

ボリビア・トゥニ貯水池集水域における 氷河減少と降水量減少が水資源運用に及ぼす影響

日本大学工学部土木工学科 学生会員 ○鈴木 杏

日本大学工学部土木工学科 正会員 朝岡 良浩

東京工業大学大学院環境・社会理工学院 正会員 木内 豪

1. はじめに

南米大陸のボリビア多民族国の首都圏では年間降水量が約 500 mmと少なく、首都ラパスとそれに隣接するエル・アルトでは、上流域に分布する熱帯氷河の融解水を水資源として利用している。ボリビアには全世界の約 20%の熱帯氷河が分布しているが、近年の地球温暖化の影響から長期的な氷河の減少が報告されている。また、首都圏の人口が急激に増加しており、特にエル・アルトは 1992 年から 2012 年の 20 年間で約 40 万人から 2 倍の約 80 万人となり首都圏の水需要を押し上げる要因となっている。さらに、2016 年 11 月初旬に顕在化した首都圏の大規模渇水は 1 か月以上に渡り、生活用水の不足が続くなど過去 25 年間で最も深刻な被害をもたらした。それにより、社会、経済面での大きな影響が出ていることから、水道計画の見直しが必要になっている。

このような背景に対して、長期的な水供給の計画を講じるためには、氷河の減少と降水量の減少に応じた流出量や水資源運用の推定をすることが重要である。既往研究^{1) 2)}では、氷河面積に応じたトゥニ貯水池の貯水量を算定している。この研究結果を基に、本研究は貯水池の蒸発量を考慮して貯水量を再計算した。また 2015 年 9 月から 2016 年 8 月の年間降水量に応じた貯水量を推定して、氷河縮小と降水量減少がトゥニ貯水池の水資源運用に及ぼす影響を評価した。

2. 研究対象地域

本研究は首都圏から北西に 30 km 離れたトゥニ貯水池（16°14'59.9"，68°14'30.9"，標高 4437m）の集水域（面積約 90 km²）を対象とした（図-1）。トゥニ貯水池には 3 河川が流入しており、大きく 3 つのサブ集水域に分けることができる。トゥニ貯水池へ自然流入するトゥニ川集水域（面積約 15 km²）と、雨季に導水管もしくは人工水路を介して貯水池に流入するコンドリリ川集水域（面積約 20 km²）とワイナポトシ川集水域（面積約 40 km²）である。各集水域の最上流部には氷河が分布し、それぞれトゥニ氷河、コンドリリ氷河及びワイナポトシ氷河である。集水域の氷河域 2 地点、非氷河域 3 地点に気象モニタリング装置が設置され、自動観測している。観測項目は降雨、風速、相対湿度、気温、日射量、気圧である。

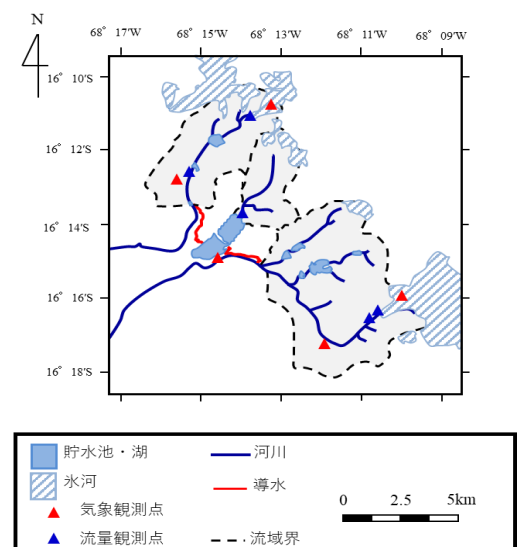


図-1 トゥニ貯水池集水域の概要

3. 研究手法

本研究は、次の水収支式を用いて、貯水池の貯水量 V を計算した。

$$R = R_{\text{導水}} + R_{\text{非導水}} + R_{\text{自然流入}} \quad (1)$$

$$\frac{dV}{dt} = R_{\text{導水}} + R_{\text{自然流入}} + R_{\text{非導水}} - Q_{\text{越流}} - Q_{\text{浄水場}} - E \times A \quad (2)$$

R は氷河融解・流出モデル（GRM³⁾）を用いて推定した。 $R_{\text{導水}}$ 、 $R_{\text{非導水}}$ は現地の導水に関する運用規定を参考にした。蒸発量 E は PENMAN 式⁴⁾を用いて推定した。また、本研究では氷河の減少と降水量が貯水量に及ぼすキーワード：蒸発量，ボリビア，貯水量，満水時期，氷河融解・流出モデル

連絡先：〒963-8642 福島県郡山市田村町字徳定中河原 1 日本大学工学部土木工学科水文・水資源工学研究室

表-1 蒸発量を考慮した貯水量算定データ

	氷河面積	気象条件	貯水池蒸発量
ケース1a	2014年	2012年～2013年	あり
ケース2a	2003年	2012年～2013年	あり
ケース3a	1992年	2012年～2013年	あり
ケース4a	1987年	2012年～2013年	あり
ケース5a	氷河なし	2012年～2013年	あり

表-2 降水量を考慮した貯水量算定データ

	氷河面積	気象条件	貯水池蒸発量
ケース1b	2014年	年間降水量77%	あり
ケース2b	2003年	年間降水量77%	あり
ケース3b	1992年	年間降水量77%	あり
ケース4b	1987年	年間降水量77%	あり
ケース5b	氷河なし	年間降水量77%	あり

す影響を評価するため、5種類の氷河面積と2種類の降水量を組み合わせた10通りの数値実験を行った（表-1、表-2）。年間降水量77%に変換したデータは25年に1度の渇水における年間降水量に相当する。

4. 結果及び考察

3月15日を満水と仮定した1年間のトゥニ貯水池における貯水量の計算結果を図-2に示す。ケース4b（1987年）が1シーズン後に満水に達する時期が最も早い。また、ケース3b（1992年）では29日遅れ、ケース2b（2003年）では42日遅れ、ケース1b（2014年）では満水に達しなかった。

図-3にトゥニ貯水池の貯水量の分配と氷河面積の関係を示した。ケース4b（1987年）に対してケース1b（2014年）は、氷河面積が43%低下、それに伴い貯水池からの越流量が92%減少、非導水量が98%減少していることが示された。このことから、ケース1b（2014年）の結果では、流域からの流出量の80%が貯水池に自然流入もしくは導水している。この場合、浄水場への送水は維持できるが、越流と非導水による下流への水供給はケース4b（1987年）と比較すると5%になり、下流域の水資源に影響することが推測された。

5. おわりに

2003年の氷河面積では1シーズン後に満水まで回復するが、2014年の氷河面積では満水に達しなかった。現状の氷河面積では融解量が少なく、25年に1回の小雨が発生した場合、3月に貯水池が満水にならず、それ以降の水資源運用に影響することが明らかになった。

謝辞：本研究の一部はJSPS 科研費（17K06587、代表：朝岡良浩）、JSPS 二国間交流事業の助成を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 船木翔太, 朝岡良浩, 木内豪 (2016) : ボリビア・トゥニ貯水池集水域の氷河減少が流出量に及ぼす影響, 土木学会論文集 G, Vol.72, No.5, I_45-I_51.
- 2) 船木翔太, 朝岡良浩, 木内豪 (2016) : ボリビア熱帯氷河の縮小が貯水池集水域の水資源運用に及ぼす影響評価, 東北の雪と生活, 第31号, pp.41~46.
- 3) Kinouchi, T., Liu, T., Mendoza, J., and Asaoka, Y. (2013) : Modeling glacier melt and runoff in a high-altitude headwater catchment in the Cordillera Real, Andes, Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.
- 4) 三浦健志, 奥野林太郎 (1993) : ペンマン式による蒸発散位計算方法の詳細, 農業土木学会論文集第164号, pp.157~163

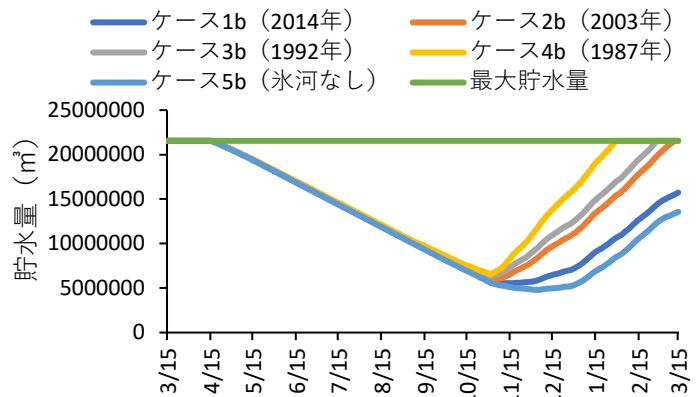


図-2 トゥニ貯水池の貯水量

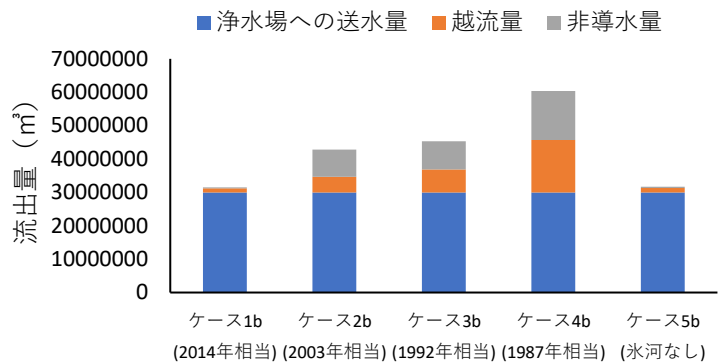


図-3 氷河面積とトゥニ貯水池の貯水量の分配