玄海町における沿岸地下水中のNO_3イオンについて

中島 玲・田中 明
佐賀県唐津市松南町152-1 佐賀大学海浜台地生物環境研究センター

Nitrate Ion of the Costal Groundwater in Genkai-cho

Rei NAKASHIMA and Akira TANAKA

Coastal Bioenvironment Center, Saga University,
152-1 Shonan-cho, Karatsu 847-0021, Japan

要　約

地下水中のNO_3イオンは田畑へ施肥された窒素肥料などに含まれるNH_4イオンが酸化されたものである。畑作地帯である東松浦半島は、農業による影響から地下水のNO_3イオン濃度が高く、一部の地域では水道法の水質基準を超えているところもある。しかし半島内のある場所の井戸水ではNaイオン濃度の増加に伴ってNO_3イオン濃度が減少する傾向がみられた。

本研究では、この現象が他の場所でも見られるかどうかを調査し、Naイオンの起源が海水であるかどうかについても検討した。そのために半島内の湧水・井戸水を採水し、イオンクロマトグラフによる成分分析を行い海水成分との比較を行った。その結果、この現象は海水の影響を受けていない花崗岩地帯で多く見られ、地質に関係があると考えられた。

Summary

NA_4 ion which was included for nitrogen fertilizer fertilized to the farm was oxidized the NO_3 ion in the groundwater. Higashimatsura Peninsula is the farming area and the concentration of NO_3 of the groundwater is high from the effect by the agriculture, and the water quality of some well is higher than numerical value of the drinking standard. However in some well, the NO_3 ion concentration decrease as the Na ion concentration increases.

In this study, it is investigated whether this phenomenon views even in other place and the origin of Na ion is the sea water was also examined.

Spring water and well water in the peninsula were sampled and the ion concentration were analyzed by the ion chromatograph and were compared with the seawater . As the result, this phenomenon was mainly observed in granite zone which was not receiving the effect of the sea water, and there seemed to be the relation in the geology.

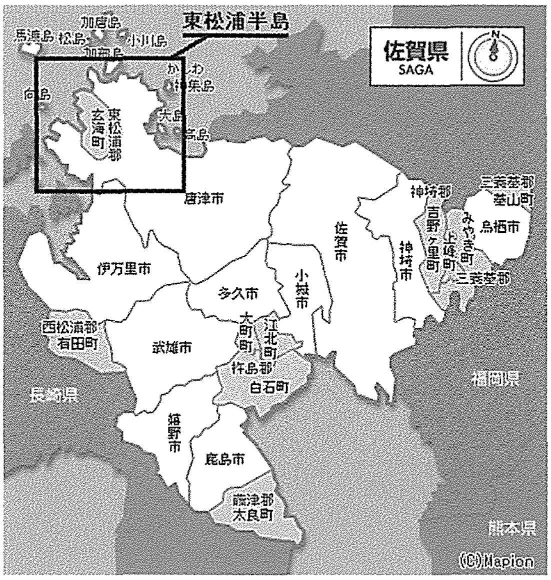

図１　東松浦半島の位置

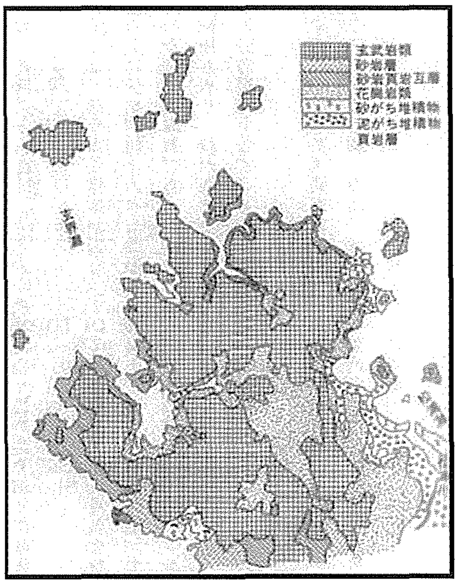

図２　東松浦半島表層地質図

１．はじめに

佐賀県西北部の玄界灘に突出した東松浦半島(図１)は、上場台地とも称される海抜高度100～200m内外の玄武岩溶岩台地である。

台地は、古い開析準平原の上を玄武岩類の溶岩流が覆ったもので、その基盤は北部と西部では新第三系、東部および南部では花崗岩と古第三系である。(図２)。

東松浦半島は、南東部に高く(最高点268.8m)、全体として西北に低くなりながら比高30～100mで玄界灘に落ちている。台地縁辺部の台地斜面では、この接点のところから台地上に降った雨水のにじみ出しがあり、台地斜面が水田化されている場合、台地面上に分布する多くの溜池とともに、この滲出水も灌漑水として利用されている。したがって、この滲出水が得られる台地中腹部以下が水田になっている風景がよくみられる。(玄海町町史編集委員会、1988)。

この上場台地は県内有数の畑作地帯であるが、農業による影響で地下水のNO_3イオン濃度が高くなっている地域もある(田中ほか、1995、田中、2002、郡山・田中、2002)。

畑作地帯の多い東松浦半島でもNO_3イオン濃度が低いところがある。図３はH井戸水のデータで、1995年から2002年までの８年間に観測されたものであるが、NO_3イオンの濃度が１ppm以下と非常に少ない。

このデータからNaイオンとNO_3イオンの関係を調べると(図４)、Naイオンの増加に伴ってNO_3イオンが減少する傾向がみられた。

地下水中のNO_3イオンは下水・し尿・田畑へ施肥された窒素肥料などに含まれるNH_4イオンが、最終的に酸化されたものである。畑作地帯である東松浦半島は、農業による影響から地下水のNO_3イオン濃度が高く、一部の地域では水道水質基準を超えているところもある。

しかし一部には東松浦半島においてもNO_3イオン濃度が低い場所もある。それらは海水が混入していると思われる場所や、井戸の周囲が水田地帯となっている場所ではNO_3イオン濃度

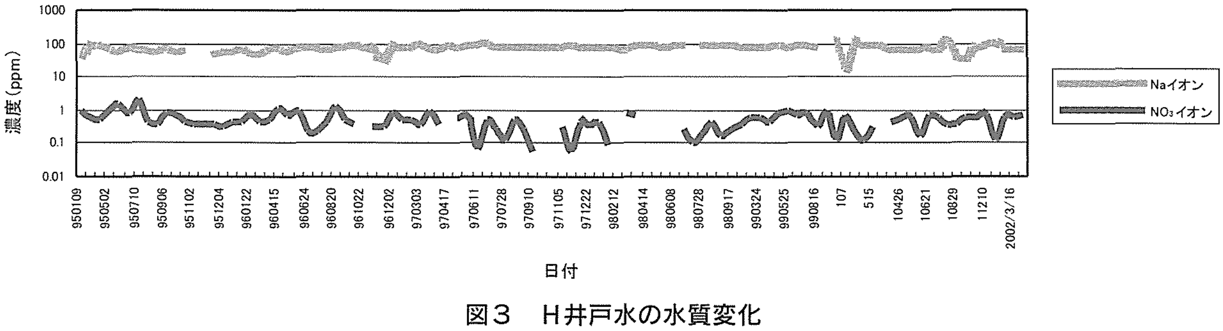

図３　H井戸水の水質変化

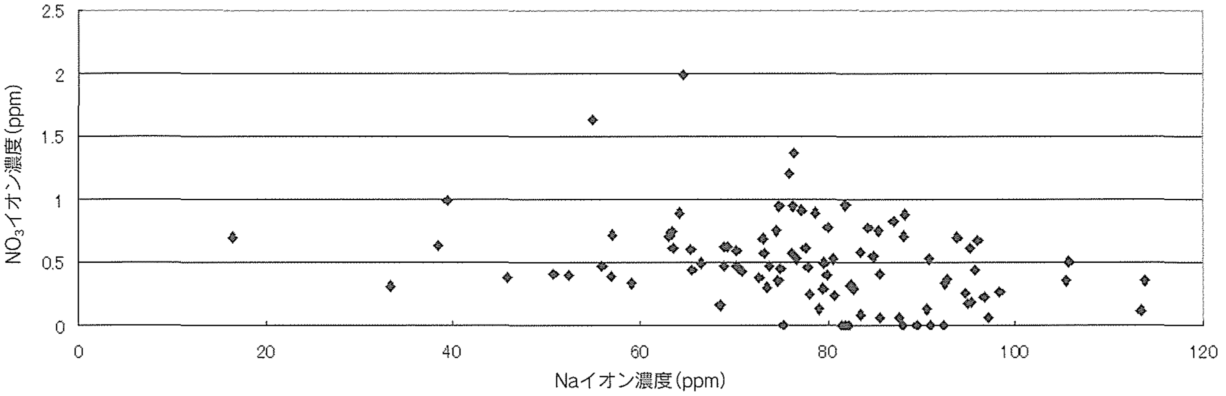

図4　NaイオンとNO_3イオンの関係

が低いことが知られている(池出ほか、1987、N.D.Thien, 2009)。

しかしNaイオン濃度が高い場所の井戸水にはNO_3イオン濃度が低いものがある。そのような特徴が見られる玄海町有浦周辺で観測された井戸は山麓の浅井戸であり、海水が混入しているとは考えられない。

本研究では東松浦半島の地下水の実態を調査し、NO_3イオン濃度とNaイオン濃度の関係について調べた。

2．調査方法と分析方法

平成21年6月から平成22年1月にかけて、井戸水，湧水を採水した。採水場所は、Naイオン濃度の高い井戸水が観測された玄海町有浦周辺を中心とし、また海水の影響を受けていると考えられる東松浦半島沿岸の井戸水も採水した。

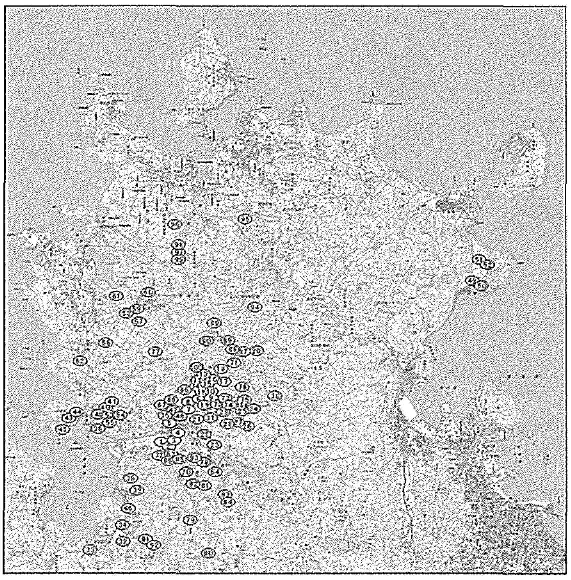

図5　東松浦半島　採水地点図

採水地点を図5に示す。総数は100地点である。

カチオン(Li^+, Na^+, NH_4^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+})、アニオン(F^-, Cl^-, NO_2^-, Br^-, NO_3^{2-}, PO_4^{3-}, SO_4^{2-})をイオンクロマトグラフ(ダイオネクス製)で測定し、電気伝導度、pHも測定した。

3．結果及び考察

測定結果を表1、図6に示す。なお、複数回データを取ったものに関しては、それぞれの平均値を用いることで1つのデータとして処理した。なお、各成分の単位はppmである。

採水地点100ヶ所のうち、13ヶ所の地下水が水道水質基準を超えていた。ただし、地点No.33は温泉水である。採水地点No.50はすぐそばが海で、NaイオンとClイオンが高いことから海水の混入が考えられる。

NO_3イオン濃度が水道水質基準値を超えている井戸水を飲用としているところはなかった。しかし、Fイオン濃度が水道水質基準を超えている井戸水・湧水があった。水中のFは主に自然の地質に由来し、花崗岩地帯の井戸水や湧水に多く含まれる。

NO_3イオン濃度及びNO_2イオンの水道水質基準は10ppm (NO_3イオンに換算するとおよそ44ppm)以下とされているが(日本環境管理学会、1994)、この基準値を超える地下水が6ヶ所あった。NO_3イオンは水溶液では酸性を示すので、NO_3イオン濃度が高い地点の地下水はpH値が小さくなっているが、水道水質基準の5.8より低いpH値の地下水は今回観測されなかった。

pH値が大きい地点はNaイオンの濃度が高くなっている傾向がある。海水のpHは高く、pHが高かった地下水は海水が混入している可能性

表1　測定結果

地点No.	Li	Na	NH4	K	Mg	Ca	F	Cl	NO2	Br	NO3	PO4	SO4	pH	EC(μS/cm)
1	0.042	20.573	0.000	1.302	5.844	22.714	0.925	22.430	0.000	0.065	0.947	0.029	19.758	7.61	274.9
2	0.000	11.217	0.000	1.774	6.541	10.458	0.056	19.288	0.000	0.051	5.724	0.051	10.241	7.59	167.9
3	0.000	10.350	0.000	2.134	6.026	10.952	0.084	20.852	0.000	0.067	0.538	0.057	10.291	8.57	171.7
4	0.010	16.122	0.000	2.299	10.538	28.634	0.093	27.276	0.000	0.090	1.872	0.102	11.439	7.23	318.3
5	0.000	10.076	0.052	1.346	7.609	11.396	0.044	21.990	0.011	0.047	14.583	0.249	11.978	7.70	182.7
6	0.000	13.781	0.000	0.662	4.043	6.001	0.039	22.613	0.000	0.061	8.514	0.178	9.622	7.70	143.2
7	0.000	9.747	0.000	0.566	7.245	10.091	0.024	20.700	0.000	0.070	11.865	0.101	8.181	7.60	168.8
8	0.025	31.385	0.000	1.301	5.599	30.117	0.532	19.703	0.000	0.058	0.087	0.060	13.281	7.51	343.5
9	0.000	14.594	0.000	1.806	5.188	11.921	0.027	27.023	0.000	0.000	7.058	0.009	10.442	7.16	178.3
10	0.000	13.606	0.000	0.548	4.805	10.601	0.088	21.956	0.000	0.070	9.188	0.132	8.310	6.60	173.3
11	0.007	21.812	0.000	0.911	4.613	12.387	1.527	29.978	0.000	0.054	3.549	0.076	11.025	6.75	222.0
12	0.021	25.099	0.000	0.995	4.977	19.834	1.569	28.383	0.000	0.056	7.360	0.016	10.962	7.17	275.4
13	0.012	20.019	0.000	1.679	6.883	17.254	0.511	30.938	0.000	0.049	13.686	0.129	12.129	7.35	265.0
14	0.101	54.771	0.000	0.310	0.139	3.116	11.950	25.830	0.000	0.069	0.044	0.031	11.017	8.69	264.5
15	0.024	23.951	0.000	1.137	6.449	17.946	1.720	31.511	0.000	0.078	13.088	0.029	8.046	6.93	264.5
16	0.003	11.869	0.000	1.118	4.227	16.399	0.098	16.529	0.000	0.051	5.146	0.113	7.750		
17	0.000	12.218	0.000	1.006	5.298	10.180	0.048	22.516	0.000	0.060	32.066	0.049	5.450	7.14	183.7
18	0.000	13.006	0.000	0.863	2.663	7.811	0.036	21.626	0.000	0.052	9.193	0.182	5.801	6.78	147.1
19	0.000	16.487	0.000	0.825	6.066	14.504	0.188	26.533	0.000	0.059	3.011	0.170	10.628	7.10	204.0
20	0.000	13.451	0.000	1.094	3.062	5.383	0.019	21.211	0.000	0.056	6.580	0.020	2.555	6.98	120.4
21	0.000	16.184	0.000	1.239	3.628	7.144	0.038	20.467	0.000	0.050	6.133	0.073	6.932	7.18	149.0
22	0.021	21.328	0.000	1.931	4.879	12.961	0.715	20.540	0.000	0.056	10.099	0.094	11.130		
23	0.020	13.408	0.000	1.236	5.567	15.628	0.195	19.306	0.000	0.052	14.642	0.044	12.486		
24	0.000	10.646	0.000	0.366	3.978	3.630	0.110	16.458	0.010	0.040	4.390	0.009	3.380	6.91	106.9
25	0.000	11.567	0.000	0.970	7.253	9.143	0.048	18.509	0.017	0.066	14.397	0.049	5.743	7.01	173.8
26	0.000	9.866	0.000	0.824	8.260	7.292	0.026	18.823	0.000	0.042	12.152	0.031	10.348	7.10	162.1
27	0.000	13.208	0.000	0.000	7.012	3.993	0.038	35.694	0.000	0.080	1.000	0.038	7.487	7.16	146.3
28	0.000	10.985	0.000	0.589	8.169	8.059	0.037	20.558	0.000	0.055	21.956	0.328	6.018	7.15	172.0
29	0.000	10.040	0.000	1.009	8.015	10.357	0.030	18.845	0.000	0.051	40.729	0.027	16.099	7.17	193.9
30	0.007	22.988	0.000	0.524	2.074	9.898	0.070	19.757	0.000	0.042	7.567	0.199	10.855	6.55	177.4
31	0.000	13.241	0.000	1.079	5.782	9.993	0.028	17.989	0.000	0.083	29.373	0.038	10.413	7.10	173.0
32	0.027	66.370	0.000	0.805	2.126	5.342	0.170	16.581	0.000	0.062	0.857	0.045	7.695	8.08	332.5
33	0.178	228.660	0.000	0.849	0.452	1.325	1.875	51.663	0.000	0.052	0.063	0.176	0.266	8.70	1089.0
34	0.000	11.611	0.000	0.203	4.586	3.404	0.010	24.753	0.000	0.082	14.934	0.000	9.074	7.40	131.8
35	0.000	12.552	0.000	0.175	7.117	9.650	0.028	20.734	0.000	0.060	8.600	0.019	30.966	7.13	171.5
36	0.000	13.841	0.000	0.693	5.371	12.729	0.024	31.533	0.000	0.085	2.588	0.110	19.025	6.96	213.5
37	0.000	8.121	0.000	0.976	5.641	6.539	0.027	15.683	0.000	0.044	13.257	0.042	6.031	6.62	138.9
38	0.000	7.971	0.000	1.566	5.615	10.340	0.050	17.931	0.000	0.088	3.726	0.020	15.411	7.20	155.5
39	0.000	14.488	0.000	0.965	10.138	10.941	0.020	31.998	0.000	0.184	39.922	0.013	38.504	5.80	247.0
40	0.000	17.964	0.000	1.656	7.678	11.789	0.030	37.807	0.000	0.092	19.831	0.075	8.387	6.88	217.0
41	0.000	18.454	0.000	1.867	7.764	12.145	0.025	37.701	0.000	0.100	19.696	0.071	8.540	7.05	219.0
42	0.000	9.472	0.000	0.728	6.045	10.603	0.128	21.811	0.000	0.070	4.935	0.040	17.568	6.56	218.0
43	0.000	10.320	0.000	1.012	4.651	12.477	0.047	22.482	0.000	0.050	7.803	0.062	22.467	7.43	218.0
44	0.000	19.502	0.000	4.923	23.194	29.883	0.171	34.437	0.000	0.081	0.066	0.000	42.427	6.74	553.0
45	0.006	12.214	0.000	1.067	18.885	54.165	0.121	28.855	0.000	0.086	0.060	0.000	67.085	7.24	570.0
46	0.000	7.517	0.000	1.018	4.488	18.546	0.043	15.878	0.000	0.060	6.076	0.035	12.799	7.01	219.0
47	0.000	14.531	0.000	0.652	5.182	7.215	0.034	22.859	0.000	0.062	5.836	0.000	10.227	7.66	156.5
48	0.000	17.738	0.000	2.291	9.367	30.402	0.083	24.849	0.000	0.069	1.644	0.080	12.790	7.68	342.0
49	0.000	8.766	0.000	2.438	3.952	50.277	0.160	10.976	0.000	0.043	10.505	0.964	8.682	8.21	
50	0.000	322.700	0.000	17.100	42.010	52.910	0.130	425.410	0.000	1.520	6.810	0.130	88.780	7.32	
51	0.026	40.063	0.481	3.254	15.330	95.351	0.232	10.758		0.225	0.083	0.000	24.461	7.36	
52	0.025	15.032	0.000	5.266	10.544	88.009	0.238	11.376	0.000	0.034	37.448	0.000	28.874	7.79	
53	0.000	14.138	0.000	1.105	4.914	6.047	0.027	23.793	0.000	0.065	13.381	0.104	3.485	7.15	145.4
54	0.000	14.090	0.000	0.989	6.378	8.293	0.025	21.051	0.000	0.076	19.219	0.090	2.455	7.08	165.7
55	0.000	13.464	0.000	1.763	6.019	6.025	0.026	19.597	0.000	0.053	35.313	0.061	3.666	7.09	154.1
56	0.000	19.678	0.000	1.421	4.225	9.764	0.034	36.381	0.000	0.057	6.350	0.012	9.547	6.39	189.3
57	0.000	9.453	0.000	0.646	2.678	1.736	0.011	16.059	0.000	0.046	4.965	0.015	2.892	7.12	82.9
58	0.000	23.217	0.000	1.845	15.800	14.236	0.045	40.159	0.000	0.129	100.768	0.147	13.726	6.83	343.0
59	0.000	24.050	0.000	1.621	15.629	14.663	0.038	38.252	0.000	0.114	104.473	0.060	13.059	6.98	339.0
60	0.000	14.141	0.000	1.441	3.931	5.721	0.046	16.659	0.000	0.056	24.223	0.135	6.581	7.27	137.3
61	0.000	17.306	0.000	0.508	8.071	11.304	0.024	26.251	0.000	0.060	12.465	0.047	12.942	7.16	208.0
62	0.000	12.367	0.000	0.849	7.194	6.952	0.092	21.480	0.000	0.082	4.423	0.041	17.484	7.33	157.5
63	0.000	8.446	0.000	1.868	7.068	10.053	0.030	19.807	0.000	0.083	11.470	0.200	11.191	7.40	164.9
64	0.000	8.554	0.000	1.520	6.754	7.961	0.034	18.904	0.000	0.112	15.328	0.146	13.242	7.40	156.0
65	0.000	8.179	0.000	1.476	6.972	8.665	0.032	18.471	0.000	0.078	11.439	0.035	10.873	6.78	164.7
66	0.000	11.817	0.000	0.768	5.707	5.952	0.015	18.288	0.000	0.062	43.149	0.015	4.167	7.50	147.8
67	0.000	17.559	0.000	1.277	14.432	10.198	0.010	39.678	0.000	0.075	103.775	0.000	9.622	6.03	299.0
68	0.000	17.511	0.000	1.541	7.700	8.433	0.014	30.538	0.013	0.093	60.409	0.024	8.261	6.19	222.0
69	0.000	14.586	0.000	2.275	6.036	14.512	0.026	23.295	0.000	0.049	36.415	0.013	19.559	6.52	227.0
70	0.000	11.464	0.000	1.122	6.189	10.456	0.021	19.848	0.000	0.074	20.669	0.016	16.940	6.59	181.1
71	0.000	19.004	0.000	8.461	6.009	13.878	0.023	47.567	0.000	0.082	63.003	0.005	15.027	6.15	279.0
72	0.029	15.422	0.000	1.292	3.006	24.075	0.102	21.575	0.000	0.071	3.351	0.025	9.351	7.40	240.0
73	0.000	11.125	0.000	0.745	4.712	8.362	0.054	16.633	0.000	0.062	5.872	0.014	7.450	7.62	138.3
74	0.000	21.373	0.000	1.067	4.051	9.297	0.050	25.910	0.000	0.040	1.974	0.038	16.406	7.59	180.6
75	0.005	15.502	0.000	1.320	6.749	13.822	0.162	17.510	0.035	0.071	4.383	0.020	11.494	6.71	205.0
76	0.000	10.141	0.000	0.878	4.354	8.262	0.148	14.768	0.000	0.052	3.013	0.020	7.778	6.93	139.4
77	0.000	14.475	0.000	1.814	6.577	10.009	0.016	21.703	0.000	0.061	64.587	0.052	3.481	6.05	193.5
78	0.000	13.251	0.000	0.788	7.893	9.571	0.033	17.327	0.000	0.082	9.551	0.014	4.621	7.02	172.5
79	0.000	8.827	0.000	0.505	1.476	1.829	0.014	19.535	0.000	0.036	4.970	0.028	3.284	7.64	82.7
80	0.000	8.500	0.000	0.677	2.582	4.171	0.038	17.347	0.000	0.068	25.651	0.046	2.325	7.42	99.4
81	0.000	11.142	0.000	0.814	4.980	10.417	0.016	20.851	0.000	0.089	9.635	0.045	17.737	7.26	157.9
82	0.000	15.565	0.000	0.950	6.408	8.211	0.014	32.156	0.000	0.103	21.959	0.000	1.577	7.17	180.3
83	0.000	10.599	0.000	1.027	6.293	8.886	0.030	19.555	0.000	0.078	15.801	0.000	6.788	7.27	154.9
84	0.000	10.030	0.000	0.592	5.457	6.138	0.020	18.717	0.000	0.072	21.018	0.011	10.278	7.36	138.8
85	0.000	10.642	0.000	1.002	4.986	6.373	0.027	18.071	0.000	0.033	6.022	0.013	4.377	7.40	130.6
86	0.000	12.960	0.000	0.940	4.979	7.780	0.040	20.405	0.000	0.069	3.861	0.048	8.572	7.43	146.9
87	0.000	12.510	0.000	1.251	6.127	9.120	0.035	18.180	0.000	0.063	21.841	0.000	9.353	7.34	168.3
88	0.000	12.087	0.000	0.966	4.391	8.289	0.042	20.856	0.000	0.062	11.364	0.000	9.777	7.40	145.6
89	0.000	12.855	0.000	1.259	6.009	7.836	0.032	22.793	0.000	0.055	10.624	0.000	8.934	7.37	159.8
90	0.000	18.392	0.000	1.881	5.437	9.480	0.016	32.750	0.000	0.059	36.160	0.148	8.030	7.27	203.0
91	0.000	9.961	0.000	0.804	6.691	7.780	0.029	17.717	0.000	0.075	14.824	0.053	6.587	7.61	150.9
92	0.000	10.749	0.000	1.187	7.838	9.347	0.028	21.341	0.000	0.086	25.988	0.036	10.958	7.66	177.3
93	0.000	11.533	0.000	0.595	5.224	6.172	0.031	17.699	0.000	0.071	5.982	0.000	3.489	7.50	130.5
94	0.000	10.413	0.000	2.224	4.788	9.165	0.021	16.098	0.000	0.042	28.584	0.000	0.000	6.51	168.6
95	0.000	14.942	0.000	11.700	5.007	9.635	0.025	36.564	0.000	0.068	15.693	0.089	0.000	6.59	223.0
96	0.000	11.121	0.000	1.125	8.761	13.708	0.021	22.959	0.000	0.061	7.082	0.087	0.009	6.97	201.0
97	0.000	10.723	0.000	1.373	8.452	13.492	0.024	17.757	0.000	0.055	9.181	0.054	0.000	7.14	196.6
98	0.000	10.760	0.000	1.348	8.437	13.425	0.025	18.146	0.000	0.067	9.097	0.000	0.011	7.40	198.7
99	0.000	10.809	0.000	1.363	8.481	13.534	0.025	18.274	0.000	0.135	9.368	0.000	0.000	7.27	199.1
100	0.000	9.969	0.000	4.491	7.734	11.219	0.029	31.022	0.000	0.088	37.193	0.000	0.000	7.34	220.0

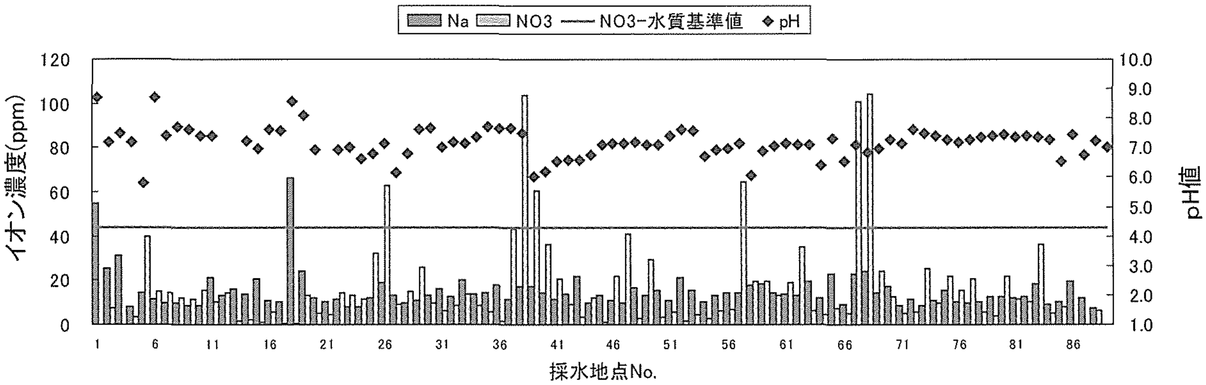

図6 有浦周辺の地下水のイオン濃度とpH値

がある。また、pHは水中に溶け込んでいるCO_2が植物プランクトンなどによって消費されると高くなる。

NO_3イオン濃度の高い地点に注目すると、玄武岩地帯に集中していたため、次に採水地点を地質別に分類する。地表水または基底流出分を主体とする地下水の水質は、その集水域を構成する岩石の岩質を反映しており、その関係は表2のようにまとめられている（地下水問題研究会、1991、日本地下水学会、2000、水収支研究グループ、1973）。

ふつうの造岩鉱物の中でNaに富んだものは、曹長石成分の多い斜長石であるから、花崗岩質の岩石からなる集水域ではNaが優勢成分となる。花崗閃緑岩は花崗岩より有色鉱物に富むので、Mgの溶存量が増えている。斑れい岩地帯の地下水がNaに乏しく、Ca,Mgに富むことも造岩鉱物の組成から説明することができる。シルト岩・泥岩に関してSO_4,Clをあげているのは、これらの岩石には可溶性の塩類を含むものがあることによる。

東松浦半島はおもに玄武岩と花崗岩からなるが、図7をもとに、採水地点を砂礫地帯、花崗

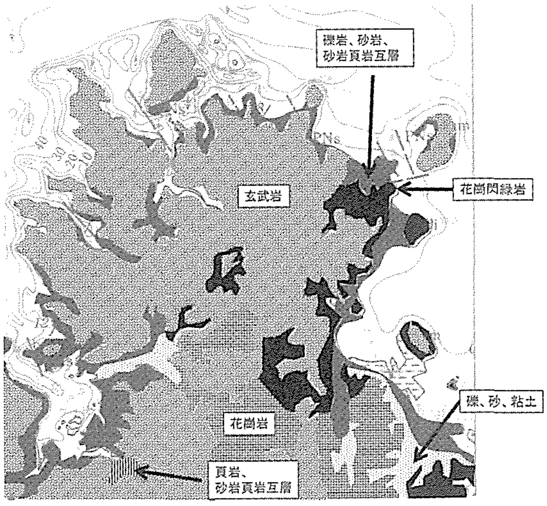

図7 東松浦半島の地質図

岩地帯、砂岩地帯、玄武岩地帯の4グループに分類した。

No1 ～ No7は砂礫地帯、No8 ～ No33は花崗岩地帯、No34 ～ 52は砂岩地帯、No53 ～ 100は玄武岩地帯に属する。

砂礫地帯はNaイオンの増加に伴ってNO_3イオンの減少が見られた。しかしこの地帯は採水地点の位置や、水田が多く脱窒作用が考えられることから、NO_3イオンが減少したものと思われ

表2 比較的塩類濃度の低い地下水に関する水質的特徴

岩　質	水質の特徴			
	pH	溶存成分濃度	主要溶存イオン	SiO_2濃度
①花崗岩・流紋岩	6.3 ～ 7.9	低い	Na^+, HCO_3^-	中位～高い
②斑れい岩・玄武岩	6.7 ～ 8.5	中位	Ca^{2+}, HCO_3^-	高い
③砂岩・アルコース・グレーワッケ	5.6 ～ 9.2	高い	Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, HCO_3^-	低い～中位
④シルト岩・泥岩	4.0 ～ 8.6	高い	Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^-, SO_4^{2-}	低い～中位
⑤石灰岩（苦灰岩）	7.0 ～ 8.2	高い	Ca^{2+} (Mg^{2+}), HCO_3^-	低い
⑥スレート・片岩・片麻岩	5.2 ～ 8.1	低い～中位	HCO_3^-, Ca^{2+}, Na^+,	低い

る。

花崗岩地帯は畑作地帯であるが、NO_3イオン濃度はそれほど高くはない。Naイオン濃度がやや高めである。曹長石成分の多い斜長石であるから、花崗岩質の岩石からなる集水域ではNaが優勢成分となる。この地帯では花崗閃緑岩もみられたが、この花崗閃緑岩は花崗岩より有色鉱物にとむので、Mgの溶存量が増えているところもある。Naの増加に伴ってNO_3イオンの減少とLiイオンの増加がみられた。NO_3イオンの減少については後ほど述べるが、Liイオンの増加に関しては現段階では原因が分からない。

砂岩地帯は海沿いに分布しており、海の風が直接吹き付けている。CaイオンやMgイオンが目立つ。また、SO_4イオン濃度が高いが、岩石に可溶性の塩類を含むものがある可能性がある。さらに、沿岸地帯なので海水の影響でSO_4イオンの濃度が高くなっているとも考えられる。

玄武岩地帯の地下水はCaイオンが多めで、さらに畑作地帯であることからNO_3イオン濃度が高い。玄武岩の溶存成分濃度は中位であるが、かなり濃度が低い地下水がある。これは玄武岩が分布する地帯の標高が高く、山頂付近の浅井戸ではほとんど地質に影響されず、雨水に近い成分であるためと考えられる。

塩類濃度の高い海水では硝酸化成が抑制されるため、NO_3イオンがほとんど含まれていないことが知られている（池出ほか、1987）。

今回採水した東松浦半島は海に囲まれていて、海水の影響を受けやすい。前述のように、海水にはほとんどNO_3イオンが含まれていない。もし海水の影響を受けていれば、これがNO_3イオン濃度が低くなる原因の可能性があるので、海水の影響を受けているかどうか検討した。

表３　Naの濃縮比

地質	Na	Cl	Na／Cl	Na濃縮比
砂礫	13.124	22.164	0.59	1.06
花崗岩	27.721	23.805	1.16	2.09
砂岩	30.677	44.623	0.69	1.24
玄武岩	13.238	23.131	0.57	1.03
海水	10.766	19.353	0.56	－

1）Na濃縮比

地下水が海水の影響を受けているかどうか判断するため（西村、1991）、その地質グループのNaイオンとClイオンの平均からNaの濃縮比（試料のNa/Clを海水のそれで割った値）を算出した（表３）。

砂礫地帯・砂岩地帯・玄武岩地帯はNaの濃縮比が１に近く、これらの地帯の地下水の水質が海水侵入や風送塩・海水の飛沫の影響を強く受けていることを示している。一方、花崗岩地帯のNaの濃縮比は２程度であり、また花崗岩地帯がより標高の高い玄武岩地帯に囲まれていることから、海水侵入の影響を受けているとは考えられない。さらにNa濃縮比が１より大きいということは、海水とは別の要因によってNaイオン濃度が高くなっていると考えられる。

2）海水成分との比較

図８は花崗岩地帯と玄武岩地帯の地下水のNaイオンとClイオンの濃度を比較したグラフである。実線は海水を希釈した場合のNaイオンとClイオンの関係を示している。

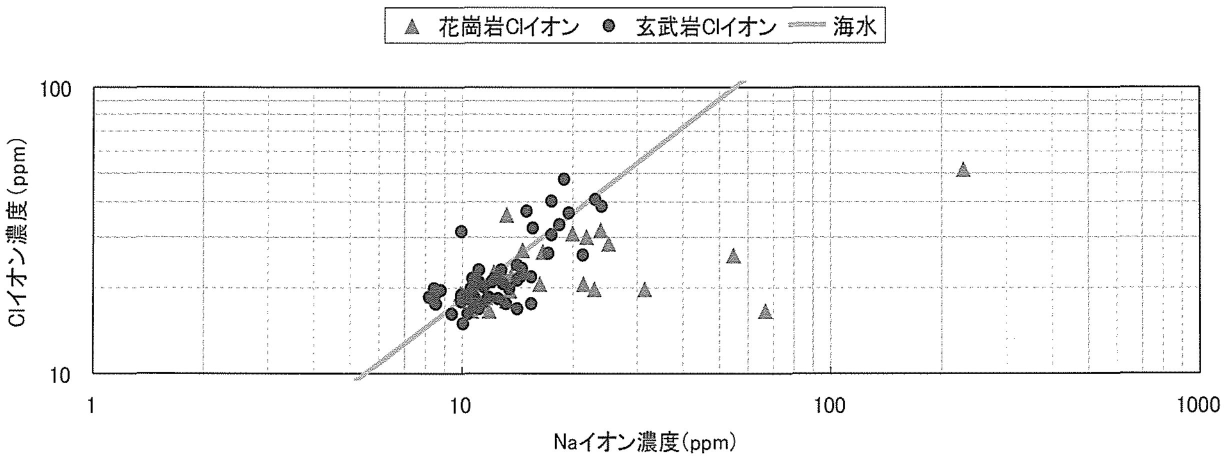

図８　海水成分との比較

前述の通り玄武岩はClイオンのデータが実線に乗っているため海水の影響を受けていると考えられる。一方、花崗岩地帯のデータは実線には乗っておらず海水の影響を受けているとは考えられない。これは曹長石成分の多い斜長石である花崗岩質の岩石からなる集水域ではNaが優勢成分となることによるものと思われる。

3）NaイオンとMgイオン，Caイオン，Brイオンの比較

海水主成分はNaイオンとClイオンだけではなく、Mgイオン，Caイオン，Brイオンとの比較も行うことによって、さらに海水との関係が明確になる。また、MgイオンやCaイオンは花崗岩や玄武岩といった母岩からも溶け出すため、その地質の特徴もみられると考えられる。さらに、Brイオンは含臭素農薬(臭化メチル(MB))や二酸化臭素エチレン(EDB)などによる地下水汚染が注目されている(北村、2000)。図９～12にNaイオンとMgイオン，Caイオン，Brイオンを比較したグラフを示す。Naイオンを横軸に用いるのは、海水主要成分であることと、母岩からの溶出が考えられるからである。

図の実線はそれぞれ海水を希釈した場合の関係を示しているが、砂礫地帯・砂岩地帯・玄武岩地帯の地下水は、Brイオンのデータが実線に乗っている。しかし、MgイオンとCaイオンのデータは実線よりも上の方にデータが散布しており、これは海水成分のほかに、土壌や母岩から溶け出したものと思われる。

一方花崗岩地帯はBrイオンがNaイオンの濃度に関係なくほぼ一定であり、さらに、Naイオンの増加に伴ってMgイオンとCaイオンの濃度が減少している。これは、花崗岩からNaイオンが溶け出している可能性があることと、さらに、NaイオンがMgイオンとCaイオンよりもイオン化傾向が高いためであると考えられる。この図でも、花崗岩地帯の地下水は海水の影響を受けているとは考えられない。

陸水に含まれるBrイオンには海塩起源のものと人為起源(農薬)のものがある。BrはClと化学的性質が似ており、天然における地球化学的行動も似ている。よって、BrとClの起源と行動が同一であれば当然Br/Cl比は常に一定となるはずである。(海水のBr/Cl比はほぼ0.0034である。)

図13は東松浦半島畑作地帯の地下水の、BrイオンとClイオンのデータである。海水の実線より上に分布する玄武岩のデータは、臭化メチルなどの肥料による影響を受けていることを示し、実線に沿うものは海水の影響を大きく受けてい

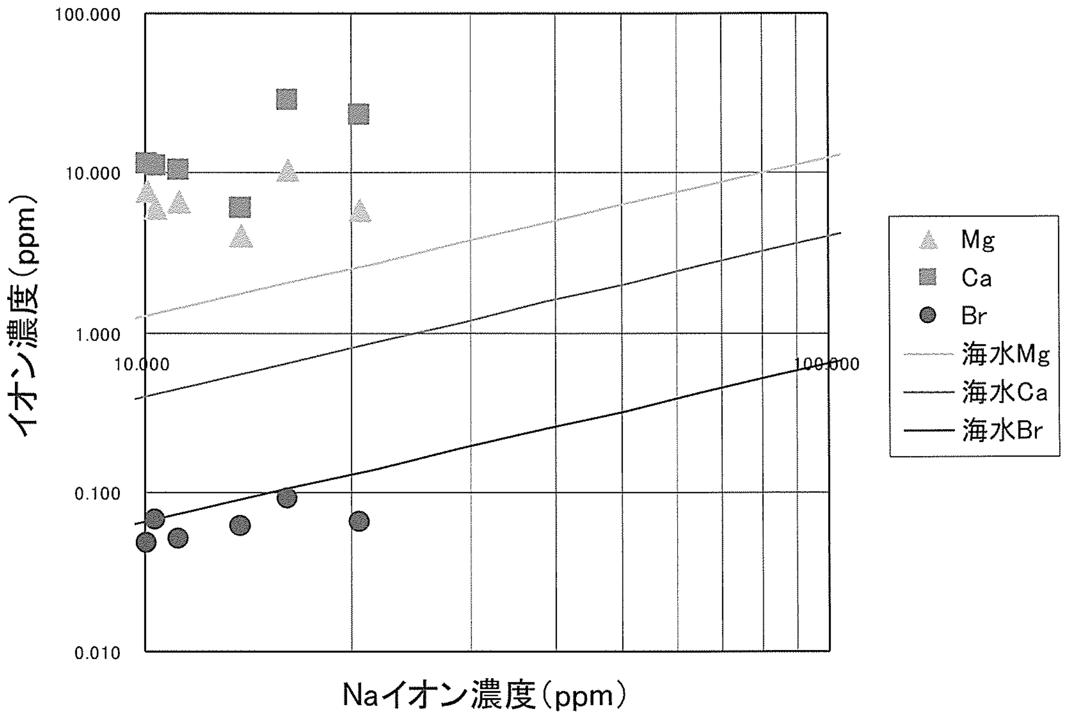

図９　砂礫地帯のNaイオンとMgイオン，Caイオン，Brイオンの比較

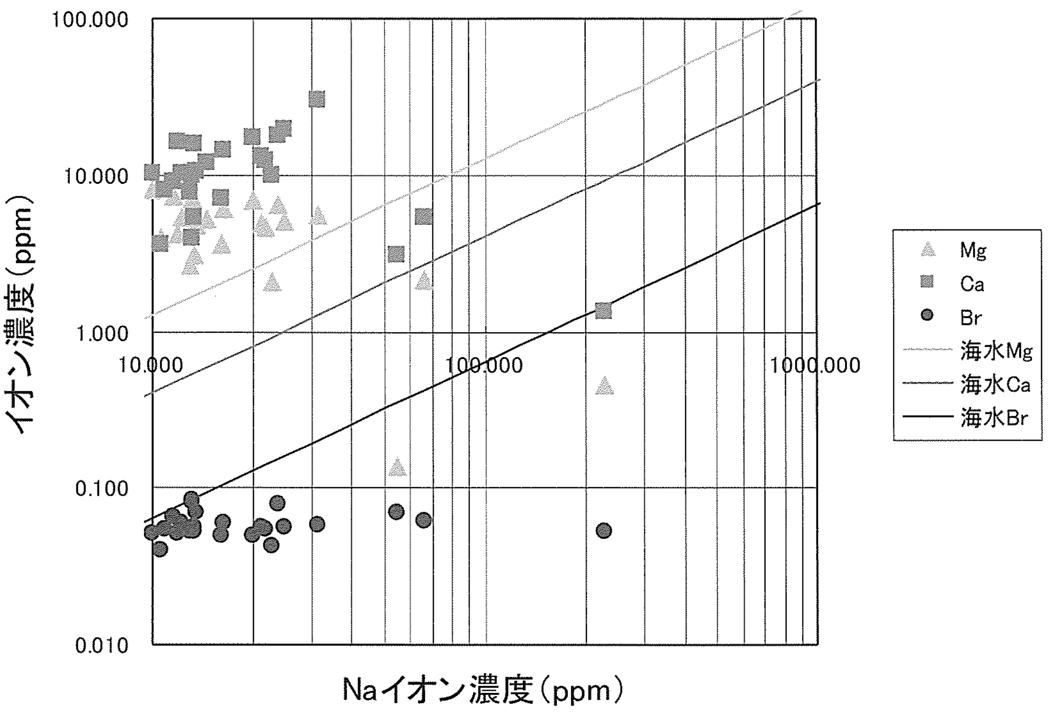

図10　花崗岩地帯のNaイオンとMgイオン，Caイオン，Brイオンの比較

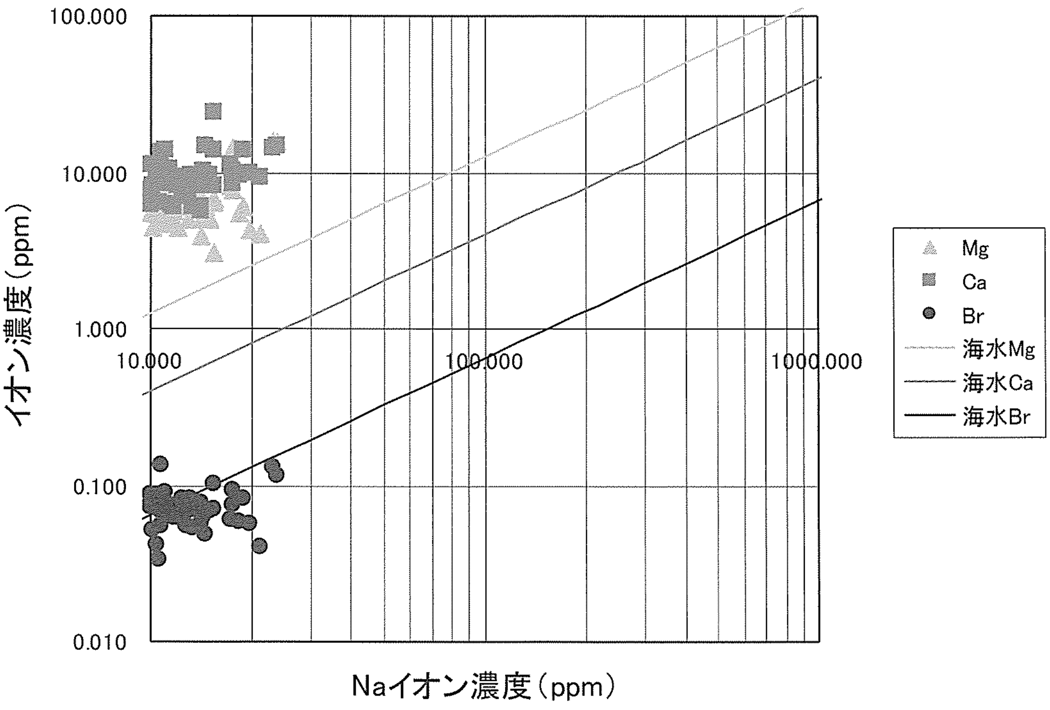

図11　砂岩地帯のNaイオンとMgイオン，Caイオン，Brイオンの比較

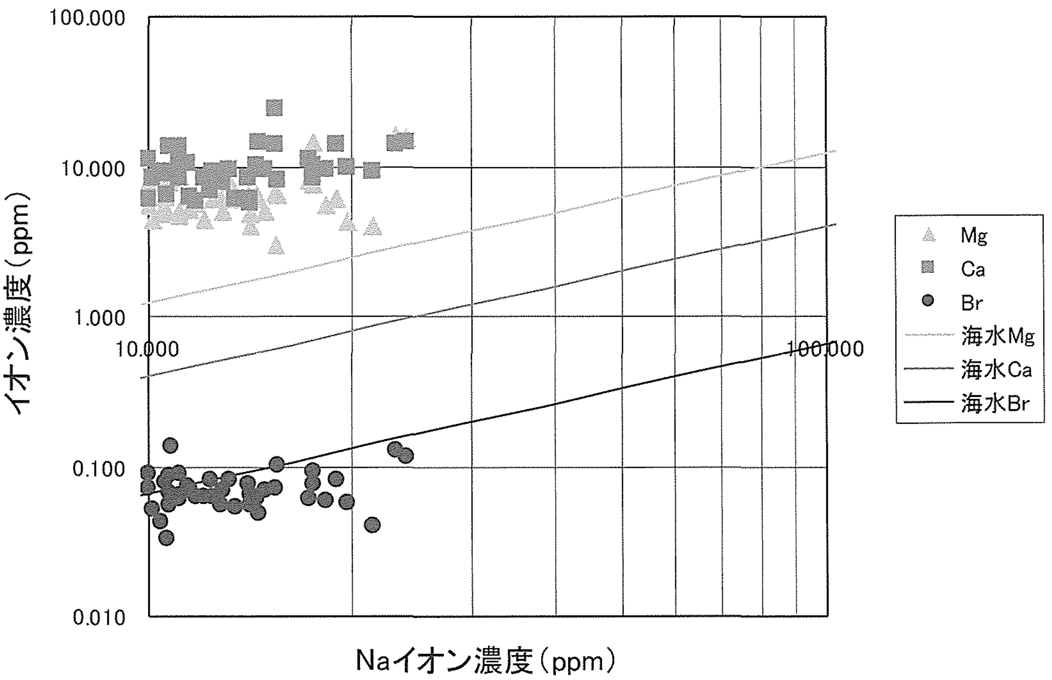

図12　玄武岩地帯のNaイオンとMgイオン，Caイオン，Brイオンの比較

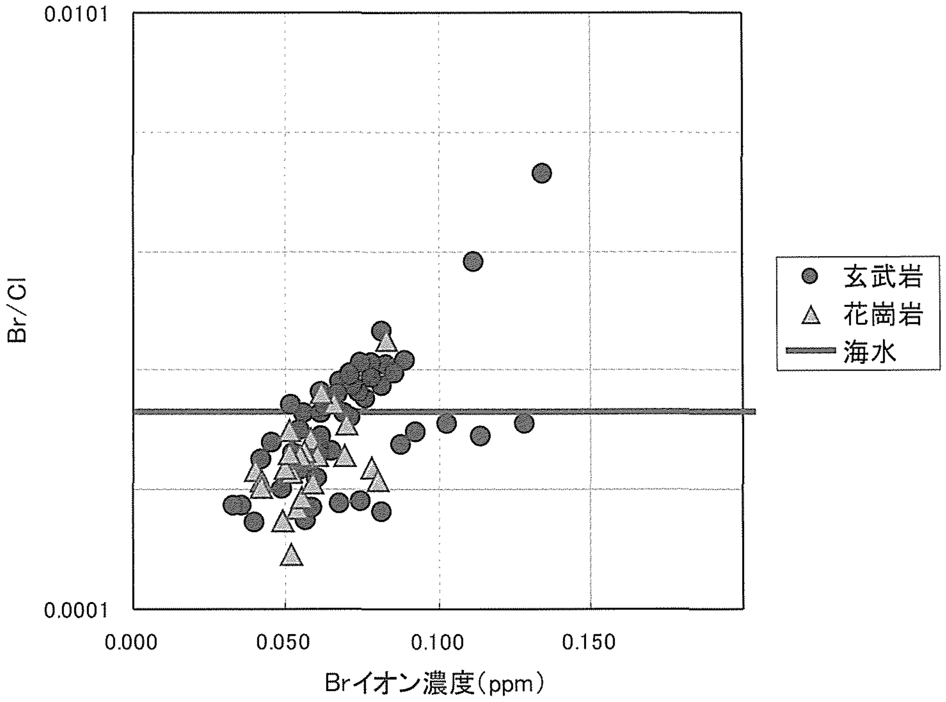

図13　BrイオンとBr/Clの関係

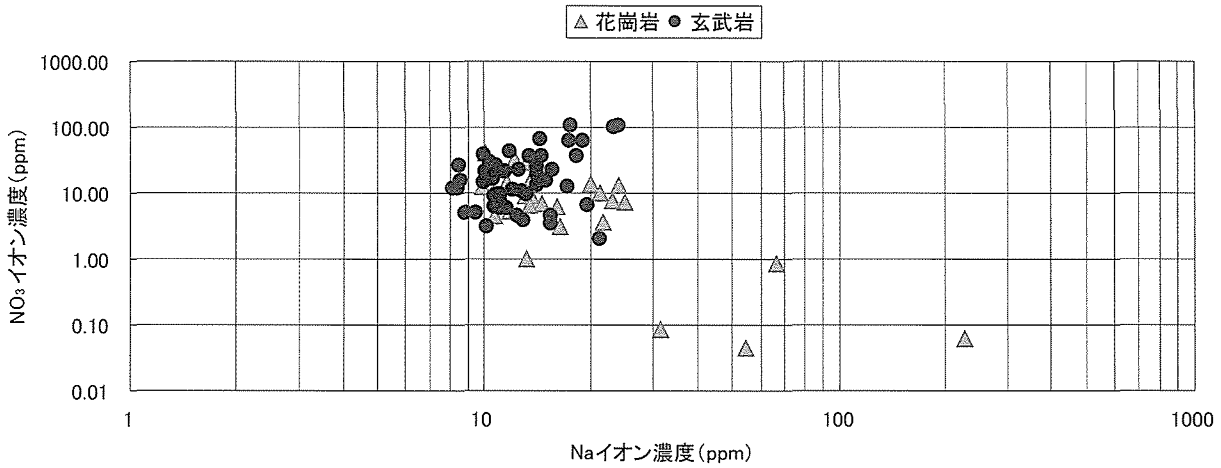

図14 NaイオンとNO_3イオンの比較

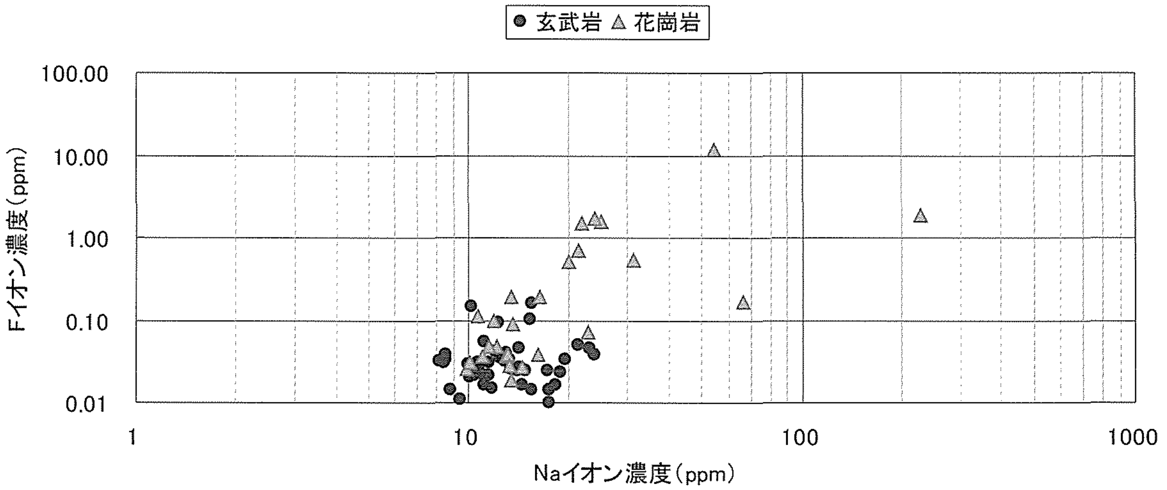

図15 NaイオンとFイオンの比較

ると考えられる。

花崗岩地帯のデータは実線の下に集中しているが、詳しい原因はわらない。

図14は花崗岩地帯と玄武岩地帯のNaイオンとNO_3イオンを比較したグラフである。花崗岩地帯はNaイオン濃度が高くなるとNO_3イオン濃度が低くなっている。この地帯は主に中山間部の畑作地帯でNO_3イオン濃度が高いはずであるが、Naイオン濃度が多い所ではNO_3イオンの濃度は低かった。しかし、玄武岩地帯も畑作地帯だが、Naイオン濃度には関係なくNO_3イオン濃度は高めであった。Naイオン濃度が低いときはNO_3イオン濃度は玄武岩地帯と同じように高い。このことから、Naイオン濃度の増加に伴うNO_3イオン濃度の減少は地質に関係があることが分かった。

玄武岩地帯のNaイオンの濃度は８～25ppmと低い。これに比べて、花崗岩地帯は100ppmを超える地下水がある。これも地質に関係していると考えられるが、地質図をもとに分類した花崗岩地帯の地下水が花崗岩を経由したものであるかわからない。そこで、次にFイオンに注目した。

水中のFは主に自然の地質に由来し、花崗岩地帯の井戸水や湧水に多く含まれる。花崗岩を経由した地下水であるのかどうかを証明するため、NaイオンとFイオンを比較する。

図15は花崗岩地帯と玄武岩地帯のNaイオンとFイオンの関係を比較したものである。Fイオンは土壌中にも含まれているため、玄武岩地帯にも検出されているが、花崗岩地帯はNaイオン濃度が高くなると、Fイオン濃度も高くなっている。両者の濃度が高いということはそれだけ花崗岩から溶け出していることを示す。

４．まとめ

今回の研究では、H井戸水で見られたNaイオン濃度の増加に伴うNO_3イオン濃度の減少が、他の井戸水，湧水でもみられ、さらにそれらが花崗岩地帯の地下水であったことから、この現象は地質に関係があることがわかった。

なぜNO_3イオンが減少したのか、仮説であるが、玄武岩の上には玄武岩が風化したおんじゃく土壌（粘土質の赤土のこと）があり、また花崗岩の上には花崗岩が風化した真砂土が存在する。これらに窒素肥料を施肥すると、細菌によって両者ともNO_3イオンとなるはずであるが、NO_3イオンの濃度は風化土壌における硝酸化成作用や脱窒作用（図16）がおんじゃくと真砂土で異なるのではないかと思われる。

また、Na、Caといったミネラル濃度は母岩からの溶出に影響されるので、これらのことから、Naイオン濃度の増加に伴うNO_3イオン濃度の減少の説明ができないかと考えている。

引用文献

1）地下水問題研究会（1991）：地下水汚染論、共立出版、東京、40－61

2）玄海町町史編集委員会(1988):玄海町史(上)、玄海町教育委員会

3）池出順一・小林達治・高橋英一（1987）：共生窒素固定および土壌中でのアンモニア化成・硝酸化成に及ぼす塩類ストレスの影響、日本土壌肥料學雑誌 、58(1) 、53-57,

4）北村憲子（2000）：海洋起源の乾性降下物の定量分析、佐賀大学大学院農学研究科修士論文

5）郡山益実、田中　明（2002）上場台地と背振山地における地下水のNO_3イオンについて、佐賀大農彙, 87, 133-139

6）水収支研究グループ（1973）地下水資源学、共立出版、東京

7）Nguyen Dang Thien (2009)：POTENTIAL NITRIFICATION OF THE ARIAKE SEA MUD SEDIMENT AND EFFECTS OF TEMPERATURE, pH AND SALINITY ON ITS NITRIFICATION RATE、佐賀大学大学院農学研究科修士論文

8）日本地下水学会（2000）：地下水水質の基礎、理工図書、東京、43－47、98－107

9）日本環境管理学会（1994）新水道水質基準ガイドブック、丸善、東京、 23－105

10）西村雅吉（1991）：環境化学、裳華房、東京、33

11）田中　明（2002）：佐賀県東松浦半島における地下水の水質について、海と台地、14、43-48

12）田中　明、柴田美由紀、松久保涼子（1995）：佐賀県東松浦半島における水質環境と農業、海と台地、2、63－67

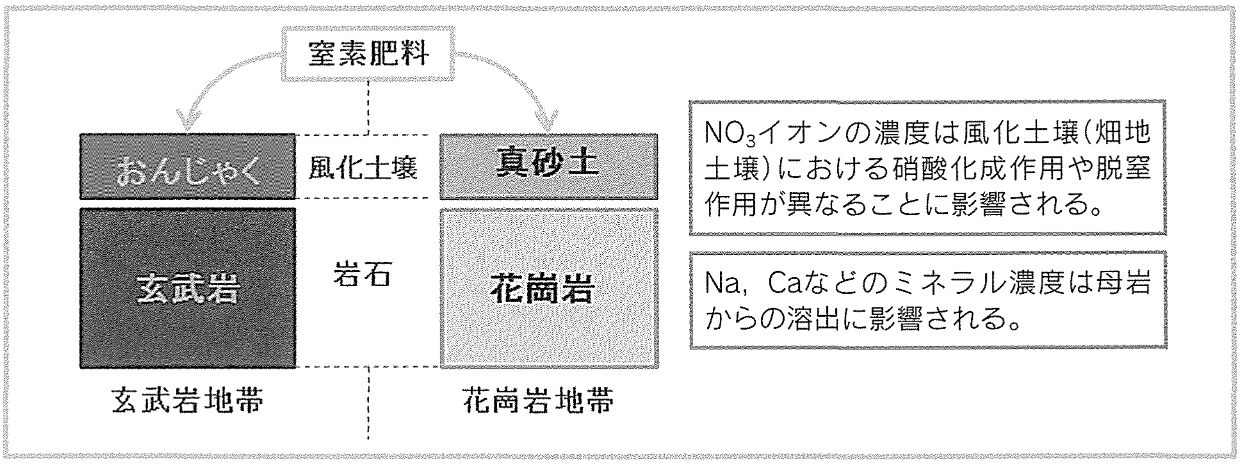

図16　玄武岩地帯と花崗岩地帯の構造