

jh251012

## 全球 km スケールモデルの共通解析基盤の確立

佐藤正樹（東京大学大気海洋研究所）

### 概要

地球全体を km スケールのメッシュで覆う超高解像度の地球システムモデルによる気象気候研究の新たな展開が始まっている。全球 km スケールモデルによるシミュレーションの性能評価のためには、同モデルの国際比較実験を推進し、そのデータをアーカイブし、解析利用に資する必要がある。本課題では、この目的のために JHPCN の mdx の利用を進めている。World Climate Research Programme では、2025 年 5 月 12～16 日に Global km-scale Hackathon を企画し、国際的には 10 拠点を同時開催し、約 700 名が参加した。本課題では、この Global km-scale Hackathon の東京拠点として参加し、mdx 上の全球 km スケールモデルデータを用いた解析を実施し、国内外から約 50 名が参加した。今後、mdx を利用した全球 km スケールモデルのさらなる多様な国際比較実験のデータアーカイブ・解析サーバーとして展開が期待される。

### 1. 共同研究に関する情報

#### (1) 共同利用・共同研究を実施している拠点名

mdx I

#### (2) 課題分野

データ科学・データ利活用課題分野

#### (3) 参加研究者一覧と役割分担

佐藤正樹：課題代表

大野知紀：副代表

Woosub Roh：課題実施者・アドバイス

宮川知己：課題実施者・アドバイス

松岸修平：課題実施者・アドバイス

高須賀大輔：課題実施者・アドバイス

八代尚：課題実施者・アドバイス

小玉知央：課題実施者・アドバイス

山下陽介：課題実施者・アドバイス

Xu Chen：課題実施者

前田優樹：課題実施者

村田博：課題実施者

#### 2. 研究の目的と意義

地球全体を km スケールのメッシュで覆う超高解像度の大気海洋モデル・地球システムモデルによる気象気候研究の新たな展開が始まっている。進行する地球温暖化に伴って激甚化している台風や豪雨等の極端気象現象のリアルタイムモニタリングや将来変化予測において、地球デジタルツインへの貢献等、全球 km スケールモデルに期待される役割は大きい。全球 km スケールモデルによるシミュレーションの性能評価のためには、世界各国の全球 km スケールモデルの比較実験を推進し、そのデータをアーカイブし、解析利用に資する必要がある。本課題では、この目的のために JHPCN の mdx を利用する。

#### 3. 当拠点の公募型共同研究として実施した意義

世界各国の 10 機関以上で「全球 km スケールモデル」の開発を進めている。本申請

は、世界各国の全球 km スケールモデルの出力結果を JHPCN mdx に集積し、世界中の関係する研究コミュニティへの利用を図るものである。

日本における「全球 km スケールモデル」は東京大学大気海洋研究所、東北大学、海洋研究開発機構、国立環境研究所、理化学研究所等の研究者の連携によって、大気海洋モデル NICAM および NICOCO を共同開発してきた。これらの数値モデルは、構成拠点のスーパーコンピュータ「富岳」や東京大学情報基盤センターWisteria 等を用いて実施している。これらの構成拠点において実施した数値シミュレーション結果を、mdx を利用して公開することが必要とされる。その上に、世界各国で実施される「全球 km スケールモデル」の数値シミュレーション結果を mdx 上にアーカイブし、世界各国の研究者の利便性に資することが必要である。

全球 km スケールモデルの出力は膨大であり、アーカイブされたサーバからダウンロードすることなく、サーバ上でデータの解析する方法の確立が必要である。さらに、今日では、これらの大規模データは機械学習の教師データとして貴重な価値を生んでいる。諸外国では、ドイツ DKRZ、イギリス JASMINE 等、先行する取り組みがある。JHPCN mdx では、これら諸外国の研究拠点との連携を図り、世界的な全球 km スケールモデルのシームレスな利便性の向上を図る必要がある。

#### 4. 前年度までに得られた研究成果の概要

前年度は、国際比較実験「全球 km スケールモデル」のデータアーカイブ、配信サイトの構築を進めた。国際的な 10 種類程度の全球 km スケールの計算結果を格納することを念頭に、総容量はおよそ 200TB 程度のサーバの構築を目標とした。

まず、基本機能としての FTP サーバの構築を当初の目標とし、mdx 上に仮想マシンを構築した。さらに、サーバサイド解析やデータ提供フォーマットの検討を行い、機能強化を行った。当初の仮想マシンの用途はファイルサーバでありストレージが重視されるが、本年度に向けて解析サーバとしての機能を充実させることを検討した。

構築した仮想マシンに大規模ストレージをマウントし、FTP サーバの使用領域に設定した。またファイルのアップデートは指定されたユーザが、ダウンロードは不特定のユーザが実行できるように FTP サーバソフトウェアの設定および mdx のネットワーク設定を行った。これにより、本研究の第一ステップであるデータサーバ構築に関する最低限の要求を満たした。

mdx サーバに ssh によりアクセスし、全球 km スケール実験が可能な数値モデル NICAM によるシミュレーションの稼働が可能な計算環境を構築した。netCDF 等の全球 km スケールデータの解析に必要なツール・ライブラリを整備した。

#### 5. 今年度の研究成果の詳細

これまで国際共著論文 Takasuka et al. (2024) を執筆し、「全球 km スケールモデル」の国際比較実験として、1 年間の積分実験を提案、世界各国の研究機関に対して実験の実施およびデータ提供を要請してきた。現在、約 10 機関の参加を見込んでおり、各モデルによる 0.25 度メッシュデータを mdx サーバ上にアーカイブする計画である。

2024~2025 年を第 1 フェーズの比較実験期間と位置づけ、実験・データアーカイブ・解析を実施した。その過程で課題を明らかにし、数値モデルの改良を進めた上で、第 2 フェーズの実験計画を検討した。

mdx 上には、数値シミュレーション結果の解析作業を想定したサーバ環境

(nowake.nicam.jp) を構築した(図 1)。解析作業では、現実観測データとの比較によるモデル評価と改良、および地球科学的観点からのメカニズム解明に加えて、膨大な情報量をもつデータを活用した情報科学的解析の実施も想定している。情報科学分野の研究者と連携し、EVE (Earth Virtualization Engines; <https://eve4climate.org/>) で提唱された “AI on Top” 構想の実現を目指している。

2025 年 5 月 12~16 日には、World Climate Research Programme Global km-scale Hackathon の一環として、mdx を活用した Global Hackathon Tokyo Node を開催した ([https://dpo.auri.u-tokyo.ac.jp/dmmg/ICCP-GSRA/Global-Hackathon\\_Tokyo.htm](https://dpo.auri.u-tokyo.ac.jp/dmmg/ICCP-GSRA/Global-Hackathon_Tokyo.htm))。国際的には 10 拠点、700 名の参加者を得た (Gettelman et al. 2026)。東京拠点には、国内外から約 50 名が参加し、mdx 上の全球 km スケールモデルデータを用いた解析を実施した。

本 Hackathon では、地球全体を km メッシュで覆う大規模データを効率的に解析・活用するための基盤技術とツール群の整備を行った。具体的には、以下の技術を導入した：

- ・ 階層的解像度でのデータ提供を可能にする HEALPix の適用
- ・ 大容量データの効率的処理を支える Zarr フォーマットの採用
- ・ 国際拠点間での分散サーバを統合的に利用可能にするカタログ機能の構築
- ・ 異なるモデルの結果をシームレスに解析可能とするアプリケーションの導入
- ・ さらに、各国の IT 基盤技術研究者との連携により、アーキテクチャ設計・システムソフトウェア・セキュリティなどの面で協力を進め、mdx 上に国際的に共有可能な研究基盤を構築することができた。

本年度に実施した Global km-Scale Hackathon の成果については、総括レポート

として国際共著論文 Gettelman et al. (2026) を出版した。

上記 Hackathon のフォローアップ会議として、2025 年 11 月 20 日に盛岡で全球 km スケールモデリンググループの参加による国際会議を開催し、各モデルの最新の実験状況および今後のデータ提供スケジュール、今後の国際比較実験のラインナップについて議論を行った。

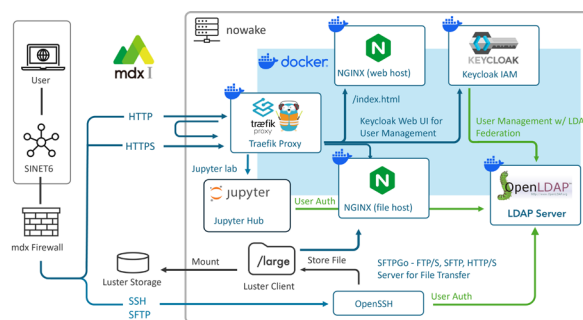


図 1. nowake のシステム構成図

## 6. 進捗状況の自己評価と今後の展望

2025 年 5 月に、Takasuka et al. (2024) で提唱した全球 km スケールモデルによる 1 年積分の国際比較実験データの解析利用を想定し、Global km-Scale Hackathon を実施した。mdx によるデータアーカイブ・解析サーバーの構築を行い、本 Hackathon の機能を果たすことができた。mdx 資源の利用は、申請時に設定した計画を満たすものであり、現在までの自己評価は 100%達成している。一方、データのアーカイブに関しては、Global km Hackathon の時点では、日本 NICAM、ドイツ ICON、英国 UM、米国 SCREAM のモデルのデータをアーカイブした。各モデルグループの解析結果を相互に比較・検討した結果、いくつかのモデルにおいて改良の必要な点が明らかとなり、再実験を進めているグループもあることから、データアーカイブに関しては、引き続き取り組み必要がある。

参加者からは再度の Hackathon 開催を望む声が多く寄せられており、おおよそ 2 年後を

目途に、mdx を活用した次回の国際 Hackathon の開催を検討している。また、全球 km スケールモデルによる国際比較実験について、EarthCARE 衛星による検証を目的とした ECOMIP や台風を念頭においた比較実験等が提案されており、さらなる mdx の活用を検討する。

加えて、国内においても、より高頻度に mdx を利用した Hackathon の開催を検討している。これにより、導入技術のブラッシュアップを図るとともに、「富岳」や東京大学 Wisteria など複数の計算拠点で得られた PB オーダーのさらなる大規模数値シミュレーション結果を mdx 上で効果的に共有・統合する方法を検討する。これを実現するためには、拠点間での大容量データ転送が不可欠であり、SINET 等の高速・大容量ネットワークの効率的な活用を推進する。

**※7. 研究業績はウェブ入力です**