

研究課題	(D課題) データ同化技術と観測解析技術の高度化に関する研究 副課題1：衛星データの同化及びリモートセンシング技術の高度化 副課題2：次世代メソスケールデータ同化及びアンサンブルシステムの高度化 副課題3：顕著現象の実況監視とメカニズム解明・予測のための地上リモートセンシング技術の開発
研究期間	令和6年度から5年間（5年計画第1年度）
担当者	○気象観測研究部長
目的	<p>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。</p> <p>(副課題1) 衛星データの同化及びリモートセンシング技術の高度化 全球データ同化手法や衛星同化の改善による「主に全球大気数値予報システムを用いた解析・予測の高精度化改善」、衛星を用いた火山灰物質推定や火山灰雲の物理量推定による「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」、エア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。</p> <p>(副課題2) 次世代メソスケールデータ同化及びアンサンブルシステムの高度化 メソスケールの激しい大気現象の予測可能性向上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」を目的とする。</p> <p>(副課題3) 顕著現象の実況監視とメカニズム解明・予測のための地上リモートセンシング技術の開発 次世代水蒸気ライダーの開発等による「大気下層の水蒸気観測技術の確立」、観測データを用いた「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精度向上」、「火山噴火や森林火災等エアロゾル監視のための地上リモートセンシング技術の開発」を目的とする。</p>
目標	<p>目的を達成するため、以下を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> 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（副課題1,2） 次期静止気象衛星ひまわり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） 水蒸気やエアロゾルなどの観測技術の開発とその有効性の評価、新しい観測データ選択法の開発（副課題1,3） <p>(副課題1) 衛星データの同化及びリモートセンシング技術の高度化</p> <p>① 衛星データ同化の改良</p> <ul style="list-style-type: none"> 全天候域での衛星輝度温度同化など、衛星同化手法の高度化や、新規衛星データの導入・同化改良を行う。ひまわり後継衛星等の将来の衛星観測を想定し、OSSE等を実施して、新規観測データの同化観測やインパクト評価を行う。 <p>② 全球データ同化システムの改良</p> <ul style="list-style-type: none"> 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、誤差統計処理の高度化や結合同化などによる観測情報の拡充、観測インパクト評価の高度化、海洋結合同化の高度化を行う。 <p>③ 衛星・地上観測による大気中物質のリモートセンシング技術に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> A-Trainの後継衛星（EarthCARE、AOS）、次期静止気象衛星を用いてエアロゾルの推定手法を開発し、地上リモートセンシングによる検証手法を確立することで、包括的な観測によってエアロゾルの時空間変動の把握を目指す。 各種全天カメラとスカイラジオメータを用い、雲の放射に関する全てのパラメータ（3次元分布、熱力学的相、微物理・光学特性）を観測する地上システムを開発する。また、全天カメラを用いた雲の無人観測システムを開発する。 太陽光・月光観測分光放射観測技術の開発を行い、昼夜間のエアロゾルの変動監視技術を確立する。また、エアロゾル組成推定技術を利用し、エアロゾル光学特性の空間・時間分布を解析することで、大気放射場の変動の要因を明らかにする。 大気プロファイル推定技術の向上のため、衛星搭載の赤外サウンダデータにおける観測データ情報圧縮・抽出アルゴリズムを開発する。 衛星リモートセンシングの基盤技術の高度化を目的に、雲水・氷晶・雪片・霰の放

	<p>射特性の高精度化、可視・赤外・マイクロ波の放射伝達計算手法や、温度・水蒸気・不安定指数の推定技術の高度化を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・赤外サウンダデータを用いた火山灰情報の高度化を行う。 ・ひまわり等イメージャの赤外チャンネルを使った火山灰推定（OVAA）の精度を向上させる。 ・推定結果を気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）に利用する。 <p>（副課題2）次世代メソスケールデータ同化及びアンサンブルシステムの高度化</p> <p><u>① 非線形・非ガウス性が卓越する顕著現象に対する予測可能性の向上</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・非線形性・非ガウス性が卓越している顕著現象の予測可能性を向上すべく、データ同化システムの高度化を図る。 <p><u>② 高度な観測データ同化手法の開発</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・高頻度・高密度な観測データを同化する手法を開発するとともに、新規観測データの同化手法を開発する。 <p><u>③ アンサンブルシステムによる豪雨予測</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・豪雨予測を精度良く行うアンサンブルシステムの開発及びアンサンブル情報の高度利用法を開発する。 <p>（副課題3）顕著現象の実況監視とメカニズム解明・予測のための地上リモートセンシング技術の開発</p> <p><u>① 顕著現象のメカニズム解明・予測のための地上リモートセンシング技術の開発と実証実験</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・大気下層をターゲットとした、高精度かつ小型・低コストで多点展開できる水蒸気ライダー等の観測技術を開発する。 ・豪雨発生域の風上（地上、洋上）等で実証実験を行い、観測データ質の評価、現象解析、データ同化による予測インパクト調査、実況把握への利用を行う。 <p><u>② 実況監視とメカニズム解明・予測に有望なデータの特性と有効性の調査</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・予測に有望なデータの選択法の調査と開発を行う。 ・新しい観測データの特性調査、同化手法の開発を行う。 ・地上マイクロ波放射計を用いた水蒸気・雲の推定技術開発を行う。 <p><u>③ 火山噴火や森林火災等エロゾル監視のための地上リモートセンシング技術の開発</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・全球規模で気候変動に影響を及ぼす成層圏エロゾルの観測と放射効果の評価、地球システムモデル、火砕物移流拡散モデルの検証を行う。
研究の概要	<p>（副課題1）衛星データの同化及びリモートセンシング技術の高度化</p> <p><u>① 衛星データ同化の高度化</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・全球モデルとメソモデルについて、全天候、全表面（陸・雪氷）における輝度温度同化やその高度化を行う。DWL同化の高度化と他観測との補完性を調べる。また、ハイパーサウンダの多チャンネル情報有効活用、機械学習を用いた高頻度・高密度観測利用や情報圧縮、リトリバルに取り組む。 ・雲降水レーダー、小型衛星（TROPICS等）やMTG、Metop-SG等の新規衛星について情報を収集し、観測データの特性を調査したうえで、利用できそうな衛星について同化手法を開発する。 ・これらの同化に際し、モデルや観測演算子のバイアス等の特性を調査する。 ・ひまわり後継衛星やJAXA将来衛星等のOSSEを行い、それらのインパクトや他観測との相乗効果を調査する。 <p><u>② 全球データ同化システムの高度化</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・同化手法の高度化として、アンサンブル同化や4次元背景誤差時間推進の高度化、粒子近似等の高次の誤差統計モーメント導入、水物質の制御、水物質導入等による観測演算子の高度化、アンサンブルによる大気と海洋や陸面との結合同化、モデル誤差を考慮した手法の開発に取り組む。 ・観測情報の拡充として、流れ依存性に関する誤差統計の高度化、水物質関連観測（雷観測等）の同化の拡充、結合同化により陸面温度や海面水温等も解析することにより、境界（陸面、海洋等）付近の観測情報の活用、高密度な時空間情報の考慮、衛星風・

台風ボーガスなどのリトリーブ量から直接同化への高度化を実施する。

- ・ 数値予報及び観測システムの評価とデザインの高度化について、疑似真値場やアンサンブル等を用いた観測インパクト評価研究を行う。また、複数の OSSE 手法を調査し、より堅牢な実験手法を構築する。OSSE システムを用いて、将来全球観測網のデザインを検討する。

- ・ 結合同化の高度化について、大気同化部分の高度化、海洋観測からの大気情報をより多く活用するための手法を開発する。

③ 衛星・地上観測による大気中物質のリモートセンシング技術に関する研究

- ・ A-Train 後継衛星 (EarthCARE、AOS)、次期静止気象衛星 (イメージャ・赤外サウンダー) のエアロゾルの推定手法を開発する。その解析結果を使って地球システムモデルの比較検証を行う。

- ・ 全天カメラとスカイラジオメータを使って雲の分布・熱力学的相・微物理・光学特性を推定する手法を開発する。また、全天カメラによる雲の無人観測システムを確立する。

- ・ 地上放射観測網 (福岡、つくば、南鳥島) において、分光放射計及び大気の現地測定による地上エアロゾル光学特性連続観測を実施し、黄砂粒子や黒色炭素の発生、大陸からの汚染大気輸送を考慮した観測を実施する。

- ・ 太陽光・月光観測分光放射計により、昼夜間のエアロゾルの変動監視技術の開発を行う。

- ・ 気象研究所の地上放射観測網 (福岡、つくば、南鳥島) と気象庁精密日射・放射観測網 (網走、石垣島、南鳥島) の分光放射計による観測データからエアロゾルの組成推定、エアロゾル光学特性の空間・時間分布を解析する

- ・ 赤外サウンダが観測した火山灰雲の赤外輝度温度スペクトル情報から、火山灰物質情報 (複素屈折率) を推定する。その情報をもとに火山灰粒子モデルを決定し最適火山灰解析 (OVAA) によるひまわりイメージャ解析を実施することでひまわりイメージャによる火山灰推定精度の向上を図る。

- ・ ひまわりと GCOM-C など異なる観測特性を持つ衛星データを複合的に利用することで、ひまわり単体では得られなかった火山灰推定を実現する。

(副課題 2) 次世代メソスケールデータ同化及びアンサンブルシステムの高度化

① 非線形・非ガウス性が卓越する顕著現象に対する予測可能性の向上

- ・ 粒子フィルターや iterative Kalman smoother などの非線形性を考慮するデータ同化手法の開発を行う。

- ・ 非ガウス型背景誤差を扱えるよう現業同化システムを拡張し、水蒸気・水物質関連の効果的な同化を目指す。さらに大気の水蒸気・気温・運動量とバランスする水物質の初期値作成を行う。

- ・ 衛星輝度温度やレーダー画像等の非ガウス・稠密な面的データを同化可能とするために変分自己符号化器を用いて分布のガウス化と次元圧縮を実現する手法を確立する。

② 高度な観測データ同化手法の開発

- ・ メソ解析における赤外サウンダデータ、二重偏波レーダー、地上マイクロ波放射計等のリモートセンシング観測データ同化手法の高度化を行う。

- ・ GNSS 偏波掩蔽観測、水同位体比観測データなど新規観測データ同化手法の開発を行う。

- ・ 地上設置型マイクロ波放射計データやゾンデ BUFR 報などの高頻度・高密度観測データを有効活用するために時空間における観測誤差相関を考慮する手法の開発を行う。

③ アンサンブルシステムによる豪雨予測

- ・ 既存システムの高度化として、EDA、LETKF、EnVar、SV、BGM などの開発を行う。

- ・ 大アンサンブルシミュレーションデータを用いた顕著現象のメカニズム解明や、気象災害に対する高精度確率情報の作成、少数アンサンブルとの比較など、アンサンブルデータの利用について高度化を図る。

(副課題 3) 顕著現象の実況監視とメカニズム解明・予測のための地上リモートセンシング技術の開発

① 顕著現象のメカニズム解明・予測のための地上リモートセンシング技術の開発と実

	<p>証実験</p> <ul style="list-style-type: none"> ・次世代型水蒸気ライダー（DIAL）を開発し、豪雨発生域の風上（地上、洋上）等で観測を実施する。 ・得られた観測データ質の評価、品質管理方法の開発、実況把握への利用を行い、大気海洋部が3次元実況監視ツールを開発する上で参考となる地上リモートセンシング観測の利活用状況について情報提供を行う。さらに、線状降水帯を含めた顕著現象に有効な実況監視手法についても情報共有を行う。 ・ライダーによる水蒸気・雲・エアロゾルの同時推定のアルゴリズム開発を行う。 ・ライダーで観測された水蒸気、雲、エアロゾルの高度情報とマイクロ放射計等から観測される鉛直積算雲水量や可降水量などの観測データを用いて、雲の生成・維持過程に関する関係解析やメカニズム解明を行う。 <p>② 地上マイクロ波放射計を用いた水蒸気観測データ利用技術に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大気海洋部からの併任者など本庁担当者と連携して、地上マイクロ波放射計観測による輝度温度や放射計算によって求めた可降水量や温度・水蒸気プロファイルなどを大気海洋部と情報基盤部に提供する。また同様に知見の共有や3次元実況監視ツールの開発にもデータ提供等の協力を行う。 <p>③ 火山噴火や森林火災等エアロゾル監視のための地上リモートセンシング技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・EarthCARE 衛星（2024年打ち上げ）、GOSAT シリーズ衛星、AOS 衛星プロジェクト等のデータ検証を行う。 ・将来の衛星観測も見据えた最適な実況監視のための地上リモートセンシング観測システムの開発を行う。
<p>研究の有効性</p>	<p>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ア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データ解析支援の要望に対し、エアロゾルの粒径分布や光吸収特性等の解析についての助言を通して、地球環境変動監視の強化に貢献する。（副課題 1）</p> <p>様々な測器で水蒸気の時・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・予測を向上させ、被害の軽減に貢献できる（副課題 3）。</p> <p>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報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。これまでに、アンサンブル変分法同化や観測誤差最適化、観測感度解析手法などを数値予報課に提供してきた。（副課題 1）</p> <p>衛星データ同化も、数値予報の改善に向けて不可欠であり、利用の高度化や新規データの有効性の実証などが数値予報課から要望されている。これまで陸面マイクロ波放射率の動的推定、静止衛星 CO2 バンドの晴天輝度温度同化、全天候での赤外輝度温度同化、衛星搭載風ライダー同化を数値予報課に提供してきた。またやハイパーサウンダの再構築輝度温度同化など、現業利用に先立つ重要な調査を行い、知見を数値予報課に共有している。（副課題 1）</p> <p>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有効である。特にひまわり後継衛星に搭載されるハイパースペクトルサウンダのインパクト評価を本庁・気象研の他部室と共同で行い、客観的な検討材料の作成や仕様の決定に大きく貢献した。（副課題 1, 2）</p> <p>これまで気象庁では局地解析がハイブリッド化され、現在メソ解析のハイブリッド化の検討が進められている。本副課題においては非ガウス性を考慮したハイブリッドシステムの開発や、アジョイントを用いないデータ同化システムの開発を行い、次世代あるいは次々世代の現業データ同化・アンサンブルシステムの高度化へ貢献するとともに、観測データ利用手法の高度化によって現システムへの貢献を図る。さらに高度なアンサンブルシステムによってメソ及び局地アンサンブルの高度化に資する開発を行う。（副課題 2）</p>

令和6年度
実施計画

(副課題1) 衛星データの同化及びリモートセンシング技術の高度化

① 衛星データ同化の高度化

- ・全天候域の赤外輝度温度の全球データ同化を、ハイパースペクトル赤外サウンダやMSG, GOES など他の静止気象衛星に拡張するため、モデル再現性の調査や、既存の同化処理の適用可能性調査・改良を行う。この過程で、モデルバイアス特性についても調査し、モデル開発者と共有する。ハイパースペクトル赤外サウンダの利用の高度化のため、主成分分析などの機械学習を応用した利用波長拡大及び情報圧縮のための実装を継続し、またそれによる予報精度への有効性について調査する。マイクロ波センサー輝度温度の全球同化について、陸域・雪氷域射出率推定の改良、地表面の取り扱いの影響調査、及びそれらに係る品質管理の高度化・改良を行う。
- ・ Aeolus 衛星同化処理の改良やメソデータ同化への拡張を行う。台風や線状降水帯の顕著現象への同化インパクト評価や成果の取りまとめを行う。ひまわり後継衛星や将来の衛星搭載風ライダー等の OSSE を行う。
- ・ 全球モデルと衛星シミュレータを用いた、衛星搭載雲レーダーの再現性調査に基づき、同化処理を開発する。

② 全球データ同化システムの高度化

- ・ 計算機更新に伴い実験システムの移行作業等を行う。
- ・ アンサンブルを用いた同化システムについて、4次元の背景誤差統計の高精度化等により解析精度の向上を図る。・ 観測誤差の流れ依存性の表現の高度化等により、観測情報を拡充する。
- ・ 既存及び将来観測データの解析や予報場へのインパクトを評価する。
- ・ 結合同化の高度化について、大気同化部分の高度化、境界（海面や陸面）観測からより多くの大気情報を同化可能な手法の開発等を行う。

③ 衛星・地上観測による大気中物質のリモートセンシング技術に関する研究

- ・ EarthCARE 衛星のエーロゾルプロダクトを開発し、地上観測によって検証する。
- ・ 2台の全天カメラと静止気象衛星を使って雲の三次元分布を推定する手法を高度化する
- ・ 地上放射観測網（福岡、つくば、南鳥島）において、分光放射計及び大気の現地測定による地上エーロゾル光学特性連続観測を実施する
- ・ 太陽光・月光観測分光放射計による昼夜間のエーロゾル光学特性推定技術の高度化のため、温度特性を考慮したデータ再解析を進める。
- ・ 分光放射計による観測データからエーロゾルの組成推定コードを整備し、データ解析を進めるための準備を行う
- ・ 大気プロファイル推定技術の向上とその情報利用の高度化のため、衛星搭載の多波長センサーにおける AI 技術を応用した観測データ情報圧縮・抽出アルゴリズムを開発する。
- ・ 赤外サウンダとひまわり/GCOM-C を複合的に用いた火山灰解析を新規の火山灰事例に対して実施し、解析結果を衛星ライダー等のデータを用いて検証する。また火山 2 研と連携して JMA-ATM へのデータ同化を試みその効果を確認する。
- ・ ひまわり観測で見落とす可能性が高い赤外輝度温度差が正になる火山灰事例について、赤外サウンダによるスペクトル情報からその原因を究明し解析手法の改良を目指す

(副課題2) 次世代メソスケールデータ同化及びアンサンブルシステムの高度化

① 非線形・非ガウスを考慮する同化システムの開発

- ・ 非ガウス型誤差分布に関する調査を行い、このような誤差分布を従来の変分法同化システムで扱う開発を行う。
- ・ 衛星輝度温度やレーダー画像等の非ガウス・稠密な面的データを同化可能とするために変分自己符号化器を用いて分布のガウス化と次元圧縮を実現する手法を開発する。
- ・ 条件付き敵対的生成ネットワークを用いて水物質の背景誤差共分散行列を生成する手法を開発する。

② 高度な観測データ同化手法

- ・ 水同位体比の観測データを同化するため、まず気象庁モデルに水蒸気トレーサーを導入し、その有効性を調査する。

- ・ハイパースペクトル赤外サウンダ、二重偏波レーダー、雲レーダー、L-band SAR、高密度 AMV、航空機動態情報、GNSS 掩蔽観測、ひまわり CO2 バンドデータなどの特性を調べ、その同化手法の開発を行う。
- ・チャンネル・時間方向の観測誤差相関を考慮したマイクロ波放射計高頻度観測データ同化が予測に与えるインパクトを調査する。

③ アンサンブルシステムによる線状降水帯や豪雨の予測

- ・ asuca-Var をベースとした LETKF や EnVar の開発を行う。LETKF については陸面過程の高度化を図る。これらシステムによる再現実験を現業メソ解析やアンサンブルと比較する。
- ・ アンサンブル初期摂動における成長モードと解析誤差の有用性を BGM 及び LETKF を用いて明らかにする。
- ・ アンサンブル気象予報とキキクルを組み合わせ豪雨に起因する災害リスクを確率情報で示す手法を開発する。

(副課題3) 顕著現象の実況監視とメカニズム解明・予測のための地上リモートセンシング技術の開発

① 顕著現象のメカニズム解明・予測のための地上リモートセンシング技術の開発と実証実験

- ・ 次世代型水蒸気ライダー (DIAL) の検証をつくばにおいて行う。また、線状降水帯発生域での実証観測を行うための観測地点の現地調査を行う。
- ・ ライダーで観測される雲底高度と雲底付近の水蒸気濃度の関係解析を行う。

② 実況監視とメカニズム解明・予測に有望なデータの特性と有効性の調査

- ・ ライダー観測による水蒸気・雲・エアロゾル同時推定アルゴリズムの開発に着手する。
- ・ 地上リモートセンシングについて、既存 (マイクロ波放射計、空港ドップラーライダー、シーロメーター、RASS、3次元雷標定装置等) 及び新規 (レーダー位相、航空機動態情報、ドローン、気温ライダー、地デジ、IoT センサー、DAR 等) 手法の特性やデータの有効性の調査を行う。
- ・ 全国に展開した地上マイクロ波放射計観測網について、LN2 校正やレドーム交換による観測性能の維持を図る。
- ・ AI 技術を利用した水蒸気推定技術開発を行う。

③ 気候変動に影響を及ぼす火山噴火や森林火災、人為起源エアロゾル監視のための地上リモートセンシング技術の開発と観測

- ・ エアロゾルライダーによる成層圏エアロゾル観測をつくばとニュージーランド・ローダーにおいて行い、地球システムモデル (MRI-ESM3)、気象庁移流拡散モデル (JMA-ATM) の検証を行う。