

2019 年度 国別水道事業研修（アメリカ）報告書

研修期間：令和元年 11 月 11 日（月）～ 令和元年 11 月 17 日（日）

報告者：鹿児島市水道局 配水管理課 石川博章

報告日：令和 2 年 1 月 17 日（金）

1. 研修概要

(1) 研修概要

日本水道協会（JWWA）と関係の深い他国の水道協会に研修の受入を要請し、当該国の水道事情を学ぶ研修。今年度はアメリカ水道協会（AWWA）に講義の受入を要請し、協力のもとで実施された。平成 29 年度まではオーストラリア及びインドネシア水道事業研修が行われてきたが、平成 30 年度に一時休止され、本年度新規に国別事業研修として行われた。

平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	2019 年度
①オーストラリア水道事業研修			2018 年第 11 回 IWA 世界会議・展示会会議登録費補助制度実施に伴い休止	①国別水道事業研修 (新規・アメリカ)
10 名	11 名	16 名		
②インドネシア水道事業研修				②IWA 会議・展示会参加研修 (新規・香港)
7 名	7 名	中止		
③専門別研修				
ドイツ スウェーデン インド他	オランダ チェコ アイルランド ポルトガル他	オーストラリア ドイツ マルタ等		
4 名	3 名	2 名		

(2) 研修目的及び研修生資格

① 国際的視野を持つ人材の育成

海外の水道情報に触れることにより、国際的な視野を持つ人材を育成できる。

② 英語能力の向上

通訳は介するが、英語による講義聴講、質疑応答等により、英語のコミュニケーション能力が向上する。

③ 専門性の向上

英語の水道の専門用語等に触れること、海外の水道を自らの業務との比較、報告書作成過程による情報収集により、専門性を高めることができる。

④ 研修生資格

- ・ 正会員の中堅職員であること
- ・ 2019 年 4 月 1 日時点で 40 歳未満であること
- ・ 水道の業務経験が 5 年以上であること
- ・ 英語を理解し、コミュニケーションが図れること

(3) 研修日程

月日	時間	日程
11月11日(月)	17:45	成田国際空港発 デンバー国際空港着(時差-16時間)
11月12日(火)	9:00~9:15 9:15~9:45 9:45~10:15 10:30~12:00 13:00~14:30 14:45~16:15 18:00~20:00	○開会の挨拶 : David LaFrance 氏 (AWWA 最高経営責任者) ○日本の水道事業の現状 : 渡部英 氏 (JWWA) ○研修生自己紹介 ○AWWA について : David LaFrance 氏 (AWWA 最高経営責任者) ○米国における水道業界の現状 : Barb Martin 氏 (AWWA) ○水道事業のガバナンス : Patricia Wells 氏 (Denver Water 元法律顧問) ○施設・アセットの管理基準 : Colin Chung 氏 (AWWA 国際評議会委員/コンサル企業社長) ○AWWA と夕食会 @THE FORT
11月13日(水)	9:00~10:30 10:45~12:15 13:15~14:45 15:00~16:30	○水道事業体の経営 : Lisa Darling 氏 (South Metro Water Supply Authority) ○料金設定 : Todd Cristiano 氏 (AWWA) ○モバイルワークと資産管理 : Peter Kraft 氏 (The Confluence Group, A Xylem Brand) ○コミュニケーション(広報) : Stacy Chesney 氏 (Denver Water) Greg Kail 氏 (AWWA)
11月14日(木)	9:00~10:30 10:45~12:15 13:15~14:45 15:00~16:30 16:30~17:00	○水源 : Elizabeth Carter 氏 (City of Aurora, AWWA) ○浄水処理(I) : Patricia Brubaker 氏 (Denver Water) ○浄水処理(II) : Patricia Brubaker 氏 (Denver Water) ○配水技術 : Todd Brewer 氏 (AWWA) ○閉会式 : David LaFrance 氏 (AWWA 最高経営責任者)
11月15日(金)	9:00~11:30 13:00~	○浄水場見学(Moffat 浄水場) フリータイム
11月16日(土)	11:45	デンバー国際空港発
11月17日(日)	16:00	成田国際空港着(時差+16時間)

(4) 参加者

支部	氏名	所属
事務局	渡部 英	日本水道協会研修国際部国際課
北海道	持館 香穂（副団長）	苫小牧市上下水道部水道管路課
東北	藤岡 昭彦	弘前市上下水道部上水道施設課
関東	坂口 正人（団長）	前橋市水道局浄水課
中部	十倉 崇行	愛知県企業局水道計画課
関西	前畑 登志夫	大津市企業局水道ガス整備課
中国四国	呉石 美穂	松山市公営企業局経営管理課
中国四国	久米 祐介	徳島市水道局浄水課
九州	石川 博章	鹿児島市水道局配水管理課
日本水道協会	岡崎 篤	日本水道協会総務部経理課



AWWA エントランス



講義風景

2. アメリカ合衆国と日本における水資源

アメリカ合衆国（以下、アメリカ）は国土面積が日本の約 26 倍、人口は約 2.5 倍であり 50 の州及びコロンビア特別区で構成される。資源にも恵まれ、エネルギー自給率は 92.6%（日本 9.6%）¹⁾、食料自給率は 130%（日本 37%）²⁾ である。また、今後の人口の推移予測（図-1）を見ると、日本は減少の一途をたどる中、アメリカは少しずつ増加する見込みである。経済面でも名目 GDP は日本の約 4 倍と、ヒト、モノ、カネ全てにおいて世界トップレベルの超大国である。

水資源については地域によって偏りがあり、全体的に西側で降水量が少なく、特にカリフォルニア州などの一部地域で降水量が非常に少ない（図-2）。一方、日本は降雨が多いため、一般的に水資源に恵まれていると考えられているが、一人当たりで考えると世界的に見ても水に恵まれているとは言えない（表-1）。また、農作物等を通して水資源を海外から間接的に輸入しているという考え方（仮想水；バーチャルウォーターの収支）の下では、年間 800 km³ の水を間接的に海外から輸入していると算定されており³⁾、日本における水資源賦存量（降水量から蒸発散量を差し引いたもの）の約 2 倍の水を海外に頼っている状況である（仮想水の最大の輸入先はアメリカ）。今後、世界各国の人口増加や気候変動による極端な降水・渇水によって日本への食料供給が不安定になることも考えられ、水資源の保護やライフスタイルの見直し、そして水資源は有限であるという意識の醸成が必要となるだろう。

表-1 水資源の比較

国名	面積 (千 km ²)	人口 (千人)	平均 降水量 (mm/年)	年降水総量 (km ³ /年)	一人当たり 年降水総量 (m ³ /人・年)	水資源 賦存量 (km ³ /年)	一人当たり 水資源賦存量 (m ³ /人・年)	水使用量 (km ³ /年)	水資源 使用率 (%)
アメリカ	9,832	324,459	715	7,030	21,665	3,069	9,459	485.6	16
日本	378	127,484	1,668	630	4,945	430	3,373	81.5	19
世界	134,108	7,545,618	1,065	142,825	18,928	54,737	7,254	3,970	7

国土交通省「令和元年版 日本の水資源の現況」より作成

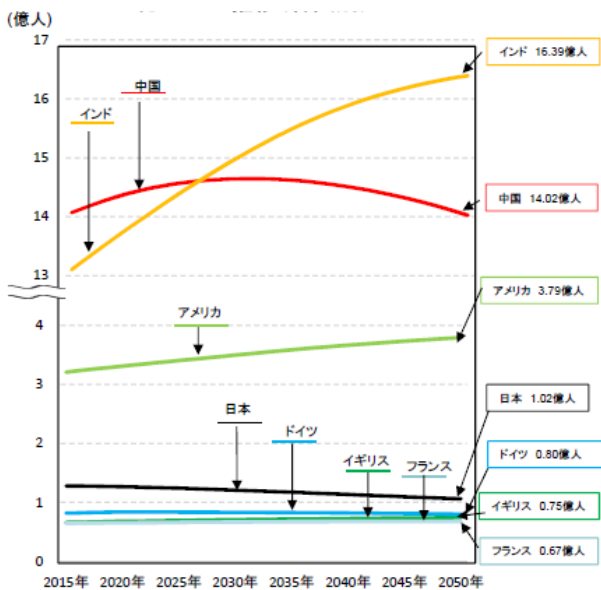


図-1 先進国の人口推移予測

（国土交通省、国土の長期展望専門委員会（第2回）
配付資料 資料 1-1、P.4）



図-2 アメリカの降水分布

（USGS、「Precipitation of the Individual States and of the Conterminous States of the United States」）

3. デンバーの概要

本研修の滞在地であるコロラド州の州都デンバーは、アメリカの中央部（ロッキー山脈の麓）に位置する内陸都市である。標高が約 1600 m と、1 マイルとほぼ等しいことから「マイル・ハイ・シティ」と呼ばれている。年間降水量が約 400 mm と少なく、ケッペンの気候区分ではステップ気候に分類されている。夏季には最高気温が 30 度を超える一方、冬季には厳しい寒さとなり降雪も多い。

人口は 2010 年に 60.0 万人であったが、2018 年には推計で 71.6 万人まで急速に増加しており、周辺都市を含めた Denver-Aurora-Lakewood 都市圏（約 290 万人）を形成している。ダウントウン（ユニオンステーション～コロラド州会議事堂付近）には様々なショップや高層ビル、博物館などが立ち並び、洗練された都会の雰囲気となっている。また、「住みたいまちランキング」で 2 位⁴⁾ になるなど、アメリカ国民にとっても人気で魅力的な街である。2013 年に成田-デンバー直行便が就航し、観光・文化交流が行われており、岐阜県高山市と姉妹都市となっている。

表-2 デンバー市郡と当市の比較

都市名	デンバー市郡	鹿児島市
別称	マイル・ハイ・シティ	東洋のナポリ
市制施行年	1858 年	1889 年
面積	401.3 km ²	547.6 km ²
人口	60.0 万人 (2010) → 71.6 万人 (2018 推計)	60.6 万人 (2010) → 59.5 万人 (2019 推計)
市内総生産	77,060 億円 (2018) ※1\$ を 110 円として計算	19,267 億円 (2016)
気候区分	BS (ステップ気候)	Cfa (温暖湿潤気候)
気温 降水量		
自然	 ロッキー山脈	 桜島
位置		

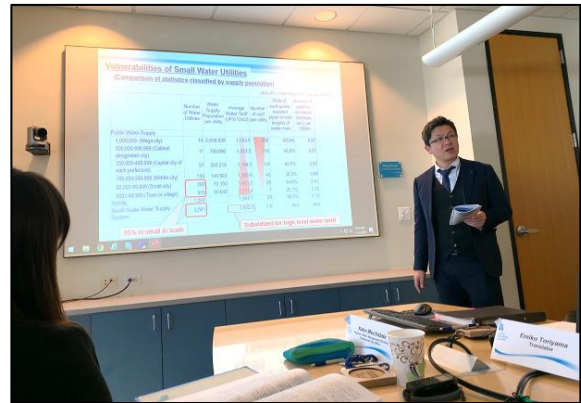
アメリカ合衆国国勢調査局、アメリカ合衆国経済分析局、総務省統計局、気象庁及び鹿児島市 HP を参考に作成

4. アメリカ水道協会 (AWWA) と日本水道協会 (JWWA)

日本の水道事業の現状について JWWA の渡部氏から説明があった。日本中どこでも飲むことができる非常に高い水質レベル、効率的な配水システムによる低い漏水率の実現、廉価な水道料金（平均収入に対して約 0.7%）など、世界でもトップレベルの水道サービスを提供している一方で、老朽化した施設等の更新によるコスト増加、人口減少に伴う収入の減少、施設等の耐震化の問題など多くの課題があること、特に降水量の多い日本でも水不足に陥ることがあることに AWWA 側も驚いていたようであった。

次に AWWA の CEO である David LaFrance 氏から AWWA についての説明があった。AWWA は 1881 年に設立され、個人や団体を含め 51000 ものメンバーを抱える巨大組織で、本部は本研修の滞在地であるデンバーにある。飲料水だけでなく、汚水、雨水、再利用水まで幅広くカバーしており、規格や技術的マニュアルの作成、研修や各種調査・報告、国際会議や広報などの事業を行っている。また、2015 年にはインドに支局を開設した。インドの水道普及率はまだ低い（人口は世界 2 位（近い将来中国を抜き 1 位になると考えられている）であり、今後需要が拡大すると考えられるからとのことであった。2016 年に出された AWWA 戦略計画（Strategic Plan）では、「A better world through better water」をビジョンとし、水を最も重要な資源として位置づけ、その効果的なマネジメントを提供していくこととしている。

初日の夜には懇親会があり、デンバー郊外の「THE FORT」という店で夕食会が開催された。コロラド州は西部開拓時代の文化が残る土地ということで、AWWA からプレゼントされたカウボーイハットを全員で被り、食事や会話を楽しんだ。この店には過去に大統領や有名芸能人が訪れたこともある由緒ある店らしく、壁にはどこかで見た事のある人物の写真が並んでいた。名物のバッファローやエルク（鹿）のステーキなど、日本では食べたことのないおいしい料理を頂いた。また、コロラド州はビールの生産がとても盛んということであり、日本では飲んだことのないような味のビールなど、これもまたおいしく頂いた。ビール産業の盛んな理由はロッキー山脈から水質の良い雪解け水や湧水が得られるからということであり、ここでも水の重要さを感じることができた。この夕食会で緊張と長旅の疲れもほぐれ、研修期間を通して楽しく学ぶことができた。



渡部氏(JWWA)による講義



David LaFrance 氏(AWWA・CEO)による講義



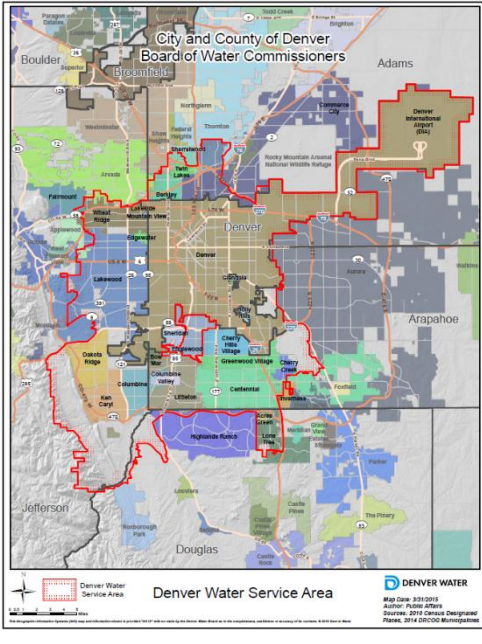
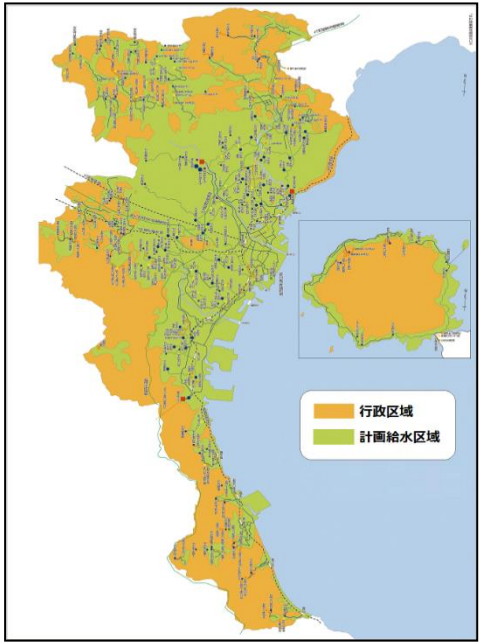
夕食会風景

5. デンバーウォーター

デンバー市郡に給水を行う水道事業体である「デンバーウォーター」はコロラド州で最も長い歴史があり、最も大きな水道事業体である。市民憲章により設立された団体で、デンバー市郡から独立しており、デンバー市郡及び郊外 140 万人に給水している（デンバー50%・郊外 50%）。戦略計画の中で「全米でベストの水道事業体を目指す」というビジョンを設定し、様々な取り組みを行っている⁵⁾。

表-3 にデンバーウォーターと当局の概要を比較した。一日給水量は季節によって変動が大きく、夏に非常に多くの水が使用されている。住居環境の違いであろうか、家庭での水の使用用途の約 50%は屋外での使用（庭への散水など）となっており、夏期（5/1～10/1）には午前 10 時から午後 6 時までは散水しない、週に 3 日以内などのルールや、芝生や植物への効率的な水やりの方法をホームページやパンフレットで広報している⁶⁾。

表-3 デンバーウォーターと当局の比較

事業体		デンバーウォーター	鹿児島市水道局
給水人口		140 万人	58 万人
給水区域		868 km ² （デンバー及び郊外）	274 km ² （鹿児島市内）
1 日給水量	最大	1,404,388 m ³	195,339 m ³
	最小	336,902 m ³	158,307 m ³
	平均	692,730 m ³	176,730 m ³
水源		表流水（3 浄水場）	表流水（3 浄水場、約 52%） 伏流水・湧水・地下水（106 か所、約 48%）
給水区域			

Denver Water ホームページ、Denver Water Use and Reservoir Contents 2019、鹿児島市水道ビジョン、鹿児島市水道事業年報（令和元年度版）より作成

6. アメリカの水道事業

(1) 水道事業のガバナンスモデル

アメリカの水道事業は、民営事業者が中心となって規模を拡大してきたが、水質やサービスの不公平から徐々に公営が増えたようである。事業者数としては公営 54%、民営 46%であるが、給水人口としては約 90%が公営となっており⁷⁾、大きな規模の水道事業体ほど公営が多いこととなる。

水道・ガス・電気などの公益事業は、競争がなく独占的な事業になりやすいため、基本的には自治体など公的な団体が所有しているか、もしくは厳しい規制がなされた上で民間による経営が行われている。

アメリカにおける水道事業のガバナンスの例を表-4 に示す。この表では上から下に向かって民営の要素が強くなる。各モデルによって資金調達や料金の設定方法、責任の所在などに違いがある。例えば資金の調達に債券を発行した場合、公営事業者が発行した債券を投資家に償還するときには非課税となる一方、民営事業者は課税対象となるなどである。

公営事業者が発行する企業債には、償還原資によって一般財源保証債（General Obligation Bonds：GO 債）とレベニュー債（Revenue Bonds）の 2 つに分けられる。一つ目の GO 債は、歳入全般を担保に使った債券になるが、発行には上限額や住民投票などの規制がある。レベニュー債は水道事業でよく使われ、事業から生じる歳入のみを償還原資として発行される債権であり、水道料金で賄われる。

表-4 水道事業のガバナンスモデル

モデル	財政・資金調達	料金	公的説明責任
① <u>Direct Government</u> 自治体が所有する水道事業体 自治体内の一部門として運営され 全ての面で自治体の管理下にある	非課税 GO 債、レベニュー債 税金、水道料金 補助金	議会により設定 値上げしにくい 低所得者の保護 政治の介入がある	直接的な説明責任 Sunshine Low 適用
② <u>Board/Commission</u> 自治体から独立した理事会による運 営（ただし理事会は自治体が任命） 施設は自治体が所有し運営を理事 会が行う	非課税 レベニュー債のみ 自治体（一般会計）から 独立した会計	理事会で設定 値上げしやすい	理事会を通して自治体 に説明責任（理事会に直 接的な説明責任はない） Sunshine Low 適用
③ <u>Corporatized Utility</u> 自治体をオーナーとする会社 理事会は自治体が任命 運営には会社法が適用される	課税 柔軟な資金調達	事業者が設定 値上げしやすい 料金には会社としての 利益が含まれる場合が ある（自治体による制 限を受ける事もある）	理事会に説明責任 Sunshine Low 不適用
④ <u>Contracted Management</u> 施設は自治体のもので、運営をア ウトソーシングで行う リスクと責任は契約で自治体と請 負会社に割り振られる	設備資産については非 課税 契約に基づき自治体か らの支払い	契約により自治体が設 定（契約コストを含め た設定） 低所得者の保護	請負会社には説明責任 なし 責任の線引きが難しい
⑤ <u>Direct Private</u> 民間会社による運営 自治体の全ての施設等を民間会社 が購入 決められたサービスエリアで独占 的に運営 政府による監視を受ける	課税 様々な形で資金調達が 可能 法的な規制要件を受け る	独占的な事業運営にな るため料金が高くなる 場合がある 規制当局による許可が 必要	公聴会など

※Sunshine Low…情報開示法。議会や理事会における会議など、事業運営がどのように決められるかを公開しなければならない。

デンバーではかつて、いくつかの民間事業者によって水道事業が行われていたが、腸チフスの発生などあまりうまくいっておらず、お互いに揉めていることが多かった。そこで、一つのところに買ってもらって、そこにやって欲しいという市民の訴えが出た。また、市民が求めていたのは市や政治の介入のない水道団体が欲しいということだった。このような背景において、デンバーウォーターは1918年に市民投票によって制定された憲章によって設立された。

デンバーウォーターは表-4のモデルでいうと②と⑤を混ぜた感じであり、水に関する全ての権限を持っているとのことである。理事会は市長から6年の任期で任命されるが、予算、ファイナンス、職員は別で、水道料金も自由に設定でき（憲章で料金は公正かつ適正でなくてはならないとされている）、市から切り離された公的な会社のようなものとなっている。また、デンバー市外へ水道水を売ることもできると憲章に書いてあり、実際にデンバーウォーターの給水人口のうち、半分は市外への用水供給となっている。この分についての水道料金はコストベースではなく利益を上乗せして設定することができる。レベニュー債は発行することができるが、一般財源保証債は発行できない。また、すべての歳入はWater Works Fundという基金に入ることとなる。格付け評価でも非常に評価が高く、トリプルAの評価となっている。Sunshine Lawsも適用され、公聴会などはストリームラインやホームページからリアルタイムで視聴することができるとのことであり、非常に透明性の高い運営が行われている。

(2) 水道事業者が抱える問題 (AWWA 報告)

AWWAは毎年、水道事業者へ様々な設問のアンケートをとり、「State of the Water Industry Report」として結果を集約し公表している。「水道産業が直面している問題は何か」についてランキングにしたものでは、例年1～6位まで図-3のとおりほとんど変化がなく、「老朽化したインフラの更新」が毎年1位となっている。第二次世界大戦後に作られた多くのインフラが更新の時期を迎えており、ASCE (American Society of Civil Engineers (米国土木学会))の報告では水道のインフラの老朽化に対する評価は非常に悪く、上水がD、下



TOP ISSUES FACING THE WATER INDUSTRY 2015-2019					
Rank	2015	2016	2017	2018	2019
1	Renewal and replacement of aging water & wastewater infrastructure	Renewal and replacement of aging water & wastewater infrastructure	Renewal and replacement of aging water & wastewater infrastructure	Renewal and replacement of aging water & wastewater infrastructure	Renewal and replacement of aging water & wastewater infrastructure
2	Financing for capital improvements	Financing for capital improvements	Financing for capital improvements	Financing for capital improvements	Financing for capital improvements
3	Long-term water supply availability	Public understanding of the value of water systems and services	Long-term water supply availability	Public understanding of the value of water systems and services	Long-term water supply availability
4	Public understanding of the value of water systems and services	Long-term water supply availability	Public understanding of the value of water systems and services	Long-term water supply availability	Public understanding of the value of water systems and services
5	Public understanding of the value of water resources	Public understanding of the value of water resources	Public understanding of the value of water resources	Public understanding of the value of water resources	Watershed/source water protection
6	Watershed/source water protection	Watershed/source water protection	Watershed/source water protection	Watershed/source water protection	Public understanding of the value of water resources

図-3 水道産業が直面している問題 (2019 State of the Water Industry Report)

水がD+となっている。そのため、アセットマネジメントを軸に、インフラの管理をやっていく必要があるが、ただ古いから更新するのではなく、様々な要素を考慮に入れた上で優先順位を付けていくことが重要との事であった。また、鉛管の取り換えも大きな問題になっており、現在、610万もの鉛管があり、それらをすべて取り換えるには約300億ドルかかると考えられている。水道事業者への「鉛管の位置を特定しているか」という質問に対して、34%が「特定している」との回答だったが、大規模事業体よりも中小事業体の方が多く鉛管の位置を特定している。お客様が多いとそれだけ管延長が長くなるので、中小事業体のほうが把握できていたと考えられるとの事であった。



図-4 R&Rにかかる費用

今後25年間のアメリカにおける水道インフラの更新に必要な投資額は1兆ドルにものぼると言われている(図-4)。しかし、最近の研究では1ドルの上下水道インフラへの投資がGDPを長期的には6.35ドル増加させるとの試算など、これらの投資が将来的に十分見返りのあるものであると見積もられている⁸⁾。それらインフラの更新のためには「資金調達」と、その中心となる水道料金を左右する「水道システム・サービスへの理解」が問題となってくる。料金は非常にセンシティブな問題であり、水道料金を不当にあげることはできないので、お客様とのコミュニケーションやアフォーダビリティ(正当な価格設定)が重要となってくる。コミュニケーションによってお客様の信頼を得ることができ、料金の値上げなどにおいても理解を得やすくなる。最近ではフェイスブックやツイッターなどのSNSを用いたコミュニケーションが増えている。



図-5 AWWAのマニュアル

次に、「長期的な水供給の可用性(Availability: 継続して利用可能である能力)」、「水域、水源の保護」、「水源の価値に対する理解」についてはいずれも、将来の水資源に対する不安が問題となっている。アメリカ南西部などの降水量が少ない地域や、水源を地下水(多少の降水では復水しないような深い井戸)に頼っている地域は長期的な水供給の可用性が低いと言える。そのような地域(テキサス州、カリフォルニア州、フロリダ州など)では再利用水を飲料水として直接的・間接的に利用している。この場合、水質が問題となるため基準が非常に重要となる。そこで、AWWAでは再利用水の基準やその処理で使われる膜処理(RO)技術について、また、水資源保護に関してのマニュアルも出している(図-5)。水質については最近PFAS(PFOS, PFOAなどのパーフルオロアルキル化合物及びポリフルオロアルキル化合物の総称)が問題になっており、この物質の特徴や処理方法、各州におけるMCL(最大許容濃度)の設定状況などをまとめた報告書が公開されている(図-6)。

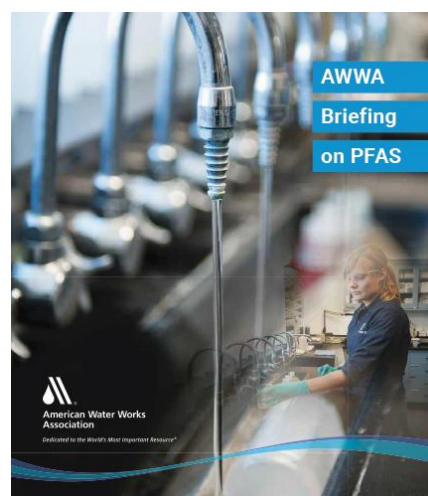


図-6 PFAS 報告書

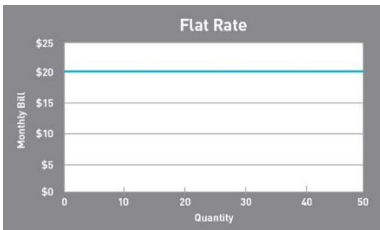
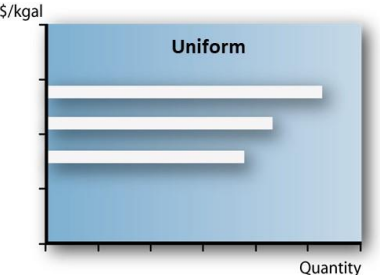
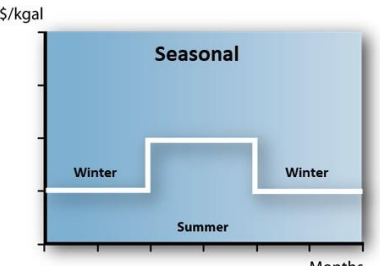
(3) 料金の設定

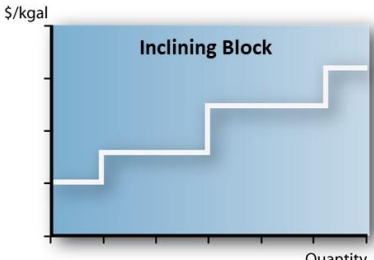
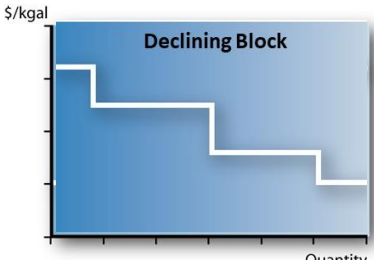
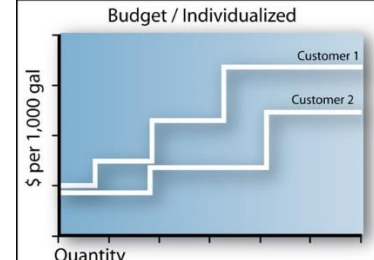
日本における水道事業は、地方公営企業法が適用され、料金収入によって経営をする独立採算制が基本原則となっている。水道料金は総括原価方式によって算定することを基本原則とし、地方自治体の水道事業体の場合、議会の議決を経て条例によって規定される。アメリカにおいても独立採算制の原則により料金収入により全ての事業運営ができることが望ましいとされているが、料金の決定はその事業体の経営形態によって異なる。日本と同様、アメリカの水道事業も施設老朽化など様々な問題を抱えており、現在の料金では今後事業を十分にやっていけなくなる水道事業体は増え続けると考えられているが、「料金の設定」がそれらのいくつかの問題を解決できる可能性があるとの話であった。

料金体系は通常、基本料金+従量料金となっている。基本料金には Customer charge (定額基本料金)、Meter charge (口径別基本料金)、Minimum charge (最小水量付基本料金)、Readiness to serve (資本関連費用の一部を回収するための固定料金) などがあり、主な従量料金のタイプは表-5 のとおりとなっている。

日本においてもほとんどの水道事業体が基本料金+従量料金の二部料金制を採用している。基本料金については口径別基本料金と用途別基本料金の体系があり、それぞれの中で従量料金として単一型、逡増型、逡減型に分類されている。当市では口径別-逡増型の二部料金制を採用している。

表-5 アメリカにおける主な従量料金のタイプ

タイプ	特徴
<p>① 定額型</p>  <p>The graph shows a horizontal line at \$20 on the y-axis (Monthly Bill) across the x-axis (Quantity) from 0 to 50.</p>	<p>○使用量を問わず一定の金額。</p> <p>(メリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・運用が非常に簡単 <p>(デメリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・公平性が全く無い ・水資源保護意識がない ・使用量の少ない人には不公平
<p>② 単一型</p>  <p>The graph shows a horizontal line at a constant price per unit on the y-axis (\$/kgal) across the x-axis (Quantity).</p>	<p>○用途・口径に関わらずキロガロン当たり一定の金額。</p> <p>(メリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・運用が簡単 ・理解しやすい <p>(デメリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・公平性が無い ・水資源保護意識が薄れる
<p>③ 季節変動型</p>  <p>The graph shows a higher price level during the 'Summer' months and a lower price level during the 'Winter' months on the x-axis (Months).</p>	<p>○季節によって金額が変動する体系。冬は安く夏は高いなど。工業地域などで使われる場合がある。</p> <p>(メリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ピーク時(夏)の水使用量を抑えることができる。 ・公平性がある(ピーク時に多く使用する者が多く支払う) <p>(デメリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・収入が安定しない(例えば夏に雨が降るなどの気候によって)

<p>④ ^{ていぞう} 逓増型</p> 	<p>○使う量が多いほど単価が高くなる。</p> <p>(メリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水資源の保護につながる ・運用しやすく管理しやすい ・公平性が高い <p>(デメリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・節水や天候により収入が減少しやすい
<p>⑤ ^{ていげん} 逓減型</p> 	<p>○使う量が多いほど単価が安くなる。大型顧客向け。</p> <p>(メリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・たくさん水を使ってもコストを抑えることができる <p>(デメリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水資源保護意識がない ・少量しか使用しない人にはコストが高い
<p>⑥ 個別料金型</p> 	<p>○お客様個別に料金設定を行う。携帯電話のポケット定額料金プランのようなもので、契約した水量を超えると次の単価の高いステージに移行する。比較的新しい料金タイプ。</p> <p>(メリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・お客様の生活スタイルに合わせることができるので公平性が高い ・水資源の保護につながる <p>(デメリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・管理が難しくお客様へのきちんとした説明が必要となる

AWWA では料金設定の枠組みに関するマニュアルを作成しており、JWWA においても「水道料金算定要領」が策定されている。

料金の値上げはアメリカにおいても当然やりたくはないとの事であるが、無理に料金を低く設定してしまうと、誰かが何らかの形で代償を負うことになる。まずは、施設の更新や配水管などのインフラの更新が先送りになると考えられる。そうすると、漏水による有収率の低下や水質の悪化、災害時の被害拡大など、結果的に代償を負うのは水道事業者だけでなく、お客様も、ということになる。また、運よくそれらをやり過ごせたとしても、お客様も水道料金は安いのが当たり前で、安ければ安いほど良いという考えが浸透していつてしまう。

日本では地震や豪雨などにより広範囲に及ぶ断水が突然起こる事が近年増加している。このような時には被災された方々だけでなく、テレビなどでその状況を見た人も水の大切さを改めて感じる。しかし、普段の生活の中でその感情が継続する人は多くないだろう。日常生活の中で水道水は極めて当たり前にあるものであるし、水道事業者もそうなることを目指してこれまでやってきた。

ここで必要となってくるのはお客様に水の価値をきちんと理解して頂けているのかどうか、水の価値へ

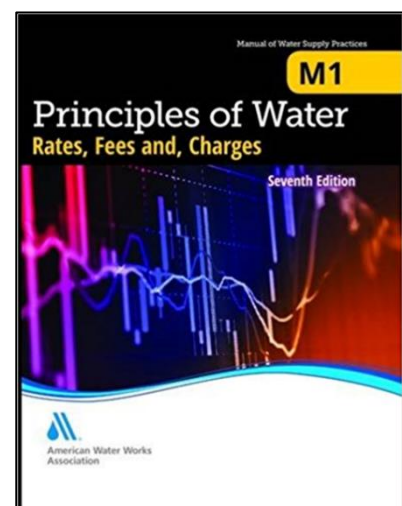


図-7 料金設定マニュアル

の理解がないと、水道料金というのは、何に対して、どんなサービスに対しての対価なのかということが分からないことになる。また、政治的な介入がある場合（選挙で水道料金を上げないという公約が挙げた場合）、なかなか料金を上げることができないということもある。そういった意味でお客様とのコミュニケーションが非常に重要となってくる。

デンバーウォーターでは水道料金は次年度の料金についてお知らせが行われており、ホームページに公開されている（図-8）。デンバー市郡と郊外で料金設定やサービス内容が異なり、郊外は少し高く設定されており、次年度の料金が1年間で大体どれくらいかかるかなど、分かりやすく示されている。

また、過去に渇水で水の確保が難しかった際には、一時的に水道料金を高く設定して水の使用量を抑えることもあったということである。このようなフレキシブルな料金設定は市から独立した機関であることの利点ともいえる。

（4）コミュニケーション

これまでの情報発信は新聞やテレビ、情報誌など（全体へ向けた情報提供）やホームページの閲覧（お客様からの選択的な情報収集）が、近年は youtube や SNS などインターネットを介して様々な形で情報が拡散するようになった（情報の二極化；一方では情報過多、一方では情報不足）。中には正しい情報かどうかではなく、テレビなどで発言力のある人によって大衆の意見が導かれてしまう場合もある。したがって、水道事業体としてはお客様に正確で信用される情報をいかに伝えていくかが重要となる。デンバーウォーターは広報において先進的な取り組みを行っている。

広報で大事なことは、まず情報に信頼性があること、どのような事業を行って、どのように水を作っているのか知ってもらうこと、会話の機会を増やすこと。

デンバーウォーターではホームページ、ニュースレター、Twitter、Facebook、Instagram、YouTube、機関誌、職員向け情報誌など様々な媒体を用いて広報を行っており、視聴する人の興味を引くような工夫がされている。特に視覚的に分かりやすく、ユニークな動画を



図-8 デンバーウォーター水道料金 (Denver Water ホームページ)

youtube に多く投稿している（トイレに薬を捨てないように周知するものや 100 周年事業の一環で再利用水からビールを作るなど）。ユニークな動画ができれば他のメディアに取り上げられ拡散する可能性もある。

また、これも 100 周年事業のビデオだが、「Journey of Water」という動画（chapter1~4 まで）は、水源から家庭までデンバーウォーターで働く職員がどのように水道水を作りお客様の元に届けているかといった内容となっている。デンバーウォーターの Stacy Chesney 氏の説明では、「この動画を見ると、水道局の職員がいかに情熱や誇りをもって業務に取り組んでいるかということを理解して頂けるのではないかと、また、このことは非常に重要で、今後経営が厳しくなる中で水道料金を上げなくてはならなくなった場合、水道局の仕事を知ってもらえば納得してもらえるからです。逆に私たちの仕事を理解してもらってないなら、反感を買うでしょう」との事であった。

たしかに、蛇口から安全で安い水道水が出てくるのは当然で、水がどのように家まで来るかということを考える人はあまりいないだろう。この動画を見ると、蛇口の水の先には水道局職員が情熱をもって仕事をし、水を届けているということを感じることができた。この動画に出てくるデンバーウォーターの職員のように、「水道局で働いていることを誇りにしている」と胸を張って言える職員が日本でも増えることを願いたい。

このように、デンバーウォーターではさまざまなコンテンツを使った情報発信を行ったことで閲覧数も増え、多くの人に水道の価値について知ってもらうことができた。日本では水道局がこのような動画を作り広報している例はあまり多くはなく、ユーモアな動画などは皆無だろう。ただし、JWWA の（大胆な）PR ポスター⁹⁾のように日本らしく「マンガ」を用いた広報はいくつかの水道事業体で見られる。このような手法もこれまでの地味で固い水道のイメージを払拭し、親しみやすいものへの変えられるととても良いチャレンジなのではないかと考えられる。

YouTube などの多くの人が視聴するコンテンツを利用したコミュニケーションは、今後の水道事業の運営を円滑にするために非常に重要なツールとなってくると思われる。透明性のある情報の積極的な発信によって、今まで知ることができなかった水道局の考えやそこで働く職員の表情を見ることができ、理解や安心感が得られるとともに、水道局が市民にとって非常に身近なものであることを認識して頂けるだろう。



図-9 デンバーウォーターでの広報
<https://www.youtube.com/watch?v=zJqoQ3SKpCw&feature=youtu.be>

(5) アセットマネジメント

令和元年 10 月に施行された水道法改正において「適切な資産管理の推進」を目的に、点検を含む施設の維持・修繕を行うこと（水道法第 22 条の 2）、水道施設台帳の整備を行うこと（水道法第 22 条の 3）が義務付けられた。また、長期的な観点から、水道施設の計画的な更新に努めなければならないこととし、そのために、水道施設の更新に要する費用を含む収支の見通しを作成し公表するよう努めなければならないとされた（水道法第 22 条の 4）。つまり、水道施設台帳や点検等のデータからアセットマネジメントを行い、その結果を基に計画的に施設を更新していくことが法律に明記された。

日本では戦後、高度経済成長期に急激に整備された施設等が老朽化し、それらの更新などの対応に迫られているが、アメリカにおいても第二次世界大戦後から増え続けた水道インフラへの投資により整備され、老朽化した施設等の更新に苦慮しているようである。

2017 年の ASCE の報告（Infrastructure Report Card）によると、アメリカでは毎年 24 万件の水道本管が破裂し、毎日 60 億ガロン（約 2300 万³）の水道水が漏水しており、これから 25 年間で 10 兆ドルの投資が必要となっているようである（図-10）。

また、図-11 に示すとおり、水道インフラへの投資額は設備資本（Capital）への投資よりも運用・整備（Operation and Maintenance；O&M）への投資が増えており、これまでのインフラを拡張する時代から維持管理の時代となっている。従って、これから重要なのは、現在持っているインフラがどれだけあって、リスクがどうなっているかを知り、優先順位をつけ、予防保全（proactive）を行うことである。

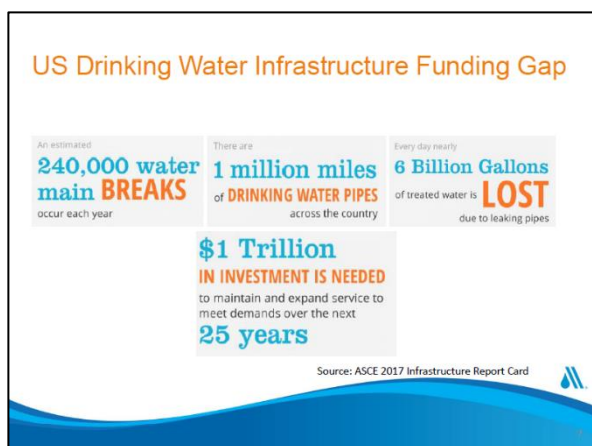


図-10 老朽化インフラのインパクト

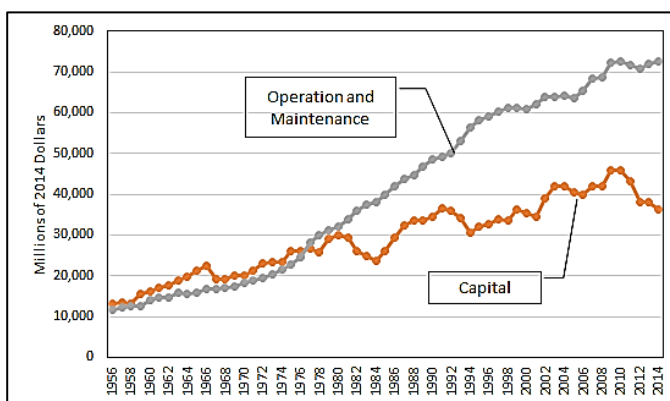


図-11 水道インフラ投資額推移

(Congressional Budget Office, Public Spending on Transportation and Water Infrastructure, 1956 to 2014. Table W-7.より作成)

アセットマネジメントの定義は ISO や US.EPA など色々あるが、講師の Colin Chung 氏は次のように表した。

- ①受動的（Reactive）ではなく予防保全（proactive）であること（例えば来年の予算を立てる時、これまでは去年の金額をベースに考えていた。将来いくらかかるかではなく。これはバックミラーを見ながら車の運転をするようなものである）。
- ②バランスがとれていること（お客様の期待・サービスコスト・サービスレベル・リスク）。
- ③適切な時、適切なコスト、正しい理由をもって正しい判断を行うこと（一貫性・再現性のある意思決定）。
- ④インフラのストーリーを分かりやすく伝えること（どのような資産がどのような状態でどのようにしなければならないか）。
- ⑤たくさんの人を巻き込み関与させること

また、「アセットマネジメントの土台はデータであり、最終的に判断するのは人間である。完全ということではなく、昨日よりも良くなっていくことの繰り返しである」との事であった。

そして、得られたデータから優先順位をつけることが最も重要であり、(PoF；故障の可能性) × (CoF；影響の程度) = リスクの大きいものから優先して対応していく必要がある。更新を考える際に法定寿命と運用寿命（メンテナンスや使い方、設置場所等で変わる）があるが、アメリカにおいてアセットマネジメントでは運用寿命を基に考える。従って、上述したように維持管理が非常に重要になってくる。つまり、正しいメンテナンスをすることでPoFを小さくすることができ、更新時期を延長することができる。ということは、メンテナンスができる人材の育成が必要となる。

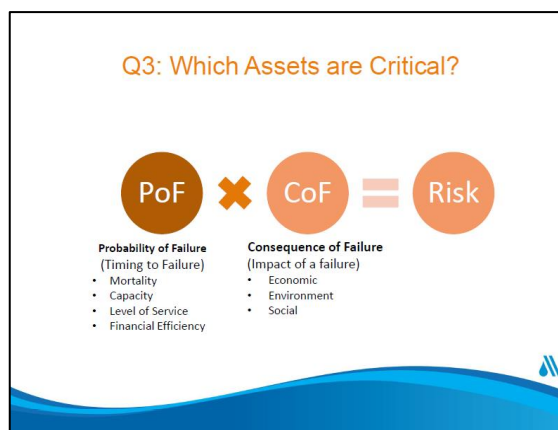


図-12 リスクの概念

アセットマネジメントに必要なデータはこれまでそれぞれの業務で分散して使用されてきた（GIS、資産情報、水質情報、工事履歴、顧客情報、人材管理など）。これらではできるだけ一つのシステムに統一しリンクさせることで意思決定を簡単に行え、投資計画がスムーズでき、関係部署や時にはお客様を加えたコミュニケーションも可能となる。また、最近ではそれらのデータ統合システムをモバイル化し、現場に持って行けるようにしたものもアメリカでは多くの事業者で使われているようだ。そうすることで様々な情報を現場で確認、編集することができ、報告書の作成や承認などもその場で行えるため、業務の効率化によって人件費や移動費の節減につながっている。

日本では、有収水量の減少や地震対策などを考えると、アメリカよりもさらに困難な状況にあると思われる。従って、インフラの適切なメンテナンスや延命処置により更新にかかるコストを抑えつつ、ダウンサイジングや統廃合による効率的な配水システムを再構築していく必要がある。また、そのような適切なメンテナンスを実行するためにはその対象を深く知っておく必要があり、経験豊富なベテランからの技術継承が不可欠となる。従って、アセットマネジメントはモノやデータだけでなく人材の管理も含めた広範囲な取り組みが必要と考えられる。



講師の Colin Chung 氏

7. 水質規制・水源・浄水処理

(1) アメリカの水質規制と配水システム

アメリカにおいて日本の水道水質基準に該当するのは、米国環境保護庁 (U.S.EPA) が設定した第 1 種飲料水規則 (National Primary Drinking Water Regulations : NPDWR)、第 2 種飲料水規則 (National Secondary Drinking Water Regulation : NSDWR) である。

第 1 種飲料水規則には 88 項目が指定されており、それぞれの項目について法的拘束力がある基準値である最大許容濃度 (MCL : Maximum Contaminant Level)、最大残留消毒剤濃度 (MRDL : Maximum Residual Disinfectant Level)、TT (Treatment Technique : 処理技術要件。例えば、ジョージアは「99.9% が除去もしくは不活化されること」など) が、法的拘束力のない目標値である最大許容濃度目標 (MCLG : Maximum Contaminant Level Goal)、最大残留消毒剤濃度目標 (MRDLG : Maximum Residual Disinfectant Level Goal) が設定されており、日本のそれとは違い少し複雑で分かりにくい。項目での日本との違いについては、残留塩素など消毒剤の上限値があること、日本では水質管理目標設定項目である農薬類が 20 項目含まれていること、放射性物質の項目が含まれていることなどである。また、全て「人の健康の保護に関する項目」であり、日本のようにカビ臭・界面活性剤・硬度・pH・味などの「性状に関する項目 (生活利用上障害が生ずるおそれの有無の観点)」は含まれていない。

第 2 種飲料水規則には 15 項目が指定されており、ここで臭気や pH などの生活利用上問題となる項目がいくつか設定されている。しかし、これらについての法的拘束力はなく、努力目標とされており、目標値となる SMCL (Secondary Maximum Contaminant Level) が設定されている。

また、州によって項目を追加したり、規制値を厳しく設定することが認められており、実質的な規制・監視は各州の規制当局によって行われている。例えば、近年注目されている PFAS は、飲料水中の生涯健康勧告値として PFOS・PFOA の合計値で 70 ng/L となつてはいるものの、第 1 種飲料水規則での MCL の設定にはまだ至っていないが、州によっては独自の MCL を設け規制を行っているようである¹⁰⁾。

コロラド州の規制当局はコロラド州公衆衛生環境局 (CDPHE) が担当しており、コロラド州第 1 種飲料水規則の中で各項目の測定回数や規制値を超えた時の措置、規制値を満たすための浄水技術の要件などの具体的な内容を規定している¹¹⁾。

表-6 アメリカと日本の水質基準等項目の比較

アメリカ		日本	
<u>第 1 種飲料水規則</u>	88 項目 (このうち 20 項目は農薬類)	<u>水質基準項目</u>	51 項目
<u>第 2 種飲料水規則</u>	15 項目	水質管理目標 設定項目	26 項目 (このうち、「農薬類」として 200 種以上 (対象農薬リスト掲載農薬類としては現在 114 項目))
<u>州による追加規則</u>	上記の項目以外が設定される 場合がある	要検討項目	47 項目

※下線は法的拘束力のある項目

日本では、水道水の消毒には塩素（次亜塩素酸ナトリウム、生成次亜塩素酸ナトリウム、液化塩素）により行われているが、アメリカでも塩素系の消毒剤（塩素、クロラミン、二酸化塩素）が用いられている。消毒副生成物への対策としてクロラミン処理が行われている都市も多く、50州の最大都市及びコロンビア特別区の51の水道事業体のうち、15の水道事業体がクロラミンによる消毒を行っているようである¹²⁾。講師のTodd Brewer氏の話では、遊離塩素は消毒効果が非常に強いが長く続かない、一方結合塩素は消毒効果は弱いが長く効果が続く、従って結合塩素は大きい都市のシステムなどで使われるとのことであり、第2次消毒剤及び消毒副生成物規則（Stage 2 DBPR）への適合のためにクロラミン処理へ移行する事業体が増えているようである。しかし、アンモニアによる生物形成や硝化作用のリスクはあり得るとのことであった（図-13）。

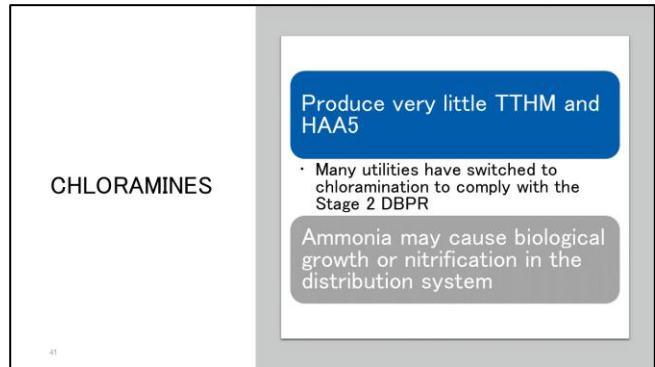


図-13 クロラミンの水質への影響

また、日本における水道水中の残留塩素は、遊離残留塩素を0.1 mg/L（結合残留塩素の場合は、0.4 mg/L）以上、汚染が疑われる場合には0.2 mg/L（結合残留塩素の場合は、1.5 mg/L）以上保持するようになっており、上限の規制はないが、水質管理目標設定項目において、臭いの観点から目標値として1.0 mg/L以下とされている。一方、アメリカでは遊離残留塩素は0.2 mg/L以上（結合+遊離残留塩素は0.5 mg/L以上）、上限は4.0 mg/L以下となっている（図-14）。



図-14 残留塩素

塩素消毒に関連して、消毒副生成物はアメリカでも問題視されるが、総トリハロメタン（TTHMs：クロロホルム、ブromoジクロロメタン、ジブromoクロロメタン、ブromoホルムの合計濃度）は日本の基準値が0.1 mg/L、アメリカのMCLが0.08 mg/Lとなっており、日本では個々の化合物についても基準値が設定されているのに対し、アメリカでは個々のMCLの設定はされていない。

また、ハロ酢酸については、日本ではクロロ酢酸、ジクロロ酢酸、トリクロロ酢酸がそれぞれ水質基準項目となっているが、アメリカではそれら3つに加え、ブromo酢酸、ジブromo酢酸を加えた5つの合計濃度（HAA5）としてMCLが設定されており、個々の化合物のMCLはない。なお、日本ではブromo酢酸、ジブromo酢酸などのBr,Cl系ハロ酢酸6種が要検討項目に分類されている（目標値は未設定）。

次に、配水システムで問題となってくるのが滞留時間（Water Age）である。滞留時間が長いと残留塩素濃度が低下し、微生物の発生、トリハロメタンなどの消毒副生成物の増加などの問題が出てくる。AWWAでは滞留水は7日以内を推奨しているとのことであった（図-15）。また、末端をなくすための管網のループ化、消火栓等でのフラッシングが行われている。日本においても管網がループを形成するよう整備されているが、地形上の制約などにより全てをループにするのは難しい。

また、pHも配水システムでは重要な要素である。pHが高いと、遊離残留塩素の消毒効果は大きく減少、TTHMの生成が促進してしまう。ただし、クロラミンはpHが高くても消毒効果がそこまで落ちず、TTHMの生成能も低く抑えられる。また、バイオフィームへの浸透性が高く、レジオネラ属菌の宿主ア

メーバに対しても大きな効果がある¹³⁾ようであり、日本では入浴施設などで高い pH やアンモニアを含む水に対してクロラミン消毒の有効性が評価されているようである。一方、pH が低いと、鉛、銅など金属類の溶出が起きてしまうが、消毒効果は高く維持でき、TTHM の生成は抑えられる。また、クロラミン処理の場合、トリクロラミンによる臭気が問題となる。このように、水質や配水システムの状態に応じた pH の設定を行う必要がある。

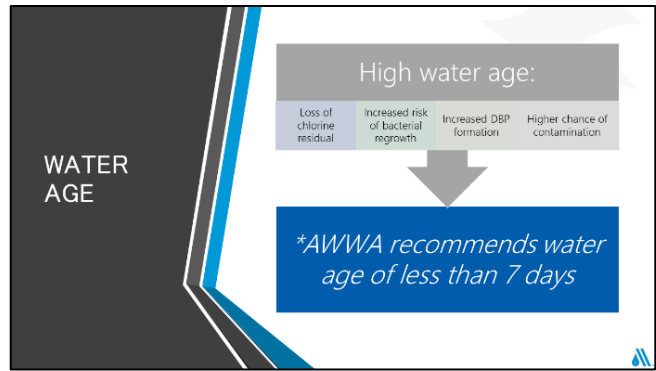


図-15 滞留時間 (Water Age)

そして、アメリカで特に重要としていることは、味や臭気などの感覚的なところである。これらは第1種飲料水規則において基準としては設定されていないが、顧客満足度にダイレクトに影響する。従って、お客様にただ安全な水を届けるだけでなく、よりおいしい水を届ける必要がある。お客様とのパートナーシップで重要な点は、規制よりもさらに高い目標を設定すること、自分たちがやっていることに満足しないこと、そしてデータを活用して現実的な意思決定を行うことである。

(2) 水利権

コロラド州において水利権は「First in Time is First in Right」、簡単に言えば早いもの勝ちとの事らしく、先に入植し水を確保したものが最上位の水利権者となるとの事である。例えば、水不足などで十分な水量がない時には、水利権順位が高いものが使った余りを次の順位の者が使い、その余ったものを次に、といった水の分配が行われる。

水利権の紛争が起こった場合、その調停を行う Water Courts (水裁判所) と呼ばれる機関がある。コロラド州には 7 つの流域があるため、7 部門の Water Courts が設置されている (図-16)。ここには水に関する専門家も配置されているようである。

コロラド州の裁判所のホームページを見ると、最高裁判所・地方裁判所・少年裁判所などの並びに水裁判所もあり、コロラド州における水問題、水利権の影響力の大きさが伺われる (図-17)。

The infographic titled 'Colorado Water' outlines the state's water rights system. It includes the following points:

- Doctrine of Prior Appropriation**
 - “First in Time is First in Right”
 - Water is a property right
 - Decentralized allocation system
- A water right is established by a water court decree**
 - Specifies time, place and amount of the right
 - Defines the priority of the right
 - Most rights decreed
 - “Usufructuary” only
- Structure**
 - 7 water basins;
 - 7 Administrative Divisions;
 - 7 Water Courts

An image shows two people in a field, with the caption 'Discussing Water Rights, A Western Pastime'. A logo for 'COLORADO' is in the bottom right corner.

図-16 コロラド州における水利権

The screenshot shows the Colorado Judicial Branch website. The 'Courts' menu is expanded, highlighting 'Water Courts'. The main content area is titled 'Water Courts' and contains the following text:

All deadlines that occur after July 12, 2016, even if the deadlines are in existing cases, should be calculated under the amended Water Court Rules and/or amended Rules of Civil Procedure, unless there is a Water Court order to the contrary.

The Water Right Determination and Administration Act of 1969 (the “1969 Act”) created seven water divisions based upon the drainage patterns of various rivers in Colorado. Each water division is staffed with a division engineer appointed by the state engineer, a water judge appointed by the Supreme Court, a water referee appointed by the water judge, and a water clerk assigned by the district court.

Additional Resources:

- Rule & Form Information:
 - *Water Court Rules
 - *Water Forms
- Judicial Appointment Orders:
 - *Water Judges for Calendar Year 2019
 - *Designated Ground Water Judges for Calendar Year 2019

図-17 コロラド州裁判所ホームページ
(<https://www.courts.state.co.us/Courts/Water/Index.cfm>)

(3) デンバーの事例

水源は貯水池に貯めたロッキー山脈からの雪解け水や小川の水である。流域で最も上流にあることから水源水質はとても良いとの事であった。しかし、降水量が少ないため多くの貯水池を建築し、導水管や隧道を通して水を貯め、浄水場で処理している。一部では分水嶺を超えて導水しており、水源の確保に努力していることが伺われる(図-18)。デンバーの北部と南部では水源が偏っており(北部 10%、南部 90%)、偏りを解消するために北部では貯水池の拡張や浄水場のリニューアルが行われている。

浄水場は3つあり、北部流域の水を処理する Moffat 浄水場(処理能力 68 万 m³/日)、南部流域の水を処理する Foothills 浄水場(処理能力 106 万 m³/日)、Marston 浄水場(処理能力 95 万 m³/日)がある。季節で水需要が大きく異なることから、冬季には一部の施設をシャットダウンして供給量を調整し、メンテナンスを行っている。浄水方法については、研修最終日に Moffat 浄水場の視察を行ったので後述する。

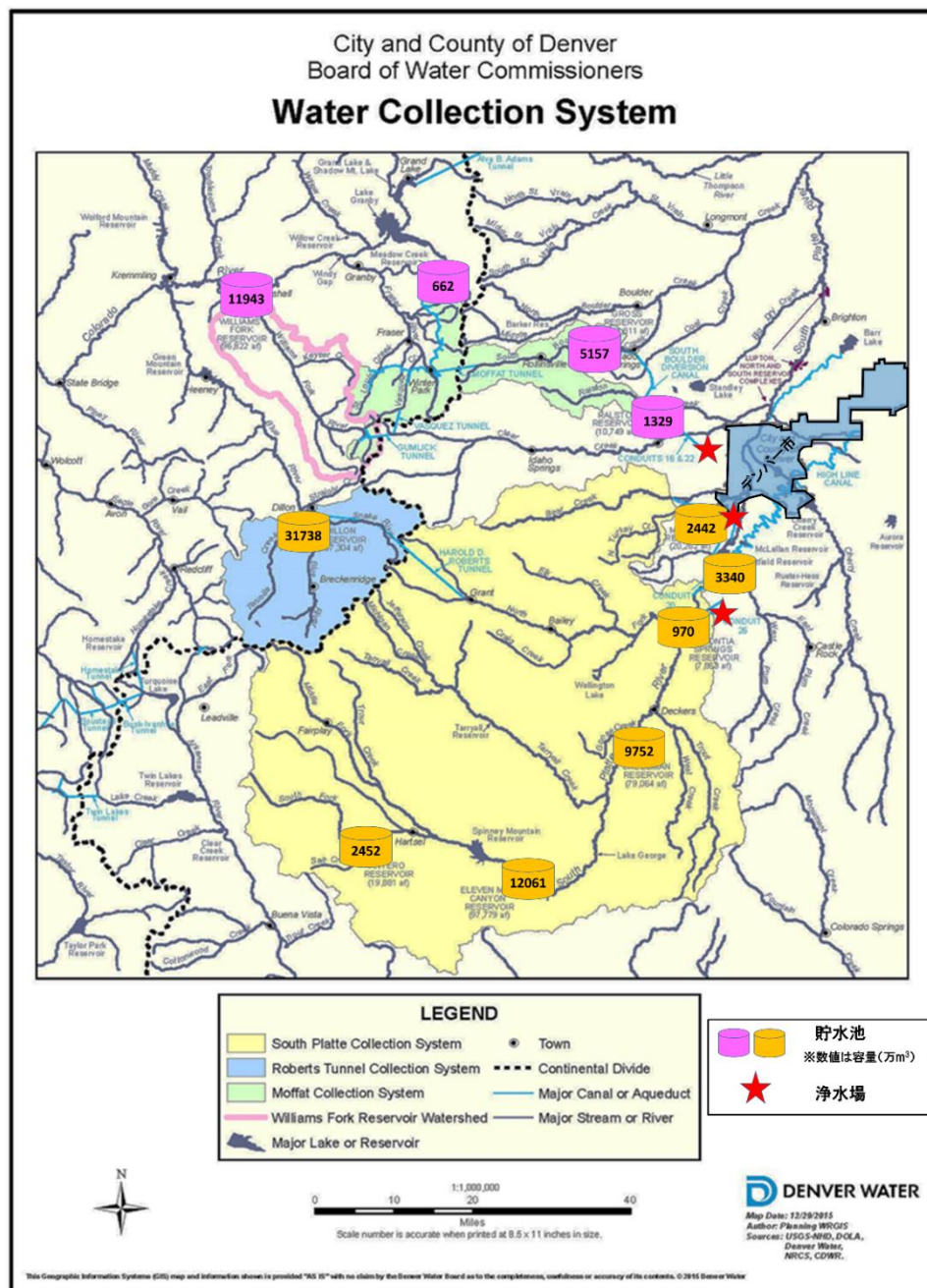


図-18 デンバーウォーター取水流域
(Denver Water ホームページ collection system を基に一部加筆)

これまでに何度か大きな山火事が発生した事があり、中でも 2002 年に起こった Hayman Fire はコロラド州で過去最も広範囲の山火事であった(図-19)。138,114 エーカー (=560km²、鹿児島市とほぼ同じ面積)の森林を焼き払い、直後に降った大雨によって大量の木くずや泥が貯水の拠点となっている Strontia Springs 貯水池に流入し、2 か月もの間給水に大きな影響を与えた。この貯水池を回復させるために 2700 万ドル以上を費やしたとのことである。

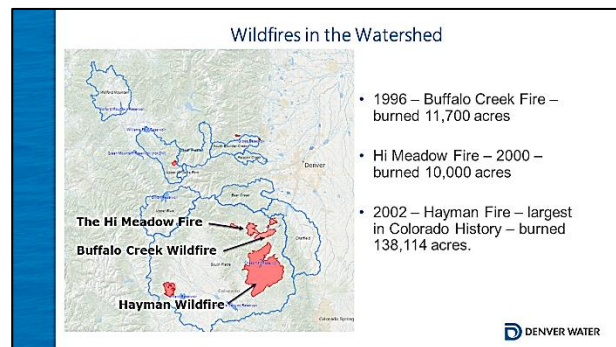


図-19 最近起きた山火事

この経験から、森林局や環境保護団体と協力して森の保護活動を行い、水源の水質を良好に保つ活動を行っている。また、フライフィッシングの愛好家に人気があるトラウト(マスの仲間)の生息地でもあり、生態系を保護する活動も行っている。水源の水質を良好に保つことで水処理にかかる費用も抑えることができるため、水源流域の保護は非常に重要視しているとのことであった。

水質で特に問題視しているのは鉛管からの鉛の溶出である。デンバーでは 1951 年以前に建てられた建物では鉛管が使用されている可能性が高く、その対策のために CDPHE が「オルソリン酸塩」を添加するよう求めた(図-20)。アメリカでは、2016 年に大統領の緊急事態宣言にまで至ったミシガン州フリント市における水道水の鉛汚染にみられるように、多くの都市で鉛が問題視されている。アメリカでは特に大都市において鉛配管の位置が特定

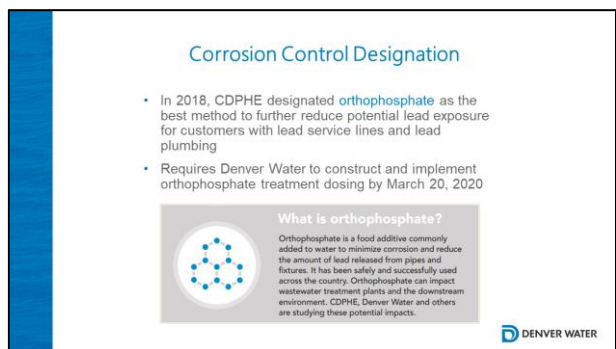


図-20 オルソリン酸塩

できないことも多いとの事であり、これらの都市の中には、鉛の溶出を抑制するため水道水にオルソリン酸塩を添加しているところがあるようである¹⁴⁾。この物質を入れることで配管内面に被膜を形成し鉛や銅などの金属の溶出を抑制することができる(この被膜は恒久的ではないため、入れ続けなければならない)。フリント市の事例ではリン酸塩を添加していたデトロイト市の水道水を受水していたが、経費節減のため近くの川の水を自前で浄水処理することとなった。しかし、リン酸塩添加・pH コントロールをせずに配水したことで配管内の被膜が剥離し、濁りや鉛の溶出が起こったと言われている¹⁵⁾。日本では、「建築物における衛生的環境の確保に関する法律(ビル管理法)」で特定建築物の赤水対策のために給水用防錆剤として品質規格を満たすリン酸塩の添加が認められているようだが、配管布設替えまでの応急的なものとされており、アメリカのように浄水場で添加して給水区域まるごと配水するということはされていない。ただし、デンバーウォーターはリンを含む排水による水域の富栄養化や下水処理場での費用増加などを理由に、CDPHE からのオルソリン酸塩の添加要求に反対し、代わりに pH 設定の変更、鉛配管の無料交換、交換が終わるまで浄水フィルターを提供することを 2019 年 8 月に提案した¹⁶⁾。

2019 年 12 月、U.S.EPA 及び CDPHE によって承認され、オルソリン酸塩の添加はされないようである。なお、2020 年 3 月から pH を 7.8 から 8.8 まで引き上げるとの事である¹⁷⁾。

(4) オーロラ市の事例

オーロラ市はデンバーの東隣に位置し、コロラド州で3番目に大きな都市である(人口は37万4千人)。「オーロラウォーター」が水道供給をしているが水源はデンバーに先に取りられており、降水量も少ないため水量の確保が難しい。95%の水源は融雪水を貯水池に溜め利用しており、デンバーと同様たくさんの貯水池を持っている。オーロラ市から100 km以上離れた遠い場所にも貯水池を持っており、3つの河川の流域(コロラド川、アーカンサス川及びサウスプラット川)から水を集めている。各流域が取水量に占める割合はそれぞれ25%、25%、50%程度となっている。

オーロラウォーターの取水流域を図-21に示す。特徴的なのは、コロラド川の水をアーカンサス川に、さらにアーカンサス川の水をサウスプラット川にリレーのように導水して利用しているところである。このようにして水量を増やしたサウスプラット川から水を取水し、浄水場で処理後、市内に給水している。

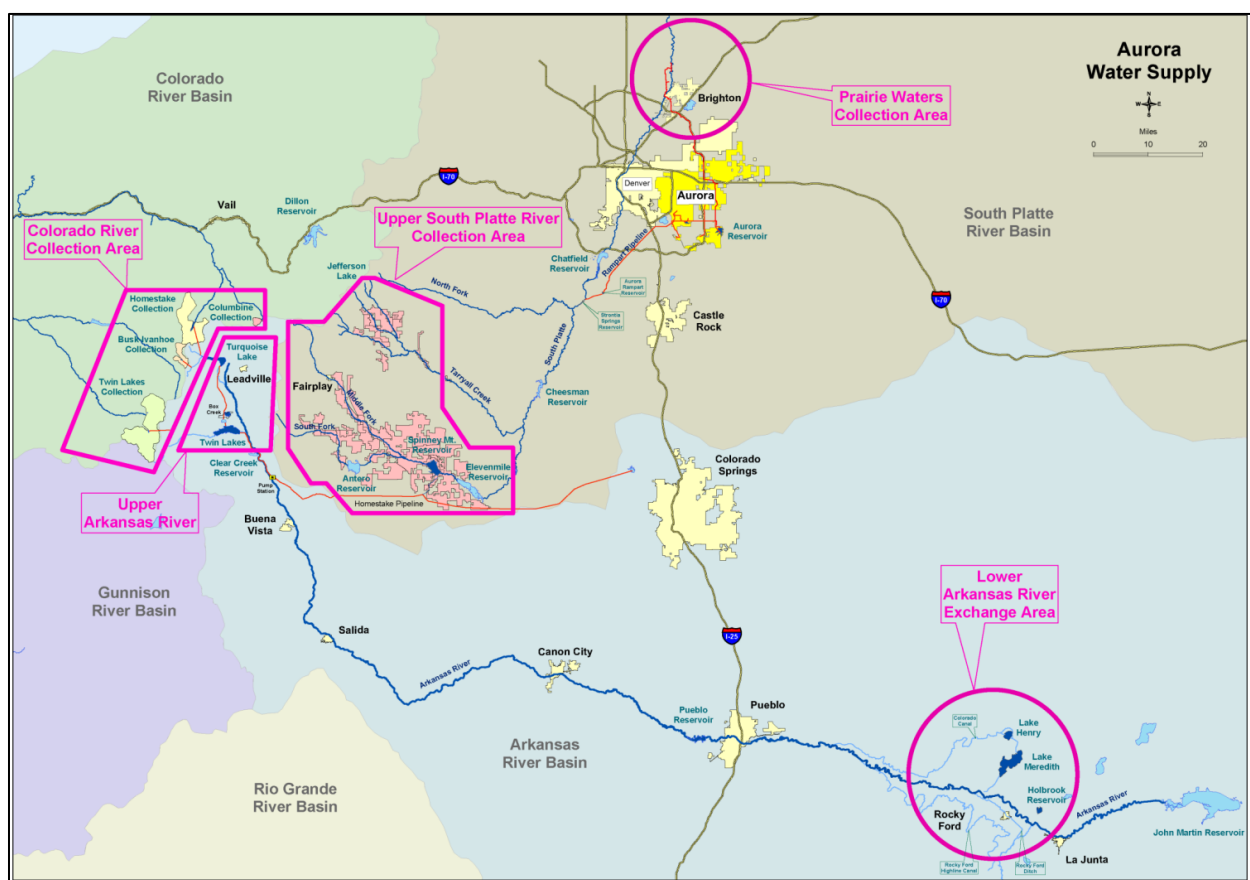


図-21 オーロラウォーターの取水流域

しかし、2002年の干ばつによる深刻な水不足や、人口の増加も予想されていることから、このままでは水需要を満たすことが困難であった。そこで、Homestake貯水池の拡張、「Prairie Waters Project (PWP)」によって水量を拡大した(図-22)。

PWPは、下水処理水を高度に浄水することで水道水の供給量をアップさせる取り組みであり、川に放流された下水処理水(かなり大きな下水処理場があるとのこと)をすぐ下流で河岸ろ過(Riverbank Filtration)しながら井戸で汲み上げ、その水を地下に浸透させ地下水として涵養し、それをさらに井戸で汲み上げ、60km離れたaurora貯水池までポンプで導水して貯水池の水(サウスプラット川の水)と混合し、隣にあるPeter D. Binney浄水場で取水・浄水するという流れである(図-23)。

河岸ろ過という言葉は馴染みのないものであるが、川の近くに浅井戸を掘り、10日間ほどかけてゆっくり河岸でろ過をするというものらしく、伏流水（subsoil water）や緩速ろ過（Slow Sand Filtration）に近いようにも思えるが、たくさんの井戸を使いポンプで積極的に取水するという点で少し違うのかもしれない。この方法では河川中の濁質はもちろん、窒素化合物・微生物・化学物質もある程度除去でき、安定的な水質の水を得ることで水処理も楽になるとの事であった。現在 4.5 万 m³/日の処理量を将来的に 19 万 m³/日まで拡張する計画があるようである。

Peter D. Binney 浄水場の処理工程は図-24 のとおりで、軟水化・促進酸化処理（UV+H₂O₂）・GAC 処理を組み合わせた高度処理となっており、原水中に含まれる農薬、PPCPs などの人為的な汚染物質の除去を目的としている。スクラロース濃度を汚染のマーカーとして監視しているとの事であった。

このように、下水処理水を環境バッファで希釈（表流水での希釈や地下水への復水）し、間接的に飲料水として利用とする方法は Indirect Potable Reuse (IPR) と呼ばれ、カルフォルニア州をはじめ水源の少ない地域では下水処理水が貴重な水源として再利用されている。これに対し、高度に処理した下水処理水をそのまま（もしくは工学的バッファを経て）浄水場の原水として用いたり、配水系統に導入したりする直接的な再利用の方法は Direct Potable Reuse (DPR) と呼ばれ、テキサス州などで実施されている¹⁸⁾。

また、地球温暖化によって 2050 年までに 2°C は気温が高くなると考えられており、これによる降水（雪）量の変化が水資源の減少や水質悪化をもたらす可能性を懸念しているとの事である。降雪量が減ることに加え、蒸発量が増えるため貯水できる水が少なくなり、相対的に有機体炭素や NOM 濃度が増えることで浄水処理も難しくなると考えられている。

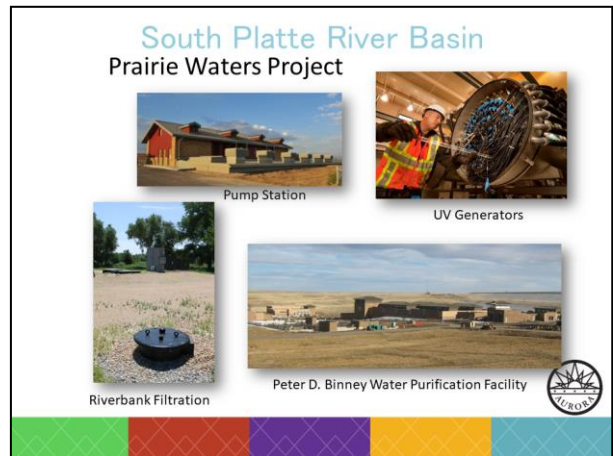


図-22 Prairie Waters Project

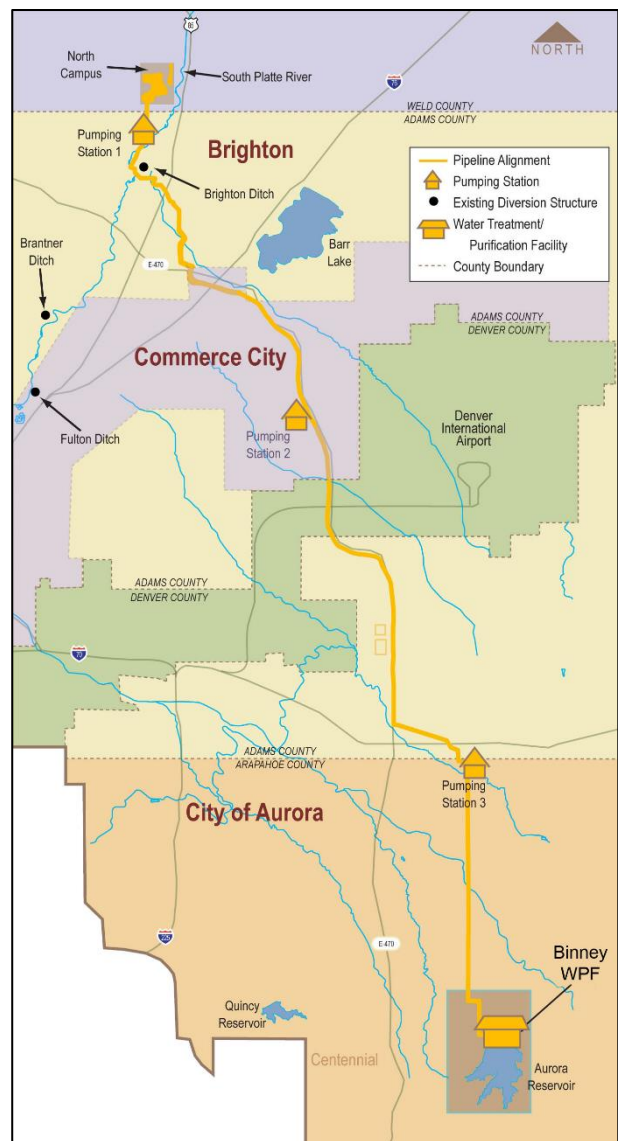


図-23 Prairie Waters Project Map

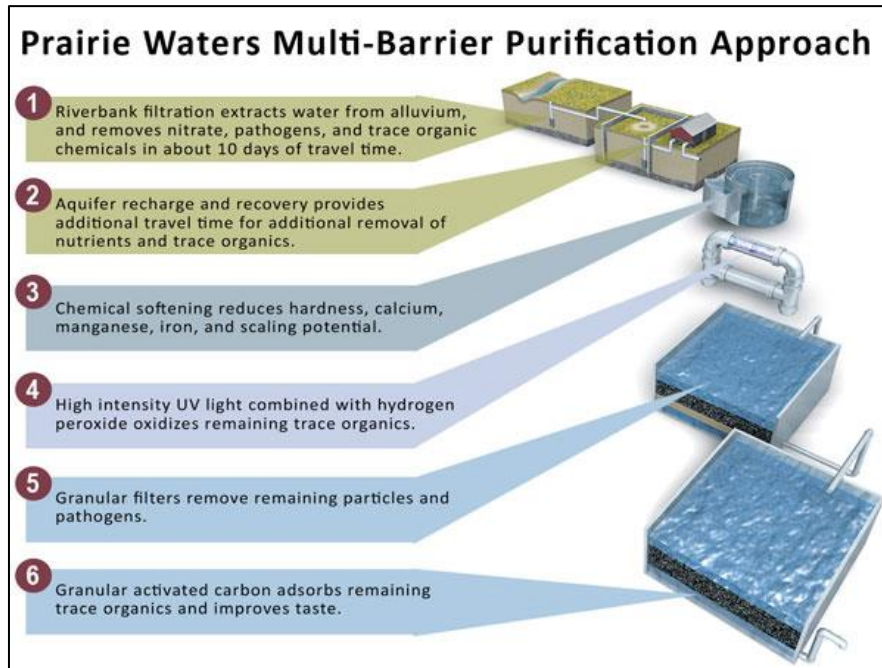


図-24 Prairie Waters Project における浄水方法
(オーロラ市ホームページ)

(5) SOUTH METRO WATER SUPPLY AUTHORITY (SMWSA) の事例

デンバー、オーロラの南部にある小規模な水道事業体（13 メンバー）が集まり、South Metro Water Supply Authority（以下、SMWSA）として 2004 年に結成された（図-25）。SMWSA は現在 30 万人に給水しているが、デンバーなどと同様、人口増加が見込まれており、2050 年にはほぼ倍となる 55 万人になると予想されている。

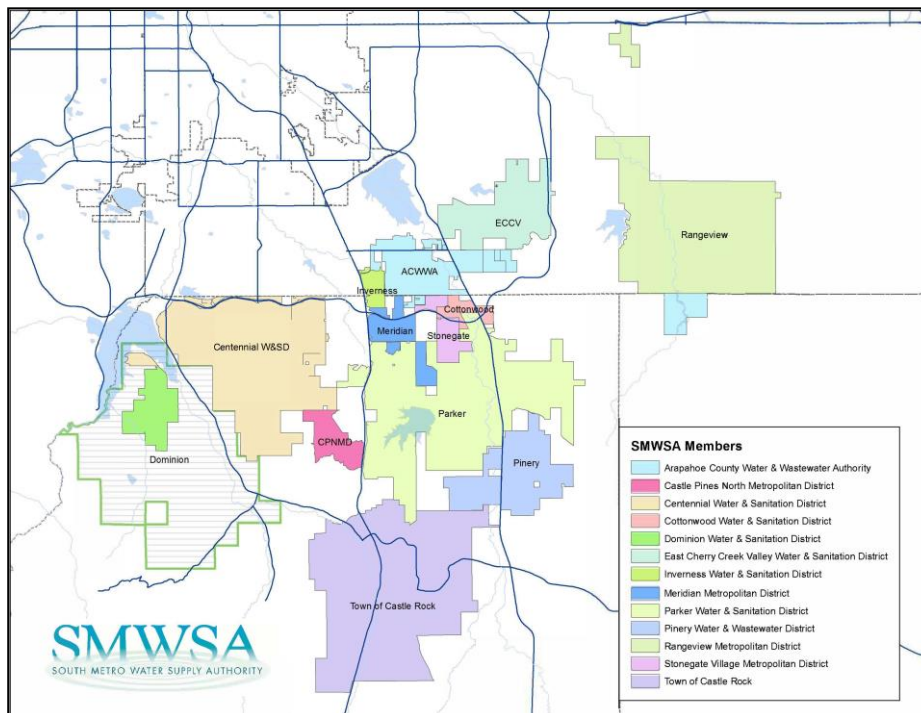


図-25 SMWSA メンバー
(SMWSA ホームページ)

この地域では当初、57%の水源を再生不可能な地下水（500m以深の深井戸、降雨等で水位が簡単には復帰しない）に頼ってきたが、地下水位の低下により、持続的な供給が難しくなってきた。そこで、地下水以外の水源を拡大するため、メンバーが共同で貯水池や浄水場の建設をしたり、メンバー間での水融通を行うことで、2010年には地下水への依存を22%まで減らすことができた。SMWSAのマスタープランでは2065年までに15%まで減らすことを目標としており¹⁹⁾、今後も再生可能（使用した分が新たに補給される水源）な表流水や再利用水、WISE（後述）からの水を増やしていくこととしている（図-26）

さらに、節水の啓発などで一人当たりの水使用量を大きく減らすことに成功している（2000年：814 L/人/日→2010年：551 L/人/日→2014年：454 L/人/日）。

このように比較的小さな水道事業者が互いに協力して水資源の確保や浄水処理を行いカバーし合うパートナーシップは、問題となっている背景は異なるものの、日本が進めようとしている広域連携の参考にもなりうると考えられる。

また、このような事業者間のパートナーシップはSMWSAメンバー内だけでなく、さらに外部の事業者とも実施しており、そのひとつがデンバーウォーター、オーロラウォーターとのWISE（Water Infrastructure and Supply Efficiency）パートナーシップである。

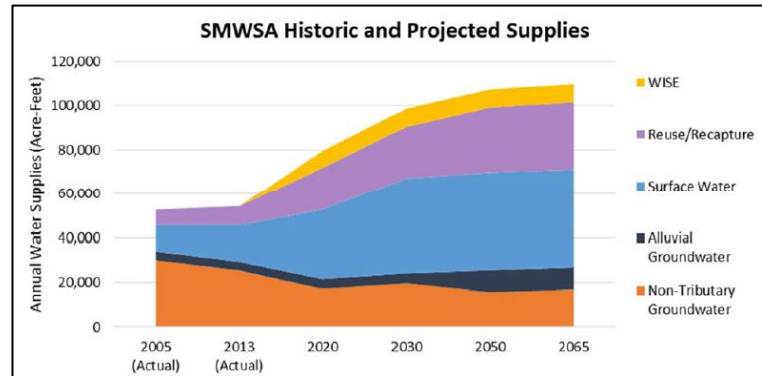


図-26 供給別の現状と予測 (SMWSA Master Plan Overview)

（6）水道事業者の連携（WISE パートナーシップ）

WISE パートナーシップは、デンバーウォーター、オーロラウォーター、SMWSA（13メンバーのうち10メンバー）が2009年に合意した地域間水道水供給プロジェクトであり、共有される水道水はオーロラウォーターのPWPの水である。各事業者の水道管の一部を連結させることで、Peter D. Binney 浄水場で作られた水をそれぞれの事業者に送ることができる。ただし、この水はTDS（総溶解固形分）が高いようであり、希釈やRO膜による処理が必要となるケースもあるようである。

各事業者におけるメリットは図-27のとおりである。デンバーは干ばつ時におけるバックアップ水源確保、SMWSAは地下水への依存減少、オーロラは自らのための水源確保に加え、水を売ることによるPWPに係るコスト回収が可能となる。水資源で問題を抱えるそれぞれの事業者が協力して実施されたこのパートナーシップは参加事業者全てに利益が享受できる仕組みであるとの話であった。

WISE WATER SUPPLY BENEFITS

- **Aurora Water**
 - Offset PWP costs (annual revenue of \$10M)
 - Continued use of PWP for drought supply
- **SMWSA**
 - Renewable supply for SMWSA (100KAF/10yr)
 - Allows use of Denver Basin aquifer for drought supply
- **Denver Water**
 - Drought and emergency supplies for Denver

• Opens the door to regional cooperation
• Total Affected Population = 2 million




図-27 WISEによる各事業者の利益

日本においても、熊本県荒尾市と福岡県大牟田市が共同で浄水場を建設し平成24年から給水を開始している例がみられるように、今後、給水

人口が減っていく中で安定的・効率的な給水を展開していくためには、行政の境界線ではなく、流域の境界線で考えていく必要もあると考えられ、このような事例は浄水施設の更新の際などに積極的に検討されていくべきだろう。

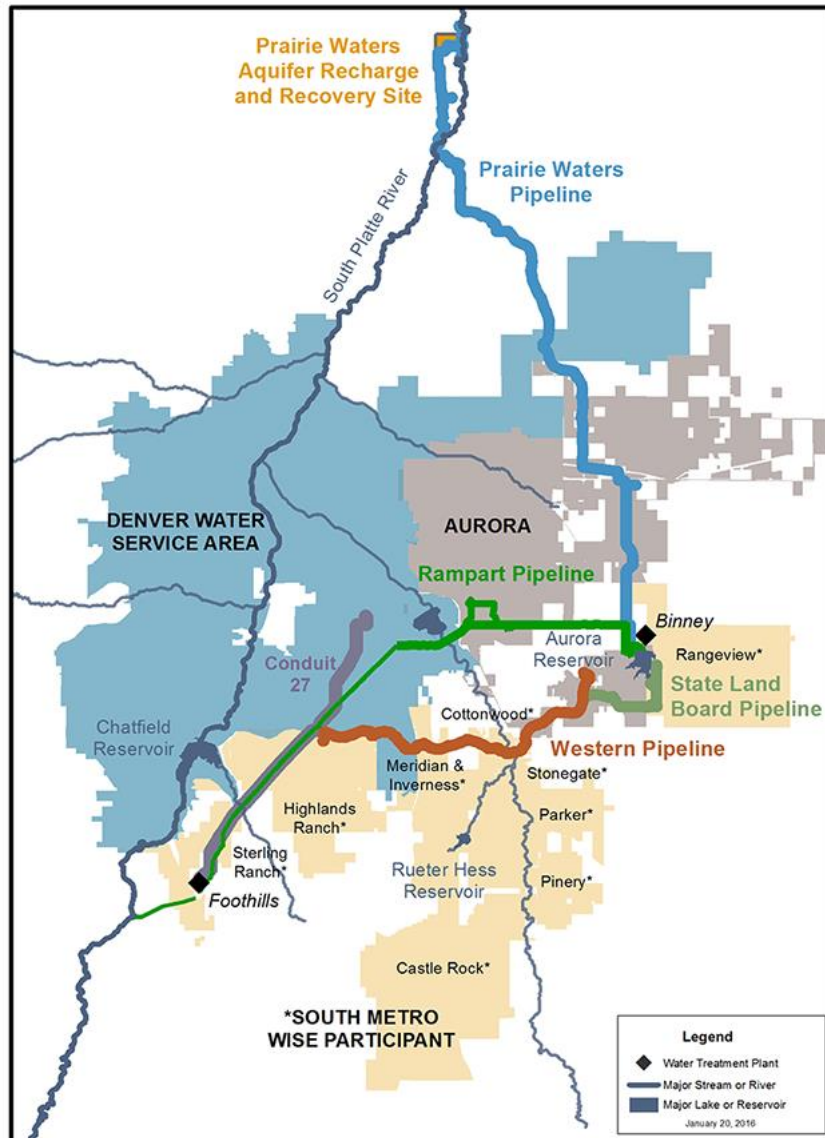


図-28 WISE における水の供給体制

7. 浄水場見学

デンバーウォーターの浄水場の一つである moffat 浄水場を見学させて頂いた。この浄水場は北部流域の水を浄水処理しており、操業開始は 1937 年と 80 年以上が経過している歴史のある古い浄水場である。当初は 19 万 m³/日の処理能力であったが、数度の増築を重ね現在の能力は 68 万 m³/日となっている。Ralston 貯水池から導水管を通して原水を引き込んで処理を行っているが、老朽化と北部流域と南部流域の浄水量のアンバランスを解消するため、浄水場のリニューアル計画である North System Renewal Water Treatment Plant Project (NSRWTP) が進行している。NSRWTP では、新たに Northwater 浄水場 (28 万 m³/日) を Ralston 貯水池のそばに建設し、既存の moffat 浄水場は処理能力を落として運転し、貯水池・配水池としても利用するとの事であった。それに伴い、Northwater 浄水場から moffat 浄水場までの約 13.7 km のパイプライン新設工事も進行中である。NSRWTP は 6 億ドルをかけた事業で、2017 年にすでに始まっており、全ての工事が完了するのは 2024 年の予定となっている²⁰⁾。

moftat 浄水場における水処理プロセスは図-29 に示す。基本的には日本でもおなじみの凝集沈殿-砂ろ過によるものである。日本と異なるのは、凝集剤として硫酸アルミニウムに加え、凝集助剤として高分子凝集剤を使用していること、虫歯予防のためのフッ素添加を行っていること、消毒として次亜塩素酸ナトリウムと共にアンモニアを加えた結合塩素 (クロラミン) 処理を行っていることである。なお、原水アルカリ度が 20 mg/L 程度と低いため、凝集改善のため炭酸ガスや水酸化カルシウムを入れてアルカリ度を上げているとの事であった。

高分子凝集剤は 2 種類 (カチオン系高分子凝集剤、非イオン系高分子凝集剤) を使用していた。カチオン系高分子凝集剤 (DADMAC) は硫酸アルミニウムと同時に入れ、非イオン系高分子凝集剤は①フロック形成池前、②沈殿池前、③ろ過前に入れるとの事であった。見学時の注入率は、硫酸アルミニウム 20 mg/L、カチオン系高分子凝集剤 2 mg/L、非イオン系高分子凝集剤① 0.04 mg/L、② 0.35 mg/L、③ 0.35 mg/L であった。日本の浄水場では

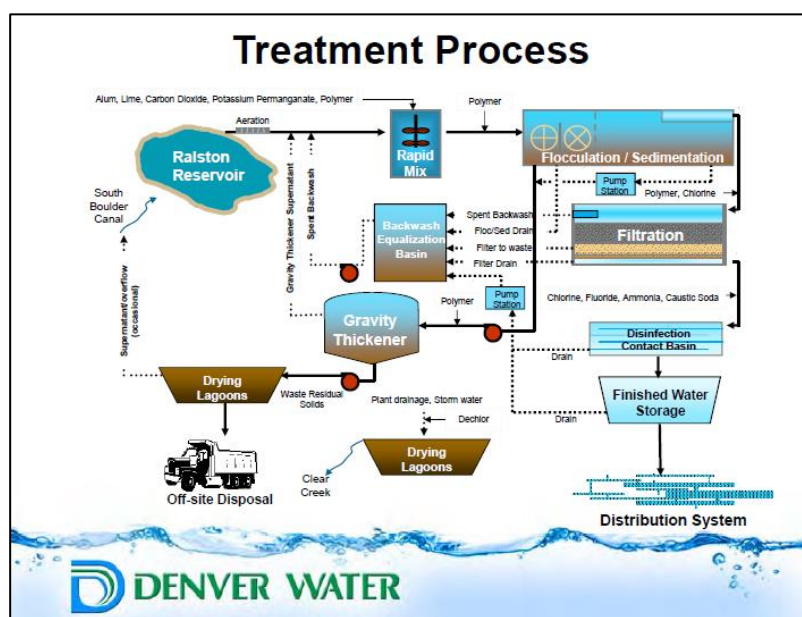


図-29 Moffat 浄水場における水処理フロー

現在使用されているところはないようだが、一般的には高分子凝集剤を凝集助剤として添加することでフロックが粗大化し沈降性が良くなるため、沈殿池のスペース縮小、ろ過スピードの高速化に寄与できるようである。一方で有害なアクリルアミドを含むため浄水に残留しないように適正な注入率の管理が必要となる。日本では、水道用ポリアクリルアミドの規格 (JWWA K 163 2019) が平成 31 年 3 月に JWWA によって制定され、浄水場のダウンサイジングや運用における価格面の比較などによりコストメリットが得られれば今後使用が進む可能性がある。また、アクリルアミドを含まない高分子凝集剤も開発されているようである²¹⁾。経験上、凝集は適正な pH と注入率のもと、ゆっくり進むことで原水中の有機物の補足率が上がり、最終的な浄水の品質も良くなる。浄水の水質が良ければ配水システムにおける残留塩素低下が少ないので塩素の添加量を抑えることができ、追加塩素も最小限で済むためコントロールしやすい。また、

味・臭気・消毒副生成物など顧客満足度に大きく影響する項目のリスクも低減できることから、単純に浄水場での凝集が早ければ良いとも言えず、水質面での優位性も検討すべき点となるだろう。日本では、使用されている凝集剤の90%以上はPAC（ポリ塩化アルミニウム）である²²⁾が、近年改良が進められ、高塩基度品が多く浄水場で利用されはじめています。

フッ素は0.7 mg/L程度となるように添加するとの事であり、日本では添加されていないことに驚いていた。なお、アメリカSDWAにおける第1種飲料水規則は4.0 mg/L以下、第2種飲料水規則は2.0 mg/L以下、日本の水道水質基準は0.8 mg/L以下である。日本においてもフッ素の添加をすべきとの意見もあるが、一方で水道水は不特定多数の人に多様な用途で利用されており、必要以上の薬剤は加えるべきではないとの考えもあり、住民との合意形成が難しく、現在フッ素を水道水へ添加している水道事業者はない。また、事故等でフッ素が大量に水道水に添加されてしまった場合、通常の浄水場ではそれを取り除く方法はないため、注入設備や監視装置に大きなコストがかかることも考える必要がある。

結合塩素処理では、ろ水に次亜塩素酸ナトリウムとアンモニアを添加し、う流式接触槽で反応させながらCT値を稼いでいるようである。塩素とアンモニアの比は4:1に、pHが7.5以上になるように設定されており、結合塩素のほとんどはモノクロラミンになるだろう。アンモニアは硫酸アンモニウムなどのアンモニウム塩ではなく、水酸化アンモニウム（アンモニア水）を使用している。残留塩素はMoffat浄水場において、見学时、最終的な浄水は1.69 mg/L（total）、0.028 mg/L（遊離）となっていた。

Northwater 浄水場の処理方式は図-30のようなものを計画しているようである（2014年資料において）。促進酸化処理（AOP、過酸化水素+オゾンもしくはUV）、GACろ過か膜処理（MFもしくはUF）を組み合わせた浄水処理とのことであるが、デンバーウォーターのホームページや動画での説明では

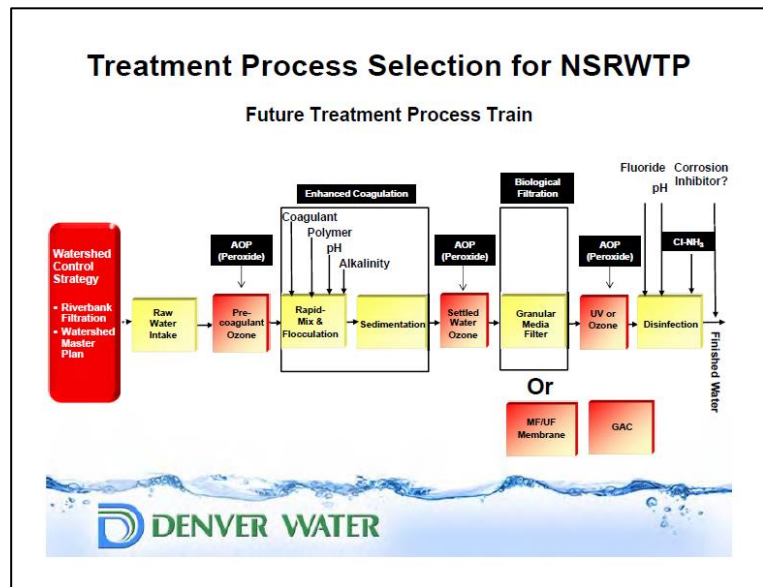


図-30 新しい浄水場での水処理フロー（案）

「Deeper Filter」や「UV Disinfection Technology」という言葉が出ており²³⁾、複層ろ過やクリプトスポリジウム等の不活化のための紫外線処理設備のことだと思われるが、浄水場という長い寿命のインフラにできるだけ高度な技術を導入し、長期間において良質な水を提供するというデンバーウォーターが目指す「全米1位の水道局になる」ための意気込みを感じた。また、上述したようにフッ素添加やクロラミン処理も行われる予定である。

浄水場内はとてもきれいに整理整頓されており、とても80年以上経過しているようには見えなかった。特にろ過池は歴史を感じさせる建物の中にあり（図-31）、建築物としても魅力的なものであった。

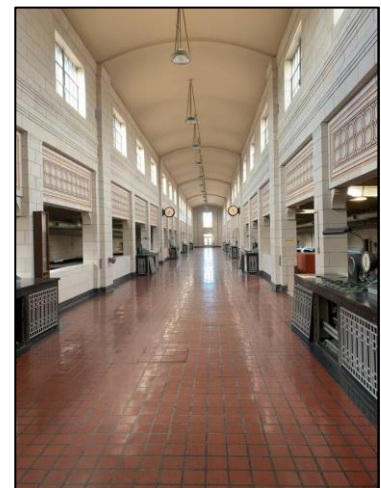


図-31 ろ過池回廊

Moffat 浄水場写真集



着水井及び凝集剤注入施設



カチオン系高分子凝集剤薬品室



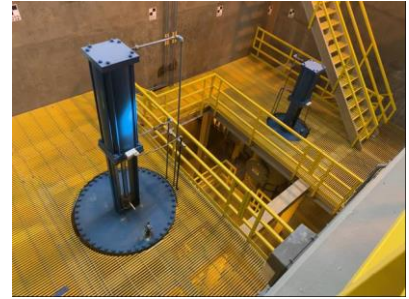
非イオン系高分子凝集剤薬品室



凝集剤注入及びフラッシュミキサー



凝集剤注入配管



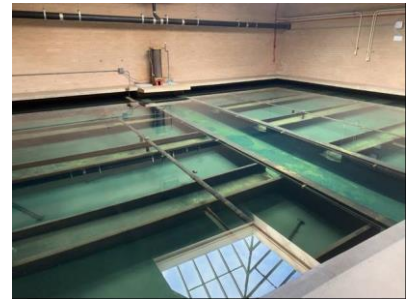
高分子凝集剤注入及び攪拌



沈殿池（地下）



ろ過池棟



ろ過地（単層）



ろ過池制御盤



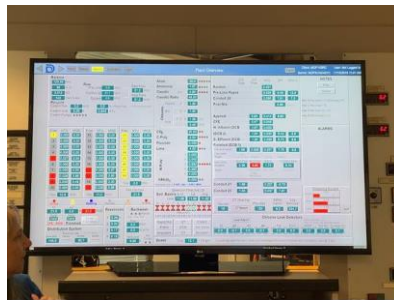
ろ過池回廊



Moffat 浄水場運転開始日の様子



運転管理室



運転管理画面



簡易試験室

8. まとめ

水道業界が抱える様々な問題に立ち向かうため令和元年 10 月に水道法が改正された。老朽化した施設の更新のため支出は増える一方、人口減少や一人当たりの使用水量の減少により有収水量は減り続け特に小規模事業体では経営がこれまで以上に困難となる。地震等の災害対策、おいしい水への要求レベルの高度化など様々な問題に対処しなければならない。また、職員数の減少や豊富な経験をもつ世代の大量退職による技術継承の問題もある。

このような状況でも水道局全体の技術力を保つもしくは向上させるためには職員一人ひとりの質を向上させる必要がある。しかし、多くの水道事業体は組織上、市役所など自治体の組織の一部であることが多く、専門性を向上させる前に他部署に異動してしまうことも多い。安定した技術や知識の継承のためには、水道の仕事にやりがいを見出し、水道局で働きたいと思う職員を育てていくのも今後の課題といえる。これまで作り上げてきた世界に誇る日本の水道を未来に残し、更に質を高めていくためには技術継承に加え、自ら積極的に新技術を習得し、更に技術革新を起こしていくような、職員の意識改革を行うことも必要だろう。

日本とアメリカでは水道事業の枠組み、水処理の方法、社会的な情勢など異なる部分も多く見られたが、水道が貴重なインフラであることを認識し、職員が情熱をもって仕事をしている事、お客様のためにおいしい水をどうやったら作れるか日々頭を悩ませている事など、根本的な面では共通していたと思う。ただ、それをお客様に知って頂けるようなコミュニケーションを積極的に行うという面で日本はまだ遅れているのかもしれない。

本研修で得られた経験を今後の仕事に反映させ、広い視野で問題と向き合い、より良い水道局を創っていくための一助となれるよう尽力していきたい。

9. おわりに

今回の研修が決まった当初、これまでにない経験ができるという期待とその反面、不安とプレッシャーもとても大きかった。なぜなら、水道局で働いて 7 年目であるが、専門である水質関係の事以外は疎く、本研修の講義テーマにあるような広範囲の知識がなかったからである。しかし、研修では様々な分野の研修生が集まり、互いにカバーし合うことができた。研修生との会話はとても勉強になり、同じ日本の水道事業体でもそれぞれの個性を見ることができ、新鮮な時間を過ごせたことは忘れられない思い出になるだろう。

今回の研修で最も感じたことは、「水道の仕事のやりがい」を再確認できたことだろう。毎日のルーチンワークを繰り返していると忘れそうになるが、この研修でたくさんの刺激を受けることができた。そして改めて水道は世界共通の貴重なインフラであり、老若男女問わず全ての市民生活に最も密着した最前線の仕事であると再認識できた。特に「コミュニケーション」に関する講義はとても印象深く、独占企業で競争力が働きにくい私たち水道事業が自発的にもっとお客様と関わり、今に満足してはいけないということを学ぶことができた。

英語については大学生時代以来に勉強をしたが、正直、思うように上達することはできなかった。リスニングに関しては何となく分かるものの、自分が伝えたいことが英語として中々出てこず、歯がゆい思いをした。しかし、タクシーの運転手や喫煙所の見知らぬ男性とのちょっとした会話を重ねるうちに、どうにかひねり出した拙い英語でも成り立つ場面が多々あり、次第に「とりあえず声に出して話してみよう」という勇気を持つことができたのは、今回の大きな収穫であったと感じる。タクシーの運転手に「コロラ

ド州は大麻が合法だからみんなやってるし、銃もみんな持ってるよ」という恐ろしい話をされたが、そのようなことはなく、外国人の私たちの話をどうにか理解しようと皆温かく接してくれた。おそらく今回の研修がなければ一生英語に触れることはなかっただろう。この機会を活かし今後も英語の勉強を続け、いつかリベンジができる日が来ることを願っている。

本研修はいくつかの小さなハプニング（税関トラップ1件、ロストバゲージ1件、ホテル部屋の漏水1件）以外は滞りなく進行した。これも JWWA の渡部氏、そして通訳の鳥山氏のご尽力の賜物である。また、現地で私たちを快く迎え入れてくれた David LaFrance 氏をはじめとする AWWA スタッフの皆様、いつも元気な声で少し緊張している私たちを盛り上げ、多方面でお世話して頂いた Rebecca Wheeler 氏、貴重な講演をして頂いた講師の皆様感謝を申し上げたい。そして本研修に私を送り出してくれた職場の皆様、家族にも感謝の意を表す。

最後に、研修参加者の皆様とは事前研修から親睦を深め、現地でも苦楽を共にし、濃密な時間を過ごした。今後皆様が各職場において一層ご活躍されることを願いたい。また、この海外研修が今後も続き、将来の水道事業に携わる職員が事業体の垣根を超え、共に有意義な時間を得られることに期待し、この研修を企画して頂いた日本水道協会に感謝を申し上げる。



「Water connects us all.」

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁ホームページ
(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2018/html/001/>)
- 2) 農林水産省ホームページ
(https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/011.html)
- 3) 環境省ホームページ
(https://www.env.go.jp/water/virtual_water/)
- 4) U.S.News, 125 Best Places to Live in the USA
(<https://realestate.usnews.com/places/rankings/best-places-to-live>)
- 5) DENVER WATER, DENVER WATER STRATEGIC PLAN
(<https://www.denverwater.org/sites/default/files/2017-05/StrategicPlan.pdf>)
- 6) DENVER WATER ホームページ
(<https://www.denverwater.org/residential/rebates-and-conservation-tips/summer-watering-rules>)
- 7) 厚生労働省, 第4回水道施設運営等事業の実施に関する検討会, 資料3 海外の水道事業における民間活用の状況等について
(<https://www.mhlw.go.jp/content/10601000/000508885.pdf>)
- 8) AWWA, 2019 State of the Water Industry Report
(https://www.awwa.org/Portals/0/AWWA/ETS/Resources/2019_STATE%20OF%20THE%20WATER%20INDUSTRY_post.pdf)
- 9) 日本水道協会 PR ポスター
(<http://jwwa.or.jp/photo/index.html>)
- 10) AWWA, Briefing on PFAS
(https://www.awwa.org/Portals/0/AWWA/ETS/Resources/15683PFAS_web.pdf?ver=2019-11-12-133836-883)
- 11) コロラド州飲料水規制, Colorado Primary Drinking Water Regulations (5 CCR 1002-11)
(<https://www.colorado.gov/pacific/cdphe/water-quality-control-commission-regulations>)
- 12) (公財)水道技術研究センター, 米国の消費者信頼報告書について, 水道ホットニュース第376号
(<http://www.jwrc-net.or.jp/hotnews/pdf/HotNews376.pdf>)
- 13) 厚生労働省, 平成25年度生活衛生関係技術担当者研修会, モノクロラミン消毒による消毒副生成物の低減について
(https://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/seikatsu-eisei/gijutukensyuukai/dl/h25_06.pdf)
- 14) (公財)水道技術研究センター, 平成12年度厚生労働省委託費による鉛給水管由来の鉛低減のための暫定対策検討調査報告書
(<https://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/namari/tyosa/dl/2.pdf>)
- 15) (公財)水道技術研究センター, 号外 平成28年1月25日, 米国ミシガン州フリント市における水道水の高濃度鉛汚染問題について (速報)
(http://www.jwrc-net.or.jp/hotnews/pdf/HotNews_gogai_280125.pdf)
- 16) DENVER WATER ホームページ
(<https://denverwatertap.org/2019/07/01/denver-water-state-and-federal-agencies-consider-next-steps-on-lead/>)
- 17) DENVER WATER ホームページ
(<https://www.denverwater.org/your-water/water-quality/lead/lead-reduction-program>)
- 18) 経済産業省, 平成30年度質の高いエネルギーインフラの海外展開に向けた事業実施可能性調査事業 (米国における本邦脱塩技術を用いた下水再生処理プロセスにおけるRO濃縮水の減容化調査) 調査報告書
(https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H30FY/000750.pdf)
- 19) SMWSA, MASTER PLAN OVERVIEW
(<https://southmetrowater.org/wp-content/uploads/MP-Publication-Final.pdf>)
- 20) DENVER WATER ホームページ
(<https://denverwatertap.org/2017/08/22/500-million-makeover-tap/>)
- 21) 仲田弘明・森康輔・矢出乃大・安永利率 (2019), 浄水場向けアクリルアミド非含有高分子凝集剤の提案, 令和元年度全国会議 (水道研究発表会), 4-57
- 22) 日本水道協会水道統計編纂専門委員会 (2019), 水道統計の経年分析 (平成29年度), 水道協会雑誌第88巻第8号
- 23) DENVER WATER ホームページ
(<https://www.denverwater.org/project-updates/north-system-renewal>)
(<https://denverwatertap.org/2018/11/15/decision-point-where-to-build-a-new-state-of-the-art-treatment-plant/>)