

平成26年度国際研修 専門別研修報告書

研修員氏名 : 森 勇太
所属先 : 仙台市水道局浄水部施設課
研修対象国 : チリ共和国 (República de Chile)
研修期間 : 平成27年2月4日(水) から2月15日(日)
報告書作成日 : 平成27年3月31日

目次

1. 研修の概要	2
1.1. 研修の目的	2
1.2. 研修テーマ	2
1.3. 日程	3
1.4. 研修先と主対応者	4
2. 実施計画	5
2.1. チリ共和国	5
2.2. 北部	5
2.3. 中央部	5
2.4. 南部	6
3.1. チリの水道事業について	7
3.2. タラパカ州（イキケ）	8
3.3. 首都州（サンティアゴ）	17
3.4. マガジャネス・イ・デ・ラ・アンタルティカ・チレーナ州（プンタ・アレナスほか）	22
4. 総括	29
4.1. 各都市比較	29
4.2. 総括	29
4.3. その他所感等	30
5. 添付資料	31

1. 研修の概要

1.1. 研修の目的

我が国の水道は、国民の大部分が水道水の供給を受けており、日常生活や産業活動等に欠くことができない重要なインフラとなっている。しかし、高度経済成長期を中心に整備された水道網は老朽化が進んでおり、良質な水道サービスを提供し続けることが困難になりつつある。近年頻発している大規模地震に対応し、施設の健全性を維持するためにも水道施設の更新や耐震化を計画的に進める必要がある。

一方で、人口減少や節水意識の浸透、産業構造の変化等により、水道事業者の収入源である給水量の増加を見込むことができない状況となっている。加えて、経営効率化に伴う合理化や団塊世代の大量退職も始まり、水道事業に携わる職員も減少傾向にあり技術継承が困難な状況となっている。我々には、少ない予算で最大の効果を生み出すことが求められており、経営面・技術面どちらにおいてもサービスの質を落とすことなく、少人数で多種多様な業務に対応することが求められている。

本研修の目的は、今後の水道事業運営を考えていく上で選択肢の幅を広げるため、浄・配水施設の設計思想、施設形態や人材育成などを通して水道事業に関する知見を広げることにある。研修先は、我が国から 17,000km 離れた地球の反対側にある南米大陸のチリ共和国（以下、チリ）とした。日本と同様プレートに囲まれていることから、比較的大きな地震が多く、東北地方太平洋沖地震の前年にあたる 2010 年 2 月、同国中部沖にて大地震と大津波が発生しており、2014 年 4 月にも同国北部沖にて大地震と津波が発生している。また、南米諸国の中でも都市が発達しており、都市における上下水道サービスは、南米諸国の中でもっとも高く、民営化された水道企業やコンセッション契約（施設の所有権を移転せずに、民間事業者インフラの事業運営に関する権利を長期間にわたって付与する方式）による業務委託によって民間企業が運営している。

南北に細長く伸びるチリの北部、中部、南部の 3 事業者で得られた様々な知見を、仙台市水道局を含めた多くの水道事業者が抱える諸課題解決の一助としたい。

1.2. 研修テーマ

南北に細長い同国では、北部の砂漠地帯、中部の大都市、南部の冷涼気候と、さまざまな環境が共存しているため、各エリアでの地域特性について調査することとした。また、日本と同様に地震が多いチリでの地震被害状況や地震対策についても調査した。なお、同国における水道に関する情報は極めて少なく、水道事業全体の状況も把握するために情報収集も重要なテーマの 1 つとした。



チリ位置図

1.3. 日程

研修日程を決めるにあたり、各事業体に受け入れ可能な日程を伺ったところ、2月10日、11日なら受け入れ可能との回答があったアグアス・アンディーナス社に合わせ、フライトスケジュールと照らし合わせながら、次の研修日程を組むこととした。

日程		行動
2月4日 (水)	AM	日本水道協会最終協打合せ (東京)
	PM	成田 ⇒ ロサンゼルス ⇒
5日 (木)	AM	⇒ サンティアゴ ⇒
	PM	⇒ プンタ・アレナス ●マガジャネス州 (アグアス・マガジャネス社)
6日 (金)	終日	●マガジャネス州 (アグアス・マガジャネス社) プンタ・アレナス → ポルベニール → プエルト・ナタレス
7日 (土)	終日	●マガジャネス州 (アグアス・マガジャネス社)
8日 (日)	終日	プエルト・ナタレス → プンタ・アレナス プンタ・アレナス ⇒ サンティアゴ
9日 (月)	終日	書類整理
10日 (火)	終日	●首都州 (アグアス・アンディーナス社)
11日 (水)	AM	●首都州 (アグアス・アンディーナス社)
	PM	サンティアゴ ⇒ イキケ
12日 (木)	終日	●タラパカ州 (アグアス・デル・アルティプラノ社)
13日 (金)	AM	●タラパカ州 (アグアス・デル・アルティプラノ社)
	PM	イキケ ⇒ サンティアゴ ⇒
14日 (土)	終日	⇒ ダラス ダラス ⇒
	終日	⇒ 成田

●：研修実施, ⇒：飛行機移動, →：車移動

1.4. 研修先と主対応者

①北部のタラパカ州 Aguas del Altiplano (アグアス・デル・アルティプラノ社)

Nombre (名前) : Sr. Sergio Fuentes (セルヒオ・フエンテスさん, 写真右)

Cardo (役職) : Regional Manager (地域マネージャー)

Dirección (住所) : Aníbal Pinto 375, Casilla 492, Iquique



②中央部の首都州 Aguas Andinas (アグアス・アンディーナス社)

Nombre (名前) : Sr. Cristián Schwerter (クリスティアン・シュウェルテルさん, 写真右)

Cardo (役職) : Gerente de Soporte Operativo
(オペレーション・サポート・マネージャー)

Dirección (住所) : Presidente Balmaceda 1398, Santiago



③南部のマガジャネス州 Aguas Magallanes (アグアス・マガジャネス社)

Nombre (名前) : Sr. Christian Adema (クリスティアン・アダマさん, 写真左から2人目)

Cardo (役職) : Gerente Regional (地域マネージャ)

Dirección (住所) : Manuel Señoret N°936, Punta Arenas



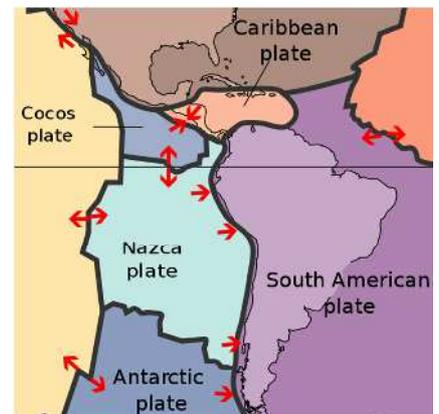
2. 実施計画

2.1. チリ共和国

チリは南米大陸の太平洋側に面した人口 1,700 万人ほどの国であり 15 州に分かれている。南北に 4,300km、東西は平均 175km と細長い国土のため多様な気候が共存している。北部は海岸砂漠気候のため年間を通してほとんど雨が降らない。中央部は地中海性の温帯気候であり、人口の 1/3 が集中している。南部は複雑に入り組んだフィヨルドを形成しており寒冷な気候となっている。北部はペルーとの国境があり、内陸側はアンデス山脈がボリビア、アルゼンチンの国境となっている。

16 世紀以降、スペイン人の侵略により同国の植民地となったが 18 世紀後半から独立運動が高まり、1818 年にスペインから独立したことによって国家としてのチリが誕生した。

チリ沿岸部はプレート境界にあたるため、ペルー・チリ海溝由来の地震災害にたびたび襲われている。これはナスカプレートが南アメリカプレートの下にほぼ直線的に沈み込んでいるためである。このため、チリ周辺では数十年間隔で Mw8 以上の巨大地震が発生し、Mw9 以上の巨大地震は約 300 年間隔で発生している。1960 年の超巨大地震は Mw 9.5 に達し、有史以来最大規模の地震として有名である。また、チリでの巨大地震では大きな津波が発生することがあり、ハワイ諸島やチリの裏側に位置する日本列島まで津波が到達し、被害をもたらすことがある。近年では、2010 年 2 月、2014 年 4 月に大地震と併せて津波が発生した。



チリ近隣のプレート状況

2.2. 北部

チリ北部地域は、年間降水量が少なく、海岸から内陸にかけての全域が乾燥した砂漠地帯となっている。19 世紀頃から、鉱物資源である硝石が産出されたため、その輸送のための港町が発達したが、人工硝石の開発により衰退した。近年では、硝石景気時代に建てられた裕福層の建造物や硝石精錬所跡（世界遺産）が観光地化しており近年活気をおびている。

今回の研修では、タラパカ州イキケに本社のあるアグアス・デル・アルティプラノ社を訪れ、太平洋に面した当該都市の地震被害やこれらの対策について調査した。また北部は乾燥・砂漠地帯に属していることから、乾燥した土地での水源確保等や地域特性についても調査した。



2.3. 中央部

細長いチリのほぼ中央に位置する首都サンティアゴは標高約 567m にあり、人口 600 万人以上の大都市である。日本と同様に四季があり、地中海性気候のため比較的温暖で、1 年のうち 300 日以上が晴天に恵まれる。

本研修では、首都の大部分に上下水道サービスを提供している民間企業のアグアス・アンディーナス社で研修を実施した。ここでは、大都市での水道事業、2010 年の海溝型地震被害状況、既存施設の耐震化や災害対策状況等について調査した。



2.4. 南部

チリの南端に位置するマガジャネス・イ・デ・ラ・アンタルティカ・チレーナ州は夏が短く、いつも南極大陸からの強風にさらされている。州都はプンタ・アレナスであり、首都サンティアゴから2,400km離れた場所にある。この都市は、マゼラン海峡を往来する大型船の補給港として栄えたが、1914年のパナマ運河開通とともに静かな町となった。

州都に本社を置くアグアス・マガジャネス社では、コンセッション契約での業務委託により上下水道サービスを提供している。ここでは、州内に点在する小規模給水エリアでの情報管理や維持管理状況について調査した。また、南極大陸に近く一年中寒冷であることから、寒冷地における維持管理についても調査した。



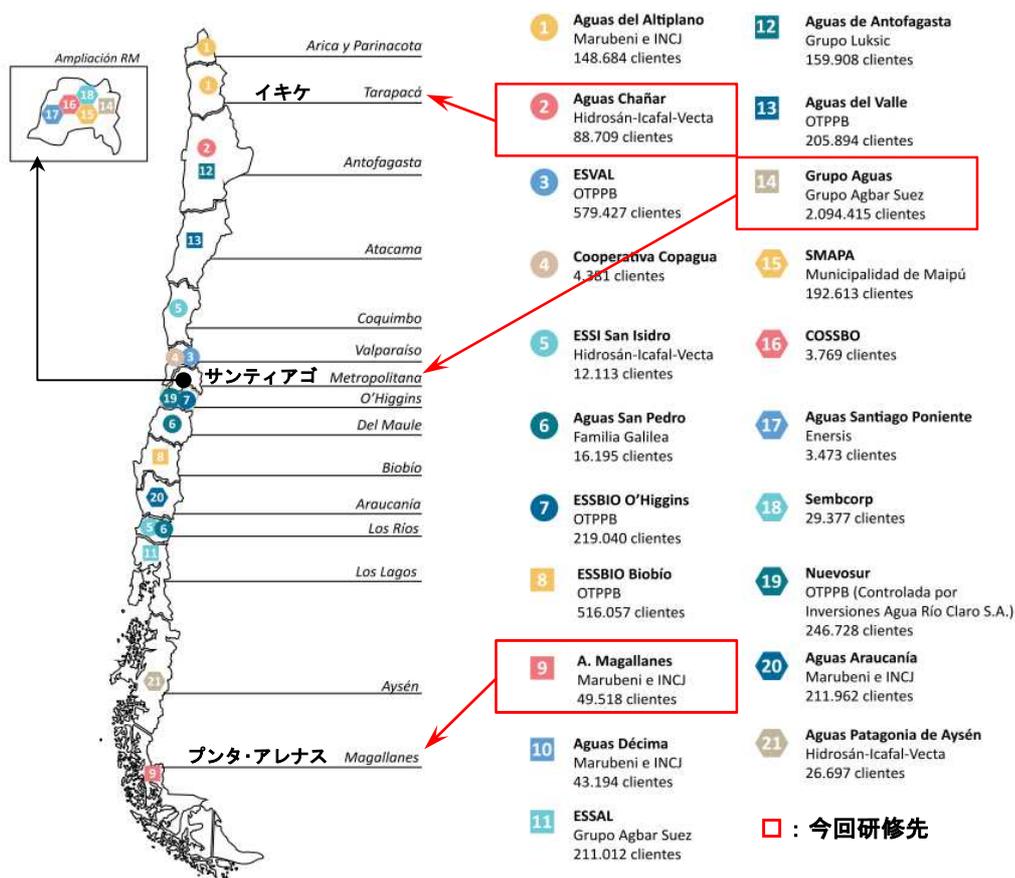
3. 研修活動報告

3.1. チリの水道事業について

水道事業に関しては、民営化先進国のイギリスをモデルに 1990 年代から民営化を進めてきたが、その後の政策転換によって、上下水道サービスはコンセッション契約により業務委託することとなった。このため、同国の水道事業は、民営化と業務委託方式が混在することとなったが、事実上民間企業によって運営されているといえる。民営化された水道事業体の資産はその企業のものとなるが、業務委託の場合、投資や運営などの権限を民間企業に委託するため水道資産の所有権は国が持つこととなる。委託期間は、一般的に 20 年から 30 年の有期となる。下図はチリの主な水道事業体であり、おおむね州に 1 つの事業体があり上下水道全てのサービスを提供している。

チリでは、政府の機関として民間企業の上下水道サービスを監視する組織 SISS（シス：上下水道監督庁）を置いており、すべての水道事業に関する管理業務を担わせている。主な機能としては、①高い信頼性のある業務委託先の決定、②事業の運営状況や設備投資について厳しく管理・評価、③事業体との交渉により水道料金の改定（5 年ごと）、④事業体の情報（管理運営状況や水質等）を監視し定期的に WEB 上での公表、⑤事業体が責務を果たしていない場合の制裁措置（罰金など）を課すこと、などがある。

また別の組織として、自然災害（地震、津波、森林火災、洪水、干ばつ、噴火など）や事故（油の流出など）の対策や予防策などを協議する政府機関 ONEMI（オネミ：国家緊急庁）がある。この組織は、なんらかの災害や事故が発生した場合には、その大きさにより地方、地域、国家レベルと対応が変わるものの、ONEMI が主体となってその対応の判断を行い、必要に応じてボランティア機関（赤十字、ボーイスカウト、など）との協力のもと事態の収拾にあたる。



主な水道事業体と顧客数

3.2. タラパカ州（イキケ）

(1) 水道事業の形態に関すること

① 組織について

タラパカ州では、アグアス・デル・アルティプラノ社（以下、アルティプラノ社）が上下水道事業を行っている。本社は州都イキケにあり、サンティアゴに本社を置くアグアス・ヌエバス社の傘下企業である。2004年8月30日から30年間、国から業務委託を受注している。

同社の従業員数は現在325人であり、チリ北部の最北端の州であるアリカ・イ・パリナコータ州の州都アリカとタラパカ州内9都市との計10都市に上下水道サービスを提供している。同社全体の給水人口はおよそ53万人であり、アリカとイキケ、アルト・オスピシオの3都市に顧客の95%が集中している。これらの都市は世界一乾燥しているアタカマ砂漠に隣接する。現在は24時間給水となっているが、1990年代までは常時給水が実施できていなかったことから、古い家屋には断水に備えて水をためて置くための瓶が常設されている。



② 水道料金

現在の料金は2013～2018年まで適応されるもので、月あたりの平均使用水量は18.1m³/世帯である。水道料金は約134円/m³（662CLP/m³）であり、かつ下水道料金（汚水処理料）は約76円/m³（377.5CLP/m³）である。顧客ごとの月平均の支払い料金は約3,800円（19,022CLP）となる（1CLP≒0.2円で計算）。

顧客の51%が会社の料金窓口で支払い、残りの49%は、電子振込みか協定などをもつ別機関での支払いをしている。

(2) 水道施設に関すること

① 水源と浄水場及び送水管

右図は、アルティプラノ社の水源と浄水場の位置関係を示したものである。水源はほとんどが地下水であり、全部で8箇所の浄水場を所有している。

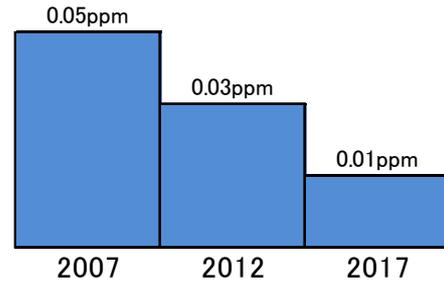
アリカでは、いくつかの谷にある深井戸が水源である。ポンプにより揚水された地下水は塩分を多く含むため、通常のろ過のみでは飲用に適さないため、海水淡水化施設のように逆浸透膜を用いて塩分



アルティプラノ社の水源と浄水場

を除去している。

タラパカ州の場合は、パンパ地域にある海拔約 1,000m の位置に深井戸を設け地下水を揚水していた。揚水された原水には飲用に適さない不純物（硫酸塩や塩化物、ヒ素など）が含まれていることもあり、浄水場でそれらを除去している。チリの水質基準では、飲料水中のヒ素含有量に関して 2007 年に水質基準が変更され、許容値が 0.05ppm 以下となり、その後 2012 年に 0.03ppm 以下となった。現在、アルティプラノ社では浄水処理後のヒ素含有量を 0.025ppm 以下となるように配水している。しかしながら、2017 年に再度ヒ素の水質基準が変更されるため、0.01ppm 以下の含有量で配水しなければならない（日本の基準値も 0.01ppm）。しかし今の浄水処理方式では、この水質基準を達成できないことから限外膜ろ過（UF 膜）浄水場を建設予定とのことであった。アルティプラノ社での主な水源は地下水であるが、水不足に悩む地域では一部下水の再処理水を利用していた。また、今後の人口増に対応するべく海水淡水化施設導入も検討中であった。一方で、地下水水質の良好な水源もあり、そういった場所では原水をろ過せずにフッ素と塩素を添加することで飲料水としてそのまま配水していた。チリの法律では、地下水でありかつ良好な水質であればろ過は必要ないこととなっていた。



ヒ素水質基準の変遷

右図は、州都イキケへの水源と浄水場、送水管の概略である。イキケへはカンチオネス（送水ラインは左 SP60km）とカルメーロ（送水ライン右 DIP80km）の 2 系統から供給されている。

新たに布設する管路は耐震性のある HDPE 管（柔軟性があり厚みのある高密度のポリエチレン管）を用いている。柔軟性があるため地震時の地盤変位に追従するとのことであった。小口径は 30m 巻きの管であり、口径 100 以上になると 6m 物の管となる。上水用と下水用とがあり、管の軸方向に青いラインが入っているものが上水用、入っていないものが下水道用と見分ける。上水用の HDPE 管最大口径は 1000mm であり、これ以上となる場合は、鋼管やダクタイル鋳鉄管を使用する。次からは視察した施設について述べる。



イキケへの送水ラインと視察先



A) カンチオネスのサンタ・ローサ浄水場

砂漠の中にあるこの浄水場の処理能力は 21,600m³/日でありアルティプラノ社で一番大きい。ここでは、原水からヒ素を除去する工程を視察した。この浄水場では浄水処理前に、送水管の高低差を利用し、水力発電を行っていた（アルティプラノ社とは別の会社、水力発電を行っている場所は他に2箇所ある）。

浄水処理工程としては、水力発電後の原水は混和池送られ凝集剤を点滴された後、堰による落差で攪拌され、すぐにろ過池となっていた。凝集剤には、鉄塩系 (FeCl₃) が使われていた。

ろ過池は全部で7池あったが、今の配水量であれば5池でまかなえるとのことであった。ろ材はアンフラサイト、砂、砂利を用いた多層ろ過となっていた。ろ過された浄水は塩素とフッ素を添加され、自然流下でカンチオネス送水管を通り送水されることとなる。送水管は砂漠の中に埋設されているが、要所にあたる仕切弁や空気弁は維持管理性優先のためか配管がむき出しとなっていた。

ろ材の洗浄は逆流洗浄と空気洗浄を組み合わせしており、少なくとも24時間に1回はろ過池を洗浄していた。排水処理に関しては、ろ過池の洗浄排水を排水池に送り、濃縮槽にて濃縮したあと、2基ある脱水機によって遠心脱水されていた。高濃度のヒ素を含んだ浄水汚泥（脱水ケーキ）は、タラパカ州隣のアントファガスタ州にある汚泥処理施設に運搬される処理されていた。



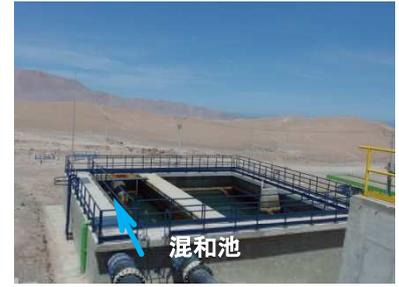
サンタローサ浄水場



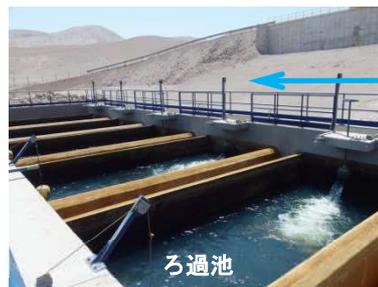
浄水場全景



水力発電施設



混和池



ろ過池



ろ過池洗浄状況



塩素ポンペ



排水処理施設



サンタ・ローサ配水池へ



機械脱水状況



送水管埋設状況



ドラム缶へ



汚泥状況

B) カンチオネスのカバンチャ配水池

イキケ市街にあるカバンチャ配水池は、2池の鉄筋コンクリート製配水池と4池の鋼製配水池の計6池でイキケ市内に配水している。SISSでは配水池の清掃を年1回と推奨しているようで、この配水池ではその推奨どおり年1回、配水池を空にして清掃を行っていた。原水の水質によっては半年に1回のところもあるが、池底の堆積物を調査し、水質に悪影響が出る前に清掃しているとのことだった。

敷地内には無人の浄水小売スペースがあり、視察中も何台かのタンク車が水を購入していた。購入された水は道路緑化の園芸用水や洗浄用水に使用される。



送水管埋設状況



カバンチャ配水池



水の小売状況



別の車両も

C) カルメーロの深井戸

カルメーロ送水管の水源となるパンパ地区にある深井戸を視察した。何もない砂漠の中をしばらく進むとポンプ小屋が現れた。この地域の地下水位自体は40mほどとのことであったが、360L/分の水量を得るために、口径φ350の縦穴を200m掘り、100mの位置に水中ポンプを設置し原水を揚水していた。

このような深井戸は現在8箇所あるが、計画通りに掘り進まなかったり、計画取水量に満たなかったりしたため試掘も含めると17箇所掘ったそうである。将来は水需要の増加に対応するため、10基まで増やす計画があるとのことであった。

水中ポンプの電力は商用電源を用いているが、停電に備えて自家発電機も備えている。敷地はフェンスで囲われており、自家発電設備の格納部屋も施錠はしてあるが、夜間に燃料の軽油が盗まれることがある。カメラでの監視や、夜間の巡回パトロー



水源への道のり



ポンプ小屋



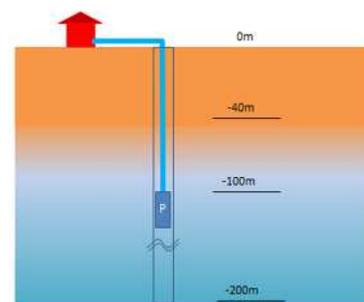
手前: 自家発/奥: 電気室



取水井ピット



電磁流量計



深井戸イメージ

ルも実施しているもののなかなか防ぐことができないとのことであった。

D) カルメーロの原水貯蔵タンク

この施設は、8箇所の深井戸から集めた原水をいったん貯蔵するタンクである。鉄筋コンクリート製で上部に原水を貯める構造である。容量は1,000m³で高さは20mであった。

この施設は Mw10 に耐えることができる設計となっており、2014年4月の Mw8.3 の地震でも被害はなかった。



タンク全景



タンクからの眺め

E) カルメーロのポン・アルモンテ浄水場

原水貯蔵タンクからこの浄水場に送水される。浄水場とはいうものの、カルメーロの地下水は良質のため、原水に塩素とフッ素を添加し飲料水としていた。出来上がった飲料水は5機のポンプ（うち1台予備）により送水されていた。

また、ここでも水の小売が行われており、視察中もタンク車に水を積む光景を見ることが出来た。敷地の脇には廃材置き場もあり、深井戸の水中ポンプが放置してあった。ポンプは異常がなくても3年ほどで交換していた。

この浄水場には資材置き場も隣接していたため見せていただいた。HDPE管の小配管や大口径管が置いてあった。野晒しとなっているが、紫外線で劣化はしないとのこと。奥には大口径のDIPも置いてあった。押し輪を使って接合するようだったが接合された様子を確認することはできなかった。



ポンプ室



塩素貯蔵庫



水の小売り状況



深井戸の水中ポンプ



配水小管



大口径管(下水用)と継輪



DIPの継輪と押輪



DIPの直管

F) アルト・オスピシオの水力発電施設

アルト・オスピシオ配水池に隣接している水力発電施設を視察した。水力発電はアルティプラノ社ではなく、別会社のエネル・ヌエバスが運営している。3箇所で行っており、この場所ですべての水力発電機を監視している。監視画面で確認したところ、視察時の発電量は本施設とトロ2が1.0MW、サンタ・ローサは400kWの発電量となっていた。



水力発電機室



水力発電機



水力発電機室と配水池



制御盤



監視制御盤



監視画面



(3)維持管理に関すること

①配水管理システム

アルティプラノ社では、本社とは別の場所に配水管理センターがあった。タラパカ州とパリナコータ州の水運用について24時間監視している。配水管理システムでは、有事の際は、遠隔操作によるバルブ操作で二次災害防止策をとることができる。また、携帯端末（スマートフォン）でも配水量の確認が随時行えるシステムを持っていた。



配水管理システム画面



送水ラインの状況画面



井戸ポンプの状況画面



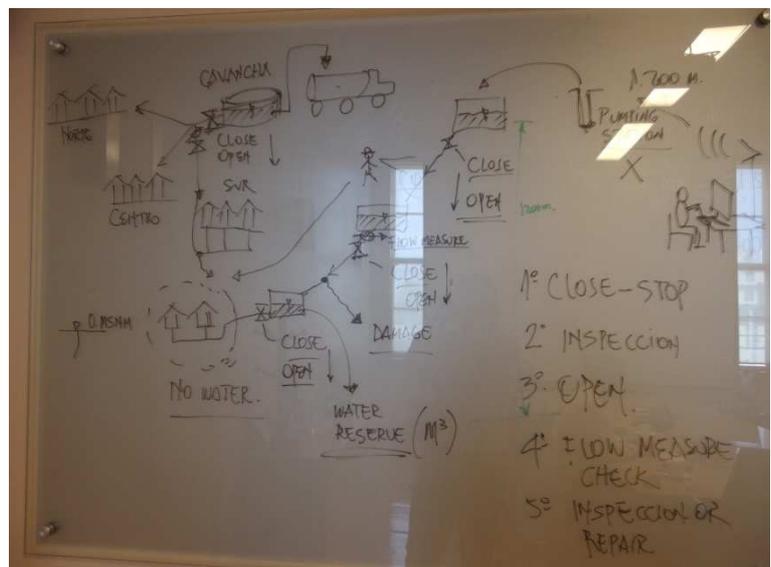
随時配水状況の確認が可能

②有事の場合

緊急時の対応マニュアルがあり、どこで誰が何をするのが決まっていた。例えばイキケで地震の場合であるが、まず深井戸の揚水ポンプを停止し、配水所の流出弁も閉栓する。上流から次々に閉栓していくため、市内は断水となる。これらのポンプ停止やバルブ閉の操作はテレメータによる遠隔操作で行う。閉操作を行う理由は、砂地の地山は水を含むと崩壊してしまうため、漏水があると土砂崩れが起こり人的被害の恐れがあることから被害を最小限にするためである。また、市内が断水となることから配水池の水を応急給水用に確保することも目的である。

バルブ操作が完了したら現場へと職員を派遣して、目視による異常確認を実施する。ここで異常があれば修繕工事を手配する。目視での異常が確認できなければ、配水流量を確認しつつ上流から開栓していく。このとき通常時と変わらない配水量であれば問題ないと判断できるが、配水流量が過大であれば漏水の疑いがあるため、当該区間のバルブをいったん閉栓し漏水調査や修繕を行う。イキケは3つのエリアから構成されており、南のエリアから上記の確認作業を行い異常の有無を確認する。

断水中、市内への応急給水には給水車を使っていたが、他にも給水タンクを牽引するタイプもあった。この牽引タンクには蛇口が3栓付いており、容量は1m³であった。チリでは2000cc以上の車両であれば牽引装置がついているようで、自動車を運転できる免許があれば誰でも牽引できるとのことであった。



地震時の対応イメージ



③地震の被害状況

2014年4月1日の地震被害状況について調査した。この地震でも前述のマニュアルに沿って断水が行われた。小配管に被害はあったものの配水池などの重要施設には大きな影響はなかったようである。地震の際は、管路に異常がないかの確認作業中は市内が断水となる。断水の間地震に伴う火災が発生した場合に備えて、防火水槽のような施設が市内に点在していることからすぐに悪影響が出ることはないとのことであった。



(4) 成果の報告

乾燥地帯に属する当該都市では、鉱物資源が豊富なため、人体に有害な物質が原水に含まれる場合もあり、さまざまな浄水方法を利用して人体に害のない飲料水を供給していた。有事の際に配水を遮断し市内が断水となることに伴い、給水車や牽引式の給水タンクを用いて応急給水を行っていた。牽引式の給水タンクは面白いアイデアであるが、日本で導入するとなると牽引免許が必要となる（750kg以上ものを牽引する場合）。

アルティプラノ社の課題としては、水源確保と家屋の建築基準があった。都市人口の増大により既存の地下水源のみでは飲料水が確保できない可能性があるため、海水淡水化施設の導入を検討していた。建築基準に関しては、この地域は土壌の塩分濃度が高いところが多いため、土壌が水分を含むと塩分が溶け出すことで、前述したように土砂崩れや地盤沈下の原因となる。配水管の漏水が引き金となり宅地の地盤沈下が起こることがあることから、裁判に発展する場合もあるとのことであった。このため、塩分を多く含む土壌での建築ルールを早急に決めるよう政府に基準の制定を働きかけていた。

また被服について、説明者のジーンズに会社のマークが刺繍されていた。会社からの支給品とのことだったが、現代でも作業服としてジーンズが貸与されていることに驚いた。他の貸与品としてはシャツ、ヘルメットや安全靴はもちろんのこと、強い日差しから身を守るために日焼け止めも支給されており、地域特性を垣間見ることができた。

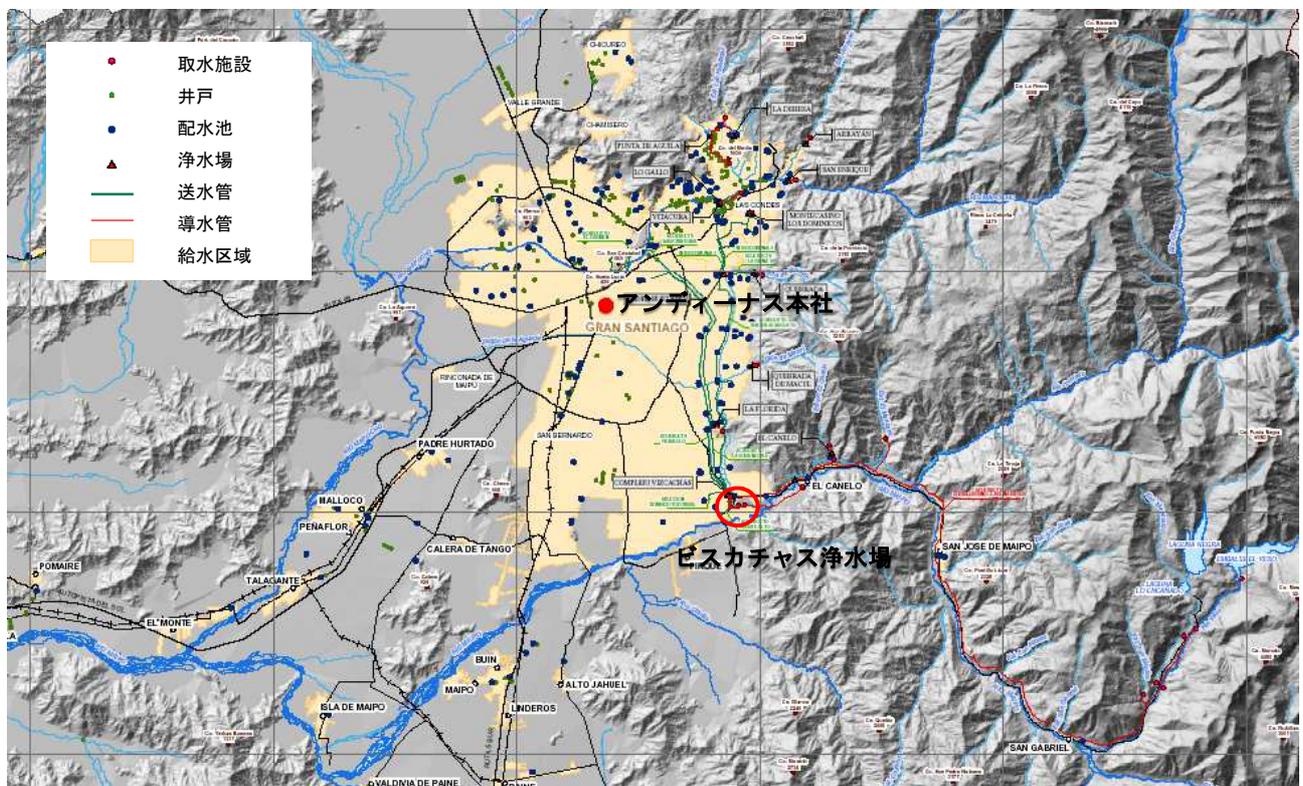


3.3. 首都州（サンティアゴ）

(1) 水道事業の形態に関すること

① 組織について

アグアス・アンディーナス社（以下、アンディーナス社）は、チリ中央部の首都州に位置し、1999年にアグバー・スエズグループに買収され民間企業となった。首都サンティアゴで上下水道サービスを提供している同社の給水エリアはほとんどサンティアゴであるが、近くの小さい町にもサービスを提供している。首都州の総面積は15,403 km²で人口は約670万人（2012年）だが、給水エリアは約720 km²で給水人口は約600万人である。本社ビル1階には受付とセキュリティーゲートがあり、セキュリティーカードが無いと内部に入れないようになっていた。



② 水道料金

一般家庭では月に22.7m³使用し、水道料金は2,750円となる。支払いのほとんどは会社の窓口で行われるが、銀行口座による支払いもある。

(2) 水道施設に関すること

① 水源

サンティアゴは平均標高が567mある地域に位置し、山脈の間の盆地にある。水源はアンデス山脈上流のマイポ川やマポチョ川で85%を占める。残りの15%は地下水である。



②浄水場

アンディーナス社は 17 の浄水場を持っており、主な水源はアンデス山脈から流れる良質な表流水を利用しているが、一部の浄水場において匂いと有機風味を取り除くために粉末活性炭を使用している。最大の浄水場はビスカチャス浄水場で平均 604,800m³/日を浄水している。

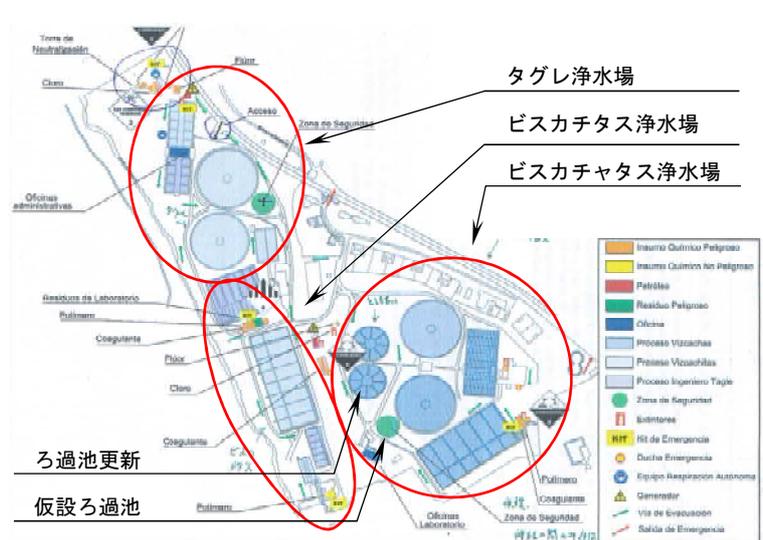
ビスカチャス、ビスカチタス、タグレ浄水場

今回視察したのは、一番大きなビスカチャス浄水場である。この浄水場は3つの浄水場が合体した大規模な浄水場で、アンデス山脈から流れる河川表流水を源水としていた。3箇所とも高速凝集沈殿方式で浄水処理をしていたが、沈殿池の形式がそれぞれ異なっていた（うち1箇所では傾斜版を利用していた）。配水量は3施設合わせて1,382,400m³/日と大規模なものだった。

浄水場内に施工中の現場があったため工事の内容を聞いてみると、古いろ過池の更新のために、空きスペースに仮設のろ過池を作っているとのことであった。

浄水工程は時間の関係で見る事が出来なかったが、この浄水場で特徴的な設備を見学した。大規模であるこの浄水場では、浄水に添加する塩素について、タンクローリー2台分のタンクを倉庫に置いており、空になったらタンクごと交換するという仕組みをとっていた。使用する塩素は液体塩素 (Cl₂+H₂O) で純度は 99.8% もあり、大変危険なため安全には十分配慮しているとのことであった。施設の近くには緊急時の換気装置や目や手を洗う洗浄装置も常設してあった。また、フッ素についても大容量のタンクに貯蔵していた。

この浄水場ではアンディーナス社の浄水場17箇所の浄水場すべての運転管理をこの浄水場の管理室で行っていた。各浄水場にも職員はいるが維持管理作業をするのみとのことだった。



施工状況



更新対象と工事箇所



液体塩素のタンクローリー



フッ素貯蔵タンク



浄水場管理室



他浄水場の監視画面

③ポンプ場、配水所、減圧弁設備など

すべてアンディーナス社が所有し、設備の計画・建設・維持管理も同社が行っている。

④管路

管路ネットワークの大部分は耐震性のない石綿管であるため、地震対策として耐震性のあるポリエチレン管（HDPE 管）に更新していた。

(3)維持管理に関すること

①配水管理システム

配水管理のコントロールセンターでは、24 時間年中無休で監視を実施しているが、このセンターに何らかの障害が発生した場合に備えて予備のコントロールセンターも有している。配水系統は、131 に分けられ、安定供給と経済性を考慮し配水管理を行っている。



配水管の水圧は $1.5\sim 7.0\text{kg/cm}^2$ に設定しており平均は 2.5kg/cm^2 。3 階建てまで直結給水できるようにしている。3 階建て以上に給水する場合は増圧ポンプや受水槽+ポンプとなる。なお、アンディーナス社の給水エリアでは、マンションの屋上などでよく見かける高置水槽、高架水槽は設置していなかった。1985 年の大地震で多くが壊れたため、それ以降にすべて廃止したとのこと。

②有事の場合

アンディーナス社では、2010 年の地震で商用電源の長期停電の影響を受けたため、重要施設の長時間バックアップ電源の整備を進めている。また 2014 年にはマポチョ川が氾濫したそうで、その対策も ONEMI（オネミ）を交えて検討中とのことだった。



断水に備えて給水車も配備しているが、加圧機能はない。有事の際はアンディーナス社の車両だけでなく他の団体から給水車を借りるそうだ。給水車は数字上、一般用と重要施設用（病院など）と分けて配備しているが、全て出動したとしても顧客の 10%にしか給水できないとのことだった。



また、緊急用に仮設水槽も備蓄している。ポリタンクと紙製のタンクがあり、ポリタンクは使う前に洗浄が必要なうえ、広いスペースも必要となる。一方、紙タンクはポリタンクに比較すると高価であり 1 度しか使うことができないが、広げてすぐに使うことができ、コンパクトに保存できるため今後は紙製を増やしていく予定とのことだった。

③地震の被害状況

2010年2月27日の地震被害について調査した。サンティアゴは地震発生後に停電となったが、首都圏は比較的すぐに復旧したものの、郊外では1～2週間くらい停電が続いた。

アンディーナス社でも浄水への塩素の注入にガスボンベを使用しているところが多いが、塩素工場のあるコンセプション（震源の近くの都市）が被災し塩素の供給が絶たれてしまった。1ヶ月程度で塩素工場が復旧したものの、この間隣国のアルゼンチンから塩素ボンベを輸入して耐え凌いだとのこと。施設の被害としては、高架水槽タイプの配水池が1基倒壊した。これは古い施設だったため、耐震性が低かった事と併せて地盤も悪かったことが原因とのことであった。また管路の漏水も多数発生したようだ。配水施設耐震診断についての重要性は理解しているが実施には至っていないとの説明を受けた。

アンディーナス社以外の震源付近の他都市被災状況も説明していただいた。道路橋の落橋やビルの倒壊、津波により船舶が陸揚げされるなどの被害は日本と同様の状況であった。





(4) 研修の成果

国内人口の 1/3 が集中する当該都市では、地震の被害状況を確認することができた。震源に近い都市では大きな被害があり津波被害も東北地方太平洋沖地震の被害と酷似したものであった。アンディーナス社では震災対策についての意見交換の場が用意されていた。アンディーナス社と仙台市の違いについてや、研修受け入れ依頼（右図）とともに事前送付した仙台市の概況や地震被害状況について質疑応答をする形であった。主に地震の状況や被害を聞かれ、管は何を使っているのか（→耐震継ぎ手を有する DIP）、なぜ小学校に災害時給水栓を整備しているのか（→避難所になる小学校までの管路を耐震化して避難所の断水を極力回避）、非常用飲料水貯水槽とはなんだ（→常時は管路として使用しているが有事に 100m³ の容量をもつ水槽として使う）、給水車注水補給設備とは（→給水車への注水に特化した設備で給水時間の短縮を図ることができる）、災害が発生したらどこに連絡するのか（→助けが必要な場合は日本水道協会や厚生労働省）、沿岸部は復興したのか（→まだ復興していない）、などたくさんの質問を受けた。特に埋設型の非常用緊急貯水槽に興味を持っており金額や震災時に活躍したのか、など質問を受けた。お互い地震による甚大な被害を経験しているため、興味深く意見交換をすることができた。



3.4. マガジャネス・イ・デ・ラ・アンタルティカ・チレーナ州（プンタ・アレナスほか）

(1) 水道事業の形態に関すること

① 組織について

チリ南部マガジャネス・イ・デ・ラ・アンタルティカ・チレーナ州（以後、マガジャネス州）で上下水道サービスを提供するアグアス・マガジャネスは、マガジャネス州の州都、プンタ・アレナスにある。同社もアグアス・ヌエバス社の傘下企業が業務委託を請け負っており、職員数は112人である。コンセッション契約により2004年から、州内4都市約15万人に上下水道サービスを提供している。州内人口の80%が集中する州都プンタ・アレナスのほか、隣接するプエルト・ナタレスや対岸にありアルゼンチンとチリによって分割されているフェゴ島の都市ポルベニール、世界最南端の町プエルト・ウィリアムズなど離島でも給水事業を行っているため、給水エリアは点在している。



② 水道料金

1m³あたりの水道料金は約133円（663.02CLP）である。一般家庭の平均使用量は18m³であり、その料金は4,974円（24,870CLP）である。なお、この料金には水道、下水道（排水回収、排水処理や処理水の処理）を含む（1CLP≒0.2円で計算）。

(2) 水道施設に関すること

今回、マガジャネスの給水エリアであるプンタ・アレナス、ポルベニール、プエルト・ナタレスの3都市で水道施設を視察した。以下に都市ごとの概要を述べる。

I. プンタ・アレナス

① 水源地（取水施設）

プンタ・アレナスでは、同じ盆地内のラグナ・リンチ（貯水池）やラス・ミナス川、レニャドゥラ川、トレス・ブラソス川が水源となる。メインの水源地は浄水場まで自然流下で導水できるラグナ・リンチである。

本研修ではラグナ・リンチを視察した。冬期に湖面が凍結してしまうため8mの深さから取水している。取水された原水は土手をくぐって導水路（小川）へ流れていた。さらに下流で別系統の水源地と合流し、浄水場に導水される。冬期は、小川も凍結してしまうため取水不良とならないように巡回点検している。また、この地方は季節を問わず常に強風が吹いていた。



取水施設



導水路



冬期の様子



冬期の導水路維持管理状況

②浄水場

プンタ・アレナス浄水場のろ過方式は、高速凝集沈殿ろ過方式。ここでは凝集剤に硫酸アルミニウム ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) とポリ塩化アルミニウム (PAC) を混合して添加していた。比率は硫酸アルミニウム 800kg に対し PAC を 1~2kg とのことであった。また pH 調整剤として水酸化ナトリウムを利用していた。昔は鉄塩系凝集剤 (FeCl_3) を使っていたそうだが、添加量が多く、寒冷地では温度管理も難しいため、現在の方式に切り替えたとのこと。また、ろ過された浄水にフッ素を添加していた。マガジャネスでは塩素添加に塩素ガスを用いておりガスを水に溶かしたものを浄水に添加していた。塩素ガスは猛毒で大変危険だが、一番入手し易く、安価なため仕方なく利用しているとのことだった。

浄水処理に伴って発生する汚泥（発生ケーキ）は再利用はせずただ処分するのみであった。



浄水場全景



混薬池



フロック形成池



沈殿池



ろ過池



フッ素溶解槽



塩素ポンベ室



塩素ポンベ



塩素ポンベ



ジャーテスタ



検水台



色度のサンプル

II. ポルベニール

①水源地（取水施設）

ポルベニールはマゼラン海峡を横断したフエゴ島にある。ラグナ・シン・ノンブレという池（名前のない湖、という湖）から取水している。ここも凍結対策で取水口は水深 8m の位置にある。取水口の周りが砂質土のため、定期的に堆積した砂をポンプで取り除いている（黄色いホースは堆砂除去用）。この湖にはビーバーが多く生息しているため、巣が取水の妨げになることがあるため、巣やビーバーを駆除していた。



水源への入り口



水源池



取水口



堆砂捨て場

②浄水場

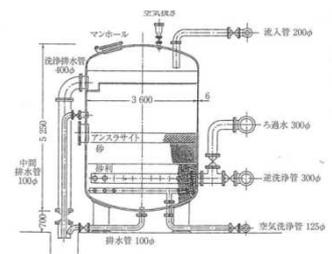
ポルベニール浄水場では、圧力式ろ過方式で浄水処理を行っていた。

昨年末までは4基のフィルターで運用していたが、2基増設したとのこと。通常は4台運転で充分賄えるが、予備基として2基追加したそうだ。このタンク内のろ材は、3～5年で交換するそうだ。ろ材にはアンスラサイト、砂、砂利が入っていた。通常時は1日1～2回の洗浄を行うそうである。この浄水場もプエルトナタレスと同様に硫酸アルミニウムとPACで凝集し、得られた浄水にフッ素と塩素を添加し、5つある配水タンクに貯蔵した水を自然流下で配水していた。

ここで印象的だったのは、背の高い配水塔である。RC製であり、全てが水で満たされているわけではなく、塔上部に300m³のタンクがあった。



圧力式ろ過装置



圧力式ろ過装置構造図



ろ材サンプル



敷地内の配水池



配水先の町並み



配水塔の中

Ⅲ. プエルト・ナタレス

①水源地（取水施設）

プエルト・ナタレスの水源地はドゥメストレ川である。浄水場から取水口までは 7.8km 離れており口径 250mm と 300mm の 2 本の管路で導水していた。取水施設までの道のりは、地権者が違うために 9 つの門を開けないとたどり着くことができなかった。途中の門内では牛が放牧されており、牛を退けるのに時間を要するなど維持管理は大変そうであった。取水した水は沈砂池を経てから導水管に入っていた。導水管は起伏が激しいため 21 個もの空気弁がついていた。

夏季は定期的に巡回するが、冬期は 1 人が常駐し取水施設の監視にあたる。取水ゲートや家の電力はすべて自家発電設備でまかない、50L の燃料で 27h 稼働するとのこと。また移動手段は馬となる。



取水口への門



地権者所有の牛たち



水源地



取水堰



自家発電設備



監視小屋



沈砂池

②浄水場

プエルト・ナタレス浄水場は、ポルベニール浄水場と同様に圧力タンクを用いた高速ろ過方式であった。8 台の圧力フィルターがあり、年 1 箇所、8 年で 8 基すべてのろ材を交換しているとのことであった。排泥池も見せてもらったが、ちょうどフィルター洗浄の時間だったため排水が流れ込んできた。排泥池に溜まった汚泥は、自然に濃縮されていた。溢れたうわ水は、下水道管に繋がれたオーバーフロー管によって直接下水道に流れるようになっていた。池底に溜まった



圧力ろ過装置



排泥池



塩素ポンペ



塩素洗浄設備

汚泥は年1回収集し捨てに行くとのことだった。

ここでも凝集剤は硫酸アルミニウムと PAC を用いていたが、比率は1対5となっていた。フッ素は3,000Lの水に10.5kg入れていた。この浄水場でも塩素の注入にはガスポンプを採用していた。ガス漏れに備え、身体に付着した塩素を洗い流す設備があり、配管には防凍が施されていた。

③管路

チリ南端の地域では、地震がめったに起こらないため、管路の耐震管性はあまり気にしていないとのことであった。現在、埋設されている管の多くが石綿管であるものの、新たに布設する管はPVC管（ポリ塩化ビニル管）を使用しているとのこと。

(3)維持管理に関すること

①配水管理システム

配水管理システムでは浄水場の運転確認や配水量の確認もできる。このシステムは、下水道のシステムと統合されており、下水道担当職員でも操作ができるようになっていた。また、GISシステムも持っており、



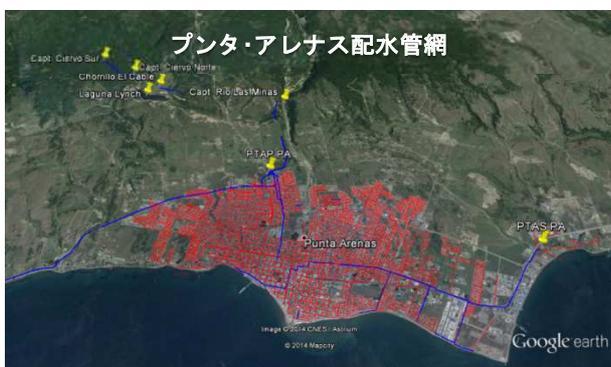
浄水場の監視画面



下水処理場の監視画面

Google Earthに配管を描いたような

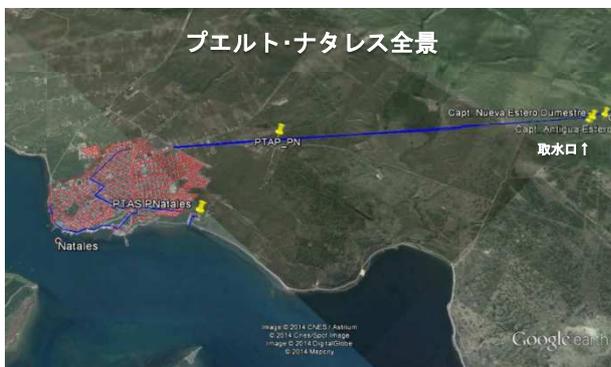
ものであった。配管図等のデータが入った特殊なデータファイル(.kmz拡張子)を持っていれば、どの端末（職場のPCや個人のPC、モバイル端末）でも配管図を見ることができる。



プンタ・アレナス配水管網



ポルベニール配水管網



プエルト・ナタレス全景

取水口↑



プエルト・ナタレス配水管網

②有事の場合

この地域は、地震は起こらないが、プンタ・アレナスで河川が氾濫することがある。起こる可能性のある緊急事態に対して危機管理計画を策定しており、自然災害の際には、政府機関である ONEMI

(オネミ) と協力して事態の収拾に努めるとのことであった。

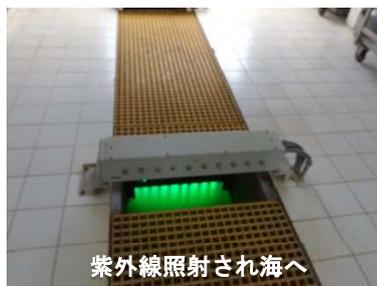
(4) 下水道施設

プエルト・ナタレスでは浄水場の近くにある下水処理場も視察した。処理能力は100L/秒である。

ここに集まった汚水はスクリーポンプで処理場の2階部分へ運ばれる。ポンプは汚水の水位によって稼働台数が変わるが、この視察時は1台運転であった。運ばれた汚水はスクリーンで大きなごみが除去され定期的に手作業で撤去していた。スクリーンで除去し切れなかった小さいゴミは裁断機で粉々にされていた。その後、沈殿物は脱水機にかけられる。脱水された汚泥(沈殿物)は1階部分に送られ、石灰と混合されて家畜用飼料の肥料となる。

一方、汚水は曝気槽(生物反応槽)で攪拌されたのち、うわ水が次の工程でゆっくり攪拌されていた。攪拌処理されたうわ水は紫外線を照射された後、海に放流されていた。

下水処理場には最新設備が配備しており、机上のパソコン端末で場内すべての遠隔操作が可能となっていた。



(5) 研修の成果

南極に近い寒冷な気候が特徴のマガジャネス州の各都市では、点在する給水エリアについて水源と浄水場を視察することができた。広範囲にわたる給水エリアでの維持管理をなるべく少ない人数で行うため、制御系を自動化するなど最新の設備を導入していた。また、小規模な浄水場では圧力式のろ過装置を用いており、ろ過装置の洗浄状況を見せていただいた。稼動している圧力式ろ過装置を見たのは初めてであったが、構造が簡単なので維持管理し易いとの説明を受けた。最新式の設備を導入している一方で、マガジャネス社の管理する配水施設には竣工後半世紀以上経過した施設もあり、経年劣化しているものも見受けられた。しかし、今のところ不具合は発生しておらず、地震もめったに発生しない地域であることから、それら施設の更新計画はないとのことであった。

浄水に塩素を添加している塩素ポンベに関して、数年前に塩素ガスが漏れる事故があったそうで、塩素ガスの取り扱いや安全対策に対して非常に神経質となっていた。今回は浄水場内や取水施設の視察のみだったのだが、ヘルメットはもちろんのこと、安全靴を履かなくては見学をさせてもらえないなど安全対策が徹底していた。

寒冷地特有の対策等については取水口を深くしているのみで、施設についての対策は特にしていないとのことであった。なお、宅内の給水装置については防凍管としてポリエチレンフォームを巻くなどの凍結対策はしていた。しかし事故が多くあるようで、使用者に対して凍結対策を実施するよう広報はしているものの例年同じように事故が起こっているとのことであった。



4. 総括

4.1. 各都市比較

以下に、訪問先のデータを一覧にした。

比較項目	仙台市水道局	北部	中央部	南部
		タラパカ州とアリカ	首都州	マガジャネス州
総面積	783km ²	59,098km ²	15,403 km ²	132,033km ²
給水地面積	359km ²	不明	720 km ²	485km ²
地域内居住者	105 万人	53 万人	670 万人	16 万人
サービス人口	105 万人	53 万人	600 万人	16 万人
日最大配水量	361,606m ³	154,713m ³	2,288,390m ³	38,760m ³
経営	公営企業	民間企業	民間企業	民間企業
下水道事業	別組織	含む	含む	含む
職員数	407 人	325 人	1037 人	112 人
浄水場	8 箇所	8 箇所	17 箇所	3 箇所
配水所	68 箇所	59 箇所	236 箇所	19 箇所
ポンプ場	51 箇所	67 箇所(うち井戸 55 箇所)	103 箇所	5 箇所
ブロック	125 箇所	23 箇所	131 箇所	不明
配水管延長	3,800km	1,134km	11,63km	不明
ロス率※	約 6%	35.1%	約 30%	13.4%
高度浄水処理	粉末活性炭設備	なし	粉末活性炭設備	なし
顧客水道メータ	あり	あり	あり	あり
検針頻度/支払い	2ヶ月/2ヶ月	1ヶ月/1ヶ月	1ヶ月/1ヶ月	1ヶ月/1ヶ月
顧客平均使用水量	20m ³ /世帯	18.1m ³ /世帯	22.7m ³ /世帯	18.0m ³ /世帯

※ロス率については、無効水量・無収水量の合計（浄水場からの配水量に対して収入にならなかった水量）である。チリでは古い石綿管などからの漏水はあるものの、それ以上に盗水が多いようである。水道メータを逆さまに設置する顧客がいたり、水道メータを通さないようにバイパス管分岐させる専門業者がいたりする。

4.2. 総括

本研修を通じて南米チリの水道事業の概略や地域特性の概要を調査するという目的は概ね達成することができた。訪問したどの事業体においても、水道事業への強い責任感とプライドを持って事業運営にあたっていた。同じ水道事業に携わる職員として、安全な水を止めることなくお客様のもとに届けるという意識は官・民関係なく同じであったことに感銘を受けた。

北部乾燥地帯のイキケでは主に地下水を利用しており、良質な地下水であれば塩素とフッ素を添加するのみで配水していた。一方で、鉍物資源等により良質な原水が得られない地域においては有害物質の除去のための浄水処理に苦勞しており、原水水質の重要さを改めて認識することができた。国内人口の1/3 が集中する中央部の首都サンティアゴでは、大規模地震の被害状況を教えていただいた。大地震に

より薬品工場が被災したことによって自国内での塩素入手が困難になったことから、隣国より塩素を輸入し対処したとのお話を伺うことができた。我々も浄水処理には薬品が欠かせないことから、薬品の供給元について常に意識しなければならないと感じた。また大規模浄水場内での沈殿池更新工事に関して、仮設の沈殿池を築造しての更新はスペースがあるからこそできることかもしれないが、本市においても今後の更新計画の参考となるものであった。場内寒冷な南部の各都市においては、給水装置の凍結対策についての広報を実施しているにもかかわらず、例年凍結事故が絶えないといった話があった。本市でも冬季には凍結注意の広報を実施しているものの、寒波によって給水装置の凍結事故が絶えない。国は違っても共通の課題があると感じることができた。

日本の水道技術は高いレベルにあるといわれており、その先入観もあつてか海外の水道事業の品質やレベルについて日本に劣るものがあるのではないかと考えていた部分も少なからずあつた。しかし、実際に現地足を運んだ都市での水道事業を見た限りでは施設内は清潔に保たれ、地震対策として耐震管である高密度ポリエチレン管（HDPE 管）を採用するなど、本市と比べても遜色のないレベルかそれ以上と感じた。また、事業体によっては IT 技術を積極的に活用しているところもあり、携帯端末で配水量が確認できるなど本市よりも進んでいる部分もあつた。チリの水質基準では人の飲用に適した水を供給することとなっており、事業体は供給している水質の情報を SISS に報告することになっていた。水質基準を遵守することはもちろんだが、外部の機関に監視され、何かあれば罰金も科されるからこそ違反しないよう抑止力が働いていると考えられる。わが国においては、水道事業体ごとで個別に検査結果を公表してはいるものの、何か水質基準に違反した場合のみ厚生労働省に届出をしている。チリ水道事業体と比べて日本の水道事業体は桁違いに多いため管理運営は難しいと思われるが、事業体を厳しく監視する組織があつてもいいのではないかと感じた。

本研修から帰国後の3月3日、チリ南部の活火山が噴火するという自然災害が発生し、ONEMI が主体となって対応していた。我が国でも火山活動が活発化していることから、地震対策と併せてこれらの知見について学ぶことも有意義と考える。

4.3. その他所感等

本研修参加にあたっては、南米大陸への渡航も初めてであり、1人での海外渡航も初めてだったためか、いろいろと苦労させられた。一番苦労させられたのは現地公用語のスペイン語である。今回、チリ共和国を渡航先としたのは、冒頭の目的でも述べたとおり、業務として施設の耐震診断に携わっているため、地震による施設の被害や施設の耐震設計に興味があつたためである。

訪問先の選定にあたっては、H24 年度版水道年鑑（水道産業新聞出版）を参考として、事業体の WEB サイトを訪れ相談窓口へ研修受け入れ依頼の英語メールを送信するところから開始した。ところが、エラーで送信できなかつたり、返事がこなかつたりと連絡をとることができなかつた。このため、外務省の在チリ日本大使館を頼り、なんとか各水道事業体窓口担当者の連絡先を教えていただくことができた。しかしながら、教えていただいた担当者宛、英文メールを送るも返事が返ってこなかつたため、メールをスペイン語に翻訳し再度送信してみたところ、すぐに返信があり無事研修を受け入れていただくに至った。

私自身、スペイン語の知見が全くなかつたため、研修開始日までの3ヶ月間ほどスペイン語の個人レッスンを受講し臨んだものの、初歩の旅行会話程度しか習得することができなかつた。幸いにして研修先では英語が通じたため、なんとか研修を完遂することはできた。しかしながら、現地で対応していただいた方々も英語での水道用語はすぐには出てこなかつたため、スマートフォンの翻訳アプリなどを利

用することでなんとか意思の疎通を行うことができた。

苦労はしたが、それでも研修を無事終えることができたのは大勢の協力者がいたからこそである。日本水道協会をはじめ、情報を提供してくださった外務省在チリ大使館や丸紅株式会社、研修を受け入れてくださった現地の水道事業者 (Aguas del Altiplano, Aguas Andinas, Aguas Magallanes) 職員の方々、そして本研修参加にあたり快く送り出していただいた職場の皆様に感謝を申し上げ、本報告の結びとさせていただきます。

5. 添付資料

- Libro-essbio-FINAL (2010年2月27日の地震からの教訓)