

研究課題	(c 5) 雪氷物理過程の観測とモデル化による雪氷圏変動メカニズムの解明
研究期間	平成 26 年度～平成 30 年度 (5 年計画第 5 年度)
担当研究部	○保坂征宏 気候研究部第 6 研究室長 [気候研究部] 庭野匡思、谷川朋範、(客員) 青木輝夫、島田利元
目的	雪氷圏変動の実態把握のため、地上観測装置及び衛星リモートセンシングによる雪氷物理量の観測・監視を行い、それらを基に雪氷放射過程や積雪変質過程などの物理プロセスモデルを高度化し、雪氷圏変動メカニズムの解明及び予測精度向上に資する。
目標	地球温暖化の影響が最も顕著に現れる雪氷圏変動の実態把握、変動メカニズム解明、予測精度向上のため、放射伝達理論に基づき、以下の 3 つの研究を実施する。 ① 雪氷物理量を測定するための新しい技術開発と連続観測 雪氷物理量を測定するための近赤外カメラ、全天分光日射計、波長別アルベド・反射率測定装置、カーボン・エアロゾル分析装置等の開発・改良、及び放射伝達理論に基づいた解析アルゴリズムを開発する。これらの装置と自動気象観測装置を合わせて雪氷の放射特性、物理特性の長期監視を行う。 ② 積雪・エアロゾル等放射過程の改良と衛星による雪氷物理量の監視 積雪・エアロゾル等の非球形粒子の光学特性を精度良く計算するための非球形散乱モデル、及び光吸収性エアロゾルの混合モデルを改良する。また、これらを用いて衛星リモートセンシング・アルゴリズムを改良し、主に極域及び日本周辺における雪氷物理量の空間変動と 15 年以上の監視を行う。さらに、下記③の積雪変態・アルベド・プロセス・モデル (SMAP) (Niwano et al., 2012) における衛星データの利用試験を行う。 ③ 各種ホストモデルで使用できる雪氷物理プロセスモデルの高度化 地球システムモデルや領域気象予測モデル等で使用できる雪氷放射過程や積雪変質過程などの精度向上を図り、積雪アルベド物理モデル (PBSAM) (Aoki et al., 2011) による短波アルベドの精度で 5%、SMAP による積雪深の精度で 10%以上を目標とする。さらに、JMA-NHM への SMAP モデルの組み込み試験を行う。
研究の概要	① 雪氷物理量を測定するための新しい技術開発と地上観測 積雪粒径、比表面積、光吸収性エアロゾル (黒色炭素[BC]、有機炭素[OC]、ダスト) を起源とする積雪不純物濃度、アルベド等の雪氷物理量は、雪氷表面における放射収支や雪氷変質過程にとって重要な要素である。ここではこれら雪氷物理量の高精度の現場測定を行うための装置の技術開発・改良を行い、放射伝達理論に基づいて解析アルゴリズム開発を行う。具体的な装置は近赤外域カメラ、全天分光日射計、波長別アルベド・反射率測定装置、カーボン・エアロゾル分析装置等で、これらのうち初めの三者はいずれも波長別に放射量を測定することにより積雪粒子の比表面積 (粒径と対応)、積雪不純物濃度の雪氷表面及び雪氷中での鉛直分布、雪氷表面における波長別アルベド及び双方向反射率を測定するための装置である。カーボン・エアロゾル分析装置の改良では既有装置の補足率を改善する。これらの要素は下記②における衛星観測の対象であり、③における計算 (予測) 物理量である。また、本装置類による観測に加え、国内の積雪域で気象・放射収支・土壌観測、積雪観測、積雪サンプリング、エアロゾル等の連続観測を実施することにより、積雪不純物濃度測定、雪氷の放射特性・物理特性の長期監視を行うと共に下記②及び③の高度化と検証に利用する。 ② 積雪・エアロゾル等放射過程の改良と衛星による雪氷物理量の監視 雪氷圏変動の実態把握及び広域監視において、衛星リモートセンシングは有効な観測手法である。既存の雪氷物理量の衛星リモートセンシング・アルゴリズムを高度化し、抽出精度を向上させるため、アルゴリズムの基礎となる粒子散乱モデルと大気・積雪系放射伝達モデルの改良を行う。前者については、積雪粒子形状モデル、積雪粒子とエアロゾル粒子の混合状態、積雪中エアロゾルの光学特性の改良を実施し、後者については、凹凸のある雪氷面や鉛直不均一な積雪層の放射伝達モデルの改良を行う。これらモデルの検証には①の観測結果を使用する。さらに、改良したアルゴリズムを用いて極域及び日本周辺における積雪粒径や積雪不純物濃度、アルベド、雪氷微生物等の空間変動と 15 年以上の長期変動監視を行う。衛星データは MODIS と SGLI (各種雪氷物理量)、ひまわり (雪氷分布) 等を用いる。

	③ 各種ホストモデルで使用できる雪氷物理プロセスモデルの高度化 地球システムにおける雪氷圏の特徴は地球の冷源として働くことで、高いアルベドと低い表面温度によって特徴付けられる。正確な雪氷圏変動予測のために、数値モデルにおいて雪氷面アルベドと表面温度を含む陸面モデルの精度向上が必要不可欠である。このために、大気-積雪系放射伝達を中心とする理論的研究と、積雪の表面及び内部の物理状態を予測するための物理過程を明らかにし、①及び②の観測結果を用いて地球システムモデルに実装中の SMAP 及び PBSAM を検証・高度化する。特に、現在の SMAP の中には地域的・経験的な計算プロセスが存在しているので、それらを全球適用可能な物理プロセスモデルへと精緻化する。また、雪崩、地吹雪、積雪深等の予測精度向上のため JMA-NHM に SMAP (SMAP には PBSAM が実装済) を組み込むための試験を行う。この結果、単体としても各種スケールのホストモデル中でも実行可能なモデルを開発する。
平成 30 年度 実施計画	① 雪氷物理量を測定するための新しい技術開発と地上観測 札幌、芽室、長岡における放射・気象・積雪等の観測を継続する。札幌・長岡においては、積雪サンプルについて不純物濃度を分析する。 同時に、平成 27 年度に開発した濾過フィルター透過率測定装置から BC 濃度を測定し、カーボン分析装置を用いて推定した値と比較・検証を実施する。 また、平成 27 年度に開発した野外用の積雪中近赤外反射率測定装置を用いた観測テストを多数実施し、積雪粒径の鉛直分布を抽出するためのアルゴリズムの精度向上に取り組む。 このほか、SMAP で計算される積雪粒径と全天分光日射計の測定結果の相互比較を引き続き継続する。平成 27 年度に導入した改良型雨量計の捕捉率評価を実施する。 ② 積雪・エアロゾル等放射過程の改良と衛星による雪氷物理量の監視 衛星データから積雪粒径及び不純物濃度の高速計算可能なリモートセンシング・アルゴリズムのさらなる改良を行う。平成 30 年度後半に打ち上げ予定の GCOM-C/SGLI データの実解析を想定し、極域及び日本周辺における積雪物理量の空間変動と長期変動モニタリングを行う。また海氷の検知精度の向上等を目的とした海氷放射伝達モデルを開発する。 ③ 各種ホストモデルで使用できる雪氷物理プロセスモデルの高度化 日本周辺域、及びグリーンランドに適用されている SMAP モデルと JMA-NHM の結合システムを用いた長期気候計算を行い、精度評価を実施する。具体的には、地上気象要素の AWS データとの比較、モデルで計算された表面積雪粒径の衛星抽出データとの相互比較を引き続き行う。 ①～③において、これまでの研究のとりまとめを行う。
波及効果	- 雪氷の微物理特性を客観的に測定するための装置が開発され、雪崩や地吹雪等の雪氷災害時の機動観測に役立つ。 - 粒子散乱モデルの改良は、積雪中エアロゾルのみならず大気中エアロゾル光学モデルの高度化にも寄与する。 - 積雪不純物濃度の衛星リモートセンシングは、エアロゾル輸送モデルにおける積雪面へのエアロゾル沈着量の検証データとして利用可能である。 - 全球広域における雪氷圏変動の実体解明と、極域におけるアイス・アルベド・フィードバック (IAF)、ポーラー・アンプリフィケーション (PA: 極域温暖化増幅) の解明に貢献する。 - 雪氷物理量の衛星リモートセンシングは、雪氷面の質的变化を捉えることによって極域における気候変動監視の手法のひとつとなり得る。 - 黒色炭素による雪氷汚染の実態把握や黒色炭素の排出規制の根拠となる。 - 気候モデルにおける雪氷圏に関わる予測精度が向上し、気象庁の気候監視・予測業務に貢献する。 - 気象庁の長期予報向け全球モデル、短期予報向け領域モデル、及び地球システムモデルの雪氷圏に関わる予測精度が向上する。 - 雪氷物理過程の高度化により、気象庁が発表する雪崩注意報の精度向上や新たな地吹雪予測などのプロダクト開発が期待される。 本研究で開発した測器が雪氷コミュニティで標準的な測器として普及し、客観的な観測結果が得られるようになることが期待される。