

# 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

## 研究課題別終了時評価報告書

### 1. 研究課題名

氷河減少に対する水資源管理適応策モデルの開発 (2010年4月-2015年3月)

### 2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者: 田中 仁 (東北大学・大学院工学研究科・教授)

2. 2. 相手国側研究代表者: Prof. Angel Alliaga (サンアンドレス大学・水理水文研究所・教授)

### 3. 研究概要

本プロジェクトの上位目標は、首都地域の水源となっている氷河が地球温暖化により縮退しているボリビアを対象に、(1) 気候変動に対応した水資源政策支援システムの構築および(2) 2030年代までのボリビアにおける水資源の展望と科学的知見の提供により、気候変動に対する水資源管理適応政策の立案に資することである。

具体的には(1) 流域の水文・気象を継続的にモニタリングする観測網の構築、(2) 氷河融解、流出、土砂移動、水質変化の解析モデルを統合した、水資源を質・量の両面から評価できる水資源統合モデルの開発、(3) 氷河縮退・消失とそれに伴う水資源展望を行い、政府機関に提示する。さらに共同研究を通じて、水資源マネジメントに資する技術をボリビアに移転すると共に必要な人材を育成し、気候変動に対する水資源適応策という長期的な課題にボリビアが自立的に取り組める体制を強化することを目指す。

### 4. 評価結果

**総合評価 (A- : 所期の計画と同等の取組みが行われ、一定の成果が得られている)**

本プロジェクトは、ボリビアの世界でも有数の高地氷河地域を対象とした研究であり、高地ゆえに観測データの収集といった基礎的な研究活動にも困難が付きまとう環境で、首都圏の水源となっている Tuni-Condoriri 氷河と HuaynaPotosi West 氷河を含む Tuni 貯水池流域において水文・気象観測網を整備し、気候変動に対する氷河後退、河川流量、貯水池の土砂堆積と水質に関するデータセットを獲得した。

さらに、モニタリングデータに基づいて、氷河融解モデル、流出モデル、土砂生産・運搬モデル、貯水池水質モデルを構築し、水資源を質量の両面から評価できる水資源統合モ

デルを開発したことは、先駆的な研究として高く評価できる。

一方、中間評価の段階で氷河の水源としての寄与が想定したよりも小さく、水資源としては、この地域の降水(降雨・降雪)量の評価がより重要であることが明らかになったが、地球規模の気候変動研究の現状ではこの地域の降水量変化の精度の良い予測が困難であることが判明し、長期の水資源供給量を高精度で予測するには至らなかった。また、現業公共機関で水源管理適応策として活用されるとの見通しがまだ明確とはいえない。

以下に、評価項目における特筆すべき内容を列挙する。

#### 4-1. 地球規模課題解決への貢献

##### 【課題の重要性とプロジェクトの成果が課題解決に与える科学的・技術的インパクト】

ボリビアのように氷河域を水源としている国、地域においては気候変動による氷河の縮退は、水資源問題として極めて重要であると考えられていた。本研究により得られた、ラパス都市圏の水源である上流の氷河域から消費地である都市圏までを科学的に解析する手法及びその解析結果は当該地域における気候変動と水資源の関係を知る上で科学技術的にも社会的にも重要な成果といえる。一方で、氷河自体からの水供給の割合が少なく、水源としては降水量がより重要であることが判明したが、この地域での GCM(Global Climate Model)の降水量についての予測誤差が大きいことなどから長期的な水資源変動の実用レベルでの予測ができなかった。今後も観測を継続することにより将来的には GCM の降水量の予測精度改善に促し、水資源変動の予測可能期間が上げられることを期待したい。

##### 【国際社会における認知、活用の見通し】

アンデス高地における、水文・観測網の構築、氷河・積雪の融解、流出、水質モデルの開発など、ユニークな成果を得ており、国際的にも高く評価されている。今後、GCM 開発機関への観測データの提供・公開も含めて、積極的に情報発信することによりアンデス地域の降水量の変動予測精度の向上に貢献することが期待できる。

水収支や水資源の課題は環境の違いのほか社会的な面も含め地域的な特性を考慮する必要がある、本研究で開発されたモデル等は対象地域に合せてチューニングされている為、近隣アンデス諸国への活用という点も含め一般性が成り立つかには不確定さがある。一方で科学的な水資源管理が重要であるという認識をボリビア国内はもとより発展途上国に広く伝える良いモデルケースになり得ると思われる。

##### 【他国、他地域への波及】

同じような状況にある隣接アンデス諸国（ペルー、エクアドル、コロンビア）の関心は高く、セミナーやワークショップなどにより技術の展開、広域観測網の整備、連携研究体制の構築などに寄与できる可能性が大きいと考えられる。そのためには、プロジェクト終

了後も引き続き日本も支援することが必要と思われる。

#### 【国内外の類似研究と比較したレベル】

従来のアンデス氷河研究のほとんどが過去の変動状況の報告であったのに対して、本研究では、系統的な観測を基に構築した氷河融解モデルのシミュレーションによって、現状での氷河融解が水資源供給に与えている影響は 10%程度とそれほど大きくはないこと、予想される気温上昇が続くと仮定した場合でも、Tuni-Condoriri 氷河と HuaynaPotosWest 氷河は今後 30 年間では消失しないこと、など地域特性を明らかにしたことは先駆的研究成果として評価できる。

### 4-2. 相手国ニーズの充足

#### 【課題の重要性とプロジェクトの成果が相手国ニーズの充足に与えるインパクト】

ボリビア政府の要請を受けて始まったこの研究は、研究体制の構築（人材育成、技術移管を含む）、観測網の構築に加え、ラパス市・エルアルト市の水源である、Tuni-Condoriri 氷河と HuaynaPotosWest 氷河の水供給メカニズムを明らかにしたことに意義があろう。更に、降水量及び気温などの気象予測が可能な範囲（現時点では短期にとどまるが）で水の供給量が精度よく予測できるようになり、上水道の運用に適用できるなど、相手国ニーズに適合した成果を挙げている。一方、当初目的の、長期的な水資源政策への反映が困難なこと、支援ツールである水資源管理適応策モデルが、上流から下流まで統一的にまとまったと言うにはまだ早い段階であることなどの課題が残されている。個別課題の成果をバラバラに相手国に渡しても、水資源管理適応策として持続的に運用することは難しい為、最終段階で統合化に注力する事が望ましい。

#### 【課題解決、社会実装の見通し】

ボリビア側のカウンターパートは、当初、サンアンドレス大学水理水文研究所と衛生研究所が主であったが、研究の後半では環境・水資源省やラパス市・エルアルト市上下水道公社との連携が深まり、2014 年 10 月には、本プロジェクトの成果を受け継ぎ、発展させる組織として大学と上記行政機関によって構成される「ボリビア水資源プラットフォーム」が設立された。このプラットフォームが、成果の社会実装に向けて有効に機能することを期待したい。

#### 【継続的発展の見通し（人材育成、組織、機材の整備等）】

JICA 長期研修員として日本の大学院修士・博士課程に留学したサンアンドレス大学研究者 8 名が、各種モデル開発とその適用に関する研究を進める能力を身につけている。サンアンドレス大学首脳も彼らが帰国後この分野で働ける地位につける配慮をする意向であり、彼らが中心となって研究の継続的発展が進むことが期待できる。また、本プロジェクトの一つの成果として設立された「ボリビア水資源プラットフォーム」が、研究の継続的

発展と社会実装に有効に機能する組織となることを期待したい。そのためにも日本側の引き続きの支援、連携が望まれる。

**【成果を基とした研究・利用活動が持続的に発展していく見込み（政策等への反映、成果物の利用など）】**

各種モデルの開発については講習会、トレーニング等も行われ、マニュアル等がスペイン語で整備されていることから、部分的にはあっても、研究成果が持続的に活用される可能性は高い。さらに本プロジェクト成果が「ボリビア水資源プラットフォーム」を通じて、政策に反映されることが望まれる。

### 4-3. 付随的成果

**【日本政府、社会、産業への貢献】**

日本の水管理技術の先進性を条件の異なる熱帯高地アンデス氷河地域においても示すことができた。また、人的ネットワーク、氷河地域の水資源の解析など、高地にある国、都市などの上下水道の整備に関する日本としての国際支援、技術、産業の展開にある程度寄与するものと思われる。

**【科学技術の発展】**

日本では経験することができない高地での観測が行われ、貴重なデータ、知見、経験が得られた。アンデス氷河の研究を、経験的研究から理論的モデル研究に発展させた点が評価される。他方、地域別の水資源管理モデルは、その境界条件として、GCMからのダウンスケールを行うため、そこから先を精緻化しても、GCMの誤差で予測精度が決まってしまうので、今後も観測点を増やし継続的に観測を行いデータを蓄積することで本地域のGCMの精度を向上させていく必要がある。

**【世界で活躍できる日本人人材の育成（若手、グローバル化対応）】**

日本からの長期派遣者はいなかったが、かなり厳しい環境条件にも関わらず多くの学生を現地に同行し観測等に從事させたり、ボリビアからの留学生を多く受け入れ研修を行ったことは日本人学生のグローバル人材への育成と言う観点で評価できる。日本の学生や若手研究者の中からスペイン語でも研究交流ができる人材が育つことを期待したい。

**【その他の具体的成果物（提言書、論文、プログラム、試作品、マニュアル、データなど）】**

モデルのマニュアル作成や学術雑誌への発表など多くの成果物を作成した。一方で、査読付き論文において国際誌が9編、国内和文誌が26編と言う構成は、五年間の国際共同研究であることを考えると必ずしも十分とは言えない。今後、特に国際誌への論文発表を期待したい。

#### 【技術および人的ネットワークの構築（相手国を含む）】

ボリビアから 8 名もの留学生を受け入れており、今後のネットワーク構築に有効と思われる。留学経験者の大部分は、ボリビアの大学、研究機関、政府機関その他の関連機関で職を得られる見通しである。ただし、ボリビア側の研究者はそれほど多くなく、特に中心的な役割を果たしてきた研究者は、他国あるいは他のプロジェクトに異動する可能性がないとは言えないようである為、本研究プロジェクトで形成された研究者／実務者ネットワークを、サンアンドレス大学に設置された「水資源プラットフォーム」の中で継続・拡大させることが望ましい。

#### 4-4. プロジェクトの運営

##### 【プロジェクト推進体制の構築（他のプロジェクト、機関などとの連携も含む）】

研究開始直後に機材の盗難に遭ったこと、また東日本大震災により主研究期間である大学が大きな被害を受けたことなど多くの困難があったにも拘わらず、ほぼ予定通りで進捗したことは推進体制が良く構築されていたことの証であると思われる。また、気象水文観測による基本的データ取得と各種モデル開発に重点を置き、大学間の共同研究や人材育成は十分進んだが、成果を反映すべき政策立案実施機関、すなわち現業機関（環境・水局や上下水道公社）との交流が遅れたため、実施機関での研究成果に対する理解は十分とは言えないと思われる。持続性を維持する上でも今後の課題と考えられる。

##### 【プロジェクト管理および状況変化への対処（研究チームの体制・遂行状況や研究代表者のリーダーシップ）】

3.11 東日本大震災、ボリビア現地でのストライキ、住民の反対運動や観測機材盗難など、予期しない困難に遭遇する中で、体制を維持し、研究を進めることができたのは研究代表者のリーダーシップに依るところが大きく、評価できる。一方で、氷河自体の融解が水供給量に占める割合が小さく、降水量（降雨、降雪）の予測が重要であるとの知見が得られたが、その結果をその後の研究計画に十分反映したとは言い難い。

##### 【成果の活用に向けた活動】

研究成果の実装を行う組織として国や地域の行政機関で構成される「水資源プラットフォーム」が立ち上ることになったことは、評価できるが、出来れば1年位前に立ち上げ、その運用の道筋を付けることが出来ていればなお良かったと思う。ボリビアの現業機関に活用してもらう努力はさらに必要ではないかと思われる。

##### 【情報発信（論文、講演、シンポジウム、セミナー、マスメディアなど）】

モデル開発に関する技術移転や研究成果の活用などのためのセミナーや講演会を現地で適宜開催している点は評価出来る。しかしながら、政府、現業機関に何をどう活用してもらうかという意図を明確にした情報発信は十分とはいえない。また、論文発表は良く行わ

れているが、国際誌 9 編は、これが5年間の国際共同研究であることを考えるとやや少ないと考えられる。

#### 【人材、機材、予算の活用（効率、効果）】

東日本大震災、現地ストライキ、関税問題による供与機材納入の遅れ、住民反対運動や機材盗難など、研究計画が遅延する事態に遭遇したが、最終的には概ね当初計画に近い成果を上げることができた。

#### 4-5. 今後の研究に向けての要改善点および要望事項

今後、本プロジェクトの成果の活用と発展へ向けてキーとなるのは、観測が継続的になされることは当然として、サンアンドレス大学を中心に設立された「ボリビア水資源プラットフォーム」が有効に機能するかどうかである。有効に機能させるためには、ボリビア側の自発的措置が前提になるが、日本側の支援も不可欠だと考えられる。日本側の継続可能な支援体制を構築していただき、ボリビアの水資源計画への反映など、社会実装に道筋をつけることが重要である。さらに、当該地域の観測データを発信し、降水量予測の精度向上に寄与する事を期待したい。

一方、技術面では、解析・予測結果について誤差評価をきちんと行い表記すること、氷河の移動（流下）を無視した影響評価と（必要ならば）その改善をすることが重要である。また、各モデル（氷河融解、流出、土砂生産・輸送、水質）間の関係を明確に記述し、最終的に水資源管理適応策モデルとしてどのように統合化するのか、道筋を明確にするのが望ましい。更にこれらを相手国の現業機関に明確に示すことによって、プロジェクト成果が活用されることを期待したい。

以上

研究課題名	氷河減少に対する水資源管理適応策モデルの開発
研究代表者名 (所属機関)	田中 仁 (東北大学工学系研究科教授)
研究期間	H21採択 平成22年4月から平成27年3月(5年間)
相手国名	ボリビア多民族国
主要相手国 研究機関	サンアンドレス大学水理研究所(IHH-UMSA)、サン アンドレス大学衛生研究所(IIS-UMSA)

### 付随的成果

日本政府、社会、産 業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ボリビア人留学生の増加(プロジェクト外も含む)および日本学術振興会 外国人特別研究員の内定</li> <li>・日本が運用する人工衛星の活用</li> <li>・大学生、高校生への水環境技術のアピール</li> </ul>
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> <li>・氷河モニタリング</li> <li>・熱帯氷河分布する流域のモデリング手法</li> <li>・世界最高地の首都圏における水資源分野の気候変動に対する適応策支援</li> </ul>
人材育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ボリビア側: 修士6名, 博士2名の学位取得(科学的アプローチで気候変動に対する水資源適応策の立案に資する人材の育成)</li> <li>・世界で活躍する日本人若手の育成</li> </ul>
知的獲得、国際標準化、生物資源へのアクセスデータ入手	該当なし
その他(提言書、論文、マニュアル等)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国内誌26編, 国際誌9編</li> <li>・国際学会受賞1件、国内学会受賞3件</li> <li>・流域管理モデルとスペイン語マニュアル</li> <li>・データカタログ発行</li> </ul>
技術及び人的ネットワークの構築(相手国含む)	<ul style="list-style-type: none"> <li>相手国側: 水資源プラットフォームの設立, モデルセミナー開催、PRAA技術提供</li> <li>日本側: 氷河ネットワークの構築</li> </ul>

(注)プロジェクトサイトは、ラパス市とエルアルト市の水源(の一部)である、Huayna Potosi西氷河およびTuni-Condoriri氷河を源流とするTuni野水池流域である

### 上位目標

(ボリビア国において) 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、科学的知見、研究成果が活用される。

研究内容・成果がボリビア政府、地元自治体などに認められ、本国国内での活用・普及への道筋が明らかになる

### 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、この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。

※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

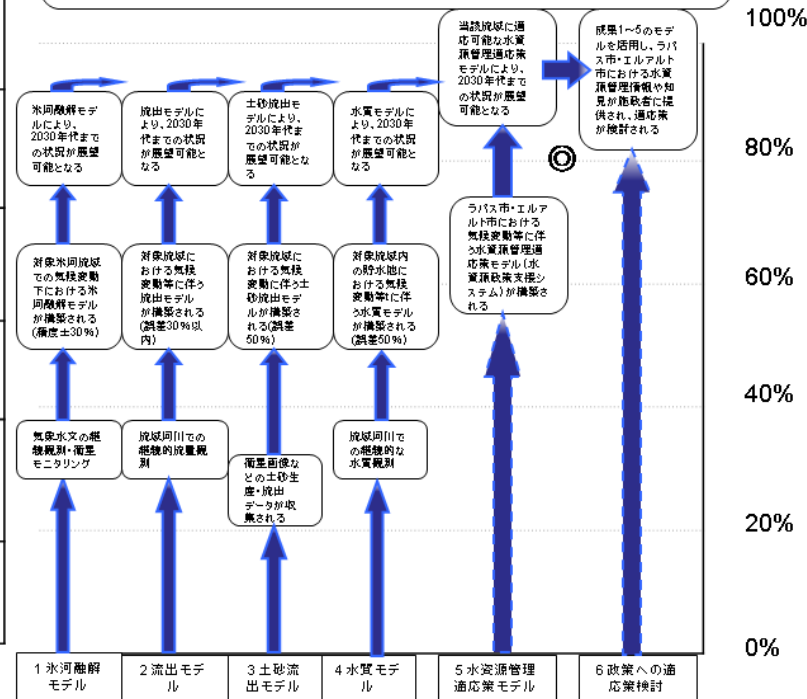


図1 成果目標シートと達成状況 (2014年11月時点)