

2023年度春季大会専門分科会「激甚化・頻発化する気象災害の 軽減に気象学と関連研究はどう貢献するか？」報告*

橋田俊彦^{*1}・竹見哲也^{*2}・坪木和久^{*3}・中村尚^{*4}
伊藤耕介^{*5}・山田広幸^{*6}・佐々浩司^{*7}・川瀬宏明^{*8}
森信人^{*9}・大津山堅介^{*10}・花島誠人^{*11}
黒良龍太^{*12}・竹之内健介^{*13}

1. はじめに

近年では、日本に限らず世界各地において、台風・豪雨、熱波による災害、洪水・干ばつなどの災害が頻発しており、気候変動や土地利用・社会構造の変化などとともに災害リスクはより深刻なものとなっている。このような中で、日本気象学会における気象災害

についての調査・研究、災害緊急対応、他機関との連携を担当する気象災害委員会の活動に関係する気象学と関連分野において、どのような研究が進展し、何ができるか、何をすべきかなどを議論する、専門分科会「激甚化・頻発化する気象災害の軽減に気象学と関連研究はどう貢献するか？」を開催することとした。募集する講演としては、気象災害に関連して、幅広い時間・空間スケールの気象現象の理解、観測、予測などの科学技術、気象学の成果の活用や防災関係者との協働の状況などを想定した。

2023年度春季大会の3日目(2023年5月18日(木))の午前にオンラインで開催された専門分科会では、気象災害に関係した台風・豪雨・竜巻などの気象・気候の各分野の最新の研究・知見とともに、工学・人文社会科学などの分野から気象変動に対する適応や避難などにかかわる最新の研究や気象学会への期待など、招待講演3件を含む9件の講演が行われた。参加者は最大時には180名を超え、それぞれの講演では活発な質疑が行われた。予定していた総合討論に十分な時間を割くことができなかったが、気象学と気象学会の気象災害軽減への貢献についての課題・展望などについて、情報や所感を交換するよい機会となった。

(橋田俊彦)

2. 講演概要

2.1 数日先の台風予報はどこまで改善できるか？ (A301)

本講演では、防災・減災の基礎情報となる数日先の台風予報の改善に関する将来展望について述べた。進路予報については、著しい改善が続いており、3日先

* A report of the special session “How can meteorology and related research contribute to the mitigation of increasingly severe and frequent weather and climate disasters?”

^{*1} (連絡責任著者) Toshihiko HASHIDA, 元気象庁/横浜国立大学, 分科会世話人.

11251@netsoc.or.jp

^{*2} Tetsuya TAKEMI, 京都大学防災研究所, 分科会世話人.

^{*3} Kazuhisa TSUBOKI, 名古屋大学/横浜国立大学, 分科会世話人.

^{*4} Hisashi NAKAMURA, 東京大学先端科学技術研究センター, 分科会世話人.

^{*5} Kosuke ITO, 琉球大学/京都大学防災研究所/横浜国立大学.

^{*6} Hiroyuki YAMADA, 琉球大学.

^{*7} Koji SASSA, 高知大学理工学部.

^{*8} Hiroaki KAWASE, 気象研究所.

^{*9} Nobuhito MORI, 京都大学防災研究所.

^{*10} Kensuke OTSUYAMA, 東京大学先端科学技術研究センター.

^{*11} Makoto HANASHIMA, 防災科学技術研究所.

^{*12} Ryuta KURORA, 東京航空地方気象台.

^{*13} Kensuke TAKENOCHI, 香川大学.

© 2023 日本気象学会

の平均予報誤差は約200kmになっている。予報に関しては、偏西風やトラフに代表される大規模場の再現性も引き続き重要な課題であり続けているが、発生初期の中心位置の同定、対流活動の偏りの表現といった、これまで注目されていなかった点にも目を向けるべきだと述べた。強度予報に関しては、近年、TIFSの導入により大幅な予測精度の向上が実現したが、依然として、急発達や急減衰の予報誤差が大きい。ただし、急減衰のうち、台風停滞に伴う極端な海面水温低下が原因となるものについては、TIFSの予報変数に移動速度を考慮することで改善が期待できるほか、TIFSを線形モデルから非線形モデルにすることででも改善が期待できることが示唆された。同時に、台風強度は推定精度の誤差も大きいいため、強度推定法の改善も進めていくことが望ましいとした。このほか、台風の発生予報は、研究レベルでは実現可能な精度に高まっていることや防災・減災のために、降水予報の研究を更に進めていくべきとの主張がなされた。

(伊藤耕介)

2.2 ドロップゾンデとラジオゾンデ観測による気温偏差と台風強度との関係 (A302)

本講演では、台風の強度を正確に把握する具体的な取り組みとして、航空機を用いた台風の直接観測について紹介した。日本における台風の航空機観測は2017年から行われ (Yamada *et al.* 2021)、中心気圧が960～915hPaの勢力を持つ台風の中心でドロップゾンデを投下して気象要素を直接観測することに9回成功している。南西諸島からのラジオゾンデにより台風中心の観測に成功した5事例を含め、合計14事例のデータを用いて解析を行った。中心気圧と気温偏差との関係を調べたところ、先行研究よりも極めて高い相関(決定係数0.97)にあることを明らかにした。気温偏差は上層ほど大きい傾向にあるが、中心気圧が940hPa以下の勢力では、下層の沈降に伴う気温偏差の増加が中心気圧の低下に最も関係することもわかった。下層の沈降は、静水圧平衡により全層にわたる沈降をもたらすので、結果として上層の気温偏差は中心気圧と相関することになり、衛星サウンダによる台風上部の気温偏差を指標として台風強度を推定することの妥当性を示したことになる。次世代静止気象衛星で気温プロファイルが高頻度で得られるようになると、台風の強度監視能力が格段に高まると期待される。

(山田広幸)

2.3 竜巻研究の動向と課題 (A303)

竜巻は、気象学が対象とする一般的なスケールに比べて極めて小さいながら、災害をもたらすインパクトの大きな現象である。国内の竜巻研究に関しては気象研究ノート「竜巻を識る」(佐々ほか 2020)のほか、より最近の成果として「号外海洋—竜巻シンポジウム—」(新野編 2022)にまとめられているが、米国に比肩する顕著な成果としてフェーズドアレイレーダーによるメソサイクロンと竜巻渦の関係を詳細に捉えた結果や、高解像度シミュレーションにより竜巻の形成メカニズムや発達過程を詳細に解明した事例の紹介がなされた。また、個別事例でなく、竜巻発生環境を台風や温帯低気圧について調べた研究も重要である。しかし、竜巻をもたらす降水システムの詳細についてはまだ十分に理解されていない。レーダーパターンに基づく親雲の形態分類により、それらの発生環境と発生の地域特性を調べる気候学的研究は地域毎の情報提供の仕方を変える可能性がある。

また、積乱雲の下で起きている微細スケールの気流環境の理解も、積乱雲の挙動にアップスケールできるような指標を見つけれれば、竜巻発生予測の精度向上が期待できる。こういった意味で室内実験についても大きな期待が寄せられている。

(佐々浩司)

2.4 近年発生した極端気象への地球温暖化の寄与を評価する確率的EAと量的EA (A304)

近年発生した極端気象に対する地球温暖化の寄与を評価する手法はイベント・アトリビュション (EA) と呼ばれる (森ほか 2013)。EAには全球大気モデルによるアンサンブル実験を基に評価するEAと、境界条件を縛って評価するEAが存在する。前者は確率的EA、後者は量的EAとも呼ぶことができる。我々は平成30年7月豪雨や同月の猛暑、令和元年東日本台風等を対象に両タイプのEAを実施してきた。例えば確率的EAにより、平成30年7月の猛暑並みの高温の発生確率はこの年の状況では約20%、温暖化がなかったと仮定するとほぼ0%と評価された (Imada *et al.* 2019)。一方、量的EAにより、令和元年東日本台風の関東甲信の降水量は、1980年以降の気温上昇によって約11%、産業革命以降の温暖化によって約14%増加したと評価された (Kawase *et al.* 2021)。さらに、この結果をもとに、災害に直結するような河川流量や浸水面積に対する地球温暖化の影響にまで踏み込む研究も始まっている。

今後はEAを極端気象の発生直後に行う機動的EAや、確率的EAで用いる全球100メンバーアンサンブル実験を領域モデルで高解像度化することで、地域詳細な確率的EAの実施により、激甚化・頻発化する気象災害の軽減にも貢献できると期待される。

(川瀬宏明)

2.5 気候変動に伴う気象災害の将来変化とその適応に向けて (A305)

気候変動は、極端な風水害に大きな影響を与えることが予想されており、特に豪雨や台風は、東アジア及び北西太平洋における主要な自然災害である。講演では、これら自然災害の将来変化に関する、d4PDFを用いた様々な研究展開(石井・森 2022)について概説した。d4PDFは、これまで行われてきた20~30年程度のタイムスライス実験と比べて、気候変動影響評価研究における極端現象評価の転換点であることを紹介した。

さらに、気象災害軽減に有用な気象・気候関連情報は、時間スケールの短い方から、1) ナウキャスト・観測データリアルタイム配信(防災気象情報 レベル5相当(緊急安全確保)), 2) 短期予測(一般的な気象予測), 3) 長期予測(ハザードマップ, 施設整備)があることを説明した。また、多くの水害では、長期予測などを基に行われる対策のターゲットには二つのレベルが有り、A) レベル1 (L1): 数十年から数百年に1度程度の頻度の現象で構造物などを設けて人的及び資産被害を出さない防災目標、B) レベル2 (L2): 数百年から千年に1度程度の極めて低頻度で、避難等により犠牲者を最小化する減災目標があり、気象・気候学が長期予測及び二つのレベル目標にどのように対応することができるかについての議論が行われた。

(森 信人)

2.6 水害常襲地における水災害リスクとの共存可能性の一考察 (A306)

本発表では、居住地移動(Residential Mobility)の中でも特に米国におけるバイアウト事業と高床化補助事業(大津山ほか 2021)に着目し、水害常襲地における災害リスクとの共存可能性を検討した。気候変動適応策の一つである戦略的撤退(Managed Retreat)とその具体事業であるバイアウトは、水害常襲地における宅地建物の用地取得、建物撤去を通じ、原則的には再自然化(開発抑止)を目指す事業であり、水災害リスク低減と治水機能向上に資する事業である。また高床化補助事業は、洪水浸水想定区域内の家屋をピロティ形式や3階建てとして垂直避難を可能にし、人命

や資産を守る取り組みであり保険料率の割引も受けられる事業である。バイアウトか高床化か、またはその併用かどうかは自治体が浸水深に応じた事業選択が可能であるため、住民には選択可能性が広がる。日本国内の地震リスクを考えると高床化(ピロティ化)の耐震性への配慮は求められるものの、想定浸水深に応じた事業選択が可能となれば、居住者属性に応じた選択肢が提示可能になる。気象学から土木工学、水文学による洪水・浸水への翻訳と同時に、地形の凹凸を活かした土地利用、数mの高床という建築・空間計画を俯瞰的に横断する議論や学際研究が求められる。

(大津山堅介)

2.7 気象データを用いた災害リスク情報の動的生成について (A307)

本研究では、行政(主に国・都道府県)の災害対応業務において、行政職員が対応行動をとるための契機となる災害リスク情報の生成・提供技術の開発を目的として研究を進めてきた。その成果として、災害情報の組織間共有を担う仕組である「基盤的防災情報共有ネットワーク SIP4D」により収集した気象データを、洪水浸水想定区域や土砂災害危険区域等のハザードデータ、人口や住家戸数等の社会経済データと組み合わせ加工・演算・条件判定等を行い、行政職員の災害リスク認知を支援する「災害リスク情報」を生成するシステムである「SIP4D-DDS (Dynamic Data Synthesis)」を開発した(Hanashima *et al.* 2023)。これまでに、流域雨量指数を用いた職員1人当たりの推定被災者数、災害救助法適用相当のリスクの推定、土砂災害警戒情報と避難情報発令状況のクロス判定等、約20種類の災害リスク情報をリアルタイムで生成し、実際の被害状況と照合することで有効性を実証した。今後は、国及び複数の都道府県の危機管理担当者からの要望を受けながら災害リスク情報の開発を継続する。

(花島誠人)

2.8 地域防災に関わる気象学会への期待 (A308)

気象災害の軽減において自助と共助の取り組みは重要である。この観点から気象学会や学会員が専門的な知識を活用し、地域の防災に貢献することも重要である。そのために、地域に根差してできることは主に、①避難にかかわるハザードマップや過去事例などの情報の改善・周知、②伝え手の育成、③住民の適切な避難にかかわる理解向上、であろう。これらの取り組みでは、気象学の知見をもって、地域に特徴的な気象現象や過去の災害事例の適切な説明、資料作成等が考え

られる。また、共助には地域の伝え手である気象キャスター・防災リーダーの方々が、地域に災害をもたらす気象現象や予報技術の限界を理解し、顕著現象時に地域の実情にあった適切な解説や対応ができるよう能力習得の支援もある。実際に地方の学会員により、マイトimeline（各自の防災行動計画）の普及、防災講演会／防災教育、サイエンスカフェなどの取り組みがなされている。しかし、支部を含めて気象学会の組織的な取り組みとはなっていない現状もある。今回を契機に、気象学会や学会員が地域の中で防災に取り組んでいる団体や機関に協力することで、地域防災のネットワークが拡大し、災害時の自助や共助がさらに適切な機能につながることを期待する。

（黒良龍太）

2.9 気象学と災害対応（A309）

気候変動などの影響により、激甚化・頻発化する気象災害に対し、ここ近年、災害リスクコミュニケーションの分野では「避難」の議論が盛んに行われてきた。そのような中で、気象予測の成果の活用など、気象学と災害対応の連携については十分に議論されているとはいえない。気象予測は、とりわけリアルタイムの災害対応において活用される傾向にあり、気象災害が切迫していない状況における活用は、過去の気象災害の振り返りや調査、防災教育や一般啓発などに留まる傾向にある。発表では、「避難スイッチ」（竹之内ほか 2020）といった社会で議論されている避難システムへの予測や観測を通じた支援、「災害ポテンシャル」（竹之内ほか 2019）の概念を通じたアンサンブル予測による結果のレトロスペクティブな事後活用、「災害の素振り」（竹之内ほか 2021）の気軽な体験を創出するための気象シナリオの提供、「ローカル観測」に基づくIoT-COS（IoT-Community Observation System）構築のための住民活用をベースとした観測技術の開発など、改めて気象学と災害対応の連携について再考した。気象データの充実とともに、社会における多様な場面での活用を考慮した議論と連携が求められている。

（竹之内健介）

3. 総合討論とまとめ

本専門分科会の前半（A301～A304）では、台風の進路及び強度予測における現状と課題、台風の航空機観測による暖気核構造解明と中心気圧との関係、竜巻の実態把握やメカニズム解明、さらに高温・豪雨等の極端気象に対する地球温暖化の影響評価など、幅広い

現象を対象として、近年の研究成果と課題及び将来展望についての発表が行われた。

後半（A305～A309）は、招待講演者を含め、工学、人文社会科学など学際的な観点から、災害リスク情報、防災気象情報、避難や居住・建物など制度面を含めた防災対策の最近の取り組みや研究の成果などの発表が行われた。そこでは、気候変動への適応という中長期的な対策、避難などの安全確保という短期の対応など、対策の時間スケールなども意識した災害軽減にかかわる取り組み・研究の課題、気象学会への期待などが述べられた。

本専門分科会によって発表された各講演について、それぞれの立場・観点から、気象災害の軽減への貢献における位置づけや役割をみることができる。伊藤と山田の講演は台風に関して、佐々は竜巻に関して、その現象の理解を深めること、さらに観測と予測精度向上の重要性を示した。川瀬の講演は激しくなる気象への地球温暖化の寄与を示すことで、気象災害軽減に対する気象学の役割を典型的に示した。このような気象現象に関する深い理解と予測向上を進める研究は、気象学の中心的役割であり、そのことが災害対策の基礎であることが改めて確認された。

森は気象予測等の成果をリスク情報まで拡大すること、短期・中長期になされる災害対策への気象学の成果のかかわり、二つの災害対策レベル目標（L1とL2）を考慮した長期対策に言及し、気象学の災害軽減への役割を考える材料・情報を提示した。大津山は、米国を例として水害常襲地における水災害リスクとの共存可能性の取り組みを通じて、水害の長期的な影響評価のための気候変動研究とその成果活用の重要性を示した。花島は、行政分野における災害対応現場の業務を支援する災害リスク情報の生成・提供技術の開発と利用の状況を示した。黒良は、地域の防災における自助と共助の取り組み強化に対して、気象の専門的な知識を活用して貢献することの重要性や具体的な貢献内容を示して気象学会へ期待を寄せた。竹之内は、災害リスクコミュニケーションの分野における「避難」の問題に関して、気象予測のリアルタイムでの災害対応の活用のみならず、平時あるいは事後の活用事例を通じて、災害対応の多様な場面での気象データ・予測の活用についての再考や連携の必要性を示した。

このように気象災害に関係する幅広い分野からの講演により、気象学と気象災害、災害対策とのかかわり・関係を俯瞰的にとらえる良い機会となった。防災

対策・対応といった面からは、気候変動への適応といった文脈での中長期の対策と、災害の直前・発生時・事後といった各段階での対応において、それぞれ気象学が貢献できることがあることを再認識させるものとなった。また、気象等の現象面で見れば、竜巻、集中豪雨、台風や異常天候、さらには地球温暖化といった気象・気候現象のスケールや影響の時間ごとの対策として、災害時のオペレーション、早期警戒システムの構築・運用、さらには、地球温暖化への適応としての災害対策、地球温暖化の進行や温室効果ガスの増加の監視・把握などを通じた貢献の可能性を確認することもできた。気象学の成果と防災対策・対応との関係を明らかにすることで、気象学の研究モチベーションの向上や成果の応用のための関連研究分野との連携・共同研究の促進にもつながることが期待される。本分科会で発表され、確認された気象学とその関連分野の取り組みとの情報共有・交換を含む連携の重要性について、大会参加者と共有できたことは本専門分科会の重要な成果といえる。

気象現象の科学的理解や気象災害の影響評価をはじめ、個々の専門分野における一層の研究の深化の重要性とともに、極端気象による災害発生から災害軽減につながる全体像を把握し明確化すること、関連する様々な研究分野が相互に連携すること、そのために防災研究等に携わる多様な分野の方々と気象・気候研究者が交流し議論を交わすことの重要性についても参加者において改めて共有できたのではないだろうか。

今回の専門分科会が、気象学と関連分野の研究において、災害軽減を意識しつつ、気象に関する理解の深化と予測などの研究が一層進展し、より幅広い災害研究者との連携のきっかけとなることを期待したい。

(橋田俊彦・竹見哲也・坪木和久・中村 尚)

略語一覧

d4PDF : database for [4] Policy Decision making for Future climate change
EA : Event Attribution
IoT-COS : IoT-Community Observation System
SIP4D-DDS : Shared Information Platform for Disaster Management-Dynamic Data Synthesis
TIFS : Typhoon Intensity Forecasting scheme based on SHIPS (Statistical Hurricane Intensity Prediction Scheme)

参考文献

- Hanashima, M., H. Sano and Y. Usuda, 2023: Dynamic Decision Support System for Disaster Response “DDS4D”-Beyond the information sharing. Proceedings of the 19th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS 2022), World Scientific, 86-88, doi:10.1142/13385.
- Imada, Y., M. Watanabe, H. Kawase, H. Shiogama and M. Arai, 2019: The July 2018 high temperature event in Japan could not have happened without human-induced global warming. SOLA, 15A, 8-12, doi:10.2151/sola.15A-002.
- 石井正好, 森 信人, 2022 : 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベースの開発と気候変動リスク評価研究成果の社会実装. 天気, 69, 413-430.
- Kawase, H., M. Yamaguchi, Y. Imada, S. Hayashi, A. Murata, T. Nakaegawa, T. Miyasaka and I. Takayabu, 2021: Enhancement of extremely heavy precipitation induced by Typhoon Hagibis (2019) due to historical warming. SOLA, 17A, 7-13, doi:10.2151/sola.17A-002.
- 森 正人, 今田由紀子, 塩部秀夫, 渡部雅浩, 2013: Event Attribution (イベントアトリビュション). 天気, 60, 413-414.
- 新野 宏 編, 2022 : 竜巻シンポジウム—藤田哲也博士生誕100年を記念して—. 号外海洋, (63), 164pp.
- 大津山堅介, 曽我部哲人, 牧 紀男, 2021 : 米国FEMAにおける事前防災に関する考察—気候変動適応策の選択肢とその条件—. 地域安全学会論文集, 39, 203-212.
- 佐々浩司, 林 泰一, 鈴木 修, 藤吉康志 編, 2020 : 竜巻を識る. 気象研究ノート, (243), 297pp.
- 竹之内健介, 大西正光, 佐山敬洋, 本間基寛, 矢守克也, 2019 : 水害ポテンシャルを有していた非被災地域における意識調査. 土木学会論文集F6 (安全問題), 75 (2), I_27-I_37.
- 竹之内健介, 矢守克也, 千葉龍一, 松田哲裕, 泉谷依那, 2020 : 地域における防災スイッチの構築. 災害情報, 18 (1), 47-57.
- 竹之内健介, 本間基寛, 矢守克也, 鈴木 靖, 2021 : 災害対応の素振り・振返りのための訓練ツールの機能評価. 災害情報, 19 (1), 11-22.
- Yamada, H., K. Ito, K. Tsuboki, T. Shinoda, T. Ohigashi, M. Yamaguchi, T. Nakazawa, N. Nagahama and K. Shimizu, 2021: The double warm-core structure of Typhoon Lan (2017) as observed through the first Japanese eyewall-penetrating aircraft reconnaissance. J. Meteor. Soc. Japan, 99, 1297-1327, doi:10.2151/jmsj.2021-063.