

# 2018年7月豪雨の降水特性と後方の上層トラフの効果について

横山千恵・高藪縁・辻宏樹（東京大学大気海洋研究所）

## 1. はじめに

2018年7月5-8日に、西日本や中部地方など広域にわたって豪雨が生じ、大きな被害をもたらされた。今回の豪雨では、亜熱帯ジェットや寒帯前線ジェットの大きな蛇行や、東シナ海上の活発な対流圏の存在など、多くの要因が重なっていた(Tsuguti et al. 2018)。

一方、降水域の西方、朝鮮半島から日本海にかけて、細く折れ曲がった対流圏上層のトラフが存在していた(図1)。本研究では、豪雨の重要な要因の一つとして、このトラフに注目し調査を行った。

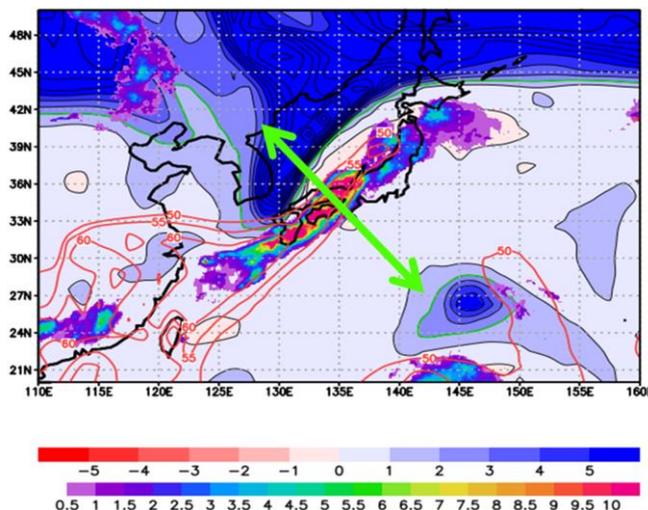


図1. 2018年7月7日0 UTCのGSMaP降水量(虹色; mm h<sup>-1</sup>)、可降水量(赤色コンター; mm)、350 K等温位面での渦位(赤-青色; PVU)。

## 2. 背景と目的

夏季日本周辺の極端降水は、必ずしも雷活動が活発な背の高い極端対流から降るわけではなく、むしろ比較的背の低い組織化した降水システムからもたらされる(Hamada and Takayabu 2018)。その環境場は比較的安定で自由対流圏が湿潤であり、極端対流の環境場とは異なる(Hamada and Takayabu 2018)。

一方、日本付近の降水イベントにおける上層循環場の重要性が近年指摘されている(Hirota et al. 2016, Horinouchi 2014)。梅雨期には、亜熱帯ジェットの加速と共に、その南側でジェットの2次循環に伴う強制上昇流(Horinouchi 2014)が中層を湿潤化し、降水の組織化に好都合な場を作る(Yokoyama et al. 2017)。

このような背景のもと、本研究では、豪雨をもたらした降水システムの特徴と、日本付近に停滞した対流圏上層のトラフの効果을明らかにする。また、同様に降水域後方に上層トラフが存在した2017年九州北部豪雨と比較し、それぞれの事例におけるトラフの役割を議論する。

## 3. データと解析方法

解析には、以下のデータを用いた: 全球降水観測(GPM)主衛星搭載2周波降水レーダ(DPR)Ku帯軌道プロダクト(2AKu v5)、GPMスペクトル潜熱加熱プロダクト(2HSLH v5)、GPM全球降水マップ(GSMaP\_MVK v7)、気象庁55年長期再解析(JRA55)、高層気象観測(ラジオゾンデ)、アメダス1時間降水量。

Holton (2004)より、Qベクトルを用いた $\omega$ 方程式は以下の様に表される。

$$\sigma \nabla^2 \omega + f_0^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} = -2 \nabla \cdot \mathbf{Q} + f_0 \beta \frac{\partial v_g}{\partial p} - \frac{\kappa}{p} \nabla^2 J \quad (1)$$
$$\mathbf{Q} = \left( -\frac{R}{p} \frac{\partial \mathbf{V}_g}{\partial x} \cdot \nabla T, -\frac{R}{p} \frac{\partial \mathbf{V}_g}{\partial y} \cdot \nabla T \right)$$

ここで、 $J$ は非断熱加熱、 $V_g$ は地衝風速度を表す。式(1)の左辺は鉛直風に比例するので、右辺の各項は鉛直風への寄与として捉えられる。本研究では、右辺第一項(力学項)と第三項(非断熱項)に注目する。

## 4. 結果

### 4.1 GPM DPR 観測

GPM DPR は 7 日 0:35-0:40UTC 頃、日本上空を通過し、今回の豪雨イベントを観測した。解析の結果、降水頂のピークは約 8 km 程度で、10 km を超す降水はわずかであった。また、広い層状性降水域が観測されており、その中にところどころ対流性降水が埋め込まれていた。これらの特徴から、今回の豪雨をもたらしたのは、メソスケールに良く組織化した降水システムであったことが分かった。

### 4.2 成層構造

図 2 に、7 日 0 UTC における西日本上空の気温、相当温位、相对湿度、比湿プロファイルを示す。この図から、成層は気候値に比べてやや安定であり、自由対流圏が非常に湿潤であったことが分かる。このような環境場は、極端降水に対する環境場(Hamada and Takayabu 2018)と似ており、振幅はより大きかった。

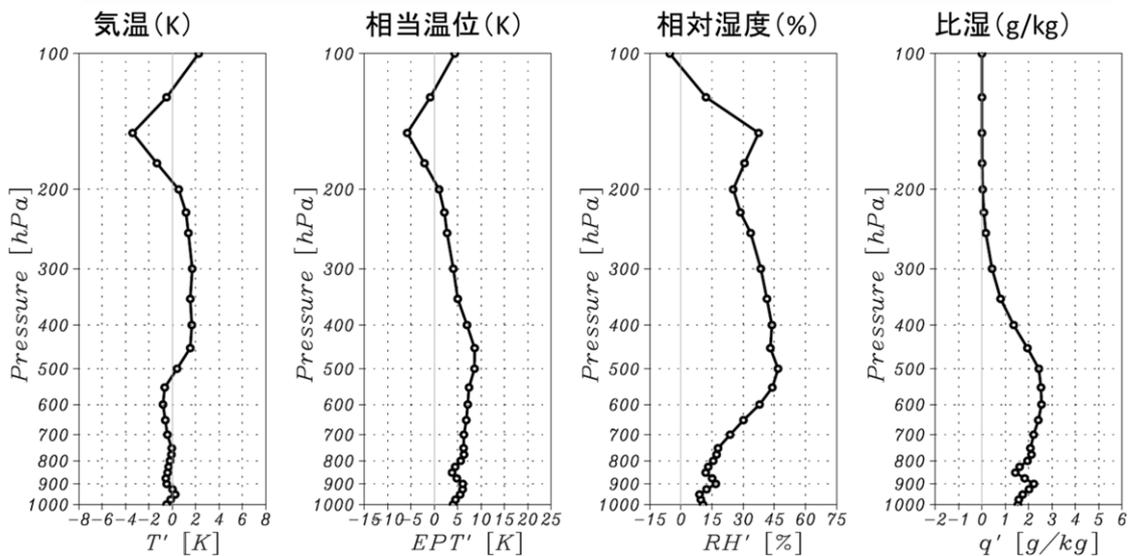


図 2. 2018 年 7 月 7 日 0 UTC の西日本上空における JRA55 の熱力学プロファイル。1989-2010 年平均からの偏差が示されている。左から、気温(K)、相当温位(K)、相对湿度(%)、比湿( $g\ kg^{-1}$ )。

さらに、福岡(6日0UTC)および輪島(6日12UTC)におけるJRA55データとラジオゾンデ観測データとを比較し、再解析データの妥当性を検証した。その結果、両者に多少の違いは見られるものの、JRA55はラジオゾンデ観測の特徴を概ね捉えていたことが確認された。これら2地点における熱力学プロファイルは、西日本上空のプロファイルの特徴と似ており、広域で比較的安定・深く湿潤な場であったことが示された。

### 4.3 上層トラフの役割

まず、鉛直積算水蒸気フラックス収束を調べた結果、上層トラフの前面で非常に大きな収束域が示された。水蒸気フラックス収束の鉛直成分および水平成分を調べると、下層(850 hPa)における南方からの水蒸気フラックスの収束に加え、中層(600 hPa)におけるトラフ前面での鉛直水蒸気フラックス収束が示された。可降水量の大きな領域が日本の南西からトラフ前面の日本上空にかけて細長のびる Atmospheric River のような構造が見られていた(図 1)。

次に、トラフに伴う力学的上昇流と対流自身による非断熱的上昇流とを分けて議論するため、式(1)の力学項と非断熱項を見積った。図3左に、7日0 UTCにおける200 hPaでの風速および500 hPaでのQベクトル発散を示す。亜熱帯ジェット加速域前面でQベクトル収束、すなわち力学的上昇流が診断されている。また、力学的上昇流の強い領域は、降水域(図1)とよく対応している。西日本を横切る鉛直断面図(図3右)を見ると、力学項は非断熱項に比べて小さいが、中下層にまで影響を及ぼしていたことが分かる。このとき西日本では、下層は湿潤で対流不安定であり、その上空でトラフに伴う力学的上昇流による水蒸気を持ち上げが見られていた。

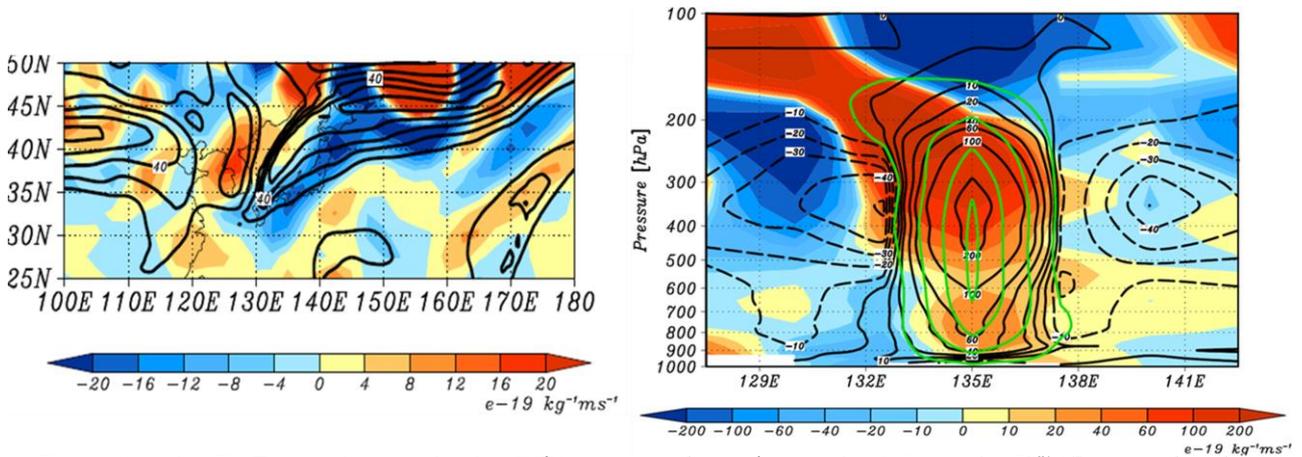


図3. (左)2018年7月7日0 UTCの200 hPaにおける風速(コンター;  $\text{m s}^{-1}$ )および500 hPaにおけるQベクトル発散(色;  $e-19 \text{ kg}^{-1} \text{ m s}^{-1}$ )。青色が収束域(力学的上昇流域)を示す。(右)図1の緑矢印に沿った鉛直断面図。力学項(色;  $e-19 \text{ kg}^{-1} \text{ m s}^{-1}$ )、非断熱項(黒コンター;  $e-19 \text{ kg}^{-1} \text{ m s}^{-1}$ )、および鉛直 p 速度(緑コンター;  $\text{Pa s}^{-1}$ )が示されている。

力学的上昇流がどのレベルを加湿していたのかを知るため、トータルの鉛直風および力学項と非断熱項とに分けた鉛直風に伴う水蒸気フラックス収束の鉛直断面を調べた(図4)。トータルでは、800 hPa より上層で鉛直水蒸気フラックス収束が見られる。非断熱上昇流に伴う鉛直水蒸気フラックス収束は、400-500 hPa 付近で最大であり、600 hPa より下層では発散もしくは弱い収束となっている。一方、力学的上昇流に伴う鉛直水蒸気フラックス収束は、600-700 hPa 付近で顕著に大きく、トラフに伴う力学的上昇流が中層(600 hPa 付近)の加湿に大きく貢献していたことが明らかになった。

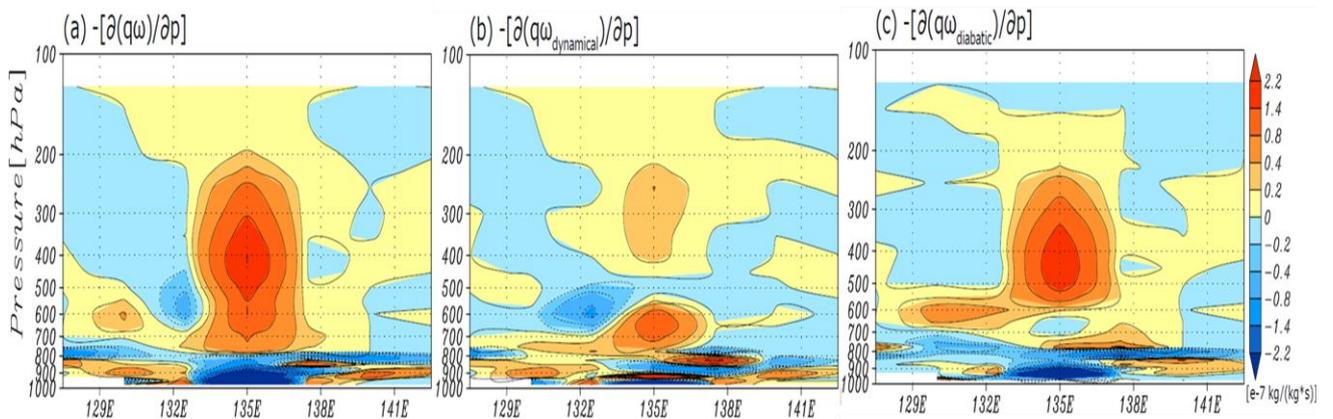


図4. (a)2018年7月7日0 UTCにおける鉛直水蒸気フラックス収束( $e-7 \text{ kg} (\text{kg s})^{-1}$ )の鉛直断面図。図1の緑矢印に沿った断面を示している。(b) 力学的上昇流および(c) 非断熱的上昇流による鉛直水蒸気フラックス収束。

#### 4.4 2018年7月豪雨と2017年九州北部豪雨との比較

2017年九州北部豪雨でも降水域後方に上層トラフが存在した。しかし、2017年九州北部豪雨におけるトラフは比較的浅くすぐ通過したのに対し、2018年7月豪雨ではより深いトラフが長時間にわたり停滞した。

両事例の環境場を比較した結果、2017年九州北部豪雨では、トラフに伴う寒気によって大気が顕著に不安定であった一方で、トラフ前面での上昇流は比較的弱く、中層は乾燥していたことが示された。これは、2018年7月豪雨において示された環境場(比較的安定でトラフ前面の強い上昇流により深く湿っている場)とは大きく異なっている。2節で述べた Hamada and Takayabu (2018)の解析結果と照らし合わせると、2017年九州北部豪雨の環境場は極端対流イベントに対する環境場と整合的であり、2018年7月豪雨の環境場は極端降水イベントに対する環境場と整合的である。つまり、2017年九州北部豪雨では背の高い積乱雲が生じる環境場であり、2018年7月豪雨では組織化した降水システムが生じる環境場であった。

### 5 まとめと考察

2018年7月豪雨は、比較的安定で深く湿潤な環境場で組織化したメソシステムによってもたらされた。南方からの水蒸気フラックス収束に加え、降水域後方の上層トラフに伴う力学的上昇流が中層を加湿し、自由対流圏は深く湿っていた。

下層は対流不安定であり、その上空が深く加湿されることによって、降水の組織化に有利な環境が作られていた。トラフの効果によって大気が湿潤化し対流が生じやすくなると、対流自身による非断熱効果も加わり状況がさらに強まると考えられる。つまり、上層トラフに伴う力学的上昇流が、今回の広域・持続的な降水域の位置決定に重要な役割を果たしていた。

後面のトラフの働き方は、2017年九州北部豪雨と異なっていた。2017年の事例では、トラフに伴う上層の寒気による大気不安定化が顕著な場において非常に深い積乱雲が生じたのに対し、今回の事例では、トラフ前面での力学的上昇流による大気の湿潤化が顕著な場において組織化した降水システムが生じた。

本研究の結果は、投稿論文として準備中である(Yokoyama et al., to be submitted)。

【謝辞】本研究は、「水と気候の大規模データ解析研究拠点」、JAXA PMM 8<sup>th</sup> RA、科研費基盤 A「Atmospheric River を介した中緯度熱帯結合と日本域豪雨に関する研究」(15H02132)、科研費研究活動スタート支援「熱帯・中緯度海上の降水特性を決める大規模環境場要因に関する観測的研究」(18H05869)、および平成30年度科研費(特別研究促進費)「平成30年7月豪雨による災害の総合的研究」の支援により実施された。

#### 引用文献

1. Hamada, A, and Y. N. Takayabu, 2018: Large-scale environmental conditions related to midsummer extreme rainfall events around Japan in the TRMM region, *J. Climate*, 31, 6933–6945.
2. Hirota, N., Y. N. Takayabu, M. Kato, and S. Arakane, 2016: Roles of an atmospheric river and a cutoff low in the extreme precipitation event in Hiroshima on 19 August 2014. *Mon. Wea. Rev.*, 144, 1145–1160.
3. Holton J. R., 2004: An introduction to dynamic meteorology. 4<sup>th</sup> edition. Academic Press, 535 pp.
4. Horinouchi, T., 2014: Influence of upper tropospheric disturbances on the synoptic variability of precipitation and moisture transport over summertime East Asia and the northwestern Pacific. *J. Meteor. Soc. Japan*, 92, 519–541.
5. Tsuguti, H., N. Seino, H. Kawase, Y. Imada, T. Nakaegawa, and I. Takayabu, 2018: Meteorological overview and mesoscale characteristics of the Heavy Rain Event of July 2018 in Japan. *Landslides*, <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1098-6>.
6. Yokoyama, C., Y. N. Takayabu, and T. Horinouchi, 2017: Precipitation Characteristics over East Asia in Early Summer: Effects of the Subtropical Jet and Lower-Tropospheric Convective Instability, *J. Climate*, 30, 8127–8147.
7. Yokoyama, C. H. Tsuji, and Y. N. Takayabu, A Study on effects of an upper-tropospheric trough on the Heavy Rainfall Event in July 2018 over Japan. To be submitted.