すことができる。ここで、 β はベータ項、 $\bar{U}$ は基本場の東西風を表す。従って、 K_s は基本場の東西風の分布に依存する。また、全定常波数 K_s の値が存在する西風領域はロスビー波が伝播可能な領域と対応する。本研究では、各事例における基本場の東西風分布を、PJパターンのスケールより大きい波数0～3成分で定義した。

両事例について、予報初期日から3日目における解析値での850 hPa面における K_s と東西風分布を、それぞれFig. 4とFig. 5に示す。北西太平洋域に着目すると、高気圧事例では、ロスビー波源が存在する北西太平洋域から、北太平洋域などの中高緯度域まで K_s が正となる伝播可能領域が続いている (Fig. 4a)。一方、低気圧事例では伝播可能領域は低緯度域と中高緯度域とで分離している (Fig. 4b)。また、基本場の東西風分布を見ると、低気圧事例ではアジアモンスーントラフの東方への張り出しが明瞭に見られるのに対し (Fig. 5b)，高気圧事例ではモンスーントラフは東方に張り出していない (Fig. 5b)。このように

両事例で、低緯度域でのモンスーントラフの張り出しに違いが生じており、これが伝播可能領域の違いを形成していると考えられる。以上より、両事例での定在性ロスビー波の伝播特性が異なるのは、基本場の東西風の構造、すなわちロスビー波の伝播可能領域の分布が異なるためであると考えられる。

3.2 予測精度評価

次に、気象庁1ヶ月アンサンブル予報実験データのアンサンブル平均予測値を用いて、高・低気圧事例それぞれでZ850の予測精度について調べた。まず、北太平洋、特に北東太平洋域 (40°N～60°N, 180°～160°W) で、低気圧事例に比べ、高気圧事例のRMSEが小さいことが明らかになった。そこで、北東太平洋域で平均したRMSEの時系列 (Fig. 6) に着目して解析を行った。その結果、予報6～8日目で、高気圧性事例のRMSE (青一点鎖線) は、低気圧事例 (赤破線) に比べ有意に小さいことがわかった。この時期は、ロスビー波のエネルギーが、北西太平洋の基準領域から北東太平洋域まで伝播するのに要する時間とほぼ一致する。さらに、予測値を用いて K_s を調べたところ、解析値とほぼ同様に、高・低気圧事例間で伝播可能領域に違いがあることが見出された。このことから、高気圧事例ではPJパターンに伴うフィ

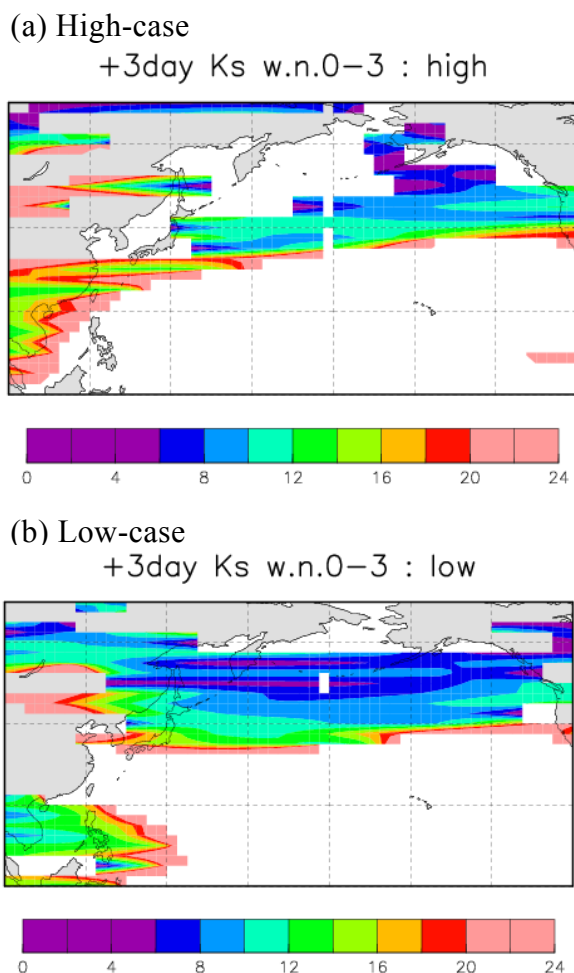


Fig. 4 Stationary wave number Ks for the observed basic wind fields at 850 hPa at 3 days after the initial time of the forecast. The basic wind field is composed of zonal wavenumber 0-3 components. (a) High-case, (b) Low-case.

リピン沖の北西太平洋域から北東太平洋域へと繋がるロスビー波のエネルギー伝播をうまく予測できたため、高気圧事例のRMSE が小さくなったと考えられる。よって、PJパターンに伴う明瞭なロスビー波列が存在するときは、北東太平洋域のZ850予測精度は良くなることが示唆される。

4. まとめ

本研究では、再解析データ及び予報データを用いて、PJパターンの伝播特性やPJパターンが中高緯度の予測精度に及ぼす影響について調べた。

その結果、高気圧事例では、大気下層においてフィリピン沖の北西太平洋域から中高緯度域へのロスビー波伝播が見られたのに対し、低気圧事例ではロスビー波伝播は明瞭ではなかった。この伝播特性の違いは、基本場の東西風の分布の違いに起因してい

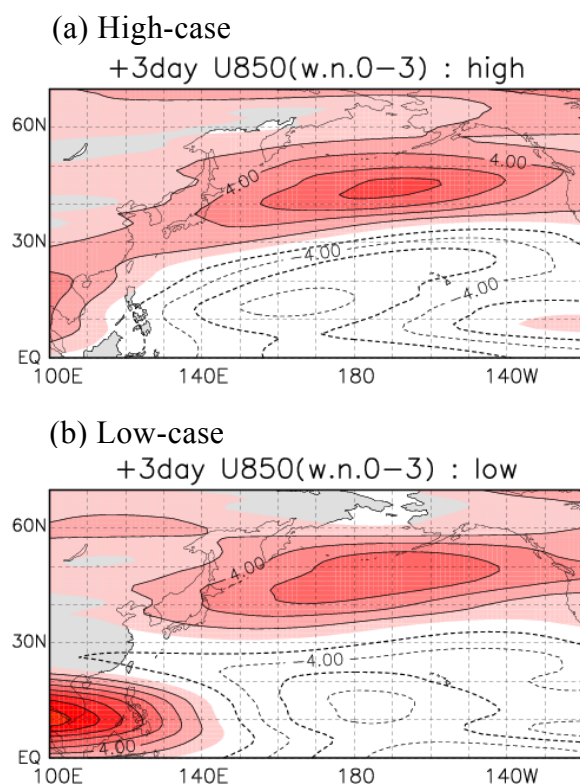


Fig. 5 Basic zonal wind field composed of zonal wavenumber 0-3 components (contour interval is 2 m/s) observed at 3 days after the initial time of the forecast. (a) High-case, (b) Low-case.

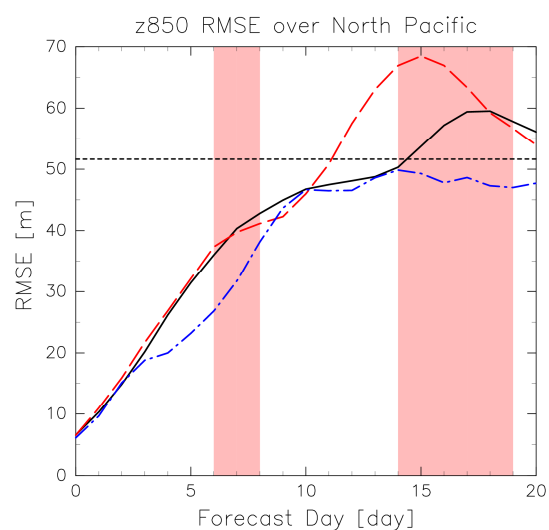


Fig. 6 Time evolution of Z850 RMSE averaged over the northeastern Pacific region ($40^{\circ}\text{N}\sim 60^{\circ}\text{N}$, $180^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{W}$). The red broken (blue dash-dotted) line shows High (Low)-case, and the black solid line corresponds to the other case. The horizontal dotted line shows the standard deviation of Z850. Pink-colored regions correspond to time intervals when the difference of the RMSE between the High and Low case has 95% statistical significance.

ることが示された。一方、北東太平洋域での大気下層の高度場の予測精度を調べたところ、ロスビー波伝播が明瞭に見られた高気圧事例の予測精度は、他の事例に比べて有意に小さいことがわかった。

以上より、PJ パターンの伝播特性や、北東太平洋域などの中高緯度域の大気下層高度場の予測精度がPJ パターンの極性に依存していることが明らかになった。

謝 辞

本研究では、JRA25再解析/JCDASデータセットを用いた。このデータセットは、気象庁、および電力中央研究所による、JRA25長期再解析プロジェクトにより提供された。また、本研究で使用した、気象庁1ヵ月アンサンブル予報実験データは、気象庁気候情報課より提供された。図の作成には、地球流体電脳ライブラリを用いた。開発者の方々に深く感謝する。

参考文献

- Duchon, C. E. (1979): Lanczos filtering in one and two dimensions, *J. Applied Met.*, Vol. 18, pp. 1016-1022.
- Hoskins, B.J. and Ambrizzi, T. (1993): Rossby wave propagation on a realistic longitudinally varying flow, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 47, pp. 2177-2199.
- Nitta, T. (1986): Long-term variation of cloud amount in the western Pacific region, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 64, pp. 895-911.
- Nitta, T. (1987): Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 65, pp. 373-390.
- Sardeshmukh, P.D. and Hoskins, B.J. (1988): The generation of global rotational flow by steady idealized tropical divergence, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 45, pp. 1228-1251.
- Takaya, K., and Nakamura, H. (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.*, Vol. 58, pp. 608-62.

Influence of the Summertime Convective Activity over the Northwest Pacific to the Forecast Skill of the Extratropical Circulation

Tomoyuki TANAKA* and Hitoshi MUKOUGAWA

* Graduate School of Science, Kyoto University

Synopsis

Influence of the summertime convective activity over the Northwest Pacific to the forecast skill of the extratropical circulation is investigated by using JMA (Japan Meteorological Agency) 1-month ensemble forecast experiment dataset. In particular, we focus on the relationship between the polarity of the PJ (Pacific-Japan) pattern and the forecast skill of extratropical circulation. It is found that when an anticyclonic (cyclonic) circulation prevails over the Northwest Pacific associated with the PJ pattern, the forecast skill of the lower tropospheric circulation over the North Pacific region is significantly improved (degraded) for 6-8 day forecast. This relationship is intimately related to the dependence of the propagating property of Rossby wave train on the polarity of the PJ pattern.

Keywords: PJ-pattern, predictability, ensemble forecast