平成30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

平成 30 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

令和元年 5 月 31 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平成３０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．平成 30 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 8
(3) 成果内容 11
(4) 成果リスト 61
4－2－2．サブ課題Ｂ：シームレス気象・気候変動予測 79
(1) 成果概要 79
(2) 実施体制 80
(3) 成果内容 82
(4) 成果リスト 102
4－2－3．サブ課題Ｃ：総合的な地球環境の監視と予測 110
(1) 成果概要 110
(2) 実施体制 110
(3) 成果内容 111
(4) 成果リスト 133
4－2－4．プロジェクトの総合的推進 138
(1) 実施概要 138
(2) 実施体制 138
(3) 成果内容 139
(4) 成果リスト 145
4－3．活動（研究会等） 146
4－4．実施体制 148

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（57 歳）
※2019 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 rowspan="2">連絡先</td><td colspan="4">Tel. 045-778-5834　　Fax. 045-778-5492</td></tr>
<tr><td colspan="4">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="3">あくつ　まさひろ
阿久津　雅裕</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 rowspan="2">連絡先</td><td colspan="4">Tel. 046-867-9301　　Fax. 046-876-9195</td></tr>
<tr><td colspan="4">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. 平成 30 年度（報告年度）の実施内容

4－1. 実施計画

(1) 研究開発課題

平成 30 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 29 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数を増やし、ひまわりや新しい観測ビックデータの有効性を確認する。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動作確認を行う。

また、局地的突風現象の解析システムの開発を継続し、気象データにもとづくデータマイニングにより局地的突風の変動性を明らかにし、乱流構造を実証する解析からシステムの頑健性や正確性を確認する。加えて、地上の建築物に対する突風作用を推定し、被災レベルに基づく安全性の検討を行う。高解像度アンサンブル予測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る仕組み等の準備を行う。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、シビア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あつまる会議やワークショップ等で評価を行う。

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・海洋モデルの検討、及び 14km メッシュ以下の 2 週間後から数ヶ月・季節から年スケールのアンサンブル実験を実施する。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、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を設計する。

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 29 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行う。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、高分解能データ同化システムを用いた全球 56km 格子での高解像度大気環境同化実験を本格実施し、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う。

加えて、非静力学正 20 面体大気モデル（NICAM）にエアロゾル過程及び大気化学過程とを導入した全球化学輸送モデル（NICAM-Chem）を用いた雲解像シミュレーションを実施し、エアロゾルの気候への影響評価を行うとともに、計算結果を最新の衛星観測データと比較することで、エアロゾル−雲−降水相互作用に関わるモデルの雲物理プロセスを評価・検証する。

(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。

さらに新たに開発を開始する諸プログラムが「京」上で滞りなく実行できる計算機環境を整え、今後の課題を洗い出して対処方針スケジュールを策定する。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*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の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報精度を大幅に向上させること」を目標にしている。以下に、平成 30 年度に得られた研究成果の概要を報告する。

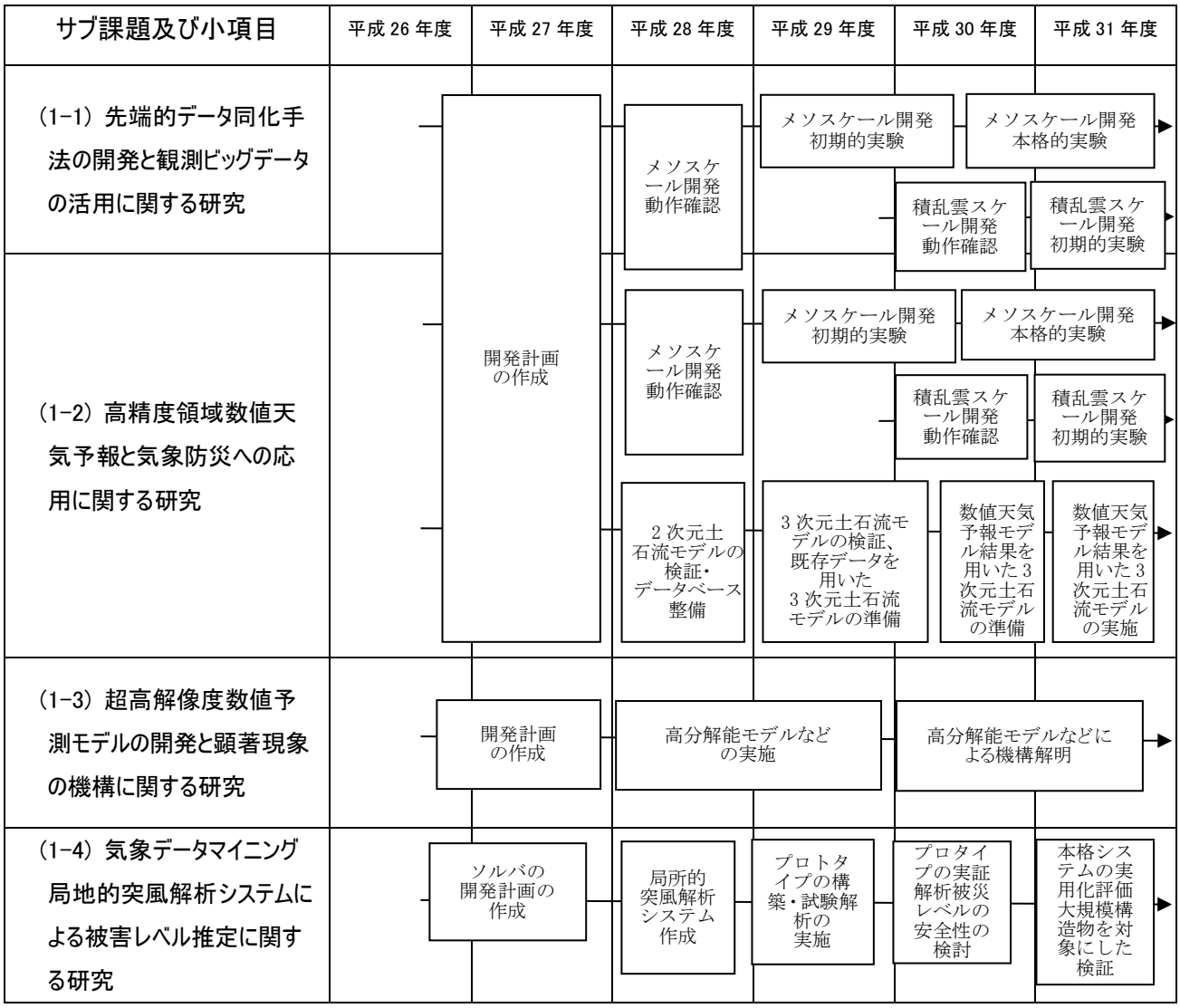
① 具体的な平成 30 年の年次計画

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、平成 30 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「初期的な実験」を継続し、年度の後半に「本格的実験」を開始する（図 A-1）。「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 次元土石流モデルの準備」に取り組む開発段階としている。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測実験）では「高分解能モデルなどによる機構解明」を、「局地的突風解析システムの開発」では「プロタイプの実証解析被災レベルの安全性の検討」を行うこととしている。

用語：

1) フェーズドアレイレーダ： 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。これまでのペンシルビームのレーダに比べ、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：予報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報する手法で、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報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予報モデルの高度化により予報精度を向上させる「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)ことが予報精度を向上させる。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おこなう初期時刻を大きく遡らせた予報では、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の前半システム」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)。

主な平成 30 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

データ同化手法の高度化と観測ビッグデータの同化法を開発する「目標 1」では、メソスケール及び積乱雲スケールのデータ同化実験を行うために、解像領域気象モデル（SCALE、理研計算科学研究センターが開発）や雲微物理過程を含む非静力学正 20 面体大気モデル（NICAM、東京大学が開発)、気象庁非静力学モデル（NHM、気象庁が開発）に基づいた局所アンサンブル変換カルマンフィルタ（LETKF、理研計算科学研究センターが開発）などを用いて、同化手法の開発を行っている。

平成 30 年度はフェーズドアレイ気象レーダや高頻度高密度地上気象観測、気象衛星ひまわり 8 号、GPM 衛星など次世代型観測システムで得られる観測ビッグデータを同化するための手法の開発を継続した。具体的には、フェーズドアレイ気象レーダの 30 秒度毎の動径風と反射強度について、2 台の 3 次元データを用いたフェーズドアレイレーダの再現実験や、ひまわり 8 号の全天候輝度温度の同化に取り組んだ。昨年度西日本に甚大は被害をもたらした平成 30 年 7 月豪雨についても、SCALE-LETKF や NICAM-LETKF を用いて豪雨の再現を行い、アンサンブル予報結果を用いて豪雨要因の解析を行った。LETKF に加えて、アンサンブル変分法や粒子フィルタ等の新しい手法の開発にも取り組むとともに、台風の予報精度の向上に向けて航空機観測のドロップゾンデという新しい観測データの同化実験でも良好な結果を得た。

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報精度向上と気象防災への応用を目指す「目標 2」では、平成 30 年 7 月西日本豪雨を対象に高解像度数値予報実験を行い、格子間隔を 500m 以下にすることで豪雨の再現性が良くなる結果を得た。NHM-LETKF を用いた高解像度領域再解析システムを平成 27 年 9 月関東・東北豪雨を対象に適用する実験を行い、台風の位置情報の同化や波数境界から境界値の強制を強めることが日本の南海上で現実的な場を維持することに必要であることを示した。diagnal アンサンブル変換法については、RTPS 法と併用することにより降水予測精度に改善する場合があることを検証して示した。また目標 2 でも NHM-LETKF を用いて平成 30 年 7 月豪雨の解析に取り組んだ。

水文モデルによる高精度領域数値予報の気象防災への応用に関しては、1600 アンサンブル降水予測による新潟県笠堀ダム流域（70km^2）での洪水予測についてをまとめた論文を国際ジャーナルに投稿した。また 2018 年 7 月の広島での豪雨災害において Hydro-Debris2DH(HD2DH)モデルを用いた広域シミュレーションを行い、HD2DH を用いた豪雨による侵食再現実験と、現地調査および LANDSAT データによる崩壊地の比較を行なった。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、小規模土石流実験と三次元粒子法シミュレーションとの比較を行った。

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

目標 3 では、数値天気予測モデルの高度化を進めるため、超高解像度数値予測モデルの開発と、超

高解像度数値モデルを用いた物理過程と顕著現象の機構解明を行っている。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てきたが、今年度は通常の解像度の数値モデルでは解像できない台風内の組織構造の形成機構や統計的な働きを解明するために利用可能な、台風中心部の高時間分解能のデータベースを作成し、初歩的な解析を行った。また、2015 年に対馬沖で竜巻状渦により漁船の遭難事故を生じたメソ β スケールの渦（以下、メソ β 渦）のアンサンブル再現実験を行い、コンポジット解析とアンサンブル感度解析によりメソ β 渦の発生に寄与した要因を明らかにした。

一方、物理過程の解明と高度化に関しては、高いアルベドと被覆率により地球の気候システムに大きな影響を与える層積雲に適用可能な 3 次元放射伝達モデルを開発し、その妥当性を 1 次元平行平板モンテカルロ法放射伝達モデルに照らして検証した。また、平成 30 年 7 月豪雨の再現性に対する雲微物理と大気境界層のパラメタリゼーションスキームの影響を調べる数値実験を行った。さらに、突風や大雨などの顕著現象は地球上の多様な低気圧に伴って発生することが多いことから、低気圧の環境場と構造の関係を解明する研究も行った。

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

最後に「目標 4」では、平成 30 年度は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として、2012 年のつくば竜巻を対象とした解析により地表近傍の風速を推定するとともに、実際の木造建築物の被災度から推定された突風の強度と比較を行うことで局地的突風解析システムの妥当性を確認した。さらに、被災レベルに基づく安全性の検討として、都市境界層や台風下での都市キャノピー内の乱流構造とピーク風速の発生に関する分析を行った。

(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「予報精度の向上」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，平成 30 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)

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（東京大学大気海洋研究所）

・「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の高度化を行う。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、気候変化や土地利用変化の影響を評価する。(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 計算科学研究機センター)

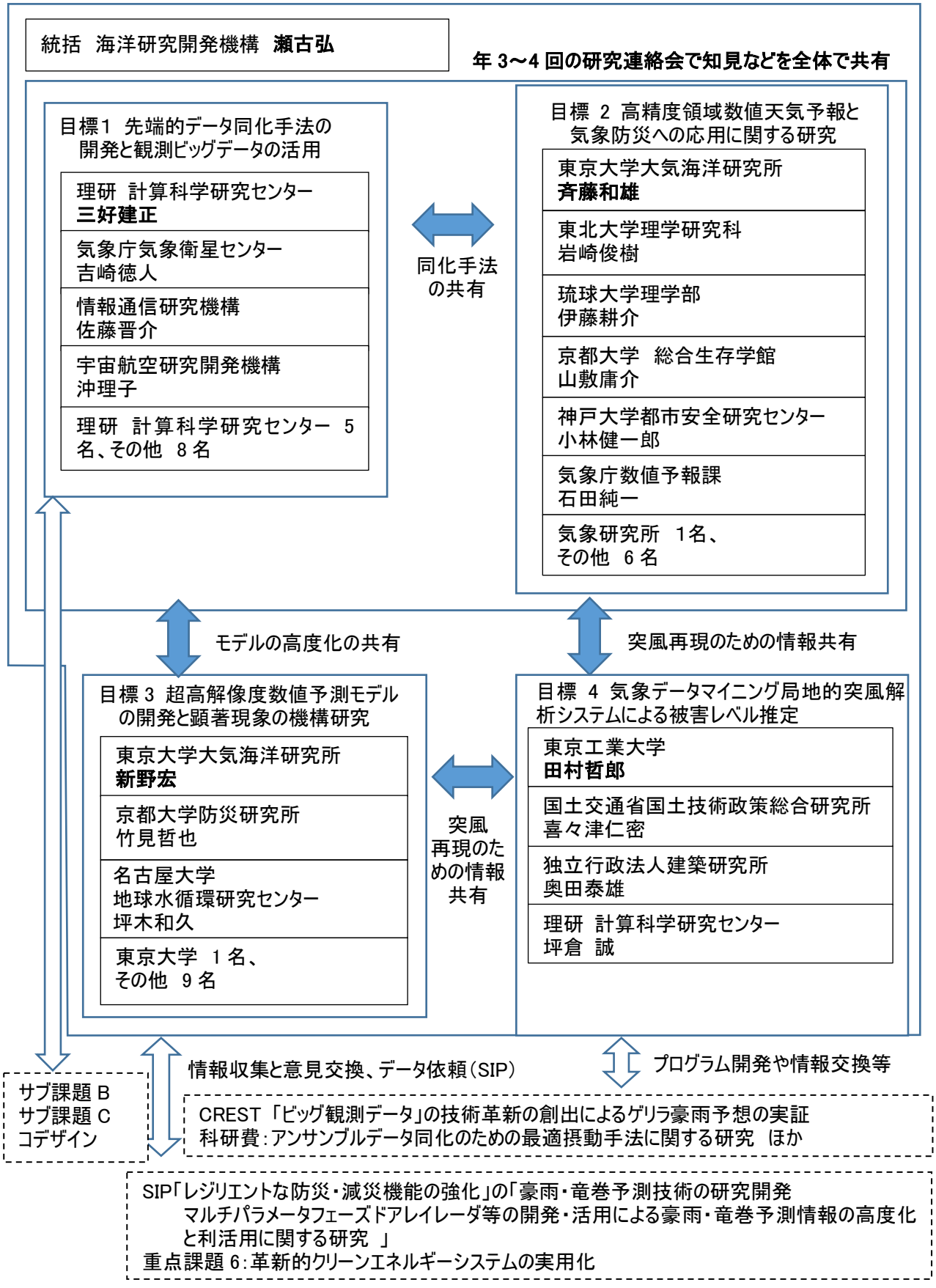
目標 4　気象データマイニング局地的突風解析システムによる被害レベル推定：田村哲郎（東京工業大学)

・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、 「予報精度の向上」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、 平成 30 年 6 月と 9 月、11 月、平成 31 年 3 月にサブ課題 A 全体の研究連絡会を開催した。目標間の垣根を超えた協力の成果として、 目標 1 と 2 の「気象庁非静力学モデルを用いた局所アンサンブル変換カルマンフィルタの開発」、 目標 2 と 3 の「高解像度モデルの実験結果で得られた知見の共有」、 目標 3 と 4 では「つくば竜巻の再現結果と再現のための知見の提供」が挙げられる。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 や 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「『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 25-30 年度，研究代表者：三好建正）、 宇宙航空研究開発機構（JAXA） 第 8 回降水観測ミッション「GPM 観測のデータ同化の高度化」（平成 28-30 年度，研究代表者：三好建正）と密接に連携している。また、 本課題の後半で行う「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、 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の国家レジリエンス（防災・減災）」 の「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 」に参加している情報通信研究機構の研究者と観測データの提供について意見交換を行うとともに、第 2 期の 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を行った。



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）

昨年度に引き続き、フェーズドアレイ気象レーダや高頻度稠密地上気象観測、気象衛星ひまわり 8 号、GPM 衛星など次世代型観測システムによる観測ビッグデータを同化するための手法の開発を進めた。西日本に甚大は被害をもたらした平成 30 年 7 月豪雨について、アンサンブル同化を用いた豪雨再現とアンサンブル予報結果を用いた豪雨要因の解析、30 秒度毎の動径風と反射強度の 3 次元データ、もしくは 2 台の 3 次元データを用いたフェーズドアレイレーダの再現実験、アンサンブル変分法や粒子フィルタ等の新しい手法の開発に取り組んだ。また、台風の予報精度の向上に向けて、航空機観測のドロップゾンデという新しい観測データの同化実験でも良好な結果を得た。これらの開発について、他の関連プロジェクトである 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」（平成 25-30 年度、研究代表者：三好建正、以下「CREST ビッグデータ同化」）、JAXA 第 8 回降水観測ミッション「GPM 観測のデータ同化の高度化」（平成 28-30 年度、研究代表者：三好建正、以下「JAXAPMM」）と密接に連携し、本格実施のための実質的な準備を進めている。

①−1. 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（PAWR）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ていた。本研究では SCALE-LETKF（Miyoshi et al. 2016, Proc. IEEE; Lien et al. 2017, SOLA） を用いて、30 秒毎の PAWR を 100m メッシュのモデルに同化する実験を行い、解析値および予報へのインパクトを調べた。

30 秒サイクル・100 m メッシュのデータ同化実験（TEST）を 7 月 6 日 1030 JST から 1100 JST まで行い、30 秒ごとに PAWR の反射強度と動径風を同化した。比較のために、同化なしの実験(NO-DA)も併せて行った。さらに、1040 JST におけるアンサンブル平均の解析値を初期値とした 100 m メッシュの予報実験も行った。高度 2 km おける解析値のレーダ反射強度（1040JST）を図 A-3a に、1040JST を初期値とした 20 分予報の結果を図 A-3b にそれぞれ示す。NO-DA では 45dBZ 以上の降水強度の領域が過度に大きく広がっており、降水分布、強度ともに観測と大きく異なっている。一方 TEST では観測と良い整合性がみられ、淡路島の東海上で起きている活発な対流といった、本事例の特徴的な構造が再現された。また 20 分予報においても、TEST は NO-DA と比較して優位な結果を示している。

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.

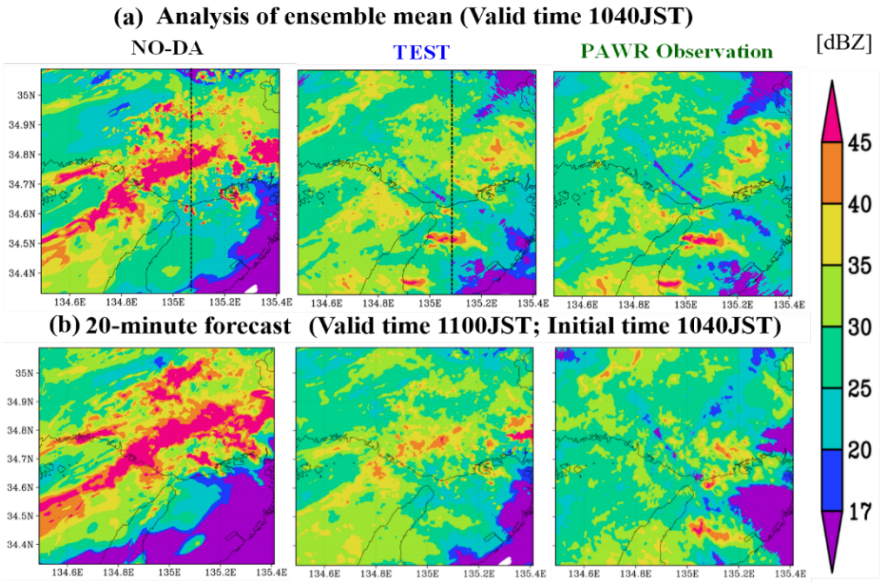


図 A-3：高度 2 kmにおけるレーダ反射強度[dBZ]。(a)1040JST におけるアンサンブル平均の解析値。(b)1040JST を初期時刻とした 20 分予報実験の結果。

①－2. 準リアルタイム SCALE-LETKF システムを用いた平成 30 年 7 月豪雨の要因分析

平成 30 年 7 月に、梅雨前線に伴う降水帯が西日本を中心とする広い範囲に停滞し、観測史上最大の雨量が多地点で記録され甚大な被害が生じた（平成 30 年 7 月豪雨，図 A-4a）。昨年度までに開発した、領域アンサンブルデータ同化システム SCALE-LETKF（Lien et al. 2017）は、従来型観測のみを 6 時間ごとに同化しながら準リアルタイムで 2015 年 5 月から運用されており、平成 30 年 7 月豪雨の期間中も途切れずにデータ同化サイクルが実行されていた。本研究では、準リアルタイム SCALE-LETKF の解析値からアンサンブル予報を実行し、平成 30 年 7 月豪雨の要因を調査した。

図 A-4b と図 A-4c は、6 時間ごとの異なる初期時刻から開始したアンサンブル予報を示す。対象とした 7 月 5 日 0-12 UTC の期間は、広島付近（図 A-4 の Region A）を始め、広い範囲で強い降水が継続していた。この期間の降水について、準リアルタイム SCALE-LETKF のアンサンブル予報では、約 2 日前の時点（7 月 3 日 06 UTC 初期時刻）から高い確率で降水を予報できていた（図 A-4b）。一方で、わずか 6 時間前の初期時刻からの予報では、Region A の強い降水の確率を非常に低く予報していた（図 A-4c）。これらの 6 時間の間に、降水確率の分布は大きく改善した（図 A-4d）。

豪雨の要因を明らかにするために、これらの 2 つの異なる初期時刻からのアンサンブル予報の比較や、アンサンブル相関の解析を行った。その結果、沖縄付近の海上から九州の南へ向かって伝播していた下層の局所的な低気圧性循環と、台風から温帯低気圧化した日本海上の低気圧が重要な役割を果たしていたことが明らかになった。後者の循環の改善には沖縄本島で展開されているレーダに基づく 1 地点での水平風プロファイルの観測が非常に大きく寄与したことが分かった。実際、7 月 3 日 06 UTC

の沖縄の 1 地点のレーダ風観測プロファイルを同化せず作成した初期値からのアンサンブル予報は、全ての観測を同化した同じ初期時刻からのアンサンブル予報に比べて降水予報の精度が非常に低かった。これらの結果は、論文として現在投稿準備中である。

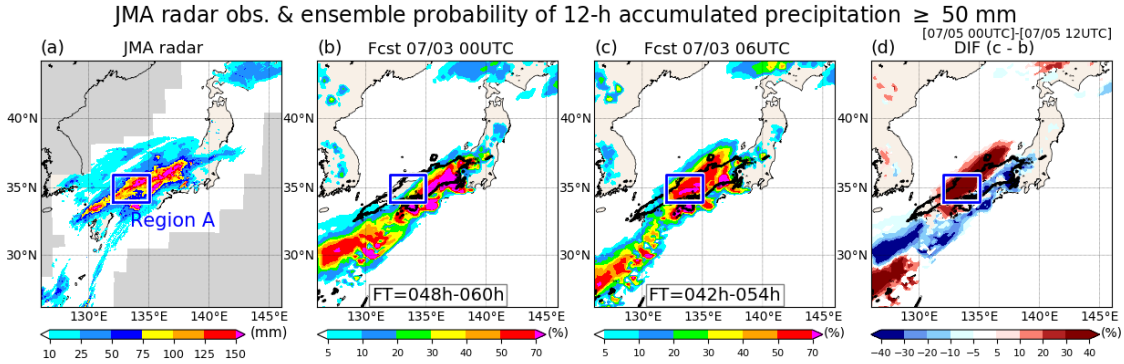


図 A-4：(a) 気象庁レーダデータに基づく、7 月 5 日 12 UTC における前 12 時間積算雨量(mm)。(b), (c)アンサンブル予報に基づく 12 時間積算降水量が 50 mm 以上となる確率(%)。初期時刻は(a)7 月 3 日 00 UTC と(b)7 月 3 日 06 UTC。黒線は気象庁レーダデータによる前 12 時間積算降水量 50 mm の等値線。(d)アンサンブル確率予報(b と c)の差。青枠は Region A を示す。

参考文献

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, doi:10.2151/sola.2017-001.

①−3. Assimilation of dual Phased Array Weather Radar data with SCALE-LETKF

We have assimilated reflectivity and Doppler radial velocity observations from two Phased Array Weather Radars (PAWR), located at Suita and Kobe, with the SCALE-LETKF (Lien *et al*, 2017), representing the first time PAWR data from two separate radars has been used for the purpose of numerical weather prediction. We have focused on a rainfall event that occurred on 20 August 2016, assimilating dual radar observations every 30 seconds for a period of 50 minutes and performing 30 minute forecasts. Experiments using different resolutions and assimilation strategies were performed using the observations to try to optimize their impact to forecasts. These include improving the quality control for the PAWR observations to remove unwanted false echoes called range sidelobes that lead to a decrease in forecast skill. This has been achieved by taking advantage of having two PAWRs to observe the same convective system within dual coverage region, thus allowing for better identification of returning echoes. The newly developed assimilation strategies for the PAWR and SCALE-LETKF system have led to an improvement in short-range 30 minute forecasts.

Figure A-5 shows 30 minute surface rainfall forecasts from two experiments where PAWR observations were assimilated with SCALE-LETKF every 30 seconds for 50 minutes. For one

experiment, observations from one PAWR are assimilated (1-PAWR), while for a second experiment, observations from two PAWR are assimilated (2-PAWR). The forecasts were compared against JMA analysis precipitation at 1km resolution (JMA). The results show that with the assimilation of dual PAWR observations we can improve intensity and distribution forecasts of surface rainfall that more closely matches JMA analysis compared to the assimilation of single PAWR.

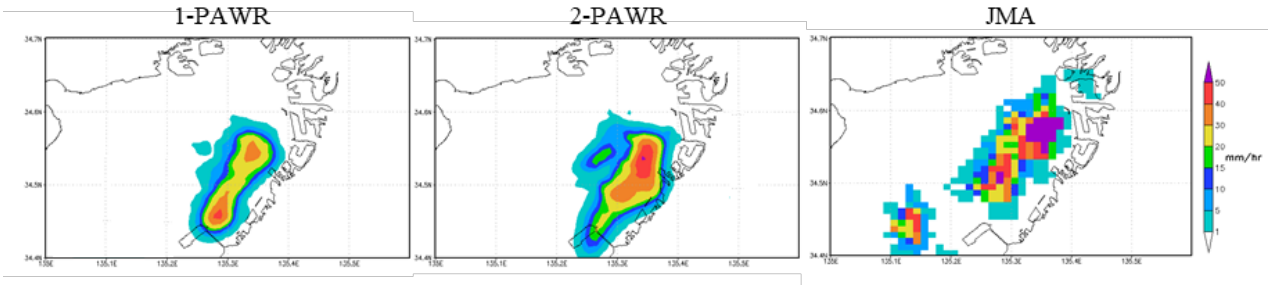


Figure A-5: Thirty-minute surface rainfall intensity (mm/hr) forecasts initialized after 50 mins cycling assimilating PAWR observations using one PAWR dataset (1-PAWR) and two PAWR datasets (2-PAWR), and JMA analysis precipitation (1km resolution).

参考文献

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.

①－4. 密な降水レーダデータを有効に活用するデータ同化手法の開発

レーダによる降水観測は気象予報において重要な役割を果たしており、その観測範囲および頻度は今後ますます拡充していくことが予想される。現在、JAXA では次世代降水観測衛星として大型フェーズドアレイアンテナを搭載した静止衛星の打ち上げを検討している。これにより、低緯度から中緯度における降水の常時観測が可能になる。さらに、これを同化することで、数値天気予報の精度向上が期待される。一方、観測誤差相関や観測演算子等に自明でない問題をはらむため、降水レーダ観測により得られる反射強度の同化は一般に難しい。加えて、現在検討されているレーダ解像度では降水エコーが地表面エコーに大きく影響を受けることが報告されており（Okazaki et al., 2018)、有効な観測は大気中層以上に限定されることが想定される。衛星計画段階において、数値天気予報における衛星観測の有用性を明らかにしておくことは重要である。本研究では、次世代静止衛星による降水レーダ反射強度観測が数値天気予報にもたらす影響を、完全モデルの観測システムシミュレーション実験により調査する。本研究では、対象事例として 2015 年最強の台風 Soudelor（平成 27 年 13 号）を選んだ。

本研究では、理化学研究所計算科学研究センターを中心に開発が進められている次世代気象気候科学基盤ライブラリーを用いた領域非静力学モデル SCALE-RM （Nishizawa et al., 2015; Sato et al., 2015）に、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ（LETKF; Hunt et al., 2007）を適用した SCALE-LETKF

（Lien et al., 2017）を用いた。モデルの水平解像度は外側領域では 15km、内側領域では 3km とした。境界値および初期値には 6 時間ごと、0.5° 解像度の NCEP/GFS を用いた。アンサンブルサイズは 50 メンバーとした。同化する観測は同モデルを用いて別途行った実験を真値と仮定し、それから計算される降水レーダ反射強度に観測誤差（5 dBZ）を加えることで作成した。観測の空間解像度は水平 20km、鉛直 500m であり、毎正時に入手可能であると仮定した。レーダ反射強度は、次世代静止衛星による降水レーダ反射強度の観測演算子 （Okazaki et al., 2018）を用いて計算した。

この結果、次世代静止衛星が観測する降水レーダ反射強度を同化することで、台風強度の解析および予報が改善することが示された（図 A-6a）。一方、台風トラックの予報精度には向上が見られなかった。これは、外側領域（内側領域の境界値）に西風バイアスがあることと、降水反射強度と風速間の弱相関により台風指向流が十分に改善されなかったことが原因である。また、地表面エコーの影響あり・なしの結果を比較したところ、地表面エコーの影響ありのほうが、予報精度が良かった。これは、反射強度とモデル予報変数間の相関が大気下層では弱いためである。以上から、適切に境界値を与えれば、次世代静止衛星降水レーダ反射強度を同化することで、台風予測を改善できる可能性が示唆された。

今後は、レーダ解像度を変えた実験および、既存の観測と併用した場合について調査を進める。

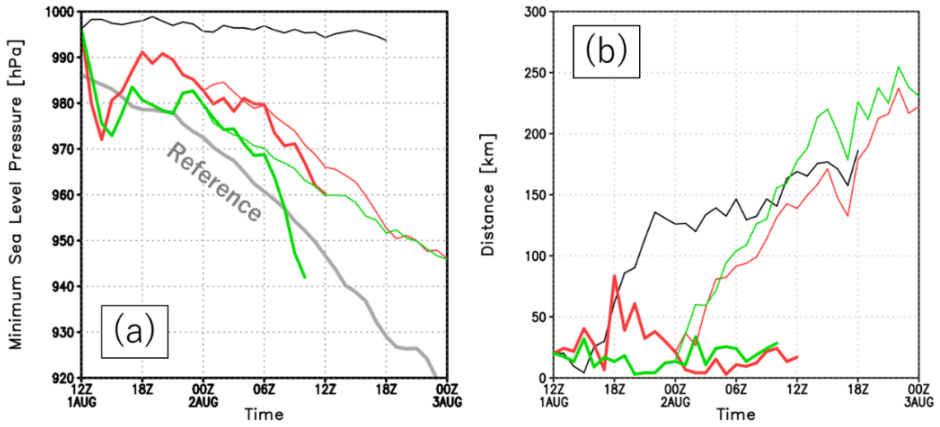


図 A-6：(a) 台風中心気圧（hPa）、(b) トラックエラー（km）。赤線は地表面エコーの影響なし、緑線は地表面エコーの影響あり、黒線はデータ同化無し実験、灰線は真値を示す。太線で解析値、細線で予報値を示す。

参考文献

Hunt, B. R., E. J. Kostelich, and I. Szunyogh, Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: A local ensemble transform Kalman filter. Physica D, 230, 112-126, 2007.

Lien, G.-Y., Miyoshi, T., Nishizawa, S., Yoshida, R., Yashiro, H., Adachi, S. A., Yamaura, T., and Tomita, H., The near-real-time SCALE-LETKF system: A case of the September 2015 Kanto-Tohoku heavy rainfall, SOLA, 13, 1-6, 2017.

Nishizawa, S., Yashiro, H., Sato, Y., Miyamoto, Y., and Tomita, H.: Influence of grid aspect ratio on planetary boundary layer turbulence in large-eddy simulations, Geosci. Model Dev., 8, 3393-3419, https://doi.org/10.5194/gmd-8-3393-2015, 2015.

Okazaki, A., Honda, T., Kotsuki, S., Yamaji, M., Kubota, T., Oki, R., Iguchi, T., and Miyoshi, T.: Simulating precipitation radar observations from a geostationary satellite, Atmos. Meas. Tech. Discuss., https://doi.org/10.5194/amt-2018-278, in review, 2018.

Sato, Y., S. Nishizawa, H. Yashiro, Y. Miyamoto, Y. Kajikawa, and H. Tomita, Impacts of cloud microphysics on trade wind cumulus: Which cloud microphysics processes contribute to the diversity in a large eddy simulation? Prog. Earth Planet. Sci., 2, 23, 2015.

①－5. NICAM-LETKF を用いた平成 30 年 7 月豪雨の予測可能性調査

平成 30 年 7 月豪雨は、西日本から北海道にかけて甚大な被害をもたらした。全球大気データ同化システム NICAM-LETKF を用いて、この平成 30 年 7 月豪雨の予測可能性をいち早く調査した。この全球大気データ同化システムは、2017 年 7 月より、NICAM-LETKF JAXA Research Analysis として 100 アンサンブルで継続実行されている。この NEXRA を用いて、特に豪雨最盛期・7 月 6 日頃の西日本の雨に注目し、総観気象の観点から豪雨の予測可能性を調査した。

NEXRA では、豪雨最盛期の西日本の豪雨を、概ね 3 日ほど前から予測されていた。朝鮮半島付近で予測されていた雨域が、7 月 2 日 12UTC の同化により大きく南にシフトしている（図 A-7 i と j)。これは、この時刻の同化によって台風 18 号の予測進路が大きく改善したためである。また、7 月 3 日 12UTC の同化により、西日本で予測される降水量が大きく強化されていた（図 A-7)。停滞する梅雨前線上に、7 月 6 日-7 日にかけて低気圧が発生しており、この時刻の同化がこの低気圧の発達の予測に大きく寄与していることが分かった。NICAM-LETKF に実装されている観測インパクト推定手法(EFSO)を用いて、7 月 3 日 12UTC に同化された観測の効果を調査した。その結果、日本域のみならず、中国東岸・台湾・韓国など他国のゾンデ観測が、西日本域の予測精度の改善に大きく寄与していたことを示した。

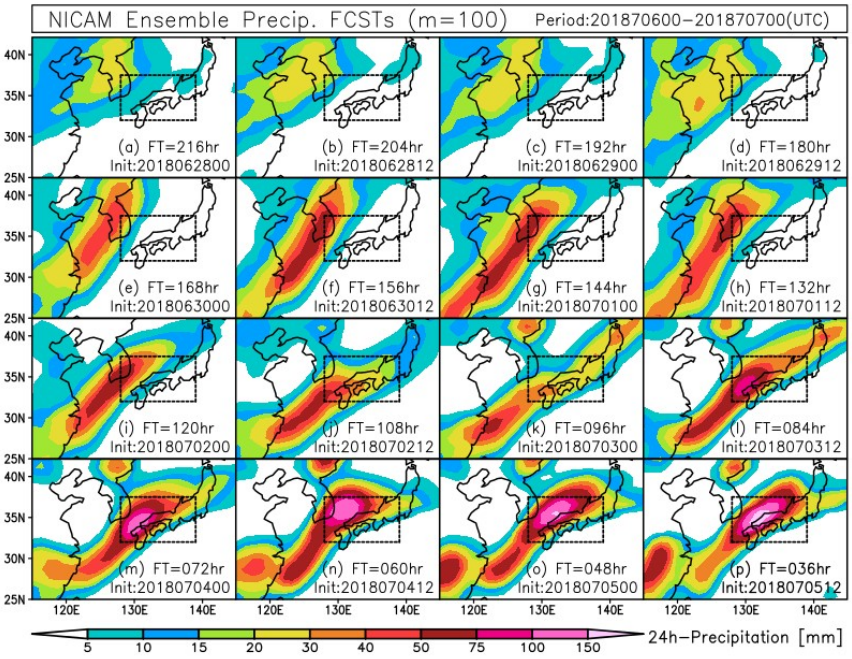


図 A-7：豪雨最盛期の 7 月 6 日 24 時間の積算降水量予測。100 メンバー・アンサンブル予測の平均値を示しており、(a)-(p)の順に、12 時間毎に初期時刻を変えた結果を示す。(Kotsuki et al. 2019 から引用)

参考文献

Kotsuki S., Terasaki K., Kanemaru K., Satoh M., Kubota T. and Miyoshi T. (2019): Predictability of Record-Breaking Rainfall in Japan in July 2018: Ensemble Forecast Experiments with the Near-real-time Global Atmospheric Data Assimilation System NEXRA. Scientific Online Letters on the Atmosphere, 15A, 1-7. doi: 10.2151/sola.15A-001

①－6. NICAM-LETKF を用いた平成 30 年 7 月豪雨の予測可能性の水平解像度依存性

平成 30 年 7 月初旬、台風 7 号通過後に梅雨前線が活発化し西日本に豪雨をもたらした。本研究では、水平解像度 112km と 28km の NICAM-LETKF システムを用いて、予測可能性の違いについて調べた。

図 A-8 は水平解像度 112km と 28km 実験における、7 月 5 日 0 時から 7 月 8 日 0 時までの 72 時間積算降水量を示す。112km 実験では、強い降水域が北寄りに予測されているのに対して、28km 実験では、強い降水域が適切に予測された。小槻他(2019)では、梅雨前線上に発生した能登半島沖の低気圧が西日本域の降水量予測に大きく寄与したことを相関解析により明らかにした。本研究では、梅雨前線の位置及び強化の予測について、オホーツク高気圧に着目して解析を行った。オホーツク海高気圧の位置の予測に関しては、台風 7 号の進路予測が大きく寄与していることが明らかになった。112km 実験ではベストトラックと比較して、台風 7 号の進路が北寄りに予測されていた。一方、28km 実験では台風 7 号の進路予測が 112km 実験と比較して精度が良かったため、オホーツク海高気圧の位置予測も良好となり、それに伴う寒気移流も精度良く予測された。その結果、28km 実験では梅雨前線の位置及び強化の予測精度が向上し、降水量も精度良く再現された。

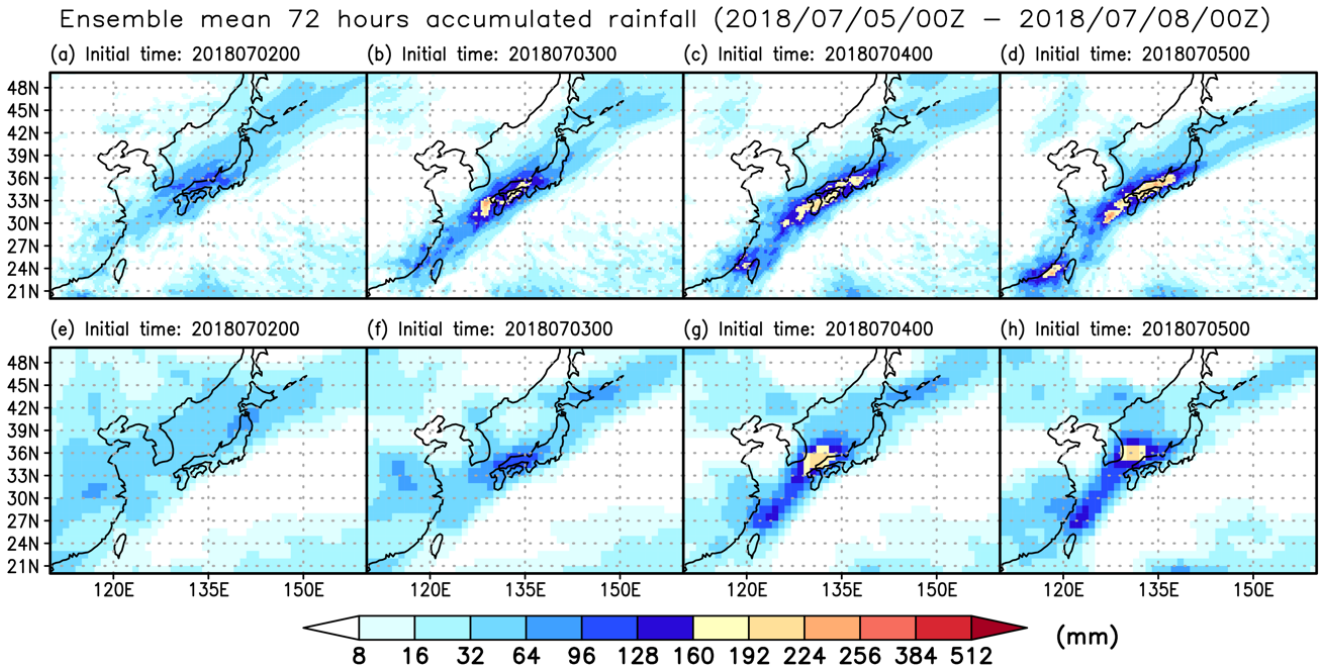


図 A-8：112km(a-d)及び 28km(e-h)実験における 2018 年 7 月 5 日 0 時から 7 月 8 日 0 時までの 72 時間積算降水量。

参考文献

Kotsuki S., Terasaki K., Kanemaru K., Satoh M., Kubota T. and Miyoshi T. (2019): Predictability of Record-Breaking Rainfall in Japan in July 2018: Ensemble Forecast Experiments with the Near-real-time Global Atmospheric Data Assimilation System NEXRA. Scientific Online Letters on the Atmosphere, 15A, 1-7. doi: 10.2151/sola.15A-001

①－7. NICAM-LETKF システムを用いた観測誤差相関を考慮したデータ同化システムの開発

衛星観測データには、チャンネル間だけではなく水平方向にも観測誤差相関があることが知られており、通常は水平方向に間引くことで対応している。観測ビッグデータを余すことなく活用するには、間引きを行わず、観測誤差相関を直接考慮することが重要である。観測誤差相関を考慮することで、どの程度の精度向上が可能となるかを調べるため、昨年度は NICAM-LETKF システムを用いて、水平方向の観測誤差相関を考慮するシステム構築を行い、観測システムシミュレーション実験を行った。今年度は、現実大気において GSMaP 降水量の観測誤差相関を考慮する実験を行った。実観測データでは、真の観測誤差相関は未知であるため、適切に推定する必要がある。小槻他(2017)では、Desroziers 他(2005)で提案された観測誤差相関を推定する手法を用いて、GSMaP 降水量の観測誤差相関を推定した。本研究では、それを用いて GSMaP 降水量の観測誤差相関を構築し実験を行った。GSMaP 降水量の観測誤差相関をデータ同化において陽に考慮することによって、水蒸気場が大気全層で改善した（図 A-9)。今後は、AMSU-A などの衛星輝度温度の水平観測誤差相関を考慮する実験を進める予定である。

本研究は、JAXAPMM と密に連携しながら進めている。

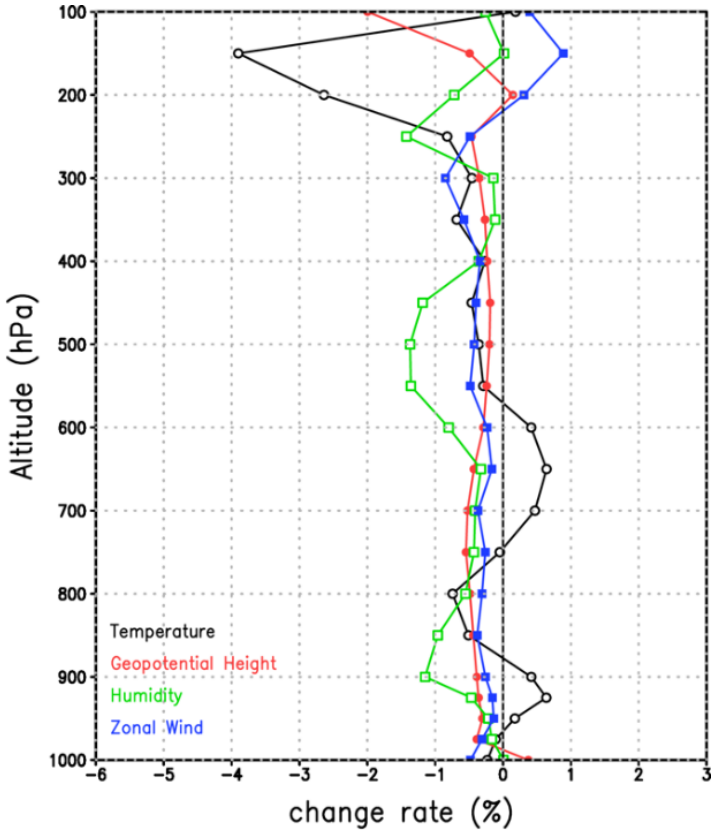


図 A-9：観測誤差相関を考慮した場合と考慮せずデータ同化を行った場合との１ヶ月平均の RMSD の差。負値は、観測誤差相関を考慮することで解析誤差が減少したことを示す。

参考文献

Kotsuki S., Miyoshi T., Terasaki K., Lien G.Y. and Kalnay E. (2017): Assimilating the Global Satellite Mapping of Precipitation Data with the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model NICAM. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 122, 631-650. doi:10.1002/2016JD025355

①−8. データ同化によるモデルパラメータ推定

昨年度に引き続き、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．ここでは解像度 112 km の NICAM を用いて研究を行い、この解像度の降水予測にインパクトが大きいと考えられる大規模凝結スキームのパラメータの 1 つを選んだ。このパラメータを、JAXA により開発されている全球衛星観測降水マップ GSMaP (Kubota et al. 2007)を用いてデータ同化でパラメータ推定を行い、海上に広がっていた弱い降水分布が改善されていることを実証した（図 A-10)。以上の成果をまとめ、米国地球科学会の雑誌、Journal of Geophysical Research に論文を出版した（Kotsuki et al. 2018)。

更に、開発した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。Kotsuki et al. (2018) で開発した手法を応用し、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が課題であり、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)。そこで、JAXA により提供されている衛星観測雲量を目的変数に、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)。以上の成果をまとめ、論文を投稿をすべく準備中である。

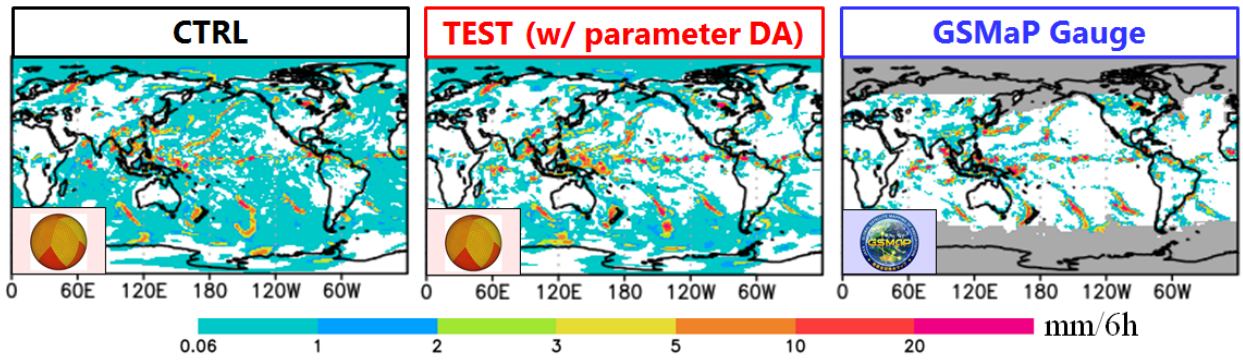


図 A-10：2014 年 6 月 16 日 0000UTC における降水分布の比較（mm 6h-1)。左：パラメータ推定無しの実験、中：パラメータ推定有りの実験、右：GSMaP_Gauge 観測。(Kotsuki et al. 2018 から引用)

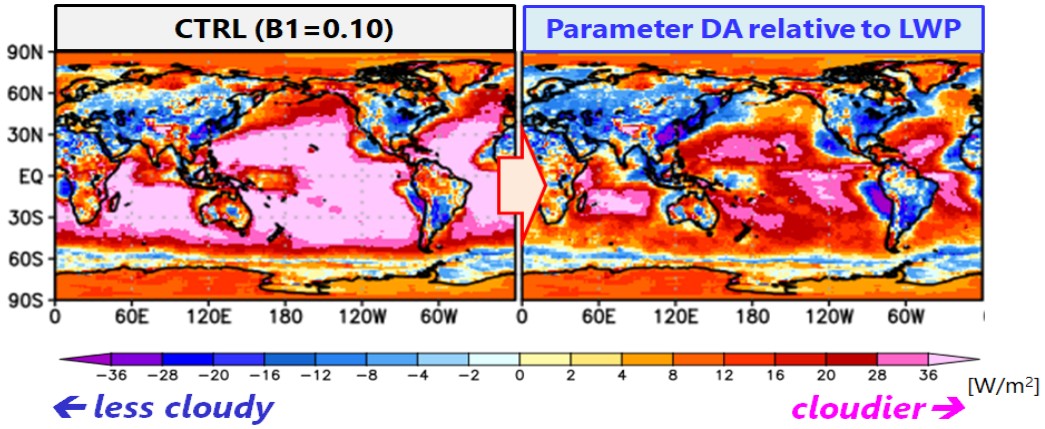


図 A-11：2015 年の 1 年平均のモデルの上向き短波放射のバイアス（$W m^{-2}$）。暖色は、雲量が多いため、上向き短波放射が過大評価されている状態である。左右のパネルはそれぞれ、モデルのデフォルト設定、および、パラメータ推定ありの実験である。（投稿準備中の論文、Kotsuki et al. 2019 から引用）

参考文献

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

Kubota, T., S. Shige, H. Hashizume, K. Aonashi, N. Takahashi, S. Seto, M. Hirose, Y. Takayabu, T. Ushio, K. Nakagawa, K. Iwanami, M. Kachi, and K. Okamoto, 2007: Global precipitation map using satellite-borne microwave radiometers by the GSMaP Project: Production and validation. IEEE Geoscience and Remote Sensing, 45, 2259-2275, doi:10.1109/TGRS.2007.895337.

①－9. 雲解像粒子フィルタ(NHM-PF)の開発

積乱雲が発達するためには、まず積雲が発生する必要があり、さらにはその領域で凝結が起こる必要がある。このプロセスをアンサンブル予報を用いて観察するとき、これらの過程における確率分布が非ガウス分布となっていることが予想される。なぜなら相変化は本質的にステップファンクション的であり、滑らかに遷移しないからである。このような非ガウス分布を観察するために、非静力学モデルを用いた粒子フィルタ（NHM-PF）を開発した。

フィルタは Sampling Importance Resampling（SIR）Filter で、モデルは気象庁非静力学モデル(JMANHM)である。NHM-4DVAR より観測演算子を移植した。さらに IO を削減するために MPI 並列によるアンサンブル実行を行えるよう設計した。

NHM-PF を用いて観測システムシミュレーション実験を行った。まず、適当な日に対して 50 メンバーによる LETKF（水平解像度 2km）を実施した。この中から積乱雲が発達するメンバーを選び、これを真値とした。さらに真値にガウス分布するノイズを与えて観測値とした。この観測値を用いて 10 分ごとの同化ステップ、90 分の同化期間に対して同化実験を行った。さらに比較として同化を行わないアンサンブル(NoDA)を実行した。その結果、真値に対する RMSE, Spread がともに NoDA と比べて小さく、

NHM-PF が良いパフォーマンスを示したことが示された（図略）。

対象とした積乱雲は、南からの気塊侵入による小規模な前線面でまず発生し、発達しながら北上した(図略)。さらに確率密度を調べてみると、上昇流発生地点では極めて大きな非ガウス分布となっており、他の要素、地点では水物質を除いて概ねガウス分布となっている。この非ガウス分布は、その後、相対湿度へ伝搬し、さらに温位、水蒸気も非ガウス分布となった（図 A-12)。また上昇流のスプレッドは前線面において大きい一方で、北側気塊における他の要素のスプレッドは小さかった(図 A-13)。ただし前線面南側で大きく、従って、前線面形成に関する不確実性が上昇流のスプレッドの大きさを生んだものと考えられる。またこれらの領域で非ガウス分布をなしているのは上昇流のみであり、積乱雲の非ガウス性の源は上昇流にあることが結論づけられた。

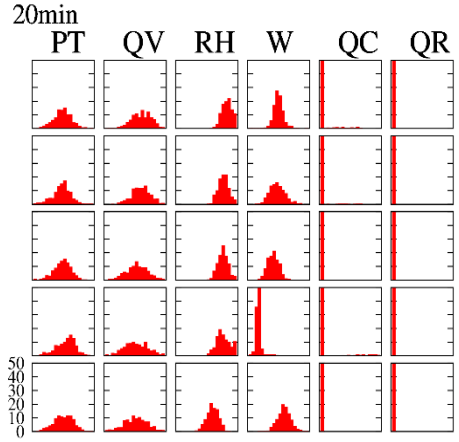


図 A-12：下の段から、対流発生領域への流入地点、上昇流発生地点、積雲発生地点、発達および移流の各地点の確率密度。左列から、温位、水蒸気混合比、相対湿度、上昇流、雲水混合比、雨水混合比。高度 2800m。時刻は 20 分後。

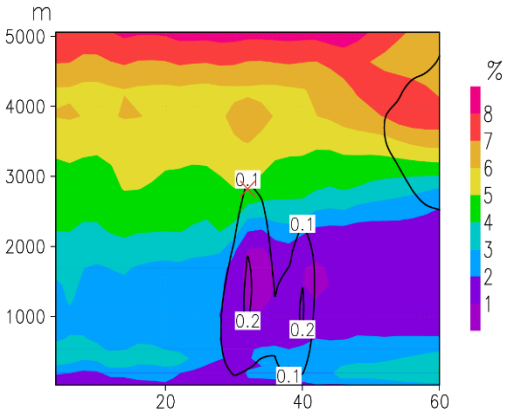


図 A-13：左図の地点に沿った鉛直断面図。コンターは上昇流、シェードは相対湿度のスプレッド。時刻は 10 分後。

①－10. 4 次元アンサンブル変分同化システム（4DEnVar）の開発

本課題で同化システムとして用いられている LETKF などのアンサンブルカルマンフィルター(EnKF)では、解析値を線形最小分散推定によって求めるため、予報モデルや観測演算子が非線形である場合、解析値が確率密度分布の最頻値と一致しない。また、EnKF でアンサンブル予報に基づいて作成される背景誤差共分散に対して、サンプリング誤差軽減のための局所化を観測空間で行う（観測毎に観測点を定め、その観測の同化の影響をその近傍に限定させる）必要があり、空間積分量である衛星観測などの同化に課題がある。一方、気象庁の同化システムとして用いられている 4 次元変分法（4DVar）や、その背景誤差共分散をアンサンブル予報に基づいて作成する En4DVar では、解析値を最尤推定（非線形モデルの繰り返し計算による評価関数の最小化）によって求めるため、予報モデルや観測演算子の非線形性が弱い場合は解析値が最頻値に一致し、背景誤差共分散を直接局所化する手法も確立されている。しかし、4DVar や En4DVar では、背景誤差共分散の時間発展を接線形の予報モデルを用いて計算

する必要があり、この接線形モデルの開発や計算に大きなコストがかかるという課題がある。また、予報モデルや観測演算子が強非線形（降水に関連する予測や観測など）の場合は、評価関数の最小値を正しく求めることができない場合がある（図 A-14)。そこで本研究では、上記の課題を解決するために、En4DVar のように非線形モデルの繰り返し計算をしつつ EnKF のように背景誤差共分散の時間発展をアンサンブル予報に基づいて近似計算する 4 次元アンサンブル変分法（4DEnVar）を開発し、これを気象庁の現業メソ 4 次元変分同化システム（JNoVA; Honda et al. 2005）に実装してその利点と実用化の際の課題を調査した（Yokota et al. 2019)。

1 点観測同化実験の結果、解く問題によって En4DVar の方が評価関数を小さくできる場合と、4DEnVar の方が評価関数を小さくできる場合の両方があることが分かった。特に、評価関数の勾配が非線形でアンサンブル摂動の大きさが適切である場合、4DEnVar の方が En4DVar よりも評価関数を小さくできる可能性が高いと考えられる。実際に、平成 27 年 9 月関東・東北豪雨の事例で、現業メソ解析作成時に同化されている実観測の同化実験を行ったところ、En4DVar と 4DEnVar でほぼ同等の解析値を得ることができ、被害の大きかった鬼怒川流域の降水予測は 4DEnVar の方が En4DVar よりわずかに改善していた（図 A-15)。ただし、背景誤差共分散の局所化を行った場合、4DEnVar では En4DVar に比べて局所化された背景誤差共分散の時間発展が正しく計算できず、評価関数の最小値探索が不安定になることが分かった。今後、この 4DEnVar を実用化するために、適切な局所化の実装方法を検討する予定である。

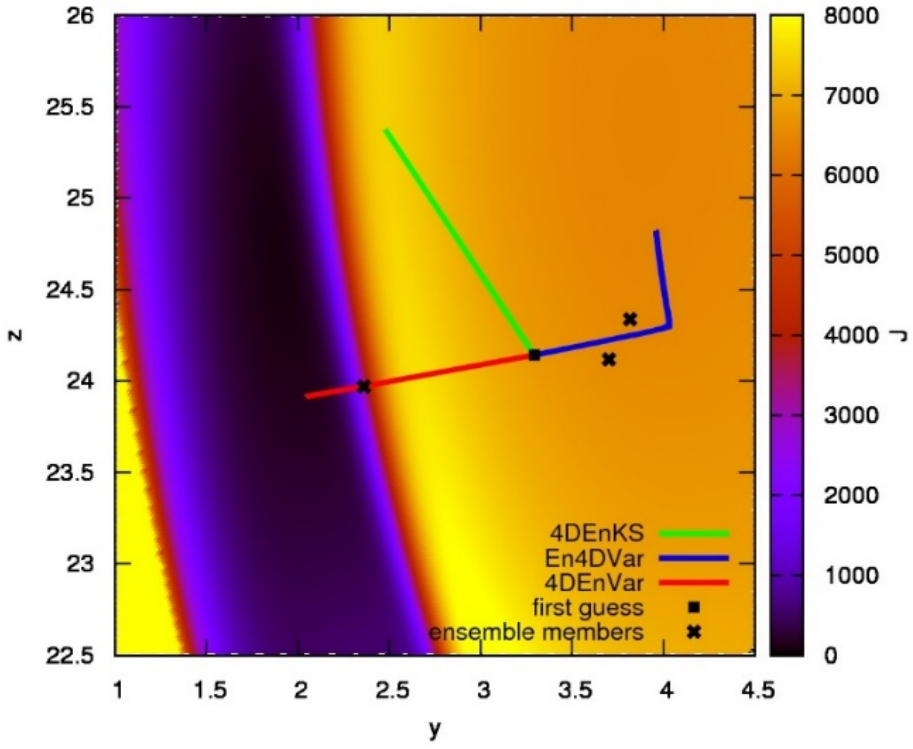


図 A-14：Lorenz(1963)の 3 変数モデルを用いた同化実験における評価関数（カラー）と、4DEnKS（4 次元同化により同化ウインドウ初期時刻の解析値を求める EnKF、緑線）・En4DVar（青線）・4DEnVar（赤線）による最小値探索の軌跡の例。■印と×印はそれぞれ第一推定値とアンサンブル予報値（3 メンバー）を示す。4DEnVar 以外の手法では評価関数の最小値探索に失敗していることが分かる。

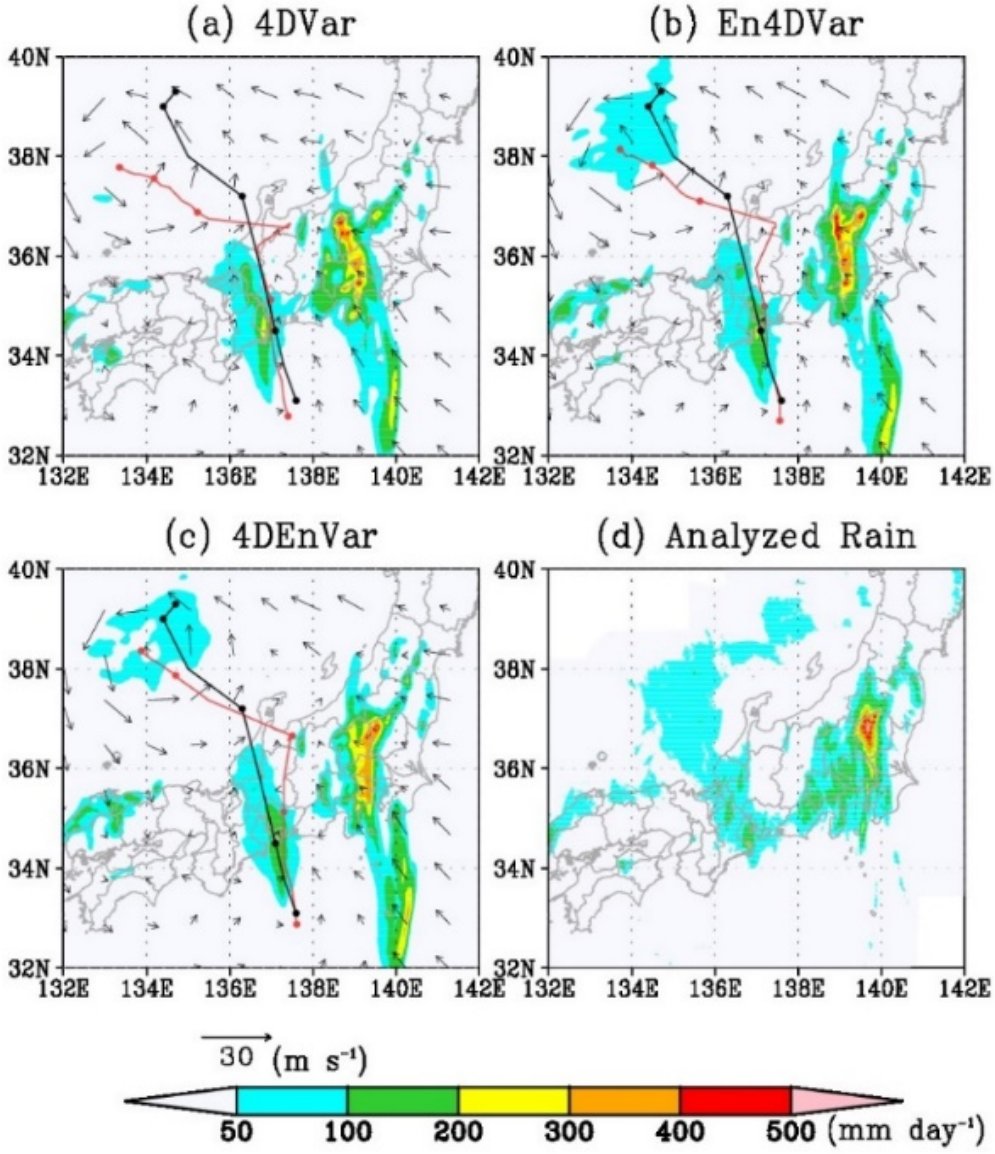


図 A-15：3 つの実験（a：4DVar、b：En4DVar、c：4DEnVar）における、2015 年 9 月 8 日 18UTC から 9 日 18UTC の台風の経路（赤線，●印は 6 時間毎）、24 時間降水量（カラー，mm day^{-1}）、9 日 18UTC の高度 10 m の水平風（矢印，m s^{-1}）。黒線はベストトラック。

参考文献

Lorenz, E. N., 1963: Deterministic nonperiodic flow. J. Atmos. Sci., 20, 130-141.

Honda, Y., M. Nishijima, K. Koizumi, Y. Ohta, K. Tamiya, T. Kawabata, and T. Tsuyuki, 2005: A pre-operational variational data assimilation system for a non-hydrostatic model at the Japan Meteorological Agency: formulation and preliminary results. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 131, 3465-3475.

Yokota, S., K. Koizumi, M. Kunii, K. Ito, 2019: 4DEnVar with iterative nonlinear forecast model. (in preparation)

①－11. 降水観測同化の改良に向けた局地的降水のアンサンブル特異値分解解析

レーダー反射強度などの降水観測の直接同化によって降水の短時間予測精度を向上させるためには、同化の際、降水の主な原因である大気場を降水との共分散に基づいて修正することが重要である。しかし、LETKF などのアンサンブルカルマンフィルター（EnKF）では、全アンサンブルメンバーで降水が予測されていない点において、降水と大気場の共分散が 0 とみなされるため降水観測の同化の効果が得られない。この問題を解決するために、Yokota et al.(2018)は、降水が予測されていない点に大気場と相関を持つレーダー反射強度の摂動を与えて同化する手法を開発し、これによって降水が予測されていない点でもレーダー反射強度の同化によって予測精度が向上し得ることを示した。しかし、この反射強度の摂動は観測位置と同じ高度の大気場のみを用いて作成されるため、この手法では観測位置と異なる高度の大気場を正しく修正することができない可能性がある。そこで本研究では、降水観測同化の更なる改良のために、2016 年 8 月 4 日につくば市で発生した局地的降水事例について、301 メンバーのアンサンブル予報に基づく大気場と雲物理量の相互共分散行列の特異値分解解析を行い、降水と大気場の相関の時空間的分布をより詳細に調査した。

まず、水平解像度 1 km の NHM-LETKF（Kunii 2014）を用いて地上観測（水平風・気温・相対湿度）・GNSS 観測（可降水量）・ラマンライダー観測（水蒸気混合比）・レーダー観測（動径風・偏波間位相差で減衰補正した反射強度）を同化することにより、この局地的降水をアンサンブル実験で再現するための 301 メンバーの初期値を作成した。なお、レーダー反射強度の同化の際は Yokota et al.(2018)の手法を用いた。この初期値を用いてアンサンブル実験を行ったところ、全メンバーで実際の降水に近い位置に降水が再現された。この 301 メンバーのアンサンブル予報結果から、4 日 0550UTC の雲物理量（降水域近傍 20km×20km の矩形領域内の雲水・雨・雲氷・雪・霰の混合比）と 0530-0600UTC の 1 分毎の大気場（計算領域全体の東西風・南北風・鉛直風・温位・気圧・水蒸気混合比）の相互共分散行列を求め、その特異値分解解析を行った。すると、雲物理量の第 1 特異値における異質相関（特異値分解で得られる大気場の重み係数との相関）が局地的な降水の発生位置で大きな値になった。したがって、この第 1 特異値は降水の強度と大気場の関係を示していると考えられる。また、それと対応する下層の大気場の異質相関（雲物理量の重み係数との相関）の分布から、降水発生前に下層で収束や渦度が大きく、上昇流があり、温位勾配が大きく、局所的に気圧が低く、水蒸気量が多いことが局地的降水の発生に重要だということが示唆された（図 A-16)。さらに、降水発生前の地上 2 km より上空の大気場は降水との相関が非常に小さかったのに対し、降水発生後の大気場は中～上層の大気場も降水との相関が大きいということが分かった（図 A-17)。今後、この結果に基づき、降水観測の同化によって大気場をより適切に修正する手法を検討する予定である。

参考文献

Yokota, S., H. Seko, M. Kunii, H. Yamauchi, and E. Sato, 2018: Improving short-term rainfall forecasts by assimilating weather radar reflectivity using additive ensemble perturbations. J. Geophys. Res., 123, 9047-9062.

Kunii, M., 2014: Mesoscale data assimilation for a local severe rainfall event with the NHM-LETKF system, Wea. Forecasting, 29, 1093-1105.

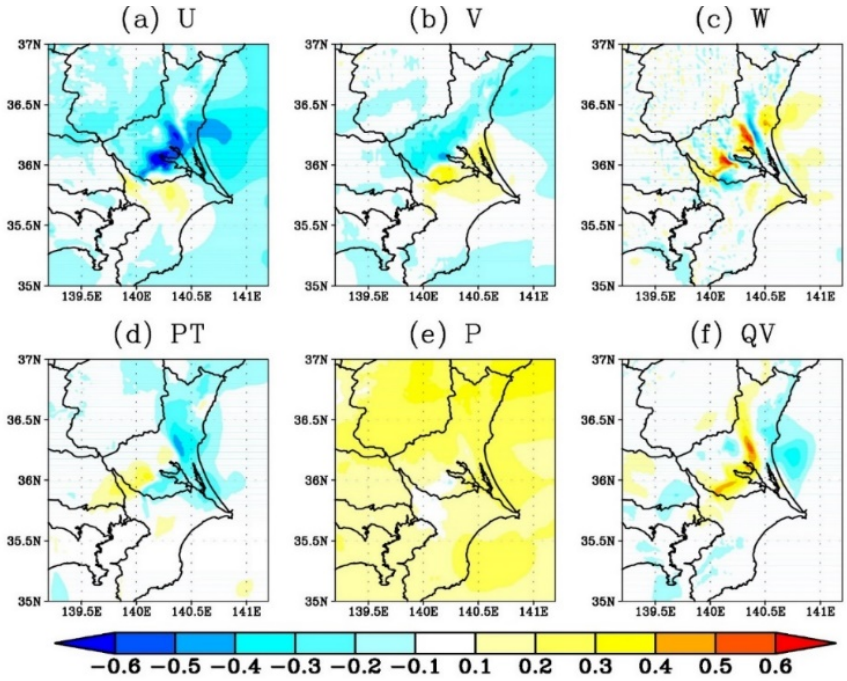


図 A-16：2016 年 8 月 4 日 0550UTC の雲物理量と 0530UTC の大気場の間の相互共分散行列の第 1 特異値における、地上 0.4 km の大気場の異質相関マップ（a：東西風、b：南北風、c：鉛直風、d：温位、e：気圧、f：水蒸気混合比）。

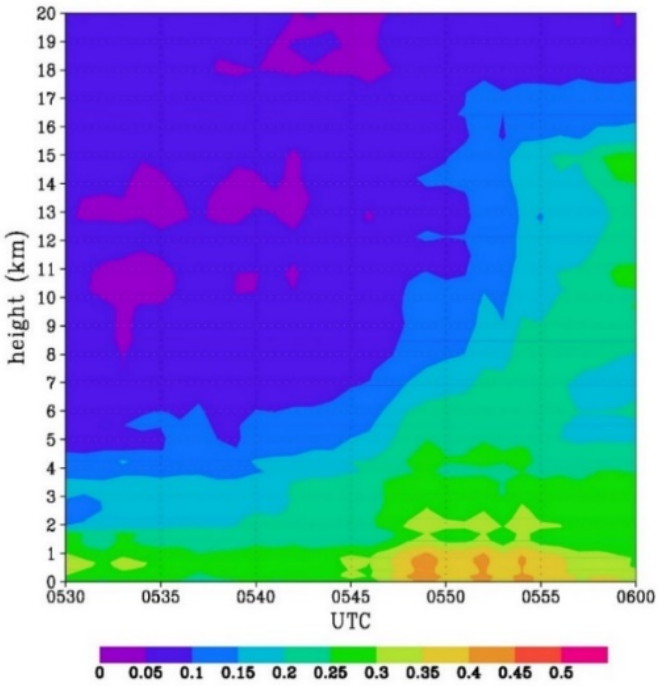


図 A-17：2016 年 8 月 4 日 0550UTC の雲物理量と 0530-0600UTC の大気場の間の相互共分散行列の第 1 特異値における、全大気場の異質相関（降水域近傍 20km×20km の矩形領域内の二乗平均の平方根）の鉛直分布の時系列。

①－12. 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

目標 1 では、観測ビッグデータとして、フェーズドアレイレーダ（PAWR）や二重偏波レーダ、レーダ位相や地デジによる屈折率データ、ドップラーライダー（DL）、GNSS 遅延量、ひまわり 8 号の 30 秒データなどに注目し、これらの高頻度・高密度観測データの同化を通して数値予報モデルの初期値を改善することを目標にしている。これまでに PAWR は Miyoshi et al（2016）が大阪大学に設置した PAWR の 30 秒毎という高頻度データを用い、神戸市で発達した降水系の再現と予測に成功している。二重偏波レーダでは Yokota et al.（2016, 2018）が、GNSS 遅延量では Kawabata et al.（2013）が、DL では Kawabata et al.（2014）が同化実験を行い、つくば竜巻や局地的大雨を引き起こした降水系の再現に成功している。ここではこれらのデータの特性を再確認しつつ、複数の観測データを同時に同化して、更に予報精度の向上を試みる。

今回は、観測データとしてレーダで観測する位相から求めた屈折率データを取り上げる。図 A-18 は気象研究所の C バンドレーダで観測した 2017 年 8 月 19 日 5 時の前 10 分から屈折率の変化量を示す。つくば付近で北-南東にのびる増加域が見られる。この増加域の東側に鹿島灘からの低温な東寄りの気流があり、増加域の進行側（西側）に弱い降水（空白域）が発生していた。この様に屈折率データは地上付近の情報を含んでおり、積乱雲の再現に有効な同化データになると期待できる。

PAWR データの同化実験の対象として、大阪平野に局地的大雨が発生した 2017 年 8 月 5 日の事例を取り上げる。14 時 10 分に大阪平野北部に降水域が現れ、ゆっくりと北上しながら 15 時に最盛期となった（図 A-19 上段）。本研究では LETKF ネストシステムを用い、衛星データを除く現業データと PAWR の動径風を同化した。格子間隔は 1.875 km、同化窓は 1 時間で、スロット間隔は 10 分とした。同化実験の結果、メンバー毎に降水域が大きくばらつくが、メンバー#003 ではやや位置が南にずれているものの、15 時に大阪平野にあった降水域が 16 時には北に移動し、更に発達する様子が再現された（図 A-19 下段）。

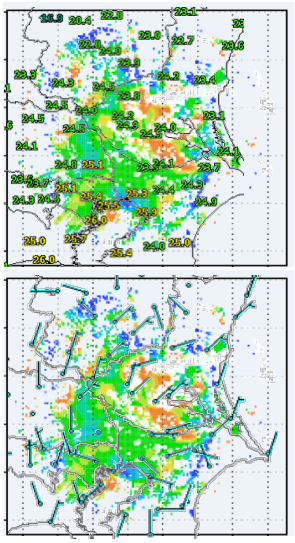


図 A-18：レーダの位相データから求めた 2017 年 8 月 19 日 5 時の前 10 分間の屈折率の時間変化量と、アメダスによる同時刻の（左）気温と（右）水平風分布。

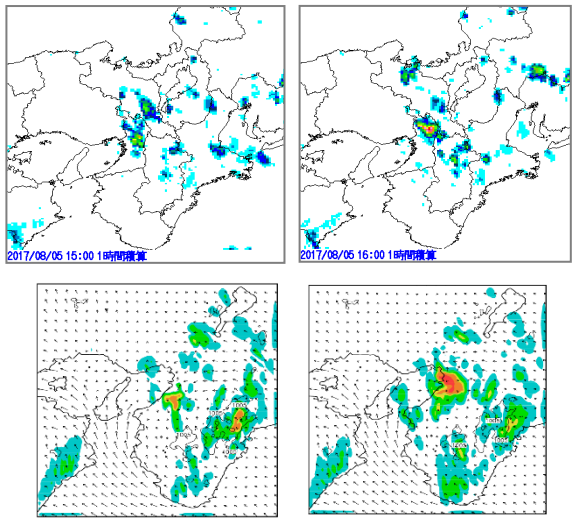


図 A-19：2017 年 8 月 5 日の（左上）15 時と（右上）16 時の降水分布。LETKF ネストシステムを用いて、フェーズドアレイレーダの動径風を同化したアンサンブルメンバー#003 の（左下）15 時の解析値と（右下）16 時の予報値の降水分布と地形に沿った座標系の高度 20m での水平風の分布。

①－13. 2017 年台風第 21 号の航空機観測データの同化

米軍が航空機観測を中止した 1987 年以降、北西太平洋における台風の中心付近の直接観測は、ほとんど行われていない。しかし、台風の内部コアの様子を観測し、スーパーコンピュータを用いた最先端の予測システムにこのような情報を加えることで、台風の進路や強雨の予測精度が向上し、防災・減災に役立てることができると期待できる。本研究では、日本人研究者として初となる研究観測キャンペーン T-PARCII における 2017 年 10 月 21～22 日の 2 日間の台風第 21 号の航空機観測のデータ同化に取り組んだ。実施にあたっては、ダイヤモンドエアサービス株式会社のジェット機ガルフストリーム II から明星電気株式会社製のドロップゾンデという観測機器を 26 個投下することにより、台風の眼の中や眼を取り囲む壁雲付近で、風速・気温・気圧・湿度を観測することができた。

気象庁非静力学モデルに基づくメソ 4 次元データ同化システム JNoVA へのドロップゾンデの同化を行ったところ、台風の西側の南北風に第一推定値との大きな差異があり、これが修正された（図 A-20）。この結果、予報される台風の北進速度が事後解析と整合的な値へと変化し、台風が日本に上陸するタイミングが正確に予測できるようになることが分かった。3 時間のデータ同化サイクルを観測開始から台風上陸までの 12 回繰り返し、誤差統計を取ったところ、本航空機観測を追加していた場合、台風の進路予測精度が最大で 16%改善し、強雨（3 時間当たり 30mm 以上）の予測精度も改善することがわかった。これは、航空機を用いた台風の直接観測が予測を出すうえでも重要な役割を果たすということを示唆するものである。

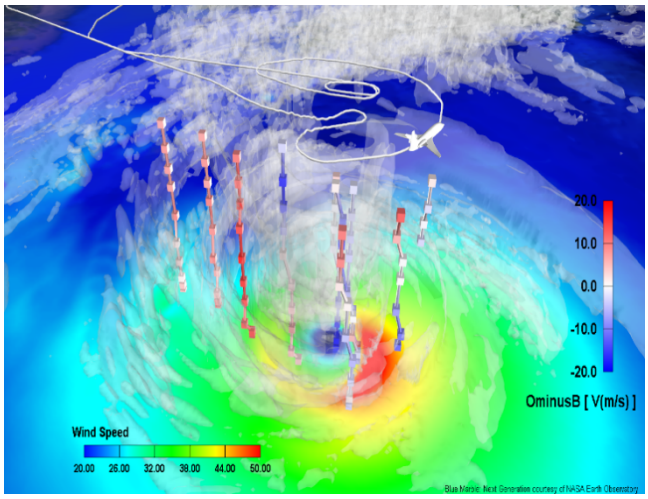


図 A-20：第 1 サイクルにおける南北風のイノベーション

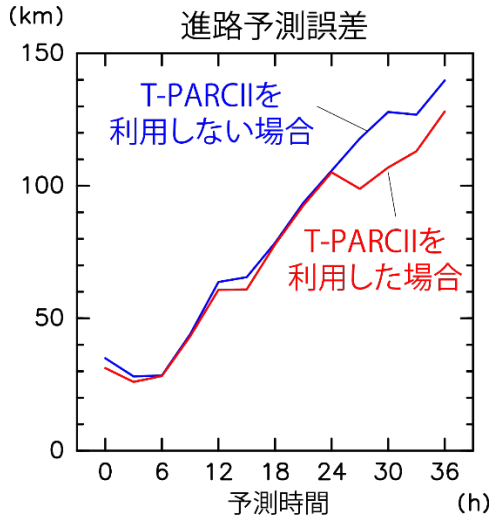


図 A-21：台風の進路予測誤差
（12 回の平均）

参考文献

Ito, K., H. Yamada, M. Yamaguchi, T. Nakazawa, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, and K. Tsuboki, 2018: Analysis and forecast using dropsonde data from the inner-core region of Tropical Cyclone Lan (2017) obtained during the first aircraft missions of T-PARCII, SOLA, 14, 105-110, doi:10.2151/sola.2018-018.

①－14. ひまわり 8 号の全天候輝度温度の同化

現業的なデータ同化システムにおいては、多くの衛星データが雲や降水の影響を受けない晴天域だけで同化されているが、曇天域も含む全天候域での輝度温度を同化することにより、気温・水蒸気・雲の解析場の改善、さらにそれを初期値とした予測場も改善することが期待される。本研究では、ひまわり 8 号の雲域の輝度温度を同化し、豪雨や台風などの解析や予測の改善を目標とする。これまで、雲の効果を考慮した品質管理手法、観測誤差モデル、バンド選択、間引き距離の決定、鉛直局所パラメータの設定などを行い、領域同化システム NHM-LETKF を用いて試験してきた。またラジオゾンデや衛星雲レーダなどを用いた検証を行い、パラメータの精緻化を行ってきた。

今年度は、さらに検証を進めるとともに、現業で行われている晴天輝度温度（CSR）同化処理を NHM-LETKF に導入し、全天候輝度温度（ASR）と比較した。2015 年関東東北豪雨事例に対して、10 日間 6 時間間隔のデータ同化サイクルの結果、CSR を同化することにより降水予測は改善するが、観測域が限られるため予報を改善する解析時刻が限定的であることが分かった。一方で、ASR は CSR よりも均質・定常的に観測情報を活用することができるため、より定状的に改善が得られることを確認した（図 A-22）

さらに、ASR 同化をさらに改良するため、いくつかのバイアス補正手法を開発し試験したが、追加的な改善効果は得られなかった。この原因として、雲が影響する条件ではバイアスの要因が複雑となる（例えば放射伝達モデルがもつ正バイアスと、モデルがもつ負バイアスがキャンセルする）ためと考えており、さらに調査が必要である。これらの結果について、品質管理処理などは Okamoto et al.（2017）に、同化実験については Okamoto et al.（2019）として論文化している。

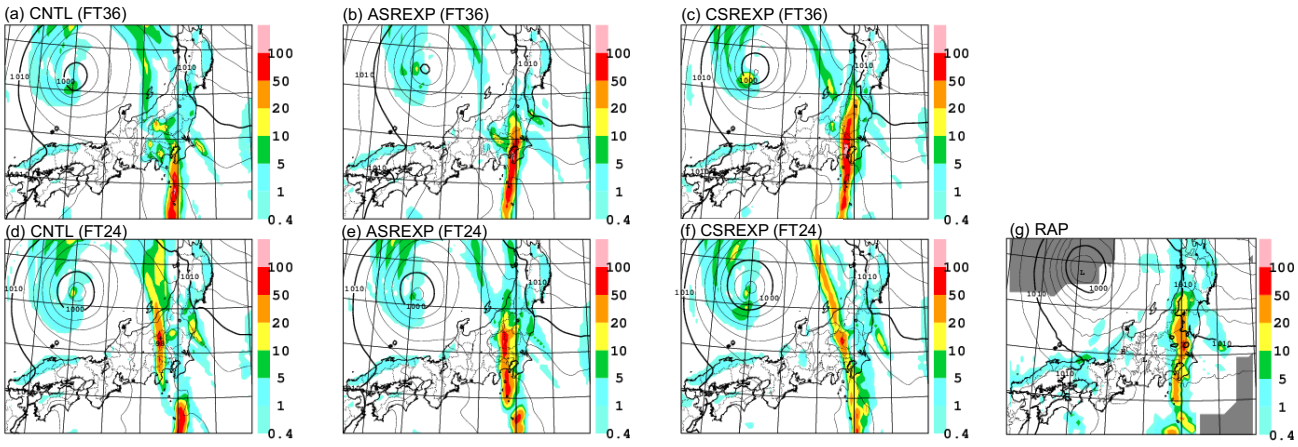


図 A-22：(a, d)従来型観測だけ同化（CNTL 実験）、(b, e)ASR を同化、(c, f)CSR を同化した同化実験から得られた 3 時間積算降水量と地上気圧の予測値を、(g)レーダーアメダス 3 時間積算降水量と現業メソ解析地上気圧と比較。(a-c)の 2015 年 9 月 10 日 00UTC の解析を初期値とする 36 時間予報では、ASR, CSR 同化実験とも線状降水帯をほぼ実況と同じ場所で予測。一方、(d-f)で示される、同日 03UTC の解析を初期値とする 24 時間予報では、CSR 同化実験と CNTL 実験は西側にずれているのに対し、ASR 同化ではほぼ正確に予測ができている。

参考文献

Okamoto, K. 2017: Evaluation of IR radiance simulation for all-sky assimilation of Himawri-8/AHI in a mesoscale NWP system. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 143, 1517-1527.

Okamoto, K., Y. Sawada and M. Kunii 2019: Comparison of assimilating all‐sky and clear‐sky infrared radiances from Himawari‐8 in a mesoscale system. QJRMS. doi:10.1002/qj.3463, in press

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）

アンサンブル予報を含む高精度領域数値予報を実現して、長いリードタイムの獲得や集中豪雨等の予報精度向上と気象防災への応用を目指す「目標 2」では、平成 30 年 7 月西日本豪雨を対象に 3160×2600km の広い領域を対象に水平解像度 500m の高解像度数値予報実験を行い、その精度検証を行い、広い計算領域を取り、解像度 500m 以下にすることによって豪雨の再現性が良くなることを示した。またこれまで開発してきた NHM-LETKF を用いた高解像度領域再解析システムを平成 27 年 9 月関東東北豪雨を対象に適用する実験を行い、台風の同化手法による結果の違いを調べ、従来型観測が疎らな日本の南海上では、台風の位置情報の同化や波数境界から境界値の強制を強めることが日本の南海上で現実的な場を維持することに必要で、それが日本付近の豪雨の再現向上にも重要であることを示した。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、これまで提唱されている relaxation-to-prior-perturbation method (RTPP) や relaxation-to-prior-spread method (RTPS)と呼ばれている共分散手法や、アンサンブル変換行列の対角成分を修正して用いる diagnal アンサンブル変換などを統一的に理解する考察を進め、論文投稿した。diagnal アンサンブル変換法については、その精度を首都圏に局地的な大雨が発生した 2016 年 8 月 3 日のケースについて、データ同化サイクルを組んで比較実験を行い、RTPS 法と併用することにより降水予測精度に改善する場合があることを検証して示した。

水文モデルによる高精度領域数値予報の気象防災への応用に関しては、アンサンブル変分同化を用いた 1600 アンサンブル降水予測による新潟県笠堀ダム流域（70km^2）での洪水予測についてをまとめた論文を国際ジャーナルに投稿した。また鬼怒川流域全体（1760km^2）を対象としたアンサンブル洪水予測可能性の検討、洪水氾濫シミュレーションにおいて風の影響を考慮する必要性に関する検討、浅水流方程式と局所慣性方程式の精度検証などを進めた。また 2018 年 7 月の広島での豪雨災害において Hydro-Debris2DH(HD2DH)モデルを用いた広域シミュレーションを行い、特に被害が大きかった呉市の安浦地区に対して、HD2DH を用いた豪雨による侵食再現実験と、現地調査および LANDSAT データによる崩壊地同定との比較を行なった。さらに 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、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、地滑りシミュレーションを行うとともに小規模土石流実験と三次元粒子法シミュレーションとの比較を行った。

②−1. LETKF の初期値摂動手法の調査（雲解像モデルの場合）

アンサンブル予報を用いるデータ同化手法は、アジョイントモデルが不要なため開発コストが少なく、並列計算が容易でアンサンブル予報が同時に行える、などの HPCI 環境に対するメリットもあり、ポスト京重点課題研究でも LETKF が多く用いられている。アンサンブルデータ同化ではデータ同化に必要な予報誤差をアンサンブル予報摂動から見積もるが、アンサンブル予報場の特性はどのようにアンサンブルメンバーを生成させるかに強く依存する。LETKF やアンサンブル変分同化法などでは、初期値摂動手法として、解析誤差共分散行列の固有値分解に基づくアンサンブル変換法が広く用いられている。アンサンブル変換では前の解析予報サイクルからの予報摂動の線形結合で次の解析予報サイクルのための解析摂動が作られる。アンサンブル変換法には、摂動振幅に解析誤差が反映すること、摂

動場の直交性がある程度保証されるなどの利点があるが、一方で、LETKF の摂動は、BGM 法や特異ベクトル法などの他の摂動手法に比べて成長が遅く、アンサンブル予報の初期摂動として用いた場合のアンサンブル平均の精度やアンサンブル予報の検証スコアで必ずしも良くないことが過去の NHM-LETKF を用いた調査で示されている。

平成 28 年成果報告書では、簡易全球モデル SPEEDY を用いた LETKF について、変換行列の係数を確認するとともに、変換行列非対角成分の重ね合わせによる摂動ベクトルの空間構造の不整合や対角成分と非対角成分による摂動のパワースペクトルの局所化スケール依存性について調べた。平成 29 成果報告書では、より現実的な同化システムとして気象庁非静力学モデルで実データを同化する水平格子間隔 15km の NHM-LETKF で同様な調査を行い、上昇流の場の鉛直構造や予報場への影響について報告した。局所化に伴う変換行列の係数不整合の影響は深い対流を含む雲解像モデルでより深刻となる可能性もあるので、今回は水平格子間隔 2km の NHM-LETKF で首都圏に強い降水が見られた事例について同化サイクルによる実験を行い、降水予報を検証した。実験の主な諸元は以下のようなものである。（15kmLETKF は 2016 年 8 月 1 日 00UTC からの 6 時間データ同化サイクル）

- 関東周辺 240kmx240km、水平格子間隔 2 km 鉛直 50 層、20 メンバー、積雲パラメタリゼーションなし
- 2016 年 8 月 1 日 18UTC から 15km LETKF アンサンブルにネスト、3 時間データ同化サイクルを 8 回実行
- 15km LETKF 予報による境界摂動、RTPS (Relaxation to prior spread)によるインフレーション

対象とする事例は、東京付近で局地的な強雨が観測された 2016 年 8 月 3 日で当日の 03 JST, 06JST の前 3 積算降水量を図 A-23 に、図に対応する 3 時間降水量について、変換行列をそのまま用いる LETKF(Full)と固有値の平均値に単位行列を掛けたものを用いる diagonal LETKF (Duc et al. 2019) からの解析に対する予報を図 A-24 に示す。

上記はコントロール解析に対する予報であるが、全 20 メンバーの予報の同化サイクル期間中の 1 時間降水強度に対する Fraction Skill Score を図 A-25 に示す。通常の変換行列を用いる解析からの予報（左）に対し、diagonal LETKF 同化サイクルの予報(右)はスコアを大きく改善している。

参考文献

Duc, L., K. Saito, and D. Hotta, 2019: Development and validation of a diagonal ensemble transform Kalman filter. (in preparation)

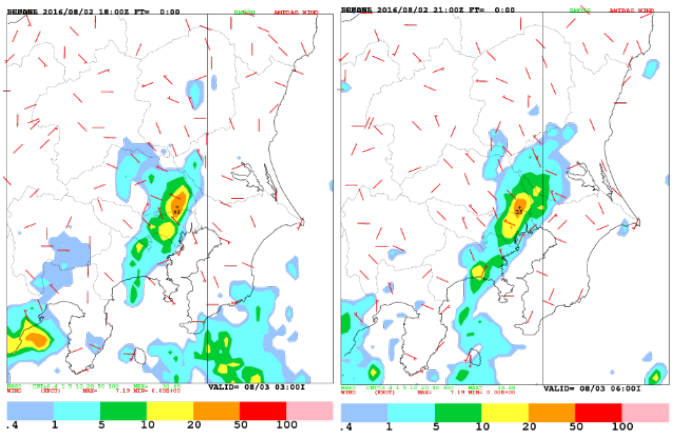


図 A-23：左）2016 年 8 月 3 日 03 JST（2 日 18UTC）の前 3 積算降水量。右)同じく 06 JST(2 日 21UTC)。

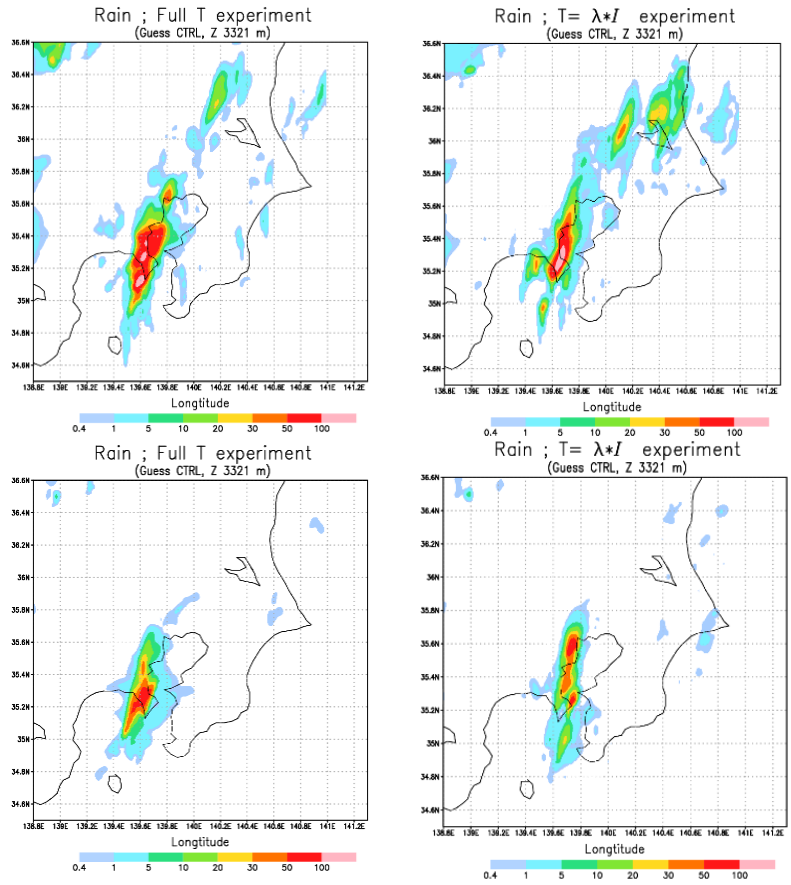


図 A-24：左）通常の変換行列（Full）を用いる解析からの予報による 3 時間雨量　右）diagonal LETKF の場合。上段は 15UTC 解析からの予報、下段は 18UTC 解析からの予報。

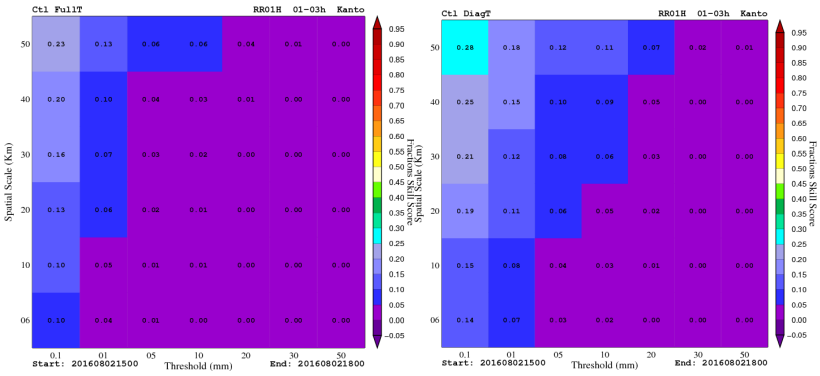


図 A-25：左）通常の変換行列（Full）を用いる解析からの予報による 1 時間降水強度の FSS　右）diagonal LETKF の場合。

②−2. 平成 30 年西日本豪雨を対象とした高解像度実験

平成 30 年 7 月豪雨では西日本各地で洪水や土砂災害が発生した。このような豪雨の予測精度を向上させるには、数値予報モデルの解像度を高くする事が重要である。2013 年 10 月の伊豆大島の事例[1]では、数値予報モデルの解像度を高くし、計算領域も十分に広く取る重要性が示された。本事例は伊豆大島の事例よりも豪雨の規模が大きく、発生メカニズムも異なっている。そこで、本事例でも解像度を高くし、広い計算領域を取ることによって豪雨の再現性が良くなるかを調べた。

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。計算領域は小領域：東北南部から九州南端を覆う 1600×1000km と大領域：現 LFM 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-26 に 6 日 12 時から 24 時の 12 時間雨量を示す。解析雨量（図 A-26a）では、西日本のほぼ全域が降水域に覆われており、特に九州北部から山陽地方、兵庫北部にかけて伸びる 100mm（赤）以上帯状の雨域が解析された。九州北部、と岡山県北部の県境付近では、150mm を超える雨域があり、広島市東部、四国中央部、京都では 200mm を超える線状降水帯が解析された。

小領域での計算結果（図 A-26 上段: b-c）と大領域の結果（図 A-26 下段: e-g）の計算の比較では、降水帯の位置や形状に定性的な大きな違いが見られなかったが、降水帯の極値の位置や大きさは、解像度や計算領域の大きさで異なっていた。図 A-27 は Fraction Skill Score [2]を用いて計算領域と解像度の違いの定量的な比較結果を示す。解像度 5km の実験（図 A-：2-5a, d）の比較（図略）では、全体的には大きな違いが見られず計算領域の影響は小さかった。図 A-27：2-5g に示す解像度 2km の実験（図 A-27b, e）の比較では、大領域の降水閾値 20mm 以上の FSS が小領域よりも大きかった。図 A-27h に示す解像度 500m の実験（図 A-27c, f）では、大領域の FSS が小領域よりも全体的に大きかった。これらの結果から、計算領域を広く取る必要性が示された。図 A-27i に示す解像度 500m と 2km の実験結果の比較では、降水閾値 40mm 以上の強い雨の FSS は解像度 2km の方が良かったが、それ以外は解像度 500m の方が良かった。本事例では災害が発生した地域の多くのアメダスの時間雨量が 30mm 以下であったことから、解像度 500m の実験結果が解像度 2km の実験結果よりも良かったと考えられる。本事例でも広い計算領域を取り、解像度 500m 以下にすることによって豪雨の再現性が良くなることが示された。

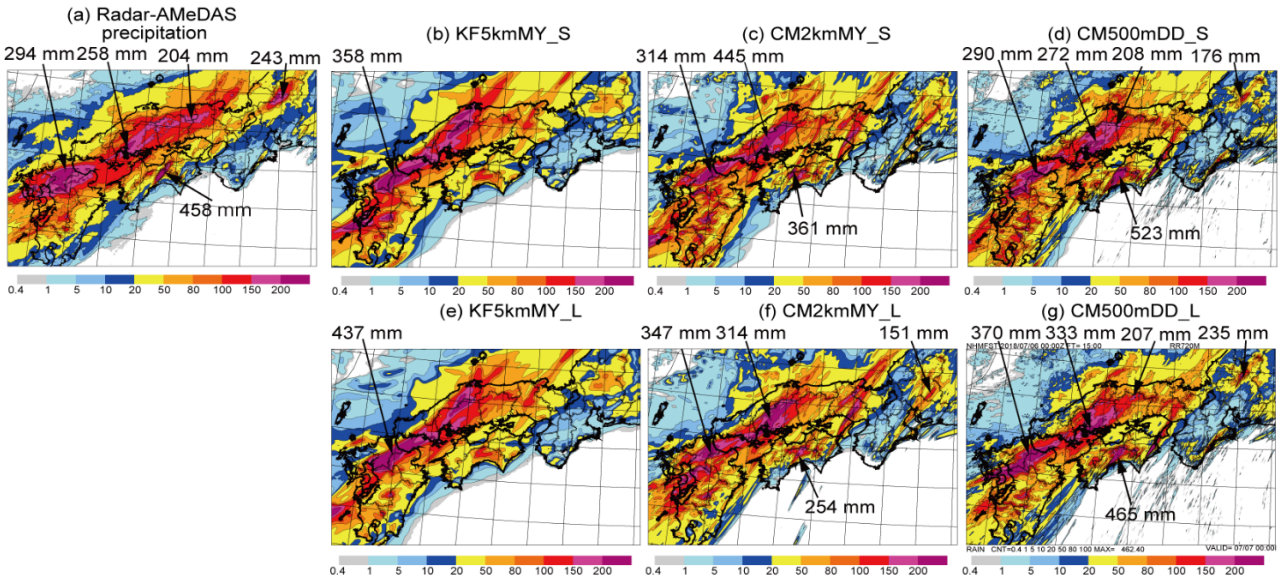


図 A-26:6 日 12 時から 24 時の 12 時間間雨量。(a) レーダメダス解析雨量, (b)-(d)小領域の結果, (e)-(g) 大領域の結果。

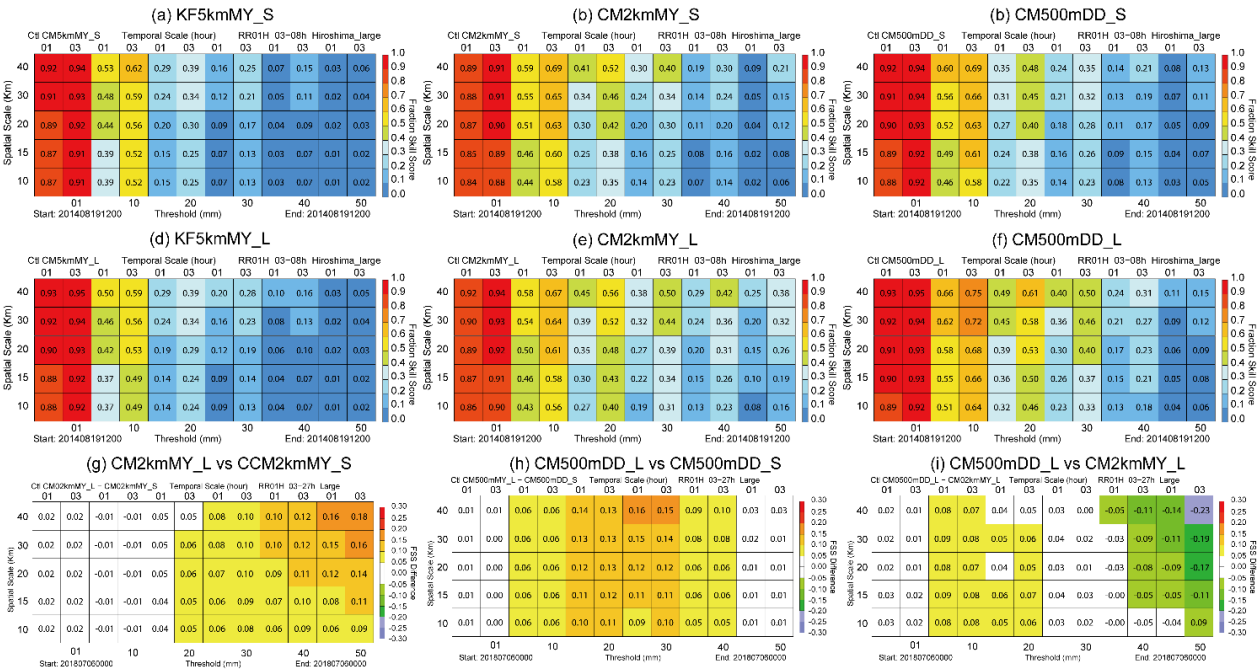


図 A-27：各実験の FSS と比較結果。（上段）小領域の結果，（中段）大領域の結果，（下段）実験結果の比較。

参考文献

Oizumi, T., K. Saito, J. Ito, T. Kuroda, and L. Duc, 2018: Ultra-high-resolution numerical weather prediction with a large domain using the K Computer: A case study of the Izu Oshima heavy rainfall event on October 15-16, 2013. J. Meteor. Soc. Japan, 96.

Duc, L., K. Saito, and H. Seko, 2013: Spatial-temporal fractions verification for high-resolution ensemble forecasts. Tellus A, 65, 18171.

②−3. Analysis and design of covariance inflation methods from functional viewpoint

Covariance inflation (CI) in the Ensemble Kalman Filter (EnKF) is approached from a functional viewpoint. That is, each CI method is identified with an inflation function that alters the structure of analysis perturbations through their singular values. Inflation functions are usually considered as functions of singular values of background or analysis perturbations. However, we have shown that it is more fruitful if inflation functions are viewed as functions of the eigen-values of the symmetric positive-definite ensemble transform matrix. These eigenvalues are indeed the reduction factors of background singular values in data assimilation, which result in analysis singular values.

To be an inflation function, a function has to satisfy three conditions: (1) the functional condition: all reduction factors have to increase; (2) the no-observation condition: when impact of observations becomes negligible, analysis perturbations should be identical to background perturbations; and (3) the order-preserving condition: the resulting analysis singular values have to keep the same increasing order as the uninflated background singular values.

It turns out that the relaxation-to-prior-perturbation method (RTPP) and the relaxation-to-prior-spread method (RTPS) belongs to the class of linear inflation functions. Whereas RTPS is a realization of multiplicative inflation functions, RTPP is a fixed-parameter version of linear inflation functions. In this class, we also have other realizations of multiplicative inflation functions and generalized linear inflation functions. The theory also reveals an unknown variant of EnKF which is resulted from constant inflation functions. These functions dictate a special form for the ensemble transform matrix in this EnKF: that is a scalar multiple of the identity I, which implies the name: the diagonal ensemble transform Kalman filter. More surprisingly, the Deterministic EnKF is found to belong to the class of quadratic inflation functions with the linear terms omitted. This quadratic class introduces an elegant form for computing analysis perturbations through the Kalman gain without a need for ensemble transform matrices. Higher-order polynomial and non-polynomial forms of inflation functions can be handled by certain EnKF methods. However, in this case, it is better to use adaptive non-parametric inflation functions estimated from the prior and posterior innovation statistics.

参考文献

Duc, L., K. Saito, and D. Hotta, 2019: Analysis and design of covariance inflation methods from functional viewpoint, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. (in revision)

Duc, L., K. Saito, and D. Hotta, 2019: Development and validation of a diagonal ensemble transform Kalman filter. (in preparation)

②－4. 平成27年9月関東東北豪雨を対象としたNHM-LETKFを用いた高解像度長期領域再解析システム実験

昨年度に引き続き、高解像度長期領域再解析システムの構築を進めている（Fukui et al., 2018）。高解像度長期領域再解析は、これまでに災害を引き起こしてきた様々なメソスケール極端現象に対する数値天気予報システムの再現特性把握にも有用である。構築している再解析システムは、長期間入手可能な従来型観測のみをNHM-LETKFを用いて同化し、日本及びその周辺域について格子間隔5kmの解析値を作成する。台風は災害につながる豪雨をもたらすことも多く重要な再現対象である。しかし、既存の長期再解析は解像度が不十分なため台風強度を過小評価してしまっていることが報告されており（e.g. Murakami et al., 2014）、領域再解析のような高解像度再解析の整備が期待される。そこで、台風の影響に伴う降水によって甚大な被害をもたらした平成27年9月関東東北豪雨に着目した再現精度評価及びより現実的な再現に向けた数値実験を行った。昨年度までに構築してきたシステムによる数値実験（CTRL実験）、波数境界からナッジングを加えた数値実験（SN実験）及びSN実験に気象庁ベストトラックデータの台風中心位置情報を同化した数値実験（TCL実験）を行った。

まず、日本の南海上から上陸した2015年台風第18号の進路に着目する。CTRL実験ではベストトラックから大きく外れ、日本の南海上から十分北上せず日本列島の南海上を迷走した一方、SN実験では誤差は残るものの台風進路が改善され概ねベストトラックに沿って北上するようになり、TCL実験では

さらに台風の位置ずれが減少した（図 A-28）。次に、鬼怒川の氾濫をもたらした 2015 年 9 月 9 日の関東地方での降水に注目する。CTRL 実験では関東地方に殆ど降水を再現できていなかったが、SN 実験では関東西部に強雨域を再現するようになり、さらに TCL 実験では観測に見られるような南北に伸びる強雨域を再現するようになることが確認できた（図 A-29）。

日本の南海上では特に従来型観測が疎らなため場を拘束するには不十分であり、台風の位置情報の同化や波数境界から境界値の強制を強めることで日本の南海上でも現実的な場を維持することができ、それが観測の豊富な日本付近の豪雨の再現向上にも重要であることが示唆された。

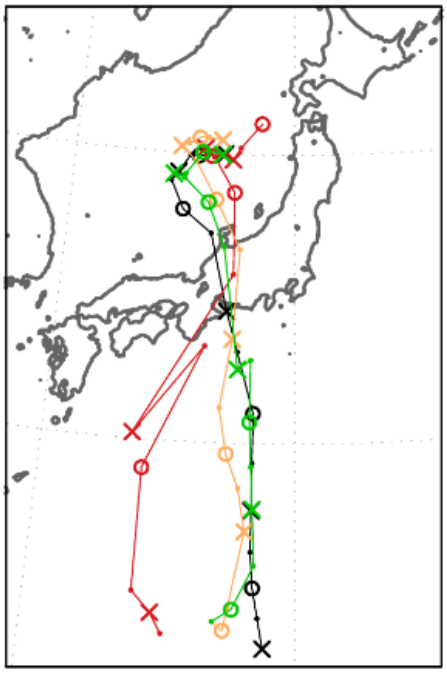


図 A-28:解析された 2015 年台風第 18 号の進路図。黒線が気象庁ベストトラック、赤線が CTRL 実験、黄色線が SN 実験、緑線が TCL 実験。

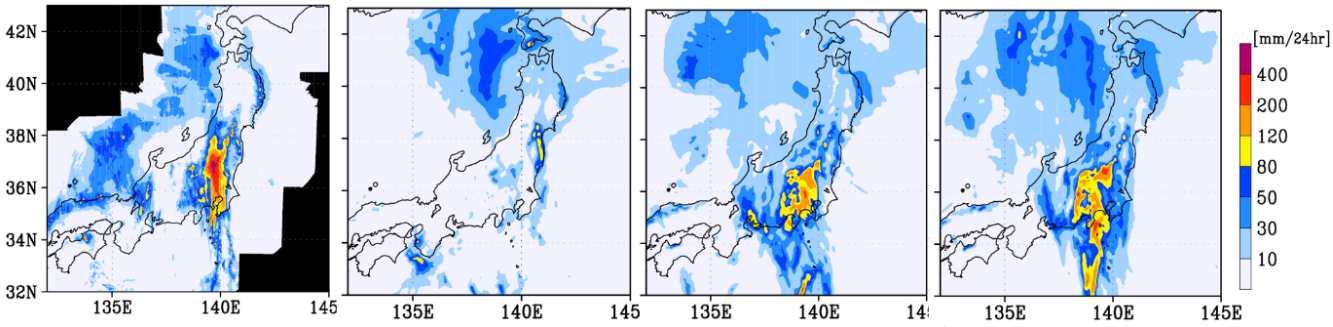


図 A-29：2015 年 9 月 9 日 9 時からの関東地方での 24 時間積算降水量。左から、気象庁解析雨量、CTRL 実験、SN 実験、TCL 実験。

参考文献

Fukui, S., T. Iwasaki, K. Saito, H. Seko, and 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. DOI:10.2151/jmsj.2018-056

Murakami, H., 2014: Tropical cyclones in reanalysis data sets, Geophys. Res. Lett., 41, 2133-2141, doi:10.1002/2014GL059519.

②−5. 西日本豪雨のアンサンブル予報に適用した相関・感度解析と特異値分解解析

2018 年 7 月に発生した西日本豪雨をアンサンブルデータ同化の手法で再現し、得られた全メンバーの結果を用いて、西日本豪雨の降水量と水蒸気場などとの相関・感度解析、さらに大気場と雲物理量の相互共分散行列の特異値分解解析を行った。

まず、アンサンブル予報には NHM-LETKF を用い、衛星データ以外の気象庁現業データを同化した。1 時間毎の観測データを 3 時間間隔で同化する予報解析サイクルを 6 月 28 日 9 時から 7 月 4 日 21 時まで行い、4 日の 21 時から 57 時間の延長予報を行った。格子間隔は 15 km、メンバー数は 301 とした。

まず、アンサンブル予報で再現された降水分布を確認すると、7 月 6 日の 18-21 時に見られた九州や西日本での降水域の南下がやや早いものの、西日本で観測された豪雨が再現されていることがわかる（図 A-30 上)。この再現結果を用いて、全メンバーの東海地方から九州北部までの降水量と各点における水蒸気量等との相関と感度を算出した。その結果相関分布からは、西日本の南の水蒸気量が多く、また北側の水蒸気量が少ないほど降水量が大きくなるという対応があること、感度分布からは、西日本の北側に比べて南側からの水蒸気量の感度が大きい（南側からの水蒸気量がより大きく降水量に影響を及ぼす）ことがわかった（図 A-30 下)。

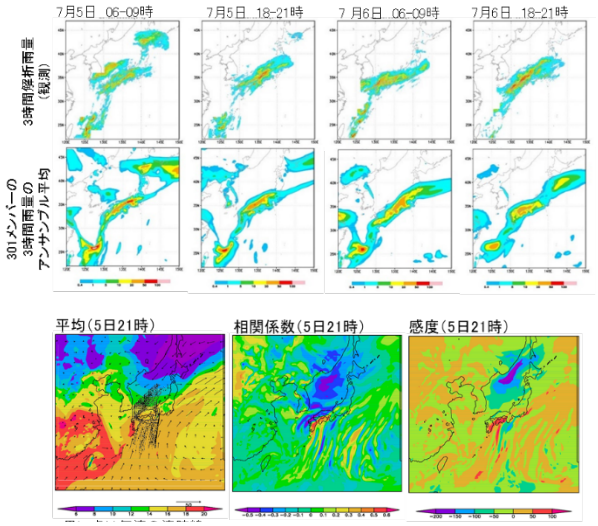


図 A-30：(上) 観測と LETKF で再現した降水分布。(下) 下層 400m の水蒸気量と水平風、西日本の降水量と下層の水蒸気量との相関分布と感度分布。

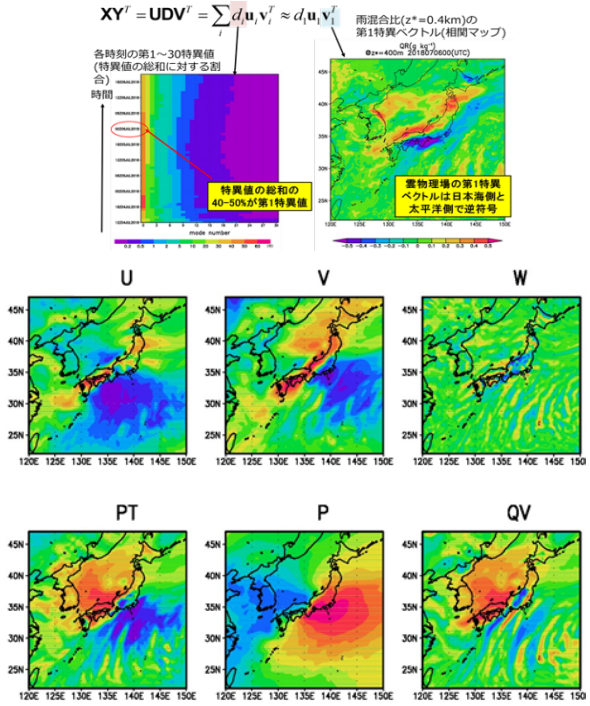


図 A-31：（上）全特異値の 2 乗和に対する第 1〜30 特異値の 2 乗の割合と、第 1 特異値に対応する雲物理量の異質相関マップと（下）下層 400m の大気場の異質相関マップ。

相関・感度解析は、降水量に対応させる物理量を解析者がこれまでの知見に基づいて選んでいるが、アンサンブル予報自身の持つ情報からから対応の良い複数の物理量の組み合わせを得ることができる。ここでは、その手法として①-11 で示した特異値分解解析を適用した。

第 1 特異値は、全特異値の 2 乗和の 40-50%を占め、それに対応する雲物理量の異質相関（大気場の重み係数との相関）は、日本海側と太平洋側で逆符号になっていた（図 A-31 上)。また、対応する下層の大気場の異質相関（雲物理量の重み係数との相関）の分布から、この相関の方向に大気場が変化する（つまり、西日本で西風（U）と南風（V）が強く、その日本海側で温位（PT）と水蒸気量（QV）が大きくなる）と、降水が日本海側で強まり、太平洋側で弱まる（つまり、前線の位置がより日本海側になる）ことが分かった（図 A-31 下)。この結果は初期的ではあるが、アンサンブル予報で豪雨の要因が議論できることを示している。

②－6. Hydro-debris2D を用いた計算結果報告

1）広島豪雨調査

2018 年 8 月 18/19 日、平成 30 年 7 月豪雨で特に被害が大きかった呉市の安浦地区に対して、被災地の視察と事前事後の評価を行なった。以下に特に被害が大きかった呉市安浦町の現場を示す。

Date	August 19, 2018 11:37:40AM
Location	日本、〒737-2506 広島県呉市安浦町大字原畑1064
Coordinates	34° 16' 55.6" North 132° 42' 43.7" East (34.282100, 132.712128)
Altitude	78 meters (255 feet)
Camera Pointing	Northeast

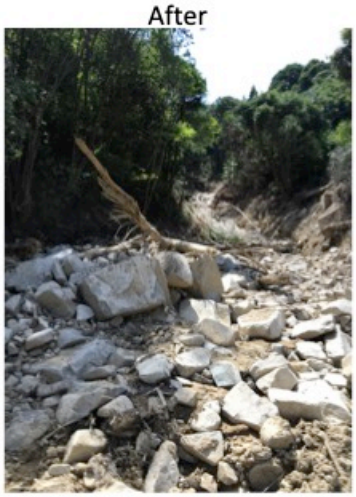
Before (October, 2013)

After

Date	August 19, 2018　11:54:57AM
Location	日本、〒737-2508 広島県呉市安浦町大字中畑637
Coordinates	34° 17' 24.4" North 132° 42' 17" East (34.290117, 132.704711)
Altitude	137 meters (451 feet)
Camera Pointing	West-southwest

Before (October, 2013)

After



Date	August 19, 2018　11:56:15AM
Location	日本、〒737-2508 広島県呉市安浦町大字中畑1486
Coordinates	34° 17' 35" North 132° 42' 3.7" East (34.293056, 132.701033)
Altitude	135 meters (441 feet)
Camera Pointing	West

Before (October, 2013)

After

Date	August 19, 2018　11:57:46AM
Location	日本、〒737-2508 広島県呉市安浦町大字中畑1381-1
Coordinates	34° 17' 45.1" North 132° 41' 46" East (34.295867, 132.696106)
Altitude	157 meters (516 feet)
Camera Pointing	Northeast

Before (October, 2013)

After

Date	August 19, 2018　11:59:11AM
Location	日本、〒737-2508 広島県呉市安浦町大字中畑1295-2
Coordinates	34° 17' 46.6" North 132° 41' 40.6" East (34.296275, 132.694611)
Altitude	170 meters (558 feet)
Camera Pointing	Northeast

Before (October, 2013)

After

図 A-32：広島呉豪雨災害の現場。

2）広島豪雨シミュレーションと検証

2018 年 7 月広島豪雨災害において Hydro-Debris2DH(HD2DH)モデルを用いた広域シミュレーションを行い、特に被害が大きかった呉市の安浦地区に対して、HD2DH を用いた豪雨による侵食再現実験と、現地調査および LANDSAT データによる崩壊地同定との比較を行なった。本計算では、2018 年 7 月 3 日から 7 日までの AMeDAS 雨量を元に HydroDebris2D により土石流・斜面崩壊発生計算を行い、LANDSAT による崩壊前後の比較により崩壊地を推定し、その比較を行なったものである。その結果を以下の図 A-33 に示す。

図 A-33 に示す通り、特に安浦町北西部における斜面崩壊地に関してはうまく表現されている。同時に、安浦町市街地部分においては、実際には崩壊が確認されないにもかかわらず、いくつかの渓谷で崩壊が発生しており、モデルの感度の調整が必要なことがわかる。今年度のモデル改良は、主に岩盤による侵食度合いの違いを表現できるように侵食過程において差異を判別するモジュールの追加、広域計算と領域計算の融合モジュールの改良等である。

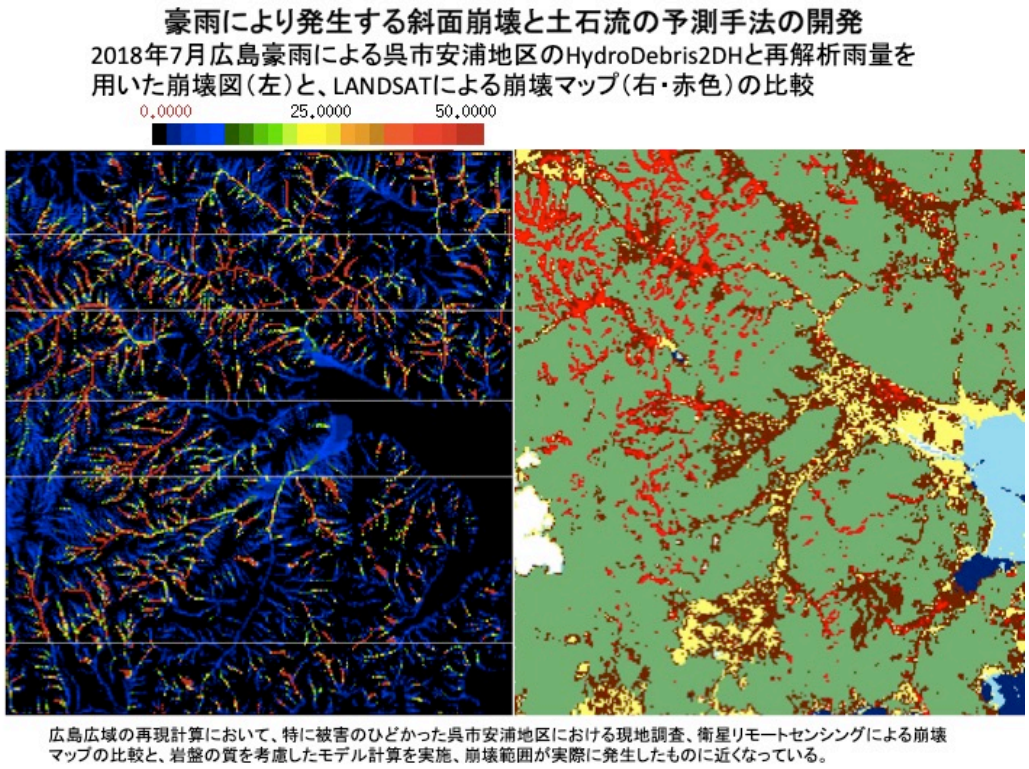


図 A-33：x, y 軸はそれぞれ緯度、経度、z 軸は高度（それぞれ m）。灰色粒子が水粒子、薄茶色が岩盤粒子（移動しない）、茶色の粒子が、地滑りが起きている粒子

3）2D と 3D の融合に関する準備

現在 HD2DH による予測においてもっとも崩壊が大きいと予測される地域の DEM を 3D モデル(SPH)に提供し、上流部分に蓄積された水分に比例した水塊を設置し、土石流を発生させた。ケースでは 2018 年土砂災害ではなく、2014 年の土石流災害を用いた。現在のところ、連携は完全に自動化されていないため、来年度には完全自動化をはかる。

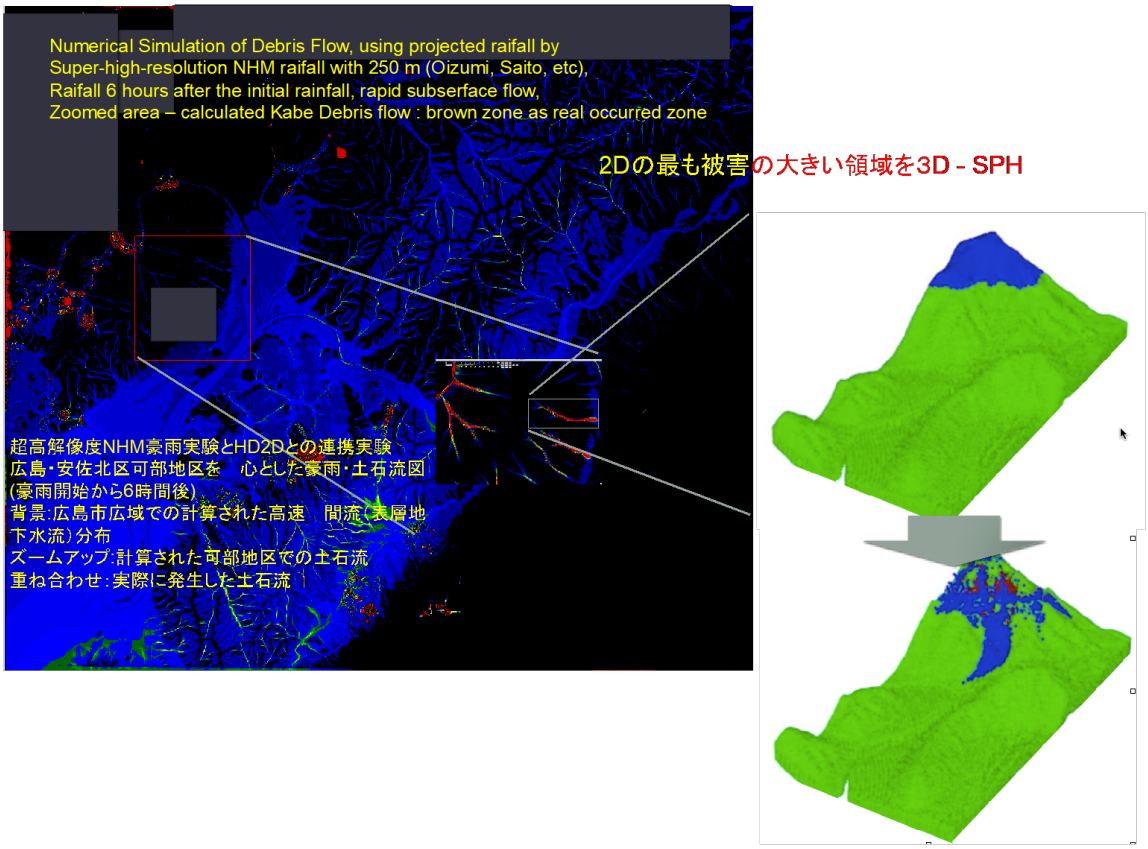


図 A-34：2D と 3D の融合の模式図

②－7. 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）広島での地形を使った地滑りシミュレーション（土石流への応用に向けて）

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。我々は 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 コードの開発に成功した。そして、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、まずは地滑りシミュレーションを行なった。

なお、本シミュレーションは平成 30 年度第 3 回研究連絡会で報告済みである。

現在は、現実的な土石流シミュレーションに向けて、図 A-35 のように岩石や泥とともに水を流すことに取り組んでいる。なお、降雨のタイムスケール（数時間）と土石流のタイムスケール（数秒～数十秒）は異なっており、両者を同時に再現することは難しいため、本研究では土石流の流動機構を重視し、高度の大きい位置から水は垂れ流し、降雨を模すことに取り組んでいる。

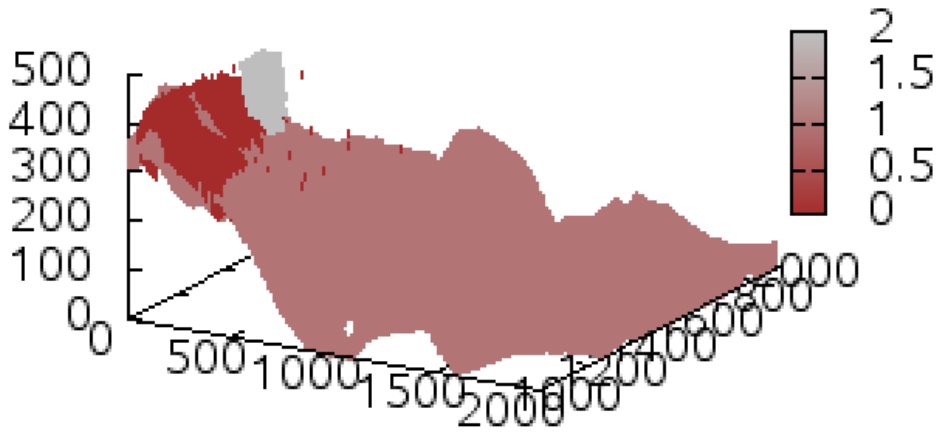


図 A-35：2-10 SPH を用いた三次元土石流シミュレーション

2）小規模土石流実験と三次元粒子法シミュレーションとの比較

Yamashiki et al. (2012)、Yamashiki et al. (2013) 及び、昨年度に報告者が行なった土石流を模した実験では、図 A-36 のような実験室スケールでの土石流シミュレーションを行なっている。実験ではスロープが緩やかになった箇所（図 A-36 の赤丸で囲った場所）で岩石が堆積することが分かっている。報告者は、上記と同じように SPH 法を用いて、本実験の三次元再現シミュレーションを行なっている。再現シミュレーションでは、比較的、実験での岩石の流速マップと似た結果を出しているが、図 A-36 の勾配が緩やかになった箇所で岩石が堆積しなかった。よって現在は、岩石が堆積するように工夫を凝らすことに取り組んでいる。具体的には、スロープが緩やかになる箇所に凹凸を設ける、または計算コードに摩擦の効果を入れる等である。図 A-36 では、赤丸で囲われた部分に凹凸をつけ、堆積させることを試している。うまく岩石を堆積させることができれば、より現実的な土石流シミュレーションが可能となる。

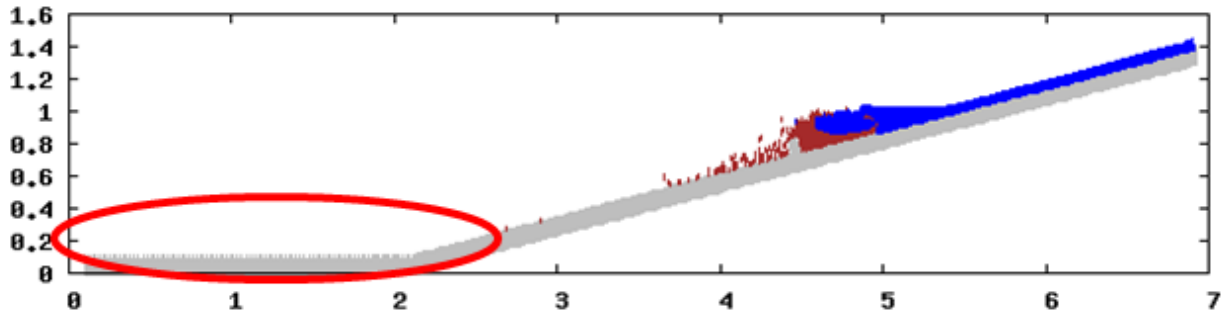


図 A-36：青、茶、灰色がそれぞれ水、岩石、装置。軸の単位は m。
勾配が緩やかな箇所に凹凸をつけている。

②−8. 超多数アンサンブル洪水予測と京実装洪水浸水モデルの高度化

本年度は以下の研究が進展した。

1) 1600 アンサンブル降水予測による新潟県笠堀ダム流域（70km²）での洪水予測:この研究をまとめた論文が下記国際ジャーナルに Discussion ペーパーとして採択され、Public Review の最中である。

Kobayashi, K., Apip, Duc, L., Oizumi, T., and Saito, K.: 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. Discuss., https://doi.org/10.5194/nhess-2018-343, in review, 2019.

この論文ではアンサンブル変分同化法に基づく 1600 メンバーアンサンブル降水予測による新潟県笠堀ダム流域での洪水予測を行い、12 時間のリードタイムを持ってアンサンブル洪水予測が洪水コントロール操作（例えば異常洪水時防災操作）の必要性を示すことができることを明らかにした。この概要をまとめた図を以下に示す（Kobayashi et al. 2019 より抜粋）。

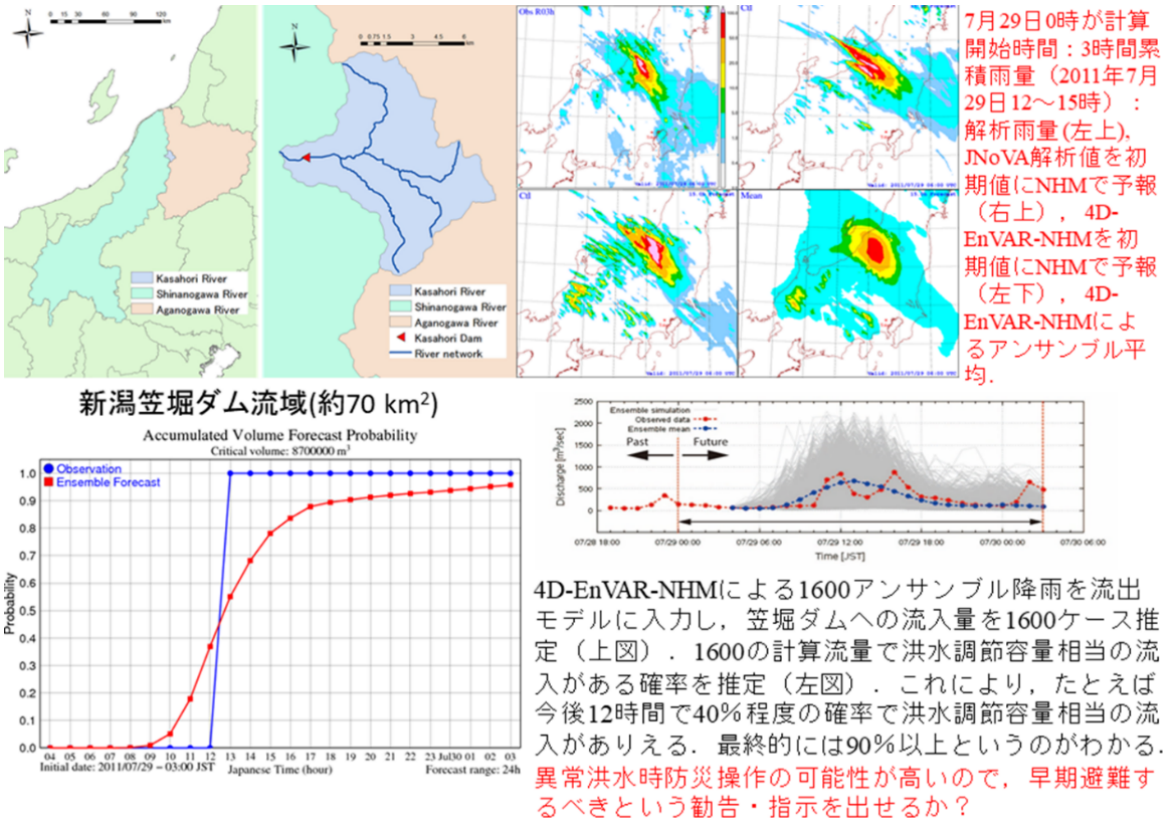


図 A-37：1600 アンサンブル降雨による洪水予測の概要

2) 4 初期時間の 100 アンサンブル降水予測による鬼怒川流域の洪水予測：この研究は鬼怒川流域全体（1760km²）を対象としたアンサンブル洪水予測可能性の検討であり、ダムの緊急時防災操作などだけでなく、下流域の氾濫予測なども実施している。

3) 洪水氾濫シミュレーションにおいて風の影響を考慮する必要性に関する検討：京コンピュータ実装の浸水モデルで風の影響を考慮する必要性を検討した。以下の論文が採択された。
小林健一郎・中山恵介・田中翔・阪口詩乃・奥勇一郎・池内幸司：洪水氾濫シミュレーションにおいて 風の影響を考慮する必要性に関する検討，土木学会論文集 B1(水工学) Vol.74, No.5, I_1459-I_1464, 2018

4) 浅水流方程式と局所慣性方程式の精度検証：京コンピュータ実装の浸水モデルで移流項を省略した場合の精度と計算速度改善の検証を実施した。以下の論文が採択された。
小林健一郎・中山恵介・阪口詩乃：浅水流方程式・局所慣性方程式の精度検証と 最適空間解像度に関する検討，土木学会論文集B1(水工学) Vol.74, No.5, I_1513-I_1518, 2018

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）

世界の主要国で現業予報に用いられている数値予測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予測モデルを、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。

超高解像度数値予測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、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、大気境界層中に台風中心からの距離に依存して 3 種類の異なる水平ロール状渦が生ずることを見出した（Ito et al., 2017）。しかし、この計算結果は膨大なデータ量のため、3 次元格子データの出力は 1 時間ないしは 4 時間間隔の瞬時値しか行っておらず、詳細な時系列の解析は不可能であった。今年度は、再計算を行い、特に興味深い台風の中心付近の領域に限って、12 秒毎に約 126 分間あるいは 3 秒約 15 分間を出力したデータベースを作成した。このデータベースは台風の微細プロセスの解明や、気象予測モデルの高度化等への活用が期待される（③-2 節）。また、昨年度は温帯低気圧通過時に船舶を転覆させた竜巻の可能性がある突風事例について水平格子間隔 50m の数値モデルで竜巻状渦の再現することに成功し、その形成機構を調べたが、本年度はこの竜巻を生じたメソ β スケールの渦の発生に寄与する要因を、アンサンブル再現実験とアンサンブル感度解析により明らかにした（③-3 節）。

第二は、近い将来、電子計算機の高性能化が進み、数値予測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、将来の数値予測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。数値予測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）高いアルベドと被覆率により、地球の気候システムに大きな影響を与える層積雲のモデリングに適用可能な 3 次元放射伝達モデルを開発し、その妥当性を 1 次元平行平板モンテカルロ法放射伝達モデルに照らして検証するともに（③-4 節）、2）平成 30 年 7 月豪雨の再現性に対する雲微物理と大気境界層のパラメタリゼーションスキームの影響を調べる数値実験を行い、広島での豪雨の再現には雲微物理のパラメタリゼーションの影響が大きいことなど（③-5 節）を調べた。いずれの課題においても、着実にモデル開発や基礎過程の理解が進んできている。なお、突風や大雨などの顕著現象は凝結熱と傾圧過程の両方が重要な役割を演ずる低気圧に伴って発生することが多いことから、様々な環境場と低気圧の構造との関係を解明する研究も行った（③-6 節）。以下、各課題の成果について記述する。

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.

③−1. 台風全域 LES の高解像・高頻度データセットの作成

これまでの研究で、スーパーコンピュータ「京」を利用し、気象庁非静力学モデルにおいて水平解像度 100m という世界に例を見ない超高解像度により台風全体を再現する「台風全域 LES」を実現することができた（Ito et al., 2017）。この LES の格子数は 20000×20000×60 と巨大であり、出力された計算結果は膨大なデータ容量となる。LES を 10 時間分計算した結果について解析を進めてきたが、３次元格子データの出力は 1 時間ないしは 4 時間間隔の瞬時値しか行っておらず、詳細な時系列の解析は不可能であった。

LES の計算結果のうち、特に興味深い部分は台風の中心付近である。本 LES の計算設定は、環境場に一様風はなく、中心付近に配置した初期渦より台風が発達・成熟するというものである。そのため、台風中心は計算期間を通して、計算領域の中心付近に位置している。そこで、データサイズ縮減のために、計算領域の中心 2000×2000×60 の格子のみ高頻度に出力する再計算を行った。この計算ジョブ（9216 ノード並列）は LES を 10 時間計算後のリスタート用データを初期値とし、各計算ノードの記憶装置容量を上限まで高頻度に出力し、容量制限により書き込みエラーとなった計算ステップにおいてジョブが終了するように設定した。

さらに上部 10 層を除いた 2000×2000×50 の格子（領域サイズは 200km×200km×16.28km）の netCDF 形式データセットを作成した。出力変数は水物質混合比、速度 3 方向（u,v,w）、温位、水蒸気混合比、圧力偏差、密度、雲水混合比、雲氷混合比、雨水混合比、雪辺混合比、霰混合比、渦粘性係数・渦拡散係数 4 種類（水平・鉛直方向の運動量、水平・鉛直方向のスカラー）の合計 17 種類である。データセットは 2 種類作成した。1）計算 15 ステップ（12 秒）毎に計 631 ステップ(約 126 分間)を出力したサイズ 7.9TB のものと、2）計算 5 ステップ（3 秒）毎に計 311 ステップ（約 15 分間）出力したサイズ 3.9TB のものである。可搬なデータサイズとなっており、LES 結果を活用した台風の微細プロセスの解明や、気象予測モデルの高度化等といった研究への活用が期待される。

このデータセットのうち、1)をもとに、解析を行った例が図 A-38 である。図の(a)と(b)では、台風の壁雲に、水平波長 2km 程度の組織構造や局在した強い上昇流がみえる。また圏界面付近には比較的乱流強度が大きい領域が見られる（図略）。(a)と(b)についてはアニメーションも作成しており、微細構造の時間変化も可視化されている。また、(c)に示したような流跡線に沿った諸量の収支解析も今回作成した高頻度データを用いることで可能になっている。

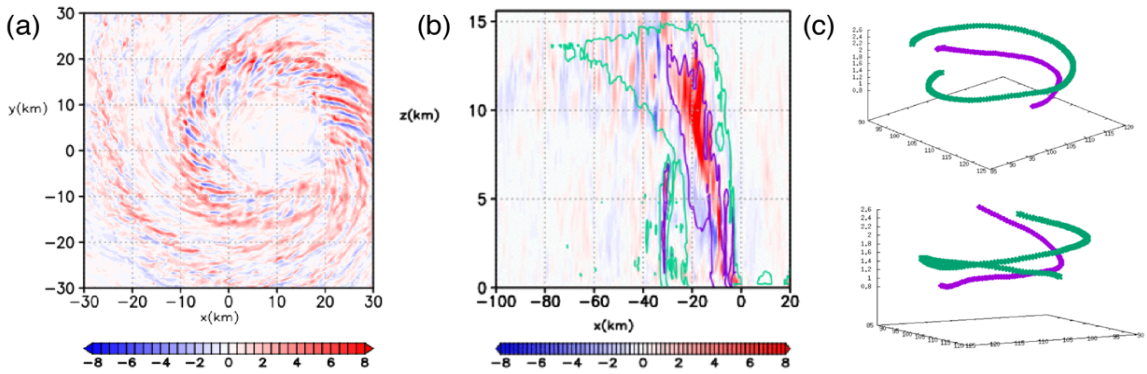


図 A-38：(a) 高度 1km の水平断面における鉛直流速（単位は m/s）、(b)台風中心を横切る鉛直断面内の鉛直流速（シェード、単位は m/s）と水物質混合比(コンター、緑 0.5g/kg 以上、紫 2g/kg 以上)、(c)初期に台風中心付近に配置した 2 つの流体粒子の 30 分間の流跡線、軸の数字単位は km。

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

③−2. 海上で突風災害を引き起こしたメソβスケール渦のアンサンブル実験

2015 年 9 月 1 日午前 3 時～4 時頃、対馬海峡で発生した突風により漁船 5 隻が転覆し、5 名が死亡、1 人が行方不明になるという甚大な被害が起こった。この事例は温帯低気圧の内部で起きたもので、気象庁のレーダは低気圧中心の北東部にスパイラル状の降水システムを伴う直径 30 km 程度（メソ β スケール）の渦（以下、メソβ渦と呼ぶ）を観測していた。現在、気象庁は海上においては竜巻注意情報の発表を行っていないが、海上で突風を引き起こすメソβ渦がどのような大気条件で発生・発達しやすいかを理解することは、今後、海上で発生する突風情報の提供を検討する上で有益な知見を与えることが期待される。平成 28-29 年度は、対馬沖で生じた突風事例の数値シミュレーションをスーパーコンピュータ「京」を用いて水平解像度 50m で行い、メソ β 渦内部に複数の竜巻状渦が発生する様子を再現することに成功し、メソβ渦の発生機構を調べた。今年度は、100 メンバーのアンサンブル実験を行い、アンサンブル感度解析を行うことで、メソβ渦の発達に適した大気条件を調べた（図 A-39）。

アンサンブル実験を行なった結果、メソβ渦が強く発達するメンバーとあまり強く発達しないメンバーがある事が確認された。そこで、メソβ渦が最も強くなる 8 メンバーと最も弱くとどまる 10 メンバーの大気場の違いを調べた。その結果、強くなるメンバーではメソβ渦の周りの水平風の低気圧性シアが大きくなっており、また下層ではより暖湿な空気の流入が見られた。このことから、強くなるメンバーでは水平シアに伴う低気圧性の鉛直渦度が対流内の上昇流により引き伸ばされることによって発達したことを示唆している。実際、渦度方程式の引き伸ばし項の分布を調べたところ、強いメンバーでは弱いメンバーに比べてこの項が顕著に強くなっていた。また、メソβ渦の中心付近の鉛直渦度に対するアンサンブル感度解析を行なったところ、メソβ渦の周りの水平シアに伴う低気圧性循環と下層の水蒸気に強い感度が見られた。このことから、メソβ渦がより強く発達するためには水平シアに伴う低気圧性の鉛直渦度と下層水蒸気の流入に伴う活発な対流が重要である事が確認された。また、メソβ渦の周りの水平シアの強さの決定には、より大きな水平スケールの温帯低気圧内の風や水蒸気の場が重要である事が示唆された。

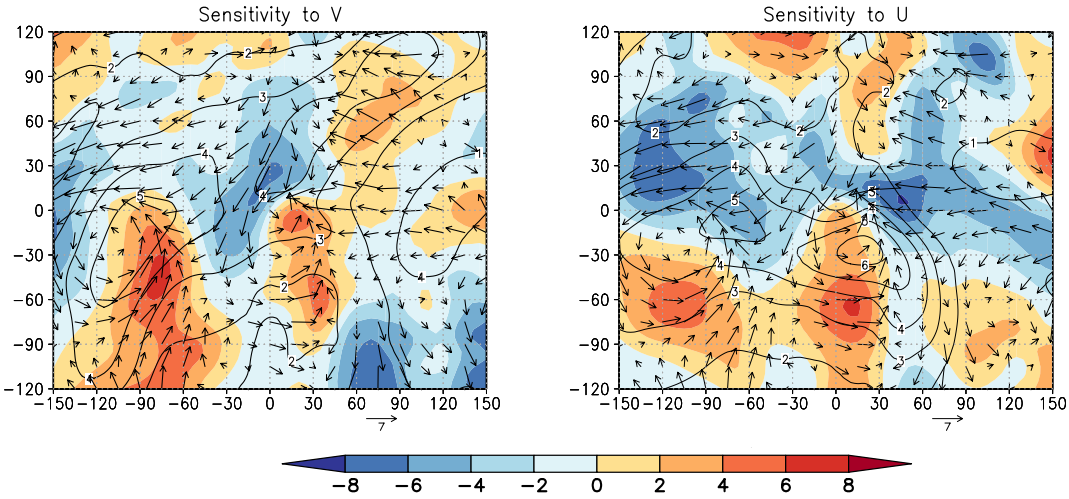


図 A-39：アンサンブル感度解析の結果。0330JST におけるメソβ渦中心渦度に対する(a)南北風と(b)東西風の感度。コンターは、(a)南北風と(b)東西風の標準偏差、ベクトルは水平風の感度を表す。

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 つとなっている。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 次元放射伝達モデルを均質大気に適用することによる検証を行った。

検証は 1 次元平行平板モンテカルロ法放射伝達モデルを用いて行った。均質な気層の光学的特性はよく理解されており、1 次元放射伝達モデルを用いて高い精度で解を得ることが出来る。この結果を 3 次元放射伝達モデルの結果と比較し、後者がどの程度、前者の結果と整合するのか調べた。3 次元モデルの計算条件は、計算領域 10㎜^{3}、格子間隔 1㎜ を用いて、この領域内に半径 16.5μｍ の液滴をランダムに置いた。そして計算領域上端から 106 個のモデル光子を天頂入射角 0 度で入射させた。この条件の下、光学的厚さへの光学的特性の依存性を調べるために液滴数濃度を 10cm^{-3} から 2×105 cm^{-3} まで変えた実験を行った。1 次元モデルについては、3 次元モデルの結果で得られた単散乱アルベドと非等方性因子を与え、光学的厚さを 0.01 から 100 まで変化させた実験を行った。1 次元モデルの結果(図 A-40)をみると、気層が光学的に厚くなるにつれて透過率が減少し、吸収率と反射率が増加する様子が示されており、3 次元モデルは 1 次元モデルの結果とよく整合していることがわかる。今後はより現実に近い層積雲の事例を対象とした実験へと発展させる予定である。

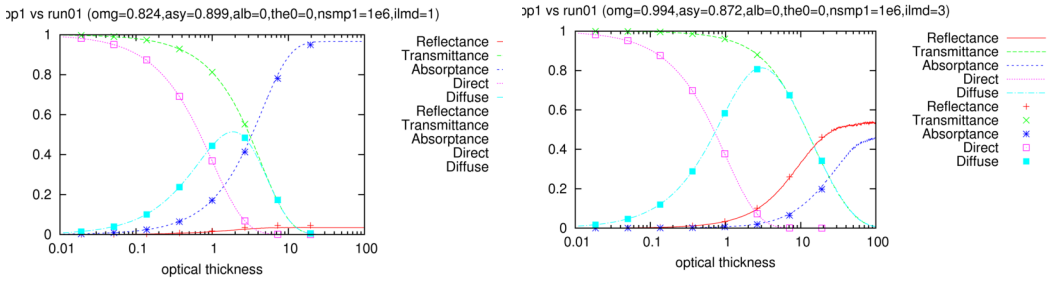


図 A-40：モンテカルロ法で計算された気層の光学的特性。右図と左図はそれぞれ 3 次元モデルで波長 0.3μｍを用いた結果（気層の単散乱アルベドは 0.82、非等方性因子は 0.90 に相当）と波長 1.69μｍを用いた結果（気層の単散乱アルベドは 0.99、非等方性因子は 0.87 に相当）。3 次元モデルと 1 次元モデルの結果をそれぞれ線と点で示す。

謝辞

3 次元モンテカルロ法放射伝達コードと 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きました。

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/Phys. Rev. Lett., 108, 224-502.

③−4. メソ対流系の構造・力学についての高解像度シミュレーション

集中豪雨・局地的大雨・突風といった極端現象は、単独の積乱雲あるいは積乱雲が組織化したメソ対流系によって引き起こされる。中でも、日本で集中豪雨をもたらすメソ対流系は、線状に組織化し、バックビルディング過程により長時間持続し、停滞する場合が多い。Unuma and Takemi（2016）は、停滞するメソ対流系（準停滞性対流群）の特徴と環境条件について調べ、準停滞性対流群の日本全国マップを作成した。

2018 年は、顕著な豪雨災害および暴風災害が発生した年であった。平成 30 年 7 月豪雨では西日本を中心にして全国各地で豪雨災害が発生し、台風 21 号の上陸によって高潮・高波災害や暴風災害が近畿地方を中心にして生じた。これら災害の発生には、気象外力としての台風ハザードが局地的にどの程度の強度で現れるかということを理解する必要がある。こういった局地的なハザードは、近年急速に整備が進んでいるレーダ網による監視が有効である。一方、ハザードの発生機構を理解するためには、観測に加え、数値モデルによる解析が有効である。本研究では、平成 30 年の 7 月豪雨を対象として、領域気象モデルによる再現を試みた。

気象庁メソモデル（MSM）の出力データを用いて、豪雨発生の気象場を解析した。豪雨発生をもたらした対流雲の発達ポテンシャルを評価する指標を調べたところ、大気に含まれる鉛直積算した水蒸気の総量（可降水量）が極めて多かったこと、また大気下層の鉛直シアーが一定の強度で存在することで対流雲が組織化しやすい条件であったことが分かった。Unuma and Takemi（2016）で明らかにした停滞性降水系の環境条件と比較すると、7 月豪雨が発生した地域は、もともと停滞性降水系が発生しやすい場所であったこと、また 7 月豪雨の水蒸気量は統計的な数値と比べても極めて多い条件であったと言える。

数値シミュレーションには非静力学モデル WRF（バージョン 3.6.1）を用い、シミュレーションの初期値・境界値として気象庁 GSM 全球解析値を与えた。計算領域は、3 段階の双方向ネスティングにより、日本および周辺領域 3400 km×3400 km を 16 km 格子とした Domain 1 から、Domain 2（1340 km×1340 km, 4 km 格子）、Domain 3（540 km×500 km, 1 km 格子）を設定した。鉛直層数は 56 とし、モデル上端高度を 50 hPa とした。数値シミュレーションにあたって、雲微物理スキームおよび境界層スキームを幾通りかに設定し、再現性について検討した。調べた雲微物理スキームおよび境界層スキームの組み合わせは、WSM6/YSU、WSM6/MY2.5、Morrison/YSU、Morrison/MY2.5 の 4 通りである。

1 km 格子計算により得られた 2018 年 7 月 4 日 0000 UTC から 7 月 8 日 1200 の期間の積算雨量の分布を図 A-41 に示す。中部地方から四国・中国地方にかけて、200 mm を超える積算雨量の地域が広く分布していることが分かる。また、いずれのケースでも、積算雨量 600 mm を超える大雨の領域が、中部地方内陸部および四国南部に分布しており、アメダス観測地点とおおむねよく対応していることが分かる。一方、広島県での雨量分布は、ケースによるばらつきが見られ、600 mm 以上の雨量を再現したケースと再現していないケースとに分かれる。レーダによる降水データでは、広島県の一部で 600 mm を超える雨量があった地域があることが分かっており、モデル計算では図 A-41 の上の二つのケースがこ

の大雨を捕捉することができている。

今後は、メソ対流系の持続性と地形との対応について調べ、Takemi（2018）に基づき、高分解能計算の利点を探っていきたい。

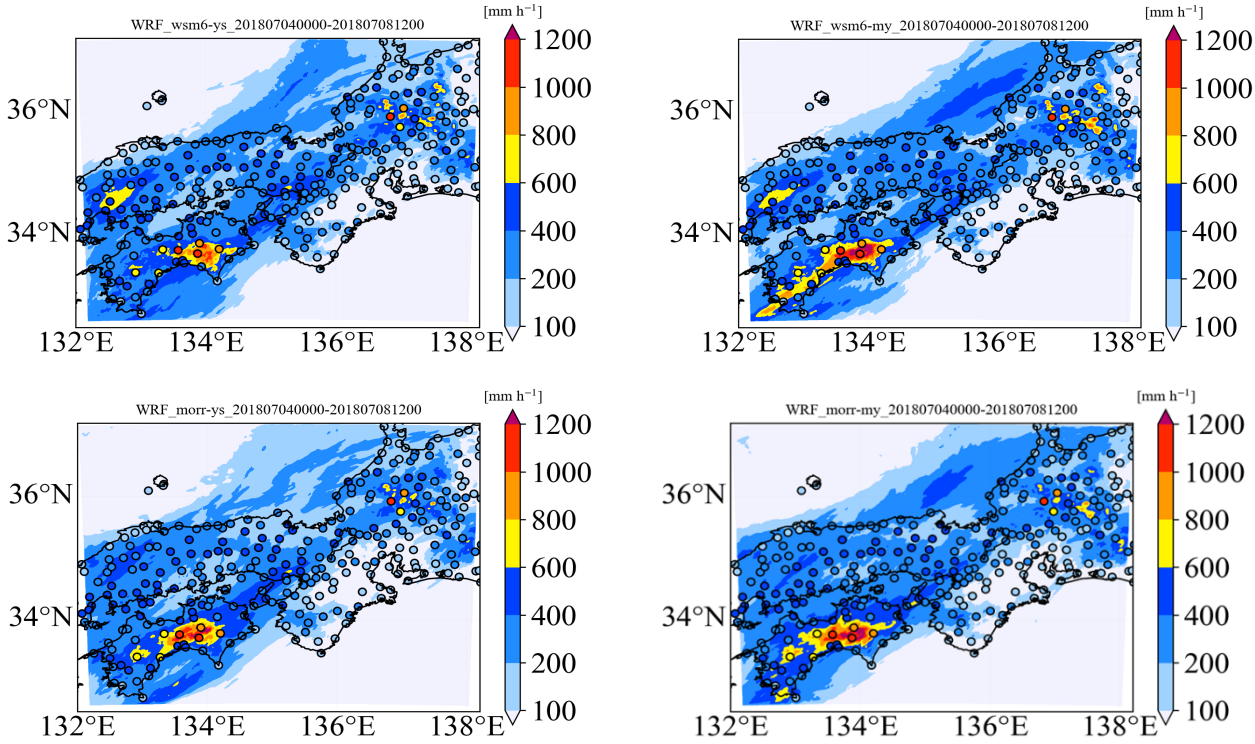


図 A-41：2018 年 7 月 4 日 0000 UTC から 7 月 8 日 1200 UTC の積算雨量：（左上）WSM6/YSU、（右上）WSM6/MY2.5、（左下）Morrison/YSU、（右下）Morrison/MY2.5。丸印は、地上観測点（アメダス）での観測値を示す。

参考文献

Takemi, T., 2018: Importance of terrain representation in simulating a stationary convective system for the July 2017 Northern Kyushu Heavy Rainfall case. SOLA, 14, 153-158, doi:10.2151/sola.2018-027

Unuma, T., and T. Takemi, 2016: Characteristics and environmental conditions of quasi-stationary convective clusters during the warm season in Japan. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 142, 1232-1249, doi: 10.1002/qj.2726.

③−5. 凝結熱と傾圧過程で発達する低気圧の包括的な理想化実験

地球上には凝結熱で発達する熱帯低気圧（熱低）と傾圧過程で発達する温帯低気圧（温低）に加え、2 つの効果が同時に影響するハイブリッド低気圧（例えば亜熱帯低気圧など；da Rocha et al. 2019）も形成している。しかしながら、熱低や温低に比べてハイブリッド低気圧のメカニズムは十分には理解されていない。本研究では熱低から温低までの性質の違いを体系的に調べることで、その中間に位置すると考えられるハイブリッド低気圧のメカニズムを明らかにする。

実験には気象庁非静力学モデルを利用し、東西 8000km・南北 3000km・鉛直 24.52km の領域で、東西

方向は周期境界、南北方向は摩擦の無い断熱壁に設定した。数多くの実験を行うため、水平格子間隔は 10km で Kain-Fritsch の積雲スキームを用いた。熱低と温低のメカニズムを再現するための最低限の環境場パラメータとして温度・鉛直シア・惑星渦度を変化させる実験群を行った。初期場には下層に軸対称の渦（半径 250km で最大接線風速 10m/s）を与え、その後にどのような低気圧が発達するかを調べた。

実験群における低気圧の発達と種類を図 A-42 にまとめる。温度だけが高い環境場では熱低のように凝結熱が寄与する低気圧（赤い丸）が発達し、鉛直シアと惑星渦度だけが高い環境場では温低のように傾圧過程が寄与する低気圧（青い丸）が発達する。温度・鉛直シア・惑星渦度のいずれもが高い領域ではその中間型の低気圧（水色～橙色の丸）が発達し、その構造は北大西洋で多く観測されるハイブリッド低気圧（亜熱帯低気圧）と似た特徴を示していた。投稿中の Yanase and Niino (2019) では鉛直シアが低気圧の発達と構造に及ぼす影響の二面性についても議論した。

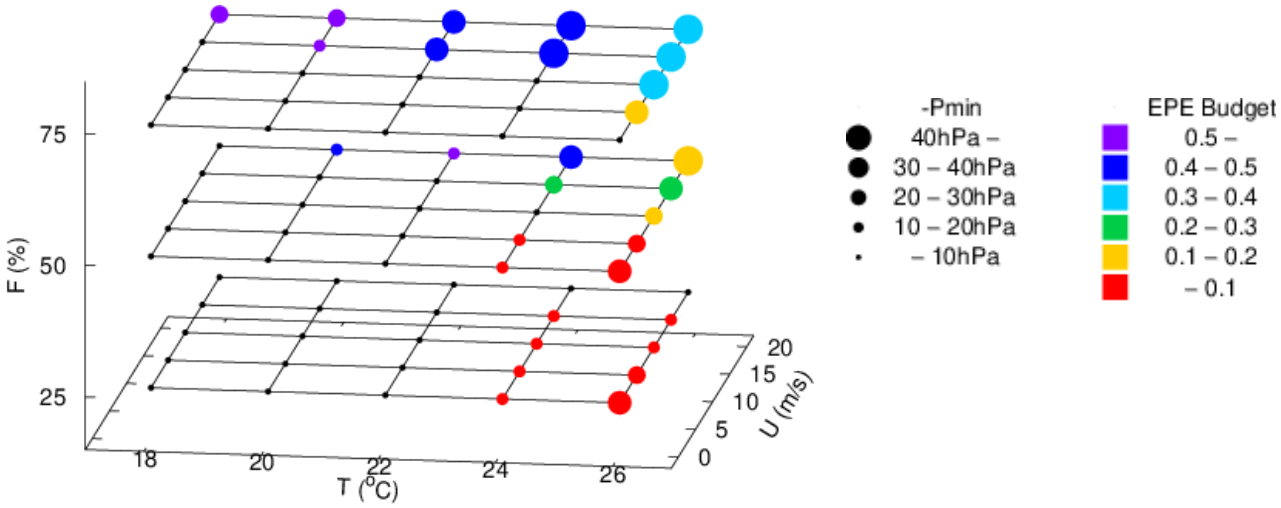


図 A-42：環境場の温度(T)、鉛直シア(U)、惑星渦度(F)の組み合わせを変えた 75 の実験群の結果。各実験の低気圧の強度（中心気圧偏差 Pmin）を丸の大きさで、エネルギー源（凝結熱＋傾圧過程の内の傾圧過程の割合）を色で示す(Yanase and Niino, 2019)。

参考文献

da Rocha, M. S. Reboita, L. F. Gozzo, L. M. M. Dutra and E. M. de Jesus, 2019: Subtropical cyclones over the oceanic basins: a review, Ann. N. Y. Acad. Sci., 1436, 138-156.

Yanase, W. and H. Niino, 2019: Parameter sweep experiments on a spectrum of cyclones with diabatic and baroclinic processes, J. Atmos. Sci., (submitted).

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）

（東京工業大学、理化学研究所、鹿島建設、清水建設、大林組、竹中工務店、大成建設、日建設計、前田建設、建築研究所）

目標 4 においては、突風時・強風時の地表近傍での人間社会における人的あるいは住居などの物的被害を推定するために解析システムを開発することを目的としている。解析手法としては、レーダ観測あるいはメソスケール気象モデルの解析により得られた気象ビッグデータを用いて、地表近傍空間にデータマイニングを行い、強風・突風の微細構造を有する時空間のデータをコンピュータシミュレーションにより作成するものである。また、その成果を活用して建築物の耐風性能を確保し、人間生活の突風時の安全性を実現することを目指すものである。

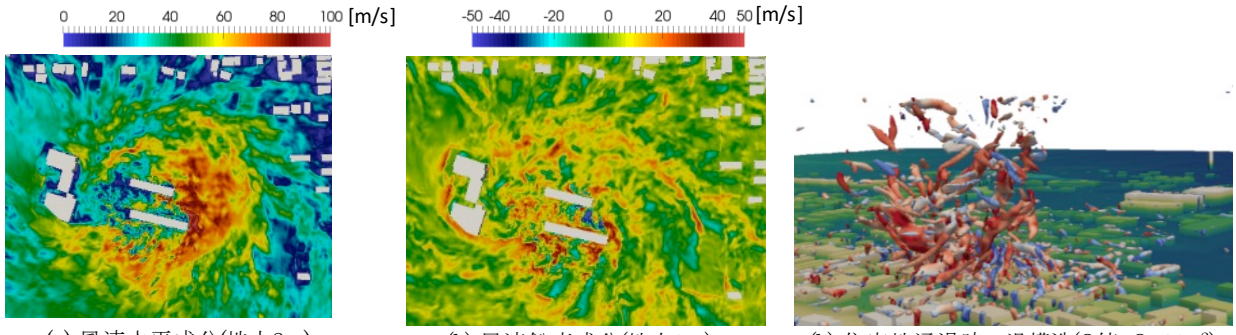
平成 30 年度は局地的突風解析システムのシステムプロトタイプの実証解析として、2012 年のつくば竜巻を対象とした解析により地表近傍の風速を推定するとともに、実際の木造建築物の被災度から推定された突風の強度と比較を行うことで局地的突風解析システムの妥当性を確認した。さらに、被災レベルに基づく安全性の検討として、都市境界層や台風下での都市キャノピー内の乱流構造とピーク風速の発生に関する分析を行った。以下、各課題の成果について記述する。

④−1. つくば竜巻における地表近傍の風速・実被害の推定

竜巻など極端気象に伴う突風災害が多発している状況下においても突風時の建築物の構造骨組みや外装材に及ぼす影響はいまだに明らかにされておらず、突風などの実際の気象場における構造物への非定常的な風圧力の作用の推定が求められている。

本研究では突風現象による建物被害の推定の事例として、2012 年 5 月 6 日つくば竜巻で深刻な被害を受けたつくば市北条地域を事例として局地的突風解析システムを適用し、木造住宅への風速・被害の推定を行った。本解析では気象庁非静力学気象モデル NHM で行ったつくば竜巻の 10m の高解像度の竜巻の計算結果に対し、川口、田村らの融合解析手法を適用することで建物への耐風性能の評価に求められる流速の高周波変動成分を付加した流入条件のデータベースを作成した。さらに、作成した流入条件のデータベースを建物・地形を解像した BCM-LES（最小空間解像度 0.6m）の境界条件として接続し、建物の建物周りでの風速場・圧力場を算出した。

図 A-43 に地表近傍の流れと渦構造を示す。図 A-43 では上空の気象場に基づく渦構造と地表の建物から発生する渦構造の双方がスムーズに接続されていることが確認できる。図 A-44 は実際の木造住宅における被害推定の結果として、本計算により取得したの各点での最大瞬間風速(おおむね建物と同程度の高さ(海抜 35m))と、実際の木造建築物の被災度から推定された風速分布との比較結果を示している。経路中心から左右の被害幅や大きな被害の生じる範囲の相関がよく一致していることが確認できる。今後はより詳細な被害推定として建物に作用する非定常圧力に基づいた解析などを行う予定である。



(a) 風速水平成分(地上8m)　(b) 風速鉛直成分(地上8m)　(b) 住宅地通過時の渦構造(Q値: Q=32s^{-2})

図 A-43：地表近傍における風速・渦構造の可視化

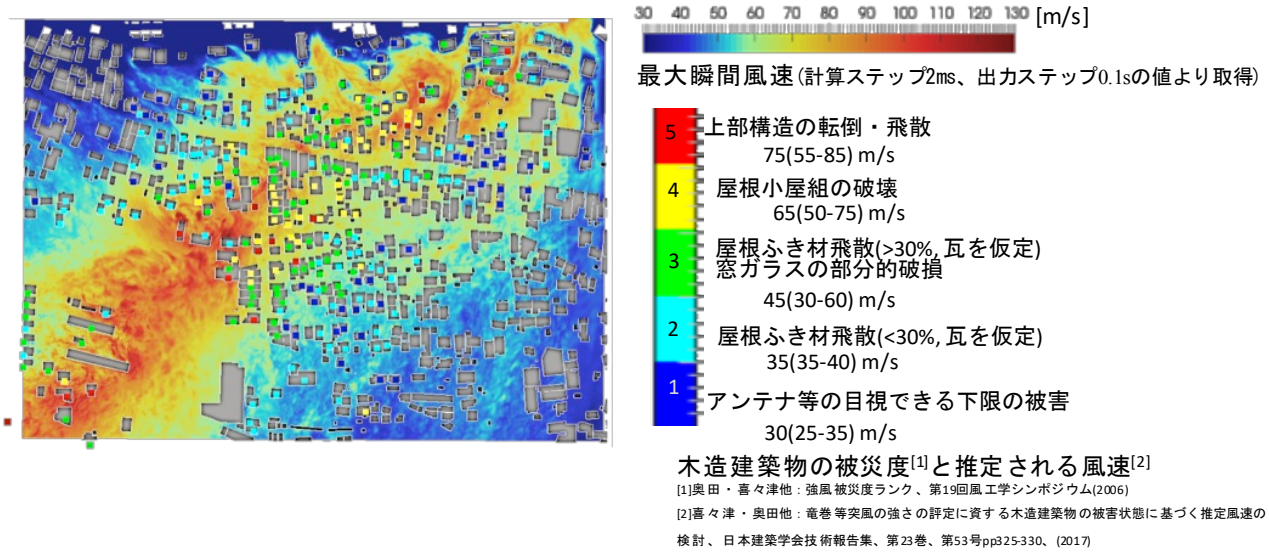


図 A-44：本計算による最大瞬間風速と実際の木造建築物の被災度から推定される風速の空間分布比較

④－2. WRF-LES によるつくば竜巻の発生過程の解析

鉛直方向の格子を詳細に解像した WRF-LES によって 2012 年のつくば竜巻の解析を実施し、竜巻の生成過程に関する分析を行った。その結果 RFD によるサージが竜巻の発生過程において重要な役割を果たしていることが示唆された。図 A-45 は竜巻が生成した時間における循環に関するバジェットの時系列変化を示しているが、竜巻の発生時における地表近傍の渦の生成において、地表の摩擦力が渦度の生成に大きく寄与することが確認された。

さらに空気塊の軌跡を追跡したところ、竜巻の渦に流入する流れは RFD サージとともに下降する空気塊、前方のガストフロントに沿う空気塊、東の流入風によって運ばれる空気塊の 3 つのパターンに分類されることを確認した。それぞれの種類の空気塊について、渦度の鉛直成分は横方向の(crosswise)の渦の持ち上がりにより渦軸が直接傾くことによって生成されている。横方向の渦度成分は空気塊が地表近傍を通過するときに摩擦力によって生成される。以上より地表面での摩擦力が鉛直方向の渦度の生成に最も寄与していると考えられる。一方、傾圧成分は RFD サージとともに降下する

空気塊に対してはっきりと寄与していなかった。その理由としてはフックエコーの周りの傾圧性が Mashiko (2016) と比べて小さいことがあげられること、竜巻の渦や RFD サージが異なるフックエコーやメソサイクロンに関係づけられていることなどが考えられる。

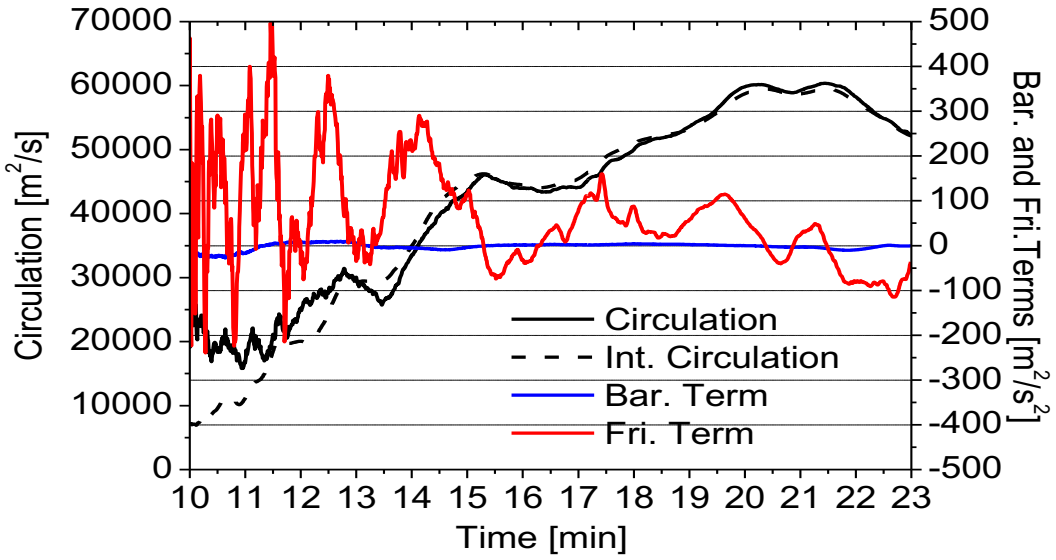


図 A-45：竜巻が生成した時間における循環に関するバジェットの時系列変化

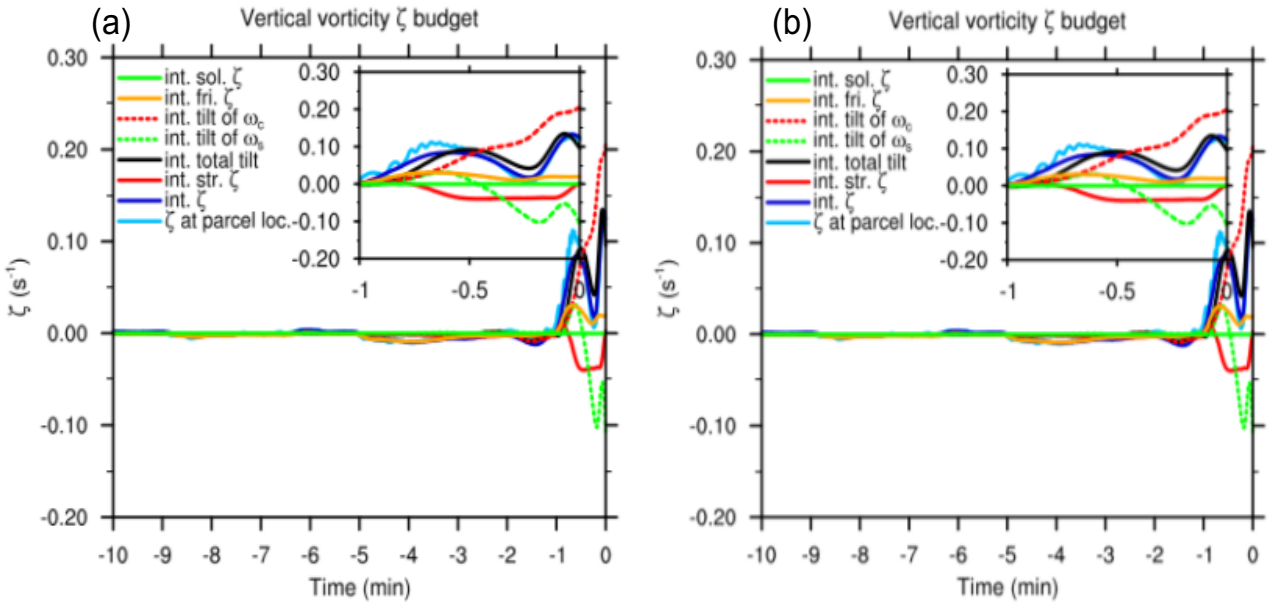


図 A-46：東側から流入する代表的な空気塊の渦度に関する各項のバジェット

((a)鉛直方向 (b)crosswise 方向)

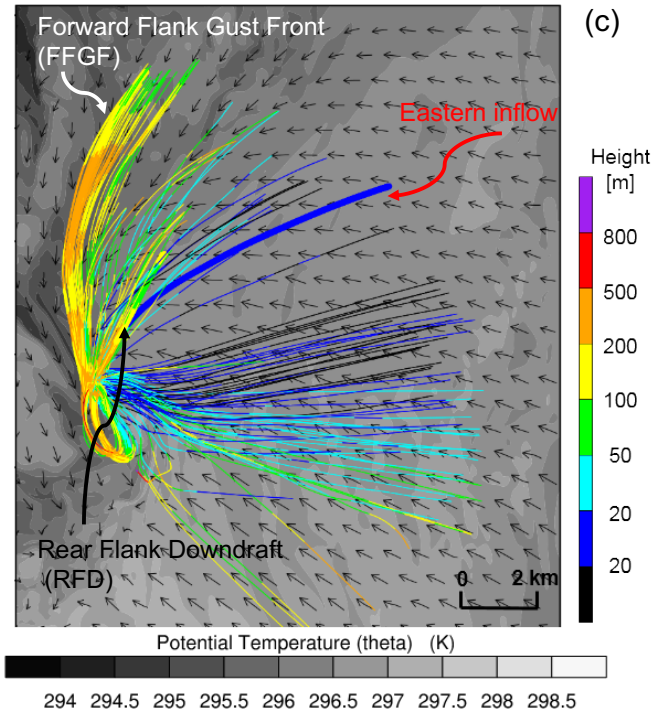


図 A-47：竜巻の渦からの 140 個の空気塊に関する Backward trajectories 解析結果
（各 trajectory の色は高さ、灰色のコンタは AGL200m における温位、矢印は竜巻の中心から見た水平方向の相対速度（storm-relative horizontal wind vectors）。）

④－3. 台風時の地表近傍のピーク風速発生機構の分析

台風は地点あたりの発生確率が竜巻などに比べ高く、建物被害も市街地・住宅地での屋根材の飛散や壁面、窓ガラスの損傷などの外装材を中心に毎年多数発生している。本研究では局地的突風解析システムを平成 24 年の台風 4 号に適用し、台風時の市街地のピーク風速の推定を行う。まずは、図 A-48 に示すように、領域気象モデル WRF 及び WRF-LES により日本列島を通過する台風の再現を行った。領域 1～4 のプローブ点における風速の時系列を図 A-49 に示す。最内部にある領域 4 では 30s 程度の周期までの境界層内の変動成分の生成が確認できる。この結果に対し高周波変動成分の復元計算を行い図 A-50 に示すように復元計算の元の流れ場の変動に応じてより境界層内の細かい構造が再現されたことが確認された。さらに高周波変動成分が得られた、風速場を建物・地形を解像した BCM-LES に接続することにより、図 A-51 に示すように、実際の台風の気象場における建物への風作用を再現した。今後は気象場に基づいたさらに高周波の変動成分の生成を試みる一方、図 A-51 に示すような市街地との接続解析を進め、ピーク風速発生機構の分析に取り組む予定である。

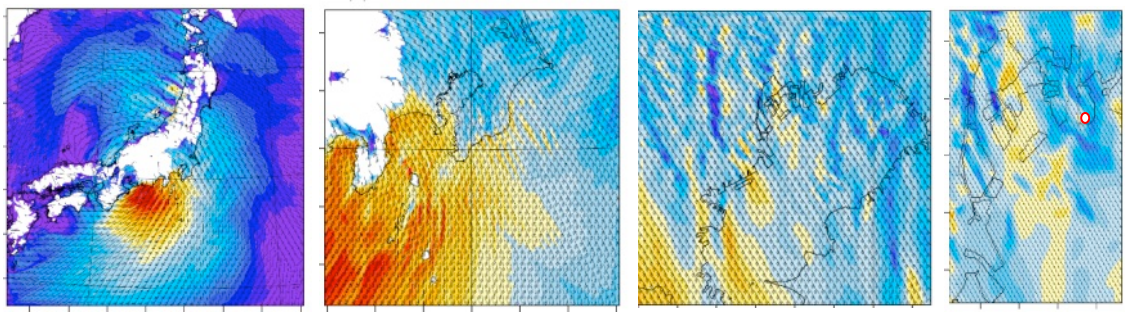


図 A-48：平成 24 年第 4 号台風接近時の風速場
（左から順に領域 1、2 は WRF のみの解析、領域 3・4 は WRF-LES を用いた解析。）

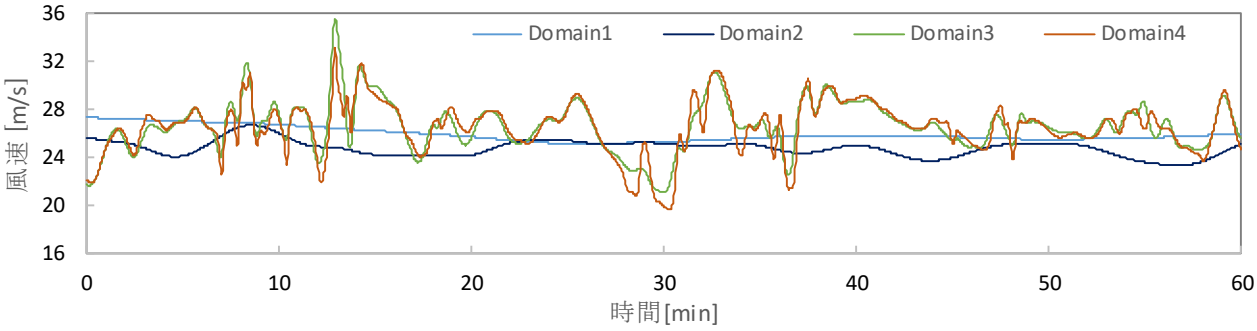
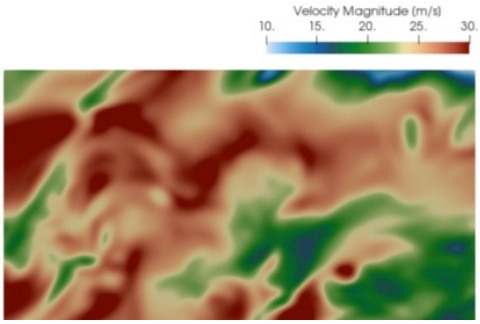


図 A-49：プローブ点（図 1 中の赤丸地点）での風速の時間変化



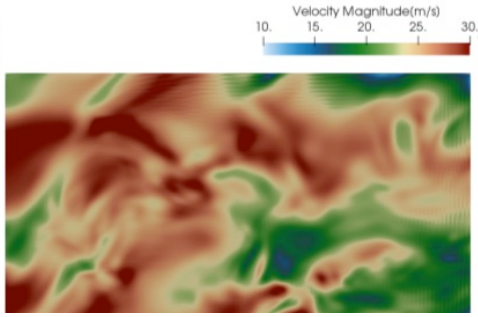


図 A-50：高周波変動成分の復元（高さ 200m 左：復元前、右：復元後）

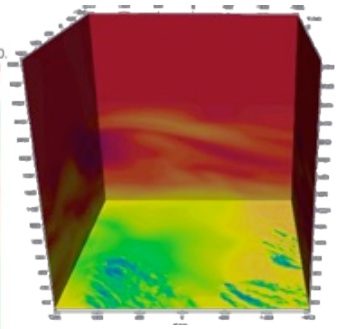


図 A-51：市街地との接続計算

④−4. 都市キャノピー内の乱流構造とピーク風速の発生に関する分析

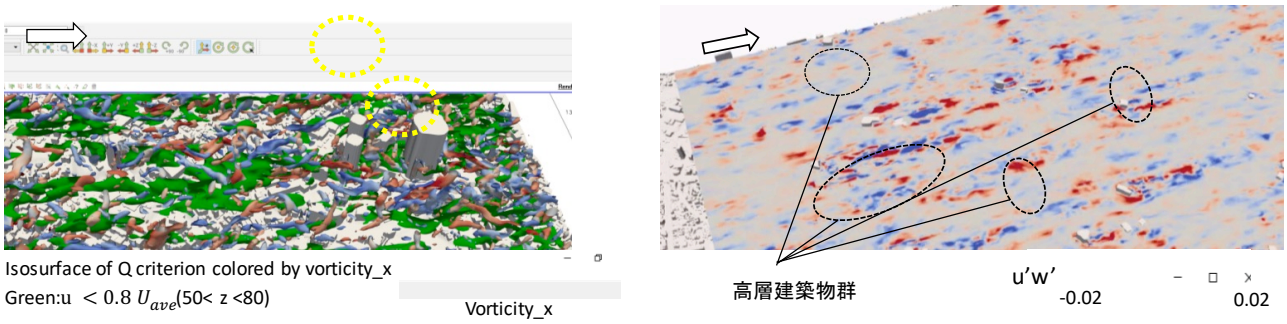
2018 年 9 月の台風 21 号による強風被害では複雑な粗度形状を持つ都市キャノピー内の乱流構造に起因するとみられる外装材の損傷が数多く確認されているが、地表近傍の乱流構造や風速の特性については明らかにされていない部分が多く、都市キャノピー内での平均風速の分布やピーク風速の発生要因については明らかにされていない。特に、東京の都心部では、各地において進む再開発によって、高層市街地群が市街地内に複数存在するようになり、その空間形状や粗度状況は非一様になってきている。

本研究では BCM-LES を 25km x 12km 領域の実在都市の流れ場に適用し、都市形状による粗度効果と流入変動風の導入に伴う乱流境界層の発達過程を示すとともに、実在都市の不均一で複雑な空間形態によって生じる乱流構造を分析した。

その結果、中低層建築物上ではキャノピー上空に発生するストリーク状の速度の小さな構造が確認されその周囲に流速方向に長い渦とアーチ状の渦が発生することを確認した（図 A-52）。さらに高層建築物の Wake の影響が大きな 100m 付近の高さでは 100-200m 程度の間隔のストリーク状の構造がみられ、高層建築物の後流側では速度の変動に対して、votex shedding と連続して変動が持続している。さらに沿岸部の高層建築物群は平均の流れ場に対し数 km 以上の影響を及ぼしており境界層上部に形成され

るロール状の構造への影響が示唆される。

次に、図 A-53 に示すように解析領域における風速の最大値の発生を追跡したところ、u’max と w’min において緩やかに下降する斜めの構造（50m 程度の幅）が出現することが確認され、sweep 事象との対応が示唆された。また、高層建物後方でも上空からのピーク値の出現に対応して最小値を記録しており、以上の知見から上空のロール構造などの大規模な構造が都市キャノピー内の風速のピーク値に与える影響が示唆されている。今後はより高解像度の解析（ネスティング）による都市キャノピー内の詳細な乱流構造を確認する予定である。



(a)中低層市街地上空にみられる低速流体塊（u<0.8 Uaveの等値面）と渦構造（Q 値等値面、色は渦度のx成分)の関係

(b) 高層建築物群の後流にみられる組織構造（u’w’,高さ100m）

図 A-52：風速の瞬間場と気温の非定常的な変化

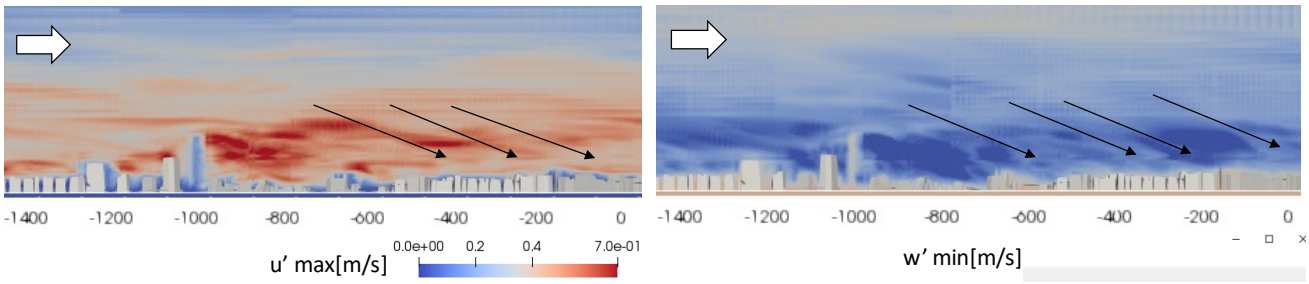


図 A-53：速度の u 成分変動値の最大値と w 成分変動値の最小値の断面分布

参考文献

新井舞子、河合英徳、田村哲郎：熱放射を考慮した市街地のＬＥＳに基づく気流・熱環境解析，第 25 回風工学シンポジウム,2018.12

Hidenori Kawai, Maiko Arai, Tetsuro Tamura. HPC of Turbulent Wind and Thermal Environment By LES Coupling with Radiation Model for Actual Urban Districts, 10th International Conference on Urban Climate, Aug. 2018.

⑤ 活動内容

⑤−1. 研究会

平成 30 年度は研究連絡会を 4 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おこなった。

第 1 回　研究連絡会

・平成 30 年 6 月 21 日 10 時 30 分～17 時 00 分　目標 1-3　海洋研究開発機構　東京事務所
・平成 30 年 6 月 22 日 10 時 30 分～16 時 45 分　目標 2-4　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おこなった、
また、アプリの改良の希望調査の依頼を説明した。

第 2 回　研究連絡会

・平成 30 年 7 月 10 日 10 時 30 分～16 時 30 分　目標 1-2　海洋研究開発機構　東京事務所
・平成 30 年 7 月 13 日 10 時 30 分～16 時 00 分　目標 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おこなった。

第 3 回　研究連絡会

・平成 30 年 11 月 28 日 10 時 30 分～16 時 00 分　目標 1-2　海洋研究開発機構　横浜研究所
・平成 30 年 11 月 29 日 10 時 30 分～14 時 45 分　目標 3-4　海洋研究開発機構　横浜研究所
課題代表者から、次期プロジェクトについて報告があった。
大泉（海洋研究開発機構）から今後のストレージの確保について説明があった。

第 4 回　研究連絡会

・平成 30 年 2 月 26 日 10 時～17 時 30 分　目標 1-2　理研 計算科学研究センター(神戸)
・平成 30 年 2 月 27 日 10 時～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と来年度の計画の報告があった。

⑤−2. アウトリーチ

第 3 回重点課題 4 成果報告会

・平成 31 年 3 月 14 日　海洋研究開発機構 横浜研究所 三好記念講堂
・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、横田、田村（東京工業大学)、寺崎（理研 計算科学研究センター)、が最新の成果を紹介した。また、ひまわり 8 号の高頻度高密度観測を用いた同化研究、つくば竜巻の高解像度実験からアンサンブル予測、建築物への評価に関するポスター発表を行った。

第 4 回シンポジウム「激甚化する気象災害！予測技術向上への挑戦」

・平成 31 年 1 月 29 日　日比谷コンベンションホール
・サブ課題 A からは、小槻（理化学研究所　計算科学研究センター)が「天気予報研究の最前線 −平成 30 年 7 月豪雨の予測可能性を探る−」という標題で、小林（神戸大学　都市安全研究センター)が、「『京』による洪水研究最前線！　予測シミュレーションを防災に役立てる」という標題で、成果の紹介を行った。

⑤−3. プレスリリース

前報告書の以後のものとして、以下の 2 件のプレスリリースを行った。

・平成 31 年 1 月 18 日

本田匠（理化学研究所　計算科学研究センター）

「10 分ごとに更新する気象予測－「京」と気象衛星ひまわり 8 号による天気予報の革新－」

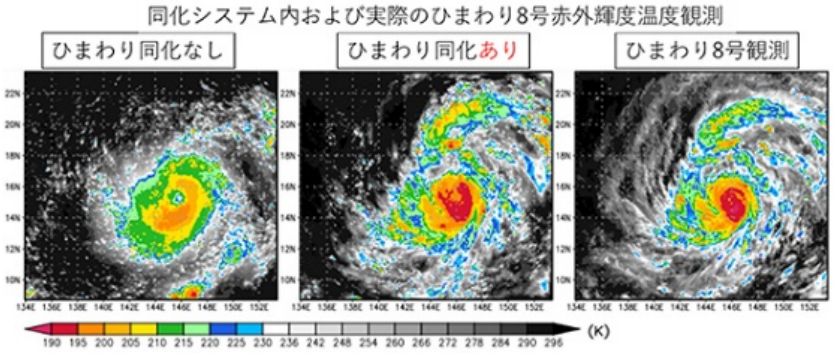


図 A-54：「同化システム内、および実際のひまわり 8 号の赤外輝度温度観測」

・平成 30 年 7 月 30 日

伊藤幸介

「2017 年台風第 21 号の航空機観測を用いた強度解析と予測実験の結果について」

成果ホームページ掲載として、以下を行った。

・平成 30 年 8 月 27 日

益子渉「超高解像度数値シミュレーションが明らかにした「つくば竜巻」の内部構造」

横田祥「『京』コンピュータによる多数の高解像度シミュレーションが解明した竜巻の発生要因」

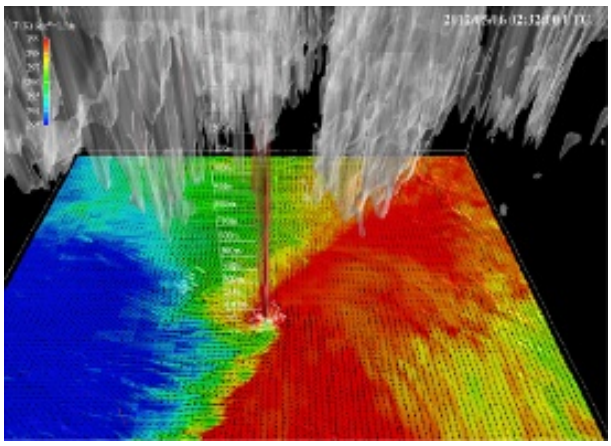


図 A-55：「京で再現したつくば竜巻」

(4) 成果リスト

① 論文（査読付き）

Kotsuki S., K. Terasaki, H. Yashiro, H. Tomita, M. Satoh, and T. Miyoshi, 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. J. Geophys.Res. Atmos., 123, 7375-7392.

Kotsuki S., Terasaki K., Kanemaru K., Satoh M., Kubota T. and Miyoshi T., 2018: Predictability of Record-Breaking Rainfall in Japan in July 2018: Ensemble Forecast Experiments with the Near-real-time Global Atmospheric Data Assimilation System NEXRA. Scientific Online Letters on the Atmosphere, Volume 15A, Pages 1-7.

田中智大，渡部哲史，小槻峻司，林義晃，丸谷靖幸，峠嘉哉，山崎大，木村匡臣，田上雅浩，江草智弘，橋本雅和，仲吉信人，2018：最前線の水文・水資源学 ： WACCA 世代の挑戦. 水文・水資源学会誌，31，6，170，509-540.

Honda, T., S. Takino, and T. Miyoshi, 2018: Improving a precipitation forecast by assimilating all-sky Himawari-8 satellite radiances: A case of Typhoon Malakas (2016). SOLA, Volume 15, Pages 7-11.

Terasaki, Koji, Kotsuki, Shunji, Miyoshi, Takemasa, 2019: Multi-year analysis using the NICAM-LETKF data assimilation system. SOLA. In-press.

Ito, K., H. Yamada, M. Yamaguchi, T. Nakazawa, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, and K. Tsuboki, 2018: Analysis and forecast using dropsonde data from the inner-core region of Tropical Cyclone Lan (2017) obtained during the first aircraft missions of T-PARCII, SOLA, 14, 105-110.

伊藤耕介，山口宗彦，沢田雅洋，2018：高解像度大気モデル及び大気海洋結合モデルを用いた北西太平洋全域台風予測実験，気象研究所研究報告，第67巻，15-34.

Okamoto, Sawada, Kunii, 2019: Comparison of assimilating all‐sky and clear‐sky infrared radiances from Himawari‐8 in a mesoscale system. QJRMS. doi:10.1002/qj.3463, in press

Yokota, S., H. Seko, M. Kunii, H. Yamauchi, and E. Sato, 2018: Improving short-term rainfall forecasts by assimilating weather radar reflectivity using additive ensemble perturbations. J. Geophys. Res., 123, 9047-9062. http://dx.doi.org/10.1029/2018JD028723

Tochimoto, E., and H., Niino, 2018: Structure and environment of extratropical cyclones that spawned tornadoes around Japan. J. Meteor. Soc. Japan. 96, 355-380, https://doi.org/10.2151/jmsj.2018-043

Tochimoto, E., K., Sueki, H., Niino, 2019: Entraining CAPE for better assessment of tornado outbreak potential in the warm sector of extratropical cyclones. Mon. Wea. Rev., https://doi.org/10.1175/MWR-D-18-0137.1, in press

Kawabata, T., H.-S. Bauer, T. Schwitalla, V. Wulfmeyer, and A. Adachi, 2018a: Evaluation of forward operators for polarimetric radars aiming for data assimilation. J. Meteor. Soc. Japan, 96A, 157-174, doi:10.2151/jmsj.2018-017.

Kawabata, T., T. Schwitalla, A. Adachi, H.-S. Bauer, V. Wulfmeyer, N. Nagumo, and H. Yamauchi, 2018b: Observational operators for dual polarimetric radars in variational data assimilation systems (PolRad VAR v1.0). Geosci. Model Dev., 11, 2493-2501, doi:10.5194/gmd-11-2493-2018.

Kobayashi, K., Apip, Duc, L., Oizumi, T., and Saito, K., 2019: 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. Discuss., https://doi.org/10.5194/nhess-2018-343, in review.

小林健一郎・中山恵介・田中翔・阪口詩乃・奥勇一郎・池内幸司，2018：洪水氾濫シミュレーションにおいて 風の影響を考慮する必要性に関する検討，土木学会論文集B1(水工学) Vol.74, No.5, I_1459-I_1464.

小林健一郎・中山恵介・阪口詩乃，2018：浅水流方程式・局所慣性方程式の精度検証と 最適空間解像度に関する検討，土木学会論文集B1(水工学) Vol.74, No.5, I_1513-I_1518

Fukui, S., T. Iwasaki, K. Saito, H. Seko, and 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. https://doi.org/10.2151/jmsj.2018-056

Saito, K., M. Kunii and K. Araki, 2018: Cloud resolving simulation of a local heavy rainfall event on 26 August 2011 observed in TOMACS. J. Meteor. Soc. Japan, 96A, 175-199. https://doi.org/10.2151/jmsj.2018-027

Duc, L. and K. Saito, 2018: Verification in the presence of observation errors: Bayesian point of view. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 144, 1063-1090. https://doi.org/10.1002/qj.3275

Cao, Y., T. Tamura, H. Kawai: Investigation of wall pressures and surface flow patterns on a wall-mounted square cylinder using very high-resolution Cartesian mesh, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 2019 (in press)

Cao, Y., T. Tamura: Shear effects on flows past a square cylinder with rounded corners at Re=2.2×104, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 174, 119-132, 2018.

新井舞子、河合英徳、田村哲郎：熱放射を考慮した市街地のＬＥＳに基づく気流・熱環境解析，第25回風工学シンポジウム,2018.12

孟明玉、河合英徳、田村哲郎、陳哲狗：High-resolution LES for wind pressure prediction of tall building on slight undulation,第25回風工学シンポジウム,2018.12

② 論文（査読なし）

古林慎哉，原田昌，小林ちあき，原田やよい，大島和裕，中村尚，福井真，藤原正智，山崎哲，芳村圭，2018：第５回再解析国際会議報告．天気，65，431-439.

斉藤和雄・小司禎教・折口征二・LeDuc，2018：2008年8月首都圏局地豪雨のGPSデータ同化実験と雲解像アンサブル予報．気象研究ノート．236，250-265.

斉藤和雄・国井勝・荒木健太郎，2018：2011年8月26日首都圏豪雨の雲解像アンサンブル実験．気

象研究ノート. 236, 266-282.
横田祥・瀬古弘・國井勝・山内洋, 2018: LETKF ネストシステムによる稠密観測データの同化実験―2012 年 5 月 6 日に関東地方で発生した竜巻の事例について―. 気象研究ノート. 236, 242-249.

③ 国際会議・シンポジウム

③−1. 口頭発表

(invited) Development of a storm-scale particle filter for investigating predictability of convection initiation and development, Takuya Kawabata and Genta Ueno, Japan Geoscience Union Meeting 2018

A storm-scale particle filter for investigating predictability of convection initiation and development, Takuya Kawabata and Genta Ueno, Workshop on Sensitivity Analysis and Data Assimilation in Meteorology and Oceanography

(invited)Issues regarding maintaining ensemble spreads, balance, and high-resolution information in rapid-update-cycle radar data assimilation with the LETKF, Guo-Yuan Lien, Takemasa Miyoshi, JpGU Meeting 2018, Chiba, 20 May 2018

(invited)Enhancing Data Assimilation of GPM Observations, Takemasa MIYOSHI, Shunji KOTSUKI, Koji TERASAKI, Keiichi KONDO, Guo-Yuan LIEN, Kenta KUROSAWA, Masaki SATOH, Hirofumi TOMITA, Eugenia KALNAY, AOGS, Honolulu, Hawaii, 4 June 2018

(invited)Advancing Data Assimilation as a Science Hub:From Weather Forecasting and Beyond, T.Miyoshi, MADA2018, Le Bourget-du Lac, France, 29 August 2018

(invited)Rapid-update-cycle high-resolution assimilation of radar data: Results from exploratory experiments and potential for operational prediction, Guo-Yuan Lien, Takemasa Miyoshi, Takumi Honda, Shigenori Otsuka, 2018 Conference on Weather Analysis and Forecasting, Taipei, 11 September 2018

(invited)Innovating "Big Data Assimilation" technology for revolutionizing very-short-range severe weather prediction, T. Miyoshi, CREST Symposium on Big Data Application, Tokyo, 30 September 2018

(invited)Satellite data assimilation and parameter estimation with NICAM-LETKF, T. Miyoshi, CEN/CliSAP WORKSHOP "Climate Data Assimilation", Hamburg, Germany, 5 October 2018

(invited)Data assimilation for nonlinear ensemble forecasts, T. Miyoshi, Fourth meeting of the WWRP PDEF Working Group, Tokyo, 11 October 2018

(invited)Pushing the limits : Big Data Assimilation research at RIKEN, T. Miyoshi, 国際的な気象・気候予測研究に関するセミナー～世界気象機関 (WMO)の数値予報関連活動との連携～, Tokyo, 12 October 2018

(invited)Prediction Science : The 5th Paradigm Fusing the Computational Science and Data Science, T. Miyoshi, BDEC2, Indiana, U.S.A., 29 November 2018

(invited)Pushing the limits：Big Data Assimilation Research at RIKEN, T. Miyoshi, Atmospheric science seminar, 南京, 10 December 2018

(invited)Big Data, Supercomputing, and Data Assimilation: Weather Prediction and Beyond, T. Miyoshi, RIKEN BAIHO Awards, The All-RIKEN Workshop 2018, Wako, 14 December 2018

(invited)Project Report, Takemasa Miyoshi,Hirofumi Tomita,Shinsuke Satoh ,Tomoo Ushio,Yutaka Ishikawa, CREST International Symposium on Big Data Application, Tokyo, 14 January 2019

(invited)Enhancing Data Assimilation of GPM Observations, T. Miyoshi, The Joint PI Meeting of JAXA Earth Observation Missions FY2018, TOKYO, 25 January 2019

(invited)Big Data Assimilation : Past 5 Years and Perspectives for the Future, T. Miyoshi, ICMCS-XIII,Okinawa, 6 March 2019

(invited)Numerical Simulations of Meso-β-scale Vortices that Spawned Tornado-like Vortices, E. Tochimoto, S. Yokota, H. Niino, and W. Yanase, Asia Oceania Geosciences Society, Honolulu, Hawaii, 03-08 Jun 2018.

(invited) Fine-scale Structures of Meso-β-scale Vortices that Cause Tornado-like Vortices, E. Tochimoto, S. Yokota, H. Niino, and W. Yanase, Japan Geoscience Union, Chiba, Japan, 20-24 May 2018.

(invited) Tornadoes: Their Structure, Genesis Mechanism and Environment, H. Niino, 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics. Kanazawa, Japan, 12-17 Nov 2018.

Enhancing data assimilation of GPM observations, Takemasa Miyoshi, Shunji Kotsuki, Koji Terasaki, Keiichi Kondo, Guo-Yuan Lien, Kenta Kurosawa, Masaki Satoh, Hirofumi Tomita, Eugenia Kalnay, EGU, Vienna, Austria, 9 April 2018

How fast shall we go? Lessons learned from 30-second-update convection-resolving data assimilation experiments, Takemasa Miyoshi, Juan Ruiz, Guo-Yuan Lien, Toshiki Teramura, Yasumitsu Maejima, Keiichi Kondo, Hideyuki Sakamoto, EGU, Vienna, Austria, 10 April 2018

Ensemble Forecast Sensitivity to Observations Verified with Multiple References, Kotsuki S., Kurosawa K., Miyoshi T., The 8th EnKF Data Assimilation Workshop, Québec, Canada, 7 May 2018

Is 30-second update fast enough for convection-resolving data assimilation?, Takemasa Miyoshi, J. Ruiz, G.-Y. Lien, T. Teramura, Y. Maejima, K. Kondo, H. Sakamoto, EnKF workshop, Québec, Canada, 7 May 2018

Assimilating All-Sky Himawari-8 Satellite Infrared Radiances: A Case of Typhoon Soudelor (2015), Honda, T., T. Miyoshi, G.-Y. Lien, S. Nishizawa, R. Yoshida, S. A. Adachi, K. Terasaki, K. Okamoto, H. Tomita and K. Bessho, The 8th EnKF Data Assimilation Workshop,

Is 30-second update fast enough for convection-resolving data assimilation?, Takemasa Miyoshi, J. Ruiz, G.-Y. Lien, T. Teramura, Y. Maejima, K. Kondo, H. Sakamoto, EnKF workshop, Québec, Canada, 7 May 2018

On the importance of assimilating cloudy-sky infrared radiances from Himawari-8 for heavy rainfall prediction, Honda, T., T. Miyoshi, Japan Geoscience Union Meeting, Chiba, 20 May 2018

Impacts of dense surface observations on predicting a torrential rainfall event on September

9 and 10, 2015 in the east Japan area, Yasumitsu Maejima, JpGU annual meeting, Chiba, 20 May 2018

Impacts of Dense Surface Observations on Predicting a Torrential Rainfall Event on September 9 and 10, 2015 in the East Japan Area, Yasumitsu Maejima, Guo-Yuan Lien and Takemasa Miyoshi, Asia Oceania Geosciences Society 15th Annual Meeting, Hawaii, 5 June 2018

How Fast Shall We Go? Lessons Learned from 30-second-update Convection-resolving Data Assimilation Experiments, Takemasa MIYOSHI, Juan RUIZ, Guo-Yuan LIEN, Toshiki TERAMURA, Yasumitsu MAEJIMA, Keiichi KONDO, Hideyuki SAKAMOTO, AOGS, Honolulu, Hawaii, 5 June 2018

HPC Challenges in Weather Forecast research：data-assimilation science, T. Miyoshi,(RIKEN), International HPC Summer School 2018, Ostrava , Czech Republic, 10 July 2018

Innovating "Big Data Assimilation" technology for revolutionizing very-short-range severe weather prediction, T.Miyoshi, DATAIA-JST International Symposium, Paris, France, 11 July 2018

Near-real-time SCALE-LETKF forecasts of the record breaking rainfall in Japan in July 2018, Honda, T., G.-Y. Lien, T. Miyoshi, 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models (NHM2018), Tokyo, 14 November 2018

Model Parameter Estimation with Data Assimilation using NICAM-LETKF, Kotsuki S., Sato Y., Terasaki K., Yashiro H., Tomita H., Satoh M., Miyoshi T., 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, Tokyo, 15 November 2018

Big Data Assimilation:Past 5 Years and Perspectives for the Future, Takemasa Miyoshi, S. Otsuka, T. Honda, G. Y. Lien, Y. Maejima, Y. Yoshizaki, H. Seko, H. Tomita, S. Satoh, T. Ushio, T. V. Martsinkevich, B. Gerofi, and Y. Ishikawa, AMS 99th ANNUAL MEETING, Phoenix, USA, 7 January 2019

Model Parameter Estimation with Data Assimilation using NICAM-LETKF, Kotsuki S., Sato Y., Terasaki K., Yashiro H., Tomita H., Satoh M., Miyoshi T., 7th International Symposium on Data Assimilation, 22 January 2019

Precipitation radar data assimilation with an ensemble Kalman filter: an observing system simulation experiment for a typhoon case, Okazaki, A., Honda, T., Kotsuki, S., Miyoshi, T., 7th International Symposium on Data Assimilation, Kobe, 22 January 2019

Big Data Assimilation: Past 5 Years and Perspectives for the Future, T. Miyoshi, ISDA2019, Kobe, 24 January 2019

Activities at RIKEN Data Assimilation Research Team, T. Miyoshi, Workshop IMT Atlantique & RIKEN, France, 22 February 2019

Improvements in the forecast of TC Lan (2017) by assimilating dropsondes from T-PARCII and DOTSTAR, Ito, K., M. Yamaguchi, T. Nakazawa, H. Yamada, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, K. Tsuboki, JpGU Meeting 2018, Chiba, 23 May 2018.

Assimilation and evaluation of all-sky infrared radiances of Himawari-8, Okamoto, Sawada, Kunii, Hashino, Iriguchi, Nakagawa, JpGU Meeting 2018, Chiba, 20 May 2018.

State-dependent additive covariance inflation for radar reflectivity assimilation, Yokota, S., H. Seko, M. Kunii, H. Yamauchi, and E. Sato, 8th EnKF Data Assimilation Workshop, Sainte-Adèle, Canada, 8 May 2018.

Entraining CAPE for better assessment of tornado outbreak potential in the warm sector of extratropical cyclones, E. Tochimoto, K. Sueki, and H. Niino, 29th Conference on Severe Local Storms, Stowe, United States, 23 October 2018.

Differences in Extratropical Cyclone Structures between Northwestern Pacific and Northwestern Atlantic Oceans. E. Tochimoto and H. Niino, American Meteorological Society 99th annual meeting, Phoenix, United States 08 January 2019.

Impacts of assimilating the typhoon best-track data on the regional reanalysis of the Kanto-Tohoku heavy rainfall in September 2015, Fukui, S., T Iwasaki, K. Saito, H. Seko, Japan Geoscience Union Meeting 2018, Makuhari, 20 May 2018.

Towards a long-term high-resolution regional reanalysis over Japan by using NHM-LETKF, Fukui, S., T Iwasaki, K. Saito, H. Seko, The 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, Tokyo, 15 November 2018.

LETKF Perturbations by Ensemble Transform in a Cloud Resolving Model, Saito, K., L. Duc, S. Yokota, and T. Matsunobu, 2018, The 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models,Tokyo, 15 November 2018.

LETKF Perturbations by Ensemble Transform in a Cloud Resolving Model, Saito, K., L. Duc, S. Yokota, and T. Matsunobu, 2018, The 23rd Conference on Integrated Observing and Assimilation Systems for the Atmosphere, Oceans, and Land Surface (IOAS-AOLS). Phoenix, USA, 7 January 2019.

LETKF Perturbations by Ensemble Transform in a Cloud Resolving Model, Saito, K., L. Duc, S. Yokota, and T. Matsunobu, 2018, The 7th International Symposium on Data Assimilation (ISDA2019). Kobe, 24 January 2019.

Numerical Simulation of Turbulence near the Surface When an Accident Occurred at Narita Airport: Junshi Ito, Hiroshi Niino, and Katsumi Yoshino: 99th AMS Annual Meeting, Phoenix, United States, 1/8/2019

A 4D-EnVAR data assimilation system without vertical localization, Duc L., and K. Saito, Asia Oceania Geosciences Society, Honolulu, Hawaii, 03-08 Jun 2018.

Analysis and design of covariance inflation methods from functional viewpoint, Duc L., K. Saito, and D. Hotta, The 7th International Symposium on Data Assimilation (ISDA2019). Kobe, 23 January 2019.

Ultra-high-resolution Numerical Weather Simulations of Heavy Rain Events, T. OIZUMI, K. SAITO, L. DUC, and J. ITO, AOGS, Honolulu, Hawaii, 3 June 2018.

LES study on unsteadiness and impact of urban wind based on coherent turbulence structures, Tetsuro Tamura, Hidenori Kawai, The 71st Annual Meeting of the American Physical Society’s Division of Fluid, Nov. 2018.

Tornado Damage Estimation of Cities and Buildings Using Meteorological Model/LES Hybrid Method, Masaharu Kawaguchi, T. Tamura, H. Kawai, W. Mashiko, 29th Conference on Severe Local Storms, Oct. 2018.

LES Method for generating broad-banded turbulence for meteorological events, Masaharu Kawaguchi, Tetsuro Tamura, Tao Tao, Hidenori Kawai, The 12th International ERCOFTAC symposium on engineering, turbulence, modelling and measurements, Sep. 2018.

HPC of Turbulent Wind and Thermal Environment By LES Coupling with Radiation Model for Actual Urban Districts, Hidenori Kawai, Maiko Arai, Tetsuro Tamura, 10th International Conference on Urban Climate, Aug. 2018.

An Analysis of Tornado Using Meteorological Model and Engineering LES: Wind Gust Structures in the Urban Area and Its Impact on the Buildings, Masaharu Kawaguchi, T. Tamura, W. Mashiko, Y. Cao, H. Kawai, 10th International Conference on Urban Climate, Aug. 2018.

Classification of Coherent Turbulent Structures over Actual City with Scattered High-Rise-Building Cluster, Tetsuro Tamura, H. Kawai, 10th International Conference on Urban Climate, Aug. 2018.

Meteorological Model/Engineering LES Hybrid Approach: Towards the Risk Assessment of Urban Areas in Strong Wind Events, Masaharu Kawaguchi, Tetsuro Tamura, Wataru Mashiko, Tao Tao, Hidenori Kawai, 23rd Symposium on Boundary Layers and Turbulence/21st Conference on Air-Sea Interaction, Jun. 2018.

Flow Topology and Surface Pressure on a Wall-Mounted Square Cylinder, Yong Cao, Hidenori Kawai, Tetsuro Tamura, Rahul Bale, Keiji Onishi, Makoto Tsubokura, CWE 2018 International Symposium on Computational Wind Engineering, Jun. 2018.

Turbulence and Pressure Fluctuation around High-Rise Building with Complicated Facade in Urban Districts, Hidenori Kawai, Tetsuro Tamura, Maiko Arai, Hiroki Sayama, Takayuki Yamaguchi, Keisuke Yoshie, CWE 2018 International Symposium on Computational Wind Engineering, Jun. 2018.

Application of LES Based on BCM to Wind Engineering, 6th European Conference on Computational Mechanics (ECCM 6), Tetsuro Tamura, Hidenori Kawai, Duong Viet Dung, Yong Cao, Keiji Onishi, Rahul Bale, Makoto Tsubokura, 7th European Conference on Computational Fluid Dynamics (ECFD 7), Jun. 2018.

Data Assimilation Studies using Big Observation Data in the Projects of Post K and BDA, Hiromu Seko, The 7th International Symposium on Data Assimilation (ISDA2019). Kobe, 23 January 2019.

Data Assimilation Studies using Big Observation Data in the Projects of Post K and BDA, Hiromu Seko, Conference on Mesoscale Convective Systems and High-Impact Weather in East Asia (ICMCS-XIII). Okinawa, 8 March 2019.

③－2. ポスター発表

(invited/poster) Accounting for the observation error correlation in data assimilation, Terasaki, K., T. Miyoshi, JpGU2018, Chiba, 20 May 2018

(invited/poster) The computational aspect of the SCLAE-LETKF data assimilation system for rapid-update-cycle, high-resolution radar data assimilation, Guo-Yuan Lien, Seiya Nishizawa, Ryuji Yoshida, Hisashi Yashiro, Tatiana Martsinkevich, Takumi Honda, Shigenori Otsuka, Takemasa Miyoshi, Hirofumi Tomita, and Yutaka Ishikawa, JpGU Meeting 2018, Chiba, 20 May 2018

On the assimilation order of the serial ensemble Kalman filter: A study with the Lorenz-96 model, Kotsuki S., Greybush S. J., and Miyoshi T., The 8th EnKF Data Assimilation Workshop, Quebec, Canada, 7 May, 2018

Ensemble-Based Data Assimilation of GPM/DPR Reflectivity into the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model NICAM, Kotsuki S., Terasaki K., and Miyoshi T., The 8th EnKF Data Assimilation Workshop, Quebec, Canada, 9 May 2018

Dense precipitation radar data assimilation: an observing system simulation, Okazaki, A., Honda, T., Kotsuki, S., Miyoshi, T., JpGU 2018, Chiba, 20 May 2018

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, Takemasa Miyoshi, 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models (NHM2018), Tokyo, 14 November 2018

Dense precipitation radar data assimilation with an ensemble Kalman filter: an observing system simulation experiment for a typhoon case, Okazaki, A., Honda, T., Kotsuki, S., Miyoshi, T., 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, Tokyo, 15 November 2018

Non-Gaussian Measure in Gaussian Filtering Problem, Sakamoto H, Teramura T, Miyoshi T, 7th International Symposium on Data Assimilation (ISDA2019), Kobe, 21 January 2019

Accounting for the horizontal observation error correlation of precipitation observation, Koji Terasaki, Shunji Kotsuki, Takemasa Miyoshi, 7th International Symposium on Data Assimilation (ISDA2019), Kobe, 21 January 2019

Assimilating every 30-second phased array weather radar data in a torrential rainfall event on July 6, 2018 around Kobe city, Maejima, Y., S. Otsuka, T. Miyoshi, 7th International Symposium on Data Assimilation, Kobe, 21 January 2019

Adaptive covariance relaxation methods for ensemble data assimilation based on innovation statistics, Kotsuki S., Ota Y., and Miyoshi T., 7th International Symposium on Data Assimilation, 22 January 2019

Ensemble-Based Data Assimilation of GPM/DPR Reflectivity into the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model NICAM, Kotsuki S., Terasaki K., Miyoshi T., 7th International Symposium on Data Assimilation, 22 January 2019

Properties on Ensemble Forecast Sensitivity to Observations, Kotsuki S., Kurosawa K., Miyoshi T., 7th International Symposium on Data Assimilation, 22 January 2019

Spatial structure of weights in the Local Ensemble Transform Kalman Filter: A case with an intermediate AGCM, Kotsuki S., Pensoneault A., Okazaki A., Miyoshi T., 7th International Symposium on Data Assimilation, 22 January 2019

Near-real-time SCALE-LETKF forecasts of the record breaking rainfall in Japan in July 2018, Honda, T., G.-Y. Lien, T. Miyoshi, 7th International Symposium on Data Assimilation, Kobe, 23 January 2019

Assimilating every 30-second phased array weather radar data in a torrential rainfall event on July 6, 2018 around Kobe city, Maejima, Y., S. Otsuka, T. Miyoshi, 1st R-CCS International Symposium, Kobe, 18 February 2019

Model Parameter Estimation with Data Assimilation using NICAM-LETKF, Kotsuki S., Sato Y., Terasaki K., Yashiro H., Tomita H., Satoh M., Miyoshi T.: The 1st R-CCS International Symposium, 18 February 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, Takemasa Miyoshi, R-CCS International symposium, Kobe, 18 February 2019

Near-real-time SCALE-LETKF forecasts of the record breaking rainfall in Japan in July 2018, Honda, T., G.-Y. Lien, T. Miyoshi, 1st R-CCS International Symposium, Kobe, 18 February 2019

Near-real-time SCALE-LETKF forecasts of the record breaking rainfall in Japan in July 2018, Honda, T., G.-Y. Lien, T. Miyoshi, ICMCS-XIII, Okinawa, 6 March 2019

Analysis and Forecast Using Dropsonde Data from the Inner-Core Region of Tropical Cyclone Lan (2017) Obtained during Aircraft Missions of T-PARCII, Ito, K., M. Yamaguchi, T. Nakazawa, H. Yamada, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, K. Tsuboki, The 7th International Symposium on Data Assimilation, Kobe, 23 January 2019.

Analysis and Forecast Using Dropsonde Data from the Inner-Core Region of Tropical Cyclone Lan (2017) Obtained during Aircraft Missions of T-PARCII, Ito, K., M. Yamaguchi, T. Nakazawa, H. Yamada, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, K. Tsuboki, 33nd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Florida, 19 April 2018.

Regional atmospheric data assimilation coupled with an ocean mixed layer model: a case of typhoon Soudelor (2015), Takatama, K., T. Honda, and T. Miyoshi, ISDA2019, Kobe, 22 January 2019.

Ensemble-based Singular Value Decomposition Analysis for a Local Rainfall Event Predicted by Water Vapor Assimilation, Yokota, S., H. Seko, N. Nagumo, H. Yamauchi, R. Kudo, T. Sakai, Y. Shoji, T. Kawabata, Y. Ikuta, and H. Niino, 29th Conference on Severe Local Storms, Stowe, VT, USA, 23 October 2018.

Important Factors for Tornadogenesis as Revealed by High-Resolution Ensemble Forecasts of the Tsukuba F3 Tornado on 6 May 2012, Yokota, S., H. Niino, H. Seko, M. Kunii, and H. Yamauchi, 29th Conference on Severe Local Storms, Stowe, VT, USA, 25 October 2018.

4DEnVar with Iterative Calculation of Nonlinear Nonhydrostatic Model Compared to En4DVar, Yokota, S., K. Koizumi, M. Kunii, and K. Ito, 5th International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models, Tokyo, Japan, 15 November 2018.

Ensemble-based Singular Value Decomposition Analysis to Clarify Relationship between the Atmospheric State and the Hydrometeors, Yokota, S., H. Seko, N. Nagumo, H. Yamauchi, R. Kudo, T. Sakai, Y. Shoji, T. Kawabata, Y. Ikuta, and H. Niino, 5th International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models, Tokyo, Japan, 15 November 2018.

Ensemble-based Singular Value Decomposition Analysis to Clarify Relationship between the Atmospheric State and the Hydrometeors, Yokota, S., H. Seko, N. Nagumo, H. Yamauchi, R. Kudo, T. Sakai, Y. Shoji, T. Kawabata, Y. Ikuta, and H. Niino, 7th International Symposium on Data Assimilation, Kobe, Japan, 21 January 2019.

4DEnVar with Iterative Calculation of Nonlinear Nonhydrostatic Model Compared to En4DVar, Yokota, S., K. Koizumi, M. Kunii, and K. Ito, 7th International Symposium on Data Assimilation, Kobe, Japan, 22 January 2019.

Ensemble Experiments of Meso-Beta-Scale Vortex that Caused a Sudden Gusty Wind over the Sea, E. Tochimoto, S. Yokota , H. Niino, and W. Yanase , American Meteorological Society 99th annual meeting, Phoenix, United States, 07 January 2019.

Structures and Evolutions of Meso-β-scale Vortices that Spawned Tornado-like Vortices. E. Tochimoto, S. Yokota , H. Niino, and W. Yanase , 29th Conference on Severe Local Storms 25 October 2018.

On Non-Gaussian Probability Densities on Convection Initiation and Development using a Particle Filter with a Storm-Scale Numerical Weather Prediction Model Takuya Kawabata and Genta Ueno, International Symposium on Data Assimilation 2019

Development of long-term high-resolution regional reanalysis system over Japan with NHM-LETKF nested in JRA-55, Fukui, S., T Iwasaki, K. Saito, H. Seko, The 7th International Symposium on Data Assimilation, Kobe, 21-24 January 2019.

On the Ensemble Transform Perturbation: (2) NHM-LETKF. Saito, K., S. Yokota, L. Duc, T. Kawabata, M. Kunii, T. Matsunobu, and T. Kurihana, 2018: Japan Geoscience Union Meeting 2018 (JPGU2018). Makuhari, 20 May 2018.

Surface Flux Parameterization in Atmospheric Large Eddy Simulation: Necessity to Filter out Turbulent Fluctuations: Junshi Ito, Hiroshi Niino, and Hideaki Mouri: Junshi Ito, Hiroshi Niino, and Hideaki Mouri, 23th Symposium on Boundary Layers and Turbulence, Oklahoma City, United States, 6/11/2018

The diagonally predominant property of the positive symmetric ensemble transform matrix and its application in ensemble forecast, Duc, L., K. Saito, and D. Hotta, The 23rd Conference on Integrated Observing and Assimilation Systems for the Atmosphere, Oceans, and Land Surface (IOAS-AOLS). Phoenix, USA, 7 January 2019.

Development and validation of a diagonal ensemble transform Kalman filter, Duc L., K. Saito,

and D. Hotta, The 7th International Symposium on Data Assimilation, Kobe, 21-24 January 2019.

Numerical simulation of a heavy rain event in Hiroshima city on 19-20 August 2014, T. OIZUMI, K. SAITO, L. DUC, and J. ITO, JpGU 2018, Chiba, 22 May 2018.

High resolution simulation of the west Japan heavy rainfall in July 2018, T. OIZUMI, K. SAITO, and J. ITO, L. DUC, 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models (NHM2018), Tokyo, 15 November 2018.

Motion Vector and Sea Surface Temperature Obtained by Himawari 8 on the Predictions of Typhoon and Heavy Rainfalls, Hiromu Seko, The 7th International Symposium on Data Assimilation (ISDA2019). Kobe, 23 January 2019.

④ 国内学会・シンポジウム

④−1. 口頭発表

(invited)データ同化：シミュレーションと実測データを融合するデータサイエンス，三好建正，九大理研福岡市・ISIT 三者連携シンポジウム「数理・ＡＩが解く未来！～計算科学の展開と期待～」，九州，15 May 2018

(invited)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，三好建正，日本気象学会2018年度春季大会，シンポジウム，つくば，18 May 2018

(invited)ポスト京時代のデータ同化応用拡大への展望，三好建正，日本機械学会 2018 年度年次大会，大阪，10 September 2018

(invited)データ同化による最先端予報研究：予報士と切り拓く，三好建正，これからの天気予報，日本気象予報士会東京支部第63回会合，東京，20 October5 2018

(invited)Big Data Assimilation ： achievements and future directions，三好建正，日本気象学会2018年度秋季大会小倉特別講義連携セッション，仙台，29 October 2018

(invited)新世代静止気象衛星観測のデータ同化に関する研究，本田匠，日本気象学会 2018 年山本賞受賞記念講演，日本気象学会秋季大会，仙台，30 October 2018

(invited)気象学におけるAI活用を考える，三好建正，日本気象学会2018年度秋季大会専門分科会「人口知能 (AI)は気象学にブレイクする―をもたらすか？」，仙台，31 October 2018

(invited)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，第5回「京」を中核とするHPCIシステム利用研究課題成果報告会，東京，2 November 2018

(invited)「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，三好建正，ビッグデータ基盤/応用合同領域会議，京都，13 March 2019

(invited)データ同化が拓く予測の科学，三好建正，第3回ものづくりワークショップ：バイオ車載材料の情報科学 シミュレーションとデータ同化が未来のものづくり設計を変える，埼玉，15 March 2019

(invited) Tornadoes: Our Current Understanding and Future Subjects, Distinguished Ogura Lectures Accompanying Session “Present Achievements and Future Perspective in Meso-Meteorology”, H. Niino, 日本気象学会秋季大会，仙台，29 Oct 2018

降水予報改善へ向けた雲域赤外輝度温度観測同化の重要性，本田匠，三好建正，日本気象学会春季大会，つくば，17 May 2018

高密度地上観測データ同化実験における観測要素別のインパクト，前島康光，日本気象学会春季大会，つくば，17 May 2018

全球大気・水文結合データ同化システムの開発；水文ビッグデータ同化による大気・水文予測の改善に向けて，小槻峻司，黒澤賢太，三好建正，水文・水資源学会 2018 年研究発表会，三重，12 September 2018

理研研究紹介，三好建正，理研ー水産機構スジアラ養殖技術高度化検討ワークショップ，沖縄，26 September 2018

Weight structure of Local Ensemble Transform Kalman Filter: A case with an intermediate AGCM, Kotsuki S., Pensoneault A., Okazaki A., Miyoshi T., 9th Japanese Data Assimilation Workshop, Tokyo, 10 October 2018

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，小槻峻司，三好建正，日本気象学会秋季大会，仙台，29 October 2018

ひまわり 8 号の輝度温度同化研究:台風に伴う降水予報の改善，本田匠，滝野晶平，三好建正，日本気象学会秋季大会，仙台，1 November 2018

高頻度・高分解能雷観測データと 100m メッシュ SCALE-LETKF によるシミュレーションとの比較，前島康光，牛尾知雄，三好建正，気象学会秋季大会，仙台，1 November 2018

天気予報研究の最前線 -平成 30 年 7 月豪雨の予測可能性を探る-，小槻峻司，ポスト「京」重点課題 4 シンポジウム，東京，29 January 2019

データ同化から予測科学へ：水産分野の予測に向けて，三好建正，理化学研究所ー水産研究・教育機構　水産資源・海洋研究連携検討ワークショップ，横浜，6 February 2019

データ同化による加工シミュレーションの高精度化，坂本英之，三好建正，第 3 回ものづくりワークショップ: バイオ車載材料の情報科学 シミュレーションとデータ同化が未来のものづくり設計を変える，和光，15 March 2019

(invited) 台風の予測精度向上に資する先端的研究の現状，伊藤耕介，第 11 回気象庁数値モデル研究会，東京，15 May 2018

局地的降水の発生に適した大気場のアンサンブル実験に基づく解析，横田祥，瀬古弘，南雲信宏，山内洋，工藤玲，酒井哲，小司禎教，川畑拓矢，幾田泰酵，新野宏，日本気象学会春季大会，つくば，16 May 2018.

雲解像粒子フィルタを用いた積乱雲の発生・発達に関する確率分布解析，川畑拓矢，上野玄太，第 32 回数値流体力学シンポジウム 2018 年 12 月

雲解像粒子フィルタを用いた積乱雲の発生・発達に関する確率分布解析，川畑拓矢，上野玄太，日本気象学会 2018 年度秋季大会，2018 年 10 月

二重偏波パラメータに関する統計調査，栗花卓弥，川畑拓矢，山内洋，南雲信宏，足立アホロ，2018 年度日本気象学会春季大会 2018 年 5 月

(invited)Toward a comprehensive understanding of diverse meso-α-scale cyclones，柳瀬亘，日本気象学会 2018 年度秋季大会小倉特別講義連携セッション，仙台，29 October 2018

台風の温帯低気圧化後の再発達に影響する要因の統計，柳瀬亘，嶋田宇大，日本気象学会 2018 年度秋季大会，仙台，30 October 2018

対馬海峡で突風を生じたメソ β スケール渦のアンサンブル実験，栃本英伍，横田祥，新野宏，柳瀬亘、日本気象学会 2018 年春季大会，18 May 2018

アンサンブルデータ同化のための摂動手法 (4) NHM-LETKF，斉藤和雄，横田祥，Le Duc，川畑拓矢，國井勝，松信匠，栗花卓弥，2018：日本気象学会 2018 年度春季大会，つくば市，17 May 2018

雲解像 LETKF のアンサンブル摂動，斉藤和雄，横田祥，Le Duc，川畑拓矢，松信匠，日本気象学会 2018 年度秋季大会，仙台市，1 November 2018

Application of diagonal ensemble transform matrices into ensemble forecast, Duc L., K. Saito, and D. Hotta, 日本気象学会春季大会，つくば，17 May 2018.

線状降水帯の高解像度理想実験：伊藤純至、津口裕茂、林修吾、日本気象学会春季大会、つくば、2918/05/16

台風境界層のロール構造の線形安定性解析：伊藤純至，伊賀啓太，新野宏、日本流体力学会年会、大阪、2018/09/03

散在する高層建築物群の周りに形成される組織構造の分類，河合 英徳，田村 哲郎，第 32 回数値流体力学シンポジウム，Dec. 2018.

気象モデル/工学的 LES ハイブリッド手法による強風下の東京都心における乱流解析，川口 真晴，田村 哲郎，河合 英徳，第 32 回数値流体力学シンポジウム，Dec. 2018.

中低層市街地上空の乱流構造に関するライダー観測と LES，巣山 裕記，河合 英徳，Duong Dung Viet，田村 哲郎，第 32 回数値流体力学シンポジウム，Dec. 2018.

気象モデルシミュレーションに基づく竜巻と実建物の力学的相互作用に関する LES，川口真晴，田村哲郎，河合英徳，日本建築学会大会（仙台），pp. 99-100，Sep. 2018.

粗面都市境界層における気象擾乱を含んだ流入変動風の作成-空間フィルタリング・リスケーリング手法の展開―，河合英徳，田村哲郎，日本建築学会大会，pp. 187-188，Sep. 2018.

ライダー観測と LES による都市境界層の乱流構造の解析，巣山 裕記，田村 哲郎，河合 英徳，神田勲，流体力学会年会，Sep. 2018.

④－2. ポスター発表

現業メソ同化システムを用いた 4DVar，En4DVar，4DEnVar の比較，横田祥，小泉耕，國井勝，伊藤耕介，日本気象学会秋季大会，仙台，1 November 2018.

従来型観測のみを用いた領域再解析の冬季降水の再現性，福井真，岩崎俊樹，斉藤和雄，瀬古弘，日本気象学会 2018 年度秋季大会，仙台，2018 年 10 月 31 日

台風の温帯低気圧化後の再発達に関する総観場のコンポジット解析，柳瀬亘，嶋田宇大，日本気象学会 2018 年度春季大会，つくば，16 May 2019

2014 年 8 月広島での豪雨の再現実験、大泉伝，斉藤和雄，Le Duc，伊藤純至，2014 年 8 月広島での豪雨の再現実験，日本気象学会 2018 年度春季大会，つくば市，19 May 2018

⑤ 研究会等

⑤−1. 口頭発表

二重偏波レーダーデータ同化観測演算子の開発とその性能評価，川畑拓矢,衛星シミュレータ研究会，2018 年 7 月

(invited)「気象予測研究の最先端！」～ ゲリラ豪雨を予測せよ！，三好建正，2018 年度葦クラブ研究会，名古屋，6 August 2018

(invited)データ同化:シミュレーションと実測データを融合するデータサイエンス，三好建正，第 10 回放射光学会若手研究会，東京，3 September 2018

(invited)データ同化研究：ゲリラ豪雨予測からその先へ，三好建正，第 5 回 CFD 技術部門委員会，東京，11 January 2019

(invited) Ensemble-based analysis for heavy rains and tornadoes in Japan，横田祥，メソ気象セミナー，柏，16 June 2018.

(invited) LETKF アンサンブル摂動雲解像モデルの場合，斉藤和雄，横田祥，Le Duc，川畑拓矢，松信匠，東京大学大学院理学系研究科セミナー.東京都，12 July 2018

Enhancing Data Assimilation of GPM Observations，三好 建正，NICAM-LETKF and Satellite DA Mtg，神戸，5 April 2018

Regional atmospheric data assimilation coupled with an ocean mixed layer model: a case of typhoon Soudelor (2015)，Takatama，K.，T. Honda，T. Miyoshi，Data Assimilation Seminar，Kyoto，17 April 2018

海洋混合層モデルを導入した大気データ同化: 台風 Soudelor (2015) の事例，高玉孝平，本田匠，三好建正，第 2 回 理研・気象庁データ同化研究会，東京，25 April 2018

全球大気データ同化システム NICAM-LETKF を使った EFSO 観測インパクト推定，小槻峻司，黒澤賢太，三好建正，第 2 回 理研・気象庁データ同化研究会，東京，26 April，2018

湖沼流動場へのデータ同化の適用，三好建正，高玉孝平，戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)，滋賀，20 June 2018

NICAM-LETKF を用いた GPM/DPR データ同化実験，小槻峻司，寺崎康児，三好建正，衛星シミュレータ―研究会，東京，12 July 2018

EFSO 観測インパクト推定を用いた予報を改悪する観測を同化しない「観測選択手法」の探索，小槻峻司，三好建正，第 9 回 理研・京大データ同化研究会，京都，17 July 2018

SCALE-LETKF への海洋混合層モデルの導入:台風 Soudelor (2015) の事例，高玉孝平，本田匠，三好建正，旧 OREDA ミーティング，横浜，25 July 2018

7 月豪雨の理研システムでの検討状況について，三好建正，平成 30 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，帯広，4 August 2018

Enhancing Data Assimilation of GPM Observations，三好 建正，NICAM-LETKF and Satellite DA Mtg，神戸，9 August 2018

全球 3.5km・1000 メンバー実験に向けた 新 NICAM-LETKF の開発，寺崎康児，八代尚，富田浩文，三好建正，ポスト京重点課題 4 サブ課題 A 研究連絡会，東京，20 September 2018

SCALE-LETKF への海洋混合層モデルの導入: 台風 Soudelor (2015) の事例，高玉孝平，本田匠，三

好建正，ポスト京平成 30 年度第 2 回研究連絡会，東京，20 September 2018

NICAM-LETKF システムの更新 全球 28km 解像度での平成 30 年 7 月豪雨事例実験，寺崎康児，三好建正，NICAM 開発者会議，群馬，9 October 2018

シミュレーションと実測データを融合するデータサイエンス，三好建正，古気候復元研究に資する古文書データの共有化・構造化に関する研究集会，東京，19 November 2018

Enhancing Data Assimilation of GPM Observations，三好 建正，NICAM-LETKF and Satellite DA Mtg，神戸，17 December 2018

NICAM-LETKF を用いた GPM/DPR データ同化実験，小槻峻司，寺崎康児，黒澤賢太，金丸佳矢，三好建正，平成 30 年度 GPM および衛星シミュレータ合同研究集会，18 March 2019

現業メソ同化システム(JNoVA)を用いた 4DVar，En4DVar，4DEnVar の比較，横田祥，平成 30 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，帯広，4 August 2018.

非線形予報モデルを繰り返し計算する 4DEnVar の特徴：Lorenz1963 モデルと JNoVA による考察，横田祥，小泉耕，國井勝，伊藤耕介，平成 30 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，福岡，22 December 2018.

JNoVA をベースとする 4DEnVar の開発，横田祥，小泉耕，國井勝，伊藤耕介，ポスト京重点課題 4 サブ課題 A 研究連絡会，東京，20 September 2018.

降水と大気場の関係を調べるためのアンサンブルに基づく特異値解析，横田祥，瀬古弘，南雲信宏，山内洋，工藤玲，酒井哲，小司禎教，川畑拓矢，幾田泰酵，新野宏，ポスト京重点課題 4 サブ課題 A 研究連絡会，東京，20 September 2018.

温度・鉛直シア・惑星渦度のパラメータ空間における低気圧の理想化実験，柳瀬亘，新野宏，ポスト京重点課題 4 サブ課題 A 研究連絡会，東京，22 June 2018

台風の温帯低気圧化後の再発達に影響する要因の統計，柳瀬亘，嶋田宇大，平成 30 年度京都大学防災研究所共同研究集会「台風研究会」,宇治，28 September 2018

(invited)温度・鉛直シア・惑星渦度のパラメータ空間における低気圧の理想化実験，柳瀬亘，新野宏，第 1 回高・低気圧ワークショップ，白浜町，10 December 2018

Cloud resolving simulation of a local heavy rainfall event on 26 August 2011 observed in TOMACS，斉藤和雄，国井勝，荒木健太郎,東京大学大気海洋研究所メソ気象セミナー．柏市、16 June 2018

豪雨事例を対象とする広領域超高解像度数値再現実験と対流コアサイズの解像度依存性．斉藤和雄，大泉伝，伊藤純至，Le Duc，グレイゾーン研究会，柏市，23 July 2018

京コンピュータによる豪雨事例の超高解像度広領域数値予報実験，斉藤和雄，東京大学大気海洋研究所気候システムセミナー．柏，8 May 2018

西日本豪雨の広領域超高解像度数値再現実験，大泉伝，平成 30 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，帯広市，8 August 2018

西日本豪雨の高解像度再現実験，大泉伝，平成 30 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，福岡，22 December 2018

⑤－2. ポスター発表

平成 30 年 7 月豪雨の予測可能性: NICAM-LETKF を用いた 100 アンサンブル予測実験，小槻峻司，寺

崎康児，三好建正，平成 30 年 7 月豪雨に関する緊急対応研究会，神戸，17 August 2018

NICAM-LETKF を用いた水平解像度による豪雨の再現性について，寺崎康児，三好建正，平成 30 年 7 月豪雨に関する緊急対応研究会，神戸，17 August 2018.

準リアルタイム SCALE-LETKF システムによる平成 30 年 7 月豪雨の予測，本田匠，G.-Y. Lien，三好建正，平成 30 年 7 月豪雨に関する緊急対応研究会，神戸，17 August 2018

平成 30 年 7 月豪雨の広領域高解像度再現実験，大泉伝，斉藤和雄，伊藤純至，Le Duc，平成 30 年 7 月豪雨に関する緊急対応研究会，神戸，17 August 2018

⑥ 一般向け講演会等

(invited) 天気予報の数理：データ同化と予測可能性，三好建正，第 26 回 JST 数学キャラバン，大阪，13 May 2018

(invited)ゲリラ豪雨を予測する，三好建正，2018 年ゴールド・メダル賞受賞記念講演会，東京，19 May 2018

(invited)「データ同化研究」－ゲリラ豪雨予測からその先へ－，三好建正，第 50 回理研イブニングセミナー，神戸，1 August 2018

(invited)データ同化研究～ゲリラ豪雨予測からその先へ～，三好建正，理化学研究所科学講演会，東京，3 November 2018

(invited)NICAM と SCALE を使ったデータ同化研究ー観測ビッグデータとスパコン「京」のコラボレーション，三好建正，ビッグデータで見える世界ー，5th International Workshop on Nonhydrostatic Models(NHM2018) オープンセミナー「非静力学モデリングの進展と数値気象予測の今後の展望」，東京，16 November 2018

(invited)「ポスト京」による高度天気予報活用社会，三好建正，基礎科学力の強化に関する勉強会（自民党），東京，4 December 2018

(invited) 航空機による台風観測で見えたもの，伊藤耕介，第 3 回気象サイエンスカフェ in 那覇，那覇，15 December 2018.

(invited) 台風の航空機観測で見えたもの，伊藤耕介，宮古の自然と文化を考える会，那覇，14 October 2018.

(invited) 台風と航空機観測，平成 30 年度竹富町防災気象講演会，伊藤耕介，波照間，11 September 2018.

(invited) 「タイフーン・ハンター」になった日，伊藤耕介，むつ市科学技術館サイエンスカフェ，むつ，11 August 2018.

(invited) 台風の予報はいま？，伊藤耕介，日本気象学会公開気象講演会，つくば，19 May 2018.

(invited) 低気圧の多様性，柳瀬亘，第 6 回気象サイエンスカフェつくば，つくば，16 October 2018

⑦ 新聞/TV/WEB 配信/雑誌等

伊藤耕介：台風の発達強度を精度よく予報するための新方式を気象庁が導入，サイエンスポータル，2018 年 6 月 15 日号掲載

伊藤耕介：琉球大学・名古屋大学・気象庁気象研究所・海洋研究開発機構共同プレスリリース「2017年台風21号の航空機観測を用いた強度解析と予測実験」の結果について （日本経済新聞「台風、飛行機で直接観測　予測精度16％向上」2018年7月28日号掲載、 共同通信「台風の気圧を直接観測」2018年7月28日号掲載、メ～テレ「飛行機から台風の直接観測『予測精度の向上期待』」2018年7月28日号掲載、 47NEWS：2018年7月28日号掲載、 ORICON NEWS：2018年7月28日号掲載、 BIGLOBE ニュース：2018年7月28日号掲載、 So-net ニュース：2018年7月28日号掲載、 StarHome：2018年7月28日号掲載、 BIO IMPACT：2018年7月28日号掲載、 琉球新報「台風の気圧　直接観測」2018年7月29日号掲載、 日刊工業新聞「琉球大など、航空機で台風観測強度・進路予測向上」2018年7月30日号掲載、 沖縄タイムス「台風の気圧　直接観測」2018年7月31日号掲載、Hazard Lab「日本初！台風の眼の直接観測に成功！予測精度の改善に期待」2018年7月31日号掲載、 Excite ニュース：2018年7月31日号掲載、 NHK「台風の『目』に入って観測“効果確かめられた”」2018年8月2日号掲載、 サイエンスポータル「台風の予測精度を上げられる可能性が、突入観測で見えた」2018年8月2日号掲載、 科学新聞「航空機で高精度に台風観測　琉球大、気象庁など共同」2018年8月10日号掲載、 OTV プライムニュース：2018年8月10日号放映、 ラジオ沖縄：2019年1月22日号放送、 以下、共同通信と同内容の記事（千葉日報：2018年7月28日号掲載、 佐賀新聞：2018年7月28日号掲載、 東京新聞：2018年7月28日号掲載、 西日本新聞：2018年7月28日号掲載、 徳島新聞：2018年7月28日号掲載、 沖縄タイムス：2018年7月28日号掲載、 山形新聞：2018年7月28日号掲載、 河北新報：2018年7月28日号掲載、中日新聞：2018年7月28日号掲載、福島民友新聞：2018年7月28日号掲載、デイリースポーツ：2018年7月28日号掲載、 下野新聞：2018年7月28日号掲載、 北海道新聞：2018年7月28日号掲載、 山陰中央新報：2018年7月28日号掲載、 岩手日報：2018年7月28日号掲載、 東奥日報：2018年7月28日号掲載、 福井新聞：2018年7月28日号掲載、 四国新聞：2018年7月28日号掲載))

三好建正：[編集委員インタビュー]ゲリラ豪雨予報 実現急ぐ，神戸新聞 朝刊7面，2018/4/22

三好建正：[読売テクノ・フォーラム ゴールド・メダル賞 受賞者の業績]豪雨発生 30分前予測，読売新聞 朝刊11面，2018/4/23

三好建正：三好建正氏が第24回「ゴールド・メダル賞」受賞 ～4月25日に贈賞式開催～，JST トピックス(web)，2018/4/27

三好建正：エネルギーと環境 Vol.03 - ゲリラ豪雨を科学するビッグデータ同化の可能性，エネルギーフロントライン(web)，2018/5/8

三好建正：三好建正会員が読売テクノ・フォーラム「ゴールドメダル賞」を受賞，日本気象学会HP(web)，2018/5/11

三好建正：読売テクノ・フォーラム ゴールド・メダル賞 講演紹介，読売新聞 朝刊32面，2018/5/20

三好建正：Himawari-8 satellite ″Big Data Assimilation″ for typhoon and heavy-rainfall prediction，RA II WIGOS PROJECT NEWSLETTER VOL.9 NO.2(機関誌)，2018/6

三好建正：WEB特集： このままでいいの？“出せない”天気予報，NHK NEWS WEB，2018/6/6

三好建正：備える 九州北部豪雨1年(上)，西部読売新聞 朝刊，2018/7/2

新野宏：避難実践へ経過検証を，読売新聞，2018/7/15

三好建正：[読売テクノ・フォーラム 2018 年度ゴールド・メダル賞受賞記念講演]ゲリラ豪雨を予測する，読売クオータリー2018 年夏号(機関誌)，2018/7/30

前島康光：科学の中身 18 時 53 分にはせる思い，産経新聞 朝刊 18 面，2018/8/18

新野宏:「猛烈台風」の日本襲来が地球温暖化で急増のウソとホント,ダイアモンドオンライン, https://diamond.jp/articles/-/180872，2018/10/1

新野宏: 東大最前線 竜巻の内部構造,東京大学新聞，2018/10/13

三好建正：気象予測研究の最前線，FBNews NO.506(機関誌)，2019/2/1

大泉伝：雲解析豪雨予測に一役 スパコンで現象再現 実用化目指す，読売新聞 朝刊，2018/9/26

⑧ 書籍

筆保弘徳，山田広幸，宮本佳明，伊藤耕介，山口宗彦，金田幸恵，2018：台風についてわかっていることいないこと，ベレ出版，120-157.

⑨ 受賞

本田匠　2018 年度日本気象学会山本賞

伊藤耕介　2018 年英文レター誌 SOLA 論文賞

栃本英伍、新野宏　2018 年気象集誌論文賞

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

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・気候変動予測について、14 km メッシュ以下の 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、水平約 500 m 格子日本沿岸モデルによる海況予測システムを設計して安定性を確認した。これらを通じてポスト「京」実機を念頭においた大気・海洋モデルの検討を行った。

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、14 km メッシュ NICAM を用いた月スケールアンサンブル実験について台風や中緯度極端現象の予測の鍵を握る北半球夏季季節内振動（BSISO）の予測スキルを統計調査し、振幅の強い BSISO について NICAM は ECMWF 等の現業機関に比肩する予測スコアを持つことを示した。また、NICAM-LETKF による衛星データ同化プロダクト NEXRA を用い、台風の連続発生が見られた 2018 年夏季を対象に 14 km メッシュ月スケールアンサンブル実験を実施した。アンサンブル間の差異について太平洋高気圧の強さと可降水量の関係に着目して解析することで、台風の発生および進路に影響する環境場の予測可能性を検討した。

国際的な取り組みとして、東京大学大気海洋研究所および独マックスプランク気象研究所（MPI-M）が主導して DYAMOND プロジェクト（https://www.esiwace.eu/services/dyamond）を実施している。DYAMOND プロジェクトは、現業機関を含む 9 モデルグループ（NICAM、ICON（MPI-M/DKRZ）、SAM（Stonybrook Univ.）、GEOS-5（NASA）、Goddard-MMF（NASA）、MPAS（UCAR）、FV3（GFDL）、UM（UK MetOffice）、ARPEGE-NH（Météo-France）、IFS-H（ECMWF））が参加し、水平 5 km 以下という storm-resolving な超高解像度全球非静力学モデルの実利用を先導する野心的な取り組みである。本年度は 2018 年夏季を対象に月スケールの全球予報実験を 5 km メッシュ以下（NICAM は 3.5 km）で実施し、BSISO について季節内スケールの予測可能性をモデル間で比較解析することで、NICAM を含む各モデルが BSISO の時間発展をよく予測することを示した。

目標 2（季節～年スケールの極端現象・台風の確率予測）では、14 km メッシュ NICAM 季節スケールアンサンブル実験を行い、2018 年の台風連続発生について要因解析（Realtime Attribution）を試みた。その結果、十年規模変動である Pacific Meridional Mode（PMM）に伴う海面水温偏差が台風活動に大きな影響を与えていたことが明らかになった。また、ポスト El Niño 期であった 1998 年および 2016 年を対象に行った 14 km メッシュアンサンブル実験の結果を解析し、北西太平洋における台風発生時期の遅れとその後の連続発生が適切に表現されていることを示した。将来的な 7 km メッシュモデルの本格利用を見込み、14 km および 7 km メッシュ NICAM を用いて年スケールの物理アンサンブルテスト実験を実施し、対流活動と降水の気候バイアスについてモデル設定の依存性を明らかにした。

目標 1 と 2 にまたがる成果として、大気海洋結合モデル NICAM-COCO の調整と本格的な利用を念頭に、水平解像度および積雲スキームが対流やマッデン・ジュリアン振動（MJO）、大規模循環場に与える影響を調査した。14 km から 3.5 km メッシュの実験を比較することで降水や雲氷、MJO などに系統的な差異が生じることを明らかにするとともに、積雲スキームの導入が水蒸気のバイアス除去に効果があることを示した。また、NICAM の雲微物理過程におけるビン法雲微物理モデルの導入を検討するため、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。

2018 年の台風活動は 8 月における連続発生に加え、日本を東から西へ進んだ台風第 12 号、関西空港などに甚大な影響を及ぼした台風第 21 号など、社会の関心を集める台風の特異年であった。このため、目標 1・2 としては予報実験や要因解析をタイムリーに進めるとともに、テレビやシンポジウム等で解説を行うことで広く社会へ発信する活動を行った。

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、気象研究所で開発されているモデルをベースに海況予測システムを設計した。全球モデル、北西太平洋モデル、日本近海モデル、500m 格子日本沿岸モデルから構成されるネストモデルについて解析値（水温・塩分）を用いて初期値化して駆動するシステムを構築し、数日から 1 ヶ月のテスト予測実験を行った。結果をひまわり 8 号の海面水温などと比較することで、構築したシステムの妥当性を確認した。

(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。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・台風の確率予測
- 目標 2：季節～年スケールの極端・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 3 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 9 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。DYAMOND プロジェクトについては、今年度は国際ワークショップ「Workshop on the Inter-comparison of Global Cloud Resolving Models and Related Studies」を開催するとともに flagship となる overview paper をまとめることで、5 km メッシュ以下の全球非静力学モデルの実利用を先取りする活動を行っている。

サブ課題間の連携もますます必要性を増している。サブ課題 B を中心に開発している NICAM は、サブ課題 A で NICAM-LETKF、サブ課題 C で NICAM-chem として用いられている。サブ課題 B では 2018 年に JAXA から公開された NICAM-LETKF を利用した衛星データ同化プロダクト NEXRA を初期値としたアンサンブル実験を今年度から始めており、サブ課題 A や JAXA との連携は必要不可欠になっている。このように重点課題 4 全体の基盤ツールである NICAM の開発を加速するため、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、開発関連の議論を集中的に行った。NICAM-LETKF コデザインに関しては、サブ課題 B から 2 名、サブ課題 C から 1 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。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、数値予報課をはじめとする現業担当者や台風の航空機観測を行っている研究者ら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。気象・海洋研究コミュニティにおける HPCI 利用を喚起するため、サブ課題 A、C と協力して JpGU annual meeting においてスペシャルセッション「High performance

computing for next generation weather, climate, and environmental sciences using K」を開催した。

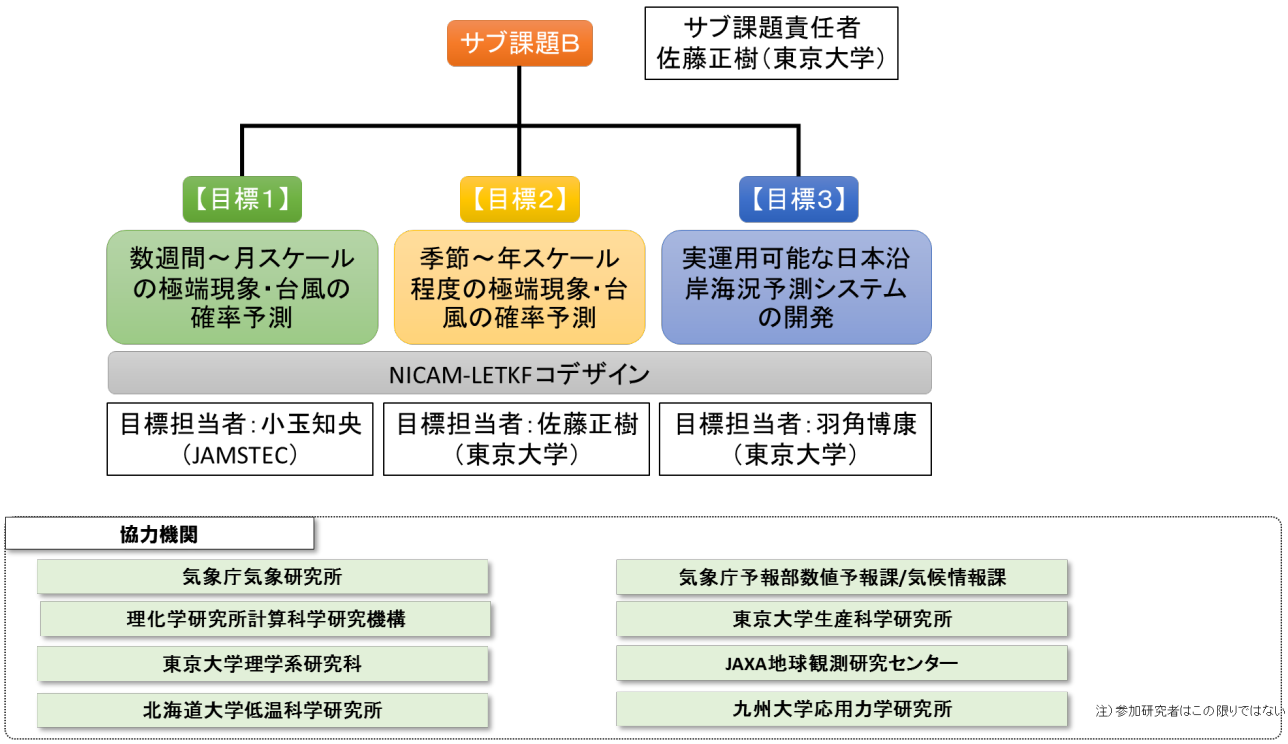


図 B-1：サブ課題 B の研究体制

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 14 km 以下メッシュ 2 週間～1 ヶ月アンサンブル実験（目標 1）

（海洋研究開発機構）

①－1. 14 km メッシュ NICAM による 30 日間の BSISO 現象アンサンブル予測実験

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、水平一様格子 14 km NICAM による BSISO 現象の予測実験を複数実施し、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。NICAM を用いた BSISO 現象の hindcast 予測実験として、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。

図 B-3a, b は NICAM と各国の現業気象予測センターによる BSISO の予測スコアのアンサンブル平均を示している。NICAM はそれぞれの現業気象予測センターに勝る、また比肩しうる予測スコアを示すことが分かった。詳しい解析からは、特定の BSISO の特定の位相（phase 1～3）において NICAM は観測に比べて 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。この原因について調査するため、BSISO の phase 3 における比湿の経度―高度断面図のコンポジット解析を行った（図 B-3c, d）。その結果、NICAM は ECMWF 再解析データに比べて大規模対流前面における地表面近くの正の水蒸気アノマリーが小さいことが分かった。これは地表面からの潜熱フラックスの重要性を示唆しており、今後は大

気境界層プロセスや乱流過程等を精査することで、モデルバイアスの改善を目指すことが重要である。

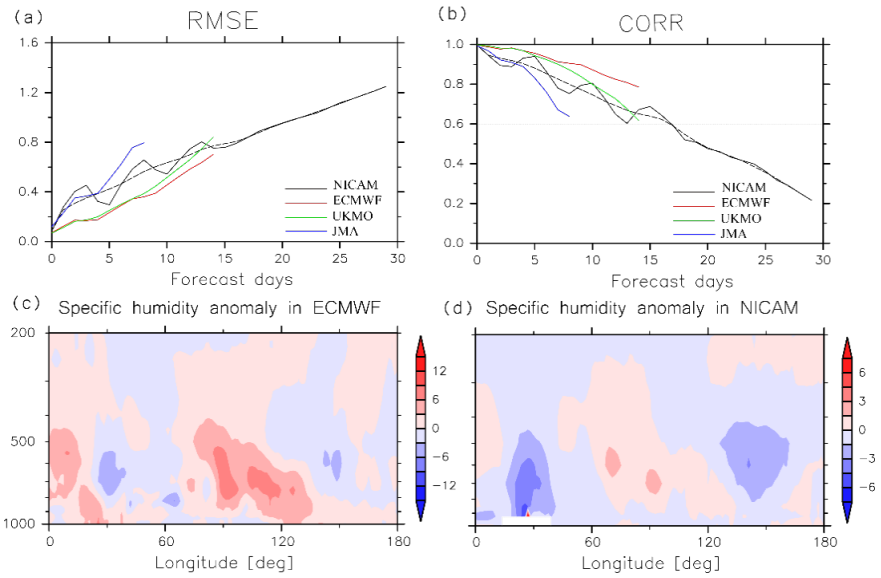


図 B-3:(a, b) 14 km NICAM による 2007 年–2012 年の 186 本 BSISO 実験から見積もった（a）2 乗平均平方根誤差と（b）予測スコア（Gottschalck et al. 2010）。黒線は NICAM による結果、その他の線は各国の現業機関による予測結果を示している。（c, d）(c) ECMWF 再解析データ、(d) NICAM による BSISO の phase 3 でコンポジットを取った緯度 0°—15°平均の比湿アノマリーの経度—高度断面図。

①−2. 全球高解像度モデル比較プロジェクト(DYAMOND)

世界各国の storm-resolving スケール（水平メッシュ 1〜5 km)の全球高解像度モデルによる相互比較プロジェクト DYAMOND（The DYnamics of the Atmospheric general circulation Modeled On Non-hydrostatic Domains; Stevens et al. in prep.）が 2017 年末に提案された。DYAMOND は全球高解像度モデルの比較を通じ、storm-resolving スケールのシミュレーションの様々な利点について理解を深めること、また次世代の数値モデル比較プロジェクトの礎を作ることを目的としている。参加する各モデルは ECMWF 再解析データから作られた同一の初期値をもとに 2016 年 8 月 1 日から 40 日間の hindcast 実験を行い、同一のプロトコルにおいて結果を出力することを求められている。NICAM グループとドイツの非静力学モデル ICON のグループは DYAMOND を牽引する立場としてプロジェクトに関わり、2018 年 11 月に初期結果比較のための国際ワークショップが行われた。

各モデルの結果を利用して前述の BSISO 現象に着目した解析を行ったところ、水平 7 km メッシュの NICAM はアメリカの FV3 と同様に BSISO の時間発展をよく再現することが分かった（図 B-4)。一方、3.5 km NICAM による再現結果は位相平面の上側に引っ張られたような振る舞いを示した。これは背景場の外向き長波放射バイアスの時間発展が大きく、季節内振動スケールの擾乱に含まれてしまっていることが原因であることが考えられる。今後は異なる雲微物理パラメータを用いた 3.5 km メッシュによる実験を複数行い、高解像度シミュレーションにおける BSISO の再現性について統計的な解析を行う必要がある。

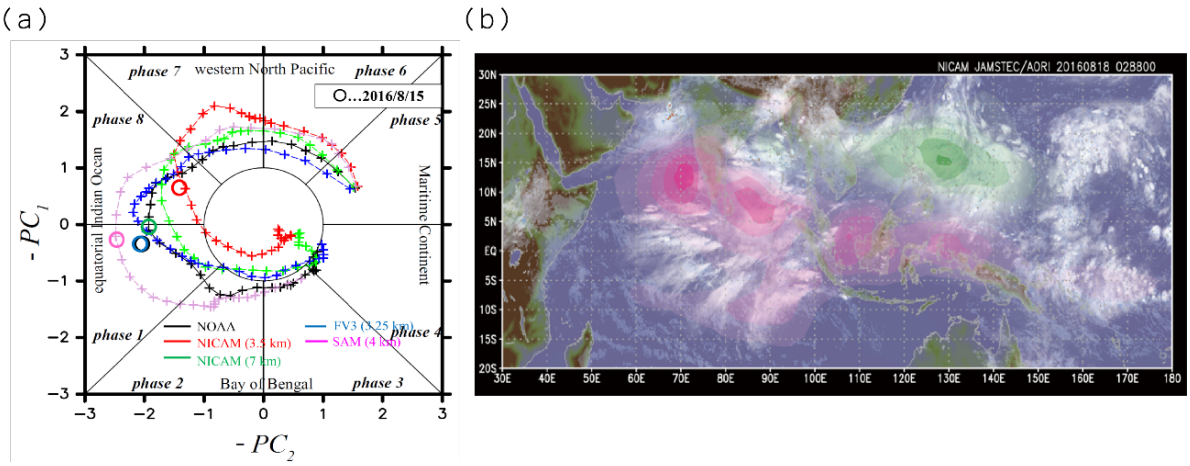


図 B-4：(a) 2016 年 8 月 1 日を初期時刻とする 40 日間の BSISO の位相と振幅。中心からの距離は振幅を、中心角は位相を表す。黒実線は観測。赤色は 3.5 km NICAM、緑色は 7.0 km NICAM、青色は FV3、桃色は SAM による結果である。(b) 3.5 km NICAM による OLR（外向き長波放射）と降水の snapshot（2016 年 8 月 18 日 04:00 UTC)。緑色—桃色のシェードは BSISO 現象による OLR の擾乱成分を示す。

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.

Stevens, B., M. Satoh, L. Auger, J. Biercamp, C. S. Bretherton, X. Chen, P. Düben, F. Just, M. Khairoutdinov, D. Klocke, C. Kodama, L. Kornblueh, S.-J. Lin, W. M. Putman, R. Shibuya, P. Neumann, N. Röber, B. Vanniere, P.-L. Vidale, N. Wedi and L. Zhou: DYAMOND: The DYnamics of the Atmospheric general circulation Modeled On Non-hydrostatic Domains, in prep.

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 NEXRA を活用した 2018 年夏季の 14 kmメッシュ 100 メンバー1 か月アンサンブル実験（目標 1）（海洋研究開発機構）

台風や季節内振動の 2 週間から年スケールの予測可能性について、これまでの研究で NICAM を用い

た初期日アンサンブル計算に基づく成果を報告してきた（Nakano et al. 2015; Yamada et al. 2019; 平成 29 年度成果報告書)。本研究では、2018 年に JAXA から公開された NICAM-LETKF による衛星データ同化プロダクト NEXRA（Kotsuki et al. 2019; サブ課題 A でも利用）のアンサンブル解析値を初期データとして用いた 100 メンバーのアンサンブル予測計算を実施し、台風活動や環境場の再現性について調べた。メンバー数を多く取ることで、実況に近いメンバーと異なるメンバーの違いをより確実に捉えることが可能となる。NEXRA については NICAM に基づいた解析データである点や、降水データを同化に用いている点で、将来的な有用性が期待される。

2018 年夏季には、活発なアジアモンスーンの影響下で、北西太平洋では記録的な台風の連続発生が見られた。本研究では、夏期季節内振動が北西太平洋にあった 2018 年 7 月 12 日を初期日として NICAM を用いた 1 か月の予測計算を実施した。すべての計算に共通して、水平格子間隔は 14 km、鉛直 40 層（上端約 40 km）とし、海面水温として気候値の季節サイクルに初期日の偏差を加えた値を与えた。雲降水過程については、雲物理スキーム(NSW6)を用いて陽に計算した（積雲パラメタリゼーションは不使用)。

図 B-5 に対象期間平均の下層大気循環場と高度場を示す。2018 年は平年に比べ太平洋高気圧が東に縮退し、モンスーンの西風と高気圧の南縁の東風が 150° E 付近で収束して、日本の東海上に向かう北向きの流れを形成していた（図 B-5a, b)。この南風による、低緯度からの湿潤な空気の流入が推測される。計算結果のアンサンブル平均は、2018 年の特徴を概ね再現している（図 B-5c)。メンバー間のばらつきは気圧場において大きく、海面高度気圧のメンバー間の標準偏差の極大が、南風の流入する日本の東海上（30-42° N, 145-162° E 付近）に見られる（図 B-5d)。そこで、この領域での海面高度気圧が標準偏差 1 を上回る/下回る（太平洋高気圧が強い/弱い）メンバーを抽出して合成解析を行い、水蒸気・循環場の違いや、それらの低気圧性擾乱（日平均海面高度気圧が 1002 hPa 以下の領域）との関係を調べた。その結果、太平洋高気圧の弱いメンバーでは強いメンバーよりも太平洋高気圧西端での可降水量が多く（図略)、この位置に低気圧性擾乱に伴う降水が見られたが（図 B-6a)、太平洋高気圧の強いメンバーでは低気圧性擾乱に伴う降水は南シナ海に局在し、量も少なかった。(図 B-6b)。30 日平均の降水については 2 つのグループでほぼ同様であることから（図 B-6c, d)、低気圧性擾乱の活動に大きな違いがあったと考えられる。実況に類似する高気圧が弱いメンバー数は 17、気候場に類似する強いメンバー数は 10 であり、現実に近い場が実現し易い状況であったことが示唆される。初期場には 2 つのグループ間に系統的な違いは確認されなかった。今後、季節内振動の再現性との関係も含め、2 つのグループの発現条件についてより詳しい解析を行うことにより、予測可能性に関する知見を深める。

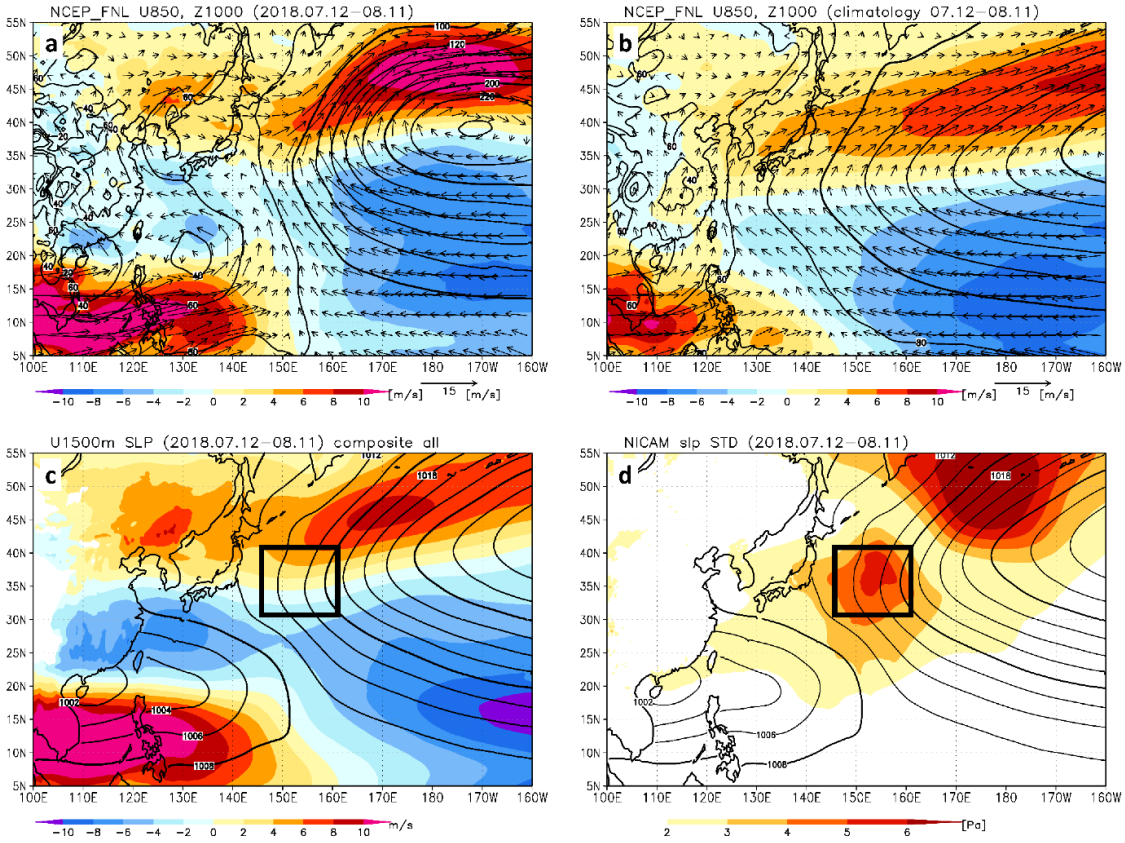


図 B-5：NCEP final analysis における（a）2018 年および（b）気候場における 7 月 12 日—8 月 11 日平均の 850 hPa 東西風速（色）、水平風ベクトルと 1000 hPa 高度場（等値線）。NICAM によるアンサンブル計算における（c）1.5 km 高度東西風速（色）と海面高度気圧（等値線）の 100 アンサンブル平均および（d）海面高度気圧のメンバー間標準偏差（色）。

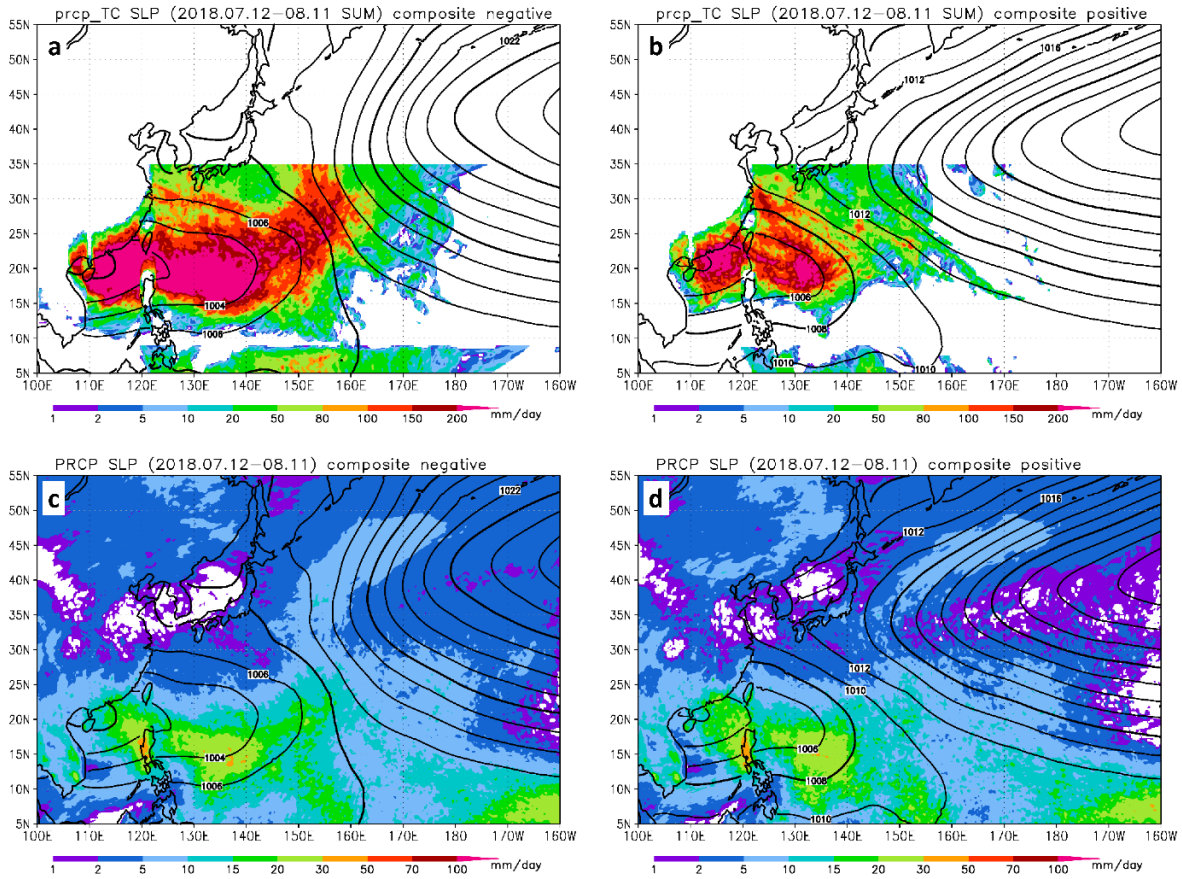


図 B-6：NICAM によるアンサンブル計算における (a) (b) 低気圧擾乱に伴う降水量の 30 日積算値、(c) (d) 1 か月平均降水量。図 B-5 の囲み域における海面高度気圧の低いメンバー(a) (c) および高いメンバー (c) (d) の合成図。等値線は海面高度気圧。

参考文献

Kotsuki, S., K. Terasaki, K. Kanemaru, M. Satoh, T. Kubota, and T. Miyoshi (2019), Predictability of record-breaking rainfall in Japan in July 2018: ensemble forecast experiments with the near-real-time global atmospheric data assimilation system NEXRA, *Scientific Online Letteres on the Atmosphere*, 15A, 1-7.

Nakano, M., M. Sawada, T. Nasuno, and 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.

Yamada, Y., C. Kodama, M. Satoh, M. Nakano, T. Nasuno, and M. Sugi T. (2019), High-resolution, ensemble simulations of intense tropical cyclones and their stochasticity during the El Niños of 1997 and 2015, *Geophys. Res. Lett.*, submitted.

③ 14 km メッシュ季節アンサンブル実験による 2018 年の極端な台風活動についての海面水温の影響（目標 2）

（海洋研究開発機構）

2018 年はカリフォルニア沖から中部太平洋にかけての海面水温が高い、正の Pacific Meridional Mode (PMM)と呼ばれる現象が発生していた。このような年には北西太平洋域における台風活動が普段より活発であることが知られている(Zhang et al. 2016)。実際、正の PMM が発生した 1992 年夏季も 7 月から 10 月にかけて北西太平洋で台風活動が非常に活発であった。一方で 2018 年は日本近海の海面水温も高温であり、この海面水温偏差が日本付近の台風活動に寄与しているのではないかという論調の報道も見られた。

台風は社会の関心も高く、「今、台風が大変多く発生しているのはなぜなのか？」という現在進行形の問題について、正確に答えることが求められる。このような問いに正確に答えるため、Realtime attribution と呼ばれる手法が Murakami et al. (2018)によって提案されている。この手法はある年の予測された海面水温偏差パターンをモデルに与え、観測されている台風活動が再現されるかを確認した上で、様々な偏差を除いた実験を行い、どこの海面水温偏差が台風活動に影響を与えたか調査する手法である。不確実性の評価はアンサンブル実験を行うことで得られる。今回はこの手法を 2018 年の北西太平洋域における台風活動について適用する。

実験には 14 km 格子の NICAM を用いた。計算開始時点において将来の海面水温データが存在しないため、米国海洋大気局・地球流体力学研究所の季節予測モデル FLOR による 12 パターンの海面水温予測値を同研究所の村上博士に提供いただき、コントロール実験に用いた。NICAM の初期値は JRA55 を用いて 7/1 00UTC から 6 時間ごとに遡り 12 パターン作成した。また主に ENSO に起因する熱帯における海面水温偏差や PMM に起因する亜熱帯域の海面水温変動、さらに日本付近の海面水温偏差による影響を調べるための感度実験を行った。

与えた海面水温偏差と、それに伴う台風 track density の偏差の分布を図 B-7 に示す。コントロール実験では北西太平洋域の台風活動が活発であったことが再現されている（図 B-7a)。日本付近の高い海面水温偏差を除いた実験でもこの傾向は変わらず（図 B-7c)、日本付近の海面水温偏差の影響は小さいことがわかる。正の PMM に伴う海面水温偏差を除いた実験（図 B-7d）では、北西太平洋域の台風活動がほぼ平年並みとなるが、正の PMM に伴う海面水温偏差のみを与えた実験（図 B-7e）では北西太平洋域の台風活動が最も高くなる。これらの結果より、正の PMM に伴う海面水温偏差が 2018 年の台風シーズンにおける台風活動に大きな影響を与えていたことがわかる。

参考文献

Zhang, W., G.A. Vecchi, H. Murakami, G. Villarini, and L. Jia, 2016: The Pacific Meridional Mode and the Occurrence of Tropical Cyclones in the Western North Pacific. *J. Climate*, 29, 381-398, https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0282.1,

Murakami, H., E. Levin, T. L. Delworth, R. Gudgel, P.-C. Hsu, 2018: Dominant effect of relative tropical Atlantic warming on major hurricane occurrence, *Science*, 362, 794-799.

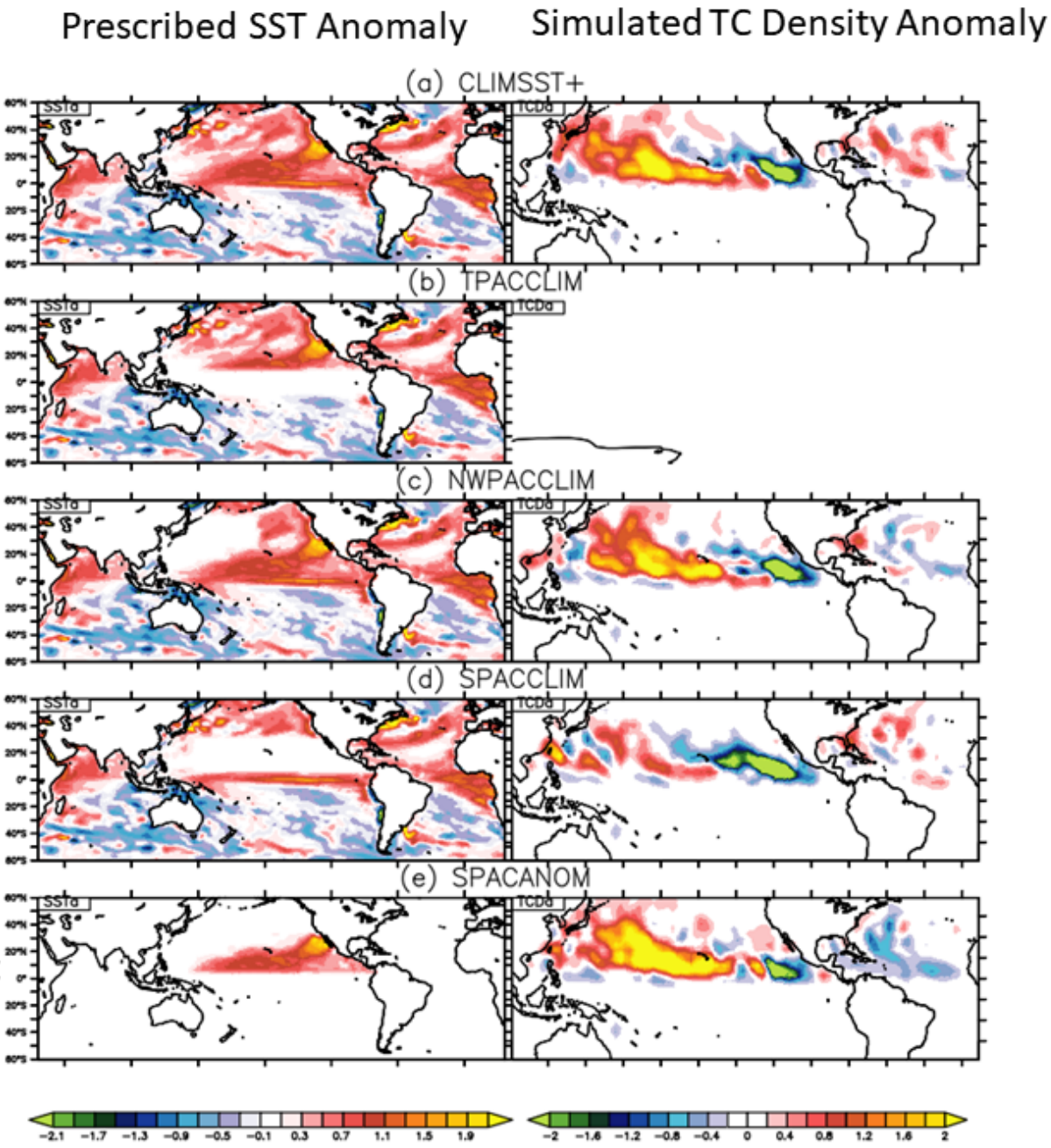


図 B-7：実験で用いた海面水温偏差パターン（左）とそれに伴う台風 track density の偏差（右）。台風 track density は 2.5 度格子で台風が通過した個数を示したもので、偏差は FLOR モデルの海面水温気候値を与えた実験からの差。(a) コントロール実験、(b) 熱帯の海面水温偏差を 0 にした実験（まだ解析途中であるため、台風活動の偏差は図示せず。）、(c) 日本付近海面水温偏差を 0 にした実験、(d) 亜熱帯域の海面水温偏差を 0 にした実験、(e) 亜熱帯域の海面水温偏差だけを残した実験。

④ El Niño 減衰期の台風を対象とした 14 km 以下メッシュ 5 ヶ月アンサンブル実験（目標 2）

（海洋研究開発機構）

本目標では台風の活動が特異な年を対象として 14 km メッシュの 5 ヶ月アンサンブル実験を実施している。昨年度までは北半球でカテゴリー4 以上の強い台風が平年よりも多く発生した 1997 年と 2015 年の夏季 5 ヶ月を対象とした 50 メンバーアンサンブル実験の結果を報告してきた。これらの年は冬季に向けて極端な El Niño が発達した年である。El Niño 現象は冬季に振幅が最大となり、春・夏に向けて衰退していく。この衰退期間にはインド洋で海面水温の高温偏差が観測されることが知られている（Xie et al., 2009)。この高温偏差は西部北西太平洋の亜熱帯域に高気圧偏差を形成し、台風の発生を抑制する働きを持つと指摘されている（Du et al., 2011)。インド洋の高温偏差は El Niño のピークに少し遅れて 1 月から 7 月にかけて卓越し、この期間は台風が発生せず、その年の台風 1 号の発生時期が遅くなることが知られている。1998 年と 2016 年は前年の終わりに発達した El Niño が減衰する期間にあたり、インド洋の海面水温の高温偏差が確認されており、実際に台風 1 号の発生が遅かった。1979 年から 2018 年までの平均では台風 1 号の発生日は 3 月 15 日頃であるのに対して、1998 年は 7 月 9 日で平年よりも 116 日遅く、2016 年は 7 月 2 日で平年よりも 110 日遅かった。年間の台風発生数に注目すると、1979 年から 2018 年の平均で 25.6 個であるのに対して、1998 年は 16 個で平年を大きく下回った。ところが 2016 年は 8 月以降に台風が頻繁に発生して年間発生数は 26 個に達し、平年並みの発生数を記録した。

共に El Niño 現象の減衰年にあたる 1998 年と 2016 年の違いを理解するため、両年の夏季（6 月から 10 月）を対象とした 50 メンバーアンサンブル実験を実施した。図 B-8 に 6 月 1 日以降の累積台風発生数を示す。両年のアンサンブルシミュレーションの累積発生数の平均値を比較すると、1998 年に比べて 2016 年は発生数が多いことがはっきりと再現された。今後は本実験結果を用いて台風の発生に影響する環境場の比較を行っていく予定である。両年の違いを理解することによって、台風の季節予測の精度向上が期待される。

参考文献

Du, Y., L. Yang, and S.-P. Xie, 2011: Tropical Indian Ocean Influence on Northwest Pacific Tropical Cyclones in Summer following Strong El Niño. *J. Climate*, 315-322.

Xie, S.-P., K. Hu, J. Hafner, H. Tokinaga, Y. Du, G. Huang, and T. Sampe, 2009: Indian Ocean Capacitor Effect on Indo-Western Pacific Climate during the Summer following El Niño. *J. Climate*, 22, 730-747.

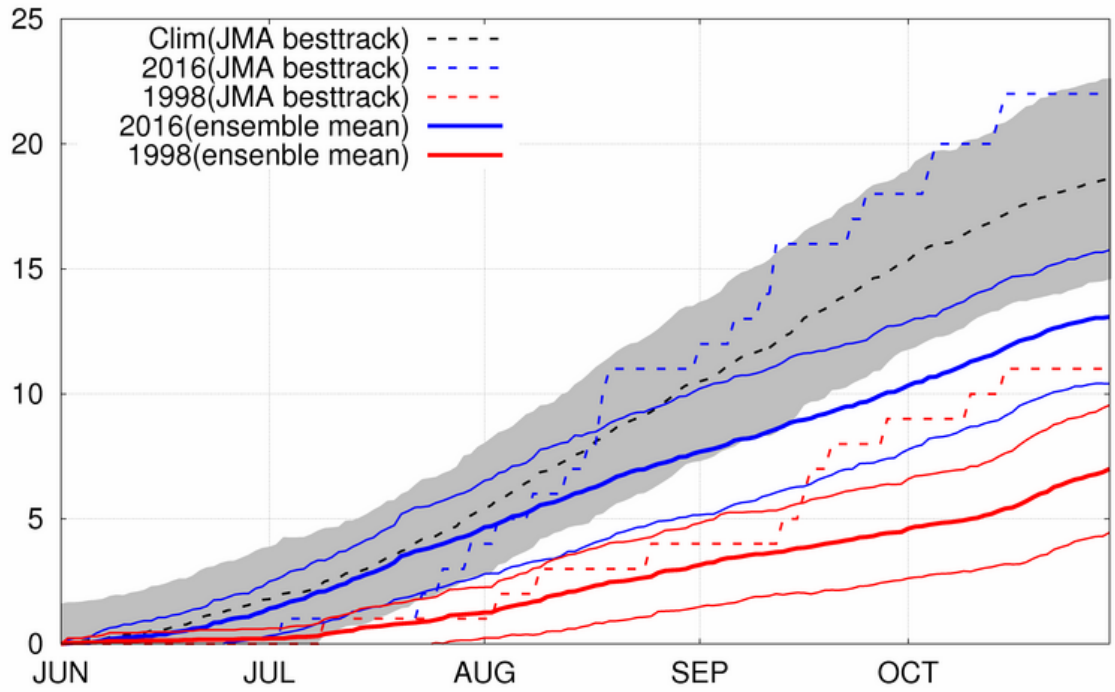


図 B-8：6 月以降の台風の累積発生数。赤線は 1998 年、青線は 2016 年の累積発生数を示す。太い実線はアンサンブル平均値を示す。細い実線はアンサンブル実験間の標準偏差（±1σ）を示す。点線は気象庁のベストトラックの結果を示す。黒い点線は気象庁のベストトラックから作成した 1979 年から 2016 年の平年値を示し、灰色の影はその標準偏差（±1σ）を示す。

⑤ 14 km 以下メッシュ年スケールアンサンブルテスト実験（目標 2）

（海洋研究開発機構）

季節から年、あるいはそれ以上の時間スケールでアンサンブル予測実験を行う場合、モデルが持つ気候バイアスは予測スキルに大きな影響を与える。これまで海面水温の変動を許した slab ocean model を取り入れた 14 km メッシュモデルを用いて多くの実験を行い、バイアスの把握および改善を進めてきた（例えば Kodama et al. 2015；平成 28 年度成果報告書の４－２－２．⑤）。計算資源の制約により、これまで 14 km よりも高解像度の実験は週スケールの予報実験が主であったが、ポスト「京」の時代においては 7 km メッシュ以下でのアンサンブル実験が一般的になってくると予想される。

そこで本年度は実用化が進む 7 km メッシュでの気候バイアスの特性を把握するため、水平メッシュ（14 km / 7 km）および海洋の設定（slab ocean model なし / あり）の変更を組み合わせた通年実験（物理アンサンブルテスト実験）を実施した。CMIP6 HighResMIP に向けて整備した NICAM（Kodama et al. to be submitted）を用い、2004 年 6 月 1 日を初期値とした。

図 B-9 は対流活動や雲の指標としてよく用いられる、大気上端における上向き長波放射（OLR）である。熱帯域（30° S－30° N）における OLR は、14 km メッシュに比べて 7 km メッシュでは 3 W/m2 程度減少する。また、7 km メッシュの方が赤道近傍においてダブルの極小（double ITCZ）が現れる傾向がある。slab ocean model を用いた場合、OLR の平均値はあまり変化しないが、double ITCZ はやや緩和される傾向がある。中高緯度域においては実験間で大きな違いは確認できない。メッシュを細かく

することによる OLR の低下は特に上層雲量の増加を意味しており、これは 14-3.5 km メッシュの月スケール実験の結果（４－２－２．⑥; Miyakawa and Miura 2019）と整合的である。

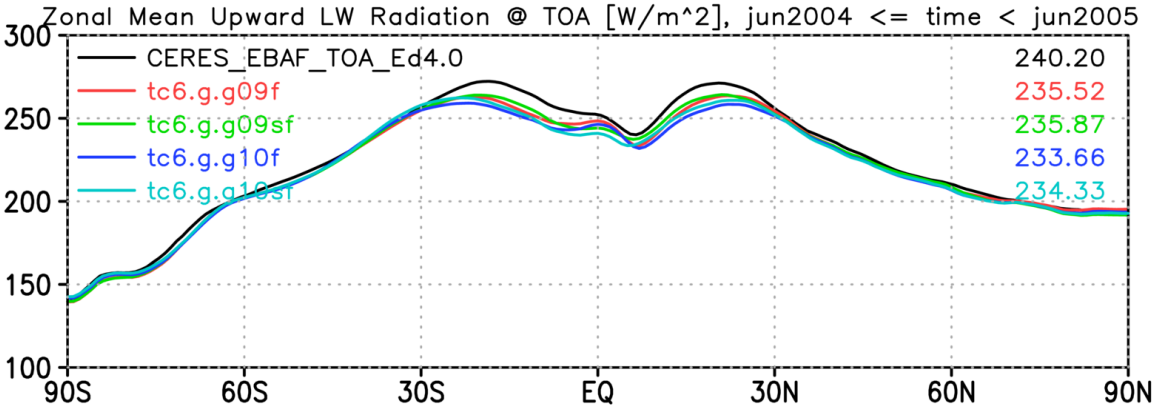


図 B-9：帯状平均した上向き長波放射（OLR）（折線）とその全球平均値（数値）。黒：CERES-EBAF Ed4.0（Loeb et al. 2018）、赤：14 km メッシュ・slab ocean model なし実験、緑：14 km メッシュ・slab ocean model あり実験、青：7 km メッシュ・slab ocean model なし実験、水色：7 km メッシュ・slab ocean model あり実験、。2004 年 6 月から 2005 年 5 月で平均。

図 B-10 は年平均した降水量の全球分布である。OLR の結果（図 B-9）からも示されていたように、メッシュを細かくすることで降水量の double ITCZ バイアスはより顕著になる。このバイアスは slab ocean を用いない場合に顕著である。全球平均値についてはメッシュを細かくすることで減少し、特に ITCZ のピーク降水量が減少して現実に近づく傾向がある。このような解像度依存性は月スケール実験（４－２－２．⑥; Miyakawa and Miura 2019）でも示されている通りである。また、メッシュを細かくすることでブラジルの降水過小バイアスは縮小する。フィリピンの降水過小バイアスについても高解像度の方が通年平均としては縮小するが、季節毎に見ると夏季にバイアスが拡大する傾向があるため注意が必要である（図省略）。

今回の結果は 14 km メッシュだけでなく 7 km メッシュモデルにおいても slab ocean model が有用であることを示しているが、同時に slab ocean model だけでは降水分布の改良に限界があることも示唆している。今回得られたデータを引き続き解析するとともに、バルク法雲微物理モデルの改良やビン法雲微物理モデルの検討（４－２－２．⑦）など、雲降水プロセスの精緻化を継続的に進めることが必要である。

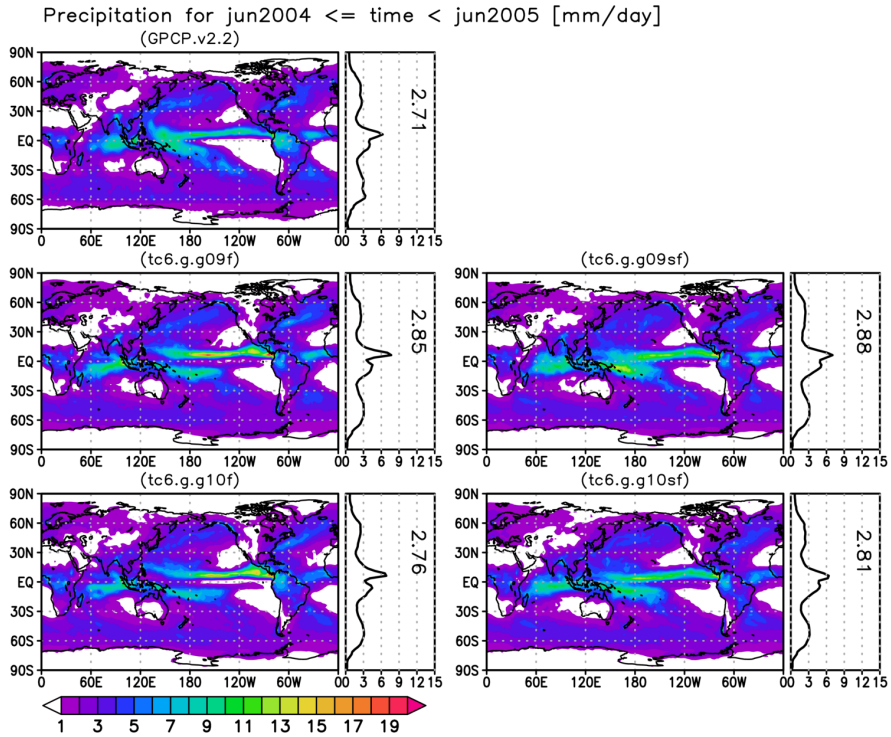


図 B-10：降水量の分布、帯状平均（折線）、および全球平均値（数値）。左上：GPCP v2.2（Adler et al. 2003）、中段左：14 km メッシュ・slab ocean model なし実験、中段右：14 km メッシュ・slab ocean model あり実験、下段左：7 km メッシュ・slab ocean model なし実験、下段左：7 km メッシュ・slab ocean model あり実験。2004 年 6 月から 2005 年 5 月で平均。

参考文献

Adler, R. F., and Coauthors, 2003: The version-2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present). *J. Hydrometeorol.*, 4, 1147-1167, doi:10.1175/1525-7541(2003)004<1147:TVGPCP>2.0.CO;2.

Kodama, C., and Coauthors, 2015, A 20-year climatology of a NICAM AMIP-type simulation. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 93, 393-424, doi:10.2151/jmsj.2015-024.

Kodama, C., and Coauthors, The non-hydrostatic global atmospheric model NICAM.16 for CMIP6 climate simulations: Model description and sensitivity experiments. to be submitted to *Geoscientific Model Development*.

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, in press, doi:10.2151/jmsj.2019-034.

Loeb, N. G., and Coauthors, 2018: Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) Energy Balanced and Filled (EBAF) Top-of-Atmosphere (TOA) Edition-4.0 Data Product. *J. Clim.*, 31, 895-918, doi:10.1175/JCLI-D-17-0208.1.

⑥ 超高解像度大気海洋結合モデルNICAM-COCOによるマッデン・ジュリアン振動（MJO）予測研究（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。昨年度は、NICAM-COCO（NICOCO）には多くの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を確かめた（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。

本年度は、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した（Miyakawa et al. 2018）。

熱帯域平均の上昇流は亜熱帯での広域の放射冷却による下降と釣り合うため、14 kmメッシュと3.5 kmメッシュのNICAMどちらにおいてもほぼ同じである。一方で、個々の上昇域は3.5 kmメッシュの方がより狭く強く表現される。このため上昇する空気塊が上昇流域内に滞在する時間が短くなり、水蒸気から降水や雲粒への変換効率が変化する。この影響により高解像度の方が降水は少なく、雲氷が多くなる傾向が明らかになった（Miyakawa and Miura 2019）が、MJOの東進はどちらの実験でもよく再現されており（図B-11上段）、MJOの対流活発域内に内包される熱帯波動成分の違いによる影響も軽微であった(Miyakawa and Kikuchi 2018)。一方で、MJOに伴う循環については、高解像度の方が弱かった(図B-11下段)。これは、高解像度の方が背景場として上層雲が多いため、MJOの強度と関連すると言われているcloud-radiative feedback（雲が多いところで赤外放射による冷却が弱められることにより循環が強まるフィードバック）が作用しづらかったことが原因と推察された。

解像度がやや低めでアンサンブル季節予測や気候実験などに使い易い14 kmメッシュのNICAMにおいてみられる、6 km付近に雲頂を持つ雄大積雲タイプの対流が不足する傾向を解消するためのオプションのひとつとして、Chikira-Sugiyama(C-S)積雲パラメタリゼーションスキーム（Chikira and Sugiyama, 2010）の導入を行った。C-Sスキームのパラメータ設定によって雄大積雲タイプの対流の増加度合いを幅広く調整することができた（図B-12左上）。雄大積雲タイプの対流を増加させるほど、対流はより組織化するようになった（図B-12右上）。雄大積雲タイプの対流の増加により熱帯域の下層から中層への水蒸気輸送を強化し、14 kmメッシュのNICAMに見られる熱帯域中層の乾燥バイアスを低減できることが示された（図B-12左下）。また、C-Sスキームの導入によりハドレー循環の上昇域が北偏するなど、大規模の循環場にも影響を与えられることが判明した（図B-12右下）。

加えて来年度実施予定の、MJOがエルニーニョ開始のトリガーとなったと見られる事例(2014年など)

の実験および全球雲解像渦解像実験(大気 3.5 km、海洋 0.1 度)のための準備実験をそれぞれ行っている。

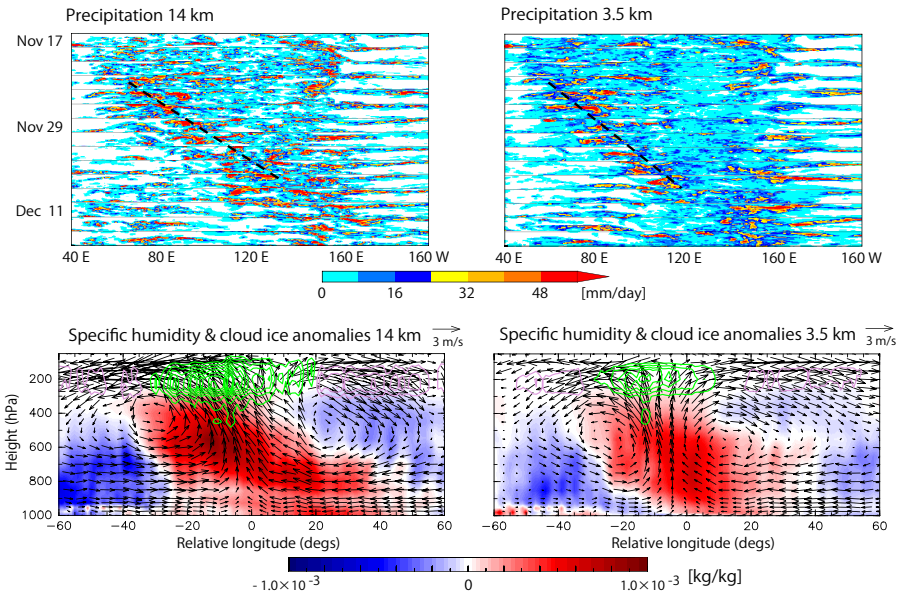


図 B-11：NICAM の 14 km メッシュ（左）と 3.5 km メッシュ（右）で再現された、2011 年 11 月の MJO 事例。熱帯(10° S-10° N)における降水域の東進はどちらもよく再現されている（上段）。一方で、14 km 解像度の方が MJO に伴う上層の雲氷や大気中の水蒸気量の偏差が大きく、MJO に伴う循環も強い（下段）。Miyakawa and Kikuchi (2018), Miyakawa and Miura (2019)より抜粋。

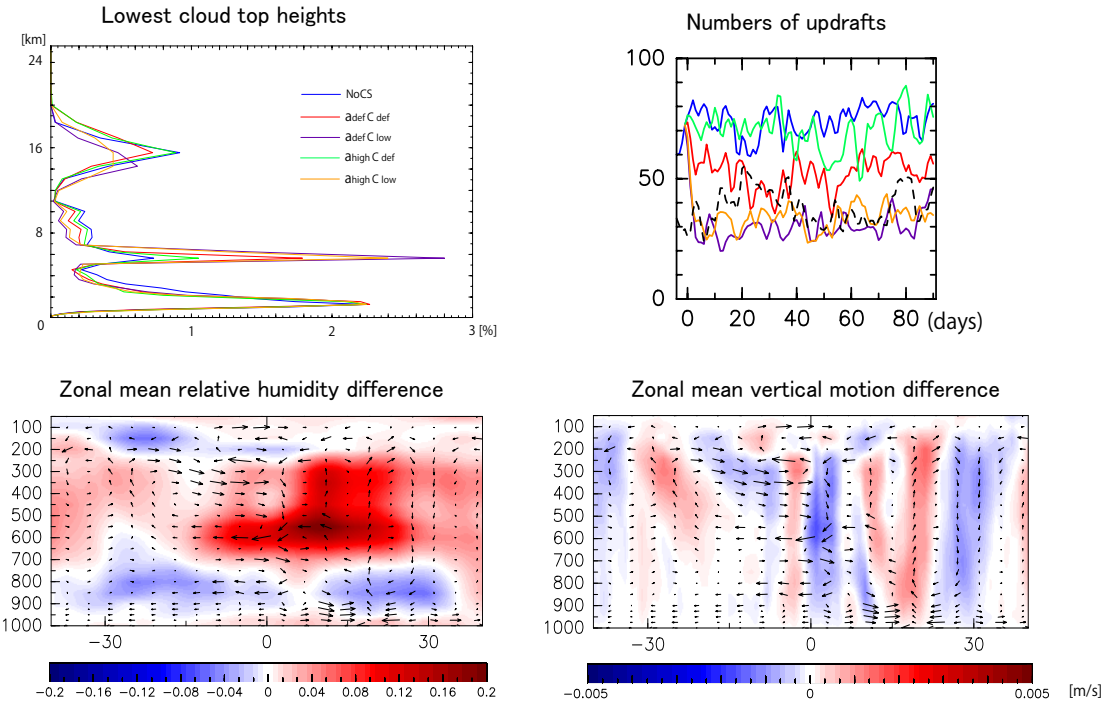


図 B-12：NICAM（14 km）に積雲パラメタリゼーション（Chikira and Sugiyama 2010）を導入した場合の影響評価。従来の実験（青線）では不足傾向にある雄大積雲（雲頂高度 6 km 付近）が、積雲パラメタリゼーションを導入した 4 種の実験では増加する（左上）。積雲パラメタリゼーションの効果が強くでる設定にするほど対流が組織化して上昇流域が少なく大きくなる（右上）。雄大積雲の増加により、下層から中層へ水蒸気が輸送され、中層の乾燥バイアスを打ち消す効果が見られる（左下）。ハドレー循環の上昇域が北偏するなど、大規模循環にも影響が現れる（右下）。 Miyakawa et al. (2018) より抜粋。

参考文献

Chikira, M., & Sugiyama, M. (2010). A cumulus parameterization with state-dependent entrainment rate. Part I: Description and sensitivity to temperature and humidity profiles. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 67(7), 2171-2193, doi.org/10.1175/2010JAS3316.1.

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., 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., 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, in press, 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.

⑦ 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。このようなスキームを NICAM に組み込むにあたって、その有効性を確認するために、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に適用した。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（vanZanten, 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、水平格子間隔 100 m、鉛直格子間隔 40 m、領域は水平 12.8 km の正方形で、高さは 4 km である。

この大気境界層に最大温度偏差 1 ℃のバブルを与え、いくつかの雲微物理スキームを使ってその雲から雨への発達を調べた。図 B-13 は、雨が早く降る NSW5、伝統的に広く使われている Kessler、雨が遅くまで降らない NDW6 をそれぞれ用いた実験について、バブル中央を通る格子の鉛直軸上で鉛直流および雲水と雨水の混合比の時間変化を示している。早く雨が降り出した NSW5 のスキームでは水蒸気の凝結、鉛直流の発達が活発で、雨への成長も一番早い。一方、Kessler スキームでは、ある程度大きな

雲水混合比の値にならないと雨への成長が起こらないが、これは Kessler スキームで使われている臨界値の取り方で変化させることができる。NDW6 のスキームでは雨への成長は起こっているが、地表での降水は少ない。

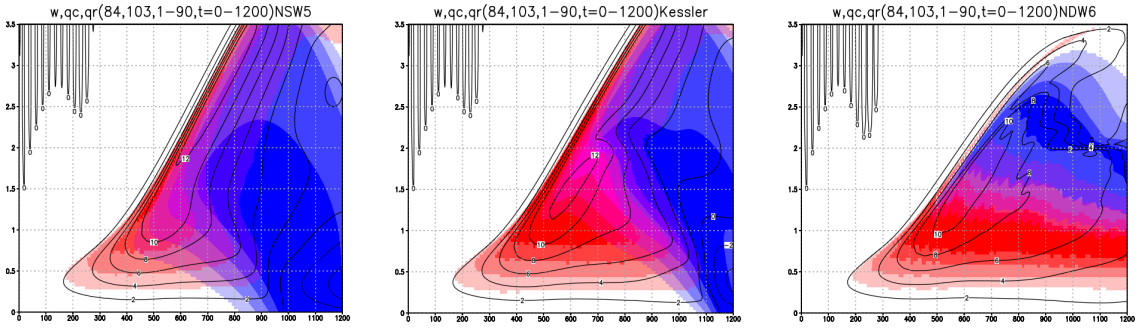


図 B-13：バブル中央での、鉛直流（コンター）、雲水混合比（赤）、雨水混合比（青）の時間変化。雲微物理スキームとして、NSW5(左)、Kessler(中)、NDW6(右)を使った場合。横軸は時間[s]、縦軸は高度[km]。

これらの結果の妥当性を検討するためにも、ビン法のような詳細な雲微物理過程のスキームが必要で、NICAM が格子間隔 100 mのような設定でバルク法スキームの感度特性を調べることに使えることが分かったので、今後、詳細な雲微物理過程のスキームを導入する予定である。

現在、NICAM に組み込みつつあるビン法雲微物理モデルは、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 モーメントモデルである。凝結核の活性化の部分が特徴的で、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生成する全粒子数密度を決め、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。

このスキームの有効性を確かめるために、KiD（Kinematic Driver for microphysics intercomparison, Shipway and Hill, 2012）と呼ばれる「温度、湿度、速度場を与えた状態で雲微物理スキームだけを比較するための設定」を使って貿易風帯積雲を対象とした雲の発達過程のシミュレーションを行った。

液水の場合、最小の粒子半径は約 1μm、最大の粒子半径は約 1 mm で、半径比で 10^3 倍、体積比では、10^9 倍をカバーする必要がある。ビンへの分け方としては、隣り合ったビンでの体積比を一定としたビンを考えるのが一般的である。例えば、3 つにわけるなら、最小のビンは半径 1μm から 10μm の雲粒子のビン、次のビンは半径でその 10 倍、そして最後はまたその 10 倍の雨粒子のビンとする。このとき、隣り合ったビンの体積比は 10^3 になるが、これでは分割が粗すぎ、液水粒子の成長を表現するには不十分である。よく使われる体積比は 2 などで、体積比を 2 とすると、$2^{10} \fallingdotseq 10^3$ なので、10^9 比をカバーするには約 30 のビンを使う必要がある。以下のスキームでは、34 を使っている。隣り合ったビンの体積比を$\sqrt{2}$、$\sqrt[4]{2}$とすると、ビンの数は 2 倍、4 倍の 70、140 になる。隣り合ったビンの体積比を大きくとれば全体のビンの個数は少なくできるが、大きくしすぎると液水粒子の成長を十分に表現できなくなる。どの程度まで大きくしても十分に液水粒子の成長を表現できるかが重要な問題である。

図 B-14 は、貿易風帯積雲を対象とした雲の発達過程のシミュレーションで、鉛直積分雲水量、雨水

量、それらの和の時間変化を示している。雲微物理スキームは、KiD に組み込まれているテルアビブ大学のビンスキーム、久芳・藤吉のビンスキームでビンの個数を、34, 70, 140 とした 3 つの場合である。

図からわかるように、ビンの個数が 34 の場合と 70 の場合の差が大きいのに対して、70 の場合と 140 の場合の差は十分に小さく、このケースでは、ビンの個数は 70 で十分であると考えられる。これらの結果から、今後、NICAM に組み込むスキームでは、ビン数 70 の設定を使う予定である。

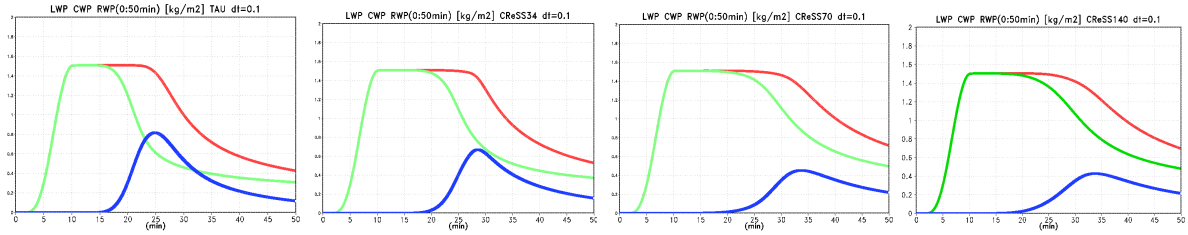


図 B-14：KiD の貿易風帯積雲に対応するバブルの発達過程での、雲水（緑）、雨水（青）、全水（赤）の鉛直積分量の時間変化。左が、Tel Aviv University スキーム(n=34)の結果、残り 3 つは、久芳・藤吉スキームの結果で、左から順に、ビンの数 n=34、n=70、n=140 の場合。

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.

Shipway, B. J., and A. A. Hill, 2012: Diagnosis of systematic differences between multiple parametrizations of warm rain microphysics using a kinematic framework, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 138, 2196-2211, doi:10.1002/qj.1913.

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.

⑧ 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 3）

（海洋研究開発機構、東京大学大気海洋研究所）

MRI.COM（Tsujino et al., 2017）を用いて高解像度日本沿岸モデルを開発し、気象研究所で開発されている MOVE-JPN システムに基づいた手法で海況予測システムを設計している。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。

本年度はこれまで、解析値として FORA-WNP30（Usui et al., 2017）を用いて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（63° N 以南の格子幅：経度方向 1/4°、緯度方向 1/6°）、北西太平洋モデル L1（格子幅：経度方向 1/12°、緯度方向 1/18°）、日本近海モデル L2（格子幅：経度方向 1/60°、緯度方向 1/90°）、日本沿岸モデル L3（格子幅：経度方向 1/180°、緯度方向 1/270°）から構成されるネストモデルである。昨年度はこれらを双方向に結合していたが、より計算効率の良い単方向ネスティングを用いて図 B-15 の手順で

積分した。まず、L0 モデルを 2000 年から 2015 年 10 月まで FORA-WNP30 の水温・塩分で緩和しながら積分し、その後 1 ヶ月の予測を行った。L1 モデルは L0 モデルの結果から得られた初期値と側面境界条件を用いて、2015 年 1 月から 10 月まで FORA-WNP30 の水温・塩分で緩和しながら積分し、その後 1 ヶ月の予測を行った。同様に、L2 モデルは L1 モデルの結果から得られた初期値と水平境界条件を用いて積分した。2015 年 9 月中は FORA-WNP30 の水温・塩分を用いて IAU で初期値化を行い、その後 1 ヶ月の予測を行った。目標となっている水平約 500m 格子の L3 モデルについても同様の初期値化と予測実験を進めているが、これまで数日間のテスト実験（初期値化なし）が安定に走ることを確認しており、高解像度化に関するこの設計は妥当であると言える。

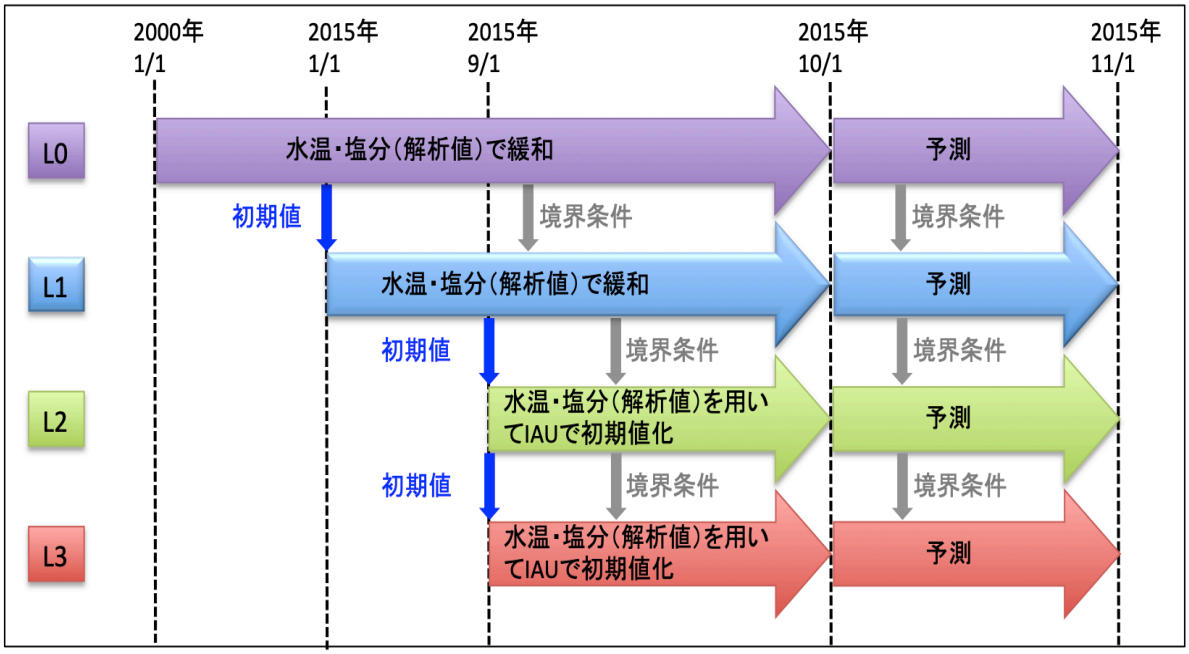


図 B-15：高解像度日本沿岸モデルに基づく海況予測システムの積分方法

図 B-16 は L2 モデルの初期値化を行った期間について、日本南岸の海面水温をひまわり 8 号、FORA-WNP30、L2 モデルで比較したものである。ひまわり 8 号の海面水温データ（図 B-16a）の中規模スケールの現象については、解析値である FORA-WNP30 の海面水温（図 B-16b）でよく再現されており、初期値化により L2 モデルでもよく再現されている（図 B-16c）。一方、ひまわり 8 号の海面水温データには FORA-WNP30 で表現できないより小さいスケールの現象が現れているが（図 B-16a）、このようなスケールの現象の一部は L2 モデルで表現されている（図 B-16c）。

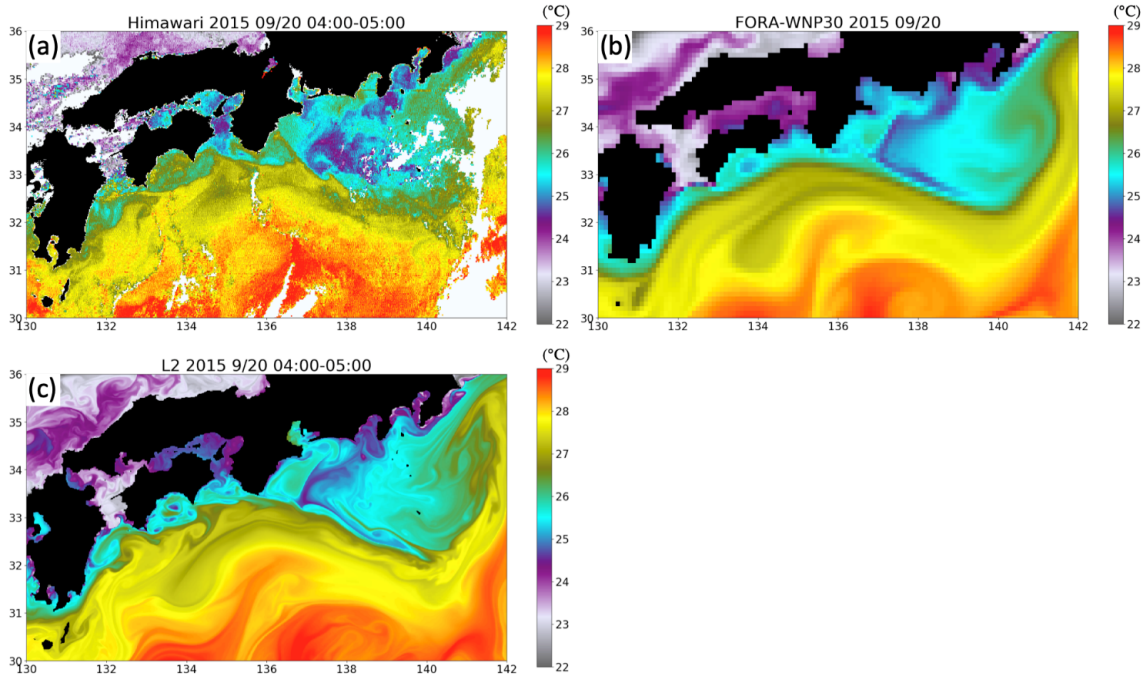


図 B-16：(a) ひまわり 8 号（2015 年 9 月 20 日 4 時-5 時）、(b) FORA-WNP30（2015 年 9 月 20 日）、(c) 日本沿岸モデル（L2 モデル、2015 年 9 月 20 日 4 時-5 時）の海面水温。ひまわり 8 号から作成した海面水温データは、宇宙航空研究開発機構（JAXA）の分野横断型プロダクト提供サービス（P-Tree）より提供を受けた。

L2 モデルの予測期間である 10 月は、日本南岸の黒潮は八丈島の南を迂回して流れる流路（非大蛇行離岸流路）となっており、徐々に接岸して八丈島の北を流れる流路（非大蛇行接岸流路）へと遷移しつつある（図 B-17 の黒線）。L2 モデル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-17 赤線）。今後、L3 モデルによる同様の予測実験、および他の期間に対する予測実験を行う予定である。

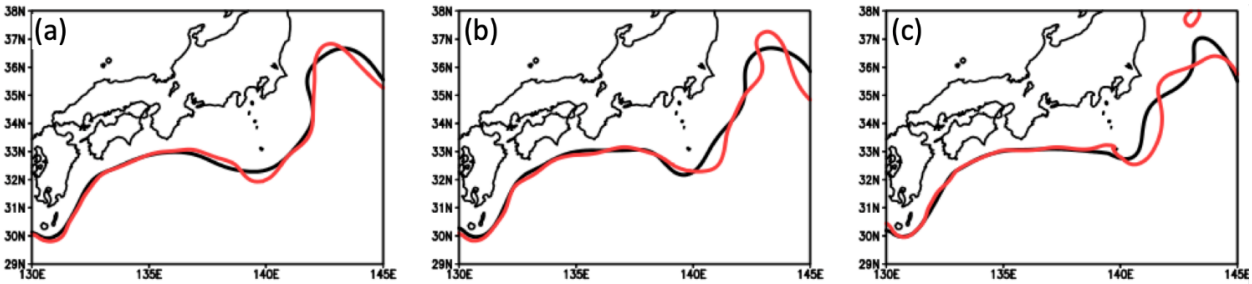


図 B-17：(a) 2015 年 10 月 11 日、(b) 2015 年 10 月 21 日、(c) 2015 年 10 月 31 日における黒潮流軸。黒は FORA-WNP30、赤は L2 モデルのもの。黒潮流軸は、日本南岸の 136° E における海面高度より 50 cm 大きい海面高度の等値線で定義した。

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.

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. Meteorol. Res. Inst.*, 80.

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.

(4) 成果リスト

① 論文（査読付き）

池田美紀子、那須野智江, 2018: 全球非静力学モデルを用いた準実時間予測計算システムの構築とJAMSTEC 集中観測における実利用, JAMSTEC Research and Development, 27 (9), 47-56, doi:10.5918/jamstecr.27.47.

Ishijima, K., Takigawa, M., Yamashita, Y., Yashiro, H., Kodama, C., Satoh, M., Tsuboi, K., Matsueda, H., Niwa, Y., Hirao, S., 2018: Analysis of high radon-222 concentration events using multi-horizontal-resolution NICAM simulations. SOLA, 14, 111-115, doi:10.2151/sola.2018-019.

Kodama, C., A. Kuwano-Yoshida, S. Watanabe, T. Doi, H. Kashimura, and T. Nasuno, 2019: JAMSTEC Model Intercomparision Project (JMIP), JAMSTEC Report of Research and Development, 28, 5-34, doi:10.5918/jamstecr.28.5.

小玉知央, 渡辺真吾, 那須野智江, 佐藤正樹, 久保川陽呂鎮, 2018: 大気重力波と熱帯対流を陽に解く中層大気モデルを用いたシミュレーション. HPCI 利用研究成果集, 3, 1-6, http://www.hpci-office.jp/annex/resrep/?p=972.

Matsuoka, D., M. Nakano, D. Sugiyama, and S. Uchida, 2018: Deep learning approach for detecting tropical cyclones and their precursors in the simulation by a cloud-resolving global nonhydrostatic atmospheric model. Prog. Earth Planet. Sci., 5:80, doi:10.1186/s40645-018-0245-y.

McCoy, D. T., P. R. Field, G. S. Elsaesser, A. Bodas-Salcedo, B. H. Kahn, M. D. Zelinka, C. Kodama, T. Mauritsen, B. Vanniere, M. Roberts, P. L. Vidale, D. Saint-Martin, A. Voldoire, R. Haarsma, A. Hill, B. Shipway, and J. Wilkinson, 2019: Cloud feedbacks in extratropical cyclones: insight from long-term satellite data and high-resolution global simulations, Atmos. Chem. Phys., 19, 1147-1172, doi:10.5194/acp-19-1147-2019.

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, in press, doi:10.2151/jmsj.2019-034.

Miyakawa, T., A. T. Noda, C. Kodama, 2018: The impact of hybrid usage of a cumulus parameterization scheme on tropical convection and large-scale circulations in a global cloud-system resolving model. J. Adv. Model. Earth Syst. doi:10.1029/2018MS001302.

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.

Muller, S., E. Manzini, M. Georgetta, K. Sato, and T. Nasuno, 2018: Convectively Generated Gravity Waves in High Resolution Models of Tropical Dynamics, Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 10, 10, 2564-2588, doi:10.1029/2018MS001390.

Roberts, M., P. Vidale, C. Senior, H. Hewitt, C. Bates, S. Berthou, P. Chang, H. Christensen, S. Danilov, M. Demory, S. Griffies, R. Haarsma, T. Jung, G. Martin, S. Minobe, T. Ringler,

M. Satoh, R. Schiemann, E. Scoccimarro, G. Stephens, and M. Wehner, 2018: The benefits of global high-resolution for climate simulation: process-understanding and the enabling of stakeholder decisions at the regional scale. Bull. Amer. Meteor. Soc., 99, 2341-2359, doi:10.1175/BAMS-D-15-00320.1.

Takasuka, D., Satoh, M., Miyakawa, T., and Miura, H., 2018: Initiation Processes of the Tropical Intraseasonal Variability Simulated in an Aqua-planet Experiment: What is the Intrinsic Mechanism for MJO Onset? J. Adv. Model. Earth Syst., 10, 1047-1073, doi:10.1002/2017MS001243.

Wing, A. A., Reed, K. A., Satoh, M., Stevens, B., Bony, S., Ohno, T., 2018: Radiative-Convective Equilibrium Model Intercomparison Project. Geosci. Model Dev., 11, 793-813, doi:10.5194/gmd-11-793-2018.

② 論文（査読なし）・解説記事等

佐藤正樹，金丸佳矢，JAXA/EORC，2018：地球が見えるシリーズ「衛星データと数値モデルの融合」（第 3 回），「世界の気象リアルタイム」の開始とそれを実現した最先端技術，https://www.eorc.jaxa.jp/earthview/2018/tp181114.html.

Arakawa, T., Inoue, T., Yashiro, H., and Satoh, M., 2018: Coupling Library Jcup3: Its philosophy and application. Geosci. Model Dev. Discuss., doi:10.5194/gmd-2018-147.

小玉知央，2018：気候変動を理解し、予測するースーパーコンピュータが描く未来ー，Blue Earth「Marine Science Seminar」，30，1，28-31.

③ 国際会議・シンポジウム

③ー1. 招待講演

Kurogi, M. and H. Hasumi, 2018: Development of a high resolution coastal ocean model, International Symposium: Understanding Changes in Transitional Areas of the Pacific, 24-26 April 2018, La Paz, Mexico.

Miyakawa, T., Yashiro, H., Suzuki, T., Tatebe, H., and Satoh, M., 2018: Abrupt termination of the 1997/1998 El Nino by an MJO Represented with an Ocean-Coupled NICAM (NICOCO), 15th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), 3-8 June 2018, Honolulu, Hawaii, U.S.A.

Satoh, M., Y. Yamada, and T. Ishiyama, 2018: Stochastic response of tropical cyclone activities revealed by ensemble simulations with NICAM: Similarities and differences under the super El Nino conditions, 1997 and 2015. Workshop on Multi-scale Modeling of Atmospheric Processes 19-21 March 2018, Guangzhou, China.

③ー2. 口頭発表

Chen, Y.- W., T. Seiki, C. Kodama, M. Satoh, and A. T. Noda, 2018: Impact of Precipitating Ice Hydrometeors on Longwave Radiative Forcing Estimated by a Global Cloud-system Resolving

Model, 15th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), 3-8 June 2018, Honolulu, Hawaii, U.S.A.

Chen, Y.-W., T. Seiki, C. Kodama, M. Satoh, and A. T. Noda, 2018: Impact of Precipitating Ice Hydrometeors on Longwave Radiative Forcing Estimated by a Global Cloud-system Resolving Model, Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2018, 20-24 May 2018, Makuhari, Chiba, Japan.

Ishiyama, T., 2018：Differences in tropical cyclogenesis in North Pacific between the strong El Niño years 1997 and 2015 investigated by perpetual July experiments with NICAM, Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2018, 20-24 May 2018, Makuhari, Chiba, Japan.

Kodama, C., M. Satoh, T. Ohno, A. T. Noda, H. Yashiro, Y. Yamada, M. Nakano, T. Seiki, T. Nasuno, Y.-W. Chen, T. Miyakawa, M. Sugi, and W. Roh, 2018: Preliminary results of a high-resolution climate simulation using the Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model, NICAM, for CMIP6 HighResMIP, 15th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), 3-8 June 2018, Honolulu, Hawaii, U.S.A.

Miyakawa, T., A. T. Noda, and C. Kodama, 2018: The impact of hybrid usage of the Chikira-Sugiyama scheme on tropical convection and large-scale circulations in NICAM, 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, 14-16 November 2018, Tokyo, Japan.

Nakano, M., K. Kikuchi, T. Nasuno, Y. Yamada, M. Satoh, M. Sugi, 2018: Future Changes in the Intraseasonal Variability and Typhoon Activity in a Nonhydrostatic Global Atmospheric Model, 15th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), 3-8 June 2018, Honolulu, Hawaii, U.S.A.

Nasuno, T. and K. Kikuchi, 2018: Global cloud-system-resolving simulation of the Intraseasonal Oscillation over the Maritime Continent during the recent field campaigns, The 33rd Conference on Hurricane and Tropical Meteorology, 16-20 April 2018, Ponte Vedra Beach, U.S.A.

Nasuno, T., M. Nakano, K. Kikuchi, T. Li, 2018: Forecast skill of intraseasonal oscillation events over the Maritime Continent in a global cloud-system-resolving model, 1st International Conference on Tropical Meteorology and Atmospheric Sciences, 19-20 September 2018, Bandung, Indonesia.

Nasuno, T., M. Nakano, K. Kikuchi, T. Li, 2018: Forecast skill of intraseasonal oscillation events over the Maritime Continent in a global cloud-system-resolving model, 15th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), 3-8 June 2018, Honolulu, Hawaii, U.S.A.

Nasuno, T., M. Nakano, K. Kikuchi, T. Li, 2018: Forecast skill of intraseasonal oscillation events over the Maritime Continent in a global cloud-system-resolving model, Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2018, 20-24 May 2018, Makuhari, Chiba, Japan.

Roh, W., Seiki, T., Satoh, M., and Hashino T. 2018: Evaluation of microphysics in mixed-phase clouds over the Southern Ocean in NICAM using Joint simulator, 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, 14-16 November 2018, Tokyo, Japan.

Satoh, M., 2018: High Cloud Variations and Responses to Global Warming in the NICAM AMIP

Experiment. Atmospheric Sciences Colloquium, 1 June 2018, University of Washington.

Satoh, M. 2018: Recent outcomes of the Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model NICAM for global simulations of multi-scale convective systems. Understanding and Modelling Atmospheric Processes, The 2nd Pan-GASS meeting, 26 February-2 March 2018, Lorne, Victoria, Australia.

Satoh, M. and B. Stevens, 2018: Project DYAMOND "DYnamics of the Atmospheric general circulation Modeled On Non-hydrostatic Domains" for high resolution (< 5 km) global model intercomparison. The 3rd International Workshop on "Climate Change and Precipitation in the East Asia", 22-23 February 2018, Garden City Ochanomizu, Tokyo, Japan.

Satoh, M., W. Roh, and T. Hashino, 2018: Evaluations and improvements of global cloud resolving models using high-resolution satellite data using simulators. European Geosciences Union General Assembly 2018, 8-13 April 2018, Vienna, Austria.

Satoh, M., C. Kodama, T. Ohno, A. T. Noda, H. Yashiro, Y. Yamada, M. Nakano, T. Seiki, T. Nasuno, Y.-W. Chen, T. Miyakawa, M. Sugi, and W. Roh, 2018: High-resolution climate simulations using the Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model, NICAM. European Geosciences Union General Assembly 2018, 8-13 April 2018, Vienna, Austria.

Seiki, T., C. Kodama, M. Satoh, T. Hashino, Y. Hagihara, H. Okamoto, 2018: Topographic effects on ice clouds evaluated by CloudSat and CALIPSO satellite observations and a high-resolution global non-hydrostatic model, Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2018, 20-24 May 2018, Makuhari, Chiba, Japan.

Seiki, T., C. Kodama, M. Satoh, T. Hashino, Y. Hagihara, and H. Okamoto, 2018: Topographic effects on ice clouds evaluated by CloudSat and CALIPSO satellite observations and a high-resolution global non-hydrostatic mode, 15th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), 3-8 June 2018, Honolulu, Hawaii, U.S.A.

Seiki, T., and W. Roh, 2018: Ice cloud modeling for simulating mixed-phase low-clouds, 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, 14-16 November 2018, Tokyo, Japan.

Shibuya R., M. Satoh, and C. Kodama, Preliminary results on the DYAMOND project, 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, 14-16 November 2018, Tokyo, Japan.

Stevens, B., M. Satoh, C. Bretherton, P. Neumann, D. Klocke, F. Judt, M. Khairoutdinov, C. Kodama, L. Kornblueh, S.-J. Lin, W. Putman, R. Shibuya, P.-L. Vidale, 2018: Early Results from the DYAMOND Global Cloud Resolving Model Intercomparison, 2018 CFMIP Meeting on Clouds, Precipitation, Circulation, and Climate Sensitivity. 16-19 October 2018, Mesa Lab, National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder, CO, U.S.A.

Takasuka, D., Satoh, M., and Miyakawa, T., 2018: Influences of the SST distributions and moistening processes on the determination of the MJO initiation region, Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2018, 20-24 May 2018, Makuhari, Chiba, Japan.

Takasuka, D., and Satoh, M., 2018: Moisture-Convection-Dynamical Feedback in Eastward Propagation of the Tropical Intraseasonal Variability in the NICAM Aqua-Planet Experiments,

15th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), 3-8 June 2018, Honolulu, Hawaii, U.S.A.

Yamada, Y., M. Satoh, M. Sugi, C. Kodama, A. T. Noda, M. Nakano, and T. Nasuno, 2018: Widening of tropical cyclone scale projected by multi-decadal experiments with a 14km-mesh global nonhydrostatic model. Amrican Meteorological Society 33rd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, 13-21 April 2018, Florida, U.S.A.

Yamada, Y., C. Kodama, M. Satoh, T. Ohno, A. T. Noda, H. Yashiro, M. Nakano, T. Seiki, T. Nasuno, Y.-W. Chen, T. Miyakawa, M. Sugi, and W. Roh, 2018: Global non-hydrostatic atmospheric model experiments for HighResMIP: Resolution dependency of tropical cyclones and impacts of improved physical package, 2018 American Geophysics Union Fall Meeting, 9-14 December 2018, Washington D. C., U.S.A.

Yoshimura, H., A. Wada, M. Nakano, R. Onishi, M. Nakagawa, T. Nasuno, M. Sugi, M. Sawada, K. Goto, K. Sakauchi, 2018: Development of nonhydrostatic Double Fourier Series global spectral Model (DFSM) and Global 7km mesh Model Intercomparison Project for improving TYphoon forecast (TYMIP-G7), 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, 14-16 November 2018, Tokyo, Japan.

③－3. ポスター発表

Ishiyama, T. 2018: Differences in Tropical Cyclogenesis in North Pacific Between the strong El Niño years 1997 and 2015 Invetigated by Perpetual July Experiments with NICAM, 15th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), 3-8 June 2018, Honolulu, Hawaii, U.S.A.

Kodama, C., M. Satoh, T. Ohno, A. T. Noda, H. Yashiro, Y. Yamada, M. Nakano, T. Seiki, T. Nasuno, Y.-W. Chen, T. Miyakawa, M. Sugi, and W. Roh, 2018/5/20-24: Preliminary results of a high-resolution climate simulation using the Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model, NICAM, for CMIP6 HighResMIP, Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2018, 20-24 May 2018, Makuhari, Chiba, Japan.

Miyakawa, T., Yashiro, H., Suzuki, T., Tatebe, H., and Satoh, M. (2018): Ocean-coupled NICAM (NICOCO) and its application on MJO - El Niño interacting events. International Conferences on Subeasonal to Decadal predictions. 17-21 September 2018, Boulder, U.S.A.

Nakano, M., K. Kikuchi, T. Nasuno, Y. Yamada, M. Satoh, and M. Sugi, 2018: Future Changes in the Intraseasonal Variability and Typhoon Activity in a Nonhydrostatic Global Atmospheric Model, Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2018, 20-24 May 2018, Makuhari, Chiba, Japan.

Nasuno, T., M. Nakano, K. Kikuchi, and T. Li, 2018: Forecast skill of intraseasonal oscillation events over the Maritime Continent in a global cloud-system-resolving model, 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, 14-16 November 2018, Tokyo, Japan.

Roh, W., Seiki, T., Satoh, M., Hashino T. 2018: Evaluations of mixed-phase clouds in NICAM over the Southern Ocean using CALIPSO and a satellite simulator, Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2018, 20-24 May 2018, Makuhari, Chiba, Japan.

Roh, W., Seiki, T., Satoh, M., Hashino T. 2018: Evaluations of Mixed-Phase Clouds over the Southern Ocean in NICAM Using Joint Simulator, 15th Conference on Cloud Physics/15th Conference on Atmospheric Radiation in Vancouver, 8-14 July 2018, Canada

Takasuka, D., Satoh, M., and Yokoi, S., 2018.12: Mixed Rossby-Gravity Waves Observed in YMC-Sumatra 2017 and Their Impacs on the MJO, 2018 American Geophysics Union Fall Meeting, 9-14 December 2018, Washington D. C., U.S.A.

④ 国内学会・シンポジウム

④−1. 口頭発表

石山尊浩, 2018: 強 El Niño 年(1997/2015 年)の北太平洋の熱帯低気圧活動環境場の相違, 日本気象学会 2018 年春季大会, 2018/05/16-19, つくば.

小玉知央, 佐藤正樹, 大野知己, 野田暁, 八代尚, 山田洋平, 中野満寿男, 清木達也, 那須野智江, Ying-Wen Chen, 宮川知己, 杉正人, Woosub Roh, 2018: 全球非静力学モデル NICAM 気候実験における水平解像度依存性, 日本気象学会 2018 年秋季大会, 2018/10-29-11/1, 仙台.

久芳奈遠美, 清木達也, 鈴木健太郎, Woosub Roh, 佐藤正樹, 2018: 暖かい雨に対する雲物理スキーム比較実験　ーバルク法で使われる shape arameter の効果, 日本気象学会 2018 年春季大会, 2018/05/16-19, つくば.

那須野智江, 中野満寿男, 菊地一佳, Tim Li, 2018: YMC 期間中の季節内振動事例の全球非静力学モデルによる予測性能, 日本気象学会 2018 年秋季大会, 2018/10-29-11/1, 仙台.

清木達也, Woosub Roh, 2018: 全球・領域実験併用のすゝめ ～普遍的な雲微物理の理解に向けて～, 日本気象学会 2018 年秋季大会, 2018/10-29-11/1, 仙台.

高須賀大輔, 佐藤正樹, 横井覚, 2018: YMC-Sumatra 2017 で観測された 4-6 日周期の大気擾乱と MJO との関係, 日本気象学会 2018 年秋季大会, 2018/10-29-11/1, 仙台.

Roh, W., Seiki, T., Satoh, M., and Hashino T., 2018: Evaluations of mixed-phase clouds over the Southern Ocean in NICAM using Joint simulator, 日本気象学会 2018 年秋季大会, 2018/10-29-11/1, 仙台.

④−2. ポスター発表

山田洋平, 小玉知央, 佐藤正樹, 2018: NICAM を用いた熱帯低気圧の発生分布の再現性向上に向けた感度実験, 日本気象学会 2018 年春季大会, 2018/05/16-19, つくば.

山田洋平, 小玉知央, 佐藤正樹, 2018: NICAM AMIP 型実験における台風の移動速度の将来変化, 日本気象学会 2018 年秋季大会, 2018/10-29-11/1, 仙台.

⑤ 研究会等

石山尊浩, 2018: Pacific Meridional Mode とインド洋の SST が北太平洋の熱帯低気圧活動に与える影響, 熱帯気象研究会, 2018/09/25-26, 名古屋.

石山尊浩, 2018: super El Nino 年 (1997/2015 年) における Pacific Meridional Mode とインド洋の SST が与える北太平洋の熱帯低気圧活動の差異, 台風研究会, 2018/09/27-28, 宇治, 京都.

石山尊浩, 2018: Pacific Meridional Mode とインド洋の SST が北太平洋の熱帯低気圧活動に与える影響, 第一回　高・低気圧ワークショップ, 2018/12/10-11, 白浜, 和歌山.

小玉知央, 2018: 全球雲解像モデルにおける可視化の実例と課題, CG・可視化研究会 (CAVE 研究会), 2018/9/25, 横浜, 神奈川.

小玉知央, 2018: HighResMIP、とその先, NICAM 開発者会議, 2018/10/9-10, 玉原, 群馬.

久芳奈遠美, 清木達也, 鈴木健太郎, Woosub Roh, 佐藤正樹, 2019: 暖かい雨に対する雲物理スキームの比較実験　ーバルク法改良のための衛星データの活用法の模索, 衛星シミュレータ研究会 2019 年 3 月.

黒木聖夫, 2018: ポスト京プロジェクトにおける日本沿岸域モデリング, 海洋モデリング研究会, 2018/07/26-28, 九重町, 大分県.

Miyakawa, T., 2018, Extended-range prediction trials using NICAM and its ocean-coupled version NICOCO, NICAM-University of Washinton workshop, 30 May-1 June 2018, Seattle, U.S.A.

宮川知己 Chikira スキームを入れた感度実験の報告, NICAM 開発者会議, 2018/10/9-10, 玉原, 群馬.

Nakano, M., K. Kikuchi, T. Nasuno, Y. Yamada, M. Satoh, M. Sugi, 2018: Future Changes in the Intraseasonal Variability and Typhoon Activity in a Nonhydrostatic Global Atmospheric Model, NICAM-University of Washinton workshop, 30 May-1 June 2018, Seattle, U.S.A.

Nasuno, T., 2018: Numerical simulation of multi-scale precipitation and dynamics using NICAM, LAPAN-JAMSTEC Workshop on the Atmospheric Dynamics in the Maritime Continent, 2018/09/18, Bundung, Indonesia.

那須野智江, 2018: 2018 年夏季 NICAM 予測計算, 台風診断 meeting, 2018/08/24, 東京大学大気海洋研究所, 柏, 千葉.

Roh, W., Seiki, T., Satoh, M., and Hashino T., 2018: Evaluations of super-cooled water clouds in NICAM using Joint simulator, NICAM 開発者会議, 2018/10/9-10, 玉原, 群馬.

Roh, W., Satoh, M., 2018: Numerical study on cloud systems using NICAM. NIES supercomputer workshop 2018, 26 December 2018, Tsukuba.

Satoh, M., 2018: Introduction to Global Cloud Resolving Models, 2018 LASG Summer School on Climate System Model Development and Application, 12-16 July 2018, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences.

澁谷亮輔, 中野満寿男, 小玉知央, 那須野智江, 佐藤正樹, 宮川知己, 三浦裕亮, 2018: 全球雲システム解像モデル (NICAM)を用いた北半球夏季季節内振動 (BSISO)の予測可能性について, 熱帯気象研究会, 2018/09/25-26, 名古屋.

高須賀大輔, 2018: YMC-Sumatra 2017 で観測された混合ロスビー重力波とその MJO の発生・東進開始への影響, 第 5 回マッデン・ジュリアン振動研究会, 2018/8/10-11, 富山.

高須賀大輔, 佐藤正樹, 横井覚, 2018.9: YMC-Sumatra 2017 で観測された 4-6 日周期の大気擾乱と MJO との関係, 熱帯気象研究会, 2018/09/25-26, 名古屋.

山田洋平, 2018：HighResMIP の出力を用いた台風の構造の解像度依存性, NICAM 開発者会議, 2018/10/9-10, 玉原, 群馬.

⑥ 一般向け講演会等

那須野智江, 2018: 熱帯大気の２つの脈動を理解するー YMC 集中観測と全球雲解像数値シミュレーション ー, JAMSTEC2018, 2018/04/26, 虎の門ヒルズフォーラム, 東京.

山田洋平, 2018: JAMSTEC 横浜研究所 休日開館 222 回公開セミナー「地球温暖化によって台風のサイズは変わるかのか？～高解像度モデルが示す台風の将来予測～」, 2018 年 8 月 18 日, 横浜.

⑦ 新聞/TV/WEB 配信/雑誌等

2018 年 7 月 5 日: Z 会　Z3（ゼットキューブ）WEB に佐藤正樹教授のインタビュー記事が掲載
https://www.zkai.co.jp/high/Z3/m6m6sn00000083k7.html.

2018 年 8 月 1 日: テレビ朝日　報道ステーション（中野満寿男, 山田洋平）.

2018 年 8 月 7 日: JAMSTEC ニュース【コラム】なぜ台風 12 号はかつてないルートで日本を襲ったのか？～熱帯起源の渦（台風）と高緯度起源の渦（寒冷渦）との相互作用～（中野満寿男）
https://www.jamstec.go.jp/j/jamstec_news/20180807/.

2018 年 8 月 22 日: 羽鳥慎一モーニングショー （山田洋平出演）.　三浦半島沖の海面水温の計測、および台風強度と海面水温の関係についての解説。台風 20 号は勢力を落とさずに日本に接近する見込みのため、要注意。

2018 年 9 月 10 日: NHK クローズアップ現代　暴風高潮　恐怖の瞬間 ～台風から身を守るには～(中野満寿男、山田洋平）.
https://www.nhk.or.jp/endai/articles/4179/index.html?1536314954.

2018 年 10 月 25 日: 台風 26 号について NHK 取材（佐藤正樹）.

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

平成 29 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、高分解能データ同化システムを用いた全球 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、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。

加えて、非静力学正 20 面体大気モデル（NICAM）にエアロゾル過程及び大気化学過程を導入した全球化学輸送モデル（NICAM-Chem）を用いた雲解像シミュレーションを実施し、エアロゾルの気候への影響評価を行うとともに、計算結果を最新の衛星観測データと比較することで、エアロゾル−雲−降水相互作用に関わるモデルの雲物理プロセスを評価・検証した。具体的には、エアロゾルのモデル内での表現を精緻化した化学輸送モデルを新たに構築し、MODIS 衛星による観測結果と比較し、光学的厚さの全球分布が既存モデルよりも観測結果と整合的であることを確認した。

(2) 実施体制

昨年度までの議論をもとに、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。

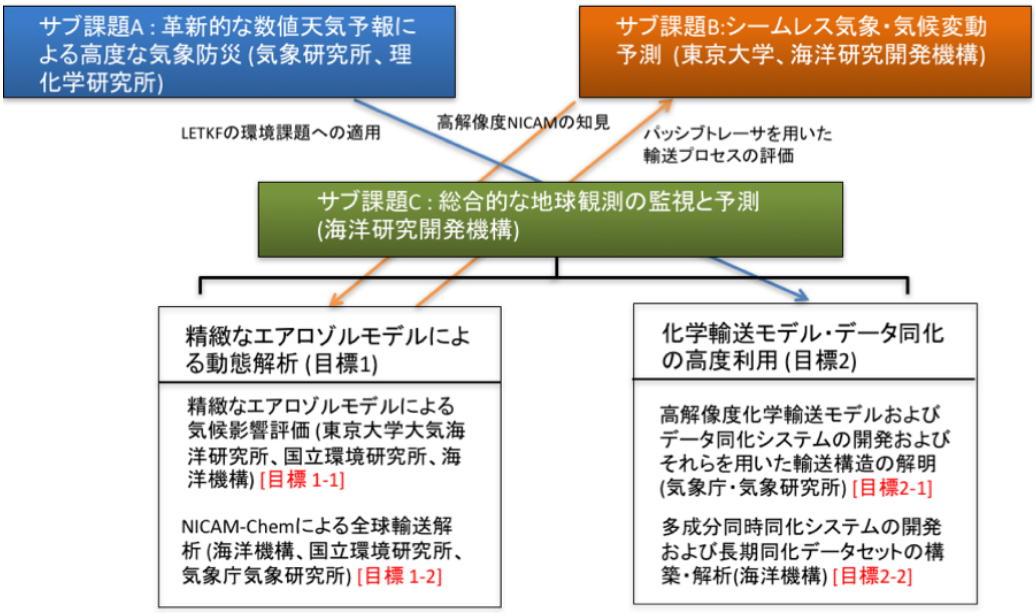


図 C-1：サブ課題 C の研究体制

(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）

今年度は、高精度エアロゾルモデルの開発として、全球非静力学モデル 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現実的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。従来版の SPRINTARS モデルではこのサイズ依存性を近似的に表現するバルク法のスキームが用いられてきたが、本研究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、NICAM-SPRINTARS に実装した。図 C-2 に模式的に示すように、このようなスキームの開発・実装によって、エアロゾルの気候影響を左右する重要な物理特性の精緻な表現が可能になることが期待される。ビン法スキームはバルク法に比べて計算コストが大きく増大するが、ポスト京の稼働時に実現が見込まれる計算機性能の向上を活用するためのモデル開発として、本研究は位置付けられる。

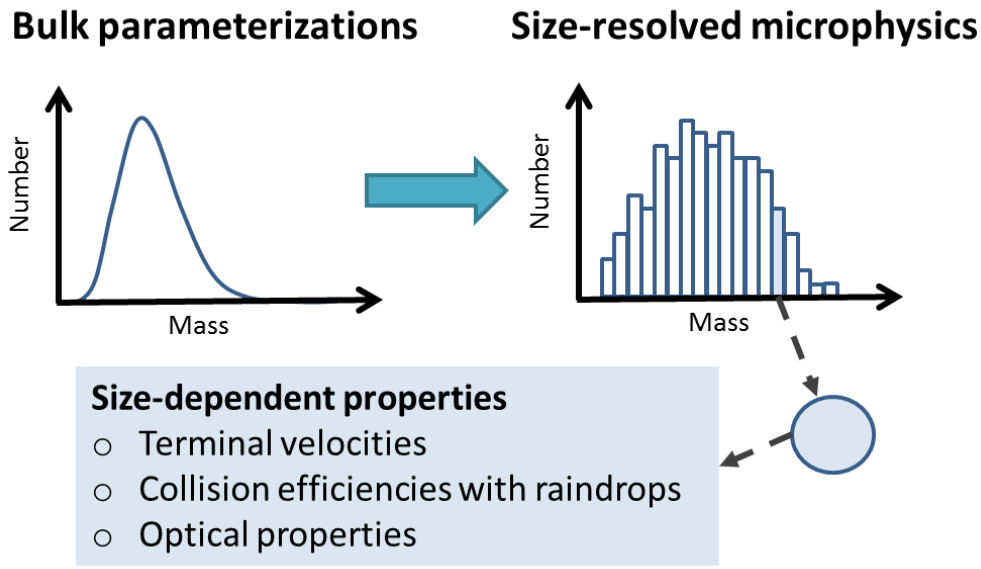


図 C-2：従来型のバルク法（上段左）と本研究で開発したビン法（上段右）によるエアロゾル粒径分布関数の表現の違いと、それによって影響を受ける代表的なエアロゾル物理特性（下段）。Cheng and Suzuki (2018)より引用。

本研究では、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このビン法スキームを開発し、NICAM と結合された SPRINTARS に実装した。具体的には、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・収縮過程について、粒子サイズ依存性を陽に考慮した計算スキームを定式化した。その上で、このような定式化が実装された

新しい NICAM-SPRINTARS を用いた数値実験を開始し、その初期結果を衛星観測や地上観測と比較検証する解析を開始した。

エアロゾルの気候影響を特徴づける物理量であるエアロゾル光学的厚さについて、その全球分布を衛星観測・従来型のバルク法・本研究で開発されたビン法との間で比較したものを図 C-3 に示す。ビン法では全球的には概ねバルク法と整合した分布が再現されているが、バルク法に見られる衛星観測に対する系統的なバイアスは依然として残っている様子が見られる。特に、中高緯度域では衛星観測に比べてエアロゾル光学的厚さを過小評価している傾向が見られるため、来年度も引き続き詳細な比較解析が必要である。

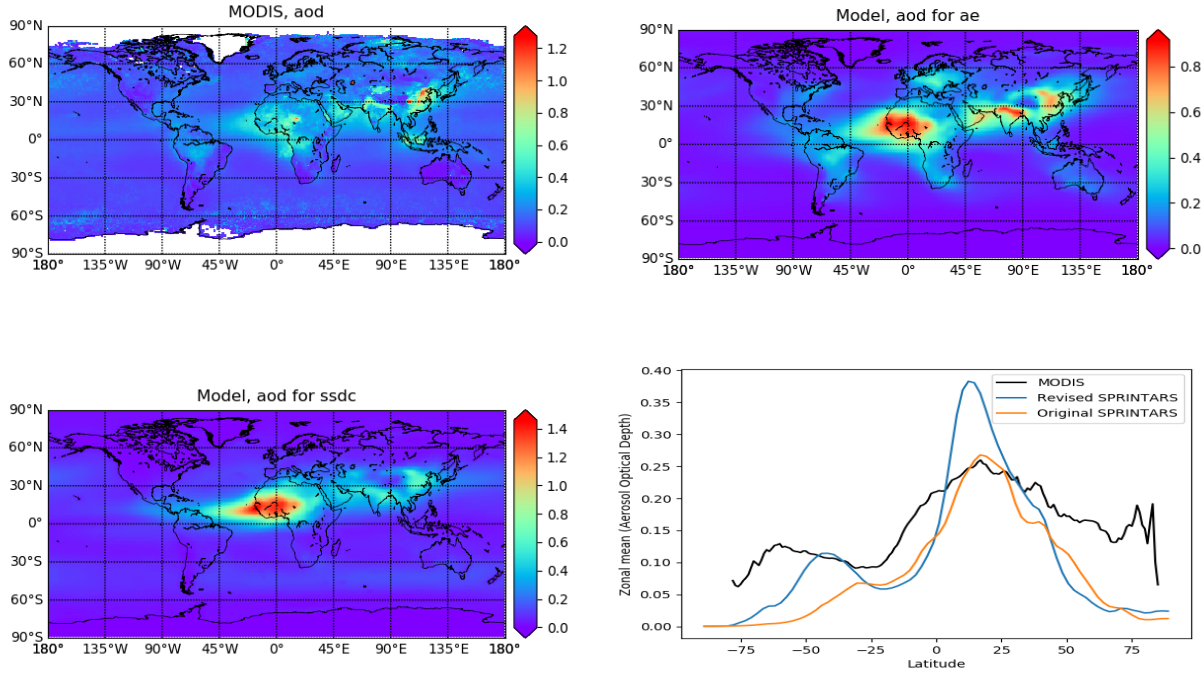


図 C-3: エアロゾル光学的厚さの全球分布の比較（左上：MODIS 衛星観測，右上：バルク法 SPRINTARS，右下：ビン法 SPRINTARS）および帯状平均した緯度分布の比較（右下；黒線：MODIS，橙線：バルク法 SPRINTARS，青線：ビン法 SPRINTARS）。Cheng and Suzuki (2018)より引用。

参考文献

Cheng, C., and K. Suzuki, 2018: Development of size-resolving aerosol microphysics scheme for use in a global non-hydrostatic cloud-resolving model. *AGU Fall Meeting*, Washington DC, USA, December 2018.

② シベリア森林火災プリュームの大気中からの除去過程、及び長距離輸送特性に関する検証（目標 1-2）（海洋研究開発機構、理化学研究所、国立環境研究所、東京大学大気海洋研究所）

エアロゾルの放出及び輸送の理解は、大気汚染や放射への影響、降水量等の予測において重要と考えられている。特に黒色炭素（Black carbon：BC）エアロゾルは太陽放射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いる（e.g.,

Myhre et al. 2007)。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（e.g., Lubin and Vogelmann, 2006)。BC はアジア、ヨーロッパ、ロシア、北アメリカでは主に人為起源で生成され冬季～春季に極大となる一方、シベリア域やアラスカ・カナダ域では森林火災など自然起源で生成されるものが夏季に主となっており、これらが北極域に到達することが推定されている（e.g., Stohl et al. 2006；Matsui et al. 2011；Ikeda et al. 2017)。人間活動が活発ではない北極域・海洋上では、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。

2016 年 9 月には、シベリア域にあるバイカル湖周辺で大きな森林火災が継続して発生していた。同年 8 月から 10 月にかけて海洋研究開発機構所有の研究船「みらい」による観測航海（MR16-06）が行われており、人間活動が活発ではない海洋上における BC 濃度データを得られていた。そこで本研究では、「みらい」の観測で得られた BC 濃度の解析を行い、その発生源や輸送経路などを明らかにするため、全球エアロゾル輸送モデルによるシミュレーションを行った。森林火災起源のエミッションを行わない実験結果、及びシベリア域に限定してエミッションを行う実験結果を元の実験結果と比較して評価することで、BC の発生源や輸送経路を調べた。モデルには水平分解能の違いによる前線後面への物質のトラップ特性の違いや（e.g., Ishijima et al. 2018)、降水による沈着特性の違い（e.g., Sato et al. 2016）があるため、複数の水平分解能での実験を行い、それらを相互比較して解像度依存性を評価した。

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., Takemura et al. 2000, 2002, 2009；Tomita and Satoh 2004; Satoh et al. 2008, 2014；Suzuki et al. 2008；Goto et al. 2011, 2015)。しかし、既存の NICAM-Chem では森林火災によって生じる熱対流（pyro-convection）による放出高度や森林火災に伴うような短い時間スケールでの放出量変動は考慮されていなかったため、既存の NICAM-Chem の地表から 3km まで一様な放出高度を与える形から変更を加え、衛星観測から推定された放出高度や放出量変化を与えるように更新した。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、標準実験ではそのうちの BC、OC、SO_2 の日平均した放出量データ、及び最大放出高度のデータを利用した。

水平解像度 56 km で行った標準実験のシミュレーション結果から「みらい」の観測点における表面 BC 濃度を算出し、観測の BC 濃度と比較すると、両者ともに 9 月 25～26 日頃に「みらい」の観測点のアリューシャン付近でピークを示した（図 C-4)。220 km の水平解像度で行った実験結果では、25～26 日のピークが滑らかな時間変化を示し、25 日の最大値、26 日の最大値共に観測より小さかった。このように 56 km 程度の十分に細かい水平解像度で実験を行うと、観測の時間変化や濃度を再現できることがわかった。

標準実験の結果から BC の輸送経路を調べると、地表 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 日にアリューシャン付近に移動する様子が分かった。23 日のヤクーツク付近、24 日のカムチャツカ半島付近や 25

日のアリューシャン付近では周辺の低気圧に伴う降水が見られた。そのため、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 日にアリューシャン付近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低気圧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。

標準実験の BC は、56 km の水平解像度では 9 月 25〜28 日頃にアリューシャン付近でフィラメント状になり極域へ流入していた。そこで、シベリア域のみで森林火災の BC を放出した実験、森林火災の BC を放出しない実験の 2 種類を行い比較した。北半球高緯度域（75〜90N）の BC カラム量の時系列を調べると、56 km の水平解像度では、シベリア域のみで BC を放出した実験で放出しない実験よりも極域 BC 量が増加したのに対し、220 km の水平解像度では両者の極域 BC 量にほとんど違いが見られなかった。

この結果は、極域への BC 流入を評価するには 56 km 程度の解像度が必要であることを示唆する。現在の NICAM-Chem では森林火災により放出される CO などの計算は行なっていないが、今後のモデル更新の際には化学反応計算を追加することで、エアロゾルと同時に CO 等の分布の予測も行う予定である。

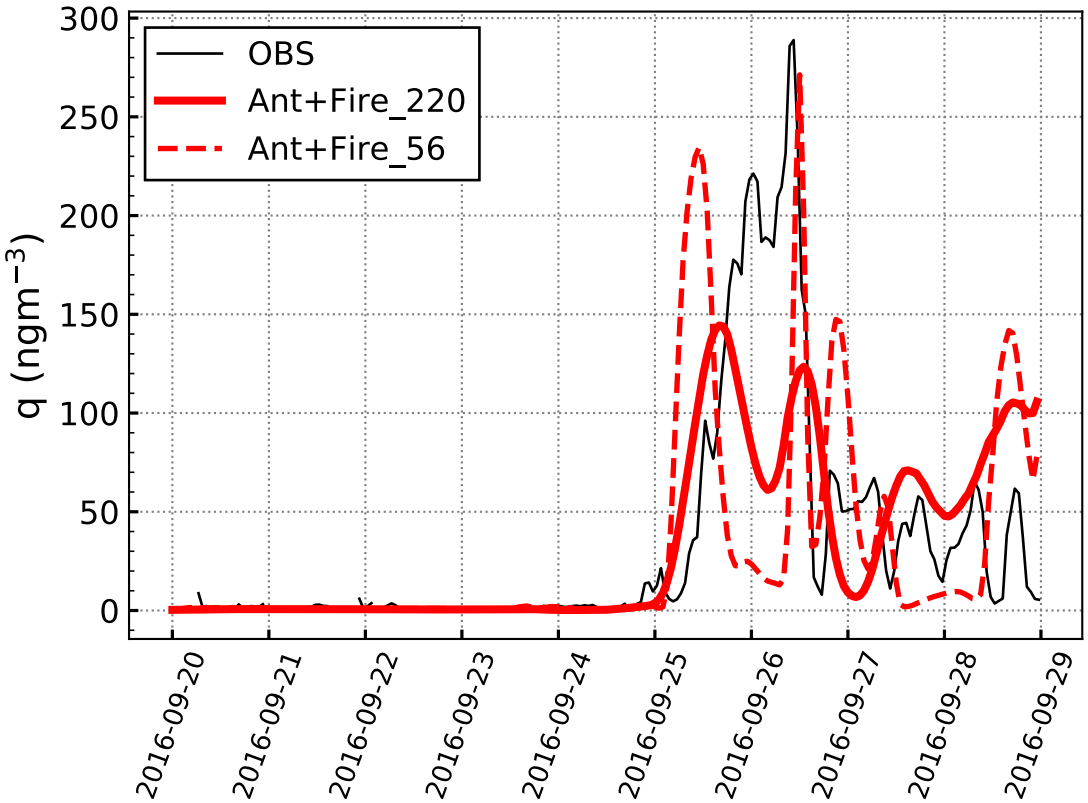


図 C-4: 「みらい」で得られた観測の地表 BC（黒線）と NICAM-Chem でシミュレートされた地表 BC（赤線、実線：220 km、破線：56 km）。

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.

Matsui, H., Kondo, Y., Moteki, N., Takegawa, N., Sahu, L. K., Zhao, Y., Fuelberg, H. E., Sessions, W. R., Diskin, G., Blake, D. R., Wisthaler, A., and Koike, M., 2011: Seasonal variation of the transport of black carbon aerosol from the Asian continent to the Arctic during the ARCTAS aircraft campaign. J. Geophys. Res.-Atmos., 116, D05202, doi:10.1029/2010JD015067.

Myhre, G., N. Bellouin, T.F. Berglen, T.K. Berntsen, O. Boucher, A. Grini, I.S.A. Isaksen, M. Johnsrud, M.I. Mishchenko, F. Stordal, and D. Tanre, 2007: Comparison of the radiative properties and direct radiative effect of aerosols from a global aerosol model and remote sensing data over ocean. Tellus, 59B, 115-129, doi:10.1111/j.1600-0889.2006.00226.x.

Sato, Y., H. Miura, H. Yashiro D. Goto, T. Takemura, H. Tomita, and T. Nakajima (2016): Unrealistically pristine air in the Arctic produced by current global scale models. Sci. Rep. 6, 26561, doi: 10.1038/srep26561.

Satoh, M., H. Tomita, H. Yashiro, H. Miura, C. Kodama, T. Seiki, A.T. Noda, Y. Yamada, D. Goto, M. Sawada, T. Miyoshi, Y. Niwa, M. Hara, Y. Ohno, S. Iga, T. Arakawa, T. Inoue, and H. Kubokawa, 2014: The Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model: Description and development. Prog. Earth Planet. Sci., 1, doi:10.1186/s40645-014-0018-1.

Stohl, A. (2006), Characteristics of atmospheric transport into the Arctic troposphere, J. Geophys. Res., 111, D11306, doi:10.1029/2005JD006888.

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.

Takemura, T., H. Okamoto, Y. Maruyama, A. Numaguti, A. Higurashi, and T. Nakajima, 2000: Global three-dimensional simulation of aerosol optical thickness distribution of various origins. J. Geophys. Res., 105(D14), 17 853-17 873.

Takemura, T., T. Nakajima, O. Dubovik, B. N. Holben, and S. Kinne, 2002: Single-scattering albedo and radiative forcing of various aerosol species with a global Three-Dimensional model. J. Climate, 15(4), 333-352.

Takemura, T., M. Egashira, K. Matsuzawa, H. Ichijo, R. O'Ishi, and A. Abe-Ouchi, 2009: A simulation of the global distribution and radiative forcing of soil dust aerosols at the Last Glacial Maximum. Atmospheric Chemistry and Physics, 9(9), 3061-3073.

Tomita, H., and M. Satoh, 2004: A new dynamical framework of nonhydrostatic global model using the icosahedral grid. Fluid Dyn. Res., 34, 357-400.

③ NICAM-Chemにおける気相反応の精緻化(目標1-2)

（海洋研究開発機構、気象庁気象研究所）

大気中における光化学反応については、非線形性が強く働くことが広く知られている。とくに、大気汚染および地表付近における地球温暖化に強い影響力を持つオゾン(O_3)については、その大気中での光化学的生成に寄与する窒素化合物および炭化水素が、それぞれ直接的・間接的にオゾンの光化学的破壊にも寄与しているため、前駆物質である窒素化合物、炭化水素それぞれの放出量の変動とオゾンの大気中濃度の変動とには線形的な関わりはなく、むしろ窒素化合物の放出量のみが増加しすぎると逆にオゾン濃度の減少に作用する可能性もある。このため、大気中におけるこれら大気汚染物質および前駆物質の存在比を適切に考慮しつつ、モデル格子内での光化学反応を計算する必要がある。

現在、NICAM-Chemおよび国内外の全球化学輸送モデルは凡そ100km程度の水平格子および20分程度のタイムステップ内での光化学平衡を考慮した反応系を考慮したものが多数であるが、将来的にはNHM-ChemやWRF-Chemなどのような領域化学輸送モデルに比肩しうる、10km程度の水平格子でも適切に取り扱えるような化学反応系を導入する必要があると考えられる。その際、空間スケールや研究対象に応じて化学反応系を柔軟に変更できることが望ましいが、現在のNICAM-Chemでは化学反応ライブラリをハードコードで取り扱っていること、およびプロファイラで調べたところ高解像度になるにつれて化学反応ソルバの計算コストが高くなること等をふまえ、米国などで開発が進められている化学反応プリプロセッサ (Kinetic Preprocessor: KPP)の導入に向けた検討を行った。表 C-1 に現在試験中の対流圏化学反応込みの NICAM-Chem、および比較対象として目標 2 で MIROC-LETKF に用いているMIROC4および米国のオフライン化学輸送モデルGeos-Chem (Bey et al., 2001)において考慮している化学種および化学反応の数をまとめたものを示す。Geos-chemはリモート域でのオゾン破壊源としてヨウ素、臭素などのハロゲン系化合物なども考慮しており、また MIROC4 は成層圏化学も含めているが、今後大都市域周辺での炭化水素および窒素化合物の排出量規制による大気質改善を定性的・定量的に評価するため、現在ひとまとめで取り扱われている高次炭化水素を区別して取り扱うなど、気相反応についても精緻化を進めるとともに、ソルバも現在用いているEuler Backward Iterative(EBI)以外にもRosenbrockなどを利用し、計算コストおよび計算精度を評価する必要がある。このため、現在ボックスモデルによる評価を行うとともに、KPPにより生成されたソースコードをNICAM-Chem内に組み込

めるよう気相反応周りのコード整理を行っている。来年度には MIROC-LETKF による排出量推定結果を用い、ポスト「京」実機での計算に向けたテスト計算を行うことを計画している。

参考文献

Sandu and R. Sander, Technical note: Simulating chemical systems in Fortran90 and Malab with the Kinetic PreProcessor KPP-2.1, Atmos.Chem. Phys., 6, 187-195, 2006.

Bey et al., Global modeling of tropospheric chemistry with assimilated meteorology: Model description and evaluation, J. of Geophys. Res., 106, 23073-23095, 2001.

表 C-1：各種化学輸送モデルにおいて考慮されている反応数。化学種については輸送を考慮するものについてカッコ内に追記している。

	化学種	反応系
NICAM-Chem（対流圏のみ）	63(36)	115
MIROC4（成層圏あり）	94(63)	205
Geos-chem（ハロゲンあり）	206(135)	648

④ 大気中輸送量評価の精緻化(2)：ラドン-222 を用いた NICAM-Chem の大気輸送過程の評価（目標 1-2）
（海洋研究開発機構、気象庁気象研究所）

低気圧とそれに伴う前線活動は大気中微量成分の輸送にとって重要な役割を担っている。東アジア域では冬から春にかけて寒冷前線が発達しやすく、大気汚染物質の濃度変動の主要な駆動要因となり得る。地表排出源から排出された汚染物質は、寒冷前線後背部の寒気内にトラップされつつ低気圧に引き寄せられてゆき、そのまま前線とともに東方へ移動する。その前線が地表観測点上を通過する際、しばしば高濃度汚染イベントとして観測される。このような前線自体は主にメソスケールの現象であるが、前線周辺における大気成分の輸送には、ローカルな対流のようなより小さいスケールの気象現象が強く影響する。また一方で warm conveyor belt のように前線面から全球規模の輸送へと繋がるケースもある。従って、これらの現象を解析するには雲解像が可能な全球モデルを用いることが理想的である。非静力学正 20 面体格子大気モデル NICAM はこれまで総観規模から全球規模までの気象現象をシームレスに再現するモデルとして多くの研究実績を積んできた。本研究では、主に前線活動によって引き起こされる大気中のラドン（^{222}Rn）の高濃度イベントについて、3 つの異なる水平解像度での NICAM のシミュレーションと観測とを比較することにより、前線周辺におけるラドンの大気中濃度変動を調べた。

ラドンは陸上全域を放出源とする化学的に不活性な半減期約 3.8 日の天然放射性同位体であり、大気モデルの輸送検証に有効なパッシブトレーサーとしてよく用いられる。大気中ラドン濃度観測デー

タとしては、南鳥島（MNM: 24N,154E）(Wada et al., 2012) およびバミューダ（BMW: 32N,65W）(Hutter et al., 1995) で得られた連続観測値を用いた。NICAM は、鉛直 38 層（モデルトップは約 40km)、水平解像度は格子間隔 224km、56km、14km（以下それぞれΔ223, Δ56, Δ14 で表す）のものを用いた。224km、56km では積雲対流パラメータスキームと大規模凝結スキームを用い、14km では雲微物理スキームを用いた。ラドンの地表フラックスとしては、土壌のラジウム含有量（ラドンはラジウム ^{226}Ra の崩壊により生じる）や水分量の時空間分布を考慮して見積もられた月別の気候値を用いた。2009-2015 年の 7 年間についてシミュレーションを行い、その気候値を観測と比較した。モデルシミュレーションは気象データによるナッヂングは行わずフリーランで行った。高濃度イベントの検出には、Wada et al (2012)の手法を観測とモデル計算の両方の結果に適用し、その出現数をカウントした。

本研究では、最もイベント頻度が高く、また前線活動が活発な冬季について解析を行った。図 C-5 は冬季のラドン高濃度イベント時の、ラドン濃度比、相当温位、相当温位変化率の平均時間変動を示す。ここで、相当温位は前線の強さを表す指標として有効であるため用いた。イベント時のラドン濃度比は 2〜3.5 となっており、地表放出源から放出されたラドンが、平常時よりも短い時間で、あまり崩壊せず濃度も高く保たれたまま観測点に到達することを示している。南鳥島、バミューダの両観測点において、西方の大陸から運ばれてきたラドンをトラップした寒冷前線が観測点上を通過することで高濃度イベントが生じる。その際ラドンは、前線の後部から運ばれてきて気温勾配が大きな部分に沿って溜まるため、相当温位の変化率も同時に極大となっている。南鳥島よりもバミューダでのピークがより大きいのは、より大陸に近いためにラドン・気温ともに大陸の影響を強く受けるためと考えられる。どちらの観測点においても観測されたラドン濃度比が最も鋭いピークを示しており、前線周辺の大気構造が 10km 以下のスケールの動きから成っていることが示唆される。Δ223 が最も低く幅広いピークを示しており、223km という解像度が前線構造を再現するには不十分であることが窺える。Δ56 とΔ14 はほぼ同等のピーク形状を示し、Δ223 と比べて観測をよく再現しているが、南鳥島においてはΔ14 がより観測に近いピーク高を示す。これらの結果は、寒冷前線周辺の大気構造およびラドンの時空間変動を現実的に再現するには、モデルは 56km 程度よりも高い水平解像度を必要とすることを示唆している。より詳細に見ると、ラドン濃度比はピーク前で急激に増加するがピーク後は緩やかに減少し、その後ピーク前よりもやや高いレベルに安定化してゆく様子がみられる。このラドンの時間的遷移は前線を横切るラドンの水平分布の特徴を表しており、どのモデル解像度でも比較的よく表現されている。このラドンの変動はラドンピーク時あるいはその直前で最大となる相当温位変化率の変動と整合的である。また、相当温位変化率により区別されたより前線影響が強いと考えられるイベント（図中 selected events）では、全イベント平均と比べ、ラドン濃度比が増加するタイミングが遅く、ピークがより鋭くなっている。これは、より相当温位変化率の大きな強い前線の通過時ほど、前線を横切る線に沿ったラドン濃度勾配が大きくなることを示している。

本研究からは、前線周辺の大気構造およびラドン濃度の時空間変動を現実的に再現するには 56km 程度よりも高い水平解像度のモデルが必要であることが示唆された。また、前線周辺の大気成分変動を理解する上で相当温位を用いることは非常に有効な手段であることが分かった。

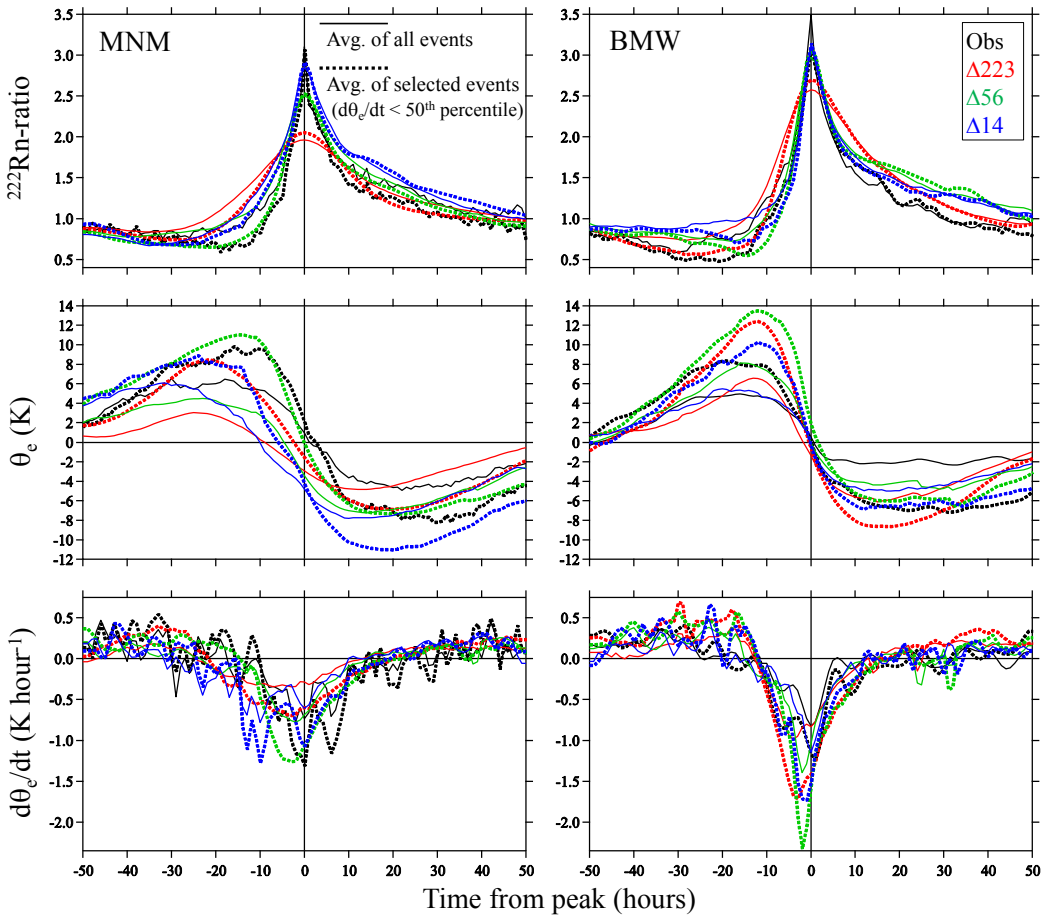


図 C-5：観測とモデルの冬季のラドン高濃度イベント時のラドン濃度、相当温位、相当温位変化率の時間変動の平均値。但し、ラドン濃度は平常時に対する比（ラドン濃度比）を示している。横軸はラドン高濃度ピーク時を 0 とした時間である。実線は全イベント（all events）、破線は相当温位変化率の変化量が 50 パーセンタイル以上の前線の影響がより強いと考えられるイベント（selected events）についての平均。

参考文献

Hutter, A. R., R. J. Larsen, H. Maring, and J. T. Merrill, 1995: 222Rn at Bermuda and Mauna Loa: local and distant sources, J. Radioanal. Nucl. Chem., 193, 309-318.

Wada A., H. Matsueda, S. Murayama, S. Taguchi, A. Kamada, M. Nosaka, K. Tsuboi, and Y. Sawa, 2012: Evaluation of anthropogenic emissions of carbon monoxide in East Asia derived from the observations of atmospheric radon-222 over the western North Pacific, Atmos. Chem. Phys., 12, 12119-12132.

⑤ 化学輸送モデルを用いたエアロゾル同化実験（目標 2-1）

（気象庁気象研究所）

気象研究所では、昨年度に引き続いてひまわり 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モデル（MASINGAR mk-2）にデータ同化するシステムの開発を継続した。今年度は、来年度早々に予定されている気象庁黄砂予測業務への導入される二次元変分法（2D-Var）の改良に重点を置きつつ、LETKF の開発を実施した。また、領域化学輸送モデル NHM-Chem に関しては、気象庁の大気汚染気象業務において改良が要望されている高解像度化（20→5km）の準備を進める一方、境界条件としてこれまでの気象庁領域モデル（NHM）から新しい気象庁現業モデル（asuca）でも利用できるようにモデル改修作業等を実施した。ひまわり 8 号観測データを用いたエアロゾルデータ同化に関しては、気象研究所において宇宙航空研究開発機構（JAXA）/地球観測研究センター（EROC）がリトリーブしたエアロゾル光学的厚さと、ひまわり 8 号が観測できない領域に関しては MODIS によるエアロゾル光学的厚さ（米国海軍研究所がリトリーバル）を用いたデータ同化システムを毎日運用している。この解析結果は JAXA が運営しているひまわりモニタ HP 上で解析値として公開されている（2018 年に報道発表を実施した）ほか、国際的なエアロゾル予測に関する共同研究（ICAP）にも予測結果を提供している。MASINGAR mk-2 は TL479L40（水平解像度約 40km）で、世界的に見ても全球モデルとしての解像度は高い方である。今年度は、背景誤差の計算に過去 5 日間に行われた 5 つの予測（03UTC にデータ同化を行うため、3 時間毎に前後 6 時間）の結果を用いるようにデータ同化システムの改修を行った。以下にデータ同化システムが捉えた 2018 年 11 月 26 日の黄砂事例を示す。この事例では、図 C-7 に見られるとおり中国沿岸部付近に黄砂によるとみられるエアロゾル域が観測されている。データ同化を行う前の MASINGAR mk-2 ではこのエアロゾルを十分に表現できていないが、データ同化を行うことによってエアロゾル域の濃度が濃くなっていることが分かる。データ同化システムの検証としては、2016～2018 年の春季（3～5 月）において日本の気象庁が実施している黄砂観測を用いて黄砂観測の有無と黄砂予測の有無（黄砂濃度 90ug/m3 を閾値として有無を判別）からスレットスコア等を計算した。データ同化なしだとスレットスコアが 0.24 であったのに対してデータ同化後は 0.25 と若干ではあるがスコアの向上が確認できた。ただ、この 3 年間は大規模な黄砂が日本に飛来しておらず、事例数が十分ではない可能性がある。

今後は、データ同化システムの改良を継続すると共に、数値天気予報に対するエアロゾル同化解析値の提供等を目指していく予定である。データ同化システムの改良に関しては、観測データの品質管理がデータ同化の精度に直結するのでこの面での改善を図ると共に、データ同化時間間隔の短縮や、多波長エアロゾル光学的厚さデータの利用によるエアロゾル種別データ同化大きな課題である。また、巨大な計算機資源を要するものの将来的な気象場との同時データ同化等を考慮すると LETKF の有用性は明らかであり、今後とも研究開発を継続していく予定である。

領域化学輸送モデルに関しては、詳細なエアロゾル過程を組み込むと共にモデル記述論文の作成を進めた。具体的には、電子顕微鏡分析から得られた情報や文献データを用いて明らかにされてきたエアロゾル混合状態の知見を反映した、3 モーメントビン法を用いたエアロゾル素過程モデルを開発した。これを 3 次元モデルに適用できるエアロゾル 5-category 法を新規開発し、領域化学輸送モデル NHM-Chem に実装してエアロゾル表現を高度化した。また、計算機負荷の軽量化を実現した大気質予測

用 3-category 法、現業用バルク法なども同時開発した（図 C-7）。エアロゾル混合状態に関するこれらの諸過程を用いた東アジアにおけるエアロゾルの物理・化学・光学特性の整合性評価と、無機物質の領域収支（発生、輸送、変容、沈着）の整合性評価を行い論文にまとめて投稿した。なお、本モデルはソースコードを公開している。

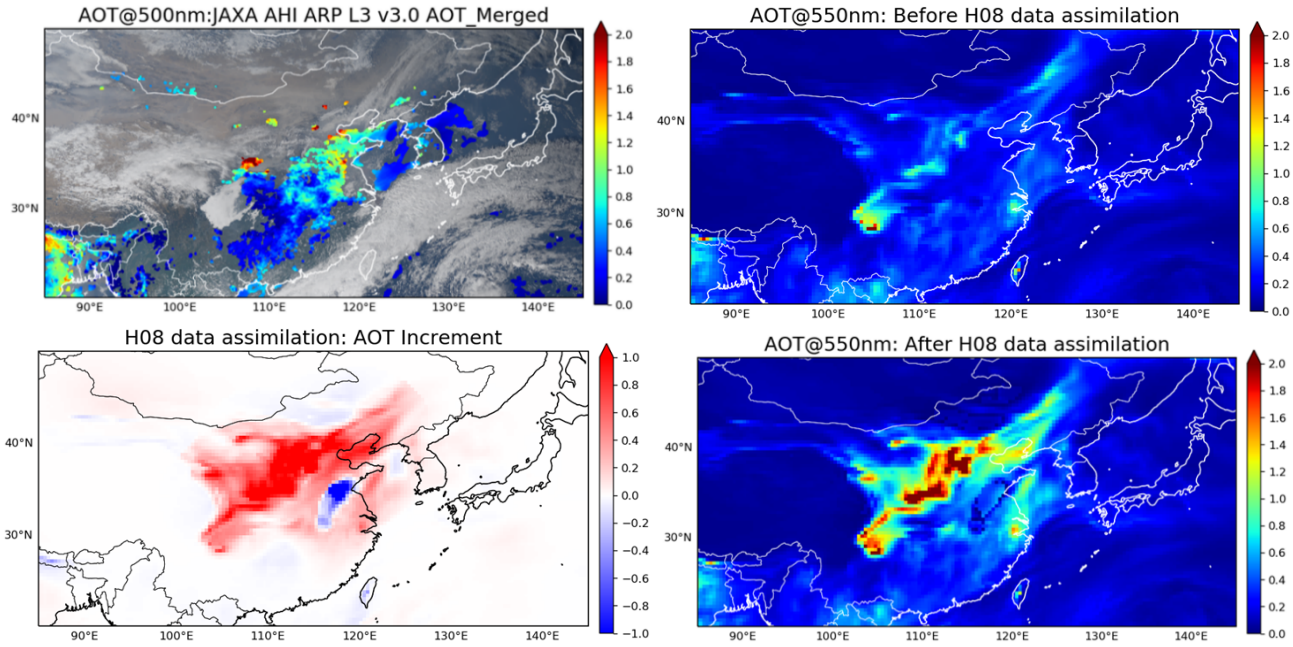


図 C-6:2018 年 11 月 26 日の黄砂事例。左上:JAXA によるエアロゾル光学的厚さ、右上:データ同化前の MASINGAR mk-2 によるエアロゾル光学的厚さ、右下：データ同化後のエアロゾル光学的厚さ、左下：データ同化によるインクリメント。

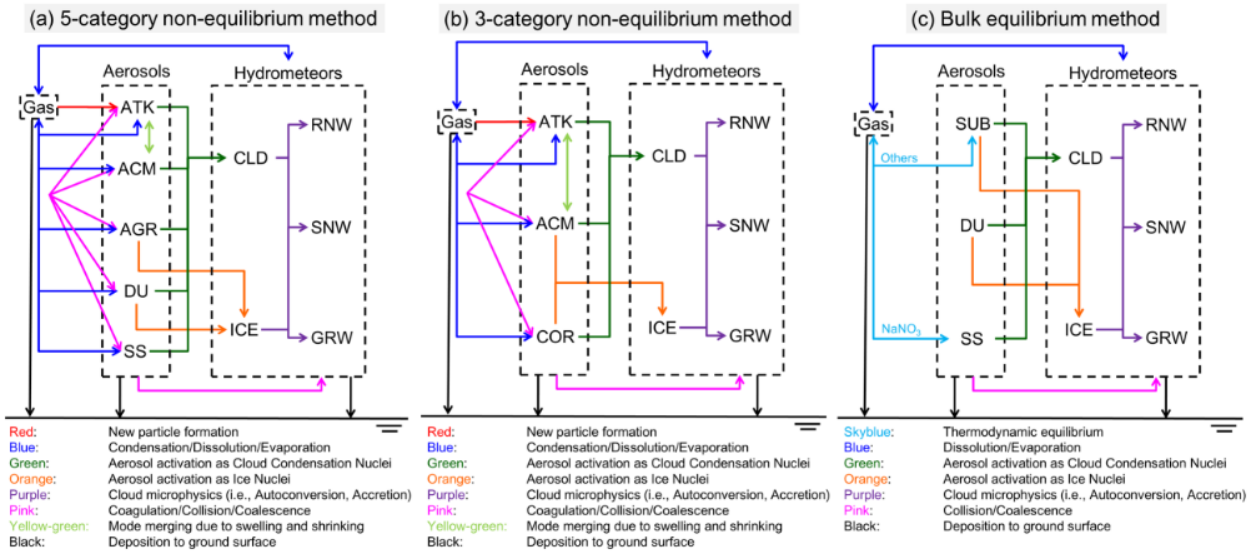


図 C-7：NHM-Chem におけるエアロゾル・雲過程の概念図。(a)は 5 カテゴリー法（気候研究用）、(b) は 3 カテゴリー法（大気質研究用）、(c)はバルク平衡法（現業予測用）を示す。ATK は、エイトケンモード、ACM は凝集モード（すすを除く）、AGR は凝集モード、DU はダストとの混合、SS は海塩との混合、COR は粗大粒子、SUB はサブミクロン粒子、CLD は雲、ICE は雲氷、RNW は雨、SNW は雪、GRW はみぞれを示す。

⑥ パッシブトレーサーを用いた大気モデルの輸送・沈着プロセス再現性向上への取り組み（目標 2-1）（名古屋大学）

大気輸送モデルの再現性の向上と、物理プロセス（具体的には移流・拡散・沈着過程など）の再現性向上を目指し、パッシブトレーサーを用いた数値実験を行なった。具体的には 2011 年 3 月に発生した福島第 1 原子力発電所期限の放射性物質（^{137}Cs）を対象とした、数値実験を行なった。この放射性物質（^{137}Cs）は天然には存在しておらず、また半減期が 30.1 年と長く、地面に落ちると長期間とどまる。そのため、これらを対象とした大気輸送モデルの実験結果と観測との比較を行うことで、モデルの再現性の向上や、モデルで考慮される沈着過程などの物理プロセスの計算方法の改良に資する知見を得ることができる。

本年度は平成 29 年度に実施された、^{137}Cs を対象とした国際モデル間比較プロジェクトの実験結果の解析をさらに進め、航空機観測によって得られた ^{137}Cs の沈着量(文部科学省, 2011)と、Suspended Particulated Matter (SPM)観測局で得られた大気濃度の観測結果(Tsuruta et al. 2014, Oura et al. 2015)との詳細な比較を行った。この国際モデル間比較プロジェクトは、国内外の 12 の大気輸送モデルが参加（平成 29 年度から 1 機関がプロジェクトから脱退したため、平成 29 年度から 1 機関参加機関が減っている）して行われ、12 のモデルが大気輸送モデルに入力データとして与える気象場(Sekiyama et al. 2017)と放出源（Emission inventory; Katata et al. 2015)、および水平解像度（3 km）を統一した数値実験である。これまでのモデル間比較では、これらの条件がモデルごとに異なる計算を行なっていたため、モデル間のばらつきの原因を評価することが難しかった。本研究でおこなったモデル間比較により、モデルで計算しているさまざまなプロセスのうち、沈着過程や拡散過程といった物理プロセスの計算方法に注目した評価が可能になる。図C-8に全てのモデルで計算された2011年3月11日～3月31日での ^{137}Cs の積算沈着を示す。

平成 29 年度は各モデルの結果と観測の結果を比較し、沈着量については Figure of Merit in Space (FMS)で、大気濃度については Thread score や空振り率、捕捉率などの簡単な指標で各モデルの評価を行なったが、これら指標のみの評価では計算された大気濃度と観測された大気濃度の絶対値の違いが評価スコアに反映されないという問題があった。また解析対象が一部のイベントのみに止まっていた。そこで、本年度は、評価対象を 2011 年 3 月全体（厳密には計算対象とした 2011 年 3 月 11 日～2011 年 3 月 31 日）に拡張し、評価スコアは平成 29 年度に用いたものに加え、沈着量に関しては、

$$RANK = CC^2 + (1-|0.5\ FB|) + FMS/100 + (1 - KSP/100), \quad (1)$$

を、大気濃度に関しては

$$RANK2 = FA2/100 + (捕捉率) + F(1 - 空振り率), \quad (2)$$

という二つの評価スコアを用いて評価を行なった。ここで、CC は相関係数、FB は Fractional Bias、KSP はコロモゴロフ・スミノフパラメータ、FA2 はモデル濃度と観測の濃度の比が 0.5～2 に含まれる割合である。これらの評価スコアを用いることにより、沈着量、大気濃度を、濃度の絶対値の妥当性や、予報の的中率、水平分布の妥当性といった多角的な評価軸で評価できる。

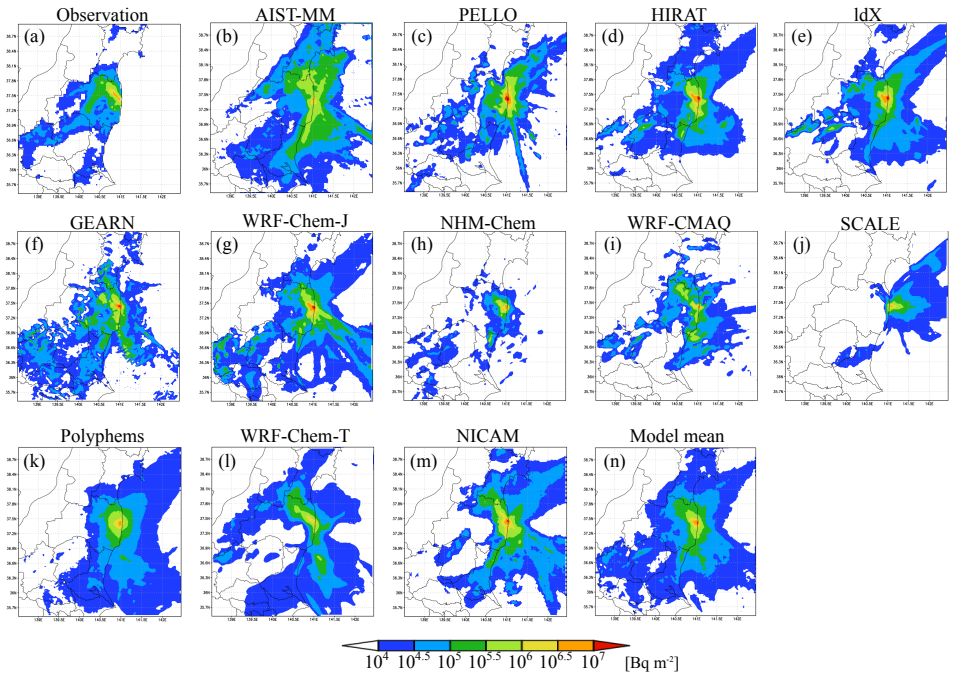


図 C-8：(a)航空機観測(文部科学省，2011)と(b～m)12 のモデルと(n)マルチモデルアンサンブルにより計算された 2011 年 3 月 11 日から 3 月 31 日までの ^{137}Cs の積算沈着量の分布(Sato et al. (2018)より抜粋)。

これらのスコアを用いて、各モデルの評価を行い、最も評価がいいモデルと悪いモデルを決定した。その後、各モデルの沈着プロセスで大気中から ^{137}Cs が除去される量と拡散の大きさを評価した。その結果、沈着量が多いモデルほど評価が低い傾向が見られた（図 C-9(a)）。また、降水がなく、風向の急な変化がないイベントに関しては、拡散が大きいほど評価が高くなる傾向が見られた(図 C-9(b))。

さらに、参加した全てのモデルの平均をとった平均の計算結果（マルチモデルアンサンブル）を作成し、観測された大気濃度と比較を行った。その結果、モデルは ^{137}Cs が観測点に到達する時刻を 1 時間程度の時間の遅れはあるものの、よく再現していることが明らかになった(図 C-9(c))。また、式(1)、式(2)で表される二つの評価スコアに基づいて評価を行なったところ、マルチモデルアンサンブルの評価は、どちらの評価スコアに関しても、個々のモデルより高く、複数のモデルを用いたマルチモデルアンサンブルの有効性が示された。これらの一連の成果は投稿論文としてまとめ、米国地球惑星科学連合の学会誌より発表された(Sato et al. 2018)。

今後は、本モデル間比較に参加した各モデルで用いられる沈着計算のチューニングパラメータや拡散係数の大きさを相互に比較することで、沈着計算のチューニングパラメータや拡散係数の大きさを改めて評価し、沈着モデルや拡散過程の計算を改良する知見を得ること目指す。そのために「SPM 観測局のデータが十分に存在していない茨城県などの観測データを拡充させること」、「拡充させた観測データとモデルの結果を比較すること」、「対象とした 2011 年 3 月中に発生した 9 つの顕著な高濃度イベントについて、個別に評価を行う」予定である。

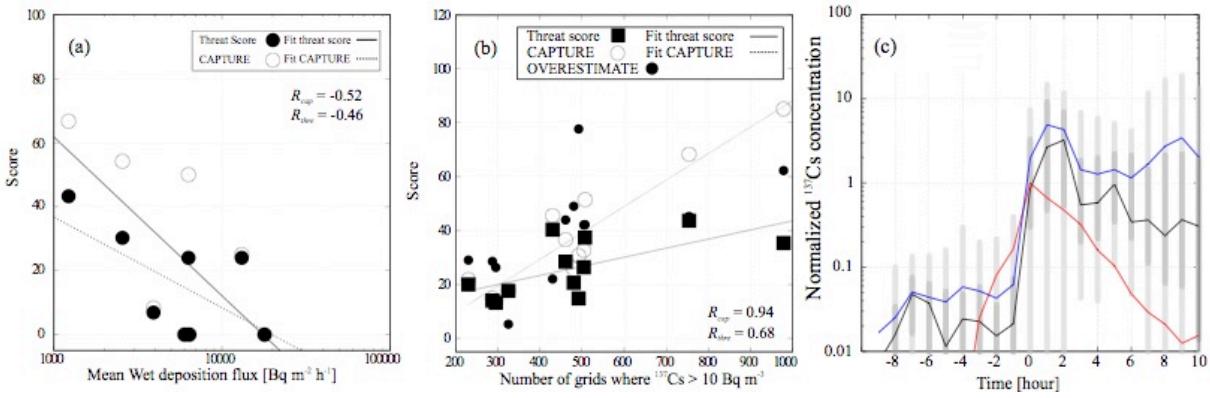


図 C-9：(a)2011 年 3 月 16 日に関東で観測された高濃度イベント（プルーム 4; Tsuruta et al. 2014）期間中の各モデルの平均湿性沈着速度と捕捉率・Threat score の散布図、(b) 2011 年 3 月 15 日に関東で観測された高濃度イベント(プルーム 2; Tsuruta et al. 2014)期間中の各モデルの拡散の大きさの指標と捕捉率・Threat score の散布図、(c)モデルの計算範囲に含まれる全ての SPM 観測局で 100 Bq m^{-3} 以上の高濃度が観測された全てのイベントで平均した、イベント時から前後 10 時間の時系列（赤）とモデルの計算結果との比較。青はマルチモデルアンサンブル、黒、濃い灰色、薄い灰色は 12 のモデルの中央値と 15～75 パーセンタイルの幅、最大と最小の幅を示す（Sato et al. (2018)より抜粋）

参考文献

Katata, G., and Coauthors, 2015: Detailed source term estimation of the atmospheric release for the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident by coupling simulations of an atmospheric dispersion model with an improved deposition scheme and oceanic dispersion model. *Atmos. Chem. Phys., 15*, 1029-1070, doi:10.5194/acp-15-1029-2015.

文部科学省, 2011: *Results of the Fourth Airborne Monitoring Survey by MEXT*. http://radioactivity.nsr.go.jp/en/contents/4000/3179/24/1270_1216.pdf.

Oura, Y., and Coauthors, 2015: A Database of Hourly Atmospheric Concentrations of Radiocesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) in Suspended Particulate Matter Collected in March 2011 at 99 Air Pollution Monitoring Stations in Eastern Japan. *J. Nucl. Radiochem. Sci.*, 15, 2_1-2_12, doi:10.14494/jnrs.15.2_1.

Sato, Y., and Coauthors, 2018: Model Intercomparison of Atmospheric 137 Cs From the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: Simulations Based on Identical Input Data. *J. Geophys. Res. Atmos., 123*, 1-18, doi:10.1029/2018JD029144.

Sekiyama, T. T., M. Kajino, and M. Kunii, 2017: The Impact of Surface Wind Data Assimilation on the Predictability of Near-Surface Plume Advection in the Case of the Fukushima Nuclear Accident. *J. Meteorol. Soc. Japan. Ser. II, 95*, 447-454, doi:10.2151/jmsj.2017-025.

Tsuruta, H., Y. Oura, M. Ebihara, T. Ohara, and T. Nakajima, 2014: First retrieval of hourly atmospheric radionuclides just after the Fukushima accident by analyzing filter-tapes of operational air pollution monitoring stations. *Sci. Rep., 4*, 6717, doi:10.1038/srep06717.

⑦ 逆解析システム NICAM-TM 4D-Var を用いた解析誤差共分散行列の高精度推定（目標 2-1）（国立環境研究所）

本研究では 4 次元変分法(4D-Var)を用いた逆解析システム NICAM-TM 4D-Var (Niwa et al., 2017a,b)において、大気微量成分のフラックス推定のみならず、その解析誤差の共分散行列も高精度に推定するアルゴリズムを開発した。開発したアルゴリズムは、準ニュートン法を用いた降下法スキーム POpULar (Preconditioned Optimizing Utility for Large-dimensional analyses: Fujii, 2005)をベースとし、探索ベクトルの更新法として POpULar が採用している Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS)法を共分散行列の推定に応用する。ここで、先行研究である Bousserez et al., (2015) と同様に、BFGS 法にアンサンブル手法を組み合わせて計算を並列化し、反復計算を収束させるのに要する時間を大幅に短縮する機能も追加した。さらに本研究では、インクリメントベクター間の共役性を保つ独自に開発したスキームを導入することで、従来は高精度に推定することが困難であった解析誤差共分散行列の非対角成分も高精度に推定することに成功した。

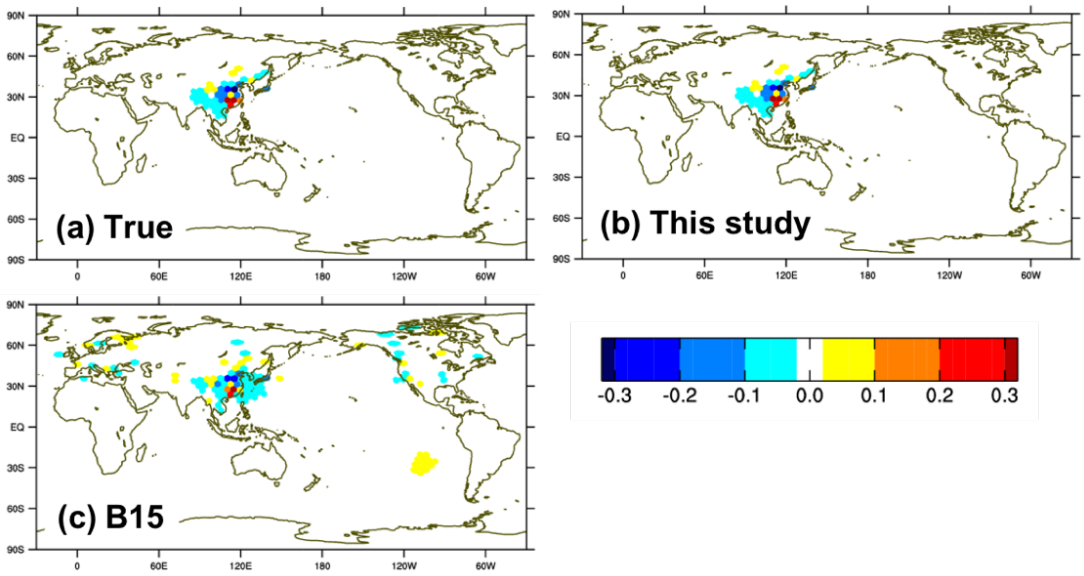


図 C-10：逆解析システム NICAM-TM 4D-Var を用いて計算した東アジアにおけるフラックス解析値（2010 年 7 月の平均値）に対する誤差相関の分布。(a)解析解、(b)本研究で開発したアルゴリズムによる推定値、(c)先行研究（Bousserez et al., 2015）の手法を用いた推定値を示す。

本研究で開発したアルゴリズムを評価するため、誤差共分散の推定実験を行った。ここでは、解析解が容易に得られるように NICAM の解像度を通常用いているものから下げて glevel-4(格子間隔約 440 km）とし、解析期間も 2010 年 7 月の 1 ヶ月のみとした。また、観測データは、地上観測の 65 地点を選定し、週 1 回のフラスコサンプリングを仮定した。図 C-10 は誤差共分散行列から導出した東アジアのフラックス解析値に対する誤差相関を示すが、解析解では誤差相関（主に負の相関）が東アジア域周辺に限定して分布していることがわかる。一方、先行研究の手法を用いた結果では、北米やヨーロッパ、また、海上にまで誤差相関が現れており、共分散行列の非対角成分推定値に誤差が生じていることがわかる。しかし、本研究のアルゴリズムを用いて推定したものでは、そのような誤った相関は

存在せず、解析解とほぼ同じ値、分布が推定されていることがわかる。今後、逆解析で得られたフラックスの評価を行う際には、このように高精度に推定された誤差相関と合わせて解析を行うことで、観測データの不均一性などがもたらす疑似的な変動を分離して、有意な変動を抽出することが可能となった。

参考文献

Bousserez, N., Henze, D. K., Perkins, A., Bowman, K. W., Lee, M., Liu, J., Deng, F. and Jones, D. B. A. (2015) Improved analysis- error covariance matrix for high-dimensional variational inversions: application to source estimation using a 3D atmospheric transport model. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 141, 1906-1921.

Fujii, Y. (2005) Preconditioned optimizing utility for large-dimensional analyses (POpULar). J. Oceanogr., 61, 167-181., 2005.

Niwa, Y., Tomita, H., Satoh, M., Imasu, R., Sawa, Y., Tsuboi, K., Matsueda, H., Machida, T., Sasakawa, M., Belan, B. and Saigusa, N. (2017a) A 4D-Var inversion system based on the icosahedral grid model (NICAM-TM 4D-Var v1.0) - Part 1: Offline forward and adjoint transport models. Geosci. Model Dev., 10, 1157-1174.

Niwa, Y., Fujii, Y., Sawa, Y., Iida, Y., Ito, A., Satoh, M., Imasu, R., Tsuboi, K., Matsueda, H. and Saigusa, N. (2017b) A 4D-Var inversion system based on the icosahedral grid model (NICAM-TM 4D-Var v1.0) - Part 2: Optimization scheme and identical twin experiment of atmospheric CO2 inversion. Geosci. Model Dev., 10, 2201-2219.

⑧ 二酸化炭素の全球高解像度シミュレーション(目標2-1)

（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、水平解像度14kmの高解像度二酸化炭素（CO_2）輸送シミュレーションを行った。この実験では2009年1月1日の濃度場、気象場を初期値として1ヶ月間の積分を行った。なおここで、現実の気象場の再現性を保証するナッジング、また、積雲対流のパラメタリゼーションは用いていない。NICAM-TMに与えたCO_2フラックスデータは、化石燃料起源としてODIAC (Oda and Maksyutov, 2015) を用い、陸上生態系によるフラックスにはVISITを用いた。さらに大気―海洋間のフラックスには気象庁が提供しているpCO_2観測に基づくマッピングデータ、森林火災起源のフラックスにはGFEDv4.1sを用いた。図C-12に本実験で得られた大気CO_2濃度の分布の一例を示す。水平解像度を14 kmとすることで、図C-11(a)に示されるように都市域からの排出や前線活動によって形成される局所的な高CO_2濃度の発生、輸送過程が鮮明に表現されていることがみてとれる。この濃度分布を日本付近に拡大して見たものを図C-11(b)に、また、同じ時刻のカラム平均濃度の分布を図C-11(c)に示す。図C-11(c)に示されているように、カラム平均濃度であっても前線活動に起因する高濃度イベントが、2～3ppmという濃度幅であるが表現されていた。一方、中国や日本の都市部などの局所的な放出源（ポイントソース）による高濃度については、カラム平均では、積分期間中、ほとんど出現することがなかった。これは高濃度の空気塊が冬季特有の安定した成層により、ごく下層に留まるためであると考えられる。一方で、前線通過のような

気象イベントでは、下層の空気塊が上層まで持ち上げられるため、カラム平均でも濃度が上昇していると考えられる。このことから、カラム平均濃度を観測する温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT（また、2018 年 10 月に打ち上げられた GOSAT-2）の観測データからポイントソースを冬季に検出するのは困難であることが示唆された。今後は異なる季節においても同様の実験を行い、カラム平均濃度からポイントソースを有意に検出できる時期、地域を評価する予定である。

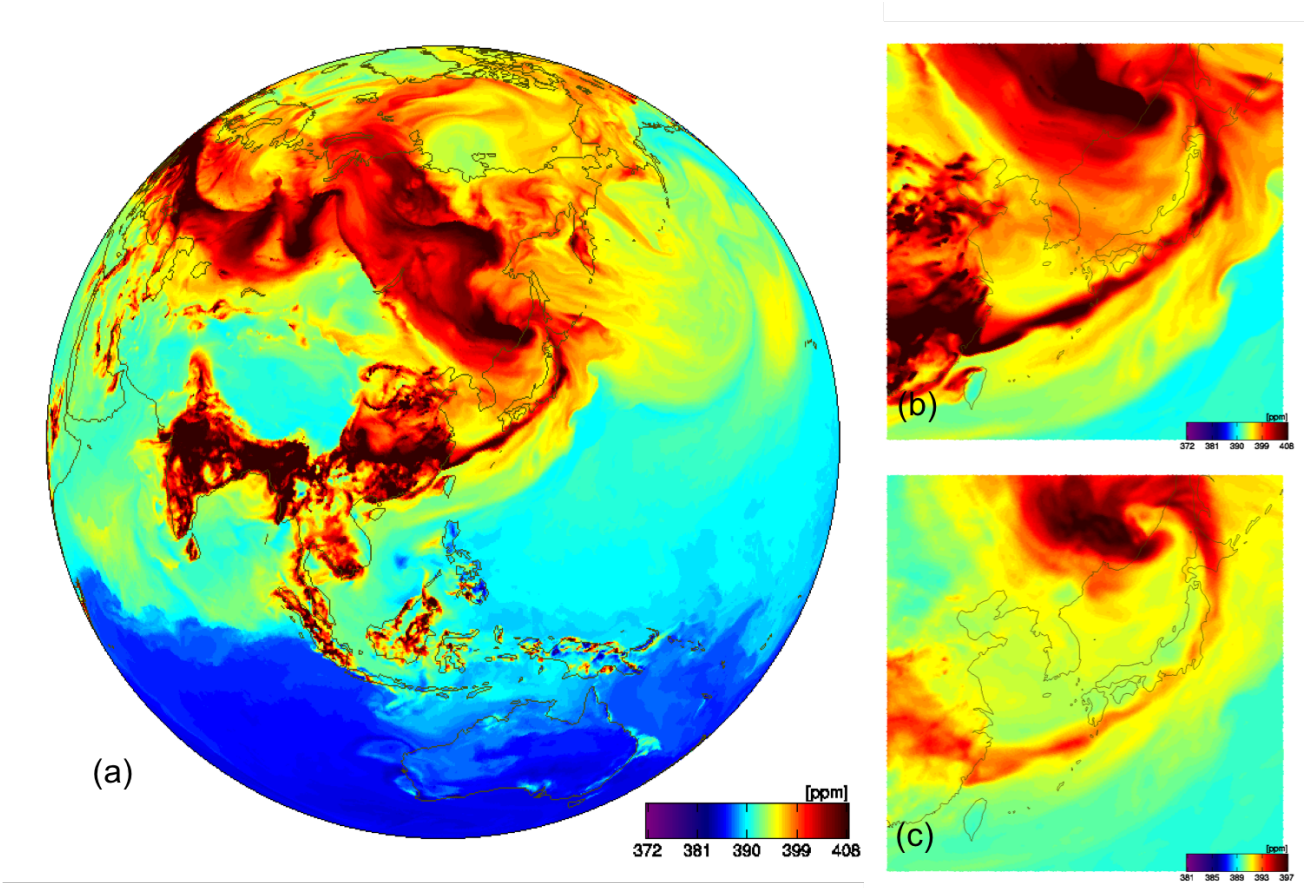


図 C-11：NICAM-TM により計算された大気 CO_2 濃度。2009 年 1 月 1 日を初期値として計算。12 日目 3 時（GMT）の (a)全球の地上濃度、(b)日本周辺の地上濃度、(c)日本周辺のカラム平均濃度を示す。(a), (b)の濃度レンジは 372-408 ppm であるのに対し、(c)の濃度レンジは 381-397ppm。

参考文献

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 CO_2 Emissions Dataset (ODIAC2018), Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, doi:10.17595/20170411.001. (Reference date: 2019/01/04)

⑨ メガシティ規模の大気汚染解析に向けた全球0.56°解像度の多成分データ同化(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、アンサンブル・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., 2015; Miyazaki et al., 2015）。さらに、一昨年、昨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。

海洋研究開発機構において開発されている大気環境データ同化システムは、複数の衛星測器からの多種類の大気汚染物質の観測を同時に同化しており、対流圏光化学システムを最適化することで、濃度分布、排出量の高精度な推定を可能としている（Miyazaki et al., 2015, 2017）。その一方で、データ同化システムの水平解像度は約2.8°（300 km）と全球化学輸送モデルの典型的な解像度を採用しており、メガシティ規模の大気汚染解析は困難であった。そこで本課題では、次世代衛星観測の有効な利用も見据え、メガシティとその周辺域の大気汚染物質の空間分布が解像可能な0.56°解像度の全球大気環境データ同化システムを開発することを目標としている。平成28〜29年度にかけて、高解像度の予報モデルの性能評価（Sekiya et al., 2018）、データ同化システムにおける観測データの取り扱いなどに関する検討、排出量推定スキームの見直し、計算の効率化を完了させた。これらの成果に基づき、本年度は0.56°解像度の全球大気環境データ同化を本格的に実施した。

データ同化計算は2008年6〜7月を対象とし、OMI、GOME-2、SCIAMACHYの対流圏NO_2カラム量(Boersma et al., 2017a, b, c)、TESのO_3プロファイル（Herman and Kulawik, 2013）、MLSのO_3・HNO_3プロファイル（Livesey et al., 2011）、MOPITTのCOカラム量（Deeter et al., 2017）、OMIのSO_2カラム量（Li et al., 2013）を同時に同化したが、本報告ではNO_2・O_3について述べる。まず、NO_2発生源の多い大都市において、独立した地上観測により検証を行った（図C-12）。データ同化によりモデルの地上NO_2濃度の過大評価が大きく改善され、二乗平均誤差（RMSE）はヨーロッパにおいて33%、米国において67%、東アジアにおいて75%減少した。また、日変化についても、その振幅の過大評価がヨーロッパにおいて49%、米国において69%、東アジアにおいて22%改善された。これらのデータ同化による地上NO_2濃度の改善は、排出量逆推定の効果が大きいと考えられる。

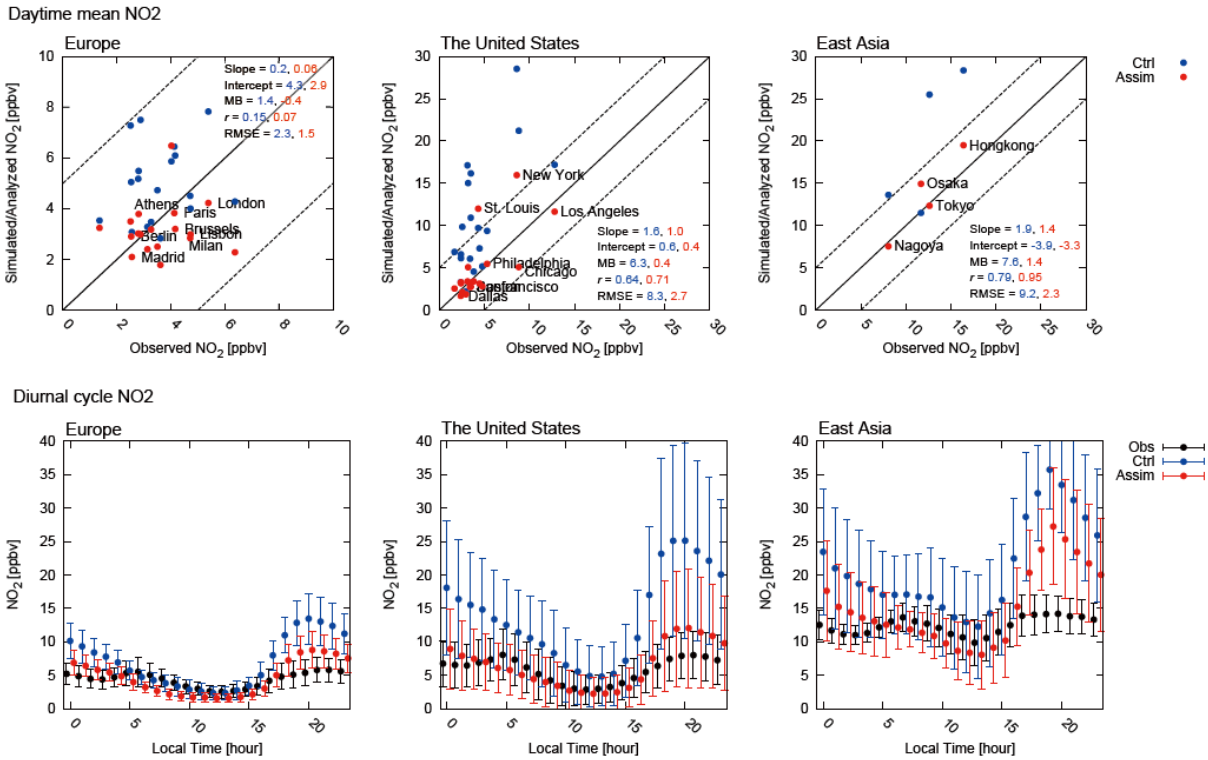


図 C-12：（上段）ヨーロッパ、米国、東アジアの大都市における地上 NO2 濃度（ppbv）の観測値（X 軸）と計算値（Y 軸）との比較。観測値は、欧州 European Environmental Agency の AirBase、米国 EPA の AQS(Air Quality System)、国立環境研究所の環境数値データベースによる大気汚染常時監視局データ、香港 Environmental Protection Department より取得した。また、青色がモデルシミュレーション、赤色がデータ同化による計算値である。（下段）大都市における地上 NO2 濃度の平均日変化。黒色が観測値、青色がモデルシミュレーション、赤色がデータ同化を示す。エラーバーは各都市間のばらつきを標準偏差で示している。

データ同化により逆推定した NOx 排出量は、統計データに基づく推計量と比較して、ヨーロッパは同程度であった一方、米国（-20%）、中国（-22%）、インド（-20%）において小さかった(図 C-13 上)。これらの推定結果は、最新の排出量推計の研究成果（Jiang et al., 2018)、領域スケールの排出量逆推定の研究成果（Ding et al., 2018）と比較しても整合的であった。また、統計データに基づく推計との差異は、主に大都市などの強い発生源において大きかった。2.8° 解像度のデータ同化による全球 NOx 排出量逆推定と比較して、0.56° 解像度データ同化による逆推定は 10%小さかった（図 C-13 下)。この排出量逆推定の解像度依存性は、ヨーロッパ（-6%)、米国（-10%)、中国（-12%）といった主要汚染領域における排出量逆推定の差を反映しており、粗い解像度のデータ同化による汚染領域の NOx 排出量逆推定は過大評価である可能性を示唆している。

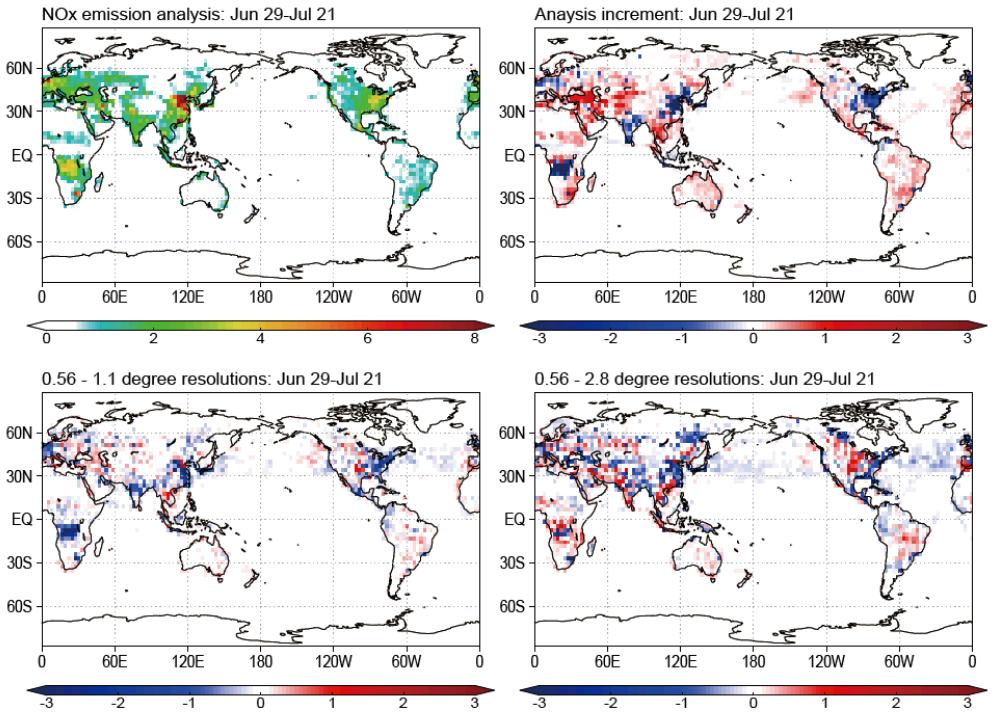


図 C-13：（上段）0.56° 解像度のデータ同化により逆推定された NOx 排出量（x10^{11} kg N m^{-2} s^{-1}）の全球分布（左）と統計データに基づく推計との差（右）。統計データに基づく推計は HTAP_v2.2、GFED4.1s、GEIA を用いた。（下段）0.56° 解像度と 1.1° 解像度（左）、0.56° 解像度と 2.8° 解像度（右）のデータ同化による NOx 排出量逆推定の差。

さらに、0.56° 、1.1° 、2.8° 解像度のデータ同化による地表 O_3 濃度の解析値について、独立した地上観測により検証を行った（図 C-14）。2.8° 解像度のデータ同化による解析値と比較して、ヨーロッパ南部、北米沿岸部、中国東部のような汚染域において、0.56° 解像度のデータ同化による地上 O_3 濃度解析値が減少し、領域規模の平均濃度を代表するような地点の地上観測に対する RMSE が、ヨーロッパにおいて 19%、北米において 15%、東アジアにおいて 7%減少した。これらの地上 O_3 濃度減少は、前述した NOx 排出量逆推定の解像度依存性に加え、高解像度化により非線形なオゾン化学生成がより細かく解像可能になったことに起因している。また、南半球の中高緯度においては、0.56° 解像度のデータ同化による地上 O_3 濃度の解析値が 2.8° 解像度に比べ増加し、南半球の清浄領域における地上観測に対する負バイアスを減少させた。この地上 O_3 濃度増加は、MLS・TES の O_3 プロファイルの同化による自由対流圏 O_3 濃度の拘束、高解像度化によりモデル内の鉛直輸送過程の表現が改善されたことが主要因と考えられる。これらの結果は、0.56° 解像度の全球大気環境データ同化が、メガシティ規模の大気汚染解析だけでなく、領域規模の広域汚染解析の改善にも寄与することを示唆している。

今後の課題としては、同化システムを用いて構築されたデータを大気汚染予測の改善に向けてどのように活用するか検討すること、本課題で開発した高解像度データ同化システムを先進的衛星観測へと実際に適用することが挙げられる。その一環として、来年度は先進的衛星観測のひとつである TROPOMI により観測された対流圏 NO_2 カラム量のデータ同化に着手する予定である。

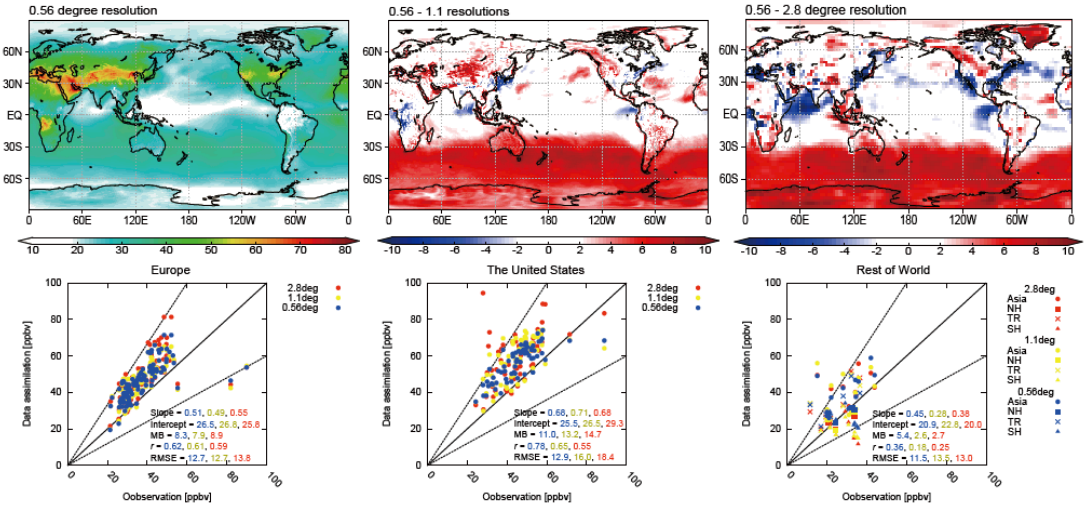


図 C-14：（上段）0.56° 解像度のデータ同化による地上 O3 濃度（ppbv）の解析値（左）とその 1.1° 、2.8° 解像度のデータ同化による解析値との差（それぞれ中、右）。（下段）データ同化による地上 O3 濃度の解析値と地上観測との比較。地上観測データは、ヨーロッパについては EMEP、北米については CASTNET、東アジアとその他の領域については EANET、GAW より取得した。青色は 0.56° 解像度、黄色は 1.1° 解像度、赤色は 2.8° 解像度を示す。

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, 2017a.

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 GOME-2A (Version 1.1) [Data set], doi:10.21944/qa4ecv-no2-gome2a-v1.1, 2017b.

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 SCIAMACHY (Version 1.1) [Data set], doi:10.21944/qa4ecv-no2-scia-v1.1, 2017c.

Ding, J., A, R. J., Mijling, B., Jalkanen, J.-P., Johansson, L., and Levelt, P. F.: Maritime NOx Emissions Over Chinese Seas Derived From Satellite Observations, Geophys. Res. Lett., 45, 2031-2037, doi:10.1002/2017GL076788, 2018.

Herman, R. L. and Kulawik, S. S., eds.: Tropospheric Emission Spectrometer TES Level 2 (L2) Data User's Guide (Final), Version 5.0 JPL D-38042, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA, available at https://eosweb.larc.nasa.gov/project/tes/validation (last access: 22 August 2017), 2013.

Inness, A., Blechschmidt, A.-M., Bouarar, I., Chabrillat, S., Crepulja, M., Engelen, R. J., Eskes, H., Flemming, J., Gaudel, A., Hendrick, F., Huijnen, V., Jones, L., Kapsomenakis, J., Katragkou, E., Keppens, A., Langerock, B., de Mazière, M., Melas, D., Parrington, M., Peuch, V. H., Razinger, M., Richter, A., Schultz, M. G., Suttie, M., Thouret, V., Vrekoussis, M.,Wagner, A., and Zerefos, C.: Data assimilation of satellite-retrieved ozone, carbon monoxide and nitrogen dioxide with ECMWF's Composition-IFS, *Atmos. Chem. Phys., 15*, 5275-5303, doi:10.5194/acp-15-5275-2015, 2015.

Jiang, Z., McDonald, B. C., Worden, H., Worden, J. R., Miyazaki, K., Qu, Z., Henze, D. K., Jones, D. B. A., Arellano, A. F., Fischer, E. V., Zhu, L., and Boersma, K. F.: Unexpected slowdown of US pollutant emission reduction in the past decade, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, doi:10.1073/pnas.1801191115, 2018.

Li, C., Joiner, J., Krotkov, N. A., and Bhartia, P. K.: A fast and sensitive new satellite SO2 retrieval algorithm based on principal component analysis: Application to the ozone monitoring instrument, Geophys. Res. Lett., 40, 6314-6318, doi:10.1002/2013GL058134, 2013.

Livesey, N. J., Read, W. G., Froidevaux, L., Lambert, A., Manney, G. L., Pumphrey, H. C., Santee, M. L., Schwartz, M. J., Wang, S., Cofield, R. E., Cuddy, D. T., Fuller, R. A., Jarnot, R. F., Jiang, J. H., Knosp, B. W., Stek, P. C., Wagner, P. A., and Wu, D. L.: Aura Microwave Limb Sounder (MLS), Version 3.3 Level 2 data quality and description document, Tech. Rep. JPL D-33509, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, available at https://mls.jpl.nasa.gov/data/v3-3_data_quality_document.pdf (last access: 22 August 2017), 2011.

Miyazaki, K., Eskes, H. J., and Sudo, K.: A tropospheric chemistry reanalysis for the years 2005-2012 based on an assimilation of OMI, MLS, TES, and MOPITT satellite data, *Atmos. Chem. Phys., 15*, 8315-8348, doi:10.5194/acp-15-8315-2015, 2015.

Miyazaki, K., Eskes, H., Sudo, K., Boersma, K. F., Bowman, K., and Kanaya, Y.: Decadal changes in global surface NOx emissions from multi-constituent satellite data assimilation, *Atmos. Chem. Phys., 17*, 807-837, doi:10.5194/acp-17-807-2017, 2017.

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.

(4) 成果リスト

① 論文（査読付き）

Ishijima, K., M. Takigawa, Y. Yamashita, H. Yashiro, C.Kodama, M. Sato, K. Tuboi, H. Matsueda, Y. Niwa, and S. Hirao, Analysis of high radon-222 concentration events using multi-horizontal-resolution NICAM simulatation, 2018: SOLA, 14, 111-115, doi.org/10.2151/sola.2018-019, https://doi.org/10.2151/sola.2018-019

Takigawa, M., M. Yamaguchi, F. Taketani, Y. Kanaya, and Y. Kondo, 2018: Near real-time simulation data of atmospheric components and meteorology in the Arctic region using the WRF-Chem model from August to September 2016, Polar Data Journal, 2, 1-13, doi://10.20575/00000003,
https://pdr.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=9&file_id=22&file_no=1

Yumimoto, K., T. Y. Tanaka, M. Yoshida, M. Kikuchi, T. M. Nagao, H. Murakami, and T. Maki, 2018: Assimilation and Forecasting Experiment for Heavy Siberian Wildfire Smoke in May 2016 with Himawari-8 Aerosol Optical Thickness, *Journal of the Meteorological Society of Japan, 96B*, 133-149,
https://doi.org/10.2151/jmsj.2018-035.

Kajino, M., M. Deushi, T. Sekiyama, N. Oshima, K. Yumimoto, T. Tanaka, J. Ching, A. Hashimoto, T. Yamamoto, M. Ikegami, A. Kamada, M. Miyashita, Y. Inomata, S.-I. Shima, A. Takami, A. Shimizu, S. Hatakeyama, Y. Sadanaga, H. Irie, K. Adachi, Y. Zaizen, Y. Igarashi, H. Ueda, T. Maki, and M. Mikami, 2019: NHM-Chem, the Japan Meteorological Agency's regional meteorology - Chemistry model: Model evaluations toward the consistent predictions of the chemical, physical, and optical properties of aerosols. J. Meteor. Soc. Japan, 97, https://doi.org/10.2151/jmsj.2019-020.

Sato, Y., M. Takigawa, T. T. Sekiyama, M. Kajino, H. Terada, H. Nagai, H. Kondo, J. Uchida, D. Goto, D. Quélo, A. Mathieu, A. Quérel, S. Fang, Y. Morino, P. von Schoenberg, H. Grahn, N. Brännström, S. Hirao, H. Tsuruta, H. Yamazawa, and T. Nakajima, 2018: Model intercomparison of atmospheric 137Cs from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: Simulations based on identical input data, *J. Geophys. Res.: Atmosphere*, 123, 11748-11765, doi:10.1029/2018JD029144,
https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2018JD029144

② 国際会議・シンポジウム

Cheng, C., and K. Suzuki, 2018: Development of size-resolving aerosol microphysics scheme for use in a global non-hydrostatic cloud-resolving model. *AGU Fall Meeting*, Washington DC,USA, December 2018. (ポスター)

Suzuki, K., X. Jing, T. Michibata, D. Goto, and Y. Sato, 2018: Process-oriented constraint on cloud microphysics and its implication for aerosol-cloud interactions. *AGU Fall Meeting*, Washington DC, USA, December 2018. (ポスター)

Suzuki, K., X. Jing, and T. Michibata, 2018: Process-oriented versus energy-based constraints on aerosol-cloud interaction. *AMS Conference on Atmospheric Radiation and Cloud Physics*, Vancouver, Canada, 10 July, 2018. (口頭)

Suzuki, K., 2018: Process-oriented versus energy-based constraints on cloud microphysics: Implication for aerosol-cloud interactions. *GEWEX Science Conference*, Canmore, Canada, 8 May, 2018. (口頭)

Maki, T., T. Y. Tanaka, K. Yumimoto, A. Ogi, T. T. Sekiyama and M. Hosaka: Relationship between dust emission amount and soil moisture content, 9th International Dust Workshop, Spain, May 2018. (ポスター)

Tanaka, T. Y., A. Ogi, K. Yumimoto, S. Yabu, T. Aoyagi, M. Deushi, M. Kajino, N. Oshima, T. T. Sekiyama, and T. Maki: Updates of the aerosol prediction of the Japan Meteorological Agency, ICAP 10th working group meeting, Exeter, U.K., Jun. 2018. (口頭)

Maki, T., T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, K. Kondo, A. Ogi, A. Saito, S. Yabu and K. Yumimoto: Verification and evaluation of DSS by numerical model and observations, DSS sub-forum for TEMM20, Suzhou, P.R.C., Jun. 2018. (口頭)

Tanaka, T. Y., and K. Yumimoto: Quantitative analysis of the global dust emission using a data assimilation technique, joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium and 15th IGAC Science Conference, Takamatsu, Japan, Sep. 2018. (ポスター)

Tanaka, T. Y, A. Ogi, K. Yumimoto, T. T. Sekiyama, T. Maki, M. Kikuchi, M. Yoshida, T. M. Nagao and H. Murakami: Data assimilation of Himawari-8 aerosol optical thickness for the operational dust forecast, AGU fall meeting 2018, U.S.A., December,2018. (口頭)

Maki, T., K. Yumimoto, T. T. Sekiyama, T. Y. Tanaka, A. Ogi, D. Uesawa and S. Yabu: The study on DSS monitoring and modeling from Japan, The 11th meeting of Working Group I for Joint Research on DSS, Ikebukuro, Japan, Nov. 2018. (口頭)

Maki, T., T. T. Sekiyama, T. Y. Tanaka, A. Ogi, D. Uesawa and S. Yabu, A. Saito and K. Yumimoto, Current national activities and collaborative projects of JMA/MRI, Meeting of the WMO SDS-WAS Regional Steering Group (RSG) For Asia, Tsukuba, Japan, Nov. 2018. (口頭)

Kondo, K., T.Y. Tanaka, T.T. Sekiyama, K. Yumimoto, and T. Maki: Large ensemble based data assimilation with MASINGAR-mk2. ICAP 10th working group meeting, Exeter, U.K., Jun. 2018. (口頭)

Kondo, K., T.Y. Tanaka, T.T. Sekiyama, K. Yumimoto, and T. Maki: A large ensemble based data assimilation experiment with a global aerosol transport model. joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium and 15th IGAC Science Conference, Takamatsu, Japan, Sep. 2018. (ポスター)

Niwa and Fujii, New BFGS-based methods to accurately estimate a posterior error covariance matrix, presented at IG3IS/TransCom Meeting, Lund, Sweden (Sep 2018). (口頭)

Ishijima, K., M. Takigawa, Y. Yamashita, H. Yashiro, C. Kodama, M. Satoh, K. Tsuboi, H. Matsueda, Y. Niwa, and S. Hirao, 2018, Analysis of high radon-222 concentration events using NICAM, JPGU2018, Makumari, Japan May 20, 2018. (ポスター, 招待)

Ishijima, K., M. Takigawa, Y. Yamashita, H. Yashiro, C. Kodama, M. Satoh, K. Tsuboi, H. Matsueda, Y. Niwa, and S. Hirao, 2018, Analysis of high radon-222 concentration events in winter using multi-horizontal-resolution NICAM simulations. iCACGP/IGAC, Takamatsu, Japan, Sep 25-29, 2018. (ポスター)

Sato,Y., M. Takigawa, T. T. Sekiyama, M. Kajino, H. Terada, H. Nagai, H. Kondo, J. Uchida, D. Goto, D. Quélo, A. Mathieu, N. Evangeliou, I. Pisso, A. Stohl, S. Fang, Y. Morino, P. von Schoenberg, H. Grahn, N. Brännström, S. Hirao, H. Tsuruta, H. Yamazawa, and T. Nakajima, 2018:, Model Intercomparison study for atmospheric 137Cs from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident using identical input data, EGU General Assembly 2018, Vienna, Austria, April, 2018. (ポスター)

Yamashita, Y., M. Takigawa, K. Ishijima, H. Akiyoshi, C. Kodama, H. Yashiro, M. Satoh, Resolution Dependency of Numerically Simulated Stratosphere-to-Troposphere Transport Associated with Mid-Latitude Closed Cyclones in Early Spring around Japan, EGU General Assembly 2018, Vienna, Austria, April,2018. (口頭)

Yamashita, Y., M. Takigawa, D. Goto, H. Yashiro, M. Satoh, Y. Kanaya, F. Taketani, T. Miyakawa, The forest fire emission and its injection height impacts on the aerosol transport in September 2016 simulated with the NICAM-SPRINTARS, 15th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society, Honolulu, June, 2018. (ポスター).

Yamashita, Y., M. Takigawa, D. Goto, H. Yashiro, M. Satoh, Y. Kanaya, F. Taketani, T. Miyakawa, The transport pathway of black carbon emitted from the Siberian forest fire in September 2016 with the NICAM-SPRINTARS and R/V Mirai, AGU fall meeting 2018, Wasington D.C., Dec. 2018. (ポスター)

Yamashita, Y., M. Takigawa, D. Goto, H. Yashiro, M. Satoh, Y. Kanaya, F. Taketani, T. Miyakawa, The simulations of the long-range transport of aerosols emitted from the Siberian forest fire in September 2016, iCACGP/IGAC 2018, Takamatsu, September, 2018. (ポスター).

Yamashita, Y., M. Takigawa, D. Goto, H. Yashiro, C. ChiuTung, K. Suzuki, M. Satoh, Y. Kanaya, F. Taketani, T. Miyakawa, NICAM-Chem: Atmospheric chemical transport model based on the non-hydrostatic icosahedral atmospheric model, The 1st R-CCS International Symposium, Kobe, Feb. 2018. (ポスター)

Sekiya, T., K. Miyazaki, K. Ogochi, K. Sudo, and M. Takigawa, Global High-Resolution Simulations of Tropospheric Nitrogen Dioxide Using CHASER V4.0 and its application to data assimilation, AOGS 15th Annual Meeting, Honolulu, June 2018. (ポスター)

Sekiya, T., K. Miyazaki, K. Ogochi, K. Sudo, M. Takigawa, H. Eskes, F. Boersma, A 0.56° -resolution global data assimilation of multi-constituent satellite measurements for use in tropospheric chemistry studies, 2018 joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium and 15th IGAC Science Conference, Takamatsu, September 2018. (Poster)

Sekiya, T., K. Miyazaki, K. Ogochi, K. Sudo, M. Takigawa, H. Eskes, F. Boersma, A 0.56° -resolution global data assimilation of multi-species satellite measurements for

atmospheric composition study, The 1st R-CCS International Symposium, Kobe, Feb. 2019. (Poster)

③ 国内学会・シンポジウム

鈴木健太郎，竹村俊彦，2018：吸収性・散乱性エアロゾルの全球エネルギー収支への影響，気象学会秋季大会，仙台市，2018 年 10 月．（口頭）

田中泰宙，弓本桂也：データ同化手法を応用した鉱物ダスト発生量の定量的解析，日本気象学会 2018 年秋季大会，P387，仙台市，2018 年 10 月．（ポスター）

佐藤陽祐，山澤弘実，足立振一郎，福島第１原子力発電所起源の放射性物質を対象とした大気拡散モデルの特性評価，日本気象学会秋季大会，P383，仙台，2018 年 10 月．（ポスター）

佐藤陽祐，滝川雅之，関山剛，梶野瑞王，寺田宏明，永井晴康，近藤裕昭，打田純也，五藤大輔，Denis Quélo，Anne Mathieu，Nikolaos Evangeliou，Ignacio Pisso，Andreas Stohl，Fang Sheng，森野悠，Pontus von Schoenberg，Håkan Grahn，Niklas Brännström，平尾茂一，鶴田治雄，中島映至，山澤弘実：統一気象場と放出源を用いた福島第一原子力発電所起源の ^{137}Cs を対象としたモデル間比較プロジェクト，日本気象学会春季大会，B453，つくば，2018 年 5 月．（口頭）

Y. Yamashita, M. Takigawa, D. Goto, H. Yashiro, M. Satoh, Y. Kanaya, F. Taketani, T. Miyakawa, The simulations of the forest fire emission and its impact on the long-range transport of aerosols using the K computer, JpGU 2018, 幕張，2018 年 5 月．（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，2016 年９月にシベリア域で発生した森林火災に伴うエアロゾル輸送の NICAM-SPRINTARS と R/V「みらい」の観測結果を用いた解析，日本気象学会秋季大会，仙台，2018 年 11 月．（口頭）

関谷高志，宮崎和幸，大越智幸司，須藤健悟，滝川雅之：A 0.56° -resolution global data assimilation of multi-chemical constituent satellite measurements, JpGU 2018, 幕張，2018 年 5 月．（口頭、招待）

④ 研究会等

海洋機構内定期ミーティング 2018 年 8 月 24 日

⑤ 一般向け講演会等

鈴木健太郎，2018：大気に浮かぶ水と気候 -衛星観測とモデリング-，大気海洋研究所気候システム研究系シンポジウム「気候研究の現状と展望」，東京大学伊藤謝恩ホール，2018 年 12 月．

Suzuki, K., 2019: The atmospheric science view on climate-air pollution linkages. IGES Workshop on “How can Asia manage air pollution and climate change?: From understanding impacts to implementing solutions”, Tokyo, Japan, February 19, 2019.

丹羽陽介，2019：観測 × シミュレーションで解き明かす 温室効果ガスの流れ，ポスト「京」重点課題 4 第４回シンポジウム「激甚化する気象災害! 予測技術向上への挑戦」，日比谷コンベンションホール，2019 年 1 月．

⑥ 新聞/TV/WEB配信/雑誌等

可視化データ提供 ： 日本科学未来館 GeoScope および GeoCosmos(2018年6月)

可視化データ提供 ： The Sinaloa Science Center, メキシコ (2019年3月(予定))

⑦ プログラム・DB公開

対流圏同化データセット (TCR-2),

https://ebcrpa.jamstec.go.jp/tcr2/index.html, 2018年12月公開.

2016年半球モデルシミュレーション結果,

https://ads.nipr.ac.jp/portal/kiwa/Summary.action?selectFile=A20180821-001&downloadList=&scr=top,2018, 2018年8月公開.

気象庁領域化学輸送モデル NHM-Chem,

http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ap/nhmchem_model/application.html

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・調整を行った。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、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。さらに基盤技術開発として、重点課題 4 内で共通的に使えるデータ圧縮技術開発を行った。

(2) 実施体制

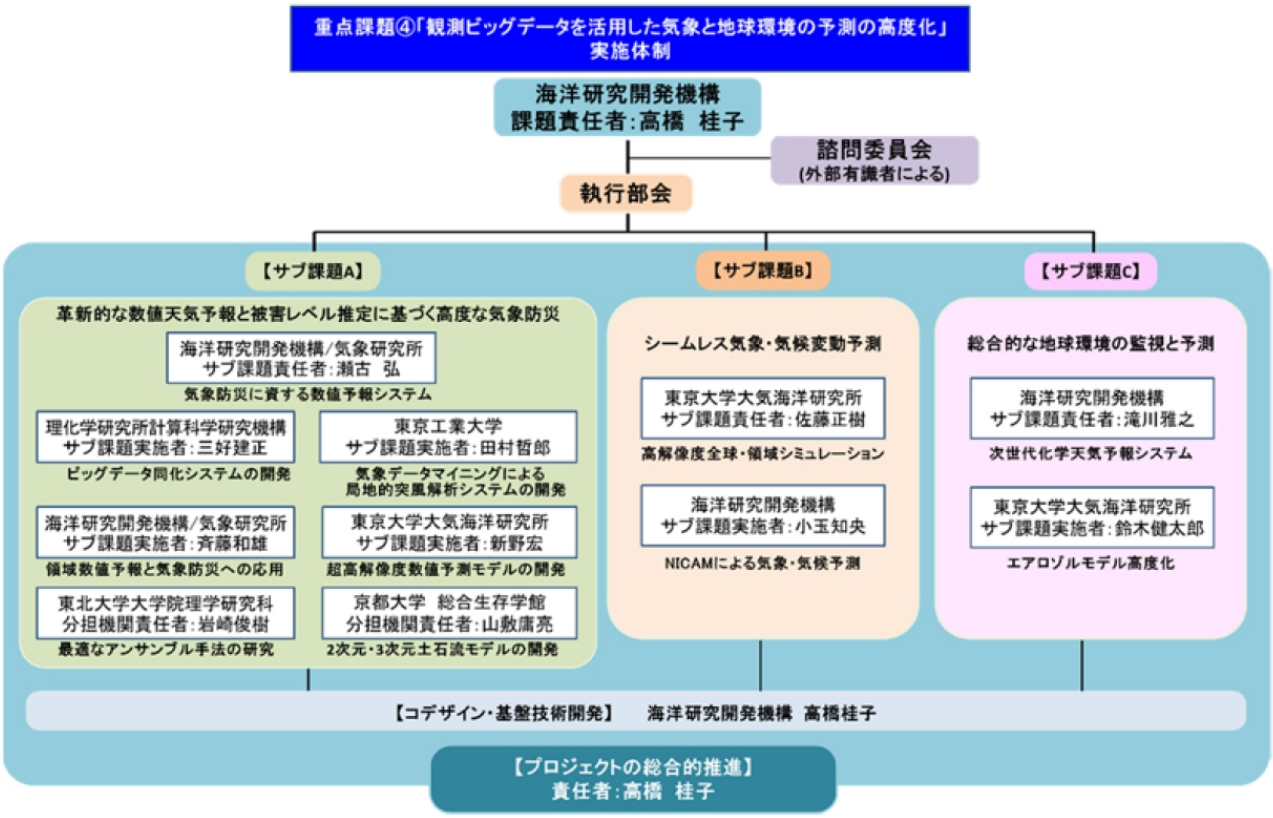


図 D-1： 実施体制

(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、プログラム開発、プリポスト処理、及びデータ保存等を行うための計算機環境を有している。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更新、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（H30年度導入） CMS CUSTOM JBOD 847E1C-R1K28JBOD-CTO ×1台（H30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 （1台はH30年度導入）
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 (H30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 30 年 4 月 11 日　人材育成タスクフォース
平成 30 年 9 月 13 日　人材育成タスクフォース
平成 31 年 3 月 1 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、平成 31 年 1 月 29 日に日比谷コンベンションホールにて第 4 回シンポジウム「激甚化する気象災害！予測技術向上への挑戦」を開催した。本シンポジウムでは、甚大な被害をもたらした平成 30 年 7 月豪雨や洪水の予測可能性、温暖化による台風の動向・将来予測および航空機を用いた二酸化炭素観測データの逆解析の研究など、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 4 回シンポジウムの様子（平成 31 年 1 月 29 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関係者に対して平成 30 年度の取り組みや成果等を共有することを目的として、平成 31 年 3 月 14 日に第 3 回成果報告会を JAMSTEC 三好記念講堂で開催した。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、最終年度に向けた研究の推進についても、将来的には気象庁の予報業務の精度向上等への貢献を目的としたさらなる連携強化についてなど、今後に向けた助言を頂戴した。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、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、成果報告会終了後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及び助言を頂いた。これらの内容は次年度の運営委員会における具体的な対応の検討を介して、プロジェクトの推進に活かす予定である。

図：第 3 回成果報告会の様子（平成 31 年 3 月 14 日）
（左：会場（JAMSTEC 三好記念講堂）の様子、右：諮問委員からのコメントの様子）

③－4. 施設一般公開等への参加

海洋研究開発機構の横須賀本部施設一般公開（5 月 12 日開催）や横浜研究所の施設一般公開（10 月 27 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 23 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 2 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、並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。

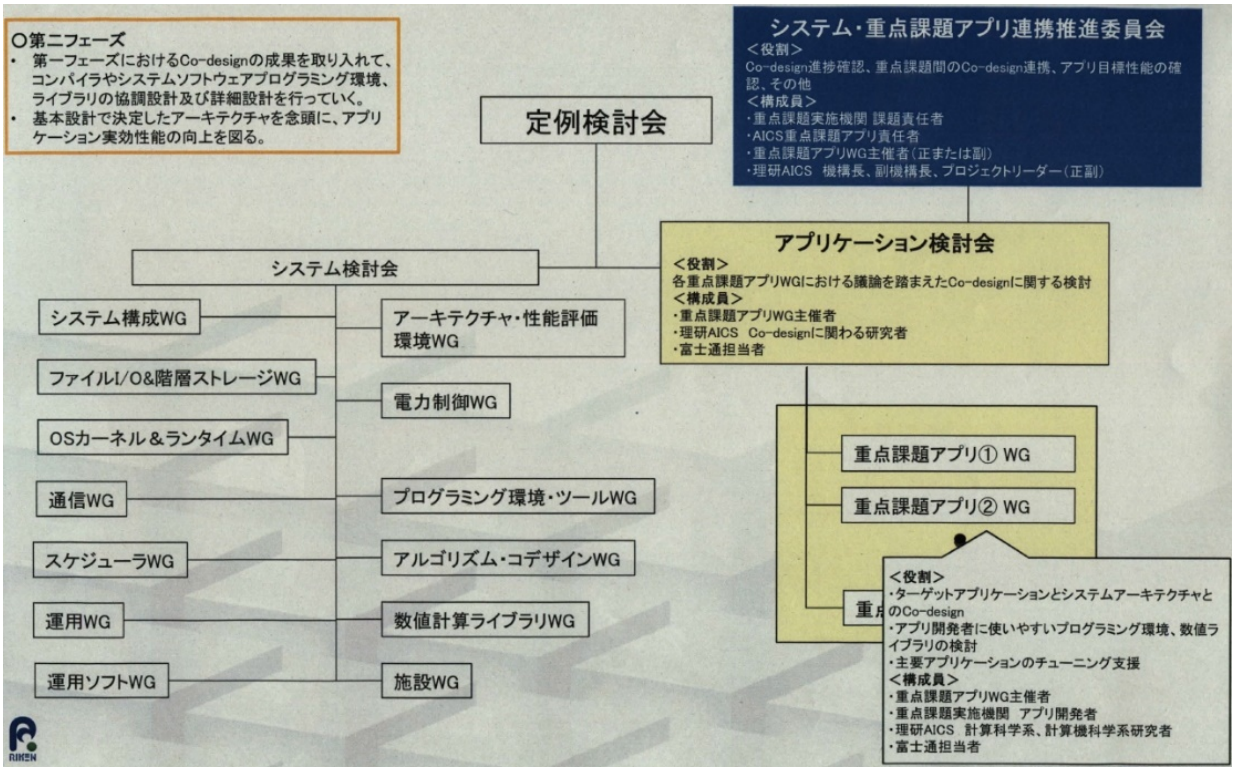


図 D-4：ポスト「京」開発（詳細設計）におけるコデザインへの取組体制
システム・重点課題アプリケーション連携推進委員会（第一回）資料 「コデザインに関する今後の取り組みについて」（理化学研究所）から抜粋

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 30 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 30 年度 9 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 30 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。

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）
  平成 30 年 4 月 18 日、5 月 30 日、7 月 18 日、8 月 8 日、9 月 11 日、11 月 6 日、11 月 26 日、
  平成 31 年 1 月 8 日、3 月 6 日
- システム・重点課題アプリケーション連携推進委員会
  （理化学研究所計算科学研究センター東京分室）

第 1 回（平成 30 年 6 月 20 日)、第 2 回(平成 30 年 12 月 25 日）

- 「ポスト『京』性能評価結果の公開に関するガイドライン」に関する説明会
  平成 31 年 3 月 27 日

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 30 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。平成 30 年度は、当該データ圧縮技術を速やかに重点課題 4 内のサブ課題で利用できるよう対応データフォーマットの拡充や、実計算データでのテストとプログラムのブラッシュアップを行い、更に成果公開の一環として論文発表を行った。

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、サブ課題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 論文（査読付き）

Kolomenskiy, D., Onishi, R. and Uehara, H., “WaveRange: Data Compression for Environmental Flow Simulations”, Computer Physics Communications (under review)

② 国際会議・シンポジウム

Kolomenskiy, D., Onishi, R. and Uehara, H., “Hydrodynamic Data Storage using Wavelet Compression”, Séminaire de Mécanique d'Orsay, LIMSI, Orsay, France, 2018/12/13 (oral)

Kolomenskiy, D., Onishi, R. and Uehara, H., “Data Compression for High-Performance Computational Fluid Dynamics”, Séminaire Signal et Apprentissage, I2M, Marseille, France, 2018/12/14 (oral)

Kolomenskiy, D., Onishi, R. and Uehara, H., “Hydrodynamic Data Storage using Wavelet Compression”, Séminaire Verrou 4, IFPEN, Rueil-Malmaison, France, 2018/12/18 (oral)

Kolomenskiy, D., Onishi, R. and Uehara, H., “Data Compression for High-Performance Flow Simulations”, 15th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2018), Sendai International Center, Sendai, Miyagi, Japan, 2018/11/7-9 (oral)

Yashiro, H., “Challenges of NICAM toward the exascale era”, 5th ENES HPC Workshop on “HPC for high-resolution climate and weather modelling”, Lecce, Italy, May 17-18, 2018. (oral)

Yashiro, H., D. Goto, Y. Sato, Y. Yamashita, K. Ishijima, C. Kodama, M. Takigawa, H. Tomita, and M. Satoh, “Yashiro, H., D. Goto, Y. Sato, Y. Yamashita, K. Ishijima, C. Kodama, M. Takigawa, H. Tomita, and M. Satoh”, 2018 joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium/15th IGAC Science Conference, Takamatsu, Japan, September 25-29, 2018. (poster)

4－3. 活動（研究会等）

種別	名称	開催日
シンポジウム	第 4 回シンポジウム 「激甚化する気象災害！予測技術向上への挑戦」	H31.1.29
成果報告会	第 3 回ポスト「京」重点課題 4　成果報告会	H31.3.14
委員会	ポスト「京」重点課題 4　諮問委員会	H31.3.14
委員会	ポスト「京」重点課題 4　執行部会	H30.5.24 H30.12.3
会議	課題責任者会議	H31.1.10 H31.1.14 H31.1.29
研究会	サブ課題 A・研究連絡会	H30.6.21-22 H30.9.20-21 H30.11.28-29 H31.3.4-5
研究会	サブ課題 A・竜巻研究会 （東京大学大気海洋研究所）	H30.7.25
研究会	サブ課題 B・定期研究連絡会	H30.4.2 H30.5.10 H30.7.6 H30.8.20 H30.10.2 H30.11.20 H30.12.25 H31.2.4 H31.3.26
研究会	OGCM meeting （6 回、海洋研究開発機構東京事務所、参加人数 10-15 名）	H30.4.20 H30.6.29 H30.8.23 H30.10.18 H30.12.18 H31.2.21
研究会	サブ課題 B・衛星シミュレータ研究会 （東京大学大気海洋研究所）	H30.7.12
研究会	サブ課題 B・グレーゾーン研究会 （東京大学大気海洋研究所）	H30.7.23
研究会	サブ課題 B・台風診断ミーティング	H30.8.24

	（東京大学大気海洋研究所）	
研究会	サブ課題 B・台風事例検討会 （気象庁）	H31.2.7
研究会	サブ課題 B・Workshop on the Inter-comparison of Global Cloud Resolving Models and Related Studies （東京大学本郷キャンパス）	H30.11.12
研究会	海洋モデリング研究会 （九州大学九重研修所 山の家、参加人数 17 名）	H30.7.26-28
研究会	サブ課題 C・海洋機構内定期連絡会	H30.8.24
研究会	コデザイン・サブ WG	H30.4.18 H30.5.30 H30.7.18 H30.8.8 H30.9.11 H30.11.6 H30.11.26 H31.1.8 H31.3.6
研究会	NICAM 開発者会議 （東京大学玉原国際セミナーハウス）	H30.10.9-10

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
Development of a storm-scale particle filter for investigating predictability of convection initiation and development（招待講演）	Takuya Kawabata and Genta Ueno	Japan Geoscience Union Meeting 2018	2018/5/20	国内
A storm-scale particle filter for investigating predictability of convection initiation and development（口頭）	Takuya Kawabata and Genta Ueno	Workshop on Sensitivity Analysis and Data Assimilation in Meteorology and Oceanography	2018/7/5	国外
Issues regarding maintaining ensemble spreads, balance, and high-resolution information in rapid-update-cycle radar data assimilation with the LETKF（招待講演）	Guo-Yuan Lien, Takemasa Miyoshi	JpGU Meeting 2018, Chiba, 20 May 2018	2018/5/20	国内
Enhancing Data Assimilation of GPM Observations（招待講演）	Takemasa MIYOSHI, Shunji KOTSUKI, Koji TERASAKI, Keiichi KONDO, Guo-Yuan LIEN, Kenta KUROSAWA, Masaki SATOH, Hirofumi TOMITA, Eugenia KALNAY	AOGS, Honolulu, Hawaii, 4 June 2018	2018/6/4	国外
Advancing Data Assimilation as a Science Hub:From Weather Forecasting and Beyond（招待講演）	T. Miyoshi	MADA2018, Le Bourget-du Lac, France, 29 August 2018	2018/8/29	国外
Rapid-update-cycle high-resolution assimilation of radar data: Results from exploratory experiments and potential for operational prediction（招待講演）	Guo-Yuan Lien, Takemasa Miyoshi, Takumi Honda, Shigenori Otsuka	2018 Conference on Weather Analysis and Forecasting, Taipei, 11 September 2018	2018/9/11	国外
Innovating "Big Data Assimilation" technology for revolutionizing very-short-range severe weather prediction（招待講演）	T. Miyoshi	CREST Symposium on Big Data Application, Tokyo, 30 September 2018	2018/9/30	国内
Satellite data assimilation and parameter estimation with NICAM-LETKF（招待講演）	T. Miyoshi	CEN/CliSAP WORKSHOP "Climate Data Assimilation", Hamburg, Germany, 5 October 2018	2018/10/5	国外
Data assimilation for nonlinear ensemble forecasts（招待講演）	T. Miyoshi	Fourth meeting of the WWRP PDEF Working Group, Tokyo, 11 October 2018	2018/10/11	国内
Pushing the limits:Big Data Assimilation research at RIKEN（招待講演）	T. Miyoshi	国際的な気象・気候予測研究に関するセミナー～世界気象機関（WMO）の数値予報関連活動との連携～, Tokyo, 12 October 2018	2018/10/12	国内
Prediction Science : The 5th Paradigm Fusing the Computational Science and Data Science（招待講演）	T. Miyoshi	BDEC2, Indiana, U.S.A., 29 November 2018	2018/11/29	国外
Pushing the limits:Big Data Assimilation Research at RIKEN（招待講演）	T. Miyoshi	Atmospheric science seminar, 南京, 10 December 2018	2018/12/10	国外
Big Data, Supercomputing, and Data Assimilation: Weather Prediction and Beyond（招待講演）	T. Miyoshi	RIKEN BAIHO Awards, The All-RIKEN Workshop 2018, Wako, 14 December 2018	2018/12/14	国内
Project Report（招待講演）	Takemasa Miyoshi ,Hirofumi Tomita ,Shinsuke Satoh,Tomoo Ushio,Yutaka Ishikawa	CREST International Symposium on Big Data Application, Tokyo, 14 January 2019	2019/1/14	国内
Enhancing Data Assimilation of GPM Observations（招待講演）	T. Miyoshi	The Joint PI Meeting of JAXA Earth Observation Missions FY2018, TOKYO, 25 January 2019	2019/1/25	国内
Big Data Assimilation:Past 5 Years and Perspectives for the _Future（招待講演）	T. Miyoshi	ICMCX-XIII,Okinawa, 6 March 2019	2019/3/6	国内
Numerical Simulations of Meso-β-scale Vortices that Spawned Tornado-like Vortices（招待講演）	E. Tochimoto , S. Yokota , H. Niino , and W. Yanase	Asia Oceania Geosciences Society, Honolulu, Hawaii, 03-08 Jun 2018.	2018/6/5	国外
Fine-scale Structures of Meso-β-scale Vortices that Cause Tornado-like Vortices（招待講演）	E. Tochimoto , S. Yokota , H. Niino , and W. Yanase	Japan Geoscience Union, Chiba, Japan, 20-24 May 2018.	2018/5/20	国内
Tornadoes: Their Structure, Genesis Mechanism and Environment（招待講演）	H. Niino	2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics. Kanazawa, Japan, 12-17 Nov 2018.	2018/11/12	国内
Enhancing data assimilation of GPM observations（口頭）	Takemasa Miyoshi, Shunji Kotsuki, Koji Terasaki, Keiichi Kondo, Guo-Yuan Lien, Kenta Kurosawa, Masaki Satoh, Hirofumi Tomita, Eugenia Kalnay	EGU, Vienna, Austria, 9 April 2018	2018/4/9	国外
How fast shall we go? Lessons learned from 30-second-update convection-resolving data assimilation experiments（口頭）	Takemasa Miyoshi, Juan Ruiz, Guo-Yuan Lien, Toshiki Teramura, Yasumitsu Maejima, Keiichi Kondo, Hideyuki Sakamoto	EGU, Vienna, Austria, 10 April 2018	2018/4/10	国外
Ensemble Forecast Sensitivity to Observations Verified with Multiple References（口頭）	Kotsuki S., Kurosawa K., Miyoshi T.	The 8th EnKF Data Assimilation Workshop, Québec, Canada, 7 May 2018	2018/5/7	国外
Is 30-second update fast enough for convection-resolving data assimilation?（口頭）	Takemasa Miyoshi, J. Ruiz, G.-Y. Lien, T. Teramura, Y. Maejima, K. Kondo, H. Sakamoto	EnKF workshop, Québec, Canada, 7 May 2018	2018/5/7	国外
Assimilating All-Sky Himawari-8 Satellite Infrared Radiances: A Case of Typhoon Soudelor (2015)（口頭）	Honda, T., T. Miyoshi, G.-Y. Lien, S. Nishizawa, R. Yoshida, S. A. Adachi, K. Terasaki, K. Okamoto, H. Tomita and K. Bessho	The 8th EnKF Data Assimilation Workshop	2018/5/9	国外
On the importance of assimilating cloudy-sky infrared radiances from Himawari-8 for heavy rainfall prediction（口頭）	Honda, T., T. Miyoshi	Japan Geoscience Union Meeting, Chiba, 20 May 2018	2018/5/20	国内
Impacts of dense surface observations on predicting a torrential rainfall event on September 9 and 10, 2015 in the east Japan area（口頭）	Yasumitsu Maejima	JpGU annual meeting, Chiba, 20 May 2018	2018/5/20	国内

Impacts of Dense Surface Observations on Predicting a Torrential Rainfall Event on September 9 and 10, 2015 in the East Japan Area (口頭)	Yasumitsu Maejima, Guo-Yuan Lien and Takemasa Miyoshi	Asia Oceania Geosciences Society 15th Annual Meeting, Hawaii, 5 June 2018	2018/6/5	国外
How Fast Shall We Go? Lessons Learned from 30-second-update Convection-resolving Data Assimilation Experiments (口頭)	Takemasa MIYOSHI, Juan RUIZ, Guo-Yuan LIEN, Toshiki TERAMURA, Yasumitsu MAEJIMA, Keiichi KONDO, Hideyuki SAKAMOTO	AOGS, Honolulu, Hawaii, 5 June 2018	2018/6/5	国外
HPC Challenges in Weather Forecast research : data-assimilation science (口頭)	T. Miyoshi	International HPC Summer School 2018, Ostrava , Czech Republic, 10 July 2018	2018/7/10	国外
Innovating "Big Data Assimilation" technology for revolutionizing very-short-range severe weather prediction (口頭)	T. Miyoshi	DATAIA-JST International Symposium, Paris, France, 11 July 2018	2018/7/11	国外
Near-real-time SCALE-LETKF forecasts of the record breaking rainfall in Japan in July 2018 (口頭)	Honda, T., G.-Y. Lien, T. Miyoshi	5th International Workshop on Nonhydrostatic Models (NHM2018), Tokyo, 14 November 2018	2018/11/14	国内
Model Parameter Estimation with Data Assimilation using NICAM-LETKF (口頭)	Kotsuki S., Sato Y., Terasaki K., Yashiro H., Tomita H., Satoh M., Miyoshi T.	5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, Tokyo, 15 November 2018	2018/11/15	国内
Big Data Assimilation:Past 5 Years and Perspectives for the Future (口頭)	Takemasa Miyoshi, S. Otsuka, T. Honda, G. Y. Lien, Y. Maejima, Y. Yoshizaki, H. Seko, H. Tomita, S. Satoh, T. Ushio, T. V. Martsinkevich, B. Gerofi, and Y. Ishikawa	AMS 99th ANNUAL MEETING, Phoenix, USA, 7 January 2019	2019/1/7	国外
Model Parameter Estimation with Data Assimilation using NICAM-LETKF (口頭)	Kotsuki S., Sato Y., Terasaki K., Yashiro H., Tomita H., Satoh M., Miyoshi T.	7th International Symposium on Data Assimilation, 22 January 2019	2019/1/22	国内
Precipitation radar data assimilation with an ensemble Kalman filter: an observing system simulation experiment for a typhoon case (口頭)	Okazaki, A., Honda, T., Kotsuki, S., Miyoshi, T.	7th International Symposium on Data Assimilation, Kobe, 22 January 2019	2019/1/22	国内
Big Data Assimilation: Past 5 Years and Perspectives for the Future (口頭)	T. Miyoshi	ISDA2019, Kobe, 24 January 2019	2019/1/24	国内
Activities at RIKEN Data Assimilation Research Team (口頭)	T. Miyoshi	Workshop IMT Atlantique & RIKEN, France, 22 February 2019	2019/2/22	国外
Improvements in the forecast of TC Lan (2017) by assimilating dropsondes from T-PARCII and DOTSTAR (口頭)	Ito, K., M. Yamaguchi, T. Nakazawa, H. Yamada, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, K. Tsuboki	JpGU Meeting 2018, Chiba, 23 May 2018	2018/5/23	国内
Assimilation and evaluation of all-sky infrared radiances of Himawari-8 (口頭)	Okamoto, Sawada, Kunii, Hashino, Iriguchi, Nakagawa	JpGU Meeting 2018, Chiba, 20 May 2018	2018/5/20	国内
State-dependent additive covariance inflation for radar reflectivity assimilation (口頭)	Yokota, S., H. Seko, M. Kunii, H. Yamauchi, and E. Sato	8th EnKF Data Assimilation Workshop, Sainte-Adèle, Canada, 8 May 2018	2018/5/8	国外
Entraining CAPE for better assessment of tornado outbreak potential in the warm sector of extratropical cyclones (口頭)	E. Tochimoto , K. Sueki , and H. Niino	29th Conference on Severe Local Storms, Stowe, United States, 23 October 2018	2018/10/23	国外
Differences in Extratropical Cyclone Structures between Northwestern Pacific and Northwestern Atlantic Oceans (口頭)	E. Tochimoto and H. Niino	American Meteorological Society 99th annual meeting, Phoenix, United States 08 January 2019	2019/1/8	国外
Impacts of assimilating the typhoon best-track data on the regional reanalysis of the Kanto-Tohoku heavy rainfall in September 2015 (口頭)	Fukui, S., T Iwasaki, K. Saito, H. Seko	Japan Geoscience Union Meeting 2018, Makuhari, 20 May 2018	2018/5/20	国内
Towards a long-term high-resolution regional reanalysis over Japan by using NHM-LETKF (口頭)	Fukui, S., T Iwasaki, K. Saito, H. Seko,	The 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, Tokyo, 15 November 2018	2018/11/15	国内
LETKF Perturbations by Ensemble Transform in a Cloud Resolving Model (口頭)	Saito, K., L. Duc , S. Yokota, and T. Matsunobu	The 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models,Tokyo, 15 November 2018	2018/11/15	国内
LETKF Perturbations by Ensemble Transform in a Cloud Resolving Model (口頭)	Saito, K., L. Duc , S. Yokota, and T. Matsunobu	The 23rd Conference on Integrated Observing and Assimilation Systems for the Atmosphere, Oceans, and Land Surface (IOAS-AOLS). Phoenix, USA, 7 January 2019	2019/1/7	国外
LETKF Perturbations by Ensemble Transform in a Cloud Resolving Model (口頭)	Saito, K., L. Duc , S. Yokota, and T. Matsunobu	The 7th International Symposium on Data Assimilation (ISDA2019). Kobe, 24 January 2019	2019/1/24	国内
Numerical Simulation of Turbulence near the Surface When an Accident Occurred at Narita Airport (口頭)	Junshi Ito, Hiroshi Niino, and Katsumi Yoshino	99th AMS Annual Meeting, Phoenix, United States, 1/8/2019	2019/1/8	国外
A 4D-EnVAR data assimilation system without vertical localization (口頭)	Duc L., and K. Saito	Asia Oceania Geosciences Society, Honolulu, Hawaii, 03-08 Jun 2018	2018/6/5	国外
Analysis and design of covariance inflation methods from functional viewpoint (口頭)	Duc L., K. Saito, and D. Hotta	The 7th International Symposium on Data Assimilation (ISDA2019). Kobe, 23 January 2019	2019/1/23	国内
Ultra-high-resolution Numerical Weather Simulations of Heavy Rain Events (口頭)	T. OIZUMI, K. SAITO, L. DUC, and J. ITO	AOGS, Honolulu, Hawaii, 3 June 2018	2018/6/3	国外
LES study on unsteadiness and impact of urban wind based on coherent turbulence structures (口頭)	Tetsuro Tamura, Hidenori Kawai	The 71st Annual Meeting of the American Physical Society's Division of Fluid, Nov. 2018	2018/11/18	国外
Tornado Damage Estimation of Cities and Buildings Using Meteorological Model/LES Hybrid Method (口頭)	Masaharu Kawaguchi, T. Tamura, H.Kawai, W. Mashiko	29th Conference on Severe Local Storms, Oct. 2018	2018/10/23	国外
LES Method for generating broad-banded turbulence for meteorological events (口頭)	Masaharu Kawaguchi, Tetsuro Tamura, Tao Tao, Hidenori Kawai	The 12th International ERCOFTAC symposium on engineering, turbulence, modelling and measurements, Sep. 2018	2018/9/28	国外
HPC of Turbulent Wind and Thermal Environment By LES Coupling with Radiation Model for Actual Urban Districts (口頭)	Hidenori Kawai, Maiko Arai, Tetsuro Tamura	10th International Conference on Urban Climate, Aug. 2018	2018/8/7	国外
An Analysis of Tornado Using Meteorological Model and Engineering LES: Wind Gust Structures in the Urban Area and Its Impact on the Buildings (口頭)	Masaharu Kawaguchi, T. Tamura, W. Mashiko, Y. Cao, H. Kawai	10th International Conference on Urban Climate, Aug. 2018	2018/8/8	国外
Classification of Coherent Turbulent Structures over Actual City with Scattered High-Rise-Building Cluster (口頭)	Tetsuro Tamura, H. Kawai	10th International Conference on Urban Climate, Aug. 2018	2018/8/7	国外

Meteorological Model/Engineering LES Hybrid Approach: Towards the Risk Assessment of Urban Areas in Strong Wind Events (口頭)	Masaharu Kawaguchi, Tetsuro Tamura, Wataru Mashiko, Tao Tao, Hidenori Kawai	23rd Symposium on Boundary Layers and Turbulence/21st Conference on Air-Sea Interaction, Jun. 2018	2018/6/13	国外
Flow Topology and Surface Pressure on a Wall-Mounted Square Cylinder (口頭)	Yong Cao, Hidenori Kawai, Tetsuro Tamura, Rahul Bale, Keiji Onishi, Makoto Tsubokura	CWE 2018 International Symposium on Computational Wind Engineering, Jun. 2018	2018/6/20	国外
Turbulence and Pressure Fluctuation around High-Rise Building with Complicated Facade in Urban Districts (口頭)	Hidenori Kawai, Tetsuro Tamura, Maiko Arai, Hiroki Sayama, Takayuki Yamaguchi, Keisuke Yoshie	CWE 2018 International Symposium on Computational Wind Engineering, Jun. 2018	2018/6/20	国外
Application of LES Based on BCM to Wind Engineering, 6th European Conference on Computational Mechanics (ECCM 6) (口頭)	Tetsuro Tamura, Hidenori Kawai, Duong Viet Dung, Yong Cao, Keiji Onishi, Rahul Bale, Makoto Tsubokura	7th European Conference on Computational Fluid Dynamics (ECFD 7), Jun. 2018	2018/6/12	国外
Data Assimilation Studies using Big Observation Data in the Projects of Post K and BDA (口頭)	Hiromu Seko	The 7th International Symposium on Data Assimilation (ISDA2019). Kobe, 23 January 2019	2019/1/23	国内
Data Assimilation Studies using Big Observation Data in the Projects of Post K and BDA (ポスター)	Hiromu Seko	Conference on Mesoscale Convective Systems and High-Impact Weather in East Asia (ICMCS-XIII). Okinawa, 8 March 2019	2019/3/8	国内
Accounting for the observation error correlation in data assimilation (招待/ポスター)	Terasaki, K., T. Miyoshi	JpGU2018, Chiba, 20 May 2018	2018/5/20	国内
The computational aspect of the SCLAE-LETKF data assimilation system for rapid-update-cycle, high-resolution radar data assimilation (招待/ポスター)	Guo-Yuan Lien, Seiya Nishizawa, Ryuji Yoshida, Hisashi Yashiro, Tatiana Martsinkevich, Takumi Honda, Shigenori Otsuka, Takemasa Miyoshi, Hirofumi Tomita, and Yutaka Ishikawa	JpGU Meeting 2018, Chiba, 20 May 2018	2018/5/20	国内
On the assimilation order of the serial ensemble Kalman filter: A study with the Lorenz-96 model (ポスター)	Kotsuki S., Greybush S. J., and Miyoshi T.	The 8th EnKF Data Assimilation Workshop, Quebec, Canada, 7 May, 2018	2018/5/7	国外
Ensemble-Based Data Assimilation of GPM/DPR Reflectivity into the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model NICAM (ポスター)	Kotsuki S., Terasaki K., and Miyoshi T.	The 8th EnKF Data Assimilation Workshop, Quebec, Canada, 9 May 2018	2018/5/9	国外
Dense precipitation radar data assimilation: an observing system simulation (ポスター)	Okazaki, A., Honda, T., Kotsuki, S., Miyoshi, T.	JpGU 2018, Chiba, 20 May 2018	2018/5/20	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 (ポスター)	Koji Terasaki, Takemasa Miyoshi	5th International Workshop on Nonhydrostatic Models (NHM2018), Tokyo, 14 November 2018	2018/11/14	国内
Dense precipitation radar data assimilation with an ensemble Kalman filter: an observing system simulation experiment for a typhoon case (ポスター)	Okazaki, A., Honda, T., Kotsuki, S., Miyoshi, T.	5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, Tokyo, 15 November 2018	2018/11/15	国内
Non-Gaussian Measure in Gaussian Filtering Problem (ポスター)	Sakamoto H, Teramura T, Miyoshi T	7th International Symposium on Data Assimilation (ISDA2019), Kobe, 21 January 2019	2019/1/21	国内
Accounting for the horizontal observation error correlation of precipitation observation (ポスター)	Koji Terasaki, Shunji Kotsuki, Takemasa Miyoshi	7th International Symposium on Data Assimilation (ISDA2019), Kobe, 21 January 2019	2019/1/21	国内
Assimilating every 30-second phased array weather radar data in a torrential rainfall event on July 6, 2018 around Kobe city (ポスター)	Maejima, Y., S. Otsuka, T. Miyoshi	7th International Symposium on Data Assimilation, Kobe, 21 January 2019	2019/1/21	国内
Adaptive covariance relaxation methods for ensemble data assimilation based on innovation statistics (ポスター)	Kotsuki S., Ota Y., and Miyoshi T.	7th International Symposium on Data Assimilation, 22 January 2019	2019/1/22	国内
Ensemble-Based Data Assimilation of GPM/DPR Reflectivity into the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model NICAM (ポスター)	Kotsuki S., Terasaki K., Miyoshi T.	7th International Symposium on Data Assimilation, 22 January 2019	2019/1/22	国内
Properties on Ensemble Forecast Sensitivity to Observations (ポスター)	Kotsuki S., Kurosawa K., Miyoshi T.	7th International Symposium on Data Assimilation, 22 January 2019	2019/1/22	国内
Spatial structure of weights in the Local Ensemble Transform Kalman Filter: A case with an intermediate AGCM (ポスター)	Kotsuki S., Pensoneault A., Okazaki A., Miyoshi T.	7th International Symposium on Data Assimilation, 22 January 2019	2019/1/22	国内
Near-real-time SCALE-LETKF forecasts of the record breaking rainfall in Japan in July 2018 (ポスター)	Honda, T., G.-Y. Lien, T. Miyoshi	7th International Symposium on Data Assimilation, Kobe, 23 January 2019	2019/1/23	国内
Assimilating every 30-second phased array weather radar data in a torrential rainfall event on July 6, 2018 around Kobe city (ポスター)	Maejima, Y., S. Otsuka, T. Miyoshi	1st R-CCS International Symposium, Kobe, 18 February 2019	2019/2/18	国内
Model Parameter Estimation with Data Assimilation using NICAM-LETKF (ポスター)	Kotsuki S., Sato Y., Terasaki K., Yashiro H., Tomita H., Satoh M., Miyoshi T.	The 1st R-CCS International Symposium, 18 February 2019	2019/2/18	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 (ポスター)	Koji Terasaki, Takemasa Miyoshi	R-CCS International symposium, Kobe, 18 February 2019	2019/2/18	国内
Near-real-time SCALE-LETKF forecasts of the record breaking rainfall in Japan in July 2018 (ポスター)	Honda, T., G.-Y. Lien, T. Miyoshi	1st R-CCS International Symposium, Kobe, 18 February 2019	2019/2/18	国内
Near-real-time SCALE-LETKF forecasts of the record breaking rainfall in Japan in July 2018 (ポスター)	Honda, T., G.-Y. Lien, T. Miyoshi	ICMCS-XIII, Okinawa, 6 March 2019	2019/3/6	国内
Analysis and Forecast Using Dropsonde Data from the Inner-Core Region of Tropical Cyclone Lan (2017) Obtained during Aircraft Missions of T-PARCII (ポスター)	Ito, K., M. Yamaguchi, T. Nakazawa, H. Yamada, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, K. Tsuboki	The 7th International Symposium on Data Assimilation, Kobe, 23 January 2019.	2019/1/23	国内
Analysis and Forecast Using Dropsonde Data from the Inner-Core Region of Tropical Cyclone Lan (2017) Obtained during Aircraft Missions of T-PARCII (ポスター)	Ito, K., M. Yamaguchi, T. Nakazawa, H. Yamada, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, K. Tsuboki	33nd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Florida, 19 April 2018	2018/4/19	国外
Regional atmospheric data assimilation coupled with an ocean mixed layer model: a case of typhoon Soudelor (2015) (ポスター)	Takatama, K., T. Honda, and T. Miyoshi	ISDA2019, Kobe, 22 January 2019	2019/1/22	国内
Ensemble-based Singular Value Decomposition Analysis for a Local Rainfall Event Predicted by Water Vapor Assimilation (ポスター)	Yokota, S., H. Seko, N. Nagumo, H. Yamauchi, R. Kudo, T. Sakai, Y. Shoji, T. Kawabata, Y. Ikuta, and H. Niino	29th Conference on Severe Local Storms, Stowe, VT, USA, 23 October 2018	2018/10/23	国外

Important Factors for Tornadogenesis as Revealed by High-Resolution Ensemble Forecasts of the Tsukuba F3 Tornado on 6 May 2012 (ポスター)	Yokota, S., H. Niino, H. Seko, M. Kunii, and H. Yamauchi	29th Conference on Severe Local Storms, Stowe, VT, USA, 25 October 2018	2018/10/25	国外
4DEnVar with Iterative Calculation of Nonlinear Nonhydrostatic Model Compared to En4DVar (ポスター)	Yokota, S., K. Koizumi, M. Kunii, and K. Ito	5th International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models, Tokyo, Japan, 15 November 2018	2018/11/15	国内
Ensemble-based Singular Value Decomposition Analysis to Clarify Relationship between the Atmospheric State and the Hydrometeors (ポスター)	Yokota, S., H. Seko, N. Nagumo, H. Yamauchi, R. Kudo, T. Sakai, Y. Shoji, T. Kawabata, Y. Ikuta, and H. Niino	5th International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models, Tokyo, Japan, 15 November 2018	2018/11/15	国内
Ensemble-based Singular Value Decomposition Analysis to Clarify Relationship between the Atmospheric State and the Hydrometeors (ポスター)	Yokota, S., H. Seko, N. Nagumo, H. Yamauchi, R. Kudo, T. Sakai, Y. Shoji, T. Kawabata, Y. Ikuta, and H. Niino	7th International Symposium on Data Assimilation, Kobe, Japan, 21 January 2019	2019/1/21	国内
4DEnVar with Iterative Calculation of Nonlinear Nonhydrostatic Model Compared to En4DVar (ポスター)	Yokota, S., K. Koizumi, M. Kunii, and K. Ito	7th International Symposium on Data Assimilation, Kobe, Japan, 22 January 2019	2019/1/22	国内
Ensemble Experiments of Meso-Beta-Scale Vortex that Caused a Sudden Gusty Wind over the Sea (ポスター)	E. Tochimoto, S. Yokota, H. Niino, and W. Yanase	American Meteorological Society 99th annual meeting, Phoenix, United States, 07 January 2019	2019/1/7	国外
Structures and Evolutions of Meso-β-scale Vortices that Spawned Tornado-like Vortices. (ポスター)	E. Tochimoto, S. Yokota, H. Niino, and W. Yanase	29th Conference on Severe Local Storms 25 October 2018	2018/10/25	国外
On Non-Gaussian Probability Densities on Convection Initiation and Development using a Particle Filter with a Storm-Scale Numerical Weather Prediction Model (ポスター)	Takuya Kawabata and Genta Ueno	International Symposium on Data Assimilation 2019	2019/1/22	国内
Development of long-term high-resolution regional reanalysis system over Japan with NHM-LETKF nested in JRA-55 (ポスター)	Fukui, S., T Iwasaki, K. Saito, H. Seko	The 7th International Symposium on Data Assimilation, Kobe, 21-24 January 2019	2019/1/22	国内
On the Ensemble Transform Perturbation: (2) NHM-LETKF. (ポスター)	Saito, K., S. Yokota, L. Duc, T. Kawabata, M. Kunii, T. Matsunobu, and T. Kurihana	Japan Geoscience Union Meeting 2018 (JPGU2018). Makuhari, 20 May 2018	2018/5/20	国内
Surface Flux Parameterization in Atmospheric Large Eddy Simulation: Necessity to Filter out Turbulent Fluctuations (ポスター)	Junshi Ito, Hiroshi Niino, and Hideaki Mouri: Junshi Ito, Hiroshi Niino, and Hideaki Mouri	23th Symposium on Boundary Layers and Turbulence, Oklahoma City, United States, 6/11/2018	2018/6/11	国外
The diagonally predominant property of the positive symmetric ensemble transform matrix and its application in ensemble forecast (ポスター)	Duc, L., K. Saito, and D. Hotta	The 23rd Conference on Integrated Observing and Assimilation Systems for the Atmosphere, Oceans, and Land Surface (IOAS-AOLS). Phoenix, USA, 7 January 2019	2019/1/7	国外
Development and validation of a diagonal ensemble transform Kalman filter (ポスター)	Duc L., K. Saito, and D. Hotta	The 7th International Symposium on Data Assimilation, Kobe, 21-24 January 2019	2019/1/23	国内
Numerical simulation of a heavy rain event in Hiroshima city on 19-20 August 2014 (ポスター)	T. OIZUMI, K. SAITO, L. DUC, and J. ITO	JpGU 2018, Chiba, 22 May 2018	2018/5/22	国内
High resolution simulation of the west Japan heavy rainfall in July 2018 (ポスター)	T. OIZUMI, K. SAITO, and J. ITO, L. DUC	5th International Workshop on Nonhydrostatic Models (NHM2018), Tokyo, 15 November 2018	2018/11/15	国内
Motion Vector and Sea Surface Temperature Obtained by Himawari 8 on the Predictions of Typhoon and Heavy Rainfalls (ポスター)	Hiromu Seko	The 7th International Symposium on Data Assimilation (ISDA2019). Kobe, 23 January 2019	2019/1/23	国内
データ同化：シミュレーションと実測データを融合するデータサイエンス (招待講演)	三好建正	九大理研福岡市・ISIT 三者連携シンポジウム「数理・ＡＩが解く未来！～計算科学の展開と期待～」, 九州, 15 May 2018	2018/5/15	国内
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 (招待講演)	三好建正	日本気象学会2018年度春季大会, シンポジウム, つくば, 18 May 2018	2018/5/18	国内
ポスト京時代のデータ同化応用拡大への展望 (招待講演)	三好建正	日本機械学会2018年度年次大会, 大阪, 10 September 2018	2018/9/10	国内
データ同化による最先端予報研究：予報士と切り拓く，これからの天気予報 (招待講演)	三好建正	日本気象予報士会東京支部第63回会合, 東京, 20 October 2018	2018/10/20	国内
Big Data Assimilation : achievements and future directions (招待講演)	三好建正	日本気象学会2018年度秋季大会小倉特別講義連携セッション, 仙台, 29 October 2018	2018/10/29	国内
新世代静止気象衛星観測のデータ同化に関する研究 (招待講演)	本田匠	日本気象学会2018年山本賞受賞記念講演, 日本気象学会秋季大会, 仙台, 30 October 2018	2018/10/30	国内
気象学におけるAI活用を考える (招待講演)	三好建正	日本気象学会2018年度秋季大会専門分科会「人口知能 (AI)は気象学にブレイクする―をもたらすか？」, 仙台, 31 October 2018	2018/10/31	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 (招待講演)	三好建正	第5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, 2 November 2018	2018/11/2	国内
「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 (招待講演)	三好建正	ビッグデータ基盤/応用合同領域会議, 京都, 13 March 2019	2019/3/13	国内
データ同化が拓く予測の科学 (招待講演)	三好建正	第3回ものづくりワークショップ：バイオ車載材料の情報科学シミュレーションとデータ同化が未来のものづくり設計を変える, 埼玉, 15 March 2019	2019/3/15	国内
Tornadoes: Our Current Understanding and Future Subjects, Distinguished Ogura Lectures Accompanying Session “Present Achievements and Future Perspective in Meso-Meteorology (口頭)	H. Niino	日本気象学会秋季大会, 仙台, 29 Oct 2018	2018/10/29	国内
降水予報改善へ向けた雲域赤外輝度温度観測同化の重要性 (口頭)	本田匠, 三好建正	日本気象学会春季大会, つくば, 17 May 2018	2018/5/17	国内
高密度地上観測データ同化実験における観測要素別のインパクト (口頭)	前島康光	日本気象学会春季大会, つくば, 17 May 2018	2018/5/17	国内
全球大気・水文結合データ同化システムの開発; 水文ビッグデータ同化による大気・水文予測の改善に向けて (口頭)	小槻峻司, 黒澤賢太, 三好建正	水文・水資源学会2018年研究発表会, 三重, 12 September 2018	2018/9/12	国内
理研研究紹介 (口頭)	三好建正	理研―水産機構スジアラ養殖技術高度化検討ワークショップ, 沖縄, 26 September 2018	2018/9/26	国内

Weight structure of Local Ensemble Transform Kalman Filter: A case with an intermediate AGCM（口頭）	Kotsuki S., Pensoneault A., Okazaki A., Miyoshi T.	9th Japanese Data Assimilation Workshop, Tokyo, 10 October 2018	2018/10/10	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（口頭）	寺崎康児, 小槻峻司, 三好建正	日本気象学会秋季大会, 仙台, 29 October 2018	2018/10/29	国内
ひまわり8号の輝度温度同化研究:台風に伴う降水予報の改善（口頭）	本田匠, 滝野晶平, 三好建正	日本気象学会秋季大会, 仙台, 1 November 2018	2018/11/1	国内
高頻度・高分解能雷観測データと100mメッシュSCALE-LETKFによるシミュレーションとの比較（口頭）	前島康光, 牛尾知雄, 三好建正	気象学会秋季大会, 仙台, 1 November 2018	2018/11/1	国内
天気予報研究の最前線 -平成30年7月豪雨の予測可能性を探る-（口頭）	小槻峻司	ポスト「京」重点課題4シンポジウム, 東京, 29 January 2019	2019/1/29	国内
データ同化から予測科学へ：水産分野の予測に向けて（口頭）	三好建正	理化学研究所ー水産研究・教育機構　水産資源・海洋研究連携検討ワークショップ, 横浜, 6 February 2019	2019/2/6	国内
データ同化による加工シミュレーションの高精度化（口頭）	坂本英之, 三好建正	第3回ものづくりワークショップ: バイオ車載材料の情報科学シミュレーションとデータ同化が未来のものづくり設計を変える, 和光, 15 March 2019	2019/3/15	国内
台風の予測精度向上に資する先端的研究の現状（招待講演）	伊藤耕介	第11回気象庁数値モデル研究会, 東京, 15 May 2018	2018/5/15	国内
局地的降水の発生に適した大気場のアンサンブル実験に基づく解析（口頭）	横田祥, 瀬古弘, 南雲信宏, 山内洋, 工藤玲, 酒井哲, 小司禎教, 川畑拓矢, 幾田泰酵, 新野宏	日本気象学会春季大会, つくば, 16 May 2018	2018/5/16	国内
雲解像粒子フィルタを用いた積乱雲の発生・発達に関する確率分布解析（口頭）	川畑拓矢, 上野玄太	第32回数値流体力学シンポジウム 2018年12月	2018/12/11	国内
雲解像粒子フィルタを用いた積乱雲の発生・発達に関する確率分布解析（口頭）	川畑拓矢, 上野玄太	日本気象学会2018年度秋季大会, 2018年10月	2018/10/31	国内
二重偏波パラメータに関する統計調査（口頭）	栗花卓弥, 川畑拓矢, 山内洋, 南雲信宏, 足立アホロ	2018年度日本気象学会春季大会 2018年5月	2018/5/18	国内
Toward a comprehensive understanding of diverse meso-α-scale cyclones（招待講演）	柳瀬亘	日本気象学会2018年度秋季大会小倉特別講義連携セッション, 仙台, 29 October 2018	2018/10/29	国内
台風の温帯低気圧化後の再発達に影響する要因の統計（口頭）	柳瀬亘, 嶋田宇大	日本気象学会2018年度秋季大会, 仙台, 30 October 2018	2018/10/30	国内
対馬海峡で突風を生じたメソβスケール渦のアンサンブル実験（口頭）	栃本英伍, 横田祥, 新野宏, 柳瀬亘	日本気象学会2018年春季大会, 18 May 2018	2018/5/18	国内
アンサンブルデータ同化のための摂動手法（4）NHM-LETKF（口頭）	斉藤和雄, 横田祥, Le Duc, 川畑拓矢, 國井勝, 松信匠, 栗花卓弥	日本気象学会2018年度春季大会, つくば, 17 May 2018	2018/5/17	国内
雲解像LETKFのアンサンブル摂動（口頭）	斉藤和雄, 横田祥, Le Duc, 川畑拓矢, 松信匠	日本気象学会2018年度秋季大会, 仙台, 1 November 2018	2018/11/1	国内
Application of diagonal ensemble transform matrices into ensemble forecast（口頭）	Duc L., K. Saito, and D. Hotta	日本気象学会春季大会, つくば, 17 May 2018	2018/5/17	国内
線状降水帯の高解像度理想実験（口頭）	伊藤純至、津口裕茂、林修吾	日本気象学会春季大会、つくば、2018/05/16	2018/5/16	国内
台風境界層のロール構造の線形安定性解析（口頭）	伊藤純至, 伊賀啓太, 新野宏	日本流体力学会年会、大阪、2018/09/03	2018/9/3	国内
散在する高層建築物群の周りに形成される組織構造の分類（口頭）	河合英徳, 田村哲郎	第32回数値流体力学シンポジウム, Dec. 2018	2018/12/12	国内
気象モデル/工学的LESハイブリッド手法による強風下の東京都心における乱流解析（口頭）	川口真晴, 田村哲郎, 河合英徳	第32回数値流体力学シンポジウム, Dec. 2018	2018/12/11	国内
中低層市街地上空の乱流構造に関するライダー観測とLES（口頭）	巣山裕記, 河合英徳, Duong Dung Viet, 田村哲郎	第32回数値流体力学シンポジウム, Dec. 2018	2018/12/11	国内
気象モデルシミュレーションに基づく竜巻と実建物の力学的相互作用に関するLES（口頭）	川口真晴, 田村哲郎, 河合英徳	日本建築学会大会（仙台）, pp. 99-100, Sep. 2018	2018/9/5	国内
粗面都市境界層における気象擾乱を含んだ流入変動風の作成-空間フィルタリング・リスケーリング手法の展開ー（口頭）	河合英徳, 田村哲郎	日本建築学会大会, pp. 187-188, Sep. 2018	2018/9/6	国内
ライダー観測とLESによる都市境界層の乱流構造の解析（口頭）	巣山裕記, 田村哲郎, 河合英徳, 神田勲	流体力学会年会, Sep. 2018	2018/9/3	国内
業メソ同化システムを用いた4DVar, En4DVar, 4DEnVarの比較（ポスター）	横田祥, 小泉耕, 國井勝, 伊藤耕介	日本気象学会秋季大会, 仙台, 1 November 2018	2018/11/1	国内
従来型観測のみを用いた領域再解析の冬季降水の再現性（ポスター）	福井真, 岩崎俊樹, 斉藤和雄, 瀬古弘	日本気象学会2018年度秋季大会, 仙台, 2018年10月31日	2018/10/31	国内
台風の温帯低気圧化後の再発達に関する総観場のコンポジット解析（ポスター）	柳瀬亘, 嶋田宇大	日本気象学会2018年度春季大会, つくば, 16 May 2018	2018/5/16	国内
2014年8月広島での豪雨の再現実験（ポスター）	大泉伝, 斉藤和雄, Le Duc, 伊藤純至	日本気象学会2018年度春季大会, つくば, 19 May 2018	2018/5/19	国内
二重偏波レーダーデータ同化観測演算子の開発とその性能評価（口頭）	川畑拓矢	衛星シミュレータ研究会, 2018年7月	2018/7/12	国内
「気象予測研究の最先端！」～ ゲリラ豪雨を予測せよ！（招待講演）	三好建正	2018年度葦クラブ研究会, 名古屋, 6 August 2018	2018/8/6	国内
データ同化:シミュレーションと実測データを融合するデータサイエンス（招待講演）	三好建正	第10回放射光学会若手研究会, 東京, 3 September 2018	2018/9/3	国内

データ同化研究：ゲリラ豪雨予測からその先へ（招待講演）	三好建正	第5回CFD技術部門委員会, 東京, 11 January 2019	2019/1/11	国内
Ensemble-based analysis for heavy rains and tornadoes in Japan（招待講演）	横田祥	メソ気象セミナー, 柏, 16 June 2018	2018/6/16	国内
LETKFアンサンブル摂動雲解像モデルの場合（招待講演）	斉藤和雄, 横田祥, Le Duc, 川畑拓矢, 松信匠	東京大学大学院理学系研究科セミナー.東京都, 12 July 2018	2018/7/12	国内
Enhancing Data Assimilation of GPM Observations（口頭）	三好建正	NICAM-LETKF and Satellite DA Mtg, 神戸, 5 April 2018	2018/4/5	国内
Regional atmospheric data assimilation coupled with an ocean mixed layer model: a case of typhoon Soudelor (2015)（口頭）	Takatama, K., T. Honda, T. Miyoshi	Data Assimilation Seminar, Kyoto, 17 April 2018	2018/4/17	国内
海洋混合層モデルを導入した大気データ同化: 台風 Soudelor (2015) の事例（口頭）	高玉孝平, 本田匠, 三好建正	第2回 理研・気象庁データ同化研究会, 東京, 25 April 2018	2018/4/25	国内
全球大気データ同化システムNICAM-LETKFを使ったEFSO観測インパクト推定（口頭）	小槻峻司, 黒澤賢太, 三好建正	第2回 理研・気象庁データ同化研究会, 東京, 26 April, 2018	2018/4/26	国内
湖沼流動場へのデータ同化の適用（口頭）	三好建正, 高玉孝平	戦略的国際共同研究プログラム(SICORP), 滋賀, 20 June 2018	2018/6/20	国内
NICAM-LETKFを用いたGPM/DPRデータ同化実験（口頭）	小槻峻司, 寺崎康児, 三好建正	衛星シミュレーター研究会, 東京, 12 July 2018	2018/7/12	国内
EFSO観測インパクト推定を用いた予報を改悪する観測を同化しない「観測選択手法」の探索（口頭）	小槻峻司, 三好建正	第9回 理研・京大データ同化研究会, 京都, 17 July 2018	2018/7/17	国内
SCALE-LETKF への海洋混合層モデルの導入:台風 Soudelor (2015) の事例（口頭）	高玉孝平, 本田匠, 三好建正	旧OREDAミーティング, 横浜, 25 July 2018	2018/7/25	国内
7月豪雨の理研システムでの検討状況について（口頭）	三好建正	平成30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, 帯広, 4 August 2018	2018/8/4	国内
Enhancing Data Assimilation of GPM Observations（口頭）	三好建正	NICAM-LETKF and Satellite DA Mtg, 神戸, 9 August 2018	2018/8/9	国内
全球3.5km・1000メンバー実験に向けた 新NICAM-LETKFの開発（口頭）	寺崎康児, 八代尚, 富田浩文, 三好建正	ポスト京重点課題4サブ課題A研究連絡会, 東京, 20 September 2018	2018/9/20	国内
SCALE-LETKF への海洋混合層モデルの導入: 台風 Soudelor (2015) の事例（口頭）	高玉孝平, 本田匠, 三好建正	ポスト京平成30年度第2回研究連絡会, 東京, 20 September 2018	2018/9/20	国内
NICAM-LETKFシステムの更新 全球28km解像度での平成30年7月豪雨事例実験（口頭）	寺崎康児, 三好建正	NICAM開発者会議, 群馬, 9 October 2018	2018/10/9	国内
シミュレーションと実測データを融合するデータサイエンス（口頭）	三好建正	古気候復元研究に資する古文書データの共有化・構造化に関する研究集会, 東京, 19 November 2018	2018/11/19	国内
Enhancing Data Assimilation of GPM Observations（口頭）	三好建正	NICAM-LETKF and Satellite DA Mtg, 神戸, 17 December 2018	2018/12/17	国内
NICAM-LETKFを用いたGPM/DPRデータ同化実験（口頭）	小槻峻司, 寺崎康児, 黒澤賢太, 金丸佳矢, 三好建正	平成30年度GPMおよび衛星シミュレータ合同研究集会, 18 March 2019	2019/03/18	国内
現業メソ同化システム(JNoVA)を用いた4DVar, En4DVar, 4DEnVarの比較（口頭）	横田祥	平成30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, 帯広, 4 August 2018	2018/8/4	国内
非線形予報モデルを繰り返し計算する4DEnVarの特徴：Lorenz1963モデルとJNoVAによる考察（口頭）	横田祥, 小泉耕, 國井勝, 伊藤耕介	平成30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, 福岡, 22 December 2018	2018/12/22	国内
JNoVAをベースとする4DEnVarの開発（口頭）	横田祥, 小泉耕, 國井勝, 伊藤耕介	ポスト京重点課題4サブ課題A研究連絡会, 東京, 20 September 2018	2018/9/20	国内
降水と大気場の関係を調べるためのアンサンブルに基づく特異値解析（口頭）	横田祥, 瀬古弘, 南雲信宏, 山内洋, 工藤玲, 酒井哲, 小司禎教, 川畑拓矢, 幾田泰酵, 新野宏	ポスト京重点課題4サブ課題A研究連絡会, 東京, 20 September 2018	2018/9/20	国内
温度・鉛直シア・惑星渦度のパラメータ空間における低気圧の理想化実験（口頭）	柳瀬亘, 新野宏	ポスト京重点課題4サブ課題A研究連絡会, 東京, 22 June 2018	2018/6/22	国内
台風の温帯低気圧化後の再発達に影響する要因の統計（口頭）	柳瀬亘, 嶋田宇大	平成30年度京都大学防災研究所共同研究集会「台風研究会」, 宇治, 28 September 2018	2018/9/28	国内
温度・鉛直シア・惑星渦度のパラメータ空間における低気圧の理想化実験（招待講演）	柳瀬亘, 新野宏	第1回高・低気圧ワークショップ, 白浜町, 10 December 2018	2018/12/10	国内
Cloud resolving simulation of a local heavy rainfall event on 26 August 2011 observed in TOMACS（口頭）	斉藤和雄, 国井勝, 荒木健太郎	東京大学大気海洋研究所メソ気象セミナー, 柏市, 16 June 2018	2018/6/16	国内
豪雨事例を対象とする広領域超高解像度数値再現実験と対流コアサイズの解像度依存性（口頭）	斉藤和雄, 大泉伝, 伊藤純至, Le Duc	グレイゾーン研究会, 柏市, 23 July 2018	2018/7/23	国内
京コンピュータによる豪雨事例の超高解像度広領域数値予報実験（口頭）	斉藤和雄	東京大学大気海洋研究所気候システムセミナー, 柏, 8 May 2018	2018/5/8	国内
西日本豪雨の広領域超高解像度数値再現実験（口頭）	大泉伝	平成30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, 帯広市, 8 August 2018	201/8/8	国内
西日本豪雨の高解像度再現実験（口頭）	大泉伝	平成30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, 福岡, 22 December 2018	2018/12/22	国内
平成30年7月豪雨の予測可能性: NICAM-LETKFを用いた100アンサンブル予測実験（ポスター）	小槻峻司, 寺崎康児, 三好建正	平成30年7月豪雨に関する緊急対応研究会, 神戸, 17 August 2018	2018/8/17	国内
NICAM-LETKFを用いた水平解像度による豪雨の再現性について（ポスター）	寺崎康児, 三好建正	平成30年7月豪雨に関する緊急対応研究会, 神戸, 17 August 2018	2018/8/17	国内
準リアルタイムSCALE-LETKFシステムによる平成30年7月豪雨の予測（ポスター）	本田匠, G.-Y. Lien, 三好建正	平成30年7月豪雨に関する緊急対応研究会, 神戸, 17 August 2018	2018/8/17	国内

平成30年7月豪雨の広領域高解像度再現実験（ポスター）	大泉伝, 斉藤和雄, 伊藤純至, Le Duc	平成30年7月豪雨に関する緊急対応研究会, 神戸, 17 August 2018	2018/8/17	国内
天気予報の数理：データ同化と予測可能性（招待講演）	三好建正	第26回JST数学キャラバン, 大阪, 13 May 2018	2018/5/13	国内
ゲリラ豪雨を予測する（招待講演）	三好建正	2018年ゴールド・メダル賞受賞記念講演会, 東京, 19 May 2018	2018/5/19	国内
「データ同化研究」－ゲリラ豪雨予測からその先へ－（招待講演）	三好建正	第50回理研イブニングセミナー, 神戸, 1 August 2018	2018/8/1	国内
データ同化研究～ゲリラ豪雨予測からその先へ～（招待講演）	三好建正	理化学研究所科学講演会, 東京, 3 November 2018	2018/11/3	国内
NICAMとSCALEを使ったデータ同化研究ー観測ビッグデータとスパコン「京」のコラボレーション（招待講演）	三好建正	ビッグデータで見える世界ー, 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models(NHM2018) オープンセミナー「非静力学モデリングの進展と数値気象予測の今後の展望」, 東京, 16 November 2018	2018/11/16	国内
「ポスト京」による高度天気予報活用社会（招待講演）	三好建正	基礎科学力の強化に関する勉強会（自民党）, 東京, 4 December 2018	2018/12/4	国内
航空機による台風観測で見えたもの（招待講演）	伊藤耕介	第3回気象サイエンスカフェ in 那覇, 那覇, 15 December 2018	2018/12/15	国内
台風の航空機観測で見えたもの（招待講演）	伊藤耕介	宮古の自然と文化を考える会, 那覇, 14 October 2018	2018/10/14	国内
台風と航空機観測, 平成30年度竹富町防災気象講演会（招待講演）	伊藤耕介	波照間, 11 September 2018	2018/9/11	国内
「タイフーン・ハンター」になった日（招待講演）	伊藤耕介	むつ市科学技術館サイエンスカフェ, むつ, 11 August 2018	2018/8/11	国内
台風の予報はいま？（招待講演）	伊藤耕介	日本気象学会公開気象講演会, つくば, 19 May 2018	2018/5/19	国内
低気圧の多様性（招待講演）	柳瀬亘	第6回気象サイエンスカフェつくば, つくば, 16 October 2018	2018/10/16	国内
Development of a high resolution coastal ocean model（招待講演）	Kurogi, M. and H. Hasumi	International Symposium: Understanding Changes in Transitional Areas of the Pacific, 24-26 April 2018, La Paz, Mexico.	2018/4/25	国外
Abrupt termination of the 1997/1998 El Nino by an MJO Represented with an Ocean-Coupled NICAM (NICOCO)（招待講演）	Miyakawa, T., Yashiro, H., Suzuki, T., Tatebe, H., and Satoh, M.	15th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), 3-8 June 2018, Honolulu, Hawaii, U.S.A.	2018/6/7	国外
Stochastic response of tropical cyclone activities revealed by ensemble simulations with NICAM: Similarities and differences under the super El Nino conditions, 1997 and 2015.（招待講演）	Satoh, M., Y. Yamada, and T. Ishiyama	Workshop on Multi-scale Modeling of Atmospheric Processes 19-21 March 2018, Guangzhou, China.	2018/3/20	国外
Impact of Precipitating Ice Hydrometeors on Longwave Radiative Forcing Estimated by a Global Cloud-system Resolving Model（口頭）	Chen, Y.- W., T. Seiki, C. Kodama, M. Satoh, and A. T. Noda	15th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), 3-8 June 2018, Honolulu, Hawaii, U.S.A.	2018/6/6	国外
Impact of Precipitating Ice Hydrometeors on Longwave Radiative Forcing Estimated by a Global Cloud-system Resolving Model（口頭）	Chen, Y.-W., T. Seiki, C. Kodama, M. Satoh, and A. T. Noda	Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2018, 20-24 May 2018, Makuhari, Chiba, Japan.	2018/5/22	国内
Differences in tropical cyclogenesis in North Pacific between the strong El Niño years 1997 and 2015 investigated by perpetual July experiments with NICAM（口頭）	Ishiyama, T	Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2018, 20-24 May 2018, Makuhari, Chiba, Japan.	2018/5/23	国内
Preliminary results of a high-resolution climate simulation using the Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model, NICAM, for CMIP6 HighResMIP（口頭）	Kodama, C., M. Satoh, T. Ohno, A. T. Noda, H. Yashiro, Y. Yamada, M. Nakano, T. Seiki, T. Nasuno, Y.-W. Chen, T. Miyakawa, M. Sugi, and W. Roh	15th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), 3-8 June 2018, Honolulu, Hawaii, U.S.A.	2018/6/5	国外
The impact of hybrid usage of the Chikira-Sugiyama scheme on tropical convection and large-scale circulations in NICAM（口頭）	Miyakawa, T., A. T. Noda, and C. Kodama	5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, 14-16 November 2018, Tokyo, Japan.	2018/11/14	国内
Future Changes in the Intraseasonal Variability and Typhoon Activity in a Nonhydrostatic Global Atmospheric Model（口頭）	Nakano, M., K. Kikuchi, T. Nasuno, Y. Yamada, M. Satoh, M. Sugi	15th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), 3-8 June 2018, Honolulu, Hawaii, U.S.A.	2018/6/5	国外
Global cloud-system-resolving simulation of the Intraseasonal Oscillation over the Maritime Continent during the recent field campaigns（口頭）	Nasuno, T. and K. Kikuchi	The 33rd Conference on Hurricane and Tropical Meteorology, 16-20 April 2018, Ponte Vedra Beach, U.S.A.	2018/4/20	国外
Forecast skill of intraseasonal oscillation events over the Maritime Continent in a global cloud-system-resolving model（口頭）	Nasuno, T., M. Nakano, K. Kikuchi, T. Li	1st International Conference on Tropical Meteorology and Atmospheric Sciences, 19-20 September 2018, Bandung, Indonesia.	2018/9/20	国外
Forecast skill of intraseasonal oscillation events over the Maritime Continent in a global cloud-system-resolving model（口頭）	Nasuno, T., M. Nakano, K. Kikuchi, T. Li	15th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), 3-8 June 2018, Honolulu, Hawaii, U.S.A.	2018/6/5	国外
Forecast skill of intraseasonal oscillation events over the Maritime Continent in a global cloud-system-resolving model（口頭）	Nasuno, T., M. Nakano, K. Kikuchi, T. Li	Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2018, 20-24 May 2018, Makuhari, Chiba, Japan.	2018/5/22	国内
Evaluation of microphysics in mixed-phase clouds over the Southern Ocean in NICAM using Joint simulator（口頭）	Roh, W., Seiki, T., Satoh, M., and Hashino T	5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, 14-16 November 2018, Tokyo, Japan.	2018/11/15	国内
High Cloud Variations and Responses to Global Warming in the NICAM AMIP Experiment（口頭）	Satoh, M	Atmospheric Sciences Colloquium, 1 June 2018, University of Washington.	2018/6/1	国外
Recent outcomes of the Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model NICAM for global simulations of multi-scale convective systems（口頭）	Satoh, M	Understanding and Modelling Atmospheric Processes, The 2nd Pan-GASS meeting, 26 February-2 March 2018, Lorne, Victoria, Australia.	2018/2/27	国外
Project DYAMOND "DYnamics of the Atmospheric general circulation Modeled On Non-hydrostatic Domains" for high resolution (< 5 km) global model intercomparison（口頭）	Satoh, M. and B. Stevens	The 3rd International Workshop on "Climate Change and Precipitation in the East Asia", 22-23 February 2018, Garden City Ochanomizu, Tokyo, Japan.	2018/2/23	国内
Evaluations and improvements of global cloud resolving models using high-resolution satellite data using simulators（口頭）	Satoh, M., W. Roh, and T. Hashino	European Geosciences Union General Assembly 2018, 8-13 April 2018, Vienna, Austria.	2018/4/9	国外

High-resolution climate simulations using the Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model, NICAM（口頭）	Satoh, M., C. Kodama, T. Ohno, A. T. Noda, H. Yashiro, Y. Yamada, M. Nakano, T. Seiki, T. Nasuno, Y.-W. Chen, T. Miyakawa, M. Sugi, and W. Roh	European Geosciences Union General Assembly 2018, 8-13 April 2018, Vienna, Austria.	2018/4/13	国外
Topographic effects on ice clouds evaluated by CloudSat and CALIPSO satellite observations and a high-resolution global non-hydrostatic model（口頭）	Seiki, T., C. Kodama, M. Satoh, T. Hashino, Y. Hagihara, H. Okamoto	Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2018, 20-24 May 2018, Makuhari, Chiba, Japan.	2018/5/22	国内
Topographic effects on ice clouds evaluated by CloudSat and CALIPSO satellite observations and a high-resolution global non-hydrostatic mode（口頭）	Seiki, T., C. Kodama, M. Satoh, T. Hashino, Y. Hagihara, and H. Okamoto	15th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), 3-8 June 2018, Honolulu, Hawaii, U.S.A.	2018/6/5	国外
Ice cloud modeling for simulating mixed-phase low-clouds（口頭）	Seiki, T., and W. Roh	5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, 14-16 November 2018, Tokyo, Japan.	2018/11/15	国内
Preliminary results on the DYAMOND project（口頭）	Shibuya R., M. Satoh, and C. Kodama	5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, 14-16 November 2018, Tokyo, Japan.	2018/11/14	国内
Early Results from the DYAMOND Global Cloud Resolving Model Intercomparison（口頭）	Stevens, B., M. Satoh, C. Bretherton, P. Neumann, D. Klocke, F. Judt, M. Khairoutdinov, C. Kodama, L. Kornblueh, S.-J. Lin, W. Putman, R. Shibuya, P.-L. Vidale	2018 CFMIP Meeting on Clouds, Precipitation, Circulation, and Climate Sensitivity. 16-19 October 2018, Mesa Lab, National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder, CO, U.S.A.	2018/10/16	国外
Influences of the SST distributions and moistening processes on the determination of the MJO initiation region（口頭）	Takasuka, D., Satoh, M., and Miyakawa, T	Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2018, 20-24 May 2018, Makuhari, Chiba, Japan.	2018/5/22	国内
Moisture-Convection-Dynamical Feedback in Eastward Propagation of the Tropical Intraseasonal Variability in the NICAM Aqua-Planet Experiments（口頭）	Takasuka, D., and Satoh, M	15th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), 3-8 June 2018, Honolulu, Hawaii, U.S.A.	2018/6/5	国外
Widening of tropical cyclone scale projected by multi-decadal experiments with a 14km-mesh global nonhydrostatic model（口頭）	Yamada, Y., M. Satoh, M. Sugi, C. Kodama, A. T. Noda, M. Nakano, and T. Nasuno	Amrican Meteorological Society 33rd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, 13-21 April 2018, Florida, U.S.A.	2018/4/16	国外
Global non-hydrostatic atmospheric model experiments for HighResMIP: Resolution dependency of tropical cyclones and impacts of improved physical package（口頭）	Yamada, Y., C. Kodama, M. Satoh, T. Ohno, A. T. Noda, H. Yashiro, M. Nakano, T. Seiki, T. Nasuno, Y.-W. Chen, T. Miyakawa, M. Sugi, and W. Roh	2018 American Geophysics Union Fall Meeting, 9-14 December 2018, Washington D. C., U.S.A.	2018/12/12	国外
Development of nonhydrostatic Double Fourier Series global spectral Model (DFSM) and Global 7km mesh Model Intercomparison Project for improving TYphoon forecast (TYMIP-G7)（口頭）	Yoshimura, H., A. Wada, M. Nakano, R. Onishi, M. Nakagawa, T. Nasuno, M. Sugi, M. Sawada, K. Goto, K. Sakauchi	5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, 14-16 November 2018, Tokyo, Japan.	2018/11/14	国内
Differences in Tropical Cyclogenesis in North Pacific Between the strong El Niño years 1997 and 2015 Invetigated by Perpetual July Experiments with NICAM（ポスター）	Ishiyama, T	15th Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS), 3-8 June 2018, Honolulu, Hawaii, U.S.A.	2018/6/3-8	国外
Preliminary results of a high-resolution climate simulation using the Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model, NICAM, for CMIP6 HighResMIP（ポスター）	Kodama, C., M. Satoh, T. Ohno, A. T. Noda, H. Yashiro, Y. Yamada, M. Nakano, T. Seiki, T. Nasuno, Y.-W. Chen, T. Miyakawa, M. Sugi, and W. Roh	Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2018, 20-24 May 2018, Makuhari, Chiba, Japan.	2018/5/20-24	国内
Ocean-coupled NICAM (NICOCO) and its application on MJO - El Niño interacting events（ポスター）	Miyakawa, T., Yashiro, H., Suzuki, T., Tatebe, H., and Satoh, M	International Conferences on Subeasonal to Decadal predictions. 17-21 September 2018, Boulder, U.S.A.	2018/9/17-21	国外
Future Changes in the Intraseasonal Variability and Typhoon Activity in a Nonhydrostatic Global Atmospheric Model（ポスター）	Nakano, M., K. Kikuchi, T. Nasuno, Y. Yamada, M. Satoh, and M. Sugi	Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2018, 20-24 May 2018, Makuhari, Chiba, Japan.	2018/5/20-24	国内
Forecast skill of intraseasonal oscillation events over the Maritime Continent in a global cloud-system-resolving model（ポスター）	Nasuno, T., M. Nakano, K. Kikuchi, and T. Li	5th International Workshop on Nonhydrostatic Models, 14-16 November 2018, Tokyo, Japan.	2018/11/14	国内
Evaluations of mixed-phase clouds in NICAM over the Southern Ocean using CALIPSO and a satellite simulator（ポスター）	Roh, W., Seiki, T., Satoh, M., Hashino T	Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting 2018, 20-24 May 2018, Makuhari, Chiba, Japan.	2018/5/20-24	国内
Evaluations of Mixed-Phase Clouds over the Southern Ocean in NICAM Using Joint Simulator（ポスター）	Roh, W., Seiki, T., Satoh, M., Hashino T	15th Conference on Cloud Physics/15th Conference on Atmospheric Radiation in Vancouver, 8-14 July 2018, Canada	2018/7/8-14	国外
Mixed Rossby-Gravity Waves Observed in YMC-Sumatra 2017 and Their Impacs on the MJO（ポスター）	Takasuka, D., Satoh, M., and Yokoi, S	2018 American Geophysics Union Fall Meeting, 9-14 December 2018, Washington D. C., U.S.A.	2018/12/9-14	国外
強El Niño年(1997/2015年)の北太平洋の熱帯低気圧活動環境場の相違（口頭）	石山尊浩	日本気象学会2018年春季大会, 2018/05/16-19, つくば.	2018/5/18	国内
全球非静力学モデルNICAM気候実験における水平解像度依存性（口頭）	小玉知央, 佐藤正樹, 大野知己, 野田暁, 八代尚, 山田洋平, 中野満寿男, 清木達也, 那須野智江, Ying-Wen Chen, 宮川知己, 杉正人, Woosub Roh	日本気象学会2018年秋季大会, 2018/10/29-11/1, 仙台.	2018/11/1	国内
暖かい雨に対する雲物理スキーム比較実験　ーバルク法で使われるshape arameterの効果（口頭）	久芳奈遠美, 清木達也, 鈴木健太郎, Woosub Roh, 佐藤正樹	日本気象学会2018年春季大会, 2018/05/16-19, つくば.	2018/5/17	国内
YMC期間中の季節内振動事例の全球非静力学モデルによる予測性能（口頭）	那須野智江, 中野満寿男, 菊地一佳, Tim Li	日本気象学会2018年秋季大会, 2018/10/29-11/1, 仙台.	2018/10/29	国内
全球・領域実験併用のすゝめ ～普遍的な雲微物理の理解に向けて～（口頭）	清木達也, Woosub Roh	日本気象学会2018年秋季大会, 2018/10/29-11/1, 仙台.	2018/10/31	国内
YMC-Sumatra 2017 で観測された4-6日周期の大気擾乱とMJOとの関係（口頭）	高須賀大輔, 佐藤正樹, 横井覚	日本気象学会2018年秋季大会, 2018/10-29-11/1, 仙台.	2018/10/29	国内
Evaluations of mixed-phase clouds over the Southern Ocean in NICAM using Joint simulator（口頭）	Roh, W., Seiki, T., Satoh, M., and Hashino T	日本気象学会2018年秋季大会, 2018/10-29-11/1, 仙台.	2018/10/31	国内
NICAMを用いた熱帯低気圧の発生分布の再現性向上に向けた感度実験（ポスター）	山田洋平, 小玉知央, 佐藤正樹	日本気象学会2018年春季大会, 2018/05/16-19, つくば.	2018/5/18	国内
NICAM AMIP 型実験における台風の移動速度の将来変化（ポスター）	山田洋平, 小玉知央, 佐藤正樹	日本気象学会2018年秋季大会, 2018/10-29-11/1, 仙台.	2018/10/31	国内
Pacific Meridional Modeとインド洋のSSTが北太平洋の熱帯低気圧活動に与える影響（口頭）	石山尊浩	熱帯気象研究会, 2018/09/25-26, 名古屋.	2018/9/25	国内
super El Nino年 (1997/2015年) におけるPacific Meridional Modeとインド洋のSSTが与える北太平洋の熱帯低気圧活動の差異（口頭）	石山尊浩	台風研究会, 2018/09/27-28, 宇治, 京都.	2018/9/27	国内

Pacific Meridional Modeとインド洋のSSTが北太平洋の熱帯低気圧活動に与える影響（口頭）	石山尊浩	第一回　高・低気圧ワークショップ, 2018/12/10-11, 白浜, 和歌山.	2018/12/10-11	国内
全球雲解像モデルにおける可視化の実例と課題（口頭）	小玉知央	CG・可視化研究会（CAVE研究会）, 2018/9/25, 横浜, 神奈川.	2018/9/25	国内
HighResMIP、とその先（口頭）	小玉知央	NICAM開発者会議, 2018/10/9-10, 玉原, 群馬.	2018/10/9-10	国内
暖かい雨に対する雲物理スキームの比較実験　ーバルク法改良のための衛星データの活用法の模索（口頭）	久芳奈遠美, 清木達也, 鈴木健太郎, Woosub Roh, 佐藤正樹	衛星シミュレータ研究会, 2019/3.	2019/3	国内
ポスト京プロジェクトにおける日本沿岸域モデリング（口頭）	黒木聖夫	海洋モデリング研究会, 2018/07/26-28, 九重町, 大分県.	2018/07/26-28	国内
Extended-range prediction trials using NICAM and its ocean-coupled version NICOCO（口頭）	Miyakawa, T	NICAM-University of Washinton workshop, 30 May-1 June 2018, Seattle, U.S.A.	2018/5/30-6/1	国外
Chikiraスキームを入れた感度実験の報告（口頭）	宮川知己	NICAM開発者会議, 2018/10/9-10, 玉原, 群馬.	2018/10/9-10	国内
Future Changes in the Intraseasonal Variability and Typhoon Activity in a Nonhydrostatic Global Atmospheric Model（口頭）	Nakano, M., K. Kikuchi, T. Nasuno, Y. Yamada, M. Satoh, M. Sugi	NICAM-University of Washinton workshop, 30 May-1 June 2018, Seattle, U.S.A.	2018/5/30-6/1	国外
Numerical simulation of multi-scale precipitation and dynamics using NICAM（口頭）	Nasuno, T	LAPAN-JAMSTEC Workshop on the Atmospheric Dynamics in the Maritime Continent, 2018/09/18, Bundung, Indonesia.	2018/9/18	国外
2018年夏季NICAM予測計算（口頭）	那須野智江	台風診断 meeting, 2018/08/24, 東京大学大気海洋研究所, 柏, 千葉.	2018/8/24	国内
Evaluations of super-cooled water clouds in NICAM using Joint simulator（口頭）	Roh, W., Seiki, T., Satoh, M., and Hashino T	NICAM開発者会議, 2018/10/9-10, 玉原, 群馬.	2018/10/9-10	国内
Numerical study on cloud systems using NICAM（口頭）	Roh, W., Satoh, M	NIES supercomputer workshop 2018, 26 December 2018, Tsukuba.	2018/12/26	国内
Introduction to Global Cloud Resolving Models（口頭）	Satoh, M	2018 LASG Summer School on Climate System Model Development and Application, 12-16 July 2018, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences.	2018/7/12-16	国外
全球雲システム解像モデル（NICAM)を用いた北半球夏季季節内振動（BSISO)の予測可能性について（口頭）	澁谷亮輔, 中野満寿男, 小玉知央, 那須野智江, 佐藤正樹, 宮川知己, 三浦裕亮	熱帯気象研究会, 2018/09/25-26, 名古屋.	2018/9/25-26	国内
YMC-Sumatra 2017で観測された混合ロスビー重力波とそのMJOの発生・東進開始への影響（口頭）	高須賀大輔	第5回マッデン・ジュリアン振動研究会, 2018/8/10-11, 富山.	2018/8/10-11	国内
YMC-Sumatra 2017 で観測された4-6日周期の大気擾乱とMJOとの関係（口頭）	高須賀大輔, 佐藤正樹, 横井覚	熱帯気象研究会, 2018/09/25-26, 名古屋.	2018/9/25-26	国内
HighResMIPの出力を用いた台風の構造の解像度依存性（口頭）	山田洋平	NICAM開発者会議, 2018/10/9-10, 玉原, 群馬.	2018/10/9-10	国内
熱帯大気の２つの脈動を理解するー YMC 集中観測と全球雲解像数値シミュレーション ー（口頭）	那須野智江	JAMSTEC2018, 2018/04/26, 虎の門ヒルズフォーラム, 東京.	2018/0/26	国内
地球温暖化によって台風のサイズは変わるかのか？～高解像度モデルが示す台風の将来予測～（口頭）	山田洋平	JAMSTEC横浜研究所 休日開館222回公開セミナー, 2018/8/18, 横浜.	2018/8/18	国内
Development of size-resolving aerosol microphysics scheme for use in a global non-hydrostatic cloud-resolving model（ポスター）	Cheng, C., and K. Suzuki	AGU Fall Meeting, Washington DC,USA, December 2018	2018/12/14	国外
Process-oriented constraint on cloud microphysics and its implication for aerosol-cloud interactions（ポスター）	Suzuki, K., X. Jing, T. Michibata, D. Goto, and Y. Sato	AGU Fall Meeting, Washington DC, USA, December 2018	2018/12/10	国外
Process-oriented versus energy-based constraints on aerosol-cloud interaction（口頭）	Suzuki, K., X. Jing, and T. Michibata	AMS Conference on Atmospheric Radiation and Cloud Physics, Vancouver, Canada, 10 July, 2018	2018/7/10	国外
Process-oriented versus energy-based constraints on cloud microphysics: Implication for aerosol-cloud interactions（口頭）	Suzuki, K.	GEWEX Science Conference, Canmore, Canada, 8 May, 2018	2018/5/8	国外
Relationship between dust emission amount and soil moisture content（ポスター）	Maki, T.,T. Y. Tanaka, K. Yumimoto, A. Ogi, T. T. Sekiyama and M. Hosaka	9th International Dust Workshop, Spain, May 2018.	2018/5/22	国外
Updates of the aerosol prediction of the Japan Meteorological Agency（口頭）	Tanaka, T. Y., A. Ogi, K. Yumimoto, S. Yabu, T. Aoyagi, M. Deushi, M. Kajino, N. Oshima, T. T. Sekiyama, and T. Maki	ICAP 10th working group meeting, Exeter, U.K., Jun. 2018.	2018/6/6	国外
Verification and evaluation of DSS by numerical model and observations（口頭）	Maki, T., T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, K. Kondo, A. Ogi, A. Saito, S. Yabu and K. Yumimoto	DSS sub-forum for TEMM20, Suzhou, P.R.C., Jun. 2018.	2018/6/23	国外
Quantitative analysis of the global dust emission using a data assimilation technique（ポスター）	Tanaka, T. Y., and K. Yumimoto	joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium and 15th IGAC Science Conference, Takamatsu, Japan, Sep. 2018.	2018/9/28	国内
Data assimilation of Himawari-8 aerosol optical thickness for the operational dust forecast（口頭）	Tanaka.,T.Y, A. Ogi, K. Yumimoto, T. T. Sekiyama, T. Maki, M. Kikuchi, M. Yoshida, T. M. Nagao and H. Murakami	AGU fall meeting 2018, U.S.A., December, 2018	2018/12/13	国外
The study on DSS monitoring and modeling from Japan（口頭）	Maki, T., K. Yumimoto, T. T. Sekiyama, T. Y. Tanaka, A. Ogi, D. Uesawa and S. Yabu	The 11th meeting of Working Group I for Joint Research on DSS, Ikebukuro, Japan, Nov. 2018.	2018/11/9	国内
Current national activities and collaborative projects of JMA/MRI（口頭）	Maki, T., T. T. Sekiyama, T. Y. Tanaka, A. Ogi, D. Uesawa and S. Yabu, A. Saito and K. Yumimoto	Meeting of the WMO SDS-WAS Regional Steering Group (RSG) For Asia, Tsukuba, Japan, Nov. 2018.	2018/11/20	国内
Large ensemble based data assimilation with MASINGAR-mk2（口頭）	Kondo, K., T.Y. Tanaka, T.T. Sekiyama, K. Yumimoto, and T. Maki	ICAP 10th working group meeting, Exeter, U.K., Jun. 2018	2018/6/6	国外
A large ensemble based data assimilation experiment with a global aerosol transport model（ポスター）	Kondo, K., T.Y. Tanaka, T.T. Sekiyama, K. Yumimoto, and T. Maki	joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium and 15th IGAC Science Conference, Takamatsu, Japan, Sep. 2018	2018/9/25	国内

New BFGS-based methods to accurately estimate a posterior error covariance matrix（口頭）	Niwa Y., and Fujii	IG3IS/TransCom Meeting, Lund, Sweden (Sep 2018)	2018/9/17	国外
Analysis of high radon-222 concentration events using NICAM（ポスター）	Ishijima, K., M. Takigawa, Y. Yamashita, H. Yashiro, C.Kodama, M. Satoh, K. Tsuboi, H. Matsueda, Y. Niwa, and S. Hirao	PGU2018, Makumari, Japan May 20, 2018	2018/5/20	国内
Analysis of high radon-222 concentration events in winter using multi-horizontal-resolution NICAM simulations（ポスター）	Ishijima, K., M. Takigawa, Y. Yamashita, H. Yashiro, C.Kodama, M. Satoh, K. Tsuboi, H. Matsueda, Y. Niwa, and S. Hirao	iCACGP/IGAC, Takamatsu, Japan, Sep 25-29, 2018	2018/9/25	国内
Model Intercomparison study for atmospheric 137Cs from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident using identical input data（ポスター）	Sato,Y., M. Takigawa, T. T. Sekiyama, M. Kajino, H. Terada, H. Nagai, H. Kondo, J. Uchida, D. Goto, D. Quélo, A. Mathieu, N. Evangeliou, I. Pisso, A. Stohl, S. Fang, Y. Morino, P. von Schoenberg, H. Grahn, N. Brännström, S. Hirao, H. Tsuruta, H. Yamazawa, and T. Nakajima	EGU General Assembly 2018, Vienna, Austria, April, 2018	2018/4/12	国外
Resolution Dependency of Numerically Simulated Stratosphere-to-Troposphere Transport Associated with Mid-Latitude Closed Cyclones in Early Spring around Japan（口頭）	Yamashita, Y., M.Takigawa, K. Ishijima, H. Akiyoshi, C. Kodama, H. Yashiro, M. Satoh	EGU General Assembly 2018, Vienna, Austria, April, 2018	2018/4/11	国外
The forest fire emission and its injection height impacts on the aerosol transport in September 2016 simulated with the NICAM-SPRINTARS（ポスター）	Yamashita, Y., M. Takigawa, D. Goto, H. Yashiro, M. Satoh, Y. Kanaya, F. Taketani, T. Miyakawa	15th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society, Honolulu, June, 2018	2018/6/6	国外
The transport pathway of black carbon emitted from the Siberian forest fire in September 2016 with the NICAM-SPRINTARS and R/V Mirai（ポスター）	Yamashita,Y., M. Takigawa, D. Goto, H. Yashiro, M. Satoh, Y. Kanaya, F. Taketani, T. Miyakawa	AGU fall meeting 2018,Wasington D.C., Dec. 2018	2018/12/12	国外
The simulations of the long-range transport of aerosols emitted from the Siberian forest fire in September 2016（ポスター）	Yamashita, Y., M. Takigawa, D. Goto, H. Yashiro, M. Satoh, Y. Kanaya, F. Taketani, T. Miyakawa	iCACGP/IGAC 2018, Takamatsu, September, 2018	2018/9/25	国内
NICAM-Chem: Atmospheric chemical transport model based on the non-hydrostatic icosahedral atmospheric model（ポスター）	Yamashita,Y., M. Takigawa, D. Goto, H. Yashiro, C. ChiuTung, K. Suzuki, M. Satoh, Y. Kanaya, F. Taketani, T. Miyakawa	The 1st R-CCS International Symposium, Kobe, Feb. 2018	2019/2/18	国内
Global High-Resolution Simulations of Tropospheric Nitrogen Dioxide Using CHASER V4.0 and its application to data assimilation（ポスター）	Sekiya, T., K. Miyazaki, K. Ogochi, K. Sudo, and M.Takigawa	AOGS 15th Annual Meeting, Honolulu, June 2018	2018/6/1	国外
A 0.56° -resolution global data assimilation of multi-constituent satellite measurements for use in tropospheric chemistry studies（ポスター）	Sekiya, T., K. Miyazaki, K. Ogochi, K. Sudo, M. Takigawa, H. Eskes, F. Boersma	2018 joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium and 15th IGAC Science Conference, Takamatsu, September 2018	2018/9/25	国内
A 0.56° -resolution global data assimilation of multi-species satellite measurements for atmospheric composition study（ポスター）	Sekiya, T., K. Miyazaki, K. Ogochi, K. Sudo, M. Takigawa, H. Eskes, F. Boersma	The 1st R-CCS International Symposium, Kobe, Feb. 2019	2019/2/18	国内
吸収性・散乱性エアロゾルの全球エネルギー収支への影響（口頭）	鈴木健太郎, 竹村俊彦	日本気象学会秋季大会, 仙台市, 2018年10月	2018/10/29	国内
データ同化手法を応用した鉱物ダスト発生量の定量的解析（ポスター）	田中泰宙, 弓本桂也	日本気象学会秋季大会, P387, 仙台市, 2018年10月	2018/10/31	国内
福島第１原子力発電所起源の放射性物質を対象とした大気拡散モデルの特性評価（ポスター）	佐藤陽祐, 山澤弘実, 足立振一郎	日本気象学会秋季大会, P383, 仙台市, 2018年10月	2018/10/31	国内
統一気象場と放出源を用いた福島第一原子力発電所起源の137Csを対象としたモデル間比較プロジェクト（口頭）	佐藤陽祐, 滝川雅之, 関山剛, 梶野瑞王, 寺田宏明, 永井晴康, 近藤裕昭, 打田純也, 五藤大輔, Denis Quélo, Anne Mathieu, Nikolaos Evangeliou, Ignacio Pisso, Andreas Stohl, Fang Sheng, 森野悠, Pontus von Schoenberg, Håkan Grahn, Niklas Brännström, 平尾茂一, 鶴田治雄, 中島映至, 山澤弘実	日本気象学会春季大会,B453,つくば, 2018年5月	2018/5/19	国内
The simulations of the forest fire emission and its impact on the long-range transport of aerosols using the K computer（ポスター）	Y. Yamashita, M. Takigawa, D. Goto, H. Yashiro, M. Satoh, Y. Kanaya, F. Taketani, T. Miyakawa	JpGU 2018,幕張, 2018年5月	2018/5/20	国内
2016年９月にシベリア域で発生した森林火災に伴うエアロゾル輸送のNICAM-SPRINTARSとR/V「みらい」の観測結果を用いた解析（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	日本気象学会秋季大会, 仙台, 2018年10月	2018/11/1	国内
A 0.56° -resolution global data assimilation of multi-chemical constituent satellite measurements（招待講演）	関谷高志, 宮崎和幸, 大越智幸司, 須藤健悟, 滝川雅之	JpGU 2018, 幕張, 2018年5月	2018/5/24	国内
Hydrodynamic Data Storage using Wavelet Compression（招待講演）	Kolomenskiy, D., Onishi, R. and Uehara, H.	Séminaire de Mécanique d'Orsay, LIMSI, Orsay, France, 2018/12/13	2018/12/13	国外
Data Compression for High-Performance Computational Fluid Dynamics（招待講演）	Kolomenskiy, D., Onishi, R. and Uehara, H.	Séminaire Signal et Apprentissage, I2M, Marseille, France, 2018/12/14	2018/12/14	国外
Hydrodynamic Data Storage using Wavelet Compression（招待講演）	Kolomenskiy, D., Onishi, R. and Uehara, H.	Séminaire Verrou 4, IFPEN, Rueil-Malmaison, France, 2018/12/18	2018/12/18	国外
Data Compression for High-Performance Flow Simulations（口頭）	Kolomenskiy, D., Onishi, R. and Uehara, H.	15th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2018), Sendai International Center, Sendai, Miyagi, Japan, 2018/11/7-9	2018/11/7	国内
Challenges of NICAM toward the exascale era（口頭）	Yashiro, H.	5th ENES HPC Workshop on "HPC for high-resolution climate and weather modelling", Lecce, Italy, May 17-18, 2018.	2018/5/17	国外
Development of global high-resolution climate model and its application to the chemistry climate study（ポスター）	Yashiro, H., D. Goto, Y. Sato, Y. Yamashita, K. Ishijima, C. Kodama, M. Takigawa, H. Tomita, and M. Satoh	2018 joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium/15th IGAC Science Conference, Takamatsu, Japan, September 25-29, 2018.	2018/9/29	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
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.	Kotsuki S., K. Terasaki, H. Yashiro, H. Tomita, M. Satoh, and T. Miyoshi	J. Geophys.Res. Atmos., 123, 7375-7392.	2018	国外
Predictability of Record-Breaking Rainfall in Japan in July 2018: Ensemble Forecast Experiments with the Near-real-time Global Atmospheric Data Assimilation System NEXRA.	Kotsuki S., Terasaki K., Kanemaru K., Satoh M., Kubota T. and Miyoshi T.	Scientific Online Letters on the Atmosphere, Volume 15A, Pages 1-7.	2019	国外
最前線の水文・水資源学 ： WACCA世代の挑戦	田中智大, 渡部哲史, 小槻峻司, 林義晃, 丸谷靖幸, 峠嘉哉, 山崎大, 木村匡臣, 田上雅浩, 江草智弘, 橋本雅和, 仲吉信人	水文・水資源学会誌, 31, 6, 170, 509-540.	2018	国内
Improving a precipitation forecast by assimilating all-sky Himawari-8 satellite radiances: A case of Typhoon Malakas (2016).	Honda, T., S. Takino, and T. Miyoshi	SOLA, Volume 15, Pages 7-11.	2019	国内
Multi-year analysis using the NICAM-LETKF data assimilation system.	Terasaki, Koji, Kotsuki, Shunji, Miyoshi, Takemasa	SOLA. In-press.	2019	国内
Analysis and forecast using dropsonde data from the inner-core region of Tropical Cyclone Lan (2017) obtained during the first aircraft missions of T-PARCII	Ito, K., H. Yamada, M. Yamaguchi, T. Nakazawa, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, and K. Tsuboki	SOLA, 14, 105-110.	2018	国内
高解像度大気モデル及び大気海洋結合モデルを用いた北西太平洋全域台風予測実験	伊藤耕介, 山口宗彦, 沢田雅洋	気象研究所研究報告, 第67巻, 15-34.	2018	国内
Comparison of assimilating all‐sky and clear‐sky infrared radiances from Himawari‐8 in a mesoscale system.	Okamoto, Sawada, Kunii	QJRMS, in press doi:10.1002/qj.3463	2019	国外
Improving short-term rainfall forecasts by assimilating weather radar reflectivity using additive ensemble perturbations.	Yokota, S., H. Seko, M. Kunii, H. Yamauchi, and E. Sato	J. Geophys. Res., 123, 9047-9062. http://dx.doi.org/10.1029/2018JD028723	2018	国外
Structure and environment of extratropical cyclones that spawned tornadoes around Japan.	Tochimoto, E., and H., Niino	J. Meteor. Soc. Japan. 96, 355-380, https://doi.org/10.2151/jmsj.2018-043	2018	国内
Entraining CAPE for better assessment of tornado outbreak potential in the warm sector of extratropical cyclones.	Tochimoto, E., K., Sueki, H., Niino	Mon. Wea. Rev.in press https://doi.org/10.1175/MWR-D-18-0137.1	2019	国外
Evaluation of forward operators for polarimetric radars aiming for data assimilation.	Kawabata, T., H.-S. Bauer, T. Schwitalla, V. Wulfmeyer, and A. Adachi	J. Meteor. Soc. Japan, 96A, 157-174, doi:10.2151/jmsj.2018-017.	2018	国内
Observational operators for dual polarimetric radars in variational data assimilation systems (PolRad VAR v1.0).	Kawabata, T., T. Schwitalla, A. Adachi, H.-S. Bauer, V. Wulfmeyer, N. Nagumo, and H. Yamauchi	Geosci. Model Dev., 11, 2493-2501, doi:10.5194/gmd-11-2493-2018 .	2018	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., Apip, Duc, L., Oizumi, T., and Saito, K.	Nat.Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., in review. https://doi.org/10.5194/nhess-2018-343	2019	国外
洪水氾濫シミュレーションにおいて 風の影響を考慮する必要性に関する検討	小林健一郎, 中山恵介, 田中翔, 阪口詩乃, 奥勇一郎, 池内幸司	土木学会論文集B1(水工学) Vol.74, No.5, I_1459-I_1464.	2018	国内
浅水流方程式・局所慣性方程式の精度検証と 最適空間解像度に関する検討	小林健一郎, 中山恵介, 阪口詩乃	土木学会論文集B1(水工学) Vol.74, No.5, I_1513-I_1518	2018	国内
A feasibility study on the high-resolution regional reanalysis over Japan assimilating only conventional observations as an alternative to the dynamical downscaling.	Fukui, S., T. Iwasaki, K. Saito, H. Seko, and M. Kunii	J. Meteor. Soc. Japan, 96, 565-585. https://doi.org/10.2151/jmsj.2018-056	2018	国内
Cloud resolving simulation of a local heavy rainfall event on 26 August 2011 observed in TOMACS.	Saito, K., M. Kunii and K. Araki	J. Meteor. Soc. Japan, 96A, 175-199. https://doi.org/10.2151/jmsj.2018-027	2018	国内
Verification in the presence of observation errors: Bayesian point of view.	Duc, L. and K. Saito	Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 144, 1063-1090. https://doi.org/10.1002/qj.3275	2018	国外
Investigation of wall pressures and surface flow patterns on a wall-mounted square cylinder using very high-resolution Cartesian mesh	Cao, Y., T. Tamura, H. Kawai	Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 2019	2019	国外
Shear effects on flows past a square cylinder with rounded corners at Re=2.2×104	Cao, Y., T. Tamura	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 174, 119-132, 2018.	2018/3	国外
熱放射を考慮した市街地のＬＥＳに基づく気流・熱環境解析	新井舞子, 河合英徳, 田村哲郎	第25回風工学シンポジウム,2018.12	2018	国内
High-resolution LES for wind pressure prediction of tall building on slight undulation	孟明玉, 河合英徳, 田村哲郎, 陳哲狗	第25回風工学シンポジウム,2018.12	2018	国内
第５回再解析国際会議報告	古林慎哉, 原田昌, 小林ちあき, 原田やよい, 大島和裕, 中村尚, 福井真, 藤原正智, 山崎哲, 芳村圭,	天気, 65, 431-439.	2018	国内
2008年8月首都圏局地豪雨のGPSデータ同化実験と雲解像アンサンブル予報	斉藤和雄, 小司禎教, 折口征二, Le Duc	気象研究ノート. 236, 250-265.	2018	国内
2011年8月26日首都圏豪雨の雲解像アンサンブル実験	斉藤和雄, 国井勝, 荒木健太郎	気象研究ノート. 236, 266-282.	2018	国内
LETKFネストシステムによる稠密観測データの同化実験―2012年5月6日に関東地方で発生した竜巻の事例について―	横田祥, 瀬古弘, 國井勝, 山内洋	気象研究ノート. 236, 242-249.	2018	国内
全球非静力学モデルを用いた準実時間予測計算システムの構築とJAMSTEC集中観測における実利用	池田美紀子, 那須野智江	JAMSTEC Research and Development, 27 (9), 47-56, doi:10.5918/jamstecr.27.47.	2018	国内
Analysis of high radon-222 concentration events using multi-horizontal-resolution NICAM simulations.	Ishijima, K., Takigawa, M., Yamashita, Y., Yashiro, H., Kodama, C., Satoh, M., Tsuboi, K., Matsueda, H., Niwa, Y., Hirao, S.	SOLA, 14, 111-115, doi:10.2151/sola.2018-019.	2018	国内
JAMSTEC Model Intercomparision Project (JMIP)	Kodama, C., A. Kuwano-Yoshida, S. Watanabe, T. Doi, H. Kashimura, and T. Nasuno	JAMSTEC Report of Research and Development, 28, 5-34, doi:10.5918/jamstecr.28.5.	2019	国内

大気重力波と熱帯対流を陽に解く中層大気モデルを用いたシミュレーション	小玉知央, 渡辺真吾, 那須野智江, 佐藤正樹, 久保川陽呂鎮	HPCI利用研究成果集, 3, 1-6, http://www.hpci-office.jp/annex/resrep/?p=972.	2018	国内
Deep learning approach for detecting tropical cyclones and their precursors in the simulation by a cloud-resolving global nonhydrostatic atmospheric model.	Matsuoka, D., M. Nakano, D. Sugiyama, and S. Uchida	Prog. Earth Planet. Sci., 5:80, doi:10.1186/s40645-018-0245-y.	2018	国内
Cloud feedbacks in extratropical cyclones: insight from long-term satellite data and high-resolution global simulations	McCoy, D. T., P. R. Field, G. S. Elsaesser, A. Bodas-Salcedo, B. H. Kahn, M. D. Zelinka, C. Kodama, T. Mauritsen, B. Vanniere, M. Roberts, P. L. Vidale, D. Saint-Martin, A. Voldoire, R. Haarsma, A. Hill, B. Shipway, and J. Wilkinson	Atmos.Chem. Phys., 19, 1147-1172, doi:10.5194/acp-19-1147-2019.	2019	国外
Resolution sensitivity of cloud features in organized convection in a global cloud/cloud-system resolving model.	Miyakawa, T., and M. Miura	J. Meteor. Soc. Japan, 97, in press, doi:10.2151/jmsj.2019-034.	2019	国内
The impact of hybrid usage of a cumulus parameterization scheme on tropical convection and large-scale circulations in a global cloud-system resolving model.	Miyakawa, T., A. T. Noda, C. Kodama	J. Adv. Model. Earth Syst. doi:10.1029/2018MS001302.	2018	国外
CINDY2011/DYNAMO Madden-Julian oscillation successfully reproduced in global cloud/cloud-system resolving simulations despite weak tropical wavelet power.	Miyakawa, T., and K. Kikuchi	Scientific Reports. doi:10.1038/s41598-018-29931-4.	2018	国外
Convectively Generated Gravity Waves in High Resolution Models of Tropical Dynamics	Muller, S., E. Manzini, M. Georgetta, K. Sato, and T. Nasuno	Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 10, 10, 2564-2588, doi:10.1029/2018MS001390.	2018	国外
The benefits of global high-resolution for climate simulation: process-understanding and the enabling of stakeholder decisions at the regional scale.	Roberts, M., P. Vidale, C. Senior, H. Hewitt, C. Bates, S. Berthou, P. Chang, H. Christensen, S. Danilov, M. Demory, S. Griffies, R. Haarsma, T. Jung, G. Martin, S. Minobe, T. Ringler, M. Satoh, R. Schiemann, E. Scoccimarro, G. Stephens, and M. Wehner	Bull. Amer. Meteor. Soc., 99, 2341-2359, doi:10.1175/BAMS-D-15-00320.1.	2018	国外
Initiation Processes of the Tropical Intraseasonal Variability Simulated in an Aqua-planet Experiment: What is the Intrinsic Mechanism for MJO Onset?	Takasuka, D., Satoh, M., Miyakawa, T., and Miura, H.	J. Adv. Model. Earth Syst., 10, 1047-1073, doi:10.1002/2017MS001243.	2018	国外
Radiative-Convective Equilibrium Model Intercomparison Project.	Wing, A. A., Reed, K. A., Satoh, M., Stevens, B., Bony, S., Ohno, T.	Geosci. Model Dev., 11, 793-813, doi:10.5194/gmd-11-793-2018.	2018	国外
「世界の気象リアルタイム」の開始とそれを実現した最先端技術	佐藤正樹, 金丸佳矢, JAXA/EORC	地球が見える 2018年 シリーズ「衛星データと数値モデルの融合」（第3回） https://www.eorc.jaxa.jp/earthview/2018/tp181114.html	2018	国内
Coupling Library Jcup3: Its philosophy and application. Geosci.	Arakawa, T., Inoue, T., Yashiro, H., and Satoh, M.	Geosci. Model Dev. Discuss., doi:10.5194/gmd-2018-147.	2018	国外
気候変動を理解し、予測するースーパーコンピュータが描く未来ー	小玉知央	Blue Earth「Marine Science Seminar」, 30, 1, 28-31	2018	国内
Analysis of high radon-222 concentration events using multi-horizontal-resolution NICAM simulatation	Ishijima, K., M.Takigawa, Y. Yamashita, H. Yashiro, C.Kodama, M. Sato, K. Tuboi, H. Matsueda, Y. Niwa, and S. Hirao	SOLA, 14, 111-115, doi.org/10.2151/sola.2018-019	2018/6	国内
Near real-time simulation data of atmospheric components and meteorology in the Arctic region using the WRF-Chem model from August to September 2016	Takigawa, M., M. Yamaguchi, F. Taketani, Y. Kanaya, and Y. Kondo	Polar Data Journal, 2, 1-13, doi://10.20575/00000003	2018/8	国内
Assimilation and Forecasting Experiment for Heavy Siberian Wildfire Smoke in May 2016 with Himawari-8 Aerosol Optical Thickness	Yumimoto, K., T. Y. Tanaka, M.Yoshida, M. Kikuchi, T. M. Nagao, H. Murakami, and T. Maki	Journal of the Meteorological Society of Japan, 96B, 133-149	2018/4	国内
NHM-Chem, the Japan Meteorological Agency's regional meteorology - Chemistry model: Model evaluations toward the consistent predictions of the chemical, physical, and optical properties of aerosols	Kajino, M., M. Deushi, T. Sekiyama, N. Oshima, K. Yumimoto, T. Tanaka, J. Ching, A. Hashimoto, T. Yamamoto, M. Ikegami, A. Kamada, M. Miyashita, Y. Inomata, S.-I. Shima, A. Takami, A. Shimizu, S. Hatakeyama, Y. Sadanaga, H. Irie, K. Adachi, Y. Zaizen, Y. Igarashi, H. Ueda, T. Maki, and M. Mikami	J. Meteor. Soc. Japan, 97	2018/12	国内
Model intercomparison of atmospheric 137Cs from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: Simulations based on identical input data	Sato, Y., M. Takigawa, T. T. Sekiyama, M. Kajino, H. Terada, H. Nagai, H. Kondo, J. Uchida, D. Goto, D. Quélo, A. Mathieu, A. Quérel, S. Fang, Y. Morino, P. von Schoenberg, H. Grahn, N. Brännström, S. Hirao, H. Tsuruta, H. Yamazawa, and T. Nakajima	J. Geophys. Res.: Atmosphere, 123, 11748-11765, doi:10.1029/2018JD029144	2018/10	国外
WaveRange: Data Compression for Environmental Flow Simulations	Kolomenskiy, D., Onishi, R. and Uehara, H.	Computer Physics Communications, under review	2018	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

平成 31 年 4 月 1 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。

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。

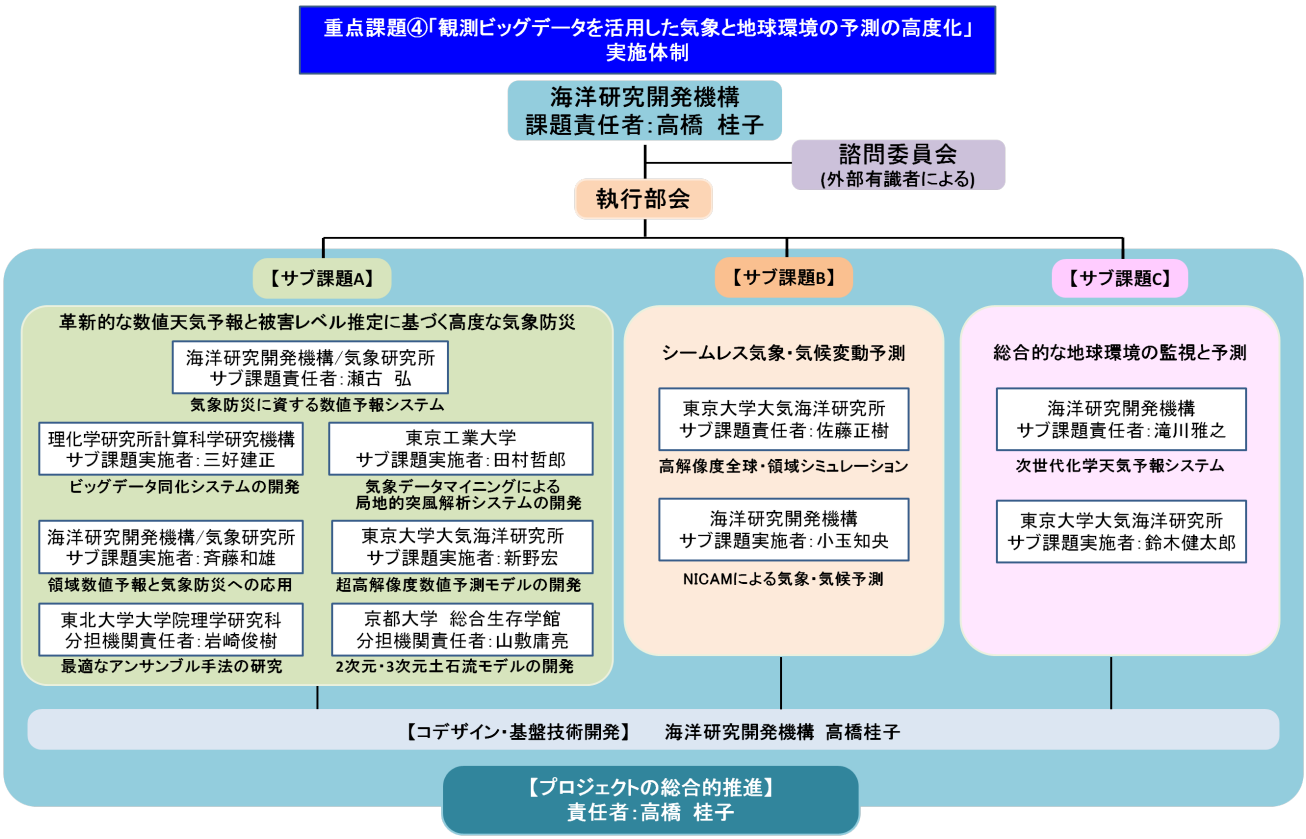
サブ課題B シームレス気象・気候変動予測 （サブ課題責任者：東京大学大気海洋研究所・佐藤正樹、分担機関：海洋研究開発機構）	（目標） ・シームレス気象・気候予測に向けた情報収集・アプローチの検討。 （実施内容） ・NICAM:14kmメッシュ１ヶ月～季節予測アンサンブル実験。 ・近未来実験に向けた情報収集。 ・海洋：境界条件整備、低解像度予備実験。	（目標） ・シームレス気象予測に向けた課題の抽出・アプローチの検討。 （実施内容） ・NICAM:14kmメッシュ１ヶ月～季節予測アンサンブル実験の設定検討。 ・海洋：水平500m格子日本沿岸モデルの構築、計算性能測定とチューニング。	（目標） ・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	1,336,964
合計	**6,710,000**	**41,337,026**	**35,508,505**	**35,508,505**	**12,032,681**

「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。

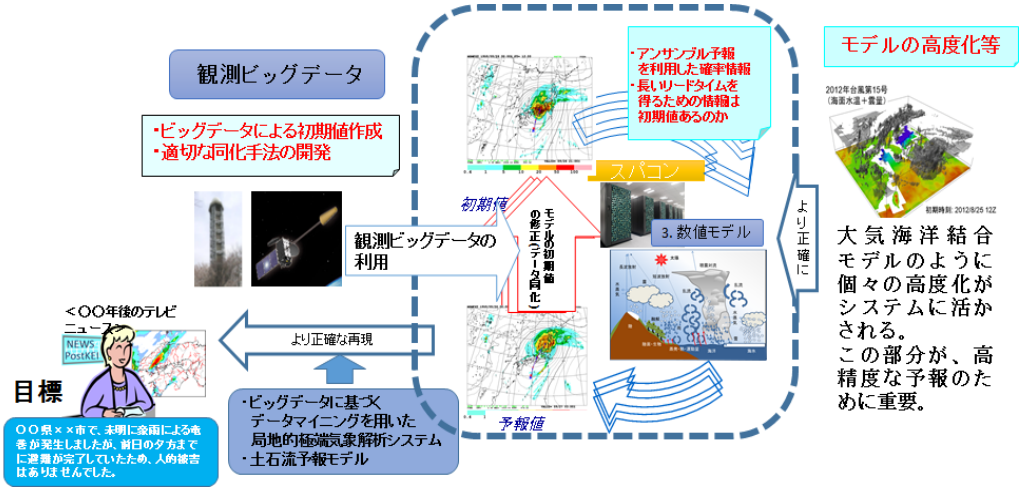


図 A-1.　データ同化、アンサンブル手法、モデルの高度化との関係

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。

実施する開発のスケールと目標

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（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、1㎞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5㎞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㎞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㎞の積乱雲を対象としながら、数10㎝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）。

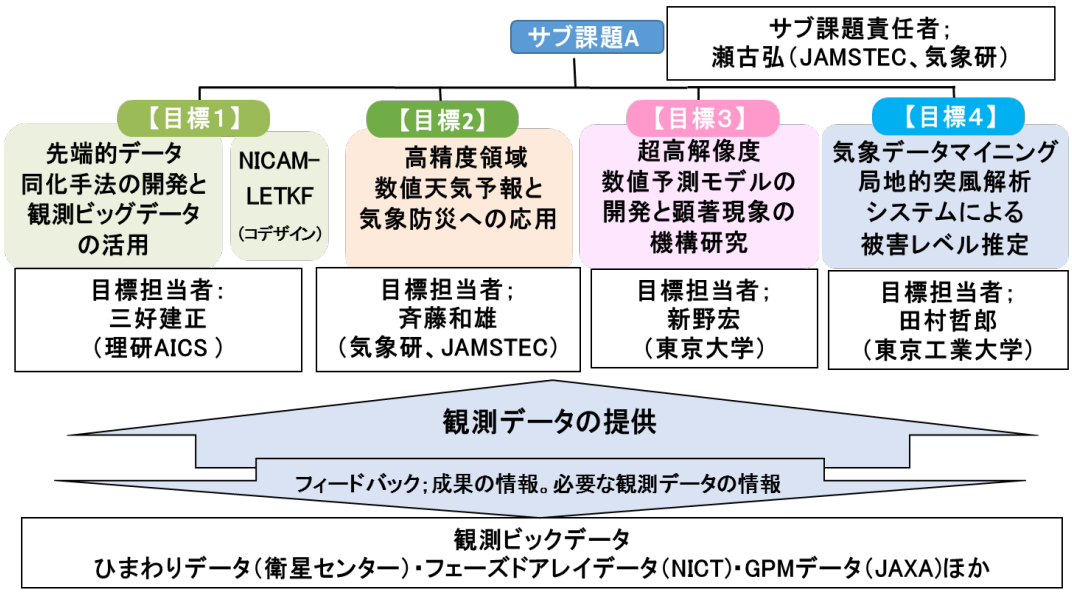


図 A-2.　サブ課題 A の研究体制（計画当初）

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。

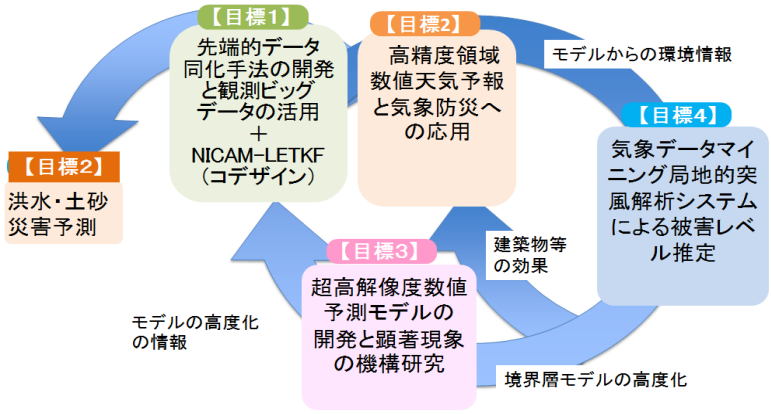


図 A-3.　目標間の関係。目標間を連携すると個々の目標単独よりも多くの成果が期待できる。

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)。

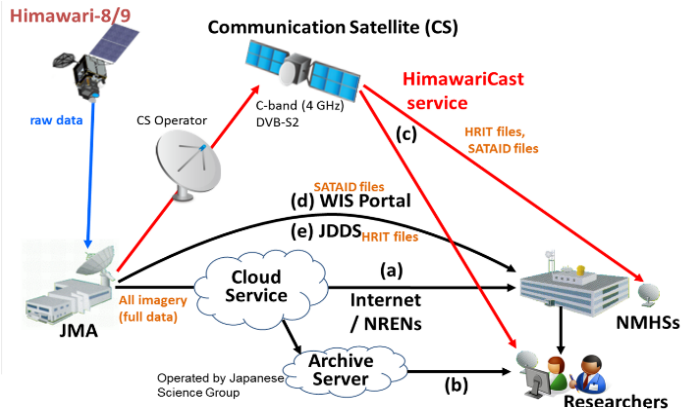


図 A-5.　ひまわりデータの提供法の模式図
（気象庁衛星センター別所課長提供）

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。

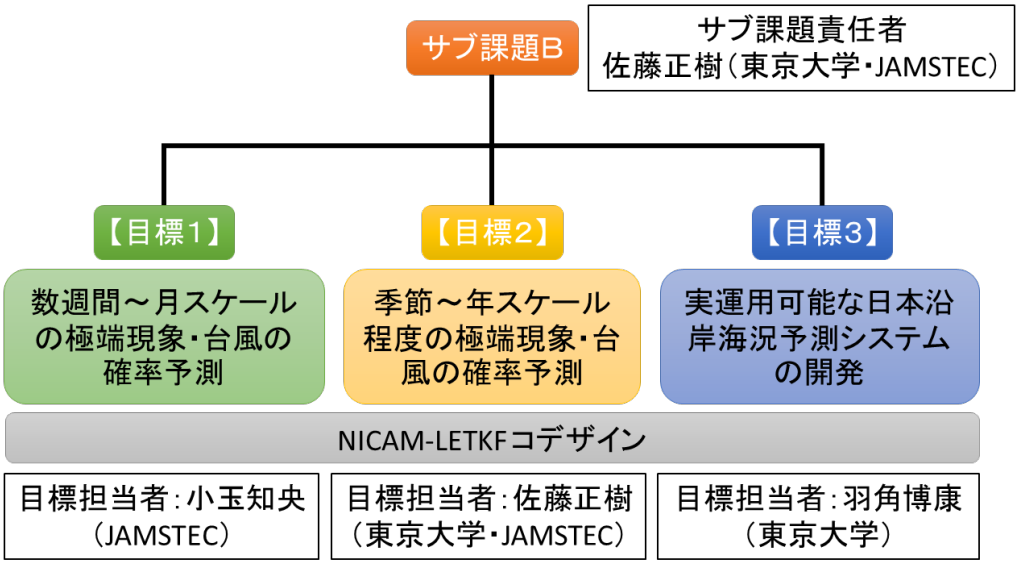


図 B-1.　サブ課題 B の研究体制

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。

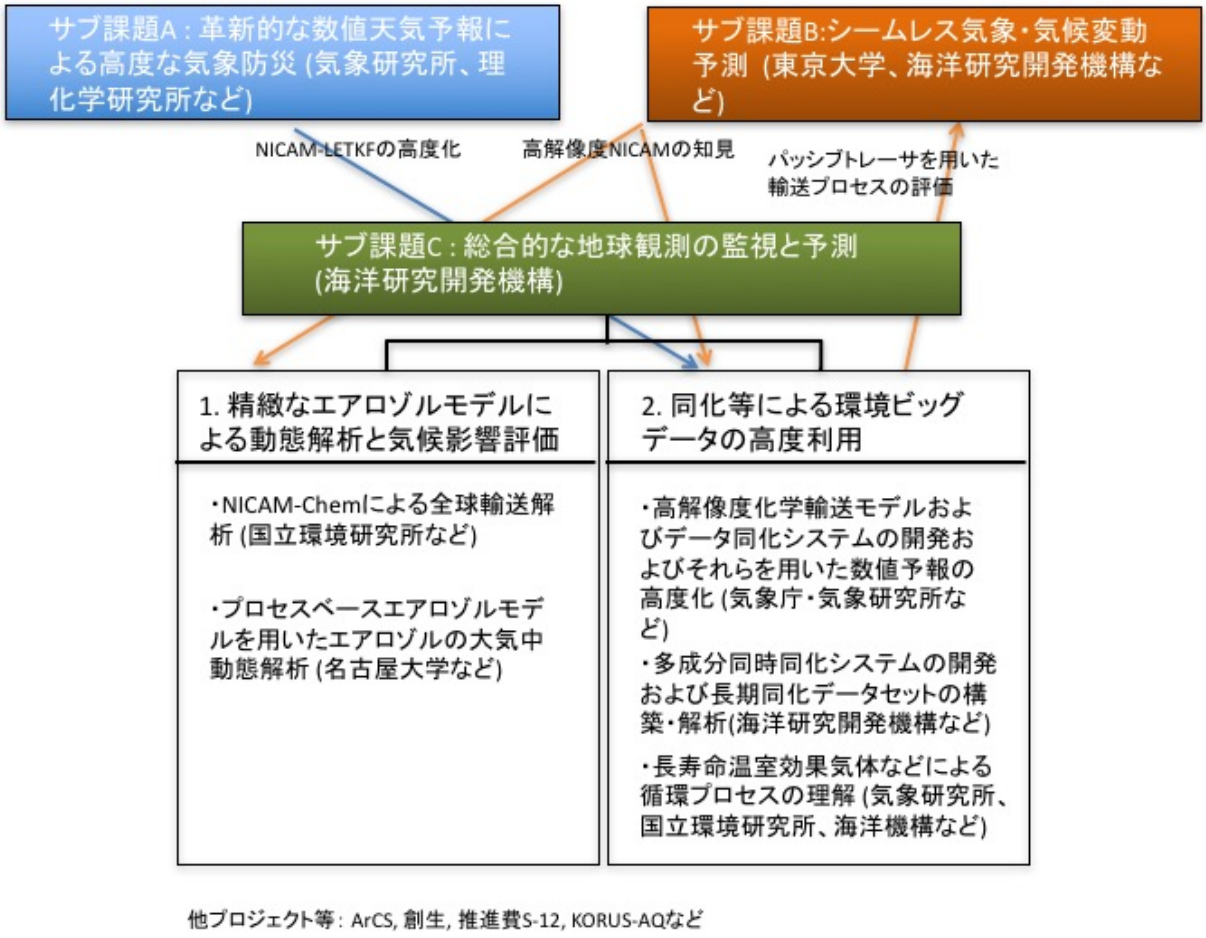


図 C-1.　サブ課題 C の研究体制

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。

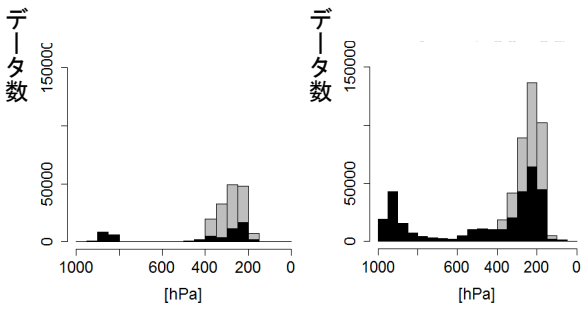


図 A-6.　AMV のデータ数（2013 年 7 月 13 日）。従来のアルゴリズム（左）、新アルゴリズム（右）。（大塚ほか 2015 から）

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。

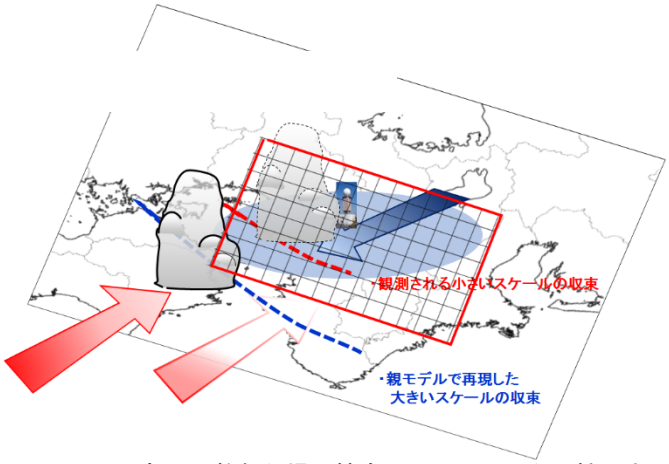


図 A-7. 現象から離れた場の精度のよい再現の必要性。大きなスケールの収束が南にずれて入れば、南からの湿った気流が到達せず、再現できない。

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。

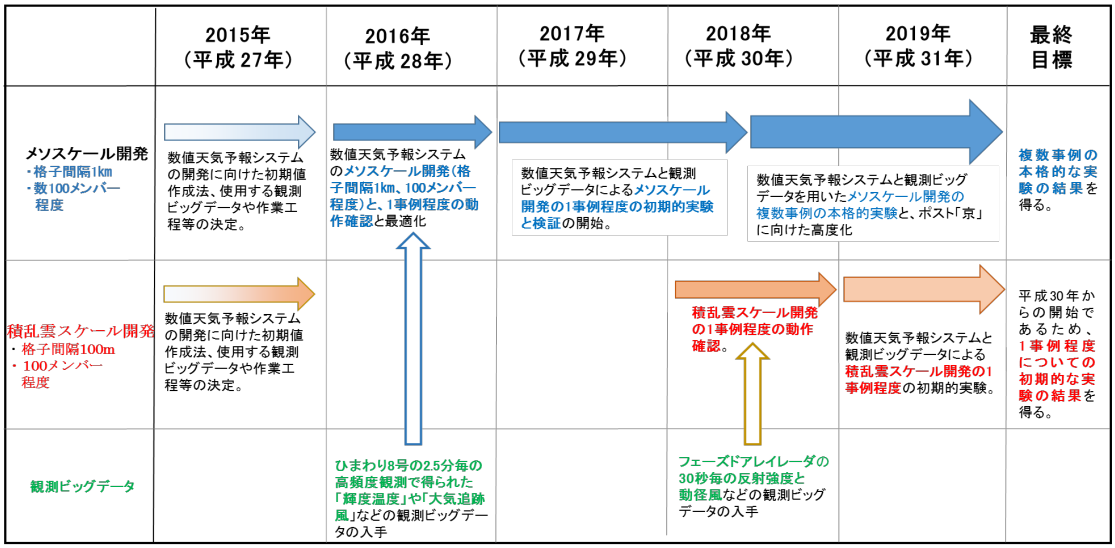


図 A-8.　サブ課題 A の数値天気予報モデルの成果目標に関する年次目標と最終目標。
定量的な記述に色を付けている。

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。

<u>サブ課題 A</u>

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。

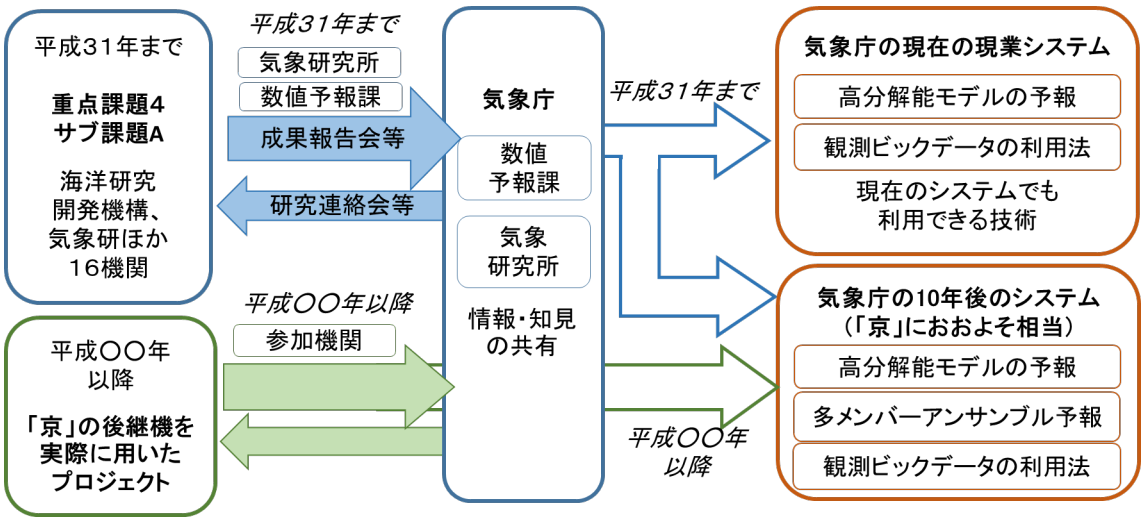


図 A-9.　重点課題 4 から気象庁の数値天気予報システムにつながるロードマップ

<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。

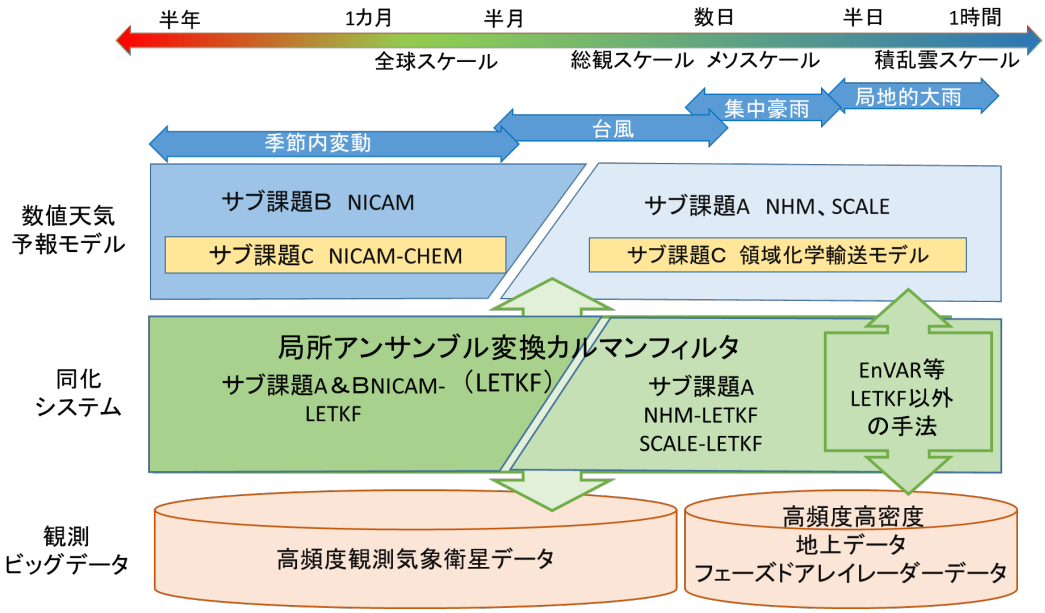


図 A-10.　重点課題 4 で扱う主な数値天気予報モデルと同化システム、観測ビックデータとの対応を示した模式図

（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
	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
	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）
	気象庁	協力機関
	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
	情報通信研究機構	協力機関