

日本近海の海面水温が梅雨期降水系に及ぼす影響

万田敦昌(三重大大学生物資源学研究科)

1. はじめに

日本海や東シナ海のような日本近海が豪雨に及ぼす影響が近年注目を集めている。亜熱帯および中緯度に位置する日本近海は熱帯域に比べ海面水温が低いことに加え、梅雨期においては海面水温と気温の差が小さいため、台風のような海上風と凝結加熱の強い相互作用が働くような現象を除けば、日本近海の海面水温が極端気象に及ぼす影響はそれほど大きくないと考えられてきた。しかしながら、最近の研究結果はそのような見方に修正が必要となる可能性を示している。

九州地方では梅雨最盛期の6月ではなく、梅雨明け直前の7月中旬以降に甚大な豪雨災害が発生することが以前から疑問とされていた。我々は以前、平成24年7月九州北部豪雨を対象とした対流許容数値シミュレーションを行い、梅雨明け直前の東シナ海の海面水温の急激な上昇に伴う蒸発量の増加が、梅雨末期の九州西方の集中豪雨の発生に重要であることを指摘した(Manda et al., 2014)。黒海も日本近海と同様に水温上昇が大きい海域であるが、過去30年間の黒海の海面水温の上昇に伴う蒸発量の増加が2012年7月にロシアのクルイムスクで発生した記録的豪雨の要因の一つであることが示されている(Meredith et al., 2015)。

ここで一つの鍵となるのは対流圏下層の水蒸気の鉛直分布である。梅雨期のように対流圏下層の水蒸気が飽和に近い状態にあれば、地形変化や対流圏下層の風の変化によって生じる上昇流が対流を励起する。さらに、総観・メソスケールの低気圧やそれに伴う前線、水平風の適度な鉛直シアなど、対流の組織化に好適な環境場が与えられていれば、顕著な豪雨に

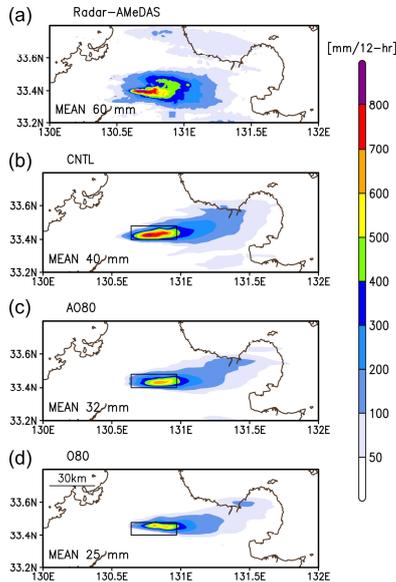
つながる降水イベントが発生しうる。梅雨期の日本近海における蒸発は、熱帯から日本列島に流入する湿潤気流の静的不安定性の維持という観点において、非常に重要な働きをしている可能性がある。このことを支持する結果が、平成23年5月と平成24年6月に東シナ海で行われた現地観測で得られている(Kunoki et al., 2015; Sato et al., 2016)。

本稿では、このような日本近海における加湿が、梅雨期降水系におよぼす影響を検討した研究を紹介する。まず、近年発生した顕著な豪雨に関する検討例として、対流強化が相対的に重要とされる事例(平成29年7月九州北部豪雨)と、総観規模擾乱の影響が相対的に重要とされる事例(平成30年7月豪雨)を紹介する。次に、降水系の発生・発達時における海上からの水蒸気供給と環境場形成に関する最近の結果を紹介し、最後に今後の課題を述べる。

2. 極端対流事例：平成29年7月九州北部豪雨

本事例では、衛星海面水温データセットの存在する1980年代以降の日本近海における気温と海面水温の長期変化傾向が降水システムに及ぼす影響を調べた(Manda et al., 2022)。まず、再現実験(CNTL)における降水分布の再現性が良好であることを確認したうえで、次の2種類の感度実験を行った。一つは海面水温、気温の鉛直プロファイルから、1982年から2017年の期間における7月の月平均値の線形トレンドを差し引いた実験(AO80)で、もう一つは海面水温のトレンドのみを差し引いた実験(O80)である。観測された700 mm/12-hrを超える極めて強い雨はCNTLでのみ再現され、

AO80 や O80 では再現することができなかった (第 1 図)。

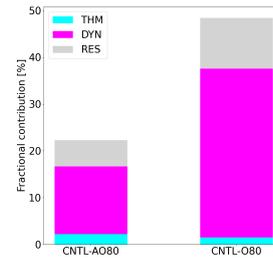


第 1 図 平成 29 年 7 月九州北部豪雨における 12 時間積算降水量の分布

7 月 5 日 1 時 UTC から 13 時 UTC までの 12 時間積算降水量の分布。(a) 解析雨量 (観測値)、(b) CNTL、(c) AO80、(d) O80 (Manda et al., 2022 より引用)。

特に強い降水が見られた領域で、乾燥静的エネルギー収支解析を行ったところ、CNTL で再現された強い降水域の形成に対して、水蒸気量増加の直接的影響は小さく、対流システムの強化に伴う上昇流強化の影響が大きいことが分かった (第 2 図)。さらに降水システム全体を覆う広い領域で水蒸気収支解析をおこなったところ、質量収束の増加が水蒸気量増加の直接的影響を上回る結果となり、上記と整合的なものとなった。

さらに、AO80 と O80 との比較から、九州西方から降水域に流入する水蒸気輸送が強化されても、海面水温が上昇せず南方から流入する湿潤気流が安定化された場合、顕著な降水強化に結び付かないことも明らかにされた。

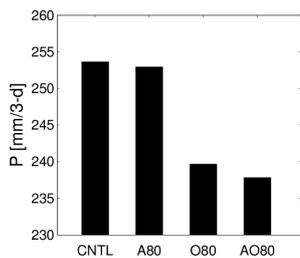


第 2 図 乾燥静的エネルギー収支解析の結果

降水量の変化への寄与を棒グラフで示している。水色、マゼンタ、灰色はそれぞれ、水蒸気量増加の直接的寄与、上昇流強化の寄与、それら以外の寄与を表している。左と右の棒グラフは、それぞれ AO80、O80 を基準とした場合の CNTL における 12 時間積算降水量への寄与率を表している。解析領域は第 1 図の矩形領域内とした (Manda et al., 2022 より引用)。

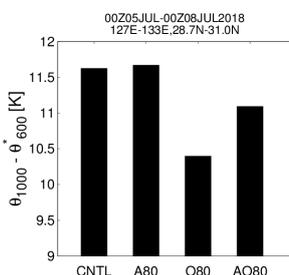
3. 極端降水事例: 平成 30 年 7 月豪雨

次に、前述の平成 29 年 7 月九州北部豪雨よりも総観規模擾乱の影響が強かったとされる平成 30 年 7 月豪雨について行った同様の実験結果を紹介する (万田ほか, 2022)。本事例では、CNTL、AO80、O80 に加え、気温のみを下げた実験 (以降 A80 と称する) を実施した。第 3 図は CNTL と各感度実験 (AO80, O80, A80) における 7 月 5 日から 7 日までの陸上での 3 日間積算降水量を北緯 31.0-37.4, 東経 128.8-138.3 度の領域で平均したものである。CNTL と比較した AO80 の雨量の変化率は 6.2% となり、この値は Kawase et al. (2020) の結果 (7%) と整合的である。感度実験の結果 (A80 と O80) について見ると、A80 の 3 日間積算降水量の値が CNTL とあまり差がないのに対し、O80 は差が大きくなっていった。CNTL と O80 の風上側の可降水量に大きな違いが見られなかったのに加え、O80 における 3 日間積算降水量は、A80 と比較して AO80 に非常に近い値となっており、本事例に関しても水温変化の重要性が示唆される。



第3図 平成30年7月豪雨発生時の西日本における3日間積算降水量

北緯31.0-37.4, 東経128.8-138.3度の範囲の陸上の格子点における2018年7月5日から7日の3日間積算降水量を領域平均した値 (万田ほか、2022より引用 ©日本気象学会)。



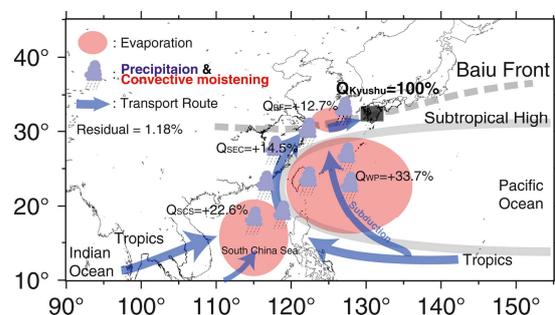
第4図 平成30年7月豪雨発生時の降水域風上側の静的安定度

2018年7月5日から7日の3日間における、1000 hPaの相当温位と600 hPaの相当温位の差の平均値を、北緯28.7-31.0度, 東経127-133度の範囲で領域平均した値 (万田ほか、2022より引用 ©日本気象学会)。

さらに1000 hPaの相当温位と600 hPaの飽和相当温の差を比較することで、静的安定度の変化を調べた(第4図)。O80は他の実験と比較して値が大幅に減少しており、海面水温の変化が静的安定度の変化に大きな影響を及ぼしていることを示している。本事例は他の豪雨事例と比較して、静的不安定性よりも水平水蒸気輸送や総観規模擾乱の影響が大きい事例であったことが指摘されているが、そのような環境場であっても海面水温変化に伴う静的安定度の変化は決して無視できるものではなく、降水量に少なからぬ影響を及ぼす可能性を示している。

4. 海上からの水蒸気供給:令和2年7月豪雨

日本近海の海面水温は、海流や海洋中規模渦などの影響で複雑な分布をしており、その長期変化傾向も空間的に均一ではない。そのため、上述のような海面水温の長期変化傾向が豪雨に及ぼす影響を明らかにしていく上で、豪雨をもたらす水蒸気がどの海域で供給されたものか明らかにしていくことは重要な課題の一つである。そのような観点から、令和2年7月豪雨を対象に行った、後方流跡線解析の結果を紹介する (Zhao et al., 2021)。



第5図 令和2年7月豪雨発生時の水蒸気収支
2020年7月3日から4日の2日間の黒矩形で示した九州地方に降水をもたらした、水蒸気供給量を100分率で示した模式図。添え字のKyushu、WP、BF、SEC、SCSはそれぞれ九州地方、西太平洋、梅雨前線帯周辺、東シナ海南部、南シナ海を表す。Evaporation、Precipitation & Convective moistening、Subductionは、それぞれ地表面(海面)における蒸発、降水および対流による大気加湿、下降流による水蒸気の下方向輸送を意味している (Zhao et al., 2021より引用)。

熊本県球磨川流域に甚大な被害をもたらした2020年7月3日から4日に発生した降水イベントをもたらした水蒸気の起源を第5図に示す。このイベントでは、熱帯や南シナ海よりも、むしろ北太平洋西部(フィリピン海)や東シナ海など、亜熱帯から中緯度にかけての日本近海からの水蒸気供給が優勢であることが明らかとなった(第5図)。さらに亜熱帯における水蒸気供給過程を検討したところ、850hPa周辺に水蒸気ソースのピークが存在し、降水系への水蒸気供給過程にお

ける、比較的浅い対流による加湿の重要性が示唆された (Zhao et al., 2021 の Figure 4 参照)。

5. 自由対流圏における水蒸気流入の影響: 令和4年6月の集中観測結果

前節で述べた浅い対流による自由対流圏下部の加湿は、梅雨期降水系にどのような影響を及ぼすであろうか。この問題は十分に検討されたとはまだ言い難い状況にあるが、最近実施された現地観測が示す一つの興味深い研究結果を紹介する (Manda et al., 2024)。

この研究では、鹿児島県から南西方向に 200 km ほど離れた海域において、2022 年 6 月 19 日に発達した降水系に関する詳細な高層気象観測を行った。その結果、850hPa を中心とする自由対流圏下部における南西風による暖湿気流と海面付近の南風によるほぼ飽和した暖湿気流が鉛直方向に重なった際に、降水系が強化されるという結果が得られた。海面付近の相当温位に加え、850hPa 周辺の相対湿度の分布を考慮することで、対流有効位置エネルギーの分布と降水系の発生位置との対応関係が非常に明確となり、自由対流圏下部の水蒸気輸送の重要性を示唆する結果が得られた (Manda et al., 2024 の Figure 11 参照)。

6. まとめ

日本近海の海面水温分布が豪雨に及ぼす影響に関して、最近の研究成果を概観した。梅雨期の日本近海では、南方から暖湿気流が流入することもあり、顕熱フラックスだけでなく蒸発量もそれほど大きくなることはないが、今回紹介したいいくつかの事例研究が示すように、蒸発量の変化は日本列島の豪雨に少なからず影響を及ぼしている可能性がある。最後の 2 節で述べた、浅い対流による加湿過程と、それによって生じる自由対流圏

下部の水蒸気輸送が降水系に与える影響については、現在のところ極めて断片的な知見しか得られておらず、今後さらなる検討が必要である。

謝辞

第 1、2、5 図は、<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>に則り、第 3、4 図は、気象研究ノートの引用規則に則り引用した。

参考文献

- Kawase, H., Y. Imada, H. Tsuguti, et al., 2020: The Heavy Rain Event of July 2018 in Japan Enhanced by Historical Warming. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 101, S109–S114.
- Kunoki, S., A. Manda, Y. Kodama, et al., 2015: Oceanic influence on the Baiu frontal zone in the East China Sea, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 449–463.
- Manda, A., H. Nakamura, N. Asano, et al., 2014: Impacts of a warming marginal sea on torrential rainfall organized under the Asian summer monsoon. *Sci. Rep.*, 4, 5741.
- Manda, A., S. Iizuka, H. Nakamura, et al., 2022: Assessing the impact of the recent warming in the East China Sea on a torrential rain event in northern Kyushu (Japan) in early July 2017. *Front. Clim.* 4, 967154.
- 万田敦昌、飯塚聡、中村尚、2022: 領域モデル実験に基づく平成 30 年 7 月豪雨への海洋からの影響評価. 2018 年夏の異常気象—記録的な広域豪雨と猛暑—気象研究ノート第 246 号、51–55.
- Manda, A., Y. Tachibana, H. Nakamura, et al., 2024: Intensive radiosonde observations of environmental conditions on the development of a mesoscale convective system in the Baiu frontal zone. *Earth and Space Science*, 11, e2023EA003486.
- Meredith, E., V. Semenov, D. Maraun, et al., 2015: Crucial role of Black Sea warming in amplifying the 2012 Krymsk precipitation extreme. *Nature Geosci.*, 8, 615–619.
- Sato, K., A. Manda, Q. Moteki et al., 2016: Influence of the Kuroshio on Mesoscale Convective Systems in the Baiu Frontal Zone over the East China Sea. *Mon. Wea. Rev.*, 144, 1017–1033.
- Zhao, N., Manda, A., Guo, X., et al. 2021: A Lagrangian view of moisture transport related to the heavy rainfall of July 2020 in Japan: Importance of the moistening over the subtropical regions. *Geophys. Res. Lett.*, 48, e2020GL091441.