

気象災害委員会・第50回メソ気象研究会合同研究会の報告

コンビーナ：中村 尚（東京大学）・竹見哲也（京都大学）・坪木和久*（名古屋大学）

1. はじめに

2018年は豪雨、豪雪、台風、酷暑、地震と多くの自然災害が発生した。なかでも気象庁が「平成30年7月豪雨」と命名した豪雨は甚大な災害をもたらした。1982年の長崎豪雨以来、また平成に入って初めて単一の事象による犠牲者が220名を超える気象災害となった。今回で50回目を迎えるメソ気象研究会ではこの豪雨をテーマとして採り上げることにした。同時に気象学会の気象災害委員会においても同様のテーマを秋季大会期間中に採り上げるべきであると考えていたので、今回は合同研究会として実施することにした。この豪雨を受けて、政府の中央防災会議・防災対策実行会議がワーキンググループを立ち上げ、また気象学会も積極的に参画する「防災学術連携体」では緊急メッセージの発表やシンポジウムを開催するなど、政府をはじめさまざまな機関・団体などが活発な活動を行っている。さらに、科学研究費特別研究促進費「平成30年7月豪雨による災害の総合的研究」も動き始めるなど、平成30年7月豪雨については、さまざまな動きがある。気象学会においてもこの豪雨について、これまで得られた知見を共有し、社会に発信することが重要であると考えている。

平成30年7月豪雨は、西日本での豪雨だけでなく北海道や岐阜での豪雨を含め、6月28日から7月8日に広範囲に深刻な災害をもたらした。梅雨期の豪雨としては近年にない災害をもたらした。広範囲で長時間にわたる強い雨が特徴であった。この豪雨について気象学・気候学的に多様な角度からの調査・検討が必要と考え、これまでのメソ気象研究会ではあまり見られなかったプログラム構成とした。最初の3題はコンビー

ナによる講演で、中村が豪雨の俯瞰的解説を行い、全球スケールの大規模場から見た豪雨時の特徴を解説した。この豪雨は酷暑と表裏一体であり、熱波も含めた形で大規模場におけるシルクロード・パターンの特徴などを示した。坪木は梅雨前線スケールで、特に南からの水蒸気輸送に着目して、豪雨がなぜこれほど大規模になったのかの説明を試みた。さらに竹見はメソスケールでみたときの降水システムの特徴とその環境条件を暖候期の停滞性降水系に関する統計的性状と比較しながら説明した。

休憩を挟んで京都大学の中北英一氏に、洪水の発生状況からその流域と河川の状況について、国土交通省のレーダデータを用いて降雨の状況を示しつつ、長時間継続した降水に強い雨が追い打ちをかけるようにして洪水が発生したことを説明いただいた。さらに中北氏は地球温暖化における大雨の変化におけるこの豪雨の位置づけを明らかにした。本研究会ではこの豪雨における予報現場がどのようなものであったのかが重要と考え、気象庁予報部から黒良龍太氏をお招きし、大雨特別警報等の気象情報発表に至る経緯や根拠となる予報技術、避難の呼びかけ等について、現場でないとは分からない臨場感あふれる講演をいただいた。また、このような極端現象における地球温暖化の影響は社会的に大きな関心事であると考え、東京大学の渡部雅浩氏に地球温暖化がこの豪雨にどう関わっていると考えられるのかについて解説いただいた。さらに東京大学の高藪 縁氏には、2017年の九州北部豪雨と比較しつつ、総観場の上層トラフの豪雨における役割を示していただいた。それに関連して、この豪雨システムは降水雲の背が比較的低く、そのため雷がほとんど見られなかったという結果が示された。

今回の合同研究会は気象学会秋季大会前日の2018年10月28日に、学会会場の仙台国際センターで行われた。日曜日にもかかわらず、225名収容の会場がほぼ

* (連絡責任著者) Kazuhisa TSUBOKI, 名古屋大学, tsuboki@nagoya-u.jp

© 2019 日本気象学会

満席になるほどの盛況で、名簿記載で191名の参加があった。これは50回を数えるメソ気象研究会の歴史において、秋季大会では過去に例のない多くの参加者であり、この豪雨に対する会員の関心の高さがうかがえる。総合討論では多くの質問とコメントが出されて時間がなくなってしまったが、コンペーナとしては、「平成30年7月豪雨のような大災害に対して、その防災において気象学は何ができるのか？特に気象災害において人々を避難させるために何が不足していて、何をすればすべての人を適切に避難させられるのか？」ということ、会場全体に聞いたかったが、この問題は次の機会に譲ることとした。

2. 広域豪雨をもたらした大規模大気循環の特徴

中村 尚（東京大学先端科学技術研究センター）
気象庁異常気象分析検討会の見解（気象庁 2018）にあるように、今回の豪雨の特徴の1つである広域性は、全国966の AMeDAS 観測点で平均した7月上旬の総降水量が過去35年で最大の215.4mmに達したことに現れている。さらに、普段比較的降水量の少ない瀬戸内地方を含め、西日本の広い範囲で48～72時間降水量の記録を更新した地点が続出した。甚大な災害をもたらした広域での持続的な強い降水は、多量の水蒸気を含む熱帯からの気流が西日本上空に流入し続けたために起きた。

気象庁の全球大気再解析 JRA-55 に拠れば、豪雨のピーク時（7月5～7日）に西日本へ南方から流入した鉛直積算の水蒸気量は過去60年で最大級で、西日本上空での水蒸気収束量は過去最大であった。この要因は、東シナ海南部の低圧部の影響で、南シナ海からのモンスーンの西風が東方に流れ、平年より強い太平洋高気圧に伴う貿易風と合流して強い南寄りの気流を形成し、西日本に停滞した梅雨前線に流れ込み続けたことである。低圧部の積雲対流により水蒸気が対流圏中層にまで拡がったことや、強い南風が黒潮からの蒸発を増やしたことも降水量増大の要因となった。

7月上旬の西日本豪雨の要因は、一連の「異常気象の連鎖」の中で捉えられるべきものである。6月下旬に亜熱帯ジェット気流を欧州方面から伝播してきた強い停滞性ロスビー波列（シルクロード・パターン）により太平洋高気圧が異常発達し、関東甲信地方の史上最早の梅雨明けと、梅雨前線の異常な北上による北海道での記録的豪雨がもたらされた。その後、太平洋高気圧の弱化につれ梅雨前線が南下する一方、停滞性ロ

スビー波列による亜寒帯ジェット気流の蛇行がオホーツク高気圧を異常発達させ、その北東気流が梅雨前線に伴う気温傾度を著しく強化した。その直後にシルクロード・パターン第二波に伴って太平洋高気圧が再強化され、梅雨前線の停滞と南方からの水蒸気流入が持続した。そして第三波により、2週間続いた亜熱帯ジェット気流の西谷型蛇行パターンが解消し、西日本への暖湿気流の流れ込みが止み、かつ南海上の活発な積雲対流活動による「太平洋・日本 (PJ) パターン」の影響も加わって太平洋高気圧がさらに発達し、北陸以西の梅雨明けとその後の持続的猛暑に繋がった。

3. 大雨をもたらした総観場における水蒸気輸送について

坪木和久（名古屋大学宇宙地球環境研究所）
「平成30年7月豪雨」のうち、7月3日～8日に発生した西日本豪雨について、豪雨域への水蒸気輸送を中心として調べた。西日本豪雨は広域に強い雨が長期間にわたって持続したことで特徴づけられる。総観場については前年の同じ時期に発生した九州北部豪雨と比較するとその特徴が分かりやすい。特に太平洋高気圧の西への張り出しと、可降水量および水蒸気輸送を比較する。九州北部豪雨では太平洋高気圧の西端を回る流れが、東シナ海から九州に流れ込んでいた。そのときのシミュレーションから可降水量は60～70kg m⁻²程度であった。それに対して西日本豪雨では、太平洋高気圧の張り出しが小さく、沖縄諸島から四国の南に縁を回る流れがあった。特に南西諸島付近から沖縄、奄美諸島にそって九州および四国に達する流れが顕著であった。その流れの可降水量は70～80kg m⁻²と、九州北部豪雨時のそれと比べても非常に大きなもので、この大きな水蒸気流が持続したことが、長期間にわたり大雨が持続した原因と考えられる。2017年のように太平洋高気圧が張り出している場合、東シナ海の対流活動は抑制され、水蒸気は大気下層に集積される。西日本豪雨の場合、太平洋高気圧の張り出しが四国の南付近までと弱かったため、南西諸島から沖縄本島付近の領域では活発な対流活動が見られた。石垣島の高層観測では、7月3日～7日にかけて上空まで湿度の高い状態が見られた。石垣島と太平洋高気圧の西端にあたる南大東島の高層観測を比較すると、大東島では下層は高湿潤であるが、上空が乾燥しており、相当温位のプロファイルから対流不安定が明瞭である。一方、石垣島では7月6日00UTCのプロファイルか

ら、高度10km付近まで相対湿度がおおよそ80%以上と上空まで湿っており、深い湿潤層が活発な対流活動により形成されていたことが分かる。また、相当温位のプロファイルから対流中立成層となっており、深い湿潤層が活発な対流の結果であることが分かる。さらにシミュレーションから求めたバックトラジェクトリは、西日本に達する空気塊が南西諸島から沖縄・奄美諸島にそって流れ込んでいることを示した。これらのことから、東に退いた太平洋高気圧の張り出しのため、南西諸島付近の対流活動が活発になり、その結果深い湿潤層と大きな可降水量が形成され、太平洋高気圧の西端の流れがその高湿潤大気を西日本に運び込むパターンとなっていて、その状態が長期間持続することで、多量の水蒸気が西日本に流れ込んだことが示された。

4. 平成30年7月豪雨のメソスケール大気環境場と降水系の発達

竹見哲也（京都大学防災研究所）

日本の暖候期には、しばしば停滞性の降水系が発達し、時には豪雨をもたらす。Unuma and Takemi (2016) は、気象庁合成レーダー観測による降水データを用いて、5～10月の停滞性降水系の出現特性と発生環境条件を統計的に調べ、停滞性降水系の頻発地域は九州から関東の太平洋側地域、中国地方、近畿から東海の内陸地域であることを示した。これらの地域は、平成30年7月に豪雨が発生した地域と合致しており、統計的に停滞性降水系が発生しやすい地域で今回の7月豪雨が生じたと言える。

平成30年7月豪雨をもたらした降水系の発達状況を調べたところ、西日本から中部地方にかけて、7月5～8日の間に地域を変えつつ広域に大雨が生じていた実態が確認できた。最大24時間降水量が300mmを超えた地域で見ても、九州北部、四国、瀬戸内地方、近畿地方中央部、東海地方内陸部のように広域に及んで大雨が降った様子が分かった。

気象庁 MSM (Meso-Scale Model) の解析値により、豪雨の発生環境場を調べた。積乱雲やメソ対流系の発達を診断する際に有用な環境指数により環境条件を評価したところ、K 指数（例えば、大野 2001）の高い地域が豪雨発生域とよく対応していることが分かった。K 指数とは、下部対流圏の気温減率と下層及び中層の湿度を反映した複合的な指標であることから、気温減率と湿度に係わる物理量を調べた。その結

果、可降水量が期間平均して65～75mm と高いこと（最大では75mm 以上）、中層（ここでは700～300 hPa）が極めて湿った状態であることが特徴として挙げられる。可降水量の数値は、Unuma and Takemi (2016) による統計と比べても、極端に高い部類に属しており、また中層の高湿度という条件も彼らの統計解析と合致した傾向であり、今回の場合には低頻度の極端側に位置づけられることが分かった。さらに、適度な鉛直シアの存在により、線状の降水系が発達しやすい状況となっていたことも分かった。

5. 気象レーダー等から読み取れる平成30年7月豪雨の特徴とその将来頻度変化の解析

中北英一・山口弘誠・小坂田ゆかり
（京都大学防災研究所）

平成30年7月豪雨は典型的なバックビルディング型の梅雨豪雨とは異なり、それほど強くはない雨が長期間に渡り広い範囲で降り続いたことにより、たくさん総雨量がもたらされたことが大きな特徴の1つであった。XバンドMPレーダーから得られた雲の3次元情報では、広域に広がる雲の高さは典型的な梅雨豪雨事例（2012年亀岡豪雨等）と比較してそれほど高くなく、雷が少ないという報告（川野ほか 2018）を裏付けるように、雲内のあられも少なかった。また災害に関しては、長時間降り続いた雨によって既に満身創痍になっていた多くの山腹斜面・河川流域・ダム貯水池において、再びそう強くなくても一波二波三波四波と線状に近い雨域が通過することによって、トンカチで連打するかのごとく土砂崩壊・洪水・ダムの小貯水池からの緊急放流をもたらした。その“トンカチ”役となった、このそう強くない一波二波三波四波に関しては、レーダー等を使った短時間降水予測の強化と利用を図る必要があるだろう。このように、今回の豪雨は現象だけでなく災害という面においても、情報伝達や避難に関して多くの視点をもたらした。

気候変動の影響評価に関しては、これまで典型的な局所的梅雨豪雨の発生頻度の増加や積算雨量の増加等が示されている。そして、前年2017年九州北部豪雨のように、典型的な梅雨豪雨をもたらす大気場の発生頻度も顕著に増加することが示されている。一方で、平成30年7月豪雨をもたらした際の大気場に関しては、将来気候において顕著な増加は見られなかった。しかし、豪雨期間中に日本域に流入した水蒸気量に関しては、現在気候では最大レベルの量であり、将来気候に

おいても珍しく多い流入量であった。温暖化適応という面においても、新たな視点を多くもたらした事例であった。

6. 気象庁の現業における予報技術の概要と平成30年7月豪雨の早期呼びかけについて

黒良龍太（気象庁予報部予報課）

平成30年7月豪雨における気象庁の対応について、技術的な観点で理解していただくために、現業における予報技術の概要を説明することとし、現業における予報作業の流れや、この作業の中で利用している技術、危険度分布も説明した上で大雨警報の発表作業の概要を紹介した。予報官は限られた時間の中で、実況及び予測資料を組み合わせて、今後起こりうる複数のシナリオを考慮して予報及び情報の発表を検討しており、特に予測資料の持つ予測誤差や、予測特性の把握と、実況資料も踏まえた予測資料の適切な補正が重要であることを強調した。

平成30年7月豪雨の際には、7月4日以降、段階的に強い呼びかけを行った。この早期の呼びかけができた背景として、全球アンサンブル予報システムによる予測が、新しい予測（より新しい初期値に基づく予測）になるほど西日本を中心とした大雨の可能性が高まったこと、海外センターによる数値予測が同様の傾向を示していたことから、より高い確度で大雨となると考えたことを紹介した。さらに、2017年から5日先までの「警報級の可能性」の発表を開始したこと、警報級の可能性ガイダンスなどの予測資料が充実してきたことにより、早期に大雨を予測する技術が向上してきたという状況があることを説明した。

また、気象情報の中で示す最大降水量の予想状況とその誤差について説明し、その基礎資料となっている最大降水量ガイダンスの特性についても解説した。その上で、気象庁ではより適切な量的予報ができるよう、引き続き技術向上に努める考えであることを示した。

7. 地球温暖化は平成30年7月の豪雨・猛暑にどう影響したか

渡部雅浩（東京大学大気海洋研究所）

近年の激甚な極端気象の発生に伴い、いくつかの課題が社会から突き付けられている。特に、今回の広域豪雨などに関して、「如何に早期の警報が出せるか」「避難行動などの判断をどこが行い、如何に住民へ促

すか」といった災害対応は深刻な問題である。それに比べると、異常気象分析検討会が行うような「その極端事象がなぜ起こったか」の分析は、必要ではあるが、国民の生命・財産を守る上での喫緊性はやや低くなる。同様に、「極端気象の発生に地球温暖化がどう関わっていたか」という疑問は、多くの人の関心を呼ぶかもしれないが、所詮後付けの議論であり、より長期の温暖化適応の文脈で意味をもつ問題である。そのことを重々承知した上で、我々は可能な限り確かな分析結果を発信することを試みている。

個別の極端気象に対する温暖化の寄与推定は、イベントアトリビューション (EA) と呼ばれる (森ほか2013)。これは、ある地域での極端気象がおおよそ30年に1回しか起こらないために観測データではサンプルが足りないという事実を前提に、数値モデルを用いて仮想的に多数のサンプルを生成し、温暖化の外部強制により特定の極端気象の発生確率がどの程度変化したかを推定する手法である。これまでは、大気大循環モデルを用いて、温室効果ガスや海面水温などの境界条件を全て与えた100メンバーのアンサンブル（温暖化あり実験）と、人為起源の放射強制を産業革命前条件に固定し、海面水温と海水被覆データから人為的温暖化によると推定される成分を除去して計算した100メンバー（温暖化なし実験）を比較することで、上記の確率推定を行ってきた。

近年では、60km 全球大気モデルおよび20km 領域大気モデルを用いたアンサンブルである d4PDF (database for Policy Decision making for Future climate change) が活用されている (Mizuta *et al.* 2017)。この実験では、特に初期値を観測データから与えることはせず、境界値問題として EA を行うが、メソスケールの降水現象などはこれではうまく再現できない。そこで、7月の猛暑についてののみ d4PDF を用いて推定を行い、平成30年7月豪雨の EA には、別途初期値化を行った 5 km の領域気象モデルを用いて数値実験を行った。どちらの分析も速報的なものであり、詳細な結果は別途論文としてまとめる予定である。誌面の都合上、内容の解説は割愛するが、講演で強調したのは次の2点である。すなわち、多くの極端気象「イベント」に対する温暖化の寄与は、定量的に明らかになりつつあること、それとともに、確かな物理的理解に基づく定量化が可能な部分（温暖化の気温・水蒸気変化を介した寄与）と未だ定量化が課題である部分（温暖化の循環場を介した寄与）は明確に分

けて議論すべきであること、である。

最後に、本講演で紹介したEAを行った気象研究所の今田由紀子・川瀬宏明両氏に感謝する。

8. 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の解析

高数 縁 (東京大学大気海洋研究所)

2018年7月7日00UTCに全球降雨観測計画(GPM; Global Precipitation Measurement)主衛星搭載の降雨レーダが捉えた画像によると、豪雨は10kmにやっと届く程度の背の高くない組織化降水によってもたらされていた。また、この時の大気成層は気候値に比べむしろ安定で、対流圏全層にわたって非常に湿っていた。これは、TRMM PR (Tropical Rainfall Measuring Mission Precipitation Radar)の13年統計から求めた日本域夏季の極端(99.9パーセントイル)降雨の環境(Hamada and Takayabu 2018)と類似し、特に湿度は極端に高かった。

7月豪雨の広い雨域の後方の朝鮮半島上には、亜熱帯ジェットの局所的な蛇行に伴う深い上層トラフが持続していた。このトラフの南端は、熱帯域から中緯度にかけて大量の水蒸気を輸送する Atmospheric River (Hirota *et al.* 2016; Kamae *et al.* 2017a, b), いわゆる“大気の川”の入口となっていた。さらに、このトラフが豪雨に果たした役割を議論するため、雨域の上昇流に対するトラフの効果について、Qベクトルを用いたオメガ方程式を解析した。上昇流は、Qベクトル収束に伴う力学的二次循環の項(A) + β 効果の項(B) + 対流加熱による項(C)の3項で診断できる。7月豪雨では、そのうちAとCが豪雨域で顕著であった。対流加熱項Cは当然主要な割合を占めるが、力学的強制項Aの上昇流もトラフの前面で顕著であった。力学強制による上昇流が対流圏中層の加湿を促進して豪雨域の位置決めに重要な役割を果たし、対流の効果が上昇流をさらに増幅したという仕組みが示唆された。

次に同様に後方からトラフが来た2017年の九州北部豪雨との比較をした。まず九州北部豪雨では、トラフは同じ場所に長く停滞せず、また7月豪雨よりも振幅が小さかった。豪雨域の大気成層を比べると、7月豪雨では、降雨域はトラフの前面に位置し気候値より安定な成層だったのに対し、九州北部豪雨では、降雨域の上空にトラフの寒気が入り、最下層に暖域があって大気が不安定な状況だった。この違いが、背の高い九

州北部豪雨と比較的背の低い7月豪雨の雨の違いをもたらしたと考えられる。また前者では雷が多く後者では少ないという観測(川野ほか 2018)とも整合的であった。

謝辞

今回のメソ気象研究会を開催するに当たって、大会実行委員会には素晴らしい会場を提供いただきました。会場の準備、運営をしていただいた東北大学の学生の皆さまならびに気象学会員の有志の方々にここに記して感謝いたします。また、科学技術振興機構 Belmont Forum 国際共同研究「気候予測可能性と地域間連関」採択課題「季節～10年規模の地域間連関が気候予測の改善へ向けて持つ潜在的可能性 (Inter-Dec)」(代表: 中村 尚)からも支援を得ました。ここに記してお礼申しあげます。

参考文献

- 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.
- 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.
- Kamae, Y., W. Mei, S.-P. Xie, M. Naoi and H. Ueda, 2017a: Atmospheric rivers over the Northwestern Pacific: Climatology and interannual variability. *J. Climate*, **30**, 5605-5619.
- Kamae, Y., W. Mei and S.-P. Xie, 2017b: Climatological relationship between warm season atmospheric rivers and heavy rainfall over East Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, **95**, 411-431.
- 川野哲也, 鈴木賢士, 川村隆一, 2018: 平成29年7月九州北部豪雨をもたらした線状降水帯の発雷特性. 日本気象学会講演予稿集, A356, 304.
- 気象庁, 2018: 異常気象分析検討会(平成30年度臨時会)の概要について. https://www.data.jma.go.jp/gmd/extreme/kaigi/2018/0810_rinji/h30rinji.html (2018.12.6 閲覧).
- Mizuta, R. *et al.*, 2017: Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60km global and 20km regional atmospheric models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **98**, 1383-1398.
- 森 正人, 今田由紀子, 塩竈秀夫, 渡部雅浩, 2013: Event Attribution (イベントアトリビューション). 天

- 気, 60, 57-58.
- 大野久雄, 2001: 雷雨とメソ気象. 東京堂出版, 309pp.
- Unuma, T. and T. Takemi, 2016: Characteristics and environmental conditions of quasi-stationary convective clusters during the warm season in Japan. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 142, 1232-1249.
-