

第 6 回非静力学モデルに関する国際ワークショップ (第25回非静力学モデルに関するワークショップ) の報告*

佐藤 陽 祐^{*1}・稲津 将^{*2}・南出 将 志^{*3}・柳 瀬 友 朗^{*4}
近藤 誠^{*5}・大塚 成 徳^{*6}・吉田 龍 二^{*7}・佐藤 拓 人^{*8}
宮本 佳 明^{*9}・藤原 泰^{*10}・末木 健 太^{*11}・高須賀 大 輔^{*12}
伊藤 純 至^{*13}・橋本 明 弘^{*14}・八代 尚^{*15}

1. はじめに

2023年8月31日～9月2日に第6回非静力学モデルに関する国際ワークショップ (NHM-WS2023) が北海道大学学術交流会館と TKP 札幌駅カンファレンスセンターにて開催された。本ワークショップは非静力学数値モデルを中心とした数値モデルの開発に関する議論や意見交換を行うことを主な目的とする。今回は非静力学モデルに関するワークショップ (NHM-WS) としては第25回である。同国際ワークショップは、2010年の京都 (里村ほか 2011) 以来、2018年 (瀬古ほか 2019) まで隔年で開催されてきた。その以降、新型コ

ロナウイルス感染症蔓延の影響を受けて長らくオンラインでの開催であったが、今回5年ぶりに対面での開催となった。ワークショップの参加者は、国内外から98名 (海外からは22名) である (第1図)。期間中、77件の講演があり、活発な議論が行われた。2節に実施された14のセッションの内容を報告する。

2. 各セッションの概要

2.1 セッション A 「Computation」

セッション A では、計算科学に関する招待講演4件と一般講演2件の計6件の講演が行われた。中島研吾 (東大) は「シミュレーション」「データ」「学習」を統合した研究について報告し、将来導入される OFP-II システムについて紹介した。OFP-II では NVIDIA 社の GPU が導入される予定であり、各分野の科学計算ソフトウェアが GPU 移行支援を受けて最適化を実施中であることも報告された。八代 尚 (国環研)、山崎一哉 (東大)、石田凌雅 (気象庁) はそれぞれ NICAM, SP-MIROC, asuca での GPU 最適化について報告した。いずれの報告においても大気モデルの GPU 最適化作業に関する知見・ノウハウが紹介され、日本国内において気象・気候モデルの GPU への対応が進行中であることが示された。山浦 剛 (理研) は精度打ち切り誤差を利用して、アンサンブルデータ同化の精度を向上しつつ、アンサンブルスプレッドをより大きく保つ手法について紹介した。A. Dipinkar (チューリッヒ工大) は km スケール気候モデル開発のために欧州のプロジェクト EXCLAIM で進められている、python で記述するドメイン特化言語 GT4Py を用いた新たなソフトウェア開発環境について紹介した。

* A report of the 6th international workshop on non-hydrostatic model (NHM-WS 2023).

*1 (連絡責任著者) Yousuke SATO, 北海道大学, 実行委員長.

yousuke.sato@sci.hokudai.ac.jp

*2 Masaru INATSU, 北海道大学, 実行委員.

*3 Masashi MINAMIDE, 東京大学.

*4 Tomoro YANASE, 理化学研究所.

*5 Makoto KONDO, 北海道大学.

*6 Shigenori OTSUKA, 理化学研究所.

*7 Ryuji YOSHIDA, 横浜国立大学.

*8 Takuto SATO, 筑波大学.

*9 Yoshiaki MIYAMOTO, 慶應義塾大学.

*10 Yasushi FUJIWARA, 神戸大学.

*11 Kenta SUEKI, 気象研究所.

*12 Daisuke TAKASUKA, 東京大学.

*13 Junshi ITO, 東北大学, 実行委員.

*14 Akihiro HASHIMOTO, 気象研究所.

*15 Hisashi YASHIRO, 国立環境研究所.

© 2024 日本気象学会



第1図 ワークショップでの集合写真.

(八代 尚)

2.2 セッションB「Machine learning, Numerical prediction, Ocean modeling」

セッションBでは8件の講演が行われた。L. Li (理研) は最適な海面水温降下による台風強度の制御に向けて深層強化学習の利用を提案した。Y. Mao (北大) は20km 解像度から5 km 解像度のデータに統計的ダウンスケーリングを行う際、簡便な線形回帰に比べランダムフォレストを利用した方が良いことを示した。大塚成徳 (理研) は敵対的生成ネットワークを利用することで、降水ナウキャストが示す小スケール現象の改善が見通されたことを報告した。P. Tanedo (IMT) は気候変動予測におけるモデルに対し、データを利用した信頼性を評価する方法を説明した。以上、機械学習が具体的に気象解析に利用できることが例示された。続く三好建正 (理研)、雨宮 新 (理研)、S. Lopez (コルドバ国立大) は昨年より開始された PREVENIR プロジェクトに関する講演であった。この3件の講演では、気象水文予測のアルゼンチンへの技術移転を目指した包括的なプロジェクトであることが紹介され、データ同化システムや水文モデルが同地域の気象水文予測に効果的であることが示された。また、非静力学モデルが最新の高解像度海洋モデリングに必要であり、松村義正 (東大) は非静力学海洋モデル KINACO の実装を紹介した。

(稲津 将)

2.3 セッションC「Cloud Physics, Radiation, Lightning 1」

セッションCでは招待講演1件を含む5件の講演が行われた。W. Grabowski (NCAR) はラグランジュ粒子ベース雲微物理スキームに関する総説を行い、衝突併合過程における同スキームの特徴のほか、氷相過程への拡張について招待講演を実施した。M. Alhilali (兵庫県立大) は超水滴法を組み込んだ SCALE の結果を各種観測と比較して、その有効性を示した。橋本明弘 (気象研) は PTM (Hashimoto *et al.* 2020) を用いて、日本海全域にわたる領域で地上降水に対する雲微物理プロセスの寄与を示した。佐藤陽祐 (北大) は鎌田萌花 (北大) の代理発表として、PTM を組み込んだ SCALE を用いた実験から、温暖化条件下の北海道では、雲粒捕捉過程の寄与が大きくなり、降雪が現在の北陸で見られる特徴に似てくる可能性があることを報告した。幾田泰醇 (気象研) は asuca の雲微物理スキームの雨滴の粒径分布関数の精緻化や雪粒子の形状を取込むといった改良を加えることで、観測結果の再現性が向上することを報告した。

(橋本明弘)

2.4 セッションD「Data assimilation 1」

セッションDではデータ同化に関する招待講演1件を含む5件の講演が行われた。R. Kong (オクラホマ大) は GOES-R に搭載されている Geostationary Lightning Mapper の観測を WRF に同化し、対流の予

測を行う取り組みについて紹介した。5分間隔で Flash Extent Density を同化することで地上レーダを同化した際と同程度の結果が得られること、レーダ観測の無い海上での予報精度向上に貢献すると期待されることを述べた。J. Liang (理研) はマイクロ波衛星観測の全球高頻度同化に関する OSSE について講演し、高頻度同化における力学バランスの問題を議論した。R. T. Konduru (理研) は同じ OSSE 実験に関して解析誤差を異なる時間スケールに分解し、同化頻度を変えることで異なる時空間スケールの誤差が抑えられることを示した。三好 (理研) は制御シミュレーション実験の概念を示し、カオス力学系を効率的に制御することで気象を制御できる可能性を議論した。最後に三好 (理研) が前島康光 (理研) の代理発表を行い、線状降水帯に関する制御シミュレーション実験の実例を示し、降水の量や位置を変えるためにどのような人為的介入が必要なのか議論した。

(大塚成徳)

2.5 セッション E「Cloud Physics, Radiation, Lightning 2」

セッション E では、雲・エアロゾル・放射過程に着目した 5 件の講演が行われた。菅野湧貴 (電中研) は、WRF の雲物理スキームを変えた一連の実験を行い、ビデオゾンデの観測結果と比較を行った結果について報告した。宮本佳明 (慶應大) は、SCALE を用いて初期値におけるエアロゾル数濃度を系統的に変化させた数値実験を行い、ある程度以上数濃度がないと深い湿潤対流が生じないことを示した。A. Gupta (都立大) は、2019年12月12日に北インドで生じた霰を伴うストームに注目し、WRF を用いてエアロゾルの光学的厚さを変えた計算を行って、その影響を議論した。W. Roh (東大) は、NICAM と Joint simulator (Hashino *et al.* 2013) を用いて、EarthCARE による衛星観測を模擬したデータを作成したことを報告した。平田 憲 (コロラド大) は、自身らが開発した 3 次元放射モデルを改善するべく、新たに開発した 24 流近似の手法を SCALE で計算された下層雲実験の結果に適用した結果を報告した。

(宮本佳明)

2.6 セッション F「Data Assimilation 2」

セッション F では招待講演 1 件を含む 4 件の講演が行われた。澤田 謙 (気象研) は極端気象予測上に重要な問題の一つである、大気中の水物質の不確実性分布がガウス分布に従わず、適切なデータ同化が困難で

あるという課題に言及した。その上で、非ガウス分布をデータ同化で扱うために開発した二つの手法を紹介し、予測精度の向上可能性を示した。川畑拓矢 (気象研) は、データ同化を活用した防災において、Impact-based forecasting の重要性を紹介し、1000 アンサンブルメンバーを活用した気象-水文モデルの結合予測結果の有効性を示した。南出将志 (東大) は、個々の対流発生予測という課題に取り組み、全天候赤外衛星観測データ同化プロダクトを活用した、対流発生シグナルの抽出手法について提案した。J. Ruiz (プエノスアイレス大) はアルゼンチンにおける SCALE-LETKF を用いたレーダー観測データ同化システムの開発に関して報告した。

(南出将志)

2.7 セッション G「Cloud Physics, Radiation, Lightning 3」

セッション G では、6 件の講演が行われた。佐藤陽祐 (北大) は Sato *et al.* (2019) によって開発された気象雷モデルの概略とその適用例を報告した。近藤 誠 (北大) はダウンバーストに先行する雷活動の激化が起こる原因について、気象雷モデルを用いた理想化実験によって調査した結果を報告した。川添 祥 (北大) は気象雷モデルを用いて関東地方で雷が多発した事例を対象として擬似温暖化実験を行い、温暖化条件下で発雷数が減少することを報告した。

R. Zhang (華東師範大) は帯電した液滴を導電性球体として電荷の効果を取り込んだ超水滴法を用いて電場による雲粒の衝突併合への影響を調査し、暖かい雲において帯電液滴の電荷量によって液滴の衝突効率が変わることを報告した。野田 暁 (JAMSTEC) は温暖化に対する熱帯の高層雲被覆率の応答を、全球雲解像モデルと GCM とで調べ、GCM と全球雲解像モデルでは、温暖化に対しての応答が異なる可能性を報告した。田ノ下潤一 (気象庁) は LES を用いた理想的な実験から LFM における積雲対流パラメタリゼーションの鉛直輸送を評価した。2 km 解像度では積雲対流パラメタリゼーションが有効だが、LES と比較して上昇流が過大であることを報告した。

(近藤 誠)

2.8 セッション H「Event analyses」

セッション H では事例解析をテーマに 6 件の講演が行われた。末木健太 (気象研) は高知県で発生した線状降水帯の数値実験を実施し、解像度 2 km の実験において発生位置・降水量が比較的よく再現されるこ

とを示した。H.-Y. Liu（河海大）は中国河南省で発生した豪雨の数値実験を実施し、豪雨をもたらした降水システム自身に起因する気圧低下が下層ジェットを強化し、雨量の増加に寄与したことを示した。中下早織（京大）は梅雨前線上で生じた MCS のアンサンブルシミュレーションにおいて、船舶による集中観測データの同化が MCS の発生確率を高めることを示した。C. Lagare（東北大）はフィリピンミンダナオ島で発生した MCS の数値シミュレーションを 200m の水平解像度で実施し、MCS による冷氣プールの形成と複雑な地形が MCS の発達に寄与したことを示した。A. Dengri（北大）はパキスタンで 2010 年と 2022 年の夏季に発生した降水イベントを比較し、ユーラシア大陸上の高度場パターンの違いとの関係を議論した。榎本 剛（京大）は地中海上の低気圧「メディケーン（Medicane）」の数値実験を実施し、地表面フラックスがメディケーンの強度・進路に及ぼす影響を感度実験に基づき議論した。

（末木健太）

2.9 セッション I 「Global Storm-Resolving Simulations」

セッション I では、深い積雲対流を解像し始めるという点で「全球嵐解像モデル」とも称される、km スケール以下の水平解像度を持つ全球モデルを用いた研究について、6 件の講演が行われた。松岸修平（東大）は、NICAM を用いて全球 220m メッシュでのシミュレーションに成功し、弱い降水の再現性の大幅な向上や、乱流スキームに伴う雲表現の解像度依存性の差異を報告した。C. Eldred（サンディア国立研究所）は、SCREAM を用いた気候研究の展望について、対流組織化の表現に関わる諸課題や温暖気候の理解に向けた計画など、幅広い観点から紹介した。S.-Y. Tseng（台湾大）は、全球雲解像モデル国際比較プロジェクト DYAMOND（Stevens *et al.* 2019）の出力を用いて北西太平洋におけるメソ対流系の解析を行い、降水の寿命と降水強度の関係の観点からモデルバイアスの特徴を明らかにした。高須賀大輔（東大）は、雲物理・乱流過程を改良した NICAM を用いた km スケールの気候実験が、日スケールから平均場に至る様々な現象をよく再現すること示すとともに、下層雲が過少である問題も指摘した。H. Segura（マックス・プランク研究所）は、ICON の全球 5 km メッシュでの大気海洋結合実験の結果を用いて、中程度から強い降水の面積変動が熱帯域の日～季節スケールの降水量変動を決めうる

ことを示した。T.-L. Hsieh（プリンストン大）は、全球 3.25km メッシュの X-SHIELD を用いた 2 年程度の実験から、km スケールでの地形表現に伴う地形性降水および気温の再現性向上によって、北米冬季の降雪表現とその温暖化応答の不確実性が減少することを示した。セッションを通じて、さらなる高解像度化や気候スケールへの積分時間の拡張に向けた取り組みとそれに基づく対流系の理解が議論・共有され、佐藤正樹（東大）により、上記の状況を踏まえた全球嵐解像モデルの新たなモデル間比較についての議論も交わされた。

本セッションは、独立行政法人日本学術振興会研究拠点形成事業「全球嵐解像解析の国際拠点形成」の分科会として開催された。

（高須賀大輔）

2.10 セッション J 「Tropical Cyclone」

セッション J では台風に関する 1 件の招待講演を含む 7 件の講演が行われた。A. Khain（ヘブライ大）は、WRF 等を用いて TC に対する海の波しぶきによる影響を調べ、波しぶきがまきあげられることで雲粒粒径分布を変化させ、TC の強度に影響を及ぼす可能性を示唆した。ムーンショット目標 8 の台風制御研究に関して、吉田龍二（横国大）は SCALE を用いて数値モデル内で仮定する雲粒数濃度を増やすと勢力が弱まることを確認し、M. Lee（東大）は、対流雲直下を冷却する制御手法を提案し、全球大気モデル（NICAM）による数値実験で当該手法の可能性を示した。広瀬郁希（東大）は、静止気象衛星データを教師データとした機械学習を用いて数値モデルの物理パラメータを最適化する手法を提案した。中野満寿男（JAMSTEC）は、NICAM のアンサンブル計算をもとに太平洋高気圧の分布や藤原効果に関する不確実性が進路予測の誤差要因となることを示した。山田洋平（JAMSTEC）は、決定論的な計算結果を用いた GPI に比べ、アンサンブル計算結果による GPI はよりよく発生頻度を代表することを明らかにした。荻澤雄太朗（東大）は、NICAM の計算結果によってモンスーントラフが台風や季節内振動によって影響されることを報告した。

（吉田龍二）

2.11 セッション K 「Framework」

セッション K では、新たな枠組みでの大気数値モデリングの試みについて 1 件の招待講演を含む 5 件の講演が行われた。T. Yamaguchi（コロラド大）は理想化鉛直 2 次元ハドレー循環モデルを用いたエアロゾル・雲相互作用の役割に関する研究について紹介した。C.

Eldred（サンディア国立研究所）はE3SM-MMFの子モデルの力学コアとして開発された、ハミルトン系ベースの数値モデルSPAM++を紹介した。C.-M. Wu（台湾大）は渦度方程式に基づいた台湾周辺領域の500m解像度モデルであるTaiwan VVMの最新の開発動向を報告した。J.-D. Huang（台湾大）は渦度方程式の枠組みのもと熱帯域の水平16km解像度モデルを構築し、いくつかのベンチマーク計算の結果を紹介した。最後に、藤原 泰（神戸大）が波浪と風の相互作用を直接数値計算できる気液二相流体数値モデルを紹介した。

（藤原 泰）

2.12 セッション L「Urban modeling, Local scale phenomena」

セッション L では、都市を対象としたモデルや、都市のインパクト、局地風や降雪といったローカスケールの現象に関する5件の講演が行われた。佐藤拓人（筑波大）は、筑波大計算科学研究センターで開発中のLESモデル「City-LES」の最近の開発動向を紹介した。A. M. Magnaye（筑波大）は、マニラを対象に領域気候モデルWRFを用いたシミュレーションから、都市の影響を考慮することで気温の日変化や分布を高精度に再現できることを示した。工藤達貴（筑波大）は、生保内だしと呼ばれる局地風2ケースを対象に数値シミュレーションを行い、その実態を調査した結果を報告した。鈴木信康（筑波大）は「佐渡ブロック」と呼ばれる佐渡島の風下で降雪量が周囲より少なくなる現象の存在を示し、そのメカニズムを数値シミュレーションから明らかにした内容について報告した。齋藤成利（東大）は、南岸低気圧による東京の降雪に着目し、アンサンブルシミュレーションを行った結果について報告した。

（佐藤拓人）

2.13 セッション M「Dynamical core, LES」

セッション M では5件の力学コアやLESに関する様々な講演が行われた。W. Skamarock（NCAR）は鉛直解像度の高解像度化、およびそれに併せた計算スキームの最適化の必要性を述べた。伊藤純至（東北大）は地表面運動量フラックスの変動を捉える新たなモデルをLESに実装した計算結果を紹介した。河合佑太（理研）は不連続ガラキン法を導入した数値モデルにより、様々なテストケースにおいて精度が高く保たれていることを示した。堀田大介（気象研）は、全球スペクトルモデル用に新たに開発したOctaHEALPix格

子を利用したSpeedyWeather.jlモデルの計算を紹介した。渡邊俊一（気象研）はバックビルディング降水システムの理想化実験において積雲のエントレインメント率の解像度依存性を調べた結果を講演した。

（伊藤純至）

2.14 セッション N「Radiative Convective Equilibrium, Convection」

セッション N では放射対流平衡、複雑地形上の日変化対流、及び浅い対流のメソスケール組織に関する研究講演が5件行われた。柳瀬友朗（理研）はSCALEを用いて5000km以上の計算領域幅で領域平均気候値が一定の値に収束すること、湿潤対流の自己集合化に伴う網目状の大規模組織が発現することを報告した。M. Zhao（GFDL）はGFDL FV3を用いて、異なる格子スケールにおいてパラメタライズすべきサブグリッド対流輸送量がどのように変化するかを解析した結果を報告した。W.-T. Chen（台湾大）はVVMを用いた理想化数値実験の結果に基づき、局地循環に伴う湿潤静的エネルギーの下層における水平輸送及びその水蒸気環境場に対する依存性について考察した。F. Jansson（デルフト工科大）はP. Siebesma（デルフト工科大）の代理発表を行い、浅い積雲のメソスケール組織のモデル表現性、その背景にある力学過程、及び温暖化に伴う放射効果の変化を理解することを目的としたEUREC4Aモデル間相互比較プロジェクトについて紹介した。F. Jansson（デルフト工科大）は小規模過程の自己組織化による浅い積雲のメソスケールパターン及びその大規模環境場に対する依存性を理解すること目的とした、Cloud Botanyと呼ばれる理想化したLESアンサンブル実験について紹介した。

（柳瀬友朗）

3. まとめ

今回のNHM-WSでは、これまでのNHM-WSで話題の中心であった数値モデルの開発やデータ同化研究に加えて、次世代計算機で主要なアーキテクチャになる可能性が高いとされるGPUへの気象モデルの対応に関する講演が多く実施された（セッション A）。これは気象・気候モデルのGPU対応が課題となっている現状を反映したものであり、そのようなGPU対応に取り組んでいる研究者と情報共有の場を本ワークショップで提供できたことは日本の数値モデル開発に大きな意義があったと考えられる。

また、本ワークショップではこれまでのNHM-WS

の倍近い講演申し込みがあった。77件の講演を現実的な日程に収めるため、9月1日～2日のセッションは隣り合う二つの会場で並行して実施した。数値モデル開発・改良に従事する者が減っていると言われている昨今、このような多くの申し込みがあったことは驚くべきことである。このワークショップを通して数値モデルの開発者や数値モデルの利用者に意見交流の場を提供できたことは、大きな成果と言える。

Closing Remarksで話題に上がったが、今回のNHM-WSは25回目、四半世紀の節目である。今後もこのワークショップの開催を続けていくことで、数値モデル開発や数値モデルを使った研究が盛り上がっていくことを、1人のモデル開発者として願ってやまない。

(佐藤陽佑)

謝 辞

本ワークショップは、「日本気象学会非静力学数値モデル研究連絡会」、「日本気象学会」、「日本気象学会北海道支部」、「独立行政法人日本学術振興会『研究拠点形成事業：全球嵐解像解析の国際拠点形成』（課題番号：JPJSCCA20220001）」、「理化学研究所」、「北海道大学情報基盤センター萌芽型共同研究」、「海洋研究開発機構」と本ワークショップ実行委員会の共催で行われ運営資金の支援や運営に協力いただくとともに、「鹿島学術振興財団」、「井上科学振興財団」、「日本気象学会国際学術交流委員会による旅費援助」から支援を、「日本気象学会計算科学研究連絡会」、「気象庁」より後援をいただいた。ここにお礼と感謝を申し上げる。

略語一覧

asuca : A System based on a Unified Concept for Atmosphere 気象庁現業非静力学モデル
 DYAMOND : DYnamics of the Atmospheric general circulation Modeled On Non-hydrostatic Domains 全球雲解像モデル国際比較プロジェクト
 EarthCARE : Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer 日本と欧州が協力して開発を進める地球観測衛星
 E3SM : Energy Exascale Earth System Model 米国エネルギー省で開発されている地球システムモデル
 E3SM-MMF : Energy Exascale Earth System Model-Multiscale Modeling Framework E3SMにスーパーパラメタリゼーション手法を適用したモデル
 EUREC4A : Elucidating the role of clouds-circulation

coupling in climate バルバドス島周辺での集中観測キャンペーン
 EXCLAIM : チューリッヒ工科大学を中心に進められている、pythonとGT4Pyを用いて気候モデルを開発するプロジェクト
 FV3 : Finite-Volume Cubed-Sphere Dynamical Core NASA GFDLが開発する力学コア
 GCM : General Circulation Model 大循環モデル
 GFDL : Geophysical Fluid Dynamics Laboratory NASAの地球流体力学研究所
 GOES : Geostationary Operational Environmental Satellite 米国の静止気象衛星
 GPI : Genesis Potential Index 台風発生指数
 GPU : Graphics Processing Unit 画像を描写するために必要な計算処理を行う演算装置
 ICON : ICosahedral Nondrostatic model 正20面体非静力学モデル
 IMT : Institut Mines-Télécom フランスの大学名
 KINACO : 非静力学海洋モデル
 LES : Large Eddy Simulation ラージ・エディ・シミュレーション
 LETKF : Local Ensemble Transform Kalman Filter 局所アンサンブル変換カルマンフィルタ
 LFM : Local Forecast Model 局地モデル
 MCS : Mesoscale Convective System メソ対流系
 MIROC : Model for Interdisciplinary Research on Climate 東京大学/国立環境研究所/海洋研究開発機構を中心に開発されている全球気候モデル
 NCAR : National Center for Atmospheric Research 米国大気科学研究所
 NHM : NonHydrostatic Model 非静力学モデル
 NICAM : Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model 非静力学正20面体格子大気モデル
 OFP-II : 東京大学と筑波大学が共同運用するスーパーコンピュータシステム (Oakforest-PACS) の後継機の略称
 OSSE : Observing System Simulation Experiment 観測システムシミュレーション実験
 PTM : Process Tracking Model 雲微物理モデルの昇華成長と雲粒捕捉の成長による質量の増加を追跡するモデル
 PREVENIR : Japan-Argentina Cooperation Project for Heavy Rain and Urban Flood Disaster Prevention 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS) のもとで実施されている「気象災害に脆弱な人口密集地域のための数値天気予報と防災情報提供システムのプロジェクト」
 SCALE : Scalable Computing for Advanced Library and Environment 理化学研究所で開発されている次世代気

象気候ライブラリ

SCREAM : Simple Cloud Resolving E3SM Atmosphere Model 米国エネルギー省を中心に開発されている全球雲解像モデル

SPAM++ : Structure Preserving Atmospheric Model in C++ E3SM-MMF の子モデルの力学コアとして開発されたハミルトン系ベースの数値モデル

SP-MIROC : Super Parameterized version of the MIROC GCM MIROC にスーパーパラメタリゼーション手法を適用したモデル

TC : Tropical Cyclone 熱帯低気圧

VVM : Vector Vorticity cloud-resolving Model 国立台湾大学で開発されている雲解像モデル

WRF : Weather Research and Forecasting Model アメリカ大気科学研究所で開発される領域気象モデル

X-SHiELD : The eXperimental System for High-resolution prediction on Earth-to-Local Domains 米国海洋大気庁の地球物理流体力学研究所で開発されている全球非静力学モデル

参考文献

Hashimoto, A., H. Motoyoshi, N. Orikasa and R. Misumi,

2020: Process-tracking scheme based on bulk microphysics to diagnose the features of snow particle. SOLA, **16**, 51-56.

Hashino, T., M. Satoh, Y. Hagihara, T. Kubota, T. Matsui, T. Nasuno and H. Okamoto, 2013: Evaluating cloud microphysics from NICAM against CloudSat and CALIPSO. J. Geophys. Res. Atmos., **118**, 7273-7292.

Sato, Y., Y. Miyamoto and H. Tomita, 2019: Large dependency of charge distribution in a tropical cyclone inner core upon aerosol number concentration. Prog. Earth Planet. Sci., **6**, doi:10.1186/s40645-019-0309-7.

里村雄彦, 竹見哲也, 野田 暁, 三好建正, 富田浩之, 斉藤和雄, 日下博幸, 重 尚一, 2011 : 第1回非静力学数値モデルに関する国際ワークショップの報告. 天気, **58**, 249-256.

Stevens, B., *et al.*, 2019: DYAMOND: the DYNAMics of the Atmospheric general circulation Modeled On Non-hydrostatic Domains. Prog. Earth Planet. Sci., **6**, 1-17.

瀬古 弘, 和田章義, 村田昭彦, 宮川知己, 竹見哲也, 福井 真, 川畑拓矢, 北村祐二, 清木達也, 堀田大介, 2019 : 第5回非静力学モデルに関する国際ワークショップの報告. 天気, **66**, 501-506.