

国名	氷河減少に対する水資源管理適応策モデルの開発
ボリビア多民族国	

I 案件概要

事業の背景	<p>熱帯アンデスに属するボリビアの年間降水量は年間 500 ミリ程度であり、水資源の大部分を氷河の融解水に依存している。しかしながら、気候変動に伴い今後 30～40 年で熱帯アンデス氷河は消失すると予測され、水資源枯渇の危機に直面している。水質面では、氷河の消滅に伴い河川流量が減少し、河川や貯水池の汚濁負荷濃度増加に繋がると予測されていた。気候変動に伴い大雨の頻度が高くなることも予測され、豪雨による土砂の流出が、貯水池の貯水能力を減少させ、水資源の逼迫に拍車をかけることも予想されていた。ボリビアでは包括的に水問題を扱える専門家が不足し、かつ、水文・水質観測網の整備やデータマネジメント、水資源評価モデルも不十分な状況にあった。</p>												
事業の目的	<p>本事業は、ラパス市・エルアルト市において、気候変動下における氷河融解モデル・流出モデル・土砂侵食・移動モデル・水質モデルと水資源総合評価モデルの構築、及び、施政者との情報・知見共有を通じて、気候変動に対する適応策が検討されることを図り、もって、本研究で得られたモデルや研究成果が気候変動に適応した水資源政策の立案に活用されることを目指した。</p> <p>1. 上位目標：気候変動に適応した水資源政策の立案に、本研究で得られたモデル、科学知見、研究成果が活用される</p> <p>2. プロジェクト目標：ボリビア国ラパス市・エルアルト市における気候変動に適応した水資源政策策定を支援するシステム[*]が開発され、右システムをもとに情報や知見が施政者に提供され、適応策が検討される</p> <p>[*]システム：水資源に関する、データの収集・解析、各種モデルの運用、シミュレーションの実施、シミュレーションに基づいた情報や知見の共有、及びそれらを更新しつつ運用する体制</p>												
実施内容	<p>1. 事業サイト：ラパス市、エルアルト市</p> <p>2. 主な活動：気候変動下における氷河融解モデル、流出モデル、土砂侵食・移動モデル、水質モデルの構築、気候変動下における水資源総合評価モデルの構築、水資源管理情報や知見の政策立案関係者への提供等</p> <p>3. 投入実績</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">日本側</td> <td style="width: 50%;">相手国側</td> </tr> <tr> <td>(1) 専門家派遣 12人</td> <td>(1) カウンターパート配置 18人</td> </tr> <tr> <td>(2) 研修員受入（本邦） 20人</td> <td>(2) 施設・資機材の提供 執務スペース等</td> </tr> <tr> <td>(3) 機材供与 3D レーザー・スキャニングシステム、気象観測装置、水理観測機器等</td> <td>(3) 現地業務費 旅費、施設工事費、分析費用、機材購入費等</td> </tr> <tr> <td>(4) 現地業務費 旅費、現地コンサルタント備上費、通信費等</td> <td></td> </tr> </table>			日本側	相手国側	(1) 専門家派遣 12人	(1) カウンターパート配置 18人	(2) 研修員受入（本邦） 20人	(2) 施設・資機材の提供 執務スペース等	(3) 機材供与 3D レーザー・スキャニングシステム、気象観測装置、水理観測機器等	(3) 現地業務費 旅費、施設工事費、分析費用、機材購入費等	(4) 現地業務費 旅費、現地コンサルタント備上費、通信費等	
日本側	相手国側												
(1) 専門家派遣 12人	(1) カウンターパート配置 18人												
(2) 研修員受入（本邦） 20人	(2) 施設・資機材の提供 執務スペース等												
(3) 機材供与 3D レーザー・スキャニングシステム、気象観測装置、水理観測機器等	(3) 現地業務費 旅費、施設工事費、分析費用、機材購入費等												
(4) 現地業務費 旅費、現地コンサルタント備上費、通信費等													
協力期間	2010年4月～2015年3月	協力金額	（事前評価時）350百万円、（実績）246百万円										
相手国実施機関	環境・水資源省（MMAyA）、サン・アンドレス大学（UMSA）水理学研究所（IHH）												
日本側協力機関	東北大学、東京工業大学、福島大学、日本大学												

II 評価結果

<留意点>

- 事業完了後の効果発現の継続状況として、本事業の研究成果の活用、研究成果に関連する研究や新たな研究の実施の有無を検証した。プロジェクト目標の指標のうち、指標3は研究成果の活用に係る体制整備に係るものであるため、事後評価時の継続状況に関しては持続性の体制面で検証を行った。
- 上位目標の指標は設定されていなかったため、本事業の知見・研究成果が水資源政策の立案での活用の有無を検証した。

1 妥当性

【事前評価時・事業完了時のボリビア政府の開発政策との整合性】
 「国家開発計画」（2006年～2010年）において、最も脆弱な住民へ配慮をしつつ、天然資源としての水の供給と質を保証すると述べられている。また、「母なる大地の権利法」（2010年）及び「母なる大地ならびによく生きるための総合的開発枠組法」（2014年）でも水資源管理に重点が置かれており、これらと本事業の目標は合致していた。

【事前評価時・事業完了時のボリビアにおける開発ニーズとの整合性】
 氷河消失による水資源供給の減少は、住民生活や経済発展に大きな影響を及ぼすと予測され、水供給不足への対策が急務となっていた。ラパス・エルアルト都市圏では、地方からの人口流入が激しく、水需要が増大しており、対策を講じなければ、将来的に深刻な事態を招く可能性があった。本事業は、これらのニーズに事前評価時、事業完了時ともに合致していた。

【事前評価時における日本の援助方針との整合性】
 事前評価時、対ボリビアの援助の柱は「貧困削減のための社会開発支援」及び「持続的経済成長のための支援」であった。重点分野の一つである社会開発の中に水と衛生が含まれていた²。

【評価判断】
 以上より、本事業の妥当性は高い。

2 有効性・インパクト

¹ SATREPS とは、「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム」（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development）を指す。

² 外務省（2011年）「ODA データブック 2010」。

【プロジェクト目標の事業完了時における達成状況】

プロジェクト目標は、事業完了時まで達成された。本事業において、気候変動に適応した水資源政策策定を支援するシステムとして、氷河融解モデル、流出モデル、土砂侵食・移動モデル、水質モデル、水資源総合評価モデルが構築された。これらのモデルや活用計画案が関係者に活用された（指標 1）。例えば、MMAyA と世界銀行による「熱帯アンデスの氷河後退の影響に関する適応プロジェクト（PRAA）」において、土砂生産モデルが活用され、本事業から斜面崩壊予測マップが提供された。また、水資源影響評価モデルが IHH に導入され、関係者と共有された（指標 2）。本事業で収集した観測データも IHH により外部に公開された他、水資源政策への適用を目的として水資源プラットフォームが設立された。（指標 3）。

【プロジェクト目標の事後評価時における継続状況】

本事業の研究成果は、以下のとおり活用されている。氷河融解モデルは本事業の対象地域他で活用され、IHH 及び MMAyA が研究成果を論文や記事にまとめている。土砂侵食・移動・流出・水需要モデルは、国際原子力機関（IAEA）が気候変動のインパクト評価で参照している。水質モデルは UMSA 衛生環境研究所（IIS）が研究や事業で活用している他、MMAyA、IHH が上下水道公社（EPSAS）を対象とした研修を実施している。水マネジメントシステムは MMAyA がストックホルム環境研究所（SEI）と共同でコチャバンバ県ロチャ川流域における優先事業の意思決定モデルの開発に活用している。

上記に加え、本事業の研究成果に関連する研究や新たな研究も実施されている。IHH は日本大学の研究者を毎年受入れ、共同で Tuni 流域の氷河融解・水需要モデルの改善に向けた研究を実施している。IIS も東北大学と研究内容を共有し、主に水質モデルの研究を継続している。UMSA はフランス国立研究機構の支援を受けてチャルキニ氷河の研究を実施しており、本事業の研究を地域レベルで実施する合意を得た。

本事業で供与された主要機材も活用されている。2019 年 4 月のサイト視察により、IHH で保管されている機材（3D レーザー・スキャンニングシステム、気象観測装置、水理観測機器、水質観測機器等）が定期的に維持管理され、稼動していることが確認された。

【上位目標の事後評価時における達成状況】

上位目標は、達成されたと判断される。2016 年は、ボリビア全土で深刻な酷暑、過去 25 年間で最悪と言われる干ばつが生じ、人口の多い上位 10 都市中 7 市で水不足が発生し、25 万人以上が渇水の影響を受けた³。この事態において、UMSA は本事業で収集した情報や経験を基に、いち早く渇水被害を最小限におさえるための対策を提案した。その後、IHH、IIS が水委員会を主導し、MMAyA や他機関と共同で水資源政策の策定に取り組んだ。この結果、全国数か所でダム建設等の大規模プロジェクト等が立案・実施された。また、MMAyA が水資源モニタリングや解析のための資機材を投入し、UMSA 等の大学との共同で全国の気象予報プロジェクトを実施中である。さらに、気象予報データを用いて、水資源や水災害の予報を目的とした水資源政策立案に向けた研究を実施している。

本事業の研究成果の社会実装に向けた取組みとして、IHH がモデルの適用限界や適用先の固有条件を MMAyA と議論した上で、本事業での経験・知見が政策立案等への活用されている。具体的には、前述のとおり、2016 年の大渇水時に設置された危機キャビネットや、UMSA 内で設置された技術評議会、MMAyA が主催するボリビア地表水収支プラットフォームにおいて、本 SATREPS 事業で得られた科学的知見や研究成果に基づいて、渇水問題に対応する様々な政策決定がなされた。その後も毎年水資源予測が実施されており、水危機についての住民への説明が実施行われている。加えて、ボリビア地表水収支プラットフォームでは、各種水文地質モデルのアップデート、他流域での水資源管理、重点流域の流域指針計画策定についての議論が行われている。

【事後評価時に確認されたその他のインパクト】

第一に、ジェンダーに関するインパクトとして、本事業に参加した女性研究者の多くが事業完了後も活動を継続している。本事業実施以前は、登山や氷河研究は女性には難しいイメージがあり、従事するのは男性が多かった。UMSA によると、女性研究者が本事業に参加し、本邦での研修（修士課程修了）以降も同大学で研究を継続していることにより、周囲の研究テーマに対するイメージが変わり、より多くの女性の関心を引き、研究に参加するようになったとのことである。第二に、住民の節水意識が向上した。IHH によると、以前は水資源の減少が具体的に認識されていなかったが、本事業により明確に数値化され、ワークショップ等で周知が図られたことによる。

【評価判断】

以上より、本事業の有効性・インパクトは高い。

プロジェクト目標の達成度

目標	指標	実績
(プロジェクト目標) ボリビア国ラパス市・エルアルト市における気候変動に適応した水資源政策策定を支援するシステムが開発され、右システムのもとに情報や知見が施政者に提供され、適応策が検討される	1. プロジェクト成果が気候変動シナリオを考慮した水資源管理政策や他のプロジェクト又は研究者において言及ないし参照される	達成状況：達成（継続） （事業完了時） ・世界銀行が MMAyA と共同で実施した「熱帯アンデスの氷河後退の影響に関する適応プロジェクト（PRAA）」において、本事業の成果である、流域における土砂生産のモデルが引用された。本事業は提出された氷河インベントリをふまえ、気候変動に応じたラパス市の斜面崩壊予測マップを提供した。 （事後評価時） ・氷河融解モデル：IHH 及び MMAyA により研究記事 2 編、学術論文 3 編が作成された。 ・土砂侵食・移動・流出・水需要モデル：IAEA のプロジェクト（極地・山岳地帯における土地・水・生態系の質に対する気候変動のインパクト評価）で参照されている。 ・水質モデル：IIS、ABIS の研究や事業で活用されている。
	2. 気候変動シナリオを考慮した水資源影響評価モデルが水関連機関への情報提供ができる体制のある IHH に	達成状況：達成（継続） （事業完了時） ・気候変動シナリオを考慮した水資源影響評価モデルは IHH に導入された。また、IHH は各グループの成果をセミナーで関係機関に提供した。

³ この影響で、国家非常事態宣言の発令、環境水大臣及び EPSAS 最高責任者の解任・起訴などに及ぶ事態に発展した。

	導入される	(事後評価時) ・MMaYA、IHHがEPSASを対象とし水質モデルの研修を実施している。 ・水マネジメントシステム:MMaYAがSEIと共同でコチャバンバ県ロチャ川流域における意思決定モデルの開発に活用している。
	3. 上記モデルのアウトプットがウェブサイト公開される又は電子媒体に記録され関連機関に配布される	<u>達成状況:達成</u> (事業完了時) ・本事業のモニタリング結果がIHHに蓄積され、観測データの第1報(2014年)、第2報(2015年)が公開された。 ・ボリビアの水関連機関とドナーの参加により水資源プラットフォームを設立され、本事業で開発されたモデル、水資源展望データの水資源政策への活用が議論された。 (事後評価時) ・持続性体制面で検証。
(上位目標) 気候変動に適応した水資源政策の立案に、本研究で得られたモデル、科学知見、研究成果が活用される	1. 気候変動に適応した水資源政策の立案に、本研究で得られたモデル、科学知見、研究成果が活用される	<u>達成状況:達成</u> (事後評価時) ・2016年11月、ボリビア全土で大洪水が発生した際、IHH及びIISが洪水被害を最小限に抑えるための対策を最初に提案した。その後、MMaYAや他機関と共同で水資源政策策定に取り組んだ結果、全国数か所でダム建設等の大規模プロジェクト等が立案・実施された。 ・MMaYAが計算機資源を投入し、UMSA等の大学と共同で、全国の気象予報プロジェクトを実施している。気象予報のデータを用いて、水資源や水災害の予報を目的とした水資源政策立案に向けた研究を実施している。

(出所) 終了時評価報告書、JST終了報告書、IHH、IIS、MMaYAへのインタビュー。

3 効率性

事業期間、事業費ともに計画内に収まった(計画比:それぞれ70%、100%)。アウトプットは計画どおりに産出された。したがって、本事業の効率性は高い。

4 持続性

【政策・制度面】

気候変動に適応した水資源政策は国家開発計画で優先付けられている。特に、2016年の大洪水後、水資源管理政策・施策は最優先課題となり、異常事態に対する緊急時対応計画が毎年策定されるよう給水衛生規制監視局より義務付けられている。

【体制面】

本事業で設立された水資源プラットフォームは継続していないが、上述のとおり、本事業の研究成果の活用においては、MMaYA主催のボリビア地表水収支プラットフォームが機能している。同プラットフォームには、UMSAの他、サン・シモン大学、タリハ大学、EPSASが参加している。本事業の本邦研修に参加したIHH及びIISの研究者は日本での研究成果を現在の業務に活用している。それぞれ、UMSA、MMaYA企画局特別研究ユニット、民間コンサルタント・建設会社等で活躍している。UMSAはEPSASとの提携も継続している。覚書を交わし、ラパス市、エルアルト市の水資源データをUMSAに提供している。

本事業で整備された研究機材の維持管理担当は、UMSAにより継続雇用されている。事業サイトに設置された気象観測装置はUMSAが近隣の住民に管理を依頼し、定期的に維持管理状況を現地で確認している。

【技術面】

IHHは雪氷・流出・土砂・水質の各々のグループで学部生の論文テーマとして研究が続けられており、学術論文としてまとめられている。日本の研究者(東北大学、日本大学、東京工業大学)との研究内容も継続して共有し、日本側より適宜、技術的な助言もあり、研究能力の維持・向上が行われている。社会実装に向け、MMaYAは企画局内に特別研究ユニットを設立し、水資源というテーマを横断的に扱っている。他の次官室や県、市、EPSAS、UMSAをはじめとする大学とも協働することで、科学技術リテラシーを維持・向上させている。既述のとおり、本事業でIHHに整備された研究機材は稼働・維持管理されており、データを継続的に収集できていることから、IHHの機材維持管理の知識・スキルは継続している。他方、2017年に、前年の洪水対策としてIHHがEPSASを対象として研修を実施し、データ入力ができるようになったが、本事業で開発されたモデルを気象・水量・水質予報のツールとして十分なまでには使いこなせていない。

【財務面】

本事業の研究成果に基づく研究や関連する研究の財源は、2016年以降、日本学術振興会の二国間交流事業と学術研究助成基金助成金により確保されている。毎年250万円(約22,000USD)の予算があり、全額執行されている。UMSAによるとこの金額は研究活動に十分である。機材の稼働・維持管理の予算も確保されているが、機材更新の積立金がない。MMaYAは社会実装に向けた議論をボリビア地表水収支プラットフォームで行っているが、この運営は米州開発銀行(IDB)(2016年度370,000USD、2017年度59,000USD)やベルギー開発公社(2018年度120,000USD)からの外部資金を得ており、2019年度もIDBからの支援が予定されている。

【評価判断】

以上より、財務面に一部問題があり、本事業によって発現した効果の持続性は中程度である。

5 総合評価

プロジェクト目標は達成された。ラパス市及びエルアルト市における気候変動に適応した水資源政策策定を支援するシステムとして、氷河融解モデル、流出モデル、土砂侵食・移動モデル、水質モデル、水資源総合評価モデルが構築され、これらはMMaYA他関係機関に活用された。事業完了後もこれらのモデルは活用され、本事業の研究成果に関連する研究や新たな研究も実施されている。2016年の深刻な洪水時にはその対策として、UMSAは本事業の研究成果を基に、MMaYAや他機関と共同で水資源政策の策定に尽力し、この結果、ダム建設等の事業の立案・実施に繋がったことから、上位目標は達成されたと判断される。持続性に関して、機材更新の積立がないこと、EPSASがモデルの完全な活用に向けて更なる改善の余地があることが若干の懸念ではあるが、本事業の研究成果に基づく研究や関連する研究の実施、社会実装に向けた体制、技術はUMSA、MMaYAともに問題はない。

以上より、総合的に判断すると、本事業の評価は非常に高い。

III 提言・教訓

実施機関への提言：

- 事後評価時点で、本機材で整備された研究機材は稼働・維持管理していたが、今後、機材更新が必要となる。今後の機材の維持管理・更新については、本来は飲料水供給のために水資源をモニタリングし、将来予測を行う必要のある EPSAS がその予算手当を担うよう、UMSA は EPSAS と議論するよう提言する。それに対する合意を 2019 年度中に文書にて取交すことが望ましい。
- EPSAS 技術者が水資源量・水質予測モデルを十分に活用できていない点に関し、その技術定着を目的として、MMAyA と EPSAS は研修を今後少なくとも 1 年間継続して実施することを提言する。

JICA への教訓：

- 本事業では、気候変動に適応した水資源政策策定を支援するシステムとして、氷河融解モデル、流出モデル、土砂侵食・移動モデル、水質モデル、水資源総合評価モデルの 5 つのモデルが開発され、政策立案の関係者と共有された。事業期間内でプロジェクト目標は達成されたものの、事業完了後を見据えて社会実装に向けた技術移転のための活動が含まれれば、これらのモデルの活用がより一層有効なものとなったと思われる。そのための時間を十分に確保するためには、案件形成時または事業開始の早い段階で、専門家チームは実施機関との協議を十分に行い、実施機関の業務内容・スケジュールを十分に把握し、事業の活動内容、成果品納品時期を含む活動計画を策定することが重要である。また、ボリビアのように成果品の承認等の手続きに長い時間要する国においては、実施機関内での承認手続き・所要時間を十分に把握した上で活動計画を策定することが重要である。即ち、社会実装を見据えた期間、実施機関内での手続き・所要時間を考慮した事業計画を策定することが必要である。



コンドリリ氷河



供与された気象・水文観測機