

# アンデス高山域の貯水池における気候変動に伴う水環境変化予測

東北大学大学院工学研究科 学生会員 ○谷 慧亮  
東北大学大学院工学研究科 正会員 梅田 信  
東北大学大学院工学研究科 正会員 朝岡 良浩

## 1. はじめに

気候変動により世界各地で氷床や氷河の融解・縮小が進行している。高標高地域は低地よりも気候変動に伴う気温上昇の影響を敏感に受けやすく、氷河の後退とそれに伴う水資源への影響が危惧されている。

本研究で対象地とする南米中部のボリビアの首都ラパスは、年間降水量が約 600mm の半乾燥地域であるが、アンデス高地の氷河の存在により雨季も安定した水供給が可能となっている。しかし気候変動により、今後 30-40 年の間に氷河が消失すると予測されている。

本研究では、首都圏の重要な水資源であるトゥニ貯水池を対象とした、将来的な気象条件および流入河川の流出状況の変化を考慮した数値シミュレーションを行い、気候変動の影響について議論した。

## 2. 現地観測概要

トゥニ貯水池は、ラパス市から北北西に約 30km に位置する、ラパスへの水道用水の供給を目的に建設されたダム貯水池である。総貯水容量は  $24.7 \times 10^6 \text{m}^3$  である。貯水池の運用は、概ね年間を通じ、 $1 \text{m}^3/\text{s}$  の水を取水し、浄水場へ送水している。貯水池へ直接流入する河川は、北から流れてくるトゥニ川のみであるが、雨季の 12 月から 4 月には他の 2 河川からの導水で満水にし、乾季の水供給に備えた運用をしている。

貯水池とその周辺および流域の状況を把握するために、2011 年 6 月より水文および気象条件の連続観測を行っている。気象条件は、トゥニ貯水池の南側湖畔にて気温、日射量、風速、湿度の計測を行っている。流入河川水温の計測には、流量計測のために設置した水位計に付随する水温計を用いた。

水質要素については、流入部付近において 2012 年と 2013 年それぞれ 3 回採水調査を行った。水域の富栄養化に関する項目として、栄養塩（窒素・リン）や TOC の採水分析を行った。図-1 にトゥニ貯水池と流域の概

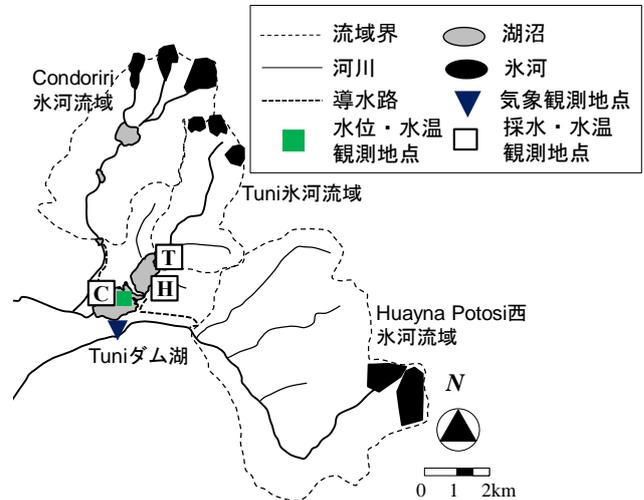


図-1 トゥニ貯水池と流域の概略および観測地点

略および観測地点を示す。

## 3. 貯水池の水質解析手法

貯水池の水質解析は、鉛直一次元解析モデルにより検討を行った。水の流入出による貯水量変化と、気象条件による水面を通じた熱収支、および鉛直方向の水温の拡散から、経時的な水温成層構造の計算を行うモデルである<sup>1)</sup>。水質解析は、植物プランクトンを中心として、無機態および有機態の窒素とリンの物質循環を考慮する低次生態系モデルを適用した<sup>2)</sup>。

## 4. 解析条件

気象条件については MRI-GCM20<sup>3),4)</sup> の出力結果を利用した。本研究では現在 (1994 年–2003 年) と将来 (2090 年–2099 年) の気象データを用いた。出力値は現地の観測値により補正を行った。貯水池に流入する現在及び将来の河川流量は、木内ら<sup>5)</sup> で開発された流域水循環解析モデルで計算された結果を利用した。このモデルと GCM の出力を用いて、トゥニ貯水池流域にある 3 河川の流量時系列を、現在と将来の各 10 年分について計算し、貯水池への流入量を推定した。なお将来期間では、流域内の氷河が完全に消失した状況を

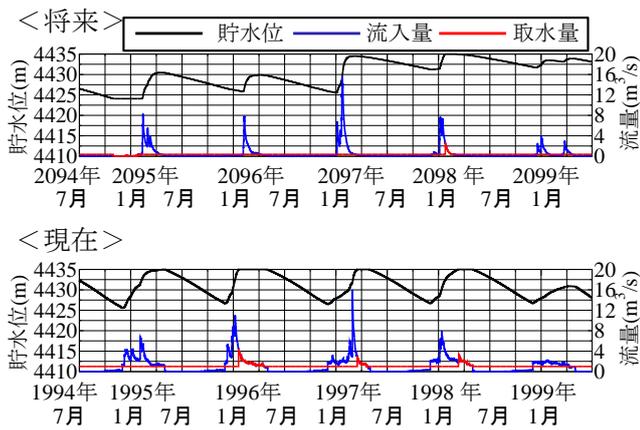


図-2 流出解析による貯水位・流入量の推定結果

仮定した。導水期間は12月から4月とした。取水量は、現在は $1\text{m}^3/\text{s}$ とし、将来は貯水位が急低下しないよう流量の減少率を考慮して、取水量を調整した。流入水温は、流入部付近の河川水温と気温の相関式を河川毎に作成して推定した。流入水質は実測で得られた値を現在・将来ともに雨季、乾季毎に平均して与え、植物プランクトン種は、低水温の環境で増殖しやすい珪藻を想定した解析を行った。

## 5. 結果と考察

現在と将来の両期間について、導水を考慮して作成した貯水池流入量と貯水位の時系列を図-2に示す。各期間で年平均の貯水池流入量は、現在 $3.17 \times 10^7 \text{m}^3$ 、将来 $1.14 \times 10^7 \text{m}^3$ であった。現在に対する将来の流入量比は、約0.36となり、将来的にはかなりの水不足が予想される。また、このことから将来の取水量は、 $0.37 \text{m}^3/\text{s}$ を設定した。図-3は、GCMの出力による気象条件と木内らの流出解析モデルによる流量から貯水池内の水温およびクロロフィルa濃度を計算した結果から、例として、現在(1995年7月-1996年6月)と将来(2096年7月-2097年6月)の一年ずつを示す。将来の表層水温は、1995-1996年の結果よりも通年で約 $2^\circ\text{C}$ から $3^\circ\text{C}$ 上昇している。GCM出力結果については、気温以外の気象条件に現在と将来で大きな変化は見られず、気温が現在と比較して約 $4^\circ\text{C}$ 上昇していることに概ね対応している。クロロフィルa濃度は、雨季の流入負荷増加にともない上昇する傾向が見られる。植物プランクトンの増殖の最適水温を $10^\circ\text{C}$ と仮定したため、雨季の湖水温が約 $8^\circ\text{C}$ から $12^\circ\text{C}$ である現在の方が、鉛直方向にもプランクトンが広く分布する結果となった。将来に関しては、流況の変化による水量の減少は水供

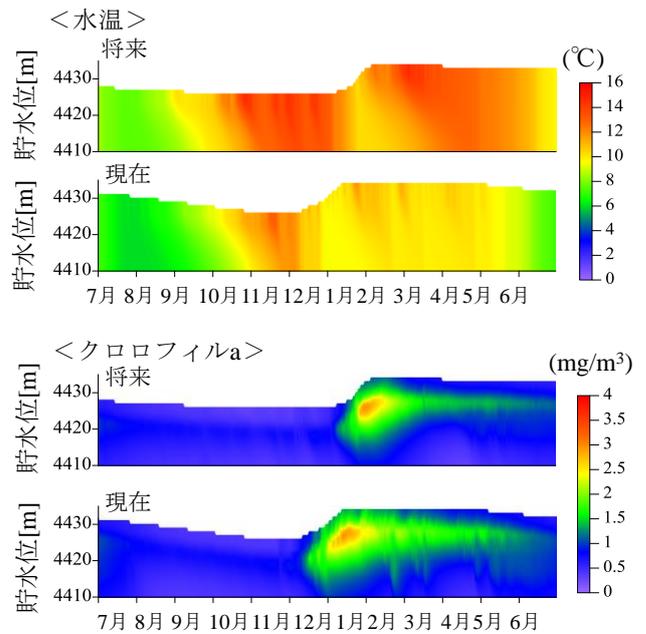


図-3 水温・水質解析結果

給の面で大きな問題だが、今回の解析により水質へ与える影響は小さいと考えられる。

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」の成果の一部である。またJSPS科研費24404015の助成を受けた。文部科学省21世紀気候変動予測革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」の出力結果を利用した。記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 梅田信ら：気候変動による国内ダム湖水質への影響評価、土木学会論文集G(環境), Vol. 68, pp. I\_127-I\_135, 2012.
- 2) 松尾直規ら：合流部を有する貯水池での富栄養化シミュレーション, 水理講演会論文集, pp359-364, 1985.
- 3) Mizuta, R. et al.: 20-km-Mesh Global Climate Simulations Using JMA-GSM Model—Mean Climate States—, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.84, No.1, pp.165-185, 2006.
- 4) Kitoh, A. et al.: Projection of changes in future weather extremes using super-high-resolution global and regional atmospheric models in the KAKUSHIN Program: Results of preliminary experiments, *Hydrological Research Letters*3, pp49-53, 2009.
- 5) 木内豪ら：アンデスの氷河流域における水循環の特徴と分布物理型モデルによるシミュレーション, 土木学会論文集B1(水工学), Vol. 57, pp.I\_415-I\_420, 2013.