

平成30年7月豪雨の際にみられたトラフの出現頻度に関する考察

鈴木 真一*

Appearance Frequency of the Upper Tropospheric Trough Associated with the Heavy Rain Event of July 2018

Shin-ichi Suzuki

**Storm, Flood and Landslide Research Division,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan
ssuzuki@bosai.go.jp*

Abstract

The appearance frequency of the upper tropospheric trough, which was a characteristic feature of the torrential rainfall in July 2018 in Japan, is analyzed using JRA55 reanalysis data. Since the trough in July 2018 was formed from a large meander of a subtropical westerly jet, frequency of the large meander occurrence was investigated using data of the potential vorticity (PV) on 350 K isentropic surfaces from 1979 to 2018. The results showed that around Japan, meandering occurred in July more than in other months. Further, air with high PV elongated in a latitudinal direction around Japan in July once in several years.

Key words: Westerly jet, Trough, Meandering, Potential vorticity

1. はじめに

平成30年7月豪雨では6月末から7月初めにかけて北海道や東北地方で雨が降り続いた一方、7月の5日から8日にかけては西日本で雨が降り続き、ともに多くの被害をもたらされた。この豪雨の特徴は、広範囲で長時間雨が続いたことである。気象庁の観測によれば、1982年以降のアメダス観測点966点の各旬10日間の総降水量の中で、2018年7月初旬は最も値が大きく、降水量の総和は208,035.5 mmで、1地点あたりに直すと215.4 mmの値であった(気象庁, 2018)。全国に降った雨の量で考えると、過去にない規模の豪雨となった。

西日本で雨をもたらした要因については、平成30年度科学研究費補助金特別研究促進費「平成30年7月豪雨による災害の総合研究」報告書(山本ほか, 2019)で記されているように、日本の南海上か

ら極めて多量の水蒸気が供給されたこと(中村ほか, 2019)と、対流圏上層にトラフがあったこと(横山ほか, 2019)の2点が重要であった。特に対流圏のトラフの存在については、横山ほか(2019)の報告に詳細が記されている。それによれば、豪雨は、大量の水蒸気とトラフによって作られる総観規模スケールの上昇流励起の組み合わせで発生したと考えられる。

このような環境は、どれくらいの頻度で発生するものであるのだろうか。ここではそのうちの対流圏上層のトラフについて、この豪雨事例ではどのようにトラフが形成されていったのか、また、そのようなトラフの日本付近における出現頻度はどの程度であるのか、客観解析データであるJRA55データ(Kobayashi *et al.*, 2015)を用いて解析した。

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門

2. 渦位について

JRA55 データのうち、ここでは 350 K 等温位面上における渦位 (Hoskins *et al.*, 1985 など参照) を用いた。350 K 等温位面は、対流圏上層 (およそ 200 hPa 程度) である。渦位は惑星渦度、相対渦度、鉛直成層を組み合わせた値で、断熱過程で摩擦なしを仮定した場合に保存量である。惑星渦度は低緯度で小さく高緯度で大きいことや、等温位面は高緯度で高度が高く、渦位は成層圏で大きいことなどから、等温位面上の渦位は基本場として熱帯で小さく、極域で大きい。また、偏西風ジェットと直交する方向に傾度大きい。一方で、渦位の分布は変動成分を持つが、渦位が大きいほど低気圧性循環を意味するので、東西平均よりも値の大きな領域はトラフ、小さい領域はリッジとなる。

3. 2018 年 7 月初旬の渦位の時間発展

図 1 は 350 K 等温位面上の渦位を 2018 年 7 月 5 日 9 時から 8 日 9 時 (日本時間) まで 1 日おきに示したものである。7 日 (図 1(c)) には対馬海峡付近から日本海にかけて渦位の大きな領域が細く伸びていることがわかる。このような東西波長の短いトラフが日本海に形成され、これが西日本に豪雨をもたらさ

れた要因になっている。このトラフを形成している渦位の高い空気は 5 日にも 6 日にも朝鮮半島北部付近にあり、この間、日本付近はトラフが停滞していた。この高渦位の大気は、6 日には朝鮮半島付近から北へ細く伸びている。この高渦位の大気の東側と西側にはそれぞれ渦位の低い、高気圧性の循環をもたらす気塊がやはり南北に細く伸びている。この低渦位の気塊は、8 日にはシベリア付近に広く分布し、ブロッキング高気圧を形成している。渦位の水平勾配が大きなところはジェット気流に対応しているので、7 月 5 日から 8 日にかけてはジェット気流が大きく蛇行し、ブロッキングの様な循環が発達している。偏西風に沿って伝搬しているロスビー波が大振幅となり、碎波しているとも言い換えられるだろう。

図 2 は北緯 35 度から 45 度まで 350 K 等温位面上における渦位を平均し、それを東経 0 度から 180 度までの範囲で、2018 年 6 月 1 日から 8 月 1 日まで描いたものである。この緯度帯において、6 月中は特に東経 20 度付近や 120 度付近に高渦位の大気が存在し、この経度ではトラフになっていることの多かったことがわかる。また、東経 50 度付近では 6 月末から、東経 120 度から 140 度付近では 7 月 11 日頃から低渦位の大気となっており、特に後者は日本の

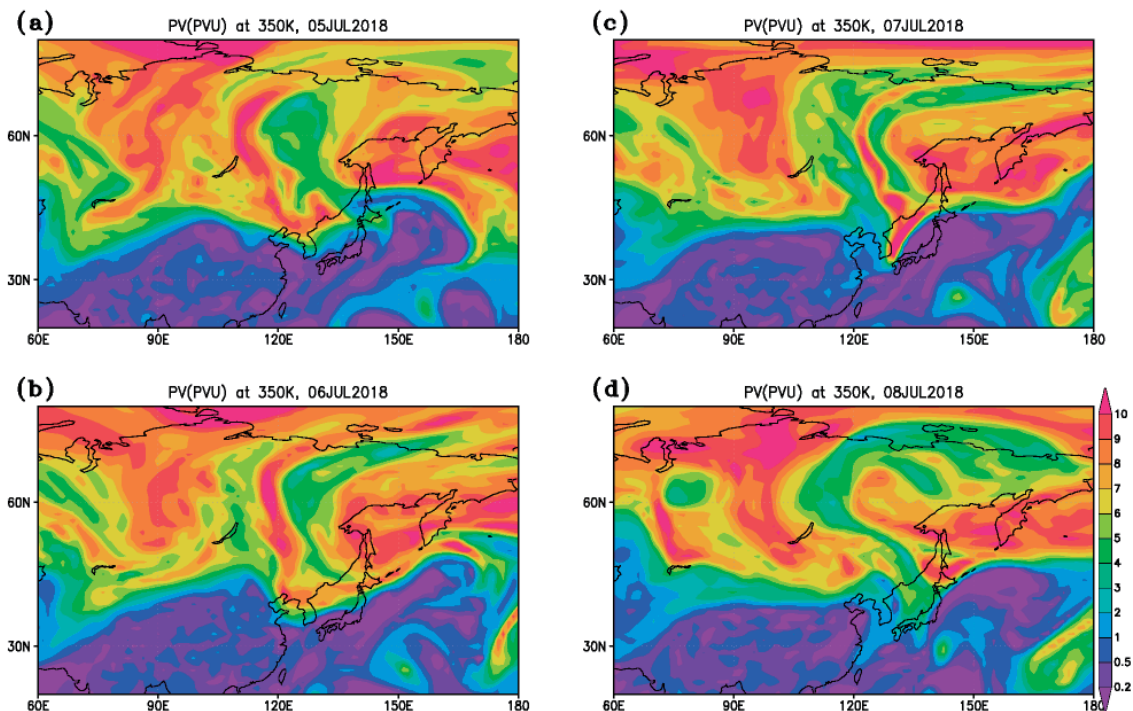


図 1 2018 年 7 月 5 日から 8 日までの各 0 Z における 350 K 等温位面の渦位 (PVU)

Fig. 1 Time series of the potential vorticity (PV, PVU) on 350 K isentropic surfaces from July 5 to 8, 2018.

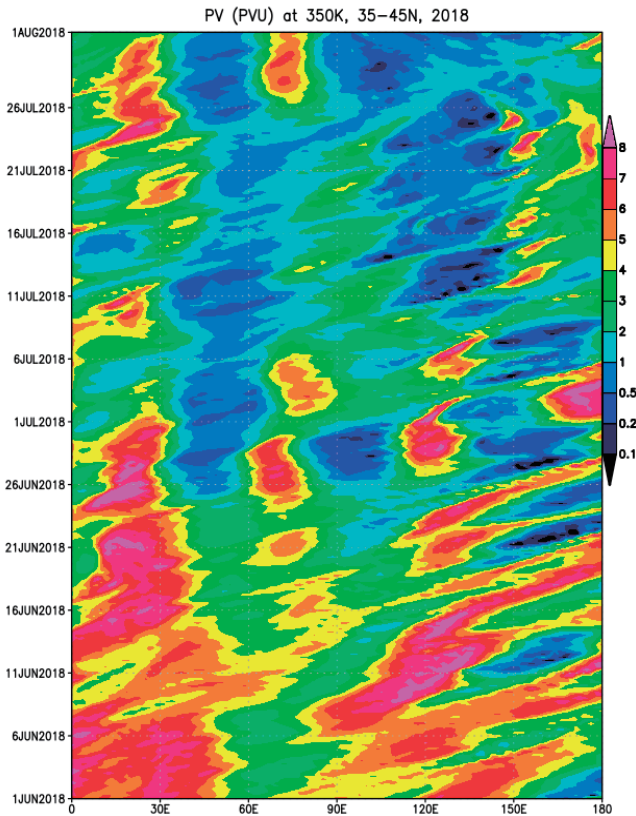


図 2 北緯 35 度から 45 度まで平均した 350 K 等温位面渦位 (PVU) を 2018 年 6 月 1 日から 8 月 1 日まで、東経 0 度から 180 度までの範囲で図示したもの

Fig. 2 A time-longitude profile of the PV on 350 K isentropic surfaces averaged from 35°N to 45°N. The horizontal axis indicates 0° to 180°E and vertical axis indicates from June 1 to August 1, 2018.

猛暑と関連した高気圧の形成に対応しているものである。6 月末には、東経 20 度付近のトラフ、東経 50 度付近のリッジ、さらに東へトラフとリッジが続き、いわゆる「シルクロードパターン」と呼ばれる偏西風ジェットに沿って伝搬する波動 (Enomoto *et al.*, 2003) が出現し、6 月 27 日頃から 7 月 1 日にかけて東経 120 度付近に高渦位のトラフを形成している。同様に、7 月 2 日から 6 日にかけて東経 80 度付近に高渦位のトラフが、4 日から 8 日にかけて東経 130 度付近にトラフがあり、これも西から東へ伝搬する波動である。この日本付近にあらわれたトラフは、7 月 5 日から 8 日にかけて西日本へ豪雨をもたらした要因の 1 つである。

この続いて現れた 2 つのトラフはどちらも特有の形状をしている。始めは高渦位大気の幅が経度にし

て 20 度くらいあるが、トラフが消失する前に幅が 5 度以下の細い形状になって東へ流れていく。この細長い形状というのは、図 1(c) のように、高渦位・低渦位の大気の分布が南北に細長く伸びているものである。このような形態は、偏西風が南北に大きく蛇行し、ブロッキング高気圧や低気圧が発達や持続していく際に見られるものである (木本, 1993, 中村, 1999, 田中, 2007 など)。図 1(d) ではシベリアに低渦位の大きな塊があり、これがオホーツク海高気圧の要因になっているが、図 1(c) では日本海から北へ延びる高渦位の大気が低渦位の大気を東西に分ける形になっており、図 1(b) でも低渦位の大気と高渦位の大気が南北に延びた構造が東西に続いている。このように、7 月 7 日頃に見られたトラフは、ブロッキングが発生・発達する際に見られる偏西風の大きな蛇行に伴うものであったと言える。

4. 偏西風の蛇行の頻度についての考察

このような、偏西風が南北に大きく蛇行した結果として生じている南北に延びたトラフの出現は、どれくらい珍しいのか、考察してみた。350 K 等温面上の渦位を 5 日平均したものについて、5 PVU の等値線を 2010 年から 2018 年までの 9 年間、5 月から 10 月までの各月毎に描いたのが図 3 である。各線は偏西風ジェットの位置と考えてもいい (図 4 をみると、渦位 5 PVU の線は渦位の南北傾度の大きな偏西風帯の内部にある)。5 月はほぼすべての線が北緯 30 度から 40 度の範囲に入っており、線も東西に延びている。これは、偏西風の大きな蛇行の頻度が 5 月は小さいことを示している。6 月になると、東経 0 度から 30 度付近で線の位置が北緯 30 度から 60 度付近までばらついている。また、東経 120 度から 150 度付近でも、多くの線は北緯 30 度から 45 度付近にあるものの、北緯 60 度までの範囲でも見られるようになる。この特徴は 7 月になると顕著で、特に東経 100 度付近から太平洋にかけてばらつきが大きくなっている。8 月は同様の傾向があるものの、日本付近は北緯 40 度から 55 度付近に等値線は集中し、7 月ほどのばらつきはない。9 月から 10 月にかけては線のばらつきが小さくなり、東アジアにおけるジェットの蛇行は小さくなっていく様子がよく見える。つまり 7 月の日本付近は気候的にみても、偏西風の蛇行がよく見られるということである。このこ

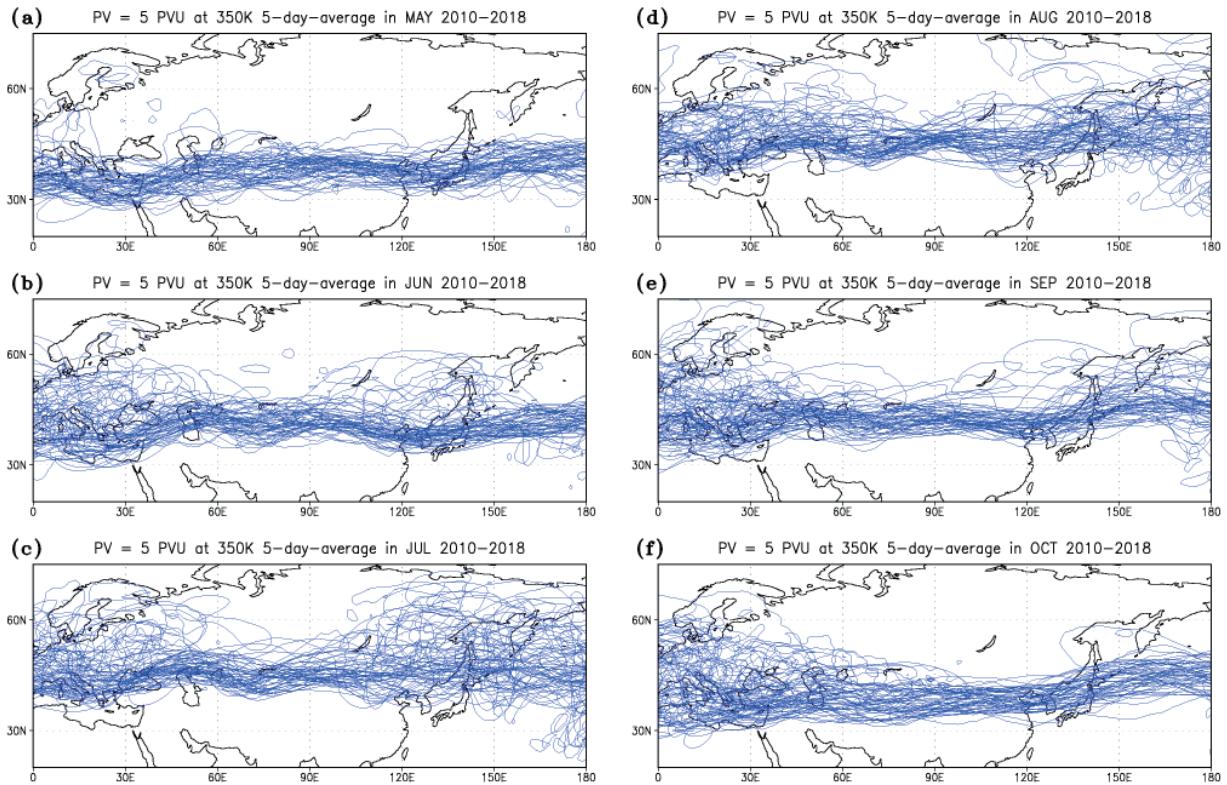


図3 350 K 等温位面渦位を各月の1日から5日間ずつ平均し(ただし, 31日まである月は25日以降を6日平均したもの), 5 PVU の等値線を 2010 年から 2018 年までの 9 年間, (a) 5 月から (f) 10 月まで図示したもの
 Fig. 3 Five PVU contours of the PV on 350 K isentropic surfaces averaged for each pentad from (a) May to (f) October during 2010 to 2018. The final averaging periods in May, July, August and October are six days (from 26 to 31).

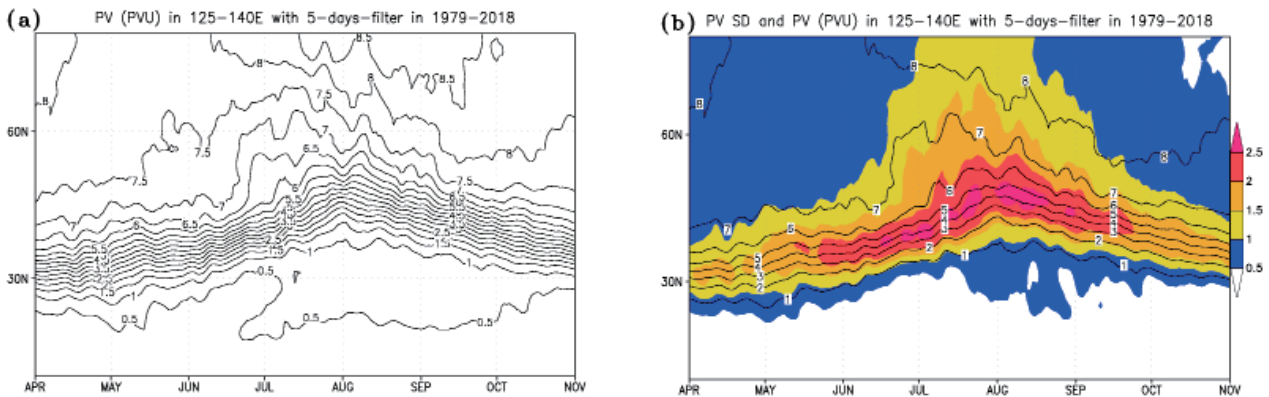


図4 (a) 東経 125 度から 140 度まで平均した 350 K 等温位面渦位 (PVU) の 1979 年から 2018 年までの気候値の南北時間断面と (b) それからの標準偏差 (色). 黒線は PV (PVU)
 Fig. 4 (a) The time-latitude profiles of the climatological PV (black lines, PVU) on 350 K isentropic surfaces averaged from 125°E to 140°E and (b) potential vorticity (black lines, PVU) and its standard deviations from the climatological values (color shaded, PVU).

とは, Lejenäs and Økland (1983) の示す経度別・月別のブロッキングの頻度において, 東経 140 度付近では 6 月・7 月に頻度が高いことも一致しているだろう. 図 1 に示したような, 偏西風が南北に大きく蛇行し, 高渦位の大気が細長いトラフを形成することは, この季節の特徴と言える.

図 4 (a) は日本付近における渦位の緯度分布の季節進行を示したもので, 1979 年から 2018 年までの各日における渦位の値を平均して気候値とし, それを東経 125 度から 140 度まで平均して値の南北時間断面を図示したものである. さらに時間方向に 5 日の移動平均を施している. 図 4 (b) の線は図 4 (a) の

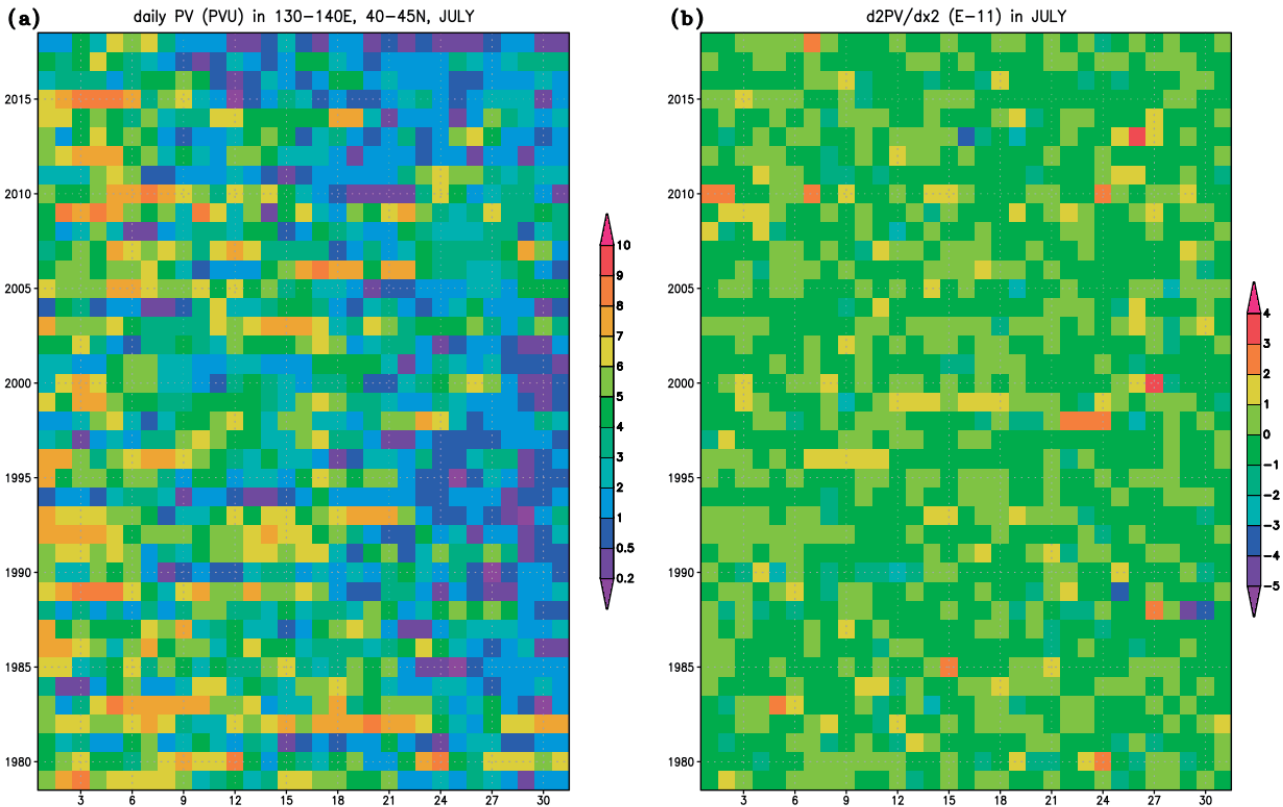


図 5 (a) 東経 130 度から 140 度および北緯 40 度から 45 度までの範囲を平均した 350 K 等温位面渦位の日平均値 (色, PVU) を 1979 年から 2018 年まで示したもので、縦軸が年、横軸が日を示す。(b) は同じ範囲において経度方向に 2 階の空間微分をとった値 (10^{-11} PVU m^{-2})。正の値は、渦位の大きな値のピークが領域内にあることに対応する。
Fig. 5 (a) Daily values of the PV on 350 K isentropic surfaces averaged from 130°E to 140°E and 40°N to 45°N in July from 1979 to 2018. (b) Same as (a) except that the values show the second-order differentiations of the PV in the longitudinal direction (10^{-11} PVU m^{-2}). The horizontal axes represent days in July and vertical axes years in (a) and (b).

渦位の値を 1 PVU 毎に示したもので、色は気候値に対する各日の値の標準偏差を示している。渦位の季節進行をみると、4 月は渦位の南北傾度の大きな領域は北緯 30 度付近にあるが、季節が進むにつれて北上していく。標準偏差の大きな領域は、基本的にはこの南北軽度の大きな領域にある。6 月後半から 7 月にかけて、標準偏差が 1 PVU 以上の領域が急激に北へ広がる。7 月から 8 月にかけては、渦位の南北傾度が大きい北緯 50 度よりもさらに北へ、標準偏差が 1.5 PVU 以上の領域が見られる。これは他の季節にはない変動の大きさで、8 月よりも 7 月に顕著である。この変動の大きいことは、図 3 で見られた 7 月における蛇行の頻度の多さをよく表している。

図 5 (a) は 7 月の渦位の日平均の値をこの時期の平均的な偏西風の緯度である北緯 40 度から 45 度お

よび東経 130 度から 140 度にかけて平均し、7 月の各日の値を 1979 年から 2018 年まで図示したものである。豪雨のあった 2018 年は 7 月の 5 日と 7 日に 6 PVU 以上の高い値となっている。2017 年は同様の日は 7 月 4 日のみ、2016 年はそのような日は無い。一方で 2015 年は 8 PVU 以上の日が 3 日以上続いている。また、それ以前の年でも渦位の値の高い日は頻繁にみられ、渦位の値だけみれば 2018 年の 7 月が極端な特徴をもっているとは言えないだろう。図 5 (b) は渦位を経度方向に 2 階微分した値を、図 5 (a) と同様の平均をして図示したものである。つまり、東西方向に変化が激しい構造があると大きな値となっている。図を見ると 2018 年 7 月 7 日は 2×10^{-11} PVU m^{-2} 以上であり、2000 年以降でこの値を超えたのは計 6 日だけである。このような特徴の日は数年に 1 度程度と考えられる。

5. まとめ

平成30年7月豪雨に関連した大気場の循環のうち、7月7日頃日本付近に現れたトラフについてJRA55データを用いて解析した。渦位の時系列の解析から、トラフは、ブロッキングのように停滞する偏西風の大きな蛇行の上流側で、さらに偏西風が南北に蛇行する状況で生じたものであった。過去のデータの解析から、このように南北に偏西風が大きく蛇行する状態は7月に生じやすいことがわかった。今回の豪雨の際の日本付近の渦位の値はそれほど珍しいものではないが、今回のような規模で7月の日本付近に南北に細長い構造が出現する頻度は数年に一度くらいであることがわかった。

謝辞

利用したデータセットは気象庁によるJRA-55長期再解析プロジェクトにより提供されたものである。また本研究の一部は平成30年度科学研究費補助金(特別研究促進費)「平成30年7月豪雨による災害の総合研究」(研究代表者：山本晴彦)の助成を受けた。

参考文献

- 1) Enomoto, T., Hoskins, B.J. and Matsuda, Y. (2003): The formation mechanism of the Bonin high in August. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **587**, 157-178.
- 2) Hoskins, B. J., McIntyre, M. E. and Robertson, A. W. (1985): On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, Vol.111, 877-946.
- 3) 木本昌秀(1993)：ブロッキング現象。気象研究ノート, **179**, 319-367.

- 4) 気象庁(2018)：「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について、(<http://www.jma.go.jp/jma/press/1808/10c/h30goukouon20180810.pdf>, 2019.4.1)。
- 5) Kobayashi, S., Ota, Y., Harada, Y., Ebata, A., Moriya, M., Onoda, H., Onogi, K., Kamahori, H., Kobayashi, C., Endo, H., Miyaoka, K. and Takahashi, K. (2015): The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5-48.
- 6) Lejenäs, H. and Økland, H. (1983): Characteristics of Northern Hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data. *Tellus*, **35A**, 350-362.
- 7) 中村尚(1999)：異常気象の流体力学—ブロッキング現象のメカニズム—。ながれ, **18**, 156-163.
- 8) 中村尚・小坂優・森正人(2019)：広域豪雨をもたらした大気循環異常の形成に関わる遠隔影響の解明。平成30年7月豪雨による災害の総合研究, 平成30年度科学研究費特別研究促進費報告書, 2-7.
- 9) 田中博(2007)：偏西風の気象学。気象ブックス016, 成山堂書店。
- 10) 山本晴彦(研究代表者)ほか(2019)：平成30年7月豪雨による災害の総合研究, 平成30年度科学研究費特別研究促進費報告書。
- 11) 横山千恵・辻宏樹・高薮縁(2019)：豪雨をもたらした降水システムの特徴と大規模場解析。平成30年7月豪雨による災害の総合研究, 平成30年度科学研究費特別研究促進費報告書, 8-12.

(2019年6月6日原稿受付,
2019年8月20日改稿受付,
2019年8月21日原稿受理)

要旨

平成30年7月豪雨が発生した際にみられた気象の循環場の特徴の1つである、対流圏上層のトラフについて、その出現頻度を考察した。このトラフは偏西風の波動の振幅が大きくなったものであったので、偏西風の大きな蛇行について1979年から2018年まで40年分のJRA55データの350K等温位面上の渦位を用いて解析を行った。その結果、日本付近では7月になると偏西風が南北に大きく蛇行する頻度が他の月よりも大きいことがわかった。また、高渦位の空気が南北に細長い構造をもって日本付近に現れる頻度は数年に一度くらいの頻度であることもわかった。

キーワード：偏西風, トラフ, 蛇行, 渦位