

## 研究プロフィールシート（中間評価）

研究課題名：データ同化技術と観測データの高度利用に関する研究

（副課題1）衛星データ同化技術及び全球同化システムの改良

（副課題2）メソスケール高解像度同化システム及びアンサンブル摂動作成法の改良

（副課題3）衛星・地上放射観測および放射計算・解析技術の開発

（副課題4）地上リモートセンシング技術及びそれらをコアとした水蒸気等の観測技術に関する研究

研究期間：令和元年度～令和5年度（5年計画第2年度）

研究費総額：121,092千円（総額）

研究代表者：青梨和正 気象観測研究部長（令和元年度）

瀬古弘 気象観測研究部長（令和2年度）

研究担当者：

（副課題1）

[気象観測研究部] ○岡本幸三、石橋俊之、近藤圭一、上清直隆（令和元年度）、小田真祐子（令和元年度）、石田春磨（令和2年度）、岡部いづみ（令和2年度）

[台風・災害気象研究部] 林昌宏

[気象予報研究部] 中川雅之

（副課題2）

[気象観測研究部] ○川畑拓矢（令和2年度）、澤田謙、堀田大介、幾田泰醇（令和2年度）、山田芳則（令和2年度）、瀬古弘（令和元年度）、藤田匡（令和元年度）、岡本幸三、小司禎教、酒井哲、吉田智、近藤圭一

[台風・災害気象研究部] 荒木健太郎、小野耕介（令和2年度）

[気象予報研究部] 藤田匡（令和2年度）

（副課題3）

[気象観測研究部] ○石元裕史、山崎明宏、工藤玲

[台風・災害気象研究部] 林昌宏

[気象予報研究部] 大河原望、谷川朋範、長澤亮二

（副課題4）

[気象観測研究部] ○小司禎教、酒井哲、吉田智

[台風・災害気象研究部] 永井智広

### 1. 研究の背景・意義

#### （社会的背景・意義）

令和2年7月豪雨や平成30年7月豪雨、令和元年の台風15号や19号など、「今まで経験したことのない」という言葉で表現される顕著現象による気象災害が毎年のように発生している。また、地球温暖化に伴って豪雨の降水量が増大し、より頻発するという指摘もされている。これらの自然災害の激甚化、少子高齢化等の社会環境の変化を踏まえ、今後10年程度の中長기를展望して「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方 ～ 災害が激甚化する国土、変革する社会において国民とともに前進する気象業務～」(H30.8.20)が交通政策審議会気象分科会により提言としてとりま

とめられた。この提言において、重点的な取り組み事項として「豪雨等の予測精度向上」と「長いリードタイムの確保のための観測・予測技術の高度化」の必要性が指摘されている。

甚大な災害をもたらす線状降水帯やそれに伴う豪雨、台風等の顕著現象は、モンスーンから雲物理までの様々なスケールの現象が相互に作用しあうため、また、短期間に局地的に発生する現象もあって、正確な予測が困難である。これらの現象について、近年の高密度・高頻度・高精度な観測データと発達が著しい電子計算機を駆使した「より長いリードタイムを確保して精度良く予測ができるデータ同化システム」の構築が望まれている(副課題 1, 2)。また、令和 2 年 7 月豪雨のように激しい災害をもたらす顕著現象による被害を軽減するためには、それらの発生・維持のメカニズムを解明し、予測精度を向上させる必要がある。そのために水蒸気の時空間分布を、より高精度・高分解能で把握することが必要である(副課題 4)。

静止気象衛星や各種地球観測衛星についても、既存の観測データの高機能・高時空間分解能化と共に、ハイパースペクトル赤外サウンダやドップラー風ライダー等の新しい観測センサの搭載が検討されている。これらの衛星の進歩に対応した利用法を開発すること、つまり、社会に有用な大気・地表面情報やデータ同化等を通じた数値モデル精度向上に資する情報を衛星プロダクトとして提供する必要がある(副課題 1, 3)。それらの実現のためには雲・エアロゾル・火山灰・降雪・積雪等を対象とした大気地表面系の精密かつ高度な放射計算技術と、それを用いた衛星データ解析手法の開発が不可欠である(副課題 3)。また、エアロゾルの組成別の情報や雲の特性、これらによる放射収支メカニズム等をより正確に把握することは、自然災害の激甚化・頻発化の可能性が指摘されている地球温暖化の監視・予測における大きな不確定要素であるエアロゾル及び雲の放射強制力の科学的理解を深めるために必要である(副課題 3)。

#### (学術的背景・意義)

全球スケール大気現象は、雲物理からモンスーンまでの様々な時空間スケールの現象の相互作用によって生じており、その解析や予測には降水過程から全球スケールの力学までを適切に扱う数値予報データ同化システムの開発が不可欠である。降水過程から全球スケールの力学までを精度よく解析することは、気象学、統計的推定、計算科学等にまたがる学際的総合科学の重要テーマの一つである。この実現に向けて、アンサンブルを用いた高度な全球同化手法の開発や、これを駆動するための観測データ、特に衛星観測の有効な活用が重要である。(副課題 1)

豪雨を構成する積雲対流は非線形・非ガウスな現象であり、線形・ガウスを仮定する 4 次元変分法やアンサンブルカルマンフィルタには限界がある。非線形・非ガウスな特徴を持つシビアな現象に適用できる新たな同化手法の開発が必要である。また、多くの高密度・高頻度なデータが入手できる「観測ビッグデータ」の時代を迎え、データ間の誤差相関やアンサンブルサイズの小ささなどから従来のやり方が適用困難になっている。高密度・高頻度な観測データをより有効に利用するための手法開発が必要である。(副課題 2)

可視から赤外、マイクロ波にいたる波長での衛星観測に応じた大気地表面からの放

射伝達計算や、そこに含まれる雲・エアロゾル等の大気粒子による光散乱特性や大気吸収特性のモデル化は、衛星による気象リモートセンシングの基盤的技術であり、世界の気象関係機関・研究所が開発の必要性や重要性を認識している課題である。またその技術はひまわりプロダクト開発に限らず、高精度衛星シミュレータとしての応用や観測チャンネルの校正、ひまわり後継機の仕様検討での利用など、幅広い学術的利用が期待される。(副課題 3)

エアロゾルの放射強制力の正確な把握は、気候変動の監視・予測等に重要であるが、多様な物質が複雑に混合するエアロゾルは、短寿命で排出源が偏っており組成毎の分布把握が難しく、放射強制力には不確実性が大きい。エアロゾルの放射強制力の不確実性を低減し、気候変動を正確に監視・予測するためには、エアロゾルの組成別の情報の正確な把握が必要とされている。(副課題 3)

GNSS (全球測位衛星システム) による水蒸気の観測については、気象庁では 2009 年より地上設置 GNSS 観測点から鉛直積算水蒸気量を、2014 年 3 月から GSM で天頂遅延量をデータ同化している。GLONASS (ロシア)、GALILEO (欧州)、準天頂衛星 (日本) 等の近年の複数 GNSS 化に伴い増加する視線方向遅延量の解析技術の高度化、移動体での水蒸気量観測・解析技術の高度化、反射波による干渉を利用した土壌水分や積雪深、潮汐解析の研究が進展している。さらに最新の電離層研究を活用し、低廉な一周波受信機を利用した水蒸気量解析の研究も進められている。水蒸気ライダーについては、ラマンライダーを用いた鉛直分布の観測をデータ同化した際の精度向上についての技術の開発が進み、また、現業利用に適すると考えられる差分吸収法ライダー (DIAL) については測器の開発が盛んに行われている。(副課題 4)

令和 2 年 7 月豪雨では多数の線状降水帯が発生し、球磨川の氾濫などの災害を引き起こした。線状降水帯による豪雨予測の精度向上のため、船舶に搭載した GNSS よる可降水量観測、水蒸気ライダーによる線状降水帯に供給される水蒸気の鉛直プロファイル観測など、水蒸気分布の正確な把握が望まれている。(副課題 4)

#### (気象業務での意義)

全球数値予報システムは気象業務の最も重要な技術基盤の一つであり、その精度向上には全球スケールでのデータ同化技術の改良が不可欠となっている。全球数値予報システムの精度向上は、防災情報の精度向上に資するだけでなく、2 週間より長い時間スケールを対象とする解析予測システムの技術基盤にもなっており、波及効果は非常に大きい。衛星データ同化手法の改良は、数値予報の改善に向けて不可欠であり、情報基盤部数値予報課から特に「全天候域での輝度温度同化」の技術開発を要望されている。また新規データの有効性の実証などへの期待も高い。さらに情報基盤部気象衛星課からは、「ひまわり後継衛星搭載センサのインパクト調査」を要望されている。(副課題 1)

数値予報課に対し、次世代のデータ同化システムの方向性を示し、また同化手法の改良につながる知見を提供する。情報基盤部数値予報課、大気海洋部観測整備課に対しては、新規データの観測システムシミュレーション実験 (OSSE) 等を通じて、データ同化に有効な観測データを開拓し、予測を改善する観測データの条件等の知見を提

供する。メソアンサンブル予報の現業的利用が令和元年6月から開始された。数値予報課、大気海洋部予報課と航空予報室に、メソアンサンブル予報システム改良についての知見を提供する。リードタイムの長い予報を提供できるよう高度なデータ同化手法の開発を行う。(副課題2)

気象衛星課からの要望事項である「ひまわり 8/9 号プロダクト開発」に対応する。高性能な放射伝達計算に基づいた新規アルゴリズムによる既存プロダクトの改良や新規衛星プロダクトの開発などを行い気象業務に貢献する。大気海洋部環境・海洋気象課からの要望事項であるエーロゾル観測業務における観測測器の校正への支援が可能となり、同業務の安定実施に貢献する。さらに同業務における新しいエーロゾル情報のためのデータ解析支援の要望に対し、エーロゾル組成毎の情報抽出技術を提供することにより、地球環境変動監視の強化に貢献する。(副課題3)

水蒸気の時・空間構造を高精度・高分解能でとらえることで、線状降水帯等の甚大な災害をもたらす大気現象の機構解明・予測が向上でき、被害の軽減に貢献できる。20km 間隔という高い空間密度の GNSS から得られる情報を高度利用することで、面的基盤情報等、気象庁で開発が進められるプロダクトに貢献できる。(副課題4)

## 2. 研究の目的

### (全体)

全球からメソスケールまでのデータ同化技術と、衛星・地上リモートセンシング及び直接観測データを利用した監視・予測技術の開発による「台風、集中豪雨等の監視・予測精度向上」を目的とする。

### (副課題1) 衛星データ同化技術及び全球同化システムの改良

全球データ同化・衛星同化の改善による「全球数値予報システムを用いる気象庁の様々な大気・海洋・環境予測・解析精度の高度化」を目的とする。

### (副課題2) メソスケール高解像度同化システム及びアンサンブル摂動作成法の改良

メソスケールの大気現象に向けたデータ同化やアンサンブル予報の改良や開発による「顕著現象の予測精度の向上、防災気象情報の高精度化」を目的とする。

### (副課題3) 衛星・地上放射観測および放射計算・解析技術の開発

衛星による火山灰物質推定や火山灰雲の物理量推定という新しい「火山灰情報の提供」、広く一般の大気・地表面の放射伝達計算に適用できる「粒子形状・散乱モデル開発の提供」、エーロゾル監視技術の高度化による「気候及び地球環境変動における社会課題の1つである黒色炭素や硫酸塩等の人為起源気候汚染物質による地球環境変動の把握」を目的とする。

### (副課題4) 地上リモートセンシング技術及びそれらをコアとした水蒸気等の観測技術に関する研究

水蒸気ライダーや GNSS 水蒸気観測で得られる水蒸気情報の強化による「水蒸気観測技術の確立」や「線状降水帯など災害をもたらす予測の難しい気象現象の理解と予測改善」を目的とする。

## 3. 研究の目標

## (全体)

目的を達成するため、以下を行う。

- ・シビア現象の予測精度の向上のためのデータ同化技術の改良やアンサンブル予報技術の開発の開発（副課題 1, 2）
- ・静止気象衛星ひまわり 8、9 号等の衛星データを有効かつ効率的に同化する技術の改良と大気放射収支及びエアロゾル・雲の監視技術の改良（副課題 1, 3）
- ・大気中の水蒸気などの観測技術の開発・改良とその有効性の評価（副課題 4）

### (副課題 1) 衛星データ同化技術及び全球同化システムの改良

#### (a) 衛星データ同化の改良

全天候域での衛星輝度温度同化など、衛星同化手法の新しい開発や、新規衛星データの導入を行う。ひまわり後継衛星等の将来の衛星観測を評価し、観測システムシステムを検討するため OSSE を実施する。

#### (b) 全球データ同化システムの改良

アンサンブルを用いた全球データ同化手法の開発・改良や、観測情報の拡充、モデル誤差の影響の軽減によって、より多くの観測情報をより効果的に同化する。

### (副課題 2) メソスケール高解像度同化システム及びアンサンブル摂動作成法の改良

#### (a) シビア現象に適用する高解像度非線形同化システムの開発

非線形性・非ガウス性が卓越しているシビア現象を念頭に高解像度同化システムを開発する。

#### (b) 領域モデルを対象にした高頻度・高密度な観測ビッグデータの同化法の開発

高頻度・高密度な観測データを同化する手法を開発し、さらに観測誤差相関への対処法を開発する。

#### (c) 領域モデルを対象にしたアンサンブル予報の摂動作成法の改良

シビア現象を想定したアンサンブル予報の摂動作成法の改良を行う。

### (副課題 3) 衛星・地上放射観測および放射計算・解析技術の開発

#### (a) ひまわり等衛星データを利用した大気・地表面リトリーバル手法の開発

最適雲推定 (OCA) アルゴリズムや機械学習を用いた高度な雲物理情報の抽出技術を開発する。またエアロゾル効果の改良などによる高精度の日射量推定を実現する。ひまわり観測を用いた晴天域不安定指数や地表面射出率の推定を行い、その有効性を評価する。

#### (b) ひまわりを用いた火山灰物理量推定アルゴリズムの開発

赤外サウンダ観測を利用した火山灰物質情報の推定技術を用いて、NOAA/NESDIS（アメリカ海洋大気庁、国立気象衛星データ情報サービス）から導入したひまわり火山灰アルゴリズム (VOLCAT) を改良し、火山灰物理量の推定精度を向上させる。また最適雲解析 (OCA) アルゴリズムを利用した、ひまわり 8/9 号による最適火山灰推定アルゴリズム (OVAA) の新規開発を実施する。

#### (c) 大気・地表面放射モデルの改良

エアロゾル粒子モデルを開発・改良し、ひまわりや衛星複合センサ解析手法の開発を行う。また、ひまわり後継機やひまわり 8/9 号を含む複合的な衛星データ解析に対応した高精度な大気放射計算手法の開発を行う。

(d) 大気放射収支の変動及びエアロゾル・雲の監視技術の高度化

日射・大気放射エネルギー及びスペクトル観測技術の開発、及び、エアロゾル・雲等の推定技術の開発を行い、大気放射場の変動とその要因の監視技術を確立する。また、大気放射場の変動やその要因について解析を行う。

(副課題4) 地上リモートセンシング技術及びそれらをコアとした水蒸気等の観測技術に関する研究

(a) 水蒸気ライダー

GNSS、水蒸気ライダーを含む複数の観測機器を統合し、水蒸気の時・空間構造を高精度でとらえる手法を開発する。船舶 GNSS による海上での水蒸気観測手法の実用化に取り組む。水蒸気ライダーの観測・開発及び現業化に向けた最適な観測ネットワークの検討を行う。

(b) 船舶 GNSS

水蒸気ライダーや GNSS の観測・データ解析技術の開発・改良を行い、既存の観測網に加え地上デジタル波、レーダー電波の位相等新たなリモセン機器と統合処理し、水蒸気の時・空間構造を高精度でとらえる手法の開発を実施することで、豪雨をもたらす気象現象の機構解明・予測に資する。

(c) 水蒸気の時・空間構造解析

地上リモセン技術等を用いた水蒸気等の鉛直構造解析を行い、局地的大雨や集中豪雨の発生予測等に資する。

中間評価時の到達目標

(副課題1) 衛星データ同化技術及び全球同化システムの改良

(a) 全天候域の赤外輝度温度同化や、陸域でのマイクロ波輝度温度同化の高精度化を開発し、全球同化システムを用いた評価を行う。ひまわり後継衛星搭載ハイパースペクトルサウンダの OSSE システムを構築し、数値予報精度への精度評価を行う。新規衛星 Aeolus による風データの同化を行うための、精度評価や前処理の開発を行う。放射伝達モデル RTTOV の雲・降水域での散乱特性について、他の高速放射伝達モデルを使うなどして調査する。

(b) アンサンブルを用いた高精度の背景誤差共分散行列や初期値化手法を構築し、解析精度を評価する。観測誤差相関の考慮、水物質同化の高度化、境界付近の観測の同化手法の構築により、観測情報を拡充する。既存・将来観測のインパクト評価を行う。同化システムを用いた予報モデル誤差の推定・補正手法を構築する。

(副課題2) メソスケール高解像度同化システム及びアンサンブル摂動作成法の改良

(a) シビア現象に適用する高解像度非線形同化システムの開発

- ・現業システムに近いシステムや LETKF の改良や LETKF と 4DVar のハイブリッド手法の開発、非線形性・非ガウス性が卓越するシビア現象にも適用できる EnVar や粒子フィルターなどの開発を開始し、初期的な結果を得る。
- ・陸面などの結合同化の有効性を調べる。

(b) 領域モデルを対象にした高頻度・高密度な観測ビッグデータの同化法の開発

- ・ひまわりや偏波レーダー、フェーズドアレイレーダー、水蒸気ライダー等の高頻度・高密度な観測ビッグデータについての特性を調べ、最適なデータ間引き法や観測誤差相関を考慮した同化法等の検討を開始する。
  - ・観測ビッグデータを用いて、より短いスピニングで精度の良く予測するための同化手法を開発し、初期的な結果を得る。
  - ・ハイパースペクトルサウンダ等の観測手法に資する観測システムシミュレーション実験を行う。
- (c) 領域モデルを対象にしたアンサンブル予報と高度な利用法の開発
- ・アンサンブルによる感度解析法（予測に重要な物理量の抽出法）、シビア現象の確率予報や極端シナリオの抽出法などの高度なアンサンブル予報の利用法の開発を開始し、初期的な結果を得る。
  - ・メソスケール現象のアンサンブル予報において、「全外し」時の特徴を調べる。

### (副課題3) 衛星・地上放射観測および放射計算・解析技術の開発

- (a) OCAのエーロゾル効果を改良する。またOCAを利用した混合相・過冷却水滴など雲物理情報抽出技術を開発する。晴天域不安定指数の推定アルゴリズムを開発する。
- (b) 赤外サウンダシミュレータを開発する。サウンダデータを使った火山灰物質推定アルゴリズムを改良し、その結果をひまわりVOLCAT解析用LUTに反映させる。
- (c) 内部混合エーロゾル、ぬれ雪粒子モデルの散乱特性データベースを構築し、その結果を用いた複合衛星データ解析を実施する。
- (d) 研究年次計画のとおり、地上エーロゾル光学特性等の連続観測及びデータ解析、分光日射観測システムの開発及び同システムを利用した連続観測、ならびに、放射計校正技術の開発を進める。また、全天カメラの開発を完了し、全天カメラ画像と分光放射計データを用いた雲の微物理及び光学特性の解析アルゴリズムの開発を進める。

### (副課題4) 地上リモートセンシング技術及びそれらをコアとした水蒸気等の観測技術に関する研究

- (a) 水蒸気ライダー
- ・水蒸気ライダーを用いた観測について、予測への効果を含めた装置の評価と課題をまとめるとともに、データ品質の管理手法を確立する。
- (b) 船舶GNSS
- ・2018年度から開始した東シナ海を航行する船舶8隻にGNSS機器を設置した水蒸気観測について、成果と課題をまとめる。
- (c) 水蒸気の時・空間構造解析
- ・地上リモセン技術等を用いた水蒸気等の鉛直構造解析のプロトタイプについて評価を行い、特に豪雨の予測に資するか否かの観点でまとめを行う。

## 4. 研究の現状

### (1) 進捗状況

課題全体として、概ね計画どおり順調に進捗している。

副課題2では、事前評価（平成30年11月26日開催）時には、研究内容を「高度なアンサンブル予報の利用法や摂動作成法の高度化」としていたが、「高度なアンサンブル予報の利用法」については応用気象研究部が取り組み、副課題2では「アンサンブル摂動作成法の改良」に特化するという変更があった。副課題3では、本庁からの要望による「ひまわりOCA」を用いた日射量プロダクト・光合成有効放射（PAR）プロダクト開発・大気不安定指数の開発項目の追加、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」（GOSAT）の地上検証のためのつくば設置スカイラジオメータデータの国立環境研究所GOSAT地上検証グループへの提供等の変更がある。これらの「(3)当初計画からの変更点」がある副課題でも、概ね計画どおり進捗している。

令和2年度はコロナ禍の影響より、宮古島や南鳥島での大気放射やエーロゾル観測、長崎での水蒸気ライダー観測、東シナ海での船舶GNSS観測が遅れる懸念があったが、新規感染者数が減少した6月に観測機器の保守や観測を開始することができたため、令和3年1月現在、大きな遅れはない。

## (2) これまで得られた成果の概要

### (全体)

- 「3. 研究の目標」の項目順で記述する。詳細は副課題1～4を参照して頂きたい。
- ・「シビア現象の予測精度の向上のためのデータ同化技術の改良」（副課題1, 2）について、以下の研究開発を行った。アンサンブル生成と決定論的解析を一つの変分法同化システムで行う同化システムの研究を行い、完全に流れ依存した背景誤差、観測誤差相関の導入による顕著な精度改善が得られることを示した。雷光の観測演算子を実装し、数値予報モデルを用いて雷光予測を行った。さらにLETKFを用いた同化システムで、非ガウス性が強い格子について観測誤差を膨張させる手法、粒子フィルタを適用する手法を開発した。初期値から予報開始直後に降水が過剰になるスピンドاون問題について、変分法の評価関数に水蒸気分布に関する拘束条件を課すことにより、過剰の降水が軽減できることを示した。高頻度・高密度の観測データを適切な同化手法の開発として、ドップラーレーダーの動径風に注目し、同化時に用いる観測誤差をより精緻に与える手法を提案し、インパクトの事例調査を行った。
  - ・「アンサンブル予報技術の開発」（副課題1, 2）について、1000メンバーの大アンサンブルLETKFを行い、令和2年7月豪雨の事例で線状降水帯の降水強度および確率予測の精度が良くなることを示した。アンサンブルを用いた変分法において、必須となる局所化手法の高度化、特に背景誤差共分散の時間発展の研究を進めている。
  - ・「静止気象衛星ひまわり8, 9号等の衛星データを有効かつ効率的に同化する技術の改良」（副課題1, 3）として、全天候輝度温度データの同化に向けて雲の効果を考慮した品質管理や観測誤差モデルを開発した。それを放射伝達モデルRTTOV（高速放射伝達モデル）やJoint-Simulator（衛星シミュレータ）と比較し、差の原因について詳細に調査した。晴天輝度温度データについて、大気下層の気温に感度を持つバンド16を新たに同化するため、品質管理処理の開発を行った。最適雲解析（OCA）プロダクトを用いた日射量プロダクトの開発を実施し、地上気象観測等との比較を



- 行った。火山灰雲も独自アルゴリズムを開発し、VOLCAT リトリバーバル結果との整合していること、火山灰物質情報（複素屈折率）を抽出可能であることがわかった。
- ・「大気放射収支及びエアロゾル・雲の監視技術の改良」（副課題 3）については、本課題で開発した全天カメラの観測データから三次元放射伝達モデルを用いて全天空の輝度分布を定量化し、不均質に分布した雲の光学特性を導出する手法を開発した。また、新型全天カメラによる短い時間差の 2 枚の画像から、疑似ステレオ撮影により、雲の高度分布を導出する手法のプロトタイプを開発した。
  - ・「大気中の水蒸気などの観測技術の開発・改良とその有効性の評価」（副課題 4）については、2019 年暖候期に関東平野で、2020 年から長崎市野母崎と鹿児島県下甕島で水蒸気ライダー観測を開始した。2017 年 8 月 30 日の東京都北部で発生した降水事例で水蒸気ライダーの水蒸気量  $j$  の鉛直プロファイルの同化実験を行い、ライダーの下流側に位置する降水域で下層の水蒸気量の増加や収束強化が確認された。船舶搭載 GNSS も観測を毎年実施し、連続観測に耐えることを確認した。高層ゾンデや衛星搭載マイクロ波放射計を比較して、平均差 1mm 未満、差の標準偏差 3mm 未満の一致を得た。

#### (副課題 1) 衛星データ同化技術及び全球同化システムの改良

##### (a) 衛星データ同化の改良

- ・全天候ひまわり輝度温度同化、陸域影響下等の同化  
ひまわり後継衛星への搭載を検討しているハイパースペクトル赤外サウンダのインパクト調査のため、OSSE を実行するための全体設計、疑似真値場作成や疑似観測値作成検討、気象庁全球およびメソデータ同化処理の開発・検証を行った。  
ひまわり 8 号の全天候輝度温度データの同化に向けて、雲の効果を考慮した品質管理や観測誤差モデルを開発した。気象研全球 NAPEX に導入し、同化実験・検証を進めている。また全天候輝度温度の再現性を調べるため、放射伝達モデル RTTOV（高速放射伝達モデル）や Joint-Simulator（衛星シミュレータ）と観測との比較や差の原因について詳細に調査した。また晴天輝度温度データについても、下層気温に感度を持つバンド 16 を新たに同化するため、品質管理処理の開発を行い、検証を行っている。  
マイクロ波輝度温度同化における陸域高度利用を行うため、マイクロ波気温サウンダに対して陸面射出率の動的推定手法（DE）を開発し、気象研全球 NAPEX に導入し検証した。さらに DE が適切に適用できる条件を調査し、品質管理処理を開発している。
- ・新規衛星の同化、ひまわり後継 OSSE 関連  
衛星搭載ドップラー風ライダー（DWL）の同化や将来の実現に向けて、同化処理の開発・改良、OSSE を実施している。さらに DWL を搭載した新規衛星 Aeolus が観測する実データを取得し、品質評価・同化実験を開始した。  
ハイパースペクトル赤外サウンダがもつ観測情報を有効に活用するため、主成分スコアを同化するための基礎調査や同化処理の開発を開始した。

##### (b) 全球データ同化システムの改良

- 気象研全球 NAPEX について、気象研究所計算機システムの更新 (R1.3) に対応した移植作業と、本庁システムの更新への対応を行った。
- アンサンブル生成と決定論的解析を一つの変分法同化システムで行う同化システムの研究を気象研全球 NAPEX 上で進めており、完全に流れ依存した背景誤差、観測誤差相関の導入により顕著な精度改善が得られた。
- 水物質の情報をもった観測の高度利用のため、マイクロ波輝度温度観測の誤差共分散行列構造の流れ依存性を解析した。また、これを同化で使用するために同化システムの拡張を行った。
- 積乱雲深層の情報をもつ雷光観測の同化のために、雷光の観測演算子を実装し、数値予報モデルによる雷光予測を行った。また、雷光の疑似観測を同化し、気象場へのインパクトを調べた。
- 感度解析を応用して超高精度な解析場 (真値代替場) を高解像度 (水平 20km、鉛直 100 層) で夏冬一ヶ月の期間で作成した。OSSE の真値代替場としても利用した。
- 同化された観測の解析や予報場へのインパクトを評価した。CriS (赤外ハイパースペクトルサウンダ) 等の新規センサのインパクトが明瞭に見られることや、誤差共分散行列への依存性が強いこと等が解析された。
- モデル予測の系統的な誤差の要因の一つである海面水温の解析精度向上及び境界付近の観測の高度利用のために、海面水温解析を大気解析と同時に行うように大気解析を拡張し、初期試験を行った。
- 観測データの選択によってアンサンブル生成を行うシステムを構築し、予報精度が明瞭に向上することを示した。
- アンサンブルを用いた変分法において、背景誤差共分散のノイズを取り除くためマルチスケールの局所化を簡易的なモデルに実装して研究を進めた。
- 背景誤差の非ガウス分布について、簡易モデルを用いたアンサンブルカルマンフィルタによるデータ同化実験から、背景誤差は多くの格子点でガウス分布であるものの、非線形性が強い場合は解析誤差が大きくなる傾向があることを示した。さらに非ガウス性の強度に応じて観測誤差を膨張させる手法の開発を開始した。

## (副課題 2) メソスケール高解像度同化システム及びアンサンブル摂動作成法の改良

### (a) シビア現象に適用する高解像度非線形同化システムの開発

- データ同化による非現実的な水蒸気分布に起因する降水予報のスピンダウン問題について、変分法の枠組みで水蒸気分布に関する拘束条件を評価関数に適切に与えることで、スピンダウンの状態が軽減できることを示した。
- アンサンブル同化システムにおいて、同化データが非常に多すぎる場合に予報精度が十分に改善できない問題について、観測数よりアンサンブルメンバー数を増やすことがより有効に予報を改善させることを示した。
- 非線形・非ガウスを陽に扱う手法として粒子フィルタを開発し、積乱雲のカオス性の起源を調べたところ、積雲発生前の上昇流から始まっていることがわかった。

### (b) 領域モデルを対象にした高頻度・高密度な観測ビッグデータの同化法の開発

- ドップラーレーダーの動径風について、時空間相関を考慮した観測誤差を用いて高

頻度高密度観測の効果をより有効に引き出すためには「流れに依存する背景誤差」を考慮した同化手法が望ましいことがわかった。

- 船舶搭載 GNSS で観測した可降水量について、気象研メソスケール大気データ同化実験システムを用いて、降水分布が改善する事例があることを確認した。
- 気象研究所や関西国際空港のドップラーレーダーの位相データを用いて遅延量(T4 課題から提供)の時間変化が明瞭に見えることを確認した。屈折率の時間変化量と GNSS データに対して同化実験を行った。大阪平野で発生した局地的大雨の場合、屈折率の時間変化量のインパクトは GNSS よりも小さいことがわかった。
- 次期衛星のハイパースペクトル赤外サウンダのインパクト調査のため、OSSE を行い、平成 30 年 7 月豪雨についてサウンダによる観測で得られると想定される温度や湿度の鉛直分布が豪雨の降水予報を改善することを示した。
- 非ガウス分布する高次元データをガウス分布する低次元データに変換できる技術を AI アルゴリズムを用いて開発し、その有効性を確認した。
- ライダー品質管理に関して理化学研究所との共同研究の下、AI を用いたノイズ除去手法を開発し、従来手法と同等の精度を得ることができた。
- アンサンブルから作成した仮想空間を利用して AI を用いたモデルパラメータの効率的に最適な推定を行う手法を試み、想定通りの結果を得ることが出来た。

#### (c) 領域モデルを対象にしたアンサンブル予報の摂動作成法の改良

- 平成 30 年の 7 月豪雨と平成 29 年の九州北部豪雨について特異値解析を行い、西日本の降水量に対する大気場の異質相関マップを求めた。異質相関マップから摂動を作成して予報すると、期待したように降水域の位置が変化することを確認した。
- 1000 メンバーによる大アンサンブル LETKF によって、令和 2 年 7 月豪雨における線状降水帯に対して降水強度および確率予測を精度良く行えることを示した。

### (副課題 3) 衛星・地上放射観測および放射計算・解析技術の開発

#### (a) ひまわり等衛星データを利用した大気・地表面リトリーバル手法の開発

- 最適雲解析 (OCA) プロダクトを用いてひまわり 8 号観測データによる日射量プロダクトの開発を行った。また、日射量プロダクト作成技術を応用して PAR プロダクトの開発を行っている。

#### (b) ひまわりを用いた火山灰物理量推定アルゴリズムの開発

- OCA を改良し、ひまわり 8 号と GCOM-C が観測した火山灰雲を独自アルゴリズムで解析できるようにした。噴火事例解析を開始し、火山灰物質情報の依存性について調査している。
- 火山灰雲パラメータ (雲頂高度・粒子有効半径・光学的厚さ) や SO<sub>2</sub>カラム量と同時に火山灰複素屈折率を推定する赤外サウンダ用高速スペクトルシミュレータを新たに開発した。

#### (c) 大気・地表面放射モデルの改良

- マイクロ CT (断層撮影法) データから詳細な霰・雪片の 3 次元形状を抽出し、C バンドレーダー偏波特性の理論計算を行った。
- 地上可搬型全天分光日射計データから積雪粒径を導出するために必要な積雪粒子形

状モデルを開発した。

- ・積雪の波長別偏光特性を調べるための大気-積雪放射伝達モデルを開発した。
- ・A-Train の衛星搭載イメージャとライダーを複合利用し、水溶性・黒色炭素・ダスト・海塩のエ어로ゾル組成の全球三次元分布を導出する手法を開発している。AERONET の分光放射計による検証、放射強制力の見積りを行ったところ、他の研究と整合的な結果が得られた。
- ・JAXA 公式プロダクトとして、次世代衛星 EarthCARE 搭載イメージャとライダーからエアロゾル組成を導出する手法を開発している。準リアルタイム解析のため、放射伝達モデルを並列化し、高速化を果たした。またプロダクトの不確定性を評価した。
- ・上記衛星データ解析手法を、火山噴火に応用することを目的に、火山灰の粒子モデルを作成した。

#### (d) 大気放射収支の変動及びエアロゾル・雲の監視技術の高度化

##### ・技術開発

光源を太陽光・月光とするスカイラジオメータの開発を進め、ドイツで行われた月と星を光源とした分光日射計の国際的な比較観測に参加した。

スカイラジオメータ観測からエアロゾルの微物理・光学特性、可降水量、オゾン全量を導出する手法を開発。ヨーロッパの研究グループの協力を得て、航空機による比較検証も行い、結果を論文に投稿した。ソフトウェアは、大気海洋部環境・海洋気象課、SKYNET コミュニティに提供し、一部では結果が公開されている。

全天空の輝度分布を定量化する新型全天カメラの観測データから三次元放射伝達モデルを用いて、不均質に分布した雲の光学特性を導出する手法を開発した。スカイラジオメータや日射の地上観測プロダクト、ひまわりや GCOM の衛星プロダクトとの相互比較検証を行い、概ね整合的な結果が得られること確認した。

新型全天カメラによる短い時間差の画像から、疑似ステレオ撮影により、雲の高度分布を導出する手法のプロトタイプを開発した。

高層気象台と協力し、太陽直達光と散乱光を紫外から近赤外波長までを高分解能で測定する分光放射計から、エアロゾル組成を推定する手法のプロトタイプを開発した。

##### ・観測

大気海洋部環境・海洋気象課と南極観測隊によるスカイラジオメータ観測の安定運用に向け、検定観測・解析に係る技術提供を行った。また、ハードウェア特性に関する知見の情報共有を継続して行った。

2020年8月上旬に九州、沖縄地方に到達したとみられる西之島の火山起源の煙霧について、8月5日沖縄（宮古島）で、8月6日に福岡でスカイラジオメータ等を用いて捉えることができた。

#### (副課題4) 地上リモートセンシング技術及びそれらをコアとした水蒸気等の観測技術に関する研究

##### (a) 水蒸気ライダー

##### ・技術開発

水蒸気差分吸収ライダー(DIAL)の初期観測を2020年9~11月に気象研露場で実施し、その観測精度検証に着手した。

AIを用いた水蒸気ラマンライダー観測データの品質管理手法および混合層高度検出手法の開発に着手し、Deep Image Prior(ニューラルネットワーク構造を利用した画像復元手法の一つ)を用いたノイズ除去を行った結果、ゾンデデータとのRMSEが3.2g/kgから1.9g/kgに改善した。

#### ・観測

インパクト評価実験に用いるために、水蒸気ラマンライダーを用いた観測を2019年暖候期に東京湾岸(川崎市・茅ヶ崎市)とつくばで実施し、期間中ほぼ連続的に水蒸気鉛直分布を、日中高度0.1~約1 km、夜間0.1~約5 kmの範囲で取得した。

福岡大学及び防災科学技術研究所との共同研究で、2020年から長崎市野母崎(6/19)および鹿児島県薩摩川内市下甕島(8/29)において水蒸気ラマンライダー観測を開始した。2020年6月25日に長崎県北部で発生した線状降水帯事例に関連した大気下層における水蒸気鉛直構造時間変化の観測に成功した。

#### ・同化実験

2017年8月30日の東京都北部で発生した降水事例に対して、川崎市に設置した水蒸気ラマンライダーで得られた水蒸気鉛直プロファイルのデータ同化実験を行った。

水蒸気鉛直プロファイルの同化により、水蒸気ラマンライダーの下流側に位置する降水域で、下層水蒸気量増加および収束強化のインパクトが確認された。2017年7月の九州北部豪雨事例を用いて、水蒸気ライダーやGNSSのOSSEに着手した。

#### ・現象解析

2017年8月19日の東京での局地的大雨事例について、水蒸気ラマンライダー及び空港気象ドップラーライダー観測データと気象庁非静力学モデル(NHM)による再現実験結果を解析し、東京湾から上陸する海風前線が、16時過ぎに武蔵野市付近で降水をもたらした積乱雲発生のトリガとなっていることを明らかにした。

2018年9月2日に羽田空港周辺で発生した積乱雲の発生・発達過程を羽田空港ドップラーライダー及び空港ドップラーレーダーで明瞭に捉えることに成功した。水蒸気ラマンライダー観測で得た水蒸気の鉛直プロファイルとの比較から、下層水蒸気量の上昇により積乱雲の発達が強化されていることを示した。

#### (b) 船舶GNSS

- ・船舶搭載GNSSによる観測を通年実施し、連続観測に耐えることを確認した。解析された可降水量解析と高層ゾンデや衛星搭載マイクロ波放射計を比較し、平均差1mm未満、差の標準偏差3mm未満の一致度を得た。
- ・船舶搭載GNSSの位置推定誤差が可降水量の誤差と関連していることを発見した。また潮汐モデルを用いることで誤差を軽減できる可能性があることを確認した。

#### (c) 水蒸気の時・空間構造解析

- ・3次元変分法による高頻度地上観測データ同化により、夏季東京の平均的な大気構造の日変化、及び豪雨の環境場の解析を行った。

- ・首都圏に 70mm/h 以上の短時間強雨が発生する場合、鹿島灘からの北東風と東京湾からの南東風が収束する場合が多いこと、また豪雨となる場合は鹿島灘からの北東風は下層で多湿であることがわかった。

### (3) 当初計画からの変更点 (研究手法の変更点等)

(副課題 1) 衛星データ同化技術及び全球同化システムの改良  
変更なし。

(副課題 2) メソスケール高解像度同化システム及びアンサンブル摂動作成法の改良  
事前評価時 (平成 30 年 11 月) には、研究内容を「高度なアンサンブル予報の利用法や摂動作成法の高度化」としていたが、「高度なアンサンブル予報の利用法」については応用気象研究部が行うこととし、副課題 2 では「アンサンブル摂動作成法の改良」に特化することとした。「陸面・都市・海洋等の結合同化の有効性を調べ、有効な場合にはそれらの開発を行う」を取りやめにした。

(副課題 3) 衛星・地上放射観測および放射計算・解析技術の開発  
ひまわり OCA を用いた日射量プロダクト・PAR プロダクト開発・大気不安定指数は気象庁からの要望を受けた形で研究計画に追加した。温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT) の地上検証を行うため、2009 年から 2018 年にかけてのつくば設置スカイラジオメータから導出した光学的厚さ、一次散乱アルベドのデータを国立環境研究所 GOSAT 地上検証グループに提供した。

(副課題 4) 地上リモートセンシング技術及びそれらをコアとした水蒸気等の観測技術に関する研究  
変更なし。

### (4) 成果の他の研究への波及状況

(副課題 1) 衛星データ同化技術及び全球同化システムの改良

本課題で整備している気象研全球 NAPEX は、大気海洋結合同化に関する研究(M 課題)でも基盤システムとなっている。また、他の課題に関連した観測システム実験でも利用されているおり、気象研メソ NAPEX 導入、気象庁本庁の計算機移植、JAXA 等の庁外研究機関との協力等にも有効な環境や情報を提供している。観測誤差共分散行列の高精度推定による観測情報の拡充については、現業化を目指して数値予報課と協力して進めている。

(副課題 2) メソスケール高解像度同化システム及びアンサンブル摂動作成法の改良

NHM-LETKF を用いたアンサンブル同化システムは、「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、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」や「富岳」成果創出加速プログラム「防災・減災に資する新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測」、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 2 期「国家レジリエンス (防災・減災) の強化」『V. 線状降水帯の早期発生及び発達予測情報の高度化と利活用に関する研究』、筑波大学との共同研究において用いられている。また AI を用いたモデ

ルパラメータ推定やライダー品質管理手法は理化学研究所 AIP と気象庁の共同研究の成果となる。

#### (副課題3) 衛星・地上放射観測および放射計算・解析技術の開発

スカイラジオメータについて、開発したエーロゾル解析ソフトウェアを大気海洋部環境・海洋気象課に提供し、解析に関する助言を行った。今後の現業運用を予定している。またスカイラジオメータの国際コミュニティ (SKYET) にも提供し、一部導入を果たしている。地方共同研究の枠組みで開発した新型全天カメラを大阪管区气象台に導入し、令和3年12月までの観測を予定している。現業活用を目指している。JAXA と千葉大学、山梨大学で共同開発していた GOSAT シリーズの地上検証用の分光測器のベースデザインに、本課題で開発した全天カメラによる輝度分布測定手法を取り入れられている。A-Train の衛星搭載ライダー (CALIOP) を使ったエーロゾルリトリバル手法を、JAXA/EORC で運用している A-Train プロダクト解析・公開システムへ導入することになった。現在、導入に向けた作業中。

#### (副課題4) 地上リモートセンシング技術及びそれらをコアとした水蒸気等の観測技術に関する研究

大気海洋部地球環境海洋部における凌風丸代船検討において、GNSS 水蒸気観測システムの導入が検討されるとともに、啓風丸への導入も検討されている。気象庁の GNSS 水蒸気解析システムで使用しているリアルタイム軌道情報 (MADCOA) の代替検討に成果が利用されている。

### (5) 事前評価の結果の研究への反映状況

事前評価にいただいた「大気相互作用、雲、放射に加えてエーロゾルも加えるべき」、「フォワードでモデルと比較した細かいプロセススタディも行うべき」というご意見を反映し、エーロゾル粒子モデルの開発・改良、エーロゾル・雲等の推定技術の開発、大気放射場の変動とその要因の監視技術を高度化に取り組んでいる。(副課題3)

「水蒸気の時空間変動はきわめて大きく、それをどのように観測するのかについての検討が必要」というご意見については、まだ解決していないが、例えば線状降水帯の観測については、「台風・顕著現象の機構解明と監視予測技術の開発に関する研究」

(T 課題) とともに連携しながら、OSSE の実施など、水蒸気流入の空間スケールに応じた観測密度の検討を行っている。

## 5. 今後の研究の進め方

4 (1) 「進捗状況」で述べたように、課題全体として概ね計画どおり順調に進捗していることから、今後も計画通り研究を推進する。

#### (副課題1) 衛星データ同化技術及び全球同化システムの改良

現在進めている各衛星データ同化や全球データ同化処理開発は、引き続き改良や詳細な検証を進める。特に陸域での輝度温度データ同化手法の高度化や新規衛星 Aeolus による風データの利用、ハイパースペクトル赤外サウンダデータの利用、ひまわり 8 号晴天輝度温度観測の利用バンド拡大、観測誤差相関を考慮した高密度化は、現業数

値予報システムへの導入を予定しており、数値予報課との連携を強化する。ひまわり後継衛星を始めとする将来の観測システムを検討するための OSSE は、本庁や JAXA と連携しながら、より多くの事例での調査や同化処理の高度化等を行い、さらに発展させる。

#### (副課題 2) メソスケール高解像度同化システム及びアンサンブル摂動作成法の改良

シビア現象に適用する高解像度非線形同化システムの開発については、ハイブリッド 4D-Var や粒子フィルタ (LETKF とのハイブリッドを含む) の開発を進めていく。さらにこれらが特に非線形・非ガウスとなる強雨時に有効であることを確認する。領域モデルを対象にした高頻度・高密度な観測ビッグデータの同化法の開発では、観測ビッグデータにおける誤差相関を陽に考慮し、その効果を発揮するためにウェーブレット空間に定義する制御変数の導入などさらなる開発を続けていく。また非ガウス性の強い観測データの同化手法として AI による手法を試みる。さらに様々な先端的観測データの予測へのインパクトを調査し、その有用性を確認する。領域モデルを対象にしたアンサンブル予報の摂動作成法の改良では、1000 メンバーのような大アンサンブル実験によって得られるアンサンブルスプレッドなどを参照として、より高度な摂動作成法を開発していく。

#### (副課題 3) 衛星・地上放射観測および放射計算・解析技術の開発

赤外サウンダ観測を利用した火山灰物質推定と、それに対応した散乱特性テーブルを用いたひまわり/GCOM-C の火山灰雲解析を実施する。氷晶や積雪粒子の形状やそれらによる光散乱特性を解析する手法を開発し、ひまわり等の衛星データ解析アルゴリズムに取り入れる。また新しい霰形状モデルを用いたレーダー偏波特性データベースの開発を継続して行う。

雲・エアロゾル・放射に関連した、地上・衛星リモートセンシングプロダクトについて、概ね計画どおり順調に進捗している。今後も計画通り研究を推進する。地上エアロゾル光学特性等の連続観測及びデータ解析、分光日射観測システムの開発及び同システムを利用した連続観測を実施し、放射計校正技術の開発を継続する。

#### (副課題 4) 地上リモートセンシング技術及びそれらをコアとした水蒸気等の観測技術に関する研究

引き続き令和 4 年度まで、水蒸気ライダーは第 2 期 SIP 予算、船舶 GNSS 観測は科研費課題で観測を行う。観測データを副課題 2 に提供するとともに、データ同化実験を行い、線状降水帯等の豪雨予測の改善を目指す。また、次世代型の水蒸気ライダー技術である DIAL の開発を進める。船舶搭載 GNSS 観測では、システムの小型化を検討するとともに、波浪計や海面高度計としての利用可能性を検討する。

## 6. 自己点検

### (1) 到達目標に対する進捗度

#### (副課題 1) 衛星データ同化技術及び全球同化システムの改良



(a) 衛星データ同化の改良

全天候域の赤外輝度温度同化や、陸域でのマイクロ波輝度温度同化の高精度化を開発し、全球同化システムを用いた評価を行った。ひまわり後継衛星搭載ハイパースペクトルサウンダの OSSE システムを構築し、数値予報精度への精度評価を行い、論文を刊行した。新規衛星 Aeolus による風データの同化を行うための、精度評価や前処理の開発を行った。また、放射伝達モデル RTTOV の雲・降水域での散乱特性についても、他の高速放射伝達モデルを使うなどして調査している。衛星データ同化に関して、**概ね計画通り進捗している**。

(b) 全球データ同化システムの改良

アンサンブル生成と決定論的解析を一つの変分法同化システムで行う同化システムを開発して気象研全球 NAPEX 上で進めており、完全に流れ依存した背景誤差や観測誤差相関の導入による顕著な予報精度改善が得られている。観測誤差相関の考慮、水物質同化の高度化、境界付近の観測の同化手法の構築によって観測情報を拡充し、既存・将来観測のインパクト評価を行った。モデル予測の系統誤差の軽減や境界付近の観測の高度利用の為に大気解析と海面水温解析を同時に行う研究を進めた。また、アンサンブルを用いた背景誤差共分散のノイズを取り除くため、マルチスケールの局所化を簡易モデルに実装して研究を進めた。背景誤差の非ガウス分布について、簡易モデルを用いたアンサンブルカルマンフィルタによるデータ同化実験から、背景誤差は多くの格子点でガウス分布であるものの、非線形性が強い熱帯やストームトラックでは非ガウス性が強くなり、解析誤差が大きくなる傾向があることを示した。これまでに得られた成果にあるように、**全球データ同化手法の高度化についても、概ね計画通り進捗している**。

(副課題 2) メソスケール高解像度同化システム及びアンサンブル摂動作成法の改良

(a) シビア現象に適用する高解像度非線形同化システムの開発

現業システムに近いシステム、LETKF の改良やハイブリッド 4D-Var の開発、非線形性・非ガウス性が卓越するシビア現象にも適用できる EnVar (アンサンブル変分法) や粒子フィルタなどの開発を開始し、初期的な結果を得ている。**概ね計画通り進捗している**。

(b) 領域モデルを対象にした高頻度・高密度な観測ビッグデータの同化法の開発

ひまわりや偏波レーダー、フェーズドアレイレーダー、水蒸気ライダー等の高頻度・高密度な観測ビッグデータについての特性を調べ、AI を用いた間引き法や観測誤差相関を考慮した同化法等の検討を開始した。また、初期値の水蒸気アンバランスで起きるスピンドアウンの影響を小さくするための同化手法を開発し、初期的な結果を得て、論文にまとめている。ハイパースペクトルサウンダ等の観測手法に資する OSSE を行って、論文にまとめている。このように、**概ね計画通り進捗している**。

(c) 領域モデルを対象にしたアンサンブル予報の摂動作成法の改良

アンサンブルによる感度解析法 (予測に重要な物理量の抽出法)、シビア現象の確率予報や極端シナリオの抽出法などの高度なアンサンブル予報の利用法については、**事前評価後の研究計画変更により研究対象になっていない**。メソアンサンブル予報

の初期摂動の改良において、令和 2 年 7 月豪雨の 1000 メンバーのアンサンブル実験を行って降水予報の改善を示し、初期摂動の改良のための知見を得た。**概ね計画通り進捗している。**

(副課題 3) 衛星・地上放射観測および放射計算・解析技術の開発

(a) ひまわり等衛星データを利用した大気・地表面リトリーバル手法の開発

OCA のエーロゾル効果を改良し、OCA を利用した混合相・過冷却水滴など雲物理情報抽出技術を開発した。晴天域不安定指数の推定アルゴリズムを開発した。

(b) ひまわりを用いた火山灰物理量推定アルゴリズムの開発

赤外サウンダシミュレータを開発する。サウンダデータを使った火山灰物質推定アルゴリズムを改良し、その結果をひまわり VOLCAT 解析用 LUT に反映させている。

(c) 大気・地表面放射モデルの改良

衛星搭載ライダー・イメージャの複合利用法の開発について、現行・次世代衛星ともに計画通り実施した。現行衛星の解析手法については、JAXA/EORC の解析・公開システムに導入されることが決まり、計画以上の成果を上げている。

(d) 大気放射収支の変動及びエーロゾル・雲の監視技術の高度化

スカイラジオメータ、全天カメラ、分光放射計を使ったエーロゾル・雲・放射のリモートセンシング手法の開発について、計画通りに実施した。スカイラジオメータの解析手法については、大気海洋部環境・海洋気象課、SKYNET コミュニティへの導入が進み、計画以上の成果を上げている。研究年次計画のとおり、地上エーロゾル光学特性等の連続観測及びデータ解析、分光日射観測システムの開発及び同システムを利用した連続観測を実施し、放射計校正技術の開発を進めた。

これらのように (a) から (d) において、**概ね計画通り進捗している。**

(副課題 4) 地上リモートセンシング技術及びそれらをコアとした水蒸気等の観測技術に関する研究

(a) 水蒸気ライダー

水蒸気ライダーを用いた観測について、コロナ禍の感染者数が少なくなった 6 月に観測を開始し、現在も順調にデータを得ている。また、予測への効果を含めた装置の評価と課題を論文にまとめるとともに、データ品質の管理手法を確立した。**概ね計画通り進捗している。**

(b) 船舶 GNSS

東シナ海を航行する船舶 8 隻に GNSS 機器を設置した水蒸気観測について、令和 2 年 7 月豪雨期間中を含め、順調に観測データを得ることができた。これらの成果と船舶という移動体で観測しながら精度を保持するための方策を学会等で発表するとともに、論文にまとめている。**概ね計画通り進捗している。**

(c) 水蒸気の時・空間構造解析

地上リモセン技術等を用いた水蒸気等の鉛直構造解析のプロトタイプについて評価を行い、特に豪雨の予測に資するか否かの観点で、論文にまとめている。**概ね計画通り進捗している。**

## (2) 到達目標の設定の妥当性

「(1) 到達目標に対する進捗度」で示したように、ほとんどの副課題の項目で中間目標にほぼ到達しており、**研究計画開始時に設定した到達目標は妥当と考えている。**

## (3) 研究の効率性（実施体制、研究手法等）

気象研究所が所有する研究施設や観測測器（大型計算機、スカイラジオメータ、水蒸気ライダー、GNSS 受信機等）を活用して研究を行うことにより、**効率的に研究開発を進めることができている。**また、副課題 1 と 2 の間での「データ同化手法に関する知見の共有」、副課題 1 と 3 の間での「大気放射に関する知見の共有」、副課題 2 と 4 の間での「水蒸気データの提供や知見の共有」など、**副課題間の連携が適切に行われている。**他の課題との連携について、アンサンブルデータについては、T 課題をはじめとする他の研究課題とも知見の共有を進めてきたほか、新規観測データの同化手法等で基盤情報部数値予報課とも適時の情報交換を行い、必要に応じて現業システムの活用を図るなど、連携を強めてきた。第 2 期 SIP 「線状降水帯観測・予測システム」や「富岳」プロジェクト、科研費など**外部資金の活用や他機関との協力により遂行している。**以上から、研究効率性（実施体制、研究手法等）は妥当と考えている。

## (4) 成果の施策への活用・学術的意義

本研究で得られた開発された「データ同化手法」、「大気放射やエアロゾル、水蒸気に観測に関する知見」は、**現業数値予報モデルのデータ同化手法の高度化や新規観測データの導入の際に参考となるものであり、同時に学術的な意義も大きい。**船舶 GNSS が令和 3 気象庁概算要求に取り入れられた。水蒸気ライダーは第二期 SIP 課題において、主要な水蒸気観測手段として位置づけられている。得られた成果は線状降水帯等災害をもたらす豪雨のメカニズム解明に必要な情報を提供する。また、通年のモニタリング観測で作成したエアロゾルのデータベースは、広くエアロゾル研究の基盤として有用なものである。**本課題で得られた成果の学術的意義は、査読付き論文（共著含む）37 本、査読なし論文や解説 15 本、口頭 88 件、ポスター 36 件という学会発表の数にも表れている。**

## (5) 総合評価

本研究課題が掲げる目標が達成されれば、「データ同化技術の高度化」、「大気放射やエアロゾル、水蒸気量の観測の高精度化」により、**現業数値予報の予測精度向上を通じて防災情報が改善され、国民の安全・安心に結び付く。**水蒸気量やエアロゾルの観測データには、**顕著現象や気候変動の理解に基づく監視・予報作業に活かされるものである。**また、いずれの研究も日本における気象学の進展に貢献するものである。したがって、本研究に継続して取り組む意義は高い。加えて、多数の論文発表等に見られる通り、学術的にも価値の高い成果が数多く得られており、その点においても**本研究課題を着実に進める必要がある。**

## 7. 参考資料

### 7.1 研究成果リスト

#### (1) 査読論文：

- Gerry Bagtasa, Mylene G. Cayetano, Chung-Shin Yuan, Osamu Uchino, Tetsu Sakai, Toshiharu Izumi, Isamu Morino, Tomohiro Nagai, Ronald C. Macatangay, Voltaire A. Velazco, 2019: Long-range transport of aerosols from East and Southeast Asia to northern Philippines and its direct radiative forcing effect. *Atmospheric Environment*, **218**, 1352-2310.
- Goto, D., Sato, Y., Yashiro, H., Suzuki, K., Oikawa, E., Kudo, R., Nagao, T. M., and Nakajima, T., 2020: Global aerosol simulations using NICAM.16 on a 14 km grid spacing for a climate study: improved and remaining issues relative to a lower-resolution model. *Geoscientific Model Development*, **13**, 3731-3768.
- Hotta, D., and Y. Ota, 2019: Statistical generation of SST perturbations with spatio-temporally coherent growing patterns. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **145**, 1660-1673.
- Ikuta, Y., K. Okamoto, and T. Kubota, 2020: One-Dimensional Maximum Likelihood Estimation for Spaceborne Precipitation Radar Data Assimilation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* (in press)
- Ishibashi, T., 2020: Improvement of accuracy of global numerical weather prediction using refined error covariance matrices. *Monthly Weather Review*, **148**, 2623-2643.
- Jiang, Z., M. Duan, H. Che, W. Zhang, T. Nakajima, M. Hashimoto, B. Chen, and A. Yamazaki, 2020: Inter-comparison between the Aerosol Optical Properties Retrieved by Different Inversion Methods from SKYNET Sky Radiometer Observations over Qionghai and Yucheng in China. *Atmospheric Measurement Techniques*, **13**, 1195-1212.
- Kawabata, T., and G. Ueno, 2020: Non-Gaussian Probability Densities of Convection Initiation and Development Investigated Using a Particle Filter with a Storm-Scale Numerical Weather Prediction Model. *Monthly Weather Review*, **148**, 3-20.
- Khatri, P., H. Iwabuchi, T. Hayasaka, H. Irie, T. Takamura, A. Yamazaki, A. Damiani, H. Letu, and Q. Kai, 2019: Retrieval of cloud properties from spectral zenith radiances observed by sky radiometers. *Atmospheric Measurement Techniques*, **12**, 6037-6047.
- Kondo, K., and T. Miyoshi, 2019: Non-Gaussian statistics in global atmospheric dynamics: a study with a 10240-member ensemble Kalman filter using an intermediate atmospheric general circulation model. *Nonlinear Processes in Geophysics*, **26**, 211-225.
- Le Duc, Kazuo Saito, Daisuke Hotta, 2020: An Explanation for the Diagonally Predominant Property of the Positive Symmetric Ensemble Transform Matrix. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **98**, 455-462.
- Le Duc, Kazuo Saito, Daisuke Hotta, 2020: Analysis and design of covariance inflation methods using inflation functions. Part 1: Theoretical framework. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, doi:10.1002/qj.3864. (in press)
- Le Duc, T. Kawabata, K. Saito, T. Oizumi, 2021: Forecasts of the July 2020 Kyushu heavy rain using a 1000-member ensemble Kalman filter, SOLA. (accepted)
- Letu, H., K. Yang, T. Y. Nakajima, H. Ishimoto, T. M. Nagao, J. Riedi, A. J. Baran, R. Ma, T. Wang, H. Shang, P. Khatri, L. Chen, C. Shi, J. Shi, 2020: High-resolution retrieval of cloud microphysical properties and surface solar radiation using Himawari-8/AHI next-generation geostationary satellite. *Remote Sensing of Environment*, **239**, 111583.
- Li, W., F. Zhang, YI-N. Shi, H. Iwabuchi, M. Zhu, J. Li., W. Han, H. Letu, and H. Ishimoto, 2020: Efficient radiative transfer model for thermal infrared brightness temperature simulation in cloudy atmospheres. *Optics Express*, **28**, 25730.
- Masahiro Momoi, Rei Kudo, Kazuma Aoki, Tatsuhiro Mori, Kazuhiko Miura, Hiroshi Okamoto, Hitoshi Irie, Yoshinori Shoji, Akihiro Uchiyama, Osamu Ijima, Matsumi Takano, and Teruyuki Nakajima, 2020: Development of on-site self-calibration and retrieval methods for sky-radiometer observations of precipitable water vapor. *Atmospheric Measurement Techniques*, **13**, 2635-2658.

- Masuda, R., H. Iwabuchi, K. S. Schmidt, A. Damiani, and R. Kudo, 2019: Retrieval of cloud optical thickness from sky-view camera images using a deep convolutional neural network based on three-dimensional radiative transfer. *Remote Sensing*, **11**.
- Misumi, R., Y. Shoji, K. Saito, H. Seko, N. Seino, S. Suzuk, Y. Shusse, K. Hirano, S. Belair; V. Chandrasekar, D. Lee, A. J. Pereira Filho, T. Nakatan, M. Maki, 2019: Results of the Tokyo Metropolitan Area Convection Study for Extreme Weather Resilient Cities (TOMACS). *Bulletin of the American Meteorological Society*, **100**, 2027-2041.
- Nakajima TY., H. Ishida, TM. Nagao, M. Hori, H. Letu, R. Higuchi, N. Tamaru, N. Imoto, A. Yamazaki, 2019: Theoretical basis of the algorithms and early phase results of the GCOM-C (Shikisai) SGLI cloud products. *Progress in Earth and Planetary Science*, **6**.
- Nakajima, T., M. Campanelli, H. Che, V. Estelles, H. Irie, S. Kim, J. Kim, D. Liu, T. Nishizawa, G. Pandithurai, V. Soni, B. Thana, N. Tugjsurn, K. Aoki, S. Go, M. Hashimoto, A. Higurashi, S. Kazadzis, P. Khatrri, R. Kudo, A. Yamazaki, and 6 others., 2020: An overview of and issues with sky radiometer technology and SKYNET. *Atmospheric Measurement Techniques*, **13**, 4195-4218.
- Nakajima, T., M. Campanelli, H. Che, V. Estelles, H. Irie, S. Kim, J. Kim, D. Liu, T. Nishizawa, G. Pandithurai, V. Soni, B. Thana, N. Tugjsurn, K. Aoki, S. Go, M. Hashimoto, A. Higurashi, S. Kazadzis, P. Khatrri, R. Kudo, A. Yamazaki, and 6 others., 2020: An overview of and issues with sky radiometer technology and SKYNET. *Atmospheric Measurement Techniques*, **13**, 4195-4218.
- Okamoto, H., K. Sato, A. Borovoi, H. Ishimono, K. Masuda, A. Konoshonkin, N. Kustova, 2019: Interpretation of lidar ratio and depolarization ratio of ice clouds using spaceborne high-spectral-resolution polarization lidar. *Optics Express*, **27**, 36587-36600.
- Okamoto, H., K. Sato, A. Borovoi, H. Ishimoto, K. Masuda, A. Konoshonkin, and N. Kustova, 2020: Wavelength dependence of ice cloud backscatter properties for space-borne polarization lidar applications. *Optics Express*, **28**, 29178.
- Okamoto, K., H. Owada, T. Fujita, M. Kazumori, M. Otsuka, H. Seko, Y. Ota, N. Uekiyo, H. Ishimoto, M. Hayashi, H. Ishida, A. Ando, M. Takahashi, K. Bessho, H. Yokota, 2020: Assessment of the potential impact of a hyperspectral infrared sounder on the Himawari follow-on geostationary satellite. *SOLA*, **16**, 162-168.
- 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. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **145**, 745-766.
- Ono, K., M. Kunii, and Y. Honda, 2020: The regional model-based Mesoscale Ensemble Prediction System, MEPS, at the Japan Meteorological Agency. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, doi:10.1002/qj.3928. (in press)
- Sawada, Y., K. Okamoto, M. Kunii, and T. Miyoshi, 2020: Assimilating every-10-minute Himawari-8 infrared radiances to improve convective predictability. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, **124**, 2546-2561.
- Takashima H., K. Hara, C. Nishita-Hara, Y. Fujiyoshi, K. Shiraishi, M. Hayashi, A. Yoshino, A. Takami, A. Yamazaki, 2019: Short-term variation in atmospheric constituents associated with local front passage observed by a 3-D coherent Doppler lidar and in-situ aerosol/gas measurements. *Atmospheric Environment*, **3**.
- Tanikawa, T., K. Kuchiki, T. Aoki, H. Ishimoto, A. Hachikubo, M. Niwano, M. Hosaka, S. Matoba, Y. Kodama, Y. Iwata, and K. Stamnes, 2020: Effects of snow grain shape and mixing state of snow impurity on retrieval of snow physical parameters from ground-based optical instrument. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, **125**.
- Tsuyuki, T., 2019: Ensemble Kalman filtering based on potential vorticity for atmospheric multi-scale data assimilation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **97**, 1191-1210.
- Uchiyama, A., M. Shiobara, H. Kobayashi, T. Matsunaga, A. Yamazaki, K. Inei, K. Kawai, and Y. Watanabe., 2019: Nocturnal aerosol optical depth measurements with modified sky radiometer POM-02 using the moon as a light source. *Atmospheric Measurement Techniques*, **12**, 6465-6488.

- Ujiie, M. and D. Hotta, 2019: Elimination of spectral blocking by ensuring rotation-free property of discretised pressure gradient within a spectral semi-implicit semi-Lagrangian global atmospheric model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **145**, 3351-3358.
- Wada, A., H. Tsuguti, K. Okamoto, and N. Seino, 2019: Air-Sea Coupled Data Assimilation Experiment for Typhoons Kilo, Etau and the September 2015 Kanto-Tohoku Heavy Rainfall with the Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 Sea Surface Temperature. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **97**, 553-575.
- Yoshida, S., S. Yokota, H. Seko, T. Sakai, T. Nagai, 2020: Observation System Simulation Experiments of Water Vapor Profiles Observed by Raman Lidar using LETKF System. *SOLA*, **16**, 43-50.
- Yue Huang, Jasper F. Kok, Konrad Kandler, Hannakaisa Lindqvist, Timo Nousiainen, Tetsu Sakai, Adeyemi Adebisi, and Olli Jokinen, 2020: Climate Models and Remote Sensing Retrievals Neglect Substantial Desert Dust Asphericity. *Geophysical Research Letters*, **47**, e2019GL08659.
- 伊藤耕介, 藤井陽介, 2020: 逆問題としての4次元データ同化. *ながれ*, **39**, 167-179.
- 泉敏治, 内野修, 酒井哲, 永井智広, 森野勇, 2019: つくばと佐賀に設置したミーライダーデータから算出した混合層高度の日変動・季節変動およびラジオゾンデ・客観解析データとの比較. *天気(論文・短報)*, **66**, 345-357.
- 酒井 哲, 吉田 智, 永井 智広, 小司禎教, 2020: 豪雨予測に向けた水蒸気ライダーの開発と観測データを用いた研究. *レーザー研究*, **48**, 595-598.

(2) 査読論文以外の著作物(翻訳、著書、解説等):

- Chaikovskiy, A., Bril, A., Dubovik, O., Fedarenka, A., Goloub, P., Hu, Q., Lopatin, A., Lapyonok, T., Miatselskaya, N., Torres, B., Fuertes, D., Peshcharankou, V., Podvin, T., Popovici, I., Liu, D., Li, Z., Soupiona, O., Mylonaki, M., Mona, L., Giunta, A., 2020: Synergetic Observations by Ground-Based and Space Lidar Systems and Aeronet Sun-Radiometers: A Step to Advanced Regional Monitoring of Large Scale Aerosol Changes. *EPJ Web of Conferences*, **237**. (in press)
- Ioka, Y., Y. Yogo, T. Tanikawa, M. Hosaka, H. Ishida, and T. Aoki, 2019: Algorithm Theoretical Basis for the Himawari-8, -9/AHI Cryosphere Product Part 2: Sea Ice Distribution. *Meteorological Satellite Center Technical Note*, **64**, 13-21.
- Nishita-Hara, C., M. Hirabayashi, K. Hara, A. Yamazaki, and M. Hayashi, 2019: Dithiothreitol-measured oxidative potential of size-segregated particulate matter in Fukuoka, Japan: effects of Asian dust events. *GeoHealth*, **3**, 160-173.
- Seko, H., and Y., Shoji, 2020: Impact of Data Assimilation of Shipborne GNSS Data on Rainfall Forecast (Part 2). *CAS/JSC WGNE Research Activities in Earth System Modelling*, **50**, 1-19-20.
- T. Fujita, H. Seko, T. Kawabata, D. Hotta, K. Sawada, Y. Ikuta, M. Kunii, T. Tsukamoto, and G. Akimoto, 2019: Time and Space Observation Error Correlation of Doppler Radar Radial Winds. *extended abstract in the 39th International Conference on Radar Meteorology, American Meteorological Society, 16-20 Sep. 2019, Nara, Japan.*
- Wada, A., and K. Okamoto, 2020: Atmosphere-wave-ocean coupled-model simulation on the effect of Himawari-8 all-sky infrared radiances assimilation on the track simulation of Typhoon Jongdari (2018). *Research Activities in Earth System Modelling*, **50**, 9-17.
- Yogo, Y., Y. Ioka, T. Tanikawa, M. Hosaka, H. Ishida, and T. Aoki, 2019: Algorithm Theoretical Basis for the Himawari-8, -9/AHI Cryosphere Product Part 1: Snow Cover. *Meteorological Satellite Center Technical Note*, **64**, 1-12.
- 筆保弘徳、山崎哲、中村哲、安成哲平、吉田龍二、釜江陽一、下瀬健一、大橋唯太、堀田大介, 2019: ニュース・天気予報がよくわかる気象キーワード事典 . ニュース・天気予報がよくわかる気象キーワード事典 .
- 藤田匡, 2020: 観測誤差相関を考慮した変分法によるドップラー速度データ同化. *数値予報課報告・別冊*, **66**, 145-155.

- 木村宏海, 八久保晶弘, 谷川 朋範, 2020: 塩濃度測定と融点降下から求める積雪含水率測定法. *北海道の雪氷*, **39**, 9-12
- 小司禎教, 2020: 精密衛星測位 (GNSS) を用いた水蒸気観測と気象への利用. 第 18 回英弘シンポジウム”異常気象と局地現象”, **18**, 53-60.
- 瀬古弘, 和田章義, 村田昭彦, 宮川知己, 竹見哲也, 福井真, 川畑拓矢, 北村祐二, 清木達也, 堀田大介, 2019: 第5回非静力学モデルに関する国際ワークショップの報告. *天気*, **66**, 501-506.
- 瀬古弘, 津田敏隆, 2019: メソスケール LETKF システムを用いた GNSS 掩蔽観測の屈折率データの同化実験. *月刊海洋号外「新野宏教授退職記念号」*, **62**, 111-114.
- 瀬古弘, 小泉耕, 瀬之口敦, 2020: SSR モード S データの同化実験. *数値予報課報告・別冊第66号*, 142-144.
- 吉田智, 2020: 雷放電三次元標定装置の開発と観測. *日本大気電気学会誌*, **14**, 3-10.

### (3) 学会等発表

#### ア. 口頭発表

##### ・国際的な会議・学会等:

- 幾田泰醇 Improvement and Evaluation of 1-moment Cloud Microphysics using GPM Satellite Data, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020年7月, オンライン
- 石元裕史 X-ray micro-CT imagery of deposited snow in optical modeling of atmospheric ice particles, 第18回電磁気と光散乱会議 (ELS-XVIII), 2019年6月, 中国, 杭州
- 岡本幸三 Analysis of atmospheric profiles within tropical cyclones using the new-generation satellite observations, Asia Oceania Geosciences Society 16th Annual Meeting (AOGS2019), 2019年7月, シンガポール, シンガポール  
 Assimilation of Passive and Active Sensors on Satellite to Improve Tropical Cyclone Forecasts. , Asia Oceania Geosciences Society 16th Annual Meeting (AOGS2019), 2019年7月, シンガポール, シンガポール  
 Evaluation and assimilation of all-sky infrared radiances of Himawari-8 in the regional and global data assimilation system., The 22nd International TOVS Study Conference, 2019年11月, カナダ, Saint-Sauveur.  
 All-sky infrared assimilation overview, 4th workshop on assimilating satellite cloud and precipitation observations for NWP, 2020年2月, イギリス, レディング  
 Impacts of potential usage of hyperspectral IR sounder on Himawari-8/-9 follow-on program. , the coordination group for meteorological satellites (CGMS) - 48 Plenary, 2020年8月, online, online  
 Experimental assimilation of all-sky infrared radiances of Himawari-8, Joint Satellite Conference, 2019年10月, アメリカ, Boston
- 川畑拓矢 What is the source of chaos in MCS?, The EMS Annual Meeting: European Conference for Applied Meteorology and Climatology 2019, 2019年9月, デンマーク, コペンハーゲン
- 近藤圭一 A local particle filter based on non-Gaussian statistics using an intermediate AGCM, Data Assimilation Seminar, 2020年9月, オンライン
- 酒井哲 Lidar Research at MRI, Steering committee meeting of the Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC), 2019年10月, つくば市  
 Sea breeze front observation with water vapor lidar and Doppler lidar at Tokyo Bay -Case of localized heavy rainfall on 19 August 2017-, AMS 100th Annual Meeting, 2020年1月, アメリカ, ボストン
- 小司禎教 High Space-time Resolution Analysis of Atmospheric Fields using GNSS and Other Observations to Study the Mechanisms of Local Heavy Rainfall in Tokyo Metropolitan Area, Living Planet Symposium 2019, 2019年5月, イタリア, ミラノ

- Study of Water Vapor Monitoring in the Open Ocean using Kinematic Precise Point Positioning, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉市
- 瀬古弘 Data Assimilation Studies using Big Observation Data in the Projects of Post K and BDA, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉市
- Tsukuba Tornado with Fujita Scale 3 Reproduced by Super-computer 'K', Asia Oceania Geosciences Society 16th Annual Meeting (AOGS2019), 2019 年 7 月, シンガポール, シンガポール
- Improvements of Heavy Rainfall and Typhoon Forecasts Reproduced by Super-computer 'K', Asia Oceania Geosciences Society 16th Annual Meeting (AOGS2019), 2019 年 7 月, シンガポール, シンガポール
- 永井智広 Development and Observation of Water Vapor Raman Lidars for Localized Torrential Rainfall Prediction, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉市
- 林昌宏 Volcanic Ash Retrieval by Himawari-8 using Refractive Index Model Estimated from Hyper Spectral Infrared Sounder Data, Joint Satellite Conference, 2019 年 10 月, アメリカ, Boston
- 堀田大介 "Twin-analysis" verification: a new verification approach that alleviates pitfalls of "own-analysis" verification when applied to short-range forecasts, International Verification Methods Workshop Online, 2020 年 11 月, オンライン
- 吉田智 Development of a mobile water vapor Raman lidar and its application for data assimilation, Asia Oceania Geosciences Society 16th Annual Meeting (AOGS2019), 2019 年 7 月, シンガポール, シンガポール

・国内の会議・学会等:

- 青梨和正 次世代のマイクロ波イメージャ降水リトリーバルアルゴリズム開発: 固体降水の厚みの変動を考慮した散乱アルゴリズム, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都
- 次世代のマイクロ波イメージャ降水リトリーバルアルゴリズム開発: 固体降水の厚みに依る散乱特性の変動の導入, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡市
- 幾田泰醇 令和 2 年 7 月豪雨に対する船舶 GNSS の同化インパクトと発生要因, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
- 令和 2 年 7 月豪雨予測と雲降水過程, 第一回大アンサンブルとアプリケーションに関する研究会, 2020 年 9 月, オンライン
- マルチ物理アンサンブルデータ同化と降水予測, 第一回大アンサンブルとアプリケーションに関する研究会, 2020 年 9 月, オンライン
- 気象庁メソモデルにおける衛星観測を用いた検証と雲物理過程の改良, 東京大, 海洋大気力学セミナー, 2020 年 10 月, 柏市
- 石橋俊之 4 次元の背景誤差共分散行列を使った 4D-Var によるアンサンブル生成と決定論的解析(3), 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都渋谷区
- 全球解析に関する最近の研究から, 第 3 回 理研・気象庁 データ同化に関する情報交換会, 2019 年 8 月, 東京都
- 4 次元の背景誤差共分散行列を使った 4D-Var によるアンサンブル生成と決定論的解析(4), 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡市
- 雷光観測の全球同化(序), 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 川崎市
- 数値天気予報のための全球大気解析の高精度化に関する研究, 神戸大学惑星科学研究センターセミナー, 2020 年 8 月, リモート
- 石元裕史 積雪マイクロ CT データを用いた降雪粒子のモデル化とレーダー反射特性の計算, 日本気象学会秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡市



- 岡本幸三 ひまわり後継衛星に向けたハイパースペクトル赤外サウンダのインパクト調査, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都  
ひまわり後継衛星に向けたハイパースペクトル赤外サウンダのインパクト調査, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, 千葉市  
数値予報精度向上のための衛星搭載ドップラー風ライダーによる全球風観測, 第 37 回レーザセンシングシンポジウム, 2019 年 9 月, 千葉市  
数値予報データ同化における静止衛星観測の利用, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
- 小田真祐子 変分法同化法のための 2 スケール局所化手法, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都
- 川畑拓矢 MCS におけるカオスの起源を探る, 第 6 回メソ気象セミナー, 2019 年 7 月, 三重県伊勢市  
NHM-RPF を用いた観測誤差の動的推定, 第 21 回非静力学モデルに関するワークショップ, 2019 年 11 月, 津市  
令和 2 年 7 月豪雨における線状降水帯の確率予測, 第一回大アンサンブルとアプリケーションに関する研究会, 2020 年 9 月, オンライン, オンライン  
大アンサンブルが予測する豪雨・洪水, 「富岳」成果創出加速プログラム「防災・減災に資する新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測」第 1 回シンポジウム ~豪雨・台風の高精度な予測をめざして~, 2020 年 9 月, オンライン  
令和 2 年 7 月豪雨における線状降水帯の確率予測, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン  
教師なし機械学習によるラマンライダーデータのノイズ除去, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
- 工藤玲 スカイラジオメータによる雲の微物理・光学特性のリモートセンシング, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京  
不均質に分布した雲の地上リモートセンシング手法の開発, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡市
- 近藤圭一 不完全な背景誤差共分散がアンサンブルデータ同化に与える影響, 統数研・気象研勉強会, 2019 年 6 月, 東京都港区  
背景誤差の非ガウス分布を考慮したアンサンブル同化手法, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡市  
非ガウス分布の定量的評価による非ガウスデータ同化, 第 22 回非静力学モデルに関するワークショップ, 2020 年 11 月, オンライン
- 酒井哲 水蒸気ライダーとドップラーライダーによる東京湾岸における海風の観測 - 2017 年 8 月 19 日の局地的大雨事例 -, 第 37 回レーザセンシングシンポジウム, 2019 年 9 月, 千葉市  
水蒸気ライダーとドップラーライダーによる海風の観測 - 2017 年 8 月 19 日の局地的大雨事例 -, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡市  
ニュージーランド・ローダー上空高度 24-31 km で観測されたオーストラリア森林火災起源と考えられる非球形粒子と低濃度オゾン, 第 38 回レーザセンシングシンポジウム, 2020 年 9 月, 日本  
ニュージーランド・ローダー上空高度 24-31 km で観測された非球形粒子と低濃度オゾン, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
- 澤田謙 スピンダウン問題と過飽和抑制, 非静力学モデルに関するワークショップ, 2019 年 11 月, 津市  
変分法同化システムへの過飽和制約の導入, 第一回先端的データ同化と巨大アンサンブル手法に関する研究会(サブテーマ B), 2020 年 9 月, オンライン  
変分法同化システムへの過飽和制約の導入, 第 22 回非静力学モデルに関するワークショップ, 2020 年 11 月, オンライン, オンライン

- 小司禎教 E-S 風系型首都圏短時間強雨への下層水蒸気の寄与 -2017 年 8 月 19 日の事例 -, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡市  
 船舶搭載 GNSS による東シナ海水蒸気観測実験, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡市  
 精密衛星測位 (GNSS) を用いた水蒸気観測と気象への利用, 第 18 回英弘シンポジウム”異常気象と局地気象”, 2020 年 1 月, 東京都  
 首都圏短時間強雨の環境場 - 東風の特徴 -, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 川崎市  
 潮汐モデルを用いた船舶 GNSS 可降水量誤差補正の試み, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 川崎市
- 瀬古弘 下層水蒸気量と海風前線の対流発生への寄与 -羽田空港周辺 2018 年 9 月 2 日の事例-, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン  
 船舶やブイで観測した GNSS データを用いた同化実験(その 1), 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都渋谷区  
 メソ NAPEX を用いた SSR モード S 航空機データと 船舶 GNSS 可降水量の同化実験, 第 21 回非静力学モデルに関するワークショップ, 2019 年 11 月, 津市  
 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のサブ課題紹介, ポスト「京」(スーパーコンピュータ「富岳」)重点課題 4 「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」最終成果報告会, 2020 年 1 月, 東京  
 メソアンサンブル予報を用いた豪雨の相関解析, 第 22 回非静力学モデルに関するワークショップ, 2020 年 11 月, オンライン, オンライン
- 谷川朋範 積雪の波長別偏光測定装置の高度化, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京  
 ニーオルスンにおける全天分光日射計を用いた積雪粒径・積雪不純物濃度の推定, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 川崎市
- 露木義 Ensemble Kalman filtering based on potential vorticity for atmospheric multi-scale data assimilation. 第 10 回データ同化ワークショップ, 2020 年 1 月 30 日, 横浜.  
 深層学習でアンサンブルデータ同化ができるか? 第1回先端的データ同化と巨大アンサンブル手法に関する(サブテーマ B)研究会, 2020 年 9 月 28 日, オンライン
- 林昌宏 ひまわり 8 号可視・赤外観測を利用した多層雲域の雲物理量推定と巻雲除去画像の作成, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡市  
 GCOM-C/SGLI の熱赤外観測データを用いた火山灰解析, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 川崎市  
 DARDAR プロダクトとひまわり 8 号観測を用いた RTTOV 氷雲放射スキームの評価, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
- 藤田匡 メソアンサンブル予報システム (MEPS) の運用開始に向けて, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京  
 ひまわり後継衛星ハイパースペクトル赤外サウンダのメソ数値予報 OSSE, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡  
 変分法によるレーダーデータ同化高度化の検討, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡  
 観測誤差相関を考慮した変分法によるドップラー速度データ同化の検討, 非静力学モデルに関するワークショップ, 2019 年 11 月, 津市

観測誤差時空間相関を考慮した変分法による ドップラー速度データ同化の検討, ポスト「京」(スーパーコンピュータ「富岳」)重点課題 4「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」最終成果報告会, 2020 年 1 月, 東京

メソモデルへの観測誤差相関の導入とそのインパクトー変分法によるレーダーデータ同化高度化の検討ー, 統計数理研究所・気象研究所データ同化勉強会, 2020 年 9 月, オンライン

変分法によるドップラー速度同化の高度化に向けた検討, 第一回先端的データ同化と巨大アンサンブル手法に関する研究会(サブテーマ B), 2020 年 9 月, オンライン

変分法によるドップラー速度のデータ同化:ウェーブレット空間での制御変数の検討, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン

ひまわり後継衛星の GeoHSS によるメソ数値予報へのインパクト調査, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン

堀田大介 変分自己符号化器による前処理を通じた非ガウス観測のデータ同化, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡市

山田芳則 多様な地表面上に適用可能な先端的マルチドップラーレーダー解析システムの構築, 令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会, 2020 年 9 月, online

吉田智 ラマンライダーによる水蒸気鉛直分布観測と大雨予測, 第 37 回レーザーセンシングシンポジウム, 2019 年 9 月, 千葉市

水蒸気ライダーによる水蒸気鉛直分布の観測とデータ同化, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡市

観測システムシミュレーション実験を用いた水蒸気観測の影響評価, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 6 月, 川崎市

下層水蒸気の積乱雲の発生発達への寄与, 第 38 回レーザーセンシングシンポジウム, 2020 年 9 月, 日本

#### イ. ポスター発表

・国際的な会議・学会等:

青梨和正 Introduction of the mixed-lognormal PDF and a new displacement correction method for precipitation to EnVar for all-sky MWI TB assimilation, The 4th Joint JCSDA-ECMWF Workshop on Assimilating Satellite Observations of Clouds and Precipitation into NWP Models, 2020 年 2 月, イギリス, レディング

石橋俊之 Superposition of atmospheric states using information redundancy for Numerical Weather Prediction, JpGU meeting 2019, 2019 年 5 月, 千葉県千葉市

Numerical Weather Prediction Experiments using a Coupled Atmosphere-Ocean Data Assimilation System in JMA/MRI (3), JpGU meeting 2019, 2019 年 5 月, 千葉市

Data assimilation of lightning observation data for global numerical weather prediction, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン

Observation impact study in global numerical weather prediction, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン

石元裕史 Development of fast radiative transfer model MBCRM for analysis of volcanic ash clouds measured by hyperspectral infrared sounder, 2019 年合同衛星会議, 2019 年 10 月, アメリカ, ボストン

岡本幸三 Examination of observation and model error for all-sky infrared radiance assimilation, ECMWF/EUMETSAT NWP SAF Workshop on the treatment of

- random and systematic errors in satellite data assimilation for NWP, 2020 年 11 月, online  
 JMA and JAXA, The 22nd International TOVS Study Conference, 2019 年 11 月, カナダ, Saint-Sauveur,
- 工藤玲 Ground-based remote sensing of heterogeneous clouds using sky-view camera and three-dimensional radiative transfer, 8th International EarthCARE Science Workshop, 2019 年 11 月, 福岡
- 近藤圭一 Non-Gaussian statistics in global atmospheric dynamics with a 10240-member ensemble Kalman filter experiment using an intermediate AGCM, American Geophysical Union 2019 Fall meeting, 2019 年 12 月, アメリカ, サンフランシスコ
- 小司禎教 Study of the Mechanisms of Severe Thunderstorm in Tokyo Metropolitan Area using High Frequent Assimilation of GNSS and Other Ground-based Observations, JpGU meeting 2019, 2019 年 5 月, 千葉市  
 Relationship between errors in ship-borne GNSS derived PWVs and that in vertical coordinates, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
- 瀬古弘 Refractivity Distributions over the Kanto Plain Obtained by Dual-polarization Radar, JpGU meeting 2019, 2019 年 5 月, 千葉市  
 Impacts of vessel GNSS data on the heavy rainfall forecasts obtained by JMA's mesoscale data assimilation system (NAPEX) , JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020 年 7 月, オンライン
- 林昌宏 New Estimation Method of Himawari-8/-9 Lower Tropospheric Winds, American Geophysical Union 2019 Fall meeting, 2019 年 12 月, アメリカ, サンフランシスコ
- 吉田智 Impact of low-level moisture and convergence on initiation and development of cumulonimbus, AGU Fall Meeting 2020, 2020 年 12 月, 米国, virtual

・国内の会議・学会等:

- 石橋俊之 雷光観測の全球同化(序), 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
- 岡部 気象庁全球解析システムを用いた静止気象衛星 CO2 バンドの晴天放射輝度  
 いづみ 温度データ同化インパクト調査, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
- 近藤圭一 モデルが不完全な場合における背景誤差相関について, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都  
 Dynamic Emissivity を用いた陸域衛星輝度温度同化の高度化, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 川崎市  
 Dynamic Emissivity を用いた陸域衛星輝度温度同化の高度化, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
- 澤田謙 スピンダウン問題と過飽和抑制, 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡市  
 変分法同化システムにおける過飽和制約の導入, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 川崎市  
 NHM-LETKF への SPUC の導入, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
- 小司禎教 移動体 GNSS 解析による可降水量誤差要因の考察, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン  
 凌風丸による 2020 年梅雨期東シナ海ゾング観測, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン

- 瀬古弘 多種の高頻度高密度観測データを用いた 局地的大雨の同化実験(その1), 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京都渋谷区  
特異値分解解析を利用した「全外し」を軽減するためのアンサンブル初期摂動作成法の開発(その 1), 日本気象学会秋季大会, 2019 年 10 月, 福岡県福岡市  
特異値分解解析による「全外し」を軽減するアンサンブル 初期摂動作成法と最適な観測網システムの開発(その 2), 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 川崎市  
現業同化システムに準拠したメソ数値予報実験システムを用いた船舶 GNSS の同化実験, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 川崎市  
現業同化システムに準拠したメソ数値予報実験システムを用いた船舶 GNSS の同化実験(その 2), 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン
- 谷川朋範 積雪と海氷の波長別偏光特性, 雪氷研究大会(2020・オンライン), 2020 年 11 月, オンライン
- 林昌宏 ひまわり 8 号と赤外サウンダによる火山灰解析アルゴリズムの開発, 日本気象学会 2019 年度春季大会, 2019 年 5 月, 東京
- 藤田匡 ドップラー速度の観測誤差相関を考慮した変分法データ同化の検討, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 川崎市
- 山崎明宏 分光型日射計による精密放射観測装置の開発(2), 日本気象学会 2020 年度春季大会, 2020 年 5 月, 川崎市
- 吉田智 長崎におけるライダーによる水蒸気鉛直分布の初期観測, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, 2020 年 10 月, オンライン

#### (4) 投稿予定論文

- Duc, L., K. Saito and D. Hotta, 2020: Analysis and design of covariance inflation methods using inflation functions. Part 2: Adaptive inflation, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, (in revision).
- Ishibashi, T., 2021: Fully flow dependent ensemble data assimilation for global NWP. MWR. (in preparation)
- Ishibashi, T., 2021: All sky satellite micro-wave radiance observation data assimilation with fully objective flow dependent observation error statistics. MWR. (in preparation)
- Okamoto, K., M. Hayashi, T. Hashino, T. Nakagawa, and A. Okuyama, 2021: All-sky infrared simulation of Hiwamari-8 for global data assimilation and model diagnosis, *JGR*. (in preparation)
- Rei Kudo, Henri Diémoz, Victor Estellés, Monica Campanelli, Masahiro Momoi, Franco Marenco, Claire L. Ryder, Osamu Ijima, Akihiro Uchiyama, Kouichi Nakashima, Akihiro Yamazaki, Ryoji Nagasawa, Nozomu Ohkawara, and Haruma Ishida, 2021: Optimal use of Prede POM sky radiometer for aerosol, water vapor, and ozone retrievals. *Atmospheric Measurement Techniques*. (in preparation)
- Sawada K. and Y. Honda, 2021: A constraint method for supersaturation in a variational data assimilation system, *Mon. Wea. Rev.* (under review)
- Yasutaka Ikuta, Masaki Satoh, Masahiro Sawada, Hiroshi Kusabiraki, Takuji Kubota, 2021: Improvement of One-moment Bulk Cloud Microphysics Scheme at Japan Meteorological Agency using Space-borne Radar and Microwave Imager as Reference. *J. Atmos. Sci.* (in preparation)
- Yasutaka Ikuta, Tadashi Fujita, Yukinari Ota, Yuki Honda, 2021: Variational Data Assimilation System for Operational Regional Model at Japan Meteorological Agency. *J. Meteor. Soc. Japan*. (in preparation)

Yasutaka Ikuta, Hiromu Seko, Yoshinori Shoji 2021: Shipborne GNSS precipitable water vapor assimilation for extreme precipitation event in western Japan. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. (in preparation)

## 7.2 報道・記事

- ・時事通信 (2019年10月26日) 「海上からの水蒸気流入観測=九州大雨時、船上で-予測精度向上に期待・気象研」
- ・読売新聞 (2020年1月30日夕刊) 「海上の水蒸気で豪雨予測」
- ・朝日新聞 (2020年7月3日朝刊) 「線状降水帯」予測し被害防げ」
- ・時事通信 (2020年11月2日) 「水蒸気観測やスパコンで向上 豪雨予測精度-気象研」
- ・毎日新聞 (2020年11月6日朝刊) 「線状降水帯 海から予測」
- ・長崎放送 (2020年11月18日放送) 番組名：PINT特集「特集：線状降水帯を予測する水蒸気ライダー」
- ・JIJI.COM (2020年11月2日) 「水蒸気観測やスパコンで向上 豪雨予測精度-気象研」
- ・NHK (2020年11月3日) 「スパコン「富岳」高い確率で「線状降水帯」予測 気象庁が解析」
- ・読売新聞電子版 (会員限定) (2020年11月3日) 「線状降水帯 半日前に予測…気象研 10年後メドに実用化」

## 7.3 その他 (3. (4) 「成果の他の研究への波及状況」 関連)

- ・講演、アウトリーチ等

酒井 哲 集中豪雨予測のための水蒸気ライダーの開発 令和2年度  
気象研究所研究成果発表会(2020年12月16日-2021年1月27日)

川畑 拓矢 スーパーコンピュータ「富岳」を用いた豪雨や洪水の予測  
に向けて、令和2年度気象研究所研究成果発表会(2020年12月16  
日-2021年1月27日)

吉田 智 雷までの距離を測ろう クエスチョンハンティング 一つ  
くばこどもクエスチョンオンライン- 2020年8月1日~23日

- ・受賞等

青梨 和正 衛星観測による全球降水マップの開発と社会での実利  
用推進に関わる功績 2019年 日本気象学会 岸保・立平賞