

ることがわかる。また、表4に2007年度について給水規模別に違反項目別の違反件数を示す。小規模水道ほど各違反項目とも件数が多いが、影響人口は大規模施設については圧倒的に多い。このことは、一度被害が発生すると非常に多くの人に被害が及ぶ可能性を示している。

表3 コミュニティー水道における年度別違反項目別  
違反件数(a)、違反施設数(b)、影響人口(c)[12]

(a)違反件数(件)

年度	汚染物質基準値	残留消毒剤	処理方法	監視・報告	その他	合計
2007	9,512	5	3,056	70,198	23,299	106,070
2006	9,242	7	2,790	67,301	19,245	98,585
2005	9,739	4	3,036	124,605	18,414	155,798
2004	5,562	6	2,168	96,225	14,459	118,420
2003	4,884	1	2,299	68,840	12,671	88,695

(b)違反施設数(施設)

年度	汚染物質基準値	残留消毒剤	処理方法	監視・報告	その他	合計
2007	4,445	4	1,648	12,676	10,429	21,604
2006	4,438	3	1,538	13,106	9,600	21,677
2005	4,472	4	1,625	14,403	10,258	22,902
2004	3,455	4	1,409	13,693	8,947	21,200
2003	3,069	1	1,458	12,880	8,109	20,343

(c)影響人口(人)

年度	汚染物質基準値	残留消毒剤	処理方法	監視・報告	その他	合計
2007	16,468,593	263,875	10,895,825	51,310,453	30,434,294	88,282,175
2006	16,918,011	46,344	16,612,762	52,415,065	23,372,794	83,638,885
2005	19,228,465	424,859	16,879,450	62,511,599	23,442,800	91,626,483
2004	15,060,424	3,617	16,588,301	51,043,156	17,833,120	79,058,089
2003	16,082,938	2,250	16,969,087	49,812,213	12,726,332	81,672,086

表 4 コミュニティー水道における 2007 年度給水規模別違反項目別  
違反件数(a), 違反施設数(b), 影響人口(c)[12]

(a)違反件数(件)

給水規模(人)	汚染物質基準値	残留消毒剤	処理方法	監視・報告	その他	合計
25-500	5,118	4	1,607	49,938	16,937	73,604
501-3,300	2,763	-	901	11,670	4,428	19,762
3,301-10,000	891	-	275	4,052	1,131	6,349
10,001-100,000	717	-	250	4,156	742	5,865
>100,000	23	1	23	382	61	490

(b)違反施設数(施設)

給水規模(人)	汚染物質基準値	残留消毒剤	処理方法	監視・報告	その他	合計
25-500	2,533	3	934	8,472	6,876	13,660
501-3,300	1,185	-	436	2,741	2,396	5,099
3,301-10,000	438	-	156	829	665	1,627
10,001-100,000	274	-	105	577	452	1,112
>100,000	15	1	17	57	40	106

(c)影響人口(人)

給水規模(人)	汚染物質基準値	残留消毒剤	処理方法	監視・報告	その他	合計
25-500	415,354	513	153,982	1,329,355	1,093,302	2,174,583
501-3,300	1,750,409	-	659,296	3,742,105	3,286,324	7,130,628
3,301-10,000	2,506,353	-	886,905	4,795,828	3,807,847	9,384,876
10,001-100,000	6,289,455	-	3,311,805	15,342,701	11,477,634	29,022,492
>100,000	5,507,022	263,362	5,883,837	26,100,464	10,769,187	40,569,596

カナダにおける水系感染症の報告事例[11]

カナダでは 1974 年から国による水系感染症の情報収集システムが存在しており、地方施設からの報告を取りまとめている。今回収集できた個別事例の情報は限られているが、得られた情報を表 5 に示す。1992 年以降は、州別および原因物質別の件数がわかっている。

ブリティッシュコロンビア疾病対策予防センターでは 1980～2000 年の水系感染症情報をまとめており、この間 28 件、1,670 人以上の被害が報告されている。原因物質としては、ジアルジア (1,000 人以上被害)、クリプトスポリジウム (229 人被害)、カンピロバクター (154 以上被害)、サルモネラ (154 以上被害) となっている。これらの事例のうち 5 つについては被害総数の疫学的な推定がなされており、これによるとカナダで 3 番目に人口が多いブリティッシュコロンビア州における 20 年間の推定総被害人数は 19,000 人以上である。

表5 カナダにおける水系感染症事例件数および原因(1974~1977年, 1992~1995年)

年	発生件数(患者数)	原因等
1974~1975	10件	個人や施設における水供給システムであった。その中のいくつかは北部の孤立したコミュニティの個人のシステムで発生しているが、塩素消毒による味を嫌い、消毒を行わない河川水を飲用したことが原因である。
1976~1977	14件	一つはアルバータ州の水道システムで約1000人の被害を出しており、ジアルジアが原因として疑われている。
1978~1991	情報未収集	情報未収集
1992	48件(1,400人以上) ケベック州 37件 サスカチュワン州 7件 オンタリオ州 3件 ブリティッシュコロンビア州 1件	ジアルジア(10) カンピロバクター(4) ノーウォーク様ウイルス(3) サルモネラ(2) A型肝炎(1) 赤痢菌(1) その他原因不明
1993	24件*(500人以上) ケベック州 13件 オンタリオ州 6件 サスカチュワン州 3件 ニューブランズウィック州 1件 ブリティッシュコロンビア州 1件	ジアルジア(8) カンピロバクター(2) ロタウイルス(1) その他原因不明
1994	23件(600人以上) ケベック州 13件 サスカチュワン州 7件 オンタリオ州 3件	A型肝炎(4) ジアルジア(3) カンピロバクター(1) クリプトスポリジウム(1) 赤痢菌(1) その他原因不明
1995	23件(300人以上) ケベック州 10件 オンタリオ州 6件 サスカチュワン州 5件 ブリティッシュコロンビア州 2件	ジアルジア(6) カンピロバクター(3) A型肝炎(2) サルモネラ(1) その他原因不明

\*オンタリオ州キッチナー・ウォータールーで発生したクリプトスポリジウムが疑われる事例は含まず。

これとは別にカナダ保健省 (Health Canada) が定期的に水系感染症の報告を行っている。カナダ全土で 1974～2003 年の 30 年間に発生した 334 件の事例についてまとめた報告では 15,000 人以上の確定患者数が報告されているが、実際の被害総数はこれより多いと推測される。これらの 334 件の原因物質別発生件数および割合を図 4 に示す。細菌による 79 件の事例の内訳はカンピロバクターが 32 件、サルモネラが 22 件、赤痢菌が 9 件であった。原虫による 75 件の内訳はジアルジアが 64 件、クリプトスポリジウムが 10 件、トキソプラズマ原虫が 1 件であった。ウイルスによる 28 件の事例の内訳は A 型肝炎が 13 件、ノロウイルス (またはノーウォーク様ウイルス) が 13 件、ロタウイルスが 2 件であった。規模別では公共水道システムが 21%、小規模システムが 47%、個人システムが 23%であった。被害発生の原因としては、未処理の表流水を飲用したものあるいは不明の水源によるものが約 9%であった。患者数への寄与としては、公共水道システムが 15,000 人以上の確定された病気の事例の原因となっている。

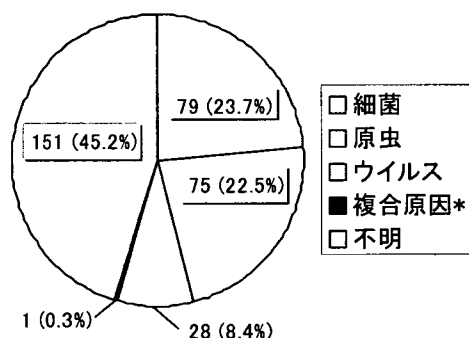


図 4 カナダにおいて 30 年間に発生した原因別水系感染症発生件数(割合)

\*細菌と原虫の複合原因による

また、カナダでは大規模な被害事例がいくつか発生しており、代表的な 2 例について以下に示す。

#### 事例 1

発生年月	2000 年 5 月
場所	カナダ, オンタリオ州, ウォークトン(人口 4,800 人)
原因物質	大腸菌 O157:H7, カンピロバクター(Campylobacter jejuni)
患者数	2,300 人(65 人が入院, うち 27 人が肝臓疾患である溶血性尿毒症症候群(HUS)を発症し, 7 人が死亡)
水源	三つの井戸(Well 5, Well 6, Well 7). Well 5 は浅い井戸で農場隣接しており, 表流水の汚染を受けやすい状態であった. Well 6 と 7 は 300m の距離で近接しており, ともに深い井戸であったが帯水層が共通していた. Well 5 は軟水を他の井戸からの水に混ぜる役割で使用されていた.

処理方法	塩素処理
原因	記録的な大雨による原水の汚染。塩素処理が通常の処理であったが、塩素処理設備が故障していたにもかかわらず交換がされず、汚染水が消毒無しで供給された。5月18日に最初の患者がウオーカートンから65km離れたオーウェンサウンドの病院で受け入れられ、その後も患者が増え続けたが飲料水が原因と判断されず、最初の患者発生から3日後の5月21日に、飲料水煮沸勧告がオーウェンサウンドの健康部局から出された。しかしこれは地方ラジオ局のみで放送されたため、この勧告を知ったものは非常に少なかった。浄水場で週一度測定される水サンプルの大腸菌検査では陽性となったにもかかわらず、報告がなされていなかった。さらに通常塩素処理を行う際に必要な残留塩素の常時測定を行っておらず、塩素濃度 0.5mg/L、15分間接触が守られていなかったにもかかわらず、残留塩素濃度 0.75mg/L という虚偽の記載を行っていた。またサンプルの採取場所を決められた箇所から行わず、浄水場関係者の不適切な維持管理が被害を大きくしたと考えられる。

## 事例 2

発生年月	2001年3～4月
場所	カナダ、サスカチュワン州、ノースバトルフォード(人口15,000人)
原因物質	クリプトスポリジウム ( <i>Cryptosporidium parvum</i> )
患者数	5,800～7,100人(高速道路の通過地点であり、他の地域から訪れた数百人も被害を受けたため、正確な被害人数は不明)
水源	表流水(ノースサスカチュワン川)を原水とする浄水場
処理方法	過マンガン酸カリウムによる酸化(異臭味発生時)、硫酸アルミニウム(春、夏にはPACl)による凝集、塩素処理、石灰中和、ポリマー凝集剤添加(重力沈降を効果的に行うため)、無煙炭と砂によるろ過
原因	ノースサスカチュワン川にはクリプトスポリジウムオーシストが多く存在していることが上流のEpcor Water Servicesにより明らかにされており、特に春は、冬の間凍結土壤に野積みされた家畜糞が雪解けとともに河川に流出することがわかっていた。また、浄水場の上流には下水処理水が放流されていた。浄水場では薬品注入の際に急速攪拌するための機械的な設備は無く、毎日16時間の運転で、大きく水質が変動する原水を効果的に処理するのは難しかった。またろ過池の維持管理が不適切で、ピーク給水時にはろ過池での接触時間が十分にとられていなかった。接触混和池の床にひび割れがあり2001年3月に修理を行っているが、その際凝集スラッジを全て除去したためその後の凝集がうまくいかなかった。最適凝集剤注入率を確保するためのジャーテストは、時々しか行われていなかった。

## イングランド・ウェールズにおける水系感染症の報告事例[11]

イングランド・ウェールズで1970～2000年の間に発生した私設水道システムによる健康被害発生事例に注目した研究によれば[13]、私設水道は全体の給水人口の0.5%に対してしか供給していないにもかかわらず、健康被害事例の36%に関係しているとされている。25件の被害事例の研究によれば、処理について塩素消毒が行われていないか不適切であることが明らかになっている。また汚染源としては家畜や肥料散布が考えられ、事例の4分の1は大雨が関係していた。

イングランド・ウェールズでは情報収集システムが整備されており、1997年以降の事例について比較的規模が大きいものを表6に示す。近年は1,000人を超えるような大規模な被害事例は起こっていない。

表6 イングランド・ウェールズにおける代表的な飲料水に起因する健康被害事例(1997年以降)

発生年月	場所	原因	総被害人数(人)	確定被害人数(人)
1997年2-4月	North Thames	クリプトスポリジウム	>345	345
1997年5-6月	North West	クリプトスポリジウム	346	346
2000年3月	North West	クリプトスポリジウム	58	58

## スウェーデンにおける水系感染症の報告事例[11]

1975～1984年の10年間に発生した32件の水系感染症の健康被害事例について、何人かの研究者により報告がなされており、この中では西ヨーロッパで初めてのジアルジアによる被害発生が確認されている。32件のうち5件は表流水が原因で全て冬期に発生しており、26件は塩素処理されない地下水を利用したもので、パイプの破損や交差接続による廃水設備の不備により汚染が広がったとみられている。また、この10年間で最も多かった原因物質はカンピロバクターであった。

これとは別に、1980～1995年にかけての90件の健康被害事例報告によれば[14]、50,000人が健康被害を受け、2人が死亡している。11件の事例でカンピロバクターが原因物質であった。多くの水道システムでは原水の水質が良好と考えられ、消毒が行われていなかった。他にも同様の期間の事例についての報告がなされているが、主な原因はカンピロバクターとジアルジアであった。

## フィンランドにおける水系感染症の報告事例[11]

1980～1992年に発生した24件の被害事例では7,700人が健康被害を受けている。このうち40%がコミュニティー水道で発生している。フィンランドでは、地下水は消毒されずに供給されているため、下水管からの漏水や近くの井戸からの流入、交差接続により供給システムでの汚染が起こっている。また表流水が原水の場合では、フミン質除去のために処理

が行われているが、不十分な消毒、原水への下水の混入、交差接続による下水や海水の混入などにより汚染が起こっている。表流水を原水とした水道システムで発生した3件の事例のうち2件は、消毒副生成物の健康影響を懸念して塩素注入量を減らしていたことが原因であり、約100人が健康被害を受けた。

また1998年と1999年に発生した14件の事例のうち13件は地下水を原水としたもので、洪水などにより地下水が汚染されたことが原因となっている。残り1件の表流水を原水とした事例は被害人数が多く、塩素注入量が不足していたため(0.2~0.3mg/L)ノーウォーク様ウイルスにより地区の90%にあたる2,500人が感染した。

また1986~2001年の間に発生したカンピロバクターによる汚染事例10件の被害患者数は4,000人以上である。消毒を行っていない地下水の供給は1,500以上の水道システムにおよび、これは国全体の水供給の45%を占めていることから、消毒を行うことでカンピロバクターによる被害は防げると考えられる。

### スイスにおける水系感染症の報告事例[11]

良く知られた事例としては、1963年に下水の混入、消毒の不備、貯水された水の汚染により腸チフスが発生し、観光客に多くの患者を出したものがあるが、1988~1997年の間に国の公衆衛生部局に報告された水系感染症による健康被害の報告は5件のみである。このうち2件は病原性大腸菌(1991年の40人被害、1992年の60人被害)であるが、菌種は明らかでない。他の2件はカンピロバクター(*C. jejuni*)であり、1995年に16人被害、同じく1995年に100人被害を出している。残り1件は1997年に発生したエコーウイルスによる15人被害の事例である。

これとは別に、1998年2,400人もの被害を出したベルン州 La Neuveville で発生した複合原因による事例が報告されている。水道原水は井戸水であり、下水道のポンプ施設と近接していた。下水の揚水作業に不備があり下水が周辺の地下水を汚染し、近くにあった水道原水の井戸も汚染されたと考えられる。下水揚水ポンプに不備があった際の警報設備は度々誤作動が起こっていたことから数年前からスイッチが切られた状態であった。飲料水のための処理は、井戸でのエアレーションによる酸化のみであり、鉄およびマンガンを酸化させ沈殿物が自然ろ過されることを目的としたものであった。カンピロバクター、赤痢菌、病原性大腸菌、ノーウォーク様ウイルスが患者の便のサンプルから検出された。事件以降、塩素消毒と紫外線殺菌を行うようになり、1999年6月に水道システムは復旧している。

### C-2 自然由来の有害化学物質を含んだ飲料水による健康被害事例

地質由来の無機化学物質による大規模な健康被害が世界各地で現在も継続中である。病原微生物等による水系感染症と異なり、健康被害がすぐにはあられわれず慢性的な汚染水の摂取により発症するケースが多い。発生源の対策を行ってもすぐに健康被害が改善するとは

限らず、健康被害が長期間に及ぶ場合が多い。ここではヒ素、フッ素について取り上げる。ヒ素およびフッ素の飲料水の飲料水水質基準等を表 7 に示す。

表 7 ヒ素およびフッ素の飲料水水質に係る基準値

項目	WHO ガイドライン EU 指令	日本	米国	バングラデシュ
ヒ素	10 µg/L	10 µg/L	10 µg/L	50 µg/L
フッ素	1.5 mg/L	0.8 mg/L	4 mg/L (2 mg/L)	不明

### ヒ素による健康被害事例

国別のヒ素による健康被害事例を表 8 に示す。報告された健康被害は、ヒ素に汚染された地下水を長期間摂取したことによる皮膚障害などの慢性ヒ素中毒症状によるものが主であり、かつてヒ素と健康影響の関係がわからず風土病とみなされていた例も多い。このためほとんどの場合、実際の健康被害発生年は明らかではない。表 1 に挙げた国以外にも、ミャンマー、ベトナム、ラオス、カンボジアで同様のヒ素汚染の発生が言われている。

ヒ素による飲料水汚染原因のほとんどは、地質に含まれていたヒ素が何らかの理由で地下水中に溶出したことによる。水源を水系伝染病の原因となる表流水から地下水に転換したことによる汚染事例が多い。ヒ素を含んだ地下水からのヒ素除去にはコストがかかり維持管理も難しいため、根本的な解決のためにはヒ素を含まない水源への変更が必要であるが、代替水源の確保が難しい場合が多い。

### フッ素による健康被害事例

フッ素による健康被害は風土病として 50 年以上も前から知られている。フッ素もヒ素と同様に地質由来のフッ素を含む地下水を飲用したことによる被害事例が主である。ヒ素とフッ素の両方を含む地下水の飲用による被害事例もある。フッ素の健康影響としては斑状歯など歯のフッ素症 (dental fluorosis) があり、さらには骨が硬化する骨のフッ素症 (skeletal fluorosis) を引き起こす。収集した文献のうち 64 の文献で健康被害の事例があった。自然由来のフッ素による健康被害報告があった国は、歯のフッ素症ではブラジル、カナダ、中国、エチオピア、ドイツ、インド、イスラエル、日本、ケニヤ、メキシコ、ノルウェー、サウジアラビア、セネガル、南アフリカ、スーダン、タンザニア、ウガンダ、アメリカ合衆国であり、骨のフッ素症の報告があったのは中国、エチオピア、インド、ケニヤ、セネガル、南アフリカ、スリランカ、タンザニア、アメリカ合衆国であった。被害人数は中国などでは数百万～数千万人規模との報告がある。フッ素はカルシウムが少ないところで水中に溶解やすく、フッ素を含有する鉱物が多い地域でかつカルシウムが少ない帯水層では潜在的にフッ素のリスクがある。



表 8 ヒ素による健康被害事例

国(地域)名	発地域域(発見年)	暴露・健康被害人口	原因	対策など
バングラデシュ[15-17]	64 地区のうち 20 地区	30,000,000 人以上*・皮膚障害(人数不明)	掘抜き井戸に地質中のヒ素が溶出	ヒ素の簡易処理、水源の深井戸への変更
インド [18-20]	西ベンガルの 8 地区 (1982)	38,000,000 人**(8 地区の 830 村)・ある調査では 61 村の 1,214 人が皮膚症状	掘抜き井戸に地質由来のヒ素が溶出	Rajiv Gandhi Drinking Water Mission により解決
タイ[21, 22]	Ron Phibun 地区(すず採掘地帯)(1987)	14,000 人**・皮膚障害(人数不明)	すず採掘時にヒ素を含んだ地層が掘り起こされ浅井戸が汚染	1987 年以降雨水を水道で供給、但し乾期は雨水だけでは足りずヒ素汚染水も使用
中国 [23-25]	Kuitun(新疆ウイグル自治区)(1980)	100,000 人**・健康被害 2,000 人以上	1960 年代から飲用として使用されていた被圧地下水に高濃度のヒ素含有	1992 年、ヒ素による症状が国により風土病の一つとして正式にみなされ、対策が取られている
	Chifeng, Huhhot(内モンゴル自治区)(1989)	600,000 人**・ある調査では健康被害 1,774 人		
	Datong Basin(山西省)(1994)	1,000,000 人**・被害人数不明		
台湾 [26, 27]	南西部海岸(1957)	105,000 人**・黒足病として知られる皮膚障害(被害人数不明)	浅井戸が高塩分濃度のため住民は 1900 年代からヒ素汚染の掘抜き井戸を使用	1975 年までに水道水供給が完了し、それ以降新しい患者は発生していない
ハンガリー [28]	全国(1981)	400,000 人*・皮膚障害(被害人数不明)	地質由来のヒ素が深井戸に溶出	全国的なプロジェクトにより 1998 年末までにヒ素暴露人口(0.05mg/L 以上)が 15,000 人以下
アルゼンチン[29-32]	Salta, La Pampa, Cordoba, San Luis, Santa Fe, Buenos Aires, Santiago del Estero, Chaco, Tucuman	2,000,000 人 (0.002-2.0mg/L 暴露人口)・皮膚障害(被害人数不明)	地質由来のヒ素が表流水と地下水を汚染	
チリ[33]	Antofagasta(1957)	219,310 人(1991 年)・1987 年に肺がんのリスクについて報告あり	ヒ素を高濃度含んだ河川水を水道原水としたため、平均の水道水ヒ素濃度が 0.87mg/L	浄水施設の改善により、段階的にヒ素濃度は低減され、1990 年代には 0.04mg/L

	Calama(1950s)	100,283人(1991年)	ヒ素を高濃度含んだ原水のため、1950年代から水道水中に高濃度のヒ素	1980年代からヒ素除去設備により、段階的にヒ素が提言し、0.04mg/Lまで低減
メキシコ[29]	Southern Baja California, the lakes region, Guanajuato, Hidalgo, Morelos, Acambaro, Delicias, Jimenez, San Antonio	2,000,000人以上が0.1-2.5mg/Lのヒ素汚染水を利用していると推測・皮膚障害(被害人数不明)	地質由来あるいは鉱山の選鉱くずの浸出水により地下水・表流水が汚染	
カナダ[34]	Halifax(1976)	1人のヒ素中毒患者が発生	患者の家の井戸が5mg/Lのヒ素含有	
	Nova Scotia	92人・うち27人が慢性ヒ素中毒症状	廃坑の鉱さいなどから岩石由来のヒ素が井戸水を汚染	
米国 [35, 36]	Utah(1960s)	0.18-0.21mg/Lのヒ素に暴露された250人のうち8人が皮膚障害	井戸水が地質由来のヒ素に汚染	
	Oregon	190,871人・3,257人が皮膚障害		
	Minnesota	11人が急性・亜急性のヒ素中毒症状		

\*0.05mg/L以上の水を摂取している人口

\*\*被害地域の人口(必ずしも全員がヒ素に暴露されているとは限らない)

自然由来の有害物質による汚染は、地質にそのような物質が含まれている地域ではどこでも起こり得る。特に地下水の場合、酸化還元電位の変化などにより以前は安全であった水に地質由来の有害物質が溶出する場合がある。また慢性毒性による健康影響の場合、症状があらわれた時点ではかなり多くの人々が長期間暴露されていることが多い。自然由来の有害物質による健康被害を避けるためには飲料水の供給施設の維持管理以前に、水源の選定が重要であると考えられる。

### C-3 放射性核種による飲料水汚染

#### 飲料水中の放射性核種に関する基準および規制

放射性核種として、ラドン (Rn222)、ラジウム (Ra226, Ra228)、ウラン (Ur238) 等が挙げられる。原子力発電所等の事故や核実験、テロ等により、水道水中に混入することが

想定される。実際に飲料水の放射性核種による健康被害の事例は明らかではないが、各国では放射線事故等が発生した場合の対策や飲料水の基準値等を定めている。WHO, EU, 米国, 英国, 日本における飲料水中の放射性核種に関する基準等を表 9 に示す。日本は水質管理目標としてウラン 0.002mg/L 以下（暫定）を定めている。WHO 水道水質ガイドラインでは、放射性核種（ラドンを除く）による危険を制御するために2つの段階を設けている。

- 総α放射線量あるいは総β放射線量について、対策が必要とされるレベルよりも低いかどうか初期のスクリーニングを行う（総α放射線量 0.5 Bq/L, 総β放射線量 1 Bq/L）。
- スクリーニングにより対策が必要なレベルを超えていた場合、個々の放射性核種の濃度を測定しガイドライン値（付表 2）と比較する。

これらは非常時ではなく通常のモニタリングに適用される。非常時については国際原子力機関（International Atomic Energy Agency: IAEA）が定めるところによる。

表 9 放射性核種に関する飲料水の基準値等

項目	WHO	EU	米国 <sup>a)</sup>	英国
総α放射線量	0.5 Bq/L <sup>b)</sup>	—	15 pCi/L (=0.55 Bq/L)	監視項目
総β放射線量	1 Bq/L <sup>b)</sup>	—	4 mrems/年 <sup>c)</sup> (=0.04 mSv/年)	監視項目
ラジウム 226/228	—	—	5pCi/L (=0.18 Bq/L)	—
ウラン	—	—	0.03mg/L	—
ラドン	100 Bq/L	—	4,000 pCi/L (=148 Bq/L)	—
トリチウム	—	100 Bq/L	—	監視項目 100 Bq/L
総指標放射線量 (Total indicative dose)	—	0.1 mSv/年 <sup>d)</sup>	—	0.1 mSv/年 <sup>d)</sup>

a) 米国では最終的に全て 0 にすることを目標としている

b) スクリーニングレベル。これを超えた場合の個々の放射性核種のガイドライン値は付表 2 に示す

c) β線・光子放射体

d) トリチウム, カリウム 40, ラドンおよびラドン崩壊生成物を除く

## ラドン

ラドンは自然由来の放射性ガスであり、多くの種類の岩石に含まれているウランに由来しており、水や大気中に含まれている通常濃度レベルはかなり低い。

米国科学アカデミー (National Academy of Science: NAS) によれば、家庭のラドンの吸入による肺がんでの死亡は年間 15,000-22,000 人と推定され、こればタバコに次いで 2 番目に多い。家屋の下の土壌が主な汚染源であるが、室内空気経由でのラドン曝露のうち 1~2%が水道水由来といわれている。NAS の報告 (Risk Assessment of Radon in Drinking Water, 1999) によると、水道由来のラドンの曝露によるガン (年 168 人死亡) のうち、空気経由のラドンの曝露による肺がんが 89%、水道水の飲用による胃がんが 11%である。

EU ではラドンに関して以下を提案している。

- 商業施設や公共施設 (たとえば宿泊施設など) の一部としての私設水供給施設については、ラドン濃度が 1,000 Bq/L の対策レベル (Action Level) を超えた場合、常に是正措置を取ること。
- 個人の水供給施設 (商業施設や公共施設でないもの) については、ラドン濃度が 1,000 Bq/L の対策レベル (Action Level) を超えた場合は是正措置を取ること

ここで 1,000 Bq/L の対策レベルは、大気中のラドンの対策レベルである 200 Bq/m<sup>3</sup>に曝露された場合と同等あるいは少し低いリスクを想定して定められている。

### ラドン以外の放射性核種

放射性核種の濃度は表流水中よりも地下水の方が高いと想定される。米国では国の平均レベルよりも高い放射線量を含む地域が存在しており、例えば中西部ではラジウム 226、西部ではウランのレベルが他の地域よりもかなり高いことがわかっている。米国では飲料水中の放射性核種 (ラドン以外) に関する規則 (Rule for (Non-Radon) Radionuclides in Drinking Water) を 2000 年に公布したが、この中でコミュニティ水道は基準値を満たす必要があり、そのためにモニタリングを行う必要があるとされている。ラジウムのモニタリングを行うことで、米国に 5,400 あるコミュニティ水道のうち約 0.5%が飲料水中のラジウム濃度を下げる対策を取る必要に迫られると推定されている。また、ウランについては 1%弱の水道が飲料水中のウラン濃度を基準値以下に下げたための対策を迫られることになる。ラジウム 228 のモニタリングにより、毎年 0.4 人のがん患者の発生が避けられると試算されている。

### 英国における放射線事故発生時の対応

英国では “UK Recovery Handbook for Radiation Incidents: 2005” として放射線事故が発生した際の対応や回復についてのハンドブックが出されており、5つのセクションが色分けされ (黄色: 回復と放射線防護, 緑: 農産物保護, オレンジ: 国内食糧生産および安全な食糧確保, 紫: 居住地域, 青: 飲料水), それぞれについての対応等が記載されている。飲料水については青のセクションに記載されており、以下に飲料水セクションの 1~7 の各節に記載されている内容の要点を示す。

「UK Recovery Handbook for Radiation Incidents: 2005」飲料水セクションの要点

1. はじめに

飲料水セクションの目的は、飲料水摂取による放射線物質の曝露を減らすための選択肢を提供することである。また、水源ではなく蛇口における飲料水の放射性物質の含有量を管理することに重点が置かれている。ボトル水についてはハンドブックには含まれていない。

2. 飲料水供給

水供給の種類を公共 (Public)、私設 (Private)、未規制 (Un-regulated) の3種類に分けて定義している。公共水道は法指定の水道会社により一般家庭や商業施設、公共施設、工場等に供給されるものである。水源は表流水あるいは地下水 (雨水由来の地下水で水道会社が井戸を掘ったもの) であり、適切な処理をされ水質基準を満たした上で供給されるものを指す。私設給水は法指定の水道会社による供給以外の常時供給システムであり、水源は様々である。郊外の農場や、都市でも醸造所や病院、学校、ホテル等への供給が含まれる。施設給水では農薬や硝酸、クリプトスポリジウム等水質に影響する物質が必ずしも除去されていない場合がある。未規制水供給は公共あるいは私設給水以外の供給であり、例えばキャンプ場などでの雨水や湧き水の利用が含まれる。未規制水に関しては、別途事故発生時に考慮すべき事項のチェックリストがある。

3. 基準および規制

事故発生時の飲料水に関する回復行動を実行する際の基準は、放射線防護局 (National Radiological Protection Board: NRPB) 勧告による対応レベル (Action Level) に基づいている。対応レベルとは、放射線事故が発生した際に代替の供給を行うといった対応を取るかどうかを判断するための濃度レベルである。この勧告は市場の食糧および動物飼料の放射能汚染のための介入レベル (Council Food Intervention Levels: CFILs) を定めた欧州協議会 (Council of the European Communities) の規制を考慮しており、CFILs はボトル水のみならず蛇口からの水道水についても適用されることとなっている。英国における飲料水中の放射性物質の対応レベルを表 10 に示す。

表 10 英国における飲料水中の放射性物質の対応レベル

放射性核種	対応レベル (Bq/L)	ハンドブックで考慮されている 放射性核種の分類
ストロンチウム同位体, 特に <sup>90</sup> Sr	125	<sup>90</sup> Sr
ヨウ素同位体, 特に <sup>131</sup> I	500	<sup>131</sup> I
プルトニウムおよび超プルトニウム元素の α放射同位体	20	<sup>238</sup> Pu, <sup>239</sup> Pu, <sup>241</sup> Am
半減期が 10 日よりも長いその他放射性核種, 特にセシウムおよびルテニウム同位体	1,000	<sup>60</sup> Co, <sup>75</sup> Se, <sup>95</sup> Zr, <sup>95</sup> Nb, <sup>99</sup> Mo, <sup>103</sup> Ru, <sup>106</sup> Ru, <sup>132</sup> Te, <sup>134</sup> Cs, <sup>136</sup> Cs, <sup>137</sup> Cs, <sup>140</sup> Ba, <sup>140</sup> La, <sup>144</sup> Ce, <sup>169</sup> Yb, <sup>192</sup> Ir, <sup>226</sup> Ra

WHO では飲料水水質ガイドライン値が定めているが、先に述べたように放射性核種が環境に放出された

緊急時にはこの値は適用されないため、緊急時には上表の対応レベルが適用される。事故の一年後は WHO ガイドライン値に従う。

公共水道の水質の責任の所在は、スコットランドおよび北アイルランドにおいてはスコットランド政府および北アイルランド水道であり、イングランドおよびウェールズでは、独立の政府指定の水質監督機関である飲料水監察局 (Drinking Water Inspectorate: DWI) である。DWI は飲料水供給に緊急事態が発生した場合の連絡窓口となっている。国務大臣は 1998 年に安全保障および緊急事態対策令 (Security and Emergency Measures (Water and Sewerage Undertakers) Direction 1998: SEMD) を発効している。この中で水道関係者に対して、国内緊急事態あるいは国家安全保障危機が生じた際を含むあらゆる場合に飲料水供給を確保するための計画を策定、維持、見直しすることを求めている。水道関係者は、水道が機能しなくなった場合に備えて一日一人あたり 10 L の飲料水を確保する計画が必要とされている。また、病院や学校、老人や病気の人を優先することとされている。さらには家畜や必須の食糧工場について考慮することが要求されている。

私設給水では地方自治体が私設給水規則 (Private Water Supplies Regulations 1991) の下で規制を行っている。水質については公共水道と同様の基準が適用されるが、モニタリングの頻度と試験条件は、給水人口や日給水量により異なる。現在のところ、放射性物質に汚染された私設給水に対する基準は特に無い状態である。

#### 4. 水供給のモニタリング

放射性物質が環境中に放出された場合には、公共水道では水道会社が、私設給水では地方自治体が、水道水中の放射能濃度が対応レベルを下回っているかどうか確かめる必要がある。水道事業者は総  $\alpha$  線および  $\beta$  線の日常測定の詳細知識と機器を持っていることが求められるが、緊急事態発生の際にも使用できることを確認することが重要である。環境庁 (Environment Agency) は、表 11 に示すような緊急スクリーニングレベルを定めている。これらの値を超えない場合は、先に述べた対応レベルを超えていないと考えられ、これ以上の測定は必要ない。これらの値を超えた場合には、対応レベルに挙げた物質の濃度が高い可能性があるため、厳密な測定を行う。 $^{75}\text{Se}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{169}\text{Yb}$  は例外であり、上記のスクリーニングでは検出できないことから、これらの物質による汚染が疑われる場合には、個々の測定を行う必要がある。

表 11 緊急スクリーニングレベル

モニタリング項目	緊急スクリーニングレベル (Bq/L)
総 $\alpha$ 放射線量	5
総 $\beta$ 放射線量	30

#### 5. 回復オプション

放射能濃度が対応レベルを超えていた場合には、濃度を減らす対策を取る必要がある。ハンドブックには公共水道、私設給水別に、代替給水、処理、取水の変更、管理下での混合などの具体的な対応策を示している。また、事前に対応策を策定しておく重要性を示しており、その際に考慮すべき事項についても記載している。

#### 6. 政策決定の枠組み

意思決定の樹上図が示されており、意思決定のポイント、行動が必要な場合の意思決定の枠組みの中で

の段階などを明確に示している。

#### 7. 曝露量と放射線濃度の推定

放射性物質が対応レベル含まれている飲料水のある期間飲用した場合の曝露量等について、具体的な推定値が記載されている。また、水道水および雨水中の放射能濃度推定の計算式が記載されている。

#### C-4 自然災害による水供給施設等の被害事例

水道に被害を与える自然災害としては、地震、火事や、洪水、渇水等の厳しい気象状況などが挙げられる。昨年度の報告書において自然災害について日本の事例を中心に報告がなされているが、本研究では海外の地震、洪水による水供給施設等の被害事例を中心に概要を示す。

地震による水道施設への脅威については、US National Earthquake Hazards Reduction Program や日米の共同作業などにより多くのことが明らかになっている。表 12 に地震による水道施設被害の事例を示す。

表 12 地震による水道施設被害[37]

発生年月日	地震	経緯
1989年10月17日	ロマプリータ, カリフォルニア州, 米国	62人の死亡と71億ドルの被害。その中には電力供給停止と給水本管の被害が含まれる。
1994年1月17日	ノースリッジ, カリフォルニア州, 米国	58人の死亡と300億ドルの被害。その中には導水管, タンク, 管路の被害が含まれる。
1995年1月17日	神戸, 日本	5,000人以上の死亡, 1,000億ドルの被害。本管の破壊やポンプ, 浄水場の被害が報告された。
1999年8月17日	トルコ	16,000人以上の死亡で1939年以来最も大きい地震。水供給システムはよく機能していた。断層を横断していたパイプが被害を受けた。
1999年9月21日	台湾	2,300人以上が死亡。断層を横断しているダム(Shihkang Dam)が深刻な被害を受けた。
2001年	ペルー	地滑りその他の被害が発生し, 地域の水供給システムが深刻な影響を受けた。
2001年	インド	死者多数。地域の水供給システムが深刻な影響を受けた。
2001年	北西アメリカ, 米国	道路や建物が被害を受けたが, オリンピア(ワシントン州)の水供給はほとんど影響を受けなかった。

洪水は最も破壊的で被害金額も多い自然災害である。しかし米連邦緊急事態管理局(Federal Emergency Management Agency: FEMA)の最近の研究によれば、洪水による損害

では水道施設のようなライフラインよりも建造物の損害の方が大きいとされている。米国ライフライン連合 (American Lifelines Alliance) により、ライフラインの被害についての情報が収集されているところである。洪水による水道施設の被害は浄水場への影響に主眼が置かれているが、配管交差部分で漏水が起こり配管の破損につながる、あるいは逆流が起こることで汚染につながることもある。また、洪水にともなう堆積物が貯水池の容量を減らす被害もある。ハリケーンや竜巻は、浄水場その他公共施設の構造物そのものを破壊することもある。表 13 に具体例を挙げる。

表 13 米国における洪水による水供給被害事例[37]

発生年	洪水	経験
1993 年	中西部洪水	洪水により 150 億円の被害があり、250 もの浄水場が汚染された。
1994 年	テキサス	ヒューストンでは洪水により上下水サービスが影響を受けた。
1994 年	ジョージア洪水	洪水により 30 万人以上への水供給ができなくなった。メーコンでは 15 万人が 3 週間にわたり飲み水を供給されなかった。
1995-96 年	オレゴン	ポートランド水道局では次々起こる洪水に対して緊急措置を行うことで多くを学んだ。
1997 年	中西部	中西部の北部の多数の都市で水供給停止となった。
1999 年	東海岸	ハリケーン Floyd による洪水がノースカロライナ、バージニア、ニュージャージー、ペンシルベニア、ニューヨークを襲った。エリザベスタウン(ニュージャージー)は 5 日間主要な浄水場を閉鎖した。ロッキーマウント(ノースカロライナ)では浄水場が損失した。
2005 年	ルイジアナ州 ニューオーリンズ ハリケーン・カトリーナ	ハリケーンにより市の 80%が浸水し、上下水道システムを含む都市機能が壊滅。浸水被害を受けた避難民の間でノロウイルス集団感染症が発生した。

## C-5 水に関連するテロによる被害事例および対策

### 水供給に関わるテロの事例[38]

水資源や水道のシステムは人類の生活や産業にとって必要不可欠であるため、テロの標的となる可能性が大きい。水供給施設に対する攻撃の歴史は古く、水源開発や水の分配に関する決定への不公平感によるものを犯行の動機としている場合が多いが、同時多発テロ以降さらにテロに対する懸念が高まっている。

水に関するテロの攻撃は大きく分けて、ダムや浄水場、水道管などの施設そのものを爆破する等して被害を与える「施設への物理的な攻撃」、細菌やウイルスを水源や浄水場に混入し水道利用者に被害を与える「化学、生物学的攻撃」、水道施設のコンピュータに侵入し攻撃する「サイバーテロ」の 3 種類に分類できる。

水施設そのものへの物理的な攻撃は、水に関するテロの伝統的な形態である。狙われや



すい場所としては主要な河川の水力発電ダム，都市の主要な水システム等であり，攻撃の手段としては主に爆薬が使われる．大規模ダムや貯水池の下流の氾濫原には世界中で何百万もの人が住んでいるため，ダムへの攻撃により多大な人的被害が起きる可能性がある．さらに，飲料水や電力の不足，水質悪化，漁業や観光業への打撃といった二次的被害も発生する可能性がある．また都市の水施設において，予備が無い大きな導送水管，ポンプ場，浄水場等は，そのものが攻撃されると水を供給出来なくなるため被害が大きくなる．

化学，生物学的攻撃は近年関心が高まりつつある問題で，化学，生物学的薬品を水源，取水施設，浄水場に混入することにより水道利用者に被害を出そうとするものである．これらの薬品，病原微生物は混入されても気づき難く，気づいたときには既に健康被害が発生している可能性が大きい．ただしこれらの汚染物質は，通常の水処理に用いられる塩素消毒，ろ過，紫外線・オゾン殺菌，あるいは日光等により分解や殺菌されるため，攻撃に用いるためには，兵器化され大量生産，散布が可能であること，水による散布に適していること（水中で生存，溶解，安定），伝染性，毒性があること，時間経過や水処理に対し耐性があること等の条件が揃うことが必要である．

化学的攻撃に利用されやすいのは殺虫剤，農薬である．また，ヒ素やシアン化物等の無機化合物も致死性があり水溶性であるため危険性が高い．

生物的攻撃は，病原菌感染と生物毒の2種類あり，病原菌では，炭疽菌，ブルセラ菌，ツラレミア，Q熱リケッチアが，生物毒では，ボツリヌストキシン，アフラトキシン，リシンが生物兵器として用いられた報告がある．また，これらは塩素消毒の効果についての情報があるが，他の処理・消毒方法（膜ろ過，オゾン処理，紫外線消毒）についてはどのような影響があるのか等の情報がないのが現状である．

最近懸念されているのは，バルブ，ポンプ，薬注設備の遠隔操作に用いられるコンピュータを狙ったサイバーテロである．水道事業体によって利用されるリモート監視システム網は，セキュリティ対策が不十分な場合が多く，テロの標的となりやすい．一旦システムに進入されると，給水，水質などの面で人々が容易に危険にさらされることになる．

実際にこれまで起こった水供給に関わるテロについて，各種類別の件数を表 14 に示す．

表 14 海外の水供給に関わるテロの種類別件数

テロリズムの種類	件数(件)
施設への物理的攻撃	28
化学, 生物学的攻撃	19
サイバーテロ	3

水に対するテロの歴史は古く，記録に残っているなかでは 1841 年にカナダで，1844 年に米国で貯水池が破壊された事例，1970 年，1972 年に米国で水源に化学物質を混入しようとした事例などがある．その他代表的な事例（未遂も含む）を表 15 に示す．

表 15 海外の主な飲料水に関するテロリズムの事例

年	場所	概要
1907年	カリフォルニア 米国	Owens Valley の農民が、建設中のロサンゼルスへの導水管を爆破
1975年	中国	ダム破壊
1984年	オレゴン州 米国	都市水供給タンクにサルモネラ菌を投入し 750 名以上の患者が発生
1999年	南アフリカ	未遂。貯水池で不発弾を発見。付近の軍事施設、研究施設から水を奪うのに十分な威力であった
2000年	クイーンズランド オーストラリア	コンピュータを使用したサイバーテロ。水業界で世界初のサイバーテロ事例
2000年	北フランス	化学工場の労働者が手当を拒否されたため、ムーズ川に硫酸 5,000 リットルを投棄
2003年	バグダッド	送水管が破壊
2003年	米国	未遂。アルカイダがサウジアラビアの雑誌社を通じて電話で米国の水システムを脅かした。

### 米国における水安全保障政策

米国では 2001 年 9 月 11 日の同時多発テロ以降、飲料水および排水関連施設の安全対策が最優先事項になっている。潜在的なテロ攻撃に対する脆弱性の評価・削減、緊急事態発生時の対応策、汚染の検知・監視や安全への侵害回避のための新たな安全保障技術開発など、重要な行動が行われつつある。また、USEPA のウェブサイトでは水関連施設に関わるあらゆる主体に対する情報提供を行っている。

国土安全保障局 (Department of Homeland Security) の Homeland Security Advisory System では、テロの脅威を段階別に評価し公表しているが、テロ攻撃のリスクが高い (オレンジレベル) と発表された 2003 年 2 月 7 日には、CDC と USEPA は、この脅威のレベルに応じて Water Advisory を出し、公衆衛生および水道施設関連部局による警戒を呼び掛けた [39]。

米国におけるテロ等の危機管理に関する法制度としては、国土安全保障大統領令 (Homeland Security Presidential Directives: HSPDs) とバイオテロ法 (Public Health Security and Bioterrorism Preparedness and Response act of 2002: Bioterrorism Act) があり、この中で水の安全保障に関することも記載されている。また、既存の Safe Drinking Water Act が 2002 年に改正されている。以下に水に関連した項目について簡単にまとめる。

## 国土安全保障大統領令 (HSPDs)

大統領令のいくつかでは、特に水安全保障に関わる事項が書かれている。

HSPD-5 では国内における危機管理 (Management of Domestic Incidents) について定めており、州、地域、地方等は国家危機管理システム (National Incident Management System) を導入することが求められている。NIMS により、様々な管轄や分野の関係者が緊急事態発生時の際、効果的に対応することが可能となる。水関連部門もここで重要な役割を果たす。

HSPD-7 では、重要施設の同定、優先順位化、保護について定めてある。ここで EPA が飲料水および排水処理システムの防衛活動の責任を持つことが定められている。また、水安全保障部局は、国土安全保障局が策定すべき国家社会基盤保護計画の一部となる水部門計画を策定する必要がある。ここには水部門の資産の同定、脆弱性、資産の優先順位付、戦略的保護プログラムの策定、プログラムの効果の判定などプロセスについて言及される必要がある。

HSPD-9 では米国の農業・食糧防衛について定められている。ここで EPA は、生物、化学物質、放射性物質を用いたテロ攻撃が発生した際、初期警告を出すための包括的な調査監視プログラムを開発することが求められている。さらに、調査監視プログラムに必要な日常監視と対応をサポートする国家規模の研究所ネットワークを構築することが求められている。EPA は HSPD-9 を受けて以下のプログラムを開発している。

### ➤ Water Security Initiative

いくつかの都市と研究所と共同で、飲料水の汚染警告システムの実証プログラムを実施している。

### ➤ Drinking Water Laboratory Response Preparedness Project

現実の汚染あるいは汚染の疑いが起こった際に EPA の 10 の地区でそれぞれ使われるような Regional Laboratory Response Plans を開発、実行することを目標としている。これにより、地区内の研究所間での対応の体制や、事故発生時の分析要求を満足するための指示 (サンプルの仲介や追跡、コミュニケーション、分析の調整等) について各地区に提供することができるようになる。

## バイオテロ法 (Bioterrorism Act)

Title IV が飲料水安全保障政策のよりどころになっている。3,300 人以上に飲料水を供給している水道施設は、テロ攻撃その他の意図的な行為に対する自己の脆弱性について評価を行うことが求められている。また EPA は国家の飲料水供給についての責任を負っている。

### ➤ 脆弱性評価 (Vulnerability Assessment: VA) [40, 41]

バイオテロリズム法の下では、3,300 人以上に供給している水道施設は脆弱性評価と危機対応計画の整備を行うこととされている。水道施設に要求されている具体的事項は以下の通りである。

- 1) 施設が脆弱性評価を行い、脆弱性評価を行った証明書を EPA に送る。
- 2) 脆弱性評価の写しを EPA に提出する。
- 3) 施設は事件が発生した場合の対応の概要を示す危機対応計画 (emergency response plan) を、最新版に更新したかあるいは定めたことの証明書を EPA に提出する (脆弱性評価の提出から 6 カ月以内)。

脆弱性評価の最終目標は、公衆衛生と安全を保護すること、信頼できる加圧水の崩壊の可能性を削減することの二つである。水道施設は脆弱性評価を行う際、水道システムの全ての要素について、テロの攻撃に対するリスクと対策を考える必要がある。水道システムの全ての要素の中には、①拝観および送水施設、②防護柵、③取水、前処理、処理、④貯水、排水施設、⑤電子通信、コンピュータ、その他の自動システム、⑥有害化学物質の使用、保管、取扱、⑦システムの運転、維持管理が含まれる。

リスク評価の手法はいくつか存在しているが、USEPA の援助でアメリカ水道協会研究財団 (American Water Works Association Research Foundation: AWWARF) と Sandia National Laboratories が共同で開発した「RAM-W<sup>SM</sup>」と呼ばれる評価ツールが水道システムの脆弱性評価に多く用いられている。脆弱性評価にあたっては、具体的に以下の 6 つの基本的要素を考慮する必要がある。

- 1) 使命、目的を含む水道システムの特徴
- 2) 避けるべき悪影響の同定と優先順位付け
- 3) 悪影響の結果となるテロ行為にさらされやすい重要施設の決定
- 4) テロ攻撃が起こる可能性の評価
- 5) 現存の対策の評価
- 6) 現在のリスク分析およびリスク削減のための優先計画の策定

➤ 危機対応計画 (emergency response plan)

危機対応計画は、自然災害や人為的な原因による重大かつ緊急の事態が生じた場合に水道施設が取るべき対応について言及されたものである。各水道施設が行った脆弱性評価で挙げられた事項について記載されている必要がある。水道施設のみならず、公衆衛生や法執行機関、緊急時対応要員、研究施設、技術提供者など、他の地方政府や民間企業にとって貴重な情報源となる。EPA に提出された危機対応計画の写しは、提出後 5 年間保管することになっている。

また、バイオテロ法には定めていないが、水道施設は、脆弱性評価と危機対応計画を定期的に見直し、更新することが強く求められている。USEPA によれば、2006 年 2 月時点で大規模・中規模の全てが、また小規模施設の 97%が脆弱性評価を終えている。

### 国際的な取り組み

WHO による国際保健規則 (International Health Regulation: IHR) が 2005 年に改定さ