

# 千葉県 温泉の化学

## —温泉およびガス田付随水の化学成分—

東邦大学医学部化学研究室

相川 嘉正

## Chemistry of Hot Springs in Chiba Prefecture

### —Chemical Components of Hot Springs and Brine Water in the Gas Fields—

Kashyo AIKAWA

Department of Chemistry, Toho University School of Medicine

#### 1 はじめに

千葉県内には現在、温泉、鉱泉が約95源泉存在する(平成2年県業務課調べ<sup>1)</sup>)。更に天然ガス採取井戸を加えると100源泉以上になる。千葉県は地理的に関東平野の一端をなし、ここに湧出する温泉は一般に非火山性温泉といわれ、主に地温上昇率に起因すると佐藤らの報告<sup>2,3)</sup>がある。泉温は低く、25℃以下の冷鉱泉が多い。これらは千葉県温泉ガイド<sup>4)</sup>によると古くから頼朝や日蓮および里見氏の隠湯として薬湯や湯治に利用されていたようである。明治45年の内務省衛生試験所の温泉分析表<sup>5)</sup>によると明治21~31年の間に既に11源泉が正規に分析されている。これらの結果をも含め現在の千葉県の温泉について特徴を考察する。第一は海岸付近に湧出する塩分(NaCl)濃度の濃い温泉である。これは地球化学的分類では海水型温泉といわれ塩分含量が非常に多く、化学成分は海水に類似し、いわゆる海水が混入して温泉となったものである。第二に県内の処々に存在し沃素を多量に含有しているガス田付随水である。これは地質時代に海水が閉込められ動植物の分解質が多量に溶けており、沃素はその主要成分の一つである。特に国内ヨードの生産7,760 t(年)のうち89%の6,634 tが千葉県産で占めその大半が九十九里産ガス地帯の茂原、大多喜のものである<sup>6)</sup>。そしてそれらは工業用、医薬用および農業用として輸出され現在世界で最大の産出並びに輸出国である。

ガス田付随水の化学成分の由来は旧海水(2400万年前とも云われる)や動植物の分解、或いは周辺の岩石からの溶出に因ると考えられている。第3に県内の温・鉱泉の多くが黄褐色から暗褐色を呈しフミン質などの有機物質を含んでいる。以上をふまへ更に主成分および微量成分を詳細に調べ千葉県温泉の生成機構並びに温泉泉質について特徴を化学的面より考える。

## 2 千葉県の温泉、鉱泉の特徴

### 2.1 温泉、鉱泉の地理的分布

千葉県は本州のほぼ中央で関東地方の南東部に位置し北は利根川、北西は江戸川が流れ半島周辺は太平洋と東京湾に接している。温・鉱泉の分布は図1に示す如くほとんど南房総に集中しており、北部には利根川沿いと太平洋および東京湾沿いには僅かに点在するに過ぎない。尚、詳しくは利根川沿いには谷中温泉など数点、東京湾沿いには習志野ガス井を始めとして南下に伴い青堀、保田、富浦の各鉱泉を中心に二十数点、太平洋沿いには主に飯岡、旭、白子、御宿、千倉、白浜の各鉱泉が十数点、内陸部に入ると養老、亀山、曾呂の各温・鉱泉に加えて茂原、大多喜のガス井が存在する。以上の如く地理的には内陸地域、海岸地域、更にガス田付随水利用の温泉など地質的相違による地理的分布がみられる。それはまた化学成分のうえにも地域別分布となって現われている。

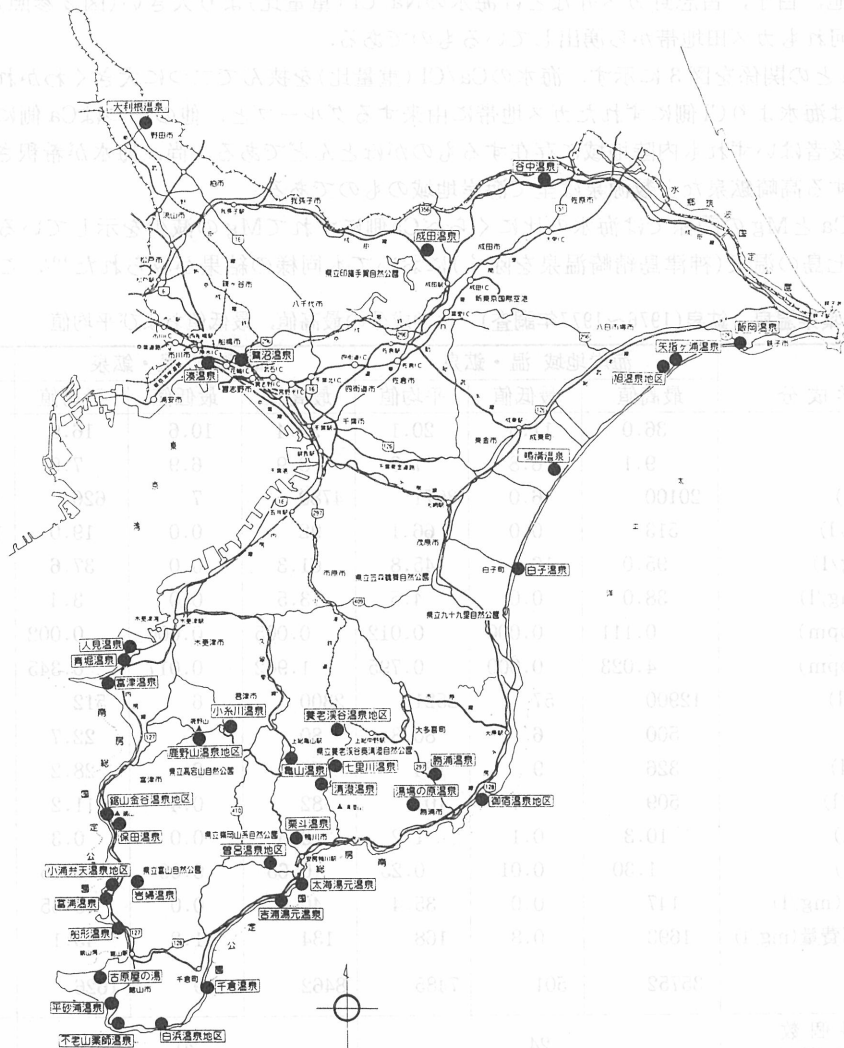


図1 千葉県温泉、鉱泉の分布 (●試料採取点)

## 2.2 地域別温泉，鉱泉の化学成分

千葉県内の温・鉱泉を地域別に海岸地域と内陸地域に大別し化学成分について比較検討した。試料は1976～1977年に千葉県全域にわたり採取した44源泉<sup>7)</sup>に基づき更に考察する。表1は成分含量の平均値を示したもので表の如く海岸地域と内陸地域とでは明らかに異なる。つまり海岸地域の温・鉱泉は内陸のそれよりどの成分も大きな値を示し、特にNa, K, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>および蒸発残渣が著しく多い。また岩崎<sup>8)</sup>による日本の温泉の平均化学組成と比べると両地域のpH, Cl, NO<sub>3</sub>-N, Na, K, Mgは海岸地域の温・鉱泉では日本の温泉の平均化学組成より大きな値を示し、一方内陸地域の温・鉱泉の値は逆に小さい。

また、この主な成分の量的関係についてみると海岸地域の温・鉱泉はNa>Ca>Mg>K. Cl>HCO<sub>3</sub>>SO<sub>4</sub>の関係(不等号)を示し、内陸地域の場合はNa>Ca>K>Mg. HCO<sub>3</sub>>Cl>SO<sub>4</sub>となり両者はこの点でも異なる。尚、前者は中性温泉に、後者はアルカリ性温泉によくみられる型である<sup>9)</sup>。

次に2～3の化学成分相互の関係から地域別の特徴をみると、NaとClの間には正の相互関係が成立つ旭、白子、習志野ガス井などは海水のNa/Cl(重量比)より大きい(図2参照)。なお、これらは何れもカズ田地帯から湧出しているものである。

ClとCaとの関係を図3に示す。海水のCa/Cl(重量比)を挟んで二つに大きくわかれていた。即ち一つは海水よりCl側にずれたガス地帯に由来するグループと、他の一つはCa側にずれたグループで後者はいずれも内陸地域に存在するものがほとんどである。尚、海水が希釈された点線上に存在する高崎鉱泉など数源泉は全て海岸地域のものである。

図4のCaとMgの関係では海水の比にくらべCa側にずれてMgの減少を示している。この現象は伊豆七島の温泉(神津島錆崎温泉を除く)においても同様の結果がみられた<sup>10)</sup>。このことは

表1 千葉県温泉，鉱泉(1976～1977年調査) 化学成分の最高値，最低値および平均値

化学成分	海岸地域 温・鉱泉			内陸地域 温・鉱泉			日本温泉
	最高値	最低値	平均値	最高値	最低値	平均値	平均値
水温(℃)	36.0	11.3	20.1	29.4	10.6	16.9	40～60
pH	9.1	6.8	7.9	8.9	6.9	7.9	7～8
Cl (mg/l)	20100	6.0	3971	4780	7	626	1260
SO <sub>4</sub> (mg/l)	513	0.0	66.1	92	0.0	19.0	1650
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	95.0	16.4	45.8	61.3	0.0	37.6	81.5
HBO <sub>2</sub> (mg/l)	38.0	0.0	4.5	13.5	0.0	3.4	38.2
NO <sub>2</sub> -N(ppm)	0.111	0.000	0.012	0.005	0.000	0.002	—
NO <sub>3</sub> -N(ppm)	4.023	0.000	0.795	1.962	0.017	0.345	0.677
Na (mg/l)	12900	57	2521	2300	6	512	773
K(mg/l)	500	6	80.8	80	4	22.7	45
Ca (mg/l)	326	9	124	175	2	28.2	222
Mg (mg/l)	509	0.7	101	82	0.4	11.2	49
Fe (mg/l)	10.3	0.1	1.2	3.5	0.0	0.3	311
Al (mg/l)	1.30	0.01	0.25	0.65	0.00	0.15	95
遊離CO <sub>2</sub> (mg/l)	147	0.0	35.4	40.0	0.0	9.35	—
KMnO <sub>4</sub> 消費量(mg/l)	1693	0.8	168	134	1.2	45.1	—
蒸発残渣	35752	501	7485	8462	169	1626	63.3～600000
試料個数 (調査ヶ所44)	24			20			



ある(図6参照).



図5 東日本油田およびガス田分布

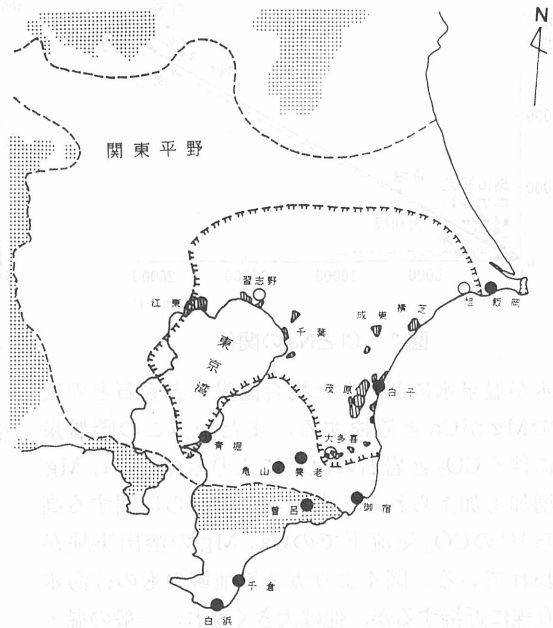


図6 上総層群の分布地域とガス田付随水の湧出分布  
 ●: 温泉, 鉱泉の採水地 ○: ガス田付随水の採水地  
 □: 先上総層群の露出地域 ㄥ: ガス鉱床が分布する地域  
 ■: ガス田 ☉: 上総層群分布地域

### 3.2 ガス田付随水の化学成分

温・鉱泉とガス田付随水との成分の比較検討するため今回(1991年3月)再度海岸地域を主に試料21点を採取した. 図7に示す. ガス田付随水の採取ヶ所は太平洋(外房)側では旭, 茂原および大多喜の各ガス田付随水を, また東京湾(内房)側では習志野ガス井1号~4号源泉からそれぞれ採水した.

表3に温・鉱泉とガス田付随水の主成分の分析結果を示す. 表のNo.1~12は温・鉱泉, No.13~21はガス田付随水である. この両者を比較すると水温は付随水の方がやや高く, pHはほぼ等しい. 成分はNa, K, Ca, Mg, Li, Cl, HCO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, Br, Iおよび蒸発残渣などが非常に多く典型的ガス田付随水の性質をあらわしている<sup>16)</sup>. 特に千葉県特有の多量に含まれる沃素は, イオン交換法, 追出法などによりヨードの製法が行われている.

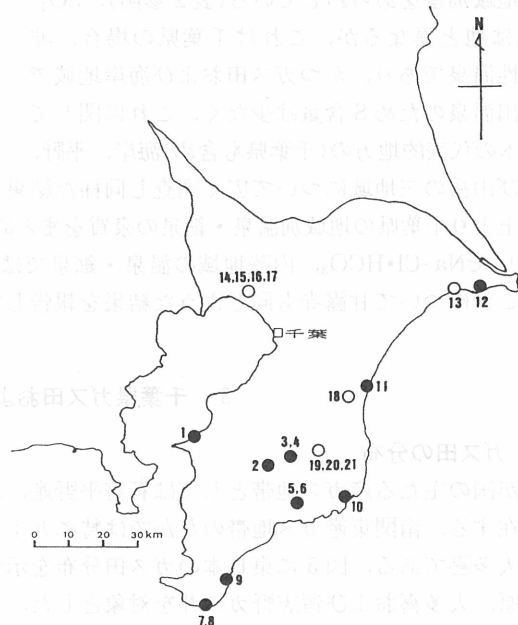


図7 温泉, 鉱泉およびガス田付随水の試料採取地点  
 ●: 温泉, 鉱泉 ○: ガス田

表3 温泉，鉱泉およびガス田付随水の化学成分 (1991.3)

No. 採水地	T.w	pH	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (ppm)	NO <sub>2</sub> -N (ppm)	NO <sub>3</sub> -N (ppm)
1. 青堀	25.6	8.00	4140	112	39.0	70.8	32.8	0.000	0.000
2. 亀山	25.5	8.86	597	14.3	2.88	1.26	4.38	0.000	0.000
3. 養老1	18.3	7.91	1920	54.7	40.2	46.6	34.0	0.000	0.000
4. 養老2	15.0	8.77	392	13.3	4.97	2.53	7.35	0.003	0.008
5. 曾呂1	18.4	8.40	623	5.59	4.81	0.97	2.53	0.007	0.000
6. 曾呂2	10.8	9.06	674	9.70	2.40	0.78	0.549	0.000	0.000
7. 白浜1	10.8	8.19	2280	38.3	34.4	22.1	13.2	—	—
8. 白浜2	16.1	8.69	950	5.49	68.0	22.3	0.006	0.000	1.27
9. 千倉	13.4	8.27	792	11.0	61.5	21.3	1.86	—	—
10. 御宿	15.2	8.65	644	14.0	2.56	0.78	2.46	0.308	1.82
11. 白子	15.3	8.18	68.7	13.2	45.2	34.6	0.000	0.000	0.177
12. 飯岡	17.4	8.23	252	21.6	19.7	13.6	3.56	0.000	0.007
13. 旭	25.2	7.41	11000	265	237	538	124	0.000	0.010
14. 習志野1	34.6	7.40	11720	344	349	340	135	0.001	0.002
15. 習志野2	29.9	7.47	11610	317	279	511	141	0.003	0.000
16. 習志野3	33.7	7.46	11690	324	314	410	142	0.001	0.000
17. 習志野4	31.1	7.46	11660	321	282	478	134	0.002	0.000
18. 茂原	24.6	8.1	11500	316	207	419	242	—	—
19. 大多喜1	24.5	8.0	10100	249	211	273	188	—	—
20. 大多喜2	32.4	8.0	11000	324	259	240	185	—	—
21. 大多喜3	30.6	8.2	11800	361	163	291	240	—	—
22. 海水		8.38	11000	391	410	1387	<0.01	—	—

	PO <sub>4</sub> (ppm)	Cl (mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	HBO <sub>2</sub> (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	Ev. Re (mg/l)	Br (mg/l)	I (mg/l)	Br/Cl (×10 <sup>3</sup> )	I/Cl (×10 <sup>3</sup> )
1	1.32	6350	0.82	952	9.5	59.91	11100	35.8	18.1	5.64	2.85
2	1.88	460	6.67	796	0.45	70.03	1560	1.84	0.45	4.00	0.978
3	2.62	2670	0.82	1040	0.00	66.97	5230	23.0	19.1	8.62	7.15
4	3.44	190	3.64	774	2.3	61.02	1050	1.37	1.1	7.21	5.79
5	3.75	360	30.5	1020	2.3	75.79	1640	1.39	0.53	3.86	1.47
6	3.64	624	23.4	664	3.6	66.12	1760	2.65	0.92	4.25	1.47
7	—	3204	0.70	956	8.27	—	—	12.7	3.35	3.96	1.05
8	0.688	1310	203	283	2.3	50.99	2700	4.54	0.32	3.47	0.244
9	—	1258	78.4	296	1.79	—	—	4.94	0.96	3.93	0.763
10	3.50	123	13.3	1460	0.90	86.50	1700	0.38	—	3.09	—
11	1.24	46.0	16.0	366	0.00	25.65	424	0.12	—	2.61	—
12	5.81	34.5	5.50	771	2.3	51.67	860	0.29	—	8.41	—
13	2.20	18100	0.82	940	11.3	66.12	33400	97.8	51.0	5.40	2.82
14	0.280	19000	1.01	549	0.00	71.54	33160	116	49.8	6.11	2.62
15	0.540	19300	1.50	544	0.00	63.72	33700	111	42.6	5.75	2.21
16	0.240	19400	1.01	561	0.00	71.02	33400	120	49.5	6.19	2.55
17	0.280	19400	1.01	561	0.00	63.38	33700	118	45.1	6.08	2.32
18	—	19420	0.00	1075	14.3	—	—	162	142	8.34	7.31
19	—	16460	0.00	806	11.6	—	—	141	122	8.57	7.41
20	—	18330	0.00	893	16.2	—	—	147	118	8.02	6.44
21	—	19240	0.00	1571	15.2	—	—	168	136	8.73	7.07
22	—	19900	2690	(140)	18.6	—	—	66.7	(0.041)	3.35	0.002

( ) : 文献値

ガス田付随水中に含有する沃素量は茂原の142mg/lを最高に大多喜の136, 122, 118mg/lといずれも100mg/l以上の値を示し，続く旭ガス田は51.0mg/lである．一方習志野ガス井においては49.8mg/lを最高に，49.5, 42.6mg/lを示す，これらの値から外房ガス田付随水にくらべ内湾ガス田付随水に含まれる沃素の含有率は低い．また磯村<sup>17)</sup>によると沃素の量は同一地区では坑井深度が深い程多く，地域別では九十九里浜南部地域に多く，同北部地域に行くに従い減少する．実際，茂原，大多喜にくらべ旭は少ない．このことは上総層群内の層厚変化が著しく，九十九里浜南部地域に厚く，北部地域に薄く銚子に向って収れんしている．特に黄和田層について南部の

大多喜、茂原一帯は厚さ500m以上、北部地域の東金、横芝では300~400m、更に北の旭周辺では100~200mと薄く変化していると同時に報告<sup>18)</sup>している。

尚、HBO<sub>2</sub>については習志野ガス井には全く含有せず、茂原、大多喜においては逆に温・鉱泉より多い。またSO<sub>4</sub>については含量少なく茂原、大多喜などは溶存しない。

### 3.3 温泉、鉱泉およびガス田付随水の成分相互の関係

NaとClの関係を図8に示す、1976~1977年の前回調査と同様に正の相関がみられガス田付随水は海水よりも明らかにNa寄りである。BrとNH<sub>4</sub>-Nの関係でも図9に示すように正の関係がみられガス田付随水の特徴があらわれている。またClと蒸発残渣の関係を図10に示す。両者の間には高い相関が成り立つ。以上の図8、9および10から、これら温・鉱泉はガス付随水が天水によって希釈されて生じたものと考えられる。

尚、ガス田付随水の特徴についてみると図11の如くSO<sub>4</sub>とCa、Mgとの間には相関はなく、付随水にはSO<sub>4</sub>がほとんど存在しない。この点からも温・鉱泉と明らかに異なる。更に特徴の一つであるHBO<sub>2</sub>とClの関係をみると海水の比に対して両者は対称的存在である。すなわち付随水の値は海水に近く、かつ比は小さい、温・鉱泉は大きい(図12および表2参照)。次にHBO<sub>2</sub>含量についてガス田付随水と油田塩水を比べると大きな差がある。野口<sup>19)</sup>や太秦ら<sup>20)</sup>によると油田塩水のHBO<sub>2</sub>は著しく多く最高は北海道目梨の725mg/lが分析されており全て100mg/l以上の値を

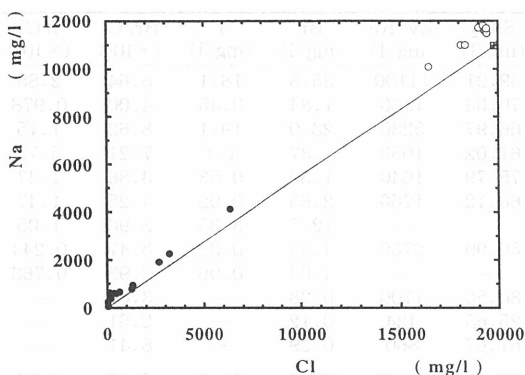


図8 温・鉱泉及びガス田付随水のNaとClの関係  
●：温・鉱泉 ○：ガス田付随水 □：海水

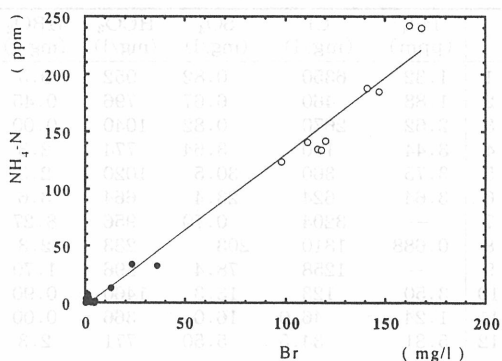


図9 NH<sub>4</sub>-NとBrの関係  
●：温・鉱泉 ○：ガス田付随水

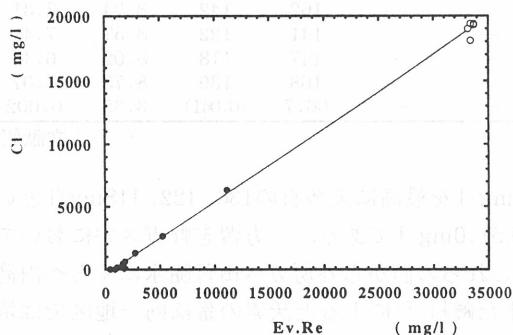


図10 Clと蒸発残渣の関係  
●：温・鉱泉 ○：ガス田付随水

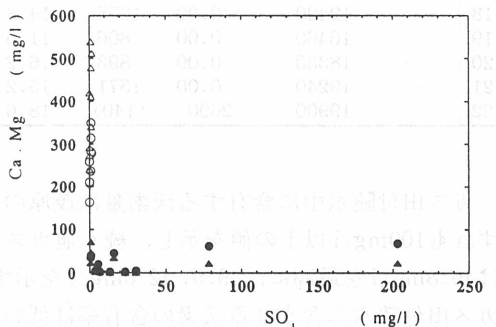


図11 SO<sub>4</sub>とCa、Mgとの関係  
●：Ca(温・鉱泉) ○：Ca(ガス田付随水)  
▲：Mg(温・鉱泉) △：Mg(ガス田付随水)

示す。それに対しガス田付随水では少なく千葉の場合、習志野を除き11.3~16.2mg/l程度である。これはガス田と油田の成因的根拠に基づくものと考えられる。つまり茂原、大多喜ガス田は火山熱は考えられないうえで低い分解温度でメタンが生成されていること、またHBO<sub>2</sub>/Clの比が海水の比に近いことなど勘案するとガス田付随水中のHBO<sub>2</sub>は海水に由来しているとも考えられる。

次にガス田付随水に多量に溶存するBr, Iについて考察すると先ずClに対してBr/Clは7.02×10<sup>-3</sup>, I/Clは4.52×10<sup>-3</sup>で海水のBr/Cl 3.4×10<sup>-3</sup>, I/Cl 2.6×10<sup>-6</sup>の値より共に大きくガス田付随水の成因を考える場合、重要な示唆を与えるものと思われる。そこでBr/ClとI/Clとの関係を見ると(図13参照)両者の間には正の相関が成り立ち、海水をベースにその延長線上に配列している。例えば大多喜、茂原ガス田付随水および養老1、青堀温泉など大きな値に位置し目立つ。また特にI/Clの値から多量に含まれるIの起源について野口<sup>21)</sup>は生物から由来していると報告

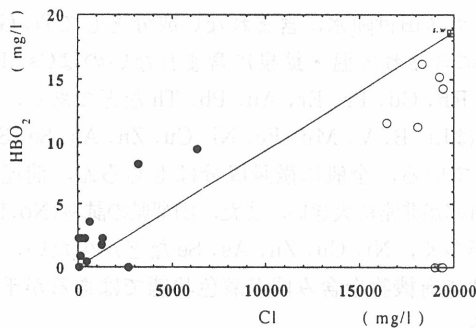


図12 ClとHBO<sub>2</sub>の関係

● : 温・鉱泉 ○ : ガス田付随水

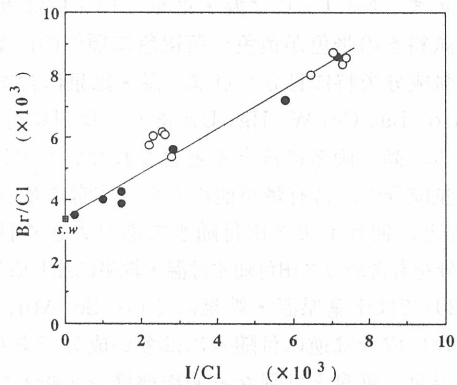


図13 Br/ClとI/Clとの関係

● : 温・鉱泉 ○ : ガス田付随水

表2 温・鉱泉の地域別並びにガス田付随水のClに対する成分比(重量)(平均値)

	内陸地域 温・鉱泉	海岸地域 温・鉱泉	ガス田 付随水	海水	日本の 温・鉱泉
Na/Cl	0.772	0.633	0.605	0.556	0.616
Ca/Cl	0.045	0.031	0.013	0.021	0.176
Mg/Cl	0.018	0.025	0.020	0.066	0.044
SO <sub>4</sub> /Cl	0.029	0.016	0.00002	0.139	1.368
HBO <sub>2</sub> /Cl	0.005	0.001	0.0004	0.0009	0.030
Mg/Ca	0.397	0.812	1.521	3.17	0.253
蒸発残渣/Cl	2.598	1.885	1.679	1.816	3.264 (中性鉱泉)

表4 千葉県温泉、鉱泉およびガス田付随水、並びに油田塩水のBr/Cl, I/Cl, Br/I(重量比)の比較

	Br/Cl	I/Cl	Br/I
温泉、鉱泉	4.92×10 <sup>-3</sup>	2.48×10 <sup>-3</sup>	1.489
ガス田付随水	7.02×10 <sup>-3</sup>	4.52×10 <sup>-3</sup>	1.474
油田塩水	2~8×10 <sup>-3</sup>	2~7×10 <sup>-3</sup>	< 2
海水	3.4×10 <sup>-3</sup>	2.6×10 <sup>-6</sup>	1031



している。褐藻類の海藻(こんぶ)は沃素を多量に含みかつ溶出も非常に大きいことが実験的に証明されている。

尚、温・鉱泉では表4の値が示す如くI/Clは海水より大きく、Br/Iは小さい。海岸近くで湧出している温・鉱泉、例えば白浜2, 千倉などBr/Clの値から推定し、一応海水の混入が考えられる。

### 3.4 温泉、鉱泉およびガス田付随水の微量化学成分

千葉県における温・鉱泉およびガス田付随水の特徴は前述の如く幾つかみられたが、特に非火山性温・鉱泉であると共に地形的背景から海水の影響によると思われるもの、或いはガス田付随水に順ずるものなど、考察するうえで主成分のみでなく微量成分をも含めて検討する必要がある。そこでパーキンエルマージャパン社のELAN5000 ICP-MS装置を用いて分析した。分析結果を表5に示す。No.1~12は温・鉱泉, 13~17はガス田付随水, 尚18~20は千葉県と立地条件は異なるが試料水の帯色が黄色~黄褐色に類似の山梨県内の温泉を比較のため参考に表記した。

微量成分で特に目立つ点は、温・鉱泉に含まれ、ガス田付随水に含まれない成分としてTi, Ge, Y, Mo, La, Ce, W, Hg, Uがあり、反対に付随水に含まれて温・鉱泉に含まれないのはCs, Euである。尚、両者にほとんど含まれないものはBe, Rh, Cd, Pr, Er, Au, Pb, Thなどである。次に微量成分中、含有量が他にくらべ非常に多い成分はLi, B, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Baなど、何れもガス田付随水であり大きく目立っている。全般に微量成分はもちろん、前述の主成分をも含めガス田付随水は温・鉱泉に比し成分含有率が非常に大きい。また、山梨県の試料(No.18, 19, 20)では千葉県温・鉱泉にくらべSc, Mn, Baが多く、Ni, Cu, Zn, As, Seなどが少ない。この少ない成分は逆に付随水には多い成分であり、共に有機物を含み同じ着色状態ではあるが千葉県の温泉、鉱泉とは異なる湧出機構を示唆している。

### 3.5 ガス田付随水の組成

ガス田付随水と海岸地域の温・鉱泉について組成並びに泉質を検討した。その結果を図14, 15に示す。図よりNo.13~21のガス田付随水の組成をみると陽イオンではNaが全ての試料において約90%を占め、次いでMg, Caの順に海水に似た組成であり、陰イオンではClが約95%以上を

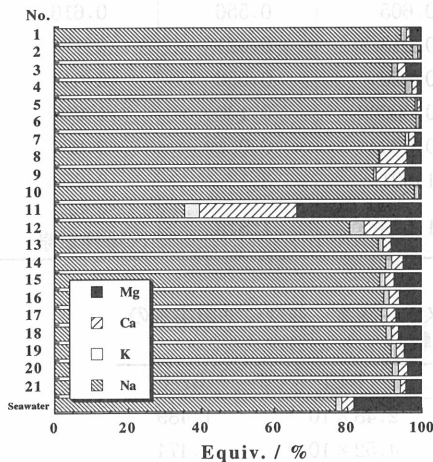


図14 温・鉱泉およびガス田付随水の成分組成 (陽イオン)

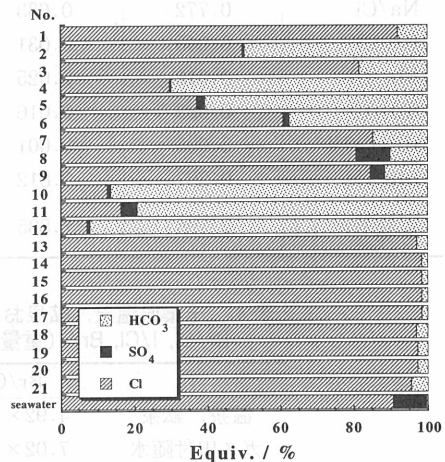


図15 温・鉱泉およびガス田付随水の成分組成 (陰イオン)

表5 温泉, 鉱泉およびガス田付随水の微量化学成分 (1991.3) (ppb)

No.	採水地	Li	Be	B	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Rb				
1.	青堀	63.6	0.00	599	10.6	80.1	46.1	2.65	35.5	1230	0.80	13.8	6.36	14.6	3.45	0.00	17.2	136	42.7				
2.	龜老	10.6	0.00	152	11.0	22.5	5.97	1.33	2.96	740	0.26	1.28	1.89	4.85	0.41	3.77	1.68	8.67	4.34				
3.	養老	35.7	0.00	417	15.3	186	21.8	3.67	16.9	590	1.02	9.39	9.59	12.9	1.22	1.02	8.37	106	20.6				
4.	養老	8.20	0.00	265	9.59	29.4	3.67	1.31	6.12	606	0.29	0.94	2.04	5.43	0.29	2.94	0.82	7.92	4.86				
5.	曾呂	17.1	0.07	1190	12.5	11.6	3.33	1.70	3.26	688	0.34	4.56	11.0	5.51	0.41	2.31	1.22	7.69	2.04				
6.	曾呂	13.3	0.07	765	11.5	8.71	5.85	1.70	6.46	695	0.14	1.56	9.52	30.5	0.27	1.56	1.97	11.2	5.37				
7.	白浜	41.9	0.00	581	10.1	0.00	18.5	3.47	2.31	0	0.29	1.16	6.93	33.5	0.58	0.29	6.06	56.0	11.0				
8.	白浜	10.3	0.00	232	10.3	8.16	10.8	2.35	1.43	623	0.41	7.65	5.10	13.4	0.31	2.24	4.39	22.4	2.24				
9.	千倉	11.1	0.00	135	6.97	183	11.3	0.51	26.3	540	0.40	3.74	4.44	48.3	0.00	0.00	3.74	23.4	4.04				
10.	御宿	19.0	0.00	412	13.9	42.0	4.22	1.36	4.08	118	0.41	1.43	2.45	12.9	0.27	0.61	0.20	0.75	5.44				
11.	白子	4.51	0.00	65.9	4.55	32.4	2.59	0.69	14.3	147	0.27	1.61	4.31	38.2	0.08	0.00	21.9	1.55	3.63				
12.	飯岡	5.03	0.00	408	8.40	144	13.8	2.28	35.9	86.1	0.44	6.22	3.37	9.69	0.65	2.38	2.38	1.26	5.20				
13.	旭	476	0.00	2210	16.4	0.00	135	16.4	166	576	0.00	0.00	239	239	10.3	0.00	41.0	521	92.3				
14.	習志野1	232	2.23	549	13.4	0.00	103	13.4	132	10100	2.23	24.6	53.6	134	0.00	0.00	49.1	507	145				
15.	習志野2	62.5	0.00	389	15.6	0.00	114	4.47	228	1010	2.23	31.3	87.1	219	4.47	0.00	51.4	469	127				
16.	習志野3	161	0.00	456	15.6	0.00	114	20.1	154	1560	2.23	150	87.1	125	60.3	0.00	51.4	377	130				
17.	習志野4	96.0	0.00	395	13.4	0.00	116	13.4	183	10100	2.23	20.1	49.1	82.6	4.47	0.00	60.3	366	134				
18.	赤坂台	18.0	0.00	878	4.70	0.00	4.60	0.56	117	588	0.20	1.26	0.56	22.1	0.20	1.01	1.72	9.04	8.99				
19.	昭和	32.6	0.00	122	14.3	11.9	0.26	0.28	50.4	343	0.24	0.34	0.26	1.64	0.08	0.36	0.32	0.00	5.54				
20.	田宮	19.9	0.00	202	14.4	0.47	1.21	0.34	45.8	890	0.40	0.74	0.67	2.49	0.10	0.14	0.44	1.45	20.4				
21.	青柳	28.6	0.00	136	16.5	1.26	0.48	0.30	35.0	2500	0.30	0.43	6.36	9.52	0.10	0.20	0.18	0.66	12.5				
Sr		V	Mo	Ru	Rh	Ag	Cd	Sb	Te	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Eu	Er	W	Au	Hg	Pb	Th	U
1	6660	0.53	0.27	0.27	0.80	1.33	0.00	0.00	2.39	0.80	51.2	0.27	1.33	0.27	1.06	0.00	0.00	0.00	0.00	14.3	0.00	0.00	0.27
2	146	0.10	2.86	0.00	0.05	0.15	0.00	0.05	0.77	0.05	7.86	0.10	0.20	0.00	0.15	0.00	0.05	0.56	0.00	1.68	0.00	0.00	0.05
3	762	0.20	0.82	0.20	0.20	0.82	0.00	0.00	2.86	0.20	76.5	0.00	0.20	0.00	0.41	0.00	0.00	0.20	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00
4	45.0	0.12	1.63	0.00	0.04	0.08	0.00	0.04	0.04	0.08	3.59	0.12	0.33	0.04	0.25	0.00	0.04	0.37	0.00	0.16	0.00	0.04	0.04
5	57.9	0.34	0.75	0.00	0.14	0.00	0.07	1.29	0.00	44.8	0.41	1.29	0.20	0.54	0.07	0.07	3.81	0.00	0.95	0.00	0.00	0.20	0.14
6	57.3	0.41	0.27	0.00	0.00	0.14	5.85	0.00	1.50	0.00	57.1	0.20	0.75	0.14	0.41	0.00	0.07	0.88	0.00	0.00	0.14	0.07	0.07
7	576	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	287	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	273	0.00	4.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	6.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00
9	447	0.20	0.91	0.00	0.00	0.20	0.00	0.10	0.00	0.00	45.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.10
10	56.7	0.34	7.28	0.00	0.00	0.00	0.27	0.27	0.07	7.69	0.20	0.54	0.07	0.07	0.00	0.07	1.09	0.00	0.34	0.00	0.00	0.07	0.07
11	395	0.02	0.88	0.02	0.02	0.00	0.10	9.71	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.59
12	116	0.75	0.41	0.03	0.00	0.00	0.14	0.00	0.03	10.2	0.92	2.69	0.41	0.41	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.14	0.14
13	15600	0.00	0.00	4.10	0.00	0.00	0.00	2.05	26.7	2.05	15100	0.00	0.00	0.00	0.00	8.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	7530	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.70	4.47	991	0.00	0.00	0.00	2.23	2.23	0.00	0.00	2.23	0.00	46.9	0.00	0.00
15	5830	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.23	690	0.00	0.00	0.00	2.23	2.23	0.00	0.00	2.23	0.00	0.00	2.23	0.00
16	6740	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.23	945	0.00	0.00	0.00	2.23	2.23	0.00	0.00	2.23	0.00	0.00	2.23	0.00
17	6120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.23	766	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.23	0.00
18	171	0.00	0.20	0.00	0.00	0.10	0.20	0.15	0.00	3.13	7.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	83.9	0.00	2.63	0.00	0.00	0.00	0.00
19	202	0.00	5.80	0.00	0.02	0.02	0.02	0.22	0.00	0.14	38.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	251	0.00	0.27	0.00	0.03	0.07	0.03	0.14	0.00	0.30	88.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	174	0.02	1.34	0.00	0.03	0.00	0.03	0.08	0.00	0.23	75.2	0.03	0.03	0.00	0.00	0.05	0.00	0.56	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00

占め、次いで僅かにHCO<sub>3</sub>があらわれている。以上よりガス田付随水の主たる組成はNa-Clで表わす。故に濃厚な塩水として別名“鹹水”と一般に呼ばれている。

次にNo.1~11の温泉、鉱泉では陽イオンはNa, 続いてCa, Mgの順で付随水とはCa, Mgが置き換っている。陰イオンではHCO<sub>3</sub>の50%以上の試料が半数に達しHCO<sub>3</sub>>ClとCl>HCO<sub>3</sub>の2種類に分けられる。以上より泉質はNa-Cl, Na-HCO<sub>3</sub>およびNa-Cl・HCO<sub>3</sub>などで表わされる。この結果は前回(1976~77)と同様であった。特にNo.11はNa・Mg・Ca-HCO<sub>3</sub>の型で他と異なる。

### 3.6 化学成分と温泉生物

温泉、並びにその周辺は生物の適応いかんによっては最も相応しい生息できる環境である。温泉水の泉温, pH, そして化学成分(主にS, N, P, C, Cl)に関係が深く<sup>22)</sup>, それゆえ泉質は生息する生物の種類および数を左右する。

千葉県の温・鉱泉は塩分(NaCl)濃度が濃く、有機物を含む源泉が多い、この試料水ならびに沈殿物中の微生物について調べた。その結果、試料採取の全地点からバクテリアは検出され、他の緑藻類(algae), ケイ藻類(diatoma)および原生動物(protozoa)などのうちケイ藻類は全く検出されない(表6, 7参照)。尚、バクテリアについてNaClの耐性実験を行った結果、NaClの10%, 12%, 16%(w/v)の濃厚液の培地において非常によく増殖することが観察された。特に青堀, 習志野, 旭の各源泉に生息しているバクテリアは16%の高い食塩濃度で増殖していることから、これら細菌は好塩菌で、生息するのに最も適した環境であったと考えられる。また図16の写真13-1は典型的好塩菌のstaphylococcusで旭の源泉より検出されたもので注目し値する。

以上より千葉県の温・鉱泉では山岳地帯の硫黄泉などにみられるケイ藻類は皆無で、むしろ緑藻類が目立ち、特にNaClに強い好塩菌などの生息が、温・鉱泉の泉質と相俟て生存分布しているのが特徴である。

表6 千葉県内の温泉に生息する微生物の種類と分布

試料採取地点	バクテリア	緑藻類	ケイ藻類	原生動物
1. 青堀	+	-	-	-
2. 亀山	+	-	-	+
3. 養老1	+	+	-	+
4. 養老2	+	+	-	+
5. 曾呂1	+	+	-	+
6. 曾呂2	+	+	-	-
8. 白浜2	+	-	-	-
10. 御宿	+	-	-	-
11. 白子	+	-	-	-
12. 飯岡	+	+	-	+
13. 旭	+	-	-	-
14. 習志野1	+	+	-	-
15. 習志野2	+	+	-	+
16. 習志野3	+	+	-	-
17. 習志野4	+	+	-	-

+: 検出, -: 非検出

表7 千葉県内の温泉に生息する細菌の食塩耐性試験

試料採取地点	NaCl 濃度 (%(w/v))				
	6	8	10	12	16
1. 青堀	++	++	++	++	++
2. 亀山	+	-	-	/	/
3. 養老1	++	+	-	/	/
4. 養老2	+	w+	-	/	/
5. 曾呂1	w+	w+	-	/	/
6. 曾呂2	+	w+	-	/	/
8. 白浜2	++	w+	-	/	/
10. 御宿	w+	-	-	/	/
11. 白子	+	w+	-	/	/
12. 飯岡	++	++	w+	/	/
13. 旭	++	++	++	++	++
14. 習志野1	++	++	++	++	++
15. 習志野2	++	-	-	/	/
16. 習志野3	++	+	-	/	/
17. 習志野4	++	+	-	/	/

w+ : 弱い増殖が認められた + : 増殖が認められた

++ : 非常によい増殖が認められた - : 増殖は認められなかった

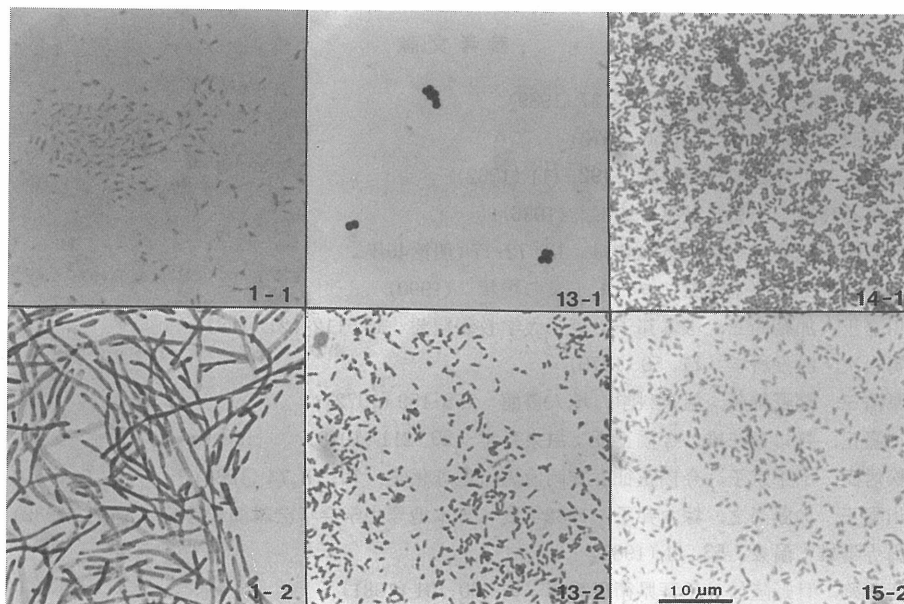


図16 千葉県内の温泉から分離された細菌のグラム染色所見(光学顕微鏡所見)

#### 4 おわりに

以上を総括すると千葉県の温泉，鉱泉の化学は，(1)泉質：海岸地域はNa-Cl強塩泉(強食塩泉)，Na-Cl・HCO<sub>3</sub>泉(含重曹食塩泉)であり，内陸地域ではNa-Cl・HCO<sub>3</sub>泉，Na-HCO<sub>3</sub>泉(純重曹泉)の順である。(2)泉温：25℃未満は52源泉，25～42℃11源泉と非火山性地帯特有の低温度の温泉，

鉱泉である。(3)pH: 7.0~9.2を示し(平均値8.2)49点中pH>8.0が38点, 最高が9.2で大部分が海水の8.2に近い。(4)性状: 49源泉中6点が無色で他は全て淡黄色から暗褐色を呈し, 有機物(フミン物質)を含んでいる。(5)千葉県特有のガス田付随水は上総層群分布内に存在し多量な沃素を含みヨードの工業生産が行われている。(6)ガス田付随水中の沃素は茂原の142mg/lを最高に大多喜の136, 122, 118mg/l, 次いで旭は49.5, 習志野ガス井1, 2, 3では49.8mg/lを最高に49.5, 42.6mg/lと九十九里産ガス地帯より内湾の沃素含有率は劣る。(7)ガス田付随水の成分組成は含I-Na-Cl泉(含ヨウ素食塩水)で沃素は生物を起源とし, NaClは旧海水に因る。(8)温泉生物はここでは濃い食塩水中でも増殖する好塩菌が生息しているほか緑藻類が生存する。(9)化学成分の特徴: 全試料ともBr, Iが非常に多く, Br/Cl(重量比)温・鉱泉 $4.92 \times 10^{-3}$ , ガス田付随水 $7.02 \times 10^{-3}$ で海水の $3.4 \times 10^{-3}$ より大きい。同じようにI/Clは $2.48 \times 10^{-3}$ ,  $4.52 \times 10^{-3}$ で海水の $2.6 \times 10^{-6}$ よりも大きい。尚, Br/Iでは温・鉱泉1.489, 付随水1.474で海水の1031に比べ非常に小さい。結局I含量が多くBr/Iの比はほぼ等しい点など勘案すると千葉県の海岸地域の温・鉱泉とガス田付随水は起源が同じものであると考えられる。他にNa 11800mg/l(海水11000), Cl 19420mg/l(海水18900)ともに海水の含量より多く特徴の一つである。また微量成分のの温・鉱泉とガス田付随水との差異は両者の特徴づけとガス田付随水の利用に役立つと思われる。尚, 微量元素の温・鉱泉入浴時での生理的, 薬理的作用について更に関係者による研究を是非お願いしたい。

おわりに当り東邦大学理学部基礎化学教室, 医学部生物学研究室並びに化学研究室より分析資料の提供や種々ご協力いただいたことをここに記して厚く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 千葉県業務課: 業務行政概要 137 (1989)
- 2) 佐藤幸三: 温泉化学 24, 56 (1973)
- 3) 地質調査所: 地質調査所報告 192, 111 (1962)
- 4) 千葉県業務課: 千葉県温泉ガイド (1986)
- 5) 内務省衛生試験所: 衛生試験彙報 12, 72-77 (明治45年)
- 6) 千葉県商工労働部工業課: ヨード工業の現状 (1990)
- 7) 相川嘉正, 加藤尚三, 塚本邦子: 東邦大学教養紀要 13, 112-121 (1981)
- 8) 岩崎岩次: 温泉科学 21, 50 (1970)
- 9) 湯原浩三, 瀬野錦蔵: 温泉科学, 地人書館 158-159 (1972)
- 10) 相川嘉正, 野口喜三雄, 今橋正征: 温泉科学 29, 211 (1978)
- 11) 高松信樹, 下平京子, 今橋正征, 吉岡龍馬: 地球化学 15, 73, 74 (1981)
- 12) 相川嘉正, 加藤尚之, 塚本邦子: 1982年度 日本地球化学会年会講演要旨集 3A11 (1982)
- 13) 甘露寺泰雄: 温泉 53, 11 (1985)
- 14) 小室芳殉, 日野隆信: 千葉県衛研報告 5, 100, 101 (1981)
- 15) 山岸忠夫: 山岸忠夫退官記念事業会 4-30 (1960)
- 16) 地質調査所: 日本鉱産誌 v-6 316-328 (1957)
- 17) 18) 磯村泰治: 岩石鉱物鉱床学会誌 58, 189-195 (1967)
- 19) 野口喜三雄: 用水と廃水 2, 511-513 (1965)
- 20) 太秦康光, 那須義和: 日本化学雑誌 81, 52-54 (1960)
- 21) 野口喜三雄, 森崎重喜: 日本化学雑誌 92, 148-149 (1970)
- 22) 江本義数: 温泉工学会誌 6, 29, 30 (1968)