

1988～1997年に山口県内で開発された温泉 及び冷鉱泉の化学成分について

山口県衛生公害研究センター

歳弘克史・藤原美智子・北山光正

岡 日出生・宮村恵宣

Chemical Constituents in Thermal and Mineral Waters of the Springs Newly Developed in Yamaguchi Prefecture During 1988～1997

Katsushi TOSHIHIRO, Michiko FUJIWARA, Mitsumasa KITAYAMA

Hideo OKA, Shigenori MIYAMURA

Yamaguchi Prefectural Research Institute of Health

はじめに

1988年3月までに開発された山口県内の温泉の源泉数は約300で、このうち古くから山口市の湯田温泉、長門市の湯本温泉、俵山温泉及び豊浦町の川棚温泉が防長四湯としてよく知られ利用されている。また、熊毛町三丘温泉、徳山市湯野温泉、宇部市持世寺温泉、山口市宮野温泉、豊田町一の俣温泉、三隅町湯免温泉なども歴史と伝統があり人々に親しまれている。これらの温泉地では、温泉保護の立場から新規の温泉掘さくは極めて困難であるが、国民の健康志向が大いに高まっている今日、各自治体における活性化対策の一つとして、「ふるさと創生事業」による温泉開発が行われた。また、その他の地域においても病院での治療目的、レジャー施設での温泉開発など新規に掘さくが行われた。

1988年4月～1997年3月の間に、温泉法に基づき新規に掘さくされた源泉及び既存源泉の再分析など147件の鉱泉中分析を実施したが、このうち、新規に掘さくされ温泉に該当した源泉数は66か所であった。これらの温泉の泉温、PH、溶存物質総量、湧出量、ボーリング深度、ラドン濃度、泉質及び微量有害成分の特徴について検討した。

調査方法

1988年4月から1997年3月までの10年間に、山口県下で新規に掘さくされた源泉の化学成分を鉱泉分析法指針¹⁾(指針)に従って分析した。

結果及び考察

1. 源泉の地理的分布

新たに開発された源泉は、山口県内ほぼ全域にわたって分布している。

源泉を泉温25℃以上の温泉と25℃未満の冷鉱泉及び泉質名のつかない鉱泉の3種に分類し図1に示した。

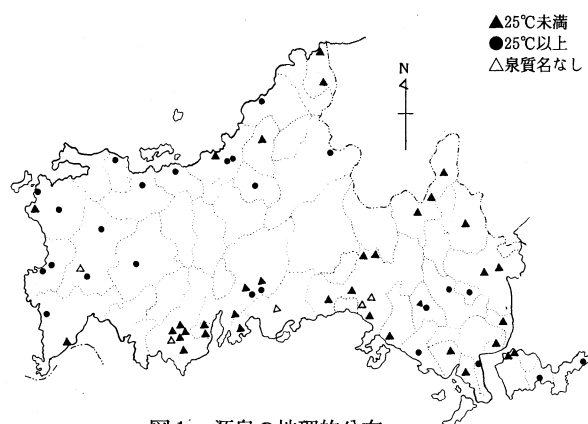


図1 源泉の地理的分布

2. 温泉及び冷鉱泉の化学成分

各源泉の所在地、湧出状況、泉温及び主要化学成分を分析年月順に表1に示した。主要成分等については、次のとおりである。

(1) 泉温

温泉は、指針の泉温分類により低温泉(水温が25～34℃未満)、温泉(34～42℃未満)及び高温泉(42℃以上)の3種に大別されており、水温が25℃未満のものを冷鉱泉としている。県内各源泉の泉温別の度数分布を図2に示した。冷鉱泉は43か所(65.2%)、低温泉は16か所(24.2%)、温泉は6か所(9.1%)、高温泉は1か所(1.5%)であり、冷鉱泉が最も多かった。県下全域の源泉温度範囲は14.5～43.3℃、平均22.8℃であった。

表1 温泉及び冷鉱泉の化学成分等

NO	分析年月	所在地	泉温 ℃	pH	溶存物質総量 mg/kg	Rn ×10 ⁻¹⁰ Ci/kg	湧出量 L/分	深度 m	ふっ素 mg/kg	メタけい酸 mg/kg
1	1988. 6	徳山市	14.6	8.44	115	32.2	136.5	250	0.03	21.73
2	" 10	岩国市	16.8	9.50	159	120.2	63.6	90	0.86	30.16
3	" 10	徳山市	18.7	6.90	164	48.9	35.0	100	1.93	59.28
4	" 12	大畠町	21.4	9.69	142	31.2	95.4	800	6.25	35.90
5	1989. 6	山口市	16.4	7.48	186	37.5	7.6	40	1.70	33.40
6	" 6	秋穂町	17.2	5.60	123	101.7	366.0	52	0.70	38.91
7	" 10	長門市	26.4	7.20	16356	18.7	140.8	800	0.38	23.17
8	" 12	阿武町	31.6	7.20	11052	28.2	107.6	1000	0.00	29.89
9	" 12	山口市	16.5	7.32	332	43.9	183.0	107	0.00	33.31
10	1990. 2	萩市	17.6	7.98	33514	19.3	33.9	106.3	1.07	17.90
11	" 3	宇部市	17.1	6.42	90	263.6	15.6	100	0.05	46.80
12	" 3	徳山市	18.2	8.20	147	243.5	203.3	150	1.70	24.62
13	" 4	錦町	19.9	6.80	1464	1297	183.0	80	0.18	56.51
14	" 6	阿知須町	18.9	7.60	249	205.8	481.6	44	1.30	33.98
15	" 6	下関市	26.0	9.46	154	2.2	23.9	20	0.32	38.09
16	" 6	豊浦町	30.9	7.19	25587	29.6	231.6	1000	0.00	17.06
17	" 7	"	31.6	9.86	195	9.4	366.0	1000	4.10	24.39
18	" 7	田万川町	19.8	6.88	195	36.4	33.3	69	0.00	20.03
19	" 7	下関市	20.5	7.64	2362	58.9	73.2	400	0.00	20.03
20	" 8	徳山市	15.8	6.51	4731	4.8	44.6	80	0.20	85.54
21	" 9	萩市	36.6	8.36	5224	12.3	228.8	2000	0.35	17.45
22	" 12	徳山市	18.4	8.03	287	25.7	76.2	219	0.00	31.23
23	1991. 3	三隅町	36.1	9.10	219	4.9	56.1	506	6.08	47.22
24	" 3	徳山市	16.3	6.40	157	26.2	32.5	100	0.00	39.62
25	" 6	菊川町	36.4	7.88	1460	17.2	858.0	300	1.59	88.82
26	" 9	美和町	20.0	7.78	161	423.0	13.0	200	4.36	42.95
27	" 9	川上村	34.7	10.01	190	10.6	258.0	1002	7.17	34.43
28	" 9	田布施町	16.6	6.50	87	42.2	48.2	120	0.00	21.48
29	" 10	柳井市	25.1	7.99	360	9.4	3.5	1000	0.70	40.11
30	" 11	周東町	28.1	9.79	158	113.5	159.7	285	4.77	27.23
31	" 12	宇部市	17.6	8.40	169	281.0	89.3	200	4.14	26.61
32	1992. 2	豊北町	39.4	7.58	6887	17.9	101.0	1500	1.09	22.27
33	" 2	"	18.2	7.28	20743	17.4	9.2	120	0.00	19.11

NO	分析年月	所在地	泉温 ℃	pH	溶存物質総量 mg/kg	Rn ×10 ⁻¹⁰ Ci/kg	湧出量 L/分	深度 m	ふっ素 mg/kg	メタけい酸 mg/kg
34	1992. 2	熊毛町	27.8	9.24	292	412.6	600.0	253	7.82	27.30
35	" 5	田万川町	22.5	7.35	3254	21.4	35.2	1341	0.69	22.04
36	" 7	大島町	18.7	7.98	229	34.6	52.3	300	0.29	13.92
37	" 8	日置町	27.2	9.52	177	26.1	118.1	485	2.99	25.27
38	" 9	徳山市	17.2	6.27	120	110.5	52.3	250	0.34	24.74
39	" 11	美祿市	25.2	8.62	153	33.6	203.0	1000	3.05	24.49
40	1992. 12	由宇町	17.2	7.26	171	76.9	7.4	60	0.30	20.82
41	1993. 2	阿東町	30.0	6.88	1909	80.1	77.5	1200	3.97	76.09
42	" 2	岩国市	14.5	8.33	129	48.2	24.4	80	0.01	11.72
43	" 3	東和町	25.8	8.10	4930	59.5	225.1	1000	6.11	18.78
44	" 3	山口市	16.7	6.98	197	90.5	240.0	93	1.41	35.52
45	" 5	宇部市	20.8	7.95	185	201.5	74.7	1000	3.68	23.55
46	" 5	玖珂町	19.0	8.21	150	81.1	5.8	150	0.58	13.35
47	" 7	宇部市	17.1	7.76	180	38.6	38.1	230	0.98	25.00
48	" 8	橘町	25.0	7.16	31582	75.6	53.8	1000	0.86	12.05
49	" 8	宇部市	17.8	7.48	240	68.3	107.6	250	0.75	25.36
50	" 9	錦町	18.1	7.11	3151	5.2	52.3	60	1.88	64.35
51	" 10	阿知須町	17.0	5.90	1299	113.2	228.8	100	0.02	31.15
52	" 11	大島町	17.7	7.76	1115	14.7	61.0	78	2.62	28.51
53	1994. 7	山口市	29.0	9.86	175	8.1	130.7	970	0.38	0.00
54	1995. 1	"	21.0	9.45	137	45.1	49.5	140	5.87	22.10
55	" 2	熊毛町	16.1	6.30	196	36.4	20.6	115	0.05	30.05
56	" 8	萩市	43.3	9.06	1039	4.8	85.6	2350	2.31	15.59
57	" 8	豊浦町	40.8	8.18	1748	42.9	186.7	50	1.00	16.95
58	" 11	福栄村	23.6	6.18	4165	2.9	2094	755	2.91	115.3
59	1996. 2	菊川町	17.5	7.98	165	5.3	5.2	500	2.96	19.73
60	" 2	豊田町	29.1	9.92	236	5.6	1118	100	5.57	0.00
61	" 6	宇部市	17.2	8.10	296	1.9	8.3	98	0.09	56.56
62	" 8	防府市	18.1	6.16	241	22.3	18.3	10.5	0.11	66.77
63	" 9	下松市	24.7	9.86	4967	2.8	52.3	1200	1.06	10.69
64	" 10	錦町	23.0	7.51	1038	32.3	1118	1000	6.96	64.06
65	" 11	平生町	18.6	6.80	13797	12.8	130.7	140	0.00	60.80
66	" 12	光市	27.6	8.08	815	11.3	186.3	1200	10.66	27.55

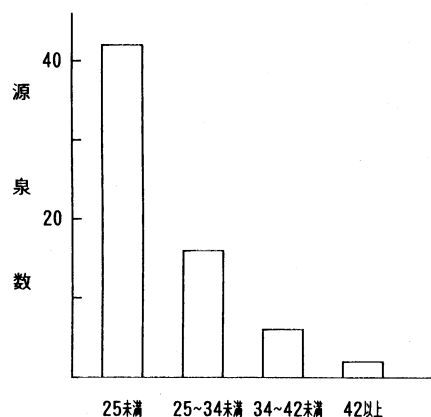


図2 泉温の度数分布 (°C)

(2) pH

指針の液性分類に従ったpHの度数分布を図3に示した。pH 6未満の弱酸性の温泉は2か所(3.0%), pH 6以上7.5未満の中性の温泉は25か所(37.9%), pH 7.5以上8.5未満の弱アルカリ性の温泉は24か所(36.4%), pH 8.5以上のアルカリ性の温泉は15か所(22.7%)で、中性から弱アルカリ性の温泉が大多数であった。また、アルカリ性の温泉は既存源泉と同様に県下に広く分布していた。

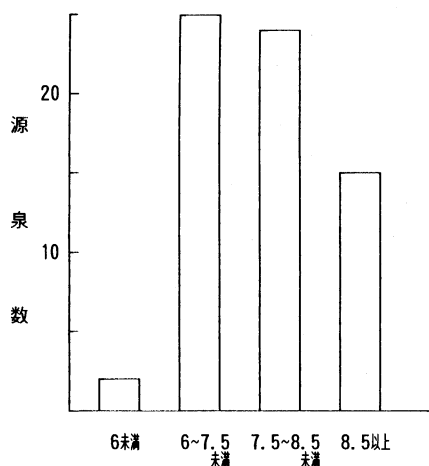


図3 pHの度数分布

(3) 溶存物質総量 (ガス成分を除く)

陽イオン、陰イオンの各イオンにメタけい酸、メタほう酸の合計(ガス成分を除く)が溶存物質で、温泉法では総量1g/kg以上のものに対して陰イオンの主成分名を付けた塩類泉としている。また、温泉及び冷鉱泉の浸透圧を溶存物質総量により、8g/kg未満の低張性、8~10g/kg未満の等張性、10g/kg以上の高張性に分類した。低張性の源泉は59か所(89.4%)で、このうち溶存物質総量が1g/kg

未満を示す源泉は、42か所(63.6%)であった。等張性の源泉は1か所もなかった。高張性の源泉は7か所(10.6%)で、主成分はナトリウムイオンと塩素イオンであり、日本海沿岸部、瀬戸内海沿岸部に分布していた。県下全域の溶存物質総量の範囲は、0.115~33.59g/kg、平均3.293g/kgであった。

(4) 湧出量

県内66源泉の1分間当たりの湧出量を測定し、結果を表2に示した。大多数の源泉が動力ポンプを用いるものであったが、自噴泉が9か所(13.6%)あった。自噴泉の湧出量の範囲は8.3~2094L/分であった。

湧出量が100L/分未満の源泉が37か所と最も多く全体の56.1%を占めていた。

県下全域の湧出量の範囲は3.5~2094L/分、平均185.1L/分であった。最高の湧出量を示した阿武町の2094L/分を除く平均値は155.7L/分であった。湧出量の多少は水中ポンプの能力やボーリング口径等にも関係するが、本県の口径はほとんどの源泉で3~5インチであった。

表2 湧出量の分類

湧出量 (L/分)	源泉数
~ 10	7
10 ~ 30未満	6
30 ~ 50未満	9
50 ~ 70未満	8
70 ~ 100未満	7
100 ~ 200未満	13
200以上	16

(5) ボーリング深度

近年、温泉掘さく技術の著しい進歩に伴い、温泉開発にあたっては泉温がより高く、水量の多い源泉を追求している。このため、ボーリング深度(深度)は以前に比べ高深度になっている傾向がある。図4に深度の分布を示した。

深度200m未満の源泉は30か所(45.4%)と最も多く、深度が1000mを超える深層源泉は17か所(25.8%)ある。深層源泉のうち、「ふるさと創生事業」によるものは12か所であった。

新たに開発された温泉地で、自然湧出や浅い地層からラドン(Rn)を含有する放射能泉は湧出するが、25°C以上の温泉が湧出する事は極めて少なかった。

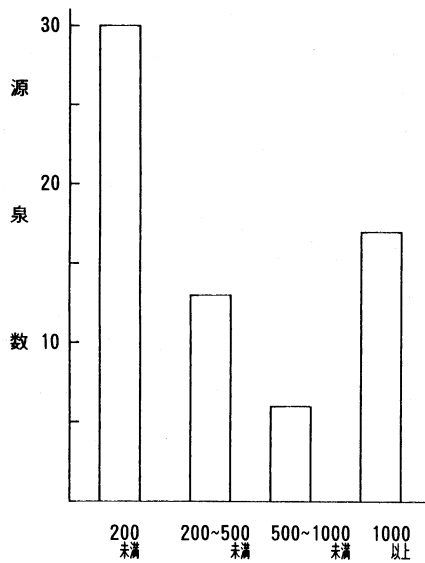


図4 ボーリング深度の度数分布 (m)

表3に源泉の深度と温度について分類した。

深度200m未満の源泉は、川棚温泉、一の保温泉及び下関市の3か所を除けば、いずれも25℃未満の冷鉱泉であった。

表3 源泉の掘さく深度と温度による分類

掘さく深度 (m)	源泉数	泉温による分類			
		高温泉	温泉	低温泉	冷鉱泉
0 ≤ < 200	30	0	1	2	27
200 ≤ < 500	13	0	1	3	9
500 ≤ < 1000	6	0	1	2	3
1000 ≤	17	1	3	9	4
合計	66	1	6	16	43

1000m以上の深層源泉17か所から湧出した源泉のうち、高温泉は僅かに1か所、温泉は3か所、低温泉は9か所で、他の源泉4か所は水温が20℃以上あったものの温泉基準値25℃に満たなかった。深度と水温の相関をみると、深度が増すほど水温は高くなっていく傾向があり、相関係数R=0.68と有意な相関がみられた。布浦ら²⁾も同様の報告をしている。山口県の温泉は非火山性温泉であり、湯田温泉地域以外には高温泉は期待できないが、新規に掘さくされた深層源泉のうち、坑底温度は35℃以上あっても、地上に湧出した時の水温が25℃未満に低下したものが13源泉あった。一般的に地熱の増温率は、3℃/100mであり²⁾、山口県の平均地下水温は17℃であることから、掘さく深度が大きくなるにつれ、水温の高い温泉が湧出するはずであるが、現実には源泉

の水位が低く、湧出量が少ないため、揚水中に水温低下があること、水温の低い地下水の混入など揚水方法等に起因するものと思われる。

(6) ラドン濃度

山口県の地質の大半が黒雲母花崗岩であることから、Rnを含有する地下水が多く存在することは明らかである³⁾。調査した66か所の源泉のうち、Rnを含有する放射能泉の地質を山口県地質図⁴⁾に重ね合わせてみると、いずれも花崗岩類であった。Rn濃度を指針の放射能泉の泉質の分類に従って、Rn20×10⁻¹⁰Ci/kg未満(温泉には該当しない)、Rn20~30×10⁻¹⁰Ci/kg(温泉に該当)、Rn30~181×10⁻¹⁰Ci/kg(療養泉：単純弱放射能冷鉱泉)、Rn181×10⁻¹⁰Ci/kg以上(療養泉：単純放射能冷鉱泉)の4種に分類し度数分布を図5に示した。Rn20×10⁻¹⁰Ci/kg未満の源泉は23か所(34.8%)、20~30×10⁻¹⁰Ci/kgの源泉7か所(10.6%)、30~181×10⁻¹⁰Ci/kgの源泉28か所(42.4%)、181×10⁻¹⁰Ci/kg以上の源泉は8か所(12.1%)で、県下全域のRn濃度の範囲は1.9~1297×10⁻¹⁰Ci/kg、平均82.74×10⁻¹⁰Ci/kgであった。最高値を示した錦町のRn1297×10⁻¹⁰Ci/kgを除く平均は64.1×10⁻¹⁰Ci/kgであった。

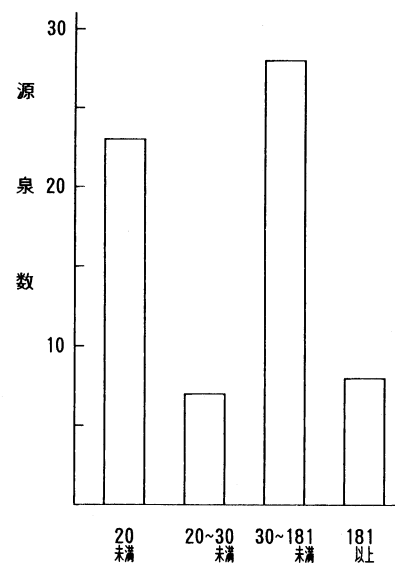


図5 Rn濃度の度数分布 (×10⁻¹⁰Ci/kg)

(7) 泉質の分類

調査した66か所の源泉の泉質を指針により分類し表4に示した。

泉質名はつかないが、含有成分が温泉法に適合した源泉は、Rn2か所、メタけい酸1か所、ふっ素1か所、鉄1か所の計5か所であった。

表4 源泉の泉質名の分類

泉 質 名	源泉数
単純弱放射能冷鉱泉	20
単純弱放射能温泉	2
単純放射能冷鉱泉	5
単純放射能温泉	1
アルカリ性単純温泉	5
単純温泉	2
含弱放射能-ナトリウム-炭酸水素塩・塩化物温泉	1
含弱放射能-カルシウム・ナトリウム-塩化物冷鉱泉	1
含放射能-ナトリウム-炭酸水素塩・塩化物冷鉱泉	2
含弱放射能-ナトリウム-塩化物冷鉱泉	1
含弱放射能-ナトリウム-塩化物温泉	2
含弱放射能-ナトリウム・カルシウム-塩化物強塩温泉	1
ナトリウム・カルシウム-塩化物冷鉱泉*	5
ナトリウム-塩化物強塩冷鉱泉*	2
カルシウム・ナトリウム-塩化物温泉*	5
カルシウム・ナトリウム-塩化物強塩温泉*	2
アルカリ性単純硫黄温泉	2
含二酸化炭素-ナトリウム-炭酸水素塩・塩化物冷鉱泉	2
泉質名なし	5

* 食塩泉系列

単純弱放射能冷鉱泉が20か所 (30.3%) と最も多かった。

食塩泉系列は14か所 (21.2%) と多いが、これらの温泉の化学成分はいずれも海水の組成とは若干異なり、岩盤から湧出する化石海水と思われる。

県内では比較的珍しい二酸化炭素を多量に含む泉質の源泉が福栄村及び徳山市で開発された。その泉質名は含二酸化炭素・ナトリウム・炭酸水素塩-塩化物冷鉱泉で共に自噴泉である。また、硫黄を含んだアルカリ性単純硫黄温泉が山口市及び豊田町でそれぞれ1か所づつ開発された。

(8) 微量有害成分

温泉の利用形態は浴用だけでなく、飲用許可を得ていない源泉においても、今日国民の健康志向の高まりなどに伴い、飲用利用者が増して来ていることが十分考えられる。

環境庁は、昭和50年に温泉の適正な利用を目的とした温泉飲用に伴う公衆衛生上の安全確保を図るため、ひ素、銅、鉛、ふっ素、水銀及び遊離炭酸について飲用許容量を定めた⁵⁾。

各成分の飲用許容量 (一日の総摂取量) は、ひ素 0.3mg、銅 2 mg、鉛 0.2mg、ふっ素 1.6mg、水銀 0.002mg、遊離炭酸1回につき1000mgと規定されている。

指針により分析した66源泉のうち、ふっ素については、県下全域の濃度範囲は1kg中0.0~10.66mg、平均2.08mgで、ふっ素含量が1.6mgを超える源泉が25か所あり、飲用に当たっては飲み過ぎないように注意が必要である。ふっ素濃度の最も高い源泉は光市の10.66mgで、飲用許容量は150mL/日である。他の成分についてはいずれも許容量以下であった。

(9) 各成分間の相関

泉温、湧出量、深度、Rn、pH、ふっ素、メタけい酸及び溶存物質総量の相関を表5に示した。最も相関の高かったものは深度と泉温で、相関係数はR=0.68あり、温泉水の湧出の要因が地熱によることを表している。

ふっ素とpHにR=0.55の正の相関が認められたが、県内の既存源泉のふっ素とpHの関係をみてみると、ふっ素濃度が高い源泉のpHは、アルカリ性のものが多く、布浦ら²⁾及び酒井ら⁶⁾の報告と同様であった。また、泉温とpHにR=0.43、メタけい酸と湧出量にR=0.43とそれぞれ正の相関が認められた。

表5 各成分間の相関

	泉温	湧出量	深度	Rn	pH	ふっ素	メタけい酸	溶存物質総量
泉 温	1							
湧 出 量	0.215	1						
深 度	0.678	0.091	1					
Rn	-0.141	-0.00	-0.198	1				
pH	0.431	-0.01	0.263	-0.116	1			
ふ っ 素	0.361	0.279	0.289	-0.000	0.549	1		
メ タ け い 酸	-0.078	0.427	-0.153	0.099	-0.414	-0.040	1	
溶 存 物 質 総 量	0.095	-0.048	0.159	-0.103	-0.164	-0.215	-0.130	1

要 約

1988年4月から1997年3月までの間に、山口県内において新規に開発された66か所の温泉及び冷鉱泉の鉱泉中分析を行い、次の結果を得た。

1. 源泉の泉温は25℃未満の冷鉱泉が最も多く、次いで25～34℃の低温泉であった。
2. 源泉のpHは中性と弱アルカリ性が多かった。
3. 深度1000m以上の深層源泉が17か所もあった。
4. 放射能泉のRn濃度は $30\sim 181\times 10^{-10}\text{Ci/kg}$ の源泉が多かった。
5. 溶存物質総量が 10g/kg を超える源泉は日本海並びに瀬戸内海沿岸部であった。
6. 源泉の泉質名は従来の温泉と同様に単純弱放射能冷鉱泉が最も多かった。
7. 微量有害成分は、ふっ素が多くの源泉に含有されており、飲用に当たっては注意する必要がある。

文 献

- 1) 環境庁自然保護局編：鉱泉分析法指針（改定）（1978）
- 2) 布浦雅子ら：大阪府立公衛研所報. 29, 193～213（1991）
- 3) 歳弘克史ら：山口衛公研業報. 17, 22～25（1996）
- 4) 山口県：1/5万 山口県地質図.（1968）
- 5) 環境庁自然保護局通知（環自企第424号）：温泉の利用基準について（1975）
- 6) 酒井幸子ら：温泉科学. 33, 9～23（1982）