

真鶴地域の地下水の水系区分と水質

栗屋 徹¹、長瀬和雄¹、横山尚秀¹、杉山茂夫¹、平野富雄¹

Flow patterns and contents of groundwater
in Manazuru district

Toru AWAYA, Kazuo NAGASE, Takahide YOKOYAMA,
Shigeo SUGIYAMA and Tomio HIRANO

Abstract

We studied the geochemistry of groundwater in Manazuru district.

By measuring conductivity for each meter of depth, deep groundwater near the Manazuru peninsula was found to have three types of waters with different conductivity.

Measuring the water level of 44 wells, flow patterns of shallow groundwater (5~24m depth) were classified into three types (A, B and C), and those of deep groundwater (55~200m depth) were classified into two types (D and E).

We discussed the character of contents according to flow patterns.

1. はじめに

真鶴町は、神奈川県南西部に位置し、箱根火山の南東端と真鶴半島に広がる長さ7 km、幅1 km、面積7 km²の小さな町で、青い海や緑の山に恵まれた風光明媚な地として多くの人々に親しまれている。

近年、真鶴町にリゾートマンション建設や宅地開発が活発になり、こうした開発圧力により、水需要の増加が予想され、町の水道水供給に支障をきたす恐れが出てきた。

そこで、町では、水道水源を確保し、限りある地下水資源を保全活用するために、地下水資源等総合調査委員会等を設置するとともに地下水調査等を実施した。著者らは、これに参画し、調査結果のとりまとめに協力した。

ここでは、その調査の一環として、真鶴の地下水の水系区分と水質について考察したので報告する。

¹ 神奈川県温泉地学研究所 神奈川県足柄下郡箱根町湯本997 〒250-03

神奈川県温泉地学研究所報告 第25巻、第1号、1-18、1994

2. 水道の実態

真鶴町内には河川表流水が少なく、海岸に近いので地下水も水道水源としての利用には限りがある。自己水源に乏しい町の水道的実態をみると、水道水源としての地下水資源を保全活用しなければならぬことが理解できる。真鶴町水道課の資料によると、計画給水人口11,000人、計画最大給水量 $8,000\text{m}^3/\text{日}$ で、そのうち、 $2,860\text{m}^3/\text{日}$ は小田原市江ノ浦からの送水であり、 $3,000\text{m}^3/\text{日}$ は湯河原町に依存している。平成3年度現在の給水人口は9,924人で、実績配水量の平均値は $5,080\text{m}^3/\text{日}$ である。町の水源地は、町域内では深井戸の地下水からの取水量は $560\text{m}^3/\text{日}$ と少なく、それに小田原市内の江ノ浦にあるトンネル湧水水源から $2,360\text{m}^3/\text{日}$ 、湯河原町から送られる上水が $2,160\text{m}^3/\text{日}$ となっている（図1）。なお、夏場の観光シーズンには水道使用量が増加し、最大配水量は $6,620\text{m}^3/\text{日}$ となる。そのうち、町域内の地下水水源が $910\text{m}^3/\text{日}$ で、江ノ浦水源が $2,890\text{m}^3/\text{日}$ であり、湯河原町からの受水量が $2,820\text{m}^3/\text{日}$ である（真鶴町、1993; 真鶴町水道課、1985）。

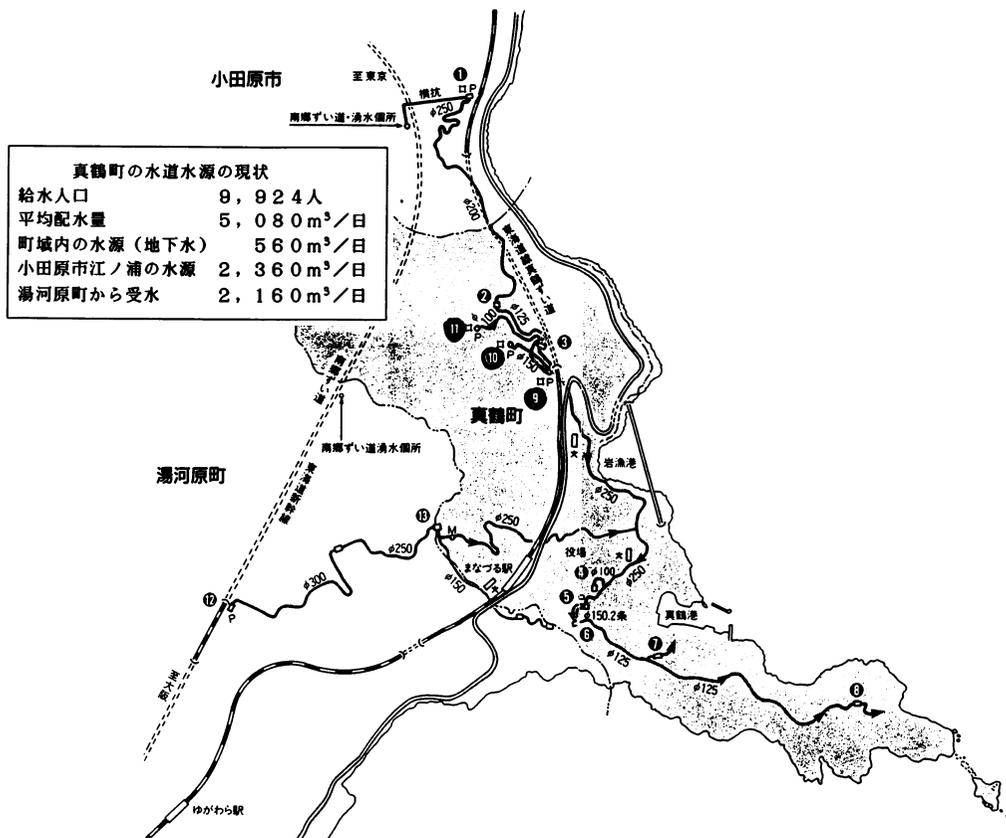


図1 真鶴町上水道系統図
（真鶴町水道課資料より）

Fig. 1 Plan of water system in Manazuru

3. 地下水の調査地点

図2は、地下水の調査地点を示す。井戸の深度が5～24mの浅層地下水（○）は、海浜堆積物やローム層中の地下水で、真鶴港付近に密集しており、半島の付け根付近にもみられる。

また、井戸の深度が55～200mの深層地下水（△）は、箱根古期外輪山の岩滓状溶岩が帯水層となっており、岩沢川周辺に多く分布している。

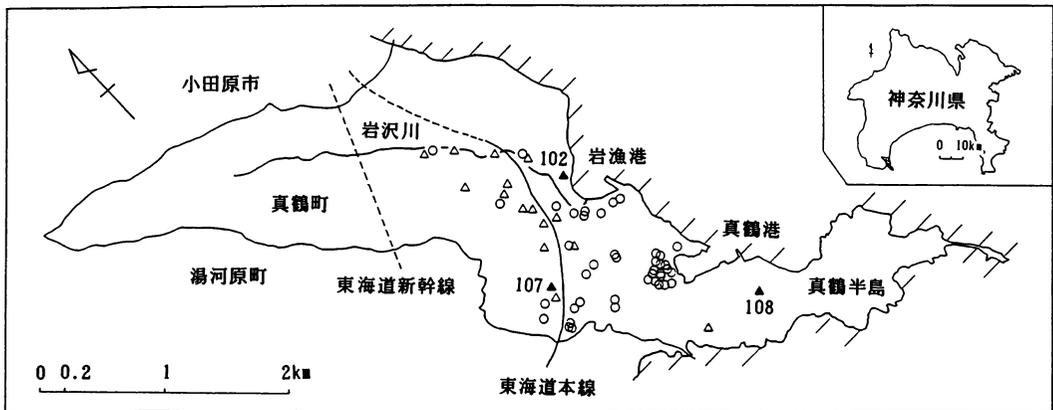


図2 地下水の調査地点
（○は浅層地下水、△は深層地下水を示す。）

Fig. 2 Observation wells

4. 温度検層及び電導度検層

図2に示すNo.107井戸で温度検層及び電導度検層を実施して、地下水の帯水層の位置及び塩水化の状況を把握した。当井戸は、標高48m、深度150m、口径25cmで、すべてケーシングしてあり、深度80m以深に5箇所ストレーナが施されている。この井戸は、現在利用していない。

4. 1 温度検層

温度検層は、注水前及び注水中（一晚水槽で11℃に冷却した水を60 l/min 注入した。）の2回実施した。図中の示差温度は、1 m間隔の温度差を示す（図3）。

注水前の測定から、深度46m（静水位）で15℃から16℃に温度上昇し、深度80m付近に地下水のわずかな流入がある。また、注水中の測定から、深度113～120mで注入水が孔井外に流出し、この位置の岩滓状溶岩が透水性の大きい良好な帯水層であることがわかる。

4. 2 電導度検層

電導度検層は、深度1 mごとに地下水の電導度を測定した。静水位は標高1.7mであり、地下水面で深では、ストレーナ加工部、帯水層に対応して段階的に電導度が増加している（図3）。

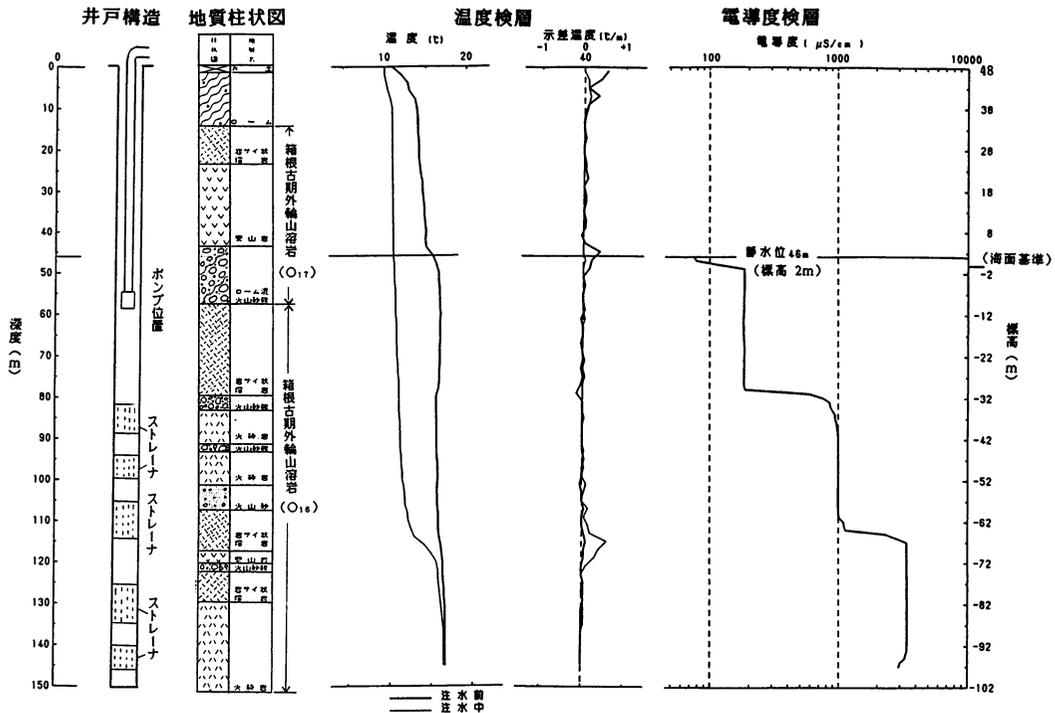


図3 電導度検層等の結果 (No. 107井戸)

Fig. 3 Conductivity / depth survey results (well No.107)

深度49～78m (海面下1～30m)にある地下水 (地下水Ⅰという。)は、電導度が $185 \mu\text{S}/\text{cm}$ で塩水化していない真水の値を示す。

深度80～112m (海面下32～64m)にある地下水 (地下水Ⅱという。)は、電導度が $1,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ でやや塩水化した値を示す。この水は、深度110m前後に分布する岩滓状溶岩中の地下水である。

深度113～142m (海面下65～94m)にある地下水 (地下水Ⅲという。)は、電導度が $3,400 \mu\text{S}/\text{cm}$ でかなり塩水化した値を示す。この水は、深度125m付近に分布する岩滓状溶岩中の地下水である。

このような電導度検層の結果から、塩分濃度の異なる3種類の地下水が明瞭に区分されて層状に重なっていることが判明した。

なお、ガイベン・ヘルツベルクの関係によれば、地下水位が海面から h の高さにあると、真水と塩水の境界は海面下 $40h$ になることが知られており、この井戸の場合は、水位が標高1.7mなので、真水と塩水の境界は海面下68mにあると計算される。

参考として付け加えると、水道法で飲用適となる塩素イオン濃度の基準値は $200\text{mg}/\text{l}$ 以下であるが、これに対応する電導度は約 $850 \mu\text{S}/\text{cm}$ である。

5. 揚水試験

揚水試験では、No.107井戸を揚水して時間経過とともに地下水位や電導度がどのように変化するかを調査し、井戸の状況を把握した。

5. 1 揚水試験による電導度等の変化

はじめに、揚水量39 l/minで、ついで2時間後に、揚水量100 l/minで段階揚水試験を実施した(図4)。揚水開始直後には電導度480 $\mu\text{S}/\text{cm}$ を示し、時間経過とともに電導度は増加し、4時間後には電導度940 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (塩素イオン濃度230mg/l)となっている。

これは、最初に深度49m~78mの塩水化していない地下水(地下水Ⅰ)が揚水され、徐々に深度80m~112mのやや塩水化した地下水(地下水Ⅱ)の混合割合が増加して揚水されるためである。

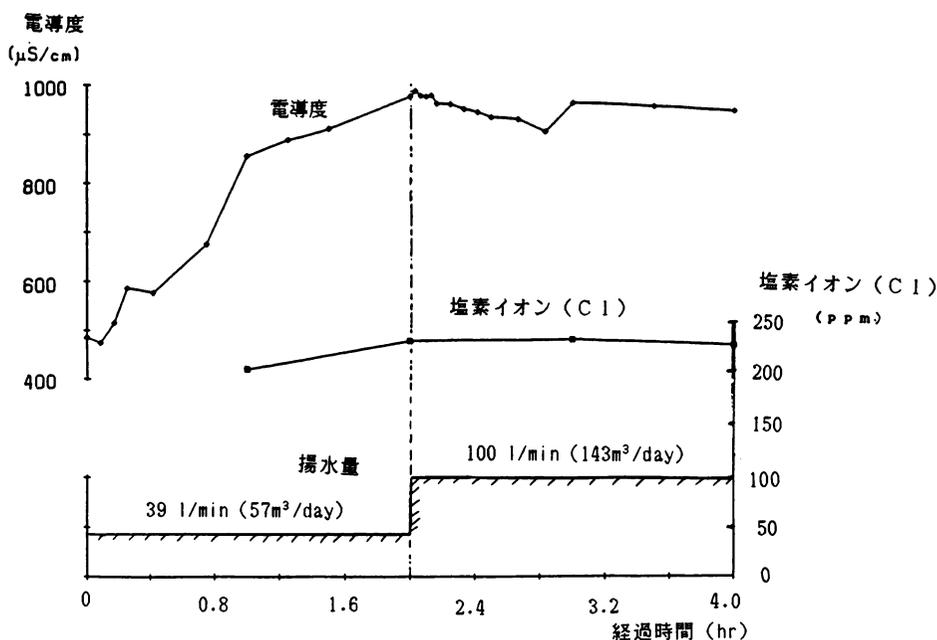


図4 揚水試験による電導度等の変化 (No. 107井戸、鈴木正明分析)

Fig. 4 Change in conductivity through pumping

5. 2 揚水試験による地下水位の変化

No.107井戸で段階的に揚水した時の地下水位の変化及び潮位との関係を調査した。揚水量が1,450 l/minと多いときは、揚水井戸の水位は潮位と同じレベルになり、海水を引き込む恐れがある(図5)。

また、約200m離れたNo.202井戸の地下水位は潮位と連動した日変化をしているものの、今回の短期間における調査ではNo.107井戸の揚水による影響はみられない。

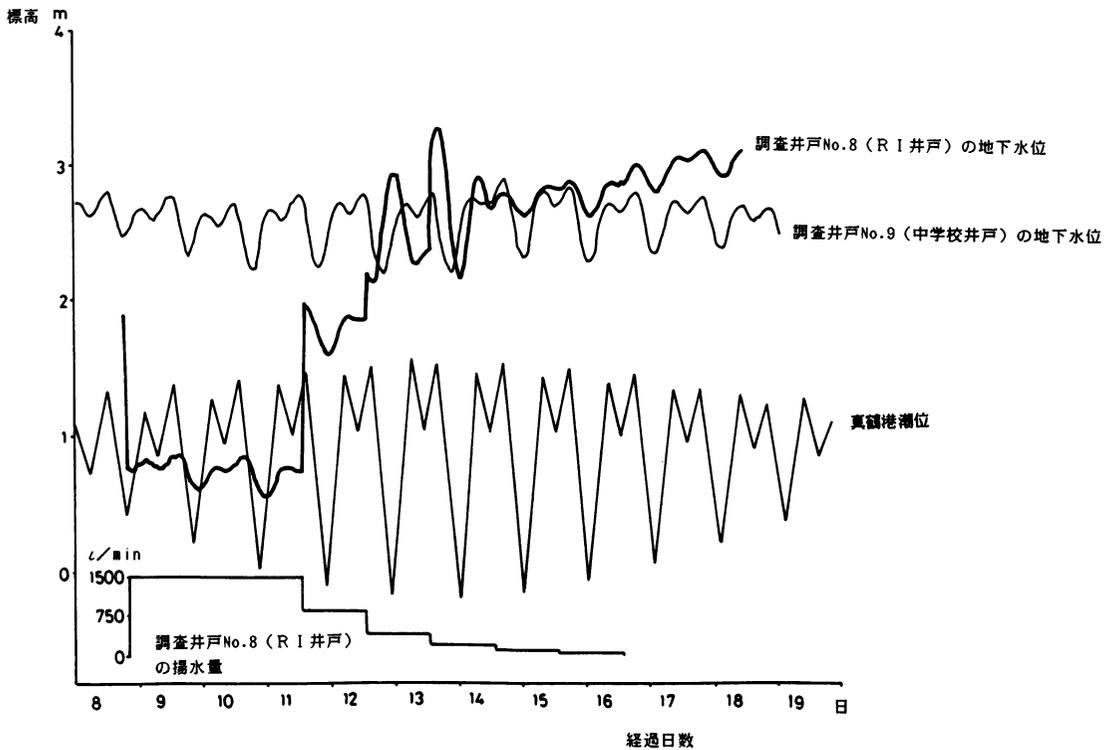


図5 揚水試験による地下水位及び潮位の変化
Fig. 5 Change in water level through pumping

5. 3 揚水試験による地下水水質の変化

No.107井戸の揚水試験を行ったときに、地下水の水質変化を追跡した(図6)。

揚水量が1,450 ℓ /min と多くなるにつれて、塩素イオン (Cl^-)、硫酸イオン (SO_4^{2-}) は減少するが、硝酸イオン (NO_3^-) は増加している。これは、後述するように、浅い帯水層の地下水(地下水I)を引き込んでいるためであると考えられる。

5. 4 No.107井戸の地下水揚水モデル

No.107井戸は電導度検層等の結果から、地下水I(塩水化していない地下水)、地下水II(やや塩水化した地下水)及び地下水III(非常に塩水化した地下水)の3種類の水が層状に重なっていることがわかっている。この3種類の水について揚水試験による電導度等の変化を説明するために、図7の地下水揚水モデルを考える。

つまり、動水位Iで揚水すると、井戸の上部に溜っていた地下水Iが汲み上げられた後に、地下水IIが揚水される。揚水量を増加して動水位IIまで水位を下げると、地下水Iが混入するようになる。

さらに、大量に揚水し、あるいは長時間揚水して水位を下げると、塩分濃度の濃い地下水IIIが揚水されると推定される。当調査井戸付近では、地下水が塩水(海水)と微妙な平衡状態にあるといえる。

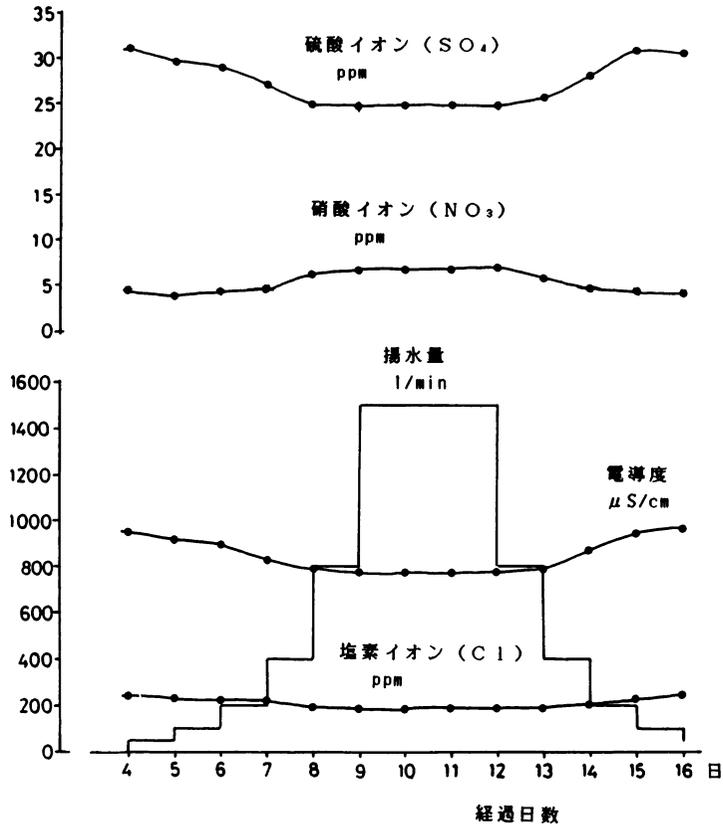


図6 揚水試験による水質の変化 (No.107井戸、鈴木正明分析)
Fig. 6 Change in water quality through pumping

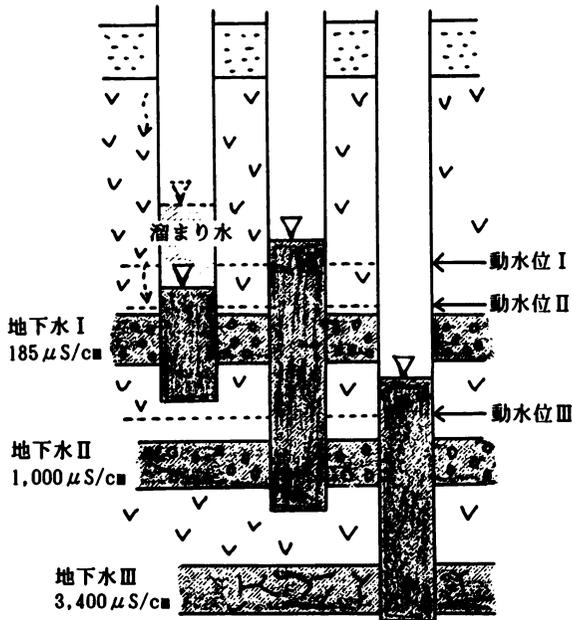


図7 地下水揚水モデル
Fig. 7 Model of water pump

井戸の上部には地下水 I が溜まっており、動水位 I で揚水すると地下水 I の後に地下水 II が採取される。動水位 II まで水位を下げて揚水すると地下水 I が混入する。さらに、揚水量を多くして動水位 III まで水位を下げると地下水 III を引き込む恐れがある。

表1 浅層地下水の水位、水質等

Table 1 Water level and quality of shallow groundwater

水系区分	No.	採水日	地盤高	深度	深度標高	水位	水位標高	温度 ℃	pH	電導度 μS/cm
			TP-■	GL-■	TP-■	GL-■	TP-■			
A水系	40	911017	24.0	7.05	16.95	1.21	22.79	16.3	6.8	173
	41	911017	37.0	3.90	33.10	0.15	36.85	17.4	6.7	301
	42	911017	21.0	6.35	14.65	1.64	19.36	17.3	6.6	203
	43	911017	9.0					17.2	6.7	292
	44	911017	8.0	5.82	2.18	1.90	6.10	17.1	6.9	302
	46	911016	94.0	6.33	87.67	0.58	93.42	15.0	7.2	155
	47	911016	13.0	1.83	11.17	1.47	11.53	15.4	7.3	166
	53	911016	40.0	4.10	35.90	2.38	37.62	17.2	6.7	274
	60	911016	100.0	2.54	97.46	1.59	98.41	16.9	7.1	167
B水系	30	911016	21.0	7.60	13.40	3.27	17.73	17.0	6.5	293
	31	911016	19.0					16.4	6.7	233
	32	911016	28.0					16.4	6.4	223
	34	911016	31.0	5.11	25.89	1.47	29.53	17.0	6.5	308
	35	911016	50.0	11.54	38.46	3.61	46.39	17.2	6.7	348
	36	911016	52.0	7.58	44.42	1.83	50.17	17.8	6.9	179
	37	911017	92.0	5.80	86.20	1.03	90.97	16.5	6.6	285
	39	911017	59.0					17.8	6.6	246
	49	911016	57.0	6.50	50.50	1.32	55.68	16.4	6.5	158
	50	911016	57.0					16.9	6.5	172
	51	911016	57.0					16.9	6.6	191
	52	911016	56.0	4.44	51.56	0.97	55.03	16.4	6.6	198
	55	911017	92.0	5.22	86.78	1.91	90.09	17.2	7.3	248
	58	911016	70.0	23.59	46.41	17.15	52.85	16.7	7.1	178
C水系	1	911017	14.0	10.35	3.65	1.33	12.67	17.5	7.1	296
	2	911016	19.0	8.00	11.00	2.00	17.00	17.8	6.7	311
	3	911016	3.0	5.12	-2.12	2.02	0.98	19.0	7.2	475
	4	911016	5.0					17.8	6.9	435
	5	911016	4.0	7.95	-3.95	2.62	1.38	16.6	6.9	436
	6	911016	6.0	8.30	-2.30	5.50	0.50	17.8	6.8	513
	7	911016	7.0	8.00	-1.00	3.57	3.43	17.4	6.9	424
	8	911016	9.0	10.18	-1.18	6.70	2.30	16.8	6.8	506
	9	911017	9.0			3.31	5.69	18.5	7.0	711
	11	911016	13.0			0.36	12.64	16.5	6.8	405
	12	911017	14.0			1.56	12.44	16.9	6.7	436
	13	911016	16.0					17.3	6.7	322
	14	911016	13.0	9.58	3.42	3.07	9.93	18.5	6.9	500
	15	911016	13.0	6.00	7.00	1.86	11.14	17.6	6.9	568
	17	911016	17.0	11.01	5.99	3.81	13.19	17.6	6.8	611
	18	911016	26.0	13.98	12.02	8.46	17.54	16.8	6.9	429
	19	911016	7.0					17.2	7.0	300
	20	911016	15.0	10.06	4.94	1.35	13.65	17.1	6.7	343
	21	911016	14.0					16.6	7.0	336
	22	911017	17.0					17.2	6.8	347
	24	911016	17.0			2.56	14.44	16.6	6.8	333
	25	911017	14.0	5.70	8.30	1.88	12.12	16.9	6.7	417
	26	911016	15.0					18.5	6.6	327
	27	911016	13.0	11.21	1.79	1.08	11.92	16.8	6.7	439
	28	911016	17.0	13.06	3.94	0.56	16.44	17.6	6.8	353
	29	911016	19.0					16.7	6.8	245
	38	911017	27.0					16.5	6.6	357
54	911017	20.0					17.0	6.7	577	

表1 つづき

Table 1 Continued

水系区分	No.	Total mg/l	Na mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	NO3 mg/l	H2SiO3 mg/l
A水系	40	166	15.1	3.2	8.1	6.3	15.0	13.5	37.5	20.6	47.0
	41	284	25.3	2.1	12.4	12.4	18.0	21.6	88.7	28.3	75.4
	42	183	16.5	1.5	11.2	9.7	13.4	34.6	46.2	21.5	28.6
	43	279	31.8	16.7	9.1	7.3	23.8	11.5	78.7	30.8	68.8
	44	282	20.0	26.5	12.7	8.1	14.1	12.5	104.0	36.7	47.6
	46	140	11.1	1.4	8.1	6.7	9.5	11.5	40.0	15.5	36.4
	47	163	10.6	2.1	9.0	6.7	9.0	10.0	48.7	14.4	52.4
	53	266	23.1	3.8	10.7	9.2	21.4	17.1	75.0	22.1	84.0
	60	158	10.7	1.7	9.7	7.9	7.6	30.3	30.0	15.8	44.2
B水系	30	267	35.5	1.7	11.4	9.0	23.4	22.4	90.0	29.2	44.8
	31	219	26.9	1.8	10.0	7.7	19.0	20.3	50.0	43.0	40.8
	32	192	23.1	2.1	9.1	8.8	17.0	19.8	47.5	33.0	31.4
	34	264	35.1	1.6	12.4	11.5	40.0	21.3	57.5	44.8	39.4
	35	280	43.9	10.2	13.3	9.8	54.5	18.7	52.5	55.0	22.4
	36	167	19.2	5.7	8.4	6.4	15.0	14.3	48.7	19.1	30.0
	37	273	17.9	2.5	11.7	12.7	31.4	12.6	47.5	34.6	102.0
	39	207	14.1	10.4	12.6	12.8	17.5	25.0	45.0	51.4	18.2
	49	149	16.2	1.6	7.9	6.6	7.3	20.8	47.5	11.0	29.8
	50	155	20.9	1.6	7.3	6.8	14.1	12.4	37.5	25.1	29.6
	51	178	17.9	7.3	9.2	9.9	16.0	11.8	41.2	40.2	24.2
	52	183	14.5	2.5	12.3	9.0	14.6	25.7	47.5	27.3	29.8
	55	228	14.6	1.9	14.1	10.0	16.5	25.4	50.0	40.3	55.6
	58	138	9.5	2.1	5.8	3.4	5.5	3.0	38.7	3.5	66.6
	C水系	1	280	25.6	20.5	8.5	12.5	19.6	15.1	90.0	38.5
2		278	33.2	19.5	8.2	9.1	26.2	24.2	75.0	36.3	46.0
3		428	55.7	19.8	12.5	19.6	55.6	38.4	97.5	45.2	83.6
4		402	53.2	23.0	11.2	11.8	60.4	31.5	75.0	47.7	88.4
5		404	54.9	17.0	10.9	11.5	58.1	31.3	73.7	43.6	103.0
6		454	63.5	19.7	14.3	15.3	70.3	42.2	82.5	48.8	97.0
7		398	54.6	18.8	11.1	10.3	59.3	34.1	81.2	33.2	95.2
8		442	63.1	17.9	13.8	14.8	74.2	41.8	76.2	39.0	101.0
9		518	101.0	27.9	11.9	13.7	119.0	68.8	57.5	36.2	82.2
11		376	45.9	11.8	11.7	10.6	49.1	24.3	60.0	57.1	106.0
12		411	44.0	19.1	15.7	14.3	44.7	36.1	71.2	70.1	96.0
13		315	27.5	14.5	11.9	9.0	23.5	20.3	73.7	41.2	93.4
14		421	53.0	23.5	14.3	19.6	59.0	38.9	86.2	74.5	51.8
15		496	70.1	21.7	16.4	16.1	75.7	46.9	113.0	53.0	83.8
17		515	54.1	7.5	34.2	26.7	99.8	46.5	118.0	41.2	87.6
18		400	42.0	4.2	19.3	14.9	57.8	23.8	76.2	56.3	106.0
19		285	41.2	16.6	7.4	5.1	28.8	24.0	62.5	42.0	57.2
20		318	41.0	24.7	9.7	8.2	36.6	24.7	62.5	61.9	48.6
21		315	44.5	21.7	10.0	7.3	33.9	34.5	81.2	37.9	44.0
22		329	47.3	19.1	10.0	10.8	34.8	22.7	85.0	55.6	43.4
24		324	49.2	19.1	7.5	4.1	34.6	24.8	72.5	43.2	69.2
25		368	57.1	24.8	10.7	9.6	49.0	40.9	73.7	61.9	40.0
26		306	37.1	24.8	10.0	6.9	22.6	25.7	83.7	48.1	47.4
27		383	63.5	22.9	11.4	10.1	58.2	26.7	97.5	53.5	39.0
28	310	45.4	12.8	10.6	12.3	37.2	19.3	62.5	80.1	30.2	
29	224	37.9	5.1	8.0	6.7	27.2	20.4	58.7	32.1	27.6	
38	334	47.0	14.8	13.3	10.3	44.2	21.2	75.0	64.8	43.2	
54	494	56.9	8.6	26.6	26.8	101.0	41.8	87.5	52.0	92.8	

表2 深層地下水の水位、水質等

Table 2 Water level and quality of deep groundwater

水系区分	No.	採水日	地盤高	深度	深度標高	水位	水位標高	温度 ℃	pH	電導度 μS/cm
			TP-■	GL-■	TP-■	GL-■	TP-■			
D水系	101	911000	36.5	128.00	-91.50	31.50	5.00	16.3	7.3	310
	110	911007	97.0	72.00	25.00			15.1	7.4	139
	111	911008	97.0	120.00	-23.00	89.36	7.64	17.5	7.2	188
	113	911007	153.0	153.00	0.00	46.43	106.57	16.2	7.2	142
	115	911007	84.0	120.00	-36.00	81.72	2.28	16.2	7.4	179
	121	911008	57.0	132.00	-75.00	55.34	1.66	15.7	7.5	223
	122	911008	79.0	132.00	-53.00	75.70	3.30	15.5	7.5	170
	123	911009	111.8	110.00	1.80			15.2	7.4	174
E水系	104	911008	66.3	151.50	-85.20	62.81	3.49	15.8	7.6	156
	107	911000	48.4	150.00	-101.60	43.45	4.95			
	109	911008	87.0	120.00	-33.00			15.4	7.6	441
	112	911007	72.0	120.00	-48.00			15.9	7.2	217
塩水化 地下水	102	911011	59.0	95.00	-36.00	56.43	2.57	16.8	7.4	1420
	108	911009	70.0	100.00	-30.00			16.4	7.3	28400

参考

B水系	71*	751219		9.90		6.54		14.5	6.2	230
C水系	72*	751219		8.80		4.15		16.0	6.5	733
D水系	101	750000	36.5	128.00	-91.50	35.10	1.40			
	111	750000	97.0	120.00	-23.00	93.00	4.00			
	114	750000	97.0	102.00	-5.00	83.50	13.50			
	121*	750829	57.0	85.50	-28.50	55.70	1.30	15.0	7.5	187
	122*	741213	79.0	132.00	-53.00	56.35	22.65	15.4		146
	123*	741213	111.8	110.00	1.80	86.80	25.00	15.4		146
	201	750000	144.0	200.00	-56.00	96.00	48.00			
	202*	751006	57.0	150.00	-93.00	54.52	2.48	18.1	8.7	429
E水系	103	750000	42.5	55.00	-12.50					
	104	750000	66.3	151.50	-85.20	63.07	3.23			
	105	750000	57.5	80.00	-22.50					
	106	750000	49.7	81.50	-31.80					
	107	750000	48.4	150.00	-101.60	46.74	1.66			
	102	750000	59.0	95.00	-36.00	58.30	0.70			
河川水 (岩沢川)	L-1	910712							7.2	149
	L-2	910712							7.2	185
海水**								7.6~8.2		
海水***										

6. 浅層地下水の水頭分布

表1は、井戸の深度が5～24mの浅層地下水の水位、深度等を示す。浅層地下水の水位は36地点の井戸で測定した。図8は、浅層地下水の水頭分布を示す。浅層地下水は、岩沢川に沿って岩漁港に流下するA水系、城口付近から大ヶ窪へ流下するB水系、そして、批杷窪付近から真鶴港へ流下するC水系の3つの水系に区分できる。

表2 つづき

Table 2 Continued

水系区分	No.	Total mg/l	Na mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	NO3 mg/l	H2SiO3 mg/l
D水系	101						28.7				
	110	140	5.5	1.2	6.3	5.9	7.2	7.9	39.3	10.4	56.6
	111	185	7.8	1.9	8.5	11.1	9.6	12.4	48.3	17.4	67.8
	113	141	6.1	1.0	6.3	5.6	9.5	11.3	36.0	15.7	49.0
	115	184	6.8	1.8	7.8	7.6	5.8	7.5	60.8	12.6	73.2
	121	222	8.2	2.9	9.7	15.7	20.7	10.4	53.7	24.7	76.4
	122	178	6.6	2.2	6.7	8.4	7.1	5.7	52.5	16.3	72.2
	123	170	6.4	2.3	6.4	7.7	5.6	4.9	55.0	12.6	69.2
E水系	104	160	5.5	1.7	6.3	6.6	5.9	2.1	49.6	8.4	73.6
	107										
	109	271	41.8	3.1	9.3	12.0	59.9	6.9	62.5	4.4	70.8
	112	214	7.6	2.5	9.5	12.5	10.7	7.4	57.3	29.6	77.0
塩水化 地下水	102	1077	255.0	9.4	63.0	24.6	553.0	47.0	56.2	0.0	69.0
	108	23900	7250.0	380.0	1040.0	232.0	13100.0	1700.0	130.0	0.0	46.0

参考

B水系	71*	169	20.6	1.8	8.5	10.7	24.3	6.5	37.2	59.0	
C水系	72*	545	94.5	18.5	15.7	25.2	137.0	55.8	75.8	70.9	51.3
D水系	101										
	111										
	114										
	121*	159	7.9	1.6	4.4	10.4	6.7	0.1	58.4		69.2
	122*	141	7.0	1.4	3.1	7.8	3.8	0.2	53.9		63.8
	123*	139	6.7	1.4	3.3	8.5	4.1	0.1	52.8		62.0
	201										
	202*	340	58.3	5.5	6.5	21.4	102.0	15.1	60.2	4.2	66.9
E水系	103										
	104										
	105										
	106										
	107										
	102										
河川水 (岩沢川)	L-1	133	8.4	1.9	7.2	8.4	8.4	12.2	37.5	10.4	38.4
	L-2	169	14.8	2.9	8.5	9.9	12.9	16.2	45.0	17.4	41.4
海水**		35078	10766.0	403.0	1293.0	413.0	19353.0	2708.0	142.0		
海水***		34394	10550.0	380.0	1272.0	400.0	19000.0	2650.0	142.0		

(*小鷹、平野1976、**角皆1976、***山辺1976による。)

7. 深層地下水の水頭分布

表2は、井戸の深度が55～200mの深層地下水の水位、深度等を示す。深層地下水の水位は8地点の井戸で測定した。図9は、深層地下水の水頭分布を示す。深層地下水については、水位の測定地点が少ないので、地形地質を考慮して水頭分布を描いた。深層地下水は、岩沢川に沿って岩漁港に流下するD水系と用留付近から真鶴港へ流下するE水系の2つの水系に区分できる。

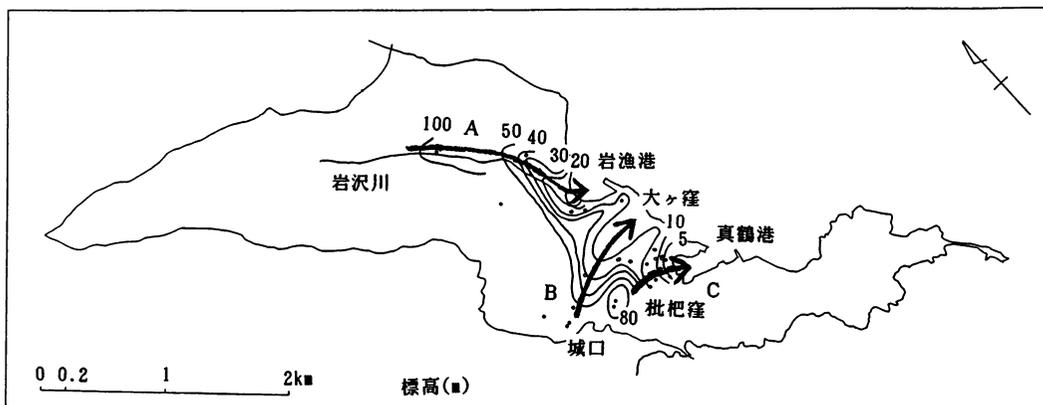


図8 浅層地下水の水頭分布
(矢印は、地下水の流動方向を示す。)
Fig. 8 Flow pattern of shallow groundwater
(Arrow indicates direction of water flow)

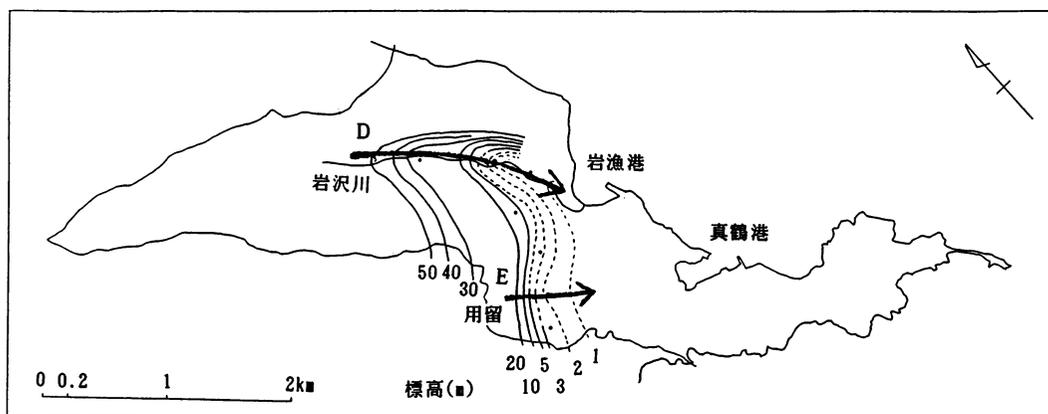


図9 深層地下水の水頭分布
(矢印は、地下水の流動方向を示す。)
Fig. 9 Flow pattern of deep groundwater
(Arrow indicates direction of water flow)

8. 浅層地下水の水質

表1は、浅層地下水の水質の分析結果を水系ごとにまとめた。A水系は9地点、B水系は14地点、C水系は28地点の分析を行った。図10は、浅層地下水のヘキサダイアグラムを示す。真鶴港付近の地下水は、その他の地域の地下水と比較して総溶存量が多く、ナトリウムイオンや塩素イオン量が多い。ヘキサダイアグラムは、地形図の中にすべての調査地点を描き入れにくいですが、地下水の特徴を一目瞭然で判断しやすい。

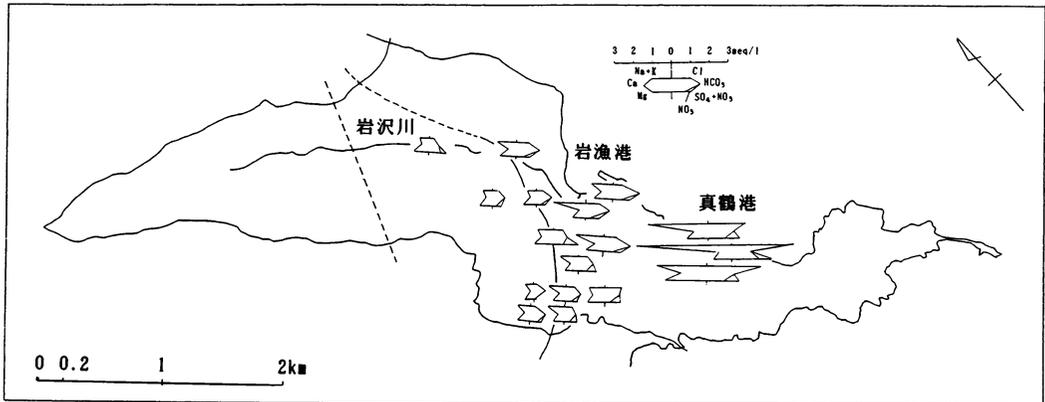
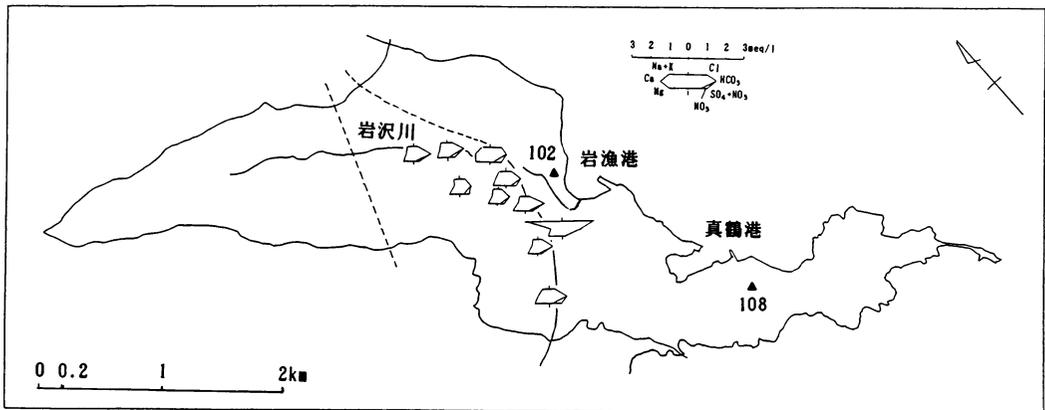


図10 浅層地下水のヘキサダイアグラム
 Fig.10 Hexa diagram of shallow groundwater



凡例		No.102		No.108	
Na+K	Cl	11.3	15.6meq/l	325	370meq/l
Ca	HCO ₃	1.23	0.92	11.6	2.13
Mg	SO ₄	5.19	0.98	85.6	35.4

図11 深層地下水のヘキサダイアグラム
 Fig.11 Hexa diagram of deep groundwater

9. 深層地下水の水質

表2は、深層地下水の水質の分析結果を水系ごとにまとめた。D水系は8地点、E水系は3地点、そして、塩水化地下水2地点の分析を行った。図11は、深層地下水のヘキサダイアグラムを示す。深層地下水は、浅層地下水と比較して硝酸イオンが少ない。また、No.102, No.108は総溶存量が特に多いので、凡例のように示す。

10. 水系別の水質の特徴

それぞれの水系について、地下水の水質の特徴を比較した（表3、図12）。図12の測定値につけた縦線は平均値を示す。温度は浅層地下水がA水系、B水系、C水系の順に高く、深層地下水が低くなっている。pHは浅層地下水がやや低く、深層地下水がやや高い。電導度と総溶存量はC水系が高い。塩素イオンは電導度と似てC水系が高い。硫酸イオンは浅層地下水がやや高く、深層地下水がやや低い。重炭酸イオンはC水系とA水系がやや高い。硝酸イオンは浅層地下水がA水系、B水系、C水系の順に高く、深層地下水が低い特徴がある。また、塩水化地下水では、電導度、総溶存量が1,000以上と高く、塩素イオンは500ppm以上、硫酸イオンも多いが、重炭酸イオンはそれほど多くなく、硝酸イオンは含まれていない。

表3 水系別の水質の特徴

Table 3 Characteristics of water quality according to flow patterns

水系区分	温度 ℃	pH	電導度 μS/cm	Total mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	NO3 mg/l
A水系	15.0~17.4	6.6~7.3	155~302	140~284	7.6~23.8	10.0~34.6	30.0~104	14.4~36.7
B水系	16.4~17.8	6.4~7.3	158~348	138~280	5.5~54.5	3.0~25.7	37.5~90.0	19.1~55.0
C水系	16.5~19.0	6.6~7.2	245~711	224~518	19.6~119	15.1~68.8	57.5~118	32.1~80.1
D水系	15.1~17.5	7.2~7.5	139~310	140~222	5.6~28.7	4.9~12.4	36.0~60.8	10.4~24.7
E水系	15.4~15.9	7.2~7.6	156~441	160~271	5.9~59.9	2.1~7.4	49.6~62.5	4.4~29.6
塩水化 地下水	16.4~16.8	7.3~7.4	1420~ 28400	1077~ 23900	553~ 13100	47.0~ 1700	56.2~130	0.0

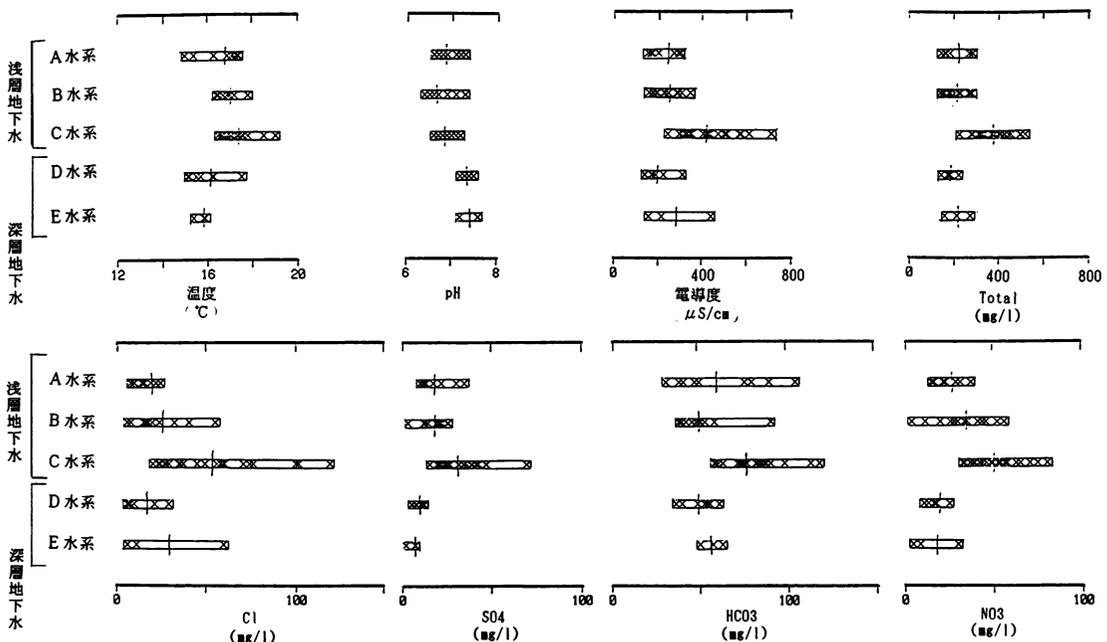


図12 水系別の水質の特徴

Fig.12 Characteristics of water quality according to flow patterns

11. 地下水の塩素イオン及び硝酸イオンの起源

図13は、地下水の塩素イオンと電導度の関係を示す。この図には、塩水化地下水を入れていない。電導度が多くなるにつれて塩素イオンは多くなり、電導度と塩素イオンは比例的な関係にある。一般的に、塩素イオンの起源として海水、火山、温泉、生活排水等があるが、真鶴の地下水の塩素イオンは海水の影響である。図14は、地下水の硝酸イオンと電導度の関係を示す。電導度と硝酸イオンは比例せず、電導度300~500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 付近で硝酸イオンが最大となっている。特に、枇杷窪付近から真鶴港へ流下するC水系では、電導度の増加に関係なく硝酸イオンがまとまっているようにみえる。また、用留付近から真鶴港へ流下するE水系でも、電導度と硝酸イオンは比例しない。その他の水系では、比例的な傾向にある。図13と図14の違いは、塩素イオンと硝酸イオンの起源が異なっていることを暗示している。一般的に、硝酸イオンの起源として肥料、家畜し尿等の人為的な影響やローム層、火山灰等の地質的な影響がある。

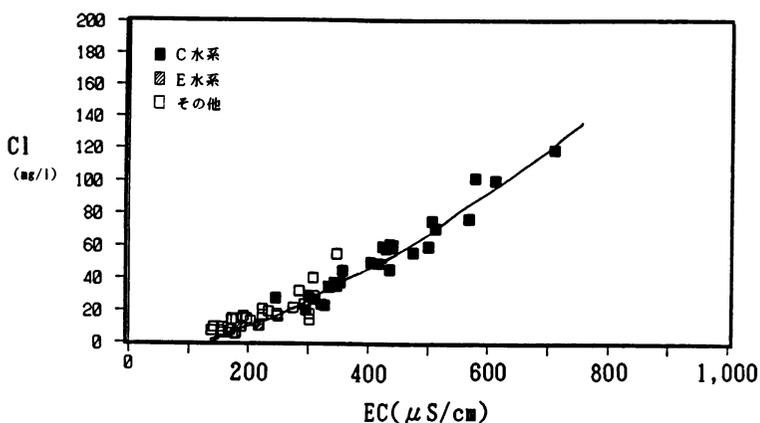


図13 地下水の塩素イオンと電導度の関係
(No. 102, No. 108を除く。)

Fig.13 Chloride content vs. Conductivity
(Except well Nos. 102 & 108)

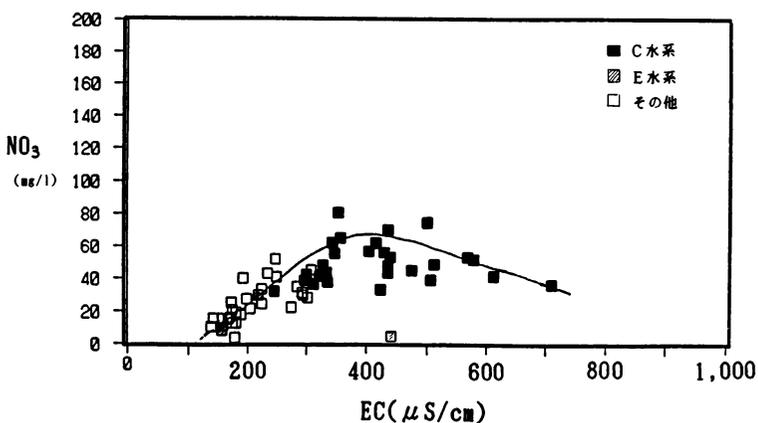


図14 地下水の硝酸イオンと電導度の関係
(No. 102, No. 108を除く。)

Fig.14 Nitrate content vs. Conductivity
(Except well Nos. 102 & 108)

図15は、真鶴町都市計画課の資料による土地利用状況である。畑は1.27km²で町面積7.02km²の18%を占める。肥料を使用すると思われる畑は岩沢川付近に多く分布しているが、この地区の地下水（A、D水系）の硝酸イオンは少ない。また、硝酸イオンの多いC水系では市街地があり、家畜は少ない。このようなことから、真鶴の地下水の硝酸イオンは肥料、家畜し尿等の人為的な影響でなく、ローム層、火山灰等の地質的な影響が考えられるが、詳細については今後の課題としたい。

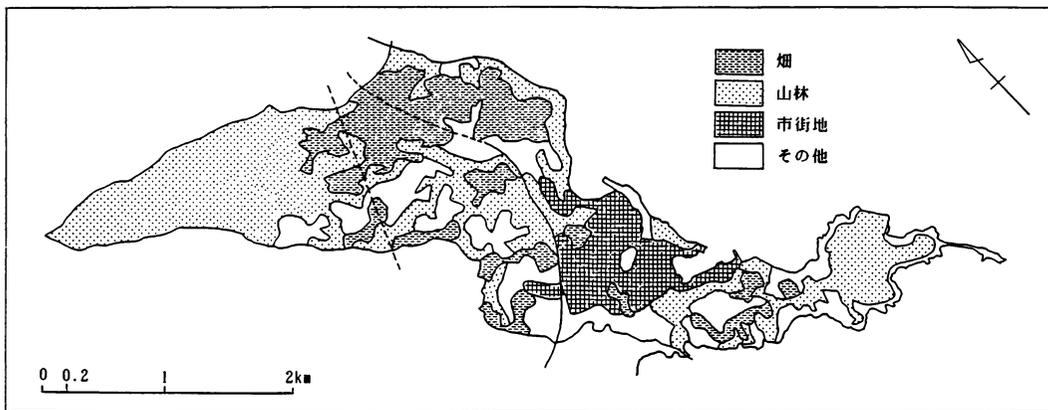


図15 土地利用状況
(真鶴町都市計画課資料より)

Fig.15 Land use conditions
(Taken from Manazuru City plans)

12. 地下水採取規制条例について

真鶴町地下水資源等総合調査委員会（後に、真鶴町地下水保全調査委員会と改称された。）を中心に地下水保全に関する調査が実施され、その検討結果として、次のような提言が出された。水源の保全と地下水の適正利用、地下水塩水化の防止、地下水の取水方法等の規制、それに、地下水の利用状況の管理をあげている。この委員会検討結果に基づいて、地下水採取規制条例案が草稿され、1990（平成2）年9月17日、町議会で可決、制定された。

「真鶴町地下水採取の規制に関する条例」では、町全域を4つの指定地域に分けて、地域ごとに井戸の深度規制、ポンプ位置の規制、揚水量の規制等を行っている（図16）。第1種指定地域は水源地域であり、井戸の設置を認めない地域。第2種～第4種指定地域は地下水の塩水化等を防止するため、それぞれ井戸の設置基準を設けている（伊藤、1992）。図17は、井戸設置基準の模式図を示す。

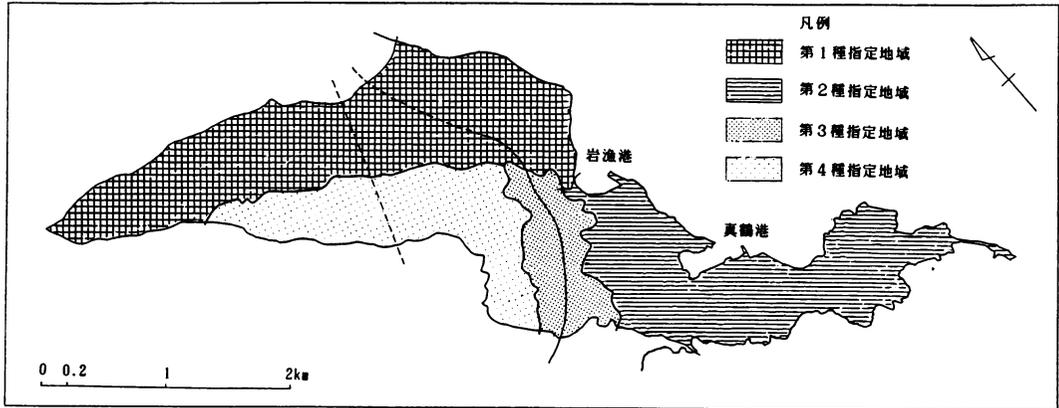


図16 地下水採取規制条例の指定地域

Fig.16 Areas of Manazuru designated for regulation of water pumping

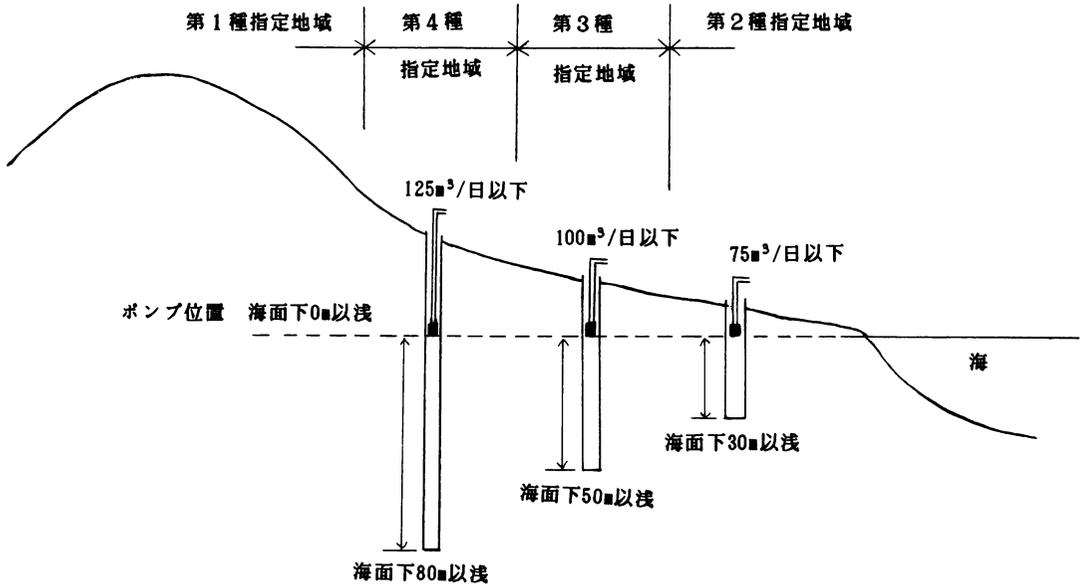


図17 井戸設置基準の模式図

Fig.17 Official requirements for establishing a well

13. まとめ

真鶴の地下水調査の結果、電導度検層から半島付近の深層地下水は、塩分濃度の異なる3種類の地下水が層状に重なっていることがわかった。

また、水頭分布や地質状況から浅層地下水を3水系に、深層地下水を2水系に区分することができ、それぞれの水系について水質の特徴、特に塩素イオンと硝酸イオンについて検討した。今後の課題として、地下水の硝酸イオンの起源について、さらに追求していきたいと考えている。

謝辞

千葉大学の¹新藤静夫教授、新潟大学の²大木靖衛教授には、委員会の委員として調査全般について御指導いただいた。現地調査にあたっては、真鶴町及びサンコーコンサルタント株式会社に御協力いただいた。また、県環境科学センター（元温泉地学研究所）の鈴木正明主任研究員には、揚水試験における水質を測定していただいた。ここに、謝意を表します。

参考文献

伊藤 彰(1992)真鶴町の地下水事情、地下水技術、34巻、10号、1-22.

真鶴町(1993)まなづるの統計.

真鶴町地下水資源等総合調査委員会(1990)真鶴町地下水資源等総合調査委員会検討結果報告書.

真鶴町地下水保全調査委員会(1992)真鶴町地下水保全調査報告書.

真鶴町水道課(1985)真鶴町の水道.

Nagase K., Awaya T., Yokoyama T., and Sugiyama S. (1993) Groundwater flows in andesite rocks, Memoires of the 24 Congress of International Association of Hydrogeologists, Oslo,Norway, 274-280.

小鷹滋郎、平野富雄(1976)真鶴町における地下水調査孔の掘さく、神奈川温研報告、7巻、3号、105-114.

角皆静男(1976)海水の組成と化学平衡、海洋化学研究、29-34.

山辺武郎(1976)海水成分の総合利用、海洋化学研究、83-88.



写真1 空からみた真鶴（1991年1月、横山尚秀撮影）

Photo 1 A view of Manazuru district from the sky