

2019 年度日本水道協会国際研修 国別水道事業研修(アメリカ) 研修報告書

弘前市上下水道部上水道施設課 技師 藤岡 昭彦

本研修は、日本水道協会主催でアメリカ水道協会(AWWA: American Water Works Association)の全面的な協力のもとで実施されたグループ研修である。平成 29 年度まではオーストラリアで実施されていた国際研修だが、アメリカで実施されるのは今回が初となる。

水道事業体中堅職員の国際感覚、英語能力、専門知識等の向上を目的とした本研修は、日本各地からの研修生、事務局、通訳の計 11 名が参加し、令和元年 11 月 11 日から 11 月 17 日の 7 日間にわたり、AWWA の本部があるコロラド州デンバーで行われた。ここにその概要、所感などを報告する。

1.研修概要

1.(1)研修日程

月日	時間	プログラム
11 月 11 日(月)	17:45	成田空港発
	12:00	デンバー着(時差-16 時間)
11 月 12 日(火)	9:00	開会挨拶:David LaFrance 氏 (AWWA)
	9:15	日本の水道の現状、研修生自己紹介 発表者:渡部 英(JWWA)、研修生
	9:45	講義:AWWA について 講師:David LaFrance 氏 (AWWA)
	10:30	講義:米国における水道業界の現状 講師:Barb Martin 氏(AWWA)
	13:00	講義:公益事業ガバナンスモデル 講師:Patricia Wells 氏 (デンバーウォーター)
	14:45	講義:施設・アセットの管理基準(アセットマネジメント) 講師:Colin Chung 氏 (Kayuga Solution 社) AWWA との夕食会
11 月 13 日(水)	9:00	講義:水道事業体の経営 講師:Lisa Darling 氏 (サウスメトロ水道局)
	10:45	講義:料金設定 講師:Todd Cristiano 氏 (Raftelis 社)

	13:15	講義:スマートメーター／遠隔監視 講師:Peter Kraft 氏 (Xylem 社)
	15:00	講義:広報 講師:Greg Kail 氏 (AWWA)、Stacy Chesney 氏(デンバーウォーター)
11月14日(木)	9:00	講義:水源(地表、地面、再利用など) 講師:Elizabeth Carter 氏 (オーロラ市)
	10:45	講義:浄水処理(パートI) 講師:Patricia Brubaker 氏 (デンバーウォーター)
	13:15	講義:浄水処理(パートII) 講師:Patricia Brubaker 氏 (デンバーウォーター)
	15:00	講義:配水技術 講師:Todd Brewer 氏 (AWWA) 閉会挨拶:David LaFrance 氏 (AWWA)
11月15日(金)	9:00	水道施設視察 Moffat 浄水場
	13:00	デンバー市内視察
11月16日(土)	11:45	デンバー発
11月17日(日)	16:00	成田着(時差+16時間)、解散

1.(2)参加者(役職は研修当時)

持館 香穂(副団長)	苫小牧市上下水道部水道管理課 技師
藤岡 昭彦	弘前市上下水道部上水道施設課 技師
坂口 正人(団長)	前橋市水道局浄水課 副主幹
十倉 崇行	愛知県企業庁水道計画課 主査
前畑 登志夫	大津市企業局技術部水道ガス整備課 主任
呉石 美穂	松山市公営企業局管理部経営管理課 主査
久米 祐介	徳島市水道局浄水課 主査
石川 博章	鹿児島市水道局配水管理課水質係 主任
岡崎 篤	日本水道協会総務部経理課 主事
渡部 英	日本水道協会研修国際部国際課 国際係長
鳥山 恵美子	通訳

2.アメリカにおける水道事業の概要

2.(1)アメリカの概要

アメリカ合衆国は、GDP 世界 1 位の大国であり、人口約 3 億 2,700 万人(2018 年)で多様な民族・文化が混在し、日本の約 25 倍の広大な国土をもつ。その広大さ故に気候・地理等多様であるため、ここでは今回の研修先であるコロラド州デンバーについて記載する。

コロラド州デンバーはコロラド州の州都である。デンバー市郡の人口は約 60 万人で、デンバー市郡を中心にした 10 郡にまたがる都市圏の人口は約 254 万人となる。気温や天気が変わりやすい高山性の気候(乾燥帯ステップ気候)で、降水量も少なく水不足の地域となっている。ロッキー山脈の東側に位置する都市で、標高 1 マイル(1,609 m)にあることからワンマイルシティとも呼ばれている。



図 1. コロラド州の位置

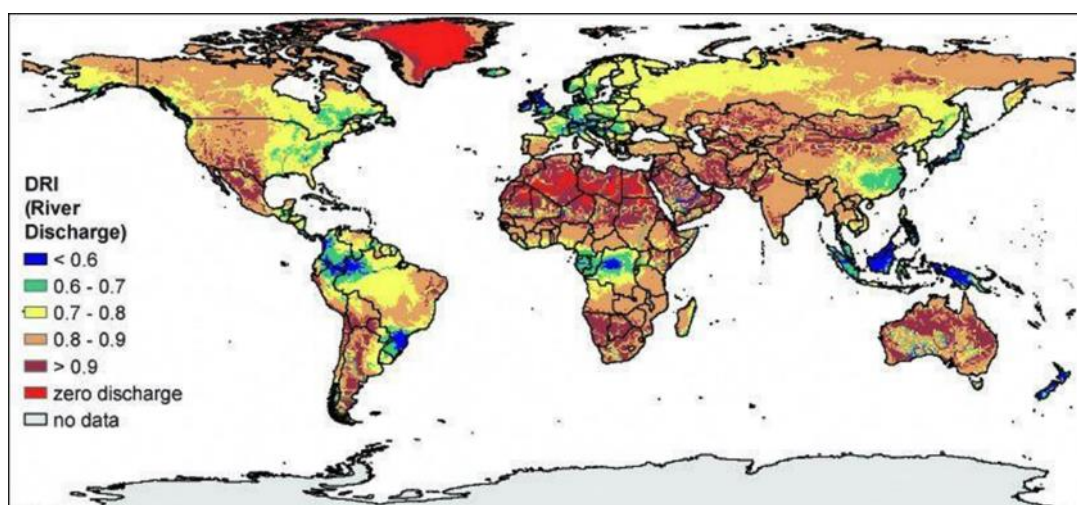


図 2. 世界の水不足地域

2.(2)AWWA

AWWA は公益法人であり、1881 年にコレラに対処する目的でニューヨークにて創立された。現在のデンバーの本部は、デンバーウォーターとの関係が深いことから、デンバーから土地を買って 1974 年に設立されている。現在の会員数は約 51,000 名で、個人会員・事業体が加盟している。委員会の数が 260、委員が 3,200 名というかなり大規模な組織となっている。

主に公衆衛生の予防を目的とし、水道産業に関する知識を会員と共有するために活動している。標準規格・マニュアル・出版物の作成を各分野の専門家がボランティアで作成し、各種セミナー・研修等の教育プログラムで職員の知識を深めるなど、会員同士が相互に協力する団体となっている。日本水道協会(JWWA)は、検査事業及び品質認証事業を実施しているが、AWWA は主な収入を会費、会議収入、出版・広告料の 3 分野で賄っているのが大きな違いである。

元々 AWWA は飲料水・水道水の供給に重点を置いていたが、現在は「トータル・ウォーターソリューション」(別名 one water)と呼ばれる考え方のもとに、雨水・下水の再利用や環境保護を含めた水資源の保全を促進している。



図 3. AWWA ロゴマーク と トータル・ウォーターソリューション促進用イメージ図

2.(3)アメリカの水道事業の形態について

アメリカには約 53,000 の水道事業者があり、半数以上が公営で残りが民間企業となっているが、全体の配水量の 9 割以上を公営の事業者が供給している。

水道事業は人間生活における非常に重要なサービスとして、公益性が求められるため、料金や財政・政策決定に対する透明性を求められる。

アメリカの水道事業の経営形態はおおまかに 5 種類に分けられるが、事業の効率性という観点では、公営より民間の方が効率が良いとされている。企業債等の各種借入が使用可能か、課税・非課税の別など、それぞれの形態に違いはあるが、それぞれの主な特徴を以下に記載する。

①Direct Government : 「完全に公営」

…事業者に対する税金は非課税。料金を市が設定するが、市長が選挙の際に根拠のない料金の値下げを公約したことで、市民から批判を受けた事例もあった。低所得者への救済措置があり、情報開示法(Sunshine Laws)により説明責任を負うため透明性がある。

②Board/Commission : 「外部に理事会や委員会がある公営」

…事業者に対する税金は非課税。料金などは外部の理事会が決めるが、市が理事を任命するため公的要素が強い。情報開示法も適用されるが①に比べると透明性はやや低い。

③Corporatized Utility : 「市が外部に企業を作る、アメリカではあまりない形態」

…企業として課税される。運営方針などに多少市の関与はあるが、市から独立しており、収益を上げる目的で料金を上げる傾向にある。柔軟な資金調達が可能だが、情報開示法が適用されず透明性は低い。

④Contracted Management : 「市が所有する施設を民間企業が運営」

…市の施設は非課税。料金も市が設定する。トラブル発生時の責任を市が負うことが多い。情報開示法は市には適用されるが運営企業には適用されず、透明性は低い。

⑤Direct Private : 「完全に民間企業」

…企業として課税される。料金設定には国の規制当局からの承認が必要である。独占企業になるが、公益性があるため国の規制を受ける。情報開示法は適用されないが、公聴会などは行う。

2.(4)デンバーウォーター

過去にデンバー市では、いくつかの民間の水道局が競合関係にあり、利益を優先して水質が低下したことにより、腸チフスなどが流行った時期があった。市民は、民間からも市からも独立した水道団体を望んだため、独自に制定した市民憲章によって、1918年にデンバーウォーター（以下DW）が設立された。DWは市から独立した団体であり、資金・人材・法定代理人なども市とは別で、基本的には市の介入は一切ない。水に関する事業はすべてこのDWが担当しているが、独立した市の公的機関という扱いなので、2.(3)で述べた5つの形態とは異なり、②⑤に似た市民憲章重視の特殊なモデルである。

市民憲章には水道に関する様々なことが定められている。例えば、資金は水道に関する事業以外には使うことができない、水道料金は必要経費をベースに設定する、デンバー市以外にも用水供給することができ、その場合は通常の水道料金に利益分を加算することができる、などである。

DWは市の公的機関なので、情報開示法も適用される。市民も公聴会などに参加することができ、その様子はホームページ上でリアルタイム配信され、同時に市民からの意見もEメールで受け付けているため、透明性は高いと言える。DWの理事会メンバーは市長が任命するが、任命・解任に不服があればそれを申し立てることができる。

事業運営の決定権はDW自身にあるため、自由度が高い公的機関とも言えるベストな形だと評されており、成功した例として水道事業の格付け評価でもAAAの評価を受けている。

2.(5) アメリカの水道事業の問題点

職員の高齢化、施設の老朽化、インフラの更新のための資金調達など、日本の水道事業における問題点は、アメリカにおいても同様に問題点として認識されている。その中で特に問題視されているものを各分野別にまとめた。次章から詳細に触れていく。

①アセットマネジメント

大きな問題として施設や配管などの老朽化があり、日本以上に広大な土地なためその更新費用も莫大なものとなる。水道の健全性、強靭性を求めればそれだけ費用がかかるため、現状の

設備の運用なども含めて長期的な計画を立てる必要がある。

②市民の理解を得るための取り組み、料金設定

水道事業の主な収入は水道料金だが、水道に理解がある市民ばかりではないので、水道事業の健全性を広報し、公平な料金設定にする必要がある。

③水の保全

アメリカの西部は乾燥していて水不足の傾向にあり、渇水は非常に大きな問題である。気候変動や災害に備え、限られた水源で長期的に継続して給水するためには、広域連携により給水量を確保し、水の再利用を進めていく必要がある。

また水量の確保に加え、水質も保全する必要がある。日本と同様に鉛管対策も大きな問題であり、布設替えのための費用や健康被害を防ぐ取り組みなども検討する必要がある。

3.アセットマネジメントについて

3.(1)アメリカの現状

水道事業におけるアセットマネジメントに関しては、アメリカにおいてもインフラの更新が一番の課題である。

米国土木学会が4年毎に出している報告書によれば、アメリカでは年間24万か所で本管が破裂し、毎日60億ガロン(156万 m^3)の漏水が発生しているという状況である。図4は漏水による地盤沈下の写真である。漏水対策には、これからの25年間で10兆ドルの予算が必要になるという。

Infrastructure Don't Last Forever

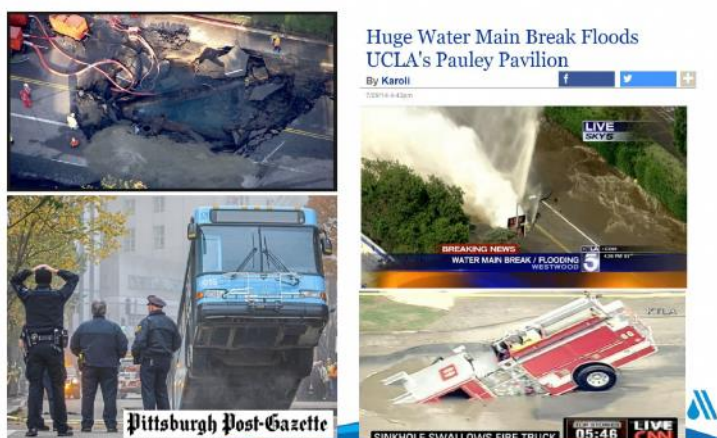


図4. 漏水による地盤沈下(左:ピッツバーグ、右:ロサンゼルス)

ロサンゼルスだけで見ても、管延長6,730マイル(10,828 km)のうち435マイル(700 km)が早急に布設替えを必要とする管で、2025年までに13億4,000万ドルを要すると推計されている。これまでの8年間において、布設替えに4,400万ドルを要し、この先10年間においては1億3,500万ドルを要するという。

このような状況になった原因は、アメリカのインフラ整備は第二次世界大戦後に行われたものが多く、インフラが整備されてから約50年の耐用年数が経過し、更新時期を迎えたことによる。

アメリカの人口増加率(図5)を見ると、1960年代のベビーブームの時期の後、人口増加率は低下しており、新たにインフラ整備を進める時代から、今後は既存設備の維持管理をしていく時代になると考えられる。

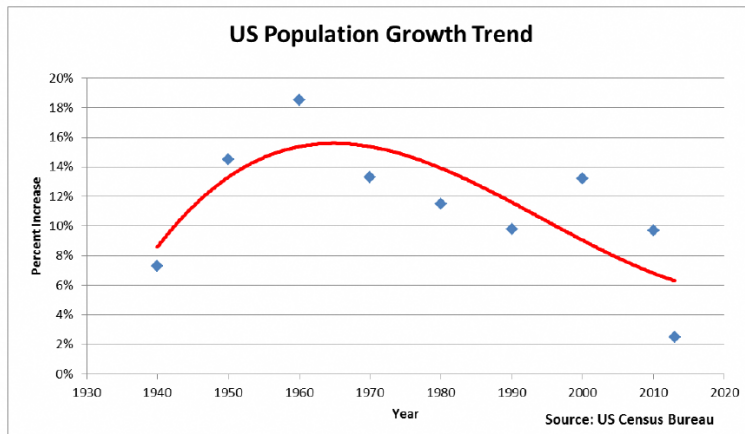


図 5. アメリカの人口増加率の推移

3.(2)アセットマネジメントの考え方

アセットマネジメントの視点からは、老朽化に伴う突発的な事故や被害の深刻化を未然に防ぐことが求められる。しかし、アメリカでは施設更新の予算を決める際、前年度実績をベースにする決め方をしている。しかし、施設更新の予算は、過去の実績にとらわれず、将来的に必要な額を考えていかなくてはならない。

また、施設の維持管理の重要性は認識されているものの、老朽化施設の更新費用不足や、職員の高齢化による労働力不足など様々な問題点があり、その中でも、インフラの現状を把握していないという状況が特に問題である。

より良いアセットマネジメントを進めるためには、施設や配管だけではなく人材、水量、水質、資金、気候など様々な種類のデータを基に判断しなくてはならない。そのためには、各部署に分散している分野の異なるデータを、一つに統合して管理する必要がある。

様々なデータを統合し、データ管理を効率化して資産の状態を把握するためには、新規テクノロジーを導入することが近道である。実際に、データを統合して管理し、モバイル端末から閲覧・報告できるようなシステムが開発されており、DW などでも使用している。他にも、スマートメーターの導入で検針と共に漏水も同時に発見できるようになるなど、テクノロジーの活用はより良いアセットマネジメントにつながる。

アセットマネジメントの一例として、貯水池について取り上げると、貯水池という1つの資産と見るのではなく、たくさんの資産が集まったものとして見なす必要がある。そして、それぞれの材質や寿命などの情報を細かく把握して管理することが重要になる。また、データ



図 6. 貯水池の資産としての分類

を積み重ねることにより、故障の傾向や交換時期までの基準を作ることで、問題が起こる前の予防的な対処をすることもできる。

アセットマネジメントの運用面で重要となるのは、優先順位を決めることである。このとき PoF(Probability of Failure: 失敗の確率)と CoF(Consequence of Failure: 失敗の結果)というリスクの要素を考える必要がある。PoF は故障までの時間、CoF は故障した場合の影響として考え、この 2 つの要素から、最終的なリスクを考える。例えば、サイズも寿命も同じ配管で、その配水先が公園と病院の場合、経済的、環境的、社会的に与える影響を考えることで、病院を優先するという決定をすることができる。この PoF と CoF をすべての資産にデータとして設定しておくことで、老朽化していく施設を一貫性のある基準で優先順位をつけて管理することができる。

ISO によるアセットマネジメントの定義は、「組織のアセットを、ライフサイクルを通じて、コスト、リスク、パフォーマンスのバランスを保ちながら、最大の可用性と収益を確保するもの」とされている。大切なことは、「データを統合して資産価値を把握」「長期的な視点で優先順位を決める」「コスト、リスク、パフォーマンスのバランスを保ち目標を達成する」という考え方をしていくことである。

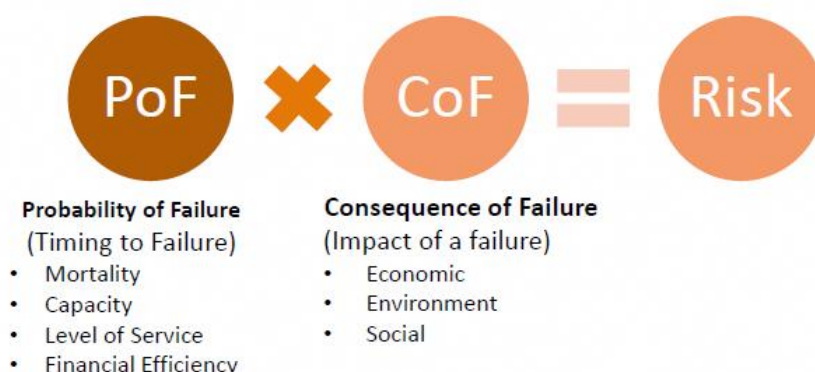


図 7. PoF と CoF の要素によるリスクマネジメント

4. 広報、料金設定

4.(1) 広報

広報と料金設定は密接な関係にあり、アセットマネジメントを推進するためには適切な料金設定が必要であり、そのためには市民の理解を得られるような広報が必要となる。しかし、水道のインフラ整備のために水道料金を上げることは、市民の理解を得られず困難である。この問題に関しては、市民とのコミュニケーションの機会を増やすことが解決に繋がる。コミュニケーションにより信用を得ることができ、信用が得られれば、料金の値上げについても理解を得やすくなる。アメリカの水道事業にはかつて「サイレント・コミュニケーション」と言われる隠ぺい体質があったが、現在は積極的に情報を発信すべきという考え方に変わっている。

しかし情報の中には偏ったものもあるので、市民が間違った情報に導かれないようにするにはいけない。「アドボカシー・ジャーナリズム」呼ばれる、政治的・社会的な意図を持った、偏った情報

や、「シチズンサイエンス」と呼ばれる専門知識を持たない一般の人の情報により、市民が扇動される場合もある。例えば、ある環境活動家は年に一度水質について調査して結果を発表しており、この結果から水質基準を厳しくしなければならない、という情報を発信している。しかし、その基準は現実的ではないレベルであるため、市民がこの情報を信用すると、水道事業の方向性が変わってきてしまう。

正しい情報を市民に広めるためには、信用を得なくてはならない。DW では、まずは市民に関心を持ってもらうという目的で様々な情報を発信している。市民にどんな事業なのか、どのように水を作っているのかなどの一連の情報を伝えて理解してもらい、コミュニケーションの機会を増やして水に関する信用できる情報源だと思ってもらうことが大切で、料金に対する不満、水質に対する苦情といった難しい内容にも迅速に対応することが信用に繋がると考えている。

これからは SNS や YouTube のような様々な手段を活用して広く情報を提供することも重要だ。AWWA には「Public Communications Toolkit」という動画作成ツールがあり、水道事業者が自分たちで動画を作ることができる。これを使って、DW が自宅での庭の散水についての動画を作成して公開したことで、市民が散水の適量を理解して節水に繋がったという実績がある。また、AWWA は工場から排出される汚染物質（有機フッ素化合物）についてパンフレット等で市民に情報を提供していたことで、マスコミに報道された際の混乱を防ぐことができたという。このように、情報提供により市民の信用を得る以外の効果も期待できるため、様々な情報を頻繁に提供していくべきである。

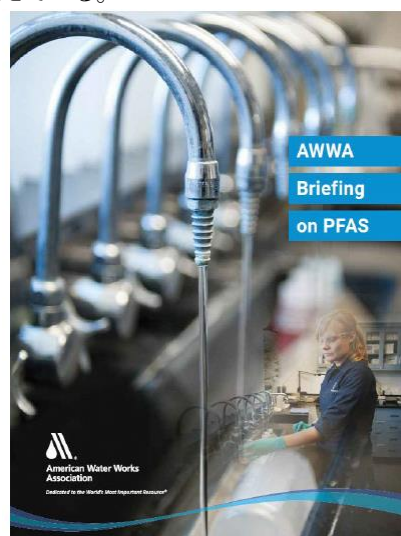


図 8. PFAS 類(有機フッ素化合物)のパンフレット

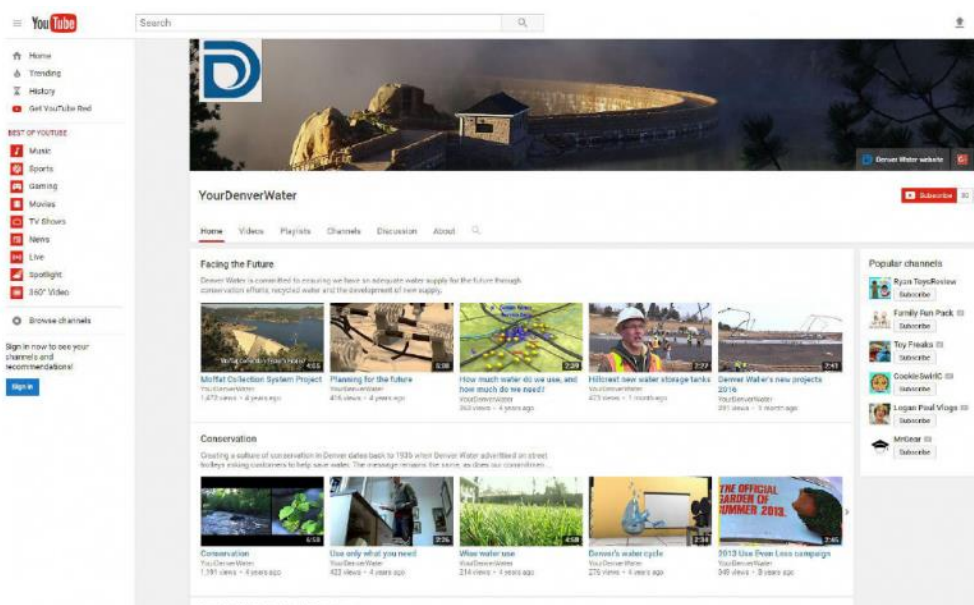


図 9. DW の YouTube チャンネル

4.(2)料金設定

水道料金の値上げについては市民の理解が不可欠であるため、広報活動はとて重要視される。アメリカでは、市長が選挙の際に根拠のない料金の値下げを公約したことで、市民から批判を受けた事例もあったため、**affordability** と呼ばれる適正な料金設定が重要視されている。

水道料金は安いほど良いという考えが浸透してしまうと、施設更新のための十分な資金が得られず施設の更新などが先延ばしになってしまうので、アセットマネジメントの観点でも良くない。

健全な水道事業を維持するためにも水道料金を上げる事の正当性を伝えていく必要がある。しかし、多くの市民は水道事業を理解していないのが現状である(図 10)。また、多くの事業者が現在の水道料金では将来的に水道事業を運営していけなくなると予測しているため、値上げを検討しているという。

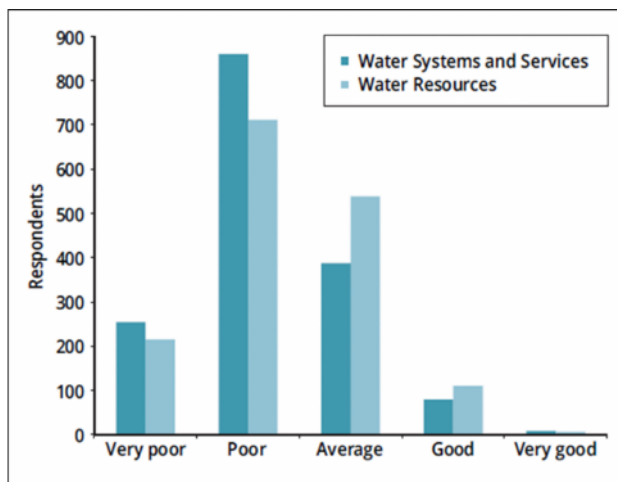
正当な料金設定はアセットマネジメントの一環でもある。施設の状況を把握し、今ある問題を認識し、修繕や更新にかかる費用の試算を長期的な視点で行うことで、マネジメント計画を立てることができる。

料金設定においては、様々な要素を分析しなくてはならない。料金を構成する要素の中には固定費や変動費といったいくつかの項目があるが、それが市民にとって良心的な価格かどうかも重要視されている。良心的な価格という表現は非常に抽象的であるが、水道事業は福祉事業ではないため、バランスのとり方が難しい。構成する要素の一つに、最低賃金がある。水道料金が市民の労働時間何時間分に当たるか、月給に対する水道料金の割合はどれくらいか、ということである。

渇水や断水により水不足が生じる際には、水資源保護の観点から料金を値上げすることで、市民に節水を促す場合もあるという。その値上げ分の料金を、将来の渇水に備えた余剰金として蓄えておくこともできる。しかし、節水による水資源保護ばかり重要視しても、料金収入が減ってしまう。

実際の料金設定も家庭向け、企業向けなど様々なタイプがある。使用量による料金の体系の例を紹介する。

- ①定額型…1 か月 20 ドルというように、使用量にかかわらず料金は一定。計算は簡単で収入も安定するが、使用量が公平ではなく水資源保護の意識が全くない。
- ②一律型…「流量 1,000 ガロンあたり 1 ドル」のような通常の見方。実施は楽だが、市民間の収入の差で考えると公平性がない。



Source: 2014 AWWA State of the Water Industry Report

図 10. 市民の水道事業への理解度アンケート

- ③季節型…②をベースに夏は高額、冬は安価など季節ごとに設定。ピーク時に特に水資源保護にはなるが、気候により料金収入が安定しない。
- ④逡増型…日本でも使われるように、使用量に応じて段階的に単価が上がる。水資源保護にもなり、利用者が使う量で単価を調整できるので公平でもある。収入は安定しない。
- ⑤逡減型…使用量に応じて段階的に単価が下がる。多く使ってほしい企業などの大型顧客向け。大量に使う前提なので収入は安定するが、水資源保護にはならない。
- ⑥個別料金システム…④を発展させたもの。利用者の平均使用量、人数などのデータをもとに個別に単価を設定する新しい手法。公平性もあり、水資源保護にもなり、収入も安定する。計算と管理が非常に難しい。

このように、それぞれ一長一短なので、状況に応じた適切な料金を設定しなくてはならない。料金設定の目的を明確にすることで、事業体の健全な財政を保つことができる。

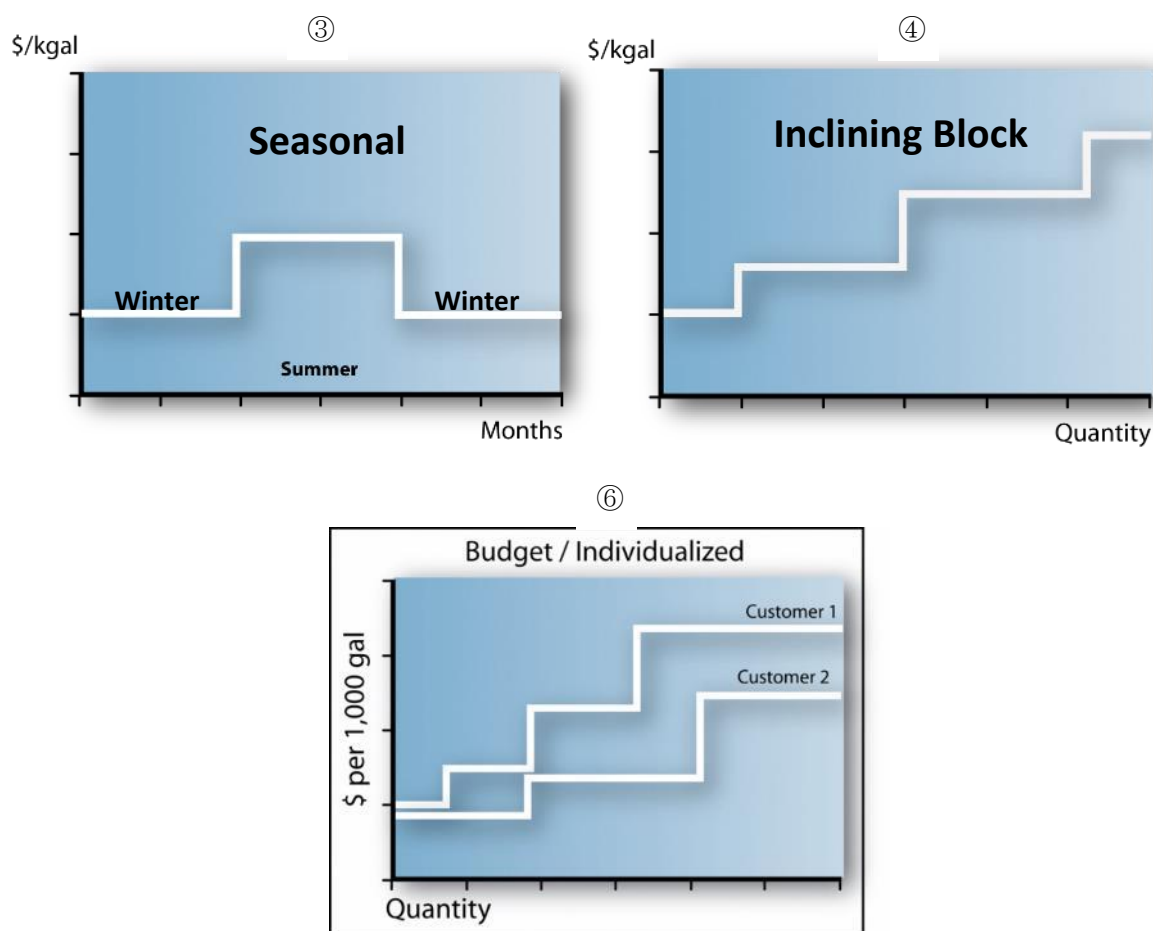


図 11. 各水道料金体系の概略図

5.水の保全

5.(1) WISE パートナーシップ

コロラド州では水をめぐった争いが 1965 年ごろ多発したため、7 つの流域ごとに占有権や水利権を扱うための水道裁判所が置かれている。非常に乾燥した地域であるため、水の安定した供給は特に重要視されている。

オーロラ市は、デンバー市の東側にあるアメリカで 7 番目に乾燥している土地であり、現在の給水人口は 37 万 4 千人である。過去には水道施設が存在せず、デンバーから受水していた。ところが渇水時にデンバー市でも給水量が足りず、オーロラ市に給水できなくなることがあったため、短時間で水道施設を作ることになった。しかし、「先占用の原則」という水利権の優先順位もあり、デンバー市より後に水利権をとったオーロラ市は十分な水量を確保することができなかった。そのため、取水地点を計 50 箇所分散させることで水利権上の問題を解決し、長距離圧送用のポンプ場や貯水池も建設することで、渇水に耐えられる施設となり、安定した取水が可能となった。

サウスメトロ(SMWSA : South Metro Water Supply Authority)は、デンバーやオーロラより南側にある 13 の都市が集まった団体である。給水人口が 30 万人で、水源は地下水に頼っていた地域である。帯水層で水質は良いが、取水量の増加に伴い、地下水は減少し、いずれは枯れてしまうことが予測されていた。そのため、再生可能な水資源として、水の再利用を検討するようになった。

このように、乾燥したコロラド州において気候変動や災害等に備え、安定した配水量を確保するために、DW と、オーロラ市、サウスメトロの 3 つの事業体が提携して、WISE パートナーシップ (Water, Infrastructure and Supply Efficiency) という広域給水事業が作られた。これにより、相互に水に関して協力することができるようになり、渇水が起きてもそれぞれの市における水量の状況に応じて臨機応変に対応できるようになったとのことである。

DROUGHT EFFECTS ON WATER RESERVOIRS



図 12. 貯水池の状況 (左:通常、右:渇水)

5.(2)水の再利用

アメリカにおいて、渇水は非常に大きな問題となっている。多くの水道事業が水の再利用を検討しており、実践している例はまだ少ないが、需要が高い分野である。

コロラド州の水の利用状況は、89%が農業用水、7%が水道水、4%が工業用水として使われている。農業用水は肥料や農薬が混入している可能性が高いため、非常に高度な技術で処理しないと再利用水として使うことができない。水の再利用といっても用途に応じて様々な方法があり、再利用水を直接使うか間接的に使うかでも変わってくるが、基本的には下水処理場で処理した水を再利用水とする場合が多い。まだ事業が始まって間もない 2000 年頃比べると、再利用できる水の割合は 40%から 78%まで改善されてきている。

コロラド州のある大きな下水処理場では、処理した水を一旦川に戻し、そこから 60 km 上流まで圧送し、再度水源として取水し、浄水処理して飲料水にしているとのことである。コロラド州は年間に晴天日が 300 日ほどあり、降水量が少ないため水源を表流水だけに頼ることはできない。2002 年に激しい干ばつがあり、再利用水を水源として使わなければ、給水人口を賄う供給はできなかったという。

コロラド州北東部を流れるサウスプラット川流域では、河川ろ過 (Riverbank Filtration) という取り組みもある。川沿いにある浅井戸の層で再利用水を含む川の水をろ過することで、自然の作用で病原菌などを除去している。そこにはポンプ場や、大型の UV ジェネレーターがある Peter D. Binny 浄水場がある。農薬、PPCPs (医薬品・化粧品などの化学物質)、RNA・DNA などの分子結合を破壊するために、薬品 (過酸化水素) の代わりに UV 照射を行い、さらにその水をろ過して、活性炭で処理をしている。ここには河川ろ過と、井戸水由来の水質の良い貯水池の 2 つの系統があり、飲料水を作る際はこれらの系統をブレンドしている。この Binny 浄水場のような高技術の処理場が他にもいくつかあり、高技術の処理場へ送水するための施設もある。

項目	最小	最大	平均
アルカリ度	102	135	119
大腸菌	<1	42	2.5
ホウ素	192	227	208
カルシウム	73	83	79
マグネシウム	13	17	15
硝酸塩	1.68	8.94	5.30
pH	6.89	7.13	-
カリウム	9.92	12.9	11.18
ナトリウム	98.7	127	112.5
総溶解固形物(TDS)	640	742	690
硫酸塩	198	280	232

表 1. 再利用水の水質 (単位は一部を除き ppm)

表 1 は下水処理場で処理した水を使った再利用水の水質で、浄水処理すれば直接飲料水として使える「ダイレクトポータブルウォーター」と呼ばれている。これを活用すればオーロラ市の年間の需要に見合う量が給水できる。これまで気候の変動はあまり考慮されていなかったが、年々気温は上昇しており、降水量は減り蒸発量は増えることが予想されるため、貯水地の水位を保持できるとは限らない。水不足に対して将来的な計画を立てて対策する必要がある。

アメリカでは水の保全のために、水の再利用以外の取り組みも行っている。オーロラ市にスピニーという貯水池があるが、そこは鉱山の採掘により地表の水源が汚染されてしまった。しかし、粘土層によりその下の帯水層までは汚染されなかったため、オーロラ市はこの帯水層の水利権を 3,400 万ドルで買い取った。その帯水層の水質の良い水を汲み上げてモスキートクリークという川に流すことで、飲料水として活用できるようになり、市民も環境活動家も喜んだという。

また、帯水層への貯水という取り組みもされている。帯水層の水は取水した分だけ減っていき、空間ができる。その空間を貯水池として使うために、高度処理をした再利用水を帯水層の空間に復水するというものである。この取り組みはサウスプラット川流域では成功しており、屋外で貯水するよりも帯水層の中で貯水することで良い水質を保つことができ、浄水処理においても費用対効果は高い。空間に復水することで地盤沈下の防止にもなり、新しい貯水池を作る必要もない。ある貯水池を作るために 7 億 8,000 万ドルもかかった例もあり、この技術を使うことで別の用途に資金が使えるなどメリットが多く、とても有効な技術として期待されている。

アメリカにおいて、将来的に再利用水の需要は増えていくことが予想される。すべての再利用水に飲料水レベルの高度処理を行う必要はなく、石油産業であれば掘削用の用途として再利用水をそのまま供給するなど、目的に応じた水質や配水システムで運用することで、将来的な水の保全につながっていく。川の下流にあるネブラスカ州と上流のコロラド州は、川の取水をめぐる紛争が多いため、この問題の解決にも再利用水の活用が期待できる。処理方法などについてまだ発展途上の分野ではあるが、少ない水を少しでも有効活用するという考え方は将来的にとっても重要である。

5.(3)水質・配水

①アメリカの水質基準の歴史

1914 年にアメリカの公衆衛生局によって感染症に関する法律ができたが、人や物の移動による感染対策が主な内容で、当時は水に関する定めはなかった。1907 年に水道に塩素消毒が導入されているが、1925 年に初めて水道水の細菌数の上限と、鉛・銅・亜鉛など水溶性鉱物の上限が決められた。その基準が、1942 年、1946 年、1962 年と徐々に厳しくなり、採水方法や、ヒ素、フッ化物、鉛、セレン、銅などの濃度の基準なども設けられた。

水道水の基準の他にも、水源を工業排水から守るため 1948 年に連邦水質汚染防止法が初めて作られ、その後 1972 年に水質汚染防止法(Clean Water Act)として改正され、工業排水の基準が設定された。そして EPA(Environmental Protection Agency)という環境保護庁が環境汚染防止のための強い権限をもつ監督機関となった。水道水に関してもこの EPA が監督機関である。

EPA は 1974 年に飲料水安全法(Safe Drinking Water Act)を作り、公共水道施設における人体の健康被害を防ぐための基準を設定した。トリハロメタンのような DBP(消毒副生成物)による人体への影響は未確認だったため、MCL(最大汚染許容値)が設定された。ほかにも殺虫剤や濁度の基準も設定された。1986 年には、飲料水安全法の規制を 3 年ごとに改正することになり、25 項目の汚染物質も追加された。1996 年以降は、水道事業が認可制になり、費用対効果の検討、利用者への情報提供も義務化された。2010 年時点では、90 項目以上の飲料水に関する汚染物質が規制されている。このように水道水の規制は、公衆衛生を保全するという目的で時代とともに進化してきた。

②DW の水源の管理

水道水質を良好に保つにあたり、水源の管理は非常に大事である。水源が良質であれば水処理にコストがかからない。水源流域の環境保護を行った場合と行わなかった場合でコストを比較すると、流域の環境保護を行った場合の方が約 1/8 のコストで済むことがわかった。しかし、水源は渇水や山火事がよく起きる地域であり、そのたびに DW の配水量の約 90%を貯水する重要な貯水池に大量の残骸が流入することで、有機物の量が増えるなど水質が悪化する。そのため、水源の森林を保護することは水質保全に繋がる。



図 13. 山火事で貯水池に溜まった残骸

DW では、国より厳しい水質基準を設けており、さらに高水準の水質にする努力を常に行っている。浄水場では、微生物、消毒副生成物、TOC(全有機炭素)など、一般的な項目を監視するとともに、水源での水質管理にも重点を置き、薬品や放射核種などについて監視している。

③配水システムでの管理

DW では、配水タンクや貯水池など、浄水場以外の場外施設もすべて 1 週間に 1 度点検している。配水システム内においては残留塩素が保たれていることが重要なので、定期的に残留塩素の確認をするが、管延長が非常に長い場合残留塩素を保つのは困難である。残留塩素は滞留時間が長いほど低下し、細菌数が増加し水系感染症が発生するおそれがあるため、常に適切な残留塩素を確保しなくてはならない。DW の管理基準は、結合塩素で最大が 4.0 ppm、最低が 0.2 ppm である。日本では遊離塩素での管理が主流だが、アメリカの広大な土地を考えると結合塩素で管理の方が適している。これは、遊離塩素は消毒効果が強いが水道管内で効果が低下しやすく、結合塩素は消毒効果が弱い効果が低下しにくいからである。しかし、結合塩素としてクロラミン処理をする際に、アンモニアによる硝化作用(アンモニアから亜硝酸や硝酸を生ずる微生物による作用)も懸念されるため、なるべく滞留時間を短くする必要がある。残留塩素の低下と、それによる細菌数の増加はそのシステムが健全かどうかの指標となる。

水質の管理として、他に pH や水温も監視する必要がある。pH が高いと炭酸カルシウムの沈殿が発生するほか、塩素の消毒効果がなくなりトリハロメタン類が発生しやすくなる。pH が低いと管が腐食し破損のおそれが高まり、赤水も発生し、ハロ酢酸も増加する。アメリカの基準では pH は 6.5 ～8.5 とされている。水温に関しては、高いほど残留塩素が低下しやすく、消毒副生成物も細菌数も増加しやすくなる。

貯水タンクの管理も水質管理上重要である。水温が上昇すると、温かい水は上に、冷たい水は下に滞留して層ができ、温かい水は早く劣化する。これを防ぐために、タンク内にバッフル板を設置し、水流によりタンク内を効率的に攪拌する方法がある。水温の変化だけではなく、タンクの材質が溶出することや、沈澱が発生し水質が変わる、外部からの要因で味や臭気に変化するなど、様々なことに留意しなければならない。

配水管においては、水圧の管理も重要である。最小水圧は 20 psi(1 psi = 6894.76 Pa)とされており、管の破裂を防ぐため、水圧の変化にも基準を設けているので、バルブ開閉での急激な水圧変化にも気を付けなければならない。

配水管のシステムをループ型にすることで、配水管末がなくなり、システムを強靱にする取り組みもされている。ループ型にすることにより、滞留水もなくなり、断水も避ける事ができる。また、残留塩素濃度を必要以上に高くしなくてもいいので、消毒副生成物も低減する事が出来るという。消火栓の水圧を確認する際に、定期的にフラッシングをすることで、残塩の低下も防止できる。

このように、各施設の問題点を理解し、状況に応じた方法で管理していくことが、公衆衛生の保全に繋がっていく。

5.(4)鉛管について

アメリカにおいても、鉛管対策は重要な課題である。アメリカ国内には、現在 610 万本もの鉛管があり、すべて更新するためには約 300 億ドルかかるという。更新に当たっては、鉛管の付設状況を把握することが必要だ。大規模事業者よりも中小事業者のほうが鉛管の付設状況をより詳細に把握しているが、これは大規模事業者の方が給水人口が多いため管延長が長くなり、付設状況の把握が困難になるためと思われる。

DW では、鉛が様々な健康被害を引き起こすことから、1971 年に鉛管の使用を禁止している。しかし、DW 設立から 30 年以上の間鉛管が使われていたため、未更新の鉛管は多い。また、国(コロラド公衆衛生局と EPA)は 2011 年に飲料水安全法の中で鉛の削減を提言し、各家庭において宅内の給水管に鉛管が使用されているか水道水の調査を行ったが、一般の家庭では適切な方法で採水できていなかった。これを受けて、DW が適切な方法で採水した調査を行い、2016 年に鉛除去プログラムを立ち上げた。そして利用者にも、宅内のフラッシング方法を周知する、蛇口へ装着するフィルターの配布を周知するなどの広報を行った。宅内配管に鉛管を使用している家庭で漏水があり修繕が必要になった場合は、DW が無料で鉛管以外の配管に交換した。鉛管を使っているのは低所得者の家庭が多いため、DW が鉛管を交換することは将来的にも公平性を保つことができるという。

そして 2018 年、国は水道水にオルトリン酸塩(orthophosphate)の注入を決めた。食品添加物の一種でもあるオルトリン酸塩を水道水へ添加することで、腐食を防止し管からの鉛の漏出がなくなると国は言っているが、オルトリン酸塩の注入を始めた場合、一度システム系統に使ってしまうと全ての系統にこれを注入しなければならないため、各水道事業体はこのオルトリン酸塩の注入を非常に懸念していた。国の規制では 2020 年 3 月 20 日までに実施しなければいけないことになっているが、莫大な費用がかかるプロジェクトである。

このオルトリン酸塩について、国が言う方法が最善ではないと DW は考え、国に対して提案を行い、正式な合意である覚書を作成した。その DW が作成した提案書の中には、配水系統の pH のレベル、システム内における鉛管の量を記載し、20 年かけて鉛管を無くすという国の基準に対して 5 年以内に無くしたいという提案をしている。管の交換までの期間に鉛管を使用している家庭には、国から蛇口に装着するフィルターの提供もされる。

DW は、北部、南部の各家庭で水道水を採水して水質調査を行い、提案の根拠とした。pH 調整の有無、オルトリン酸塩添加の有無などの条件で鉛管由来の鉛の量を調査し、3 年間の調査期間で国のデータと DW の調査結果を比較している。これらの研究を根拠にすることで、法的な強制力はないが、順守すべきものとして合意されることとなった。

DW は、水質をさらに良くするために、規制当局の基準よりも、さらに高水準の水質にする努力をしている。これにより、デンバーだけではなくその他の地域の指標となり、同時に環境や公衆衛生にも良い影響を及ぼすことになる。

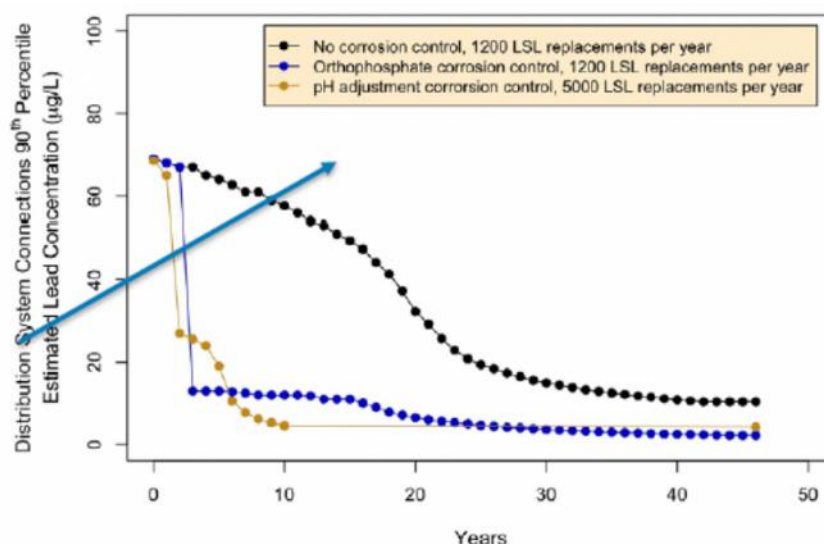


図 14. DW の研究データに基づく鉛管撤去までの予想
 (縦軸:配水管内の推定鉛溶出濃度、横軸:年、黒:腐食対策なし、
 青:国の主張するオルトリン酸塩、黄色:DW 提案の pH 調整)

6. 浄水処理、浄水場見学

研修最終日に、DW の浄水場の一つであるモファット浄水場を見学した。他にもフットヒル浄水場、マーston浄水場がある。モファット浄水場は、DW の創始者の一人である David Moffat 氏の名前が由来である。1936 年に建設された当時のままの建物を使っており、部分的に更新しているが、老朽化している施設である。

浄水量は 11 月で 120 MGD (≒45 万 m³/日) だが、夏場は 300 MGD (≒114 万 m³/日) となり、フットヒル浄水場、マーston浄水場だけでは足りなくなる分をバックアップするような施設である。水源は表流水で、Upper Williams Fork と Fraser River という流域から取水している。

浄水処理における取水→凝集沈殿→ろ過・塩素消毒という大まかな流れは日本でもアメリカでも共通である。しかし、使用する薬品や処理工程は異なる。

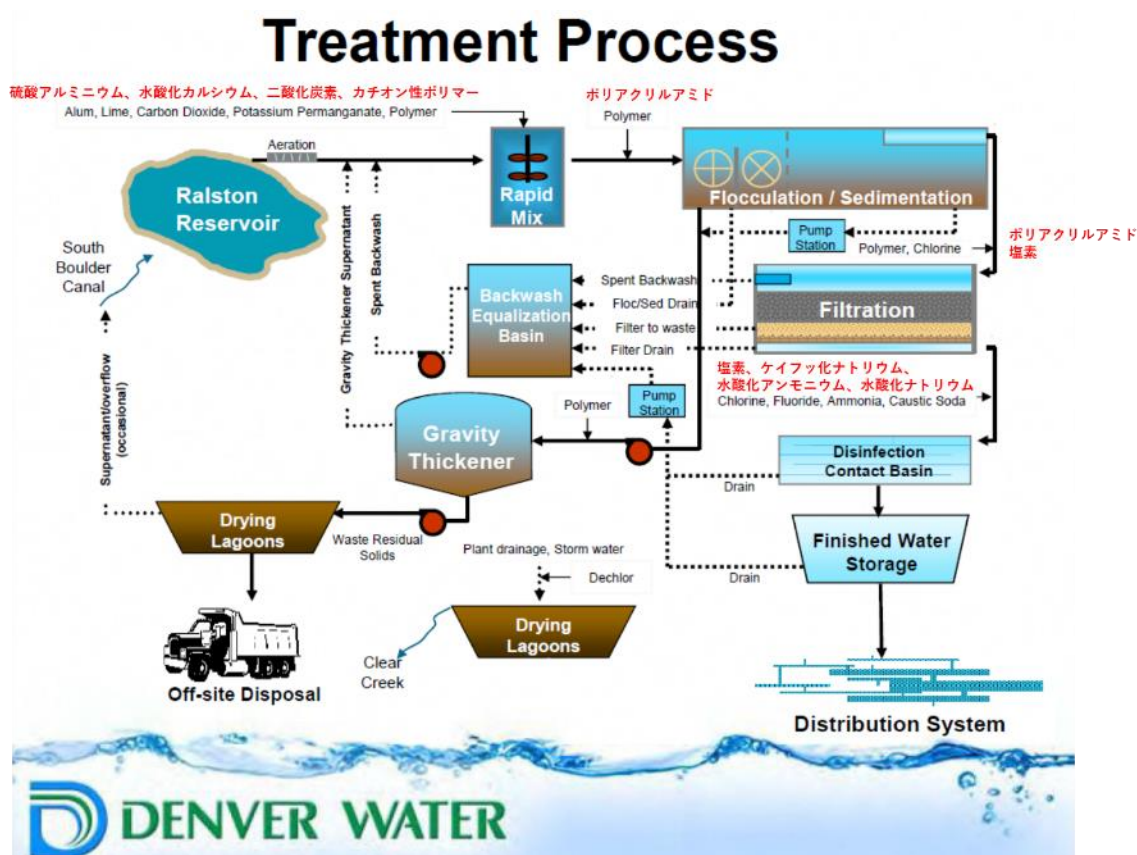


図 15. モファット浄水場の浄水処理工程

まず、取水した水のアルカリ度が 20 程度と低いいため二酸化炭素を入れ、低下した pH を調整するため水酸化カルシウム(石灰)を入れる。そこに凝集剤として硫酸アルミニウムと、凝集補助剤としてカチオン性ポリマー(DADMAC)を入れる。沈殿池の前とろ過池の前に凝集補助剤のポリアクリルアミドを入れており、フロック作成、沈殿後に急速ろ過する。ろ過の前と後に塩素消毒を行う。ろ過後にフッ素添加のためのケイフッ化ナトリウムと、クロラミン処理のための水酸化アンモニウムを入れ、低下した pH を調整するために水酸化ナトリウム(苛性ソーダ)を入れる。そして浄水池から配

水池へ送水し、配水される。以前は酸化目的で過マンガン酸カリウムも入れていたが、藻類が増殖しやすくなるため過去 6 年ほどは使用していないという。

特に日本と異なる点としては、ポリマー注入、フッ素添加、クロラミン処理である。ポリマー注入に関しては、2019 年 3 月にポリマーの規格が日本水道協会から新しく出たこともあり、今後日本でもポリマーが凝集補助剤として使われる可能性が非常に高くなっているため、注目すべき分野である。モファット浄水場では、粘性のあるポリマーを希釈して注入しているという。

フッ素添加については、日本ではフッ素の基準は 0.8 mg/L 以下だが、アメリカでは 0.7~2.0 mg/L となっている。フッ素を添加する目的は、利用者の歯の健康を守るためであり、フッ素が添加された水道水を飲む習慣のある子供と、飲まない習慣の移民の子供とでは、明らかに飲む子供の方が歯の状態が良いという。日本では斑状歯などの健康被害があったため、注入しない方針になっており、アメリカでも反対する団体はある。しかし、アメリカの医療機関などの専門家がメリットのほうが大きいと判断しているという。これは日本とアメリカの思想の違いの一つと言える。

クロラミン処理は前述したとおり広大なアメリカの土地によるものである。まず遊離塩素で強力に消毒した後に結合塩素にして、残留塩素を長持ちさせるという考え方で運用している。

他の浄水場のバックアップとして使用しているモファット浄水場だが、それでも非常に広大な敷地の施設であり、実際に見学したことで改めてアメリカという国の広大さを感じた。

7.総括

7.(1)研修に参加して

今回の海外研修に参加して、非常に多くのことを学ぶことができた。

まず、英語への耐性である。渡米前に講義資料を理解するために数年ぶりに大量の英文を訳した。渡米後も英語しかない環境に 1 週間滞在し、単語を並べるだけのような英会話でコミュニケーションをしたという経験は、英語への苦手意識を参加前より改善してくれた。

講義の内容からは、様々な考え方を学んだ。アセットマネジメントは施設を管理するものと考えていたが、施設だけではなく、人材や料金などのサービスも総合的に考えるべきだという話を聞き、アセットマネジメントについてより広く理解することができた。「問題を把握し、データを統合し、優先事項を決めて計画的に実施」という考え方は、すべての仕事に通じるものであると強く感じた。業務のタスク管理などで仕事を整理し、普段の業務を効率よく行うために活用していきたい。

業務への姿勢という点では、鉛管対策のオルトリン酸塩について DW が国へ提案した話は、非常に驚くべきものであった。国の決定が本当に正しいかを考え、独自に研究して方針を提案するという姿勢に、水道事業として人々のために働くことへの誇りを感じた。

また、アメリカの水不足の現状や水の再利用について学ぶことで、日本が水資源に恵まれた土地であることを再認識できた。乾いた気候で水が足りないからこそ、水の再利用のために多くの投資をしているアメリカのほうが、水の大切さを理解していると感じた。日本でも豊富な水資源に甘えずに、将来的なことを考えて水道事業への投資を重要視していかななくてはならないと強く感じた。

他にも、浄水処理の方法や、水道事業の問題点など、日本とアメリカにおいて共通の部分や異なる部分を学ぶことで、日米の水道事業全体を俯瞰して見る事ができたため、研修参加前より視野を広げることができたと思う。この経験で得た考え方を、これからの水道事業の将来を考えながら業務に活かしていきたい。

7.(2)おわりに(謝辞)

採用されてから 7 年間、弘前市の樋の口浄水場という狭い視野でしか仕事をしていませんでしたが、今回の研修で全国の研修生の皆さんの話や、アメリカの水道の話を知ることができたのは、とても良い経験となりました。非常に丁寧に対応してくれた AWWA のスタッフの方々、引率役として全体に気を配りながら様々な段取りをしてくれた渡部さん、もはや講師といえるレベルまで内容を理解して通訳してくれた鳥山さん、優秀な研修生の皆さんのおかげで、慣れない環境での研修を無事に終えることができました。

このような機会を与えてくださった日本水道協会の皆様、参加を推薦し、各種手続きや業務のサポートをしてくれた職場の皆様に、心からお礼申し上げます。



AWWA 本部にて