チリ北部沙漠の地下水

村下 敏夫*・掛川 周男**・土屋 徹**

Ground Water of the Desert Area in Northern Chile

Toshio MURASHITA*, Kaneo KAKEGAWA** and Toru TSUCHIYA**

Abstract

This paper describes a brief outline of ground-water resources in the desert area in the northern part of Chile.

In Pampa Lirima, 4,000 meters above sea level, the aquifer is under flowing artesian condition, and its thickness is about twenty meters.

In Pre-Andes area, 1,500~2,700 meters above sea level, hot springs are the principal sources of drinking and irrigation for inhabitants.

In Pampa del Tamarugal, the artesian water, replenished with the river water in the summer, is pumped up for the water supply and mining.

Most of ground water is rich in sodium and sulfate, which are derived principally from the Andes volcanos.

I はじめに

1977年、国際協力事業団は、チリ国北部のセロ・コロラド銅鉱床の開発に関連する鉱山都市・道路並びに施設の整備のための基礎調査を実施した(JICA, 1978)。

この報告は、同年6月から10月までの間に行った鉱業及び生活の用水に関する現地調査結果の概要を

まとめたものである。筆者のうち、村下は調査団長として現地に赴き、電気探査を担当した土屋と帰国したが、掛川は地質調査を行った後上記探査の結果に基づいて実施した試掘調査と揚水試験を終了して帰国した。

なお、調査結果の一部は、国際協力事業団の了解を得て、本学会昭和53年度春季講演会において発表した(村下ほか, 1978)。

II 調査地域

調査地域は、南緯約20度のイキケより東方アンデ

* 地質調査所, Geological Survey of Japan

** 日鉱探開株式会社, Nikko Tankai Company Ltd.

図—1 位置図

Fig. 1 Outline of investigated area.

ス山脈までの東西約 80km, 南北約 45km の間である。このうち、主要調査地域は、アンデス脊梁山脈に源を発するコスカヤ川とアンデス山脈前縁地帯の泉を源とするバルカ川の流域であるが、この地域の地下水に関する資料がほとんどないので参考資料収集のために、地域南方の沙漠の中に孤立して存在する温泉地ピカまでを包含している(図—1)。これらの川は、かつて世界最大の硝石産地であった中央沙漠盆地に注ぐ涸れ川である。

セロ・コロラド銅鉱床は、バルカ川左岸、海拔約 2,700 m の高地にある。なお、チリ硝石の採掘は、調査地域の南方で一社だけが現在行っている。

Ⅲ 水 文 環 境

1 地形と気候

調査地域の地形は、

- ア. ごく狭い海岸地帯、海拔 0 ~ 200 m,
- イ. 海岸山脈地帯(Coast range), 600 ~ 1300 m,
- ウ. 中央沙漠盆地 (Pampa del tamarugal),
1,000 ~ 1,300 m,

エ. アンデス山脈前縁地帯 (Pre-Andes),

1,300 ~ 3,000 m,

オ. アンデス高地平原地帯, 3,000 ~ 4,300 m,

カ アンデス脊梁山脈 (Andes), 4,300 ~ 5,700 m, に分けられる。本調査と関係が深いのは、ウ, エ, オである。

気候は、中央沙漠盆地が乾燥沙漠性気候、アンデス山脈前縁地帯が高地ステップ性気候、アンデス高地平原地帯より高地が寒帯高山性気候である。

2 降 水 量

調査地域は、チリ国内で降水量が最も少ないところである。いくつかの測候記録をひろくと、年平均降水量はウワラ (海拔 1,000 m) で、2.3 mm, マミーニャ (2,700 m) で 31 mm, コジャカグワ (4,000 m) で 151.0 mm である。

降水は夏期 (12月 ~ 3月) のいわゆるボリビア・ウィンター期にある。この期間、降水は一般に海拔 2,500 m 以上の高地で認められ、3,900 m 以上に特に多く、5,000 m 以上は降雪になる。

冬期 (6月 ~ 9月) には、降水量は極めて少ない

が、3,900m 以上の高地には時折降雪がある。そして、5,000m 以上では夏期の積雪と合わせて万年雪となり、脊梁山脈の頂部は冠氷状態である。

なお、夏期には、アンデス山地寄りには雲が多く、海岸寄りには晴天続きであるが、冬期には全く逆になる。

3 水 系

調査地域内には、中央沙漠盆地に流入する二つの大きな川がある。一つは北のコスカヤ川、他の一つはその南のバルカ川である。

コスカヤ川は、5,000 m 台のアンデス山頂の融雪水を源として、高地平原の一つパンパ・リリマを横切って、西流する。調査中の経験によると、白昼の融雪水は山腹を流下して午後 9 時頃地響きを立ててパンパ・リリマを流去した。そして、翌朝、川は減水し、結氷していた。

バルカ川は、アンデス前縁地帯の海拔 4,000 m にある裂か泉群（岩石は安山岩溶岩又は集塊岩）と 3,550 m の温泉群を主水源として、西流する。1977 年 7 月末の測定によると、裂か泉群は水温 8°C、湧水総量約 35 l/s、温泉群は同様に、33~36°C、2~4 l/s であった。

バルカ川の南方に、小さなマミーニャ川がある。これは温泉群（2,700 m）を源としていて、マミーニャ集落の生活用水・かんがい用水として利用された後の流出量は、約 20 l/s（1977 年 8 月）であった。

これらの流水は、アンデス山脈前縁地帯を流れる間は、沢沿いにしがみつくように点在する小集落のかんがい用水として利用されている。そして、流水は雨期以外は、前縁地帯を通る間に河床下に伏没して、涸れ川となる。

1977 年は、降水量が夏期に多かった年といわれている。降水は、しばしば鉄砲水となって川筋を流れて、沿岸の畑地を侵食し、晴天の中央沙漠盆地に流入して、道路や住宅に多大の被害をもたらしたことが、目撃された。鉄砲水が沙漠に侵入した跡には、

土砂が新しく沈積し、草類が繁茂することから、冠氷規模をおおよそ知ることができた。

IV 地 下 水

調査地域の地下水域は、大別して三つに分けることができる。各水域の概要は次のとおりである。

1 アンデス高地平原地帯

アンデス脊梁山脈の西側、海拔 4,000~4,300 m にある平原には、開口部のない閉鎖水盆が多いが、コスカヤ川の上流域にあたるパンパ・リリマは例外で、西側に狭い開口部がある。

パンパ・リリマは氷食地形の一つであるカールと考えられ、東に氷雪を頂く 5,000 m 台の山岳、西はアンデス山脈前縁地帯を深く刻む侵食谷となっている。

この平原の帯水層は、試掘調査によると、深度約 20 m までである。地表近くに腐植土があるところでは、これが制限層となって、帯水層は被圧状態となり、井戸は自噴する。揚水試験の結果、透水係数は、 $3 \sim 5 \times 10^{-3}$ cm/s、水温 8.3~10.5°C、EC（電気伝導率）850 μ S/cm である。住民が使用している水は裂か水で、水温 10.9°C、EC 360 μ S/cm である。

平原には、温泉群がある。これらは、海拔 4,000 m に湧出し、長径 1 km、短径 0.5 km の範囲に点在する。泉温は最高 72°C、EC は 1,700~1,800 μ S/cm で、未利用である。

2 アンデス山脈前縁地帯

バルカ川沿いにある集落バルカ（海拔 2,600 m）は、奥行き 30 m の横井戸を飲料用水源としている。蛇口での水温 12.1°C、EC 1,200 μ S/cm、そばを流れるバルカ川の水は 390 μ S/cm が測定された。

海拔 2,700 m の集落ヤミーニャ、1,500 m の集落ピカは、ともに温泉水を水源としている。マミーニャの泉温は最高 60°C、EC 700 μ S/cm、ピカは同じく 42°C、460 μ S/cm である。

前縁地帯は高地平原や中央沙漠に比較して気候が

よいので、安定した水源があるところに集落が形成され、農業が営まれ、果樹が栽培されている。

3 中央沙漠地帯

中央沙漠では、現在地下数mのところ地下水位がある。アンデス山地の夏期降水によって養われる地下水は、南と北とに分かれて流れ、その地下水嶺はウワラの北方約 20 km 付近にある。

調査地域の地下水は、南流する地下水域に属する。地下水面の勾配は、地下水嶺の近くで約1/200、ウワラ付近から緩やかとなり、チリ硝石採掘時の鉱山都市の面影を残すポソ・アルモンテ付近で約1/1,500 である。

チリ硝石採掘の最盛期（1890～1915）には、生活用・鉱業用の井戸が168眼あり、蒸気・風車・家畜を動力として、合計 150l/s の地下水を汲上げていたという。

現在、大量に揚水しているのは、イキケ市の水道水源とサガスカ銅鉱山の鉱業用水である。イキケの水源井は、ピカ集落の西方海拔 1,150 m の地点に7眼あって、深度は 180～240 m である。調査当時には4眼が運転され、動水位 110～120 m で、合計 330l/s を、北々西のイキケ市まで 80km を送水していた。

サガスカ銅鉱山の井戸は、鉱業所から西方約25km 離れ、630m 低い海拔 1,100 m の沙漠に、200 m 間隔で4眼ある。調査時の揚水井は1眼だけで、深度

94 m、揚水量 100 m³/h、水温 29℃、EC 1,400 μS/cm であった。

4 水 質

地下水の水質は、試料採取時や試験機関が異なるが、本報告に関係あるものだけを表一1に示した。

化学成分の特徴として、硫酸イオンとナトリウムの多いことが指摘できる。前者は陰イオン量の60～70%を、後者は陽イオン量の 45～80% を占め、水質の型は NaSO₄ 型である。

この水質の由来は、アンデス火山と関係が深いと考えている。そして、この水を使用しているサガスカ銅鉱山は、送水管の腐食が著しいことを訴えている。また、この種の水を常時飲料としていない旅行者は、ややもすれば下痢に悩まされる。

V 水資源開発の問題点

チリ北部沙漠において利用可能な水資源は、

- ア. アンデス高地平原地帯では地表水と地下水
- イ. アンデス山脈前縁地帯では温泉水と地表水
- ウ. 中央沙漠盆地では、地下水、

である。しかし、それぞれの地帯で水資源開発を行うに当たっては、次のような問題点がある、と考えられる。

1 地 表 水

地表水は、高地平原地帯においてのみ年間を通じて存在するが、すべての流水が水利権によって占め

表一1 水 質 試 験 値
Table 1 Chemical quality of ground water.

	pH	Cl	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Ca	Mg	
パンバ・リリマ自噴井	7.42	26.23	159.46	67.12	45.52	7.04	35.87	12.16	As 0.4, B 8.8
同 温 泉		291	269		290		19		
マミーニャ 温 泉	9.13	45.37	231.98	18.30	117.24	1.95	23.84	3.64	B 13.2, NO ₃ 4.3 F 1.2, TDS 830
ポソ・アルモンテ井戸	7.7	85.2	295.5	95.2	146.1	6.5	64.9	5.6	
イ キ ケ 水 源 井	7.8	91	304						Na ₂ SO ₄ 501
サ ガ ス カ 鉱 山 井	6	245	339				189.9	30	

(単位は pH を除き mg/l)

られているから、もし新しく鉱山開発等の目的で既得権者以外の者が利用しようとするときには、その水利権を買収しなければならない。

また、海拔 4,000 m を超える地帯には、ごく少数の現地人が居住して牧畜を営んでいるにすぎないが、それ以下の川沿いには小さな集落が点在していて、川水を引いて耕作を行っている。従って、水利権を買収しても、住民が必要とする水量は維持用水として、常に放流しなければならない。

その維持用水を見積るのに要する資料、また本質的にはアンデス山地の水文気象に関する資料が皆無に等しいことから、長期に亘って安定取水できる地表水量を試算しにくいのが現状である。

2 温 泉 水

温泉水は、気候温暖な前縁地帯における唯一の生活およびかんがいの水源である。この源泉はすべて自然湧出であって、住民にとって十分な水量ではないといわれている。水量を増すために、深部温泉水の開発、ポンプによる揚湯という考え方もあるが、いずれの方法も自然湧出量に悪い影響を及ぼす恐れがあるという理由で、きわめて慎重である。

3 地 下 水

地下水は、水質の項で説明したとおり溶存無機成分が多くて、わが国の水道水の水質基準に照らしても飲料に適する水とはいいがたい。

高地平地地帯に存在する地下水は、現実とその水を使用する前縁地帯にまで導くことになると、導水

距離が数十km、比高差が 1,500m あるいはそれ以上もあるので、建設費から試算しても大量の水を送らないかぎり、水価がきわめて高いものになる。

中央沙漠盆地、なかでも最大の集落ボソ・アルモンテの生活用水は、チリ硝石開発時代の井戸に求めていたが、水質が悪いので、現在ではイケ水源からの分水に依存している。盆地内の地下水は、現在、生活用水以外の用途に利用することが考えられている。例えば、ボソ・アルモンテの南方にある国立試験所は、地下水利用による植林の実験を試みている。もし、塩害等の問題が解決できれば、沙漠の緑化が可能となろう。

VI お わ り に

チリ北部沙漠では、人口密度の高い海岸地帯に水がなく、生活困難な寒冷高地に水がある。水質が悪い中央沙漠盆地において地下水研究が進めば、利用面での開発以外に硝石生成環境を知る手掛りが得られることも考えられる。

文 献

Japan International Cooperation Agency (1978): *Infrastructural Survey Report for the Development of the Cerro Colorado Copper Mine in the Republic of Chile*. 190p.

村下敏夫・掛川周男・土屋 徹 (1978): チリ北部沙漠の地下水 (演旨). 日本地下水学会会誌, 20, 38~39.

(受付: 1981年12月5日, 受理: 1982年1月30日)