

ボリビア・トゥニ貯水池流域の水質調査*

東北大学 大学院工学研究科 梅田 信

東北大学 大学院工学研究科 Marcelo Gorritty

1. はじめに

ボリビア多民族国は、図-1 に示すように南米の中部に位置する内陸国である。首都ラパスは、アンデスの高山域の盆地（アルティプラノ，Altiplano）に位置し、水資源の多くを高山域の降水に依存している。このうちで氷河の融解を起源とする表流水が重要である。それというのも、ラパスを含むアンデス高地は、図-2 に示すよう降水が少ない半乾燥地域であるため、渇水が発生することも多い。これに対して、ラパス市及び近郊のエルアルト市では、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。さらに気候変動の影響により、将来的に氷河が融解し消失した後の水資源の確保が大きな課題となっている。こうした自然環境と社会環境の変化に対応した水資源システムの再構築による、十分かつ安定した水供給の確保は、ボリビア国内で大きな関心となっている。

本研究では、ラパス市の主要な水源の一つであるトゥニ貯水池およびその流域における将来的な水資源の展望を行うことを目的として実施されている研究の一環として、水質に着目して調査を行った。本論では、現在までに得られた調査データを踏まえた現地の状況に関する報告を行うものである。



図-1 ボリビア及びラパス市の位置

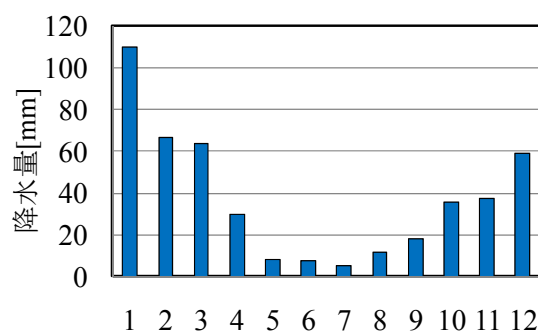


図-2 ラパスの月別平均降水量

2. 研究対象地域の概要

トゥニ貯水池は、ラパス市から北北西に約 30km に位置するダム貯水池である。1977 年に

* Observations of water quality in Tuni Lake basin, by Makoto Umeda and Marcelo Gorritty (Tohoku University)

完成したロックフルダムである。総貯水容量は $24.7 \times 10^6 \text{m}^3$ 、満水時の水位高度は 4,437m である。この貯水池からエルアルト市内の浄水場へ $1.0 \text{m}^3/\text{s}$ の水が送られており、エルアルト市に 80%、ラパス市に 20%の比率で配水されている。

図-3 にトゥニ湖の流域状況を示す。流域は、大きく 3 つに分けられる。またそれぞれの流域の最上流部には氷河が存在している。流域の一つは、トゥニ貯水池へ直接流入するトゥニ氷河流域である。流域面積は約 10km^2 である。あとの二つは、河川が直接トゥニ貯水池へ流入するのではなく、人工的な導水路を経由して流入している。一つはトゥニ氷河の西側に位置するコンドリリ氷河流域で、トゥニ貯水池への集水面積は約 15km^2 である。もう一つは、トゥニ貯水池の東側にあるワイナポトシ西氷河流域で、集水面積は約 35km^2 である。

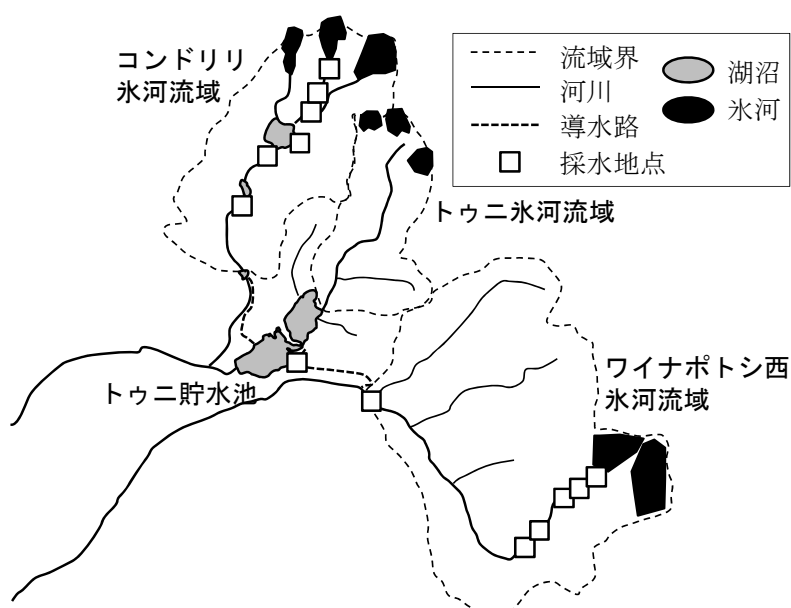


図-3 トゥニ貯水池の流域概略と調査地点

3. 調査の概要

採水調査は、2010年6月から概ね1ヶ月毎に行っている。測定項目は、現場の計器測定として水温、水素イオン濃度指数 (pH)、電気伝導度 (EC) を測定した。また水域の富栄養化に関連する項目として、アンモニア性窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)、硝酸性窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) および総リン (T-P) の採水分析を行った。

対象とした流域は、上記の3つのうち、コンドリリ流域とワイナポトシ西流域の2つである。調査地点は、氷河からの融解水の流下過程における水質変化とトゥニ貯水池への流入水質の評価という観点から設定した。それぞれの流域について、氷河の直下流からたどるように、5地点程度ずつ選定した。氷河湖や湿地など特徴的な場所がある場合には、その近辺も含めるような配置とした。

また2010年9月21日は、トゥニ貯水池内で投げ込み式の多項目水質計を用いた鉛直分布の計測を行った。項目は、水温、濁度、クロロフィル a, DO, pH, 電気伝導度である。

4. 調査結果

測定結果を表-1 に示す。本稿では 2010 年 6, 7, 9 月の測定結果をとりまとめた。この表では、それぞれの流域について、平均値および標準偏差として整理した結果を示している。その理由は、標準偏差の段を見ると分かるように、2 流域の概ねすべての項目について、地点間の差が小さかったためである。ただし、コンドリリ流域の電気伝導度については、地点間の変化傾向が見られるため、後述する。

測定結果の概略は以下の通りである。まず水温は全般的にかなり低い。これは、氷河からの流出水であることに加え、標高が高い（概ね標高 4700m 以上）ため気温が低いためである。窒素濃度は、アンモニア性窒素と硝酸性窒素のどちらもかなり低い値となっている。一方、総リン濃度はかなり高い。これは流出水が土砂によって懸濁しており、土砂に由来するものと考えられる。

今回の計測項目のうち、地点間の傾向が見られた電気伝導度について、図-4 に地点別の結果を示す。図-4 のうちで左図がコンドリリ流域を、右図がワイナポトシ西流域をそれぞれ示す。また横軸は地点を示しており、番号の若い方から順に上流から下流へと向かっていることを示す。なおトゥニ貯水池内の測点は、コンドリリ流域側の 7 番目の点として、この図では扱っていない。この図から、上流から下流へ向かうにしたがって、電気伝導度が上昇している傾向があることが分かる。特にコンドリリ流域の方が上流と下流の差が大きい。氷河から融解後の流下過程で流域からミネラル等を溶解していると考えられる。

図-5 は多項目水質計で計測した結果である。濁度やクロロフィルは非常に低いことが分かる。9 月は乾期であることから、流入水も概ね清んでいたためだと考えられる。一方で雨期には、貯水池内の濁りが比較的高かったことを目視で確認している（2009 年 12 月）。雨期の時期は、流入河川（特にトゥニ氷河流域）の濁りが比較的高く、このときは貯水池の水もトゥニ氷河流域からの流入水と近い色を呈していた。

表-1 水質測定結果.

各流域の全地点に対する平均値（各調査日の上段）および標準偏差（下段）を示す。

流域	調査日	水温	pH	EC	NH ₄ -N	NO ₃ -N	T-P*
		[°C]	—	[μS]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
Condoriri	2010/6/25	7.9	7.9	59.2	0.07	0.03	0.14
		1.1	1.1	16.7	0.07	0.01	0.08
	2010/7/31	6.6	6.6	64.7	0.02	0.03	0.35
		3.0	3.0	0.3	0.02	0.0	0.45
	2010/9/1	11.3	7.0	95.9	0.01	0.03	0.18
		3.4	0.6	88.5	0.19	0.01	0.03
Huayna Potosi	2010/6/29	5.3	7.7	61.6	0.07	0.01	0.59
		2.7	0.5	8.0	0.04	0.01	0.64
	2010/7/28	3.7	6.6	76.2	—	0.02	0.29
		3.2	0.7	11.8	—	0.01	0.09
	2010/9/4	4.7	7.3	60.8	0.1	0.01	0.19
		2.2	0.4	12.2	0.0	0.01	0.40

*2010 年 9 月 4 日のリンは、オルトリン酸態リンを計測した。

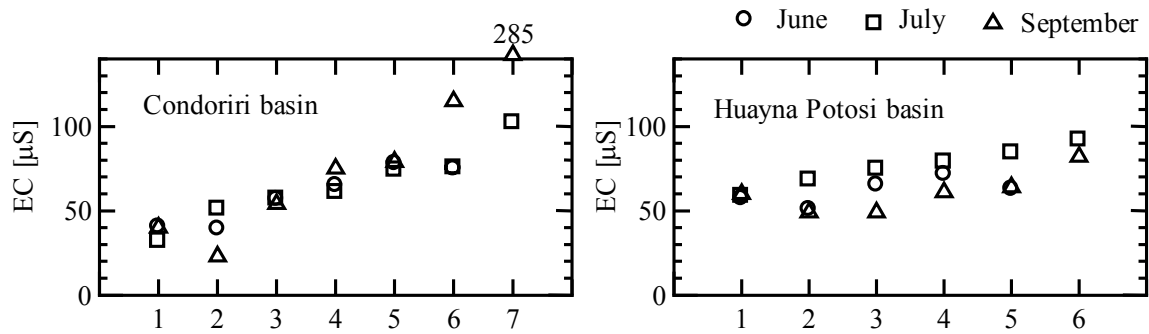


図-4 電気伝導度の分布. 左図がコンドリリ流域, 右図がワイナポトシ西流域. 横軸は地点を示しており, 番号が若い方が上流側を示す.

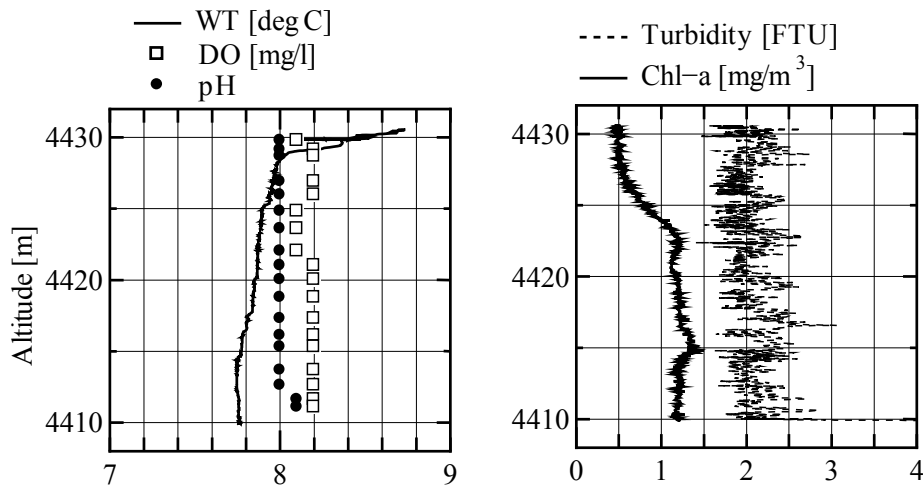


図-5 トゥニ貯水池内における水質鉛直分布の測定結果 (2010年9月21日)

5. おわりに

今後も調査は継続し, 通年の季節的な水質変動をとらえ, そこを足がかりに, 将来的な水質の展望を行っていく必要があると考えている. またその結果を活用し, 熱帯氷河を持つ流域に関する知見を増やすとともに, ボリビアの水資源管理に寄与する成果を出していきたいところである.

謝辞: 本研究は, 地球規模課題対応国際科学技術協力事業(SATREPS, JST/JICA)の支援を受けて実施された.