

6. 梅雨の環境場と線状降水帯

川 村 隆 一*

1. 梅雨とは何か

線状降水帯の多くは梅雨期の西日本中心に発生する。本題から少し外れるかもしれないが、梅雨とは何かという本質的な問いから始めたい。

冬から夏へ季節が進行する中で、対流圏下層では、地表面加熱により大陸規模の熱的低圧部が形成される一方、太平洋上では亜熱帯高気圧が発達する。海陸間の温度差の拡大に伴い、日本付近では気圧の東西勾配が強まるため、低緯度のアジアモンスーン地域から中緯度傾圧帯へ暖湿気流の流入が促進される。対流圏上層ではチベット高原の山岳効果などによって、日本付近には弱い気圧の谷が存在している。気圧の谷へ暖湿気流が流入すると、両者の複合効果で準定常的な降水帯が形成され、これを私たちは梅雨と呼んでいる。初夏から盛夏期にかけて、海陸間の温度差は小さくなり

気圧の東西勾配も弱まるので、アジアモンスーン地域からの暖湿気流も弱化する。同時に、中緯度傾圧帯も北上し、梅雨明けを迎える。このように梅雨は、春から夏へ季節が移行する過程で海陸間の温度差によってもたらされる、短期間（40日程度）の雨季といえる。言い換えれば、モンスーンと中緯度偏西風の両システムが結合したハイブリッド現象（hybrid monsoon）と捉えることもできる。

東シナ海から西日本にかけて多量の水蒸気が湿潤モンスーン地域から流入する一方、その領域は中緯度傾圧帯であり水平風の鉛直シアが大きい。両者が作り出す環境場が必然的に線状降水帯の発生頻度や地理的分布を規定している。また、梅雨を形成する各因子（上層トラフ、太平洋高気圧、オホーツク海高気圧等）がより顕在化すれば、2018年の「平成30年7月西日本豪雨」のような広域災害がもたらされ、盛夏期の8月でも類似の循環場（戻り梅雨）が形成されれば、2021年の「令和3年8月豪雨」のような被害が発生する。

* Ryuichi KAWAMURA, 九州大学大学院理学研究院。
© 2023 日本気象学会

2. 豪雨をもたらす大気循環場の多様性

次に、福岡県朝倉市などで甚大な豪雨災害をもたらした2017年の「平成29年7月九州北部豪雨」の調査報告（川村・川野 2018）を一部抜粋して、線状降水帯発生的好適な環境場の多様性について紹介する。

線状降水帯がおよそ10時間にわたって地理的に固定される傾向が顕著であったことから、朝倉の過去の豪雨事例を抽出し、どのような大気循環場で朝倉が豪雨に見舞われるのかを統計的に調査した。1976年以降の梅雨期に当たる6月、7月のアメダス日降水量データから、日降水量100mm以上の大雨イベントを55事例抽出した結果、以下の背景が明らかになった。梅雨前線帯付近を発達しながら東進する低気圧と太平洋高気圧西端のリッジの強化が両者に挟まれた九州地方付近で北西―南東方向の水平気圧傾度を強めることで、東シナ海経由で低緯度域から九州地方への多量の水蒸気の流入が促進される。東シナ海付近の低気圧への低緯度域からの水蒸気供給は、潜熱加熱による下層の渦位生成を通して低気圧本体の発達にも寄与する。それらの複合作用の結果として朝倉の大雨イベントをもたらしたことが示唆される。梅雨前線帯を東進して発達する低気圧と太平洋高気圧西端のリッジの強化という図式は、梅雨末期に九州地方を中心として集中豪雨が発生した過去事例に非常に多くみられる特徴であり、朝倉だけではなく九州地方の他の地域でも類似した気圧分布で集中豪雨が起こり得ることを意味している。近年でいえば、2012年の「平成24年7月九州北部豪雨」、2020年の「令和2年7月熊本豪雨（球磨川氾濫）」が典型事例であり極端事例でもある。

ところが、2017（平成29）年7月の朝倉で観測された記録的豪雨時の大気循環場は過去の大雨イベント発生の平均的な大気循環場とは大きく乖離している。Kawano and Kawamura（2020）は停滞性下層収束帯が線状降水帯の発生・維持に決定的な役割を果たしており、日本海上の高気圧のブロッキング効果によって生じた下層合流場によって、この収束帯が発生・強化・維持されていたことを示した。この収束帯の前線構造は九州と対馬海峡の海陸間熱的コントラストによっても強化されていた。一方、九州地方の地形および雨滴蒸発による冷氣プールは本豪雨事例の線状降水帯の発生・維持に果たす役割は副次的にすぎないことも見出されている。

「平成24年7月九州北部豪雨」等に代表される前者の大気循環場では九州地方に膨大な量の水蒸気が流入

し、多発的に複数の線状降水帯が発生する。対照的に平成29年7月九州北部豪雨のような循環場では水蒸気流入が限定的でも局地的に集中すれば単一（または少数）の線状降水帯の発生で甚大な災害がもたらされる。どちらのタイプでも局地的な降水量予測は容易ではないが、少なくとも両者の特徴の違いに注目するのは災害リスクに対する一般市民の初期行動という観点でも意義があるだろう。

3. 同位体水文学からみた梅雨と線状降水帯

別の観点から梅雨と線状降水帯を捉える試みも紹介したい。梅雨は40日程度の雨季と上述したが、その期間の根拠は大気循環場からも説明できるが（Kawamura and Murakami 1998）、降水の安定同位体比をトレーサーとした水蒸気起源解析からも知見を得ることができる。Hiraoka *et al.* (2011)は梅雨期の6月中旬から7月中旬にかけてインド洋起源の水蒸気が一定の割合で占めており、梅雨明けと共に太平洋起源の水蒸気に入れ替わる様子を示した。つまり、可降水量の総量に変化がなくても水蒸気起源の急激な遷移から梅雨期を定義することができる。

このような同位体水文学のアプローチを線状降水帯にも適用することで新しい描像を得ることができないかという動機から、同位体領域気象モデル（IsoRSM）（Yoshimura *et al.* 2010）を用いて「令和2年7月熊本豪雨」の線状降水帯の再現を試みた。特に7月4日未明の九州南部にかかる線状降水帯に流入する水蒸気の動態を起源別に調査した。水蒸気起源は、アジアモンスーン起源（南シナ海・インド洋・アジア大陸）、太平洋高気圧起源（フィリピン海・太平洋）、近海起源（東シナ海・黒潮・日本海）の3つのグループに大別している。便宜上、順に起源A、B、Cと呼ぶことにする。起源Aは線状降水帯の走向に沿って南西方向から流入し、線状降水帯近傍に可降水量の極大がみられる。水蒸気の流入は地表付近から600hPa面付近まで達しており、その極大高度は900–800hPa付近である。対照的に、起源Bは線状降水帯近傍には極大がみられず、南東方向に可降水量が増加している。高度分布をみると900hPa以下の大気境界層に集中しているのが特徴的である。起源Cの可降水量は非常に少ない。このように起源別に見ると、線状降水帯への水蒸気の流入経路や流入高度が大きく異なっていることがわかる。また領域の取り方に依存するが、線状降水帯の凝結量に対する起源別の割合は起源A、B、Cの順で61%、

28%, 6%程度と見積もられている。まだ予備的な研究結果のため、これらの知見が線状降水帯の理解にどの程度貢献できるのかについては今後の進展が待たれる。

4. 近年の梅雨降水量変動の増幅

梅雨のオンセットや終了の時期が年によってずれることもあるため、6-7月を梅雨期降水量として九州南部の経年変動を調べてみると、今世紀に入って年々変動が増幅して準4年変動が顕在化している様子が捉えられた。対照的に、1980年代後半~1990年代は変動の振幅は小さい。では、なぜ近年降水量変動の振幅が増大しているのだろうか。

2000年以降について GSMaP の線形トレンドの除去後に多雨年、少雨年を抽出して単純に合成偏差図を作成すると、熱帯インド洋から西太平洋にかけて特徴的な降水量偏差、大気循環偏差の分布が得られる。多雨年の対流圏上層では西太平洋で収束偏差、インド洋で発散偏差の双極子分布がみられ降水量偏差とも良く対応している。対流圏下層の西太平洋では高気圧性循環偏差が明瞭である。SST 分布ではインド洋西部の高温偏差が顕著になっている。これらの特徴は Xie *et al.* (2016) ほかの Indo-Western Pacific Ocean Capacitor (IPOC) との関連を強く示唆している。一方、少雨年は符号が反転しているだけで空間パターンは驚くほど類似している。このように、西太平洋-インド洋間の熱帯東西鉛直循環偏差が近年の準4年変動の顕在化に大きく寄与していると考えられる (Fujiwara and Kawamura 2022)。

5. おわりに

梅雨降水量の年々変動は1980年代~1990年代の安定期が終わり、2000年代以降現在にかけて不安定期に移行している。少雨年でも当然ながら豪雨災害は発生しており、年々変動と個々の豪雨災害の発生頻度や規模は必ずしも1対1に対応しないが、温暖化による降水量のかさ上げ効果と相俟って、不安定期の中にある近年と豪雨災害の激甚化との関連は間違いなくあるだろう。不安定期が今後も続くのかという問題は中長期的な減災の観点からも季節予報の観点からも大変重要である。

最後に黒潮の役割について言及したい。GSMaP からみた梅雨期(6-7月)降水量分布の気候値をみると、南西諸島の西から九州南部に極大域が延び、変動の分散が大きい領域もほぼ一致している。この領域と黒潮の流軸が重なっている。例えば「令和2年7月熊本豪雨(球磨川氾濫)」の再現実験において、黒潮がも

たらしている舌状の SST 高温域を除去すると、線状降水帯の降水量は有意に減少する結果が得られており (Kawano and Kawamura 2022)、黒潮の存在の重要性を示唆している。先述の IsoRSM の結果は黒潮・東シナ海からの水蒸気供給を過小評価している可能性もある。新学術領域研究「変わりゆく気候系における中緯度大気海洋相互作用 hotspot」(領域代表: 野中正見) では、今年の梅雨期に東シナ海で船舶による大気海洋相互作用の観測を実施する予定である。既に気象庁が実施中の線状降水帯予測精度向上のための東シナ海上の集中観測と連携することで、線状降水帯に関する更なる研究成果が得られることを期待したい。

参考文献

- Fujiwara, K. and R. Kawamura, 2022: Appearance of a quasi-quadrennial variation in Baiu rainfall in southern Kyushu, Japan, after the beginning of this century. SOLA, 18, 181-186.
- Hiraoka, A., R. Kawamura, K. Ichiyangi, M. Tanoue and K. Yoshimura, 2011: Water origins in central and southern Japan during early summer rainy season as simulated with an isotope circulation model. SOLA, 7, 141-144.
- 川村隆一, 川野哲也, 2018: 九州北部豪雨の発生環境場の解明. 「平成29年7月九州北部豪雨に関する総合的研究」報告書, 3-18.
- Kawamura, R. and T. Murakami, 1998: Baiu near Japan and its relation to summer monsoons over Southeast Asia and the western North Pacific. J. Meteor. Soc. Japan, 76, 619-639.
- Kawano, T. and R. Kawamura, 2020: Genesis and maintenance processes of a quasi-stationary convective band that produced record-breaking precipitation in northern Kyushu, Japan on 5 July 2017. J. Meteor. Soc. Japan, 98, 673-690.
- Kawano, T. and R. Kawamura, 2022: Remote effect of Kuroshio warm SSTs in the East China Sea on heavy rainfall in southern Kyushu, Japan, on 3 July 2020. SOLA, 18, doi:10.2151/sola.2022-033.
- Xie, S.-P., Y. Kosaka, Y. Du, K. Hu, J. S. Chowdary and G. Huang, 2016: Indo-western Pacific Ocean capacitor and coherent climate anomalies in post-ENSO summer: A review. Adv. Atmos. Sci., 33, 411-432.
- Yoshimura, K., M. Kanamitsu and M. Dettinger, 2010, Regional downscaling for stable water isotopes: A case study of an atmospheric river event. J. Geophys. Res. Atmos., 115, D18114, doi:10.1029/2010JD014032.