

ボリビアにおける氷河後退と同国の水資源問題*

東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 田中 仁
東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター 真野 明

1. はじめに

地球温暖化に伴う気候変動, それをもたらす環境の変化は人類の将来にとってきわめて重大な課題であり, 様々な将来予測, 緩和策・適応策の検討などがなされている. この中でも, 氷河の融解をもたらす影響は多岐にわたり, 世界各地の氷河を対象に調査・研究が行われている. 代表的な例としては, 氷河湖の決壊による大規模な洪水災害が危惧されているヒマラヤ^{1), 2)} や, アフリカのキリマンジャロ³⁾ などである.

南米ボリビアにおいては, 温暖化による氷河の融解水によって水資源が豊富になっている一方で, 将来的に氷河の縮退が進み, 水資源が枯渇化することが懸念されている⁴⁾. このため, 将来への影響予測と水資源の確保ならびに渇水への適応策が重要な課題となっている.

そこで, 将来予測が可能な数値シミュレーションによって, 気候変動による水需要予測を通じた都市計画や総合水資源マネジメントによる社会環境と気候の変化に対する適応策を提案することを目的とした研究プロジェクトが進行している. 具体的には, 過去の研究により精度が高められた局所スケールにおける各要素モデル(雪氷解析, 流出解析, ダム堆砂予測, 水質評価, 地域計画立案)の統合化とボリビア国内への拡張を行い, 気候変動と社会環境変化を反映した水資源管理モデルの開発を共同で行うものである.

本稿は, 同プロジェクトの一環として2009年8月から9月にかけてボリビアを訪れ, 現地調査を行った成果を報告するものである.

2. 現地調査の概要

ボリビアは南米でもっとも貧しい国の一つである. 高山域の盆地に位置する首都ラパスは, 水資源の多くを高山域の降水量に過去から頼ってきた. 近年では, 氷河の融解によって水資源の増加がみられるが, 少雨による渇水と豪雨による洪水頻度も増加しており, 気候変動に伴う水循環システムの変化に, 対応できていない. また, 首都近郊の人口集中に伴う都市域の拡大と耕作地の拡大によって水需要は増加しているにも関わらず, 都市廃水による水質の悪化と貯留施設(ダムや貯水池)の老朽化や堆砂に伴い可能水資源量が減少している. こうした社会環境変化に伴う水資源システムの変化に, 人間活動の基本である安全で安心な水供給を満足していない. この様な背景から, 今回の調査の対象は, 首都ラパス市と, 隣接するエルアルト市の水源である, Huayna Potosi 西氷河およびTuni-Condoriri 氷河を対象とすることとした.

研究対象であるボリビアの氷河地域の位置を図-1に示す. 同国の首都ラパスの標高は3,600mであり, 今回の調査対象としたHuayna Potosi, Condoririは, それぞれ6,088m, 5,850mの標高を有し, いずれも山頂部は氷河に覆われている.

* Glacier Retreat and Resulting Water Resource Problems in Bolivia, Hitoshi Tanaka and Akira Mano

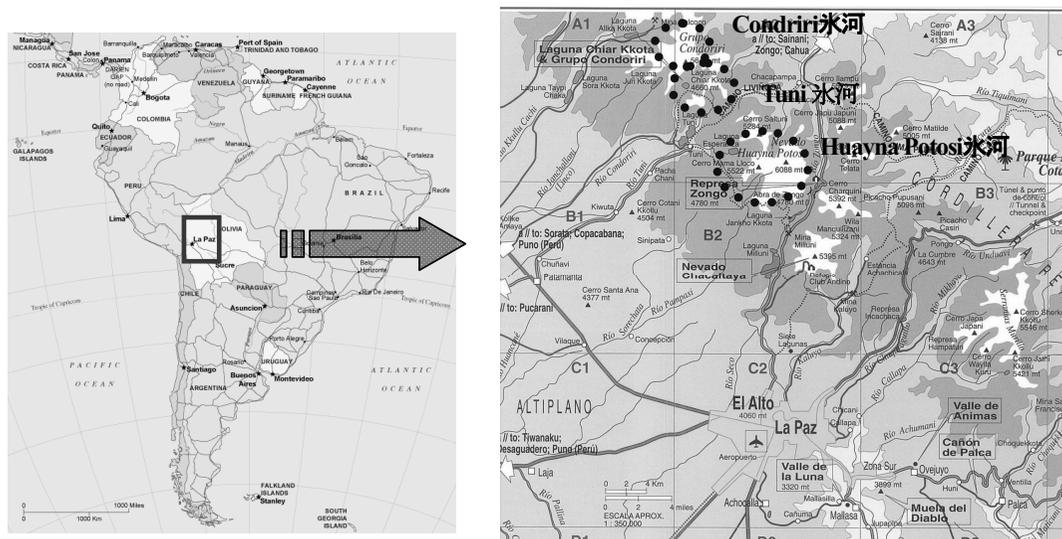


図-1 研究対象地域

今回の研究プロジェクトにおける研究グループの構成を図-2に示す。以下では、現地調査をもとに、それぞれの研究グループにおける研究内容・課題について検討を行った結果を示す。

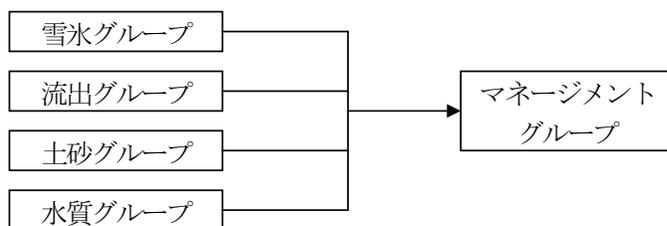


図-2 研究グループの構成

3. 現地調査の結果

(1) 雪氷研究について

9月2日に行った、Zongo氷河、Chacaltaya氷河跡の現地視察を踏まえて、9月3日に本プロジェクトが研究対象とする2つの氷河の選定について、現地カウンターパートであるサンアンドレアス大学（UMSA）水理研究所（IHH）と協議した。La Paz/El Alto市の主要水源であること、アクセスや機材設置が容易なこと、既存の観測網を生かせることなどの要件を満たす氷河として、IHH側からの強い推薦もあり、Huayna Potosi西氷河、Tuni-Condoriri氷河の2つを研究対象とすることを合意した。これらの氷河の位置を図-3に示した。氷河融解モデルは熱収支方に拠るものとし、そのモデル構築のための気象観測機器、検証のための流量観測機器を設置することとした。

9月5日には、両氷河の視察を行い、IHHのRamirez博士より説明を受け、既存観測機器の確認、地形や氷河の視察を行った。図-4は、Tuni氷河の下流部に設置されている流量計測用の三角堰であり、この直下流に

において Tuni 湖に流入している。

氷河観測の課題としては、最初に既存の観測機器で盗難や破壊が多かったことが報告され、盗難防止や保険などの対策をとる必要があることが挙げられる。第2の課題としては、降雨降雪に標高分布があることが IHH より報告され、これを限られた観測機器で如何に把握するかが挙げられる。

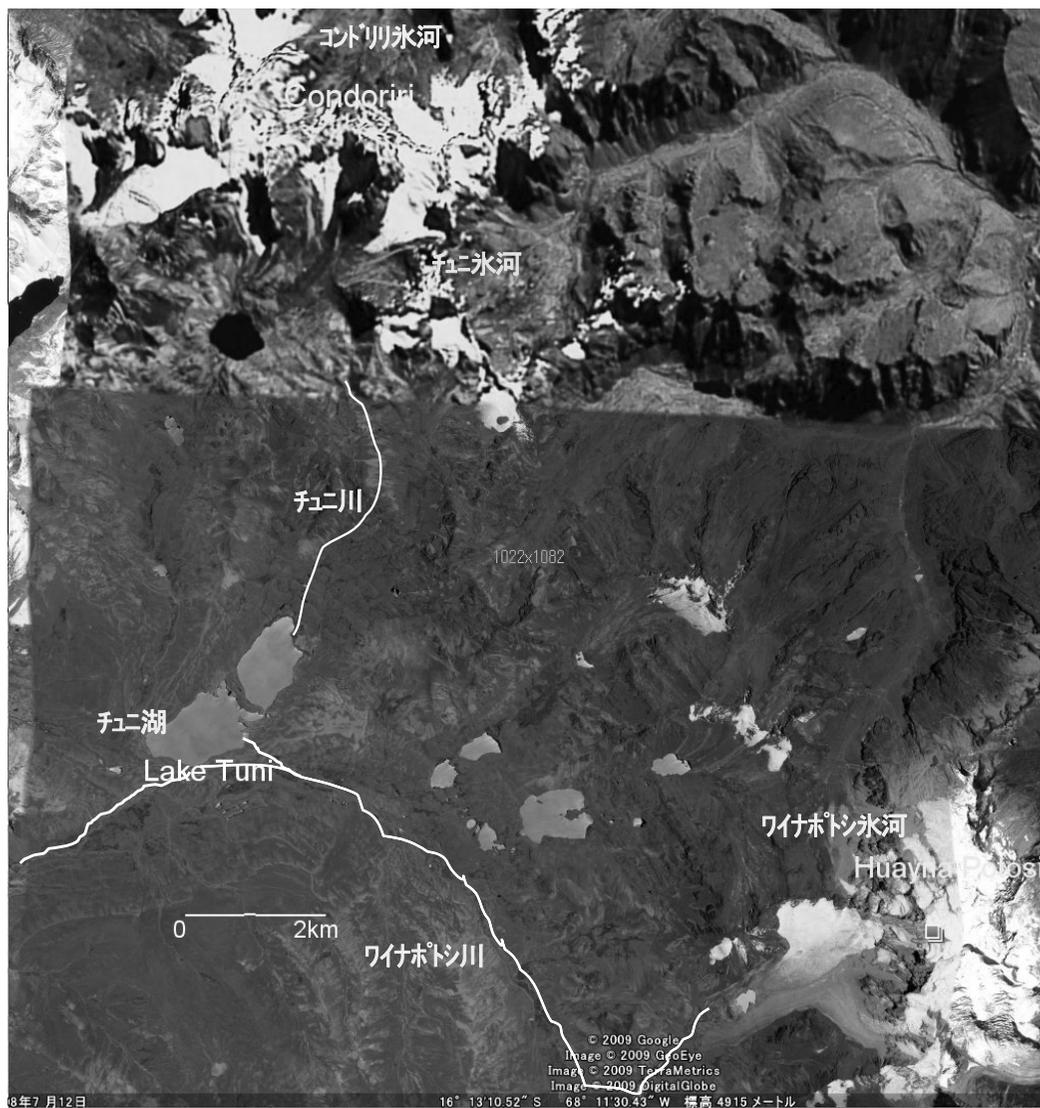


図-3 研究対象流域



図-4 Tuni 川下流部の三角堰



図-5 Huayna Potosi 西氷河下流の湿原

(2) 流出解析研究について

流出解析は、氷河融解と降雨・降雪を考慮した分布型モデルを開発することを、9月2日に行った IHH との打ち合わせで確認した。また、解析範囲は対象氷河域から水源となっている貯水池までとし、流出解析の精度の検証のため、該当貯水池に流入するすべての流量は、観測値あるいは流出モデルで推定することとした。(1)で確定した研究対象の両氷河の流出先は、図-3に示すとおり Tuni 貯水池であり、ここでの流出量と貯水池の水位の測定値より、総流入量が推定でき流出解析の精度が検討できる。

課題として次の一点が特に重要である。Huayna Potosi 西氷河から Tuni 貯水池まで伸びる Huayna Potosi 川は 40km 程度の流程を有し、広い流域を抱えている(図-3参照)。流出解析の精度を確保するためには、ここでの降雨による影響を考慮する必要がある。このため、雨量計を複数設置し、できれば時間雨量の観測を行い高降雨現象による洪水流出を評価できるようにすることが、特にこの結果を使って行われる土砂輸送解析では必要である。また、IHH だけでは、多数の機器を設置するのが難しいと考えられ、上下水道公社 (EPSAS) など他機関が既設している観測データの収集利用が欠かせない。

(3) 土砂輸送研究について

対象とする氷河を Huayna Potosi 西氷河、Condriiri 氷河に絞ったことから、土砂堆積の検討を行う貯水池は Tuni 貯水池となる。ただし、いずれの氷河においても直下流に比較的広大な湿原を有し、その中を幅数十 cm 程度の水路が流下しており、氷河域から多量の土砂輸送があるとは考えにくい状況であった(図-5)。一方、Huayna Potosi 氷河から東側に向けて発達した Zongo 氷河直下流にはこのような湿原が存在せず、好対照を成している。Zongo 氷河の流量観測所においては土砂の堆積が著しく、特に雨期には1ヶ月に三度ほどの土砂の排除が必要とのことであった。

ただし、Huayna Potosi 西氷河から Tuni 貯水池に至る Huayna Potosi 川では左右岸から多量の土砂供給が認められ、Tuni 貯水池における堆砂を引き起こす主要な要因になると考えられる。この状況を図-6、図-7に示した。このため、前述の通り、精度の高い流出解析を行うとともに、その成果をもとに土砂輸送のモデル化が重要な課題である。



図一六 Huayna Potosi 川中流部



図一七 Huayna Potosi 川取水堰の堆砂



図一八 Tuni 川河口部の土砂堆積状況



図一九 Tuni 湖に流入する小河川河口部の土砂堆積状況

また、Tuni 氷河から Tuni 貯水池に流入する河川の最下流部には顕著な土砂堆積が認められ、この河川の土砂生産に関しても検討が必要である。Tuni 湖河口部の様子を図-8 に示している。また、Tuni 湖に流入する他の小河口部の堆積状況を図-9 に示す。現地調査を実施した9月は乾期に当たるため、湖内の水位が低下している。このため、雨期の洪水時に形成された円弧状の土砂堆積地形が明瞭に認められる。今後、IHH の協力の下、定期的な測量を行うことにより、貯水池の堆砂量を評価する可能であると考えられる。

(4) 水質研究について

水質調査は Tuni 貯水池およびこれに流入する河川において行う。具体的な調査は、多項目水質計による現地計測と、採水資料の手分析とからなる。前者については購入機材としてすでに計上している。後者については、UMSA の化学系研究室の協力を得て、水質分析を行えることが確認された。

Tuni 貯水池の中央付近には東西方向に横切る半島状の張り出し地形が見られる。このような地形的特徴により、二分された水域間での流動が阻害されているものと予想される。このような流動特性が水質環境に及ぼす影響について、現地調査・数値シミュレーションを通じて検討を行うことが可能である。

なお、2009 年 8 月、9 月の現地調査に引き続いて、12 月には Tuni 湖における水質に関する現地調査が実施されている（梅田・朝岡⁵⁾）。

(5) マネージメント研究について

本研究は、上記 4 研究の成果を受けて行われるものであり、今回の現地調査においては、具体的な打合せはなされてはいない。

4. おわりに

本稿においては、今年度より着手された、ボリビアにおける氷河後退に関する研究の概要を紹介した。今後、具体的な調査結果について報告を行う予定である。

謝辞：本研究は、JST-JICA 地球規模課題対応国際科学技術協力事業「氷河減少に対する水資源管理適応策モデルの開発」の補助を受けて実施されたものである。ここに記して関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 中尾正義（編著）：ヒマラヤと地球温暖化—消えゆく氷河、159p、昭和堂。
- 2) 藤田耕史：アジア高山域における氷河質量収支の特徴と気候変化への応答、雪氷、第 63 巻、pp.171-179、2001。
- 3) Kaser, G, Hardy, D. R., Molg, T., Bradley, R. S. and Hyera, T. M.: Modern glacier retreat on Kilimanjaro as evidence of climate change: observation and facts, International Journal of Climatology, Vol.24, pp.329-339, 2004.
- 4) Wagnon, P., Ribstein, P., Francou, B. and Pouyaud, B.: Annual cycle of energy balance of Zongo Glacier, Cordillera Real, Bolivia, Journal of Geophysical Research, Vol.104, D4, pp.3907-3923, 1999.
- 5) 梅田 信・朝岡良浩: ボリビア Tuni 湖流域の水環境調査, 東北地域災害科学研究, 第 46 巻, 2010. (印刷中)