

国名 ブータン	ブータンヒマラヤにおける氷河湖決壊洪水（GLOF）に関する研究プロジェクト
------------	---------------------------------------

I 案件概要

事業の背景	氷河湖決壊洪水（GLOF）は氷河やターミナルモレーン（端堆積）に含まれる水が解放された際に発生する。ブータンでは、GLOF のリスクは環境と経済の緊急課題であり、1960年代から、地域の氷河の縮小及び氷河湖の拡大と並行して、多くの GLOF が記録されていた。事前評価時の最新の洪水は、1994年10月、ルナナ東部のルゲ氷河湖の部分的な決壊から生じ、プナカワンディ渓谷沿いの住民の命を奪った他、広範囲の構造物に被害をもたらした。これらの観測は、近年の地球温暖化が GLOF リスクの増加をもたらした可能性があるという考えにつながり、ブータンにおいて、GLOF のリスクの緩和は気候変動への適応の最優先課題の一つになっていた。このような状況下、本事業は SATREPS 事業として承認された。		
事業の目的 ¹	本事業は、ブータンヒマラヤにおいて、1) ヒマラヤ全域における危険な氷河湖の特定、2) 氷河湖拡大履歴インベントリの作成と氷河湖拡大過程の解明、3) マンデチュー流域における氷河湖の詳細危険度評価、4) マンデチュー流域における GLOF ハザードマップの作成、及び 5) マンデチュー流域における早期警戒システムの計画の作成、というアウトプットを通して、ブータン国の氷河湖決壊に関する危険度の評価の実施及び調査研究能力・災害対策立案能力の強化を図り、もって GLOF の危険にさらされているブータン国民の安全性向上を目指す。 1. 上位目標：GLOF の危険にさらされているブータン国民の安全性が向上する。 2. プロジェクト目標：ブータン国の氷河湖決壊に関する危険度評価が行われ、調査・研究能力・災害対策立案能力が強化される。		
実施内容	1. 事業サイト：ブータンヒマラヤ及びマンデチュー流域（モデルサイト） 2. 主な活動：1) 共同研究のための衛星データ共有システムの構築、衛星データ（ASTER-DEM）によるヒマラヤ地域の氷河湖決壊のポテンシャルの評価と危険氷河湖データベースの構築、過去 GLOF が発生した氷河湖に対する GLOF 発生前の地形・推移条件の復元と決壊実績の検証による危険度評価基準指標の設定、2) 衛星データ解析による氷河湖拡大履歴インベントリの作成、インベントリを利用した氷河湖拡大履歴に係る気候学的解析、現地観測をもとにした氷河・氷河湖相互作用に係る解析による氷河湖拡大メカニズムに関する知見の習得、3) 抽出された危険度の高い氷河湖に関する衛星データ（ALOS-DEM）による詳細解析、ALOS-DEM の解析による決壊のトリガーとなり得る氷河及び氷河湖周辺の不安定要素の抽出・評価、マンデチュー流域の現地調査の実施による、特に優先度が高いと評価される氷河湖のパイロットサイトとしての抽出、4) 現地調査及び物理探査によるモレーン内部構造の把握と氷河湖決壊に対する脆弱性の評価、ヒマラヤ地域における氷河湖決壊履歴に基づく決壊洪水の再現解析、対象氷河湖に関する決壊流出解析及び洪水氾濫解析、マンデチュー下流域の地形地質調査による河川沿いの不安定斜面の抽出と河岸寝食危険箇所を含めたハザードマップの作成、5) マンデチュー下流域の村落・インフラ施設に係るインベントリ調査、ハザードマップをもとにした危険村落の抽出・社会調査の実施と洪水到達予測時間等を勘案した上での適切な早期警戒システム計画の立案。 3. 投入実績（※2013年12月の終了時評価時） 日本側 1) 専門家派遣（長期）2人、（短期）24人 2) 研修員受入 9人 3) 機材供与 測量機材、自動気象観測器（AWS）、衛星データ処理機器、衛星データ、物理探査機、GISソフト等 4) ローカルコスト 研究機材経費等 相手国側 1) カウンターパート配置 18人 2) 土地・施設 地質鉱山局（DGM）におけるオフィススペース 3) ローカルコスト		
協力期間	2009年5月～2012年4月 （延長：2012年4月）	協力金額	（事前評価時）220百万円、（実績）219百万円
相手国実施機関	経済省地質鉱山局（DGM） ²		
日本側協力機関	名古屋大学、独立行政法人宇宙航空研究開発機構、（株）地球システム科学		

II 評価結果

【留意点】

- 本事業の終了時評価では、プロジェクト目標の達成度は、アウトプットの達成状況及びカウンターパート（C/P）の技術・知識の改善状況を用いて評価された。終了時評価の判断を尊重し、これらをプロジェクト目標の達成状況を確認するための補完情報として用いる。
- 本事業の上位目標には指標が設定されていないため、上位目標の達成度は、終了時評価において関係者間で共有された目標である本事業による以下の研究成果の活用、すなわち、マンデチュー流域及びブータンのより広い地域における、衛星データモニタリングを含む本事業の開発手法を利用した危険湖の評価の実施（項目1）及び本事業が提案した早期警戒システム計画の実施（項目2）の進捗度に基づき判断する。さらに、その他の主要研究成果³の GLOF に対する安全性向上への活

¹ 出典：合同調整委員会（JCC）議事録（2010年3月9日）で承認され、同議事録（2011年4月1日）で確認された、上位目標が公式に追加されたロジカルフレームワーク最終版記載の和文。案件概要表の和文と異なるが、先方との合意文書である JCC 議事録の和文を用いた。

² DGM では、氷河部が GLOF の調査研究を担当していたが、2013年に、氷河部の機能は、経済省水文気象局（DHMS）に新設された雪・氷河部に移転された。2016年、DHMS は独立して国立水文気象センター（NCHM）に再編され、雪・氷河部は雪氷圏サービス部（CSD）に名称変更された。

³ その他の主要研究成果は、1) 衛星データ共通ネットワークシステム及び危険湖データベースに基づく潜在的に危険度の高い氷河湖のイン

用状況（項目3）を確認する。

1 妥当性

【事前評価時・事業完了時のブータン政府の開発政策との整合性】

本事業は、事前評価時において「第10次5カ年計画」（2008年～2013年）（案）、事業完了時において「第10次5カ年計画」（2008年～2013年）に記載されるように、GLOFを優先課題の一つに位置付けるブータンの開発政策と合致していた。

【事前評価時・事業完了時のブータンにおける開発ニーズとの整合性】

本事業は、事前評価時、「事業の背景」で記したように、GLOFの危険性の軽減というブータンの開発ニーズと合致していた。事業完了時、開発ニーズの変化は観察されなかった。

【事前評価時における日本の援助方針との整合性】

事前評価時に検討中の「対ブータン王国事業展開計画」（案）において、GLOFへの対応は、特別課題の南アジア広域支援に寄与すると位置付けられており、本事業は同計画（案）と合致していた。

【評価判断】

以上より、本事業の妥当性は高い。

2 有効性・インパクト

【プロジェクト目標の事業完了時における達成状況】

プロジェクト目標は事業完了時に達成された。氷河湖インベントリに関する日本とブータンの共同研究報告書がDGMによって作成され、3本の共同研究論文が国際学術誌に掲載された。また、マンデチュー流域及びチャムカールチュー流域における暴風雨及びGLOFの早期警戒システムの提案書が作成され、DGMに提出された（指標）。すべてのアウトプットは達成された（補完情報1）。C/PのGLOFに関する調査・研究能力は、日本側研究者とのこのような共同研究を通して向上したと判断される（補完情報2）。

【プロジェクト目標の事後評価時における継続状況】

本事業の効果はおおむね継続している。2013年にDGMの氷河部がDHMSの雪・氷河部（現NCHMのCSD）に再編された際、DHMS（現NCHM）はGLOFの研究を引き継ぎ、DGMは、DHMSの研究に必要な地質学的・地球物理学的データをリクエストに応じてDHMSに提供することが義務付けられた。組織再編成以降、DHMS/NCHMは、本事業の研究成果に基づき、GLOFの調査・研究を継続しており、事後評価時には、NCHMで四つの研究活動（氷河の時系列モニタリング、本事業で作成した氷河湖インベントリの改訂、氷河のマスマランスに関する研究、ブータンの氷河湖からの流出水に関するブータン王立大学との共同研究）が行われている。また、新たに、内務文化省防災局（DDM）が、ティンパーチュー流域のGLOFハザードマップを地方政府と協力して作成した。さらに、氷河湖に関する共同研究報告書、暴風雨及びGLOFの早期警戒システムに係る提案書等の本事業の主要研究成果が、GLOFに対する安全性の向上に活用されている（「上位目標の事後評価時における達成状況」参照）。

一方、本事業で供与した研究機材については、すべての機材が供与時に意図された目的に沿って十分に継続的に利用されているわけではない。上掲の組織再編成時、AWSはDHMS（現NCHM）に引き渡され、その他の主要機材はDGMに残された。AWSは、GLOFの研究に継続的に利用されてきた。DGMに残された研究機材のうち、衛星データはGLOFの研究のためにDHMS/NCHMに共有されてきた。しかしながら、衛星データ処理装置は、関連ソフトのライセンス更新費用が高いため、別のソフトを利用して地球物理データの処理に活用されており⁴、GISソフトも同じ理由で利用されていない。ただし、NCHMは、技術の進歩により、センチネル2からの氷河湖の高解像度衛星データを無料で利用可能であり、DGMは、政府が補助金価格で調達した別のGISソフトを利用しているため、GLOFの研究への影響はない。なお、その他の主要研究機材は目的通り利用され、GLOFの研究に必要なデータはDHMS/NCHMに共有されてきた⁵。

【上位目標の事後評価時における達成状況】

上位目標は達成された。本事業（SATREPS）のフォローアップとして、2013年から2016年に、JICAの技術協力プロジェクト「ブータン王国における氷河湖決壊洪水（GLOF）を含む洪水予警報能力向上プロジェクト」がDHMS/NCHMによって実施された。その支援を受けて、マンデチュー流域及びチャムカールチュー流域において、危険湖の評価が、衛星データに基づくモニタリングと野外観測等の本事業で開発した手法を用いて実施され（項目1）、また、本事業で提案した暴風雨及びGLOFの早期警報システムが構築された（項目2）。その他の主要研究成果もすべてGLOFに対する安全性を改善するために利用された。マンデチュー流域の危険湖インベントリ及び氷河湖決壊の不安定要素の詳細評価手法は危険湖の評価に活用され、それ以外の研究成果（氷河拡大履歴・プロセスに関する研究報告書、マンデチュー流域のハザードマップ）は上掲技術協力プロジェクトの活動で活用された（項目3）。事後評価時、危険湖の評価は、NCHMによって、危険氷河の時系列モニタリング及び氷河湖インベントリ改訂に係る研究の下で継続されており（項目1）、二流域における暴風雨及びGLOFの早期警報システムも稼働している（項目2）。

【事後評価時に確認されたその他のインパクト】

様々な正のインパクトが観察されている。本事業の研究成果に係る広範な報道と学術セミナーを通じて、GLOFの潜在的リスクに関する関連政府機関及び政策立案者の科学リテラシー及び意識が向上した。NCHMによると、ブータンの危険な氷河湖リスト等の本事業の研究成果に基づく提言が、「第11次5カ年計画」（2013年～2018年）及び「第12次5カ年計画」（案）（2018年～2023年）の活動の一部の形成に貢献した。また、本事業の研究成果は、GLOF以外の災害軽減にも適用されている。NCHM及びDGMは、上掲技術協力プロジェクトの下、マンデチュー流域及びチャムカールチュー流域において、洪水及び地すべりのハザードマップを作成した。さらに、DGMは、本事業によって導入された調査方法及びDGMに保持された供与機材を活用して、地質学的・地球物理学的調査研究を実施している。一方、負のインパクトは観察されていない。

【評価判断】

よって、本事業の有効性・インパクトは高い。

プロジェクト目標及び上位目標の達成度

ベントリ、2)氷河湖拡大履歴・プロセスに係る研究報告書、3)マンデチュー流域の氷河湖決壊の不安定要素の詳細評価手法（危険湖リストを含む）、及び4)マンデチュー流域のハザードマップを指す。

⁴処理されたデータは必要に応じてDHMSに提供されている。

⁵測量機材については、DGMが新たな機材を購入したため、2017年以降バックアップとして利用されている。

目標	指標	実績
プロジェクト目標 ブータン国の氷河湖決壊に関する危険度評価が行われ、調査・研究能力・災害対策立案能力が強化される。	GLOFに関する日本とブータンの共同研究報告書 1) 定量的に評価された危険な氷河湖のデータベース 2) GLOF対策の案/提案書	達成状況：達成（継続） （事業完了時） ・氷河湖インベントリに関する日本とブータンの共同研究報告書がDGMによって作成され、3本の共同研究論文が国際学術誌に掲載された。 またマンデチュー流域及びチャムカールチュー流域における暴風雨・GLOFの早期警戒システムに係る提案書が作成され、DGMに提出された （事後評価時） *上位目標の実績を参照。
上位目標 GLOFの危険にさらされているブータン国民の安全性が向上する。	（項目1）マンデチュー流域及びブータンのより広い地域において、衛星データモニタリングを含む本事業の開発手法を利用し、危険湖の評価が実施される。	（事後評価時）達成 ・危険湖の評価は、後継の技術協力プロジェクト（2013-2016）の下、マンデチュー流域で2回、チャムカールチュー流域で1回行われ、その後もNCHMによって継続されている。
	（項目2）マンデチュー流域及びブータンのより広い地域において、本事業が提案した早期警戒システム計画が実施される。	（事後評価時）達成 ・本事業で提案したマンデチュー流域及びチャムカールチュー流域における暴風雨及びGLOFの早期警戒システムは、後継の技術協力プロジェクトの支援で構築され、稼働している。
	（項目3）マンデチュー流域及びブータンのより広い地域において、その他の主要研究成果が、GLOFに対する安全性の向上に活用される。	（事後評価時）達成 ・その他の主要研究成果は危険湖の評価及び後継の技術協力プロジェクトにおいて、GLOFに対する安全性向上に活用されている。

出所：終了時評価報告書、事業完了報告書、DGM及びNCHMへの質問票及びインタビュー調査

3 効率性

本事業では、協力金額は計画内に収まった（計画比100%）が、協力期間がわずかに計画を上回った（計画比103%）。ブータン国内における本事業の活動は計画された協力期間の2012年3月に完了したが、本事業は公式には2012年4月に完了した（理由は不明）。なお、本事業のアウトプットは計画通り産出された。よって、本事業の効率性は中程度である。

4 持続性

【政策制度面】

「第11次5カ年計画」（2013年～2018年）及び「第12次5カ年計画」（案）（2018年～2023年）のジオハザード関連リスクの軽減及び防止プログラムにおいて、氷河湖の継続的モニタリング・検証の重要性が認められており、GLOFに対する安全性の向上はこれらの計画と整合性がある。

【体制面】

DGMの氷河部の後継機関であるNCHMのCSDは、適切な緩和及び適応策実施のための雪氷圏（雪、氷河、氷河湖）及び関連リスクの調査・モニタリングをマンデトとし、その職務には氷河湖の時系列モニタリングやGLOF関連リスクの評価が含まれる。本事業の研究成果に基づく研究活動には合計8名の研究者が従事しており、研究活動は計画通りに実施されていることから、必要な人員が配置されているといえる。また、NCHMは、関連研究の継続と研究成果の活用のため、他の関連機関との連携を徐々に進めている。例えば、NCHMは、DGMからGLOFの研究に必要な地質・地球物理データを受け取り、王立ブータン大学との共同研究を開始している。氷河湖の評価結果は関係機関（水力発電局、Druk Green電力会社、農林水産省、他の関連当局）に、早期警戒システムの水位観測データはDDMに共有している。また、供与機材については、NCHMとDGMは担当者を配置して維持管理を行っている。

NCHMは、マンデトによって求められるすべてのサービスを提供するには、研究能力と対象のさらなる拡充及び国内外の関係機関との連携構築が必要だと感じており、「第12次5カ年計画」期間（2018年～2023年）に、研究者及び他の国内・国際機関との共同研究の増加、類似のマンデトを有する組織とのプラットフォームあるいは連携の構築を計画している。

【技術面】

NCHMの研究者（IIC/P）は、「有効性・インパクト」で記した技術協力プロジェクトや国内外で開催されるその他の短期研修・セミナーへの参加を通して、関連調査・研究を継続する能力を維持・向上させている。彼らは、また、研究の実施に際して本事業に参加した日本の研究者との密接な関係を維持している。さらに、NCHMは、研究能力強化のために、最近、内部配布・レビュー用の小論文を発行する研究出版部を設置しており、今後、外部と研究成果を共有できるように、同部を拡充する計画である。また、「政策制度面」で記した通り、「第12次5カ年計画」期間には、共同研究の増加・関連機関とのプラットフォームあるいは連携の強化を通じて研究能力のさらなる強化を計画している。さらに、主要研究機材の操作・維持管理についても、NCHM及びDGMは、継続的利用によって必要な技術を維持している。また、関係機関は、本事業の研究成果やNCHMが提供した情報を管轄分野の政策の分析・評価・提案に利用しており、研究成果活用に必要な科学リテラシーを維持していると考えられる。

【財務面】

本事業の研究成果を利用したGLOFに係る研究活動の予算は政府によって手当されている。NCHMによると、研究活動を行うために必要な予算が確保されており、例えば、ブータン会計年度（BFY）2018年度には、氷河湖の時系列モニタリングに115万ブータンニュルタム（BTN）、氷河マスマランスの研究に65万BTNを受け取った。NCHMはまた、年間予算の一部としてAWSのO&M予算を確保してきている。DGMは、供与機材のO&M予算を一般維持管理予算の下で確保している。なお、供与機材のO&M予算額は、予算全体から分離することが不可能であったため、入手できなかった。

【評価判断】

以上より、本事業によって発現した効果の持続性は高い。

5 総合評価

本事業は、プロジェクト目標（「ブータン国の氷河湖決壊に関する危険度評価が行われ、調査・研究能力・災害対策立案能力が強化される」）を達成した。事業効果はおおむね継続しており、上位目標（「GLOFの危険にさらされているブータン国民の安全性が向上する」）も達成した。持続性に関しては、GLOFに対する安全性向上の政策支援は確保されており、NCHMの設立及び今後の計画が、体制面・技術面における事業効果継続を支えている。また、GLOFに係る研究及び供与機材のO&Mに必要な予

算も確保されている。なお、効率性に関しては、事業期間は、理由は明らかではないが計画をわずかに上回った。以上より、総合的に判断すると、本事業の評価は非常に高いといえる。

III 提言・教訓

実施機関への提言：

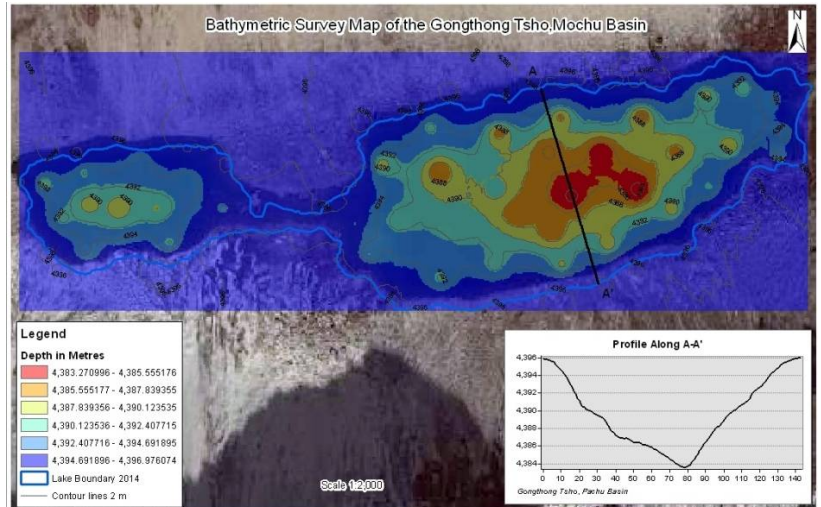
- ・ NCHM は、「第 12 次 5 年計画」期間末（2023 年 6 月末）までに、国内外の他研究機関との連携を計画通り強化することにより、旧 C/P が氷河湖とその影響に係る分析、解釈、報告書作成能力を強化する機会を得られるようにすべきである。
- ・ NCHM は、「第 12 次 5 年計画」期間末までに、最近設置されて初期段階にあり、ブータン及び地域の組織にとって非常に有益になりうる研究出版部の拡充を計画通りに進めるべきである。
- ・ NCHM は、「第 12 次 5 年計画」期間末までに、他機関の研究者が NCHM の研究者と協力できるプラットフォームを計画通りに構築すべきである。

JICA への教訓：

- ・ 本 SATREPS 事業の成果の一つとして提案され、成功裏に実行された技術協力プロジェクトは、これら二つの事業間のシナジーの良い例である。SATREPS 事業の後、後継の技術協力プロジェクトが対象国の強い政治意志とともにタイムリーに実施されると、SATREPS 事業では通常は不十分な社会実装要素の導入が可能になる。また、SATREPS の社会実装要素があまり強化されていないことにより、事後評価時に研究成果の有効性・インパクトの評価に困難が生じる場合もある。SATREPS の直後に技術協力プロジェクトが続く場合は、プロジェクト目標の達成及びより良い見通しを総合的に可能にするような、このような事業の補完性を推奨すべきである。



チャムカールチャーにおける NCHM/DGM の研究者の水深測量



Gongthong 湖の水深分析