

交通運輸技術開発推進制度
令和 4 年度業務実績説明書

(研究課題名)

関東圏の航空機の効率的な運航のための
極端気象予測の高度化

令和 5 年 3 月

(研究機関名)

東京大学大気海洋研究所

研究成果要約

作成年月	令和5年3月
研究課題名	関東圏の航空機の効率的な運航のための 極端気象予測の高度化
研究代表者名	佐藤正樹
研究期間	令和2年 9月 4日～令和5年3月31日
研究の目的	関東圏における二重偏波ドップラー気象レーダー等の観測データを利用することにより、局地気象予測モデルにおける積乱雲に伴う雲物理過程・メソ循環の再現性を向上するとともに、特に数時間から1日程度先までの気象予測精度の向上を図る。その気象予測情報を利用することにより、関東圏の航空機のより効率的な運航や交通流管理に寄与する手法を確立する。
研究成果の要旨	本研究では、二重偏波ドップラー気象レーダー等による観測データを用いて、局地気象モデルの改良し、さらにデータ同化により予測精度の向上を図った。また、気象予測情報の向上による航空機の運航の効率化を評価するとともに、航空機の運航の効率化に資する観測・予測情報の利活用の方法について検討した。 局地気象モデルによる高精度数値予測システムの構築において、局地気象モデルシミュレーション結果を二重偏波ドップラー気象レーダー等の観測データにより検証を行った。関東圏における様々な降雨事例について、局地気象モデルにより高解像度の数値シミュレーションを行い、これらの結果を観測データによって比較検証した。特に、観測シミュレーターを利用することにより、雲降水過程の再現性の評価を行った。これらの結果をもとに、局地気象モデルの特に雲物理過程や乱流過程の改良に取り組んだ。関東域での台風や降雨事例(50事程度)を選定し、羽田・成田空港レーダーや東京レーダーの観測データを整備した。これらの事例のうち代表的な事例について、局地気象モデルを用いて数値シミュレーションを実施し、観測データと数値モデルの比較検証を行った。数値シミュレーションの結果に観測シミュレータを適用し、レーダー観測データと比較することにより、局地数値モデルの雲降水過程の評価検証を行った。これらの結果をもとに、局地気象モデルにおける主として雨、雪、霰に関する雲物理過程の改良を行った。また雹を導入した新たな雲物理スキームを開発した。改良した局地気象モデルを用いて、データ同化サイクルのもとで一定期間の予測実験を行い、数値モデルの改良の効果を評価した。 飛行経路上の気象場の評価手法の開発のために、航空機の運航に直接影響した事例において気象モデルの計算結果を検証した。実際に航空機のオペレーションが難しかった事例として、南岸低気圧の中心が関東圏を通過した事例に注目した。上述の雲物理スキームの改良を導入した場合、山地に沿った寒気の滞留が強化され、地上の気温と収束線の位置、さらに強雨域がより現

	実に近づく顕著な改善がみられた。 気象モデルを利用した予測情報を活用するため、気象モデルの出力をレーダー反射率へ変換し、想定されたフライトパスにおける時系列・飛行高度の平面分布のプロットを提案した。気象モデルの計算結果に観測シミュレータを適用し、レーダー反射率に変換した結果のプロットと、羽田・成田の空港レーダー観測を合成した実測値のプロットを比較・検証できるようにした。地上付近を除く高度では、数時間前の予測と実況はある程度合致しており、有用性が示された。予測値のプロットのためには、現状より高頻度・詳細な気象モデルの出力を必要とするが、実況値のプロットは空港レーダーの観測値により実現できる可能性がある。このようなプロットを実用化するため潜在的なユーザーの意見を反映するとともに、プロット的高速化も実施した。
知的財産権 取得状況	例) 特許出願 0 件 著作権登録 0 件
研究成果発表実績	論文発表：国内 0 件、海外 9 件 口頭発表：国内 32 件、海外 14 件 その他 : 4 件

研究開発の目的と実施体制

研究開発の目的

羽田空港では2020年3月に新飛行経路の運用が開始され、首都圏における航空機運航が過密化している。これに伴い航空機運航への悪天時の影響が増大している。近年、雷・雹・竜巻を伴う「シビアストーム」等の極端気象が頻発しており、航空機の効率的な運航を確立するために高精度の気象予報の重要性が高まっている。一方で、気象庁により新型の二重偏波ドップラー気象レーダーが更新整備されるなど、関東圏での新しい気象観測設備が整備されつつある。本研究では、関東圏における新しい観測の活用等により数値気象予測モデルを高度化し、数時間から1日先までの気象予測精度を向上し、それにより過密化する関東圏の航空機のより効率的な運航に資するための手法を確立することを目的とする。

本研究では、(1) 局地気象モデルによる高精度数値予測システムの構築、(2) 飛行経路上の気象場の評価手法の開発を実施する。(1) 局地気象モデルによる高精度数値予測システムの構築において、①局地気象モデルシミュレーション結果の観測データによる検証として、関東圏において航空機の運航に大きく影響が出た様々な極端気象事例について、局地気象モデルにより高解像度の数値シミュレーションを行う。これらの結果を二重偏波ドップラー気象レーダー等の観測データによって比較検証する。特に、観測シミュレーターを利用することにより、雲降水過程の再現性の評価を行う。また、②局地気象モデルの改良として、局地気象モデルシミュレーション結果の観測データによる比較検証の結果から、雲降水過程・気象場の観点から調査および改良を行い、その効果を評価する。(2) 飛行経路上の気象場の評価手法の開発を実施するにおいて、①高精度数値予測シミュレーションによる再現結果から、航空機の運航に直接影響する気象場を把握するための手法を検討する。いくつかの関東における事例について、シミュレーション結果から抽出した情報と航空機の機上データや地上観測と比較する。また、②高精度数値予測シミュレーションの比較検証に利用するための、航空機の運航データを整備する。運航データのうち位置情報や気象要素を抽出する。

研究実施体制

本研究は、佐藤正樹（東京大学大気海洋研究所、教授）を代表とするグループと、伊藤純至（東北大学理学系研究科、准教授）を分担とするグループが協力して研究を遂行する。それぞれ以下の役割分担のもとで、連携して研究を遂行する。担当機関の研究実施の流れを示すチャートは以下の通りである。

全体課題名:「関東圏の航空機の効率的な運航のための極端気象予測の高度化」

研究代表者: 佐藤正樹（東京大学大気海洋研究所 教授）

個別課題名「局地気象モデルによる高精度
数値予測システムの構築」

機関研究代表者: 佐藤正樹（東京大学大気
海洋研究所 教授）

研究支援者氏名及び支援内容: Woosub Roh
（特任研究員）、久芳奈遠美（特任研究員）、
Ying-Wen Chen（特任研究員）、松岸修平（学
術専門職員）、局地気象モデルによる実験、
および観測データによる検証

個別課題名「飛行経路上の気象場の評価
手法の開発」

機関研究代表者: 伊藤純至（東北大学理
学系研究科 准教授）

研究支援者氏名及び支援内容: 吉野勝美
（元全日空）、飛行経路に関する情報提
供・アドバイス

研究支援者（東北大学大学院生）: 数値
シミュレーションデータと観測データ
の解析

研究開発成果 （本ページ以降5ページ前後で記載。）

1. 序論

羽田空港では2020年3月より新飛行経路の運用が開始され、より多くの離着陸が可能となるとともに、今後の首都圏における航空機運航の過密化に伴い悪天時の影響のさらなる増大が予想される。近年、雷・雹・竜巻・突風を伴う集中豪雨（「シビアストーム」とよぶ）や台風に伴う暴風雨など極端気象が頻発しており、航空機の効率的な運航やよりの確な交通流管理を確立するために、精度の高い気象予報の重要性がますます高まっている。2019年には房総半島台風（台風第15号）や東日本台風（台風第19号）が立て続けに関東圏に襲来し、暴風や洪水による大きな被害をもたらすとともに首都圏・東日本の交通機関に大きな影響を与えた。夏季の突発的な集中豪雨も近年頻発しており、集中豪雨に対するポテンシャル評価や出現後1時間先の挙動の予測（ナウキャスト）は実用化されているものの、航空機の運航に重要な数時間後から1日先の発生予測は未だに実現していない。今後、地球温暖化の進行に伴い極端気象の激甚化が予測されており、こうした極端気象発生時においても航空機の運航や交通流管理への影響を軽減するため、きめ細かい精度の高い気象予測の必要性がますます高まっている。気象庁では東京レーダー（千葉県柏市）を新型の二重偏波ドップラー気象レーダーに更新整備するなど、関東圏での新しい気象観測設備が整備されつつある。本研究では、関東圏における新しい観測の活用等により、数値気象予測モデルを高度化することで、特に数時間から1日程度先までの気象予測精度を向上し、その気象予測情報を利用することにより、関東圏の航空機のより効率的な運航や交通流管理に寄与する手法を確立することを目的とする。

シビアストーム、台風等の極端気象を予測するために、高解像度の数値気象モデルが利用されている。気象庁では非静力学モデル asuca に基づく水平格子間隔2kmの局地モデル(Local Forecast Model, LFM)により日本域を覆う範囲で、10時間先までの数値予測を行っている。強い上昇流を伴う積乱雲は、水平格子間隔2kmでぎりぎり表現できる範囲であるが、近年さらなる高解像度化によって再現性・予測可能性が向上することが示されている。

大学等の研究機関では、現業予報モデルと異なる数値気象モデルを一般に研究用に開発・利用している。東京大学大気海洋研究所では、高解像度で全球を覆う全球非静力学モデル NICAM の開発を進めており、台風等の極端気象の予測研究等に利用されている。NICAM はメッシュ構造を一部領域に集中化させることで局地気象モデルとしても利用可能である。東京大学では宇宙航空研究開発機構(JAXA)との協力のもとに、全球域をカバーする人工衛星観測データを用いて NICAM の雲・降水過程の検証を進めている。人工衛星による降水データを利用した NICAM によるデータ同化システム(NEXRA)が JAXA スーパーコンピュータ上で稼働しており、準リアルタイムでデータ同化データを配信している。

極端気象現象の中でも特に「シビアストーム」は強い上昇流を伴う積乱雲によってもたらされ、その数値的な再現・予測のためには雲・降水に関わる「雲物理過程」と強い上下運動を伴う「メソ循環」の検証・改善が必要である。数値予報モデルにおける「雲物理過程」「メソ循環」の表現は、数値予報モデルの精度の不確実性の最も大きな要因であることが知られている。極端気象現象の再現性・予測の精度向上のためには、複数の数値予報モデルを比較するマルチモデルアンサンブルによる研究が必要である。本研究では、日本国内での初めての試みとして、現業モデルと研究機関で用いられている複数の数値予報モデルを利用し、様々な角度から予測結果を比較することで研究を実施する。

本研究では、2020年より気象庁の現業運用が開始された新しい二重偏波ドップラー気象レーダーや空港レーダー等の観測データを利用することにより、数値予報モデルにおける積乱雲に伴う雲物理過

程・メソ循環の再現性を向上するとともに、予測精度の向上を図る。二重偏波ドップラー気象レーダーは、水平方向および垂直方向に振動する電波を同時に送受信することにより、散乱体の形や種類（雨、雹等）が判別可能であり、降雨域内の風の分布も推定可能である。気象庁では同レーダーを2020年3月に柏市の東京レーダーへ導入し、全国のレーダーサイトでも二重偏波化への移行が進められている。本レーダーの観測データを十分に利活用して数値予測モデルの検証・改善を図る。本研究では、これら関東圏に稠密な観測データを利用し、関東圏を対象とした高解像度な数値予測モデル（「局地気象モデル」とよぶ）による極端気象現象の再現性および予測精度を向上し、特に数時間から1日先までの気象予測情報を用いて、航空機の効率的な運航や交通流管理の評価のために利活用する手法を確立することを目的とする。このような数値予測モデル研究の遂行を通じて、国土交通省におけるSociety5.0への取り組みにおけるITと気象情報融合を促進する。

局地気象モデルによる高精度数値予測システムの構築と飛行経路上の気象場の評価手法の開発に取り組む。局地気象モデルによる高精度数値予測システムの構築において、局地気象モデルシミュレーション結果の観測データによる検証を行う。関東圏において航空機の運航に大きく影響が出た様々な極端気象事例について、局地気象モデルにより高解像度の数値シミュレーションを行い、これらの結果を二重偏波ドップラー気象レーダー等の観測データによって比較検証する。特に、観測シミュレーターを利用することにより、雲降水過程の再現性の評価を行う。これらの結果をもとに、局地気象モデルの改良に取り組む。局地気象モデルシミュレーション結果の観測データによる比較検証の結果から、雲降水過程・気象場の観点から調査および改良を行い、その効果を評価する。

飛行経路上の気象場の評価手法の開発において、高精度数値予測シミュレーションにより再現結果から、航空機の運航に直接影響する気象場を把握するための手法を検討する。いくつかの関東における事例について、シミュレーション結果から抽出した情報と航空機の機上データや地上観測と比較する。また、高精度数値予測シミュレーションの比較検証に利用するための、航空機の運航データを整備する。これにより、運航データのうち位置情報や気象要素を抽出する。

2. 本研究で利用する局地モデルおよび観測データ

2-1. 数値モデル

本研究で利用する数値モデルとしては、シングルモーメント（SM）とダブルモーメント（DM）の雲微物理スキームを持つ複数のモデルを用い、全球非静力学モデルNICAM（Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model）とASUCA（A System based on a Unified Concept for Atmosphere）とSCALE（Scalable Computing for Advanced Library and Environment）による領域モデルを比較利用する。特に、NICAMは全球モデルとしても領域モデルとしても利用できるため、改良したスキームが気候場に与える影響や気候感度の評価を全球規模で直ちに試すことができる。

a) NICAM

NICAMはNonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model（非静力学正二十面体格子大気モデル；Satoh et al 2014）の略称であり、現在東京大学大気海洋研究所、海洋研究開発機構、理化学研究所を中心とした研究者によって、共同開発が進められている。NICAMは高解像度（数キロメッシュ）で全球の気象、気候をシミュレートする全球雲解像モデルとして開発が進められてきた。NICAMはメッシュ構造を一部領域に集中させるストレッチ格子システム（Stretch-NICAM；Tomita 2008a）を用いてデータ点を局所化させることによって、領域雲解像モデルとしても使用可能である。本研究では関東域にデータ点を集中させる格子を利用して計算を行った。

b) asuca

気象庁では、天気予報や防災気象情報などの作成支援を主な目的として、日本周辺を予測対象領域とした2種類の領域数値天気予報モデルを日々運用している。それらは、メソモデル (MSM) と局地モデル (LFM) と呼ばれる。MSM は、水平格子間隔 5km、水平格子数 817×661 、鉛直層数 76 層の仕様、LFM は、水平格子間隔 2 km、水平格子数 1531×1301 、鉛直層数 58 層の仕様となっている。MSM と LFM は、両者ともに予報モデルとして気象庁非静力学モデル “asuca” を利用している。本研究の対象である LFM の初期値は、局地解析によって作成される。局地解析は、3 次元変分法と 1 時間予測を組み合わせたデータ同化システムである。まず、初期時刻の 3 時間前の MSM の予測値を第一推定値として 3 次元変分法によって当該時刻の観測データを同化する。作成された解析値から 1 時間予報を実施し、その時刻 (初期時刻の 2 時間前) を対象として、3 次元変分法によって当該時刻の観測を同化する。これをあと 2 回繰り返す。最後に初期時刻で当該時刻の観測を 3 次元変分法により同化し LFM の初期値を作成する。同化されている観測は、以下のとおり: ラジオゾンデ (気圧、気温、湿度、風)、ウィンドプロファイラ (風)、航空機 (気温、風)、地上 (気圧、湿度)、船舶・ブイ (気圧)、アメダス (気温、風)、地上 GNSS (可降水量)、空港気象レーダー (ドップラー速度)、気象レーダー (ドップラー速度、反射強度)、衛星可視赤外イメージャ (大気追跡風)、衛星マイクロ波散乱計 (土壌水分)、衛星マイクロ波サウンダ (輝度温度)、衛星マイクロ波イメージャ (輝度温度、土壌水分)、静止衛星赤外イメージャ (輝度温度)。LFM の側面境界値は、MSM の予測値から与える。海面水温は北西太平洋高解像度海面水温解析値によって定数として与えられる。陸上の土地利用情報は、国土地理院の国土数値情報によって作成される。

c) SCALE

SCALE (<https://scale.riken.jp/ja/>) は理化学研究所で開発された局地モデルを内包するライブラリーである。局地モデルのコンポーネントは SCALE-RM (Nishizawa et al. 2015, Sato et al. 2015) と呼ばれる。SCALE-RM の力学過程では、完全圧縮の流体力学方程式を数値的に計算する。水平格子系は直交格子系を用いており、地図投影法を用いて、地球の球面の一部領域を直方体に近似して計算する。

2-2. 観測データ

本研究では、主として二重偏波ドップラー気象レーダーのデータを利用する。気象庁では、関東圏の二重偏波ドップラー気象レーダーとして、東京国際空港と成田国際空港に空港気象ドップラーレーダーと、千葉県柏市の気象大学校の敷地内に東京レーダーが設置・運用されている。以下に、それぞれの概要について紹介する。

本研究では、二重偏波ドップラー気象レーダーに加えて様々な観測データを利用する。図 1 に本研究で利用する観測網のマップを示す。

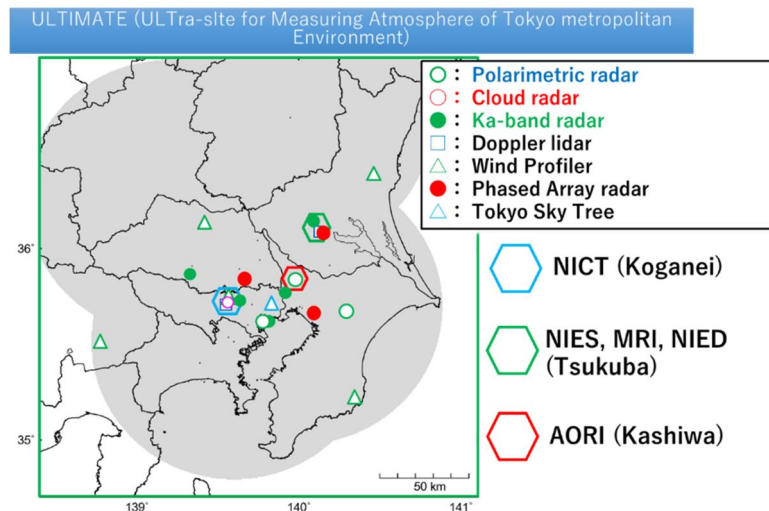


図 1：関東地方の観測網マップ。観測機器は、情報通信研究機構（NICT、小金井市）、国立環境研究所（NIES）、気象研究所（MRI）、防災科学技術研究所（NIED）（いずれもつくば市）、東京大学大気海洋研究所（AORI、柏市）に設置されている。「偏波レーダー」は、羽田レーダー、成田レーダー、柏の東京レーダー（気象庁）を示す。

a) 空港気象ドップラーレーダー

空港気象ドップラーレーダー（以下、DRAW）の主な役割は、航空機の運航に影響を与える空港内または空港周辺の低層ウィンドシア（マイクロバーストおよび水平シアラインを含む）を検出することである。東京国際空港の DRAW（以下、羽田 DRAW）は 2016 年 3 月に、成田国際空港の DRAW（以下、成田 DRAW）は同年の 12 月に、それぞれ二重偏波観測機能を持つ新たな DRAW に更新された。この二重偏波観測機能により得られる二重偏波パラメータを利用した品質管理を実施することで、弱いレーダーエコー領域においても高品質のドップラー速度データの収集が可能になり、低層ウィンドシア検出の精度が向上した。

DRAW の送信周波数は 5,330～5,370MHz の任意の値に設定でき、羽田 DRAW は 5,330 MHz、成田 DRAW は 5,335MHz が割り当てられている。送信機には固体素子（高出力の窒化ガリウム GaN）が使用されており、送信出力は水平・垂直両偏波それぞれ 5kW に達する。また、送信されるビーム幅は非常に狭く、隣接する周波数帯へのビームの漏れは大幅に抑制される。パルス幅は 1～200 μ s の範囲で自由に設定でき、羽田、成田両 DRAW では短パルスと長パルスをそれぞれ 1 μ s と 64 μ s で運用している。なお、長パルス観測では、周波数チャープを用いたパルス圧縮技術を採用している。

観測範囲はそれぞれのレーダーサイトから半径 120km の円内で、水平偏波反射強度（Zhh）、垂直偏波反射強度（Zvv）、ドップラー速度、速度幅に加えて、二重偏波パラメータとして反射因子差（Zdr）、偏波間相関係数（ ρ_{hv} ）、受信信号偏波間位相差（ Ψ_{dp} ）を観測することができる。さらに、得られた受信信号偏波間位相差（ Ψ_{dp} ）を処理して、偏波間位相差（ Φ_{dp} ）、偏波間位相差変化率（Kdp）をリアルタイムで導出している。

b) 東京レーダー

気象庁の気象ドップラーレーダーの主な役割は、降水強度や風を高い時空間分解能で観測し、災害をもたらす大雨や突風等をいち早く検知し、各種防災気象情報の基盤となる情報を提供することである。気象ドップラーレーダーは日本全国をカバーするように 20 か所に設置されており、このうちの東京レーダーは 2020 年 3 月に二重偏波観測機能を持つ新たな機器に更新された。更新された東京レーダ

一は、より高速なスキャンが可能となったことや超解像処理機能の搭載等により、従来より高頻度・高解像度な観測が可能となった。更に、二重偏波機能の搭載によって、二重偏波パラメータを用いた高度な品質管理により高品質な観測データの提供が可能となった。このような観測機能の改善や高度化により、積乱雲等の短時間での急激な変化のよりの確な把握や、二重偏波機能を用いた降水粒子の形状や大きさの識別からより正確な降水量を見積もることが可能になるなど、局地的大雨や突風等の実況監視能力の大幅な向上に寄与するとともに、予測情報の更なる高度化への貢献が期待されている。

東京レーダーをはじめとした二重偏波気象ドップラーレーダーは、DRAW と同様、固体素子送信機を採用したパルス圧縮レーダーであり、送信周波数は 5,357.5 MHz が割り当てられている。パルス幅については、長パルスは $32\mu\text{s}$ が速度観測及び強度・速度観測に、 $64\mu\text{s}$ と $128\mu\text{s}$ が主に強度観測に用いられている。サイトから近距離はいずれの観測も短パルス $1\mu\text{s}$ を利用する。観測要素についても基本的には DRAW と同様だが、収録されるデータが一部異なる。観測範囲は、観測目的によって異なり、強度観測時は半径 400 km、速度観測時は半径 150~250 km、強度・速度観測時は 64~180 km（高仰角ほど範囲が狭い）である。いずれの観測でも、同様の要素を出力するが、強度観測では、低いパルス繰り返し周波数により、ドップラー速度の折り返し現象が頻発するため、当該データの利用には注意が必要である。

2-3. 観測シミュレータ

a) Joint-Simulator for Satellite Sensors, POLARRIS-f

2024 年 4 月に打ち上げが予定されている宇宙航空研究開発機構（JAXA）と欧州宇宙機関(ESA)の共同ミッションである EarthCARE 衛星に搭載されている 4 つのセンサー（雲エアロゾルライダー・ドップラー速度測定を含む雲プロファイリングレーダー・マルチスペクトルイメージャー・マルチビュー広帯域放射計）をシミュレートするために Joint Simulator for Satellite Sensors (Joint-simulator, Hashino et al. 2013) が開発された。さらに、その用途は EarthCARE のセンサーに限らず様々なリモートセンシングのセンサーも及ぶ。

POLArimetric Radar Retrieval and Instrument Simulator (POLARRIS, Matsui et al. 2019)は偏波レーダーのパラメータをシミュレートし、評価するために開発された。POLARRIS は POLARRIS-f と iPOLARRIS から構成されている。POLARRIS-f は偏波レーダーのパラメータを計算するフォワードモデルであり、iPOLARRIS は偏波レーダーのパラメータを用いた降水粒子判別 (HID) ツールである。POLARRIS-f は T-matrix と Mueller-matrix モジュール (Vivekanandan et al., 1991) を使用している。T-matrix モジュールでは、軸対称楕円体粒子の単一散乱行列が計算され、Mueller-matrix は、与えられたレーダー仰角と仮定された粒子の回転角分布に対する T-matrix の単一散乱特性からレーダー観測値を推定するために使用される。4×4 ミューラー行列の計算の詳細は、Vivekanandan ら(1991)に記載されている。POLARRIS は反射因子差 (Zdr)、偏波間位相差変化率 (KDP)、偏波間相関係数 (rhv)、および ドップラー速度を T-matrix module と Mueller-matrix module および雲モデルの出力から計算することができる。雲物理に対しては各粒子のアスペクト比と回転角分布が仮定されている。

b) I-simulator

気象庁では、領域モデルの初期値作成時に、気象レーダーによる反射強度およびドップラー速度の観測データを同化している。この同化のためには、観測で得られる値の相当量を数値予報モデルの予測結果を用いてシミュレートし、それを観測と比較する必要がある。そのため気象庁では、同化用のレーダーシミュレーターを開発し、地上レーダーや衛星搭載レーダーの反射強度観測の同化に利用している (Ikuta et al. 2020)。この同化用のレーダーシミュレーターは、高速化のため、雨、雪、霰粒子のみを対象とし、二重偏波情報を考慮しないなど、非常に単純化されている。

一方本研究では統合型レーダーシミュレーター (I-simulator) を使用している。I-simulator は、同化用レーダーシミュレーターに比べて高機能であり、より詳細なシミュレーションを行うことで数値予報モデルの検証と雲物理過程の高度化に利用できる。I-simulator がシミュレート可能なレーダー観測は、地上設置型レーダーと衛星搭載型レーダーである。(ここまで)

3. 結果

本研究では、観測シミュレータを用いた二重偏波ドップラー気象レーダーによる数値モデル評価手法を開発し、数値モデル結果と観測結果を比較した。図2に成田レーダーによる2020年4月18日04:00UTCのレーダー観測例を、図3にNICAMにおいてシングルモーメントの雲物理スキーム(NSW6)を利用した数値シミュレーションデータにJoint-Simulatorを提供した結果を示す。

特に、地上付近の下層における雨や融解層直上の大きな氷粒子のシミュレーション結果を評価したところ、NICAM (ダブルモーメント雲物理スキーム) を用いたシミュレーションでは、観測と同程度の雨の偏波レーダー特性を再現することができた。しかし、シングルモーメント雲物理スキームを用いたNICAMとASUCAのシミュレーションでは、強い雨域では観測と比較して雨粒の大きさが大きくなっていた。高度4km付近の融解層直上の大きな氷粒子については、霰や雪の粒子サイズを過大評価していることがわかった。引き続き研究では、今回の結果を用いて雲微物理スキームを改良し、全球モデルでの検証を実施した(Ikuta et al. in preparation)。

NARITA RADAR Azimth 239.5deg
20200418 04:00:00

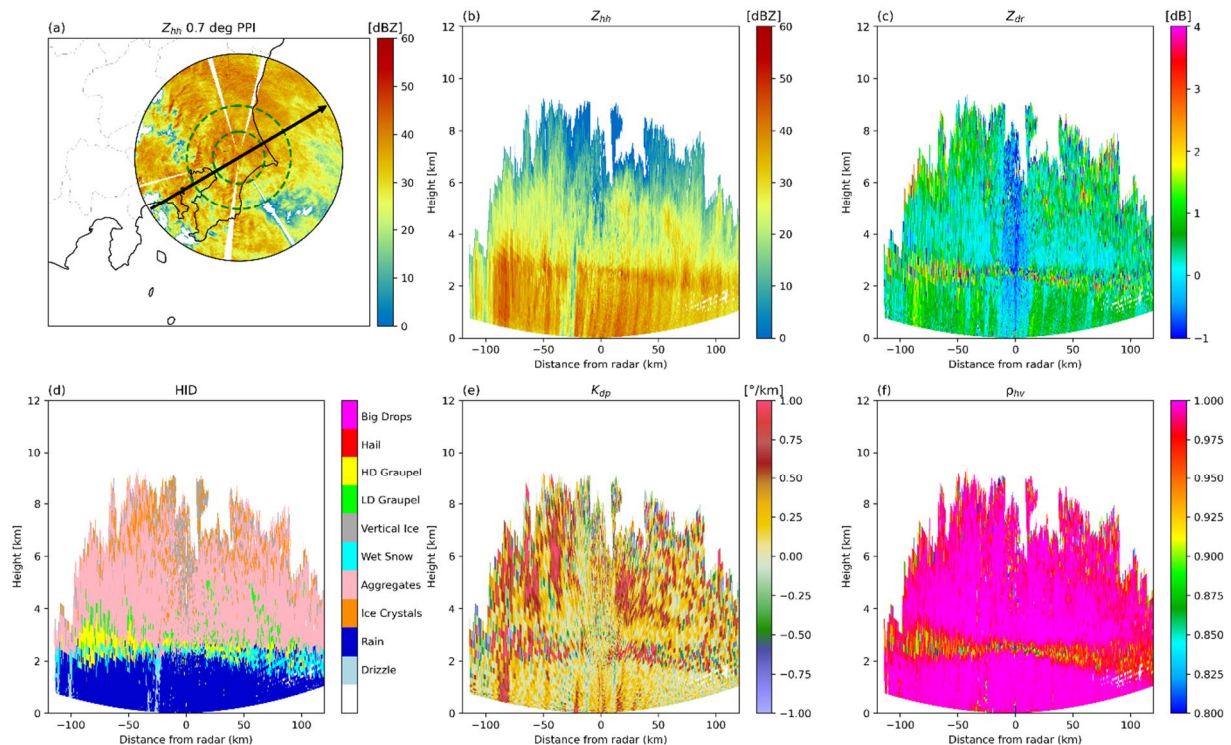


図2：成田レーダーによる2020年4月18日04:00UTCのレーダー観測。上段：(a) レーダ反射率の水平分布[dBZ] (仰角 0.7°)、(b) レーダ反射率 Z_{hh} [dBZ] と (c) 差分反射率 Z_{dr} [dBZ] の鉛直断面図。下段：(d) 雲の種類、(e) 比差分位相 K_{dp} [$^\circ \text{ km}^{-1}$]、(f) 同極相関係数 ρ_{hv} の鉛直断面図。鉛直断面は左上図の直線 (方位角 239.5°) に沿っている。

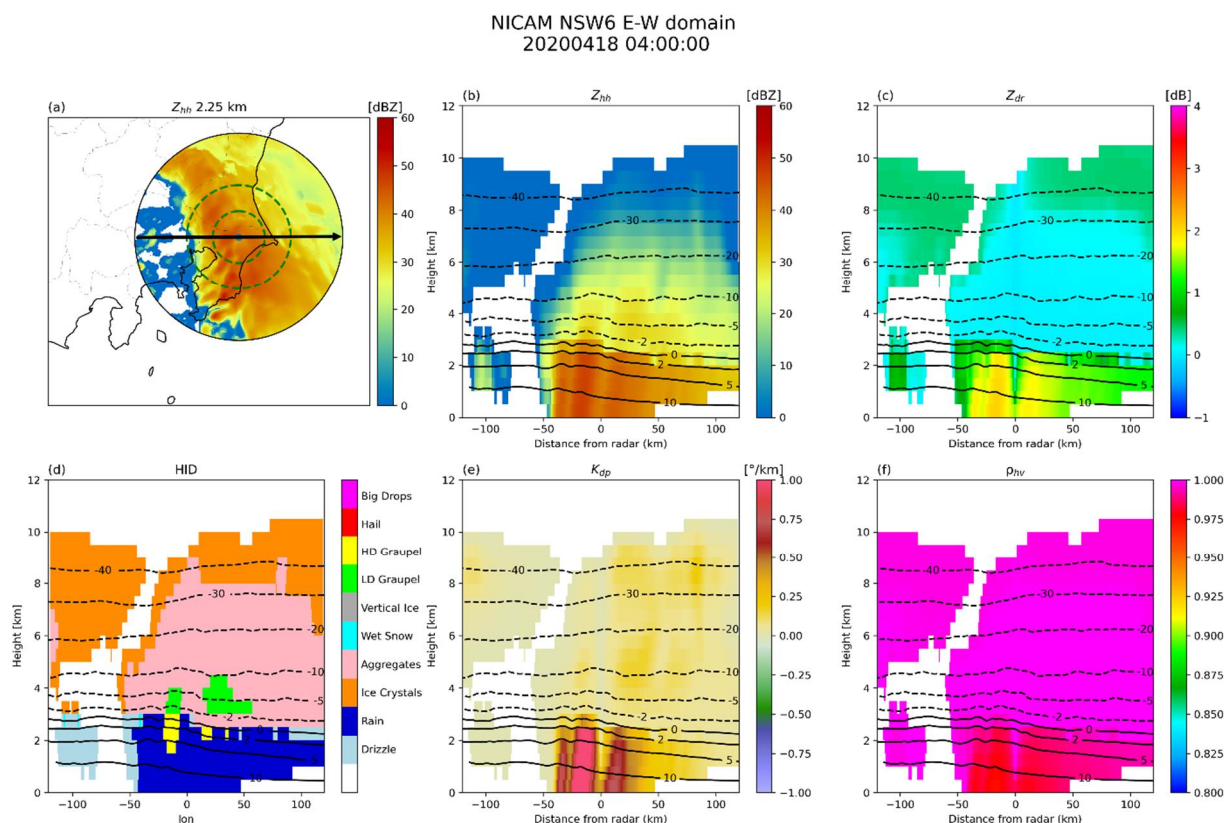


図3：図2と同じであるが、NICAM-NSW6のシミュレーション結果。左上の赤線で示した東西方向の断面を示す。断面の等高線は温度[°C]を示す。

4. 運航への影響評価手法の開発

4-1. 運航への影響が大きかった事例の調査

関東圏の空港において運航への影響が大きかった事例について、局地的な予測の実施を想定し、気象モデルの計算結果を検証した。航空会社の運行管理者と打ち合わせとフォローアップを通し、運航に大きく気象が影響した事例について聞き取りを行った。明らかに旅客機の離発着が困難であり、予め欠航の判断がしやすいような、台風ほど極端ではない事例がむしろ、気象予測情報による判断が難しいことがわかった。

このように判断が難しかった最近の事例をリストアップしてもらった（期間は羽田・成田の空港レーダーデータを気象庁より提供されていた2021年2月から5月）。関東圏における雷の影響があった日時は2021年3月13日、4月9日、風の急変の影響が大きかった日時は2021年2月16日、2月17日、3月13日、3月14日、3月16日、3月21日、4月13日、4月26日、4月28日、5月5日、5月10日であった。

そこで雷と風の急変の両方の影響がみられた2021年3月13日のケースに着目する。この事例では、15時前後に南岸低気圧が関東平野を通過している（図7.1）。この低気圧は閉塞前線を伴っており、前線上に強雨域が形成されていた（図7.2）。風の急変や航空機への避雷（成田空港に着陸する複数便）があり、上記の日時では特に影響が大きかった。

4-2. フライトパスに沿ったレーダープロットの試作と高速化

本研究では、航空機の着陸パスに沿った気象影響要素のプロットを開発した。実利用を見据えた開発を進めるため、例えばレーダーの観測データによって、3次元的な強雨域の分布を把握するためには多数の仰角のスキャン結果、あるいは多数高度のCAPPIのプロットを組み合わせる必要がある。

さらに時系列として把握するのは容易ではない。本研究で提案する手法は、フライトパスに沿った時空間分布を1枚の画像からすぐ把握できるメリットがある。

航空会社の運航管理者およびパイロットの意見を対面・オンラインの打ち合わせやメールでのやり取りを通して具体的なフィードバックを受けた。このやり取りを通して、乗客がシートベルトを着用する以前の高高度の情報（高度10000feet以上）を特に重視する必要性が指摘された。空港レーダーの観測レンジは水平100km程度までであるため、このような範囲のデータもプロットするように改善した。

また、羽田空港の進入路には最低高度の指示はあるが、個々の旅客機の飛行高度は機長の裁量がある。また空中待機等により着陸路が大きく変わる可能性もある。着陸にあたり降下の角度は指定されているものの飛行スピードは着陸コースの状況によって1〜2割は変わる場合がある。あまりにも想定するフライトパスを限定しすぎた形でプロットしてしまうと、かえって利用しにくいデータになってしまうとの意見を聞いた。そこで、誤解の少ない形のプロットを作成するため、横軸を時間ではなく高度(feet単位)とし、プロットも単一の高度ではなく上下3000feetの幅で平均化した値をプロットするように変更した。また進入時刻ごとの着陸の時間経過の目安を示す線を廃止した。このような方針により、例えば空港レーダーの反射率をプロットすることで、有用な実況情報となり得る可能性があるとの評価を受けている。このような方針で作成したプロットを図5に示した。横軸は時間でスケールされるが、表示としてはパイロットへのわかり易さを重視して高度を採用しているため、フライトパス毎に目盛りの付け方が異なる。さらに機上でパイロットがモニターすることも可能なように、シェードの濃淡を文字情報で表したプロットも試作した。

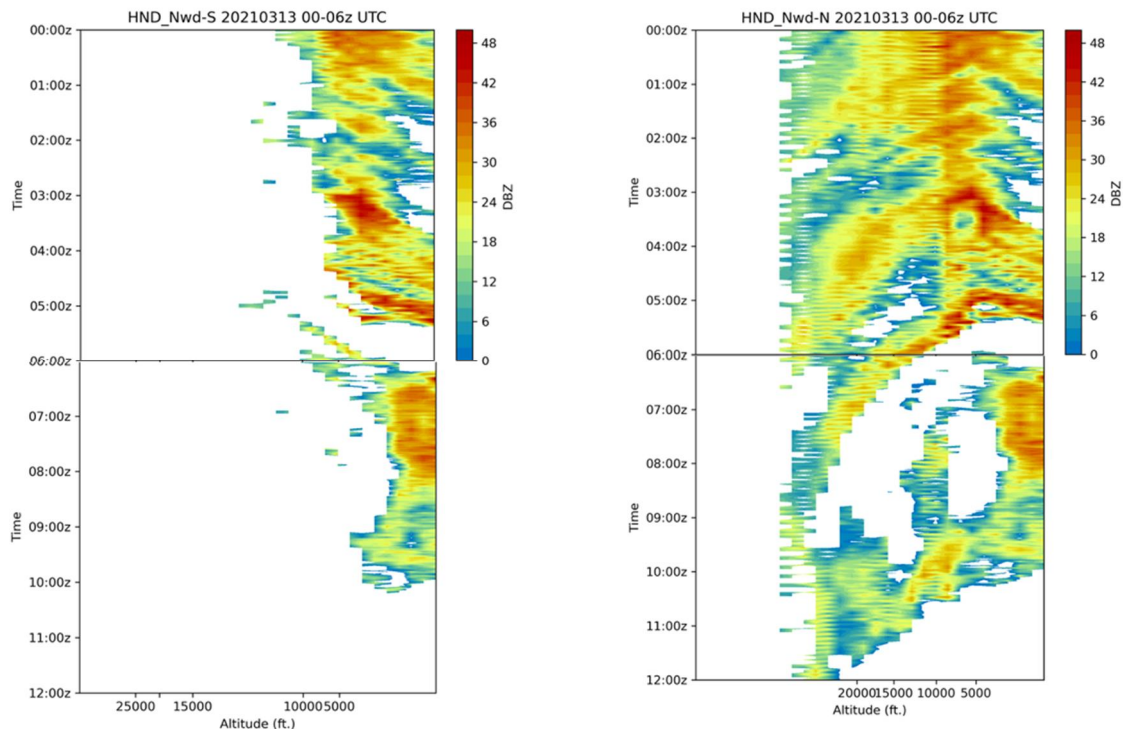


図5：（左）フライトパス付近（羽田空港北風時、南方アプローチ）のレーダー反射率のプロット。縦軸が時刻、横軸はフライトパスの高度である。（右）羽田空港北風時の北方アプローチ。

5-3. 数値モデルのフライトパス付近のプロットの評価：

気象数値局地モデルによるシミュレーション結果をベースにしたフライトパス付近の気象要素のプロットと、前節で求めた空港レーダーのプロットを比較する。シミュレーション結果を Joint-simulator に与え、レーダー反射率に変換し、同一の物理量で直接比較できるようにした。数値モデルによる出力の3次元グリッド値を10分ごとに出力した。このグリッド値を Joint-simulator に入力し、擬似的な反射率の3次元グリッド値を得た。図6に、前節に示したレーダー実況値のプロット方法と同一の規格でフライトパス付近の分布をプロットした結果を示す。比較すると、気象モデルで再現された擬似的な反射率の変動は時間解像度の差以上に滑らかに表現されていることがわかり、実効的な解像度には大きな差があることがわかる。一方で北から羽田空港にアプローチする航路について、より高高度まで強い反射率が分布しており、反射率の大きな空域は時間的に徐々に高高度に遷移していくといった大まかな特徴を捉えていることがわかる。このシミュレーションの初期時刻は午前6時(23z)である。仮に気象予測のある程度高頻度のグリッド値が得られれば、実況データのプロットと並び、運航に有用な情報が提供できる可能性がある。

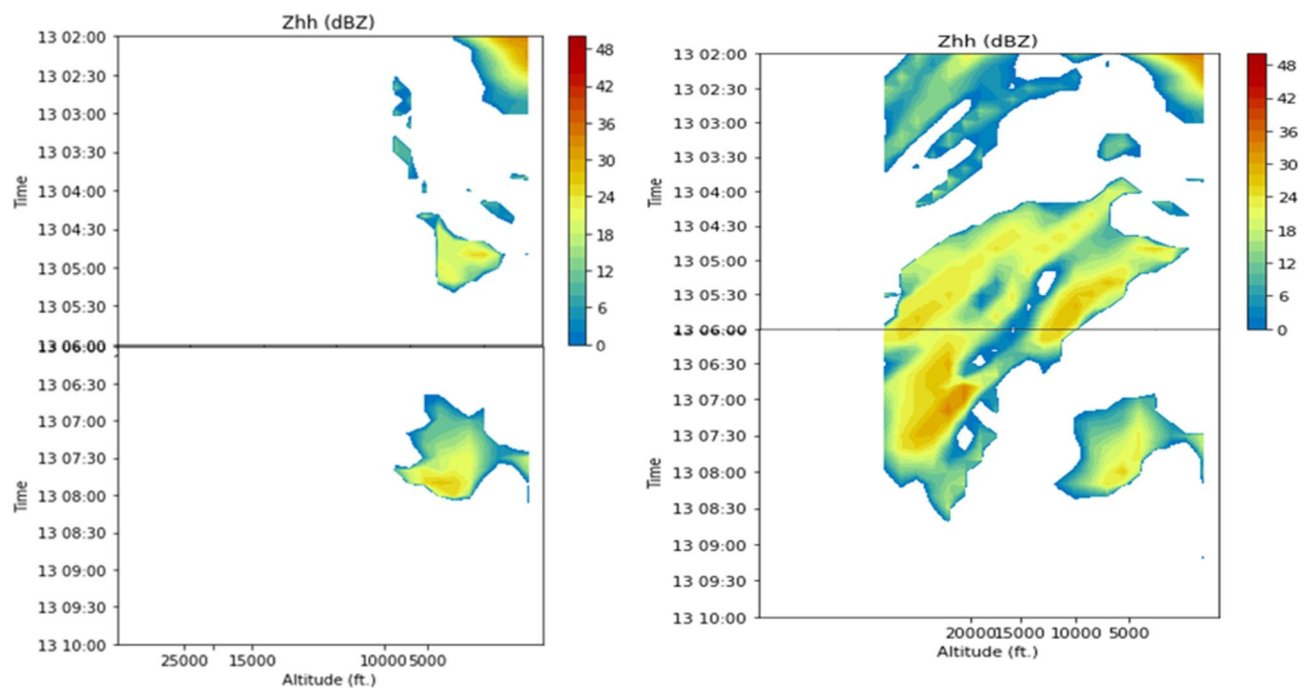


図6：図5と同様。ただし Joint-simulator を通して変換した asuca の出力をプロットしている。(左) (羽田空港北風時、南方アプローチ)、(右) 羽田空港北風時の北方アプローチ。

5. 結論

本研究では、二重偏波ドップラー気象レーダー等による観測データを用いた局地気象モデルの改良と、改良した局地気象モデルをデータ同化により予測精度の向上を図った。また、気象予測情報の向上による航空機の運航の効率化を評価するとともに、航空機の運航の効率化に資する観測・予測情報の利活用の方法について検討した。

局地気象モデルによる高精度数値予測システムの構築において、局地気象モデルシミュレーション結果を二重偏波ドップラー気象レーダー等の観測データにより検証を行った。関東圏における様々な降雨事例について、局地気象モデルにより高解像度の数値シミュレーションを行い、これらの結果を

観測データによって比較検証した。特に、観測シミュレーターを利用することにより、雲降水過程の再現性の評価を行った。これらの結果はSato et al. (2022, Progress in Earth and Planetary Science)に成果として論文出版した。これらの結果をもとに、局地気象モデルの特に雲物理過程や乱流過程の改良に取り組んだ。

様々なシビアストームの事例（2019年9月房総半島台風事例、2020年4月低気圧通過事例に加えて、2020-2023年の降雨事例等50事程度）を選定し、羽田・成田空港レーダーや東京レーダーの観測データを整備した。これらの事例のうち代表的な事例について、局地気象モデルNICAM、ASUCAを用いて数値シミュレーションを実施し、観測データと数値モデルの比較検証を行った。関東圏で確立した手法の他地域への拡張をはかるべく、九州・四国域、北陸域等の新たに二重偏波ドップラー気象レーダーが配置された地域において観測データと数値モデルの比較検証を行った。東京大学大気海洋研究所に設置したディストロメータLPMおよび自動気象観測装置POTEKAの観測データ等を入手・整備した。数値シミュレーションの結果に観測シミュレーターJoint-Simulator/I-Simulatorを適用し、レーダー観測データと比較することにより、局地数値モデルの雲降水過程の評価検証を行った。これらの結果をもとに、局地気象モデルにおける主として雨、雪、霰に関する雲物理過程の改良を行った。また雹を導入した新たな雲物理スキームを開発した。改良した局地気象モデルを用いて、データ同化サイクルのもとで一定期間の予測実験を行い、数値モデルの改良の効果を評価した。

飛行経路上の気象場の評価手法の開発のために、航空機の運航に直接影響した事例において気象モデルの計算結果を検証した。実際に航空機のオペレーションが難しかった事例として、南岸低気圧の中心が関東圏を通過した事例に注目した。上述の雲物理スキームの改良を導入した場合、山地に沿った寒気の滞留が強化され、地上の気温と収束線の位置、さらに強雨域がより現実によく近づく顕著な改善がみられた。

気象モデルを利用した予測情報を活用するため、気象モデルの出力をレーダー反射率へ変換し、想定されたフライトパスにおける時系列-飛行高度の平面分布のプロットを提案した。気象モデルの計算結果にJoint-Simulatorを適用し、レーダー反射率に変換した結果のプロットと、羽田・成田の空港レーダー観測を合成した実測値のプロットを比較・検証できるようにした。地上付近を除く高度では、数時間前の予測と実況はある程度合致しており、有用性が示された。予測値のプロットのためには、現状より高頻度・詳細な気象モデルの出力を必要となるが、実況値のプロットは空港レーダーの観測値により実現できる。このようなプロットを実用化するため潜在的なユーザーの意見を反映するとともに、プロットの高速化も実施した。

6. 知的財産権取得状況

特許出願 0件

7. 研究成果発表実績

1) 論文発表

国内 0件、海外 9件

海外

- [1] Yoshimura, R., Suzuki, K., Ito, J., Kikuchi, R., Yakeno, A., Obayashi, S, 2022: Large Eddy and Flight Simulations of a Clear Air Turbulence Event Over Tokyo on 16 December 2014, J. Appl. Meteorol. Climate., 61, 503-519,

- <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-21-0071.1>
- [2] Roh, W., Satoh, M., Hashino, T., Matsugishi, S., Nasuno, T., Kubota, T., 2023: Introduction to EarthCARE synthetic data using a global storm-resolving simulation. *Atmos. Meas. Tech.*, accepted.
 - [3] Ikuta, Y., Sawada, M., Satoh, M., 2023: Determining the impact of boundary layer schemes on the secondary circulation of Typhoon FAXAI using radar observations in the gray zone. *J. Atmos. Sci.*, 81, 961-981. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-22-0169.1>
 - [4] Satoh, M., Matsugishi, S., Roh, W., Ikuta, Y., Kuba, N., Seiki, T., Hashino, T., Okamoto, H., 2022: Evaluation of cloud and precipitation processes in regional and global models with ULTIMATE (ULtra-sItE for Measuring Atmosphere of Tokyo metropolitan Environment): A case study using the dual-polarization Doppler weather radars. *Progress in Earth and Planetary Science*, 9, 41. <https://doi.org/10.1186/s40645-022-00511-5>
 - [5] Seiki, T., Roh, W., Satoh, M., 2022: Cloud Microphysics in Global Cloud Resolving Models. *Atmosphere-Ocean*, 60, 477-505, <https://doi.org/10.1080/07055900.2022.2075310>.
 - [6] Usui, K., T. Iwasaki, T. Yamazaki, and J. Ito, 2022: Numerical Simulations and Trajectory Analyses of Local “Karakkaze” Wind: A Case That Could Have Contributed to an Aircraft Accident at Narita Airport on 23 March 2009, *SOLA*, 18, 140-146.
 - [7] Wang, M., Nakajima, T. Y., Roh, W., Satoh, M., Suzuki, K., Kubota, T., and Yoshida, M. (2023) Evaluation of the spectral misalignment on the Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer/multi-spectral imager cloud product. *Atmospheric Measurement Techniques*, 16, 603-623, <https://doi.org/10.5194/amt-16-603-2023>
 - [8] Hagihara, Y., Ohno, Y., Horie, H., Roh, W., Satoh, M. and Kubota, T., 2023: Global evaluation of Doppler velocity errors of EarthCARE Cloud Profiling Radar using global storm-resolving simulation. *Atmospheric Measurement Techniques*, 16, 3211-3219.
 - [9] Yoshimura, R., Ito, J., Schittenhelm, P. A., Suzuki, K., Yakeno, A., and Obayashi, S., 2023: Clear air turbulence resolved by numerical weather prediction model validated by onboard and virtual flight data. *Geophys. Res. Lett.*, 50, e2022GL101286.

2) 口頭発表

国内 32 件、海外 14 件

国内

- [1] 佐藤正樹, Woosub Roh, 岡本創, 2020: ULTIMATE : 関東圏ウルトラサイト観測の包括的利用による高解像度数値モデルの連携研究推進. 日本気象学会秋季大会. オンライン開催. 2020. 10. 25-31.

- [2] 佐藤正樹, Woosub Roh, 岡本創, 大野裕一, 2020: ULTIMATE: 関東圏ウルトラサイト観測の包括的利用による高解像度数値モデルの連携研究推進. 第 22 回非静力学モデルに関するワークショップ. オンライン開催, 2020. 11. 11-12.
- [3] Roh, W., Satoh, M., Ohno, Y. Hashino, T. (2020) Applications of Joint simulator for ULTIMATE project, NHM workshop 2020, 10-11 Nov. 2020
- [4] Roh, W., Satoh, M., Ohno, Y. Hashino, T. (2020) Development and application of Joint simulator for ULTIMATE project, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 25-31 Oct. 2020
- [5] 吉野勝美、先進の気象観測技術導入による効果について – ドップラーレーダーとドップラーライダーの観測成果から – : 航空気象研究会、2021 年 2 月 5 日 (特別講演)
- [6] 吉村僚一、鈴木健斗、焼野藍子、大林茂、菊地亮太、伊藤純至: 2014 年 12 月 16 日に発生した晴天乱気流事例の WRF-LES による解析、日本気象学会東北支部研究会、2020 年 12 月 7 日
- [7] 伊藤純至、高解像度気象モデルが再現する海上風: 日本海洋学会秋季大会、2020 年 11 月 27 日
- [8] 臼井健, 岩崎俊樹, 伊藤純至, 山崎剛: 2009 年 3 月 23 日の寒気流出現象における地形の効果について、日本気象学会秋季大会、2020 年 10 月 29 日
- [9] 幾田泰醇: 雲降水予測とレーダー観測との比較. 富岳成果創出メソ気象課題サブテーマ C 研究発表会、2021 年 3 月 10 日
- [10] Woosub Roh, Masaki Satoh・Naomi Kuba・Shuhei Matsugishi: Evaluations of NICAM over the Kanto area using intensive observations and the Joint simulator. GPM および衛星シミュレータ合同研究会 (名古屋大学) 2021 年 3 月 14 日
- [11] Masaki Satoh, Woosub Roh, Shuhei Matsugishi, Yasutaka Ikuta, Naomi Kuba, Hajime Okamoto, 2021: ULTIMATE: ULTra-sIte for Measuring Atmosphere of Tokyo metropolitan Environment. Japan Geoscience Union Meeting. June 3-6, 2021 (oral).
- [12] 佐藤正樹, 2021: 大気の鉛直運動を基軸とした気象学・地球環境学の新展開. 日本気象学会春季大会 会期: 2021 年 5 月 16 日 (日) ~ 21 日 (金) 発表: 2020 年 5 月 18 日 (火)
- [13] 伊藤純至、佐藤正樹、松岸修平: 気象庁非静力学モデルによる航路上の気象影響評価、航空気象研究会 (オンライン、2022/02/03)
- [14] 幾田泰醇: 台風 2 次循環の構造、第 3 回先端的モデリングと超高解像度シミュレーション研究会 (オンライン、2021/07/13)
- [15] 幾田泰醇: 降水粒子の粒径分布の見直しと偏波パラメータ、第 5 回先端的モデリングと超高解像度シミュレーション研究会 (オンライン、2022/03/09)
- [16] 佐藤正樹, 松岸修平, Woosub Roh, 幾田泰醇, 久芳奈遠美, 清木達也, 端野典平, 岡本創, 2023: Evaluation of cloud and precipitation processes in regional and global models with ULTIMATE (ULTra-sIte for Measuring Atmosphere of Tokyo metropolitan Environment): A case study using the dual-polarization Doppler weather radars. 「GPM および衛星シミュレータ合同研究集会」 名古屋大学宇宙地球環境研究所令和 4 年度研究集会「衛星による高精度降水推定技術の開発とその利用の研究企画のための集会」, 2023 年 3 月 23-24 日, 名古屋大学環境総合館 1F レクチャーホール.
- [17] Woosub Roh, Masaki Satoh, 2023: Evaluations of NICAM using the Joint simulator and ground observation data. 「GPM および衛星シミュレータ合同研究集会」 名古屋大学宇宙地

- 球環境研究所令和4年度研究集会「衛星による高精度降水推定技術の開発とその利用の研究企画のための集会」, 2023年3月23-24日, 名古屋大学環境総合館 1F レクチャーホール.
- [18]松岸修平, 佐藤正樹, Woosub Roh, 清木達也, 幾田泰醇, 2023: NICAMにおける雹を導入したシングルモーメントスキーム: 観測シミュレータを用いた比較と全球シミュレーション. 「GPM および衛星シミュレータ合同研究集会」 名古屋大学宇宙地球環境研究所令和4年度研究集会「衛星による高精度降水推定技術の開発とその利用の研究企画のための集会」, 2023年3月23-24日, 名古屋大学環境総合館 1F レクチャーホール.
- [19]Ying-Wen Chen, Masaki Satoh, Koji Terasaki, Shunji Kotsuki, Takemasa Miyoshi, Takuji Kubota, 2023: 気象情報システム NEXRA の開発について. 「GPM および衛星シミュレータ合同研究集会」 名古屋大学宇宙地球環境研究所令和4年度研究集会「衛星による高精度降水推定技術の開発とその利用の研究企画のための集会」, 2023年3月23-24日, 名古屋大学環境総合館 1F レクチャーホール.
- [20]Masaki Satoh, 2023: Introduction and overview: Collaboration between EarthCARE and modeling, prospects of global storm-resolving analysis. ICCP-GSRA Workshop 2023, jointly with 2nd EarthCARE Modeling Workshop for improving cloud and radiation of climate models. 27-29 March, 2023, Hotel Laforet Shuzenji, Japan.
- [21]Shuhei Matsugishi, 2023: A global LES simulation: Preliminary results about deep convection and turbulence scheme. ICCP-GSRA Workshop 2023, jointly with 2nd EarthCARE Modeling Workshop for improving cloud and radiation of climate models. 27-29 March, 2023, Hotel Laforet Shuzenji, Japan.
- [22]Roh Woosub, 2023: An evaluation of microphysics schemes using a 94 GHz Doppler radar. ICCP-GSRA Workshop 2023, jointly with 2nd EarthCARE Modeling Workshop for improving cloud and radiation of climate models. 27-29 March, 2023, Hotel Laforet Shuzenji, Japan.
- [23]Yasutaka Ikuta, 2023: Evaluation and improvement of cloud microphysics scheme using ground-based polarimetric radar and disdrometer observations. I ICCP-GSRA Workshop 2023, jointly with 2nd EarthCARE Modeling Workshop for improving cloud and radiation of climate models. 27-29 March, 2023, Hotel Laforet Shuzenji, Japan.
- [24]Masaki Satoh, Shuhei Matsugishi, Woosub Roh, Yasutaka Ikuta, Naomi Kuba, Tatsuya Seiki, Tempei Hashino, Hajime Okamoto, 2022: Evaluation of hydrometeors and their relations to vertical motions in numerical models using the dual-polarization Doppler weather radars under the ULTIMATE project. Japan Geoscience Union Meeting 2022, May 22-27.
- [25] 幾田泰醇, 2022: 台風境界層シミュレーション. 第6回先端的データ同化と巨大アンサンブル手法に関する研究会, 2022年6月22日, 東北大学青葉山北キャンパス物理系研究棟
- [26] 幾田泰醇, 佐藤正樹, Woosub Roh, 松岸修平, 久芳奈遠美, 清木達也, 梅原章仁, 永戸久喜, 2022: 二重偏波レーダーを参照値とした雲微物理スキームの精緻化. 第24回非静力学モデルに関するワークショップ, 2022年12月19日-20日, 筑波大学計算科学研究センター
- [27] Woosub Roh, Masaki Satoh, 2022: An evaluation of microphysics in NICAM using the vertical pointing 94 GHz Doppler radar, Japan Geoscience Union Meeting 2022, 22-27

May 2022

- [28] Woosub Roh, Masaki Satoh, 2022: Evaluations of microphysics in NICAM using the cloud profiling radar on the ground, 日本気象学会 2022 年度秋季大会, 24-26 Oct. 2022.
- [29] Woosub Roh, Masaki Satoh, 2022: Numerical study on cloud systems using NICAM: the recent progress of the ULTIMATE project, NIES supercomputer workshop, 23 Dec., 2022.
- [30] Junshi Ito and Ryoichi Yoshimura: Large eddy simulation by use of mesoscale weather prediction model, Japan Geoscience Union Meeting 2022, Chiba, 25 May, 2022 (invited).
- [31] 吉野勝美、気象衛星水蒸気画像に現れたハイドロリックジャンプと強い乱気流、航空気象研究会、2023 年 2 月 10 日、オンライン
- [32] 伊藤純至、佐藤正樹、 関東圏の航空機の効率的な運航のための極端気象予測の高度化, 第 7 回交通運輸技術フォーラム, 2023 年 2 月 22 日, 東京.

海外

- [1] Satoh, M., Roh, W., 2020: Robustness and uncertainties of global cloud-resolving models: Evaluations and improvements of clouds with a seamless approach. International Workshop on Convection-Permitting Modeling for Climate Research Current and Future Challenges. 2-4 September, 2020 (invited).
- [2] Satoh, M., Roh, W., 2020: Robustness and uncertainties of global cloud-resolving models: Evaluations and improvements of clouds with a seamless approach. IBS Conference on High-Resolution Earth System Modeling October 12-14, 2020 Live Session; Hotel Nongshim, Busan City, Korea (invited).
- [3] Satoh, M., Roh, W., 2020: Robustness and uncertainties of global cloud-resolving models: Evaluations and improvements of clouds with a seamless approach. AGU Fall Meeting, 1-17 December 2020 Live Session.
- [4] Ryoichi Yoshimura, and K. Suzuki, A. Yakeno, S. Obayashi, and R. Kikuchi: Case Analysis and Large Eddy Simulation of Clear-Air Turbulence Encountered North of Tokyo, Japan, on 16 December 2014, 21st Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, 2021 年 1 月 15 日
- [5] Masaki Satoh, Woosub Roh, Shuhei Matsugishi, Yasutaka Ikuta, Naomi Kuba, Okamoto Hajime, 2021: ULTIMATE (ULtra sIte for Measuring Atmosphere of Tokyo metropolitan Environment) project. CFMIP2021, Sep. 14-16, 2021 (online, poster).
- [6] Masaki Satoh, Woosub Roh, Shuhei Matsugishi, Yasutaka Ikuta, Naomi Kuba, Okamoto Hajime, 2021: ULTIMATE (ULtra sIte for Measuring Atmosphere of Tokyo metropolitan Environment) project. The Fifth Convection-Permitting Modeling Workshop 2021 (CPM2021), September 7-14, 2021 (poster).
- [7] Masaki Satoh, Woosub Roh, Shuhei Matsugishi, Yasutaka Ikuta, Naomi Kuba, Hajime Okamoto, 2021: ULTIMATE: ULtra-sIte for Measuring Atmosphere of Tokyo metropolitan Environment. AOGS 2021 Virtual 18th Annual Meeting 1-6 August 2021 (Poster).
- [8] Masaki Satoh, Woosub Roh, Shuhei Matsugishi, Yasutaka Ikuta, Naomi Kuba, Hajime Okamoto, 2021: Evaluation and improvement of cloud and precipitation processes of

NICAM with ULTIMATE. Improvement and Calibration of Clouds in Models. Apr. 12 - 16, 2021, Toulouse, France/online Presentation.

- [9] Masaki Satoh, Shuhei Matsugishi, Woosub Roh, Yasutaka Ikuta, Naomi Kuba, Tatsuya Seiki, Tempei Hashino, Hajime Okamoto, 2022: Evaluation of cloud and precipitation processes in regional and global models with ULTIMATE: A case study with the dual-polarization Doppler weather radars Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 2022 Viurual, 01-05 August 2022 (poster).
- [10] Masaki Satoh, Shuhei Matsugishi, Woosub Roh, Yasutaka Ikuta, Naomi Kuba, Tatsuya Seiki, Tempei Hashino, Hajime Okamoto, 2022: Evaluation of cloud and precipitation processes in regional and global models with ULTIMATE (ULtra-sIte for Measuring Atmosphere of Tokyo metropolitan Environment) toward a global large-eddy simulation with NICAM. 2022 CFMIP Meeting on Clouds, Precipitation, Circulation, and Climate Sensitivity. 19-22 July, 2022, the University of Washington, Seattle (poster).
- [11] Woosub Roh, Masaki Satoh, 2022: Evaluations of microphysics in NICAM using a polarimetric radar and a 94 GHz Doppler radar in Japan, EGU 2022, 23-27th May 2022
- [12] Woosub Roh, Masaki Satoh, 2022: Evaluations of NICAM Using Intensive Observations and Joint Simulator Over the Tokyo Metropolitan Area, AOGS 2022, 1-5th Aug. 2022
- [13] Woosub Roh, Masaki Satoh, 2022: An evaluation of microphysics schemes in NICAM using observation data over the Tokyo metropolitan area in Japan, 3rd Pan GASS meeting, 25-29th Jul. 2022
- [14] Yasutaka Ikuta, Masaki Satoh, Woosub Roh, Shuhei Matsugishi, Naomi Kuba, Tatsuya Seiki, Akihito Umehara, and Hisaki Eito, 2023: Evaluation and improvement of cloud microphysics scheme using ground-based polarimetric radar and disdrometer observations. ICCP-GSRA Workshop 2023, jointly with 2nd EarthCARE Modeling Workshop for improving cloud and radiation of climate models, 27-29 March, 2023, Hotel Laforet Shuzenji, Japan.

3) その他（研究内容報告書、機関誌発表、プレス発表等）

- ・ 佐藤正樹, 2021: 第5回「交通運輸技術フォーラム」において「関東圏の航空機の効率的な運航のための極端気象予測の高度化」パネル展示, 2021. 3. 9.
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/safety/sosei_safety_tk2_000040.html
- ・ 佐藤正樹, 2021: ULTIMATE : 関東圏ウルトラサイト観測の包括的利用による高解像度数値モデルの連携研究推進. 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 41, No. 2, pp. 133-139.
<https://doi.org/10.11440/rssj.41.133>
- ・ 佐藤正樹, 松岸修平, 2023: 全球ラージエディシミュレーションへの挑戦. 月刊海洋, Vol. 55, No. 4, 172-179. <https://doi.org/10.15083/0002007328>
- ・ 吉村僚一, 2023: 飛行機を揺らす見えざる脅威を可視化 ～東京湾上空で発生した晴天乱気流をスーパーコンピュータ「富岳」で再現～, 東北大学・名古屋大学共同プレスリリース,
https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20230628_04web_air.pdf