

研究課題	(D課題) 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	平成31年度から5年間（5年計画第1年度）
担当者	○青梨和正 気象観測研究部長 (副課題1) [気象観測研究部] [台風・災害気象研究部] [気象予報研究部] (副課題2) [気象観測研究部] [台風・災害気象研究部] (副課題3) [気象観測研究部] [台風・災害気象研究部] [気象予報研究部] (副課題4) [気象観測研究部] [台風・災害気象研究部]
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。
目標	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ーロゾル・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、より短いスピニングアップで、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の摂動作成法の改良 シビア現象のアンサンブル予報の摂動作成法を改良し、「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・地表面リトリバーバル手法の開発

	<p>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。</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p> <p>(副課題 4)</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p>
研究の概要	<p>(副課題 1)</p> <p>(a) 衛星データ同化の改良</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。また陸や海水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。 <p>(b) 全球データ同化システムの改良</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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の摂動作成法の改良

- ・メソスケール現象のアンサンブル予報において、摂動作成法の改良を行い、「全外し」となるアンサンブル予報の特徴を調べ、「全外し」が少なくなる摂動作成法を開発する。

(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) アルゴリズムを用いた高度な雲物理情報の抽出技術を開発する。

(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。
- ・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。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

	<ul style="list-style-type: none"> ・地上放射計観測網（福岡、宮古島、つくば、南鳥島）において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。 <p>（副課題 4）</p> <p>(a) 水蒸気ライダー</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>(b) 船舶 GNSS</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>(c) 水蒸気の時・空間構造解析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。
<p>研究の有効性</p>	<p>（気象業務への貢献）</p> <p>（副課題 1）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>（副課題 2）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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摂動作成法の改良に関する知見も、現業アンサンブル予報の開発に直結する。 <p>（副課題 3）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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エアロゾル分布の提供が可能となる。 <p>（副課題 4）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。尚、この研究計画の実行にあたって、他の研究機関、大学等と連携を進め、学会等の研究コミュニティに積極的な情報発信を行う。これによって、この分野の研究の振興に寄与する。

(特記事項)

(副課題 1)

- ・ 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 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)

- ・ 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)

- ・ 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)。

	<ul style="list-style-type: none"> 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。
平成 31 年度 実施計画	<p>(副課題 1)</p> <p>(a) 衛星データ同化の高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> 「ひまわり」の全天候域輝度温度の全球データ同化の検証・改良を引き続き継続する。 マイクロ波センサ輝度温度の全球同化について、動的な陸域射出率推定手法を導入し、検証を行う。 「ひまわり」後継衛星搭載ハイパースペクトルサウンダのインパクト評価のための OSSE について、誤差設定などの処理の精緻化や、複数の事例に対する評価を行い、結果をまとめる。 高速放射伝達モデル RTTOV の全天候域での検証を、独立した衛星シミュレータ (Joint-Simulator) や「ひまわり」観測と比較しながら実施する。 <p>(b) 全球データ同化の高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> アンサンブルを用いた同化システムについて、4 次元 (時空間) の背景誤差共分散の高精度化等によって解析精度の向上を図る。 観測誤差相関を考慮した観測データの高密度同化や、水物質の情報を持った観測の同化を進め、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。 モデル誤差を感度解析等によって検出し、解析への影響を軽減する。 <p>(副課題 2)</p> <p>(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</p> <ul style="list-style-type: none"> 気象研究所に移植したメソ NAPEX や LETKF の改良を継続する。 非線形や非ガウス分布なシビア現象にも適用できる EnVar や粒子フィルターについての情報を収集する。 陸面・都市・海洋等の結合同化の有効性について検討を開始する。 <p>(b) 領域モデルを対象にしたひまわりデータ等の高頻度・高密度な観測ビッグデータの同化法の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ひまわりデータや偏波レーダー、フェーズドアレイレーダー等の高頻度・高密度な観測ビッグデータについての特性を調べる。 観測ビッグデータの最適なデータ間引き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良く予測するための同化手法について検討を開始する。 <p>(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</p> <ul style="list-style-type: none"> メソスケール現象のアンサンブル予報において、摂動作成法の改良を行い、「全外し」となるアンサンブル予報の特徴を調べ、「全外し」が少なくなる摂動作成法についての検討を開始する。 <p>(副課題 3)</p> <ul style="list-style-type: none"> ひまわり等衛星データを利用した OCA による雲物理情報の抽出アルゴリズム開発、エーロゾル効果の導入による日射量推定アルゴリズムの改良を行う。 ひまわり 8 号データを用いた火山灰解析アルゴリズム開発に関連して、赤外サウンダシミュレータ開発を実施する 積雪粒子の融解・変質シミュレーションを行い、散乱特性計算のための粒子モデルを作成する。 地上放射観測網によるエーロゾル光学特性等の連続観測及び解析を行う。 分光日射観測システムの開発及び同システムを用いた連続観測を行う。 放射計校正技術の開発を行う。 <p>(副課題 4)</p> <ul style="list-style-type: none"> 水蒸気ラマンライダーを用いた観測とデータ同化グループへのデータ提供。水蒸

	<p>気 DIAL の開発。</p> <ul style="list-style-type: none">• 引き続き、九州西方を航行する船舶に搭載した GNSS から可降水量を解析し、精度評価を行うとともに、副課題 2 に同化用データとして提供する。11 月に撤去を行い、2 年間の結果をまとめる。• 複数の観測機器を統合した、水蒸気の時・空間構造を高精度でとらえる手法のプロトタイプを開発し、気象災害事例に適用する。• 観測や解析された 3 次元大気情報の評価、顕著気象現象の機構解明のため、高層ゾンデ観測を実施する。
--	---