

地球規模課題対応国際科学技術協力 (SATREPS)

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)

終了報告書

期間 平成 21年 4月～平成 23年 3月

代表者氏名： 西村 浩一

(名古屋大学 大学院環境学研究科 教授)

§ 1 プロジェクト実施の概要

本プロジェクトは、現存するヒマラヤの氷河湖について、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・対策が遅れているブータン・マ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。

第一年次(2009年)、6月のブータンにて実施したキックオフ会合によって実質的に本プロジェクトが開始された。7月から10月にかけて上流域の氷河湖調査および中流域の地形調査をおこなった。この間、日本国内では衛星班とプロセス班による研究会を開催し、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ASTER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た。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。3月にはティンプーにて合同調整会議(JCC)および関係省庁スタッフを加えての研究報告会(SWS)を開催するとともに、衛星データ、地形判読の研修を行い、中流域の地形調査も実施した。

第二年次(2010)は、5月に中流域にて社会調査を実施するとともに、地球惑星科学連合大会にて氷河湖のセッションを設け、ブータン側カウンターパートによる成果発表を含む、プロジェクト活動のアピールを行った。8月には別のブータンカウンターパートが、土砂災害対策について土木学会主催のシンポジウムでの発表を行った。現地調査は7月に氷河域調査、8月に活断層調査を実施し、9月から10月には上流域においてプロジェクトとしての氷河域の本調査を、さらに12月から3月にかけては衛星画像解析、GIS、洪水解析の研修、およびOJTとしての物理探査、を行った。

第三年次(2011)は、5月上旬にブータン西部のパロチュー上流において氷河域調査を実施した。さらに5月下旬から6月には地球惑星科学連合大会にて氷河湖のセッションを設け、2名のカウンターパートの発表(4件)も含むプロジェクトの成果発表および活動のアピールを行った。また前年度に引き続き、9月から10月にかけて上流域において氷河・氷河湖調査を実施し、危険度評価、および氷河縮小と氷河湖拡大過程を解明する上で貴重な観測データを取得した。2012年2月には、名古屋にてJCCおよび公開シンポジウムを開催すると共に、3月にはプロジェクトの成果報告会をブータン各地において開催した。また、ブータンの英字新聞「Kuensel」にプロジェクトを紹介する連載を5カ月にわたりほぼ毎週掲載し、社会還元を進めた。

プロジェクト開始以降、日本での学会発表と関連機関の打ち合わせを兼ねて、合計5名のカウンターパートが現地研修を実施し、既存のJICA長期研修にもプロジェクト関係者が4名参加し、本プロジェクトのテーマに関連した知識と技術を取得した。研究成果の公表は初年度(2009)に論文2編が出版されたほか、著作2編、学会発表14件(うち国際学会4件)の研究報告が行われた。二年次(2010)は論文1編、著作11編、学会発表47件(うち国際学会18件)が研究成果として報告された。また、衛星「だいち」によるブータンにおける最新の氷河湖台帳(インベントリ)の一部を2011年2月に公開した。ブータン全域の氷河湖インベントリは2012年3月公開に向けて準備を進めており、予定通りリリースできる見通しである。3年次(2012年1月現在)は論文1編、著作など5編、学会発表39件(うち国際学会11件)が研究成果として報告された。さらに、プロジェクトの成果をまとめた形で発信するために、国際学術雑誌「Global Environmental Research」の特集号を発行する機会を得、現在プロジェクトメンバーによる10編の論文が受理されている。

§ 2. プロジェクト構想(および構想計画に対する達成状況)

(1) 当初のプロジェクト構想

ブータンにおいては、決壊危険性のある氷河湖の抽出、およびそれら決壊時の危険度評価について、明確な科学的根拠なく行われていた。本プロジェクトは、正確で高解像度、かつ豊富な資料を用いた衛星画像解析および現地調査に基づき、同国の氷河湖決壊およびそれに関連した災

害の危険度再評価を行う。本研究の主な流れは、衛星データ解析の客観的基準に基づいた危険な氷河湖の抽出、それらの現地検証、決壊洪水に伴う下流域の危険度評価、および早期警戒システム構築の提案からなる。これらを進めるにあたり、共有した衛星データの処理・解析、物理探査、社会調査、決壊・洪水解析の実施、および氷河湖インベントリとハザードマップの作成等を技術移転もあわせた共同研究によって実施する。現地調査、ハザードマップ作成、早期警戒システム構築の提案については、国内でも特に調査・対策が遅れているマンデチュー流域を対象とする。

(2) 新たに追加・修正など変更したプロジェクト構想

陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)の運用停止(詳細は4.2章参照)

本プロジェクトで使用している主要な衛星の一つである陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)は2006年1月に日本から打上げられ、設計寿命5年を越えて順調に運用を続けていたが、2011年5月に電源システムのトラブルにより運用を終了した。ブータン国に関しては、運用終了までに取得されたアーカイブデータを用いて国土のおよそ95%の高解像度(パンシャープン)画像とおよそ90%のPRISMによる10m解像度の数値地表モデル(DSM)のモザイクを完了した。想定では2011年度も「だいち」による新規観測データの取得を計画していたが、上記のカバー率を達成していることから本プロジェクト遂行上、大きな問題はないと判断された。

しかし今後、日本が同様の科学技術外交や技術移転を進める上で、また日本のプレゼンスを示す上でも国産の高精度な地球観測衛星は必要不可欠なツールの一つと考えられる。ALOS後継機(ALOS-3)の早期実現が望まれる。

「アセス班」グループでの活断層調査の実施の追加(2010年4月～)

氷河湖決壊の主な引き金である氷河崩壊の原因として、地震が挙げられる。活発な地質構造帯に位置するヒマラヤ周辺域では巨大地震が繰り返されており、ブータンもそこに含まれる。したがって、決壊洪水の危険性を評価するうえで、ブータンでの過去の地震発生履歴を明らかにすることは重要である。しかし、国内での地震に関する記録も研究も殆ど行われていないのが現状である。DGM内に新たに地球物理部門が新設されることを鑑み、本研究において地震の基礎的研究とその技術移転を行うことになった。予算と実施期間の関係から地震計設置等の観測は行えないので、既存の空中写真の判読と現地調査による活断層の抽出作業を実施した。SATREPS統括側との協議を経て2010年4月から日本側メンバー1名を追加しブータンにおいて調査と技術指導を行った。

§3 プロジェクト実施体制・投入実績

»

※注意

- 研究参加者については、最新の研究計画書(様式C)に記載してある全員の名前、所属、役職、参加期間を記入してください。
- 研究代表者又は主たる共同研究者は一番上に記載し、左端のセルに「○」を記入してください。
- SATREPS の研究費(委託費も含む)により人件費を支出した者については、左端のセルに「*」を記入してください。
- 専任 RA がいる場合は、左端のセルに「■」を記入してください。

3. 1. プロジェクト実施体制

(1)「プロセス」グループ

①研究参加者

【日本側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
○	西村 浩一	名古屋大学大学院環境学研究科	教授	2008.10.1～2012.3.31
	藤田 耕史	名古屋大学大学院環境学研究科	准教授	2008.10.1～2012.3.31
*	小森 次郎	名古屋大学大学院環境学研究科	特任助教	2009.5.1～2012.3.31
*	坂井 亜規子	名古屋大学大学院環境学研究科	特任助教	2009.5.1～2012.3.31
*	津滝 俊	名古屋大学大学院環境学研究科	研究員	2011.5.1～2012.3.31
*	谷口 圭輔	名古屋大学大学院環境学研究科	研究員	2011.5.1～2012.3.31
*	縫村 崇行	名古屋大学大学院環境学研究科	研究員	2008.10.1～2012.3.31
*	岡本 祥子	名古屋大学大学院環境学研究科	学生(D3)	2011.4.1～2012.3.31
	永井 裕人	名古屋大学大学院環境学研究科	学生(D1)	2010.4.1～2012.3.31
	岩田 修二	立教大学観光学部	教授	2008.10.1～2012.3.31
	知北 和久	北海道大学大学院理学院	准教授	2008.10.1～2012.3.31
	杉山 慎	北海道大学低温科学研究所	講師	2008.10.1～2012.3.31
	山口 悟	(独)防災科学研究所	主任研究員	2008.10.1～2012.3.31
	澤柿 教伸	北海道大学地球	助教	2008.10.1～2012.3.31

		環境科学研究所		
	内藤 望	広島工業大学環境学部	教授	2008.10.1～2012.3.31
	門田 勤	(独)海洋研究開発機構	研究員	2008.10.1～2012.3.31

【相手国側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
	Mr. Yeshe Dorji	DGM (地質鉱山局)	Officiating Director General	2009.5.1～2011.3.31
○	Mr. Sonam Yangley	DGM	Director General	2011.4.1～2012.3.31
	Mr. Ugyen Wangda	DGM	Chief Geologist	2009.5.1～2012.3.31
	Mr. Phuntsho Tshering	DGM	Geologist	2009.5.1～2012.3.31
	Mr. K.S. Ghalley	DGM	Senior Geologist	2009.5.1～2012.3.31
	Mr. Karma Toeb	DGM	Executive Glaciologist	2009.5.1～2012.3.31
	Mr. Lalit Kumar Chettri	DGM	Map Production Technologist	2009.5.1～2012.3.31
	Ms. Sonam Lhamo	DGM	Geologist	2010.5.1～2012.3.31

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) ブ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」グループ

①研究参加者

【日本側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
○	田殿 武雄	(独)宇宙航空研究開発機構	主任研究員	2008.10.1～2012.3.31
	島田 政信	(独)宇宙航空研究開発機構	上席研究員	2009.4.1～2012.3.31
	山之口 勤	(財)リモート・センシング技術センター	副主任研究員	2008.10.1～2012.3.31
	富山 信弘	(財)リモート・センシング技術センター	副主任研究員	2008.10.1～2012.3.31
	浮田 甚郎	新潟大学自然科学系	教授	2008.10.1～2012.3.31
	矢吹 裕伯	(独)海洋研究開発機構	サブリーダー	2008.10.1～2012.3.31

	奈良間 千之	総合地球環境学 研究所	研究員	2008.10.1～2012.3.31
	河本 佐知	(財)リモート・センシ ング技術センター	研究員	2009.12.1～2011.9.9

【相手国側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
	Mr. Yeshe Dorji	DGM (地質鉱山局)	Officiating Director General	2009.5.1～2011.3.31
○	Mr. Sonam Yangley	DGM	Director General	2011.4.1～2012.3.31
	Mr. Ugyen Wangda	DGM	Chief Geologist	2009.5.1～2012.3.31
	Ms. Pema Deki	DGM	Geologist	2009.5.1～2012.3.31
	Mr. Phuntsho Pelgay	DGM	Geologist	2009.5.1～2012.3.31
	Ms. Sonam Lhamo	DGM	Geologist	2010.5.1～2012.3.31
	Ms. Karma Yangzom	DGM	Cartographer	2009.5.1～2012.3.31
	Ms. Tashi Gyelmo	DGM	Cartographer	2009.5.1～2012.3.31

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)

(1)「アセス」グループ

①研究参加者

【日本側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
○	小池 徹	(株)地球システム 科学	技術主任	2008.10.1～2012.3.31
	竹中 修平	(株)地球システム 科学	技師	2009.9.1～2012.3.31
	藪田 卓哉	(株)地球システム 科学	部長	2008.10.1～2010.3.31
	出村 英紀	(株)地球システム 科学	技師	2010.4.1～2011.3.31
	富田 ゆきし	(株)地球システム 科学	代表取締役	2008.10.1～2012.3.31
	大橋 憲悟	(株)地球システム 科学	技師	2008.10.1～2012.3.31

	七條 寛	(株)地球システム 科学	技師	2010.4.1～2011.3.31
	佐々木 央	(株)地球システム 科学	技師	2011.4.1～2012.3.31
	佐藤 匡史	(株)地球システム 科学	技師	2008.10.1～2012.3.31
	檜垣 大助	弘前大学農学生 命科学部	教授	2008.10.1～2012.3.31
	梅村 順	日本大学工学部	講師	2008.10.1～2012.3.31
	佐藤 剛	帝京平成大学現 代ライフ学部	講師	2008.10.1～2012.3.31
	熊原 康博	群馬大学教育学 部	准教授	2010.4.1～2012.3.31
	福井 弘道	中部大学中部高 等学術研究所	教授	2008.10.1～2012.3.31

【相手国側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
	Mr. Yeshe Dorji	DGM (地質鉱山 局)	Officiating Director General	2009.5.1～2011.3.31
○	Mr. Sonam Yangley	DGM	Director General	2011.4.1～2012.3.31
	Mr. Ugyen Wangda	DGM	Chief Geologist	2009.5.1～2012.3.31
	Mr. Tshering Penjore	DGM	Senior Geologist	2009.8.1～2012.3.31
	Mr. T.P. Thapa	DGM	Senior Geologist	2009.8.1～2012.3.31
	Mr. Jamyang Chophel	DGM	Geologist	2010.5.1～2012.3.31
	Mr. Samten Wangdi	DGM	Geologist	2009.5.1～2012.3.31
	Mr. Phuntsho Pelgay	DGM	Geologist	2009.5.1～2012.3.31
	Mr. Dowchu Drukpa	DGM	Executive Geophysicist	2009.5.1～2012.3.31
	Ms. Pema Deki	DGM	Geologist	2009.5.1～2012.3.31
	Ms. Ugyen Zangmo	DGM	Laboratory Assistant	2011.3.1～2012.3.31
	Ms. Sonam Choden	DGM	Laboratory Assistant	2011.3.1～2012.3.31

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) マ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)の結果に基づいたマンデチュー流域のリスクエリアの抽出
- 7) マ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

§ 4 プロジェクト実施内容及び成果

4.0 プロジェクト全体

(1) グループを統合した全体の成果

本研究の中心的目標である氷河湖決壊洪水の危険度再評価については、ヒマラヤ全域の氷河に対する衛星画像データによる危険な氷河湖の抽出、ブータンヒマラヤ全域における高精度衛星データに基づく氷河湖インベントリの作成、ブータン国内複数の流域における現地調査、室内試験・水文解析に基づく危険度評価、およびマンデチュー中・下流域の洪水時におけるリスク評価が主として行われた。

衛星データによる氷河湖危険度評価では、過去の決壊例の解析から地形的な決壊条件を求め、それを基準として危険な氷河湖の抽出を行った。さらに、これらの湖の流出量予測を行ったことで、ヒマラヤ全域での氷河湖決壊の危険度評価と洪水ポテンシャルを可視化することに成功した。

衛星データの整備と氷河湖インベントリの作成は 1960 年代から現在までの複数の衛星写真・画像データ、および ALOS PRISM による数値地表モデル(DSM)、現地基準点(GCP)の取得を通して行われ、インベントリとしては決壊に関連する条件にある氷河湖が抽出された。既存のインベントリと比べ、用いたデータの解像度、処理作業の正確性と統一性、および雲・雪の被覆率等の画像条件において、格段に優れた条件で氷河湖の輪郭抽出と各種計測を行うことができた。氷河・氷河湖研究における ALOS 衛星画像の活用の有効性が確認されたこと、および画像データの整備から処理までの一貫した手法が確立されたことの意義は大きい。

現地調査による氷河湖の決壊危険度評価は、湖盆図の作成を重点的に行ったことおよび電気探査を実施できたことから、これまで水域や堤体の表面の状況だけで判断されていた決壊危険度と洪水時の流出量が正確に推定され、より現実に近い洪水解析が可能となった。衛星による危険な氷河湖の抽出とインベントリ作成もあわせたこれらの結果から、今までブータンの政府高官やメディア・一般において常に示されていた危険な氷河湖の数(25 個)とその流域の数については、大きく見直されることとなった。この見直しは他のヒマラヤ諸国でも今後必要となることは確実である。

本研究の重点対象域であるマンデチュー流域でおこなった決壊洪水のリスク評価としては、洪水時に再滑動の危険性がある地すべり地形の抽出と、流量増加の要因となる河道閉塞箇所の調査、および洪水に対する脆弱性の社会調査がある。その結果、地すべり地形は川沿いに多数存在し、一部は現在もアクティブであることが明らかになった。また、行政や住民の洪水に対する理解と備えは十分でないことも明らかになった。しかし、マンデチューについては河床周辺の人口が少なく、道路や学校等の施設では洪水の影響を受けるものも少ないことから、ハード面での緊急な対策の必要性は小さいと判断された。これらの結果のほか、上述の高精度の数値地表データによる地形図や、モレーンダムにおける電気探査とそれらに基づいた水文解析、および過去の決壊洪水の再現解析の成果を併せた形で、ハザードマップの作成と早期警戒システムの計画立案が現在進んでいる。

一方、決壊のトリガーとなりうる地震に関連して、活断層調査を実施した。本プロジェクトではインド国境周辺でのパイロット的調査となったが、それでもブータン北部の氷河域に影響を与えるには十分な規模の地震が今後も発生することが明らかになった。

これらの調査・研究に並行して、On the Job Training (OJT)としての技術移転が氷河域調査、電気探査、下流域地すべり調査、活断層調査、および社会調査においておこなわれた。また、室内では地すべり・活断層の地形判読、本プロジェクトの供与機材を用いた衛星画像解析、水文解析、土質試験の研修が行われた。また、本邦研修としては、本プロジェクトによる個別研修が3回、既存の集団研修が2回行われ、上記の室内外のOJTのフォローアップ、学会発表、災害地と防災施設の視察等が行われた。これらにより、上記の項目に関する視点・知識・技術が、特に若手を中心としたカウンターパートにおいて取得され、既にこれら資料や機材の継続的利活用が進んでいる項目もある。なお、カウンターパートが独自に調査結果の解析を行い発表、論文化まで進めるには依然として困難な点があり、プロジェクト終了後には共同研究も含めたかたちでの日本側からの協力

が必要と考えられる。研究成果の行政や一般への還元のため、「Kuensel」紙面での報告に加え、調査下流域の地方行政（シエムガン、トンサ、ウォンディ、ガサ）で調査研究報告会と学校（シエムガン、ジザム）の生徒を対象とした講演を行い、首都ティンブーでは高校生を対象とした講演会を実施した。

(2) 今後期待される効果

【ブータン国内におけるプロジェクト成果の展開】

プロジェクトの主要な目標である早期警戒システムの計画立案については、その成果を受けた形でブータン国内二つの主要河川において同システムの設置計画が進む予定である。また、より正確な水文解析に基づいたハザードマップ作成についても既に他の流域での同様の調査が進む段階にある。

本プロジェクトの重要課題の一つである氷河湖研究については、マンデチュー以外の流域への早急な展開が期待される。特にプナカ北西上流のモチュー流域については、2012 年度の実施に向けて本研究による調査項目に則った形での調査計画が既に進められている。また、本プロジェクトによって行われた電気探査と土質試験は OJT も兼ねた形で氷河域調査以外にも既に活用されており、相手国独自による技術の維持・発展は着実に進むと考えられる。

一方、地すべり地形と活断層地形のマッピングについては、本プロジェクトによってその必要性が十分に認識され、UNDP 等の他の援助も含めた形で新たなプロジェクト化への努力がカウンターパート機関である地質鉱山局(DGM)内で進められている。特に斜面崩壊(広義の地すべり)は、国内で最も頻発している自然災害であるが、それには日本の援助によりネパールで培われたようなヒマラヤ諸国に適した防災手法の適用が期待される。そのためにはマンデチュー流域で今回試行された地すべり研究の発展が必要である。

また地震災害については、プロジェクト期間中に二度の被害地震があったこともあり、上述の活断層マッピングの他に地震観測網の構築、建築・社会・情報学等を含めた学際的な研究と一般啓発の早急な展開が必要である。地震担当部門が DGM 内に新設されたことも併せると、豊富な知識と技術を有する日本からのハード・ソフト両面での更なる協力と新たな研究プロジェクトの実施が大いに期待される。

温暖化に伴う氷河の縮小の具体的な実態把握や、水資源の将来予測については、ヒマラヤ諸国の中でも特にブータンにおいては研究が進んでいない。また、健全かつ持続的な水資源管理はブータンの最重要産業である水力発電の運営にとっては重要な課題である。本研究で実施した氷河・氷河湖変動の実態把握と氷河域での気象観測は、この課題に対して重要な情報を提供し、調査研究業務は今後さらに重要性を増し、ブータン政府と社会からの要請が高まることは確実である。

【国際的なプロジェクト成果の展開】

ブータンを対象として行われた、科学的根拠に基づいた決壊危険性のある氷河湖の再評価については、今後さらにヒマラヤ全域においても同様の検討が行われることが期待される。更に、関係諸国において温暖化による氷河湖決壊のリスクの再検討が行われると考えられる。氷河変動の具体的な情報が、同様の研究を進めている他の国際的な評価組織や研究機関へ与える影響は大きいと考えられる。

また、衛星データ解析による氷河湖インベントリの作成、および危険な氷河湖の抽出の一連の手法については、マンデチュー流域だけでなく、ブータン全域、さらにはヒマラヤ全体への展開が進みつつある。本プロジェクトで確立した手法は今後、ブータン・ヒマラヤ地域だけでなく衛星データを用いた氷河・氷河湖モニタリング実施の際、指針の一つなることは確実である。この一例として JICA「地球規模課題に対応する科学技術協力」の一つである「科学技術研究員派遣」平成 23 年度事業に、研究課題名「ALOS 高解像度衛星画像を用いたアルゼンチン・アンデス山岳地帯における氷河台帳作成」が本プロジェクトの衛星班を母体として採択され、今年度から二年間の計画で

開始された。他の地域においても活用されることが期待できる。

4.1 「プロセス」グループ(名古屋大学)

(1)研究実施内容及び成果

【実施方法】「プロセス班」グループでは、衛星データ解析での客観的基準による危険な氷河湖の抽出を行い、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、特に ICIMOD による既存の評価と本研究によって危険とされた氷河湖に対しては現地調査を実施し、それら氷河湖の危険度再評価を行った。衛星データ解析による抽出は ASTER 画像データの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、更に GIS 上での可視化を行い、一定の基準を設けて実施した。これにより絞り込まれたマンデチュー上流域の氷河湖と既存研究において危険とされていた氷河湖について現地調査を行った。2009 年 9～10 月に予備調査、2010 年と 2011 年の 9 月～10 月に本調査を実施した。

【概要】

2009 年度にはブータン領域の衛星解析を終了し、氷河湖の危険度のランク分けの作業を進めた。マンデチュー流域については7月までに氷河湖堤体前面の傾斜を指標とした予備解析を行い、現地調査メンバーに提供した(前掲の Plan of Operation 内の活動 1-2、以下も同じ)。これらの事前解析をもとに、9 月にはマンデチュー源流部の予備的調査を実施し、パイロットサイトとして 3 つの氷河湖を抽出し(活動 3-3)、次年度以降の現地調査の計画および安全対策を立案した。また、パイロットサイトとして提案された一つの氷河湖に自動気象観測装置を設置し(活動 2-2、2-3、4-2)、二つの氷河湖のモレーンから土質試料を採取しアセス班による物性試験に供した(活動 4-1)。現地技術移転としては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、過去の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・地質学的調査(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。

2010 年度には、マンデチュー、およびチャムカールチュー流域において、事前解析で地形的に危険と評価された、もしくは国際山岳総合開発センター(ICIMOD, カトマンズ)による既存インベントリ(Moolほか, 2001; Ivesほか, 2010)において危険な氷河湖と評価されている氷河湖について、湖水深の測定(深淺測量)および周辺踏査を行い決壊危険度の再評価を行った。また、初年度に設置した自動気象観測装置のデータ回収並びにメンテナンスを行い、さらに4箇所において小型の観測装置を新たに設置した(活動 2-2、2-3、4-2)。自動気象観測装置についてはカウンターパート側が主体となって今後の観測を継続する。また、クリーン型氷河(表面が岩屑に被覆されず温暖化に対して一般に敏感な氷河変動を示す)の GPS 測量、氷河の経年変化の比較用の写真撮影、および写真測量用の画像撮影を行った(活動 2-3、活動 4-1)。技術移転としては氷河部門の若手スタッフ 1 名(相手国側プロジェクトマネージャー)を日本へ招聘し、氷河・氷河湖の解析、写真測量技術、および学会発表での準備から報告までに至る手法の指導を行った。また、二度の氷河域調査によって氷河・氷河湖の調査技術、氷河域特有の地形や地質に関する判読の指導を行った。

2011 年度には、2009 年 4 月の岩屑被覆型氷河からの出水(小規模な GLOF)を受け、ブータン北西の二つの氷河および氷河湖の調査を 5 月に急遽実施し、さらに本調査として 9、10 月にマンデチューおよびポチュー上流域における氷河・氷河湖の現地調査を実施した。これにより、クリチュー、ダンメチュー、モチューを除いた国内主要河川の氷河湖の現地調査を実施することができた。また、過去の氷河の定点撮影写真や氷河上の測量データと比較可能な情報を取得し、ブータンヒマラヤにおける具体的な氷河変動量を把握することができた。3 年間で 5 回の現地調査を実施したことにより、カウンターパートである氷河部門の若手研究者には現地調査の技術とそれに関連する分野の知識が蓄積された。

【研究成果】

【衛星データ解析】 衛星データ(ASTER)を用いた湖堤体前面の傾斜を基準にしたヒマラヤの氷河湖の危険度再評価を完了し、「潜在的洪水水量」という指標にて調査すべき氷河湖の優先順位を決める手法を提案した。(PDM 活動 1-2)

衛星データ、現地観測、数値実験および地形図など、様々なアプローチによって、氷河湖拡大過程に関する研究を進めた。(PDM 活動 2-3、原著論文 3 本、下記成果発表等参照) これまでの研究では、デブリ氷河末端付近の傾斜と氷河湖の有無との関連性が議論されていたが、Sakai and Fujita (2010)の解析により、小氷期以降の氷河表面の低下量も考慮することでより確実に氷河湖の有無を区別することが可能となった(図 4-1-2)。この結果は、将来的な氷河湖発生の可能性について議論するための基本的な情報を提供するものである。

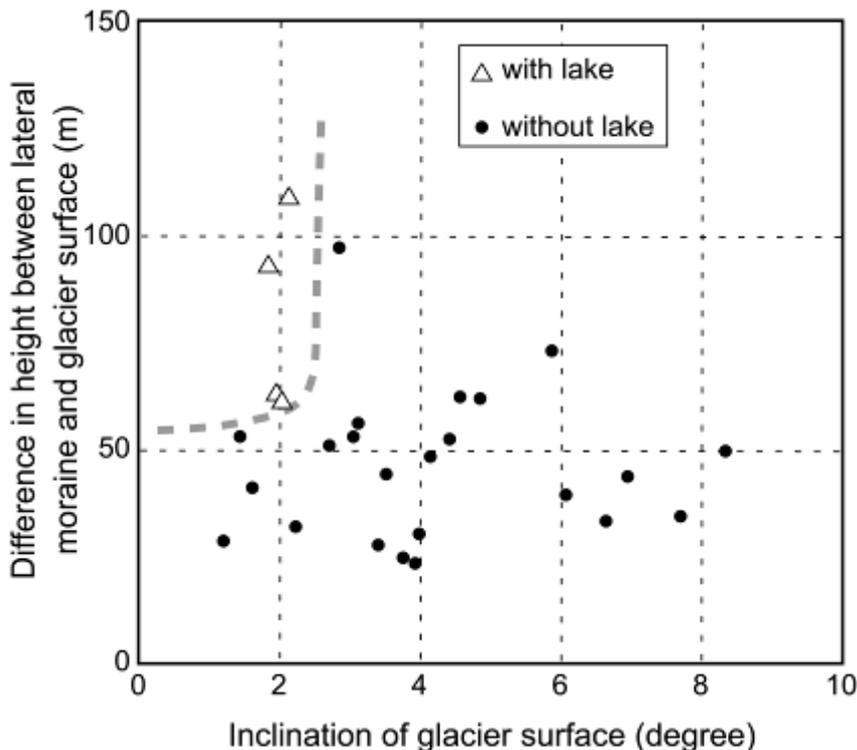


図 4-1-2 ヒマラヤのデブリ氷河の末端付近の傾斜(横軸)と表面低下量(縦軸)。氷河湖の有無で明瞭に区別することが可能である(Sakai and Fujita, 2010)。

【パイロットサイトの提案および湖盆調査】 ASTER 衛星データによる危険度再評価をもとに、マンデチュー流域の現地調査を必要とする氷河を選定した。2009 年秋の調査ではマンデチュー北西上流域の現地踏査を実施し、氷河湖の面積、堤体周辺の地形等の条件からザナム C、ザナム F、およびメタツォタ湖をパイロットサイトとして提案した(PDM 活動 3-3)。更に、これらの氷河湖と ICIMOD による既存の氷河湖危険度評価によって危険と評価されている氷河湖については、西隣のポチュー流域も含め 2009 年に 5 箇所、2010 年に 8 箇所(2009 年の再測一つを含む)、2011 年に 8 箇所水深測定を実施し、湖盆図を作成した。湖盆図の一例を図 4-1-3 に示す(各湖の位置は図 4-3-1、危険度評価の概要については本章のアセス班の項参照)。その結果次のことが明らかにされた。(1) 湖の水深は最大で 100m 程度ではいずれも下流側ほど浅い。(2) 下流側は堤体を成すモレーンから延びる水深 10~20m の棚状を成すことが多い。(3) 湖底に敷居状の地形が存在し複数の湖盆からなる場合がある。(4) 決壊・洪水シミュレーションにおいて湖の最大水深ではなく下流側の湖盆の形状を考慮する必要がある。

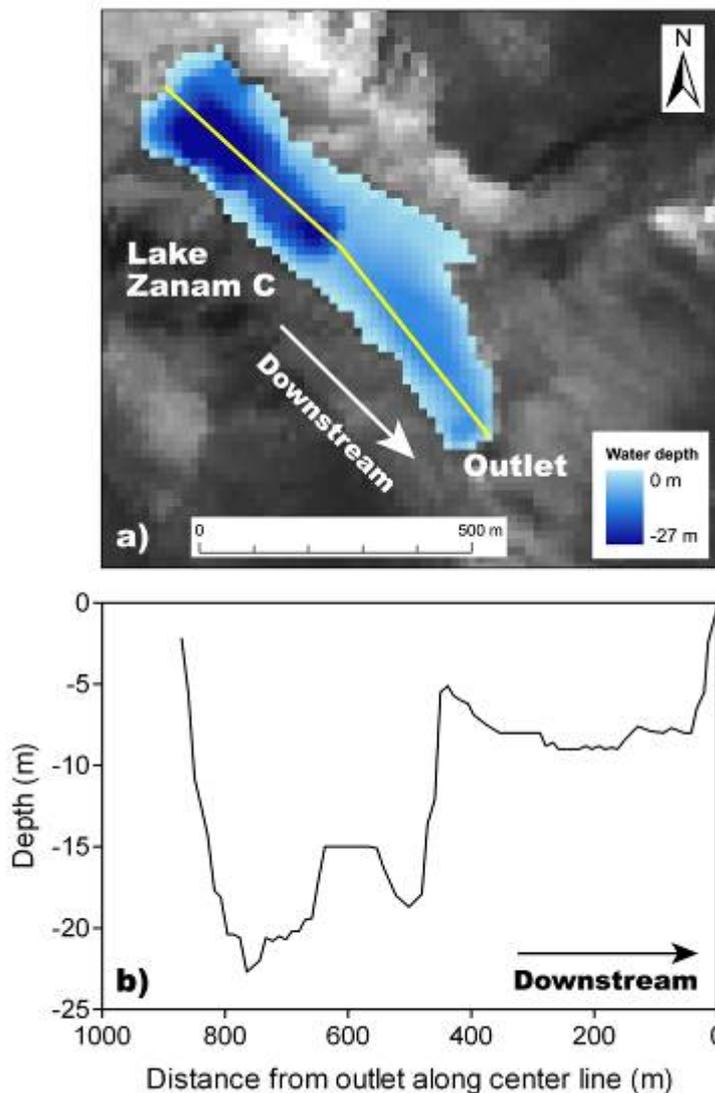


図 4-1-3 ザナム C の湖盆図。b)は中央線沿い(a 図中の黄色線)の水深分布(Fujita et al., 2012)。

【氷河湖決壊の危険度評価】 プロジェクト期間中に実施した 5 回の氷河域調査において、直接現地で状態を確認できた氷河湖について決壊の危険度評価を行った。評価の基準は上述した ASTER による堤体前面の傾斜のほか、氷河の氷と湖の位置関係、湖周辺の地形、および湖底の地形である。その結果、2008 年から UNDP による水位低下プロジェクトが行われているポチュー上流のラフストレン氷河湖以外に、早急なハード対策が必要と判断される氷河湖は存在しない評価となった。ただし、湖をせき止めているモレーンに停滞氷が残存する、もしくは氷河氷が湖水に大きく突入する危険性のある氷河湖のような、すなわち完全には決壊を否定できない湖は複数存在する。本研究ではそれらについては「継続的監視を要する湖」として、衛星データによる継続的なモニタリングが必要であると評価とした。その結果は、単に危険な氷河湖が 25 ある、というブータンの一般から政府高官までが頻繁に引用していた既往の評価結果について、今後見直しが必要であることを示している。

【気象観測】 パイロットサイトとして提案された氷河湖のうち、ザナム F 氷河湖(北緯 27°97′、東経 90°33′)の湖尻東北側の堤体上に自動気象観測装置(AWS)を設置した。観測項目は気温、地温、

湿度、気圧、風向、風速、降水量、積雪深、日射量(上向き・下向き)、アルベドの11項目である。2010年の現地調査において1年分のデータを回収し、マンデチュー上流域の気象データを取得した。

【氷河湖拡大・氷河変動量の測定】2009、2010年の現地調査ではタンペチューとダンチュー(ポチュー支流)の分水嶺近くの氷河において、過去の調査の際に撮影された写真と現在の状態を比較した。その結果、1984年から2009年の間で年平均10m弱の氷河末端の後退が認められた(PDM活動2-3)(Naito et al., 2012)。2010年、2011年の現地調査では1998年～2004年に測量した氷河の再測量、および同一地点からの写真撮影を実施した(図4-1-5)。

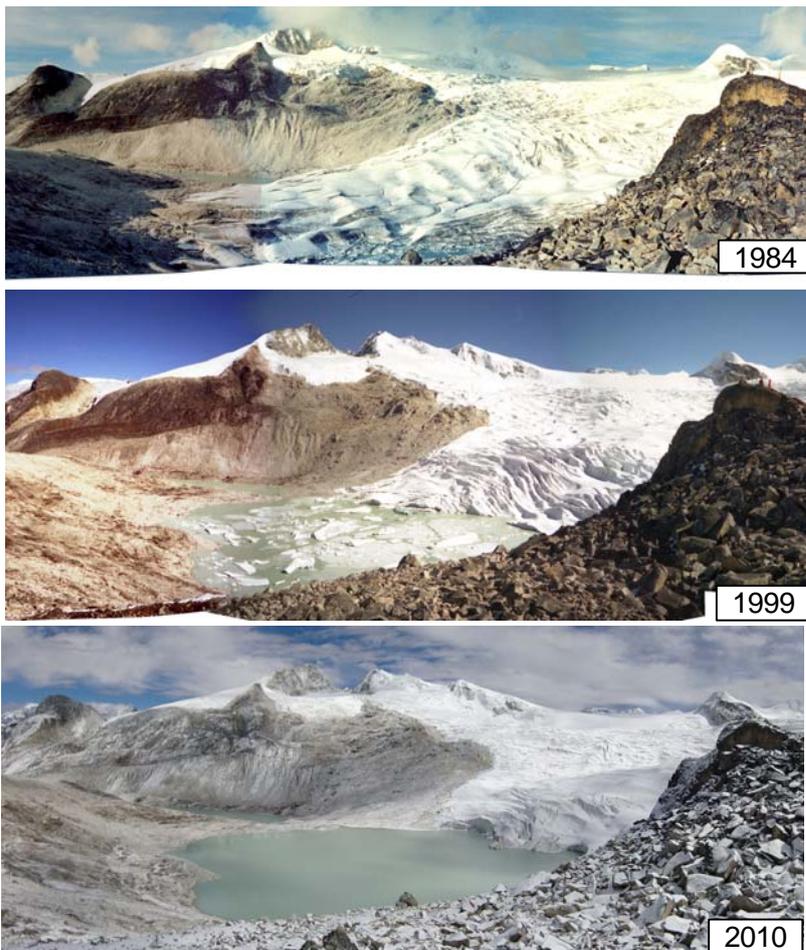


図4-1-5 ガンリンチェンゼー峠北方氷河の縮小の様子。(写真提供:1984 月原敏博、1999、2010 内藤望)

【ブータンヒマラヤにおける過去の氷河湖決壊事例】2011年度には、5月実施の現地調査により2か所の氷河湖決壊の痕跡が発見された。この経験を踏まえ、ブータンおよびブータンへ流れ込む河川流域内の氷河湖下流側を再検証したところ、これまでわかっていた3か所(Tarina 氷河湖, Luggye 氷河湖, Chogalung 氷河)の他に、合計4か所の氷河湖において恐らく小氷期以降(最近100～200年以内)に氷河湖決壊があったことを明らかにした。

【GLOFの流下域の地形・植生変化の検討】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できた。1994年の決壊洪水で荒廃したポチュー本流と同様に、1950、60年代に決壊洪水が発生したポチュー西側支流のタリナチューでも洪水により形成された地形と堆積

物が明瞭に残されていることが確認された。また、樹木年輪の観察から、タリナチューでは荒廃した河畔に植生(特に樹木)が復帰するまでに 20 年程度を要したことがわかった。この谷において更に詳細な調査を実施することで、決壊洪水発生時の再現解析や洪水後の復旧計画に必要な情報が得られると考えられる(活動 1-3、4-2、4-3)。

(2)研究成果の今後期待される効果

氷河湖の決壊危険度評価については、衛星データによる危険な氷河湖の客観的抽出と、それによって絞り込まれた氷河湖での湖水深測定も含めた現地調査が有効であることが本研究により示された。今後少なくともブータン国内においては同様の調査が展開されることが期待されるが、既に DGM の氷河部門が主体となって、本研究による調査項目に則った形でのプナカの北西上流のモチュー流域での調査計画(2012 年度実施)が進められている。また、ネパール、インド、およびパキスタンにおいて、決壊洪水の危険性のある氷河湖の評価は、本研究によって見直しが必要とされた ICIMOD の 2001 年と 2010 年の報告書の結果が根拠となっており、ブータンの場合と同様にそこで示された氷河湖の数は流域周辺や国際的に温暖化問題を議論する上での重要な数字となっている。これらの国々においても、本研究による評価手法に則った再評価の実施が早急に必要になると考えられる。これには本プロジェクトからの適切なアプローチが重要と考えられる。

また、氷河湖の出現・拡大の条件については Sakai and Fujita(2010)によって新たな知見が得られたが、これを取り掛かりとして他の地域でも今後の氷河湖の出現・拡大について検討が進むことが予想される。特にブータンヒマラヤについては、相手国側カウンターパートも含めて過去四十数年分の衛星写真・データを扱える体制が本プロジェクトによって整ったことから、大型の岩屑被覆タイプの氷河上湖の発達などについて更に詳しい検討が進むことが期待される。

一方、温暖化による氷河域での環境変化を国の主な懸案課題としているブータン政府にとっては、本プロジェクトによって得られた過去数十～数年の氷河変動の具体的なデータは重要な情報として今後扱われると考えられる。特に、氷河変動と河川流量変化の関係はヒマラヤ全体でも地域差が大きい、ブータンでのそれに関する知見はこれまでに得られていない。また、国の外貨収入の 43%、GDP の 22%を水力発電による売電に依存し(2009 年現在、今後更に上昇)、かつ急激な都市化が進むブータンとしては、水資源の維持管理は国の根幹に関わる問題である。河川流量に対する氷河の寄与が大きいのか小さいのかといった基本的な問題に対しても、本研究によって得られた氷河・氷河湖変動の知見と氷河域で行っている数少ない気象観測は貴重な情報をあたえ、同時に今後の研究のきっかけにつながると考えられる。今後は対象とする氷河や気象観測点を増やす等の関係部署(地質鉱山局、エネルギー局、水文気象局等)による更なる努力と、日本をはじめとした外部からの支援が急務と考えられる。またこういった氷河変動の具体的な情報は、ヒマラヤ全体でも決して豊富とは言えない状況である。その中で衛星画像解析の一連の手法が確立され、さらに Fujita and Naimura (2011)や、2010 年秋、2011 年秋の調査で得られた成果(Naito et al., 2012 など)が明らかにされることは、近年の温暖化による氷河縮小の実態把握と地域差を明らかにするうえで重要であり、同様の研究を進めている他の国際的な評価組織や研究機関(例えば IPCC、GLIMS、ICIMOD 等)へ与える影響は大きいと考えられる。

4. 2 「衛星」グループ((独)宇宙航空研究開発機構)

(1)研究実施内容及び成果

【実施方法】「衛星班」グループでは、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。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、1960-80 年代の CORONA/Hexagon、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)

【概要】

2009 年度から継続的に ALOS PRISM/AVNIR-2 の良好なデータを元に、標高データ(DSM)算出とオルソ補正処理を施し、ベースマップとなるパンシャープン画像を作成した上で氷河湖の抽出をおこなってきた。残念ながら ALOS は 2011 年 5 月に運用を終了したが、これまでのアーカイブデータを用いて、ブータン国全域のおよそ 95% のパンシャープン画像と 5% の AVNIR-2 画像を用いた雲抜きモザイクを整備し、またおよそ 90% の PRISM による 10m 解像度の数値地表面モデル(DSM)のモザイクを完了した。ブータン国全域に渡る 10m 解像度の DSM は世界初の成果である(既存は 2000 年米国スペースシャトルを用いて実施された SRTM ミッションによる SRTM-3(90m 解像度、ただしデータ欠損部も多く含まれる)、また 2011 年 10 月米国 TERRA 衛星搭載 ASTER による Global Digital Elevation Version 2 (GDEM-2, 30m 解像度)が公開された)。(活動 1-1、2-1、3-1、3-2) これら本研究の成果による ALOS データセットを用いて流域毎に氷河湖の抽出を進め、氷河湖インベントリを整備した。国連や関係機関からの要望もあり、2011 年 2 月 25 日にはマンデチュー流域における氷河湖インベントリを評価版として一般公開し、日本・ブータン国において同時プレスリリースを行った (http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/bhutan_gli/index_j.htm)。ブータン全域を網羅した ALOS による氷河湖インベントリは予定通り、2012 年 3 月 30 日にリリースした。ここでは 733 の氷河湖を抽出しており、総面積は約 82.5 平方キロメートル、これは東京の JR 山手線内側面積の約 1.3 倍の大きさに相当する。また氷河湖拡大履歴解析のために、Hexagon(1980 年代)、SPOT(1990 年代)、JERS-1/OPS(1990 年代後半)、Landsat(2000 年代)のオルソ補正処理を終了し、氷河湖の抽出を進めた。(成果 1、2、活動 1-3、2-1、2-2、3-1)

技術移転に関連して、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(屋外における GPS 基準点測量の実習を含む)、2011 年 3 月衛星画像解析研修を実施した。本研修の終了後すぐにカウンターパートメンバーからデータ提供依頼があり、研修の効果が着実に根付いているものと考えられる。2011 年 5 月にはフォローアップ研修として、カウンターパートにおいて同年 3 月の研修時に課題とした衛星画像からの氷河湖抽出作業の状況の確認を行い、問題点に対する技術指導を行うとともに今後の作業方針について議論した。この研修で、研修生に確実に技術が身につけていることが確認され、実際に氷河湖インベントリ作業に対して一流域を担当することができるまでに至った。これら研修において衛星データ解析の重要性を理解した上で、2010 年 9 月のニカチュウ上流域調査および 2011 年 5 月のパロチュウ上流域調査において GPS 基準点測量と地表面反射率計測の OJT を実施した。合わせて、パロチュウ流域調査では衛星画像による氷河湖抽出結果の評価のために三ヶ所の氷河湖において GPS による湖岸形状計測を実施した。また、2011 年 1、2 月には 2 名のカウンターパート若手研究者が ICHARM における GIS と洪水解析の研修(JICA 長期研修)に派遣したが、当初計画されていた衛星班本邦研修が実施できなかった点は残念である。

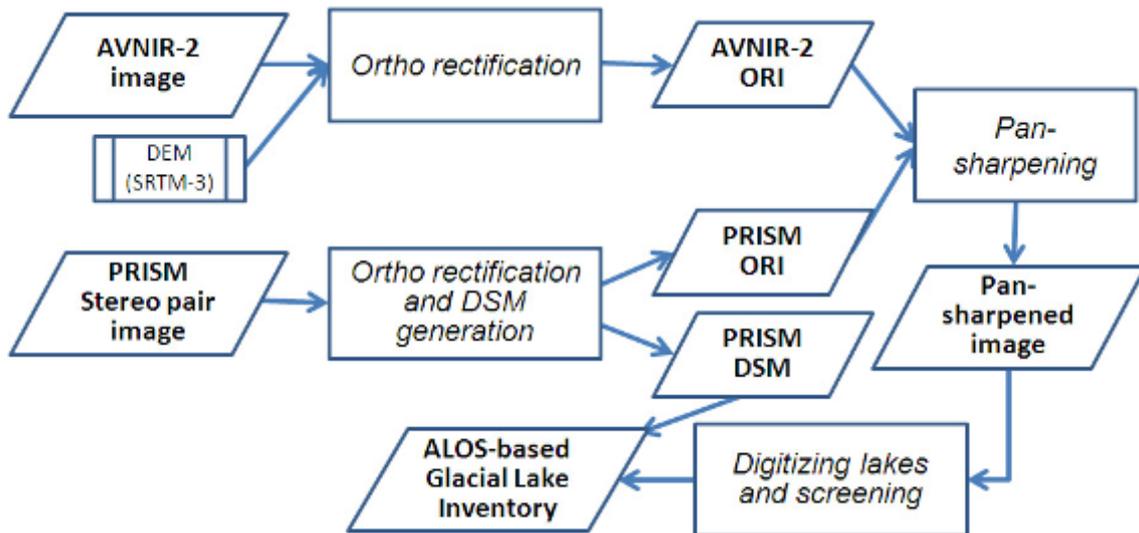


図 4-2-1 ALOS PRISM/AVNIR-2 による氷河湖インベントリ作成フロー(ORI: オルソ補正画像)。

【研究成果】

【衛星データの整備】「プロセス班」グループで進められた ASTER による解析と並行して、より高精度な地形情報および画像データをそろえるために「だいち」(ALOS)PRISM、AVNIR-2 のオルソ補正画像の作成を進めるとともに、2.5m 解像度のカラー疑似画像であるパンシャープン処理を施した。さらに、氷河湖の現況把握のために ALOS パンシャープン画像を用いて氷河湖抽出およびインベントリの作成を進めた。同時に PRISM による高精度かつ詳細な標高データの整備を進めた。これらの解析手順を確立するための手法の検討、精度検証と作業マニュアルの作成を実施した。(PDM 活動 1-1, 2-1, 3-1, 3-2) 図 4-2-1 は PRISM/AVNIR-2 による ALOS ベースの氷河湖インベントリ作成に関する作業フローを表したものである。

図 4-2-2、4-2-3 はそれぞれブータン国内におけるモザイク画像(約 95%はパンシャープン 2.5m 解像度、被雲のため良好な PRISM が撮れていない約 5%は AVNIR-2 による)、PRISM/DSM モザイク画像(10m 解像度)を示したものである。それぞれ図中赤線は流域界を示しており、後述の氷河湖インベントリは流域毎に整備している。整備した氷河湖インベントリの位置は図 4-2-2 中、各カラーのドットで示している。このため、氷河湖インベントリは中国およびインドの一部を含む。図 4-2-4 は PRISM/DSM モザイク(10m 解像度)、ASTER GDEM-2(30m 解像度)、SRTM-3(90m 解像度)による同一箇所を比較したものであるが、明らかに PRISM/DSM が高精細であることが分かる。また、SRTM-3 には Void 領域を内挿補間した部分が含まれるが、図 4-2-4 右図中黄色で示した箇所のように、明らかな内挿ミスが含まれている点に注意が必要である。図 4-2-5 は PRISM/DSM から SRTM-3 の高さを引いた差画像を表したものである。SRTM-3 の Void 領域(緑色)と PRISM/DSM 雲マスク領域(黒色)を除けば、全般的に同程度の標高分布(図中白色)となっていることが分かるが、一部北部の氷河域については大きな差(赤もしくは青色塗りつぶし)があることが分かる。この一部は PRISM/DSM の誤差と考えられるが、一部は前述の SRTM-3 補間ミスによるものである。

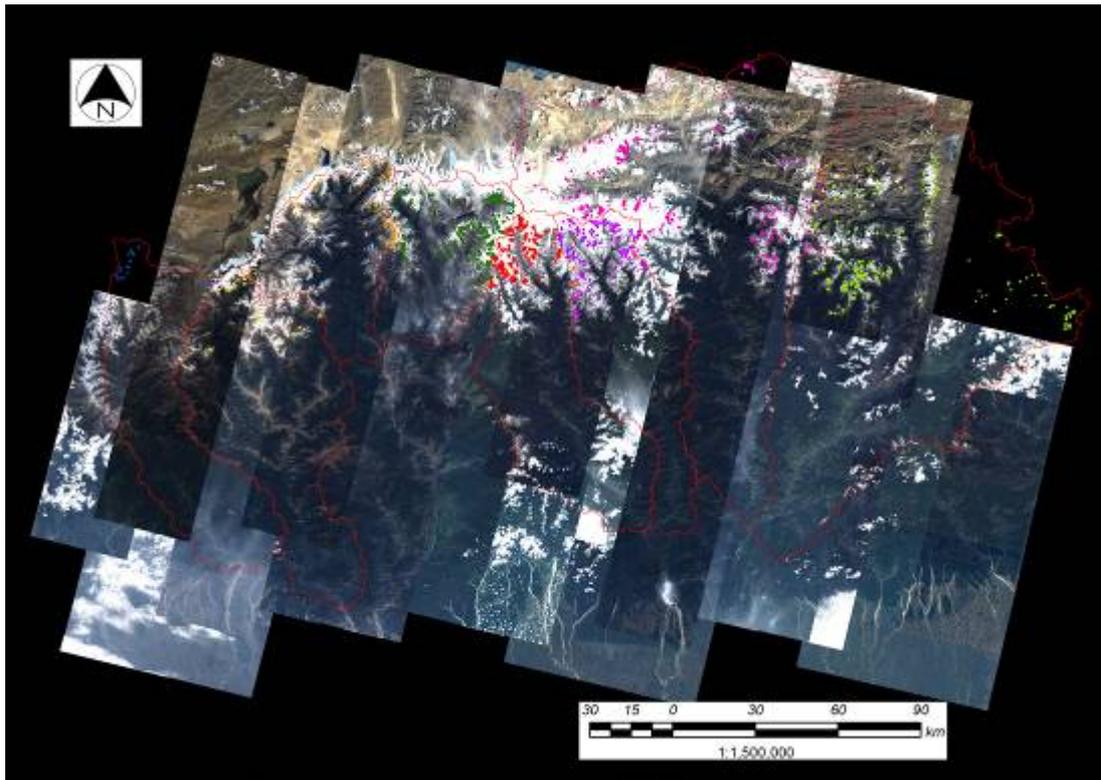


図 4-2-2 ALOS PRISM/AVNIR-2 オルソ補正パンシャープン画像によるブータン全域モザイク画像(赤線は流域界, カラーのプロットは流域毎に抽出した氷河湖を表す. 一部 AVNIR-2 による)。

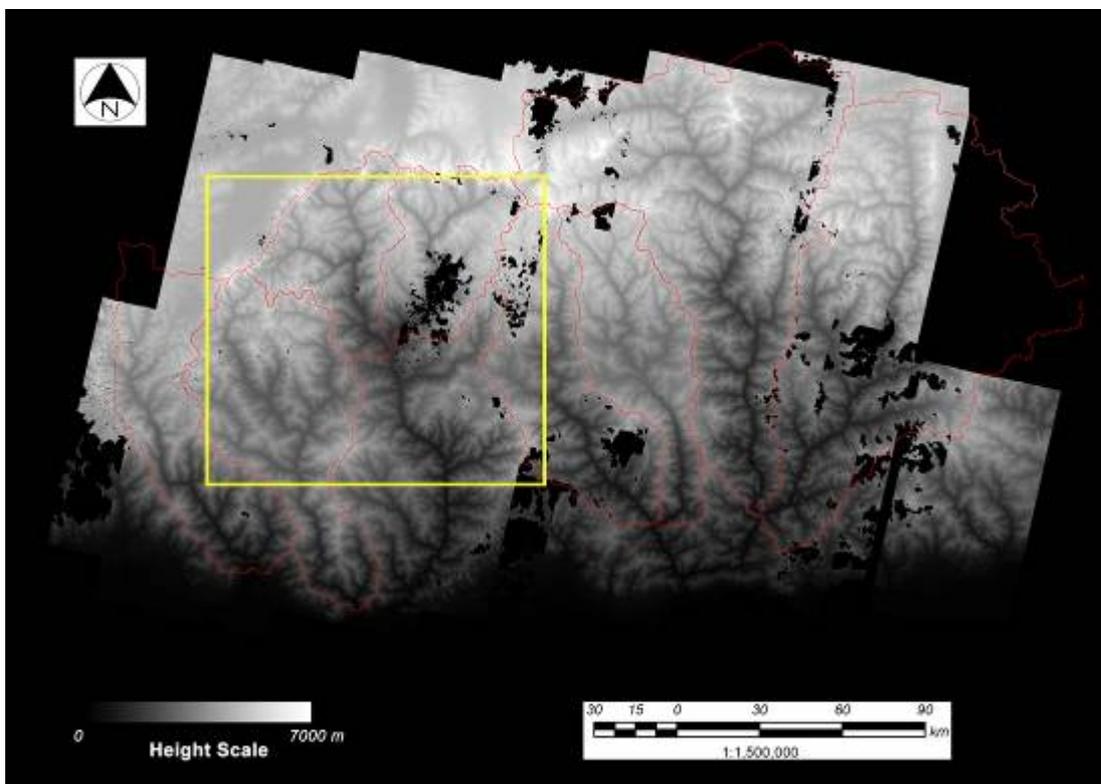


図 4-2-3 ALOS PRISM/DSM のブータン全域モザイク画像(白黒濃淡は標高(楕円体高), 赤線は流域界, 黒は雲によるマスク部, 黄色四角は図 4-2-5 の位置を示す)。



図 4-2-4 各数値標高データの比較(左:ALOS PRISM/DSM(10m 解像度), 中:ASTER GDEM-2 (30m 解像度), 右:SRTM-3 (90m 解像度)による)。

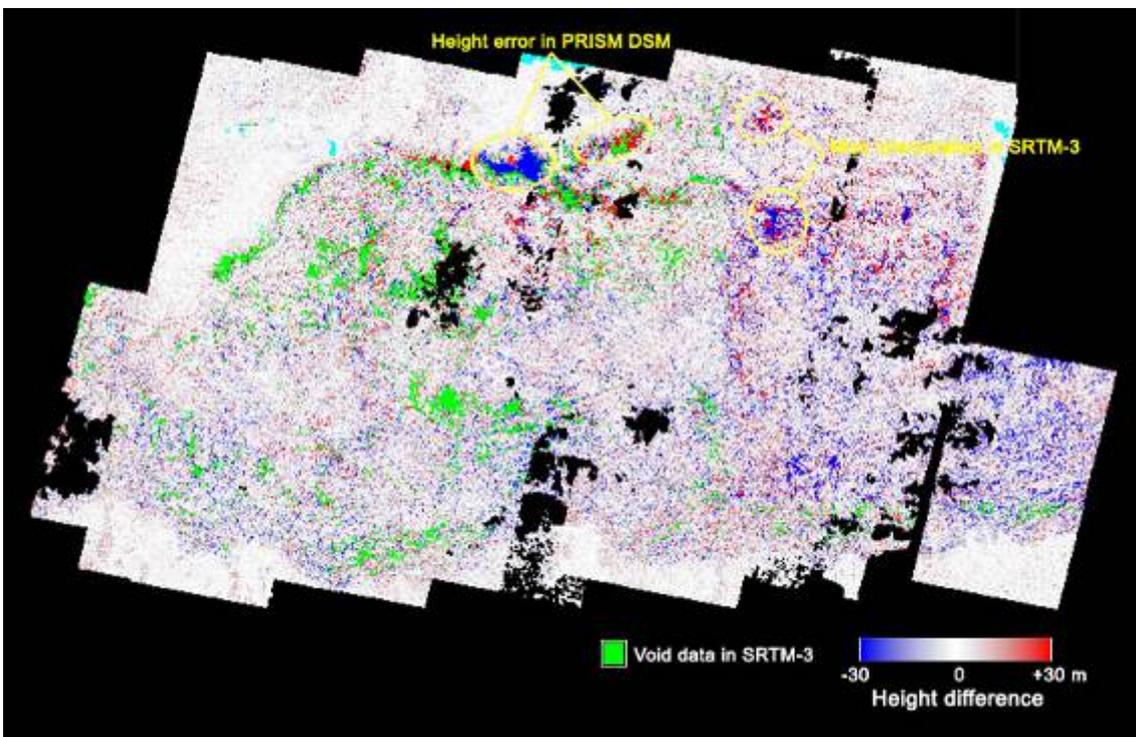


図 4-2-5 ALOS PRISM/DSM と SRTM-3/DEM の差画像(緑は SRTM-3 Void 領域, 黒は PRISM/DSM の雲マスク領域を表す)。

整備した PRISM/DSM モザイクの定量的な高さの評価として、2010、2011 両年に現地調査で実施した GPS 計測結果を用いた精度検証を実施した。図 4-2-6 は図 4-2-3 中黄色四角の箇所における PRISM DSM モザイク拡大画像に、2010 年ニカチュー上流域調査(プロセス班による)および中流域調査時に計測した GPS 基準点測量の位置を赤プロット、2010 年中流域調査時の GPS 連続計測位置を黄色プロット、2011 年パロチュー流域調査時の基準点位置を青プロットで示したものである。図 4-2-7 は現地 GPS 測量と PRISM/DSM モザイクの高さを比較した結果であるが、概ね 1 対 1 に分布していることが確認できた。表 4-2-1 は精度検証結果をまとめたものであり、上段は GCP 測量、下段は図 4-2-5 に示された SRTM-3 による結果である。GCP 測量では 3,268 点をチェックポイントとして使用し 2.3m(バイアス)、8.1m(RMSE)の精度、SRTM-3 では 7 億点超の評価点を使用し -0.4m (バイアス)、20.7m(RMSE)の高さ精度を有していることを確認し、基本的に本プロジェクトで整備した PRISM/DSM モザイクは高い精度を有していることが分かった。計測原理上、高さ精度がよいということは水平精度も高いことを示している。

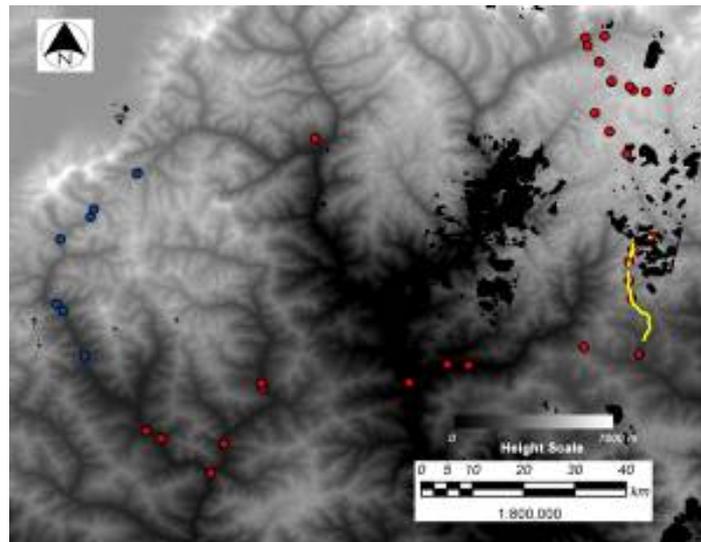


図 4-2-6 現地調査による GPS 測定の位置(赤:2010 年ニカチュ-上中流域調査時に取得した基準点, 黄:2010 年中流域調査時に取得した GPS 連続計測, 青:2011 年パロチュー上流域調査時の基準点)。

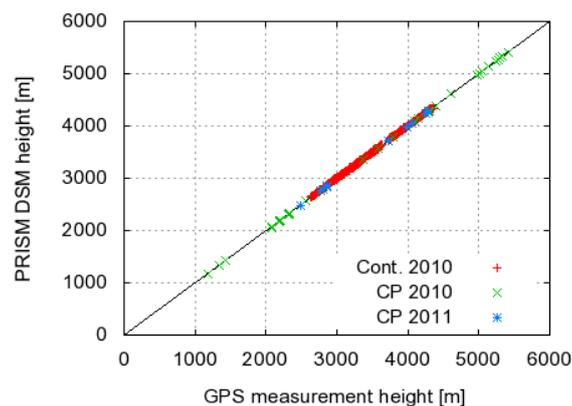


図 4-2-7 現地 GPS 測量と PRISM/DSM モザイクにおける高さの比較(緑:2010 年ニカチュ-上中流域調査時に取得した基準点, 赤:2010 年中流域調査時に取得した GPS 連続計測, 青:2011 年パロチュー上流域調査時の基準点)。

表 4-2-1 ブータンにおける PRISM/DSM モザイクの現地 GPS 測量(上段)と SRTM-3(下段)による高さ精度の検証結果。

Reference data	Total number	Bias error (m)	Standard deviation (m)	RMSE (m)
Ground-based GPS	3,268	2.28	7.79	8.12
SRTM-3	738,107,875	-0.44	20.71	20.72

【氷河湖抽出】 ベースマップとして使用する ALOS パンシャープン画像および DSM モザイクは、本プロジェクトで使用するのに足りる精度を有していることが確認できた。したがって、ALOS ベースの氷河湖インベントリは、本データセットから水面を抽出し、ある定義に基づき氷河湖をスクリーニングし河川流域毎に整備した。図 4-2-8 は整備した氷河湖インベントリの一例で、マンデチュー流域で抽出した 93 の氷河湖を示している。氷河湖インベントリは、流域名称に関連付けられた個別の ID、位置(緯度経度)、高さ(標高に相当)、湖の大きさ・幅・長さ・向き、湖のタイプ、既存の

ICIMOD 氷河湖インベントリ(2000)に記録がある湖についてはこの ID などの情報が格納された text ファイルと、位置・形を示したシェープファイルで構成されている。整備したブータンヒマラヤ全域において 733 氷河湖を抽出している(図 4-2-2 中カラーのプロット)。

ID	PATH	DATE	IMAGE_TYPE	LAKE_ID	AREA	LONGITUDE	LATITUDE	LAKE_TYPE	ICIMOD_ID	RIV_SUB-BE	LENGTH	WIDTH	MAP_ID	ELEVATION	MODIFY-DATE
1	156	071226	AVNIR-2	gl_ma_901619E274951N	0.0370	90deg 15 18 855 E	27deg 49 51 462 N	moraine dammed lake	no data	Mangde Chu	179	254	ma_a_1	5001.0	20110225
2	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_901623E274936N	0.0150	90deg 15 23 279 E	27deg 49 35 294 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_87	Mangde Chu	342	101	ma_a_2	4947.2	20110225
3	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_901619E274848N	0.1131	90deg 15 16 460 E	27deg 48 47 660 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_88	Mangde Chu	527	343	ma_a_3	4817.5	20110225
4	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_901619E274508N	0.2148	90deg 15 19 090 E	27deg 49 7 582 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_89	Mangde Chu	771	501	ma_a_4	4986.0	20110225
5	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_901638E275051N	0.0124	90deg 15 37 787 E	27deg 50 50 853 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_90	Mangde Chu	183	114	ma_a_5	4914.8	20110225
6	156	071226	AVNIR-2	gl_ma_901603E275431N	0.0874	90deg 15 8 152 E	27deg 54 31 010 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_91	Mangde Chu	469	266	ma_a_6	5182.5	20110225
7	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_901691E276448N	0.0698	90deg 16 30 566 E	27deg 54 48 484 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_100	Mangde Chu	293	304	ma_a_7	5185.1	20110225
8	156	071226	AVNIR-2	gl_ma_901638E276424N	0.2254	90deg 16 32 471 E	27deg 54 24 151 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_99	Mangde Chu	847	502	ma_a_8	5160.0	20110225
9	156	071226	AVNIR-2	gl_ma_901617E275407N	0.0119	90deg 15 16 781 E	27deg 54 6 877 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_101	Mangde Chu	89	161	ma_a_9	5155.3	20110225
10	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_901639E275259N	0.0286	90deg 15 35 989 E	27deg 52 56 477 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_103	Mangde Chu	238	142	ma_a_10	5044.4	20110225
11	156	071226	AVNIR-2	gl_ma_901724E275527N	1.1149	90deg 17 23 503 E	27deg 55 27 276 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_106	Mangde Chu	1842	846	ma_a_11	5059.0	20110225
12	156	071226	AVNIR-2	gl_ma_901765E276501N	0.1478	90deg 17 63 048 E	27deg 57 0 964 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_108	Mangde Chu	603	379	ma_a_12	5117.4	20110225
13	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_901734E276500N	0.0874	90deg 17 34 279 E	27deg 57 0 432 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_107	Mangde Chu	296	517	ma_a_13	5113.5	20110225
14	156	071226	AVNIR-2	gl_ma_901651E275237N	0.1483	90deg 16 50 620 E	27deg 52 36 801 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_104	Mangde Chu	509	447	ma_a_14	5037.1	20110225
15	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_901648E275221N	0.0201	90deg 16 45 903 E	27deg 52 20 813 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_109	Mangde Chu	216	115	ma_a_15	5041.9	20110225
16	156	071226	AVNIR-2	gl_ma_901748E275243N	0.0328	90deg 17 46 662 E	27deg 52 42 660 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_112	Mangde Chu	175	276	ma_a_16	5214.2	20110225
17	156	071226	AVNIR-2	gl_ma_901691E275216N	0.3151	90deg 16 9 9 E	27deg 52 16 02 N	moraine dammed lake	no data	Mangde Chu	1934	352	ma_a_17	5032.0	20110225
18	156	071226	AVNIR-2	gl_ma_901730E276230N	0.0718	90deg 17 30 237 E	27deg 52 29 727 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_111	Mangde Chu	203	431	ma_a_18	5162.8	20110225
19	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_901742E275142N	0.2002	90deg 17 42 407 E	27deg 51 42 300 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_114	Mangde Chu	890	361	ma_a_19	4980.0	20110225
20	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_901639E275048N	0.1887	90deg 16 36 949 E	27deg 50 46 911 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_115	Mangde Chu	672	367	ma_a_20	4902.0	20110225
21	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_901638E275134N	0.0916	90deg 16 36 524 E	27deg 51 33 829 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_116	Mangde Chu	560	229	ma_a_21	4957.7	20110225
22	156	071226	AVNIR-2	gl_ma_901608E275131N	0.0571	90deg 16 3 864 E	27deg 51 30 868 N	moraine dammed lake	no data	Mangde Chu	266	246	ma_a_22	5066.4	20110225
23	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_901648E275101N	0.0181	90deg 16 44 796 E	27deg 51 0 810 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_118	Mangde Chu	170	93	ma_a_23	5051.5	20110225
24	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_901648E275018N	0.0191	90deg 16 48 001 E	27deg 50 16 068 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_134	Mangde Chu	194	102	ma_a_24	4983.8	20110225
25	156	071226	AVNIR-2	gl_ma_901697E275067N	0.1089	90deg 16 56 839 E	27deg 50 56 509 N	moraine dammed lake	no data	Mangde Chu	638	213	ma_a_25	5051.7	20110225
26	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_901662E275039N	0.0114	90deg 16 52 078 E	27deg 50 38 556 N	moraine dammed lake	no data	Mangde Chu	183	82	ma_a_26	5014.6	20110225
27	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_902011E276038N	0.0141	90deg 20 10 630 E	27deg 50 7 898 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_136	Mangde Chu	176	108	ma_a_27	4976.6	20110225
28	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_902028E276038N	0.0172	90deg 20 28 122 E	27deg 50 37 910 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_144	Mangde Chu	182	133	ma_a_28	5001.8	20110225
29	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_902038E276030N	0.0809	90deg 20 38 391 E	27deg 50 30 237 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_143	Mangde Chu	449	189	ma_a_29	4997.0	20110225
30	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_902314E275005N	0.0804	90deg 23 13 899 E	27deg 50 5 120 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_219	Mangde Chu	387	207	ma_b_1	4861.4	20110225
31	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_902249E275006N	0.0181	90deg 22 49 472 E	27deg 50 5 428 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_222	Mangde Chu	167	153	ma_b_2	4862.1	20110225
32	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_902239E275018N	0.0361	90deg 22 37 636 E	27deg 50 17 697 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_224	Mangde Chu	393	137	ma_b_3	4836.0	20110225
33	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_902031E275145N	0.0275	90deg 20 30 524 E	27deg 51 46 247 N	moraine dammed lake	no data	Mangde Chu	201	156	ma_b_4	5036.5	20110225
34	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_902053E275210N	0.0425	90deg 20 63 329 E	27deg 52 9 668 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_234	Mangde Chu	441	114	ma_b_5	5076.3	20110225
35	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_902032E275214N	0.0846	90deg 20 32 405 E	27deg 52 13 741 N	moraine dammed lake	no data	Mangde Chu	484	214	ma_b_6	5076.9	20110225
36	156	071226	AVNIR-2	gl_ma_901921E275334N	0.0653	90deg 19 20 768 E	27deg 53 38 940 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_242	Mangde Chu	332	261	ma_b_7	5104.7	20110225
37	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_902001E276418N	0.0113	90deg 20 1 081 E	27deg 54 17 648 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_245	Mangde Chu	89	176	ma_b_8	5206.9	20110225
38	156	100516	pan-sharpen	gl_ma_901619E275511N	0.0132	90deg 16 18 880 E	27deg 55 11 373 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_248	Mangde Chu	143	114	ma_b_9	5153.1	20110225
39	156	071226	AVNIR-2	gl_ma_901908E275510N	0.0145	90deg 19 8 828 E	27deg 55 10 320 N	moraine dammed lake	Mangd_gl_262	Mangde Chu	243	100	ma_b_10	5157.1	20110225

図 4-2-8 整備している ALOS ベースの氷河湖インベントリの一例(マンデチュー流域の一部)。

整備された氷河湖インベントリの精度を確認するために、2010 年および 2011 年現地調査で取得した氷河湖岸周辺の GPS 計測結果との比較を行った。図 4-2-9 はマンデチュー上流に位置するメタツオタ氷河湖を対象に、本プロジェクトで整備した氷河湖インベントリによるメタツオタ湖を黄色、2010 年現地計測された湖岸を緑色、既存 ICIMOD によるインベントリを赤色で示したものである。本プロジェクトで整備している氷河湖インベントリと ICIMOD インベントリは整備年代が異なるが、現地調査と比較の結果、ALOS ベースの氷河湖インベントリは現地の様子を高精度で捉えていることが確認できた。同様に、図 4-2-10 はパロチュー上流の氷河湖二ヶ所における検証結果で、黄色が ALOS インベントリ、緑が 2011 年現地計測結果を示す。ここでは図 4-2-10 中、西(左)に位置するカルマ氷河湖は両者がよく一致していることが確認できるが、東に位置する星型の氷河湖はインベントリに対して現地計測値は小さく現れている。これは氷河湖の水深の季節変化にともなう影響と考えられる。

氷河湖拡大履歴解析については、上記と同様の手順で Hexagon(1970 年代)、SPOT(1990 年代)、Landsat(2000 年代)のオルソ補正処理画像を用いて氷河湖の抽出を進めた。この際、衛星画像の幾何精度が問題となるが、位置精度が確認された ALOS パンシャープン画像を基準として幾何補正を施している。図 4-2-11 は氷河湖拡大履歴解析の一例を示したものであり、クリチュー流域の氷河湖面積の変動を調べた結果である。

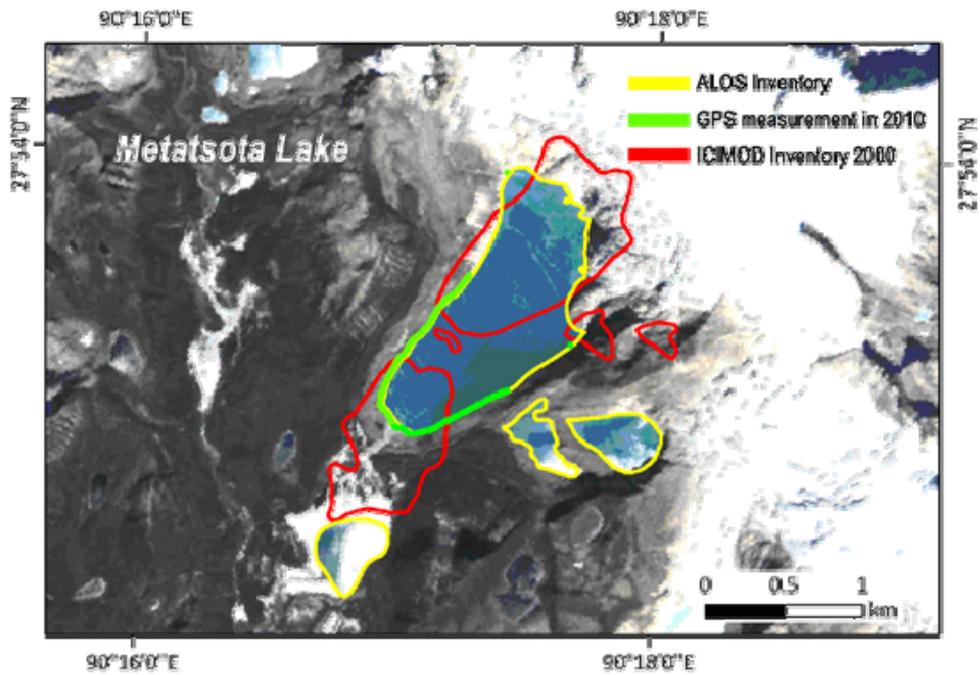


図 4-2-9 マンデチュー上流のメタツオタ氷河湖における氷河湖インベントリの精度検証。抽出した氷河湖(黄)、2010年実施の現地GPS計測(緑)とICIMOD氷河湖インベントリ(赤)の比較例(Ukita et al., 2011)。

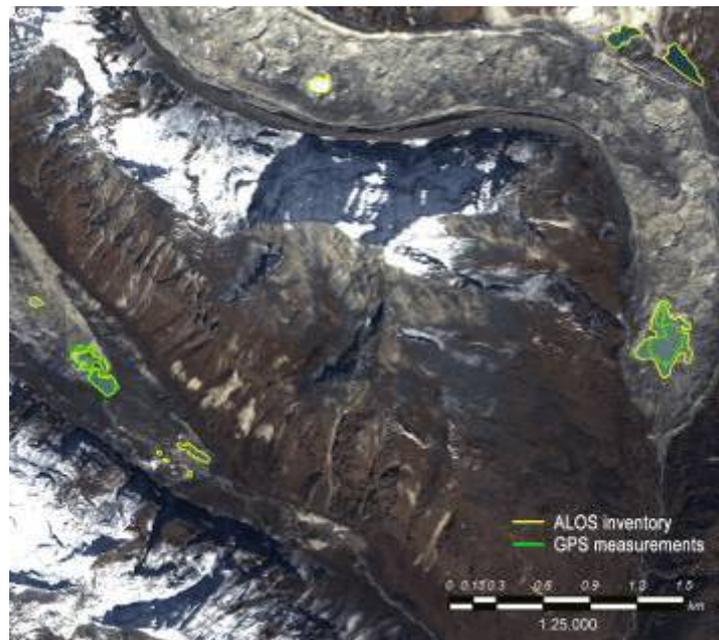


図 4-2-10 パロチュー上流の二ヶ所における氷河湖インベントリの精度検証。抽出した氷河湖(黄)と2011年実施の現地GPS計測(緑)の比較例(Tadono et al., 2012)。

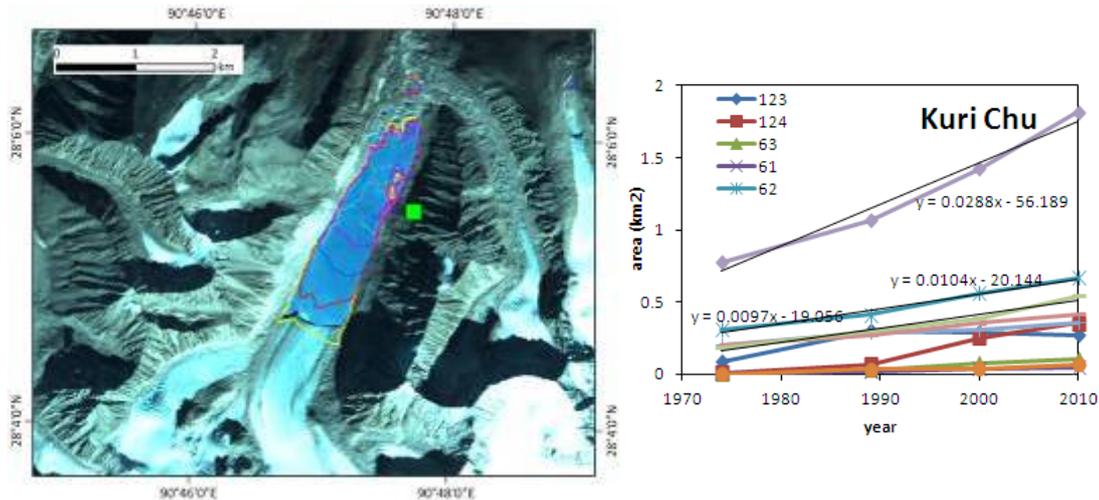


図 4-2-11 衛星画像にもとづく氷河湖拡大履歴解析結果の一例(クリチュー流域)。左は多時期の衛星データから抽出した氷河湖、右は各氷河湖面積の経年変化。

(2)研究成果の今後期待される効果

当初、衛星画像解析手順の統一化を図るための手法検討、精度検証に当初の想定以上に時間を要したが、手法や手順が確立できたことは本プロジェクトの成果の一つである。今後、ブータン・ヒマラヤ地方だけでなく衛星データを用いた氷河・氷河湖モニタリング実施の際、指針なることは確実である。この一例として JICA「地球規模課題に対応する科学技術協力」の一つである「科学技術研究員派遣」平成 23 年度事業に研究課題名「ALOS 高解像度衛星画像を用いたアルゼンチン・アンデス山岳地帯における氷河台帳作成」が本プロジェクトの衛星班を母体として採択され、今年度から二年間の計画で開始された。また、2011 年 7 月 26 日には SATREPS 別課題であるボリビア氷河・水資源管理のプロジェクト(GRANDE)との意見交換会を行った。どちらも ALOS 等衛星データを用いた氷河関連の課題であることから、引き続き情報交換を行う予定である。他にも国産衛星である ALOS、特に光学センサ PRISM、AVNIR-2 データを用いた科学技術分野や氷河・氷河湖に関する案件が進められることが期待される。

また本プロジェクトの成果の一つとして、ブータン国内については高い精度の均質な衛星画像モザイクおよび数値地形データが整備され、工学的・定量的に精度評価されたことは極めて意義が高い。これらの高精度・高解像度データはブータン国初のデジタル基盤情報であり、本プロジェクトで実施した衛星データ解析に関する一連の研修成果および設備などの技術移転と合わせて、GLOF 対策だけでなく様々な国策に利用することが可能である。この点は本プロジェクトの終了時評価や JST 領域別評価委員からもご指摘頂いた点であり、研究担当としても整備したデータが有効活用されることを期待している。数値地形データに関しては、本プロジェクトで被雲のため空間的に埋められなかった箇所は既存の数値標高データ(SRTM-3)を用いて補間しており、利用の際に活用し易い形に整備している。本プロジェクトで整備した氷河湖インベントリ最終版と合わせて、2012 年 2 月の本邦研修、同 3 月の最終現地フォローアップ研修にてデータ一式をカウンターパートへ引き渡し、ブータン国内での利用に関して議論した。合わせてブータン国政府関係機関に対しても紹介し、複数機関から問合せを受けている。衛星データはベースマップとした地図代わりやインフラストラクチャの一つとして活用される可能性が高く、外部から直接見え辛い面があることは事実である。今後、ブータンの国策の一部でも突き詰めれば本プロジェクトの成果が活用されているという枠組みが定着すれば、社会に対する波及効果は計り知れない。

もう一つの成果である氷河湖インベントリおよび過去の衛星データを用いた拡大履歴調査結果は科学的にも意義が高い。今後、地球温暖化が進むと言われる中で、2006-2011 年時の氷河湖の実態を高精度で調査し、公開したインベントリは将来の同様の研究において重要な基礎情報となることから、社会的なインパクトも大きいことが予想される。

4.3 「アセス」グループ((株)地球システム科学)

(1)研究実施内容及び成果

【実施方法】「アセス」グループでは、氷河湖決壊洪水の発生素因となるモレーン内部構造を現地踏査ならびに物理探査手法に基づき解明し、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おこなう(PDM活動4-1)。また、過去の氷河湖決壊履歴に基づき決壊再現解析を実施し(PDM活動4-2)、研究対象流域の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。これにより、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(PDM活動4-3)。さらに、対象流域の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(PDM活動4-4)。作成されたハザードマップをもとに危険村落の抽出・社会調査を実施し(PDM活動5-1)、洪水到達予測時間を勘案したうえで、適切な早期警戒システム計画を立案する(PDM活動5-2)。

【概要】

2009年度には、9-10月に行われた予備調査において、対象氷河湖モレーンの土質試験サンプルを採取し、決壊モデル・流出量解析の基礎資料とするため室内土質試験を行った。地質鉱山局には土質試験用の資機材を導入しOJTにより技術移転を併せて実施した(PDM活動4-1)。マンデチュー下流域クンガーラプテン村周辺の地すべり地形密集地域について、空中写真判読により地すべり地形の抽出を行い、3月には、マンデチューを一時的に堰き止めたジョグタン村の河道閉塞について現地調査を実施した。また、1994年にGLOFが発生したポチュー川においてGLOF痕跡調査ならびに被災状況の聞き取り調査を実施した(PDM活動4-4)。

2010年度には、マンデチュー流域のジーザム村、ラフェ村、ティンティビ村、ならびに他流域における社会調査を実施し、各流域の防災行政ならびに社会的脆弱性について調査した(PDM活動5-1)。9-10月に行われた高地調査では、対象氷河湖モレーンにおいて物理探査(比抵抗2次元探査、微動アレイ探査)を実施しモレーン内部の構造解析を実施した(PDM活動4-1)。1994年に決壊したルナナ地域ルゲ湖を対象として決壊洪水の再現解析を行うとともに、ハザードマップ作成についてカウンターパート側への技術支援を行った(PDM活動4-2,3)。3月の下流域現地調査では、マンデチュー流域の不安定斜面のデータベース化について、ブータン側と協力してこれを実施した(PDM活動4-4)。

2011年度には、マンデチュー流域の対象氷河湖について、ルゲ湖の決壊事例を参考にし、決壊解析ならびに流出解析を実施し、下流域の村落ジーザム村およびティンティビ村における浸水位の推定を行った(PDM活動4-3)。2012年1月現在、洪水解析結果をもとに、早期警戒のための施設配置や通信手段について検討中(PDM活動5-2)。

【研究成果】

【対象氷河湖予備調査2009年】(PDM活動4-1)GLOF発生の危険度が高いと考えられる氷河湖(以下、対象氷河湖)が存在する地域で、2009年度に予備的な調査(簡易測量、氷河湖測深、周辺踏査)を行った。対象氷河湖(図4-3-1)の調査結果のうち、特に氷河湖の堤体をなす部分について、モレーン内部構造解析に関わる現地の状況は以下の通り。

ザナムA湖:

ザナムB湖との間のモレーンの比高はザナムB湖湖面から60m、幅120m程度。堤体の下流側は傾斜45度前後と急だが植生が付き、岩塊は安定している。氷体の露出は無い。流出水は一部で伏流するが、常に水音が聞こえるので被圧はせずに表層から浅い流れと考えられる。

ザナムB湖:

堤体をなすモレーンの比高は下流側が40m程度、B湖湖面側の比高が10m程度と小さい。堤体をなすモレーンの内側の植生は極めて貧弱で、湖尻の左岸側上流には岩塊を載せた氷体

が露出し急崖をなしている。堤体より外側は植生が発達し、湖からの流出水は断続的に浅い伏流水となっている。

ザナムC湖:

エンドモレーンは比高が 200m以上と高く、一部で二重になっている。アウトレット近傍のモレーンのリッジ上および湖岸近くの平坦面では、岩塊の間に未熟な草本と有機質のシルト～砂が表層に見られ、それをマトリックスとする岩塊は比較的安定している。それ以外は不安定な岩塊が表層を覆っている。湖周囲に氷体の露出は無く堤体内部の氷の存在を示す証拠は認められなかった。湖尻からの流出水はすぐに岩塊の下に伏流するが、常に水音が聞こえるので被圧はせずに表層から浅い流れと考えられる。モレーンの外面脚部からは多数の染み出しが見られ、それらは谷底に湿地帯を作っている。上流の氷河とは直接接触していない。

ザナムD湖:

湖の堤体をなすエンドモレーンの比高は 50～80m程度で斜度は緩く幅が非常に広い。植生も発達している。周辺に氷体の露出は見られず、堤体内部の氷の存在を示す証拠は認められなかった。従って堤体の安定度は高いと考えられる。氷河湖南岸上には一連の懸垂氷河が発達しており、氷なだれを発生させる可能性がある。氷河湖北岸は上流の氷河と接触している。

ザナムF湖:

湖の堤体をなすエンドモレーンの起伏は緩く、全体に複数のリッジで構成されている。斜面も含め断続的に植生が見られ、表層の岩塊は概ね安定している。湖周囲の氷体、および湖尻からの流出水についてはザナムC湖と同じ。氷体の存在の可能性は低いと考えられる。

ザナムG湖:

氷河湖のエンドモレーンは3つ以上のステージに分かれており、比高は 300mあるが、全体としての傾斜は緩い。氷河湖北岸には大規模なサイドモレーンがあるが、湖との間に緩斜面があるため岩なだれが直接湖に到達する可能性は低い。周辺に氷体の露出は見られず、堤体内部の氷の存在を示す証拠は認められなかった。従って堤体の安定度は高いと考えられる。上流の氷河は湖に直接接触していない。堤体上に AWS を設置した。

メタツオタ湖:

湖の堤体をなすモレーンの起伏は緩く、湖面との比高は最大で 10m、下流の湖との比高は最大 30m。湖尻周辺に明瞭な伏流はない。堤体内側のモレーン上の植生は極めて貧弱である。モレーン周辺の岩塊は不安定だが大きな地形の変形や新鮮な急崖は無く、内部に氷体があるとは考えにくい。

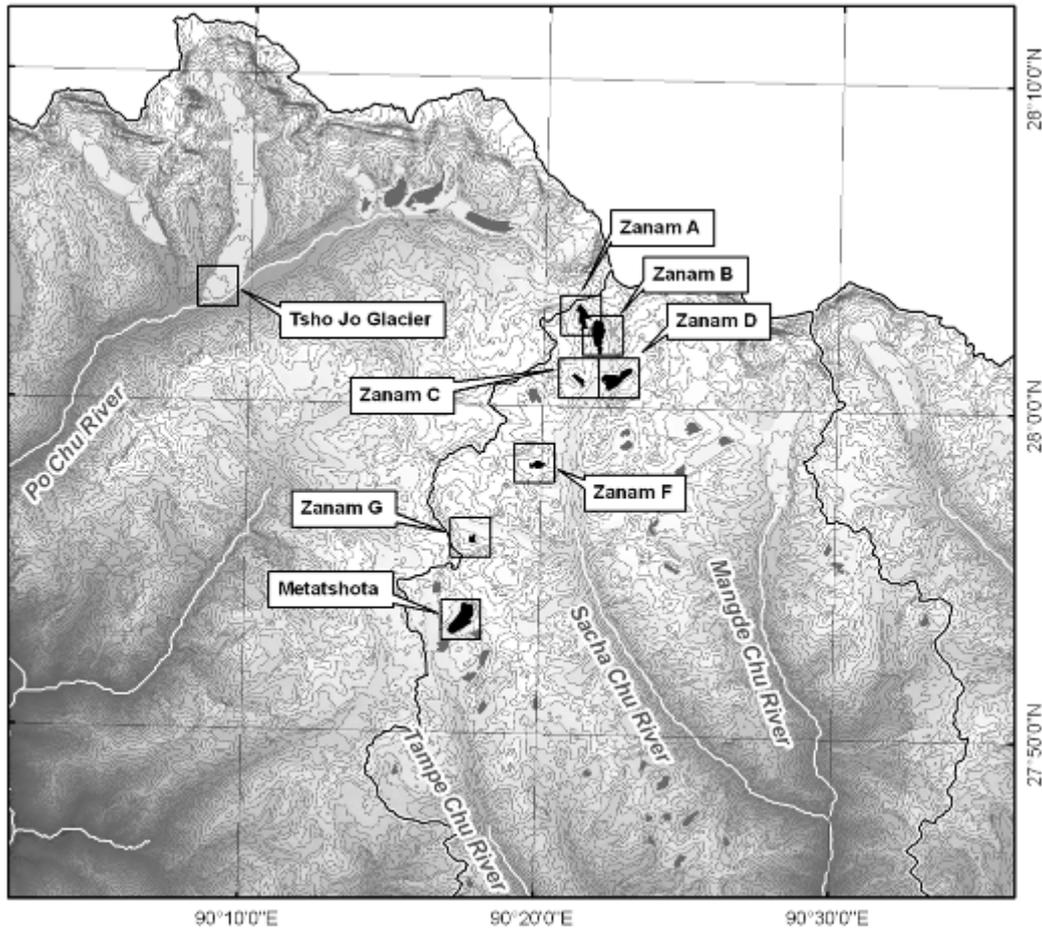


図 4-3-1 対象氷河湖位置図(2009年予備調査)

【モレーンダム土質試験】(PDM活動4-1)地盤工学的見地からみたモレーン決壊のリスク評価を目的として、2009年9月の現地調査において対象氷河湖モレーンダムの土質サンプルを採取し、室内試験を実施した。また本調査の技術協力の一環として、土質試験にかかる機材供与を行った。調達した機材は、せん断試験機1式、乾燥炉1個、簡易貫入試験機1式、その他、土質試験のための諸機材、消耗品等約40品目である。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。

土質サンプルを用いた土質試験の結果、図4-3-2に示すようにモレーン構成物質の比重および粒度分布は、ネパール・イムジャ湖で得られたデータと同等であり、ほぼ同一の土質パラメータを用いて、他の氷河モレーン決壊モデルを推定することの意義を確認した。

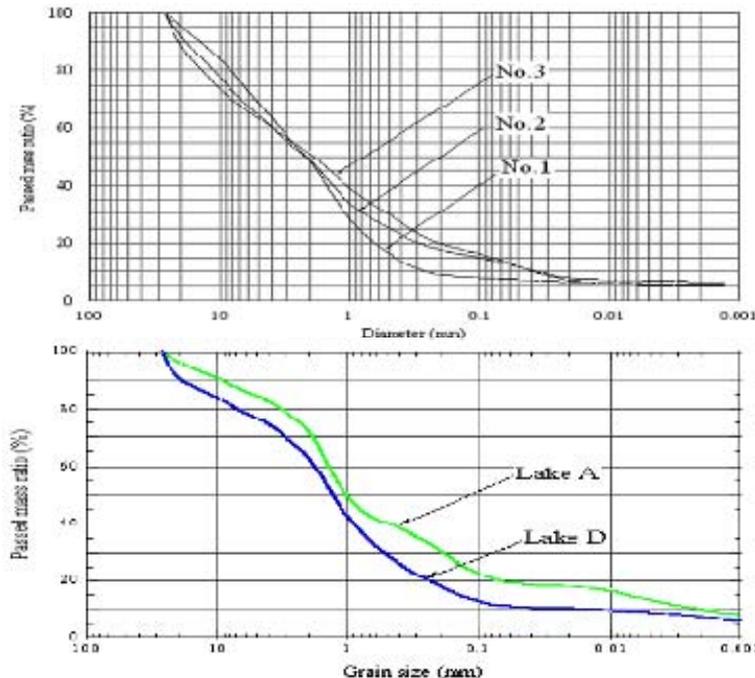


図 4-3-2 モレーンサンプルの粒度分布(上:ネパール・イムジャ湖、下:対象流域ザナム地区)

【物理探査手法による内部構造解析】(PDM 活動 4-1) 予備調査において、マンデチュー流域でモレーン形状から最も不安定と指摘されたザナム C 湖、ならびに流域内で最も湖面積の大きいメタツオタ湖において、湖水を堰き止めるモレーン内部の構造解析のため物理探査(比抵抗 2 次元探査および微動アレイ法地震探査)を実施した。さらに、氷体が目視で確認できる箇所では比抵抗値のキャリブレーションを行うことを目的として、2009 年に異常出水(小規模 GLOF)が確認されたポチュー上流部のツォジョ氷河においても同様の調査を実施した。概要を下記に、探査結果を図 4-3-3 に示す(Ohashi et al., 2012)。

ツォジョ氷河モレーン:

2009 年の異常出水により大きく後退した崩壊崖に氷体が露出している。アウトレットはその下から流出している。対象地域のモレーンにおいても氷体の分布の可能性があることから、氷体の持つ比抵抗値をキャリブレーションすることを目的として探査を実施した。探査の結果、アウトレット下に大規模な高比抵抗体(100k Ω ・m 以上)が分布することが確認された。氷河末端のデッドアイスに相当する。一方で、氷体が露出している部分では、20~50k Ω ・m 程度の比抵抗値を示す。この部分は、デブリと氷体が混在しているものと推定された。

ザナム C 湖モレーンダム:

河床からの比高差 200m のモレーン斜面のうち、少なくとも深度 80m までの間に、モレーンダムの強度に影響を持つような塊状氷体は認められない。一方、深度 30m 付近より深部では、急傾斜の比抵抗値分布を示すことが分かった。この傾斜方向は周辺地山の地質構造とも調和していることから、基盤岩と推定された。湖盆測量結果では、ザナム C 湖の最大水深は 25m ほどであることから(図 4-1-3)、モレーン決壊を想定した場合、本基盤岩が決壊深を阻害する可能性はない。

メタツオタ湖モレーンダム:

湖盆測量結果によれば、メタツオタ湖の最大水深は 100m を超えるが、50m までの探査深度のうち、氷体を示すような高比抵抗体や、基盤岩に見られる急傾斜の比抵抗分布は認められず、概ね水平方向の比抵抗分布を示すことが分かった。前縁に広がる平坦面からのモレーンダムの比高差は 25m ほどであるため、ザナム C 湖と同様に、基盤岩が決壊深を阻害する要素はない。

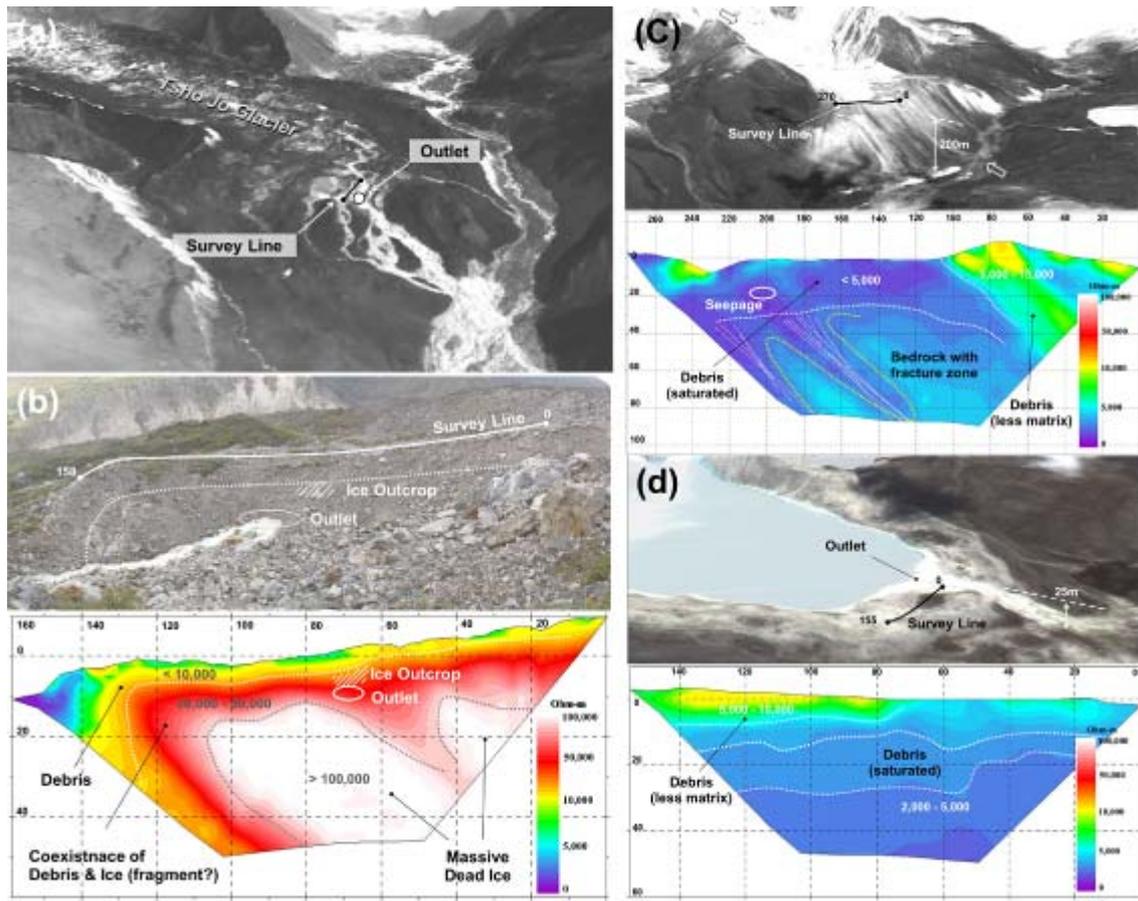


図 4-3-3 対象氷河湖における測線および物理探査結果(Ohashi et al., 2012)
 (a)ツォジョ氷河鳥瞰図、(b)ツォジョ氷河、(c)ザナム C 湖、(d)メタツオタ湖

また、本研究事業では、モレーン内部構造解析のための物理探査機(McOHM Profiler4)一式を専門家携行機材として供与した。本物理探査機の使用手法や解析手法について、氷河湖モレーンにおける現地調査で技術指導を行うとともに、基礎地盤調査や地すべり調査への展開を含めて、約 1 ヶ月間の OJT を実施した(図 4-3-4)。さらに、地質鉱山局からの要請により、ティンブー南方のゲドゥ発電施設近傍の地すべりに関して、約 1 ヶ月間の OJT を追加実施し、これをもって物理探査に関する技術移転は完了した。



図 4-3-4 物理探査技術移転

【過去の氷河湖決壊再現解析】(PDM 活動 4-2) 本研究事業で対象としているマンデチュー流域には、記録に残る GLOF がないため、ヒマラヤ地域で近年もっとも大きな被害を出した 1994 年のルゲ湖決壊洪水に関して、資料を取りまとめ、決壊現象の再現解析を行った。

決壊再現解析にあたっては、BREACH モデルを使用した。BREACH モデルはアースダムの決壊解析プログラムであり、ダム堤体を越流するアウトレット・チャンネルに対し、その下刻速度を流砂式により、横方向への拡大速度を斜面安定式より算出する。すなわち、チャンネルを流下する流量が十分に小さい場合には、チャンネルの下刻および横方向への拡大速度は小さく、湖水位もそれに準じて低下するために、決壊現象は発生しない。しかしながら、チャンネルを流下する流量が大きいと、下刻・拡大速度が大きくなり、それがチャンネル内への流入量の増加に寄与し、さらに拡大速度が加速していく。その結果、決壊現象に達する。したがって、BREACH モデルには、流砂式・斜面安定式のための必要な土質定数や、モレーンダムの形状等のパラメータを入力するとともに、上流からの投入流量を設定する。

1994 のルゲ湖決壊洪水では、100 km 下流の観測所において、総洪水量 $18 \times 10^6 \text{ m}^3$ が記録されている。さらに先行研究では、決壊時のピーク流量は $1800 \sim 2500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 、また、決壊が発生した同じ時期のアウトレットからの基底流量は $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ と報告されている。ルゲ湖決壊の直接的なトリガー(湖への氷落・斜面崩落等)は不明であるが、本研究では、この $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ が投入流量として与えられている状況下において、ルゲ湖は決壊する臨界状態にあったと仮定して、総洪水量およびピーク流量を発生し得るようなモレーンダムの土質定数を設定した。

繰り返し計算の結果、表 4-3-1 に与えるような定数を設定した場合に、観測された洪水量・流量を適切に再現することが出来た。本研究では、対象流域の氷河湖モレーンで得られた土質粒度分布と、上記より求められたモレーン土質定数が大きく異なっていないことに基づき、これを一般値として対象流域の氷河湖モレーンに当てはめて、決壊モデルを設定することとした。

表 4-3-1 ルゲ湖決壊の再現解析により求めた土質定数一覧(Koike & Takenaka, 2012)

VARIABLES	VALUES	REFERENCE
Slope of Upstream Face	1 / 1.5	Neighboring Moraine
Slope of Downstream Face	1 / 1.5	ditto
Dam Crest Width	28 m	ditto
Mean Sediment Size (D_{50})	2.29 mm	Umemura & Dangol 2007
Porosity of Material	36.5 %	ditto
Unit Weight	20 kN/m^3	ditto
Manning's N	0.07	
Angle of Internal Friction	38.14°	Umemura & Dangol 2007
Cohesive Strength	0.0 kN/m^2	ditto
Ratio of D_{90} to D_{30}	0.14	ditto

【洪水解析・ハザードマップ】(PDM 活動 4-3) 衛星班より提供された ALOS-PRISM の数値標高モデル、ならびに湖盆測量結果を使用して、表面積が最も大きいメタツオタ湖、ザナム B 湖(ザナム A、D 湖は遠浅の湖盆を呈するため除外)、および、急峻なモレーンダムを有するザナム C 湖の決壊解析を行った(図 4-3-5)。解析にあたっては、BREACH モデルを使用し、上記で得られた定数を適用した。

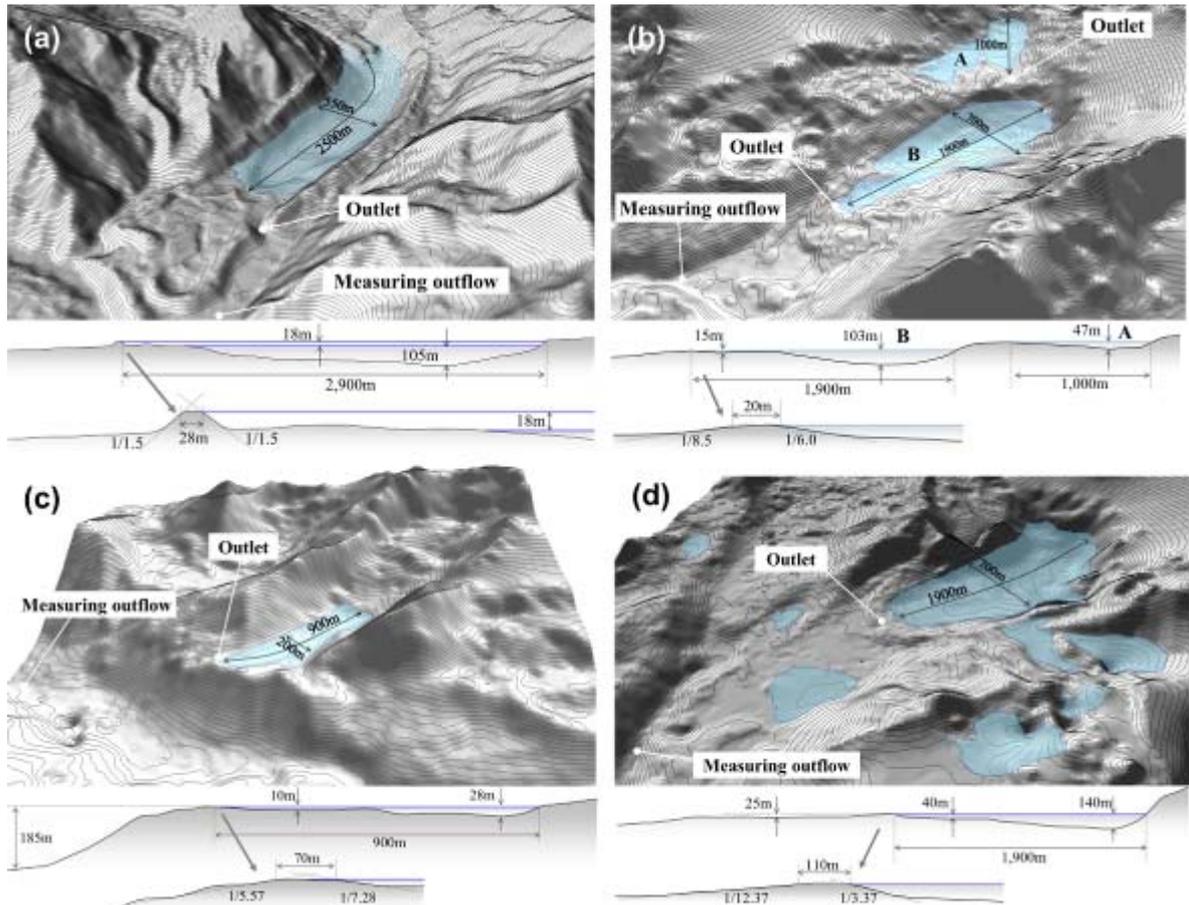


図 4-3-5 各対象氷河湖外観および断面 (Koike & Takenaka, 2012)
 (a)ルゲ湖、(b)ザナム B 湖、(c)ザナム C 湖、(d)メタツオタ湖

ザナム B 湖:

解析の結果、上流からの流入量 $40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ までは決壊現象が生じないが、 $50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 以上の流量を投入した場合に決壊が開始され、ピーク流量 $170 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ であった。通常期の流入量は $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ を下回ると見積られるが、氷落等により発生した段波によりアウトレットを流下する流量が急増した場合には、決壊する可能性はあるといえる。しかしながら、決壊ピーク流量 $170 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ は、下流域でのザナム村における平均年最大洪水量を大きく下回るものであり、被災の危険性は低いと言える。

ザナム C 湖:

解析の結果、ザナム B 湖と同様に、上流から $50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 以上の流量を投入した場合に決壊が開始され、決壊流出量 $0.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、ピーク流量 $140 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ であった。したがって、下流域の被災の危険性は低い。

メタツオタ湖:

上流からの投入量を増やし、 $5000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 以上とした場合においても決壊現象は発生しない。メタツオタ湖のモレーンダムは、勾配 $1/12$ と非常に緩く、また天盤幅も 110 m と広い。このため、上流からの投入量を増やしても、チャンネル下刻速度は遅く、急激な流出が起こらない状況にある。

本研究では、本湖が流域最大の貯水量を有する氷河湖であることを勘案し、将来的にモレーンダムが浸食・後退し、天盤幅が 0 m になった場合を仮定して、改めて解析を実施した。この結果、 $60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 以上の流入を与えたときに決壊が開始され、その決壊流出量は $20.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、ピーク流量は $2,750 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ と試算された(図 4-3-6)。これは、1994 年のルゲ湖決壊洪水に匹敵する規模である。

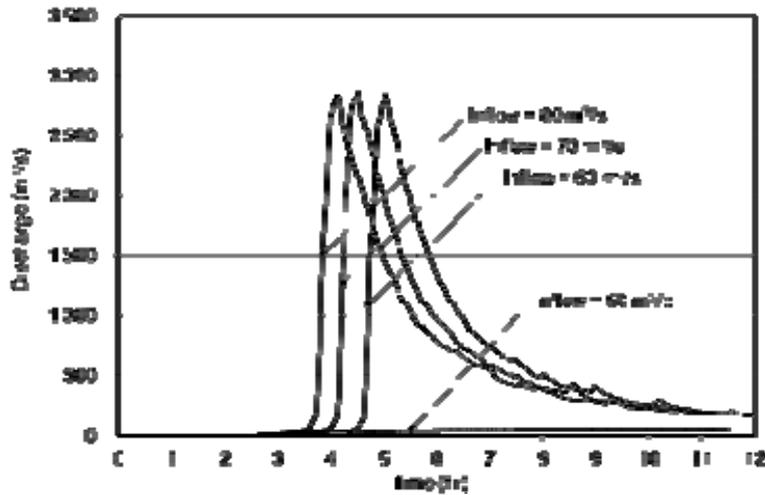


図 4-3-6 メタツオタ湖の決壊ハイドログラフ (Koike & Takenaka, 2012)

本研究では、上記メタツオタ湖の決壊ハイドログラフを用いて、二次元氾濫解析モデルである FLO-2D を用いて、下流への洪水伝播特性(図 4-3-7)、ならびに各集落における氾濫最大水位を求めた(図 4-3-8)。

その結果、メタツオタ湖から流下したピーク流量 $2750 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ は、マンデチュー支流であるタンペチュー川からマンデチュー本流に合流するまでの射流区間においては、ほとんど減衰することなく、下流に伝播するが、合流後の常流区間では急激に減衰し、ジーザム村付近では、 $2000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (うち基底流量を除いた洪水流量は $1750 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) となる。ジーザム村下流ではマンデチュー川は再び急流を呈するため、ピーク流量は維持されるが、その後さらに減衰し、120 km 下流のティンティビ村では、途中横流入する支流河川を考慮しても、最大で $1700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 程度であることが求められた。マンデチュー川の洪水伝播は、河床勾配の分布特性に大きく依存している。

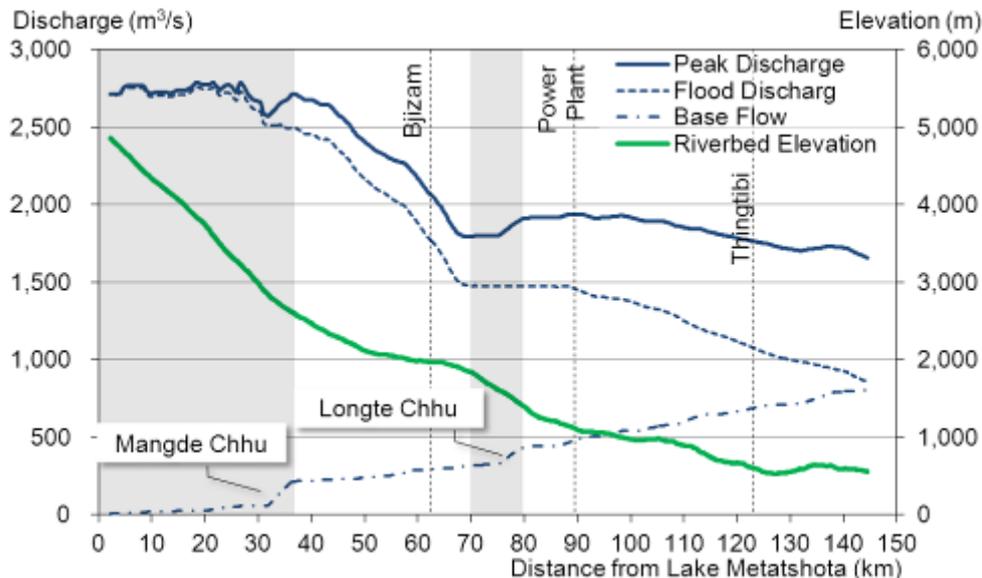


図 4-3-7 メタツオタ湖からの距離とピーク流量との関係 (Koike & Takenaka, 2012)

ジーザム村での危険流量(下位段丘面の浸水)は、当地区の等流式から、流量 $1500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 程度と見込まれる。上記により求められたハイドログラフを投入した結果、図 4-3-9 に示すように、下位段丘面の数件の家屋は浸水し、さらにジーザム橋下流の森林局事務所やチェックポスト事務所も

浸水が予想される。一方で、学校施設のある上位段丘面については、想定した決壊洪水では被災の危険性はないと評価された。

ティンティビ村は、その町のほとんどが現河床から高さ 50m の高位段丘面に位置するため、想定した決壊流量で被災する危険性は低い。近隣のタカビ村では、低位段丘面上の集落が被災する。この村は、2009 年のサイクロン・アイラがもたらした豪雨でも被災している。

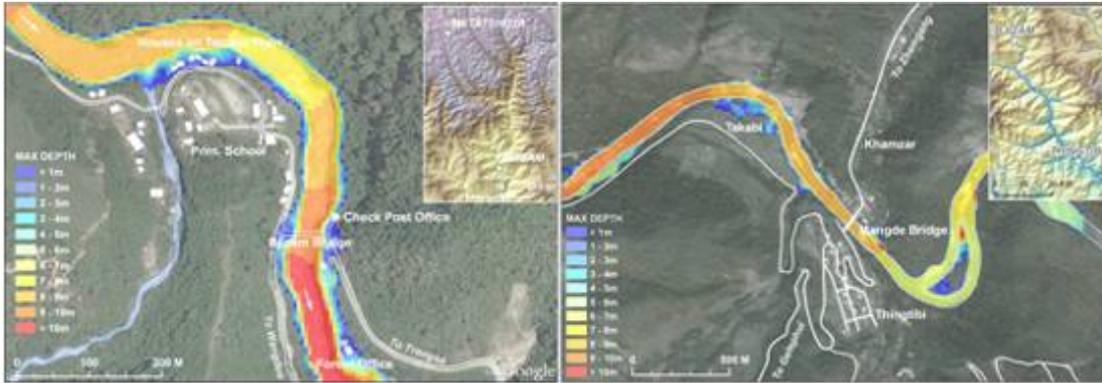


図 4-3-8 メタツオタ湖決壊洪水を想定した場合のジーザム村、ティンティビ村における浸水予測図(Koike and Takenaka, 2012)。

上記解析に先んじて、2010 年度 9-10 月の高地調査終了後、地質鉱山局において、決壊モデル作成、洪水解析に関するトレーニングを実施した(図 4-3-90)。ここでは、同局のカウンターパート 5 名に対し、汎用ソフトである HEC-RAS を用いた決壊モデルの設定、同ソフトによる洪水伝播解析、氾濫解析について、1994 年のルゲ湖決壊洪水を例にとり、約 1 週間の集中講義を持った。また、解析結果をハザードマップとして展開するためのツールとして GIS の基本的な操作法、ならびに危険氷河湖判定のための空間解析手法についての現地トレーニングを 1 ヶ月間実施した。



図 4-3-9 洪水解析技術移転

【不安定斜面・河岸浸食危険箇所抽出】(PDM 活動 4-4) GLOF は、河道沿い村落だけでなく、溪岸斜面の高標高部に立地する村落にも大きな影響をもたらす可能性がある。一般に地すべり地には周辺部と比較して緩傾斜な斜面が存在するが、国土のほとんどが急峻な山岳地形よりなるブータンでは、こうした地すべり地形内に集落が形成されているケースが多い。GLOF により斜面末端の溪岸が侵食されれば、後背斜面の不安定化を招き、大規模な地すべりへと発展する危険性が指摘されている。また、その結果、地すべりに伴う河道閉塞とその決壊の危険性もある。こうした観点から、マンデチュー流域全体を対象とした斜面の不安定ブロックの抽出、およびその評価を行っている。

地すべり地形学図は、JAXA の ALOS-PRISM で観測された衛星写真の実体視と現地踏査で作成している。現在までに完成したのは、氷河が発達するマンデチュー本流河床 4600m 付近からティンティビ(Tingtibi)村が位置する標高 550 m 付近まで約 100 km の範囲である。抽出した地すべり地形は ESRI 社の ArcGIS に移写し、管理している(図 4-3-10)。なお、ArcGIS で管理しているデータは、汎用性の高い Google Earth 上でも見られるようボタン側カウンターパートに技術移転した。

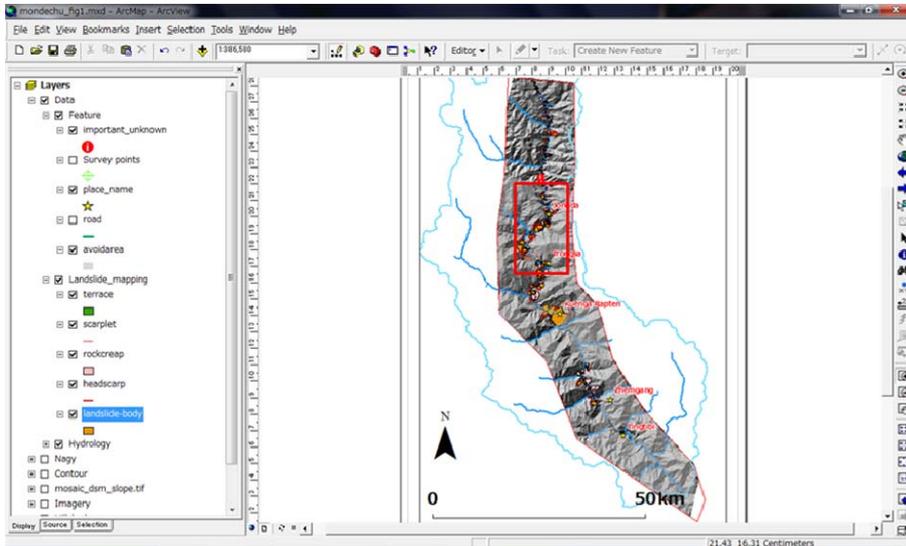


図 4-3-10 GIS で管理する地すべり地形学図(赤線で囲った範囲は図 4-3-11)

作成した地形学図の一部(図 4-3-10 の赤枠内)を図 4-3-11 に示す。抽出した地形は、地すべり地形(オレンジ)、岩盤クリープ地形(ピンク)および段丘である(緑)。赤線は滑落崖もしくは斜面上に存在する低崖地形(重力性の地表断層)を示している。なお、岩盤クリープ地形は「地すべり地形」の範疇にはいるが、本地形学図で示した地すべり地形は一連のすべり面上を移動体が滑動したと想定される「狭義の地すべり地形」として区別した。本図を見て分かるように、河道沿いには幅 1 km を超える大規模な地すべり地形が多数分布している。地すべり移動体内には、二次的な地すべり地形が形成されているものも多い。また、ジョンダ(Jongda)村では、地すべり地形の背後に大規模岩盤クリープ地形が存在している。岩盤クリープは地すべりの前兆と考えられていることから、下位に位置する地すべり地形が滑動した場合、岩盤クリープ地形下部が不安定化することで、岩盤クリープ地形の範囲も地すべりとして滑動する危険性も想定される(Higaki and Sato, 2012)。

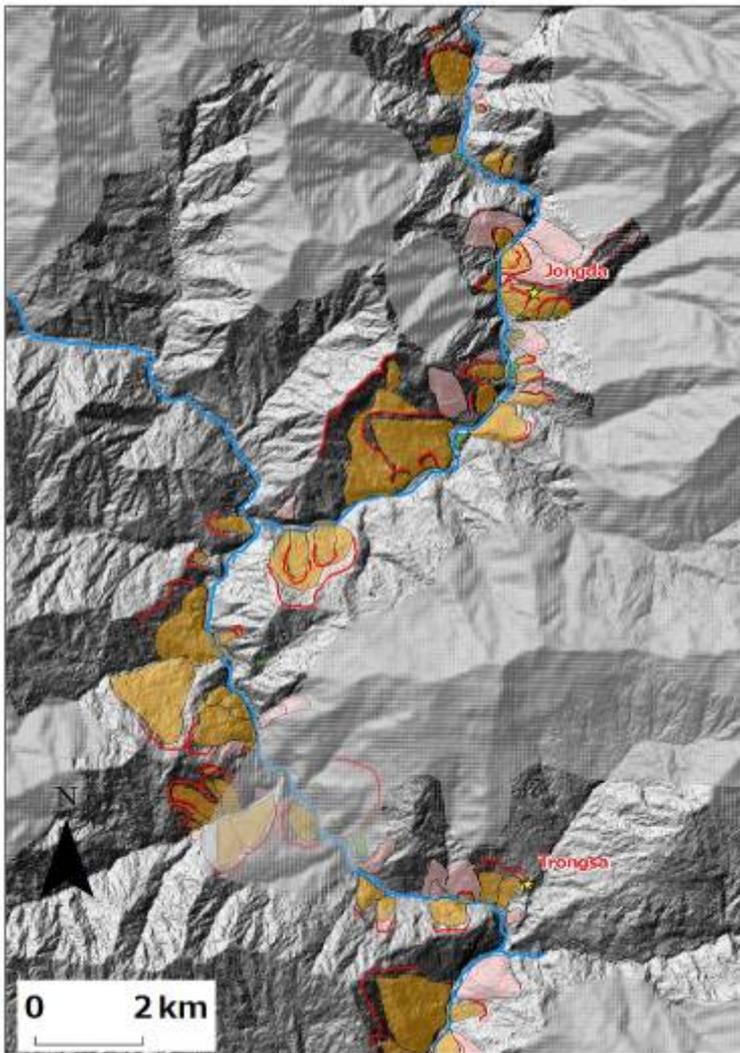


図 4-3-11 地すべり地形学図(抜粋)。

地すべり地形学図の精度を向上させるため、2011年3月に現地調査も実施した。大規模な地すべり地形が存在するクングラプテン(Kungarapten)周辺においては、集中して調査を実施し、衛星写真判読では判読できない規模の地すべり地形分布図を作成した(図 4-3-12)。これらの地すべり地形は、大規模地すべり移動体を開析する谷に向かって滑動しているのが特徴である。図 4-3-12の丸印(黄色)では、地すべり滑動にともない、擁壁が破壊されているのが分かる(図 4-3-13)。現地では2009年8月にも調査を行っており、擁壁の亀裂が確認されていたが、2011年3月の調査ではその亀裂が拡大しているのがあらためて確認された。緩速度の地すべり滑動が続いていることがわかる。マンデチュー河道沿いに直接接しないこれらの地すべり地形は、GLOF にともない滑動する可能性は低い。ただし、降雨や地震にともない今後滑動が加速する可能性は高い。これらの地すべり地形は農地(棚田)や居住地として利用されるだけでなく、主要道が位置することから、地すべり対策工が必要であろう。



図 4-3-12 クンガラプテン周辺の地すべり地形分布。



図 4-3-13 擁壁に表れた地すべりの継続的な変位 (クンガラプテン地区. 左 Aug. 2009; 右 Mar. 2011)。

一連の地すべり地形判読に関する、空中写真・衛星画像ならびに現地調査手法について、OJT による技術指導を実施した(図 4-3-14)。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。



図 4-3-14 地形判読技術移転

【活断層調査】 GLOF のトリガーの一つとされる地震について、その発生傾向を明らかにする手法として活断層(地表地震断層)の抽出がある。しかし、これまでブータンでは活断層の広域的な抽出は行われておらず、また経験を要する判読作業の知識・技術も無かった。そこで 2010 年 4 月から、本プロジェクトの実施内容に活断層調査とその技術移転を追加した。

活断層抽出の作業は北緯 27 度線より南のブータン南部をパイロットサイトとして実施した。机上作業として 2010 年 8 月に写真判読を集中的に実施し、リニアメントの抽出を行った。その結果、ブータン南部国境周辺には過去の地震による活断層地形と考えられる地形が多数存在することが明らかになった。この成果をもとに、特に広くリニアメントが連続しているサルパン、ゲレフ周辺において 2011 年 2 月に現地調査を実施した。その結果、第四紀後期(約 12.5 万年前)以降に変位を生じたとみられる典型的な活断層地形(過去の地震地表断層)を複数確認した。これら室内・野外両方の作業において若手の DGM スタッフ 1 名に作業に加わってもらい、判読および現地調査の技術移転を行った。これらの活断層地形の変位量は、ネパールやインドで記録されている巨大地震に匹敵する地震がブータン南部において過去に発生していたことを明確にしめている。この様な地震であれば北部国境域の氷河において氷河氷の崩壊を引き起こすことが予想され、したがって氷河湖決壊の間接的なトリガーになりうることも十分に考えられる。

【危険村落における社会調査】(PDM 活動 5-1) 2010 年 5 月、予備的な洪水解析結果とゾン(県庁)での聞き取り調査を元に、マンデチュー流域(トンサ県とシムガン県)およびそれに隣接するプナサンチュー流域(プナカ県とワンデュー県)、チャムカールチュー流域(ブムタン県)で GLOF による被災の可能性のある集落を中心として社会調査を実施した。その結果、ブータンの伝統的な集落は河床から離れた高い位置に発達しており、GLOF による被害が発生する可能性はほとんどない一方、近年活発化した国土開発の結果、新たに被災可能性のある保全対象が生まれている事がわかった。マンデチュー流域では、トンサ県のジザムの建設労働者のキャンプ、ユルムンの道路、建設中の水力発電所、およびシムガン県ティンティビの農地などである。精度のよいハザードマップに基づく法的な規制が必要であろう。

GLOF など、緊急時のゾンから集落への連絡体制は全ての県で確立していたが、その中には徒歩での伝令が唯一の連絡手段である場合も含まれていた。降雨洪水と異なり GLOF には前兆現象がないので、特に夜間に GLOF が発生した場合を考えると、人的被害を防ぐためには、被災可能性のある集落への早期警戒システムの導入が望まれる。

集落での聞き取り調査から、1994 年に実際に GLOF で被災したプナカでも、川沿いの集落の住民の 1/4 は GLOF を知らず、調査を行った他の地域に比べて GLOF の認知は決して高くないことがわかった。一方で、学校の教師は全般に生徒の生活環境をよく把握しており、防災のための教育・訓練も定期的に行っていた。ブータンのような発展途上国では成人の防災教育は困難な面があるが、「災害は忘れた頃にやってくる」のであり、学校教育の充実に力を入れているブータンの政策を考えると、学校を通じて集落全体の防災意識を高めるのは有効な手段であろう(Takenaka et al., 2012)。

【早期警戒システム計画の立案】(PDM 活動 5-2) 氷河湖決壊洪水は、サイクロンや集中豪雨による洪水と異なり、降水により住民が警戒心を抱くことがなく、また前兆現象を察知することが出来ないという点において、ひとたび発生すれば、非常に被災リスクの高い自然災害と言える。

図 4-3-15 は、氷河湖決壊洪水により水位上昇と、2009 年にブータン全土を襲ったサイクロン・アイラによる水位上昇の比較である。図に示すように、両者の最高水位は概ね同じか、サイクロン・アイラの洪水の方が高い。それにもかからず、ポチュー川において 1994 年に発生した氷河湖決壊洪水では、21 名の尊い犠牲者を出している。これは、氷河湖決壊洪水が引き起こす急激な水位上昇によると考えられる。両河川における水位上昇は、1994 年氷河湖決壊洪水において、30 分あたり最大 2.55m であり、解析により算出されたマンデチュー川では、30 分あたり最大 3.55m となっている。実際に、1994 年氷河湖決壊洪水では、被災者のほとんどは、すぐに高台に逃げることの出来る場所に居たにもかかわらず、30 分間に 2.55m という急激な水位上昇により、安全に避難することが

出来なかった。10 km程度以上上流の水位上昇を予め察知し、住民に警報することが出来れば、被災リスクは大幅に軽減できると見込まれる。

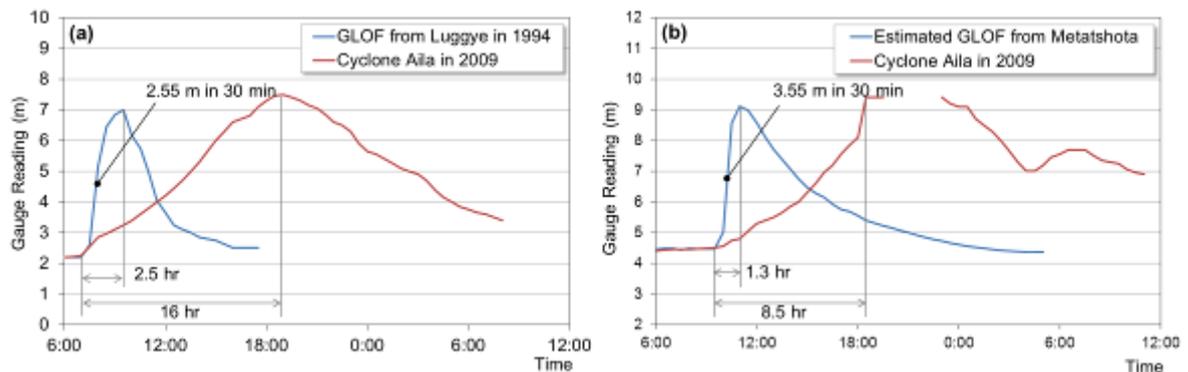


図 4-3-15 氷河湖決壊洪水と2009年サイクロン・アイラの水位グラフ比較(左:ポチュー川1994年氷河湖決壊洪水実績水位、右:マンデチュー川氷河湖決壊洪水解析水位)(Koike & Takenaka, 1994)

上記を勘案して、早期警報システムの配置や伝達方法について、プロジェクト開始以来、担当省庁となる経済省エネルギー局との協議を行ってきた。2012年1月現在、具体的な仕様等について検討中である。システムの設計にあたっては、1) 監視センサーおよび警報塔の種類・配置、2) 安定的な電力の確保、3) 安定的かつ低コストのデータ通信システム、に留意する。

(2)研究成果の今後期待される効果

ブータン国における氷河湖決壊洪水に関する調査・研究は、氷河湖のモニタリングや湖水低下工事等、発生源の特定やその対策に重点を置かれてきた。一方で、その決壊メカニズムやポテンシャルは未解明な部分が多い。また、1994年にGLOFが発生したポチュー川流域を除き、水文解析に基づいたリスク評価、ハザードマップ整備は行われていない。これは、モレーンダムという堤体が極めて不均質であり、決壊モデル(ハイドログラフ)を定量的に設定することが困難であること、過去GLOFが記録されていない流域では、観測データに基づいた再現が行えないこと、洪水解析のための詳細な地形図データが整備されていないこと、等によると考えられる。

本研究事業では、高精度の衛星画像解析に基づいた詳細な地形データが整備され、湖盆測量に関する技術移転も行われた。これにより、氷河湖モレーンの形状や河川流路形状を高精度で得ることが出来るようになってきている。不均質な材質よりなるモレーンダムの絶対的評価は難しいが、過去決壊した湖と比較することにより、相対的にその危険性を評価し、決壊モデルを設定することが可能であることを示した。今後は、過去の決壊現象をさらに取りまとめ、モレーン性状と決壊特性と関連性について一般化していく必要がある。地質鉱山局は、マンデチュー川の東に隣接するチャムカールチュー川について、地形情報の加重レイヤー解析によって、流域のハザードマップを整備している。担当技師からは、水文解析に基づいたハザードマップの高精度化について協力を依頼されており、チャムカールチュー川のみならず、クリチュー川等の他流域への手法の適用が期待される。

また、土質試験、物理探査、不安定斜面抽出に関する技術や供与した資機材は、モレーンダムの内部構造調査はもとより、地質鉱山局が通常業務として行っている斜面の安定解析や、構造物地盤調査等に広く活用されるものである。2012年1月現時点においても、ワンチュー川、プナツァンチュー川流域の水力発電所施設計画・対策のために、本技術・資機材は地質鉱山局職員によってフル稼働している状況にあり、本研究事業の技術協力によるインパクトとして今後の発展が大いに期待できる分野である。

一方、活断層の研究に関しては次の事が期待される。ブータン周辺は、新生代の地質からなるサブヒマラヤ帯の露出が狭い、ヒマラヤ前縁の断層の地表での連続性が悪い、インド平原側にはシロン台地が露出する、といったようにヒマラヤ衝突帯の中でも特異性をもった地域である。その中で、ブータンの変動地形に重点を置いた研究はこれまでに少ない。このような地域において本研究が行われたことは、変動地形学や構造地質学の分野においてブータンだけでなく世界的にも重要な成果になると考えられる。また、過去百数十年の地震記録で見るとブータン周辺はヒマラヤ衝突帯の中でも地震空白域と考えられていることから、本研究はブータンやインド北部における将来の地震発生予測にとって貴重な情報を提供することになる。一方、ブータン国内で見た場合、本プロジェクトにより若手の育成が始められたことで、また DGM 内に地震関連部門が新設されたことで、今後は活断層マップの範囲拡大が進むと考えられる。これには引き続きの指導が求められるが、同時に研究者が育つことにより日本や他の地域の研究者との交流と相互発展が期待される。また、地震に関する歴史記録の時代が極めて短いブータンにとって、今回確認された明瞭な活断層地形は過去の大規模地震の数少ない具体的証拠として捉えることができる。これにより、地震防災・減災に関するブータン政府による政策、および社会への啓発が前進すると考えられる。さらに、今回対象としたインド国境周辺域は他と比べて特に平坦部が広いと、工場や送電線といった大型構造物が多いことから、地震時の断層変位の影響が特に懸念される。さらなる調査が必要ではあるが、本研究は今後の安全な土地利用の検討に活かされることが期待される。

§ 5 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 1 件、国際(欧文)誌 19 件)

1. 著者、論文タイトル、掲載誌 巻、号、発行年

- 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. (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)
- Zhang Y, Fujita K, Liu SY, Liu Q, Wang X (2010) Multi-decadal ice-velocity and elevation changes of a monsoonal maritime glacier: Hailuogou glacier, China. *Journal of Glaciology*, 56(195), 65-74. (原著論文・査読あり)
- 小森次郎, 小池徹, 檜垣大助, Tshering Phuntsho (2010) 2009年のブータンの自然災害 - 地象・水象・気象災害-. *自然災害科学*, 29(2), 233-243. (原著論文・査読あり)
- Fujita K, Nuimura T (2011) Spatially heterogeneous wastage of Himalayan glaciers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 108(34), 14011-14014. (原著論文・査読あり)
- Nuimura T, Fujita K, Fukui K, Asahi K, Aryal R, Ageta Y (2011) Temporal changes in elevation of the debris-covered ablation area of Khumbu Glacier in the Nepal Himalaya since 1978. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 43(2), 246-255. (原著論文・査読あり)
- Ukita J, Narama C, Tadono T, Yamanokuchi T, Tomiyama N, Kawamoto S, Abe C, Uda T, Yabuki H, Fujita K, Nishimura K (2011) Glacial lake inventory of Bhutan using ALOS data: Part I. Methods and preliminary results. *Annals of Glaciology*, 52(58), 65-71. (原著論文・査読あり)
- Zhang Y, Fujita K, Liu SY, Liu Q, Nuimura T (2011) Distribution of debris thickness and its effect on ice melt at Hailuogou glacier, southeastern Tibetan Plateau, using in situ surveys

- and ASTER imagery. *Journal of Glaciology*, 57(206), 1147–1157. (原著論文・査読あり)
- Fujita K, Nishimura K, Komori J, Iwata S, Ukita J, Tadono T, Koike T (2012) Outline of research project on glacial lake outburst floods in the Bhutan Himalayas. *Global Environmental Research*, in press. (原著論文・査読あり)
- Higaki D, Sato G (2012) Erosion and sedimentation caused by glacial lake outburst floods (GLOFs) in Nepal and Bhutan Himalayas. *Global Environmental Research*, in press. (原著論文・査読あり)
- Koike T, Takenaka S (2012) Scenario Analysis on Risks of Glacial Lake Outburst Floods in Mangde Chhu River, Bhutan. *Global Environmental Research*, in press. (原著論文・査読あり)
- Komori J, Koike T, Yamanokuchi T, Thering P (2012) The cases of glacier lake outburst in the Bhutan Himalayas. *Global Environmental Research*, in press. (原著論文・査読あり)
- Naito N, Suzuki R, Komori J, Matsuda Y, Yamaguchi S, Sawagaki T, Thering P, Ghalley KS (2012) Recent glacier shrinkages in the Lunana region, Bhutan Himalayas. *Global Environmental Research*, in press. (原著論文・査読あり)
- Ohashi K, Koike T, Takenaka S, Umemura J (2012) Study on applicability of electric sounding for interpretation of internal structure of glacial moraines. *Global Environmental Research*, in press. (原著論文・査読あり)
- Sakai A (2012) Glacial lakes in the Himalayas: A review on formation and expansion processes. *Global Environmental Research*, in press. (原著論文・査読あり)
- Sawagaki T, Lamsal D, Byers AC, Watanabe T (2012) Changes in Surface Morphology and Glacial Lake Development of Chamlang South Glacier in the Eastern Nepal Himalaya since 1964. *Global Environmental Research*, in press. (原著論文・査読あり)
- Tadono T, Kawamoto S, Narama C, Yamanokuchi T, Ukita J, Tomiyama N, Yabuki H (2012) Development and Validation of New Glacial Lake Inventory in the Bhutan Himalayas Using ALOS 'DAICHI'. *Global Environmental Research*, in press. (原著論文・査読あり)
- Takenaka S, Satoh T, Lhamo S (2012) A social survey for GLOF disaster mitigation in Bhutan. *Global Environmental Research*, in press. (原著論文・査読あり)
- Takeuchi N, Sakai A, Kohshima S, Fujita K, Nakawo M (2012) Variation in suspended sediment concentration of supraglacial lakes on debris-covered area of Lirung Glacier in Nepali Himalayas. *Global Environmental Research*, in press. (原著論文・査読あり)
- Tadono T., Takaku, J, Shimada M (2012) Validation Study on ALOS PRISM DSM Mosaic and ASTER GDEM 2. *Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and the Spatial Information Sciences*, ISPRS, accepted. (原著論文・査読あり)

(2) 研修コースや開発されたマニュアル等

① 研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数

年月日	調査目的	場所	実施メンバー	概要
2009/9	地すべり地形調査(OJT)	トンサ周辺	檜垣、佐藤剛、梅村、T. Penjore、小森、竹中、P. Tshering	マンデチュー中流域の地すべり地形の抽出 谷底の集落の洪水時の被災可能性調査 ラボ機材使用方法
2009/9～10	氷河・氷河湖調査(OJT)	マンデチュー上流	小森、竹中、P. Tshering, K.S. Ghalley	氷河湖パイロットサイト選定、調査ルート確認、自動気象観測装置設置、湖水深測定
2010/3	地すべり地形調	トンサ上流	檜垣、佐藤剛、	マンデチュー中流域の

	査(OJT)		梅村、T. Penjore、P. Norbu、小森	地すべり地形の抽出 河道閉塞地点調査
2010/3	地すべり地形判 読研修	ティンパー DGM 所内	檜垣、佐藤剛	衛星写真実体視による 基礎的な地すべり地形 の判読
2010/3	衛星班初期研修	ティンパー DGM 所内	田殿、浮田、山 之口、富山	衛星データ利用・解析に 関する初期研修
2010/3	土質試験の利用 法と手順に係る 研修	ティンパー DGM 所内	梅村	土質材料試験の解説と、 現場に応じた土質試験 の選択と構成、および各 試験方法の手順実習
2010/5	電気探査OJT候 補地調査	チュカ	小池、富田、J. Chophel	電気探査OJTのサイト候 補を調査
2010/5～6	社会情報調査 (OJT)	トンサ、ブムタ ン、プナカ、シ ェムガン、ワン ディポダン	竹中、佐藤匡 史、S. Lhamo、 DDM	GLOF 等自然災害に関 する地方行政およびコミ ュニティのキャンペーン調 査
2010/7	氷河・氷河湖調査 (OJT)	チャムカール チュー上流	小森、P. Tshering、K.S. Ghalley、S. Lhamo	湖水深測定、氷河湖危 険度評価
2010/8	活断層判読作業 と研修	ティンパー DGM、測量局	熊原	ブータン南部の活断層 の空中写真判読
2010/9～10	氷河・氷河湖調査 (OJT)	マンデチュー 上流	西村、澤柿、内 藤、竹中、佐藤 匡史、小池、大 橋、小森、出 村、山口、P. Tshering、K.S. Ghalley、T. Penjore	氷河・氷河湖測量、湖水 深測定、氷河湖危険度 評価、自動気象観測測 器メンテナンス、モレーン 物理探査
2010/9～10	氷河・氷河湖調査	ニカチュー上 流	田殿、奈良間、 浮田、山之口、 富山、河本、S. Lhamo	スペクトル測定、基準点 測量
2010/10	洪水解析、ハザ ードマッピング研 修	ティンパー DGM 所内	小池、竹中 (修了者 5 名)	HEC-RAS、FLO2D モデ ルによる決壊・洪水解 析、プナカ地区ハザード マップ作成
2010/10～11	GIS 基本技術、 GLOF リスク評価 法に関する研修	ティンパー DGM 所内	竹中 (修了者 3 名)	GIS の基本技術習得、 DEM を利用した地形解 析による GLOF リスク評 価法
2010/10～11	物理探査(比抵 抗二次元探査) 研修(OJT)	ティンパー、プ ンツォリン地す べり地区	大橋、出村 (修了者 3 名)	ティンパー近郊扇状地、 プンツォリン近郊地す べり地における OJT
2011/1～2	物理探査(比抵	ティンパー	出村	ゲドゥ近郊発電所施設に

	抗二次元探査) 研修(OJT)	ゲドゥ地区	(修了者3名)	おける OJT
2011/2~3	地すべり地形判 読研修	ティンパー DGM 所内	佐藤剛、縫村、 永井	衛星画像を用いた地す べり地形の判読と GIS を 用いた判読結果の地図 化
2011/3	地すべり地形調 査(OJT)	トンサ・シエム ガン周辺	佐藤剛、縫村、 永井、T. Penjore	マンデチュー中流域の 地すべり地形の抽出
2011/3	活断層調査およ び研修(OJT)	サルパン・ゲレ フ	熊原、小森、J. Chophel	ブータン南部の活断層 調査およびマッピング
2011/3	衛星班研修	ティンパー DGM 所内	山之口、富山	衛星データ利用・解析に 関するフォローアップ研 修
2011/3	GLOF リスク評価 法に関するフォ ローアップ研修	ティンパー DGM 所内	竹中	新たに開発したプログラ ムによる GLOF リスク評 価法
2011/5	氷河・氷河湖調査 (OJT)	パロチュー、モ チュー上流	小森、山之口、 富山、P. Tshering、S. Lhamo、P. Deki	湖色スペクトル測定、基 準点測量、岩屑被覆型 氷河の氷河上湖の決壊 危険度評価
2011/5	衛星班フォロー アップ研修	ティンパー DGM 所内	山之口、富山	2011/3 に実施したフォロ ーアップ研修からの進捗 状況の確認と技術指導
2011/9~10	氷河・氷河湖調査 (OJT)	マンデチュー 上流	藤田、小森、竹 中、縫村、津 滝、佐々木、P. Tshering、K.S. Ghalley	氷河・氷河湖測量、湖水 深測定、氷河湖危険度 評価、自動気象観測測 器メンテナンス
2012/2-3	活断層研修	ティンパー 測量局および シエムガンでの OJT	熊原	活断層判読および現地 調査 OJT
2012/3	衛星班フォロー アップ研修	ティンパー DGM 所内	田殿、山之口、 富山	提供する衛星データセッ トの確認と技術指導
2012/3	地すべりフォロー アップ研修	ティンパー DGM 所内	佐藤	地すべりハザードマップ 作成に関する技術指導
2012/3	早期警戒システ ム提案書提出	ティンパー エネルギー局 ほか関係局	竹中、小池	早期警戒システム提案 書の関係機関への提出・ 説明
2012/3	土質試験の利用 法と手順に係る 研修	ティンパー DGM 所内	梅村	土質材料試験の解説と 現場に応じた土質試験 の選択と構成、および各 試験方法の手順実習

② 開発したテキスト・マニュアル類

- アセス班 (2010) Training on Flood Analysis and Hazard Mapping. (洪水解析に関する技術移転資料 155 頁, 2010 年 10 月の地質鉱山局において実施した研修に作成・使用)
- 衛星班 (2010) Initial Training for Remote Sensing. (リモートセンシングと衛星データ解析に関する技術移転資料, 2010 年 3 月の地質鉱山局において実施した研修用として作成・使用)
- 衛星班 (2011) Follow-up Training for Remote Sensing. (リモートセンシングと衛星データ解析に関する技術移転資料, 2011 年 3 月の地質鉱山局において実施した研修用として作成・使用)
- アセス班 (2012) Flowcharts and Data Sheets of Soil Testing for DGM Laboratory. (土質試験の利用と手順に係る研修用として作成・使用,)

(3) その他の著作物(総説、書籍など)

- 岩田修二 (2009) ヒマラヤ山脈東部での氷河湖決壊洪水の記録. *山から始まる自然保護(山の自然クラブ会報)*, 8, 45-52. (報告・査読なし)
- 山之口勤, 富山信弘, 田殿武雄, 矢吹裕伯, 奈良間千之, 浮田甚郎, 阿部知佳 (2009) 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. *(財)リモート・センシング技術センター平成 21 年度(第 13 回)業務成果社内発表会*. (報告・査読なし)
- Iwata S (2010) Glaciers in Bhutan—An Overview. Williams, R.S. and Ferrigno, J. (eds.), *Satellite Image Atlas of Glaciers of the World*, U. S. Geological Survey, 321-334. (報告・査読有り)
- 藤田耕史 (2010) ヒマラヤの氷河湖—決壊洪水 GLOF の爪痕. 加藤碩一, 山口靖, 渡辺宏, 山崎晴雄, 汐川雄一, 薦田麻子 編, *宇宙から見た地形—日本と世界*, 朝倉書店, 32-35. (書籍・査読なし)
- 藤田耕史 (2010) ヒマラヤにおける氷河縮小の実態をさぐる. *遺産*, 64(5), 68-74. (解説・査読なし)
- 岩田修二, 小森次郎 (2010) 最近の山岳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—. 山川修治編, *極圏・雪氷圏と地球環境*, 二宮書店, 52-72. (書籍・査読なし)
- 小森次郎 (2010) 雪氷圏における災害とこれからの問題. 山川修治編, *極圏・雪氷圏と地球環境*, 二宮書店, 128-144. (書籍・査読なし)
- 小森次郎 (2010) 世界の氷河湖とその拡大. 小川利紘, 及川武久, 陽捷行編, *地球変動研究の最前線を訪ねる*, ASAHI ECO BOOKS No.26, 清水弘文堂書房, 358-369. (書籍・査読なし)
- 小森次郎, Tshering P (2010) 2009 年 4 月 29 日のブータンヒマラヤ Tshojo 氷河からの異常出水. *地学雑誌*, 119(3), III. (学術雑誌口絵・査読あり)
- Penjore T, Komori J, Higaki D, Sato G, Koike T, Umemura J (2010) Watershed risk assessment of GLOF in Bhutan - A case study in the Mangde Chhu river basin -. *第 5 回土砂災害に関するシンポジウム論文集*, 189-194. (シンポジウム論文・査読あり)
- Umemura J, Higaki D, Sato G, Komori J, Koike T (2010) Material properties of the moraine of the glacial lake and the examination about the outburst of dam of glacial lake for the hazard assessment. *Sixth Nepal Geological Congress*, 41(Special Issue), pp.12. (シンポジウム論文・査読あり)
- 山之口勤, 田殿武雄, 富山信弘 (2010) ALOS/PALSAR データを用いた氷河湖抽出と評価. *(財)リモート・センシング技術センター平成 22 年度(第 14 回)業務成果社内発表会*. (報告・査読なし)
- 富山信弘, 山之口勤, 河本佐知, 田殿武雄, 矢吹裕伯, 奈良間千之, 浮田甚郎, 山本美奈子, 西村浩一, 藤田耕史 (2010) ヒマラヤにおける氷河湖決壊洪水に関するモニタリング手法の技術移転. *(財)リモート・センシング技術センター平成 22 年度(第 14 回)業務成果社内発表会*. (報告・査読なし)
- 岩田修二 (2011) *氷河地形学*. 東京大学出版会, pp.387. (書籍・査読なし)
- 藤田耕史 (2011) 氷河・氷河湖. 日本リモートセンシング学会 編, *基礎からわかるリモートセン*

- シング, 理工図書, 55-60. (書籍・査読なし)
- 藤田耕史 (2011) ヒマラヤの氷河湖. 清水裕之, 檜山哲哉, 河村則行 編, *水の環境学*, 名古屋大学出版会, 39. (書籍・査読なし)
- 岩田修二, 小森次郎 (2011) ブータンの氷河湖決壊洪水—住民を守るための調査と援助. *科学*, 81(6), 562-568. (雑誌・査読なし)
- Komori J (2011) A glacial lake study and recent mountaineering condition in the Bhutan Himalaya. *Japanese Alpine News*, 12, 1-14. (解説・査読なし)
- Naito N (2011) Summer accumulation type glaciers. In *"Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers"* ed. by V.P. Singh, P. Singh and U.K. Haritasya, Springer, Dordrecht, the Netherlands, 1107-1108 (in 1254pp.). (書籍・査読あり)
- 田殿武雄, 島田政信, 高橋陪夫 (2012) PRISM と AVNIR-2 の校正検証と観測成果の一例. *日本航空宇宙学会誌*, 印刷中. (雑誌・査読なし)

(4)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 7 件、国際会議 6 件)

- 内藤望(広島工業大学環境学部). (Jun 26, 2009, oral, [invited]) ヒマラヤの氷河縮小と氷河湖決壊洪水. 大気環境学会・日本水環境学会・廃棄物資源循環学会中国四国支部合同講演会, 広島.
- 縫村崇行(名古屋大学大学院環境学研究科), 藤田耕史, 山口悟, Sharma RR (Nov 26-27, 2009, oral, [invited]) ASTER L3A01 (VNIR, TIR, DEM) を用いたヒマラヤの氷河表面状態の時系列変化. 日本リモートセンシング学会, 名古屋.
- Fujita K (名古屋大学大学院環境学研究科). (Dec 15-17, 2009, oral, [invited]) Glacial lake outburst floods (GLOF) in the Himalayas. The 5th International Coordination Group (ICG) Meeting GEOSS Asian Water Cycle Initiative (AWCI), Tokyo.
- Kargel JS (アリゾナ大学), Armstrong R, Arnaud Y, Berthier E, Bishop P, Bolch T, Bush A, Cogley GJ, Fujita K, Gillespie A, Haritashya U, Kaser G, Khalsa SJS, Leonard G, Racoviteanu A, Raup B, Van der Veen C (Dec 14-18, 2009, oral, [invited]) Satellite-era glacier changes in High Asia. NASA 'Black Carbon and Aerosols' press conference, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, USA.
- 梅村順(日本大学工学部) (Feb 22, 2010, oral, [invited]) ヒマラヤ氷河の変動—氷河湖決壊洪水災害の実態とその対策に向けての取り組み. (社)日本雪氷学会東北支部講演会「近年の雪氷圏の変動と災害およびその対策」.
- Fujita K (名古屋大学大学院環境学研究科). (Aug 27, 2010, oral, [invited]) Changes in cryosphere in the Asian highland. PAGES 1st Asia 2k Workshop in Japna, Nagoya.
- 檜垣大助(弘前大学農学生命科学部). (Sept 3, 2010, oral, [invited]) GLOF risk reduction in the Bhutan and Nepal Himalayas with reference to erosion and sedimentation problems. (独)土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター, つくば
- Fujita K (名古屋大学大学院環境学研究科). (Sep 3, 2010, oral, [invited]) Glacier Monitoring Activities in Japan, Nepal and Bhutan. World Glacier Monitoring Service General Assembly of the National Correspondents, Zermatt, Switzerland.
- Fujita K (名古屋大学大学院環境学研究科). (Sep 13, 2010, oral, [invited]) Recent changes in Himalayan glaciers and glacial lakes. Workshop on Integrated Studies of Environmental Changes and Climate Adaptation Responses in the Tibet-Himalayan Region, Kathmandu, Nepal.
- Ghally KS(ブータン地質鉱山局), Komori J, Tshering P, Takenaka S, Naito N, Sawagaki T (May 22-27, 2011, oral, [invited]) Hazardous lake evaluation by the field survey in the Bhutan Himalaya. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- Toeb K, Chopel J(ブータン地質鉱山局), Komori J (May 22-27, 2011, oral, [invited]) Overview

on the risk minimization project in Thorthormi glacial lake. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.

内藤望(広島工業大学環境学部). (Oct 22, 2011, oral, [invited]) ヒマラヤにおける氷河変動と氷河湖決壊洪水. 電気・情報関連学会中国支部連合大会, 広島.

Wangda U (ブータン地質鉱山局), Komori J, Tshering P, Higaki D, Sato G, Fujita K, Nishimura K (Oct 27-29, 2011, oral [invited]) Glacial lake outburst flood and its countermeasures in Bhutan. *5th International Conference on Flood Management (ICFM5)*, Tsukuba, Japan.

② 口頭発表 (国内会議 50 件、国際会議 18 件)

Umemuera J (日本大学工学部), Dangol V. (2008) Geotechnical Properties of the Moraine Constituting the Dam of Imja Tsho Glacial Lake in Nepal, International Symposium on Geo-disasters, Infrastructure Management and Protection of World Heritage Sites.

坂井亜規子(名古屋大学大学院環境学研究科), 西村浩一, 竹内望 (May 16-21, 2009, oral) ヒマラヤの氷河湖の急速拡大開始について. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.

藤田耕史(名古屋大学大学院環境学研究科) (May 16-21, 2009, oral) ヒマラヤにおける氷河湖の危険度再評価. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.

縫村崇行(名古屋大学大学院環境学研究科), 藤田耕史, 山口悟, Sharma RR (Sep 30 - Oct 3, 2009, oral) 多時期のデジタル地形データ(DEM)を用いた、氷河表面高度の時間的・空間的な変動の解析. 日本雪氷学会全国大会, 札幌.

藤田耕史(名古屋大学大学院環境学研究科) (Sep 30 - Oct 3, 2009, oral) ヒマラヤにおける氷河湖の危険度再評価. 日本雪氷学会全国大会, 札幌.

Ukita J (新潟大学自然科学系), Tadono T, Nishimura K (Nov 9-13, 2009, oral) Towards Integrated Glacier-Glacial Lake Inventory for the Himalayas using ALOS Data. 3rd ALOS Joint PI Symposium, Hawaii.

永井裕人(名古屋大学大学院環境学研究科), 藤田耕史, 縫村崇行 (Nov 26-27, 2009, oral) ASTER 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解析. 日本リモートセンシング学会, 名古屋.

Wangda U (ブータン地質鉱山局) (Dec 11, 2009, oral) National Adaptation Program of Action to Reduce Climate Change-Induced Risks and Vulnerabilities from Glacial Lake Outburst Floods in Bhutan, Enhancing Gross National Happiness through Climate Change Adaptation Projects in Bhutan, COP 15 side event, Copenhagen, Denmark.

Dorji Y (ブータン地質鉱山局), Komori J, Ghallay KS, Tshering P, Toeb Karma (May 23-28, 2010, oral) History and current state of glacial study and GLOF mitigation works in Bhutan. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.

藤田耕史(名古屋大学大学院環境学研究科), 坂井亜規子, Surazakov AB (May 23-28, 2010, oral) ヒマラヤにおける氷河湖の危険度再評価. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.

檜垣大助(弘前大学農学生命科学部), 小池徹, 小森次郎, 佐藤剛, 梅村順 (May 23-28, 2010, oral) ネパール及びブータンヒマラヤにおける氷河湖決壊洪水(GLOF)災害軽減への取り組み. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.

岩田修二(立教大学観光学部) (May 23-28, 2010, oral) ヒマラヤ山脈東部での氷河湖の形態的特徴と決壊の危険. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.

小池徹((株)地球システム科学), 竹中修平, 小森次郎, 梅村順, 大橋憲悟 (May 23-28, 2010, oral) ヒマラヤ地域における氷河湖決壊洪水の流量解析とリスク評価. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.

小森次郎(名古屋大学大学院環境学研究科), 竹中修平 (May 23-28, 2010, oral) GLOF による地形・堆積物と荒廃した谷底の回復. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.

小森次郎(名古屋大学大学院環境学研究科), Tshering P, 竹中修平, Ghallay KS (May 23-28, 2010, oral) ブータンヒマラヤの氷河湖湖盆地形. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.

- 永井裕人 (名古屋大学大学院環境学研究科), 藤田耕史, 縫村崇行 (May 23-28, 2010, oral) 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. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 奈良間千之 (総合地球環境学研究所), 田殿武雄, 山之口勤, 河本佐知, 阿部知佳, 浮田甚郎, 藤田耕史 (May 23-28, 2010, oral) ブータン・ヒマラヤの氷河湖インベントリー作成と最近の氷河湖変動. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- Nishimura K (名古屋大学大学院環境学研究科) (May 23-28, 2010, oral) Study on Glacial Lake Outburst Floods in Bhutan. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張. (International Session)
- 坂井亜規子 (名古屋大学大学院環境学研究科), 藤田耕史 (May 23-28, 2010, oral) ヒマラヤにおける氷河湖の形成条件. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 佐藤剛 (帝京平成大学現代ライフ学部), 檜垣大助, 梅村順, 小池徹, Tshering P, 小森次郎 (May 23-28, 2010, oral) ブータン王国マンデチュー中流域の地すべり地形分布価. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 田殿武雄 ((独)宇宙航空研究開発機構), 高久淳一, 河本佐知, 山之口勤, 藤田耕史, 西村浩一 (May 23-28, 2010, oral) 氷河・氷河湖モニタリングを目的とした「だいち」(ALOS)搭載 PRISM による数値地形情報の検証. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- Tshering P (ブータン地質鉱山局), Komori J, Toeb Karma (May 23-28, 2010, oral) Resent glacier variation in Bhutan Himalaya. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- Tshering P (ブータン地質鉱山局), Dorji Y, Komori J, Toeb Karma (May 23-28, 2010, oral) Flood from debris covered glacier -Tshojo Glacier in Bhutan Himalaya. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 梅村順 (日本大学工学部), 小森次郎, 竹中修平, Tshering P, 小池徹, 檜垣大助, 佐藤剛 (May 23-28, 2010, oral) ブータンヒマラヤの氷河湖堰止めモレーンダム構成材料の性質とダム決壊に係る2,3の検討. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 山口悟 ((独)防災科学研究所), 藤田耕史, 坂井亜規子, 縫村崇行, 澤柿教伸 (May 23-28, 2010, oral) 氷河湖形成と流動との関係. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 山之口勤 ((財)リモート・センシング技術センター), 田殿武雄, 富山信弘 (May 23-28, 2010, oral) 衛星搭載 SAR を利用した氷河湖の検出. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 梅村順 (日本大学工学部) (Apr 16-18, 2010, oral) ブータンおよびネパールヒマラヤの氷河湖堰止めモレーンダム構成材料の性質の比較. 日本雪氷学会東北支部大会研究発表会.
- Fujita K (名古屋大学大学院環境学研究科), Sakai A, Surazakov AB (Jun 21-25, 2010, oral) Re-evaluation of potential risk of glacial lake outburst flood in the Himalayas. International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate, Sapporo.
- Nagai H (名古屋大学大学院環境学研究科), Fujita K, Nuimura T (Jun 21-25, 2010, oral) Formation condition of debris-covered glaciers in the Bhutan Himalaya derived by satellite data. International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate, Sapporo.
- Sakai A (名古屋大学大学院環境学研究科), Tadono T, Fujita K (Jun 21-25, 2010, oral) Formation conditions of supraglacial lakes on debris-covered glaciers in the Himalayas. International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate, Sapporo.
- Yamanokuchi T ((財)リモート・センシング技術センター), Tadono T, Tomiyama N (Jun 21-25, 2010, oral) Detection of glacial lake by SAR data. International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate, Sapporo.
- Tadono T ((独)宇宙航空研究開発機構), Kawamoto S, Yamanokuchi T, Fujita K, Nishimura K (Jun 21-25, 2010, oral) Glaciers and Glacial Lakes Monitoring in the Bhutan Himalaya by PRISM and AVNIR-2 onboard ALOS. International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate, Sapporo.
- Tadono T ((独)宇宙航空研究開発機構), Takaku J, Kawamoto S, Yamanokuchi T, Fujita K, Nishimura K (Aug 9-12, 2010, oral) Evaluations for Potential of Glacial Lake Outburst Floods (GLOFs) in the Bhutan Himalaya using PRISM and AVNIR-2 onboard ALOS.

- International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Technical Commission VIII Symposium, Kyoto.
- Penjore T (ブータン地質鉱山局), 小森次郎, 檜垣大助, 佐藤剛, 小池徹, 梅村順. (Aug 10-11, 2010, oral) Watershed risk assessment of GLOF in Bhutan- a case study in Mangde Chhu river-basin -. 第5回土砂災害に関するシンポジウム, 宇部.
- 藤田耕史 (名古屋大学大学院環境学研究科), 坂井亜規子, Surazakov AB, 山之口勤, 竹中修平 (Sep 26-29, 2010, oral) ヒマラヤにおける氷河湖の危険度再評価-決壊前の氷河湖を用いた検証-. 日本雪氷学会全国大会, 仙台.
- 永井裕人 (名古屋大学大学院環境学研究科), 藤田耕史, 縫村崇行 (Sep 26-29, 2010, oral) 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. 日本雪氷学会全国大会, 仙台.
- 坂井亜規子 (名古屋大学大学院環境学研究科), 田殿武雄, 縫村崇行, 藤田耕史 (Sep 26-29, 2010, oral) ヒマラヤの氷河湖の出現予測に関する研究. 日本雪氷学会全国大会, 仙台.
- 山之口勤 ((財)リモート・センシング技術センター), 田殿武雄, 富山信弘. (Nov 9-10, 2010, oral) ブータンヒマラヤにおける ALOS/PALSAR データを用いた氷河湖の検出. 日本リモートセンシング学会 第49回(平成22年度秋季)学術講演会, 鹿児島.
- Yamanokuchi T ((財)リモート・センシング技術センター), Tadono T, Tomiyama N. (Nov 15-17, 2010, oral) Monitoring of Glacier Lakes in the Bhutan Himalayas by ALOS/PALSAR. The 4th ALOS Joint PI Symposium, Tokyo.
- Ukita J (新潟大学自然科学系), Narama C, Tadono T, Yamanokuchi T, Uda T. (Nov 15-17, 2010, oral) Glacier and Glacial Lake Inventory of Bhutan-Nepal using ALOS Data. The 4th ALOS Joint PI Symposium, Tokyo.
- Umemura J (日本大学工学部), Higaki D, Sato G, Koike T, (Nov 15-17, 2010, oral). Material properties of the moraine of the glacial lake and the examination about the outburst of dam of glacial lake for the hazard assessment. Sixth Nepal Geological Congress, Kathmandu, Nepal.
- Fujita K (名古屋大学大学院環境学研究科), Nuimura T (Apr 3-8, 2011, oral) Inhomogeneous wastage distribution of Himalayan glaciers. European Geosciences Union General Assembly 2011, Vienna, Austria.
- Tadono T ((独)宇宙航空研究開発機構), Kawamoto S, Yamanokuchi T, Ukita J, Narama C, Tomiyama N, Yabuki H (April 10-14, oral) Development of Glacier Lake Inventory in the Bhutan Himalayas Using PRISM and AVNIR-2 onboard ALOS "Daichi". 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment 2011, Sydney, Australia.
- 藤田耕史 (名古屋大学大学院環境学研究科), 縫村崇行 (May 22-27, 2011, oral) ヒマラヤにおける近年の氷河変動とその空間分布. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 藤田耕史 (名古屋大学大学院環境学研究科), 坂井亜規子, Surazakov AB, 山之口勤, 竹中修平 (May 22-27, 2011, oral) ヒマラヤにおける氷河湖の危険度再評価. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 岩田修二 (立教大学観光学部) (May 22-27, 2011, oral) 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. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- Chophel J (ブータン地質鉱山局), Kumahara Y (May 22-27, 2011, oral) Active faulting in southern Bhutan Himalaya and its application for active tectonics. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 小森次郎 (名古屋大学大学院環境学研究科), 小池徹, Tshering P, 山之口勤 (May 22-27, 2011, oral) 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- 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- Komori J (名古屋大学大学院環境学研究科), Koike T, Higaki D, Tshering P (May 22-27, 2011, oral) Natural disaster in Bhutan. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 永井裕人 (名古屋大学大学院環境学研究科), 縫村崇行, 藤田耕史 (May 22-27, 2011, oral)

- 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. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 奈良間千之 (総合地球環境学研究所), 田殿武雄, 浮田甚郎, 山之口勤, 河本佐知, 富山信弘, 矢吹裕伯, 藤田耕史, 西村浩一 (May 22-27, 2011, oral) 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. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 西村浩一 (名古屋大学大学院環境学研究科) (May 22-27, 2011, oral) 氷河なだれ, 氷河の滑落・崩壊が引き起こす津波. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 縫村崇行 (名古屋大学大学院環境学研究科), 藤田耕史, 福井幸太郎, 岡本祥子, 竹中修平, 保科優, 山口悟, 杉山慎, 永井裕人, 刀根賢太, 西山大陸, 長井宏介, 伊藤弘樹 (May 22-27, 2011, oral) GPS 測量データにより補正された多時期の DEM を用いた, ランタン地方の氷河表面高度の時系列変化. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 縫村崇行 (名古屋大学大学院環境学研究科), 坂井亜規子, 藤田耕史 (May 22-27, 2011, oral) 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. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 大橋憲悟 ((株)地球システム科学), 出村英紀, Penjore T (May 22-27, 2011, oral) ブータン・ヒマラヤにおけるモレーンダムでの物理探査. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 坂井亜規子 (名古屋大学大学院環境学研究科), 藤田耕史, 田殿武雄, 縫村崇行 (May 22-27, 2011, oral) ヒマラヤの氷河湖の形成条件に関する研究. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 佐藤剛 (帝京平成大学現代ライフ学部), 檜垣大助, 小池徹, 梅村順, Penjore T, Norbu P, 小森次郎 (May 22-27, 2011, oral) ブータン王国マンデ・チュー流域の地すべり地形分布. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 澤柿教伸 (北海道大学地球環境科学研究所), 渡邊悌二, Damodar L, Byers A (May 22-27, 2011, oral) 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. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 竹中修平 ((株)地球システム科学), 佐藤匡史 (May 22-27, 2011, oral) ブータンでの GLOF 防災のための社会調査.
- 浮田甚郎 (新潟大学自然科学系), 奈良間千之, 田殿武雄, 山之口勤, 富山信弘 (May 22-27, 2011, oral) 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. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 山口悟 ((独)防災科学研究所), 藤田耕史, 坂井亜規子 (May 22-27, 2011, oral) デブリ氷河の表面傾斜の支配要因に関する研究. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 山之口勤 ((財)リモート・センシング技術センター), 田殿武雄, 小森次郎, 小池徹, 河本佐知, 富山信弘, Tshering P () 時系列衛星画像でとらえた 2009 年 Tshojo 氷河の洪水イベント. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.
- 縫村崇行 (名古屋大学大学院環境学研究科), 藤田耕史, 山口悟, Sharma RR (May 23-24, 2011, oral) 多時期の DEM を用いた標高値の時系列変化の推定手法-ヒマラヤの氷河表面の高度変化の事例-. 日本写真測量学会 年次学術講演会, 東京.
- 縫村崇行 (名古屋大学大学院環境学研究科), 坂井亜規子, 藤田耕史 (May 26-27, 2011, oral) 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面積変化について. 日本リモートセンシング学会, 東京.
- Fujita K (名古屋大学大学院環境学研究科), Nuimura T (June 28 - July 7, 2011, oral) Inhomogeneous wastage distribution of Himalayan glaciers. International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly 2011, Melbourne, Australia.
- Sakai A (名古屋大学大学院環境学研究科), Tadono T, Fujita K, Nuimura T (June 28 - July 7, 2011, oral) Formation conditions of supraglacial lakes on debris-covered glaciers in the Himalayas. International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly 2011, Melbourne, Australia.
- Yamanokuchi T ((財)リモート・センシング技術センター), Tadono T, Komori J, Koike T,

Kawamoto S, Tomiyama N (July 25-29, 2011, oral) Temporal monitoring of supraglacial lakes on Tshojo Glacier at Bhutan. International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2011, Vancouver, Canada.

Fujita K (名古屋大学大学院環境学研究科), Nuimura T (Dec 5-9, 2011, oral) Spatially heterogeneous wastage of Himalayan glaciers. American Geophysical Union Fall Meeting 2011, San Francisco, USA.

③ ポスター発表 (国内会議 9 件、国際会議 11 件)

縫村崇行 (名古屋大学大学院環境学研究科), 藤田耕史, 山口悟, Sharma R (May 16-21, 2009, poster) 多時期の DEM を用いたネパールヒマラヤ・クンブヒマール地方の氷河表面の高度変化の分布について. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張.

佐藤剛 (帝京平成大学現代ライフ学部), 小森次郎, 檜垣大助, 小池徹, 岩田修二, 梅村順 (Jul 25-28, 2009, poster) ブータン王国, モンデ・チュー流域における地すべり地形学図作成計画. 日本地すべり学会研究発表会, 新潟.

坂井亜規子 (名古屋大学大学院環境学研究科), 藤田耕史 (Sep 30 - Oct 3, 2009, poster) ヒマラヤ山脈における氷河湖の形成条件. 日本雪氷学会全国大会, 札幌.

永井裕人 (名古屋大学大学院環境学研究科), 藤田耕史, 縫村崇行 (Nov 17-18, 2009, poster) ASTER 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解析. 極域気水圏シンポジウム, 立川.

Higaki D (弘前大学農学生命科学部), Umemura J, Sato G (Nov 18-19, 2009, poster) Risk reduction of glacial lake outburst in Nepal and Bhutan Himalayas. Asia-Pacific Symposium on New Technologies for Prediction and Mitigation of Sediment Disasters, Tokyo.

Iwata S (立命大学観光学部) (Jun 21-25, 2010, poster) Morphological features and risks of outburst of glacial lakes in the eastern Himalaya. International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate, Sapporo.

Narama C (総合地球環境学研究所), Tadono T, Yamanokuchi T, Kawamoto S, Abe C, Ukita J, Yabuki H, Fujita K (Jun 21-25, 2010, poster) Glacier lake inventory and recent changes of glacier lakes in the Bhutan Himalaya. International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate, Sapporo.

Yamaguchi S ((独)防災科学研究所), Fujita K, Sakai A, Nuimura T, Sawagaki T (Jun 21-25, 2010, poster) Interdependence of glacier lake formation on glacier dynamics. International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate, Sapporo.

Yamane N ((株)パスコ), Shibayama T, Fujita K (Jun 21-25, 2010, poster) Monitoring of the glaciers in the Khumbu region, Himalaya, by high-resolution SAR satellite TerraSAR-X. International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate, Sapporo.

佐藤剛 (帝京平成大学現代ライフ学部), 檜垣大助, 梅村順, Phuntsho N, Tshering P, 小森次郎, 小池徹 (Jul 7-8, 2010, poster) ブータン王国マンデ・チュー中流域の地すべり地形分布. 日本地すべり学会研究発表会, 那覇.

Sato G (帝京平成大学現代ライフ学部), Higaki D, Koike T, Umemura J, Phuntsho N, Tshering P, Komori J (Nov 15-17, 2010, poster). Landslide distribution as a potential GLOF risk in Mangde-chu River Basin, Bhutan. Sixth Nepal Geological Congress, Kathmandu, Nepal.

Yamanokuchi T ((財)リモート・センシング技術センター), Tadono T, Tomiyama N. (Dec. 13-17, 2010, poster) Detection of glacier lake using ALOS PALSAR data at Bhutan. AGU Fall Meeting, San Francisco, USA.

Fujita K (名古屋大学大学院環境学研究科), Sakai A, Surazakov AB, Yamanokuchi T, Takenaka S (Apr 3-8, 2011, poster) Re-evaluation of potential risk of glacial lake outburst flood in the Himalayas. European Geosciences Union General Assembly 2011, Vienna, Austria.

Nagai H (名古屋大学大学院環境学研究科), Fujita K, Nuimura T (Apr 3-8, 2011, poster)

Formation condition of debris-covered glaciers in the Bhutan Himalaya derived by satellite data. European Geosciences Union General Assembly 2011, Vienna, Austria.

永井裕人 (名古屋大学大学院環境学研究科), 藤田耕史, 縫村崇行 (May 26-27, 2011, poster) 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. 日本リモートセンシング学会, 東京.

Tadono T ((独)宇宙航空研究開発機構), Shimada M, Yamanokuchi T, Ukita J, Narama C, Tomiyama N, Kawamoto S, Fujita K, Nishimura K (July 25-29, 2011, poster) Development of glacial lake inventory in Bhutan using “DAICHI”(ALOS). International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2011, Vancouver, Canada.

永井裕人 (名古屋大学大学院環境学研究科), 藤田耕史, 縫村崇行 (Sep 20-23, 2011, poster) 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. 雪氷研究大会, 長岡.

内藤望 (広島工業大学環境学部), 山口悟, 澤柿教伸, 小森次郎, Tshering P, Ghalley KS (Sep 20-23, 2011, poster) 2010 年秋期ブータン・ヒマラヤにおける小型氷河の変動調査報告. 雪氷研究大会, 長岡.

山口悟 ((独)防災科学研究所), 坂井亜規子, 藤田耕史 (Sep 20-23, 2011, poster) デブリ氷河の表面傾斜の支配要因に関する研究. 雪氷研究大会, 長岡.

Nagai H (名古屋大学大学院環境学研究科), Fujita K, Nuimura T (Dec 5-9, 2011, poster) Formation condition of debris-covered glaciers in the Bhutan Himalaya. American Geophysical Union Fall Meeting 2011, San Francisco, USA.

(5)知財出願

- ①国内出願 (0件)
- ②海外出願 (0件)
- ③その他の知的財産権

(6)受賞・報道等

①受賞

2011/5 梅村順 平成 23 年度東北雪氷賞学術奨励賞

②マスコミ(新聞・TV等)報道(プレス発表をした場合にはその概要もお書き下さい。)

2009/3/7 Kuensel (ブータン)

2009/5/1 Kuensel website (ブータン)

2009/7/30 朝日新聞夕刊「氷河湖決壊 下流の村救え」

2009/9/29 NHK 総合「スタジオパークからこんにちは～ブータンの氷河湖 崩壊の危機～」

2009/9/30 NHK BS-1「アジアクロスロード～ヒマラヤの氷河湖崩壊の危険性～」

2009/10/5 インド新聞「ブータン氷河湖決壊洪水研究がスタート: 日本 ODA の新しい枠組みで」(ウェブ版)

2010/3/10 Kuensel 「A new look at an old threat」(ブータン)

2010/3/12 Bhutan Observer (ブータン)

2010/4/24 Kuensel 「A GLOF lesson from Peru」(ブータン)

2010/6/27 Bhutan Times (ブータン)

2011/2/26 Kuensel 「Inventorising the threats」(ブータン)

2012/2/14 読売新聞「ヒマラヤ解ける氷河」

2012/4/2 中国新聞「氷河縮小世界に警鐘」

以下、Kuensel におけるプロジェクトメンバーによる連載

2011/12/10 Kuensel 「Along the snowman trek」(竹中修平)

2011/12/17 Kuensel 「Glacial lake inventory updated」(Sonam Lhamo)

- 2011/12/17 Kuensel 「What is a glacial lake」 (津滝俊)
 2011/12/24 Kuensel 「Some unusual features at the bottom」 (Phuntsho Tshering)
 2011/12/24 Kuensel 「Purpose and method of bathymetric survey」 (小森次郎)
 2011/12/31 Kuensel 「Glacier districts in Bhutan」 (小森次郎)
 2012/1/7 Kuensel 「Kuri Chu and Dangme Chu glacier lakes」 (小森次郎)
 2012/1/7 Kuensel 「Condition of glacial lake formation」 (坂井亜規子)
 2012/1/21 Kuensel 「Keep an eye on Karma」 (Pema Deki)
 2012/1/21 Kuensel 「Satellite monitoring recommended」 (小森次郎)
 2012/1/28 Kuensel 「Bhutan's glacial history」 (奈良間千之)
 2012/2/4 Kuensel 「Glacial lakes in the headwaters of Mangde Chhu」 (Phuntsho Tshering)
 2012/2/4 Kuensel 「GPS can clarify actual shrinking of glacier」 (縫村崇行)
 2012/2/11 Kuensel 「Visual glacier shrinkages in the decades」 (内藤望)
 2012/2/18 Kuensel 「Types of glaciers on Bhutanese Himalayas」 (永井裕人)
 2012/3/3 Kuensel 「Debris-free Glaciers and their climatic reaction」 (津滝俊)
 2012/3/3 Kuensel 「Rock Glaciers and Permafrost in the Bhutan Himalayas」 (岩田修二)
 2012/3/11 Kuensel 「Topographic survey on the glaciers in Lunana」 (縫村崇行)
 2012/3/11 Kuensel 「Geophysical Study of Moraine Dam」 (大橋憲悟、Jamyang Chophel)
 2012/3/17 Kuensel 「Various usages of satellite data」 (山之口勤)
 2012/3/24 Kuensel 「Bhutan needs an active fault map to reduce seismic disaster」 (熊原康博)
 2012/3/31 Kuensel 「Landslides in Bhutan」 (Tshering Penjore、佐藤剛)
 2012/4/7 Kuensel 「GLOF's risk: Lessons learnt from TSUNAMI in Japan」 (小池徹)
 2012/4/7 Kuensel 「Having an interest in natural phenomena」 (Kharka S Ghalley、小森次郎)
 2012/4/14 Kuensel 「What will happen when glaciers disappear?」 (藤田耕史)
 2012/4/14 Kuensel 「You always ought to be prepared」 (西村浩一)
 2012/4/14 Kuensel 「Monitoring is the Key」 (Sonam Yangley)

③その他

- 2009/10/21 Nature, News Feature 「Climate: When the ice melts」
 2009/11/30 Environmentalresearchweb, Research Highlights 「Himalayan lake's flood threat overstated」
 2010/03/05 Nature Digest Japanese Author 「変動するヒマラヤの氷河・氷河湖を追う」
 2010/11/01 国際開発ジャーナル 11 月号「ヒマラヤ山系の緊急課題に対応した共同研究プロジェクト -もう一つの地球温暖化問題への挑戦-

(7)成果展開事例

①実用化に向けての展開

- 本プロジェクトの成果に基づき、豪雨災害も含めた洪水早期警戒システムに関する協力プロジェクトの実施可能性について、対象の部署である Department of Energy への助言を行った。その結果、政策の計画機関である Gross National Happiness Commission へ要請書が提出され、同機関での正式提案として採用された。
- 本プロジェクトの実施に伴い DGM 内において調査・研究業務が増えたことで、同局の氷河部門 (Glaciology Division) に 2 名の Geologist (専門職) が、また同土質試験室 (Geo-tech laboratory) に 2 名の Technical officer (技官) の増員が行われた。さらに DGM 独自のメンバーと予算によって、2012 年度中には本プロジェクトの実施内容に則った形で、他の流域での氷河湖調査が行われる予定である。
- JICA「地球規模課題に対応する科学技術協力」の一つである「科学技術研究員派遣」平成 23

年度事業に採択。研究課題名「ALOS 高解像度衛星画像を用いたアルゼンチン・アンデス山岳地帯における氷河台帳作成」(H24～25)

② 社会実装(研究成果の社会還元)への展開活動

- プロジェクトの政府機関への成果還元として、初めの2回のJCC会議においては Department of Disaster Management、Department of Energy、Department of Road 等の関係省庁、および National Land Commission といった上位機関のメンバーを加え、プロジェクト成果の公表を行っている。日本で実施した3回目/最終のJCCでは Gross National Happiness Commission と Department of Hydro-Meteorology Service からのメンバーが参加した。また、ブータンでのプロジェクト終了報告会では、上記のメンバーに加えて、Department of Disaster Management および UNDP からの参加者にも、本プロジェクトの成果を報告した。
- プロジェクトの自治体への成果還元として、国内で最も多くの氷河湖をかかえるガサ・ゾンカク(ゾンカクは日本の県に相当)の知事およびゾンカクスタッフを対象に成果報告会を実施した(参加者:約30名)。さらに、調査流域のシムガン、トンサ、ウォンディのゾンカクで報告会を行い、シムガンの学校2校とジザムの学校でも講演を行った。
- プロジェクトの一般への成果還元として、国内最大紙の Kuensel 紙に氷河湖決壊洪水や自然災害に関する現状解説、および氷河に関する概説を掲載している。両国のメンバーによる執筆で12月中旬から週1回全17週の連載。これら連載記事は Department of Disaster Management、Department of Energy、Gross National Happiness Commission 等の関係各省へ口頭の説明とともに直接再配布した。
- 上流に決壊危険性の高い氷河湖があるプナカ・ゾンカクの知事と担当者に対して、ゾン(県庁舎)および周辺施設の洪水対策についての助言を行った。
- 首都ティンプーで、市内の高校生を対象に、氷河、氷河湖および氷河湖決壊洪水に関する講演会を実施し、5校100名以上の高校生の参加を得た。
- プロジェクトで整備したブータン国全域のALOSデータセット(パンシャープン画像モザイク、数値標高データ)をブータン国内で有効活用して頂くための枠組みを構築した。既に、National Land Commission, Department of Hydro-meteorology Service から問合せ頂き、利用に関する手続きを進めて頂いている。

§6 プロジェクト期間中の主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2008/11/3	チョゴリザ初登頂五十周年記念シンポジウム「パイオニアワークとしての登山・探検・フィールドサイエンス」	京都大学芝蘭会館	不明	藤田耕史「気候変化とヒマラヤの氷河」

2008/12/18-19	ブータン GLOF 研究会 (非公開)	JAMSTEC 東京事務所	25	本プロジェクトの国内メンバーによるキックオフ会合
2008/12/20	名古屋大学地球水循環 研究センター公開講演 会「水と地球環境」	名古屋大学 シンポジオンホール	不明	藤田耕史「アジアの氷河変動が意味するもの」
2009/4/7-8	衛星班研究会(非公開)	名大地球水 循環センター	12	氷河湖の抽出手法に関する 情報交換と分担など
2009/1/29	一宮高校スーパーサイ エンスハイスクール (SSH)講演会	一宮勤労福 祉会館	不明	藤田耕史「アジアの氷河変動が意味するもの」
2009/1/30	岩国総合高校出張講義	岩国総合高 校	約 50	内藤望「地球温暖化の状 況」
2010/4/19	外務省サイエンスカフェ	外務省	約 25	田殿武雄「我が国の人工衛星による地球規模課題への 貢献」
2009/5/25	廿日市西高校連携模擬 授業	広島工業大 学	約 40	内藤望「地球温暖化と氷河」
2009/5/30	アセス班会合(非公開)	(株)地球シス テム科学	10	アセス班の活動計画に関する 協議
2009/6/3-4	キックオフ会合と関係者 ワークショップ	ブータン地 質鉱山局、 ティンパー (ブータン)	29	本プロジェクトのブータンに おけるキックオフ会合
2009/8/7	教育ネットワーク中国公 開講座	広島工業大 学	約 10	内藤望「氷から考える地球 環境」
2009/8/7	衛星班会合(非公開)	RESTEC	9	他班からのリクエストにつ いての検討と画像選定および 作業分担
2009/10/13-14	衛星班会合(非公開)	新潟大	6	氷河湖インベントリに関する 打合せと画像処理について の実習
2009/12/7-8	プロジェクト研究集会	北大低温研	29	2009 年秋の調査報告と解析 などの進捗報告会
2009/12/10	宮島工業高校連携模擬 授業	広島工業大 学	約 20	内藤望「地球温暖化と氷河」
2009/12/15	山陽女学園高等部出張 講義	山陽女学園 高等部	約 40	内藤望「地球温暖化と氷河」
2010/1/29	統合された地球温暖化 観測を目指してー雪氷 圏における観測の最前 線ー	千代田放送 会館ホール	不明	藤田耕史「アジアの氷河・氷 河湖と温暖化」
2010/2/22	衛星班会合(非公開)	RESTEC	10	氷河湖インベントリ作成に関 する打合せ、JCC と来年度 計画
2010/3/9	GLOF 関連サイエンスワ ークショップ	Hotel Namgey	28	2009 年のプロジェクト全体の 進捗報告

		Heritage (ブータン)		
2010/5/21	研修事前説明、および事例報告会(非公開)	ブータン地質鉱山局、ティンプー(ブータン)	13	物理探査・洪水解析の研修の事前説明、および洪水解析事例の紹介
2010/5/25	衛星班会合(非公開)	RESTEC	10	氷河湖インベントリ作成に関する打合せ
2010/5/26	ヒマラヤにおける氷河湖決壊洪水	幕張メッセ	60	地球惑星科学連合大会において発表セッションを開催
2010/6/7	現地調査報告	ブータン地質鉱山局、ティンプー(ブータン)	14	社会情報調査の成果報告
2010/7/2	衛星班会合(非公開)	JAXA 筑波宇宙センター	6	9 月現地調査打合せとHexagon 処理講習会
2010/7/9	衛星班会合(非公開)	新潟大	3	氷河湖インベントリに関する打合せと画像処理についての実習
2010/8/2	教育ネットワーク中国公開講座	広島工業大学	約 10	内藤望「氷から考える地球環境」
2010/8/12-14	調査会合(非公開)	国立登山研究所		9 月現地調査に関する全体会合
2010/8/19-20 および 9/1-2	衛星班調査のための高所トレーニング(非公開)	富士山	5	現地調査のための高所および GCP 計測トレーニング
2010/8/27	本邦研修および調査報告会	ブータン地質鉱山局、ティンプー(ブータン)	17	ブンツォ氏、ペンジョル氏による本邦出張、および熊原専門家(短期)による活断層調査の成果報告
2010/10/13	現地調査報告会	ブータン地質鉱山局、ティンプー(ブータン)	25	9-10 月に行われた氷河・氷河湖現地調査の報告
2010/10/16	衛星班会合(非公開)	大手町サンケイプラザ	7	氷河湖インベントリに関する打合せとデータ公開
2010/11/11	広陵高校出張講義	広陵高校	約 10	内藤望「地球温暖化と氷河」
2010/11/20	日本大学文理学部地球システム科学科 50 周年シンポジウム	日大文理学部	不明	小森次郎「学生時代の数年と卒業後の数十年をどう進むか - ヒマラヤの山の中で思ったこと -」
2010/12/6-8	プロジェクト研究集会	北大低温研	40	2010 年の調査報告と解析などの進捗報告会
2010/12/16	はつかいち環境講座	廿日市市役所	約 30	内藤望「地球温暖化と氷河」

2011/2/21	第 9 回名古屋大学 spcafe	Craig's Café	約 20	藤田耕史「氷河や雪渓を測り 続けてわかること」
2011/3/15	サイエンスワークショップ	Hotel Namegy Heritage (ブータン)	42	2010 年のプロジェクト全体の 進捗報告
2011/4/25	衛星班会合(非公開)	RESTEC	6	2011 年 3 月の JCC、研修実 施結果の報告、ALOS デー タ取得状況およびインベント リ作成状況確認、今後のス ケジュール確認と作業分担
2011/5/27-2 8	衛星班会合(非公開)	新潟大	3	氷河湖インベントリに関する 打合せと画像処理について の実習
2011/6/17	本邦出張報告会	ブータン地 質鉱山局、 ティンプー (ブータン)	19	DGM スタッフ 2 名 (Mr. Jamyang Chophel、Mr. K.S.Ghalley) による 本邦出張報告(地球惑星科 学連合大会、巡検)
2011/7/26	SATREPS ボリビア氷河 水資源プロジェクトとの 情報交換会	RESTEC	11	互いのプロジェクトに関する 情報、意見交換を実施し た。
2011/8/29	オフィス U 主催勉強会	ANA クラウ ンプラザホ テル広島	約 20	内藤望「世界の氷河研究と その成果～世界の氷河の謎 を明かす～」
2011/9/8	ヒマラヤと高校生の現地 交信(1 回目)	都立三田高 校	10	氷河域からの高校生を対象 とした遠隔授業. 現地調査 の概要とヒマラヤの地形・地 質について説明
2011/9/15	ヒマラヤと高校生の現地 交信(2 回目)	都立三田高 校	10	氷河、氷河湖の説明と質疑 応答
2011/9/29	ヒマラヤと高校生の現地 交信(3 回目)	都立三田高 校	10	氷河湖とその周辺の環境の 説明と質疑応答
2011/10/3～ 14	第 1 回 SATREPS 写真展	世界銀行情 報センター	約 250 名	写真展への写真提供
2011/10/5	ヒマラヤと小学生の現地 交信	大田区の小 学生	8	小学生を対象とした遠隔授 業. 氷河、氷河湖、温暖化、 ブータン社会について紹 介、質疑応答. NPO 地球対 話ラボとの共催.
2011/10/13	三田高校出張講義	都立三田高 校	10	遠隔授業のまとめとフォロー アップ
2011/10/12	第 1 回 SATREPS 写真展 「トークセッション」	世界銀行情 報センター	不明	岩田修二「ブータンを守 れ！氷河湖決壊に挑む」 小森次郎、佐藤剛
2011/10/18	日本雪氷学会東北支部 講演会	防災科学技 術研究所雪	27	西村浩一「ブータンヒマラヤ における氷河湖決壊洪水に

		氷防災研究センター新庄支所		関する研究」
2011/10/31-11/1	プロジェクト研究集会	北大低温研	40	2011年の調査報告と解析などの進捗報告会
2011/11/16	社会環境学のタベ	名古屋大学	15	西村浩一「ブータンの自然と社会」
2011/12/09	青年海外協力隊ブータン隊員総会での招待講演	Phuntsho Perli Hotel	25	ブータンの氷河湖調査、災害、水資源について概説
2011/12/13	インテレクチャル・カフェ広島	ひろしまハイビル 21	約 40	内藤望「地球温暖化に伴う氷河の変化」
2012/1/16	衛星班会合(非公開)	新潟大学東京事務所	5	インベントリ作成状況の確認、2012年2月JCC、公開シンポジウム、研修、3月一般向け公開シンポジウム、現地研修の内容調整、最終報告に向けた確認
2012/2/8	土佐女子高校出張講義	土佐女子高校	16	内藤望「地球温暖化と氷河」
2012/2/14	公開シンポジウム「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」	名古屋大学環境総合館	約 50	一般向けプロジェクトの成果報告会
2012/3/5	行政区向けプロジェクト成果報告	シェムガンゾン	約 50	プロジェクト成果を副行政区長および職員に紹介
2012/3/6	プリンス・ナムゲイ・アカデミー(私立高校)	シェムガン	約 120 名	プロジェクト成果や氷河地形などについて高校生、教員に紹介
2012/3/6	ティンティビ・ローワー・セカンダリー・スクール(小中学校)	シェムガン	約 130 名	プロジェクト成果や氷河地形などについて小中校生、教員に紹介
2012/3/7	行政区向けプロジェクト成果報告	トンサゾン	約 40	プロジェクト成果を行政区長および職員に紹介
2012/3/7	ジザム・プライマリー・スクール(小学校)	トンサ	約 80	氷河地形や洪水が起きた時の対応などについて小学生、教員に紹介
2012/3/8	行政区向けプロジェクト成果報告	ワンディゾン	約 30	プロジェクト成果を副行政区長および職員に紹介
2012/3/9	行政区向けプロジェクト成果報告	ガサゾン	約 30	プロジェクト成果を職員に紹介
2012/3/12	ティンプー市内高校生向け講演会	ティンプー	約 100	プロジェクト成果を紹介

2012/3/12	プロジェクト終了報告会 (非公開)	ティンパー	27	プロジェクトの成果報告と終了を確認
2012/3/15	美鈴が丘高校出張講義	美鈴が丘高校	10	内藤望「地球温暖化と氷河」

§ 7 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など

(1) 共同研究全体

- プロジェクト全体の現状と課題、相手国側研究機関の状況と問題点、プロジェクト関連分野の現状と課題。

プロジェクト期間中、現地調査 14 回(現地調査OJT含む)、室内研修 10 回、相手国側メンバーによる学術発表を伴う本邦出張 5 名、集団研修参加 2 回(各 2 名参加)が行われ、技術移転と研究は順調におこなわれた。また、プロジェクト 2 年目以降、現地プロジェクトルームにおいてカウンターパート側スタッフの出入りが活発になり、双方の関係がより緊密になった。

しかし、本プロジェクトで提供をしている各種の解析・判読や探査の技術はいずれも一朝一夕で体得できるものではなく、ある程度集中した実践を通じて身につける必要がある。しかし、カウンターパートのブータン地質鉱山局はブータンでは中規模の局であり、本プロジェクトに関わることでできる人員は限られていることから、ブータン側メンバーは複数の技術取得に携わる必要性があり、効果的な技術提供は全期間を通しての課題であった(相手国側の問題)。また、共同研究の牽引と技術指導を行う側である日本からの専門家派遣も、短期である場合はこれらの課題を克服することはできない(日本側の問題)。

- 各種課題を踏まえ、研究プロジェクトの妥当性・有効性・効率性・自立発展性・インパクトを高めるために実際に行った工夫。

【相手国側の問題に対する改善の工夫・教訓】

毎月、業務実施報告書をプロジェクトリーダーに提出し、長期専門家と調整員はできるだけ頻繁にプロジェクトリーダーやプロジェクトメンバーの執務室に出入りし、ブータン特有の長い立ち話も含めて情報の共有、連帯感の醸成に努めた。また、研修の講師からは研修終了時に課題を与え、メールを通じてカウンターパート側と連絡を取ることで、フォローを続けるように心がけた。カウンターパート側の中心メンバーであるプロジェクトマネージャーや氷河部門のメンバーについては、自主性と興味をもって研究を遂行できるような課題を与え、それらの成果について学会発表の機会を設けた。また、現地調査の目的や成果の理解向上のために、派遣された短期専門家を中心としてセミナーを開催した。さらに、2010 年 3 月と 2011 年 3 月の合同調整委員会開催時には、既存インベントリ発行元の ICIMOD も含め、他のプロジェクトや他局、他大学の関係者も招きサイエンスワークショップを開催し研究を促進させるとともに、知識と情報の共有を図った。本邦集団研修に代わる計画としては、カウンターパート側メンバーの 5 名に対して学会発表や研究打ち合わせを兼ねる形で、日本での研修と野外巡検を実施し、更に 4 名に対して JICA 既存の長期研修へ派遣した。

【日本側の問題に対する改善の工夫・教訓】

現地調査の目的や成果の理解向上のために、派遣された短期専門家を中心としてセミナーを開催した。また本プロジェクトでは、研究者と企画調整の長期専門家を一人ずつ配置することができた。もしこれが無かったら、また二人のうちどちらかが欠けたとしても、プロジェクトの遂行は相当に困難であったと考えられる。こういった状況は他の SATREPS プロジェクトでも同じことが予想されるが、特にブータンの様な小国の場合は学術研究に関する人材と体制が不十分であること、および本邦への研修や長期の滞在へ派遣できる人材が少ないことから、現地への完全な張

りつきが可能な長期専門家の派遣は必須と考えられる。

- ・ プロジェクトの自立発展性向上のために、今後相手国(研究機関・研究者)が取り組む必要のある事項。

供与資機材の活用： 供与した資機材を有効に活用するには、それらを持続的に使用することが重要である。これらの資機材は氷河・氷河湖研究以外でも活用の機会があることから、分野を問わず頻繁に使用し技術の向上を図る必要がある。特に 2010 年度秋からカウンターパートとともに実施している物理探査(比抵抗電気探査)においては、同年冬に OJT の機会をできるだけ発生させ使用・解析方法の着実な習得を目指した。

学術研究能力の向上： 本プロジェクトの成果は防災分野への活用と同時に、成果の学術的解釈とその後のアウトリーチが求められている。しかし学術解釈とアウトリーチについては、カウンターパート側メンバーにその意識が十分には備わっていない。今後、メンバーによる学会発表や学術雑誌への投稿とアウトリーチを進める必要がある。カウンターパート側においては、調査・研究成果のまとめから公表までの機会を増やすことを目的として、本プロジェクトによって地質鉱山局の研究紀要「Bhutan Geology (2002 年から休刊中)」の再刊行を進めている。

ブータン独自による現地調査の手法の模索： 氷河・氷河湖変動の調査・観測は本プロジェクト終了後も続く課題である。しかし現状ではブータン側の予算だけで現地調査経費を工面することが難しい。国内外の予算獲得の更なる努力と同時に、ブータン側独自で他の流域の調査計画を立案し、少ない予算で実施可能な調査手法を模索する必要がある。

(2)「プロセス班」研究グループ/研究題目：氷河湖形成と決壊過程の解明

- ・ 相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用。

当初経験が少なかったカウンターパート側の特に若手のスタッフも、複数回の現地調査において指導を受け議論を重ねたことで、氷河現象や地形・堆積物等の解釈、調査機材の使用方法についての知識と経験が蓄積されてきている。しかし、氷河部門や関連部門のスタッフは数が少ない上に、全員が他の業務に携わっているため、本プロジェクトによって得られたデータの解析やそれらの結果をまとめる時間が十分に確保できず、調査後の報告もこれまでは簡易なものが多かった。そこで、責任と興味を持って取り組められるテーマを現地で与えるように心がけた。また、写真や図を多用した「読みたくなる報告書」をまとめることを促した。さらに、カウンターパート側スタッフによって成果を学会発表や投稿の形で外に出すことを進めた。

- ・ 類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等。

高標高地での調査であるため、高山病のリスクが高く、また体力の消耗が激しい。実際に 2011 年の上流域調査では、ヘリコプターによる緊急救助を要請する事案が発生した。健康管理の徹底が重要だが、緊急時のバックアップ体制、連絡体制の準備を怠ってはならない。これらの経験で得られたノウハウは今後の特殊な地域におけるプロジェクト実施にも役立つと考えられる。

地球温暖化問題に関するプロジェクトは、多方面から注目を受ける分野であると同時に、温暖化による影響で苦む相手国では時間的猶予の無い問題である。それだけに相手国においては、現地調査の成果公表等はその影響を十分に考慮しつつ迅速かつ頻繁に行うことが重要と考えられる。

(3)「衛星班」研究グループ/研究題目：衛星データによる氷河湖拡大履歴の解析研究

- ・ 相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用。

衛星データの共有については、日本国内での体勢は整っているがカウンターパート側との共有システムは未整備であった(活動 1-1)。これは、ブータン国内の電源、ネットワーク回線の不安定性の関係で膨大なデータをオンラインで入手するには困難な状況である。本プロジェクトを通じて、カウンターパートの解析用コンピュータ環境が整備し、また研修を通じて衛星データを使いこなせる状況が整った。以上のことから、本プロジェクトで整備した衛星データおよび氷河湖インベントリー式のマスターコピーデータを 2012 年 3 月に現地へ引き継ぎ、今後の業務に役立てて頂ける環境を整備し、本プロジェクトにおけるタスクを終了した。

しかし、氷河湖インベントリーの継続的なメンテナンスについては今後も具体的な方法について相手国機関と継続的に議論すべきであり、研究担当もその意識は持っている。

- ・ 類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等。

衛星データ解析を複数機関で実施する際、成果物の品質を統一するため手法の共通化を図ることが望ましいと考えられる。

(4)「アセス班」研究グループ/研究題目:モレーン内部構造解析/GLOF ハザードマップ作成

- ・ 相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用。

2010 年 9 月に実施した現地調査の重要な目的のひとつとして、物理探査手法の技術協力があつたが、物理探査担当所員の予定が合わず、他所員が同行することとなった。この時期は、地質鉱山局にとっても年間のうち野外調査を実施できる貴重な期間であり、本プロジェクトへの特定所員のアサインが懸案事項となっていた。このため、下山後にティンパー近傍でトレーニングを実施するとともに、地質鉱山局の調査フィールドであるブータン南部のプンツォリン地区にて、OJT の形で物理探査指導を行った。これにより、当初予定されていなかった所員の参加もあるなど、より広範囲に、実践的かつ持続可能な技術移転がなされたといえる。

また、土質試験室の立ち上げにおいては、設置されている計測器や地質鉱山局所員の知識が、あるものは英国式であったり、あるものは米国式であったりと統一されていない状況である。こうした中で、あえて日本式の手法を導入することは、技術の持続性という点で望ましくなく、所員らの意見を取り入れながら、方式にとらわれず、最も適した手法の技術提供・支援を行っていくことが肝要である。

GLOF ハザードマップ作成に関しては、目的のハザードマップそのものは本プロジェクトの成果の一部として作成されるが、その前提となるさまざまな仮定が妥当かどうかは今後の検討課題である。洪水解析、ハザードマップなどは、作業そのものはコンピュータ上で行われるため、ブータン側には解析ソフトの使用方法さえ学べばそれでよしとする雰囲気があった。研修では、重要なのはソフトの操作方法ではなく、現地調査やサンプリングの積み重ねによって、少しずつでもソフトに入力するパラメータの精度を高めていく努力を継続することであると強調し、作成のプロセスを含めて、カウンターパートの自立発展性につながるような研修内容となるよう配慮した。

- ・ 類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等。

アセス班の技術協力項目としては、洪水解析・物理探査・土質試験・地形判読等が挙げられるが、これらはいずれも、GLOF に関わらず、地質鉱山局が恒常的に運営していく調査内容である。技術協力にあたっては、所員のインセンティブを高めるためにも、可能な限り、実践的かつ応用性の高い内容とし、さらに座学ではなく、ケーススタディや OJT を絡め具体的成果を生み出

せるような協力形態を検討することが望ましい。

§8 結び

3年という短期間ではあったが、本報告に記載したように、当初掲げた研究の目標は概ね達成されたと考える。研究組織の規模が比較的コンパクトであったこともあり、相互の連携も円滑に実施することができたと自負している。とりわけ、長期専門家および専属調整員が期間中にわたって現地に滞在したこと(地球規模課題の性格上、そうあるべきと当初から JICA/JST に伺っていたが…)は、本事業の遂行にきわめて有意義であった。

研究の成果に関しても、学会等で多数報告が行われており、今後より詳細な議論と考察を経て、学術誌に論文として公表される運びである。アウトリーチに対する掛け声が盛んな昨今であるが、一般受けする分かりやすさだけでなく、基礎的な学術研究も同様に推進することを怠ってはならない。また現地で基礎研究の重要性を啓蒙することも、途上国の学術・文化レベルを向上させるという意味で、一つの国際貢献となり得るはずである。

カウンターパートの参加意欲は一般的に高く、とりわけ若手の積極的な参画が見られた点は高く評価したい。ただし、カウンターパートの組織が少人数で構成され、それぞれが他の課題やプロジェクトにも関与していることから、それなりの制約があったことはいがめない事実である。プロジェクト後半からは、本邦からも大学院生やポスドクの若手が現地調査やワークショップに積極的に参画しており、両国の若手研究者の育成にも貢献できたと言えよう。

技術移転も可能な範囲で期間中に適切に実施されたと考える。衛星データ解析、洪水氾濫解析、衛星や航空写真による地滑り地形の判読等の机上解析のほか、湖盆調査、物理探査、土質試験、地すべり等の現地調査手法の能力は著しく向上し、それにもとづく災害対策立案能力も強化された。今後は、今回提言される早期警戒システムの導入、本プロジェクトの実施により培われた技術を応用した他の流域での氷河湖決壊危険度の評価等にむけて、地質鉱山局だけでなくエネルギー省ひいては国家行政全体としての積極的かつ持続的な取り組みを期待したい。なお、当初はブータンより関係者を多数呼び寄せた本邦研修を実施する計画であったが、プロジェクト関係者には謝金を支払えないという制度上の問題から取りやめとなったのは残念であった。

本プロジェクトの趣旨を鑑みるに、単に大学等の研究機関ばかりでなく、民間の組織の積極的な関わりが不可欠と考えられるが、彼らの参加が極めて難しい構造となっている。今回は好意に甘える形でボランティア的に加わっていただくこととなったが、制度の本質的改革が望まれる。また、本課題実施中にも何度となく申し上げたが、相手国のメンバーを留学生として迎え入れる枠組みが、プロジェクト実施期間中に限られる点は再考をお願いしたい。C/P の数、組織の大きさが限られる場合は、若手を1名日本に迎え入れることで、プロジェクトの進行そのものが困難となることを御理解いただきたい。Sustainability という観点からも、プロジェクト終了後のアフターケアの一環として、留学生を迎え入れるシステムが必要である。なお、本プロジェクトでは、関係者の御支援とご努力の結果、大使館推薦の枠組みを利用して、カウンターパートの1名を名古屋大学の留学生として迎えることが可能となった。この場をお借りして謝意を表したい。

最後に、JICA と JST はそれぞれ本研究課題に対する姿勢が異なることは十分に理解できるが、別途に報告書の作成および評価が実施されることなどを含め、今後はより相互で調整が行われることを期待したい。

以上