

中国における都市部の水道水の水質評価

妹尾 護・楊 帆

倉敷芸術科学大学大学院人間文化研究科

(2012年10月1日 受理)

1. はじめに

中国の都市部の水道水の供給は、河川、湖、ダム、地下水等の水源に依存している¹⁾。しかし、中国における近年の急速な経済発展に伴って、各地で水質汚染等の環境破壊が起こっており^{2,3)}、特に大都市周辺ではその影響が深刻である⁴⁾。このような水質汚染がさらに進行すれば、水道水源としての河川水、湖水、ダム水および地下水の水質にその影響が顕著に現れてくることも考えられる。水質汚染の原因としては、工場廃水の河川への排出、農業排水や生活排水の流入、また、それら排水に起因する河川や湖の富栄養化による藍藻類(アオコ等)の大量発生、あるいは大量の石炭燃焼によって引き起こされた酸性雨の飲用水源への混入等が挙げられる^{5,6,7)}。中国の水環境の汚染状況として、飲料用水源としても利用されている七大水系(遼河、海河、淮河、松花江、珠江、黄河、長江)の2007年度年の水質の数値は、飲用に利用可能なⅠ～Ⅲ類が合計で約50%となっており、半分程度しか飲用に適さない状態であることが指摘されている⁸⁾。また、中国の水道水源である河川のみならず、湖、ダムおよび地下水における水質汚染による水質の劣化も報告されている⁹⁾。

中国の水道水の水質については、北京と四川省芦山市の水質組成が森井ら¹⁰⁾によって報告されている。また、島野¹¹⁾および島野ら¹²⁾は四川省の成都市、雲南省の昆明市と大理市の水道水の水質分析を行っている。しかしながら、中国の他の都市の水道水については、その水質組成の特徴等に関する詳細な報告例はない。

私たちは、中国の都市部の水道水についての水質調査を進めており、いくつかの都市の水道水については既に水質分析を行い、その結果を報告した¹³⁾。この研究では、調査範囲をさらに広げて、中国各地の都市で採取された水道水についてのpH、電気伝導度、残留塩素濃度、主要陽イオンおよび陰イオン濃度を測定し、水質組成上の特徴を明らかにすることを目的とした。そして、中国の水質基準値との比較検討や水道水源の水質汚染に関する考察を行った。

なお、本研究は、著者の一人である楊帆の修士論文(倉敷芸術科学大学大学院人間文化研究科)の一部をまとめたものである。

2. 中国の水道水について

中国の水道水は、河川、湖沼（ダムを含む）および地下水を水源としている。例えば、上海市は、大きな河川である黄浦江を給水源としている¹⁾。また、北京市は、主に二つのダム、密雲ダムと官庁ダムを水道水源としているが、地表水を補うために、地下水も水源として利用している¹⁾。一方、大連市の水供給はほとんどダムに依存している¹⁾。中国では、飲料・農業・工業用の水質として、水質指標でⅠ類からⅤ類、そして劣Ⅴ類と6区分に分類されている⁸⁾。それらは、次のとおりである。

Ⅰ類：源流や国家自然保護区域で使用される水。

Ⅱ類：一級自然保護区域の生活飲用水の水源等。

Ⅲ類：二級自然保護区域の生活飲用水の水源等。

Ⅳ類：一般の工業用水区域および人体とは直接的に接触しない娯楽用の水区域。

Ⅴ類：農業用水区域や景観上で必要な水域。

劣Ⅴ類：飲用、工業、農業のいずれにも利用できない利水機能を喪失した水。

この中で、飲料用に利用可能な水源はⅠ類からⅢ類である。

本研究では、各都市の水道水の水源と浄水方法についての詳細な調査は行っていないが、中国における浄水方法としては、硫酸アルミニウム等による凝集沈殿と砂ろ過方式が一般的であり¹⁴⁾、日本における急速ろ過法と同様な浄水工程である。

3. 水道水の採取地点

中国国内の水道水の水質を調べるために、2008年8月から9月にかけて分析用試料を29地点（No.1 - No.29）で採取した（図1）。以下に、各試料の採取地点を示す。なお、図1には、都市名を示しているが、それらは、妹尾・薩仁高娃¹³⁾によって水道水の水質分析が既に行われた地点である。

- | | | |
|-------------------|--------------|---------------|
| 1. 哈爾濱（遼寧省） | 2. 通遼（遼寧省） | 3. 大連（遼寧省） |
| 4. 遼原（遼寧省） | 5. 吉林（吉林省） | 6. 撫順（遼寧省） |
| 7. 通化（遼寧省） | 8. 鞍山（遼寧省） | 9. 天津（河北省） |
| 10. 鐵嶺（遼寧省） | 11. 開原（遼寧省） | 12. 旅順（遼寧省） |
| 13. 滿洲里（内モンゴル自治区） | 14. 遼陽（遼寧省） | 15. 瀋陽（遼寧省） |
| 16. 昌都（遼寧省） | 17. 阜新（遼寧省） | 18. 牡丹江（黒竜江省） |
| 19. 鐵嶺河（遼寧省） | 20. 瀘江（雲南省） | 21. 大理（雲南省） |
| 22. 石林（雲南省） | 23. 昆明（雲南省） | 24. 重慶（四川省） |
| 25. 武昌（湖北省） | 26. 漢口（湖北省） | 27. 漢陽（湖北省） |
| 28. 鷄西（黒竜江省） | 29. 葫蘆島（遼寧省） | |

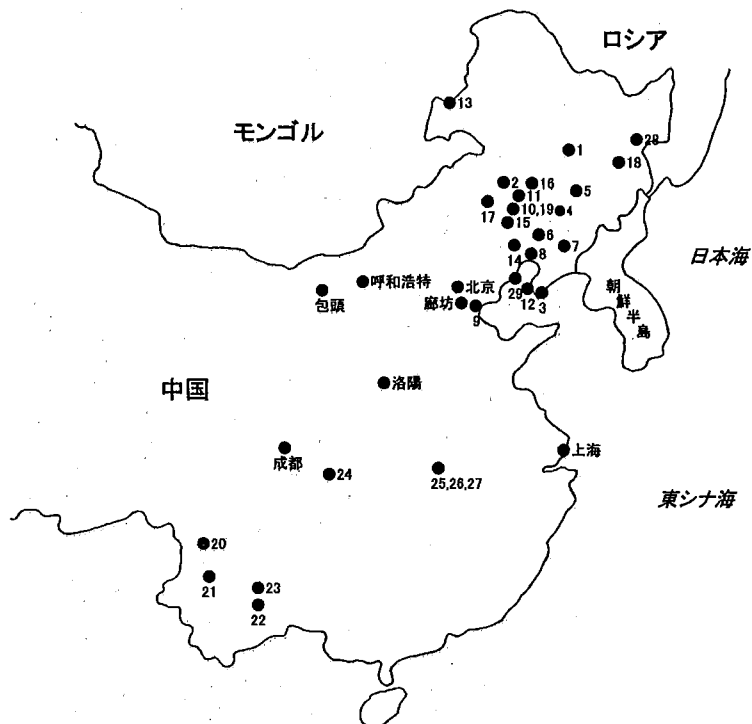


図1 水道水の採取地点
図中の数字は試料番号をさす

4. 分析方法

水道水は、現地で遊離残留塩素濃度（残留塩素測定器, SIBATA), pH（携帯用pHメーター, HANNA), 電気伝導度（携帯用ECメーター, HORIBA)を測定した。そして、ポリ瓶に分析用試料を入れて実験室に持ち帰り、主要溶存成分である陽イオンと陰イオン濃度 (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , F^- , Cl^- , Br^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-})をイオンクロマトグラフ (Dionex製, DX-120)を用いて測定した。また、硫酸滴定によって、pH4.8アルカリ度を求め、その値から HCO_3^- 濃度を計算した。一方、 SiO_2 の定量はモリブデン黄法によった。

5. 分析結果

中国の各都市の水道水についての水質分析結果を表1に示す。以下、各分析項目について、中国と日本の水質基準値^{15,16)}(表2)をもとに、その水質特徴を述べる。

(1) pH

測定された水道水のpH値は7.0-8.1の範囲で、中性から弱アルカリ性を示す。その中で、哈爾濱 (No.1), 開原 (No.11) および葫蘆島 (No.29)の試料は中性あるいは中性に近く、それに対して、通遼 (No.2), 鞍山 (No.8), 鐵嶺 (No.10), 遼陽 (No.14), 瀋陽

表1 中国の都市部の水道水の水質分析結果

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
pH	7.1	8.1	7.8	7.8	7.8	7.9	7.7	8.0	7.4	8.0	7.1	7.7	7.6	8.0	8.0
EC (μ S/cm)	90	116	300	250	250	210	99	310	158	300	390	280	270	310	390
残留塩素	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Na	3.41	57.00	19.37	11.73	11.00	8.72	3.74	6.66	12.82	8.63	20.18	19.32	24.54	6.88	26.64
K	1.16	0.83	3.10	3.70	4.45	2.94	1.36	2.74	1.76	3.76	2.77	2.98	1.85	2.73	2.80
Mg	0.74	13.58	7.35	6.56	6.39	6.00	2.01	14.49	3.76	14.19	14.52	8.17	8.43	14.85	13.47
Ca	6.81	28.28	29.77	26.82	32.44	24.30	7.68	43.97	12.38	40.17	46.79	30.02	28.96	43.66	49.51
F	0.04	0.68	0.20	0.20	0.28	0.32	0.05	0.17	0.38	0.16	0.08	0.20	0.48	0.19	0.34
Cl	9.10	6.26	33.58	15.99	16.22	8.34	3.15	9.09	6.79	13.40	48.82	32.72	6.88	9.04	34.99
NO ₃	2.49	-	6.93	3.40	5.52	5.52	1.93	4.07	0.50	8.27	46.43	6.79	2.21	3.99	4.36
SO ₄	8.35	2.32	40.03	27.75	25.46	37.99	10.70	45.72	12.13	41.54	47.78	39.26	11.69	45.28	35.28
HCO ₃	29.9	246.9	76.2	91.4	102.6	69.3	32.0	114.8	119.1	123.9	80.6	69.3	160.2	134.3	164.6
SiO ₂	7.27	21.39	3.42	6.85	8.13	6.42	10.70	3.85	21.82	7.70	12.10	3.42	19.25	3.85	13.26
硬度(mg/L)	20.1	125.2	103.2	93.9	107.3	85.4	27.5	169.1	46.4	158.6	176.5	108.5	107.0	170.0	179.0
O-index	1.7	3.2	0.8	1.1	1.4	0.8	1.6	0.8	2.3	0.9	1.0	0.8	2.5	0.8	1.3

Sample No.	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
pH	7.5	7.8	7.6	7.3	7.8	7.4	7.2	7.8	7.6	7.8	7.6	7.6	7.6	7.0
EC (μ S/cm)	181	500	108	120	370	250	177	220	310	310	310	310	290	119
残留塩素	<0.05	<0.05	<0.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Na	11.57	63.66	5.92	8.61	17.90	12.45	6.85	2.86	14.69	10.67	7.69	7.54	20.13	5.29
K	0.30	1.09	1.49	0.48	3.36	3.49	1.80	2.30	2.10	2.39	2.20	2.16	3.63	1.57
Mg	2.12	27.66	1.72	5.53	12.27	9.03	5.19	8.98	12.13	7.37	8.30	8.18	7.93	1.69
Ca	14.52	124.3	7.33	22.91	66.76	30.76	22.97	36.09	42.60	32.50	36.77	36.58	27.13	6.11
F	0.31	0.78	0.09	0.38	0.14	0.48	0.50	0.33	0.34	0.16	0.19	0.17	0.20	0.04
Cl	15.66	122.4	8.92	12.41	17.88	8.27	7.90	4.56	12.42	15.40	7.47	7.46	27.35	5.69
NO ₃	24.03	88.29	3.23	16.10	3.49	9.53	1.84	5.47	4.46	5.36	5.61	5.00	7.83	2.44
SO ₄	6.12	198.5	8.80	15.71	17.59	20.30	16.85	13.03	47.76	28.67	27.07	24.69	40.62	5.61
HCO ₃	52.4	229.5	26.0	82.3	281.0	151.7	98.9	162.8	158.4	120.4	126.1	119.0	71.7	31.5
SiO ₂	28.66	16.68	9.41	23.53	11.12	30.16	10.05	5.35	6.84	8.13	8.34	8.35	3.85	11.12
硬度(mg/L)	45.0	424.3	25.4	80.0	217.3	114.0	78.8	127.1	156.3	111.5	126.0	125.1	100.4	22.2
O-index	5.3	0.6	1.7	2.2	2.7	2.2	1.6	2.0	0.9	1.2	1.3	1.4	0.7	2.6

- : 検出限界以下, ND : 未測定

(No.15)の各試料はpH値が高く、8.0以上である。一般的な特徴として、中国東北部、遼寧省の水道水は、pH値が全体的に高い傾向を示している。なお、今回分析された試料のpH値はすべて中国の水質基準値内(pH: 6.5-8.5)¹⁵⁾であった。

(2) 電気伝導度 (EC)

電気伝導度は水中に含まれる無機イオンの量を反映するものである。測定された水道水の電気伝導度は約90-500 μ S/cmの範囲で(表1)、その値は地域によって大きく異なる。例えば、哈爾浜(No.1)や通化(No.7)の水道水は100 μ S/cm以下と低く、一方、阜新(No.17)の水道水では500 μ S/cmの高い電気伝導度を示した。

(3) 遊離残留塩素

一部の水道水について、採水時に遊離残留塩素濃度を測定した。測定値としては一試

表2 中国と日本の水道水質基準

項目	中国	日本
一般細菌	100個/mL	100個/mL
大腸菌	不検出	不検出
pH	6.5-8.5	5.8-8.6
総硬度	450mg/L	300mg/L
残留塩素	0.05mg/L	0.1mg/L
鉄	0.3mg/L	0.3mg/L
マンガン	0.1mg/L	0.05mg/L
銅	1.0mg/L	1.0mg/L
亜鉛	1.0mg/L	1.0mg/L
フェノール類	0.002mg/L	0.005mg/L
陰イオン界面活性剤	0.3mg/L	0.2mg/L
硫酸塩	250mg/L	-
塩化物	250mg/L	200mg/L
溶解性総固体	1000mg/L	500mg/L
フッ素	1.0mg/L	0.8mg/L
シアン	0.05mg/L	0.01mg/L
ヒ素	0.01mg/L	0.01mg/L
セレン	0.01mg/L	0.01mg/L
水銀	0.001mg/L	0.0005mg/L
カドミウム	0.005mg/L	0.01mg/L
クロム(6価)	0.05mg/L	0.05mg/L
鉛	0.01mg/L	0.01mg/L
銀	0.05mg/L	-
硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	10mg/L	10mg/L

料が0.1mg/Lで、他は0.05mg/Lおよびそれ以下であった。中国の遊離残留塩素濃度の基準値は0.05mg/L以上¹⁵⁾と規定されているが、本研究では、測定を行ったほとんどの試料が基準値を下回っていた。ちなみに、日本の水道法では、遊離残留塩素の基準値は0.1mg/L以上¹⁶⁾である。

(4) 硬度

水道水の水質分析結果をもとに、 Mg^{2+} と Ca^{2+} 濃度から硬度を計算した(表1)。これはアメリカ式硬度表示で、 Mg^{2+} と Ca^{2+} 濃度を $CaCO_3$ に換算する次式(1)によった。

$$\text{硬度 (mg/L)} = Mg^{2+}(\text{mg/L}) \times 4.12 + Ca^{2+}(\text{mg/L}) \times 2.50 \quad (1)$$

水道水の硬度は約20-420mg/Lの範囲で、哈爾浜(No.1)や葫蘆島(No.29)の試料では約20mg/Lの低い値を示すが、阜新(No.17)の試料では424mg/Lと高い値を示す硬水であった。中国の水質基準値では、飲用水の硬度は450mg/L以下¹⁵⁾と規定されており、すべての試料が基準値以下の値であった。

(5) NO_3^- -N濃度(硝酸態窒素濃度)

図2には、水道水の NO_3^- -N濃度のヒストグラムを示す。中国では、日本と同様に、生活飲用水の水質基準値として、 NO_3^- -N濃度が10mg/L以下¹⁵⁾と規定されている。これは、乳児に対してメトヘモグロビン血症を引き起こす危険性があるため¹⁶⁾、WHOにおいても基準値が設けられている¹⁶⁾(硝酸塩:50mg/L, 亜硝酸塩:3mg/L)。本研究では、 NO_3^- -N濃度が開原(No.11)の試料で10.5mg/L、そして阜新(No.17)の試料では19.9mg/Lを示し、両者とも基準値を超えていた。

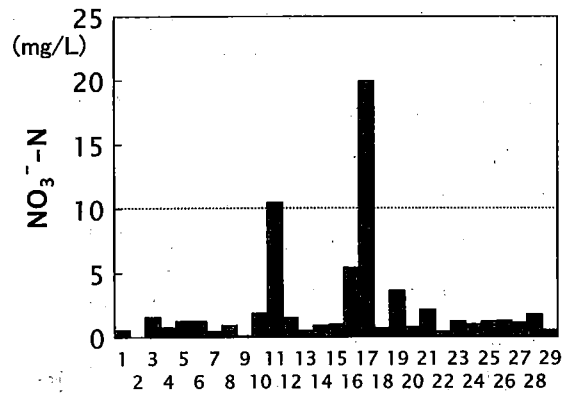


図2 水道水の NO_3^- -N濃度
図中の数字は試料番号をさす

(6) Na^+ と Cl^- 濃度

図3は Na^+ と Cl^- 濃度の関係を示した図である。この図には比較のために海水の組成比¹⁹⁾を図示した(図中の直線: Seawater: 海水の組成比。 図中の数字は試料番号をさす

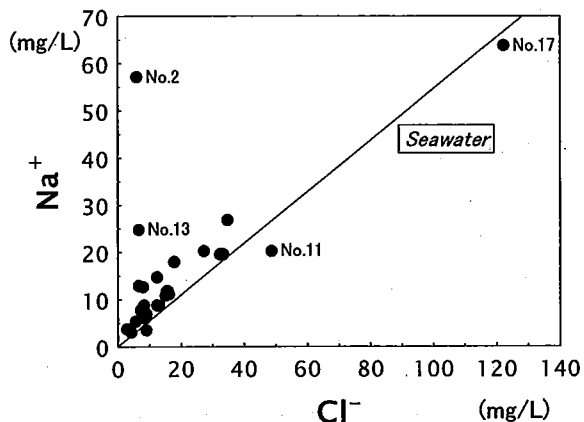


図3 水道水の Na^+ と Cl^- 濃度の関係
Seawater: 海水の組成比。 図中の数字は試料番号をさす

Seawater)。図中の Cl^- 濃度の高い試料は阜新 (No.17) の水道水で、海水の組成比を示す線に近い場所にプロットされる。また、開原 (No.11) の試料は、海水の組成を示す線よりもやや下側に位置する。一方、 Cl^- に対して Na^+ 濃度が極めて高い通遼 (No.2) と、やや Na^+ 濃度が高い満州里 (No.13) の水道水は、 Na^+/Cl^- が高く、他の試料とは異なる特徴をもつことがみてとれる。なお、一般に海に近い地域では、河川水や湖水に風送塩 (ドライフォールアウト) の影響が現れることが指摘されており¹⁷⁾、図3においても、海水の組成を示す直線上あるいはその近傍にいくつかの試料はプロットされている。

(7) SO_4^{2-} と NO_3^- 濃度

図4は、各試料の SO_4^{2-} と NO_3^- 濃度の関係を示したものである。図中の直線は、窒素系肥料として田畑等で一般的に使用されている硫酸アンモニウム (硫安) が次式 (2) のように酸化分解して、硝酸と硫酸へ変化する場合の両者の化学量論的關係を表したものである。

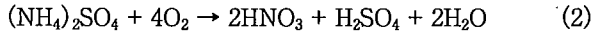


図4に示した各試料の SO_4^{2-} と NO_3^- の濃度関係では、多くの水道水が $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ である。それに対して、開原 (No.11) や天津 (No.19) の水道水は図中の直線付近に、また昌都 (No.16) の水道水は直線よりも下側にプロットされている。水質組成上の特徴としては、 $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ の高い水道水は全体的に NO_3^- 濃度が低い (10mg/L 以下)、試料 No.17 の阜新の水道水では、 SO_4^{2-} 濃度と NO_3^- 濃度が極めて高い水質組成を示している (SO_4^{2-} : 約 200mg/L, NO_3^- : 約 90mg/L)。

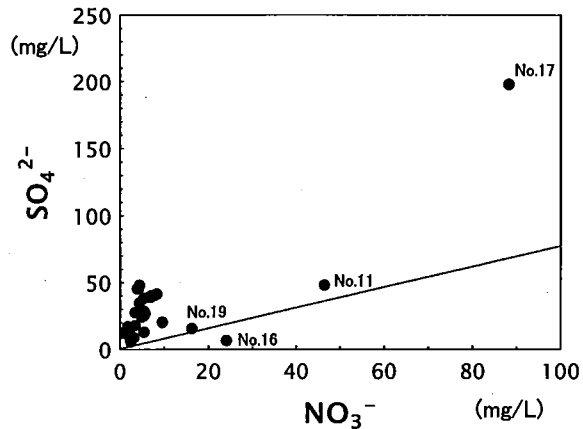


図4 水道水の SO_4^{2-} と NO_3^- 濃度の関係
図中の数字は試料番号をさす

(8) 水質組成

本研究では、水質組成図を用いて各水道水試料の水質組成を比較検討した。図5および図6はスティフダイアグラムとトリリニアダイアグラムで、(Na+K), Ca, Mg, Cl, HCO_3^- および SO_4 の6成分の当量値 (me/L) の関係を表したものである¹⁸⁾。これらの図から、各都市の水道水の水質組成は、次のようなタイプにまとめることができる。なお、妹尾・薩仁高娃¹⁹⁾による北京、上海、廊坊、包頭、呼和浩特、洛陽および成都の各都市の水道水の水質組成も比較のために示した (括弧内の都市)。

Ca- HCO_3^- 哈爾濱 遼原 吉林 撫順 通遼 鞍山 鐵嶺 遼陽 瀋陽 昌都

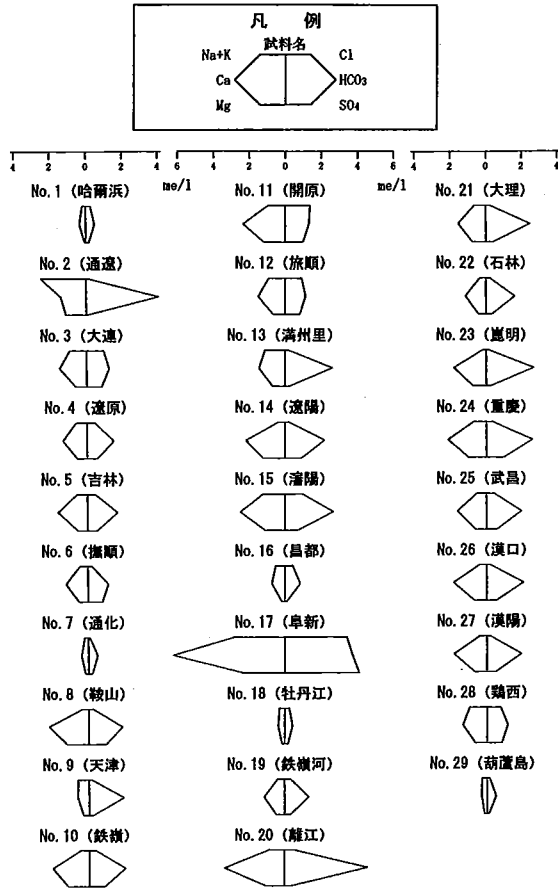


図5 スティフダイアグラムによる水質組成の比較
 図中の数字は試料番号をさす

武昌 重慶 鐵嶺河 灤江 大理 石林 昆明 漢口 漢陽
 (北京) (呼和浩特) (洛陽) (成都)

Na-HCO₃ 通遼

Ca-HCO₃/Na-HCO₃ 天津 滿洲里

Ca-HCO₃/Na-Cl 大連 旅順 鷄西 牡丹江 葫蘆島

Ca-HCO₃/Ca-Cl 開原

Ca-SO₄/Na-Cl 阜新 (上海) (包頭)

Na-Cl (廊坊)

以上のように、本研究による中国の各都市の水道水の水質については、Ca-HCO₃タイプの水質が多く、その他のタイプでは、Ca-HCO₃/Na-Cl中間型、Ca-HCO₃/Na-HCO₃中間型、またCa-SO₄/Na-Cl中間型の水質が認められた。

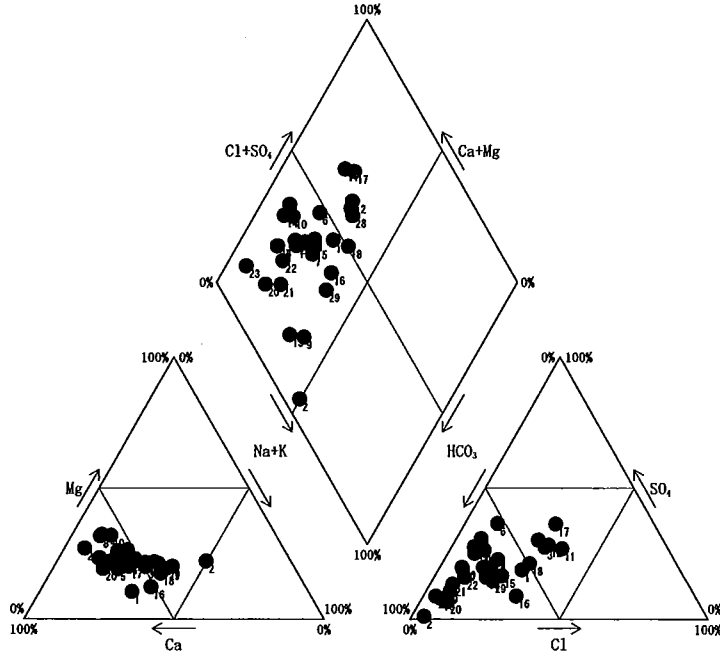


図6 トリリニアダイアグラムによる水質組成の比較
 図中の数字は試料番号をさす

(9) おいしい水

橋本ら¹⁹⁾は、全国の代表的な飲料水、ミネラルウォーターの官能試験に基づき、Ca, K, SiO₂が味を良くし、一方、Mg, SO₄が味を悪くすることを明らかにした。そして、これら成分を用いて、おいしい水の指標 {O-Index = (Ca+K+SiO₂) / (Mg+SO₄)} を提案し、この指標を多数の飲料水やミネラルウォーターについて比較検討した結果、おいしい水とそうでない水の境界として O-Index=2.0 が提示された¹⁹⁾。

本研究においても、O-Index = (Ca+K+SiO₂) / (Mg+SO₄) ≥ 2.0 をおいしい水の要件として、中国の水道水の水質分析結果に適用した。表1には、各都市の水道水のおいしい水の指標 (O-Index) を示した。この表から、通遼 (No.2), 天津 (No.9), 満州里 (No.13), 昌都 (No.16), 鐵嶺河 (No.19), 灤江 (No.20), 大理 (No.21), 昆明 (No.23) および葫蘆島 (No.29) の各都市の水道水がおいしい水に該当することがわかる。これらの試料採取地点は、中国南西部の雲南省、東北部の遼寧省および内モンゴル自治区に位置している。

6. 考察

(1) 中国の水道水の水質と水質基準値との比較

表2には中国における生活飲用水の水質基準値を示しているが、現行の基準値は

2007年に改訂されたもので、ヒ素、カドミウム、鉛、硝酸態窒素および亜硝酸態窒素等の基準値は、それより前の1985年公布値よりも厳しい数値となっている。これは、中国国内での水道水の水源となる河川、湖、ダム等の水質汚染が進行していることを反映したものと考えられる。本研究では、一般細菌や大腸菌の検査は行っていないが、分析された項目の中では、pHや硬度の値は基準値内であった。それに対して、 NO_3^- -Nは2試料(No.11:開原, No.17:阜新)で基準値を超えていた(図2)。図4の SO_4^{2-} と NO_3^- の濃度関係図に示されているように、試料No.11(開原)の高い NO_3^- -N濃度は、窒素系の化学肥料として一般に田畑に使用される硫酸アンモニウム(硫安)の施肥にその原因を求めることは可能である。しかしながら、 SO_4^{2-} 濃度が極めて高い試料No.17(阜新)は化学肥料以外の他の要因も考える必要がある。この水道水は、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 等の他成分も多く含み、硬度の値も中国の水質基準値(450mg/L)¹⁵⁾に近い。農業排水とともに、家庭排水、工業廃水あるいは酸性雨の影響等、複合的な要因が考えられるが、現時点ではその原因について特定できない。その他、水質基準値に抵触する他の項目として、遊離残留塩素濃度が挙げられる。本研究では、すべての水道水試料について遊離残留塩素濃度を測定していないが、中国の水質基準値(0.05mg/L)¹⁵⁾より低い値を示す試料が多い。この原因として、浄水工程で水道水へ添加する塩素濃度が本来低いことや、送水過程での塩素の消費等が考えられる。中国東北地区の飲料水を調査した劉ら¹⁴⁾は、中国東北地区では浄水場での塩素の添加濃度は0.8-0.5mg/Lであるが、蛇口での塩素濃度はほとんどゼロに近い状態であることを指摘している。

(2) 水道水の水質評価

中国の各都市の水道水は、その水質組成図の比較検討から、Ca-HCO₃タイプの水質組成を示すものが多いことが明らかになった。これらの水道水は石灰岩質の水であるといえるが、一方で、 Mg^{2+} 濃度が高い水道水も認められた。例えば、遼陽(No.14, 遼寧省)、瀋陽(No.15, 遼寧省)、瀾江(No.20, 雲南省)、重慶(No.24, 四川省)の試料では、 Mg^{2+} 濃度が10mg/Lを越える。これは石灰岩(CaCO₃)だけでなく、MgCO₃成分を含む苦灰質石灰岩に起源をもつものと推定される。島野ら¹²⁾および益田ら²⁰⁾の研究によれば、中国四川省および雲南省には石灰岩とともに苦灰質石灰岩が広く分布しており、周辺の湧水や湖水の水は Mg^{2+} が多いCa(Mg)-HCO₃タイプの水質特徴を有している。

通遼(No.2)の試料は、本研究においてNa-HCO₃タイプの特異な水質組成を示す水道水である(図5および図6)。図3には、 Na^+ と Cl^- 濃度の関係を示したが、ほとんどの試料が海水組成比を表す直線上あるいはその近傍にプロットされるのに対して、通遼(No.2)の水道水はこの直線よりも Na^+ の高濃度側に位置する。すなわち、高 Na^+/Cl^- 比で特徴づけられる水質組成である。このような特徴をもつ水質は、深層地下水に一般的であり^{21,22)}、地下水と土壤中の粘土鉱物との間のイオン交換反応によって、粘土鉱物

に吸着されていた Na^+ が地下水中へ溶出した結果であると解釈されている²¹⁾。さらに、後藤²²⁾によれば、深層地下水は F^- 濃度が高く、 F^- イオンもイオン交換反応によって粘土鉱物から溶出したものと考えられている。通遼 (No.2) の水道水は、高い Na^+/Cl^- 比をもち、一方で K^+ 濃度が低く、 F^- 濃度が高い等、深層地下水の水質特性と合致している。なお、満州里 (No.13) の水道水も $\text{Ca-HCO}_3/\text{Na-HCO}_3$ 中間型の水質であり、図3では、他の試料と異なり高い Na^+/Cl^- 比を示している。この水道水も水質上、深層地下水に起源を有する可能性が大きい。

図5および図6の水質組成図で明らかなように、大連 (No.3)、開原 (No.11)、旅順 (No.12)、阜新 (No.17)、牡丹江 (No.18)、鷄西 (No.28) の水道水は HCO_3^- が少なく、それに対して Cl^- に富む。水質組成上のタイプでは、 $\text{Ca-HCO}_3/\text{Na-Cl}$ 、 $\text{Ca-HCO}_3/\text{Ca-Cl}$ および $\text{Ca-SO}_4/\text{Na-Cl}$ の中間型を示している。この中で、 $\text{Ca-HCO}_3/\text{Na-Cl}$ 中間型の試料である大連 (No.3) と旅順 (No.12) は地理的に海に近く、石灰岩質の水質組成をもつ河川水、湖水、ダム水等への風送塩 (ドライフォールアウト)¹⁷⁾ の影響によるものと考えられる。しかし、内陸部に位置する黒竜江省の牡丹江 (No.18) や鷄西 (No.28) では、風送塩の影響は考え難く、化石塩水を含む地下水が水道水の水源として使用されているものと推定される。 $\text{Ca-HCO}_3/\text{Ca-Cl}$ および $\text{Ca-SO}_4/\text{Na-Cl}$ 中間型の水質である開原 (No.11) と阜新 (No.17) の水道水は、電気伝導度が高く (それぞれ、 $390\ \mu\text{S}/\text{cm}$ および $500\ \mu\text{S}/\text{cm}$)、無機イオンを多く含んでいる。また、既述のように NO_3^- -N 濃度が水質基準値を超えており、水質汚染の影響が水道水源に現れているとみることができ。現時点ではその原因については特定できないが、農業排水、家庭排水、工業廃水等の複合的な要因によるものかもしれない。

橋本ら¹⁹⁾による、おいしい水の要件を満たす試料として、通遼、昌都、鐵嶺河および葫蘆島 (遼寧省)、天津 (河北省)、満州里 (内モンゴル自治区)、瀋江、大理および昆明 (雲南省) の各都市の水道水が該当していることは既に述べた。これらの水道水は Ca-HCO_3 タイプの水質組成をもつことが特徴である。また、水質汚染の指標となる NO_3^- や SO_4^{2-} の濃度が比較的低い。したがって、これらの試料は、水質汚染の程度が低い石灰岩由来の水源に起源を有するものと考えられる。

7. まとめ

中国国内の各都市から採取した水道水の水質について、水質組成上の特徴や水質基準値との比較検討の結果、以下のことが明らかになった。

- (1) pHは中性から弱アルカリ性を示すが、中国東北部の遼寧省では水道水のpH値が高く、8.0以上であった。
- (2) 水道水の遊離残留塩素濃度については、ほとんどが $0.05\text{mg}/\text{L}$ およびそれ以下であり、多くの試料が中国の水質基準値 ($0.05\text{mg}/\text{L}$) を下回っていた。

- (3) 水道水の総硬度は約 20-420mg/L の範囲で、軟水と硬水の地域が認められた。
- (4) 水道水の NO_3^- -N (硝酸態窒素) 濃度では、2 試料が水質基準値 (10mg/L) を越えていた (開原および阜新：遼寧省)。
- (5) 水質組成図を用いて各水道水の水質を検討した結果、 Ca-HCO_3 、 Na-HCO_3 、 $\text{Ca-HCO}_3/\text{Na-HCO}_3$ 、 $\text{Ca-HCO}_3/\text{Na-Cl}$ 、 $\text{Ca-HCO}_3/\text{Ca-Cl}$ および $\text{Ca-SO}_4/\text{Na-Cl}$ 中間型の各タイプの水質に分類された。
- (6) 遼寧省、河北省、内モンゴル自治区および雲南省からの試料には、おいしい水の指標 $\{O\text{-Index} : (\text{Ca}+\text{K}+\text{SiO}_2)/(\text{Mg}+\text{SO}_4) \geq 2.0\}$ の要件を満たす水道水が認められた。

参考文献

- 1) 中国環境問題研究会編：中国環境ハンドブック [2005-2006 年版] 蒼蒼社, 437p (2005)。
- 2) 溝口次夫：中国の環境問題を考える。環境経済・政策学会編, 「アジアの環境問題」, 東洋新聞社, 191-212 (1998)。
- 3) 李 志東：中国の環境問題と環境保護システム。環境経済・政策学会編, 「アジアの環境問題」, 東洋新聞社, 213-227 (1998)。
- 4) 徐 金波・高橋幸彦・杜 茂安・陳 宏涛・馬 俊得・中村玄正：黄河河口部の水環境(1)。水, 47, 16-23 (2005)。
- 5) 相川 泰：中国大陸「公害大陸」の環境報告。ソフトバンク新書, 239p (2008)。
- 6) 中尾正義・銭 新・鄭 躍軍：中国の水環境問題－開発のもたらす水不足。勉誠出版, p223 (2009)。
- 7) 藤野 彰編：中国環境報告－苦悩する大地は甦るか (増補改訂版)。日中出版, p356 (2007)。
- 8) 中国環境問題研究会編：中国環境ハンドブック [2009-2010 年版] 蒼蒼社, 476p (2009)。
- 9) 榎根 勇編：中国の環境問題。日本評論社, 346p (2008)。
- 10) 森井ふじ・小林 純・三宅幸子：陸水の化学的研究。農学研究, 59, 171-188 (1982)
- 11) 島野安雄：名水を訪ねて(70) 中国四川省の名水－九寨溝・黄龍など－。地下水学会誌, 47, 341-356 (2005)。
- 12) 島野安雄・藪崎志穂・宮沢哲男・榎根 勇：名水を訪ねて(81) 中国雲南省の大麗・麗江などの名水。地下水学会誌, 50, 97-115 (2008)。
- 13) 妹尾 護・藤仁高娃：中国の都市水道水の水質評価。倉敷芸術科学大学紀要, 12, 77-85 (2007)。
- 14) 劉 丹・清水英佑・堤 智昭・朴 仙花・岡部雅史・上野芳夫：中国東北地区における水中マイクロシスチン汚染の研究。慈恵医大誌, 118, 69-77 (2003)。
- 15) 中国環境保護総局：http://www.zhb.gov.cn.
- 16) 日本環境管理学会編：水道水質基準ガイドブック(改訂4版), 丸善, 209p (2009)。
- 17) 北野 康：水の科学。NHK ブックス, 日本放送協会, 254p (1995)。
- 18) 日本地下水学会編：新・名水を科学する－水質データからみた環境－。技報堂出版, P293 (2009)。
- 19) 橋本 奨・藤田正憲・古川憲治・南 純一：ミネラルバランスからみた飲料水の水質評価に関する研究。水処理技術, 29, 13-28 (1988)。
- 20) 益田晴恵・中屋眞司・賈 疏源・柳澤文孝・伊藤浩子・北田奈緒子・楊 慧東・萬新南：名水を訪ねて(50) 中国四川省峨眉山の名水。地下水学会誌, 41, 263-271 (2000)。
- 21) 日下 謙・福井 要・辻 治雄・玉利祐三・藤原儀直：第三紀神戸層群の地下水の水質。陸水学雑誌, 43, 254-262 (1985)。
- 22) 後藤達夫：地下水中のフッ素の化学的挙動について(1)。水, 37, 22-32 (1995)。

Evaluation of the quality of tap water in urban areas in China

Mamoru SENO, Fan YANG

Graduate School of Science and the Humanities

Kurashiki University of Science and the Arts,

2640 Nishinoura, Tsurajima-cho, Kurashiki-shi, Okayama 712-8505, Japan

(Received October 1, 2012)

A total of 29 tap water samples were collected from 29 cities in China for evaluating the quality of tap water in China's urban areas. The evaluation showed that the pH values ranged from 7.0 to 8.1, indicating neutral to alkaline water. The concentrations of residual free chlorine were slightly less than 0.05 mg/L, which does not meet China's criteria for water quality. Water hardness had a wide range of 20 to 420 mg/L. With regard to the concentration of NO_3^- -N, two samples exceeded 10 mg/L, which does conform to the water-quality criteria in China.

Diagrams of the water quality of each sample showed that Ca- HCO_3 type water was predominant, with subordinate type waters of Ca- HCO_3 /Na-Cl, Ca- HCO_3 /Na- HCO_3 , Na- HCO_3 , Ca- HCO_3 /Ca-Cl, and Ca- SO_4 /Na-Cl. The Ca- HCO_3 type water is thought to have originated in limestone, although there are some examples of water with a relatively high concentration of Mg^{2+} . The Ca- HCO_3 /Na-Cl type water seems to be influenced by seawater or fossil saltwater. The Ca- HCO_3 /Na- HCO_3 and Na- HCO_3 type waters are unique in this study; their source may be deep groundwater. Both Ca- HCO_3 /Ca-Cl and Ca- SO_4 /Na-Cl type waters are characterized by a high concentration of NO_3^- -N, with high concentrations of Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , and SO_4^{2-} as well. These facts suggest that pollutants such as agricultural, domestic, and/or industrial waste may have a significant impact on the water.

The water quality of tap water in China was analyzed based on the taste index (O-index). Some examples of good-tasting water were identified in the provinces of Liaoning, Hebei, Yunnan, and in the Inner Mongolia autonomous region. It can be concluded, therefore, that the good-tasting water in China was of Ca- HCO_3 type with low concentrations of NO_3^- and SO_4^{2-} , indicating lower levels of pollution.