共同利用飲用設備の清浄性調査

小林 淳,^{a,b} 池田 啓一,^c 望月真理子^a

Investigation of Cleanness for Drinking Water of Public Facilities

Jun Kobayashi,^{a,b} Keiichi Ikeda,^c and Mariko Mochizuki^a

^aDepartment of Applied Science, School of Veterinary Nursing and Technology, Faculty of Veterinary Medicine, Nippon Veterinary and Life Science University; 1-7-1 Kyonan-cho, Musashino, Tokyo 180-8602, Japan; ^bDepartment of Environmental Health, National Institute of Public Health; 2-3-6 Minami, Wako, Saitama 351-0197, Japan; and ^cLaboratory of Environmental and Industrial Health, Department of Health Science, Juntendo University School of Health and Sports Science; 1-1 Hiraga-gakuidai, Inzai, Chiba 270-1695, Japan.

(Received February 9, 2012; Accepted April 11, 2012)

The drinking facilities in some public spaces (such as parks, public baths, etc.) in Japan which many unspecified people often use are useful for taking moisture easily and rapidly. Sometimes it might be also accepted that it is good for the prevention of diseases and for the health. The cleaning of these facilities is sure to be done in regular. However, they have misgivings about dirt in more short time by using of many people. It would be necessary for the public health to research the safety of them. In the present study, the pollution of inorganic components, inorganic anions, general bacteria and total coliforms in the initial getting water to stay near by the faucets, on the knobs and the intakes were examined.

Key words—cleanness; public facility; drinking water; park; public bath

緒 言

人体の60%以上は水で構成されており、水は人にとって欠くことができないものである。¹⁾ 人が生命を維持していくために必要とされる水分摂取量は1日一人当たり2–3 Lである。²⁾ 先進国においては、このほかに料理や洗濯水などの生活用水、産業・工業用水、公共施設用水として、最低20–30倍の水を使用している。¹⁾ 日本ではより多く、平均一人当たり約200倍量の水が使用されており、^{1,2)} しかも飲用に供することができるレベルまで高度に浄化された上水が、飲用以外の目的(家の清掃、トイレ、公園の噴水など)でも用いられることが一般的である。またその浄化方法は、塩素消毒(浄水場での次亜塩素酸の添加)が用いられ、³⁾ これは水道法

で規定されている。

塩素が日本で消毒に用いられている理由は、安価で殺菌力が強く、残留性が期待されることによると考えられる。このため上水では水道管を用いた輸送中でも残留塩素の消毒能力の持続が期待される一方、近年はトリハロメタンなどの有害な塩素化物が生成することや味を悪くするなどの欠点も指摘されている。^{3,4)} また温泉においても土壌など由来の細菌の混入があるため、塩素添加による消毒が推奨されている。この塩素濃度は、添加する量が少ないと消毒の効果が不十分になり、多すぎると塩素化物が生じ易いため、上水では0.1–1 mg/Lの範囲で末端給水栓(蛇口)で維持されるよう、浄水場での添加量を制御している。⁵⁾ しかも水道水製造のコストを抑え安価に水道水を供給するため、原則的には浄水場でのみしか塩素の添加は行われず、季節による気温変化や上水の供給範囲にも対応して一定の濃度になるよう、通常維持・管理されている。

今回われわれは、共同利用飲用設備(公園上水及び温泉水)の清浄性調査を行った。不特定多数の利

The authors declare no conflict of interest.

^a日本獣医生命科学大学獣医学部獣医保健看護学科、

^b国立保健医療科学院生活環境研究部、^c順天堂大学スポーツ健康科学部健康学科

*e-mail: junkoba@nvlu.ac.jp

用者が見込まれる公園や大衆浴場に設置された飲用設備は、比較的簡単に水分補給などが行えて非常に便利であり、ときに熱中症などの疾病の予防や健康増進効果も唱われることがある。ところでこれらの設備は、その管理者によって清掃等の定期的な維持管理が行われているが、利用者が多いことや設置場所が屋外である等のために、より短時間で汚染してしまうことが危惧される。このことは、多人数による継続的な使用により、公衆衛生学的な安全性が損なわれる可能性があることを意味し、その実態把握が必要と考えられた。塩素消毒においては、細菌や有機物が水中に存在すると、塩素化物の生成あるいは酸化反応により残留塩素が減少し、塩化物イオンが増加することが知られている。また水中での塩素は、中性付近では主に次亜塩素酸イオンの形状で存在するが、^{3,4)} 塩素分子とは平衡関係にあり、酸性状態や加温により容易に塩素ガスとして気化する。このため水道を使用しなくても蛇口から空气中に揮散し、水道水中の濃度低下を招くと考えられる。そこで今回、公園上水道蛇口付近に滞留している給水栓水（蛇口をひねった直後に出る水）と開閉取っ手、取水口、また飲泉などの汚染の実態を、機器分析法を用いた微量分析や無機陰イオンと簡易検査法を用いた一般細菌や残留塩素などにより調査・考察したので報告する。測定項目は無機成分（As, B, Ca, Fe, K, Li, Mg, Na, Rb, Si, Sr, V）、無機陰イオン（ Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} ）、大腸菌群、一般細菌、残留塩素、アンモニア、亜硝酸、化学的酸素要求量（COD）と pH である。

実験方法

1. 装置 無機成分測定のため、誘導結合プラズマ発光分析法（以下 ICP-AES, Optima 4300 DV；パーキンエルマー；B, Ca, K, Mg, Na, Si の mg/L レベル測定用）及び誘導結合プラズマ質量分析法（以下 ICP-MS, Elan 6100 DRC；パーキンエルマー；As, Fe, Li, Rb, Sr, V の $\mu\text{g/L}$ レベル測定用）を使用した。陰イオンクロマトグラフィー用装置として、Dionex 社製の AI 450 を使用した。pH は pH 計（F-22; HORIBA）により測定した。

2. 試薬 大腸菌群及び一般細菌は試験紙（SIBATA）を使用し、添付文書に従って操作した。残留塩素、アンモニア、亜硝酸及び COD はパック

テスト（共立理化；それぞれ *N,N*-ジエチル-1,4-フェニレンジアミン（DPD）法、インドフェノール法、ナフチルエチレンジアミン法及び常温アルカリ性過マンガン酸カリウム酸化法を原理とする）を使用した。

ICP-AES, ICP-MS による無機成分定量のため、ICP 用標準液（XSTC-1, XSTC-7, XSTC-13, XSTC-622; Spex）を使用した。陰イオンクロマトグラフィー用標準物質として、陰イオン混合標準液Ⅳ（関東化学； F^- , Cl^- , Br^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} を含む）を使用した。硝酸は超高純度試薬（TAMA-PURE AA-100; Tama Chemical）を使用した。試薬調製に用いたすべての水は、Elix 3/Element A10（Millipore）により比抵抗値 $18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ 以上に精製したものである。その他の試薬はすべて市販特級品を使用した。

3. 試料採取及び前処理 今回試料として、都内の公園に設置された上水道水 10 種、静岡県の来宮駅から離れた山間部にある天然温泉が湧く旅館内の飲泉と浴槽水、源泉の各 1 種、海沿いの来宮駅近くの天然温泉の湧く大衆浴場の足湯、浴槽水と神社の源泉各 1 種（計 16 種、Table 1）を用いた。試料は、2010 年 10–11 月に温泉水においてはポリエチ

Table 1. Sampling Points

Point No.	Points	Kinds	Date
	Parks, Tokyo		
1	Ueno	Tap water	Nov., 2010
2	Ikebukuro West	Tap water	Nov., 2010
3	Shinjuku Central	Tap water	Nov., 2010
4	Yoyogi	Tap water	Nov., 2010
5	Hibiya	Tap water	Nov., 2010
6	Roppongi Midtown	Tap water	Nov., 2010
7	Suido (Suidobashi)	Tap water	Nov., 2010
8	Ohyama	Tap water	Nov., 2010
9	Hachimanyama	Tap water	Nov., 2010
10	Arisugawa (Hiroo)	Tap water	Nov., 2010
	Hot springs, Atami		
11	Hotel	Springhead	Oct., 2010
12	Hotel	Bath	Oct., 2010
13	Hotel	Spring for drinking	Oct., 2010
14	Public bathhouse	Spring for drinking	Oct., 2010
15	Public bathhouse	Footbath	Oct., 2010
16	Umezono shrine	Springhead	Oct., 2010

レン製の試料採取容器を共洗い後になるべく気泡が入らないように採取した。公園上水については蛇口をひねった直後に得られる水(給水栓水)を採取し、それとともに蛇口の開閉取っ手と取水口を滅菌水で濡らした綿棒の付着物を採取して、細菌試験に供した。付着物の細菌試験としては、滅菌済み容器に滅菌水 10 mL を加えたものを準備し、滅菌された綿棒を容器中の滅菌水で濡らし、測定箇所を拭ってからこれをもとの滅菌水に戻して懸濁したものを試料とした。

採取した検水はなるべく早く、パックテスト、pH 測定、細菌培養を行い、測定前にやむを得ず保管する場合は、冷蔵を行った。無機成分及び陰イオン測定用調製試料は、さらにメンブランフィルター(MILLEX HA; Millipore; 孔径 0.45 μm) でろ過し、無機成分については硝酸を 0.1 M となるように添加後、測定まで冷蔵保管した。

結果及び考察

1. 無機成分の成績 結果を Table 2 に示す。給水栓水は浄水場と原水を反映して濃度が異なるが、変動幅は小さいものであった。一方、温泉水は試料 11-13 と 14-16 で異なる濃度パターンを示し、これは元素によっても異なっていた。B は試料 14-

16 のみ非常に高値であり、11-13 は給水栓水と違いがみられなかった。B は酸性の石炭灰の降下や海水の混入等により地下水の濃度が大きく上昇することが知られており、⁶⁾ 今回の場合では海水の混入によると考えられた。⁷⁾ この結果は、後の項の Cl^- の結果とも一致する。As, Na, Si, V は給水栓水と比べ、温泉水全般が非常に高く、これらは汚染というよりも地質によると思われた。Ca, Fe, K, Li, Mg, Rb, Sr は給水栓水よりも試料 14-16 は大幅に高いのに対し、11-13 は逆に低値であった。Fe や Sr の濃度に違いがみられるのは地質に加え、水の pH が高いことで水酸化物が生じ、水から除去されるためではないかと考えられた。⁸⁾

2. 残留塩素、亜硝酸、アンモニア、COD、pH の成績 結果を Table 3 に示す。残留塩素については、温泉水において低い傾向があった。亜硝酸は、温泉水の一部のみから検出されているが、これがし尿汚染によるものかバクテリアによる硝酸の還元により生じたものかは単独では判別できなかった。しかしアンモニア態窒素が一部の給水栓水とすべての温泉水から検出され、両者を合わせて考えると、し尿汚染が強く疑われる結果となった。COD は温泉水の成分により上がることも考えられるが、給水栓水において高いのは土壌などによる汚染のた

Table 2. Inorganic Components in Sample Waters

Point No.	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	B (mg/L)	Si (mg/L)	As ($\mu\text{g/L}$)	Fe ($\mu\text{g/L}$)	Li ($\mu\text{g/L}$)	Rb ($\mu\text{g/L}$)	Sr ($\mu\text{g/L}$)	V ($\mu\text{g/L}$)
1	19.7	2.45	4.69	17.1	0.367	60.0	0.146	84.7	0.994	1.91	33.3	0.497
2	17.1	2.00	3.27	12.1	0.278	62.5	0.159	71.2	1.03	1.52	28.4	0.575
3	17.0	2.11	3.66	13.1	0.290	51.5	0.144	84.6	0.948	1.36	30.2	0.470
4	14.1	1.73	2.60	8.51	0.241	59.0	0.263	68.4	0.93	1.37	24.5	0.625
5	14.8	1.93	2.98	9.95	0.268	61.5	0.210	79.0	0.99	1.72	26.5	0.548
6	13.3	1.82	2.69	9.10	0.246	62.0	0.233	79.1	1.0	1.57	26.1	0.574
7	15.3	2.11	3.49	12.9	0.272	57.5	0.189	93.4	0.94	1.70	32.7	0.536
8	11.8	1.48	2.16	7.73	0.211	59.0	0.162	75.8	0.99	1.39	25.4	0.511
9	13.1	1.68	2.87	10.4	0.240	59.5	0.158	90.0	0.87	1.45	30.4	0.522
10	10.5	1.44	2.00	6.75	0.192	58.5	0.284	71.2	0.89	1.40	24.9	0.386
11	1.86	0.49	<0.1	20.0	0.345	146	4.96	18.3	0.11	0.119	2.00	5.62
12	1.82	0.53	<0.1	20.0	0.339	147	4.60	20.4	0.12	0.147	1.98	5.88
13	1.64	0.46	<0.1	19.1	0.303	140	5.18	17.8	0.11	0.108	1.94	6.12
14	560	19.7	50.3	960	17.1	218	93.2	2480	177	107	602	5.00
15	353	9.70	13.0	640	11.2	193	51.6	313	141	17.8	676	153
16	191	3.91	3.2	148	8.37	190	67.6	274	29.4	4.34	333	137

Point Nos. are the same in Table 1.

Table 3. Several Results of Sample Waters Measured by Simple Kit and pH Meter

Point No.	Residual chlorine (mg/L)	Nitrite (mg/L)	Ammonium (mg/L)	COD (mg/L)	pH
1	0.4	<0.02	0.2	3	7.69
2	1.0	<0.02	<0.2	4	7.71
3	0.4	<0.02	0.5	2	7.76
4	1.5	<0.02	<0.2	3	7.78
5	0.4	<0.02	<0.2	1	7.80
6	0.4	<0.02	0.5	3	7.79
7	0.4	<0.02	1.0	6	7.79
8	0.1	<0.02	<0.2	2	7.77
9	0.4	<0.02	<0.2	3	7.95
10	0.4	<0.02	<0.2	4	7.66
11	<0.1	<0.02	0.2	2	9.56
12	0.1	<0.02	0.2	5	9.49
13	<0.1	<0.02	0.2	2	9.64
14	<0.1	0.2	0.5	5	7.24
15	<0.1	0.1	0.5	4	7.59
16	<0.1	<0.02	0.2	2	8.11

Residual chlorine, nitrite and COD were measured by commercial simple kits. The values were decided based on the solution color in each kit and compared it with the index. Point Nos. are the same in Table 1.

めかもしれない。これらのアンモニア態窒素、亜硝酸、CODは、既報において水道水の消毒時の高濃度塩素により、酸化や濃度上昇がみられるとの報告があるが、⁹⁾日本における浄水処理では塩素は過剰に加えることなく、最終工程で中間的な濃度に調整して添加されるため、⁵⁾考え難いと思われた。pHは旅館の温泉水でのみやや高く、これは源泉のアルカリ水質によると思われる。

3. 無機陰イオンの成績 結果をTable 4に示す。すべての試料で検出されたのは Cl^- で、一部の試料でしか検出されなかったのは F^- 、 Br^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} であった。 Cl^- については、残留塩素の分解物として生じるものであり、し尿汚染や海塩由来とも考えられる物質である。一部の温泉水で非常に高値であったが、これは源泉においても高値であり、海水由来と考えられた。硝酸については給水栓水のみでほぼ検出され、温泉水では検出下限以下が大部分であった。これは微生物による還元により亜硝酸になっているためと思われる。硫酸は給水栓水で高く、温泉水で低い傾向があり、特に一部の温泉水では全く検出されなかった。臭化物イオンが一部の温泉水から検出されたが、これは火山由来の指

Table 4. Inorganic Anions in Sample Waters

Point No.	F^- (mg/L)	Cl^- (mg/L)	Br^- (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)
1	0.05	19.43	<0.1	11.61	38.55
2	0.08	14.22	<0.1	8.59	35.52
3	0.06	14.57	<0.1	9.43	32.28
4	0.04	10.64	<0.1	7.53	23.67
5	0.06	12.77	<0.1	8.90	28.08
6	0.07	14.28	<0.1	8.79	29.34
7	0.08	17.22	<0.1	12.24	36.08
8	0.03	11.71	<0.1	8.28	28.54
9	0.07	15.28	<0.1	10.21	32.91
10	0.05	12.74	<0.1	7.71	24.59
11	0.18	14.71	<0.1	<0.1	15.10
12	0.18	15.23	<0.1	<0.1	15.80
13	0.16	14.89	<0.1	<0.1	15.36
14	<0.01	2876	9.83	<0.1	<0.5
15	<0.01	1785	6.16	0.90	<0.5
16	<0.01	133.3	<0.1	<0.1	<0.5

Point Nos. are the same in Table 1.

標イオンとされることから、火山地帯の地質由来が考察された。¹⁰⁾ Cl^- の結果は、海水の混入により高くなると考えられ、pHや先に述べた無機成分（バナジウムやヒ素など）の結果とも一致し、 Br^- は鉄の濃度結果からも火山由来であることが示唆された。

4. 一般細菌及び大腸菌群の試験成績 結果をFig. 1に示す。細菌数は水試料については1 mL当たりに換算した数を、取っ手や取水口を拭いたものは全数（滅菌水10 mLに存在した数）を図に示す。一般細菌は、一部の給水栓水、温泉の浴槽水から検出され、大腸菌群は温泉浴槽水のみから検出された。しかし取水口や蛇口の開閉取っ手の付着物では、一般細菌はほとんどの公園で、大腸菌群は約半分の公園で検出されており、給水栓水への混入リスクが危惧される結果となった。給水栓水において水道法の基準を超える一般細菌、大腸菌が検出されることはなかったが、温泉水では同じ基準を適用するならば、高く外れるものがあった。

今回確認していないが、温泉水では温泉の効能成分が残留塩素により分解されるため、あるいは入浴中の塩素悪臭のため、⁴⁾塩素を添加する割合は少なかったと思われた。また入浴時の温度が細菌繁殖に適しており、その結果入浴やし尿汚染による細菌の増殖が助長されている可能性が示唆された。¹¹⁾

Fig. 1. Bacteria in Sample Waters (A) and on the Faucets and Knobs (B)

Bacteria on the faucets and knobs were investigated only from tap waters (No. 1–10). Point Nos. are the same in Table 1.

しかしながら、今回の試験では飲泉用の水から細菌は検出されていない。

ま と め

今回共同利用飲用設備の清浄性調査を、給水栓水及び温泉水中の無機成分、残留塩素、無機陰イオン、細菌繁殖などの観点から行った。その結果、病原性は明らかではないが一部の飲用水、浴槽水などから大腸菌群あるいは一般細菌が検出され、その原因は残留塩素の無添加あるいは消費による減少によることが示唆された。給水栓水においては、都内の大きな公園であり全く使用されていない状況ではなかったと考えられ、残留塩素も基準値から外れるものではなく、細菌の繁殖もほぼみられなかったと思われる。一方、温泉水では温泉の効果を損なわないように、あるいは薬効成分を減らして品質を低下させ

ないため、残留塩素を高濃度に維持しない、あるいはもともと添加されない傾向があり、それが細菌繁殖にも係わっていると結論付けられた。無機陰イオンや無機成分のデータから、Asなどの有害な元素の検出も行われているが、主に温泉水であり、源泉や地盤の地質を反映していると思われる。今回目的とした清浄性を損なうことにはならないと思われる。ただし人の入浴における細菌混入やし尿汚染は、今回のデータに顕著にあらわれており、感染症を予防する意味でもなんらかの対策が必要と考えられる。

なお本論文の要旨は、誌上開催となった平成23年3月の日本薬学会第131年会において発表した。¹²⁾

REFERENCES

- 1) Nonaka K., Karita K., Uchiyama Y., “Gaku-seinotameno Gendaikoshueisei,” 6th ed.,

- Nanzando Co., Ltd., Tokyo, 2011, pp. 143–145.
- 2) Tanaka M., Nogawa K., Tanishita K., Soda K., Inaba H., “Kankyo to Kenkou,” Kyorin Shoin, Tokyo, 1997, p. 14.
 - 3) Onodera S., *Yakugaku Zasshi*, **130**, 1157–1174 (2010).
 - 4) Jin J., Suzuki Y., Ishikawa N., Takeuchi T., *Anal. Sci.*, **20**, 205–207 (2004).
 - 5) Okumura A., Hirabayashi A., Sasaki Y., Miyake R., *Anal. Sci.*, **17**, 1113–1115 (2001).
 - 6) Yao J., Yoshimura K., Kurisaki K., Inokura Y., Takaso T., *Bunseki Kagaku*, **60**, 785–789 (2011).
 - 7) Oguri T., Yoshinaga J., Tao H., Nakazato T., *Bunseki Kagaku*, **60**, 653–658 (2011).
 - 8) Isagai H., Isagai K., Isagai K., *Bunseki Kagaku*, **60**, 45–50 (2011).
 - 9) Jin J. X., Wang F. Y., *Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi*, **23**, 1–4 (1989).
 - 10) Kosaka K., Asami M., Takei K., Akiba M., *Anal. Sci.*, **27**, 1091–1095 (2011).
 - 11) Oie S., Oomaki M., Yorioka K., Tatsumi T., Amasaki M., Fukuda T., Hakuno H., Nagano K., Matsuda M., Hirata N., Miyano N., Kamiya A., *J. Hosp. Infect.*, **38**, 61–65 (1998).
 - 12) Kobayashi J., Terada H., Ikeda K., Mochizuki M., Sugiyama H., Abstracts papers, the 131th Annual Meeting of the Pharmaceutical Society of Japan, Shizuoka, March 2011, Vol. 3, p. 257.