

アジア高山域における近年の不均一な氷河変動の要因

Attribution of inhomogeneous glacial fluctuation in High-Mountain Asia

*坂井 亜規子¹、藤田 耕史¹*Akiko Sakai¹, Koji Fujita¹

1.名古屋大学大学院環境学研究科

1.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

近年海水準を上昇させる要因として、温暖化による山岳氷河縮小の影響が危惧されており、特にアジア高山域に分布する氷河は、将来人口増加が見込まれる中国やインドの給水塔としての役割があるため、その変動に注目が集まっている。このためアジア高山域の氷河はここ数年でICESatなどの衛星による氷河の変動が研究されてきた。特に明らかになったのは、氷河縮小の激しい横断山脈、ヒマラヤ南面とは対照的に、カラコラムや崑崙山脈の氷河は質量がほとんど変化していないということであった。

氷河変動は、気温と降水量の変動という外的要因のみではなく、氷河自身の持つ気候変動に対する応答という大きく分けて二つの要因からなる。アジアの氷河変動が地域毎に異なる原因として、これまで外的要因からの研究が主であり、カラコラムでは夏気温が下がっていることや、冬期降水量が増加していることが報告されてきた。また氷河の気候変動に対する応答に関しても行われてきたが、地域が限定的であった。そこで本研究では客観解析データの中에서도特に精度が高い気温に注目し、外的要因と氷河の応答の両面から解析を行い、近年の氷河変動の不均一さは、気温上昇が地域毎に異なるという外的要因よりも、氷河自身の持つ気候変動に対する応答が一樣でないことが主な原因であることをつきとめた。

キーワード：アジア高山域、氷河変動、気候変動、質量収支

Keywords: High Mountain Asia, glacier fluctuation, climate change, mass balance

数値氷河水理モデルによる冬期底面環境の探索 -序報-

Exploration of basal condition in winter by numerical glacier hydrological model

-Preliminary results-

*阿部 隆博¹、Werder Mauro²、Funk Martin²、安田 貴俊³、古屋 正人³*Takahiro Abe¹, Mauro Werder², Martin Funk², Takatoshi Yasuda³, Masato Furuya³

1.北海道大学大学院理学院、2.スイス連邦工科大学、3.北海道大学大学院理学研究院

1.Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, 2.VAW, ETH-Zurich, Switzerland,

3.Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University

Ice surface speed is a combination of ice deformation and basal sliding (including sediment deformation under the glacier). Well-known spring/summer speed-up cannot be explained by ice deformation and can only be induced by basal sliding. Faster basal sliding is attributed to higher basal water pressure, which reduces the effective pressure (ice-overburden pressure minus basal water pressure) and lubricates the interface between ice and bed. Many observations and modeling have been performed so far, and basal condition plays a key role in driving seasonal changes in ice speed.

Applying offset tracking method to satellite radar images, we found winter speed-up signals of surge-type glaciers at two distinct setting, Yukon Territory in Canada (Abe and Furuya, 2015) and West Kunlun Shan, in Northwestern Tibet (Yasuda and Furuya, 2015). In Yukon, the winter speed-up from fall to winter was seen at many surge-type glaciers during their quiescent phases. In West Kunlun Shan, seasonal modulations were identified at two active surging glaciers, which are faster from fall to winter and slower from spring to summer. These findings tell us that we have to consider some mechanisms that can increase basal water pressure even at low water flux in winter. Werder et al (2013) developed the 2D subglacial drainage system model (GlaDS), which consists of R-channel conduit and distributed cavity system. Using this model, we have examined how the drainage system evolves from spring to summer, and how it does in the following winter, as well as effective pressure changes. We could show that the effective pressure drops at the same time as the onset of meltwater input. After that, the subglacial drainage system evolves and reaches a steady state. Immediately after the onset of the melting season, spring/summer speed-up event occurs. At the end of the season, when meltwater input ceases, the effective pressure remains a high value in winter. This is because there is no water input and the channels close due to creep closure. In our presentation, we will show the time evolution of the drainage system during melting season, and discuss how it does in winter with some assumptions.

キーワード：氷河水文学、数値モデル、底面環境、冬

Keywords: Glacial hydrology, Numerical modeling, Basal condition, Winter

A study on the glacial dynamics in central Karakorum

*Muhammad Usman¹, Masato FURUYA¹

1.Space Geodesy Research Section, Division of Earth and Planetary Dynamics, Department of Natural History Science, School of Science, Hokkaido University

The regions of high-mountains are frequently called “water towers” for the lowlands and a precise knowledge of the characteristics is required for their proper management. The glaciers provide water by melt down not only to the people living close to the mountains but also contribute runoff to the lowlands and recharge the river fed aquifers and finally effect the global sea level change. After Alaska and Arctic regions, the Karakorum-Himalaya (K-H) area constitutes the second largest glacial cover of the Earth. The Karakoram glaciers are fed by precipitation and avalanche. Based on previous studies, surges and slight gain in the mass of central Karakorum glaciers has been reported. The surges of individual glaciers are generally out of phase, indicating a limited climatic control on their dynamics. In the present research, the focus is to observe the effect of seasons and earthquake events on the glacial dynamics, in this region.

Keywords: SAR, Pixel Offset, Glacial Dynamics

2015年ネパール・ゴルカ地震で発生したランタン地方大規模雪崩崩落の衛星観測

Remote sensing observations for a catastrophic avalanche collapse in Langtang induced by the Gorkha, Nepal earthquake

*永井 裕人¹、渡邊 学¹、冨井 直弥¹、田殿 武雄¹、鈴木 新一¹*Hiroto Nagai¹, Manabu Watanabe¹, Naoya Tomii¹, Takeo Tadono¹, Shinichi Suzuki¹

1. 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

1. Japan Aerospace Exploration Agency

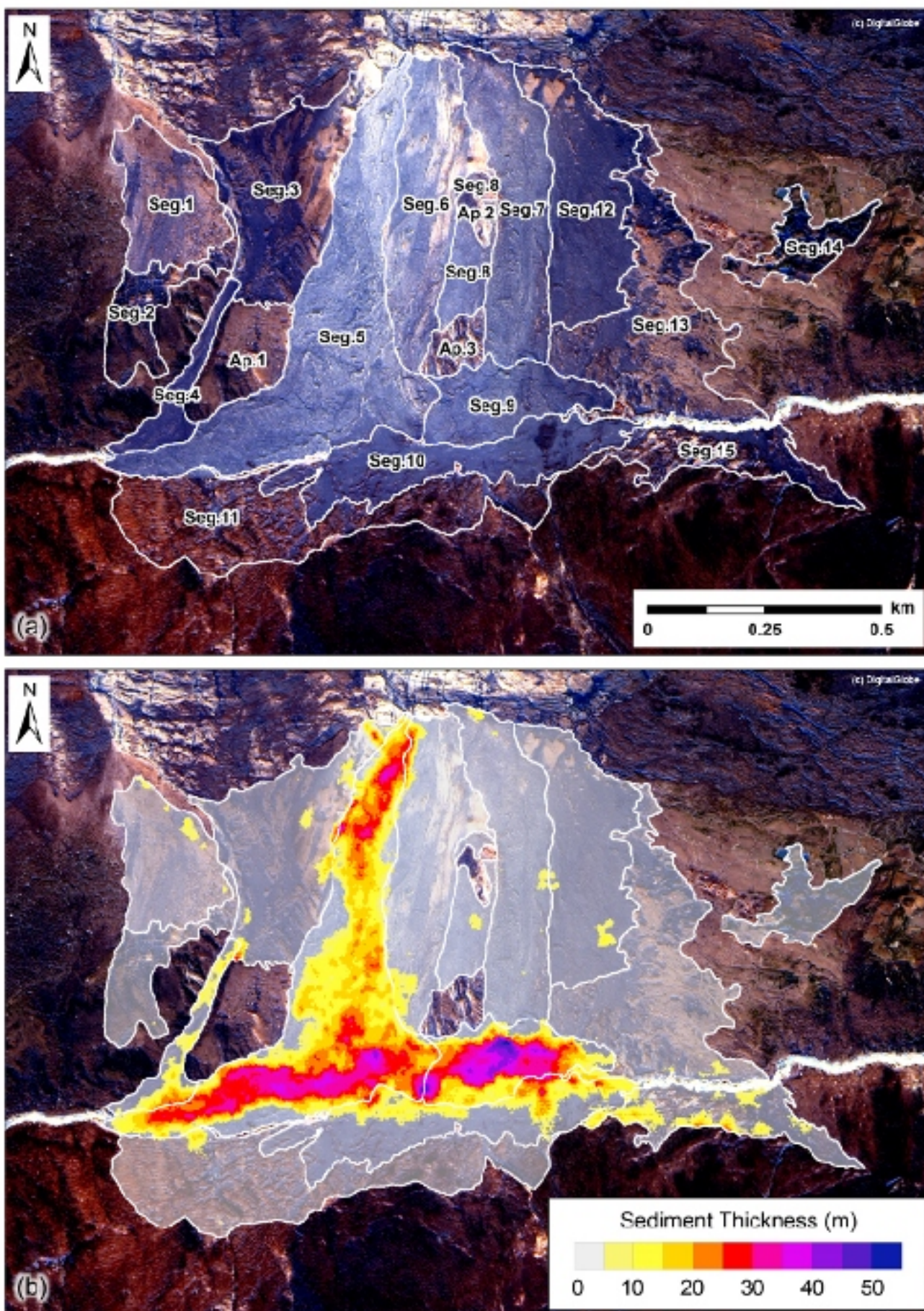
この研究では2015年4月25日に発生したネパール・ゴルカ地震によって誘発された、ネパール・ランタン地域における土砂を含んだ雪崩と思われる大規模な崩落について、衛星データを用いた実態把握を試みた。

陸域観測技術衛星「だいち2号」搭載の合成開口レーダPALSAR-2の観測によって取得された崩落前後の後方散乱強度分布とコヒーレンス低下を画像化し、崩落堆積物を抽出した。後方散乱強度の目視判読・手動抽出からは0.73 km²、コヒーレンス低下が集中する部分の自動抽出からは0.63 km²の範囲が得られ、これらはWorldView-3高分解能光学画像から確認できる1.09km²の堆積物範囲と位置的にも良い一致を示した。合成開口レーダは天候に関わらず観測が可能であり、ネパールをはじめとする湿潤な地域において特に有用である。この結果により、これまで地形条件から不得意とされてきた急峻な山岳地域においても、災害検出に利用できる可能性が示された。

次に、同地域を5月8日に観測したWorldView-3画像（カラー・分解能0.3m）から地表面を判読し、堆積物を15の区域に分類した（Fig. 1a）。堆積物には明暗複数の色の部分があり、斜面を流動した痕跡の有無も確認でき、流動よりも飛散によって広範囲に堆積したとみられる部分もある。これらの違いは、一回の均一な崩落ではなく、雪・氷・土砂を様々な割合で含む堆積物が、異なる供給源から連続して崩落したことを示唆する。さらに、ALOS PRISMおよびWorldView-3から作製された崩落前後の数値標高モデルの差分をとることによって、崩落堆積物の体積は $5244.5 \times 10^3 \text{ m}^3$ と推定された。 $\pm 5\text{m}$ の測定誤差を仮定すると、体積は $3652.4 \times 10^3 \text{ m}^3$ から $10687.4 \times 10^3 \text{ m}^3$ の範囲と考えられる。この大部分は河川を埋める形で河床沿いに集中しており（Fig. 1b）、平均層厚は約20mである。一方、比較的平坦な集落付近では層厚は5m以下と推定され、かなり薄く分布しているものと考えられる。今後、内部の雪氷が徐々に融解していくと予想されるが、定期的に地形を測量することにより、雪氷と土砂の割合が推定でき、供給源の考察や雪崩の数値シミュレーションにも寄与するデータが得られると期待される。

キーワード：ネパール・ゴルカ地震、雪崩、PALSAR-2、ALOS、WorldView-3、リモートセンシング

Keywords: the Gorkha, Nepal earthquake, avalanche, PALSAR-2, ALOS, WorldView-3, remote sensing



アフリカ、ケニア山ルイス氷河の表面のクリオコナイトの特性

Characteristics of cryoconite on the Lewis Glacier in Mt. Kenya Africa

*宮内 謙史郎¹、植竹 淳²、竹内 望¹*Kenshiro Miyauchi¹, Jun Uetake², Nozomu Takeuchi¹

1.千葉大学大学院理学研究科、2.国立極地研究所

1.Graduate school of Science, Chiba University, 2.National Institute of Polar Research

アフリカ大陸東部の赤道付近の高山では、年間を通して気温が低く、雨季に多くの降雪があるため氷河が存在している。近年、世界各地の氷河、氷床が縮小しているが、アフリカの熱帯氷河も急速に縮小していることが明らかとなっている。氷河縮小の原因には、地球温暖化に伴う気温上昇と考えられることが多いが、それに加えて表面が暗色化することによるアルベドの低下も重要であることが明らかとなっている。この暗色化の原因は、氷河表面に堆積した鉱物粒子や雪氷微生物に由来する有機物などから構成されているクリオコナイトと呼ばれる暗色の固体物質である。クリオコナイトを構成する有機物や鉱物粒子は、氷河上の微生物の働きにより暗色で球状の集合体を形成している（クリオコナイト粒）。クリオコナイトは、世界中の氷河で見られるが、地域によって、色、量、形状、光学特性などが異なることが明らかとなっている。クリオコナイトは氷河表面のアルベドが低下することで、日射の吸収を増やして氷河の融解を促進する効果があるため、その特性を理解することは氷河の融解を考える上で重要となる。しかし、アフリカ大陸の熱帯地域に分布する氷河のクリオコナイトの特性について、詳しいことは明らかになっていない。そこで本研究では、アフリカ、ケニア共和国ケニア山に位置するルイス氷河において、裸氷域の下流部と上流部の2地点で採取されたクリオコナイトについて、光学、生物学的特性を分析し、東アフリカ熱帯域に位置する氷河のクリオコナイトの特性を明らかにすることを目的とした。

顕微鏡観察の結果、クリオコナイトの構成物は下流部と上流部に違いがあることが明らかになった。下流部のクリオコナイトは、鉱物粒子と糸状のシアノバクテリアが含むクリオコナイト粒が含まれていたのに対し、上流部では、鉱物粒子と糸状シアノバクテリアが含まれていたが、クリオコナイト粒は見られなかった。クリオコナイト中の有機物量の分析の結果、下流部で多く、上流部では少なくなった。クリオコナイトとクリオコナイト中の鉱物粒子の光学特性の分析の結果、下流部のクリオコナイトの反射率は、鉱物粒子と比べて低く一定であるのに対し、上流部のクリオコナイトは、鉱物粒子とほぼ同じ反射率、波形を示した。これは、有機物量の多い下流部では、有機物によって暗色化しており、上流部では、有機物による暗色化の影響はほとんどなく、鉱物粒子の色の影響を強く受けていることを示している。以上の結果から、下流部のクリオコナイトは、有機物が多く、氷河表面のアルベドは、氷河上の微生物などの有機物による影響を強く受けているのに対し、上流部のクリオコナイトは、有機物量が少なく、氷河表面のアルベドは鉱物粒子の影響を強く受けると示唆される。このクリオコナイトの特性の違いは、氷河のアルベドに影響を与えることから、上流部と下流部での融解量に違いを生むと示唆される。また、この特性の違いは、上流部と下流部の氷河環境が異なることを示しているかもしれない。そこで、発表では、クリオコナイトの特性が氷河の上流と下流で異なる原因について、氷河の物理的特性、化学的特性、生物学的特性についてさらに詳細な分析を進め、原因の解明を行っていく予定である。

キーワード：クリオコナイト、東アフリカ

Keywords: Cryoconite, East Africa

日本とアラスカの山岳地域に見られる赤雪の雪氷藻類の細胞形態と色素構成の比較

The cell morphology and pigment composition of red snow algae in Japanese and Alaskan mountain ranges

*中島 智美¹、竹内 望¹、田邊 優貴子²、辻 雅晴²、植竹 淳²、宮内 謙史郎¹、岡本 智夏¹

*Tomomi Nakashima¹, Nozomu Takeuchi¹, Yukiko Tanabe², Masaharu Tsuji², Jun Uetake², Kenshiro Miyauchi¹, Chika Okamoto¹

1.千葉大学大学院理学研究科、2.国立極地研究所

1.Graduate School of Science, Chiba University, 2.National Institute of Polar Research

雪氷藻類とは、雪氷表面で繁殖する低温環境に適応した光合成微生物である。雪氷藻類が繁殖すると、雪氷表面を赤色や緑色などの様々な色に着色する。この現象は“赤雪”や“緑雪”として知られている。雪氷が着色するのは、雪氷藻類が持つ色素のためである。雪氷藻類の細胞中には複数の色素が含まれており、それぞれの色素に生理学的な役割がある。その色素の構成や割合は、藻類の種や繁殖条件によって変化すると考えられている。赤雪は日本各地の山岳地域の残雪上や世界中の融解期の氷河表面で見ることができるが、それぞれの地域における赤雪の色素構成の違いについてはまだほとんど知られていない。本研究では日本およびアメリカ合衆国アラスカ州の山岳地帯で赤雪のサンプルを採取し、それぞれの藻類細胞の形態や含有色素について明らかにし、各地域における藻類形態や色素構成と繁殖条件の関係を理解することを目的とした。

赤雪のサンプル採取は、2015年6、7月に富山県立山の室堂周辺の残雪上と、8月にアラスカ山脈のグルカナ氷河の積雪域でそれぞれ行った。採取したサンプルは冷凍、冷蔵保存し、実験室に持ち帰った後、分析を行った。光学顕微鏡によって、藻類細胞の観察を行った。また別のサンプルを融解後、GF/Fフィルターで濾過したものをジメチルホルムアミド（DMF）に色素を抽出し、分光光度計を用いて吸光スペクトルの測定を行った。また抽出色素は、高速液体クロマトグラフィー（HPLC）を用いて、詳細な色素構成の分析を行った。

藻類細胞の観察を行った結果、サンプル中には複数の形態の藻類細胞が含まれていることが明らかになった。赤色球形やオレンジ色球形、緑色球形細胞が高い割合を占める中で、緑色楕円形、オレンジ色楕円形細胞も存在した。外被が花卉のような形の赤色円形細胞と赤色楕円形細胞は、わずかな割合ではあるが、グルカナ氷河のサンプル中のみで観察された。赤雪から抽出した色素の吸光スペクトルの測定を行った結果、サンプルによってスペクトルが異なり、吸収極大の波長からタイプA～Dの4タイプに分けることができた。HPLCによって色素構成を分析した結果、すべてのスペクトルのタイプにクロロフィル b 、アスタキサンチン、ルテインの3つの色素が明確に検出され、各タイプに含まれる色素の種類は同じであることがわかった。このうちアスタキサンチンは検出時間によってフリー体とエステル体の2種類があることがわかった。さらにこれらの各アスタキサンチンの含有量はスペクトルタイプによって異なり、タイプAとCはほとんどがエステル体、タイプBはフリー体とエステル体の両方、タイプDはほとんどがフリー体の構造であることがわかった。

日本の立山とアラスカの氷河の赤雪を比較すると、細胞形態はほとんどが両地域で共通していた一方、色素構成には違いがあることがわかった。立山はタイプA～Dの4種類すべて存在したが、アラスカの氷河はタイプAの1種類しかみられなかった。このことは、アラスカに比べて日本の赤雪は、藻類の多様性が高いことを示唆している。見た目には同じでも、日本とアラスカでは赤雪を構成する藻類の種、群集構造、多様性が異なる可能性が明らかになった。

キーワード：雪氷藻類、赤雪、色素構成、アスタキサンチン

Keywords: snow algae, red snow, pigment composition, Astaxanthin

グリーンランド氷床上的積雪不純物は衛星観測から検知可能か？

Can snow impurities be detected on Greenland ice sheet by satellite remote sensing?

青木 輝夫¹、谷川 朋範¹、庭野 匡思¹、石元 裕史¹、堀 雅裕²、*島田 利元³

Teruo Aoki¹, Tomonori Tanikawa¹, Masashi Niwano¹, Hiroshi Ishimoto¹, Masahiro Hori², *Rigen Shimada³

1.気象研究所、2.宇宙航空研究開発機構、3.千葉大学

1.Meteorological Research Institute, 2.Japan Aerospace Exploration Agency, 3.Chiba University

Warren (2013) pointed out that attempts to use satellite remote sensing to estimate the black carbon (BC) content of snow are unlikely to be successful, except in highly polluted industrial regions, with the reasons as follows. The possible albedo reductions for the shortwave and visible wavelengths due to the typical concentration of BC (3-30 ppbw) in remote areas of the Northern Hemisphere are 0-1 % and 0-2 %, respectively for cold fine-grained snow, and 0-3% and 1-6%, respectively for melting snow. Comparing to these small albedo reductions typical errors in surface albedo inferred from satellite measurements are comparable (a few percent), which are attributed to uncertainties of undetected thin clouds, atmospheric aerosols, vertical profile of snow grain size, surface roughness, and subpixel heterogeneity of the thin and patchy snow cover as well as satellite sensor calibration and bidirectional reflectance distribution function (BRDF) model of snow surface used in the retrieval algorithm.

We are challenging to develop the satellite remote sensing algorithm to retrieve snow impurities on Greenland ice sheet (GrIS) to estimate the possible contribution to the recent albedo reduction. The algorithm is based on look-up table method in which BRDFs are tabled as functions of solar and satellite zenith angles and relative azimuth angle, snow impurity concentration and snow grain size. Our algorithm employed a two-snow layer model by which the effect of vertical inhomogeneity of the snow parameters is taken into account. To examine the possibility of satellite remote sensing of snow impurities with our algorithm on GrIS, we estimated the albedo reduction due to BC on GrIS with physically based snow albedo model (Aoki et al., 2011). The albedo reduction for melting snow for the BC concentration range previously measured (0.55-20 ppbw) on GrIS is 0.02-2.6% and 0.03-4.8% for the shortwave and visible wavelengths, respectively. On GrIS there are no uncertainties of subpixel heterogeneity of the thin and patchy snow cover. The surface roughness is also very small in summer season over accretion area on the ice sheet. The atmospheric aerosols effect are generally small. Hence, the major uncertainties are satellite sensor calibration, thin cloud effect, and BRDF model used in the algorithm. These issues were improved by employing the latest MODIS C6 data set, new cloud detection algorithm (Chen et al., 2014), and Voronoi snow shape model for BRDF calculation in our algorithm. The retrieval results of monthly mean BC-equivalent concentration of snow impurities from 2000 to 2015 on GrIS in summer season were 8-34 ppbw which are same or somewhat higher than the previous in-situ measurements (0.55-20 ppbw). However, those in spring season were too high (29-383 ppbw) compared to the in-situ measurements. The inter-annual trend of the concentration in summer was small increase of 10-30%/decade. From this result, there is a possibility to detect snow impurity on GrIS in summer season by satellite remote sensing.

References

Aoki et al., 2011: *J. Geophys. Res.*, 116, D11114, doi:10.1029/2010JD015507.

Chen et al., 2014: *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 12287-12300, doi:10.1002/2014JD022017.

Warren, 2013: *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 779-786, doi:10.1029/2012JD018476.

キーワード：積雪不純物、ブラックカーボン、アルベド、衛星リモートセンシング、グリーンランド氷床

Keywords: snow impurities, black carbon, albedo, satellite remote sensing, Greenland ice sheet

南極ドームふじのでのフィルム層構造の変態：近赤外光の反射率と他の結晶組織構造や化学特性との関係の発達

Metamorphism of layered firn at Dome Fuji, Antarctica: Evolution of relations between Near-infrared reflectivity and the other textural/chemical properties

*藤田 秀二^{1,2}、東 久美子^{1,2}、榎本 浩之^{1,2,3}、福井 幸太郎^{1,7}、平林 幹啓¹、堀 彰³、保科 優^{4,8}、飯塚 芳徳⁵、望月 優子⁶、本山 秀明^{1,2}、中澤 文男¹、杉山 慎⁵、スーディク スィルヴィアン¹、高橋 和也⁶

*Shuji Fujita^{1,2}, Kumiko Goto-Azuma^{1,2}, Hiroyuki Enomoto^{1,2,3}, Kotaro FUKUI^{1,7}, Motohiro Hirabayashi¹, Akira Hori³, Yu Hoshina^{4,8}, Yoshinori Iizuka⁵, Yuko MOTIZUKI⁶, Hideaki Motoyama^{1,2}, Fumio Nakazawa¹, Shin Sugiyama⁵, Sylviane Surdyk¹, Kazuya Takahashi⁶

1.大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立極地研究所、2.総合研究大学院 大学複合科学研究科 極域科学専攻、3.北見工業大学、4.名古屋大学、5.北海道大学低温科学研究所、6.理研、7.現在：立山砂防カルデラ博物館、8.現在：地球環境研究所 地球環境研究センター

1.National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems(ROIS), 2.Department of Polar Science, The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), 3.Kitami Institute of Technology, 4.Nagoya University, 5.Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, 6.RIKEN, 7.Now at: Takteyama Caldera Sabo Museum, 8.Now at: National Institute for Environmental Studies Center for Global Environmental Research

深層アイスコアの信号をよりよく理解するために、南極ドームふじのフィルムの対深度の発達を調査した。私達は、現地でおこなった4 m深の掘削ピットのサンプルと、122m深のアイスコアを用いて、主要な結晶組織構造特性、たとえば、近赤外光反射率 R 、密度 ρ 、マイクロ波帯での誘電率異方性 $\Delta\epsilon$ と主要イオン成分の関係の発達を調べた。調査した深度範囲は氷床表面(0m)から122m深までであり、高分解能解析(mm~cm)をおこなった。氷床表面付近において、フィルムには以下の特性を見いだした：(i) R 、 ρ や $\Delta\epsilon$ の短区間の変動は、強い正の相関をもつ；(ii) $\Delta\epsilon$ は、氷床表面直下(0.1m深)で0.03 -0.07 の値をもつ；(iii) これらの R 、 ρ や $\Delta\epsilon$ の特性は、主要イオンの分布と有意な相関をもたない。一方、深さが増大し、近年報告されてきた「密度クロスオーバー現象」（氷床中約20-30m深で、初期低密度層の変形速度が卓越する結果として初期高密度層の密度が初期高密度層の密度を追い越してしまう現象）が起こっても R と $\Delta\epsilon$ のもつ正相関はわずかに減少するものの強く維持される。さらには、 R は海塩の指標である Na^+ イオンと弱い負の相関を示すようになる。これらの事実が示唆することは以下である。近赤外光反射 R （フィルム中の比表面積の目安）の特徴は、誘電異方性 $\Delta\epsilon$ （フィルム中の氷と空隙の幾何構造異方性の指標）とともに、気泡が孤立する深度（bubble-close-off）まで維持される。その過程で、近年報告されてきたように NaCl から解離した Cl^- イオンが結晶格子に入り込むことによってその部位の変形が促進され、 R と $\Delta\epsilon$ の関係はわずかに乱される（相関が弱められる）。本研究では、アイスコアのもつ近赤外の光学的な特徴は、氷床表面付近でおこる変態に直接の起源をもっていることを見いだした。

キーワード：南極、雪、フィルム、変態、氷床

Keywords: Antarctica, snow, firn, metamorphism, ice sheet

気候の自然変動モードと南極海氷の経年変動およびトレンドの関係

The relationship between natural climate modes of variability and Antarctic sea ice interannual variability/trends

*神山 翼¹、Dennis Hartmann¹

*Tsubasa Kohyama¹, Dennis L. Hartmann¹

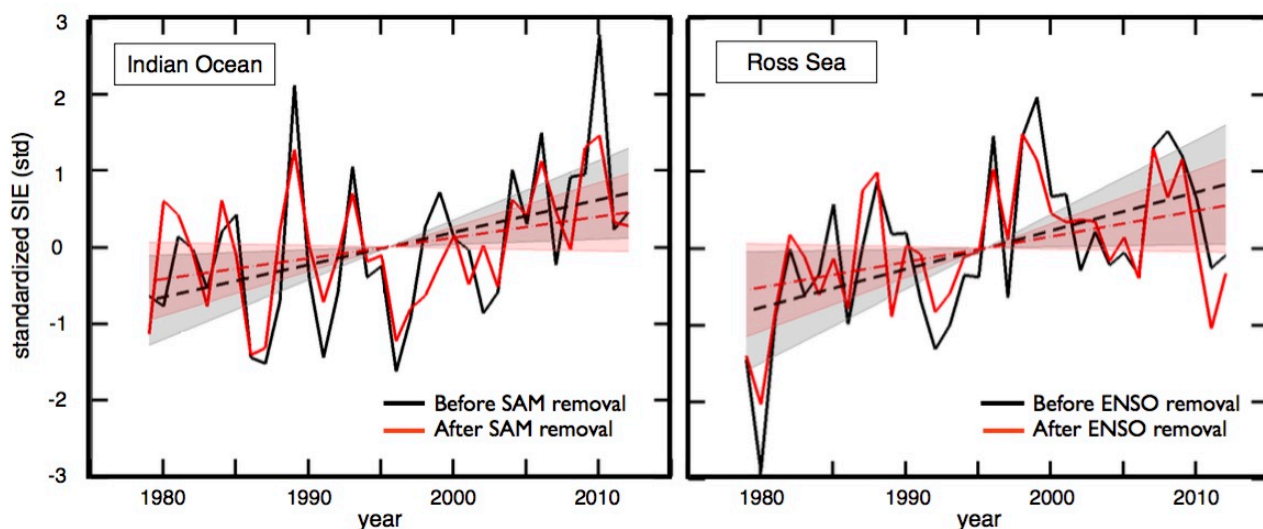
1.ワシントン大学大気科学科

1.Department of Atmospheric Sciences, University of Washington

気候変動モードと南極海氷の経年変動およびトレンドの関係を調査した。南極海氷の経年変動にはエルニーニョ南方振動現象(ENSO)と南半球環状モード(SAM)が大きく寄与することが知られているが、本研究ではそれらと無相関であるドレーク海峡付近のロスビー波のような構造も同等に重要であることを示した。また、ENSOによる海氷の変動を回帰除去すると、ロス海とインド洋において観測された海氷の増加トレンドが統計的に有意でなくなり、SAMを回帰除去するとインド洋の海氷増加トレンドが有意でなくなった。それゆえ、ロス海とインド洋における海氷の増加トレンドは、既知の経年気候モードの変動とトレンドによって説明される可能性がある。

キーワード：南極海氷、エルニーニョ南方振動、南半球環状モード

Keywords: Antarctic sea ice, El Niño Southern Oscillation, Southern Annular Mode



Comparison of thermodynamics solvers in the polythermal ice sheet model SICOPOLIS

*Ralf Greve¹, Heinz Blatter^{1,2}

1.Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, 2.Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zurich, Switzerland

In order to model the thermal structure of polythermal ice sheets accurately, energy-conserving schemes and correct tracking of the cold-temperate transition surface (CTS) are necessary. We compare four different thermodynamics solvers in the ice sheet model SICOPOLIS (www.sicopolis.net). Two exist already, namely a two-layer polythermal scheme (POLY) and a single-phase cold-ice scheme (COLD), while the other two are newly-implemented, one-layer enthalpy schemes, namely a conventional scheme (ENTC) and a melting-CTS scheme (ENTM) (Blatter and Greve, 2015, Polar Sci. 9, 196-207). The comparison uses two scenarios of the EISMINT Phase 2 Simplified Geometry Experiments (Payne and others, 2000, J. Glaciol. 46, 227-238), one with no-slip conditions at the base and one with basal sliding. In terms of temperate ice layer thickness, CTS positioning and smoothness of temperature profiles across the CTS (a requirement for the assumed case of melting conditions), the POLY scheme performs best, and thus its results are used as a reference against which the performance of the other schemes is tested. Both the COLD scheme and the ENTC scheme fail to produce a continuous temperature gradient across the CTS, and both overpredict temperate ice layer thicknesses to some extent (the COLD scheme more). In the ENTM scheme, a continuous temperature gradient is explicitly enforced. This scheme is more precise than ENTC for determining the position of the CTS, while the performance of both schemes is good for the temperature/water-content profiles in the entire ice column. Therefore, the one-layer enthalpy schemes ENTC and ENTM are viable, easier implementable alternatives to the POLY scheme with its need to handle two different numerical domains for cold and temperate ice.

Keywords: Ice sheet, Thermodynamics, Polythermal ice, Enthalpy method, Modeling

積雪変質モデルSMAPによって計算された札幌における積雪密度、雪温、雪質の精度について Accuracy of the SMAP model-simulated snow density, temperature, and grain shapes at Sapporo, Japan

*庭野 匡思¹、青木 輝夫¹、朽木 勝幸¹、的場 澄人²、兒玉 裕二³、谷川 朋範¹

*Masashi Niwano¹, Teruo Aoki¹, Katsuyuki Kuchiki¹, Sumito Matoba², Yuji Kodama³, Tanikawa Tomonori¹

1.気象研究所、2.北海道大学低温科学研究所、3.極地研究所

1.Meteorological Research Institute, 2.Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University,
3.National Institute of Polar Research

A multi-layered physical snowpack model has a special feature that it can calculate temporal evolution of detailed snow internal stratigraphy. This characteristic is a considerable advantage of such a model, because it is impossible for a typical land surface model to simulate realistic layer structure of the snowpack. In the present study, we evaluated a 1-D multilayered physical snowpack model SMAP (Snow Metamorphism and Albedo Process) in terms of snow density, temperature and grain shapes using in-situ data obtained at Sapporo (43°05'N, 141°21'E, 15 m a.s.l.), Japan from the 2005 to 2015 winters (November to April). The model was driven by quality controlled 30-min averaged data for air temperature, relative humidity, wind speed, surface pressure, snow depth, liquid precipitation, downward and upward shortwave radiant flux, downward longwave radiant flux, and ground surface soil heat flux measured with an AWS installed at Sapporo. Before investigating accuracy of the model-simulated snow internal physical properties, the SMAP model was evaluated in terms of column-integrated snow water equivalent (SWE) and snow surface temperature in order to check the mass and surface energy balances are calculated adequately. At Sapporo, SWE data was obtained by snow pit measurements, while snow surface temperature was observed with the AWS. Comparison of observed and simulated column-integrated SWE revealed that the model tended to underestimate SWE (mean error; ME was -19 mm); however, root mean square error (RMSE) was 34 mm, and these scores are better than those for simulations driven by not snow depth but precipitation (ME was less than -25 mm and RMSE was more than 40 mm). It suggests that the correction technique for precipitation measurements considering catch efficiency of a rain gauge is still insufficient. As for snow surface temperature simulated by the SMAP model, systematic overestimation nor underestimation was not found (ME = 0.4 °C), and obtained RMSE was also in a sufficiently low (1.6 °C). Overall, these results assure that the mass and surface energy balances of the snowpack at Sapporo were modeled and calculated reasonable enough by the SMAP model. In the model validation in terms of snow internal physical properties, accuracy of the model-simulated snow density and temperature were investigated first using the in-situ measured data from snow pit works. Validation results indicated that the model tended to underestimate snow density (ME = -51 kg m⁻³) and overestimate snow temperature (ME = 0.4 °C); however, RMSE for both properties were sufficiently small (88 kg m⁻³ and 1.6 °C, respectively). In order to permit higher precision of the model, it would be necessary to develop physically based schemes for new snow density and effective thermal conductivity of the snowpack. Next, snow grain shapes simulated by the SMAP model was evaluated using the manually measured data obtained from snow pit works. During accumulation period (November to February), precipitation particles, decomposing and fragmented precipitation particles, rounded grains, and melt forms were mainly observed at Sapporo. Generally, they were stratified from the surface to the bottom of the snowpack. On the other hand, during ablation period (March and April), melt forms were principally observed in the snowpack every winter period. Basically, these above mentioned features could be reproduced by the model; however, faceted crystals and depth hoar, which are generally developed through the temperature gradient

metamorphisms, were not simulated by the model at all. It suggests that improving physical processes under the temperature gradient metamorphism, and reconsidering the method to diagnose snow grain shape from snow physical properties such as geometric grain size and water content are quite necessary.

キーワード：the SMAP model、積雪変態、積雪物理量

Keywords: the SMAP model, snow metamorphism, snow internal physical properties

クロスカン트리スキー競技に資する摩擦係数測定装置の開発

Measurements of the coefficient of dynamic friction for Cross-country skiing

*寺岡 知美¹、藤原 啓数¹、鎌田 夏実¹、荻野 由香¹、長谷川 陽子¹、明石 恵美¹、成瀬 延康^{1,2}、高橋 幸弘^{1,3}*Tomomi Teraoka¹, Hirokazu Fujiwara¹, Natsumi Kamada¹, Yuka Ogino¹, Yoko Hasegawa¹, Emi Akashi¹, Nobuyasu Naruse^{1,2}, Yukihiro Takahashi^{1,3}

1.北海道大学グローバルサイエンスキャンパス、2.北海道大学高等教育推進機構、3.北海道大学大学院理学研究院

1.Global Science Campus, Hokkaido University, 2.Institute for the Advancement of Higher Education, Hokkaido University, 3.Graduate School of Science, Hokkaido University

クロスカン트리スキー競技では、雪面との間の摩擦が最適なスキー道具を競技開始までに準備できるかどうか勝敗に直結する。スキーの摩擦に関する過去の研究では、スキー板と雪面間の摩擦係数（以下 μ ）がスキー板の材質と形状に関連しているとの報告がある。こうしたスキー板の形状や材質の選定については、事前に十分な準備が可能である。一方、 μ をさらに下げするためのワックスについては、これまで競技当日の気象条件によって経験的に選択されてきた。過去の報告によると、気温と雪温が異なる場合には、 μ が大きく異なり、例えば、気温1度、雪温-4度の時の μ が0.05未満であるのに対し、気温7度、雪温0度の時には μ が0.10以上になる。本来、この気象条件を科学的に定量的に計測した結果から、最も滑りが良いワックスの選定がなされるべきであり、さらに、その μ を会場において確かめることが望ましいはずである。ところが、過去に実験室レベルで μ を測定した報告はあるものの、装置が大掛かりである点において競技会場で利用するには難があった。本研究では、1) スキー板と雪面間の動摩擦係数を競技会場で実測できる装置の開発、及び、2) 動摩擦係数に影響を与えるクロスカン트리スキーコース内の多点気象観測法の開発を目的とする。本研究では、1) に注力した。

計測方法としては、対馬らの研究を参考にした。5Kgのおもりを乗せたスキーを滑車により直角に曲げ、フォースゲージに接続、電動リールを用いて一定速度で1m引っ張った。この時のフォースゲージにかかる張力を1/10秒毎に測定し、記録した。この平均張力を F とし、 $\mu = F / (5(\text{Kg}) \times 9.8)$ の式から動摩擦係数 μ を導出した。その結果、ワックス毎の動摩擦係数を会場で計測できるようになった。

キーワード：クロスカン트리スキー、摩擦係数

Keywords: cross-country skiing, coefficient of dynamic friction

多層積雪/土壌構造・多様な陸面パラメータを考慮したマイクロ波放射伝達モデルに基づく積雪物理量アルゴリズムの開発

Development of snow algorithm based on the microwave radiative transfer model for multiple layers and various land surface parameters

*筒井 浩行¹

*Hiroyuki Tsutsui¹

1. 国立研究開発法人宇宙航空研究機構 地球観測研究センター

1. Japan Aerospace Exploration Agency/Earth Observation Research Center

マイクロ波リモートセンシングに基づく積雪アルゴリズムの多くは、単層の積雪構造と多くの陸面パラメータの仮定により構成されたマイクロ波放射伝達モデル(以下、RTM)を用いている。我々のアルゴリズムもまた同様の構造のRTMが用いられていたために、積雪深の期待される推定精度をなかなか達成することができなかった。そこで本研究では、これまで用いていたDense Media Radiative Transfer model (DMRT; Tsang,1992)と4-Stream fast model(Liu, 1988)の結合モデルにAdvanced Integral Equation Model (AIEM; Chen,2001)を加え、土壌の地表面散乱効果を評価することのできるRTMに改良した。さらに単層構造であった積雪および土壌の多層化を図り、それぞれの層でパラメータを評価することができるよう改良した。植生に関しては、S. Paloscia, and P. Pampaloni(1988)経験式により植生水分量を求めた上で、Jacson and Schmugge(1991)経験式により植生の光学的厚さを求め、 ω - τ model(Mo et al., 1982)により評価した。さらにD. M. Dobson et al.(1985)経験式に氷要素を加えて土壌の凍結も評価できるように改良した。仮定による不確実性を極力減らすために、RTMの感度試験を行った上で、土壌の間隙率・含氷率・水分量、雪温勾配、植生に対する葉面積指数(LAI)・植被率を陸面パラメータとした。このように改良したRTMを用いて、各陸面パラメータに対応するLookup table(以下、LUT)を計算し、AMSR2/AMSR-Eマイクロ波輝度温度(18.7GHz(v)/36.5GHz(v))から積雪深および各層の積雪パラメータを推定するアルゴリズムを開発した。アルゴリズムにおける各積雪層の雪粒子サイズは、雪粒子成長モデル(Sturm and Benson, 1977)により推定した。また雪面温度は、Richard(2003)経験式を用いAMSR2輝度温度(18.7(v), 23.8(v), 36.5(h),89.0(v) GHz)から算定し、雪温勾配を用いて温度プロファイルを計算した。さらに各陸面パラメータに対応する附属全球データとして以下を用いた。全球間隙率データについては、ISLSCP経験式(間隙率= $1-[d/2.65]$))を用いて体積密度(d, Harmonized World Soil Database)から間隙率を算定した。土壌凍結はNSIDC Permafrost/Ground ice mapにより判定した。全球土壌水分データおよび雪温勾配は、GLDAS-CLMに基づき算定した。LAI全球データとしてはMODIS LAIデータを用い、全球植生フラクシオンデータは、ESA Glob Coverデータセットに基づき算定した。2012年10月から2013年2月の期間、シベリア領域(N55-65°, E125-135°)に含まれるGSOD10ステーションおよびAMSR2シベリア検証サイトを対象にアルゴリズムの性能を検証した結果、MAE(Mean Absolute Error):9cm・Bias:1.5cm・RMSE:14cmの精度を確認した。

キーワード：積雪、マイクロ波リモートセンシング、アルゴリズム

Keywords: Snow, Microwave remote sensing, Algorithm

衛星観測に基づく北半球積雪被覆期間の長期変動傾向

A 30-year trend of snow cover duration in the Northern Hemisphere derived from satellite-borne optical sensors

*堀 雅裕¹、杉浦 幸之助²、谷川 朋範³、青木 輝夫³、朽木 勝幸³、庭野 匡思³、榎本 浩之^{4,5}

*Masahiro Hori¹, Konosuke Sugiura², Tomonori Tanikawa³, Teruo Aoki³, Katsuyuki Kuchiki³, Masashi Niwano³, Hiroyuki Enomoto^{4,5}

1.宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター、2.富山大学、3.気象研究所、4.極地研究所、5.総合研究大学院大学

1.Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency, 2.University of Toyama, 3.Meteorological Research Institute, 4.National Institute of Polar Research, 5.The Graduate University for Advanced Studies

Snow cover extent (SCE) has been an important observation target from space for weather prediction since 1960's. The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) has produced a historic record of weekly SCE charts in the Northern Hemisphere over three decades. The NOAA SCE has been widely used for climate studies. However, the production method of SCE has not been unified during the long-term operations. Thus, the accuracies of SCE detection are considered changeable. As an alternative product, a 30-year long SCE was derived in this study from radiances acquired with optical sensors onboard polar orbiting satellites by employing an objective analysis method. That is, only five spectral channels which are available during the whole analysis period were used for SCE detection. In addition to SCE, snow melt date (SMD), first snow date (FSD), and snow cover duration (SCD) were also derived from the SCE. The derived SCE exhibits negative trends in all seasons, which is partly inconsistent with those derived from NOAA SCE. The causes of the inconsistency are considered due to the coarser spatial resolution of NOAA SCE (i.e., pixel size is approximately 190 km whereas this study's SCE has 5km spatial resolution) and also due to the changeable snow detection accuracy. The trend of the derived SCD exhibits spatially asymmetric pattern over the Northern Hemisphere. That is, significant shortening occurs in western part of Eurasian Continent (EC), whereas weak shortening or even lengthening occurs in eastern EC and western North America Continents. From the comparison with SMD and FSD, the significant shortening in western EC is considered to be caused mainly by the delay of FSD toward later dates in autumn and partly by the advancement of SMD toward earlier dates in spring. The long-term SCE dataset will be used as a climatological baseline for a Japanese satellite mission named "Global Change Observation Mission-Climate" (GCOM-C) to be launched in 2017.

キーワード：積雪、積雪被覆期間、リモートセンシング、気候、地球環境変動観測ミッション

Keywords: Snow Cover, Snow Cover Duration, Remote Sensing, Climate, GCOM

カーリングストーンの運動解析

Movement analysis of curling stone

*対馬 勝年、森 克徳

*Katsutoshi Tusima, Katsunori Mori

YouTubeを通して数多くのカーリング世界選手権大会実況映像を見ることができる。この映像をムービーメーカーで開くとコマ送り画面化され、画面の記録時間 t が $0.03\sim 0.04$ 秒間隔で表示されるからストーンの運動解析に役立つ。リンクには両端のハウス間を結ぶ中心線が引かれているからストーンの滑走時間 t とカール距離 C (中心線からのずれ)、自転角の変化 n (ストーン上面のハンドルの向きや銘板が目印)、滑走距離 s (hogline間距離21.85m、ハウス内の円の大きさ半径 0.15m , 0.61m , 1.22m , 1.83m 、リンクの幅 4.8m そのほか氷の内部の埋め込まれた絵や文字、ストーンの直径 0.3m などを手掛かりとした)を読み取った。ストーンは初めほぼ直線的に進み、終端の12秒ほど手前からカールし始め、その後経過時間に比例してカール距離が増大し、停止時の C は 1m 内外であった。 n は $6\sim 10$ 秒に1回転で、終端に近づくほど1回転に要する時間が長かった。自転に対する摩擦係数は驚異的に小さく $0.0001\sim 0.00001$ のオーダーと見積もられた。ストーンを放出するhoglineから停止までの時間は23秒内外であった。hoglineとハウスの中心を通るTeeline間の距離は 29m であるが、滑走距離 s と滑走停止時間 t から平均摩擦係数を $\mu = 2s/(gt^2)$ (ただし g は重力加速度)として見積もった。 μ は初め 0.009 程度と小さくほぼ一定値を維持したが、終端から12秒ほど手前から増大をはじめ終端近くで 0.02 程度まで増大した。滑走速度 v_0 を $v_0 = (2\mu gs)^{1/2}$ として定めた。速度 v は時間に対し大雑把には直線的に減少していた。これらの関係から $C-s$ 、 $\mu-s$ 、 $\mu-v$ 曲線を描くことができた。また $\mu-s$ 曲線の面積 μsg が摩擦エネルギーに相当することから $\mu sg = g \int \mu s ds$ とにおいて真の摩擦係数 μ の図に補正することができた。これらの解析からカールの開始と摩擦係数の増大が対応していることが確認された。

カール開始からの時間を τ とすると、 $C=k\tau$ であったことから、 $vc=k$ 、 $dvc/d\tau=0$ となり、FB説が主張する横力つまりカール方向の力は見いだされなかった。 $C-s$ 曲線はLR説から導かれるカール式 $C=(1/2r^2)y(y+r)\epsilon$ 、 $[r]$ はランニングバンドの半径、 ϵ は r だけ進んだときのカール]において $\epsilon=1\mu\text{m}$ としたときによく適合した。これは左右摩擦差が 0.002 程度になることを示唆する。

キーワード：カーリング、氷、カール

Keywords: curling, ice, curl

PETボトルを用いた簡易型積雪重量計の開発（その2）

Development of a simple snow load gauge using plastic bottles (part 2)

*今西 祐一¹、大井 拓磨²、河島 克久³、松元 高峰³、鈴木 修⁴*Yuichi Imanishi¹, takuma oi², Katsuhisa Kawashima³, Takane Matsumoto³, Osamu Suzuki⁴

1.東京大学地震研究所、2.東邦マーカントイル株式会社、3.新潟大学災害・復興科学研究所、4.東日本旅客鉄道株式会社JR東日本研究開発センター

1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2.Toho Mercantile CO., LTD., 3.Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University, 4.Research and Development Center, East Japan Railway Company

今西・大井（2015）は、精密重力観測に及ぼす積雪荷重の直接測定を目的として、PETボトルを用いた簡易型の積雪重量計を開発した。これまでに、荷重試験による特性測定や、神岡の重力観測点近傍における観測を重ねてきたが、他の装置と記録を比較したり、積雪下での装置の状態を観察したりする機会がなかった。そこで今季は、新潟大学とJR東日本が共同で運営している気象積雪観測ステーション（新潟県魚沼市大白川）において、メタルウェファース式積雪重量計などとの並行観測を行うこととした。本予稿執筆時点において、簡易型積雪重量計は積雪荷重が増大する過程を的確にとらえたと見られるような記録が得られている。このあと、メタルウェファース式積雪重量計との詳細な比較や、装置の状態の観察などを行う予定である。

キーワード：積雪重量計、超伝導重力計、PETボトル

Keywords: snow load gauge, superconducting gravimeter, plastic bottle

MODISデータを用いたグリーンランド北西部における積雪アルベドと氷表面温度のモニタリング Monitoring of snow albedo and ice surface temperature in the North-West Greenland using MODIS data

*谷川 朋範¹、青木 輝夫¹、庭野 匡思¹、堀 雅裕²、Li Wei³、Chen Nan³、Stamnes Knut³

*Tomonori Tanikawa¹, Teruo Aoki¹, Masashi Niwano¹, Masahiro Hori², Wei Li³, Nan Chen³, Knut Stamnes³

1.気象庁気象研究所、2.宇宙航空研究開発機構、3.スティーブンス工科大学

1.Meteorological Research Institute, 2.Japan Aerospace Exploration Agency, 3.Stevens Institute of Technology

Much works in the Greenland ice sheet (GrIS) have reported recent Arctic warming. The GrIS has been experiencing extensive melt. The surface melt extent can be seen especially in northwestern Greenland. Such an event results in increasing the ice surface temperature as well as decreasing the snow surface albedo. It makes a large contribution to the ice-albedo feedback in the total melt energy. Thus, the monitoring of snow surface albedo and the ice surface temperature in the northwestern GrIS by using NASA's optical sensor MODIS data are important. We developed algorithms to retrieve the snow surface albedo and the ice surface temperature based on the radiative transfer model of atmosphere-snow system. We employed the MODIS (Collection 6) images to show temporal and spatial variation in more detail. We built monthly composite MODIS images by collecting clear day (cloud-free) pixels, and then estimated the snow surface albedo and the ice surface temperature from 2002 to 2014. Results show that the edge of the ice sheet was confirmed to be both low visible and near-infrared albedo through May to September in common. This implies that there are a dark region and a surrounding blue ice area. These low-albedo areas were gradually expanded toward the inland during recent 13 years. For the ice surface temperature, the edge of the ice sheet was measured to be almost melting point, and these areas were also gradually expanding toward the inland. This means that there is a potential of melting the ice sheet and increasing snow grain size over a wide area, resulting in the accelerate near-infrared albedo reduction more rather now. At SIGMA-A site (N78°03'06"/W67°37'42"; 1490 m a.s.l.) where an automate weather station was installed in 2012, a significant negative trend in both visible and near-infrared albedo reduction can be seen in the melting season. Both albedo reduction was largest in August. As corresponding to albedo changes, the positive trend of the ice surface temperature can be seen in the melting season. Comparison between SIGMA-A site and NEEM (N77°30'08"/W58°04'22"; 2454 m a.s.l.) site shows that the positive (negative) trends for the near-infrared albedo (ice surface temperature) were common each other while that for the visible albedo were different. In NEEM site, small positive trends can be seen in the visible albedo. If major surface melt events such as 2012 summer and increasing the ice surface temperature trend will be measured in the near future, it may cause the expansion of the melting snow area toward the inland, and thereby decreasing the snow surface albedo can be observed in the NEEM site as well after increasing the snow grain size. So, we will continue to focus on these areas to monitor snow physical parameters. In addition we will attempt to use a Japanese satellite mission named "Global Change Observation Mission-Climate (GCOM-C)" to be launched in 2017 which may help to be aimed at a more temporal/spatial detailed monitoring of these parameters.

キーワード：積雪アルベド、氷表面温度、グリーンランド、リモートセンシング

Keywords: Snow albedo, Ice surface temperature, Greenland, Remote sensing

中央アジア・天山山脈北部地域における山岳永久凍土の空間分布

Spatial distribution of mountain permafrost in northern Tien Shan, Central Asia

山村 祥子¹、*奈良間 千之¹、富山 信弘²、田殿 武雄³、山之口 勤²Akiko Yamamura¹, *Chiuyuki Narama¹, Nobuhiro Tomiyama², Takeo Tadono³, Tsutomu Yamanokuchi²

1.新潟大学大学院自然科学研究科、2.日本リモートセンシング技術センター、3.宇宙航空研究開発機構

1.Niigata University, Graduate school of Science and Technology, 2.RESTEC, 3.JAXA

中央アジアの天山山脈北部地域のキルギス・アラトー山脈における山岳永久凍土帯の空間分布を明らかにするため、2013～2015年の現地調査と衛星画像・空中写真の地形判読、差分干渉SAR解析を実施した。地形判読により分類したデブリ地形に対し、表面形態から山岳永久凍土の存在指標である岩石氷河に分類した。さらにALOS-1/PALSARとALOS-2/PALSAR-2を用いた差分干渉SAR解析による地表面変動から山岳永久凍土を含む450の現成/停滞の岩石氷河を認定した。さらに、岩屑供給源から分類した結果、氷河起源タイプは6割、崖錐起源タイプが4割であった。2013年～2015年にかけて実施した地温・流動観測の結果、観測サイトである氷河起源タイプの岩石氷河(3500m a.s.l)上で最大68cm/yの流動が確認され、MAAT-4.62℃とMAGST-1.47℃から内部の永久凍土の存在が示唆された。岩石氷河の分布から、山岳不連続永久凍土帯は北側で2800m、南側で3200m以上で分布していることが明らかになった。

キーワード：山岳永久凍土、岩石氷河、差分干渉SAR

Keywords: mountain permafrost, rock glacier, DInSAR

硫黄同位体比分析による東南極表面雪の硫酸エアロゾルの起源推定

Estimation of sulfur source contribution to sulfate aerosol in surface snow in East Antarctica using sulfur isotope analysis

*植村 立¹、眞坂 昂佑¹、福井 幸太郎²、飯塚 芳徳³、平林 幹啓⁴、本山 秀明⁴

*Ryu Uemura¹, Kosuke Masaka¹, Kotaro FUKUI², Yoshinori Iizuka³, Motohiro Hirabayashi⁴, Hideaki Motoyama⁴

1.琉球大学 理学部、2.立山カルデラ砂防博、3.北海道大学 低温研、4.国立極地研究所

1.University of the Ryukyus, 2.Tateyama Caldera Sabo Museum, 3.Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, 4.National Institute of Polar Research

硫酸エアロゾルは、生物活動を通して温暖化を抑制する負のフィードバックをもつとする仮説が提唱されるなど生物圏と気候変動との関係という点からも注目を集めている。南極アイスコアには、過去数十万年の硫酸エアロゾルの変動記録が保存されており、長期的な気候変動メカニズムを解析できる貴重な試料である。

硫酸エアロゾルの硫黄安定同位体比 ($\delta^{34}\text{S}$) は、起源ごとに特有の値を示すことが知られている。東南極の3地点で観測された $\delta^{34}\text{S}$ 値は、海洋生物起源物質(DMS)が主な起源であるとするイオン濃度等から予測と整合的である。対照的に、西南極2地点における $\delta^{34}\text{S}$ 値は非常に低い値を示しており、予想以上に火山活動か成層圏からの寄与が高いことを示唆している。しかし、南極における $\delta^{34}\text{S}$ の研究例は各観測拠点で散発的に行われており、空間的な分布は不明である。そこで、本研究では、南緯70度から80度にかけての表面積雪の $\delta^{34}\text{S}$ 空間分布を明らかにすることを目的として研究を行った。

試料は、第54次南極地域観測隊(JARE54)で採取された表面積雪試料の $\delta^{34}\text{S}$ を測定した。 $\delta^{34}\text{S}$ 値は全11地点において、変動幅0.9%と均一であり、緯度や標高に対する依存性もなかった。この観測値は東南極における3地点の過去の報告値と変動の範囲内で一致しており、 $\delta^{34}\text{S}$ 値が東南極の広範囲で均一な値であることが明らかになった。これらの地点ではNaから推定される海塩寄与率が低いことから、海塩の影響は少ない。 $\delta^{34}\text{S}$ 値に基づく推算では、非海塩起源硫酸エアロゾルのうちの93 \pm 17%が海洋生物起源であると推定された。

キーワード：硫酸エアロゾル、南極、硫黄同位体

Keywords: sulfate aerosol, Antarctica, sulfur isotope

1979年以降のネパール・ランタン谷のリルン氷河における氷河変動について

Downwasting of debris-covered ablation area of Lirung Glacier in Langtang Valley, Nepal Himalayas since 1979

*縫村 崇行¹、藤田 耕史²、坂井 亜規子²

*Takayuki Nuimura¹, Koji Fujita², Akiko Sakai²

1.千葉科学大学、2.名古屋大学

1.Chiba Institute of Science, 2.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

Larger number of glacier system in Himalayas plays important role to water supply in surrounded country and global sea level rise. Extensive glacier mass change have been measured in various scale/method (ex. laser altimetry and stereo photogrammetry) and projected using model with climate gridded data. However, extensive measurement without field-based validation has uncertainty inherent with sensors. And information about behavior of debris-covered glacier is not enough for incorporating extensive model projection. Here we present detail investigation about recent mass balance of debris-covered type glacier of Lirung Glacier in Langtang Valley, Nepal Himalayas, from elevation change by remotely sensed multi-temporal digital elevation models calibrated by field measurement and surface flow velocity by phase only correlation. Surface lowering (-1.3 -- -1.8 m a^{-1}) are observed all over ablation area of Lirung Glacier. From mass balance calculation by continuity equation reveals it mainly caused by ablation. In upper ablation area, recent accelerated decrease of emergence velocity ($+0.3$ and 0.0 m a^{-1} before and after 2000 respectively) also contributes to the surface lowering. Energy mass balance model using gridded climate datasets and weather observation. The calculated decrease of emergence velocity could caused by delayed response to accumulation decreasing from 1980s to 1990s. In this context, upper ablation area will accelerated downwasting due to positive feedback between surface lowering and flow velocity decelerating.

キーワード：ヒマラヤ、氷河、DEM

Keywords: Himalaya, Glacier, DEM

雪氷圏大気陸面結合系におけるアンサンブル予報誤差共分散と誤差相関の構造

Ensemble forecast error covariance and correlation structures in coupled land-atmosphere modeling systems

*鈴木 和良¹、Milija Zupanski²、Dusanka Zupanski³、沖 大幹⁴*kazuyoshi suzuki¹, Milija Zupanski², Dusanka Zupanski³, Taikan Oki⁴

1.国立研究開発法人海洋研究開発機構、2.Colorado State University、3.Zupanski Consulting LLC、4.東京大学生産技術研究所

1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Colorado State University, 3.Zupanski Consulting LLC, 4.Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

Coupled numerical models address interactions between processes in the atmosphere, ocean, land surface, biosphere, chemistry, cryosphere, and hydrology. Including the interactions between such processes can potentially extend the predictability and eventually help in reducing the uncertainty of the prediction. Coupled data assimilation is a branch of data assimilation that deals with coupled modeling systems. In this article the fundamentals of coupled data assimilation are first described through a mathematical example of a model including two coupled components. Then, through a series of single observation experiments, we analyze the forecast error covariance and correlation structures using the Maximum Likelihood Ensemble Filter (MLEF) data assimilation system with coupled atmosphere-land surface Weather Research and Forecasting (WRF) model. The atmospheric WRF component has been coupled with two land surface models: Noah and Noah-MP. Two observation locations with different precipitation regimes have been considered. Through this study, we found that error covariance and correlation were dependent on both location and land surface scheme. Snow precipitation likely caused more complex structures in error covariances and correlations compared to the precipitation-free site. The employment of a more realistic snow model was found to reduce the error covariance and error correlation between the atmosphere and the soil in the coupled system. We also have demonstrated, for the first time in a data assimilation study, that correlation structures can be useful in understanding the physical meaning of the forecast error covariance and as a basis for selecting the most important forecast error covariance components for the coupled data assimilation system. Overall, the complexity and structure of ensemble-based forecast error covariance appears to be meaningful, which is encouraging for the future applications of coupled atmosphere-land surface data assimilation.

キーワード：アンサンブルデータ同化、積雪モデル、降雪、単一観測実験

Keywords: Ensemble data assimilation, Snow model, Snow precipitation, Single observation experiment

日本の山岳域に現れる緑雪と赤雪の生息環境

Differences of physical and chemical conditions between green and red algal snow appeared in mountain regions in Japan

*渡辺 茜¹、竹内 望¹、田中 聡太¹、中島 智美¹、宮内 謙史郎¹

*Akane Watanabe¹, Nozomu Takeuchi¹, Sota Tanaka¹, Tomomi Nakashima¹, Kenshiro Miyauchi¹

1. 千葉大学大学院理学研究科

1. Graduate School of Science, Chiba University

Snow algae are photosynthetic microbes inhabiting alpine and polar snow fields. They usually bloom on melting snow surface and change its color to green or red. The color of snow is determined by pigment composition in the algal cells and is associated with taxa of algae, the stages of algal life cycle, and/or response to the environment conditions. Green or red algal snow appears widely in mountain regions in Japan. However, physical and chemical conditions of the appearance of green or red algal snow is still unknown.

The purpose of this study is to describe the algal community and environment conditions of green and red algal snow appeared in mountain regions in Japan. We collected the colored snow samples in the melting season of 2015 in Mt. Gassan (green snow) in Yamagata prefecture and in Mt. Tateyama (red snow) in Toyama prefecture, Japan. We analyzed microscopic morphology and abundance of snow algal cells, chlorophyll-a concentrations, absorption spectrum of their pigments, and soluble chemical composition in the snow samples. Both green and red snow samples contained abundant snow algal cells. The depth of the snow at the study sites was more than 120 cm. The vertical distribution of algal cells in the snow pack showed that they were abundant at the surface layers. There were significant differences in ammonium and phosphate concentrations in the surface snow between green and red snows. This suggest that nutrient condition is one of the factors to determine the color of algal snow.

キーワード：雪氷藻類、月山、立山

Keywords: Snow algae, Mt. Gassan, Mt. Tateyama

中央アジア天山山脈における氷河融解水の化学的特徴

Chemical characteristics of glacial melt water in Tianshan Mountains in the central Asia

*堀 耀一郎¹、竹内 望¹、Li Zhongqin²*YOICHIRO HORI¹, Nozomu Takeuchi¹, Zhongqin Li²

1.千葉大学大学院理学研究科、2.中国科学院

1.Chiba University Graduate School of Science, 2.Chinese Academy of Science

アジア中央部の乾燥・半乾燥地域では、山岳氷河の融解水がこの地域の貴重な水源となっており、地域の生態系や人間社会に重要な役割を果たしている。乾燥地域における山岳氷河の水資源としての定量的な評価については現在まで多くの研究が行われてきた一方、山岳氷河の融解水の水質およびその河川水への影響に着目した研究はまだ限られている。そこで本研究では、融解期の中国天山山脈ウルムチNo.1氷河上の雪氷と融解水、および氷河からの流出水と流域河川水、降水についての化学成分の特徴を明らかにすること、また、氷河から河川水における化学成分の濃度と構成の変化の過程の要因を推定し、氷河の流域河川への影響を考察することを目的とした。

2015年8月の氷河上で、新雪、積雪、表面氷、融解水流、さらに氷河末端流出水、流域河川水、降水を採取し、これらのサンプルの主要化学成分の分析を行った。分析の結果、ほとんどの化学成分は、氷河上の雪氷や融解水に比べ、氷河流出水および流域河川水で濃度が高かった。特に大きく異なった成分は、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 K^+ で濃度は約6.5倍から19倍の差があった。 Na^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- は、氷河と河川水の差は比較的小さく、1.3から3.0倍程度であった。 NH_4^+ は、唯一例外的に氷河上の雪氷や融解水の濃度の方が高く、氷河流出水および流域河川水では検出されなかった。これらの結果は、化学成分は単に下流域に行くにしたがって濃度が高くなるのではなく、各成分の起源や生物地球化学過程によって、挙動が異なることを示している。各化学成分の濃度変化の特徴から、氷河上から流域河川にかけての濃度変化の要因は、氷河上の鉱物の風化、氷河底部の流出水、微生物の活動によるものである可能性が示唆された。また、高度別に氷河表面氷と融解水流（小）の濃度を比較したところ、表面氷では、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 NO_3^- で、融解水流（小）では、 Cl^- 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 NO_3^- で有意差が見られた。この濃度差は、古い氷体内の成分、高度別のダスト量の差、微生物活動などの影響を受けていることを示唆している。以上のことから、氷河から流出する融解水の化学成分濃度は、流域河川水および現在の降水とは異なり、古い氷体の融解、氷河上の鉱物粒子の風化、微生物活動などのプロセスによって決定されたものであると考えられる。氷河融解水の流出量や氷河上の生物地球化学過程の変化は、河川水の水質に大きな影響を与える可能性がある。

キーワード：生物地球化学、山岳氷河、融解水

Keywords: biogeochemistry, mountains glacier, melt water

積雪内部の水の動きに対する積雪特性の影響

Influence of snow characteristics on the water movement through the snow cover

*鈴木 健仁¹、山口 悟²、西村 浩一¹*Takehito Suzuki¹, Satoru Yamaguchi², Kouichi Nishimura¹

1.名古屋大学環境学研究科、2.防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター

1.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2.Snow and Ice Research Center,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

It is important to understand the water movement through the snow cover. However, the relationship between the movement of water and snow characteristics is not known well, particularly, in an unsaturated condition, since the process of water movement is so complicated.

In this study we carried out the experiment to reveal how the unsaturated hydraulic conductivity changes with the snow characteristics and compared with the van Genuchten -Mualem model that is a standard model to describe the unsaturated hydraulic conductivity of soil.

Further, the water retention curve (WRC), which shows the relationship between the volumetric water content (θ_v) and the suction (h), was obtained with the gravity drainage column experiments, and the effect of Black Carbon (BC) in the snow cover on WRC was examined.

キーワード：雪、積雪内部の水移動、水分特性曲線

Keywords: snow, water movement through snow cover, water retention curve

降雨時の融雪熱収支特性 – 本州中部における盆地と山岳地の比較 –

Features of energy balance for snowmelt during rain-on-snow events in central Japan

加藤 和輝¹、*河島 克久²、松元 高峰²、伊豫部 勉³、鈴木 修⁴、佐々木 明彦⁵、鈴木 啓助⁵Kazuki Katoh¹, *Katsuhisa Kawashima², Takane Matsumoto², Tsutomu Iyobe³, Osamu Suzuki⁴, Akihiko SASAKI⁵, Keisuke Suzuki⁵

1.新潟大学理学部、2.新潟大学災害・復興科学研究所、3.京都大学大学院工学研究科、4.東日本旅客鉄道株式会社、5.信州大学理学部

1.Faculty of Science, Niigata University, 2.Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University, 3.Graduate School of Engineering, Kyoto University, 4.East Japan Railway Company, 5.Faculty of Science, Shinshu University

1. はじめに

積雪期の降雨現象(ROS)は様々な災害を誘発することが知られている。これはROS発生時には降雨と同時に強い融雪が発生し、積雪・地中に多量の水が浸透することが原因だと考えられている。ROS発生日の融雪熱収支特性に関する研究として、Mark *et al.*(1998)が山岳地の観測から、ROS発生日は非降雨日より融雪熱量が大きいことを明らかにしている。一方、小島ら(1973)は盆地での観測からMark *et al.*(1998)と逆の結果を得ている。しかし研究事例が少なく、また年による熱収支特性の違いも解明されていない。さらに、盆地と山岳地では非降雨日とROS発生日の融雪熱量の大小関係が逆であるが、その原因はまだ明らかでない。そこで本研究ではROS発生日の融雪熱収支特性を明らかにすることを目的として熱収支解析を行った。

2. 研究地域と方法

ROS発生日と非降雨日の融雪熱収支特性を比較するため、新潟県魚沼市大白川(標高360m)で2012~2015年融雪期に得られた気象データを解析した。一方、盆地と山岳地の融雪熱収支特性の違いを見るため、大佐渡山地(標高800m)と御嶽山(標高2,195m)の2015年融雪期の気象データを解析した。解析期間は3月1日から消雪日までとし、本研究では平井ら(2015)を参考にして日降雨量が10mm以上の日をROS発生日とした。

3. 解析結果

大白川の解析から、4年の平均ではROS発生日は短波収支が小さくなるため非降雨日より融雪熱量が小さくなった。しかし、年ごとに比較すると、ROS発生日の融雪熱量はその出現時期によりアルベド・気温が大きく異なるため大きな違いが認められる。また、盆地(大白川)と山岳地(大佐渡山地、御嶽山)を比較すると、ROS発生日の融雪熱量は山岳地の方が圧倒的に大きい。これは山岳地では風速が強く、顕熱・潜熱輸送が大きくなるためである。このことから、標高の高い山岳地では、ROS発生日は降雨と融雪で積雪・地中に浸透する水量が極めて多くなるため、土砂災害や雪崩災害が発生する危険性が高いと言える。

キーワード：ROSイベント、融雪、熱収支

Keywords: rain-on-snow event, snowmelt, energy balance