

研究課題	<p>(T課題) 台風・線状降水帯等の顕著現象の機構解明と監視予測技術の高度化に関する研究</p> <p>副課題1：台風の遷移過程に関する解析・予測技術の研究</p> <p>副課題2：線状降水帯等の顕著現象の機構解明と数値予報を用いた予測技術の研究</p> <p>副課題3：顕著現象のリアルタイム検出・予測技術とその利用に向けた研究開発</p> <p>副課題4：顕著現象を捉える基盤的な観測・解析技術の研究</p>
研究期間	令和6年度から5年間（5年計画第3年度）
担当者	<p>○足立アホロ 台風・災害気象研究部長 (副課題1)</p> <p>[気象観測研究部]</p> <p>[台風・災害気象研究部] ○山口宗彦、柳瀬亘、嶋田宇大、川端康弘、辻野智紀、高橋卓也</p> <p>[気象観測研究部] 岡本幸三</p> <p>(副課題2)</p> <p>[台風・災害気象研究部] ○益子渉、廣川康隆、嶋田宇大、荒木健太郎、栃本英伍、村松貴有、西村明希生(併任)、加藤輝之(併任)、津口裕茂(併任)、北畠尚子(併任)、清野直子(併任)</p> <p>[気象予報研究部] 橋本明弘、林修吾</p> <p>(副課題3)</p> <p>[台風・災害気象研究部] ○足立透、楠研一、北村智文</p> <p>(副課題4)</p> <p>[台風・災害気象研究部] ○山内洋、梅原章仁、鶴沼昂、益子渉、荒木健太郎、足立透、和田章義(併任)、南雲信宏(併任)、酒井貴紘(併任)、佐藤英一(併任)</p> <p>[気象予報研究部] 林修吾</p> <p>[気象観測研究部] 瀬古弘、吉田智(併任)</p> <p>[火山研究部] 石元裕史</p>
目的	<p>台風及び線状降水帯等による集中豪雨・大雪・竜巻等突風等の顕著現象をもたらす気象災害を防止・軽減するため、最先端の観測・解析手法や高精度の数値予報システムを用い、これらの現象の機構解明と高度な監視予測技術の開発を行う。</p> <p>(副課題1)</p> <p>熱帯低圧部、熱帯低気圧(台風)、亜熱帯低気圧、温帯低気圧間の遷移過程について、対流と渦の相互作用や軸対称-非軸対称間の構造変化など、学術的には多くの未解明な課題が残っている。こうした遷移過程に関わる力学・熱力学過程を解明し、進路等台風予測との関連を明らかにする。特に台風に関して、これまで点としての情報であった台風内部域の情報を面的分布として解析・予測する技術を確立する。</p> <p>(副課題2)</p> <p>線状降水帯等による集中豪雨や大雪、竜巻等の災害をもたらす顕著現象について、事例解析・統計解析による実態把握と機構解明を推進し、それに基づく数値予報を用いた予測技術に関する研究を通して顕著現象の半日前から数日先までの予測精度向上に貢献する。</p> <p>(副課題3)</p> <p>主に突発的・局地的に発生し災害をもたらす顕著現象について、社会の多様なニーズに応じた防災・支援情報を発信するための取り組みをすることにより、国民の安心・安全への貢献を目指す。</p> <p>(副課題4)</p> <p>集中豪雨・大雪・発雷・降雹等の顕著現象について、地上リモートセンシング技術を用いた観測・解析に基づく機構解明を行い、これら顕著現象の直前予測精度の向上に貢献する。</p>
目標	<p>(全体目標)</p> <p>台風および線状降水帯等による集中豪雨・大雪・竜巻等突風等の顕著現象がもた</p>

	<p>らす気象災害を防止・軽減するため、最先端の観測・解析手法や高精度の数値予報システムを用い、これらの現象の機構解明と高度な監視予測技術の開発を行う。</p> <p>(副課題ごとの目標)</p> <p>(副課題1)</p> <p>国内外数値予報センターなどで作成されたマルチアンサンブルデータ等、多種の解析データ、観測データ、非静力学気象モデルによる計算結果を組み合わせ、台風等の遷移過程の特徴、力学・熱力学過程及び進路との関連を明らかにするとともに、遷移過程が予測可能性へ与える影響を評価する。台風内部域の面的分布解析・予測技術を確立し、社会に影響を及ぼす台風の速報解析等に活用する。</p> <p>(副課題2)</p> <p>線状降水帯等による集中豪雨や大雪、竜巻等突風の顕著現象について、地上マイクロ波放射計等の新たな観測結果や数値シミュレーションを用いた事例解析や統計解析から、災害をもたらす顕著現象の実態把握・機構解明を進める。さらに、最先端のアンサンブル予報結果や高解像度モデルによる数値予報結果を活用し、予報現業での顕著現象に対する予測技術向上に資する知見・手法を得る。</p> <p>(副課題3)</p> <p>主に突発的・局地的に発生し災害をもたらす顕著現象を対象に、深層学習を用いてそれらのパターンの検出や直前予測をする技術を開発する。さらに開発した技術を顕著現象のリアルタイム情報を必要とする事業者や交通等へ適用するための研究を産学官連携のもとで行う。</p> <p>(副課題4)</p> <p>地上リモートセンシングにより、雲内微物理量（雨粒の粒径、降水粒子種別）の3次元分布を把握する技術を確立し、顕著現象（大雨、大雪、降雹、発雷等）の機構解明を通じてそれらの直前予測指標を開発する。またこれら3次元分布を高頻度取得するためのレーダー観測技術を開発する。</p>
<p>研究の概要</p>	<p>(副課題1)</p> <p>(a) 台風等の遷移過程に関わる力学・熱力学機構の解明 数値予報センターによるマルチアンサンブルデータ、大気海洋再解析データ、様々な衛星データ及び二重偏波気象レーダーを含む各種現場観測データを用いて、台風等の遷移過程の判別手法を開発する。事例解析により台風等の遷移過程における対流と渦の相互作用の知見を深める。台風等遷移過程の気候学的特徴、大気海洋環境場の気候学的特徴との関連を解明するとともに、予測可能性に関する研究を実施する。</p> <p>(b) 台風内部域における雨風分布の実態把握と予測可能性 非静力学大気モデル（水平解像度1km程度の高解像度モデル）、衛星データ、レーダーデータ及び現場観測データを組み合わせ、台風域に特有な雨風分布に関する研究を実施する。台風構造を代表するパラメータに関するデータセットを整備するとともに、面的解析・予測技術を構築し、予測可能性に関する研究を実施する。社会に影響のある台風については、科学的な情報を外部へ適宜発信する。</p> <p>(副課題2)</p> <p>(a) 線状降水帯等の顕著現象の実態把握と機構解明に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・過去に発生した線状降水帯等の顕著現象に対して、非静力学数値モデルでの再現実験や客観解析データ、地上・高層・レーダーや地上マイクロ波放射計などの各種観測データを駆使することにより事例解析を行い、顕著現象に至る階層構造を含めて、実態把握や機構解明に取り組む。数値シミュレーションについては、サブkmの高解像度の実験も行い、感度実験や理想実験を通して機構解明に取り組む。 ・大雨・大雪等の顕著現象を対象として、地上マイクロ波放射計等の新しい観測データや客観解析データを用いた事例解析・統計解析を行うことで、その発生環境場の時空間変動を解明することにより、予報現業における実況監視技術・

診断的予測技術の高度化に資する研究を行う。

- ・特に顕著な現象が発生した時は、速やかに客観解析データ・各種観測データの解析・非静力学数値モデルの実行結果からその発生要因等を調査する。
- (b) 数値予報を活用した顕著現象の予測技術に関する研究
 - ・客観的に抽出した過去30年以上の線状降水帯事例を対象として、再解析データを活用した統計解析を行い、現象の事態把握や発生・発達・維持機構に寄与する環境場の特徴の解明を行う。それをもとに、「線状降水帯発生条件」の検証と改良を行い、半日前から数日先までの線状降水帯発生予測の精度向上に資する指標を作成する。
 - ・線状降水帯等による集中豪雨や大雪等の顕著現象に対して、高解像度のアンサンブル予報結果を利用して予測可能性を支配する要因を解明するとともに、確率論的及び決定論的予測技術の高度化を行い、予報現業における顕著現象予測技術の向上に資する研究を行う。

(副課題3)

(a) 顕著現象に伴うデータセット構築

全国の気象レーダーをはじめ、過去に発生した顕著現象に伴うデータを収集する。解析等を通じて顕著現象の特徴量を考察し、深層学習モデルの教師データとしても使用可能なメタ情報を付与したデータセットを構築する。

(b) 深層学習モデルに基づく顕著現象の検出・予測技術の開発

構築されたデータセットを用いて、顕著現象に伴うパターンやその時系列を扱う深層学習モデルを作成して評価を行う。さらに深層学習モデルをベースとした顕著現象の検出・予測技術の開発を行う。

(c) 顕著現象のリアルタイム検出・予測情報利用に関する研究

防災上の様々な利用形態が想定される顕著現象のリアルタイム情報に対し、必要なプロダクト・精度・リードタイム等のニーズを把握し、レーダーデータや映像・位置情報等をリアルタイム連携させたプロダクトやその配信を行うための要件を産学官連携で検討し、提案をまとめる。

(副課題4)

(a) 雲内微物理量の3次元分布把握技術の確立

- ・強雨、雷、降雪をもたらす降水システムに対して、二重偏波気象レーダーによる遠隔観測と、降水粒子撮像ゾンデ、ディスドロメータ、重量式雨量計等の直接観測との同期観測を実施する。
- ・同期観測の結果を用いて雨滴の粒径分布推定手法、降水粒子判別手法の精度検証、高度化を行う。
- ・同期観測の結果を用いて降雪強度推定手法の開発を行う。

(b) 顕著現象の直前予測指標の開発

- ・レーダーで観測された個々の積乱雲をセルトラッキング技術によって追跡し、(a)を用いて把握される個々の積乱雲の内部構造(雨滴の粒径、降水粒子の分布)の時間変化を捉える。
- ・線状降水帯等の降水強化・持続のメカニズムを、積乱雲の内部構造(特に雨滴の粒径)の時間変化の観点から解明し、降水強化・持続の直前予測指標を開発する。
- ・積乱雲の盛衰・顕著現象(降雹、発雷等)の発生メカニズムを、積乱雲の内部構造(特に降水粒子の分布)の時間変化の観点から解明し、盛衰・顕著現象(降雹、発雷等)の直前予測指標を開発する。

(c) 高い時間分解能・鉛直分解能を実現する観測手法の開発

- ・顕著現象の直前予測指標の算出に必要な、高い時間・鉛直分解能を両立させながら二重偏波データを取得するためのレーダーの観測手法を開発する。まず、広い探知範囲とドップラー速度測定精度の両立ができないために、現業レーダーにおいて「強度観測」「速度観測」に分かれている観測シーケンスを統合することにより観測時間の半減を目指す。さらに、アンテナの仰角と方位角を同時に変化させるスパイラルスキャンによって鉛直分解能を向上させる。
- ・積乱雲の発生、継続に必要な下層水蒸気の収束を捉えるために、レーダー位相

	<p>から水蒸気変化を捉える解析手法の開発を進めるとともに、レーダーによる晴天大気のドップラー速度観測技術の開発を行う。</p>
<p>研究の有効性</p>	<p>(気象業務への貢献)</p> <p>(副課題 1)</p> <p>台風遷移過程に関する新たな学術的知見は「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」目標3の台風の進路予報精度向上及び予報改善に必須となる数値モデルの改善に資する知見を与え得る。また新しい詳細台風域雨風分布の監視・予測技術の確立は、令和6年度開催の台風情報の高度化に関する検討会等に基づく台風防災情報の在り方の議論及び将来の高度化に貢献し得る。</p> <p>(副課題 2)</p> <p>顕著現象の機構解明や数値予報を用いた顕著現象予測技術の研究は、顕著現象の形成要因や環境条件からその発生可能性を予測する”診断的予測”技術の開発を通じて、気象庁が提供する数日先までの防災気象情報の改善に資する。</p> <p>また、高解像度アンサンブル予報結果を利用した顕著現象の予測可能性を支配する要因の解明と確率論的及び決定論的予測技術の高度化の研究は、予報現業における線状降水帯の半日前予測などの顕著現象予測技術の向上に資する。</p> <p>(副課題 3)</p> <p>顕著現象のリアルタイム検出・予測手法の開発により、顕著現象の様相が精度よく迅速に把握できるため、観測・予測技術の改善に貢献することが可能である。さらに民間事業者はじめ、様々なユーザーが活用し易い情報を産学官連携の下で開発することは、社会の多様なニーズに応じた気象情報・データの利用促進につながる。</p> <p>(副課題 4)</p> <p>雲内微物理量の3次元分布把握技術の確立は、冬季の解析雨量の精度向上に資する。</p> <p>顕著現象の直前予測指標の開発は、線状降水帯の検出情報のリードタイム向上、雷発生確度の高精度化(空振り率の低減)、降雹の直前予測情報の開発に資する。</p> <p>高い時間分解能・鉛直分解能を実現する観測手法は、気象庁だけでなく国内のCバンド現業気象レーダーに適用可能であり、国内の高頻度・3次元レーダー観測網の実現に資する。</p> <p>(学術的貢献、社会的貢献など)</p> <p>(副課題 1)</p> <p>2030年に向けた台風進路予測誤差軽減目標を達成する上で、熱帯低圧部、熱帯低気圧(台風)、亜熱帯低気圧、温帯低気圧間に見られる遷移過程の力学・熱力学過程を解明することは、学術的に重要な課題である。また台風域内の構造を面的に解析・予測する技術は、遷移過程の力学・熱力学過程を理解する上で必要であるだけでなく、社会的においても、特に暴風予測の面で災害の軽減に貢献することが期待される。こうした活動を国内外の大学・研究機関等と連携することにより実施することは、台風に関する多くの学術的・社会的課題を克服する上で有益である。学術的知見はまた、世界気象機関(WMO)、台風委員会(ESCAP)等の国際活動及び地域特別気象中枢(RSMC)業務に貢献する。</p> <p>(副課題 2)</p> <p>線状降水帯等の顕著現象の内部構造や発生機構については未だ不明な点が多く、その解明は学術的な意義が大きい。また、数値予報を活用した顕著現象の予測技術に関する研究については、気象予測精度の向上とともに、防災、風工学など様々な分野に貢献する。</p> <p>(副課題 3)</p> <p>顕著現象を検出・予測する技術を開発する過程で、未解明な面が多い顕著現象の詳細なメカニズムや発生・発達プロセス等、気象分野における学術的知見の蓄</p>

	<p>積が可能となる。またレーダーデータとソーシャルデータ等から得られる位置情報や映像をリアルタイムで連携させる技術が将来的に実証されれば、これらをさらに広く防災減災分野に応用することにつながる。</p> <p>(副課題4)</p> <p>雷雲の内部構造を把握することで、これまで提唱されてきた雷の発生メカニズムを更新することが可能となり、当該研究分野の発展に大きく寄与する。積乱雲の時間発展を加味した降水強化の過程を明らかにすることは、線状降水帯のような限られた地域で大雨をもたらす現象の発生・発達メカニズムの解明に大きく貢献する。また開発する晴天大気のドップラー速度観測技術は、日本が世界に先駆けて導入した固体素子送信機において初めて実装可能な観測技術であり、実現できれば気象レーダーをウィンドプロファイラとして活用できるようになる。</p>
<p>令和8年度 実施計画</p>	<p>(副課題1)</p> <p>(a) 台風等の遷移過程に関わる力学・熱力学機構の解明</p> <p>数値予報センターによるマルチアンサンブルデータ、大気海洋再解析データ、様々な衛星データ及び二重偏波気象レーダーを含む各種現場観測データを引き続き整備する。マルチアンサンブルデータ等を用いた台風発生・進路の統計的特徴および予測検証に関する研究を行う。上陸前後の陸面との相互作用下での台風内部コアの構造の時間発展を記述する理論モデルを作成し、ドップラーレーダーを含む地上の観測データおよび数値シミュレーションの結果と比較して評価・改善を行う。日本周辺海域の台風発達機構における力学・熱力学過程の詳細に関する研究を二重偏波ドップラーレーダー、衛星等の各種現場観測データと ASUCA 等を用いた数値実験データを組み合わせることにより実施する。熱帯低気圧遷移過程における力学・熱力学機構に関しては、集中観測課題とも連携して実施する。</p> <p>(b) 台風の面的分布推定手法を開発し、台風構造を表現する各種パラメータを含むデータセット(初期版)を作成する。データセットの精度検証や推定手法の改良を行う。またこのデータセット等を用いて面的風分布予測手法の開発に着手する。海洋上の観測から推定した風速の面的分布を、上陸前後の面的分布へとつなぐ手法について検討する。これまで開発してきたドップラーレーダーの風リトリーバルと衛星等の別の風プロダクトと組み合わせることで、台風内部の風分布推定可能な範囲の拡大を試みる。</p> <p>集中観測課題と連携し、社会に影響のある台風について収集したデータや数値モデル結果に基づいた即時解析を実施するとともに、科学的な情報を外部へ適宜発信する。</p> <p>(副課題2)</p> <p>(a) 線状降水帯等の顕著現象の実態把握と機構解明に関する研究</p> <p>近年発生した線状降水帯等の顕著現象に対して(令和5年9月8日に房総半島から福島県沿岸にかけて発生した大雨事例、令和6年7月の山形県、9月の能登半島で発生した線状降水帯事例、令和7年8月の九州や9月の静岡県の線状降水帯事例など)、客観解析データや地上・高層・レーダー・地上マイクロ波放射計などの各種観測データ、非静力学数値モデルによる再現実験や地形・海面水温等の感度実験を駆使することにより事例解析を行い、現象の内部構造や発生・維持機構を明らかにするとともに、過去に発生した顕著事例との比較も行う。</p> <p>地上マイクロ波放射計等の観測データを用いた大気環境場・雲物理特性の解析技術を高度化し、大雨・大雪などの顕著現象事例に適用してそれらの発生要因となる大気環境場と雲・降水過程の関係の解析を進め、現象の発生から終焉に至るまでの大気・雲・降水過程の特徴についての理解を深める。</p> <p>特に顕著な現象が発生した時は、速やかに客観解析データ・各種観測データの解析・非静力学数値モデルの実行結果からその発生要因等を調査する。</p> <p>(b) 数値予報を活用した顕著現象の予測技術に関する研究</p> <p>過去30年以上の線状降水帯を対象とした長期再解析データや気象庁メソ解析値による統計解析から、発生・発達・維持機構に寄与する環境場の特徴を把握し、各特徴を地域や季節、発生メカニズム、総観場、降水強度、水平スケール別に系統的に整理し現象の理解につなげる。また、気象庁メソ解析および局地解析等の客観解析を用いて線状降水帯等の顕著現象の発生環境場に有効な指標をE-CAPE等を含め調査する。</p>

線状降水帯等による集中豪雨や大雪等の顕著現象に対して、高解像度アンサンブル予報を行った結果を利用して予測可能性を支配する要因をまとめる。この結果を踏まえ、確率論的及び決定論的予測技術の高度化を行い、予報現業における顕著現象予測技術の向上に資する研究を行う。

(副課題 3)

(a) 顕著現象に伴うデータセット構築

- ・ 収集データの品質管理、ノイズ除去、データ形式の統一など、データの前処理を強化し、深層学習モデルへの入力データとしての信頼性を向上させる。さらに顕著現象の発生メカニズムや予測精度向上に繋がる新たな特徴量を探索・抽出する。前年度で用いた特徴量に加え、気象学的知見や先行研究に基づき、より効果的な特徴量やそのデータセットへの反映を検討する。
- ・ 顕著現象の高精度かつ高時空間分解能の観測データを収集するため、二重偏波フェーズドアレイ気象レーダーの製作を開始する。また、当該レーダーの設置に向けて、気象研究所構内にあるレーダー鉄塔の改修工事に係る設計を行う。
- ・ 深層学習を用いた竜巻渦の探知・追跡技術の高度化のため、AI 解析機能を搭載した可搬型ドップラーレーダーを現象の発生頻度の高い地域に設置し、データ収集を開始する。

(b) 深層学習モデルに基づく顕著現象の検出・予測技術の開発

- ・ これまで開発された深層学習モデルを、本研究課題で構築したデータセットを用いて評価する。また、様々なハイパーパラメータ設定や学習アルゴリズムを比較検討し、最適なモデル構成を探索する

(c) 顕著現象のリアルタイム検出・予測情報利用に関する研究

- ・ 情報提供方法やフォーマットの最適化、利用者ニーズに合わせたカスタマイズなど、情報利活用の促進に向けた検討を行う。開発した技術の社会実装に向けたロードマップを作成する。関係機関や想定ユーザーとの連携を強化し、フィードバックを収集することで、情報配信の将来改善に繋げるための検討を行う。

(副課題 4)

(a) 雲内微物理量の 3 次元分布把握技術の開発

強雨、雷、降雪をもたらす降水システムに対して、研究協力機関と連携し、降水粒子撮像ゾンデ、ディストロメータ、重量式雨量計等の直接観測を実施する。

直接観測の結果との比較により、二重偏波レーダーによる粒径分布推定、降水粒子判別手法の精度を検証する。

(b) 顕著現象の直前予測指標の開発

二重偏波レーダーデータから、線状降水帯事例に対して、降水強化が継続する場合の雨粒の粒径分布の特徴を抽出する。また落雷時に降水種別の特徴を抽出する。これらの特徴について、強雨が継続しない事例、落雷の発生しない事例との判別に利用できるか確認を行う。(c) 高い時間分解能・鉛直分解能等を実現する新たな観測手法の開発

固体素子二重偏波レーダーを用いて、スパイラルスキャンによる、高頻度・高解像度観測とその能力検証のための鉛直断面観測を実施する。

各季節において晴天大気観測を行い、風の鉛直プロファイルを観測可能な高度について、日変化、季節依存性を明らかにする。