

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でも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

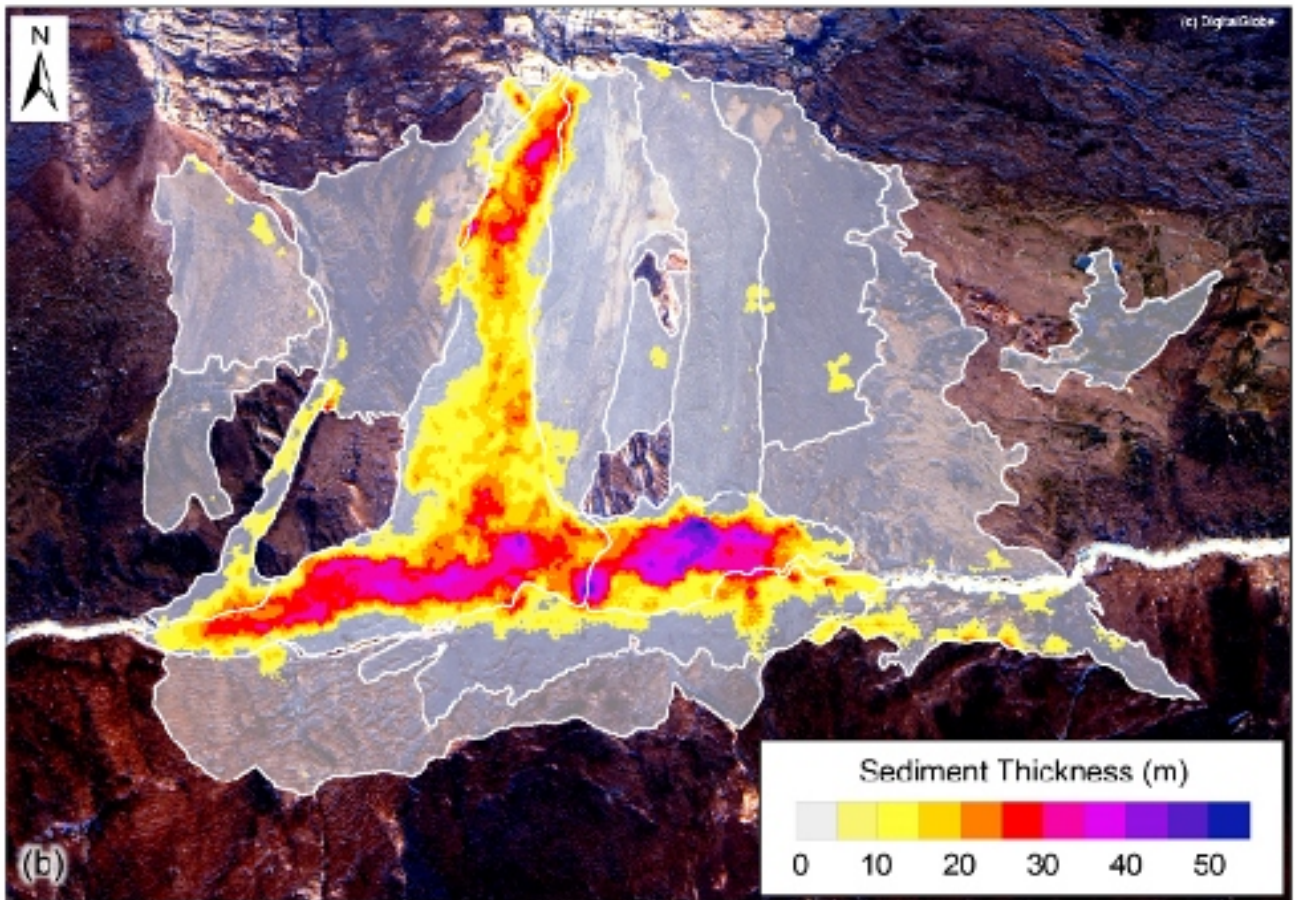
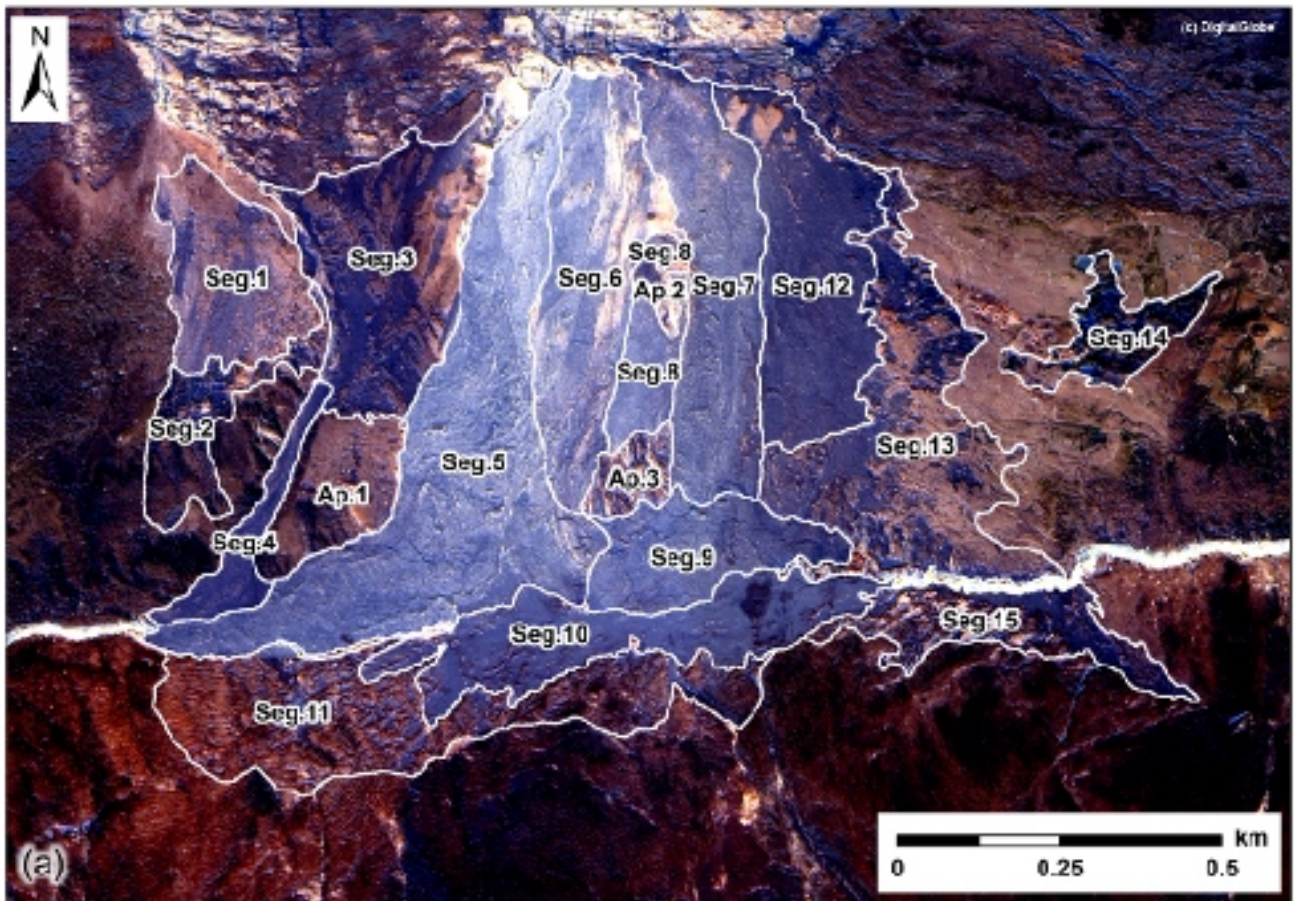
1.Japan Aerospace Exploration Agency

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。±5m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、有機物量が多く、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 Miyachi¹, 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。外被が花弁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の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bedo、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

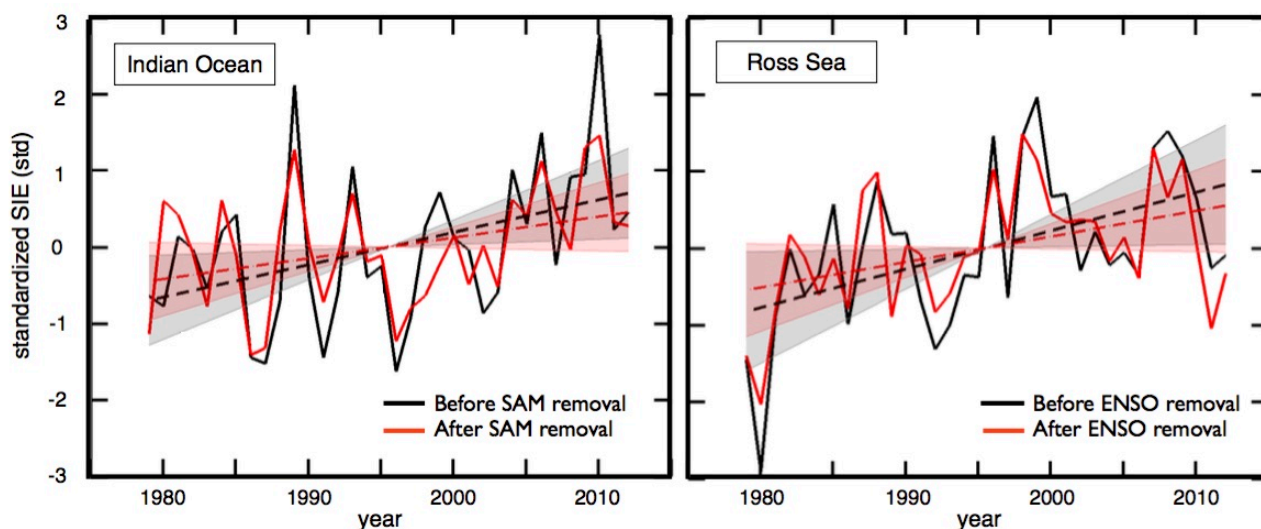
1.ワシントン大学大気科学科

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

クロスカンリー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

クロスカンリースキー競技では、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リースキーコース内の多点気象観測法を開発を目的とする。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：クロスカンリースキー、摩擦係数

Keywords: cross-country skiing, coefficient of dynamic friction