

伊豆大島の水道原水の化学成分濃度および特性

梶本 博*, 関山 登*, 瀬戸 博*, 真木 俊夫**

Concentrations and characterization of chemical components in groundwater for the water supply sources in Izu-Oshima Island

Hiroshi TOCHIMOTO*, Noboru SEKIYAMA*, Hiroshi SETO* and Toshio MAKI**

Water analyses (39 items) of groundwater drawn from 17 wells for water supply sources in Izu-Oshima Island, were carried out in May and Nov. 2002. The object of this study was to explore the background levels of the groundwater quality while the volcano is inactive. Great different values were observed among the sampling sites for the most items.

The hexa-diagrams of the chemical components, influenced by the volcano and/or the sea water, showed 4 types, the NaCl, Ca(HCO₃)₂, CaCl₂ and MgCl₂ types.

The items were classified into two groups by correlation analysis. Group 1 included temperature, arsenic, boron, bicarbonate ion, dissolved silicon dioxide, and potassium, which were influenced by the volcano, and Group 2 included chloride ion, sodium, total residue, and electric conductivity, which were influenced by the sea water.

The measured items exceeding the water quality criteria were arsenic (2 sites), boron (1 site), chloride ion (9 sites), hardness (10 sites), and total residue (10 sites).

Keywords : 地下水 groundwater, 化学成分 chemical component, 水道水源 water supply source, ヒ素 arsenic, ホウ素 boron, 伊豆大島 Izu-Oshima, 火山 volcano

緒 言

伊豆大島は富士火山帯に属し、東京から南南西 100km に位置する伊豆七島最大の火山島である。近年では 1986 年に島の中心にある三原山が大噴火を起こし、島民全員が島外に避難する事態も発生した。この島では地下水が水道原水として利用され、浄水処理(脱塩処理など)され、約 9,000 人の島民のために供給されている¹⁾。火山活動や地震活動は、地下水、河川水などの水質無機溶存成分に影響を及ぼし、その結果、ヒ素やホウ素などの有害化学成分が高く検出されることが知られている²⁻⁶⁾。伊豆大島の地下水水質の地球化学的研究は報告されているが^{5,7,8)}、水道原水としての有害な無機成分などについては、1986 年の三原山大噴火直後の調査²⁾とホウ素⁹⁾に関する報告がみられる程度である。島民に安全な飲料水を供給するためには、水道原水の水質を明らかにし、浄水処理に役立てる必要がある。また、火山活動にともない地下水中の無機成分は変動することが予想されるため^{2,5,7,10)}、火山活動が沈静化している時のバックグラウンドレベルを把握し、火山活動予知の基礎資料とすることも重要であると思われる。

そこで、三原山噴火後 16 年経過し、火山活動が沈静化している 2002 年に伊豆大島の水道原水について無機化学物質を中心に年 2 回調査を行い、水道原水水質のバックグ

ラウンドレベルおよび水質特性の把握を試みた。

調 査 方 法

1. 調査地点 伊豆大島の北部地区水道(給水人口 6,000 人)の主な水道原水を 14ヶ所、南部地区水道(給水人口 3,000 人)の主な原水を 3ヶ所、合計 17ヶ所について 2002 年 5 月 20 日と 11 月 18 日に 2 回調査した(1 地点だけ 1 回)。Fig.1 に水道原水の調査地点を示した¹⁾。伊豆大島の水道原水は地下水であり、井戸の深さは、No.1~10、12~16 は 65~115m で、No.17 は 7 m である。No.11 は湧水である。

2. 調査項目 平成 15 年に改訂された水道水水質基準の無機物を主とした項目: 21, 水質管理目標設定項目: 5, 要検討項目: 2, 鉱泉に定義されている成分: 3, 天然水の主要化学成分: 6, 電気伝導率, 水温の合計 39 項目を上水試験法¹¹⁾などにより測定した。Table 1 に各調査項目の分析法, 検出限界および水質基準を示した。

結 果

1. 検出状況 水道水基準項目では濁度, 水質管理目標設定項目では亜硝酸性窒素とトリブデンがすべての地点で検出されなかった。検出された項目について Table 2 に水質

* 東京都健康安全研究センター環境保健部水質研究科

* * 東京都健康安全研究センター医薬品部 169-0073 東京都百人町 3-24-1

* Tokyo Metropolitan Institute of Public Health

3-24-1, Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073 Japan

基準項目，Table 3 に水質管理目標設定項目および要検討項目，鉱泉に定義されている成分，Table 4 に天然水の主要化学成分および電気伝導率，水温を示した．硝酸性窒素および亜硝酸性窒素については亜硝酸性窒素が検出されなかったため，硝酸性窒素として示した．水銀，クロム，アルミニウム，マンガン，色度はほとんどの地点で検出されなかった．アンチモン，ウラン，ニッケルは検出されない地点が 50%以上あった．一方，天然水の主要化学成分はすべて全地点で検出された．



Fig.1. Sampling Sites

- No.1 Okata 1
- No.2 Okata 2
- No.3 Okata 3
- No.4 Okata 4
- No.5 Okata 5
- No.6 Okata 6
- No.7 Okata 7
- No.8 Okata 8
- No.9 Okata 9
- No.10 Okata 10
- No.11 Funou
- No.12 Kitanoyama 1
- No.13 Kitanoyama 3
- No.14 Kitanoyama 4
- No.15 Otaki 1
- No.16 Otaki 2
- No.17 Sekitanko

2. 2回の測定値の比較

5月と11月に測定した値を比較すると，溶性ケイ酸は5月の方がほとんどの地点で約2倍高く，蒸発残留物も5月の方が高い傾向がみられた．他の項目は明確な傾向がみられなかった．最も変動が大きかった地点は，No.5，次いでNo.6で，塩化物イオン，ナトリウム，蒸発残留物，電気伝導率では2倍以上異なった．

Table 1. Analytical Method

No. Item	Method	Dect. Lim. (mg/L)	Criteria (mg/L)
1 Cadmium (Cd)	ICP	0.0001	0.01
2 Chromium (Cr)	ICP	0.001	0.05
3 Mercury (Hg)	ICP	0.00001	0.0005
4 Selenium (Se)	ICP	0.0002	0.01
5 Lead (Pb)	ICP	0.001	0.01
6 Arsenic (As)	ICP	0.0002	0.01
7 NO ₃ -N and NO ₂ -N ¹⁾	IC	0.0001	10
8 Fluorine (F)	IC	0.08	0.8
9 Boron (B)	ICP	0.01	1
10 Zinc (Zn)	ICP	0.001	1
11 Aluminium (Al)	ICP	0.01	0.2
12 Chloride ion (Cl ⁻)	IC	1	200
13 Hardness	ICP	1	300
14 Iron (Fe)	ICP	0.001	0.3
15 Copper (Cu)	ICP	0.001	1
16 Sodium (Na)	ICP	1	200
17 Manganese (Mn)	ICP	0.001	0.05
18 Color	Colormetric meth.	1 ⁸⁾	5 ⁸⁾
19 Total Residue	-	10	500
20 Turbidity	Nephelometry	1 ⁸⁾	2 ⁸⁾
21 pH	Colormetric meth.	-	5.8-8.6
22 Antimony (Sb)	ICP	0.0002	0.015
23 Uranium(U)	ICP-MS	0.0001	0.002
24 Nickel (Ni)	ICP	0.001	0.01
25 NO ₂ -N ²⁾	Absorptiometry ⁷⁾	0.001	0.05
26 Organic matter ³⁾	Acidity method	0.2	10
27 Barium (Ba)	ICP	0.01	0.7
28 Molybdenum (Mo)	ICP	0.001	0.07
29 Bromine (Br)	IC	0.1	5
30 Lithium (Li)	ICP	0.01	1
31 Strontium (Sr)	ICP	0.01	10
32 Sulfate ion (SO ₄ ²⁻)	IC	1	-
33 HCO ₃ ⁻⁴⁾	PH4.8Alkalinity	1	-
34 Potassium (K)	ICP	1	-
35 Calcium (Ca)	ICP	1	-
36 Magnesium (Mg)	ICP	1	-
37 SiO ₂ ⁵⁾	ICP	1	-
38 EC ⁶⁾	-	1 ⁹⁾	-

- No.1-21 Criteria items for tap water
- No.22-26 Items for water-purity control target
- No.27-28 Items needed investigation
- No.29-31 Mineral components
- No.32-37 Main chemical components of natural water
- 1) Nitrate nitrogen and nitrite nitrogen
- 2) Nitrite nitrogen
- 3) Potassium permanganate consumption
- 4) Bicarbonate ion
- 5) Dissolved silicon dioxide
- 6) Electric conductivity
- 7) Sulfanilamide -Ethylenediamine Absorptiometry
- 8) degree
- 9) μS/cm

3. 調査地点における測定値

測定値は調査地点により大きな違いがみられた．ほとんどの項目で最大/最小比は5倍以上であった．最大/最小比が5以下の変動幅が比較的小さかった項目は，硝酸性窒素，pH，有機物質，炭酸水素イオン，溶性ケイ酸であった．

Table 2. Water quality of groundwater (Criteria Items for tap water)

No.	Cd (µg/L)		Cr (µg/L)		Hg (µg/L)		Se (µg/L)		Pb (µg/L)		As (µg/L)		NO ₃ -N (mg/L)	
	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.
1	0.5	0.4	ND	ND	ND	ND	ND	0.2	ND	ND	1.3	1.4	2.1	2.3
2	0.5	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	0.9	ND	ND	1.2	1.2	1.6	1.5
3	0.9	0.3	ND	ND	ND	ND	0.2	0.9	ND	ND	1.4	1.6	1.2	1.2
4	0.5	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	0.8	1	ND	1.9	1.8	1.3	1.3
5	0.3	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	0.2	ND	4	0.6	0.6	1.9	2.1
6	0.3	0.2	ND	ND	ND	ND	0.2	0.4	ND	1	0.6	0.8	2.3	5.4
7	0.7	0.4	ND	2	0.01	ND	ND	0.6	9	4	5.9	5.5	1.0	1.1
8	0.5	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	0.2	2	1	2.1	2.0	1.1	1.1
9	0.4	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	0.6	ND	ND	1.0	1.1	1.8	2.0
10	0.5	0.3	ND	1	ND	ND	ND	0.8	ND	ND	1.4	1.7	1.3	0.9
11	ND	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	0.8	ND	ND	1.0	0.9	1.0	1.1
12	0.1	-	ND	-	ND	-	0.5	-	ND	-	35.0	-	0.5	-
13	0.6	0.7	ND	ND	ND	ND	0.3	0.4	ND	1	11.5	12.1	0.8	1.3
14	0.4	0.4	ND	ND	ND	ND	0.2	0.8	ND	ND	6.7	6.4	1.8	2.3
15	0.3	0.3	ND	2	ND	ND	0.2	0.6	ND	ND	5.0	4.9	0.8	0.8
16	0.3	0.4	ND	ND	ND	ND	ND	0.4	ND	1	5.1	5.1	0.7	0.7
17	0.3	0.4	ND	ND	ND	ND	0.2	0.6	1	1	6.2	6.6	0.8	0.8
max	0.6	0.7	-	2	0.01	-	0.5	0.9	9	4	35.0	12.1	2.3	2.3
min	ND	0.2	-	ND	ND	-	ND	0.2	ND	ND	0.6	0.6	0.7	0.7
max/min	-	3.5	-	-	-	-	-	4.5	-	-	58	20	3.3	3.3
mean	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	5.2	3.4	1.3	1.6

No.	F (mg/L)		B (mg/L)		Zn (µg/L)		Al (µg/L)		Cl ⁻ (mg/L)		Hardness (mg/L)		Fe (µg/L)	
	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.
1	0.1	ND	0.29	0.36	326	152	ND	ND	266	200	378	282	2	7
2	0.2	ND	0.35	0.37	9	15	ND	ND	168	155	282	260	21	21
3	ND	ND	0.37	0.39	519	6	ND	ND	101	90	230	248	326	15
4	0.1	0.1	0.36	0.35	37	17	ND	ND	239	252	396	398	2	11
5	ND	0.1	0.13	0.05	12	22	ND	ND	1100	305	1173	467	9	80
6	0.2	ND	0.07	0.03	21	20	ND	ND	492	191	537	380	16	97
7	0.3	0.2	0.57	0.50	93	66	ND	ND	403	375	458	418	1	9
8	0.2	0.1	0.50	0.40	8	6	ND	ND	517	489	543	493	3	27
9	0.1	ND	0.16	0.10	10	4	ND	ND	44	34	187	181	1	4
10	0.2	ND	0.18	0.23	14	3	ND	ND	119	161	211	294	4	5
11	0.4	0.3	0.02	0.02	18	31	ND	70	10	10	63	71	2	7
12	0.1	-	1.10	-	3	-	ND	-	796	-	630	-	9	-
13	0.2	0.1	0.61	0.51	5	13	10	20	40	39	420	397	2	35
14	0.1	ND	0.36	0.26	16	18	10	10	34	28	291	248	3	7
15	0.2	0.1	0.25	0.25	7	6	ND	ND	148	144	293	288	4	15
16	0.3	0.1	0.32	0.32	13	1	ND	ND	302	307	404	389	23	2
17	0.3	0.3	0.45	0.41	2	3	ND	ND	926	802	567	538	3	3
max	0.4	0.3	1.10	0.51	519	152	10	70	1100	802	1173	538	326	97
min	ND	ND	0.02	0.02	2	1	ND	ND	10.3	10.1	63	71	1	2
max/min	-	-	55	26	260	152	-	-	107	79	19	7.6	326	49
mean	-	-	0.36	0.28	65.5	23.9	-	-	336	224	415	335	25	22

No.	Cu(µg/L)		Na(mg/L)		Mn(µg/L)		Color(degree)		Residue(mg/L) ¹⁾		PH	
	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.
1	3	2	106	94	ND	ND	ND	ND	802	495	7.2	7.2
2	ND	ND	83	79	ND	ND	12	ND	573	428	7.6	7.4
3	9	1	57	57	3	ND	ND	ND	473	316	7.6	7.4
4	18	7	89	88	ND	ND	ND	ND	803	566	7.3	7.3
5	ND	1	320	76	ND	1	ND	ND	2670	790	7.6	7.6
6	1	2	160	68	ND	1	ND	ND	1250	534	7.6	7.6
7	160	31	190	194	ND	ND	ND	ND	1100	831	7.0	7.0
8	8	4	220	210	ND	ND	ND	ND	1370	980	7.0	7.0
9	23	4	28	26	ND	ND	ND	ND	239	180	7.6	7.6
10	2	ND	52	65	ND	ND	ND	ND	462	403	7.6	7.4
11	ND	ND	9	6	ND	2	ND	ND	124	76	7.6	7.6
12	3	-	410	-	ND	-	ND	-	1970	-	7.0	-
13	ND	3	56	55	ND	ND	ND	ND	485	343	7.0	7.0
14	5	6	43	37	ND	ND	ND	ND	343	185	7.2	7.2
15	2	2	66	66	ND	ND	ND	ND	490	210	7.3	7.3
16	ND	1	130	147	ND	ND	ND	ND	863	643	7.6	7.2
17	9	8	480	474	ND	ND	ND	ND	2030	1680	7.2	7.2
max	160	31	480	474	3	2	12	-	2670	1680	7.6	7.6
min	ND	ND	9	6	ND	ND	ND	-	124	76	7.0	7.0
max/min	-	-	53	79	-	-	-	-	22	22	1.1	1.1
mean	-	-	147	109	-	-	-	-	944	541	7.4	7.3

1) Total residue

Table 3. Water quality of groundwater (Items for water-purity control target)

No.	Sb ($\mu\text{g/L}$)		U ($\mu\text{g/L}$)		Ni ($\mu\text{g/L}$)		organic mater ¹⁾		Ba (mg/L)		Br (mg/L)		Li (mg/L)		Sr (mg/L)	
	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.
1	ND	ND	0.2	0.1	ND	ND	0.9	1.1	0.02	0.02	0.9	0.7	0.01	0.02	0.21	0.17
2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.9	1.1	0.02	0.02	0.5	0.5	ND	ND	0.16	0.15
3	ND	ND	ND	0.1	ND	ND	0.6	0.3	0.01	0.01	0.3	0.3	ND	ND	0.13	0.14
4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.9	0.5	0.03	0.03	0.8	0.8	ND	ND	0.20	0.20
5	ND	ND	0.2	0.1	ND	3	0.3	0.5	0.04	0.02	3.7	1.0	ND	ND	0.75	0.27
6	ND	ND	0.4	ND	1	2	0.2	1.3	0.03	0.03	1.6	0.7	ND	ND	0.34	0.20
7	0.2	ND	0.2	0.2	4	27	0.2	0.3	0.02	0.02	1.3	1.2	0.04	0.03	0.29	0.26
8	ND	ND	0.3	0.2	9	ND	0.2	0.3	0.04	0.03	1.7	1.6	0.02	0.02	0.34	0.30
9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.3	0.6	ND	0.01	0.1	0.1	ND	ND	0.08	0.07
10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.2	0.9	0.01	0.01	0.3	0.5	ND	ND	0.11	0.14
11	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.3	0.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.03	0.03
12	0.2	-	ND	-	ND	-	0.2	-	ND	-	2.6	-	0.10	-	0.51	-
13	ND	ND	0.6	0.3	ND	ND	0.3	0.6	0.01	0.01	0.1	0.1	0.03	0.02	0.23	0.22
14	0.1	0.2	0.5	0.2	ND	ND	0.2	0.6	0.01	0.01	0.2	0.2	0.01	0.01	0.16	0.13
15	0.1	0.4	ND	ND	2	ND	0.6	0.9	0.01	0.02	0.4	1.7	0.03	0.02	0.11	0.11
16	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	1.5	0.3	0.02	0.02	1.0	0.5	0.02	0.02	0.18	0.19
17	0.1	ND	0.1	ND	ND	ND	0.3	0.3	0.02	0.02	3.0	1.0	0.03	0.02	0.43	0.38
max	0.2	0.2	0.6	0.3	9	27	1.5	1.3	0.04	0.03	3.7	2.8	0.08	0.04	0.75	0.38
min	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.2	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.03	0.03
max/min	-	-	-	-	-	-	7.5	4.3	-	-	-	-	-	-	23.6	11.6
mean	-	-	-	-	-	-	0.5	0.6	-	-	1.1	-	-	-	0.25	0.19

1) Potassium permanganate consumption (mg/L)

Table 4. Water quality of groundwater (Items needed investigation)

No.	SO ₄ ²⁻ (mg/L)		HCO ₃ ⁻ (mg/L)		K (mg/L)		Ca (mg/L)		Mg (mg/L)		SiO ₂ (mg/L)		EC ¹⁾ ($\mu\text{S/cm}$)		Temp.()	
	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.	May	Nov.
1	45	33	150	83	8	7	79	60	44	32	39	21	1020	805	19.3	18.6
2	30	27	140	143	7	7	61	58	32	28	40	21	710	682	20.8	20
3	22	20	165	170	5	5	56	58	22	25	40	22	548	535	20	20.7
4	39	38	153	153	9	9	83	85	46	45	44	24	922	944	20.9	21.4
5	140	40	83	82	11	5	292	103	108	51	23	19	2980	1010	18.6	17.8
6	69	36	82	102	8	5	99	73	70	42	32	18	1520	752	16.3	18.6
7	68	59	236	238	17	15	80	75	63	56	52	28	1510	1380	22.5	23.1
8	83	74	205	187	15	14	104	95	69	62	45	23	1740	1610	20.6	19.8
9	14	12	129	112	3	3	45	43	18	18	37	19	345	304	18.8	17.7
10	22	26	108	125	4	6	50	65	21	32	37	21	505	658	19.7	18.3
11	6	6	44	47	1	1	17	18	5	6	28	14	123	126	18.4	15.3
12	100	-	262	-	33	-	132	-	73	-	69	-	2500	-	24.5	-
13	16	15	375	306	10	9	96	93	44	40	59	29	689	658	23.6	23.5
14	13	12	243	201	6	5	66	58	31	25	46	22	490	415	21.1	19.3
15	67	66	102	107	6	6	50	51	41	39	45	22	650	656	18.3	17.8
16	97	93	109	115	10	10	65	65	59	55	46	22	1100	1120	18.4	17.6
17	169	152	166	175	28	25	69	67	96	90	42	20	2720	2500	18.5	17.7
max	169	152	375	306	33	25	292	103	108	90	69	29	2980	2500	24.5	23.5
min	6	6	44	47	1	1	17	18	5	6	23	14	123	126	16.3	15.3
max/min	29	27	4.3	3.3	33	23	17	6	22	14	3.1	2.0	24	20	1.5	1.5
mean	59	44	162	147	11	8	85	67	50	40	42	22	1181	885	20.0	19.2

1) electric conductivity

水質基準の健康に関する項目ではヒ素は No.7, 12~17 で高く, No.12, 13 では水質基準を超え, No.7, 14~17 で水質基準の 49~67%であった。ホウ素は, 7, 8, 12, 13 で高く, No.12 では水質基準を超え, No.7, 8, 13 で水

質基準の 41~61%であった。鉛は No.5, 7 で高く, 水質基準の 40, 90%であった。硝酸性窒素は No.5 で高く, 水質基準の 54%であった。フッ素は, No.7, 11, 15~17 で高く, 水質基準の 38~50%であった。カドミウム, クロム,

水銀, セレンは, 水質基準の 10%以下であった.

性状に関する項目では, 塩化物イオン, 硬度, 蒸発残留物が高い地点が多く, 塩化物イオンが No. 1, 4~8, 12, 16, 17, 硬度が No. 1, 4~8, 12, 13, 16, 17, 蒸発残留物が No. 1, 2, 4~8, 12, 16, 17 ですべて水質基準を超えた. No. 1, 4~8, 12, 16~17 ではこれらの 3 項目とも共通して水質基準を超えた. ナトリウムでは No. 5, 12, 17, 鉄では No. 3, 色度では No. 2 で高く, 水質基準を超えた. PH は 7.0~7.6 と中性から微アルカリ性で変動幅が小さく, No. 7, 8, 12, 13 で低かった.

水質管理目標設定項目では, ニッケルは No. 7, 8 で高く, No. 7 の値は目標値の 3 倍近い値であった. ウランは No. 13~14 で高く, 目標値の 10~30%であった. 鉱泉に関する項目では No. 5, 12, 17 で高く, 臭素は鉱泉に定義される濃度の 20~74%を示した.

天然水の主要化学成分では, 硫酸イオンは No. 5, 17 で高く, 炭酸水素イオンは No. 12, 13, 14, 溶性ケイ酸は No. 12, 13 で高かった. カリウムは No. 12, 17, カルシウム, マグネシウムは No. 5 で高かった. 電気伝導率は, No. 5, 12, 17 で高かった. No. 11 はほとんどの項目で最低値を示したが, フッ素とアルミニウムは最高値を示した. 水温は 5 月, 11 月とも変動幅は 8.2 で, No. 7, 12, 13 で高かった.

Fig. 2 に各調査地点水質における天然水の主要化学成分をヘキサダイアグラムで示した. 4 種類の水質型がみられた. 5 月は NaCl 型が 10 地点 (No. 1, 2, 4, 6-8, 10, 12, 16, 17), $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型が 5 地点 (No. 3, 9, 11, 13, 14), CaCl_2 型が 1 地点 (No. 5), MgCl_2 型が 1 地点 (No. 15) であった. 11 月は NaCl 型が 7 地点 (No. 1, 2, 7, 8, 10, 16, 17), $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型が 5 地点 (No. 3, 9, 11, 13, 14), CaCl_2 型が 3 地点 (No. 4-6), MgCl_2 型が 1 地点 (No. 15) であった.

考 察

年間降水量が 3,000mm を越える多雨地帯である大島は, 地質の関係から表流水はなく, 自然の湧き水にも恵まれていない. このため, 水道原水としては主として地下水を利用している. 今回の調査地点では No. 11 だけが湧水である.

1. 2 回の測定値の比較 2002 年 5 月及び 11 月に測定した値を比較すると, 溶性ケイ酸などが 5 月の方が高い傾向がみられた. 5 月の方が高い傾向がみられた原因は, ケイ素はマグマの主成分であり, 5 月の降雨量の方が多いため (調査前 1 ヶ月間の雨量 5 月: 344mm, 11 月: 43mm¹²⁾, 火山岩から地下水に成分が多く溶出したことが考えられる.

2. 地理的条件と水質との関係 今回の調査地点のほとんどは海岸に近く, 海水の主要成分である塩化物イオンやナトリウムなどがほとんどの地点で高かった. 蒸発残留物や電気伝導率も高く, かん水 (塩水)¹³⁾ に属する水質を示した地点 (No. 5, 6, 7, 8, 12, 17) もみられた. 水質型では NaCl 型が最も多く, 地下水に海水が浸入していることを示している. No. 1~10 の岡田井群は海岸地帯に近接し

ているにもかかわらず, 水質型では NaCl 型ばかりでなく, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型, CaCl_2 型もみられた. No. 4 と No. 6 では 5 月は NaCl 型であったが, 11 月には CaCl_2 型に変化していた. No. 3 は海岸近くであるにもかかわらず $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ の水質型を示し, 鉄, 亜鉛が最高値を示したことと何らかの関係があると推定される. No. 5 は CaCl_2 型で, 火山起源の水やそれによって汚染された地下水にみられる水質型であった¹³⁾. この地点では, 5 月に塩化物イオン, 硬度, 蒸発残留物, バリウム, 臭素イオン, ストロニウム, カルシウム, マグネシウム, 電気伝導率が最高値を示した. 5 月のナトリウム, 硫酸イオン, 11 月の鉛も高い値を示した. No. 5 は 5 月から 11 月にかけての水質変動が最も大きかった地点でもある. この地点が特徴のある水質および水質変動を示した原因としては, No. 5 の付近での三原山噴火後の亀裂の形成や淡水層への海水・塩水層の侵入が考えられる⁵⁾. No. 6 は岡田井群の中ではヒ素, ホウ素など低い値を示す項目がみられたが, 動植物の影響を示す硝酸性窒素は最高値を示し, 蒸発残留物, ウラン, バリウムは比較的高い値を示した. NaCl 型の No. 7 は鉛, 銅, ニッケルが最高値を示した. ヒ素, フッ素, ホウ素, リチウム, 炭酸水素イオン, 溶性ケイ酸なども高い値を示した. 水銀もわずかながら検出された. 高橋⁵⁾ は, この地点は他の岡田井と異なり, 元町近くの小清水井の水質と相関がみられると報告している. そこで, 1986 年の三原山噴火直後の小清水井の水質²⁾ と比較すると銅とクロムが高いことが一致しており, 海岸近くであるにもかかわらず火山活動の影響を強く受けている地点である. No. 11 は, 多くの項目において最低値を示したが, 火山の影響を示すフッ素, アルミニウムは最高値を示した. また, この地点だけ 5 月と 11 月の水温に明らかな差がみられた. その理由は, この地点だけ湧水で, 1986 年の三原山噴火時に水質成分の顕著な変化がみられた地点⁷⁾ でもあることから火山活動を示すフッ素¹⁴⁾ とアルミニウム¹⁵⁾ が現在でも高かったと思われる.

No. 12, 13, 14 は, 岡田井群に比べ内陸部の地点である. No. 12 は最も三原山に近いにもかかわらず, NaCl 型で, 内陸部まで海水が浸入していることを示している. しかし, No. 17 のような典型的な NaCl 型とは異なり, 火山の影響を示す炭酸水素イオンも塩化物イオンと同程度の高い濃度を示している. また, 火山の影響を示すヒ素, ホウ素, カリウム, ケイ酸, リチウムは最高値を示した. 蒸発残留物, 臭素, ストロニウム, 硫酸イオン, 電気伝導率も高い値を示した. No. 13, 14 は最も一般的な地下水で, 汚染を受けていない $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型を示した. これらの地点もヒ素, ホウ素, 炭酸水素イオンは比較的高い値を示した. No. 12~14 の水温は比較的高く, 火山活動が沈静化した現在においても火山活動の影響を受けていることが推定された. また, 硝酸性窒素と pH も低い値を示した.

南部地区原水 (No. 15~17) のうち, No. 16, 17 は NaCl 型であった. 特に No. 17 は井戸が浅く, 海に最も近いいため典型的な NaCl 型であった. しかし, 3 地点のうち最も

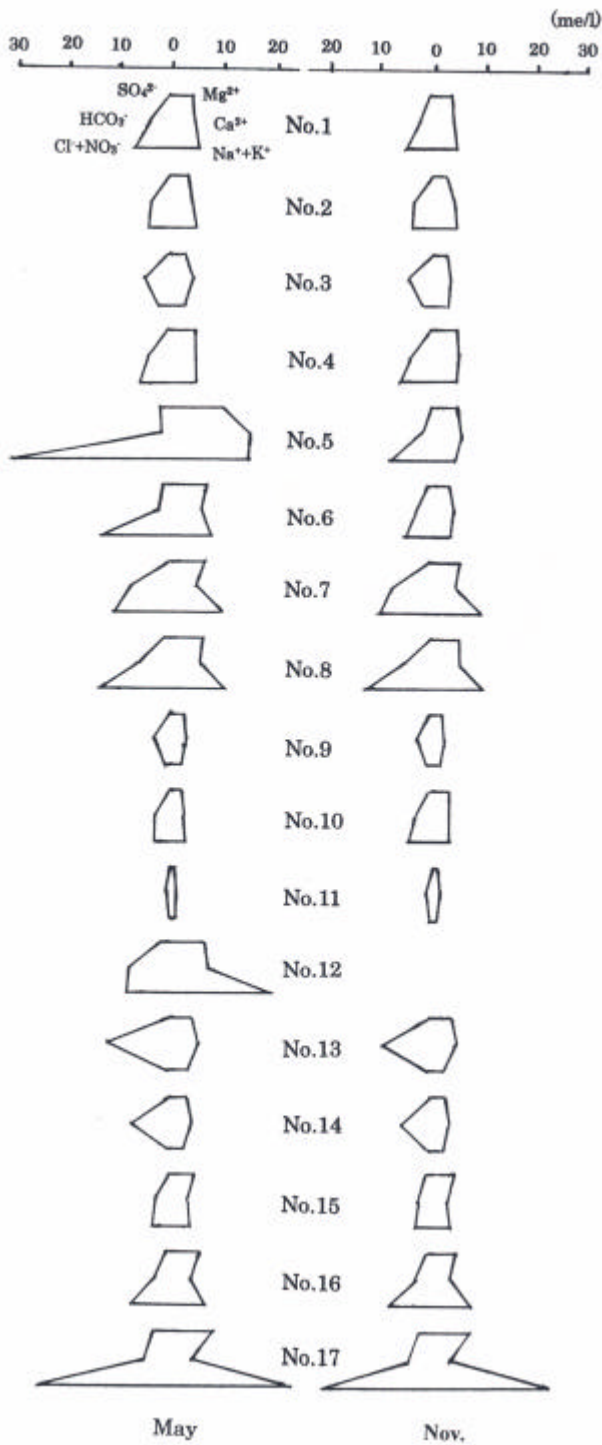


Fig.2. Hexa-diagrams of groundwater

内陸部の No.15 は海水と火山の影響を示す $MgCl_2$ 型であった。海に近いが元火口にも最も近い No.17 ではヒ素、フッ素、ホウ素、塩化物イオン、硬度、ナトリウム、蒸発残留物、臭素、ストロンチウム、カリウム、マグネシウム、電気伝導率が高い値を示した。海岸からの距離と測定値との関係を見ると No.17, 16, 15 と順に海岸から離れるにしたがって、塩化物イオン、ナトリウム、蒸発残留物、硫酸イオン、カリウム、電気伝導率は順に低くなっていた。海に埋没した火口に近く、火山の影響を示すと考えられるヒ素、ホウ素、炭酸水素イオン、カリウムも同様の順に低く

なっていた。したがって、これらの地点では、海水と火山の両方の影響を明確に示したものと考えられる。

3. 溶存成分の塩素濃度比の海水との比較 地下水の成分が海水由来かどうか判断するために塩化物イオン濃度との比が用いられる¹⁶⁾。Table 5 に各地点のヒ素、ホウ素、ナトリウム、ストロンチウム、硫酸イオン、炭酸水素イオン、カリウム、カルシウム、マグネシウム、ケイ素の塩化物イオン濃度との比(2回の平均値)および海水の各成分濃度¹⁷⁾と塩化物イオン濃度との比を示した。ヒ素、炭酸水素イオン、ケイ素は全地点海水の濃度比より明らかに大きく、大部分火山岩からの溶出した成分であると推定される。カリウムとカルシウムもほとんどの地点で海水の濃度比よりも高く、火山の影響を受けていると推定される。ナトリウム、硫酸イオンは海水の濃度比より全地点低く、海水から浸入した成分であると推定される。ホウ素(海水: 4.6mg/kg, 火成岩: 3mg/kg¹⁸⁾)、ストロンチウムはほとんど海水の濃度比より低いが、火山岩にも含まれ海水の影響と火山岩の影響が考えられる。ヒ素、ホウ素、ストロンチウム、カルシウム、マグネシウム、ケイ素は、三原山に近い No.13 と 14 で特に高かった。これらの地点は $Ca(HCO_3)_2$ 型の水質型を示しており、海水浸入の影響は少なく、火山岩からの成分が溶出したものと推定された。

4. 各項目間の相関 大島水道原水の水質は海水浸入と火山の影響を受けていることが明らかとなったが、各項目がどちらの影響をどの程度示すか相関分析した。全調査地点で検出された 22 項目を取り上げて各値を対数変換し(pH を除く)各項目間の相関を相互に相関がある項目でグループ分けして Table 6 に示した。第一グループは水温、ヒ素、ホウ素、炭酸水素イオン、溶性ケイ酸、カリウムで、相関係数は 0.42~0.83 で、ほとんど $P < 0.01$ で有意な正の相関がみられた。これらは、火山の影響を強く受けていると推定される項目で、この中ではホウ素と炭酸水素イオンが強い相関を示している。第二グループは、海水の影響を示すカリウム、塩化物イオン、硫酸イオン、ナトリウム、カルシウム、マグネシウム、硬度、ストロンチウム、蒸発残留物、電気伝導率で、相関係数は 0.64~0.97(ほとんど 0.8 以上)で、いずれも $P < 0.01$ で有意な正の相関がみられた。第一グループと第二グループの両方に相関が認められたカリウムは、火山の影響と海水の影響を示すと考えられる。第一グループのホウ素は第二グループのすべての項目とまた、炭酸水素イオンはほとんどの項目と相関が認められた($P < 0.05$)。第一グループの水温、ヒ素、溶性ケイ酸は第二グループと相関がほとんど認められず火山の影響を比較的明確に示す項目と考えられる。第三グループは、pH と硝酸性窒素で $P < 0.05$ で有意な正の相関がみられ、他のすべての項目と負の相関が認められた。PH は火山の影響を受けると低くなるためと考えられる。硝酸性窒素は、動植物の影響を受ける項目で¹¹⁾、火山の影響を受けるヒ素、ホウ素、カリウム、溶性ケイ酸と負の相関が認められた。これは、火山活動の影響を受ける地域の地下水は動植物の

Table 5. The ratio of concentrations (mg/L) of chemical components to chloride ion in each groundwater and sea water

Site	As	B	Na	Sr	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K	Ca	Mg	Si
1	0.0058	0.0014	0.43	0.0008	0.17	0.50	0.33	0.30	0.16	0.060
2	0.0074	0.0022	0.50	0.0010	0.17	0.50	0.35	0.37	0.18	0.088
3	0.0157	0.0040	0.50	0.0014	0.22	0.50	0.43	0.60	0.25	0.151
4	0.0075	0.0014	0.50	0.0008	0.15	0.50	0.31	0.34	0.18	0.064
5	0.0009	0.0001	0.50	0.0007	0.13	0.50	0.26	0.28	0.11	0.014
6	0.0020	0.0001	0.50	0.0008	0.15	0.50	0.31	0.25	0.16	0.034
7	0.0147	0.0014	0.50	0.0007	0.16	0.50	0.32	0.20	0.15	0.048
8	0.0041	0.0009	0.50	0.0006	0.16	0.50	0.31	0.20	0.13	0.032
9	0.0269	0.0033	0.50	0.0020	0.33	0.50	0.65	1.13	0.46	0.331
10	0.0111	0.0015	0.50	0.0009	0.17	0.50	0.34	0.41	0.19	0.096
11	0.0931	0.0020	0.50	0.0032	0.56	0.53	1.06	1.71	0.55	0.963
12	0.0440	0.0014	0.52	0.0006	0.13	0.66	0.19	0.17	0.09	0.040
13	0.3003	0.0142	0.50	0.0057	0.40	0.51	0.79	2.40	1.07	0.521
14	0.2113	0.0100	0.50	0.0047	0.41	0.51	0.80	2.00	0.90	0.513
15	0.0339	0.0017	0.50	0.0008	0.45	0.50	0.90	0.35	0.27	0.106
16	0.0167	0.0011	0.50	0.0006	0.31	0.50	0.62	0.21	0.19	0.052
17	0.0074	0.0005	0.50	0.0005	0.19	0.50	0.37	0.08	0.11	0.017
Sea water	0.0000005	0.0030	5.53	0.0040	1.37	0.07	0.20	0.21	0.68	0.002

Table 6. Linear relation coefficient matrix of items (n=33)

	Temp.	As	B	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	K	Cl ⁻	Hard-ness	Na	T. residue	Sr	SO ₄ ²⁻	Ca	Mg	EC	pH	NO ₃ -N	Zn	Fe	
Temp.	1.00																			
As	0.56**	1.00																		
B	0.69**	0.68**	1.00																	
HCO ₃ ⁻	0.82**	0.70**	0.83**	1.00																
SiO ₂	0.58**	0.50**	0.55**	0.52**	1.00															
K	0.48**	0.58**	0.77**	0.66**	0.42*	1.00														
Cl ⁻	0.10	0.10	0.42*	0.19	0.19	0.82**	1.00													
Hard.	0.32	0.28	0.53**	0.48**	0.27	0.87**	0.85**	1.00												
Na	0.27	0.34*	0.61**	0.43*	0.30	0.95**	0.95**	0.90**	1.00											
T. resi.	0.26	0.19	0.47**	0.33	0.39*	0.86**	0.93**	0.90**	0.95**	1.00										
Sr	0.37	0.29	0.53**	0.50**	0.29	0.90**	0.86**	0.98**	0.92**	0.93**	1.00									
SO ₄ ²⁻	0.02	0.25	0.43*	0.18	0.22	0.82**	0.95**	0.83**	0.93**	0.88**	0.80**	1.00								
Ca	0.40*	0.17	0.47**	0.47**	0.25	0.73**	0.72**	0.95**	0.76**	0.80**	0.92**	0.64**	1.00							
Mg	0.26	0.34*	0.56**	0.47**	0.29	0.91**	0.89**	0.98**	0.94**	0.91**	0.95**	0.90**	0.86**	1.00						
EC	0.26	0.30	0.56**	0.41*	0.28	0.93**	0.95**	0.95**	0.99**	0.96**	0.96**	0.93**	0.83**	0.97**	1.00					
PH	-0.62**	-0.74**	-0.72**	-0.75**	-0.34*	-0.66**	-0.26	-0.41*	-0.46**	-0.32	-0.45**	-0.31	-0.34*	-0.46**	-0.44**	1.00				
NO ₃ -N	-0.21	-0.63**	-0.47**	-0.24	-0.39*	-0.35*	-0.16	-0.05	-0.25	-0.16	-0.06	-0.30	0.07	-0.14	-0.19	0.39*	1.00			
Zn	0.09	-0.32	-0.10	-0.09	0.06	-0.20	-0.11	-0.16	-0.19	-0.09	-0.12	-0.23	-0.07	-0.21	-0.17	0.10	0.42*	1.00		
Fe	-0.03	-0.23	-0.14	-0.08	-0.30	-0.04	0.09	0.10	0.01	0.01	0.11	0.01	0.16	0.04	0.04	0.31	0.28	0.24	1.00	

*: P<0.05, **: P<0.01

影響が少ないためと思われる。

5 火山活動予知の基礎資料 1986年三原山噴火直後の地下水から水質基準を超える鉛、水銀、銅、ヒ素が検出された²⁾。三宅島の噴火時でも水質基準を超える鉛、ヒ素が検

出された。火山活動が鎮静化している今回も No.5, 7, 12, 13, 14 のようにヒ素、ホウ素、ニッケル、鉛、ウランなどが水質基準以上またはそれに近く検出された地点がみられたが、これらの地点は火山活動時にはさらに高濃度で検出

される可能性がある。これまで、高い値を示さなかった地点でも地盤に亀裂が生じ、高濃度で検出されるかもしれない。ヒ素とホウ素は全般的に高く検出された有害元素であるため、地下水のこれらの濃度を監視していく必要がある。現地を監視していくためには、これらと相関が認められた水温と測定しやすい炭酸水素イオンの測定が適当と思われる。

伊豆大島はこれまで幾度となく噴火を繰り返してきた¹⁹⁾。このため、噴火予知の試みが成されている^{5,7,19,20)}。早期に火山活動を知り、水道水についても安全な飲料水を供給するために水道原水の水質変化を把握し、適正な浄水処理をはかることが重要である。そのためには、これらの活動が活発でない平常時における水道原水水質のバックグラウンドレベルの把握が必要であるが、そのデータはほとんどない。今回多くの項目について調査し、カドミウム、銅、亜鉛のように水質基準の 1/10 よりさらに低い濃度まで測定した成分もある。これらのデータは、火山活動が沈静化している時のバックグラウンド値として水道原水の浄水処理や火山活動予知のための有効な基礎資料となると考える。

ま と め

- 1) 伊豆大島の 17 地点における水道水源の水質を 39 項目について、火山活動が沈静化している時のバックグラウンドを把握するため、2002 年 5 月と 11 月に調査した。各地点の測定値は顕著な差がみられた。
- 2) ヘキサダイアグラムは 4 種類の水質型を示した。NaCl 型が最も多く、次に Ca(HCO₃)₂ 型が多く、CaCl₂ 型、MgCl₂ 型もみられた。火山の影響と海水の影響が混在していることが明らかとなった。
- 3) 相関分析により火山活動との関連を示す項目（水温、ヒ素、ホウ素、炭酸水素イオン、溶性ケイ酸、カリウム）と海水の影響を示す項目（塩化物イオン、ナトリウム、蒸発残留物、電気伝導率など）に分けられた。
- 4) 水質基準より高く検出された項目は、ヒ素（2 地点）、ホウ素（1 地点）、塩化物イオン（9 地点）、硬度（10 地点）、蒸発残留物（10 地点）などであった。水質管理目標設定項目の目標値より高く検出された項目は、ニッケル（1 地点）であった。

謝辞 採水など協力いただいた大島町水道課の方々に感謝します。

文 献

- 1) 東京都衛生局生活環境部、東京都の水道：平成 13 年版，2002。
- 2) 高橋正博，高橋保雄，中川順一，他：東京都衛生局学会誌，**90**，78-79，1990。
- 3) 環境庁水質管理課・水質規制課・環境安全課：環境と測定技術，**22**，2-7，1995。
- 4) 厚生省：平成 6 年度水質管理調査報告書 調査対象ホウ素。
- 5) 高橋正明，阿部喜久男，野田徹郎，他：地質調査所月報，**38**，719-730，1987。
- 6) 栃本博，高橋保雄，小杉有希，他：東京衛研年報，**50**，249-253，1999。
- 7) 高橋正明，阿部喜久男，野田徹郎，他：火山，第 2 集，第 33 巻，伊豆大島噴火特集号，S290-S296，1988。
- 8) 佐藤キエ子，足立和歌子：日本大学文理学部自然科学研究紀要，**24**，81-88，1989。
- 9) 栃本博，高橋保雄，中神千穂，他：東京衛研年報，**50**，249-253，1999。
- 10) 大田一也：阿蘇火山の集中総合観測（第一回）報告，56-63，1978。
- 11) 厚生省生活衛生局水道環境部監修：上水試験方法，2002 年版，日本水道協会，東京。
- 12) 気象庁東京管区気象台大島測候所，気象月表，2002。
- 13) 村下敏夫：地下水学要論 162-189，1975，昭晃堂，東京。
- 14) 久間木國男，佐藤和美，阿部恵子，本間弘樹，山形衛生所報，**30**，5-20。
- 15) Bonelli, J.E., Talor, H.E., Trace Subst Environmental Health, **15**，261-264，1981。
- 16) 相川嘉正，野口喜三雄，今橋正行：温泉科学，**79**，204-212，1978。
- 17) 文部省国立天文台編：理科年表 CD-ROM 99，1999，丸善，東京。
- 18) 山本莊毅：新版地下水調査方法，368-405，1983，古今書院，東京。
- 19) 地質調査所，伊豆大島火山地質図：1998，東京。
- 20) 田口雄作，安原正成：地質調査所月報，**38**，705-717，1987。