国土交通省
気象庁
Japan Meteorological Agency

Weather service 150th since1875
歩み続けて150年
防ぐ災害・守る未来
～2025年は気象業務開始150周年～

令和6年度 気象研究所 研究成果発表会

頻発・激甚化する自然災害と向き合う、研究の最前線

発表要旨集

令和6年 12月17日(火) 13時30分～17時30分
開催会場：気象庁 本庁 講堂 + オンライン

気象庁 気象研究所
Meteorological Research Institute

協力：(一財)気象業務支援センター
後援：地球ウォッチャーズ 気象友の会

プ ロ グ ラ ム

13:30~ 開　会　・　所長挨拶

13:40~

令和6年 能登半島地震による 津波の実態解明に向けて

令和６年能登半島地震を対象とした研究について、富山湾における津波に関する研究成果を中心に紹介します。

地震津波研究部
南　雅晃

司会：文化放送 記者・気象予報士
伊藤　佳子

14:10~

アジアモンスーンと 台風の季節予報に関する 研究の進展

インド洋－太平洋の気候変動とアジアモンスーン、北西太平洋の台風予報に関する最新研究を今夏の例も交えて紹介します。

全球大気海洋研究部
高谷　祐平

14:40~

進化する突風対策： ＡＩが描く鉄道安全と 防災技術の新時代

ＡＩの技術が突風対策にどのように寄与するかについて展望し、突風防災の新時代への展望を描きます。

台風・気象災害研究部
楠　研一

15:10~ 休　憩

15:25~

令和6年9月に能登半島に 記録的な大雨をもたらした 線状降水帯の発生要因

大雨をもたらした大量の水蒸気流入に対する日本海の高い海面水温の影響を中心に、最新の研究結果を紹介します。

台風・気象災害研究部
末木　健太

15:55~

線状降水帯の機構解明の ための洋上ドローンと新しい 水蒸気観測の取り組み

線状降水帯の機構解明を目指し、東シナ海でドローン観測を実施しました。その成果やその他の新しい水蒸気観測について紹介します。

気象観測研究部
瀬古　弘

16:25~

令和6年台風第10号 ～遅い移動速度と 広域にわたる大雨～

日本の広域に自然災害をもたらした令和６年台風第10号について、遅い移動と大雨に関する大気環境場の即時解析結果を紹介します。

台風・気象災害研究部
和田　章義

16:55~

台風進路・強度予測の 高精度化を目指した 最近の研究紹介

ＡＩ気象モデルを用いた台風予測や機械学習による強度予測の改良について、国際動向も踏まえて紹介します。

応用気象研究部
山口　宗彦

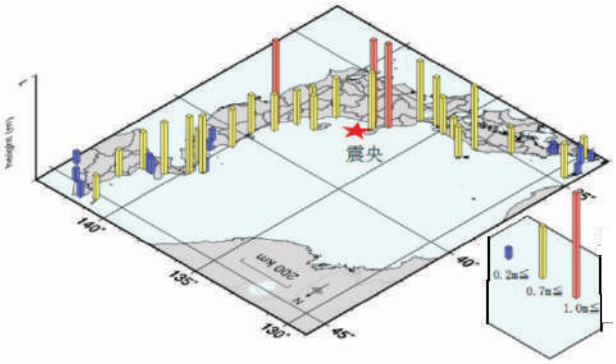
17:25~ 閉　会

令和6年能登半島地震による津波の実態解明に向けて

○南雅晃（地震津波研究部）

1．はじめに

令和6年1月1日に発生した能登半島の地震（マグニチュード7.6）では、能登地方を中心に甚大な被害が発生し、この地震によって引き起こされた津波は、北海道から長崎県までの日本海各地で観測された（第1図）。気象研究所では、将来起こる地震・津波の被害軽減のために、今回の地震・津波の実態解明に向けて様々な取り組みを行っている。今回はその中でも、これらの地震に伴って発生した「津波」の実態解明に向けた取り組みを紹介する。



第1図：各地で観測された津波（検潮所・巨大津波計）
気象庁災害時自然現象報告書より引用

2．令和6年能登半島地震による津波

2．1．現地調査による津波の高さの測定

津波の高さを測定するには、通常検潮所等の観測施設の値が用いられるが、検潮所の配置間隔は20～100 km程度と粗いため、津波の状況を詳しく把握するためには、検潮所がない港湾・自然海岸等での津波高も収集して、観測密度を高める必要がある。このため、顕著な津波が発生した際には、多数の機関により津波の現地調査が実施されてきた。気象研究所ではこれまで、1993年北海道南西沖地震、2003年十勝沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震等において、津波の現地調査を実施している。

令和6年能登半島地震の発生後、気象研究所では気象庁機動調査班をはじめ各研究機関とも連携し、津波現地調査を実施した。気象研究所では富山湾を主な対象とし、2024年1月中旬及び3月中旬に調査を実施している。一般的な現地調査では、建物に付着した泥水等の痕跡や津波目撃証言の聞き取りを根拠に、津波高の測定対象を決める。それに加え、本調査では、気象研究所では初の試みとして、ライブカメラの映像を目撃証言の代替とし活用した調査を行った。映像から津波浸水位置を割り出すことで、目撃証言のない自然海岸等の津波高も得ることができ、津波高の観測密度を高めることが出来た。現地調査の測定値は、気象庁機動調査班の調査結果とともに気象庁の刊行物[(1)]等で公表している。

2．2．ライブカメラ映像からの津波データの抽出

津波の襲来に伴う水位変化の時系列（津波時系列）データは、津波の特徴を解明するうえで重要な役割を担う。津波時系列データで、津波の第一波の水位が上下どちらに変化したかがわかれば、津波波源で海面の隆起・沈降どちらが起きたかを推測でき、その周期がわかれば波源域のおおよその広がりを推測できる。能登半島地震では検潮所のデータに加え、複数の地点で津波の様子がライブカメラに捉えられており、これらの映像から津波時系列データが得られれば、津波の実態解明に近づけるものと期待できる。

南・他 (2024)[(2)]では、富山県高岡市の雨晴海岸及び富山市岩瀬浜のライブカメラの映像を解析し、津波時系列データを抽出した。第2図は雨晴海岸のライブカメラ映像とその際の津波高さの例である。得られた時系列データを雨晴海岸から

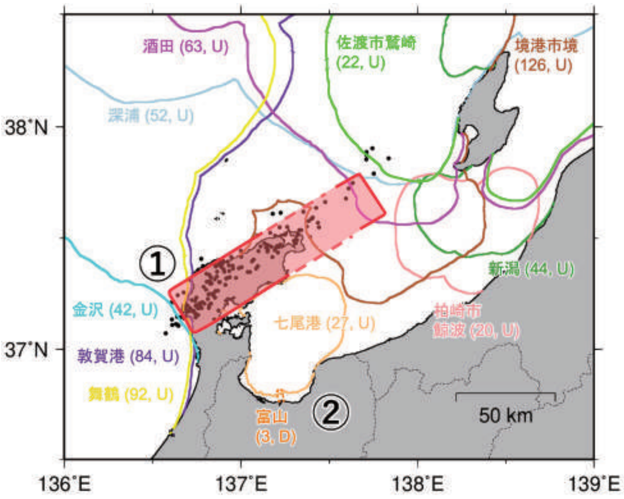
第2図：高岡市雨晴海岸のライブカメラ映像と読み取った津波高さ　（映像提供：高岡ケーブルネットワーク）

南東側3 kmに位置する伏木検潮所での観測値と比較すると、時間変化の傾向は似ているものの、雨晴海岸の最大波高のほうが高く、初動到達時刻にも違いがみられた。なお、同様の方法で、震源に近い石川県輪島港のライブカメラ映像からも津波時系列データが抽出されている[3]。このように検潮所とは独立に得られた津波時系列データは、震源近傍での津波挙動の解明[3]や、富山湾内の波源の推定[4]に極めて重要な情報として活用されている。

2. 3. 津波波源域の推定

地震による断層運動などに伴って海底が隆起・沈降すると、その上の海水も上下に変動して海面も変形する。海面に生じた変形は、重力を復元力として四方八方へ広がっていく。これが津波である。海底や海面の変動域が広いほど、最初に蓄えられる津波のエネルギーが大きく、津波としての規模も大きい。逆にいえば、発生した津波の規模を把握するうえで、海面の初期変動域すなわち津波波源域の広がりを調べることは有効な手段の一つである。

気象研究所では、検潮所で観測された津波の到着時刻から逆算して、津波の波源域の広がりを推定した[4]。津波が地震と同時に発生したと仮定すると、海底地形から求まる津波の伝わる速さと津波の到達時刻を使って、検潮所からどのくらい離れた場所に津波波源があるかを見積もることができる。この原理に基づく推定を行った結果、津波波源域は能登半島東部まで延び、長さ約100 kmにわたることがわかった(第3図①の赤色領域)。また、(2.2節)で得られた、津波時系列データと、富山湾内の検潮所で早い津波の到着時刻が観測されており、これは、富山湾内に地震以外の津波波源が存在する可能性を示唆するものである(第3図②)。



第3図:能登半島地震の津波波源域の推定結果

3. まとめ

気象研究所では、令和6年能登半島地震に伴う津波の実態解明を目指して、津波現地調査、ライブカメラ映像からの津波時系列データの抽出、津波波源域の推定に取り組んだ。その結果、実態解明に向けて着実に研究が進展するとともに、ライブカメラ映像を活用した現地調査、津波時系列データ抽出など、今後の津波観測の発展につながりうる成果も得られた。ライブカメラ映像を活用したデータは、これまでより空間密度が高くかつ時間変化が分かるデータであり、津波研究を進めるうえで重要な技術であることも分かってきた。

気象研究所では、令和6年能登半島地震の実態解明に向けた研究を継続するとともに、将来起こる地震・津波の被害軽減に向けて、引き続き研究を進めていく。

謝辞

本研究の一部はJSPS科研費JP23K17482の助成を受けたものです。本研究で用いたライブカメラ映像は、雨晴海岸の映像は高岡ケーブルネットワークから、岩瀬浜の映像はケーブルテレビ富山から提供いただき、検潮データは国土交通省、気象庁、国土地理院のものを用いた。各位に感謝する。

参考文献

(1) 気象庁, 2024: 災害時地震・津波報告　令和6年能登半島地震. 気象庁災害時自然現象報告書, 2024年第1号, 188p.

(2) 南雅晃, 対馬弘晃, 林　豊, 2024: ライブカメラ映像から抽出した2024年能登半島地震の津波時系列データ. 土木学会論文集, 80, 17, doi:10.2208/jscejj.24-17075.

(3) 青木元, 南雅晃, 対馬弘晃, 中田健嗣, 桑山辰夫, 山田安之, 大嶋健嗣, 2024: カメラ映像を用いた令和 6 年能登半島地震の輪島港における津波波形の推定. 地震第2輯, 77, 23-29, doi:10.4294/zisin.2024-3.

(4) 気象研究所, 2024:「令和6年能登半島地震」1月1日の地震に伴う津波に関する調査・研究の取組, https://www.mri-jma.go.jp/Topics/R06/060202/060202_noto.html

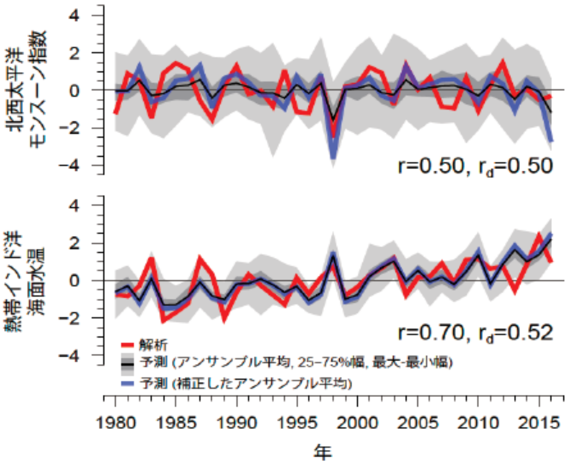
(5) 対馬弘晃, 南雅晃, 林　豊, 2024: 沿岸津波観測記録から推定した2024年1月1日の能登半島の地震における津波の波源域. 日本地球惑星科学連合2024年大会, HDS11-12.

アジアモンスーンと台風の季節予報に関する研究の進展

○高谷祐平（全球大気海洋研究部）

1. はじめに

夏季のアジアモンスーン（夏季アジアモンスーン）は、北西太平洋の台風や梅雨など日本にしばしば甚大な災害を起こす現象に関係しており、リスクの軽減にはこのような季節変動を事前に予測することが重要である。こうした予測を正確に行うには数値モデルの性能の向上が欠かせないが、大気と海洋を一緒に予測する大気海洋結合モデルの導入と改良により、地球全体の大気と海洋が織りなす一連の変動を従来よりもよく再現出来るようになった。それにより、近年では、全球の大気と海洋の変動が夏季のアジアモンスーンに影響するメカニズムや、それがどの程度予測出来るのか（予測可能性）といった理解が大幅に進んだ。本発表では、インド洋ー太平洋の気候変動とアジアモンスーン、北西太平洋の台風予報に関する最新研究を今夏の例も交えて紹介する。



第1図：2年目の夏(6-8月，リードタイム13か月)の北西太平洋モンスーン指数と熱帯インド洋海面水温の予測．(r: 相関係数，rd: 線形トレンド除去後の相関係数)

2. 季節予報の仕組みと予測技術の進展

現在の季節予測では大気や海洋の物理方程式の時間発展をスーパーコンピューターで計算し、その結果に基づいて予測を行う。気候システムには予測期間が長くなればなるほど誤差が大きくなってしまうというカオス的性質がある。そのため、予測の不確実性を表現するために多数の数値シミュレーションを行うアンサンブル予測という手法が用いられる。アジアモンスーンを含む地球規模の変動は大気・海洋・陸面といった気候システムの構成要素間での複雑な相互作用から生じており、数値シミュレーションで精度良く再現するのは容易ではない。一方、このような困難な課題に対し、気象庁と気象研究所では季節予測に用いる大気海洋結合モデルや、海洋の状態を観測データとモデルを用いて解析するデータ同化解析システムを連携して開発し、着実に精度向上してきた。

3. エルニーニョ・南方振動とインド洋の変動と夏季アジアモンスーンと台風

3. 1. 変動メカニズム

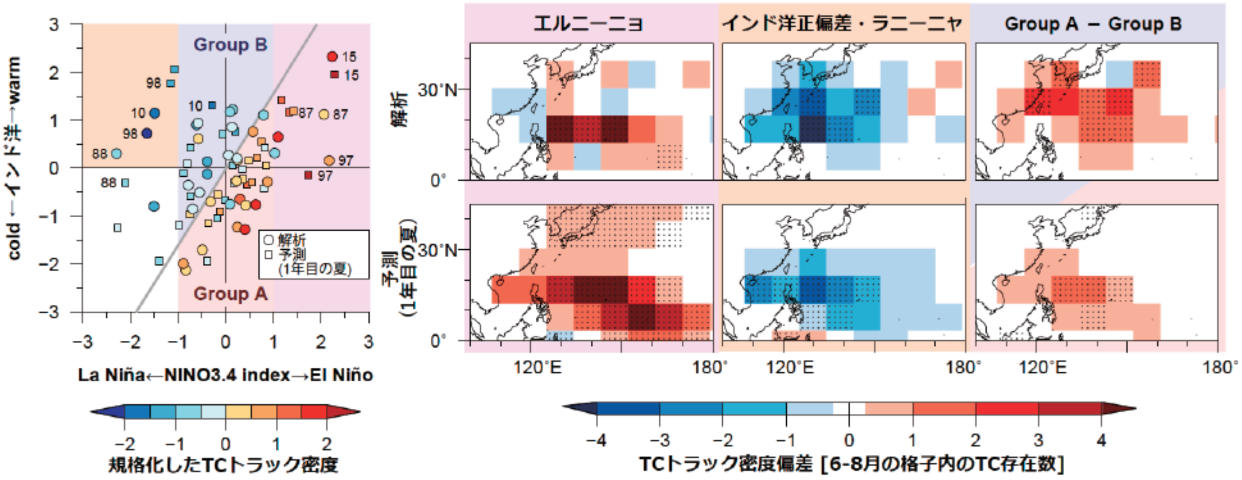
エルニーニョ・南方振動(ENSO)は熱帯太平洋の海洋と大気が共に変動する最も顕著な年々変動であり、地球全体の天候に大きな影響がある。近年の研究により、エルニーニョ現象に伴ってウォーカー循環と呼ばれる熱帯の循環が弱まることで、インド洋の海面水温が上昇し、さらに、それがエルニーニョ現象衰退後の夏（6-8月）まで持続することによって、アジアモンスーンに影響することがわかってきた。エルニーニョ現象が引き起こすこの大気海洋結合変動は、インド洋-西太平洋キャパシター(Indo-Pacific Ocean Capacitor, IPOC)モードと呼ばれる。さらに、このIPOCモードは北西太平洋から東アジアの大気の循環に影響して、エルニーニョ現象の翌夏に梅雨を強めたり、台風の発生数を減らすことが知られている。

3. 2. 夏季アジアモンスーンの1年先の予測

大気海洋結合モデル、および、海洋の解析システムの精度向上によって、エルニーニョは半年以上前から比較的予測出来るようになった。エルニーニョが半年先まで予測出来るならば、前述したIPOCモードを介したENSOの遅延影響により、夏季アジアモンスーン及び北西太平洋の台風を半年あるいはそれ以上前から予測が可能になると期待される。

そこで、本研究では、気象庁/気象研究所で開発された大気海洋結合季節予報モデルを用いて、1年先の夏(6-8月、1980-2016年)を予測対象とする52個のシミュレーションからなる大規模なアンサンブル予測の実験を実施した。その結果、旧来の季節予測をはるかに超える1年先の夏季アジアモンスーンの予測に初めて成功した（第1図）。

予測成功の要因は、ENSOの発達だけでなくその後の衰退まである程度予測でき、それによるIPOCモードの駆動やその



第2図：(左図)1年目の夏(6-8 月，リードタイム 1 か月)の北西太平洋 TC 活動度(トラック密度)と太平洋赤道域(NINO3.4)および熱帯インド洋 SST との関係．点の色は規格化した TC トラック密度。
(右図) TC 活動度偏差の観測(上段)と予測(下段)のコンポジット図。左から NINO3.4SST 高温年、熱帯インド洋 SST 正偏差かつ NINO3.4 SST 低温年、Group A と Group B 年の差（分類は左図の背景色の条件による)。

各地の天候への影響を現実的に再現できることである。さらに、IPOCモードとENSOが北西太平洋の台風活動に複合的に影響することを示した(第2図)。それによって，モデルは1年目の夏の北西太平洋域の台風活動度(存在数)を良く予測でき(相関係数: 0.67)、2年目の夏についてもある程度予測できることがわかった(相関係数: 0.39)。

3．3．2024年の夏の予測

(1)記録的な高温

2024年の夏は世界各地で高い気温となった。特に日本では気象庁が1898年に統計を取り始めてから2023年と並び1位タイの高温となった。これには地球全体の気温の上昇に加え、昨年のエルニーニョ現象で駆動されたIPOCモードによる地域的な影響があったと考えられる。世界の主要な予測センターの季節予測の大多数のモデルはこれをよく予測していた。

(2)夏前半までの少なかった台風

2024年の台風第1号は5月26日に発生し、1951年以降7番目に遅い台風第1号の発生となった。その後も夏前半の発生数は少ないまま推移し、平年(11.1個)より少ない8個となった。この状況はIPOCモードの影響と考えられる。世界の主要な予測センターの季節予測も太平洋高気圧が南側で強く、西に張り出す傾向を示しており、台風の発生数が少ないことをある程度予測していたと考えられる。

4．おわりに

本研究はエルニーニョ現象に駆動されたインド洋のIPOCモードの影響によって、翌夏のアジアモンスーンの予測が可能になることを示した。このようにIPOCモードをよく予測することは日本の季節予測にとって重要である。

季節予報の予測精度は着実に向上しており、社会における更なる利活用が期待されるところである。例えば、農業研究機構・国立環境研究所・気象庁・気象研究所は農作物の収量予測の共同研究を進めているところである。また、IPOCモードに関連するインド洋の海面水温によりデング熱の感染を予測出来ることが発見されるなど、健康分野など様々な分野における利活用への期待も高まっている。気象庁、気象研究所では、「当たる予報」から「使える予報」、「使われる予報」に向けて、社会経済活動における生産性向上に役立つ季節予報を目指し、更なる季節予報の研究開発を進めていく。

謝辞

本研究は、文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム」（JPMXD0717935561、JPMXD0717935457）、JSPS 科学研究費助成事業 JP17K14395、JP17K01223、JP18H01278、JP18H01281、JP19H05703、JP23H00351、JP24H02228 の助成を受けています。

参考文献

(1)気象研究所・東京大学先端科学技術研究センター・東京大学大気海洋研究所・(一財)気象業務支援センター「1年先の夏季アジアモンスーンの予測に成功」,
https://www.mri-jma.go.jp/Topics/R03/030407/press_release030407.pdf

進化する突風対策:AIが描く鉄道安全と防災技術の新時代

○楠研一(台風・災害気象研究部)

1. はじめに:研究の背景と目的

気象災害、特に竜巻のような局地的かつ急速に発達する突風は、予測が極めて困難であり、迅速な検知とリアルタイムの情報提供が不可欠である。竜巻は積乱雲よりも空間スケールが小さく、短時間で急速に発達するため、発生場所と時間の正確な予測は困難である。気象研究所とJR東日本は、ドップラーレーダーと深層学習を用いて、60km圏内の積乱雲内で発生する突風を高頻度でスキャンし、自動的に検出する手法を共同開発した。本発表では、この深層学習技術と列車運行制御への適用例を示し、さらに他の社会インフラ分野における気象災害リスクの軽減への寄与について論じる。

2. ドップラーレーダーを使用した竜巻渦パターン検出のための深層学習技術[1][2]

2. 1. 竜巻渦の検出原理と深層学習の適用

ドップラーレーダーで観測される竜巻渦は、隣接する二つの特徴的な速度領域として検出される。一方がレーダーから遠ざかる空気の流れ、他方が近づく空気の流れを表し、これらの速度の最大値と最小値のペアから、直径約1kmの竜巻渦を検出することができる。深層学習(教師あり学習)では、モデルの特徴を学習するために、大量の「例と答え」データ、具体的には正例(正解)と負例(不正解)を訓練データとして必要とする。本研究での深層学習アプローチでは、竜巻渦に対応するドップラー速度パターンと竜巻渦に対応しないドップラー速度パターンを、それぞれ正例と負例として使用する。

2. 2. 処理の流れと適用例

ドップラーレーダーは15〜30秒ごとに観測データを取得し、半径60km以内で竜巻渦に対応するドップラー速度の最大・最小値を検出する。深層学習適用前に、竜巻様の渦状構造である理想的な「ランキン渦」(中心付近で速度が速く、外側ほど遅い)を示すドップラー速度パターンを数学的アルゴリズムでスクリーニングする。自然界の竜巻は理想的な「ランキン渦」モデルと完全に一致しないため、基準は緩和されている。スクリーニング後、気象研究所とJR東日本が共同開発し特許取得済みの深層学習モデル(特許第6756889号)が、これらのパターンを渦/非渦に分類する[3]。数学的アルゴリズムは、各候補の中心位置、直径、最大接線風速も計算する。列車運行制御への応用は以下の手順で実施される:[4][5]

[1] ドップラーレーダー観測:半径60km以内の下層大気を30秒間隔で観測

[2] 竜巻渦検出:深層学習を用いた竜巻渦の検出

[3] 最大風速の算出と軌跡予測:30秒間隔での追跡と最大風速計算

[4] 列車運行制御:風の警報に基づく適切な停止指示

3. BRIDGE(研究開発とSociety 5.0との橋渡しプログラム)の概要

気象研究所は2023年、竜巻渦検出技術の社会実装を加速するため、BRIDGEプロジェクト「局地的・突発的な荒天対策のためのスタートアップとの連携:AIを用いたリアルタイム防災フィールド構築」を開始した[6]。このプロジェクトの目的は、気象レーダーによる局地的・突発的な荒天に対する顕著現象の観測データを基に、深層学習を用いた直前予測手法を開発し、リアルタイムで社会の防災・減災に貢献することである。さらに、スタートアップ企業との連携を通じて、迅速かつ柔軟な開発を実現し、多様な市場に対応した社会的な課題解決を目指すものである。このプロジェクトでは、気象レーダーの観測データと深層学習を用いた直前予測手法を開発し、スタートアップ企業との連携を通じて社会の防災・減災に貢献することを目指す。具体的には、深層学習による検出情報とGPS等の位置情報を統合し、スマートフォン等を通じた防災情報の即時配信を実現する(図2)。革新的なアイデアの創出と、スタートアップ及び大企業との効果的な連携により、迅速な開発を進めている。

4. まとめ – 今後の発展と期待される効果

本章では、BRIDGEプロジェクトの一環として開発された高度な深層学習モデルによる竜巻渦検知、及びリアルタイム防災情報配信システムの期待される効果と今後の発展について述べる。本プロジェクトの主要な成果は、レーダーデータから竜巻渦を従来手法より高精度に検出する深層学習モデルの開発、及びその検出技術をGPS位置データやタブレット等のデバイスと統合したシステムの実装である。

4. 1. 応用分野の拡大:鉄道の安全から国内の重要イ

ンフラ網への展開

BRIDGEプロジェクトで開発された深層学習ベースの竜巻検知技術は、鉄道分野から高速道路、港湾、電力・通信といった重要インフラ全体へと適用を拡大することで、社会のレジリエンス向上が期待できる。位置データとの統合により、各事業者へリアルタイムの気象情報を直接提供することが可能となる。なお、本技術の有効性はレーダーシステムの性能や地域ごとの竜巻特性に依存するため、今後は各地域の特性に応じたシステムの最適化を進める。

4. 2. 期待される学術的貢献

本技術は災害予防情報の提供に加え、竜巻研究の学術面でも重要な貢献が期待される。深層学習による自動検知により、膨大なレーダーデータから竜巻渦のパターンを効率的に抽出し、頻度、分布、季節性、発達過程などの特性を包括的に分析することが可能となる。日本の様々なレーダーデータへの適用を通じて、竜巻気候の理解深化や予測モデルの改善、さらには新たな知見の発見により、気象学の進歩に寄与することが期待される。

本稿は、AI・データサイエンス論文集に掲載が決定された論文（Kusunoki et al. 2024）の内容を含んでいる[7] 。

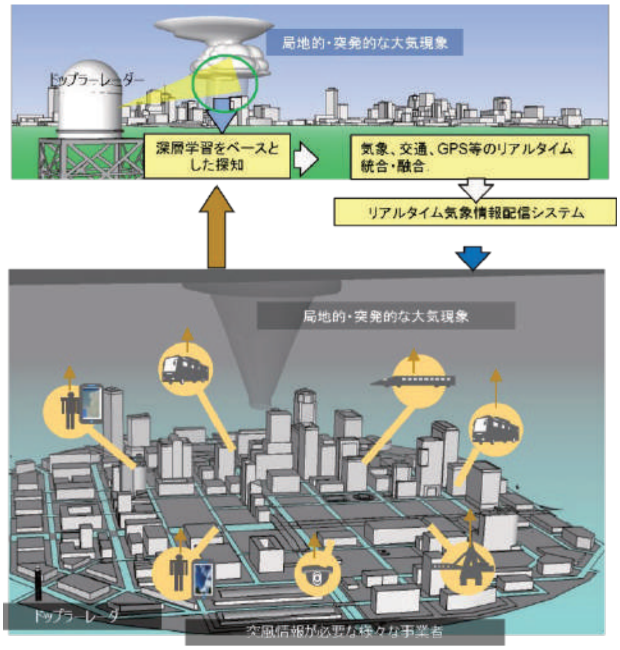


図2 深層学習に基づく検知とデータ統合を活用したリアルタイム情報配信システムの概念図（Kusunoki et al. 2024, Figure 10より改変）。

謝辞

本研究は気象庁気象研究所とJR東日本の共同研究として実施された。本研究の遂行にあたり、「運輸分野における基礎的研究推進制度」、「官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）」、および「BRIDGE：研究開発とSociety 5.0との橋渡しプログラム」の支援を受けた。

参考文献

(1) Ishitsu, N., Kusunoki, K., Adachi, T., Arai, K., Inoue, H.Y., Fujiwara, C., Suzuki, H.: Detection of tornadic vortex from Doppler velocity field using convolutional neural networks, *Proc.10th European Conf. on Severe Storms,* 4-8 November 2019, Kraków, Poland.

(2) Kusunoki, K., Ishitsu, N., Adachi, T., Suzuki, O., Arai, K., Fujiwara, C., and Suzuki, H., Development of tornado detection technique with Doppler radar using deep learning. *Wind Engineers, JAWE,* 47(3), 218-223, 2022. https://doi.org/10.5359/jawe.47.218 [in Japanese].

(3) Japanese Patent No. 6756889, Vortex Detection Device, Vortex Detection Method, Program and Trained Model, 2020. https://www.j-platpat.inpit.go.jp/c1801/PU/JP-*6756889/15/ja* [in Japanese].

(4) Fujiwara, C. and Suzuki H., Development of train operation control method against wind gusts using Doppler radar, *JR EAST Tech. Rev.,* Vol. 66, pp.40-43, 2021 [in Japanese].

(5) East Japan Railway Company, implementation of Train operation control using AI-based wind gust detection method, https://www.jreast.co.jp/press/2020/20201006_ho03.pdf, 2020. [in Japanese].

(6) Programs for Bridging the gap between R&D and the IDeal society (society 5.0) and Generating Economic and social value (BRIDGE), https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html, 2023.

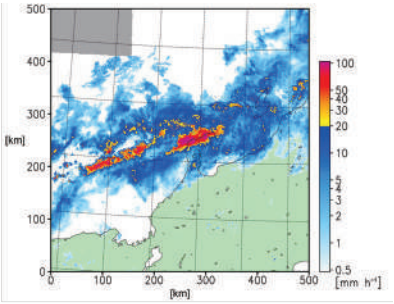
(7) Kusunoki, K., Ishitsu, N., Adachi, T., Suzuki, O., Arai, K., Suzuki, H., Fujiwara, C., Shinomiya, T., Ashikawa, K., Suda, T., Ogawa, I., Deep learning-based tornado vortex detection through the BRIDGE program: Advancing technology and multidisciplinary applications. *Artificial Intelligence and Data Science,* Vol. 5, Issue 2, 22-39. https://doi.org/10.11532/jsceiiai.5.2_22.

令和6年9月に能登半島に記録的な大雨をもたらした線状降水帯の発生要因

○末木健太（台風・災害気象研究部）

1. はじめに

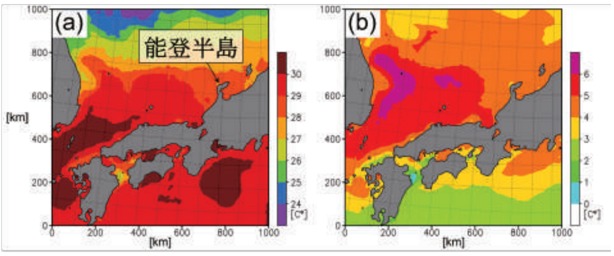
令和6年9月21から22日にかけて、石川県能登半島北部を中心に、秋雨前線上を東進する低気圧や台風第14号から変わった温帯低気圧の影響により、記録的な大雨となった。21日の朝には線状降水帯が発生し（第１図）、輪島では1時間降水量の最大が121mm、3時間降水量が220mmで観測史上１位の記録を更新した。気象研究所では、21日に発生した線状降水帯を対象に、数値シミュレーションによる発生要因の調査を進めており、その最新の研究結果について報告する。



第1図：気象庁の全国合成レーダーに基づく線状降水帯発生時（21日9時00分）の降水強度分布

2. 大雨発生時の気象概要と日本海の海面水温

日本海には秋雨前線が停滞し、前線の南側では太平洋高気圧の縁辺をまわって暖かく湿った南西風が吹いていた。一方、前線の北側では冷涼な北東風が吹いており、前線付近での風の収束が強まり、前線の活動が活発化していた。前線上を東進する低気圧の接近により、能登半島付近では南西風が強まり、多量の暖かく湿めった空気が流入した。日本海の海面水温は平年値に比べて４～5℃程度高く（第２図）、能登半島付近に流入する空気は、日本海から多量の水蒸気供給を受けていたと考えられる。

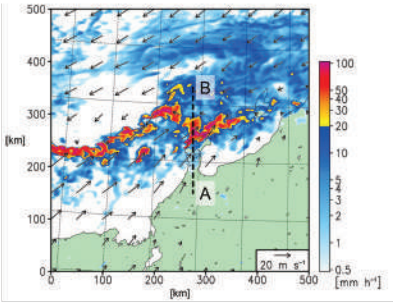


第2図：線状降水帯発生時における日本周辺の(a)海面水温と(b)平年値との差

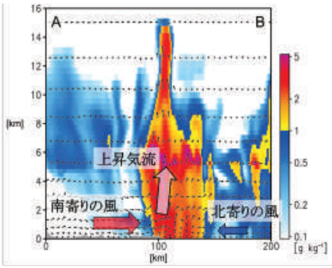
3. 数値気象モデルを用いた数値シミュレーション

気象庁で開発されている数値気象モデルasuca[1]を用いて、水平解像度1kmでの数値シミュレーションを実施した。計算の初期値・境界値には気象庁の局地解析[2]を使用し、初期時刻は20日の12時とした。

数値シミュレーションでは、能登半島付近で大雨をもたらした降水システムが再現された（第３図）。降水システムは、南側の南西風と北側の北東風が合流する前線帯に沿って発達していた。南西から能登半島付近に流入する空気は、高度500mの相当温位（暖かく湿っている程度を示す指数）が355Kに達しており、梅雨期の九州における線状降水帯発生時に匹敵する非常に不安定な大気状態となっていた。降水システムが発達していた時間の高度500mの水蒸気流入量（水蒸気量と水平風速の積によって求められる指数）は400g/m^2/sを超えており、令和２年７月の熊本の大雨に匹敵する値となっていた。能登半島付近の降水システムを横切る鉛直断面（第４図）をみると、地表付近で南寄りの風と北寄りの風が合流す

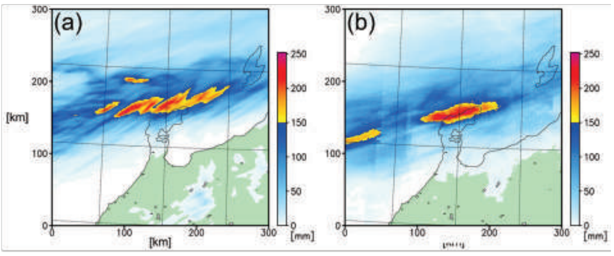


第3図：数値シミュレーションにより再現された能登半島付近の降水システム（21日8時25分）。矢印は高度500mの水平風を表す



第4図：第3図の破線A-Bにおける降水システムの鉛直断面。カラーは凝結物質の量、矢印は風を表す

る領域で、雲頂高度が15kmに達する発達した積乱雲が生じていた。数値シミュレーション結果から能登半島付近で線状降水帯が発生した時間（21日6時から13時）の積算雨量を計算すると（第５図(a)）、解析雨量に基づく積算雨量分布（第５図(b)）から20kmほど北にずれるものの、最大雨量が200mmを超える線状の雨域が再現された。

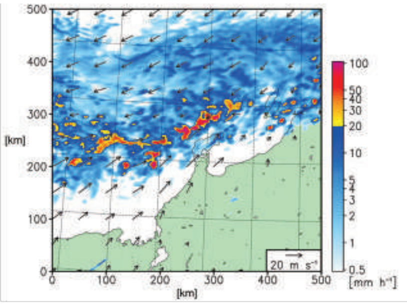


第5図：(a)数値シミュレーションにおける21日6時から13時の積算雨量分布。(b)解析雨量に基づく同時間の積算雨量の推定分布

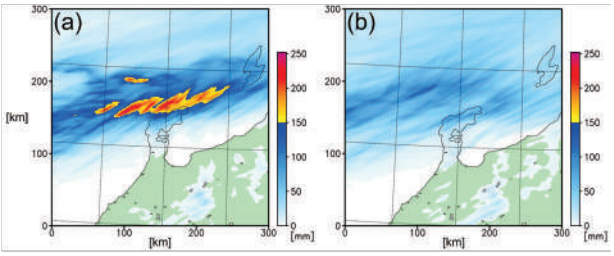
4. 日本海の高い海面水温の影響を調べる感度実験

第２節で述べたように、線状降水帯発生時には日本海の海面水温が平年に比べ非常に高くなっており、大雨の発生に影響した可能性がある。この影響について、日本海の海面水温を平年値に置き換える実験（SST平年値実験）を実施し、第３節で示した数値シミュレーション（標準実験）の結果と比較した。

SST平年値実験では、前線付近での降水システムの発達が標準実験に比べ弱く（第６図）、積算雨量は標準実験より大幅に減少した（第７図）。SST平年値実験では、能登半島付近に流入する空気への海面からの水蒸気供給量が標準実験に比べて減少し、海面付近の気温も低くなることから、大気下層の相当温位が低下した。このため、標準実験ほど大気の不安定な状態が顕著ではなく、降水システムの発達が標準実験に比べ抑えられた。さらにSST平年値実験では、下層の水蒸気量が減少するのに加え、前線上を東進する低気圧の発達が抑えられることで能登半島付近での南西風の強化が弱く、能登半島付近への水蒸気流入量も減少した。このため、SST平年値実験では線状降水帯の発生に至るような大雨は再現されなかった。以上の結果から、平年値に比べて４～５℃程度高い日本海の海面水温は、能登半島に記録的な大雨をもたらした線状降水帯の発生に不可欠な要因であったといえる。



第6図：日本海の海面水温を平年値に置き換えた実験における能登半島付近の降水システム（21日8時25分）



第7図：(a)標準実験における21日6時～13時の積算雨量分布。(b)日本海の海面水温を平年値に置き換えた実験における同時間の積算雨量分布

5. まとめ

令和６年９月に能登半島に記録的な大雨をもたらした線状降水帯を対象に、数値気象モデルを用いた数値シミュレーションを実施した。数値シミュレーションでは、前線上の低気圧の接近によって暖かく湿った南西風が能登半島付近で強まり、降水システムが発達した。平年に比べ非常に高くなっていた日本海の海面水温を平年値に置き換える実験を実施したところ、降水システムの発達が弱まり、積算雨量も大幅に減少した。日本海の海面水温が高いことで、大気下層の気温も高くなり、海面からの水蒸気供給量が増加したことで、大気の状態が非常に不安定となり、また前線上の低気圧の発達が強まって水蒸気流入量をさらに増加させたことで線状降水帯の発生に至ったと考えられる。

※本研究は、気象庁気象研究所における経常研究課題「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」として実施された。

参考文献

(1) 石田純一ほか，「気象庁現業非静力学モデルasuca」，気象集誌．第2輯，100，5，pp. 825-846，(2022)

(2) 気象庁，「1.7.7 局地解析」，令和5年度数値予報解説資料集，https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwpkaisetu/latest/1_7_7.pdf

線状降水帯の機構解明のための洋上ドローンと新しい水蒸気観測の取り組み

○瀬古弘(観測気象研究部)

1. はじめに

線状降水帯が毎年のように発生し、土砂災害や洪水をもたらしている。これらによる被害を軽減させるためには、線状降水帯の発生位置や時刻、降水量をより早く、より正確に予測する必要があり、そのために線状降水帯の発生要因や維持機構の解明が求められている。気象研究所では、線状降水帯の予測精度向上に向けて「機構解明研究」を進めており、その一環として、線状降水帯の発生・維持に大きく影響する大気下層の水蒸気の流れに注目し、2022年に暖湿な気流が九州に流れ込む東シナ海上で気象庁海洋気象観測船(以下、観測船)から気象観測用ドローンを飛ばし、大気下層の湿度や気温、水平風の鉛直分布を観測した(第1図)。

ここでは、線状降水帯や豪雨域に流れ込む水蒸気の流量(水蒸気量に風速を掛けた量)と降水量の関係や、ドローン観測の特性やデータ利用方法、ドローン観測データが数値予測モデルの初期値を修正した効果を報告する。ドローンの他にも、気象研究所や気象庁において整備や利用方法の開発を進めている地上設置マイクロ波放射計などの新しい水蒸気観測の取り組みについても紹介する。

2. 線状降水帯の予測に適した観測場所の調査

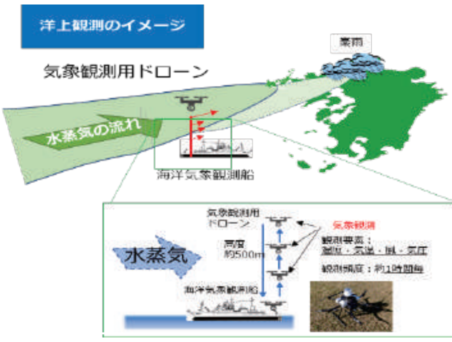
気象庁では、線状降水帯を「次々と発生する発達した雨雲(積乱雲)が列をなした、組織化した積乱雲群によって、数時間にわたってほぼ同じ場所を通過または停滞することで作り出される、線状に伸びる長さ50～300km程度、幅20～50km程度の強い降水をともなう雨域」と定義している。こうした豪雨では下層の湿った空気が継続して上空に持ち上げられて水蒸気が凝結し、凝結熱で上昇流が強まって積乱雲が発達することで降水量が大きくなる。降水予報の精度改善のためには、線状降水帯の発生に大きく影響する水蒸気流量の観測すべき場所を調べ、その場所で観測することが有効と考えられる。

線状降水帯の予測に適した観測場所を得るため、数値予測モデルの複数の初期値からの予測(アンサンブル予測)を用いた例を紹介する。2018年7月に九州や四国・中国地方に被害を与えた西日本豪雨について、豪雨が発生した九州北部に空気と一緒に動く粒子を多数おいて、時間を遡って追跡し、豪雨発生前の粒子の存在範囲を得る。次に豪雨域の降水量と、上記の範囲内の格子点での水蒸気流入量との相関係数を調べた。その結果、豪雨域に東シナ海上の大気下層から大量の水蒸気が流入していたこと、またその流量が大きいほど九州北部の降水量が大きくなっていたことがわかった。このことから、豪雨域に流れ込む風上側の東シナ海で水蒸気流量を正確に観測することで、豪雨の降水予測が改善する可能性があることがわかった。

3. 気象観測用ドローンを用いた観測と数値予報モデル改善の効果

九州で発生する豪雨を対象として、2022年7月12～18日に、東シナ海上に停泊していた観測船から、9～16時(日本時)の間、1時間毎にドローンを高度500mまで上昇・下降させて、気温や露点温度、水平風の鉛直分布を観測した(第2図)。ドローン操縦者への聞き取り調査から、船舶上のドローンの安全な観測可能な気象・海況条件は、風速10ms^{-1}程度以下、うねりの高さ1.2m程度以下ということがわかった。第3図に観測例として7月18日12時の気温と湿度の鉛直分布を示す。この日の観測は強風等の理由により観測範囲が高度300mまでとなっている。気温(第3図左)の観測値は、測器の応答がドローンの移動による気温変化に追いつかず、上昇・下降時で値が異なっていた(黒の実線と破線)。測器の応答速度を考慮した補正法を開発し適用したところ、2つの値がほぼ同じになった(灰色の実線と破線)。露点温度も同様な補正を適用した後、湿度に変換して上昇下降時の平均を求めた(第3図右の赤線)。

第 1 図:観測船上でのドローン観測風景



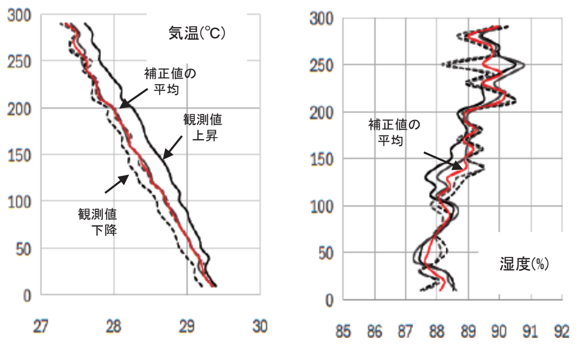
第 2 図 :洋上ドローン観測の模式図

水平風については、測器がドローンの上側にあるため、風の乱れの影響の少ない上昇時の値を用いた。

ドローン観測が降水予測に及ぼす効果について、強い降水域が九州北部から南下する7月18日10～12時の観測値を使用して調査した。高度300mより下層の観測値（気温や湿度の補正値の平均と水平風）をメソ数値予報解析実験システム（気象研究所に移植した気象庁現業と同様なシステム）に適用して第一推定値を修正し初期値を作成した。気温の第一推定値からの修正量は小さいものの、観測点付近の可降水量（水蒸気量の天頂方向の積算値）が増加し、水平風の風速も強まり、観測に近づいた。この初期値から予測した6時間後では、第4図の赤丸で示すように降水もやや強まり、降水域の位置も南下して、予測した降水分布が観測に近づいた。この結果から、高度300mより下層だけでも1時間毎の観測値を初期値の修正に利用することで降水予測が改善する可能性がある事がわかった。

4. 線状降水帯の機構解明に係わる新しい水蒸気観測

下層水蒸気量の観測精度向上によって降水予測を改善させるため、気象庁では2022年度に、線状降水帯が多く発生する西日本を中心に17台のマイクロ波放射計を整備した。マイクロ波放射計は大気中の酸素や水蒸気からの放射を複数の周波数で観測することにより、可降水量や気温・湿度の鉛直分布を得ることができる。例えば温暖前線の通過直前の五島列島の福江で観測したデータを用いた事例では、マイクロ波放射計の観測データが初期値を適切に修正して、大気下層の水蒸気量が増加すると共に水平風も強化されて降水が強まり、実況に近づく結果が得られた。この他にも水蒸気に注目した観測として、GNSS受信機を船舶に搭載して可降水量を測定する船舶GNSS観測が、2021年から実施されている。また、水蒸気量の鉛直分布を連続的に得るライダー(レーザー光を用いたリモートセンシング装置)を観測船に搭載する研究が進められている。次期静止気象衛星に搭載予定の赤外



第 3 図 ：洋上ドローンで観測した気温（左）と湿度（右）の鉛直分布。図中の黒線は観測値、灰色は応答速度を考慮した補正値。実線は上昇、破線は下降を示す。赤線は補正値の上昇・下降の平均。

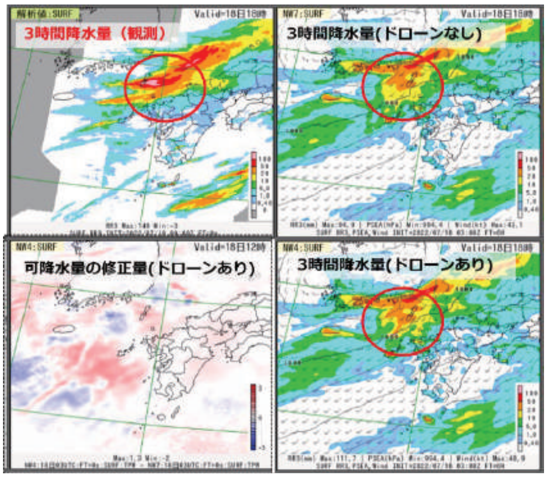
サウンダは水蒸気量の3次元分布を広範囲に高精度かつ高分解能に観測できるため、降水予測の精度向上が期待されている。成果発表会ではこれらについても簡単に触れる。

5. まとめ

線状降水帯の風上側で大気下層の水蒸気流量を観測することにより、風下側で発生する降水の予測精度が向上する可能性があること、アンサンブル予測で得られた解析結果から、風上側の水蒸気流量が風下側の降水量を決める要因の一つであることがわかった。その一方で、今回、線状降水帯の機構解明のために実施したドローン観測は、観測環境が限定されるなど、利用に際して多くの解決すべき課題があることもわかった。ここでは個々の観測の独立した効果を紹介したが、水蒸気に注目して降水予測の改善を図る方法として、複数の観測データを利用することを計画している。先ず気象衛星で広い範囲の水蒸気量を観測し、さらに船舶GNSSなどで線状降水帯の上流側の可降水量等を観測することで水蒸気流量の予測値を改善する。その後、線状降水帯に近い地上で、マイクロ波放射計を用いて水蒸気の鉛直分布を観測することで、さらに予測値を改善する。今後は、このような複数の観測データの特徴を生かして予測を行う手法が重要になると考えられ、その手法の開発・研究を推進していく予定である。

謝辞

洋上ドローン観測は気象庁の海洋気象観測船「凌風丸」で実施しました。五島列島のマイクロ波放射計データは「第 2 期戦略的イノベーション創造プログラム」からご提供いただきました。気象庁数値予報課が開発した現業予測システムを気象研究所に移植したメソ NAPEX を利用しました。ドローン観測は（有）タイプエス社に委託し、観測には R-SWM を用いました。ここに記して感謝します。



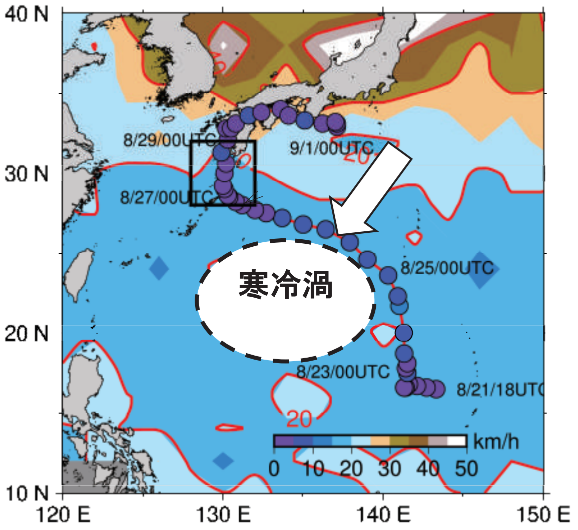
第 4 図 ：洋上ドローン観測値の降水予測への効果。左下図は、ドローンデータを利用したことによる可降水量（水蒸気の鉛直積算値）の初期値の修正量。

令和6年台風第10号
～遅い移動速度と広域にわたる大雨～

○和田章義（台風・災害気象研究部）

1. はじめに

令和6年台風第10号はマリアナ諸島海域にて8月22日に発生した。反時計周りの弧を描くように移動し、27 日には非常に強い勢力となって奄美群島に接近し、停滞した。その後進路を北に変えてゆっくりと移動し、中心気圧 935hPa、最大風速 50m/s の勢力で29日8時頃に鹿児島県薩摩川内市付近に上陸した。その後勢力を弱めつつも九州や四国を通過し、東海道沖へ進んで9月1日に熱帯低気圧となった。台風第10号の影響により8月27日から29日にかけて、鹿児島県では最大風速 30m/s を超える猛烈な風を観測し、九州の複数の観測地点で 8 月の最大風速の観測史上1位の値を更新した。28 日には、鹿児島県（奄美地方を除く）の市町村に暴風、波浪、高潮の特別警報を発表した。



第1図：気象庁速報解析による台風発生位置および12時間毎(00,12UTC)の台風第10号の位置（○）。円内の色は台風の移動速度（km/時）。背景の色は1951-2023年の台風移動速度(km/時)の緯経度2度内の平均値。台風時における寒冷渦の移動及び25-26日におけるおおよその位置を図示している。

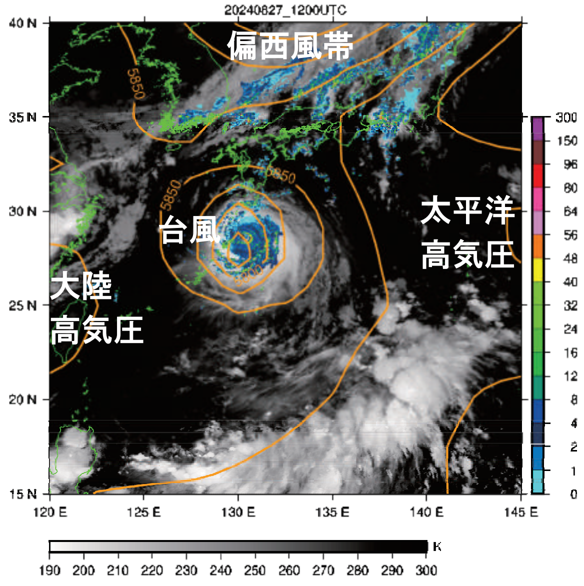
第１図に台風の速報解析による経路を示す。時刻は世界標準時（日本時間-9時間。以下、UTC）で表している。８月27日以降の台風の移動が遅かったこと、および太平洋高気圧の縁を回る暖かく湿った空気の影響が続いたことにより、西日本から東日本の太平洋側を中心に記録的な大雨となり、複数の観測地点で72時間降水量の観測史上1位の値を更新した。８月27日から９月１日までの総雨量は、東海地方や九州南部で900 ミリを超えるに至った。 暖かく湿った空気の流入はまた大気の状態を非常に不安定とし、このため宮崎県、鳥取県、埼玉県及び岐阜県で竜巻などの激しい突風による被害が発生した。

本発表ではこの27日以降の遅い移動速度と広域にわたる大雨について即時解析した結果を紹介するとともに、この台風の予測をふりかえる。

2. 遅い移動速度

2．1． 総観場

台風は発生後、強度を維持しつつゆっくりと北上した後、25日には上層寒冷渦の影響で北西方向に進路を変えた（第１図）。台風がゆっくりと北上する24日、寒冷渦は台風の北西側に位置し、台風移動に伴って寒冷渦は南西方向に移動した。台風の南西象限ではこの寒冷渦による200-850hPaの水平風速差（鉛直シアー）が大きくなったことなどの要因により、台風の発達は抑制されていた。



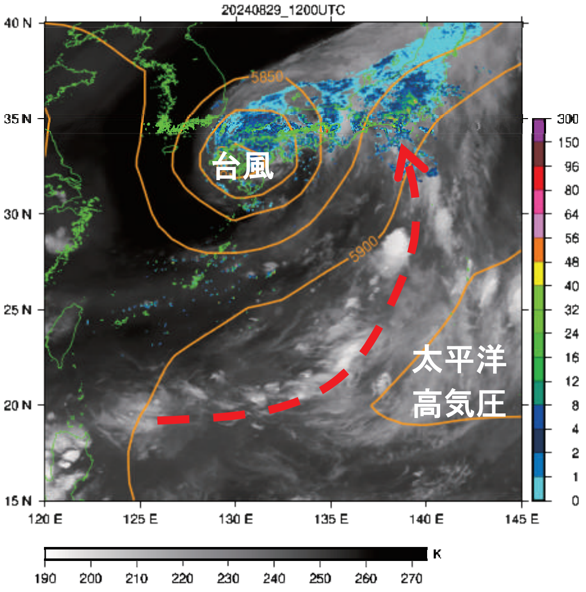
第2図：8月27日12UTCにおける気象衛星ひまわりバンド13輝度温度（K）、レーダーアメダス解析雨量1時間降水量、および気象庁第3次長期再解(JRA-3Q)[1]500hPa高度場（オレンジ色等値線）。

寒冷渦が消失した後、台風の移動速度は遅くなり、喜界島の北で停滞した。第２図に示すように、８月27日12UTCにおいて、台風は大陸の高気圧と太平洋高気圧の中間に位置し、

その北側には中緯度偏西風帯があるものの、どれも台風の移動に関わる指向流を支配することはなかった。

2. 2. 広域にわたる水蒸気の輸送

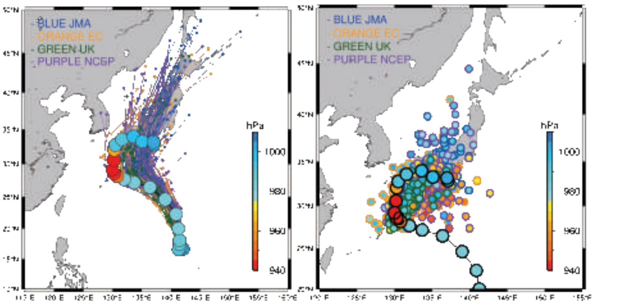
台風は上陸後にゆっくりと東進し、９月１日に熱帯低気圧となった。29日12UTCにおいて降水は九州における台風周辺域にとどまらず、広域に見られる（第３図）。台風の南東側において南北に連なる雲域が存在し、その東側には太平洋高気圧が存在している。つまりこの南北に連なる雲の帯は台風と太平洋高気圧に挟まれることで南風が強化され、水蒸気を多く含んだ大気は日本列島へ運ばれた結果、広域にわたり大雨となった。このように台風を囲むような低気圧性循環は水蒸気が通る道となっていた。



第3図：8月29日12UTCにおける気象衛星ひまわり輝度温度（中層水蒸気）、レーダーアメダス解析雨量10分値(mm)、JRA-3Qの500hPa高度（オレンジ等値線）。赤矢印（破線）は遠い海域からの水蒸気輸送を示す。

2. 3. 遅い移動速度は予測できたのか？

８月27-29日にかけてのゆっくりと北上した台風第10号を国内外の数値モデルセンターではどのように予測していたのだろうか？第4図に８月23日12UTCを初期時刻としたヨーロッパ中期予報センター(EC)、気象庁(JMA)、米国国立環境予測センター(NCEP)、イギリス気象庁(UK)の予測結果（24時間毎の経路）と日時を８月27日12UTCと固定した時の予測位置（ただし24時間毎、0~5日前の予測結果をあわせたもの）を示す。アンサンブルデータはTIGGEデータセット(DOI: 10.5065/D6GH9GSZ)を使用した。第4図に示す、ほぼ全てのアンサンブル予測結果は気象庁即時解析の経路の東側を移動していた。日時を固定すると、８月27日12UTCの予測位置は実際の位置と比較して北東方向にばらついていた。このような予測経路となった要因として、予測経路は太平洋高気圧、寒冷渦及び偏西風の緯度の影響を受けていたことが考えられる。大陸の高気圧に関しては、偏西風の緯度の予測に影響を与えていた可能性も考えられる。



第4図：左図は8月23日12UTC初期値での24時間毎の初期時刻から120時間までの4センターによるアンサンブル予測経路。右図は異なる初期時刻（24時間毎で5日前まで）での8月27日12UTCにおける4センターによるアンサンブル予測位置。丸印の輪郭の色は数値センター、丸印内の色は予測された中心気圧。黒線は気象庁における速報解析結果。右図’C’は27日12UTCでの速報解析による台風位置.

3. まとめ

・台風第10号の移動速度が遅かった背景については、台風の周辺を取り巻く大気環境場（太平洋高気圧、寒冷渦、大陸高気圧、偏西風の緯度）が台風の移動に与えていた影響が、台風のライフステージごとに異なっていたことが挙げられる。
・台風第10号が喜界島付近で停滞後北上し、上陸後東進した際、台風の南側、1000km以上離れた海域から日本列島に水蒸気が輸送され、広域にわたる大雨の要因となった。
・台風第10号の進路予測の誤差は、ライフサイクルごとに異なっていた大気環境場の影響を、数値モデルは適切に予測できていなかったために増大したと考えられる。

謝辞

本研究はJSPS科研費（JP22K03725）の助成を受けました。

参考文献

（１）Kosaka, Y. , S. Kobayashi, Y. Harada, C. Kobayashi, H. Naoe, K. Yoshimoto, M. Harada, N. Goto, J. Chiba, K. Miyaoka, R. Sekiguchi, M. Deushi, H. Kamahori, T. Nakaegawa; T. Y. Tanaka, T. Tokuhiro, Y. Sato, Y. Matsushita, and K. Onogi, 2024: The JRA-3Q reanalysis. J. Meteor. Soc. Japan, 102, 49-109, https://doi. org/10. 2151/jmsj. 2024-004.

台風進路・強度予測の高精度化を目指した最近の研究紹介

○山口宗彦（応用気象研究部）

1. はじめに

台風は日本において避けることのできない自然現象であり、毎年のように多くの災害を引き起こしている。日本列島をゆっくりと横断した 2024 年の台風第 10 号による大雨や突風の被害は記憶に新しい。地球温暖化が進む中で、気象災害は激甚化しており、台風もより強力なものが日本に影響を与える可能性がある。このような背景の中、台風の予測精度を更に向上させることは、国民の生命・財産を守るために極めて重要な課題である。

本発表では、台風の進路・強度予測の高精度化を目指して行われた研究の中で、特に予測精度の改善幅が大きかった 2 つの研究を紹介する。一つは人工知能（AI）を活用した気象予測モデルによる台風進路予測に関する研究、もう一つは、気象庁が 2019 年から運用している機械学習に基づく台風強度予測手法に、海洋モデルを組み合わせた研究である。

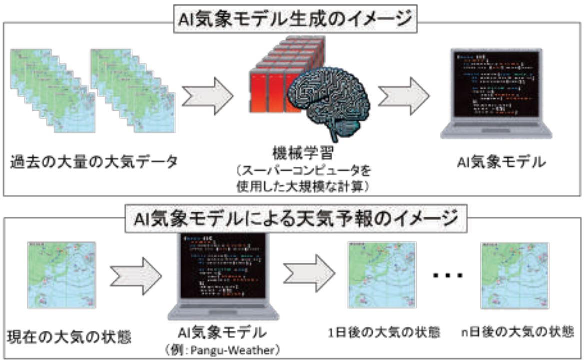
2. 台風の進路

2.1. AI 気象モデルの台頭

AI を活用した天気予報技術の開発が驚異的なスピードで進んでおり、2022 年後半には、従来の天気予報技術と同等かそれ以上の精度を持つという論文が発表されている（例えば、Lam et al. 2023）。従来の技術は、数値天気予報といって、物理学や化学の法則に基づいて現在の大気の状態から将来の大気の状態を計算する。気象庁のホームページで見る天気予報や台風予報などは、基本的にこの数値天気予報の結果に基づいている。一方、AI による天気予報は、機械学習に基づいており、過去の膨大な量の大気の状態 [1]を学習して、その学習結果に基づいて現在の大気の状態から将来の大気の状態を推定する（第 1 図参照）。

2.2. AI 気象モデルによる台風進路予測実験

AI 気象モデルによる台風進路予測の利用可能性を調査するため、一般に公開されている Pangu-Weather（Bi et al. 2023）と呼ばれる AI 気象モデルを用いた。2021～2023 年の全 64 個の台風を対象として、本調査では 2 つの台風進路予測結果を比較した。1 つは、気象庁全球数値天気予報システムによる台風進路予測の結果（従来の予測技術に対応）、もう 1 つは Pangu-Weather による予測結果である。



第 1 図: AI 気象モデル生成のイメージ（上）と、AI 気象モデルによる天気予報のイメージ（下）

Pangu-Weather の入力データには気象庁全球数値天気予報システムで使用されている入力データと同じものを使用した。

2.3. 予測実験の結果

5 日先までの台風中心位置の予測結果を検証したところ、予測期間全体にわたり、AI 気象モデルによる予測の方が誤差が小さいことが確認された。例えば、2 日先の予測誤差の改善幅は 19%に達した。近年、特に短期予測（～2 日）において台風進路予測の改善率は低下している（Conroy et al. 2023）。このような状況を踏まえると、19%という改善率は大きな数値と言える。

予測誤差の特徴を解析した結果、従来の予測技術に見られる「台風転向後に移動速度が遅くなる」という誤差傾向が、AI 気象モデルによって緩和されていることが分かった。また、特異な進路をとる台風（急に進行方向を変えたり、円を描くような進路をとる台風）に対しても AI 気象モデルは従来の予測技術と同等以上の予測精度を持つことが確認された。

一方、AI 気象モデルによる進路予測の誤差が極端に大きくなる事例も存在しており、AI 気象モデルを用いることで大外し事例が無くなるわけではいことが確認された。

2.4. 結果の解釈

数値天気予報システムには、理論や観測事実、経験則等に基づいて定式化した諸過程が組み込まれている。一方、AI 気象モデルには、これらの諸過程は組み込まれていない。にもかかわらず、AI 気象モデルは従来の手法よりも高精度で台風の進路を予測した。高気圧や低気圧の動きに関しては、個々の諸過程を詳しく知らなくても、過去の大量で高精度な教師データがあれば、それを学習させて、その結果に基づい

---

[1] 長期再解析データと呼ばれ、その作成には従来の数値天気予報の技術が用いられている。

て将来を予測する方が効果的であるということを示唆しているのかもしれない。また、上述の数値天気予報システムにおける定式化において、我々の知識が不十分である可能性も考えられる。

3. 台風の強度

3.1. 機械学習による台風強度予測システムの導入

台風の強度は、台風の移動に比べて物理的にかなり複雑である。基本的に、台風は周囲の風によって流されて移動するため、台風周辺の風の場が正確に予測できれば、進路も高精度で予測可能となる。しかし、台風の強度は、海面水温、海洋の熱貯蔵量、風の鉛直シア、内部構造など、多くの要因が複雑に影響し合っている。これらの要素を数値天気予報システムで矛盾なく予測することは非常に難しい。

このような背景の中、気象庁では、機械学習による台風強度予測手法(TIFS、Yamaguchi et al. 2018)を 2019 年 3 月に導入した。TIFS では、台風の強度(中心気圧や最大風速)に関連する 26 個の物理量を説明変数として、台風強度の予測を行っている。

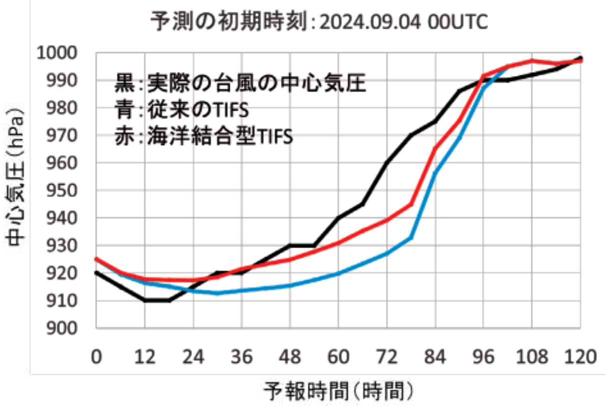
3.2. 海洋モデルと結合した TIFS

上述の 26 個の説明変数には、海面水温や海洋貯熱量が含まれており、予測結果に与える影響が相対的に大きい変数である。TIFS は、気象庁全球数値天気予報システムによって予測された台風の位置における海面水温や海洋貯熱量を使用するが、その空間分布は予測初期時刻のものであり、時間とともに変化しない。つまり、静的な海面状態を仮定している。海面水温や海洋貯熱量は大気と比較すると相対的にゆっくりと変動するが、台風が通過することで海洋の表層がかき混ぜられ急速に海面水温や海洋貯熱量が低下することもある。

そこで、既存の TIFS で用いられている静的な海面水温や海洋貯熱量を海洋モデルによる予測値に変更することで、台風強度予測が改善するか調査した(Yamaguchi et al. 2024)。使用した海洋モデルは、気象庁で現業運用されている海洋モデル MRI.COM-NP01 である(Hirose et al. 2019)。

3.3. 予測実験の結果

2020 年の台風第 10 号は、九州に接近した際、予想よりも台風強度が弱かった(TIFS は実際よりも強く予想していた)。その原因の 1 つとして、TIFS で用いられている海面水温や海洋貯熱量が実際よりも大きな値であった可能性が指摘された(Ito 2022)。そこで、この台風を対象として予測実験を行った。第 2 図に 2020 年 9 月 4 日 00UTC を初期時刻とする予測結果を示す。図が示す通り、海洋モデルの結果を使用した TIFS(赤線)の方が従来の TIFS(青線)よりも実際の台風中心気圧(黒線)に近い予報となっている。黒潮域における海洋の状態



第 2 図: 2020 年台風第 10 号を対象とした台風中心気圧(hPa)の予測結果。

を調べると、例えば海洋貯熱量は従来の TIFS よりも 40%程低い値が海洋モデルでは予想されていた。

海洋モデルと結合した TIFS の有効性をさらに調べるために、2020 年の全台風に対して予測実験を行った。その結果、従来の TIFS よりも概ね 10%程度予測誤差が減少した。

4. 課題

台風の進路に関して、AI 気象モデルの精度が高いことが示されたが、台風の強度に関しては、検証結果において精度が低く、観測値よりも強度が弱く予測されることが多い。強度予測の精度改善や進路予測の大外しの原因の調査、及びその改善が今後の課題である。

海洋結合型 TIFS については、検証の事例数を増加させ、その有効性を実証していくことが求められる。加えて、海洋モデルの精度評価、特に、台風通過に伴う海面水温や海洋貯熱量の変化の再現性を評価することが今後の課題となる。

謝辞

本研究はJSPS科研費(JP18H01283, 19H05701, 23K26359, 24K00703)、JSPS「研究拠点形成事業」(JPJSCCA20220001)、およびJSTムーンショット型研究開発事業(JPMJMS2282-02)の助成を受けた。また、Pangu-Weatherは、以下から取得した。
https://github.com/198808xc/Pangu-Weather

参考文献

- Lam et al. (2023), *Science*, **382**, 1416-1421.
- Bi et al., (2023), *Nature*, **619**, 533-538.
- Conroy et al., (2023), *TCRR*, **12**, 64-80.
- Ito, (2022), *JMSJ*, **100**, 321-341.
- Yamaguchi et al., (2018), *SOLA*, **14**, 138-143.
- Hirose et al., (2019), *Oce. Dyn.*, **69**, 1333-1357.
- Yamaguchi et al., (2024), *SOLA*, **20**, 86-91.

気象研究所 研究成果発表会 発表題目【2019年度(令和元年度)以降】

2023(R5)	津波の到達から後続波・減衰に至る全過程を予測する	林 豊	地震津波研究部
2023(R5)	雪粒子の特徴から探る降水形成メカニズム	橋本 明弘	気象予報研究部
2023(R5)	高解像度地域気候モデルを用いた局地的な気候変動予測	野坂 真也	応用気象研究部
2023(R5)	大気中の微粒子(エアロゾル)が地球の気候を変える ー気候研究の最前線ー	大島 長	全球大気海洋研究部
2022(R4)	線状降水帯のレビューと今年度実施した集中観測の報告	加藤 輝之	台風・災害気象研究部
2022(R4)	線状降水帯の機構解明と予測技術向上に向けた研究の進捗	瀬古 弘	気象観測研究部
2022(R4)	プレート境界大地震の発生メカニズムの理解に向けて	野田 朱美	地震津波研究部
2022(R4)	トンガで発生した火山噴火による潮位変化	高野 洋雄	応用気象研究部
2021(R3)	地球温暖化研究と歩んだ気象研究所地球システムモデル開発40年	行本 誠史	気候・環境研究部
2021(R3)	高解像度気候モデルによる地球温暖化予測	水田 亮	気候・環境研究部
2021(R3)	地球システムモデルで探る火山噴火の気候と生態系への影響	小畑 淳	応用気象研究部
2021(R3)	地球システムモデルを用いた黄砂の長期変化等について	眞木 貴史	全球大気海洋研究部
2020(R2)	北極域の急速な温暖化	庭野 匡思	気象予報研究部
2020(R2)	令和2年7月豪雨の特徴 ー球磨川流域に記録的大雨をもたらした線状降水帯の構造と発生過程ー	益子 渉	台風・災害気象研究部
2020(R2)	集中豪雨予測のための水蒸気ライダーの開発	酒井 哲	気象観測研究部
2020(R2)	スーパーコンピュータ「富岳」を用いた豪雨や洪水の予測に向けて	川畑 拓矢	気象観測研究部
2020(R2)	津波の即時予測技術の発展 ー東日本大震災から10年ー	対馬 弘晃	地震津波研究部
2019(R元)	次世代気象レーダー「フェーズドアレイレーダー」～危険な風雨を捉え、災害を防ぐ～	足立 透	台風・災害気象研究部
2019(R元)	地球温暖化によるアジアの降水変化 ～日本の梅雨はどうなる?～	遠藤 洋和	気候・環境研究部
2019(R元)	南海トラフで発生する「ゆっくりすべり」を捉える	露木 貴裕	地震津波研究部
2019(R元)	台風予報改善のための研究の最前線 ～社会の多様なニーズに応える～	山口 宗彦	応用気象研究部

気象研究所で行っている研究について

気象研究所は、気象庁が発表する気象や地震火山、気候等の各種情報の改善に向けた研究を実施しています。これらの研究成果は、気象庁における業務化・業務改善に活用されるほか、IPCC報告書など、国内外の機関を通じて様々な形で社会へ貢献しています。

1. 経常的に実施する研究

令和6年度から令和10年度までの5年間、気象業務の発展に貢献するため、大気海洋分野（気象、気候、環境、海洋など）については、目的に応じ、基盤技術研究、課題解決型研究及び応用気象研究の3つに分類し、地震・津波・火山研究と合わせて大きく4つに分類して研究を実施しています。

2. 地方共同研究

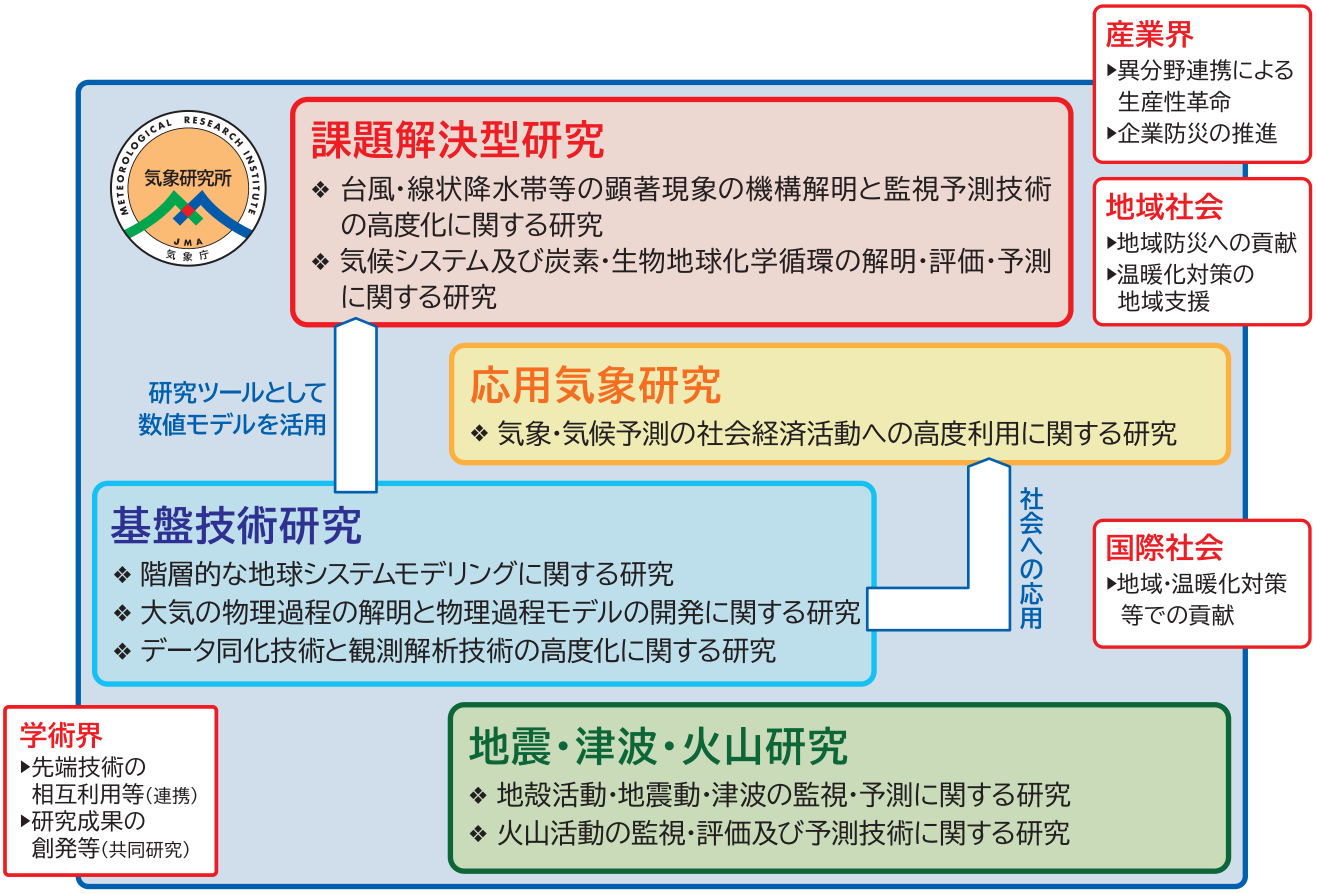
気象業務の現場において取り組むべき研究課題について、気象研究所と気象官署が共同し地方共同研究として実施しています。地方共同研究により、気象業務の現場における潜在的なニーズを的確に捉え、気象研究所の研究方針や内容に適宜反映させることによって、気象業務の高度化に貢献しています。さらに、研究活動を通じて気象研究所と気象官署の連携を強化し、気象官署における調査業務の支援を図るとともに、職員の資質向上にも貢献しています。

3. 緊急研究

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しています。また、竜巻、集中豪雨、地震、火山噴火等の大きな災害を伴う顕著現象が発生した場合は、気象庁本庁・管区気象台・地方気象台等と連携し、現地調査を含む調査研究等を機動的に実施しています。

気象研究所では、上記1～3の研究を、気象研究所中期研究計画（令和6年度から令和10年度）に基づいて行っています。

気象研究所 中期研究計画（令和6年度～10年度）の概念図



気象庁 気象研究所
Meteorological Research Institute
〒305-0052 茨城県つくば市長峰 1-1
https://www.mri-jma.go.jp/

気象研究所 公式ウェブサイト