

論 文

岡山県内水道水中のトリハロメタン及び有機ハロゲン化合物濃度 Concentration of Trihalomethanes and Organic Halogens in Tap Water for Okayama Prefecture

鶴崎 実, 藤村 崇子

緒 言

水道水中に含まれるトリハロメタン (THM) をはじめとした多くの有機ハロゲン化合物に発ガン性や変異原性があることが報告されて以来^{1)~3)}, 水道水の THM 濃度や有機ハロゲン化合物濃度は水道水の安全性の観点から注目を集めるようになった。日本でも 1981 年には, THM 濃度の制御目標値が設定され, その後, 1993 年 12 月から施行された新水道水質基準で THM は水質基準項目の 1 つに指定され, 総 THM 濃度を, 0.1mg/ℓ (100ppb) 以下に保つことが義務づけられた。その結果現在では, THM 濃度については, 各浄水場毎に末端の水道蛇口でおおむね年 12 回の測定結果が集計され, 都道府県を通じて厚生省に報告されることとなった。一方, 有機ハロゲン化合物は, 水質基準に指定されておらず, その濃度報告は義務づけられていない。水道水中の全有機ハロゲン化合物 (TOX) 濃度は, 1986 年 7 月に中西が都市域を中心に全国的な測定を行った⁴⁾。また, 田中ら⁵⁾も全国 9 地点で報告しているが, TOX の濃度分布についての報告は少ない。

今回, 岡山県内の水道 57 箇所について, THM 濃度および TOX 濃度の測定調査を 1994 年の 5 月および 7 月に実施した。その結果から, THM 濃度および TOX 濃度の全県的分布を明らかにするとともに, 水道水源の種別 (ダム直接水, ダム放流水, 湖・貯水池, 河川表流水, 河川伏流水, 井戸水) との関係などを明らかにし, THM 濃度や TOX 濃度から見た岡山県の水

道の特徴を明らかにした。岡山県内の水道の THM 濃度については, 前報⁶⁾でも扱っている。そこでは, 岡山県に県下の水道事業所から報告された各浄水場ごとの水道水の総 THM 濃度の年 1 回のデータに基づいて解析した。しかし, そのデータには次のような問題があった。第一に, これが 1 年のうちのどの時期に採水した浄水についてのデータであるか不明であった。採水時期の違いは, THM 濃度に大きく影響する点で問題となる。第二に, 水質検査の報告書に記載されている水源の種別について一部正確さに欠けていることである。かつて伏流水を取水していた浄水場で現在は河川表流水になっていても, 記載の変更がなされていないケースもあった。本報では, 同一時期に全県下一斉に調査を行うことで, 第一の問題点の解消を図った。また, 水源の種別について疑問のある場合は浄水場あるいは水道事業者を確認をとることにより, 第二の問題の解消を図った。

実 験

1. 試料

岡山県には, 1994 年時点で上水道, 簡易水道等あわせて 273 箇所の水道施設がある⁷⁾。その中から, 給水量の多い 57 箇所を選び, その給水エリアの一般家庭, 派出所 (警察), ガソリンスタンドなどの水道蛇口を借りて採水した。採水は, 1994 年 5 月 4, 5 日と同年 7 月 25, 26 日の 2 回実施した。

水道蛇口からの採水は, 蛇口付近に滞留している水道水を除くため 1 分以上水道水を出したままにした

後、500ml瓶にほぼ一杯採水した。採水時に、水温、残留塩素濃度を測定した。残留塩素濃度は、オルトトリジン法（OT法）を用い、目視による比色で定量した。

2. 全有機炭素量の測定

水道試料中の全有機炭素（TOC）量は、試料25mlを塩酸酸性（pH2）にした後、無機炭素を除去するためCO₂を含まない高純度空気ガスを流速200ml/minで、12分間通し、その後SHIMADZU全有機炭素計TOC-5000に導入し測定した。

3. トリハロメタン（THM）量の測定法

水道試料10mlを15mlスクリーウ栓付（テフロンパッキング使用）試験管にとり、n-ペンタン2mlを加え、30秒以上振とうし、THM類を抽出した。n-ペンタン抽出液をガスクロマトグラフ（Hewlett Packard製 5890シリーズⅡ，検出器：ECD）に

表1. 水道水中のトリハロメタン、TOX量に関する岡山県全域調査結果（1994年5月）

市町村	水道名	浄水場	年間 取水量 (千m3)	水源の 種別	TOC (mg/l)	遊離 塩素 (ppm)	THM (ppb)	Cl3	Cl2Br	ClBr2	Br3	TOX (ppb)
岡山-1	上水道	三野	71051	表-伏	0.70	0.90	11.8	7.1	3.3	1.4	0.0	46
岡山-2	上水道	旭東	10576	表-伏	0.66	0.80	14.8	8.8	4.1	1.9	0.0	45
岡山-3	上水道	山浦	6226	伏	0.29	0.50	2.6	0.0	0.2	1.0	1.4	6
岡山-4	上水道	幡越	8310	表	1.03	0.60	20.5	12.2	6.0	2.1	0.2	79
岡山-5	上水道	長野	779	湖沼水	1.30	1.30	16.5	11.3	4.2	1.0	0.0	90
倉敷-1	上水道	片島	9351	表-伏	0.92	0.35	27.1	9.9	5.3	5.4	6.5	55
倉敷-2	上水道	上成	11146	伏	0.45	0.35	3.7	0.5	1.0	1.5	0.7	21
津山-1	上水道	小田中	7785	表	0.48	0.35	12.4	7.4	3.6	1.4	0.0	41
津山-2	上水道	草加部	6878	表	0.54	0.15	5.9	2.6	2.1	1.1	0.1	28
井原	上水道	東部	1744	井(浅)	0.77	0.30	4.4	0.0	0.1	0.7	3.6	6
総社	上水道		5777	井(浅)	0.52	0.60	0.8	0.0	0.1	0.2	0.5	4
高梁	上水道		2072	井(浅)	0.52	0.20	3.3	0.8	0.3	1.6	0.6	14
新見	上水道	馬塚	2209	表	0.94	0.20	16.6	11.5	4.1	0.9	0.1	60
御津	上水道		909	井(浅)	0.66	0.80	4.1	0.8	1.2	1.5	0.6	14
建部	上水道		1215	ダム放	0.71	0.15	11.5	6.3	3.6	1.4	0.2	48
瀬戸	上水道	大内	2774	井(浅)	0.59	0.60	8.0	2.0	2.7	2.7	0.6	24
吉井	周さい		293	伏	0.46	0.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13
佐伯			280	井(浅)	0.29	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3
和氣	上水道		711	伏	0.33	0.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2
長船	上水道		1403	伏	0.22	0.30	1.3	0.0	0.1	0.5	0.7	2
矢掛	上水道	矢掛	1160	井(浅)	-	1.20	6.4	1.0	1.7	2.7	1.0	15
真備	上水道		2606	井(深)	-	0.45	3.0	0.1	0.8	1.0	1.1	9
賀陽-1	上水道		45	貯水池	1.03	0.15	12.1	6.9	3.8	1.3	0.1	59
賀陽-2	上水道		95	貯水池	0.52	0.20	6.3	0.7	1.7	2.6	1.3	40
賀陽-3	上水道		39	伏	1.04	0.00	9.6	5.8	2.8	0.9	0.1	58
賀陽-4	上水道		150	井(浅+深)+表	0.59	0.40	7.2	2.2	2.6	2.0	0.4	28
成羽-1	上水道		412	表	0.64	0.80	10.9	5.3	3.6	1.5	0.5	37
成羽-2	上水道		21	貯水池	0.84	0.60	20.9	17.2	3.4	0.3	0.0	84
成羽-3	上水道		42	表	0.70	0.40	7.6	5.8	1.5	0.2	0.1	74
川上	上水道	地頭,領家		表	0.67	0.20	8.9	4.7	3.0	1.2	0.0	33
勝山	上水道	城内,江川	829	伏	0.45	0.40	7.4	2.2	2.6	2.2	0.4	27
落合-1	上水道		503	伏	0.33	0.30	1.3	0.0	0.3	0.7	0.3	7
落合-3	上水道		33	表	0.60	0.05	24.1	14.0	6.8	2.9	0.4	54
久世-1	上水道	久世	480	表+伏	0.45	0.35	5.9	1.8	1.9	1.6	0.6	20
久世-2	上水道	草加部	453	井(浅)	0.28	0.30	2.9	0.1	0.4	0.9	1.5	7
加茂	加茂		457	井(深)	0.36	0.40	1.2	0.1	0.1	0.4	0.6	7
鏡野	受水	広域企	1152	表	0.53	0.30	10.7	4.9	3.6	1.4	0.8	44
勝央	上水道	第1,第2	1851	(伏,実質表流)	0.90	1.75	17.3	8.6	5.8	2.6	0.3	59
奈義	上水道		829	ダム直	0.68	0.35	15.4	9.4	4.4	1.5	0.1	58
勝北	上水道		499	表	0.58	0.35	10.9	6.4	3.6	0.8	0.1	42
美作	上水道		2653	表	0.76	0.80	12.7	7.9	3.6	1.1	0.1	49
英田	上水道		1033	表+伏	0.72	1.50	10.7	4.2	3.2	3.0	0.3	34
旭町-1	上水道	西川	50	表	1.12	0.40	10.9	8.8	1.9	0.2	0.0	71
旭町-2	上水道	併加	46	表	0.62	0.00	5.6	2.6	2.1	0.8	0.1	29
久米南-1	上水道	久米南	344	表	0.85	0.80	16.0	9.0	4.8	2.0	0.2	48
久米南-2	上水道	山手	23	ダム直	2.16	0.00	38.1	29.4	7.2	1.4	0.1	138
久米	久米第1		153	井(浅)	0.37	0.55	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0	9
柵原-1	上水道	北部	90	表	0.84	0.90	17.7	11.3	4.6	1.6	0.2	52
柵原-2	上水道	飯岡	20	井(浅)	0.34	0.05	2.1	0.2	0.1	0.5	1.3	6
邑久	受水	邑久牛窓企	4058	表	0.38	0.50	3.8	1.2	1.4	0.8	0.4	11
備前	受水	東備企	7549	伏	0.34	0.20	5.3	0.5	1.3	2.3	1.2	10
加茂川	受水	吉備高原企	494	ダム直*	0.28	0.40	10.0	5.1	1.5	1.6	1.8	18
吉備高原	受水	吉備高原企		ダム直*	0.14	0.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4
笠岡	受水	県西南企	9408	表	2.18	0.40	27.0	18.5	8.3	0.2	0.0	78
鴨方	受水	県西南企		表	0.95	0.70	21.9	13.9	6.0	1.8	0.2	81
倉敷-3	受水	備南企	31023	伏+井	0.38	0.80	3.1	0.5	1.0	1.2	0.4	15
倉敷-4	受水	県南部企	36748	表+伏	0.74	0.80	13.3	6.5	4.7	1.9	0.2	76
単純平均					0.67	0.48	9.7	5.2	2.6	1.3	0.6	37
加重平均					0.68	0.68	10.8	5.6	3.1	1.6	0.5	42

水源の種別 伏：伏流水、井：井戸水、(深)：深井戸、(浅)：浅井戸、表：河川表流水、ダム直：ダム貯水の直接取水
Cl3：クロロホルム、Cl2Br：プロモジクロロメタン、ClBr2：ジプロモクロロメタン、Br3：プロモホルム

表2. 水道水中のトリハロメタン、TOX量に関する岡山県全域調査結果(1994年7月)

市町村	水道名	浄水場	年間 取水量 (千m ³)	水源の 種別	TOC (mg/l)	遊離 塩素 (ppm)	THM (ppb)	Cl3	Cl2Br	ClBr2	Br3	TOX (ppb)
岡山-1	上水道	三野	71051	表・伏	1.10	0.30	23.0	9.2	8.1	4.9	0.8	81
岡山-2	上水道	旭東	10576	表・伏	0.82	0.30	20.9	7.2	6.8	5.4	1.5	70
岡山-3	上水道	山浦	6226	伏	0.62	0.60	4.6	2.3	0.3	1.2	0.8	33
岡山-4	上水道	鴨越	8310	表	1.98	1.50	52.0	38.2	11.2	2.2	0.4	207
岡山-5	上水道	長野	779	湖沼水	1.79	1.40	27.2	19.7	6.5	1.0	0.0	126
倉敷-1	上水道	片島	9351	表・伏	1.54	0.80	38.4	22.0	10.9	4.7	0.8	152
倉敷-2	上水道	上成	11146	伏	0.74	0.35	5.5	0.9	1.5	2.3	0.8	51
津山-1	上水道	小田中	7785	表	1.18	0.50	31.7	20.3	8.9	2.4	0.1	132
津山-2	上水道	草加部	6878	表	0.78	0.50	14.2	10.2	0.8	2.8	0.4	84
井原	上水道	東部	1744	地(浅)	0.60	0.20	10.4	0.1	1.2	4.6	4.5	34
総社	上水道		5777	地(浅)	0.54	0.40	0.6	0.0	0.0	0.2	0.4	18
高梁	上水道		2072	地(浅)	0.71	0.15	6.8	1.0	1.6	2.9	1.3	38
新見	上水道	馬塚	2209	表	1.24	0.20	33.6	19.7	9.7	3.9	0.3	98
御津	上水道		909	地(浅)	0.68	0.30	3.1	0.4	0.6	1.3	0.8	26
建部	上水道		1215	ダム放	0.97	1.00	22.1	11.4	7.2	3.1	0.4	115
瀬戸	上水道	大内	2774	地(浅)	0.82	0.50	17.0	3.4	5.7	6.4	1.5	68
吉井		周さい	293	伏	0.98	0.00	11.3	1.3	3.0	4.6	2.4	68
佐伯		佐伯	280	地(浅)	0.59	0.00	3.8	1.2	0.1	0.6	1.9	12
和気	上水道		711	伏	0.59	0.10	1.9	1.1	0.1	0.3	0.4	24
長船	上水道		1403	伏	0.67	0.25	1.5	0.7	0.1	0.3	0.4	20
矢掛	上水道	矢掛	1160	地(浅)	0.81	0.70	11.9	1.5	3.4	5.2	1.8	60
真備	上水道		2606	地(浅)	0.63	0.20	5.8	0.8	1.8	1.9	1.3	36
賀陽-1	上竹	45	貯水池	0.98	0.08	13.8	6.7	4.8	2.2	0.1	49	
賀陽-2	豊野	95	貯水池	1.24	0.00	16.8	5.0	6.1	5.0	0.7	45	
賀陽-3	神原	39	伏	0.97	0.25	22.6	9.5	8.0	4.6	0.5	97	
賀陽-4	大和	150	地(浅+深)+表	1.19	0.20	17.8	6.4	6.5	4.2	0.7	70	
成羽-1	成羽	412	表	1.05	0.60	16.3	10.5	4.8	1.0	0.0	69	
成羽-2	吹屋	21	貯水池	1.57	0.00	49.9	42.7	5.5	1.7	0.0	158	
成羽-3	坂本	42	表	0.77	0.25	8.0	3.8	2.8	1.3	0.1	43	
川上		地頭,領家		1.48	0.35	8.7	3.3	3.2	2.0	0.2	59	
勝山	上水道	城内,江川	829	伏	0.80	0.40	6.6	1.5	2.3	2.4	0.4	70
落合-1	落合	503	伏	0.60	0.35	1.6	0.0	0.1	1.4	0.1	19	
落合-3	西河内	33	表	0.93	0.00	21.9	9.9	7.2	4.3	0.5	41	
久世-1	上水道	久世	480	表+伏	0.85	0.30	6.2	1.0	1.8	2.7	0.7	56
久世-2	上水道	草加部	453	地(浅)	0.63	0.30	3.4	0.2	0.6	1.5	1.1	37
加茂	加茂	457	地(深)	0.79	0.50	1.7	0.0	0.3	0.8	0.6	25	
鏡野	受水	広域企	1152	表	0.84	0.20	5.4	0.6	1.3	2.5	1.0	25
勝央	上水道	第1,第2	1851	(伏,実質表流)	1.79	0.80	35.8	18.3	11.7	5.2	0.6	150
奈義	上水道		829	ダム直	1.20	0.10	16.6	12.1	3.8	0.7	0.0	95
勝北	上水道		499	表	0.76	0.15	20.0	5.2	6.9	6.6	1.3	61
美作	上水道		2653	表	1.68	0.35	40.2	27.4	10.2	2.5	0.1	153
英田			1033	表+伏	0.77	2.00	12.2	2.2	3.2	4.9	1.9	62
旭町-1	西川		50	表	1.34	0.15	16.0	10.9	4.4	0.7	0.0	86
旭町-2	垪加		46	表	0.93	0.15	25.7	15.4	7.5	2.7	0.1	92
久米南-1	久米南		344	表	1.42	0.15	15.5	6.2	5.6	3.3	0.4	105
久米南-2	山手		23	ダム直	1.97	0.00	55.1	43.2	10.2	1.7	0.0	134
久米	久米第1		153	地(浅)	0.56	0.15	2.9	0.1	0.4	1.2	1.2	31
備原-1	北部		90	表	1.45	0.00	21.1	8.3	7.1	4.7	1.0	98
備原-2	飯岡		20	地(浅)	0.74	0.15	6.3	0.5	1.1	2.7	2.0	36
邑久	受水	邑久牛窓企	4058	表	0.58	0.20	7.6	2.8	2.1	1.9	0.8	42
備前	受水	東備企	7549	伏	0.53	0.20	6.1	0.8	1.3	2.7	1.3	46
加茂川	受水	吉備高原企	494	ダム直	0.67	-	8.9	4.6	2.0	1.8	0.5	89
吉備高原	受水	吉備高原企		ダム直	0.65	0.45	4.9	3.3	0.6	0.8	0.2	81
笠岡	受水	県西南企	9408	表	1.44	0.40	41.8	29.0	9.9	2.8	0.1	155
鴨方	受水	県西南企		表	1.28	0.10	55.1	41.5	10.9	2.6	0.1	175
倉敷-3	受水	備南企	31023	伏+地	0.63	0.50	4.9	0.1	1.1	2.7	1.0	34
倉敷-4	受水	県南部企	36748	表+伏	0.85	0.40	17.7	9.0	5.2	3.1	0.4	81
単純平均					0.99	0.36	16.9	9.0	4.4	2.7	0.7	74
加重平均					0.97	0.43	18.9	9.2	5.5	3.5	0.8	79

水源の種別表 伏：伏流水、井：井戸水、(深)：深井戸、(浅)：浅井戸、表：河川表流水、ダム直：ダム貯水の直接取水
Cl3：クロロホルム、Cl2Br：プロモジクロロメタン、ClBr2：ジプロモクロロメタン、Br3：プロモホルム

ン、ジプロモクロロメタン、プロモホルムを分離定量し、それらの合計を総THM量とした。分離にはDB-624キャピラリーカラム(内径0.53mm、長さ30m、膜厚3μm)を使用した。カラム温度は、試料導入時から4分間40℃に保持し、その後4.5℃/minで120℃まで昇温した。

4. 全有機ハロゲン化合物(TOX)量の測定法

水道試料を10%リン酸でpH2に調整した後、25~30mlを活性炭カラム2本(各40mg)に通し、有機ハロゲン化合物を吸着させた。その後、硝酸アンモニウム溶液10ml通すことで無機塩素を除去した。有機ハロゲン化合物を吸着させた活性炭を全有機ハロゲン測定装置(三菱化学製TOX-10Σ)に導入し、TOXを定量した。

結果および考察

水道水を採取した県内の57地点の、市町村名、浄水場名、その浄水場の年間取水量、お

よび水源の種別（以上、岡山県環境保健部環境衛生課提供資料）と各測定項目（T O C量、残留塩素濃度、T H M濃度とクロロホルム、プロモジクロロメタン、ジプロモクロロメタン、プロモホルムのT H Mの各成分濃度、T O X濃度）の測定結果を、5月試料について表1に、7月試料について表2にそれぞれ示した。

1. 57箇所の水道の水源種別と取水量

本研究で採取した57箇所の水道には、県内で最も取水量の多い岡山市三野浄水場（年間7,000万 m^3 ）、第2位の県南部水道企業団の西阿知浄水場（年間3,600万 m^3 ）、第3位の備南水道企業団の酒津浄水場（年間3,100万 m^3 ）など年間取水量上位の浄水場系統の水道水を含んでいる。57箇所の浄水場の年間取水量の合計は25,684万 m^3 で、この量は、県内全浄水場の年間取水量(27,803万 m^3)の95.3%に相当する。浄水場の取水量は、その浄水場で作られる浄水量であるので、今回選んだ57箇所の水道水は、県内の浄水場で作られた浄水の給水量の95%に相当する。したがって、57箇所の水道水の分析から岡山県の水道水質を十分に評価することが可能であると考えられる。

57箇所の採水地点を水源種別毎に分類した結果を表3に示す。河川の地下を流れる伏流水を原水としている浄水場の水道水が9箇所、井戸水を原水としている浄水場が12箇所、河川表流水を原水としている浄水場が18箇所、ダム水・貯水池・湖沼水を直接取水している浄水場が7箇所、および河川表流水と伏流水の両方を原水とし浄水をブレンドしている浄水場が6箇所あった。

岡山県内の全浄水場273箇所の水源種別は、井戸水が173箇所と全体の60%以上を占める⁷⁾。これに対して今回採水した水道水には井戸水の割合はこれほど高くない。これは、井戸水を水源とする水道水は簡易水道（給水人口101人以上5,000人以下の水道と定義される）などの比較的小規模な（取水、給水量の小さい）事業所が多く、採水地点を決める基準の1つに取水量の多い浄水場系統の水道水としたために、井戸水を水源とする水道水の採水割合は低くなった。一方、河川

表流水を原水としている浄水場は県内22箇所中18箇所と大部分で採水したが、これは、それらが比較的大規模の浄水場の水源となっていることによる。

表3. 岡山県内57箇所の採取地点の水道水の水源種別と年間取水量

水源の種別	地点数 (箇所)	年間取水量 ($\times 10^3 \text{m}^3$)	取水比率
伏流水	9	28699	11.2%
井戸水	12	18405	7.2%
河川表流水	18	43969	17.1%
ダム・貯水池・湖沼	7	2286	0.9%
河川表流水+伏流水	6	129239	50.3%
その他	5	34239	13.3%
合計	57	256837	100%

表3には、水源の種別毎の取水量をあわせて示した。表流水と伏流水を水源とし浄水をブレンドしている浄水場の取水量は、57地点の全取水量の50%、県全体の取水量から見ても46%を占めた。岡山県南部の主要都市（岡山市、倉敷市）に給水されている水道水の多くはこのタイプである。

2. 水道水中の残留塩素濃度

水道法で、水道蛇口で残留塩素濃度は、0.1ppm以上であることが決められている。また、残留塩素濃度は1993年に施行された新水道水質基準の快適水質項目（13項目）の一つに取り上げられ、そこでは1.0ppm程度とされている。

水道蛇口での残留塩素濃度の範囲は、5月が0.0~1.8ppm、7月が0.0~2.0ppmであった。どちらの時期も残留塩素が検出されず（0.0ppm）、水道法の基準値を満たしていない地点もあった。一方、快適水質項目の基準値（1.0ppm）を越えるところも何箇所も見られた。単純平均は5月0.48ppm、7月0.36ppmで、取水量による加重平均は、5月0.68ppm、7月0.43ppmであった。この加重平均値は、57箇所の浄水場で作られた浄水をすべて混ぜあわせた時の残留塩素濃度に相当し、岡山県の水道の平均的な濃度を求めるのに適する。なお、加重平均が単純平均よりも高い値になるのは、取水量の多い浄水場から給水された水道の残留塩素濃度が取水量の少ないところより高くなっているこ

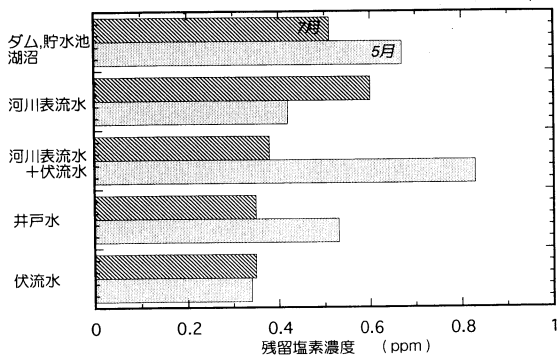


図1. 岡山県内57箇所の水道の水源種別と残留塩素濃度とによる。

水源の種別毎の残留塩素濃度の加重平均値を図1に示した。ダム、貯水池や河川表流水などの地表水を水源とする水道水は、地下水を水源とする水道水に比べ、わずかに残留塩素濃度が高めになっているように見えるが、はっきりした差ではなかった。一般に有機物を多く含む水を水源に用いる場合（ダム水や河川表流水を原水とする水道）、浄水場では多くの塩素を添加する。これは、有機物との反応で塩素の消費が進むことによる塩素の消失を防ぐためである。これに対して、有機物濃度の低い水を水源とする場合（地下水を原水とする水道）は、塩素の消費が少ないので、添加量は少なくて済み、また浄水の残留塩素濃度管理が容易である。しかし、そのような違いを反映するような特徴は得られなかった。

3. 水道水中のTOC量分布

水道水のTOC濃度についての水道水質基準は存在しない。水道水質基準では、古くから有機物濃度を評価する項目として過マンガン酸カリウム消費量が用いられている⁸⁾。現在の基準値は10mg/lである。また、水道水質基準の快適水質項目（13項目）の1つにも取り上げられており、目標値は3mg/l以下となっている。仮に、水道水中のTOCの全てが過マンガン酸カリウムで二酸化炭素まで酸化されるとすると、過マンガン酸カリウム消費量10mg/lはTOC0.95mg/lに相当する。しかし実際にはすべての有機物が酸化されることはないと考えられている。例えば表流水に含まれる

既知有機物の主要成分である糖類は50~70%⁸⁾程度の分解率と見積もられていることから、過マンガン酸カリウムによる水道水中の有機物の分解率を50%と仮定すると、TOC量は1.9mg/l程度となる。また、快適水質の過マンガン酸カリウム消費量の目標値3.0mg/lは、TOC量0.28mg/lに相当し、同様に分解率50%と考えると、0.56mg/lとなる。TOC量が1.9mg/lを越えた地点は、5月は笠岡市上水道（県西南水道企業団から受水）と久米南町山手簡易水道の2地点であった。7月は、岡山市水道鴨越浄水場システムの1地点であった。これらの地点は、河川表流水およびダム貯水を水源としている。

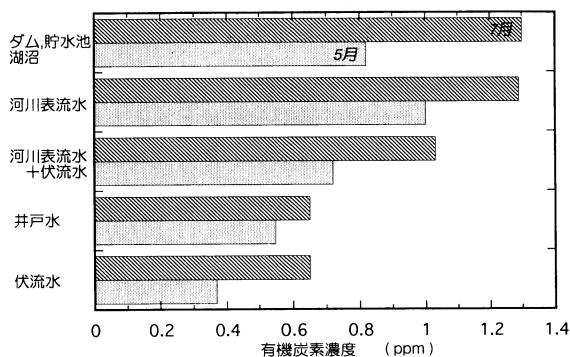


図2. 岡山県内57箇所の水道の水源種別と有機炭素濃度

図2に水源の種別毎にTOC量の加重平均値を示したが、7月のダム水・貯水池・湖沼水および河川表流水を取水している浄水場から給水される水道水はともに平均値で1.3mg/lに達している。5月もかなり高い値を示している。一方、伏流水と井戸水を水源とする水道水は、7月はともに0.65mg/l程度で、5月はそれよりさらに低い。上記の快適水質の過マンガン酸カリウム消費量からのTOC換算量0.56mg/lにはほぼ近い値である。地下水（伏流水および井戸水）を水源とする水道水は、有機物量を指標として見たとき、快適な水質水準にあると言える。

表流水と伏流水を原水とし浄水をブレンドしている水道水のTOC濃度は、河川表流水を原水とする水道水と伏流水を原水とする水道水の間値となった。表流水のTOC平均値と伏流水のTOC平

均値を用いて、単純な混合モデルにより、河川表流水と伏流水のブレンド比を計算することができる。その結果、5月は河川表流水56%、伏流水44%で、7月は河川表流水59%、伏流水41%となった。ブレンド比は5月、7月ともほぼ一致した。

4. 水道水中のTHM濃度分布

THMの4つの成分であるクロロホルム、ブロモジクロロメタン、ジブロモクロロメタン、プロモホルムと総THM濃度（それらの合計）とは、いずれも水道水質基準項目で、基準値はそれぞれクロロホルム60ppb以下、ブロモジクロロメタン30ppb以下、ジブロモクロロメタン100ppb以下、プロモホルム90ppb以下および総THM濃度100ppb以下となっている。

県内57地点の総THM濃度は、5月が0~38ppb、7月が0.6~55ppbの範囲で基準値を越えるところはなかった。またTHMの各成分についても同様に基準値を越えるところはなかった。東京、近畿地方の水道水についてこれまで報告されているTHM濃度は、季節にもよるが15-50ppbの範囲にあり^{5) 9)}、30ppbを越える地点は、全国的に見てかなり高濃度と考えられる。この値を越える水道水は、5月は久米南町山手簡易水道（ダム貯水）38ppbの1地点だけであった。しかし7月は10地点もあり、その中でも久米南町山手簡易水道（同上）55ppb、岡山県西南水道企業団新庄、鴨方浄水場系統（高梁川表流水）55ppb、岡山市鴨越浄水場系統（吉井川表流水）52ppb、成羽町吹屋簡易水道（貯水池）50ppbなど4地点では50ppbを越えていた。このことは、少なくとも夏季には岡山県内のいくつかの地点では、山間部、海岸部の別なく、全国的に見てもかなり高濃度の水準に達していることを示している。

総THM濃度の全測定地点の加重平均値は5月10.8ppb、7月18.9ppbとなった（表1および表2）。7月は5月に比べて平均値として2倍近く、またほとんどの地点で大幅に増加した。著者らは、津山市水道水を対象としてTHM濃度は季節変動すること、特に水温と正の相関を持っていることを以前報告した¹⁰⁾。今回の5月から7月への増加も同様に季節変動から説

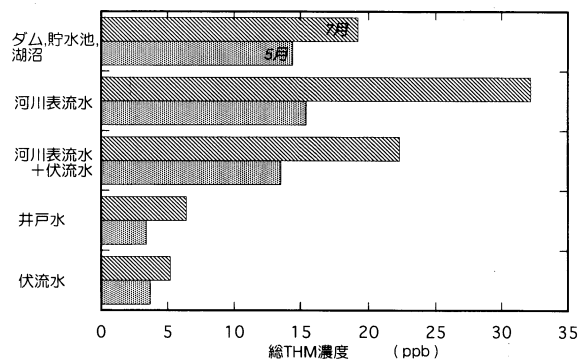


図3. 岡山県内57箇所の水道の水源種別と総THM濃度

明される。

図3に水道水源別に総THM濃度（加重平均値）を示した。5月、7月ともに、伏流水と井戸水など地下水を水源とする水道水は地表水（ダム水・貯水池・湖沼水および河川表流水）を水源とする水道水よりも明らかにTHM濃度が低く、その間に大きな差が見られた。この結果は、以前報告した県の水道水中のTHM濃度資料に基づく結果と一致した⁶⁾。また、河川表流水と伏流水を原水とし浄水をブレンドしている水道水では、両者の間の値となった。TOC量からブレンド比は表流水約6割、伏流水約4割と計算されたが、この比に基づいて、ブレンドした水道水のTHM量を計算した。7月のケース（河川表流水32.2ppm、伏流水5.2ppm）では、ブレンドした水道水のTHM濃度は、21.4ppmと計算される。実際の平均値は22.3ppmで良く一致した。一方、5月のケース（河川表流水15.4ppm、伏流水3.7ppm）では、10.7ppmとなり、実際の平均値13.5ppmと必ずしも一致しなかった。これは、倉敷市上水道の片島浄水場系統の水道水の高いTHM濃度により平均値が引っ張られているためである。この水道水の測定結果は、他の水道水と比べTOX濃度に対してTHM濃度が非常に高く、また特に臭素化THM濃度が高いという特徴がある。例えばプロモホルム6.5ppmは、5、7月の全測定データの中でも最も高い。臭素化THMは、原水中に臭素イオンが存在している時に、浄水場で塩素が添加された際、塩素化生成物に先立って生成すると言われている¹¹⁾。海水は臭素イオン濃度が高いので、一般的に原水が海

水の影響を受けている場合に水道水中の臭素化THM濃度が高くなる。倉敷の片島浄水場は、高梁川の河口から4 km上流に位置しており、海の影響をうけている可能性が強い。この水道水のTHM濃度は、海の影響という別の要因が加わっている可能性があることから、そのデータを除いて、伏流水と表流水の両方を原水とする水道水の平均値をあらためて求めたところ、11.6 ppmとなり、ブレンド比からの計算値に近づく。

5. 水道水中の有機ハロゲン化合物濃度

57箇所の水道のTOX濃度は、5月が1~140ppb、7月が12~210ppbの範囲であった。全測定地点の加重平均値は5月42ppb、7月79ppbであった。THM同様、7月は5月に比べて平均値として2倍近くとなり、またほとんどの地点で大幅に増加した。TOX濃度は水道水質基準がないが、東京、大阪、京都の水道水の7月で100~250ppm程度と報告されている⁴⁾。TOX濃度が150ppmを越える地点は全国的に見てかなり高濃度と考えられる。この値を越える水道水は5月にはなかったが、7月には、岡山市鴨越浄水場系統（吉井川表流水）207ppb、倉敷市片島浄水場系統（高梁川表流水）152ppb、成羽町吹屋簡易水道（貯水池）158ppb、勝央町上水道第1,2浄水場系統（公式には伏流水、実質は滝川表流水）150ppb、美作町上水道（梶並川表流水）153ppb、岡山県西南水道企業団新庄、鴨方浄水場系統（高梁川表流水）155ppb（笠岡市）、175ppb（鴨方町）の6つの浄水場系統の水道水で見られた。

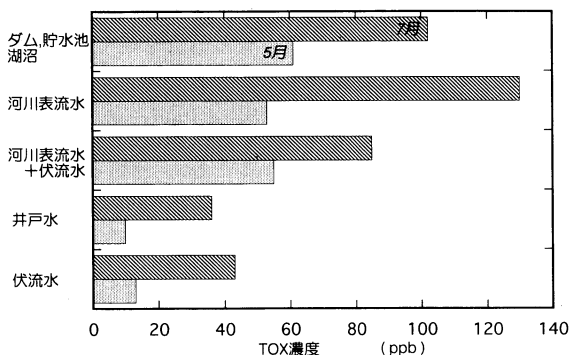


図4. 岡山県内57箇所の水道の水源種別と総TOX濃度

これらの地点は、突出してTOX濃度が高い。

図4に水道水源別にTOX濃度(加重平均値)を示した。5月、7月ともに、地下水(伏流水と井戸水)を水源とする水道水は地表水(ダム水・貯水池・湖沼水および河川表流水)を水源とする水道水よりも明らかにTOX濃度が低く、その間に大きな差が見られた。この点もTHMと同様であった。上記の高濃度のTOX値を記録した地点もすべて地表水である。

河川表流水と伏流水の両方を原水とする水道水では、5月については河川表流水を原水とする水道水とほぼ同じとなり、TOC量やTHMの結果とは様相を異にした。一方、7月については、伏流水を原水とする水道水と表流水を原水とする水道水の間の値となった。表流水6:伏流水4のブレンド比に基づいて計算すると、95ppbとなり、実測値(85ppb)にほぼ近い値となった。5月については同様の計算が不能であったが、その原因は今のところ不明である。

6. TOC量、THM濃度およびTOX濃度間の相関

7月試料のTOC量とTHM濃度、TOC量とTOX濃度、THM濃度とTOX濃度との関係をそれぞれ図5、図6および図7に示した。また、5月、7月のTOC量、THM濃度およびTOX濃度間の回帰直線と相関係数を表4に示した。いずれの間にも0.8以上の高い相関が認められた。従来から、水道原水についてTOC量とTHM生成能やTOX生成能に高い正の相関があることが知られている^{12) 13)}。水道水についても同様な結果となるのは、妥当と言える。しかし回帰直線には、いずれも切片が認められる。このことはそれらの報告^{12) 13)}では触れられていない。今回、5

表4. 岡山県内57箇所の水道の、TOC値、THM濃度およびTOX濃度間の回帰直線と相関係数

		回帰直線	相関係数
5月	TOC-THM	$y = 17x - 1$	0.81
	TOC-THM	$y = 63x - 4$	0.83
	THM-TOX	$y = 3.2x + 6$	0.89
7月	TOC-THM	$y = 17x - 1$	0.83
	TOC-THM	$y = 63x - 4$	0.83
	THM-TOX	$y = 3.2x + 6$	0.91

月、7月ともに、TOC量との関係では、THM濃度、TOX濃度に負の切片が認められた。これは、水道原水中に塩素と反応しないか、非常に反応性の低い有機物が一部含まれていることを示唆している。また、図7に示したように、THM濃度とTOX濃度の間ではTOX濃度に正の切片が見られる。これ等の結果は、原水中の有機物には、THMもTOXのどちらも生成しない有機成分、TOXは生成するがTHMは生成しない有機成分、THMとTOXのいずれも生成する有機成分の、三種に分類されることを示唆している。

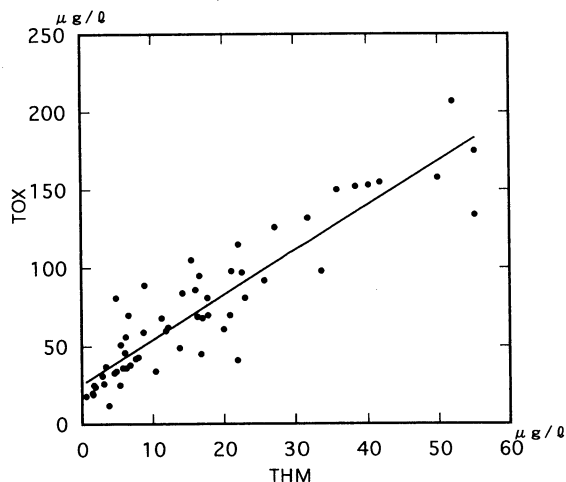


図7. 岡山県内57箇所の水道中のTHM量とTOX濃度 (7月試料)

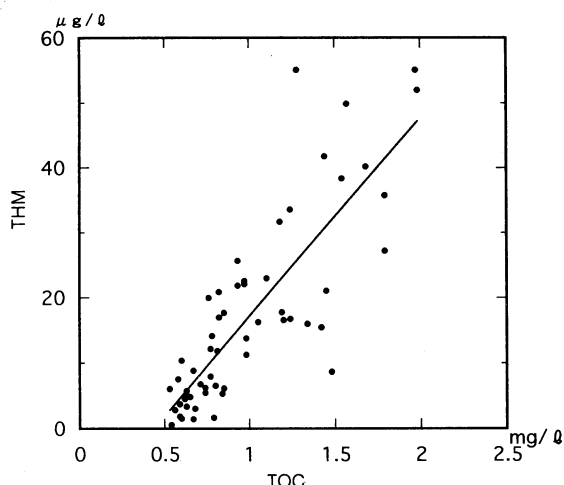


図5. 岡山県内57箇所の水道中のTOC量とTHM濃度 (7月試料)

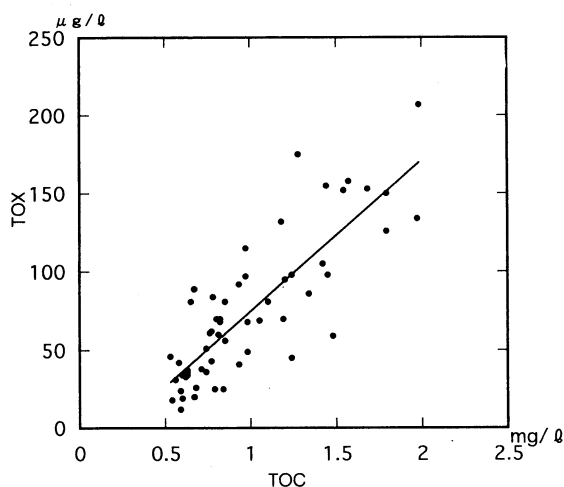


図6. 岡山県内57箇所の水道中のTOC量とTOX濃度 (7月試料)

結 論

岡山県の水道の特徴の一つは、河川表流水と伏流水の両方を原水とし浄水をブレンドしている水道水が全給水量の50%程度と非常に高い割合を占めていることである。これは全国的にも例を見ない。そのブレンドの比率は、およそ河川表流水6に対して伏流水4と推定された。

地下水(伏流水、井戸水)を単独の水源とする水道水のTHM濃度は、地表水(ダム水、貯水池、河川表流水など)を水源とする水道水の1/4程度と低く、前報⁶⁾の結果と一致した。また、TOX濃度についても同様であることが確認された。したがってブレンド水を水源とする水道水のTHMやTOX濃度への影響は、河川表流水がTHMやTOX濃度を増加させ、一方伏流水はそれらを低下させる役割を果たしていることになる。岡山県内でも表流水を水源とする水道水のTOC量、THM濃度、TOX濃度は、全国的に見ても高濃度域に達しているところもあった。これには、岡山県内の山間部、海岸部の別はない。

岡山県はこのところ水道水源としてダム水、河川表流水への傾斜を強めている^{7) 14) 15)}。THM、TOXのような発がん物質の含有量という点から考えると、むしろ地下水を水源とする水道が望ましく、水道の衛

生面から評価すると逆行していると言える。

県下57箇所の水道の平均T H M濃度は5月が10.8ppb, 7月18.9ppb, T O Xは5月が42ppb, 7月が79ppbとなった。これは加重平均値で, 県内57箇所の水道を混ぜ合わせたもののT H M濃度に相当する。57箇所の水道は, 岡山県内の全水道事業者の全取水量の96%を占めていることから, この値が岡山県内の水道水のほぼ平均値と言える。

津山市水道水を対象としたT H M濃度の年間変動は, 5月から6月あるいは10月頃に年間の平均値となる¹⁰⁾。これから考えると, 岡山県のT H M濃度の年間平均値は, 5月初旬の10.8ppbより多少大きい程度であると推定される。また, T O X濃度は, 同様に42ppbに近く, 多少それより大きい値であると推定される。岡山県に水道事業者から報告された1992年のT H M濃度の平均値を前報⁶⁾で報告したが, その平均T H M濃度は7.8ppbで, 今回の値よりはかなり低い。前報⁶⁾は(1)浄水場ごとのデータを単純平均したもので, そのため主として地下水を水源としている小規模の水道事業者の値が過大評価されている。(2)採水測定時期が不明で, 大きな誤差の原因となる。の問題を抱えており, 岡山県内の真の平均濃度とは言い切れなかった。本報は, それらの点を解消した。

引用文献

- 1) R.J.Bull, L.J.McCabe (1986) Risk Assessment Issues in Evaluating the Health Effects of Alternate Means of Drinking Water Disinfection, in "Water Chlorination Environmental Impact and Health Effects", Vol.5, R.L. Jolley (Ed.), Ann Arbor Science Publishers, Inc., p. 111-129.
- 2) Bellar, T.A., Lichtenberg, J.J. and Kroner, R.C. (1974) The Occurrence of Organohalides in Chlorinated Drinking Waters. J. American Water Works Association, 66, 703-.
- 3) Gray, N.F. (1994) Drinking Water Quality. John Wiley & Sons pp.315.
- 4) 中西準子 (1990) いのちの水 新しい汚染にどう立ち向かうか. 読売科学選書 pp.227.
- 5) 田中一浩, 守田康彦, 鹿田雄喜, 高橋敬雄 (1993) 種々の条件下における水道水中の全有機塩素およびトリハロメタン量について (第1報) -煮沸の効果と全国各地のT O X, T H M s量. 環境化学 3(1), 85-89.
- 6) 鶴崎実 (1995) 岡山県水道水のトリハロメタン濃度: 1992年度県水道水質資料の解析. 美作女子大学・美作女子大学短期大学部紀要 40, 37-44.
- 7) 岡山県環境保健部環境衛生課 (1993) 平成4年度岡山県の水道の現況. pp.120.
- 8) 日本水道協会 (1993) 上水試験方法解説編. pp.687.
- 9) 足立昌子, 上田順子, 舟倉由紀子, 小林正 (1994) 近畿地方における水道水中のトリハロメタン濃度. 衛生化学 40(4), 388-392.
- 10) 鶴崎実 (1997) 津山市小田中浄水場系水道水中のトリハロメタン量の変動. 美作女子大学・美作女子大学短期大学部紀要 42, 65-70.
- 11) 丹保憲仁 (1983) 水道とトリハロメタン. 技報堂出版 pp.273.
- 12) 伊藤岩夫, 斉藤茂, 藪内礼子, 鈴木美恵子, 千葉いせ子, 高倉吉久 (1987) 阿武隈川水系におけるトリハロメタン前駆物質調査. 公害と対策 23, 1025-1034.
- 13) 伊藤和広, 相沢貴子, 羽布津博明, 真柄泰基 (1984) 河川水の全有機性ハロゲン (T O X) 生成能と浄水処理過程におけるその挙動. 水道協会雑誌 53(599), 14- 21.
- 14) 岡山県環境保健部環境衛生課 (1997) 平成7年度岡山県の水道の現況. pp.95.
- 15) 岡山県環境保健部環境衛生課 (1998) 平成8年度岡山県の水道の現況. pp.99.

(1998年12月1日 受理)