

気象災害委員会・第54回メソ気象研究会 「令和2年7月豪雨」報告

川 畑 拓 矢^{*1}・荒 木 健太郎^{*2}・清 水 慎 吾^{*3}
下 瀬 健 一^{*4}・三 好 建 正^{*5}・前 島 康 光^{*6}

1. はじめに

「令和2年7月豪雨」と命名された約1ヶ月に及ぶ一連の豪雨は、土砂崩れ・河川氾濫などで死者84名となる激甚災害をもたらした。本研究会では、豪雨をもたらした線状降水帯やメソ低気圧、総観場などの解析研究、これらの予測研究、さらには河川洪水、災害対応まで総合的に取り上げた。招待講演8件、一般講演5件が行われ、参加申し込みは約300名で最大同時参加者数は約230名と盛会であった(第1図)。なお通例のメソ気象研究会と異なり、気象学会春季・秋季大会と切り離してオンラインで、また気象災害委員会との共催として行われた。本稿では講演と議論の概要を紹介する。

(川畑拓矢)

2. 発生環境場

廣川康隆(気象研)は、「令和2年7月豪雨の九州における降水の特徴」と題し、2009年～2019年の暖候期(4月～11月)の解析雨量を用いて統計的な観点から豪雨発生環境場を調査した結果を発表した。本事例では9つの線状降水帯が発生し、そのうち2つの線状降水帯は長さ270km以上かつ10時間以上持続していた。それらの線状降水帯は、3時間降水量で200mm以上の豪雨を繰り返しもたらし、その頻度は過去の顕著豪雨

よりも高頻度であった(詳細はHirockawa *et al.* (2020)を参照)。

荒木健太郎(気象研)は「令和2年7月豪雨で九州に大雨をもたらした線状降水帯の大気環境場の特徴」と題して、2020年7月3～4日の熊本県・鹿児島県と、7月6～7日の九州北部の大雨の解析を行うとともに、2018年の平成30年7月豪雨、2017年の平成29年7月九州北部豪雨との比較を行った。令和2年7月豪雨の環境場は、平成29年7月九州北部豪雨と同様に上層寒気の影響を受けていたため、深い対流の発達に好都合な環境であり、過去の豪雨と比較して最も雲頂が高かった。その上で、令和2年7月豪雨のほぼ全ての線状降水帯の環境場にメソ低気圧が存在しており、水平風を強めることで極めて大きな下層水蒸気フラックスをもたらし、短時間の大雨を発生させた(詳細はAraki *et al.*(2021)を参照)。

(前島康光)

3. 一般講演

今回のメソ気象研究会では、招待講演以外に一般講演を募集し、令和2年7月豪雨の水蒸気を中心とした



第1図 研究会世話人・講演者の集合写真。

*1 (連絡責任著者)Takuya KAWABATA, 気象研究所, tkawabat@mri-jma.go.jp

*2 Kentaro ARAKI, 気象研究所.

*3 Shingo SHIMIZU, 防災科学技術研究所.

*4 Ken-ichi SHIMOSE, 防災科学技術研究所.

*5 Takemasa MIYOSHI, 理化学研究所.

*6 Yasumitsu MAEJIMA, 理化学研究所.

© 2021 日本気象学会

環境場に関して、以下の5件の発表があった。

堀之内 武(北大)は「2020年7月上旬に九州で続いた豪雨の環境場について：水蒸気供給、ジェット、シルクロード波列」と題し、豪雨の環境場とその形成要因について議論した。7日移動平均で見ると九州全体の降水量と九州付近での水蒸気収束量は同時期としては過去30年で最大であったが、可降水量は梅雨前線帯でのそれとしては特に大きくはなかった。上層のジェットと連動する下層の流れが九州付近に固定され持続したことで7日程度の時間スケールでみる水蒸気フラックスが過去最大級となり、シルクロードテレコネクションに関係して黄海から朝鮮半島付近で持続した上層トラフが二次循環により水蒸気フラックスの収束率を高めたことが、重要な要因だったと説明した。

趙寧(JAMSTEC)は「粒子追跡で見た令和2年7月豪雨」と題し、豪雨発生に関わる大気の川(Atmospheric River)に注目し、数値実験と粒子追跡実験を用いて九州に集まった水蒸気の起源について発表した(Zhao *et al.* 2021)。実験の結果、九州に到達した水蒸気が西太平洋高気圧に輸送されたが、途中で熱帯インド洋と熱帯太平洋起源の水蒸気が降水によって大半を失っていた。一方、8割以上の水蒸気が南シナ海と西太平洋における海面蒸発と浅い対流によって補給されていた。これにより、水蒸気輸送に対する西太平洋高気圧の役割と輸送途中の水蒸気収支過程が重要であることが示唆された。

辻 宏樹(東大気海洋研)は、「九州地方の大雨に先行する自由対流圏水蒸気フラックス収束の存在とその役割」と題して発表を行った。九州地方の大雨時の鉛直積算水蒸気フラックス収束の時間発展を境界層と自由対流圏に分け、JRA-55、メソモデル(MSM)初期値データ、アメダス観測データを用いて統計的に調査した。その結果、大雨時には自由対流圏の水蒸気フラックス収束が境界層と同程度寄与していること、大雨時よりも前の時刻においては自由対流圏の水蒸気フラックス収束が先行して増加することが明らかになった。この大雨に先行する自由対流圏の水蒸気フラックス収束の増加の、大雨をもたらす降水システムへの役割について、令和2年7月豪雨の事例をもとに考察した。

細谷圭介(東大気海洋研)は、「令和2年7月豪雨事例の環境場解析」と題して発表を行った。線状降水帯発生指標として提案されている6つの条件(Kato 2020)のうち、水蒸気フラックス量とストームに相対

的なヘリシティは線状降水帯の発生と明瞭な関係がある。これらの2つの物理量について、過去20年間の傾向との比較、及びNICAMによるアンサンブル実験・感度実験等の数値シミュレーションを用いた解析を行い、令和2年7月豪雨における環境場の状況を考察した。

中 七海(京大防災研)は、「令和2年7月豪雨に見られた降雨特性および環境条件に関する研究」と題し、各種観測・解析データを用いて湿潤絶対不安定層(MAUL: Moist Absolutely Unstable Layer, Bryan and Fritsch (2000))を含む環境条件について発表した。令和2年7月豪雨時に九州では非常に湿った大気の状態が持続するなかでMAULの存在領域内で大雨が降っており、そのMAULは長期間(24時間以上)維持されていた。また、大気中下層(925hPa~700hPa)で大きな水蒸気の収束が見られ、この収束域はMAULの発現領域とほぼ対応していた。

本セッションでは、総観スケール以上からメソスケールまで、様々な時間空間スケールでの水蒸気輸送や環境場についての発表がなされ、豪雨に対してどのように水蒸気場が働いたかの議論がなされた。水蒸気フラックスの背景となる力学場(下層風やヘリシティ)の重要性や、比較的新しい概念であるMAULが豪雨の環境場に見られることなども認識が共有され、今後の解析研究の進展に期待したい。

(荒木健太郎)

4. 洪水予測

線状降水帯による大雨が数時間以上にわたって継続し、河川氾濫や土砂災害等の深刻な被害を引き起こす事例が近年多発しており、気象学と水文学の知見を相互に深めて、正確な大雨予測を可能とするだけでなく、正確な洪水予測につなげる取組が近年急速に進められている。招待講演として、スーパーコンピュータ「富岳」を使った洪水予測に関する研究が2件報告された。

大泉 伝(気象業務支援センター)は、「1000メンバーアンサンブル予報結果を用いた洪水危険度の予測実験」と題し、気象庁における流域雨量指数の計算モデルに関して詳細に説明をし、洪水警報が発表されるまでの計算フローを示した。流域雨量指数計算の中で、考慮されている物理過程と考慮されていない人的操作による影響、過去の統計から求めた基準値の作成方法と更新頻度について詳しく説明があった(詳しく

は田中(2008)に示されている)。著者らは、気象庁から上記で説明した流域雨量指数のプログラムの提供を受け、「富岳」を用いた1000メンバーのアンサンブル予測で得られた降水情報を入力情報として、洪水予測を行い、アンサンブル予測による洪水予測への貢献を明らかにした。2020年7月4日に発生した熊本県球磨村渡地区において、全メンバーの56%が、既往最大雨量で想定される流量を上回る結果を示した。アンサンブルメンバー数を100に変更した場合には、流域内の積算雨量や流量の精度悪化が確認され、十分なアンサンブル数が高精度洪水予測に必要であることを明らかにした。

小林健一郎(神戸大)は「富岳による球磨川洪水予測」と題して、Duc *et al.*(2021)の大アンサンブル降水予測実験結果を利用した洪水予測結果を示した。超高解像度(解像度5m)の洪水流計算と貯留関数法とカルマンフィルターを組み合わせた手法で、2020年7月4日の熊本県球磨川流域において、市房ダム等の流入量と人吉地点での浸水深等を評価した。2020年7月3日18時(日本時)を初期値としたアンサンブル予測で得られた雨量情報を入力情報として、1000メンバーを用いた場合には、予測された流量のアンサンブル平均は、観測流量および気象庁の解析雨量を用いた場合の流入量を高い精度で再現した。同時に人吉地区における氾濫計算においても、予測結果は国土地理院の浸水推定図とよく一致した。小林らの発表でも、アンサンブルメンバー数を100に変更した場合には、流域内の積算雨量や流量の精度悪化が確認され、2つの発表を通して、十分なアンサンブル数が高精度洪水予測に必要であることが明らかになった。

(清水慎吾)

5. 予測可能性

寺崎康児(理研)は、「全球水平解像度56km・1024メンバーのNICAM-LETKFを用いた令和2年7月豪雨実験」と題し、「富岳」を使った大規模計算の結果を発表した。1024メンバーのアンサンブル予報により、豪雨の確率予報の表現性が大きく改善し、豪雨発生の5日前からその可能性が予測できることを示した。またアンサンブルラグ相関解析により、豪雨発生前の南西からの下層の水蒸気移流が強いほど豪雨が激しくなることを示した。

幾田泰醇(気象研)は、「船舶上で観測されたGNSS可降水量の同化による豪雨予測へのインパクト」と題

し、九州の西側の海域を通る船舶のGNSS可降水量データが令和2年7月豪雨の予測を大きく改善する結果を発表した。船舶のデータは航路上の線上に分布する。豪雨が起った熊本県付近の西とその南側では大きな可降水量が観測され、長崎県や福岡県に近い北側では逆に低い可降水量が観測されており、梅雨前線をよく捉えた。豪雨の上流側にあたる西側海域の可降水量データは、今回の豪雨の予測改善に有効であった。

(三好建正)

松林健吾(気象庁)は、「豪雨予測に対する現業領域モデルの課題」と題して発表を行った。現状のモデルの線状降水帯予測における問題点として、MSMでは、特に予測のリードタイムが長い時点で、降水が線状にならず量的にも過少であり、局地モデル(LFM)では、線状の降水は表現されるものの、発生位置のずれが大きく雨量が過多となってしまうことが挙げられた。これらの問題点の原因として、モデルの解像度がまだ不十分であることが示されたが、単純に高解像度化しただけでは問題点は解決せず、対流に関わる物理過程及び対流発生環境場の再現性を向上させるためのモデリングの高度化が不可欠であることも示された。対流発生とその環境場に関わる物理過程は、MSM・LFMにおけるすべての物理過程に及ぶため、モデリングの高度化には膨大な労力が必要となることから、大学等の研究機関に対して気象庁のモデリング高度化に向けた協力の呼びかけが行われた。

(下瀬健一)

6. 防災対応

清水慎吾(防災科研)は、「SIP線状降水帯観測・予測システムを活用した実証実験と2020年度ヒアリング調査」と題して、九州地方の自治体を対象に行った線状降水帯に起因する大雨への防災対応に資する情報提供の実証実験に関する発表を行った。自治体に提供された予測情報は、夜間避難を避ける等に資する半日程度前の早期予測と、避難エリアを絞り込む等に資する2時間前の直前予測であった。

早期予測は、MSMの12時間先予測を利用し、気象庁で開発されている線状降水帯インデックスを応用した発生可能性レベルを自治体にメール配信するものである。早期予測は線状降水帯発生のポテンシャル予測であるため、発生可能性レベルが高い場合でも現象が発生しない空振りがどうしても多くなる。ヒアリングから、空振りに対するコスト意識は自治体の規模に

よって異なることが明らかとなり、空振りの許容率は自治体毎にカスタマイズが必要となることが述べられた。

直前予測は、気象モデル CReSS にデータ同化によって得られた高精度な初期値を用いた2時間先予測を利用し、気象モデルの不確実性を考慮して気象庁高解像度ナウキャストを利用して補正する位置ずれ許容ブレンド予測による雨量予測を自治体にメール配信するものである。ヒアリングから、「2時間先予測は避難所開設の判断には間に合わないが、大雨が迫っているので特別な注意が必要だという情報発信には適している」、「リードタイムを上げることができなければ、2時間先までの雨量予測精度を高めてほしい」等の意見が寄せられたことから、新たな水蒸気観測等を用いた雨量予測精度の更なる向上についての今後の取り組みが述べられた。

自治体との意見交換により、防災対応に役に立つ情報提供手法の高度化が進んでおり、今後の社会実装が期待される。

(下瀬健一)

7. まとめ

総合討論では、気象庁報道発表に掲載された「大規模な大気の流れ」の図(気象庁 2020)をもとに、本研究会で示された新しい知見について議論された。大規模で強雨をもたらした線状降水帯が発生しやすい場となったことについては、ジェット気流の位置や強さ、太平洋高気圧縁辺流による水蒸気移流の重要性が挙げられた。後者についてはアンサンブル感度解析でも支持された。また線状降水帯そのものの発生・維持には、メソ低気圧の存在や、境界層より上層の鉛直プロファイルについて新たな発見・提案があり、また水蒸気移流には風速が重要であったという指摘があった。また予測精度向上に対する観測データの重要性の一例として無人飛行機の利用といったアイデアについて話し合わせ、水工学の求める実用的なシミュレーションと、気象学が提供する最先端のシミュレーションとのギャップ等について議論された。

本研究会では多くの発表がなされ、参加者で活発な

議論がなされたことが示すように、線状降水帯への興味、関心は強く、まだまだ研究課題が多く残されている。また人命、財産を守るためには気象学のみにとどまらず、水工学分野や自治体との連携が重要である。引き続き様々なチャンネルで議論を続け、知見を深めていくことが、防災への貢献として重要であることを感じた。

(川畑拓矢)

参考文献

- Araki, K., T. Kato, Y. Hirockawa and W. Mashiko, 2021: Characteristics of atmospheric environments of quasi-stationary convective bands in Kyushu, Japan during the July 2020 heavy rainfall event. SOLA, 17, 8-15. doi:10.2151/sola.2021-002.
- Bryan, G. H. and J. M. Fritsch, 2000: Moist absolute instability: The sixth static stability state. Bull. Amer. Meteor. Soc., 81, 1207-1230.
- Duc, L., T. Kawabata, K. Saito and T. Oizumi, 2021: Forecasts of the July 2020 Kyushu heavy rain using a 1000-member ensemble Kalman filter. SOLA, 17, 41-47. doi:10.2151/sola.2021-007.
- Hirockawa, Y., T. Kato, K. Araki and W. Mashiko, 2020: Characteristics of extreme rainfall event in Kyushu district, southwestern Japan in early July 2020. SOLA, 16, 265-270.
- Kato, T., 2020: Quasi-stationary band-shaped precipitation systems, named "Senjo-Kousuitai", causing localized heavy rainfall in Japan. J. Meteor. Soc. Japan, 98, 485-509.
- 気象庁 2020: 報道発表「『令和2年7月豪雨』の特徴と関連する大気の流れについて」。https://www.jma.go.jp/jma/press/2007/31a/r02gou.pdf, 2021. 3. 12閲覧
- 田中伸行, 太田琢磨, 牧原康隆 2008: 流域雨量指数による洪水警報・注意報の改善, 測候時報, 75 (2), 35-69.
- Zhao, N., A. Manda, X. Guo, K. Kikuchi, T. Nasuno, M. Nakano, Y. Zhang and B. Wang, 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., doi: 10.1029/2020GL091441.