

第3章 水道水の基準値

断水すべきか？ それが問題だ



最も身近で特殊な基準値

こういうジョークがある。

「二酸化二水素 (Dihydrogen Monoxide : DHMO) という物質には温室効果があり、酸性雨の主成分である。地形の浸食を引き起こし、多くの材料の腐食を進行させて電気事故の原因となり、自動車のブレーキの効果を低下させる。また、重篤なやけどの原因となりうるだけでなく、末期がん患者の悪性腫瘍からも検出される。さらに、大量に吸引すると死亡することもある。

このような危険があるにもかかわらず、この物質は、工業用の溶媒、冷却剤、原子力発電、発

泡スチロールの製造など、多様な用途で用いられている。さまざまな動物実験にも使われるし、各種のジャンクフードなど多くの食品に添加され、水道水中にも大量に含まれている。

はたして、このDHMOの使用を規制すべきだろうか？」

じつはこのDHMOとは、化学式でいえば H_2O 、すなわち水のことである。正体はありふれた物質であっても、否定的で扇情的な言葉を並べられると、人はいともたやすくだまされ、そんな危険な物質は法律で規制すべきだと考えてしまうものだ。

もちろん、実際には水そのものが規制されるということはない。だが、水道水に含まれているさまざまな物質については、基準値が設けられている。ごくありふれたものだけに、最も身近な基準値の一つといってもいいだろう。

現在は先進国ならばたいいていの国では、水道水をそのまま飲んでも問題ない。しかし日本には、安全な水道水を飲むことができる国はごく限られている、と考えている人も多く、ある統計では日本人の6割が「世界で最もおいしい水が飲める国は日本」と回答している。日本人には日本の水道への誇りがあるようだ。

その一方で、水道水の安全性に不安を感じている日本人も少なくない。東京・大阪・中京圏では、家庭で水道水をそのまま飲んでいる人は、全体の25%しかない。これに対し、浄水器を通

水道水質基準は、2014年4月現在、51項目が定められている（表3-2）。また、基準とは別に、塩素による消毒も水道法で義務づけられている。

項目の種類	項目数
健康(安全性)に関する項目	31
病原性微生物の代替指標菌	2
無機物・重金属（ヒ素、硝酸など）	11
有機物（溶媒など）	7
消毒副生成物	11
性状（水利用）に関する項目	20
着色（アルミニウムなど）	5
味（塩化物イオンなど）	5
カビ臭・臭気	3
発泡（界面活性剤）	2
基礎的性状	5

表3-2 水道水質基準51項目の内訳

基準値の特徴3（一度決まるとなかなか変更されない）は水道水の基準値には当てはまらない。

また、本書で示すように基準値には根拠が不明確なものが多いが、水道水の基準値は2003年の改正にともなって根拠も示され、インターネット上で読むことができる（もっとも「以前までの基準値に従った」とあるだけで算定根拠がよくわからない項目もあるが）。

これらの意味で水道水質基準は特殊な基準値といえる。

観点 水道水質基準を決める二つの

更新の年月	項目数	おもな変更点
1958年7月施行	30	消毒の必須化
1966年5月	26	ケイ酸、硫酸削除など
1978年8月	26	カドミウム追加など
1992年12月公布 (1993年12月施行)	46	有機塩素化合物（トリハロメタン、ベンゼンなど）・農薬・セレン追加、ヒ素基準値強化など
2002年3月	46	鉛基準値強化
2003年5月	50	項目の見直し（大腸菌群から大腸菌への変更、ホルムアルデヒド・臭素酸追加など）
2008年4月	51	塩素酸追加
2009年4月	50	1,1-ジクロロエチレン削除
2010年4月	50	カドミウム強化
2011年4月	50	トリクロロエチレン強化
2014年4月	51	亜硝酸態窒素追加

表3-1 水道水質基準のおもな推移

してから飲む人は24%、水道水や浄水器を通して水を沸かして飲む人は17%、ボトル水・スーパリーの持ち帰り用の水・ウォーターサーバーの水を飲む人は33%である。

しかし水道水は、食品よりもはるかに安全性は高い。食品中の自然由来の発がん性物質（↓第2章）に比べ、水道水由来の発がん性物質の量は概して、微々たるものである。ノロウイルスなどの病原性微生物についても、たいていは生ガキなどの食品に由来する。しかし、食品と違って水道水には「選択できない」「代替がきかない」という特徴がある。そういう理由もあって、水道水の水質基準は1958年に施行されて以来、たびたび更新されている（表3-1）。とくに1992年に20項目が追加されて以降の更新頻度は顕著で、プロローグで述べた

定期的な水質検査によって基準値の超過が判明した場合には、ただちに原因を究明するとともに、必要な対策を講じる、とされている。とくに一般細菌や大腸菌といった「病原性微生物」による汚染や、「シアン」や「水銀」の超過が判明した場合は、給水を停止し、その水を使用している住民へ周知するなどの対応をとると決められている。

これらは水道水の健康（安全性）に関する側面から見た規制だが、水道水は飲むだけでなく、日常生活のさまざまな用途に使われる。そのため水道水質基準には「健康に関する31項目」のほかに、「性状に関する20項目」も設けられている。性状とは、色や味、臭い（安全性とは別）などを指し、飲むうえでの風味や入浴、トイレ、洗濯などのさまざまな利用において支障が起きないと考えられるいちばん低い値が、性状に関する基準として定められている。

銅の基準を決めたのは「洗濯」

銅は鉱山排水、工場排水に含まれるだけでなく、給水装置にも銅管が使われていることから、しばしば水道水に溶けこむ。一方で、銅はヒトにとって必須元素でもあり、食品や栄養サプリメントなどから意識的に摂取されることもある。

2003年の基準値改正では、銅の摂取総量が一日10mgまでならば、健康な成人にとって有害

な健康影響は見られないとされた。そこで、一日2〜3Lの水道水を飲み、食品や栄養サプリメントから銅を摂取しても、一日当たり10mgの摂取に達しないような濃度として、2mg/L以下という基準が、安全性の観点から定められた。これはWHOの飲料水水質ガイドラインに準拠したものである。WHOの飲料水水質ガイドラインは法的拘束力のあるものではなく、指針として提示されたもので、日本も含めてさまざまな国が、水道水の基準値を設定するうえで参考になっている。

一方、性状の観点からは、洗濯などへの利用と、味覚の面から検討された。水道水中の銅濃度が1mg/Lを超えると、洗濯物に着色が生じる。味覚については、たとえば水道水中の銅濃度が2・5mg/Lを超えると、50%の人が銅特有の渋味を感じできるという。

こうして、安全性の観点（毒性評価）からは2mg/Lという値が、性状の観点（洗濯物の着色防止）からは1mg/Lという値が示され、最終的には、1mg/Lが採用された。ヒトへの健康影響よりも、洗濯物への影響のほうが低い濃度で生じるため、これが基準値となったのである。

亜鉛の基準を決めたのは「お茶の味」

亜鉛も鉱山廃水や工場廃水のほか、水道管からの溶出などで水道水に含まれることがある物質で、銅と同じく、ヒトにとって必須元素である。亜鉛の場合は、安全性の観点からは水道水の濃度を規制する必要はなく、その基準値は、性状の観点からのみ定められている。

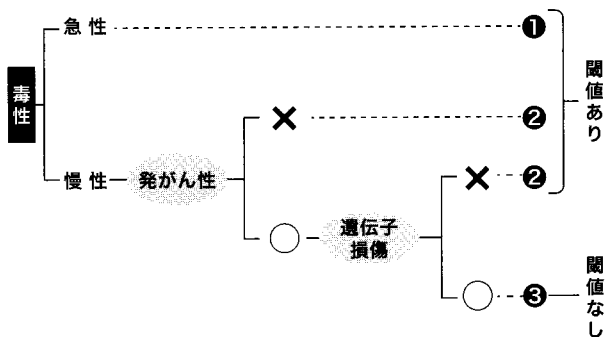


図3-1 基準値設定において化学物質は3つに分類される
○は「あり」、×は「なし」を示す

毒性から見た化学物質の分類

銅と亜鉛は比較的なじみのある物質であり、それらに関する水道水の基準値はいずれも、性状の観点から定められている。これに対して、安全性の観点から問題になる指標のほとんどは、ふだんその名を耳にすることが少ない化学物質である。

水道水が1mg/L以上の亜鉛を含むと、沸騰させたときに白く濁り、お茶の味が損なわれる。3mg/L以上では、水が白濁しやすくなり、沸騰すると油状の膜を形成し、不快な渋味が生じる。5mg/L以上になると、お風呂で汲みおきたときに表面などに油膜が生じる。これらを検討した結果、亜鉛においては、お茶の味が損なわれないように1mg/Lが基準値として定められた。なお、WHOの飲料水水質ガイドラインでは、3mg/Lを超えると白濁や被膜によって水が受け入れられなくなる可能性があるとして、お茶の味に関する記述はない。亜鉛の水道水質基準値は、日本の文化を組み込んだユニークな値といえるだろう。

なお、第8章で述べているように、水質の基準には「環境基準」という、水生生物の生態系を守るために定められた基準値がある。これについては亜鉛の基準値は、河川・湖沼において0.03mg/Lと定められている。水道水質基準（1mg/L）を満たしている水道水でも、環境基準は達成できないのだ。水道水質基準と環境基準では、目的がまったく異なるからである。

化学物質の毒性は、急性毒性と慢性毒性に分けることができる。

急性毒性とは、その物質を短い期間だけ摂取しても影響が生じる毒性で、著しく重篤な場合、たった一度の摂取で死を招くこともある。

慢性毒性とは、長期間にわたってその物質を摂取することで影響が生じる毒性で、たとえば歯や骨、内臓に異常をきたす。慢性毒性を示す物質には、発がん性があるものとなないものがある。さらに発がん性がある化学物質にも、その発がんメカニズムによって、遺伝子を直接傷つける形で発がんを引き起こすものと、そうでないものがある。

これらの知見にもとづき、基準値を定めるうえで、毒性がある化学物質は次の3種類に整理されている（図3-1）。

①急性毒性があるもの

② 非発がん性の慢性毒性、または遺伝子を傷つける形ではない発がん性があるもの
 ③ 遺伝子を傷つける形での発がん性があるもの

そして、①②の場合は、ある一定の摂取量までなら健康への悪影響が生じないとみなす。その摂取量を閾値といい、このような物質を「閾値あり」の化学物質と呼ぶ。③の場合は、そうした閾値はないものとみなす。このような物質を「閾値なし」の化学物質という。ごく微量の摂取でも、影響が生じる可能性があるともみなすのである。

以下に、①②③のそれぞれの場合の基準値を見ていく。

なお、基準値を算出する方法は一般的に二つある。ヒトの疫学データを用いる方法と、動物実験にもとづく方法である。それぞれの算出方法や意味の違いは第5章（四塩化炭素とセレン）で述べているので参照していただきたい。

▲ 硝酸態窒素および亜硝酸態窒素…①急性毒性

肥料などに使われる硝酸態窒素しょうさんたいいもつそおよび亜硝酸態窒素は、乳幼児への急性毒性の観点から、水道水質基準値が定められている。これらの物質は土壤中で除去されにくいいため、農地や牧場の近くの井戸水に高濃度で含まれる場合がある。

乳幼児が短期間に、ある一定量以上の硝酸態窒素および亜硝酸態窒素を摂取すると、メトヘモ

グロビン血症を起こす場合がある。メトヘモグロビン血症とは、体の臓器が酸素不足になり、チアノーゼを起こす症状で、唇や爪が紫色を呈することからブルー・ベビー症候群とも呼ばれる。海外では乳幼児の死亡事例も報告されていて、日本でも36・2mg/Lの硝酸態窒素を含む自宅の井戸水を飲んだ乳児が、チアノーゼを起こした事例がある。

日本では、硝酸態窒素および亜硝酸態窒素の水道水質基準値は10mg/Lと定められている。これは米国で1951年に発表された、飲み水に含まれる硝酸態窒素の濃度と、乳児のメトヘモグロビン血症の事例数との関係を調べた疫学調査にもとづいている。

その調査結果が、表3-3である。メトヘモグロビン血症の事例は、硝酸態窒素濃度が11mg/L以上になると見られるようになり、とくに20mg/Lを超過すると多くなる。一方、10mg/L以下の場合には、報告された事例はない。亜硝酸態窒素の濃度は硝酸態窒素と比べて非常に低く、硝酸態窒素と同時に測定することができることから、水道水質基準値は、硝酸態窒素と亜硝酸態窒素の合計量として10mg/Lとされた。

ただし、この調査結果の解釈には、いくつか注意を要する。

まず、10mg/L以下では報告例がないからといって、メトヘモグロビン血症が絶対に起きないとは限らないことである。「報告事例がないこと」と、「今後も起こる可能性がないこと」はイコールではない。また、調査結果をまとめた論文によれば、事例が報告されて数ヵ月が経過してか

ホルムアルデヒドは接着剤や塗料などに含まれ、いわゆるシックハウス症候群の原因として知られる化学物質である。水道水ではおもに、水中に含まれるさまざまな有機物と塩素やオゾンなどの消毒剤が反応することで生成される。2012年には関東地方で広範囲にわたる水質汚染事故を起こした「犯人」として話題になった。

ホルムアルデヒドの基準値は、動物実験の結果から算出されている。この実験は、280匹のオスのラットを四つのグループに分け、ラットの体重1kg当たり、それぞれ0mg、1・2mg、15mg、82mgのホルムアルデヒドを飲み水に混ぜて与えて、2年間継続して観察したものである。

この結果、82mg投与したグループにのみ、体重の減少や胃粘膜壁の異常などが観察されたことから、閾値は一日当たり15mg/kgと82mg/kgの間にあるとみなし、低いほうの一日当たり15mg/kg

ホルムアルデヒド…②閾値ありの慢性毒性

が確保されてきたことも重要な事実である。少なくとも現時点までに、水道水質基準値が守られている水から、メトヘモグロビン血症が報告された事例はない。この実績が持つ意味は大きい。

基準値をより厳しくすれば安全性はそれだけ高まるが、そのためのコストもかかる。現在のところ、利用者に負担の増加（具体的には水道料金値上げを意味する）を強いてまで基準値をこれ以上厳しくする必要性は見当たらないのである。

調査対象の州	メトヘモグロビン血症全体の報告数と死亡数		Aのうち、硝酸態窒素濃度 (mg/L) のデータが得られた報告数の濃度ごとの内訳						Bの合計 C
	死亡数	報告数	0~10	11~20	21~50	51~100	101以上		
カリフォルニア	0	1	0	0	0	1	0	1	
ジョージア	3	6	-	-	-	-	-	0	
イリノイ	6	75	0	1	4	12	11	28	
インディアナ	0	1	0	0	0	1	0	1	
アイオワ	11	数件	0	0	0	1	1	2	
カンザス	3	13	0	0	2	2	8	12	
ミシガン	0	7	0	0	0	0	7	7	
ミネソタ	14	139	0	2	25	53	49	129	
ミズーリ	0	2	0	0	0	0	2	2	
ネブラスカ	1	22	0	1	4	9	8	22	
ニューヨーク	0	2	0	0	0	1	0	1	
ノースダコタ	1	9	0	1	1	0	6	8	
オハイオ	0	0	0	0	0	0	0	0	
オクラホマ	0	0	0	0	0	0	0	0	
サウスダコタ	0	数件	-	-	-	-	-	-	
テキサス	0	0	0	0	0	0	0	0	
バージニア	0	1	0	0	0	1	0	1	
合計	39	278以上	0	5	36	81	92	214	
Cに占めるBの割合 (%)			0	2	17	38	43	100	

表3-3 乳児のメトヘモグロビン血症の事例数と硝酸態窒素濃度

ら硝酸態窒素濃度が測定されることもたびたびあったように、数字の正確さに欠ける部分もあるという。この論文の著者ウォルトン氏は、米国公衆衛生協会の委員会のコメントを引用しながら、以下のような説明を追加している。

「現時点では、乳児に対する安全と危険をはっきりと区別できるような飲み水中の正確な硝酸態窒素濃度を決めることはできない」

ただし一方で、このように基準値が設定され、水道水質が管理されることで、安全性

kgまでなら毒性影響はないものと判定された。なお、このような毒性影響が見られないと判定されたレベル（この場合は一日当たり15 mg/kg）のことを、専門用語では「No Observed Adverse Effect Level」(NOAEL)という。日本語では「無毒性量」と訳すことが多いが、正確には、毒性が「観察されなかった量」を意味する。いわば日本語訳は「誤訳」であり、この訳のためにNOAELを「ゼロリスクとなる量」と誤解している人も多い。

NOAELが判定されると、通常、ラットと人間の種差として10倍、人間の個人差として10倍、あわせて100倍の安全を見込んだ不確実性係数(UF・安全係数ともよばれる)を設定して、基準値が算出される。人間のほうがラットより感受性が高い(NOAELより低い量で毒性が生じる)可能性や、人間にも感受性が高い人がいる可能性を考慮したもので、「10倍」という数字は、不確実性を経験的に見積もって用いられてきたものである。最近では不確実性の程度を絞りこむような研究もなされてきているが、知見やデータが十分でなければ、不確実性係数を大さめに見積もることになる。

ホルムアルデヒドの場合は、風呂などの温水から空气中へ揮発する可能性があること、揮発したガス状のホルムアルデヒドを吸入すると発がんの可能性があることを考慮し、もう10倍の安全を見込んだ。これにより、一日に摂取可能な上限値は、15 mg/kgの1000分の1にあたる0.015 mg/kgとされた。そして、ヒトが摂取するホルムアルデヒドのうち、水道水由来は20%と

見積もり(残りの80%は食品など)、体重50 kgの人が一日2 Lの水を飲むと仮定して、

$$0.015 \text{ mg/kg} \times 0.2 \times 50 \text{ kg/2L} = 0.08 \text{ mg/L}$$

という計算から、水道水質基準値は0.08 mg/Lと定められた。

しかし、揮発したホルムアルデヒドの吸入による影響まで加味したのは、少々、心配のしすぎと思われる。実際には、この物質は水から揮発しにくく、吸入によって取り込む量は少ない。日本の水道水質基準の多くが従っているWHOの飲料水水質ガイドラインも、揮発・吸入に関する不確実性係数は考慮せず、ガイドライン値を0.9 mg/Lとしている(2004年刊行の飲料水水質ガイドライン第3版)。さらにその後、ホルムアルデヒドは飲料水中では、健康に問題が生じる濃度よりも十分に低い濃度でしか存在しないことから、ガイドライン値を設定する必要がないとすらしているのである(2011年刊行の飲料水水質ガイドライン第4版)。

2012年5月に利根川やその支川の浄水場で、基準値の2倍超に相当する、最大0.168 mg/Lのホルムアルデヒドが検出された。産業廃棄物のヘキサメチレンテトラミンという物質が処理されることなく河川に流れ込んでしまい、下流の浄水場で消毒のために使われた塩素と反応して、ホルムアルデヒドが生成されたのである。このため、1都4県の浄水場で取水停止の対策が講じられ、千葉県では約35万7000世帯が断水となった。地域によっては給水所に2時間待ち以上の行列ができたという。

しかし、この基準値は前述のように、ホルムアルデヒドをラットに2年間投与して観察された慢性毒性の結果から定められたものであり、しかも、揮発と吸入を見込んで不確実性係数をさらに10倍、上乗せした値である。もしほかの物質と同様にWHOのガイドライン値を水道水質基準値に用いていけば、基準値超過という判定にはならなかった。この程度のホルムアルデヒド濃度なら、かりにこの水を数日間利用したとしても、現時点で得られている科学的知見にもとづけば、そのリスクはまったくないか、ほとんど無視できるほど小さなものだったのである。

ただし、この解釈は原因がわかったいまだからできることで、当時はホルムアルデヒド以外の未知の化学物質が含まれていることを水道事業体の関係者は心配していたそうだ。加えて、いつまで汚染が続くのかもわからなかった。また、筆者は関係者から「キズものをお客さまに届けたくない」という声も聞いた。

断水をすべきかどうかの判断は難しい。この利根川の事例では、多くの人が給水所に長蛇の列をつくり、また、多くの店舗や事業所は水が使えず営業を停止せざるをえなかった。もしも37℃の酷暑時に2時間屋外にいと、高齢者3万7000人に1人が熱中症になり、熱中症になった7人に1人は死亡する可能性があるという推定がある。この事故は5月に起こったが、もし同様の事例が真夏に起き、断水という判断が下されたら、水が使えない不便さといった社会的コストに加えて、熱中症という深刻なリスクも生じることになる。

この事故後、国立保健医療科学院の大野浩一氏らが実施したアンケートによれば、水道水質基準を満たしていなくても、洗濯やトイレに利用できる水質であれば、断水しないほしいと回答者の大半が答えている。だがその一方で、水道水質基準を満たさないと健康を害するのではないかという不安も持っているようだ。

前述したように、水道水質基準値には安全性と性状という二つの観点からの基準があり、安全性の観点からの基準も、急性毒性／閾値がある慢性毒性／閾値がない慢性毒性に分けられる。急性毒性がある場合は水をたった一度飲むだけで深刻な影響が生じる可能性があるし、慢性毒性の場合は、短期的に基準値を数倍ほど超過しても、生じるリスクは無視できるほど小さい。この章の冒頭で紹介した「DHMO」のジョークのように、耳慣れない化学物質が基準値を超過したと聞けば、どうしても直観的な恐怖感が喚起されてしまうが、実際には、水道水質基準値超過の影響は、その観点、項目によって大きく異なる。基準値を超過したらただちに断水すべき場合もあれば、状況によっては、むしろ断水すべきではない場合もあるのだ。

臭素酸・ヒ素…③閾値なしの慢性毒性

閾値なしの発がん性物質の場合は、非常に少ない摂取量でも、わずかながら発がんの可能性があると考えるにもとづいて管理される。

その基準値は一般に、その物質を含んだ水を一生涯飲みつづけたとき、10万人に1人が発がんするリスク（「発がんリスク 10^{-5} 」という）が生じる濃度はどの程度か、にもとづいて設定される（第2章末のコラム参照）。ただし、ここでいう発がんリスクは、がんを罹患する確率というより、安全を見越して大きめに算出された値である。「 10^{-5} 」（10万人に1人）という数字は、やはりWHOの飲料水水質ガイドラインに準拠したもので、もともとのルーツは、米国における食品中の発がん性物質の管理をめぐる議論にある。水に限らず、基準値を決めるうえで非常によく使われるリスクの物差しである。

なお、ここでいう「 10^{-5} 以下」とは、すべての物質のリスクの合計を 10^{-5} 以下にするという意味ではなく、一つの媒体（ここでは水道水）に由来する、一つ一つの物質のリスクをそれぞれ 10^{-5} 以下にするという考え方である。

臭素酸という物質の例を見てみよう。水道水の処理方法には、凝集、沈殿、濾過、塩素消毒といった通常の方法に加え、オゾン処理や活性炭処理などがある。これらの追加的な処理を高度処理といい、水の安全性を高め、おいしくするために行われるのだが、水道水源が海水などの影響で臭素を含んでいる場合、オゾン処理を行うと、臭素酸が生成されてしまう。臭素酸は、動物実験では発がん性があることがわかっており、ヒトに対しても発がん性が疑われている。

臭素酸の基準値は、動物実験で見られたがん発生率から算出されている。オスのラットを五つ

のグループに分け、濃度の異なる臭素酸を100週間にわたって飲み水に混ぜて与えたところ、がん発生率が増加した。発がんリスク 10^{-5} に相当する摂取量が一日当たり 0.000357 mg/kg と計算されたことから、体重50kgの人が毎日2L飲むと仮定して基準値を計算し、

$$0.000357\text{ mg/kg} \times 50\text{ kg/2L} = 0.01\text{ mg/L}$$

という計算から 0.01 mg/L と定められた。このほかの閾値がない発がん性物質の基準値についても、これと同様の算定方法が用いられている。

一方、臭素酸とは趣を異にする算定方法がとられているのが、ヒ素の基準値である。世界のさまざまな地域において、ヒ素で汚染された井戸水を飲んで皮膚がんなどが増加した事例が報告されている。ヒ素に発がん性があることは明らかだが、この物質の基準値については、発がんリスク 10^{-5} に相当する値を設定するという従来の算定方法は採られていない。

日本でも1993年に 0.05 mg/L から 0.01 mg/L へと基準値が強化され、2003年にその見直しがなされたが（数値は変更されず）、発がんリスク 10^{-5} をもとに設定する方法は採用されなかった。その理由としては、ヒ素の発がん性のリスク評価にはかなりの不確実性があること、飲料水からヒ素を除去するのは現実的に困難であることが挙げられている。

たしかに、ヒ素の発がんリスクの機構や評価手法には不確実性がある。だが、一般的な方法で基準値を設定されたほかの化学物質も、発がんリスク評価にはかなりの不確実性がある。むしろ

ヒトの疫学データがあるという点では、ヒ素は知見が蓄積されているといってもいい。にもかかわらず、一般的な算定方法にはよらずに設定された 0.01mg/L という水道水質基準値は、どちらかというところ「現実的に達成できるかどうか」という観点からの数字、と見るほうが実態に近いだろう。

このような根拠に乏しい基準値で、水道水の安全が確保できるのか、と思われる読者もいるだろう。しかし、基準値を守るには、技術やコストが必要である。ヒ素を飲料水から除去するのはきわめて難しく、守ることができない基準値を設けても意味がないのである。ちなみに米国環境保護庁（EPA）は飲料水中のヒ素濃度の基準値について、除去施設の設定などのリスク削減に要するコストと、人々の支払い意思額とを比較・分析するというプロセスを踏まえたうえで、それまでの 0.05mg/L から 0.01mg/L へと改定している（結果的に日本のヒ素の水道水質基準と同じ値である）。

なお、ヒ素に関しては水道水よりも、第2章で述べたようにコメやひじきなどの食品から人体に取り込む量のほうがはるかに多いのだが、食品中のヒ素をリスクに応じて厳しく管理するといふ動きも、日本では現在のところ見られない。

↑ 病原性微生物に関する基準①塩素の濃度

化学物質のほかに、病原性微生物についても水道水質基準値が定められている。病原性微生物で汚染された水は、たった一度飲んだだけでも下痢などの感染症が生じる場合があり、これは急性毒性にあたる。こうした感染症に関連した基準としては、一般細菌と大腸菌がある。それぞれ水道水質基準51項目の1番目と2番目に記載されていて、専門家にも、水道水質基準においてとくに重要なのは病原性微生物の項目だ、という思い入れを持つ人は少なくない。

現在の水道の状況に慣れていると、水を飲んで下痢になるとか、運が悪ければ死に至ることがあるというのは、なかなか考えにくいかもしれない。しかし、ただか60年前には水道の普及率は30%程度であり、赤痢や腸チフスなどの水系感染症（水を飲むことでかかる感染症）の患者は年間10万人以上も発生していた。実はいまだに、飲み水が原因で病原性微生物に感染し、下痢などの症状が出た事例は毎年起きている。大半は、比較的規模が小さい施設や飲用井戸などにおいて、消毒装置が壊れたり、消毒剤を入れなかったりしたことではある。

汚れた水を飲むとコレラに感染することを初めて明らかにしたのは、19世紀半ばのイギリスの医師ジョン・スノウである。彼は麻酔法の確立に貢献した人物として知られるが、疫学調査の創設者でもあった。ロベルト・コッホによつてコレラの原因がコレラ菌であることが突きとめられるよりも30年ほど前のことだった（ちなみにコッホに先んじて、コレラ菌を最初に報告したのはフリーッポ・パチーニだが、30年近く無視された）。もともと、紀元前の頃から戦争時に死体や

下痢などの感染症を招く病原性微生物には、赤痢菌、レジオネラ属、サルモネラなどの細菌、ノロウイルスやE型肝炎ウイルスなどのウイルス、クリプトスポリジウムなどの原虫など、さまざまなものがあり、それら一つ一つの存在量をすべて把握し、基準を設けるということは現実的には不可能といつてよい。一つの病原性微生物をとっても、その存在量が十分に少ないことを示すには10tないしは100tもの水で測定する必要があるからだ。汚染は突発的に生じることも多く、それに備えて毎日、10tから100tの水を使って検査することは事実上、無理である。

↑ 病原性微生物に関する基準の一般細菌と大腸菌

Q（連合国軍総司令部）が水道の塩素消毒を徹底するように指示したことが大きく貢献している。それは遊離塩素濃度を浄水場の水で2mg/L、蛇口水でも0.4mg/Lに保持するようにとの指令であった。この値は米軍が野戦で用いていた基準にもとづいている。現在でも（水道水質基準という位置づけではないが）、蛇口水中に一定濃度以上の塩素が含まれることが水道法によって義務づけられている。世界的に見れば、浄水場での塩素濃度を定めている国がほとんどであり、日本のように蛇口水での塩素濃度を規定している国は非常に珍しい。世界でも稀なこの方法のルーツは、GHQ指令と米軍の野戦基準にあったのである（なお現在では、蛇口水中に必要な遊離塩素濃度は0.1mg/L以上にならなければならない）。

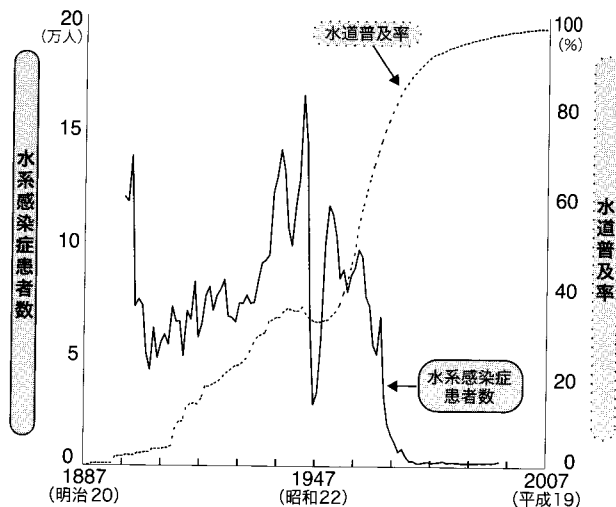


図3-2 水道の普及率と水系感染症の患者数

1940年代後半に患者数が激減しているのは、戦後のデータ不足のためと考えられる。

糞便を相手が使用している井戸に投げ込むという戦略がとられていたよ
うだから、汚れた水が健康によくな
いことはなんとなく知られていたの
だろう。ジョン・スノウの活躍によ
って、水を砂で濾過したり、塩素な
どで消毒したりすることで、感染症
などでの死亡率が低下することがわ
かり、水の浄化・消毒というプロセ
スが徐々に導入されるようになった。
図3-2は近代以降の日本の水道
の普及率と、水系感染症の患者数の
関係を示したものである。1950
年代以降、水道の普及とともに患者
数は劇的に減少した。これにはGH

そこで、水系感染症を引き起こす病原性微生物がヒトや動物の糞便に由来することから、糞便汚染の有無を調べるという検査方法が用いられている。そのために測定されるのが、一般細菌や大腸菌の数である。一般細菌や大腸菌とは特定の菌を指すのではなく、ある特定の温度下で培養したときにコロニー（集落）を形成する菌の総称である。これらは水道水源が糞便に汚染されているか、水の浄化・消毒が機能しているかを判断するために用いられ、「代替指標菌」と呼ばれている。糞便中に存在量が多く測定しやすいこと、自然環境および浄化・消毒に対するふるまいがほかの病原性微生物と類似していることなどが、代替指標菌として選ばれた理由である。

一般細菌の数は、日本の水道水質基準値では1 mLの水に100個以下と定められている。この根拠となったのはコッホによる調査であり、彼は論文『水の濾過とコレラ』において、浄水場で一般細菌が1 mLあたり100個以下になるまで水を濾過すれば、経験的にコレラが発生しないと記している。コッホといえば、感染症の病原体を特定したこと、なんとなく理学的なイメージがあるかもしれないが、浄水場における調査と疫学的な結果を照合するという実務的に優れたセンスも兼ね備えていたのである。

このときコッホが調査した浄水場で用いられていた濾過方法は、ゆっくり時間をかけて砂で濾過する緩速濾過といわれるものだった。しかし、現在の日本では、急速濾過（凝集剤が添加され、濾過速度が速い）が主流であるうえに、塩素による消毒が必須であり、コッホの調査のときは条件が大きく異なっている。その意味では、一般細菌を代替指標菌とする意義は今日では弱いのだが、これまで長きにわたって実務上使用されてきてデータや知見が蓄積されていることもあって、現在も水道水質基準の項目に「一般細菌」が維持されている、というのが実情なのである。

一方で、大腸菌を代替指標菌とする水道水質基準は、100 mLの水から「検出されない」と、と定められている。注目すべきは「100 mL」という数字である。「1 mLの水から検出されない」と「100 mLの水から検出されない」とは、意味するところが異なる。試験に用いる水量が多ければ多いほど、わずかな汚染でも感知できるようになるからだ。では、どのような理由で100 mLと決められたのだろうか。じつは、そこには明確な根拠はなく、すべての水道事業体で検査が可能な水量、という現実的な理由だったようだ。つまり、感染リスクが十分に低くなることを約束しているわけではないのである。

このように日本の水道水の病原性微生物は、蛇口水での塩素濃度と、一般細菌と大腸菌という代替指標菌による水道水質基準とで管理されているが、その根拠はいずれも、感染リスクの大きさにもとづいたものではなく、経験則によって実務的に設定されている。

1 病原性微生物に関する基準③クリプトスポリジウム対策

塩素消毒や、代替指標菌による検査をすり抜けてしまう病原性微生物がいる。その一つである

クリプトスポリジウムは原虫の一種で、感染するとひどい下痢などを起こす。塩素への耐性は大腸菌の数十万倍ともいわれ、水道法が定める 0.1 mg/L 以上の遊離塩素を含む水でも、大腸菌が検出されない水でも生存することができる。クリプトスポリジウムの存在は1993年、米国ミルウォーキーで40万人以上が下痢を発症した集団感染を引き起こしたことで知れわたった。日本では1996年に埼玉県越生町で大規模なクリプトスポリジウム感染が発生し、町民約1万4000人のうち、9000人近くが下痢などを発症した。これを契機に、日本でも水道水の安全体制の見直しが進められた。

現在、水道水中のこうした塩素耐性のある病原性微生物には、次のような対策がとられている。

まず、水道原水の種類と代替指標菌の存在量によって、汚染の可能性を4段階にレベル分けする。そして、最も汚染の可能性が高いレベル4に対しては、浄水場での濾過施設の整備と、濾過施設から出る水の「濁度」にもとづいて管理している。濁度とは水の濁りの指標で、クリプトスポリジウムと直接的に関係があるわけではない。しかし、クリプトスポリジウムの数を毎日測定することは現実的に難しいし、代替指標菌で判定することもできない。そこで、濾過施設が十分に機能し、水の濁りが十分に取れていれば、クリプトスポリジウムも十分に除去できているはず、と考えたのである。コッホが一般細菌の数でコレラ発生の有無を判定したのと似ている。

ここで定められた濁度の値は 0.1 度以下というもので、これは米国ミルウォーキーでの事例などを参考に定められた。水道水質基準値では2度だから、かなり厳しい管理が求められていることになるが、日本の浄水場でもこの値を維持することは技術的に可能、との判断があった。この厳しい基準をクリアするため、比較的小規模の浄水場を中心に膜濾過設備が普及していった。病原性微生物への対策を、浄水場の処理技術によって講じるというアプローチは、米国ではかなり進んでいる。たとえばクリプトスポリジウムに関しては99%、ウイルスに関しては99.99%という除去率が、処理技術の基準となっている。この除去率は「年間で1万人に1人が感染するリスク」(10^{-4} の感染リスク)を受け入れられるレベルと考えて計算されている。年間で1万人に1人も感染してよい、とはかなり緩い(リスクが大きい)ように感じるかもしれないが、実際には、これを達成することは容易ではない。この「年間 10^{-4} 」という感染リスクの値は1980年代に議論され、醸成されてきたもので、その根拠は、実際に報告されたさまざまな水系感染症の合計患者数が、年間で1万人におよそ1人程度の割合だったことにある。さらに、感染しても自覚症状がない場合もあること、患者数の報告値には不確実性があることを考えて、「発症」の確率より厳しい「感染」のリスクを指標とすることとした。

ところが、「 10^{-4} の感染リスク」が広く知られるようになった1990年代後半になると、その提言に主体的に関わった衛生工学の専門家チャールズ・ハース氏本人が、このリスクに疑問を呈

53.3 kg

日本人の平均体重は
何kgか

重」については、さまざまな分野で使用される値が異なっている。

たとえば産業技術総合研究所による曝露係数調査では、16歳以上の平均体重は男性が64・0kgで、女性52・7kgとなっている。これは2000年の厚生労働省による国民栄養調査を根拠としている。

残留農薬基準値の算定など、食品衛生法に関する場合は、標準体重として53・3kgが使用される。これは1998〜2000年の国民栄養調査の結果から決定された。少ないように感じられるが、それは子供も含めた日本人全体の平均値だからである（小児平均15・1kg、妊婦平均55・6kg）。なぜ小児のみを考慮した基準値がないのかというと、ADI（↓第5章）などの摂取許容量は、突発的に高濃度の化学物質を摂取した場合の急性的な影響ではなく、一生涯、摂取を継続した場合の慢性的な影響をもとに判断されるからである。

また、水道水質基準や環境基準の健康項目は、平均体重を50kgと仮定して決定されている。その明確な根拠の記載は見つからなかったが、前述の全体平均「53・3kg」を、計算を簡単にするために、もしくは安全側

している。その後の知見の蓄積を踏まえて計算しなおしてみると、実際の患者数は年間1000人に1人くらいであり、対策上のコストも考えると、受け入れられる感染リスクレベルは年間1000人に1人（ 10^{-3} ）か、あるいはもっと緩いレベルにしたほうがよいのではないかと述べたのである。しかし、リスクレベルを緩めるような提案は受け入れにくいのか、いまだに年間感染リスク 10^{-4} が広く使われているのが実情である。

受け入れられるリスクレベルをどう設定するかについては議論があるものの、米国が病原性微生物について、感染リスクにもとづいた基準を明確に打ち出していることは注目値する。米国も日本も、病原性微生物の感染リスクそのものを測定するのではなく、浄水場の処理技術을考慮して基準値を設定しているという意味では変わりはない。実際に生じた感染事故の患者数などを見ても、日本の水道水の感染リスクが米国と比べて高い、とは筆者は思わない。しかし、米国と日本では、受け入れられる感染リスクを明示しているか、という点で大きな違いがある。現在の日本の水道水質基準では、病原性微生物の感染リスクは依然として不明のままである。専門家によって感染リスクにもとづいた管理手法が提案されてはいるものの、「基準値」という形で社会実装されるまでには至っていない。

第2章でも紹介したように、食品中の化学物質の基準値を算定するときは「体重50kgの人が一日に150gのコメを食べた場合」などの仮定が必要となる。このときの体重「50kg」や、コメを摂取する量「150g」などの数字を「曝露係数」と呼ぶ。曝露係数は当然、日本人を代表するものでなければならぬが、このうち「平均体

に考えるために数字を丸めたものかもしれない。このように、同じような分野でも基準値の計算方法に微妙な違いがあるのを発見すると、基準値マニアたる筆者は「マミ」とさせられるのだ。

健康関連以外の分野をみると、乗用車の車両総重量は、車両重量＋（乗車定員×平均体重55kg）として計算されている。これは53・3kgに、服や手荷物などの重さを上乗せしたものだろう。ただし、乗用車は「重さ」ではなく「定員」で規制されているので、定員5人の乗用車に100kgの大人が5人乗っても法律上はまったく問題ない（加速やブレーキには注意が必要だが）。しかし、エレベーターの定員は人数ではなく重量で管理されていて、建築基準法にもつき平均体重65kgが使用されている。これは成人男性の利用を想定したものだろう。

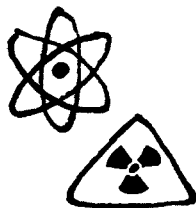
世界に目を移すと、WHOの飲料水水質ガイドラインでは、60kgが採用されている。米国では、以前は1976～1980年の調査をもとに、成人の平均体重は71・8kg（男性78・1kg、女性65・4kg）とされていたが、30年後の2007～2010年の調査によって男性88・6kg、女性75・3kgと大きく増加し、最新の曝露係数では80kgの使用が推奨されている。船舶の定員を計算するための平均体重も、2011年に72・5kgから83・8kgに変更され、そのぶん定員を減らさなければならなくなった。

このように、平均体重にどの値を使うかは、規制に影響する大きな問題でもあるのだ。そして、その数字は場合によってさまざまに違う。このような数字を見たときは、ぜひその根拠にまで想いをめぐらせていただきたい。

第4章

放射性物質の基準値

「暫定規制値」とは何だったのか



▲「暫定規制値」への疑心暗鬼

2011年3月11日に発生した東日本大震災にともなって起きた福島第一原発事故ほど、日本人に「基準値」についての問題を突きつけたものはないだろう。

原発から放出された放射性物質は、風によって大気中に拡散し、雨によって地表に降下して、福島県はもとより、関東地方ほか周辺地域をも広範にわたって汚染した。農作物や水道水などからは基準値を超える放射性物質が次々に検出され、人々の生活の根幹となる飲食物の安全が脅かされた。