

図 19 異なる種類の SPAC によるトリクロロアミン分解プロファイルの比較とモデルフィッティングの結果 (プロットが実験値で線がモデル C による計算。丸: 木質炭 1, 三角: ヤシ殻炭 2, 灰色: 高トリクロロアミン初期濃度, 白: 低トリクロロアミン初期濃度)

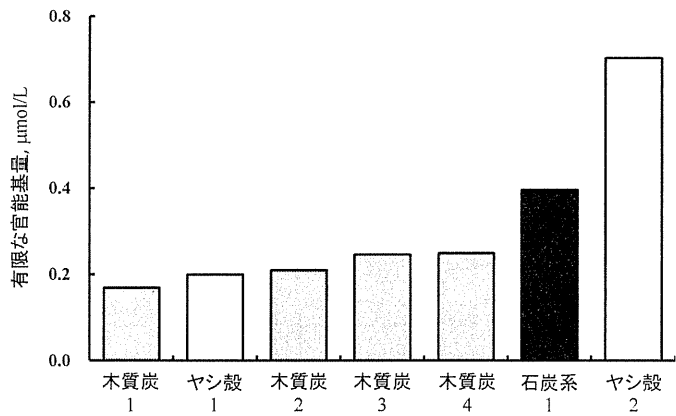


図 20 活性炭間での有限な官能基量の比較 (拡散-反応モデル C による)

表 11 有限な官能基量と活性炭の物理化学的パラメータの間の相関

	符号	$r^2$
細孔表面積		
BET	+	0.04
ミクロ孔	+	0.03
メソ孔	-	0.34
細孔容積		
ミクロ孔	+	0.02
メソ孔	-	0.29
官能基当量		
塩基	-	0.10
酸	+	0.03
元素含有率		
C	+	0.10
N	+	0.04
S	+	0.00
O	-	0.09
ゼータ電位	-	0.12
IEP	+	0.00
pHpzc	-	0.07

表 12 換算結果

試料	TET換算 アミノ化合物 mg/L	TET換算 アンモニア mg/L	アンモニア除く 有機アミノ化合物 mg/L
原水	5.9	3.9	2.0
沈殿水	5.8	4.0	1.8
砂ろ過水	5.7	3.9	1.8
BAC高水温	3.9	2.5	1.4
BAC低水温	5.2	3.7	1.5

表 13 各処理工程ごとの分析結果

項目	原水	沈殿水	砂ろ過水	BAC(高水温)	BAC(低水温)
アンモニア態窒素	12	12	12	7.6	11
有機アミノ化合物	2.0	1.8	1.8	1.4	1.5

平成 27 年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）  
分担研究報告書

水道における水質リスク評価および管理に関する総合研究  
－リスク評価管理分科会－

研究代表者	松井 佳彦	北海道大学大学院工学研究院 教授
研究分担者	広瀬 明彦	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部長
研究分担者	小野 敦	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部 第 1 室長
研究分担者	浅見 真理	国立保健医療科学院生活環境研究部 上席主任研究官
研究分担者	大野 浩一	国立保健医療科学院生活環境研究部 上席主任研究官
研究協力者	平田 睦子	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・第 1 室 研究員
研究協力者	山田 隆志	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部 第 4 室長
研究協力者	鈴木 俊也	東京都健康安全研究センター・薬事環境科学部 主任研究員
研究協力者	西村 哲治	帝京平成大学・薬学部・薬学科 教授
研究協力者	小林 憲弘	国立医薬品食品衛生研究所・生活衛生化学部 第 3 室室長
研究協力者	江馬 眞	国立医薬品食品衛生研究所 客員研究員
研究協力者	長谷川 隆一	国立医薬品食品衛生研究所 客員研究員
研究協力者	高橋 美加	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・第 1 室 研究員
研究協力者	松本 真理子	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・第 1 室 研究員
研究協力者	川村 智子	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・第 1 室 研究員
研究協力者	加藤 日奈	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・第 1 室 研究員
研究協力者	山口 治子	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・第 1 室 研究員
研究協力者	五十嵐智女	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・第 1 室 研究員
研究協力者	小林 克己	国立医薬品食品衛生研究所・安全性予測評価部・第 1 室 研究員
研究協力者	小熊 久美子	東京大学大学院 先端科学技術研究センター 准教授
研究協力者	森田 久男	埼玉県大久保浄水場 水質部長
研究協力者	及川 富士雄	北千葉広域水道企業団 技術部水質管理室 主査
研究協力者	高橋 和彦	東京都水道局浄水部浄水課 水質担当課長
研究協力者	金見 拓	東京都水道局浄水部浄水課 課長補佐
研究協力者	中町 眞美	阪神水道企業団 技術部 浄水管理事務所 主査
研究協力者	塩見 祐二	大阪市水道局工務部柴島浄水場 副場長
研究協力者	北澤 弘美	公益社団法人 日本水道協会 工務部 水質課 次長
研究協力者	町田 高広	公益社団法人 日本水道協会 工務部 水質課

研究要旨

突発的な水道原水水質事故発生時などの非常時に市民の安全と公衆衛生を確保するため、摂取制限による給水継続の対応を含めた水質異常時の対応のあり方に関する検討

を行った。ホルムアルデヒド生成物質の事故では、断水の発生により用水供給事業の給水停止の影響が広範囲に及ぶことが示された。また、水質基準の遵守と給水義務の狭間で悩む水道事業体の姿が浮かび上がり、今後、社会活動の維持を見据えた摂取制限の考え方を導入する必要性が示唆された。突発的水質事故事象に対するマニュアル類の整備と複数マニュアルの関連性についての事例を示すことができた。水質事故に対応するためには、水質監視体制も重要であるが、巡視や水質調査の折に油流出事故以外の水質汚染事故を発見することは困難である。より高感度な理化学的及び生物学的な監視装置を開発し、水質汚染の早期発見を確実にすることも今後の課題である。

海外における水質異常時の対応と広報に関して、米国 EPA が作成した公衆通知ハンドブックの一部を翻訳し、水質異常発生時の周知方法について重要な点を整理できた。また、米国の水質事故後の疫学調査の精査結果、情報源はテレビが最も多く、事故当日か翌日に大多数に Do Not Use 指令が伝わっていた。DNU 指令中においても約 37% の世帯が水道水を使用していた。摂取制限等の対応を取った場合、万一飲用しても、短期間摂取において感知される健康影響が起きない程度の余裕が重要と考えられた。本調査の範囲では海外諸国において水質基準超過による給水停止は、短期間の水道水摂取による深刻な健康影響が懸念されない限り、基本的にあり得ない選択肢であった。水質基準を超過した水をいかに給水継続するかは、超過項目と超過の程度により異なる。

トリクロロエチレン(TCE)とテトラクロロエチレン(PCE)について、様々な暴露シナリオにおける経口・吸入・経皮の潜在用量を経口暴露換算した総和値の分布を求めた。その結果、TCE については現行の基準値では過半数以上の人が耐容一日摂取量(TDI)を超える暴露量となる可能性が示唆された。これは吸入や経皮経路では経口経路と同じ潜在用量でも臓器への到達率が高くなり、間接飲水量が多くなるためと考えられた。また、大多数の人の総暴露量を TDI 以下相当にするためには、現行基準値(10 µg/L)の 1/3 程度である 3 µg/L が望ましいことが示唆された。アメリカやカナダの TCE の基準値は 10 µg/L より低い 5 µg/L であり、今後評価値の見直しのため、今回シミュレーションに用いた仮定に関する精査など、さらなる詳細評価が必要である。一方、PCE については現行の基準値の遵守により想定しうる使用形態の範囲内であれば TDI 以下相当の総暴露量となり、現行基準値の妥当性が確認された。

日本人成人の潜在的な水道水摂水量(pTWI)推定を行った。これまでの速報値から、平日と休日の補正、地域、性別、年齢区分に関する人口の偏りについて補正を行った。その結果、補正後 pTWI (L/日) は以下の通りとなった。冬：平均値 1.55, 中央値 1.45, 90%値 2.33, 95%値 2.64。夏：平均値 1.76, 中央値 1.64, 90%値 2.67, 95%値 3.12。今後、日本人成人摂水量としての基礎資料となることが期待される。

亜急性評価値に関する研究では、昨年度までに求めた水質基準項目に関する亜急性評価値 [Subacute Reference Dose; saRfD (mg/kg/day)]を用いて、短期的な水道水質汚染が生じた際に参考とすべき水道水中濃度 [参照値 (mg/L)]の算出を試みた。その結果、19 項目について成人及び小児を対象とした参照値を提案することができた。

環境蓄積性汚染物質として知られているパーフルオロカルボン酸 (PFCA)類の毒性

強度の差の要因を明らかにするために、昨年度までに、炭素数 12 (PFDoA)、14 (PFTeDA)、16 (PFHxDA)もしくは 18 (PFOcDA)の PFCA をを投与したラットの血清中の PFCA 類濃度を測定した。本年度は、この測定結果を解析すると共に、長鎖 PFCA 類の反復投与毒性・生殖発生毒性併合試験の結果を整理し、長鎖 PFCA 類の毒性強度の違いの要因について考察した。その結果、被験物質に不純物として含まれていた、炭素鎖のより短い PFCA 類やそれらの分岐型異性体類が毒性発現に関与している可能性が考えられた。

## A. 研究目的

平成 24 年 5 月の利根川水系のホルムアルデヒド前駆物質による水質事故の際には、給水人口 87 万人の区域で給水停止に至り、市民生活に大きな影響が生じた。一方、平成 23 年 3 月に発生した東電福島第一原発からの放射性物質の大量放出事故の際には、摂取制限を行い、飲用水、乳児用の水は確保しつつ、給水を継続する措置が講じられた。水道水は飲用のみならず、家庭では大部分がトイレ、手洗い、調理、洗濯、風呂、洗浄等の用途に使用されている。突発的な水質事故発生時などの非常時に市民の安全と公衆衛生を確保するため、摂取制限による給水継続の対応を含めた水質異常時の対応のあり方に関する検討を、昨年度に引き続き行った。

海外における水質異常時の対応について、昨年度までの諸外国の事故事例や標準対応方法に関する調査および WHO 飲料水水質ガイドラインの調査の結果、公衆衛生の維持及び消火用水確保などの観点から、大規模な事業体では特に給水停止を行うことは少なく、摂取制限や煮沸勧告対応が多いことが示された。本年度も引き続き、米国と英国、オーストラリアを対象として、水質異常時の対応についての調査を行った。本年度は、特に水質異常時の広報対応について焦点を当て、米国環境保護庁(EPA)が作成した公衆通知ハンドブックの翻訳に基づき広報通知の内容に関する検討を行った。

経口曝露換算の総潜在用量、割合率および間接飲水量の推定について、昨年検討では、生

理学的薬物動態モデル(PBPK モデル)を用いて吸入、経皮曝露量を経口曝露時の体内負荷量に換算する新しい曝露量分布の推計方法を提案し、トリハロメタン類、ハロ酢酸類の曝露評価を行った。しかし、成人の体重を一律 50 kg と仮定している点、食品摂取量と体重を無関係とした点には課題が残った。本年度は、昨年度の方法を発展させ、トリクロロエチレン (TCE)、テトラクロロエチレン(PCE)を対象に、現行の飲料水割合率、水道水質基準値の妥当性を評価し、飲水以外の水道水由来の曝露量から間接飲水量を算出することを目的とした。

日本人成人の摂水量に関するアンケート調査結果に基づいて、生データをもとに日本人成人摂水量の速報値を報告してきたが、十分な検討がなされてきていなかった部分があるため、アンケート結果を再検討し、成人の潜在的な水道水摂取量(pTWI: potential Tap Water Intake)分布を推定することを本研究の目的としている。検討すべき部分の中で主要なものとして、(1) 調理用水のうち水道水由来の摂水量についての検討、(2) 潜在的な水道水摂水量の定義についての検討、(3) アンケート調査のサンプルの地域、性別、年代などの偏りを補正することの検討がある。(1)と(2)については昨年度報告にて検討を行った。本年度は(3)について検討を行い、人口構成による補正を行うことで、日本の成人における夏と冬の pTWI 分布について推定した。

水道水の安全性を担保するために、水道汚染

物質に関する基準値や目標値が設定されているが、これらの値は、生涯暴露を想定して設定されているものであることから、一時的な基準値超過がヒトの健康にどのような影響を及ぼすか、事故時の汚染物質濃度や推測される曝露期間などを考慮して毒性情報を評価していく必要があるだろう。そこで、我々は、昨年度までに、米国環境保護庁 (Environmental Protection Agency: EPA) によって設定された健康に関する勧告値 (Health advisory: HA) 及び Human Health Benchmarks for Pesticides (HHBP) の設定方法や根拠について調査を行った上で、日本の水質基準項目 18 項目について食品安全委員会の評価書を基に、亜急性評価値 [Subacute Reference Dose; saRfD (mg/kg/day)] を算出した。本年度は、昨年度までに求めた saRfD を用いて、短期的な水道水質汚染が生じた際に参考とすべき水道水中濃度 [参照値 (mg/L)] の算出を試みた。

パーフルオロカルボン酸 (PFCA) 類は、環境中での残留性が高く、ヒト健康への影響が懸念されている。炭素数 12 以上の長鎖 PFCA については、炭素数が長い程毒性は弱まることが明らかとなっている。我々は、これまでに、硫酸水素テトラブチルアンモニウムを用いた液-液抽出法による試料調製と逆相系の LC/MS/MS 法による分離定量を組み合わせた分析法を開発し、パーフルオロドデカン酸 (PFDoA、炭素数 12)、パーフルオロテトラデカン酸 (PFTeDA、炭素数 14)、パーフルオロヘキサデカン酸 (PFHxDA、炭素数 16) 及びパーフルオロオクタデカン酸 (PFOcDA、炭素数 18) を投与したラットの血清中 PFCA 濃度を測定した。本年度は、その結果を解析し、長鎖 PFCA 類の毒性強度の違いの要因について考察した。

## B. 研究方法

### 1. 突発的水質事故時のあり方に関する研究

突発的水質事故時などの非常時に市民の安全、

公衆衛生及び利便性を確保するため、摂取制限による給水継続の対応を候補に含めた水質異常時の対応のあり方に関する検討を行った。いくつかの水道事業体等に対してそれぞれ検討を依頼する形で報告を受け、その内容について分科会にて検討を行った。

### 2. 海外における水質異常時の対応と広報に関する調査研究

米国、英国、オーストラリアにおける突発的な水質事故や水質基準超過時などといった水質異常時への対応について、また事故対応事例についての調査をおこなった。調査はインターネット検索による調査、文献調査、および聞き取り調査によって実施した。また、米国 EPA が発行している公衆通知 (Public Notification) ハンドブックの一部を翻訳し、水質異常発生時の公衆への周知方法について重要な点を整理した。

### 3. 経口暴露換算の総潜在用量、割当率および間接飲水量の推定

TCE と PCE について、飲料水濃度をある値に仮定し、様々な暴露シナリオにおける経口、吸入、経皮の潜在用量をモンテカルロ法で求め、経口暴露換算した総和値の分布を求めた。モンテカルロ入力としては昨年度と同様に既存の報告データを使った。

昨年度までの検討では、体重は一律 50 kg でシミュレーションを行っていたが、総務省統計局の日本の統計 2014 を用いて 20 歳以上の日本人の体重分布を作成した。日本の統計 2014 では年齢・性ごとの体重が標準偏差と平均値で示されている。そこで、正規分布を仮定し各年齢・性別の体重分布を作成し、年齢・性別の割合で重み付けを行い 20 歳以上の人口の体重分布を作成した。さらに、分布の上下 1% を除いて、全成人人口の体重分布とした。PCE については、エンドポイントが肝毒性のため、この分布を用いたが、TCE は胎児の心臓異常がエ

ンドポイントのため、20～30歳代の女性を対象に体重分布を作成した。また、呼吸量、体表面積は体重からの変換式を用いて計算した。

また、昨年度までのシミュレーションでは、水摂取量と体重に強い相関関係が見られなかったため、食品摂取量と体重には関係がないと仮定していた。しかし、関係がまったくないと仮定すると低体重の人ほど体重1kgあたりの食品摂取量が多くなり、食品経由の暴露が多い物質では低体重の人が高暴露の傾向が強くなる、そこで体重と各食品摂取量にある程度の相関を持たせることとした。

#### 4. 日本人成人の潜在的な水道水摂取量(pTWI)の推定に関する研究

昨年度報告結果より、pTWIを以下のように定義した。水道水直接摂水量に加え、調理した食品経由としてご飯とスープ類からの水道水間接摂取量、および水道水の代替として飲んでい

るものとして「ボトル水」および「清涼飲料水」を合計した摂水量をpTWIとした。

アンケート調査においては調査期間中の平日（勤務日）2日、休日（非勤務日）1日の計3日間における摂水量を調査したが、速報値では平日1日目の値を中心に報告をした。そこで、平日を5日間、休日を2日間となるように重み付けをして、個人の一日摂水量（週平均値）となるように補正を行った。また、人口学的なサンプル数の偏りについて、2010年国際調査に基づいて、各地域、性別、年齢区分の人口比率でアンケート調査のサンプルの重み付けを行った。各要素の人口を対応する要素で収集したサンプル数（冬、夏）で除することにより補正を行った。

#### 5. 水道汚染物質の亜急性評価値に関する研究

昨年度までに求めた水質基準項目18項目に関するsaRfDを用いて、短期的な水道水質汚染が生じた際に参考とすべき参照値(mg/L)の算出を試みた。なお、参照値は、HAやHHBPの

考え方に習い、割当率を100%とし、それぞれの項目について成人と小児を対象とした2つの値を算出した。成人の体重は50kg、飲水量は2L/kgとし、小児の体重は10kg、飲水量は1L/dayとした。昨年度、saRfDを算出できなかった項目についても、参照値算出の可能性について検討した。

#### 6. 長鎖パーフルオロカルボン酸類の毒性発現の違いに関する研究

PFDoA、PFTeDA、PFHxDA及びPFocDAの反復投与毒性・生殖発生毒性併合試験では、雌雄のCrI:CD(SD)ラットに毎日強制経口投与を行い、15日後から、雌雄を同居させた。雄ラットは、交配期間を含め、計42日間、雌ラットについては、交配、妊娠、授乳期間を通し、出産5日後まで投与を継続した。我々は、昨年度までに、これらの併合試験において、投与期間終了翌日に採取した血清サンプル中のPFCA濃度（炭素数5から18）を測定した。本年度は、この測定結果を解析すると共に、長鎖PFCA類の反復投与毒性・生殖発生毒性併合試験の結果を整理し、長鎖PFCA類の毒性強度の違いの要因について考察した。なお、本報告書では、微量の不純物質を含む被験物質と、不純物を含まない各PFCAの名称を区別するために、被験物質をTS-PFDoA、TS-PFTeDA、TS-PFHxDA及びTS-PFocDAと呼ぶこととした。さらに、TS-PFDoA投与群では直鎖PFDoAのことを、TS-PFTeDA投与群では直鎖PFTeDAのことを、TS-PFHxDA投与群では直鎖PFHxDA、TS-PFocDA投与群では直鎖PFocDAのことをそれぞれ標的PFCAと呼ぶこととした。

#### C. 研究結果

##### 1. 突発的水質事故時のあり方に関する研究

平成24(2012)年5月に発生した、利根川水系におけるホルムアルデヒド生成物質の流下事故の経過と復旧まで要した時間について、事故の影響を受けた事業者がまとめを行った。図1

にホルムアルデヒド事故において復旧までにかかった時間をまとめた。断水の発生により、水質事故第1報から受水団体が通常の給水に復帰するまでに5日間、新たな原因物質の流出はなく安全性が確認されて粉末活性炭処理を終了するまでの事故対応期間は25日間に及び、用水供給事業の給水停止の影響が広範囲に及ぶことを証明した結果となった。さらに給水再開後は受水団体側において各地で赤水が発生し、受水団体の給水復帰後も長く影響が残った。

また、ホルムアルデヒド事故では取水停止措置により施設内に原因物質が流入することは食い止めることができたが、仮に汚染物質等が施設内に流入した場合に、施設の洗浄にかかる時間及び被害想定による復旧までの時間を推定試算した。その結果、浄水施設・管路洗浄時間は約4日間必要で、仮に浄水施設から管路が汚染された場合は受水団体の復旧まで20日間以上かかると推定された。

突発的水質事故時等の対応状況について検討を行った。用水供給事業者による検討の結果、構成市(受水団体)と平時から情報交換を密に行い、事故発生時に連携した対応が行えるように体制を整えることが重要であり、また、未整理事項については協議・検討を進めることが重要とのことであった。事故発生時の連絡体制を明文化すること、事故発生時に速やかな対策行動が可能となるように、実動や机上訓練を合同で定期的に行うことも、重要である。

摂取制限での給水の継続には、広報による住民への十分な説明が必要となる。そこで、摂取制限で給水の継続した過去の事例について広報を中心に報告があった。この事例ではクリプトスポリジウムで水道水が汚染され、町民の約70%に当たる8千人以上が発症したと推定される健康被害を生じたが、煮沸勧告により給水が継続された。広報を中心に町、国・県の対応を以下にまとめる。当初、下痢・腹痛等の症状

で小中学校の児童・生徒が多数欠席している原因が不明であったことから、風邪による下痢症と判断され、教育委員会が注意喚起の広報を保護者に行った。さらに、町は役場からのお知らせで、下痢・発熱を伴う風邪風疾患の集団発生と予防策について戸別に広報した。小中学校の欠席状況は6月11日に最大の210名(全児童・生徒の14.3%)に達した。その後、有症者の検便からクリプトスポリジウム(原虫)が検出され、対策本部を設置し全町での対応とした。続いて、水道水からも原虫が検出し、町は安全宣言が広報される7月19日までの約1ヶ月後まで、その現況と煮沸等対策についての役場からのお知らせを7回戸別に直接配布し、防災無線も利用した。この間、国及び県から、県水(用供)への切替や浄水濁度を0.1度以下にするよう指示がでており、保健所が食品関係業者に対する説明会を2回開催している。小中学校の欠席状況は6月20日に156名と再び上昇したが、それ以降は減少し、7月1日にほぼ平常になった。町は安全宣言で記者発表を行い、役場からのお知らせを住民だけではなく店頭用も配布し、さらに、新聞の折り込みで近隣市町村にも行った。安全の確認は、県の指示で有症者の減少ではなく、実際に水道水を検査し、3回連続で不検出であることを条件とした。安全宣言後は月1回の町の広報紙で安全確保に関する決意表明や浄水場の改善状況等を12月まで広報した。

突発的水質事故事象に対するマニュアル類の整備と複数マニュアルの関連について、事業者の検討結果を例として報告する。用水供給事業者における危機管理対応プログラムの例を図2に示す。当該事業者では、平成6年度の阪神淡路大震災以降、自然災害やテロ等への危機管理対策を順次強化し、事故等対策要綱やマニュアル類を整備してきた。平成19年度に危機管理対策基本計画を策定し、それに基づき、水



安全計画管理対応マニュアル、危機管理行動マニュアル等、100件以上のマニュアルが整備されることとなった。数が増えることによる混乱や制定年度の違いによるマニュアル間の整合性の問題が生じたため、その対応としてマニュアルの体系化を図り、危機管理対応プログラムとして包括的な運用を平成24年度から実施した。体系化にあたっては、事業体内で処理可能な危機事象と、構成市水道部局や市民にまで影響を及ぼす危機事象とのレベル分け、管路事故、設備事故、水質事故の事故種類の分類を行い、危機事象のレベルと事故種類に応じ、各種マニュアル類の適用のあり方を整理した。図2に示すように、事業体内で処理可能な事象について、主に管路・設備事故の場合は危機管理行動マニュアル、水質事故の場合は水安全計画管理対応マニュアルで対応している。また、構成市水道部局や市民にまで影響を及ぼすような事象となった場合には、対外的な対応を規定している事故等対策要綱、事故等対策指令施行要領で対応することとしている。

また別の事業体における水安全マニュアル（水安全計画に基づく）と危機対応マニュアル類との関係の整理結果について、以下に示す。水安全マニュアルと危機管理マニュアル類との整理・棲み分けについて図3に示す。「不適合製品発生（＝市内への影響）の恐れ」に対する「未然防止対策」と「事後の危機対応」との位置付けに整理している。そのため、浄水場等においては平常時、各部署が水安全マニュアルにおける各種の運用マニュアル・手順書に基づいて業務に従事し、定められた責任と権限を果たしており、その中で水源水質に関する各種のハザードに直面した際には、これに対する異常時対応の手順に沿って、当該浄水場として対応可能な範疇の中で事故発生の未然防止に取り組むこととなる。その上で、浄水場として市内配水への影響が生じる恐れを判断した時点で、

水質異常事象を対象とする事故対応マニュアルに則って、事故レベルに応じた対策本部体制に切り替え、その指揮の下で局内の関係所属とともに、事業体外の関係機関とも連携しつつ、事態の収拾に取り組むこととなる。

## 2. 海外における水質異常時の対応と広報に関する調査研究

米国では、水質事故等による異常発生時には、連邦規則に基づき、必要な場合は、監督官庁と協議して、一般の市民への周知を行わなければならない。その判断基準や周知方法について、公衆通知(Public Notification)ハンドブックで述べられている。本ハンドブックに記載の情報は、事業者による公衆通知の作成および発行を支援するものである。公衆通知が必要となる規則違反や異常事態に直面する前に、本ハンドブックの内容を理解することが必要とされる。また事業者は、管轄の州当局と協議し、付加的な公衆通知要件の有無、より厳しい公衆通知要件の適用の有無について確認する必要がある。通知が必要となる飲料水の規則違反や他の異常事態において取るべき対応のステップについては以下の通りである。1) 規則違反や異常事態がどの段階に分類されるかを決定する。2) 必要な場合、管轄の監督官庁と協議する。3) 公衆通知に関する要件を見直す。4) 適切な伝達方法を決定する。5) 通知を作成する。6) 通知を翻訳する。給水地域の大多数が英語を母語としない場合、通知を適切な言語に翻訳する。7) 通知を決められた期間内で出来る限り迅速に伝達する。8) 通知を消費者に伝達してから10日以内に、全ての公衆通知関連書類を管轄の監督官庁に送付する。また、図4に参考となる公衆通知の必須構成要素を示す。

米国における化学物質流出事故による水質異常時の対応については、昨年度報告を行った2014年1月9日に米国で発生した、石炭洗浄剤MCHM（4-メチルシクロヘキサノール

ル)の河川流出による原水汚染事故後に行われた CASPER 調査(公衆衛生に関する緊急事態対応のためのコミュニティ評価)を精査した。調査結果の一部は次の通りである(訪問調査:調査軒数 171)。

DNU(Do Not Use, 水道水の原則使用不可)発令などをいつ、どのような伝達方法で知ったのかについては、約 66%が DNU 発令当日に情報を得ており、その情報源はテレビ(53%)、直接会話(14%)、携帯電話での通話(10%)、固定電話(7%)などであった。米国では非常事態に備えて、飲料、調理および公衆衛生用の水(代替水)として最低 1 人 1 日 1 ガロン(3.8L)を 3 日分備蓄しておくべきであると、情報サイト”Ready.gov”では伝えている。本調査において、上記の量の代替水を備蓄していた世帯は約 25%であった。とはいえ、代替水の入手を試みた家庭の 84%が入手を試みた当日に代替水を入手できていた。

健康影響については、22%の世帯において、世帯内の誰かが流出事故によるものと思われる健康影響があったと回答した。この 39 世帯の半分強(22 世帯)は、特に診療所には行っていない。その理由の多く(15 世帯)は治療を受けるほど深刻な症状ではなかったためということであった。

水の使用状況について、DNU 発令中および DNU 解除以降に対象水道水を使用したかどうか、という質問がされている。回答を図 5 に示す。DNU 発令中でも 37%の世帯で水道水を使用していた。DNU 解除後から 1 月末までの間の使用率は 67%で、おそらく臭いが残っていることもあり使用率の回復が遅かったと思われる。4 月上旬の時点では 98.3%の家庭で水道水を使用していた。また、図 6 にそれぞれの期間に「水道水を使用していた人」が使用した用途を示している。DNU 発令中はシャワー/水浴が(80.1%)、手洗い(45.9%)、洗濯(37.7%)など

と皮膚および吸入曝露を受けたことが考えられる。さらに、調理(26.9%)や飲用(26.6%)にも使用されていた。

英国の法的枠組みについて、ほとんどの基準(Standard)は欧州連合飲用水指令(European Union Drinking Water Directive、以下 DWD)による規定で、その多くは WHO の推奨値を元に設定されている。また、DWD に加えてイギリス独自の基準が存在する。基準の存在する項目すべてをパラメーター(parameter)と称する。規則(Regulation)により、すべてのパラメーターに基準値、検査頻度、採水位置が規定されている。

水質基準超過時の監督権限は地方水道監査局(DWI)にあり、水事業者に改善策(処理方法の改善、プロセスの追加など)を講じるよう命じることができる。改善策を導入するまでの期間は、たとえ基準を超過したままでも、医学的見地に基づき短期的な曝露に問題がないと専門家委員会により判断されれば、DWI の権限で給水を維持する。味や色がおかしいといった Indicator 項目で異常が生じた場合も同様で、改善策導入期間中は、基準を超過していても給水を継続することができる。

水質基準を超過した水をいかに給水継続するか、その対応は、超過項目と超過の程度により異なる。すなわち、状況に応じて以下のいずれかの勧告を出し、代替給水を行いながら、給水を継続する。

- 1) 「飲用・調理には煮沸」 Boil before Use for drinking and food preparation (BWA).
- 2) 「飲用・調理には使用不可」 Do not use for Drinking or Cooking (DND).
- 3) 「飲用・調理・洗浄には使用不可」 Do not use for Drinking, Cooking or Washing (DNU).

勧告発表時、水利用者にいかに迅速かつ確実に周知するかが重要である。周知方法としては、広報車、郵便受けへのポスティング、地元テレ

ビ・ラジオ、ホームページ、電子メールなどを活用する。非常時に備え、各地の郵便局から給水区域内の全住所に一晩でリーフレットを配布できる体制を平時から整えている。水質基準超過時に、水質悪化の影響を受けやすい水利用者には特別な配慮が求められる。水道会社は、水質事故時に特別な配慮を要する契約者（sensitive customer）として、食品産業、人工透析施設を有する医療機関や在宅透析患者等のリストを平時に作成し、非常時の緊急連絡体制を整えている。これは、主に、水質基準超過の広報不足が原因で生じた不利益について訴訟等により水道会社が経済的補償を求められる懸念があるためである。一般家庭に対しては、水道会社は顧客との契約の中で、DNU、DND、BWA のいずれかの勧告が出されている間は一日当たり幾らかの料金を払い戻す契約をあらかじめ結んでいる。

オーストラリア連邦政府は、水道水質管理に関して、オーストラリア飲用水ガイドライン6（最近改定 2016 年 2 月）を公表しており、各州はこれを参照して、水道事業者への規制法を策定している。

このガイドラインは、清浄な水道水の供給のために衛生担当行政部署や水道事業者の参考となるよう最新の科学的根拠に基づく水質管理手法に関する情報を提供するものであり、WHO が提唱する水安全計画と同様、HACCP 的な水質管理手法を取り入れた総合的な水質管理のガイドラインとなっている。

オーストラリアの行政機関は、各州の権限が大きく、連邦の関与は限られている。水道に関する規定も各州が制定する州法により定められており、水道事業者の形態や規制のありかたも州毎に違いがある。連邦は、このガイドラインに対する法的な遵守義務を水道事業者にかけていないが、各州の法令の中でガイドラインに従うよう規制をかけたたり、順守を認可の条件

にしたりすること等によって遵守義務が発生している。ガイドライン値を超過した場合、水道事業者は、公衆衛生の監督機関に報告し、その利用者の健康への影響の評価・対応の指示を受けるなどし、給水の継続などを判断すべきとされている。

第3部モニタリングの章では、モニタリング手法だけではなく、モニタリング結果に対する対応、例えば水質ガイドライン値超過時の対応等についても記載している。工程管理モニタリングとして、連続計器による測定や毎日検査による浄水処理の健全性の評価と対応、飲用水水質検査として、微生物学的項目、健康関連化学物質及び生活利用関連の化学物質それぞれについてガイドライン値及び結果の評価と対応を記載している。基本的に工程管理のモニタリングによる短期的モニタリング評価を重視しており、「検査頻度や結果が出るまでの時間などから、飲用水水質検査では、安全でない水の供給を防ぐことはできず、飲用水水質検査は工程管理モニタリングに取って代わることはできない」と明示されている。

健康影響の評価や対応の根拠としてガイドライン第5部のファクトシートが活用されている。ここでは、各化学物質についてガイドライン値の設定根拠となったデータや健康影響などについて情報を掲載しており、ガイドライン値を超過した場合の判断等に有用な情報が示されている。

### 3. 経口暴露換算の総潜在用量、割当率および間接飲水量の推定

水道水中の物質濃度がある値に仮定したときの、経口換算の吸入、経皮、経口経由の潜在用量の総和は飲水量や食品摂取量、入浴時間の違いなどのシナリオで異なるため、シナリオ作成を乱数発生させたモンテカルロシミュレーションを行い、暴露量の生起確率分布を求めた。このような暴露分布の 95%値に相当する暴露

量がTDIに一致するような濃度を、TCE・PCEについて算出した。

TCEについては、現行の水道水質基準値である10 µg/Lよりも低い濃度の3.1 µg/Lのとき、総暴露量分布の95%値がTDIの1.46 µg/(kg d)であった。このとき、総暴露量分布の中央値は0.69 µg/(kg d)であり、TDIの約2/5であった。図7は、暴露量分布の95%値と中央値がそれぞれどのような経路の暴露源から構成されているか、すなわち、95%値となる高暴露群と中央値の中暴露群の暴露シナリオを示している。中暴露群では、直接飲水からの暴露量はTDIの6.2%、高暴露群では6.5%であった。これら6.2%と6.5%は飲水量1.4と1.5 L/dayに起因している。2 L/dayの飲水量は0.13 µg/(kg day)の暴露を生むことになり、TDIの8.6%を占める。また、現行の水道水質基準値である10 µg/Lのとき、TDIを超える暴露量となる確率が54%と計算された。

PCEについては、現行の水道水質基準値である10 µg/Lよりも高い濃度の70.4 µg/Lのとき、総暴露量分布の95%値がTDIの14 µg/(kg d)であった。このとき、総暴露量分布の中央値は5.9 µg/(kg d)であり、TDIの約2/5であった。図8は、95%値(高暴露群)と中央値(中暴露群)の暴露シナリオを示している。中暴露群では、直接飲水からの暴露量はTDIの13.2%、高暴露群では14.7%であった。これら13.2%と14.7%は飲水量1.3と1.5 L/dayに起因している。2 L/dayの飲水量は2.8 µg/(kg day)の暴露を生むことになり、TDIの20.2%を占める。

#### 4. 日本人成人の潜在的な水道水摂取量(pTWI)の推定に関する研究

平日と休日とを考慮した週平均の一日摂水量への補正、人口構成による補正後のpTWI、pTWI構成要素、およびその他要素の摂水量について表1(冬)、表2(夏)に示す。また、補正後のpTWIとその構成要素に関する箱ひ

げ図を図9に示す。

平日と休日の補正、および人口構成による補正を行った後のpTWI(mL/日)は、以下の結果となった。

冬：平均値 1548 mL, 中央値 1452 mL, 90%値 2333 mL, 95%値 2637mL

夏：平均値 1758 mL, 中央値 1641 mL, 90%値 2672 mL, 95%値 3122mL

#### 5. 水道汚染物質の垂急性評価値に関する研究

saRfDとその根拠を表3に示す。なお、遺伝毒性発がん物質については、昨年度は $3 \times 10^{-5}$ リスクに相当する値をsaRfDとしたが、以下の理由から、 $1 \times 10^{-4}$ リスクに相当する値をsaRfDとして算出しなおした。

ICHの「潜在的発がんリスクを低減するための医薬品中DNA反応性(変異原性)不純物の評価及び管理ガイドライン」(M7)によれば、一生涯にわたって連続的に低用量で投与される場合の発がんリスクは、同一の累積曝露量をより短期間に平均して投与した場合と同等と考えられる。本ガイドラインでは、投与期間が1ヶ月以下の場合の許容摂取量として、生涯曝露の許容摂取量の80倍高い値が、また、投与期間が1ヶ月から12ヶ月までの場合の許容摂取量として、生涯曝露の許容摂取量の13倍高い値が提案されている。このことを考慮すると、遺伝毒性発がん物質のsaRfDとしては、 $3 \times 10^{-5}$ よりも $1 \times 10^{-4}$ リスクに相当する値の方がより適切と考えられた。

saRfDを算出することができた18項目のうち、ホウ素及びその化合物とトリクロロエチレンについては、生殖/発生毒性試験で観察された胎児への影響を基にsaRfDが求められた。この変化は小児期の一時的な曝露では起こりえない変化であることから、これらの2項目についてはsaRfDに小児の体重及び飲水量を適用することは不適切と考えられた。その他の

16 項目については、saRfD に成人及び小児の体重と飲水量を適用し参照値を算出した（表 4 参照）。

ホウ素に関しては、発生毒性に次いで低い用量で観察された変化は精巣の変化であった。精巣毒性に関して最も低い NOAEL はビーグル犬を用いた 90 日間混餌投与試験の結果から求められた 3.9 mg/kg/day であったが、この試験では用量間隔が広く、LOAEL は 30.4 mg/kg/day であった。ビーグル犬を用いた 2 年間の混餌投与試験では、最高用量である 8.8 mg/kg/day 投与群でも毒性が認められておらず、ホウ素の精巣毒性に関しては適切な POD が求められていない。従って、現時点では小児を対象としたホウ素の参照値は基準値と同じ 1 mg/L とすることが適切と考えられる。

トリクロロエチレンの亜急性毒性に関しては、ラット及びマウスに 6 週間から 6 ヶ月間経口投与した試験の報告があり、肝臓や腎臓への影響が報告されているが、これらの試験は検査項目もしくは投与期間が不十分と考えられた。トリクロロエチレンは、げっ歯類の肝臓や腎臓に腫瘍性病変を引き起こすことが報告されており、トリクロロエチレンの発がん性には遺伝毒性が関与している可能性は否定できない。従って、マウスを用いた 78 週間経口投与試験で観察された肝がんの発がんユニットリスク ( $8.3 \times 10^{-3}/(\text{mg}/\text{kg}/\text{day})$ )からもとめた  $1 \times 10^{-4}$  リスクレベル ( $12 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ )をもとに小児に対する参照値を求めることが適切と考えられた。トリクロロエチレンの基準値は、入浴時の吸入及び経皮曝露を考慮して水由来曝露量を 5L/day とし、小児の水由来曝露量は 2.5L/day と仮定して算出した結果、小児及び成人を対象とした参照値はそれぞれ 0.05 mg/L 及び 0.01 mg/L となった。

昨年度 saRfD を算出できなかった項目のうち、硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素に関しては、乳児のミルク調整に使用する水の硝酸性窒素濃度とメトヘモグロビン血症発症に関する報告をもとに基準値が求められている。メトヘモグロビン血症は、短期的な曝露でも起こりうる変化であることから、小児を対象とした参照値は、基準値と同じ値 (10 mg/L)が適切と考えられた。

## 6. 長鎖パーフルオロカルボン酸類の毒性発現の違いに関する研究

### 長鎖 PFCA 類の毒性

TS-PFDoA、TS-PFTeDA、TS-PFHxDA 及び TS-PFOcDA の反復投与毒性・生殖発生毒性併合試験では、類似した毒性プロファイルが観察された。いずれの試験においても、体重の低下がみられ、血清中アルカリホスファターゼ及び血中尿素窒素の増加が認められた。また、肝重量は増加し、病理組織学的には、肝細胞肥大や壊死が肝臓で観察された。生殖発生毒性に関しては、児の生後体重増加量が低下し、高用量群では母動物の死亡や異常出産などが認められた。TS-PFDoA、TS-PFTeDA、TS-PFHxDA 及び TS-PFOcDA の NOAEL は、それぞれ 0.1 mg/kg/day、1 mg/kg/day、4 mg/kg/day 及び 40 mg/kg/day と判断された。これらの結果は、炭素数 12 から 18 の PFCA 類の毒性は、炭素が長くなればなるほど強くなることを示している。

### 被験物質中の PFCA 含量

被験物質 (TS-PFDoA、TS-PFTeDA、TS-PFHxDA 及び TS-PFOcDA)の純度は、それぞれ 97.0%、96.5%、95.3%及び 98.9%と報告されているが、被験物質中の PFCA 類を解析した結果、炭素数の異なる直鎖 PFCA や分岐型異性体が検出された。不純物として検出されたこれらの PFCA 類の濃度はいずれも 1%未満であった。

## 長鎖PFCA類を投与したラットの血清中PFCA濃度

0.1 mg/kg/day、0.5 mg/kg/day 及び 2.5 mg/kg/day の TS-PFDoA を投与した雄ラットの血清中の直鎖 PFDoA 濃度は、それぞれ 1686-1940 ng/mL、4337-7115 ng/mL 及び 126200-312300 ng/mL であった。雌では、それぞれ、1290-1465 ng/mL、6460-11070 ng/mL 及び 197300 ng/mL であった。TS-PFDoA を投与したラットの血清中からは、直鎖 PFDoA 以外の PFCA 類が検出されたが、いずれの濃度も直鎖 PFDoA の 20 分の 1 未満であった。これらの直鎖 PFDoA 以外の PFCA 類の中では、分岐鎖 PFDoA の濃度が最も高く、次いで直鎖パーフルオロデカン酸 (PFDeA、炭素数 10) 及び分岐鎖パーフルオロトリデカン酸 (PFTrDA、炭素数 13) の濃度が高かった。

10 mg/kg/day の TS-PFTeDA を投与したラットの血清中の直鎖 PFTeDA 濃度は、雄では 6600-17780 ng/mL、雌では 7250-18530 ng/mL であった。TS-PFTeDA を投与したラットの血清中からは、炭素数 8~13 の直鎖 PFCA 類及び炭素数 11~16 の分岐鎖 PFCA 類も検出され、直鎖パーフルオロウンデカン酸 (PFUnA、炭素数 11)、直鎖 PFDoA (炭素数 12) 及び分岐鎖 PFTeDA (炭素数 14) の濃度は数百 ng/mL と比較的高かった。

100 mg/kg/day の TS-PFHxDA を投与したラットの血清中直鎖 PFHxDA 濃度は、雄では 989-1608 ng/mL、雌では 1127-2284 ng/mL であった。TS-PFHxDA を投与したラットの血清中からは、分岐鎖 PFHxDA が検出され、その濃度は雄では 923-1244 ng/mL、雌では 739-1040 ng/mL と直鎖 PFHxDA と同レベルであった。その他にも、直鎖型パーフルオロノナン酸 (PFNA、炭素数 9)、PFDeA (炭素数 10)、PFUnA (炭素数 11)、PFDoA (炭素数 12)、PFTrDA (炭素数 13)、PFTeDA (炭素数 14)、PFOcDA (炭素数 18)、分岐型 PFUnA、

PFDoA、PFTrDA、PFTeDA 及び PFOcDA が検出されたが、これらの PFCA 類の血清中濃度はいずれも 300 ng/mL 未満であった。

TS-PFOcDA を投与した雄雌ラットの血清中直鎖 PFOcDA 濃度は、40 mg/kg/day 投与群では 6-21 ng/mL 及び 21-49 ng/mL、200 mg/kg/day 投与群では 19-45 ng/mL 及び 48-68 ng/mL、1000 mg/kg/day 投与群では 25-71 ng/mL 及び 19-36 ng/mL であった。TS-PFOcDA を投与したラットの血清中からは直鎖 PFOcDA 以外の多くの PFCA 類が直鎖 PFOcA よりも高い濃度で検出された。検出された PFCA は、直鎖 PFNA (炭素数 9)、PFDeA (炭素数 10)、PFUnDA (炭素数 11)、PFDoA (炭素数 12)、PFTrDA (炭素数 13) 及び PFTeDA (炭素数 14)、分岐鎖 PFTeDA、PFHxDA (炭素数 16) 及び PFOcDA であり、最も濃度が高かったのは直鎖 PFDeA もしくは直鎖 PFNA であった。直鎖 PFOcDA の血清中濃度とそれ以外の PFCA 類の血清中濃度の差は投与量が多い程大きく、1000 mg/kg/day 投与群の雄の血清中直鎖 PFNA 濃度及び雌の血清中直鎖 PFDeA 濃度は、直鎖 PFOcDA 濃度のおよそ 40 倍高かった。

## D. 考察

### 1. 突発的水質事故時のあり方に関する研究

ヘキサメチレンテトラミン流下事故において、被害が拡大した原因は、影響を受けた用水供給事業者が利根川水系河川水だけに水源を依存しており代替がないこと、受水団体の給水量に占める水道用水受水の割合が高いことに加え、事故状況の急変と情報連絡の遅れが重なったためであると考えられた。また、当該水道事業者が取水及び送水停止に踏み切らざるを得なかったのは、原因物質や流出個所が判明しななかで、浄水のホルムアルデヒド濃度が上昇を続け、さらに河川水のホルムアルデヒド生成能が水道水質基準値を大幅に超えるなど、危機的

な状況に直面し、これ以上は水道水の安全性を担保できないと判断したからであった。事故対応を経験して聞かれた意見として、水質基準の遵守と給水義務の狭間で悩む水道事業者の姿が浮かび上がり、今後、社会活動の維持を見据えた摂取制限の考え方を導入する必要があると考えられた。

突発的水質事故時等の対応について、用水供給事業を中心として検討してもらった。検討の際に挙げた課題の例として、「シアン・重金属以外の物質に関しては受水団体と受水停止の協議となっているが、団体数が多く意思決定に時間がかかる」、「1事業者でも受水を希望すると送水を継続することになり、配水管が汚染してしまう」、「摂取制限した場合、摂取制限やその目安について利水者の理解を得るには何らかの法的根拠、衛生部局の協力（特に健康影響について）、十分な情報提供が必要である」、「小規模な水道では水質検査や浄水技術に行政や大規模事業者の支援が必要であり、摂取制限の開始・解除に行政の指示が必要と思われる」などがあった。

水質汚染事故に迅速かつ適切に対応するためには、(1)外部機関との通報連絡体制、(2)内部通報連絡体制、(3)事故対応体制の3つを確立する必要がある。この3つの体制が確立できて、初めて迅速かつ適切な事故対応が可能となる。それと同時に水質監視体制も重要な役割を果たしている。しかし、水道事業者では、24時間の常時、連続監視を目的にした、水源流域パトロール等の実施はほとんど不可能である。水源・原水に対する最前線の水質監視地点は取水施設であり、そこでの原水水質監視に頼らざるを得ない。多くの水道事業者では、取水口等に水質監視装置を設置して、水質汚染事故をできる限り早く発見するよう努めている。また、原水で魚類等を飼育して、不特定の原因による水質異常の早期発見に努めている。監視カメラに

よる視覚的な監視や浄水場内の巡視なども実施されている。定期的な水源水質調査の折も水質監視の機会といえるが、巡視や水質調査の折に油流出事故以外の水質汚染事故を発見することはかなり稀である。水質汚染事故情報のほとんどは、既存の河川及び環境行政部所が主体となる通報連絡体制から得ており、このネットワークに頼らざるを得ないのが実状である。

最近そして今後の突発水質汚染事故対応においては、汚染の発見が最も難しいと言っても過言ではない。急性毒性を示す化学物質による水源河川の汚染が少なくなっている現在、より高感度な理化学的及び生物学的な監視装置を開発し、水質汚染の早期発見を確実にすることも今後の大きな課題である。

## 2. 海外における水質異常時の対応と広報に関する調査研究

米国 EPA が発行している公衆通知ハンドブックには様々な規則違反や異常事態に関する公衆通知のテンプレートが掲載されており、また図4に示されるように必須の構成要素が具体的に示されている。このハンドブックは、詳細な対応と分かりやすい通知の作り方等を示しており、水道事業者等においても大変参考になると考えられる。今後、仮訳版を国立保健医療科学院生活環境研究部ホームページに掲載予定である。

2014年1月に米国で発生したMCHM河川流出事故後に行われたCASPER調査により、事故時に住民が実際にどのような対応を行ったのかということが明らかになった。今回のMCHM水質事故で得られた調査結果は、その他の水質事故対応に対しても示唆を与えるものである。例えば、情報源としてはテレビが最も多いという結果であった。情報の伝達速度については、事故当日か遅くとも翌日には大部分の世帯に伝わっていた。また、DNU発令中においても約37%の世帯で水道水を使用してい

た。特に、シャワー、水浴などの目的で使用されていたことから、指示の有効性については留意すべきであろう。また、調理や飲用にも使用されていたことは留意すべきである。指示の情報が十分に伝わったとしても、指示に従うかどうかは別の問題なのかもしれない。今後、もし摂取制限等の対応を取った場合に、万一飲用したとしても、短期間の摂取において感知できる健康影響が起きない程度の余裕を見ておくことは重要であろう。水質事故緊急対応期間のような比較的短期間の摂取に対する、健康影響に関する毒性情報が利用可能になることも望まれる。

米国の調査報告書では、結果を受けて以下の提案を行っている。

- ・災害中の公衆へのメッセージはテレビに焦点を当てること。同時に、他の複数のコミュニケーション方法を用いた補足も行うこと。
- ・将来の緊急事態に備えて、住民が3日間分の水を備蓄するように働きかけること。
- ・給水のために交通手段を使用しなくとも済むように、さらなる応急給水方法を検討すること。例えば、ボランティア組織に水を配達してもらうなど。
- ・影響を受けた住民が健康や精神衛生状態に関する必要なサービスが利用できるように、地域の行動保健センターなどの存在について広報すること。
- ・現在の水の安全性に関するコミュニティへの教育を増やして、利用者の不安をやわらげること。

英国を含む欧州各国においては、今回の調査により、水質基準超過による給水停止は基本的にはあり得ない選択肢であることが判明した。給水を停止しない理由は、停止により以下のような別の問題を生じうるため、とされている。

- ・給配水管内の圧力低下により管路内に汚染物質（下水、地下水等）が混入するリスク

- ・トイレ洗浄水が得られないことで衛生環境が悪化する健康リスク

- ・ボトル水や給水車により代替水を供給するためのロジスティック上の問題

水道管路内への下水混入に対する強い懸念は、漏水率が日本に比べて軒並み高いヨーロッパの特徴を反映したものと見えるが、他2点は日本にも該当する懸念と考えられる。

また、DWIの公式資料では、水質基準の上限値（upper limit）および公認超過（authorized departure）の概念が目を引く。Upper limitとは、化学物質の濃度のうち、水道水質基準は超過しているものの医学的見地からは短期的に飲用しても安全であると専門家委員会が認めた値である。一方、Authorized departureとは、基準値を超過しながらも給水を認められる濃度のことで、基準値超過への対応（処理強化、他系統浄水との混合など）を進めている期間中の給水を認める法的根拠（施行規則）となっている。

オーストラリアでは、各州において水道事業体の形態や規制の主体などは異なる。しかし、すべて、水安全計画と同様の水質管理をオーストラリア飲用水ガイドライン6による管理を基本とし、順守することを各州法等で義務付けている。また、ガイドライン値超過等水質異常対応に関しては、公衆衛生部局の関与が明示されており、飲用制限勧告を公布する権限を衛生部局の長に置いている州もあり、対応体制を予め定めている事業体もある。さらに具体的な対応については、オーストラリアの事業体と情報交換することによって、日本国内における基準超過時の対応の検討に資するものと考えられる。

### 3. 経口暴露換算の総潜在用量、割当率および間接飲水量の推定

TCEとPCEの中暴露群の水道水由来の吸入と経皮暴露は、2.9から8.3 Leq/dayの仮想的



な飲水すなわち間接飲水量に相当している。高暴露群では間接飲水量はさらに大きく、8.4 から 20.5 Leq/day であった。このように多い間接飲水量は水道水からの揮発経由の吸入暴露による。間接飲水量の内、経皮暴露の寄与は低かった。このような低い経皮暴露の寄与は、昨年度も報告したように、1) 既往の研究では潜在用量の総暴露量を算定し、本研究では有効用量基準で総暴露量を算定しているが、前者では経皮経由の暴露量を体内負荷に比して高めに算定すること、2) 既往の研究ではシャワー時の暴露のみを比較しているが、本研究では1日の生活における様々な暴露を仮定しており、暴露シナリオが異なることによると考えられた。

高暴露群と中暴露群の暴露量の違いは、飲水量の違いにも関係しているが、違いの多くは吸入暴露に関係している。昨年度の報告のとおり、高暴露群と中暴露群では暴露濃度が異なっているためであり、高暴露群では換気などが不十分なため室内空気の濃度が高いことが推論されている。特に TCE の間接飲水量が多くなる要因は、経口経路と同じ潜在用量でも吸入経路と経皮経路の方が対象臓器（胎盤）への到達量が多くなるためであった。この理由は吸入と経皮暴露ではファーストパス効果を経ずに胎盤へ移動するためである。PCE では、逆に同じ潜在用量でも吸入と経皮経路の方が対象臓器（肝臓）への到達量が小さくなった。

結果より、TCE については、現行の基準値では過半数以上の人々が TDI を超える暴露量となる可能性が示唆された。また、大多数の人の総暴露量を TDI 以下相当にするためには、現行の基準値(10 µg/L)の 1/3 程度である 3 µg/L が望ましいことが示唆された。アメリカやカナダの TCE の基準値は 10 µg/L より低い値の 5 µg/L であることから、今後の評価値の見直しのために、今回のシミュレーションに用いた仮定に関する精査など、さらなる詳細評価が必要

である。

一方、PCE については現行の基準値の遵守により想定しうる使用形態の範囲内であれば TDI 以下相当の総暴露量となり、現行基準値の妥当性が確認された。

#### 4. 日本人成人の潜在的な水道水摂取量(pTWI)の推定に関する研究

元々のアンケート調査では地域、性別、年齢区分の小区分ごとに約 50 のサンプルを収集した。各要素の人口分布より、1 サンプルあたりの人口の重みは最大 4.4 倍のずれがあった。そこで、人口区分にあわせて補正を行った。その結果、平均値や中央値に関しては、ほとんどの項目において 2%以内の誤差に収まっていた。これはサンプル数が冬、夏とも 1000 以上と多かったことが理由の一つと考えられた。なお、地域による摂水量の違いについては、調べた範囲では緯度による（温度差による）違いは見られなかった。

一方で、中央値から離れるに従って、特に 95%値や 99%値の方において影響が大きい傾向が見られた。しかしながら、その差は最大でも 10%未満であった。

補正後の pTWI とその構成要素に関する箱ひげ図（図 7）より、直接飲水量だけを見ると摂水量が 1L/day に満たない人が半分以上存在しているが、スープ類やご飯に含まれる水道水などの調理用水、および、ソフトドリンク類からの摂水量を考慮に加えることにより、摂水量が 1L/day に満たない人の割合が減少していることが見て取れる。このことから、直接飲水での摂水量が少ない人は間接的な飲水により水分を摂取していることが示された。

#### 5. 水道汚染物質の亜急性評価値に関する研究

日本の水質基準項目のうち、19 項目について参照値を算出することができた。小児を対象としたホウ素及びその化合物と硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素の参照値、さらに、成人を対象と

したトリクロロエチレンの参照値は、基準値と同じ値となった。これらの項目による水道水質汚染が生じた際には、飲料制限や給水停止等の早急な対応が必要と考えられる。ホウ素及びその化合物については、精巣毒性に関するデータが不十分であったため、今後、適切な試験の実施が望まれる。

その他の参照値は、基準値の2倍から163倍高い値となった。特に、四塩化炭素、シス/トランス-1,2-ジクロロエチレン、ジクロロメタン、クロロ酢酸、クロロホルム、ジブロモクロロメタン、ブロモジクロロメタン、ブロモホルム及びホルムアルデヒドの参照値は、小児及び成人を対象としたいずれの値も基準値の10倍以上高い値となった。これらの項目については、一時的に飲料水中濃度が基準値を超えた場合でも、本研究で提案する参照値を超えない濃度であれば、健康影響の懸念は低いと考えられるため、給水停止までの措置は必要ないとの判断ができるだろう。

水道水は、飲用、炊事、洗濯、風呂、水洗便所のみならず、空調用水、冷却水、消防用水等の都市活動や医療活動に使用されており、都市機能や公衆衛生の維持に不可欠なものである。従って、事故等で汚染物質濃度が基準値を超えた場合でも、その濃度や推測される暴露期間等を考慮して慎重に対応する必要がある。本研究では、このような一時的な水質汚染の際に参考すべき値として成人及び小児を対象とした参照値を設定した。事故時には、緊急の判断が必要となることから、本研究で設定した値は非常に有用と考えられる。本研究では、主に食品安全委員会の評価書の情報を基に安全性評価を行っており、評価書公表時以降の新しい情報の検索は行っていない。今後は、評価書公表時以降の新しい情報を入手した上で、値の適切性を再評価する必要がある。

## 6. 長鎖パーフルオロカルボン酸類の毒性発現の違いに関する研究

長鎖 PFCA の毒性強度の違いの要因を明らかにするために、TS-PFDoA、TS-PFTeDA、TS-PFHxDA 及び TS-PFOcDA を投与したラットの血清中 PFCA 濃度を測定した。その結果、投与した被験物質の炭素鎖が長ければ長い程、血中の標的 PFCA 濃度は低かった。しかし、同等の毒性影響が認められた投与群間 (0.5 mg/kg/day TS-PFDoA 投与群、10 mg/kg/day TS-PFTeDA 投与群、100 mg/kg/day TS-PFHxDA 投与群及び 200 mg/kg/day TS-PFOcDA 投与群) で比較したところ、標的 PFCA 濃度は大きく異なっていた。

長鎖 PFCA を投与したラットの血清中からは標的 PFCA 以外の多くの PFCA 類が検出された。炭素-フッ素結合は強固であり、PFCA 類のようにすべてがフッ素化された炭化水素は、高温下でも安定で、不燃性であり、強酸、アルカリ、酸化剤によっても容易に分解されないことが知られている。このことから、血清中から検出された標的 PFCA 以外の PFCA 類は投与した標的 PFCA 類の代謝によって生成されたものではないと考えられる。血清中からは、標的 PFCA 類のβ酸化によって生成される炭素数が偶数個の PFCA だけではなく、炭素数が奇数個の PFCA も検出されており、このことは標的 PFCA 類が代謝によってより炭素鎖数の短い PFCA に代謝された可能性を否定している。従って、血清中から検出された標的 PFCA 以外の PFCA 類は被験物質に含まれていた不純物に由来するものと考えられた。

比較のため、0.5 mg/kg/day TS-PFDoA 投与群、10 mg/kg/day TS-PFTeDA 投与群、100 mg/kg/day TS-PFHxDA 投与群及び 200 mg/kg/day TS-PFOcDA 投与群において検出されたすべての PFCA 濃度を nmol/mL として算出した。TS-PFDoA 及び TS-PFTeDA を投与し

たラットでは、標的 PFCA 以外の様々な PFCA 類が検出されたが、その濃度は標的 PFCA と比較すると著しく低かった。従って、TS-PFDoA 及び TS-PFTeDA を投与したラットで観察された毒性については、主として標的 PFCA によって引き起こされたものと考えられる。一方、TS-PFHxDA を投与したラットの血清中では、分岐鎖 PFHxDA を含む、標的 PFCA 以外の PFCA 類が、検出された PFCA 類の半分以上をしめていた。これらの標的 PFCA 以外の PFCA 類が TS-PFHxDA の毒性に大きく関与している可能性が考えられる。TS-PFOcDA を投与したラットでは、多くの PFCA 類が、標的 PFCA より高い濃度で検出された。検出された PFCA 類には、比較的低用量でも毒性影響を引き起こすことが知られている炭素数が 8 から 12 の PFCA も含まれていた。これらの PFCA 類の血清中濃度は用量依存的に増加したが、標的 PFCA の濃度は明確な用量依存性を示さなかった。TS-PFOcDA を投与したラットでは用量依存的な毒性影響が観察されていることから、TS-PFOcDA を投与したラットで観察された毒性影響は標的 PFCA 以外の PFCA 類が複合的に作用した結果と考えられる。

## E. 結論

突発的な水道原水水質事故発生時などの非常時に市民の安全と公衆衛生を確保するため、摂取制限による給水継続の対応を含めた水質異常時の対応のあり方に関する検討を行った。ホルムアルデヒド生成物質の事故では、断水の発生により用水供給事業の給水停止の影響が広範囲に及ぶことが示された。また、事故対応を経験した意見として、水質基準の遵守と給水義務の狭間で悩む水道事業体の姿が浮かび上がり、今後、社会活動の維持を見据えた摂取制限の考え方を導入する必要性が示唆された。

突発的水質事故事象に対するマニュアル類

の整備と複数マニュアルの関連性についての事例を示すことができた。

水質事故に対応するためには、水質監視体制も重要である。しかし、巡視や水質調査の折に油流出事故以外の水質汚染事故を発見することはかなり稀である。より高感度な理化学的及び生物学的な監視装置を開発し、水質汚染の早期発見を確実にすることも今後の大きな課題である。

海外における水質異常時の対応と広報に関する調査研究について、米国 EPA が作成した公衆通知ハンドブックの一部を翻訳し、水質異常発生時の公衆への周知方法について重要な点を整理することができた。

米国で発生した水道原水汚染事故後におこなわれた疫学調査結果を精査し、水質異常時に住民が実際にどのように情報を得て、どのような対応を行ったのかを明らかにした。情報源としてはテレビが最も多かった。また、水道水の Do Not Use 発令中においても約 37%の世帯で水道水を使用していた。今後、もし摂取制限等の対応を取った場合に、万一飲用したとしても、短期間の摂取において感知できる健康影響が起きない程度の余裕を考慮しておくこと、また比較的短期間の水摂取における健康影響に関する毒性情報が利用可能になることが望まれた。

米国と同様、英国を含む欧州各国、また、オーストラリアにおいても、本調査により、水質基準超過による給水停止は、短期間の水道水摂取による深刻な健康影響が懸念されない限り、基本的にはあり得ない選択肢であることが示された。水質基準を超過した水をいかに給水継続するか、その対応は、超過項目と超過の程度により異なる。

トリクロロエチレン (TCE) とテトラクロロエチレン (PCE) について、飲料水濃度をある値に仮定し、様々な暴露シナリオにおける経口、

吸入、経皮の潜在用量を経口暴露換算した総和値の分布を求めた。その結果、TCE については、現行の基準値では過半数以上の人が耐容一日摂取量を超える暴露量となる可能性が示唆された。これは吸入経路や経皮経路では経口経路と同じ量の潜在用量でも臓器への到達率が高くなることで間接飲水量が多くなるためと考えられた。また、大多数の人の総暴露量を耐容一日摂取量以下相当にするためには、現行の基準値(10 µg/L)の 1/3 程度である 3 µg/L が望ましいことが示唆された。アメリカやカナダの TCE の基準値は 10 µg/L より低い値の 5 µg/L であることから、今後の評価値の見直しのために、今回のシミュレーションに用いた仮定に関する精査など、さらなる詳細評価が必要である。一方、PCE については現行の基準値の遵守により想定しうる使用形態の範囲内であれば耐容一日摂取量以下相当の総暴露量となり、現行基準値の妥当性が確認された。

日本人成人の潜在的水道水摂水量(pTWI)推定を行った。摂水量アンケート調査結果について、平日と休日を考慮し、地域、性別、年齢区分に関する偏りについて補正を行った。その結果、補正後 pTWI (L/日) は以下の通りになった。冬：平均値 1.55 L, 中央値 1.45 L, 90%値 2.33 L, 95%値 2.64 L。夏：平均値 1.76 L, 中央値 1.64 L, 90%値 2.67 L, 95%値 3.12 L。これらの値は、今後、日本人成人摂水量としての基礎資料となることが期待される。

亜急性評価値に関する研究では、昨年度までに求めた水質基準項目に関する saRfD (mg/kg/day)を用いて、短期的な水道水質汚染が生じた際に参考とすべき参照値 (mg/L)の算出を試みた。その結果、19 項目について成人及び小児を対象とした参照値を提案することができた。

長鎖 PFCA 類の毒性強度の差の要因を明らかにするために、反復投与毒性・生殖発生毒

性併合試験において TS-PFDoA、TS-PFTeDA、TS-PFHxDA もしくは TS-PFOcDA を投与したラットの血清中の PFCA 類の濃度を測定した。その結果、長鎖 PFCA 類の炭素数依存的な毒性強度の差が標的 PFCA の血清中濃度の違いのみでは説明できないことが明らかになった。投与した被験物質に不純物として含まれていた、より炭素鎖の短い PFCA 類や分岐型異性体が長鎖 PFCA 類の毒性発現に大きく関与している可能性が考えられた。

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

Canipa, S., Cayley, A., Drewe, W.C., Williams, R.V., Hamada, S., Hirose, A., Honma, M., and Morita, T., Using in vitro structural alerts for chromosome damage to predict in vivo activity and direct future testing, *Mutagenesis*, 31, 17-25, 2016.

Hashiguchi, S., Yoshida, H., Akashi, T., Komemoto, K., Ueda, T., Ikarashi, Y., Miyauchi, A., Konno, K., Yamanaka, S., Hirose, A., Kurokawa, M., and Watanabe, W., Titanium dioxide nanoparticles exacerbate pneumonia in respiratory syncytial virus (RSV)-infected mice, *Environ Toxicol Pharmacol.*, 39, 879-86, 2015.

Hirata-Koizumi, M., Fujii, S., Hina, K., Matsumoto, M., Takahashi, M., Ono, A., and Hirose, A., Repeated dose and reproductive/developmental toxicity of long-chain perfluoroalkyl carboxylic acids in rats: perfluorohexadecanoic acid and perfluorotetradecanoic acid, *Fundam Toxicol Sci.*, 2(4), 177-190, 2015.

Igarashi, Y., Nakatsu, N., Yamashita, T., Ono, A., Ohno, Y., Urushidani, T., and Yamada, H., Open TG-GATES: a large-scale toxicogenomics database, *Nucleic Acids Res.*,