

衛星観測と融合した大気環境シミュレーションの進展

「富岳」成果創出加速プログラム「防災・減災に資する新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測」

2022年度成果発表会

八代 尚（国立環境研究所） with テーマ3 チーム

2023年3月20日

テーマ3 「先進的大規模データ同化」

全球3.5km1000アンサンブル
データ同化実験

富岳の可用性を実証

シミュレーション+データ科学のグランドチャレンジ

気象場・大気質を同時に同化する
システムの開発検証

気象予測と大気環境予測のシナジー効果
観測ビッグデータの更なる活用

高解像度・大アンサンブルによる
地球環境予測

温室効果ガス排出量の検証高度化
PM_{2.5}等の大気汚染予測性能向上

テーマ3 実施体制

大規模計算手法

国立環境研究所
理化学研究所

衛星データ同化

理化学研究所 千葉大学
気象研究所 宇宙航空研究開発機構

温室効果ガス

国立環境研究所
気象研究所

雲・エアロゾル

国立環境研究所 東京大学 (AORI)
気象研究所 九州大学 北海道大学 京都大学
中国科学院大気物理研究所

大気化学

海洋研究開発機構
国立環境研究所 気象研究所
NASA/JPL

水同位体

東京大学 (生研) 国立環境研究所

今年度の主な成果と本日の発表内容

- NICAM-LETKF JAXA Research Analysis (NEXRA)への開発・最適化成果の還元
- 国環研GOSAT-GWプロジェクトと連動した準リアルタイム全球GHG・エアロゾル予測システムプロトタイプの開発
- シミュレーションをしながら格子系変換・ファイル出力する「結合IOコンポーネント」の高度化

- 口頭発表・ポスター発表
 - NICAMを用いたCO2大気シミュレーション（国環研・丹羽さん）
 - 大気組成モデルを用いたトップダウン排出量推定：GOSAT-GW衛星観測との連携に向けた取り組み（JAMSTEC・関谷さん）
 - NICAMを用いた大アンサンブル水同位体データ同化実験（気象研・田上さん）

NICAM-LETKF JAXA Research Analysis (NEXRA)

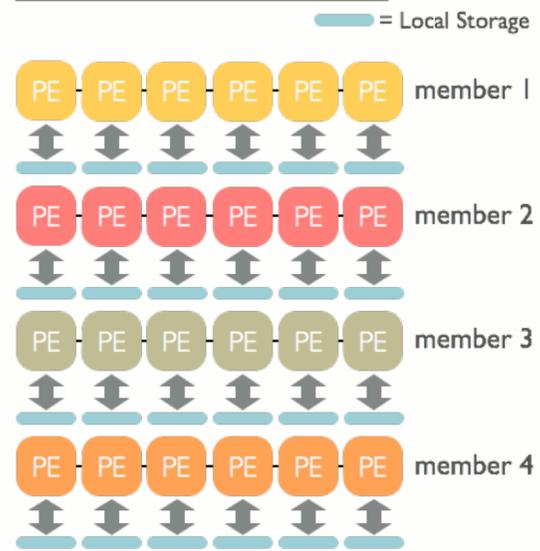


<https://www.eorc.jaxa.jp/theme/NEXRA/>

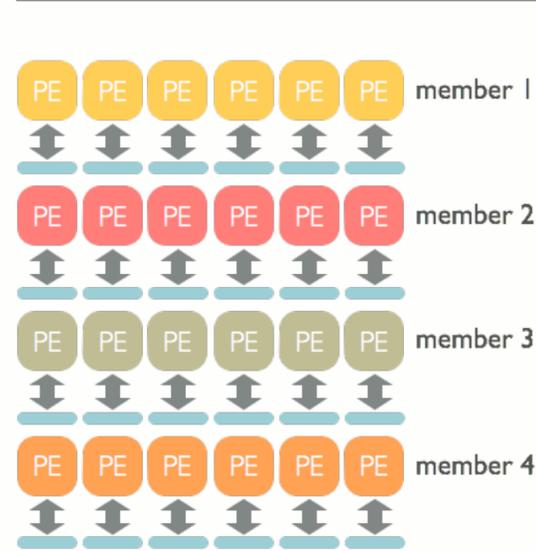
- 世界の気象リアルタイム（JAXAが公開する気象予測プロダクト）で用いられている
 - 従来観測＋衛星輝度温度同化＋GPM降水プロダクトのデータ同化
 - 理研三好TLの主導による開発プロジェクト
 - 112kmメッシュでのデータ同化→14kmメッシュでの予測

NEXRAへのNICAM-LETKF開発成果還元

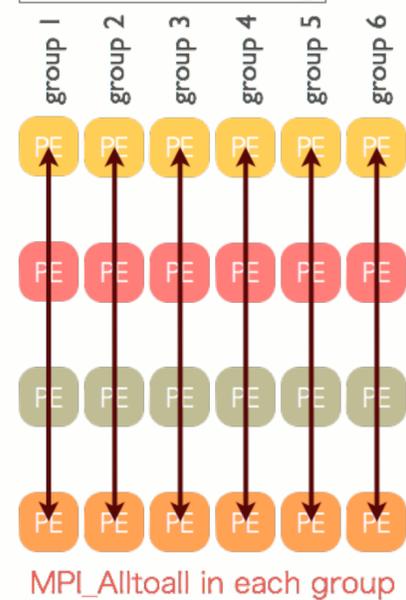
a) NICAM simulation



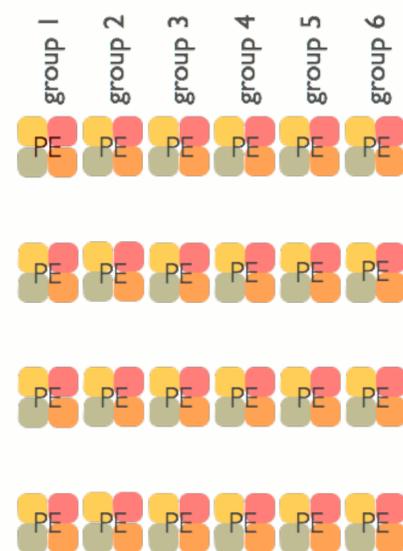
b) File I/O in StoO and LETKF



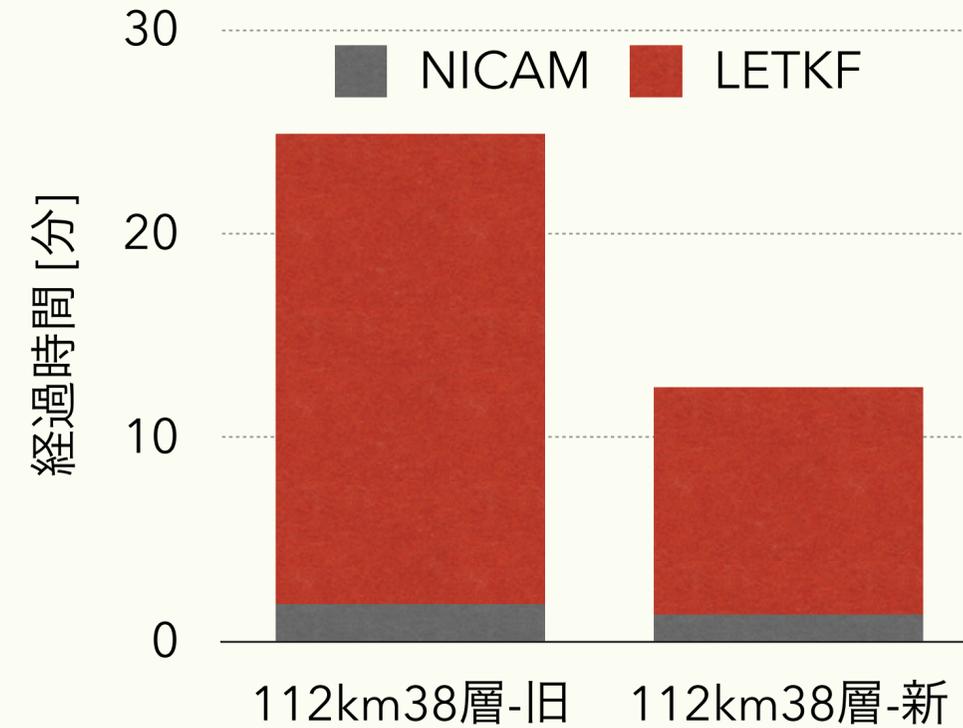
c) Data Shuffling



d) Computation in StoO and LETKF

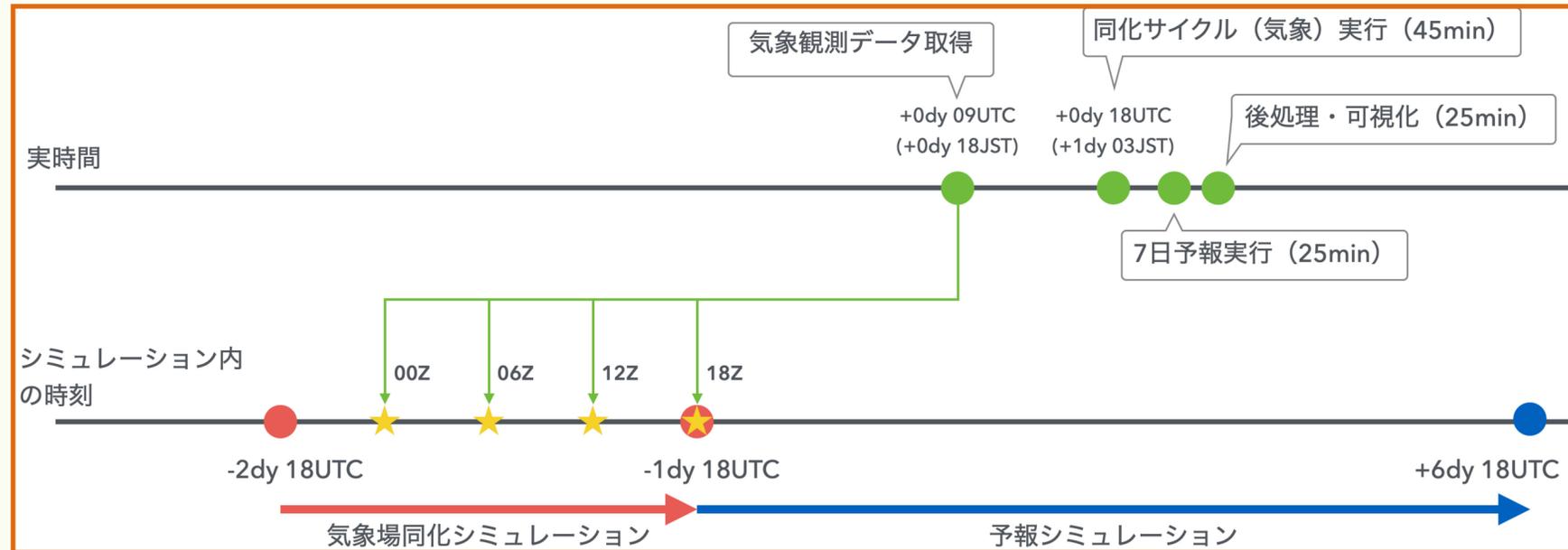


“Throughput-aware” design
[Yashiro et al., 2016, GMD]



- ゴードン・ベルチャレンジ実験のために進めてきた研究開発成果を還元
 - 単なるベンチマーク実験のためのチューニングに留まらない、汎用的なアルゴリズム改善、最適化手法の適用を行ってきた
 - データ同化システムの高速度化により、空間解像度の向上が可能に
 - ：112kmメッシュ→56kmメッシュへの移行試験中

準リアルタイムGHG/SLCF解析・予測システム

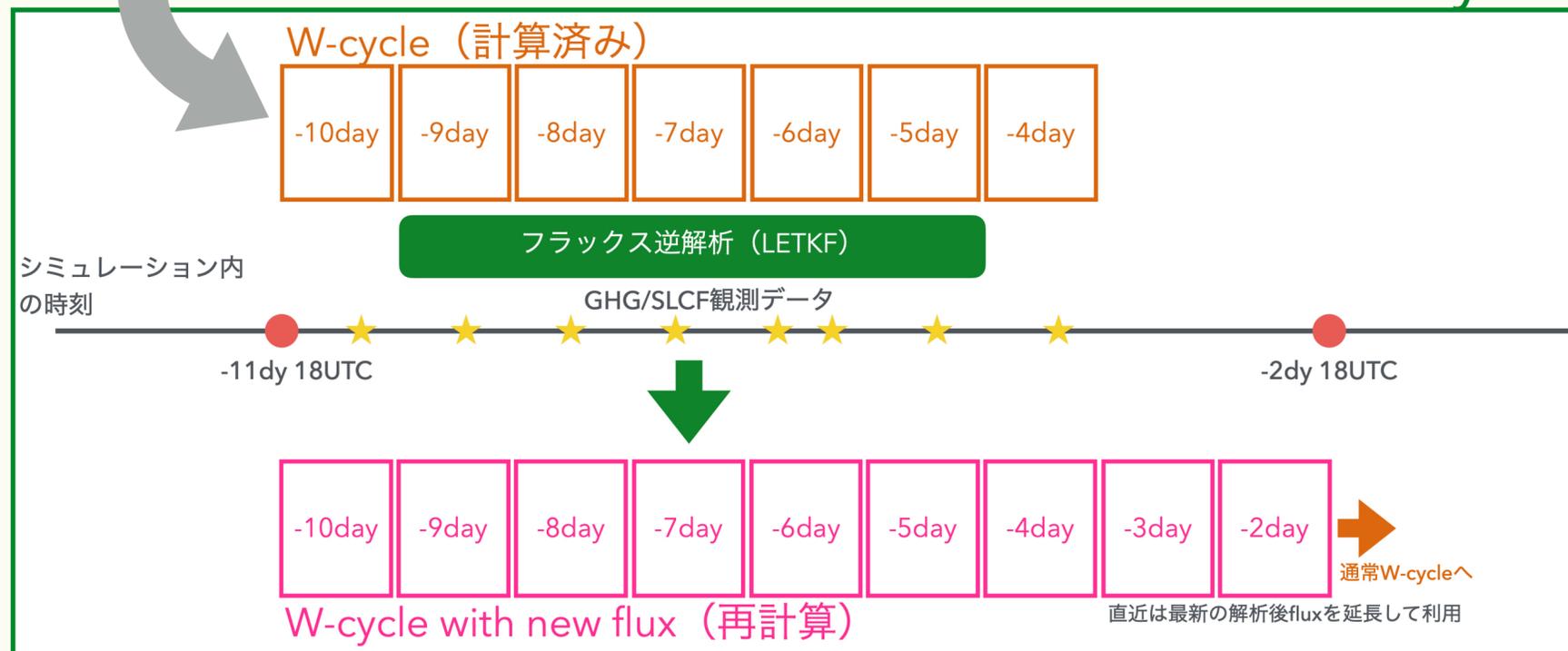


再解析データのナッジングに頼らない気象場同化での
微量気体予測シミュレーション

- 再解析データの提供時期・解像度に律速されないリアルタイム性を得られる

W-cycle

C-cycle



1～2週間前のGHG/SLCFフラックスの
即時解析

- Sentinel-5P/TROPOMIやGOSAT-GW/TANSO-3など、速報観測データが公開される時代を意識

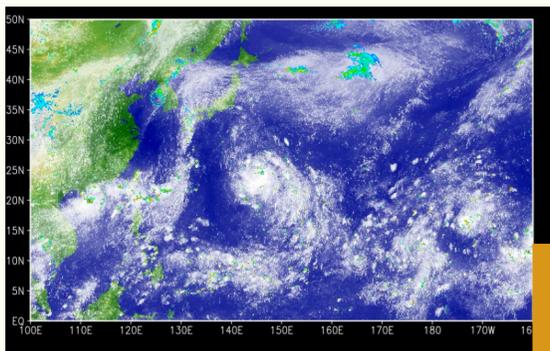
大規模データ同化を支えるソフトウェア開発（その2）

- シミュレーションをしながら格子変換とファイル出力を並行処理
- シミュレーションに必要なノード数の5%程度でOK
- NetCDF出力に対応（昨年度成果）

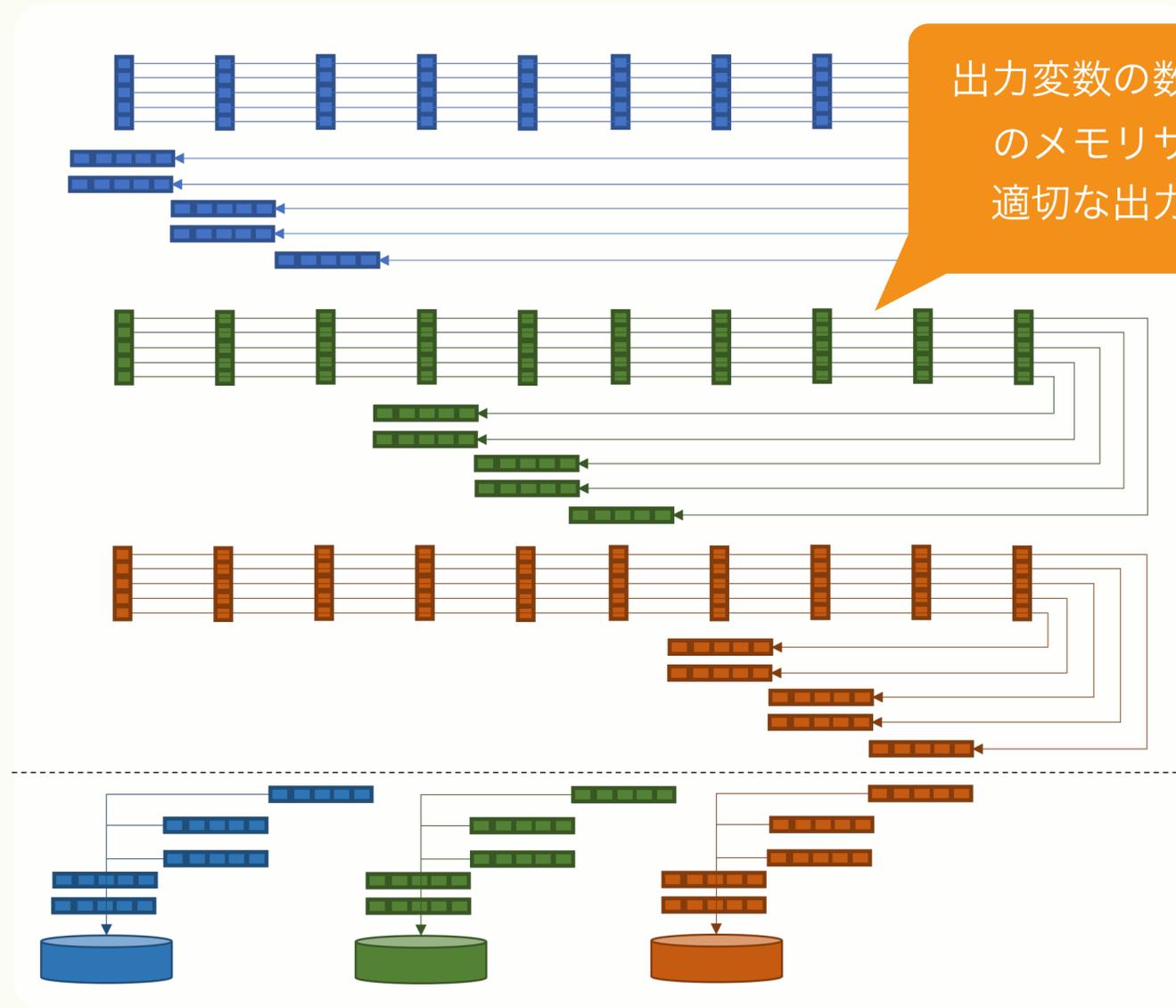
Coupling

I/Oノード

collection,
remapping



緯度経度格子

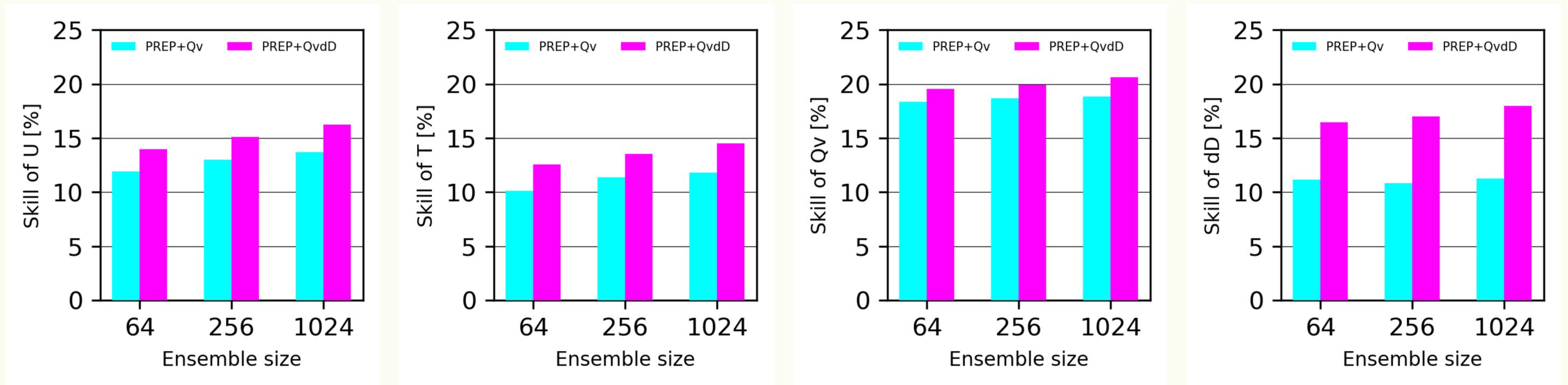


出力変数の数、鉛直層数、マシンのメモリサイズ等を考慮した適切な出力担当ノードの分散

オンライン緯度経度出力の更なる高度化

- ボトルネックとなる圧縮・書き出しの並列化実現

NICAMを用いた大アンサンブル水同位体データ同化実験



- OSSE実験
- 従来型観測に加えて、IASI衛星センサを想定した水蒸気 (Qv) と水蒸気同位体比 (δD) の観測を同化した場合の RMSE 逡減率 (Skill)
- Qv衛星観測のみを追加するよりも、 δD 衛星観測を追加する方がRMSEが低減する
- 大アンサンブルの場合に、より δD を同化した効果が期待できる

「富岳NEXT」 へ向けたアクティビティ

日本気象学会 計算科学研究連絡会 (<https://metsoc-hpc.github.io/>) の発足

- 第1回連絡会会合 (2022.5)
 - 気象業界と関連の深い、世界のHPC開発計画・シミュレーションモデル開発計画の紹介
 - NGACI White Paperの紹介、計算科学ロードマップ (気象・気候分野) の執筆状況
- 第2回連絡会会合 (2022.8) 「地球デジタルツインの動向に関するワークショップ」
 - デジタルツイン、データプラットフォーム、社会とのインタフェース、シミュレーションモデル開発
- 第3回連絡会会合 (2023.5) 「気象・気候モデルのGPU対応 (仮)」

計算科学ロードマップ2022 気象気候分野抜粋版の公開

- <https://metsoc-hpc.github.io/documents/202302/> (計算科学研究連絡会HP内)
- 日本の時期フラッグシップスーパーコンピュータの開発における検討資料として、2012年、2014年、2017年に公開されてきた
- 次期スパコンが活躍する頃の実現したいサイエンステーマと必要な計算環境について明らかにする
： 全球・領域の気象・気候、大気環境、大気・海洋の素課程モデリング、データ同化

今年度成果リスト

査読論文（抜粋）

- Tanoue, M., H. Yashiro, Y. Takano, K. Yoshimura, C. Kodama, M. Satoh (2023) Modelling water isotopes using a global non-hydrostatic model with explicit convection scheme : Comparison with a gridded dataset and site observations, J.
- Akiyoshi, H., M. Kadowaki, Y. Yamashita, T. Nagatomo (2023): Dependence of column ozone on future ODSs and GHGs in the variability of 500-ensemble members, Sci. Rep., 13, 320. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-27635-y>
- Cheng, Y., Dai T., Cao J., Chen L., Goto D., Yoshida M., Nakajima T., Shi G.: Improvement of the Aerosol Forecast and Analysis Over East Asia With Joint Assimilation of Two Geostationary Satellite Observations, Geophysical Research Letter, 49(21), <https://doi.org/10.1029/2022GL099908>, (2022).
- Li, X., R. Kawamura, K. Ichianagi, K. Yoshimura, Moisture sources and isotopic composition of a record-breaking heavy Meiyu-Baiu rainfall in southwestern Japan in early July 2020, Atmospheric Research, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106693>
- Wang, X., K. Toride, K. Yoshimura, Historical atmospheric analysis by weather category assimilation using Gaussian transformation, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1(Hydraulic Engineering), 2022.
- 佐藤啓市, 池田恒平, 寺尾有希夫, 山下陽介, 町田敏暢, 谷本浩志 (2022): 将来の地球観測への期待, 地球環境, 26(1&2), 89-100

招待講演・ハイライト

- 八代尚 (2022) 超重量級計算はこの先どうなるのか?: 気象・気候シミュレーション研究が期待するもの, PCクラスターシンポジウム, 2022年12月, 東京 (招待講演)
- Yashiro, H., (2022) Computing hardware development: a case of Japanese flagship supercomputer “Fugaku”, WCRP Workshop on Future of Climate Modelling, 21-24 March, 2022

学会発表

- Yashiro, H., T. Sugita, T. Saeki, Y. Someya, S. Kikuchi, T. Fujinawa, F. Kawazoe, A. Kamei, Y. Yoshida, H. Tanimoto, and T. Matsunaga (2022) Overview of GOSAT-GW TANSO-3 data processing and product distribution in NIES, IWGGMS-18, Jul. 2022, Tsukuba, Japan
- Masahiro Tanoue, Hisashi Yashiro, Yuki Takano, Kei Yoshimura, Chihiro Kodama, and Masaki Satoh, Modelling water isotopes using a global non-hydrostatic model with explicit convection scheme, EGU22, EGU22-9111, 2022/5/27.
- Masahiro TANOUE, Hisashi Yashiro, Yuki Takano, Kei Yoshimura, Chihiro Kodama, Masaki Satoh, Modelling water isotopes using a global non-hydrostatic model with explicit convection scheme for investigating model's bias and uncertainty, JpGU2022, AAS05-P07, 2022/5/31.
- Takashi Sekiya, Kazuyuki Miyazaki, Henk Eskes, Kengo Sudo, Masayuki Takigawa, Yugo Kanaya, The global COVID-19 lockdown impacts on secondary inorganic aerosols, iCACGP-IGAC Joint Conference 2022, 2022/9/11
- Takashi Sekiya, Kazuyuki Miyazaki, Henk Eskes, Kengo Sudo, Masayuki Takigawa, Yugo Kanaya, A comparison of the impact of TROPOMI and OMI tropospheric NO2 on global chemical data assimilation, Sentinel-5P 5 years anniversary conference, 2022/10/10
- Xiaoxing Wang, Kinya Toride, Kei Yoshimura, Reconstruction of Daily Weather in the 1810s by Diary Data Assimilation, AGU2022, PP55A-08, 2022/12/16.
- Kei Yoshimura, Generation of Millennium Atmospheric Reanalysis, AGU2022, OS52C-0521, 2022/12/16.
- Xiaoyang Li, Ryuichi Kawamura, Kimpei Ichianagi, Kei Yoshimura, Water Origins and Isotopic Composition of Heavy Baiu/Meiyu Rainfall: a Case Study in Southwestern Japan in Early July 2020, AGU2022, A34E-02, 2022/12/14.
- Hayoung Bong, Alexandre Cauquoin, Atsushi Okazaki, Eun-Chul Chang, Martin Werner, Zhongwang Wei, Namgu Yeo, Kei Yoshimura, The University of Tokyo/Inter-comparison of Water Isotope-enabled Models and Reanalysis Nudging Effects, AGU2022, PP22B-03, 2022/12/13.
- 八代尚, 五藤大輔, 丹羽洋介, 佐藤枝美子, 中野藤之, 照井弘, 松永恒雄 (2022) NIES-DE prototype: GHG/SLCF短期解析・予測システムの構築に向けて, 大気化学検討会, 2022年11月, つくば
- 山下陽介 (2022): 極渦の変動とその気候への影響, 第75回 気候影響・利用研究会. (オンライン, 2022.4.30)
- 山下陽介, 滝川雅之, 五藤大輔, 八代尚, 佐藤正樹, 金谷有剛, 竹谷文一, 宮川拓真 (2022): 発達した低気圧による北極域へのブラックカーボン輸送の解析, 2022年度大槌シンポジウム「多重階層結合系における対流圏大気現象の過去・現在・未来」.(特別講演, 大槌, 2022.8.25)
- 山下陽介, 秋吉英治, 井上誠 (2022): 化学気候モデルを用いた海表面温度の南半球成層圏力学場への影響の解析 (大アンサンブル実験), 第27回大気化学討論会, O3-08. (つくば, 2022.11.18)
- 山下陽介 (2023): 地球大気の化学・物質輸送・放射から惑星大気科学を展望する, 第24回惑星圏研究会, 0221-AM1. (招待講演, 仙台(オンライン参加), 2023.2.21)
- 五藤大輔 (2022) 大気環境に関するエアロゾル全球シミュレーション, 2022年度シンポジウム富岳で見える気象の未来予想図, 口頭発表
- 五藤大輔 (2023) 全球・領域規模でのエアロゾルシミュレーションについて, 令和4年度化学物質環境実態調査 環境科学セミナー, 口頭発表
- 芳村圭、重水蒸気の衛星観測とそのデータ同化による気象場の拘束、NIFS 一般共同研究 研究会「水素同位体の挙動と機能および将来像」トリチウム研究会プログラム、2022/8/3. (invited)
- 関谷高志, 宮崎和幸, Henk Eskes, 須藤健悟, 滝川雅之, 金谷有剛, 二次エアロゾル生成に対するCOVID-19ロックダウンの全球規模影響, 日本地球惑星科学連合2022年大会, 2022/5/27

