

研究課題	<p>(P課題) 大気の物理過程の解明とモデル化に関する研究 副課題1：高解像度非静力学モデルによる激しい気象現象の再現性向上 副課題2：接地境界層における乱流輸送スキームの精緻化 副課題3：雪氷圏の監視・変動要因解明とその基盤技術の開発 副課題4：積雲対流スキームのグレーゾーン対応と雲・放射スキームの精緻化 副課題5：エーロゾル・雲・降水微物理の素過程解明と微物理モデルの開発</p>
研究期間	令和元年度から5年間（5年計画第3年度）
担当者	<p>○山田雄二 気象予報研究部長 (副課題1) [気象予報研究部] ○藤田匡、橋本明弘、林修吾、渡邊俊一 [台風・災害気象研究部] 和田章義 (副課題2) [気象予報研究部] ○毛利英明、水野吉規、安齋太朗、守永武史 (副課題3) [気象予報研究部] ○大河原望、谷川朋範、庭野匡思 [気候・環境研究部] 保坂征宏 (副課題4) [気象予報研究部] ○中川雅之、川合秀明、長澤亮二 [全球大気海洋研究部] 吉村裕正、新藤永樹 [台風・災害気象研究部] 和田章義 (副課題5) [気象予報研究部] ○折笠成宏、田尻拓也、財前祐二、橋本明弘 [全球大気海洋研究部] 足立光司、梶野瑞王 [応用気象研究部] 川端康弘</p>
目的	<p>観測や実験と数値シミュレーションを組み合わせることで大気の各種物理過程を解明し、それを数値予報モデルに反映させることによって、集中豪雨、台風の予測、季節予報、地球温暖化予測に用いられる数値予報モデルの予測精度を向上させる。</p> <p>(副課題1) 高解像度非静力学モデルにより局地的な激しい現象の再現性を向上させる。このモデルを広領域で実行して、フィリピン域や北西太平洋域での降水量や風の予測精度を向上させる。</p> <p>(副課題2) 気象庁現業領域モデル (asuca) の接地境界層過程を精緻化して地上気象予測の精度を改善する。</p> <p>(副課題3) 放射伝達理論等の物理過程に基づき、雪氷面の観測を行い、雪氷圏変動の実態把握を行う。その状態変化に係るモデル化を進め、予測精度向上に寄与する。</p> <p>(副課題4) 数値予報モデルの積雲対流、部分雲、放射スキームを精緻化し、予測精度向上に寄与する。</p> <p>(副課題5) エーロゾルの物理化学特性を解明し、また、雲の生成から降水に至る物理過程を精緻化することにより、降水や放射の予測精度向上に寄与する。</p>
目標	<p>現業数値予報モデルで使用されている各種物理過程の問題点を明らかにし、有効な改善方法を提案する。あわせて、モデルの高解像度化と領域モデルの広域化について利用可能性を評価し、次世代の現業数値予報モデルの仕様に係る指針を得る。</p> <p>(副課題1) 高解像度モデルの予測精度の解像度依存性について評価して問題点を抽出し改善の方策を示すとともに、高解像度モデルに適した力学フレームを検討する。広領域</p>

	<p>で実行可能な高解像度領域モデルを開発し、台風による局地的な降水や風の予測精度を評価して問題点の抽出と改善のための方策を示す。</p> <p>(副課題 2) 接地境界層における運動量・熱などの乱流輸送の特性を①数値計算②風洞実験③野外観測から明らかにする。得られた知見を総合的に検討して気象庁領域モデル(asuca)に接地境界層過程として実装する乱流輸送スキームを精緻化する。</p> <p>(副課題 3) 観測のための測器等を開発・整備しつつ、地上観測・試料分析を継続して高精度な長期監視を行うとともに、未だに十分な理解が進んでいない雪氷の物理過程の解明を行う。これを衛星リモートセンシングアルゴリズムの開発・改良に活かし、時空間的に連続的かつ広域にわたる、量的・質的な雪氷圏監視を行う。また、積雪モデルや海氷モデルの開発・改良を進め、これらを大気モデルに結合させることで大気と雪氷面の相互作用を精緻化し、雪氷面の状態変化に係る予測精度を向上させる。</p> <p>(副課題 4) メソモデルによる顕著現象などの予測精度向上や、将来の全球モデルの水平高解像度化に向け、水平格子間隔約 10km からそれ以下のグレーゾーンに対応した積雲対流スキームを提案する。また、格子内の部分雲の表現を改善、および、雲が放射に及ぼす効果を改善するなど雲・放射全般の改善を図る。</p> <p>(副課題 5) 電子顕微鏡による大気エアロゾル粒子の個々のレベルでの分析により、存在状態や物理化学特性などの基礎データを得る。また、雲生成チェンバー等の装置を用いた実験やモニタリングを行い、各種大気エアロゾルの CCN 能、IN 能についてのデータを得る。これらの実験結果や測定結果を、新たに開発する詳細微物理モデルによって、解析し、パラメータ化する。さらに航空機観測データ等も用いて、雲・降水プロセス全般について検討を行い、3次元モデル用の新たな雲物理モデリングの提案を行う。</p>
<p>研究の概要</p>	<p>(副課題 1) ①気象庁非静力学モデル (JMA-NHM) あるいは気象庁現業領域モデル(asuca) による予測精度のモデル解像度依存性を系統的な実験によって明らかにする。 ②副課題 2～5 の各種物理過程研究の成果を反映させた高解像度モデルを開発し、その性能を評価する。 ③②のモデルにより激しい気象現象 (局地的大雨や短時間強雨、大雪、雷雨、風のシア、突風など) の再現性の検証及び予測精度の評価を行う。 ④広領域の高解像度モデルを用いてフィリピン域における上陸台風とそれに伴う降雨の予測実験を行い、その精度を検証する。 ⑤広領域の高解像度モデルを用いて北西太平洋海域における台風・モンスーンに伴う降水や風分布の予測及びその精度を検証する。</p> <p>副課題 2～5 の各種物理過程研究や、「データ同化技術の高度化と観測データの高度利用に関する研究」と密接に関連して研究を行う。また、モデル開発により得られた成果を「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」に共有することによって台風予報の改善にも貢献する。「地球温暖化と異常気象の解明と予測及び地球環境に関する研究」における地域気候モデル開発と情報交換する。</p> <p>(副課題 2) ・接地境界層における運動量や熱などの乱流輸送の特性を明らかにするため①数値計算②風洞実験③野外観測を以下のように行う： ①LES や Direct Numerical Simulation (DNS) を用いて安定度等の条件を変えて境界層乱流の数値計算を行い、データを蓄積して詳細な解析を行う (第 1～第 3 年度)。 ②気象研風洞において安定度や表面粗度等の条件を広範囲で変えて境界層乱流の実験を行い、データを蓄積して解析する (第 1～第 5 年度)。 ③気象研露場において蒸発散測定装置や超音波風速温度計等を用いて地中も含む</p>

総合観測を通年連続で行い、データを蓄積して解析する(第1～第5年度)。

- データの解析は接地境界層の普遍則・粗度など境界条件の影響・既存の輸送量評価法の精度等に注目して行うものとする。とくに②風洞実験と③野外観測については、研究期間を通して系統的にデータを蓄積しつつ、各年度に着眼点を定めて解析を進める。なお必要に応じて計算・実験・観測技術の開発を行う。

- 得られた知見を統合して asuca に実装可能な乱流輸送スキーム改善について検討する。とくに数値計算については①asuca に改善した乱流輸送スキームを実装して検証を行う(第4～第5年度)。

検討に際しては数値予報課と協議を行い、必要に応じて②風洞実験や③野外観測で取得したデータを検討用に提供する。

- ①数値計算は課題「シームレスな気象予報・予測の災害・交通・産業への応用に関する研究」の副課題「地域気候モデルによる予測結果の信頼性向上に関する研究」と連携する。

- ②風洞実験については各年度に所内全体に利用予定を照会する。

- ③野外観測で得られた観測データは副課題3および課題「データ同化技術の高度化と観測データの高度利用に関する研究」の副課題「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」にも提供する。

(副課題3)

- ①雪氷物理量を測定するための技術開発、連続観測

札幌・北見・長岡における放射・気象・積雪観測を継続し、変動の実態把握、分析のための解析を進める。そうした現地観測と同期させながら、必要な観測装置・分析装置を開発・導入・改良し、主に積雪・海氷を対象として、それぞれの物理過程の解明を進める。

- ②リモートセンシングによる雪氷物理量の監視、アルゴリズム開発・改良

①で得られた知見を活かしてリモートセンシングアルゴリズムを改良し、多バンドで時空間分解能の優れたひまわり、長期観測中の MODIS を搭載する Tera/Aqua や SGLI を搭載する GCOM-C (いずれも極軌道衛星)、マイクロ波衛星等の多様な衛星のデータを利用して、主に極域、日本周辺における雪氷物理量の空間変動を 20 年以上にわたる、量的ならびに質的な監視を行う。

- ③雪氷物理過程モデルの高度化と活用

①で得られた知見、①②で得られた検証データを活かして積雪不純物(光吸収性エアロゾル)を考慮した雪氷放射過程、積雪変質過程等を含む、積雪変質アルベドモデル SMAP や海氷モデルの改良を行う。簡易版の開発も進める。これらを各種大気モデル・気候モデルに組み込み、変動メカニズム解明を行うとともに、予測精度を評価し、向上させる。この開発では、副課題1を含む大気モデル開発に関係する研究課題、エアロゾルに関係する研究課題と連携しながら進める。

(副課題4)

数値予報モデルの積雲対流、部分雲、放射などの物理過程を改良・高度化する。各種観測データによる検証、他のモデルとの比較、湿潤 LES との比較により評価を行いつつ開発を進める。データ同化、地球システムモデルに関する研究課題と連携し、データ同化技術や長期積分に基づく検証結果を参照する一方、本副課題による物理過程の高度化の成果を提供し観測データの有効利用や予測精度向上に寄与する。

- グレーゾーンに対応した積雲対流スキームの開発：理想実験や鉛直1次元モデルによる実験から現業と同様のシステムによる実験まで段階を踏みつつ、観測値や湿潤 LES の結果を参照値として開発を進める。

- 地球システムモデル向けに開発された層積雲スキームの、短期予報における評価：本スキーム単独の評価とともに、必要に応じて浅い対流や境界層スキームの改良と組み合わせることを検討する。

- 放射スキーム：雲が放射に及ぼす効果において大きなインパクトを持つ雲の水平非一様性の効果やより精緻な雲オーバーラップ等を放射計算で扱えるようにする。理想実験から現業と同様のシステムによる実験まで段階を踏みつつ、観測データ・再解析データによる検証と参照利用を行いながら開発を進める。

	<p>(副課題 5)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・雲生成チェンバー、IN 計、CCN 計等を用いた実験により、大気中の主なエアロゾルについて、内部混合の影響も含め、CCN 活性、IN 活性を定量化する。 ・エアロゾルの物理化学特性の雲生成や降水、雲の放射特性への影響を表現する微物理モデルを開発し、チャンバー実験などを再現、パラメタリゼーションの開発を行う。 ・航空機観測データや微物理モデルを活用して、雲・降水プロセス全般について 3 次元モデルに搭載可能な、詳細雲モデルを開発する。 ・電子顕微鏡等を用いた分析により、エアロゾルの存在状態、物理化学特性の解明を行う。サンプルは外部研究機関と協力した野外観測キャンペーン等に参加することで広く採取する。得られたエアロゾル素過程の理解は、エアロゾルモデルを用いて定式化する。 ・つくば及び福岡などにおいてモニタリング観測を実施し、エアロゾルや CCN, IN の変動を解明するとともに、実験的手法と組み合わせることで実大気で有効な IN を特定する。
<p>研究の有効性</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・領域モデルの改良によって防災気象情報の高度化、気象災害の軽減に貢献する ・全球モデル・地球システムモデルの改良によって気候予測の不確実性低減、温暖化予測向上に資する ・数値予報モデルの改善の波及効果として以下が期待できる <ol style="list-style-type: none"> ① 第一推定値のバイアスの軽減を通じて、データ同化システムにおける観測データの有効利用と解析精度向上 ② 顕著現象の発生・維持機構の解明 ③ 大気中の物理プロセスの理解の深化 ④ 雲や風の予測精度向上による再生可能エネルギー分野への貢献（特に、電力の需給バランスによる安定的な電力供給） ⑤ 精度よい気象データを提供することによる気象ビジネス分野への貢献 ・副課題別の波及効果は以下のとおり <ul style="list-style-type: none"> 副課題 1：高解像度モデルは、領域気候や汚染物質・噴煙の拡散予測、高潮等の沿岸海況予測などの業務や研究への技術的基盤となる。 副課題 2：地上気象観測業務に対して、測器の開発や観測環境の検討さらに推計気象分布の拡充等に、本副課題から得られる技術や知見の活用が見込まれる。 副課題 3：より高精度な海水準変動予測への寄与 副課題 5：視程予測の改善の可能性
<p>令和 3 年度 実施計画</p>	<p>(副課題 1)</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 水平分解能が 125m, 250m, 500m, 1km, 2 km, 5 km 等の NHM, asuca による梅雨期・夏季および冬季の再現実験を実施し、降水・降雪量や地表面フラックス量、境界層の構造、乱流輸送量、日射量予測等について異なる解像度間の比較・検証を行い、モデルの改良点を検討する。また、境界層モデル (MYNN, グレーゾーン対応モデル、Deardorff) の違いが予測精度に及ぼす効果を検証する。インパクト実験も適宜実施する。NHM による降雪予測精度については、検証方法も含めた検討を行う。 ② 副課題 2～5 の各種物理過程研究の成果を高解像度モデルに組み込み、予備的な実験によってその性能を調査する。 ③ バルク法やビン法雲微物理モデルによる降水・降雪過程モデルの改良や高度化を行う。 ④ 物理過程の高度化や改良を行うとともに、対流雲の時間発展の再現性を向上させる。 ⑤ 高解像度モデルによる発雷予測手法の検討および観測との比較検証を行い、発雷メカニズムに基づいた発雷予測の改良を行う。 ⑥ 湿潤 LES 開発のための実験を行い、モデルの問題点等を明らかにする。 ⑦ 広領域高解像度モデルを用いて、フィリピン上陸台風に関する予測実験を実施し、観測データ等による検証を実施する。降水・放射過程に関する感度実験を実施し、この知見をもとに熱帯や亜熱帯域での物理過程の改良を検討する。

- ⑧ NHM や asuca を用いた研究の基盤として、様々な状況でのモデル計算に資するための力学過程・物理過程の最適化、外部機関での利用を念頭に置いたツールの整備を行う。

(副課題 2)

- ① LES や DNS による安定・不安定・中立な境界層に関する数値計算の結果を解析し、乱流輸送スキームの検討を始める。
- ② 気象研風洞において安定・不安定・中立な境界層の実験を実施してデータを蓄積しつつ、中立・不安定な場合について解析を行う。
- ③ 気象研露場において接地境界層の通年観測を実施してデータを蓄積しつつ、乱流輸送と地中温度等との関係について解析を行う。

(副課題 3)

- ① 雪氷物理量を測定するための技術開発、連続観測
札幌・北見・長岡における放射・気象・積雪連続観測を継続すると同時に、現地で取得する積雪サンプルから光吸収性不純物濃度を測定する。上記 3 地点を含む国内外の様々な場所における気象・雪氷現地観測を実施して、積雪・海水等の物理過程の理解の深化、放射理論・観測等に基づく詳細衛星リモートセンシングアルゴリズムの開発を進める。
- ② リモートセンシングによる雪氷物理量の監視、アルゴリズム開発・改良
多バンドで時空間分解能の優れたひまわり、長期観測中の MODIS を搭載する Tera/Aqua、SGLI を搭載する GCOM-C 等の極軌道衛星、マイクロ波衛星等の衛星データについて、雪氷物理量の監視のためのアルゴリズムの改良を行う。また、これら衛星データから極域、日本周辺における雪氷物理量の空間変動の量的・質的な監視のための広域・長期データセットの作成を行う。
- ③ 雪氷物理過程モデルの高度化と活用
積雪変質モデル SMAP の高度化・日本周辺および極域での領域気候モデル (NHM-SMAP) 計算を実施し修正すべき課題を明らかにするとともに、改良を図る。また、海水モデルの開発・改良を行う。

(副課題 4)

- ① 積雲対流スキームの開発
・ グレーゾーンに対応したフィードバックの計算を導入し、3次元モデルでの単発実験と事例調査、従来の積雲対流スキームとの比較による性能評価を行う。
・ 引き続き観測や湿潤 LES による参照値の収集・作成を進める。
- ② 層積雲スキームの開発
・ 高度化した浅い積雲対流スキームと組み合わせ、3次元モデルでの単発実験と事例調査を引き続き行う。またサイクル実験による性能評価を進める。
・ 必要に応じて境界層スキームの改良を行う。
- ③ 全球モデルにおける雲微物理過程の改良
・ 全球モデルの雲微物理過程の見直しを引き続き行う。
・ 衛星データ等の観測データによる検証を行い、CMIP6 や CFMIP などの枠組みで行われるモデル間比較に参加する。
- ④ 全球モデルにおけるエアロゾル雲相互作用の高度化
・ 地球システムモデルのエアロゾル雲相互作用の部分の見直しを引き続き行う。
・ 各種観測データによる検証を行い、CFMIP などの枠組みで行われるモデル間比較に参加する。
- ⑤ 放射スキームの改良
・ 雲の水平非一様性とより精緻な雲オーバーラップ等を実現する仕組みの構築と理想実験を引き続き行う。3次元モデルによる動作確認に着手する。
・ 必要に応じて観測データ・再解析データによる検証・参照利用を行う。

(副課題 5)

- ① 雲生成チェンバーを用いて、予備実験結果を基に、代表的な内部混合粒子の CCN

	<p>特性について、本実験を行う。</p> <ul style="list-style-type: none">② 氷晶核、雲核、エアロゾルの地上モニタリングを継続実施すると共に、イベントや季節変化等としてこれまで得られた解析結果を基に、実大気で有効な氷晶核・雲核に焦点を当てた観測を実施する。③ 過去に得られた室内実験結果を詳細雲微物理モデルに反映し、事例解析として過去の降水イベントへのエアロゾルの影響を評価する。④ 外部研究機関等と協力した大気観測を国内外で実施し、気象・気候影響の理解やモデル高度化に資するエアロゾルの存在状態、物理化学特性を調査する。⑤ バーチャルインパクトや電子顕微鏡、冷却ステージ付き光学顕微鏡等を用いて有効な氷晶核となるエアロゾル粒子を調査する。
--	--