

カーリング・ストーンのカールの大きさに対する自転角速度非依存性の問題 Problem on non-dependent of curl distance to initial angular velocity of stone

対馬 勝年^{1*}; 森 克徳¹
TUSIMA, Katsutoshi^{1*}; MORI, Kastunori¹

¹ 富山大学
¹University of Toyama

カーリングストーンのカールの機構をめぐっては論議の絶えないところであるが、カールの大きさがストーンの初期自転角速度に依存しないようだという事実は衝撃的でその説明は難航を極めている。左回転を与えて滑らせば左にカールし、右回転を与えて滑らせば右へカールすることはよく知れていて、それを説明する学説も提案されている。問題は「カールの大きさと自転の速度の関係は少ないようだ」という事実をどう説明するのかである。たとえば、左右摩擦異方性に基づくカールの説明には、カールの説明はできても、カールの大きさは自転角速度に依存するはずだという疑問がつけつけられ、学説の信頼性が確立するにはいたっていない。カールの大きさが自転角速度に依存しないことを説明できる学説こそがカールの機構を説明する学説になるものと思われる。

ストーン(外径0.3m, 重さ200N)の湾曲した下面には幅6mm程度、直径120mm程度のリング状の平坦面があり、この部分(スリップバンド)がアイスシートのベブル(粒粒状の氷の突起)に接しながら滑っていく。ストーンには2m/s内外の初速度と停止までに2~数回転する自転が与えられている。

本発表ではストーンを質点系とみなした運動解析やストーンをいくつかの素片に分解した素片運動解析などの結果から、ストーンに作用する拘束力を見出し、拘束力の方向が角速度を変えても変わらず、滑走時間を変えても変わらないことが見出された。つまり、自転によるストーンの傾き角度はある方向になるが、自転角速度を変えてもその方向は変わらないものと考えた。横ずれ(カールの大きさ)は傾いた方向に滑っていく並進運動から生ずる。傾くだけではカールを生じないが、傾きの方向に滑っていく(並進運動)によってカールが生ずる。傾いた方向に滑る(並進運動)ためにカールの大きさはあまり変わらないものと推測してみた。カールの大きさが自転の角速度に依存しないという事実については従来、納得のいく説明がなかったようであるから問題提起を兼ねて試論を紹介したい。

地吹雪発生時の大気電場の変動について Atmospheric electric field variation during drifting snow

鈴木 裕子^{1*}; 鴨川 仁¹; 源 泰拓²; 門倉 昭³; 佐藤 光輝⁴

SUZUKI, Yuko^{1*}; KAMOGAWA, Masashi¹; MINAMOTO, Yasuhiro²; KADOKURA, Akira³; SATO, Mitsuteru⁴

¹ 東京学芸大学教育学部物理学科, ² 気象庁地磁気観測所, ³ 国立極地研究所, ⁴ 北海道大学 大学院理学研究院

¹Dpt. of Phys., Tokyo Gakugei Univ., ²Kakioka Magnetic Observatory Japan Meteorological Agency, ³National Institute of Polar Research, ⁴Department of Cosmoscience, Hokkaido University

地球は電離圏と大地との間で全球的巨大球殻コンデンサーをなしており、約 100 V/m の大きさの電場が地表に存在する。このコンデンサーは宇宙線によってわずかに電離させられた大気を通じてたえず放電し、対地雷によって充電されている。全球的電気回路はグローバルサーキットと呼ばれ、大気電場及び世界中の全対地雷強度の測定により推進できると考えられている。大気電場は僅かな大気汚染にも影響を受けるため極域で観測することは理想的であるが、極域では地吹雪の帯電が観測のノイズ源となる。南極昭和基地における雪と大気電場の研究は古くからしばしば行われており、風速が大きくなると kV/m のオーダーまで電場が大きくなることが知られている。昭和基地では雷雲がないことから、この地吹雪のみが大気電場のノイズ源となる。本研究では、グローバルサーキット変動成分抽出の精度を高めるため、地吹雪による大気電場変動の解明を目指す。先行研究では、地吹雪時の雪の多くは負に帯電していることがよくわかっており、我々のゲルディエンコンデンサー型によるイオン測定機器を用いても同様な結果を得た。複数の先行研究にもとづきポアソン方程式シミュレーションを用いて電荷が作る電場を求めた。計測された正の電場と、地吹雪が負に帯電することにより、相対的に地面の表面には正に帯電していると解釈できた。

キーワード: 地吹雪, 大気電場, 摩擦帯電

Keywords: Drifting snow, Atmospheric electric field, Triboelectrification

冬季モンスーン時の富山平野における降雪融解による冷却 Cooling by the melting of snowfall on the Toyama Plain during the winter monsoon

吉兼 隆生^{1*}; 馬 燮鈞¹
YOSHIKANE, Takao^{1*}; MA, Xieyao¹

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

冬季モンスーン期間の降水時に富山平野において地上気温の出現頻度分布のピークが0℃付近に観測される。降雪の融解が富山平野での冷却の主要因であると仮定し、アメダスによる1990年から2009年までの1月の時別データを用いて、沿岸（羽咋）と内陸（富山）との気温の関係を調査した。沿岸域で0~4℃の気温が観測されるときは、内陸では0℃付近の気温を維持する傾向がみられた。0?4℃の気温は雪から雨に変化する温度帯に相当する。この関係は、降水が起こりにくい状況の時は不明瞭であった。次に、観測で得られた経験式を用いて、沿岸と内陸の気温の関係を見積もった結果、観測とほぼ同じ特徴が得られた。以上の結果から、富山平野で顕著にみられる0℃付近の気温出現頻度ピークは、冬季モンスーンに伴う沿岸からの空気塊が、内陸に到達するまでに降雪の融解によって0℃付近まで冷却されることが原因であると推測される。

キーワード: 降雪, 融解冷却, 地上気温, 冬季モンスーン

Keywords: snowfall, cooling of melting, surface air temperature, winter monsoon

白馬岳高山帯における山火事発生後の地表環境のモニタリング Geo-environmental Monitoring on Post-fire alpine slopes of Mount Shirouma-dake, northern Japanese Alps

佐々木 明彦^{1*}; 荻谷 愛彦²; 鈴木 啓助³
SASAKI, Akihiko^{1*}; KARIYA, Yoshihiko²; SUZUKI, Keisuke³

¹ 信州大学山岳科学研究所, ² 専修大学文学部環境地理学科, ³ 信州大学理学部物質循環学科

¹Institute of Mountain Science, Shinshu University, ²Department of Environmental Geography, Senshu University, ³Department of Environmental Sciences, Faculty of Science, Shinshu University

2009年5月9日に白馬岳の高山帯において発生した山火事から5年が経過した。山火事を契機とした大規模な土砂移動は生じていないことがこれまでに確認されているが、山火事によって葉が焼失したハイマツ群落では、今後ハイマツが枯死し、根が抜けるなどの変化が生じる場合に新たな土砂移動のプロセスが始まる可能性がある。そのため、地形の変化を引き続きモニタリングしていく必要があると考え、目視による地形観察、地温観測を実施した結果、新たな土砂移動の兆候が認められた。

山火事跡地の詳細な地形図を基図として、延焼域及びその周辺の斜面に立ち入り、目視観察を主たる方法として、地表の状況を記載した。また、山火事によって焼失したハイマツ群落と、その直近のハイマツ非焼失群落に、それぞれ温度計を設置し、山火事による斜面環境の変化を観測した。温度センサーは、リター内、1cm深、10cm深、40cm深に埋設した。また、両群落の周囲にみられる草本群落にも温度センサーを埋設した。

ハイマツの焼失と地形変化との関連に関して、次の観察事実を得た。2012年までの3年間の観察では、地表流による侵食などの地形変化は生じていなかったが、2013年の調査の際には、ノッチ状地形の庇の基部が侵食を受けて、ノッチが後退していることが確認された。しかし、2014年にはノッチの状態は変化していない。また、焼失ハイマツ群落の林床では、表面の砂礫が移動し、流水の痕跡も認められた。焼失ハイマツ群落の林床のリターの厚さは、2011年にはおおむね4cmであったが、2012年には2cmとなり、2013年と2014年には場所によっては0.5cm程度になった。2012年までの観察でも、流水の作用によるリターの流出は確認されていたが、リターはこの2年で急激に厚さを減じ、土層の表面が露出し始めている。

夏季には非焼失ハイマツ群落に比べ焼失ハイマツ群落における地温が高くなり、それは1cm深で最も顕著であることが明らかとなった。夏季の地温は2010年と2011年は同傾向であったが、2012年と2013年、2014年のそれはとくに高くなった。2009年や2010年では、10月～11月の凍結移行期に1cm深での日周期の凍結融解は生じなかった。一方で、2011年の10月～11月には、非焼失ハイマツ群落の1cm深では日周期の凍結融解は生じないものの、焼失ハイマツ群落では13回の日周期の凍結融解が生じた。2012年および2013年の10月～11月も同様に、焼失ハイマツ群落でのみ日周期の凍結融解が10回以上生じた。また、2010年と2011年の融解進行期には日周期の凍結融解は生じなかったが、2012年以降の融解進行期にはそれぞれ20回ほどの日周期の凍結融解が生じた。

ノッチの侵食や林床の砂礫の移動、リターの流出は、2013年の8月に連続して生じた豪雨が影響して劇的に進行した可能性はあるが、砂礫の移動には凍結融解作用の強化が関与していることも考えられる。また、山火事後にハイマツの焼失によってリターの供給が途絶えた結果、それまでに林床に存在したリターが流水で流出するほか、夏季地温の上昇に伴う乾燥化に起因して分解が進行し、その厚さを減じているものとみられる。リターの層厚の減少に伴って、焼失ハイマツ群落における地温は裸地における地温の年変化の状況に近づいている。この点も含め、焼失ハイマツ群落の林床では、今後土層の凍結融解による物質移動や流水による土層の侵食が顕著になっていく可能性が考えられる。

キーワード: 山火事, 高山帯, ハイマツ, 斜面侵食, 地温変化, 白馬岳

Keywords: Fire, Alpine zone, Pinus pumila, Slope erosion, Ground temperature variation, Shirouma-dake

富山県立山における雪氷藻類の色素の時間的空間的多様性 Temporal and spatial variations in pigment compositions of snow algae in Mt. Tateyama in Toyama prefecture, Japan

中島 智美^{1*}; 竹内 望¹; 植竹 淳²; 瀬川 高弘²; 渡辺 憲一²; 大沼 友貴彦¹; 榊 龍太郎¹
NAKASHIMA, Tomomi^{1*}; TAKEUCHI, Nozomu¹; UETAKE, Jun²; SEGAWA, Takahiro²; WATANABE, Kenichi²;
ONUMA, Yukihiko¹; SAKAKI, Ryutaro¹

¹ 千葉大学大学院理学研究科, ² 国立極地研究所

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

Snow algae are photosynthetic microorganisms inhabiting on alpine and polar snow fields. When they bloom, they can change color of snow to red or green since they have various pigments in their cells. Variation in snow color may be associated with environmental conditions and/or taxa of the algae. However, detailed information is not known. In this study, we analyzed pigment compositions, microscopic cell morphology and abundance, and 18S rRNA gene of algal snow collected in the melting season of 2014 on Mt. Tateyama in Toyama prefecture, Japan. We aim to understand the relationship among taxa, life cycles, and pigments of algae.

Absorption spectrums of extracts from the colored snow showed that there were four absorption maximums in absorption spectrums. Each absorption maximums may correspond to pigments contained in the algae, including Chlorophyll *a*, Astaxanthin and unknown Carotenoid. Absorption spectrums varied among the samples, and that could be classified into 4 types: Type A (with maximums of Chlorophyll *a* and Astaxanthin), B (with maximums of Chlorophyll *a* and unknown Carotenoid), C (with maximums of Chlorophyll *a* only), and D (without any maximum). Microscopy of the samples revealed that the samples of A and B types contained snow algae of different color and structure: red sphere cells in Type A, and orange sphere, yellow sphere, green oblong cells in Type B. Analyses of the 18S rRNA gene identified 15 OTUs of algal gene in the samples. The samples of Type A and B contained distinctive OTUs of the algae, respectively, suggesting that the difference of algal pigments between Type A and B is not due to pigment compositions in same algal taxon, but to those of different algal taxa. Analysis of seasonal changes revealed that pigment compositions changed from Type A to Type B at the same location during the study period, suggesting that algal species composition on the snow surface change with time. The results also showed that the colored snow of Type A, B, and C appeared on several locations in Tateyama mountains from June to August. Variations in algal species and pigment compositions among time and locations may be attributed to life cycles and the dispersal of algae.

キーワード: 立山, 雪氷藻類, クロロフィル a, アスタキサンチン, カロテノイド
Keywords: Tateyama, Snow algae, Chlorophyll a, Astaxanthin, Carotenoid

デジタル定点撮影による高山帯の融雪モニタリング Snowmelt monitoring of alpine zone in Japan by using time-lapse cameras

小熊 宏之^{1*}; 井手 玲子¹; 米 康充²; 鈴木 英夫³; 浜田 崇⁴
OGUMA, Hiroyuki^{1*}; IDE, Reiko¹; YONE, Yasumichi²; SUZUKI, Hideo³; HAMADA, Takashi⁴

¹ 国立環境研究所, ² 島根大学, ³ 朝日航洋(株), ⁴ 長野県環境保全研究所
¹National Institute for Environmental Studies, ²Shimane University, ³Aero Asahi Corporation, ⁴Nagano Environmental Conservation Research Institute

温暖化の影響による高山植物の種類や生育場所、開花時期などのさまざまな変化が世界各地で報告されており、長期的なモニタリングの必要性が世界的に認識されている。日本の中部山岳地域は世界有数の豪雪地帯であり、気候変動による積雪量や融雪時期の変化は高山域の生態系に影響を与えると考えられる。しかし、高山域はその厳しい自然条件とアクセスの難しさから、これまで詳細なデータを広範囲で連続的に取得することが困難であった。国立環境研究所では、山小屋との連携により既存のライブカメラ画像を有効利用する一方で、より高解像度のカメラの設置を進め、リアルタイムかつ多地点の積雪・融雪過程の把握や植生フェノロジーの観測を目的とした高山帯モニタリングを行っている。日本の最北端の高山帯である利尻岳と、標高 3000m 級の山々が連なる槍穂連峰などの北アルプスを中心に観測点を整備し、同時に撮影画像の解析手法の開発を行っている。大津の二値化により雪の被覆箇所を自動的にマッピングする手法を開発し、各サイトのデジタル画像に適用することで融雪過程の変化を求めた。詳細なデジタル標高モデルが入手できる一部の山岳については、斜めや真横から撮影している観測画像を正射投影(オルソ化)することで、等高線や地理情報との重ね合わせを可能とし、融雪パターンや速度に対する地形的な考察を可能とした。

Keywords: RGB digital number, ortho-rectify, discriminate analysis method



Fig. 1 Monitoring sites location map

運動モデルを用いた岩手山西斜面の雪崩の再現 Numerical simulation of snow avalanches on the west-facing slope of Mt. Iwate, Japan

竹内 由香里^{1*}; 西村 浩一²
TAKEUCHI, Yukari^{1*}; NISHIMURA, Koichi²

¹ 森林総合研究所十日町試験地, ² 名古屋大学大学院環境学研究科

¹Tohkamachi Experimental Station, Forestry and Forest Products Research Institute, ²Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

2010-11年冬期に岩手山西斜面で大規模な雪崩が発生し、2箇所合わせて約7haに及ぶ亜高山帯林が倒壊した。この雪崩は、実際の発生区の位置が不明であるが、現地調査の結果から、森林に流入する前に高速になっていた可能性が高く、標高約1730mの森林限界より高所で発生した乾雪表層雪崩と考えている(竹内ら, 2014)。本研究では、発生区の位置や雪崩の流下に及ぼした森林の影響を明らかにすることを目的として、雪崩の流下を運動モデルTITAN2Dで再現した。まず雪崩の流下経路や到達点を再現するように、発生区の位置を検討した。その結果、標高1950m付近の幅300m程度の範囲を発生区とすると、途中で2方向へ分かれて実際の雪崩と同様の2つの経路を流下した。竹内ら(2014)は2箇所の雪崩跡は発生区が異なる2件の雪崩と考えていたが、モデルの計算結果では同一の発生区から流下した1つの雪崩であった可能性が示唆された。次に、モデルにおいて雪崩の底面摩擦角 μ を変えて流下距離を比較した結果、森林限界より高所では $\mu_1 = 12 \sim 14^\circ$ 、森林内では $\mu_2 = 26 \sim 25^\circ$ とすると実際の雪崩の流下距離をよく再現できることがわかった。森林がない場合を想定して、底面摩擦角を 14° で一定にすると、雪崩が減速せずに実際より遙か遠くまで流下したことから、森林は雪崩を停止させる大きな効果があったといえる。

キーワード: 岩手山, 雪崩, 亜高山帯林, 運動モデル

Keywords: Mt. Iwate, snow avalanche, subalpine forest, numerical simulation

富士山東斜面の雪代現象の特徴と雪崩発生の素因 Characteristics of the Yukishiro events and ground factor of slush avalanche on the eastern slope of Mount Fuji

小森 次郎^{1*}
KOMORI, Jiro^{1*}

¹ 帝京平成大学
¹Teikyo Heisei University

富士山で発生する雪代については、1940年代の広瀬潔の報告やその後の雪氷研究者や登山家による多くの研究によって、発生時の地盤条件（素因）とトリガーとなる気象条件までが明らかになりつつある。しかし、特にスラッシュ雪崩が頻発する東斜面（御殿場側斜面）において、気象条件が整った場合での過去のスラッシュ雪崩の発生/非発生について注目してみると、その境界は単純ではない。

そこで筆者は同斜面において、気象条件が整うタイミングの前後を狙って現地調査を実施した。その結果以下のことが明らかになってきた。

- 凍結地盤の上に過去の発生時と同様の十分な積雪、および昇温と強雨があってもスラッシュ雪崩が発生しない場合がある（例えば、2014年2月の大雪後の場合）。

- 斜面で発生するスラッシュ雪崩よりも、広い谷状地形の底や溶岩流を基底にもつ溪床から発生するスラッシュフロー（雪泥流）の方が発生の頻度は高い。

- 東斜面においては積雪の下面に厚い氷板が広域に分布する。しかし年によってその発達に差異があり、2014年2月中旬には形成が確認できなかった。

以上から、スラッシュ雪崩の発生には、積雪深と積雪内に形成された氷板の有無が発生の重要な鍵を握っていると考えられる。

キーワード: スラッシュ雪崩, スラッシュフロー, 積雪断面観察, 氷板, 事例研究, 災害予測

Keywords: slush avalanche, slushflow, snow profile observation, ice layer, case study, disaster prediction

西クンルン山脈における多温型サージ氷河の冬期加速 Winter speed-up of polythermal surging glacier in West Kunlun Shan

安田 貴俊^{1*}; 古屋 正人¹
YASUDA, Takatoshi^{1*}; FURUYA, Masato¹

¹ 北海道大学 理学研究院 自然史科学部門
¹ Natural History Sciences, Hokkaido University

Glacier surging is a short-lived rapid flow punctuated with a years-decades long quiescent phase in which a glacier stream become stagnant or relatively slower than those of non-surge type glaciers. It is considered that the surging flow is triggered by high basal water pressure. It reduces overburden ice pressure and the yield stress of basal till, which can be attributed to enhance the basal slip. Two possible mechanisms are proposed according to velocity development during the surging. The detailed surging mechanisms, however, remain uncertain because temporal observations of surging flow are still limited.

We examined the spatial-temporal evolution of the surface velocities at the two surging glaciers in West Kunlun Shan, north-western Tibet, applying the offset-tracking method to both ALOS/PALSAR and TerraSAR-X SAR imageries. West Kunlun Shan is one of the driest and the coldest region around Tibetan Plateau. Accumulation and ablation mainly concentrates during May-September (Zhang et al. 1989). An ice cap is frozen to the bed (Thompson et al., 1995), whereas many glaciers are found to be polythermal type glaciers (Aniya 2008).

Two surging had already activated by 2007 and still continued by 2014, gradually changing their flow speed. Furthermore, we detected the surging flow modulated seasonally that the flow speeds increased up to ~180-200% in late fall to winter against in spring to early summer. Pressure melting and frictional heating have been proposed to explain the years-long surging flow at poly-thermal glaciers. But the observed seasonal modulation strongly suggests that the influx of surface meltwater influenced the surging flow, indicating that the hydrological processes play an important role under the sub-polar environment.

キーワード: 氷河サージ, 合成開口レーダー, 西クンルン, 冬期加速
Keywords: glacier surging, SAR, West Kunlun Shan, winter speed-up

数値氷河水文学モデルによる底面水圧の季節変化 Seasonal changes of basal water pressure computed from numerical glacier hydrology model

古屋 正人^{1*}; ウェルダー マウロ²; 阿部 隆博¹; 安田 貴俊¹
FURUYA, Masato^{1*}; WERDER, Mauro²; ABE, Takahiro¹; YASUDA, Takatoshi¹

¹ 北海道大学大学院理学研究院, ² チューリッヒ大学
¹Hokkaido University, Graduate School of Science, ²University of Zurich

Seasonal velocity changes at mountain glaciers have been known since 1980s (e.g., Iken and Bindshadler, 1986), and those at Greenland Ice sheet were detected in early 2000 (Zwally et al., 2002). While such short-term glacier dynamics have not been taken into account in the standard "long-term" glacier modeling, this is not only due to the limitations of computational resources but also due to the lack of clear understanding of the effects of meltwater on glacier dynamics. On one hand, spring/early summer speed-up has been well-documented and studied from both observational and theoretical sides. On the other hand, although the wintertime initiation of glacier surge in Alaska has been empirically known, it should be noted that no extensive wintertime velocity measurements have been performed because of logistics problems; slower glacier/ice-sheet velocities have been implicitly assumed. However, Abe and Furuya (2014) detected those signals at the quiescent surge-type glaciers in Yukon/Canada. Moreover, at the two surging glaciers in the West Kunlun Shan, NW Tibet, Yasuda and Furuya (2015, submitted) detected seasonal modulation signals in their surface velocity data, indicating ~200 % increase of surface velocities from fall to winter.

キーワード: 氷河表面速度, 季節変化, 氷河水文学, 底面水圧
Keywords: glacier surface velocity, seasonal change, glacier hydrology, basal water pressure

アラスカ・レンゲル山脈における山岳氷河の季節的・経年的変化 Seasonal and interannual variations of mountain glaciers in Wrangell Mountains, Alaska

阿部 隆博^{1*}; 古屋 正人¹
ABE, Takahiro^{1*}; FURUYA, Masato¹

¹ 北海道大学大学院理学院

¹ Graduate School of Science, Hokkaido Univ.

Recent satellite data have revealed significant ice mass loss on ice-sheets and mountain glaciers (e.g., Garder et al., 2013). GRACE data from 2003 to 2010 show the rate of ice loss in Alaskan glaciers is 65 Gt/yr (Arendt et al., 2013). DEM differencing is also used to estimate the ice thickness change, and Berthier et al. (2010) revealed the changes at the regional scales. Das et al. (2014) estimates the ice thickness changes by DEM differencing and airborne laser altimetry in Wrangell Mountains. While the ice thickness change is -0.07 ± 0.19 m w.e.yr⁻¹ from 1957 to 2000, it increases by up to -0.24 ± 0.16 m w.e.yr⁻¹ from 2000 to 2007. This indicates accelerated mass loss over the Wrangell Mountains during 21st century. However, the glaciers variation following the interannual ice loss remains unclear. Thus, we have examined the spatial and temporal variations of ice speed and terminus position in mountain glaciers in Wrangell Mountains by satellite imageries.

Synthetic Aperture Radar (SAR) data have revealed ice velocity fields of ice sheets and mountain glaciers with high resolution (e.g., Rignot et al., 2011; Yasuda and Furuya, 2013). Near the border of Alaska and Yukon (surrounding the St. Elias Mountains), the ice speed distributions have been clarified (Burgess et al., 2013) and their spatial and temporal changes (Abe and Furuya, 2014). We found significant upstream accelerations at many surge-type glaciers from fall to winter, regardless of surging episodes. Given the absence of upstream surface meltwater input in winter combined with an earlier observation of vertical surface motions (Lingle and Fatland, 2003), we support the hypothesis of englacial water storages that promote basal sliding through increased water pressure as winter approaches.

We expanded the analysis area to Wrangell Mountain in order to examine (1) seasonal speed change, (2) interannual variation (3) whether the winter speed-up is universal or not. The temporal coverage of ALOS/PALSAR is only for 5 years (from 2006 to 2011). This is too short to examine the interannual changes. Thus, we use Landsat optical imageries (1999-2014) to examine the terminus position in addition to SAR intensity images. In terms of interannual change in ice speed, we compare the result shown in Lie et al. (2008). They showed the ice speed of Nabesna Glacier, which is the largest land-terminating glacier in Alaska, by applying InSAR analysis to 5-tandem pairs of ERS 1-2 SAR data acquired from 1994 to 1996.

Our results show the clearly seasonal speed-up is shown at Nabesna glacier, but there seems to be no interannual change between 1995 and 2010. Besides, the proglacial lakes have been extending between 1999 and 2014. At Copper Glacier, we found upstream accelerations from fall to winter at every year. The winter speed-up can be found in the confluences of the tributaries and valley constrictions, where it is likely to form overdeepened bed topography (MacGregor et al., 2000; Hooke, 2005). As comparing with Turrin and Foster (2014), we discuss the relation between overdeepenings and englacial water storage, and its link to surface speeds.

Keywords: Alaskan Glaciers, SAR, Winter speed-up, Overdeepenings, Englacial water storage

ICESat レーザー高度計を用いた氷河涵養域の表面高度変化の補正と評価 Calibration and evaluation of glacier surface elevation change in accumulation area using ICESat laser altimeter

縫村 崇行^{1*}; 藤田 耕史²; 坂井 亜規子²
NUIMURA, Takayuki^{1*}; FUJITA, Koji²; SAKAI, Akiko²

¹ 千葉科学大学, ² 名古屋大学

¹Chiba Institute of Science, ²Nagoya University

リモートセンシングによる DEM はその計測手法により異なる様々な誤差が含まれていることが知られている。ASTER や ALOS PRISM など写真測量法で作成された DEM は、表面のコントラストの大きい氷河消耗域での精度は良いが、汚れのない氷に覆われ表面のコントラストが小さい氷河涵養域では精度が悪いことがわかっている。そのため、写真測量法による DEM から求められた氷河涵養域の氷河表面高度変化は別の測地学的手法による検証が必要となる。本発表では ICESat レーザー高度計による 2003~2008 年の高度データを用いて、写真測量法による DEM から求められた氷河表面高度変化に対して評価及び補正を行った結果を報告する。

Numura et al. (2012) にて使用されている 2000 年の SRTM、2000-2008 年の ASTER DEM に加えて、2008~2012 年の ASTER DEM を 2007 年に実施した DGPS 測量データにより位置補正をしたうえで、2000~2012 年の氷河表面高度の変化 30m グリッドごとを線形近似で求めた。それから ICESat がクンプ地域を通過する時間 (2003~2008 年に 30 回) における氷河表面高度を推定し、ICESat で得られた高度との比較を行った。高度差の評価は氷河外と氷河上に分けて行い、高度差の高度分布を求めた。

多時期の DEM により推定された氷河表面高度 (Z_{eval}) と ICESat (Z_{ICESat}) で得られた同じ時間での高度との比較を行った結果、氷河外においてはばらつきは大きいですが差の平均値はほぼ 0 ラインに沿っていた。一方、氷河上では 5300 m a.s.l. 以下の氷河消耗域では差の平均値は 0 ラインに近いが、5300 m a.s.l. 以上では ICESat 高度よりも多時期の DEM による推定高度が高いことが明らかとなった。このことは従来の氷河表面高度変化の評価は氷河涵養域においては負の方向にバイアスが存在した可能性を示唆する。

これまで現地観測による検証が困難なため不確定性の大きかった氷河涵養域において、従来の手法により求められた氷河表面高度変化の ICESat データによる検証を行った結果、氷河涵養域でのバイアスを確認することができた。発表時には高度別の評価以外にも ICESat の精度が左右される表面傾斜、写真測量法の精度を決める表面のコントラストも含めた評価及び補正についても紹介する。

キーワード: 氷河, DEM, ICESat, ヒマラヤ

Keywords: glacier, DEM, ICESat, Himalaya

南極ドームふじにおける氷床の層位をもったフィルンの圧密 Densification of layered firm of the ice sheet at Dome Fuji, Antarctica

藤田 秀二^{1*}; 東 久美子¹; 平林 幹啓¹; 堀 彰²; 飯塚 芳徳³; 望月 優子⁴; 本山 秀明¹; 高橋 和也⁴
FUJITA, Shuji^{1*}; GOTO-AZUMA, Kumiko¹; HIRABAYASHI, Motohiro¹; HORI, Akira²; IIZUKA, Yoshinori³;
MOTIZUKI, Yuko⁴; MOTOYAMA, Hideaki¹; TAKAHASHI, Kazuya⁴

¹ 国立極地研究所, ² 北見工業大学, ³ 北海道大学 低温科学研究所, ⁴ 理化学研究所 仁科センター

¹National Institute of Polar Research, ²Kitami Institute of Technology, ³Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ⁴RIKEN Nishina Center

極地氷床の圧密課程をよりよく理解する目的で、南極ドームふじ頂部近傍の10km以内の範囲の3箇所掘削されたフィルンコアを調査した。密度の指標としては、マイクロ波帯での誘電率として、 ϵ_v と ϵ_h を調査した。それぞれは、電場を氷床で鉛直に印加した場合と水平に印加した場合の誘電率である。また、誘電異方性 $\Delta\epsilon (= \epsilon_v - \epsilon_h)$ を、フィルンのなかの空隙と氷のなす幾何構造の異方性の指標として調べた。私たちは、調査した3地点において共通に、フィルンの中では、2種類の現象の複雑な重ね合わせの結果として圧密が起こっていることを見いだした。まず基本的には、初期段階で低密度で且つ弱い異方性をもつフィルンは、組織構造によってもたらされる降下として、圧密のすべての段階を通じて優先的に圧密する。次に、高濃度の Cl^- イオンを含む層は、氷床表層から約30m深付近まで選択的に変形をする。海塩から解離した Cl^- イオンが、転位の動きを変調し、フィルンを柔らかくしてしまったことによってこれが起こる。しかし、この優先的な圧密は、 Cl^- イオンが拡散によって平滑化してしまった段階で止まってしまう。さらには、フィルンは、3箇所の掘削点で、幾何学的な異方性の強度、平均的な変形速度、そして、密度ゆらぎの強さの観点で、大きく異なる。私達は、この差異は、様々な空間スケールのなかでおこる堆積環境の差に起因する組織構造の効果 (textural effects) によって起こっていると提案する。

キーワード: フィルン, 南極, 氷床, 南極雪氷, 氷河レオロジー

Keywords: Firm, Antarctica, ice sheet, Antarctic glaciology, glacial rheology

南極氷床の堆積環境と表面積雪の化学成分の代表性 Spatial and temporal variability of surface snow chemistry and snow deposited condition at East Antarctic ice sheet

本山 秀明^{1*}; 鈴木 香寿恵²; 平林 幹啓¹
MOTOYAMA, Hideaki^{1*}; SUZUKI, Kazue²; HIRABAYASHI, Motohiro¹

¹ 国立極地研究所, ² 統計数理研究所

¹National Institute of Polar Research, ²Institute of Statistical Mathematics

Snow stakes along the traverse routes have been observed for long term monitoring program 'the variation of ice sheet surface mass balance' from the 1960's by the Japanese Antarctic Research Expedition in Shirase glacier drainage basin, East Antarctica. During the traverse route between coastal S16 point (69°02'S, 40°03'E, 580m a.s.l.) to inland Dome Fuji (77°22'S, 39°42'E, 3,810m a.s.l.), the snow stake observations every 2 km have been carried out from 1993. Yearly net snow accumulations from S16 to Dome Fuji were calculated.

Surface snow samplings were conducted every 10km along the traverse route. Generally, the snow surface features are classified into three regions.

- (1) coastal region: smooth surface, high snow accumulation
- (2) katabatic slope region: rough sastrugi surface and smooth glazed surface
- (3) high plateau region: smooth surface, little snow accumulation

We will show the spatial and temporal variability of surface snow accumulation and snow chemistry at East Antarctic ice sheet.

The chemistry of surface snow changes from the coast to inland. Furthermore, the chemical properties of snow are different for each surface at the same area. We can classify the surface snow with fresh drifting snow, deposited drift snow, soft and hard surface snow, sastrugi, surface hoar and so on. The value of each isotope ration and ion concentration greatly varied. Sometimes, snow might deposit thick equally. But the deposited snow was redistributed by the wind. When the snowstorm occurred, the blowing snow started to deposit in a certain opportunity. As for it, the area was not the uniform. It is necessary to discuss inhomogeneity of the depositional condition quantitatively.

キーワード: 南極氷床, 堆積環境, 表面積雪, 化学成分

Keywords: Antarctic ice sheet, depositional condition, surface snow, snow chemistry

A simple anisotropic flow law for polar ice based on anisotropic, scalar flow enhancement
A simple anisotropic flow law for polar ice based on anisotropic, scalar flow enhancement

GREVE, Ralf^{1*}; TREVERROW, Adam²; WARNER, Roland²
GREVE, Ralf^{1*}; TREVERROW, Adam²; WARNER, Roland²

¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan, ²Antarctic Climate and Ecosystems CRC, University of Tasmania, Hobart, Australia

¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan, ²Antarctic Climate and Ecosystems CRC, University of Tasmania, Hobart, Australia

The flow of polycrystalline polar ice is often described by Glen's flow law, in which ice is assumed to be an isotropic, non-linearly viscous fluid. This goes along with the assumption that the ice crystallites (grains) in the polycrystalline aggregate are essentially randomly oriented. However, observations show that, especially in the deeper parts of an ice sheet or glacier, different patterns of preferred c-axis orientations and anisotropic flow properties develop, which vary according to the flow regime. Adopting some concepts proposed by Budd et al. (*J. Glaciol.* 59, 374-392, 2013), we will describe a newly developed, simple anisotropic flow law based on an anisotropic, scalar flow enhancement factor. The scalar character is similar to the flow law of the CAFFE model by Placidi et al. (*Cont. Mech. Thermodyn.* 22, 221-237, 2010). However, while the CAFFE model contains an evolution equation for the anisotropic fabric, here we assume that on a large scale the fabric (microstructure) evolves at a rate to remain compatible with the deformation regime. This makes ice deformability a function of the current deformation regime, eliminating the requirement for a fabric evolution scheme. The parameters of the anisotropic flow law are based on laboratory ice deformation experiments conducted in a range of combined stress configurations incorporating compression and simple shear (Treverrow et al., *J. Glaciol.* 58, 301-314, 2012). These results show that ice is softer under simple shear than under compression. We have implemented the new flow law in the three-dimensional ice sheet model SICOPOLIS (www.sicopolis.net), and we will discuss some simulation results for a simple geometry (EISMINT; Payne et al., *J. Glaciol.* 46, 227-238, 2000) and for the Antarctic ice sheet.

キーワード: Anisotropy, Flow law, Polar ice, Antarctic ice sheet, Modelling

Keywords: Anisotropy, Flow law, Polar ice, Antarctic ice sheet, Modelling

PET ボトルを用いた簡易型積雪重量計の開発 Development of a simple snow load gauge using plastic bottles

今西 祐一^{1*}; 大井 拓磨²
IMANISHI, Yuichi^{1*}; OI, Takuma²

¹ 東京大学地震研究所, ² 東邦マーカンタイル株式会社
¹ERI, The University of Tokyo, ²Toho Mercantile CO., LTD.

東京大学宇宙線研究所・神岡宇宙素粒子研究施設（岐阜県飛騨市）の坑道内においては、超伝導重力計による重力観測が行われている。この場所は豪雪地帯に位置するため、冬季の積雪が及ぼす引力が、観測される重力に大きな影響を与える。その効果を補正する目的で、地表にかかる積雪荷重（質量）を測定するための、簡易型の積雪重量計を開発した。原理はスノープレッシャーピローと同様で、容器中の不凍液の圧力を圧力センサーで検出するものだが、容器に飲料用の PET ボトルを用いているため設置面積が小さく安価である点が特徴である。装置に人工的に荷重をかけることにより検定試験を行ったところ、荷重と圧力との関係が線形に近い特性を示すことがわかった。開発した装置を実際に神岡の山頂に設置して試験観測を行ったところ、積雪荷重の時間変化をほぼ的確に記録したと考えられるデータが得られ、重力の時間変化ともよく対応していた。今後、このような簡易的な方法による観測を山中の多点に展開して、積雪荷重の面的なデータの取得を試みたい。

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

雪中 BC 濃度定量時における雪解凍温度への依存性 Dependence of the size distribution of BC in snow on thawing temperature

木名瀬 健^{1*}; 北 和之²; 近藤 豊³; 大畑 祥³; 茂木 信宏³; 東 久美子⁴; 小川 佳美⁴; 塩原 匡貴⁴;
 本山 秀明⁴; 林 政彦⁵; 原 圭一郎⁵
 KINASE, Takeshi^{1*}; KITA, Kazuyuki²; KONDO, Yutaka³; OHATA, Syo³; MOTEGI, Nobuhiro³;
 AZUMA, Kumiko⁴; OGAWA, Yoshimi⁴; SHIOBARA, Masataka⁴; MOTOYAMA, Hideaki⁴; HAYASHI, Masahiko⁵;
 HARA, Keiichiro⁵

¹ 茨城大学大学院理工学研究科, ² 茨城大学理学部, ³ 東京大学大学院理学部, ⁴ 国立極地研究所, ⁵ 福岡大学理学部
¹Graduate school of science and engineering of Ibaraki Univ., ²College of science, Ibaraki Univ., ³School of science the university of Tokyo, ⁴National Institute of Polar Research, ⁵Fukuoka Univ.

黒色炭素エアロゾル(以下 BC)は化石燃料の燃焼やバイオマスバーニングの不完全燃焼時に発生する煤が主なものとして、大気中で太陽放射を吸収することで強い温暖化効果をもたらす。さらに BC は雪氷面に沈着することで、雪のアルベドを下げ、温暖化に寄与する。積雪に沈着した BC の放射強制力は、IPCC (2013) では 0.04(0.02~0.09)(W/m²) と見積もられているが、Flanner et al.(2007) では 0.049(0.007~0.12)(W/m²) と見積もられており、不確定は大きい。雪氷面のアルベドの計算は、雪氷表面および内部での、雪粒子と BC などの含有不純物を考慮した、放射伝達モデルにより求められているが、積雪中に含まれている BC の全重量濃度およびその粒径分布の情報が必要となる。そのため、雪氷中の BC 粒径分布を正しく測定することは、BC の気候への影響を定量的に見積もるうえで非常に重要である。

我々のグループは、雪氷中の BC 濃度の粒径分布を測定するために雪氷を融解しエアロゾル化して、大気中 BC と同様に Incandescence Method(SingleParticleSootPhotometer(SP2)による分析)で検出する。この手法で雪氷中の BC を分析した研究としては MacConnell et al.(2007) が嚆矢となっているが、まだ新しい手法であるため実験過程における不確定が存在する。不確定要因の一つに、解凍方法の違いによる粒径分布と濃度の変化があげられる。R.E.Brandt et al.(2011)をはじめとする、多くの研究では雪を加熱して解凍時間の短縮をおこなっている。しかし、J.P.Schwarz et al.(2012)では、測定する雪サンプルが経験した温度履歴が粒径分布へ影響を及ぼすことを示唆している。サンプル解凍時における温度及び解凍時間が及ぼす、解凍後の BC 粒径分布への影響について実験により詳細に評価した報告は見つからなかった。

本研究では、積雪中 BC の粒径分布をより正しく測定するために、雪サンプルの解凍温度が、得られた溶液中の BC 重量濃度・粒径分布に有意な影響を与えるか明確にすることを目的とする。

我々は 2013 年に石川県の白山と長野県の白馬の二地点で採取された雪サンプルをそれぞれウォーターバスを使用して 70℃・20℃・5℃で解凍し、解凍温度による違いにより測定される BC 重量濃度や粒径分布に変化が出るか実験した。予備実験ではサンプル間のばらつき評価が問題となったため、あらかじめハンドミキサーで雪質を混合し、均一化したサンプルを小分けして、同条件で三サンプルずつ測定することでサンプルのばらつきを評価できるように留意した。

実験の結果、BC 重量濃度はより低温での解凍時の方が高濃度となることがわかった。粒径毎に比較すると、小粒径ほど加熱温度が高いと顕著に低濃度化することがわかった。濃度変化は白山のサンプルでは 40.8%、白馬のサンプルでは 11%の低濃度化となり、サンプルのばらつきはそれぞれ最大で 17.6%、10.1%だったことから有意な変化が得られた。雪中で BC が増加することは考えにくいので、低濃度化は BC のロスあるいは粒径の変化が起きていると考えてよい。

以上の結果から、雪解凍時に与える温度変化が、測定される重量濃度と粒径分布に影響を与えてしまう可能性があることがわかり、雪サンプル中の BC 重量濃度・粒径分布を測定する際には、解凍温度を低くした方がよいことが示された。しかし、低温では加藤に時間を要することから、解凍時間や解凍後の保存時間が粒径分布や濃度に影響しないかについて確認する実験を行う予定である。

キーワード: 積雪, BC, 粒径分布, SP2, 解凍温度

Keywords: snow, BC, size distribution, SP2, thawing temperature

着氷着雪環境下におけるアラスカ北方林の地表面アルベド Surface albedo over snow-covered boreal forests, Alaska

杉浦 幸之助^{1*}; 北原 裕二郎²; 永井 信³; 鈴木 力英³
SUGIURA, Konosuke^{1*}; KITAHARA, Yujiro²; NAGAI, Shin³; SUZUKI, Rikie³

¹ 富山大学/海洋研究開発機構, ² 富山大学, ³ 海洋研究開発機構
¹Univ. of Toyama/JAMSTEC, ²Univ. of Toyama, ³JAMSTEC

Previous research has demonstrated the high variations of the surface albedo in winter/spring in snow-covered regions in various global climate models. In this study, we focus on the surface albedo over snow-covered forests which is suggested probably too high in various global climate models. This study was carried out to verify the occurrence frequency of ice accretion and snow accretion in the boreal forest regions. Using the interval camera installed on the observation tower of 16 m in height at the site located to the north of Fairbanks, Alaska, ice accretion and snow accretion in black spruce forest regions were measured. Based on the results, the surface albedo variation of snow-covered forests and differences in the snow albedo parameterization are discussed to contribute to a better understanding of the role of snow in the climate system.

キーワード: 着氷, 着雪, アルベド, 北方林
Keywords: ice accretion, snow accretion, albedo, boreal forest

雪上滑走型岩石なだれの長距離運動条件に関する考察 Long-traveling conditions for the rock-on-snow avalanche: insights from the field and laboratory evidences

山崎 新太郎^{1*}; 川口 貴之¹; 中村 大¹; 山下 聡¹
YAMASAKI, Shintaro^{1*}; KAWAGUCHI, Takayuki¹; NAKAMURA, Dai¹; YAMASHITA, Satoshi¹

¹ 北見工業大学

¹ Kitami Institute of Technology

On March 12, 2011, a large earthquake induced rock avalanches in Nagano and Niigata prefecture Japan. These rock avalanches travelled long, about 1 km to 1.5 km sliding on snow with apparent friction angle of 6° to 17.1°. It looks uncommon phenomena. Because rock avalanches often stop on snow covering steep slope. We hypothesized that the nature of snow dominate the mobility of the rock-on-snow avalanche, and flew rocks on snow 3.5-m-long slope varying snow hardness, and then we flew a rock and earth of 6 ton on 28-m long snow covering slope. Snow is low friction material but its aggregates is effective cushion by self-deformation, so travelling on normal autochthonous snow cover and mixing snow into the falling material do not contribute such long travelling. However, hardened and consolidated snow provide it because of ice-like low friction and impermeability. The consolidated snow is formed at the contact surface on snow cover by impulsive compressing. Hence, when a falling material plunge into lower thick snow cover, consolidated snow is formed. Then, falling material slide on it by pushing following flow. When the forming consolidated snow basement, water and air are expelled from snow to upper falling material, and they probably reduce friction. As the consolidated snow is impermeable, frictional heat and heat transferring produced snowmelt are kept on the consolidated snow, and it reduce further friction. With downsizing of falling material, the resistivity against forehead snow cover decreases, and it leads to stopping. In addition, with lessening pressure of the falling material to underlying snow cover, forming impermeable consolidated snow stops, and water pressure disappear, and it leads to stopping. Wet and granular snow is likely to be consolidated. Thus these snow covered area and/or season are preferable condition of the long travelling rock-on-snow avalanches.

キーワード: 積雪, 雪上滑走型岩石なだれ, 雪崩, 落石, 地震災害

Keywords: snow cover, rock-on-snow avalanche, snow avalanche, rockfall, earthquake

2014年に実施したブータンヒマラヤでの氷河と山岳永久凍土観測 The research expedition of the glacier and mountain permafrost in the Bhutan Himalayas in 2014

福井 幸太郎^{1*}; 藤田 耕史²; プンツォ ツェリン²
FUKUI, Kotaro^{1*}; FUJITA, Koji²; TSHERING, Phuntscho²

¹ 富山県立山カルデラ砂防博物館, ² 名古屋大学
¹Tateyama Caldera Sabo Museum, ²Nagoya University

The glacier and mountain permafrost research expedition was carried out in September and October of 2014 in the central part of the Bhutan Himalayas. The aims of this expedition were 1) to make a rock glaciers inventory and identify the lower limit of mountain permafrost in the Bhutan Himalayas, and 2) to measure the ice thickness of the Gangjula glacier based on the ground penetrating radar (GPR) soundings.

We identified total 81 rock glaciers. Active rock glaciers appeared above 4600 m. We estimated that mean annual air temperature at the terminus of the active rock glaciers are less than -0.8°C based on ERA-Interim data from 1979 to 2013. These indicate that the lower limit of mountain permafrost in Bhutan Himalayas is 4600 m. This lower limit of mountain permafrost is slightly lower than that in Khumbu Himal (5000-5300 m) and that in Kanchenjunga Himal (4800 m).

The Gangjula glacier is a small saddle glacier. Length=1.1 km, width=0.3 km, surface area=0.31km², elevation=4900-5200 m and the ELA=glacier top. We used GSSI SIR3000 + 100MHz antenna and got 6 cross and 1 longitudinal GPR profiles. The results of GPR soundings indicated that the maximum thickness of the Gangjula glacier was 76 m.

キーワード: ブータン, ヒマラヤ, 氷河, 岩石氷河, 永久凍土, 地中レーダー
Keywords: Bhutan, Himalaya, glacier, rock glacier, permafrost, ground penetrating radar

南パタゴニア氷原の氷河前縁湖における水塊構造の季節変動 Seasonal variations in the thermal structures of proglacial lakes in the Southern Patagonia Icefield

箕輪 昌紘^{1*}; 杉山 慎¹; 榊原 大貴¹; スクバルカ ペドロ²
MINOWA, Masahiro^{1*}; SUGIYAMA, Shin¹; SAKAKIBARA, Daiki¹; SKVARCA, Pedro²

¹ 北海道大学低温科学研究所, ² パタゴニア氷原博物館
¹Institute of Low Temperature Science, ²Museo del Hielo Patagonic

Patagonia Icefields are losing ice mass at one of the greatest rates in the world. The icefields are characterized by a number of outlet glaciers calving into lakes and the ocean. Many of these calving glaciers are retreating, but rates of the retreats are significantly different in each glacier. For example, Glaciar Upsala retreated by 2.9 km over the period of 2008 — 2011. Mass loss from the glacier accounts for about 15% of the total mass loss from the Southern Patagonia Icefield in 2000 — 2012. On the other hand, Glaciar Perito Moreno has shown no significant change in the terminus position over the past century. Recent studies in Greenland and Alaska suggest the importance of melting of calving face below the sea surface for recent mass loss of calving glaciers. Despite the increasing numbers of data from fjord of tidewater glaciers, little is known even in the thermal structure in lake, seasonal variation and how various water masses mix. To investigate the thermal structure of proglacial lake, we measured temperature and turbidity of lake water in front of calving glaciers in the Southern Patagonia Icefield. Lake measurements were carried out at Glaciar Upsala, which covers an area of 840 km² and flows into a ~600 m deep lake, and Glaciar Perito Moreno, which covers an area of 259 km² and flows into a shallower lake (~200 m deep). We repeated measurements in summer (December, 2013) and spring (October, 2014) to investigate seasonal variations in the lake water properties.

Our results in spring showed relatively uniform water temperature and turbidity from the lake surface to the bottom, whereas temperature and turbidity showed steeper vertical gradients in summer. These results are consistent in the two lakes. In summer, water temperature in front of Glacier Upsala (2 — 4°C) was colder than in spring, because of large amounts of subglacial discharge from the glacier. Turbid and cold water (<1°C) was found at the deepest part of the lake (>500 m below the lake surface), which is a strong indication of subglacial meltwater discharge. Contrasting to Glaciar Upsala, cold deep water was missing in the lake of Glaciar Perito Moreno both in summer and spring. In summer, water temperature (6°C) was warmer than in spring by ~3°C within whole lake, and in particular, warm water layer (~8°C) observed at the lake surface (<5 m below the lake surface).

These data indicate different thermal structures in front of the two freshwater calving glaciers in Patagonia. The structure is probably dependent on the bathymetry and subglacial discharge. Warmer lake is formed by relatively small amount of subglacial discharge and shallow lake, which should play crucial roles in the melting of calving face below the lake surface.

キーワード: カービング氷河, 氷河前縁湖, 水中融解, パタゴニア
Keywords: calving glacier, proglacial lake, subaqueous melt, Patagonia