

## ブータンの氷河と氷河湖

立教大学 観光学部 岩田修二

### 要 旨

1994年10月にブータンの古都プナカを襲った GLOF（氷河湖決壊洪水）をきっかけにブータンでの氷河と氷河湖調査が始まった。東ネパールや、ヒマラヤ北面、横断山脈と同じように、ブータンでも多数の氷河が縮小しており多くの氷河湖が形成され、氷河湖の一部では GLOF の発生・災害の発生が心配されている。1998年のスノーマントレック沿いの調査を中心にブータンの氷河と氷河湖の現況を概観する。

### 1. はじめに

1-1 雲南懇話会で、なぜブータンの話をするのか。チベット山塊（チベット高原とその縁辺山脈を含めた山塊）の地形配置とブータンの位置（地形学からのチベット山塊概観）、ブータンと横断山脈との関係、ブータンから移住したモンパの人びと。

2-2 岩田のブータンとの関わりと調査場所。

### 2. ブータンの山・氷河・氷河湖概観

2-1 高峰・水系（河川）・盆地

2-2 氷河と氷河湖概観（チベットとのちがひ、氷河の縮小）

2-4 1994年10月ルゲ湖の決壊洪水（Glacial lake outburst flood: GLOF）

### 3. スノーマントレックとブムタン源流の旅行

#### 3-1 スノーマントレックの調査

1998年の9月・10月にブータン地質調査局と合同で、氷河湖決壊洪水の調査をブータン王国北西部から北部にかけての地域でおこなった。リーダーは名古屋大学大気水圏科学研究所の上田 豊教授で、岩田を含む4人が日本側隊員として参加し、ブータンからは DGM（地質調査所）のカルマが加わった。

多くの氷河湖を観察し、それらの氷河湖決壊洪水の危険度を評価することが調査の第1の目的であった。したがって、チベットとの国境にあるブータン=ヒマラヤ主脈の南側にそって、ブータン西北のチョモラリ（7326m）東麓から、北部のルナナ地方を経て南下するスノーマン=トレックと呼ばれているブータン最長のトレッキングコースを歩いた。9月11日パロの西2560mのディゲゾンから歩き始めた。歩いた距離は400km以上、調査をしながら40日間ほとんど毎日歩きつめだった。その間、高さ4000m以上の峠を15越えた。15番目に越えた峠はトレッキング終了2日前の9月15日に越えたタンペ=ラ（4600m）であった。

9月27日の朝、5240mのガンラ=カルチュ峠を越えてルナナ地方に入った。ルナナはブータン王国の北部の隔絶された地域で、どこから入るにしろ5000m以上の高い峠を越えなければならない。まず、スイスの地質学者ガンサーが報告したタリナ氷河湖の洪水の跡を眺めることができた。タリナ氷河湖の洪水は1950年夏に起こり90km以上下流にあるプナカのゾン（城+役所+寺院の機能をもつ）に被害を与えた。

1994年に起こったルゲ=ツォ（湖）の氷河湖決壊洪水の爪痕のすさまじさに驚きながらタンザ村（4160m）に到着した。この村の背後には氷河湖決壊洪水をひきおこす恐れのある氷河湖がいくつもある。ここにベースキャンプを置いて1週間調査をおこなった。

ルナナの氷河湖のなかでもラフストレン湖はもっとも危険であると考えられていた。ブータン政府は1996

98年に湖の流出口を掘り下げる工事を人海戦術でおこなってきた。3年間夏の間には数百人の労働者を使って、手作業だけでモレーンの水路を掘り、3m以上湖面を下げる事ができた。長さ2km、最大幅1kmの大きさの湖ではたかだか数mの水位低下でも莫大な水量になる。10月6日にはゴムボートでラフストレン湖に漕ぎ出して水温や水深を測定した。タンザ周辺では、ルゲ湖は当分、安全であるが、トルトミ湖は急速に拡大しており今後危険度が高まると考えられた。

タンザ村からは、南側の5000mの高原をこえて南下し、ニカチューに出た。高原上には小型の裸氷タイプの氷河と氷河湖が多く分布している。

今回の調査でブータンの氷河が縮小し氷河湖はどんどん拡大していることがはっきりした。30の氷河湖についてインベントリーを作成し、危険度を評価した。

### 3-2 ブムタン源流の調査

2002年秋に、DGM 所長からの要請によって、岩田・小森次郎・デオラジ=グルンがブムタン源流のチャブダ=ツォの調査をおこなった。ここは1958年に中尾佐助がクーラカンリを眺めるために往復した谷である。チャブダ=ツォは、細長い氷河湖であるが、モレーン堰止め湖というよりも、長大な氷河表面湖であり、当分（将来数年以内に）決壊の危険はないことがわかった。

## 4. 東ヒマラヤの氷河湖決壊洪水（GLOF）

### 4-1 とくに氷河湖とモレーンダム特性および下流への影響

ネパール、クンブ地方のイムジャ湖の写真が盛んに掲載され、ヒマラヤの氷河湖決壊洪水の危機が2007年秋から急に報道されるようになった。現在の東ヒマラヤには、多くの氷河湖がある。一方、中央ネパールにあるツラギ氷河湖の西側では氷河湖は少ない。現在では西ヒマラヤやカラコラムでは氷河湖はまれである。氷河湖の拡大速度が明らかにされている。

氷河湖決壊洪水の実態とその災害は、1985年のネパールのクンブ地方ディグ=ツォ Dig Tsho, 1994年の北ブータンのルゲ=ツォ, 1998年のネパールのヒンク谷のサバイ湖のものがよく調査されている。ヒマラヤでは近年GLOFが以前より多発・増加しているといわれている。中央アジアとヒマラヤにおける1930年代からのGLOF累積発生数は坂井亜規子やRichardson and Reynoldsによると合計30件以上になる。

氷河湖決壊による危険は上流での引きがねとしての湖の決壊と、下流の危険（洪水や土石流にともなうもの）とに分けられる。

### 4-2 上流での引きがねとしての湖の決壊

GLOFの引きがねと直接原因の関係は複雑である。GLOFの引きがねを整理すると、その第1は、氷河なだれ・氷河崩落である。1985年のDig Tsho GLOFは「氷河崩落→大波と越流→モレーンダムの侵食」の典型なものである。同じタイプは1998年サバイ湖のGLOFでも発生した。サバイ湖のGLOFでは越流の開始と、このあと大規模崩壊が観察され写真に撮られた。決壊後、サバイ湖の地形図が測量によって作成された。

GLOFの原因の割合の第2は、アイスコアの融解、漏水などが引き金になるモレーンダムの決壊である。1994年のルゲ湖GLOFは、ラテラル=モレーン中のアイスコアの融解によって起こった。モレーンの裂け目に氷のブロックがあるのが写真に撮られている。ルゲ湖とおなじタイプの氷河湖はネパールのツォーロールパとイムジャ湖である。これら二つの氷河湖はよく研究されている。イムジャ湖とツォーロールパ湖の前端のモレーンダムの半分以上は氷河水でできていることが二次元比抵抗探査（電気探査）によって明らかにされた。つまり、イムジャ湖とツォーロールパ湖はモレーンダム湖というよりは、氷河消耗域に形成された巨大化した氷河表面湖である。

GLOF の危険性という点に着目すると、危険性が高い氷河湖は丸池型池（ディグ=ツォ型）と長池型湖（ルゲ=ツォ型）とに区分できる。

丸池型池と長池型湖の特徴：丸池型池は小型で多数分布する。背後の氷河崩落が GLOF の原因となる。氷河崩落の予測が難しいから、危険が多い。長池型湖は大型であるが少数である。ダム（モレーン・氷体）の劣化によって決壊する。モレーンの劣化は物理探査などによって、ある程度予測できるから、丸池型と比較すると、危険はやや少ないと言えよう。

したがって、今後の危険度判定調査は丸池型に精力をそそぐべきである。

#### 4-3 下流への影響（洪水被害）

上流で起こった氷河湖の決壊による、下流への悪影響は、洪水や土石流という洪水・土砂災害というかたちで現れる。ヒマラヤでのこれまでの経験をまとめると、伝統的な集落への影響は少ないと言える。被害を受けるのは 1) 新しい建築物（川沿いの家屋、発電施設など）、2) 橋・歩道、3) 川沿いの耕地や放牧地での作業員や家畜、4) 溪畔侵食・溪岸崩壊などによる川沿いの耕地・放牧地の喪失、5) 溪岸の森林破壊、6) 崩壊による、あるいは合流点での堰止めによる湖の形成と増水、決壊洪水などである。

このような下流の被害を防止・軽減するためには、下流の川沿いの調査を詳細におこなって浸水予測図（洪水危険度地図）を作成することである。これには日本のコンサルタンの経験が生かせる。そのために必要なものは、1) 氷河湖が決壊したときの洪水流量の予測、2) ベースマップ（1 万分の 1 地形図など、衛星 DEM によるものが作成可能）、3) 実体視できる衛星画像（ALOS/ASTER など）、4) 河川地形学図の作成、5) 土地利用図・施設分布図などの作成、6) 河川沿い既存施設現況調査、7) 住民意識調査に基づいた避難計画の立案などである。

#### 4-4 マンデ=チュウでの GLOF 軽減のための調査

このような考えに従って、ブータン中部のマンデ=チュウ流域（ガンケルプンスムを含む流域）での氷河湖の決壊危険度の評価と下流域の対策の立案を行っている（代表者：西村浩一名古屋大学教授）。現地（ティンパー）には小森次郎・依田明美が滞在して調査・研究にあたっている。

#### 4-5 ヒマラヤ北面や東南チベットでの氷河湖

ヒマラヤ北面のアルン川流域や、ニンチェンタングラ山脈東部、横断山脈にも数多くの氷河湖がある。これらは、ネパールやブータンに比べて研究が進んでいない。

### 5. おわりに

氷河湖決壊洪水の危険性が、モンスーンによる豪雨洪水や、それによる崩壊成ダム湖決壊などと比べてとくに危険度が大きいかどうかは判断の分かれるところであろう。また、このような自然災害援助と医療や教育に対する援助のどちらが重要かという問題もある。しかし、氷河湖決壊洪水も問題であることは事実である。

ところで、研究者がおこなう調査にはいろいろな限界がある。研究費は限られているし、研究者は、すでに問題がはっきりしていて、答えが得られそうな場所にしか研究費をつかえない。また、フィールドができる若手研究者が非常に少なくなっている。研究者が行けない地域での氷河と氷河湖の記録を登山家やトレkkerの方がたにお願いしたい。

了

## 参考文献

- 岩田修二・小森次郎 2010. 最近の氷河変動の意味するもの—消滅する氷河と拡大する氷河湖—. 遠藤邦彦・山川修治・藁谷哲也 (編著) 『極圏・雪氷圏と地球環境』 二宮書店, 52-72.
- IWATA, S. 2007. Glacial lake expansion in the Bhutan Himalaya: risks of glacial lake outburst floods. *Japanese Alpine News*, **8**: 97-107.
- 岩田修二 2007. 氷河湖決壊洪水の危機にさらされるブータン王国—緊急に必要な監視調査—. *E-journal GEO*, **2** (1), 1-24, (<http://wwwsoc.nii.ac.jp/ajg/ejgeo/210124iwata.pdf>).
- KOMORI, J., GURUNG, D. R., IWATA, S., and YABUKI, H. 2004. Variation and lake expansion of Chubda Glacier, Bhutan Himalayas, during the last 35 years. *Bulletin of Glaciological Research*, **21**: 49-55.
- KARMA, AGETA, Y., NAITO, N., IWATA, S., and YABUKI, H. 2003. Glacier distribution in the Himalayas and glacier shrinkage from 1963 to 1993 in the Bhutan Himalayas. *Bulletin of Glaciological Research*, **20**: 29-40.
- 岩田修二 2002. ヒマラヤの環境変動と多発する自然災害. 「科学」 **72** (12), 1233-1236.
- IWATA, S., NARAMA, C., and KARMA 2002. Three Holocene and late Pleistocene glacial stages inferred from moraines in the Lingshi and Thanza village areas, Bhutan. *Quaternary International*, **97/98**: 69-78.
- IWATA, S., AGETA, Y., NAITO, N., SAKAI, A., NARAMA, C., and KARMA 2002. Glacial lakes and their outburst flood assessment in the Bhutan Himalaya. *Global Environmental Research*, **6**: 3-17.
- AGETA, Y., IWATA, S., YABUKI, H., NAITO, N., SAKAI, A., NARAMA, C., and KARMA 2000. Expansion of glacier lakes in recent decades in the Bhutan Himalayas. NAKAWO, M., RAYMOND, C. F., and FOUNTAIN, A. (eds.): *Debris-Covered Glaciers* (Proceedings of a workshop held at Seattle, Washington, USA, September 2000). IAHS Publ. no. 246, 165-175.