

## 2. 大阪市の原水水質リスク管理における高度浄水処理の有効性

北本 靖子 藪内 宣博  
春田 知昭 宮田 雅典

### 1. はじめに

大阪市の高度浄水処理が導入されて約 20 年が経過した。当初の目的であるかび臭の除去や、トリハロメタンをはじめとする消毒副生成物の低減は達せられている。さらに、カルキ臭の少なくおいしい水道水を目指した残留塩素管理等、より高度な水質管理にも寄与してきた。

大阪市水道局は、琵琶湖・淀川水系の最下流で取水している。淀川は典型的な都市型河川であるため、その水道原水は上流の事業所排水等の影響を日常的に受けている。さらに、分析技術の進歩及び健康・環境リスク研究の進歩により、高度浄水処理導入後に多くの課題が新しく出てきた。例えば、有機フッ素化合物や医薬品等がある。水質基準項目ではないにもかかわらず、新聞報道される等、お客さまからも多くのお問い合わせをいただいた。水質試験所は、課題に対して調査研究を実施し、水源における存在実態や高度浄水処理によるリスク低減効果を調べ、情報発信することで水道水質の安全・安心を担保するとともに、お客さまへの説明責任を果たしてきた。

現在の主な課題の一つは、水源水質事故への対応の強化である。厚生労働省より発出された通知<sup>1)</sup>で、水道事業者に対しては、次のような内容が求められている。①水質事故発生に備えた体制整備、②水源のリスク把握の強化、③水源の監視体制の強化、④高度浄水処理施設等の整備による対応能力の強化、及び⑤影響緩和措置による対応能力の強化である。

これを受けて、本報告ではまず、淀川水系において過去に発生した代表的な水源水質事故事例の解析から高度浄水処理の水質リスク低減効果を検証する。また、事故原因の迅速究明を可能にする体制の構築に着手している現状について報告する。

### 2. 研究方法

#### 2. 1 事例解析

##### 2. 1. 1 水源水質事故事例の抽出

淀川水系では毎年数十件程度の水源水質事故が発生しており、その多くを油流出事故が占める。油流出以外にも化学物質の流入等、大阪市の浄水水質に影響を及ぼした、もしくは及ぼす可能性のあった事例もある。その中から、代表的な事例を抽出した。

##### 2. 1. 2 浄水処理による水質リスク低減効果

2. 1. 1 で抽出した事例の対象物質について、大阪市の浄水処理過程における実態調査結果、もしくは実処理に近い処理条件における浄水処理実験結果から、オゾン処理、GAC 処理、及び塩素処理による処理性を見積もった。

#### 2. 2 浄水処理フロー

大阪市の浄水処理フローを図-1 に示す。急速砂ろ過処理の前後に中及び後、2 段のオゾン処理を、その後段に粒状活性炭（以下、GAC）処理を有している。中オゾン処理は主にマンガンを酸化するために必要最小限のオゾン注入を行い、後オゾン処理は主にかび臭や消毒副生成物前駆物質除去のために十分量のオゾン注入を行う。

なお、高度浄水処理導入前は、平成 3 年度から順次、中間塩素処理を実施している。それ以前は前塩素処理を行っていた。

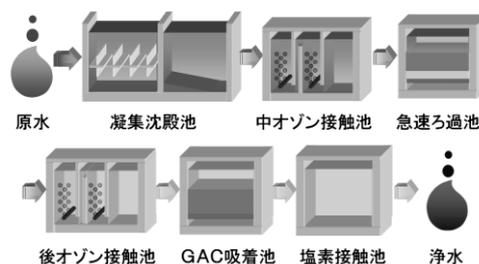


図-1 大阪市の浄水処理フロー

## 2. 3 浄水処理性

ジクロロメタンを添加した試料の浄水処理実験を行った。粉末活性炭（以下、PAC）はDry炭（ヨウ素吸着能：1090mg/g-PAC）を使用し、水温約5℃及び約25℃において120rpmで1Lの原水添加試料を攪拌し、スラリー状のPACを0～50mg/L程度添加した。オゾン処理実験は半回分式装置であるラウンドサイエンス社製のWAT-08を用い、精製水添加試料に対して行った。採水後、直ちにチオ硫酸ナトリウム水溶液の添加により試料中の残留オゾンを除去した。砂カラムへの添加実験は急速砂ろ過処理水を用い、水温約25℃における添加前後の流入水及び流出水の濃度を測定した。GAC処理については、既報<sup>2)</sup>の実験結果を用いた。かび臭原因物質（ジェオスミン及び2-メチルイソボルネオール）についても同様のPAC処理実験を行い、それ以外は既報<sup>3)</sup>の検討結果を用いた。水質基準項目であるシアン及びフェノールについては厚生労働省のリスク評価結果<sup>4)</sup>及びSonntagとGuntenらの著書<sup>5)</sup>を参照し、それ以外は既報<sup>6)-10)</sup>によった。

## 3. 結果と考察

### 3. 1 代表的な水源水質事故事例

大阪市の水道水質管理に影響のあった水源水質事故事例とその原因物質を表-1に示した。計13件の内訳は、油流出5件、浄水着臭3件、化学物質流出4件、消火剤の流出1件である。なお、高度浄水処理は平成10年3月から順次導入し、平成12年3月に全量通水している。

### 3. 2 事故事例における高度浄水処理の有効性

過去の水源水質事故原因物質に対するオゾン処理、GAC処理、及び塩素処理による除去性を表-1に記載した。浄水処理性は、一定の低減が可能であれば（目安：≧50%）○、低減が不可能（目安：<50%）、もしくは異臭発生や副生成物等の水質悪化が見込まれる場合は×と定義した。

シアンと農薬類を除き、塩素処理では除去不可能な場合が多かった。特に事例1及び8については、原水中の化学物質そのものではなく塩素との反応生成物が異臭原因であることに注意する必要がある。事例5においてフェニトロチオンはオゾンで分解せず、塩素で低減した。しかし、塩素と反応しない農薬も多

表-1 大阪市の水道水に影響を及ぼした、もしくはその可能性のあった水源水質事故の例

| 事例番号 | 発生年      | 内容                 | 原因物質          | 浄水処理性   |               |                  |     |
|------|----------|--------------------|---------------|---------|---------------|------------------|-----|
|      |          |                    |               | オゾン     | GAC※1<br>(新炭) | GAC※1<br>(生物活性炭) | 塩素  |
| 1    | 昭和43、44年 | 化学物質と塩素の反応による浄水の異臭 | シクロヘキシルアミン    | ○       | ○             | ○                | ×   |
| 2    | 昭和46年    | 浄水の油臭              | 廃油            | ○(臭気)※2 | ○(臭気)※2       | ○(臭気)※2          | ×   |
| 3    | 昭和47年    | 水源への油流出            | 重油            | ○(臭気)※2 | ○(臭気)※2       | ○(臭気)※2          | ×   |
| 4    | 昭和48年    | 水源へのシアン流出          | シアン           | ○       | ×             | ×                | ○   |
| 5    | 昭和50年    | 水源への農薬の流出          | フェニトロチオン等     | ×※3     | ○             | ○                | ○※3 |
| 6    | 昭和59年    | 水源へのフェノールの流出       | フェノール         | ○       | ○             | ○                | ×※4 |
| 7    | 平成6年     | 水源への有機溶剤混入による異臭    | ジクロロメタン等      | ×       | ○             | ×                | ×   |
| 8    | 平成8年     | 化学物質と塩素の反応による浄水の異臭 | 3,5-ジメチルピラゾール | ○       | ○             | ○                | ×   |
| 9    | 平成9、10年  | 水源へのジクロロメタンの流出     | ジクロロメタン       | ×       | ○             | ×                | ×   |
| 10   | 平成15年    | 浄水場原水への油混入         | 軽油            | ○(臭気)※2 | ○(臭気)※2       | ○(臭気)※2          | ×   |
| 11   | 平成19年    | 水源への油の流出           | 灯油            | ○(臭気)※2 | ○(臭気)※2       | ○(臭気)※2          | ×   |
| 12   | 平成19年    | 水源への消火剤の流出         | フェノール         | ○       | ○             | ○                | ×※4 |
| 13   | 平成26年    | 浄水場原水への油混入         | 重油            | ○(臭気)※2 | ○(臭気)※2       | ○(臭気)※2          | ×   |

※1: 本市はGACの分散更新を実施しているため、使用状況によりGAC処理全体での除去性は変わる。

※2: 臭気原因物質(芳香族化合物)は除去可能。ごく高濃度で流入した場合、脂肪族化合物が一部残存し配管に付着する可能性がある。

※3: フェニトロチオンの浄水処理性。物質により異なる。

※4: 高pH値で遊離塩素処理することで分解が可能。通常のブレイクポイント処理では着臭する。

数あり、その低減には高度浄水処理が有効である物質が多い<sup>7)</sup>。事例6、12のフェノールも、塩素添加によりクロロフェノールを生成し低濃度でも異臭を発生するが、オゾン・GAC処理で低減可能である。なお、事例6は高度浄水処理導入以前であればpH値を7.5以上とし、遊離塩素を1mg/L以上確保することによりフェノールを分解した結果、浄水に影響が及ばなかった。ただし、平常時とは異なる処理であるため、流出物質がフェノールであると事前に同定ができていたことが必要である。

以上のことから、表-1の事故原因物質のほとんどについてオゾン・粒状活性炭処理が導入されていれば、浄水処理による低減で対応できると考えられる。ただし、事例7及び9の原因物質であるジクロロメタンについてはオゾン処理、塩素処理のいずれにおいても低減せず、GACの有する物理吸着能によってのみ低減が可能であり、流出事故が発生した場合には注意が必要である。

### 3. 3 浄水処理による低減で不十分な可能性がある事例

#### 3. 3. 1 ジクロロメタン

ジクロロメタンは揮発性であり、水温の高い時期については揮散により一定の減少が期待できる。ただし、事例9では庭窪浄水場取水口のごく近傍で不法投棄されており、最大流入濃度は水道水質基準値である0.02mg/L以下の2倍以上に達した(0.053mg/L)。また、淀川水系における移動量も排出源の数も非常に多いため<sup>11)</sup>、淀川水系における高リスク項目としてあらかじめ対策を検討しておく必要があると考える。このため、大阪市の浄水処理システム(凝集沈澱処理を除く)における低減効果を各実験結果から見積もった。結果を図-2に示す。なお、図中では各処理過程における残存率の積により低減効果を確認している。



図-2 大阪市水道局の浄水処理によるジクロロメタン低減効果

原水水質に異常があった場合の初動としてPAC注入も可能であるが、2.3の実験結果からPACによるジクロロメタン除去能はほぼゼロであった。よって低減はほぼGACの物理吸着能のみに依存する。GAC処理では、性能の劣化、特に物理吸着能の低下はその通水倍率や使用年数には依存する<sup>2)</sup>。大阪市では約5年間かけてすべての池のGACを交換する分散更新を実施しており、定期更新直前に処理水(集合水)の除去率は最小になり、逆に直後には全体の2割の池が新炭に置き換わるため、処理水の除去率は最大になる。ジクロロメタンが原水に混入した場合、GAC処理により半分以下に低減できる見込みがあることがわかった。ただし、過去に発生した最大濃度と同程度で流入した場合は、高度浄水処理を導入済の現在であっても、得られる浄水は水質基準値を超過する可能性がある。

#### 3. 3. 2 油類

臭気原因物質である芳香族化合物は高度浄水処理でほぼ除去できるが、脂肪族化合物は高濃度で油類が流入した場合、低水温時に処理水に残存する可能性があることが報告されている<sup>8)9)</sup>。また、油が配管に付着し、水道水の性状に影響をきたす可能性もある。このため、油の流入濃度を監視し、取水停止等浄水処理以外の低減策、例えば油膜を確認して取水停止を行うことも選択肢の一つである。

#### 3. 3. 3 かび臭原因物質

近年、冬期にかび臭が発生する事例の報告が増加している<sup>12)</sup>。大阪市でも年間を通じた原因物質の処理性を検討した<sup>3)</sup>。その結果、水質基準値の2倍程度の濃度が冬期の原水中に存在した場合、現在の高度浄水処理では水質基準値を超過する可能性があることがわかった。この場合、粉末活性炭注入がその低減に有効であるが、長期間に及んだ場合はさらなる検証が必要になると考えられる。

### 4. 事故原因究明体制の構築

水源水質事故が発生した時の対応を決めるに当たり、原因物質の迅速な同定が必要である。一方で、水道法で求められている水質検査においては、決められた対象物質を精度よく定量することが求められ、所

要時間は考慮されていないのが現状である。場合によっては水質基準項目であっても、別のより迅速な方法で同定することが必要となる場合がある。大阪市でも今後、既存の GC-TOFMS 等を活用し、高リスク項目について迅速に一斉同定できる体制を構築していく。

## 5. まとめ

- 1) 淀川水系における水源水質事事故事例を抽出し、原因物質に対する高度浄水処理の水質リスク低減効果を調べた。その結果、塩素処理で除去されない、あるいは生成物が異臭を発生するの理由で水質事故に至る物質等について、オゾン・GAC 処理の有効性が示された。かび臭除去と塩素処理副生成物低減を主目的とした高度浄水処理の導入は、当時想定されていなかった微量化学物質等の水質リスクの多くを低減できるため、突発的な水源水質事故に対しても一定有効性を持つことがわかった。
- 2) ジクロロメタンやかび臭原因物質による水源水質事故または異変が発生した場合、流入濃度や発生時期によっては、浄水処理による低減のみでは対応が不足する可能性もあることがわかった。また、高濃度の油が浄水処理過程に流入した場合、配管に付着して残存する等、水道水の性状に影響をきたす可能性もある。発生時に迅速にその濃度を把握するとともに、浄水処理による低減以外の追加対策も想定しておく必要がある。
- 3) 水源水質事故への対策を検討するにあたり、原因物質の迅速な同定が非常に重要である。高リスク項目を迅速に測定できる体制の構築が必要と考えており、今後、その手法を検討していく。

## 6. 参考文献

- 1) 厚生労働省健康局水道課長通知、水道水源における水質事故への対応の強化について、平成 25 年 3 月 28 日、健水発 0328 第 2 号
- 2) 吉川文人ら、2008、Report of GAC Replacement in Osaka City. (大阪市における粒状活性炭更新)、日本水道協会第 57 回全国水道研究発表会概要集、734-735
- 3) 前田伊佐武ら、2017、淀川水系における年間を通じたかび臭原因物質の検出状況と処理性調査、日本水道協会関西地方支部第 60 回研究発表会概要集、146-149
- 4) 水質基準の見直しにおける検討概要、厚生労働省 HP、<https://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/konkyo0303.html> (アクセス日：平成 30 年 10 月 30 日)
- 5) Sonntag and Gunten, 2012, Chemistry of Ozone in Water and Wastewater Treatment, IWA Publishing, 186
- 6) 春田知昭ら、2018、シクロヘキシルアミンの迅速測定法及びオゾン処理による臭気原因物質の挙動調査、日本水道協会関西地方支部第 61 回研究発表会概要集、128-131
- 7) 藪内宣博ら、2018、対象農薬リスト掲載農薬類の浄水処理性、水道協会雑誌 87(6)、2-14
- 8) 外山義隆ら、2017、油類の高度浄水処理性 (I)、日本水道協会平成 29 年度全国会議講演集、778-779
- 9) 藪内宣博ら、2017、油類の高度浄水処理性 (II)、日本水道協会平成 29 年度全国会議講演集、780-781
- 10) 外山義隆ら、2019、異臭原因物質である 3,5-ジメチルピラゾールの存在実態と浄水処理性、日本水道協会関西地方支部第 63 回研究発表会概要集、投稿準備中
- 11) 関西水道事業研究会、2008、水安全計画を支援するための水源管理に関する研究 (水道水源の望ましい姿－水道事業者からの提言－)
- 12) 伊藤ら、2010、霞が浦を水源とする浄水場における浄水処理手法の改善に係る共同研究 (I)、日本水道協会第 61 回全国水道研究発表会講演集、198-199