



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7年度気象研究所 研究成果発表会

## 発表要旨集

令和8年2月21日(土) 13時30分～16時50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



13:30～ 開 会 ・ 所長挨拶

13:40～

■ 雲の物理から紐解く大雨の特徴

台風・災害気象研究部 鶴沼 昂

二重偏波気象レーダーや地上の観測データから、大雨をもたらす雲内部の特徴などを紹介します。



14:15～

■ 地球全体の大気状態を知るための研究

気象観測研究部 石橋 俊之

数値気象モデルによる予測精度の向上に必要な、地球全体の大気状態をより高精度に推定するための新たな手法をご紹介します。

14:50～

■ 線状降水帯・台風のメカニズム解明に向けて

～気象研究所の新たな取り組みをご紹介します～

研究連携戦略官 藤田 匡

線状降水帯や台風等に伴う顕著現象の機構解明や予測技術向上のために、気象研究所が今年度から4年計画で始めた取り組みについて紹介します。



15:25～ 休 憩

15:35～

■ 日本沿岸水位の長期変動について

全球大気海洋研究部 中野 英之

日本沿岸の海面水位の長期変動について、基礎となる理論から観測結果、数値モデルによるシミュレーションなどを通じて20世紀の様子や将来変化について紹介します。



16:10～

■ 富士山宝永噴火を想定した降灰シミュレーション

火山研究部 石井 憲介

富士山宝永噴火相当の噴火が発生したと想定した降灰シミュレーションを基に、降灰分布の季節的な傾向や都市毎の降灰量など、降灰の特徴について紹介します。

16:45～ 閉 会

# 雲の物理から紐解く大雨の特徴

○鶴沼 昂（台風・災害気象研究部）

## 1. はじめに

私たちは、様々な方法で雨の強弱を知ることが出来ます。けれども、雨の特徴は本当に強弱だけなのでしょうか。別の見方をすると、雨の強さは、降水粒子の大きさやその数を単位体積あたりで足し合わせた値としても地上で測ることが出来ます。この雨の強さを構成する降水粒子は、様々な大きさで雲から落下してきます。そして、それらの降水粒子は、地上に到達するまでに、雲の中で衝突併合・衝突分裂などの様々な物理過程、すなわち雲の物理を経験するのです。本講演では、この雲の物理を紐解くことで、周辺大気的环境場との関係性を加味しつつ、強い雨や多量の雨をもたらす、いわゆる大雨の特徴についてお話します。

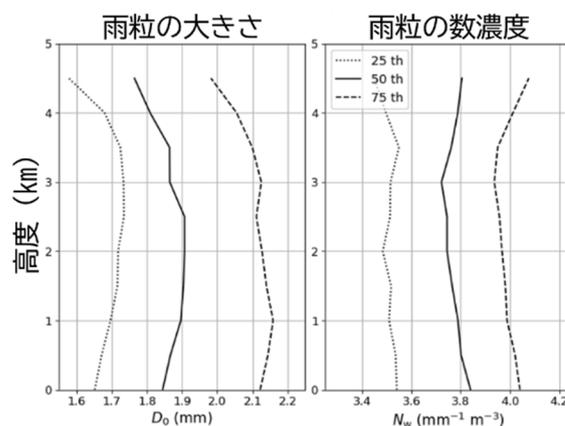
こういった雲の物理を捉えるため、我々は二重偏波レーダーと地上の直接観測データを用います。二重偏波レーダーは、空間的に広い範囲で雨をもたらす雲の特徴を捉えることが出来る飛び道具です。しかし電波を使った間接的な観測なので、得られた特徴が本当に正しいのか、検証が必要です。この正しさを知るために、直接観測データが必要になります。具体的には、雨粒の大きさ毎の頻度を測るディストロメーターで観測した地上のデータを、二重偏波レーダーデータの検証に用いました。加えて、大雨をもたらした積乱雲がどのような大気の状態が発生したかを確認するために、ラジオゾンデの高層気象観測データを用いました。これらのデータの良いところを組み合わせることで、大雨をもたらした積乱雲内部の特徴を調べました (Unuma 2025)。



第 1 図: 本研究で積乱雲内部の構造を捉えるために使用した測器の概念図。

## 2. 二重偏波レーダーにより捉えた積乱雲内部の特徴

大雨をもたらした積乱雲の内部の高度 2-4 km では、地上に向かって雨粒の粒径が大きくなりつつ、その数は減る傾向が捉えられました (第2図)。この傾向は、雨粒同士が衝突し併合する特徴であると解釈することが出来ます。一方、高度 2 km 以下では、地上に向かって雨粒の粒径は小さくなり、その数は増える傾向が捉えられました (第2図)。このことは、雨粒同士が衝突し分裂する特徴と解釈出来ます。二重偏波レーダーや地上のディストロメーターでは、直接これらの特徴を観測しているではありません。第2図のように鉛直方向の変化を推定することで初めて、積乱雲内部で何が起きているか解釈可能となった訳です。

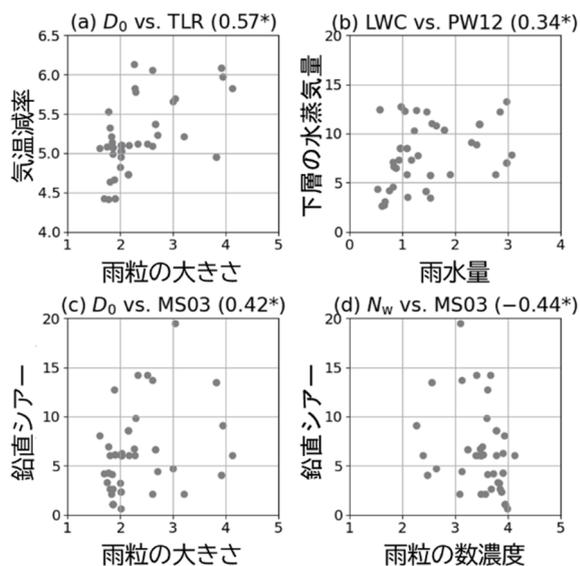


第 2 図: 二重偏波レーダーから推定した、積乱雲内の代表的な雨粒の大きさ ( $D_0$ ) と雨粒の数濃度 ( $N_w$ ) の鉛直分布。点線・実線・破線は、25・50・75 パーセンタイル値をそれぞれ示す。

## 3. 積乱雲内部の特徴と周辺大気的环境場との関係

第2図から推定された積乱雲内部の特徴は、周辺大気的环境場と関連していることが想定されます。なぜならば、気温・湿度・風向風速の鉛直分布といった大気の間が積乱雲の発生・発達に重要だからです。二重偏波レーダーデータ及び気温や湿度、風向・風速といった高層気象観測データを用いてそれぞれの関係を調べてみると、周辺大気の気温減率が大きい場合に対流雲(積乱雲や積雲)内の代表的な雨滴は大きくなる傾向があること、周辺大気の対流圏下層の水蒸気量が多い場合に対流雲内で生成される雨の量(雨水量)が高くなる傾向があることが明らかになりました (第3図)。また、水平風の鉛直シアが強い場合に対流雲内の代表的な

雨粒は大きくなる傾向がある一方、対流雲内の雨粒の数濃度は減少する傾向にあることが明らかになりました。



第 3 図: 積乱雲の中心かつ地上付近での代表的な雨粒の大きさ ( $D_0$ )・数濃度 ( $N_w$ )・降水量 (LWC) と周辺大気の場合を代表する環境パラメーターである気温減率 (TLR)・下層の水蒸気量 (PW12)・水平風の鉛直シア一 の大きさ (MS03) との散布図。各図の右上の値は相関係数。

#### 4. 雲の物理から紐解く大雨の特徴

以上の結果は、積乱雲内部の雨粒の特徴を捉えることにより、大雨をもたらしやすい雲かどうかを判別できることを示唆します。これまでの研究では、雨粒同士が衝突し併合する過程は、水平風の鉛直シア一が大きい環境下で生じやすいことが指摘されていました。本研究で得られた結果から、水平風の鉛直シア一が大きいことに加え、気温減率が高いこともより大きな(粒径 2 mm 以上)の雨滴が生成されやすい条件であると考えられます。また一般に、小さな(粒径 0.5 mm 未満)雨粒は容易に蒸発しやすいのですが、水平風の鉛直シア一が小さい環境下では、雨粒同士の衝突併合及び雨粒の蒸発の割合がそれぞれ低下することが想定されます。このような場合には、比較的小さな(粒径 0.5 mm 未満)の雨粒の数が増えると考えられます。相対湿度が 100% に近い条件下では雨滴の蒸発がほとんど起こらないことが知られており、雨粒の大きさ毎の頻度分布の幅を広げることが指摘されています。これらの特徴が重なり合って、本研究で得られた結果に反映されている可能性があります。いずれにしても、大雨をもたらした積乱雲内部の雲微物理特性を第2図のように示すことが出来るようになったことが、本研究の重要な成果の一つと言えます。

積乱雲内部の特徴を知るためには、本研究で示したように周辺大気的环境場を調べることも極めて重要となります。周辺大気の水蒸気量の鉛直積算量である可降水量は、主に熱帯域で発生する積雲や雄大積雲が鉛直方向に発達するかどうかの指標となることが指摘されてきました。同様に、可降水量が積乱雲の発生と発達に重要であることが、日本でも調べられてきました。本研究で明らかとなった積乱雲内部の特徴と周辺大気的环境場の関係から、周辺大気の水蒸気量が高いことは、雲粒・雨粒の数が増えることで地上にもたらされる雨の量が増加することに関係があることを示唆する結果でもあります。

本研究で得られた積乱雲内部の特徴は、中国や米国大陸で生じる典型的な積乱雲やスコールライン等で得られる特徴とは著しく異なっていました。このような差異が何によってもたらされているのか、本研究で得られた観測事実を基にした数値実験等により、引き続き研究を進めていく必要があります。

#### 5. まとめと今後の展望

本研究では、異なる三つの観測データを組み合わせることで、積乱雲内部の特徴を多数の事例から見出しました。本成果は、大雨をもたらす積乱雲の実態把握に極めて重要な貢献となります。この成果により、雨の強さを高精度に推定することが出来るとともに、大雨をもたらしやすい雲の直前予測技術の一つとして貢献することが期待されます。

本研究で得られた結果は、観測測器による時間間隔や空間分布の制約が内在しています。このため、実際にどの程度の水蒸気量であれば大雨となりやすい積乱雲となるのか、どの程度の水平風の鉛直シア一であれば積乱雲の移動が遅くなるのかなどの新たな疑問が生じます。このため、観測事実を基にした数値実験や他の地域における観測データ解析などにより、多角的な視点で引き続き研究を進めていくことで、それらの疑問に答えていきたいと考えています。

#### 謝辞

本研究は、科学研究費助成事業(若手研究)JP24K17126の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- (1) Unuma, T., 2025: Observed relationship between drop size distribution and environmental properties near Kumagaya in eastern Japan. *Atmos. Chem. Phys.*, 25, 11109–11128. doi:10.5194/egusphere-2025-210

# 地球全体の大気状態を知るための研究

○石橋 俊之(気象観測研究部)

## 1. はじめに

地球全体(全球)の大気状態を知ることは、大気のカオス性により科学的な難問です。つまり、ある時刻の大気状態推定の誤差が微小であっても、数日後には低気圧の位置が100kmずれるような大きな誤差に成長するため、気象予測に十分な精度で大気状態を推定するには、膨大な観測データ(10<sup>6</sup>個程度)と精緻な数値大気モデル予測(10<sup>9</sup>次元程度)、及びそれらの不確実性を確率として記述した量(確率密度関数(Probability Density Function: PDFと呼ばれます)を用いて大自由度系の逆問題(結果から原因を予測する問題)を解く必要があるためです。大気状態推定は、大気科学、統計数理、計算科学にまたがる学際的な科学分野です。

全球大気の状態推定は上記のようにそれ自体が科学的なテーマであると同時に、大気科学研究に必要な基本的な情報(大気科学の基盤情報)であり、社会活動に必要な基礎情報(社会基盤情報)の構築にも不可欠です。例えば、現在や過去の気象や気候の研究、将来気候予測のためのモデル構築や検証、数値天気予報の初期値、日々の天気予報や大雨や暴風の予測といった防災情報、近年急速に発展している機械学習による数値大気予測モデルの構築のいずれにおいても全球大気状態推定は不可欠です。

このように全球大気の状態推定の研究は重要なものですが、「静かな進化」(Bauer et al. 2015)と評されるように、その重要性は十分認識されていないかもしれません。本発表では全球大気状態推定を基礎から最新研究まで紹介します。最新の研究成果として全データのPDFを新たに客観推定して精緻化し、これを用いて状態推定することで、非常に高精度な大気状態推定が可能になることを紹介します。

## 2. 大気状態を知る方法

はじめに、大気状態とは何でしょうか？大気の物理的状態を決めるのに必要な変数は、気温、水蒸気量、3次元風速、地表面気圧、雲量等です。大気は流体ですが、大気を十分細かい格子で区切って全格子点でこれらの物理量がわかれば十分な精度で全球の大気状態を知ったこととなります。大気では、雨粒から惑星スケールの波まで様々な時空間スケールの現象が切れ目なく複雑に相互作用しています。例えば天気をつくる波は2週間程度で地球を一周します。このため例えば日本の天気予測をしたい場合でも、全球の大気状態を知る

必要があります。

上述の物理量について我々が持っている情報は、観測データ(ラジオゾンデや衛星観測データ等)と数値気象モデルによる予測結果です。しかしこれらの情報はすべて誤差をもっています。データ同化はこれらの曖昧な情報を統合して無矛盾に状態推定を行うことを可能にする枠組みです。理論的な基礎は以下の一つの式(ベイズの定理と呼ばれます)です。

$$P(x|z) = \frac{P(z|x)P(x)}{P(z)}$$

ここで、 $x$ は真の大気状態、 $z$ は我々がもつ大気に関する情報(観測や予測値)、 $P(b|a)$ は $a$ が発生しているときに $b$ が生ずる確率を表すPDFです。大気状態推定とは、この式の左辺の $P(x|z)$ を推定することです。そのためには右辺の量が必要ですが、実はこれらは理論から一意に決まらない量です。このためこれらを精度良く推定することが、データ同化による状態推定の主な研究テーマとなっています。PDFの形は未知ですが、誤差の一般的な性質により平均値にピークをもつ山形の分布(正規分布またはガウス分布と呼ばれます)で良く近似できることが数学的に証明されており(中心極限定理と呼ばれます)、実際のデータでこれが確認できます。したがってガウス分布で近似すれば大気状態推定が可能となります。

## 3. 新しい全球大気状態推定

PDFはガウス分布で近似できることがわかりました。次の問題はどのようなガウス分布か知ることです。ガウス分布はモデルの自由度や観測データの数の2乗個程度のパラメータ(誤差共分散行列, Error Covariance Matrix: ECMと呼ばれます)を与えることで形が完全に決まります。本研究では、従来よりも高精度にECMを推定することで、全球の大気状態の推定精度や予測精度を大幅に向上させます。そのためにはまず従来の手法の問題点を見ておきましょう。これまでの研究や現業システムでは、ECMは試行錯誤(経験的調整と呼ばれます)で値が決められてきました。例えば観測のECMの場合、観測と予測誤差の和はデータから推定できるため、これを初期推定値としてデータ同化を行ってみて予測精度を評価し、次に少し値を変えて予測精度を評価することを繰り返し、もっとも予測誤差が小さかった値を選びます。これを観測の種類ごとに行います。この方法は非常に多くの開発コストを要する

一方で、真のECMIに近づく保証はなく、得られたECMの理論的妥当性が低いことが問題です。では、ECMの推定精度を良くするにはどうしたら良いでしょうか？そのためには、データ同化の理論を最大限に利用してすべてのデータのECMを推定します。以下で詳しく見てみましょう。

#### 4. PDFの客観推定による高精度な大気状態推定

データ同化の理論に基づいたECMの推定手法として、Desroziers et al. (2005)やFisher (2003)の推定手法があります。これらの手法は前述のベイズの定理から導出される様々な関係式を駆使してECMを推定します。ただし、これらの手法にはいくつかの仮定が含まれており、実際のデータでどの程度成り立つかは未知です。既存研究では特定のデータだけについて適用が試行されてきましたが、PDFは全データの間を関係性を記述するものであるため、すべての観測と予測データについて客観推定を行う必要があります。本研究はこれを初めて行ったものです (Ishibashi 2020, 2024)。推定の結果を第1図に示します。観測データの誤差は多くのデータで半分以下、データ間には従来は知られていなかった大きな相関があることがわかります。つまり、新しく推定されたECMは従来のもとは全く異なります。客観推定したECMでデータ同化することでより多くの情報が適切に解析に反映され、高精度な解析、予測が実現されることが期待できます。第2図は客観推定したECMによる予報精度の改善を示しており、概ねすべての物理要素、領域、予報時間で顕著に予報精度が改善しています。改善の大きさは過去30年程度の同化研究の中でも最も大きいものの一つです。これと整合的に、台風やハリケーンの進路予報精度でも最大で38%程度の改善が見られます (第3図)。

#### 5. まとめ

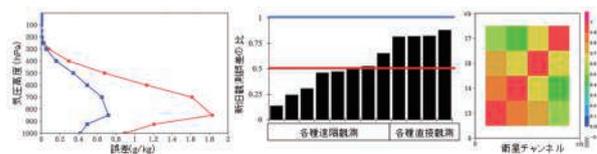
全球の大気状態を知るための研究は、大気のカオス性のために難しい科学的問題です。それはまた科学的及び社会基盤情報として不可欠です。大気状態の推定は、観測やモデル予測等の曖昧さを持った膨大な情報をベイズの定理に基づくデータ同化で統合することで可能となります。本研究ではすべてのデータのECMをデータ同化の理論に基づいて客観推定することで、大気状態推定の精度が顕著に向上することを示しました。発表では関連研究についても適宜紹介します。

#### 謝辞

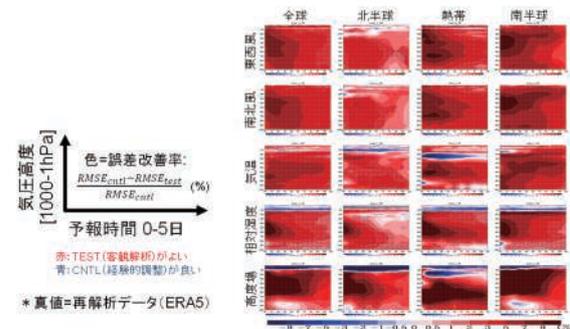
JSPS 科研費 17K05658, 22K03726 の助成に感謝します。

#### 参考文献

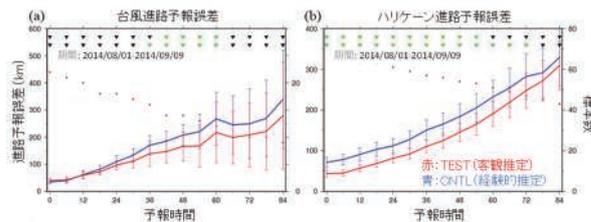
- (1) Bauer, P., et al., 2015: The quiet revolution of num



第 1 図: ECM の客観推定の結果。左から右に、予報誤差 (赤: 従来、青: 新)、観測誤差 (新/従来)、観測誤差の相関構造 (従来手法では考慮されない)。



第 2 図: 客観推定した ECM による予報精度の改善。従来手法に対して改善が赤、改悪が青。



第 3 図: 台風やハリケーンの進路予報の改善。赤が新手法、青が従来手法。

erical weather prediction. *Nature*, **525**, 47–55, <https://doi.org/10.1038/nature14956>.

- (2) Fisher, M., 2003: Background error covariance modeling. *Proc. ECMWF Seminar*, 45–64, <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2003/9404-background-error-covariance-modelling.pdf>.
- (3) Desroziers, G., et al., 2005: Diagnosis of observation, background and analysis-error statistics in observation space. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, **131**: 3385–3396. <https://doi.org/10.1256/qj.05.108>
- (4) Ishibashi, T., 2020: Improvement of Accuracy of Global Numerical Weather Prediction Using Refined Error Covariance Matrices. *Mon. Wea. Rev.*, **148**, 2623–2643, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-19-0269.1>.
- (5) Ishibashi, T., 2024: Global atmospheric state analysis using objective Gaussian probability density functions. *Sci Rep* **14**, 22275. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71849-7>

# 線状降水帯・台風のメカニズム解明に向けて ～気象研究所の新たな取り組みをご紹介～

○藤田 匡(研究連携戦略官)

## 1. はじめに

激甚化・頻発化する線状降水帯や台風等による気象災害の被害防止・軽減は、喫緊の課題であり(交通政策審議会気象分科会(2018)等)、気象庁では、豪雨防災・台風防災に資する線状降水帯や台風等の予測精度向上に取り組んでいます(気象庁(2018)等)。

これを踏まえ、気象研究所では、線状降水帯の予測技術向上に向けて、令和3～4年度にかけて実施した緊急研究課題「集中観測等による線状降水帯の機構解明研究」をはじめ、線状降水帯とその環境場に関する研究を大学や研究機関と連携しつつ推進してきました。これらの研究から、線状降水帯の発生形態は極めて多様であり、さらに多数事例の観測・解析が必要であること、また、線状降水帯による大雨は台風の直接的・間接的影響を受けることも多く、台風そのものやその影響の予測も重要となることが分かっています。

これらの成果に基づき、今までの取組をさらに強化するため、気象研究所では、令和7～10年度の計画で、緊急研究課題「線状降水帯・台風等に関する集中観測による機構解明及び予測技術向上」を開始しました。本講演ではこの新たな取組について紹介します。

## 2. 緊急研究課題

本緊急研究課題では、線状降水帯や台風とそれに伴う甚大な被害を引き起こすような激しい気象現象の実態を把握

し、そのメカニズムや大気海洋相互作用の役割を明らかにすることで、予測技術の向上を目指します。これに向けて以下の課題に取り組めます。

### ・副課題1: 大気・海洋の集中観測と機構解明

線状降水帯や台風とそれに伴う激しい気象現象について、その発生・維持メカニズムの解明のため、また大気と海洋の相互作用がどのように影響するか解明するため、北西太平洋域などの海洋上も含めた広域で大気・海洋の集中観測を実施します(第1図)。国内の様々な大学や研究機関と協力し、第1図に示したような様々な観測手法を用いて観測を実施し、得られたデータを共有することで研究を加速させます。

### ・副課題2: 線状降水帯・台風等の解析・予測技術の向上

集中観測で得たデータや衛星データ等も活用し、数値シミュレーションやデータ同化による線状降水帯や台風などの解析・予測技術を向上させます。AI技術等を活用した最先端のデータ同化・予測手法の開発・改良を行うことにより、大気下層における海洋との水蒸気や熱のやりとり等の効果を有効に取り込み、線状降水帯や台風に伴う大雨や暴風、さらに高潮や洪水等の予測技術向上を目指します。

## 3. 今年度の取組

令和7年度の取組としては、大気・海洋の集中観測を5月下旬～10月に実施しました。航空機によるドロップゾンデ観測(名古屋大学と共同で実施)では、航空機の飛行経路に沿



第1図: 令和7年度に実施した集中観測の概要図。色付き太字で観測手法や利用する測器を、黒細字で実施期間を記載。

た大気の鉛直構造を観測し、上空の寒気や、下層の暖かく湿った空気が流入する様子が捉えられました(第2図)。また、ウェーブライダーや漂流ブイ、水中ライダー等による海上での観測も実施し、台風近傍での海面水温の変化等を捉えることができました。

線状降水帯の発生メカニズム解明に向けた取組として、事例解析による知見の集約、体系化を進めています。令和7年度に発生した線状降水帯について、環境場の特徴を分析するとともに、線状降水帯の発生形態による分類表への当てはめを行い、分類表の精緻化を進めました(第1表)。

また、解析・予測技術の向上に向けて、様々なデータ同化・予測実験システムの構築を進め、予備的な実験を開始しています。台風強度予測ガイダンスでは、海洋同化・予測システムによる海面水温や海洋貯熱量の予測値を用いる実験を行い、台風通過による海面水温低下等の影響が反映され、台風の最大風速の予測が良くなる事例が見られています(第3図)。

#### 4. まとめ

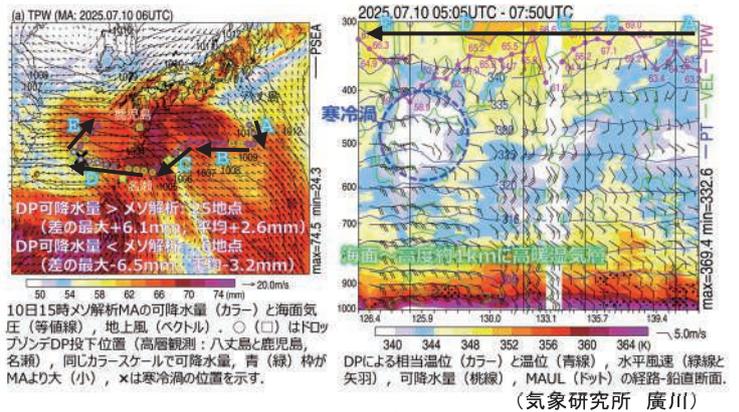
気象研究所では、令和7年度から4年間の計画で、緊急研究課題「線状降水帯・台風等に関する集中観測による機構解明及び予測技術向上」への取組を開始しました。本研究課題では、線状降水帯や台風とそれに伴う激しい気象現象の実態を把握し、そのメカニズムや大気海洋相互作用の役割を明らかにすることで予測技術の向上を目指し、これに向けた取組を大学や研究機関と連携しつつ推進しています。

今年度は、様々な観測手法を用いた大気・海洋の集中観測を出水期に実施し観測データの解析を進めるとともに、事例解析の知見集約・体系化に取り組んでいます。また、集中観測や衛星観測等のデータを活用し、線状降水帯や台風を大気・海洋にわたって解析する様々なデータ同化・予測実験システムの構築を進め、いくつかのシステムで予備的な実験を開始しました。

今後も、集中観測、及び、その観測データ等を活用した取組を大学や研究機関と連携しつつ推進し、台風や線状降水帯のメカニズム解明、予測技術向上に貢献していきます。

#### 参考文献

- (1) 交通政策審議会気象分科会, 2018: 「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方(提言)」, <https://www.mlit.go.jp/common/001262849.pdf>
- (2) 気象庁, 2018: 「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」, [https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/tecdev/nwp\\_strategic\\_plan\\_towards\\_2030.html](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/tecdev/nwp_strategic_plan_towards_2030.html)

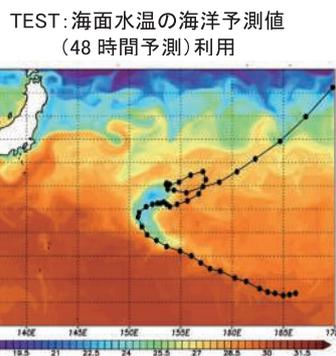
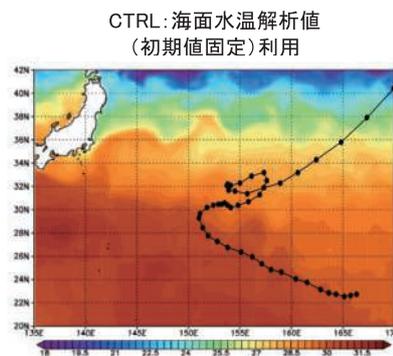


第2図: 令和7年7月10日のドロップゾンデ観測 A→B→C→D→Eの経路で観測を実施(気象研究所、名古屋大学)

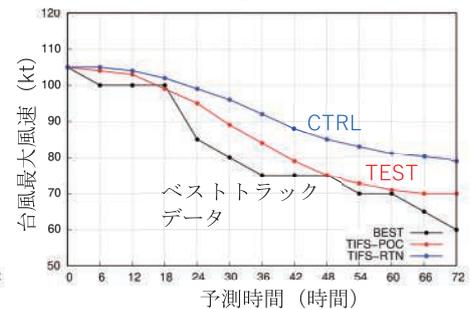
第1表: 線状降水帯の分類表

(気象研究所 益子)

| 線状降水帯の発生形態の分類                   | 近年の主な事例   | 発生環境場の着目点   | 発達・維持機構や内部構造   | 発達モデル・メソスケールによる再現の難易度 |
|---------------------------------|---|---|--|-----------------------|
| <b>A. 総観スケールの前線本体に伴う現象</b>      | 1. 総観スケールの前線に伴う2つの気象現象のもと、広域の対流活動の一部が断片的に発生<br>・ H30年7月豪雨(福岡県など)<br>・ R3年8月九州北部   | ・ MAULの存在<br>・ 中・下層の低気圧フラックス収束大<br>・ 前線上の小気圧性   | ・ 複数の線状メソ対流系による場合が多い<br>・ 前線前後の端が断片的に並び                              | 低                     |
| <b>B. 前線南側などの顕著な不安定場内の現象</b>    | 1. 広域の対流域の一部が断片的に発生<br>・ R5年7月九州北部<br>2. 局地的な収束帯が顕著(小気圧が顕著した事例が多い)<br>・ R2年7月豪雨(球磨川)<br>・ R4年8月山形-新潟<br>・ H23年7月新潟-福島豪雨<br>・ H29年7月九州北部豪雨<br>3. トリガーは弱く、対流自身によって増強化したもの<br>・ R3年7月九州南部<br>4. 地形の影響が大きい<br>・ H25年8月東北<br>・ H26年8月豊田(広葉市) | ・ 前線上の小気圧性の確立に伴う局地的な収束帯<br>・ 海陸分布や地形などの影響を受け局地的な収束帯<br>・ 大気不安定度<br>・ 大気成層圏収束や、山岳の地形など | ・ 1つの発達性の線状メソ対流系による場合が多い<br>・ 短波シフトとドクターのバリエーション                     | 中                     |
| <b>C. 台風の影響を強く受けたもの(発達圧率含む)</b> | 1. 台風通過<br>(多量の低気圧フラックスと地形や前線の影響など)<br>・ H25年10月伊豆半島<br>・ R4年7月西四<br>・ R5年8月四国-東海<br>・ H29年10月紀伊半島<br>2. 台風通過<br>・ R元和9月伊豆半島  | ・ 多量の低気圧フラックスと地形の影響<br>・ 台風通過を中心とした収束メソスケールの前線強化<br>・ 台風に近い移動速度                       | ・ 山岳地形に形成される収束帯など<br>・ 地形性上昇流やシアーフォーダー効果<br>・ 前線強化機構<br>・ アウターレインバンド | 中                     |
|                                 |   |   |  | 低                     |



令和7年9月21日 06UTC 初期値の最大風速予測結果



第3図: 海洋予測結果を利用した台風強度予測ガイダンス。左図、中図の黒線は令和7年台風第19号の進路。

# 日本沿岸水位の長期変動について

○中野 英之(全球大気海洋研究部)

## 1. はじめに

地球温暖化が人類の生活に及ぼす最も直接的かつ重大な影響の一つが海面水位上昇です。主要都市が沿岸地域に位置する日本では、この現象の影響調査が極めて重要です。それには、日本沿岸における海面水位変動プロセスの理解が必要不可欠です。

海面水位変動はさまざまなプロセスによっておきます。淡水が海洋に流入すること、海水の温度による体積変化、海面の風応力の効果などがあげられます。それらは、現象が起きた海域の水位を変化させるだけでなく、さまざまな波としての他の海域に伝わっていきます。そして日本の沿岸水位は、海岸線にそって伝わる波の影響に加えて、地殻変動の影響も無視できません。それよりも時間が短いプロセスに対しては潮の満ち引き、波浪、高波の影響があります。そして地震が海で発生した場合には津波が押し寄せます。これらの現象はその発生メカニズムや時空間スケールが非常に多岐にわたります。そのため、一研究者または一部門ですべてを網羅して評価することは難しく、諸分野の成果を統合した真に学際的な取り組みが必要です。

ここでは、数週間以上の長い時間スケールにおける海面水位変動について、IPCC第6次評価報告書や気象研が担当した「日本の気候変動2025」の海面水位の将来予測も踏まえて、そのメカニズムや推定方法の概説を行います。

## 2. 海面水位変化の長期変化の見積もり

海面水位の長期変動は以下の三つの効果の合計として見積もることができます。

- (1) 海洋全体でほぼ一様とみなせる海面水位変動
- (2) 海域により相対的に海面水位が異なる影響
- (3) 地殻変動による陸地の昇降

効果(1)で代表的なものは淡水の流入です。北極の氷が融解しても海面水位は上昇しませんが、陸地にある氷である南極やグリーンランドの氷床が融解する場合に海面水位が上昇することはよく知られています。では、グリーンランド氷床の一部が融解して海洋に淡水が流入した場合にその海面水位上昇はどうなるでしょうか？

まずは、グリーンランド付近の海面水位が上昇しますがそこに留まることなく、その海面水位上昇という情報は海洋全体に一週間程度で伝わり、一か月程度以上の長い時間スケ-

ルで見た場合、全海洋でほぼ一様の上昇とみなせます。海洋には深さ方向に同じ変位を持つ順圧の波と、深さ方向に異なる変位を持つ傾圧の波があり、前者の速度は後者の約100倍にも及びます。淡水の流入の影響が広がるのはこの順圧の波によるものです。これらのことから、正確な淡水流入の見積もりは難しいものの、長期スケールでは合計の絶対量が重要となります。

海水は温度により体積が変化します。これが引き起こす海面水位変動には、全体の海面水位を変動させるものと、周りとの相対的な圧力差により相対的な海面水位偏差を引き起こすものがあります。前者については、淡水流入と同様に順圧の波により全海洋に伝わります。後者については、海面に働く風応力による効果と合わさり、太平洋全体では傾圧の波により、海流の変化を伴い十数年以上もかけてゆっくりと応答します。これが効果(2)です。効果(2)の見積もりは海洋大循環モデルが得意とするところではあります。

ここでは黒潮の影響による日本の沿岸水位変動を見ていきます。黒潮はフィリピン沖から日本の南岸にかけて流れる暖流で、日本の南岸では非大蛇行接岸流路、非大蛇行離岸流路、大蛇行流路の三つの典型的な流路をとることが知られています(図1a)。

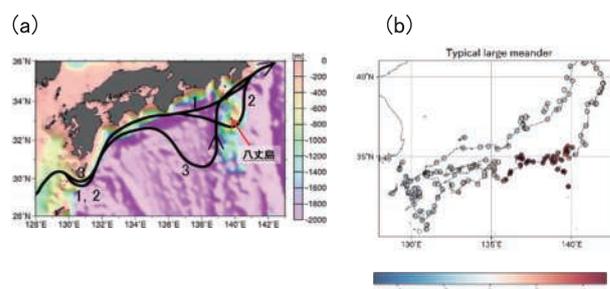


図1a. 典型的な黒潮の流路パターン 1. 非大蛇行接岸流路、2. 非大蛇行離岸流路、3. 大蛇行流路

図1b. 大蛇行時による日本沿岸の海面水位偏差。単位はcm

なかでも近年の大蛇行は2017年8月から2025年4月まで1965年以降もっとも長く続きました。黒潮はその北側に比べて南側では1mほど海面水位が高く、黒潮の流路変動は海面水位偏差を伴います。ただし海岸においては沿岸にそって海面水位などを一様化する働きがあるため、その海面水位差は沖合に比べて小さくおさえられ、月平均で見た場合、黒潮

大蛇行時には、日本の沿岸では東海地方を中心に通常よりも5cm程度、海面水位が高くなる分布を持つことが分かりました(図1b)。

効果(3)の地殻変動に伴う変動は全球規模ではGIA(氷河性地殻均衡)と呼ばれます。過去の氷期に大陸を覆っていた巨大な氷床の重みで沈み込んでいた地殻が、氷床が融解した現在、ゆっくりと隆起(回復)し続けている現象が主なものです。日本沿岸においてはそれらに加えて時空間的に非常に複雑なふるまいをする地殻変動の影響が無視できず、とくに長い時間スケールにおける推定や、長期間にわたる潮位計による観測を困難にしています。

### 3. 将来の海面水位上昇

将来の海面水位変化のうち、寄与が大きい効果(1)の水位上昇についてIPCC第6次評価報告書に則り紹介します(図2)。

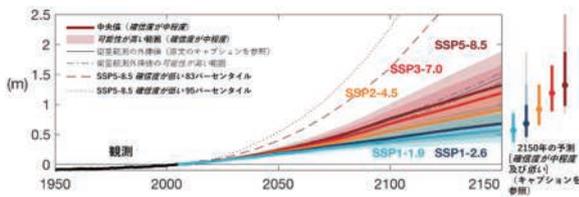


図2. IPCC第6次評価報告書による平均海面水位上昇の推定。

海面水位上昇は将来変化の様々なシナリオごとに推定されていますが、2050年付近ではいずれの推定においても、0.2m程度の海面水位上昇で、極端な現象が起きた場合で0.5mです。ここでの極端な現象とは、南極氷床の加速度的な崩壊等、可能性が低いものの無視できない現象を指します。この海面水位上昇は時間を追うとともに深刻となり、2150年においては、温度上昇シナリオによっては1mを越すような海面水位上昇値が見積もられています。

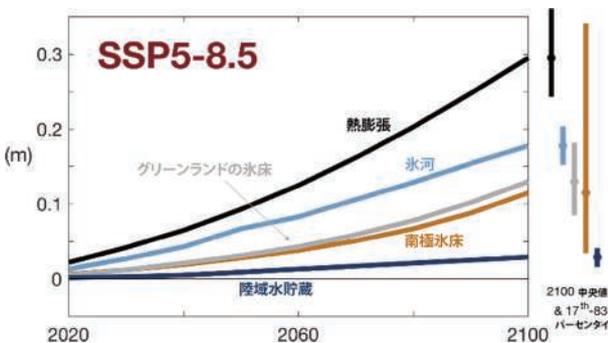


図3. SSP5-8.5シナリオ(化石燃料に依存し、非常に大きな温暖化が進む世界)における、各要素ごとの海面水位上昇の寄与。

その内訳をしてみると海が暖められて膨張した寄与が一番大きく、続いてアルプス等の陸上の氷床の融解、そして、同

程度のグリーンランドと南極の氷床の融解となっています(図3)。不確実性は南極の氷床の寄与が極めて大きく、もっとも極端な場合にはこれがその他の寄与よりも大きくなります。

「日本の気候変動2025」における日本の沿岸海面水位を求める際にはこれに前述の海洋モデルによる計算結果を足し合わせることで、見積もりを行いました。地殻変動は時間的にも空間的にも複雑で予測が非常に難しいため、足し合わせた見積もりを行うのではなく、IPCC第6次評価報告書による時間一定の分布として提供されているデータを参考データとして添えています。

### 4. まとめ

日本沿岸水位の長期変動には、海洋への淡水流入、海水の体積変化、海面水位の地域的な分布、及び、地殻変動による影響が重要です。

海洋への淡水の流入流出の効果は数週間以上のスケールではおおそ海洋全体で一定とみなせます。熱による海水の体積変化は海域分布を生み出しますが、体積変化そのものによる海面水位の変動は淡水流入流出の場合と同様に海洋全体に素早く広がります。

熱や風による海流の変動が引き起こす海域による海面水位差は1mを超えます。この海流の変動や海面水位差の地域分布の推定は海洋大循環モデルが得意とするところで、黒潮の流路変動の影響などを見ることができます。沿岸に沿って情報を伝える波の影響により、月平均スケールでは海面水位差は沖合よりも沿岸では大幅に抑えられ、黒潮の流路の影響は10cm程度でした。さらに日本においては海流に加えて時空間的に非常に複雑なふるまいをする地殻変動の影響を無視できません。

湾レベルでの短期間の急激な海面水位上昇を伴う「急潮」という現象なども、沿岸域での養殖業などへの影響から注目を浴びています。今後は、長期変動に加えて、このようなスケールの小さい短期間の現象を、より高解像度のモデルの構築や、大量のシミュレーションから統計的な特徴を見積もる手法等も含めて、開発・研究を推進していく予定です。

### 謝辞

本研究の一部は、文部科学省「気候変動予測先端プログラム」日本域における気候変動予測の高度化(研究課題番号(JPMXD0722680734)の助成を受けています。

### 参考文献

- (1) IPCC 第6次評価報告書
- (2) 日本の気候変動 2025

# 富士山宝永噴火を想定した降灰シミュレーション

○石井 憲介(火山研究部)

## 1. はじめに

1707年の富士山の噴火(宝永噴火)による火山灰は、関東地方に広く降り積もり、当時の江戸をはじめ広範囲にわたり被害をもたらしました。将来、同程度の規模の噴火が富士山で発生した場合、首都圏では大量の降灰が予想され、人口が多く都市機能が集中していることから、住民生活や経済活動に大きな混乱が生じることが懸念されています。

宝永噴火のような大規模な噴火に対する広域降灰対策については、内閣府などでも検討が進められてきました。その中で、降灰量や火山灰粒子の大きさに応じた災害の種類や程度が整理され、また、降灰対策を策定するための重要な基礎資料の一つが噴火発生後の降灰量の分布であるとされています。

気象研究所では、こうした広域降灰対策を支援するための基礎資料として降灰分布の季節変化や確率的な情報を提供するために、数値モデルを開発し、宝永噴火相当の噴火を想定した降灰シミュレーションを実施しました。このシミュレーションでは、2021年の1年分の気象場に基づき、降灰分布の季節的な傾向や都市ごとの降灰量を調べています。本発表では、このシミュレーションの結果をもとに、宝永噴火のような噴火が現代に発生した場合の降灰の特徴について紹介します。

## 2. 宝永噴火

宝永噴火は、1707年(宝永4年)12月16日に富士山の南東斜面(現・宝永山)で発生しました(第1図)。噴火は約2週間にわたって断続的に続き、高度10km以上まで舞い上がった噴出物は偏西風によって、江戸や房総半島にまで降り注ぎました。江戸における降灰量は約2cmに達し、その火山灰層は現在でも残っています。この時代は江戸時代中期にあたり、江戸はすでに世界でも有数の大都市として、政治・経済の中心地として栄えていました。また、多彩な文化が開花した時代でもありました。

宝永噴火は、多くの人々が往来していた東海道の近くで発生し、さらに江戸にもその影響が及んだことから、当時の人々によって多数の記録が書き残されています。それらの記録によると、江戸の街では噴火に伴う空振の影響で戸や障子が音を立てて揺れ、噴火開始から約2時間後(昼頃)には降灰が始まり、夜までに1cm近くの火山灰が積もったとされています。特に被害が大きかったのは、富士山により近い地域です。火

口から10kmほどしか離れていない須走村(現・静岡県小山町)では、多数の火山岩塊の熱によって多くの家屋が焼失し、最終的に堆積した噴石や火山灰は3m以上に達しました。農業を生活基盤としていた地域では、農作物の損失が生活に直結し、数十cmから数mに及ぶ火山灰の堆積は、地域の生活基盤を根底から破壊しました。

宝永噴火による火山灰は当時の社会に大きな影響を及ぼしましたが、人口が集中し都市機能が高度に発達した現代の都市圏においては、当時を上回る深刻な混乱が生じる可能性があります。こうした影響を適切に考えるためには、火山噴煙がどのように形成され、火山灰がどのように運ばれるのかを理解することが欠かせません。



第1図: 宝永噴火の噴煙の描写(沼津市土屋博氏所蔵)

## 3. 噴煙の種類と火山灰の輸送

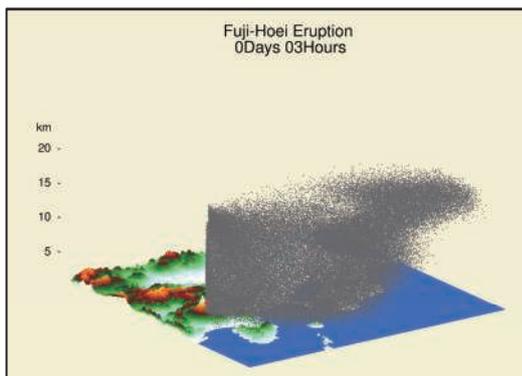
地下深くのマグマだまりから高温のマグマが上昇してくると、内部の圧力が下がり溶けていた水分が急速に沸騰します。その結果、マグマと水蒸気が混ざった高温の噴出物が火口から勢いよく噴き出すことで噴煙の形成が始まります。その勢いは数百m/sに達しますが、その勢いだけで高さ10kmまでは達することはできません。

噴き出した噴煙は、周囲の大気を巻き込み、温めながら浮力を得て上昇していきます。そして、上昇を続けた噴煙は一定の高さに達すると、水平に広がり始めます。このときの広がり方は周囲の風の強さによって変わります。風が強い場合は、風下方向に長く伸びる「風下重力流」となり、風が弱い場合は四方八方に広がる「傘型噴煙」を形成します。

こうして形成された噴煙から大量の火山灰粒子が大気中に放出されます。火山灰粒子は大きさによって落下の仕方が異なり、大きな粒子は早く落ちるため火口近くに堆積します。一方、小さな粒子はゆっくり落ちるため周囲の風によって遠く

まで運ばれます。

気象研究所では、そのような噴煙の形成や火山灰の輸送過程をシミュレーションで実現するための数値モデルの開発を進めており、宝永噴火のような大規模噴火のシミュレーションが実行できる準備が整いました(第2図)。新しい数値モデルでは傘型噴煙の形成や周囲の風と噴煙の相互作用など、従来のモデルでは表現できなかった効果を考慮できるようになりました。この数値モデルで、多数のシミュレーションを実施することによって、どの地域にどれくらい火山灰が積もるかを計算することができます。また、気象条件の違いを考慮しているので、季節ごとの降灰分布の特徴を調べることもできます。



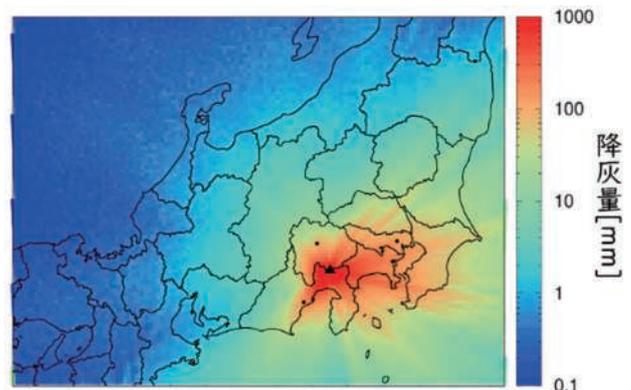
第2図: 宝永噴火の降灰シミュレーションの様子

#### 4. 降灰シミュレーションの結果

本研究では、宝永噴火に相当する噴火を想定し、2021年の1年間の実際の気象条件を用いて365回の降灰シミュレーションを実施しました。その結果、降灰の量や粒径分布の季節的・空間的な変動やその傾向を理解することができました。例えば、2021年1月1日に噴火が開始すると想定したシミュレーションでは、偏西風による西風が優勢であったため、降灰は富士山の東側に集中し、細かな火山灰粒子は房総半島を越えて広域に分布しました。東京では大きな粒子は届かず、粒径2mm以下の火山灰粒子が支配的でした。降灰は7日目に開始し最終的な火山灰の深さは1cmに達しました。これに対し、横浜では噴火後30分以内に降灰が始まり、初日に深さ2cmを超えました。東京と横浜のように比較的近い場所であっても、気象状況によっては降灰のシナリオが大きく異なる可能性があることがわかります。

365回の統計解析により、降灰の総量や最大粒径は単に火口からの距離で決まるのではなく、風向や風速、噴煙の挙動に左右されることが確認されました。富士山の東側では降灰量が多く、3cm以上の降灰は新宿で30%、横浜で70%ほどの確率で発生することが予想されます。また、風向きによっては新宿や横浜での降灰量は最大で数cmから10cmに達することが予想されました(第3図)。

シミュレーションの結果は、降灰分布が季節による変化も顕著であることを示していました。冬季には強い西風により降灰は富士山の東側に偏ります。一方、夏季には風が弱く、風向が不明瞭であるため、降灰は西側や北側にも分布します。特に、風が弱いときに形成される傘型噴煙による放射状に広がる輸送によって西側や北側の都市(静岡・甲府など)にも数mmの大きさの火山礫が到達する可能性があります。また、都市ごとの降灰開始時間の解析も行いました。その結果、東側の都市では噴火後1時間以内に降灰が始まることが多く(新宿で約20%、横浜で約40%)、最短で噴火後30-40分程度で降灰が始まる可能性があることも分かりました。



第3図: シミュレーションの結果(最大降灰量分布)

#### 5. まとめ

本研究では、宝永噴火相当の噴火を想定した降灰シミュレーションを行い、降灰の季節変化や都市ごとに予想される降灰開始時間や降灰量を明らかにしました。降灰は季節や風向きによって分布や粒径が大きく変化し、都市ごとの影響にも差があることがわかりました。特に、東京や横浜では噴火後の比較的早いうちに降灰が始まる可能性が高く、夏季には富士山の西側や北側の都市でも数mm以上の大きさの火山礫が到達することが予測されました。これらの結果は、防災対策や対応計画を立てる上で重要な基礎情報となります。

一方で、今回のシミュレーションは様々な仮定を含む数値モデルに基づく予測であり、実際の噴火時の降灰分布とは差が生じる可能性があります。次の富士山の噴火は864年に発生した貞観噴火のように溶岩流が中心になる可能性もあります。火山としての富士山の研究や、数値モデルの精緻化は予測精度の向上につながります。

#### 参考文献

- (1) 内閣府, 2006: 災害教訓の継承に関する専門調査会報告書 ー1707 富士山宝永噴火ー。
- (2) 萬年一剛, 2022: 富士山はいつ噴火するのか? ー火山の仕組みとその不思議ー。ちくまプリマー新書, 406

## ■ 気象研究所 研究成果発表会 発表題目【2020年度(令和2年度)以降】

|          |  |       |            |
|----------|--|-------|------------|
| 2024(R6) | 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    |
| 2024(R6) | 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  |
| 2024(R6) | 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 |
| 2024(R6) | 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 |
| 2024(R6) | 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  | 気象観測研究部    |
| 2024(R6) | 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 |
| 2024(R6) | 台風進路・強度予測の高精度化を目指した最新の研究紹介                     | 山口 宗彦 | 応用気象研究部    |
| 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 -気候研究の最前線-            | 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) | 北極減の急速な温暖化                                     | 庭野 匡思 | 気象予報研究部    |
| 2020(R2) | 令和2年7月豪雨の特徴 - 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 - | 益子 涉  | 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 - 東日本大震災から10年 -                   | 対馬 弘晃 | 地震津波研究部    |

## ■ 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

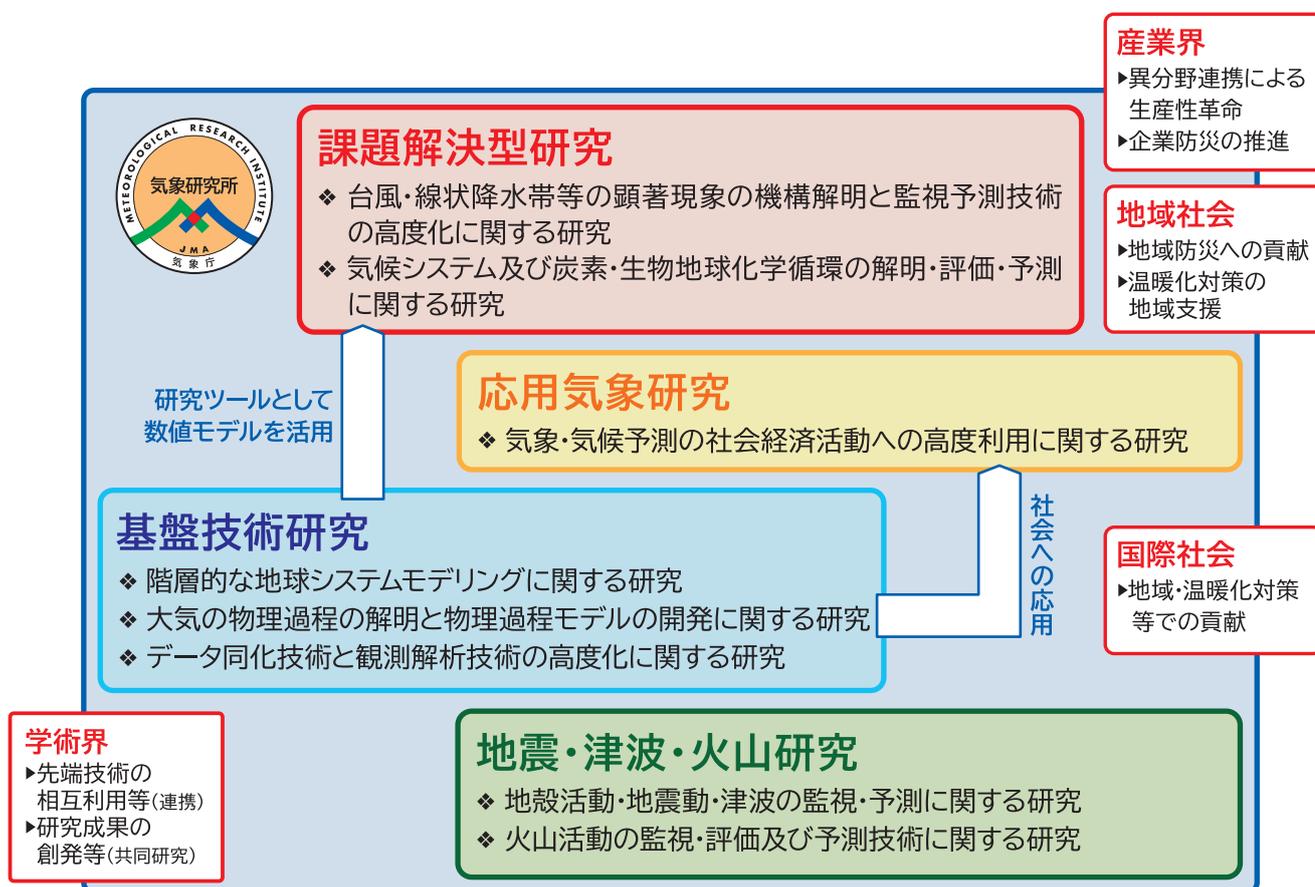
気象業務の現場において取り組むべき研究課題について、気象研究所と気象官署が共同し地方共同研究として実施しています。地方共同研究により、気象業務の現場における潜在的なニーズを的確に捉え、気象研究所の研究方針や内容に適宜反映させることによって、気象業務の高度化に貢献しています。さらに、研究活動を通じて気象研究所と気象官署の連携を強化し、気象官署における調査業務の支援を図るとともに、職員の資質向上にも貢献しています。

### 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・管区气象台・地方气象台等と連携し、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