

研究プロフィールシート（終了時評価）

研究課題名：災害をもたらした令和元年度台風の実態解明とそれに伴う暴風、豪雨、高波等の発生に関する研究

研究期間： 令和元年10月15日～令和2年3月31日

研究代表者： 鈴木 修（台風・災害気象研究部 部長）

研究担当者：

（台風・災害気象研究部第1研究室）和田 章義、嶋田 宇大、柳瀬 亘、小野 耕介、林 昌宏、筆保 弘徳（客員：横浜国大）、宮本 佳明（客員：慶応大）

（台風・災害気象研究部第2研究室）清野 直子、益子 渉、廣川 康隆、荒木健太郎

（台風・災害気象研究部第3研究室）足立アホロ、梅原 章仁

（台風・災害気象研究部第4研究室）足立 透

（全球大気海洋研究部第1研究室）吉村 裕正

（全球大気海洋研究部第4研究室）高野 洋雄

（応用気象研究部第2研究室）仲江川 敏之、川瀬 宏明

1. 研究の背景・意義

（社会的背景・意義）

令和元年7月の台風第5号による対馬での大雨災害、9月の台風第15号による千葉県南部を中心とした暴風被害、台風第17号に伴う延岡での突風被害、10月の台風第19号及び台風第21号時に日本南岸に沿って移動した低気圧による大雨など、本年も既に多くの台風に伴う被害が発生している。気象研究所中期研究計画において「重大な自然災害発生時には、機動的に研究を行い社会にいち早く情報を発信するための緊急研究課題を必要に応じて設定する」とあることから、この状況を受け、所内研究課題副課題の令和元年度台風に関連する研究成果を本緊急研究に集約し、即時的に社会に発信する。

（学術的背景・意義）

台風第15号の千葉県千葉市上陸前における暴風及び構造変化や、台風第19号の急発達過程、大きなサイズの形成、海洋との相互作用及び広域にわたる大雨及び台風第21号の低気圧に伴う房総半島の大雨等に関しては、科学的にその要因について十分な説明ができていないことから、学術的側面から調査研究を実施する必要がある。

（気象業務での意義）

災害をもたらした令和元年度台風に関する基礎資料を蓄積し、事例及び現象毎にその特徴及び特異性を整理することは、予報現業における警報級の大雨に関する予報技術の高度化、台風の強度推定法の高度化及び強度予報の改善を実現する上で、意義のある取り組みである。

2. 研究の目的

令和元年に発生し、我が国に多くの被害をもたらした台風及び台風に伴う現象に対し、機動的に研究を行い、社会にいち早く情報を発信する。

3. 研究の目標

令和元年度、日本社会に深刻な影響をもたらした台風及び台風に伴う暴風、豪雨、高波発生の特徴及び特異性を明らかにする。

より具体的には：

- ・災害をもたらした令和元年度台風について地上気象観測・気象レーダー（二重偏波レーダー、フェーズドアレイレーダー）等のデータを収集し、解析することにより、強風や大雨の特徴及び特異性を明らかにする。

- ・台風第 15 号における高波及び台風第 19 号における高潮に関してデータを収集し解析する。また波浪モデルや高潮モデルにより数値シミュレーションを実施し、特徴及び特異性を明らかにする。

- ・災害をもたらした令和元年度台風について数値シミュレーションを実施し、台風及び台風に伴う暴風、豪雨についてシミュレーション結果を用いて解析する。また初期条件等を変更した実験を行い、結果について比較することにより、事象の要因を明らかにする。

- ・災害をもたらした令和元年度台風及び台風に伴う暴風、豪雨をもたらした大気・海洋環境場について、大気・海洋再解析データ等を用いた解析を実施し、特徴及び特異性を明らかにする。

4. 研究結果

(1) 成果の概要

台風第 15 号、第 19 号、第 21 号を対象に研究を行い、データの収集、数値シミュレーションによる再現実験、それらの解析の実施を行い以下の成果を得た。

個別課題

【データ解析】

(第 15 号関連)

- ・2019 年台風第 15 号の発達時における大気海洋環境場は、台風経路における海洋表層貯熱量は小さく、台風周辺域は乾燥し、上層場では沈降場であったものの、海面水温は 30 度を超え、鉛直シアは 5m/s と発達に好都合な環境であった。

- ・千葉県房総半島を中心に甚大な風害をもたらした 2019 年台風第 15 号は、上陸直

前の2019年台風第15号と2018年台風第21号を比較するとコンパクトな構造であった。また関東上陸時でも上層において渦構造が見られ、発達した成熟期の台風構造を維持し、眼の壁雲が通過するタイミングで顕著な強風を伴っていたことが、地上観測データ等を用いた解析により明らかとなった。また2018年台風第21号や2019年台風第19号は移動速度が台風第15号の2倍程度であったことから、進行方向右側を中心に強風となっていたのに対し、2019年台風第15号は強い最大風速が台風中心近傍に集中して観測され、中心左側でも強風を伴っていた。

ドップラーレーダーを用いた風速場の解析により、台風第15号の接近に伴い、千葉県南部では高度2km付近で風速50m/s以上の風が最大で2時間にわたって吹き続けていたことがわかった。

・台風第15号は伊豆諸島近海を北上中及び茨城沖に進んだ直後に眼の壁雲交換を経験した。相模湾から東京湾へ台風が移動する時には、眼の壁雲から外側にかけてスパイラル状のレインバンドが形成・発達し、房総半島南部で停滞した。台風が東京湾を進んでいる時の非対称な降水分布は、台風の移動に加え、関東地方の海陸分布が影響していたことが境界層モデルによる数値実験から示唆された。千葉県千葉市上陸後には眼の壁雲が収縮して非降水の眼領域が見られなくなった。

(第17、19号関連)

・2019年台風第17号に伴う延岡竜巻や2019年台風第19号に伴う市原竜巻について調べたところ、両方とも台風進行方向右側のアウターレインバンドを構成する団塊状の対流セルのもとで発生していたことが分かった。どちらも、時計回りに変化する大きな鉛直シアが存在下で、不安定は中程度と、ミニスーパーセルが発生しやすい環境場であったことが明らかになった。さらに市原竜巻については、フェーズドアレイレーダーを用いた解析によって、突風被害を引き起こした鉛直渦の立体的な発生・発達過程が明らかになり、ミニスーパーセル内で生じた渦の上下結合が竜巻の発生に寄与したことが示唆された。

(第19号関連)

・2019年台風第19号による大雨の環境場について客観解析などのデータから調査した。大型で非常に強い台風の北側には温帯低気圧化の過程で見られる前線が形成・強化されており、この前線に多量の下層水蒸気流入のあった地域と大雨域とは概ね対応していたこと、前線の暖域側(南側)の山岳域などでも大雨が発生していたことが判った。

・2019年台風第19号による神奈川県箱根町などに大雨をもたらした降水システムの特徴を気象庁レーダーの観測データ等を使用して調査した。降水システムは概ねエコー頂高度が12km以下で、雷はほぼ観測されず、40dBZ以上の降水域もほとんどなかった。レーダー反射強度の鉛直プロファイルでは、対流性システムの特徴を示す領域と層状性システムの特徴を示す領域が見られたが、0°C高度より上層では顕著な違

いは見られなかった。強い降水は山岳域に加え、関東平野においても下層収束の風下側で起きていた。二重偏波レーダーの解析からは、強い降水域において、雨滴が落下しながら成長していたことを示唆する、下層ほど大きな値となるレーダー反射因子差（Zdr）の鉛直分布が見られた。レーダー反射強度ではブライトバンドは明瞭ではなかったが、偏波パラメータではレーダー反射強度に関係なく融解層が観測された。また、高層観測データ等からは、下層は対流不安定であるものの、平衡高度は6 km程度で5 km以上の層は安定であるなど、深い対流活動には不都合な大気成層であったことが判った。以上の特徴は、今回の大雨が、上層に層状性の特徴を有する浅い対流システムから主にもたらされたことを示唆する。

（第 21 号関連）

・2019年10月25日に関東で発生した大雨について、その発生環境場を調査した。この大雨は発雷を伴わず背の高くない線状の降水システム（QLCS）と発雷を伴い背の高い移動性のQLCSの二つのシステムでもたらされていた。前者は関東に形成された沿岸前線に多量の水蒸気が東から流入することで発生し、後者は沿岸前線を含むメソ前線上で発生した低気圧に伴って発生していた。関東にはオホーツク海高気圧と台風第21号の間にあたる日本の東海上から水蒸気が流入し続けており、上空の寒気流入に伴い移動性QLCSの発生環境場はより不安定化していた。移動性QLCS発生をもたらした低気圧には、停滞性QLCSの発達に伴う下層の非断熱加熱による正渦位アノマリー生成が寄与していたと考えられる。このことは、本事例では沿岸前線上で発達した（停滞性の）QLCSの結果として新たな（移動性の）QLCSの発生環境が整えられたという正のフィードバックの存在が示唆された。

【高波・高潮】

・気象庁第3世代波浪モデルと2次元高潮モデルを用いて2019年台風第15号の高潮及び波浪の再現実験を実施した。波浪モデルにより計算された波高・周期は、いずれも東京湾（内湾）としてはかなり大きい値であり、波浪スペクトル分布からは横浜付近における高波の要因は、主に浦賀水道側からの北東風による風浪と南東からのうねりの合成によるものと考えられる。一方、高潮モデルにより計算された横浜付近の潮位偏差は、最大で1 m弱と特に大きい値ではなかった。しかし基準となる水位が1 m程度高くなったことにより、越波が促進されたと考えられる。

【数値シミュレーション】

（第 15 号関連）

・2019年台風第15号について、水平解像度1kmの非静力学大気波浪海洋結合モデルによる数値シミュレーションを実施した。シミュレーション結果は、千葉県千葉市に上陸する前、台風の中心気圧は上昇しているにも関わらず、最大風速は増加し、最

大風速半径は縮小している様子が再現された。台風が相模湾から東京湾へと移動する状況において、海面からの顕熱・潜熱フラックスが大きく、背景水平風の鉛直シアが小さい環境場であった。また 高度 2 km において接線方向風速が最大となる半径が約 20 km と小さく、相対渦度の鉛直成分で算出した軸対称度も高かったことが、この台風の構造変化及び風速の増大に貢献した。

(第 19 号関連)

・2019 年台風第 19 号の急発達期について、水平解像度 1km の非静力学大気モデル及び非静力学大気波浪海洋結合モデルを用いて数値シミュレーション及び海水温を気候値に変えた感度実験を実施した。急発達中における台風通過域において、海水温は気候値よりも高く、また台風の移動による海水温低下量は小さかったため、台風は急速に中心気圧を深め、またその中心気圧を維持することができた。数値シミュレーション結果から、中心気圧は対流圏上層の上昇流により形成された高温位域と地表面における高温位域が結合することにより、急速に深まったことを確認した。

・2019 年台風第 19 号について、水平解像度 2km の非静力学気象モデルによる数値シミュレーションを実施し、台風と大雨を再現した。また標高 0m 実験と陸を海にする実験を行ったところ、いずれの実験でも前線による大雨は再現されたが、標準実験における降水量の 60~80%が地形の影響によるものだった地域もあった。これらのことから、本事例における大雨の要因として、多量の水蒸気流入に加えて台風北側の前線の形成・強化が重要であり、さらに地形の影響により降水が大幅に強化された地域があったことがわかった。

・20km メッシュ及び 5km メッシュの非静力学地域気候モデル及び 2 段ネスティング手法と気象庁 55 年長期再解析データを用いて、2019 年台風第 19 号による大雨の再現及び近年の気温上昇が大雨に与える影響を評価した。近年の気温上昇について、1980 年以降近年までの 8 月から 10 月までの各月の日本周辺域で領域平均した鉛直 1 次元月平均気温トレンドを気象庁 55 年長期再解析データから評価し、この気温トレンドを大気初期場から除いた初期・側面境界値により気温上昇除去実験を再現実験に加えて実施した。5km メッシュモデルの計算結果において、気温上昇除去実験の結果は全て日本付近の領域平均降水量の減少を示したことから、近年の気温上昇及びそれに伴う水蒸気量増加が台風第 19 号の大雨に影響を及ぼした可能性が高かったことが分かった。一方で降水量の増加量は気温の上昇量とは必ずしも一致していなかった。これは気温上昇除去に伴う大気場における安定度の変化に伴う台風強度の変化が関与していた可能性がある。

(第 21 号関連)

・2019 年台風第 21 号衰退期における房総半島の大雨をもたらした線状降水システムは、台風第 21 号の経路が関連していることが、非静力学大気波浪海洋結合モデルによる数値シミュレーション結果から示された。台風第 21 号の衰退期における強度は

海洋環境場及び台風による海水温低下の影響を大きく受けていたものの、房総半島を含む日本域における総降水量や最大雨量に大きな影響を及ぼさなかった。

【大気海洋環境場】

・2019年の台風活動について、8月までの台風発生緯度の北偏、9、11月の発生数増加、9月の日本上陸台風数の増加について取材を受け、解説を行った。

・気象庁55年長期再解析データを用いて、2019年8-11月の300hPa及び500hPa高度場及び可降水量の特徴を調査し、1979-2019年の期間の月平均データを用いて経験的直交関数(EOF)解析を実施した。この結果、平均的な分布に対して偏西風ジェット的位置が北上していること、2019年9-10月においては日本の南、黒潮海域で可降水量が平年より多く、可降水量全体の変動の約2割を占めるEOF第2モードで説明できることがわかった。

・北太平洋海洋長期再解析データセット及び気象庁現業北太平洋海洋解析データを用いて、2019年8-11月の海水温26℃以上の熱量(海洋貯熱量)の特徴を調査し、1982-2019年11月の期間の旬毎のデータを用いて経験的直交関数(EOF)解析を実施した。この結果2019年9月において、海洋貯熱量分布は日本の太平洋沿岸まで広がっていたこと、2019年8-11月の期間、熱帯中央太平洋にて海洋貯熱量が高い状況が続いていたことが明らかとなった。この高い海洋貯熱量海域は変動全体の約2割を占めるEOF第2モードで説明できることがわかった。

・2019年台風第19号の発生、発達、大雨をもたらしたメカニズムについて、ニュートン誌に掲載された解説を監修した。

(2) 当所計画からの変更点

(1) 当初計画に対する進捗度

概ね計画通りに進捗した。

(2) 当初計画から変更した点(研究手法の変更点など)

特になし。

但し、対象とする台風については、研究計画立上げ時以降に災害をもたらしたものを順次追加した。

(3) 成果の他への研究への波及状況

・本緊急研究における研究活動の成果の一部は、科学研究費補助金特別研究促進費「令和元年台風15号による停電の長期化に伴う影響と風水害に関する総合調査」及び「令和元年台風19号及び低気圧による広域災害に関する総合研究」の成果に反映されている。

・本緊急計画において収集したデータ、実施したシミュレーション結果、解析中の事

例については、各メンバーが参加している経常研究において発展的に研究が進められる予定である。

(4) 他省庁予算及び共同研究等からの反映状況

(他省庁予算等研究課題から本課題への波及効果)

○他省庁予算

特記事項無し。

○共同研究

特記事項無し。

○公募型共同利用による研究

特記事項無し。

○科学研究費補助金

・科学研究費補助金特別研究促進費「令和元年台風 15 号による停電の長期化に伴う影響と風水害に関する総合調査」では、房総半島を中心に強風により甚大な被害をもたらした台風第 15 号について、気象レーダーデータ等現場観測データや非静力学モデルによる数値シミュレーションを実施し、即時的な解析を行っている。収集したデータの解析を含む進行中の研究については引き続き本課題で実施する計画である。

・科学研究費補助金特別研究促進費「令和元年台風 19 号及び低気圧による広域災害に関する総合研究」では、東日本・東北地方を中心に広い範囲で大雨をもたらした台風第 19 号について、気象レーダーデータ等現場観測データや非静力学モデルによる数値シミュレーションを実施し、即時的な解析を行っている。収集したデータの解析を含む進行中の研究については引き続き本課題で実施する計画である。

(5) 今後の課題

強い台風の日本上陸が相次ぎ、深刻な暴風被害が社会問題となっている現状を鑑み、台風の急発達予測の精度向上及び陸上を移動する台風の暴風分布予測プロダクトの開発に対する要望が高まっている。一方でこの開発に投入する人的・物的資源が足りず、人員増の要望を提出してはいるものの、今後の課題となっている。

令和元年度の台風活動に関する地球温暖化の影響について、社会の関心は高く、降水に対する影響の程度の評価に着手した。しかし、本課題においては人員や期間の制約があり、十分には取り組みができなかった。非静力学地域気候モデルによる 2 段ネスティング手法を用いた、台風第 19 号の大雨に関する数値シミュレーション研究においては、台風の再現性をより高めるため、初期値・側面境界値に気象庁領域解析データを使用して実験を行い、大雨に対する日本周辺域の気温上昇の効果を定量的に評価する予定である。

現状の実態把握から次へ繋げる重要な研究課題として、現象の特異性が地球温暖化

に係わる大気海洋環境場の変化の影響をどの程度受けていたのかを定量的に評価することが挙げられる。

5. 自己点検

(1) 到達目標に対する達成度

令和元年度、日本社会に深刻な影響をもたらした台風及び台風に伴う暴風、豪雨、高波等について、地上気象観測・気象レーダー等観測データや大気海洋再解析データを収集し、各種数値モデルによる即時的な数値実験を実施することができた。即時的な解析により、台風それぞれの特徴や特異性を示すことができたという点で、計画は達成したものと考えられる。

(2) 到達目標の設定の妥当性

限られた時間及び研究資源の中で、研究担当者がそれぞれの専門分野において、令和元年度の台風に関する知見を積み上げ、2度の本庁の報道発表資料作成への寄与、2度(3度を予定)の気象研ホームページへの途中成果の掲載、気象学会春季大会及びJpGUでの研究成果発表へのエントリー、また、現在、論文化を目指した研究に複数のグループが着手しており、目標の設定は妥当であったと言える。

(3) 研究の効率性(実施体制、研究手法等)について

2つの科学研究費補助金特別研究促進費による研究との連携を密にし、また台風事例毎に関連する研究者間での議論を中心に据えることで、研究の効率性向上を図った。メーリングリストを活用することで、所内外の情報を効率的に共有することができた。

(4) 成果の施策への活用・学術的意義

令和元年度の特定の台風及び暴風・豪雨・高波等の関連する現象について、実態を把握することはできたものの、その背景となる成因、台風上陸時における風速分布の高度な推定手法、予測誤差を改善するための数値モデルの開発に関しては、本課題の成果を基盤として、今後の経常課題等で取り組むべき課題となる。こうした科学的にも未解明な課題を提示することができたことは本研究の成果であり、その取り組みについては学術的意義のある活動である。さらに社会に研究の即時的成果を発信することは気象研究所中期研究課題に即したものであり、本課題で得た経験は今後の緊急研究実施における前例として活かされることが期待される。

(5) 総合評価

当初想定していた目標は十分に達成された。

6. 参考資料

6.1 研究成果リスト（研究期間が短いため、発表前の成果も記載している）

(1) 査読論文

(2) 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

- 1 嶋田宇大, ドップラーレーダーを用いた台風上陸時の構造変化の解析, 科学研究費補助金特別研究促進費「令和元年台風 15 号による停電の長期化に伴う影響と風水害に関する総合調査」成果報告書, 2.3 (予定) .
- 2 宮本佳明, 筆保弘徳, 和田章義, 数値シミュレーションによる 2019 年台風 15 号の上陸前の強度・構造変化のメカニズム, 科学研究費補助金特別研究促進費「令和元年台風 15 号による停電の長期化に伴う影響と風水害に関する総合調査」成果報告書, 2.8 (予定) .
- 3 和田章義, 近年の台風活動の特徴と災害, 2019 気象年鑑 (予定)
- 4 和田章義, 近年の大気海洋環境場の特徴, 2019 気象年鑑 (予定)
- 5 和田章義, 台風第 15 号接近・上陸時の強風及び構造変化, 2019 気象年鑑 (予定)
- 6 和田章義, 台風第 19 号の急発達, 構造変化と大雨, 2019 気象年鑑 (予定)
- 7 和田章義, 台風第 21 号衰退期における低気圧による房総半島の大雨, 2019 気象年鑑 (予定)
- 8 和田章義, 台風の将来予測に関する研究動向, 2019 気象年鑑 (予定)

(3) 学会等発表

- 1 足立透, 益子渉, フェーズドアレイ気象レーダーで観測された 2019 年 10 月 12 日市原竜巻の発生メカニズムについて, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 神奈川県 (予定)
- 2 荒木健太郎, 柳瀬渉, 北畠尚子, 黒良龍太, 令和元年台風第 19 号による大雨の環境場と地形の影響, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 神奈川県 (予定)
- 3 荒木健太郎, 北畠尚子, 2019 年 10 月 25 日関東大雨のメソスケール環境場, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 神奈川県 (予定)
- 4 益子渉, 2019 年日本に暴風・突風をもたらした台風の特徴, 風工学研究拠点・研究集会「日本版竜巻スケールおよびその評価手法に関する研究」, 2020 年 2 月, 東京都
- 5 益子渉, 2019 年日本に暴風・竜巻等突風をもたらした台風の特徴, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 神奈川県 (予定)
- 6 Yoshiaki Miyamoto, Hironori Fudeyasu, Akiyoshi Wada, Structural and Intensity Changes in simulated Typhoon 1915 before landfall, 日本地球惑星

- 科学連合 2020 年大会, 2020 年 5 月, 千葉県千葉市 (予定)
- 7 梅原章仁, 山内洋, 2019 年 10 月 12 日に市原市に被害をもたらした竜巻の二重偏波特性, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 神奈川県 (予定)
- 8 梅原章仁, 嶋田宇大, 2019 年台風第 19 号の降水過程に関する二重偏波レーダーを用いた解析, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 神奈川県 (予定)
- 9 柳瀬亘, 中緯度プロセスの影響を受けた台風の構造, 第 2 回 高・低気圧ワークショップ, 2019 年 12 月, 和歌山県白浜町
- 10 柳瀬亘, 荒木健太郎, 和田章義, 嶋田宇大, 林昌宏, 令和元年台風第 19 号の降水の非対称化メカニズム, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 神奈川県 (予定)
- 11 和田章義, 岡本幸三, 台風のモデリング, 2019 年度 名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会 小型飛翔体による海象観測 (その 4), 2019 年 11 月, 愛知県名古屋市
- 12 和田章義, 災害をもたらした 2019 年台風とそれに伴う暴風、豪雨に関する数値シミュレーション研究, 平成 31 年度 (令和元年度) 研究集会「台風研究会」, 2019 年 11 月, 愛知県名古屋市
- 13 和田章義, 2019 年台風シーズンにおける大気海洋環境場の特徴, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 神奈川県 (予定)
- 14 Akiyoshi Wada, Warm ocean conditions and increased typhoon intensity in 2019, 日本地球惑星科学連合 2020 年大会, 2020 年 5 月, 千葉県千葉市 (予定)

6.2 受賞・報道・アウトリーチ活動等

(1) 受賞

無し

(2) 報道

1. 清野 直子 読売新聞「台風 19 号の大雨、前線に多量の水蒸気流入傾向」2019 年 12 月 23 日
2. 和田 章義 「台風第 19 号について」NHK スペシャル 2020 年 10 月 17 日

(3) アウトリーチ活動

1. 和田 章義, 「なぜ台風 19 号は大規模化したのか」(協力) ニュートン (ニュートンプレス社) 2020 年 1 月号
2. 和田 章義「2019 年台風を振り返って—気象研究所における事例解析結果の紹介—」2020 年 2 月 15 日 お天気キャスターネットワーク 2020 年定期総会

6.3 その他 (3。(3)「成果の他の研究への波及状況」関連) なし