

については、使用状況調査、鉛濃度の調査を実施している事業者の割合は 57.4%、53.2%であり、高い割合ではない。また、鉛問題の広報をしている事業者の割合は 47.6%で、半数の事業者では行っていない状況である。

これら鉛問題解決のためのリスクコミュニケーションは如何にあるべきかについて検討した。

5. 食品中、血中鉛濃度の調査（文献調査）

国立医薬品食品衛生研究所食品部の報告書（2000年10月）である「日本におけるトータルダイエツト調査（食品汚染物の1日摂取量）」を基に、更に報告書以降のデータについて同研究所から提供を受けて、食品中の鉛濃度の変遷について調査した。

また、国内外の文献検索を行い、日本人の血中鉛濃度、諸外国における血中鉛濃度について調査した。

（倫理面への配慮）

人体試料を用いた実験や動物実験等、倫理上問題となるような実験や調査は行わない。

C. 研究結果

1. 鉛製給水管の内面被膜の調査

1) 被膜の表面について

被膜表面の外観は、6検体のそれぞれが全て異なっていた。（和歌山）、（横浜）、（東京 B）ではそれぞれ詳細は異なるが平滑で亀裂がある被膜が形成されていた。また（東京 A）は小穴のある海綿状の被膜が観察された。

粗い表面組成を示した（大阪）、（神戸）は、断面組成像から最外層（水との接触面）に黒く見える層（重い元素の密度の低い層）が存在していた。一方、比較的平滑な表面を持つ（和歌山）、（横浜）は、断面の組成像から、前述の黒く見える層は極薄い状態であった。

2) 被膜の断面について

被膜の断面構造は各検体でかなり異なっていた。（和歌山）、（大阪）、（神戸）は被膜が厚く、層の数が多かった。（横浜）、（東京 A）、（東京 B）は相対的に被膜が薄く、層の

数も少なかった。特に（東京 A）はその傾向が顕著であった。

被膜が最も厚い検体と薄い検体で、その厚さに数倍の差があった。また同一検体では、被膜の厚さについて、布設時の位置（天、地、横）による明確な差は認められなかった。

3) 被膜の亀裂と酸化の深度について

被膜の亀裂と、それにより深くまで進んだ酸化層が観察された。このことから被膜の存在が、鉛管の酸化を抑制していることが推定された。

4) 元素分析結果について

酸化被膜表面の元素分析結果は、6検体の主な原子数%の範囲が次のようであった。なお、検体表面が完全に平滑でないため、数値は目安である。

鉛：4.2～11.8%

炭素：21.8～40.0%

酸素：46.8～55.2%

アルミニウム：4.7～8.9%

珪素：3.4～6.0%

鉄：1.0～3.4%

（横浜）、（東京 A）、（東京 B）では、マッピング図から、3検体とも被膜内部に炭素の多い層が存在することがわかった。したがって（横浜）、（東京 A）、（東京 B）では、被膜内部に鉛の炭酸塩が存在するものと推定された。一方、（和歌山）、（大阪）、（神戸）では、マッピング図から、3検体とも被膜内部の炭素が母材部分よりも多いとは言えない。

5) 各検体の特徴について

各検体の特徴は次のとおりである。

（和歌山）：表面は平面的で、厚さは 60～70 μm、炭素の分布は表面である。

（大阪）：表面は粗く、厚さは 40 μm 前後、炭素の分布は表面である。

（神戸）：表面は粗く、厚さは 40 μm 前後、炭素の分布は表面である。

（横浜）：表面は平面的で、厚さは 20 μm 台、炭素の分布は表面及び内部、表面からバナニウムを検出した。

（東京 A）：表面は小孔が多数あり、厚さは 10 μm 台、炭素の分布は表面及び内部で

あった。

(東京 B) : 表面はやや粗く、厚さは 20 μ m 前後、炭素の分布は表面及び内部、表面からバナジウムを検出した。

バナジウムが(横浜)と(東京 B)の表面で検出されたが、この由来については不明である。

相対的に被膜の薄い(横浜)、(東京 A)、(東京 B)では被膜内部に鉛の炭酸塩が存在するものと推定された。

2. 室内空气中鉛量と暴露量評価に関する調査

調査を行った 13 軒の住居内のフローリング部分 1 m²における鉛量の最高値は、15.8 μ g/m²、最低値は 0.10 μ g/m²、平均値は 1.26 μ g/m²であった。1ヶ所を除いて、日間の変動は少ない傾向であった。このことから、地点によって値に差はあるものの、毎日ある一定量の塵がフローリング部に溜まることがみられた。

3. 鉛製給水管の使用状況アンケート調査

1) アンケート調査の内容

調査の設問項目は鉛管の使用の有無を、有りの場合には 4 つに区分した鉛管の使用のタイプ毎に使用戸数、延長、布設替の動機、使用管種、工法、費用負担区分、更新計画等について、また、鉛管の使用状況の把握実態及び鉛問題への対策等についてである。

2) 回答状況

調査対象は、平成 15 年 4 月末現在末端給水を行っている 1,866 団体であり、その 77.5%に当たる 1,447 団体から回答があった。

3) 鉛管使用の有無

回答のあった 1,447 団体中、鉛管使用有りの事業体は 643 団体 (44.4%) である。

鉛管無しの事業体 798 団体では、686 団体はもともと鉛管を使用していないとのことであり、112 団体は既に鉛管の布設替を完了しているためである。

鉛管使用の有無を給水人口別にみると、鉛管の使用有りの事業体の割合は、100 万人以上の事業体では 100%となっており、規模が小さくなるに従い低くなり、5 千人

未満の事業体では 5.9%となっている。小規模な事業体はもともと鉛管を使用していないところが多く、このことが鉛管使用有りの事業体の割合が低い要因となっている。

4) タイプ別の鉛管使用戸数及び延長

鉛管の使用状況を全体的にみると、事業体の合計では使用戸数が 6,292 千戸、鉛管の総延長が 16,677 km で 1 戸当たりの平均延長は約 2.8m となっている。

次に、鉛管の使用状況をタイプ別にみると、公道からメータまわりまで使用されているタイプが最も多く使用戸数 3,555 千戸 (56.5%) で、延長数は 12,294 km (73.7%) であり、多くの部分を占めている。メータまわりだけのタイプでは、使用戸数 1,926 千戸 (30.6%) で、延長数 2,206 km (13.2%) となっている。この 2 タイプで全体の 80%を越えている。

5) 布設替の動機・使用管種・工法・費用負担

布設替の動機等、下記の項目について複数回答有りでの結果である。

布設替動機では、最多回答は配水管、老朽管取替時で 473、次いで漏水修理時で 440 である。布設替管種では、ポリエチレン管が最多で 440、次いで耐衝撃性硬質塩ビ管で 281 である。工法では開削工法が 742 と大部分を占める。

費用負担については公道～メータ部まで及びメータまわりは事業体の負担、メータ以降は需要家の負担としている事業体が多いが、メータまわりに関しては需要家の負担としている事業体も少なくない。

6) 布設替完了予定年度

布設替完了予定年度については、平成 27 年度までに全体の 36.4%に当たる 234 団体が布設替を完了させる予定である。一方で布設替完了年度未定・計画中の事業体が 350 団体 (54.4%) となっている。

7) 鉛管の使用状況の把握及び鉛問題への対策について

鉛管使用状況の把握及び鉛問題への対応については、使用状況調査、鉛濃度の調査を実施している事業体はそれぞれ 5 割

を越えている。また鉛問題の広報も 47.6%の事業者が実施している。鉛濃度低減化対策、個人更新に対する融資等の実施率はそれぞれ 21.5%、3.0%と比較的低くなっている。

8) 1991 年度、1999 年度、及び今回 2003 年度調査の比較

(1) 鉛管総延長、鉛管使用世帯数、布設替等に関する比較

鉛管総延長、鉛管使用世帯数、布設替費用概算額は調査毎に減少している。また、布設替実施事業者割合も調査毎に伸びている。一方、1 世帯当り平均延長、布設替平均単価にはそれほど大きな動きはない。布設替した主な管種については 1991 年度調査から 1999 年度調査にかけて種類が増加した後は大きな動きはない。

取替計画期間については、布設替完了年度が未定か相当長期間を要するとしている事業者の割合は調査毎に減少している。

これらの比較から鉛管の布設替えが着実に進んでいることが伺えるが、なお相当の鉛管が残存していることも事実である。

(2) 給水管布設に関する回答状況の比較

調査結果を比較してみると、布設替の動機に関して、全ての調査で配水管・老朽管の取替工事時が最も多く、1999 年度及び 2003 年度の調査では漏水修理工事時や区画整理・道路・下水工事時、また給水工事時（建て替え等）も回答が多い。全体的に回答数が増加する傾向がみられ、事業者がより多くの機会をとらえて布設替を行うようになってきていることが伺える。

全ての調査でポリエチレン管と耐衝撃性硬質塩化ビニル管が多く、2003 年度調査では回答数の 71%を占めている。その他では、1991 年度調査に比べて 1999 年度、2003 年度調査では使用管種として他の管種の回答数も増えており、布設替の場所や状況に応じて様々な管種が使用されるようになってきていることが伺える。

布設替工法については、1999 年度及び 2003 年度とも開削工法が大多数である。

1999 年度及び 2003 年度の調査では、公道部及びメータまわりは水道事業者負担

が多く、メータ以降については需要家負担が多い。ただし、公道部及びメータまわりについても需要家負担、メータ以降でも水道事業者負担としている回答もある。全体的に水道事業者負担と回答する事業者が増加する傾向がみられ、費用を負担してでも布設替を進めていることが伺える。

4. 鉛問題解決のためのリスクコミュニケーション

鉛の水質基準値を評価する採水方法として、平成 15 年 10 月 10 日の厚生労働省健康局水道課長通知（健水発第 1010001 号）で次のように示された。

水質基準項目のうち「鉛及びその化合物」に係る検査に供する水の採取方法については、毎分約 5 リットルの流量で 5 分間流して捨て、その後 15 分間滞留させたのち、先と同じ流量（毎分約 5 リットル）で流しながら開栓直後から 5 リットルを採取し、均一に混合してから必要量の検査用試料を採水容器に分取する方法とすること。

現在、水道水の水質基準値を評価する採水方法としては、流水状態で試料水を採取して分析試料水としている。この試料水採取方法が今回通知された 15 分間滞留させた状態に來年度から変更されるが、この変更により給水栓における鉛の水質基準値超過が想定される。

これら鉛問題を解決するためには、鉛問題に関する情報について、国、地方公共団体、水道事業者、水道使用者等のすべての関係者が共有して、いかに意思疎通を図るべきかを考え、いわゆるリスクコミュニケーションを如何に行うかが必要である。

これらを進めるに当たって、水道事業者による積極的な広報と情報開示が、この問題解決には不可欠である。広報では、滞留水の飲用回避の呼びかけが特に重要である。また、個別対応を含めて、水質基準の強化、鉛汚染の原因、鉛管の残存状況等に関する情報開示が必要である。

5. 食品中、血中鉛濃度の調査（文献調査）

1) 食品中の鉛濃度

鉛の摂取量は 1993 年まで減少傾向を示したが、それ以降はほぼ一定の摂取量を保

っている。他の金属では特に目立つ変化はなくほぼ一定の摂取量を示している。

最近5年間の鉛の平均1日摂取量は34.7 μg である。これらの値は池辺らの大阪における陰膳試料のデータ44.6 μg に類似しており、FAO/WHOの暫定的週間耐容摂取量(PTWI)25 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重から算出した1日耐容摂取量の値179 μg より低く問題となる量ではない。

また最近10年間の鉛の平均1日摂取量は36.5 μg でそれ以前の10年間の平均1日摂取量57.2 μg の63.8%である。

鉛の食品群別摂取量の最近5年間平均では、米類由来が最も多く全体の35.5% (12.3 μg)、その他の雑穀・芋類13.3% (4.62 μg)、野菜・海藻類9.7% (3.38 μg)、嗜好品7.7% (2.65 μg) が主要由来食品群である。

2) 日本人の血中鉛濃度について

日本人の血中鉛濃度について、1980年と1990年で全国13地点の居住者の調査を行った。1990年の値は1980年の値に比べ有意に低い値を示した。また都市部における1990年の値は、農村地区に比べ高い値を示した。

血中鉛濃度を測定した一部の中から、陰膳方式による鉛摂取量を測定した。これより食物由来の鉛1日摂取量も、1990年は全ての調査地点で顕著な低下を示した。これは、1975年以降に有機鉛の自動車ガソリンへの添加が中止され、大気中鉛濃度が低下していることが大きな要因であると考えられる。

3) 諸外国における血中鉛濃度について

欧米人の血中鉛濃度に関する文献により、年齢別、人種・民族別、性別、家屋の築年数別、所得別、都市化別での血中鉛濃度を測定した。これより、幼児と高年齢層で血中鉛濃度が高いこと、女性よりも男性の平均濃度が高いこと、老朽家屋の方が血中鉛濃度が高いことが示された。老朽家屋に住む人の血中鉛濃度が高い理由としては、鉛含有の塗料を使用しており、その塗料による暴露により血中鉛濃度が高くなることが示された。

D. 考察

1. 鉛製給水管の内面被膜の調査

5 水道事業体から使用済み鉛製給水管 (ϕ 13mm、20mm の2種類) 6 検体間で、被膜の表面と断面の構造や厚さに大きな差が認められた。この差が生じた原因には水質や使用状況(流量、流速、使用期間)等が考えられる。この原因を明確にするには、より多くの検体を調査するとともに、水質や使用状況などに関する調査が必要と考えられる。

2. 室内空气中鉛量と暴露量評価に関する調査

室内空気からの鉛の存在量は極めて少ないことが諸外国の文献から報告されている。このことから、我が国における室内空气中での存在量も少なく、測定が困難であることが予想される。このため、暴露評価研究にはハウスダストから類推することが妥当であると考えられる。その際、ハウスダスト中の鉛量を評価する上で重要なことは、ハウスダスト試料の採取方法である。1990年に安藤が実施した室内塵埃の研究(未発表)では、掃除機によるゴミを採取しその中の鉛含量を測定する手法が採用されていた。一方、1987年に米国EPAが実施した報告では、室内塵埃を評価するに当たり、その試料採取方法としてバキュームポンプ、すなわち掃除機を利用した評価を行っている。このことから、米国における手法と我が国における手法は同様な方法であり、米国との差異を比較することが可能であり、かつ、長期における平均的な情報が得られやすい等の利点を有している。これに対して、今回は、長期間における存在量ではなく、日々における室内塵埃量を評価するには有効な評価が可能であること、吸入や経口暴露の対象から外れるゴミを除くことができることおよび調査のし易さなどを考慮して、集塵機等を使用した方法ではなく、乳幼児が床面を這い回って塵が体内に入ること想定してフローリング部の拭き取りによる方法によって、室内塵埃を評価することとした。

その結果、ブランク値が $0.09 \sim 0.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であったのに対して、最大値 $4.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($15.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、最小値 $0.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、平均 $1.02 \sim 1.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($15.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を含めた場合) であった。これらの値から室内空気中の存在量と暴露量を評価すると以下のようである。

平均 1 日塵埃量を $1.02 \sim 1.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ とした場合、

条件：換気率；1

室内高；2.3m

1 日の室内空気量； $1(\text{m}^3) \times 2.3(\text{m}) \times 24 = 55.2$

室内空気鉛濃度 $= 1.02 \sim 1.26 (\mu\text{g}) / 55.2(\text{m}^3) = 0.018 \sim 0.023 \mu\text{g}/\text{m}^3$

幼児の室内空気暴露量 $= 0.018 \sim 0.023 (\mu\text{g}/\text{m}^3) \times 10(\text{m}^3/\text{day}) = 0.18 \sim 0.23 \mu\text{g}/\text{day}$

幼児の 1 日の呼吸量を 10m^3 とした場合、その暴露量は $0.18 \sim 0.23 \mu\text{g}/\text{day}$ と算出された。ただし、周辺環境土壌のデータがないこと、床における同時に複数回の採取が実施していないため、床それ自体からの鉛か、塵埃由来かが不明であることなどの課題があったと考えられる。また、本研究での母集団は、13 試料のみであることから、我が国における室内空気から鉛の暴露を評価するには少なすぎることから大規模な調査が必要である。住居内の床面には、家庭で発生する塵のほか、外部から人間やペット類が持ち込む物質、周辺環境から入ってくる土壌等が想定されるが、今回の調査では塵の成分分析はできなかつた。発生源の特定を考えた場合、外部環境で住居内に侵入してくることが想定される物質で、特に周辺の土壌の分析が必要であると考えられる。

3. 鉛製給水管の使用状況アンケート調査

鉛の水質基準が $0.01\text{mg}/\text{L}$ とされたことを機に全国的にアンケートを行い、また、その結果を過去 2 回の調査と比較した。

過去 2 回の調査との比較により、鉛管の布設替が着実に進行していることが確認できるが、なお多くの鉛管が残存していることも確かである。布設替動機等の回答から水道事業体は多くの機会を捉えて布設

替を進めていることが伺えるが、布設替えにはなお多額の資金が必要であり、需要家との負担区分も各事業体様々である等、資金面だけをみても容易に解決できる問題ではなく、布設替の全体的な計画については計画中の団体も多くあるなど鉛管の完全な解消にはある程度の期間が必要と思われる。

鉛問題への対策として鉛濃度の調査、鉛濃度の低減化、広報等、様々な対策が実施されているが、これらは規模の大きな事業体ではある程度高い割合で実施されているのに対し、小規模な事業体ではこれらの対策を行えないところも多く見られる。

4. 鉛問題解決のためのリスクコミュニケーション

鉛問題を解決するためには、関係者でのリスクコミュニケーションが必要であり、これらを進めるに当たって、水道事業体による積極的な広報と情報開示が不可欠である。広報では、滞留水の飲用回避の呼びかけが特に重要である。また、個別対応を含めて、水質基準の強化、鉛汚染の原因、鉛管の残存状況等に関する情報開示が必要である。

5. 食品中、血中鉛濃度の調査（文献調査）

食品からの鉛の摂取量は 1993 年まで減少傾向を示したが、それ以降はほぼ一定の摂取量を保っている。他の金属では特に目立つ変化はなくほぼ一定の摂取量を示している。

また最近 10 年間の鉛の平均 1 日摂取量は $36.5 \mu\text{g}$ でそれ以前の 10 年間の平均 1 日摂取量 $57.2 \mu\text{g}$ の 63.8% である。

日本人の血中鉛濃度について、1980 年と 1990 年で全国 13 地点の居住者の調査を行った。1990 年の値は 1980 年の値に比べ有意に低い値を示した。また都市部における 1990 年の値は、農村地区に比べ高い値を示した。

血中鉛濃度を測定した一部の中から、陰膳方式による鉛摂取量を測定した。これより食物由来の鉛一日摂取量も、1990 年は全ての調査地点で顕著な低下を示した。

欧米人の血中鉛濃度に関する文献により、

年齢別、人種・民族別、性別、家屋の築年数別、所得別、都市化別での血中鉛濃度を測定した。これより、幼児と高齢層で血中鉛濃度が高いこと、女性よりも男性の平均濃度が高いこと、老朽家屋の方が血中鉛濃度が高いことが示された。

E. 結論

1. 鉛製給水管の内面被膜の調査

5 水道事業体から使用済み鉛製給水管 (ϕ 13mm、20mm の 2 種類) 6 検体間で、被膜の表面と断面の構造や厚さに大きな差が認められた。この差が生じた原因には水質や使用状況 (流量、流速、使用期間) 等が考えられる。この原因を明確にするには、より多くの検体を調査するとともに、水質や使用状況などに関する調査が必要と考えられる。

2. 室内空气中鉛量と暴露量評価に関する調査

今回は、長期間における存在量ではなく、日々における室内塵埃量を評価するには有効な評価が可能であること、吸入や経口暴露の対象から外れるゴミを除くことができることおよび調査のし易さなどを考慮して、集塵機等を使用した方法ではなく、乳幼児が床面を這い回って塵が体内に入ること想定してフローリング部の拭き取りによる方法によって、室内塵埃を評価することとした。

13 軒の住居内のフローリング部分 1 m^2 における鉛量の最高値は、 $15.8 \mu \text{ g} / \text{m}^2$ 、最低値は $0.10 \mu \text{ g} / \text{m}^2$ 、平均値は $1.26 \mu \text{ g} / \text{m}^2$ であった。1 ヶ所を除いて、日間の変動は少ない傾向であった。このことから、地点によって値に差はあるものの、毎日ある一定量の塵がフローリング部に溜まることがみられた。

平均 1 日塵埃量を $1.02 \sim 1.26 \mu \text{ g} / \text{m}^2$ とした場合、幼児の 1 日の呼吸量を 10 m^3 としたとき、その暴露量は $0.18 \sim 0.23 \mu \text{ g} / \text{day}$ と算出された。

3. 鉛製給水管の使用状況アンケート調査

現在ある鉛製給水管の実態や、今後の更新計画、その際の負担区分等について、平

成 15 年 4 月末現在末端給水を行っている 1,866 団体を対象にアンケート調査を実施するとともに、1991 年度及び 1999 年度に同様のアンケート調査との比較を行った。過去 2 回の調査との比較で、鉛管の布設替えが着実に進行していることが確認できるが、なお多くの鉛管が残存していることが伺えた。

4. 鉛問題解決のためのリスクコミュニケーション

鉛問題を解決するためには、鉛問題に関する情報について、国、地方公共団体、水道事業体、水道使用者等のすべての関係者が共有して、いかに意思疎通を図るべきかを考え、いわゆるリスクコミュニケーションを如何に行うかが必要である。

これらを進めるに当たって、水道事業体による積極的な広報と情報開示が、この問題解決には不可欠である。広報では、滞留水の飲用回避の呼びかけが特に重要である。また、個別対応を含めて、水質基準の強化、鉛汚染の原因、鉛管の残存状況等に関する情報開示が必要である。

5. 食品中、血中鉛濃度の調査 (文献調査)

食品中、血中鉛濃度について文献調査を行った。食品からの鉛摂取量は、1993 年まで減少傾向を示したが、それ以降はほぼ一定の摂取量を保っている。日本人の血中鉛濃度は、1990 年の値は 1980 年の値に比べ有意に低い値を示している。

F. 健康危惧情報

人体試料を用いた実験や動物実験等、倫理上問題となるような実験や調査は行わなかった。

G. 研究発表

特になし

平成 15 年度厚生労働科学研究 分担研究報告書

「WHO 飲料水水質ガイドライン改訂等に対応する水道における化学物質等に関する研究」 —毒性評価分科会—

分担研究者	江馬 眞	国立医薬品食品衛生研究所・総合評価研究室長
研究協力者	長谷川隆一	国立医薬品食品衛生研究所・医薬安全科学部長
研究協力者	広瀬明彦	国立医薬品食品衛生研究所・総合評価研究室 主任研究官
研究協力者	鎌田栄一	国立医薬品食品衛生研究所・総合評価研究室 主任研究官
研究協力者	高橋美加	国立医薬品食品衛生研究所・総合評価研究室 研究員

研究の要旨

昨年度、我が国の水道水質基準の全面的な見直し作業に伴い、化学物質の基準値を設定するための毒性情報収集・整理と健康影響評価値の算定を行った中で、要検討項目のうち、アクリル酸、酢酸ビニル、2,4-ジアミノトルエン、2,6-ジアミノトルエン、N,N-ジメチルアニリン、トリエチレンテトラミン、ヒドラジン、1,2-ブタジエン、1,3-ブタジエン、アセトアルデヒドの 10 物質については、水道水等の検出状況データ等は不足しているが、水道施設の技術的基準を定める省令の資機材等の基準として、溶出に関して基準が設定されている。そこで、15 年度は、この 10 物質について、毒性情報を収集し、整理すると共に健康影響評価値の設定が行えるかどうかについての検討をおこなった。その結果、アクリル酸および酢酸ビニルに関しては、限定的ながら現状の給水装置の構造及び材質の基準で安全性が担保されることができると考えられるが、その他の 8 物質については、情報が不足しているか、あるいはより詳細な今後の検討が必要であると考えられた。

A. 研究目的

水道法に基づく水質基準については、昭和 33 年に制定されて以来、昭和 35 年、同 41 年、同 53 年及び平成 4 年と、その時々科学的知見の集積に基づき、逐次改正が行われてきた。特に、平成 4 年の改正においては、基準項目をそれまでの 26 項目から 46 項目へと拡大するなど、全面的な見直しが行われ、水道水質管理の格段の充実・強化を図られた。

その後 10 年が経過した現在、水道水質の状況を見ると、トリハロメタンに代わり、臭素酸や

ハロゲン化酢酸など新たな消毒副生成物の問題が提起されていること、クリプトスポリジウムなど耐塩素性の微生物による感染症の問題が提起されていること、内分泌かく乱化学物質やダイオキシン類など新しい化学物質による問題が提起されていることなど、さらに水道水質管理の充実・強化が求められている状況にある。現在このような状況を踏まえ、厚生労働省では、平成 15 年に水道水質基準の全面的な見直しを行ったところである。本研究では、特にこの水道水質基準の見直しに際して、水道水中の化学

物質の基準値設定に不可欠な最新の毒性状況を収集すると共に、各化学物質の健康影響評価値を提案することを目的としている。

B. 研究方法

昨年度、我が国の水道水質基準の全面的な見直し作業に伴い、化学物質の基準値を設定するための毒性情報収集・整理と健康影響評価値の算定を行った中で、要検討項目のうち、アクリル酸、酢酸ビニル、2,4-ジアミノトルエン、2,6-ジアミノトルエン、N,N-ジメチルアニリン、トリエチレンテトラミン、ヒドラジン、1,2-ブタジエン、1,3-ブタジエン、アセトアルデヒドの10物質については、水道水等の検出状況データ等は不足しているが、水道施設の技術的基準を定める省令の資機材等の基準として、溶出に関して基準が設定されている。そこで、15年度は、この10物質について、MEDLINE等の文献情報や各種国際機関評価文書などから毒性情報を収集し、整理すると共に健康影響評価値の設定が行えるかどうかについての検討をおこなった。

C. 研究結果

アクリル酸、酢酸ビニル、2,4-ジアミノトルエン、2,6-ジアミノトルエン、N,N-ジメチルアニリン、トリエチレンテトラミン、ヒドラジン、1,2-ブタジエン、1,3-ブタジエン、アセトアルデヒドの10物質のうち、1,2-ブタジエン以外で、以下の文献から各種毒性情報を収集することができた。

Agency for Toxic Substances and Disease Registry

(ATSDR)

Hazardous Substances Databank (HSDB), a database of the National Library of Medicine's

TOXNET system (<http://toxnet.nlm.nih.gov>)

International Agency for Research on Cancer.

(IARC) Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. (Volume 1 to 82, and Supplement 7) IARC, Lyon

IUCLID CD-ROM – Year 2000 Edition. (2000) Joint Research Center, Institute for Health and Consumer Protection, European Chemical Bureau, EC. Ispra, Italy.

U.S.EPA Integrated Risk Information System (IRIS)

(<http://www.epa.gov/>

[iriswebp/iris/index.html](http://www.epa.gov/iriswebp/iris/index.html))

WHO-IPCS Environmental Health Criteria (EHC)

Monographs

(<http://www.inchem.org/pages/ehc.html>)

その他、68文献

D. 考察

アクリル酸では、長期経口投与により78 mg/kgまで、有害影響は認められず、生殖発生毒性により、NOAEL: 53 mg/kg/dayが求められている。IRISでは、これに不確実係数: 100を適用し、reference doseとして0.5 mg/kg/dayを求めている。試しに、これを基に水質の健康影響指針値を計算してみると、(寄与率: 10%、体重50kg、1日2Lの摂水量から) 1.25 mg/Lとなり、器材等の品質基準の0.002 mg/L以下は、十分安全性は担保されていると考えられる。

酢酸ビニルについては、吸入実験では発がん性が示されているものの、高用量の経口投与試験に不備が見られ、定量的な発がん性評価ができない。二世世代試験による1生涯飲水投与試験では、10 mg/kg/dayがNOAELと考えられる。In vivo系での遺伝子傷害性に関しては、はっきりしないが、NOAEL: 10 mg/kg/dayから吸入暴露による発がん性を考慮して、種差及び個人差に関する不確実係数と併せて、総合不確実係数: 1000を適用すると、TDIは10 µg/kg/dayと求めることができる。これを基に水質の健康影響指

針値を計算してみると、(寄与率：10%、体重50kg、1日2Lの摂水量から)0.025 mg/Lとなり、器材品質基準の0.01mg/L以下で安全性は担保されていると考えられる。しかし、遺伝子傷害性に関する知見が不十分であるので、この評価は限定的なものである。

2,4-ジアミノトルエンに関しては、ラットで発がん性がはっきり認められるものの、試験系や途中での死亡率が高いことから、定量的評価には用いられず、生殖毒性に関するNOAELも得られていない。これらのことから、評価値を算定するには、現状では情報が不足していると考えられる。一方、2,6-ジアミノトルエンに関しては、ラットマウス共に発がん性は認められず、2,4-ジアミノトルエンとの感受性の違いは、*in vivo*における、遺伝傷害性の違いに起因していると考えられる。発生毒性ではNOAEL：10 mg/kg/day が得られているが、2,6-ジアミノトルエンの長期毒性に関するNOAELは得られておらず、生殖毒性に関する情報もない。したがって、2,4および2,6-ジアミノトルエン共に、現状では限定的にも指針値の算定は困難であると考えられる。

N,N-ジメチルアニリンに関しては、ラットマウスへの長期投与試験で発がん性が示されている。主代謝物がアニリンであることもあり、メカニズムとしては遺伝子傷害性が疑われる。しかし、VSD等の定量評価に値する十分な腫瘍の発生率が得られておらず、指針値の算定は困難であると考えられる。

トリエチルテトラミンに関しては、高用量投与で銅欠乏と亜鉛濃度の増加により、発生異常が起きることが示されているが、定量評価できる反復投与試験情報が報告されていない。したがって、現状では指針値の算定はできない。

ヒドラジンに関しては、マウス、ラット、ハムスターで発がん性が認められており、遺伝子

傷害性も示唆されている。IRISではマウスの実験を基に、 10^5 リスクレベルに対する飲水量を0.1 μ g/Lと見積もっている。これに基づくと器材等の品質基準の0.005mg/L以下では、十分な安全性は確保できるとは言えないかもしれない。しかし、この基準は吸光法による検出限界であることや、IRISで用いたマウスの試験の動物数や投与期間は必ずしも十分でないと考えられ、現状の暴露状況の把握と共に測定法や評価法に関して今後の検討が必要であると考えられる。

1,2-ブタジエンについては、毒性情報が全くなく、1,3-ブタジエンについても、吸入暴露により発がん性が示されているものの、経口暴露による情報は報告されていない。したがって、現状で明確な指針値を算定することは困難であると考えられる。

アセトアルデヒドに関しても、吸入暴露により発がん性が示されているものの、経口暴露による情報は報告されていない。したがって、現状で明確な指針値を算定することは困難であると考えられる。

E. 結論

アクリル酸および酢酸ビニルに関しては、限定的ながら現状の給水装置の構造及び材質の基準で安全性が担保されると考えることができるが、その他の8物質については、情報が不足しているか、あるいはより詳細な今後の検討が必要であると考えられた。

F. 健康危惧情報

特になし

G. 研究発表

広瀬明彦、江馬 眞、鎌田栄一、小泉睦子、長谷川隆一 (2003) ビスフェノールAの内分泌かく乱作用のヒトへの健康影響評価。日本

食品化学学会誌 10: 1-12.

Koizumi,-M; Noda,-A; Ito,-Y; Furukawa,-M;

Fujii,-S; Kamata,-E; Ema,-M; Hasegawa,-R

(2003) Higher susceptibility of newborn than young rats to 3-methylphenol. *J. Toxicol. Sci.* 28: 59-70.

Ema,-M; Harazono,-A; Hirose,-A; Kamata,-E

(2003) Protective effects of progesterone on implantation failure induced by dibutyltin dichloride in rats. *Toxicol. Lett.* 143: 233-238.

Harazono, A. and Ema, M. (2003). Suppression of decidual cell response induced by dibutyltin in pseudopregnant rats as a cause of early embryonic loss. *Reprod. Toxicol.*, 17, 393-399.

Ema, M. and Miyawaki, E., Hirose, A., Kamata, E.

(2003). Decreased anogenital distance and increased incidence of undescended testes in fetuses of rats given monobutyl phthalate, a major metabolite of butyl benzyl phthalate. *Reprod. Toxicol.*, 17, 407-412 (2003).

平成 15 年度厚生労働科学研究費 分担研究報告書
WHO 飲料水水質ガイドライン改訂等に対応する水道における化学物質等に関する研究

－微生物分科会－

主任研究者 眞柄 泰基 (北海道大学 大学院)
分担研究者 遠藤 卓郎 (国立感染症研究所)

研究協力者

- ・ 片山浩之 (東京大学大学院)
- ・ 平田 強 (麻布大学)
- ・ 矢野一好 (東京都健康安全研究センター)
- ・ 黒木俊郎 (神奈川県衛生研究所)
- ・ 保坂三継 (東京都健康安全研究センター)
- ・ 押味明子 (東京都水道局)
- ・ 汐崎 淳 (阪神水道企業団)
- ・ 宮川徹也 (阪神水道企業団)
- ・ 八木田健司 (国立感染症研究所)
- ・ 福井 学 (東京都立大学大学院)
- ・ 大村達夫 (東北大学)
- ・ 土佐光司 (金沢工業大学)
- ・ 小泉 清 (横浜市水道局)
- ・ 高瀬和弥 (東京都水道局)
- ・ 猪又明子 (東京都水道局)
- ・ 後藤良教 (阪神水道企業団)
- ・ 泉山信司 (国立感染症研究所)

研究概要

水道水の基準はその遵守により高品質な水道水の供給もしくは、水道水を介した健康被害を回避するために設置されている。しかしながら、危害物質のすべてが基準項目になじむものではなく、長期曝露による健康被害をもたらす物質でその濃度の変動がないか、もしくは変化の時間軸の長い物質が対象となっている。一方、短期曝露により健康被害が発生するような危害物質や、濃度変動が大きいもしくは、変化の時間軸が短い物質による汚染に対しては連続監視により対応するのが原則となる。病原微生物は短期曝露により健康被害が生じること、一過性の汚染が問題となることなどといった特性から連続監視の対象である。

わが国における現行の水質基準では微生物に係る項目として大腸菌群および一般細菌の測定が規定されてきた。いずれもそれ自体が病原微生物ではなく、人や家畜類の糞便等から由来する病原微生物の代替指標あるいは、処理後の水道水中に存在する微生物の総量の代替指標(微生物類の除去効果の判定指標)と位置付けられている。水道水を介して伝播する恐れのある病原微生物はその大半がヒトや家畜の糞便に由来するものであることから、これまでは大腸菌群を指標として水道水に指標菌が検出されなければ「病原微生物の混入が無い/除去されている/消毒されている」ことが保証できる、とする考えに依拠してきた。現行の水質基準に定められた定期的な汚染監視には連続監視の機能はなく、いわば最終産物である水道水の品質保証としての意味合いを強く持つもので、指標性の高さが求められる。また、一般細菌は水道の歴史の中で重要な役を果たしつつも、今日においては代替指標としての解釈/評価に関して議論のあるところとなっている。

この間に水道水における病原微生物汚染の関心はコレラや赤痢といった従来型の水系汚染からクリプトスポリジウム等の耐塩索性病原微生物ならびに、レジオネラ等の配水系で増殖する病原体(再増殖細菌類)に移行している。耐塩索性病原微生物問題はこれまでの対策を根底から脅かすもので、まして大腸菌や一般細菌の定期的な測定をもって保証できるものとは考えられない。一方、処理後の水で繁殖するレジオネラ等の病原体に関しては配水管を含めた微生物監視の重要性が増している。

基準項目の導入からほぼ一世紀が過ぎ水道を取り巻く環境、検出技術は大きく変容を遂げている。この間に検査方法の見直しや指標の意味付けなどについても繰り返し検討されてきた。今般の水質基準改訂では現行の基準項目が持つ指標性の再評価を行い、わが国の水道水質として保証すべき微生物学的な品質についての整理が必要となった。したがって、当該研究事業としては指標細菌類の再評価に向けた資料の提供と、新たな脅威となっているクリプトスポリジウムやレジオネラなどの汚染防止対策の強化に向けた検討を行った。

A. 研究目的

微生物分科会では水道水の汚染原因となる病原微生物に係る情報を整理・提供し、わが国の水道水水質基準改訂の資料とすることを目的としている。あわせて、国外および国際機関が発信する関連情報の収集・整理を行う。

病原微生物に特有の問題としていくつかの点が指摘される。例えば、感染あるいは発症という現象に関していわゆる one hit theory (1個の病原体の侵入により感染が成立するという理論)と一定量の病原体の侵入が感染に必要であるという閾値の考え方があり、必ずしも結論が得られていない。閾値が存在するか否かによって対策は大きく異なる場所であるが、病原体の種類や宿主との関係において状況を異にするものと考えられる。現象論的に「感染」と「発症」とは区別される。「不顕性感染」は外観的に健常(正常)と見なされるからである。ところが、疫学的な視点からすれば不顕性感染こそが病原体の排出に大きく寄与しており、汚染の拡散/拡大(社会への影響度)という面でははるかに重要と判断される。微生物対策においてはこの差異を補完する具体策が求められる。微生物による汚染形態は恒常的な汚染と、突発的な汚染とに分けて考える必要がある。言うまでもなく、恒常的汚染では浄水処理をかいくぐって漏出した微生物によるもので、少量で継続的な汚染が想定される。一方、クリプトスポリジウム集団感染を典型例とするように、微生物汚染においては一過性で不均一な汚染(突発的汚染)が問題で、これを反映させるための監視体制の確立が最重要課題の1つである。

B. 研究方法

本研究事業の期間を通して下記の緒項目について情報の収集、整理を行った。あわせて、水質基準改訂に資すべき基礎資料の整備を行った。

1. WHO による水系感染の危惧される病原微生物の概説
2. 指標生物の設定に係る意義とその種類についての検討
3. 微生物学的見地からの安全対策のあり方(Water Safety Plans)
4. 水質基準としての大腸菌郡と一般細菌の意義の検証
5. 耐塩素性病原微生物対策

6. その他(ウイルスおよび不快生物)
7. (参考資料)原虫類に対する紫外線消毒の効果

C. 研究結果ならびに考察

1. 水系汚染に係る病原微生物

当該研究事業においては、WHO の掲げる水系感染が危惧される細菌(15種)、ウイルス(7種)ならびに、原虫・寄生虫類(11種)等の病原微生物について、その概要、健康影響、環境中での挙動、感染経路、飲料水との関連性ならびに、参考文献を整理して紹介した。

水系を介した細菌感染は主に腸管系病原細菌で、糞便中に病原体が排出される。これに加え、*Legionella* や *Pseudomonas* など一部の病原細菌は従属栄養細菌を構成する細菌類の場合もある。また、*Staphylococcus aureus* などある種の細菌は皮膚表面の常在菌として知られている。水系感染に関与するウイルスも腸管系ウイルスが主で、糞便中に排出される。腸管系ウイルスは理論的には水を介して伝播し、急性疾患を引き起こす。これ以外のウイルスの伝播にも水の関与が示唆されている。それらのうちには呼吸器系ウイルスも含まれ、汚染されたエアロゾルの吸引により伝播する。また、ポリオーマウイルスのように尿中に排出されるウイルスもある。その一方で、疫学的には水系感染の証拠は得られていない。原虫類及び寄生虫類は動物や人の感染症として最も普遍的なものである。ここでも伝播に果たす水の役割は大きい。話題となっているクリプトスポリジウム等のオーシストは水道水に施されている消毒にはきわめて強い抵抗性を示し、通常の浄水処理では完全な除去も期待できない。これらの病原体の水系感染に関する証拠は近年になって集まりつつあるが、未だに疫学や水処理工程あるいは消毒における挙動など不明な点が少なくない。水系感染問題は人口や動物の増加や飲料水需給が増すにつれて、その重要性和多様性が増している。

2. 指標生物

ガイドライン改定に先立って、WHO ではこれまでに用いられてきた細菌類やファージ等の指標生物について再評価を行っている。指標生物に求められる特性は、病原微生物が存在する検体中には必ず存在すること、病原微生物と比較して、常に数が多いこと、環境抵抗性が

高いこと、検出が簡便であること、安価であること、特殊な検査室を必要としないこと、あるいは特殊技能者を必要としないことなどである。また、指標生物そのものに病原性があってはならないこと、水質検査においては複雑で高価な検査を少数回行うよりも簡単で安価な検査を繰り返し行うことが望ましいことなどが指摘される。

3. 微生物学的見地からの安全対策のあり方 (Water Safety Plans)

かつて水道水を介する主要な感染症はコレラや赤痢に代表される腸管系細菌に由来するものであった。今日においても基本的にこの構図に変わりはないが、これらに加えてクリプトスポリジウム等の耐塩素性病原微生物による汚染、あるいは上述したような(配管)系内で増殖するレジオネラなどの病原微生物といった問題が浮上している。

今般の WHO 水道水水質ガイドラインならびに、わが国の水質基準の改定にあたってのキーワードは、《Water Safety Plans、WSPs、水安全計画》である。この概念の導入を必要とした理由はいうまでもなくクリプトスポリジウム等の耐塩素性病原微生物の混入と配管系内での細菌類の再増殖問題である。そのみならず、目下の中心課題であるこれらの病原体とは別に今後とも新たな病原体の出現が考えられるが、その都度監視項目を増やして行くのは望ましい対応方法ではない。一連の浄水処理を掻い潜って漏出するであろう病原微生物をリアルタイムに計量することは困難である。WHO はこの問題を解決する手段として Water Safety Plans (WSPs) という概念の導入を提起した。WSPs はいわば食品製造の現場で構築された Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) の水道版というべきもので、浄水に係る全行程において危害に結びつく可能性を洗い出し、それらを系統的に制御しようとするものである。今後の工程管理には水源の水質把握、処理工程さらに配水設備や受水装置の保全までが含まれる。指標としては個々の作業工程で管理すべき物理化学的なパラメータが選択される。

現行の浄水システムでも一連の処理工程に複数のバリアーを設け、混入の防止、除去、殺菌が措置されている。具体的には、取水制限、凝集、沈殿、ろ過、塩素消毒、残塩管理、給水停止等々が全てバリアーにあたる。また、pH、

濁度(粒子数)、凝集剤添量、水温、塩素注入量、残留塩素濃度、その他物理・化学的パラメータを適宜定め、その連続監視を通して運転状況を把握・管理する。WSPs という管理手法のキーポイントは汚染物質の種類、汚染実態、混入個所、通常および最大汚染負荷量等々の把握を必須条件としていることで、その汚染に対応できる処理施設の設置と適正運転により事故の回避が実現するとすること、情報の開示である。

一般に、リスク管理においては許容患者発生率という概念が適用される。社会(利用者)が水道水を介した患者発生を何処まで許容できるかということで、この値を基準として一連の浄水処理工程が選択され、運行管理が敷かれることになる。しかしながら、容認し得る患者発生率は我々経済活動が制約条項となっている。この値は健常者において許容できる十分に小さな値であるが、免疫不全者などのリスクグループにとってはしばしば許容し難い値である。例えば、クリプトスポリジウム症はリスクグループにとって致命的ともなる。その回避策としては情報開示をもって充てざるを得ない。

現在、原虫類汚染問題では未だに多くの問題を抱えており、真のリスク評価ができる現状にはないが、現実社会での事故の回避は必須である。不完全ながら WSPs に基づく管理を実施し、得られた知見を速やかに feedback させ、本管理体制の成熟を図って行かなければならない。

4. わが国における病原微生物に関する水質項目

大腸菌： 水系感染の主な原因菌が人を含む温血動物の糞便に由来することから、水道水の品質保証という観点から糞便汚染の検知には高い精度が求められる。今日まで、わが国では大腸菌群を代替指標として用いてきたが、大腸菌群には *Escherichia* 属、*Citrobacter* 属、*Enterobacter* 属、および *Klebsiella* 属など広範な細菌類が含まれる。これらの中には外界で増殖できる細菌が含まれること、群を構成する細菌類の比率は変動し、さらに地域により異なる。そのため、大腸菌群では糞便汚染の指標性が低いという認識が今日の国際的な理解である。大腸菌群が基準項目に設定されるにいたった歴史的背景をみても明らかのように、当初より温血動物の腸管内に常在する細菌のな

かで $10^8 \sim 10^9$ 個/g と最も数の多い大腸菌 (*Escherichia coli*) が候補とされていた。しかしながら、当時の培養技術では大腸菌を直接的に検出できず、菌の同定には高度な細菌学的知識と複雑な培養技術が要求された。そこで、大腸菌が有する様々な生化学性状のうちの 5 項目に着目し、その性状をすべて備える一群の細菌類を大腸菌群とし、大腸菌を代替させたことによる。

今日では、迅速・簡便な大腸菌の培養技術が確立されており、技術的問題は解決されている。従って、本来の考えである大腸菌を糞便汚染の指標に充てることが妥当と判断される。

ちなみに、一部で「大腸菌群は糞便汚染の過大評価につながるものの、より安全性の保証につながることから許容される」という意見があるが、不要な過大評価は飲料水の安全性を確保する方向には作用しないことは自明である。

一般細菌： 水道分野における微生物汚染対応は Robert Koch の業績に始まるとされる。緩速砂ろ過により細菌聚落数が 100 個/ml 以下に制御(ろ過除去)された水道水を介してコレラやチフスが発生していないことを根拠として、細菌数の測定をろ過工程評価に採用したことに由来している。上水試験方法(日本水道協会)等によれば、一般細菌の指標性に関して幾つかの異なった機能が解説されている。一義的には細菌の現存量指標とされているが、塩素消毒の有効性の判定や、場合によっては処理工程における水質改善の効果判定に有効であるとの説明もある。糞便由来の従属栄養細菌は一般細菌用に用いられる標準寒天培地に成育し、 36°C 付近で速やかに生育する。したがって、糞便等の混入がある場所では一般細菌数の増加が認められるとし、糞便汚染の指標にもなり得ると説明されている。これに対して、多くの環境由来の従属栄養細菌(栄養源を体外から取り入れた有機物に依存する細菌)は高濃度の培地に成育し難く、増殖速度が遅いとされている。

糞便汚染の指標としては大腸菌が採用されており、一般細菌にあらためて糞便汚染の指標性を意味付ける必要性はない。また、微生物の現存量把握にはより広範な微生物を対象とする従属栄養細菌数測定(Heterotrophic Plate Counts: HPC)等を用いる方が適当ではないかと推測される。HPC は混入細菌に加え、配水

系等での生物膜やスライムの形成など水道施設の微生物学的劣化を端的に表現する指標としても期待される。たとえば、レジオネラ属菌 (*Legionella spp.*、肺炎の起因菌)は $20 \sim 45^\circ\text{C}$ 付近を好適な生息温度とする寄生性の細菌で、環境中にあつては原生動物(アメーバ類)に寄生して増殖する。特に滞留水や水温の上昇が見込まれる構造を有する部分ではレジオネラ等の定着・増殖が憂慮される。今日まで、レジオネラの挙動と相関性を有する指標生物は知られていないが、水道水系にあつては従属栄養細菌等の増殖が宿主アメーバ類の繁殖につながり、やがてレジオネラ汚染へと発展する構図は明らかである。その他にも水系内で増殖する病原微生物が知られており、WHO 飲料水水質ガイドラインでは、アエロモナス、バチルス、シュードモナス、マイコバクテリア等々の細菌類及びアカンソアメーバ、ネグレリア等のアメーバ類が列挙されている。従って、混入細菌に加え、配水系等での生物膜やスライムの形成などいわば水道施設の微生物学的劣化を端的に表現する指標が必要と判断される。

我が国では HPC は限られた水道施設において試験的に測定されているに過ぎず、十分な基礎データの蓄積がない。一般細菌は従属栄養細菌の一部の細菌を検知するに留まり感度が劣るものの、水道施設の微生物学的劣化の指標として再評価され、当面は水質基準項目として据え置くことに利があるものと判断される。

今後は HPC を含め、広範な微生物相の検出能力を有する検査方法の比較から現存量指標としての有効な方法の検索が望まれるところである。近年、これら問題の解決方法として遺伝子情報を基にした解析法が脚光を浴びている。例えば FISH 法、メンブレンハイブリダイゼーション法、DNA チップ法、PCR (Polymerase Chain Reaction)を用いた方法がそれにあたる。その中で、PCR-DGGE (PCR Denaturing Gradient Gel-Electrophoresis) 法は微生物群集のモニタリング方法の一つとして注目される。本方法は電気泳動の支持体であるポリアクリルアミドゲルに DNA 変性剤(尿素とホルムアミド)の濃度勾配を作成し、混在する微生物由来の複数の塩基配列を効率よく分離する方法である。PCR 増幅に際し、一方のプライマーの 5'末端に GC に富む塩基配列(GC クランプ)を付加しておき、増幅産物の片側に

GC に富む2本鎖 DNA フラグメントを付加する。この2本鎖 DNA を電気泳動すると、変性剤の濃度勾配により塩基対の水素結合が解離して DNA フラグメントは3次元的な構造変化を来す。塩基配列の異なる DNA は、A、T、G、C の含有率が異なる、そのため、それぞれが異なる変性剤の濃度で解離する。構造変化が起きた時点で DNA フラグメントは支持体の網目構造に捕捉されて移動を停止する。さらに、PCR 産物の塩基配列を決定することにより、類学的なデータベースの構築あるいは、配水系等での細菌群集の消長を追跡することが出来る。これにより原水から蛇口水に至る水道システム全体での微生物相の量的・質的变化、換言すれば浄水システムの健康度をモニターすることが可能となるものと期待される。

5. クリプトスポリジウム等の耐塩素製病原微生物対策

1994年以降わが国でも顕在化したクリプトスポリジウム等の耐塩素性病原微生物による汚染は水道水の安全を確保する上で重要課題である。このため、厚生労働省においては、平成8年10月、「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」(以下「対策指針」)を策定し、クリプトスポリジウム等による汚染のおそれの検討及び汚染のおそれがある場合における適切なる過処理を指導してきた。また、平成12年4月に施行された「水道施設の技術的基準を定める省令」では、原水に耐塩素性病原微生物が混入するおそれがある場合にはろ過等を設備すべき旨規定されている。この結果、我が国では原水中におけるクリプトスポリジウムなどの検出事例や浄水中での検出による給水停止事例は報告されているものの、埼玉県越生町の集団感染(平成8年6月)以降に水道を介した大規模な感染事故の発生はない。

感染症法施行(1999年4月1日)後にクリプトスポリジウム症として届出された患者数は同年度(4-12月)で7名、2000年度に3名、2001年度は9名に過ぎず、これらが限られた医療機関からの報告となっている。2002年に2月から4月に掛けて北海道のある地域への旅行者を中心にクリプトスポリジウム集団感染事例が2件発生し、年間の届け出患者数は108名にのぼった。この一連の集団感染事例を除いた患者数は相変わらず7名程度と例年と同様極めて少数の報告に留まっている。医療現場での

検査体制や届け出状況から、ここ数年の数値をどのように解釈すべきかについてその判断は必ずしも容易でない。すなわち、わが国のクリプトスポリジウム症は当該の統計に表れる程度に少ないものなのか、あるいは何らかの理由で検出に至らないものなのか判定に苦慮するところである。いずれにせよ、公衆衛生上の監視システムに依存して水道の予防策を講じるのは当面のところ妥当な選択とはいえない。

リスクの試算： クリプトスポリジウムの暫定対策指針においては、検査の実行性の観点から、通常、試料水10Lを用いてクリプトスポリジウムの存在の有無を検査することとしている。仮に、原水中に1個/10Lのオーシストが検出された場合におけるリスクをWHOが提唱する参考許容値(Reference Level of Acceptable Risk、単位はDALYs)の考え方を用いて試算すると、ろ過等の措置を行わない場合には、WHOの参考許容値(1.4×10^{-6} DALYs)を大幅に上回る。(一方、浄水操作により2log除去(99%除去)が保証される場合には、リスクは概ねWHOの参考許容値と同程度の水準になる。換言すれば、原水中に1個/10L程度の汚染であってもオーシストが検出された場合には適切な浄水操作が必要であることを示すものである。また、通常は一日当たりの感染リスクが十分に低いことが想定されるが、そのような条件では年間感染リスクは日感染リスクの和に近似する。したがって、年間感染リスクは特異的に高い値を示す日感染リスク値に強く影響される。換言すれば、その特異的に高い値を発生させない措置を講じることができれば年間感染リスクは低く抑えられることになる。先に述べたように、平成12年4月に施行された「水道施設の技術的基準を定める省令」では、「特異日を発生させない」措置の一環として「ろ過施設の整備と浄水工程の管理強化」が謳われている。

クリプトスポリジウム等による汚染のおそれの判断： クリプトスポリジウム等による汚染のおそれについては、暫定対策指針において、「水道の原水から大腸菌群が検出されたことがある場合」又は「水道の水源となる表流水、伏流水若しくは湧水の取水施設の上流域又は浅井戸の周辺に、人間又は哺乳動物の糞便を処理する施設等の排出源がある場合」に、指標菌(大腸菌及び嫌気性芽胞菌)の検査を行い、これが検

出された場合に「汚染のおそれ」があると判断することとされている。しかしながら、排水処理として塩素消毒がなされている場合があることを想定すれば、大腸菌を指標とすることに蓋然性を欠く事態も生じ得る。クリプトスポリジウム等による汚染は、水源域における人間又は哺乳動物の糞便処理施設などの汚染源、降雨や融雪などに伴った農業用地からの流入汚染、野生動物の活動などを主たる原因とし、また、レクリエーション等のための水源への人の出入りや地層の亀裂など地質学的な特性も汚染につながる要素となる。

浄水処理による微生物の除去／不活化：

浄水処理による微生物リスクの軽減は沈澱・ろ過と、消毒による不活化に依存している。しかし、浄水処理が施され、残留塩素も確保されていた水道水を原因としたクリプトスポリジウム症の集団発生を契機として、塩素消毒に依存した微生物制御の手法の限界が示された。また、このことは浄水処理の基本である固液分離、すなわち沈澱・ろ過による除去の重要性を再認識させるものでもあった。今回の WHO ガイドラインの改定に際してはクリプトスポリジウムのみならず微生物対策全般に焦点が当てられ、各国での微生物対策に弾みがついたといえる。そんな中、米国はいわばクリプトスポリジウム汚染先進国であるが、この間における同国の規則等の変遷ぶりを通してその積極的な姿勢がうかがえる。また、提案中の第二期長期表流水浄水処理強化規則 (Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule) においても、クリプトスポリジウム対策を一段と強化している。その際、汚染防止に向けた処理方法を列挙し、その効果を除去率として評価するという興味ある試みがなされている。参照に値するものと考えている(表1)。

このような背景の下で、本研究事業においては原虫類等の微生物除去に焦点を当てて既存の文献情報の取りまとめ作業を行った。

異常事態への対応： これまでのクリプトスポリジウムの集団感染事例から学ぶところは、高濃度汚染が一過性、あるいは間欠的に発生する点である。このような異常事態への対処方法は事前と事後に分けられる。望むべくは、事前に汚染を察知して事故を未然に防ぐことであ

る。しかしながら、原虫そのものを対象として常時連続監視することは非現実的で、取水地点における原水濁度の急激な変化(上昇)などの意味付けを適正に行い、浄水管理に反映させることが望まれる。

一方、異常事態が発生した場合には、当該事態への速やかな対応が求められる。その際、集団感染の汚染源の特定は被害を最小限にとどめるために、事後の措置として採るべき最重要課題の一つである。そのため、各浄水場においては配水の一部あるいはその沈渣を一定期間保存するシステムの導入を積極的に検討すべきものと考ええる。

原水の保全対策： クリプトスポリジウムやジアルジアは、ヒトや家畜などの哺乳類から排泄され、それによって汚染された飲食物や飲料水を經由して人間が摂取することで感染するものである。従って、水道における感染防止対策の基本は原水の保全であり、その対策が推進されるべきである。

6. その他 (ウイルス及び不快生物等)

現行の水質基準ではウイルス汚染への対応に重きが置かれていない点が指摘された。また、不快生物対策も消費者の要求するところであろう。腸管系ウイルスの水系伝播は十分予想されるところであるが、その多くは貝類等の食品を媒介した感染症(食中毒)として報告されている。実際的には分離・培養法が確立しているウイルスは極めて限られており、飲料水を介しての感染の有無についてその実態は不明な点が多い。現行の塩素消毒を含む一連の浄水処理はウイルスの水系伝播阻止にも効果を上げているものと推測されるが、水道水の安全確保に万全を期するためにもウイルス対策、特に検出方法等に関する研究を進めていくことが必要である。

水道水系にはいわゆる病原体とは異なり直接的に健康被害につながらないものの、消費者に不快感を与えたり、水道の障害の原因となったりする微生物が知られている。たとえば、線虫類のように活発な運動性を有する微小動物は一連の浄水処理工程で捕捉されにくいことが知られている。このような生物あるいはそこから由来する物質の混入は飲料水としての品質を著しく低下させる。これらの混入や繁殖の防

止対策、漏出が認められた場合の原因究明、汚染場所、病原性の有無等に関する解析・検討体制等々の整備が必要である。

D. 《参考資料》 原虫類に対する紫外線消毒の効果

初期の研究では、原虫類に対する紫外線の効果は低く、クリプトスポリジウムおよびジアルジアに対する不活化には実用的ではないと考えられていた。当時、消毒効果を評価する方法として脱嚢あるいは色素排除試験が用いられており、脱嚢活性阻害あるいは細胞膜等への損傷に必要な線量は増殖阻害に要する量とは比べらぬものにならず、結果的にこのような評価が下されるところとなっていた。紫外線の不活化効果は核酸の障害により細胞の増殖が抑えられるものであり、脱嚢あるいは細胞膜の障害とは異なるものである。近年の研究では不活化効果を評価する方法としてマウスや細胞への感染が用いられる様になり、紫外線の不活化効果が再評価された。

USEPA では紫外線消毒に必要な線量を求めるにあたって出版物、研究報告、学会発表から、50年以上さかのぼってクリプトスポリジウム、ジアルジア、およびウイルスの用量反応に関する結果を取りまとめている。興味あることに、これまでの観察ではクリプトスポリジウムおよびジアルジアにおいては光回復ならびに暗回復は見られないか、あるいはあるものの極わずかなため増殖活性を回復するまでには至らないと考えられている。

紫外線消毒の利点は以下の通りである。まず、化学的消毒とは異なり、製品である水へいかなる物質も添加する必要が無い。紫外線消毒に要する時間は極めて短く、in-line 方式で照射が可能である。従って大容量の反応槽を設置する必要が無い。消毒効果が温度や pH に影響されない。消毒の原理が明らかとなっている。クリプトスポリジウム等、特定の原虫類に対する効果が高いことが示されている。

一般に、紫外線照射においては副生成物の発生はないものと考えられているが、中圧水銀ランプ(240nm よりも短い波長の紫外線が放射)を使用した場合、水中に硝酸イオン(NO_3^-)が含まれていれば亜硝酸イオン(NO_2^-)が生じる。その他の副生成物、特に遺伝毒性物質の生成に関するデータはまだ十分とは言えず、今後の

研究にゆだねるところとなっている。一方、紫外線による消毒効果は照射時に限定され、塩素消毒等に見られる残留効果は全く無い。消毒効果に影響する因子は線量、水の流速、処理水の紫外線透過率、あるいは照射装置内での流体力学的な特性であるが、これらの因子は必ずしも一定せず、そのため常に一定した消毒効果が得られるとは限らない。換言すれば、装置内の照射が均一ではなく、流れが一定しないことが、実際の消毒効果の予測を困難にしている。

そのほかにも注意すべき点がいくつか指摘されている。中でも、放射線と異なり浸透性がないことから紫外線の効果は遮蔽物により大きく影響を受ける点に注意が必要である。

現在、紫外線を用いた飲料水の消毒は欧米を中心に広がりつつある。上述したようにスイスならびにオーストリアでは 1955 年から低圧水銀ランプを用いた処理施設の運転を開始している。ノルウェイではトリハロメタンの問題が浮上したことを契機に 1975 年より紫外線消毒を開始している。2001 年にはヨーロッパではおよそ 6000 の施設で稼働している。オーストリアでは紫外線処理に関する基準が設けられており、Austrian national standard M5873-1 ならびに M5873-2 で低圧水銀ランプと中圧水銀ランプに関して記述している。ドイツでは DVGW standard W294 にまとめられている。いずれも 253.7nm の波長を用いて $40\text{mJ}/\text{cm}^2$ の照射線量が定められているが、オランダでは最小線量を $16\text{mJ}/\text{cm}^2$ と定め、チェコでは $25\sim 30\text{mJ}/\text{cm}^2$ が用いられている。アメリカでは紫外線消毒の線量を一律に規定するのではなく、原水の汚染状況や既存施設の除去率を考慮し、その上で必要な除去率に見合う線量を各処理施設が判断することとしている。

E. 結論

わが国における現行の水質基準では微生物に係る項目として大腸菌群および一般細菌の測定が規定されている。大腸菌群および一般細菌はいずれもそれ自身が病原微生物ではなく、人や家畜類の糞便等から由来する病原微生物の代替指標あるいは、処理後の水道水中に存在する微生物の総量の代替指標と位置付けられている。すなわち、水道水汚染に係る病原微生物はヒトあるいは家畜等の糞便に由来するものである。これまで、糞便汚染の指標を

大腸菌群とし、水道水から検出されなければ「糞便汚染が無い ⇒ 病原微生物の混入が無い/除去されている/消毒されている」ことが保証できるとするものであった。現行の水質基準に定められた定期的な(不連続な)汚染監視はいわば最終産物である水道水の品質保証としての意味合いを強く持ち、指標性の高さが求められる。

この間に病原微生物汚染の関心はコレラや赤痢といった従来型の水系汚染からクリプトスポリジウム等の耐塩素性病原微生物あるいは、レジオネラ等の配水系で増殖する病原体(再増殖細菌類)に移行している。耐塩素性病原微生物による汚染は従来の汚染対策を根底から覆すもので、大腸菌や一般細菌の定期的な測定をもって保証できる性質の汚染ではない。これらの病原微生物による汚染は一過性の汚染が問題となり、連続監視により事故の発生を防がなければならないものである。したがって、これまでとは異なったシステムによって安全を保証する必要に迫られている。一方、処理後の水で繁殖するレジオネラ等の病原体に関しては処理後の水道水における微生物の総量評価の重要性が増している。

基準項目の導入からほぼ一世紀が過ぎ水道を取り巻く環境、検出技術は大きく変容を遂げた。上述したような状況を踏まえ、今般の水質基準改訂では現行の基準項目が持つ指標性の再評価を行い、わが国の水道水質として保証すべき微生物学的な品質についての整理が必要であった。当該研究事業としては指標細菌類の再評価に向けた資料の提供と、新たな脅威となっているクリプトスポリジウムやレジオネラなどの汚染防止対策の強化に向けた検討が求められた。

F. 研究発表

1. P.R.Hunter, Y.Andersson, C.H.Von Bonsdorff, R.M.Chalmers, E.Cifuentes, D.Deere, T. Endo, M.Kadar, T.Krogh, L.Newport, A.Prescott and W.Robertson. Surveillance and Investigation of Contamination Incidents and Waterborne outbreaks. Chapter 7. Assessing Microbial Safety of Drinking Water—Improving Approaches and Methods. World Health Organization, OECD, 205-236, 2003.
2. W.Koster, T.Egli, N.Ashbolt, K.Botzenhart, N.Burlion, T.Endo, P.Grimont, E.Guillot, C.Mobilat, L.Newport, M.Niemi, P.Payment A.Prescott, P.Renaud and A.Rust. Analytical Methods for Microbiological Water Quality Testing. Chapter 8. Assessing Microbial Safety of Drinking Water—Improving Approaches and Methods. World Health Organization, OECD, 237-292, 2003.

表1 国におけるクリプトスポリジウムオーシスト除去に向けた各種処理技術とその効率評価

処 理 技 術	クリプトスポリジウムオーシスト除去効率評価とその設置条件
流域管理	米国 EPA の指定に準じた場合、0.5log 除去に該当。ただし、ろ過施設を持たない浄水場には適用不可。
水源置換/取水管理	除去効果なし。
原水の流路外貯水	除去効果なし。
凝集沈殿のための前処理槽	連続した凝集剤の注入による運転で、0.5log 除去に該当。ただし、新規・既存に関わらず前処理槽の水質管理において、毎日の濁度測定値の月平均で 0.5log 除去が年間で 11 ヶ月達成されているものに限る。
石灰軟化処理	2 段階軟水化処理は 0.5log 除去に該当。ただし、いずれの処理においても、金属塩、高分子凝集剤、石灰、マグネシウム沈殿を含む凝集処理が必須。また、流水のすべてに対して処理がなされること。
堤防ろ過(前処理として)	25 フィート(約 7.6m)のろ過層によるろ過は 0.5log、50 フィートは 1log 除去に該当。ただし、新規・既存に関わらず、ろ過施設の帯水層は押し固められておらず、少なくとも 10%以上の細粒砂を含むこと;貯水池の濁度は 1ntu 以下を保つこと。
複合膜ろ過の性能	一ヶ月間のろ過水濁度検査において、その95%以上の成績が 0.15ntu 以下を保つ限り 0.5log 除去に該当。
疎ろ過	除去効果なし。
緩速砂ろ過	二次ろ過として 2.5log、一次ろ過として 3.0log 除去に該当。ただし、前塩素処理は行わないこと。
2 次ろ過処理	追加のろ過処理は 0.5log 除去に該当。ただし、一次のろ過工程においては凝集処理が必須。また、疎ろ過は対象外。
膜ろ過	製品に瑕疵が無いことを条件に、事前の性能評価で得られた除去効果を踏襲。
袋状フィルターろ過	負荷試験で 2log 除去が得られた装置は 1log 除去に該当。
カートリッジフィルターろ過	負荷試験で 3log 除去が得られた装置は 2log 除去に該当。
二酸化塩素消毒	Ct 表 ^{#1} の除去(不活化)率に準拠。
オゾン処理	Ct 表 ^{#1} の除去(不活化)率に準拠。
紫外線照射	別記の表(紫外線照射量と不活化)の除去(不活化)率に準拠。ただし、設置場所における性能評価が必要。
個別のろ過性能	ろ過水の最大濁度が 0.1ntu を超える日が 5%未満で、15 分間隔で行った連続測定で続けて 0.3ntu を超過することが無ければ 1log 除去に該当。
性能評価	国の定める方法による

注1: 本報告には記載せず。

平成 15 年度厚生労働科学研究 分担研究報告書

WHO 飲料水水質ガイドライン改訂等に対応する水道における化学物質等に関する研究

—総合評価分科会—

主任研究者 眞柄 泰基 北海道大学大学院工学研究科 教授
分担研究者 国包 章一 国立保健医療科学院水道工学部 部長
安藤 正典 国立医薬品食品衛生研究所環境衛生化学部 部長
遠藤 卓郎 国立感染症研究所寄生動物部 部長
江馬 眞 国立医薬品食品衛生研究所安全性生物試験研究センター
総合評価研究室長
西村 哲治 国立医薬品食品衛生研究所環境衛生化学部 第3室長
米沢 龍夫 (社)日本水道協会工務部水質課 課長
伊藤 禎彦 京都大学大学院工学研究科教授
伊藤 雅喜 国立保健医療科学院水道工学部 水道計画室長
秋葉 道宏 国立保健医療科学院水道工学部主任研究官

研究の要旨

WHO ガイドライン改訂対象項目の物質について、我が国におけるヒトの暴露状況に関する調査を行い、水道水経由の寄与率を検討する。また、水道水質においてトレードオフの関係にある病原性微生物防除と消毒副生成物の生成などについて、それぞれのリスク評価の方法を調査検討するとともに、合理的な水質基準の策定方法を明らかにする。

WHO ガイドラインの改訂の対象となった化学物質等から、わが国の水道でリスク管理が必要な項目について、それらの水道水中の存在等についての情報を基に水道水質基準の改訂を行うべき項目を提案した。

A 研究目的

WHO ガイドライン改訂対象項目の物質について、我が国におけるヒトの暴露状況に関する調査を行い、水道水経由の寄与率を検討する。また、水道水質においてトレードオフの関係にある病原性微生物防除と消毒副生成物の生成などについて、それぞれのリスク評価の方法を調査検討するとともに、合理的な水質基準の策定方法を明らかにする。

B. 研究方法

WHO 飲料水水質ガイドラインの改訂に際

して策定されたクライテリア（案）などを基とし、わが国の水質基準の考え方等について、検討し、次のような原則で水質基準として取り上げるべき項目について検討することとした。

(1)水質基準

水質基準については、言うまでもなく、水道法第4条に基づき設定される基準であり、水道事業者等はこの基準に適合した水の供給が義務付けられることとなる。また、定期的にその供給する水の水質について検査が義務付けられることとなる。