

HDS025-01

会場:103

時間:5月22日 09:30-09:45

## ALOSによるブータン氷河湖インベントリー：手法と初期解析の結果 Glacial Lake Inventory of Bhutan using ALOS Data: Methods and Preliminary Analysis

浮田 甚郎<sup>1\*</sup>, 奈良間 千之<sup>2</sup>, 田殿 武雄<sup>3</sup>, 山之口 勤<sup>4</sup>, 富山 信弘<sup>4</sup>

Jinro Ukita<sup>1\*</sup>, Chiyuki Narama<sup>2</sup>, Takeo Tadono<sup>3</sup>, Tsutomu Yamanokuchi<sup>4</sup>, Nobuhiro Tomiyama<sup>4</sup>

<sup>1</sup>新潟大学 自然科学系・理学部, <sup>2</sup>総合地球環境学研究所, <sup>3</sup>宇宙航空研究開発機構, <sup>4</sup>リモートセンシング技術センター  
<sup>1</sup>Niigata University, Faculty of Science, <sup>2</sup>RIHN, <sup>3</sup>JAXA, <sup>4</sup>RESTEC

The Advanced Land Observing Satellite (ALOS) is a relatively new satellite. Its optical sensors are capable of making high-resolution digital surface models (DSM). For the first time, the task of constructing a regional-scale inventory for glacial lakes based on ALOS data has been undertaken. This study presents the data processing methods and the results of validation and analysis on the ALOS-based glacial lake inventory of Bhutan in the Himalayas. The analysis based on GPS measurements taken at Metatshota Lake in the Mangde Chu sub-basin, one of the glacial lakes assessed as potentially dangerous for flooding, shows a validation estimate of 9.5 m for the location of the ALOS-based polygon with the RMS of 6.9 m. A comparison with digitized data from the International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD) illustrates that a significant amount of improvement in positioning and in evaluating terrain changes can be achieved using ALOS data. Preliminary analysis on the glacial lakes in four sub-basins, Mo Chu, Pho Chu, Mangde Chu, and Dangme Chu, reveals that the frequency distribution of lake sizes biases towards smaller lakes. Glacial lakes in the size of 0.01-0.05 km<sup>2</sup> account for approximately 55% in number and occupy 13% of the area. Together our results demonstrate the usefulness of high-resolution ALOS data with accurate DSMs in studying glacial lakes. High priority must be given to continuously improving and updating glacial lake inventory with high-resolution satellite data.

キーワード: 氷河湖, ALOS, インベントリー, ブータン, ヒマラヤ

Keywords: GLOF, ALOS, inventory, Bhutan, Himalayas

HDS025-02

会場:103

時間:5月22日 09:45-10:00

## ALOS データによるブータン・ヒマラヤの氷河湖インベントリー公開に向けて Free Public Access on Glacier Lake Inventory in the Bhutan-Himalayas using ALOS Data

奈良間 千之<sup>1\*</sup>, 田殿 武雄<sup>2</sup>, 浮田 甚郎<sup>3</sup>, 山之口 勤<sup>4</sup>, 河本 佐知<sup>4</sup>, 富山 信弘<sup>4</sup>, 矢吹 裕伯<sup>5</sup>, 藤田 耕史<sup>6</sup>, 西村 浩一<sup>6</sup>  
Chiyuki Narama<sup>1\*</sup>, Takeo Tadono<sup>2</sup>, Jinro Ukita<sup>3</sup>, Tsutomu Yamanokuchi<sup>4</sup>, Sachi Kawamoto<sup>4</sup>, Nobuhiro Tomiyama<sup>4</sup>, Hironori  
Yabuki<sup>5</sup>, Koji Fujita<sup>6</sup>, Kouichi Nishimura<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 総合地球環境学研究所, <sup>2</sup> 宇宙航空研究開発機構, <sup>3</sup> 新潟大学, <sup>4</sup> リモートセンシング技術センター, <sup>5</sup> 海洋研究開発機構, <sup>6</sup> 名古屋大学

<sup>1</sup>RIHN, <sup>2</sup>JAXA, <sup>3</sup>Niigata Univ., <sup>4</sup>RESTEC, <sup>5</sup>JAMSTEC, <sup>6</sup>Nagoya Univ.

2009年度～2011年度にかけてのJICA/JSTプロジェクトの「ブータン・ヒマラヤにおける氷河湖決壊洪水に関する研究」において、私たちはブータン・ヒマラヤの氷河湖インベントリーの作成を開始した。ヒマラヤ地域では、10年に1～2回の割合で氷河湖決壊洪水（GLOF）が起きており、氷河湖の分布と基本情報を記した氷河湖インベントリーの作成と公開は、地元の人々の認知度の高まり、関係者のGLOF対策、世界の研究者の氷河湖研究に役立つ。

衛星班を中心とする研究メンバーは、ALOSのPRISM（解像度2.5m）とAVNIR-2（解像度10m）から作成したパンシャープン画像を用いてマニュアルで氷河湖を抽出した。抽出する氷河湖は、「氷河の前面から小氷期モレーンの間、および同モレーンの下流側2km以内の0.01km<sup>2</sup>以上の氷河湖」とした。現在までにブータン全域で129のパンシャープン画像を作成した。ブータン全域の8つの流域の抽出状況を見ると、68の画像を用いた氷河湖抽出が終了しており、全体で600～700の氷河湖のうち400の氷河湖の抽出を終えた。しかしながら、多くの画像は雲で覆われており、すべての氷河湖の抽出が終了した流域はまだない。現在、3月の氷河湖インベントリー・サンプルのWEB上公開に向けて、Mangde Chu谷を対象にAVNIR-2で抽出できていない氷河湖を補完し、氷河湖ID、衛星パス、撮影日、緯度、経度、流域名、面積、長さ、幅、高度、方位、氷河湖タイプ、ICIMOD IDの情報を入れた氷河湖ポリゴンを公開予定である。本発表では、氷河湖インベントリーの内容と3月に公開したインベントリーのサンプルについて報告する。

キーワード: 氷河湖, 台帳, ALOS, 氷河湖決壊洪水, ブータン・ヒマラヤ

Keywords: Glacier lake, Inventory, ALOS, GLOF, Bhutan-Himalayas

HDS025-03

会場:103

時間:5月22日 10:00-10:15

## ヒマラヤにおける氷河湖の危険度再評価 Re-evaluation of potential of glacial lake outburst flood in the Himalayas

藤田 耕史<sup>1\*</sup>, 坂井 亜規子<sup>1</sup>, Arzhan B. Surazakov<sup>2</sup>, 山之口 勤<sup>3</sup>, 竹中修平<sup>4</sup>  
Koji Fujita<sup>1\*</sup>, Akiko Sakai<sup>1</sup>, Arzhan B. Surazakov<sup>2</sup>, Tsutomu Yamanokuchi<sup>3</sup>, Shuhei Takenaka<sup>4</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>2</sup>アイダホ大学, <sup>3</sup>財団法人リモートセンシング技術センター, <sup>4</sup>地球システム科学  
<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>University of Idaho, <sup>3</sup>RESTEC, <sup>4</sup>Earth System Sciences

Hazard of glacial lake outburst flood (GLOF) is an urgent environmental issue in the Himalayan countries such as Bhutan and Nepal. The GLOFs have frequently occurred since the 1960s, accompanied with shrinkage of glaciers and attendant expansion of glacial lakes. A previous study has reported that potentially dangerous glacial lakes existed 20 in Nepal and 24 in Bhutan. No obvious criteria, however, is not shown so far. In addition, some "real dangerous" glacial lakes, which have been pointed out by several field researchers, were not listed in the previous inventory.

We attempt to re-evaluate potential risk of GLOF by using ASTER images and digital elevation models (DEMs). Relative angles of surrounding topography against a lake surface are calculated. By adopting a threshold of 10 degree, a place surrounding glacial lake, where field researchers have felt as dangerous, is successfully marked. In addition, we validate the threshold angle by assessing the pre-GLOF lakes by Hexagon KH-9 satellite images and its DEM. We re-evaluate the 44 dangerous glacial lakes in Bhutan and Nepal.

キーワード: ヒマラヤ, 氷河湖, ASTER, Hexagon, DEM

Keywords: Himalayas, Glacial lake, ASTER, Hexagon, DEM

HDS025-04

会場:103

時間:5月22日 10:15-10:30

## 衛星データを用いたブータン・ヒマラヤにおけるデブリ氷河の形成要因に関する研究 Formation condition of debris-covered glaciers in the Bhutan Himalaya derived by satellite data

永井 裕人<sup>1\*</sup>, 藤田 耕史<sup>1</sup>, 縫村 崇行<sup>1</sup>  
Hiroto Nagai<sup>1\*</sup>, Koji Fujita<sup>1</sup>, Takayuki Nuimura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科  
<sup>1</sup> Nagoya University

ヒマラヤの氷河には下流域の表面にデブリ(岩屑)が堆積したデブリ氷河が多く存在する。氷河表面のデブリは断熱効果やその表面起伏から、氷河融解プロセスの気候変動への応答をより複雑にしている。さらにデブリ氷河末端にも生じる氷河湖では、近年決壊洪水が危惧されている。しかしながらどのような地形的・気候的環境がデブリ氷河であるかを決定しているかについては、ほとんど理解されていない。従って本研究では、どのような地理的要因がデブリ域の存在や形の決定に寄与しているのかを、隣接するチベットを含むブータン・ヒマラヤにおける衛星データを用いて調べた。

まず陸域観測衛星「だいち」の AVNIR2 センサから得られた可視近赤外画像を用いて氷河の抽出を行った。それらの末端のデブリ域面積は、地球観測衛星「Terra」の ASTER センサから得られた積雪指数より裸氷域とデブリ域を区分して求めた。次に、氷河を取り囲む 40°以上の急斜面からデブリが多く供給されると仮定し、その潜在的なデブリ供給斜面の斜度・方位を数値標高モデル「ASTER GDEM」から求めた。さらに、凍結破砕作用がデブリ生成に寄与していると考え、斜面の表面温度を ASTER 熱赤外センサから推定した。

本研究では、隣接するチベットを含むブータン・ヒマラヤに存在する 1,000 個以上の氷河を抽出した。空間解析の結果、デブリ氷河では、デブリに覆われていない氷河に比べて約 10 倍の面積の潜在的なデブリ供給斜面を持つことが分かった。さらに冬季であっても南向き斜面の表面温度の多くが 0℃以上であった。このような 0℃以上の急斜面の面積と氷河末端に分布するデブリ域の面積は、明瞭な正の相関を示した。加えて南向き斜面に分布する氷河のデブリ域は末端をほとんど覆っているのに対し、北向きのそれらは限定された南向き斜面の麓から、氷河の流動に沿う筋状の分布をしていることが多かった。これらの結果より、ブータン・ヒマラヤにおいては日射によって表面温度が上昇しやすい南向き斜面の分布が、デブリ域の有無や形状を決定していると考えられた。

キーワード: デブリ氷河, 凍結破砕作用, ブータン, ヒマラヤ, ALOS, ASTER  
Keywords: Debris-covered glacier, Freeze-thaw activity, Bhutan, Himalaya, ALOS, ASTER

HDS025-05

会場:103

時間:5月22日 10:45-11:00

## ネパールヒマラヤ東部・ホンクー谷における氷河湖決壊の可能性 Possibility of the glacial lake outburst floods in the Hongu Valley, eastern part of Nepal

澤柿 教伸<sup>1\*</sup>, 渡邊 悌二<sup>1</sup>, Lamsal Damodar<sup>2</sup>, Alton Byers<sup>3</sup>  
Takanobu Sawagaki<sup>1\*</sup>, Teiji Watanabe<sup>1</sup>, Lamsal Damodar<sup>2</sup>, Alton Byers<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学地球環境科学研究院, <sup>2</sup> 北海道大学大学院環境科学院, <sup>3</sup> The Mountain Institute, USA

<sup>1</sup> Hokkaido University, <sup>2</sup> Grad School of Env. Sci, Hokkaido Univ., <sup>3</sup> The Mountain Institute, USA

During the past several decades in the Mt. Everest and Makalu-Barun national parks of Nepal, 24 new glacial lakes have formed and 34 major lakes have grown substantially as a result of climate change and regional warming trends (Bajracharya et al. 2007). Recent satellite analyses have suggested that at least 12 of the new or growing lakes within the Dudh Kosi watershed, 9 of which are located in the remote Hongu valley of Makalu-Barun National Park, are "potentially dangerous" based on remote sensing that documented their rapid growth over the past several decades (Bajracharya et al. 2007; Watanabe et al. 2009). However, in spite of the large amount of national and international media attention recently generated by these new and/or growing lakes, relatively little was known about these lakes because of their extreme remoteness and difficulty of access.

Chamlang Pokhari, listed as West Chamlang in Table 1 by Bajracharya et al. (2007), was considered by many to be a "dangerous" lake based on satellite image analysis. It is also considered to be dangerous by local people as well. While it was observed that there is indeed considerable overhanging ice above the lake that could be dislodged and cascade into the lake that in turn caused a surge, the length and surficial roughness of the region between the lake and the terminal moraine (i.e., the region below the meltwater ponds that can be seen to the left) suggests that any surge would most likely be buffered and repelled.

In 2009 we carried out intensive investigation on the Chamlang Pokhari at the western foot of the Peak Chamlang in the remote Hongu valley of Makalu-Barun National Park of East Nepal. Geomorphological observations and bathymetric surveys at around the Chamlang Pokhari were carried out in November 2009 during the ice-melted period. The depth was confirmed continuously on an line using echo sounding with GPS positioning.

The bathymetric map shows that the current lake is about 550 m in width (north-south) and about 1,650 m in length (east-west). The lake was most probably very small in 1962 when a climbing expedition team from Hokkaido University scaled the summit of Mt. Chamlang. The lake area shown on the Schneider map (surveyed between 1955 and 1974) is roughly one-sixth of the current area. The bathymetric survey indicates that the maximum water depth is 87 m.

A survey around the terminal moraine was also carried out to reveal seepage of lake water from the moraine. The result showed that the glacier ice was grounding. The ice cliff at the terminus was in continual contact with lake water, and had drifted due to valley winds passing over the lake.

キーワード: 氷河湖決壊, ネパールヒマラヤ, 湖盆, マカルーバルン国立公園, チャムラン

Keywords: glacial lake outburst flood, Nepal Himalaya, bathymetry, Makalu-Barun national park, Chamlang

HDS025-06

会場:103

時間:5月22日 11:00-11:15

## トルトミ氷河湖水位低下プロジェクトの概要 Overview on the risk minimization project in Thorthormi glacial lake

トエブ カルマ<sup>1</sup>, チョペル ジャミアン<sup>1\*</sup>, 小森 次郎<sup>2</sup>  
Karma Toeb<sup>1</sup>, Jamyang Chopel<sup>1\*</sup>, Jiro Komori<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ブータン国経済省地質鉱山局, <sup>2</sup> ブータン国経済省地質鉱山局 (名大環境学)  
<sup>1</sup>Department of Geology and Mines, Bhutan, <sup>2</sup>Dept of Geo & Min, Bhutan / Nagoya Univ.

With the financial assistance from the UNFCCC, this project mainly focuses on the risk minimization for Glacial Lake Outburst Flood (GLOF) in Punakha Wangdi valley along Pho Chu river. The project was designed with a budget of approximately 127 to 130 million Ngultrum (equivalent to an Indian Rupee) with a co financing scheme from the Austrain Government and WWF Bhutan.

The overall objective of the project was to lower the lake water level in Thorthormi lake by 5 m which according the technical mitigation plan drawn up in collaboration with the Austrain experts was a safety level to prevent a catastrophic GLOF in the future. The whole project was formulated for four years period with four working seasons per year with atleast 300 workers in each working season. The team adopted a simple method of lowering the lake water level which basically is deepening and widening the natural existing outlet channel. No big machineries were used for fear of disturbing the surrounding unstable moraine walls separating the lakes.

The project was initiated in 2008 by carrying out an engineering and safety plan which was implemented in the first year after a technical consultation with the GEF technical team. The real excavation work on the channels started only in 2009. The progress for each year for the past two years (2009 and 2010) are given in the following section.

After two years of excavation work only about less than 50% target has been achieved. Considering the overall target of 5 m reduction in lake level and also considering the time frame of the project which is another one more years to complete 4 years of the project, the project team feels that the project should be extended by another working season to enable the team to achieve the overall target of 5 m. The less achievement in terms of target was mainly due to unavoidable circumstances encountered by the team in course of the project implementation.

キーワード: 氷河湖決壊洪水, 災害低減, 電気探査, 氷河水体, 国連開発計画, ブータン

Keywords: GLOF, hazard mitigation, electrical resistivity tomography, glacial ice, United Nations Development Programme, Bhutan



HDS025-07

会場:103

時間:5月22日 11:15-11:30

## 現地踏査に基づくブータンヒマラヤの氷河湖の決壊危険度評価 Hazardous lake evaluation by the field survey in the Bhutan Himalaya

ギャレイ カルカシン<sup>1\*</sup>, 小森 次郎<sup>2</sup>, プンツォ ツェリン<sup>1</sup>, 竹中 修平<sup>3</sup>, 内藤 望<sup>4</sup>, 澤柿 教伸<sup>5</sup>  
Kharka Singh Ghallay<sup>1\*</sup>, Jiro Komori<sup>2</sup>, Phuntsho Tshering<sup>1</sup>, Shuhei Takenaka<sup>3</sup>, Nozomu Naito<sup>4</sup>, Takanobu Sawagaki<sup>5</sup>

<sup>1</sup> ブータン国経済省地質鉱山局, <sup>2</sup> ブータン国経済省地質鉱山局/名大環境学, <sup>3</sup> 株式会社地球システム科学, <sup>4</sup> 広島工業大学  
環境学部地球環境学科, <sup>5</sup> 北海道大学地球環境科学研究院

<sup>1</sup>Dept of Geology and Mines, MoEA, Bhutan, <sup>2</sup>Dept of Geo & Min, Bhutan / Nagoya Univ., <sup>3</sup>Earth System Science Co.,LTD.,  
<sup>4</sup>Hiroshima Institute of Technology, <sup>5</sup>Hokkaido University

In order to assess the possibility of GLOF hazard in the Bhutan Himalaya, we closely observed 15 lakes and roughly checked 12 lakes along the snow man trekking route, northern Bhutan under the JICA/JST project. There is not specific information over the last 10 years. However most of these lakes were observed by Iwata and Ageta (1998). In this presentation we will introduce summary of the field condition and preliminary result of the evaluation based on a modified glacial lake check sheet (Iwata, 2000). The field surveys for the evaluation were carried out in/around the lakes in 2009 and 2010 by the authors and tenth other Japanese and Bhutanese researchers. Especially, bathymetric survey achieved to obtain more reliable information for assessing the stability of the moraine dame and flood analyses. Most of the lakes in the Mangde Chhu basin show relatively stable aspect because gentle relief of the surrounding topography of the lake.

キーワード: 氷河湖決壊洪水, 危険度評価, チェックシート, 湖盆測深, マンデチュー川  
Keywords: GLOF, risk evaluation, check sheet, bathymetric survey, Mangde Chhu

HDS025-08

会場:103

時間:5月22日 11:30-11:45

## ブータン・ヒマラヤにおけるモレーンダムでの物理探査 Geophysical Exploration on Moraine Dam in Bhutan Himalaya

大橋 憲悟<sup>1\*</sup>, 出村 英紀<sup>1</sup>, ツェリン・ペンジョル<sup>2</sup>  
Kengo Ohashi<sup>1\*</sup>, Hirenori Demura<sup>1</sup>, Tsering PENJORE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 株式会社 地球システム科学, <sup>2</sup> ブータン地質鉱山局

<sup>1</sup>Earth System Science Co.,Ltd, <sup>2</sup>Department of Geology and Mines, Bhutan

ブータン・ヒマラヤ地域では、氷河の後退により形成された氷河湖が数多く存在する。いくつかの氷河湖では、衛星画像解析等により、氷河湖決壊の危険性が指摘されている。これらの湖に対し、洪水による被災規模の想定を行うのは防災上非常に重要であり、被災規模の想定には、氷体分布状況等、モレーン内部構造の情報が必要である。本調査では、物理探査手法によって得られる比抵抗値、S波速度を用いて、モレーン内部の構造を推定すると共に、物理探査手法の有効性について検討した。

本調査では、重要となる氷体の物理特性を把握するため、まずD型氷河で氷体およびデブリの比抵抗を実際に測定した。探査の結果、比抵抗値が20k ohm-m以下では氷体が存在しないことが明らかとなった。2つの氷河湖(ZanamC, Metatsota 氷河湖)を形成するモレーンで探査を行ったところ、観測された比抵抗値は20k ohm m以下であり、モレーン内には氷体が存在しないと考えられる。また、S波速度について解析を行う微動アレイ探査では、平地が広がり、比較的広範囲に観測網展開が可能なMetatsota 氷河湖においては、比抵抗探査結果と同様の結果が得られた。一方、ZanamC 氷河湖では、モレーンが起伏に富み、局所的にしか観測網が展開できず、良好な結果は得られなかった。このような地形条件下におけるモレーンでの探査方法、解析方法の開発が今後の課題である。

キーワード: 氷河湖決壊, モレーンダム, 2次元比抵抗探査, 微動アレイ探査, デッドアイス

Keywords: glacier lake outburst floods (GLOF), moraine dam, 2Delectric sounding, Microtremor array, Dead ice



HDS025-09

会場:103

時間:5月22日 11:45-12:00

## 岩屑被覆氷河からの氷河湖決壊洪水 -2009年ツォジョ氷河の事例- GLOF from debris covered glacier - a case study of 2009 Tshojo glacier-

小森 次郎<sup>1\*</sup>, 小池 徹<sup>2</sup>, プンツォ ツェリン<sup>1</sup>, 山之口 勤<sup>3</sup>  
Jiro Komori<sup>1\*</sup>, Toru Koike<sup>2</sup>, Phuntsho Tshering<sup>1</sup>, Tsutomu Yamanokuchi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ブータン地質鉱山局, <sup>2</sup> 株式会社地球システム科学, <sup>3</sup> 財団法人リモート・センシング技術センター  
<sup>1</sup>DGM, Bhutan, <sup>2</sup>Earth System Science Co. LTD., <sup>3</sup>Remote Sensing Technology Center of Jap

ヒマラヤ南麓山域では1998年の東ネパール Sabai Tsho での Flood を最後に大規模な GLOF 発生の報告は無い。一方、規模は小さいものの一時的に出現した氷河湖からの出水については2008年にパミール山域で発生したことが報告されている。ブータンヒマラヤでは2009年4月に Tshojo 氷河から推定5万立方mの異常出水があった(小森ほか, 2010)。これについて、2010年秋に現地調査を行ったのでここに報告する。

現地では次のような特徴がみられた。

(1) 堆積体ごとに淘汰の良いローブ状の微地形の散在。(2) ローブ状の堆積地形は周辺の古い岩塊や灌木を覆い、(3) また上流方向には連続しない。(4) 直径数~数十mの凹地の散在。

(1)と(2)の特徴から氷河上で土石流が発生し、(3)と(4)の特徴から土石流は氷河内からの巨大な噴礫現象によってもたらされたと判断した。また、噴礫地点の上流には氷河上湖があるが、これらのうちのいくつかは水位が低下し氷河氷と氷河内水路が露出していた。以上の状況から今回の異常出水は、上流側での氷河上湖からの急激な逸水が発生し、氷河内を通り下流側で氷河表面に土砂混じりの融氷水として噴き出した小規模な GLOF であったと考えられる。このような現象は東ネパールの1991年のリプモシャ氷河での報告(Yamada and Sharma, 1993; 藤原・五味, 1995)がある。また、同じく東ネパールの Mingbo Valley で起きた GLOF(Fushimi et al., 1985)も発生前の CORONA 衛星写真を見ると Tshojo 氷河と同じくデブリ氷河の内部に池がある状態であることから、今回の GLOF と類似した現象であったと考えられる。

キーワード: 氷河湖決壊洪水, D型氷河, 氷河上湖, 氷河内流路, 土石流, 噴礫

Keywords: GLOF, D-type glacier, Supra-glacial lake, intra-glacier channel, debris flow, gravel boiling

HDS025-10

会場:103

時間:5月22日 12:00-12:15

## 時系列衛星画像でとらえた2009年Tshojo氷河の洪水イベント

### Monitoring of supraglacial lakes on Tshojo Glacier by satellite data related to unusual flood event occurred in 2009

山之口 勤<sup>1\*</sup>, 田殿 武雄<sup>2</sup>, 小森 次郎<sup>3</sup>, 小池 徹<sup>4</sup>, 河本 佐知<sup>1</sup>, 富山 信弘<sup>1</sup>, プンツォ ツェリン<sup>5</sup>

Tsutomu Yamanokuchi<sup>1\*</sup>, Takeo Tadono<sup>2</sup>, Jiro Komori<sup>3</sup>, Toru Koike<sup>4</sup>, Sachi Kawamoto<sup>1</sup>, Nobuhiro Tomiyama<sup>1</sup>, Puntsho Tshering<sup>5</sup>

<sup>1</sup>(財) リモート・センシング技術センター, <sup>2</sup>宇宙航空研究開発機構, <sup>3</sup>名古屋大学, <sup>4</sup>地球システム科学, <sup>5</sup>ブータン王国地質鉱山局

<sup>1</sup>RESTEC, <sup>2</sup>JAXA, <sup>3</sup>Nagoya University, <sup>4</sup>Earth System Science Co. Ltd., <sup>5</sup>Department of Geology and Mines, Bhutan

Global warming have a serious effect on world cryosphere and it sometimes causes the retreat of glaciers and formation of glacier lakes at the terminus of glacier. This causes a sudden outburst flood called GLOF (Glacier Lake Outburst Flood). GLOF is serious issue at Himalayan countries and actually more than 20 people were dead by GLOF event occurred in 1994 at Bhutan. A recent example is that unusual flood event was occurred along Pho Chu in 29, April, 2009. Tshojo Glacier is located at the headwater of Po Chu River and the source of this outflow water, while there is no huge glacier lake at the terminus of this glacier. Instead of huge lake, there are several spraglacial lakes on the glacier surface and one of the supraglacial lake was disappeared after this outflow event from the interpretation result of ALOS / PALSAR data.

This study aims to reveal the relationship between unusual water outflow event and disappearance of supraglacial lake through temporal analysis of supraglacial lakes on the Tshojo Glacier by using time series satellite data. Both optical and microwave sensor data are used for analysis, which are ALOS /PRISM, ALOS / AVNIR-2, SPOT-2 / XS and PA, SPOT-5 / XS and PA for optical sensor and ALOS / PALSAR data for microwave sensor (SAR) data.

Also, we have done ground survey around Tshojo Glacier in the autumn of 2010 to figure out this outflow event.

Next, we will plan to analyze the temporal change of this small lake and if possible, estimation of lost water volume of disappeared lake using DSM data made from ALOS / PRISM triplet pair. Then, we also try to reveal the relationship between the disappearance of lake and outflow event through the combined study with field survey results.

This research was supported by JST-JICA, SATREPS (Science and Technology Research Partnership). ALOS / PALSAR data were provided through ALOS PI project (PI No.571).

Keywords: GLOF, Satellite, Supraglacial lake

HDS025-11

会場:103

時間:5月22日 12:15-12:30

## ASTER 及び Landsat 衛星画像による、氷河表面の熱抵抗値、NDWI、流動速度の時系列変化と氷河上の池の拡大について

### Supra-glacial ponds and spatial temporal changes of glacier surface environment (Thermal resistance, NDWI, and glacier f

縫村 崇行<sup>1\*</sup>, 坂井 亜規子<sup>1</sup>, 藤田 耕史<sup>1</sup>

Takayuki Nuimura<sup>1\*</sup>, Akiko Sakai<sup>1</sup>, Koji Fujita<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学

<sup>1</sup>Nagoya University

氷河上の状態変化の分布の把握は、局所的に氷河の融解速度が大きい、もしくは今後大きくなりうる箇所を把握するうえで不可欠な要素であり、近年関心が高まりつつある氷河湖決壊洪水（GLOF）災害の要因となる氷河湖の発生予測にとっても重要であると考えられる。氷河表面の高度変化は質量収支（涵養量と融解量の差分）と流動速度の勾配（流入量と流出量の差分）で決定される。このような関係性から、対象地域における氷河変動の傾向を知るためには、氷河の体積変化を直接示す表面高度の変化を明らかにすることも重要であるが、その要因を明らかにすることも同様に重要と考えられている。質量収支の変動を示す指標としての熱抵抗値、流動速度の勾配を明らかにするために SAR や光学画像を用いた氷河流動速度の分布の解析などがこれまで行われている。しかしながら、それらの研究では表面高度の変化や、それらの要因間の空間的な分布に関する考察は十分行われてはいない。

そこで本研究では氷河変動に影響を与えと考えられる要素（熱抵抗値、NDWI、流動速度）それぞれの関係性と氷河上の池の面積変化についての解析を行った。解析の結果は発表にて紹介する。

キーワード: 氷河湖, 氷河, ASTER, Landsat, 熱抵抗値, NDWI

Keywords: glacial lake, glacier, ASTER, Landsat, thermal resistance, NDWI

HDS025-12

会場:103

時間:5月22日 12:30-12:45

## ヒマラヤの氷河湖の形成条件に関する研究 Study on the formation condition of glacial lakes in the Himalayas

坂井 亜規子<sup>1\*</sup>, 藤田 耕史<sup>1</sup>, 田殿 武雄<sup>2</sup>, 縫村 崇行<sup>1</sup>  
Akiko Sakai<sup>1\*</sup>, Koji Fujita<sup>1</sup>, Takeo Tadono<sup>2</sup>, Takayuki Nuimura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学環境学研究科, <sup>2</sup> 宇宙航空研究開発機構  
<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>Japan Aerospace Exploration Agency

ヒマラヤでは氷河の末端に多数の氷河湖が存在している。それら氷河湖は 1950、60 年代に拡大を開始し、氷河湖決壊が危惧されている。

これまで氷河湖の形成条件に関し、傾斜が 2 度以下で小氷期に形成されたラテラルモレーンと現在の氷河表面との高度差が平均で 60m 以上の氷河に氷河湖が形成されるという事実を地形図や測量結果から明らかにしてきた。本研究では衛星だいちに搭載された ALOS/PRISM(Advanced Land Observing Satellite/ Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping) センサーから作成された高精度の数値標高データを使用して地形図の無いブータンの山岳地域においても解析を行ったところ、同じような氷河湖の形成条件が得られ、さらに氷河の傾斜が緩いほど、小氷期からの表面低下が大きい傾向にあることがわかった。

発表ではこれらの解析結果に関して、氷河の融解過程などから考察する。

キーワード: 氷河湖, 氷河, モレーン, 消耗

Keywords: glacial lake, glacier, moraine, ablation

HDS025-13

会場:103

時間:5月22日 14:15-14:30

## デブリ氷河の表面傾斜の支配要因に関する研究 Factors controlling scale and shape of the Himalayan debris-covered glaciers

山口 悟<sup>1\*</sup>, 藤田 耕史<sup>2</sup>, 坂井 亜規子<sup>2</sup>  
Satoru Yamaguchi<sup>1\*</sup>, Koji Fujita<sup>2</sup>, Akiko Sakai<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター, <sup>2</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科

<sup>1</sup> Snow and Ice Research Center, NIED, <sup>2</sup> Nagoya University

ヒマラヤでは、同じ地域にあるデブリ氷河でも氷河湖があるものとないものがある。氷河湖が出来る・出来ないがなにに依存するかは、科学的に興味がある問題だけではなく、氷河湖形成とその決壊の予測という観点からも非常に重要である。統計的な研究によるとヒマラヤでは平均表面傾斜が2°以下のデブリ氷河で氷河湖が形成されているとされている。しかしなぜ2°より急な表面傾斜のデブリ氷河では氷河湖が出来ないかについての理由は明らかにされていない。また同じ気候条件下において、表面傾斜の異なる氷河がなぜ存在するかに関してはよく分かっていない。そこで本研究では、氷河湖形成のメカニズムを理解する上で重要なデブリ氷河の表面傾斜が何によって決まるかを明らかにするために、流動場の変化に伴うデブリの濃縮・希釈作用の影響、デブリの厚さの変化に伴う融解量の変化を考慮した氷河変動数値モデルを構築し、以下の感度実験を行った。

1. icefall 直下で供給されるデブリの量を変化させる。
2. 涵養域の面積を半分にする。
3. 基盤地形の傾斜を変化させる。

感度実験の結果、わずかなデブリの供給量の違いや基盤地形の違いによってデブリ氷河の表面傾斜だけではなく、氷河長も大きく変化することが分かった。本研究結果は、表面傾斜や氷河長の異なる氷河が同じ気候条件下で存在する理由の解釈に役立つのみならず、表面傾斜が2°より急な氷河で氷河湖が出来ない理由を解明するための手がかりとなりうる。

キーワード: ヒマラヤ, 氷河湖, デブリ氷河, 氷河形状

Keywords: Himalaya, Glacier lake, Debris-covered Glacier, Glacier form

HDS025-14

会場:103

時間:5月22日 14:30-14:45

## ブータン王国マンデ・チュー流域の地すべり地形分布 Landslide distribution in Mangde-chu River basin, Kingdom of Bhutan

佐藤 剛<sup>1\*</sup>, 檜垣 大助<sup>2</sup>, 小池 徹<sup>3</sup>, 梅村 順<sup>4</sup>, Tshering Penjore<sup>5</sup>, Phuntsho Norbu<sup>5</sup>, 小森 次郎<sup>6</sup>  
Go Sato<sup>1\*</sup>, Daisuke Higaki<sup>2</sup>, Toru Koike<sup>3</sup>, Jun Umemura<sup>4</sup>, Tshering Penjore<sup>5</sup>, Phuntsho Norbu<sup>5</sup>, Jiro Komori<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 帝京平成大学, <sup>2</sup> 弘前大学, <sup>3</sup> 株式会社地球システム科学, <sup>4</sup> 日本大学, <sup>5</sup> ブータン地質調査所, <sup>6</sup> 名古屋大学 / JICA  
<sup>1</sup>Teikyo Heisei University, <sup>2</sup>Hirosaki University, <sup>3</sup>Earth System Science Co., Ltd., <sup>4</sup>Nihon University, <sup>5</sup>Department of Geology and Mines, Bhutan, <sup>6</sup>Nagoya University / JICA

ブータン王国のマンデ・チュー上流域には多数の氷河湖が分布しており, その下流では氷河湖決壊洪水による災害危険性の評価が望まれている。氷河湖決壊洪水が発生し, 洪水が地すべり移動体末端を開析した場合, 地すべりが二次的に活動する可能性がある。同流域において, 地すべり地形の分布を明らかにすることは, 氷河湖決壊洪水にともなう二次災害を把握するうえで重要となる。本研究では, 衛星写真判読から地すべり地形学図を作成し, 地すべり地形の特徴とその分布特性について明らかにした。主な内容は以下の通りである。

2) モンデ・チュー河床標高 4100 m 以上は, 新鮮な氷食谷で形成される。氷食谷では, 浅い地すべり(表層崩壊)が多数分布する。また, 堆石が小規模な地すべりで開析される例が認められる。

3) モンデ・チュー河床標高 4100 m ~ 2500 m では, 斜面下部で岩盤クリープおよび地すべり地形が多数分布する。氷食谷の形状は, 河床標高 4100m ~ 3770 m まで残っているが, 地すべり, 岩盤クリープにより解体が進んでいる。

4) モンデ・チュー河床標高 2500 m ~ 2100 m では, 斜面上部から下部にかけて大規模な岩盤クリープ地形が広く分布する。また, 斜面下部では, 地すべり地形が多数分布する。

5) モンデ・チュー河床標高 2100 m 以下では, 斜面上部から下部にかけて岩盤クリープ地形および地すべり地形が広く分布する。また, 地すべり移動体上は農地として土地利用されている。

本研究は, JST-JICA 地球規模課題対応国際協力事業「ブータンヒマラヤにおける氷河湖決壊洪水に関する研究」の一環として実施された。

キーワード: 地すべり, 氷河湖決壊洪水, ブータン

Keywords: Landslide, GLOFs, Bhutan



HDS025-15

会場:103

時間:5月22日 14:45-15:00

## ブータンでの GLOF 防災のための社会調査 A social survey for GLOF disaster mitigation in Bhutan

竹中 修平<sup>1\*</sup>, 佐藤匡史<sup>1</sup>  
Shuhei Takenaka<sup>1\*</sup>, Tadashi Satoh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(株)地球システム科学  
<sup>1</sup>Earth System Science Co.,LTD.

JICA/JST「ブータンヒマラヤにおける氷河湖決壊洪水に関する研究」の一部として、2010年5月、ブータン中部において氷河湖決壊洪水（GLOF）に対する防災意識および対策についての社会調査を行った。

調査地域は本研究の対象地域であるマンデチュー（「チュー」は「川」の意）と、その両隣のプナサンチュー、プムタンチュー流域の、GLOFによる被災が危惧されるコミュニティである。調査では地方行政機関、学校、地域住民に対して、それぞれ異なる内容の質問表を用意し、聞き取り（アンケート）を行った。質問内容は、人口、防災に対する基本方針、情報伝達体制（地方行政機関のみ）、収入、携帯電話等通信手段の有無（地域住民のみ）などの基礎社会情報、災害履歴、防災知識、他援助団体の活動等である。

その結果、地域住民の GLOF 災害に対する認知は全般的に高く、不安を抱いていること、しかし防災教育や対策が不十分であり、現在のところ十分な連絡体制も整っていないことがわかった。特にマンデチュー下流のブータン南部地域では、平均的に住民の収入が低く、ラジオや電話など情報を得る手段の保有率が低い。また防災に寄与する道路や通信網など社会的インフラの整備も遅れている。一方、1994年の GLOF で被災したプナサンチュー流域のプナカやワンデューでは他地域と比較して、行政・住民とも防災意識が高く、災害時の情報連絡網も整っている。

キーワード: ブータンヒマラヤ, 氷河湖, 洪水, GLOF, 防災, 社会調査

Keywords: Bhutan Himalaya, glacial lake, flood, GLOF, disaster prevention, social survey

HDS025-16

会場:103

時間:5月22日 15:00-15:15

## ヒマラヤ山脈東部での氷河湖決壊洪水 GLOF 災害軽減への基本的考え方 Basic concepts of disaster prevention for GLOF in the eastern Himalayas

岩田 修二<sup>1\*</sup>

Shuji Iwata<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 岩田修二

<sup>1</sup>Iwata, Shuji

1998 年以来、おもにブータンの氷河湖について研究してきた。その経験によって、地形学的視点から、氷河湖決壊洪水 GLOF による災害の危険、および、それを防止・軽減するための基本的な考え方を提案する。扱う地域は、多くの氷河湖が存在し、氷河湖決壊洪水 (GLOF) の発生が心配されているネパール東部、シッキム、ブータンと、その北側のヒマラヤ北面 (チベット部分) である。

### 1 危険な氷河湖

東ヒマラヤの氷河近接氷河湖と氷河接触氷河湖は、丸型氷河湖と細長型氷河湖とに区分される。これらの 2 タイプと氷河湖決壊との関係では、決壊の発生原因も不明なものが多いが、明らかになったものでは、a) 湖背後の氷河からのなだれ、氷河氷の崩落が最多で、b) 氷河湖縁辺モレーンの脆弱化による決壊が次である。

a) もっとも例が多い背後の氷河からのなだれ、氷河氷の崩落は、多数ある丸型氷河湖でおこることが多い。氷河湖の背後の急斜面や懸垂氷河でおこる氷河なだれや氷河崩壊の予測は事実上困難である。

b) 氷河湖縁辺モレーンの脆弱化による決壊は、少数の、しかし大型の細長型氷河湖でおこる。アイスコアの融解や漏水が引き金になったと考えられている。これは物理探査や地質調査などを反復することである程度は予測できるかも知れない。

チベット側 (ヒマラヤ山脈北面) での GLOF 履歴を調べると、細長型氷河湖でも氷河湖の側面の谷壁の氷河の崩壊 (氷河なだれ) が引き金になっている場合があった。この違いは、ヒマラヤ南面では岩屑量が多いので、氷河湖縁辺モレーン (側方モレーン) が形成され、それによって谷壁からのなだれは直接湖に落下しないが、岩屑量が少ないヒマラヤ北面では、谷壁が直接湖に接しているため氷河なだれが直接湖に落下することによる。

地震防災とのアナロジーでいうと、a) 丸型氷河湖型 GLOF は直下型地震、b) 細長型氷河湖はプレート境界の巨大地震にたとえられよう。

### 2 氷河湖決壊による洪水の特徴

これまでの決壊洪水の洪水流量曲線の観測からは次の点が明らかになっている。最大流量の立ち上がりは急でピークは高いが急激に減少する。洪水のピーク流量は、氷河湖に近い上流部ほど高く下流に行くほど減少する。決壊した氷河湖を源にもつ流路だけが増水する (多くの場合は土石流となる) から、合流する支谷の多くは閉塞される。

このような決壊洪水の特徴は、モンスーン時やサイクロンによる広域的な豪雨による洪水 (最大流量までのピークの形はなだらかで、洪水の継続時間は長く、下流ほど流量が増加する、支流本流を問わずすべての流路が増水する) とは異なる様相を示す。

氷河湖決壊洪水の危険度がもっとも高いのは氷河湖のすぐ下流の部分である。しかも、このような地域では、モンスーンの豪雨やサイクロンの大雨を経験することが少ないので、河川の増水を経験していない。

### 3 防災対策のあり方

地震防災でおこなわれている議論を参考にすると、つぎのような考え方ができよう。

1) 氷河湖決壊の予知 (発生場所・時刻の特定): どの氷河湖が危険かは、ある程度は識別できる。しかし、いつ、決壊おこるかの予測は不可能である。

2) たとえ、発生時刻の予測が成功したとしても、人命は救えるが経済的な損失は軽減できない。

3) 危険度の高い氷河湖の下流での防災対策を常に絶え間なく進めて行くべきである。3-1) 人命を守るためには緊急警報装置の設置と定常的な維持・管理。3-2) 経済的損失を低減するためには、土地利用規制、施設移転などの対策が必要である。

### 4 結論

危険度地図 (ハザードマップ) の作成が急務である (研究としての決壊メカニズムと予知の研究は継続すべきである)。

キーワード: 氷河湖決壊洪水, 決壊予測, 危険度予測, 被害軽減対策

Keywords: glacial lake outburst floods, outburst forecast, risk assessment, mitigation measures

HDS025-17

会場:103

時間:5月22日 15:15-15:30

## 氷河なだれ、氷河の滑落・崩壊が引き起こす津波 Impulse wave generated by glacier avalanches and its effect on GLOFs

西村 浩一<sup>1\*</sup>

Kouichi Nishimura<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学

<sup>1</sup>Nagoya University

Landslides, rock falls, snow avalanches, and glacier calvings may generate large water waves in the glacial lakes. These tsunami-type waves, called as impulse waves, can cause GLOF due to run-up or even destruction of the moraine dams. Although a considerable number of general model studies exist, the prediction of impulse wave features remain challenging. Most general model studies provide an empirical equation for the maximum wave features in the slide impact zone. However, the wave height, wave amplitude, wave period, and wavelength at a specific location of the lakes have to be available to determine the effects of impulse waves on a dam.

In this study the generation and propagation of the impulse waves were investigated in a small channel experimentally and, then, numerical simulations were carried out not only for the small scale but also for the glacial lakes in Bhutan.

キーワード: 氷河湖, 氷河なだれ, 津波

Keywords: Glacial lake, Glacier avalanche, Tsunami