

プロフィールシート（事前評価）

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の改良及びアンサンブル予報利用技術の開発

（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：2019年度～2023年度（5年間）

研究代表者：青梨和正（台風研究部長）

研究担当者：（副課題代表者）岡本幸三、瀬古弘、石元裕史、永井智広

1. 研究の背景・意義

（社会的背景・意義）

近年の「今まで経験したことのない」という言葉が聞かれる豪雨災害（H30.7豪雨における西日本各地や、H23.8の台風12号による紀伊半島、H26.8広島、H25.11のフィリピンを襲った台風30号）などが頻発している。また、地球温暖化に伴い、極端な降水がより強く・頻繁に発生する可能性も指摘されている。近年の自然災害の激甚化や少子高齢化等の社会環境の変化の顕在化等を受けて、今後10年程度の中長期を展望して取りまとめられた交通政策審議会気象分科会の提言（H28.8.20）では、防災のため、豪雨等の予測精度向上と長いリードタイムの確保などのための観測・予測技術の高度化の必要性が指摘されている。

激しい災害をもたらす豪雨や突風、台風等は、一般的に短時間に局地的に発生することや、雲物理からモンスーンまで様々なスケールの現象が相互作用するため、正確な予測が困難である。それらの現象をより長いリードタイムを確保し、もしくはより短いスピンナップで精度良く予測ができるシステムの構築が望まれている。近年の高密度・高頻度・高精度な観測データと電子計算機の発達により、上記を実現する高度な同化法の開発が可能になった。

また、激しい災害をもたらす豪雨や突風、台風等による被害を軽減するためには、その機構を解明し予測精度を向上させる必要がある。これには、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。

高機能・高時空間分解能化が進む静止気象衛星や各種地球観測衛星の観測データを用いて、その特性に応じた解析を実施し、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。そ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。また、エアロゾルの組成別の情報や雲の特性を把握し、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、気象災害を激甚化・多発化させる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。人為起源エアロゾルの主要な排出源である東アジアでは、今後、最大のエアロゾルの排出国である中国におけるエアロゾルの総排出量は減少することが予想されているが、温暖化の効果を持つ黒色炭素エアロゾルの削減が十分でない場合には、温暖化がさらに加速する可能性が指摘されている。

(学術的背景・意義)

大気現象は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全球数値予報データ同化システムが不可欠である。雲粒から惑星スケールの波動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。

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ーには限界がある。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、非常に多くの高密度・高頻度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な大量の観測データの同化に対し、これを克服する手法の開発が必要である。

近年実用化されたアンサンブル予報では、単に予報に使えるだけでなく、それを高度利用することにより、気象学的に大きな意義がある「顕著現象を発生・維持させる要因」の解明などの研究に資することが期待される。

可視-赤外から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系の放射伝達計算や、そこに含まれる雲・エアロゾル等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。

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。

GNSS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データ同化している。GLONASS、GALILEO、準天頂衛星等近年の複数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開発が途についたばかりであり、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)の開発が盛んに行われている。

(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同化システムの精度向上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、数値予報課から特に全天候域での輝度温度同化など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。
- ・ メソアンサンブル予報の現業的利用が2019年度に開始される。「全外し」を少なくする摂動作成法の開発とともに、極端シナリオの抽出法などのアンサンブル予報の高度な利用法の開発が望まれている。
- ・ 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、また陸面データ同化など個々の同化手法の改良につながる知見を提供する。
- ・ 予報課や航空予報室に対し、メソアンサンブル予報システム改良や高度な利用方法についての知見を提供したい。さらに、スピニングアップが短く、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。
- ・ 数値予報課、観測部に対し、新規データの観測システムシミュレーション実験等を通じて、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。
- ・ 観測部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。
- ・ 地球環境・海洋部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。
- ・ 同業務における新しいエアロゾル情報のためのデータ解析支援の要望に対し、エア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。
- ・ 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、線状降水帯等甚大な災害をもたらす気象現象の機構解明・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。

(気象研究所の実績)

本研究計画に関連して、以下のような研究実績を有している。

[衛星データ・全球データ同化関連]

- ・現業全球データ同化システムに基づく、観測データのインパクト評価システム (FSO) の構築 (数値予報課提供済み)。
- ・観測誤差相関、観測誤差、間引き距離の再評価に基づく、より多くの衛星データが同化手法の改善。
- ・全天候域でのひまわり 8 号赤外輝度温度同化に向けた、モデルや放射伝達モデルの再現性調査、雲効果を考慮した品質管理処理などの開発。
- ・衛星搭載風ライダーの OSSE の実施 (NICT や JAXA と連携)。将来衛星の日本初の本格的な OSSE による評価。
- ・単一の変分法システムで決定論的解析とアンサンブル生成を行う同化システムを構築。
- ・気象庁全球数値予報の実験システムの気象研究所計算機への移植、構築 (MRI-NAPEX)。

[メソスケールの同化、アンサンブル予報関連]

- ・4DEnVar と 4DLETKF の統合システムの構築、4DEnVar のイテレーションの中で予報を繰り返し行う同化手法の実装 (非線形の観測演算子や予報モデルを用いて評価関数を陰に解くことの有効性を提示)。
- ・NHM を用いた粒子フィルターの開発。
- ・河川流量の同化を可能とする河川-大気強結合アンサンブルデータ同化システムの開発。
- ・二重偏波レーダーの KDP データ用の二種類の観測演算子の NHM-4DVar へ組み込み、有効性を確認。
- ・レーダー反射強度を無降水点において同化する手法の開発と同化実験。
- ・MODE-S データの気象研究所に移植したメソ NAPEX を用いた同化実験 (シアラインや降水強度等が改善)。
- ・ひまわり 8 号高頻度観測の大気追跡風、雲域の高頻度輝度温度、及び最適雲解析プロダクトの評価と同化実験。
- ・領域モデルを対象にしたアンサンブル予報の高度化と高度な利用法の開発。
- ・2014 年 8 月 20 日の広島豪雨、2012 年 5 月 6 日のつくば竜巻、及び 2016 年 8 月 4 日のつくば市で発生した局地的な強雨事例に対するアンサンブル実験とそれに基づく解析を行なった。

[衛星・地上放射観測等関連]

- ・ひまわり 8 号用の OCA アルゴリズムの開発と雲物理情報の推定結果の他機関・他衛星のプロダクトとの比較。
- ・OCA アルゴリズムにより推定した雲物理情報を利用した地上日射量推定アルゴリズムを開発。
- ・赤外サウンダデータから火山灰物質情報 (複素屈折率) を推定手法の開発と、VOLCAT 解析用 LUT のプロトタイプを作成。

- ・サンプリング観測（電子顕微鏡等）などに基づく、エアロゾル5組成（水溶性、光吸収性、ダスト、海塩、火山灰）のリモートセンシングに最適な粒子モデルの構築。
 - ・衛星搭載イメージャやライダーに対応した精密な放射伝達計算に基づくフォーワードモデルの構築と、エアロゾル組成を推定する複合センサ用のアルゴリズムの開発。
- [地上リモセンと水蒸気観測高度化関連]
- ・機動観測用水蒸気ライダー、大型水蒸気ラマンライダーの開発。
 - ・水蒸気ライダーによる水蒸気鉛直分布データの数値モデルへのインパクト実験。
 - ・船舶用のGNSS受信器の整備（2式）と、それを用いた海洋気象観測船での実験観測による観測法や解析手法の改善等（精度は、陸上でのGNSS観測と同等）。

2. 研究の目的

台風、集中豪雨等の監視・予測精度向上のため、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・予測技術の開発を一体的に進める。

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と利用法の開発（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）

(a) 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、観測システムシミュレーション実験（OSSE）を実施する。

(b) 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）

(a) シビア現象に適用でき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（EnVar や粒子フィルターなど）を開発する。さらに陸面等の結合同化の有効性を調査し、有効であれば、陸面等の結合同化手法を開発する。

(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。これらの手法を用い、より短いスパインアップで、予測のより長いリードタイムを目指す。

(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

アンサンブル予報を用いたシビア現象の確率予報や極端シナリオの抽出法、アンサンブルによる感度解析法などの高度な利用法を開発するとともに、「全外し」が少なくなるアンサンブル予報システムの開発を行う。

(副課題 3)

(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により、NOAA/NESDIS 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 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高度化

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。降雪・積雪粒子の形状や融解による散乱特性の変化についての現実的なモデルを開発し、ぬれ雪のレーダー反射特性や融解雪面の散乱特性を利用した解析手法の開発を行う。

(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)

(a) 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) 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。

4. 研究体制

研究代表者：青梨和正

- (副課題1) サブ代表者：岡本幸三 担当研究者：4名程度
 (副課題2) サブ代表者：瀬古弘 担当研究者：5名程度
 (副課題3) サブ代表者：石元裕史 担当研究者：6名程度
 (副課題4) サブ代表者：永井智広 担当研究者：3名程度

研究協力者： 併任者として本庁観測部、高層気象台から数名程度を想定。

5. 研究計画・方法

(副課題1)

(a) 衛星データ同化の改良

- ・衛星データ同化手法の改良：雲・降水域を含む**全天候域の輝度温度の同化**を行う。また陸や海氷の影響を受けた輝度温度データの同化、ハイパースペクトルサウンダデータをより有効に利用する手法の開発、観測誤差設定やバイアス補正等の衛星処理の改良を行う。
- ・新規衛星データや従来は利用できなかった衛星データの評価・導入：Aeolus、CYGNSS、TROPICS、FY4 等の新規衛星の精度検証・利用可能性調査を行う。また、雲・降水レーダーやライダー、可視・近赤外域反射率等、従来は利用が困難であったデータの評価・同化開発を行う。
- ・将来衛星の評価：**ひまわり後継衛星**等の、将来衛星・測器の利用によってもたらされる数値予報精度への影響を評価するため、OSSE を行う。これにより、最適な観測システムの提案や、先行的な同化処理開発を行う。
- ・衛星シミュレータの開発・検証、観測・モデルの検証：放射伝達モデル等の衛星シミュレータ（観測演算子）を開発あるいは既存のものを導入し、検証する。観測・シミュレーション結果を比較することにより、観測・モデル開発者と連携しながら観測・シミュレータ・モデルの検証を行う。さらにこの結果から、データ同化前処理の開発を行う。

(b) 全球データ同化システムの改良

- ・同化手法の改良：アンサンブルを用いた同化手法において4次元（時空間）の背景誤差共分散の高精度化、観測情報の大幅な拡充を可能とする構成の構築、計算量の抑制と高分解能化を実施する。
- ・観測情報の拡充：観測誤差相関を考慮した高密度な観測の同化や、水物質の情報を持った観測の同化、境界付近等の新規観測の導入、観測情報の最適な圧縮を行う。
- ・数値予報システムの診断：既存観測及び将来の観測データについて、解析や予報場へのインパクトを評価するとともに、評価手法や評価指標を高精度化・多様化する。
- ・モデル誤差の軽減：同化システムを用いて、予報モデルのパラメータの推定や、モデルバイアスの補正、感度解析によるモデル誤差の解析等を行い、モデル誤差を軽減する。

(a)、(b)とも、非線形・ビッグデータ同化処理や放射伝達計算、モデルの再現性が重要となるので、副課題2、副課題3、P、M課題と連携する。さらに開発・改良成果の評価において、台風の解析精度や発生・進路予報の改善を重視しており、T1課題と

知見や同化システムの共有を行う。

(副課題 2)

(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、LETKF と 4DVar のハイブリッド手法の開発とともに、**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行う。
- ・ 陸面など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。
- ・ 非常に複雑かつ非線形で計算コストの大きな物理過程を少ない計算コストで表現する代替モデルを AI により開発し、未知パラメータ最適化等の高度なデータ同化への応用可能性を検討する。

(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

- ・ 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を検討する。
- ・ 観測ビッグデータを用いて、より短いスピンアップで精度の良く予測するための同化手法を開発する。
- ・ ハイパースペクトルサウンダー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。
- ・ 観測データの品質管理に関して AI の開発を行う。

(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**の開発を行う。
- ・ 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、「全外し」が少なくなるアンサンブル予報を開発する。

(副課題 3)

(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) アルゴリズムについて、水と氷の混合相や過冷却水滴などを扱う高度な雲物理情報の抽出技術を開発する。ひまわりデータと OCA 結果を使って、機械学習を用いた航空機への着氷確率を推定するアルゴリズムを開発する。
- ・ ひまわり観測データを用いた 1DVar 計算の手法を用いて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

- ・ 火山灰散乱を含む高速赤外サウンダ計算手法の開発を行い、赤外サウンダ観測を利用した火山灰物質情報の推定と、その物質特性に応じたひまわり VOLCAT のルックアップテーブルを開発する。改良 VOLCAT による推定物理量（光学的厚さ、火山灰高度、有効半径）を評価し、火山 2 研が開発している火山灰モデルにそのデータを提供する。

- ・OCA アルゴリズムを利用した、ひまわり 8 号・9 号による最適火山灰推定アルゴリズム (OVAA) の新規開発では VOLCAT と同様、赤外サウンダから推定した火山灰物質情報を用いて OVAA による火山灰推定を実施する。その結果と VOLCAT 解析結果や衛星ライダー観測結果とを用いて比較検証を行う。

(c) 大気・地表面放射モデルの改良

- ・内部混合エアロゾルモデルなど、エアロゾル散乱モデルの開発を実施し、ひまわり観測や地上放射観測、衛星ライダー/イメージャ観測を用いた組成別エアロゾル推定アルゴリズムの改良を行う (気候 3 研と共同開発、地球一括)。
- ・X 線マイクロ CT による雪粒子形状抽出や、融解・変質過程の数値計算などを行い、ぬれ雪の粒子散乱モデルを開発する (気候 6 研と共同、地球一括)。またひまわりをはじめとする各種衛星観測を用いた湿雪情報の導出アルゴリズム開発を行う。ぬれ雪モデルは二重偏波レーダーによる液水・雪水量推定 (衛星 2 研) に利用する。

(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

- ・地上放射計観測網 (福岡、宮古島、つくば、南鳥島) において地上エアロゾル光学特性連続観測およびエアロゾル散乱・吸収係数の観測を実施し、黄砂粒子や黒色炭素の発生、大陸からの輸送を考慮したエアロゾル光学特性の空間・時間分布を解析する。
- ・分光日射観測システムの開発を進め、地上放射の重点観測点 (福岡、つくばと南鳥島) において連続観測を行い、スカイラジオメータ等の放射計及びエアロゾル直接観測機器などの従来の観測システムと融合させることにより、エアロゾルや雲等の地上放射への影響を評価可能とする技術の開発を行う。
- ・計量分野とのトレーサビリティを考慮した放射計校正技術の開発を行う。
- ・分光放射計や全天カメラの地上観測から、雲の微物理・光学特性を解析する手法を開発する。

(副課題 4)

(a) 水蒸気ライダー

- ・これまでに開発した水蒸気ライダーを用いた観測を行うとともに、副課題 2 にデータを提供し、予測への効果を評価する。ライダーの観測精度向上のための改良と観測データ品質手法の開発・改良を行う。

(b) 船舶 GNSS

- ・平成 30 年度気象庁予算「海上の水蒸気観測による集中豪雨予測精度向上のための研究」により、主に東シナ海を航行する船舶 8 隻に GNSS 機器を設置し観測を行う。平成 32 年度まで観測を継続し、副課題 3 にデータを提供し、予測への効果を評価する。

(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に資する研究の調査を行う。データ同化手法などを用い、観測データを統合した水蒸気の 3 次元構造解析手法を構築する。得られた結果を用いた豪雨時の大気状態の解析を行い、機構解明を行う。

6. 研究年次計画（研究フロー図を参照）

中間評価時の到達目標

（副課題 1）

- (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）

- (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アップ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ー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）

- (a) OCA のエア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) 内部混合エアロゾル、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、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)

(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。

7. 研究の有効性（気象業務への貢献、学術的貢献、社会的貢献など）

(気象業務への貢献)

(副課題 1)

- ・全球データ同化システム及び衛星データ同化の開発・改良は、現業数値予報の精度向上に資する。また新規衛星・観測に対する OSSE は、観測システムの設計や早期の現業的データ利用に資する。
- ・MRI-NAPEX を用いて研究を実行することにより、現実大気の解析に耐える研究成果を創出し、現業システムの直接的な改善に資する。MRI-NAPEX は本課題で管理するが、モデル課題や現象解析課題と共有し所内共通基盤として、効率的な研究を進める。

(副課題 2)

- ・気象研究所に移植したメソ NAPEX などの現業同化システムを用いた研究で得られた知見は、現業データ同化システムの開発に貢献する。
- ・アンサンブル予報の利用法に関する研究で得られた知見も、現業アンサンブル予報の開発に直結する。

(副課題 3)

- ・NOAA/NESDIS から導入した火山灰アルゴリズム (VOLCAT) の改良や、新規に独自開発する火山灰シミュレータは本庁におけるひまわりでの火山灰検出精度の向上に貢献し、観測データと火山灰物理量との関係をより明確にする。また推定された火山灰情報はデータ同化を通じた降灰予測への利用が期待できる。
- ・ひまわりによる最適雲解析アルゴリズム (OCA) の改良により、OCA を用いた雲プロダクト精度や日射量プロダクト精度が向上する。
- ・ひまわりや異なる衛星センサを複合的に用いた組成別エアロゾル解析は環境気象管理官からのエアロゾル組成別空間情報の要望に対応した研究課題である。
- ・本庁要望である放射計算に基づくひまわり 10/11 号に向けたサウンダ・イメージャ

についての事前調査・検討に本課題で開発する放射伝達計算が利用できる

- ・気象衛星ひまわりのエアロゾルプロダクトの改良等により、環境気象業務において気候及び地球環境変動監視のための基本データである組成別エアロゾル分布の提供が可能となる。

(副課題4)

- ・国土地理院のGNSS観測網を活用することにより、大気中の全水蒸気量を連続的に観測できるという他の測器には無い優れた特徴を有している。気象研究、業務に基本的かつ貴重な情報を提供できる。さらに視線情報を活用することにより、対流スケールの水蒸気変動の理解に役立つ。

(学術的貢献、社会的貢献など)

(副課題1)

- ・全球データ同化・衛星同化の改善は、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・解析精度の高度化に資する。

(副課題2)

- ・データ同化やアンサンブル予報の改良や開発は、顕著現象の予測精度を向上させ、防災気象情報を高精度にする。

(副課題3)

- ・最適雲推定(OCA)はひまわりデータを用いた解析ツールとして気象研究への幅広い応用が期待される。
- ・衛星による火山灰物質推定や火山灰雲の物理量推定は、これまでになかった新しい火山灰情報の提供に資する。
- ・粒子形状・散乱モデル開発の成果はデータの提供により広く一般の大気・地表面の放射伝達計算に適用できる。
- ・エアロゾル監視技術の高度化は、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に資する。

(副課題4)

- ・水蒸気ライダーやGNSS水蒸気観測によってもたらされる水蒸気情報の強化は、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、予測改善に貢献する。

(特記事項)

(副課題1 関連)

- ・宇宙航空研究開発機構と衛星データ利用促進分科会や、共同研究、研究公募を通して、緊密に連携しながら高度な衛星データ同化手法を開発している。また情報通信研究機構との共同研究を通して、将来衛星(風ライダー)のOSSEを実施するなど、将来の衛星観測システム評価・設計に有用な研究を精力的に進めている。
- ・MRI-NAPEX上で研究を行うことで現実大気の解析に耐える研究成果の創出が可能になる。これにより現業システムの直接的な改善に資する成果となる。MRI-NAPEXは本課題で管理するが、モデル課題や現象解析課題の研究者にも必要に応じて利用し

てもらうことで、所内共通基盤として、効率的な研究を進める。

(副課題 2 関連)

- ・観測ビッグデータを用いた同化法に関して、情報通信研究機構などの観測データが高頻度・高密度になる測器を開発している研究機関との共同研究により観測データの特徴や限界等の情報を得ると共に、ポスト「京」等のプロジェクトに参加して、観測ビッグデータのデータ同化手法に関する情報を積極的に収集し、より大きな計算機資源を利用できるように研究を推進する。
- ・観測データの特性調査では副課題 3 や副課題 4、気象研究所に移植したメソ NAPEX などの現業同化システムを用いた同化実験では数値予報課、衛星データの同化法については副課題 1 の協力を得て研究の効率化を図る。そのほか、理化学研究所 計算科学研究センターの同化グループなどの気象研究所以外のメソデータ同化コミュニティと情報交換等を行うことにより、より効率的に研究を進める。

(副課題 4 関連)

- ・科研費「水蒸気稠密観測システムの構築による首都圏シビアストームの機構解明」において、首都圏での水蒸気ライダー連続観測を実施（2017-2019 年度）。
- ・平成 30 年に開始した SIP 課題において、九州での水蒸気ライダー観測を計画している（2020-2022 年度）。
- ・平成 30 年度に九州西方を航行する船舶等 8 隻に GNSS 受信機を設置し、東シナ海の水蒸気観測を実施している（2018-2020 年度）
- ・国土地理院が運用する世界的にも最高密度の地上 GNSS 観測網データを活用する。