

地球規模課題対応国際科学技術協力

(防災研究分野「開発途上国のニーズを踏まえた防災科学技術」領域)

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

(ブータン王国)

平成21年度実施報告書

代表者:西村浩一

名古屋大学 大学院環境学研究科・教授

<平成 20 年度採択>

1. プロジェクト全体の実施の概要

本プロジェクトは、現存するブータンおよびネパールの氷河湖について、衛星データ解析によって氷河湖の危険度に関する客観的評価・再抽出をおこない、そのデータを元に、特に調査・対策が遅れているモンデチュー流域を対象として、現地調査と決壊時のハザードマップを作成するとともに、適切な早期警戒システムを提案することを目的とする。プロジェクト初年度である 2009 年度は、6 月にブータンにおいてキックオフ会合を行い、名実ともにプロジェクトが発足した。7 月には長期派遣となるメンバーがブータンに赴任し、JICA 雇用の調整員とともにブータンでのプロジェクトオフィスを開設するとともに、9 月から 10 月にかけては上流域の氷河湖調査を実施した。これと平行して、9 月にはアセス班による中流域の地形調査も行われた。この間、国内では衛星班とプロセス班による研究会が開催され、衛星データによる客観的な氷河湖抽出の手法について検討を行うとともに、衛星「だいち」および TERRA-ASTER のデータを用いた解析を開始し、氷河湖の抽出作業等を進めている。12 月にはプロジェクトメンバー全体による研究会を開催し、現地調査、衛星解析の報告および情報共有、次年度の調査の打合せなどを行った。初年度の成果としては、氷河湖の発生、拡大に関する論文が 3 編出版されたほか、国内外の学会においても 10 回以上にわたり研究報告が行われた。今後は、衛星データ解析およびブータンにおける現地調査に関する成果をとりまとめるとともに、次年度秋に予定されている現地調査にて、本格的なデータ取得を目指す。

2. 研究グループ別の実施内容

◆プロセス班（研究題目：氷河湖形成と決壊過程の解明）

①研究のねらい

衛星データ (ASTER) を用いた氷河湖の危険度再評価を進め、特にブータン領域において調査優先度の高い氷河湖を選定するとともに、本現地調査において次年度以降の活動に向けた予備的調査を実施する。

②研究実施方法

ASTER 可視近赤画像により氷河湖を抽出するとともに、デジタル標高データから氷河湖湖面に対する角度を計算し、GIS 上で可視化する。現地調査はモンデチュー上流域北西部において、2009 年 9 月～10 月の期間に実施する。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

- ・ブータン領域の衛星解析はすでに終了し、現在、氷河湖の危険度のランク分けの作業が進行中である。モンデチュー流域については 7 月までに予備解析を行い、現地調査メンバーに提供した。(成果 1、活動 1-2)
- ・上記事前解析をもとに、シャツシャチュー（モンデチュー北北西支流）、およびタンペチュー（同北西支流）源流部の現地調査を実施。その結果、パイロットサイトとして 3 つの氷河湖を抽出した（成果 3、活動 3-3）。
- ・パイロットサイトとして提案された一つの氷河湖（北緯 27° 97' ，東経 90° 33' ）に自動気象観測装

置を設置した（活動 2-2, 2-3, 4-2）

- ・より高精度な衛星画像データ (ALOS) の解析にむけた補正用データ (GCP および氷河湖湖岸位置データ) を取得した。さらに、衛星データ解析に関わる 2011 年度の現地調査行程を立案した (活動 1-2, 2-1, 3-1)。
- ・パイロットサイトとして提案された二つの氷河湖 (北緯 28° 01' , 東経 90° 35.5' と北緯 28° 01.5' , 東経 90° 37') のモレーンから土質試験試料を採取した (活動 4-1)
- ・次年度以降の現地調査時の安全対策を立案した

④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）

- ・日本側からの提供：簡易測量機器による地形データの取得、および取得データの室内解析の指導と、ブータン側スタッフによる実践を行った。また、氷河変動および氷河湖決壊洪水によって形成された地形や堆積物に関する調査（地形や堆積物の見分け方、サンプリング方法等）の現地指導を行った（プロジェクト目標 2）
- ・ブータン側から提供：氷河域調査に関し、AWS 設置地点の選定、およびパイロットサイトやキャンプ地の選定など今後の計画立案の指導 (成果 3、活動 2-3、3-3)

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）

- ・複数の氷河湖において、湖水深の測定を実施した。その結果、湖底は数段の敷居状の地形が存在しており、一つを除いて湖尻周辺の水深は広い範囲で数 m 程度と浅いことを確認した (活動 4-1, 4-3)
- ・過去のトレッキングおよび調査による写真と比較し、氷河の明瞭な縮小を確認した (活動 2-3)
- ・調査対象域までの移動中に、過去に決壊洪水が発生した二つの谷を視察した。その結果、洪水による地形と堆積物を明確に識別でき、荒廃した河畔に植生が復帰するには 20 年程度を要したことを確認した。今後は、洪水流の挙動や洪水後の復旧計画に関する情報の取得が可能と判断した (活動 1-3, 4-2, 4-3)

◆衛星班（研究題目：衛星データによる地形情報を用いた氷河湖拡大履歴の解析研究）

①研究のねらい

危険な氷河湖の再抽出と危険度評価、氷河湖の形成・拡大メカニズムの解明、および過去に GLOF が発生した氷河湖の調査に資するために、ブータン・ネパールヒマラヤ地方における多時期の人工衛星画像の解析および衛星データによる地形・標高情報データセットの整備を行う。また、本データセットを用いた氷河湖形成に関する解析、GLOF 発生時の洪水氾濫解析等を他班と協力のもと実施する。

②研究実施方法

多時期の衛星画像を一律に扱うために、全ての衛星画像のオルソ補正 (正射投影) 処理の実施、現状把握を目的として衛星「だいち」(ALOS) 搭載 PRISM/AVNIR-2 のオルソ補正画像を用いたパンシャープン画像 (高解像度パングロ画像と中解像度カラー画像の合成による高解像度疑似カラー画像) の作成、および氷河湖抽出・インベントリ作成を実施する。また合わせて PRISM では高精度な地形・標高情報の抽出を行う。多時期の衛星データとしては、1960 年代の CORONA、1980-90 年代の SPOT-1/2、1990 年代後半の Landsat および JERS-1/OPS、2000 年代の ASTER、ALOS を想定する。(成果 1、2、活動 2-1、3-1)

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

予定通り進捗している。図 2.1 は本プロジェクトを通じて作成した画像の一例で、ヒマラヤ地方における ALOS/PRISM による標高データに AVNIR-2 オルソ補正画像を重ね鳥瞰図表示したものである。また図 2.2 はブータンにおける ALOS パンシャープン画像とこれを用いた氷河湖抽出例(図中黄色枠が抽出した氷河湖)の一例である。

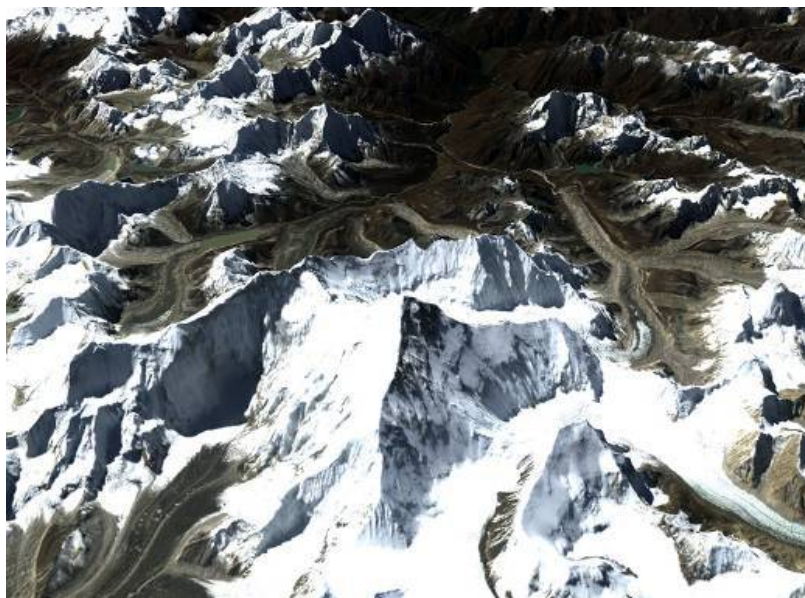


図 2.1 : PRISM による標高データと AVNIR-2 オルソ補正画像による鳥瞰図(エベレストから南側を望む)

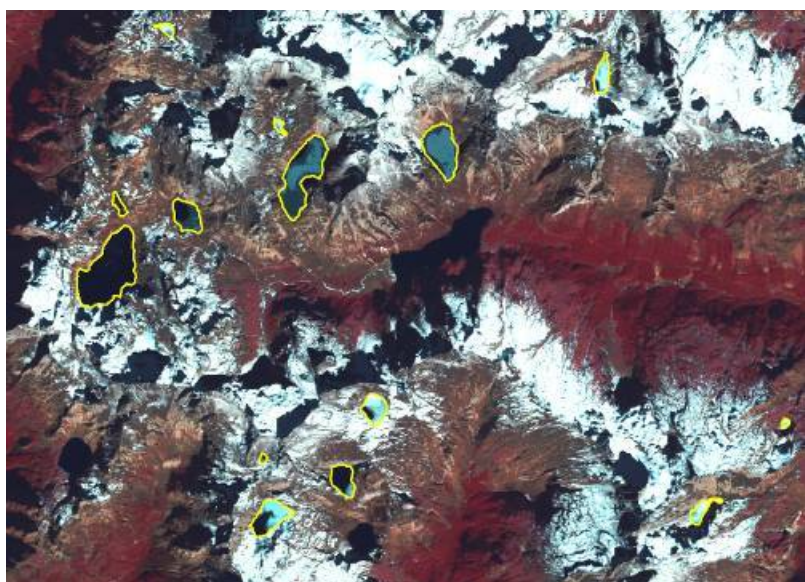


図 2.2 : PRISM/AVNIR-2 によるパンシャープン画像と氷河湖抽出例

④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）
当初の計画通り、2010年3月に相手国カウンターパートにおいて衛星画像解析に関する初期研修を実施した。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）衛星画像解析に関して当初計画以上に人的リソースを必要とすることから解析環境の整備（解析用PCの増設、ハードディスク等の調達）を進めている。また、解析手順の統一化を図るための解析手法の検討、精度検証に当初の想定以上に時間を要し、複数回の会合を実施した。

◆アセス班（研究題目：モレーン内部構造解析／GLOF ハザードマップ作成）

①研究のねらい

氷河湖決壊洪水の発生素因となるモレーン内部構造を解明し、地盤工学特性とともに、対象氷河湖決壊のリスクの定量的評価を行う。また、想定される決壊モデルの構築、洪水氾濫シミュレーションを実施し、保全対象となる下流集落やインフラ施設への被災リスクを評価する。さらに、氷河湖決壊洪水がもたらす溪岸浸食のポテンシャルを評価することにより、末端斜面剝削に伴う地すべり安定性について検証し、統括的な GLOF ハザードマップの構築、ならびに早期警戒システムのデザインを提示することを目的とする。

②研究実施方法

- ・物理探査手法を用いた対象モレーンの内部構造解析(PDM 活動 4-1)
- ・地質工学的性質に基づいたモレーンの強度設計(PDM 活動 4-1)
- ・内部構造および地質工学的性質を考慮したダム決壊モデルの策定(PDM 活動 4-3)
- ・モンデチュー流域の洪水流により不安定化が懸念される斜面の抽出（判読と現地調査）(PDM 活動 4-4)
- ・流出解析を二次元氾濫解析による氾濫シミュレーション解析の実施(PDM 活動 4-3)
- ・上記結果に基づいたモンデチュー流域のリスクエリアの抽出(PDM 活動 4-4, 5-1)
- ・モンデチュー流域コミュニティの社会的脆弱性を考慮したハザードマップの整備(PDM 活動 4-4)
- ・上記研究成果に基づいた早期警戒システムの基礎設計の実施(PDM 活動 5-2)

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

- ・対象氷河湖の予備調査、モレーン内部構造調査のための探査計画ならびに土質試験サンプルの採取(活動 3-3)
- ・地質鉱山局への土質試験資機材供与ならびに試験室の立ち上げ。カウンターパートへの技術移転(PDM プロジェクト目標 2)
- ・対象氷河湖（暫定）を対象とした洪水解析の実施。（活動 4-3）1994GLOF ならびに 2009 洪水との比較検証(PDM 活動 1-3, 4-2)
- ・流域内斜面の地すべり地形・河岸侵食可能性の高い地形を空中写真判読により抽出ならびに現地調査、それらの分布図整理(PDM 活動 4-4)

④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）地質鉱山局には他ドナー等から供与された複数の土質試験器があるが、そのうち多くは、部品の欠損、スタッフの経験不足により、これまで満足に使用されていなかった。本研究事業では、供与された土質試験器ならびにその他各試験器に関する技術移転を行い、地質鉱山局の土質試験に関する技術向上に貢

献した。

また、地すべり地形判読に関する基本指導、ならびに現地調査における OJT が実施された。地すべり地形抽出は氷河湖決壊洪水リスク評価の目的のみでなく、道路防災や震災時の天然ダム形成リスク評価等、技術の拡張性が高く、地質鉱山局の日常の実務にも貢献できるものである。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）GLOFに関連して、隣接する流域であるポチューーに関して、ゾン（県庁）基礎保護のための河岸浸食防止と流木対策に関する助言を求められた。これに対して、旧流路に規制された越流の危険性を指摘し、必要な対策工（護岸工+鋼製スリットダム+導流溝）を立案し、C/P 側スタッフとともにプナカゾンカク知事に提案した。本件に関しては引き続き必要な助言を行う（PDM プロジェクト目標 3）。

3. 成果発表等

（1）原著論文：国内 0 件、国際 3 件

Sakai A, Nishimura K, Kadota T, Takeuchi N. (2009) Onset of calving at supraglacial lakes on debris covered glaciers of the Nepal Himalayas. *Journal of Glaciology*, 55(193), 909-917. （原著論文・査読あり）

Fujita K, Sakai A, Nuimura T, Yamaguchi S, Sharma RR. (2009) Recent changes in Imja Glacial Lake and its damming moraine in the Nepal Himalaya revealed by in-situ surveys and multi-temporal ASTER imagery. *Environmental Research Letters*, 4, 045205. doi:10.1088/1748-9326/4/4/045205. （原著論文・査読あり）

Sakai A, Fujita K (2010) Formation conditions of supraglacial lakes on debris-covered glaciers in the Himalayas. *Journal of Glaciology*, 56(195), 177-181. （原著論文・査読あり）

（2）特許出願：0 件

4. プロジェクト実施体制

(1) プロセス班（研究題目：氷河湖形成と決壊過程の解明）

① 研究グループリーダー：西村 浩一（名古屋大学大学院環境学研究科・教授）

② 研究項目

- 1) ASTER データを利用した初期の氷河湖危険度解析
- 2) プータンにおける現地調査をおこなう氷河湖の選定
- 3) 現地調査による、氷河湖の湖盆図観測や湖に接する氷河の動態観測
- 4) 氷河湖形成過程解明のための解析
- 5) 氷河湖拡大履歴のインベントリ作成

(2) 衛星班 (研究題目:衛星データによる地形情報を用いた氷河湖拡大履歴の解析研究)

①研究グループリーダー: 田殿 武雄 ((独)宇宙航空研究開発機構・主任研究員)

②研究項目

- 1) 過去の GLOF 事例を対象に衛星データ解析にもとづいた地形解析
- 2) プロセス班と連携しつつ TERRA/ASTER データによるベースマップの作成
- 3) 高解像度・高精度の ALOS/PRISM による詳細標高データの抽出および検証
- 4) 多年・複数衛星センサのオルソ補正画像による氷河湖拡大履歴のインベントリ整備
- 5) アセス班と連携しつつ洪水氾濫解析・ハザードマップへの応用
- 6) ブータン国研究者に対する衛星画像解析技術に関する研修の実施 (現地・日本国内)

(3) アセス班 (研究題目:モレーン内部構造解析/GLOF ハザードマップ作成)

①研究グループリーダー: 小池 徹 ((株)地球システム科学・技術主任)

②研究項目

- 1) 物理探査手法を用いた対象モレーンの内部構造解析
- 2) 地質工学的性質に基づいたモレーンの強度設計
- 3) 内部構造および地質工学的性質を考慮したダム決壊モデルの策定
- 4) モンデチュー流域の洪水流により不安定化が懸念される斜面の抽出 (判読と現調)
- 5) 流出解析を二次元氾濫解析による氾濫シミュレーション解析の実施
- 6) 4), 5)の結果に基づいたモンデチュー流域のリスクエリアの抽出
- 7) モンデチュー流域コミュニティの社会的脆弱性を考慮したハザードマップの整備
- 8) 上記研究成果に基づいた早期警戒システムの基礎設計の実施

以上