

## 中部山岳地域の降雪に含まれる化学成分濃度の空間分布 Spatial distribution of snow chemistry in the Japanese Alps region

倉元 隆之<sup>1\*</sup>, 鈴木 大地<sup>2</sup>, 佐々木 明彦<sup>1</sup>, 鈴木 啓助<sup>1</sup>  
Takayuki KURAMOTO<sup>1\*</sup>, Daichi SUZUKI<sup>2</sup>, Akihiko SASAKI<sup>1</sup>, Keisuke Suzuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 信州大学山岳科学総合研究所, <sup>2</sup> 信州大学理学部物質循環学科  
<sup>1</sup>IMS, Shinshu University, <sup>2</sup>Dept. Environ. Sci., Shinshu University

The Japanese Alps region is one of the heaviest snowy regions in Japan. In this area winter precipitation is observed mainly two patterns such as winter monsoon pattern and low pressure pattern. Therefore, the chemical characteristics of the snowpack are different by snowfall types. We conducted a snow pit study immediately after snowfall, on the route from Itoigawa, Joetsu and Iida to Matsumoto. We collected only fresh snow samples in winter season. In this study we aimed to clarify spatial distribution of chemical components in fresh snow at the Japanese Alps region. The samples were melted, then pH, electric conductivity and major ions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ ) were analyzed in clean room. The  $\text{Na}^+$  concentration correlates well with  $\text{Cl}^-$  concentration. These ions are considered to be sea-salt components. On the other hand,  $\text{SO}_4^{2-}$  concentrations included non-sea-salt components.

## 氷り結晶法による放射性汚染水の減容化

### Reduce of water contaminated radioactive substance by freezing method

対馬 勝年<sup>1\*</sup>

Katsutoshi Tusima<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 富山大学理学部

<sup>1</sup> Faculty of science, University of Toyama

氷結晶法による放射性汚染水の減容化

Reduce of water contained radioactive substance by freezing method

対馬勝年<sup>1\*</sup>, 松山政夫<sup>1</sup>

Katsutoshi Tusima<sup>1\*</sup>, Masao Matsuyama<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 富山大学

<sup>1</sup> University of Toyama

福島第一原子力発電所の炉心溶融事故では大量の放射性物質が環境中に放出された。原子炉内ではウランの核分裂により微量の放射性セシウムやヨウ素などが発生する。チェルノブイリ事故では炉心爆発により多量の放射性ヨウ素が大気中に放出され喉頭癌発生の危険性が問題となった。福島では水素ガスが建屋内にたまり水素爆発を起こし、放射性セシウムが大気中に放出された。事故を起こした原子炉では冷却水の汚染が続いていて、放射性汚染水の貯蔵タンクが増設されている。増え続ける放射性汚染水対策として氷結晶法という雪氷技術を活用することが考えられる。これは吸着剤を使って汚染源を除去する方法（濃度は減少するが処理水の保管が必要）と異なり、障害物はそのままして水だけを純粋の氷の状態に変えて取り出すものである。取り出された分だけ汚染水は減って行くから、貯蔵タンクを節約できるメリットがある。

水はあらゆる物質を溶かし込むが、その水が凍るときはあらゆる異物を排除し、純粋のH<sub>2</sub>Oの結晶になる性質はよく知られている。たとえば、海水は飲料には使えないが、凍結した海水板のうち多年性のものは塩分濃度が低下しており、飲料水に使われる。凍結させたジュースの氷部分を除去する方法によるジュースの濃縮は古くから行われていた。汚染水中の放射性物質の濃度は大変低い。例えば、原子炉建屋内の地下に溜まった高濃度汚染水は500万ベクレル/cm<sup>3</sup>以上あるが、Csの濃度でみると1.6ppmと小さい。低濃度汚染水のうち環境基準の500倍といわれる高いものでも濃度になると0.16ppbにすぎない。通常の化学分析による検出可能限界より低い領域の計測が放射性物質では可能だという特徴がある。水が凍るときには純粋のH<sub>2</sub>Oの集合体になるといったが、氷の中には空孔や格子間分子の存在が知られており、それらの場所に放射性原子が取り込まれることもあるであろう。さらに海水の凍結面のように短冊状の成長面が形成される場合には氷の板と氷の板の間に溶液の状態に取り込まれ、氷体中にブライン液となって閉じ込められたり、氷の成長面に発生する気泡部に取り込まれることも考えられる。凍結の初期段階で液体が過冷却する場合は樹枝状結晶表面に吸着する形で取り込まれバルクの氷に成長することもあるであろう。それゆえ減容化には発生させる氷の純度を如何にして高めるかを調べておく必要がある。本研究では放射性汚染水から純水を除去する方法として氷結晶法を使うための基礎研究を行った。

実験1 容積5ℓのポリバケツに水道水(EC:70 μS/cm)、NaCl含有水(EC:10mS/cm, 2mS/cm, 0.9mS/cm)、硫酸含有水(EC:3.6mS/cm, 4mS/cm)を入れ、-10℃の低温室(無風)に一昼夜～二日間おいて凍らせた。1/3～半分程度凍った処で氷と液体を分離し、ブロック状に切断した氷部分を50ccのビーカー内で融かした液体の導電率を測定した。氷には球形や細長い気泡が含まれていた。NaClを溶かしたものでは濃度が濃い場合には白っぽい氷となり、中程度で半透明、低濃度で透明な氷となった。硫酸を含んだものおよび水道水では透明な氷となった。ただし、透明な場合でも球形気泡や細長い気泡が含まれていた。水道水では導電率が1/8程度、NaCl含有水では1/2~1/10程度、硫酸含有水で1/400程度の低濃度氷が得られた。冷却温度を-3℃での凍結も試みたが、バケツ内の水が過冷却し、凍結の最初にシャーベット状氷が形成され、異物を半分程度にしか低濃度化できなかった。これらの実験では樹枝状氷の間の隙間や気泡部分に不純物が取り込まれると思われた。

実験2 透明な氷を成長させ、氷の純度を高めるために汚染水に冷却管を浸して、冷却管の周りに氷を成長させる方法のテストを行った。-10℃の冷媒を通したステンレス管に氷を成長させたときは透明な氷の内部に細長い気泡が含まれた氷の純度はバケツの場合よりは向上したが満足すべき結果でなかった。そこで、ステンレス管に真空トラップ用に使っていたガラス管を被せ、ステンレス管からガラス管への熱伝導をよくするために液体を満たした。液体は蒸発による汚染を防ぐため蒸気圧の低い真空ポンプ用オイルを選んだ。ガラス管に成長した氷は完全に透明で気泡を全く含まなかった。水道水から発生させた氷の導電率は0 μS/cmとなった。融け水を一夜おいて翌日測定したものでは2 μS/cmとなり、1/30以上の高純度に精製できた。硫酸を含んだ水(EC:4mS/cm)からも完全に透明な氷が得られ、導電率は4 μS/cmであった。これらの値は雨や積雪の導電率と同程度であり、満足すべき精製が行われたと評価される。

## 日本の融雪期における雪氷藻類の繁殖に関わる積雪の物理・化学的要因 The physical and chemical factor of snow coverage related to breeding of snow algae during the thaw season in Japan

大沼 友貴彦<sup>1\*</sup>, 竹内 望<sup>2</sup>, 竹内 由香里<sup>3</sup>, 山口 悟<sup>4</sup>, 河島 克久<sup>5</sup>, 飯田 肇<sup>6</sup>, 福井 幸太郎<sup>6</sup>

Yukihiko Onuma<sup>1\*</sup>, Nozomu Takeuchi<sup>2</sup>, Yukari Takeuchi<sup>3</sup>, Satoru Yamaguchi<sup>4</sup>, Katsuhisa Kawashima<sup>5</sup>, Hajime Iida<sup>6</sup>, Kotaro FUKUI<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学理学研究科, <sup>2</sup> 千葉大学, <sup>3</sup> 森林総合研究所十日町試験地, <sup>4</sup> 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター, <sup>5</sup> 新潟大学災害復興科学センター, <sup>6</sup> 立山カルデラ砂防博物館

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Chiba Univ., <sup>2</sup>Chiba Univ., <sup>3</sup>Tohkamachi Experimental Station, Forestry and Forest Products Research Institute, <sup>4</sup>Snow and Ice Research Center, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, <sup>5</sup>Research Center for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University, <sup>6</sup>Tateyama Caldera Sabo Museum

融雪期の積雪の表面には雪氷藻類という光合成微生物が繁殖することが知られている。雪氷藻類が繁殖すると雪面の反射率が低下することにより積雪の融解が促進されることから、その繁殖条件を明らかにすることは積雪融解の予測をするためにも重要である。雪氷藻類の繁殖には光合成に必要な日射、CO<sub>2</sub>、積雪中の水の有無、pH、栄養塩が要因として挙げられるが、どの要因が最も直接的に関係しているのかは明らかになっていない。そこで本研究は、日本の新潟県の十日町試験地（標高 200m）および富山県の立山室堂平（標高 2400m）の融雪期の積雪において、積雪中のクロロフィル a を用いて雪氷藻類の季節変動を定量的に明らかにし、気象・積雪観測データ、積雪物理モデルデータとの比較を行い、雪氷藻類の繁殖要因を明らかにすることを目的とした。

積雪表面のクロロフィル a 濃度を測定した結果、十日町試験地では 2 月から 3 月の間に、立山では 5 月から 7 月の間にクロロフィル a 濃度の顕著な増加がみられ、両地域で雪氷藻類の繁殖時期が異なることが明らかになった。この繁殖時期の違いは、雪氷藻類は特定の季節に繁殖するのではなく、それぞれの地域の気温や積雪の状態といった環境条件によって繁殖時期が決まることを示している。

十日町試験地で測定したクロロフィル a 濃度と積雪物理モデルによる積雪条件の計算結果を比較したところ、雪氷藻類が繁殖を開始する条件は、積雪全層がザラメ雪になり、かつ昼夜を通して 4 日以上積雪が融解することであることが示唆された。全層がザラメ雪になることは、積雪下の地面にいた雪氷藻類が積雪表面へ遊泳移動するための条件であると考えられる。昼夜を通して 4 日以上積雪が融解することは、積雪表面に辿りついた藻類が安定して繁殖を行うための条件であると考えられる。

十日町試験地で測定したクロロフィル a 濃度の増加量と昼夜を通した融解期間を比較したところ、昼夜を通した融解期間が 4 日以上の場合でのみ藻類の繁殖量が急激に増加すると考えられた。クロロフィル a 濃度が 15 [ $\mu$ g/m<sup>2</sup>] 以上増加したのは、昼夜を通した融解期間が 4 日以上の場合のみであった。一方、昼夜を通した融解期間が 3 日以下の場合、全ての期間でクロロフィル a 濃度が 15 [ $\mu$ g/m<sup>2</sup>] を超えなかった。これは、前述のとおり積雪表面の藻類が安定して繁殖を行うには 4 日以上期間が必要である可能性を示唆している。さらに、気象条件との比較の結果、日射量が多い年よりも降雨量が多い年（2010 年）の方が、雪氷藻類の繁殖量が多いことがわかった。このことは、降雨が藻類の繁殖を促進させている可能性を示唆している。

以上の結果から、日本の積雪表面で雪氷藻類が繁殖を開始するための条件は、積雪全層がザラメ雪になること、かつ昼夜を通して積雪表面が連続的に融解する期間が一定以上であること、と考えられた。さらに、雪氷藻類の繁殖量を決定する要因は、積雪表面が昼夜を通しての融解が維持される期間の長さ、降雨であると考えられた。

キーワード: 雪氷藻類, クロロフィル a 濃度, 積雪物理モデル, 含水率

Keywords: snow algae, concentration of chlorophyll a, snow physics model, water content of snow



## シベリア・スタルハヤタ地域の山岳氷河の雪氷藻類群集 Snow algal community on glaciers in Suntar Khayata region, Russia Siberia

田中 聡太<sup>1\*</sup>, 門田勤<sup>2</sup>, 白川龍生<sup>3</sup>, 日下 稜<sup>3</sup>, 宮入 匡矢<sup>1</sup>, 高橋 修平<sup>3</sup>, 榎本 浩之<sup>4</sup>, 大畑 哲夫<sup>2</sup>, 矢吹 裕伯<sup>2</sup>, 紺屋 恵子<sup>2</sup>, 竹内 望<sup>1</sup>, Alexander Fedorov<sup>5</sup>, Pavel Konstantinov<sup>5</sup>  
Sota Tanaka<sup>1\*</sup>, Tsutomu Kadota<sup>2</sup>, Tatsuo Shirakawa<sup>3</sup>, Ryo KUSAKA<sup>3</sup>, Masaya miyairi<sup>1</sup>, Shuhei Takahashi<sup>3</sup>, Hiroyuki Enomoto<sup>4</sup>, Tetsuo Ohata<sup>2</sup>, Hironori Yabuki<sup>2</sup>, Keiko Konya<sup>2</sup>, Nozomu Takeuchi<sup>1</sup>, Alexander Fedorov<sup>5</sup>, Pavel Konstantinov<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 北見工業大学, <sup>4</sup> 国立極地研究所, <sup>5</sup> Melnikov Permafrost Institute

<sup>1</sup> Chiba University, <sup>2</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>3</sup> Kitami Institute of Technology, <sup>4</sup> National Institute of Polar Research, <sup>5</sup> Melnikov Permafrost Institute

雪氷藻類は寒冷な環境に適応した藻類である。これらは世界各地の氷河でも観察されており、融解期になると氷河表面で光合成を行い繁殖する。雪氷藻類が繁殖した氷河表面はアルベドが低下し、融解が促進される。先行研究によって、これら雪氷藻類の群集の構成は地域によって異なることが指摘されている。雪氷藻類の地理分布を明らかにすることは、雪氷藻類の生態や進化、分散過程、更に雪氷融解への影響を理解する上で重要である。ロシア・スタルハヤタ地域は、オホーツク海の北側に位置する山岳地帯である。この地域には大小約 200 の氷河が存在している。本研究では、まだ雪氷藻類の報告が全く行われていないこの地域において、雪氷藻類の定量的な分析を行った。調査地はこの地域の 4 つの氷河である。サンプルの採取は 7 月と 8 月の 2 回行った。

この地域の氷河では、主に 2 種類の緑藻と 5 種類のシアノバクテリアが確認された。これら藻類はこの地域の融解期間において一般的な藻類であると考えられた。

藻類の総バイオマスは裸氷域で大きく、積雪域では低下した。裸氷域内では、下流側で総バイオマスが小さくなる傾向があった。また、それぞれの藻類種が分布している高度の傾向は氷河間でほぼ一致した。藻類の群集構造は主に、裸氷域では *Anc. Nordenskioldii* が、積雪域では *Chloromonas sp.* が優占種であった。以上の特徴は、調査を行った 4 つの氷河の間で共通していた。

一方、氷河ごとに異なる特徴があることも明らかになった。山脈の南斜面を流れる氷河では藻類の総バイオマスがより大きくなった。

融解期の進行に伴って、氷河上の雪氷藻類群集の構造が変化することも確認された。ある地点において融解が進み、氷河の表面状態が雪から氷へと変化すると、優占的な藻類は *Chloromonas sp.* から *Anc. Nordenskioldii* へと変化した。また、融解期の初期には糸状のシアノバクテリアが観察されなかった氷河では、融解期の後期にはこれらの藻類が観察された。藻類群集の季節変化は、一部の氷河では他の氷河よりも遅れることがわかった。

今回の調査から得られた結果を、既に先行研究が行われている他の氷河と比較した。スタルハヤタ地域の氷河は緑藻が優占的である。また、*Anc. Nordenskioldii* が観察されている。これらは多くの北極域の氷河と共通する特徴であった。

本研究によって、初めてスタルハヤタ地域の雪氷藻類群集の特徴が定量的に明らかになった。この地域の群集構造は北極域の氷河と共通する特徴を示す傾向があった。また、同一地域内の氷河の雪氷藻類群集は、高度分布や優占種などが共通する特徴を示す一方で、バイオマスや季節変化のパターンは氷河によって特有の特徴を示すことが確認された。同一地域内の氷河でも、詳細な融解のプロセスには差異が生じる可能性があること、氷河の融解に雪氷藻類が与える影響は融解期間中に変化する可能性があることが示唆された。

キーワード: 雪氷藻類, 群集構造, 山岳氷河, 北極域, シベリア, スタルハヤタ地域

Keywords: snow algae, community structure, mountain glacier, arctic, Saiberia, Suntar Khayata

## 斜面と平地における積雪への水の浸透の影響の比較

### Comparison study on effect of infiltrated water on snowpack on a flatland and on a slope

池田 慎二<sup>1\*</sup>, 勝島隆史<sup>2</sup>, 伊東靖彦<sup>1</sup>, 松下拓樹<sup>3</sup>, 竹内由香里<sup>4</sup>, 野呂智之<sup>1</sup>

Shinji Ikeda<sup>1\*</sup>, Takafumi Katsushima<sup>2</sup>, Yasuhiko Ito<sup>1</sup>, Hiroki Matushita<sup>3</sup>, Yukari Takeuchi<sup>4</sup>, Tomoyuki Noro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター, <sup>2</sup> 富山高等専門学校, <sup>3</sup> 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所雪氷研究チーム, <sup>4</sup> 森林総合研究所十日町試験地

<sup>1</sup> Snow Avalanche and Landslide Research Center, Public Works Research Institute, <sup>2</sup> Toyama National College of Technology,

<sup>3</sup> Civil Engineering Research Institute for Cold Region, Public Works Research Institute, <sup>4</sup> Tohkamachi Experimental Station, Forestry and Forest Products Research Institute

湿雪雪崩の発生において、積雪への水の浸透は重要な要因であり、これまでも多くの観測が行われている。しかし、それらの観測のほとんどは平地で行われているため、実際に雪崩が発生する斜面における水の浸透とは異なる可能性がある。そこで、本研究では、平地と斜面において定期的に積雪観測を実施し、積雪への水の浸透の影響について比較した。観測地は新潟県十日町市に位置する森林総合研究所十日町試験地に設置された。観測地は斜面(勾配40°)、平地共に極端な吹き溜りや吹き払いの起こらない場所である。斜面方位は日射の影響による表面融雪量が平地と比べて極端に大きくならないように北東とした。2012年1月上旬から3月下旬にかけての計5回の観測の結果、斜面積雪の方が積雪全層の厚さに対するざらめ雪層の厚さの占める割合(ざらめ率)が平均で26%高かった。最もざらめ率に差異がみられた3月上旬における観測では、斜面:99%、平地54%とその差は顕著であった。積雪断面の観察から、斜面では平地と比べて、局所的に水が浸透する鉛直方向の水みちの形成が少なく、平地よりも積雪層全体に均一に水が浸透していることがわかり、これがざらめ率の高さをもたらしていると考えられた。そこで、Katsushima et al., (2009) によって提案された、水みちへの水の浸透量をパラメータとして取り入れた積雪モデルを用いて解析を行った結果、積雪表面から供給された浸透水のうち、平地では47%が水みちを流下しているのに対し、斜面では14%に過ぎないことが示された。このことから、斜面と平地におけるざらめ率の差異をもたらす原因として、水の浸透形態が異なることが重要であると考えられる。

#### <参考文献>

Katsushima, T., Kumakura, T., Takeuchi, Y., 2009. A multiple snow layer model including a parameterization of vertical water channel process in snowpack. Cold Regions Science Technology 59(2-3), 143-151.

キーワード: 雪崩, 斜面積雪, 浸透水, 水みち

Keywords: avalanche, snowpack on the slope, water infiltration, vertical water channel

## 積雪温度勾配下における水蒸気移動とそれに伴う水安定同位体比変化 Water vapor transportation and change of water stable isotopes of snow due to snow temperature gradient

保科 優<sup>1\*</sup>, 山口 悟<sup>2</sup>, 藤田 耕史<sup>1</sup>, 佐藤 篤司<sup>2</sup>, 本山 秀明<sup>3</sup>

Yu Hoshina<sup>1\*</sup>, Satoru Yamaguchi<sup>2</sup>, Koji Fujita<sup>1</sup>, Atsushi Sato<sup>2</sup>, Hideaki Motoyama<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所雪氷防災センター, <sup>3</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, <sup>3</sup>National Institute of Polar Research

夏季の南極内陸の表層積雪では、表面温度が $-35^{\circ}\text{C}$  と高い一方で、20 cm 深では雪温 $-55^{\circ}\text{C}$  と低く、深さ方向の温度勾配が大きい。このため、積雪内の雪粒子間の水蒸気移動が生じ積雪密度などに影響を与える。先行研究において、深さ10 cm の雪塊に、上部 $-65^{\circ}\text{C}$ 、下部 $-15^{\circ}\text{C}$  にすることで温度勾配をつくり、水蒸気の移動量としもぎらめの発達を観察している。この水蒸気移動に伴うしもぎらめの発達は、積雪の水安定同位体比にも影響を与える。

本研究では、積雪内の水蒸気移動量、水蒸気移動に伴う水安定同位体比の変化量をより明瞭に観察するため、日本の雪と南極の雪の同位体比の異なる雪の2層構造をつくり、雪温勾配での実験を行った。 $1.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  の木材のケースにそれぞれ南極の雪と日本の雪を密度  $300 \text{ kg m}^{-3}$  程度になるようにふるい入れる。ケースの底面は  $100 \mu\text{m}$  のメッシュにすることで、雪粒子は通さないが水蒸気は通るようにする。日本の雪は2010年に長岡雪氷防災研で採取、 $-50^{\circ}\text{C}$  で保存したものである。南極の雪、日本の雪を2ケースずつ重ね、上下を冷却装置、鉄板で挟み、周囲を断熱材で覆う。これに  $86$  から  $166 \text{ m}^{-1}$  の温度勾配をかけ（雪温は $-15^{\circ}\text{C}$  から $-8^{\circ}\text{C}$  程度）、 $-20^{\circ}\text{C}$  の低温室で1週間以上温度勾配をかけた状態にしておく。温度勾配をかける前後のケース内の雪の質量から水蒸気移動量、水安定同位体比から同位体比変化量を見積もった。

キーワード: 積雪, 水蒸気, 水安定同位体, 南極

Keywords: snow, vapor, water stable isotope, Antarctica

流下する雪崩に対する森林の減勢効果 - 妙高・幕ノ沢を対象とした運動モデルによる実験 -  
Energy dissipating effect of forests on the flowing avalanches -Numerical simulation over the terrain of Makunosawa-

竹内 由香里<sup>1\*</sup>, 西村浩一<sup>2</sup>, PATRA, Abani<sup>3</sup>  
Yukari Takeuchi<sup>1\*</sup>, NISHIMURA, Koichi<sup>2</sup>, PATRA, Abani<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 森林総合研究所十日町試験地, <sup>2</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>3</sup> バッファロー大学  
<sup>1</sup>Tohkamachi Experimental Station, Forestry and Forest Products Research Institute, <sup>2</sup>Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, <sup>3</sup>The University at Buffalo

流下する雪崩に対する森林の減勢効果は、雪崩の種類や規模、森林を構成する樹種や樹齢、幹の直径、立木密度、さらに地形などの条件によって異なると考えられるが詳細はわかっていない。そのため森林に雪崩災害を軽減する機能があることは経験的には知られているが、その効果を定量的に表わすことができないのが現状である。

2008年2月に新潟県妙高山域の幕ノ沢で発生した大規模な乾雪表層雪崩は、雪崩の一部がスギ林に流入し、林内で停止したので、雪崩で折れた樹幹の直径や雪崩が林内を流下した距離など森林の減勢効果の解明につながるデータセットを得ることができた。本研究では、2008年の雪崩が堆積区のスギ林内で減速、停止したことに対するスギ林の効果を調べるために、幕ノ沢を対象とした運動モデル(TITAN2D)を用いて雪崩の流下を再現した。モデルで計算した雪崩の流下経路、速度、到達距離を調査結果と比較し、この雪崩の底面摩擦角は13~14°、雪崩が流入したスギ林の抵抗は底面摩擦角25°に相当すると考えた。仮にスギ林が無い場合を想定して、実際にはスギ林のあるところを底面摩擦角13~14°で流下させたところ、雪崩はスギ林内を流下した実際の到達点より200m程遠くまで達すると推定された。雪崩に対する森林の顕著な減勢効果が明らかになった。

キーワード: 表層雪崩, 森林, 運動モデル, 妙高・幕ノ沢

Keywords: snow-avalanche, forest, numerical simulation, Makunosawa-valley

## 初冬期における斜面積雪のグライドの挙動

### Behavior of snow glide observed on shrubby slope in early winter

河島 克久<sup>1\*</sup>, 伊豫部 勉<sup>1</sup>

Katsuhisa Kawashima<sup>1\*</sup>, IYOBE, Tsutomu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 新潟大学 災害・復興科学研究所

<sup>1</sup> Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University

斜面積雪のグライドは全層雪崩の発生要因として重要である。1980年代までは北海道や新潟県などの雪崩斜面においてグライドメータを用いた観測が複数の斜面で実施されてきており、笹地斜面におけるグライド機構 (Endo(1983)) やグライド現象の数値モデル (Nohguchi(1989)) が示されている。しかし、その後約20年間、グライドの挙動と全層雪崩発生との関係に関する研究事例は少なく、学術・防災の両面において大きな進展はあまりないのが実状である。

本発表では、新潟県小千谷市真人町の県道脇斜面において2012/13年の初冬期に実施した斜面積雪のグライド観測結果について述べる。観測地は傾斜約40度、斜面長約140mの低木・中木斜面であり、斜面上部にソリ式グライドメータ (大川(2012)) を設置してグライド量を10分間隔で測定した (観測期間: 2012年12月7日~2013年1月16日)。また、2012年12月26日以降、観測斜面をインターバルカメラで撮影し、雪崩発生状況を把握した。

観測の結果、グライドメータ設置斜面では12月17日と1月16日に全層雪崩が発生した。雪崩発生直前のグライド速度は、それぞれ336 mm/h、320 mm/hであった。グライド速度は、雪崩発生日以外にも100~200 mm/hに達する日が数回あったが、それらの日には雪崩の発生は認められなかった。グライド速度の変化と気象との対応を調べたところ、グライド速度は気温の変動に極めて敏感であった。なお、大川ら(2012)は新潟県上越地方の雪崩監視において、警報基準としてグライド速度100 mm/hを用いているが、安全率を見込んだ場合、この閾値は本観測結果からも妥当なものであると言える。

納口ら(1986)によるグライドの加速モデルに今回観測された雪崩発生時のグライドデータを適用し、モデルに用いられているパラメータ値を決定した。その結果、納口らが新潟県魚沼市の低木斜面での観測結果から求めた値と比較的に近い値が得られた。納口ら(1986)のモデルは全層雪崩の短時間予測につながるものであり、今後様々な斜面でパラメータを算出し、斜面の地形や植生等に依存して変化するパラメータの定量化を図ることが重要である。

キーワード: 全層雪崩, グライド

Keywords: full-depth avalanche, snow glide



## 斜面重力流モデル Titan2D を用いた雪崩運動のシミュレーション The snow avalanche experiment and its simulation with TITAN2D.

森 啓輔<sup>1\*</sup>, 伊藤 陽一<sup>1</sup>, 西村 浩一<sup>1</sup>  
Keisuke Mori<sup>1\*</sup>, ITO, Yoichi<sup>1</sup>, Kouichi Nishimura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental Studies, Nagoya university

In mountainous regions, snow avalanches occasionally cause the traffic hazard on the road. For the disaster prevention, the development of the accurate avalanche model is an essential task. Although numerous models have been launched so far, their accuracies are not always satisfactory.

In this study we applied the mass flow model TITAN2D, which assumes that the flow is an incompressible Coulomb continuum and a depth-averaged, 'shallow water'. And, key parameters involved in are the internal friction angle and the bed friction angle. In order to evaluate the model performance, first all, we carried out the chute flow experiments with two types of granules; size, shape and friction angles are different. Experiments gave us a variety of data, such as flow height, velocities, and width. Substituting the internal and basal friction angles of two granules, we carried out the flow simulation with the TITAN2D and compared with the experimental ones. In addition, the effects of internal friction angle were evaluated in reference to the flow width. Same procedures are planned for the snow flow experiment with the same chute and, then, will be applied to the real avalanches recorded in Hiziori, Yamagata.

キーワード: 雪崩, titan2d

Keywords: snow avalanche, titan2d

## 富士山の永久凍土分布とその変遷 予察的検討 Permafrost distribution and its temporal variation on Mt. Fuji: A preliminary assessment

池田 敦<sup>1\*</sup>, 岩花 剛<sup>2</sup>  
Atsushi Ikeda<sup>1\*</sup>, Go Iwahana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>筑波大学, <sup>2</sup>アラスカ大学  
<sup>1</sup>University of Tsukuba, <sup>2</sup>University of Alaska

We started a research project to understand permafrost on Mt. Fuji (3776 m asl.), to monitor its change and to evaluate the impact from changes of climate and volcanic activity on surrounding environments from the summer of 2008. In 2012, we continued to maintain the monitoring systems of ground temperatures and micrometeorological parameters in the summit area. Permafrost temperatures in the 10 m-deep borehole dug in 2010 were successfully monitored through the second year, while the data logger failed in the first winter by lightning. This is the first record of permafrost temperature through one year on Mt. Fuji, although the presence of permafrost had already been suggested until the 1970s.

Contrary to the assumption of the previous studies, permafrost absence was also confirmed in several other boreholes at the summit area. The highly permeable debris allows heat transportation by rain-water infiltration, which prevents the ground from being frozen throughout a year. Permafrost is supposed to exist only below an impermeable layer near the surface on Mt. Fuji. However, the distribution of impermeable layers is difficult to be evaluated because the degree of volcanic welding is largely heterogeneous. In contrast, the ground surface temperatures measured at 20 sites simply reflected air temperature and solar radiation. This indicates that the permafrost which only maintained at the locations less affected rain-water infiltration mainly responds long-term variation in air temperature. Thus, 0.7 deg.C warming from the 1970s to the 2000s recorded at the summit station has a potential to shift the lower boundary of the permafrost up to 100 m in elevation. In addition, according to the measured relationships between the surface temperatures and altitudes both on the north- and south-facing slopes, the monitored ground surface temperatures were spatially extrapolated for whole area of Mt. Fuji using a GIS software. For this calculation, the bench mark data were those of the permafrost monitoring site on the summit. The potential lower boundary of permafrost lies at 3050-3150 m asl. on the north-facing slope and at 3450-3600 m asl. on the south-facing.

キーワード: 永久凍土, 分布, 温暖化, 富士山  
Keywords: permafrost, distribution, climate warming, Mt. Fuji

## 第54次南極地域観測隊内陸雪氷観測報告 Glaciological Activities of 54th Japanese Antarctic Research Expedition Inland team

本山 秀明<sup>1\*</sup>, 鈴木利孝<sup>3</sup>, 福井幸太郎<sup>4</sup>, 大野浩<sup>1</sup>, 保科優<sup>5</sup>, 藤田秀二<sup>1</sup>  
Hideaki Motoyama<sup>1\*</sup>, SUZUKI, Toshitaka<sup>3</sup>, FUKUI, Kotaro<sup>4</sup>, OHNO, Hiroshi<sup>1</sup>, HOSHINA, Yu<sup>5</sup>, FUJITA, Shuji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 総合研究大学院大学, <sup>3</sup> 山形大学, <sup>4</sup> 立山カルデラ砂防博物館, <sup>5</sup> 名古屋大学  
<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>The Graduate University for Advanced Studies, <sup>3</sup>Yamagata University, yamagata, <sup>4</sup>Tateyama Caldera Sabo Musium, <sup>5</sup>Nagoya University

第54次南極地域観測計画では、重点研究観測のサブテーマ3の研究課題である「氷期 - 間氷期サイクルから見た現在と将来の地球環境」を中心に南極氷床沿岸から内陸のドームふじ周辺の観測調査を約3か月間実施した。主な観測項目は、1) 南極氷床ダイナミクス研究・過去の気温復元・底面融解としての、ドームふじ基地深層掘削孔の検層観測、浅層掘削孔の氷温観測設置 (Pen.State Uni との共同観測) 氷床探査レーダー観測、2) 近年の氷床表面質量収支・堆積環境変化・物質循環研究としての、表層探査レーダー観測、3) 地点での浅層コア掘削、雪尺、雪尺網観測、降積雪サンプリング、ピット観測、雪氷・気象観測、氷床流動観測と表面地形観測のためのGPS観測、吹雪観測装置の設置、無人気象観測装置保守、新ドームふじ基地AWS設置などである。当日は、観測調査の概要といくつかのトピックスを紹介する。

キーワード: 南極氷床, ドームふじ, 表面質量収支, 検層観測, 氷床探査レーダー, 表面積雪採取

Keywords: Antarctic ice sheet, Dome Fuji, surface mass balance, borehole logging, radar echo sounding, surface snow sampling

## 南米パタゴニア氷原チンダル氷河裸氷域表面の近年の変化

### Recent changes in physical, chemical, and biological conditions on the surface of Tyndall Glacier of the Patagonia

藤澤 雄太<sup>1\*</sup>, 竹内望<sup>1</sup>, 幸島司郎<sup>2</sup>, 瀬川高弘<sup>3</sup>, 村上匠<sup>4</sup>

Yuta Fujisawa<sup>1\*</sup>, TAKEUCHI, Nozomu<sup>1</sup>, KOHSHIMA, Shiro<sup>2</sup>, SEGAWA, Takahiro<sup>3</sup>, MURAKAMI, Takumi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 京都大学野生動物研究センター, <sup>3</sup> 国立極地研究所, <sup>4</sup> 東京工業大学

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Chiba University, <sup>2</sup>Wildlife Research Center of Kyoto University, <sup>3</sup>National Institute of Polar Research, <sup>4</sup>Graduate School of bioscience and biotechnology, Tokyo Institute of Technology

近年, 世界各地の氷河の融解・縮小が報告されているが, その原因として温暖化による気温上昇だけでなく, 氷河表面の不純物(クリオコナイト)量の増加によるアルベドの低下が指摘されている。質量減少の著しいグリーンランド氷床では, 表面の不純物量の増加による暗色化が報告されている。グリーンランド氷床に次ぐ大きさの氷体である南米パタゴニア氷原も, 近年の縮小が観測によって明らかになっているが, その表面アルベドやクリオコナイトの量の時間変化に着目した研究はまだ行われていない。本研究では, 氷河の縮小が報告される南米パタゴニア氷原・チンダル氷河において, 2012年の調査で得られたサンプルを, 表面アルベド, クリオコナイト量, 雪氷微生物について分析し, 得られた結果を1999年に同氷河で行われた先行研究(Takeuchi et al., 2001, 2004)と比較することで, それぞれの変化を明らかにすること, さらに衛星画像を用いて裸氷域全体の表面アルベドの近年の変化を評価することを目的とした。

2012年の調査で得られたチンダル氷河の裸氷域表面3カ所のアルベド, および採取した表面のクリオコナイトの量を, 1999年の値とそれぞれ比較した結果, これらの値はどの場所でも統計上有意な差はなかった。したがって, チンダル氷河ではクリオコナイトの量に大きな変化はなく, さらに裸氷面アルベドにも変化もなかったことがわかった。表面の藻類群集の分析の結果, 2012年にも雪氷藻類の繁殖が確認できたが, 1999年との間に有意な変化はなかった。したがって, 氷河上の微生物にも大きな変化はないことがわかった。Landsat-7/ETM+衛星画像を用いた裸氷域全体の分析では, 2001年から2010年にかけて氷河の側面や末端で縮小・後退がみられたが, 裸氷域の末端から上流部までの各標高のアルベドの値にはほとんど差がないことがわかった。したがって, チンダル氷河の裸氷域の全域でみても, 観測同様大きな変化はなく暗色化は起きていないことがわかった。観測したチンダル氷河表面のアルベド, クリオコナイトの量, 藻類バイオマス, 主要化学成分濃度を, アジアの他の氷河と比較した結果, チンダル氷河ではアルベドの値は非常に高く, 対照的にクリオコナイトの量, バイオマス量, 主要化学成分濃度は非常に低いことが明らかになった。このことは, チンダル氷河の裸氷域表面はアジアの氷河に比べ不純物は少なく, 表面アルベドに与えるクリオコナイトと微生物活動の影響も小さいまま変化していないことを示している。

近年チンダル氷河を含むパタゴニア氷原では, 氷河の融解・縮小が加速していると報告されている。本研究により, パタゴニア氷原でのクリオコナイトによるアルベド低下効果は非常に小さいことが明らかになった。クリオコナイトの量が非常に少なく暗色化がみられないパタゴニア氷原の縮小要因は, 氷河末端の海水や湖水によるカービング効果が大きいと考えられる。グリーンランド氷床などが近年暗色化しているのに対し, パタゴニアの氷河が暗色化していない原因はまだはっきりとはわからないが, その原因を明らかにすることは, 世界の氷河変動の違いを理解する上で重要である。



## GRACEによる南極氷床の短中期的変動と長期的質量変化

### Short to medium-term ice sheet mass changes and long-term mass trends in Antarctica revealed by GRACE

山本 圭香<sup>1</sup>, 福田 洋一<sup>2\*</sup>

Keiko Yamamoto<sup>1</sup>, Yoichi Fukuda<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Kyoto University

南極氷床の質量バランスはグローバルな海水準変動とも関連し、最近、最も注目を集めている話題の一つである。南極氷床の質量変化を直接測定することは、長い間大変難しい問題であったが、近年の衛星観測の進歩により、その精度は格段に向上している。例えば、衛星高度計やSARデータ、また衛星重力データを用いた最新の研究によると、1992年から2011年の間に東南極ではわずかな氷床質量の増加が、また、西南極では減少が報告されている。しかしながら、衛星データの利用可能な期間が限られており、また、データそのものが気候変動等による短・中期的変化をしている可能性もあり、これらの結果がデータの利用期間に依存している可能性も考えられる。グローバルな海水準変動や地球温暖化に直結した長期的な氷床質量変化をより正確に見積もるためには、このような短・中期的な変動を見積もり、補正することが重要である。

本研究では、2002年から2012年までのGRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) の最新のデータセットを用い、南極氷床の短・中期的な変動と長期的質量変化との関連について調べた。まず、南極大陸を質量変動のメカニズムを考慮して27の流域に分割し、それぞれの流域でデータの期間を変えながら質量変化の推定への影響を見積もった。さらに、時間変動のパターンについて各種の気候変動インデックスやグローバルな陸水や気象モデルのデータセットと比較することで、南極氷床の短・中期的な変動の主要な原因について調べた。これらの影響を考慮した上で、東西南極氷床の質量変動やグローバルな質量バランスについて考える。

キーワード: GRACE, 南極氷床, 質量バランス, 海水準変動

Keywords: GRACE, Antarctic ice sheet, mass balance, global sea level changes

## ユーコン地域の氷河流動速度の冬期における加速：検出とその解釈 Winter acceleration of the glacier flow in Yukon territory: detection and interpretation

阿部 隆博<sup>1</sup>, 古屋 正人<sup>1\*</sup>  
Takahiro Abe<sup>1</sup>, Masato Furuya<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学研究院

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Hokkaido University

We examined spatial and temporal changes of the glacier surface velocities at Yukon territory, applying offset-tracking technique to the synthetic aperture radar (SAR) imageries. The SAR images we used are mostly derived from Phased Array-type L-band SAR (PALSAR) sensor on the Advanced Land Observation Satellite (ALOS) launched by JAXA in 2006.

We discovered that many glaciers revealed acceleration signals in winter. No similar signals have been reported so far, and are counter-intuitive in comparison to the well-known spring/summer speed-up signals at many other glaciers in the world. The winter acceleration signals are thus intriguing and could have important implications for the dynamics of surge-type glaciers. Thus, we discuss a possible interpretation for the signal on the basis of field-based studies at Trapridge glacier, Yukon.

Kavanaugh (2009) performed in-situ water pressure change measurements at Trapridge Glacier, and reported that pressure pulse events increased from autumn to winter during 2005-2006. He interpreted this signals resulted from episodic basal motion caused by the till deformations that follows Coulomb-plastic rheology, in which the strain rate increases infinitely when shear stress exceeds the yield stress (Kavanaugh and Clarke, 2006). The yield stress depends linearly on the effective pressure that can vary seasonally. If we follow Kavanaugh's observation and interpretation, we may regard our observed winter acceleration signals as the episodic sediment deformations that occurs more frequently in winter. From summer to winter, the surface-melt water is reduced, and the drainage systems will gradually evolve from efficient well-connected to inefficient ill-connected drainage system. Then, basal water pressure will become locally higher and the yield stress in the sediment get smaller, which could generate more frequent till deformation in winter.

It is known that glacier surges tend to occur from autumn to winter. Our discovery has the probability mini-surges occurred every year. More frequently observations in winter season could be a key to reveal surge generation mechanisms.

Keywords: winter acceleration, Yukon, surge-type glaciers, SAR, offset tracking

## ALOS/PALSAR によるテンシャン山脈ポベダ-カン・テングリ山塊の山岳氷河表面速度の測定 Glacier surface velocity measurement of Pobeda - Khan Tengry massif, Tien Shan, by ALOS/PALSAR

白幡 雄大<sup>1</sup>, 安田 貴俊<sup>1\*</sup>, 古屋 正人<sup>1</sup>  
Yuta Shirahata<sup>1</sup>, Takatoshi Yasuda<sup>1\*</sup>, Masato Furuya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学研究院

<sup>1</sup> Hokkaido University, Graduate School of Science

Pobeda (中国名 Tuomuer) - Khan Tengry massif はタリム盆地北部に位置する天山山脈最大の氷河地帯である。断片的であるが 100 年以上に及ぶ調査記録が存在する (Glazirin, 2010)。氷河からの融解水は周辺河川の主要水源であり、内陸の人々の生活を支えている。この地域の氷河は小氷期以降、特に 1970 年代以降後退が顕著であると報告されている (Liu & Han, 1992; Holch & Marchenko, 2009)。また氷河後退に伴い氷河湖決壊洪水の懸念もあり (Glazirin, 2010)、近年地上とりモートセンシングの双方で精力的な観測が行われている (Aizen et al., 1997; Mayer et al., 2008; Wang et al., 2011; Han et al., 2010; Li et al., 2013)。Li et al. (2013) は夏期と冬期に取得された ALOS / PALSAR アーカイブデータ (Path 514, Row 830, 8 scenes) の解析から流動速度場を検出し季節変化や経年的変化の包括的な議論を行った。しかし観測領域は Pobeda-Khan Tengry massif の全域をカバーしておらず、使用データも全 19 シーン中の 8 シーンと限られている。

本研究では ALOS / PALSAR により 2006 年から 2011 年までに取得された全アーカイブデータ (Path 513-515, Row 830, 46 scenes) をピクセルオフセット法 (画像相関による変位検出法) により解析、流動の方向を仮定し表面流速への変換を行った。SAR (合成開口レーダー) 画像のずれの補正には SRTM4 Digital Elevation Model (DEM) や ASTER GDEM が用いられる。SRTM4 DEM は氷河上に明らかな不連続が存在した為、本研究では ASTER GDEM を使用した。

解析結果を受け、我々は Inylchek glacier に注目した。Inylchek glacier はこの地域最大の氷河で標高 2900m から 7450m までにわたって流れており、二つの支流を持っている。面積は 794km<sup>2</sup> であり、二つの氷河湖が北側の支流 (Northern Inylchek glacier) と南側の支流 (Southern Inylchek glacier) の間に存在する。より低い場所に位置する湖は Southern Inylchek glacier にせき止められており、夏季に定期的に湖の水が放出される。また、Northern Inylchek glacier は 1997 年に氷河サージを起こした。我々は、湖の水の排水と氷河サージが氷河の流動速度にどのように関係するかを議論する。

キーワード: 合成開口レーダー, 山岳氷河, 天山山脈, 表面速度, PALSAR, ピクセルオフセット

Keywords: SAR, Mountain glacier, Tien Shan, Surface velocity, PALSAR, Offset tracking

## 氷河流出推定のための氷河台帳作成プロジェクト (GAMDAM) 進捗状況 Status of Glacier Area Mapping for Discharge in Asian Mountains Project

坂井 亜規子<sup>1\*</sup>, 縫村 崇行<sup>1</sup>, 永井 裕人<sup>1</sup>, 小澤 亜紀<sup>3</sup>, 藤田 耕史<sup>1</sup>, 谷口 圭輔<sup>1</sup>, 津滝 俊<sup>1</sup>, LAMSAL Damodar<sup>1</sup>, 岡本 祥子<sup>2</sup>, 保科 優<sup>1</sup>

Akiko Sakai<sup>1\*</sup>, Takayuki Nuimura<sup>1</sup>, Hiroto Nagai<sup>1</sup>, Aki Kozawa<sup>3</sup>, Koji Fujita<sup>1</sup>, Keisuke Taniguchi<sup>1</sup>, Shun Tsutaki<sup>1</sup>, Damodar LAMSAL<sup>1</sup>, Sachiko Okamoto<sup>2</sup>, Yu Hoshina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>2</sup> 理化学研究所, <sup>3</sup> 名古屋大学地理学教室

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, <sup>2</sup>Riken, <sup>3</sup>Department of Geography, Nagoya University

近年温暖化の影響で、山岳氷河の縮小は海水の熱膨張に次いで海水準を上昇させる要因として注目されている。また山岳氷河は水資源としてだけでなく、河川流出の温暖化による山岳氷河の消失が河川水の減少をもたらすことが懸念されており、特に乾燥域では水資源としての氷河の役割は大きい。

氷河からの流出量を見積もるには、氷河面積の正確な高度分布が必須であるため、GAMDAM プロジェクトではアジア高山域における氷河からの流出推定を目的に氷河のマッピングをおこない、「数値標高付き氷河台帳」を作成し、氷河変動に伴う氷河からの流出変動を推定するのが目的である。

今回の発表では、現在マッピングが終了した部分についての氷河面積標高分布の解析結果について発表します。

キーワード: 氷河, 流出

Keywords: glacier, discharge



## 米国軍事偵察衛星 (Corona、Hexagon) により復元された 1960 年代以降のブータン ヒマラヤ・ルナナ地方の長期間の氷河変動 Glacier variation since 1960s in Lunana region, Bhutan Himalaya, using declassified satellite imagery (Corona, Hexagon)

縫村 崇行<sup>1\*</sup>, 藤田 耕史<sup>1</sup>, ピッツォンカ・ティノ<sup>2</sup>, ボルチ・トビアス<sup>3</sup>, 坂井 亜規子<sup>1</sup>  
Takayuki Nuimura<sup>1\*</sup>, Koji Fujita<sup>1</sup>, Tino Pieczonka<sup>2</sup>, Tobias Bolch<sup>3</sup>, Akiko Sakai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学, <sup>2</sup> ドレスデン工科大学, <sup>3</sup> チューリッヒ大学

<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>The Dresden University of Technology, <sup>3</sup>University of Zurich

1995年に機密解除された軍事偵察衛星の Corona と Hexagon は、ステレオ衛星画像であるため実体視が可能であり、これまで定性的な地形解析などに用いられてきた。しかしながら、それらの衛星画像の歪みは複雑で、写真測量ソフトウェアによるデジタル標高モデル (DEM) 生成は非常に困難であった。近年、それらの歪み補正を行う手法が、欧米の研究チームにより開発され DEM 生成が可能となった。本研究ではそれらの手法を用いてブータンヒマラヤ・ルナナ地方の氷河域の DEM を生成した。また、2011 年秋にはルナナ地方において GPS 測量を実施しており、その測量データにより DEM の精度検証及び補正を行った上で、1960 年代以降の長期間の氷河変動量を明らかにした。

キーワード: 氷河, ヒマラヤ, DEM, 軍事偵察衛星, 写真測量

Keywords: Glacier, Himalaya, DEM, Declassified satellite, Photogrammetry

## 中央アジア・天山山脈の氷河湖と氷河湖決壊洪水の特徴 Characteristic of glacier lakes and glacier lake outburst floods

奈良間 千之<sup>1\*</sup>, 浮田 甚郎<sup>1</sup>, 田殿 武雄<sup>2</sup>  
Chiuyuki Narama<sup>1\*</sup>, Jinro Ukita<sup>1</sup>, Takeo Tadono<sup>2</sup>

<sup>1</sup>新潟大学理学部, <sup>2</sup>宇宙航空研究開発機構  
<sup>1</sup>Niigata University, Faculty of Science, <sup>2</sup>JAXA

アジア山岳地域の氷河変動研究では, 多時期の数値標高モデルや高度計を搭載した ICESat の標高データにより, ヒマラヤ地域では氷河表面低下量が確認される一方, カラコルムでは正の質量収支変動が報告されるなど, 近年の氷河の質量収支や末端の変動は様々ではない。中央アジアの天山山脈においては, 多時期の衛星データにより広域の氷河の面積変動が明らかになっている。その変動は地域によって大きく異なり, 年降水量が多く山脈高度が低い天山山脈外縁部で縮小量が大きい。このような近年の氷河縮小に伴いヒマラヤや中央アジア山岳地域では, 氷河前面に氷河からの融け水が溜まった氷河湖が多数出現している。

本研究では, 2007~2010年に撮影された ALOS/AVNIR-2 の衛星データを用いて, 天山山脈全域の氷河前面にある 0.001km<sup>2</sup> 以上の氷河湖を対象に, ArcGIS 上でマニュアルによるデジタイジングで氷河湖のポリゴンデータを作成した。氷河湖ポリゴンのシェープファイルの属性データには, 撮影日, 使用した衛星画像, 流域名, 面積, 高度, 氷河湖タイプ, 氷河湖 ID, 修正日などの基本情報を加えた氷河台帳を作成した。使用した衛星画像の位置精度の検証には, GPS レシーバーである ProMark3 と Leica GPS900 の高精度 GPS を用いて, 山岳地域の氷河湖周辺などを歩いて位置情報を取得し, 比較した。また, Hexagon KH-9 や Landsat7/ETM+ の衛星データを用いて氷河湖の発達履歴を明らかにした。30 を超える氷河湖で現地調査や湖盆図測量をおこない氷河湖体積を算出した。さらに, 過去に決壊した氷河湖の現地調査や被害の特徴をまとめた。

天山山脈全域では, 1600 ほどの氷河湖 (0.001km<sup>2</sup> 以上) を確認した。その分布は, 氷河の縮小量が大きい天山山脈外縁部で顕著な発達を示す。特に氷河湖数の多い地域は, 氷河縮小が大きいプスケム地域でなく, いくつかの岩屑被覆氷河が分布するイリ・クンゴイ地域やテスケイ地域であった。一方, 年降水量の少ない乾燥した天山山脈内陸部のアトバシ地域とフェルガナ地域では, 氷河湖数はわずかであった。天山山脈の氷河湖のサイズ分布は, 巨大な氷河湖が分布する東ヒマラヤ (ネパール東部やブータン) に比べるとかなり小さい。0.001~0.005km<sup>2</sup> のサイズが全体の 7 割を占める。氷河湖を堰き止めるモレーンは, 小氷期後半~1900 年代前半に形成されたため, 多量のデッドアイスを含んでおり, 多数の小規模なサーモカルスト湖が発達している。1970 年代に撮影された Hexagon KH-9 と 2007~2010 年の ALOS の衛星データから取得した氷河湖数を比較したところ, ほぼ同数であったが 1970 年代から継続して存在する氷河湖は半分もなく, 現存する氷河湖の多くは 1980 年代以降に出現したものであった。

キーワード: 氷河湖, 短命氷河湖, 衛星データ, 氷河湖決壊洪水, 天山山脈  
Keywords: glacier lake, short-lived glacier lake, satellite data, GLOF, Tien Shan

## Rapid evolution of supra-glacial ponds on Hinku Glacier, eastern Nepal Himalaya: prospect for a larger lake development

## Rapid evolution of supra-glacial ponds on Hinku Glacier, eastern Nepal Himalaya: prospect for a larger lake development

LAMSAL Damodar<sup>1\*</sup>, 渡辺 悌二<sup>2</sup>, 澤柿 教伸<sup>2</sup>, 坂井 亜規子<sup>1</sup>

Damodar LAMSAL<sup>1\*</sup>, Teiji Watanabe<sup>2</sup>, Takanobu Sawagaki<sup>2</sup>, Akiko Sakai<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, <sup>2</sup>Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, <sup>2</sup>Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

An understanding of the recessional behavior of debris-covered glaciers, especially lake formation, is necessary for hazards assessment and mitigation because glacial lakes that form on them sometimes produce devastating glacier lake outburst floods (GLOFs) which are often several times bigger than normal climatic floods. Generally, a large glacial lake on a debris-covered glacier is formed by expansion and coalescing of supra-glacial ponds. Supra-glacial ponds existing on debris-covered glaciers at present are a precursor to a large glacial lake in the near future; however, not necessarily all supra-glacial ponds turn into a large lake. Glacier surface gradient in the ablation area, greatly dictates whether such ponds expand or coalesce to form a large lake. However, there are limited studies in the Nepal Himalaya on early recognition of potential sites for a large lake formation with scrutinizing lake expansion track and detailed topographic mapping of glacier surface. Objective of this paper is to present formation and growth of supra-glacial ponds on the debris-covered Hinku Glacier in the Nepal Himalaya from 1964 to 2010 and to recognize prospective sites and size for future lake development. We used Corona KH-4A (in 1964), Landsat TM5 (in 1992) and ALOS ANVIR-2 (in 2010) with spatial resolution 2.7-7.6 m, 30 m and 10 m respectively to map supra-glacial ponds for the years while ALOS PRISM data with spatial resolution 2.5 m (in 2006) to produce detailed topographic map with Leica Photogrammetric Suite. There was only one supra-glacial pond in 1964 and 1992 which rose to ten in 2010 with surface area of approx. 5,102, 5,818 and 183,972 m<sup>2</sup> for the respective years as revealed by the satellite data of the years. Rapid evolution of supra-glacial ponds (in numbers and surface areas) on the ablation area of the Hinku Glacier from 1992 to 2010 and spatial proximity of the ponds to coalescing suggest possibility of development of a larger glacial lake in the area. Detailed topographic maps, and subsequently derived digital elevation data and surface profiles of the glacier indicate that the glacier has very low surface gradient (less than or equal to 2 degree) at the terminus part about 3 km long and 0.4 km wide stretch, and has slightly higher surface gradient (2 to 5 degree) in the immediately up-glacier area for about 2.5 km long. After the upper 2.5 km stretch, there exists a rock cliff which separates 5.5 km long down-glacier area from further up-glacier area. Hence, our results suggest that the lowermost terminus part (approx. 3 x 0.4 km) of the glacier can be of highly possible sites to develop a larger lake while the upper stretch (approx. 2.5 x 0.4 km) also remains as potential sites to further lake expansion in later time.

キーワード: Supra-glacial pond, glacial lake development, debris-covered glacier, Hinku Glacier, Nepal Himalaya

Keywords: Supra-glacial pond, glacial lake development, debris-covered glacier, Hinku Glacier, Nepal Himalaya