

吸収性エアロゾルが大気・雪氷面放射過程に与える影響のモニタリングに関する研究

(2) 積雪不純物濃度及びアルベドの地上観測及び衛星リモートセンシングによるモニタリング

国土交通省 気象庁 気象研究所

物理気象研究部 第三研究室

青木輝夫・朽木勝幸・庭野匡思

(研究委託先)

北海道大学 低温科学研究所

兒玉裕二 (平成21-23年度)

北海道大学 低温科学研究所

的場澄人 (平成24-25年度)

平成21～25年度合計予算額 113,307千円 (全課題分)
 (うち、平成25年度当初予算額 20,920千円 (全課題分))

[要旨]

光を吸収する性質を持つ「吸収性エアロゾル」が雪氷面へ沈着する実態とそれによるアルベド変動を明らかにするため、(1) 札幌と芽室 (北海道) における黒色炭素 (black carbon: BC) やダスト等の積雪不純物濃度の監視、(2) 積雪アルベド物理モデルの高度化、(3) 積雪変質・アルベドプロセスモデル (Snow Metamorphism and Albedo Process model: SMAP) の開発、(4) グリーンランドにおける積雪物理量の衛星リモートセンシングを行った。(1) では、2007-2013年の札幌における積雪中元素状炭素 (～BCと見なす)、有機炭素、ダスト濃度を長期解析した結果、12-2月の涵養期には低濃度、3-4月の融雪期には高濃度という季節変化が観測された。一方、6冬期間に顕著なトレンドは見られなかった。(2) では既存の積雪アルベドモデルを完全物理モデル化し、積雪粒径や不純物濃度等の任意の積雪構造に対して、可視・近赤外域のアルベド及び積雪中短波放射加熱量を計算できるモデルを開発した。このモデルを(1)の観測データで検証した結果、各波長域のアルベド計算値が高精度であることが確認された。(3) では積雪層構造を計算するためのSMAPを開発し、(1)の札幌の観測データで検証した結果、積雪粒径、積雪深、雪質等の物理量をよく再現できることが分かった。また、積雪不純物の効果を調べるための感度実験から、札幌の融雪が積雪不純物によって2週間以上早められていることが分かった。(4) では、北西グリーンランド氷床上における地上検証観測データを用いて、Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) データから抽出した積雪粒径と積雪中BC濃度の精度を検証したところ、良好な結果が得られた。2000-2013年のTerra衛星/MODISデータを用いて、グリーンランド全域における積雪物理量の長期変動を求めた結果、表層積雪粒径は近年 (2009-2012年) の増加が顕著であることが分かった。一方、積雪中BC濃度は衛星から検知できるほど高いものではなかった。その結果、アルベドを支配しているのは気温変動に伴う積雪粒径であることが示唆された。

[キーワード]

吸収性エアロゾル、黒色炭素、ダスト、積雪アルベド物理モデル、放射強制力、積雪変質・アルベドプロセスモデル、衛星リモートセンシング

1. はじめに

雪氷面はアルベドが高いため、吸収する太陽エネルギーが少なく、雪や氷が存在しやすい環境

を作っているが、いったん融解すると大幅にアルベドが低下し、雪氷の消失が加速される。気候モデルによる将来の気候予測でも雪氷圏で温暖化が顕著に現れると予測されているが、現実には、北極海の海水やグリーンランド氷床の融解が多くの気候モデルによる予測よりも早い速度で進行している¹⁾。このため、雪氷圏の正確な将来予測には、雪氷の融解と密接に関係する雪氷面アルベドのプロセス研究とそのモデル化が必要不可欠である²⁾。

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次報告書³⁾から、放射強制力の見積りに黒色炭素(black carbon: BC)による積雪汚染によって雪氷面のアルベドが低下する効果が追加された。BCは太陽光を強く吸収するため大気中では大気を加熱し、雪氷面上ではアルベドを低下させることにより雪氷の融解を加速する効果を持っている⁴⁾。IPCCの第4次報告書では雪面上のBCによって $+0.1 \pm 0.1 \text{ W/m}^2$ の放射強制力(全球年平均値)が見積もられている。これは二酸化炭素による放射強制力 $+1.7 \pm 0.2 \text{ W/m}^2$ に比べるとかなり小さい。しかし、二酸化炭素の増加が全球・通年で温暖化に寄与するのに対し、雪氷面上BCによるアルベド低下は主に北半球の、しかも雪氷面上かつ日射のある季節にのみ働く効果である。従って、少なくとも対象となる領域・季節においては全球年平均値の何倍も大きな効果を持っていると推測される。ダストも光を吸収する性質を持っているため雪氷面に対してBCと同様の効果を持っている⁵⁾。このため、BCと合わせて吸収性エアロゾルと呼ばれている。

このような吸収性エアロゾルが雪氷面へ沈着し、アルベドを変化させ、温暖化を加速させる働きについて、地上及び衛星観測からその実態を明らかにすると共に、雪氷面アルベドの物理的モデルを気候モデルに組み込み、この効果をシミュレーションによって定量的に評価することは重要な課題である。

2. 研究目的

吸収性エアロゾルが雪氷面へ沈着する実態とそれによるアルベド変動を、地上観測と衛星リモートセンシングにより監視する。その結果を利用して、積雪アルベドを物理的に計算するための積雪アルベド物理モデルを高度化し、積雪変態過程を計算できる積雪変態・アルベドプロセスモデル(Snow Metamorphism and Albedo Process model: SMAP)を大気大循環モデルに組み込むことにより、積雪中吸収性エアロゾルによる気候影響評価の精度向上を図る。また、衛星リモートセンシングによって広域の積雪不純物濃度とアルベドの監視を行う。

3. 研究方法

積雪中の吸収性エアロゾル(積雪不純物)濃度の変化とアルベドに与える影響を監視するため、積雪面上において放射収支観測と積雪断面観測を行う。得られた積雪サンプルを分析しダスト濃度、元素状炭素(elemental carbon: EC~BCと見なす)、有機炭素(organic carbon: OC)濃度を求める。これらのデータを基に、気象研究所で開発した積雪アルベド準物理モデルを精緻化して完全な積雪アルベド物理モデルとし、サブ課題3の全球エアロゾル輸送モデル等の大気大循環モデルに実装・検証する。積雪不純物濃度と雪氷面アルベド抽出のための衛星リモートセンシングアルゴリズムとをModerate Resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS)データに適用し、広域分布監視を行うと共に全球エアロゾル輸送モデルで計算した積雪不純物濃度及びアルベドを検証する。

4. 結果・考察

(1) 札幌と芽室における黒色炭素やダスト等の積雪中吸収性エアロゾル（積雪不純物）監視

積雪不純物濃度の測定精度向上のため、複数のフィルターを用いた比較分析、炭酸塩炭素の影響評価、濾過捕捉率改善のための凝集剤の定量的評価等の実験を行い、不純物濃度の分析方法を確立した。この手法を用いて、2007年から2013年までの札幌における積雪中EC、OC、ダスト濃度の長期解析を行った（図1）。6冬期間のEC、OC、ダスト濃度はそれぞれ0.007-2.8, 0.01-13, 0.14-260 ppmwの範囲で変動した。このうち光吸収性が最も強いEC濃度のこれら観測結果は北極域に比べ約100-1000倍濃度⁶⁾である。季節変化は、各年とも同様に12-2月の涵養期には低濃度で推移し、3-4月の融雪期には濃度が増加した。EC、OC、ダストの組成比は全期間平均でそれぞれ5.0, 8.4, 86.6%であったが、融雪期にはダストの割合がやや増加した。各不純物濃度は気象・積雪条件に依存して年毎に変動したが、6冬期間中に顕著なトレンドは見られなかった。

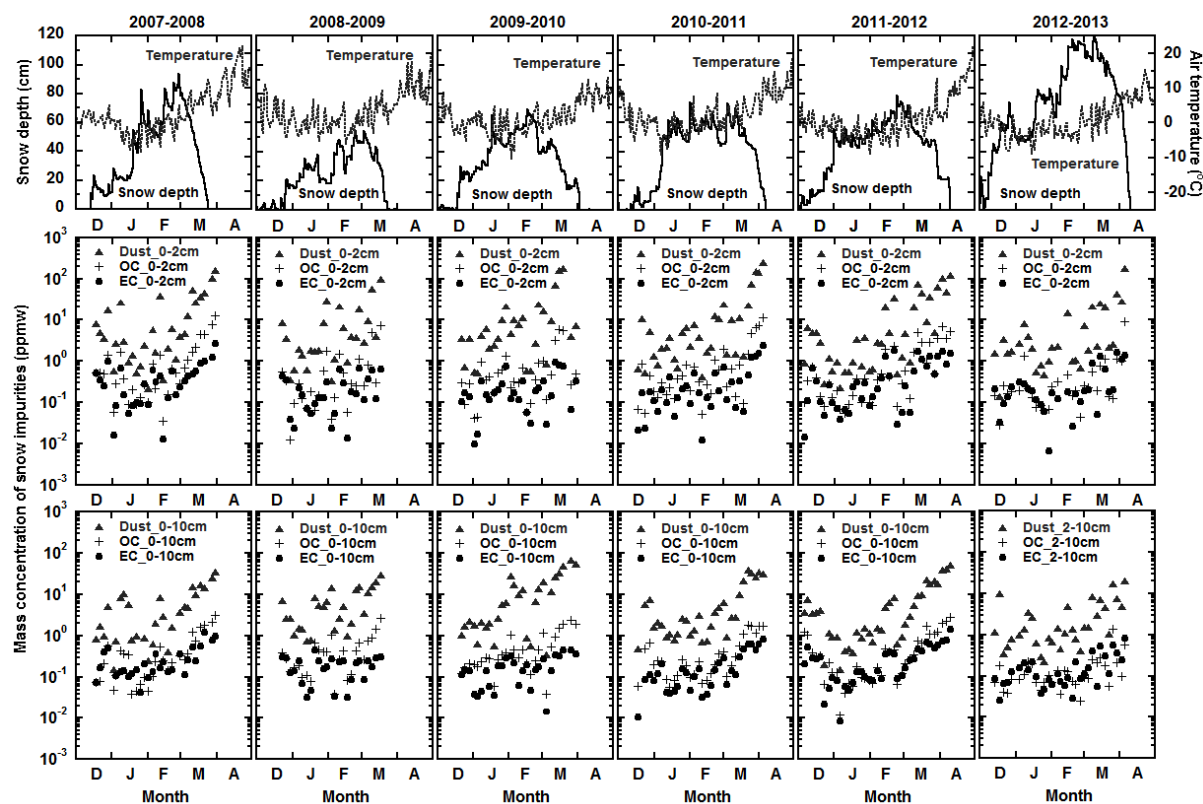


図1：札幌における2007年から2013年の6冬期（12月-4月）における（上段）積雪深と気温、（中段）0-2cm層のEC（黒丸）、OC（プラス）、ダスト濃度（三角）、及び（下段）0-10cm層（2007-2012年）または2-10cm層（2012-2013年）のEC、OC、ダスト濃度。

積雪不純物濃度の監視、及び積雪不純物濃度抽出アルゴリズムの検証のため、札幌と芽室において全天分光日射計⁷⁾による積雪中BC濃度の観測を行った。その結果、全天分光日射計データから抽出されたBC濃度は、郊外に位置する芽室に比べて、都市域の札幌の方が高濃度であった（図2）。両地点ともに、涵養期（12-2月）には低濃度で融雪期（3月）に増加した。不純物（BC粒子）

と積雪粒子の混合状態として、外部混合と内部混合の2種類のモデルを仮定したところ、積雪中BC濃度の抽出結果は光吸収効果の強い内部混合モデルの方が低濃度となった。積雪サンプル分析から求めたEC濃度の実測値は、札幌の涵養期には内部混合モデルに比較的近かったが、札幌の融雪期と芽室においては外部混合モデルに一致した。この結果は、大気エアロゾルの沈着過程や不純物濃縮過程の違いに依存して、不純物の混合状態が場所や季節によって異なることを示唆していると考えられる。

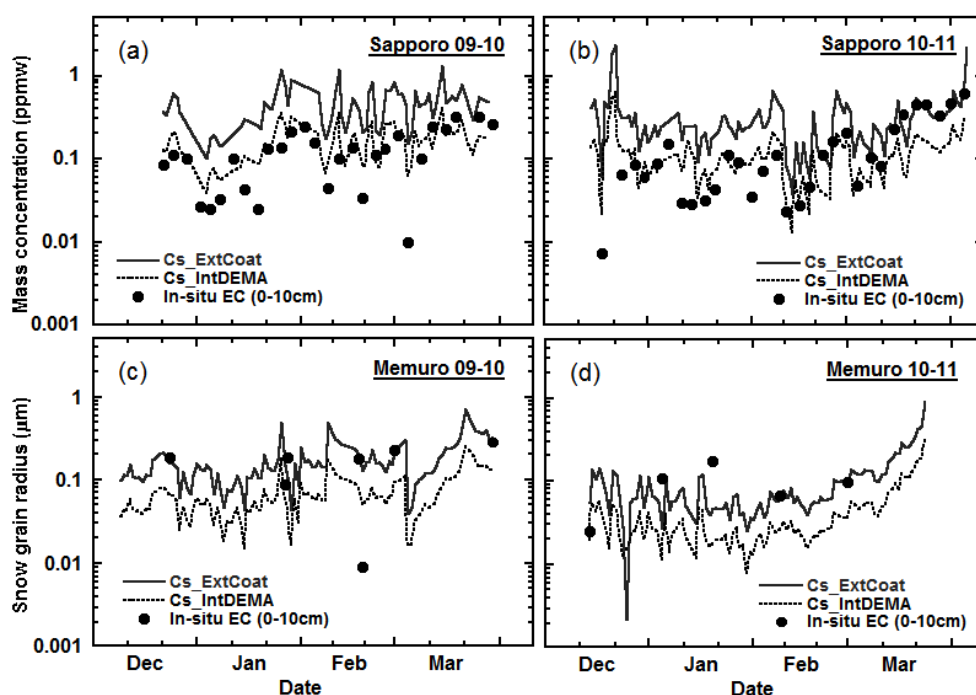


図2：全天分光日射計データから抽出された積雪中BC濃度及び、積雪サンプル分析から求めたEC濃度の実測値。実線と破線はそれぞれ外部混合と内部混合モデルによる抽出結果、点は実測値を示す。(a, b) 札幌と (c, d) 芽室における (a, c) 2009-2010年と (b, d) 2010-2011年の2冬期間の変化。

(2) 積雪アルベド物理モデルの高度化とその検証

気候モデルの中で正確な積雪アルベド及び短波放射加熱を計算するために、既存の積雪1層アルベド物理モデルを高度化し、任意の積雪層構造、積雪深に対応した積雪アルベド物理モデルを開発した⁸⁾。このモデルでは積雪中の積雪不純物 (BC とダスト)、積雪粒径、密度等の鉛直構造及び下向き全天日射量を入力し、可視、近赤外、短波長領域における広波長帯域アルベド及び積雪中の短波放射加熱量の鉛直分布を計算できる。図3は札幌における2冬期間の3波長帯域のアルベドの観測値と積雪アルベド物理モデルによる計算値の比較例である。2冬期間の二乗平均平方根誤差 (RMSE) は可視、近赤外、短波の各波長域に対してそれぞれ 0.049、0.056、0.047 と高精度であった。このモデルは次に述べる SMAP モデルに内蔵することにより、気象研究所の地球システムモデル (ESM) に移植された。

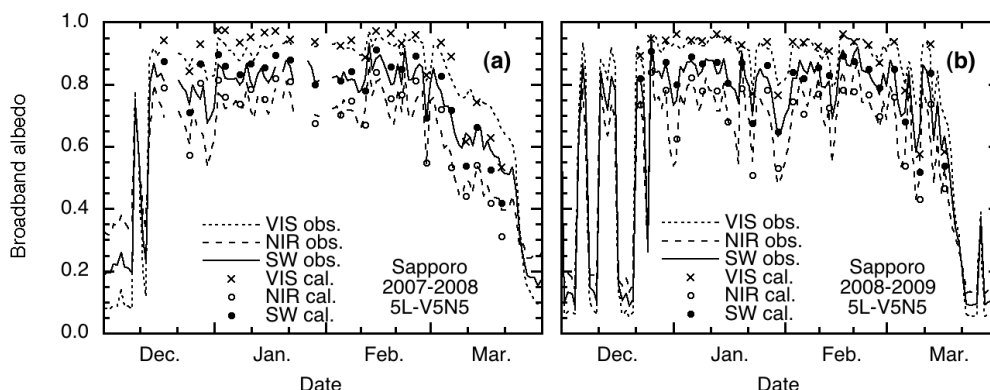


図3 2007-2008年及び2008-2009年冬期の札幌における正午の可視域 (VIS)、近赤外域 (NIR)、短波長域 (SW) アルベドの観測値と積雪アルベド物理モデルによる計算値の比較。

積雪アルベド物理モデルでは短波放射加熱量の鉛直分布を計算することができるが、太陽光が積雪内部に入射する深さは、波長によって大きく異なる。図5は波長分解能の高い精密放射伝達モデル⁹⁾によって計算した積雪内部における波長別短波放射加熱量である。積雪粒径が $50 \mu\text{m}$ ($1000 \mu\text{m}$) の場合、波長 $1.4 \mu\text{m}$ 以上では短波放射の大半は表層 1 mm (10 mm) 以下の表面付近で吸収されるが、それより短波長側ではより深い層で吸収され、その程度は粒径の違い (図 4a と 4b)、不純物の有無 (図 4a と 4c)、(図 4b と 4d) で大きく異なることが分かった。積雪アルベド物理モデルではホストモデルの計算時間を考慮し、波長バンドを可視域、

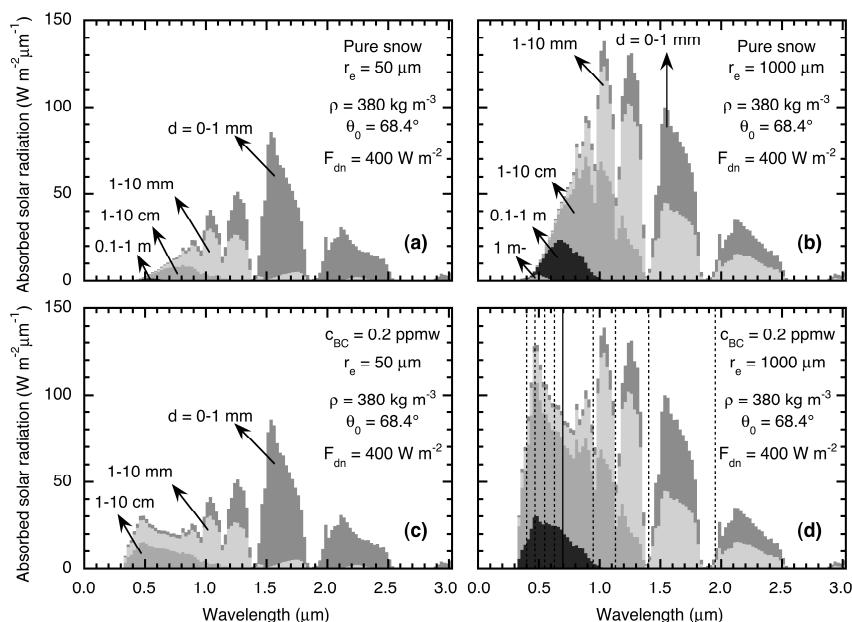


図4 高波長分解能放射伝達モデルによる各積雪層当たりの短波放射加熱量の波長分布。積雪粒子の有効半径 (r_e) は (a, c) $50 \mu\text{m}$ 、(b, d) $1000 \mu\text{m}$ 、積雪中 BC 濃度 (c_{BC}) は (a, b) ゼロ、(c, d) 0.2 ppmw 。 ρ は積雪密度、 θ_0 は太陽天頂角、 F_{dn} は全天日射量を表す。

近赤外域それぞれ最大 5 バンド (図 4d 破線) に分割して計算している。精密放射伝達モデルとの比較の結果、可視域、近赤外域共に最低 3 サブバンドが必要であることが分かった⁹⁾。

(3) 積雪変質・アルベドプロセスモデル (SMAP) の開発とその検証

SMAP モデルは、前述の積雪アルベド物理モデルを組み込んだ鉛直一次元の積雪変質モデルで、圧密、融解・再凍結、水分移動、積雪変態などの積雪物理過程を考慮して、積雪の熱収支・質量収支を計算する¹⁰⁾。気象データと積雪不純物濃度を入力し、積雪深、雪面温度、積雪アルベド、積雪粒径、雪質などの積雪物理量が計算される。2007-2009 年の 2 冬期間に札幌において観測された気象データと積雪不純物濃度データを入力値として SMAP モデルを実行し、モデルの精度評価を行った。2007-2008 年冬期は平年並みの寒さ (図 5a) であったのに対して、2008-2009 年冬期は暖冬 (図 5b) であった。また、積雪断面観測による雪質は 2007-2008 年が乾雪主体、2008-2009 年が湿雪主体であった。積雪深の計算結果はこれら 2 年間に於ける RMSE がそれぞれ 0.064 m、0.075 m と良好な結果であった (図 5c-d)。また、積雪アルベドの RMSE はそれぞれの年に 0.052、0.091 であった。以上の結果より、SMAP の計算精度は乾雪が卓越する場合には良好な結果が得られ、湿雪の場合には改善の余地があることが分かった。

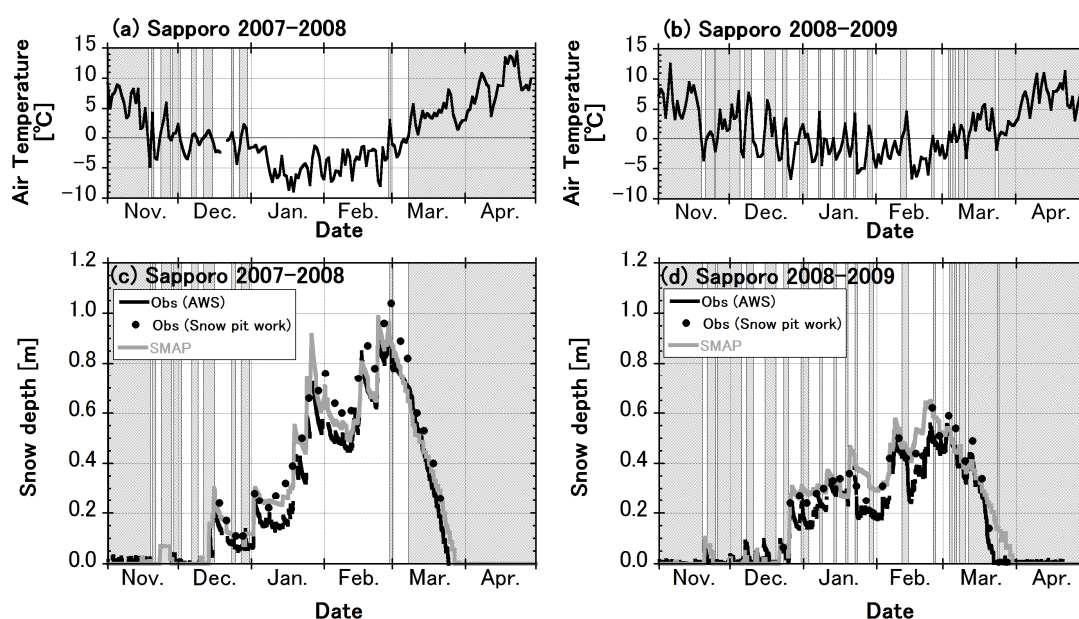


図5 2007-2008年、及び2008-2009年の冬期間に札幌で測定された (a, b) 日平均気温と (c, d) 積雪深の変化。背景を塗りつぶした期間は、日平均気温が 0°C を超えたことを示す。積雪深は自動気象観測装置 (AWS、黒色実線) と積雪断面観測 (黒丸) による測定値とSMAPによる計算値 (灰色実線) を示す。

積雪不純物が気-積雪相互作用に与える影響の評価を見積もるため、積雪不純物の有無についてSMAPモデルによる感度実験を行った。積雪中のBCとダスト濃度を入力して計算した積雪深 (SMAP CTL) と不純物なしで計算した積雪深 (SMAP PURE) を図6に示す。これらの積雪継続期間の差から、札幌の2冬期間の融雪が積雪不純物によってそれぞれ19日、16日早められていたことが分かった。

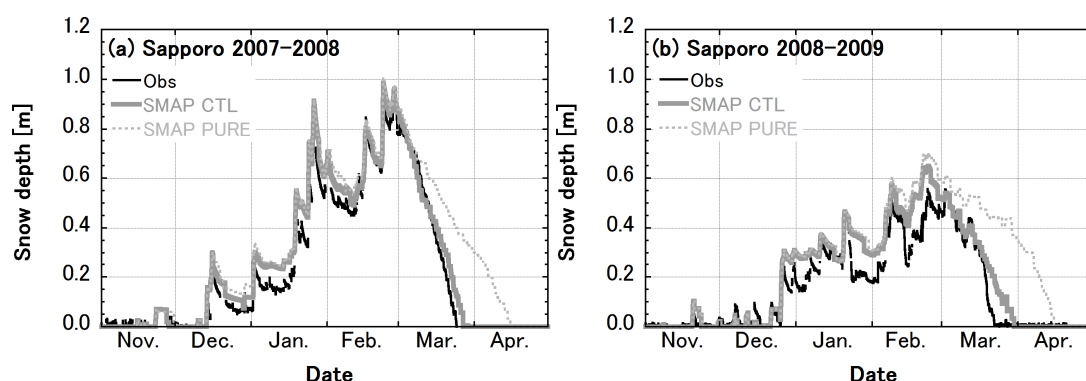


図6 札幌における (a) 2007-2008年冬期、(b) 2008-2009年冬期間の積雪深の観測値（黒色実線）及び、SMAPによって計算した不純物あり（CTL、灰色太実線）と不純物なし（PURE、灰色点線）の条件に対する積雪深の変化。

(4) 積雪物理量の衛星リモートセンシング

2012年6月から7月にかけて北西グリーンランド氷床上のSIGMA-Aサイト ($78^{\circ} 03' N$, $67^{\circ} 38' W$, 1,490 m a. s. l.) において実施された地上検証観測データを使用して、衛星リモートセンシングによる積雪粒径と積雪中BC濃度の抽出¹¹⁻¹³⁾精度を検証した。表層（表面から厚さ5 mm）積雪粒径の抽出結果は、Terra/MODISとAqua/MODISを使用した場合で大きな違いは見られなかった（図7a）。表層粒径は0-2 cm層の粒径実測値、及び地上における分光器反射率測定値によるリモートセンシング値（GRS）と良く一致し、7月4、5日の表面霜に伴う粒径の減少も捉えられていた。一方、Aqua/MODISデータから抽出した積雪中BC濃度は2.5-15 ppbwの範囲で変動し、積雪サンプルから測定したEC濃度実測値、そのBC等価濃度、及びGRSと概ね一致した（図7b）。しかし、Terra/MODISデータを使用した場合には1桁程度過大評価となった。この原因はTerra/MODIS Level1BのVer. 5データを使ったため、そのデータに含まれる可視域センサーの経年劣化の影響と考えられる。

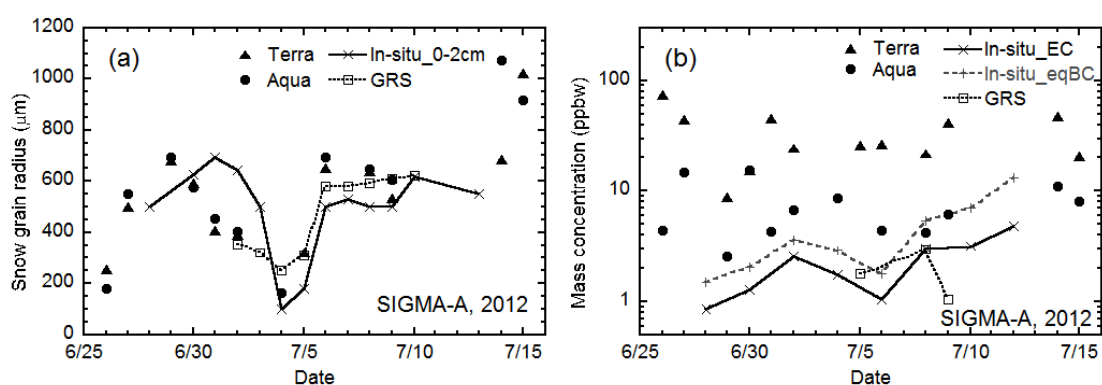


図7 Terra/MODIS 及び Aqua/MODIS データから抽出した SIGMA-A サイトにおける 2012 年 6-7 月の積雪物理量と実測値との比較。(a) 表層積雪粒径、(b) 積雪中 BC 濃度。GRS (ground-based remote sensing values) は地上における分光反射率測定値から抽出した値を示す。

グリーンランド氷床表面状態の長期的な変化を捉えるため、2000 年から 2013 年の 7 月の Terra

衛星/MODIS データを用いて、表層積雪粒径 (図 8a) と積雪中 BC 濃度 (図 8b) の長期変動を求めた。その結果、近年 (2009-2012 年) において表層積雪粒径の増加が顕著で、特に氷床表面全面融解を記録した 2012 年¹⁴⁾にはグリーンランド全域で大きな値を記録した。しかし、14 年間の期間中、単純な増加トレンドではなく、最近の 2013 年は 2000 年のレベルであった。涵養域における積雪中 BC 濃度は 2004 年頃から増加傾向に見えるが、衛星から検知できるほどその濃度は高いものではなく、これは前章同様 Terra 衛星/MODIS 可視域センサーの経年劣化の影響を受けたことが原因と思われる。それら積雪物理量のアルベドに対する影響を調べるため、前章で述べた北西グリーンランド氷床上の SIGMA-A サイトにおける、MODIS データから求めた表層積雪粒径と MODIS アルベドプロダクトの経年変化を図 8c に示す。表層積雪粒径の増加に対応してアルベド低下が見られる。積雪粒径は気温の上昇に伴って増加するため¹²⁾、アルベド変動には気温の変化に伴う積雪粒径の変化が大きく関与していることが示唆される。一方、同様に MODIS データから求めた BC 濃度とアルベドの関係 (図 8d) は不明瞭で、衛星抽出 BC 濃度がセンサー劣化の影響を受けていることを考え合わせると、アルベド変動には積雪中の BC が大きく寄与していないものと考えられる。しかしながら、2012 年 7 月の氷床表面全面融解時に、SIGMA-A サイトでは表面融解に伴って積雪不純物 (BC とダスト) の表面濃縮現象が観測され、その結果、アルベド低下量は最大 0.03 と見積もられた¹⁵⁾ことから、今後も引き続き積雪中の光吸収性エアロゾルの監視が必要である。

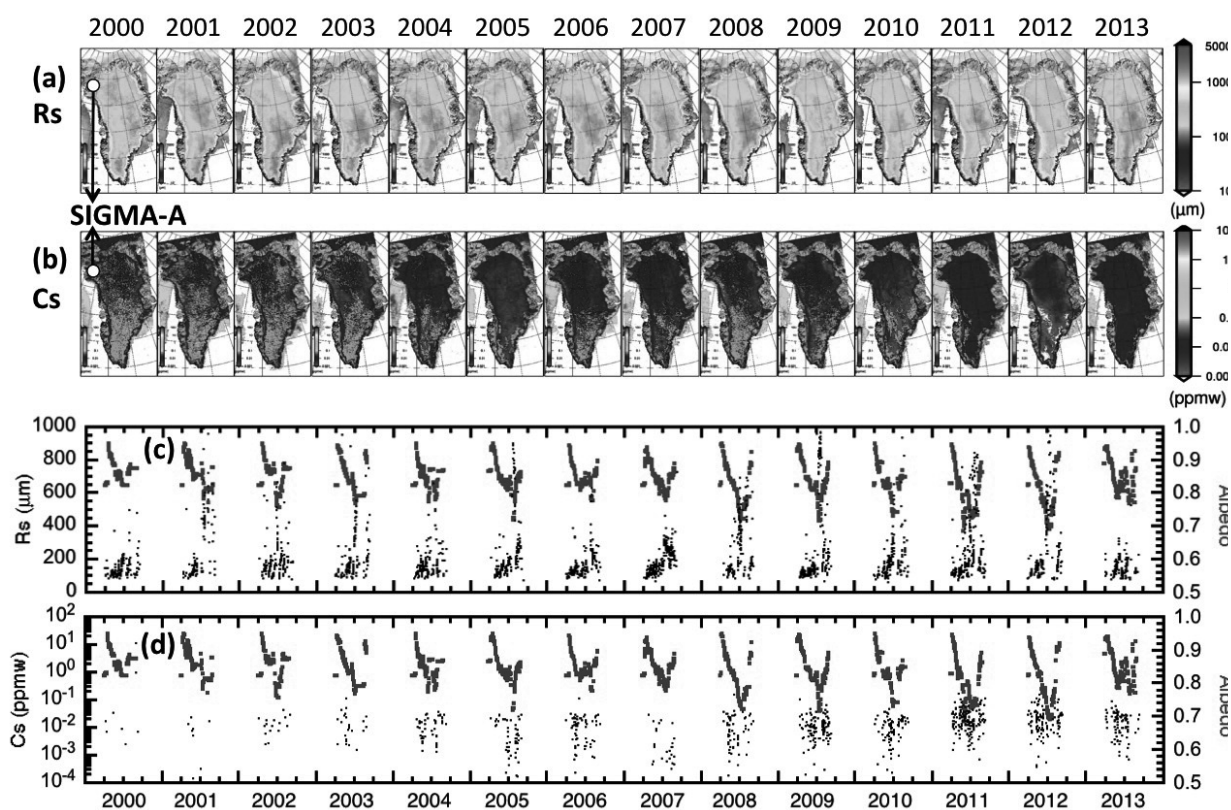


図 8 Terra 衛星/MODIS データから抽出したグリーンランド全域における、(a) 表層積雪粒径 (R_s)、(b) 積雪中 BC 濃度 (C_s) の 7 月平均値の経年変化、及び SIGMA-A サイトにおける MODIS データから抽出した (c) 表層積雪粒径とアルベド (MODIS アルベドプロダクト) 及び (d) 積雪中 BC 濃度とアルベドの比較。SIGMA-A の位置は図 8a-b の 2000 年の図に丸で示す。

5. 本研究により得られた成果

・積雪不純物の分析における濾過フィルター捕捉率の評価等の実験を行い、積雪中EC, OC, ダスト濃度の分析方法を確立させた。この方法を用いて、札幌における過去6冬期間の積雪不純物濃度を長期解析したところ、季節変化は観測されたが、顕著な経年トレンドはないことがわかった。また、札幌と芽室において全天分光日射計観測を行い、積雪中BC濃度を抽出した。郊外の芽室よりも都市部の札幌において積雪中BC濃度は高濃度となった。さらに、アルゴリズムで使用される不純物混合状態モデルを検証したところ、場所や季節によって最適な混合状態モデルが異なることが分かった。

・積雪粒径、不純物濃度、積雪深、密度等の任意の積雪構造、任意の日射条件に対して可視・近赤外域のアルベド及び積雪中の短波放射加熱分布を物理的に計算できる積雪アルベド物理モデルを開発した。このモデルを札幌における放射・積雪観測データによって検証した結果、高精度でアルベドを再現できることが分かった。さらに、波長分解能の高い精密放射伝達モデルによる積雪内部における波長別短波放射加熱量の計算から、波長 1.4 μm 以上では放射量の大半が表面付近の積雪によって吸収され、それより短波長側ではより深い層で吸収されるが、その程度は積雪粒径や不純物濃度に依存して大きく異なることが分かった。

・圧密、融解・再凍結、水分移動、積雪変態などの積雪物理過程を考慮して、積雪の熱収支・質量収支を計算するための鉛直次元積雪変質モデルSMAPを開発した。このモデルでは気象データと積雪不純物濃度を入力することにより、積雪深、雪面温度、積雪アルベド、積雪粒径、雪質などの積雪物理量の時間変化を計算することができる。このモデルを用いて、積雪不純物の効果についての感度実験を行った結果、札幌の融雪が積雪不純物によって2週間以上早められていることが分かった。このモデルは積雪アルベド物理モデルとともに気象研究所の地球システムモデルへ組み込まれ、IPCC AR5のための気候シミュレーションにおいて使用された。

・北西グリーンランド氷床上における地上観測データを用いて、Terra, Aqua 衛星/MODIS センサーデータから抽出した積雪粒径と積雪中 BC 濃度を検証した。その結果、Terra/MODIS センサーの感度劣化によって積雪中 BC 濃度は過大評価されているものの、その他の積雪物理量については概ね良好な精度で抽出されていることが確認された。

・Terra 衛星/MODIS センサーデータからグリーンランド全域における 2000-2013 年の表層積雪粒径と積雪中 BC 濃度を抽出し、長期変動を解析した結果、2009-2012 年の近年に積雪粒径の増加が顕著で、特に表面融解を記録した 2012 年にはグリーンランド全域で大きな値を記録した。一方、涵養域における積雪中 BC 濃度は衛星から検知できるほどその濃度は高いものではなかった。その結果、アルベド変動には積雪中の BC は大きく寄与しておらず、気温変化に伴う積雪粒径変化が大きく関与していることが示唆された。

6. 引用文献

- 1) Stroeve, J., M., M. M. Holland, J. Maslanik, W. Meier, T. Scambos, and M. Serreze, (2007), Arctic sea ice decline: faster than forecast, *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L09501, doi: 10.1029/2007GL029703.
- 2) Aoki, Te., A. Hachikubo, and M. Hori, 2003: Effects of snow physical parameters on

- broadband albedos. *J. Geophys. Res.*, **108**, 4616, doi:10.1029/2003JD003506.
- 3) IPCC, 2007: *Climate Change 2007*, Cambridge University Press, NY, USA.
 - 4) Warren, S. G., Optical properties of snow. *Rev. Geophys. Space Phys.*, **20**, 67-89, 1982.
 - 5) Aoki, Te., H. Motoyoshi, Y. Kodama, T. J. Yasunari, K. Sugiura, and H. Kobayashi, 2006: Atmospheric aerosol deposition on snow surfaces and its effect on albedo. *SOLA*, **2**, 013-016, doi:10.2151/sola.2006-004.
 - 6) 青木輝夫, 田中泰宙, 2011: 7 章「雪氷中の光吸収性エアロゾル」(p.95-106), *気象研究ノート*第 222 号「北極の気象と海洋」, pp.171.
 - 7) Kuchiki, K, Te. Aoki, T. Tanikawa, and Y. Kodama, 2009: Retrieval of snow physical parameters using a ground-based spectral radiometer, *Appl. Opt.*, **48**, 5567-5582.
 - 8) Aoki, Te., K. Kuchiki, M. Niwano, Y. Kodama, M. Hosaka, and T. Tanaka, 2011: Physically based snow albedo model for calculating broadband albedos and the solar heating profile in snowpack for general circulation models, *J. Geophys. Res.*, **116**, D11114, doi:10.1029/2010JD015507.
 - 9) Aoki, Te., Ta. Aoki, M. Fukabori, A. Hachikubo, Y. Tachibana and F. Nishio, 2000: Effects of snow physical parameters on spectral albedo and bidirectional reflectance of snow surface, *J. Geophys. Res.*, **105**, 10219-10236, doi:10.1029/1999JD901122.
 - 10) Niwano, M., Te. Aoki, K. Kuchiki, M. Hosaka, and Y. Kodama, 2012: Snow Metamorphism and Albedo Process (SMAP) model for climate studies: Model validation using meteorological and snow impurity data measured at Sapporo, Japan, *J. Geophys. Res.*, **117**, F03008, doi:10.1029/2011JF002239
 - 11) Stamnes, K., W. Li, H. Eide, Te Aoki, M. Hori, and R. Storvold, 2007: ADEOS-II/GLI snow/ice products: Part I: Scientific basis. *Remote Sens. Environ.*, **111**, 258-273, doi:10.1016/j.rse.2007.03.023.
 - 12) Hori, M., Te. Aoki, K. Stamnes, and W. Li, 2007: ADEOS-II/GLI snow/ice products - Part III: Retrieved results. *Remote Sens. Environ.*, **111**, 291-336, doi:10.1016/j.rse.2007.01.025.
 - 13) Aoki, Te., M. Hori, H. Motoyoshi, T. Tanikawa, A. Hachikubo, K. Sugiura, T. J. Yasunari, R. Storvold, H. A. Eide, K. Stamnes, W. Li, J. Nieve, Y. Nakajima, and F. Takahashi, 2007: ADEOS-II/GLI snow/ice products: Part II - Validation results using GLI and MODIS data. *Remote Sens. Environ.*, **111**, 274-290, doi:10.1016/j.rse.2007.02.035.
 - 14) Nghiem, S. V., Hall, D. K., Mote, T. L., Tedesco, M., Albert, M. R., Keegan, K., Shuman, C. A., DiGirolamo, N. E. and Neumann, G. (2012): The extreme melt across the Greenland ice sheet in 2012. *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L20502, doi:10.1029/2012GL053611.
 - 15) Aoki, T., S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, M. Niwano, K. Kuchiki, K. Adachi, J. Uetake, H. Motoyama, and M. Hori, 2014: Light-absorbing snow impurity concentrations measured on Northwest Greenland ice sheet in 2011 and 2012, *Bull. Glaciol. Res.*, **32A**, http://dx.doi.org/10.5331/bgr.32.**, (in press).

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表 (学術誌 ※査読のあるものに限ります。)

- ① 青木輝夫: 天気, 56, 73-74 (2009)
「積雪のエアロゾル効果」
- ② 青木輝夫: エアロゾル研究, 25, 240-246 (2010)
「極域における雪氷中の光吸収性エアロゾルとその光学特性」
- ③ Yasunari, T. J., R. D. Koster, K. - M. Lau, T. Aoki, Y. C. Sud, T. Yamazaki, H. Motoyoshi, and Y. Kodama: J. Geophys. Res., 116, D02210, doi:10.1029/2010JD014861 (2011)
“Influence of dust and black carbon on the snow albedo in the NASA Goddard Earth Observing System version 5 land surface model”
- ④ Aoki, T., K. Kuchiki, M. Niwano, Y. Kodama, M. Hosaka, and T. Tanaka: J. Geophys. Res., 116, doi:10.1029/2010JD015507
“Physically based snow albedo model for calculating broadband albedos and the solar heating profile in snowpack for general circulation models”
- ⑤ Kuchiki, K., Te. Aoki, M. Niwano, H. Motoyoshi, and H. Iwabuchi, 2011:, *J. Geophys. Res.*, **116**, D18110, doi:10.1029/2011JD016070.
“Effect of sastrugi on snow bidirectional reflectance and its application to MODIS data”
- ⑥ 青木輝夫, 田中泰宙: 気象研究ノート第 222 号「北極の気象と海洋」(共著) 7 章, 日本気象学会, 95-106 (2011)
「雪氷中の光吸収性エアロゾル」
- ⑦ 青木輝夫, 2011: 気象研究ノート第 223 号「気象・気候学のための最新放射計算技術とその応用」(共著), 日本気象学会, 123-141 (2011).
「積雪内の放射計算」
- ⑧ Kokhanovsky, A., V. V. Rozanov, T. Aoki, D. Odermatt, C. Brockmann, O. Krüger, M. Bouvet, M. Drusch, and M. Hori, 2011: *Int. J. Remote Sens.*, **32**, 6975-7008, doi:10.1080/01431161.2011.560621.
“Sizing of snow grains using backscattered solar light”
- ⑨ Aoki, T.: Light Scattering Reviews 7, A. A. Kokhanovsky, (Editor), Praxis Publishing, Chichester, UK, 151-187 (2012)
“Reflection properties of snow surfaces”
- ⑩ Niwano, M., T. Aoki, K. Kuchiki, M. Hosaka, and Y. Kodama, 2012: *J. Geophys. Res.*, **117**, F03008, doi:10.1029/2011JF002239 (2012)
“Snow Metamorphism and Albedo Process (SMAP) model for climate studies: Model validation using meteorological and snow impurity data measured at Sapporo, Japan”
- ⑪ Hori, M., T. Aoki, K. Stamnes, T. Tanikawa, W. Li, and N. Chen: *Proc. SPIE*, **8528**, (Earth Observing Missions and Sensors: Development, Implementation, and Characterization II, edited by Haruhisa Shimoda and Xiaoxiong Xiong, Editors),

852819, doi: 10.1117/12.977251 (2012)

“An overview of the cryosphere products and validation plans for GCOM-C1/SGLI observations”

- ⑫ Aoki, T., K. Kuchiki, M. Niwano, S. Matoba, J. Uetake, K. Masuda, and H. Ishimoto: *RADIATION PROCESSES IN THE ATMOSPHERE AND OCEAN (IRS2012)*, Robert Cahalan and Jürgen Fischer (Eds), AIP Conf. Proc. 1531, 176-179, doi: 10.1063/1.4804735 (2013)
“Numerical Simulation of Spectral Albedos of Glacier Surfaces Covered with Glacial Microbes in Northwestern Greenland”
- ⑬ Hori, M., T. Tanikawa, T. Aoki, A. Hachikubo, K. Sugiura, K. Kuchiki, and M. Niwano: *RADIATION PROCESSES IN THE ATMOSPHERE AND OCEAN (IRS2012)*, Robert Cahalan and Jürgen Fischer (Eds), AIP Conf. Proc. 1531, 316-319; doi: 10.1063/1.4804770 (2013)
“Possibility to discriminate snow types using brightness temperatures in the thermal infrared wavelength region”
- ⑭ Wiebe, H., G. Heygster, E. Zege, T. Aoki, and M. Hori: *Remote Sens. Environ.*, **128**, 11-20, doi: 10.1016/j.rse.2012.09.007 (2013)
“Snow grain size retrieval SGSP from optical satellite data: Validation with ground measurements and detection of snow fall events”
- ⑮ 八久保晶弘, 山口悟, 谷川朋範, 堀雅裕, 杉浦幸之助, 庭野匡思, 朽木勝幸, 青木輝夫: *北海道の雪氷*, **31**, 45-48 (2012)
“ガス吸着法による積雪比表面積測定装置の開発”
- ⑯ Yasunari, T. J., K.-M. Lau, S. P. P. Mahanama, P. R. Colarco, A. M. da Silva, T. Aoki, K. Aoki, N. Murao, S. Yamagata, and Y. Kodama: *SOLA*, **10**, 50-55, doi:10.2151/sola.2014-011, (in press).
“The Goddard Snow Impurity Module (GOSWIM) for the NASA GEOS-5 Earth System Model: Preliminary comparisons with observations in Sapporo, Japan”
- ⑰ Sugiyama, S., D. Sakakibara, S. Matsuno, S. Yamaguchi, S. Matoba, and T. Aoki: *Ann. Glaciol.*, **55**, 25-33, doi: 10.3189/2013AoG66A102 (2014)
“Initial field observations on Qaanaaq ice cap in northwestern Greenland”
- ⑱ Aoki, T., S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, M. Niwano, K. Kuchiki, K. Adachi, J. Uetake, H. Motoyama, and M. Hori: *Bull. Glaciol. Res.*, **32A**, http://dx.doi.org/10.5331/bgr.32A.** (2014), (in press)
“Light-absorbing snow impurity 1 concentrations measured on Northwest Greenland ice sheet in 2011 and 2012”
- ⑲ Hori, M., T. Aoki, T. Tanikawa, K. Kuchiki, M. Niwano, S. Yamaguchi, and S. Matoba: *Bull. Glaciol. Res.*, **32A**, http://dx.doi.org/10.5331/bgr.32A.**, (2014), (in press)
“Dependence of thermal infrared emissive behaviors of snow cover on the surface snow type”
- ⑳ Yamaguchi, S., H. Motoyoshi, T. Tanikawa, T. Aoki, M. Niwano, Y. Takeuchi, and Y.

Endo: *Bull. Glaciol. Res.*, **32A**, http://dx.doi.org/10.5331/bgr.32A.** (2014), (in press)

“Application of snow specific surface area measurement using an optical method based on infrared reflectance with 900 nm wavelength to the wet snow zones in Japan”

- 21 Niwano, M., T. Aoki, K. Kuchiki, M. Hosaka, Y. Kodama, S. Yamaguchi, H. Motoyoshi, and Y. Iwata: *Bull. Glaciol. Res.*, **32A**, http://dx.doi.org/10.5331/bgr.32A.** (2014), (in press)

“Evaluation of updated physical snowpack model SMAP”

- 22 Hachikubo, A., S. Yamaguchi, H. Arakawa, T. Tanikawa, M. Hori, K. Sugiura, S. Matoba, M. Niwano, K. Kuchiki, and T. Aoki: *Bull. Glaciol. Res.*, (in press).

“Effects of temperature and grain type on time variation of snow specific surface area”

(2) 口頭発表

- ① Aoki, Te., K. Kuchiki, M. Niwano, E. Tanaka, S. Hasegawa, and Y. Kodama: 日本地球惑星科学連合 2009 年度合同大会 (予稿集), 2006 年 5 月, 千葉 (2009)
“Long-term variations of snow impurity concentrations and albedo in Sapporo”
- ② 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸: 日本気象学会 2009 年度春季大会 (講演予稿集), 2009 年 5 月, つくば, D153 (2009)
「札幌における冬季雪面熱収支」
- ③ 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 本吉弘岐, 兒玉裕二, 2009: 日本雪氷学会/日本雪工学会 雪氷研究大会 (2009・札幌) (講演要旨集), 2009 年 9 月, 札幌, C1-04 (2009)
「札幌の積雪中炭素及びダスト濃度変化」
- ④ 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 2009: 日本雪氷学会/日本雪工学会 雪氷研究大会 (2009・札幌) (講演要旨集), 札幌, 2009 年 9 月, P1-30 (2009)
「SNOWPACK によって再現された札幌の積雪状態」
- ⑤ 朽木勝幸, 青木輝夫, 庭野匡思, 2009: 日本気象学会 2009 年度秋季大会 (講演予稿集), 2009 年 11 月, 福岡, P354 (2009)
「積雪不純物濃度測定における濾過フィルターの違い」
- ⑥ 田中泰宙, 青木輝夫, 保坂征宏, 足立恭将, 2009: 日本気象学会 2009 年秋季大会 (講演予稿集), 2009 年 11 月, 福岡, p. 385 (2009)
「鉱物ダストおよび黒色炭素エアロゾル沈着を考慮した雪氷面アルベド 2 層モデルの開発」
- ⑦ Tanaka, T, Te. Aoki, M. Hosaka, Y. Adachi, 2009: AGU Fall Meeting, Dec. 14-19, 2009, San Francisco, USA (2009)
“Simulation of the effect of mineral dust and black carbon deposition on snow surface”
- ⑧ Aoki, Te. and T. Tanaka, 2009: International Workshop “Frontiers of Black Carbon Studies”, University of Tokyo, Jan. 25, 2010, Tokyo (2010)

“Effect of BC in snowpack on radiation budget in Sapporo, Japan”

- ⑨ 青木輝夫, 庭野匡思, 朽木勝幸, 保坂征宏, 2009:積雪の構造と変質に関するワークショップ, 防災科学技術研究所, 2010年3月19日, 長岡 (2010)
「気候モデリングのための積雪変態・アルベドモデル」
- ⑩ 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 保坂征宏, 日本気象学会 2010 年度春季大会, 2010 年 5 月, 東京, B103 (2010)
「積雪変態・アルベドプロセスモデル (SMAP) 」
- ⑪ 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 兒玉裕二, 日本地球惑星科学連合 2010 年度合同大会, 2010 年 5 月, 千葉, ACC023-05 (2010)
「札幌における放射収支・積雪断面観測データによる積雪アルベド物理モデルの検証」
- ⑫ 兒玉裕二, 西村浩一, 山崎剛, 鈴木和良, 庭野匡思, 青木輝夫, 保坂征宏, 日本地球惑星科学連合 2010 年度合同大会, 2010 年 5 月, 千葉, ACC023-P03 (2010)
「積雪変態モデルの比較」
- ⑬ Niwano, M., Te. Aoki, K. Kuchiki and M. Hosaka, *International Symposium on snow, ice and humanity in a changing climate*, International Glaciology Society, 21-25 June 2010, Sapporo, Japan (2010)
” Effects of snow impurities on snowpack structure in Sapporo, Japan assessed by Snow Metamorphism and Albedo Process (SMAP) model”
- ⑭ Kodama, Y., K. Nishimura, T. Yamazaki, K. Suzuki, M. Niwano, Te. Aoki and M. Hosaka, *International Symposium on snow, ice and humanity in a changing climate*, International Glaciology Society, 21-25 June 2010, Sapporo, Japan (2010)
“Inter-comparison of snow cover models for the snowpack in Sapporo, Japan”
- ⑮ 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 堀雅裕, 日本雪氷学会/日本雪工学会 (2010・仙台), 2010 年 9 月, 仙台, P3-14 (2010)
「積雪アルベド物理モデルを用いて衛星データから積雪アルベドを抽出するアルゴリズム」
- ⑯ 朽木勝幸, 青木輝夫, 庭野匡思, 日本雪氷学会/日本雪工学会 (2010・仙台), 仙台, 2010 年 9 月, P2-05 (2010)
「積雪不純物濃度の測定に及ぼす誤差要因の検討」
- ⑰ 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 保坂征宏, 岩田幸良, 廣田知良, 日本雪氷学会/日本雪工学会 (2010・仙台), 仙台, 2010 年 9 月, A1-13 (2010)
「十勝地方に適用した積雪変態・アルベドプロセス (SMAP) モデルの精度評価」
- ⑱ 朽木勝幸, 青木輝夫, 庭野匡思, 日本気象学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月, 京都, P383 (2010)
「全天分光日射計による積雪中黒色炭素・ダスト濃度の推定」
- ⑲ 青木輝夫, 大気・雪氷間の物質循環と南極への物質輸送に関する研究小集会, 2010 年 12 月 17 日, 国立極地研究所 (2010)
「極域におけるブラックカーボン濃度とアルベドへの影響」
- ⑳ Niwano, M., Te. Aoki, K. Kuchiki and M. Hosaka, *Second International Symposium on*

the Arctic Research (ISAR-2), Commission on Earth and Planetary Science, 6-8 December 2010, Tokyo, Japan (2010)

“Snow feedbacks in Snow Metamorphism and Albedo Process (SMAP) model”

- 21 朽木勝幸, 青木輝夫, 庭野匡思, 谷川朋範: 日本気象学会 2011 年度春季大会, 2011 年 5 月, 東京, D406. (2011)
「全天分光日射計による積雪物理量の推定ー積雪 2 層・非球形粒子モデルの導入ー」
- 22 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思: 日本地球惑星科学連合 2011 年度合同大会, 2011 年 5 月, 千葉, ACC028-10. (2011)
「近年観測された積雪中ブラックカーボン濃度と起こりうる積雪粒径変化がアルベドを低下させる効果」
- 23 Aoki, Te., K. Kuchiki, and M. Niwano: International Union of Geodesy and Geophysics 2011, 28 June - 7 July 2011, Melbourne, Australia. (2011)
“Possible snow albedo reduction due to black carbon in snowpack and snow grain size variation on the present earth”
- 24 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 保坂征宏, 兒玉裕二, 岩田幸良: 雪氷研究大会 (2011・長岡), 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2011 年 9 月 20-22 日, 長岡, B2-4, 49. (2011)
「積雪変態・アルベドプロセス (SMAP) モデルへの土壌サブモデルの導入」
- 25 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 保坂征宏, 兒玉裕二: 国立極地研究所第 2 回極域科学シンポジウム, 2011 年 11 月 14-15 日, 立川. (2011)
「積雪変態アルベドプロセスモデルのグリーンランドへの適用」
- 26 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 保坂征宏, 兒玉裕二: 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 11 月 18 日, 名古屋, A364. (2011)
「グリーンランド氷床上積雪の状態変化予測」
- 27 Niwano. M., Te. Aoki, K. Kuchiki, M. Hosaka, and Y. Kodama: C51A-0633, AGU Fall Meeting, 5-8 December 2011, San Francisco, USA. (2011)
“A numerical model to simulate physical states of snowpack for climate studies”
- 28 Aoki., Te., K. Kuchiki, M. Niwano, and Y. Kodama: C41F-08, AGU Fall Meeting, 5-8 December 2011, San Francisco, USA. (2011)
” Accuracy of physically based snow albedo model evaluated with measured data at Sapporo, Japan during five winters from 2006 to 2011”
- 29 Kuchiki, K., Te. Aoki, H. Motoyoshi, M. Niwano, M. Hori, T. Tanikawa, K. Stamnes, W. Li, K. Masuda, H. Ishimoto, and R. Shimada: GCOM PI Workshop 2012, JAXA/EORC, 17-20 January 2012, Tokyo, Japan (2012)
“Snow parameter retrievals in Greenland using two-snow-layer model”
- 30 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 保坂征宏, 兒玉裕二: 第三回積雪モデルに関するワークショップ, 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター, 2012 年 2 月 29 日, 長岡. (2012)
「積雪変態・アルベドプロセスモデルの開発ー精度検証と積雪不純物が融雪に及ぼす影響評価ー」

- 31 朽木勝幸, 青木輝夫, 本吉弘岐, 庭野匡思, 谷川朋範, 堀雅裕, Knut Stamnes, Wei Li, 島田利元: 日本地球惑星科学連合 2012 年度連合大会, 2012 年 5 月 20-25 日, 千葉, ACG37-P01 (2012)
「MODIS から推定された北西グリーンランドにおける積雪物理量経年変化の初期解析結果」
- 32 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 兒玉裕二: 日本気象学会 2012 年度春季大会, 2012 年 5 月 26-29 日, つくば, A201 (2012)
「札幌における積雪中短波放射加熱と不純物による放射強制力」
- 33 朽木勝幸, 青木輝夫, 庭野匡思, 兒玉裕二, 岩田幸良, 谷川朋範, 増田一彦, 石元裕史: 2012: 日本気象学会 2012 年度春季大会, 2012 年 5 月 26-29 日, つくば, P220 (2012)
「全天分光日射計を用いた積雪物理量の推定に及ぼす積雪粒子形状の効果」
- 34 田中泰宙, 青木輝夫, 坂見智法, 保坂征宏, 足立恭将, 行本誠史, 地球システムモデル開発グループ: 日本気象学会 2012 年度春季大会, 2012 年 5 月 26-29 日, つくば, P222 (2012)
「気候モデルによる黒色炭素エアロゾル削減の有効性評価のための感度実験」
- 35 庭野匡思, 青木輝夫, 朽木勝幸, 保坂征宏, 兒玉裕二, 岩田幸良: 日本気象学会 2012 年度春季大会, 2012 年 5 月 26-29 日, つくば, A301 (2012)
「積雪不純物による融雪時期の変化が土壌の物理状態に与える影響」
- 36 Kuchiki, K., Te. Aoki, M. Niwano, Y. Kodama, Y. Iwata, and T. Tanikawa: International Radiation Symposium 2012, 6-10 August 2012, Dahlem Cube, Berlin, Germany, IRS2012-141. (2012)
“Snow physical parameters retrieved from a ground-based spectral radiometer using different shape models of snow particles”
- 37 青木輝夫, 本山秀明: 雪氷研究大会 (2012・福山), 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2012 年 9 月 24-27 日, 福山, 13 (2012)
「企画セッション『急変している地球雪氷圏の観測・監視』(3) 氷床」
- 38 堀雅裕, 谷川朋範, 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 八久保晶弘, 杉浦幸之助: 雪氷研究大会 (2012・福山), 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2012年9月24-27日, 福山, P1-34, 166 (2012)
「雪氷面の熱赤外域射出率のモデル化と雪質分類への応用可能性」
- 39 青木輝夫: 雪氷研究大会 (2012・福山) 雪氷化学分科会講演会, 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2012 年 9 月 24-27 日, 福山, 17 (2012)
「雪氷中の光吸収性エアロゾルと関連プロジェクト紹介」
- 40 朽木勝幸, 青木輝夫, 庭野匡思, 兒玉裕二, 的場澄人: 雪氷研究大会 (2012・福山), 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2012年9月24-27日, 福山, C3-10, 81 (2012)
「札幌における 2007-2012 年の 5 冬期間の積雪不純物濃度」
- 41 朽木勝幸, 青木輝夫, 庭野匡思, 兒玉裕二, 岩田幸良, 谷川朋範: 日本気象学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 10 月 3-5 日, 札幌市, C306 (2012)
「積雪不純物濃度の推定に及ぼす不純物混合状態の効果」

- 42 田中泰宙, 青木輝夫, 坂見智法, 保坂征宏, 足立恭将, 行本誠史, 地球システムモデル開発グループ: 日本気象学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 10 月 3-5 日, 札幌, D365 (2012)
「20 世紀再現実験による吸収性エアロゾルによる積雪汚染」
- 43 堀雅裕, 谷川朋範, 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思: 日本気象学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 10 月 3-5 日, 札幌, P343 (2012)
「衛星搭載熱赤外域バンドを用いた雪氷面上可降水量の抽出手法の検討」
- 44 青木輝夫: 大気・雪氷間の物質循環と南極への物質輸送に関する研究小集会, 国立極地研究所, 2012 年 10 月 15-16 日, 立川市 (2012)
「グリーンランド・カナック域氷床における積雪不純物観測」
- 45 朽木勝幸: グリーンランド氷床の質量変化と全球気候変動への影響に関する研究集会, 北海道大学低温科学研究所, 2012 年 11 月 6-8 日, 札幌市 (2012)
「MODIS から推定された北西グリーンランドにおける積雪不純物濃度と積雪粒径」
- 46 青木輝夫: 第 18 回大気化学討論会, 大気化学研究会・名古屋大学太陽地球環境研究所・福岡大学, 2012 年 11 月 6-8 日, 福岡県朝倉市 (2012)
「光吸収性エアロゾルが積雪アルベドに与える効果のモデリングと観測」
- 47 Aoki Te.: Global Cryosphere Watch (GCW) CryoNet Implementation Meeting, World Meteorological Organization, 20-22 November 2012, ZAMG, Vienna, Austria (2012)
“Possible contribution to GCW from Japan for areas of Antarctica, Svalbard and Greenland”
- 48 青木輝夫, 朽木勝幸, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 庭野匡思, 山崎哲秀, 本山秀明, 堀雅裕, 国立極地研究所, 第3回極域科学シンポジウム, 2012年11月26-30日, 立川 (2012)
「グリーンランド氷床上 SIGMA-A における積雪不純物とアルベド変化」
- 49 Aoki Te., S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, M. Niwano, H. Motoyama, K. Kuchiki: C13F-0712, AGU Fall Meeting 2012, 3-7 December 2012, San Francisco, USA (2012)
“Meteorological and snow properties measured at SIGMA-A site on northwestern Greenland during drastic melting event in July, 2012”
- 50 Aoki, Te., S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, M. Niwano, T. Yamasaki, K. Kuchiki, H. Motoyama, and M. Hori: *Third International Symposium on the Arctic Research (ISAR-3)*, 14-17 January 2013, Tokyo, Japan (2013)
“Intensive observations of meteorological and snow-physical parameters at site SIGMA-A in northwestern Greenland in summer 2012”
- 51 Kuchiki, K., Te. Aoki, H. Motoyoshi, S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, M. Niwano, Rigen S., and T. Yamasaki: *Third International Symposium on the Arctic Research (ISAR-3)*, 14-17 January 2013, Tokyo, Japan (2013)
“Mass concentration of snow impurities and snow grain size on northwestern Greenland Ice Sheet: Comparison between retrieval from MODIS and in-situ measurement”

- 52 Niwano, M., T. Aoki, S. Yamaguchi, S. Matoba, T. Tanikawa, T. Yamasaki, K. Kuchiki, and H. Motoyama, *Third International Symposium on the Arctic Research (ISAR-3)*, 14-17 January 2013, Tokyo, Japan (2013)
 “Numerical simulation of summer snowmelt at site SIGMA-A northwestern Greenland during 2012 intensive observations”
- 53 Aoki, Te., K. Kuchiki, M. Hori., T. Tanikawa, M. Niwano, R. Shimada, and A. Kokhanovsky: *GCOM/EarthCARE/PMM Joint PI Workshop*, JAXA/EORC, 29 January - 1 February 2013, Tokyo, Japan (2013)
 “Validation results of satellite derived snow parameters in Greenland”
- 54 Niwano, M., T. Aoki, S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, H. Motoyama, K. Kuchiki, M. Hosaka, and Y. Kodama: *Snow Grain Size Workshop - Measurements and Applications*, 2-5 April 2013, Grenoble, France (2013)
 “Accuracy of simulated snow grain size and shortwave albedo by a 1-D physical snowpack model SMAP: Model validation at Sapporo, Japan and Greenland”
- 55 Niwano, M., T. Aoki, S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, H. Motoyama, and K. Kuchiki: *EGU General Assembly 2013*, 8-12 April 2013, Vienna, Austria (2013)
 “Evaluation of a 1-D snowpack model SMAP applied in the Greenland ice sheet”
- 56 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 足立光司, 財前祐二, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 山崎哲秀: *日本気象学会2013年度春季大会*, 2013年5月15-18日, 東京, D303 (2013)
 「グリーンランド氷床上SIGMA-Aで観測された光吸収性積雪不純物」
- 57 朽木勝幸, 青木輝夫, 本吉弘岐, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 庭野匡思, 島田利元: *日本気象学会 2013 年度春季大会*, 2013 年 5 月 15-18 日, 東京, P327 (2013)
 「MODISから推定したグリーンランドにおける積雪物理量の検証」
- 58 庭野匡思, 青木輝夫, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 本山秀明, 朽木勝幸, 山崎哲秀: *日本気象学会 2013 年度春季大会*, 2013 年 5 月 15-18 日, 東京, A403 (2013)
 「2012年夏期の北西グリーンランドSIGMA-Aにおける積雪シミュレーション」
- 59 青木輝夫, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 庭野匡思, 山崎哲秀, 朽木勝幸, 本山秀明, 堀雅裕: *日本地球惑星科学連合2013年度連合大会*, 2013年5月19-24日, 千葉市, ACG38-08 (2013)
 「グリーンランドSIGMA-Aで観測された積雪粒径と不純物濃度がアルベドに与える効果」
- 60 朽木勝幸, 青木輝夫, 庭野匡思, 本吉弘岐, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 島田利元: *日本地球惑星科学連合 2013 年度大会*, 2013 年 5 月 19-24 日, 千葉, A-CG39-P02 (2013)
 「地上及び衛星リモートセンシングによって推定された北西グリーンランド氷床上SIGMA-Aにおける積雪粒径」
- 61 庭野匡思, 青木輝夫, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 本山秀明, 朽木勝幸: *日本地球惑星科学連合 2013 年度大会*, 2013 年 5 月 19-24 日, 千葉, A-CG38-09 (2013)
 「積雪変質モデルを用いた、2012年夏期の北西グリーンランドSIGMA-Aにおける急激な表面融解の解析」

- 62 Yasunari, T. J., K.-M. Lau, S. P. P. Mahanama, R. D. Koster, M. Suarez, P. R. Colarco, A. Dasilva, T. Aoki, and Y. Kodama: First Annual Young Scientist Forum, NASA Goddard Space Flight Center, 17 June 2013, Greenbelt, USA. (2013)
 “Introduction of the Goddard Snow Darkening Package for the NASA GEOS-5”
- 63 Aoki, T., S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, M. Niwano, T. Yamasaki, K. Kuchiki, H. Motoyama, and M. Hori: Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly DACA-13, 8-12 July 2013, Davos, Switzerland (2013)
 “Effects of snow grain size and snow impurity concentrations on albedo variation at SIGMA-A on Greenland ice sheet”
- 64 Kuchiki, K., T. Aoki, H. Motoyoshi, S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, M. Niwano, R. Shimada, and T. Yamasaki: Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly DACA-13, 8-12 July 2013, Davos, Switzerland (2013)
 “Comparison of snow physical parameters retrieved from MODIS with in-situ measurements on northwestern Greenland ice sheet”
- 65 田中泰宙, 青木輝夫, 保坂征宏, 足立恭将: 日本エアロゾル学会, 第30回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2013年8月27-29日, 京都 (2013)
 「気候モデルによる光吸収性エアロゾルの影響評価:大気の加熱と積雪汚染(Evaluation of the impacts of light-absorbing aerosols by a climate model: atmospheric heating and snow darkening) 」
- 66 庭野匡思, 青木輝夫, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 朽木勝幸, 橋本明弘, 保坂征宏: 雪氷研究大会 (2013・北見), 日本雪氷学会/日本雪工学会, 2013年9月18-20日, 北見市, B1-8 (2013)
 「グリーンランド氷床上積雪の通年数値シミュレーション」
- 67 青木輝夫, 的場澄人, 谷川朋範, 庭野匡思, 對馬あかね, 山崎哲秀, 山口悟, 朽木勝幸, 堀雅裕, 本山秀明, Jason Box: 第4回極域科学シンポジウム, 国立極地研究所, 2013年11月13-16日, 立川 (2013)
 「北西グリーンランドSIGMA-A, -Bサイトで2012-2013年に観測された気象要素の変化」
- 68 庭野匡思, 青木輝夫, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 山崎哲秀, 朽木勝幸, 本山秀明: 第4回極域科学シンポジウム, 国立極地研究所, 2013年11月13-16日, 立川 (2013)
 「グリーンランド氷床表面の積雪融解に対する積雪粒径プロファイルの影響」
- 69 青木輝夫, 朽木勝幸, 庭野匡思, 的場澄人, 兒玉裕二, 森淳子: 日本気象学会2013年度秋季大会, 2013年11月19-21日, 仙台市, D373 (2013)
 「積雪アルベド物理モデルの再検証」
- 70 朽木勝幸, 青木輝夫, 庭野匡思, 塩原匡貴, 東久美子: 日本気象学会2013年度秋季大会, 2013年11月19-21日, 仙台市, D372 (2013)
 「ニーオルスンにおける積雪不純物濃度と積雪粒径の観測」
- 71 庭野匡思, 青木輝夫, 的場澄人, 山口悟, 谷川朋範, 朽木勝幸, 橋本明弘, 保坂征宏: 日本気象学会2013年度秋季大会, 2013年11月19-21日, 仙台市, P164 (2013)
 「積雪変質モデルを用いたグリーンランド氷床上積雪物理状態の再現」

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

- ① 毎日新聞「没後 50 年中谷宇吉郎博士（下）」（平成 24 年 4 月 24 日、極域の積雪汚染について紹介）
- ② NHK「ニュースウォッチ 9」（平成 24 年 9 月 20 日、北極海海氷最小記録更新に関する衛星データについて 10 分ほど解説）
- ③ テレビ朝日「報道ステーション SUNDAY」（平成 24 年 10 月 14 日、「北極“異変”が日本にも影響」で積雪汚染について 15 分ほど紹介）
- ④ 朝日新聞（平成 24 年 6 月 30 日、全国版、「探れ 氷とけるメカニズム」記事で積雪汚染について紹介）
- ⑤ 朝日新聞（平成 24 年 7 月 19 日、全国版、「とけるグリーンランド」、記事で積雪不純物について紹介）
- ⑥ 共同通信（平成 24 年 8 月 6 日、山形新聞など 5 誌、「急激に進む氷床融解」、記事で積雪不純物について紹介）
- ⑦ 日本経済新聞，（平成 25 年 6 月 30 日、全国版、「北極で微生物が大繁殖」、記事で積雪不純物について紹介）。

(6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

海洋政策研究財団「北極海航路における船舶からのブラックカーボンに関する調査研究委員会」の検討において、本研究成果である積雪アルベド物理モデルの概念がH24年度の報告書（海洋政策研究財団，2012）の主に5章で活用された。

引用文献

海洋政策研究財団（2012）：H24年度北極海航路における船舶からのブラックカーボンに関する調査研究報告書，平成25年3月発行，ISBN978-4-88404-300-1，pp.168.