〈調査報告〉

仙台市秋保地区の地下水の水質

内 田 美 穂* 渋谷 奈 保** 加 藤 丈 夫**

Groundwater Quality at Akiu Area in Sendai City

Miho UCHIDA*, Naho SHIBUYA** and Takeo KATO**

* Department of Applied Chemistry, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-77 Japan

** Sendai Municipal Institute of Public Health, 2-5-10, Oroshimachi-higashi, Wakabayashi-ku, Sendai 983 Japan

Abstract

Chemical constituents of ground water collected in Akiu area in Sendai city were analyzed. There are 3 samples containing arsenic above $0.01\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. In ground water samples, we can detect arsenic at high concentration of sodium ion comparing with the samples where no arsenic was detected. The area in which arsenic was detected is located near a hot spring. The relation between the concentrations of major inorganic components and arsenic will be caused by the prolonged contact of ground water with the sediments of the stratum.

Key words: water quality, ground water, Akiu area in Sendai city, arsenic, pollution

1. 緒 言

地下水は各種用途に用いられ、水質悪化により日常生活に影響を及ぼすことがあるため定期的な水質の調査が必要である。仙台市内の井戸水については過去に衛生化学的、地球化学的側面から広範囲な調査が実施された^{1)~3)}。仙台市は昭和63年に政令指定都市への移行に伴い、旧泉市、秋保町、宮城町と合併し、人口の増加のみならず地理上の面積も増加した。しかし、旧仙台市以外の地域の地下水の総合的な水質調査は一部で行われているにすぎず、全体的な実体は把握されていない。

宮城県⁴⁾と仙台市⁵⁾の調査によると仙台市秋保地区(仙台市の中心部から20km程南西に位置)の温泉水は宮城県内の他の温泉水と比較してヒ素濃度が高い。よって、温泉水の湧出や、地質の影響により地下水においてもヒ素濃度が高い地域があると考えられる。ヒ

素の水質基準値は $0.01\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ であり、ヒ素が基準値を上回る濃度の地下水を浅井戸から汲み上げ、飲用として日常用いた場合、健康への影響が懸念される⁶⁾。また秋保地区は火山岩に覆われた地域が多く⁷⁾、平野部と比較してその地質の違いにより地下水の無機溶存成分の水質傾向が異なると推測される。

そこで本研究では、仙台市秋保地区の地下水調査を実施し、無機主要成分の濃度の特徴について Corbett⁸⁾の提唱する water type を用いて検討し、無機主要成分とヒ素濃度、地質との関連を考察した。

2. 観 測

仙台市太白区秋保地区の井戸水(主に浅井戸)、湧水、沢水を対象として16地点の調査を行った。採水地点を Fig. 1 に示す。平成3年12月2~3日の2日間にわたり採水を行った。2日間とも天候は晴れで、前日、前々日とも降雨は観測されなかった。

* 東北大学大学院工学研究科応用化学専攻 〒980-77 仙台市青葉区荒巻字青葉

** 仙台市衛生研究所 〒983 仙台市若林区卸町東2-5-10

Fig. 1 Sampling locations

測定に際しては、新鮮な地下水を採取するため井戸水はポンプでくみあげ3分程度流出させた後採取した。採取後、現地で水温を棒状温度計により測定し、試水を2 l ポリエチレン瓶と酸洗浄した1 l ガラス瓶に採水した。試水のpHをpHメーターにより測定した。 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} はイオンクロマトグラフィーにより、溶存ケイ酸(SiO_2)はモリブデン黄法により、Asはジエチルジチオカルバミン酸銀法、 F^- はランタン・アリザリンコンプレクソン法によりそれぞれ定量した。また、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} は塩酸を添加し、Feは硝酸を添加した後、原子吸光分光分析法で定量した。 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} の濃度はpH4.8、pH8.3アルカリ度から換算して得た。

3. 観測結果

Table 1 に試水のpH、無機主要成分の測定結果を示す。

No. 8, 9, 11 でヒ素が検出(0.013 , 0.016 , $0.031 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$)され、いずれも水質基準値を越えていた。No. 8, 9 はpHがそれぞれ8.6, 7.3と弱アルカリ側にあり、一般にヒ素濃度の高い地下水はpHも高いという旧仙台市域の地下水調査の結果⁹⁾と一致する。また

No. 11 は温泉源を有する宿泊所の同一敷地内で採取した井戸水で、井戸の深さは約200mと、今回調査した中で最も深く(他の井戸はすべて浅井戸)、pHは6.5でアルカリ側ではないが、やはり地質の影響と考えられる。また、No. 11 ではF⁻が検出された($0.39 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$)。

無機主要成分に着目すると、No. 8, 9, 11 でナトリウム、カリウムの割合が80~94%と大きく、他の13地点の試料と異なる傾向を示した。この3地点はいずれもヒ素が検出されていて、ナトリウム濃度が高いのが特徴である。

陰イオンは、陽イオンと比較して試水間のイオンの比率(電荷当量%)に大きな偏りはなく、ばらついていた。No. 8, 9 は陰イオン全体に占める塩化物イオンの割合が8.8, 15.3%と低いのにに対し、No. 11 は53.9%と高かった。またNo. 8, 9 は重炭酸イオン濃度がやや高かった。

4. 考察

ヒ素は土壌に固定されやすい元素であるとする考え方⁹⁾があるが、この固定されたヒ素が地下水中へ溶出する原因の一つとして、土壌中の水酸化鉄に共沈していたヒ素が、アルカリ性の水と接触することにより表

Table 1 Analytical results and the water types of underground water

No.	pH	water temp. °C	mg · ℓ ⁻¹					mg · ℓ ⁻¹					mg · ℓ ⁻¹					Water Type/ m-equiv. %	
			Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Sum	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Sum	As	Fe	SiO ₂	Cation	Anion			
1	6.9	10	6.8	1.7	2.22	9.69	20.41	6.6	17	5.7	29.3	<0.005	<0.05	53.7	C > A > B	E > D > F			
2	6.4	10	5.9	1.2	1.86	6.72	15.68	4.1	15	3.3	22.4	<0.005	<0.05	49.5	C > A > B	E > D > F			
3	6.0	12	8.1	5.3	1.70	5.72	20.82	4.3	12	7.1	23.4	<0.005	<0.05	26.8	<u>A</u> > C > B	E > F > D			
4	6.4	13	8.7	4.8	3.86	16.7	34.06	8.6	10	18.7	37.3	<0.005	<0.05	55.7	<u>C</u> > A > B	F > D > E			
5	6.5	14	8.6	1.5	4.42	19.5	34.02	11.2	16	17.4	44.6	<0.005	<0.05	31.5	<u>C</u> > A > B	F > D > E			
6	7.1	9	7.3	0.8	2.29	8.02	18.41	4.4	21	1.6	27.0	<0.005	0.05	55.3	C > A > B	E > D > F			
7	6.4	12	3.3	1.0	1.46	3.58	9.34	3.2	3	8.8	15.0	<0.005	<0.05	18.9	A > C > B	<u>F</u> > D > E			
8	8.6	8	33.8	1.1	0.19	6.09	36.78	3.5	46	13.4	62.9	0.013	0.22	39.2	<u>A</u> > C > B	<u>E</u> > F > D			
9	7.3	7	35.0	1.8	0.48	1.69	43.37	7.0	34	26.1	67.1	0.016	<0.05	78.3	<u>A</u> > C > B	E = F > D			
10	6.6	11	6.5	1.5	1.64	4.87	14.51	4.2	14	5.7	23.9	<0.005	<0.05	71.1	A > C > B	E > D = F			
11	6.5	15	175	3.3	1.54	7.01	186.8	120	118	46.6	285	0.031	0.85	49.5	<u>A</u> > C > B	<u>D</u> > E > F			
12	6.3	9	7.5	0.9	1.78	7.08	17.26	12.0	12	2.5	26.5	<0.005	<0.05	28.4	A = C > B	<u>D</u> > E > F			
13	6.4	8	5.7	1.5	1.87	5.99	15.06	6.9	6	5.0	17.9	<0.005	0.16	19.2	A = C > B	D > E = F			
14	6.1	10	6.1	0.7	2.38	15.6	24.78	18.3	19	4.2	41.5	<0.005	<0.05	14.8	<u>C</u> > A > B	<u>D</u> > E > F			
15	7.1	9	5.3	0.2	0.79	4.58	10.87	2.6	10	4.1	16.7	<0.005	<0.05	21.2	A = C > B	<u>E</u> > F > D			
16	6.6	11	7.2	4.1	2.06	9.42	22.78	6.3	11	8.7	26.0	<0.005	<0.05	24.5	C > A > B	D = E = F			
Mean			20.7	2.0	1.91	8.27	32.81	14.0	23	11.2	47.9	-	-	39.9					

A = Na⁺+K⁺ B = Mg²⁺ C = Ca²⁺ D = Cl⁻ E = HCO₃⁻+CO₃²⁻ F = SO₄²⁻ The underline indicate more than 50% of cations and anions.

Fig. 2 Piper diagram of 7 major chemical components in underground water.

● : $\text{As} > 5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ○ : $\text{As} < 5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$

面電荷が変化した水酸化鉄から離脱する¹⁰⁾と考えられる。

No. 8, 11は他の試料と比較し、鉄濃度($0.22, 0.85 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$)も高かった。pHが高くなるとも、地下水が還元雰囲気になれば鉄自体が2価イオンとして溶出するが、それに伴って、吸着していたヒ素が離脱するものと推定される。No.11は深井戸で、硫化水素臭があったことから、還元雰囲気になっていたと考えられる。

循環性の地下水は地下に浸透してからの時間・温度・圧力などによって水質が変化し、その変化の方向には一定のパターンがみられる¹¹⁾。すなわち、天水が地表をくぐり有機物から発生した炭酸ガスによって地層成分からカルシウムが溶出し、次いでナトリウムとの置換によって地下水が Na-HCO_3 型へ近づく。また、炭酸類の増加につれてマグネシウム、カルシウムは置換され、ナトリウムが増加する。このような水質変化、いわゆる流動が進行すると一般的にナトリウム、塩化物、ケイ酸、重炭酸の量は増加し、カリウム、マグネシウム、カルシウム、硫酸の各イオンは減少する傾向

があるといわれる。

試水の主要無機成分の組成から作成した、組成ダイアグラムをFig. 2に示す。No. 8は炭酸アルカリ型を示し、No. 9, 11は非炭酸アルカリ型を示した。その他の試水はほぼ中間型の水質を示した。

主要無機成分の組成から、ヒ素が検出されたNo. 8, 9, 11は陽イオンではナトリウム、カリウムイオンの割合が非常に高く、地層と接触する時間が長かった水と考えられる。また陰イオンからみてもNo. 8, 9, 11は重炭酸イオン濃度が高く、滞留時間が長い水の特徴を示している。またNo.11は付近で湧出する食塩泉質の温泉水の影響をうけ、ナトリウム、塩素イオン共に高い割合になっていると考えられる。

旧仙台市の井戸水調査の結果¹⁾からも同様の傾向を示した地域が仙台市東部の海岸地域にもみられ、ナトリウムイオンの比率が極端に高く、カルシウムイオン比率が低い。他の地域での試水のヒ素濃度がほとんど $0.005 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下なのに対して東部海岸地域の試水のヒ素濃度はほとんどが $0.005 \sim 0.035 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ の範囲に

Fig. 3 Relationship between NO_3^- concentration and As concentration in ground water

あり、秋保地区と同様に非炭酸アルカリ型または炭酸アルカリ型を示した地下水に高濃度のヒ素が含有されていた。これらの結果より、地層中でカルシウムイオンがナトリウムイオンとイオン交換をくりかえし流動が進行すると同時に土壤中に固定されていたヒ素が地下水中に溶出されるためアルカリ型の地下水中のヒ素が高濃度であると考えられる。

次に、各試水の硝酸イオン濃度とヒ素濃度の関係をFig. 3に示す。地下水への窒素の負荷源としては雨水中の無機窒素や農耕地周辺での施肥が主なものであり、その他に各種産業排水からの漏水など人為的要因がある。よって通常、地下水への地質の影響を考える場合、無機主要成分比の中に硝酸イオンは含まれない。ヒ素の検出されたNo. 8, 9, 11は硝酸イオン濃度が他の試水と比較して低く、これらの試水が地下で長期間滞留し、地質の影響を受けたことを示唆している。

5. 結 言

仙台市秋保地区の地下水調査の結果、ヒ素が3地点で水質基準値 $0.01\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ を上回る濃度で検出された。無機主要溶存成分の組成比を比較すると、ヒ素が検出された試水は、検出されなかったものと比較して、ナ

トリウムイオン割合が非常に高く、地域的には温泉水の湧出する地区から多くヒ素が検出されたことから、地層中での地下水と土壤の接触による流動の進行により地層中よりヒ素が溶出したものと考えられる。

謝 辞

本研究を行うに当たり、地下水採取にご協力下さった仙台市衛生局 佐藤正基氏に感謝いたします。

(原稿受付 1996年3月6日)

(原稿受理 1996年8月6日)

引 用 文 献

- 金子恵美子, 菅野直 (1979) 仙台市内の井戸水調査 (第3報) 一主要溶存成分について, 仙台市衛生試験所報, 9, 174-195.
- 井上康子, 広島紀子, 金子恵美子, 大金由夫, 三島靖子, 菅野直, 関敏彦 (1983) 仙台市における地下水の衛生化学的研究, 仙台市衛生試験所報, 13, 156-177.
- 大金由夫, 井上康子, 結城幸雄, 桜井三弥, 三島靖子, 樋渡玲子, 菅野直, 関敏彦, 角田行, 佐々木克彦, 泉田三郎, 阿部克巳 (1984) 仙台市坪沼地区の井戸水, 湧水水質調査 (第1法), 仙台市衛生試験所報, 14, 154-159.
- 小島秀行, 船木宏, 郡山力 (1978) 県内温泉の衛生化学的研究 (第2報) 一飲用規制成分とヒ素について (県南地区) 一, 宮城県衛生研究所報, 54, 84-87.
- 渡部律子, 相田英輝, 鈴木稔子 (1988) 仙台市内の温泉調査について (秋保地区), 仙台市衛生研究所報, 18, 219-225.
- Brown, K. G. and Chen, C.-J. (1995) Significance of exposure assesment to analysis of cancer risk from inorganic arsenic in drinking water in Taiwan, *Risk Analysis*, 15, 475-484.
- 竹内貞子 編 (1991) 宮城の自然をたずねて, 254pp., 筑地書館, 東京.
- Corbett, R. G. (1979) Geology and water Characteristics, Geochemistry of water in relation to cardiovascular disease, pp.14-36, National Academy of Science, Washington D.C.
- Horn, M. K. and Adams, J. A. S. (1966) Computer-derived geochemical balances and element abundances, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 30, 279-297.
- 金子恵美子 (1979) 仙台市における地下水中のヒ素濃度, 地球化学, 13, 1-6.
- 本島公司, 益子安, 甘露寺泰雄 (1973) 地下水・温泉の分析, 50p., 講談社, 東京.