

## 北半球夏季のダブルジェットの力学変動

### Dynamical Variability of the double-jet Structure in the Northern Hemisphere Summer

直江寛明<sup>(1)</sup>・榎本剛・今田由紀子<sup>(1)</sup>

Hiroaki NAOE<sup>(1)</sup>, Takeshi ENOMOTO and Yukiko IMADA<sup>(1)</sup>

(1) 気象研究所 気候・環境研究部

(1) Meteorological Research Institute, Japan

#### Synopsis

This study investigates the dynamical variability of the double-jet structure in the Northern Hemisphere summer months of June and July. The summer northern annular mode (NAM), which is the leading mode of the empirical orthogonal function analysis in the extratropical troposphere for each month, is used for this analysis. The strong positive NAM is characterized as the double jets with the subtropical jet located at around 40°N and the polar front jet (the eddy drive jet) at 60°–70°N; the strong negative NAM is characterized as the single jet with the dominant subtropical jet at around 40°N. The vertical profile of momentum budget at 60°–85°N in the strong NAM months has peaks of the EP flux convergence and the poleward absolute vorticity advection at 300 hPa. The difference of zonal wind between the strong positive and negative NAM is estimated at around 5 m s<sup>-1</sup>.

**キーワード:** ダブルジェット, 夏の環状モード

**Keywords:** double jets, summer northern annular mode

#### 1. はじめに

2018年7月に豪雨をもたらした要因は、局所的には多量の水蒸気の流入と線状降水帯の形成だが、大規模場は対流圏上層のジェットが亜熱帯ジェットと寒帯前線ジェットに大きく分流し、ダブルジェット構造が持続したことが原因の一つとされている。

亜熱帯ジェットは、Hadley循環(熱循環)に駆動される角運動量の移流によって生成され、熱的に駆動ジェットとも呼ばれ、極めて傾圧的である。それに対し寒帯前線ジェット(より一般的には中緯度ジェット)は、波強制(運動量の収束)によって生成され、eddy driven jetとも呼ばれ、順圧的で地上風も西風である。夏季のユーラシア大陸上において、チベット高原の北側40°N付近に亜熱帯ジェットが発達するシ

ングルジェット型と、寒帯前線ジェットも発達するダブルジェット型とが存在する。

これまでの研究により、亜熱帯ジェット上を伝播する停滞性ロスビー波は夏の太平洋高気圧を発達させ(Enomoto 2004)日本域に猛暑をもたらす一方、寒帯前線上を伝播するロスビー波はオホーツク海高気圧の形成に寄与(Nakamura and Fukamachi 2004)し、日本に冷夏をもたらすことが知られている。しかし、ダブルジェットの力学変動や、eddy driven jet上を伝播するロスビー波の発達、ジェットとの相互作用、ジェットの維持機構は未解明であるため、夏の異常気象を解明するのは困難である。そこで本研究では、夏季のユーラシア大陸に発達するダブルジェットの特徴を調べた。

## 2. 方法

夏季ユーラシア大陸上で特徴的な変動を調べるため、Ogi et al. (2004) で定義され、northern annular mode (NAM) の季節変化がある (SV-NAM) 指数を用いて、指数による分類と合成図による解析を行った。気象庁長期再解析 (JRA-55) の月別東西平均高度場 (40°–85°N, 200–1000 hPa; 1958–2019, 62年) から時間的な共分散行列を求めて EOF 解析を行い、その第1モードをSV-NAMパターンとした。SV-NAM 指数は、各月の高度場偏差を第1モードに射影し、年々変動の標準偏差で規格化して求めた。

6–7月の夏季について解析を行い、日別SV-NAM指数が +3以上の日が6日以上ある月、−3以下の日が6日以上ある月をそれぞれ、北半球夏季に正のNAMが強い月、負のNAMが強い月と定義した。

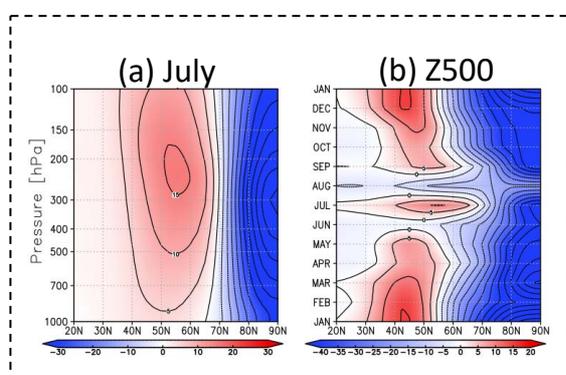


Fig. 1 (a) Latitude-height section of zonal-mean geopotential height in July regressed on northern annular mode (NAM), which is defined by standardized PC time series of the leading EOF of the zonal mean geopotential height field in 40°–85°N, 200–1000 hPa in July. (b) Latitude-seasonal section of zonal-mean geopotential height at 500 hPa regressed on NAM in each month (seasonal varying NAM, SV-NAM).

## 3. 結果

Fig. 1(a) に 7月のNAMで回帰した高度場の緯度高度面を示す。70°Nに北側、北極域で負偏差、南側で正偏差となり、NAMの特徴を表している。正の高度場偏差は、50°N, 200–300 hPaに15 mの極大がある。Fig. 1(b) にSV-NAMで回帰した500 hPaの緯度季節変化を示す。夏を除いた秋冬春の季節は、50°N以北で負偏差、以南で正偏差となり、夏とは違った特徴になっている。Fig. 2にSV-NAMで回帰した高度場1000 hPa と東西風300 hPaを示す。高度場1000 hPa では北極

海に負の偏差と北大西洋からヨーロッパにかけて正偏差がある。東西風300 hPaの回帰図では、北極海沿岸で正、ヨーロッパで弱風域となっている。

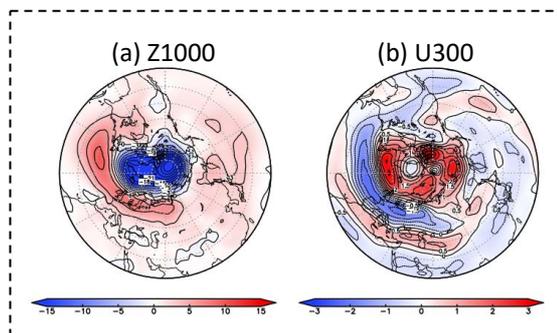


Fig. 2 (a) Geopotential height at 1000 hPa (m) and (b) zonal wind at 300 hPa ( $\text{m s}^{-1}$ ) regressed onto the SV-NAM index in June–July.

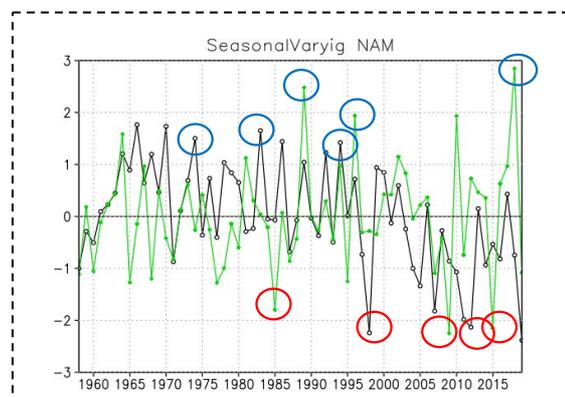


Fig. 3 Time series of the monthly SV-NAM index from 1958 to 2019 for June (black) and July (green). Months when number of days with SV-NAM indices  $> 3$  ( $< -3$ ) is greater than 5 days are marked by blue (red) circles and are referred to norther summer strong positive and negative NAM months, respectively.

Fig. 3 に 月別 SV-NAM 指数の経年変化を示す。2018年の7月は指数2.9であり、顕著な正のNAMである。2003年7月は2018年と同様ダブルジェットが発達した (前田ら 2005) が、月別SV-NAM指数は 0.8 で程度であった。これはシベリアの北極海沿岸だけ発達したのに対し、2018年やFig. 2 東西風の回帰図では北極海を取り巻くようにジェットが発達したためである。2010年7月は指数が+2と高く、この年はロシアのブロッキングが発達し、欧州や日本など北半球の夏で猛暑であった。1993年の日本は大冷夏であったが、SV-NAM指数は −0.5程度である。

Fig. 4に北半球夏季に正と負のNAM指数が強い月で平均した、経度0°–135°E帯平均東西風の緯度分布、

及びFig. 5 に300 hPa 北半球の東西風分布を示す。北半球夏季に正のNAM指数が強い月 (Fig. 3で青丸の月) は夏 (6, 7月) の 62 年間に 6 回あり (例: 2018年7月), その合成図は 40°N の亜熱帯ジェットと 60°-70°N に 寒帯ジェット (或いはeddy driven jet) が発達するダブルジェット構造をしている。北半球夏季に負のNAM指数が強い月 (Fig. 3で赤丸の月) は5 回あり, その合成図は 亜熱帯ジェットが40°Nに発達するシングルジェット型である。定常ロスビー波数 (not shown) は, 40°Nの導波管が顕著であり, 北極海沿岸に全波数3-4程度の弱い導波管がみられる。

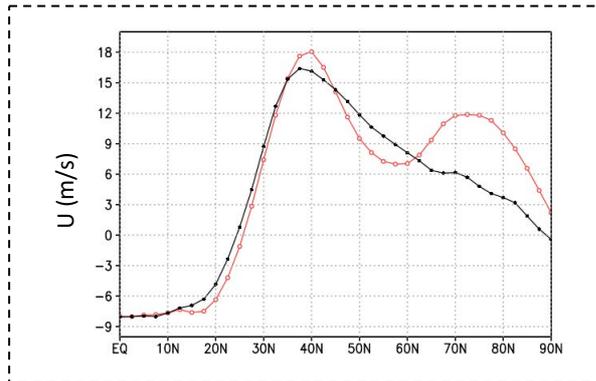


Fig. 4 Latitudinal distribution of zonal wind at 300 hPa averaged over 0°-135°E averaged for the northern summer strong positive (red) and negative (black) NAM months.

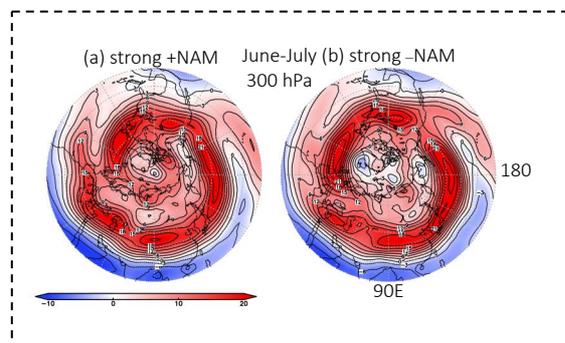


Fig. 5 Composite mean of the zonal wind at 300 hPa averaged in the northern summer (June to July) strong (a) positive and (b) negative NAM months in units of  $\text{m s}^{-1}$ .

高度場500 hPaと気温700 hPaについて, 北半球夏季に正と負のNAMが強い月について合成図を作成し, 気候値からの偏差をFig.6 と Fig. 7に示す。強い正のNAM指数で合成した対流圏の高度場と対流圏下部の温度場は北極域が負である。正偏差は北極海周辺に3つ極大を持つが, 波列はあまり見られない。一方, 強い負のNAM指数の場合, 正の場合と完全に符号が反転しているわけでもない。アフリカに正, 大西洋/

ヨーロッパで負, 北極域は正偏差となり, 東西に長い波列構造をしている。

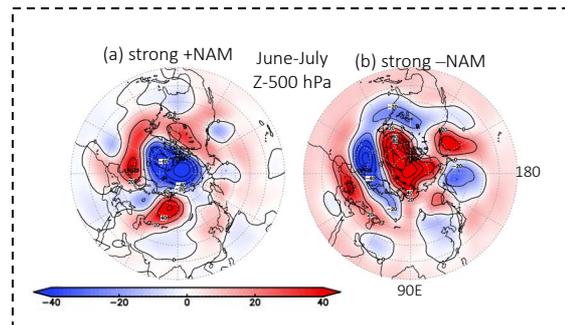


Fig. 6 Geopotential height anomalies at 500 hPa from the climatology for the northern summer strong (a) positive and (b) negative NAM months in units of m.

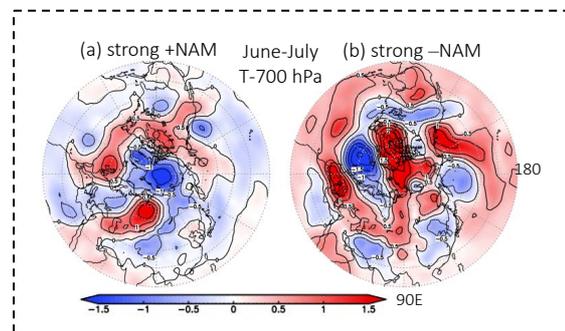


Fig. 7 Temperature anomalies at 700 hPa from the climatology for the northern summer strong (a) positive and (b) negative NAM months in units of K.

Fig. 8 に運動量の緯度分布を示す。強い正のNAMの場合, 全波数と波数5-10は45°Nに極大をもち, 波数5-10の寄与が大きい。75°Nに波数2-4のピークがみられる。強い負のNAMの場合, 極大は45°N付近にあり, 波数2-4の寄与は比較的大きい。50-75°Nは負の渦運動量となっている。

強い正のNAM指数のときはダブルジェット構造をしており, eddy driven jet 近傍の緯度帯(60°-85°N)で平均した極側の運動量収支をFig. 9(a) に示す。運動量収支は, 60°-85°Nで300 hPa付近にEP flux の収束と絶対渦度の北向き輸送のピークがある。ダブルジェット型とシングルジェット型 (強い負のNAM指数) との差をFig. 9b)に示す。東西風の差は $5 \text{ m s}^{-1}$ となっている。eddy driven jet は, 波強制によって(つまりEP フラックス の発散) によって維持される。(Ogi et al. 2005)が, 月平均でみた場合は残差循環による絶対渦度の寄与が多い。

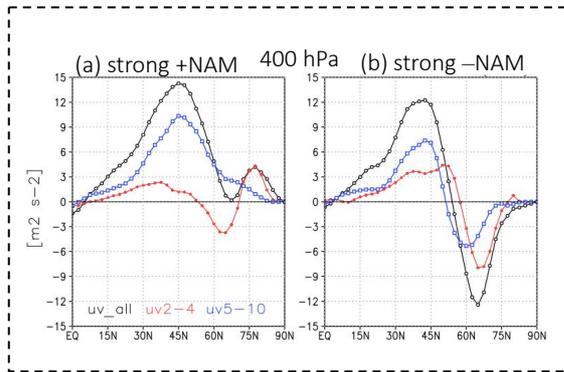


Fig. 8 Latitudinal distribution of eddy momentum at 400 hPa for the northern summer strong (a) positive and (b) negative NAM months in units of  $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$ . All waves (black), zonal wave numbers 2–4 (red), and zonal wave numbers 5–10 (blue).

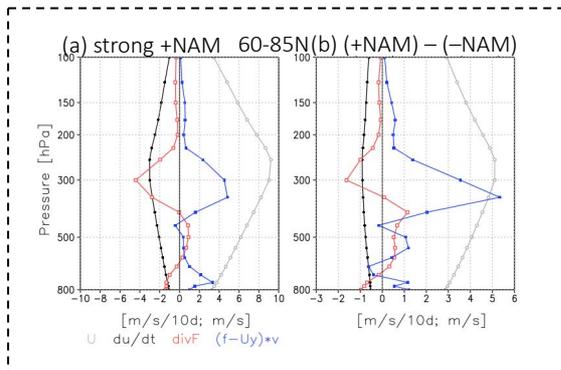


Fig. 9(a) Vertical profile of momentum budget for northern summer strong positive NAM months at  $60^{\circ}$ – $85^{\circ}\text{N}$  for zonal wind tendency (black), EP flux divergence (red), Coriolis torque acting on the residual mean meridional circulation (blue) in units of  $\text{m s}^{-1} 10\text{day}^{-1}$ . Zonal wind ( $\text{m s}^{-1}$ ) is shown in grey. (b) Same as the left panel but for composite difference between strong positive and negative NAM index.

#### 4. まとめ

Ogi et al. (2004) で定義された季節変化する北半球環状モード (SV-NAM) を用いて、夏季 (6–7月) ユーラシア大陸上でダブルジェット構造の特徴を調べた。日別値で+3以上NAM指数が月に6日以上ある場合 (強い正のNAM),  $40^{\circ}\text{N}$ の亜熱帯ジェットと $60$ – $70^{\circ}\text{N}$ に eddy driven jetが発達するダブルジェット型である。一方日別値で-3以下NAM指数が月に6日以

上ある場合 (強い負のNAM), 亜熱帯ジェットが $40^{\circ}\text{N}$ に発達するシングルジェット型である。ダブルジェット型の運動量収支は、 $60$ – $85^{\circ}\text{N}$ で300 hPa付近以下にEP fluxの収束と絶対渦度の北向き輸送のピークがあり、シングルジェット型との差は東西風で $5 \text{ m s}^{-1}$ であることがわかった。今後は、日別値から持続期間や場所の頻度分布, eddy driven jetの維持メカニズムを調べる予定である。

#### 謝辞

本研究はNEXT科研費 JP20H05171の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- 前田修平・小林ちあき (2005) : 2003年夏の北半球ダブルジェット, 天気, 52, pp. 586–590.
- Enomoto, T. (2004): Interannual variability of the Bonin high associated with the propagation of Rossby waves along the Asian jet, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 82, pp. 1019–1034.
- Nakamura, H., and Fukamachi, T., (2004): Evolution and dynamics of summertime blocking over the Far East and the associated surface Okhotsk high, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 130, pp. 1213–1233.
- Ogi, M., Yamazaki, K., and Tachibana, Y. (2004): The summertime annular mode in the Northern Hemisphere and its linkage to the winter mode, *J. Geophys. Res.*, 109, D20114, doi:10.1029/2004JD004514.
- Ogi, M., Yamazaki, K., and Tachibana, Y. (2004): The summer annular mode and abnormal summer weather, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L04706, doi:10.1029/2004GL021528.

(論文受理日 : 2021年8月31日)