

事業事前評価表

2009年4月9日
 国際協力機構地球環境部
 水資源防災グループ防災第一課

1. 案件名（国名）

国名： ブータン

案件名：（科学技術）ブータンヒマラヤにおける氷河湖決壊洪水（GLOF¹）に関する研究

2. 事業の背景と必要性

(1) 当該国における水防災セクター（特に GLOF 対策）の開発実績（現状）と課題

ブータン国を含むヒマラヤ山脈の国々では、氷河の縮退に伴う氷河湖の発生およびその拡大がみられている。氷河湖の形成は 1950 年頃から始まったといわれているが、それ以後これまでに氷河湖決壊で引き起こされた洪水災害がたびたび報告されている。

ブータン国では、1957 年、1960 年、1994 年に GLOF の発生が記録されている。いずれも北東部にあるルナナ地方の氷河湖決壊によるものであり、特に 1994 年 10 月のルゲ氷河湖決壊の際には、旧首都プナカに土石流が押し寄せ、死者 21 名、川沿いの家屋や歴史的建造物のゾン(寺院兼役所)が破壊され、農作物や家畜なども被害を受ける大災害となった。大規模な氷河湖決壊が発生すれば、国の基幹産業である水力発電はもちろん、就労人口の 9 割を占める農業が深刻な被害を受ける可能性があり、ブータン国において GLOF 災害リスクの調査とそれを踏まえた対策事業の実施は喫緊の課題となっている。

ヒマラヤ地域の国際機関である国際総合山岳開発センター（以下、「ICIMOD²」とする）は、ブータン国内には 677 の氷河と 2,674 の氷河湖が存在し、これらのうち 24 氷河湖について GLOF 発生の危険性が高いと報告している³。しかしながら、ヒマラヤ氷河の研究者からは、ICIMOD による危険度の評価基準は科学的な根拠が不明瞭であり、実際には決壊の危険性がある氷河湖の数はこれよりも多く、GLOF 発生の危険性に関する再評価が必要との指摘がなされている。

ブータン国では経済省地質鉱山局（Department of Geology and Mine: DGM）が GLOF 問題を担当しているが、同国が単独で氷河湖問題に対応することは困難であるため、海外の研究機関などとの協力により、氷河湖決壊の危険度の評価や決壊メカニズムの解明を進め、対策を立案する必要に迫られている。

特に本案件のモデルサイトであるモンデチュ川流域は、これまで他ドナーも含めて GLOF に関する調査や対策事業が実施されておらず、一方、下流において水力発電所建設が計画されるなど同国の経済にも大きな影響を与える重要地域であることから、GLOF に関する調査の実施および対策事業の立案が急務となっている。

(2) 当該国における水防災セクター（特に GLOF 対策）の開発政策と本事業の位置づけ

ブータン国「第 10 次 5 カ年計画（2008－2013 年）」(案)では、防災分野において GLOF 問題が主要懸念事項と位置づけられており、そのうち地質鉱山分野における戦略的方針と

¹ Glacial Lake Outburst Flood

² International Center of Integrated Mountain Development

³ Bajracharya et al., 2007

して、決壊する危険性が高い氷河湖に対する緩和策の策定および氷河湖のモニタリングを重要視している。また、国家環境委員会（National Environment Commission: NEC）により策定された「気候変動適応行動計画（National Adaptation Program of Actions: NAPA）」においても、GLOF 対策が最優先課題と位置づけられており、「ブ」国で最も重要な気候変動適応の課題として認識されている。

その他、ブータン国の気候変動あるいは水災害に関連する防災分野の関連組織である内務省防災管理局が策定した「災害リスク管理計画（Disaster Risk Management Framework）」においても、GLOF は同国が直面する最も深刻な自然災害リスクと位置づけられており、その対応のために体制整備が進められている。

本案件は、ブータン側関係機関と、ヒマラヤ全域の氷河湖危険度の評価、決壊危険度の高い氷河湖の特定、氷河湖拡大履歴インベントリの作成、氷河湖拡大メカニズムの解明を行い、また、モンデチュ川流域において、より詳細な氷河湖決壊の危険要因を評価する手法を開発し、GLOF 発生時の危険箇所の特定、さらには GLOF 被害軽減に向けた対策の提案を行うものである。これらの活動はブータン国における重要課題となっている氷河湖決壊対策に資するものであり、さらに、本案件によって得られる知見や危険度判定等に係る手法は将来的に他流域においても適用されることが期待できる。

(3) 水防災セクター（特に GLOF 対策）に対する我が国及び JICA の援助方針と実績

ブータン国はクールアースパートナーシップ国ではないものの、2007 年 12 月のアジア・太平洋水サミット（別府）に出席したキンザン・ドルジ首相（当時）は、氷河湖の決壊の危険性と対策の必要性を訴え、先進国のコミットメントを求めている。本案件は気候変動問題と深い関係があり、我が国の気候変動問題に対する取り組み「クールアース推進構想」と合致している。また、現在検討中の事業展開計画においては、氷河湖決壊洪水への対応は特別課題の南アジア広域支援にも寄与すると位置づけられており、本案件はブータン国政府方針および我が国援助方針に合致している。さらに、当該分野は日本がこれまで蓄積してきた技術や人材を活かせる領域であることから、JICA としても防災分野のプログラム化に向けた検討を進めているところであり、本案件は JICA の援助方針と合致している。地質鉱山局にはこれまでにボランティアの派遣実績もある。

昨今、我が国の科学技術を活用した地球規模課題に関する国際協力の期待が高まるとともに、日本国内でも科学技術に関する外交の強化や科学技術協力における ODA 活用の必要性・重要性が謳われてきた。内閣府総合科学技術会議が取りまとめた「科学技術外交の強化に向けて」（H19 年 4 月、H20 年 5 月）や、H19 年 6 月に閣議決定された「イノベーション 25」において途上国との科学技術協力を強化する方針が打ち出されている。

そのような中で環境・エネルギー、防災及び感染症を始めとする地球規模課題に対し、開発途上国と共同研究を実施するとともに、途上国側の能力向上を図ることを目指す、「地球規模課題に対応する科学技術協力」事業が H20 年度に創設された。本案件はこの一つとして採択されていることから、我が国政府の援助方針・科学技術政策に合致している。

なお、「地球規模課題に対応する科学技術協力」事業は、文部科学省、独立行政法人科学技術振興機構（以下、JST）、外務省、JICA の 4 機関が連携するものであり、国内での研究支援は JST が行い、開発途上国に対する支援は JICA が行うこととなっている。

(4) 他の援助機関の対応

ブータン国における水防災セクター（特に GLOF 対策）に対するドナー支援としては、ブータン国気候変動適応行動計画（NAPA）の優先プロジェクトとしてあげられている 3 つ

の取り組み（①氷河湖の水抜き、②早期警報システム、③住民啓発）が地球環境ファシリテーター（GEF）のLDCファンド等により4年間の計画で開始されている。これらの取り組みは本協力で対象とするモンデチュ川流域とは異なるルナナ地域を対象としている。

その他、オランダ政府支援によるハザードマップ作成支援や国連開発計画（UNDP）および欧州連合によるヒマラヤ全域におけるGLOFリスク軽減事業などのGLOF対策への活動支援が見られる。それらの取り組みには本案件が計画する氷河湖危険度判定やモンデチュ川流域における観測活動および対策の提案は含まれておらず、本案件と補完関係にある。

3. 事業概要

(1) 事業の目的

本案件は、地球規模課題である気候変動への適応に資する研究として、またブータン国における氷河湖決壊の危険度判定およびその対策事業立案のニーズに応えるために、相手国代表研究機関であるブータン国地質鉱山局と連携して、ブータンヒマラヤ地域の氷河湖について決壊の危険度評価を行い、ブータン国の氷河湖決壊に関する調査・研究能力および災害対策立案能力を強化することを目的とする。

本案件の直接的裨益者は、ブータン国地質鉱山局の研究者（約15名）、間接的裨益者は「ブ」国の全国民（約66万人）と想定される。

(2) プロジェクトサイト/対象地域名

ヒマラヤ全域およびモンデチュ川流域（モデルサイト）

(3) 事業概要

1) プロジェクト目標と指標・目標値

氷河湖決壊に関するブータン国の調査・研究能力および災害対策立案能力が強化される。

指標

氷河湖決壊にかかる日本-ブータンの共同研究報告書の作成

- ①定量評価された危険氷河湖データベース
- ②GLOF対策事業提案

2) 成果と想定される活動（あるいは調査項目）と指標・目標値

各成果と想定される活動は以下のとおり。

成果1 ヒマラヤ全域において、潜在的な決壊危険性のある氷河湖が特定される。

指標

1-1 衛星データ共有システム、危険氷河湖データベースに基づく潜在的な決壊危険性をもつ氷河湖に関する台帳の作成

活動

1-1 共同研究のための衛星データ共有システムを構築する。

1-2 ASTER⁴-DEMIによるヒマラヤ地域の氷河湖決壊ポテンシャルの評価を行い、危険氷

⁴ Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer（アスター）。1999年12月にNASAによって地球衛星軌道に打ち上げられた人工衛星「Terra」に搭載されている、5つのリモート・センシング・デバイスの一つ。

河湖データベースを構築する。

- 1-3 過去 GLOF が発生した氷河湖に対して、GLOF 発生前の地形・水位条件を復元し、決壊実績を検証することにより危険度評価基準の指標を設定する。

成果 2 氷河湖拡大履歴インベントリが作成され、氷河湖拡大過程が明らかになる。

指標

- 2-1 氷河湖拡大履歴・メカニズムに関する共同研究論文の作成・発表

活動

- 2-1 衛星データ解析により、氷河湖拡大履歴のインベントリを作成する。
2-2 インベントリを利用し、氷河湖拡大履歴にかかる気候学的解析を行う。
2-3 氷河・氷河湖相互作用にかかる解析から氷河湖拡大メカニズムに関する知見を得る。

成果 3 モンデチュ川流域において氷河湖決壊の危険要因を評価する手法が開発される。

指標

- 3-1 決壊要因の評価手法に関する報告書の作成
3-2 モンデチュ川流域の危険氷河湖リスト（優先度）の作成

活動

- 3-1 1-2 により抽出された危険度の高い氷河湖に関して、ALOS⁵-DEMIによる詳細解析を実施する。
3-2 ALOS-DEM の解析により、決壊のトリガーとなり得る氷河および氷河湖周辺の不安定要素を抽出・評価する。
3-3 モンデチュ川流域の現地調査を実施し、特に優先度の高いと評価される氷河湖を特定する。

※ 3-3 にて特定された氷河湖について、以下成果 4、成果 5 に関する活動を実施する。

成果 4 モンデチュ川流域においてGLOF発生時の危険箇所が特定される。

指標

- 4-1 モンデチュ川下流域における GLOF ハザードマップの作成

活動

- 4-1 物理探査によりモレーン内部構造を把握し、氷河湖決壊に対する脆弱性を評価する。
4-2 ヒマラヤ地域における氷河湖拡大履歴に基づき、決壊洪水の再現解析を実施し、決壊モデルの適応性を検証する。
4-3 対象氷河湖について決壊流出解析および洪水氾濫解析を実施する。
4-4 モンデチュ川下流域の地形地質調査により、河川沿いの不安定斜面を抽出し、河岸浸食危険箇所を含めたハザードマップを作成する。

⁵ 陸域観測技術衛星だいち（ALOS, Advanced Land Observing Satellite、エイロス）

成果5 モンデチュ川流域においてGLOF被害を軽減する対策が提案される。

指標

5-1 GLOF 被害軽減対策にかかる提案書（例：モンデチュ川下流域の危険村落に対する早期警戒システムの計画）の作成

活動

5-1 モンデチュ川下流域の村落・インフラ施設にかかるインベントリ調査を実施する。

5-2 現地の状況や洪水到達予測時間等を勘案した上で、適切な GLOF 被害軽減対策（早期警戒システム等）を提案する。

3) 投入の概要

日本側

(a) 専門家

長期専門家 2名：氷河湖研究、業務調整

短期専門家 26名：チーフアドバイザー/総括（1名）
氷河湖危険度解析（1～2名）
陸水学
氷河変動（1～4名）
氷河湖拡大メカニズム（1～3名）
衛星データ解析（1～4名）
ハザードマップ作成（1～2名）
モレーン構造解析（1～3名）
物理探査
社会調査（1～2名）
早期警報システム（1～2名）
斜面安定性評価

(b) 研修員受入

衛星データ解析技術研修 10名

(c) 機材

衛星データ関連機材
氷河湖観測関連機材
湖沼調査関連機材
自動気象システム関連機材
物理探査関連機材
GISシステム関連機材

(d) 在外事業強化費

現地調査（氷河湖）
現地セミナー/ワークショップ開催

ブータン側

(a) カウンターパート

プロジェクト・ダイレクター：経済省地質鉱山局長

プロジェクト・マネージャー： 経済省地質鉱山局
CP スタッフ 12 名：（プロセス班 3 名、衛星班 4 名、アセス班 5 名）
その他、ブータン王立大学が研究パートナーとして参加する。

(b) 施設、機材等：

専門家執務室、解析設備等

(4) 総事業費

合計：2.2 億円

(5) 事業実施スケジュール（協力期間）

2009 年 5 月～2012 年 3 月（2 年 11 ヶ月間）

(6) 事業実施体制

ブータン側研究機関は経済省地質鉱山局を中心として、ブータン王立大学などとも連携しながらプロジェクトを実施する。なお、研究開発結果の共有（特に衛星データ等の成果の共有活用）を図り、将来的な制度的インパクトの発現を可能にするためにブータン側政府機関が参加する合同調整委員会を設置し、効果的な情報および研究成果共有とプロジェクトの有効性・インパクトの拡大を目指す。

【合同調整委員会（ブータン側構成員）】

- 経済省地質鉱山局
- 国家総幸福（GNH）省
- 内務・文化省防災管理局
- 経済省電力局
- 国家環境委員会
- ブータン王立大学
- 公共事業・定住省道路局
- 国土委員会測量部
- 農業省森林局ジグメ・ドルジ国立公園

日本側実施機関は名古屋大学を代表とする以下の研究機関で構成される。

- 名古屋大学
- 独立行政法人宇宙航空研究開発機構

※その他、日本のヒマラヤ氷河研究会メンバーからの協力を得ながら実施する。

(7) 環境社会配慮・貧困削減・社会開発

1) 環境社会配慮

① カテゴリ分類：C

② 影響と回避・軽減策

本案件は、危険氷河湖の評価、氷河湖拡大メカニズムの解析、決壊時の対策提案を行うものであり、環境社会配慮面で負のインパクトを生じることは予見されない。

2) 貧困削減促進

プロジェクト活動の実施上、特段の配慮要因はない。GLOF 災害は貧困を発生、または悪化させる要因のひとつであり、特にブータン国の主要産業である農業に大きな影響を与えることから、適応策立案に資する本案件は貧困削減の促進に寄与するものである。

3) ジェンダー

特段、配慮すべき事項はない。

(8) 他ドナーとの連携

現時点で特定の連携を行うことは想定していないが、現地で活動する他ドナーとは定期的に情報共有を行い、他ドナーからの教訓を本案件においても考慮する。

(9) その他特記事項

特になし。

4. 外部条件・リスクコントロール

(1) 高山病・遭難等高地における障害

本案件では、標高 5,000m 以上の高地における観測・調査活動が予定されている。このような高地での活動には、高山病や遭難の危険が伴うことから、このようなリスクに備え、実施機関である経済省地質鉱山局と JICA ブータン駐在員事務所（5 月中旬以降）を主体とする緊急時の連絡体制の確立、救急隊等への要請と救助にかかる手配手段を確保する。

5. 過去の類似案件の評価結果と本事業への教訓

(1) 危険な氷河湖の抽出

ICIMOD はネパール・ブータンには計 44（ネパール：20、ブータン：24）の氷河湖に決壊の危険性があると報告しているものの、その評価のクライテリアは明確ではない。本案件により作成される科学的根拠に基づいたヒマラヤ地域における危険氷河湖台帳やその手法を ICIMOD など関連機関と共有することが重要であり、関係者を対象とするワークショップなどを本案件の活動として実施することが有益である。

(2) 決壊洪水の被害軽減対策（水抜き工事、早期警戒システム）

ブータン国と同様に氷河湖決壊洪水の問題を抱えるネパール国では、ロールワリン地方のツォーロールパ氷河湖およびその下流域において以下の対策事業が実施された。

①水抜き工事

オランダの援助により氷河湖決壊の危険性を軽減する対策事業として、湖の水位低下を目的とした水門建設が実施され、約 3m の水位低下を実現したが、現在も GLOF の危険性が依然として残されている。実際の工事に当たっては、高地という特殊環境における重機の搬入など施工上の困難性や工事中の安全管理の問題などが教訓として挙げられる。

②早期警戒システム

無線による洪水警報システムが構築された例があるが、内政の混乱や電力等維持管理不足の問題で現在は稼動していない。

上記を踏まえ、本案件では、対策事業の持続性を重視し、設置後の運営・維持管理を含めた持続的な計画策定に取り組んでいく。

6. 評価結果

(1) 妥当性

ブータン国の開発政策である第 10 次 5 年計画および気候変動適応行動計画（NAPA）において、気候変動に伴う氷河湖決壊洪水への対応が重要課題として位置づけられている。また、2007 年 12 月のアジア・太平洋水サミット（別府）に出席したキンザン・ドルジ首相（当時）は、氷河湖の決壊の危険性と対策の必要性を訴え、先進国のコミットメントを求

めている。一方、現在検討中の事業展開計画においては、氷河湖決壊洪水への対応は特別課題の南アジア広域支援にも寄与すると位置づけられており、本案件はブータン国政府方針および我が国援助方針に合致する内容であり、妥当性が認められる。

(2) 有効性

プロジェクト目標に向けて設定した成果 1～5 に関する研究課題はいずれも日本もしくは日本とブータン双方において先行研究・活動の実績がある。日本側代表研究機関である名古屋大学とブータン国側代表研究機関である経済省地質鉱山局は、1998 年から共同研究を行っており、当該分野に関する知見、研究活動の実施能力・経験を備えている。設定した 5 つの成果は、プロジェクト目標である氷河湖の危険度評価の実施を通じた氷河湖決壊に関する調査・研究能力の向上および災害対策立案能力の強化を図るべく因果関係の論理性が確保されているものである。以上から本案件は高い有効性が見込まれる。

(3) 効率性

日本側およびブータン国側研究機関が 3 つのグループ（①プロセス班：氷河湖危険度解析・拡大メカニズム分析、②衛星班：衛星データ解析、③アセス班：氷河湖決壊・災害分析/対策）に分かれ、それぞれ専門的見地から研究活動を行う協働体制がとられるが、これまでの共同研究の実績も踏まえ、個々のグループの研究における役割分担および所掌業務範囲が明確で重複がないことから効率的な活動が見込まれる。また、既存の日本国内の関係者との連携体制（ヒマラヤ氷河研究会）を十分に活用することで、専門家および機材などを効果的・効率的に投入することが可能であり、本案件実施の効率性は高いと判断される。

(4) インパクト

本案件で開発される氷河湖の危険度評価手法はヒマラヤ全域や他の氷河地域でも適用可能となる事が期待でき、その手法が普及されれば、GLOF 問題を抱える他国へも大きなインパクトを与えることになる。提案される対策事業の実施にあたっては、ブータン国側による予算措置や人員手配など手段の確保が必要であるので、現時点では対策事業の実施に対するインパクトを予測することは困難である。

(5) 自立発展性

本案件に携わるブータン国側カウンターパートスタッフの人事異動の可能性は低く、強化された能力が組織内に蓄積され、持続発展することが期待できる。特に、氷河湖決壊の危険度判定手法は、プロジェクト終了後にも自立的に他流域で活用されることが見込まれる。本案件で投入される機材や衛星データの取扱・利用方法についても、本案件内で技術移転が行われた上で、適切な維持管理が行われることが期待される。

本案件の実施機関である地質鉱山局はブータンにおいて GLOF 対策に責任を持つ機関であり、その役割がブータン国内で大きく変更しない限り、プロジェクト投入や成果の活用について特段の懸念はない。

GLOF 対策にかかる提言および対策事業の実施が持続的に行われるためには、関係組織（地質鉱山局、電力局、防災管理局など）が連携し、意思疎通、情報共有を適切に行う必要があるが、本案件実施中に合同調整員会を開催し、連携体制を強化することが重要である。

以上、技術、組織、予算面の現状および見込みを踏まえると、本案件の持続的効果を妨げる深刻な要因は現時点では想定されず、自立発展性は確保されると評価できる。

(6) 実現可能性（リソース確保、前提条件）

長年にわたる名古屋大学と地質鉱山局の共同研究を通じ、両組織間の研究協力関係はすでに確立されている。プロジェクト実施に向けて、名古屋大学を中心とした研究体制もすでに整備されており、ブータン国側もそれぞれの研究グループにカウンターパート人材を配置するなど協働研究の体制は整っている。また5年前に設立されたブータン王立大学も研究パートナーとしての参加が予定されており、ブータン国内における長期的視点に立った人材の育成が期待される。

7. 今後の評価計画

(1) 今後の評価に用いる主な指標

暫定的に主な評価項目を設定したが、明確な数値目標は現時点では設定していない。「地球規模課題対応国際科学技術協力」案件の評価手法確定やプロジェクト活動の本格化に伴い、必要に応じて各評価項目の見直しと具体化を行うものとする。

【プロジェクト目標】

氷河湖決壊にかかる日本-ブータンの共同研究報告書の作成

- ① 定量評価された危険氷河湖データベース
- ② GLOF 対策事業（案）

【成果】

- 1-1 衛星データ共有システム、危険氷河湖データベースに基づく潜在的な決壊危険性をもつ氷河湖に関する台帳の作成
- 2-1 氷河湖拡大履歴・メカニズムに関する共同研究論文の作成・発表
- 3-1 決壊要因に関する評価報告書の作成
- 3-2 モンデチュ川流域の危険氷河湖マップの作成
- 4-1 モンデチュ川下流域における GLOF ハザードマップの作成
- 5-1 GLOF 被害軽減対策にかかる提案書（例：モンデチュ川下流域の危険村落に対する早期警戒システムの計画）の作成

(2) 今後の評価のタイミング

中間レビュー：計画第二年次中期（2010年4月頃を予定）

終了時評価：計画終了時の約6ヶ月前（2011年9月頃を予定）

事後評価：協力終了2～4年後を目安とする