令和元年度　文部科学省
ポスト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関する
アプリケーション開発・研究開発

令和元年度
「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」
成果報告書

令和 2 年 5 月 29 日

国立研究開発法人海洋研究開発機構
高橋　桂子

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、国立研究開発法人海洋研究開発機構が実施した令和元年度「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」の成果を取りまとめたものです。

目次

1．委託業務の題目 1
2．実施機関（代表機関） 1
3．委託業務の目的 1
4．令和元年度（報告年度）の実施内容 2
4－1．実施計画 2
(1) 研究開発課題 2
(2) プロジェクトの総合的推進 3
4－2．実施内容（成果） 4
4－2－1．サブ課題Ａ：革新的な数値天気予報と被害レベル推定に基づく高度な気象防災 4
(1) 成果概要 4
(2) 実施体制 10
(3) 成果内容 13
(4) 成果リスト 64
4－2－2．サブ課題Ｂ：シームレス気象・気候変動予測 80
(1) 成果概要 80
(2) 実施体制 81
(3) 成果内容 83
(4) 成果リスト 104
4－2－3．サブ課題Ｃ：総合的な地球環境の監視と予測 113
(1) 成果概要 113
(2) 実施体制 113
(3) 成果内容 114
(4) 成果リスト 129
4－2－4．プロジェクトの総合的推進 134
(1) 実施概要 134
(2) 実施体制 134
(3) 成果内容 135
(4) 成果リスト 141
4－3．活動（研究会等） 142
4－4．実施体制 144

別添１　学会等発表実績
別添２　実施計画

1. 委託業務の題目

「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」

2. 実施機関（代表機関）

<table>
<tr><td rowspan="8">代表機関</td><td colspan="2">機関名</td><td colspan="4">国立研究開発法人海洋研究開発機構</td></tr>
<tr><td colspan="2">所在地</td><td colspan="4">〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町 2 番地 15</td></tr>
<tr><td rowspan="3">課題責任者</td><td>ふりがな
氏　　名</td><td>たかはし　けいこ
高橋　桂子</td><td>生年
月日</td><td colspan="2">西暦 1961 年 7 月 7 日（58 歳）
※2020 年 4 月 1 日現在</td></tr>
<tr><td>所属部署名</td><td colspan="2">付加価値情報創生部門
地球情報基盤センター</td><td>役職</td><td>センター長</td></tr>
<tr><td>連絡先</td><td colspan="4">Tel.045-778-5834　　Fax.045-778-5492</td></tr>
<tr><td colspan="5">E-mail　takahasi@jamstec.go.jp</td></tr>
<tr><td rowspan="3">事務連絡担当者</td><td>ふりがな
氏　　名</td><td colspan="2">あくつ　まさひろ
阿久津　雅裕</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>所属部署名</td><td colspan="2">経理部外部資金課</td><td>役職</td><td>課長</td></tr>
<tr><td>連絡先</td><td colspan="4">Tel.046-867-9301　　Fax.046-876-9195</td></tr>
<tr><td colspan="5">E-mail　jutaku@jamstec.go.jp</td></tr>
</table>

3. 委託業務の目的

ポスト「京」の計算機システムとアプリケーションを協調的に開発（Co-design）し、我が国が直面する社会的・科学的課題の解決に貢献できるシステムを構築するための重点課題として、観測ビッグデータを組み入れたモデル計算で、局地的豪雨や竜巻、台風等を高精度に予測し、また、人間活動による環境変化の影響を予測し監視をするシステムの基盤を構築することを目的とする。また環境政策や防災、健康対策へ貢献することも目的とする。

このため、中核機関の国立研究開発法人海洋研究開発機構は、分担機関の国立研究開発法人理化学研究所、国立大学法人東京大学、国立大学法人東京工業大学、国立大学法人東北大学及び国立大学法人京都大学と密接に連携し、研究開発を実施する。

4. 令和元年度（報告年度）の実施内容

4－1. 実施計画

(1) 研究開発課題

令和元年度は、重点課題目標の達成に向けて以下の研究を行う。

A. 革新的な数値天気予報と被害レベル推定に基づく高度な気象防災

＜受託機関：国立研究開発法人海洋研究開発機構、再委託機関：国立研究開発法人理化学研究所、国立大学法人東京工業大学、国立大学法人東京大学大気海洋研究所、国立大学法人東北大学、国立大学法人京都大学＞

平成 30 年度に引き続き、集中豪雨等の予報精度の向上や、より長いリードタイムを目指した数値天気予報システムの開発を継続する。

具体的には、観測ビッグデータを含む観測データを用いてメソスケール現象をより現実的に再現する数値実験の事例をさらに増やし、これまで取り組んできた静止気象衛星「ひまわり」の同化法を確立するとともに、他の観測ビックデータについても有効性を確認する。また、局地的大雨などの積乱雲スケール現象を対象にした同化手法の初期的な結果を得る。

局地的突風現象の解析システムの実用化評価を行うために、社会的に重要な大規模建築物に対する突風荷重を推定し、竜巻に対する安全性を検証するとともに、突風に対する性能設計法を確立するための不確定性定量化を導入する。

これまでに開発してきた高解像度アンサンブル予報を用いた広範囲二次元土石流予測モデルと局所予測のための三次元土石流予測モデルを接続させ、2014 年に発生した広島土石流災害に適用させた融合計算を実施する。

さらに、既存の数値天気予報システムでは解像できない物理過程を表現する水平解像度 100m 以下の高解像度数値モデルを開発し、竜巻等の顕著現象のメカニズムや大きな影響を及ぼす乱流・雲微物理・放射などの多様な物理過程とその相互作用、適切なモデル初期値や境界条件などを調べ、その結果を取りまとめる。

これまで開発してきた数値天気予報システムについて、 国内外の有識者等が集まる会議やワークショップ等で情報発信を行う。また、開発したシステムや得られた計算結果を「京」停止期間中でも利用できるように環境整備を行い、保存する。

B. シームレス気象・気候変動予測

＜受託機関：国立研究開発法人海洋研究開発機構、再委託機関：国立大学法人東京大学大気海洋研究所＞

シームレスな気象・気候変動予測について、ポスト「京」実機を念頭においた大気・海洋モデルの準備を行い、14km メッシュと 7km メッシュ以下の解像度を組み合わせた 2 週間後から数ヶ月および季節から年スケールのアンサンブル実験を実施し、高解像度化の効果を調べる。また、シーム

レスな気象・気候変動予測に資する日本沿岸全域の海況予測に向け、ポスト「京」で水平約100m格子に発展させるための各種パイロットスタディを実施する。開発したシステムや得られた計算結果を「京」停止後にも利用できるよう環境を整備し保存する。

C.総合的な地球環境の監視と予測

＜受託機関：国立研究開発法人海洋研究開発機構、再委託機関：国立大学法人東京大学大気海洋研究所＞

平成30年度に引き続き、化学–気候相互作用の解明に重要なエアロゾル生成・変性過程などを高精度化した化学輸送モデルの開発に向けた情報収集を行い、それにもとづいて、粒子サイズを解像したビン型エアロゾルモデルのプロトタイプ版を非静力学正20面体大気モデル（NICAM）上で開発する。また都市解像スケール(28km格子)を念頭に、炭化水素を中心とした気相化学反応過程の精緻化を進め、都市周辺域での影響評価を行う。

加えて、衛星データなど環境ビッグデータを用いたデータ同化システムのポスト「京」上での効率的な運用に向けたモデル改良を継続的に進めるとともに、7km 格子の対流圏モニタリング機器（TROPOMI）など高分解能データ同化システムを用いた大気環境同化実験を本格実施し、メガシティ周辺域での推定精度の検証を行うとともに得られた成果を保管するための環境を整備する。

(2) プロジェクトの総合的推進

課題責任者は必要に応じて外部有識者及びオブザーバから構成される本課題の諮問委員会において実施計画及び本課題の推進等に対する提言・指導を受け、それらを反映しながらプロジェクトを円滑に推進する。

さらに、これまでに得られた貴重なデータを維持するとともに、平成31年度(2019年度)の業務で得られる成果等を保管・管理し、研究の維持・推進を実施するための計算機環境を整備する。各サブ課題の推進における共通の技術研究開発課題を調査し同定する。加えて、コデザインにおいて、ターゲットアプリケーションの計算向上のための検討と評価を引き続き行う。この検討・評価で得られた知見については、ターゲットアプリケーション以外への応用・展開も図る。またデータ圧縮などのプロジェクト全体に資する基盤技術の研究開発を行う。

なお、各研究開発課題及びプロジェクトの総合的推進にあたっては、プロジェクト全体の連携を密にかつ円滑に運営していくため、研究会の開催等、参画各機関の連携・調整を行い推進する。また、本プロジェクトで得られた成果については、シンポジウムや成果報告会等広報活動を通じて積極的に公表し今後の展開に資する。また広報活動においては、ポスター、チラシ等の広報媒体等を制作し、本プロジェクトを広く広報する。

4－2. 実施内容（成果）

4－2－1. サブ課題Ａ：革新的な数値天気予報と被害レベル推定に基づく高度な気象防災

(1) 成果概要

サブ課題 A では、最先端の観測技術である気象衛星ひまわり 8 号やフェーズドアレイレーダー[*1] 等で観測した「これまでにない高頻度・高密度な観測データ（観測ビッグデータ）」を、数値天気予報システムや局地的突風解析システムの開発により、最先端の計算機である「京」やポスト「京」をデータ同化[*2] の技術により結びつけ、これまで困難であった「災害を引き起こすような集中豪雨等をより早く予測すること（より長いリードタイム[*3] を獲得すること）」と「局地的大雨や竜巻の親雲など突風を起こす積乱雲の予測精度を大幅に向上させること」を目標にしている。以下に、令和元年度に得られた研究成果の概要を報告する。

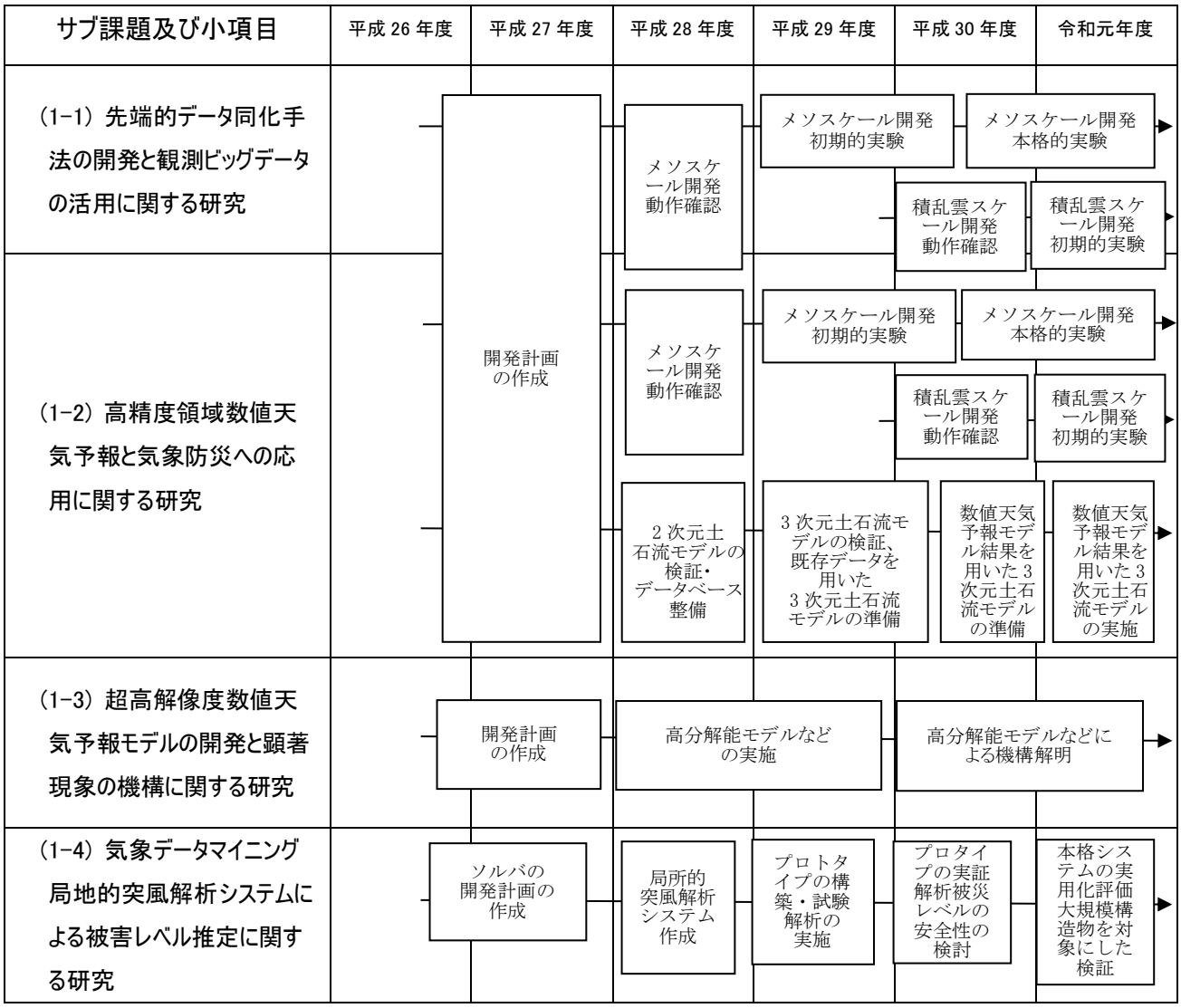
① 具体的な令和元年度の年次計画

サブ課題 A は、「土石流モデルや洪水・浸水モデルへの適用を含む数値天気予報システムの開発」と「局地的突風解析システムの開発」により構成されている。「数値天気予報システム」の構築について、まず台風や集中豪雨を予測対象として、より長いリードタイムの獲得を大きな目的とした「メソスケールアンサンブル予報[*4] システム」（格子間隔 1 ㎞、アンサンブル数は数 100 程度）の構築を開始し、本サブ課題の後半で、局地的大雨や竜巻や突風を起こす竜巻の親雲を想定した「積乱雲スケール予報システム」（100m 程度、100 メンバー程度）を作成する。

上記の全体の計画の中で、令和元年度は「メソスケールアンサンブル予報システム」を用いて「本格的な実験」を継続し、「積乱雲スケール予報システム」を用いた「初期的実験」を行う。「土石流モデル・洪水浸水モデル」については「数値天気予報モデル結果を用いた 3 次元土石流モデル」を実施する（図 A-1）。上記のシステムの開発と並行して行う「システムで使用する技術を下支えする基盤的な研究開発」（将来さらに格子間隔が非常に細かくなることで生じる問題点を探るための超高分解能予報実験）では「高分解能モデルなどによる機構解明」を継続し、「局地的突風解析システムの開発」では「本格システムの実用化評価、大規模構造物を対象にした検証」を行う。

用語：

1) フェーズドアレイレーダー： 30 秒毎にボリュームスキャンができる最新の気象レーダー。これまでのペンシルビームのレーダーに比べ、格段に細かな時空間分解能を持つ。データ数も約 100 倍になる。
2) データ同化： 観測データを用いて数値モデルの初期値を改善する手法。 変分法を用いた手法とカルマンフィルタを用いた手法に大別できる。
3) リードタイム：予測から大雨等の現象が起こるまでの時間。より長い時間が得られれば、避難のための十分な時間の確保が可能になる。
4) アンサンブル予報： 誤差範囲内に複数の初期値を作成して予測する手法で、予測結果を確率としてとらえることができる。本課題では、より長いリードタイムを獲得するために早い時刻から予測を行うため、予測結果がばらつきやすいと考えられ、アンサンブル予報が有効である。



図A-1：サブ課題Aの年次計画

② 実施内容（成果）

数値天気予報モデルを用いた予測精度の大幅な向上や、より長いリードタイムの獲得には、以下の 3 つのアプローチが有効と考えられる。

1) 自然を模した方程式の塊である数値天気予報モデルの高度化により予測精度を向上させる「数値天気予報モデル自体の高度化」というアプローチ(目標 3)
2) 観測データを用いて、より正確な「数値天気予報システム」の初期値を作成する(データ同化する)ことが予測精度を向上させる。高頻度・高分解能な観測データ（観測ビッグデータ）の利点を十分に引き出す「データ同化手法の高度化」というアプローチ(目標 1)
3) より長いリードタイムを獲得するために行う初期時刻を大きく遡らせた予測では、初期値のわずかな差により大きく予測がばらつく。予測結果を確率分布としてとらえて、有効な情報を引き出す「アンサンブル予報システムの開発」というアプローチ(目標 2)

これらのアプローチはアプローチ毎に手法が異なるため、サブ課題 A では、それぞれを「目標」と位置付けて、目標毎に研究を遂行している。また、観測ビッグデータの統計値に基づく「データマイニン

グを用いた局地的突風解析システム」の構築については、工学的なアプローチであることから、やはり別目標としている(目標 4)。

主な令和元年度の目標毎の成果は、以下の通りである（詳細については次章で述べる)。

目標１　先端的データ同化手法の開発と観測ビッグデータの活用

「目標 1」では、CREST 加速枠「『ビッグデータ同化』の技術革新の創出によるゲリラ豪雨予測の実証」と密接に連携しつつ、以下の開発を進めている。

まず、30 秒更新リアルタイムデータ同化・予報システムの開発では、外側領域から内側領域までを繋ぐワークフローを作成し、リアルタイムの 30 秒毎の解析と 30 分の延長予報を単一のジョブとして実行するように SCALE-LETKF を拡張した（①-1 節)。フェーズドアレイレーダーの同化手法の高度化について、観測値の誤差要因であるサイドローブを取り除く手法を開発し、その手法を用いると予測が改善することを確認した（①-2 節)。また、フェーズドアレイレーダーの観測演算子の改善も行い、従来の課題であった等価レーダー反射因子の急激な増大が解消されたという結果を得た(①-3 節)。さらに、30 秒毎のフェーズドアレイレーダーデータを 100m メッシュのモデルに同化する実験を行い、淡路島の東側で発生した活発な対流の成因について、強い浮力による対流の成長、力学的不安定によるエネルギー供給が寄与していることを示した（①-4 節)。

メソスケール現象をより現実的に再現するするためには、全球データ同化の予測精度の向上も必要である。ここでは、全球データ同化システムである NICAM-LETKF の開発について、データ同化で得られたモデル誤差情報を利用してモデルパラメータの最適化を行った。GCOMW 衛星が搭載している高性能マイクロ波放射計の雲量を用いて大規模凝結スキームのパラメータを最適化すると、予測雲量が改善し、モデルの放射バイアスも劇的に緩和した（①-7 節)。また、観測ビッグデータを余すことなく活用するために、改良型マイクロ波探査計を用いて水平観測誤差相関を考慮する実験を行った。観測誤差相関をデータ同化で陽に考慮することで、気温や東西風、水蒸気の解析精度が改善し、予測精度も概ね向上することを示した（①-8 節)。さらに、どの観測データが予測精度向上に貢献しているかを定量化し（①-5 節)、NICAM-LETKF と GSMaP_RNC による世界初の全球降水シームレス予報システムの開発を行った（①-6 節)。

その他の成果として、領域大気データ同化システムに簡易な海洋モデルを組み込み、大気の流れに依存した海面水温摂動の効果が台風に及ぼす影響を調査した。その結果、海面水温には期待された通りに日周期や台風直下における海面水温の低下を示し、大気-海洋間の負のフィードバックによって台風の成長が抑制され、台風の経路が大きく改善したことを示した（①-9 節)。予測開始時刻直後に降水量が不自然な振る舞いをするスピンダウン問題を改善するため、データ同化システムの最適値探索部分に過飽和制約を実装した。過飽和制約の実装によりスピンダウン問題が改善することを示した(①-10 節)。また、高頻度・高密度観測データの同化手法の高度化に向けて、気象レーダーのドップラー速度の観測誤差相関を調べ、背景誤差に「流れへの依存性」を考慮した同化手法（ここではハイブリッド 4D-Var）が、高頻度観測のインパクトをより有効に引き出すことを示した（①-11 節)。非線形なデータ同化システムである粒子フィルタ（NHM-RPF）について、観測誤差の動的推定を Adaptive R estimator（ARE）を用いて行った結果、ARE はフィルタのよりよい安定をもたらすと同時にスコアの改善ももたらすことが分かった（①-12 節)。令和元年 10 月の千葉県の大雨事例について、本研究で確立した静止気象衛星

「ひまわり 8 号」の同化法を用い、高頻度観測データを用いた実験を行った。その結果、降水域の位置がやや変わるものの、大きな改善はなかった。降水分布を改善するためには輝度温度等の水蒸気に関わるデータも必要である。(①-13 節)。

目標 2　高精度領域数値天気予報と気象防災への応用

アンサンブル予報を含む高精度領域数値天気予報を実現して、長いリードタイムの獲得や集中豪雨等の予測精度向上と気象防災への応用を目指す「目標 2」では以下の開発を行った。

従来よりも高い解像度で平成 30 年 7 月豪雨の再現実験を行い、解像度が豪雨の再現性に与える影響を調べた。実験の期間は 2018 年 7 月 6 日 9 時（JST）から翌 7 日 12 時の 27 時間で水平解像度は 5km、2km、500m で再現実験を行い、モデルの高解像度化によって局地的な豪雨の再現性が良くなるだけでなく、予報時間を伸ばした場合にも有用である可能性を示した（②-1 節)。アンサンブル変換行列の対角成分を修正して用いる diagonal アンサンブル変換などを統一的に理解する考察に関する論文が受理された。またさらにアンサンブルデータ同化手法で重要な予報誤差共分散の膨張手法について理論的な考察を進め、adaptive inflation と呼ばれる動的に膨張係数を見積る手法について、既存の様々な手法を統一的に理解することにつながる prior inflation functions (PIF)の推定をおこない、この手法に基づくアプローチが既存の共分散膨張手法に比べて優れていることを示した（②-2 節)。2009 年台風第 18 号の接近時に西日本で観測された等高度線を横切る顕著な北向きの非地衡風について、高層観測データと気象庁全球客観解析、および気象庁非静力学モデルによる再現実験により調べ、その成因として水平風加速度成分による力学的成因で説明できることを示し、併せて台風に伴う発散上層風の非軸対称の性質についても議論した。さらに日本の南岸域(130-137 E, 30-33 N)で平均した各高度の水蒸気量と、北向き風速および水蒸気フラックスの鉛直プロファイルを調べ、非地衡風成分が実質的に対流圏の深い範囲で日本上空への水蒸気供給に寄与していることを確認した（②-3 節)。日本域を対象とした高解像度長期領域再解析システムの開発を進め、全球再解析 JRA-55 に対し NHM-LETKF を一方向二重ネストするシステム（インナーモデルが 5 km格子で日本域、アウターモデルが 25 km格子で東アジア域を対象領域とする）を開発し、再現性能の評価を行った。台風中心位置の同化とアウターモデルへのスペクトルナッジングを導入したシステムの妥当性と再現性能を評価するために、対象事例数を増やした領域再解析実験を行い、JRA-55 と比較した。スペクトルナッジングと台風中心位置の同化の両方を導入したシステムが、強雨を扱うことができるようになるという高解像度システムの特徴を維持しつつ、降水をより現実的に再現性させることを確認できた（②-4 節)。

水文モデルによる高精度領域数値天気予報の気象防災への応用に関しては、平成 23 年の新潟・福島豪雨を対象とした 4 次元変分同化法（Duc and Saito, 2017）による超多数（1600）アンサンブル降雨を入力としてこの予測に基づき半日程度のリードタイムをもってダムの洪水時操作や異常洪水時防災操作の必要性を確率的に示すことができるか等に関する研究を実施した。計算流量で洪水調節容量相当の流入が発生する確率を計算し、今後 12 時間で 40%程度の確率で洪水調節容量相当の流入がありえ、最終的には 90%以上になるということを示すことができた（②-5 節)。SPH（smoothed particle hydrodynamics）粒子法を用いたラグランジアン的手法を用いて、粘性が変化する流体を扱うことができる三次元 SPH コードを開発し、様々な流体テスト計算を行い、シミュレーションコードの妥当性を確認した。また 2014 年に土石流が発生した広島の地域の地形高度データを取り込み、土石流シミュレ

ーションを行なった、多くの領域において、シミュレーションによって土石流領域を再現することができ、広域 2D と局所 3D のハイブリッドな計算手法を確立した（②-6 節）。

目標 3　超高解像度数値予測モデルの開発と顕著現象の機構研究

世界の主要国で現業予報に用いられている数値天気予報モデルの水平格子間隔は現在のところたかだか 2km 程度である。これは現在の電子計算機の性能で実用的な時間内にデータ同化と予測計算を終えなければならないという制約によっている。ポスト「京」は、将来、より高性能の計算機が現業予報に導入された際に利用する数値天気予報モデルを、研究レベルで開発・実現するという重要な役割を担っている。

超高解像度数値天気予報モデルの開発が必要な理由は２つある。第一は、超高解像度でしか表現できない顕著現象があることである。本研究では、これまで台風全体を世界的に前例のない水平解像度 100m という超高解像度のラージ・エディ・シミュレーション（LES）で再現することに成功したり（Ito et al., 2017）、海上交通の脅威であるにもかかわらず、これまで世界的に報告例のなかった「海上交通の脅威である新しいタイプのメソβスケール渦に伴う竜巻状渦」を水平格子間隔 50m の数値モデルによる再現に成功し（Tochimoto et al., 2019）、これらの構造やメカニズムを調べてきた。本年度はこれまで比較的研究例が少ないものの、我が国や米国南東部では発生頻度が高いと思われる準線状の対流システムに伴う竜巻の高解像度シミュレーションに成功し、その形成機構を明らかにした。適切なモデル初期値や境界条件などと共に竜巻の形成機構を取りまとめた。（③-1 節）。

第二は、近い将来、電子計算機の高性能化が進み、数値天気予報モデルの高解像度が進んだとしても、依然解像することが難しい物理過程を超高解像度シミュレーションにより正確に再現し、その効果を理解すると共に、適切にパラメータ化して、将来の数値天気予報モデルの精度の向上に資するための基礎的研究を遂行することにある。数値天気予報モデルの精度の改善は、観測ビッグデータを用いたデータ同化研究においてもその精度向上に貢献する。本年度は、1)超高解像度シミュレーションによっても十分解像できない地表面近くの乱流による乱流輸送を機械学習によって評価する試みを行うと共に（③-2 節）、2)雲放射過程を通して地球の気候システムに重要な役割を演じる洋上層積雲を対象としてより現実的な 3 次元の放射伝達計算を行うことのできるモデルへの拡張を行った（③-3 節）。

さらに、台風強度のより正確な予測には、台風が海洋に生ずる運動と水温変化の影響を正確に表現することのできるメソスケールの大気海洋結合モデルの開発も行い、移動速度の遅い台風の強度変化に大きなインパクトがあることも示した（③-4 節）。以上のように、いずれの課題においても、モデル開発や基礎過程の理解を着実に進め、予定した成果を得ることができた。

参考文献

Ito, J., T. Oizumi and H. Niino, 2017: Near-surface coherent structures explored by large eddy simulation of entire tropical cyclones. *Sci. Rep.*, 7: 3798, DOI:10.1038/s41598-017-03848-w.

Tochimoto, E., S. Yokota, H. Niino and W. Yanase, 2019: A hierarchy of violent vortices in an extratropical cyclone: A potential risk to maritime traffic. *Mon. Wea. Rev.*, 147, 1989-2007.

目標 4　気象データマイニング局地的突風解析システムによる被害レベル推定

昨年度までに開発した局地的突風解析システムを 2012 年つくば竜巻での突風事例に適用し、建築物に発生した実被害の発生要因を明らかにした。実市街地での解析で得られた最大瞬間風速と最大瞬間圧力降下量の分布から、竜巻中心から少し離れた位置において局所的に風速が大きい場所があること、80hPa を超える点が断続的に存在していること、竜巻の経路外側の建物群で竜巻に引っ張られるように負圧領域が伸びていることが確認された。竜巻による被災要因や建物の上部構造や外装材の破壊プロセスについて、実際に上部構造が破損した建物では転倒モーメントによる柱脚部の崩壊が支配的と考えられること、竜巻通過時に後流側に極大な負圧が作用しガラスが破損することに伴う室内圧の低下により、風上側のガラスが破損することを確認した（④-1 節）。

2018 年台風 21 号の事例において NHM による最小空間解像度 50m の解析を実施し、局地突風解析システムにおいて融合解析を実施、高周波な変動成分が付加したのちに、BCM-LES（コード名：CUBE）に接続した。BCM-LES の解析と建築基準法の告示や日本建築学会荷重指針との比較から、高さ 100m より上空では地表面の粗度条件の違いや前方の高層建築物に基づいて発生するせん断層により速度が告示等の基準値よりも大きくなる可能性を示した（④-2 節）。

次に、流入条件の不確定性が空力特性に及ぼす影響を確認するために、二次元角柱を対象とした不確定性の定量化を行った。本研究で導入した多項式カオスが不確定性定量化手法として有効であることを確認した。さらに、被災構造物へのインパクトを高精度に把握するために、構造物や市街地周りの乱流場に対し、時空間の大容量データの活用を前提とする Snapshot POD 法に基づく主成分分析を実施し、構造物の空力特性に支配的な影響を及ぼす地表近傍流れの瞬間的な物理構造を解明する手法を提示した（④-3 節）。

(2) 実施体制

前節で述べたように、サブ課題 A では効率よく研究開発を進めるために、数値天気予報モデルの構築に関わる「予測精度の向上」や「より長いリードタイムの獲得」のための「目標 1～3」と局地的突風解析システムの構築の「目標 4」を設け、目標毎に開発研究を推進している。この体制は平成 27 年度の議論で決めたもので、令和元年度も同じ体制（図 A-2）で研究を実施した。参加機関と研究開発内容は以下の通りである。

目標 1　先端的データ同化手法の開発と観測ビッグデータの活用：三好建正（理研 計算科学研究センター）

・「観測ビッグデータ」を活用するために、データ同化部分を含む「数値天気予報システム」を構築し、同化手法の開発や顕著現象についての知見を得る。また、高解像度全球大気モデル（NICAM）を利用した「数値天気予報システム」を開発して高速化・高度化し、台風などの全球規模の災害を伴うイベント発生予測の確度を更に高めるシステムを構築する。(理化学研究所 計算科学研究センター、海洋研究開発機構、気象研究所、京都大学、気象衛星センター、宇宙航空研究開発機構、情報通信研究機構)

目標 2　高精度領域数値天気予報と気象防災への応用：斉藤和雄（気象業務支援センター、東京大学）

・「数値天気予報システム」のためのアンサンブル予報システムの開発と高度化を行う。より長いリードタイムの獲得のための「メソスケール開発」について、観測ビッグデータを用いた再現・予測実験を行う。「積雲スケール開発」については、平成 30 年度から開発を行い、初期的な結果を得る。目標 1 や 3 で、「より長いリードタイムの獲得」等に有効な手法が開発されていれば、「数値天気予報システム」の構築時に、それらの成果を取り入れる。(海洋研究開発機構、気象研究所、琉球大学)
・高解像度な二次元土石流モデルと三次元土石流モデルを開発する。入力データとして、上記で得られた「メソスケール開発」による再現予測結果を用いる（京都大学、気象研究所、神戸大学）
・「数値天気予報システム」の顕著現象の再現性能に対する観測データやデータ同化パラメータ、数値モデルの物理過程などのインパクトを評価する。(東北大学)

目標 3　超高解像度数値予測モデルの開発と顕著現象の機構研究：新野宏（東京大学大気海洋研究所）

・既存の数値天気予報システムでは解像できない物理過程を表現する水平解像度 100m 以下の高解像度数値モデルを開発し、これを用いて、 シビア現象のメカニズムやシビア現象の予測可能性に大きな影響を及ぼす乱流・ 雲微物理・放射などの多様な物理過程とその相互作用、適切なモデル初期値や境界条件などを調べる。(海洋研究開発機構、東京大学、気象研究所、理化学研究所 計算科学研究センター)

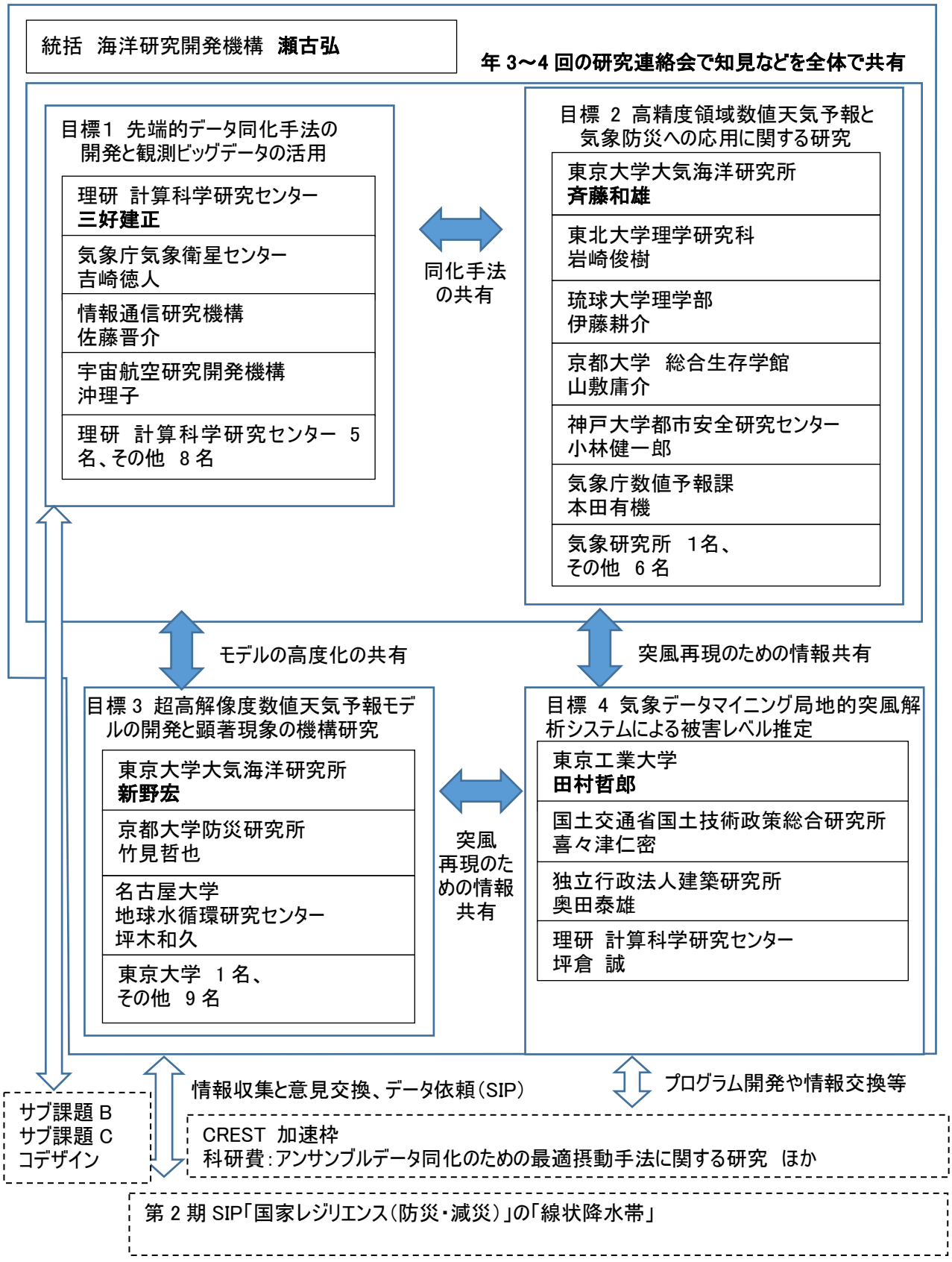
目標 4　気象データマイニング局地的突風解析システムによる被害レベル推定：田村哲郎（東京工業大学）

・竜巻など局地的突風現象を、積乱雲の下方領域を対象に乱流解析技術であるラージエディシミュレーション（LES）により解析することで生活空間での突風の特性を明らかにすることをめざす。地表

近傍領域に着目した計算モデルを対象に、観測ビッグデータの統計値データに基づくデータマイニングを行い、植生や建物などの被覆形状を再現した上で、適切な境界条件を設定した解析システムを構築する。（東京工業大学、理化学研究所計算科学研究センター、神戸大学、建築研究所他）

効率よく「数値天気予報システム」等を開発するために目標毎に研究を推進するが、目標間やサブ課題間で研究開発内容を共有することも、 「予測精度の向上」や「より長いリードタイムの獲得」にとって重要である。目標間の共有のために、 令和元年 6 月と 9 月、令和 2 年 2 月にサブ課題 A 全体の研究連絡会を開催した。また、サブ課題間では、サブ課題 B と協力している「NICAM-LETKF」サブ課題 B、C と協力して開催した JpGU annual meeting のスペシャルセッション「Highperformance computing of next generation weather, climate, and environmental sciences using K」が挙げられる。

他の関連プロジェクトについても、「目標 1」において、CREST 加速枠「『ビッグデータ同化』の技術革新の創出によるゲリラ豪雨予測の実証」（平成 31-令和 3 年度、研究代表者：三好建正）と密接に連携している。また、本課題で行う「積乱雲スケール数値天気予報システム」の構築で重要となる水蒸気等の稠密な観測データについても第 2 期 SIP「国家レジリエンス（防災・減災）」の「線状降水帯」に参加している防災科学技術研究所の研究者と成果についての情報交換の意見交換をおこなった。



図A-2：サブ課題Aの研究実施体制

(3) 成果内容

① 先端的データ同化手法の開発と観測ビッグデータの活用（目標 1）

（理化学研究所、海洋研究開発機構、気象庁気象研究所、京都大学、気象庁、気象衛星センター、情報通信研究機構、宇宙航空研究開発機構）

①−1. 30 秒更新リアルタイムデータ同化・予報システムの開発

突発的かつ局所的な豪雨は、その時空間スケールが小さいため予測が困難である。そのような豪雨の予測の改善へ向けて、フェーズドアレイ気象レーダー(PAWR, Yoshikawa et al. 2013)による 30 秒毎の高頻度な観測ビッグデータをデータ同化する領域アンサンブルデータ同化システム SCALE-LETKF(Lien et al. 2017)の開発を行い、実際に解析と予測が改善されることが先行研究で示されている(e.g., Miyoshi et al. 2016a,b)。しかし、開発されたシステムは、30 秒ごとに初期値の更新を行うことが出来るものの、得られた初期値からの延長予報は別の計算ジョブとしてオフラインで行う必要があった。また、実際にフェーズドアレイ気象レーダーを同化する最内の領域の初期値と境界値は、事前に用意しておく必要があった。そこで、外側領域から内側領域までを繋ぐワークフローを作成し、真にリアルタイムで 30 秒更新の解析と 30 分の延長予報を単一のジョブとして実行できるように既存の SCALE-LETKF を拡張した。

図 A-3 は、開発したシステム全体のワークフローを示している。米国大気環境予測センター(NCEP)から初期値と境界値、観測データを受信し、最外の 18-km メッシュ領域 1 (D1)のデータ同化サイクルを 6 時間毎に実行する。D1 は、準リアルタイム SCALE-LETKF (Lien et al. 2017)と同じである。本州周辺をカバーする 6-km メッシュ領域 2 (D2)と D1 はオンラインネストで、18 時間アンサンブル予報を行う。D2 の結果からオフラインネストし、1-km メッシュ領域 3 (D3)の予測を行う。D3 の予測結果から作成した初期値と境界値を用いて、最内の 250-m メッシュ領域 4 (D4)において 30 秒ごとの PAWR 観測を同化し、その解析値から 30 秒毎に更新する 30 分予報を行う。情報通信研究機構(NICT)から送信される PAWR 観測の送受信には、理化学研究所で開発された Just-In-Time Data Transfer (JIT-DT)を使用する。

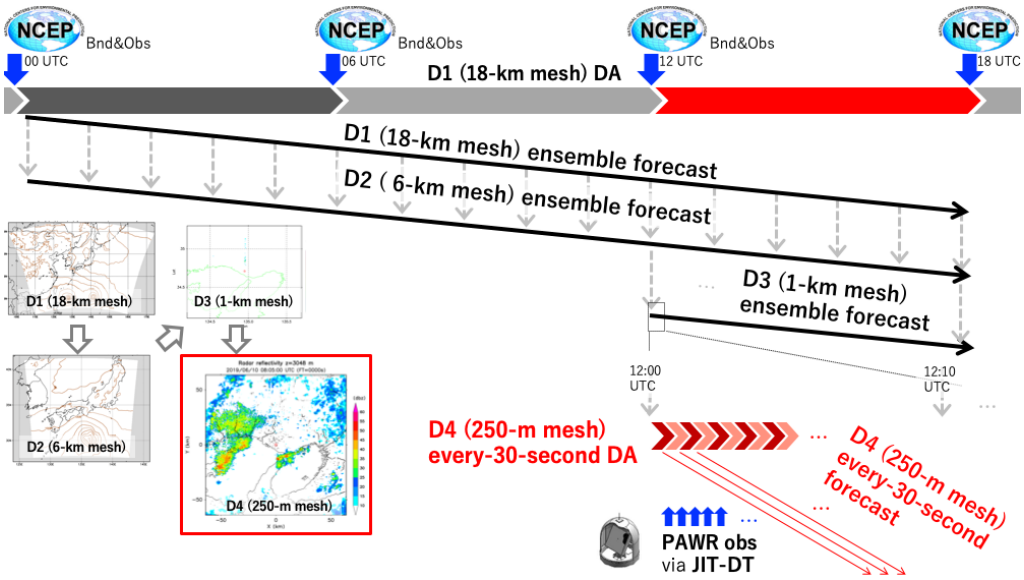


図 A-3：開発した SCALE-LETKF システム全体のワークフロー。詳細は本文参照。

D4 では、データ同化と延長予報を単一ジョブとして行うために、データ同化用と延長予報用にそれぞれ専用の MPI プロセスを用いる。データ同化の結果として得られる解析値は、予報用の MPI プロセスへ通信によって転送される。MPI コミュニケータをデータ同化用と延長予報用とに分割することで、両者が解析値の送受信を除いて完全に独立して実行されるよう設計した。図 A-4 は、東京大学の Oakforest-PACS スーパーコンピュータシステムの 6528 ノード(全体の約 80%)を使用して、50 アンサンブルメンバーによる 30 秒毎の PAWR 観測のデータ同化と、30 秒毎に更新する 30 分延長予報を 50 個の初期時刻について行った際の、各データ同化サイクルに要した時間と延長予報に要した時間を示している。ここでは、ワークフロー全体ではなく、事前に準備した D4 の初期値と境界値、PAWR 観測を用いて、D4 のみを実行した。データ同化サイクルは非常に安定しており、約 13 秒程度で動作している。最初のデータ同化サイクルが遅いのは、初期値等のファイル I/O を行うためである。延長予報もデータ同化サイクルと同様に安定しており、どの初期時刻においても約 4 分以内に計算を終えている。今後は、予測の結果を検証し、予測精度の向上を目指す予定である。

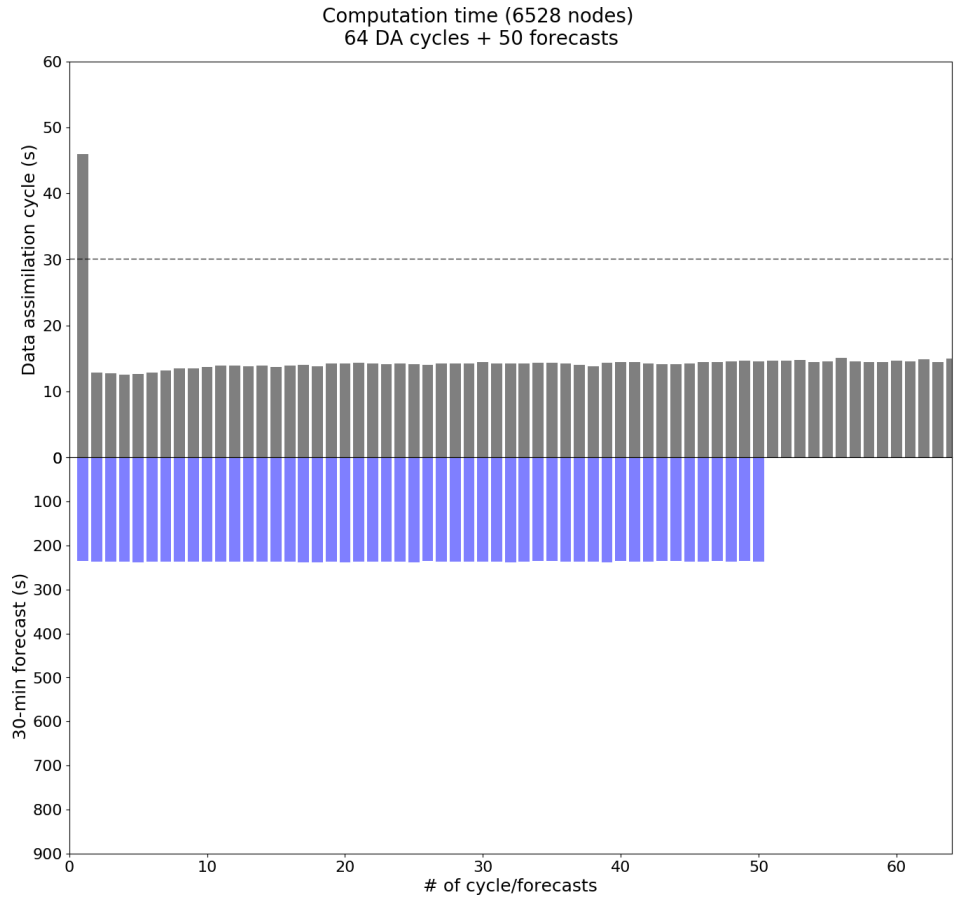


図 A-4：50 メンバーによるデータ同化サイクルと 50 初期時刻からの延長予報を D4 で行なった際のデータ同化サイクル(上)と延長予報(下)に要した計算時間(s)。

参考文献

Miyoshi, T., G.-Y. Lien, S. Satoh, T. Ushio, K. Bessho, H. Tomita, S. Nishizawa, R. Yoshida, S. A. Adachi, J. Liao, B. Gerofi, Y. Ishikawa, M. Kunii, J. Ruiz, Y. Maejima, S. Otsuka, M. Otsuka, K. Okamoto, and H. Seko, 2016: "Big Data Assimilation" toward Post-peta-scale Severe Weather Prediction: An Overview and Progress. Proc. of the IEEE, 104, 2155-2179.

Lien, G-Y., T. Miyoshi, S. Nishizawa, R. Yoshida, H. Yashiro, S. A. Adachi, T. Yamaura and H. Tomita, 2017: The Near-Real-Time SCALE-LETKF System: A Case of the September 2015 Kanto-Tohoku Heavy Rainfall. SOLA, 13, 1-6.

Yoshikawa, E., T. Ushio, Z. Kawasaki, S. Yoshida, T. Morimoto, F. Mizutani, and W. Wada, 2013: MMSE beam forming on fast-scanning phased array weather radar. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 51, 3077-3088.

①－2. The assimilation of dual phased array weather radar observations on short range convective rainfall forecasts and impact of range sidelobe errors

The research has concentrated on the development of a new technique to remove range sidelobe echoes from phased array weather radar reflectivity observations using dual observations.

Range sidelobe echoes are a type of false echo that can often be seen extending toward or away from convective storms in the range direction and are a common radar artifact. This study was performed to provide existing quality control and improve short-range forecasts using this data. Current quality control algorithms are poor at removing these errors and can lead to false echoes being assimilated, leading to a degradation of the analysis. The methodology developed removes the false echoes by capitalizing on dual radar coverage from the Kobe and Suita (Osaka) radars. With two independent sets of reflectivity observations we can identify which reflectivity observations were likely from rain echoes and which were likely to be false echoes caused by instrument processing error and/or from ground clutter. Subsequent data assimilation experiments applying the new data quality control technique showed that we can successfully remove false echoes from the analysis (Figure A-5). In these experiments false echoes can often be seen extending away to the south of the convective storm. The experiments showed we can improve short range forecasts of surface rainfall when the false echoes were removed from the observations (Figure A-6).

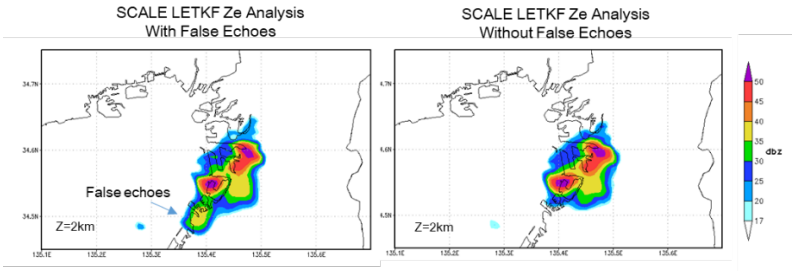


Figure A-5: (Left) SCALE-LETKF radar reflectivity analyses (dbz) at 2km height for experiments with and (right) without false echoes removed prior to assimilation.

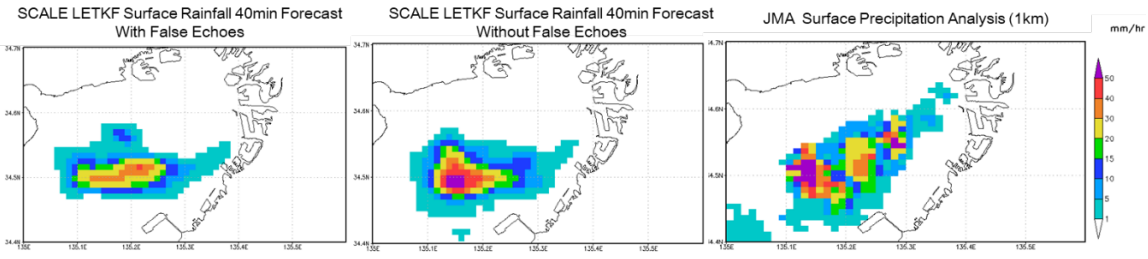


Figure A-6: SCALE-LETKF 40 minute forecasts of surface rainfall for experiments (left)with and (middle) without false echoes removed. The right figure shows the JMA surface precipitation analysis.

①−3. フェーズドアレイ気象レーダーのデータ同化における観測演算子の改善

短時間の局所的大雨をもたらす現象の予測を目標として、領域モデル SCALE-RM と局所アンサンブル変換カルマンフィルタ(LETKF)を用いた、フェーズドアレイ気象レーダー(PAWR)により観測される 30 秒毎のエコー強度のデータ同化の研究が進められており、リアルタイムの同化と延長予報が可能なシステムが実現している[1]。しかし、これまでの予報実験では、予報開始から約 30 分の間に高度約 4～6km でレーダーエコー強度の大きな領域が実際の観測より著しく広がる課題があった[1]。予測の困

難さは降水レーダーのデータ同化において共通の課題であり、モデルバイアスや非線形性に起因する解析値の非バランスなどの問題があるが、観測演算子の誤差も考えられる要因の一つである。そこでこの研究では、同化に用いる PAWR の観測演算子の改善を行い、過去事例に関して予報実験へのインパクトを調べた。

PAWR の同化には、モデルの降水粒子の量(W [g/m^3])と等価レーダー反射因子(Z_e [mm^6/m^3])を関係づける演算子を必要とする。SCALE-RM で通常用いられる雲微物理スキーム[2]では、降水粒子は雨、雪、霰(graupel)の 3 種類である。LETKF で用いる演算子は降水粒子の種類ごとに放射モデル計算の結果を指数関数で近似して得たものであり、次のような式となる。

$$Z_e = \alpha_r W_r^{\beta_r} + \alpha_s W_s^{\beta_s} + \alpha_g W_g^{\beta_g}$$

従来の LETKF では、これらの係数について文献値[3]を用いてきたが、霰に関しての係数α_g, β_gは、SCALE の雲微物理スキーム[2]とは異なる粒径分布のパラメータに基づいて計算されたものであった。そこで、雲微物理スキームと同じ粒径分布のもとでの霰についての係数を、Joint Simulator[4]を用いて改めて計算した。これにより、従来の $\alpha_g = 8.18 \times 10^4$, β_g=1.50 の代わりに、新たな係数 $\alpha_g = 5.54 \times 10^3$,$\beta_g = 1.70$ を得た。

新たな観測演算子の係数を用いた SCALE-LETKF による予報実験を従来の場合と比較した。対象は 2013 年 7 月 13 日午後 3 時～4 時に近畿地方で発生した局所的大雨の事例である。大阪 PAWR で観測された 30 秒毎のレーダー反射因子とドップラー速度を用いて、以前の実験[1]と同様に解像度 15km の解析値を初期値とし、解像度 1km、100 メンバーにて 15:00 JST から 10 分間の同化を行い、さらに得られた解析値から 30 分間のアンサンブル予報を行った。

図 A-7 は 15:10 JST における解析値と、30 分予報の結果である 15:40 JST における予測値のアンサンブル平均を、従来の観測演算子の係数を用いた場合と新たな係数を用いた場合のそれぞれについて示している。また、左列は同時刻における等価レーダー反射因子の観測値である。新たな観測演算子の導入により、従来の課題であった等価レーダー反射因子の急激な増大が解消され、より現実に近い時間的推移を示した（図 A-7)。従来の実験では予測開始時の霰の量が少なく、30 分の予測の間に急激に増大している（図 A-7 下)。これは観測演算子と予報モデルの間の不一致により霰の量が過小となり、解析値が対流雲の成長におけるバランスから大きくずれた状態にあったためと考えられる。新たな演算子がこの点を改善したことで、より物理的に整合的な霰の量を与えることで、予測精度の向上が期待できる。

以上の成果は、日本気象学会英文レター誌 SOLA に投稿し受理されている[5]。

今後は、今回調べた観測演算子の雲微物理パラメータ依存性を応用して、データ同化を用いたモデルパラメータの動的推定を目指した研究を進める予定である。

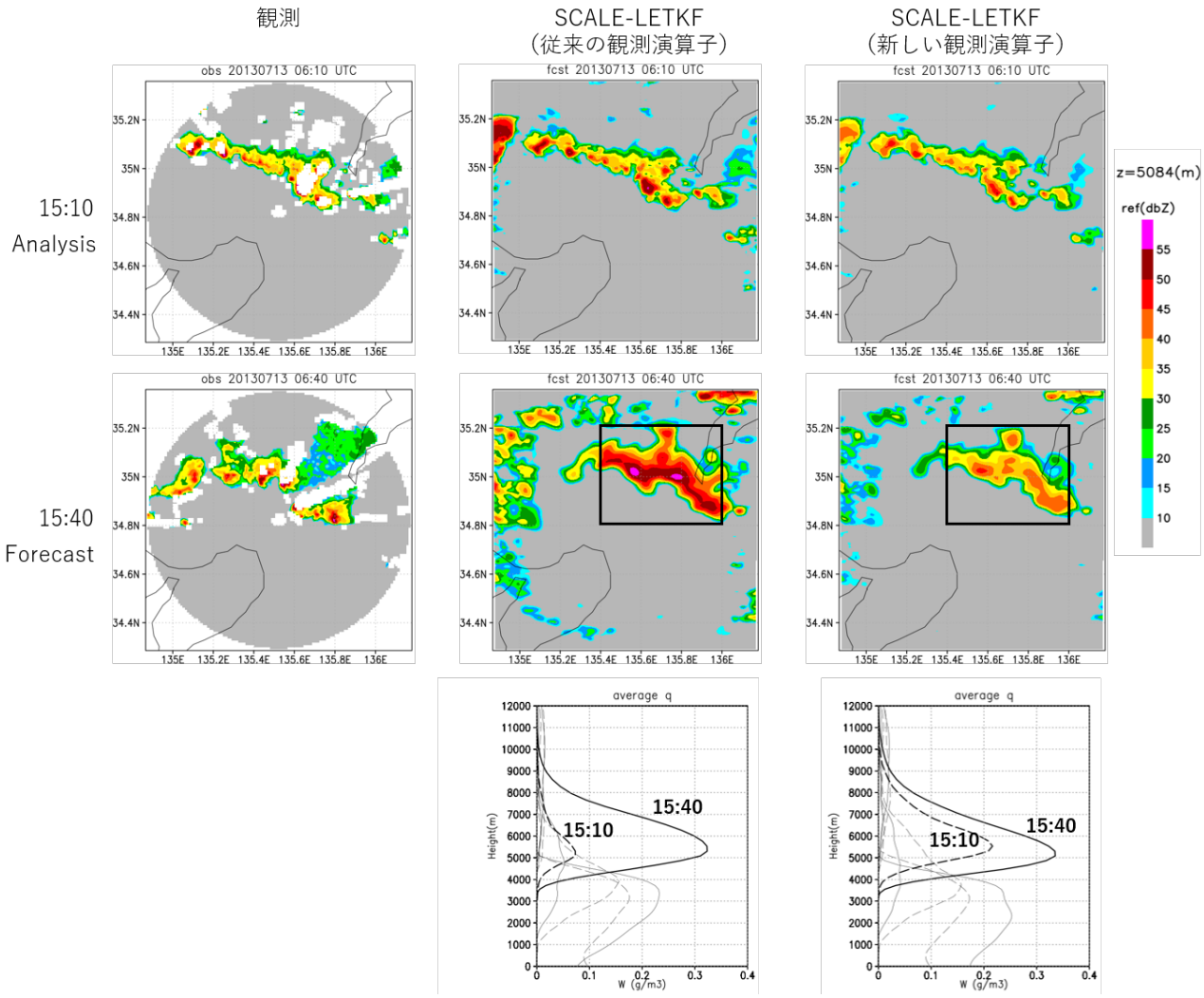


図 A-7：(左)PAWR による観測値、(中)従来の係数、(右)今回の係数を用いた SCALE-LETKF による解析値と予測値。(下)四角の領域で平均した 15:10(太点線)と 15:40(太実線)における霰の質量。

参考文献

[1] Miyoshi, T., et al., 2016: Bull. Am. Meteorol. Soc., 97, 1347-1354.

[2] Tomita, H., 2008, J. Meteor. Soc. Japan.86: 121-142.

[3] Xue, M., 2009, Quarterly J. RoyalR. Meteorol. Soc.: 135.643., 1409-1423.

[4] 衛星データ・シミュレータ Joint-Simulator http://www.sapc.jaxa.jp/use/rd/joint-simulator (2020 年 1 月閲覧)

[5] Amemiya, A., T. Honda, and T. Miyoshi, 2020, SOLA.: 16, 6-9(TBA), in press.

①－4. 平成 30 年 7 月豪雨における 30 秒更新・100m メッシュフェーズドアレイ気象データ同化のインパクト

平成 30 年 7 月豪雨においては、神戸市付近でも記録的な大雨が観測された。同市西区にある情報通信研究機構(NICT)のフェーズドアレイ気象レーダー(PAWR)では、淡路島の東海上から神戸市付近に向けて北上する活発な対流など、神戸市付近の降水の様子がよく捉えられていた。本年度は、昨年度まで

に行った SCALE-LETKF(Miyoshi et al. 2016, *Proc. IEEE*; Lien et al. 2017, *SOLA*) による 30 秒毎の PAWR を 100m メッシュのモデルに同化する実験結果の解析を深め、特に淡路島の東側で発生した活発な対流の成因について調査を行った。

淡路島東岸の活発な対流が発生した位置に相当する東経 135.08° における南北-高度断面を図 A-8 に示す。NO-DA は PAWR を同化していない実験結果、TEST は 30 秒毎の PAWR データを同化した実験結果をそれぞれ示す。ここでは、成層状態を見るための相当温位[K]、力学的不安定による効果をみるためのシアー不安定によるエネルギー収支[$\times 10^{-3}$ kg m^{-1} s^{-3}]、そして上昇流の成長に関わる浮力によるエネルギー収支[$\times 10^{-3}$ kg m^{-1} s^{-3}]を示す。図 A-8 の黒い楕円が活発な対流の位置に相当する。まず TEST の相当温位を見ると、大気下層で 350 K に達する非常に湿潤な大気が領域の南側から流入しており、成層不安定な大気場が形成されている。対流域(図 A-8b の黒丸)のすぐ南側の高度 500 m 付近で高相当温位の気塊が上昇し、対流を形成している様子が見られる。そして対流域ではシアー不安定や浮力によるエネルギーの供給が存在しており、発達を促す要素となっている。一方 NO-DA では下層は成層不安定であるが、500 m 以下の相当温位の値が TEST と比べて 3 K 程度低く、TEST に比べて成層が不安定でない。浮力や水平シアー不安定によるエネルギー収支もほぼ無いか、負の値を示しており、TEST のよ

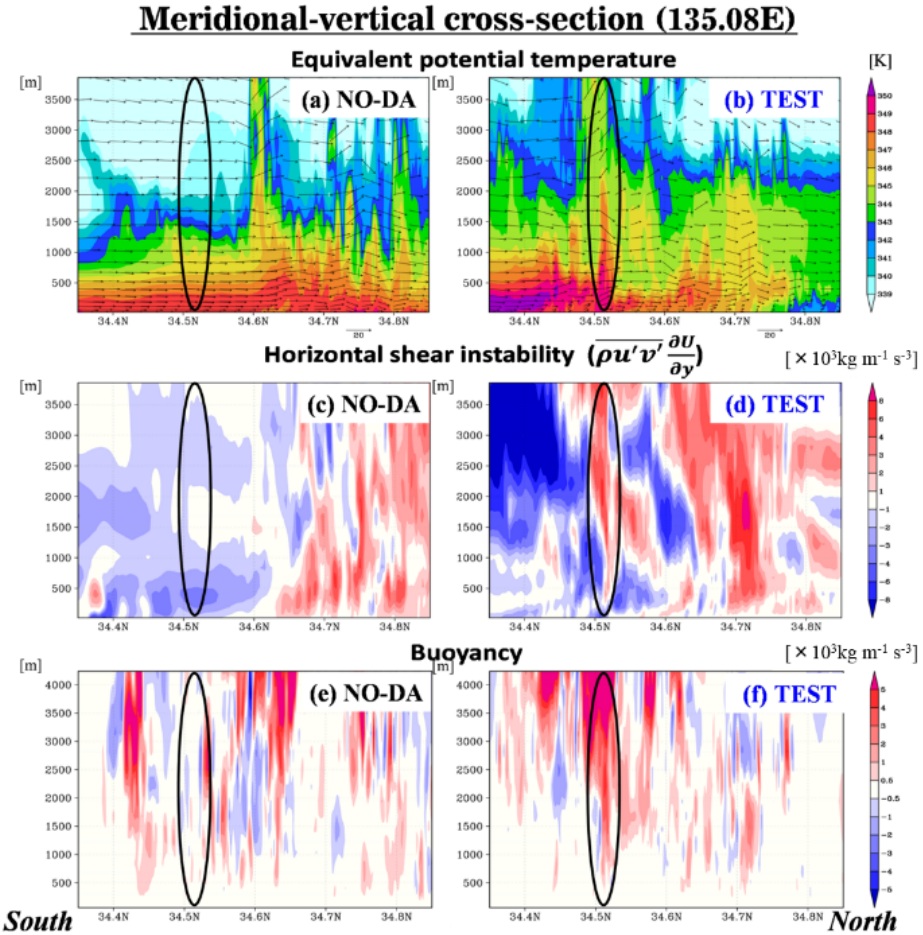


図 A-8：東経 135.08° における鉛直断面図(解析値)。(a, b)カラーシェードは相当温位[K]、ベクトルは南北-鉛直風を表す。(c, d)水平シアー不安定によるエネルギー収支[$\times 10^{-3}$ kg m^{-1} s^{-3}]。(e, f)浮力によるエネルギー収支[$\times 10^{-3}$ kg m^{-1} s^{-3}]。黒い楕円は、淡路島東側の活発な対流が存在する領域に対応する。

うな対流の発生・発達を促進する要素が見当たらなかった。以上より、PAWR のレーダーの反射因子と動径風を 30 秒毎に同化することによって、モデルの熱力学的な場を修正でき、高相当温位の大気が下層に流入したことによって対流が非常に立ちやすい成層状態が形成された。そして、強い浮力によって対流が成長し、さらに力学的不安定によるエネルギー供給も起きていることが明らかになった。

参考文献

Miyoshi, T., G.-Y. Lien, S. Satoh, T. Ushio, K. Bessho, H. Tomita, S. Nishizawa, R. Yoshida, S. A. Adachi, J. Liao, B. Gerofi, Y. Ishikawa, M. Kunii, J. Ruiz, Y. Maejima, S. Otsuka, M. Otsuka, K. Okamoto, and H. Seko, 2016: "Big Data Assimilation" toward Post-peta-scale Severe Weather Prediction: An Overview and Progress. Proc. of the IEEE, 104, 2155-2179.

Lien, G-Y., T. Miyoshi, S. Nishizawa, R. Yoshida, H. Yashiro, S. A. Adachi, T. Yamaura and H. Tomita, 2017: The Near-Real-Time SCALE-LETKF System: A Case of the September 2015 Kanto-Tohoku Heavy Rainfall. SOLA, 13, 1-6.

①−5. EFSO による NICAM-LETKF システムの観測インパクト推定

現在の天気予報システムは数多くの観測を同化しており、より良いデータ同化システムの設計には、観測データがどの程度天気予報の改善に寄与しているのか定量化することが重要である。観測データが予測をどの程度改善したかを測る手法に Forecast Sensitivity to Observation (FSO; Langland and Baker 2004)がある。従来、FSO は随伴モデルを要したが、Kalnay et al. (2012)により EnKF に拡張された(Ensemble FSO; EFSO)。この EFSO を NICAM-LETKF に実装し、観測インパクト推定を実施した。図 A-9 は、EFSO により見積もられた個々の観測種別のインパクトを示す。本研究の工夫として、水蒸気・内部・運動エネルギーの予報誤差をそれぞれ別に推定した。これは個々の観測種別がどの様な物理プロセスによって天気予報を良くしているのか理解するためである。その結果、NICAM-LETKF では、ラジオゾンデ(ADPUPA)、衛星風(SATWND)、衛星散乱計測風 (ASCATW)、マイクロ波サウンダー(AMSU-A)が大きなインパクトを持っていることを示した。以上の成果をまとめ、英国気象学会誌に論文を発表した(Kotsuki et al. 2019a)。

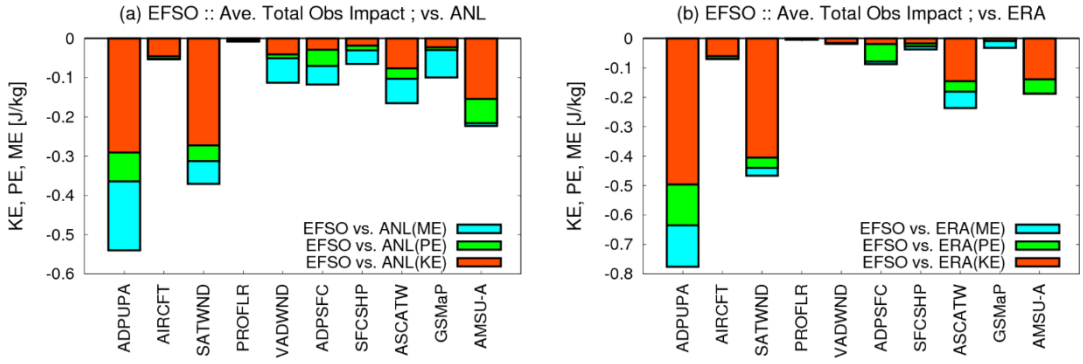


図 A-9：EFSO によって見積もった NICAM-LETKF の各観測種別のインパクト(J kg^{-1})。水色・緑色・橙色の棒グラフはそれぞれ、水蒸気・内部・運動エネルギーの予報誤差を示しており、負値は 6 時間予報が改善されていることを示す。左右のパネルはそれぞれ、(a) 対 NICAM-LETKF、(b)対 ERA-Interim の解析値を参照先として推定された観測インパクトを示している。2014 年 7 月 4−31 日(4 週間)の平均を示している。Kotsuki et al. (2019a)から引用。

①－6. 数値天気予報と降水時空間外挿を組み合わせたシームレス降水予測システムの開発

気象レーダーによる 2 次元降水パターンを時空間外挿して作成する降水ナウキャストシステムは、古くから知られている。TREC (Tracking Radar Echoes by Correlation, Rinehart and Garvey 1978) は典型的な運動学的追跡手法で、時間的に連続するピクセルイメージの局所領域毎の移動ベクトルを算出する。この移動ベクトル場を使って、観測されたイメージを移流方程式により時間発展し、将来予測する。このナウキャストシステムを JAXA の提供する準実時間全球降水マップ(GSMaP_RNC; Kubota et al. 2009)に適用し、全球降水ナウキャストシステムをこれまでに理化学研究所で開発していた(Otsuka et al. 2016; 2019)。運動学的手法は短時間の予測精度は高いが、時間とともに精度が悪化することが知られている。本研究は、運動学的手法と数値モデルによる予測を組み合わせることによって、より長いリードタイムの確保を目的とする。

本研究では、NICAM-LETKF と GSMaP_RNC による世界初の全球降水シームレス予報システムを開発した。ここでは両者からの予測を単純に、w×NICAM+(1-w)×GSMaP_RNC として組み合わせた。この重み w は時間依存の関数であり、NICAM と GSMaP_RNC の降水予測精度によって決定される。領域スケールの予測では、重みは領域一様に与えられる。しかし全球スケールの予測では、領域ごとに最適な重みが異なりうる。NICAM とナウキャストの局所的な予測精度を比較するため、新たに局所スレットスコア (LTS) を導入した。LTS は、各グリッドの周囲 10°×10°の領域で統計をとりスレットスコアを計算する。本研究では、この LTS が最大化される様に、GSMaP の各格子で重みを求めた。スレットスコア閾値は 0.5 (mm hr^{-1})とし、検証データには GSMaP_MVK (GSMaP は複数の衛星のマイクロ系データを用いた降水分布で、MVK はカルマンフィルタを用いて雲移動ベクトルを求め、高い時間空間分解能のものを示す)を用いた。重みは 0 から 1 までの 0.1 刻みの値とし、最適な重みをトレーニング期間の結果から数値的に求めた。2014 年 9 月からの 1 年間をトレーニング期間、次の 1 年間を検証期間として実験を行った。テスト期間 1 年間の LTS の全球平均値を見ると、7 時間先までの予測精度で GSMaP_RNC が NICAM を上回るが、それ以降では逆転した。両者を組みわせることで、LTS と平均絶対誤差(MAD)の両指標で予測精度が向上する結果を得た (図 A-10)。以上の成果をまとめ、米国気象学会 Weather and Forecasting 誌に論文を発表した (Kotsuki et al. 2019b)。

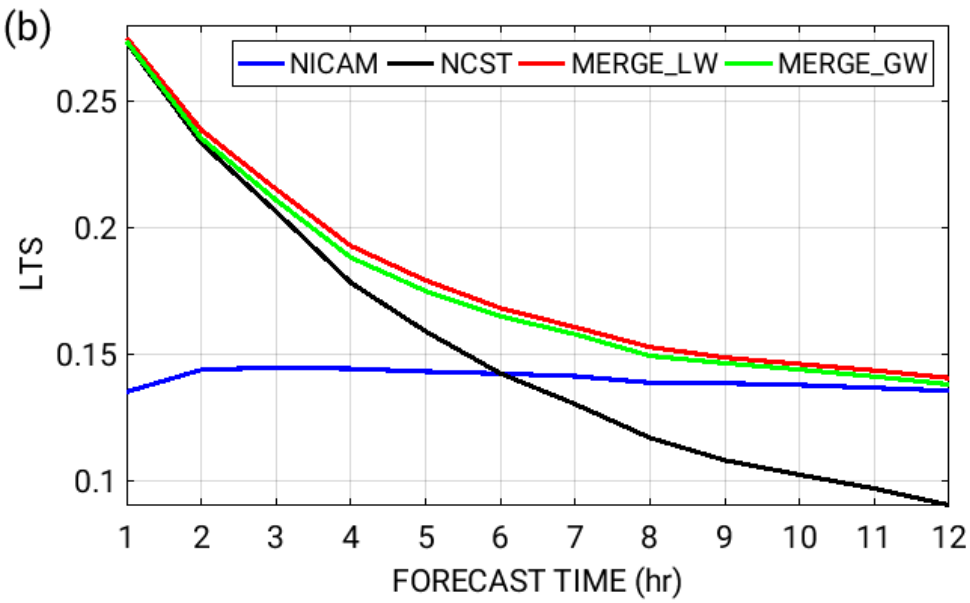


図 A-10：テスト期間 1 年間(2015 年 9 月から 2016 年 8 月）の全球平均 LTS の比較。横軸は予報時間（hr）であり、青線、黒線、赤線、緑線はそれぞれ、NICAM、GSMaP_RNC、領域ごとに重みを決めたシームレス予報、全球一様で重みを決めたシームレス予報である。Kotsuki et al. (2019b)より転載。

①−7. データ同化によるモデルパラメータ推定

昨年度の論文 Kotsuki et al. (2018)に引き続き、データ同化により得られるモデル誤差に関する情報を高度利用し、モデルパラメータの最適化を行うとともに、モデル自体を改良する手法の開発を行った。発展研究として、モデルパラメータ推定手法を気候計算に応用する方法を検討した。気候計算では、地球システムの放射バランスを適切に保つことが重要であり、モデルの放射バイアスの緩和のため、モデルパラメータのチューニングが必要となる。このチューニングは通常手作業で行われており、膨大な計算コストと人的エフォートが費やされている。ここでは、放射バイアスの緩和を目的にデータ同化によるモデルパラメータを推定した。デフォルトのモデル設定では雲量の表現に課題があり、雲の反射により大気上端の上向き短波放射が過大となっていた（図 A-11 左）。GCOMW (Global Change Observation Mission-Water)衛星に搭載されている高性能マイクロ波放射計(AMSR2)により観測される雲量を目的変数に、大規模凝結スキームのパラメータを見積もった。その結果、雲量を改善し、モデルの放射バイアスを劇的に緩和する結果を得た（図 A-11 右）。

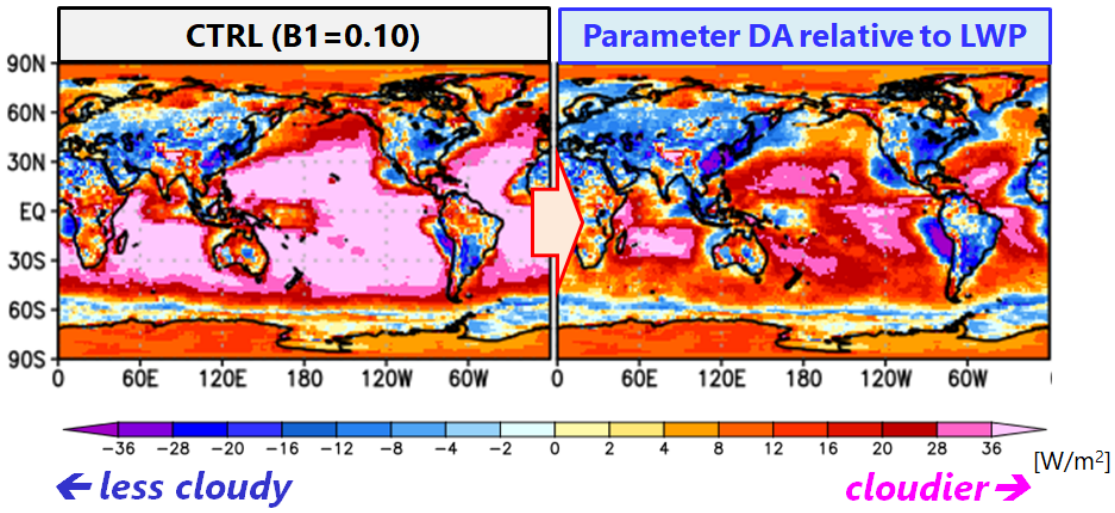


図 A-11：2015 年の 1 年平均のモデルの上向き短波放射のバイアス（W m^{-2}）。暖色は、雲量が多いため、上向き短波放射が過大評価されている状態である。左右のパネルはそれぞれ、モデルのデフォルト設定、および、パラメータ推定ありの実験である。(Kotsuki et al. 2020 から引用)

参考文献

Kalnay, E., Ota, Y., Miyoshi, T., and J. Liu, (2012): A simpler formulation of forecast sensitivity to observations: application to ensemble Kalman filters. Tellus A, 64, 18462, doi: 10.3402/tellusa.v64i0.18462

Kotsuki S., Terasaki K., Yashiro H., Tomita H., Satoh M. and Miyoshi T. (2018): Online Model Parameter Estimation with Ensemble Data Assimilation in the Real Global Atmosphere: A Case with the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM) and the Global Satellite Mapping of Precipitation Data. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 123, 7375-7392. doi: 10.1029/2017JD028092

Kotsuki, S., Kurosawa, K., and Miyoshi, T. (2019a): On the Properties of Ensemble Forecast Sensitivity to Observations. Q. J. R. Meteorol. Soc., 145, 1897-1914. doi: 10.1002/qj.3534

Kotsuki, S., Kurosawa, K., Otsuka, S., Terasaki, K., and Miyoshi, T. (2019b): Global Precipitation Forecasts by Merging Extrapolation-based Nowcast and Numerical Weather Prediction with Locally-optimized Weights. Wea. and Forecasting, 34, 701-714. doi:10.1175/WAF-D-18-0164.1

Kotsuki S., Sato Y., and Miyoshi T. (2020): Data Assimilation for Climate Research: Model Parameter Estimation of Large Scale Condensation Scheme. J. Geophys. Res., 125, doi.org/10.1029/2019JD031304.

Kubota, T., and Coauthors (2007): Global precipitation map using satelliteborne microwave radiometers by the GSMaP project: Production and validation. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 45, 2584-2587. doi: 10.1109/IGARSS.2006.668

Langland, R. H., and Baker, N. L. (2004). Estimation of observation impact using the NRL atmospheric variational data assimilation adjoint system. Tellus A, 56, 189-201.

doi:10.1111/j.1600-0870.2004.00056.x

Otsuka S., Kotsuki S., and Miyoshi T. (2016): Nowcasting with data assimilation: a case of Global Satellite Mapping of Precipitation. Wea. and Forecasting, 31, 1409-1416. doi:10.1175/WAF-D-16-0039.1

Otsuka S., Kotsuki S., Ohhigashi M., and Miyoshi T. (2019): GSMaP RIKEN Nowcast: Global precipitation nowcasting with data assimilation. J. Meteor. Soc. Japan. doi:10.2151/jmsj.2019-061.

Rinehart, R. E., and Garvey E. T. (1978): Three-dimensional storm motion detection by conventional weather radar. Nature, 273, 287-289, doi:10.1038/273287a0

①－8. 水平方向の観測誤差相関を考慮するデータ同化システム

近年のセンサー技術の発達によって、より多くの観測データが得られるようになった。衛星観測データもその 1 つであり、数値天気予報の精度向上に必要不可欠である。衛星観測データのような同一測器で得られた観測データには、観測誤差相関が存在することが知られている。現在のデータ同化システムでは、観測誤差相関を考慮していないため、通常は水平方向に間引いたり観測誤差を大きくするという対処をしている。本研究では、観測誤差相関を直接考慮することで、誤差相関のある観測データの間引きを行わず観測ビッグデータを余すことなく活用し、数値天気予報精度の向上を目指す。

昨年度は水平解像度 112km の NICAM-LETKF システムを用いて、GSMaP 降水量の水平方向の観測誤差相関を考慮するシステムの構築及び数値実験を行い、水蒸気量が 1%程度精度向上することを確認した。今年度は、数値天気予報システムにおいて最もインパクトの大きい観測データの一つである改良型マイクロ波探査計（AMSU-A）の水平観測誤差相関を考慮する実験を NICAM-LETKF を用いて行った。

観測誤差相関を考慮してデータ同化を実行するには、前もって観測誤差相関を見積もる必要がある。AMSU-A の観測誤差相関は、観測誤差相関を考慮せずデータ同化サイクルを実行し、その結果を用いて各衛星及びチャンネル毎に Desroziers et al. (2005)の手法を用いて推定した。その推定で得られた観測誤差相関を用いて、AMSU-A の水平観測誤差相関を考慮するデータ同化実験及び予報実験を行った。図 A-12 は、AMSU-A の観測誤差相関を考慮したことによる気温や高度、水蒸気量や東西風の ERA-interim に対する RMSD の変化率を示す。ERA-interim は ECMWF（ヨーロッパ中期予報センター）の再解析データで精度が良いとされている。観測誤差相関をデータ同化で陽に考慮することで、対流圏下層の高度場は改悪傾向が見られたが、気温、東西風や水蒸気の解析精度が最大で 5%程度改善した。また、観測誤差相関を考慮した場合と考慮しない場合の解析値をそれぞれ初期値とした 5 日予報実験の結果から、予測精度も概ね向上することが示された（図 A-13）。 本研究は、JAXAPMM と密に連携しながら進めている。

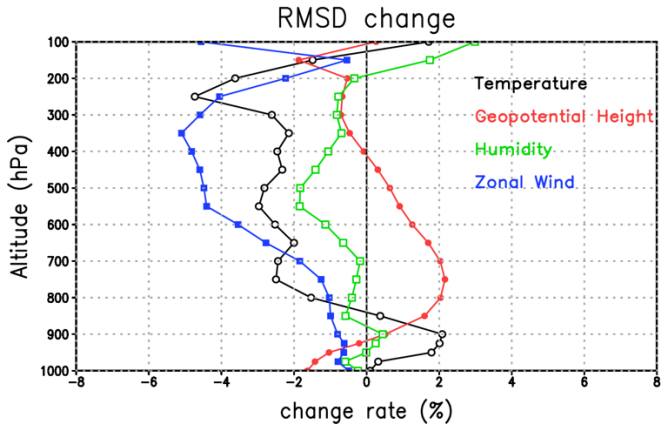


図 A-12：観測誤差相関を考慮した場合と考慮せずデータ同化を行った場合の解析値の RMSD の差（2 ヶ月平均）。負値は、観測誤差相関を考慮することで解析誤差が減少したことを示す。

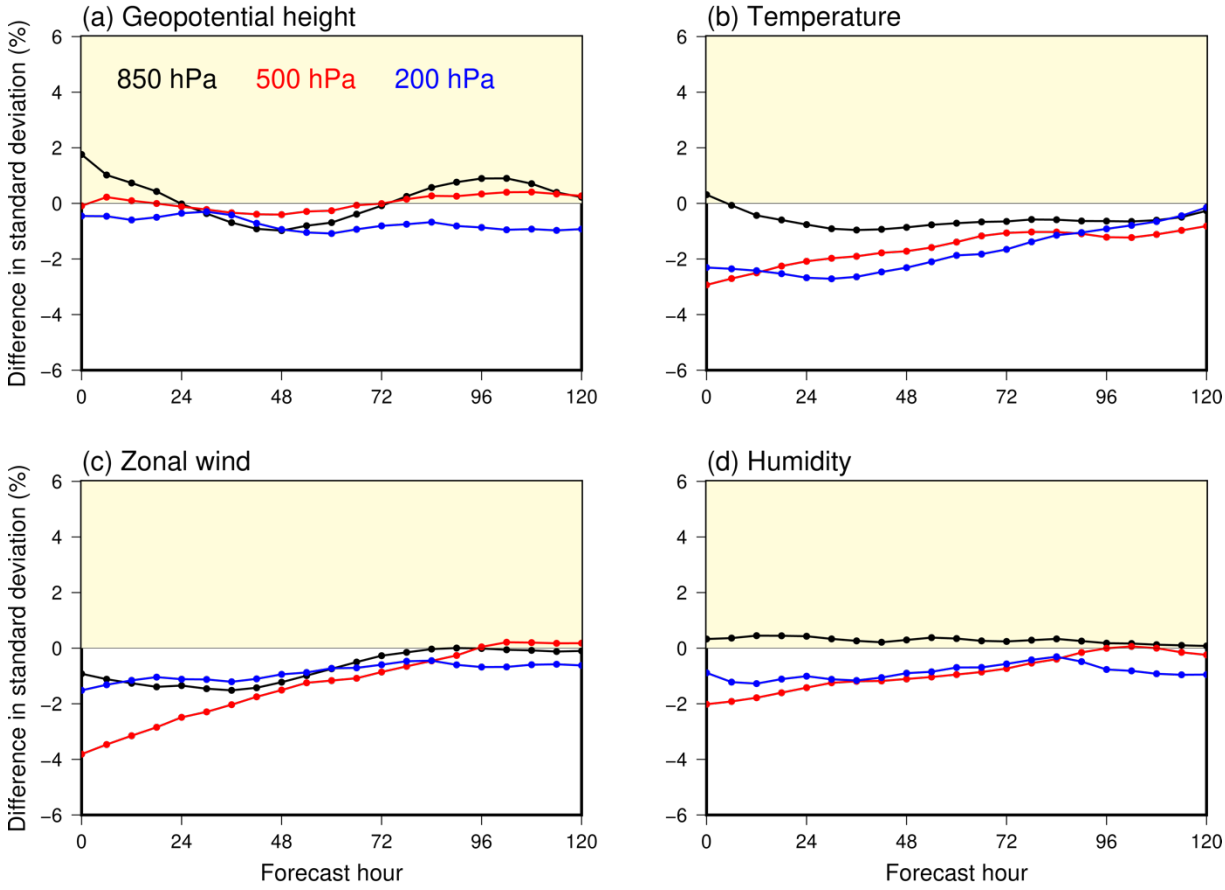


図 A-13：観測誤差相関を考慮した場合と考慮せずデータ同化を行った場合の各予報時刻の(a)高度や(b)気温、(c)東西風や(d)水蒸気量の ERA-interim に対する RMSD の差。負値は、予報精度が向上したことを示す。

参考文献

Desroziers, G., L. Berre, B. Chapnik, and P. Poli, 2005: Diagnosis of observation, background and analysis-error statistics in observation space. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 131, 3385-3396, doi:10.1256/qj.05.108.

①－9. 大気データ同化システム中の台風に対する海洋の役割

台風や温帯低気圧など、海上に存在するメソ～総観規模スケールの大気現象には、海面水温の変化を通じた海洋との相互作用がその形成・発達に大きな役割を果たすことが知られている。例えば、台風に伴う強風が引き起こす海洋のかき混ぜ効果は、海面水温を低下させ、台風の成長に必要な熱フラックス供給を減らすことで、負のフィードバックとして働く。しかしながら、多くの大気モデルで海面水温は所与の境界条件として与えられ、相互作用にともなう変動はほとんどもしくは全く考慮されていない。データ同化の観点からは、大気の流れとは無関係に作成された人工的なアンサンブル摂動を海面水温に与えることで台風の再現性が向上することがすでに知られている（Kunii and Miyoshi. 2012)。本研究では領域大気データ同化システムに簡易な海洋モデルを組み込み、大気の流れに依存した海面水温摂動の効果が台風に及ぼす影響を調査する。

海洋モデルとして鉛直 1 次元の混合層モデル Price-Weller-Pinkel モデル（PWP モデル, Price et al. 1986)を採用した。これを領域大気モデルと局所アンサンブル変換カルマンフィルタに基づいたデータ同化システム SCALE-LETKF（Lien et al. 2017)に実装した。このシステムを用い、水平解像度を 15 km として PREPBUFR データを同化した際の、2015 年台風 13 号の振る舞いを調査の対象とした。

PWP モデルを導入することで、海面水温には期待された通り日周期と台風直下における海面水温の低下がみられるようなった。また、海面水温にはスプレッドが生じているものの、海面気圧や海上気温など、大気に関するスプレッドはむしろ小さくなっていることが明らかになった。これは大気海洋の結合作用が、アンサンブルメンバー中の台風の経路を現実に近いものへと集中させたためである（図 A-14)。PWP モデルを導入した実験では大気-海洋間の負のフィードバックによって台風の成長は抑制されており、かつ大気のスプレッドが小さいというデータ同化にとっても不利な状況が成立している。それでも経路の集中によって、アンサンブル平均の海面気圧で定義される台風の強度は結合なしの実験と比べてほとんど変化はなく、台風の経路は大きく改善した（図 A-15)。

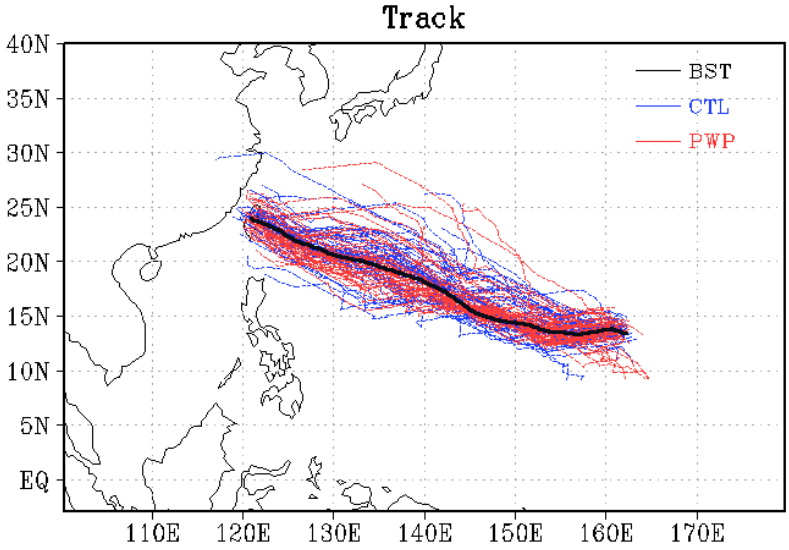


図 A-14：各アンサンブルメンバーにおける台風の中心位置。
黒線は観測値、青線は海面水温を所与とした実験の結果、赤線は PWP モデルを適用した実験の結果である。

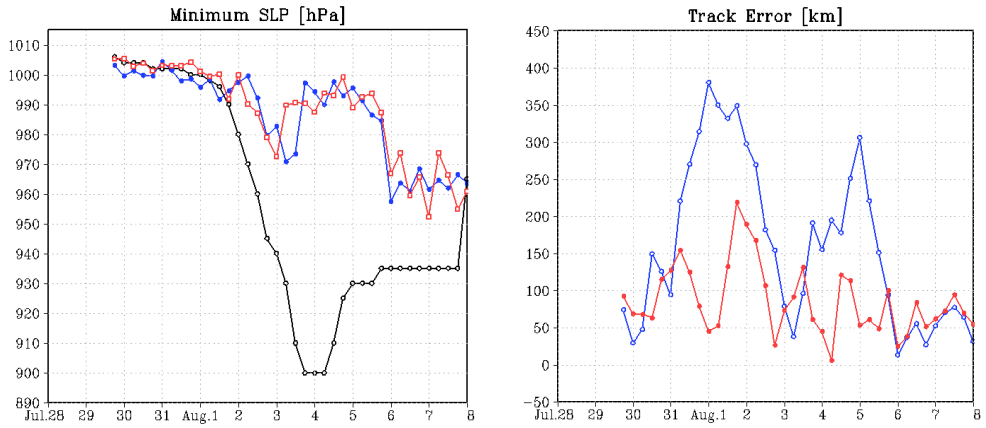


図 A-15：(左)アンサンブル平均した 2015 年台風 13 号の中心気圧(hPa)と(右)観測と比較した経路のずれ(km)。線の色は図 1 と同じである。

参考文献

Kunii, M., T. Miyoshi, 2012: Including Uncertainties of Sea Surface Temperature in an Ensemble Kalman Filter: A Case Study of Typhoon Sinlaku (2008). Weather and Forecasting, 27, 1586-1596, DOI: 10.1175/WAF-D-11-00136.1

Lien, G. Y., T. Miyoshi, S. Nishizawa, R. Yoshida, H. Yashiro, S. A. Adachi, T. Yamaura, H. Tomita, 2017: The Near-Real-Time SCALE-LETKF System: A Case of the September 2015 Kanto-Tohoku Heavy Rainfall. SOLA, 13, 1-6, doi:10.2151/sola.2017-001

Price, J. F., R. A. Weller, R. Pinkel, 1986: Diurnal Cycling: Observations and Models of the Upper Ocean Response to Diurnal Heating, Cooling, and Wind Mixing. J. Geophys. Res., 91, 8411-8427.

①－10. 変分法データ同化システムへの過飽和制約の導入

変分法データ同化システムにおいては、制御変数の設計や誤差共分散の簡略化などのために、意図せず物理量として適切な範囲を超えた値を解析値として算出する場合がある。実際、相対湿度は上下限を持つ物理量であるが解析値には過飽和状態が含まれることがあり、このことが水蒸気量に関するインバランスを引き起こし、予測初期に降水が過度に集中してしまうスピンダウンやスピンアップなどの問題に関連していると考えられる。そこで、本稿では水蒸気インバランスの解消を図りスピンダウン問題の改善に資するため、データ同化システムの最適値探索部分に過飽和制約を実装した効果について述べる。

ここでは気象庁数値予報課作成の非静力学メソ４次元変分法（JNoVA）をデータ同化システムとして採用し、その最適値探索部分において各格子上の比湿が 0 から飽和比湿の範囲内にあることを制約条件として課し、制約条件からの外れ具合に依存するペナルティ関数を評価関数に加える方法をとった。この手法は、1990～2000 年代ごろの流れの場と質量場のインバランスに起因する偽の重力波の生成を抑制するために評価関数に拘束項を加えた手法の拡張版とも考えられる。この手法では比湿のみに制約を課しているが、最適値探索過程を通して他の変数にも制約の影響が及び、バランスがとれた解析値

が作成されることが期待できる。また、従来手法で必要とされていた解析値をモデルの初期値として用いる際の過飽和状態を超えた水蒸気を捨てる処理が実質的に不要となる。

従来の JNoVA による実験（Ctrl）と過飽和制約を導入した JNoVA による実験（Test）の比較から以下のことが明らかになった。まず、Ctrl では最適値探索の過程で徐々に増大していった過飽和のペナルティ関数値が Test では十分小さな値に抑えられ過飽和状態が抑制された。また、ペナルティ関数の付加は評価関数の収束性に特段の悪影響を及ぼさなかった。そして Test では概ねペナルティが課される領域で Ctrl より比湿が少なめで温度が高めであるものも、部分的には比湿が Ctrl よりも大きくなる領域もあった。さらに、それぞれの最適値探索結果を、高解像度モデルで時間発展させると、Test では、同化窓初期（FT=0）に Ctrl より比湿が局所的に大きい領域（赤矢印）がトリガーとなって、場の

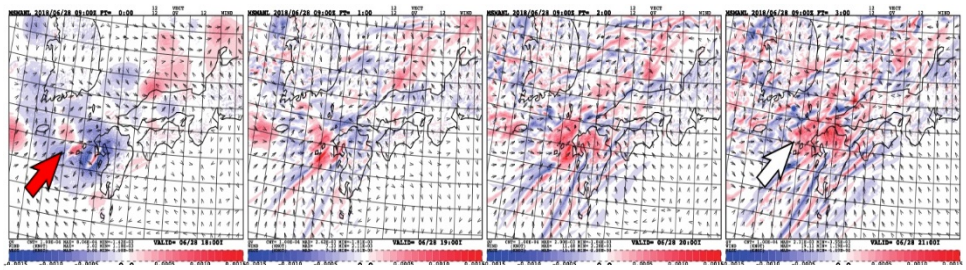


図 A-16：850hPa 面の比湿と水平風の時間発展の差(Test-Ctrl)：左から FT=0、1、2、3。

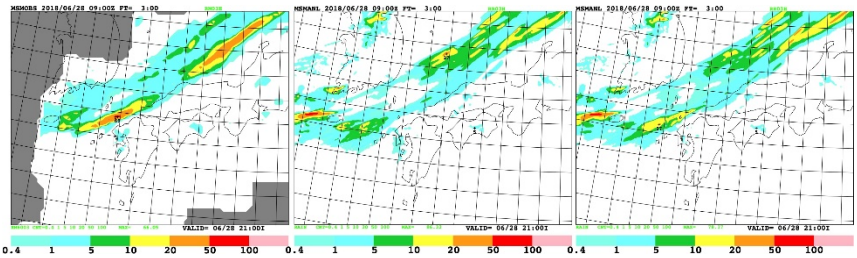


図 A-17：解析時刻における前３時間降水量：左）解析雨量、中央）Ctrl、右）Test。

南西風に流されながらも徐々に収束が強化され、下層からの水蒸気供給も受けて次第にまとまりながら、解析時刻（FT=3）では九州北海上に明瞭な下層上昇流域を持つ相対的高比湿領域（白矢印）が形成された（図 A-16）。その結果、図 A-17 にみられるように、九州北海上の降水表現が改善した。

これらの結果から、過飽和制約の導入によりスピンダウン問題の改善が期待できる。今後は他の事例やサイクル実験を通して有効性を確かめる予定である。

①−11. 観測誤差相関を考慮した変分法によるドップラー速度データ同化の検討

近年の観測技術の向上により、大気の詳細な情報を持つ膨大な観測データがリアルタイムに得られるようになってきている。一方、観測誤差相関の扱いをはじめ、高頻度高密度観測のデータ同化での活用法は十分確立されておらず、数値天気予報における利用は一部に限られている。本研究では、高頻度高密度観測データの同化手法の高度化に向けて、気象レーダーのドップラー速度について調査を行った。

札幌レーダーのドップラー速度観測の観測誤差共分散を気象庁現業メソ解析(Honda et al. 2005)に基づく実験システムを用いて、Desroziers(2005)の手法により 2018 年 7 月 1～8 日の統計から推定し

た。仰角 1.1° における動径相関（図 A-18）の半値幅はおおよそ 10-20 km 程度であり、サイトからの距離とともに増加する傾向である。時間相関の幅にも予報時間とともに増加する傾向がみられ（図略）、観測誤差相関には観測演算子や予報モデルに関連する誤差が寄与を持つことが示唆される。

ドップラー速度の観測誤差相関を簡易な変分法に組み込んで、その同化における効果を調べた（図略）。方位角 5.625 度・動径 5km の解像度で密に分布する観測データを観測誤差相関を無視して同化すると、同符号の D 値が広がって分布する領域で観測に過度に寄る結果が得られた。一方、観測誤差相関を考慮すると、この過度なインクリメントは緩和され、D 値の詳細な構造まで偏りなく解析値に反映された。

予報精度向上のためには、さらに数値天気予報モデルの時間発展に即した同化が重要となる。気象庁現業メソ解析に基づく 4D-Var と、流れに依存する背景誤差を用いたハイブリッド 4D-Var に、ドップラー速度観測誤差の時空間相関を適用し、2018 年 7 月 3 日 03-06UTC の札幌レーダーのドップラー速度を同化した。ハイブリッド 4D-Var（図 A-19(a)）、4D-Var（図 A-19 (b)）ともに、インクリメントのパターンの時間発展には連続性があるものの、ハイブリッド 4D-Var の方がより詳細な構造を持ち、観測データの情報を数値天気予報モデルのバランスに即して抽出する能力が高いことを示唆している。また、図 A-20 に、札幌(a)、及び釧路(b)レーダーのドップラー速度に対する RMSE の時系列を示す。主なインパクトは札幌では 6 時間予報程度、より下流の釧路では 8 時間予報程度まで持続し、ハイブリッド 4D-Var はこの時間帯でより小さい RMSE を与えている。また、観測頻度への感度（観測時間間隔 10 分（濃い色）と 60 分（淡い色）の差）は、ハイブリッド 4D-Var でより大きい。背景誤差に流れへの依存性を考慮したハイブリッド 4D-Var により、高頻度観測によるインパクトをより有効に引き出し得ることが期待される。

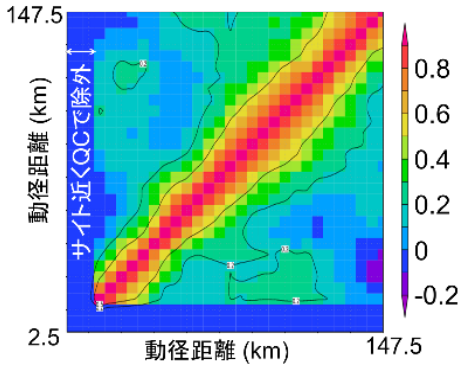


図 A-18：札幌レーダー仰角 1.1° の観測誤差動径相関（3h 同化ウィンドウの後半（90-180 分）で平均。サイト近くは QC で除外）方位角について平均。

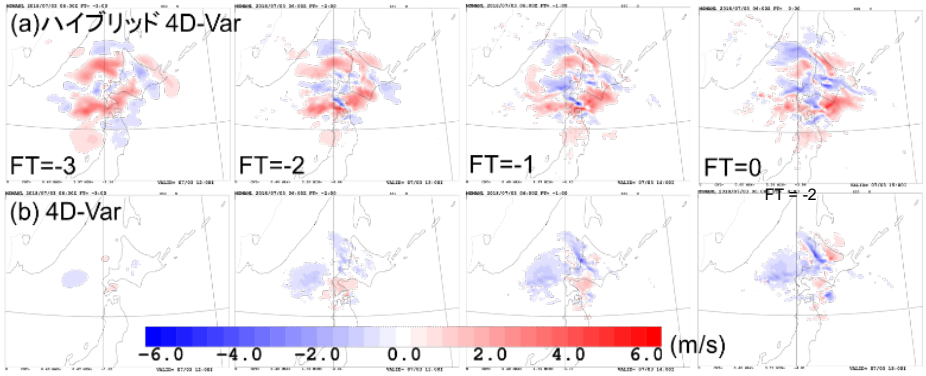


図 A-19：850hPa 東西風インクリメントの同化ウィンドウ内での推移。(a)： ハイブリッド 4D-Var、 (b)： 4D-Var。観測時間間隔 10 分。

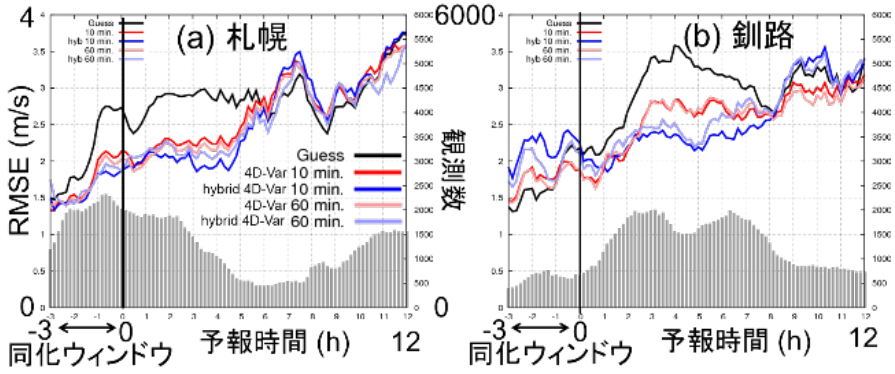


図 A-20：ドップラー速度観測に対する RMSE の時系列（同化ウィンドウから 12 時間予報まで）。 (a)札幌レーダー、(b)釧路レーダー。赤:4D-Var, 青： ハイブリッド 4D-Var。濃： 観測 10 分間隔同化。淡：60 分間隔同化。黒：第一推定値。灰色： 観測数（右縦軸）。

謝辞
本研究では気象庁数値予報課が開発したメソ数値天気予報システムの数値解析予報実験システムを用いた。

参考文献

Desroziers, G., et al., 2005: Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 131, 3385-3396.

Honda, Y., et al., 2005: Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 131, 3465-3475.

①－12. NHM-RPF を用いた観測誤差の動的推定

これまで非線形なデータ同化システムである粒子フィルタと気象庁非静力学モデルを用いたデータ同化システム（NHM-RPF）を開発し、観測システムシミュレーション実験（OSSE）を行い、孤立積乱雲の非ガウス性とその起源について議論してきた（Kawabata and Ueno 2020）。本稿では、NHM-RPF の重要なパーツである観測誤差の動的推定について述べる。

観測誤差動的推定は、Ueno and Nakamura（2016）による Adaptive R estimator（ARE）を用いている。ARE はベイズ推定によって、最適な観測誤差共分散行列（R）を推定するもので、第一推定値に Wishart 分布を仮定した前回推定の R を用い、アンサンブルによる尤度分布を加え、EM アルゴリズムによる繰り返し計算から最適な R を算出するアルゴリズムとなっている。

1000 メンバーのアンサンブルを用いて OSSE を行った（Kawabata and Ueno 2019）。その結果、同化しない場合と比べて、真値に対する RMSE が改善された（表 A-1）。また有効粒子数も 100 以上を保ち、安定したフィルタリングが行えたことが分かった。ここで、この安定性をもたらした要因と考えられる ARE の有効性を確かめるため、ARE を使わない実験を行った（woARE）。この場合、有効粒子数は 10 程度と小さくなる時刻があるものの 300 程度に回復するなど完全な filter collapse に陥ったとは言えない結果が得られた。しかし RMSE 改善率は負となった（表 A-1）。このことから、ARE はフィルタのよりよい安定をもたらすと同時にスコアの改善ももたらすことが分かった。

ここで ARE によって推定された R の大きさを見てみると、大きな変動は少なく、概ね安定した推定値が得られている（図 A-21）。詳細に見ると、風（u, v）に大きな変動が見られ（赤い領域）、これらは、(1) OSSE で与えたランダムな観測誤差が大きいデータと (2) 第 1 推定値と観測データの差が大きい地点であることが分かった。(1) については、誤差の大きなデータを正しく推定していると言え、(2) についてもフィルタの安定性をもたらすものであり、ARE の有効性を示している。また QR に時空間に移動している変動の大きなデータ（緑の領域）が存在するが、これは積乱雲の発達と移動に伴うもので、アンサンブルのスプレッドが大きな領域と概ね対応している。

これらの結果から、ARE は有効に動作しており、そのインパクトは大きいことが分かった。

表 A-1　同化をしない場合に対する RMSE の改善率（%）。

	PT	QV	QR	U	V	W
ARE	21	24	14	17	25	18
woARE	−29	−39	−55	−42	−49	−61

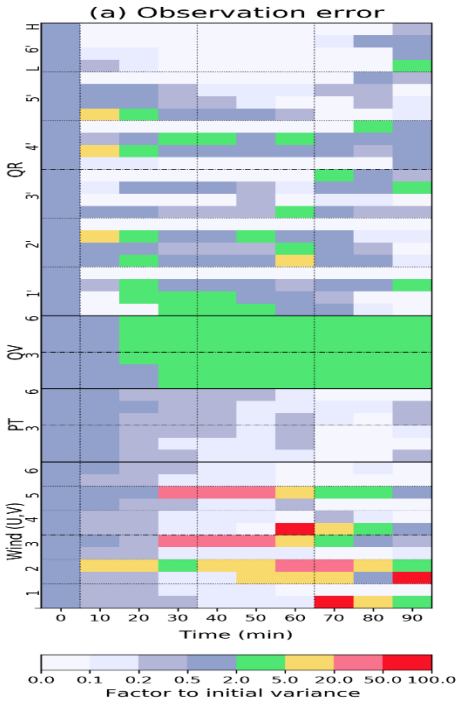


図 A-21：地点別の観測点に対する推定された R の初期時刻からの増加率。
QR は鉛直 4 層にデータが存在し、対数で表示。

①－13. ひまわりの高頻度大気追跡風を用いた同化実験

これまでに引き続き、集中豪雨等の予報精度の向上やより長いリードタイムの確保を目指し、静止気象衛星「ひまわり 8 号」の高頻度観測データの同化法を用いた実験を行い、手法の有効性や限界を確認する。ここでは、2019 年 10 月に千葉県の大雨をもたらした事例について、高頻度大気追跡風のデータ同化を行った。関東地方に大雨をもたらす低気圧が東海地方の南岸を通過する間、降水域が過度に強まりすぎていて、関東平野を通過するときには、降水域が南側にのびすぎているものの、観測に似た降水分布になっている（図 A-22）。大気追跡風を同化すると、降水域の位置がやや変わるものの、降水域は大きく変わらず、東海地方南岸の通過時の降水域も改善されなかった。降水が過度に強まるのは水蒸気量分布の適切でないことが考えられ、降水分布を改善するためには輝度温度等の水蒸気に関わるデータも必要である。

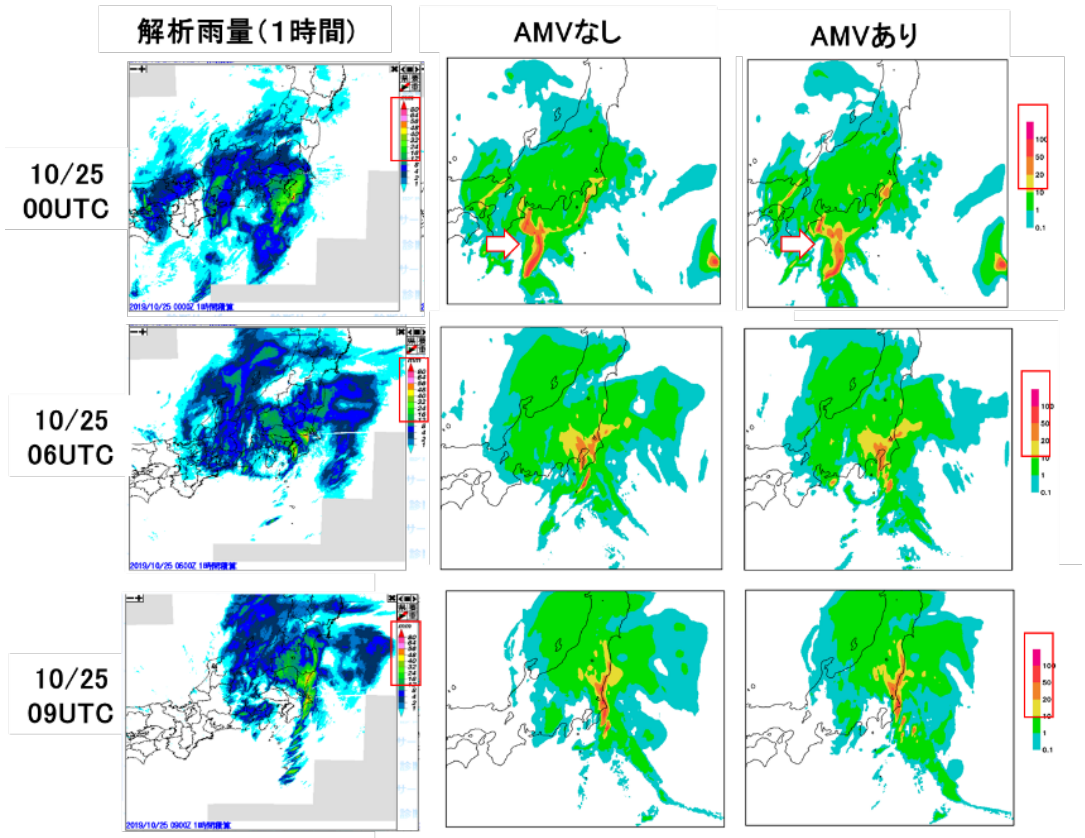


図 A-22：ひまわり 8 号の高頻度大気追跡風の同化結果。（左）は気象庁解析雨量で前 1 時間降水量を示す。（中央と右）は AMV 同化しない解析値と同化した解析値の 1 時間降水量を示す。

② 高精度領域数値天気予報と気象防災への応用（目標 2）

（海洋研究開発機構、京都大学、東北大学、気象庁気象研究所、気象庁、神戸大学、琉球大学）

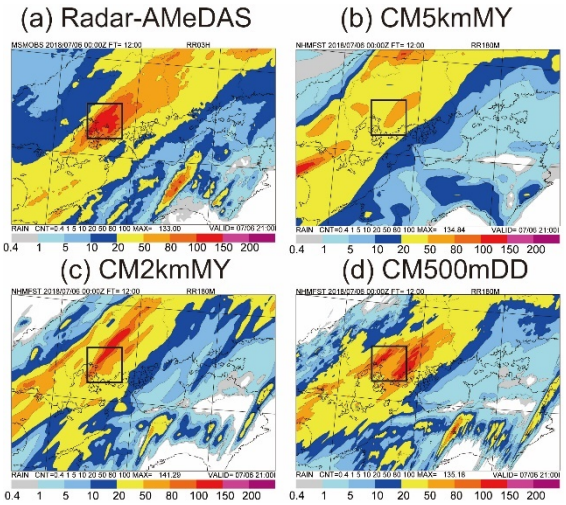
②−1. 平成 30 年 7 月豪雨を対象とした高解像度実験

平成 30 年 7 月豪雨では西日本の広い範囲で洪水や土砂災害が発生した。この豪雨では気象庁は従来よりも早い段階で大雨特別警報の発表の可能性に言及している。しかし、市区町村規模の災害に対応するためにはより高い解像度の情報が必要である。そこで本研究では従来よりも高い解像度で平成 30 年 7 月豪雨の再現実験を行い、解像度が豪雨の再現性に与える影響を調べた。

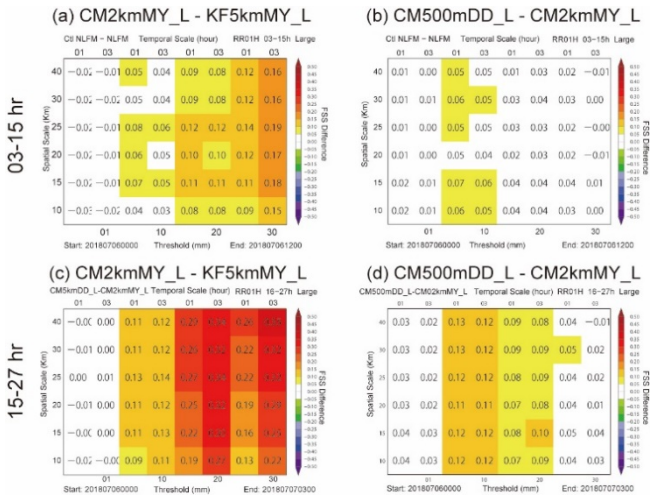
実験の期間は 2018 年 7 月 6 日 9 時（JST）から翌 7 日 12 時の 27 時間で再現実験を行う。モデルはスーパーコンピュータ「京」に最適化した気象庁非静力学モデル（JMA-NHM）を用いる。水平解像度は 5km、2km、500m とする。積雲対流パラメタリゼーションは解像度 5km の実験にのみ用い、境界層スキームは Mellor-Yamada-Nakanishi-Niinolevel3（MYNN）と、Deardroff（DD）を用いる。計算領域は現業局地モデル（LFM）と同様の 3160×2600km とする。初期値・境界値には気象庁メソ解析を使用する。

図 A-23 に広島市付近で雨のピークであった 2018 年 7 月 6 日 21 時の 3 時間雨量を示す。図中の四角は土砂災害による人的被害が大きかった地域を示す。解析雨量（a）では 50mm 以上の帯状の降水域が周防大島の北側から岡山県西部まで伸びている。四角の領域では 80～150mm の雨域が解析された。解像度 5km の実験（b）では四角の領域内の一部で 50mm 以上の雨が再現されているが、全体の降水強度は解析雨量よりは弱かった。解像度 2km の実験（c）では四角の領域内の半分ぐらいに 50mm 以上の雨域が現れた。解像度 500m の実験（d）では、四角の領域内はほぼ 50mm 以上の雨域に覆われ、解析雨量と似た傾向を示した。図 A-24 は Fraction Skill Score を用いた各実験の比較結果を示す。上段の図は 7 月 6 日 12 時から 7 日 0 時の結果であり、下段の図は 7 日 0 時から 12 時の結果である。解像度 5km と 2km の比較結果（a）と（c）、解像度 2km と 500m の比較結果（b）と（d）では、解像度が高い実験のスコアが良かった。上段の図と下段の図を比較すると、実験期間が長くなるほど解像度が高い実験の方がはっきりと良いスコアを示した。

これらの結果からモデルの高解像度化によって局地的な豪雨の再現性が良くなるだけでなく、予報時間を伸ばした場合にも有用である可能性を示した。



図A-23：2018年7月6日21時の3時間雨量。四角の領域は多くの土砂災害が発生した地域を示す。



図A-24：各実験のFSSの比較。2018年7月6日12時から7日0時（上段）、7日0時から12時まで（下段）。
横軸は雨量強度と時間ずれ、縦軸は位置ずれの許容スケール。数値はそのレンジのFSSの値。シェードはカラーバーに示すように、高解像度モデルが良い結果だったことを示す。

②－2. Analysis and design of covariance inflation methods using inflation functions.

So far, we showed the existence of a unifying theory that encompasses all existing covariance inflation (CI) methods under a framework of inflation functions, including the diagonal LETKF (Duc et al. 2020a, 2020b). Given a vast space of potential inflation functions, a natural question is how we can choose the optimal one. Here, we show how adaptive inflation can be implemented in the context of inflation functions to estimate inflation functions on-the-fly from observations.

Estimation of prior inflation functions (PIF) is equivalent to estimation of background error covariances G in observation space. However, the conventional CI methods confront a difficult problem of how to convert G back to model space to calculate analysis increments and perturbations, which is possible in very limited cases like multiplicative inflation. The solution here is to make use of the equivalence between PIFs and inflation functions to transplant the estimate PIF into its equivalent inflation function. Then analysis increments and perturbations can be calculated using this inflation function. Maximum likelihood (ML) estimation of three families of PIFs with two data assimilation systems show that this approach works well and the adaptive methods can even beat a well-tuned CI method.

Estimation of the inflation functions that do not have equivalent PIFs is more difficult since we lack a theoretical guidance like Bayesian inference as in the cases of PIFs. Here we propose that inflation functions can be estimated from the posterior innovation statistics. There are two facts supporting this estimation: (1) ML estimation of non-parametric PIFs

leads back to the prior innovation statistics; and (2) the posterior innovation statistics is an effective diagnostic tool in assessing performance of inflation functions. It is interesting to find that ML estimates of non-parametric inflation functions yield analyses and forecasts better than ML estimates of non-parametric PIFs. Figure A-25 shows weighted RMSE of the deterministic forecasts of the NHM-LETKF experiments using the ML estimates of PIFs and inflation functions against the aircraft observation for zonal winds (left) and temperatures (right) at 850 hPa. The iterative solutions for the non-parametric PIF from the EM algorithm with the maximum number of iterations ni=20 are plotted for reference. It is worth noting that $g_{ADJ}(\gamma)$ (blue) distinctly shows better forecast skill than $g_{ML}(\gamma)$(red).

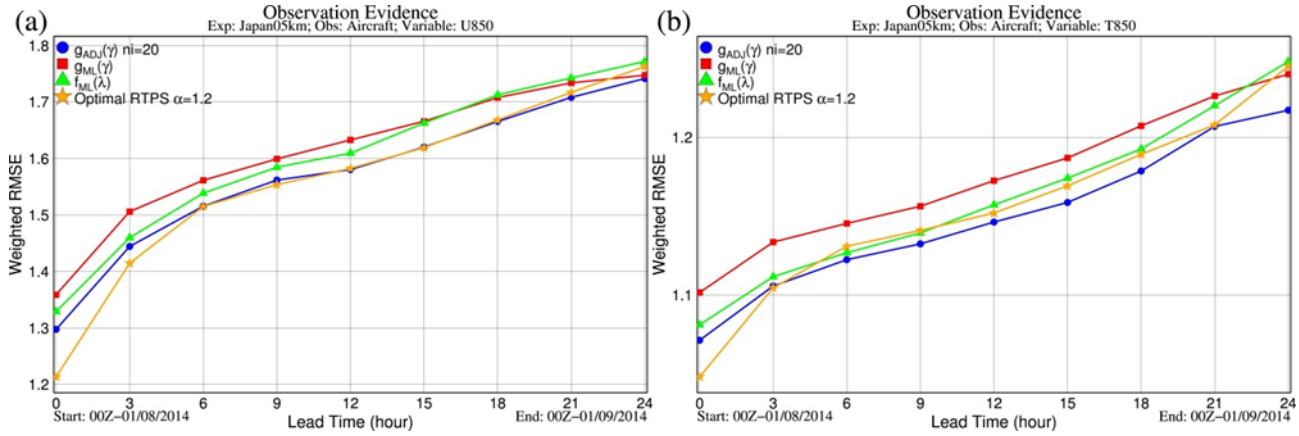


Fig. A-25: Weighted RMSEs of the deterministic forecasts of the NHM-LETKF experiments using the ML estimates of PIFs and inflation functions. After Duc et al (2020c).

参考文献

Duc, L., K. Saito, and D. Hotta, 2020: An explanation for the diagonally predominant property of the positive symmetric ensemble transform matrix. Journal of the Meteorological Society of Japan, 98, 455-462.

Duc, L., K. Saito, and D. Hotta, 2020: Analysis and design of covariance inflation methods using inflation functions. Part 1: Theoretical framework, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. (in press)

Duc, L., K. Saito, and D. Hotta, 2020: Analysis and design of covariance inflation methods using inflation functions. Part 2: Adaptive inflation, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. (under review)

②－3. 台風に伴う非地衡風による北向き水蒸気フラックス

台風が日本の南海上にある時、本土で大雨が降ることがあり、しばしば台風によって水蒸気が日本の上空に運ばれ前線を刺激する、という説明がされる。海外でも PRE と呼ばれる現象として知られており、北向きの深い水蒸気輸送を伴うことが指摘されている。Saito (2019) は、2009 年第台風 18 号の

接近時に西日本で観測された等高度線を横切る顕著な北向きの非地衡風について、高層観測データと気象庁全球客観解析、および JMA-NHM による再現実験により調べ、その成因として水平風加速度成分による力学的成因で説明できることを示し（図 A-26）、併せて台風に伴う発散上層風の非軸対称の性質についても議論した。図 A-26 に示す北向きの非地衡風は上層（300hPa）では顕著だが、850hPa では水平風はほぼ等高線に沿って吹いている。水蒸気は下層ほど多いため、日本の降水にどの程度の影響を与えるかは自明ではない。

図 A-27 に日本の南岸域(130-137 E, 30-33 N)で平均した各高度の水蒸気量と、北向き風速および水蒸気フラックスの鉛直プロファイルを示す。北向き風速は 300hPa（約 9km）高度で最大値を示し、この高度においては非地衡風成分が 70%近くを占めている。この高度より下では非地衡風成分の寄与は高度とともに減少し 500hPa では 20%程度となるが、高度 3km より上では北向き水蒸気フラックスの値は正であり、非地衡風成分は実質的に対流圏の深い範囲で日本上空への水蒸気供給に寄与していることが示唆される。

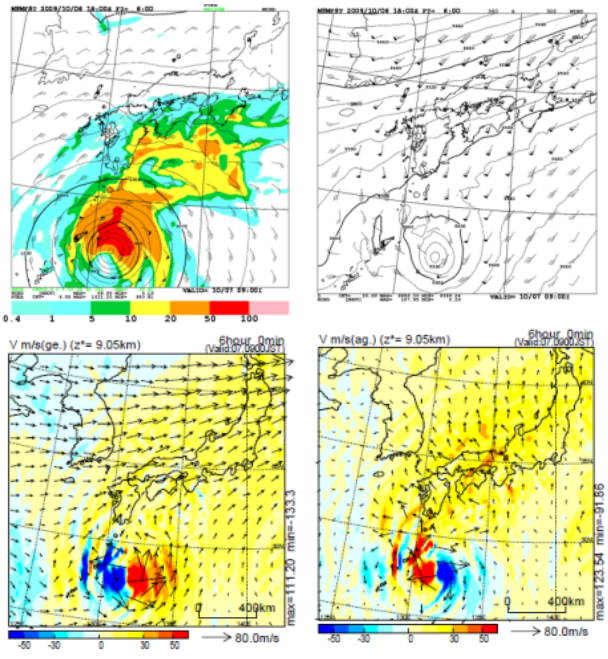


図 A-26：左上）2009 年 10 月 7 日 00UTC の前 3 時間降水量と地表風。右上）300hPa 高度場と水平風ベクトル。左下）300hPa での地衡風（ベクトル）とその北向き成分（シェード）。右下）同じく非地衡風成分。Saito (2019) より。

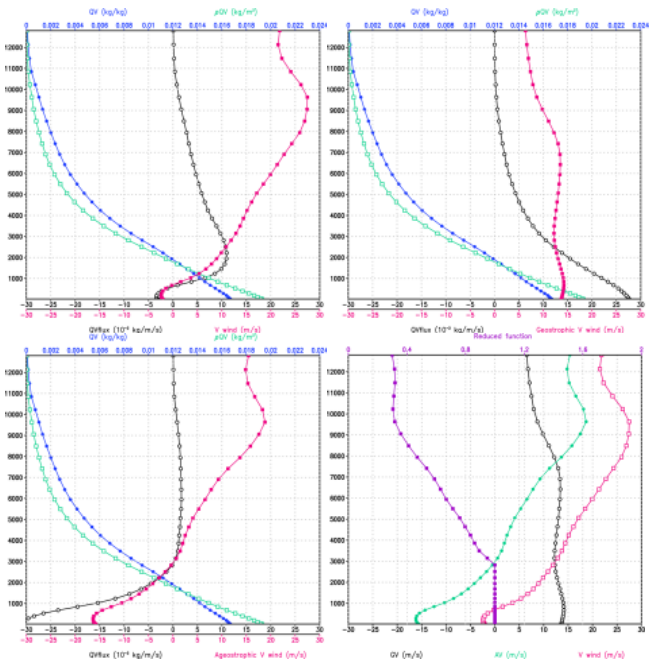


図 A-27：左上）10 月 7 日 00UTC の日本の南岸域(130-137 E, 30-33 N)で平均した各高度の混合比（緑）と水蒸気量（青）、北向き風速（赤）および水蒸気フラックス（黒）の鉛直プロファイル。右上）地衡風成分。左下）非地衡風成分。右下）風速（赤）地衡風成分（黒）、非地衡風成分（緑）と風速における地衡風成分の寄与率（紫）。

参考文献

Saito, K., 2019: On the northward ageostrophic winds associated with a tropical cyclone. SOLA, 15, 222-227.

②－4. 日本域を対象とした高解像度長期領域再解析システムの再現性能の評価

昨年度に引き続き、日本域を対象とした高解像度長期領域再解析システムの開発を進めている。既存の長期再解析の解像度は、計算機資源の制約もあり、数十 km 程度に留まっている。しかし、災害をもたらす豪雨などのメソスケール極端現象を対象にするには不十分であり、更なる高解像度化が望まれている。このような背景の下、全球再解析 JRA-55 に対し NHM-LETKF を一方向二重ネストするシステム(Fukui et al., 2018)を開発した。ここで、インナーモデルが 5 km格子で日本域、アウターモデルが 25 km格子で東アジア域を対象領域とするようにした。

高解像度長期領域再解析は、基礎となる数値天気予報システムの再現特性の把握や改善への貢献も期待される。昨年度、観測が疎らな海上を通る 2015 年台風第 18 号の再現に、波数境界から境界値を強制するスペクトルナッジング(SN)と台風中心位置の同化が有効であることを示した。今年度は、台風中心位置の同化とアウターモデルへの SN を導入したシステムの妥当性と再現性能を評価するために、対象事例数を増やした領域再解析実験を行い、JRA-55 と比較した。対象期間は 2015 年及び 2016 年の 7-10 月とした。領域再解析実験は、地上気圧やラジオゾンデの観測を同化する実験(OLD 実験)と、さらに台風中心位置の同化及び SN を二重ネストのアウターモデルに導入した実験(NEW 実験)を行った。SN では高度 2 km以上、波長 1200km 以上の成分に 20 分ごとに境界値の 5%の強制を与えた。

本領域再解析システムの標準解析では、観測システムの変更による長期再解析の特性の変化を避けるために、同化するデータを従来型観測に限定している。標準解析の精度を評価するために、あらゆるデータが同化されていて信頼性が高い気象庁メソ解析に対する海面更正気圧の二乗平均平方根誤差(RMSE)を調べた。NEW 実験も OLD 実験も同様に 0.8hPa 前後で推移していた。しかし、台風が存在する際に、OLD 実験で誤差が大きくなり RMSE が 1.5hPa を超え 2hPa に迫ることもあったのに対して、NEW 実験ではその誤差の増加を抑制することができており、JRA-55 並みの誤差となった。SN 及び台風中心位置の同化の導入により、総観場の再現性は実験期間を通じ概ね安定するようになったことが分かった。図 A-28 は、日本列島上の 6 時間積算降水量の解析雨量に対するバイアススコア及びスレットスコアを示している。降水強度によらず NEW 実験では OLD 実験に対して両スコア共に向上を示した。JRA-55 は強雨に対するバイアススコアの低下が顕著であった一方で、NEW 実験は OLD 実験と同様に降水強度に対してほぼ一定となり、スレットスコアも 30 mm/6h 以上では JRA-55 を上回るようになった。SN と台風中心位置の同化を導入したシステムが、強雨を扱うことができるようになるという高解像度システムの特徴を維持しつつ、降水をより現実的に再現性させることを確認できた。

本領域再解析システムを利用して再解析を 9 年間実施した。狭い領域の 9 年間の時系列データは自然変動度が大きく、これに比べて気候変化や土地利用変化の影響は小さく、その検出にはさらに長期データが必要であることが分かった。

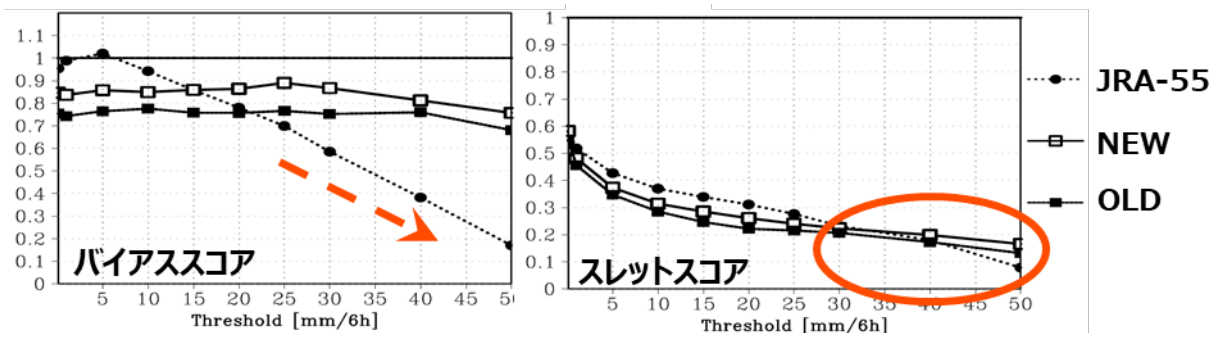


図 A-28：日本列島上の 6 時間雨量の解析雨量に対するバイアススコア（左図）とスレットスコア（右図）。

参考文献

Fukui, S., T. Iwasaki, K. Saito, H. Seko, M. Kunii, 2018: A feasibility study on the high-resolution regional reanalysis over Japan assimilating only conventional observations as an alternative to the dynamical downscaling. J. Meteor. Soc. Japan, 96, 565-585.

②－5. 新潟県笠堀ダムを対象としたアンサンブル洪水予測

平成 23 年の新潟・福島豪雨を対象とした 4D ENVAR-NHM（Duc and Saito, 2017）による超多数（1600）アンサンブル降雨を入力として(1)新潟県笠堀ダムへの流入流量を精度良く予測できるか(2)この予測に基づき半日程度のリードタイムをもって、ダムの洪水時操作や異常洪水時防災操作の必要性を確率的に示すことができるか(3)数時間のリードタイムで正確なダム流入予測をしたメンバーを抽出できるか、という設問に関する研究を実施した。(1)については、1600 メンバーにより予測された計算流入流量は最も観測流量と適合度が良いものは Nash 係数で 0.7 を超え、解析雨量による計算流量の Nash-Sutcliffe 係数と同程度の値であった（図 A-29）。(2)については、1600 計算流量で洪水調節容量相当の流入が発生する確率を計算し、例えば今後 12 時間で 40%程度の確率で洪水調節容量相当の流入がありえる、最終的には 90%以上になるということを示すことができた（図 A-30）。結果から、異常洪水時防災操作が必要となる可能性が高いことが示唆できる。(3)については、計算開始からある時刻までの Nash 係数に基づいて 1600 計算流量から最適な 50 メンバーを抽出することを試みた。結果として、ある程度有効なメンバーを抽出することはできるが、最適なメンバーではなく、気象場自体から有効な降雨を選択する必要性も見て取れた。

詳細は下記を参考にされたい。

Kobayashi, K., L. Duc, APIP, T. Oizumi and K. Saito, 2020: Ensemble flood simulation for a small dam catchment in Japan using nonhydrostatic model rainfalls. Part 2: Flood forecasting using 1600 member 4D-EnVAR predicted rainfalls. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. (in press)

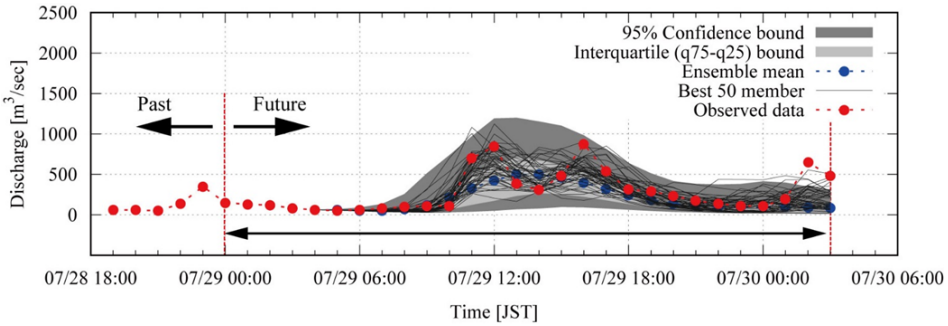


図 A-29：1600 アンサンブル降雨の 95%信頼区間と最適 50 メンバー（Kobayashi et al., 2020）

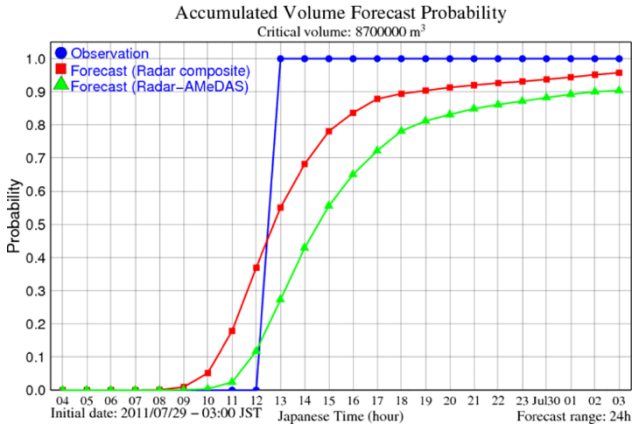


図 A-30：累積流入量が洪水調節容量を超える確率（Kobayashi et al., 2020）

②－6. SPH を用いた三次元土石流シミュレーション手法の開発

1）土石流実験と SPH シミュレーションの比較など、様々なテスト

土石流は、通常流動性の低い岩石・砂礫・泥に、主に降雨により蓄えられた水が加わり、高い流動性をもち混相流として高速で斜面を流下することにより大きな破壊力を発揮し、土石流通過経路にあたる山間部の扇状地において特に大きな被害をもたらし、しばしば住宅などを破壊する。従来はオイラー的な方程式による二次元解析が主体であったのだが、三次元モデルによる解析もいくつか行われている。土石流は混相流であること、大きく形が変化すること、こういった特徴があるため、オイラー的な手法ではなく、ラグランジアン的な手法が適切であると我々は考え、SPH（smoothed particle hydrodynamics)粒子法を用いて、粘性が変化する流体を扱うことができる三次元 SPH コードの開発に成功した。そして本コードを用いて、まず様々な流体テスト計算を行った。その 1 例が、土石流実験装置での実験とシミュレーションの比較である（図 A-31)。これらによりシミュレーションコードの妥当性を確認した。

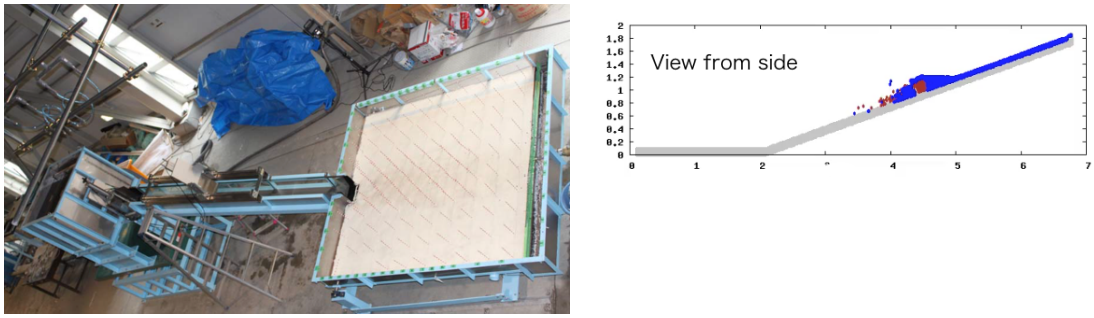


図 A-31：左は土石流実験装置。右は三次元 SPH 土石流シミュレーションの図で、灰色がスロープ、青が水、茶色が土石を表している。土石流実験装置を用いた実験により、三次元 SPH 土石流シミュレーションの岩石や水、泥の分布の妥当性を確認した。

2) 広島 2014 年豪雨災害での土石流シミュレーション

過去に起きた土石流の再現を行うために、2014 年に土石流が発生した広島の地域の地形高度データを取り込み、土石流シミュレーションを行なった（図 A-32)。

初期条件は、Hydro-debris 2D model（Yamashiki et al, 2017）で地下水位が、ある閾値（2.9m）以上の領域に泥粒子、水粒子を設置し、粒子を離した。0 分後の場合も、実際に土石流が流れた領域のとりわけ上流が重なっており、7.5 分後の場合は土石流が扇状地形をなし、それも実際に扇状地形となった領域と重なる部分が多い結果を得られた（つまり、多くの領域において、シミュレーションによって土石流領域を再現することができた)。本研究により、本年度の目標である、広域 2D シミュレーションと局所 3D シミュレーションを融合することができ、広域 2D と局所 3D のハイブリッドな計算手法を確立した。これは土石流の未来予測へと繋がる計算コードとなる可能性がある。

なお、本シミュレーションについて、令和 1 年度第 3 回研究連絡会で報告した。

参考文献

Yamashiki, Y. A., Sato, H., Kuroki, R., Miyamoto, H., & Hemmi, R., 2017: Hydrological Process of Martian Surface in Hesperian epoch. AGUFM, 2017, IN43D-0103.

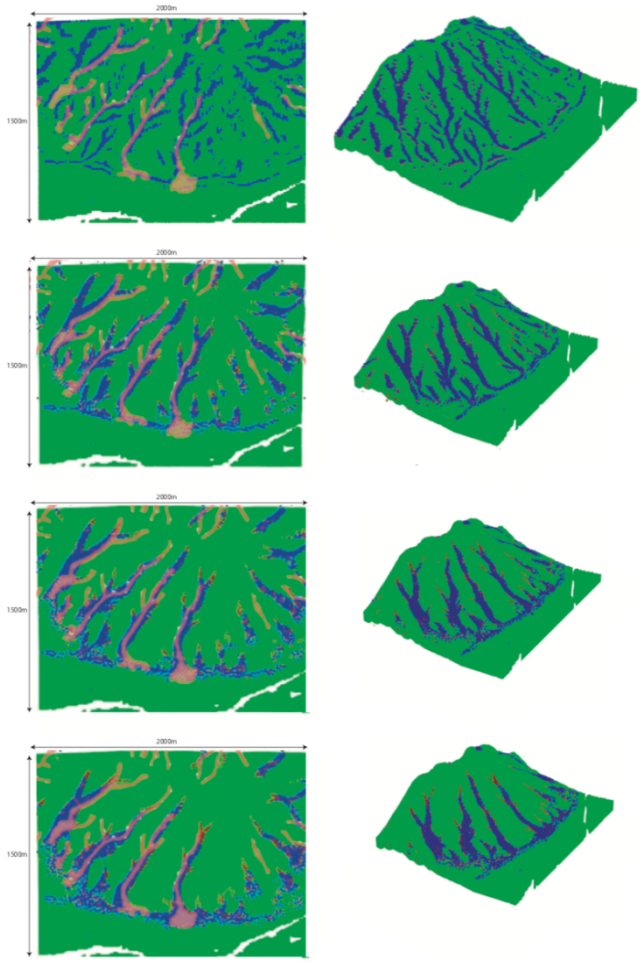


図 A-32：それぞれ、上から、0 分後、2.5 分後、5 分後、7.5 分後の状態を表しており、左列は上から見た投影図、右列はななめ上からみた図。左列の赤い領域が実際に土石流がおきた領域、図中の緑色領域、青色領域、茶色領域はそれぞれ、シミュレーションで土石流が起きない領域、水が流れる領域、泥が流れる領域。

③ 超高解像度数値予測モデルの開発と顕著現象の機構研究（目標 3）

（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、気象庁気象研究所、気象庁、京都大学、名古屋大学）

③−1. 準線状の降水システムに伴って発生した竜巻の数値シミュレーション

竜巻を発生させる対流システムは大きく分けて、古典的なスーパーセル型、準線状の降水システム（Quasi-linear convective system ； QLCS）、非スーパーセル型の３つに分類される（Agee, 2014）。米国では、竜巻の多くがスーパーセルによって発生するが、QLCS に伴う竜巻も 18%程度発生する事が報告されている(Trapp, 2005)。日本においても、QLCS に伴って竜巻が度々発生するが、その詳細な特徴や発生機構の理解は十分ではない。そこで、1992 年 12 月 8 日に QLCS に伴って発生した竜巻の、気象庁非静力学モデル（JMANHM; Saito et al., 2006）による再現実験をスーパーコンピュータ「京」を用いて行った。

本研究では、一番外側から順に水平解像度が 15km, 2km, 350m, 50m の単方向に 4 重ネスティングした数値シミュレーションを行った。水平解像度 50m の数値シミュレーションにより、QLCS 内部に竜巻を再現することに成功した(図 A-33b)。竜巻が発生する直前に高度 500m 付近に直径 1-2km 程度のマイソサイクロンが発生する様子が確認され、その直下で強い上昇流が生じ、その後の竜巻の発生に寄与していたことが示唆される。また、このマイソサイクロンの形成に伴い、スーパーセルのメソサイクロンに伴って見られるような、フック状の降水システムの特徴が見られた(図 A-33a)。再現された竜巻の鉛直渦度は最大で約 0.7 s^{-1} であり、この竜巻に伴う最大風速は 47 m s^{-1} であった。

強い上昇流を伴うことで竜巻の発生に寄与していたことが示唆されるマイソサイクロンの低気圧循環の起源を明らかにするために、ラグランジュ的な循環の収支解析を行った。マイソサイクロンに対応する鉛直渦度を取り囲む閉曲線上に 1600 個の粒子を設置し、後方流跡線解析によって閉曲線に沿う循環の時間変化を調べた。ここで、隣り合う粒子の距離が 50m 離れた場合には、その中間に粒子を加えている。また、$\frac{d}{dt}C(t) = -\oint\frac{dp}{\rho} + \oint \mathbf{F}\cdot\mathbf{dl}$ の右辺を閉曲線に沿って線積分したものを時間方向に積分し、

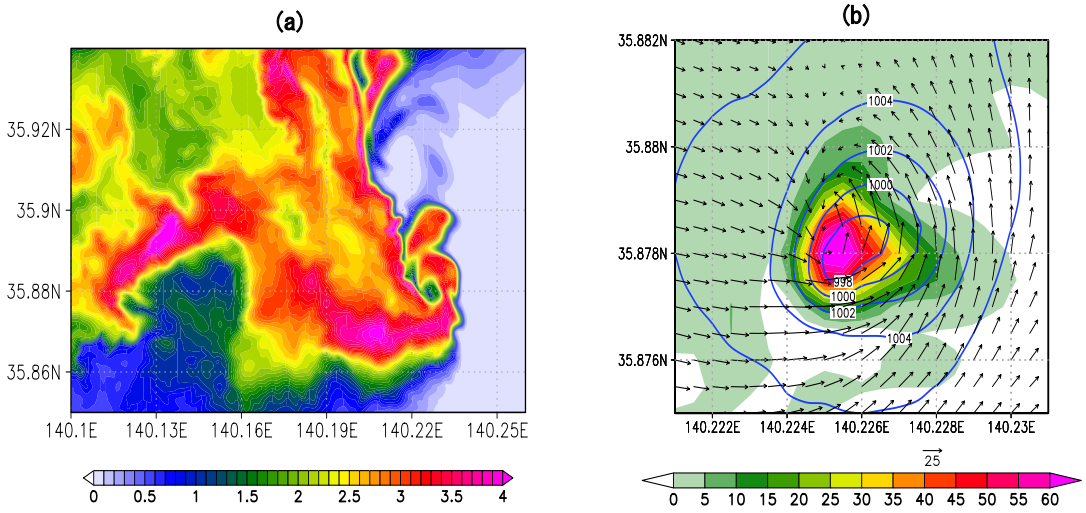


図 A-33: 50m 解像度の数値シミュレーションで再現された(a)降水システムと(b)竜巻。(a) 500m 高度の雨水混合比(g kg^{-1})、(b)高度 30m の鉛直渦度（色；s^{-1})、海面気圧（青実線；hPa)、高度 30m の水平風ベクトル（m s^{-1}）

循環に対する傾圧的効果と摩擦効果の寄与を調べた。ここで、C は循環であり、右辺第 1 項は傾圧項、第２項は摩擦項を表す。循環解析の結果、マイソサイクロンの起源は、環境場の風に伴う循環であることがわかった。一方、摩擦の効果は循環を減ずる方向に作用し、傾圧項は循環の変化にほとんど寄与していなかった。また、流跡線に沿った渦度の収支解析を行ったところ、ストーム前面の inflow 領域における鉛直シアーに伴う水平渦度が立ち上げられ、上昇流によって鉛直に引き伸ばされることで鉛直渦度が強化されていた。

また、竜巻が発生する前からの地上付近の温度場・水平風場の時間発展を調べたところ、竜巻の発生直前に、相対的に冷たい空気を伴う後面からのインフロー（Rear inflow jet; RIJ）が強まっていた。この RIJ に伴ってその北側では水平シアーに伴う低気圧性循環が強化されていた。竜巻はこの RIJ の北側領域で発生しており、竜巻の発生に RIJ が重要な役割を果たしていたことが示唆される。また、循環解析によって竜巻の低気圧循環の起源を調べたところ、竜巻の循環の半分程度は摩擦により増加し、半分程度は環境の風場に起因していることがわかった。

参考文献

Agee, E. M., 2014: A revised tornado definition and changes in tornado taxonomy. Wea. Forecast., 29, 1256-1258.

Trapp, 2005: Tornadoes from squall lines and bow echoes. Part I: Climatological distribution. Wea. Forecast., 20, 23-34.

Saito, K. et al., 2006: The operational JMA nonhydrostatic mesoscale model. Mon. Wea. Rev., 134, 1266-1298.

③−2. 短時間スケールの運動量フラックスを診断するための深層学習によるパラメタリゼーション構築の試み

本重点課題では、数値気象モデルを高解像度化し、大気境界層の乱流構造をある程度再現するラージ・エディ・シミュレーション(LES)が実施されている。地表面付近の乱流構造のスケールは地表面からの距離に比例するため、モデル最下層以下の高度の接地境界層の乱流構造は、たとえ LES であっても解像できない。地表面と大気の運動量や熱の交換がなされる重要なプロセスであるため、何らかのパラメタリゼーションを導入する必要がある。数値気象モデルが従来利用したパラメタリゼーションは風速や気温のレイノルズ平均（アンサンブル平均）に基づき、解像できないスケールの乱流の輸送による運動量フラックスを診断する。LES は従来の気象モデルより解像度が高く、表現される変動の時空間スケールが短いため、レイノルズ平均は合理化されない。そのような場合、パラメタリゼーションの定式化は著しく困難になる。

本研究では、短い時間スケールの運動量フラックスのパラメタリゼーションを深層学習により構築する可能性を探った。気象研究所の大型風洞において測定した、高頻度かつ長時間の流速の時系列を学習する。水平風速 u と鉛直流速 w をレーザー流速計により 200Hz で測定した、数 10 時間分の時系列は、一種の「ビッグデータ」であり、これを活用する。このうち 9 割を教師データ、1 割を検証用データとする。典型的な短時間スケールとして 1 秒の時間フィルターをかけた、風速の時系列 100 ステップ分を入力とし、運動量フラックスを出力するディープニューラルネットワーク（深層学習モデル）を構築

した（図 A-34）。

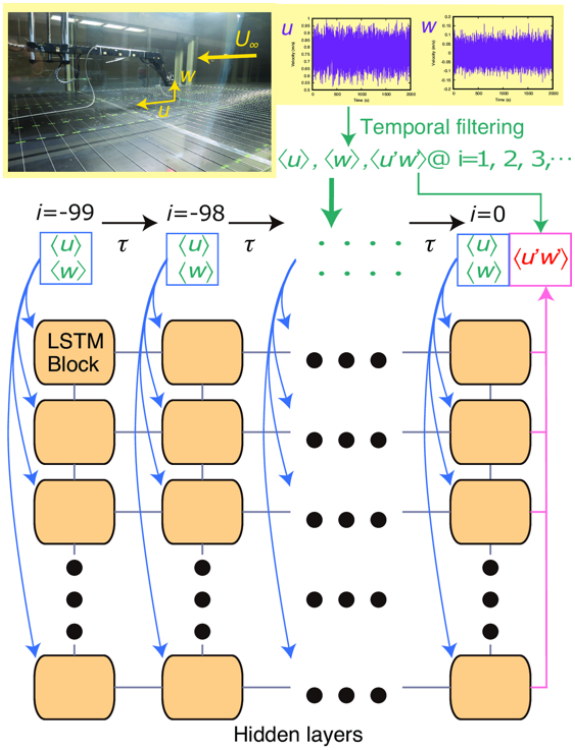


図 A-34：運動量フラックスの診断のために構築した深層学習モデルの概念図

実験の一様風速は 1、3、10m/s の 3 種類としており、それぞれの計測から数万セットの学習データを用意した。検証用データについて、従来のパラメタリゼーションと深層学習モデルによる診断を比較した。従来のパラメタリゼーションによる診断は実測と負の相関を示しており、短い時間スケールの運動量フラックスの診断はうまくできないことがわかる。（図 A-35 左）。一方、深層学習モデルによる診断は、はるかに正確な診断を実現している（図 A-35 右）。なお、3 種類の別々の一様風速の結果を学習するため、それぞれ物理的考察にもとづく適切な規格化を施した後、学習のために利用した。

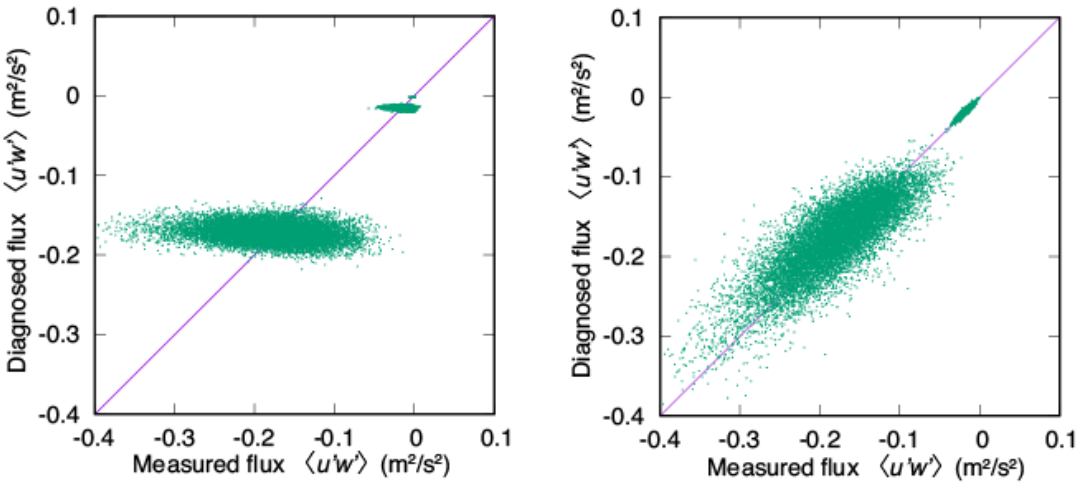


図 A-35：運動量フラックスの実測値（横軸）と診断（縦軸）の相関。
（左）従来のパラメタリゼーションと（右）深層学習による診断。

従来手法やその拡張では困難な場合、「ビッグデータ」を深層学習したモデルがパラメタライズ手法として有力であることを示した。数値気象モデルのパラメタリゼーションとして利用するために、より多くの教師データの準備と深層学習モデルの設計の工夫が必要である。

③−3. 雲の詳細プロセスを解像する直接数値シミュレーションモデルの開発

年間を通じて組織的に発生する洋上層積雲は高いアルベドと被覆率を伴うため地球の気候システムに重要である。層積雲の発達や減衰には雲放射過程が重要な要素の 1 つである。従来の放射伝達計算では雲は連続体と仮定されてきた。しかし、微細な計算格子を用いる場合、格子に含まれる雲粒数が少なくなるためこの仮定は適切でない。Matsuda et al. (2012)は液滴を陽に考慮した 3 次元放射伝達モデル(3 次元モデル)を開発し、乱流渦に伴う雲粒の凝集が放射特性に与える影響を論じた。本研究では彼らのモデルを基にして境界層雲を対象としたより現実的な放射伝達計算を行うことのできるモデルへと拡張する。本年度は開発した 3 次元放射伝達計算を用いて、液滴を陽に考慮することで雲層の光学特性にどの様な違いが生じるのか調べた。Onishi et al. (2011)と Matsuda et al. (2012)は雲層内部の乱流場における液滴分布をラグランジアン雲シミュレータを用いることで計算した。彼らは乱流強度への依存性を表すパラメータであるテイラーマイクロスケールに基づくレイノルズ数と粒子ストークス数をそれぞれ 67−360 と 0.1−8.0 の間で変化させた実験を行い、液滴分布のデータベースを作成した。本研究ではこのデータベースから光学的厚さの異なる 18 ケースについてそれぞれ放射伝達計算を行った。横軸に光学的厚さで比較した 3D モデルとともに比較のため 1 次元平行平板モンテカルロ法放射伝達モデル(1 次元モデル)の結果を図 A-36 に示す。3 次元モデルの結果は 1 次元モデルで計算した結果とよく似ている(図 A-36 左)。しかし、詳細に見ると(図 A-36 右)、3 次元モデルに対して 1 次元モデルは、吸収率を過少評価、反射率と透過率を過大評価している。特に顕著な違いとして直達光の割合と散乱光の割合が異なっていることが挙げられる。すなわち 3 次元モデルの結果では直達光の割合が増加し、散乱光の割合が減少している。このことは、液滴分布を陽に考慮することで光子が雲粒との衝突を経験するか否かに大きな違いが生じることを示している。更に、これらの 1 次元モデルとの差は雲層が光学的に厚くなるにつれて線形的に大きくなることもわかる。

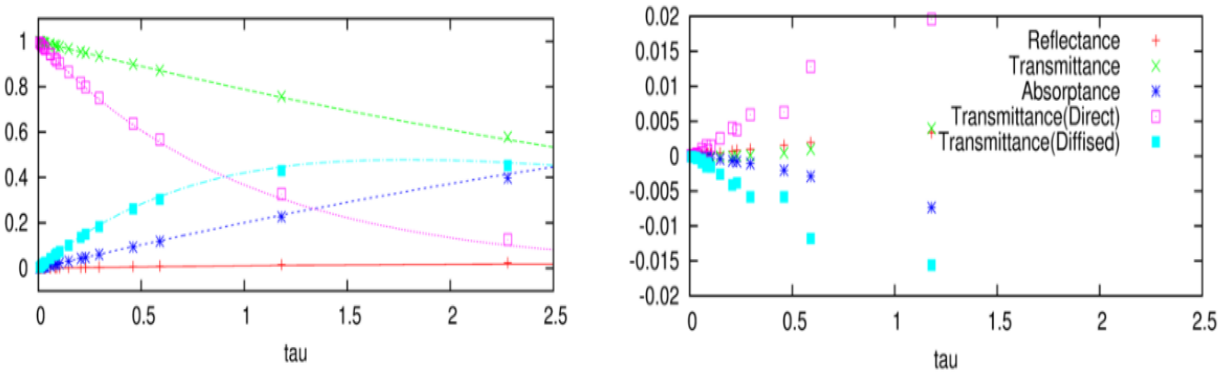


図 A-36：モンテカルロ法で計算された気層の光学的特性。(左図)1 次元モデルと 3 次元モデルの結果をそれぞれ線と点で示す。(右図)3 次元モデルの 1 次元モデルからの差を示す。波長 1.7μm を用いた結果(気層の単散乱アルベドは 0.79、非等方性因子は 0.91 に相当)。3 次元モデル計算はラグランジアン雲シミュレータで得られた雲粒分布を用いて行い、1 次元モデル計算はその気層の光学的厚さ、単散乱アルベド、非等方性因子を用いて行った。

謝辞

3 次元モンテカルロ法放射伝達コードとラグランジアン雲シミュレータによる液滴分布データ、1 次元モンテカルロ法平行平板放射伝達コードはそれぞれ海洋研究開発機構の松田景吾博士と大西遼博士、東北大学大学院理学研究科の岩渕弘信博士に提供して頂いた。 計算コードの高速化には(財)高度情報科学技術研究機構の支援を受けた。

参考文献

Matsuda, K., R. Onishi, R. Kurose, and S. Komori, 2012: Turbulence effect on cloud radiation.Phys. Rev. Lett., doi:10.1103/PhysRevLett.108.224502.

Onishi, R., Y. Baba, and K. Takahashi, 2011; Large-scale forcing with less communication in finite-difference simulations of stationary isotropic turbulence. J. Comp. phys., 230, 4088-4099.

③－4. 高解像度 3 次元大気海洋結合モデルの開発

観測ビッグデータを含む観測データを用いてメソスケール現象をより現実的に再現する数値実験の事例を増やすために、依然、困難な課題であると認識されている台風強度の予測に着目した。予測精度に大きな影響を及ぼす多様な物理過程と相互作用の一つとして、観測データから示唆されている「大気によって海洋に生ずる運動や水温変化」を取り入れた大気海洋結合モデルを開発し、そのモデルにより台風をより現実的に再現できることを示した。具体的な成果内容の詳細を以下に示す。

台風強度の予測は依然として困難な課題であると認識されている。その理由として、台風のエネルギー源たる壁雲領域で起きる現象を再現するのに高解像度モデルが必要となること、大気モデル単体では台風通過時に海面水温が低下して台風が弱くなるオーシャン・フィードバック効果が再現されないことなどが挙げられる。これらの問題を解決するため、Ito et al. (2015)では、気象庁非静力学大気モデル NHM に鉛直 1 次元海洋混合層モデルを結合したシステムを開発し、「京」コンピュータを用いた大規模な数値実験によって、台風強度予測性能が著しく高められることを明らかにした。

しかし、台風が非常にゆっくり移動する場合には、エクマン湧昇と呼ばれる 3 次元的な海水の輸送でも海面水温が低下するため、オーシャン・フィードバック効果は鉛直 1 次元モデルでは過小評価されてしまうと考えられている(Yablonsky and Ginis, 2009)。また、黒潮のように 3 次元的な力学によって維持されている海流や東シナ海のように水深が浅い領域に鉛直 1 次元混合層モデルを適用することはあまり適切ではない。

そこで、本研究では、台風と海洋の相互作用をより精緻に再現するべく、NHM と三次元海洋モデル MRI.COM を結合した高解像度 3 次元大気海洋結合モデルの開発を進めてきた。結合システムの構築に当たっては、カップラ JCUP(Arakawa et al. 2011)を用いて、海面応力・短波放射・長波放射・潜熱顕熱フラックス・地表気温・降水を大気モデルから海洋モデルに与え、海洋モデルにより得られた海面水温を大気モデルの下端境界条件として与えている。昨年度末までに、プロトタイプ版が出来上がっていたが、今年度はシステムのさらなる改善・機能追加と現実的な高解像度数値シミュレーションを行った。

現実的な数値シミュレーションの実施にあたっては、沖縄に大きな災害をもたらした 2018 年台風第 24 号をターゲットとした。大気モデル・海洋モデルとも、地図投影法はメルカトル図法とし、水平格

子点間隔は大気モデルで 2.5km(基準緯度 20N において)、海洋モデルで 0.05 度、初期時刻は 2018 年 9 月 22 日 00UTC とした。数値計算の結果、大気単体のモデルでは台風の強度を過発達させており、900hPa 程度での沖縄接近を予測していたが(実際は 950hPa 前後)、大気海洋結合モデルでは現実に近い台風強度を再現していた。2018 年台風第 24 号は沖縄の南海上にいる 9 月 25 日から 27 日にかけて、非常にゆっくり移動しており、海面水温が進行方向右側後方を中心に最大で約 7℃低下していた(図 A-37)。このことから、結合モデルでは台風通過に伴う水温低下とオーシャン・フィードバックが適切に再現されたと考えられる。

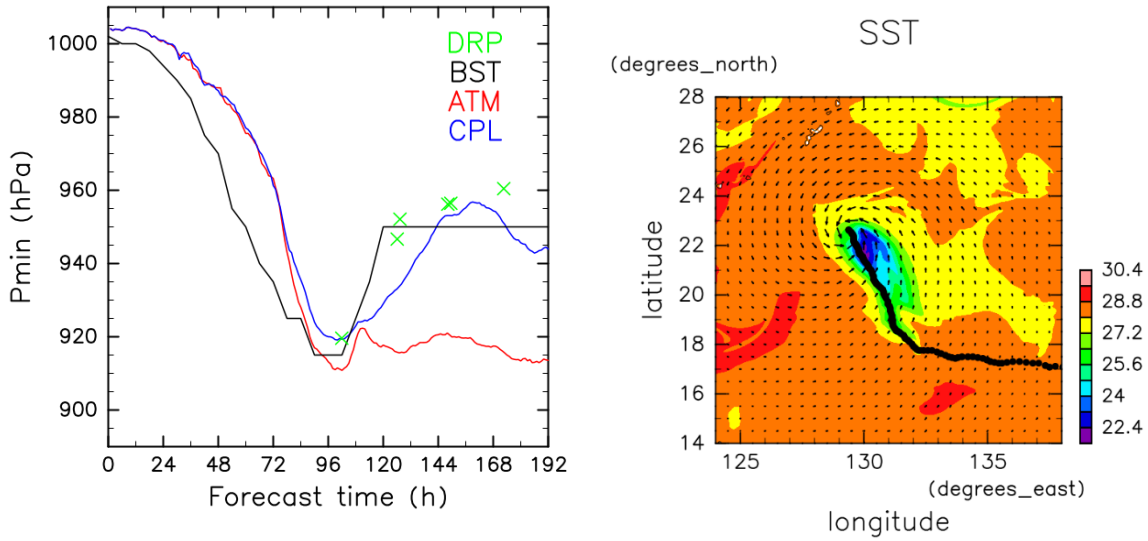


図 A-37：左）2018 年台風第 24 号の中心気圧。黒が気象庁ベストトラック、赤が大気単体モデル、青が大気海洋結合モデル、緑が航空機観測により得られた値である。（右）結合モデルを用いて得られた 27 日 00UTC における海面水温の分布。黒い点は台風の中心位置の軌跡を表している。

参考文献

Arakawa, T., H. Yoshimura, F. Saito, K. Ogochi, 2011: Data exchange algorithm and software design of KAKUSHIN coupler Jcup. Proceedings of the International Conference on Computational Science, ICCS 2011, Nanyang Technological University, Singapore, 1-3 June, 2011

Ito, K., T. Kuroda, K. Saito and A. Wada, 2015: Forecasting a large number of tropical cyclone intensities around Japan using a high-resolution atmosphere-ocean coupled model, Wea. Fore., 30(3), 793-808, doi:10.1175/WAF-D-14-00034.1.

Yablonsky, R., and I. Ginis, 2009: Limitation of one-dimensional ocean models for coupled hurricane-ocean model forecasts. Mon. Wea. Rev., 137, 4410-4419, doi:10.1175/ 2009MWR2863.1.

④ 気象データマイニング局地的突風解析システムによる被害レベル推定（目標 4）

④−1. 2012 年つくば竜巻における建築物の被災推定と要因分析

本年度は昨年度までに開発した局地的突風解析システムを 2012 年つくば竜巻での突風事例に適用し、建築物に発生した実被害の発生要因を明らかにした。

まず気象研において得られた最小空間解像度 10m の NHM モデルの解析事例に対して風速場・温度場に高周波変動成分を付加するために、NHM モデルの解を用いた融合解析を実施し、BCM-LES の解析で用いる初期条件、境界条件を整備したうえで、BCM-LES を実施し、建築物周りの風速場・圧力場の構造を明らかにし、非定常に発生する風速のピーク特性と被害の発生要因に関する考察を行った。

図 A-38 は実市街地における解析によって得られた最大瞬間風速（3 秒平均）と最大瞬間圧力降下量（1 秒平均）の分布である。対象地区についてはすでに実被害状況に基づく強風被災度ランクが示されており、実被害データとの比較を行った。その結果、強風被災度ランク 4、 5 の被害に着目すると、計算値でもそれぞれの代表値（75m/s、65m/s）の前後で多くの被害が位置すること、中心から少し離れた位置において局所的に風速が高くなっている場所で、実際に被害が発生していることが確認される。また圧力降下値の分布に着目すると、55hPa 以上の負圧が連続し、80hPa を超える点が断続的に存在していること、竜巻の中心が揺動し、竜巻の中心以外でも、経路外側の建物群に引っ張られるように負圧領域が伸びていることが確認された。

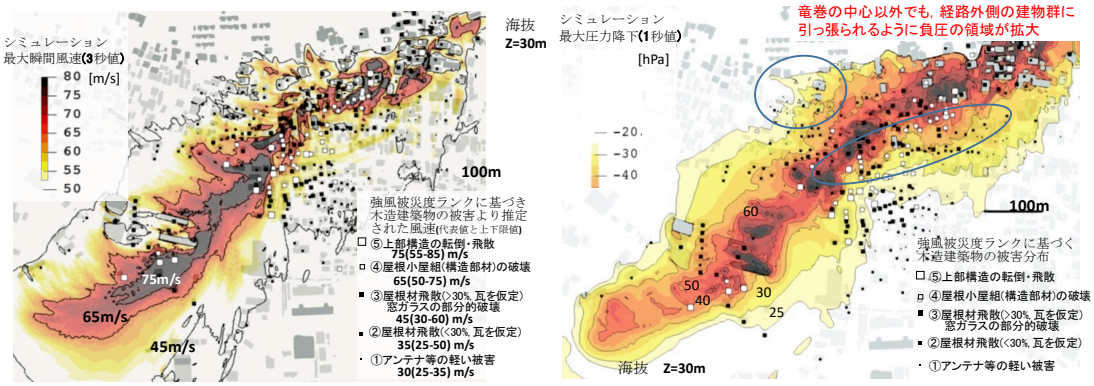
次に個々の建物に対して、竜巻による被災要因や建物の上部構造や外装材の破壊プロセスを分析した。図 A-39 は木造住宅の上部構造の被災要因の分析結果である。本研究では住宅に対して鉛直上向きに作用する風力、重力、転倒モーメント等を BCM-LES によって得られた風圧力分布から算出し、それぞれの力やモーメントの時系列変化を示したうえで、各シナリオにおける破壊のプロセスの推定を行っている。その結果、実際に上部構造が破損した図 A-39 の建物では①の崩壊シナリオがわずかに早く先行するが、シナリオ②のモーメントが設計値を上回る継続時間が長く、実被害より転倒モーメントによる柱脚部の崩壊が支配的と考えられるとの結論を得た。

最後に、図 A-40 に、実建物周りの圧力場の分布と実際の被害事例との対応、破壊プロセスの推定を示す。本研究では実際に被害のあった集合住宅を対象とし、竜巻通過時の建物の表面圧力分布の時間変化を確認した。その結果、竜巻通過時における外装材の破損プロセスとして、後流側に極大な負圧が作用しガラスが破損することに伴う室内圧の低下により風上側のガラスが破損することを確認した。

参考文献

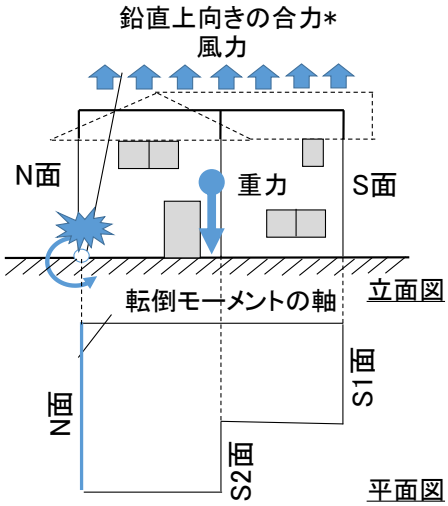
1) 国土技術政策総合研究所資料 No.703, 建築研究資料 No.141, 2013 年
2) Mashiko, W., 2016a. A numerical study of the 6 May 2012 Tsukuba City supercell tornado. Part I: vorticity sources of low-level and midlevel mesocyclones. Monthly Weather Review 144 (3), 1069-1092.
3) Mashiko, W., 2016b. A numerical study of the 6 May 2012 Tsukuba City supercell tornado. Part II: mechanism of tornadogenesis. Monthly Weather Review 144 (9), 3077-3098.
4) Mashiko, W., Niino, H., 2017. Super high-resolution simulation of the 6 May 2012 Tsukuba supercell tornado: near-surface structure and its evolution. Scientific Online Letters on

the Atmosphere 13, 135-139.



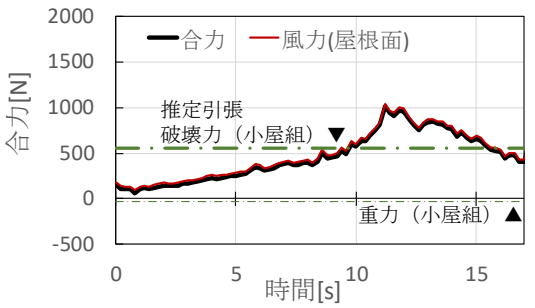
(a)住宅地内の最大瞬間風速（**3**秒平均）の分布　　**(b)**住宅地内の最大瞬間圧力降下量（**1**秒平均）の分布

図 A-38　局地的突風解析システムによって得られた地表近傍の実市街地、実建物周りの圧力場の分布と実際の被害事例との対応（2012 年つくば竜巻）

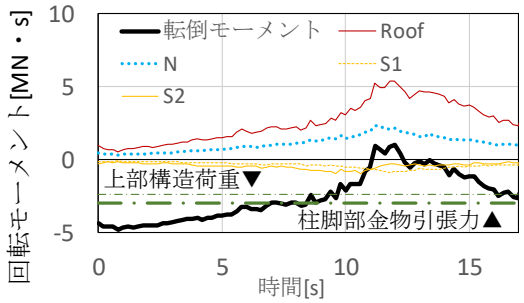


国総研による報告で示された方法に基づき3つのシナリオを想定し
上部構造の飛散の要因を分析

(a)住宅での崩壊シナリオの検討と構造モデルの概念図



(b)シナリオ例①:鉛直上向きの合力で小屋組みが飛散



(c)シナリオ例②:転倒モーメントにより柱脚部が崩壊

図 A-39：木造住宅の上部構造の飛散要因の分析

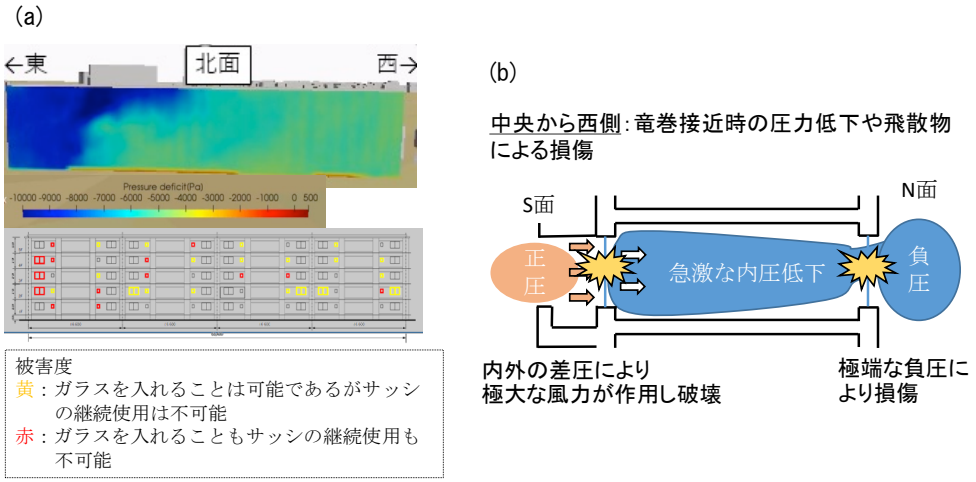


図 A-40：実建物周りの圧力場の分布と実際の被害事例との対応、破壊プロセスの推定。 (a) 本研究で求めた実建物回りの圧力分布と実際の被害事例の対応。青いほど負圧力が大きく、そこでは被害の程度が大きくサッシの継続使用が不可能になっている。(b)集合住宅での外装材の破壊プロセスの推定。(a)でどのように負圧力が生じたかを示している。

④－2. 2018 年台風 21 号の大阪市街地における建築物の被災推定と要因分析

本年度は 2018 年台風 21 号の事例において NHM による最小空間解像度 50m の解析を実施し（解析結果は気象研益子氏より提供)、台風時の上空での気象場に基づく乱流構造を明らかにしている。図 A-41 は NHM の Domain3 における風速場の乱流構造であり、大阪府付近での台風通過時における風速の鉛直構造や地表面近傍の微細なストリーク状の構造などが明瞭に再現されていることが確認できる。

また、図 A-42 は台風の通過時における NHM 解析結果と大阪灯台における観測結果との対応である。大阪灯台の観測結果は 13 時以降が欠測となっているものの、台風接近時における風速の変化がおおむね対応していることが確認できる。

このようにして得られた気象場については昨年までに開発された、局地突風解析システムにおいて融合解析が実施され、高周波な変動成分が付加されたのちに、BCM-LES（コード名：CUBE）に接続されている。図 A-43 は BCM-LES により導入された上空の乱流構造と地表近傍における建物周りの乱流構造である。本解析では上空の気象場の変動に基づく乱流構造が導入されていることから、地表面の建物群に基づく乱流に加えて、上空に変動スケールの大きな変動場が導入されていることが確認できる。

次に、以上のようにして得られた BCM-LES の解に基づき、建築基準法で想定する風速と計算値の比較を行った。図 A-44 は建築基準法で想定する風速と計算での最大瞬間風速の分布を示している。図 A-44(a)では建築基準法の告示（図中「基準法告示 III」）や日本建築学会荷重指針（図中「AIJ (IV, 50y)」）と比較して、高さ 100m 以下の領域については市街地の不均一な粗度に基づいて速度が欠損している一方で、上空では、地表面の粗度条件の違いや前方の高層建築物に基づいて発生するせん断層により速度が告示等の基準値よりも大きくなることが確認された。また図 A-44(b)の最大瞬間風速に着目すると、実際に被害が発生した位置では解析中においても、ほとんどの場合で局所的な高風速が推定された。

また、図 A-45 は局地的突風解析システムによって得られた地表近傍の実市街地、実建物周りの圧力場の分布と実際の被害事例との対応を示している。対象建物は実際に被害が報告された建物①と周辺の高層建築物である建物②、建物③である。図 A-45(a)は建物に作用した最大瞬間圧力分布であり、ど

の建物も風上側の面のよどみ点付近に圧力の高い箇所が分布する様子が確認できる。また建物②、建物③に着目すると建物の隅角部により極大な負圧が発生しており、隅角部付近で局所的に設計値を超える圧力が出ていることが図 A-45(b)より確認された。実被害のあった建物①については、建物②、建物③に比べて圧力は小さいが、前方の建物からの剥離せん断層の影響を受けることが、風速の最大値の分布より示唆されており、局所的に風圧力が大きくなっている。この局所的に風圧力が大きな箇所については、実被害で窓のサッシの脱落があった個所と一致している。しかしながら図 A-45(b)において計算での風圧力と設計値の比率 r の分布が示しているように、建物①での風圧のレベルは設計値と比べると 4 割程度にとどまっている。建物①については実被害から飛散物ではなく風圧力によるガラスの損傷、サッシの脱落が示唆されていることから、サッシの脱落要因については、気象擾乱の再現性や建物の施工状況、ピーク風圧を発生させる乱流特性等様々な側面から今後検証が必要であると考えられる。

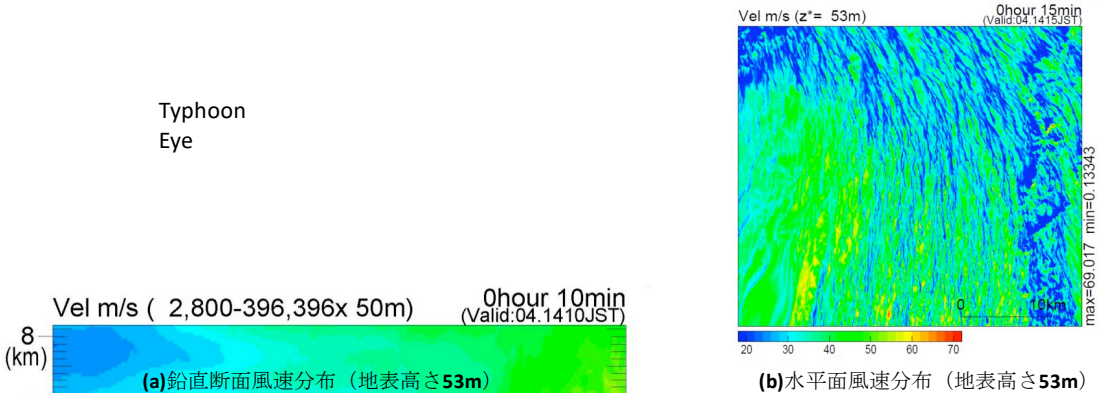
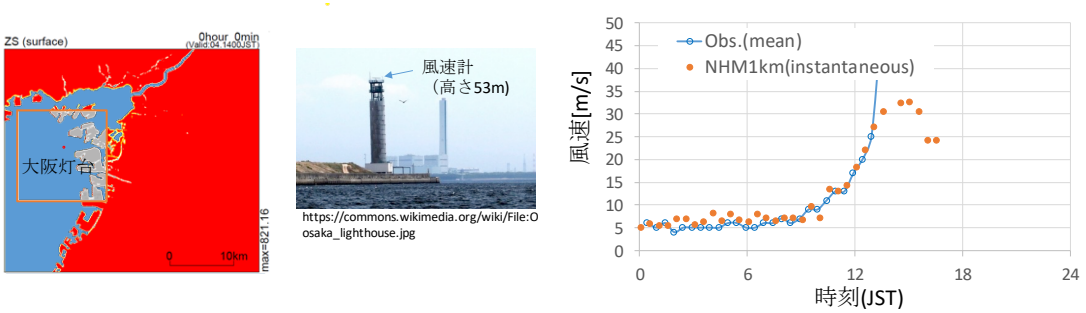


図 A-41：NHM により再現された 2018 年台風 21 号の上空の乱流構造



(a)大阪灯台（観測地点）の位置　　(b)観測データとNHMによる解析結果の比較

図 A-42：2018 年台風 21 号通過時における気象モデルによる解析結果と観測結果の対応

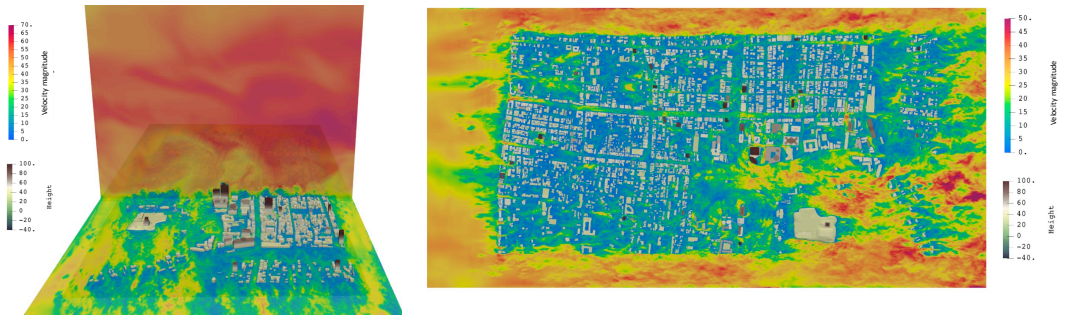
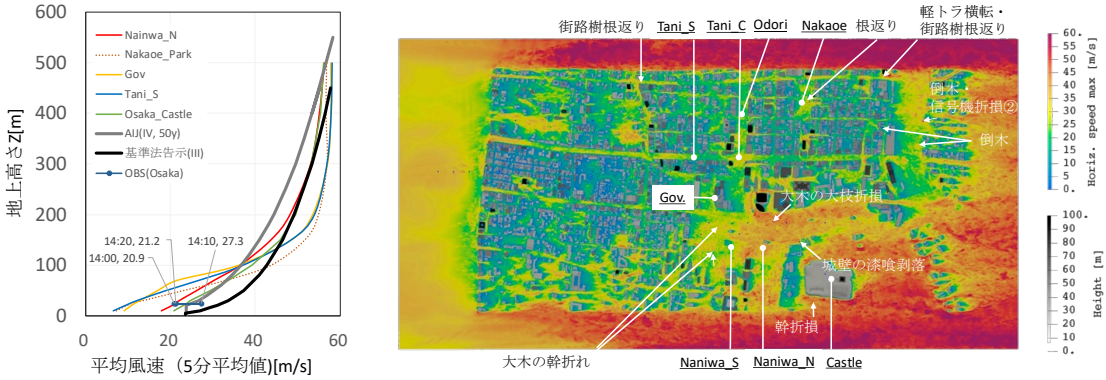


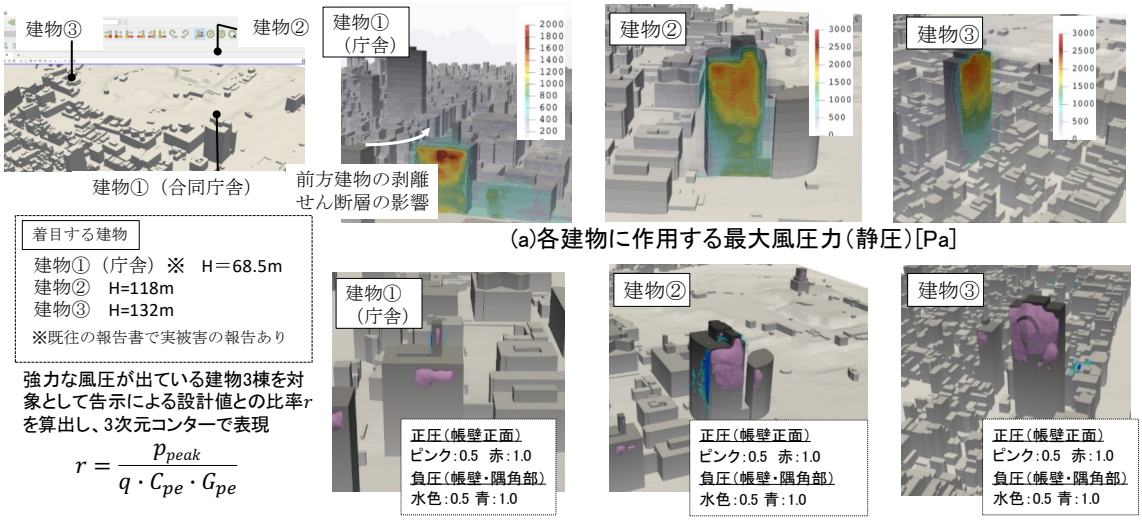
図 A-43：BCM-LES により導入された上空の乱流構造と地表近傍における建物周りの乱流構造



(a)建築基準法で想定する風速と計算値の比較
（平均風速の鉛直プロファイル）

(b)海抜Z=27m(地表上約10m)における最大瞬間風速分布(5分間)

図 A-44：建築基準法で想定する風速と計算値の比較と計算での最大瞬間風速分布



(a)各建物に作用する最大風圧力(静圧)[Pa]

(b)告示(建築基準法)による設計値との比率r

図 A-45：局地的突風解析システムによって得られた地表近傍の実市街地、実建物周りの圧力場の分布と実際の被害事例との対応（2018 年台風 21 号）

参考文献

1） 建築物荷重指針・同解説 2015， 日本建築学会， 2015

2） 平成 30 年台風 21 号による強風・高潮災害の総合研究成果報告会資料

④－3. 構造物まわりの乱流場と作用する風圧力の不確実性の定量化とメタモデルの構築

数値流体力学（CFD）に基づく建築物の風圧力の推定は可能になりつつあるが、現実の風環境や CFD のパラメータには不確実性が内在しており、経験的に決定された安全率等を用いた従来の設計法に対して、統計的な根拠を提示し、現状の設計の信頼性・ロバスト性を向上させることは課題である。ポスト京といったスーパーコンピュータの将来像を描く本プロジェクトにおいては、これまで大自由度での計算により、圧倒的に高精度の計算結果を示すことでスーパーコンピュータの有用性を強調してきたが、最近では、AI 分野での新しいアイデアの展開がスーパーコンピュータでの新たな方向性として示されてきている。その意味で、データサイエンスの視点を取り入れ、不確実性が系統的に定量化できれば、安全率を低減することが可能となり、工学的な意義は極めて高い。また、極めて多様な物理事象を一般化してその本質を捉えるには、reduced-order model などのメタモデルの構築が有効である。一般化された非定常事象から最大瞬間風速あるいはピーク風圧を求めれば、その発生根拠となる構造、すなわち物理機構を捉えることが可能である。

なお、今回の分析は、得られた高精度計算結果において、各種物理量の空間的な瞬間値を細かいタイムステップで変動を把握できるまでの継続時間のデータとして、また、複数のパラメータ毎（上記の問題においては、隅角部、風向、レイノルズ数のそれぞれを 3 種類、合計 27 ケース）にまとめたデータとして記録する必要があり、こういった AI 関連の問題においては、大メモリー、大ディスク容量のデータに対し早いアクセス機能を有するポスト処理用の計算性能（あるいは専用機）が不可欠になり、こういったビッグデータの格納と迅速な分析実施空間への展開が将来のスーパーコンピューティングに新しい課題となる。

本研究では下記の 2 つのアプローチから、構造物に作用する風圧力の不確実性の定量化あるいはメタモデルの構築を試みた。

(a) 複数の事例を対象とした不確実性の定量化手法に基づく風圧力のばらつき評価と空力的パラメータが決める空力特性への鋭敏性の評価

本研究では、まず、建築物の空力特性における不確定性の大きさを把握し、流入条件の不確定性が、空力特性に及ぼす影響を確認するための試行として、二次元角柱を対象とした不確定性の定量化を行った。不確定性の定量化には多項式カオス近似を採用し、各パラメーター（隅角部の曲面、風向角等）に対するばらつきの幅や Sobol 係数等の算出を行い、それぞれのパラメータがばらつきに及ぼす影響を定量的に示した。こういった不確定性の分析にはサンプル数の影響も重要であることから条件を変化させて分析結果を考察している。図 A-46 は 2 次元角柱を対象とした不確実性の定量化例である。対象の角柱では、図 A-46 の左上の図のように CD 面において平均風圧のばらつきが大きいことが確認できる。図 A-46 の右図は風向角 13 度における流速コンターであり、レイノルズ数に依存して二次渦の位置が変化しており、レイノルズ数に応じて流れのパターンが大きく変化することがわかる。それに対応して CD 面の Sobol 係数もレイノルズ数に対して影響が強くなっていることを確認した。

これらの議論から、本研究で導入した多項式カオスは、角度が 13° 付近でおこる風向角やレイノルズ数の違い等に基づく流体現象の変化をとらえることができており、不確定性定量化手法として有効であることを確認した。

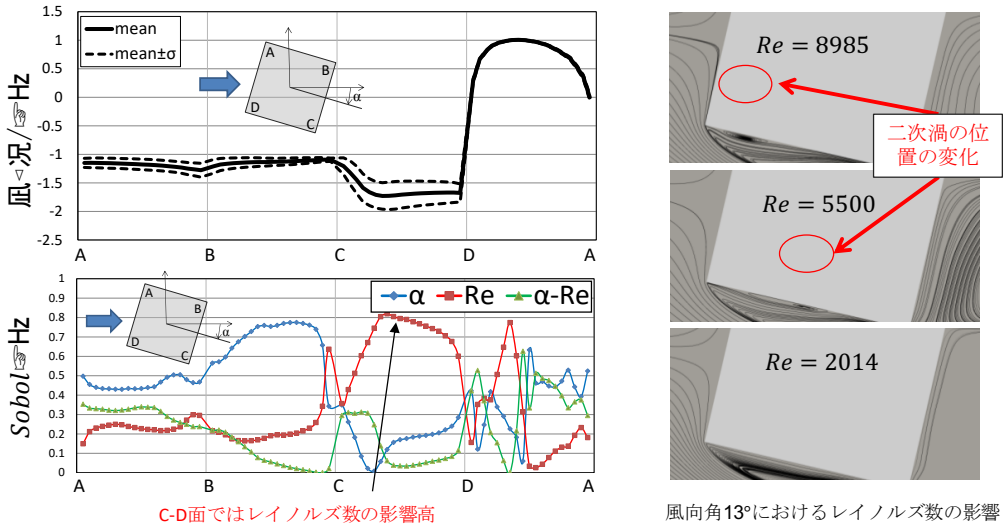


図 A-46：2 次元角柱を対象とした不確実性の定量化例（ばらつき，Sobol 係数）

(b) データサイエンスに基づく主成分分析による構造物の被災要因分析

次に、被災構造物へのインパクトを高精度に把握するために、構造物まわりの流れ場・圧力場に対しデータサイエンスに基づく主成分分析を実施し、構造物の空力特性に支配的な影響を及ぼす後流の渦のモードを解明する手法を構築した。ここで示す分析例は、以下のとおりである。

○低レイノルズ数の円柱まわりの流れ

カルマン渦が発生し、明解な周期的組織構造を示す。

○高レイノルズ数の角柱まわりの流れ

カルマン渦に細かい風速変動（乱れ）が重なった組織構造を示す。

○ブロックで再現した都市域上空の乱流

ブロック直上に縦渦型の組織構造が形成される。

これらの流れ場に対し、メタモデルを構築し、一般的な変動性状を提示する。その分析から最大瞬間風速あるいはピーク風圧の発生機構を明らかにすることができる。また、オリジナルモデルの解が十分にある場合、その統計的処理により、一般化された統計的特性を提示することが可能である。

本研究では主成分分析を行う方法として固有直交分解に基づいてより少ない行列の要素で固有値問題を解くことが可能な Snapshot POD 法と、特異値分解に基づいて流れ場の動的な情報に対応するモードの抽出を行う解析法である DMD 法による主成分分析法を構築した。構築した手法は、既往のデータベースで示されている円柱解析の結果に適用し、その妥当性を検証した。図 A-47 は円柱解析の結果を用いた Snapshot POD 法に基づく渦度（ω_y：y はスパン方向）に関する主成分分析の結果である。モード 1～6 では円柱のスケールに相当するスケールの大きな渦が出現しており、この 6 つのモードでデータのエネルギー値の約 90%以上を占める（図 A-47 右図）。この情報は、必要モードの選定においてその根拠を示すことになる。一方、主要なモードを用いて Reduced order model を構築した図を図 A-48 に示す。主要な 6 モードを用いて再現した渦度の分布では渦が過大になったり、非物理的な渦が存在するものの、20 モード（全データは 151 モード）で DNS の主要な渦構造が再現されていることが確認できる。

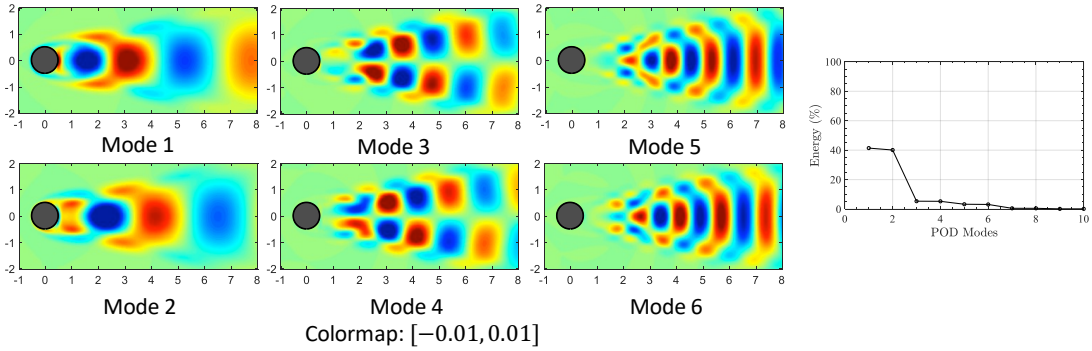


図 A-47：円柱解析の結果を用いた snapshot POD 法に基づく主要モードの抽出と
各モードにおけるデータのエネルギー値

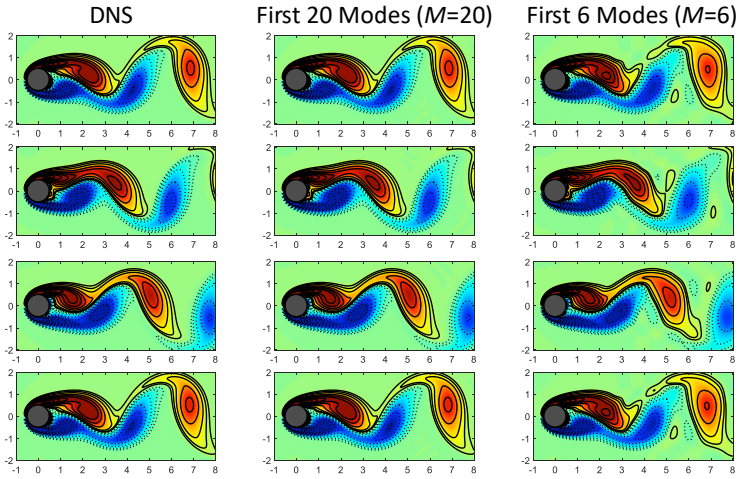


図 A-48：主要なモードを用いた Reduced order model の構築

さらに、構築した Snapshot POD 法については構造物周りの流れ場・圧力場への適用として高レイノルズ数の角柱周りの流れ場や、都市を対象にした流れ場に適用し、流れ場の構造を支配する、支配的な乱流構造の抽出を試みる。

まず、構造物単体の周りの流れ場はこれまでに得られた超高解像度、高レイノルズ数の角柱周りの流れ場（全 271 スナップショット）に適用し、主要モードの抽出と Reduced order model の構築を試みた。

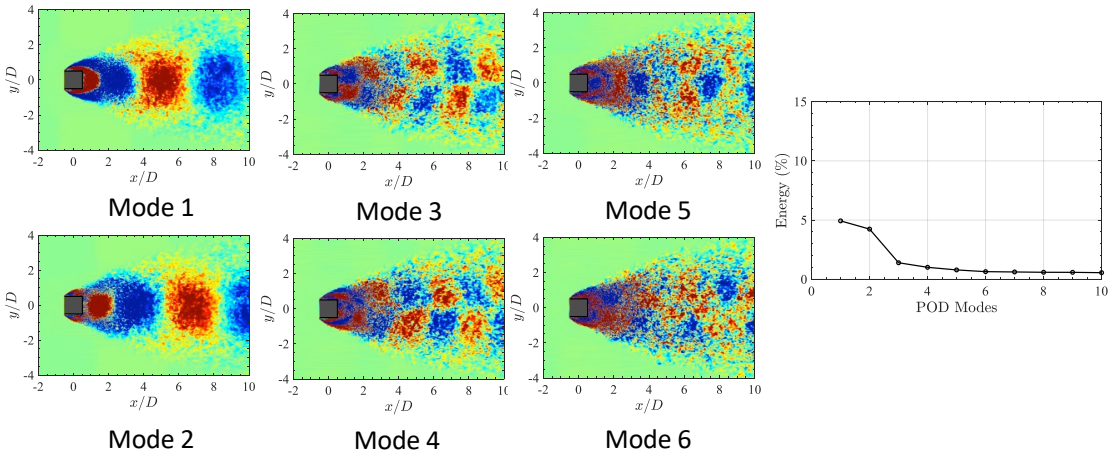


図 A-49：Snapshot 法による主要モードの抽出と各モードにおけるデータのエネルギー値

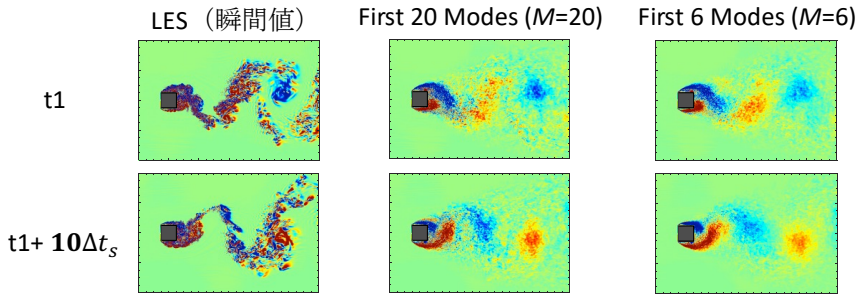


図 A-50：構築した Reduced order model と LES 解析結果の比較（角柱周りの流れ場）

図 A-49 は角柱周りの流れにおける主要モードを示す図である。Mode1-6 では先に示した円柱と同様なスケールの大きな構造が確認できるが渦の構造が明瞭ではなく、Mode1-6 のデータのエネルギー値についても円柱の 6 分の 1 以下にとどまっている。また、図 A-50 に示す Reduced order model についても 20 モードを用いたケースではカルマン渦に相当する大きな渦の渦度の大小が大まかに再現されているものの、微細な乱流構造については再現されていない。こういった非組織構造（incoherent structure)、場合によっては、削除すべき contamination の取り扱いについては、高レイノルズ数の複雑に構成された渦構造もしくはデータのサンプリングの影響が示唆され、この点は今後の課題である。

次に、強風時の都市における流れ場に対する snapshot POD 法の適用を試みる。対象は立方体が並ぶブロック群で模擬された都市である。図 A-51 はブロック群上に形成された、乱流構造として渦の同定手法の一つである Q 定義に基づく等値面（色は x 方向の渦度）で表現されたもので、元データに基づく可視化図である。都市の流れではブロックの上部にヘアピン状の渦が形成され、建物直上の高さにおいては主流方向に伸びる縦渦が確認できる。

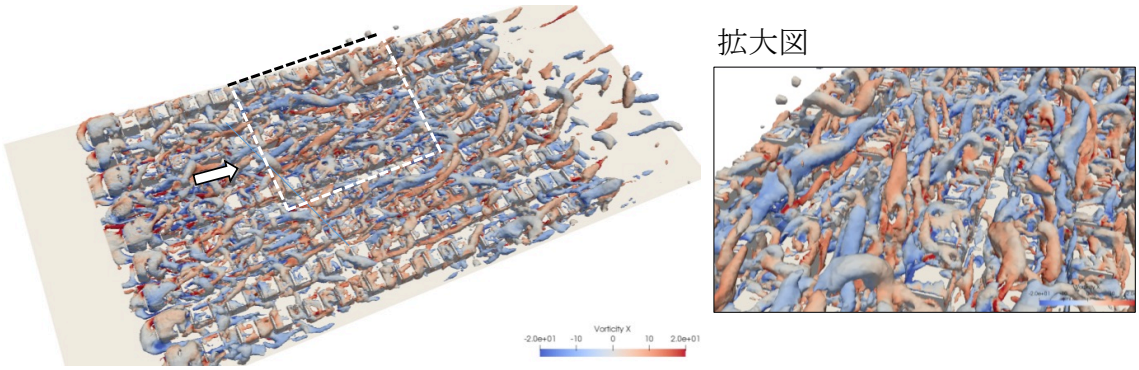


図 A-51：ブロック群上部に形成される渦構造

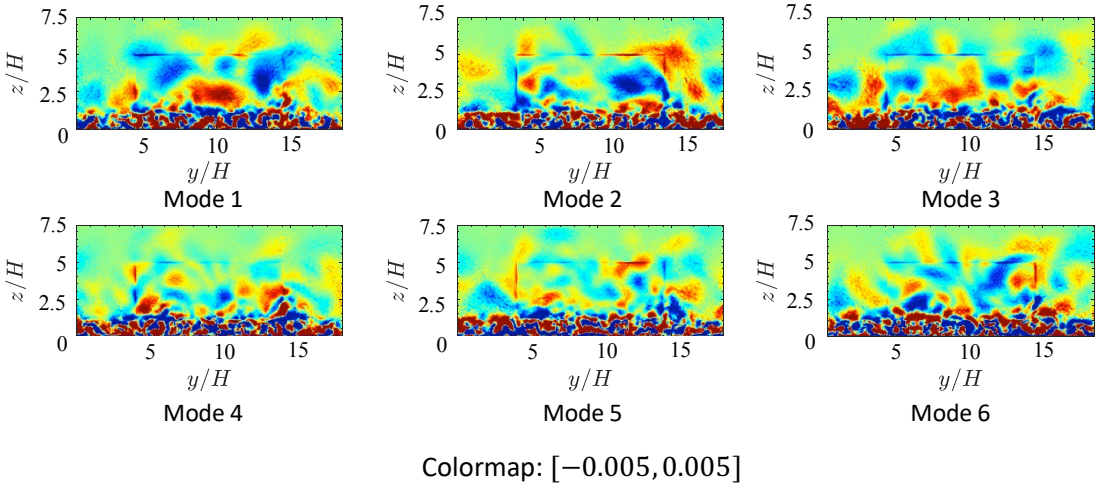


図 A-52： Snapshot POD 法による yz 断面における主要モードの抽出（ω_x成分）

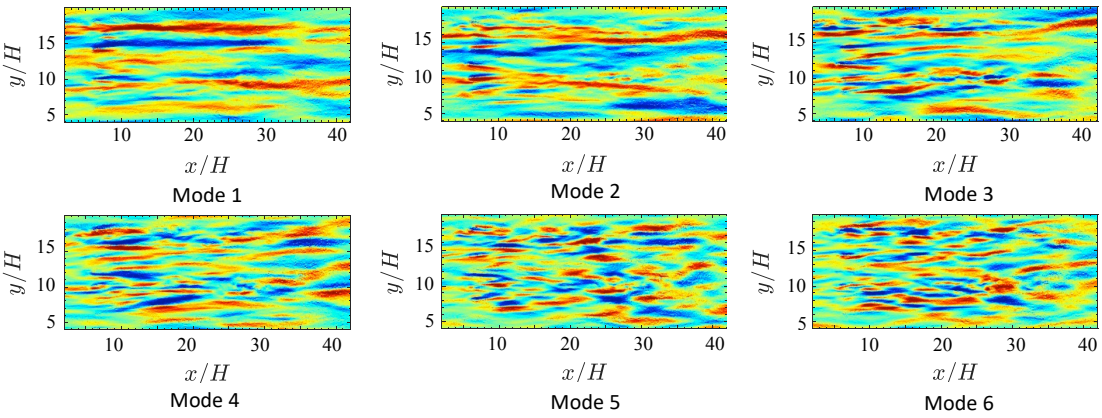


図 A-53：Snapshot POD 法による水平断面における主要モードの抽出

（ω_z成分, $z/H = 1.5$）

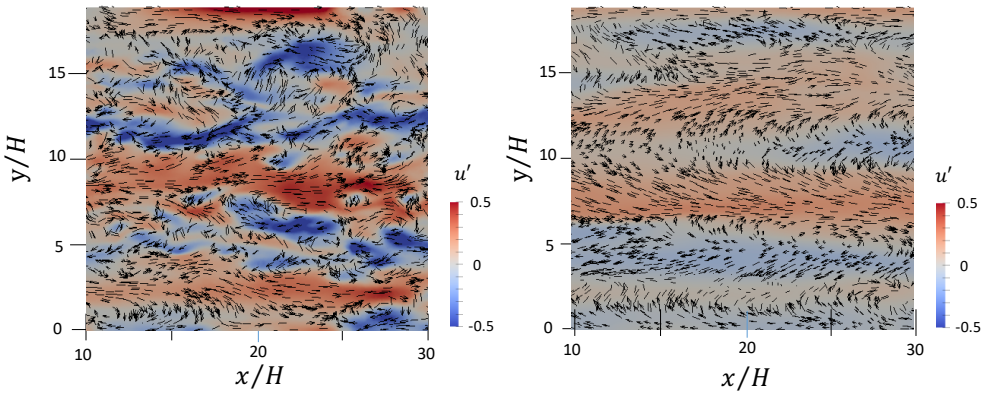


図 A-54：風速の変動値u'の水平断面
（矢印は風速変動値のu'，v'成分に基づくベクトル）

このような渦構造に対して x 方向断面（yz）の渦度ω_xをサンプリングし、渦度により Snapshot POD 法を適用したものが図 A-52 である。図 A-52 では第 1～6 モードの主要モードにおいてブロックの直上にそれぞれ、渦度がそれぞれω_x>0、ω_x<0 となるような細かい構造が出現している。また z/H>1.5 以上の上空にはブロックサイズの 5 倍以上の大きさを持つ縦渦状の乱流構造が存在することが確認できる。

図 A-53 にはブロックの直上 z/H＝1.5 の水平断面におけるω_zの主要 6 モードの分布を示す。また、図 A-54 には風速の変動値 u’の水平断面（z/H＝1.5, 4）を示す。図 A-54(i)の分布ではブロックの上部に細かい低速領域が出ている。この低速領域は揺動しながら細長い構造を持っていることから、スパン方向にブロック高さの 2～3 倍程度、主流方向に 5 倍程度の比較的小さいサイズとなっている。一方で図 A-53 に示されるω_zの主要 6 モードの分布を確認すると第 1、第 2 モードでは u’より幅が広く（ブロック高さの 5 倍程度）、細長い構造がより支配的なことが確認できる。この構造は図 A-54(ii)に示すようなより上空の乱流構造と対応する。一方で第 5、第 6 モードでは図 A-54(i)の構造に比較的近いスケールの構造となっている。

以上から、都市流れにおいて Snapshot POD を適用した際にはブロック群上部に出現する速度の低い領域に対応したスケールの小さい乱流構造（ブロック高さの 2～3 倍程度、主流方向に 5 倍程度）と上空によりスケールの大きな縦渦状の乱流構造が出現することが確認できる。さらに、水平面の分析結果より、ブロック直上の z/H＝1.5 の渦度のエネルギーに対しては前者より後者に近いスケールの構造が支配的となっており、上空の乱流構造の影響が示唆される。このように得られた都市上空の各高さで示される組織構造の時間変化のデータを用いてブロック状の構造物に作用するピーク風圧とその周辺の最大瞬間風速の発生の挙動を分析することで、高風速流体塊のブロック群への降下と屋根面に沿った移流などの挙動から、構造物の強風・突風による被災要因を考察することができた。

なお、本節では、都市・建築で発生する強風・突風災害に対して、都市キャノピーでの強風・突風の乱流構造を明らかにすることをめざし、建築構造物に作用するインパクトとして、最大瞬間風速とピーク風圧の特性を把握することで、耐風安全性を担保することを目標としている。そのために、近年頻発している極端気象下での台風などの事象と被災例を対象にデータサイエンスの視点から、データ分析を試みた。その特徴としては、多数ある台風情報をもとに都市キャノピーで発生する様々な台風の乱流

構造と建物に作用する風力の不確定性を明らかにし、普遍的な一般的特性とそれからのばらつきを解明することである。ここでは、前節で基本的な形状（角柱）を対象にしながら、様々な空力的パラメータ（風向、レイノルズ数など）のもと空力特性の鋭敏性を解釈することから不確定性を把握し、結果としてのばらつきを提示している。もう一つの方向は、都市キャノピーの乱流構造に対して、ブロック群で再現した都市モデルにおける乱流の reduced order model を求めて、特徴的な挙動と因果性の高いモードの時空間挙動を解析し、特徴的挙動、例えば最大瞬間風速、ピーク風速が発生する物理的機構を明らかにすることである。本節の成果としては、被災要因を明らかにするための reduced order model の再構築が実践された。

(c) 実都市を対象とした台風下の乱流構造のメタモデルの作成

(b)でその有効性が確認された reduced order model に基づいたメタモデルの構築について、解析手法を実都市の強風事象に適用し、強風発生の主な要因となる乱流構造を抽出する。解析対象は 2018 年の台風 21 号で NHM の解析結果に局地的突風解析システムを適用し、大阪の中心市街地の建物を解像した CUBE により地表近傍の乱流場を再現している。メタモデルの作成には以上から解析した結果のうち、台風の最接近時の約 5 分間（データサンプリング間隔：2 秒）を対象とした地上高さ 100m の水平面の流速データ（151 ステップ）に基づき鉛直方向の渦度を算出したうえで、Snapshot POD 法を適用し、主要なモードの合成により Reduced order model の再構築を試みた。

図 A-55 は Snapshot POD 法に基づく第 1 モードから第 4 モードの基底を示している。Model では高層建築物の後流域に発生する構造が確認できる。この構造に加えて Model では台風での気象場に基づく主流方向に長い乱流構造が存在している。特に対象とする時間帯では風向が y 軸方向からやや傾いており、地上高さ 100m での渦度の形成において上空の気象場に基づく乱流構造の関与が示唆されている。

次に図 A-56 において Snapshot POD 法による Reduced order model の構築結果を示す。主要 6 モードでのモデルでは気象場のロール構造に起因する細長い構造と高層建築物の後流域に形成される低速の構造のみが主に抽出されているが、主要 20 モードでは、解析対象の LES の結果で再現された渦度の分布と同スケールの細かな構造まで導入されていることが確認できる。

以上の結果は、(b)の角柱の結果と同様に、非組織構造（incoherent structure）や削除すべき contamination を含んだ構造がみられるものの、(c)のような都市形状に基づく組織構造と上空の気象場の変動が同時に存在するケースにおいても(b)のケースと同様に、被災要因を明らかにするための reduced order model の再構築が実践可能であることを示している。

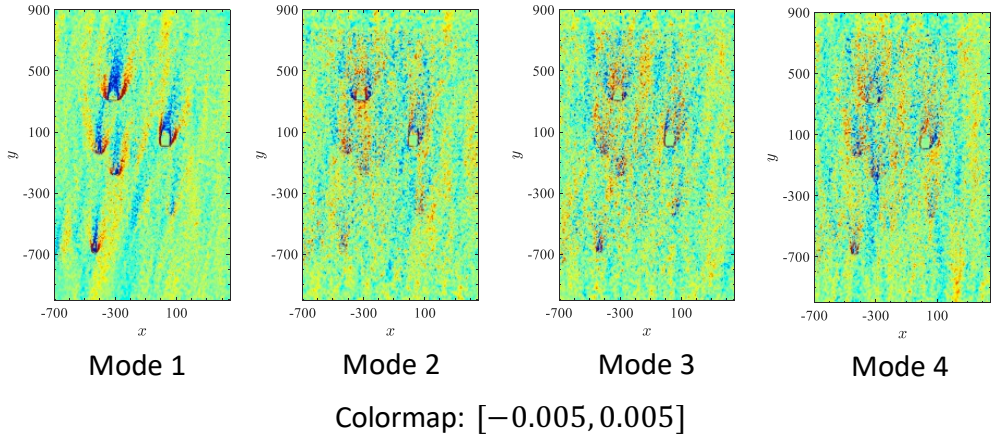


図 A-55：Snapshot POD 法による水平断面における主要モードの抽出
（ω_z成分，地上高さ 100m）

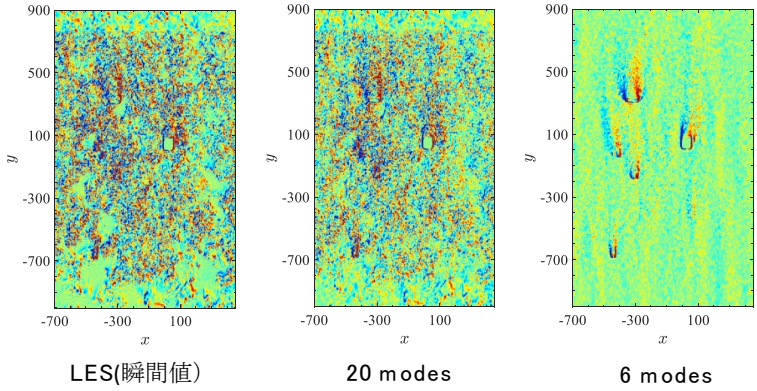


図 A-56：Snapshot POD 法による Reduced order model の構築
（ω_z成分、地上高さ 100m）

④−4. 2019 年台風 19 号の気象モデルのアンサンブル予報結果の被災評価への活用

④−2 では、2018 年台風 21 号通過時の大阪市街地における建築物の被災推定と要因分析を行い、竜巻で開発した局地的突風解析システムが台風の強風にも有効であることを示した。これらの解析は 1 つの予測(決定論的予報)を用いたもので、親モデルである気象モデルの解析誤差は考慮されていない。ここでは 2019 年に関東平野を通過した台風 15 号や台風 19 号に注目し、誤差範囲内にある複数の気象モデルのアンサンブル予報を行い、それらの予測値を「局地的突風解析システム」に適用することにより、台風通過時の上空の乱流構造、そして地表近くの強風に着目することで建築物への被害にどれほどのばらつきが生じるかを調べる。期待される具体的な成果は、アンサンブル予報を用いることにより、都市・建築に対する気象擾乱の入力に関して確率情報を含んだデータが生成され、そのデータを「局地的突風解析システム」に境界条件として導入することで、都市・建築の被災レベルの評価においても、

データサイエンスに基づく評価法（固有値解析を利用した縮約モデルの作成、不確定性定量化、モデル再現性と解の確率的評価）を適用して、確率的な特性を明らかにするとともに被災レベルとその変動を効率的に把握するための系統的な分析が進められることである。さらに都市を対象とした流れ場への主成分分析手法の適用により、強風を発生させる支配的な乱流構造の存在を確認し、最大瞬間風速ならびにピーク風圧の発生機構を明らかにできる。

本報告では上記の第一段階として、気象モデルによる 2018 年台風 19 号のアンサンブル予報の結果を、可視化技術を駆使して物理機構を推定するとともに統計的に分析して、データサイエンスによる評価手法に適用するデータとして適用性を確認した。データが膨大になるため、分析しやすい形で整備した。図 A-57(a)は、50 メンバーの NHM-LETKF による 10 月 12 日 18 時のアンサンブル平均の降水分布(色域)、海面更正気圧(実線)と水平風(ベクトル)である。台風の中心は実況とほぼ同じ静岡市の南にあり、地上から高度 200m 上空では 44m/s 以上の強風や実況に似た強雨分布が再現されている。殆どのメンバーの台風の中心が 10 km×10 kmの範囲内にあり、中心気圧の分散も 2hPa^2 程度、高度 200m 上空の風速では台風中心の位置のずれや地形に起因して 45m^2/s^2 程度の分散が台風中心付近で見られた(図 A-57(b))。台風の中心位置や気圧の分散から 2018 年台風 19 号のアンサンブル予報はメンバー間のバラツキが小さかったことがわかる。特にバラツキの空間的スケールが小さいことは計算領域を変えずに多数のメンバーの解析が行えることを意味していて、計算領域の狭い「局地的突風解析システム」に適用するのに適切な事例と考えられる。さらに成果報告④-3 ブロック都市の成果を受け、計算モデルの最適化のための条件に配慮しながら、防災上の知見を得るための都市地表近傍における空間モデルの提案を行った。今後、引き続き、アンサンブル予報結果を用いた「局地的突風解析システム」の開発を行う。

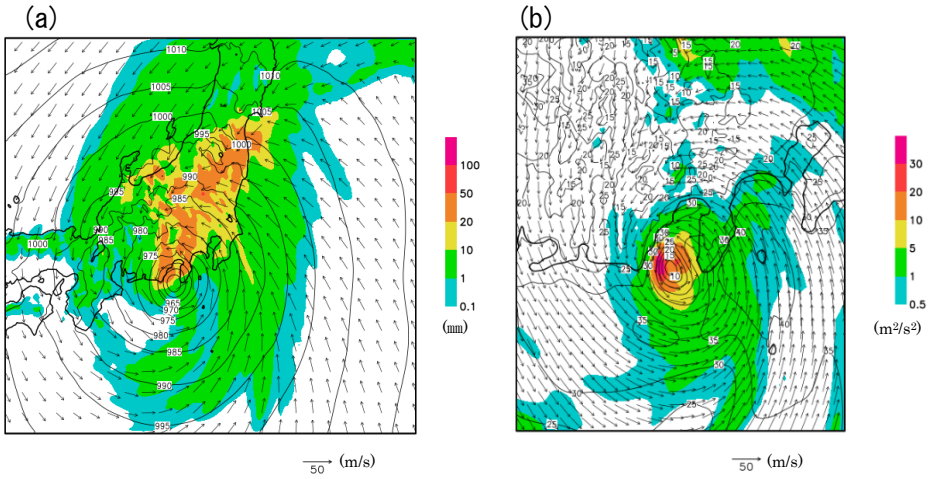


図 A-57：(a)5 km格子の NHM-LETKF で再現した 2019 年台風 19 号の 10 月 12 日 18 時における海面更正気圧(実線)と降水分布(色域)、地上から高度 200m の水平風(ベクトル)。(b)同じ時刻の台風の中心付近の地上から高度 200m の風速の分散(色域)と風速（細い実線)、水平風（ベクトル)。

⑤ 活動内容

⑤−1. 研究会

令和元年度は研究連絡会を 3 回開催し、研究計画や開発の進捗状況などの確認、目標間の意見交換を行った。

第 1 回 研究連絡会

・令和元年 6 月 10 日 10 時 30 分～17 時 15 分 目標 1-2, 4 海洋研究開発機構 東京事務所
・令和元年 6 月 21 日 10 時 30 分～16 時 30 分 目標 1-3 海洋研究開発機構 東京事務所
サブ課題代表者からの経過報告とサブ課題参加者からの進捗や成果報告を行った。

第 2 回 研究連絡会

・令和元年 7 月 10 日 10 時 30 分～17 時 00 分 目標 1-2 海洋研究開発機構 東京事務所
・令和元年 7 月 13 日 10 時 30 分～17 時 15 分 目標 1、3-4 海洋研究開発機構 東京事務所
サブ課題代表者からの経過報告とサブ課題参加者からの進捗や成果報告を行った。

第 3 回 研究連絡会

・令和 2 年 2 月 20 日 10 時 30 分～17 時 30 分 目標 1-2 理研 計算科学研究センター(神戸)
・令和 2 年 2 月 21 日 10 時 30 分～15 時 00 分 目標 3-4 理研 計算科学研究センター(神戸)
サブ課題代表者からの経過報告を行った。

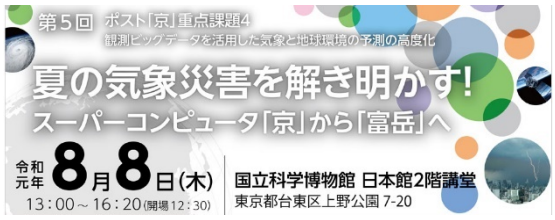
⑤−2. アウトリーチ

第 4 回重点課題 4 成果報告会

・令和 2 年 1 月 31 日 気象庁講堂
・サブ課題 A からは、サブ課題代表者が研究概要の紹介を行い、寺崎（理研 計算科学研究センター)、藤田（気象研)、小林(神戸大)、栃本（東大)、河合（東京工業大学）が最新の成果を紹介した。また、台風の LES 実験、高解像度日本域領域再解析、観測ビッグデータ同化の実験、「京」を用いた豪雨事例、「富岳」に向けた大アンサンブル気象大気予測に関するポスター発表を行った。

第 5 回シンポジウム「夏の気象災害を解き明かす！スーパーコンピュータ 「京」から「富岳」へ」

・令和元年 8 月 8 日
国立科学博物館 日本館 2 階 講堂
・サブ課題 A からは、河合 (東工大)が「これからの強風災害 － 強くなる台風、頻発する竜巻での建築・都市へのインパクトを探る！」という標題で成果の紹介を行った。



(4) 成果リスト

① 論文（査読付き）

Kawabata, T., and G. Ueno, 2020: Non-Gaussian Probability Densities of Convection Initiation and Development Investigated Using a Particle Filter with a Storm-Scale Numerical Weather Prediction Model. Mon. Wea. Rev., 148, 3-20, https://doi.org/10.1175/MWR-D-18-0367.1

Kotsuki, S.(RIKEN), K. Kurosawa(RIKEN), S. Otsuka(RIKEN), K. Terasaki(RIKEN), and T. Miyoshi (RIKEN/JAMSTEC/ UMD), 2019: Global Precipitation Forecasts by Merging Extrapolation-Based Nowcast and Numerical Weather Prediction with Locally Optimized Weights. Wea. Forecasting, 34, 701-714. https://doi.org/10.1175/WAF-D-18-0164.1

Kotsuki S.(RIKEN), Kurosawa K. (RIKEN), and Miyoshi T. (RIKEN), 2019: On the Properties of Ensemble Forecast Sensitivity to Observations. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 145, 1897-1914. https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/qj.3534

Kotsuki, S. (RIKEN/Chiba U/JST), Sato, Y.(Hokkaido U/RIKEN), & Miyoshi, T.(RIKEN/JAMSTEC/UMD), 2020: Data assimilation for climate research: Model parameter estimation of large‐scale condensation scheme. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 125, e2019JD031304. https://doi.org/10.1029/2019JD031304

Amemiya, A., T. Honda and T. Miyoshi, Improving the observation operator for the Phased Array Weather Radar in the SCALE-LETKF system, SOLA, 16 (2020), 6-11, doi:http://dx.doi.org/10.2151/sola.2020-002

Necker, T.(LMU), M. Weissmann(Deutscher Wetterdienst/Universität Wien), Y. Ruckstuhl(LMU), J. Anderson(NCAR), and T. Miyoshi(RIKEN), 2019: Sampling error correction evaluated using a convective-scale 1000-member ensemble. Mon. Wea. Rev., in press. https://doi.org/10.1175/MWR-D-19-0154.1

Saito, K.(AORI), 2019: On the northward ageostrophic winds associated with a tropical cyclone. SOLA, 15, 222-227, https://doi.org/10.2151/sola.2019-040

Duc, L.(JAMSTEC), K. Saito(AORI) and D. Hotta(MRI), 2020: An explanation for the diagonally predominant property of the positive symmetric ensemble transform matrix. J. Meteor. Soc. Japan, in press. https://doi.org/10.2151/jmsj.2020-022

Necker, T.(LMU), S. Geiss(LMU), M. Weissmann(LMU/U of Vienna), J. Ruiz(UBA), T. Miyoshi(RIKEN), G.-Y. Lien(RIKEN/CWB), 2020: A convective-scale 1000-member ensemble simulation and potential applications. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., in press https://doi.org/10.1002/qj.3744

Kobayashi, K., L. Duc, APIP, T. Oizumi and K. Saito, 2020: Ensemble flood simulation for a small dam catchment in Japan using nonhydrostatic model rainfalls. Part 2: Flood forecasting using 1600 member 4D-EnVAR predicted rainfalls. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. (in press)

Tao T.(Tokyo Tech.), T. Tamura (Tokyo Tech.): Numerical Study of the 6 May 2012 Tsukuba Supercell Tornado: Vorticity Sources Responsible for Tornadogenesis, Monthly Weather Review (In press)

Cao Y.(Tokyo Tech.) and T. Tamura(Tokyo tech.): Large-eddy simulation study of Reynolds number effects on the flow around a wall-mounted hemisphere in a boundary layer, Physics of Fluids(Accepted)

Cao Y.(Tokyo Tech.), T. Tamura (Tokyo Tech.), H. Kawai(Tokyo Tech.): Spanwise resolution requirements for the simulation of high-Reynolds-number flows past a square cylinder, Computers & Fluids, 96, 104320, 2020

河合英徳(Tokyo Tech.), 田村哲郎(Tokyo Tech.)：メソ気象モデルにより再現された風速場への高周波変動成分付加方法の提案, 日本建築学会構造系論文集、2020年1月、第85巻、第767号,19-27

Kawaguchi M.(Tokyo Tech.), T. Tamura (Tokyo Tech.),H. Kawai(Tokyo Tech.): Analysis of tornado and near-ground turbulence using a hybrid meteorological model/engineering LES method, International Journal of Heat and Fluid Flow, 80, 108464, 2019

Uchibori K.(Tokyo Tech.), T. Tamura(Tokyo Tech.), LES study on aerodynamics of auto-rotating square flat plate by IBM and SAMR, Journal of Fluids and Structures, 89, 108-122, 2019.8

Yanase, W. (MRI) and H. Niino (AORI), 2019: Parameter sweep experiments on a spectrum of cyclones with diabatic and baroclinic processes. J. Atmos. Sci., 76, 1917-1935

Ito, J. (AORI), H. Niino (AORI), and K. Yoshino: Large Eddy Simulation on Horizontal Convective Rolls that Caused an Aircraft Accident during its Landing at Narita Airport, Geophys. Res. Lett., in press, https://doi.org/10.1029/2020GL086999

② 論文（査読なし）

斉藤和雄、2019: 台風に伴う非地衡風について. 月刊海洋、号外62、68-73.

坪井一寛・斉藤和雄、2019: 2018年度春季大会シンポジウム報告「防災・減災のための観測・短時間予測技術の未来」. 天気、66、665-666.

新野宏、2020:大気中の多様な渦・乱流現象等の普遍的理解を目指して－2019年藤原賞受賞記念講演－、天気（受理）

瀬古弘・津田敏隆、2019: メソスケールLETKFシステムを用いたGNSS掩蔽観測の屈折率データの同化実験. 月刊海洋号外「新野宏教授退職記念号」、62、111-114.

③ 国際会議・シンポジウム

③－1. 口頭発表

3D debris flow simulations by using smoothed particle hydrodynamics (SPH) method, Ueta(Kyoto Uni.), Hosono(JAMSTEC) and Yamashiki(Kyoto Uni.), JPGU2019, Makuhari

What is the source of chaos in MCS?, Kawabata, T.(MRI) and G. Ueno (ISM), EMS2019,

Copenhagen, Denmark

What is the source of chaos in MCS?, Kawabata, T.(MRI) and G. Ueno (ISM), ICMCS-XII, Naha, Japan

On Non-Gaussian Probability Densities on Convection Initiation and Development using a Particle Filter with a Storm-Scale Numerical Weather Prediction Model, Kawabata, T.(MRI) and G. Ueno (ISM), International Symposium on Data Assimilation 2019, Kobe, Japan

Model Parameter Estimation with Data Assimilation using NICAM-LETKF, Kotsuki S.(RIKEN), Sato Y.(U of Hokkaido/ RIKEN), Terasaki K.(RIKEN), Yashiro H.(NIES/RIKEN), Tomita H.(RIKEN), Satoh M.(U of Tokyo) and Miyoshi T.(RIKEN), JpGU Meeting 2019, Chiba, 29 May 2019 (Invited)

Big data assimilation: A new science for weather prediction and beyond, Takemasa Miyoshi(RIKEN), 14TH INTERNATIONAL EnKF WORKSHOP IN VOSS, VOSS, NORWAY, 4 June 2019 (Invited)

Big Data Assimilation: A New Science for Weather Prediction and Beyond, Takemasa Miyoshi(RIKEN), Seminar, DWD, Frankfurt, Germany, 13 June 2019 (Invited)

Big Data Assimilation: A New Science for Weather Prediction and Beyond, Takemasa Miyoshi(RIKEN), Seminar, LMU, Munich, Germany, 17 June 2019 (Invited)

HPC challenges in numerical climate simulation and weather prediction, Takemasa Miyoshi(RIKEN), INTERNATIONAL HPC SUMMER SCHOOL 2019, Kobe, Japan, 1- July 2019 (Invited)

Advancing data assimilation as a science hub: from weather forecasting and beyond, Takemasa Miyoshi(RIKEN), ICIAM2019, Valencia, Spain, 17 July 2019 (Invited)

Invited talk, Takemasa Miyoshi(RIKEN), 6th CREST ″Big Data Application″ Camp for Researchers, Kanagawa, Japan, 26 September 2019 (Invited)

Big Data Assimilation Incorporating Deep Learning with Phased Array Radar Data and Numerical Weather Prediction, Takemasa Miyoshi(RIKEN), BDEC2 San Diego, San Diego, USA, 16 October 2019 (Invited)

Big Data Assimilation: 30-second-update Weather Forecasting and Perspectives toward DA-AI Integration, Big Data, Takemasa Miyoshi(RIKEN), Data Assimilation and Uncertainty Quantification, Paris, France, 12 November 2019 (Invited)

Big Data Assimilation:A New Science for Weather Prediction and Beyond, Takemasa Miyoshi(RIKEN), seminar, Taipei, Taiwan, 27 November 2019 (Invited)

Big Data Assimilation:A New Science for Weather Prediction and Beyond, Takemasa Miyoshi(RIKEN), seminar, Taipei, Taiwan, 28 November 2019 (Invited)

Big Data Assimilation:A New Science for Weather Prediction and Beyond, Takemasa Miyoshi(RIKEN), seminar, Taoyuan City, Taiwan, 27 November 2019 (Invited)

Overview of the rapid-update weather forecasting with the phased-array weather radar, Otsuka, S.(RIKEN) and T. Miyoshi(RIKEN), 6th KNU CARE Workshop on Phase array radar and Nowcasting, Daegu, 5 Dec 2019 (Invited)

Big Data Assimilation: Past 5 Years and Perspectives for the Future, Takemasa Miyoshi(RIKEN), EGU2019, Vienna, Austria, 8 April 2019--Enhancing Data Assimilation of GPM Observations: Past 6 Years and Future Plans, Takemasa Miyoshi(RIKEN), EGU2019, Vienna, Austria, 9 April 2019

Big Data Assimilation: A New Science for Weather Prediction and Beyond, Takemasa Miyoshi(RIKEN), Japan - Israel meeting, Otsu, Japan, 14 April 2019

Improving the observation operator for Phased Array Weather Radar in the SCALE-LETKF system, Amemiya, A. (RIKEN), T. Honda(RIKEN), and T. Miyoshi(RIKEN), JpGU meeting 2019, Chiba, Japan, 29 May 2019

Data assimilation and forecast experiments for the record-breaking rainfall event in Japan in July 2018 with NICAM-LETKF at 112-km and 28-km resolution, Koji Terasaki(RIKEN) and Takemasa Miyoshi(RIKEN), JpGU, Chiba, Japan, 29 May 2019

Regional atmospheric data assimilation coupled with an ocean mixed layer model: a case of typhoon Soudelor (2015), Takatama, K.(RIKEN), T. Honda(RIKEN), T. Miyoshi(RIKEN), JpGU, Chiba, Japan, 29 May 2019

Ensemble-Based Data Assimilation of GPM/DPR Reflectivity into the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model NICAM, Kotsuki S.(RIKEN), Terasaki K.(RIKEN), and Miyoshi T.(RIKEN), JpGU, Chiba, Japan, 30 May 2019

Big Data Assimilation: Past 5 Years and Perspectives for the Future, Takemasa Miyoshi(RIKEN), AOGS, Singapore, 30 July 2019

Enhancing Data Assimilation of GPM Observations: Past 6 Years and Future Plans, Takemasa Miyoshi(RIKEN), AOGS, Singapore, 2 August 2019

Big Data Assimilation: A New Science for Weather Prediction and Beyond, Takemasa Miyoshi(RIKEN), Seminar, Buenos Aires, Argentina, 26 August 2019

Big Data Assimilation: Past 6 Years and Future Plans, Takemasa Miyoshi(RIKEN), 39th International Conference on Radar Meteorology, A, Nara, Japan, 17 September 2019

Impact assessment of Next Generation Rainfall Measuring Satellite on NWP: An Observation System Simulation Experiment for a typhoon case, Okazaki, A.(RIKEN), Honda, T.(RIKEN), Kotsuki, S.(RIKEN), Taylor, J.(RIKEN), Miyoshi, T.(RIKEN), 39th International Conference on Radar Meteorology, Nara, Japan, 19 September 2019

Big Data Assimilation and AI Creating New Development in Real-time Weather Prediction, Takemasa Miyoshi(RIKEN), CREST Symposium on Big Data Application, Tokyo, Japan, 25 September 2019

Exploring the potential of assimilating three-dimensional lightning discharge observations with an ensemble Kalman filter, Honda, T. (RIKEN), Y. Sato(U of Hokkaido/RIKEN), T. Miyoshi(RIKEN), European Conferences on Severe Storms (ECSS), Krakow, Poland, 7 November 2019

Local Particle Filter Implemented with Minor Modifications to the LETKF Code, Takemasa

Miyoshi(RIKEN), AGU100 FALL MEETING, San Francisco, USA, 9 December 2019

Big Data Assimilation Incorporating Deep Learning with Phased Array Radar Data and Numerical Weather Prediction, Takemsasa Miyoshi(RIKEN), AGU100 FALL MEETING, San Francisco, USA, 10 December 2019

Forecasting a large number of tropical cyclone intensities using a high-resolution atmosphere-ocean coupled model, Ito, K.(U. Ryukyus), International Workshop on Tropical Cyclone-Ocean Interaction in the Northwest Pacific (TCOI 2019), Jeju, Korea, 19 June 2019 (invited)

Analysis and forecast using dropsonde data from inner-core region of tropical cyclones obtained during the aircraft missions of T-PARCII, Ito, K.(U. Ryukyus), H. Yamada(U. Ryukyus), M. Yamaguchi(MRI), T. Nakazawa(MRI), N. Nagahama(MEISEI Electric), K. Shimizu(MEISEI Electric), T. Ohigashi(MIED), T. Shinoda(Nagoya U.), K. Tsuboki(Nagoya U.), Observational campaigns for better weather forecasts, Reading, UK, 11 June 2019

Potential Downstream Influence of PRECIP/TAHOPE/T-PARCII on Predicting Heavy Rainfall Events in Kyushu Region, Ito, K.(U. Ryukyus),severe weather and TAHOPE planning workshop, Taipei, 14 October 2019

Development of System for Long-term High-resolution Regional Reanalysis Covering Japan, S. Fukui(Tohoku U.), T. Iwasakki(Tohoku U.), K. Saito(JMBSC/U.Tokyo/MRI), H. Seko(MRI/JAMSTEC), AGU Fall Meeting 2019, San Francisco, 10 December 2019.

Heavy rainfall in Central Vietnam in 2018 and recommendations on the orientation for improving forecasting quality in Vietnam, Saito, K.(AORI/JMBSC). Workshop on Integrating the hydro-meteorology system and orienting the development of improving forecast quality in Vietnam, Hanoi, 10 April 2019 (invited)

Ultra-high resolution numerical weather prediction with a large domain and size dependency of simulated convective cores on model resolutions, Saito, K.(AORI), T. Oizumi(JAMSTEC), L. Duc(JAMSTEC), and J. Ito(AORI), International Workshop on Next-Generation NWP Models: Verification and Predictablity, Jeju, 22 May 2019, (invited)

Heavy rainfall event in middle Viet Nam on 8-9 December 2018 and current QPE/QPF at VNMHA, Saito, K.(AORI/JMBSC), L. Duc(JAMSTEC), D.D. Tien(VNMHA) and M.K. Hung(VNMHA), Japan Geoscience Union Meeting 2019 (JPGU2019), Makuhari, May 26 2019, (invited)

Mesoscale-to-LES Modeling of the Sea-Breeze Front over Coastal Cities, Chen, G. (SYSU), K. Saito(AORI), H. Iwai(NICT), S. Ishii(NICT), H. Seko(MRI), W. Sha(Tohoku Univ.), and T. Iwasaki(Tohoku Univ.), 18th Conference on Mesoscale Processes, Savannah, 31 July 2019.

LETKF perturbations by ensemble transform in a cloud resolving model, Saito, K.(AORI), L. Duc(JAMSTEC), and T. Matsunobu(Tsukuba Univ.), International Workshop on Prediction skill of extreme Precipitation events and tropical cyclones: Present status and future Prospect (IP4), Pune, 25 November 2019, (invited)

Analysis and design of covariance inflation methods using spectral transformations, Duc,

L.(JAMSTEC), K. Saito(AORI) and D. Hotta(MRI), 100th AMS Annual Meeting, Boston, 14 January 2020.

Big Data Assimilation: Real-Time Workflow for 30-Second-Update Forecasting and Perspectives Toward DA-AI Integration, Takemasa Miyoshi(RIKEN), AMS 100th Annual Meeting, Boston, USA, 13 Jan 2020

Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations, Takemasa Miyoshi(RIKEN), the Joint PI Meeting of JAXA Earth Obervation Missions FY2019, Tokyo, Japan, 24 Jan 2020

Accounting for the horizontal observation error correlation of satellite radiances in data assimilation, Koji Terasaki(RIKEN) and Takemasa Miyoshi(RIKEN), The Second IMT-Atlantique & RIKEN Joint Workshop: Statistical Modeling and Machine Learning in Meteorology and Oceanography, Brest, France, 10 Feb 2020

Big Data Assimilation in Weather Prediction: From K to Fugaku, Takemasa Miyoshi(RIKEN), The 2nd R-CCS International Symposium, Kobe, Japan, 17 Feb 2020

BCM-LES application to wind gust disaster under extreme meteorological events, Tamura T.(Tokyo Tech.), Kawaguchi M.(Tokyo Tech.), 72nd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics, P16.00009, 2019

Assessment of Tornado-Induced Building Damage Using a Hybrid Meteorological Model/Engineering LES Method, Kawaguchi M.(Tokyo Tech.), T. Tamura(Tokyo Tech.), W. Mashiko(MRI), H. Kawai(Tokyo Tech.), In Case of Tsukuba Tornado in 2012, 10th European Conference on Severe Storms, ECSS2019-185, 2019

LES coupling with thermal radiation model for actual urban districts with high-rise building cluster -Analysis on intermittent change of turbulent and temperature field -, Kawai H.(Tokyo Tech.), M. Arai(Tokyo Tech.), T. Tamura(Tokyo Tech.), The 15th International Conference on Wind Engineering Beijing, China, 385-386, 2019

Turbulent coherent structures and peak wind occurrence over urban surface with high-rise building clusters, Tamura T.(Tokyo Tech.) and H. Kawai(Tokyo Tech.), The 15th International Conference on Wind Engineering Beijing, China, 383-384, 2019

Assesment of spanwise resolution effects on the simulation of separating-reattaching flows at high Reynolds numbers, Cao Y.(Tokyo Tech.), T. Tamura(Tokyo Tech.), H. Kawai(Tokyo Tech.), J. Ikeda(Kobe Univ.), M. Tsubokura(RIKEN), The 15th International Conference on Wind Engineering Beijing, 551-552, 2019

Environmental Turbulence In Urban Boundary Layer -LES And Field Measurement-, Kawai, H.(Tokyo Tech.), and T. Tamura (Tokyo Tech.), H. Suyama (Tokyo Tech.), D. Duong (Tokyo Tech.), International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (TSFP11)., 2019

Uncertainty quantification on aerodynamic characteristics of flow around square and corner-rounded cylinder with glancing angle, Tsubasa Hamada(Tokyo Tech.), Tetsuro Tamura(Tokyo Tech.), UNCECOMP 2019, U 18497,2019

Time and Space Observation Error Correlation of Doppler Radar Radial Winds, Fujita, T. (MRI), H. Seko (MRI), T. Kawabata (MRI), D. Hotta (MRI), K. Sawada (MRI), Y. Ikuta (JMA), M. Kunii (JMA), T. Tsukamoto (JMA), and G. Akimoto (JMA), 39th International Conference on Radar Meteorology, Nara, Japan 18 September 2019

Refractivity distributions over the Kanto and Osaka plains and their impacts on the rainfall forecasts, Seko, H.(MRI), E. Sato(MRI), H. Yamauchi(JMA), Y. Shoji(MRI), and S. Satoh(MRI), 39th International Conference on Radar Meteorology, Nara, Japan 18 September 2019

Improvements of Heavy Rainfall and Typhoon Forecasts Reproduced by Super-computer 'K', Seko, H(MRI), M. Kunii(JMA), Y. Sawada(Tokyo Univ.), K. Okamoto (MRI), K. Ito(Univ. of Ryukyus), K. Shimoji(JMA), Asia Oceania Geosciences Society 16th Annual Meeting (AOGS2019), Singapore, Singapore, July ,2019

Tsukuba Tornado with Fujita Scale 3 Reproduced by Super-computer 'K', Seko, H.(MRI), W. Mashiko(MRI), T. Tamura(Tokyo Tech), H. Niino(Tokyo Univ) and S. Yokota(JMA), Asia Oceania Geosciences Society 16th Annual Meeting (AOGS2019), Singapore, Singapore, July ,2019

Data Assimilation Studies using Big Observation Data in the Projects of Post K and BDA, H. Seko(MRI), M. Kunii(JMA), S. Yokota(JMA), K. Shimoji(JMA), Y. Sawada(Tokyo Univ.), K. Okamoto(MRI), and K. Ito(Univ. of Ryukyus), JpGU meeting 2019, Chiba, Japan ,May 2019

Data Assimilation Studies using Big Observation Data in the Projects of Post K and BDA, Seko, H.(MRI), M. Kunii(JMA), S. Yokota(JMA), K. Ito(Univ. of Ryukyus), and K. Shimoji(JMA),The 13th Conference on Mesoscale Convective Systems and High-Impact Weather in East Asia, Naha,japan March 2019

③－2. ポスター発表

Assimilating every 30-second phased array weather radar data in a torrential rainfall event on July 6, 2018 around Kobe city, Yasumitsu Maejima(RIKEN), Shigenori Otsuka(RIKEN) and Takemasa Miyoshi(RIKEN), Japan Geoscience Union Meeting 2019, Makuhari, Japan, 28 May 2019

Near-real-time SCALE-LETKF forecasts of the record breaking rainfall in Japan in July 2018, Honda, T.(RIKEN), G.-Y. Lien(CWB), T. Miyoshi(RIKEN), Japan Geoscience Union Meeting 2019, Makuhari, Japan, 29 May 2019

Impact of Radar Artifacts from Phased Array Weather Radar to Short-Range Convective Forecasts, Taylor, J. (RIKEN), LienG.Y.(CWB), Satoh, S.(NICT), Miyoshi, T. (RIKEN), Japan Geoscience Union Meeting 2019, Makuhari, Japan, 29 May 2019

A New Evaluation Method for Cloud Microphysics Schemes Using GPM Dual-frequency Precipitation Radar, Kotsuki S. (RIKEN), Kurosawa K. (RIKEN), Kanemaru K.(NICT), Terasaki K.(RIKEN) and Miyoshi T.(RIKEN), 39th International Conference on Radar Meteorology,

Nara, Japan, 16 September 2019

The Use of Dual Phased Array Weather Radar Observations to Short-Range Convective Forecasts, Taylor, J.(RIKEN), LienG.Y.(CWB), Satoh, S.(NICT), Miyoshi, T.(RIKEN), 39th International Conference on Radar Meteorology, Nara, Japan, 16 September 2019

Assimilating every 30-second phased array weather radar data in a torrential rainfall event on July 6, 2018 around Kobe city, Maejima, Y.(RIKEN), S. Otsuka(RIKEN) and T. Miyoshi(RIKEN), 39th International Conference on Radar Meteorology, Nara, Japan, 16 September 2019

Convection Initiation by Sea Breezes and Numerical Simulation of a Local Heavy Rainfall Event Observed in TOMACS, Saito, K.(AORI), M. Kunii(JMA), and K. Araki (MRI), 2019: . 18th Conference on Mesoscale Processes, Savannah, 29 July 2019.

Heavy Rainfall Event in Central Viet Nam in December 2018 and QPE/QPF at VNMHA, Saito, K.(AORI/JMBSC), M. K. Hung (VNMHA), N. V. Hung (VNMHA), D. D. Tien(VNMHA), and L. Duc(JAMSTEC), 100th AMS Annual Meeting, Boston, 13 January, 2020.

Ageostrophic winds associated with a tropical cyclone and northward moisture fluxes, Saito, K.(AORI), and T. Matsunobu(Tsukuba Univ.), 100th AMS Annual Meeting, Boston, 15 January, 2020.

Local Particle Filter Implemented with Minor Modifications to the LETKF Code, Takemasa Miyoshi (RIKEN) , AMS 100th Annual Meeting, Boston, USA, 13 Jan 2020

Ensemble-Based Data Assimilation of GPM/DPR Reflectivity into the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model NICAM, Kotsuki S. (RIKEN) , Terasaki K. (RIKEN) , Satoh M.(U of Tokyo) and Miyoshi T. (RIKEN) , 4th workshop on assimilating satellite cloud and precipitation observations for NWP, Reading, UK 3 Feb, 2020

Assimilating all-sky Himawari-8 radiances in the heavy rainfall event on 23 August 2018 in Taiwan, Honda, T.(RIKEN), S.-C. Yang(NCU), T. Miyoshi(RIKEN), 4th workshop on assimilating satellite cloud and precipitation observations for NWP, Reading, UK, 2/3-5, 2020

Local Particle Filter Implemented with Minor Modifications to the LETKF Code, T. Miyoshi(RIKEN), S. Kotsuki(U or Chiba/RIKEN), K.Kondo(MRI/RIKEN), R. Potthast(DWD/U of Reading), 4th workshop on assimilating satellite cloud and precipitation observations for NWP, ECMWF, Reading, UK, 5 Feb 2020

Towards big data assimilation in Fugaku by accounting for the horizontal observation error correlation of satellite observations, Koji Terasaki(RIKEN) and Takemasa Miyoshi(RIKEN), R-CCS international symposium, Kobe, 17 Feb 2020

Assimilating all-sky Himawari-8 radiances in the heavy rainfall event on 23 August 2018 in Taiwan, Honda, T.(RIKEN), S.-C. Yang(NCU), T. Miyoshi(RIKEN), 2nd R-CCS symposium, Kobe, 17 Feb 2020

Large eddy simulation of an entire tropical cyclone. Ito, J. (AORI), H. Niino (AORI) and

T. Oizumi (JAMSTEC), 18th Symposium on the Coastal Environment, Boston,14 January 2020.

Refractivity Distributions over the Kanto Plain Obtained by Dual-polarization Radar, Seko H.(MRI), E. Sato(MRI), H. Yamauchi(JMA), JpGU meeting 2019, Chiba, Japan, May 2019

④ 国内学会・シンポジウム

④−1. 口頭発表

次世代静止衛星搭載降水レーダー反射強度の観測システムシミュレーション実験、岡崎淳史(RIKEN)、本田匠(RIKEN)、小槻峻司(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、日本気象学会 2019 年度春季大会、東京、2019 年 5 月 17 日

平成 30 年 7 月豪雨を対象とした高頻度・高解像度フェーズドアレイ気象レーダーデータ同化実験、前島康光(RIKEN)、大塚成徳(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、日本気象学会 2019 年度春季大会、東京、2019 年 5 月 18 日

気象・海洋・陸面予測を革新する高頻度衛星観測網の設計事前評価プラットフォーム、三好 建正(RIKEN)、小槻 峻司(RIKEN)、寺崎 康児(RIKEN)、大塚 成徳(RIKEN)、本田 匠(RIKEN)、岡崎 淳史(RIKEN)、高玉 孝平(RIKEN)、JpGU2019、千葉、2019 年 5 月 29 日

プレスシミュレーションにおけるデータ同化 (続編)、坂本英之(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、第四回ものづくりワークショップ: データ駆動型社会におけるものづくり設計の新潮流、東京、2019 年 7 月 10 日

低解像度全球大気モデルを用いた局所粒子フィルタ実験、小槻峻司(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、日本気象学会 2019 年度秋季大会、福岡、2019 年 10 月 28 日

全球大気・水文結合データ同化システムの開発と土壌水分データ同化実験、黒澤賢太(RIKEN)、小槻峻司(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、日本気象学会 2019 年度秋季大会、福岡、2019 年 10 月 28 日

低解像度全球大気モデルを用いた局所粒子フィルタ実験、小槻峻司(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、日本気象学会 2019 年度秋季大会、福岡、2019 年 10 月 28 日

全球大気・水文結合データ同化システムの開発と土壌水分データ同化実験、黒澤賢太(RIKEN)、小槻峻司(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、日本気象学会 2019 年度秋季大会、福岡 2019 年 10 月 28 日

気象学における AI 活用から AI 統合へ、三好建正(RIKEN)、日本気象学会 2019 年度秋季大会、福岡、2019 年 10 月 30 日

GSMaP 降水データの観測誤差相関を考慮したデータ同化実験、寺崎康児(RIKEN)、小槻峻司(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、第 21 回非静力学モデルに関するワークショップ、三重、2019 年 11 月 21 日

LETKF に基づいた局所粒子フィルタの簡易実装法の検討、三好建正(RIKEN)、小槻峻司(RIKEN)、Roland Potthast(DWD/U. of Reading)、第 21 回非静力学モデルに関するワークショップ、三重、2019 年 11 月 21 日

SCALE-LETKF を用いた雷観測データ同化: 観測システムシミュレーション実験、本田匠(RIKEN)、佐藤陽祐(U. of Hokkaido/RIKEN)、三好建正(RIKEN)、第 21 回非静力学モデルに関するワークショップ、三重、2019 年 11 月 22 日

SCALE-LETKF のフェーズドアレイ気象レーダーのデータ同化における観測演算子の改善のインパクト、雨宮新(RIKEN)、本田匠(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、第 21 回非静力学モデルワークショップ、

三重、2019 年 11 月 21 日

アジアモンスーン高気圧（チベット高気圧）の形成と季節内変動の力学、雨宮新(RIKEN)、佐藤薫(U of Tokyo)、第 2 回高・低気圧ワークショップ、和歌山、2019 年 12 月 17 日

「藤原効果」に関わる特異ベクトル、伊藤耕介(琉球大学)、山口宗彦(MRI)、日本気象学会春季大会，東京，2019 年 5 月 18 日

日本域領域再解析システムによる台風強度の再現性の評価. 福井真(東北大)、岩崎俊樹(東北大)、斉藤和雄(東大/気象業務支援センター/気象研)、瀬古弘(気象研/JAMSTEC)、日本気象学会 2019 年度春季大会、東京、2019 年 5 月 18 日

台風に伴う非地衡風と PRE について、斉藤和雄(大気海洋研)・松信匠（筑波大)、第 21 回非静力学モデルに関するワークショップ、三重、2019 年 11 月 21 日

ビッグデータ同化：ゲリラ豪雨予測から予測科学へ、三好建正(RIKEN)、CCSE ワークショップ、東海村、2020 年 2 月 21 日(Invited)

ビッグデータ同化に向けた観測誤差相関を考慮するデータ同化、寺崎康児 (RIKEN)、三好建正(RIKEN)、NICAM 開発者会議、沼津、2020 年 1 月 16 日

ビッグデータ同化に向けた観測誤差相関を考慮するデータ同化、寺崎康児 (RIKEN)、三好建正(RIKEN)、ポスト京重点課題 4 成果報告会、東京、2020 年 1 月 31 日

ビッグデータ同化による次世代気象予測、三好建正(RIKEN)、理研エンジニアリングネットワーク「気象予測データを再現する人工気象器利用した植物表現形質データ蓄積のための研究手法の開発」、東京、日本、2020 年 2 月 19 日

2018 年台風 21 号における大阪市街地の強風・風圧力特性-気象モデル・工学 LES の適用-,川口真晴，河合英徳（東工大)，田村哲郎（東工大)，益子渉 (MRI)，数値流体力学シンポジウム、C07-3、2019

LES によるドームの空力特性に対するレイノルズ数効果の研究，Cao Yong（東工大)、Tetsuro Tamura（東工大)，数値流体力学シンポジウム、C07-3、2019

熱放射・LES 連成解析手法の適用と検証 -実在市街地の乱流場・温度場の解析-，新井舞子（東工大)，河合英徳（東工大)，田村哲郎（東工大)，数値流体力学シンポジウム、C08-1、2019

都市境界層内の乱流構造がピーク風速の発生に及ぼす影響，河合英徳(東工大)，田村哲郎(東工大)，日本建築学会学術講演梗概集，構造 I，181-182、2019

気象モデル・工学的 LES ハイブリッド手法 2018 年台風 21 号通過時の大阪都心部におけるピーク風速の推定，川口真晴（東工大)，田村哲郎（東工大)，河合英徳（東工大)，日本建築学会学術講演梗概集，構造 I，89-90、2019

高層建築物群が散在する市街地の都市境界層に関 する BCM-LES -地上観測データに基づく検証- 河合英徳（東工大)，田村哲郎（東工大)，数値流体力学シンポジウム、C08-4、2019

都市キャノピー内外のピーク風速の発生に影響を及ぼす乱流構造，河合英徳(東工大)，田村哲郎(東工大)，日本流体力学会年会，2019

熱放射を考慮した LES に基づく実在市街地の気流・熱環境解析に関する検証，新井舞子（東工大)，河合英徳（東工大)，田村哲郎（東工大)，日本流体力学会年会，2019

気象擾乱を含んだ流入条件による都市境界層の LES，河合英徳（東工大)、田村哲郎（東工大)、巣山裕記（東工大)，2019 年度日本風工学会年次研究発表会，131-132,2019

1992 年 12 月 8 日に準線状の対流系に伴って発生した竜巻、栃本英伍(AORI)、新野宏(AORI)、第 21 回非静力学モデルワークショップ、津、2019 年 11 月 20-21

大気中の多様な渦・乱流現象等の普遍的理解を目指して、新野宏(AORI)、日本気象学会春季大会、東京、2019 年 5 月 16 日

変分法によるレーダーデータ同化高度化の検討、藤田匡(気象研)、瀬古弘(気象研)、川畑拓矢(気象研)、澤田謙(気象研)、堀田大介(気象研)、幾田泰酵(気象庁)、國井勝(気象庁)、塚本暢(気象庁)、秋元銀河(気象庁)、日本気象学会 2019 年度秋季大会、福岡、2019 年 10 月 28 日

観測誤差相関を考慮した変分法によるドップラー速度データ同化の検討、藤田匡(気象研)、瀬古弘(気象研)、川畑拓矢(気象研)、澤田謙(気象研)、堀田大介(気象研)、幾田泰酵(気象庁)、國井勝(気象庁)、塚本暢(気象庁)、秋元銀河(気象庁)、第 21 回非静力学モデルに関するワークショップ、津、2019 年 11 月 22 日

観測誤差時空間相関を考慮した変分法によるドップラー速度データ同化の検討、藤田匡(気象研)、瀬古弘(気象研)、川畑拓矢(気象研)、澤田謙(気象研)、堀田大介(気象研)、幾田泰酵(気象庁)、國井勝(気象庁)、塚本暢(気象庁)、秋元銀河(気象庁)、ポスト京重点課題 4 成果報告会、東京、2020 年 1 月 31 日

メソ NAPEX を用いた SSR モード S 航空機データと 船舶 GNSS 可降水量の同化実験、瀬古弘(気象研)、小泉耕(気象庁),小司禎教(気象研)、瀬之口敦(電子航法研),第 21 回非静力学モデルに関するワークショップ,三重県津市、2019 年 11 月

特異値分解解析を利用した「全外し」を軽減するためのアンサンブル初期摂動作成法の開発（その 1)、瀬古弘(気象研)、横田祥(気象庁)、福井真(東北大)、吉田智(気象研)、日本気象学会秋季大会、福岡県福岡市、2019 年 10 月

④－2. ポスター発表

NICAM-LETKF システムを用いた平成 30 年 7 月豪雨再現性の解像度依存性について、寺崎康児(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、日本気象学会秋季大会、福岡、2019 年 10 月 30 日

日本域領域再解析システムによる台風の再現性、福井真(東北大)、岩崎俊樹(東北大)、斉藤和雄(東大/気象業務支援センター/気象研)、瀬古弘(JAMSTEC/気象研)、日本気象学会 2019 年度秋季大会、福岡、2019 年 10 月 31 日

船舶やブイで観測した GNSS データを用いた同化実験（その 1)、瀬古弘（気象研)、小泉耕（気象庁)、小司禎教（気象研)、加藤照之（神奈川県温泉地学研究所），日本気象学会 2019 年度春季大会、東京都渋谷区、2019 年 5 月

多種の高頻度高密度観測データを用いた 局地的大雨の同化実験（その１)、瀬古弘（気象研)、横田祥（気象庁)、佐藤英一（気象研)、小司禎教（気象研)、山内洋（気象庁)、佐藤晋介（情報通信研究機構)、川村誠治（情報通信研究機構),日本気象学会 2019 年度春季大会,東京都渋谷区、2019 年 5 月

⑤ 研究会等

⑤－1. 口頭発表

NHM-RPF を用いた観測誤差の動的推定、川畑拓矢（気象研）、上野玄太（統数研）、非勢力学モデルに関するワークショップ、津、2019 年 11 月

全球大気データ同化システムによる天気予報研究の最前線、小槻峻司(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、第 14 回名工大・核融合研合同セミナー、名古屋、2019 年 7 月 18 日(Invited)

気象予報におけるビッグデータ同化と AI の協働に向けて、三好建正(RIKEN)、第 6 回「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題成果報告会、東京、2019 年 11 月 1 日(Invited)

データ同化技術について、大塚成徳(RIKEN)、三好建正、HPC を活用した自動車用次世代 CAE コンソーシアム 第 5 回総会 基調講演、神戸、2019 年 11 月 5 日. (Invited)

ビッグデータ同化 ～ゲリラ豪雨予測から、予測科学へ～、三好建正(RIKEN)、セミナー、独立行政法人酒類総合研究所、東広島、2019 年 11 月 20 日(Invited)

最先端の気象予測技術：ゲリラ豪雨予測の実現に向けて、大塚成徳(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、第 45 回（2019 年度第 2 回）スーパーコンピューティング技術産業応用協議会セミナー、東京、2019 年 11 月 29 日(Invited)

静止衛星による降水観測が台風予測に与えるインパクト評価、岡崎淳史(RIKEN)、本田匠(RIKEN)、小槻峻司(RIKEN)、James Taylor(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、データ同化手法を活用した観測システムの影響評価に関する研究会、横浜、2019 年 4 月 18 日

Observation Diagnostics with NICAM-LETKF、小槻峻司(RIKEN)、黒澤賢太(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、データ同化手法を活用した観測システムの影響評価に関する研究会、横浜、2019 年 4 月 18 日

NICAM-LETKF の概要と観測誤差相関を考慮したデータ同化、寺崎康児(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、データ同化手法を活用した観測システムの影響評価に関する研究会、横浜、2019 年 4 月 18 日

SCALE-LETKF のフェーズドアレイ気象レーダーのデータ同化における観測演算子の改善のインパクト、雨宮新(RIKEN)、本田匠(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、データ同化手法を活用した観測システムの影響評価に関する研究会、横浜、2019 年 4 月 19 日

SCALE-LETKF の概要と衛星観測同化への適用例、本田匠(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、データ同化手法を活用した観測システムの影響評価に関する研究会、横浜、2019 年 4 月 19 日

Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations、三好建正(RIKEN)、「NICAM-LETKF と衛星観測データ同化に関する打ち合わせ」第 17 回会合、神戸、2019 年 4 月 22 日

Local Particle Filter: 低解像度全球大気モデル SPEEDY 数値実験、小槻峻司(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、第 10 回 理研・京大データ同化研究会、神戸、2019 年 4 月 26 日

非ガウスフィルタの実装理論：LETKF から LPF へ、三好建正(RIKEN)、第 10 回理研・京大データ同化研究会、神戸、2019 年 4 月 26 日

Local Gaussian Mixture Particle Filter (LMCPF)の紹介、三好建正(RIKEN)、2019 年度第 1 回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会（第 7 回アンサンブルデータ同化摂動に関する研究会)、苫小牧、2019 年 6 月 28 日

LETKF と融和的な粒子フィルタ実装方法について、三好建正(RIKEN)、第 3 回理研・気象庁 データ同化に関する情報交換会、気象庁、東京、2019 年 8 月 20 日

NICAM-LETKF を用いた観測誤差相関を考慮するデータ同化システムの開発、寺崎康児(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、第 3 回 理研・気象庁データ同化研究会、東京、2019 年 8 月 20 日

GPM 観測データ同化による降水予測アルゴリズムの高度化、三好建正(RIKEN)、2019 年度 第二回地球観測研究公募降水観測ミッション サイエンスチーム国内キックオフ会合、東京、2019 年 9 月 5 日

Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations、三好 建正(RIKEN)、「NICAM-LETKF と衛星観測データ同化に関する打ち合わせ」第 18 回会合、奈良、2019 年 9 月 18 日

雲微物理パラメータに依存するレーダー反射因子の観測演算子とパラメータ推定への展望、雨宮新(RIKEN)、三好建正(RIKEN)、ポスト京重点課題 4 サブ課題 A 研究連絡会、東京、2019 年 9 月 25 日

プレスシミュレーションにおけるデータ同化、坂本 英之(RIKEN)、三好 建正(RIKEN)、髙村 正人(RIKEN)、見原 俊介(RIKEN)、第 6 回設計に活かすデータ同化研究会、鳥取、2019 年 11 月 11 日

局所粒子フィルタの進展、三好建正(RIKEN)、2019 年度第 2 回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会（第 8 回アンサンブルデータ同化摂動に関する研究会)、大洲、2019 年 12 月 5 日

ビッグデータ同化と AI によるリアルタイム気象予測の新展開、三好建正(RIKEN)、ビッグデータ基盤/応用 合同領域会議、湯河原、2019 年 12 月 18 日

Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations、三好 建正(RIKEN)、「NICAM-LETKF と衛星観測データ同化に関する打ち合わせ」第 19 回会合、神戸、2019 年 12 月 20 日

逆問題としてのデータ同化、第 23 回データ同化夏の学校、伊藤耕介(琉球大学)、第 23 回データ同化夏の学校，むつ，2019 年 8 月 22 日

台風の航空機観測を用いた同化・予測実験、伊藤耕介(琉球大学)、第 23 回データ同化夏の学校，むつ，2019 年 8 月 22 日

逆問題としての 4 次元データ同化、伊藤耕介(琉球大学)，藤井陽介(MRI)、第二回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会，大須，2019 年 12 月 5 日

藤原効果に関わる特異ベクトル、伊藤耕介(琉球大学)，山口宗彦(MRI)，第二回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会，大洲，2019 年 12 月 5 日

LETKF アンサンブル摂動 雲解像モデルの場合(その 3)、斉藤和雄(大気海洋研)・松信匠(筑波大)，2019 年度第 1 回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会 （第 7 回アンサンブルデータ同化摂動に関する研究会)、苫小牧、2019 年 6 月 28 日

ベトナム気象水文局の領域アンサンブル予報と新規科研費申請，斉藤和雄（大気海洋研)，2019 年度第 2 回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会 （第 8 回アンサンブルデータ同化摂動に関する研究会)，大洲，2019 年 12 月 5 日

台風に伴う非地衡風について、斉藤和雄（大気海洋研）・松信匠（筑波大)、台風研究会 2019、名古屋、2019 年 11 月 20 日

観測ビッグデータ同化に向けた取り組み、三好建正(以下 RIKEN)、寺崎康児、小槻俊司、本田匠、雨宮新、James Taylor、高玉康平、前島康光、坂本英之、ポスト京重点課題 4 成果報告会、東京、

2020 年 1 月 31 日

数値予測による要因分析 -都市域での最近の台風事例-、河合英徳（東工大），日本建築学会パネルディスカッション構造〔荷重〕「頻発する極端気象に対する 強風被害調査・要因分析・荷重設定」,2019.9

数値予測による要因分析 -2012 年つくば竜巻-、川口真晴（東工大），田村哲郎（東工大），日本建築学会パネルディスカッション構造〔荷重〕「頻発する極端気象に対する 強風被害調査・要因分析・荷重設定」,2019.9

フェーズドアレイレーダーを用いた研究開発への期待、新野宏(AORI)、日本気象学会気象災害委員会・メソ気象研究会合同研究会、福岡、2019 年 10 月 27 日

レーダーデータ同化に関する調査、藤田匡(気象研)、ポスト京重点課題 4 サブ課題 A 2019 年度第一回研究連絡会、東京，2019 年 6 月 21 日

レーダーデータ同化調査の進捗報告、藤田匡(気象研)、ポスト京重点課題 4 サブ課題 A 2019 年度第三回研究連絡会、神戸，2020 年 2 月 20 日

レーダーを活用した変分法データ同化の検討、藤田匡(気象研)、2019 年度第 1 回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会(第 7 回アンサンブルデータ同化摂動に関する研究会)、苫小牧、2019 年 6 月 28

ドップラー速度同化の高度化の検討，藤田匡(気象研)、2019 年度第 2 回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会(第 8 回アンサンブルデータ同化摂動に関する研究会)、大洲，2019 年 12 月 5 日

⑤－2. ポスター発表

ゲリラ豪雨予測を目指した「ビッグデータ同化」の研究、三好建正(RIKEN)、第 6 回「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題 成果報告会、東京、2019 年 11 月 1 日

MCS におけるカオスの起源を探る、川畑拓矢(気象研)，上野玄太 (統数研)、メソ気象セミナー、伊勢、2019 年 7 月

観測ビッグデータ同化に向けた取り組み、三好建正(以下 RIKEN)、寺崎康児、小槻俊司、本田匠、雨宮新、James Taylor、高玉康平、前島康光、坂本英之、ポスト京重点課題 4 成果報告会、東京、2020 年 1 月 31 日

⑥ 一般向け講演会等

ビッグデータ同化：数値天気予報から予測科学へ、三好建正(RIKEN)、日本工営株式会社講演会（ショートセミナー），つくば、2019 年 7 月 4 日(Invited)

ビッグデータ同化：数値天気予報から予測科学へ、三好建正(RIKEN)、株式会社先端力学シミュレーション研究所社内講演会、東京、2019 年 7 月 5 日(Invited)

ビッグデータ同化：数値天気予報から予測科学へ、三好建正(RIKEN)、通信技術部会電波センサ専門部会講演会、尼崎、2019 年 10 月 3 日(Invited)

ビッグデータ同化：「富岳」が拓く未来の天気予報、三好建正(RIKEN)、スーパーコンピュータ推進議員連盟総会、東京、2019 年 10 月 28 日(Invited)

データ同化研究～ゲリラ豪雨予測から、予測科学へ～、三好建正(RIKEN)、精華寿大学第 5 回講座、京都府精華町、2019 年 11 月 8 日(Invited)

高解像度モデルを用いた猛烈な台風の初期値化、伊藤耕介(琉球大学)、2018 年度名古屋大学 HPC 計算科学連携研究プロジェクト成果報告会、2019 年 6 月 21 日

ビッグデータ同化:「富岳」が拓く未来の天気予報、三好建正(RIKEN)、スーパーコンピュータ「富岳」を知る集い金沢、金沢、2020 年 1 月 25 日(invited)

これからの強風災害 - 強くなる台風、頻発する竜巻での建築・都市へのインパクトを探る！、-夏の気象災害を解き明かす！ ,河合英徳(東工大), スーパーコンピュータ「京」から「富岳」へ、国立科学博物館 日本館 2 階 講堂, 2019.8

⑦ 新聞/TV/WEB 配信/雑誌等

Takemasa Miyoshi(RIKEN), Data Assimilation Research Team, Predicting sudden heavy rainfal using the K computer, Science Window Spring 2019 P.14, 2019 Spring

三好建正(RIKEN)、 AI・DOL エーアイドル PROJECT 「災害を事前予測！理研の天気予報」、 テレビ東京、 2019/8/4

三好建正(RIKEN)、 やさしいニュース 1 スーパーコンピュータ「京」・７年で運用に幕、 テレビ大阪、 2019/8/30

三好建正(RIKEN)、 京から富岳へ～スパコンのいま 2 予測―いのちを守る次世代技術 30 分先のゲリラ豪雨を読む、 神戸新聞 朝刊 7 面、 2019/9/4

伊藤耕介(琉球大学)、 台風最前線「海上では生き続ける台風 大気と海洋の相互作用を数値シミュレーション」、 ビックイシュー日本版、 2019/6/1

伊藤耕介(琉球大学)、 航空機で台風観測、 琉球新報、 2019/8/23

伊藤耕介(琉球大学)、 日曜報道 THE PRIME、 フジテレビ、 2019/12/8

三好建正(RIKEN)、 連載・特集 京から富岳へ～スパコンの今【2-1】30 分先のゲリラ豪雨を読む, 神戸新聞 NEXT, 2019/9/4

三好建正(RIKEN), スパコン「富岳」、講演や基盤展示 金沢で知る集い, 朝日新聞 朝刊 21 面, 2020/1/26

⑧ 書籍

Takemasa Miyoshi, Data Assimilation Research Team, Predicting sudden heavy rainfall using the K computer, Science Window 2019 v2 P.14, Spring 2019

三好建正、 気象衛星ひまわり 8 号と「京」のビッグデータ同化が天気予報にもたらす革新, 「京」を中核とする HPCI 利用研究課題成果事例集 6, RIST, 2019 年 2 月

三好建正、 次世代スーパーコンピュータとビッグデータが拓く未来の気象予測、 「天気」66 巻第 10 号、 日本気象学会、 2019 年 10 月 31 日

藤田匡、 観測誤差相関を考慮した変分法によるドップラー速度データ同化の検討、 数値予報課報告・別冊第 66 号、 気象庁予報部、 2020 年 3 月

⑨ 受賞

2019 **年日本気象学会藤原賞 新野宏（東大・大気海洋研）**

4−2−2. サブ課題Ｂ：シームレス気象・気候変動予測

(1) 成果概要

シームレスな気象・気候変動予測について、ポスト「京」実機（スーパーコンピュータ「富岳」）を念頭においた大気・海洋モデルの準備を行い、水平解像度 14 km と水平解像度 7 km 以下の解像度を組み合わせた 2 週間後から数ヶ月および季節から年スケールのアンサンブル実験を実施して高解像度化の効果を調べた。シームレスな気象・気候変動予測に資する日本沿岸全域の海況予測に向け、ポスト「京」で水平解像度約 100 m に発展させるための各種パイロットスタディを実施した。開発したシステムや得られた計算結果を「京」停止後にも利用できるよう環境を整備し保存した。

目標 1（数週間〜月スケールの極端現象・台風の確率予測）では、極端現象の発生と関連が深い季節内振動である北太平洋夏季季節内変動（BSISO）現象について、水平解像度 14 km NICAM を用いた 1 ヶ月 186 アンサンブル実験の結果を観測と比較した。NICAM は BSISO の位相平面上における時間進行については精度よく再現できているが、対流中心がインド洋上にある位相の時に観測よりも早く BSISO の振幅を減少させてしまうことが分かった。これは背景場の水蒸気バイアスの低減により改善する可能性がある。

目標 2 では 2016 年夏季を念頭に水平解像度 14 km および 7 km アンサンブル実験の結果を比較し、季節スケールの台風の予測可能性について調査した。その結果、台風発生数について高解像度化による改善傾向が見られたが、特に水平解像度 7 km についてはアンサンブル数を増やすことで結果の統計的妥当性を検証する必要がある。また、年スケールの台風活動を念頭に水平解像度 14 km および 7 km 実験を実施した結果、エルニーニョに伴う特徴的な海面水温に対する台風活動の感度および台風の年々の変化の傾向を捉えることができた。

目標 1 と目標 2 （季節〜年スケールの極端現象・台風の確率予測）にまたがる成果として、水平解像度 14 km と水平解像度 7 km 以下を組み合わせることで、1 か月から季節スケールの季節内変動について物理アンサンブル実験を実施して高解像度化の効果を調べた。季節内振動であるマッデン・ジュリアン振動（MJO）の再現性を解析して階層構造の再現における水平解像度 7 km の有用性を示すとともに、予測精度向上のためには高解像度化だけでなく適切な物理過程の調整が必要であることがわかった。また、計算効率化を念頭に単精度化した水平解像度 14 km NICAM を用いて月・季節スケールアンサンブル予測実験を実施し、単精度化が台風の予測へ与える影響を調査した。さらに富岳に向けたモデル開発として全球雲解像渦解像実験に向けた準備を進めるとともに、NICAM の雲微物理過程におけるビン法雲微物理スキームのテスト導入を行った。

目標 3（実運用可能な日本沿岸海況予測システムの開発）では、三陸沿岸付近の海域を水平解像度約 100 m で詳細に表現した全球ネストモデルを構築し 1 ヶ月程度安定に駆動させた。さらに、海況予測システムの開発を継続し、水平解像度約 500 m に基づくシステムを構築した。これらはポスト「京」における水平解像度約 100 m での海況予測システム構築の足がかりとなる。

目標全体に関わる環境整備として、開発したシステムを Oakforest-PACS 等で利用できるよう環境を移植・整備した。また、「京」で得られた計算結果を HPCI 共有ストレージや各機関保有のストレージおよびテープアーカイブへ移動することで、内外のユーザが引き続き利用できるように整備した。さらにポスト「京」（富岳）を念頭に NICAM 入出力の保存方法を改良した。その結果、国際標準に沿ったメタデータを持ち、従来比でファイルサイズが 1/2 から 1/3 に圧縮可能な新ファイルフォーマットの準

備ができた。本年度 1 月より富岳の試験利用がスタートし、NICAM の移植作業を開始している。

(2) 実施体制

サブ課題 B の研究体制（図 B-1）および各協力機関の役割（図 B-2）は前年度までと同様である。すなわち、サブ課題 B では時間スケールと対象に応じて、

- 目標 1：数週間～月スケールの極端現象・台風の確率予測
- 目標 2：季節～年スケールの極端現象・台風の確率予測
- 目標 3：実運用可能な日本沿岸海況予測システムの開発

と 3 つの目標を掲げる。これらはシームレスに結びついており、特に目標 1 と 2 は極端現象・台風の確率予測を時間スケールによらずシームレスに行うという観点で密に連携する。また、目標 2 で取り扱う季節～年スケール予測では海洋の役割が重要になってくることから、目標 3 との連携が重要である。

サブ課題 B において中心的な役割を果たしている東京大学大気海洋研究所、海洋研究開発機構、および理化学研究所計算科学研究センターの間では、今年度は 7 回の研究ミーティングを行うことでサブ課題 B に関連したモデル開発や研究の進捗を管理した。また、重点課題 4 全体の基盤ツールである NICAM の開発を加速するため、他サブ課題を含む実施・分担・協力機関の研究参画者が一堂に会した NICAM 開発者会議を開催し、NICAM の開発および NICAM を用いた研究について集中的な議論を行った。本年度は「京」停止、富岳成果創出加速プログラム公募、富岳試験利用開始といった節目の 1 年であったため、これらの会議において将来構想の議論も活発に交わされた。NICAM-LETKF コデザインに関しては、サブ課題 B から 3 名の実務担当者が重点課題 4 ワーキンググループの打ち合わせに参加し、効率的な計算が可能となるモデルの検討を行った。

本年度は令和元年台風 15 号および台風 19 号に伴う暴風と豪雨の被害が注目された 1 年であった。東京大学大気海洋研究所および気象庁が主催して開催した台風診断ミーティングおよび台風事例検討会では、気象庁数値予報課やアジア太平洋気象防災センターをはじめとする現業担当者と今年度の台風の動向を中心に情報交換と議論を行った。また、JpGU annual meeting ではサブ課題 A、C と協力して「High performance computing for next generation weather, climate, and environmental sciences」セッションを主催した。

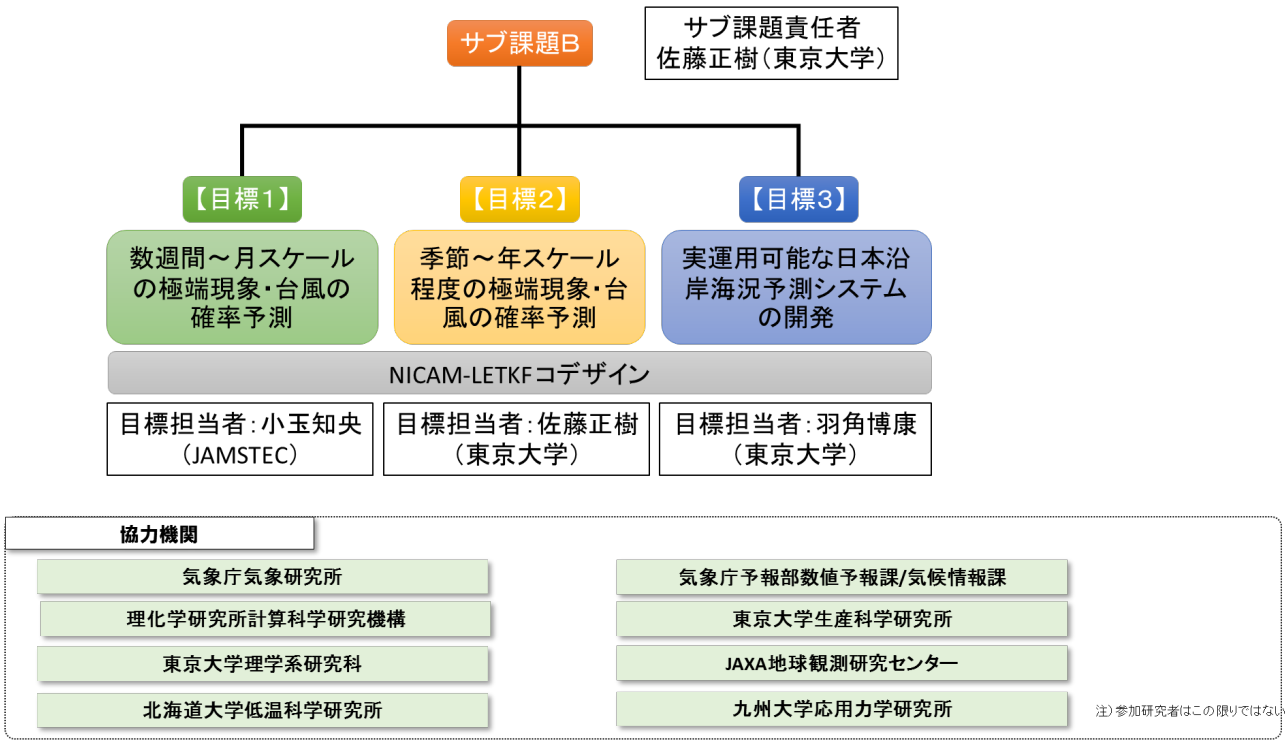


図 B-1：サブ課題 B の研究体制

図 B-2：サブ課題 B の研究体制の詳細（各協力機関の役割）

(3) 成果内容

① 水平解像度 14km NICAM による 30 日間の BSISO 現象アンサンブル予測実験（目標 1）

（海洋研究開発機構）

2 週間～1 ヶ月程度の時間スケールにおいて極端現象の予測可能性を向上させるためには、熱帯季節内振動の振る舞いを適切に予測することが重要である（例えば Jones et al., 2004)。特に北太平洋夏季季節内変動（BSISO）現象の振る舞いは日本付近の夏季降水パターンに影響を及ぼすことが知られている（Moon et al., 2011, 2013)。しかしその予測は北半球冬季に発生するマッデン・ジュリアン振動(MJO)よりも統計的に難しく（Wang et al., 2018)、BSISO 現象の再現性向上の鍵となる物理プロセスは未だ明らかではない。そこで、水平解像度 14 km の NICAM を用いて 8 月の BSISO 現象の予測実験を異なる初期値から多量に行うことにより、NICAM による BSISO 現象の再現性と予測スキルについて統計的調査を行った。上記 hindcast 予測の実験設定として、2007 年から 2012 年の 8 月の各日を初期時刻とした 30 日間の積分を行った。実験の総アンサンブルメンバー数は 186、延べ積分日数は 5580 日であり、統計的に十分な事例数を持った解析を行うことが出来る。

昨年度は実験データから BSISO の予測スコアを調べることで、NICAM が各国の現業気象予測センターに比肩しうる精度で統計的に BSISO を予測可能であることを示した。本年度は NICAM のモデルバイアスについて理解するため、BSISO の位相平面上において詳しい BSISO の挙動を観測と比較した（図 B-3)。これによると、NICAM は BSISO の時間進行においては、その構造によらず精度よく再現できることが分かった。一方振幅の変化について解析すると、NICAM は BSISO に伴う大規模対流群がインド洋上に存在する時、観測に比べて BSISO の振幅を過少評価しやすい傾向があることが分かった。Composite 解析の結果、これは NICAM がインド洋において対流の位置を観測よりも西側に再現しやすいバイアスによるものであり、インド洋西部において背景場の鉛直積算水蒸気量が多いバイアスとの関連が考えられることが分かった。今後は大気境界層プロセスや雲微物理過程等を精査することで、NICAM 固有のモデルバイアスの改善を目指すことが重要である。

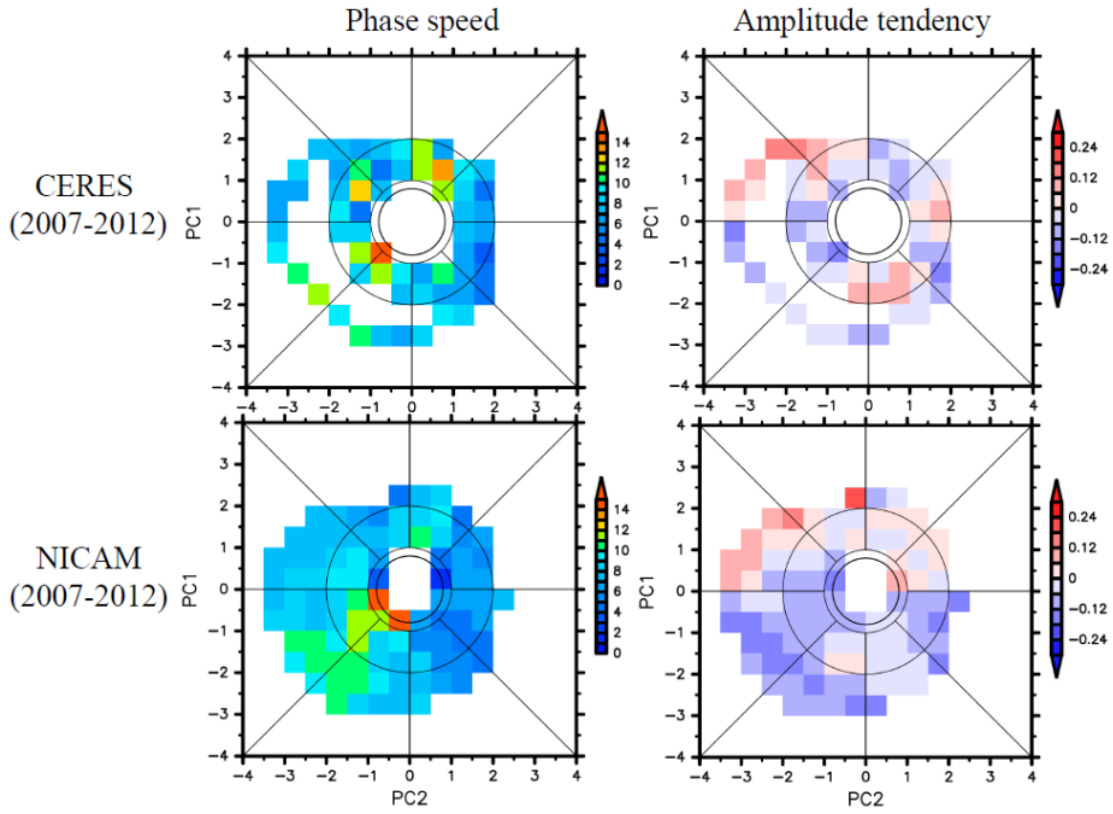


図 B-3： 2007 年-2012 年の衛星観測データ（CERES）および水平解像度 14 km NICAM による BSISO 実験から見積もった、BSISO の位相平面上における位相速度（左列）と振幅の変化率（右列）。

参考文献

Gottschalck, J. et al., 2010: A framework for assessing operational model MJO forecasts: a project of the CLIVAR Madden-Julian Oscillation working group, Bull. Amer. Meteor. Soc., 91, 1247-1258.

Jones, C., D. E. Waliser, K. M. Lau, and W. Stern, 2004: Global occurrences of extreme precipitation events and the Madden-Julian Oscillation: Observations and predictability, J. Clim., 17, 4575-4589.

Moon, J. Y., B. Wang and K. J. Ha, 2011: ENSO regulation of MJO teleconnection, Clim Dyn, 37, 1133-1149.

Moon, J.Y., B. Wang, K.J. Ha and J. Y. Lee, 2013: Teleconnections associated with Northern Hemisphere summer monsoon intraseasonal oscillation, Clim Dyn, 40, 2761-2774.

Wang, S., A. H. Sobel, M. K. Tippett, and F. Vitart, 2018: Prediction and predictability of tropical intraseasonal convection: seasonal dependence and the Maritime Continent prediction barrier. Clim. Dyn., doi:10.1007/s00382-018-4492-9.

② NICAM の高解像度化に向けた MJO 物理アンサンブル季節実験（目標 1・2）

（東京大学大気海洋研究所）

マッデン・ジュリアン振動（Madden-Julian Oscillation；MJO）はインド洋上で発生し 30 日から 60 日かけて西太平洋へと東進する活発な対流活動域に特徴付けられる、熱帯大気のもっとも顕著な季節内変動である。MJO は O(10,000 km)の大きな空間スケールと 1 ヶ月を越える長い時間スケールを有することから、モデルによる MJO の再現は、数日程度の短い時間スケールから季節スケールまでの気象現象をシームレスに予測するための要とも考えられている。しかし、現在でも MJO の再現は多くのモデルが苦戦しているのが現状（Jiang et al., 2015）であり、MJO 再現の成功例（e.g. Miura et al., 2007, Miyakawa et al., 2014）である NICAM においても解像度や各種物理過程のパラメータに MJO の再現性は大きく依存する。さらに、MJO の再現に最適化されたパラメータ設定は季節スケール以上の平均場の再現に適合するとは限らず、初期値応答問題としての MJO の再現ではなく自発的に MJO が発生する季節から年スケールの長期シミュレーションを今後行うためには MJO と背景場の再現を両立する物理過程のパラメータ設定を定めることが課題となる。実際に高解像度モデル比較プロジェクト（HighResMIP）実験などの年スケールでのシミュレーションでこれまで用いられていた NICAM の実験設定では MJO の再現性に問題があり、今後の NICAM の高解像度化と季節予測の実施に向けた物理過程のパラメータ設定の改善が求められている。そこで本研究では、水平解像度 14 km と 7 km それぞれで雲微物理パラメータを変える物理アンサンブル季節実験を実施し、MJO と平均場の再現性に対する水平解像度および雲微物理パラメータの依存性を調べることとした。

各物理アンサンブル実験の積分期間は複数の MJO イベントを含む 2018 年 11 月 1 日からの 90 日間とした（図 B-4）。物理アンサンブルとしては雲の組織化に感度のある氷晶の衝突併合成長率（autoconversion rate）の値を 3 通りに変えた。水平解像度 14 km と 7 km それぞれについて同一の実験設定で物理アンサンブル実験を行なった。これまでに水平解像度 14 km 実験は 90 日分終了し、水平解像度 7 km 実験も年度内に終了予定である。ここではスピンアップを 5 日間として 2018 年 11 月 6 日から 45 日間の計算結果について報告する。また、ここでは 3 つの物理アンサンブルについて氷晶の衝突併合成長率を小さくとったものから順にアンサンブル 1、2、3 と呼ぶこととする。

水平解像度 7 km 及び 14 km の計算結果を外向き長波放射（outgoing longwave radiation; OLR）の時間経度断面図（図 B-5 上段、図 B-6 上段）で比較すると、両者共に全ての物理アンサンブル実験において 11 月から 12 月にかけての MJO イベント（以後、MJO-1 と呼ぶ）に伴った東進する対流活動がある程度再現されていた（図 B-5 上段、図 B-6 上段）。しかし、14 km メッシュの物理アンサンブル実験では、12 月から 1 月にかけての MJO イベント(MJO-2)に伴う対流活動の組織化が弱い(アンサンブル 1)、もしくは対流活動が西太平洋上で発生し続けてしまい（アンサンブル 2、3)、再現性に問題がある。それに対して 7 km メッシュ実験では、MJO-1 ほど明瞭ではないものの、MJO-2 に対応する対流活動の東進が再現されていることが認められた。特に 7 km メッシュ実験のアンサンブル 1 では、MJO-2 の発生にあたるインド洋上の対流活動の発生時期や MJO 内の西進する対流システムについても再現されていた。

平均場の再現性を検証するため、それぞれの実験について OLR と降水の 45 日平均を比較した（図 B-5、図 B-6 中段、下段)。その結果、OLR の平均場の特徴として、水平解像度 7 km 実験では全アンサンブルにおいて海洋大陸から西太平洋上で OLR が低くなるバイアスがあること、インド洋上では氷晶の

衝突併合成長率の増加と共に OLR が高くなる傾向を示すこと、が判明した。また、水平解像度 14 km 実験では水平解像度 7 km 実験と比べ OLR が全体的に高くなる傾向が見られたが、氷晶の衝突併合成長率に対する系統的な依存性は確認できなかった。降水分布に関しては、異なる水平解像度間および物理アンサンブル間において顕著な系統的差異は認められなかった。降水分布の観測データとの比較ではインド洋上で全体的に降水量が少ない傾向にあったが、太平洋上の降水分布と強度についてはある程度の再現性を示すことが判明した。

本研究の結果として、NICAM の高解像度化によって季節スケールの降水分布を再現しつつ 1 イベントを超えて MJO を再現できる可能性が示唆された。また、OLR に対する雲微物理パラメータの感度は水平解像度に依存する結果が得られたことから、高解像度化と共に系統的な雲微物理パラメータの変更の方法について今後より詳しく調べることの重要性が示された。

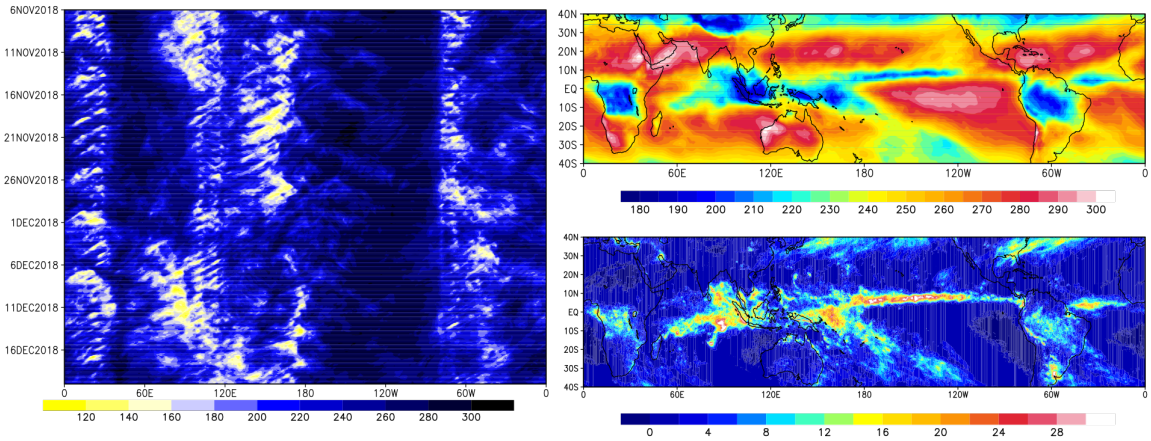


図 B-4：実験期間の OLR 及び降水分布。南北 5 度平均した NASA CERES OLR の時間経度断面図（左；W m^{-2}）と 2018 年 11 月 6 日から 45 日平均した OLR の分布図（右上；W m^{-2}）及び GSMaP の降水分布図（右下；mm/日）。

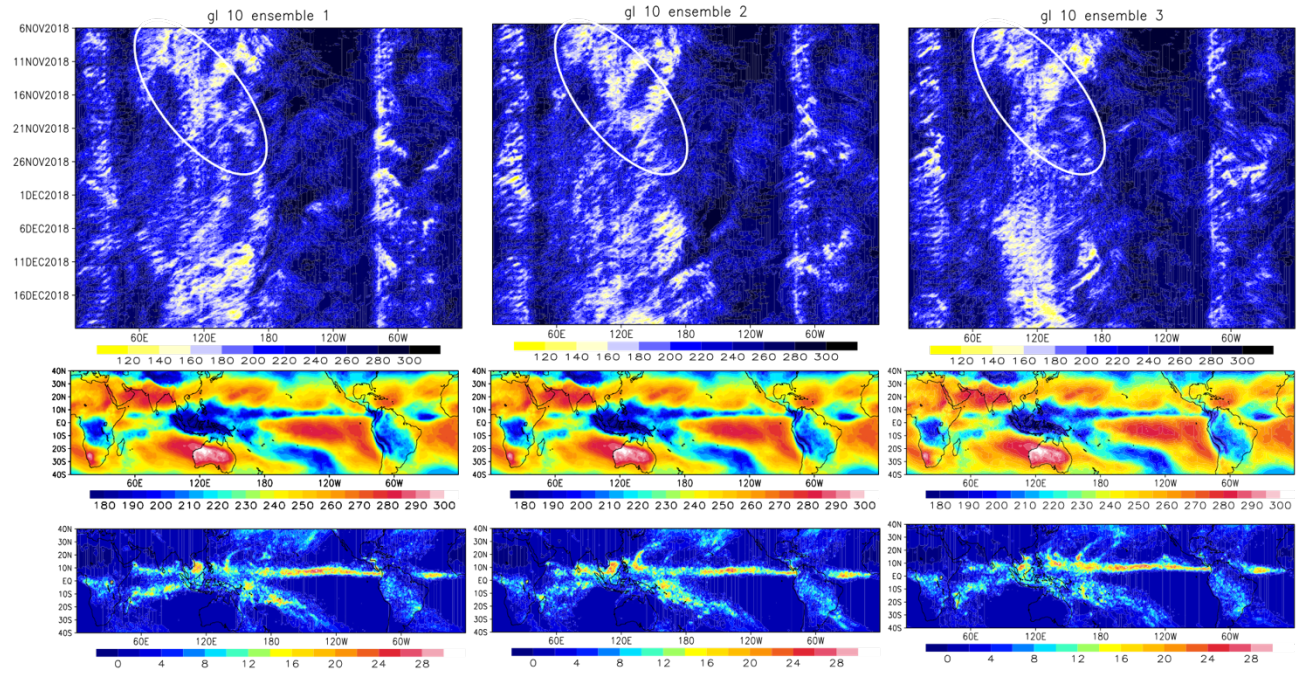


図 B-5： 水平解像度 7 km 物理アンサンブル実験の結果。

左から右に氷晶の衝突併合成長率を増加させたアンサンブル 1～3 について、南北 5 度平均した OLR の時間経度断面図（上段；W m^{-2}）、2018 年 11 月 6 日から 45 日平均した OLR の分布図（中上；W m^{-2}）及び降水分布図（下段；mm/日）。

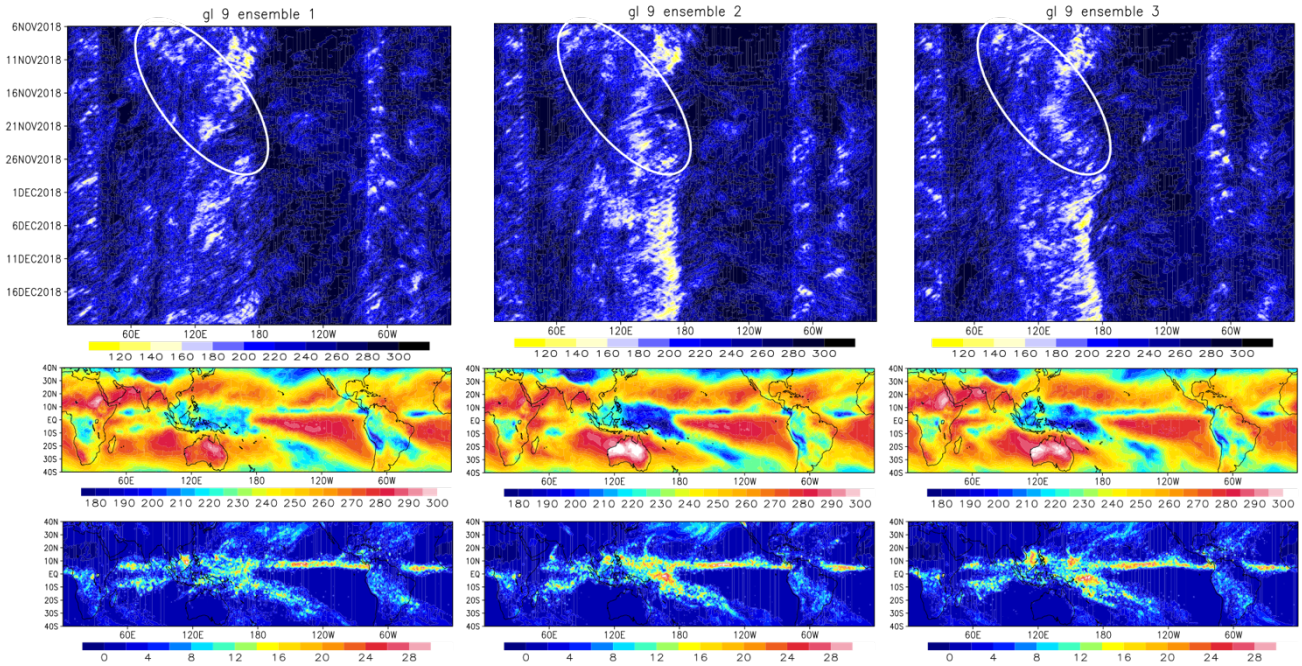


図 B-6： 図 B-5 と同様、但し水平解像度 14 km 物理アンサンブル実験の結果。

参考文献

Jiang, X., et al., 2015: Vertical structure and physical processes of the Madden‐Julian oscillation: Exploring key model physics in climate simulations. *J. Geophys. Res. Atmos.,* 120.10, 4718-4748.

Miura, H., et al., 2007: A Madden-Julian oscillation event realistically simulated by a global cloud-resolving model. *Science,* 318.5857, 1763-1765.

Miyakawa, T., et al., 2014: Madden-Julian Oscillation prediction skill of a new-generation global model demonstrated using a supercomputer, *Nature communications,* 5.1, 1-6.

③ NICAM単精度化の月～季節スケール予測への影響調査（目標1・2）
（海洋研究開発機構）

台風やその活動に影響を及ぼす北半球夏季季節内変動（BSISO）において、NICAMは高い再現性能を持つことが示されてきた（Nakano et al., 2015; Nasuno et al., 2016; Kikuchi et al., 2017; Yamada et al., 2019; Nakano and Kikuchi, 2019）。これらの研究で用いられたNICAMは倍精度演算によって動作している。スーパーコンピュータ「富岳」での利用を念頭に単精度版NICAMの開発が進められており（Yashiro et al., 2016; Nakano et al., 2018）、2018年にリリースされた最新版のNICAMでは物理過程まで含めてすべて単精度動作が可能となった。しかしながら、これまで行ってきたNICAM力学コアの単精度化実験（Nakano et al., 2018）では一部の変数を倍精度のまま計算する必要性があった。物理過程についても全ての変数を単精度化できる保証はなく、単精度化による副作用として、台風などの再現性能に影響がでる恐れがある。そこで水平解像度14 kmのNICAMを用いて2015年5-7月のアンサンブル予測実験を行い、単精度化による影響を調査した。初期値はJRA-55を用いて2015年4月30日00UTCから5月1日00UTCまで6時間おきに5セット作成し、8月1日00UTCまで積分した。

図B-7は観測と倍精度、単精度NICAMにおける月平均海面気圧と850 hPa面における風、台風経路を示す。モデル（中・下段）は5メンバーのアンサンブル実験で予測されたすべての台風経路を示しているため、観測よりも経路が多く示されていることに注意されたい。月平均の台風発生数とアンサンブルメンバー間での標準偏差も示す。倍精度実験では単精度実験と比較して日本南海上における6、7月の太平洋高気圧の西への張り出しや、フィリピン近海におけるモンスーントラフの東への伸長をよく再現できている。また、台風発生位置や経路のばらつきが大きい。3ヶ月間の発生個数は観測7個に対して、倍精度は5.0±1.9個で観測された発生数をほぼ捉えられているが、単精度4.6±1.3個で過小評価であった。これには、単精度実験において、7月の発生個数とその標準偏差を過小評価していることが関係していると考えられる。アンサンブル平均した発生個数の過小評価には、モンスーントラフの伸長がよく再現されていないことが理由としてあげられる。また標準偏差の過小評価には、Yamada et al., (2019)において指摘されているように、BSISOに代表される大気内部変動の大きさが過小となっていることが考えられる。今後これらの違いがなぜ引き起こされたのか、より詳細なデータ解析を行うとともに、モデルの一部を倍精度に戻した実験などを行うことで引き続き調査をする必要がある。

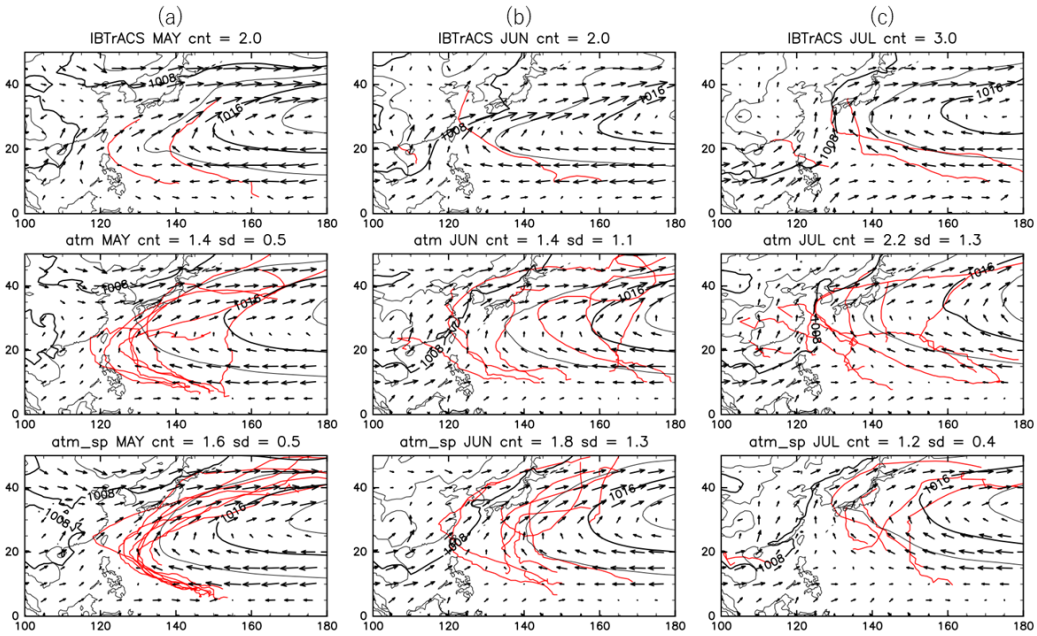


図 B-7： 観測（上段）と 2015 年 4 月 30 日 00UTC-5 月 1 日 00UTC を 6 時間おきに初期時刻とする 5 本の倍精度（中段）、単精度（下段）の水平解像度 14 km NICAM アンサンブル実験で予測された、2015 年 5 月(a)、6 月(b)、7 月(c)の海面気圧（等値線、4 hPa 間隔）、台風トラック（赤線）、850 hPa の風速分布（矢印）。各月の台風発生数（cnt）とその標準偏差（sd）も示す。

参考文献

Kikuchi, K., C. Kodama, T. Nasuno, M. Nakano, H. Miura, M. Satoh, A. T. Noda, Y. Yamada, 2017: Tropical intraseasonal oscillation simulated in an AMIP-type experiment by NICAM, *Clim. Dyn.*, 48, 2507-2528, doi:10.1007/s00382-016-3219-z.

Nakano, M., H. Yashiro, H. Tomita and C. Kodama, 2018: Single Precision in the Dynamical Core of a Nonhydrostatic Global Atmospheric Model: Evaluation Using a Baroclinic Wave Test Case. *Mon. Wea. Rev.*, 146, 409-416, doi:10.1175/MWR-D-17-0257.1.

Nasuno, T., H. Yamada, M. Nakano, H. Kubota, M. Sawada, and R. Yoshida, 2016: Global cloud-permitting simulations of Typhoon Fengshen (2008), *Geosci. Lett.*, 3, 22, doi:10.1186/s40562-016-0064-1.

Nakano, M., M. Sawada, T. Nasuno, M. Satoh, 2015: Intraseasonal variability and tropical cyclogenesis in the western North Pacific simulated by a global nonhydrostatic atmospheric model, *Geophys. Res., Lett.*, 42, 565-571, doi:10.1002/2014GL062479.

Nakano, M., and K. Kikuchi, 2019: Seasonality of Intraseasonal Variability in Global Climate Models. *Geophys. Res. Lett.*, 46, 4441-4449, doi:10.1029/2019GL082443.

Yamada, Y., C. Kodama, M. Satoh, M. Nakano, T. Nasuno, and M. Sugi, 2019: High-resolution Ensemble Simulations of Intense Tropical Cyclones and Their Internal Variability During

the El Ninos of 1997 and 2015. *Geophys. Res. Lett.*, 46, 7592-7601, doi:10.1029/2019GL082086.

Yashiro, H., K. Terasaki, T. Miyoshi, and H. Tomita, 2016: Perfor- mance evaluation ofa throughput-aware framework for ensemble data assimilation: The case of NICAM-LETKF. *Geosci. Model Dev.*, 9, 2293-2300, doi:10.5194/gmd-9-2293-2016.

④ 水平解像度 14 km と 7 km を組み合わせた季節・年スケールのアンサンブル実験における台風（目標 2）（海洋研究開発機構）

④−1. 季節スケールの台風の予測可能性

2016 年は台風 1 号の発生日が 7 月 3 日（UTC）となり、1951 年以降の観測では 2 番目に遅い年であった。8 月になると台風が連続して発生し、年間の台風発生数としては平年並みの 26 個となった。このような特異的であった 2016 年の季節内での台風変動の予測可能性を調べるために、NICAM を用いた水平解像度 14 km の 50 メンバーアンサンブル実験と水平解像度 7 km の 3 メンバーアンサンブル実験を実施した。

図 B-8 に 2016 年の 6 月以降の台風の累積発生数を示す。観測では 8 月 31 日までの台風の発生数は 11 個であった。水平解像度 14 km の 50 アンサンブルメンバーの中で 11 個以上の台風が発生していたのは 6 メンバーであり、6 月から 8 月までの累積発生数が 11 個以上となる確率は 12%だった。アンサンブル平均では累積発生数は 7.6 個（標準偏差 2.5）であり、観測と比べると過小評価の傾向であった。

水平解像度 7 km NICAM の実験では、1 メンバーだけ発生数が 5 個と観測に比べて極端に少なかったが、他のメンバーでは観測に匹敵する 12 個と 10 個の台風が発生した。水平解像度 7 km のメンバー数が少ないため統計的な検証が必要であるものの、高解像度化によって多くの台風が発生して観測に近づく傾向が見られた。改善の傾向を正確に確認するためには水平解像度 7 km の NICAM によるさらに多くのメンバーを有したアンサンブル実験の実施が必要となる。

1979 年から 2016 年までの観測の 8 月の平均台風の発生数は 5.4 個であるのに対し、2016 年の台風発生数は 7 個であった。水平解像度 14 km NICAM アンサンブル実験では 8 月中に 16 %のメンバーで観測の平均値を超える 6 個以上の台風が発生していた。一方、水平解像度 7 km NICAM アンサンブル実験では 8 月中に 6 個以上の台風が発生したメンバーは存在しなかった。先行研究では 2016 年 8 月の台風の発生にはモンスーンジャイアとの関係が指摘されている（Jinno et al., 2019）。モンスーンジャイアはモデル内で適切に表現されていたのか、その再現性がメンバー間の台風発生数の変動にどう影響を及ぼしていたのかという点に注目して調査していく必要がある。

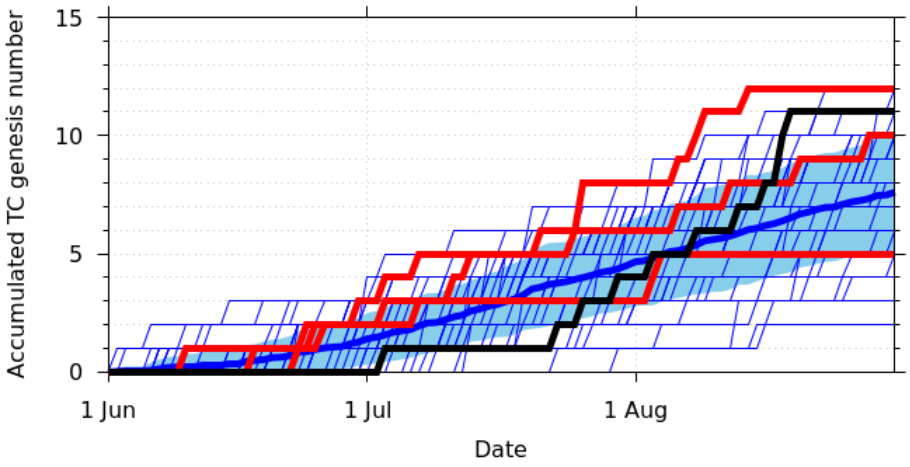


図 B-8： 2016 年の 6 月以降の台風の累積発生数。黒線は気象庁のベストトラックより作成。青線は水平解像度 14 km の NICAM の 50 メンバーアンサンブルの平均値を示し、薄い青色はその標準偏差を示す。細い青線は各メンバーの結果を示す。赤線は水平解像度 7 km の NICAM の各メンバーの結果を示す。

④−2. 年スケールの台風の年々変動

エルニーニョやラニーニャといった時空間スケールの大きな海面水温の変動の影響を受け、年スケールの台風の活動は変動することが知られている（例えば Camargo and Sobel, 2005）。一方でモデル内の台風の活動は「(3)成果内容①」で述べたように BSISO に代表される大気の内部変動の影響を受ける（Patricola et al., 2016; Yamada et al., 2019）。このため海面水温の年々変動に対する台風の活動の応答を評価するには大メンバーのアンサンブル実験を用いた評価が必要となる。観測史上最も振幅の大きなエルニーニョ現象として 1997-98 のエルニーニョ・ラニーニャ現象が知られている（McPhaden, 1999）ことから、海面水温の年々変動に対する台風の感度を評価するため、1997 年（エルニーニョ）と 1998 年（ラニーニャ）を対象とし、水平解像度 14 km NICAM を用いて 50 メンバーのアンサンブル実験を実施した。北西太平洋では 6 月から 10 月の夏季の 5 ヶ月間に台風の活動が最も活発になるため、この 5 ヶ月間を解析期間とした。また水平解像度依存性を調べるため、水平解像度 7 km NICAM でも同期間を対象とした実験を実施した。

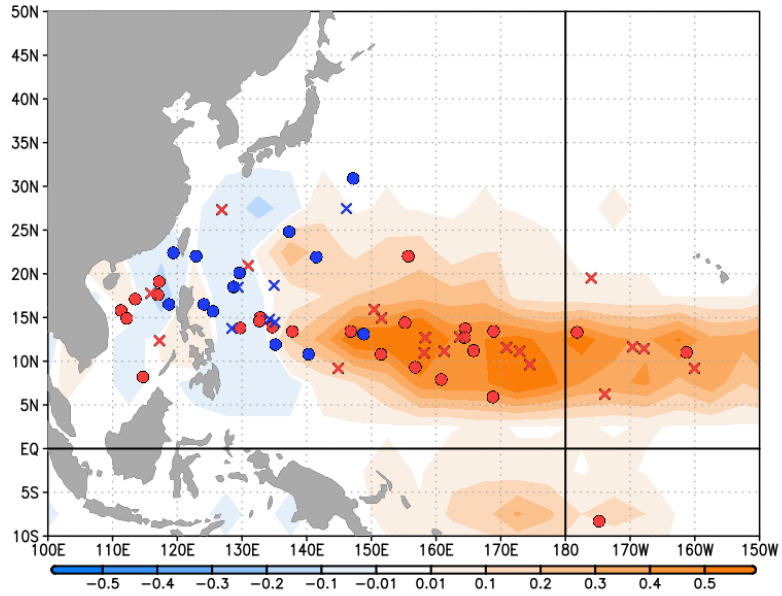


図 B-9： 海面水温の変動（1997 年のエルニーニョ vs. 1998 年のラニーニャ）に対する台風の発生位置の変化。シェードは水平解像度 14 km NICAM の 1997 年と 1998 年の各年のアンサンブル平均の差を示し、暖色の場所はエルニーニョ時に台風の発生数が多いことを示す。丸印は JTWC のベストトラックから得られた 1997 年（赤）と 1998 年（青）の台風の発生位置を示す。バツ印は水平解像度 7 km NICAM の 1997 年の実験（赤）と 1998 年の実験（青）で発生した台風の発生位置を示す。

北西太平洋域の台風の発生位置はエルニーニョ発生時に南東側へ移動すると言われている（Camargo and Sobel, 2005)。実際に観測（ベストトラック）では 1998 年に比べて 1997 年の台風は 140°E よりも東側で発生する台風が多く、この差異を 14 km メッシュ NICAM のアンサンブル実験はよく表現している。7km メッシュの実験もこの傾向をよくとらえており、20°N 以南では 140°E よりも東側に青いバツ印は存在しないが、赤いバツ印はベストトラックに匹敵する程度存在している(図 B-9)。

極端な海面水温の分布を持った 1997 年と 1998 年を対象とした水平解像度 14 km NICAM の 50 アンサンブル実験を行い、海面水温の年々の変化に対する台風活動の感度を確認した。その結果、水平解像度 14 km NICAM は、エルニーニョ発生時に観測される台風の発生位置の変化をよくとらえることができていることを確認できた。また、こういった傾向は水平解像度 7 km NICAM でも概ね同様であることを確認した。

今回の解析では、台風の発生位置の年々変化が水平解像度 7 km NICAM でも概ね再現できることを示してきた。台風の発生位置はその台風の最大発達強度に影響する（Camargo and Sobel, 2005)。高解像度モデルでは台風の強度、特に風速の表現の改善が期待されることから、水平解像度 7 km NICAM で 14 km に比べて強い台風の再現性が改善されることが期待できる。今後は水平解像度 7 km NICAM のアンサンブル数を増やすことで、年スケールの台風の発生位置および発達の再現性についてさらに検証を進める必要がある。

参考文献

Camargo, S. J. and Sobel, A. H., 2005: Western North Pacific tropical cyclone intensity and ENSO, *J. Clim.*, 18, 2996-3006.

Jinno, T. et al., 2019: NICAM predictability of the monsoon gyre over the western North Pacific during August 2016, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 97, 533-540.

McPhaden, M. J., 1999: Genesis and Evolution of the 1997-98 El Niño, Science, 283, 950-954.

Patricola, C. M.et al., 2016: Degree of simulated suppression of Atlantic tropical cyclones modulated by flavour of El Niño, *Nature Geoscience*, 9, 155-160.

Yamada, Y. et al., 2019: High-resolution Ensemble Simulations of Intense Tropical Cyclones and Their Internal Variability During the El Ninos of 1997 and 2015. *Geophys. Res. Lett.*, 46, 7592-7601.

⑤ 富岳へ向けた超高解像度大気海洋結合モデルNICOCOの準備（目標1・2）

（東京大学大気海洋研究所）

1ヶ月程度の時間スケールにおいて極端現象を予測する際には、マッデン・ジュリアン振動（MJO）などの「季節内振動」の動向を適切に捉えることが肝要である。HPCI 戦略プログラム分野3における研究などにより示されたとおり、全球雲解像モデルNICAMはMJOの動向の予測においては世界最高クラスの性能を有している（Miyakawa et al., 2014）。一方で、対象とする時間スケールが数ヶ月あるいはそれ以上となると、大気よりも変動の時間スケールが長いエルニーニョ・南方振動（ENSO）など海洋の動向との関連において MJO などの大規模な大気の活動を捉えることが必要となる。また、海洋を精緻化することにより、季節内振動がローカルな極端現象へ与える影響もより精度良く表現されることが期待される。

重点課題4では昨年度までに、3次元の力学的な海洋モデル（COCO）との結合を実装したNICAM-COCO（NICOCO）を開発し、ポスト京（富岳）実機での利用に向けてその性能調査と調整を進めてきた。その過程で、NICOCO には多くの大気海洋結合モデルに共通の冷舌型バイアスが存在している一方で、解析時にバイアスによる寄与を除去するとMJOのシグナルは明瞭に残っており、NICAMと同等の優秀な予測スコアを維持していることが確かめられている（Miyakawa et al., 2017）。また、海洋のシグナルが顕著であるような状況下においてはNICOCOのメリットが特に強調されることを、MJOと同期してエルニーニョが終息した1998年5月の事例（Takayabu et al., 1999）を例にとって示した。NICOCOのバイアス低減や解像度に応じた系統的な調整技術を向上させるため、解像度および積雲パラメタリゼーションスキームの有無やそのパラメータ設定によって対流・MJO・大規模循環場がどのような関係のもとに変化するかを中心に調査を進めてきた（Miyakawa et al., 2018; Miyakawa and Kikuchi, 2018; Miyakawa and Miura 2019など）。

今年度は、引き続き解像度依存性等についての調査を実施するとともに、富岳へ向けた全球高解像度大気海洋結合実験(大気3.5 km“雲解像”、海洋0.1度“渦解像”)の準備を進めた。また、実験・解析に必要なデータを富岳へ引き継ぐための作業を実施した。図B-10に示すように、MJOに相当する対流活動の東進速度が解像度に対して不連続・段階的に変化することが明らかになった。Miyakawa and Miura (2019)では水平解像度とともに雲・降水比が変化することが明らかになっており、この比がある

閾値を超えると、同等の東西非一様性を解消するために選択される擾乱が切り替わるものと推察される。この結果は、富岳において従来よりも高解像度のモデル設定を主力として活用する際のパラメータ調整に有益な指針を与えるものである。また、図 B-11 に示すように、全球雲解像・渦解像設定での大気海洋結合シミュレーションはすでに動作する状態となっており、中緯度域の極端現象予測に重要な西岸境界流（黒潮・メキシコ湾流など）が精緻に表現されるなど望ましい性質が確認されている。

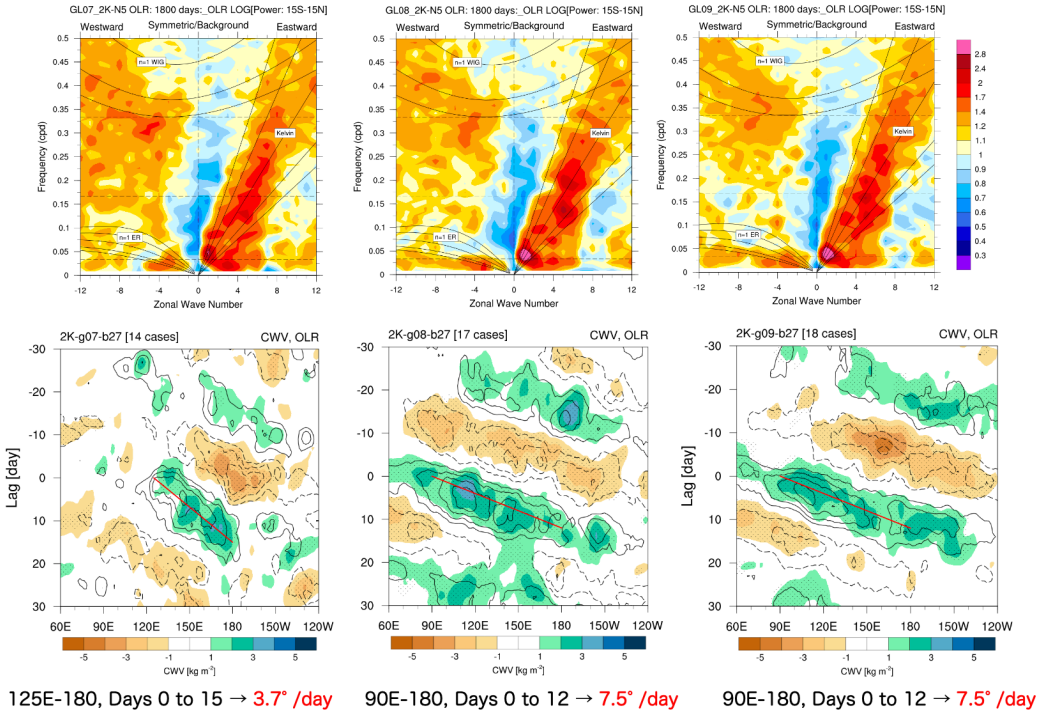


図 B-10： 左から水平解像度 56 km、28 km、14 km の NICAM 全球水惑星理想実験の結果。東西方向に波数 1 の海面水温構造を境界条件として与えて大気モデルとしてシミュレーションを行っている。上段の東西波数・周期のスペクトル強度図（南北対称成分）と下段の東西時間断面では、水平解像度 28 km と 14 km では波数 1〜2 程度の対流活動が水平 56 km と比べて速い東進速度を持つことを整合的に表している。
図は高須賀大輔氏（東京大学）より提供。

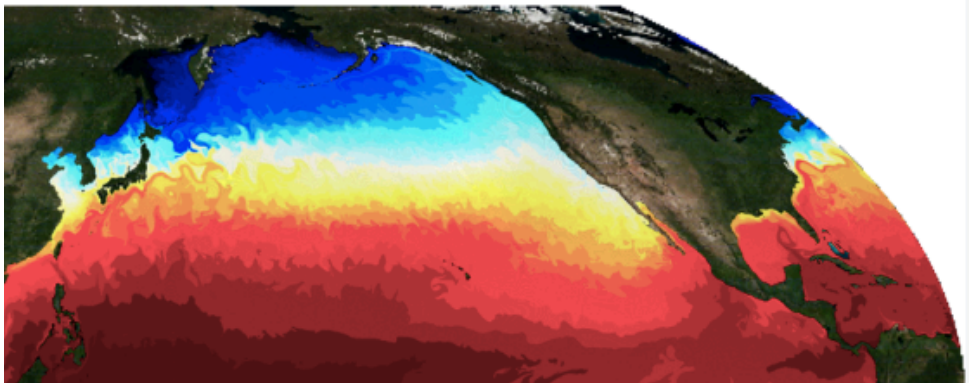


図 B-11： 大気水平解像度 3.5 km, 海洋水平解像度 0.1 度の「雲解像・渦解像」設定で実施した NICAM-COCO（NICOCO）によるシミュレーション結果（海面水温）。黒潮やメキシコ湾流、メソ渦などが精緻に表現されている。

参考文献

Miyakawa, T., M. Satoh, H. Miura, H. Tomita, H. Yashiro, A. T. Noda, Y. Yamada, C. Kodama, M. Kimoto, and K. Yoneyama, 2014: Madden-Julian Oscillation prediction skill of a new-generation global model demonstrated using a supercomputer. *Nature Comm.*, doi:10.1038/ncomms4769.

Miyakawa, T., H. Yashiro, T. Suzuki, H. Tatebe, M. Satoh, 2017: A Madden-Julian Oscillation event remotely accelerates ocean upwelling to abruptly terminate the 1997/1998 super El Nino. *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1002/2017GL074683.

Miyakawa, T., and K. Kikuchi, 2018: CINDY2011/DYNAMO Madden-Julian oscillation successfully reproduced in global cloud/cloud-system resolving simulations despite weak tropical wavelet power. *Scientific Reports*, doi:10.1038/s41598-018-29931-4

Miyakawa, T., and M. Miura, 2019: Resolution sensitivity of cloud features in organized convection in a global cloud/cloud-system resolving model. *J. Meteor. Soc. Japan*, 97, doi:10.2151/jmsj.2019-034.

Takayabu, Y. N., T. Iguchi, M. Kachi, A. Shibata, and H. Kanzawa, 1999: Abrupt termination of the 1997-98 El Niño in response to a Madden-Julian oscillation, *Nature*, 402, 279-282, doi:10.1038/46254.

⑥ ポスト「京」実機を念頭においたビン法雲微物理モデルの検討（目標１・2）（東京大学大気海洋研究所）

雲は気象予測においてもっとも重要かつ不確かな要素の１つである。その生成・発達・消滅過程は多くの数値モデルでは雲粒・雨粒の粒径分布を仮定するバルク法によって扱われているが、そのスキームに含まれる不確かさは気象予測の不確実性の大きな要因となっている。将来、計算機資源がより豊富になったときに、もっとも確実にその利点を生かせる一つの分野として雲微物理過程の詳細化が考えられ、より正確な表現方法として期待されているのがビン法である。ビン法では、雲粒・雨粒をその粒径

によって多くのビンと呼ぶグループに分け、それぞれのビンの粒子数密度や混合比を予報変数として扱うことで、粒径の小さな雲粒から粒径が大きな雨粒への発達過程などを正確に表現することができる。

昨年度は領域版 NICAM を用いて既存のバルク法における感度を調査するとともに、簡易モデルへビン法雲微物理モデルを導入してテスト実験を行った。本年度はビン法雲微物理スキームを組み込みつつある領域版 NICAM を用い、もっとも設定が単純な大気境界層にできる積雲の再現実験を実施することでビン法の有効性を検証した。環境場などの設定は、RICO（Rain In Cumulus over the Ocean）で観測され、数値モデルの比較実験（van Zanten et al., 2011）で使われた成層状況で、海面から弱い顕熱・潜熱の補給があり、水平移流と鉛直下降流でほぼ平衡が保たれている貿易風帯積雲の典型的な状況である。モデルは領域版 NICAM、水平と鉛直の解像度はそれぞれ 100 m と 40 m、領域は水平 12.8 km の正方形、高さは 4 km である。水平方向はサイクリック、上部の物理量は一定、海面からの熱補給はバルク法で計算するという境界条件が使われている。初期にランダムな温度擾乱を与えて 24 時間積分を行い、ほぼ平衡になる 20〜24 時間後で平均した物理量を解析に使った。

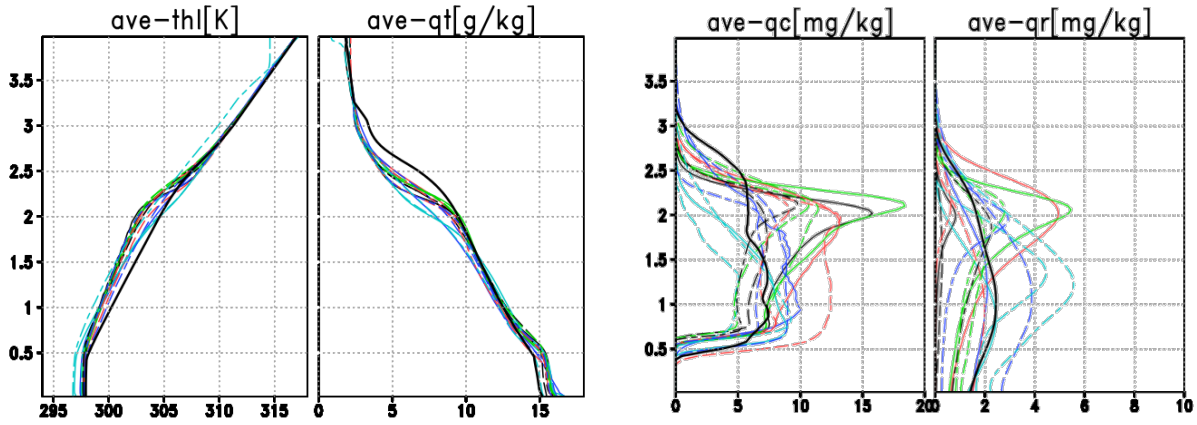


図 B-12：GCSS（GEWEX Cloud System Study; van Zanten et al., 2011）のグループによる結果（細線）と今回の NICAM の結果（太い黒実線）。計算開始から 20〜24 時間後で平均した水平平均値の鉛直分布。左から、液水温位、全水混合比、雲水混合比、雨水混合比。但し、NICAM の結果は Kessler の雲微物理スキームを使った結果。

図 B-12 は、積分開始 20〜24 時間後の水平平均値の鉛直分布である。NICAM の結果でも他の多くのモデルの結果と同じく、下層から順に、水平平均の液水温位と全水混合比が高さによらずほぼ一定の雲底下層、その上に雲層、そしてその上に逆転層という成層構造が生成され、領域版 NICAM は境界層実験にも十分使い得ることが示された。但し、RICO の実験設定では、外力として与えられているのは冷却率（温位の時間変化率）と平均下降流で、平均下降流の鉛直移流による断熱加熱率が外力の冷却率とバランスする設定である。他の多くのモデルでは温位が予報変数として使われるため、単純に外力の冷却率と下降流に伴う断熱加熱率がバランスした結果が得られている。一方、NICAM では内部エネルギーを予報変数として使い、内部エネルギーは温度、比熱、密度、水蒸気混合比に依存するため、2 つの過程のバランス場が他のモデルに比べてやや異なるという結果が得られている。

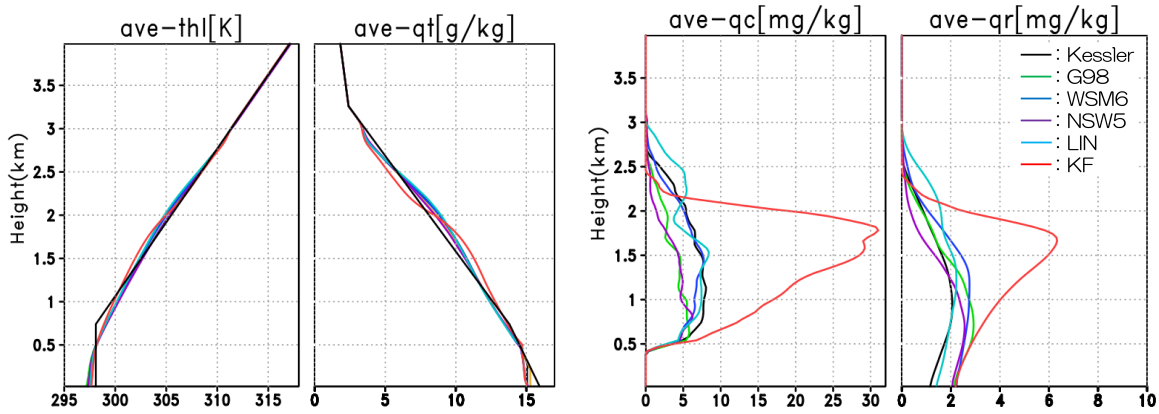


図 B-13：NICAM でさまざまな雲微物理スキームを使った境界層の再現実験の結果。但し、計算開始から 5～6 時間後で平均した水平平均値の鉛直分布。左から、液水温位、全水混合比、雲水混合比、雨水混合比。Kessler、G98、WSM6、NSW5、LIN はこれまで NICAM に組み込まれているバルク法スキーム、KF は久芳藤吉ビンスキーム。

図 B-13 は、雲微物理過程のスキームとしてこれまで NICAM で使われてきたいくつかのスキームを使って得られた境界層再現実験をビン法の結果と比較したものである。但し、一部スキームでは 24 時間計算が終了していないので、図 B-12 とは違い 5～6 時間後で平均した結果である。NICAM に組み込みつつあるビン法雲微物理スキームは、暖かい雨に関して久芳・藤吉（Kuba and Fujiyoshi, 2006）によって開発されたスキームで、各ビンについて、液水混合比と粒子数密度を予報変数として扱う 2 モーメントスキームである。凝結核の活性化の部分が特徴的で、過飽和度によるパラメタリゼーションは使わず、ある程度の凝結量ができる段階でパーセルモデルの結果を使った「鉛直流と凝結核の数密度分布によってきまる生成粒子数密度」を決め、それをΓ分布させることで初期雲粒粒径分布を決定している。

久芳・藤吉ビンスキームを使った結果（赤実線）は他のスキームと比較してたいへん多くの雲が長時間残っているが、これは雲内での凝結核の活性化の取り扱いに起因している。これまでの久芳・藤吉ビンスキームでは雲粒があるとき凝結核の活性化が起きず、雲粒数が極端に少ないという問題があった。これを修正するため、今回は雲内での凝結核の活性化を有効にして計算を行った。今後、観測と比較をしながら凝結核の活性化の調整を行うことで、NICAM が RICO のような境界層を適切に再現できるようになると考えられる。

参考文献

Kuba, N. and Fujiyoshi, 2006: Development of a cloud microphysical model and parameterizations to describe the effect of CCN on warm cloud, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 2793-2810.

vanZanten, M. C., et al., 2011: Controls on precipitation and cloudiness in simulations of trade-wind cumulus as observed during RICO, *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 3, M06001, doi:10.3894/JAMES.2011.3.5.

⑦ ポスト「京」で水平約 100 m 格子に発展させるための各種パイロットスタディ（目標 3）
（海洋研究開発機構）

目標 3 では、日本全域の沿岸を詳細に表現する海洋モデルに基づく海況予測システムの開発を行う。本年度は、水平解像度約 100 m 日本沿岸モデルに発展させるために水平解像度約 100 m 三陸沖モデルを構築しテストを行った。また、昨年度に引き続き海況予測システムの開発を継続し、水平約 500 m 格子に基づくシステムを構築した。

⑦−1. 水平約 100 m 格子三陸沖モデル

水平解像度約 100 m 日本沿岸モデルに基づく海況予測システムをポスト「京」で構築することを目指し、現在の計算資源で可能な水平解像度約 100 m 三陸沖モデルを構築した。用いたモデルは COCO（Hasumi, 2006）を基にした双方向ネストモデルである。このモデルは全球モデル L0（北緯 63 度以南の格子幅：経度方向 1/4 度、緯度方向 1/4cosφ度（φは緯度））、北西太平洋モデル L1（格子幅：経度方向 1/12 度、緯度方向 1/12cosφ度）、北日本から三陸沖を対象とした L2（格子幅：経度方向 1/60 度、緯度方向 1/60cosφ度）、L3（格子幅：経度方向 1/180 度、緯度方向 1/180cosφ度）、L4（格子幅：経度方向 1/900 度、緯度方向 1/900cosφ度）から構成される（図 B-14）。鉛直格子数はそれぞれのモデルで 62 である。粗いネストモデルの結果からより高解像度のモデルの初期値を作成することを繰り返しながら積分を行った。最内モデル L4 を含む全モデルで構成されるネストモデルを 2012 年 1 月 3 日～31 日の間積分した。

図 B-15 は L4 モデルで表現された海面の相対渦度の 1 時間平均値である。L4 モデルは直径約 500 m 程度の渦から表現可能であるが、微細スケールから 10 km 程度までの様々なスケールの渦が表現されている。三陸沿岸の複雑な陸岸地形付近では、より長期的な時間平均場にも微細スケールの渦が現れ、その表現性は潮汐を与えた場合（図 B-16(a)）と与えない場合（図 B-16(b)）で違っている。潮流と地形の相互作用によって生じる潮汐残差流により違いが生じている可能性がある。微細スケールの現象の現実性を検証することと、その形成メカニズムや物質循環等への影響を調べることは今後の課題である。

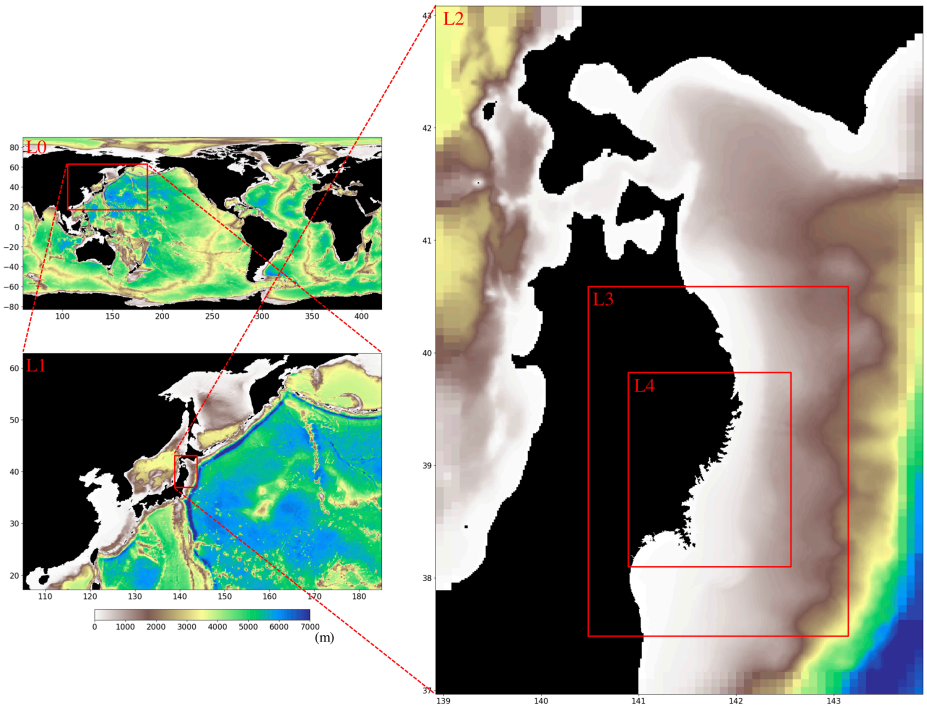


図 B-14：水平解像度約 100 m 三陸沖モデルの海底地形。

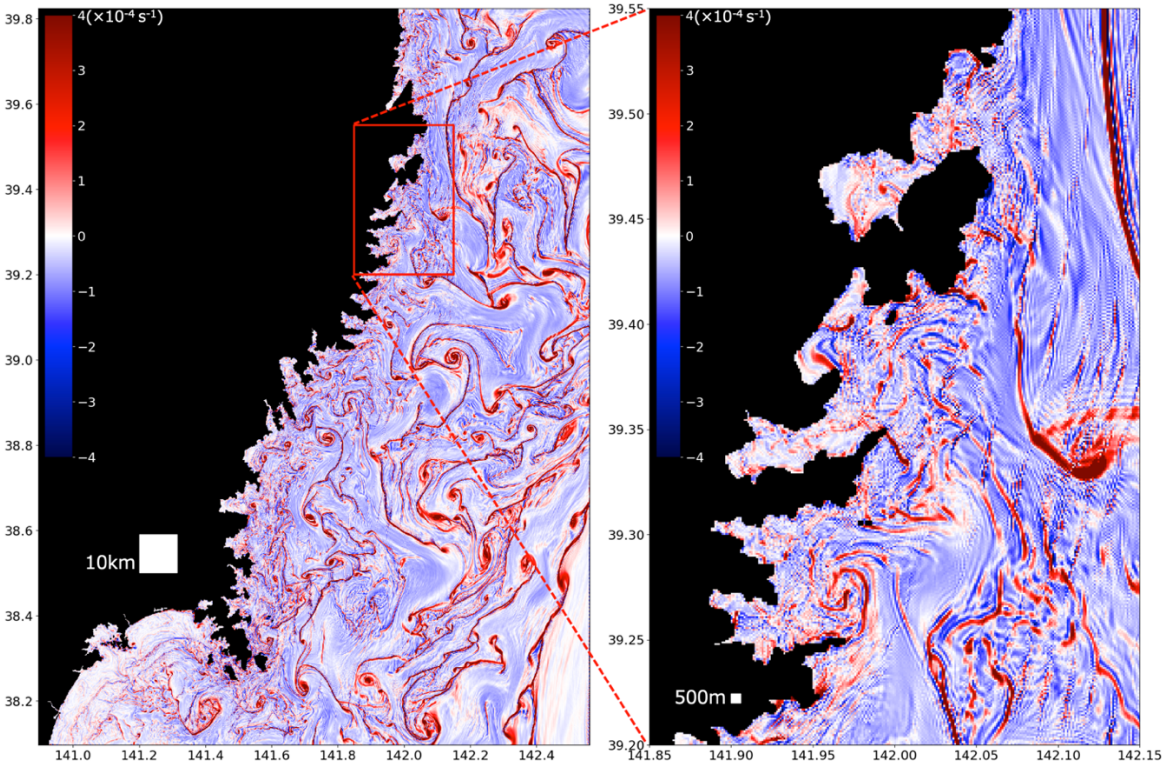


図 B-15：水平解像度約 100 m 三陸沖モデルで表現された海面の相対渦度の 1 時間平均値(2012 年 1 月 27 日 0:00-1:00)。

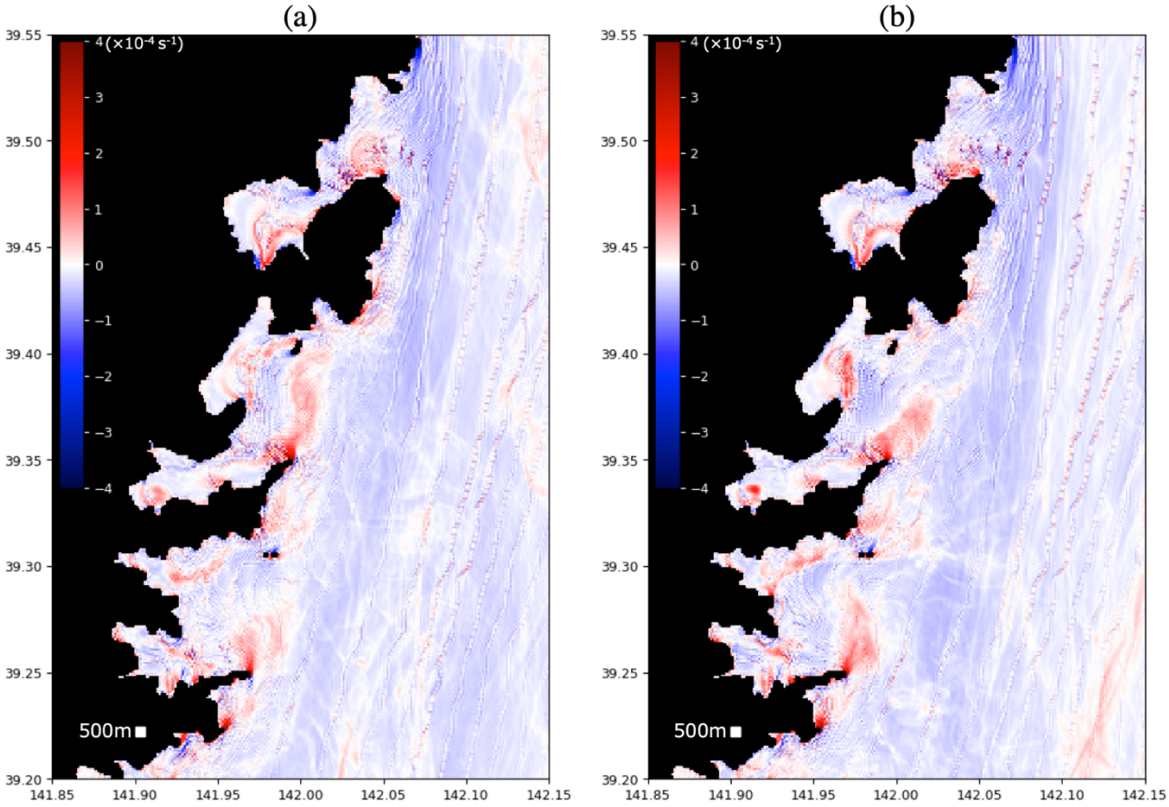


図 B-16：(a)水平解像度約 100 m 三陸沖モデルで表現された海面の相対渦度の 2 週間平均値（2012 年 1 月 18 日-31 日）。(b)(a)に同じ、ただし潮汐を与えない場合。

⑦−2. 水平解像度約 500 m に基づく海況予測システムの構築

MRI.COM（Tsujino et al., 2017）に基づく高解像度日本沿岸モデルを用いて MOVE/MRI.COM-JPN システム（Hirose et al., 2019）に基づく手法の海況予測システムの開発を継続している。このシステムでは、中規模現象を表現できる解析モデルの水温・塩分の結果（解析値）を用いて、水平解像度がより高い予報モデルを Incremental Analysis Updates（IAU; Bloom et al., 1996）で初期値化する。本研究では解析値として FORA-WNP30（Usui et al., 2017）を用い、高解像度日本沿岸モデルを初期値化しながら駆動するシステムを構築し予測実験を行った。このモデルは全球モデル L0（北緯 63 度以南の格子幅：経度方向 1/4 度、緯度方向 1/6 度）、北西太平洋モデル L1（格子幅：経度方向 1/12 度、緯度方向 1/18 度）、日本近海モデル L2（格子幅：経度方向 1/60 度、緯度方向 1/90 度）、日本沿岸モデル L3（格子幅：経度方向 1/180 度、緯度方向 1/270 度）から構成される単方向ネストモデルである。

昨年度は日本近海モデル L2 の初期値化・予測実験を行なった。本年度は水平解像度約 500 m の日本沿岸モデル L3 についても初期値化・予測実験を図 B-17 の手順で行い、結果の妥当性を確認した。例えば、予測期間に日本南岸の黒潮は八丈島の南を迂回して流れる流路から徐々に接岸する流路へ遷移しつつあるが（図 B-18 黒線）、日本沿岸モデル L3 による予測も黒潮のこの流路変化を良く表現している（図 B-18 赤線）。このように水平解像度約 500 m に基づくシステムを構築できたので、今後は⑦−1 の三陸沖モデルと同様の、ネストレベルをもう 1 段階増やした水平解像度約 100 m の領域モデルに基づくシステムを構築し、ポスト「京」で可能となる水平解像度 100 m 日本沿岸モデルの開発へとつなげていく予定である。

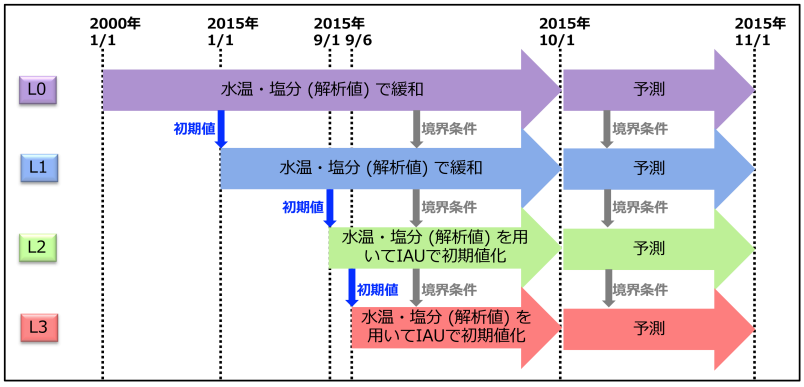


図 B-17：水平解像度約 500 m 日本沿岸モデルに基づく海況予測システムの積分方法。

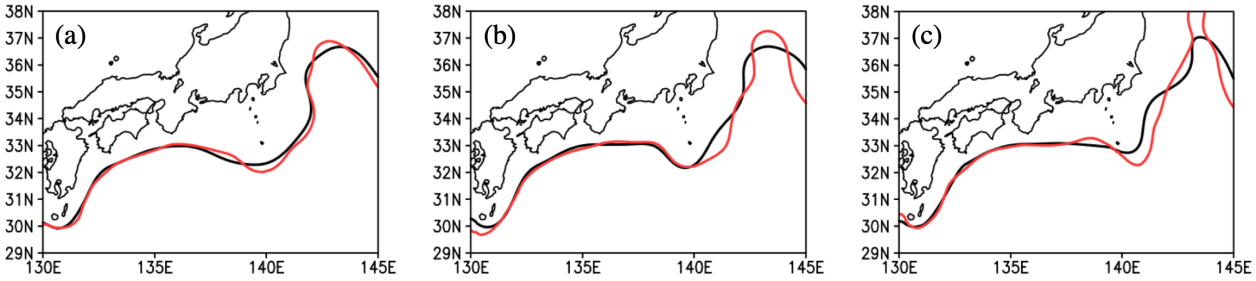


図 B-18：(a) 2015 年 10 月 11 日、(b) 2015 年 10 月 21 日、(c) 2015 年 10 月 31 日における黒潮流軸。黒は FORA-WNP30、赤は日本沿岸モデル L3 のもの。黒潮流軸は、日本南岸の 136° E における海面高度より 50 cm 大きい海面高度の等値線で定義した。

参考文献

Bloom, S. C., L. L. Takacs, A. M. da Silva, and D. Ledvina, 1996: Data assimilation using incremental analysis updates. *Mon. Wea. Rev.*, 124, 1256-1271.

Hasumi, H., 2006: CCSR Ocean Component Model (COCO) Version 4.0. *CCSR Report*, 25, Cent. for Clim. Sys. Res., Univ. of Tokyo, 103 pp.

Hirose, N., N. Usui, K. Sakamoto, H. Tsujino, G. Yamanaka, H. Nakano, S. Urakawa, T. Toyoda, Y. Fujii, and N. Kohno, 2019: Development of a new operational system for monitoring and forecasting coastal and open-ocean states around Japan. *Ocean Dyn.*, 69., 1333-1357.

Tsujino, H., H. Nakano, K. Sakamoto, S. Urakawa, M. Hirabara, H. Ishizaki, and G. Yamanaka, 2017: Reference manual for the Meteorological Research Institute Community Ocean Model version 4 (MRI.COMv4). *Tech. Rep.* 80, Meteorological Research Institute, Japan.

Usui, N., T. Wakamatsu, Y. Tanaka, N. Hirose, T. Toyoda, S. Nishikawa, Y. Fujii, Y. Takatsuki, H. Igarashi, H. Nishikawa, Y. Ishikawa, T. Kuragano, and M. Kamachi, 2017: Four-dimensional variational ocean reanalysis: a 30-year high-resolution dataset in the western North Pacific (FORA-WNP30). *J. Oceanogr.*, 73, 205-233.

⑧ ポスト「京」を念頭においた環境整備（全体）

（海洋研究開発機構・東京大学大気海洋研究所）

「京」の停止に伴い、開発したシステムや得られた計算結果を停止後にも利用できるよう環境を整備し保存した。具体的には、開発したシステムを Oakforest-PACS 等で利用できるよう環境を移植・整備することで、本稿の多くの成果内容を得た。また、ポスト「京」（富岳）試験環境への NICAM 移植に着手している。

「京」で得られた計算結果を HPCI 共有ストレージや各機関保有のストレージおよびテープアーカイブへ移動することで、内外のユーザからの求めに応じてデータを提供できる態勢を維持した。特に重要なデータとして、Grand Challenge として実施した全球水平解像度 870 m 実験（Miyamoto et al., 2013; 約 200 TB）、および初の高解像度気候実験である NICAM-AMIP 実験（Kodama et al., 2015; Satoh et al., 2015; 約 400 TB）について退避を実施した。これらのデータは計算から 5 年程度経過した現在においても幅広く利用されている（今年度については Na et al., 2020; Kodama et al., 2019; Noda et al., 2019; Yamada et al., 2019; Nakano et al., 2019）。また、「京」で実施した感度実験データ等についてもデータサイズを絞りながらデータの退避を実施した。

さらにポスト「京」を念頭に、計算結果の圧縮やフォーマットの見直しといった保存方法の改良を実施した。ポスト「京」において NICAM は数十倍程度の速度で実行可能になる予定であるが、例えばこの速度上昇を全て水平解像度の向上へ振り向けるとメッシュサイズは半分から 1/4 になり、データサイズは 4〜16 倍に増大する。このようなデータサイズの増大に対処するとともにデータハンドリングを容易にするため、NICAM の入出力で用いられている正二十面体格子系データについて新しいフォーマットを開発した。このフォーマットでは可逆・非可逆圧縮に対応させるとともに、国際標準である UGRID convention（http://ugrid-conventions.github.io/ugrid-conventions/）に従ったデータ構造を採用した。これにより、python 等を用いて生データのままで可視化や解析を行うことが容易になると想定している。図 B-19 は可逆圧縮フィルタを用いた結果である。圧縮率については水平解像度や変数の種類に依存するが、水平解像度 14 km NICAM の場合、概ね半分から 1/3 のサイズに圧縮することが可能である。圧縮処理に要する時間は NICAM 全体の実行時間に比べて十分小さいことも確認済みである。以上のように、入出力データ量が膨大になるポスト「京」において主力となりうる新ファイルフォーマットを準備した。

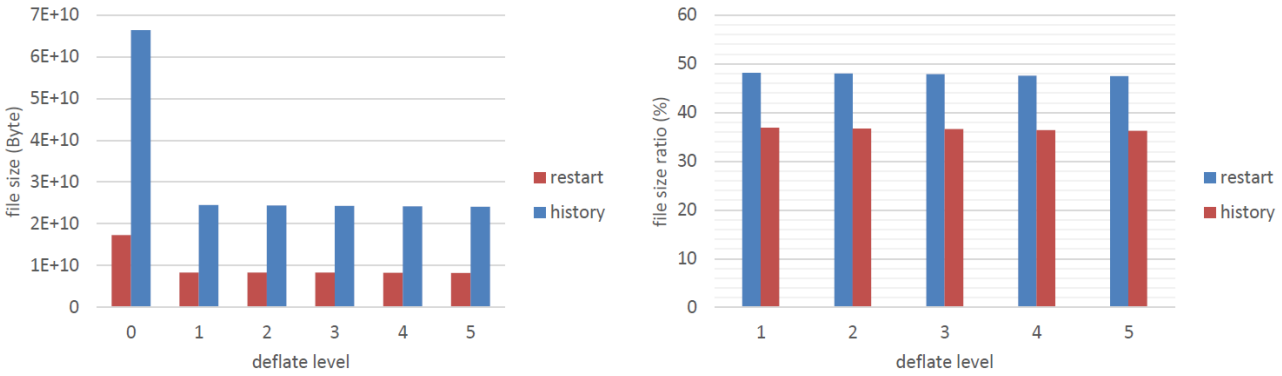


図 B-19： 水平解像度 14 kmNICAM における restart（初期条件）および history（出力変数）データのサイズ（左）と圧縮率（右）。deflate=0 が圧縮なし、deflate>0 が圧縮ありに相当する。

参考文献

Kodama, C., B. Stevens, T. Mauritsen, T. Seiki, and M. Satoh, 2019: A New Perspective for Future Precipitation Change from Intense Extratropical Cyclones. *Geophys. Res. Lett.*, 46, 12435-12444, doi:10.1029/2019GL084001.

Na, Y., Q. Fu, and C. Kodama, 2020: Precipitation Probability and Its Future Changes From a Global Cloud‐Resolving Model and CMIP6 Simulations. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 125, doi:10.1029/2019JD031926.

Noda, A. T., C. Kodama, Y. Yamada, M. Satoh, T. Ogura, and T. Ohno, 2019: Responses of Clouds and Large‐Scale Circulation to Global Warming Evaluated From Multidecadal Simulations Using a Global Nonhydrostatic Model. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 11, 2980-2995, doi:10.1029/2019MS001658.

Nakano, M., and K. Kikuchi, 2019: Seasonality of Intraseasonal Variability in Global Climate Models. *Geophys. Res. Lett.*, 46, 4441-4449, doi:10.1029/2019GL082443.

Miyamoto, Y., Y. Kajikawa, R. Yoshida, T. Yamaura, H. Yashiro, and H. Tomita, 2013: Deep moist atmospheric convection in a subkilometer global simulation. *Geophys. Res. Lett.*, 40, 4922-4926, doi:10.1002/grl.50944.

Yamada, Y., C. Kodama, M. Satoh, M. Nakano, T. Nasuno, and M. Sugi, 2019: High‐Resolution Ensemble Simulations of Intense Tropical Cyclones and Their Internal Variability During the El Niños of 1997 and 2015. *Geophys. Res. Lett.*, 2019GL082086, doi:10.1029/2019GL082086.

(4) 成果リスト

① 論文（査読付き）

Arakawa, T., Inoue, T., Yashiro, H., and Satoh, M., 2020: Coupling Library Jcup3: Its philosophy and application. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7, 6, doi:10.1186/s40645-019-0320-z.

Jinno, T., Miyakawa, T., Satoh, M., 2019: NICAM predictability of the monsoon gyre over the western North Pacific during August 2016. *J. Meteor. Soc. Japan*, 97, 533-540, doi:10.2151/jmsj.2019-017.

Kodama, C., Stevens, B., Mauritsen, T., Seiki, T. and Satoh, M., 2019: A new perspective for future precipitation change from intense extratropical cyclones. *Geophys. Res. Lett.*, 46, 12435-12444, doi:10.1029/2019GL084001.

Kurogi, M. and H. Hasumi, 2019: Tidal control of the flow through long, narrow straits: a modeling study for the Seto Inland Sea. *Sci. Rep.*, 9, 11077, doi:10.1038/s41598-019-47090-y.

Miura, H., 2019: Application of the synchronized B grid staggering for solution of the shallow-water equations on the spherical icosahedral grid. *Mon. Wea. Rev.*, 147, 2485-2509, doi:10.1175/MWR-D-18-0304.1.

Miyakawa, T. and H. Miura, 2019: Resolution dependencies of tropical convection in a global cloud/cloud-system resolving model. *J. Meteor. Soc. Japan*, 97, 745-756, doi:10.2151/jmsj.2019-034.

Na, Y., Q. Fu, and C. Kodama, 2020: Precipitation probability and its future changes from a global cloud‐resolving model and CMIP6 simulations. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 125, doi:10.1029/2019JD031926.

Nasuno, T. 2019: Moisture transport over the western Maritime Continent during the 2015 and 2017 YMC Sumatra campaigns in global cloud-system-resolving simulations. *SOLA*, 15, 99-106, doi:10.2151/sola.2019-019.

Qian, Y., H. Murakami, M. Nakano, P.-C. Hsu, T. L. Delworth, S. B. Kapnick, V. Ramaswamy, T. Mochizuki, Y. Morioka, T. Doi, T. Kataoka, T. Nasuno, K. Yoshida, 2019: On the mechanisms of the active 2018 tropical cyclone season in the North Pacific. *Geophys. Res. Lett.*, 46, 12293-12302, doi:10.1029/2019GL084566.

Roxy, M. K., P. Dasgupta, M. J. McPhaden, T. Suematsu, C. Zhang, and D. Kim, 2019: Twofold expansion of the Indo-Pacific warm pool warps the MJO life cycle. *Nature*, 575, 647-651, doi:10.1038/s41586-019-1764-4.

Seiki, T., Kodama, C., Satoh, M., Hashino, T., Hagihara, Y., Okamoto, H., 2019: Characteristics of ice clouds over mountain regions detected by CALIPSO and CloudSat satellite observations. *J. Geophys. Res. Atmosphere*, 124, 10858-10877, doi:10.1029/2019JD030519.

Stevens, B., Satoh, M., Auger, L., Biercamp, J., Bretherton, C., Chen, X., Duben, P., Judt,

F., Khairoutdinov, M., Klocke, D., Kodama, C., Kornblueh, L., Lin, S.-L., Putman, W., Shibuya, R., Neumann, P., Rober, N., Vannier, B., Vidale, P.-L., Wedi, N., Zhou, L., 2019: DYAMOND: The DYnamics of the Atmospheric general circulation Modeled On Non-hydrostatic Domains. *Progress in Earth and Planetary Science*, 6, 61, doi:10.1186/s40645-019-0304-z.

Satoh, M., Stevens, B., Judt, F., Khairoutdinov, M., Lin, S., Putman, W.M., Düben, P., 2019: Global cloud-resolving models. *Current Climate Change Reports*, 5, 172-184, doi:10.1007/s40641-019-00131-0.

Yamada, Y., Kodama, C., Satoh, M., Nakano, M., Nasuno, T., Sugi, M., 2019: High-resolution ensemble simulations of intense tropical cyclones and their internal variability during the El Ninos of 1997 and 2015. *Geophys. Res. Lett.*, 46, 7592-7601, doi: 10.1029/2019GL082086.

② 論文（査読なし）・解説記事等

Satoh, M., Yamada, Y., Sugi, M., Kodama, C., Noda, A. T., 2019: Tropical cyclone studies with the global non-hydrostatic model NICAM. Gekkan Kaiyo, 62 Extra Edition, July 2019 (in Japanese).

佐藤正樹，山田洋平，杉正人，小玉知央，野田暁，2019：全球非静力学モデルNICAMによる台風研究．月刊海洋2019年7月号・号外.

山田洋平，2020：エルニーニョ翌年の台風の活動度に注目したアンサンブルシミュレーション．月刊海洋，52，14-20.

③ 国際会議・シンポジウム

③−1. 招待講演

Miura, H. and T. Miyakawa, 2019: Resolution dependencies of a global cloud/storm resolving model. 2019 American Geophysical Union Fall Meeting, 10 December 2019, San Francisco, California, USA.

Miyakawa, T. and H. Miura, 2019: Resolution dependencies of tropical convection in a global cloud/cloud-system resolving model. Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2019, 26-30 May 2019, Makuhari, Chiba, Japan.

Nakano M., 2019: BSISO in S2S database, ECMWF preSAC meeting 2019, September 2019, Reading, UK.

Satoh, M., R. Shibuya, and C. Kodama, 2019: NICAM results of the project DYAMOND for global storm-resolving model intercomparison. Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2019, 26-30 May 2019, Makuhari, Chiba, Japan.

Shibuya, R., C. Kodama and M. Satoh, 2019: The DYAMOND Models: Data and Parameterization - NICAM. 2nd DYAMOND-ESiWACE Hackathon, 19-21 June 2019, Mainz, Germany.

③－2. 口頭発表

Ishiyama, T. et al., 2019: The effect of the SST over the PMM region and the eastern northwestern Pacific on tropical cyclone genesis over WNP in 2018. The 2019 University Allied Workshop on Climate and Extreme Weather, 21-23 August 2019, Kashiwa, Chiba.

Ishiyama, T. et al., 2019: Evaluation of the monthly potential of the 2018 typhoon activity and the effect of the positive PMM and SST of the eastern northwestern Pacific. 16th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society, 28 July - 2 August 2019, Singapore.

Ishiyama et al., 2019: Evaluation of the monthly potential of the 2018 typhoon activity and the effect of the positive PMM and SST of the eastern northwestern Pacific. East Asian workshop on Climate Dynamics, 24 May 2019, Busan, Korea.

Ishiyama et al., 2019: Evaluation of the monthly potential of the 2018 typhoon activity and the effect of the positive PMM and SST of the eastern northwestern Pacific. Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2019, 26-30 May 2019, Makuhari, Chiba, Japan.

Kodama, C., Y. Yamada, T. Ohno, T. Seiki, H. Yashiro, A. T. Noda, M. Nakano, W. Roh, M. Satoh, T. Nitta, T. Nasuno, T. Miyakawa, Y.-W. Chen, and M. Sugi, 2019: Model updates and early results of a decadal high-resolution climate simulations using the Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model, NICAM, for CMIP6 HighResMIP, AGU2019, 9-13 December 2019, San Francisco, CA, U.S.A.

Kubokawa, H., M. Satoh, T. Kawasaki, N. Kimura and H. Hasumi, 2019: Analysis of arctic cyclone of August 2012 using non-hydrostatic global atmosphere and ocean coupled model, IUGG 2019, Montreal Convention Centre, Canada, 8 - 18 July, 2019.

Nakano, M. and K. Kikuchi, 2020: Long-term changes in the BSISO and MJO simulated by NICAM HighResMIP and reanalysis datasets. JiCoRe WS, February 2020, Yokohama, Japan.

Nasuno, T., 2019: Effects of the local convection over the Maritime Continent on the large-scale: numerical study of the ISO events during the YMC 2015 and 2017 campaigns. AMOS-ICTMO 2019, 11-14 June 2019, Darwin, Australia.

Nasuno, T., 2019: Effects of the local convection over the western Maritime Continent on the large-scale: numerical study during the YMC Sumatra campaigns. Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2019, 26-30 May 2019, Makuhari, Chiba, Japan.

Satoh, M., R. Shibuya, W. Roh, 2019: NICAM results of the project DYAMOND for global storm-resolving model intercomparison. 8th International EarthCARE Science Workshop, 25-27 November 2019, Fukuoka, Japan.

Satoh, M., 2019: NICAM results of the project DYAMOND for global storm-resolving model intercomparison. AOGS 16th Annual Meeting, 28 July - 2 August 2019, Singapore.

Satoh, M., 2019: Global non-hydrostatic modelling - A brief synopsis of important results and outstanding questions. 2nd DYAMOND-ESiWACE Hackathon, 19 June - 21 June 2019, Atrium Hotel, Mainz, Germany.

Satoh, M. and H. Yashiro, 2019: The challenge by the NICAM-LETKF grand ensemble simulations

in global storm resolving scale. High-Resolution Weather and Climate Simulations: High-Performance Computing and Science. The Platform for Advanced Scientific Computing PASC Conference, 12-14 June 2019.

Satoh, M., 2019: Results from DYAMOND: Intercomparison of global cloud resolving model. Joint US-Japan Workshop on Climate Change and Variability, 5-6 March 2019, Hawaii Imin International Conference Center.

Satoh, M., 2019: Toward reduction of the uncertainties in simulations of clouds and precipitation using Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM). UCP2019 - Understanding Clouds and Precipitation, 25 February - 1 March 2019, Harnack-Haus, Berlin, Germany.

Suematsu, T. and Hiroaki Miura, A characteristic of the MJO as a part of enhanced large-scale zonal circulation. Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2019, 26-30 May 2019, Makuhari, Chiba, Japan.

Takasuka, D., M. Satoh, S. Yokoi, 2019: Observational evidence of mixed Rossby-Gravity waves as a driving force for the MJO convective initiation and propagation. Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2019, 26-30 May 2019, Makuhari, Chiba, Japan. **(学生優秀発表賞受賞)**

Yamada, Y., Kodama, C., Satoh, M., Nakano, M., Nasuno, T., and Sugi, M., 2019: High-resolution, ensemble simulations of intense tropical cyclones and their stochasticity during the El Niños of 1997 and 2015. Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2019, 26-30 May 2019, Makuhari, Chiba, Japan.

③－3. ポスター発表

Kodama, S., Satoh, M., 2019: Impact of distantly located typhoon and the North Pacific subtropical high on precipitation in Japan, The 2019 University Allied Workshop on Climate and Extreme Weather, 21-23 August 2019, Kashiwa, Chiba.

Miyakawa, T. and H. Miura, 2019: Resolution dependencies of tropical convection in global cloud/cloud-system resolving NICAM, AOGS 16th Annual Meeting, 28 July - 2 August 2019, Singapore.

Nakae, K., M. Satoh, and D. Takasuka, 2019: Numerical studies with NICAM on mechanisms for northward propagation of the boreal summer intraseasonal oscillation. AOGS 16th Annual Meeting, 28 July - 2 August 2019, Singapore.

Nakae, K., M. Satoh, and D. Takasuka, 2019: Mechanisms for northward propagation of boreal summer intraseasonal oscillation. Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2019, 26-30 May 2019, Makuhari, Chiba, Japan.

Nakano M., H. Yashiro, and C. Kodama, 2019: Single precision in the nonhydrostatic icosahedral atmospheric model (NICAM). LATSIS SYMPOSIUM 2019 High-Resolution Climate Modeling: Perspectives and Challenges, August 2019, Swiss.

Nakano, M., F. Vitart, and K. Kikuchi, 2019: Towards typhoon forecasting in the S2S time scale, ECMWF Annual seminar 2019, September 2019, Reading, UK.

Nakano, M., F. Vitart, and K. Kikuchi, 2019: Impact of model biases in the ISV on TC forecasting in the S2S models. European Meteorological Society annual meeting 2019, September 2019, Copenhagen, Denmark.

Suematsu, T. and H. Miura, 2020: Modulation of MJO propagation speed by the fluctuation of large-scale background zonal circulation. American Meterorological Society Meeting, 15 January 2020, Boston, U.S.A.

④ 国内学会・シンポジウム

④－1. 招待講演

小玉知央, 2019: 高解像度気候モデルが予測する将来の台風活動, 2019 年度第 4 回 SPEED 研究会（エコイノベーションとエコビジネスに関する研究会）, 2019 年 10 月 11 日, 市ヶ谷, 東京.

山田洋平, 佐藤正樹, 小玉知央, 2019: 極端気象の現状に対する理解-観測とシミュレーション, 2019 年度日本建築学会大会, 2019 年 9 月 3 日-6 日, 金沢.

④－2. 口頭発表

池端耕輔, 佐藤正樹, 伊藤純至, 2019: NICAM を用いたアンサンブルシミュレーションによる平成 30 年 7 月豪雨の研究. 大槌シンポジウム, 2019 年 7 月 24 日, 大槌, 岩手.

石山尊浩他, 2019: 2018 年台風活動の月別 Potential と PMM 領域と東部北西太平洋の SST が与えた影響. 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月 15-18 日, 東京.

石山尊浩他, 2019: 2018 年 7 月における北大西洋の SST が北西太平洋の台風発生環境場に与える影響. 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月 28-31 日, 福岡.

久芳奈遠美, 清木達也, 鈴木健太郎, W. Roh, 佐藤正樹, 2019: 暖かい雨に対する雲物理スキーム比較実験 －バルク法改良のための衛星データ活用法の提案－. 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月 15-18 日, 東京.

児玉真一, 2019: 2004 年台風 18 号による遠隔降水事例の研究. 大槌シンポジウム, 2019 年 7 月 24 日, 大槌, 岩手.

小玉知央, 2019: 全球非静力学モデル NICAM における温帯低気圧の水平解像度依存性. 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月 28-31 日, 福岡.

佐藤正樹, 澁谷亮輔, Woosub Roh, 小玉知央, 2019: Inter-comparison of the global cloud resolving models DYAMOND and beyond. 第 11 回熱帯気象研究会, 2019 年 12 月 26-27 日, 富山大学理学部, 富山.

佐藤正樹, 澁谷亮輔, Woosub Roh, 小玉知央, 2019: 全球雲解像モデル比較実験 DYAMOND. 第 21 回非静力学モデルに関するワークショップ, 2019 年 11 月 21 日- 22 日, 三重大学 三翠ホール（小ホール）.

佐藤正樹, 2019: 東アジアの極端現象の温暖化変化研究へのアプローチ. 日本気象学会春季大会, 専門分科会「東アジアで近年発生する極端現象に対する 地球温暖化の寄与とその将来予測」, 2019

年 5 月 15-18 日,東京.

Suematsu, T. and H. Miura, 2019: Modulation of MJO characteristics by the fluctuation of the large-scale zonal circulation. 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月 28-31 日, 福岡.

髙須賀大輔, 佐藤正樹, 横井覚, 2019: MJO の発生・東進過程における混合ロスビー重力波の役割 -YMC-Sumatra 2017 期間中の事例解析-, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月 15-18 日, 東京. **(松野賞受賞)**

Chen, Y.-W., 金丸佳矢, 佐藤正樹, 寺崎康児, 小槻峻司, 三好健正, 久保田拓志, 2020: NICAM-LETKF を用いた全球天気予測システムの開発について. GPM および衛星シミュレータ合同研究集会, 2020 年 3 月（予定）.

中江寛大, 佐藤正樹, 髙須賀大輔, 2019: 北半球夏季季節内振動の北進のメカニズムに関する研究. 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月 15-18 日, 東京.

那須野智江, 2019: YMC 期間中の季節内振動事例における水蒸気輸送解析, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月 15-18 日, 東京.

山田洋平, 2019: 3.5km・7km 格子の NICAM を用いた地球温暖化による台風の変化-台風に伴う風と降水-. 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月 15-18 日, 東京.

山田洋平, 2019: エルニーニョ翌年の台風の活動度に注目したアンサンブルシミュレーション. 大槌シンポジウム, 2019 年 7 月 24-26 日, 大槌, 岩手.

Roh, W., and Satoh, M., 2019: An introduction to DYAMOND project. NIES supercomputer workshop 2018, 25 December 2019, Tsukuba, Ibaraki.

④－3. ポスター発表

池端耕輔, 佐藤正樹, 伊藤純至, 2019: NICAM を用いたアンサンブルシミュレーションによる平成 30 年 7 月豪雨の研究, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月 15-18 日, 東京.

児玉真一, 佐藤正樹, 2019:秋雨時期の台風による遠隔降水事例の研究. 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月 28-31 日, 福岡.

髙須賀大輔, 佐藤正樹, 2019: MJO と混合ロスビー重力波の相互作用の普遍性, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月 15-18 日, 東京.

中村晃三、久芳奈遠美, 2019: ポスト「京」実機を念頭においたビン法雲微物理モデルの検討. ポスト「京」(スーパーコンピュータ「富岳」) 重点課題 4 「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」最終成果報告会, 2020 年 1 月 31 日, 東京.

那須野 智江, 2019: YMC-Sumatra 2017 期間を対象とするモデル相互比較, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月 28-31 日, 福岡.

Roh, W., Hohenegger C., Satoh, M. 2019: An intercomparison of tropical clouds using DYAMOND data over the Atlantic. 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月 28-31 日, 福岡.

⑤ 研究会等

池端耕輔, 佐藤正樹, 伊藤純至, 2019: NICAM を用いたアンサンブルシミュレーションによる平成

30 年 7 月豪雨の研究，気象研究所 観測・同化コロキウム，2019 年 6 月 20 日，筑波，茨城.

池端耕輔，佐藤正樹，伊藤純至，2019：NEXRA を用いた平成 30 年 7 月豪雨の NICAM アンサンブル実験，NICAM 開発者会議 2019，2020 年 1 月 16-17 日，沼津，静岡.

石山尊浩他，2019：2018 年 7 月における北太平洋・北大西洋の海面水温と台風発生環境場の関係. 第 11 回熱帯気象研究会，2019 年 12 月 26-27 日，富山.

石山尊浩他，2019：2018 年 7 月における三大洋の海面水温と台風発生環境場の関係. 第 2 回高・低気圧ワークショップ，2019 年 12 月 16-17 日，白浜，和歌山.

石山尊浩他，2019：台風発生環境場と Pacific Meridional Mode の関係. 研究会「長期予報と大気循環」，2019 年 12 月 2 日，東京.

石山尊浩他，2019：2018 年 7 月における三大洋の海面水温と台風発生環境場の関係. 平成 31 年度(令和元年度)台風研究会，2019 年 11 月 20 日，柏，千葉.

黒木聖夫，2019：ポスト「京」に向けた高解像度日本沿岸モデル開発. 東京大学大気海洋研究所 国際沿岸海洋研究センター 共同利用研究集会「北太平洋を中心としたマルチスケール海洋変動と分野横断研究」，2019 年 7 月 25-26 日，大槌，岩手.

末松環、三浦裕亮，2019：A question on the closure of the moist static energy budget equation. 第 11 回熱帯気象研究会，2019 年 12 月 26-27 日，富山.

髙須賀大輔，2019：MJO の発生領域の多様性に対する長周期変動の影響，第 6 回マッデン・ジュリアン振動研究会，2019 年 9 月 12-13 日，高知.

髙須賀大輔，佐藤正樹，2019：季節内−長周期変動の相互関係に伴う MJO の発生領域の変調要因，第 11 回熱帯気象研究会，2019 年 12 月 26-27 日，富山.

宮川知己，2019：全球雲解像モデルと気候モデリングの狭間で. 第 6 回マッデン・ジュリアン振動研究会，2019 年 9 月 12-13 日，高知.

山田洋平，2019：地球温暖化と台風（導入編）. 台風セミナー2019，2019 年 4 月 15-16 日，京都.（招待）.

Yamada, Y., Kodama, C., Satoh, M., Nakano, M., Nasuno, T., Sugi, M., 2019: Tropical cyclone activity in ensemble simulations using a high resolution nonhydrostatic model, アジア・オセアニア域における大気水圏環境の研究集会，2019 年 11 月 8-9 日，名古屋.

山田洋平，台風と地球温暖化，建築学会風工学・気象ワーキンググループ，2020 年 1 月 24 日，東京.

Roh, W., and Satoh, M., 2020: Introduction to analysis of DYAMOND data. NICAM 開発者会議 2019，2020 年 1 月 16-17 日，沼津，静岡.

⑥ 一般向け講演会等

小玉知央，2019：台風を高解像度シミュレーションで再現・予測する！！ エコプロ 2019 環境再生保全機構サイエンスカフェ，2019 年 12 月 5 日，東京.

宮川知己，2019：“極端天候銀座” ニッポン〜もつれあう大気と海洋の大動脈の傍で〜. 夏の気象災害を解き明かす！ スーパーコンピュータ「京」から「富岳」へ，2019 年 8 月 8 日，国立科学博物館，東京.

⑦ 新聞/TV/WEB 配信/雑誌等

黒木聖夫, 羽角博康: プレスリリース「潮の満ち引きが瀬戸内海を通過する流れを抑制することを解明　～東西どちらに流れているかも決着か～」(海洋研究開発機構, 東京大学大気海洋研究所), 2019 年 8 月 29 日, https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20190829/.

- 日本経済新聞電子版「海洋研究開発機構と東大、潮の満ち引きが瀬戸内海を通過する流れを抑制することを解明」, 2019 年 8 月 29 日.
- 大学ジャーナルオンライン「瀬戸内海は長期的に東に流れている可能性　東京大学など」, 2019 年 9 月 4 日.
- 環境展望台「JAMSTEC と東大、瀬戸内海の長期的・平均的な流れが潮汐で抑制されることを解明」, 2019 年 9 月 9 日.

小玉知央, 清木達也, 佐藤正樹: プレスリリース「地球温暖化に伴う温帯低気圧の雨量増加を衛星観測から高精度に求める試み―高解像度気候シミュレーションから得られた示唆―」(海洋研究開発機構, 東京大学大気海洋研究所), 2019 年 11 月 14 日, https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20191114/.

- 日本経済新聞電子版「地上気温のみでおおよそ決定し普遍的に成り立つことを解明」, 2019 年 11 月 14 日.
- 電気新聞 朝刊 2 面「雨量推定高度化も　温低と気温　関係解明　海洋研など」, 2019 年 11 月 19 日.
- 環境ビジネスオンライン, 「地球温暖化が進んだ将来の雨量を見積もる方法を確認」, 2019 年 11 月 18 日, https://www.kankyo-business.jp/news/023506.php.

佐藤正樹: 台風 19 号について. 2019 年 10 月 17 日, 毎日新聞取材対応.

末松環: プレスリリース「地球温暖化が引き起こすマッデン・ジュリアン振動の変調と降水分布の変化」(東京大学大気海洋研究所), 2019 年 11 月 28 日, https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2019/20191128.html.

高須賀大輔: 熱帯域で見られる巨大雲集団「マッデン・ジュリアン振動 (MJO)」の発生・東進開始メカニズムを提唱: 船舶観測などを通じて明らかになった赤道大気波動の役割. 東京大学大気海洋研究所 研究トピックス, 2019 年 6 月 6 日, https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/topics/2019/20190606.html.

野田暁, 小玉知央, 山田洋平, 佐藤正樹, 小倉知夫, 大野知紀: プレスリリース「地球温暖化によって熱帯域の積乱雲群は小規模化 ～雲が温暖化をより進行させる可能性～」(海洋研究開発機構, 東京大学大気海洋研究所, 国立環境研究所), 2019 年 9 月 13 日, https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20190913/.

山田洋平, 小玉知央, 佐藤正樹, 中野満寿男, 那須野智江, 杉正人: プレスリリース「スーパーエルニーニョに対する強い台風の数の変動 ～台風の季節予測に向けた大気の内部変動の予測の重要性～」(海洋研究開発機構, 東京大学大気海洋研究所), 2019 年 7 月 3 日, https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20190703/.

山田洋平: 「地球温暖化によって台風のサイズは変わるのか？――高解像度モデルが示す台風の将来予測――」, JAMSTEC BlueEarth 159 号, 2019 年 3 月 1 日発行, 取材対応.

山田洋平: 「時論公論」, NHK, 2019 年 8 月 20 日放送, 松本浩司氏に動画を提供.

山田洋平: 「巨大台風“流域同時決壊”の衝撃」, NHK スペシャル, NHK, 2019 年 10 月 17 日放送, 取材対応.

山田洋平: 「スーパー台風とゲリラ台風の恐怖」, サタデーステーション, テレビ朝日, 2019 年 9 月 28 日放送, 取材対応.

4－2－3. サブ課題 C ：総合的な地球環境の監視と予測

(1) 成果概要

昨年度に引き続き、化学–気候相互作用の解明に重要であるエアロゾル生成・変性過程などを高精度化した化学輸送モデルの開発に向けた情報取集を継続的に行うとともに、パッシブトレーサを用いた大気中輸送量評価の精緻化に関する検討を実施した。また、衛星データなど環境ビッグデータを用いたデータ同化システムのポスト「京」上での効率的な運用に向けたモデル改良を継続的に進めるとともに、7km 格子の対流圏モニタリング機器(TROPOMI)による観測データと高分解能データ同化システムとを用いた全球 56km 格子での高解像度大気環境同化実験を本格実施し、10 年スケールの長期データセットを構築するとともに、とくに都市及び森林火災発生源周辺での推定精度の検証を行った。具体的には、寒冷前線後背部に見られる高濃度汚染気塊を表現するには水平解像度 50km 程度が必要であることを明らかにするとともに、10 年スケールの全球 56km 大気環境同化データセットを新たに構築し、大都市周辺域での濃度変動について地表観測網と比較した。

また、非静力学正 20 面体大気モデル(NICAM)に結合されているエアロゾルモジュール SPRINTARS を、粒子サイズを解像できるビン型モデル(SPRINTARS-bin)に更新する開発を昨年度に引き続いて実施し、一通りの開発を終えた。これによって、粒径分布関数を予報できる新しいタイプの NICAM-SPRINTARS モデルを開発した。このモデルの計算結果を地上観測および衛星観測と比較することによって検証した結果、粒子サイズを解像しないバルクスキームに基づく旧版のモデル(SPRINTARS-orig)に比べて、エアロゾルの質量濃度は大まかには変わらないこと、旧版モデルに見られる数密度の系統的な過小評価を大きく改善することがわかった。

(2) 実施体制

化学輸送モデルおよび大気微量成分のデータ同化システムの高度化を進めるにあたり、図 C-1 のような体制で研究を実施した。またサブ課題 B での NICAM 開発グループとも定期的に情報交換を行うなど、サブ課題間の連携についても留意しつつ研究を実施した。

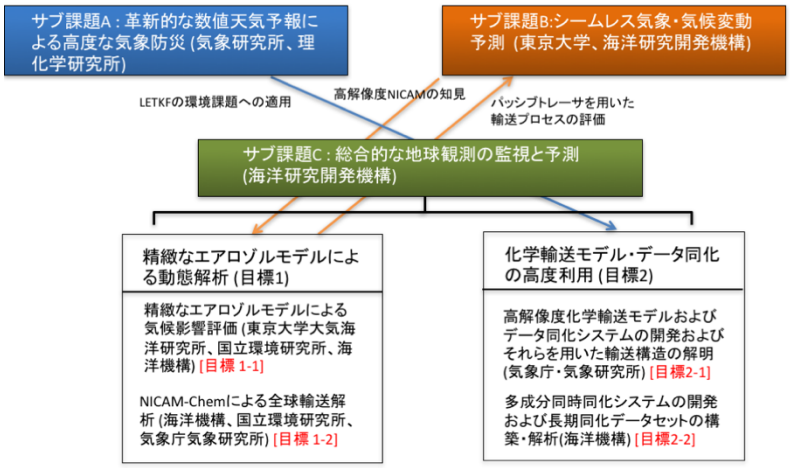


図 C-1. サブ課題 C の研究体制

(3) 成果内容

① 高精度エアロゾルモデル開発と高解像度モデルを用いたエアロゾル—気候応答評価（目標 1-1）

（東京大学大気海洋研究所、国立環境研究所）

昨年度に引き続き、高精度エアロゾルモデルの開発として、全球非静力学大気モデル NICAM に結合されたエアロゾル輸送化学輸送モデル SPRINTARS で表現されているエアロゾル微物理過程をその粒子サイズ依存性に着目して精緻化する研究を行った。エアロゾルの気候影響を大きく決定づける光学特性・輸送特性・雲粒活性化特性はエアロゾル粒子のサイズに顕著に依存するため、これらのエアロゾル特性を高精度に表現するためには微物理過程のサイズ依存性を陽に取り扱う定式化が必要となる。本課題ではサイズ依存性を陽に取り扱うビン法のスキームを開発して NICAM-SPRINTARS に実装する研究を実施してきたが、今年度は一通りの開発を終え、粒径分布関数を陽に予報する新しいタイプの NICAM-SPRINTARS モデルのひな形を完成した。このモデルは、オリジナルの SPRINTARS で扱われている代表的な４種のエアロゾル（土壌性・海塩粒子・炭素性・硫酸塩）のそれぞれについて粒径分布関数を定義して、その様々なエアロゾル微物理過程による時空間的な変動を陽に予報する。考慮する微物理過程には、一次生成および前駆気体からの二次生成によるエアロゾル粒子の生成過程、エアロゾル粒子同士の衝突併合過程、気体の凝集・蒸発によるエアロゾル粒子の成長・収縮過程が含まれる。

今年度は、開発したモデルを検証するために、旧版モデル(SPRINTARS-orig)と新版モデル(SPRINTARS-bin)を地上観測と衛星観測を含む各種観測データと系統的に比較した。その結果の例として、エアロゾル光学的厚さとオングストローム指数の比較を図 C-2 に示す。この比較から、エアロゾル鉛直積算量の指標である光学的厚さは、SPRINTARS-orig と SPRINTARS-bin で大きな違いはなく、衛星観測に見られる全球分布の特徴をよく再現できていることがわかる。一方、粒子サイズに密接に関係するオングストローム指数については、全球的な変動の幅は SPRINTARS-bin のほうが衛星観測をよく再現できている反面、北半球高緯度では SPRINTARS-bin は衛星観測を過大評価しており、小粒子の輸送の表現に改善の余地があることが示唆される。

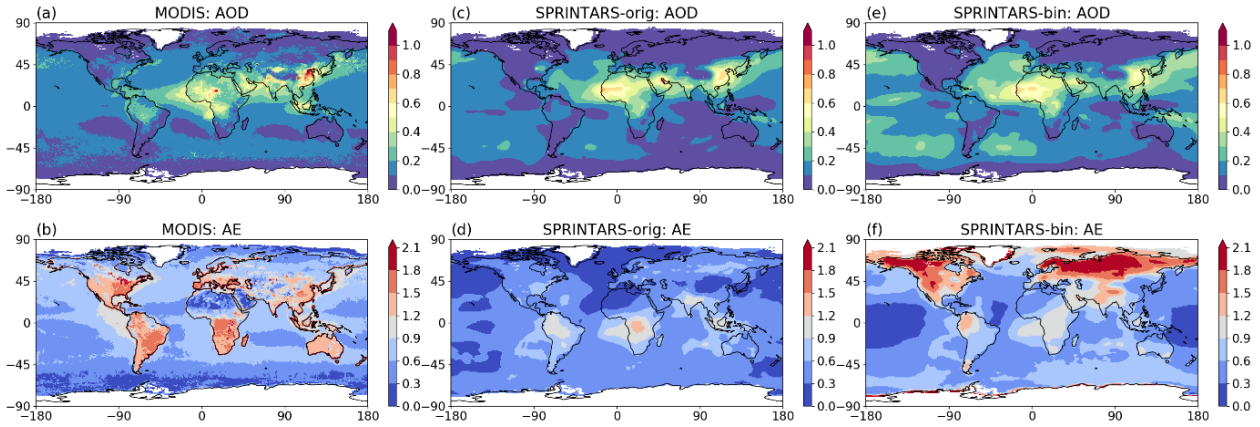


図 C-2. エアロゾル光学的厚さ（上段）およびオングストローム指数（下段）の全球分布の比較

（左：MODIS 衛星観測，中央：SPRINTARS-orig，右：SPRINTARS-bin）。Cheng and Suzuki (2020)より引用。

この結果はエアロゾルプロセスの粒子サイズ依存性を考慮することの重要性を意味しているが、粒

径分布関数を陽に解像することでどのようなインパクトがあるのかをより直接的に見るために、粒子の数密度の比較を行った。地球上のいくつかの地点における地上観測データとの比較の例を図 C-3 に示す。この結果から、旧版モデル SPRINTARS-orig では大きく過小評価されていた傾向が、多くの地点において、新版モデル SPRINTARS-bin では大きく改善されていることがわかる。この改善は、バルク型のスキームに基づく SPRINTARS-orig では対数正規分布などの関数形に仮定されていたエアロゾル粒径分布関数が、SPRINTARS-bin では陽に解像されることによって小粒子を生成する微物理プロセスがより現実的に表現されるようになったことに起因する。このことは、バルク型のエアロゾル輸送モデルに共通して見られる数密度の過小評価の一因が粒径分布の関数形に対する拘束条件にあることを示唆するとともに、小粒子エアロゾルの生成プロセスが重要であることを意味している。

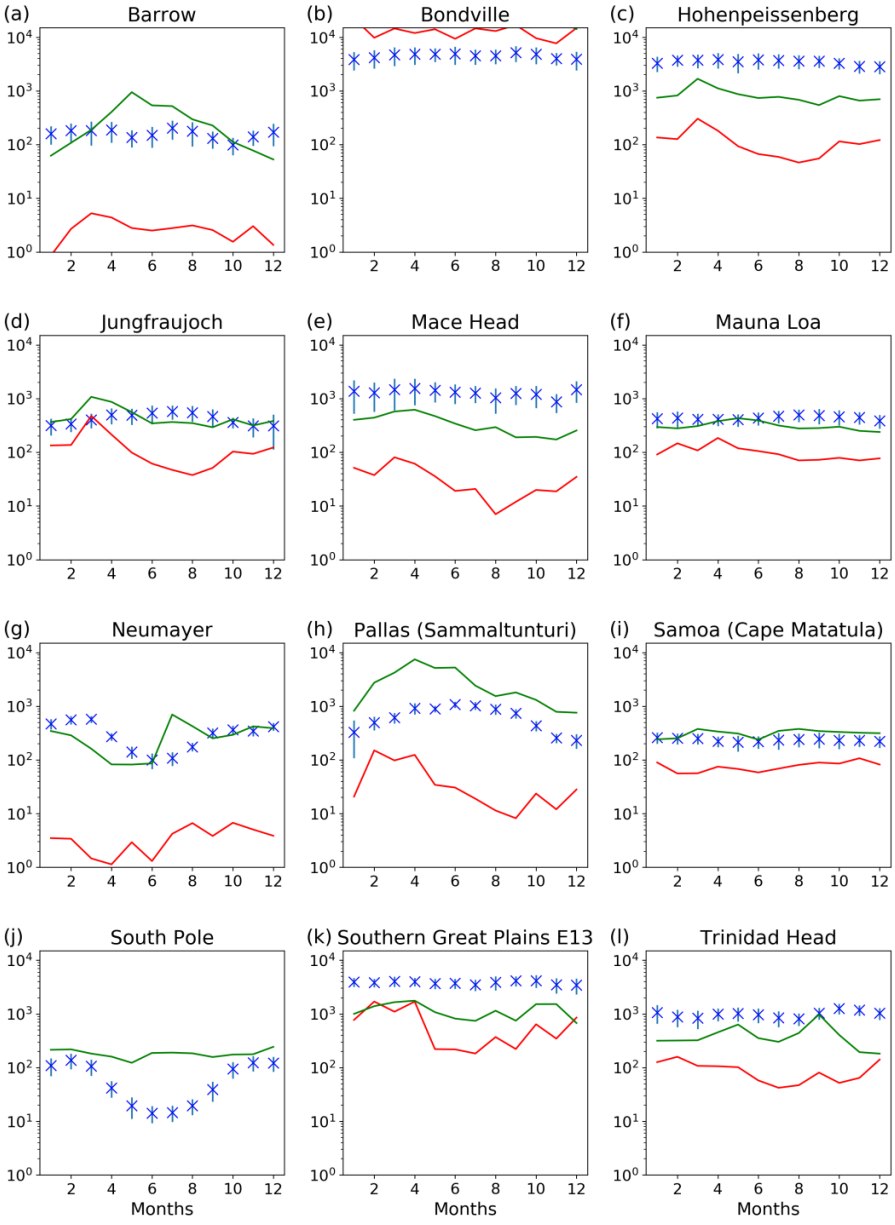


図 C-3. 地球上の様々な地点における月平均エアロゾル数密度の比較

（緑色：SPRINTARS-bin，赤色：SPRINTARS-orig，青色：Global Atmosphere Watch (GAW)による地上観測値）。

Cheng and Suzuki (2020)より引用。

本課題で開発された SPRINTARS-bin モデルが粒径に依存したプロセスをこのように高精度に表現できることは様々なメリットをもたらすと考えられる。特に、粒径に依存するエアロゾル光学特性の精緻な表現によるエアロゾル・放射相互作用の定量化の改善や、エアロゾル数密度の改善による雲凝結核の表現の改良がもたらすエアロゾル・雲相互作用のより良い定量化などの進展が今後期待される。その一方で、粒径分布を陽に予報することはSPRINTARS-origのバルク型の計算に比べて多大な計算コストを要するため、それを研究で十分に用いて上の方向性を推し進めるためには、ポスト京すなわち富岳のような次世代スーパーコンピュータの活用が不可欠である。本課題で実施された新しいエアロゾルモデルの開発はそのための準備と位置づけられるが、今後の富岳を活用した展開のための基盤を作ることができた。

参考文献

Cheng, C.-T., and K. Suzuki, 2020: Size-resolved aerosol microphysics in a global nonhydrostatic atmosphere model: Model description and validation. J. Meteor. Soc. Japan, to be submitted.

② NICAM-Chemによる全球輸送解析（目標1-2）（海洋研究開発機構、国立環境研究所）

エアロゾルの広域輸送シミュレーションに関し、湿性沈着による大気中からの除去はモデルにおける不確定性の一つとして考えられている。このため、海洋研究開発機構の研究船「みらい」による広域・高精度観測と組み合わせ、NICAM-Chem におけるエアロゾル輸送および大気からの除去過程について検証を行った。黒色炭素(Black Carbon: BC)エアロゾルは、工場や交通機関等の人間活動や森林火災等により大気中に放出される。BC エアロゾルは太陽放射のうち可視光域・赤外域の光を効率的に吸収する特性を持ち、大気を加熱することや海氷・雪氷に付着して融解を促進することなどが指摘されており、大気汚染対策、地球温暖化対策としてBCの削減が重要と考えられている。加えて、エアロゾルの間接効果により雲の微物理特性にも変化を及ぼしうると考えられている。特に人間活動が活発ではない北極域では、人為起源・森林火災起源のエアロゾルが僅かでも流入すると、エアロゾルの直接・間接効果によって、放射・雲・降水に大きな変調をもたらすため、こうした領域へのエアロゾル輸送を調べることは重要である。

極域へのBC流入量は、鉛直的には対流圏中層付近で大きくなっていることが、衛星観測、航空機観測や化学輸送モデルによる推定により調べられてきており、対流圏中層の東経130〜180度には東アジアの汚染源から極域へ流入する「窓領域（window area)」があることが指摘されている（Ikeda et al., 2017)。夏季には低気圧活動が活発な場所が窓領域に当たる北極海周辺に分布しており、対流圏中層における極域への流入が 1 年を通して最も少なくなる 9 月頃も同様である。本研究では、極域に追加輸送される場合の影響が大きいと考えられる9月に低気圧活動により輸送されるBCとその鉛直方向の特徴を、化学輸送モデルによる水平低解像度（約220 km)、水平中解像度（約56 km）の実験を行い評価した。

本研究で用いたNICAM-Chemは、これまでにエアロゾルの放射への効果やその降水量への影響などを含むように構築されており、高解像度の雲解像実験を行うために開発された全球モデル NICAM と結合

されている (e.g., Suzuki et al. 2008;Goto et al. 2011, 2015)。人為起源の BC は、EDGAR (Emission Database for Global Atmospheric Research)-HTAP (Hemispheric Transport of Air Pollution)を用いた。昨年度までに、森林火災によって生じる熱対流 (pyro-convection) による放出スキームを開発している。森林火災に伴うエアロゾル等の放出量やその放出高度は、Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Global Fire Assimilation System (GFAS)という観測に基づくデータベースがヨーロッパ中期予報センター (ECMWF) から提供されており、そのデータを入力した。

NICAM-Chem のシミュレーション結果を検証するために、船舶観測と地上観測との比較を行った。船舶観測としては、海洋研究開発機構所有の研究船「みらい」に設置された single-particle soot photometer (SP2; Droplet Measurement Technologies, Inc., USA) のデータを用いた。観測航海は 2016 年 8 月から 10 月にかけて行われ、9 月 25〜26 日に検出された高濃度イベントを NICAM-Chem で概ね再現していた。地上観測としては、東アジアの汚染源から人為期限の汚染物質が到達しやすい長崎県の福江島 (32.75° N, 128.68° E; 海抜 75 m) で測定されている multi-angle absorption photometers (MAAP; model 5012, Thermo Scientitic, Inc., USA) のデータを用いた。NICAM-Chem は、福江島における 2016 年 9 月の BC 濃度を概ね再現していた。

次に NICAM-Chem における大気中からの除去過程を検証するため、観測航海で得られた高濃度イベント時の輸送について調べた。標準実験の結果から BC の輸送経路を調べると、BC 濃度の高い領域は 9 月 21〜22 日頃にはバイカル湖周辺、23 日にはヤクーツク付近、24 日にはカムチャツカ半島付近を経て、25〜26 日にベーリング海に移動する様子が分かった。BC 高濃度域が移動する際に周囲で降水が見られていたため、標準実験に対して BC の湿性沈着をオフにした実験を行い、標準実験との違いを評価した。標準実験では、9 月 20〜21 日にバイカル湖周辺で最大であった地表 BC 濃度は、9 月 25 日にベーリング海に到達するまでに指数関数的に減少していた。他方、湿性沈着をオフにした実験では指数関数的な濃度減少が見られないことから、この期間の BC 濃度低下には輸送経路付近の降水による湿性沈着が重要であったことが示唆された。また、水平 220 km と 56 km のモデルの降水や BC 沈着フラックスの違いを調べると、水平 56 km では Global Precipitation Climatology Project (GPCP)の観測と似たような降水域と非降水域が入り混じった水平分布を示し、BC 沈着フラックスも同様であった。一方 220 km では、領域全体に降水域が広がるため、56 km の場合と比較して BC 沈着フラックスが大きくなっていた。この結果は、Sato et al. (2016) で得られた降水分布の解像度依存性の結果と整合的であった。

観測航海で得られた高濃度イベント時には、ここ数年間の 9 月に窓領域を通して極域 (>60°N) まで到達した低気圧のうち最も発達した低気圧が観測されていた。NICAM-Chem の 56 km のモデルでは、高濃度イベント直後の 9 月 27〜28 日頃に温暖前線の前面、寒冷前線の後面にトラップされたフィラメント状の高濃度領域が極域へ流入していた。前線後面に物質がトラップされる特性は Ishijima et al. (2018) と似ている。低気圧中心から温暖前線の前面に当たる低気圧の東〜南側では、700 hPa の高度で上昇流が見られており、それに伴って 400〜500 hPa の高度まで周囲よりも高濃度の BC が見られていた。56 km のモデルでは、700 hPa の高度の上昇流は、客観解析と比較して分布や最大値が似ていたが、220 km のモデルでは最大値がはるかに小さい。そのために、220 km のモデルでは 400〜500 hPa の高度まで到達する BC の値も小さかった。

2016 年 9 月末のイベントで得られた特徴が、同様の発達した低気圧で普遍的に見られるものであることを確かめるため、2015〜2018 年までの 4 年間の 9 月のデータを使い、検出された 101 個の発達し

た低気圧に伴う BC や上昇流の分布を調べた。コンポジット平均を行なった結果、低気圧中心の東側では西側に対して BC 濃度が高く、56 km の実験では 220 km の実験よりも上空の濃度が高くなりやすいことが分かった（図 C-4)。それと整合的に、低気圧中心から東側に分布する上昇流の最大値は、56 km の実験で 220 km の実験よりも 3 倍程度大きい。これらの結果は、低気圧の東側の上昇流による BC 鉛直輸送の違いが低解像度（約 220 km）と中解像度（約 56 km）のモデルの BC 鉛直分布の違いをもたらしていることを示唆する。

現在、多くの気候実験で用いられているモデルは水平低解像度であり、本研究の結果は、低解像度では極域への BC 輸送を評価するには不十分で、中解像度のモデルによる実験が望ましいことを示唆する。将来的に「富岳」のような大きな計算資源を用いることにより、中解像度のモデルで長期の輸送実験を行うことができるようになることに期待したい。

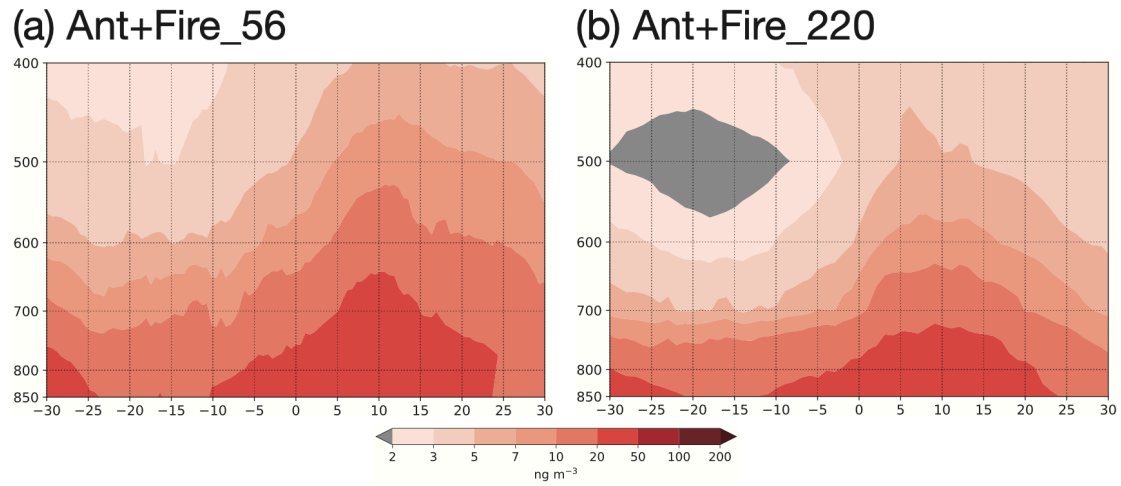


図 C-4.　低気圧中心の緯度で東西方向に切った経度—高度断面の BC 濃度（ng/m³)。横軸は低気圧中心から見た経度。(a)56 km の水平解像度と (b)220 km の解像度。

また、光化学オキシダント等の気相反応の高度化に向けて、NICAM-Chem の化学過程についても高解像度実験に向け一部改修を行った。現在 63 の化学種の 115 種類の化学反応について、変形後退オイラー法を用いて各モデルタイムステップ（220km 格子の場合 600 秒程度）内で化学種間の濃度バランスが収束すると仮定し反復計算を行っているが、56 km 格子に適用した場合、モデルタイムステップが短い(120 秒程度)ため大都市近傍や高緯度域などで反復計算が不十分となる場合があった。このため反復計算のタイムステップを修正するとともに収束状況などをモニタし、十分な反復計算を行えるよう改修した。加えて、衛星データ等を用いて高解像度向けの上部境界条件等を整備するとともに、地表からの放出源分布データとともに、他モデル(MIROC-ESM)と同一の条件で実行できるよう整備した。今後はこれらを用い、「富岳」等を用いて複数の化学輸送モデルを用いた相互比較実験などを実施し、より信頼性の高い化学種分布推定、気候影響評価などについて評価していきたい。

参考文献

Goto, D., T. Nakajima, T. Takemura, and K. Sudo, 2011: A study of uncertainties in the sulfate

distribution and its radiative forcing associated with sulfur chemistry in a global aerosol model. Atmos. Chem. Phys., 11(21), 10 889-10 910.

Goto, D., T. Dai, M. Satoh, H. Tomita, J. Uchida, S. Misawa, T. Inoue, H. Tsuruta, K. Ueda, C. F. S. Ng, A. Takami, N. Sugimoto, A. Shimizu, T. Ohara, and T. Nakajima, 2015: Application of a global nonhydrostatic model with a stretched-grid system to regional aerosol simulations around Japan. Geosci. Model Dev., 8, 235-259, doi:10.5194/gmd-8-235-2015.

Ikeda K., H. Tanimoto, T. Sugita, H. Akiyoshi, Y. Kanaya, C. Zhu, and, F. Taketani, 2017: Tagged tracer simulations of black carbon in the Arctic: transport, source contributions, and budget. Atmos. Chem. Phys., 17, 10515-10533, doi: 10.5194/acp-17-10515-2017.

Ishijima, K., M. Takigawa, Y. Yamashita, H. Yashiro, C. Kodama, M. Satoh, K. Tsuboi, H. Matsueda, Y. Niwa, S. Hirao, 2018: Analysis of High Radon-222 Concentration Events Using Multi-Horizontal-Resolution NICAM Simulations. Sola, 14, 111-115, doi:10.2151/sola.2018-019.

Lubin, D. and Vogelmann, A. M., 2006: A climatologically significantaerosol longwave indirect effect in the arctic. Nature, 439, 453-456.

Suzuki, K., T. Nakajima, M. Satoh, H. Tomita, T. Takemura, T. Y. Nakajima, and G. L. Stephens, 2008: Global cloud-systemresolving simulation of aerosol effect on warm clouds. Geophys. Res. Lett., 35(19), L19817, doi: 10.1029/2008GL035449.

③ 高解像度化学輸送モデルおよびデータ同化システムの開発およびそれらを用いた輸送構造の解明（目標 2-1）（国立環境研究所、気象庁気象研究所）

a) 二酸化炭素のタグ付き全球高解像度シミュレーション（国立環境研究所）

本研究ではNICAMをベースとした大気輸送モデルNICAM-TM(Niwa et al., 2011)を用いて、大気の二酸化炭素（CO_2）について、全球で水平解像度14kmの大気輸送シミュレーションを行なった。このシミュレーションでは、化石燃料起源、陸域生態系起源、森林火災起源のCO_2についてタグをつけ、大気濃度変動に対するそれぞれの寄与を評価可能にした。さらに、関東、日本国内、東アジア（中国、韓国、北朝鮮）のそれぞれの地域にも別々のタグを分け（図C-5)、地域毎の寄与も評価可能とした。CO_2フラックスは、化石燃料起源はODIAC(Oda and Maksyutov, 2015）を用い、陸域生態系起源は陸域生態系モデルVISIT（Ito and Inatomi, 2012)を用いた。また、海洋起源のフラックスには気象庁のデータ（Iida et al., 2015） を用い、森林火災起源のフラックスにはGFEDv4.1s（van der Werf et al., 2017）を用いた。計算期間は2009年1月から12月までの1年間で、ナッジングは行わずNICAM自身で計算される気象場に乗せてトレーサーの輸送計算を行った。

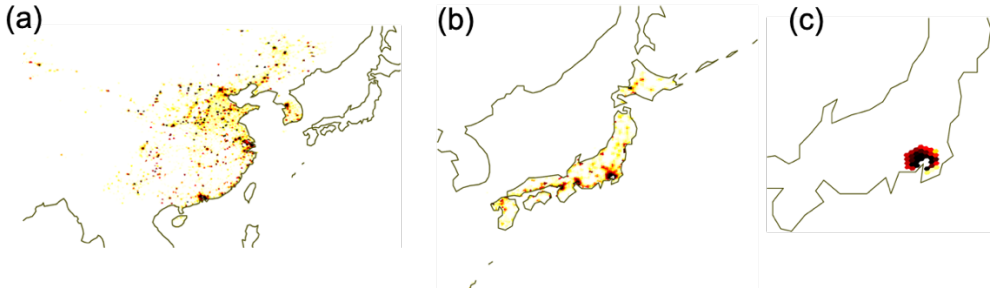


図 C-5. 東アジア（a）、日本（b）、関東（c）それぞれの領域についてタグをつけた化石燃料起源 CO_2 フラックス（ODIAC）。実験では同様に陸域生態系起源の CO_2 フラックスにも領域別のタグをつけている。

図 C-6 に NICAM-TM によって計算された地表付近の CO_2 濃度分布の例を示す（3 月、7 月）。春季には、アジア大陸から CO_2 高濃度の空気塊が日本や西太平洋へ流れ出している様子が再現されている。一方、7 月では、陸域生態系の光合成によって CO_2 が低濃度となっている高緯度地域と化石燃料起源による寄与が大きい中国周辺とで濃度差が大きくなっていること、また、太平洋高気圧の張り出しにより、比較的、海・陸のコントラストも大きくなっている様子が再現されている。このように計算された CO_2 濃度について、日本・東京において実際に観測が実施されている地点での 1 年間の時系列を図 C-7 に示す。ここでは、各起源、また、関東と東アジアの 2 領域からの寄与を別々に示している。まず図 C-7(a)の結果より、東京の地上観測では、観測される濃度変動の大部分は関東域の化石燃料起源が寄与していることが示唆される（分散の割合では 60%）。地上 250m の東京スカイツリーでの観測については、図 C-7(c)に示すとおり全体的に変動幅が小さくなっているものの、関東域の化石燃料起源が主要な変動源となっていた（分散の割合では 46%）。一方、衛星観測を想定した東京上空のカラム平均濃度については、図 C-7(b)で示すとおり、濃度変動の幅が地上観測と比べて約 10 分の 1 であり、また、ローカルな影響が薄れた分、CO_2 特有の季節変動が明瞭になっていることがわかる。さらに、関東域から以外の寄与も相対的に大きく、アジアと関東域の化石燃料起源による寄与が同程度であることがわかる（それぞれの分散は 0.2、0.3 ppm^2。微小なトレンド成分を含む。）。さらに、陸域生態系の寄与も無視できなくなっており、アジアからの寄与は 3-6 月や 11-12 月に大きいことがわかる（季節変動も含めれば 1 年間の分散は 0.4 ppm^2）。

このことから、上記の現場観測については、ターゲットとしている東京大都市圏からの人為起源排出のシグナルを捉える上で、十分に目的を果たすことが可能であることが本実験から示唆された。一方で、衛星観測を想定したカラム平均濃度では、観測可能なシグナルが小さいこと、また、観測ポイント外の領域からの寄与が大きいことから、ローカルなフラックスのシグナルを検出するためには、遠隔地域からの寄与を適切に選別する必要性が示唆される。そのため、今後は、現実の気象場も再現した上での高解像度モデリングが必要であると考えられる。

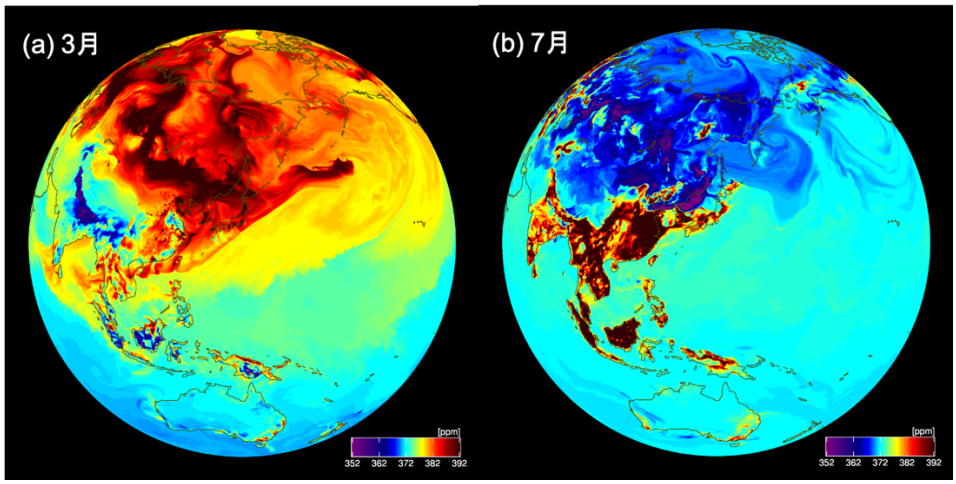


図 C-6. NICAM-TM によって計算された 3 月(a)と 7 月(b)の地表付近の CO_2 濃度分布

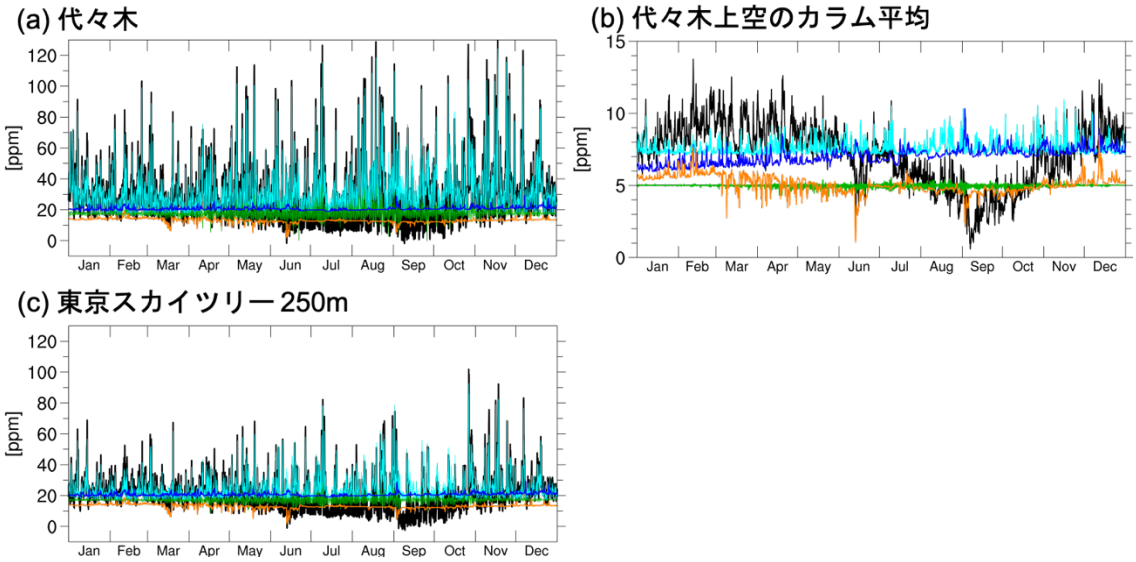


図 C-7. 代々木（地上）(a) と代々木上空のカラム平均 (b)、東京スカイツリーの 250m 地点での CO_2 濃度。黒線はすべての起源を合わせたもの。水色、青色はそれぞれ、関東域、東アジア域の化石燃料起源の CO_2、緑色、オレンジ色はそれぞれ、関東域、東アジア域の陸域植生起源の CO_2 を示す。それぞれの値は、比較可能とするために適当なオフセットを与えて表示している。

参考文献

Iida, Y., Kojima, A., Takatani, Y., Nakano, T., Sugimoto, H., Midorikawa, T., and Ishii, M. (2015) Trends in pCO2 and sea-air CO2 flux over the global open oceans for the last two decades, J. Oceanogr., 71, 637-661, https://doi.org/10.1007/s10872-015- 0306-4.

Ito, A. and Inatomi, M. (2012) Use of a process-based model for asessing the methane budgets of global terrestrial ecosystems and evaluation of uncertainty, Biogeosciences, 9, 759-773, https://doi.org/10.5194/bg-9-759-2012.

Niwa, Y., Tomita, H., Satoh, M., and Imasu, R. (2011) A Three-Dimensional Icosahedral Grid Advection Scheme Preserving Monotonicity and Consistency with Continuity for Atmospheric

Tracer Transport, J. Meteorol. Soc. Jpn., 89, 255-268, https://doi.org/10.2151/jmsj.2011-306.

Oda, T., Maksyutov, S. (2015), ODIAC Fossil Fuel CO2 Emissions Dataset (ODIAC2018), Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, doi:10.17595/20170411.001. (Reference date: 2019/01/04)

b）高度なデータ同化手法を用いた観測・モデル統融合（気象庁気象研究所）

気象庁気象研究所では、宇宙航空研究開発機構（JAXA）より入手したひまわり8号によるエアロゾル光学的厚さを気象研究所全球エアロゾル輸送モデル（MASINGAR mk-2）に同化するシステム（局所アンサンブル変換カルマンフィルタ（LETKF)、二次元変分法（2D-Var））を開発してきた（Yumimoto et al., 2018, Sekiyama et al., 2018)。現業用としては計算機負荷の小さい2D-Varに関して評価・検証を進め、このシステムは2020年1月に気象庁の黄砂予測システムにおいて現業化された。また、気象研究所では領域化学輸送モデル（NHM-Chem）の開発も進めており、同モデルは気象庁の大気汚染気象業務において活用されている。以下にひまわり8号データ同化実験、大気モデルを用いたLETKF開発とNHM-Chemについて概要を示す。

ひまわり8号の準リアルタイムデータ同化実験により得られた知見は以下の通りである。まず、現時点（Ver.2）では、ひまわり8号エアロゾル光学的厚さの観測データに不自然な日変化が見られたため、データ同化は1日1回とし、毎時のデータ同化は今後の課題とした。黄砂の予報スコアの面から見ると、これまでのデータ同化を行わなかった結果と比較して主に予報初期でのスコアの向上が見られた。ここで、MASINGAR mk-2を用いたひまわり8号準リアルタイム同化実験の結果を示す。2018年4月に西日本の広い範囲で黄砂が観測された事例について、データ同化なし（MASINGAR mk-2)、ひまわり8号によるデータ同化（MASINGAR mk-2 w/ 2D-Var)、地上目視観測（SYNOP)、環境省が実施しているそらまめ君（SPM）の4者を比較した。図C-8では、ひまわり8号が西日本の黄砂エアロゾルを捉えているが、データ同化なしの場合、このエアロゾルを十分に捉えられていない。このため、ひまわり8号同化はこの領域の地表付近濃度を高く修正している。このように、データ同化を実施することによりデータ同化を行わなかった場合と比較して観測値により近くなるようモデルの計算結果を修正できていることが分かる。統計的な検証結果として、2016～2018の春季における黄砂目視観測による黄砂有無のスレットスコアはデータ同化なしのスコアが1日予報の時点で約0.25であったのがデータ同化を行うことによって約0.28と改善傾向を示した。今後の課題としては、高速なデータ同化システム（2D-Var）の開発により、高解像度（40km）全球エアロゾル輸送モデルへのデータ同化手法の導入や、エアロゾル長期再解析の実施が比較的低い計算機資源で可能になると考えられる。一方、高精度なデータ同化システムを用いることにより、低解像度（110km）全球エアロゾル輸送モデルに複数衛星（MODIS、ひまわり8号、GOSAT-2、GCOM-C、EarthCARE等）を用いたエアロゾル監視予測システムの構築が可能になると見込まれる。NHM-Chemに関しても、2D-VarやLETKFの導入により、大気微量成分の監視・予測精度の向上が見込まれる。

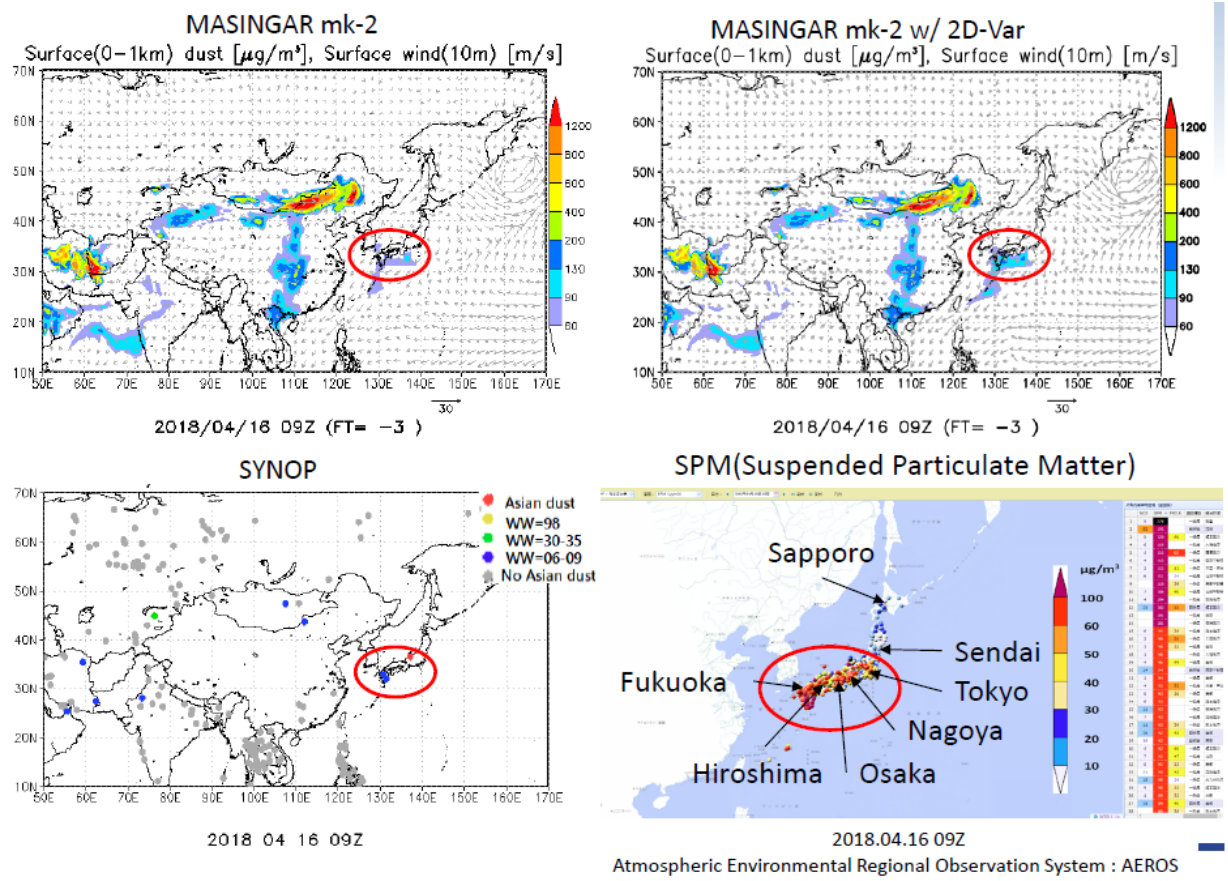


図 C-8. 全球エアロゾル輸送モデルデータ同化実験結果（2018 年 4 月 16 日 09UTC）結果。
左上はデータ同化なしのモデル予測結果、右上はひまわり 8 号データ同化を用いたモデル予測結果を示す。
左下は地上目視観測による黄砂通報を、右下は環境省の地上観測ネットワークから得られたエアロゾル濃度（SPM）を示す。

次に LETKF の開発状況を示す。以前、「京」コンピュータを用いて 10,240 メンバーの大規模アンサンブルデータ同化実験を行い、局所化が不要になるなどの改善が見られる一方で熱帯域での改善が比較的小さいことが報告された。この理由として熱帯においては対流による強い非線形性が支配的であるためではないかという仮説を立て、大気モデルの背景誤差の確率密度関数（PDF）を直接調べた（Kondo and Miyoshi., 2019）。解析には簡易大気大循環モデル（SPEEDY；T30L7）を用いた観測システムシミュレーション実験（OSSE）の実験結果を用いた。仮想的な観測データとしては主に陸域に分布した 6 時間毎のラジオゾンデ観測を用いた。確率分布の非ガウス性の指標としていくつかの指標に関する調査を行った。その結果、標準偏差ではなく KL Divergence（Kullback and Leibler, 1951）が非ガウス性の指標として適していることが分かったため主にこの指標を用いた調査を行った。例としてモデル第 4 層（ほぼ対流圏中部にあたる）の非ガウス性 PDF の要素毎の発生頻度を図 C-9 に示す。図 C-9 によると、風では非ガウス PDF は殆ど発生しないものの、気温や比湿に関しては熱帯やストームトラックにおいて高頻度で非ガウス PDF が発生することが分かった。非ガウス PDF の寿命は概ね半日程度で熱帯では積雲対流パラメータのオンオフによる対流不安定の解消や維持が、ストームトラックでは移流のような比較的大規模な現象によって生じていることが示唆された。一方、Outlier（その解析値だけ特に他の解析値から大きく外れているもの）はどの要素でもほぼランダムに地域を問わず発生するもの

の、解析誤差への影響は確認できず次の解析時刻にはほぼ消滅することが分かった。より詳細な気象モデル（NICAM）を用いた実験では、風の場においても非ガウス PDF が出現していたが、これは細かなスケールを再現する様々な物理的力学的なプロセスが NICAM に含まれており、変数間に影響を及ぼし合い、非ガウス PDF の成因となり得ることを示唆している（図略）。これら非ガウス PDF や Outlier は解析誤差に悪影響を及ぼすが、小規模のアンサンブルでは議論を行うことが難しいため、今後はより現実に近いモデルを大規模のアンサンブルで解析する必要がある。富岳で実施する価値のあるテーマの一つと考えられる。

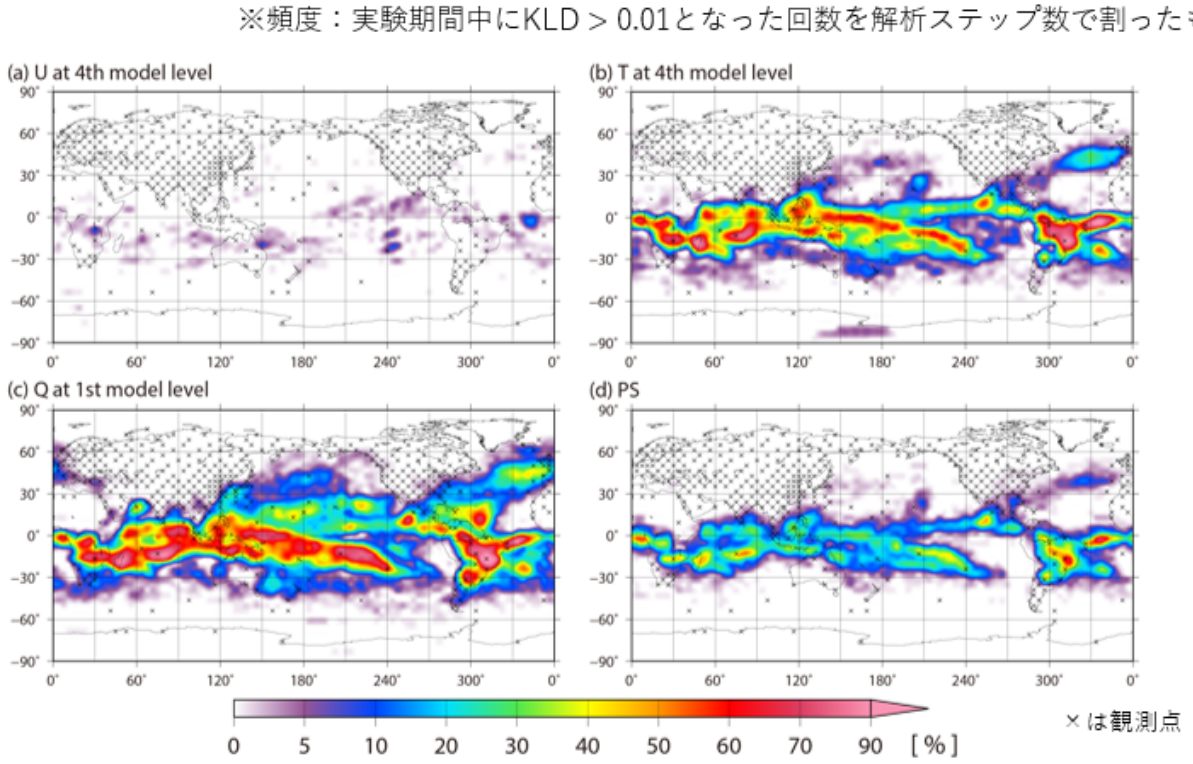


図 C-9. SPEEDY-LETKF（10,240 メンバー）による非ガウス PDF の発生頻度（%）。
頻度は実験期間中（60 日）に KLD が 0.01 を超えた回数を解析ステップ数で割ったもの。
左上が東西風、右上が気温、左下が比湿、右下が地表面気圧を示す。

最後に、気象研究所で開発を行っている領域化学輸送モデル（NHM-Chem）を用いた複雑地形におけるトレーサー輸送と地表風に関する解像度依存性の研究結果（Sekiyama et al., submitted）を報告する。本研究では、福島第一原子力発電所から放出された放射性セシウム（Cs-137）をトレーサーとして用いた高解像度（5km、3km、1km）NHM-Chem を用いて冬期複雑地形における地表風とトレーサー輸送シミュレーションを実施した。解析には、日本付近の気象庁現業 4D-Var システム（水平解像度 5km）を境界条件として独自に開発した NHM-LETKF で、東日本における水平解像度 3km の気象場を作成し、さらにこれを境界条件として関東～東北南部における水平解像度 1km の気象場を NHM-LETKF を用いて作成した。気象場の再現性は、概ねモデルの解像度、地形の複雑さ、総観規模の気象条件に依存していた。モデルの解像度が高いほど、特にシベリア冬型モンスーンが不安定な山岳地帯において、地表風の再現性が高くなった。対照的に、シベリア冬型モンスーンが安定している場合の平地や

沿岸部ではモデルの解像度による違いは無視できるか、存在しなかった（図略）。次に、NHM-Chem を用いたトレーサー輸送の結果を図 C-10 に示す。どちらの Cs-137 放出イベントに関しても、水平解像度の高いモデルによる輸送シミュレーション結果がより観測値と近くなった。特に、地形が複雑な福島山地の山間部におけるトレーサー輸送実験の再現性は解像度を上げると劇的に改善された。本研究により、NHM-LETKF を用いた気象解析値作成の優位性を示すと共に、大気微量成分の詳細な輸送シミュレーションを行う際に特に地形が複雑な場合はより高解像度の化学輸送モデルが必要になることなどを示すことができた。富岳においては、より広域において今回のような高解像度の実験が可能となることが期待できる。

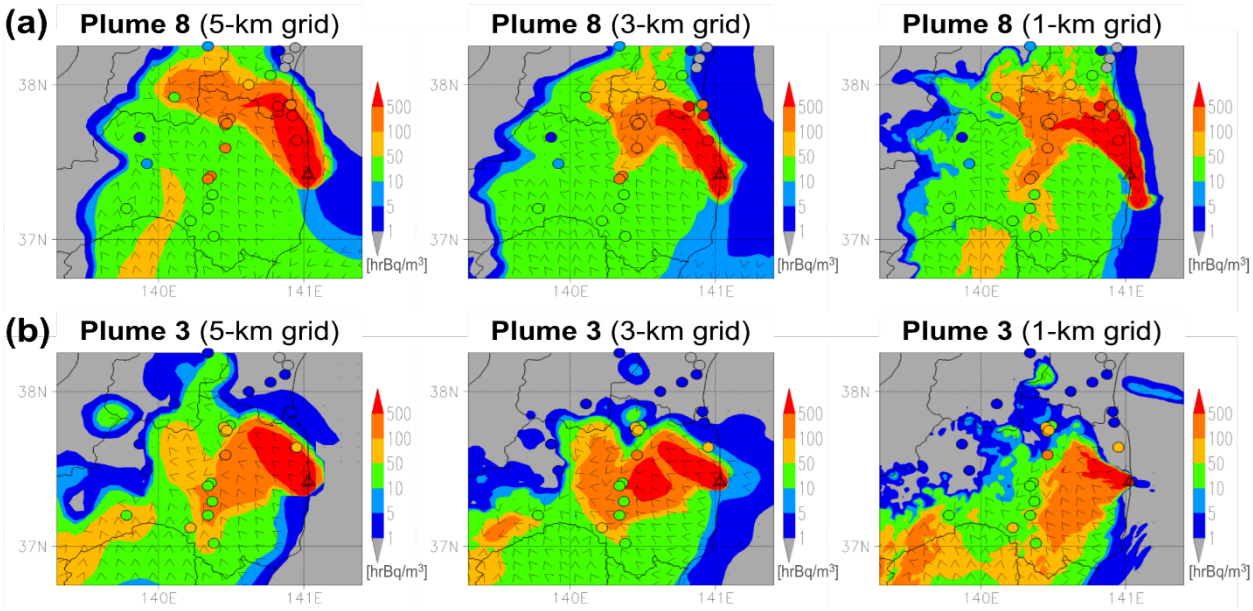


図 C-10. Plume 3（2011 年 3 月 15 日放出；下段）と 8（2011 年 3 月 20 日放出；上段）の 6 時間積算 Cs-137 濃度分布図。左より水平解像度 5km、3km、1km の結果。色を付けた丸は観測データを示す

④ 多成分同時同化システムの開発および長期同化データセットの構築・解析

窒素酸化物解析の改善に向けた次世代衛星観測 TROPOMI の全球データ同化（目標 2-2）（海洋研究開発機構）

対流圏において二酸化窒素（NO_2）は、光化学反応を介して、光化学スモッグの主原因であるオゾン（O_3）、および PM2.5 の主成分のひとつである硝酸塩エアロゾルを生成する。特にメガシティでは、活発な人間活動により多量の汚染物質が大気中に放出され、人体の健康に悪影響を与えることが懸念される。メガシティは発展途上領域における増加が予想されるため（United Nations, 2015）、主要汚染・発展途上領域を含めた全球について一貫した大気汚染物質とその排出量の監視・把握が重要である。しかしながら、密な大気環境監視ネットワークが構築されている地域は一部の先進国に限られている。そこで近年、局所アンサンブル変換カルマンフィルタや 4 次元変分法などの高度なデータ同化技術を用いて、急速に発展する衛星観測網の情報を化学輸送モデルに取り込み、大気汚染物質の濃度分布や排出量を推定する取り組みが行われつつある（e.g., Inness et al., 2019; Miyazaki et al., 2020）。さらに、2017、2018 年にそれぞれ打ち上げられた TROPOMI、GOSAT-2 や、今後 5 年間に計画される静止軌

道衛星 Sentinel-4, TEMPO, GEMS といった先進的な衛星観測から高解像度・高品質な観測データが利用可能になると期待され、今後ますます大気汚染物質の衛星観測データの高度な利用研究が活発になることが予想される。

昨年度までに、メガシティ規模の大気汚染物質の空間分布が解像可能な 0.56° 解像度の化学輸送モデル(Sekiya et al., 2018)と多成分大気汚染物質データ同化システム（Miyazaki et al., 2019）を用いて、高解像度の全球大気環境データ同化システムを開発してきた。従来の解像度(2.8°)のデータ同化計算や同化に使用しない独立観測との比較の結果、高解像度のデータ同化は NO_2、O_3 濃度解析を改善するだけでなく、特に大規模な排出源において、低解像度データ同化による窒素酸化物の排出量推定は過大評価である可能性が示された（Sekiya et al., 2020, submitted)。その一方で、今年度は次世代衛星測器のひとつである TROPOMI による対流圏 NO_2 気柱量リトリーバルのデータがオランダ王立気象研究所（KNMI）から公開され、利用可能になってきた。そこで本年度は、TROPOMI NO_2 リトリーバル・アルゴリズムの開発チームの Henk Eskes 博士、Folkert Boersma 博士（KNMI）との共同研究で、高解像度データ同化システムを用いた TROPOMI NO_2 の利用を推進した。

データ同化計算は 2018 年 4～5 月を対象期間とし、TROPOMI NO_2（Eskes et al., 2019; van Geffen et al., 2019)、比較対象として OMI NO_2（Boersma et al., 2017）のデータ同化計算をそれぞれ行った。TROPOMI（3.5×7 km^2)、OMI（13×24 km^2）による衛星観測データは、0.56° のモデル格子よりも高分解能であり、モデル格子における空間代表性をもった観測値とモデル計算値の比較を行うため、スーパー・オブザベーション手法を用いてモデル格子点の平均の濃度・観測誤差を推定した。モデル格子点の観測誤差の推定には、KNMI によって開発された、誤差要因ごとに適切な誤差相関を考慮した最新のスーパー・オブザベーション手法を用いている。

まず、同化した TROPOMI、OMI 衛星観測とそれぞれのデータ同化結果の整合性を確認した（図 C-11)。モデル計算と比較して、TROPOMI データ同化により同化した観測に対する全球対流圏 NO_2 分布の二乗平均平方根誤差（RMSE）が 54%減少した。この減少は、OMI データ同化の場合と比較して、42%大きかった。OMI データ同化に比べた TROPOMI データ同化による対流圏 NO_2 濃度解析の改善は、汚染域(20%)よりも清浄域(60%)でより顕著であった。

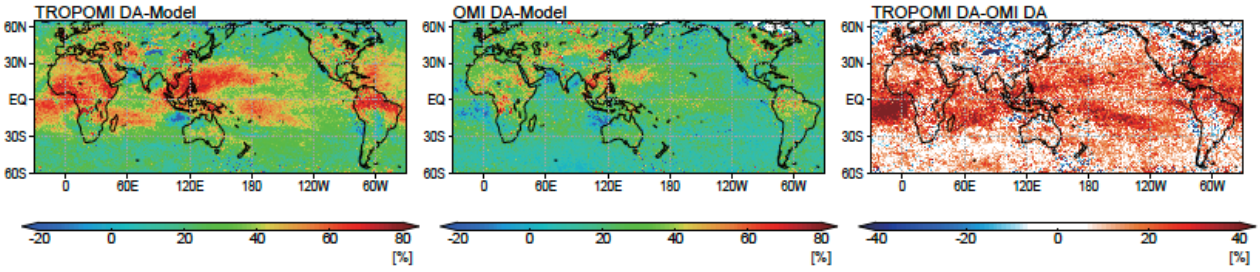


図 C-11. 2018 年 4 月 15 日～5 月 31 日の期間における、同化した衛星観測に対する対流圏 NO_2 濃度分布の二乗平均平方根誤差(RMSE)減少(%)。左図、中央図はそれぞれ TROPOMI、OMI データ同化結果、右図はそれらの差。

さらに、TROPOMI データ同化により、大きく対流圏 NO_2 濃度解析が改善した要因を明らかにするため、観測誤差とデータ同化解析による衛星観測に対する誤差減少の関係を調査した(図 C-12)。TROPOMI、OMI

データ同化の両方において、観測誤差とデータ同化による誤差減少の間に弱い負の相関関係(r = −0.16)がみられた。ただし、OMI データ同化と比較して、TROPOMI データ同化では観測誤差が小さいケース（<100%）の頻度が大きく、データ同化による誤差減少が大きいケース(>10%)の頻度が大きかった。これらの結果は、TROPOMI では OMI より高品質な観測により観測誤差が小さくなったことが TROPOMI データ同化でより大きく NO_2 濃度を改善した一因であること示している。

また、ロサンゼルスにおける同化に使用していない地表 NO_2 現場観測を用いて、データ同化結果の検証を行った（図 C-13)。フォワードモデル計算は、2018 年の排出量データが利用不可であるため、2010 年の窒素酸化物排出量を用いている。モデル計算では排出規制の効果が十分に反映されていないため、現場観測を 63%過大評価した一方で、その相対的な時間変動は概ね捉えていた（r = 0.58)。TROPOMI データ同化はモデルの過大評価を 78%減少させ、相関係数も 0.65 まで改善した。一方、OMI データ同化では 67%のモデル過大評価の改善はみられたが、相関係数は改善しなかった。これらの結果により、TROPOMI データ同化は対流圏 NO_2 濃度の短期的な時間変動の解析を改善する可能性があることが示された。

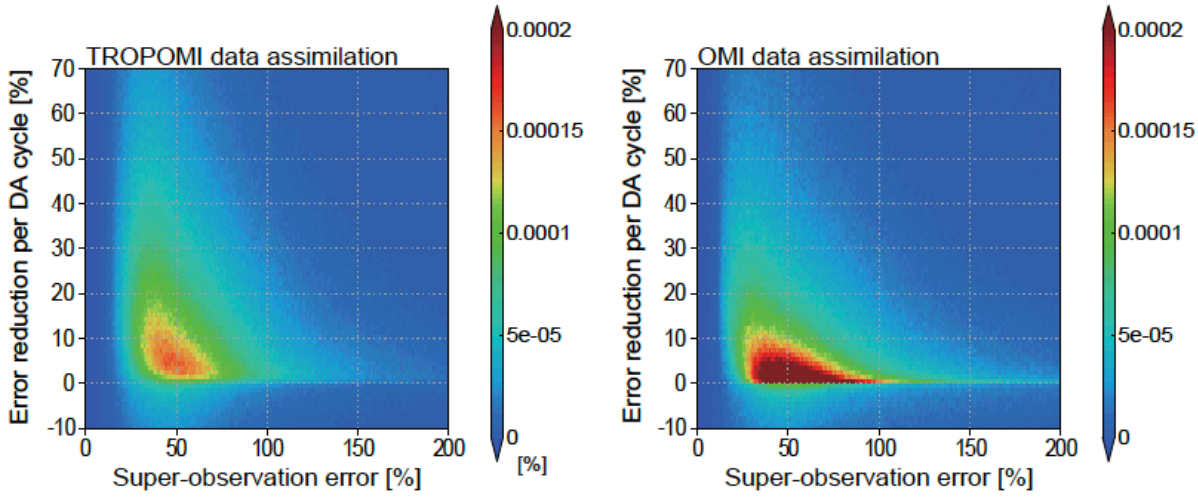


図 C-12. 観測誤差（横軸)、データ同化による衛星観測に対する誤差減少（縦軸）の関数とした、2 次元の確率密度分布。左図が TROPOMI データ同化、右図が OMI データ同化から得られた結果を示す。

今後の課題としては、他の様々な地域、プラットフォーム独立観測を用いた検証を行った上で、TROPOMI による対流圏 NO_2 観測のデータ同化が排出量推定にどのような影響を及ぼすか明らかにすることである。さらに、TROPOMI では NO_2 以外の成分についても高品質なリトリーバルが利用可能になりつつあるため、多成分データ同化システムを用いて TROPOMI 多成分観測を同時に利用することにより、対流圏化学システムの理解の進展に資することができると考えている。

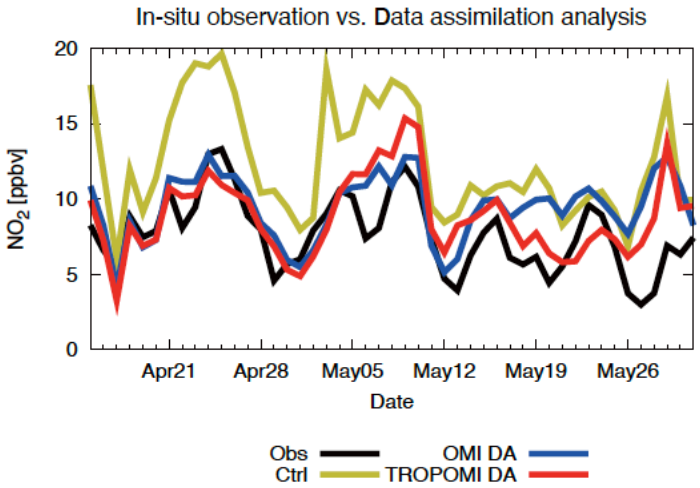


図 C-13. ロサンゼルスにおける日中の地表 NO_2 濃度の時系列(pptv)。
黒線が現場観測、赤線が TROPOMI データ同化、青線が OMI データ同化、黄線がフォワードモデル計算。

また本同化システムを用いた全球 1.1 度の大気環境データセット TCR-2 を構築し、ホームページ上で公開(https://ebcrpa.jamstec.go.jp/tcr2)した。解析対象期間は 2005 年から 2017 年までの 13 年間であり、オゾン、NO2、一酸化炭素およびエアロゾルの 60hPa までの鉛直 27 層の大気中濃度および地表放出量分布の推定結果を公開している。

参考文献

Boersma, K. F., Eskes, H., Richter, A., De Smedt, I., Lorente, A., Beirle, S., Van Geffen, J., Peters, E., Van Roozendael, M., and Wagner, T.: QA4ECV NO2 tropospheric and stratospheric vertical column data from OMI (Version 1.1) [Data set], doi:10.21944/qa4ecv- no2-omi-v1.1, 2017.

Eskes, H., van Geffen, J., Boersma, K. F., Eichmann, K.-U., Apituley, A., Pedergnana, M., Sneep, M., Veefkind, J. P., Loyola, D.: Sentinel-5 precursor/TROPOMI Level2 User Manual Nitrogendioxide, S5P-KNMI-L2-0005-RP, http://www.tropomi.eu/sites/default/files/files/public/S5P-KNMI-L2-0021-MA-Product_User_Manual_for_the_Sentinel_5_precursor_Nitrogen_dioxide-3.0.0-20190327.pdf, last access: 2019-06-28, 2019

Inness, A., Ades, M., Agusti-Panareda. A., Barre, J., Benedictow, A., Blechschmidt, A.-M., Dominguez, J. J., Engelen, R., Eskes, H., Flemming, J., Huijnen, V., Jones, L., Kipling, Z., Massart, S., Parrington, M., Peuch, V.-H., Razinger, M., Remy, S., Schulz, M., Suttie, M.: The CAMS reanalysis of atmospheric composition, Atmos. Chem. Phys., 19, 3515-3556, doi:10.5194/acp-19-3515-2019, 2019.

Miyazaki, K., Sekiya, T., Fu, D., Bowman, K. W., Kulawik, S. S., Sudo, K., Walker, T., Kanaya, Y., Takigawa, M., Ogochi, K., Eskes, H., Boersma, K. F., Thompson, A. M., Gaubert, B., Barre, J., Emmons, L. K.: Balance of Emission and Dynamical Controls on Ozone During the

Korea-United States Air Quality Campaign From Multiconstituent Satellite Data Assimilation, J. Geophys. Res., 124, 387-413, doi:10.1029/2018JD028912, 2019.

Miyazaki, K., Bowman, K., Sekiya, T., Eskes, H., Boersma, F., Worden, H., Livesey, N., Payne, V. H., Sudo, K., Kanaya, Y., Takigawa, M., Ogochi, K.: An updated tropospheric chemistry reanalysis and emission estimates, TCR-2, for 2005-2018, Earth Syst. Sci. Data Discuss., in review, 2020

Sekiya, T., Miyazaki, K., Ogochi, K., Sudo, K., and Takigawa, M.: Global high-resolution simulations of tropospheric nitrogen dioxide using CHASER V4.0, Geosci. Model Dev., 11, 959-988, doi:10.5194/gmd-11-959-2018, 2018.

Sekiya, T., Miyazaki, K., Ogochi, K., Sudo, K., Takigawa, M., Eskes, H., Boersma, K. F.: Global 0.56° -resolution data assimilation of satellite measurements for tropospheric chemistry analysis on a megacity scale, Geosci, Model Dev, Discuss., submitted, 2020.

The United Nations, Department of Economic and Social Affairs, P.D.; World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf, last access:2018-11-05, 2015.

Van Geffen, J., Boersma, K. F., Eskes, H., Sneep, M., ter Linden, M., Zara, M., Veefkind, J. P.: S5P/TROPOMI NO2 slant column retrieval: method, stability, uncertainties, and comparison against OMI, Atmos. Meas. Tech. Discuss., in review, 2019.

(4) 成果リスト

① 論文（査読付き）

Goto, D., M. Kikuchi, K. Suzuki, H. Hayasaki, M. Yoshida, T. M. Nagao, M. Choi, J. Kim, N. Sugimoto, A. Shimizu, E. Oikawa, and T. Nakajima, 2019: Aerosol model evaluation using two geostationary satellites over East Asia in May 2016. Atmos. Res., 217, 93-113.

Goto, D., Y. Morino, T. Ohara, T. T. Sekiyama, J. Uchida, and T. Nakajima, 2020: Application of linear minimum variance estimation to the multi-model ensemble of atmospheric radioactive Cs-137 with observations, Atmos. Chem. Phys., 20, 3589-3607, doi:10.5194/acp-20-3589-2020.

Kawatani, Y., K. Hamilton, L. J. Gray, S. M. Osprey, S. Watanabe, and Y. Yamashita (2019): The effects of a well-resolved stratosphere on the simulated boreal winter circulation in a climate model, J. Atmos. Sci., 76(5), 1203-1226, doi:10.1175/JAS-D-18-0206.1. (2019年５月１日出版)

Chrysanthou, A., A. C. Maycock, M. P. Chipperfield, S. Dhomse, H. Garny, D. Kinnison, H. Akiyoshi, M. Deushi, R. R. Garcia, P. Jöckel, O. Kirner, O. Morgenstern, G. Pitari, D. A. Plummer, L. Revell, E. Rozanov, A. Stenke, T. Y. Tanaka, D. Visioni, Y. Yamashita, and G. Zeng (2019): The effect of atmospheric nudging on the stratospheric residual circulation in chemistry-climate models, Atmos. Chem. Phys., 19, 11559–11586, doi:10.5194/acp-18-16155-2018. (2019年９月13日出版)

Igarashi, Y., K. Kita, T. Maki, T. Kinase, N. Hayashi, K. Hosaka, K. Adachi, M. Kajino, M. Ishizuka, Sekiyama, T. T., Y. Zaizen, C. Takenaka, K. Ninomiya, H. Okochi, and A, Sorimachi, 2019: Fungal spore involvement in the resuspension of radiocaesium in summer, Sci. Rep., 9, 1954, doi:10.1038/s41598-018-37698-x.

Iwasaki, T., T. T. Sekiyama, T. Nakajima, A. Watanabe, Y. Suzuki, H. Kondo, Y. Morino, H. Terada, H. Nagai, M. Takigawa, H. Yamazawa, D. Quélo, A. Mathieu, 2019: Intercomparison of numerical atmospheric dispersion prediction models for emergency response to emissions of radionuclides with limited source information in the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Atmos. Environ., 214, 116830, doi:10.1016/j.atmosenv.2019.116830.

Kajino, M., S. Hayashida, T. T. Sekiyama, M. Deushi, K. Ito, and X. Liu, 2019: Detectability assessment of a satellite sensor for lower tropospheric ozone responses to its precursors emission changes in East Asian summer, Sci. Rep., 9, 19629, doi:10.1038/s41598-019-55759-7.

Kajino, M., T. T. Sekiyama, Y. Igarashi, G. Katata, M. Sawada, K. Adachi, Y. Zaizen, H. Tsuruta, and T. Nakajima, 2019: Deposition and dispersion of radio-cesium released due to the Fukushima nuclear accident: Sensitivity to meteorological models and physical modules, J. Geophys. Res., 124, 1823-1845, doi:10.1029/2018JD028998.

Kondo, K. and T. Miyoshi, 2019: Non-Gaussian statistics in global atmospheric dynamics: a study with a 10240-member ensemble Kalman filter using an intermediate atmospheric general circulation model. Nolin. Processes Geophys., 26, 211-225.

Takagi, M., T. Ohara, D. Goto, Y. Morino, J. Uchida, T. T. Sekiyama, S. F. Nakayama, M. Ebihara, Y. Oura, T. Nakajima, H. Tsuruta, Y. Moriguchi, 2020: Reassessment of early 131I inhalation doses by the Fukushima nuclear accident based on atmospheric 137Cs and 131I/137Cs observation data and multi-ensemble of atmospheric transport and deposition models, J. Environ. Radioact., 218, 106233, doi:10.1016/j.jenvrad.2020.106233.

Kawai, H., S. Yukimoto, T. Koshiro, N. Oshima, T. Tanaka, H. Yoshimura, and R. Nagasawa, 2019: Significant improvement of cloud representation in the global climate model MRI-ESM2, Geosci. Model Dev., 12, 2875-2897, https://doi.org/10.5194/gmd-12-2875-2019.

Yukimoto, S., H. Kawai, T. Koshiro, N. Oshima, K. Yoshida, S. Urakawa, H. Tsujino, M. Deushi, T. Tanaka, M. Hosaka, S. Yabu, H. Yoshimura, E. Shindo, R. Mizuta, A. Obata, Y. Adachi, and M. Ishii, 2019: The Meteorological Research Institute Earth System Model Version 2.0, MRI-ESM2.0: Description and Basic Evaluation of the Physical Component, J. Meteor. Soc. Japan, 97(5), 931-965, https://doi.org/10.2151/jmsj.2019-051.

Takigawa, M., Prabir K. Patra, Yutaka Matsumi, Surendra K. Dhaka, Tomoki Nakayama , Kazuyo Yamaji, Mizuo Kajino, Sachiko Hayashida, 2020: Can Delhi’s pollution be affected by crop fires in the Punjab region? SOLA:Scientific Online Letters on the Atmosphere, 16, 77-80, https://doi.org/10.2151/sola.2020-015.

Niwa Y. and Y. Fujii, A conjugate BFGS method for accurate estimation of a posterior error

covariance matrix in a linear inverse problem,QJRMS, doi: 10.1002/qj.3838, 2020.

Amos, M., P. J. Young, J. S. Hosking, J.-F. Lamarque, N. L. Abraham, H. Akiyoshi, A. T. Archibald, S. Bekki, M. Deushi, P. Jöckel, D. Kinnison, O. Kirner, M. Kunze, M. Marchand, D. A. Plummer, D. Saint-Martin, K. Sudo, S. Tilmes, and Y. Yamashita (2020): Projecting ozone hole recovery using an ensemble of chemistry-climate models weighted by model performance and independence, Atmos. Chem. Phys. Discuss., doi:10.5194/acp-2020-86. (2020年２月３日出版、ACPで査読中)

Yamashita, Y., M. Takigawa, D. Goto, H. Yashiro, M. Satoh, Y. Kanaya, F. Taketani, and T. Miyakawa (2020), Effect of Model Resolution on Black Carbon Transport from East Asia to the Arctic Associated with the Well-developed Low-pressure Systems in September, J. Meteor. Soc. Japan (改定中)

② 国際会議・シンポジウム

Suzuki, K., 2019: Issues in aerosol-cloud-climate interaction: Needs for future satellite mission. Japan Geoscience Union Meeting 2019, Makuhari, Japan, 30 May, 2019 (invited).

Suzuki, K., and X. Jing, 2019: Linkage of the warm rain process to aerosol indirect forcing. Aerosol-Cloud-Precipitation-Climate Workshop, Nanjing, April 24-26, 2019.

Yamashita, Y., M. Takigawa, D. Goto, H. Yashiro, M. Satoh, Y. Kanaya, F. Taketani, and T. Miyakawa, S. Kato, H. Kobayashi, Y. Kondo, and Y. Kim (2019): The Transport of the black carbon to Arctic in recent years simulated with the NICAM-SPRINTARS, 27th International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly, M01p-149. (Montreal, Canada, 2019.7) ポスター

Yamashita, Y., M. Takigawa, D. Goto, H. Yashiro, M. Satoh, H. Akiyoshi, and CCMI modelers (2019): The analysis of the Non-hydrostatic ICosahedral Atmospheric Model (NICAM)-Chem outputs and future plans for the CCMI-2, CCMI Science Workshop 2019, 1.025. (Hong Kong, 2019.8.7) ポスター

Yamashita, Y., H. Akiyoshi, M. Takahashi (2020): An indication of low ozone anomaly in Arctic spring in the QBO westerly and solar minimum years, WCRP/SPARC SATIO-TCS joint workshop on Stratosphere-Troposphere Dynamical Coupling in the Tropics . (Kyoto, Japan, 2020.2.24) 口頭

Niwa Y. and Y. Fujii (2019): Accurate estimation of posterior error covariance in a 4D-Var inverse analysis, JpGU 2019, Makuhari, Japan.

Sekiya, T., Miyazaki, K., Ogochi, K., Sudo, K., Takigawa, M., Eskes, H., Boersma, F., Global surface NOx emission estimation with a resolution of 0.56 derived from multi-constituent satellite data assimilation, EGU General Assembly 2019, Vienna, Austria, April, 2019 (ポスター)

Sekiya, T., Miyazaki, K., Ogochi, K., Sudo, K., Takigawa, M., Eskes, H., Boersma, F., A high-resolution global data assimilation of multi-sensor satellite measurements

including TROPOMI NO2 data, The 15th Meeting of the Atmospheric Composition Virtual Cons, Tokyo, Japan, June, 2019 (ポスター)

Sekiya, T., Miyazaki, K., Ogochi, K., Sudo, K., Takigawa, M., Eskes, H., Boersma, F., Global data assimilation of multi-constituent satellite measurements at 0.56-degree for tropospheric chemistry analysis, The 10th international GEMS workshop, Seoul, South Korea, November, 2019 (口頭)

Kondo, K. and T. Miyoshi, 2019: Non-Gaussian statistics in global atmospheric dynamics with a 10240-member ensemble Kalman filter experiment using an intermediate AGCM. American Geophysical Union 2019 Fall meeting, 10 Dec. 2019.

Maki, T., T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, A. Ogi, J. Ohtake, A. Saito, S. Yabu, K. Yumimoto ,A. Shimizu and N. Sugimoto, Current project and activities in Japan, 7th SDS-WAS Asian node RSG meeting, 2019年11月, 中国, 杭州市

Maki, T., T. T. Sekiyama, T. Y. Tanaka, A. Ogi, K. Yumimoto, A. Saito and S. Yabu, Recent DSS related activities at the Japan Meteorological Agency and Meteorological Research Institute, The 12th meeting of Working Group I for Joint Research on DSS, 2019年9月, 韓国, 釜山

Sekiyama, T. T. et al., 2019: Reproducibility of surface wind and tracer transport simulations over a complex terrain using 5, 3 and 1 km grid models, AGU Fall Meeting 2019, San Francisco, USA.

Sekiyama, T. T. et al., 2019: Simultaneous Data Assimilation of Meteorological Variables and Tracer Concentration in the Case of the Fukushima Nuclear Accident, 16th AOGS annual meeting, Singapore.

Oshima, N., K. Kaiho, K. Adachi, Y. Adachi, T. Mizukami, M. Fujibayashi, and R. Saito, Global Climate Change Driven by Soot Ejection Following the Asteroid Impact as the Cause of the Extinction of the Dinosaurs, 27th IUGG General Assembly, Montreal, Canada, July 12, 2019.

③ 国内学会・シンポジウム

関谷 高志、宮崎 和幸、大越智 幸司、須藤 健悟、滝川 雅之、Henk Eskes、Folkert Boersma, メガシティ規模の大気汚染解析に向けたTROPOMI NO2データを含む複数衛星観測の全球高解像度データ同化, JpGU 2019, 幕張, 2019年5月 (口頭)

丹羽洋介, 藤井陽介 (2019): ４次元変分法-逆解析における解析誤差共分散の高精度推定, 日本気象学会春季大会2019, 東京.

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 (2019): The NICAM-SPRINTARS simulation of the long-range transport of black carbon using the K computer, 日本地球惑星科学連合2019年大会, AAS01, AAS01-10. (千葉, 2019.5.29) 口頭 (招待講演)

山下陽介, 直江寛明, 井上誠, 高橋正明 (2019): 冬季から初夏における南半球大気のQBOに対する

応答, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, AAS05, AAS05-11. (千葉, 2019.5.29) 口頭 (招待講演)

山下陽介, 秋吉英治, 高橋正明 (2019): Analysis of relatively low ozone in Arctic spring during the QBO-westerly and solar-minimum years, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, AAS05, AAS05-P12. (千葉, 2019.5.29) ポスター

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, 加藤咲, 小林秀樹, 近藤豊, Yongwon Kim (2019): 化学輸送モデルと地上・船舶観測を用いた黒色炭素 (BC) エアロゾル濃度の季節変化、及び北極域への輸送の解析, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, D461. (福岡, 2019.10.31) 口頭

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, 加藤咲, 小林秀樹, 近藤豊, Yongwon Kim (2019): 黒色炭素 (BC) エアロゾル濃度の季節変化、及び北極域への輸送の解析, 第 24 回大気化学討論会. (蒲郡, 2019.11.06) 口頭

関山剛ほか, 2019: 高解像度モデルによる複雑地形上での移流拡散シミュレーションの再現特性について, 第 24 回大気化学討論会, 蒲郡市.

関山剛, 2019: 気象学と人工知能のコラボレーション, 人工知能と知識処理研究会「地球環境観測と人工知能」, 電子情報通信学会, 霧島市.

④ 研究会等

山下陽介 (2019), 2019 年の南極渦と成層圏突然昇温, 第 71 回 気候影響･利用研究会. (東京, 2019 年 11 月 30) 口頭

山下陽介, 滝川雅之, 石島健太郎, 秋吉英治, 小玉知央, 八代尚, 佐藤正樹 (2019): 春先の発達した低気圧に伴う成層圏から対流圏への物質輸送の水平解像度依存性, 第 2 回 高・低気圧ワークショップ. (和歌山, 2019 年 12 月 17 日) 口頭

鈴木健太郎, エアロゾルモデルの現状と課題, 文部科学省委託事業 ポスト「京」(スーパーコンピュータ「富岳」) 重点課題 4「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」成果報告会, (東京, 2020 年 1 月 31 日).

山下陽介, 高解像度シミュレーションで解き明かす物質の流れ, 文部科学省委託事業 ポスト「京」(スーパーコンピュータ「富岳」) 重点課題 4「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」成果報告会, (東京, 2020 年 1 月 31 日).

⑤ 一般向け講演会等

滝川雅之, 夏空と大気汚染, ポスト京重点課題４一般講演会“夏の気象災害を解き明かす！スーパーコンピュータ「京」から「富岳」へ”, (東京, 2019 年 8 月 8 日).

4−2−4. プロジェクトの総合的推進

(1) 実施概要

プロジェクト及び各研究開発課題の総合的推進にあたり、プロジェクトの連携を密に、且つ円滑に運営していくため、研究会の開催等、参画各機関の連携・調整を行うとともに、本課題の 5 年間の取り組みへの評価を目的とし、外部有識者及びオブザーバから構成される諮問委員会を開催した。プロジェクトを滞りなく実施できるよう、プログラム開発及びプリポスト処理を行うための計算機環境を整えるとともに、データの維持や成果の保管管理を行うための計算機環境を理科学研究所 計算科学研究センターならびに海洋研究開発機構 横浜研究所に整えた。プロジェクトで得られた成果を、シンポジウム及び成果報告会開催等の広報活動を通じて、積極的に公表した。

コデザインにおいては、ターゲットアプリケーションの計算向上のための検討と評価を行った。部分的に使用が可能になったポスト「京」CPU 実機上での性能測定結果を改良することで、より高精度な性能予測とより先進的な性能最適化手法の試験が可能になり、高い計算性能の向上を実現した。機密でない範囲の情報については、ターゲットアプリケーション以外の重点課題 4 内のアプリケーションに応用するために情報を展開し、応用可能な点についての検討と改良を加えて試験的計算を実施し、計算性能向上の可能性を見出した。さらに基盤技術開発では、重点課題 4 において共通に使える基盤技術としてデータ圧縮技術に着目し、開発の前段階としてその有効性や先進性についての調査、同定を行い、新たなデータ圧縮手法を開発した。加えて、インタフェースの改良による使い勝手の向上（Grads および HDF5 対応）、既存環境下でのプログラムの高速化を実施し、重点課題 4 の共通基盤技術により支えられる研究開発環境を向上した。

(2) 実施体制

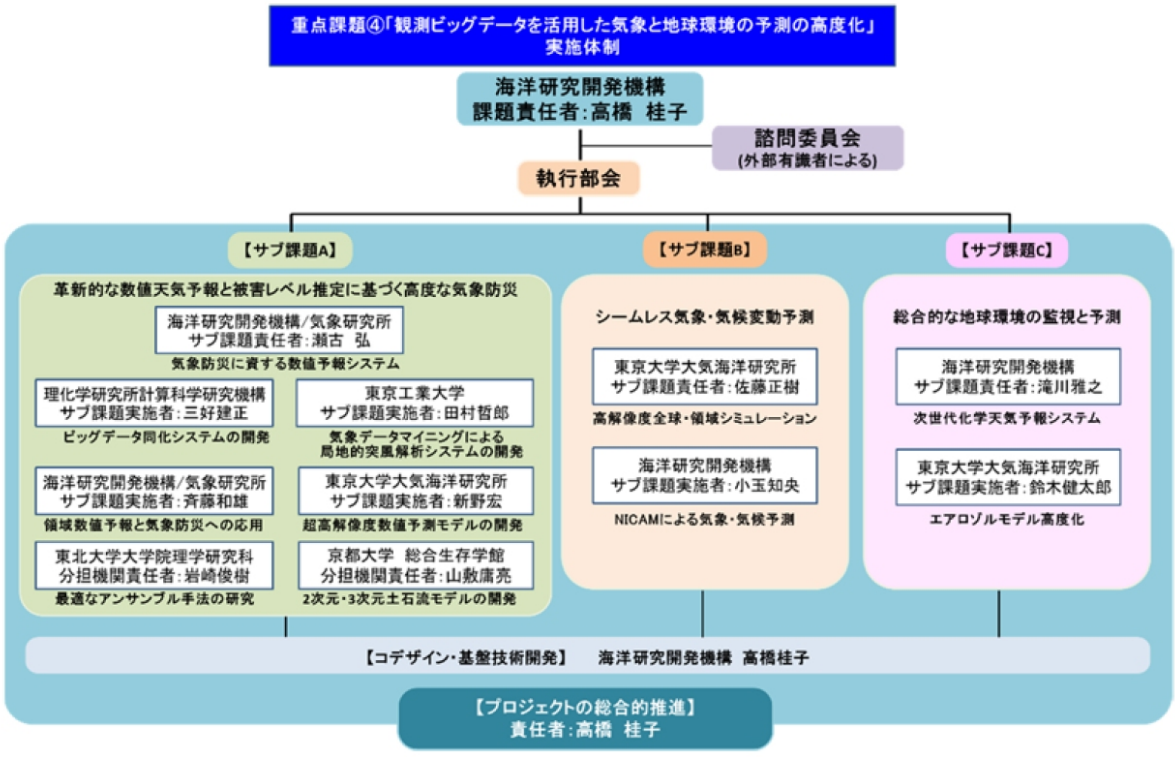


図 D-1： 実施体制

(3) 成果内容

① 計算機環境の整備

重点課題 4 では、海洋研究開発機構横浜研究所と理化学研究所計算科学研究センターに、データの維持、成果などを保管管理のための計算機環境、および研究の維持・推進を行うためのプログラム開発、プリポスト処理環境を整備し、維持管理した。加えて、大規模、高解像度計算によって得られる膨大なデータを保存するためのストレージ拡張や、それらのデータを高速且つ安定に処理するためのサーバの更新と新規導入を行った。

表 D-1：機器設置状況（赤文字は本年度導入機器を示す。）

	理化学研究所 計算科学研究センター	海洋研究開発機構 横浜研究所
サブ課題 A	SGI製UV30×1台 SGI製InfiniteStorage5000 60bay×14台 SGI製InfiniteStorage5100 60bay×1台 SGI製InfiniteStorage5100 12bay×1台 CMS CUSTOM SERVER 847BE1C-R1K28LPB ×1台 CMS CUSTOM JBOD 847E1C-R1K28JBOD-CTO ×1台 CMS CUSTOM JBOD 847E1C-R1K28JBOD-CTO ×1台（R1年度導入）	SGI製Standard-Depth Server H2106-G7 ×16台 SGI製InfiniteStorage5000 12bay×8台 SGI製InfiniteStorage5000 60bay×1台 HP製ProLiant DL180 G6 Server×1台
サブ課題 B	SGI製UV20×1台 SGI製InfiniteStorage5500 60bay×15台 SGI製InfiniteStorage5000 60bay×2台	SGI製UV20×1台 SGI製InfiniteStorage5000 12bay×6台 SGI製InfiniteStorage5000 60bay×3台 ニューテック製 SupremacyIII×1台 ニューテック製 SupremacyIII×2台
サブ課題 C	HP製ProLiant DL380 Gen9×1台 Supermicro製SC847E1C-R1K28JBOD×2台	CTS製CSP-32XEDR2x1×1台 Supermicro製SC847E1C-R1K28JBOD×4台 システムワークス製S5162×1台 Supermicro製SC847E1C-R1K28JBOD×1台（R1年度導入） Supermicro製SC847E1C-R1K28JBOD×3台（R1年度導入）
共有	SGI製Standard-Depth CH-C2108-RP2×1台	

② 人材育成

②−1. 人材育成への取り組み

ポスト「京」重点課題およびHPCI 計算資源提供機関、理化学研究所計算科学研究センターを中心にHPCIC 人材育成タスクフォースチームが結成され、これに重点課題 4 としては担当者を設定して参加した。このタスクフォースでは、若手研究者や高校生・大学生などの将来の計算科学を支える人材の育成について、議論・情報交換が行われた。具体的には、人材育成事業に関するポータルサイトの開設について議論を行った。このポータルサイトでは、人材育成に資するセミナーや遠隔講義の実施のほか、サマースクールなどのイベント告知なども想定したものである。

②−2. タスクフォース等の開催実績

平成 31 年 4 月 10 日　人材育成-産業利用促進　合同意見交換会
令和元年 10 月 2 日　人材育成タスクフォース
令和 2 年　3 月 24 日　人材育成タスクフォース

③ 広報活動

③−1. 重点課題4のWebページ作成及び運用

重点課題 4 の研究成果やポスト「京」開発に向けた取組みを広く広報するために、平成 28 年度に公開した重点課題 4 の Web ページ（http://www.jamstec.go.jp/pi4/）の運用を継続し、プレスリリース等の研究成果やイベント開催情報を随時更新し、重点課題 4 の最新の情報を周知した。

③−2. シンポジウムの開催

本プロジェクトでの研究成果やポスト「京」開発に向けた取組みを広く一般の方々に周知するため、令和元年 8 月 8 日に国立科学博物館 日本館 2 階 講堂にて第 5 回シンポジウム「夏の気象災害を解き明かす！スーパーコンピュータ「京」から「富岳」へ」を開催した。本シンポジウムでは、「夏の気象現象」をテーマに、台風や竜巻などの強風災害や、季節内スケールの変動と集中豪雨・猛暑の関係、首都圏の光化学スモッグなどの夏の気象災害解明に向けて、どのようなシミュレーション研究が行われているかなど、最新の研究成果を紹介するとともに、本課題で取り組んでいる研究の意義を伝えた。重点課題 4 の取組みやその研究成果を周知すると共に、今後増えていく観測ビッグデータを活用して目標を実現するにはポスト「京」が不可欠であることを伝えた（図 D-2）。

図 D-2：第 5 回シンポジウムの会場の様子（令和元年 8 月 8 日）
（左：会場の様子、右：サブ課題 A　小槻 峻司研究員による講演）

③－3. 成果報告会等の開催

諮問委員を中心とした本課題参画者および気象コミュニティ関係者に対して令和元年度の取り組みを中心に、5 年間の研究成果等を共有することを目的として、令和 2 年 1 月 31 日に第 4 回成果報告会を気象庁 講堂で開催した。成果報告会では、本課題で得られた知見および成果について、諮問委員をはじめとした関係者と共有し、諮問委員から研究の進捗に対して高い評価を受けた。また、最終年度を迎え将来的に気象庁の予報業務の精度向上等への貢献を目的とした成果の共有ならびに連携についても高い評価を受けた。成果報告会において本課題の重要性や得られた成果、最終年度に向けた研究の推進について関係者や気象研究者のコミュニティと共有したことにより、今後の計算科学、計算機科学においてさらなる発展が期待できる報告会となった（図 D-3）。

さらに、成果報告会の昼休憩時間に諮問委員会を開催し、これまでの取り組みや成果等に対する評価を頂いた。これらの内容は今後の気象研究コミュニティにおける具体的な対応として、更なる発展に寄与すると思われる。

図 D-3：第 4 回成果報告会の様子（令和 2 年 1 月 31 日）
（会場で質疑に回答するプロジェクト参画者の様子）

③－4. 施設一般公開等への参加

海洋研究開発機構の横浜研究所「海の日」Special Day（7 月 15 日開催）や、横須賀本部施設一般公開（11 月 2 日開催）において、ポスター展示やパンフレットの配布を行った。また、理化学研究所計算科学研究センターの施設一般公開（11 月 9 日開催）では、可視化ソフトウェア AVS/Express と 3D プロジェクタを使って成果動画を立体表示するなど、研究成果の紹介を行った。その他、高度情報科学技術研究機構の成果報告会（11 月 1 日開催）でのポスター展示等を行った。

③－5. パンフレット等広報媒体の制作

重点課題 4 全体、各サブ課題及びコデザインの体制や概要を紹介するためのポスター及びポスターの原稿をパネル集としてまとめたパンフレット、ならびに更に詳しい紹介として課題責任者、各サブ課題責任者・実施者へのインタビューをまとめたパンフレットを増刷した。また、重点課題 4 主催によるイベント紹介についてもポスターやチラシを作成した。増刷及び作成した媒体は、各種イベント等で配布し、重点課題 4 についての情報を広く発信した。

④ コデザイン

④−1. コデザインの目的

ポスト「京」を幅広いアプリケーションを高速かつ効率的に実行可能なシステムアーキテクチャとして実現するためにその開発に資する設計詳細情報を提供し、かつポスト「京」で十全な性能を出せるアプリケーション実現を推進するために、コデザイン業務を実施した。このコデザイン業務は例えば、ターゲットとするアプリケーションの特性に合わせた CPU の協調設計やシステムライブラリの協調設計、あるいはシステムアーキテクチャやシステムソフトウェアの特性に合わせたアルゴリズム開発やアプリケーション改良などが含まれる。重点課題 4 におけるコデザインの対象アプリケーションは、NICAM-LETKF が選定されている。NICAM-LETKF の概要については後述する。

④−2. コデザインの体制

ポスト「京」開発に資するコデザインは図 D-4 に示す体制の下で進められ、ここに重点課題 4 からも参加した。この重点課題アプリ 4WG には海洋研究開発機構の他、理化学研究所、京都大学、富士通株式会社などから、主な参加メンバーとして計 17 名が参加した。これら主な参加メンバーは、対象アプリケーションである NICAM-LETKF に詳しい研究者らとポスト「京」開発主体からの参加者から構成されており、密接に連携してコデザインに取り組んだ。WG での検討内容には富士通側の機密情報が含まれるため、参加メンバー全員が富士通との機密保持契約を締結して推進した。

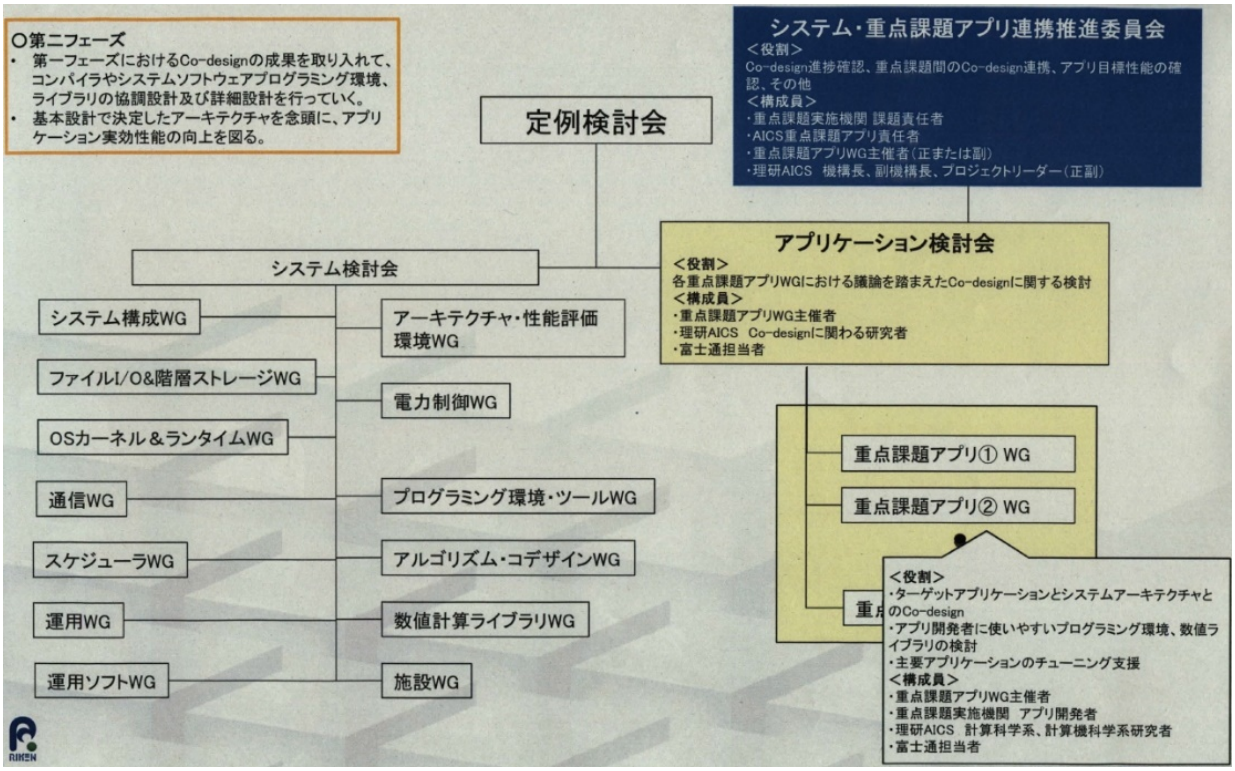


図 D-4：ポスト「京」開発（詳細設計）におけるコデザインへの取組体制
システム・重点課題アプリケーション連携推進委員会（第一回）資料 「コデザインに関する今後の取り組みについて」（理化学研究所）から抜粋

④－3. コデザインへの取り組みとその成果

コデザインの具体的な取り組み内容とその成果については、前述の富士通との機密保持契約に抵触しない範囲で記載させていただく。平成 31 年度/令和元年度の重点課題アプリ 4WG では、ポスト「京」の詳細設計に資するために、対象アプリケーションである NICAM-LETKF について、スーパーコンピュータ「京」および富士通社製 FX100 やポスト「京」シミュレータ、電力性能推定ツール等で、ポスト「京」の構成案での性能評価と分析に取り組んだ。これらの取り組みは、後述のように、月に 1 回から隔月に 1 回程度（平成 31 年度/令和元年度 6 回）の頻度で開催した WG で情報共有や議論を行いつつ、進めた。ここで、重点課題 4 のコデザインにおける対象アプリケーションである NICAM-LETKF を概説すると、NICAM は全球雲解像度モデルであり、構造格子ステンシル計算のメモリバンド幅に律速される演算特性を持ち、ポスト「京」のターゲットアプリケーションにおけるプロセッサデザインに関わるグループⅠに属する。一方の LETKF は局所アンサンブル変換カルマンフィルタであり、ストレージ・通信を用いた膨大な量のデータ交換を要し、かつ固有値計算を大量に反復する特性を有しており、システムソフトウェア（通信ライブラリ、入出力システム等）設計に関わるグループⅡに属する。そのため、重点課題 4 では、グループⅠあるいはグループⅡの観点のいずれかのみからコデザインを行う重点課題とは異なり、グループⅠとグループⅡの両面からポスト「京」のコデザインに取り組むこととなる。平成 31 年度/令和元年度のコデザインの取り組みでは、ハードウェア・ソフトウェア両面からの性能改善方法の探索、アプリケーションの性能最適化について検討を行った。具体的には、計算機性能面でのボトルネック要因とその解消方法および解決した場合の効果の検討や、想定されるハードウェアを十分に活用できるか否かの検証、性能予測の精度向上、数値計算ライブラリの評価などを行った。これらの取り組みから、システムソフトウェア等の設計に改良を必要とする部分、また逆にターゲットアプリケーション改良の必要性などを明らかにでき、ひいてはコデザインを推進する重要性がより明確となった。また、これまで性能予測ツールなどでターゲットアプリの性能予測を行ってきたが、平成 30 年度よりポスト「京」CPU 実機での性能測定が部分的にではあるが可能になったため、これまでの性能予測結果と実機での測定結果を照らし合わせて改良することで、より高精度な性能予測が可能になった。機密でない範囲の情報については重点課題４内のターゲットアプリ以外のアプリケーションにも有用な情報を展開し、富岳においても応用可能な点を検討し、試験計算を実施した結果、有用性を見出すことができた。

④－4. コデザインの今後

NICAM に関する更なるチューニングの継続やデータ精度変更の影響評価、LETKF におけるライブラリ評価、あるいは、これらの性能評価で用いているポスト「京」シミュレータの評価精度の向上などを行う予定である。またコデザインの過程で得られてきた多くの知見を、多くのアプリケーションの開発・最適化に活かすべく、ドキュメント化等にも力を注いでいく予定である。

④－5. ワーキンググループ等の開催・参加実績

- 重点課題アプリ 4（NICAM-LETKF）ワーキンググループ・定例ミーティング
  （理化学研究所計計算科学研究センター、神戸および東京分室で TV 会議）
  令和元年 5 月 14 日、6 月 26 日、8 月 28 日、10 月 18 日、12 月 20 日、

令和 2 年 2 月 21 日

- 「今後の NDA の取り扱いに関する説明会」、令和元年 7 月 25 日、理化学研究所計算科学研究センター東京分室（TV 会議参加）

⑤ 基盤技術開発

基盤技術開発では、重点課題 4 に含まれるサブ課題 A、B、C に共通するような基盤的技術を開発した後に、サブ課題へ展開して研究実施・成果創出に寄与し、最終的には重点課題の枠を超えて広く活用され、ポスト「京」での研究開発ならびに計算科学振興に寄与することを目指す。基盤技術開発は国立研究開発法人海洋研究開発機構ビッグデータ活用予測プロジェクトチーム基幹技術開発ユニットを中心に実施した。実施に必要な計算データや科学的知見等については重点課題 4 各サブ課題と連携した。

⑤－1. 基盤技術開発への取り組みとその成果

重点課題 4 における基盤的技術の開発として、平成 31 年度/令和元年度は平成 29 年度から開始したデータ圧縮技術開発の継続および展開を行なった。本データ圧縮技術は、重点課題 4 で中心となる流体データの効率的な圧縮をめざして開発しており、画像フォーマット JPEG で使われていることで知られるウェーブレット圧縮技術を応用したもので、通常のデータ圧縮技術では圧縮効果が得られ難い計算データに対しても高いデータ圧縮効率を実現した。このようなデータ圧縮技術はポスト「京」で想定される超大規模計算の実施には不可欠と考えられる。この技術は地球科学に限らず流体データを扱う他分野でも有用と考える。当該データ圧縮技術については、国際的に著名な公開サイトでリファレンス用プログラムを公開している。当該データ圧縮技術を各サブ課題の研究開発推進にさらに資するため、平成 31 年度/令和元年度は、データ圧縮技術の実利用にむけての詳細な調査や利用を妨げるポイントの同定を進めた。その結果、得られた技術的要点となるインタフェースの改良による使い勝手の向上（Grads および HDF5 対応）と既存環境下でのプログラムの高速化を実現した。独仏などの海外での利用も開始された。これらの成果を成果公開の一環として論文投稿を行った（査読中）。

⑤－2. 基盤技術開発の今後

基盤技術開発の今後については、成果創出フェーズでの研究実施に活用してフィードバックをうけてのブラッシュアップ、そして技術公開を予定している。

(4) 成果リスト

① 国際会議・シンポジウム

″Wavelet-based data compression for three-dimensional numerical simulations on regular grids″, Kolomenskiy, D., French-Japanese Workshop on Wavelet and Large Eddy Representations to Study Turbulent Flows, Kyoto, 5 December 2019, (Oral)

″Wavelet-based data compression for three-dimensional fluid flow simulations on regular grids″, Dmitry Kolomenskiy, Ryo Onishi, Hitoshi Uehara, 72nd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics, Seattle, WA USA, 25 November 2019, (Oral)

″WaveRange data compression for three-dimensional numerical simulations on regular grids. simulation of turbulent flows″, Dmitry Kolomenskiy, Ryo Onishi, Hitoshi Uehara, 4th International Workshop on Marine-Earth Science Simulations Data assimilation and multiscale techniques for numerical, Yokohama, 11 November 2019, (Oral)

4－3. 活動（研究会等）

種別	名称	開催日
シンポジウム	第5回シンポジウム 「夏の気象災害を解き明かす！スーパーコンピュータ「京」から「富岳」へ」	R1.8.8
成果報告会	第4回ポスト「京」重点課題4　成果報告会	R2.1.31
委員会	ポスト「京」重点課題4　諮問委員会	R2.1.31
委員会	ポスト「京」重点課題4　執行部会	H31.4.17 R1.10.15
成果報告会	第4回重点課題4成果報告会	R2.1.31.
シンポジウム	第5回シンポジウム　「夏の気象災害を解き明かす！スーパーコンピュータ「京」から「富岳」へ」	R1.8.8
研究会	サブ課題A・研究連絡会（3回、海洋研究開発機構東京事務所、理化学研究所計算科学研究センター）	R1.6.10,6.21 R1.9.24-25 R2.2.20-21
研究会	サブ課題B・定期研究連絡会（7回、東京大学本郷キャンパス）	R1.5.10 R1.6.25 R1.8.6 R1.10.3 R1.11.8 R1.12.23 R2.2.14
研究会	OGCM meeting （6回、海洋研究開発機構東京事務所）	H31.4.19 R1.6.20 R1.8.22 R1.10.23 R1.12.17 R2.2.14
研究会	東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター研究集会 陸域・沿岸海域・外洋域をつなぐ数値モデリングシステムの構築に向けて （東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター）	R1.7.26-27
研究会	サブ課題B・台風診断ミーティング （東京大学大気海洋研究所）	R1.9.2
研究会	サブ課題B・台風事例検討会 （気象庁）	R2.2.7

研究会	コデザイン・サブ WG（6 回、理化学研究所計算科学研究センター）	R1.5.14 R1.6.26 R1.8.28 R1.10.18 R1.12.20 R2.2.21
研究会	NICAM 開発者会議 （ＫＫＲホテルズ＆リゾーツ　国家公務員共済組合連合会沼津保養所）	R2.1.16-17
研究会	サブ課題 C・海洋機構内定期連絡会（海洋研究開発機構横浜研究所）	R1.7.1 R1.7.29 R1.10.2 R1.10.15 R1.11.12 R2.1.10
研究会	コデザイン・サブ WG	R01.5.14 R01.06.26 R01.08.28 R01.10.18 R01.12.20 R02.02.21

4－4. 実施体制

業務項目	担当機関	担当責任者
(1) 研究開発課題 A. 革新的な数値天気予報と被害レベル推定に基づく高度な気象防災	海洋研究開発機構	付加価値情報創生部門情報エンジニアリングプログラム 招聘上席研究員　瀬古　弘
	理化学研究所計算科学研究センター	データ同化研究チーム チームリーダー　三好　建正
	東京工業大学環境・社会理工学院	教授　田村　哲郎
	東京大学大気海洋研究所	客員教授　新野　宏
	東北大学大学院理学研究科	特任教授（研究）　岩崎　俊樹
	京都大学大学院総合生存学館	教授　山敷　庸亮
B. シームレス気象・気候変動予測	東京大学大気海洋研究所	教授　佐藤　正樹
	海洋研究開発機構	地球環境部門環境変動予測研究センター 雲解像モデル開発応用グループ 研究員　小玉　知央
C. 総合的な地球環境の監視と予測	海洋研究開発機構	地球環境部門北極環境変動総合研究センター 北極化学物質循環研究グループ グループリーダー　滝川　雅之
	東京大学大気海洋研究所	准教授　鈴木　健太郎
(2) プロジェクトの総合的推進	海洋研究開発機構	付加価値情報創生部門地球情報基盤センター センター長　高橋　桂子

様式第２１

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目： 「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の高度化」

機関名： 国立研究開発法人海洋研究開発機構

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所 （学会等名）	発表した時期	国内・外の別
3D debris flow simulations by using smoothed particle hydrodynamics (SPH) method	Ueta(Kyoto Uni.), Hosono(JAMSTEC) and Yamashiki(Kyoto Uni.)	JPGU2019, Makuhari	2019/5/29	国内
What is the source of chaos in MCS?	Kawabata, T.(MRI) and G. Ueno (ISM)	EMS2019, Copenhagen, Denmark	2019/9/13	国外
What is the source of chaos in MCS?	Kawabata, T.(MRI) and G. Ueno (ISM)	ICMCS-XIII, Naha, Japan	2019/3/8	国内
On Non-Gaussian Probability Densities on Convection Initiation and Development using a Particle Filter with a Storm-Scale Numerical Weather Prediction Model	Kawabata, T.(MRI) and G. Ueno (ISM)	International Symposium on Data Assimilation 2019, Kobe, Japan	2019/1/22	国内
Model Parameter Estimation with Data Assimilation using NICAM-LETKF	Kotsuki S.(RIKEN), Sato Y.(U of Hokkaido/RIKEN), Terasaki K.(RIKEN), Yashiro H.(NIES/RIKEN), Tomita H.(RIKEN), Satoh M.(U of Tokyo) and Miyoshi T.(RIKEN)	JpGU Meeting 2019, Chiba, 29 May 2019 (Invited)	2019/5/29	国内
Big data assimilation: A new science for weather prediction and beyond	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	14TH INTERNATIONAL EnKF WORKSHOP IN VOSS, VOSS, NORWAY, 4 June 2019 (Invited)	2019/6/4	国外
Big Data Assimilation: A New Science for Weather Prediction and Beyond	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	Seminar, DWD, Frankfurt, Germany, 13 June 2019 (Invited)	2019/6/13	国外
Big Data Assimilation: A New Science for Weather Prediction and Beyond	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	Seminar, LMU, Munich, Germany, 17 June 2019 (Invited)	2019/6/17	国外
HPC challenges in numerical climate simulation and weather prediction	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	INTERNATIONAL HPC SUMMER SCHOOL 2019, Kobe, Japan, 1-July 2019 (Invited)	2019/7/1	国内
Advancing data assimilation as a science hub: from weather forecasting and beyond	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	ICIAM2019, Valencia, Spain, 17 July 2019 (Invited)	2019/7/17	国外
Invited talk,	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	6th CREST "Big Data Application" Camp for Researchers, Kanagawa, Japan, 26 September 2019 (Invited)	2019/9/26	国内
Big Data Assimilation Incorporating Deep Learning with Phased Array Radar Data and Numerical Weather Prediction	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	BDEC2 San Diego, San Diego, USA, 16 October 2019 (Invited)	2019/10/16	国外
Big Data Assimilation: 30-second-update Weather Forecasting and Perspectives toward DA-AI Integration, Big Data	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	Data Assimilation and Uncertainty Quantification, Paris, France, 12 November 2019 (Invited)	2019/11/12	国外
Big Data Assimilation:A New Science for Weather Prediction and Beyond	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	seminar, Taipei, Taiwan, 27 November 2019 (Invited)	2019/11/27	国外
Big Data Assimilation:A New Science for Weather Prediction and Beyond	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	seminar, Taipei, Taiwan, 28 November 2019 (Invited)	2019/11/28	国外
Big Data Assimilation:A New Science for Weather Prediction and Beyond	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	seminar, Taoyuan City, Taiwan, 27 November 2019 (Invited)	2019/11/27	国外
Overview of the rapid-update weather forecasting with the phased-array weather radar	Otsuka, S.(RIKEN) and T. Miyoshi(RIKEN)	6th KNU CARE Workshop on Phase array radar and Nowcasting, Daegu, 5 Dec 2019 (Invited)	2019/12/5	国外
Big Data Assimilation: Past 5 Years and Perspectives for the Future	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	EGU2019, Vienna, Austria, 8 April 2019	2019/4/8	国外
Enhancing Data Assimilation of GPM Observations: Past 6 Years and Future Plans	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	EGU2019, Vienna, Austria, 9 April 2019	2019/4/9	国外
Big Data Assimilation: A New Science for Weather Prediction and Beyond	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	Japan - Israel meeting, Otsu, Japan, 14 April 2019	2019/4/14	国内
Improving the observation operator for Phased Array Weather Radar in the SCALE-LETKF system	Amemiya, A. (RIKEN), T. Honda(RIKEN), and T. Miyoshi(RIKEN)	JpGU meeting 2019, Chiba, Japan, 29 May 2019	2019/5/29	国内
Data assimilation and forecast experiments for the record-breaking rainfall event in Japan in July 2018 with NICAM-LETKF at 112-km and 28-km resolution	Koji Terasaki(RIKEN) and Takemasa Miyoshi(RIKEN)	JpGU, Chiba, Japan, 29 May 2019	2019/5/29	国内
Regional atmospheric data assimilation coupled with an ocean mixed layer model: a case of typhoon Soudelor (2015)	Takatama, K.(RIKEN), T. Honda(RIKEN), T. Miyoshi(RIKEN)	JpGU, Chiba, Japan, 29 May 2019	2019/5/29	国内
Ensemble-Based Data Assimilation of GPM/DPR Reflectivity into the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model NICAM	Kotsuki S.(RIKEN), Terasaki K.(RIKEN), and Miyoshi T.(RIKEN)	JpGU, Chiba, Japan, 30 May 2019	2019/5/30	国内
Big Data Assimilation: Past 5 Years and Perspectives for the Future	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	AOGS, Singapore, 30 July 2019	2019/7/30	国外
Enhancing Data Assimilation of GPM Observations: Past 6 Years and Future Plans	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	AOGS, Singapore, 2 August 2019	2019/8/2	国外
Big Data Assimilation: A New Science for Weather Prediction and Beyond	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	Seminar, Buenos Aires, Argentina, 26 August 2019	2019/8/26	国外
Big Data Assimilation: Past 6 Years and Future Plans	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	39th International Conference on Radar Meteorology, A, Nara, Japan, 17 September 2019	2019/9/17	国内

Impact assessment of Next Generation Rainfall Measuring Satellite on NWP: An Observation System Simulation Experiment for a typhoon case, Okazaki	A. (RIKEN), Honda, T. (RIKEN), Kotsuki, S. (RIKEN), Taylor, J. (RIKEN), Miyoshi, T. (RIKEN)	39th International Conference on Radar Meteorology, Nara, Japan, 19 September 2019	2019/9/19	国内
Big Data Assimilation and AI Creating New Development in Real-time Weather Prediction	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	CREST Symposium on Big Data Application, Tokyo, Japan, 25 September 2019	2019/9/25	国内
Exploring the potential of assimilating three-dimensional lightning discharge observations with an ensemble Kalman filter	Honda, T. (RIKEN), Y. Sato(U of Hokkaido/RIKEN), T. Miyoshi(RIKEN)	European Conferences on Severe Storms (ECSS), Krakow, Poland, 7 November 2019	2019/11/7	国外
Local Particle Filter Implemented with Minor Modifications to the LETKF Code	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	AGU100 FALL MEETING, San Francisco, USA, 9 December 2019	2019/12/9	国外
Big Data Assimilation Incorporating Deep Learning with Phased Array Radar Data and Numerical Weather Prediction	Takemsasa Miyoshi(RIKEN)	AGU100 FALL MEETING, San Francisco, USA, 10 December 2019	2019/12/10	国外
Forecasting a large number of tropical cyclone intensities using a high-resolution atmosphere-ocean coupled model	Ito, K.(U. Ryukyus)	International Workshop on Tropical Cyclone-Ocean Interaction in the Northwest Pacific (TCOI 2019), Jeju, Korea, 19 June 2019 (invited)	2019/6/19	国外
Analysis and forecast using dropsonde data from inner-core region of tropical cyclones obtained during the aircraft missions of T-PARCII	Ito, K.(U. Ryukyus), H. Yamada(U. Ryukyus), M. Yamaguchi(MRI), T. Nakazawa(MRI), N. Nagahama(MEISEI Electric), K. Shimizu(MEISEI Electric), T. Ohigashi(MIED), T. Shinoda(Nagoya U.), K. Tsuboki(Nagoya U.)	Observational campaigns for better weather forecasts, Reading, UK, 11 June 2019	2019/6/11	国外
Potential Downstream Influence of PRECIP/TAHOPE/T-PARCII on Predicting Heavy Rainfall Events in Kyushu Region	Ito, K.(U. Ryukyus)	severe weather and TAHOPE planning workshop, Taipei, 14 October 2019	2019/10/14	国外
Development of System for Long-term High-resolution Regional Reanalysis Covering Japan	S. Fukui(Tohoku U.), T. Iwasakki(Tohoku U.), K. Saito(JMBSC/U.Tokyo/MRI), H. Seko(MRI/JAMSTEC)	AGU Fall Meeting 2019, San Francisco, 10 December 2019	2019/12/10	国外
Heavy rainfall in Central Vietnam in 2018 and recommendations on the orientation for improving forecasting quality in Vietnam	Saito, K.(AORI/JMBSC)	Workshop on Integrating the hydro-meteorology system and orienting the development of improving forecast quality in Vietnam, Hanoi, 10 April 2019 (invited)	2019/4/10	国外
Ultra-high resolution numerical weather prediction with a large domain and size dependency of simulated convective cores on model resolutions	Saito, K.(AORI), T. Oizumi(JAMSTEC), L. Duc(JAMSTEC), and J. Ito(AORI)	International Workshop on Next-Generation NWP Models: Verification and Predictablity, Jeju, 22 May 2019, (invited)	2019/5/22	国外
Heavy rainfall event in middle Viet Nam on 8-9 December 2018 and current QPE/QPF at VNMHA	Saito, K.(AORI/JMBSC), L. Duc(JAMSTEC), D.D. Tien(VNMHA) and M.K. Hung(VNMHA)	Japan Geoscience Union Meeting 2019 (JPGU2019), Makuhari, May 26 2019, (invited)	2019/5/26	国内
Mesoscale-to-LES Modeling of the Sea-Breeze Front over Coastal Cities	Chen, G. (SYSU), K. Saito(AORI), H. Iwai(NICT), S. Ishii(NICT), H. Seko(MRI), W. Sha(Tohoku Univ.), and T. Iwasaki(Tohoku Univ.)	18th Conference on Mesoscale Processes, Savannah, 31 July 2019	2019/7/31	国外
LETKF perturbations by ensemble transform in a cloud resolving model	Saito, K.(AORI), L. Duc(JAMSTEC), and T. Matsunobu(Tsukuba Univ.)	International Workshop on Prediction skill of extreme Precipitation events and tropical cyclones: Present status and future Prospect (IP4), Pune, 25 November 2019, (invited)	2019/11/25	国外
Analysis and design of covariance inflation methods using spectral transformations	Duc, L.(JAMSTEC), K. Saito(AORI) and D. Hotta(MRI)	100th AMS Annual Meeting, Boston, 14 January 2020	2020/1/14	国外
Big Data Assimilation: Real-Time Workflow for 30-Second-Update Forecasting and Perspectives Toward DA-AI Integration	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	AMS 100th Annual Meeting, Boston, USA, 13 Jan 2020	2020/1/13	国外
Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	the Joint PI Meeting of JAXA Earth Obervation Missions FY2019, Tokyo, Japan, 24 Jan 2020	2020/1/24	国内
Accounting for the horizontal observation error correlation of satellite radiances in data assimilation	Koji Terasaki(RIKEN) and Takemasa Miyoshi(RIKEN)	The Second IMT-Atlantique & RIKEN Joint Workshop: Statistical Modeling and Machine Learning in Meteorology and Oceanography, Brest, France, 10 Feb 2020	2020/2/10	国外
Big Data Assimilation in Weather Prediction: From K to Fugaku	Takemasa Miyoshi(RIKEN)	The 2nd R-CCS International Symposium, Kobe, Japan, 17 Feb 2020	2020/2/17	国内
BCM-LES application to wind gust disaster under extreme meteorological events	Tamura T.(Tokyo Tech.), Kawaguchi M.(Tokyo Tech.)	72nd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics, P16.00009, 2019	2019/11/25	国外
Assessment of Tornado-Induced Building Damage Using a Hybrid Meteorological Model/Engineering LES Method:In Case of Tsukuba Tornado in 2012	Kawaguchi M.(Tokyo Tech.), T. Tamura(Tokyo Tech.), W. Mashiko(MRI), H. Kawai(Tokyo Tech.)	10th European Conference on Severe Storms, ECSS2019-185, 2019	2019/11/5	国外
LES coupling with thermal radiation model for actual urban districts with high-rise building cluster -Analysis on intermittent change of turbulent and temperature field -	Kawai H.(Tokyo Tech.), M. Arai(Tokyo Tech.), T. Tamura(Tokyo Tech.)	The 15th International Conference on Wind Engineering Beijing, China, 385-386, 2019	2019/9/1-6	国外
Turbulent coherent structures and peak wind occurrence over urban surface with high-rise building clusters	Tamura T.(Tokyo Tech.) and H. Kawai(Tokyo Tech.)	The 15th International Conference on Wind Engineering Beijing, China, 383-384, 2019	2019/9/1-6	国外
Assesment of spanwise resolution effects on the simulation of separating-reattaching flows at high Reynolds numbers	Cao Y.(Tokyo Tech.), T. Tamura(Tokyo Tech.), H. Kawai(Tokyo Tech.), J. Ikeda(Kobe Univ.), M. Tsubokura(RIKEN)	The 15th International Conference on Wind Engineering Beijing, 551-552, 2019	2019/9/1-6	国外
Environmental Turbulence In Urban Boundary Layer -LES And Field Measurement-	Kawai, H.(Tokyo Tech.), and T. Tamura, (Tokyo Tech.), H. Suyama, (Tokyo Tech.), D. Duong (Tokyo Tech.)	International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (TSFP11)., 2019	2019/7/31	国外
Uncertainty quantification on aerodynamic characteristics of flow around square and corner-rounded cylinder with glancing angle	Tsubasa Hamada(Tokyo Tech.), Tetsuro Tamura(Tokyo Tech.)	UNCECOMP 2019, U 18497,2019	2019/6/24	国外
Time and Space Observation Error Correlation of Doppler Radar Radial Winds	Fujita, T. (MRI), H. Seko (MRI), T. Kawabata (MRI), D. Hotta (MRI), K. Sawada (MRI), Y. Ikuta (JMA), M. Kunii (JMA), T. Tsukamoto (JMA), and G. Akimoto (JMA)	39th International Conference on Radar Meteorology, Nara, Japan 18 September 2019	2019/9/18	国内

Assimilating every 30-second phased array weather radar data in a torrential rainfall event on July 6, 2018 around Kobe city	Yasumitsu Maejima(RIKEN), Shigenori Otsuka(RIKEN) and Takemasa Miyoshi(RIKEN)	Japan Geoscience Union Meeting 2019, Makuhari, Japan, 28 May 2019	2019/5/28	国内
Near-real-time SCALE-LETKF forecasts of the record breaking rainfall in Japan in July 2018	Honda, T.(RIKEN), G.-Y. Lien(CWB), T. Miyoshi(RIKEN)	Japan Geoscience Union Meeting 2019, Makuhari, Japan, 29 May 2019	2019/5/29	国内
Impact of Radar Artifacts from Phased Array Weather Radar to Short-Range Convective Forecasts	Taylor, J. (RIKEN), LienG.Y.(CWB), Satoh, S.(NICT), Miyoshi, T. (RIKEN)	Japan Geoscience Union Meeting 2019, Makuhari, Japan, 29 May 2019	2019/5/29	国内
A New Evaluation Method for Cloud Microphysics Schemes Using GPM Dual-frequency Precipitation Radar	Kotsuki S. (RIKEN), Kurosawa K. (RIKEN), Kanemaru K.(NICT), Terasaki K.(RIKEN) and Miyoshi T.(RIKEN)	39th International Conference on Radar Meteorology, Nara, Japan, 16 September 2019	2019/9/16	国内
The Use of Dual Phased Array Weather Radar Observations to Short-Range Convective Forecasts	Taylor, J.(RIKEN), LienG.Y.(CWB), Satoh, S.(NICT), Miyoshi, T.(RIKEN)	39th International Conference on Radar Meteorology, Nara, Japan, 16 September 2019	2019/9/16	国内
Assimilating every 30-second phased array weather radar data in a torrential rainfall event on July 6, 2018 around Kobe city	Maejima, Y.(RIKEN), S. Otsuka(RIKEN) and T. Miyoshi(RIKEN)	39th International Conference on Radar Meteorology, Nara, Japan, 16 September 2019	2019/9/16	国内
Convection Initiation by Sea Breezes and Numerical Simulation of a Local Heavy Rainfall Event Observed in TOMACS	Saito, K.(AORI), M. Kunii(JMA), and K. Araki (MRI)	18th Conference on Mesoscale Processes, Savannah, 29 July 2019	2019/7/29	国外
Heavy Rainfall Event in Central Viet Nam in December 2018 and QPE/QPF at VNMHA	Saito, K.(AORI/JMBSC), M. K. Hung (VNMHA), N. V. Hung (VNMHA), D. D. Tien(VNMHA), and L. Duc(JAMSTEC)	100th AMS Annual Meeting, Boston, 13 January, 2020	2020/1/13	国外
Ageostrophic winds associated with a tropical cyclone and northward moisture fluxes	Saito, K.(AORI), and T. Matsunobu(Tsukuba Univ.)	100th AMS Annual Meeting, Boston, 15 January, 2020	2020/1/15	国外
Local Particle Filter Implemented with Minor Modifications to the LETKF Code	Takemasa Miyoshi (RIKEN)	AMS 100th Annual Meeting, Boston, USA, 13 Jan 2020	2020/1/13	国外
Ensemble-Based Data Assimilation of GPM/DPR Reflectivity into the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model NICAM	Kotsuki S. (RIKEN) , Terasaki K. (RIKEN) , Satoh M.(U of Tokyo) and Miyoshi T. (RIKEN)	4th workshop on assimilating satellite cloud and precipitation observations for NWP, Reading, UK 3 Feb, 2020	2020/2/3	国外
Assimilating all-sky Himawari-8 radiances in the heavy rainfall event on 23 August 2018 in Taiwan	Honda, T.(RIKEN), S.-C. Yang(NCU), T. Miyoshi(RIKEN)	4th workshop on assimilating satellite cloud and precipitation observations for NWP, Reading, UK, 2/3-5, 2020	2020/2/3	国外
Local Particle Filter Implemented with Minor Modifications to the LETKF Code	T. Miyoshi(RIKEN), S. Kotsuki(U or Chiba/RIKEN), K.Kondo(MRI/RIKEN), R. Potthast(DWD/U of Reading)	4th workshop on assimilating satellite cloud and precipitation observations for NWP, ECMWF, Reading, UK, 5 Feb 2020	2020/2/5	国外
Towards big data assimilation in Fugaku by accounting for the horizontal observation error correlation of satellite observations	Koji Terasaki(RIKEN) and Takemasa Miyoshi(RIKEN)	R-CCS international symposium, Kobe, 17 Feb 2020	2020/2/17	国内
Assimilating all-sky Himawari-8 radiances in the heavy rainfall event on 23 August 2018 in Taiwan	Honda, T.(RIKEN), S.-C. Yang(NCU), T. Miyoshi(RIKEN)	2nd R-CCS symposium, Kobe, 17 Feb 2020	2020/2/17	国内
Large eddy simulation of an entire tropical cyclone	Ito, J. (AORI), H. Niino (AORI) and T. Oizumi (JAMSTEC)	18th Symposium on the Coastal Environment, Boston,14 January 2020	2020/1/14	国内
次世代静止衛星搭載降水レーダ反射強度の観測システムシミュレーション実験	岡崎淳史(RIKEN), 本田匠(RIKEN), 小槻峻司(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	日本気象学会2019年度春季大会, 東京, 2019年5月17日	2019/5/17	国内
平成30年7月豪雨を対象とした高頻度・高解像度フェーズドアレイ気象レーダーデータ同化実験	前島康光(RIKEN), 大塚成徳(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	日本気象学会2019年度春季大会, 東京, 2019年5月18日	2019/5/18	国内
気象・海洋・陸面予測を革新する高頻度衛星観測網の設計事前評価プラットフォーム	三好 建正(RIKEN), 小槻 峻司(RIKEN), 寺崎 康児(RIKEN), 大塚 成徳(RIKEN), 本田 匠(RIKEN), 岡崎 淳史(RIKEN), 高玉 孝平(RIKEN)	JpGU2019, 千葉, 2019年5月29日	2019/5/29	国内
プレスシミュレーションにおけるデータ同化（続編）	坂本英之(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	第四回ものづくりワークショップ: データ駆動型社会におけるものづくり設計の新潮流, 東京, 2019年7月10日	2019/7/10	国内
低解像度全球大気モデルを用いた局所粒子フィルタ実験	小槻峻司(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	日本気象学会2019年度秋季大会, 福岡, 2019年10月28日	2019/10/28	国内
全球大気・水文結合データ同化システムの開発と土壌水分データ同化実験	黒澤賢太(RIKEN), 小槻峻司(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	日本気象学会2019年度秋季大会, 福岡, 2019年10月28日	2019/10/28	国内
低解像度全球大気モデルを用いた局所粒子フィルタ実験	小槻峻司(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	日本気象学会2019年度秋季大会, 福岡, 2019年10月28日	2019/10/28	国内
全球大気・水文結合データ同化システムの開発と土壌水分データ同化実験	黒澤賢太(RIKEN), 小槻峻司(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	日本気象学会2019年度秋季大会, 福岡2019年10月28日	2019/10/28	国内
気象学における AI 活用から AI 統合へ	三好建正(RIKEN)	日本気象学会2019年度秋季大会, 福岡, 2019年10月30日	2019/10/30	国内
GSMaP降水データの観測誤差相関を考慮したデータ同化実験	寺崎康児(RIKEN), 小槻峻司(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	第21回非静力学モデルに関するワークショップ, 三重, 2019年11月21日	2019/11/21	国内
LETKFに基づいた局所粒子フィルタの簡易実装法の検討	三好建正(RIKEN), 小槻峻司(RIKEN), Roland Potthast(DWD/U of Reading)	第21回非静力学モデルに関するワークショップ, 三重, 2019年11月21日	2019/11/21	国内
SCALE-LETKF を用いた雷観測データ同化: 観測システムシミュレーション実験	本田匠(RIKEN), 佐藤陽祐(U of Hokkaido/RIKEN), 三好建正(RIKEN)	第21回非静力学モデルに関するワークショップ, 三重, 2019年11月22日	2019/11/22	国内
SCALE-LETKFのフェーズドアレイ気象レーダのデータ同化における観測演算子の改善のインパクト	雨宮新(RIKEN), 本田匠(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	第21回非静力学モデルワークショップ, 三重, 2019年11月21日	2019/11/21	国内
アジアモンスーン高気圧（チベット高気圧）の形成と季節内変動の力学	雨宮新(RIKEN), 佐藤薫(U of Tokyo)	第2回高・低気圧ワークショップ, 和歌山, 2019年12月17日	2019/12/17	国内
「藤原効果」に関わる特異ベクトル	伊藤耕介(琉球大学), 山口宗彦(MRI)	日本気象学会春季大会, 東京, 2019年5月18日	2019/5/18	国内

日本域領域再解析システムによる台風強度の再現性の評価	福井真(東北大)、岩崎俊樹(東北大), 斉藤和雄(東大/気象業務支援センター/気象研), 瀬古弘(気象研/JAMSTEC)	日本気象学会2019年度春季大会, 東京, 2019年5月18日	2019/5/18	国内
台風に伴う非地衡風とPREについて	斉藤和雄(大気海洋研) ・松信匠 (筑波大)	第21回非静力学モデルに関するワークショップ, 三重, 2019年11月21日	2019/11/21	国内
ビッグデータ同化：ゲリラ豪雨予測から予測科学へ	三好建正(RIKEN)	CCSE ワークショップ, 東海村, 2020年2月21日(Invited)	2020/2/21	国内
ビッグデータ同化に向けた観測誤差相関を考慮するデータ同化	寺崎康児 (RIKEN) , 三好建正(RIKEN)	NICAM開発者会議, 沼津, 2020年1月16日	2020/1/16	国内
ビッグデータ同化に向けた観測誤差相関を考慮するデータ同化	寺崎康児 (RIKEN) , 三好建正(RIKEN)	ポスト京重点課題4成果報告会, 東京, 2020年1月31日	2020/1/31	国内
ビッグデータ同化による次世代気象予測	三好建正(RIKEN)	理研エンジニアリングネットワーク「気象予測データを再現する人工気象器利用した植物表現形質データ蓄積のための研究手法の開発」, 東京, 日本, 2020年2月19日	2020/2/19	国内
2018年台風21号における大阪市街地の強風・風圧力特性-気象モデル・工学LESの適用	川口真晴, 河合英徳 (東工大) , 田村哲郎 (東工大) , 益子渉 (MRI)	数値流体力学シンポジウム, C07-3, 2019	2019/11/28	国内
LESによるドームの空力特性に対するレイノルズ数効果の研究	Cao Yong (東工大) , Tetsuro Tamura (東工大)	数値流体力学シンポジウム, C07-5, 2019	2019/11/28	国内
熱放射・LES連成解析手法の適用と検証 -実在市街地の乱流場・温度場の解析-	新井舞子 (東工大) , 河合英徳 (東工大) , 田村哲郎 (東工大)	数値流体力学シンポジウム, C08-1, 2019	2019/11/28	国内
都市境界層内の乱流構造がピーク風速の発生に及ぼす影響	河合英徳 (東工大) , 田村哲郎 (東工大)	日本建築学会学術講演梗概集, 構造I, 181-182, 2019	2019/9/3-6	国内
気象モデル・工学的 LES ハイブリッド手法　2018 年台風21 号通過時の大阪都心部におけるピーク風速の推定	川口真晴 (東工大) , 田村哲郎 (東工大) , 河合英徳 (東工大)	日本建築学会学術講演梗概集, 構造I, 89-90, 2019	2019/9/3-6	国内
高層建築物群が散在する市街地の都市境界層に関 するBCM-LES -地上観測データに基づく検証-	河合英徳 (東工大) , 田村哲郎 (東工大)	数値流体力学シンポジウム, C08-4, 2019	2019/11/28	国内
都市キャノピー内外のピーク風速の発生に影響を及ぼす乱流構造	河合英徳 (東工大) , 田村哲郎 (東工大)	日本流体力学会年会, 2019	2019/9/13	国内
熱放射を考慮したLESに基づく実在市街地の気流・熱環境解析に関する検証	新井舞子 (東工大) , 河合英徳 (東工大) , 田村哲郎 (東工大)	日本流体力学会年会, 2019	2019/9/13	国内
気象擾乱を含んだ流入条件による都市境界層のLES	河合英徳 (東工大) , 田村哲郎 (東工大) , 巣山裕記 (東工大)	2019年度日本風工学会年次研究発表会, 131-132,2019	2019/6/12	国内
1992年12月8日に準線状の対流系に伴って発生した竜巻	栃本英伍(AORI), 新野宏(AORI)	第21回非静力学モデルワークショップ, 津, 2019年11月20-21日	2019/11/22	国内
大気中の多様な渦・乱流現象等の普遍的理解を目指して	新野宏(AORI)	日本気象学会春季大会, 東京, 2019年5月16日	2019/5/16	国内
変分法によるレーダーデータ同化高度化の検討	藤田匡(気象研), 瀬古弘(気象研), 川畑拓矢(気象研), 澤田謙(気象研), 堀田大介(気象研), 幾田泰酵(気象庁), 國井勝(気象庁), 塚本暢(気象庁), 秋元銀河(気象庁)	日本気象学会2019年度秋季大会, 福岡, 2019年10月28日	2019/10/28	国内
観測誤差相関を考慮した変分法によるドップラー速度データ同化の検討	藤田匡(気象研), 瀬古弘(気象研), 川畑拓矢(気象研), 澤田謙(気象研), 堀田大介(気象研), 幾田泰酵(気象庁), 國井勝(気象庁), 塚本暢(気象庁), 秋元銀河(気象庁)	第21回非静力学モデルに関するワークショップ, 津, 2019年11月22日	2019/11/22	国内
観測誤差時空間相関を考慮した変分法によるドップラー速度データ同化の検討	藤田匡(気象研), 瀬古弘(気象研), 川畑拓矢(気象研), 澤田謙(気象研), 堀田大介(気象研), 幾田泰酵(気象庁), 國井勝(気象庁), 塚本暢(気象庁), 秋元銀河(気象庁)	ポスト京重点課題4成果報告会, 東京, 2020年1月31日	2020/1/31	国内
NICAM-LETKFシステムを用いた平成30年7月豪雨再現性の解像度依存性について	寺崎康児(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	日本気象学会秋季大会、福岡, 2019年10月30日	2019/10/30	国内
日本域領域再解析システムによる台風の再現性	福井真(東北大)、岩崎俊樹(東北大), 斉藤和雄(東大/気象業務支援センター/気象研), 瀬古弘(JAMSTEC/気象研)	日本気象学会2019年度秋季大会, 福岡, 2019年10月31日	2019/10/31	国内
NHM-RPFを用いた観測誤差の動的推定	川畑拓矢 (気象研), 上野玄太 (統数研)	非静力学モデルに関するワークショップ, 津, 2019年11月	2019/11/22	国内
全球大気データ同化システムによる天気予報研究の最前線	小槻峻司(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	第14回名工大・核融合研合同セミナー, 名古屋, 2019年7月18日(Invited)	2019/7/18	国内
気象予報におけるビッグデータ同化とAIの協働に向けて	三好建正(RIKEN)	第6回「京」を中核とするHPCIシステム利用研究課題成果報告会, 東京, 2019年11月1日(Invited)	2019/11/1	国内
データ同化技術について	大塚成徳(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	HPCを活用した自動車用次世代CAEコンソーシアム　第5回総会　基調講演, 神戸, 2019年11月5日. (Invited)	2019/11/5	国内
ビッグデータ同化 ～ゲリラ豪雨予測から、予測科学へ～	三好建正(RIKEN)	セミナー、独立行政法人酒類総合研究所, 東広島, 2019年11月20日(Invited)	2019/11/20	国内
最先端の気象予測技術：ゲリラ豪雨予測の実現に向けて	大塚成徳(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	第45回 (2019年度第2回) スーパーコンピューティング技術産業応用協議会セミナー, 東京, 2019年11月29日(Invited)	2019/11/29	国内
静止衛星による降水観測が台風予測に与えるインパクト評価	岡崎淳史(RIKEN), 本田匠(RIKEN), 小槻峻司(RIKEN), James Taylor(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	データ同化手法を活用した観測システムの影響評価に関する研究会, 横浜, 2019年4月18日	2019/4/18	国内
Observation Diagnostics with NICAM-LETKF	小槻峻司(RIKEN), 黒澤賢太(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	データ同化手法を活用した観測システムの影響評価に関する研究会, 横浜, 2019年4月18日	2019/4/18	国内

NICAM-LETKFの概要と観測誤差相関を考慮したデータ同化	寺崎康児(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	データ同化手法を活用した観測システムの影響評価に関する研究会, 横浜, 2019年4月18日	2019/4/18	国内
SCALE-LETKFのフェーズドアレイ気象レーダのデータ同化における観測演算子の改善のインパクト	雨宮新(RIKEN), 本田匠(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	データ同化手法を活用した観測システムの影響評価に関する研究会, 横浜, 2019年4月19日	2019/4/19	国内
SCALE-LETKFの概要と衛星観測同化への適用例	本田匠(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	データ同化手法を活用した観測システムの影響評価に関する研究会, 横浜, 2019年4月19日	2019/4/19	国内
Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations	三好建正(RIKEN)	「NICAM-LETKFと衛星観測データ同化に関する打ち合わせ」第17回会合, 神戸, 2019年4月22日	2019/4/22	国内
Local Particle Filter: 低解像度全球大気モデルSPEEDY数値実験	小槻峻司(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	第10回 理研・京大データ同化研究会, 神戸, 2019年4月26日	2019/4/26	国内
非ガウスフィルタの実装理論：LETKFからLPFへ	三好建正(RIKEN)	第10回理研・京大データ同化研究会, 神戸, 2019年4月26日	2019/4/26	国内
Local Gaussian Mixture Particle Filter (LMCPF)の紹介	三好建正(RIKEN)	2019年度第1回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会（第7回アンサンブルデータ同化摂動に関する研究会）, 苫小牧, 2019年6月28日	2019/6/28	国内
LETKFと融和的な粒子フィルタ実装方法について	三好建正(RIKEN)	第3回理研・気象庁 データ同化に関する情報交換会, 気象庁, 東京, 2019年8月20日	2019/8/20	国内
NICAM-LETKFを用いた観測誤差相関を考慮するデータ同化システムの開発	寺崎康児(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	第3回 理研・気象庁データ同化研究会, 東京, 2019年8月20日	2019/8/20	国内
GPM観測データ同化による降水予測アルゴリズムの高度化	三好建正(RIKEN)	2019年度 第二回地球観測研究公募降水観測ミッション サイエンスチーム国内キックオフ会合, 東京, 2019年9月5日	2019/9/5	国内
Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations	三好 建正(RIKEN)	「NICAM-LETKFと衛星観測データ同化に関する打ち合わせ」第18回会合, 奈良, 2019年9月18日	2019/9/18	国内
雲微物理パラメタに依存するレーダー反射因子の観測演算子とパラメタ推定への展望	雨宮新(RIKEN), 三好建正(RIKEN)	ポスト京重点課題4サブ課題A研究連絡会, 東京, 2019年9月25日	2019/9/25	国内
プレスシミュレーションにおけるデータ同化	坂本 英之(RIKEN), 三好 建正(RIKEN), 髙村正人(RIKEN), 見原 俊介(RIKEN)	第6回設計に活かすデータ同化研究会, 鳥取, 2019年11月11日	2019/11/11	国内
局所粒子フィルタの進展	三好建正(RIKEN)	2019年度第2回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会（第8回アンサンブルデータ同化摂動に関する研究会）, 大洲, 2019年12月5日	2019/12/5	国内
ビッグデータ同化とAIによるリアルタイム気象予測の新展開	三好建正(RIKEN)	ビッグデータ基盤/応用　合同領域会議, 湯河原, 2019年12月18日	2019/12/18	国内
Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations	三好 建正(RIKEN)	「NICAM-LETKFと衛星観測データ同化に関する打ち合わせ」第19回会合, 神戸, 2019年12月20日	2019/12/20	国内
逆問題としてのデータ同化, 第23回データ同化夏の学校	伊藤耕介(琉球大学)	第23回データ同化夏の学校, むつ, 2019年8月22日	2019/8/22	国内
台風の航空機観測を用いた同化・予測実験	伊藤耕介(琉球大学)	第23回データ同化夏の学校, むつ, 2019年8月22日	2019/8/22	国内
逆問題としての4次元データ同化	伊藤耕介(琉球大学), 藤井陽介(MRI)	第二回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会, 大須, 2019年12月5日	2019/12/5	国内
藤原効果に関わる特異ベクトル, 第二回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会	伊藤耕介(琉球大学), 山口宗彦(MRI)	第二回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会, 大洲, 2019年12月5日	2019/12/5	国内
LETKFアンサンブル摂動 雲解像モデルの場合（その3）	斉藤和雄（大気海洋研）・松信匠（筑波大）	2019年度第1回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会 （第7回アンサンブルデータ同化摂動に関する研究会）, 苫小牧, 2019年6月28日	2019/6/28	国内
ベトナム気象水文局の領域アンサンブル予報と新規科研費申請	斉藤和雄（大気海洋研）	2019年度第2回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会 （第8回アンサンブルデータ同化摂動に関する研究会）, 大洲, 2019年12月5日	2019/12/5	国内
台風に伴う非地衡風について	斉藤和雄（大気海洋研）・松信匠（筑波大）	台風研究会2019, 名古屋, 2019年11月20日	2019/11/20	国内
観測ビッグデータ同化に向けた取り組み	三好建正(以下RIKEN), 寺崎康児, 小槻俊司, 本田匠, 雨宮新, James Taylor, 高玉康平, 前島康光, 坂本英之	ポスト京重点課題4成果報告会, 東京, 2020年1月31日	2020/1/31	国内
数値予測による要因分析　-都市域での最近の台風事例-	河合英徳（東工大）	日本建築学会パネルディスカッション構造〔荷重〕「頻発する極端気象に対する 強風被害調査・要因分析・荷重設定」, 2019.9	2019/9/6	国内
数値予測による要因分析　-2012 年つくば竜巻-	川口真晴（東工大）, 田村哲郎（東工大）	日本建築学会パネルディスカッション構造〔荷重〕「頻発する極端気象に対する 強風被害調査・要因分析・荷重設定」, 2019.9	2019/9/6	国内
フェーズドアレイレーダーを用いた研究開発への期待	新野宏(AORI)	日本気象学会気象災害委員会・メソ気象研究会合同研究会、福岡、2019年10月27日	2019/10/27	国内
レーダーデータ同化に関する調査	藤田匡(気象研)	ポスト京重点課題4サブ課題A 2019年度第一回研究連絡会, 東京, 2019年6月21日	2019/6/21	国内
レーダーデータ同化調査の進捗報告	藤田匡(気象研)	ポスト京重点課題4サブ課題A 2019年度第三回研究連絡会, 神戸, 2020年2月20日	2020/2/20	国内
レーダーを活用した変分法データ同化の検討	藤田匡(気象研)	2019年度第1回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会(第7回アンサンブルデータ同化摂動に関する研究会), 苫小牧, 2019年6月28日	2019/6/28	国内

ドップラー速度同化の高度化の検討	藤田匡(気象研)	2019年度第2回高解像度豪雨予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会(第8回アンサンブルデータ同化摂動に関する研究会), 大洲, 2019年12月5日	2019/12/5	国内
ゲリラ豪雨予測を目指した「ビッグデータ同化」の研究	三好建正(RIKEN)	第6回「京」を中核とするHPCIシステム利用研究課題 成果報告会, 東京, 2019年11月1日	2019/11/1	国内
MCSにおけるカオスの起源を探る	川畑拓矢(気象研), 上野玄太 (統数研)	メソ気象セミナー, 伊勢, 2019年7月	2019/7/14	国内
観測ビッグデータ同化に向けた取り組み	三好建正(以下RIKEN), 寺崎康児, 小槻俊司, 本田匠, 雨宮新, James Taylor, 高玉康平, 前島康光, 坂本英之	ポスト京重点課題4成果報告会, 東京, 2020年1月31日	2020/1/31	国内
ビッグデータ同化：数値天気予報から予測科学へ	三好建正(RIKEN)	日本工営株式会社講演会（ショートセミナー）, つくば, 2019年7月4日(Invited)	2019/7/4	国内
ビッグデータ同化：数値天気予報から予測科学へ	三好建正(RIKEN)	株式会社先端力学シミュレーション研究所社内講演会, 東京, 2019年7月5日(Invited)	2019/7/5	国内
ビッグデータ同化：数値天気予報から予測科学へ	三好建正(RIKEN)	通信技術部会電波センサ専門部会講演会、尼崎, 2019年10月3日(Invited)	2019/10/3	国内
ビッグデータ同化：「富岳」が拓く未来の天気予報	三好建正(RIKEN)	スーパーコンピュータ推進議員連盟総会, 東京, 2019年10月28日(Invited)	2019/10/28	国内
データ同化研究～ゲリラ豪雨予測から、予測科学へ～	三好建正(RIKEN)	精華寿大学第5回講座、京都府精華町, 2019年11月8日(Invited)	2019/11/8	国内
高解像度モデルを用いた猛烈な台風の初期値化	伊藤耕介(琉球大学)	2018年度名古屋大学HPC計算科学連携研究プロジェクト成果報告会, 2019年6月21日	2019/6/21	国内
ビッグデータ同化：「富岳」が拓く未来の天気予報	三好建正(RIKEN)	スーパーコンピュータ「富岳」を知る集い金沢, 金沢, 2020年1月25日(invited)	2020/1/25	国内
これからの強風災害 - 強くなる台風、頻発する竜巻での建築・都市へのインパクトを探る！, -夏の気象災害を解き明かす！	河合英徳(東工大)	スーパーコンピュータ「京」から「富岳」へ, 国立科学博物館 日本館2階 講堂, 2019.8	2019/8/8	国内
Resolution dependencies of a global cloud/storm resolving model.	Miura, H. and T. Miyakawa	2019 American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, California, USA.	2019/12/10	国外
Resolution dependencies of tropical convection in a global cloud/cloud-system resolving model.	Miyakawa, T. and H. Miura	Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2019, Makuhari, Chiba, Japan.	2019/5/28	国内
BSISO in S2S database	Nakano M.	ECMWF preSAC meeting 2019, Reading, UK.	2019/9/14-30	国外
NICAM results of the project DYAMOND for global storm-resolving model intercomparison.	Satoh, M., R. Shibuya, and C. Kodama	Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2019, Makuhari, Chiba, Japan.	2019/5/29	国内
The DYAMOND Models: Data and Parameterization - NICAM.	Shibuya, R., C. Kodama and M. Satoh	2nd DYAMOND-ESiWACE Hackathon, Mainz, Germany.	2019/6/19	国外
The effect of the SST over the PMM region and the eastern northwestern Pacific on tropical cyclone genesis over WNP in 2018.	Ishiyama, T. et al.	The 2019 University Allied Workshop on Climate and Extreme Weather, Kashiwa, Chiba.	2019/8/23	国内
Evaluation of the monthly potential of the 2018 typhoon activity and the effect of the positive PMM and SST of the eastern northwestern Pacific.	Ishiyama, T. et al.	16th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society, Singapore.	2019/8/1	国外
Evaluation of the monthly potential of the 2018 typhoon activity and the effect of the positive PMM and SST of the eastern northwestern Pacific.	Ishiyama et al.	East Asian workshop on Climate Dynamics, Busan, Korea.	2019/5/24	国外
Evaluation of the monthly potential of the 2018 typhoon activity and the effect of the positive PMM and SST of the eastern northwestern Pacific.	Ishiyama et al.	Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2019, Makuhari, Chiba, Japan.	2019/5/30	国内
Model updates and early results of a decadal high-resolution climate simulations using the Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model, NICAM, for CMIP6 HighResMIP.	Kodama, C., Y. Yamada, T. Ohno, T. Seiki, H. Yashiro, A. T. Noda, M. Nakano, W. Roh, M. Satoh, T. Nitta, T. Nasuno, T. Miyakawa, Y.-W. Chen, and M. Sugi	AGU2019, San Francisco, CA, U.S.A.	2019/12/9-13	国外
Analysis of arctic cyclone of August 2012 using non-hydrostatic global atmosphere and ocean coupled model.	Kubokawa, H., M. Satoh, T. Kawasaki, N. Kimura and H. Hasumi	IUGG 2019, Montreal Convention Centre, Canada.	2019/7/11	国外
Long-term changes in the BSISO and MJO simulated by NICAM HighResMIP and reanalysis datasets.	Nakano, M. and K. Kikuchi	JiCoRe WS, Yokohama, Japan.	2020/2	国内
Effects of the local convection over the Maritime Continent on the large-scale: numerical study of the ISO events during the YMC 2015 and 2017 campaigns.	Nasuno, T.	AMOS-ICTMO 2019, Darwin, Australia.	2019/6/12	国外
Effects of the local convection over the western Maritime Continent on the large-scale: numerical study during the YMC Sumatra campaigns.	Nasuno, T.	Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2019, Makuhari, Chiba, Japan.	2019/5/28	国内
NICAM results of the project DYAMOND for global storm-resolving model intercomparison.	Satoh, M., R. Shibuya, W. Roh	8th International EarthCARE Science Workshop, Fukuoka, Japan.	2019/11/26	国内
NICAM results of the project DYAMOND for global storm-resolving model intercomparison.	Satoh, M.	AOGS 16th Annual Meeting, Singapore.	2019/7/29	国外
Global non-hydrostatic modelling - A brief synopsis of important results and outstanding questions.	Satoh, M.	2nd DYAMOND-ESiWACE Hackathon, Atrium Hotel, Mainz, Germany.	2019/6/19	国外
The challenge by the NICAM-LETKF grand ensemble simulations in global storm resolving scale. High-Resolution Weather and Climate Simulations: High-Performance Computing and Science.	Satoh, M. and H. Yashiro	The Platform for Advanced Scientific Computing PASC Conference.	2019/6/13	国外
Results from DYAMOND: Intercomparison of global cloud resolving model.	Satoh, M.	Joint US-Japan Workshop on Climate Change and Variability, Hawaii Imin International Conference Center.	2019/3/6	国外

Toward reduction of the uncertainties in simulations of clouds and precipitation using Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM).	Satoh, M.	UCP2019 - Understanding Clouds and Precipitation, Harnack-Haus, Berlin, Germany.	2019/2/25-3/1	国外
A characteristic of the MJO as a part of enhanced large-scale zonal circulation.	Suematsu, T. and Hiroaki Miura	Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2019, Makuhari, Chiba, Japan.	2019/5/28	国内
Observational evidence of mixed Rossby-Gravity waves as a driving force for the MJO convective initiation and propagation.	Takasuka, D., M. Satoh, S. Yokoi	Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2019, Makuhari, Chiba, Japan. (学生優秀発表賞受賞)	2019/5/28	国内
High-resolution, ensemble simulations of intense tropical cyclones and their stochasticity during the El Niños of 1997 and 2015.	Yamada, Y., Kodama, C., Satoh, M., Nakano, M., Nasuno, T., and Sugi, M.	Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2019, Makuhari, Chiba, Japan.	2019/5/29	国内
Impact of distantly located typhoon and the North Pacific subtropical high on precipitation in Japan.	Kodama, S., Satoh, M.	The 2019 University Allied Workshop on Climate and Extreme Weather, Kashiwa, Chiba.	2019/8/21	国内
Resolution dependencies of tropical convection in global cloud/cloud-system resolving NICAM.	Miyakawa, T. and H. Miura	AOGS 16th Annual Meeting, Singapore.	2019/7/29	国外
Numerical studies with NICAM on mechanisms for northward propagation of the boreal summer intraseasonal oscillation.	Nakae, K., M. Satoh, and D. Takasuka	AOGS 16th Annual Meeting, Singapore.	2019/8/1	国外
Mechanisms for northward propagation of boreal summer intraseasonal oscillation.	Nakae, K., M. Satoh, and D. Takasuka	Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2019, Makuhari, Chiba, Japan.	2019/5/28	国内
Single precision in the nonhydrostatic icosahedral atmospheric model (NICAM).	Nakano M., H. Yashiro, and C. Kodama	LATSIS SYMPOSIUM 2019 High-Resolution Climate Modeling: Perspectives and Challenges, Swiss.	2019/8/21	国外
Towards typhoon forecasting in the S2S time scale	Nakano, M., F. Vitart, and K. Kikuchi	ECMWF Annual seminar 2019, Reading, UK.	2019/9/3	国外
Impact of model biases in the ISV on TC forecasting in the S2S models.	Nakano, M., F. Vitart, and K. Kikuchi	European Meteorological Society annual meeting 2019, Copenhagen, Denmark.	2019/9/12	国外
Modulation of MJO propagation speed by the fluctuation of large-scale background zonal circulation.	Suematsu, T. and H. Miura	American Meterorological Society Meeting, Boston, U.S.A.	2020/1/15	国外
高解像度気候モデルが予測する将来の台風活動	小玉知央	2019年度第4回SPEED研究会（エコイノベーションとエコビジネスに関する研究会），市ヶ谷，東京.	2019/10/11	国内
極端気象の現状に対する理解-観測とシミュレーション	山田洋平，佐藤正樹，小玉知央	2019年度日本建築学会大会，金沢.	2019/9/6	国内
NICAM を用いたアンサンブルシミュレーションによる平成 30 年 7 月豪雨の研究.	池端耕輔，佐藤正樹，伊藤純至	大槌シンポジウム，大槌，岩手.	2019/7/24	国内
2018年台風活動の月別PotentialとPMM領域と東部北西太平洋のSSTが与えた影響.	石山尊浩他	日本気象学会2019年度春季大会，東京.	2019/5/18	国内
2018年7月における北大西洋のSSTが北西太平洋の台風発生環境場に与える影響.	石山尊浩他	日本気象学会2019年度秋季大会，福岡.	2019/10/31	国内
暖かい雨に対する雲物理スキーム比較実験 ーバルク法改良のための衛星データ活用法の提案ー.	久芳奈遠美，清木達也，鈴木健太郎，W. Roh，佐藤正樹	日本気象学会2019年度春季大会，東京.	2019/5/18	国内
2004年台風18号による遠隔降水事例の研究.	児玉真一	大槌シンポジウム，大槌，岩手.	2019/7/24	国内
全球非静力学モデルNICAMにおける温帯低気圧の水平解像度依存性.	小玉知央	日本気象学会2019年度秋季大会，福岡.	2019/10/28	国内
Inter-comparison of the global cloud resolving models DYAMOND and beyond.	佐藤正樹，澁谷亮輔，Woosub Roh，小玉知央	第11回熱帯気象研究会，富山大学理学部，富山.	2019/12/27	国内
全球雲解像モデル比較実験DYAMOND.	佐藤正樹，澁谷亮輔，Woosub Roh，小玉知央	第 21 回非静力学モデルに関するワークショップ， 三重大学 三翠ホール （小ホール）.	2019/11/22	国内
東アジアの極端現象の温暖化変化研究へのアプローチ.	佐藤正樹	日本気象学会春季大会，専門分科会「東アジアで近年発生する極端現象に対する 地球温暖化の寄与とその将来予測」，東京.	2019/5/15	国内
Modulation of MJO characteristics by the fluctuation of the large-scale zonal circulation.	Suematsu, T. and H. Miura	日本気象学会2019年度秋季大会，福岡.	2019/10/29	国内
MJOの発生・東進過程における混合ロスビー重力波の役割-YMC-Sumatra 2017期間中の事例解析-.	高須賀大輔，佐藤正樹，横井覚	日本気象学会2019年度春季大会，東京. (松野賞受賞)	2019/5/18	国内
NICAM-LETKFを用いた全球天気予測システムの開発について.	Chen, Y.-W.，金丸佳矢，佐藤正樹，寺崎康児，小槻峻司，三好健正，久保田拓志	GPMおよび衛星シミュレータ合同研究集会.	2020/3（予定）	国内
北半球夏季季節内振動の北進のメカニズムに関する研究.	中江寛大，佐藤正樹，高須賀大輔	日本気象学会2019年度春季大会，東京.	2019/5/18	国内
YMC期間中の季節内振動事例における水蒸気輸送解析	那須野智江	日本気象学会2019年度春季大会，東京.	2019/5/18	国内
3.5km・7km格子のNICAMを用いた地球温暖化による台風の変化-台風に伴う風と降水-.	山田洋平	日本気象学会2019年度春季大会，東京.	2019/5/15	国内
エルニーニョ翌年の台風の活動度に注目したアンサンブルシミュレーション.	山田洋平	大槌シンポジウム，大槌，岩手.	2019/7/24	国内
An introduction to DYAMOND project.	Roh, W., and Satoh, M.	NIES supercomputer workshop 2018, Tsukuba, Ibaraki.	2019/12/25	国内
NICAM を用いたアンサンブルシミュレーションによる平成 30 年 7 月豪雨の研究	池端耕輔，佐藤正樹，伊藤純至	日本気象学会2019年度春季大会，東京.	2019/5/15	国内

秋雨時期の台風による遠隔降水事例の研究.	児玉真一, 佐藤正樹	日本気象学会2019年度秋季大会, 福岡.	2019/10/31	国内
MJOと混合ロスビー重力波の相互作用の普遍性.	高須賀大輔, 佐藤正樹	日本気象学会2019年度春季大会, 東京.	2019/5/15	国内
ポスト「京」実機を念頭においたビン法雲微物理モデルの検討.	中村晃三、久芳奈遠美	ポスト「京」（スーパーコンピュータ「富岳」）重点課題4「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」最終成果報告会, 東京.	2020/1/31	国内
YMC-Sumatra 2017期間を対象とするモデル相互比較.	那須野智江	日本気象学会2019年度秋季大会, 福岡.	2019/10/30	国内
An intercomparison of tropical clouds using DYAMOND data over the Atlantic.	Roh, W., Hohenegger C., Satoh, M.	日本気象学会2019年度秋季大会, 福岡.	2019/10/31	国内
NICAMを用いたアンサンブルシミュレーションによる平成30年7月豪雨の研究	池端耕輔, 佐藤正樹, 伊藤純至	気象研究所 観測・同化コロキウム, 筑波, 茨城.	2019/6/20	国内
NEXRAを用いた平成30年7月豪雨のNICAMアンサンブル実験	池端耕輔, 佐藤正樹, 伊藤純至	NICAM開発者会議2019, 沼津, 静岡.	2020/1/17	国内
2018年7月における北太平洋・北大西洋の海面水温と台風発生環境場の関係	石山尊浩他	第11回熱帯気象研究会, 富山.	2019/12/26	国内
2018年7月における三大洋の海面水温と台風発生環境場の関係.	石山尊浩他	第2回高・低気圧ワークショップ, 白浜, 和歌山.	2019/12/16	国内
台風発生環境場とPacific Meridional Modeの関係.	石山尊浩他	研究会「長期予報と大気循環」, 東京.	2019/12/2	国内
2018年7月における三大洋の海面水温と台風発生環境場の関係.	石山尊浩他	平成31年度(令和元年度)台風研究会, 柏, 千葉.	2019/11/20	国内
ポスト「京」に向けた高解像度日本沿岸モデル開発.	黒木聖夫	東京大学大気海洋研究所 国際沿岸海洋研究センター 共同利用研究集会「北太平洋を中心としたマルチスケール海洋変動と分野横断研究」, 大槌, 岩手.	2019/7/26	国内
A question on the closure of the moist static energy budget equation.	末松環、三浦裕亮	第11回熱帯気象研究会, 富山.	2019/12/27	国内
MJOの発生領域の多様性に対する長周期変動の影響.	高須賀大輔	第6回マッデン・ジュリアン振動研究会, 高知.	2019/9/12-13	国内
季節内-長周期変動の相互関係に伴うMJOの発生領域の変調要因	高須賀大輔, 佐藤正樹	第11回熱帯気象研究会, 富山.	2019/12/26	国内
全球雲解像モデルと気候モデリングの狭間で.	宮川知己	第6回マッデン・ジュリアン振動研究会, 高知.	2019/9/12-13	国内
地球温暖化と台風（導入編）.	山田洋平	台風セミナー2019, 京都. (招待)	2019/4/15	国内
Tropical cyclone activity in ensemble simulations using a high resolution nonhydrostatic model.	Yamada, Y., Kodama, C., Satoh, M., Nakano, M., Nasuno, T., Sugi, M.	アジア・オセアニア域における大気水圏環境の研究集会, 名古屋.	2019/11/9	国内
台風と地球温暖化.	山田洋平	建築学会風工学・気象ワーキンググループ, 東京.	2020/1/24	国内
Introduction to analysis of DYAMOND data.	Roh, W., and Satoh, M.	NICAM開発者会議 2019, 沼津, 静岡.	2020/1/16-17	国内
台風を高解像度シミュレーションで再現・予測する！！	小玉知央	エコプロ2019 環境再生保全機構サイエンスカフェ, 東京.	2019/12/5	国内
“極端天候銀座” ニッポン～もつれあう大気と海洋の大動脈の傍で～.	宮川知己	夏の気象災害を解き明かす！ スーパーコンピュータ「京」から「富岳」へ, 国立科学博物館, 東京.	2019/8/8	国内
Issues in aerosol-cloud-climate interaction: Needs for future satellite mission	Suzuki, K.	日本地球惑星科学連合	2019/5/30	国内
Linkage of the warm rain process to aerosol indirect forcing	Suzuki, K., and X. Jing	Aerosol-Cloud-Precipitation-Climate Workshop	2019/4/24	国外
An indication of low ozone anomaly in Arctic spring in the QBO westerly and solar minimum years	Yamashita, Y., H. Akiyoshi, M. Takahashi	WCRP/SPARC SATIO-TCS joint workshop on Stratosphere-Troposphere Dynamical Coupling in the Tropics	2020/2/24	国内
Accurate estimation of posterior error covariance in a 4D-Var inverse analysis	Niwa Y. and Y. Fujii	日本地球惑星科学連合	2019/5/30	国内
Global data assimilation of multi-constituent satellite measurements at 0.56-degree for tropospheric chemistry analysis	Sekiya, T., Miyazaki, K., Ogochi, K., Sudo, K., Takigawa, M., Eskes, H., Boersma, F.	The 10th international GEMS workshop	2019/11/20	国外
Non-Gaussian statistics in global atmospheric dynamics with a 10240-member ensemble Kalman filter experiment using an intermediate AGCM	Kondo, K. and T. Miyoshi	American Geophysical Union 2019 Fall meeting	2019/12/10	国外
Current project and activities in Japan	Maki, T., T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, A. Ogi, J. Ohtake, A. Saito, S. Yabu, K. Yumimoto ,A. Shimizu and N. Sugimoto	7th SDS-WAS Asian node RSG meeting	2019/11/2	国外
Recent DSS related activities at the Japan Meteorological Agency and Meteorological Research Institute	Maki, T., T. T. Sekiyama, T. Y. Tanaka, A. Ogi, K. Yumimoto, A. Saito and S. Yabu	The 12th meeting of Working Group I for Joint Research on DSS	2019/9/27	国外
Reproducibility of surface wind and tracer transport simulations over a complex terrain using 5, 3 and 1 km grid models	Sekiyama, T. T. et al	AGU Fall Meeting 2019	2019/12/10	国外
Simultaneous Data Assimilation of Meteorological Variables and Tracer Concentration in the Case of the Fukushima Nuclear Accident	Sekiyama, T. T. et al.	16th AOGS annual meeting	2019/4/19	国外

Global Climate Change Driven by Soot Ejection Following the Asteroid Impact as the Cause of the Extinction of the Dinosaurs	Oshima, N., K. Kaiho, K. Adachi, Y. Adachi, T. Mizukami, M. Fujibayashi, and R. Saito	27th IUGG General Assembly	2019/7/12	国外
メガシティ規模の大気汚染解析に向けたTROPOMI NO2データを含む複数衛星観測の全球高解像度データ同化	関谷 高志、宮崎 和幸、大越智 幸司、須藤 健悟、滝川 雅之、Henk Eskes、Folkert Boersma	日本地球惑星科学連合	2019/5/29	国内
４次元変分法-逆解析における解析誤差共分散の高精度推定	丹羽洋介，藤井陽介	日本気象学会春季大会	2019/11/2	国内
The NICAM-SPRINTARS simulation of the long-range transport of black carbon using the K computer	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	日本地球惑星科学連合	2019/5/29	国内
冬季から初夏における南半球大気のQBOに対する応答	山下陽介，直江寛明，井上誠，高橋正明	日本地球惑星科学連合	2019/5/29	国内
化学輸送モデルと地上・船舶観測を用いた黒色炭素（BC）エアロゾル濃度の季節変化、及び北極域への輸送の解析	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，加藤咲，小林秀樹，近藤豊，Yongwon Kim	日本気象学会2019年度秋季大会	2019/10/31	国内
黒色炭素（BC）エアロゾル濃度の季節変化、及び北極域への輸送の解析	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，加藤咲，小林秀樹，近藤豊，Yongwon Kim	第24回大気化学討論会	2019/11/6	国内
高解像度モデルによる複雑地形上での移流拡散シミュレーションの再現特性について	関山剛	第24回大気化学討論会	2019/11/6	国内
気象学と人工知能のコラボレーション	関山剛	電子情報通信学会	2019/9/13	国内
2019年の南極渦と成層圏突然昇温	山下陽介	第71回 気候影響・利用研究会	2019/11/30	国内
春先の発達した低気圧に伴う成層圏から対流圏への物質輸送の水平解像度依存性	山下陽介，滝川雅之，石島健太郎，秋吉英治，小玉知央，八代尚，佐藤正樹	第2回 高・低気圧ワークショップ	2019/12/17	国内
エアロゾルモデルの現状と課題	鈴木健太郎	重点課題4「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」成果報告会	2020/1/31	国内
高解像度シミュレーションで解き明かす物質の流れ	山下陽介	重点課題4「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」成果報告会	2020/1/31	国内
Analysis of relatively low ozone in Arctic spring during the QBO-westerly and solar-minimum years	山下陽介，秋吉英治，高橋正明	日本地球惑星科学連合	2019/5/29	国内
Global surface NOx emission estimation with a resolution of 0.56 derived from multi-constituent satellite data assimilation	Sekiya, T., Miyazaki, K., Ogochi, K., Sudo, K., Takigawa, M., Eskes, H., Boersma, F.,	EGU General Assembly 2019	2019/4/17	国外
A high-resolution global data assimilation of multi-sensor satellite measurements including TROPOMI NO2 data	Sekiya, T., Miyazaki, K., Ogochi, K., Sudo, K., Takigawa, M., Eskes, H., Boersma, F.	The 15th Meeting of the Atmospheric Composition Virtual Cons	2019/4/19	国内
The Transport of the black carbon to Arctic in recent years simulated with the NICAM-SPRINTARS	Yamashita, Y., M. Takigawa, D. Goto, H. Yashiro, M. Satoh, Y. Kanaya, F. Taketani, and T. Miyakawa, S. Kato, H. Kobayashi, Y. Kondo, and Y. Kim	27th International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly	2019/7/13	国外
The analysis of the Non-hydrostatic ICosahedral Atmospheric Model (NICAM)-Chem outputs and future plans for the CCMI-2	Yamashita, Y., M. Takigawa, D. Goto, H. Yashiro, M. Satoh, H. Akiyoshi, and CCMI modelers	CCMI Science Workshop 2019	2019/8/7	国外

2．学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所 （学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Non-Gaussian Probability Densities of Convection Initiation and Development Investigated Using a Particle Filter with a Storm-Scale Numerical Weather Prediction Model.	Kawabata, T. and G. Ueno	Mon. Wea. Rev., 148, 3-20, https://doi.org/10.1175/MWR-D-18-0367.1	2019	国外
Global Precipitation Forecasts by Merging Extrapolation-Based Nowcast and Numerical Weather Prediction with Locally Optimized Weights.	Kotsuki, S.(RIKEN), K. Kurosawa(RIKEN), S. Otsuka(RIKEN), K. Terasaki(RIKEN), and T. Miyoshi(RIKEN/JAMSTEC/UMD)	Wea. Forecasting, 34, 701-714. https://doi.org/10.1175/WAF-D-18-0164.1	2019	国外
On the Properties of Ensemble Forecast Sensitivity to Observations.	Kotsuki S. (RIKEN), Kurosawa K. (RIKEN), and Miyoshi T. (RIKEN)	Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 145, 1897-1914. https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/qj.3534	2019	国外
Data assimilation for climate research: Model parameter estimation of large - scale condensation scheme. Journal of Geophysical Research	Kotsuki, S.(RIKEN/Chiba U/JST), Sato, Y.(Hokkaido U/RIKEN), & Miyoshi, T.(RIKEN/JAMSTEC/UMD)	Atmospheres, 125, e2019JD031304. https://doi.org/10.1029/2019JD031304	2020	国外
Improving the observation operator for the Phased Array Weather Radar in the SCALE-LETKF system	Amemiya, A., T. Honda and T. Miyoshi	SOLA, 16 (2020), 6-11, doi:http://dx.doi.org/10.2151/sola.2020-002	2019	国内
Sampling error correction evaluated using a convective-scale 1000-member ensemble.	Necker, T.(LMU), M. Weissmann(Deutscher Wetterdienst/Universität Wien), Y. Ruckstuhl(LMU), J. Anderson(NCAR), and T. Miyoshi(RIKEN)	Mon. Wea. Rev., in press. https://doi.org/10.1175/MWR-D-19-0154.1	2020	国外
On the northward ageostrophic winds associated with a tropical cyclone.	Saito, K.(AORI)	SOLA, 15, 222-227, https://doi.org/10.2151/sola.2019-040	2019	国内
An explanation for the diagonally predominant property of the positive symmetric ensemble transform matrix.	Duc, L.(JAMSTEC), K. Saito(AORI) and D. Hotta(MRI)	J. Meteor. Soc. Japan, in press. https://doi.org/10.2151/jmsj.2020-022	2020	国外
A convective-scale 1000-member ensemble simulation and potential applications.	Necker, T.(LMU), S. Geiss(LMU), M. Weissmann(LMU/U of Vienna), J. Ruiz(UBA), T. Miyoshi(RIKEN), G.-Y. Lien(RIKEN/CWB)	Quart. J. Roy. Meteor. Soc., in press. https://doi.org/10.1002/qj.3744	2020	国外
Ensemble flood simulation for a small dam catchment in Japan using nonhydrostatic model rainfalls. Part 2: Flood forecasting using 1600 member 4D-EnVAR predicted rainfalls.	Kobayashi, K., L. Duc, APIP, T. Oizumi and K. Saito	Nat. Hazards Earth Syst. Sci. (in press)	2020	国外
Numerical Study of the 6 May 2012 Tsukuba Supercell Tornado	Tao T.(Tokyo Tech.), T. Tamura (Tokyo Tech.)	Vorticity Sources Responsible for Tornadogenesis, Monthly Weather Review (In press)	2020	国外
Large-eddy simulation study of Reynolds number effects on the flow around a wall-mounted hemisphere in a boundary layer	Cao Y.(Tokyo Tech.) and T. Tamura(Tokyo tech.)	Physics of Fluids(Accepted)	2020	国外
Spanwise resolution requirements for the simulation of high-Reynolds-number flows past a square cylinder	Cao Y.(Tokyo Tech.), T. Tamura (Tokyo Tech.), H. Kawai(Tokyo Tech.)	Computers & Fluids, Volume 196, 104320, 2020	2020	国外
メソ気象モデルにより再現された風速場への高周波変動成分付加方法の提案	河合英徳(Tokyo Tech.), 田村哲郎(Tokyo Tech.)	日本建築学会構造系論文集, 2020年1月, 第85巻, 第767号,19-27	2020	国内
Analysis of tornado and near-ground turbulence using a hybrid meteorological model/engineering LES method	Kawaguchi M.(Tokyo Tech.), T. Tamura (Tokyo Tech.),H. Kawai(Tokyo Tech.)	International Journal of Heat and Fluid Flow, Volume 80, 108464, 2019	2019	国外
LES study on aerodynamics of auto-rotating square flat plate by IBM and SAMR	Uchibori K.(Tokyo Tech.), T. Tamura(Tokyo Tech.)	Journal of Fluids and Structures, Volume 89, 108-122, 2019.8	2019	国外
Parameter sweep experiments on a spectrum of cyclones with diabatic and baroclinic processes.	Yanase, W. (MRI) and H. Niino (AORI)	J. Atmos. Sci., 76, 1917-1935.	2019	国外
台風に伴う非地衡風について	斉藤和雄	月刊海洋, 号外62, 68-73.	2020	国内
2018年度春季大会シンポジウム報告「防災・減災のための観測・短時間予測技術の未来」	坪井一寛・斉藤和雄	天気、66, 665-666.	2019	国内
大気中の多様な渦・乱流現象等の普遍的理解を目指して－2019年藤原賞受賞記念講演－	新野宏	天気（受理）	2020	国内
Coupling Library Jcup3: Its philosophy and application.	Arakawa, T., Inoue, T., Yashiro, H., and Satoh, M.	Progress in Earth and Planetary Science, 7, 6, doi:10.1186/s40645-019-0320-z.	2020	国内
NICAM predictability of the monsoon gyre over the western North Pacific during August 2016.	Jinno, T., Miyakawa, T., Satoh, M.	J. Meteor. Soc. Japan, 97, 533-540, doi:10.2151/jmsj.2019-017.	2019	国内
A new perspective for future precipitation change from intense extratropical cyclones.	Kodama, C., Stevens, B., Mauritsen, T., Seiki, T. and Satoh, M.	Geophys. Res. Lett., 46, 12435-12444, doi:10.1029/2019GL084001.	2019	国外
Tidal control of the flow through long, narrow straits: a modeling study for the Seto Inland Sea.	Kurogi, M. and H. Hasumi	Sci. Rep., 9, 11077, doi:10.1038/s41598-019-47090-y.	2019	国外
Application of the synchronized B grid staggering for solution of the shallow-water equations on the spherical icosahedral grid.	Miura, H.	Mon. Wea. Rev., 147, 2485-2509, doi:10.1175/MWR-D-18-0304.1.	2019	国外
Resolution dependencies of tropical convection in a global cloud/cloud-system resolving model.	Miyakawa, T. and H. Miura	J. Meteor. Soc. Japan, 97, 745-756, doi:10.2151/jmsj.2019-034.	2019	国内
Precipitation probability and its future changes from a global cloud - resolving model and CMIP6 simulations.	Na, Y., Q. Fu, and C. Kodama	J. Geophys. Res. Atmos., 125, doi:10.1029/2019JD031926.	2020	国外
Moisture transport over the western Maritime Continent during the 2015 and 2017 YMC Sumatra campaigns in global cloud-system-resolving simulations.	Nasuno, T.	SOLA, 15, 99-106, doi:10.2151/sola.2019-019.	2019	国内

On the mechanisms of the active 2018 tropical cyclone season in the North Pacific.	Qian, Y., H. Murakami, M. Nakano, P.-C. Hsu, T. L. Delworth, S. B. Kapnick, V. Ramaswamy, T. Mochizuki, Y. Morioka, T. Doi, T. Kataoka, T. Nasuno, K. Yoshida	Geophys. Res. Lett., 46, 12293-12302, doi:10.1029/2019GL084566.	2019	国外
Twofold expansion of the Indo-Pacific warm pool warps the MJO life cycle.	Roxy, M. K., P. Dasgupta, M. J. McPhaden, T. Suematsu, C. Zhang, and D. Kim	Nature, 575, 647-651, doi:10.1038/s41586-019-1764-4.	2019	国外
Characteristics of ice clouds over mountain regions detected by CALIPSO and CloudSat satellite observations.	Seiki, T., Kodama, C., Satoh, M., Hashino, T., Hagihara, Y., Okamoto, H.	J. Geophys. Res. Atmosphere, 124, 10858-10877, doi:10.1029/2019JD030519.	2019	国外
DYAMOND: The DYnamics of the Atmospheric general circulation Modeled On Non-hydrostatic Domains.	Stevens, B., Satoh, M., Auger, L., Biercamp, J., Bretherton, C., Chen, X., Duben, P., Judt, F., Khairoutdinov, M., Klocke, D., Kodama, C., Kornblueh, L., Lin, S.-L., Putman, W., Shibuya, R., Neumann, P., Rober, N., Vannier, B., Vidale, P.-L., Wedi, N., Zhou, L.	Progress in Earth and Planetary Science, 6, 61, doi:10.1186/s40645-019-0304-z.	2019	国内
Global cloud-resolving models.	Satoh, M., Stevens, B., Judt, F., Khairoutdinov, M., Lin, S., Putman, W.M., Düben, P.	Current Climate Change Reports, 5, 172-184, doi:10.1007/s40641-019-00131-0.	2019	国外
High-resolution ensemble simulations of intense tropical cyclones and their internal variability during the El Ninos of 1997 and 2015.	Yamada, Y., Kodama, C., Satoh, M., Nakano, M., Nasuno, T., Sugi, M.	Geophys. Res. Lett., 46, 7592-7601, doi:10.1029/2019GL082086.	2019	国外
Aerosol model evaluation using two geostationary satellites over East Asia in May 2016	Goto, D., M. Kikuchi, K. Suzuki, H. Hayasaki, M. Yoshida, T. M. Nagao, M. Choi, J. Kim, N. Sugimoto, A. Shimizu, E. Oikawa, and T. NakajimaG	Atmos. Res	2019	国外
Application of linear minimum variance estimation to the multi-model ensemble of atmospheric radioactive Cs-137 with observations	Goto, D., Y. Morino, T. Ohara, T. T. Sekiyama, J. Uchida, and T. Nakajima	Atmos. Chem. Phys	2020	国外
The effects of a well-resolved stratosphere on the simulated boreal winter circulation in a climate model	Kawatani, Y., K. Hamilton, L. J. Gray, S. M. Osprey, S. Watanabe, and Y. Yamashita	J. Atmos. Sci	2019	国外
The effect of atmospheric nudging on the stratospheric residual circulation in chemistry-climate models	Chrysanthou, A., A. C. Maycock, M. P. Chipperfield, S. Dhomse, H. Garny, D. Kinnison, H. Akiyoshi, M. Deushi, R. R. Garcia, P. Jöckel, O. Kirner, O. Morgenstern, G. Pitari, D. A. Plummer, L. Revell, E. Rozanov, A. Stenke, T. Y. Tanaka, D. Visioni, Y. Yamashita, and G. Zeng	Atmos. Chem. Phys.	2019	国外
Fungal spore involvement in the resuspension of radiocaesium in summer	Igarashi, Y., K. Kita, T. Maki, T. Kinase, N. Hayashi, K. Hosaka, K. Adachi, M. Kajino, M. Ishizuka, Sekiyama, T. T., Y. Zaizen, C. Takenaka, K. Ninomiya, H. Okochi, and A, Sorimachi	Sci. Rep.	2019	国外
Intercomparison of numerical atmospheric dispersion prediction models for emergency response to emissions of radionuclides with limited source information in the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident	Iwasaki, T., T. T. Sekiyama, T. Nakajima, A. Watanabe, Y. Suzuki, H. Kondo, Y. Morino, H. Terada, H. Nagai, M. Takigawa, H. Yamazawa, D. Quélo, A. Mathieu	Atmos. Environ.	2019	国外
Detectability assessment of a satellite sensor for lower tropospheric ozone responses to its precursors emission changes in East Asian summer	Kajino, M., S. Hayashida, T. T. Sekiyama, M. Deushi, K. Ito, and X. Liu	Sci. Rep.	2019	国外
Deposition and dispersion of radio-cesium released due to the Fukushima nuclear accident: Sensitivity to meteorological models and physical modules	Kajino, M., T. T. Sekiyama, Y. Igarashi, G. Katata, M. Sawada, K. Adachi, Y. Zaizen, H. Tsuruta, and T. Nakajima	J. Geophys. Res.	2019	国外
Non-Gaussian statistics in global atmospheric dynamics: a study with a 10240-member ensemble Kalman filter using an intermediate atmospheric general circulation model	Kondo, K. and T. Miyoshi	Nolin. Processes Geophys.	2019	国外
Reassessment of early 131I inhalation doses by the Fukushima nuclear accident based on atmospheric 137Cs and 131I/137Cs observation data and multi-ensemble of atmospheric transport and deposition models	Takagi, M., T. Ohara, D. Goto, Y. Morino, J. Uchida, T. T. Sekiyama, S. F. Nakayama, M. Ebihara, Y. Oura, T. Nakajima, H. Tsuruta, Y. Moriguchi	J. Environ. Radioact.	2020	国外
Significant improvement of cloud representation in the global climate model MRI-ESM2	Kawai, H., S. Yukimoto, T. Koshiro, N. Oshima, T. Tanaka, H. Yoshimura, and R. Nagasawa	Geosci. Model. Dev.	2019	国外
The Meteorological Research Institute Earth System Model Version 2.0, MRI-ESM2.0: Description and Basic Evaluation of the Physical Component	Yukimoto, S., H. Kawai, T. Koshiro, N. Oshima, K. Yoshida, S. Urakawa, H. Tsujino, M. Deushi, T. Tanaka, M. Hosaka, S. Yabu, H. Yoshimura, E. Shindo, R. Mizuta, A. Obata, Y. Adachi, and M. Ishii	J. Meteor. Soc. Japan	2019	国内
Can Delhi's pollution be affected by crop fires in the Punjab region? SOLA:Scientific Online Letters on the Atmosphere	akigawa, M., Prabir K. Patra, Yutaka Matsumi, Surendra K. Dhaka, Tomoki Nakayama , Kazuyo Yamaji, Mizuo Kajino, Sachiko Hayashida	SOLA	2020	国内
A conjugate BFGS method for accurate estimation of a posterior error covariance matrix in a linear inverse problem	Niwa Y. and Y. Fujii	QJRMS	2020	国外

別添２

「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」実施計画

令和２年３月31日

国立研究開発法人海洋研究開発機構

高橋　桂子

【改訂履歴】

版	項目	ページ	主な改訂内容（概要）
1.0 (2017.5.29)			額の確認後、制定
2.0 (2018.3.5)	―	―	中間評価指摘事項を受け、版数変更して対応。
	改訂履歴	―	新規追加
	目次	―	「中間評価における指摘事項への対応状況」目次項目追加。
	1(1)	1	中間評価における指摘事項を踏まえ、課題全体として達成すべき成果がより明確になるように段落（4-13 行目）を追加。
	1(5)	6，7	年次計画を昨年度の計画変更（計算時間が十分でないことによる変更）に対応するために修正。
	1(5)	7	現在、観測データでなく高分解能数値予報モデルの予測を用いていることから、現実に合わせて修正。
	1(5)	8	2018/2019 年度の当初計画での記載を実態に合わせて変更。
	1(6)	10	東京京工業大学　田村氏の所属を組織編成に伴い変更。
	1(7)	13	平成 30 年度の「京」の計算資源量の確定に伴い、数字を更新。
	2-1(2)	20	大気海洋結合の担当者の担当変更（目標 3 から目標 2 に変更）に伴い修正。
	2-1(2)	20	記載内容についてより詳細な記述にするために追加・修正。
	2-2(3)	31	ポスト京開発の遅れに伴い、実態に合わせた修正。
	4	47 以降	「４．中間評価における指摘事項への対応状況」項目を追加。
3.0 (2018.4.1)	1(5)等	6	理化学研究所の組織名称変更に伴い修正。 （理化学研究所計算科学研究機構は、理化学研究所計算科学研究センターへ名称を変更）
	1(6)	10	東京大学大気海洋研究所　新野氏の役職変更に伴い修正。
	1(6)	10	東北大学　岩崎氏の役職変更に伴い修正。

3.1 (2019.1.8)	別紙 2	―	平成 29 年度額の確定を受けて当該年度の所要経費を更新。
4.0 (2019.4.1)	1(6)	10	海洋研究開発機構の組織見直しによる所属部署変更に伴い修正。
	1(6)	10	東京大学大気海洋研究所　新野氏の役職変更に伴い修正。
	1(6)	11	図のタイトル部分に“(計画当初)”を追記。
	1(7)	13	平成 31 年度の「京」の計算資源量の確定に伴い、数字を更新。
	2-1(5)	24，26	図のタイトル部分に“(計画当初)”を追記。
	2-1(5)	25	斉藤氏の所属変更に伴い修正。
	別紙 2	―	平成 31 年度の「京」の計算資源量の確定に伴い、数字を更新。
4.1 (2020.2.6)	別紙 2	―	平成 30 年度額の確定を受けて該当年度の所要経費を更新。
5.0 (2020.4.1)	1 (7)	13	平成 31 年度の「京」の計算資源量に変更が生じたため、数字を更新。
	別紙 1	―	参加協力機関に変更が生じたため更新。(サブ課題 A に横浜国立大学、サブ課題 B に神戸大学を追加)
	別紙 3	―	平成 31 年度の「京」の計算資源量に変更が生じたため、数字を更新。

目次

１．実施概要 1
（１）目的・意義 1
（２）研究開発内容 2
（３）目標・期待される成果 2
（４）周辺領域への波及効果、課題全体における計算科学やシミュレーションの位置づけ..... 4
（５）年次計画 6
（６）実施体制 10
（７）必要計算資源 13
２．研究開発内容詳細 14
２－１．サブ課題Ａ．革新的な数値天気予報と被害レベル推定に基づく高度な気象防災..... 14
（１）目的・意義 14
（２）実施内容 16
（３）目標・期待される成果 21
（４）「京」でできていること、ポスト「京」でなければできないこと..... 23
（５）実施体制 24
２－２．サブ課題Ｂ．シームレス気象・気候変動予測..... 29
（１）目的・意義 29
（２）実施内容 29
（３）目標・期待される成果 30
（４）「京」でできていること、ポスト「京」でなければできないこと..... 31
（５）実施体制 32
２－３．サブ課題Ｃ．総合的な地球環境の監視と予測..... 35
（１）目的・意義 35
（２）実施内容 35
（３）目標・期待される成果 36
（４）「京」でできていること、ポスト「京」でなければできないこと..... 37
（５）実施体制 38
３．採択時の留意事項への対応状況 40
４．中間評価における指摘事項への対応状況..... 47

１．実施概要

（1）目的・意義

豪雨や台風、竜巻などの激しい気象現象は毎年多くの人的・経済的な被害をもたらしている。また、大気環境の動態は人々の健康に大きな影響を与える。これらの現象について、予報の発信から現象が発生するまでの時間（リードタイム）を長くすることができれば、適切な対策が可能となり、影響を最小限に抑えることにつなげることができる。**本課題は、これまでにない新しい観測ビッグデータを活用することにより、いかにリードタイムを長くできるかの実現可能性を追求する。これにより気象現象による災害犠牲者ゼロ社会を実現するための技術研究開発を推進するとともに、健康対策に直結する大気環境の高精度な診断・予測に取り組む。**実現可能なリードタイムは予測対象に依存し、そのアプローチも異なることから、本課題では予測対象とそのタイムスケールに応じてサブ課題を設定する。数値モデルやデータ同化、高速化手法などをシームレスに共有することで高精度の予測を実現し、気象予測の新しい時代を拓くことを目指す。

具体的には、積乱雲等を桁違いの高解像度で忠実にシミュレーションし、衛星観測等によるビッグデータと組み合わせることで、局地的大雨、竜巻、台風発生などを高精度に再現・予測する技術を開発し、予測を防災減災に直接つなげる技術開発を推進する。従来の気象予測は、「京」上において進められてきた重点課題プロジェクトにおいても、積乱雲を単位とするような時間と空間スケール（水平 100m 相当の空間解像度かつ数分相当の時間解像度）の予測を精度よく行うことができなかった。これは、現在の予測に用いられているモデルが積乱雲の発生、発達や消滅までの一生や 3 次元放射過程などを表現することができないという物理モデルの未熟さだけではなく、積乱雲の物理プロセスを直接計算するための計算資源の不足に加え、観測データが欠損していたことに起因する。

本課題では、これらの不足を、詳細な物理モデルの開発、ポスト「京」の超高速・超大規模計算資源に加えて、**2.5 分毎に送信されている「ひまわり 8 号」の全チャネル輝度温度や 30 秒ごとに得られるフェーズドアレイレーダーの 3 次元データなど、これまでにない新しい大量観測データ**（従来の観測データに比べて約 1000 倍以上のビッグデータ）**を同化データとして使用することにより克服し、水平 100m 相当の解像度かつ数分相当の時間解像度で予測を行って、日本領域の気象予測精度を飛躍的に向上することを目的とする。**この本課題の目標が達成することができれば、「ひまわり 8 号」やフェーズドアレイレーダーで得られる最新の大量観測データを利用したパイロット予測システムの開発時間は、現状の開発速度では 10 年以上は必要であると見込まれるところを、ポスト「京」実機の使用により約 2 分の 1 に短縮することができる。加えて、ポスト「京」実機上では上記の気象予測は決定論的な予測ではなく、本来、モデルと観測が完璧ではないことに依る不確実性を考慮した確率情報としてしか提供し得ないことから数 100 メンバーのアンサンブル予測計算を実施し確率的予測結果を提示することを目的とする。このような**確率的予測情報の提示は、施策等を決定する際の科学的根拠データとしてより確度の高い情報を提供する**ことができることを意味する。これらの先駆的な研究開発をポスト「京」上において実行し、**実績を積み重ねることにより、気象庁の現業予報で用いられる予報システムへ適用するために必要な様々な検証や評価のための時間を飛躍的に短縮する**ことも念頭に入れている。さらに、これらの極端な現象が人や建物スケールに及ぼす影響をも評価可能な技術開発を合わせて行う。

また、近い将来の気候変化および気候変動を想定した防災減災につなげるために、より時空間的に長く

広いスケールである数週間から年スケール程度の気象・気候変動現象を予測するシステムを開発する。このような週を超えた台風などの予測可能性を示すことで、近い将来に想定される様々な社会・経済的問題の解決に貢献することができる。さらに、人間活動に起因する環境変化およびその社会的影響を、精緻な化学輸送モデルや地球環境ビッグデータの高度利用により予測する基盤システムを構築する。これらの成果により、防災および減災、健康対策に関する政策の立案に資するとともに、安心安全社会確立のために他分野へも広く情報を展開する。

（2）研究開発内容

以下、本課題がポスト「京」実機運用までに研究開発する目標を示す。

「ひまわり 8 号」やフェーズドアレイレーダーから得られるデータに代表されるような、これまでの気象予測に使用できなかった最新の大量観測データを観測ビッグデータとして活用した「データ同化を含む数値天気予報システム」を日本領域に対して開発する。開発は、災害気象現象の時間空間スケールに対応して、局地的大雨や竜巻などの突風を引き起こす積乱雲を扱うことができる「個々の積乱雲を表現する 100m以下の格子間隔を用いた開発（積乱雲スケール開発)」と、より長いリードタイムの獲得と「積乱雲スケール開発」の境界値を得るための「より広い計算領域を用いた開発（メソスケール開発)」の 2 つを行う。順序としては、「積乱雲スケール開発」の境界値となる**メソスケール開発（水平解像度 1km）を先に実施して、リードタイムを確保するための技術開発と集中豪雨や台風などを対象にした本格的な数値実験を行う。次に、メソスケール開発の成果を用いて高分解能（水平解像度 100m 以下）な積乱雲スケール開発の境界値を作成し、初期的な数値実験を行って基礎的知見を得る。**さらにスケールダウンした現象である局地的突風などの極端気象が、乱流解析技術である LES モデルを用いて、生活空間スケールにおいてどのような影響を与えるかについての特性を検討する。また１ヶ月から季節・年スケール程度の極端現象・台風の確率予測および日本沿岸モデルによる海況予測を試験的に行いシームレス気象・気候予測を行うための技術基盤を検討する。化学輸送モデルにおけるエアロゾルや温室効果気体の大気中での輸送および変性をより精緻に予測するための技術要素について検討するとともに、大気環境に関する観測データの高度利用と組み合わせ、大気環境およびその社会的影響を予測するための技術基盤を開発する。

（3）目標・期待される成果

目標

- 「数値天気予報システム」における観測ビッグデータの同化手法やアンサンブル手法の高精度化を実現する。具体的には、集中豪雨や台風（メソスケール）と局地的大雨や竜巻の親雲（積乱雲スケール）について、**これまで使用できなかった観測ビッグデータを適用した再現・予測数値実験を行うと共に、ポスト「京」に向けたモデルの高精度化と計算性能最適化を実現する。**
- 極端気象に対する社会の安全・安心を実現するため、超高解像度階層型直交格子系の LES 乱流解析モデルに、観測ビッグデータあるいは気象解析結果を直接的に接続したデータマイニング（乱流エネルギーの移動過程に得られる特徴等を用いて、数値モデル等で得られる水平風に、より周期の短い風の変動を与えることにより、実際に近い風の挙動を得る手法）を導入することで、地表近傍の生活空間に発生する突風等による被災レベルが推定可能な局地的突風解析システムを構築する。

- 数週間から季節・年スケール程度の極端現象・台風の確率予測。
- 実運用可能な日本沿岸海況予測システムの開発。
- 地球規模の微小粒子状物質(PM2.5)および光化学オキシダント予測情報システム構築。

a. 平成 29 年度終了時

- 高分解能モデル・大気海洋結合モデルを用いたメソスケールの現象の機構解明が始まり、数値天気予報システムと入手した観測ビッグデータの一部を利用して、メソスケールの現象を対象にした開発（1 ㎞格子、数百メンバー）についての初期的な結果が得られる。
- 局地的突風解析システム(水平解像度 1m 弱)のプロトタイプの構築とテスト解析を行い、突風を対象にして統計手法を用いた被災レベルの試算を開始する。
- 2 週間後から数ヶ月以上のスケールを対象とした極端現象・台風の確率予測システムの構築、効率的に計算可能な高解像度大気・海洋モデルの検討、および事例研究の実施と評価。
- 水平約 500m 格子日本沿岸モデルに基づく海況予測モデルのシステム構築、および事例研究の実施と評価。
- 「京」およびポスト「京」上で可動する、化学過程を適切に考慮した化学輸送モデルおよびそれを用いた大気環境動態に関する 14km 格子での初期的解析による基盤情報作成。

b. 本格実施フェーズ終了時

- 本格フェーズ終了時には、次世代の高分解能数値予測モデルに必要な物理過程のメカニズムの理解と、その成果を用いたパラメタリゼーションの改善、大気・海洋結合メソモデル等の高度化が達成される。メソスケールについては、複数の事例について本格的な実験を行い、平成 30 年から開始する積乱雲スケールについては、初期的な実験の段階に到達している。
- 比較的大きなサイズの重要構造物に発生する被災のレベルの推定が可能な局所的突風気象解析システムの本格システムを稼働させ、実被害発生例での実用化評価を行う。重要構造物や中高層建築を対象にした被災推定から、人間の生活空間における突風減災の実現に向けての方法を検証する。
- 2 週間後から数ヶ月以上のスケールを対象とした極端現象・台風の確率予測。
- 水平約 500m 格子日本沿岸モデルに基づく海況予測モデルの基盤開発。
- ポスト「京」上で効率的に計算可能な高解像度大気・海洋モデルの基盤開発。
- 「京」およびポスト「京」上で可動可能な、化学過程を適切に考慮した化学輸送モデルおよびそれを用いた大気環境動態に関する初期的解析による基盤情報作成。

c. 運用開始 5 年後

- ポスト「京」による「数値天気予報システム」と高頻度・高密度な観測ビッグデータを用いて、メンバー数 100 から 1000 程度の高分解能なアンサンブル予報を行って、災害事例を予測・再現する。
- 観測ビッグデータの統計値を利用したデータマイニングによる局地的突風解析システムにより、突風の微細構造を分析することで、建築物への突風作用を把握する。
- 準リアルタイムな 2 週間後から数ヶ月以上のスケールを対象とした極端現象・台風の確率情報つき予測を可能とする。

- 水平約 100m 格子日本沿岸モデルに基づく海況予測モデルによる沿岸諸情報の創出と発信が可能になる。
- ポスト「京」上で効率的に計算可能な高解像度大気・海洋モデルがコミュニティで利用可能になる。
- 次世代人工衛星を利用した長期データセットの構築および国内外の研究者に向けた一般公開が可能になる。

d. 運用開始 5 年－10 年後

- 「数値天気予報システム」をオリンピック期間前後に取得が想定される豊富な観測データ（高頻度・高密度な観測ビッグデータ）に適用して得られた災害事例の科学的知見により、顕著現象の理解が進む（5 年後）。
- **「数値天気予報システム」で得られた‘長いリードタイムをもった高精度な予報を得るための技術や知見’が、気象庁の予報業務等に活かされる（10 年後）。**
- 開発した局地的突風解析システムを用いた実問題への適用事例の蓄積と重要構造物、中高層建築物などの各種構造物の被災予測の高精度化とから突風防災の弾力化を実現する（5 年後）。
- 風速・風圧に対する構造物の挙動解析と崩壊過程の予測に関する資料の蓄積と、得られた成果のフィードバックによって気象庁の予報業務を緻密化・高度化がされる（10 年後）。
- 数値天気予報への水平 5-10km での全球非静力学モデルの導入(5 年-10 年後)、海洋モデルと結合した全球非静力学モデルによる延長予報・季節予報が可能となる(10 年後)。
- 水平～約 500m 格子（5 年後)、約 100m 格子（10 年後）日本沿岸モデルに基づく海況予測モデルの実用化、およびその社会・経済的応用が可能になる。
- 省庁、自治体の策定する環境政策への貢献が具体的になる。

（4）周辺領域への波及効果、課題全体における計算科学やシミュレーションの位置づけ

気象および気候の客観的予測には計算科学を基盤とするミュレーションは必要不可欠であり、唯一のツールと言ってよい。課題全体を含む関連分野におけるシミュレーションと計算科学の発展は、予測科学の発展と、予測精度の向上により実社会に明瞭で直接的な波及効果と社会貢献をもたらす。

本課題で提案、開発、構築する予測完了時点から実際の現象が起こるまでの時間をより長くするための予測技術開発は、市民生活や人命の安全確保に直結する予報業務等への実活用を想定している。加えて、極端な気象現象に関わる予測データや予測情報が創出されれば、農林水産業や国土計画、交通・流通などの分野における各種計画を立案する際の貴重な情報基盤となることから、成果の波及効果を及ぼす周辺領域は広く、また応用も多岐にわたる。エネルギー科学分野と連携し、風力、太陽光などの再生可能エネルギー発電設備の立地条件評価やシステムの最適設計や稼動条件の同定などについては、本課題の成果を利用することが可能である。また、本課題の技術基盤であるデータ同化手法は他分野でも利用されており、本成果は隣接分野への輻輳的発展につながる可能性がある。巨大でかつ複数種類の観測データのハンドリングや同化手法は確立されておらず、その開発が待たれる分野でもある。加えて、数週間から数ヶ月・数年から数 10 年のシームレスな気象・気候予測の精度向上により、極端現象・台風などの確率的な頻度予測が実現可能になれば、十分なリードタイムをもって社会に予測情報を利用することが可能になり、また近年の地球温暖化による気候変動における影響評価・

緩和策の検討に有効に資する。さらに、地球環境の予測データは国際政治上の問題と関連が深く、環境変化に対応するための意思決定ツール開発につながる可能性がある。

（5）年次計画

課題全体	中間目標（平成29年度）	ビッグデータを用いた 「データ同化を含む数値天気予報システム」を開発し、「メソスケール開発」の数値実験で初期的な結果を得る。さらにスケールダウンした現象である局地的突風を、乱流解析技術であるLESモデルを用いて推定する。また１ヶ月から季節・年スケール程度の極端現象・台風の確率予測および日本沿岸モデルによる海況予測を試験的に行い、シームレス気象予測を行うための技術基盤を検討する。エアロゾルの大気中動態を精緻化したモデルを用い、全球的なエアロゾル輸送・変性過程に関する初期的な知見を得る。
	最終目標（平成31年度）	ビッグデータを用いた 「データ同化を含む数値天気予報システム」を開発し、「メソスケール開発」では本格的な実験を実施し、高分解能の「積乱雲スケール開発」では初期的な結果を得る。さらにスケールダウンした現象である局地的突風などの極端気象を、乱流解析技術であるLESモデルを用いて解析し、生活空間スケールの被災レベルを推定する。また１ヶ月から季節・年スケール程度の極端現象・台風の確率予測および日本沿岸モデルによる海況予測を試験的に行い、シームレス気象予測を行うための技術基盤を検討する。さらに化学輸送モデルにおけるエアロゾルや温室効果気体の大気中での輸送および変性をより精緻に予測するための技術要素について検討するとともに、大気環境に関する観測データの高度利用と組み合わせ、大気環境およびその社会的影響を予測するための技術基盤を構築する。

サブ課題名 （分担機関・責任者）	調査研究・準備研究フェーズ		本格実施フェーズ			
	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	平成31年度
サブ課題A 革新的な数値天気予報と被害レベル推定に基づく高度な気象防災 （サブ課題責任者:海洋研究開発機構　瀬古弘、分担機関:、理化学研究所計算科学研究センター、東京工業大学、東京大学大気海洋研究所、東北大学、京都大学）	（目標） ・データ同化を含む数値天気予報システム（以下、数値天気予報システム）ならびに局地的突風解析システムの開発に向けた情報収集と打ち合わせ。	（目標） ・数値天気予報システムならびに局地的突風解析システムの開発計画策定とシステム開発の開始。	（目標） ・数値天気予報システムならびに局地的突風解析システムの開発 ・観測ビッグデータの入手。 ・河川流出・洪水浸水・土石流予測モデルの予備的開発。	（目標） ・数値天気予報システムによるメソスケール開発の初期的な成果を得る。 ・局地的突風解析システムによるテスト解析。 ・河川流出・洪水浸水・土石流予測モデルへの適用テスト。	（目標） ・年度前半まで数値天気予報システムによるメソスケール開発の初期的実験を実施、後半に本格的実験を開始。積乱雲スケール開発の動作確認。 ・局地的突風解析システムによる実証解析。 ・河川流出・洪水浸水・土石流予測モデルへの最適化。	（目標） ・数値天気予報システムによるメソスケール開発の本格的実験とポスト「京」に向けた高度化。積乱雲スケール開発の初期的な成果を得る。 ・局地的突風解析システムの本格システムの稼働と実用化評価。 ・河川流出・洪水浸水・土石流予測モデルへの適用。

注1:用語：**データ同化を含む数値天気予報システム**： NHM-LETKF,NICAM-LETKF等。 数値天気モデルである領域モデルNHM,や全球モデルNICAMと解析システムであるLETKFを組み合わせ、高精度な解析システムを構築する。 注2:用語：**局地的突風解析システム**:CUBE。乱流解析モデルLESを用いて地表近傍の突風を推定するシステム。 注3:用語：**データマイニング**:気象数値モデル等で予測された自然風に対して、乱流エネルギー散逸過程の特徴等を活用し、高周波数まで含んだ変動風の挙動を得る手法。都市・建築の強風安全性を検討するために用いられる。	(実施内容) 計画通り実施。 注4:用語:**メソスケール開発**:より長いリードタイムの獲得と積乱雲スケールの境界値を得るために、格子間隔1kmでより広い計算領域を用いた開発。 注5:用語:**積乱雲スケール開発**:局地的大雨や竜巻などの突風を引き起こす積乱雲を扱うことができるように、個々の積乱雲を表現できる100ｍ以下の格子間隔を用いた開発。	(実施内容) ・数値天気予報システムの開発に向けた初期値作成法、使用する観測ビッグデータや作業工程等の決定。 ・気象データマイニングにより局地的突風解析システム基盤ソルバ開発計画策定を行う。 突風に対する被災推定手法の検討。	(実施内容) ・数値天気予報システムの開発、メソスケール開発での動作確認と最適化。 ・観測ビッグデータの入手。 ・高分解能モデル・大気海洋結合モデルを用いた再現実験の実施。 ・既存データによる二次元土石流予測モデルの検証。 ・気象データマイニングにより局地的突風解析システムを作成する。 突風に対する統計的被災推定手法の整理。	(実施内容) ・数値天気予報システムと観測ビッグデータの一部によるメソスケール開発の初期的実験と検証の開始。 ・高分解能モデル・大気海洋結合モデルを用いた機構解明。 ・既存データによる三次元土石流解析モデルの検証。 ・気象データマイニングにより局地的突風解析システムのプロトタイプの構築とテスト解析を行う。 被災レベルの試算。	(実施内容) ・年度の前半は数値天気予報システムと観測ビッグデータによるメソスケール開発の初期的実験を実施、後半に複数事例の本格的実験の開始。 積乱雲スケール開発の動作確認と検証。 ・高分解能モデル・大気海洋結合モデルを用いた機構解明。 ・数値天気予報システムの出力を用いる広範囲二次元土石流予測モデルと局所予測のための三次元土石流予測モデルの準備。 ・気象データマイニングにより局地的突風解析システムのシステムプロトタイプの実証解析を行う。 被災レベルに基づく安全性の検討。	(実施内容) ・メソスケール開発の本格的実験、積乱雲スケール開発の初期的実験の実施。 ・ポスト「京」に向けて、高度化と最適化。 ・高分解能モデルや大気海洋結合モデルを用いた機構解明。 ・数値天気予報システムの出力の広範囲二次元土石流予測モデルと局所予測のための三次元土石流予測モデルへの適用。 ・気象データマイニングにより局地的突風解析システムの本格システムの稼働と実用化評価。 ・重要構造物、中高層建築を対象とした被災推定から人間の生活空間における突風減災の実現に向けての方法の検証。

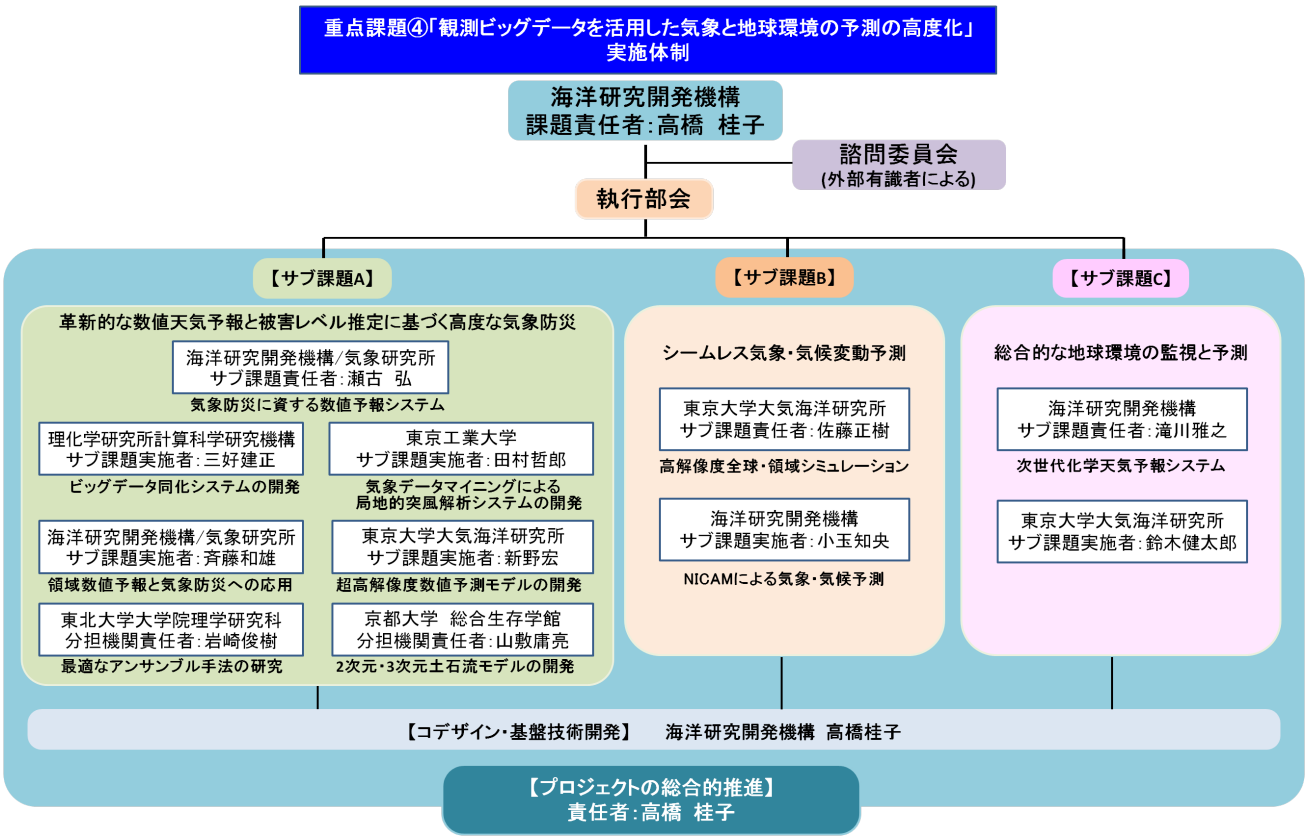
サブ課題B シームレス気象・気候変動予測 （サブ課題責任者：東京大学大気海洋研究所・佐藤正樹、分担機関：海洋研究開発機構）	（目標） ・シームレス気象・気候予測に向けた情報収集・アプローチの検討。 （実施内容） ・NICAM:14kmメッシュ１ヶ月～季節予測アンサンブル実験。 ・近未来実験に向けた情報収集。 ・海洋：境界条件整備、低解像度予備実験。	（目標） ・シームレス気象予測に向けた課題の抽出・アプローチの検討。 （実施内容） ・NICAM:14kmメッシュ１ヶ月～季節予測アンサンブル実験の設定検討。 ・海洋：水平500m格子日本沿岸モデルの構築、計算性能測定とチューニング。	（目標） ・基礎的な数値実験を通じた、シームレス気象予測に向けた課題の抽出・検討。 （実施内容） ・NICAM:14kmメッシュ1ヶ月予測アンサンブル実験、効率的に計算可能な高解像度大気・海洋モデルの検討。 ・海洋：水平約500m格子日本沿岸モデルによる基礎実験。	（目標） ・より実証的な数値実験を通じた、シームレス気象予測に向けた課題の抽出・検討。 （実施内容） ・NICAM：7km以下メッシュ1ヶ月予測アンサンブル実験、季節～年予測アンサンブルテスト実験。 ・海洋：水平約500m格子日本沿岸モデルによる海況予測実証実験。	（目標） ・ポスト「京」実機を念頭においたシームレス気象予測の準備。 （実施内容） ・NICAM:14kmメッシュ季節～年予測アンサンブル実験。 ・海洋：水平約500m格子日本沿岸モデルに基づく海況予測システムの設計。	（目標） ・ポスト「京」実機を念頭においたシームレス気象予測の準備完了。 （実施内容） ・NICAM：7km以下メッシュ季節～年予測アンサンブル実験、ダウンスケール実験。 ・海洋：ポスト「京」で水平約100m格子に発展させるための各種パイロットスタディ。
サブ課題C 総合的な地球環境の監視と予測 （サブ課題責任者：海洋研究開発機構・滝川雅之、分担機関：東京大学大気海洋研究所）	（目標） ・プロセスベースエアロゾルモデル構築、総合的な地球環境の監視と予測に向けた情報収集、アプローチ検討。 （実施内容） 予定通り実施。	（目標） ・化学輸送モデルおよび大気環境データ同化システムの計算性能測定、および精緻化に向けたアプローチの検討。 （実施内容） ・精緻化したプロセスベースエアロゾルについて、エアロゾル生成・変性過程等におけるキープロセ	（目標） ・化学輸送モデルの高解像度実験に向けた課題の抽出・検討、および仮想的な新規データを同化に適用した場合の評価。 （実施内容） ・キープロセスの再現性を高めたエアロゾルモデルを全球モデルに適用する。 ・各種観測データ	（目標） ・エアロゾルの大気中動態を精緻化したモデルを用い、全球的なエアロゾル輸送・変性過程に関するテスト解析の実施。 （実施内容） ・高精度エアロゾル気候モデルを用い、27kmメッシュで短期間の全球計算を行い、エアロゾル-気候影	（目標） ・ポスト「京」における化学輸送モデルおよび大気環境ビッグデータを用いた地球環境の監視・予測システムの準備。 （実施内容） ・高精度エアロゾルモデルについて、ポスト「京」向け最適化手法などを検討する。 ・最新の同化シス	（目標） ・ポスト「京」における化学輸送モデルおよび大気環境ビッグデータを用いた地球環境の監視・予測システムの準備完了。 （実施内容） ・ポスト「京」において高解像度実験を行うための各種パイロットスタディを行う。

		スの解明を進める。 ・リモートセンシング観測や地上観測などのマルチプラットフォーム観測手法を最適統合するデータ同化手法の設計に関する検討を行う。 ・化学輸送モデルの高分解能化に関する検討を進める。	を最適統合したデータ同化システムを開発し、2-3年程度の同化データセットを作成する。 ・大気微量成分および短寿命・長寿命温室効果気体の大気中動態について、雲解像スケールまで空間解像度を変えた際の空間分解能依存性を評価する。	響評価を行う。 ・次世代衛星を用いた大気環境同化システムに関する検討を進め、仮想的な実験を用いて評価する。 ・14kmメッシュ程度の高分解能モデルによる輸送過程の微細構造等について評価する。	テムを用いた10年以上の長期間の大気環境同化データセットの作成を開始する。	・10年以上の長期間の大気環境同化データセットを構築し、公開に向けデータを整備する。
プロジェクトの総合的推進 （海洋研究開発機構・高橋桂子）	(目標) ・コデザイン検討体制の構築と重要な設計パラメータの抽出。 (実施内容) ・コデザインを行うサブワーキンググループを設置する。 ・「京」コンピュータ等の既存環境下でターゲットアプリの性能評価等を行い、CPU構成等で重要なパラメータを抽出する。	(目標) ・設計パラメータの抽出とポスト「京」に向けた改善策の検討。 (実施内容) ・「京」コンピュータ等の既存環境下でターゲットアプリの性能評価等を行い、CPU構成等で重要なパラメータの抽出を継続する。 ・ポスト「京」を目指した性能改善策を検討する。	(目標) ・仮想ポスト「京」環境でのターゲットアプリの実行性能向上の検討と実行環境の検討。 (実施内容) ・基本設計で決定したアーキテクチャを基にターゲットアプリの実行性能向上を図ると共に、システムソフトウェア等も検討する。	(目標) ・仮想ポスト「京」環境でのターゲットアプリの実行性能向上の検討と実行環境の検討。 (実施内容) ・基本設計で決定したアーキテクチャを基にターゲットアプリの実行性能向上を図ると共に、システムソフトウェア等も検討する。	(目標) ・ターゲットアプリの整備と、成果創出に向けた実行環境の整備。 (実施内容) ・ NICAM-LETKF のチューニング・機能高度化等を行う。 ・またプロダクトランを前提とした実行環境の検証を行う。	(目標) ・ターゲットアプリの最終的な整備と、成果創出に向けた実行環境の整備。 (実施内容) ・ NICAM-LETKF のチューニング・機能高度化等を引き続き行う。 ・またプロダクトランを前提とした実行環境の整備を行う。

（6）実施体制

① 実施体制

業　務　項　目	実　施　場　所	担当責任者
(1)研究開発課題		
A. 革新的な数値天気予報と被害レベル推定に基づく高度な気象防災	横浜市金沢区昭和町3173－25 海洋研究開発機構横浜研究所 千代田区内幸町2-2-2富国生命ビル 海洋研究開発機構東京事務所	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 情報エンジニアリングプログラム招聘 上席研究員　瀬古　弘
	神戸市中央区港島南町7-1-26 理化学研究所計算科学研究センター	理化学研究所計算科学研究センター データ同化研究チーム チームリーダー　三好　建正
	横浜市緑区長津田町4259 東京工業大学	東京工業大学大学院 環境・社会理工学院 教授　田村　哲郎
	柏市柏の葉5-1-5 東京大学大気海洋研究所	東京大学大気海洋研究所 特任研究員　新野　宏
	仙台市青葉区荒巻 東北大学	東北大学大学院理学研究科 特任教授（研究）　岩崎　俊樹
	京都市左京区吉田中阿達町1 京都大学	京都大学大学院総合生存学館 教授　山敷　庸亮
B. シームレス気象・気候変動予測	柏市柏の葉5-1-5 東京大学大気海洋研究所	東京大学大気海洋研究所 教授　佐藤　正樹
	横浜市金沢区昭和町3173－25 海洋研究開発機構横浜研究所 千代田区内幸町2-2-2富国生命ビル 海洋研究開発機構東京事務所	海洋研究開発機構 地球環境部門環境変動予測研究センター 雲解像モデル開発応用グループ 研究員　小玉　知央
C. 総合的な地球環境の監視と予測	横浜市金沢区昭和町3173－25 海洋研究開発機構横浜研究所 千代田区内幸町2-2-2富国生命ビル 海洋研究開発機構東京事務所	海洋研究開発機構 地球環境部門北極環境変動総研究センター北極化学物質循環研究グループ グループリーダー　滝川　雅之
	柏市柏の葉5-1-5 東京大学大気海洋研究所	東京大学大気海洋研究所 准教授　鈴木健太郎
(2)プロジェクトの総合的推進	横浜市金沢区昭和町3173－25 海洋研究開発機構横浜研究所 千代田区内幸町2-2-2富国生命ビル 海洋研究開発機構東京事務所	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門地球情報基盤センター センター長　高橋　桂子



重点課題④「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」実施体制（計画当初）

② 人材育成および分野振興の取り組み

現時点では予算措置が困難であることから、人材育成および分野振興のための方針と取り組みを検討することに留める。検討にあたっては、特に本分野における国際的競争力を向上するため、下記の実行を想定した場合の持続的効果についての検討を行う。例えば、

1）1 週間を単位とする若手を中心とした国際的なハッカソン

2）国内外の若手研究者の参加を対象とする集中的テーマのシンポジウム

3）今後 10 年を見通した気象・気候分野の科学的/技術的重大テーマについてのディベート

などを中心とする国際協力と国際競争の 2 つの特徴を合わせもつ機会の創出、および集中的な議論の機会と場を設けることにより、わが国の人材育成を牽引する機会の創出を検討する。

また、他分野との連携や協働、および気象・気候分野におけるハイパフォーマンスコンピューティングの課題に他分野の若手人材が触れ、考え、意見交換ができる場の持続的な提供方策を検討する。

関連学会、異分野の学会等への本プロジェクトの取り組みの紹介や講演、討論会については、適宜企画と実施をし、それらを通じて、現時点では参画していない研究者、技術者との対話を増やして本プロジェクトのより強い体制の構築を図る。

各サブ課題においては、人材育成と体制構築に対して以下のような取り組みを行う。

サブ課題 A

本プロジェクトは、多数の機関によって実施されており、科学目標を達成するための開発項目も多岐に亘っているため、各開発項目の推進に専門的に関わる多くの研究者が必要である。サブ課題 A では、コデザインでポスドク 1 名、「数値天気予報システム」と「土石流予測モデル」を開発する目標 1-3 で 2 名の研究者と 4 名のポスドク、「被災レベル推定のための局地的突風解析システム」を開発する目標 4 で 3 名のポスドクを雇用する。本プロジェクトは、ポスト「京」という最先端の計算機を利用して、気象と地球環境予測のブレイクスルー研究を行う貴重な経験の場となることから、この機会を利用してさらにステップアップしようという意欲と能力を備えた人材を登用し、その意欲と能力を生かして優れた成果を上げると共に、さらにキャリアアップできるようなマネージメントを行う。本課題に関わる工学的な分野においては、ポスドクの受け入れ先として産業界が大いに開かれており、産官学の協働と交流により、幅のある研究能力と社会経験に基づくリーダーシップを兼ね備えた人材育成が期待される。気象学の分野においても、ポスドクや研究には論文執筆など積極的な成果発表を促し、防災にも通じ、先端的な基礎研究を推進できる人材育成を行う。なお、本プロジェクトの先行プロジェクトである HPCI 戦略プログラムでは 3 名のポスドクが、プロジェクトにおける研究実績を評価され、パーマネントな研究員や大学教員に就いた実績を有する。

サブ課題 B

サブ課題 B は数週間から季節・年スケール程度という幅広い時間スケールの予測を対象としており、シームレス気象・気候予測のためにはそれぞれについて複数の研究者が必要である。必要な備品であるデータサーバー、成果発表のための旅費・印刷費の他には、主として人件費として研究計画を立てている。

HPCI 戦略プロジェクトで成長した若手の研究者が、ポスト「京」重点課題で活躍を期待される。HPCI 戦略プロジェクトで雇用した研究者の中には既に常勤のポストについている者もおり、順調に人材育成が進んでいる。ポスト「京」でも、社会的な重要な成果をあげることによって、ステップアップをすることが期待できる。

海洋課題に関しては、本格実施開始時点から研究期間終了までの間、予測システムの実行や検証を行う研究員の雇用が必要である。一般に、観測ビッグデータの利用のためには、その特性を十分に理解する必要が有り、専門的な知識を有する研究員による個別の対応が必要である。新型海面高度計等の異なる新奇的観測データの利用により独自性の高い斬新的な海洋課題研究を遂行することが可能になる。

サブ課題 C

サブ課題 C においては 2 つの研究テーマを設定する計画であるが、本課題において主に利用を計画している全球静力学モデル NICAM に光化学過程を組み込んだ NICAM-Chem の精緻化など、それぞれのテーマにおいてとくに重要だと思われる案件について、限られたスケジュールの中で効率的に成果をあげていくためには、専従的に取り組む人員が必須であり、各々のテーマで 1 名ずつ、とくにモデルに精通したポスドク研究者を担当者とすることを計画している。また限られた期間でモデルを開発し、大規模計算に関する経験を積み、研究成果を取りまとめて研究者等にステップアップできる

よう、環境整備を行う。

その上で、小規模な研究室等で発生しがちなサーバー運用等の雑用業務については技術員等の拡充等により、有期雇用者が集中して研究できる環境を整える。具体的には、各参加者が共同で利用できるように衛星等の各種観測データやモデル計算に必要な排出量インベントリ等を収集し、管理、保管できる体制を整える。またNICAMはコミュニティモデルでありすでにwikiなどにノウハウがまとめられているとともに海洋研究開発機構などにも多数の開発者・利用者がおり、技術面での問題解決等に当たることも比較的容易であると思われるが、情報交換が容易となるよう、サブ課題AおよびBと情報交流を積極的に行う予定である。

（7）必要計算資源

「京」の計算資源量　（単位：ノード時間/年）

	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度
サブ課題A	4,500,000	22,965,014	19,726,946	19,726,946	6,684,823
サブ課題B	2,000,000	13,779,009	11,836,169	11,836,169	4,010,894
サブ課題C	210,000	4,593,003	3,945,390	3,945,390	1,336,965
合計	**6,710,000**	**41,337,026**	**35,508,505**	**35,508,505**	**12,032,682**

「京」以外の計算資源量　（単位：ノード時間/年）

	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度
サブ課題A	1,700,000	1,700,000	1,300,000	1,300,000	1,300,000
サブ課題B	130,000	130,000	130,000	130,000	130,000
サブ課題C	40,000	70,000	70,000	70,000	70,000
合計	**1,870,000**	**1,900,000**	**1,500,000**	**1,500,000**	**1,500,000**

２．研究開発内容詳細

２－１．サブ課題Ａ．革新的な数値天気予報と被害レベル推定に基づく高度な気象防災

（1）目的・意義

本サブ課題では、世界の最先端の観測技術である気象衛星ひまわり 8 号やフェーズドアレイレーダー等で観測した**「これまでにない高頻度・高密度な観測データ（観測ビッグデータ）」と最先端の計算機である「京」やポスト「京」を結びつけ、これまで困難であった「目的①：局地的大雨や竜巻の親雲など突風を起こす積乱雲の予報精度の大幅な向上」、「目的②：災害を引き起こすような集中豪雨等のより早い予測（より長いリードタイム[*1]の獲得）」を目指す。**

本サブ課題で用いるフェーズドアレイレーダー[*2]は、30秒毎に降水分布や降水域内の風分布が測定できる最新の気象レーダーで、これまでのペンシルビームのレーダーに比べて、格段に細かな時空間分解能を持ち、データ数も約100倍にもなる。2015年に打ち上げられた「ひまわり8号」は、MTSAT2号（8号の前の衛星）に比べて観測チャネル数が5から16に、観測頻度も30分から2.5分（衛星から見える半球分は10分）に、水平分解能も2倍以上（可視は1kmが0.5km～1kmに、赤外は4kmから1～2kmに）になり、時空間分解能やデータ数が飛躍的に増大している。**このような時空間的に高頻度・高密度な観測ビッグデータを用いるには、「京」やポスト「京」のような計算の能力の非常に高い最先端の計算機が必要**である。本サブ課題では、**これらの観測ビッグデータと最先端の計算機を用いて、集中豪雨等の予測については「長いリードタイム」を獲得し、局地的大雨や竜巻の親雲など突風を起こす積乱雲等については、予報精度を向上させることにより、安全な社会の創出に貢献する。**

最初に述べた数値天気予報の精度の大幅な向上について（目的①）、現状と開発の意義を、再現が難しい「竜巻を引き起こす積乱雲」を取り上げて説明する。**竜巻を引き起こす積乱雲は時空間スケールが小さいため、それらを適切に表現するためには、100m 以下の格子間隔が必要である。しかし、気象庁の現業モデルは、最も細かい数値モデルでも格子間隔が 2 kmと粗く、個々の積乱雲まで表すことができない。**今年度（平成 27 年度）に終了する「HPCI 戦略プロジェクト」でも、平成 24 年 5 月に発生したつくばの竜巻について、格子間隔 350m のデータ同化[*3]システムを用いて、ドップラーレーダーの動径風[*4]や反射強度を同化して、竜巻の位置の再現に成功しているが、100m 以下の格子間隔で積乱雲の再現に取り組めた事例は数例でしかない。本サブ課題では、多数の事例について、100m 以下の格子間隔にした精度のよい数値天気予報システムを用い、データ数が格段に多いフェーズドアレイレーダー等の**高頻度な観測ビックデータを同化して、これまで予測が難しかった竜巻の親雲や局地的大雨などの予測精度を向上させることを目標の 1 つにしている。**この目的を遂行する際に得られた**次世代のスパコンである「京」やポスト「京」の膨大な計算ノード等の特徴を活かす計算科学的な知見、予報精度を向上させる手法に関する知見を気象庁に提供すること**、竜巻等の突風については、さらにデータマイニング[*5]を用いて、**地表近傍の生活空間での被災レベル（建築物などへの影響など）を明らかにすること**で、安全な社会の創出に貢献する。

長いリードタイムの獲得について（目的②）は、たとえば、70 名以上の方が亡くなった平成 26 年 8 月の広島豪雨では、深夜に土砂災害が発生しており、安全に避難行動をとるタイミングを考慮すると、**現在のリードタイムは必ずしも十分ではない**（広島豪雨の場合、大雨警報・洪水警報が 21 時 36 分に、土砂

災害警戒情報が 20 日 1 時 15 分に発表)。この事例では、豊後水道を通過した南からの湿った気流が豪雨を引き起こしたと指摘されているが、気象庁の現業モデルでは、この湿った気流が再現できず、豪雨が予測できなかった。つまり、この豪雨を再現するためには、南からの気流をより正しく数値モデルの初期値に表現する必要がある。**そのためには、気象庁現業システムで用いている観測データに加えて、新たな観測もデータを同化する必要があり、その観測データもできるだけ高密度・高頻度であることが望ましい**（その場合、データ同化に大きな計算資源が必要になる)。上で述べた**「ひまわり 8 号」のように広範囲で高頻度に得られる観測ビッグデータを同化することができれば、豪雨に供給されるより上流側の気流が修正されて、予報精度がより向上し、より長いリードタイムが得られると期待できる。**(研究の進み方次第では、ひまわり 8 号以外の広い範囲で高頻度に観測データが得られる観測測器の必要性についても検討する)。このような目的②に関する開発では、次世代のスパコンである「京」やポスト「京」を使って得られた**長いリードタイムを獲得するための知見を気象庁に提供するとともに**、成果を社会に還元する取り組みとして、**得られた高精度なアンサンブル予報の情報を河川流出モデルや浸水予測モデル、土石流予測モデルに適用して、安全な社会の創出に貢献する。**

本サブ課題では、上記の目的①②について、決定論的な予報[*6]に加えて、100 から数 100 という**多数の高分解能な数値天気予報システム（格子間隔 100m 以下から 1 km）を用いて予報を行う「アンサンブル予報[*7]」と言う手法を用いる。アンサンブル予報は、**現業数値予報システムでも開発が進められているものの、ここで示したような**多数で高解像度の予報を扱う研究は、現状の現業数値予報システムにない取り組みである。**時空間スケールが小さい積乱雲は、初期値の誤差内のわずかな差に大きく影響を受ける。そのため、局地的大雨や竜巻を引き起こす積乱雲は、1 つの予報で予測するのではなく、初期値の誤差範囲内に摂動を持つ多数の予報を行って、確率的にとらえる必要がある。また、長いリードタイムを得るための開発でも、より長時間の予報を実施するので、予報後半がメンバーごとに大きくばらつくことになるため、上記の時空間スケールの小さい積乱雲と同様に、確率分布が得られるアンサンブル予報が有効と考えられる。

最後に、上記の目的①で述べた「データマイニングを用いて、地表近傍の生活空間での被災レベルを明らかにすること」については、気象学的手法ではなく工学的な手法を用いることから、別の目的として扱う。つまり、「**局地的突風解析システムを構築し、突風発生時の下層の乱流構造や地表近傍の流れ・圧力分布を明らかにする**」ことを 3 つ目の目的、目的③とする。具体的には、観測データおよび気象解析データを用いて積乱雲内部に高解像度気象データをマイニングし、小さい計算領域としながらも瞬発挙動までを対象に、境界層乱流の時空間微細構造に着目した高解像度計算を実施する。さらに、地表の建物・植生等を再現し、地表近傍の乱流構造の情報から、突風の被害レベルを推定できるシミュレーション環境を整える。高解像度計算で得られた「被災レベルを見積もるための諸統計量」については、そのデータを入力データとして用いることで建物の挙動、さらには崩壊過程を追跡することも可能になり、建築物等の安全基準の作成にも応用が期待できる。SIP などの別プロジェクトと連携することで、より弾力性を持った防災・減災機能を強化した社会の構築へとつながることが期待される。

本サブ課題では、上で述べたように、世界の最先端で観測された「これまでにない高頻度・高密度なデータ」を用いるが、これらのデータは既存データに比べて、データ数が数 10 倍から 100 倍と桁違いに多い。**これらの観測ビックデータの情報をどのように数値天気予報モデルに活かすか？　その手法を、やはり最先端の計算機である「京」やポスト「京」で探り、明らかにするという計算機科学の挑戦であると**

いう側面も持っている。予報精度の大幅な向上やより長いリードタイムの獲得のためには、単に数値天気予報モデルの格子間隔を細かくするだけでなく、同化技術と気象現象の両方を理解した同化手法の開発も必要になるであろう。このような数値天気予報モデルの開発も、「京」やポスト「京」を用いて初めて可能となるもので、世界初、または世界最先端の開発技術である。

用語：

1)リードタイム：　予報から大雨等の現象が起こるまでの時間。

2)フェーズドアレイレーダー：　30 秒毎に 1 ボリュームスキャンができる最新の気象レーダー。これまでのペンシルビームのレーダーに比べ、格段に細かな時空間分解能を持つ。データ数も約 100 倍になる。

3)データ同化：　観測データを用いて数値モデルの初期値を改善する手法。

4)動径風：　レーダーから見た方向に沿った風成分。

5)データマイニング：　気象数値モデル等で予測された自然風に対して、乱流エネルギー散逸過程の特徴等を活用し、高周波数まで含んだ変動風の挙動を得る手法。都市・建築の強風安全性を検討するために用いられる。

6)決定論的な予報：　データ同化等で精度を高めた 1 つの初期値から行う予報。

7)アンサンブル予報：　初期値に摂動を加えた多数の初期値から予報を行う手法。決定論的な単独予報よりも予報精度が良く、見逃しの減少等が期待できるなどの利点がある。

（2）実施内容

本サブ課題で実施する数値天気予報では、大気を格子上の値として表現し、「ある時刻の大気の状態（初期値）を入力として、物理法則を表した方程式の塊である数値天気予報モデルを実行し、次の時刻の値（予報値）を得る。次に、得られた予報値と観測値を用いて最適な次の時刻の初期値を作成する。そして再度、数値天気予報モデルを実行する」というサイクルを繰り返す（図 A-1)。この数値天気予報のサイクルの中に、次のような予報精度を大幅に向上させるキーワード、より長いリードタイムの獲得のためのキーワードがある。

（ⅰ）数値天気予報モデル自体の高度化

自然を模した方程式の塊である数値予報モデルをより高度化することにより、予報精度を向上させることができる。例えば、積乱雲を表現するためには、格子間隔を100m以下に細かくする必要があり、それに対応して、数値モデルに組み込む「積乱雲の発生に寄与する境界層」、「降水の強度に寄与する降水過程」も、細かな現象を活かせるように高度化する必要がある。

（ⅱ）予報値から初期値を作成するデータ同化

予報精度の向上には「数値天気予報システム」の初期値の改善も重要であり、そのためには、高頻度・高分解能な観測データ（観測ビッグデータ）の利用や、初期値を作成するデータ同化手法の高度化が必須である。近年、気象衛星ひまわり8号やフェーズドアレイレーダーをはじめとする新しい観測ビッグデータが入手できるようになった。これらのデータをより有効に利用する同化手法を開発し、初期値をより現実に近いものにすることにより、予報精度を向上させることができる。

（ⅲ）初期値に適切な摂動を加えたアンサンブル予報

夏季に都市域で発達する局地的大雨や竜巻を伴うような積乱雲、より長いリードタイムを獲得するために数値天気予報モデルの初期時刻を大きく遡らせた集中豪雨等の予報では、初期値のわずかな差により大きく予報がばらつくことが予想される。そのような場合には、1つの決定論的な予報よりも、多数の精度のよい初期値を用いたアンサンブル予報が有効である。アンサンブル予報を用いれば、深夜に避難することが困難であった2014年の広島豪雨の場合でも、夕方（安全に避難できる時刻）までに「その日の深夜に豪雨になる確率」を得ることができる。

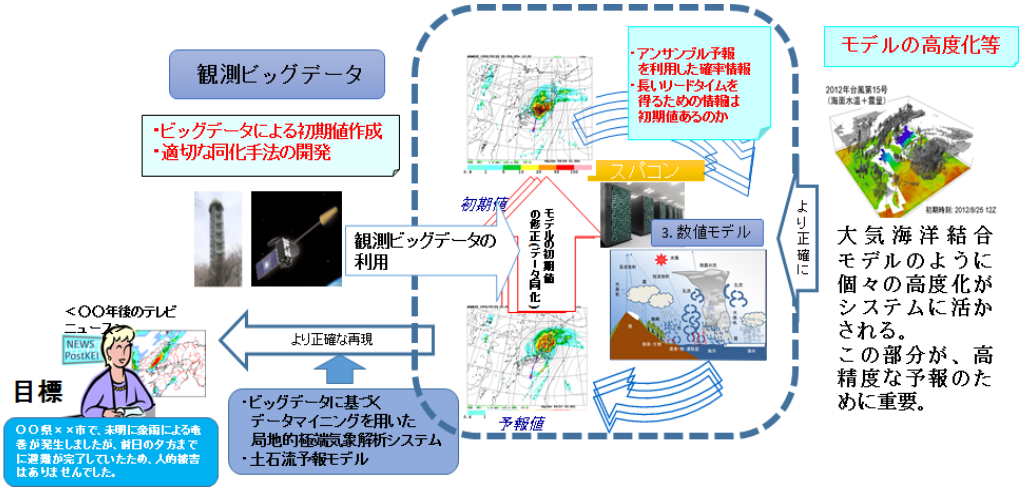


図 A-1.　データ同化、アンサンブル手法、モデルの高度化との関係

本サブ課題では、上記の3つのキーワードについて、**キーワード毎に「大幅な予報精度の向上」や「より長いリードタイム獲得」のためのアプローチが異なることから、以下のように、それぞれに対応する目標を設けて、研究を推進する。**（単に数値モデルの高解像を細かくするだけの開発ではないことを強調しておきたい）。

目標 1　先端的データ同化手法の開発と観測ビッグデータの活用　（(ⅱ)のデータ同化に対応）
目標 2　高精度領域数値天気予報と気象防災への応用　（(ⅲ)のアンサンブル予報に対応）
目標 3　超高解像度数値予測モデルの開発と顕著現象の機構研究　（(ⅰ)のモデルの高度化に対応）
目標 4　気象データマイニング局地的突風解析システムによる被害レベル推定

上記の目標 2 には、アンサンブル予報の出力を用いた河川流出モデル、洪水浸水モデル、土石流予測モデルの実施も含まれている。目標 4 は、目的 3 に挙げた「局地的突風解析システムの構築、突風発生時の下層の乱流構造や地表近傍の流れ・圧力分布の解明」に対応した目標である。それぞれの目標について、どのような機関が参加するかについては、5)実施体制を参照していただきたい。

<u>実施する開発のスケールと目標</u>

本サブ課題の目標1-3では、目的①や②の達成のために、**局地的大雨や竜巻などの突風を引き起こす積乱雲を扱うことができるように、個々の積乱雲を表現する100m以下の格子間隔を用いた開発（<u>積乱雲スケール開発</u>）と、より長いリードタイムの獲得と「積乱雲スケール開発」の境界値を得るために、より広**

い計算領域を用いた開発（メソスケール開発）を行う。つまり、「メソスケール開発」では、「積乱雲スケール開発」の計算領域よりも広い範囲におよぶ低気圧のような擾乱や収束の再現を行い、次に「積乱雲スケール開発」では、「メソスケール開発」で再現された擾乱や収束により発生する積乱雲の位置・強度を、より高頻度・高密度な観測データを同化することにより、さらに正確に再現するという戦略である。

以下に、「メソスケール開発」と「積乱雲スケール開発」で想定している格子間隔や用いる観測ビッグデータ、目標を具体的に説明する。

「積乱雲スケール開発」では、積乱雲の水平スケールが小さいため、**格子間隔は100m以下**を、少ないメンバー数では確率分布がいびつになるため、**メンバー数には100程度**を考えている。計算領域としては、関東地方や近畿地方が入るような領域を想定している。観測データとしては、30秒毎にボリュームスキャンができるフェーズドアレイレーダー等の高頻度・高密度な観測データを用いる。高分解能な数値予報モデルと高頻度・高密度な観測データにより、**1時間50㎜程度の発生予測が困難な局地的大雨をもたらす積乱雲の消長を1時間前に得ることを目標とする。**

「メソスケール開発」では、リードタイムを長くする分だけより遠方の影響を受けるため、より広い計算領域が必要である。100m以下の格子間隔で広い領域をカバーするのはポスト「京」でも困難であることから、**格子間隔1㎞、メンバー数100程度**のシステムを構築する。計算領域としては、気象庁のメソモデルの領域、もしくはさらに南に広げた領域を想定している。「積乱雲スケール開発」では、個々の積乱雲を表現するのに対し、「メソスケール開発」では、1kmの格子間隔により、低気圧のような擾乱や収束に発生する積乱雲群を表現する。観測データとしては、10分や2.5分毎に水平風が得られるひまわり8号などの広範囲に得られる高頻度観測データを用いる。この「メソスケール開発」では、集中豪雨等を想定し、**3時間50㎜以上の降水が発生する確率を、半日以上のリードタイムを持って予測することを目標とする**（より長いリードタイムの獲得は、災害時の避難ばかりでなく、比較的軽微な被害であっても経済的には大きいインフラへの被害になりうることから、どのようなリードタイムが必要なのかについても課題の中で検討していく）。気象庁の現業数値モデルにもメソスケールモデルがあるが、格子間隔5kmの決定論的な予報であり、観測データも1時間毎にデータ同化している。それに対し、本サブ課題の「メソスケール開発」は、格子間隔1㎞、メンバー数が100程度のシステムであり、データ同化に用いる観測データも10分間隔程度を想定している。つまり、本サブ課題の「メソスケール開発」は、かなり先の現業モデルを見据えた研究であり、現在の気象庁の現業数値モデルのメソスケールモデルとは大きく異なっている。

目標4の気象データマイニングを用いた局地的突風解析システムについては、「京」を使って解析できるレベルは、10数kmの領域に数1m の解像度で、突風構造のシミュレーションが可能であり、中層建物および重要インフラ構造物まわりの乱流場の解析により、それらの被災レベルの判定が可能な情報が得られる。一方、ポスト「京」では、10数kmの積乱雲を対象としながら、数10cm空間解像度の解析が可能となることから、さらに小規模の一般住宅を対象にした被災レベルの情報提供が可能となる。特に突風などの被害は一般住宅に集中化する傾向があり、極端事象に対する安全性確保に向けて急務の課題が解決されることが期待される。

観測ビッグデータとデータ同化手法

本サブ課題で用いるフェーズドアレイレーダーは、30秒毎に降水分布や降水域内の風分布が測定できる最新の気象レーダーで、これまでのレーダーに比べてデータ数も約100倍になる。ひまわり8号では、

(1)目的と意義で紹介したように、観測チャネル数が5から16に、観測頻度も30分から2.5分になって、データ数が飛躍的に増大している。このような高頻度・高密度な観測ビッグデータを、既存の方法を用いてデータ同化しただけでは、予報精度が大きく向上しない可能性がある（たとえば、似たデータが狭い領域に多数あっても精度は向上しない)。本サブ課題では、観測ビッグデータの時空間密度や数値天気予報モデルの格子間隔に基づいて、観測データの最適な間引き法や初期値の修正範囲などの再検討、必要によっては新しい手法を開発するなどして、**観測ビッグデータに合った高度化した同化手法を開発する。**

本サブ課題では、予報精度の改善や長いリードタイムを獲得するために、高頻度・高密度な観測ビッグデータを用いるが、**本計画書で取り上げているフェーズドアレイレーダーやひまわり8号だけでは、必ずしも十分でない。**例えば、夏季に首都圏で発生するような局地的大雨を再現するには、下層の水蒸気量や水平風の分布を正しく与える必要があることがわかっている。しかし、フェーズドアレイレーダーの観測データは降水域でしか与えられず、積乱雲発生前の非降水域の水平風や水蒸気量に関する情報を持っていない。そのため、非降水域の水平風や水蒸気量を与える気象庁のアメダスやウインドプロファイラー、GNSS等の既存の観測データを用いて実験を行うことになる。そのため、事例によっては、再現が難しいものも現れることも考えられる。その場合には、それらの実験を通して、**「より予報精度を高めるためには、フェーズドアレイレーダー等に加えてどのような観測データが必要か」などについても、考察・提案を行う。**本サブ課題では、フェーズドアレイレーダーやひまわり8号以外についても、どのような観測データがあるかについても調査し、可能であれば、そのデータを観測している機関等にデータの提供等をお願いするなどして、観測分野の方との連携することも検討する。

<u>本サブ課題で用いる数値天気予報モデルやデータ同化手法</u>

本サブ課題で用いる「数値天気予報モデル」や「データ同化手法」として、現業予報や研究で実績のある気象庁非静力学モデル（JMANHM)、次期の現業モデルである次世代非静力学モデル（asuca)、計算科学研究機構（現：計算科学研究センター）や海洋研究開発機構、東京大学で開発している高解像度全球大気モデル（NICAM）やSCALE（Scalable Computing for Advanced Library and Environment)、計算科学研究機構や気象研究所で開発している局所アンサンブル変換カルマンフィルター（LETKF）等を元に開発を進める。

<u>得られた成果を気象庁現業予報に活かす</u>

本課題では「京」やポスト「京」でしかできない最先端のアプリの開発を求められている。そのため、その技術を現在の気象庁の予報業務にそのまま導入することは難しい。しかし、例えば「HPCI戦略プロジェクト」では、「台風事例における大気と海面水温の相互関係の重要性」について、これまでに開発者が実験結果や得られた知見を気象庁数値予報課内で発表し、情報の共有を行っている。本サブ課題でも直接的に成果を気象庁の予報業務に活かすことは、同様の理由で困難と思われるが、「HPCI戦略プロジェクト」で行われているように知見の共有等は容易に行えるので、知見の共有等を通じて気象庁の予報業務に貢献していく。**また、その際に気象庁の要望も伺い、将来の気象庁の予報業務の改善に結び付けるという意識を持ちながら開発計画を修正するなどして、得られた成果を気象庁の予報業務に活かすように努める。**

各目標の実施内容

本章の最初に述べたように、数値天気予報の過程には、予報精度の大幅な向上や長いリードタイムを獲得するための 3 つのキーワードがあり、本サブ課題では、キーワード毎に対応する目標を設けて研究を推進する。ここでは、各目標の実施内容を記述する。

目標１　先端的データ同化手法の開発と観測ビッグデータの活用

・次世代の人工衛星やレーダー観測による「ビッグデータ」を活用するために、個々の雲を解像するデータ同化部分を含む「数値天気予報システム」を構築し、同化手法の開発や顕著現象についての知見を得る。また、高解像度全球大気モデル（NICAM）を利用した「数値天気予報システム」も開発して高速化・高度化し、台風などの全球規模の災害を伴うイベント発生予測の確度を更に高めるシステムを構築して、同化手法についての知見などの初期的な結果を得る。（理化学研究所計算科学研究センター、海洋研究開発機構、気象研究所、京都大学、気象衛星センター、宇宙航空研究開発機構、情報通信研究機構）

目標２　高精度領域数値天気予報と気象防災への応用

・「数値天気予報システム」のアンサンブル予報システムの開発との高度化を行う。より長いリードタイムの獲得と「局地的大雨や竜巻の親雲を想定した『積乱雲スケール開発』」の境界値を得るための「メソスケール開発」については、高頻度・高密度な観測ビッグデータを適用した再現・予測実験を行うとともに、ポスト「京」に向けた高度化・最適化を行う。アンサンブル予報システムに大気・海洋の結合過程をふくめ、台風などのメソスケール擾乱の発達などに与えるインパクトなどの知見を得る。「積乱雲スケール開発」については、「メソスケール開発」より 2 年遅れのスケジュールで開発を行い、初期的な結果を得る。（海洋研究開発機構、気象研究所、琉球大学）

・広範囲に適用可能な高解像度二次元土石流モデルと局所被害予測用の三次元土石流モデルを開発する。上記で得られた「メソスケール開発」による高精度な再現予測結果を、河川流出モデルや洪水浸水モデル、土石流予測モデルに適用する（京都大学、気象研究所、琉球大学、神戸大学）

・「数値天気予報システム」の顕著現象の再現性能に対する、観測データやデータ同化パラメータ、数値モデルの物理過程などのインパクト、気候変化や土地利用変化の影響を評価する。これらを達成するために、LETKF を利用した過去のメソスケール現象の再現手法に関する実証的研究を実施している。（東北大学）

目標３　超高解像度数値予測モデルの開発と顕著現象の機構研究

・詳細なモデル計算により、ポスト「京」による本格的な計算に利用する数値モデルの高度化に不可欠な、乱流による地表面でのフラックス輸送や積乱雲への周辺気塊の取り込み、雨や雪・霰・雹などの形成に関わる雲微物理過程などのメカニズムの理解を進め、これらの過程に関する高精度のパラメタリゼーションの提案を行う。（海洋研究開発機構、東京大学、気象研究所、理化学研究所計算科学研究センター、京都大学）

・台風スケールの超高解像度 LES の高度化を通じて、台風などのメソスケール擾乱の発達・進路決定のメカニズムや、台風内で局所的に生ずる竜巻や突風のメカニズムについての知見を得る （図 A-

1)。(海洋研究開発機構、東京大学、気象研究所、理化学研究所計算科学研究センター、名古屋大学)

目標４　気象データマイニング局地的突風解析システムによる被害レベル推定

・竜巻など局地的突風現象を、積乱雲の下方領域を対象に乱流解析技術であるラージエディシミュレーション（LES）により解析することで生活空間での突風の特性を明らかにすることをめざす。地表近傍領域に着目した計算モデルを対象に、観測ビッグデータの統計値データに基づくデータマイニングを行い、植生や建物などの被覆形状を再現した上で、適切な境界条件を設定した解析システムを構築する。（東京工業大学、理化学研究所計算科学研究センター、神戸大学、建築研究所他）

（3）目標・期待される成果

アウトプット成果

平成 29 年度終了時

・平成 29 年度には、**高分解能モデル・大気海洋結合モデルを用いた予報精度向上のための機構解明が始まり、数値天気予報システムと入手した観測ビッグデータの一部を利用して、「メソスケール開発」の初期的な結果が得られる。**（「メソスケール開発」では、格子間隔 1 ㎞でメンバー数 100 程度のシステムを構築し、災害につながるような 3 時間 50㎜ 以上の集中豪雨が発生する確率を半日（12 時間）以上のリードタイムを持って予測することを目指す。）

・土石流予測モデルでは、二次元土石流モデルの検証を終え、三次元土石流モデルの検証を開始する。

・社会の安全性を確保するため、統計的なデータマイニングに基づく、比較的大きなサイズの重要構造物に発生する被災のレベルの推定が可能な局所的突風など極端気象における解析システム（局所的突風気象解析システム）を開発する。計算モデルについては「積乱雲スケール開発」に対応する十数 ㎞ の解析領域に対し、1m 弱の空間分解能とする。計算データの時間分解能は構造体への風の変動特性を配慮し、0.1 秒程度を考える。平成 29 年度は、局地的突風解析システムのプロトタイプの構築とテスト解析を行い、突風を対象にして統計手法を用いた被災レベルの試算を開始する。「積乱雲スケール開発」で得られるデータがないため、HPCI 戦略プログラムで得られた成果を利用する。

本格フェーズ終了時

・本格フェーズ終了時の平成 31 年度には、**「メソスケール開発」については、複数の事例について本格的な実験の結果が得られる。「積乱雲スケール開発」については、平成 30 年からの開始であるため、初期的な実験の結果が得られる。**

・「メソスケール開発」で得られた高精度な雨量の再現予測結果を、河川流出モデルや洪水浸水モデル、二次元と三次元の土石流モデルに適用する。

・次世代の高分解能数値予測モデルに必要な物理過程のメカニズムの理解とその成果を用いたパラメタリゼーションの改善を通じて、既存のモデルによる高解像度数値予測の改善に寄与する

と共に、大気・海洋結合メソモデル等の高度化が達成される。

・比較的大きなサイズの重要構造物に発生する被災のレベルの推定が可能な局所的突風気象解析システムの本格システムを稼働させ、実被害発生例での実用化評価を行う。重要構造物や中高層建築を対象にした被災推定から、人間の生活空間における突風減災の実現に向けての方法を検証する。

ポスト「京」運用開始5年後

・ポスト「京」による高分解能な「数値天気予報システム」と、高頻度・高密度な観測ビッグデータを用いて、メンバー数100から1000程度のアンサンブル予報を行って、災害を起こした事例の予測・再現を行う。特に、本格フェーズ期間に十分に行えなかった「積乱雲スケール開発」について、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）等で得られる観測データを利用して開発する。（SIPの「レジリエントな防災・減災機能の強化」では、マルチパラメータフェーズドアレイレーダ等の最新観測装置を開発し、積乱雲の発達過程を生成の初期段階から高速・高精度で観測・推定するシステムを開発し、2020年のオリンピック・パラリンピック東京大会を貢献の対象としている（http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/8_bousai.pdf）。そこで得られた観測データを本プロジェクトの「数値天気予報システム」に適用することができれば、防災上でも科学的にも有効な多くの知見が得られると期待できる。）

・格子間隔3.5㎞、1000メンバーの台風の発生予測のデータ同化システムについても、ポスト「京」を用いて実験を行う。

・観測ビッグデータの統計値を利用したデータマイニングによる局地的突風解析システムにより、解析領域十数㎞、数10㎝の空間解像度の解析を実行し、突風の微細構造を分析する。地表近傍の建物を格子解像度数10㎝程度まで解像した解析を実行することで、建築物への突風作用を把握する。

アウトカム成果

ポスト「京」運用開始5年後

・ポスト「京」で開発した「数値天気予報システム」を、オリンピック期間前後の豊富な観測データや、その他の高頻度・高密度な観測ビッグデータに適用して、高分解能でより多数のアンサンブル予報を行うことにより、災害を起こした事例についての科学的知見を得ることができ、顕著現象の理解が進む。

・開発した局地的突風解析システムを用いた実問題への適用事例の蓄積と重要構造物、中高層建築物などの各種構造物毎の被災予測の高精度化、多様な推定結果に基づく突風防災の弾力化を実現する。

ポスト「京」運用開始5-10年後

・ポスト「京」による「数値天気予報システム」で得られた「長いリードタイムをもった高精度な予報を得るための技術や知見」が、気象庁の予報業務等に活かされる。

・台風発生予測のシステムを用いて得られた「長い予測時間をもった高精度な予報を得るための

技術や知見」が、気象庁の予報業務に活かされる。

・開発した局地的突風解析システムにより予測された風速・風圧に対する構造物の挙動解析と崩壊過程の予測に関する資料の蓄積。得られた成果をフィードバックすることによる気象庁の予報業務が緻密化・高度化される。

（4）「京」でできていること、ポスト「京」でなければできないこと

まず、高解像度モデルと高頻度・高分解能な観測データを用いた実績として、平成 24 年に発生した‘つくば竜巻’の事例を述べる。竜巻は水平スケールの小さい現象であり、それを再現予測するには、高解像度のモデルと高頻度・高分解能な観測データを用いる必要がある。これまでに、アンサンブルメンバーは 30 程度と比較的に少ないが、格子間隔 350m という非常に高解像度なモデルを用い、「同化法を取り入れたアンサンブル予報システム」を使って、気象庁現業のドップラーレーダーの動径風や反射強度等の高頻度・高分解能なデータを同化した実験が行われている。この実験では、高分解能モデルと高頻度高分解能な観測データを用いることにより、現実に近い位置での強い渦の再現に成功している。しかし、竜巻に伴う強い渦の位置の再現に成功した実験は、1 事例でしかない。

つぎに、リードタイムに注目した実績として、平成 24 年の九州北部豪雨の事例を述べる。この実験では、アンサンブルメンバー数を 50、格子間隔を 5 ㎞とし、竜巻と同様に同化法を取り入れたアンサンブル予報システムを使って実験を行った。同化したデータは気象庁の通常の観測データで、ラピッドスキャンデータ等の観測ビッグデータは用いていない。アンサンブル予報システムで得られた初期値の時刻を変えて予報すると、豪雨発生の 12 時間前より後の時刻から予報すると豪雨になることがわかった。つまり、この結果は、12 時前にすでに豪雨の要因が初期値に含まれていること、12 時間というリードタイムが得られる可能性があることを示している。しかし、他の初期時刻や他の事例で常にこのような良好な結果が得られえるかどうかは調べられていない。大気海洋結合モデルを用いた台風の実験では、台風通過後の海面水温の低下が適切に表現され、衰弱期の台風については強度予測が改善した。しかし、台風の急発達や進路予報については課題が残っている。河川流出モデルや浸水予測モデル、土石流予測モデルについては、災害が発生した地域付近を対象にして、高分解能にしたモデルにアンサンブル予報の出力を適用し、より現実に近い浸水域などを得ているが、例えば広い流域の河川を扱う関東地方や全国などの広範囲の予測はできていない。

このように、「京」を用いて有望な結果が示されているが、まだ多くの課題も残されている。また、これらの結果は、アンサンブルメンバー数が少なかったり、観測データもビッグデータでない通常の気象庁の観測データであったり、大気海洋結合モデルもアンサンブルでない 1 つの決定論的な予報でしかない。

このプロジェクトの本格実施フェーズ期間では、多くの事例について、より広い領域の高分解能なモデルを用い、大気海洋結合過程の導入やラピッドスキャンなどの広範囲での高頻度な観測ビッグデータを同化して、リードタイムの長い精度の高い予報や再現を目指す（メソスケール開発）。現在の「京」の性能では、このような負荷の高い実験を多数行うことができないため、いくつかの事例に絞って「気象庁の現業で使用できるような手法に関する知見」の提供を目指すが、ポスト「京」ができると多数事例の実験が初めて可能になり、多くの知見が得られるようになる。高解像度モデルと高頻度・高分解能な観測データを用いた実験（積乱雲スケール開発）については、本格実施フェーズ期間は初期的な実験

による基礎的知見の習得にとどまるが、メソスケール開発と同様に、ポスト「京」ができると多数事例の実験が可能になって多くの知見が得られるようになる。

河川流出モデルや洪水浸水モデル、土石流予測モデルについても、日本全域を最低グリッドと考えている 10m の空間解像度で解析するためには、格子数が数 10 億～数百億になるため、大規模メモリと計算速度が必要であり、河川流出モデルなどで広範囲で予測を行うためには、ポスト「京」が必要である。

気象データマイニングを用いた局地的突風解析システムシステムでめざす解析スケールについて、「京」を使って解析できるレベルは、10数km の領域に数1m の解像度で、突風構造のシミュレーションが可能となる。したがって、中層建物および重要インフラ構造物まわりの乱流場の解析が行われ、それらの被災レベルの判定が可能な情報が得られることになる。一方、ポスト「京」では、10数km の積乱雲を対象としながら、数10cm空間解像度の解析が可能となることから、さらに小規模の一般住宅を対象にした被災レベルの情報提供が可能となる。特に突風などの被害は一般住宅に集中化する傾向があり、極端事象に対する安全性確保に向けて急務の課題が解決されることが期待される。

（５）実施体制

サブ課題の推進体制・役割分担

（２）実施内容で記述したように、数値天気予報の予報精度の向上やより長いリードタイムの獲得のためのキーワードとして、①数値天気予報モデル自体の高度化、②予報値から初期値を作成するデータ同化、③初期値に適切な摂動を加えたアンサンブル予報という 3 つを挙げた。それぞれキーワードでアプローチが異なることから、それぞれに対応して目標 1-3 を決め、効率的に研究を推進する。さらに、「気象データマイニングによる地表近傍での局地現象を推定するシステム（局地的突風解析システムなど）の開発」を目標 4 とした。それぞれの目標の担当者は、その分野での第一人者の研究者となっている（図 A-2)。

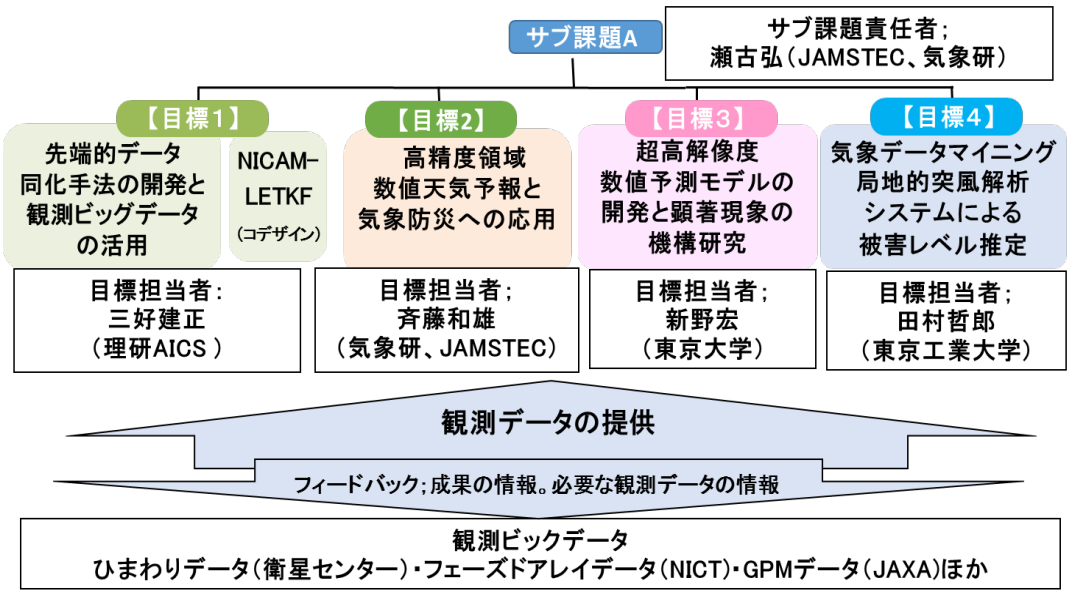


図 A-2.　サブ課題 A の研究体制（計画当初）

本サブ課題の研究成果を共有するために、メーリングリストやホームページを用いると共に、研究連絡会を年に数回以上開く。図 A-3 に示すように目標間で関連しあっている部分が多くあり、目標間を連携すると、目標単独よりも多くの成果が期待できる。そのため、目標間の情報共有のためにサブ課題 A 全体の研究連絡会も行う。

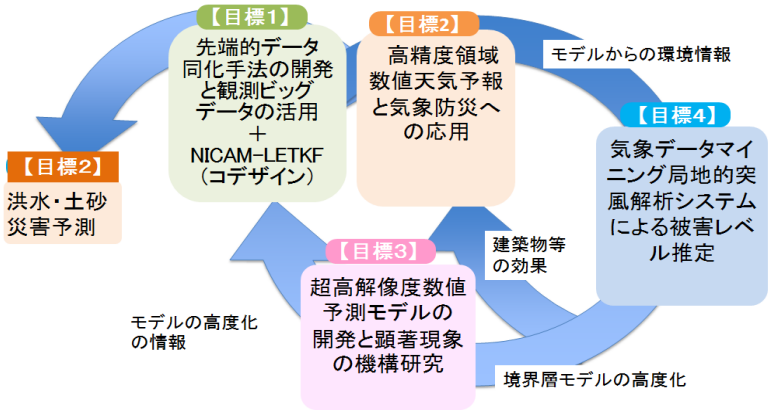


図 A-3.　目標間の関係。目標間を連携すると個々の目標単独よりも多くの成果が期待できる。

本サブ課題の目標毎の目標担当者と参加機関は下記のようになっている。

目標 1　先端的データ同化手法の開発と観測ビッグデータの活用
　理化学研究所計算科学研究センター　三好建正
　理化学研究所計算科学研究センター　気象研究所　京都大学　気象衛星センター
　宇宙航空研究開発機構　情報通信研究機構　海洋研究開発機構

目標 2　高精度領域数値天気予報と気象防災への応用
　東京大学　斉藤和雄
　海洋研究開発機構　気象研究所　京都大学　東北大学　琉球大学　神戸大学

目標 3　超高解像度数値予測モデルの開発と顕著現象の機構研究
　東京大学　新野宏
　海洋研究開発機構　気象研究所　東京大学　京都大学　名古屋大学
　理化学研究所計算科学研究センター

目標 4　気象データマイニング局地的突風解析システムによる被害レベル推定
　東京工業大学　田村哲郎
　東京工業大学　神戸大学　理化学研究所計算科学研究センター　建築研究所
　スーパーコンピューティング技術産業応用協議会

本サブ課題の分担機関と協力機関、それぞれの機関の研究内容を図 A-4 に示す。本サブ課題に参加している機関には、数値天気予報モデルを用いている日本の主な研究機関が加わっており、オールジャパンとして取り組む組織の構成になっている。また、気象庁数値予報課やの気象研究所の担当者もメンバーに入っていて、研究連絡会において、気象庁の現業予報システムの開発の状況や研究計画及び本研究に対す

る要望などの情報・意見交換を行うことにより、本プロジェクトで得られた知見等を気象庁の開発ロードマップに反映させる。

なお、目標 4 においては、産業界との連携を考え、建築業界で構成される建築 CFD コンソーシアムあるいはスーパーコンピューティング技術産業応用協議会などの協力機関との意見交換を随時行い、ここで開発される解析システムが社会インフラおよび人間社会の安全性の確保を実現する現場に対して、十分妥当な情報を過不足なく提供していることを確認するものとする。また、ここでの産業界との連携では、本システムの社会安全性に向けての使用頻度が拡充する際に産業界からの人材要請が強く発生し、ポスドクのプロジェクト後の現実の社会の場での人員計画の創出が実現されることとなる。

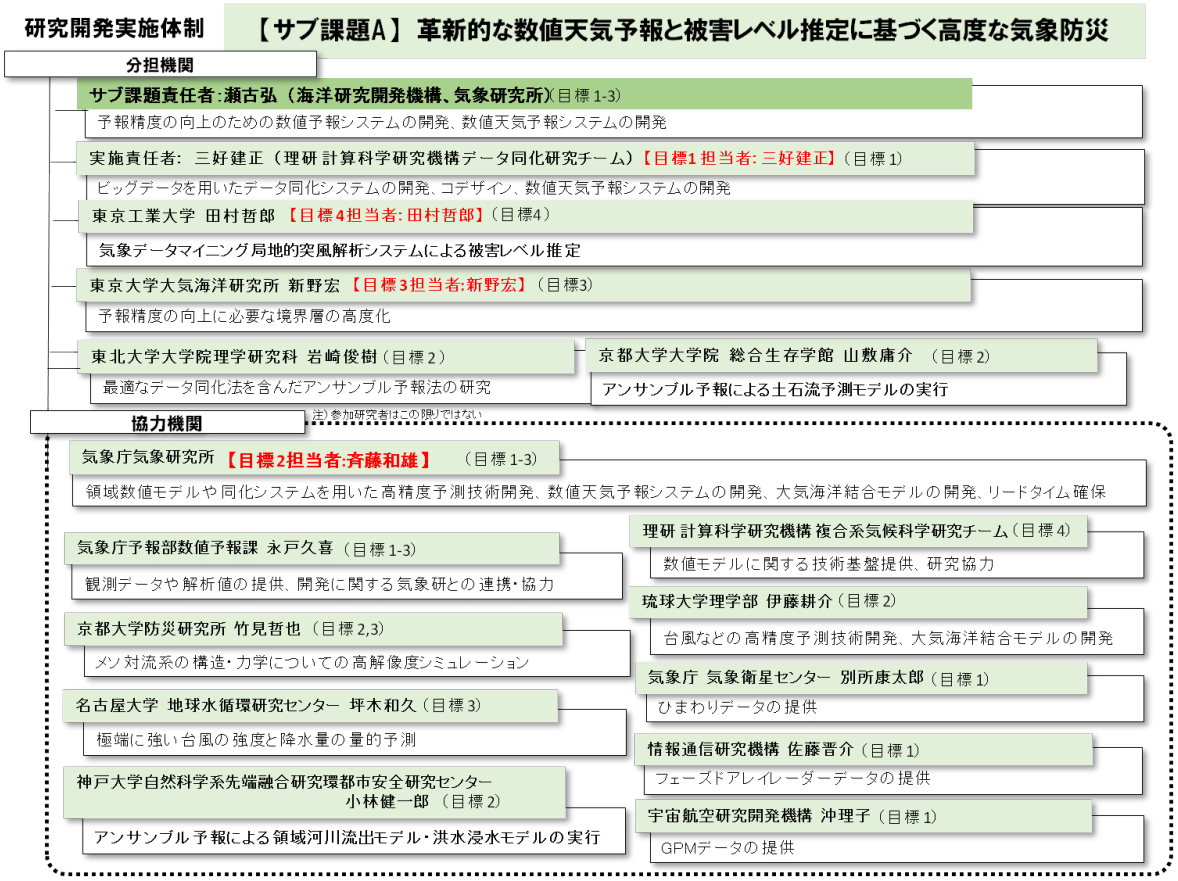


図 A-4.　サブ課題 A の参加機関（計画当初）

高頻度な観測ビッグデータとの連携

次世代衛星ひまわり 8 号では、MTSAT2 号で比べて観測チャネル数や解像度が格段に増強され、また日本付近では最短 2.5 分ごとに放射輝度分布や衛星追跡風が得られる。衛星追跡風の解析アルゴリズムも新しくなり、同じ画像データから得られる水平風データ数も数 10 倍に増加し、鉛直高度の推定精度が向上している。この広範囲に得られる高頻度なデータは、発生から減衰までの時間スケールの短い局地的大雨の予測や、集中豪雨予報のリードタイムを長くするために有効なデータになると期待できる。気象庁気象衛星センターの担当者も本サブ課題の参加者リストに加わっており(図 A-4)、ひまわり観測データの仕様や品質等について随時情報入手を行うことになっている(図 A-5)。

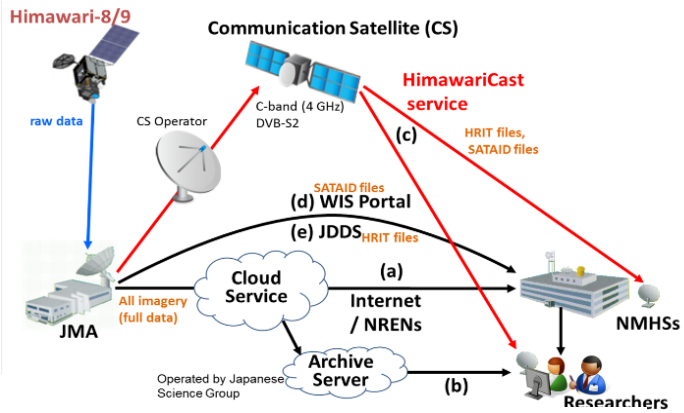


図 A-5.　ひまわりデータの提供法の模式図
（気象庁衛星センター別所課長提供）

情報通信研究機構のフェーズドアレイレーダーは、通常のペンシルビームを用いたレーダーでは 5 分毎に降水量や風の 3 次元分布が得られるのに対し、一度に複数仰角（約 100 仰角）の観測が可能なため、30 秒毎に 3 次元分布が得られる。このような高頻度な観測データを用いると、集中豪雨の引き起こす積乱雲の発達段階に関する情報が得られ、より正確な豪雨の再現や予報につながる（積乱雲の寿命が 30 分程度であり、5 分間で得られるデータは同じ時刻とはみなすことができない)。これまでの気象庁の現業予報では、最も細かい格子間隔でも 2km であったが、本サブ課題の「積乱雲スケール開発」では 100m 以下の格子間隔を想定している。この格子間隔は、集中豪雨や局地的大雨を形成する個々の積乱雲が表現できることから、より現実に近い再現や予報が可能になる。情報通信研究機構の担当者も本サブ課題に参加しており(図 A-4)、随時、データ自身の仕様や品質の情報の入手を行う。

相乗効果が見込まれる他プロジェクトとの連携

・CREST「ビッグデータ同化」の技術革新の創出によるゲリラ豪雨予測の実証（理化学研究所計算科学研究センター、気象研究所、気象衛星センター、情報通信研究機構、大阪大学）
・JAXA PMM RA（理化学研究所計算科学研究センター、宇宙航空研究開発機構、東京大学、メリーランド大学）
・防災科研　集中豪雨などについて、研究成果の発表会に防災科学技術研究所の研究者を招待するなどして、情報交換を図りたい。
・ポスト「京」の他の課題　「革新的クリーンエネルギーシステムの実用化」で太陽光発電・風力発電に関する開発があれば、日射量や水平風の予測値や確率情報の提供などで、連携が可能。今後、情報を取集する予定。

課題内での参画企業の役割について

・本事業内ですること

本サブ課題では、建築業界で構成される建築 CFD コンソーシアムあるいはスーパーコンピューティ

ング技術産業応用協議会等が参加している。本サブ課題では、人間の生活空間にもたらされる極端気象での突発的かつ局所的な事象の時空間微細構造等の情報が提供される局地的突風解析システムを開発する。都市・建築での極端気象に対する安全性に対する責務は、公的機関だけではなく、民間企業も担っており、社会での具体的な対象物である建築物、重要構造物、社会インフラなどに対し、本サブ課題で得られた情報を適切に活用し、十分な安全対策が講じられなければならない。建築 CFD コンソーシアムあるいはスーパーコンピューティング技術産業応用協議会等の協力機関は、目標 4 の参加者と頻繁に意見交換を行って、上記の局地的突風解析システムによる情報を現場に適合するよう取りまとめ、居住の場としての人間生活空間および社会インフラなどを対象に、人間の生活・活動で安全性・機能性の担保を実現する。例えば、建築物あるいは構造物について、病院、避難所など用途に応じた重要性・機能性に配慮し、それらが必要とする構造強度の吟味が行われるし、また、運輸・交通などの航空機・鉄道へのインパクトについて想定範囲を決定することが行われる。その上で、協力機関は、現場に対して、本サブ課題との連携で、極端気象による被害の実態とその要因について、お互いの情報の開示さらにはフィードバックから、社会へ提供すべき企業の生産物の安全性・機能性について十分妥当であることを確認する役割を担う。

・全体像について

本サブ課題 4 の参加者と建築業界で構成される建築 CFD コンソーシアムあるいはスーパーコンピューティング技術産業応用協議会等の連携により、より正確に極端気象の被害レベルを推定することができる。さらに、人間の居住空間としての建築物および生活・電力・交通などの社会活動の基盤となる重要構造物に関し、近傍の顕著事象下での正確な挙動の追跡、あるいは社会インフラの機能維持における具体的な方策の提示により、より弾力性をもった防災・減災機能を持った社会の構築につながる。なお、本プロジェクトの成果は今後の社会への展開が 10 年以上継続するものと推定される。その結果、連携する産業界では、本システムの社会安全性に向けての使用頻度が拡充する際に産業界からの人材要請が強く発生することが期待され、プロジェクト後の現実の社会の場で高度の専門性を有する研究者・技術者の雇用の創出が実現されることとなる。

２－２．サブ課題Ｂ．シームレス気象・気候変動予測

（1）目的・意義

サブ課題 B では、数週間から年スケール程度の気象・気候変動現象を時間スケールによらずにシームレスに予測する数値シミュレーションのシステムを開発し、それによる気象・気候予測可能性の調査を行う。数値天気予報では 1 週間先までの気象予測が行われているが、それより先の予測には熱帯気象予測の高度化や大気海洋結合系の効果等が必要であり、従来は別々なモデルによる予測研究が行われてきた。しかし、これらの時間スケールの気象・気候現象はシームレスに繋がっており分けることができない。サブ課題Ｂでは、ポスト「京」に適切な高解像度な大気・海洋モデルの検討を行うとともに、全球非静力学モデル・高解像度海洋モデル・大気海洋結合モデルを統合した、数週間から季節・年スケールの大気・海洋現象の予測可能性の調査研究を行う。さらに数 10 年スケールの予測可能性への技術開発の検討も視野におく。人工衛星の大規模データを活用化したモデルの検証、初期値の改良を試みるとともに、日本近海の海況の予測可能性を検討する。

週を超える台風予測はまだ研究途上であり、台風の発生・経路・強度等の予測可能性が示されれば社会的意義が高い。また、近年の温暖化傾向の停滞（ハイエイタス）とそれの終焉により、全球規模の気候レジームの変化が予測されており、それに伴う日本近海の海況の変化や極端現象・台風の性質について大きな社会的関心を集めている。これらの研究により、防災・沿岸海況に関わる様々な社会・経済的問題の解決に貢献する。

（2）実施内容

数週間～季節・年スケール程度の全球高解像度計算と、領域を絞ったさらに高解像度の計算を組み合わせ、全球から地域スケールにわたる高精度でシームレスな気象・気候変動予測の検討を行う。さらに数 10 年スケールの予測可能性への技術開発の検討も視野におく。日本全域の沿岸を詳細にシミュレートする海況予測モデルを構築し、海洋モニタリングシステムと同時に運用するための海況予測システムをデザインする。ポスト「京」に適切な高解像度な大気・海洋モデルの検討を行う。

<u>各分担機関・協力機関の役割</u>

東京大学大気海洋研究所では、高解像度大気海洋結合モデルシミュレーションの調査を実施する。領域を絞ったより高解像度の大気海洋シミュレーションモデル、外洋（太平洋全域）から日本沿岸の小規模な湾までをシームレスに表現する海洋モデルを開発する。人工衛星データを活用したモデルの検証、初期値の改良について検討する。

海洋研究開発機構では、数週間～年スケール程度の全球非静力学モデル NICAM によるアンサンブルシミュレーションの検討、予備計算の実施・解析、特に台風等の極端現象の性質に関する予測研究を行う。

世界の気象予報の現業機関には、週から季節スケールの台風予測の発表に向けて開発を進めている機関がある。しかし、台風の発生をモジュレートする「季節内振動」の予測は、現業機関の数値モデルではまだ不十分であり、解像度や積雲対流の改善が必要である。本プロジェクトで解像度を高めた全球非静力学モデルにより、週から季節スケールの台風の予測性能が向上することが期待され、将来の現業モデルの改善の候補として、本プロジェクトの成果が期待される。シームレスなモデル開発により、週か

ら季節スケール気象・気候予測の改善を通じて、年スケール以上の近未来の予測精度の信頼性向上も期待できる。

ポスト「京」に適切な高解像度の大気・海洋モデルに関して、現業機関において水平解像度 10km 以下の全球非静力学モデルの現業への利用が検討されている。本プロジェクトによる全球非静力学モデルによるシームレスな気象・気候予測研究による計算性能・科学性能の改善および成果の結果は、今後の現業システムの設計の重要な情報となる。

サブ課題 B の高解像度大気大循環モデル研究で主に利用する観測ビッグデータは、高解像度の全球観測データである人工衛星データである。全球非静力学モデル NICAM の検証・改善のための利用、および初期値データの改善のための同化手法の開発に関してはサブ課題 A、C と連携をとって進める。本プロジェクトの中では、リアルタイムな予測実験を主眼とはしていないが、現業化するためのデータフローを念頭においた開発が必要である。将来の現業化のために、JAXA/EORC との十分な連携を進め、支障なくデータ提供が可能なシステムの構築を計ること自体を本課題での研究目標とする。

日本近海海況予測研究で利用を想定している海洋短波レーダー・人工衛星搭載新型海面高度計はともに、従来にない時空間解像度で海面流速・海面高度データを提供する。ただし、海洋短波レーダー網の展開は進行中の段階であり、海面高度計については人工衛星打ち上げ時期が未定であるため、本研究の期間ではそれらデータの実利用の具体的な検討までには到達できない。本研究で言う設計とは、まずは既に設置されているいくつかの海洋短波レーダーに対するデータ同化手法開発と予測実証実験を行い、その手法を用いて様々な場所に海洋短波レーダーを仮想的に設置した場合の実験を実施して予測精度向上を調べた上で、海洋短波レーダーの効率的な配置方法等を提言することを指す。海面高度計データについては今後公表される仕様に基づいて基礎的なデータ同化システム開発・実証実験を行う。

（3）目標・期待される成果

目標

①2 週間後から月スケールを対象とした極端現象・台風の確率予測。②季節～年スケール程度を対象とした極端現象・台風の確率予測。③実運用可能な日本沿岸海況予測システムの開発。

「京」を用いた全球非静力学モデル NICAM による 14km 以下のメッシュの計算により、①北半球冬季の季節内振動（マッデンジュリアン振動）の１ヶ月程度の予測可能性、②北半球夏季の季節内振動の変動とそれに伴う台風発生の 2 週間程度の予測可能性、③気候および擾乱の再現性の向上、④台風の構造、統計的性質の向上が示された。全球非静力学モデルを用いたこれらの予測・気候変動研究はいずれも世界最先端の結果であり、国際的な一流ジャーナルに掲載されており、国際学会での招待講演を実施している。本重点課題でこれらの成果を発展させることによって、世界をリードする研究を創出するとともに社会への実利用化を図る。すなわち、2 週間後から数ヶ月・年スケールの季節内変動および極端現象・台風の予測をアンサンブル計算により実施し、確率予測を実施する。また、気候変動に伴う日本近海の海況変化を予測するために、実運用可能な日本沿岸海況予測システムを開発する。これらの結果を、気象庁等の現業機関と情報共有し、延長予報・季節予報およびシームレス予報の改善に資する。

全球非静力学モデルは雲物理スキームによって雲を現実的に再現する数値モデルであり、この利点を活かすことで、観測ビッグデータである人工衛星データを有効利用した数値モデルの比較・検証・改良が

進めることが可能であり、この分野でも世界最先端の研究を創出している。観測ビッグデータによってより検証を進めた数値モデルによって、予測精度の向上を図ることを目標とする。

アウトプット成果（本格実施フェーズ終了時）：①2 週間後から数ヶ月・年スケール程度を対象とした極端現象・台風の確率予測。②水平約 500m 格子日本沿岸モデルに基づく海況予測モデル。③ポスト「京」に効率的な高解像度大気・海洋モデルの開発。

アウトプット成果（ポスト「京」運用開始 5 年後）：①準リアルタイムな２週間後から数ヶ月以上を対象とした極端現象・台風の確率予測。②水平約 100m 格子日本沿岸モデルに基づく海況予測モデル。

アウトカム成果（ポスト「京」運用開始 5 年後、10 年後）：①数値天気予報への水平 10km 以下格子での全球非静力学モデルの導入（5 年後）、水平約 5km 格子への高度化（10 年後）。海洋モデルと結合した全球非静力学モデルによる延長予報・季節予報（10 年後）。②水平約 500m 格子（5 年後）、100m 格子（10 年後）日本沿岸モデルに基づく海況予測モデルの実用化、およびその社会・経済的応用

年間目標

2015 年：シームレス気象・気候予測に向けた課題の抽出・アプローチの検討

- NICAM：14km メッシュ１ヶ月～季節予測アンサンブル実験の設定検討。
- 海洋：水平 500m 格子日本沿岸モデルの構築、計算性能測定とチューニング。

2016 年：基礎的な数値実験を通じた、シームレス気象・気候予測に向けた課題の抽出・検討

- NICAM：14km メッシュ 1 ヶ月予測アンサンブル実験、効率的に計算可能な高解像度大気・海洋モデルの検討。
- 海洋：水平約 500m 格子日本沿岸モデルによる基礎実験。

2017 年: より実証的な数値実験を通じた、シームレス気象・気候予測に向けた課題の抽出・検討

- NICAM：7km 以下メッシュ 1 ヶ月予測アンサンブル実験、季節～年予測アンサンブルテスト実験。
- 海洋：水平約 500m 格子日本沿岸モデルによる海況予測実証実験。

2018 年：ポスト「京」実機を念頭においたシームレス気象・気候予測の準備

- NICAM：14km メッシュ季節～年予測アンサンブル実験。
- 海洋：水平約 500m 格子日本沿岸モデルに基づく海況予測システムの設計。

2019 年：ポスト「京」実機を念頭においたシームレス気象・気候予測の準備完了

- NICAM：7km 以下メッシュ季節～年予測アンサンブル実験。
- 海洋：ポスト「京」で水平約 100m 格子に発展させるための各種パイロットスタディ。

（4）「京」でできていること、ポスト「京」でなければできないこと

「京」でできていること：①14km メッシュ NICAM によるケースアンサンブル実験による、マッデンジュリアン振動の予測スキルの約 4 週間への延長。1 週間を超える延長予報のスキルの向上。②NICAM によるサブｋｍメッシュシミュレーションにより、対流雲の上昇流コアが解像されることを見出した。台風の多重眼を全球モデルで初めて再現。③全球海洋シミュレーションの実績に鑑みると、水平約 500m 格子の日

本沿岸全域モデルによる研究・開発は可能。④3.5～14km メッシュ NICAM により、地球温暖化に伴う台風の構造変化を明らかにした。

ポスト「京」でなければできないこと：①全球非静力学モデルによるアンサンブル予測シミュレーション。メンバー数 100 による数週間～数ヶ月・年スケール程度の予測計算により、台風の発生・強度・経路の確率的な頻度予測等を行う。②衛星データ同化による全球非静力学シミュレーション。全球的なメソ対流の予測計算。③防災・水産業・海運等の実利用に必要な水平約 100m の日本沿岸全域モデルが開発可能。

（５）実施体制

学際的な分野の連携・協調した開発体制の構築

サブ課題Ｂは図 B-1、B-2 のような体制で開始する。それぞれの機関・研究者の強みを集結した、最大限の成果を見込める体制である。衛星ビッグデータを最大限に活用するため、衛星観測・データ提供を行っている JAXA からの強力な支援を受けるとともに、理化学研究所計算科学研究センターの気象科学者、計算科学者、計算機科学者等との協調関係を築いていく。気象庁との密接な連携をはかることで、現業でのノウハウの提供を受けるとともに、本サブ課題の季節・年スケール予測の成果を現業へ反映させる。ポスト「京」で効率的に実行可能な高解像度大気・海洋モデルの開発のため、多くの研究機関からの協力を受ける。研究の進展に応じて以上の体制を柔軟に見直すことで、最大限の成果が得られるように努める。例えば台風発生の季節予測や沿岸海況予測システムなどの研究の進展に応じて、行政・自治体等の実務者との連携も考慮する。

分担機関である東京大学大気海洋研究所と海洋研究開発機構、および協力機関である理化学研究所の間では、定例で月 1、2 回程度の研究ミーティングを実施する。また、年 1、2 回程度の研究集会を開催することで、協力機関との定期的な連携の場を設ける。このような定期的な連携はこれまでの戦略プログラムにおいても行ってきている。また、衛星観測ビッグデータの鍵を握る JAXA とは他の様々な大型プロジェクトで協力関係にある（後述）。以上より、研究を遂行するにあたって、分担・協力機関との相互の連携には自信を持っている。

各機関の役割の明確化

図 B-1、B-2 に記載したように、各分担機関・協力機関の役割は明確である。

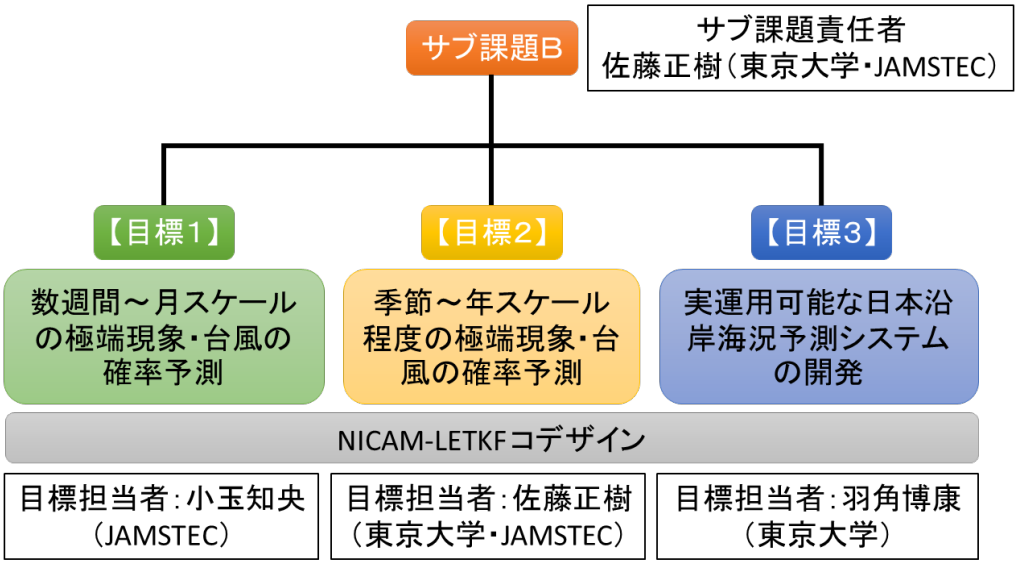


図 B-1.　サブ課題 B の研究体制

図 B-2.　サブ課題 B の各分担機関・協力機関の役割

業務管理を適切に行える体制

本サブ課題の分担機関である東京大学大気海洋研究所および海洋研究開発機構は、戦略プログラムをはじめこれまで多くの大型研究プロジェクトを共同で実施してきた。これらを推進してきた人員・組織体制を本サブ課題でも活用することで、業務を円滑に推進することができる。

相乗効果が見込まれる他プロジェクトとの連携

- 気候変動リスク情報創生プログラム（JAXA、国立環境研究所、気象研究所）

- MIROC による近未来予測の結果を利用、開発した同化技術を導入。
- 創生プログラムで改良した NICAM を利用。

- CREST 「ポストペタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出」
  - 開発した NICAM＋COCO カプラーを利用。
- JAXA Earth CARE RA（JAXA）
  - 開発した衛星シミュレータを利用。
  - 2018 年打ち上げ予定の人工衛星 EarthCARE のデータを利用。
- JAXA PMM RA（JAXA）
  - 人工衛星 GPM のデータを用いた降水データ同化において開発した技術を利用。

２－３．サブ課題Ｃ．総合的な地球環境の監視と予測

（1）目的・意義

人間活動に起因するエネルギー消費と環境改変によって引き起こされる気候変動や大気環境悪化の影響を、次世代の人工衛星を含む多種観測網により得られる地球環境に関する「ビッグデータ」や詳細なプロセスを考慮した化学輸送モデルによるシミュレーション結果を利活用することにより予測し、短期的な環境変動及びその社会的影響を早期検出するためのシステムの土台を構築する。これらにより、今後の防災及び健康対策に関する政策立案に資する科学的知見を提供するとともに、エアロゾルなどにより引き起こされる、気候変動と地球環境変動の相互作用に関する理解を深め、数値予報の精度向上などにも適切にフィードバックすることを目的とする。

（2）実施内容

化学輸送モデルの高度化や地球環境ビッグデータの高度利用、および環境変動予測情報に関する情報発信について効率よく研究を実施していくため、サブ課題 A および B と密接に連携しつつ、以下のような構成のもと実施していくことを検討している。

①目標１　精緻なエアロゾルモデルによる大気中動態解析と気候影響評価

エアロゾルは直接的に太陽光の散乱・吸収に関与するだけではなく、雲凝結核として作用することで雲微物理や降水過程にも大きな影響を与えており、これらを通して放射収支や気候変動に重要な役割を果たしている。しかしながら IPCC 第 5 次報告書でも指摘されているように、エアロゾルの気候影響についてはまだ未解明な点が多く、気候変動予測における最大の不確定性の要因となっている。またエアロゾルの物性や種別によって大気中での振る舞いや気候影響が大きく異なることから、種別や大気中における質量濃度だけではなく、数密度や粒径、被覆状態などさまざまな尺度からエアロゾルを評価することが必要であるが、現在の全球気候モデルや化学輸送モデルにおいては取り扱いが不十分な点がまだ多く、これが数値モデルによる気候変動予測の不確かさの一因となっている可能性がある。このため、本研究においてはより精緻なエアロゾルモデルを用い、ポスト「京」の計算機資源を適切に利用して全球規模でのエアロゾル–気候影響相互作用の理解を進めることを目的とする。

全球非静力モデル NICAM については全球規模の気象現象を微細構造も含め適切に再現することが可能であることがこれまでの研究から明らかとなっているだけでなく、ポスト「京」のターゲットアプリにも選ばれポスト「京」上での効率的な計算が見込まれることから、サブ課題 A および B 同様、本サブ課題においても積極的に利用していく予定である。現在、NICAM に大気中における光化学反応を組み込んだ NICAM-chem の開発・検証が進められており、本モデルにおけるエアロゾル過程について、エアロゾルの数密度や被覆状態などを適切に考慮できるよう、さらなる精緻化を進めることにより、エアロゾルの大気中動態を適切に把握すること、およびより精緻な気候影響評価を行うことを目標とする。またその際には予報変数の数が既存モデルよりも 10 倍以上増え、高解像度化の障害となる可能性があるため、被覆状態などの大気中での遷移過程を適切に表現できるようキープロセスの再現性を維持したまま簡略化・高速化したプロセスベースのエアロゾルモデルを構築する。

②目標２　高度なデータ同化手法などによる環境ビッグデータの高度利用

ポスト「京」におけるターゲットアプリの一つである LETKF に代表されるデータ同化技術については近年システムそのものの高度化が進められているが、それに加えて大気環境への応用など、その適用範囲についても急速に広がりつつある。国内においても気象庁・気象研究所や海洋研究開発機構、国立環境研究所、九州大学など多くの機関において大気環境に関するデータ同化技術を用いた研究開発が積極的に進められている。このような国内外の大気環境に関するデータ同化を用いた研究の進展に加え、既存の衛星観測、地表観測、航空機観測等の多様な観測網による観測データを適切に利用するだけでなく、ひまわり 8 号や uvSCOPE、GOSAT-2 に代表される次世代衛星測器による観測データについても高度に統合した、大気環境「ビッグデータ」を適切に利用することにより、地表からの放出量推定および大気中での変性や輸送プロセス等をより適切に把握することを目標とする。

今後さらに高空間分解能かつ高頻度となってゆくと想定される次世代衛星測器による観測データを適切に利用するためには、高解像度な化学輸送モデルおよびデータ同化システムが必須である。このため全球および領域化学輸送モデルを高解像度化し、統合的なデータ同化システムを構築することが必要となる。また数値予報や大気環境の予測に反映させるためにも、気象庁および気象研究所とも密に連携しつつ高分解能同化システムの開発、およびそれらを用いた輸送過程の微細構造の解析などを行う。また大気中の化学種、とくに光化学オキシダントに代表される短寿命成分については、地表から放出された窒素化合物や炭化水素などの前駆物質が大気中で光化学反応を引き起こすことにより生成されるものなどもあるため、大気中での各種化学種の相関の強さなどを適切に考慮したうえで、多種観測網を組み合わせ、包括的な大気環境データ同化手法を確立する。さらに、二酸化炭素に代表される長寿命温室効果気体についても大気中動態および地表からの放出量分布推定について現在よりもより精緻な推定手法の確立を目指す。

（3）目標・期待される成果

（アウトプット成果）

平成 29 年度終了時

・「京」上で動作可能な、とくにエアロゾルの大気中動態の再現性を既存モデルよりも精緻に評価しうる化学輸送モデルを構築する。またこれを用いた全球計算について一ヶ月程度実施し、地上観測、航空機観測、人工衛星等による各種観測データを用いて予測精度を検証する（目標 1)。

・既存の人工衛星など各種観測網による大気環境のビッグデータの適切な利活用が可能な同化システムを構築し、2-3 年程度の同化データセットを作成する。また次世代衛星を用いた大気環境同化システムに関する検討を進め、想定される観測精度、観測頻度、空間分布等を仮定した仮想実験による評価を行う。

本格実施フェーズ終了時:

・　「京」およびポスト「京」上で動作可能な、エアロゾルの大気中動態などを適切に考慮した化学輸送モデルを構築し、ポスト「京」において高解像度実験を行うための各種パイロットスタディを実施する。また本モデルを用い、27 km 以下の空間解像度の全球スケールでの大気環境動態に関する初期的解析を実施する(目標 1)。

・ 次世代人工衛星を含む大気環境のビッグデータの適切な利活用が可能な同化システムを構築する。またそれを用いた 10 年以上の期間の同化データセットを作成し、公開に向けデータセットの整備を進める（目標 2)。

運用開始 5 年後:
・ 精緻な大気中動態を表現可能な化学輸送モデルを用いた高解像度シミュレーションによる、成層圏-対流圏物質交換など、より広域的・長期的な気候変動と大気環境変動との相関に関する解析（目標 1)。
・ 次世代人工衛星を利用した長期データセットの構築および国内外の研究者に向けた一般公開 （目標 2)。

運用開始 10 年後:
・ 地球規模環境変動に関連する大気微量成分の排出量・輸送プロセス・変性過程などの理解（目標 1+2)。

(アウトカム成果)
運用開始 5 年後：
・ 大気汚染物質や温室効果気体の輸送過程や大気中での変性などについて得られた科学的知見を通した省庁、自治体の策定する地球温暖化や大気質管理などの環境政策への貢献。
・ エアロゾル-雲相互作用などに関する知見を通した、数値予報等の精度向上。
・ 大気環境に関する同化手法に関連する技術要素、およびそれを用いて得られた科学的知見による、気象庁長期再解析データの品質向上。

運用開始 10 年後:
・ 東アジア域における大気質改善への貢献など、発展途上国も含めた持続可能な国際社会構築への寄与。

（4）「京」でできていること、ポスト「京」でなければできないこと

統合モデル MIROC 及び全球化学輸送モデル NICAM-CHEM を用いたシミュレーションはすでに「京」を用いて行っており、「京」においても全球 14km 格子、もしくはアジア周辺を 10km 格子とするストレッチ格子での運用実績がある。しかしながらエアロゾル数濃度などを新たに考慮する場合、海洋研究開発機構および東京大学が開発したプロセスベースエアロゾルモデルについて、おもに海洋研究開発機構の所有するスカラ型計算機を用いて開発を行ったが、領域モデルを用いた検証実験においても、取り扱うトレーサ数を数 10 倍から数 100 倍に増加する必要がある。このため、詳細なエアロゾルプロセスを全球で取り扱うにはポスト「京」のような更なる計算機資源が必要である。また同様に大気微量成分のデータ同化においても次世代衛星測器による高分解能データをじゅうぶん活用するためには既存の化学輸送モデルを全球 20km 程度にまで高解像度化するとともにデータ同化システムの計算効率の向上などが必要であり、これらについても現在気象研究所が所有する FX100 や東京大学および九州大学の FX10 などを用いて試行しているが、さらなる高精度化のためにはポスト「京」のような計算機資源が必要である。

（５）実施体制

サブ課題の研究推進体制・役割分担

化学輸送モデルの高度化や地球環境ビッグデータの高度利用、および環境変動予測情報に関する情報発信について効率よく研究を実施していくため、サブ課題 A および B と密接に連携しつつ、以下のような構成のもと実施していくことを検討している。またサブ課題全体で情報および検討課題、研究成果を共有するための情報およびデータの共有が適切に行えるよう体制を構築する。情報共有のため、セキュアなデータ共有サーバーおよびメーリングリスト等を整備するとともに、各目標毎の個別の会合とサブ課題全体の会合を適宜開催する。

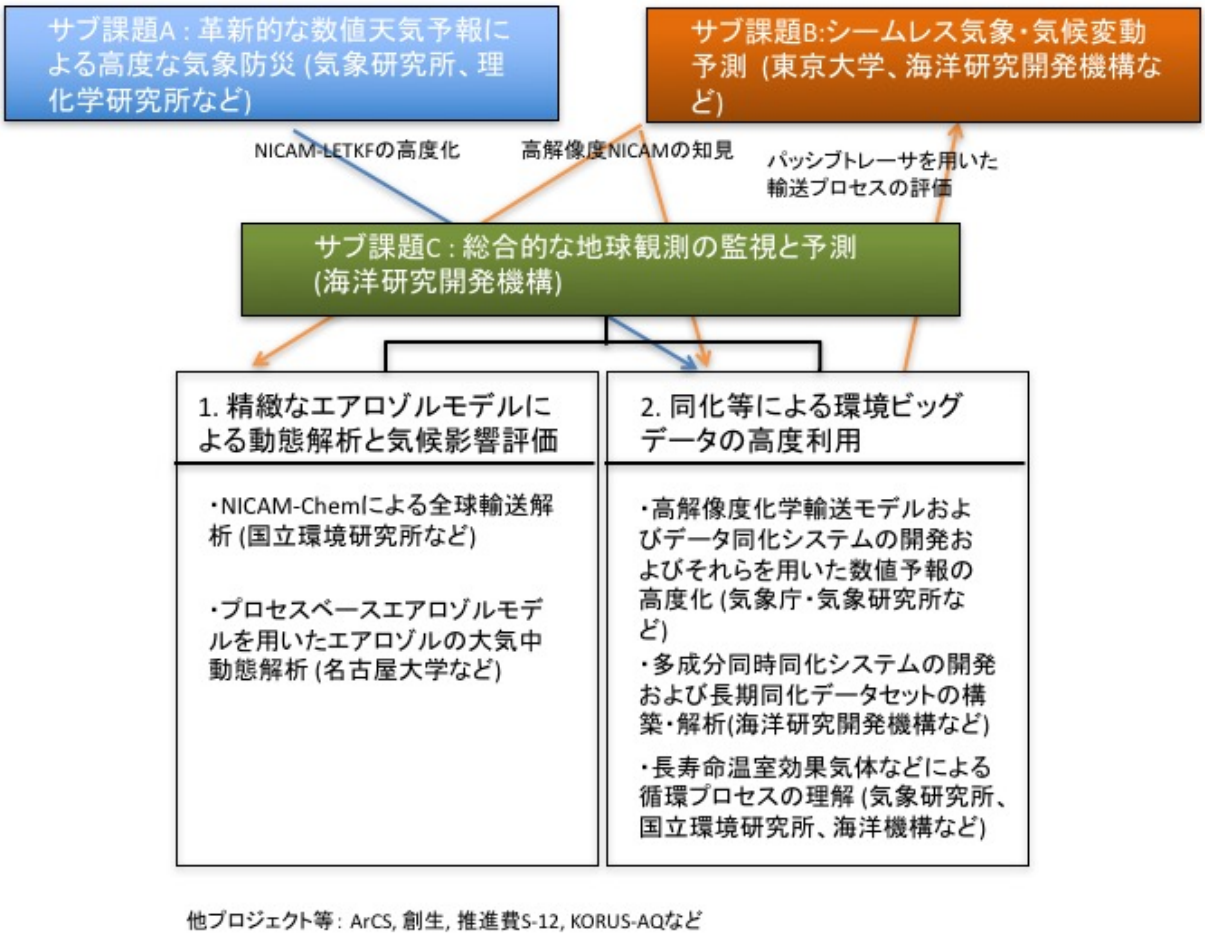


図 C-1.　サブ課題 C の研究体制

他のサブ課題との連携

ポスト「京」のターゲットアプリでもある NICAM および LETKF を本サブ課題においても積極的に利用し、課題全体として統合的かつ効率的なモデル開発体制を構築する。また長寿命温室効果気体やラドン 222 のような自然起源放射性物質のような、大気中での化学反応の影響を受けづらくかつ高精度観測が可能な化学種を用いて対流圏および成層圏における物質輸送の検証などを行い、NICAM 本体の開発や微細な輸送過程の解析などにもフィードバックすることを検討している。

相乗効果が見込まれる他のプロジェクトとの連携

- 環境研究総合推進費 S-12“SLCP の環境影響評価と削減パスの探索による気候変動対策の推進”および気候変動適応研究推進プログラム(RECCA) “大気環境物質の為のシームレス同化システムの構築とその応用(SALSA)” (東京大学): NICAM-chem 開発および東アジアおよび全球域におけるエアロゾル濃度等の観測値による検証、輸送過程解析。
- GRENE 北極気候変動研究事業および北極域研究推進プロジェクト(ArCS) (極地研、海洋研究開発機構、北海道大学): 北極域などリモートな地域におけるエアロゾル粒子の精緻観測データを用いた NICAM-chem 検証。
- KORUS-AQ (NASA-JPL): 2017 年に計画されている大韓民国における航空機観測キャンペーンを通じての大気環境予測システムの検証および輸送過程解析。

３．採択時の留意事項への対応状況

（１）課題全体として達成すべき成果を明確にするとともに、その成果実現に向けた定量的・定性的な目標（年間目標及び最終目標）を明確にすること。

サブ課題Ａ： 2-1.(3)に記述済み。年間目標については 1.(5)に記載済み。
目標の数字の具体的な意味については、2-1.(2)にも記載（数値天気予報モデルの格子数やメンバー数、予測目標の意味）に記載。

サブ課題Ｂ： 2-2.(3)に記載済み。

サブ課題Ｃ： 最終目標については指摘に基づき定量的・定性的な記述になるよう見直した上で 2-3.(3)、年間目標については 1.(5)に記載。

（２）実用化においては、気象庁との連携が重要であり、気象庁での予報につなげるためのロードマップをハードルも含めて明確にすること。

サブ課題Ａ

サブ課題 A では、気象庁での現業予報にかかわりの深い顕著現象の予測精度の向上に向けた開発や長いリードタイムを得るための手法の研究・開発に取り組んでいる。気象庁における研究開発部門であり、これらの研究に取り組んでいる気象研究所が主要な参加機関の一つとなっているほか、現業数値予報化予報システムの技術開発を担当する予報部数値予報課の担当者もメンバーに入っている。気象研究所と気象庁予報部は、庁内の技術開発推進に関わる様々な会合を行い、密接な連携が図られている。

現在、気象庁のスパコンは、性能が 847Ｔflops であり、これまで 5-6 年ごとに、約 10 倍の性能の計算機が導入されている。現在の気象庁のスパコンの性能は、「京」の約 10 の 1 であり、5 年、もしくは 10 年後の更新で「京」に近いものが導入されると期待できる。そのため、このプロジェクトで得られた知見も、気象庁の現業予報にも有効に生かされると期待できる。

本研究では、年に数度開催する研究連絡会において、気象庁の数値予報システムの開発の状況研究及び本研究に対する要望などについて、サブ課題内での情報共有を図る。研究成果の気象庁の現業数値予報システムへの反映については、研究によって得られた知見の提供を通じて、気象庁の開発への反映を目指すとともに、具体的な開発成果についても随時提供を行う。より強力に情報共有を進めるために、気象庁主催の数値モデル研究会において成果発表するなど、気象庁と緊密な関係を構築していく。

(2-1.(2)にも記載（得られる成果を気象庁現業予報に活かす))。

サブ課題Ｂ

2-2.(2)に記載済み（気象庁との連携)。

サブ課題Ｃ

サブ課題 C においては予報精度向上に関連する事項として、とくに成層圏に着目して、より正確

なオゾン分布を与えることによる紫外線予測、長期再解析、現業天気予報の精度向上等に関する検討を進めることを計画している。また黄砂に代表されるエアロゾルモデルや領域化学輸送モデルを用いた開発・解析について、気象庁気象研究所の当該部署からもメンバーに参画している。彼らが開発されたモデルを用い、ポスト「京」において現業モデルよりも高い計算機能力を用いて評価した成果などについては気象庁内における情報共有がなされる予定である。

（3）各サブ課題の成果を、プロジェクト全体としてどのように取りまとめていくのかについて明確にすること。また、アウトカムとして、本事業で確立された技術が、途上国等の他の地域に伝播し貢献する道筋を示すこと。

サブ課題 A

効率よく研究を推進するために、サブ課題毎に目標達成に向けて研究を進める。その一方で、サブ課題 A で行われるコデザインの LETKF の開発は、サブ課題 B で取り組まれる NICAM-LETKF で利用され、またサブ課題 C でも物質を輸送する場の推定にも用いられる。このように、サブ課題 A-C の研究課題の取り組む手法などにおいて協力し合う部分がある。サブ課題 A～C 全体の研究連絡会等を開くなどして、情報交換の場を多く持ち、サブ課題間で連携しながら進めていく。

サブ課題 B

全球非静力学モデル NICAM は各サブ課題 A,B,C に共通の技術基盤であり、観測ビッグデータの利用によるモデルの改善・初期値データの改善は、各課題に利用されるものである。サブ課題 A の短期予測、サブ課題 B の週から近未来予測、サブ課題 C の化学予測を統合することで初めてシームレスな予測システムが構築できる。

週を超える台風予測技術が確立すれば、熱帯域の発展途上国への重要な予測情報となり、台風による激甚災害の予防対策の立案に役立つことができる。道筋としては、本課題による技術基盤の確率、気象庁等による現業利用と熱帯域の台風予測情報の提供、途上国での予測情報の活用化といった取り組みが必要になる。また、全球非静力学モデル NICAM のモデルは、オープンソースであり、東アジア、東南アジアの諸外国の研究者に利用可能であり、途上国の研究者の技術レベルの向上に資することができる。

サブ課題 C

サブ課題内で 2 ないし 3 の小目標ごとに課題を明確化し、効率良く研究を推進する体制を整えるとともに、サブ課題 A および B とは全球非静力学モデル NICAM およびデータ同化手法 LETKF とを共通の技術基盤として整備する。NICAM および LETKF は理化学研究所とのソフトウェアおよびハードウェアコデザインの下、ポスト「京」に向けた効率化が進められるが、大気環境問題における「考慮すべきトレーサの数が多い」「大都市と海上とで汚染気塊の濃度バランスが異なり、平衡状態に達するまでの反復計算回数が異なる可能性がある」などの特殊条件下での高度利用について適切に連携が取れるよう、適宜情報交換等を行っていく。また大気環境問題は日本のみならず広域的な問題であり、中国などの大都市域、南アジア域および北方域森林帯などにおける森林火災、およびそれらに伴

う人体および環境への影響など、本課題において作成される予定の環境データセットについて、国内外の研究者が利用可能となるようデータベースの整備を行う。

（４）社会的要求を考慮した予測精度とリードタイムに関する目標値を明確にするとともに、予報の三要素（強さ、場所、時刻）の目標値を具体的に設定すること。

サブ課題 A

社会的要求を考慮した予測精度とリードタイム、予報の三要素（強さ、場所、時刻）に関する目標値ついては、2-1.(2)（数値天気予報モデルの格子数やメンバー数、予測目標の意味）に記載。

サブ課題 B

週から季節スケールの台風発生予測に対しては、初期値に対して計算時間 1 日程度あれば、リードタイム 5 日以上がとれるため、十分有用な予測情報が提供できる。台風発生、経路、強度については確率的な予測情報を提供することになるが、これらの情報の提供は初めてであるため、ユーザー側との今後の議論によって目標値を設定したい。5 年から数 10 年の近未来台風予測については、本プロジェクト中に研究を進めることができれば、十分のリードタイムが確保できる。

サブ課題 C

大気環境に関連した補足情報として、中国などから日本に飛来する越境汚染については、汚染気塊の輸送期間等に関する解析から、リードタイム 1-2 日程度の予測情報が必要と考えられる。越境汚染については特に春先の中緯度低気圧の発達等の予報精度について評価することを計画している。

（５）提案で活用が計画されている観測ビッグデータが従来から活用されている観測データとどのように異なるのか明確にするとともに、具体的な方法論について明確にすること。観測ビッグデータの準リアルタイムの活用が可能となるよう、データの受け渡しも含めた具体的なデータ活用のフローを明確にすること。

サブ課題 A

観測ビッグデータとして、次世衛星ひまわり 8 号のラッドスキャンデータ、フェーズドアレイレーダーについて取り上げて説明する。

ひまわりについては観測時間間隔が 30 分から最短で 2.5 分に大幅に短くなり、衛星追跡風の解析アルゴリズムも新しくなり、同じ画像データから得られる水平風データ数も数倍に増加し、鉛直高度の推定精度が向上している。これらのメソスケールの数値天気予報に用いることにより、リードタイムを長くすることが可能になる。リードタイムを長くする観測データとして、ひまわりの他に、GPM や GNSS 掩蔽データ想定している。

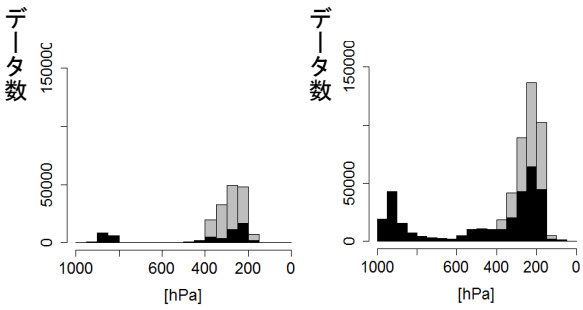


図 A-6.　AMV のデータ数（2013 年 7 月 13 日）。従来のアルゴリズム（左）、新アルゴリズム（右）。（大塚ほか 2015 から）

フェーズドアレイレーダーは、これまでのレーダーが 1 つのボリュームスキャンを行うのに 5 分程度必要だったのに対し、フェーズドアレイレーダーでは 30 秒程度で得ることができる。これまでのレーダーでは、時間的に一様に変化するなど仮定を用いて 3 次元構造を求めていたが、数 10 分という対流雲の寿命を考えると、5 分間の一様な変化の仮定は必ずしも妥当ではない。フェーズドアレイレーダーのデータは、仮定を用いることなく積乱雲の 3 次元構造を捉えていることから、正確さを必要とするデータ同化の同化データとして利用することにより、局地的大雨を引き起こす積乱雲の再現・予測の可能性を高める。

これらのデータについても、観測機関の担当者がメンバーになっており、データ入手法について平成 27 年度に相談する予定である。

2-1.(5)にも記載済み（観測ビッグデータとの連携）。

サブ課題 B

2-2.(2)に記載済み（JAXA との連携）。

サブ課題 C

大気環境に関連して、サブ課題 A で高度利用が計画されているひまわり 8 号についてはエアロゾル関連の観測データも利用可能であり、本課題においても時空間分解能の高い衛星データを適切に利用できるよう、同化システム等の検討を進める予定である。エアロゾルに関しては、ひまわり 8 号に加えて今後打上が予定されている GCOM-C、EarthCARE、GOSAT-2 等の衛星観測データの利用も想定している。また 2017 年には宇宙ステーション「きぼう」中型ミッションとして対流圏オゾンおよびその前駆物質を高精度で観測する uvSCOPE およびメタンや二酸化炭素、PM2.5 などを観測する GOSAT-2 などの衛星測器の打ち上げが予定されているが、これらは JAXA や環境省などによるものであり、日本発の高精度衛星データについて高度利用できるよう、大気環境データ同化システムを整備することがわれわれの責務である。uvSCOPE における分光系の設計については海洋研究開発機構が、GOSAT-2 の運用については国立環境研究所が担当する可能性があり、衛星側担当者とも密に連携を取りつつシステムの開発を行っていく計画である。

（6）相乗効果が期待される他プロジェクト等と効果的に連携して取り組むとともに、役割分担を明確

にすること。その際、ＳＩＰ「レジリエントな防災・減災機能の強化」における研究との違いを明確にすること。

サブ課題 A

相乗効果が期待される他プロジェクト等については、2-1.(5)で記述済み。

SIP「レジリエントな防災・減災機能の強化」の、「（２） 豪雨・竜巻予測技術の研究開発 マルチパラメータフェーズドアレイレーダー等の開発・活用による豪雨・竜巻予測情報の高度化と利活用に関する研究 」では、「世界初となるマルチパラメータフェーズドアレイレーダー（MP－PAR）等を開発して積乱雲の高精度・高速 3 次元観測を可能にし、それらによる予測技術の高度化とともに、交通機関や自治体等の利活用に向けた研究開発を行う」としている。

レーダーは、雨水等による電波の反射を観測するものであるため、実際に雨水が現れてから、はじめてデータを得ることが出来る。このため、現象の発生前からの予測は出来ない。また観測された雨が今後どうなるのかの予測も、SIP での取り組みは、運動学的なものが中心で数値モデルによるアプローチも限られているため、ごく短時間のものが中心となる。

リードタイムを持って豪雨等を予測するためには、今ある雨水分布のみならず大気の状態を 3 次元的に把握し、物理法則に則って予測する必要がある。そのためには、大量の観測データを積乱雲が表現できる高解像度で数値モデルに取り込む先端的なデータ同化の技術と、ポスト「京」に代表される非常に大きな計算資源が必要となる。また数値モデルによる予測では、現象の近くだけではなく離れた場の正確な表現も必要であり、このプロジェクトでは、関東より大きいスケールの予報の精度を改善する部分も含めた研究となっている。夏季の収束の弱い時に発生する積乱雲は、決定論的な予報ではリードタイムは長くとれないことが考えられる。本プロジェクトで行うアンサンブル予報は、そのような現象の発生を確率情報として得ることも目標にしている。

一方、安全・安心の社会といった視点からは、予報の後の結果の推定も重要で、SIP では、防災・減災機能の強化を求めているのであるから、極端気象の顕著事象により、どのように人間社会が損傷を受け、あるいは生活基盤が喪失するかを具体的に把握し、その回避策を提案しなければならない。そのためには被災レベルの判定が可能となるよう十分な精度を担保できる、突風・豪雨などの生活空間でのデータが不可欠となる。本プロジェクトで得られた解析結果を提供することで、より詳細な解析で建物の挙動さらには崩壊過程を追跡することも可能になるものと考えられる。ポスト「京」稼働後に SIP と連携することで、より弾力性を持った防災・減災機能を強化した社会の構築へとつながることが期待される。

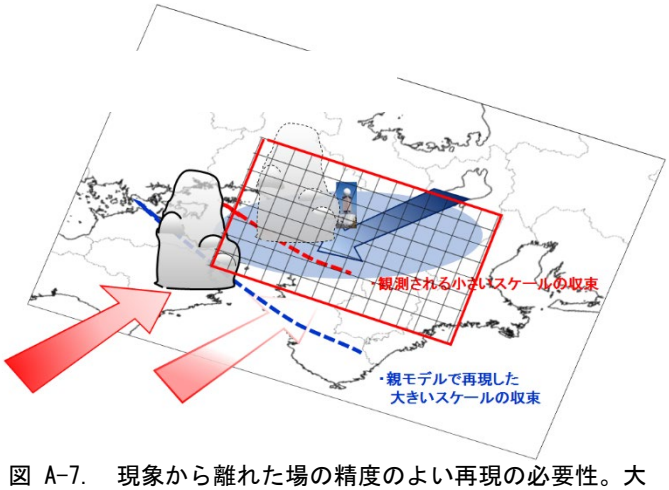


図 A-7. 現象から離れた場の精度のよい再現の必要性。大きなスケールの収束が南にずれて入れば、南からの湿った気流が到達せず、再現できない。

サブ課題 B

2-2.(2)への記載内容（JAXA との連携）に加えサブ課題 B の課題代表者は、JAXA の横軸連携研究会に参加しており、また 2018 年に打ち上げが予定されている EarthCARE 衛星の PI や GPM のサイエンス委員、ひまわり 8 号のデータ評価者として、最新の人工衛星データにアクセスすることが可能である。観測ビッグデータの円滑な利用のために、双方の組織の協力を求めることができる。

サブ課題 C

NASA などが 2017 年に韓国で行う予定の KORUS-AQ 航空機観測キャンペーンにおいて、本課題参画者が日本側の担当者となり当該観測キャンペーンの前後に大気環境データ同化セットの構築および他のモデルグループとの相互比較等を検討している。また当該航空機観測キャンペーンは NASA が主導するものであり、当該研究に参画することにより、NASA の衛星データについて準リアルタイムに利用できるようになる可能性がある。他にも研究期間中に鉛直構造等も含めた精緻な観測が行われるようであれば、積極的に連携し、精緻な観測と付き合わせてモデルシステムの向上を進めていく計画である。他にも大都市域あるいは極域などのリモートな環境での観測と積極的に連携し、モデル予測精度の向上を進める。

（７）人件費の占める割合が大きいが、本プロジェクトで雇用する研究者（ポスドク等）の人員（別紙）計画を明確にするとともに、将来のステップアップまで見据えた登用、人材育成の取組の計画を明確にすること。

サブ課題 A・B・C

ともに 1.(6)に記載済み。

（８）当該全体提案は、全体提案の方針に沿った形で、当該部分提案の一部を取り込むように調整すること。その際、以下の点に留意すること。

（ア）当該部分提案については、当該重点課題における研究者の連携によって風工学と気象学との連携による相乗効果を見込むものとして、気象データマイニングによる局地的突風解析システムの開発に関する取組部分のみを取り込むこと。

サブ課題 A

目標 4 として、研究計画を立案することにより、対応済み。

（イ）当該重点課題では観測ビッグデータの十分な活用が求められていることから、当該部分提案について、観測ビッグデータの準リアルタイムの活用を検討するとともに、リアルタイムの解析等へ適用可能か調査すること。

サブ課題 A

準リアルタイムの活用については、観測ビッグデータ提供先でのデータの品質管理等の下処理や

通信方法に大きく影響を受けるため、メンバーになっている観測機関の担当者と情報交換を行う。

サブ課題 B

2-2.(2)に記載済み(JAXA との連携)。

サブ課題 C

先の(5)および(6)などで触れた研究計画とも関連して、NASA および日本の大気環境観測衛星測器による広域かつ高精度な衛星データについて、準リアルタイムでの活用も検討している。

４．中間評価における指摘事項への対応状況

（1）課題全体として達成すべき成果を明確にするとともに、その成果実現に向けた定量的・定性的な目標（年間目標及び最終目標）を明確にすること。

課題全体として達成するべき成果は、計画当初より掲げている「リードタイムの長時間化」である。具体的には、豪雨や強風などの極端現象に対して、現在公式に使用されている 3 時間のリードタイムを 12 時間程度まで長時間化可能であることを示すことである。

リードタイムを長時間化するということは、予測の精度を向上することにほかならない。予測精度の向上は、総観スケールとメソスケールを対象とする予測モデルの精緻化、および新しい衛星データやレーダデータなどから得られる巨大データを用いた新しいデータ同化手法の開発、予測モデルとデータ同化手法を組み合わせた予測技術そのものの向上による高精度の予測が可能であることを示すことが課題全体で達成すべき成果である。各サブ課題では、最終的な課題を達成するために、異なる時空間スケールの事象に対する予測精度の向上と巨大データ同化の新手法の開発を行い（下記のサブ課題ごとの目標を参照いただきたい。）、それらの成果を共有し相互にリードタイム長期化戦略に取り入れることで（2017 年度より各年度半期ごとに実施）、最終的に豪雨や強風等の災害をもたらす気象現象に対してリードタイムの長時間化（12 時間以上）を実現する。

本プロジェクトでの成果は、国民の気象庁予報業務のパイロット研究として位置づけられることから、近い将来の気象業務へどのように反映できるかについての検討を行い、現業予報へ活かすための今後５～10 年のマイルストーンとロードマップを作成する。そのために、気象庁関係部署との情報交換及び意見交換を適宜実施するとともに、本課題後期においては、本課題で取り組むべき必要性の高いテーマを気象庁との協議、検討をもとに実施し、本課題成果の現業への適用可能性を最大化する。

<u>サブ課題 A</u>

○年間目標

2015 年：数値天気予報システムならびに局地的突風解析システムの開発計画策定とシステム開発の開始。

- 数値天気予報システムの開発に向けた初期値作成法、使用する観測ビッグデータや作業工程等の決定。
- 観測ビッグデータの統計値に基づくデータマイニングにより局地的突風解析システム基盤ソルバ開発計画策定を行う。突風に対する被災推定手法の検討。

2016 年:数値天気予報システムならびに局地的突風解析システムの開発。観測ビッグデータの入手。

- 数値天気予報システムのメソスケール開発（格子間隔 1 ㎞、100 メンバー程度）と、1 事例程度の動作確認と最適化。
- ひまわり 8 号の 2.5 分毎の高頻度観測で得られた「輝度温度」や「大気追跡風」などの観測ビッグデータの入手。
- 観測ビッグデータの統計値に基づくデータマイニングにより、水平解像度 1m 弱の局地的突

風解析システムの作成。突風に対する統計的被災推定手法の整理。

2017 年：数値天気予報システムによるメソスケール開発の初期的な成果を得る。局地的突風解析システムによるテスト解析。

- 数値天気予報システムと観測ビッグデータの一部（ひまわり 8 号、2.5 分毎の高頻度観測で得られた「輝度温度」や「大気追跡風」など）によるメソスケール開発(格子間隔 1 ㎞、100 メンバー程度)の 1 事例程度の初期的実験と検証の開始。
- 観測ビッグデータの統計値に基づくデータマイニングによる局地的突風解析システムのプロトタイプの構築とテスト解析。

2018 年：年度前半まで数値天気予報システムによるメソスケール開発の初期的実験を実施、後半に本格的実験を開始。積乱雲スケール開発は動作確認。

- 数値天気予報システムのメソスケール開発(格子間隔 1 ㎞、数 100 メンバー程度)の複数事例の本格的実験と、積乱雲スケール開発（格子間隔 100m、100 メンバー程度）の動作確認。
- フェーズドアレイレーダの 30 秒毎の反射強度と動径風などの観測ビッグデータの入手。
- 観測ビッグデータの統計値に基づくデータマイニングにより局地的突風解析システムのシステムプロトタイプの実証解析を行う。被災レベルに基づく安全性の検討。

2019 年：数値天気予報システムによるメソスケール開発の本格的実験とポスト「京」に向けた高度化。積乱雲スケール開発の初期的な成果を得る。局地的突風解析システムの本格システムの稼働と実用化評価。

- 数値天気予報システムを用いたメソスケール開発（格子間隔 1 ㎞、数 100 メンバー程度の）の複数事例の本格的実験とポスト「京」に向けた高度化。
- 積乱雲スケール開発（格子間隔 100m、100 メンバー程度）と 1 事例程度の初期的な適用結果。
- 観測ビッグデータの統計値に基づくデータマイニングにより局地的突風解析システムの本格システムの稼働と実用化評価。重要構造物、中高層建築を対象とした被災推定から人間の生活空間における突風減災の実現に向けての方法の検証。

○最終目標

- メソスケール開発（格子間隔 1 ㎞、数 100 メンバー程度）については、複数事例の本格的実験の結果を得る。
- 積乱雲スケール開発（格子間隔 100m、100 メンバー程度）については、平成 30 年からの開始であるため、1 事例程度について初期的な実験の結果を得る。
- 比較的大きなサイズの重要構造物に発生する被災のレベルの推定が可能な局所的突風気象解析システムの本格システムを稼働させ、実被害発生例での実用化評価を行う。重要構造物や中高層建築を対象にした被災推定から、人間の生活空間における突風減災の実現に向けての方法を検証する。

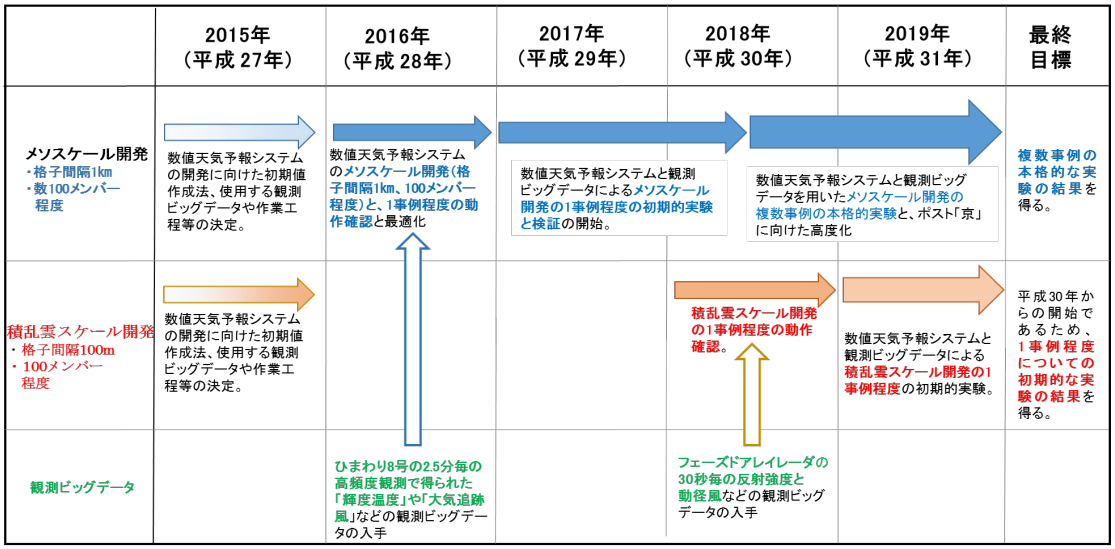


図 A-8.　サブ課題 A の数値天気予報モデルの成果目標に関する年次目標と最終目標。
定量的な記述に色を付けている。

サブ課題 B

○年間目標

2015 年：シームレス気象・気候予測に向けた課題の抽出・アプローチの検討

- NICAM：14km メッシュ 1 ヶ月～季節予測アンサンブル実験の設定検討。
- 海洋：水平 500m 格子日本沿岸モデルの構築、計算性能測定とチューニング。

2016 年：基礎的な数値実験を通じた、シームレス気象・気候予測に向けた課題の抽出・検討

- NICAM：14km メッシュ 1 ヶ月予測アンサンブル実験、効率的に計算可能な高解像度大気・海洋モデルの検討。
- 海洋：水平約 500m 格子日本沿岸モデルによる基礎実験。

2017 年: より実証的な数値実験を通じた、シームレス気象・気候予測に向けた課題の抽出・検討

- NICAM：7km 以下メッシュ 1 ヶ月予測アンサンブル実験、季節～年予測アンサンブルテスト実験。
- 海洋：水平約 500m 格子日本沿岸モデルによる海況予測実証実験。

2018 年：ポスト「京」実機を念頭においたシームレス気象・気候予測の準備

- NICAM：14km メッシュ季節～年予測アンサンブル実験。
- 海洋：水平約 500m 格子日本沿岸モデルに基づく海況予測システムの設計。

2019 年：ポスト「京」実機を念頭においたシームレス気象・気候予測の準備完了

- NICAM：7km 以下メッシュ季節～年予測アンサンブル実験。
- 海洋：ポスト「京」で水平約 100m 格子に発展させるための各種パイロットスタディ。

○最終目標

- 2 週間後から月スケールを対象とした極端現象・台風の確率予測
- 季節～年スケール程度を対象とした極端現象・台風の確率予測。
- 実運用可能な日本沿岸海況予測システムの開発。

サブ課題 C

○年間目標

2015 年：化学輸送モデルおよび大気環境データ同化システムの計算性能測定、および精緻化に向けたアプローチの検討。

- 精緻化したプロセスベースエアロゾルについて、エアロゾル生成・変性過程等におけるキープロセスの解明を進める。
- リモートセンシング観測や地上観測などのマルチプラットフォーム観測手法を最適統合するデータ同化手法の設計に関する検討を行う。
- 化学輸送モデルの高分解能化に関する検討を進める。

2016 年：化学輸送モデルの高解像度実験に向けた課題の抽出・検討、および仮想的な新規データを同化に適用した場合の評価。

- キープロセスの再現性を高めたエアロゾルモデルを全球モデルに適用する。
- 各種観測データを最適統合したデータ同化システムを開発し、2-3 年程度の同化データセットを作成する。
- 大気微量成分および短寿命・長寿命温室効果気体の大気中動態について、雲解像スケールまで空間解像度を変えた際の空間分解能依存性を評価する。

2017 年：エアロゾルの大気中動態を精緻化したモデルを用い、全球的なエアロゾル輸送・変性過程に関するテスト解析の実施。

- 高精度エアロゾル気候モデルを用い、27km メッシュで短期間の全球計算を行い、エアロゾル-気候影響評価を行う。
- 次世代衛星を用いた大気環境同化システムに関する検討を進め、仮想的な実験を用いて評価する。
- 14km メッシュ程度の高分解能モデルによる輸送過程の微細構造等について評価する。

2018 年：ポスト「京」における化学輸送モデルおよび大気環境ビッグデータを用いた地球環境の監視・予測システムの準備。

- 高精度エアロゾルモデルについて、ポスト「京」向け最適化手法などを検討する。
- 最新の同化システムを用いた 10 年以上の長期間の大気環境同化データセットの作成を開始する。

2019 年：ポスト「京」における化学輸送モデルおよび大気環境ビッグデータを用いた地球環境の監視・予測システムの準備完了。

- ポスト「京」において高解像度実験を行うための各種パイロットスタディを行う。
- 10 年以上の長期間の大気環境同化データセットを構築し、公開に向けデータを整備する。

○最終目標

- 「京」およびポスト「京」上で動作可能な、エアロゾルの大気中動態などを適切に考慮した化学輸送モデルを構築し、ポスト「京」において高解像度実験を行うための各種パイロットスタディを実施する。また本モデルを用い、27 km 以下の空間解像度の全球スケールでの大気環境動態に関する初期的解析を実施する。

- 次世代人工衛星を含む大気環境のビッグデータの適切な利活用が可能な同化システムを構築する。またそれを用いた 10 年以上の期間の同化データセットを作成し、公開に向けデータセットの整備を進める。

（2）情報科学技術分野における研究開発の論文数、学会発表数は、事業の成果を議論する上で１つの指標となりうるため、分野の特性を考慮の上、論文数、学会発表数の達成目標値を設定すること。

気象学の分野では研究テーマによって発表の難易度に大きなばらつきがあることから、論文数、学会発表数について達成すべき統一的な数字はない。一例として、本課題の代表機関である海洋研究開発機構では一人が平均して年 1 本程度の論文を執筆することが求められている。学会発表については特に基準はないが、ワークショップ、研究会までを含めて年５回程度発表するのが通例である。

本課題はモデル開発などすぐに論文にはなりにくい基盤研究開発も含んでいるが、「京」を用いた最先端の課題であることを考慮する必要もある。分野の特性上、論文数、学会発表数の達成目標値を設定することはあまりなじまないが、仮に設定するのであれば上の基準は一つの目安となる。その場合、本課題に従事する研究者は約 20 名相当であることから、論文数（共著を含む）は 20 本、ワークショップ等を含む学会発表数は 100 件程度を年間達成目標値と設定する。なお、気象分野ではプレスリリースも推奨されており、課題全体として年数回程度のリリースを目標とする。

（3）予備計算などを通じて、サイエンス的な目標を明確にすること。その目標に対して、ポスト「京」でいつまでに何をどこまで明らかにすることを目指すのかを明確にすること。その時点でポスト「京」で初めてできる画期的な利活用について具体的に説明すること。

<u>サブ課題 A</u>

次世代の人工衛星やレーダーなどによる「観測ビッグデータ」を活用した「数値天気予報システム」を構築し、より長いリードタイムを確保しつつ予測精度を向上させることを目標にしている。具体期には、本プロジェクトの期間内に台風や集中豪雨を対象にした「メソスケール開発」については複数の事例について「本格的な実験」の結果を、局地的大雨の対象にした「積乱雲スケール開発」については「初期的な実験」の結果を得ることを目指す。

サイエンスの目標としては、ポスト「京」の特徴を活かす「高頻度高密度な観測データの同化法」と「積乱雲スケールのアンサンブル手法」を開発し、それらの有効性の確認を行う。また、ポスト「京」による本格的な計算に利用する数値モデルの高度化に不可欠な、乱流による地表面でのフラックス輸送や積乱雲への周辺気塊の取り込み、雨や雪・霰・雹などの形成に関わる雲微物理過程、大気･海洋結合過程などのメカニズムの理解を進め、これらの過程に関する高精度のパラメタリゼーションの提案を行うことを目標にする。

これらの目標について、ポスト「京」運用開始 5 年後までに、ポスト「京」による高分解能な「数値天気予報システム」と、高頻度・高密度な観測ビッグデータを用いて、メンバー数 100 から 1000 程度のアンサンブル予報を行って、災害を起こした事例の予測や再現を目指す。これらの事例の予測や再現により、「豪雨をもたらす要因」（特に予測のカギとなるプロセス、必要な観測データ等）に対

する理解を向上させ、「乱流による地表面でのフラックス輸送量」や「積乱雲への周辺気塊の取り込み量」等の推定法の妥当性や提案する「雲物理過程等の高精度のパラメタリゼーション」の有効性を確認する。

データ同化手法などの有効性が多くの事例で確認できれば、ポスト「京」を用いて初めてできる利活用として、台風や集中豪雨については半日以上のリードタイムを持って、また、局地的大雨のなどの積乱雲スケールの現象も含めて、より精度の良い予測が可能になる。再現した集中豪雨や局地的大雨等から、豪雨の発生や寿命を決める要因（水蒸気の供給と収束、鉛直シアの持続時間）などの学術的な知見を得ることができるとともに、気象庁での数値天気予報システムや予報技術の発展にも寄与できる。

サブ課題 B

数週間から年スケール程度の気象・気候変動現象を時間スケールによらずにシームレスに予測する数値シミュレーションを実現するためには、当該時間スケールのメモリを有する大気もしくは大気海洋結合系の現象を正しくシミュレーション上で表現する必要がある。例えばマッデン・ジュリアン振動等の季節内振動やエルニーニョ等がこのようなメモリを有する現象にあたり、これらの現象に応じて極端現象・台風の性質が影響を受けていることが知られている。このような現象と極端現象・台風の関係のメカニズムや予測可能性を解明することがサイエンス的な課題になる。予備計算を通じて、これらの現象と極端現象・台風の関係についてアンサンブル計算によって予測可能性の成功事例を示すことが本プロジェクトの目標である。

ポスト「京」ではさらに事例研究からより普遍的な統計的な結果を得ることを目指す。すなわち、どのような条件下で予測が成功するのかについての知見を有することが課題である。このような普遍的な統計的な結果を得ることによって、はじめて現業センターにおける利活用が可能になる。

サブ課題 C

目標①においてはエアロゾル-雲相互作用の理解を深めることをサイエンス的な課題と考えている。エアロゾルの気候影響評価をより精緻化するため、国内外の研究開発動向や今後の計算機の発展を踏まえて高解像度エアロゾルモデルの開発方針を定め、それに従って気候応答評価などを進めつつある。本プロジェクトにおいては高解像度シミュレーションの際の都市大気や森林火災などの発生源近傍での輸送・変性過程の解析を進めるとともに、ビン法など次世代エアロゾルモデルの初期的な成果を得ることをサイエンス的な目標としている。目標②についてはこれまでの知見を通じ、大都市を解像しうる空間スケールでの環境同化システムの構築をほぼ終えており、10 年スケールの高解像度大気同化計算を通じ、サイエンス的にはこれまで理解が十分でなかった都市近郊域での光化学的応答や長期的な放出量変化の評価を進めていく予定である。また技術的には、ひまわり 8 号および今年度打ち上げられた TROPOMI、来年度打ち上げ予定の GOSAT-2 などの大気環境衛星観測の高度利用についても併せて進めていく予定である。今年度構築した大気環境同化データセット TCR-2 については ECMWF との相互比較についても進めており、ポスト「京」および次世代衛星データ等を用いることにより、これまでは計算機的な制約から一ヶ月程度しか実行できなかった、50km 格子以下の解像度での大気環境同化実験をより長期間行うことにより、より詳細な大気汚染対策等に資する科学

的知見が得られるとともに、これら知見を大気汚染予報や黄砂予報等の初期値生成等につなげられるよう、気象庁・気象研究所等と連携しつつ研究を行う予定である。

（4）実用化においては、気象庁との連携が重要であり、気象庁での予報につなげるためのロードマップをハードルも含めて再度、明確にすること。

サブ課題 A

気象庁との連携については、本サブ課題と同様な研究課題に取り組んでいる気象庁の研究開発部門である「気象研究所」が主要な参加機関の一つとなっているほか、気象庁現業数値予報システムの技術開発を担当する気象庁数値予報課の担当者もメンバーとなっている。本サブ課題で得られた技術や知見に関しては、これまで気象庁内の技術開発推進に関わる会合で情報共有を行い、連携を図っている。また、今年度は、12 月 21 日に現業数値予報システム担当者が参加しやすいように気象庁講堂において重点課題 4 の成果報告会を開催する予定であり、この報告会においてこれまでの成果や気象庁からの要望等が共有される予定である。

気象庁のスパコンはこれまで 5-6 年ごとに約 10 倍の性能の計算機が導入されている。現在の気象庁のスパコンの性能は 847Ｔflops であり、ポスト「京」に近い計算機が更新されるのはすくなくとも 10 年程度より後の将来となる。そのため、本重点課題で開発したアプリをそのまま、現在の気象庁現業用の計算機には適用できない。また、更新される計算機が「京」と同じアーキテクチャであるという保証もない。これらは、本課題の成果を気象庁の予報につなげる際のハードルとなる可能性が高い。しかしながら、観測ビッグデータの適切な利用法(例えば高密度データをそのまま用いると予報精度が悪くなるため、最適な間引き法を開発する必要がある)やアンサンブル予報の最適なメンバー数 (限られた資源の中で数値天気予報モデルの解像度とメンバー数のバランスが必要) などの知見は、将来、気象庁で取り組む「観測ビックデータを用いた高分解能数値天気予報モデルによる予報、もしくは多メンバーによるアンサンブル予報」の開発で直面する問題の解決に大きく貢献できると考えられる。従って、気象庁での予報につながる貢献は、上記に関する知見の提供が主になると考えられる。知見の提供ができる研究項目として、現在、ひまわり 8 号の高頻度大気追跡風データの間引き法の開発や 1000 メンバーを超えるアンサンブル予報実験、分解能 100m や 50m での台風や竜巻を引き起こす降水システムの再現実験等に取り組んでいる。

気象庁の予報につながるためのロードマップを図 A-9 に示す。サブ課題 A で得られる「観測ビックデータを用いた高分解能数値天気予報モデルによる予報、もしくは多メンバーによるアンサンブル予報」に関する知見は、年に数度開催する研究連絡会や成果報告会において、気象庁で数値予報システムの開発の携わっている数値予報課のメンバーと共有している。気象庁の数値予報システムの開発の状況や本研究に対する要望などについても、研究連絡会を通じてサブ課題内での情報共有をしている。これらの情報や知見の共有を通じて気象庁現業モデルへの反映を目指す。

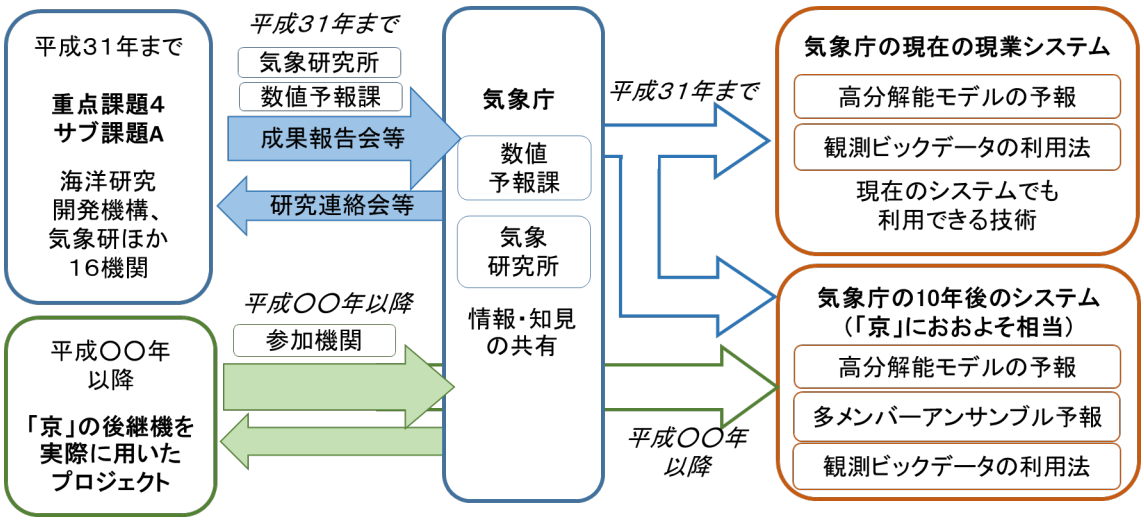


図 A-9.　重点課題 4 から気象庁の数値天気予報システムにつながるロードマップ

<u>サブ課題 B</u>

気象庁との連携、気象庁での予報につなげるためのロードマップに関しては、サブ課題 A と同様なアプローチ、課題がある。

2.2-2.(2)に記載されているように、世界の気象予報の現業機関には、週から季節スケールの台風予測の発表に向けて開発を進めている機関がある。しかし、台風の発生活動に影響を与える「季節内振動」の予測は、現業機関の数値モデルではまだ不十分であり、解像度や積雲対流の改善が必要である。本プロジェクトで解像度を高めた全球非静力学モデルにより、週から季節スケールの台風の予測性能が向上することが期待され、将来の現業モデルの改善の候補として、本プロジェクトの成果が期待される。シームレスなモデル開発により、週から季節スケール気象・気候予測の改善を通じて、年スケール以上の近未来の予測精度の信頼性向上も期待できる。

気象庁等の現業機関での予測につなげるためのロードマップとして、成功事例だけでなくどのような条件下で予測が成功するのかという普遍的な統計的な知見を得ることが課題である。このために、ポスト「京」において、準実時間的に全球非静力学モデルによる週から季節スケールのアンサンブル予測計算を実施する。このような結果を気象庁等の現業機関と共有することで、具体的な課題を解決することが可能なり、現業への利活用への道筋が得られることになる。

<u>サブ課題 C</u>

LETKF を用いた大気環境同化および温室効果気体の高解像度シミュレーションについて気象庁・気象研究所と連携して取り組んでおり、サブ課題会合等を通じて情報共有を行っており、一部の知見については黄砂予報等の高度化にも反映されている。

（5）各サブ課題の成果を、プロジェクト全体としてどのように取りまとめていくのかについて明確にすること。その際、課題として得たコデザインや基盤技術開発の成果を、各サブ課題にフィードバックする仕組みや、成果目標の絞り込みや資源の集中についても検討すること。

各サブ課題における成果として想定している予測精度向上に必要な総観およびメソ時空間スケール予測モデルの精緻化の知見、および巨大データの新しいデータ同化手法による知見は、本課題の最終目標である「12 時間以上のリードタイムの実現」のために集約する。

本課題で開発している予測モデルと同化手法および観測ビックデータとの対応を図 A-9 に示す。サブ課題 B は全球スケールからメソスケールを対象とした数値天気予報モデル(NICAM)、サブ課題 A はメソスケールから積乱雲スケールの現象を対象とした数値天気予報モデル(NHM や SCALE)を開発し、サブ課題 C は化学輸送モデルを組み込んだ数値天気予報モデル(NICAM-CHEM など)を開発している。サブ課題 A と B では主たる対象現象の時空間スケールが異なるものの台風を対象としている。これは、豪雨や強風の予測精度を向上するためには、ポスト京でなくては実現が不可能な超高解像度予測技術により総観スケールとメソスケールの両方のスケールでの予測精度の向上が必要であることから、サブ課題 A と B からの知見を集約することで、予測精度を向上するための予測モデルの精緻化を実現する。さらに、同化手法開発については、各サブ課題の異なる時空間スケールで異なる対象データを同化する手法を開発していることから、予測モデルの精緻性と観測データ特性から生じる可能性のある予測精度の向上特性について、それぞれの知見を共有化することにより新しい同化手法の開発を強化でき、手法の幅の広い検討から実効性能が高い手法への絞り込みの高い確実性を実現することが可能である。

コデザインの成果は、各サブ課題の責任者への情報共有はこれまでも適宜行ってきた。実際には、ポスト京への移行が現実的になる時期、つまりテストシミュレータでの各サブ課題の代表プログラムの実施が現実的になる本課題実施の最終段階において、集中的な対応を実施する予定である。特に、サブ課題 A については、リードタイム長時間化の実現にむけた知見を集約した数値実験を実施するよていであることから、資源配分についても集中的な配分を行う予定である。具体的には、サブ課題 A では、これまでの成果報告書で報告しているように、「データ同化を含めた数値天気予報システムの開発」に加えて、予報精度向上や長いリードタイムの獲得につながると期待できる多くの研究項目に取り組んでいる。それらの資源についても、「京」を用いないと遂行できない研究項目やより一層の成果が見込める研究項目に集中させている。現在、同じ同化手法や観測データを用いている研究項目について、例えばひまわり 8 号の観測データを用いている理研 計算科学研究センターや気象研究所、2012 年のつくば竜巻の再現実験に取り組んでいる気象研究所や東京工業大学では、三カ月に 1 回程度開催している研究連絡会だけでなく、日常的に情報交換を行って、サブ課題 A 全体として効率的に研究・開発を行っている。今後についても、引き続き、「京」を用いないと遂行できない研究項目やより一層の成果が見込める研究項目に資源を集中させ、そうでないものも含めてバランスよく推進していく。サブ課題 B,C では当初の計画よりも成果目標を絞り込み、資源の集中させている。サブ課題 B では、シームレス気象・気候予測の中でも数週間から年の時間スケールの予測可能性について重点的に研究を進めている。サブ課題 C では、成果目標を絞り込みの一環として、エアロゾル過程や大都市周辺の放出量変動について詳しく見ていく予定である。

コデザインや基盤技術開発の成果については、サブ課題 A-C の研究連絡会等の「技術的な打ち合わせ」においてを行い、「開発状況の紹介や得られた知見」を他のサブ課題の参加者と共有している。さらに、得られた知見についてはドキュメント化を進めて、フィードバックをより確かなものにしていくことにより、最終段階の本格的な移行とコデザイン成果の実装に備える。

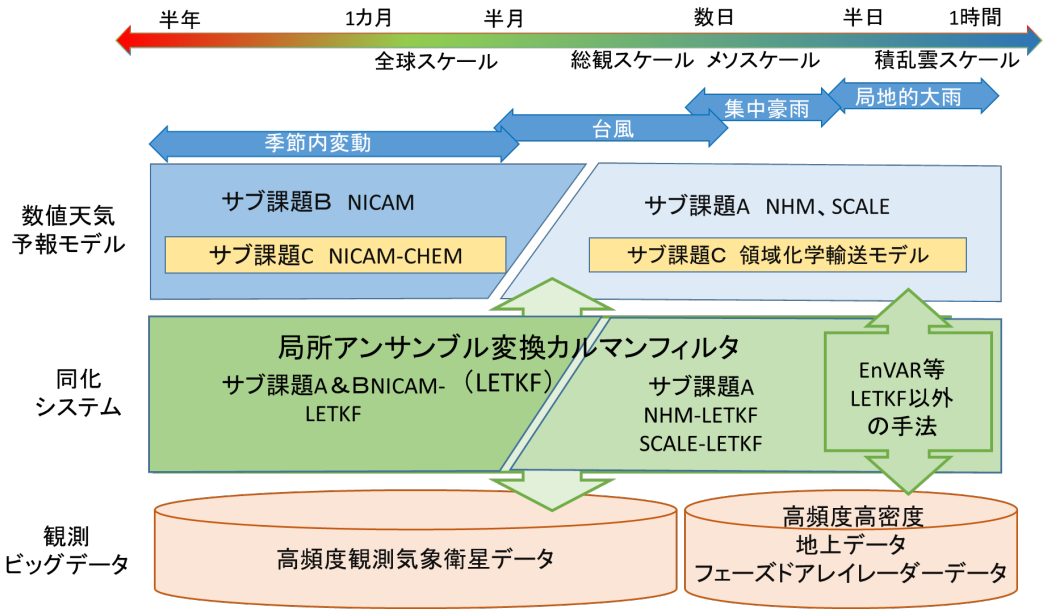


図 A-10.　重点課題 4 で扱う主な数値天気予報モデルと同化システム、観測ビックデータとの対応を示した模式図

（6）大規模数値解析から理解される各因子・各モデルの経験を超える新たな改良方法が理論的に提示できないか検討すること。

豪雨など災害に結び付く稀な現象の生起は、ガウス分布の裾野の部分の確率で生起する。予測精度を向上させるためには、これら稀に生起する現象の生起特性を研究する必要があるものの、稀な現象の特性については、稀であるがゆえに不明な点が多い。予測技術を向上させるための必須研究事項の一つとして、稀な現象の生起確率を上げるような初期値作成のための理論的な研究が進められており、これらの理論的研究は、予測精度の向上および現象の特性解析への直接的な貢献が期待できる。これらに関連する理論的な研究は現在本課題において推進してはいないものの、今後はご指摘の通り、予測精度を向上するための理論的強化するための研究基盤として理論的研究の知見についてのフォローアップするとともに、新たな改良方法に直結するような理論的研究のサーベイについても基盤技術開発サブ課題を中心に積極的に取り組む予定である。それらの知見と情報を本課題において共有するとともに、外部有識者からの最新研究成果の提供や情報交換などを通じて、今後の理論的な取り組みの礎とする予定である。

（別紙1） 実施機関一覧

	実施機関	備考
プロジェクトの総合的推進	海洋研究開発機構	代表機関（高橋桂子）
	理化学研究所計算科学研究センター	協力機関
	東京工業大学	協力機関
	東京大学大気海洋研究所	協力機関
	京都大学大学院総合生存学館	協力機関
	東北大学	協力機関
サブ課題A	海洋研究開発機構	代表機関（瀬古　弘）
	理化学研究所計算科学研究センター	分担機関（三好建正）
	東京工業大学	分担機関（田村哲郎）
	東京大学大気海洋研究所	分担機関（新野　宏）
	京都大学大学院総合生存学館	分担機関（山敷庸亮）
	東北大学	分担機関（岩崎俊樹）
	名古屋大学	協力機関
	京都大学防災研究所	協力機関
	気象研究所	協力機関
	気象庁	協力機関
	琉球大学	協力機関
	神戸大学	協力機関
	横浜国立大学	協力機関
	情報通信研究機構	協力機関
	宇宙航空研究開発機構	協力機関
サブ課題B	東京大学大気海洋研究所	代表機関（佐藤正樹）
	海洋研究開発機構	分担機関（小玉知央）
	理化学研究所計算科学研究センター	協力機関
	気象庁	協力機関
	気象研究所	協力機関
	東京大学生産技術研究所	協力機関
	東京大学理学系研究科	協力機関
	横浜国立大学	協力機関
	宇宙航空研究開発機構	協力機関
	九州大学	協力機関
	国立環境研究所	協力機関
	名古屋大学	協力機関
	岡山大学	協力機関
	北海道大学	協力機関
	神戸大学	協力機関
	高度情報科学技術研究機構	協力機関
	筑波大学	協力機関
サブ課題C	海洋研究開発機構	代表機関（滝川雅之）
	東京大学大気海洋研究所	分担機関（鈴木健太郎）
	気象研究所	協力機関
	理化学研究所計算科学研究センター	協力機関
	国立研究環境所	協力機関
	名古屋大学	協力機関
	九州大学	協力機関
	東京大学	協力機関
	北海道大学	協力機関
	情報通信研究機構	協力機関