

プロフィールシート（事前評価）

研究課題名：大気物理過程の解明と物理過程モデルの開発に関する研究

（副課題1）高解像度数値モデルにおける線状降水帯等の激しい気象現象の再現性向上

（副課題2）雪氷物理過程の高度化に資する観測的研究

（副課題3）数値モデルの予測精度向上に向けた積雲対流・雲・放射スキームの精緻化

（副課題4）実験観測に基づくエアロゾル・雲・降水微物理素過程モデリングの改良

研究期間：2024～2028年度（5年間）

研究代表者：高槻靖（気象予報研究部長）

研究担当者：（副課題代表）橋本明弘、大河原望、中川雅之、折笠成宏

1. 研究の背景・意義 ※現状と気象研究所の実績、問題点、研究の必要性及び緊急性についても記載

（社会的背景・意義）

近年、「平成29年7月九州北部豪雨」や「平成30年7月豪雨」のように、わが国では線状降水帯等による大雨によって毎年のように甚大な被害をもたらされており、顕著現象による気象災害の防止や軽減のために、高精度できめ細かく、十分なリードタイムを持つ気象情報の提供が強く求められている。また、地球温暖化の進行に伴って、気温が上昇するばかりでなく、極端な気象現象の頻度や強度がさらに増加すると予測されているなか、地球温暖化の社会への影響を小さくするために自治体や民間においては地球温暖化に対する適応策の策定が進められているが、温暖化予測の不確実性はまだまだ大きく、その低減が求められている。さらに、気象の影響を受ける産業は多く、気象データの産業での活用が推進されており、気象予測の高度化・精度向上により、気候リスク軽減や流通・生産計画の最適化をはじめ、社会経済活動における生産性向上への貢献が求められている。

これらの予測情報は数値予報モデルを基盤としており、予測精度の向上には数値予報モデルの改善が必要である。数値予報モデルには大気の様々な物理過程が組み込まれており、その再現性は予測精度を大きく左右する鍵の一つとなっている。

（学術的背景・意義）

顕著現象による気象災害の防止や軽減のためには、高精度できめ細かく十分なリードタイムを持つ気象情報の提供が求められ、これには数値予報モデルの高解像度化と予測精度の向上が欠かせない。領域モデルにおいては、数キロメートル解像度の数値予報モデルが実用化され、1キロメートル解像度の現業化はすでに計画されているが、次世代を見据えると、数百メートル以下の解像度での高度化された数値予報モデルの実現が課題となっている。このような解像度の数値計算では、積乱雲内の対流セルな

ど顕著現象の内部構造が詳細に表現されるようになる反面、解像度に依存して、対流セルの大きさや鉛直流の強さなどの表現特性に差が生じることが確認されている。一方、リモートセンシング技術の著しい進展により、高頻度高密度の多様な観測データをもとにした顕著現象の詳細な実態把握が可能となっており、それら観測データに基づいて、高解像度モデルによる顕著現象の再現性を検証できる環境が整ってきた。それと同時に、高頻度高密度の観測データと高解像度モデルを組み合わせ、顕著現象機構解明を進める上でも望ましい状況になっている。また、計算機性能の向上により、スケールの小さい現象も直接表現可能な超高解像度のLES実験をリファレンスとして、各解像度での数値モデルの特性を分析する手法も発達してきている。このような検証、分析に基づき、解像度に応じてグリッドスケールとサブグリッドスケールで表現されるべき現象を考慮しつつ物理過程を改良し、数値モデルによる顕著現象の再現性を向上させることが重要な課題となっている。これで得られる知見は、高解像度の現業モデルの改良にも活かされることが期待できる。また、気象庁の重点課題となっている線状降水帯の予測精度向上には、現象の詳細な実態把握、様々な現象や気象場の発生・形成のメカニズム解明、現状のモデルの課題の明確化が欠かせない。このようななか、線状降水帯の上昇流を引き起こし、その維持に不可欠な水蒸気を供給する地表面近傍の乱流については理解が進んでおらず、現状では気象モデル境界層過程の精度が高くない。このため、中立や安定成層のみならず、不安定成層における上昇流の発生、および地表面近傍に現れるその前兆現象をも対象として地表付近の乱流現象を明らかにすることが必要である。一方、積乱雲を構成する個々の雲の発生においては、エアロゾルの一部が雲核 (CCN) や氷晶核 (INP) として作用することで雲粒や氷晶を発生させ、雲・降水過程に影響を及ぼしている。また、数値予報モデルにおける正確な雲の表現は、雲の放射影響評価や気候変動の理解にとって重要である。現象が複雑であり理解が不十分なため、現在の数値予報モデルにはエアロゾルの影響は加味されていないが、将来のモデルの高度化や精度向上のために、エアロゾルから雲・降水に至るプロセスを考慮に入れることでモデルを精緻化していく重要性は高い。現実の大気エアロゾル粒子の多くは、様々な粒子タイプの内部混合からなるが、それらの物理化学特性、光学特性、CCN・INP 特性の変動、起源や輸送過程などへの理解を深め、数値予報モデルへの導入、数値実験結果の検証により、エアロゾルの雲・降水への影響を定量的に精度良く再現できるモデルの開発・改良が必要となる。また、エアロゾル・雲・降水微物理のミクروسケールの素過程改善は予測精度向上への寄与が期待されることから、線状降水帯などの局地化された集中豪雨、広範囲に豪雨をもたらす台風、中・高緯度におけるエアロゾルの雲を介した気候変動など、時空間的にスケールが異なる気象現象に対して、共通したプロセス研究を進める意義は大きい。

短期から週間予報、季節予報や地球温暖化予測に用いられる全球モデルの予測精度向上のために、これまで積雲対流スキームや層積雲スキーム、雲スキーム、放射スキーム等の物理過程の改良に取り組み、放射スキームにおける氷雲有効サイズ診断式の見直しや新しい層積雲スキーム等の成果が本庁の現業システムに導入されてきた。これらの物理過程は、大気加熱率・加湿率を適切に再現し、台風や温帯低気圧などの個々の擾乱における降水や雲の表現を担うのに加え、ハドレー循環などの全球的な循

環境を維持する役割を持つ。また長期の予測やデータ同化において重要となる、放射収支やモデルバイアスに大きな影響がある。特に現行の気象庁全球モデルが予測する雲量や雲水量は過少であり、大気上端上向き長波放射が過剰となるなどの問題が生じ、今後の雲域での衛星データ同化の高度化において障壁となり得ることが知られている。このことから、モデルの予測性能を大きく左右する上記の物理過程をさらに精緻化する必要がある。さらに今後の方向性として示されている全球モデルの高解像度化が行われる際には、積雲の一部が格子平均場によって表現されはじめるとともに従来の近似（格子内に積雲が占める面積は小さい、フィードバックが格子内で閉じるなど）が不適切になる、積雲対流スキームのグレーゾン問題への対応が必要である。また、放射収支の冷源として大気に大きく影響する雪氷圏は気候変動に対して脆弱であり、アイスアルベドフィードバックなどを通じて気候変動に大きな影響を与えることが知られている。このプロセスを含む雪氷物理過程の理解は十分に進んでおらず、気候変動予測等の精度向上に向けた数値モデルの改善のためには、積雪変質モデルや海氷モデルの更なる高度化を図る必要がある。特に、積雪変質モデルでは光吸収性不純物の影響の考慮が課題となっており、光吸収性不純物の積雪時空間変動への影響を陽に考慮した高度化が求められている。また、海氷モデルにおいては、海氷アルベド再現の不確かさが特に融解期における海氷面積再現の不確か性を大きくしており、不確か性軽減のため近年特に重要視されているメルトポンドの影響を考慮することが重要と認識されている。

（気象業務での意義）

気象庁では、気象災害の防止・軽減、社会経済活動における生産性向上に資するよう、交通政策審議会気象分科会提言「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」に示された方向性に基づき、防災分野を始め社会における情報サービス基盤である数値予報の技術開発を強力かつ着実に推進していくため、「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」を平成30年に策定した。そこでは、数値予報は、気象・気候予測の根幹であり、安全・安心で豊かな生活に不可欠な社会基盤であると位置づけており、気象庁はこの高度化・精度向上を強力に推し進めて、防災を始め社会のニーズに応える水準を達成することで、数値予報を、2030年の来るべき安全、強靱で活力ある社会を実現するための大きな柱・国民共有の新たな財産とすることを目指している。

「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」では、放射や雲などの物理過程の不確か性は依然として大きく予測精度向上のボトルネックとなっており、自然現象の理解に基づき、特に、激しい対流活動に着目して、放射、雲、積雲、乱流輸送、海面境界などの物理過程を大きく改善させる必要性を指摘している。また、数値モデルの高解像度化における「グレーゾン問題」への対応として、高解像度モデルに適した物理過程開発の必要性が指摘されている。一方で、モデルの高度化と精緻化に伴い、モデルの細部まで、定式化、離散化、コーディング、コンポーネント間の相互作用などを十分に検討することが、予測精度向上を達成する上で重要になっていることも指摘されている。このため本課題では、他の研究課題や関係機関等との緊密な連携のもと、

物理過程モデルの高度化を通じて気象庁の数値予報システムの予測精度向上に向けた研究を行う。

2. 研究の目的

(全体)

観測や実験により大気の種類物理過程を解明し、その物理過程モデルの高度化等を通じて、大雨等の顕著現象、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の向上に寄与する。

(副課題1)

解像度数百 m 以下の数値モデルによる、顕著現象の詳細な構造分析に基づく機構解明・再現性の向上、及び、雲・乱流過程の高度化を通じて、線状降水帯をはじめとする激しい気象現象の予測精度向上に貢献する。

(副課題2)

観測に基づき雪氷物理過程の理解の深化とその物理モデルの高度化を図り、雪氷にかかわるモデルの精度の向上及び現業プロダクトの改善に貢献する。

(副課題3)

将来の気象庁全球モデルの水平高解像度化への適合や、放射収支やモデルバイアスの改善のため、短期から週間予報、季節予報や地球温暖化予測に用いられる数値予報モデルの積雲対流、部分雲、放射スキームといった物理過程を精緻化し、予測精度向上に寄与する。

(副課題4)

室内実験や野外観測によるエアロゾル・雲特性から、エアロゾル・雲・降水の微物理素過程や相互作用を解明し、数値モデリングを精緻化することで降水や放射の予測精度向上に寄与する。

3. 研究の目標

(全体)

顕著現象の再現性や予測精度の向上及び雲・降水過程や放射過程などの不確実性やモデルバイアスの低減に資するよう、各種の観測成果や実験施設、観測装置を十分に活用しつつ、素過程の解明から物理過程モデルの高度化までに取り組むことにより、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や将来に向けた課題を明らかにし、有効な改善方法を提案する。

(副課題1)

解像度数百 m 以下の数値シミュレーション・実験・観測により、大雨、大雪、突風、線状降水帯、台風などの顕著現象から雲・乱流などの素過程にわたって、詳細な構造分析に基づく機構解明、及び、再現性向上を目指す。日本とその周辺の領域の様々な環境下で発生する激しい気象現象について、

- ① 数値モデルによる積乱雲・降雪雲内の鉛直流や雲・降水粒子特性など詳細な内部構造を観測データと比較することで検証する。

- ② 高解像度数値シミュレーションを活用した解像度に応じた物理過程の検討などに基づき、数値モデルの課題を抽出し、再現性向上のための方策を示す。
- ③ 大気境界層において線状降水帯の発生や維持に特に重要な以下の乱流現象を 1. 数値計算、2. 風洞実験、3. 野外観測により明らかにする：
 - (a) 不安定成層における上昇流の発生、および地表面近傍に現れるその前兆現象
 - (b) 潜熱（水蒸気）の供給に寄与する鉛直輸送と地表面近傍の水平輸送
 - (c) 顕熱、運動量の鉛直輸送と地表面近傍の水平輸送
- ④ 得られた知見を統合し、境界層過程の改善策を取りまとめて、乱流輸送に関する新たなスキームを構築する。風洞実験や野外観測による検証を経て、気象モデル asuca に実装し数値実験による検証を行う。
- ⑤ 関連課題との連携により課題を抽出するとともに解決法を検討する。

(副課題 2)

- ① 地上観測に基づく雪氷物理過程の解明

雪氷物理量観測の基盤技術を開発しつつ放射・気象・積雪の地上観測を国内（札幌・北見・長岡）において実施し、観測データに基づいた雪氷物理過程の解明を進める。また、観測データを活用して、雪氷圏を対象にした放射伝達モデルの開発を行う。
- ② 雪氷に関する衛星リモートセンシングアルゴリズムの開発及びデータ利活用

地上観測データから得られた知見や、雪氷圏を対象にした放射伝達モデルを活用して衛星リモートセンシングアルゴリズムを開発・改良し、雪氷圏変動の面的な実態把握を行う。また、次期衛星を含む静止衛星ひまわりによる積雪・海氷の質的な雪氷プロダクトの充実および現業利活用の検討を行う。
- ③ 雪氷物理過程モデルの高度化

観測データの検証データとしての利用や、観測から得られた積雪・海氷に関する物理過程の知見を活用することにより、これまで開発を行ってきた積雪変質モデルや海氷モデルの高度化を図る。特に世界的に見てもアルベド再現の不確実性に係る課題となっている積雪変質モデルにおける光吸収性不純物の積雪時空間変動への影響考慮、及び、海氷モデルにおける融解期のメルトポンドの影響考慮について改善を進める。さらに、積雪変質モデルの現業予測情報への高度利用を進め、海氷モデルの海洋モデルへの組み込みを行う。

(副課題 3)

- ① 積雲対流スキームの精緻化

将来の気象庁全球モデル（GSM）の水平高解像度化や気象庁メソモデル（MSM）による顕著現象などの予測精度向上に向け、対応する格子間隔に適合が必要となる積雲対流スキームなどの物理過程の問題点を抽出し、改善のための方策を示す。
- ② 雲・放射スキームの精緻化

長期の予測やデータ同化において重要となる放射収支やモデルバイアスの改善に向け、関連する雲・放射スキームといった物理過程の問題点を抽出し、改善のた

めの方策を示す。

(副課題 4)

- ① 世界的にみて未解明かつ雲生成にインパクトが大きいエアロゾル粒子を対象とした室内実験や多様な地点での野外観測によるエアロゾル物理・化学分析データから、エアロゾルタイプ別の雲核 (CCN)・氷晶核 (INP) の特性を解明し、定式化を図る。
- ② 実大気で見られるエアロゾル粒子の混合・変質過程に基づき、野外観測と室内実験との比較、ボックスモデル数値実験との比較検証から雲粒・氷晶発生過程に関する雲物理パラメタリゼーション改良を行い、雲生成過程の解明を進める。
- ③ 室内実験や野外観測の結果を基に、詳細微物理モデルによる数値実験との比較検証を行い、CCN・INP 特性、エアロゾル粒子の混合・変質過程を含めた詳細微物理モデルの改良を図る。
- ④ 詳細微物理モデルを導入した 3次元改良モデルによる数値実験を大気汚染によるインパクトの高精度な評価等を観点に実施し、エアロゾル・雲・降水モデリングの精緻化を進める。

4. 研究体制

研究代表者： 高槻靖

担当研究者：

(副課題 1) サブ代表者：橋本明弘 担当研究者：7名程度

(副課題 2) サブ代表者：大河原望 担当研究者：4名程度

(副課題 3) サブ代表者：中川雅之 担当研究者：5名程度

(副課題 4) サブ代表者：折笠成宏 担当研究者：6名程度

研究協力者：

併任者として本庁大気海洋部・気象技術開発室から2名程度、客員研究員として東北大学、宇宙航空研究開発機構等からの2名程度の参加を想定。

5. 研究計画・方法

(副課題 1)

解像度数百 m 以下の数値シミュレーション・実験・観測により、日本とその周辺の領域での様々な激しい気象現象 (大雨、大雪、突風、線状降水帯、台風など) 及び雲・乱流等について、それらの再現性やモデリングに関する課題の抽出、改良のための方策の検討を行う。

① 観測データに基づくモデルの検証・改良

- ・ 高頻度高密度観測データを用いた時間・空間解像度の高い検証により、モデルの解像度に応じた再現性を把握し課題を抽出する。
- ・ モデルの物理過程に関する情報を抽出するための、多様な観測データを用いた多角的な検証法を検討する。
- ・ 着目する現象の発生しやすい局地環境の国外地域を対象とする数値実験を適宜

実施し知見を活用する。

② 解像度に応じた物理過程の検討

Large Eddy Simulation (LES 実験) をリファレンスとし、解像度に応じた適切な物理過程パラメタリゼーションスキームの検討を行う。それぞれの解像度における乱流輸送等の挙動を把握し、グリッドスケール、サブグリッドスケールで表現されるべき微視的過程を検討する。

③ -1 数値計算による境界層乱流の解析

高解像度の Large Eddy Simulation や Direct Numerical Simulation を用いて境界層乱流の数値計算を行い、データを解析する。特に対流の発生については、発生時の場の特徴をコンポジット解析 (条件付き平均) などにより抽出して調べ、対流現象と境界層下層に現れるその前兆現象の調査を行い、線状降水帯予測の改善の可能性と方向性を見出す。

③ -2 風洞実験による境界層乱流の解析

気象研風洞で各種風速計・温度計・濃度計を用いて境界層乱流の実験を行い、データを解析する。機能強化した風洞装置を用いて、安定、不安定領域における境界層乱流の実験を行い、乱流輸送についての解析を前研究計画から引き続いて行う。また、粒子画像流速測定法 (PIV) により得られる風速の面的情報を活用し、③-1 と同様に境界層下層における対流の前兆現象の調査を行い、線状降水帯予測の改善の可能性と方向性を見出す。さらに、各種境界層乱流におけるガス拡散実験により、鉛直分布や床面粗度への依存性などを調査し、潜熱の乱流輸送モデルの高度化の方向性を見出す。

③ -3 野外観測による境界層乱流の解析

気象研露場において蒸発散測定装置・超音波風速温度計・赤外線濃度計等を用いて通年連続観測を行い、各種地表面フラックスのデータを蓄積・解析する。観測データやそれらの解析の結果は③-2 風洞実験に対する現実大気のリファレンスとして用いる。③-2 風洞実験に対応して乱流輸送の解析を行い、スキームの高度化の方向性を見出す。

④ 乱流輸送スキームの検討・構築と気象モデルへの実装・検証

③-1 ~ 3 から得られた知見とも統合し乱流輸送スキームの検討と構築を行い、気象モデル asuca に実装・検証を行う。なお③-1 ~ 3 のそれぞれにおいて必要に応じて技術開発や事例研究を行う。

⑤ 関連課題との連携による課題抽出・解決法の検討

- ・ 大気モデルの表現する降水粒子特性が雪氷物理過程モデルにもたらす効果を調査し、高度化の方策を検討する。
- ・ 積雲対流スキームの開発に活かすために、LES 実験の結果や解像度依存性に関する知見を副課題 3 と共有する。
- ・ 整備した数値モデルによる予測の検証ツールや実験環境を関連課題と共有することで、効率的な研究を推進する。

(副課題 2)

① 地上観測に基づく雪氷物理過程の解明

雪氷物理量観測の基盤技術を開発しつつ放射・気象・積雪の地上観測を国内（札幌・北見・長岡）において実施し、観測データに基づいた雪氷物理過程の解明を進める。また、観測データを活用して、雪氷圏に特化した放射伝達モデルの開発を行う。

② 雪氷に関する衛星リモートセンシングアルゴリズムの開発及びデータ利活用
地上観測データから得られた知見や、雪氷圏に特化した放射伝達モデルを活用して衛星リモートセンシングアルゴリズムを開発・改良し、雪氷圏変動の面的な実態把握を行う。また、次期衛星を含む静止衛星ひまわりによる積雪・海氷の質的な雪氷プロダクトの充実および現業利活用の検討を行う。

③ 雪氷物理過程モデルの高度化

観測データの検証データとしての利用や、観測から得られた積雪・海氷に関する物理過程の知見を活用することにより、これまで開発を行ってきた積雪変質モデルや海氷モデルの高度化を図る。さらに、積雪変質モデルの現業予測情報への高度利用を進め、海氷モデルの海洋モデルへの組み込みを行う。

（副課題3）

将来の気象庁全球モデルの水平高解像度化への適合や、放射収支やモデルバイアスの改善のため、関連するモデルの物理過程について、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、各種観測データによる検証、他のモデルや解析値との比較による評価を行い、課題の抽出及び改良のための方策の検討を行う。他の副課題と連携し、新しく開発された物理過程の全球モデルへの導入や性能評価に向けた情報提供や、新しい物理過程を組み合わせた実験等を行う。またデータ同化、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。本庁への成果の提供に向けては他の物理過程改良との組み合わせを想定した開発・情報交換を行う。

① 積雲対流スキームの精緻化

- ・ 水平高解像度化への適合が必要な物理過程を抽出し、対応策を取りまとめる。
- ・ 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開発し、台風や積雲の組織化の検証及び予測精度の評価を行う。特に、クロージャ部分や積雲モデルのグレーゾーン対応を検討する。副課題1によるLES実験に基づくリファレンスや、解像度に応じてパラメタライズすべき現象に関する知見の提供を受け、開発に活用する。

② 雲・放射スキームの精緻化

- ・ 地球システムモデル（MRI-ESM3）や気象庁全球モデル（GSM）において、様々な種類の雲をより精緻に表現するための改良を行う。
- ・ 観測データ・リファレンスとの比較や文献調査に基づき、放射スキームの問題点を抽出し、改善のための開発を行う。
- ・ 現状扱っていない長波放射における雲の散乱効果についての調査と開発を行い、長波放射フラックス・加熱率・計算コストへの影響や予測精度の評価を行う。

う。

(副課題4)

① 雲核・氷晶核の特性解明と定式化

雲生成チェンバー、地上モニタリング観測システム、電子顕微鏡等を用いた室内実験や野外観測の手法等についてより良い方法を検討する。この結果を踏まえて、土壌粒子やバイオエアロゾル等のタイプ別エアロゾル粒子を対象に CCN・INP 特性および雲生成に関する室内実験を行う。また、多様な地点でのエアロゾル・雲の野外観測やサンプリングを行う。これらのエアロゾル物理・化学分析データから、エアロゾルタイプ別の CCN・INP 特性の定式化改良を行う。

② 雲物理パラメタリゼーションの改良

実大気エアロゾルを模した粒子の発生方法、混合方法を検討するとともに、それに適した実験環境を整備する。人為的に発生させた混合粒子や変質させた粒子を対象に、高温高湿で強い上昇流範囲までカバーした雲生成チェンバー等を用いた雲生成に関する室内実験を行う。また、CCN・INP 特性に関する室内実験および個別粒子分析等も併せて、エアロゾルの混合・変質過程と雲生成との関連を調査する。実大気での雲生成過程の解明を図るため、それらの室内実験結果とボックスモデルによる数値実験結果との比較検証から、雲粒・氷晶発生過程に関する雲物理パラメタリゼーション改良を行う。

③ 詳細微物理モデルの改良

CCN・INP 特性を評価できる詳細微物理モデルを用いて、雲生成にインパクトが大きいエアロゾルタイプ別の数値実験、エアロゾル粒子の混合・変質過程を対象とした数値実験を行う。それらの結果と、室内実験や野外観測による結果との比較検証を進め、他の研究課題と連携しながら詳細微物理モデルの改良を行う。

④ エアロゾル・雲・降水モデリングの精緻化

現在の雲スキームの改良を検討し、問題点を整理する。詳細微物理モデルが実装された3次元改良モデルによる数値実験を行い、最新のパラメタリゼーションを導入した雲スキームの改良を進める。エアロゾル-雲-放射の相互作用の解明を図るため、大気汚染によるインパクトの高精度な評価等を観点に数値実験を実施し、他の研究課題と連携しながら、エアロゾル・雲・降水モデリングの精緻化を進める。併せて、3次元改良モデルと現行バルク法との比較検証から現行バルク法のパラメタリゼーション改良を行う。

6. 研究年次計画 (研究フロー図を添付)

中間評価時の到達目標

(副課題1)

- ① 激しい気象現象の再現性分析のための数値モデル出力・各種観測情報および解析ツールを整備するとともに、多角的検証法により激しい気象現象の再現性向上に向けた課題を整理する。
- ② 解像度数百 m 以下の高解像度から数 km の低解像度にあたる比較実験を行い、顕

著現象の内部構造の解像度依存性を明らかにするとともに、高解像度・低解像度それぞれの課題を整理する。

- ③ 数値計算、風洞実験、野外観測から得られた結果を統合して、現在の境界層過程スキームの限界を明らかにし改善の方向性が明らかになっていること。
- ④ 顕熱、運動量の輸送について成果の一部を本庁数値予報課に提案する。
- ⑤ 関連課題との連携を通じて課題を整理する。

(副課題 2)

① 地上観測に基づく雪氷物理過程の解明

雪氷物理量観測の基盤技術を開発しつつ放射・気象・積雪の地上観測を着実に実施する。また、観測データに基づいた雪氷物理過程の実態把握及び雪氷を対象にした放射伝達モデルの開発を行い、精度向上のための課題を整理する。

② 雪氷に関する衛星リモートセンシングアルゴリズムの開発及びデータ利活用実態把握が難しい海氷面積について、海氷モデルの計算精度を正しく評価するための衛星海氷プロダクトと海氷モデル計算結果との相互比較手法の検討し、課題を整理する。

③ 雪氷物理過程モデルの高度化

観測データ及び観測から得られた知見に基づき、光吸収性不純物の積雪時空間変動への影響を陽に考慮した積雪変質モデルの開発を行い、課題を整理する。また、メルトポンドの影響を考慮した海氷モデルの開発を行い、課題を整理する。

(副課題 3)

① 積雲対流スキームの精緻化

将来の GSM の水平高解像度化に際し適合が必要となる物理過程に関する知見が得られていること。特に対応が重要と考えられる積雲対流スキーム改善の方向性が示されていること。

② 雲・放射スキームの精緻化

観測データ・リファレンスとの比較や文献調査を行うことにより、放射スキームの問題点と改善に向けた方向性が示されていること。

(副課題 4)

- ① 特にインパクトが大きいとされる土壌粒子やバイオエアロゾル等の室内実験や野外観測を基に、CCN・INP 特性の定式化が図られていること。
- ② 人為的に発生させた混合粒子の特性と野外観測で採取されたエアロゾル粒子の特性を比較し、その相違点等から発生方法の工夫を進めて実験手法が確立されていること。ボックスモデル数値実験との比較を行い、モデル側の問題点が明らかになっていること。
- ③ 主要なエアロゾル粒子タイプや標準的な混合粒子での室内実験と数値実験

との比較検証を行い、エアロゾルの混合過程を加味した雲粒・氷晶発生過程の定式化が図られていること。

- ④ 現在の雲スキームにおける問題点と改良すべき項目が整理されていること。エアロゾル粒子タイプ別の実験観測結果を参考にして、現実に近いエアロゾルパラメータの定式化及び妥当性確認が行われ、従来の方法による雲・降水特性および放射特性の予測結果との違いが明らかになっていること。

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）

科学的なアプローチのもと関連研究課題や本庁との緊密な連携のもとで「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」で示された課題に重点的に取り組むことによって、気象庁で計画されている全球モデルやメソモデルにおける水平高解像度化や物理過程の改良など、気象庁で大雨等の顕著現象の予測、台風の予測、季節予報、地球温暖化予測に用いられる気象庁数値予報モデルの高度化に資することができる。気象庁の2030年に向けた重点目標の達成、及び2030年以降のさらなる数値予報モデルの高度化に寄与することが期待される。

また、学術的にも、顕著現象の発生・維持機構の解明、大気中の様々な物理過程の理解の深化を中心に成果が期待される。

さらに、数値予報モデルの改善の波及効果として、気象予測の精度向上、気候予測の不確実性低減、温暖化予測精度向上などが期待され、気象災害の防止や軽減、地球温暖化への対応、気象データの利活用を通じた気候リスク低減、社会経済活動における生産性向上への寄与などの社会的貢献が期待される。

※ 添付資料

- ・ 課題説明図及び研究フロー図等