

大阪平野の地下地質と温度構造 (予報)

石賀裕明*・佐藤光男**・西川和史**

Geologic and geothermal structure of the Osaka Plain, Southwest Japan (Preliminary Report)

Hiroki Ishiga, Kazufumi Nishikawa and Mitsuo Sato

Abstract

Since the first deep borehole in 1960's for assessment of the land subsidence in Osaka Plain, Southwest Japan, few attempt of geologic borings reaching to the basement rocks and examination of whole covering sediments of this region have not been done. However, recent boom of the hot springs in this big city has brought a chance to obtain a valuable information on the structure of the basement rocks (mainly of the Meso-Paleozoic rocks and the Ryoke metamorphic rocks), stratigraphy of the overlying Plio-Pleistocene sediments (mainly of Osaka Group), and also geochemical and geothermal study of this plain. This paper presents recent geologic examination on the borehole data and characteristic feature of the geothermal distribution in the deep part of the plain.

The Osaka Plain is divided into the eastern and western blocks by the north-south trending Butsunen'ji yama-Uemachi reverse fault, and the eastern block upheaved. The basement depth of the western part exceeds 1300m and higher geothermal gradient occurs in along west of the Butsunen'ji-Uemachi Fault. Large volume of hot water (several hundred tons/day), with a temperature over 35°C occurs in most spas, but hot water of each varies its characteristics. Temperature of the horizon of 1000m depth is usually over 45°C, and spots of the higher geothermal part occurred in a row of N-S trend. Geothermal gradient is usually over 2.5°C/100m, and characteristic is the higher gradient in the lowermost part of the Osaka Group, mainly from 1000m to 1300m depth, attaining 5°C/100m. This part consists of sediments of lower geothermal conductivity and is supposed to play a effective role as a "Blanket". The investigation on the geologic data of the borehole in the Osaka Plain is apparently important for an applicable development of hot springs for new and clean energy.

はじめに

大阪平野では1960年代に行われた深層ボーリング (OD計画) 以降, 1000mを超えるボーリングはなされていなかった。しかし, 近年の温泉ブームにより, 大阪平野などでも, “都市型の温泉” (平野下の地下深部に賦存する温泉水) の開発が進められている。これらのボーリングによって得られる地質学的資料は, 大阪平野の基盤

岩類を構成する先新第三系の地帯構造区分, 地質構造の解明にとって重要である (石賀・佐藤, 1991)。特に大阪平野北部は丹波帯と領家帯の境界に相当するが, 地表では基盤岩類の露出がなく不明な点が多い。

一方ではこれらの資料は, 応用地質学的に, 平野の地下深部における温度勾配, 地下水の挙動などを解析する上で貴重な資料となる。ここで大阪平野の水理地質学的特性を解明することは, 今後の温泉開発を進めるうえでも有効といえる。本論では, 温泉ボーリングによって得られた地質データの一部分をまとめ, 大阪平野の地質構造と地温勾配, 温泉の泉質, 等について予察的に報告する。なお, 温泉のデータについては布浦ほか (1993)

* 〒690 松江市西川津町1060 島根大学理学部地質学教室
Dept. Geol., Shimane Univ., Matsue Japan

** 〒556 大阪市浪速区敷津西2-1-8 特殊プラント工業株
Tokushiu Plant Industry, Co. Ltd., Osaka Japan

により大阪府立公衆衛生研究所から公表されている資料を中心に、特殊プラント工業㈱の未公表試料を用いている。

謝辞 本研究は文部省の民間等との共同研究によって進められたものの一部である。特殊プラント工業㈱駿河

進社長には研究のご理解とご援助をいただき、また、温泉ボーリングデータの公表を許可いただいた。

島根大学黒田和男教授には原稿を読んでいただき、貴重なご意見をいただいた。ここに感謝いたします。

第1表

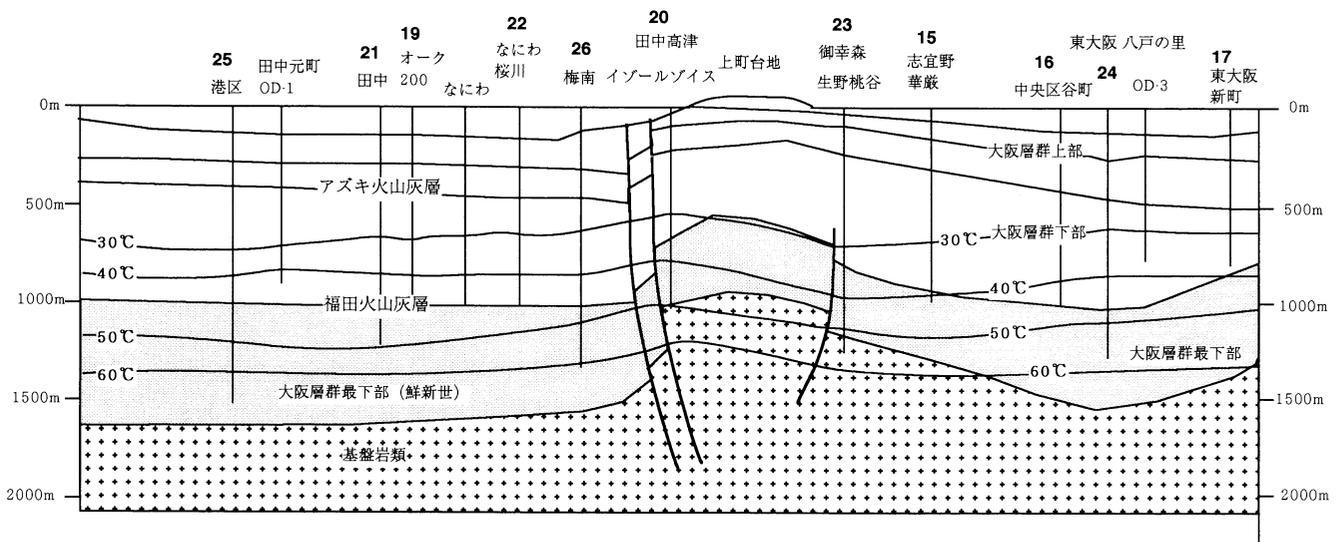
No.	泉源名	湧出地	泉温 ℃	湧出量 l/min	掘削深度 m	pH	残留物 mg/kg	Na ⁺ mg/kg	Ca ²⁺ mg/kg	K ⁺ mg/kg	Mg ²⁺ mg/kg	Cl ⁻ mg/kg	HCO ³⁻ mg/kg
1	青春温泉	茨木市大字福井	28.3	165	1200	8.4	400	128.2	9.4	2.3	2.4	25.2	297.2
2	能勢アートレイク	能勢町野間	30.3	73.2	910	10.09	379	141.6	1.1	2.3	0.4	5.1	73.8
3	今宮温泉観音湯	美面市今宮	29.7	65.9	1000	7.6	7400	1985	751.1	18.8	14.9	4432	49.4
4	小野原平成の湯	箕面市小野原	27.2	96.8	1000	7.21	10000	3598	93.2	54.2	97.8	5638	710.2
5	鱒の荘	箕面市大字上止々呂美	26.7	62.9	1200	10.03	354	102.3	1.4	3.5	0.3	6.6	50.6
6	ニッショ-呉服の湯	池田市呉服町	37.5	34.8	1005.2	6.6	36400	12050	545.7	461.8	350.9	19390	3146
7	大阪サンパレス	千里万博	34.2	52.3	1000	6.72	4590	1043	219.6	56.4	77.1	2005	563.2
8	千里の湯	吹田市千里丘	31	177.5	1005	7.4	7930	2379	169.3	64.1	137.5	4195	627.3
9	志保ノ湯	豊中本町	39.8	200	1300	6.85	34190	10996	605	112.2	724.2	19226	1838
10	江坂温泉	吹田市江の木	37	220	1400	7.35	1620	458.6	55	12.1	17.4	609.5	469.6
11	星田温泉	交野市大字星田	24.8	50.8	1273	10.14	210	75.2	1.6	1.8	0.2	7.7	47.8
12	吹田湯ートピア温泉	吹田市高浜町	37.5	162	1200	7.36	2360	705.8	80.8	15.7	54.9	1085	575.4
13	ミタカ(江戸堀)温泉	西区江戸堀	55.2	506	1500	7.1	19850	6460	577.6	148.2	219.2	11500	531.5
14	生駒山龍間温泉	大東市大字龍間	31.1	298	1500	8.68	506	172.2	4.1	0.5	0.4	6.1	425.9
15	志宜野華厳温泉	城東区天王田	40.5	132.7	935	7.32	5750	1827	301.2	35.6	59.2	431	236.7
16	湯ートピア温泉	中央区谷町	41.8	234.5	1003	7.2	6610	0883	321.6	88.8	134.5	3804	276.4
17	大阪温泉	東大阪市新町	37.5	300	800	7.8	920	202.8	16.6	10.4	4.9	10.6	624.2
18	なにわ温泉	西区江戸堀	39.2	430	1000	7.86	570	118.2	9.2	3.5	3.5	10.6	352.7
19	オーク200温泉	港区八雲町	46.8	499	1013.36	8	396	95.6	3	2.4	0.7	21.3	233.1
20	イゾルゾイス	中央区高津	44.6	170	1075.2	7.8	7580	2274	375.5	63.7	104.6	4403	260.5
21	南市岡田中温泉	港区南市岡	46.7	697.6	1200	8	689	186	5.4	3.3	1.5	132.2	295.3
22	なにわ七幸の湯	浪速区桜川	37.8	447	1000	8.2	272	63.7	1.8	1.7	0.7	2	175.7
23	桃谷御幸森温泉	生野区桃谷	43.4	316	1300	7.6	752	226	16.8	12.1	3.4	256.3	250.8
24	You・湯	東大阪市下小阪	49.8	560	1271	7.5	5010	1143	391.4	31.3	76.2	2626	161.1
25	龍宮温泉	港区港晴	53.9	425	1500	7.2	18700	6364	171.1	84.1	136.6	9707	1608
26	いのちの泉 源温泉	西成区梅南町	48	507	1300	8.2	400	118.9	2.5	2.7	0.5	17.1	292.9
27	田辺温泉	東住吉区田辺	53.4	369	1300	7.1	11330	3430	660	69.2	113.3	6677	224.5
28	大和川矢田温泉	東住吉区矢田	45.1	470	1200	7.6	2930	651.9	172.9	11	22.8	1270	217.8
29	松原黄金の湯	松原市別所	52.5	283	1405.7	7	35870	6256	4304	732.7	518.5	19370	120.3
30	大浜温泉	堺市大浜	48.2	728	1000	7.5	2360	661	131.1	22	16.8	1160	283.7
31	ミカタ温泉	堺市南野田	40.3	166.5	1000	7.45	11100	2586	1103	163.8	158	6488	127.5
32	羽衣天女の湯	高石市	45.6	283	1200	8.1	1109	312.2	23	73.1	3.8	385.7	358.2
33	はいから村	狭山市岩室	30.8	71.9	500	6.9	41400	9617	4277	111	729	24590	
34	PL温泉	富田林市新道	25.6	33	600	8.1	6644	1524	553.7	29	128.3	3652	136.8
35	太子温泉	太子町大字山田	25.7	95	633.8	8.1	256	37.5	25.1	4.8	8.9	6.2	211.7
36	かつらぎ温泉	河南市大字白木	28.3	31.2	1205	8.2	981.2	355.4	5.2	3.2	4.5	112.8	768.5
37	光明の湯	堺市美木多上	30.4	218	701.7	6.99	26760	6016	2655	104.4	300	14950	71.4
38	千亀利の湯	岸和田並松	36.7	403	1300	8.21	258.4	69	6.4	6.2	0.7	16	177.6
39	奥天野温泉	河内長野市日野	29.2	109	531.6	7.3	440	78.9	29.3	11.7	10	30.1	309.4
40	ミカタ温泉2	泉佐野市湊	30	107	1000	7.5	1440	461.2	37.3	13.3	11.1	548.5	459.5
41	山野井 海会の湯	泉南市中小路	30.5	201	1000	6.8	380	92.3	12.1	2.9	4.3	61	214.2
42	箱作温泉	泉南郡阪南町	37.7	100	1020	7.4	17300	6518	23.7	11.2	5	2057	14260
43	ひらの台温泉	泉南郡阪南町	37.9	80	1500	7.2	5430	1710	133.7	11.7	5	2445	770.6
44	ひらの台温泉	泉南郡阪南町	40.4	37.7	1501	7.01	5420	1654	183.6	15.2	4.4	2534	636.4

温泉開発の現状

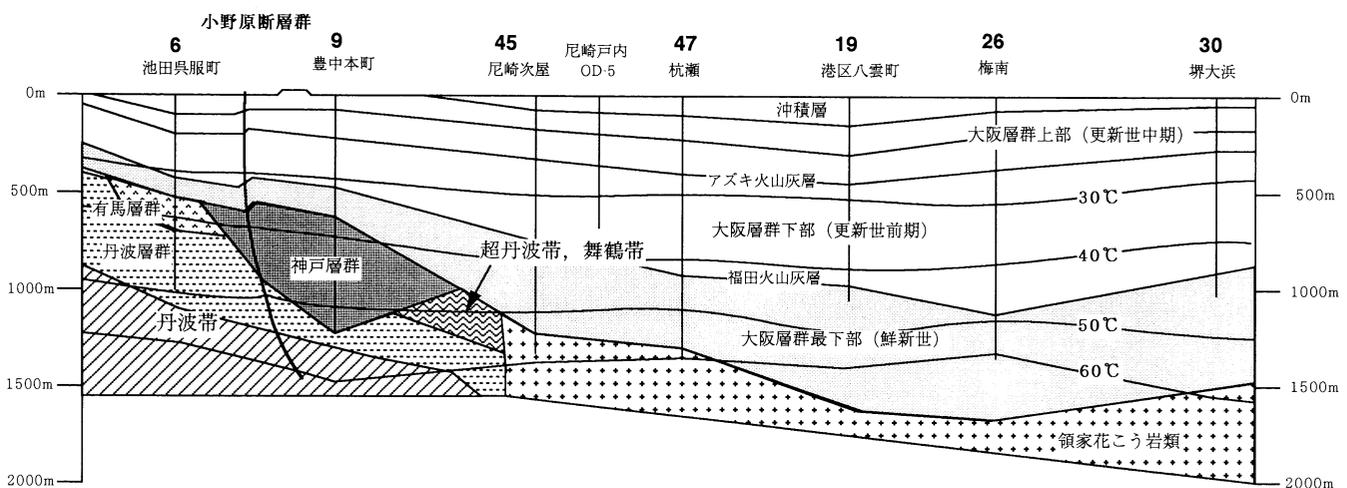
大阪平野では“温泉の都”大阪と呼ばれるほど、急速に温泉開発が進められた。平成3年8月までに、泉源数は大阪平野で35本（うち大阪市内で13本）に達している。このうち28本を特殊プラント工業㈱で施工しており、豊富な地質学的資料が蓄積されつつある（第1表）。この表にはその後の温泉ボーリングの結果も含め45本のデータが示されている。

温泉については37本のうち半数が40℃以上の温泉の開発に成功している。掘削深度については1000m前後のものが多く、大阪平野で予想される平均的な地温勾配3℃

/100mをもとに、40℃前後の泉温を期待して掘削しているため1000m程度の掘削が多いといえる。泉質は掘削孔における湧水部分の深度にも関わるが、10000ppmを越える極めて塩濃度の高いものから、低いものまで様々である。これは後に述べるように、大阪層群下部（層）から湧出する場合には、単純泉が多いが、最下部層からは高濃度のNa-Cl（Na-Ca-Cl）泉となる場合が多いといった特徴がある。湧出量については基盤を構成する岩石から湧出している場合は岩盤中からのれっか水をとらえており、湧出量はすくない。大阪層群から湧出している場合には、湧出量は200～300（1/min）が多いが、500（1/min）をこすものもある。



第1図 大阪平野の東西断面図。市原（1991）をもとに作成。ボーリング位置を示し、温度検層結果をもとに、地温分布を等値線として示す。温泉のデータは第1表を参照。



第2図 大阪平野の南北断面図。市原（1991）をもとに作成。ボーリング位置を示し、温度検層結果をもとに、地温分布を等値線として示す。温泉のデータは第1表を参照。

大阪平野の地質構造

このような深層ボーリングデータの解析から大阪平野の地質図が公表されている(市原, 1991). 第1図は六甲山-上町台地-生駒山の東西断面図であり, 第2図は豊中-堺-岸和田をむすぶ南北断面図である. いずれもその後の検討結果によって基盤岩類の深度と地帯区分についてここで修正・加筆している. 上町断層西側の梅南では掘削深度1300mでも着岩せず, 基盤までの深度は1500m前後の可能性もある. また, 平野最西部の龍宮温泉のデータをあわせると, 平野からさらに大阪湾に向けて基盤深度が深くなっている. 上町台地では基盤深度は浅くなっているが, これより東側の東大阪ではふたたび基盤までの深度が深くなり1500mをこすものと思われる. 南北断面では平野北部から漸次基盤岩までの深度を増していくが, 港弁天から梅南あたりでもっとも深くなり, 1700mにも達すると予想される.

大阪平野北部の基盤岩類

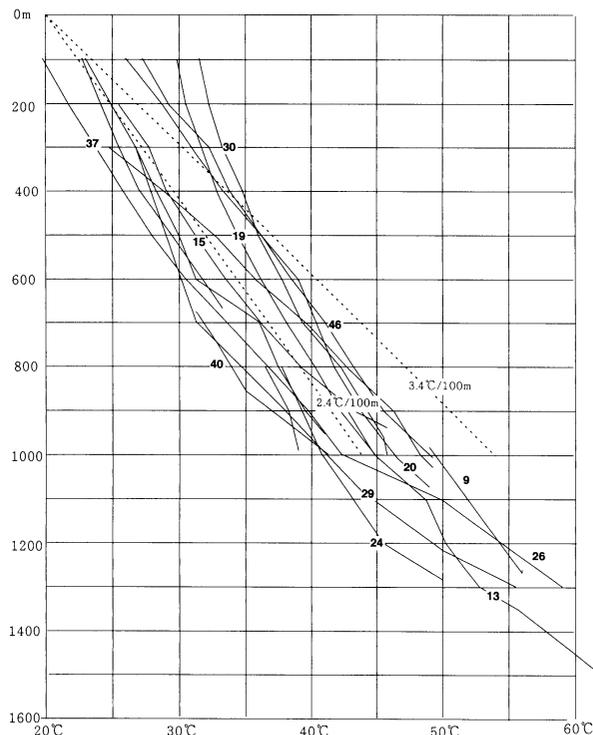
大阪平野北部は丹波帯と領家帯の境界をふくむが, 最近の検討では丹波帯のより上位のナップをなす, 超丹波帯の構成岩類(ペルム系上部碎屑岩類, 緑色岩類など)が, ボーリングコアにみられる(石賀・佐藤, 1991). 従来, 大阪平野北部の基盤地質についてはまったく知られていなかったが, 舞鶴帯や超丹波帯の構成要素が確認されるに当たり(石賀・佐藤, 1991)(第2図), 領家帯のなかでのこれらの岩石の存在も期待される.

温度勾配について

深層ボーリングにおいて行われた温度検層をもとに地下温度等値線を第1図, 第2図に補入した. また温度検層をもとに温度勾配をグラフに示した(第3図). 基盤岩の深度を無視して, 地下1000m前後における孔底温度は40-50℃となっており, 地表付近の平均温度を20℃として地下1000mまでの温度勾配を求めると, 2.4-3.4℃/100mとなる. 温度検層は温泉掘削後に測定しているものが多く, 地表付近100mにおける温度が30℃前後もあることになってしまっている.

一般的には平野では1000mまでの地層は大坂層群の上・下部層となり(第1図, 第2図), これまでの深度ではこれらの温泉ボーリングの結果を平均すると, 2.9℃/100mの温度勾配をもつことになる.

一方, 1000m以深では大坂層群は最下部層となっている場合が多く, ここでの温度勾配については4~5℃/100mの温度勾配をもつ地点もある(第3図の松原別所, 梅南など). 地層の岩相の違いによって温度勾配が



第3図 大阪平野の深層ボーリングにおける温度勾配. 温泉のデータは第1表を参照.

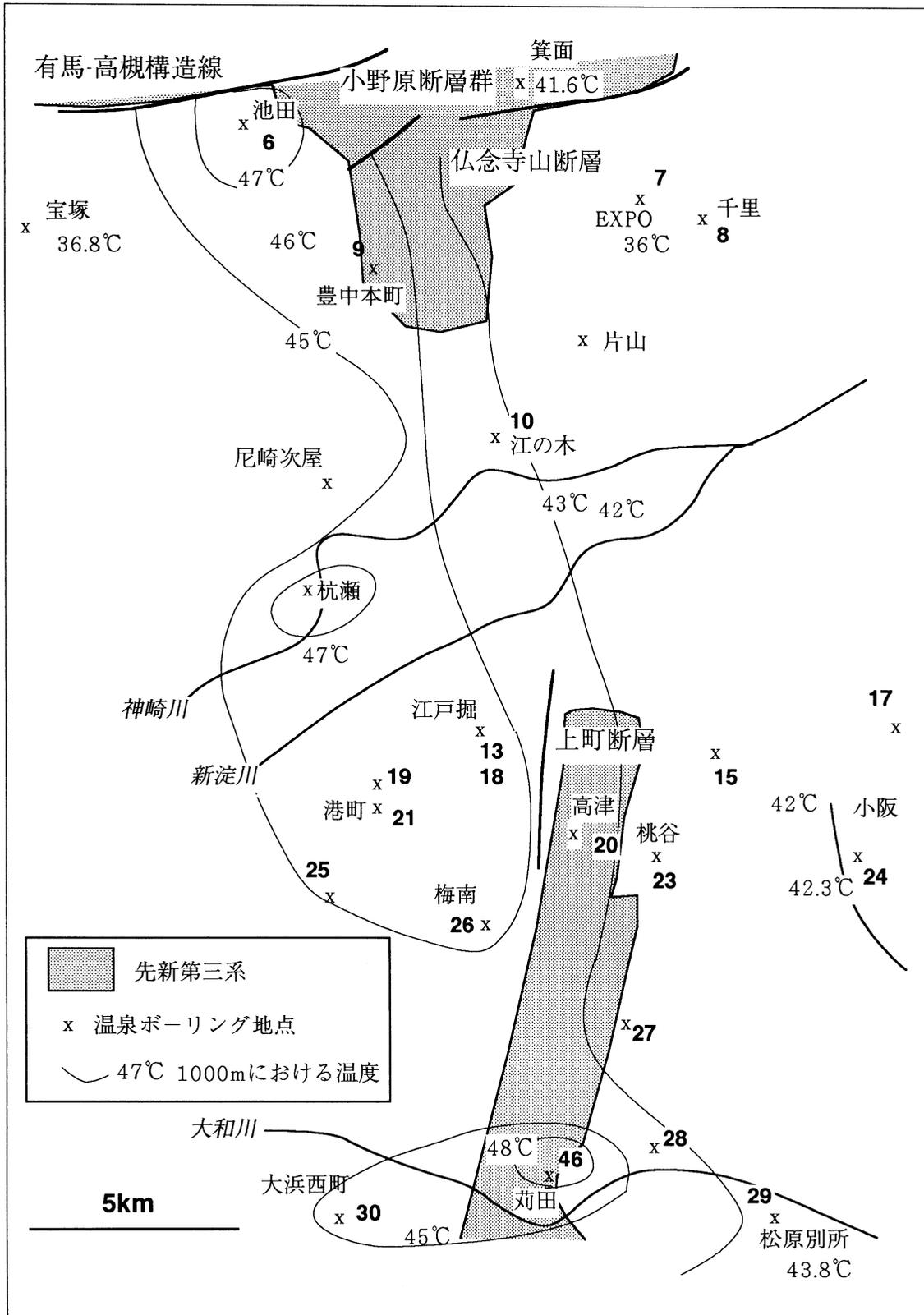
変化するのか, 深度そのものが温度勾配の変化と関係するのか, 後に述べる泉質との関係から考察する.

深度1000mにおける温度分布

断層などによって形成される地質構造と地温分布がどのような関係を持っているか検討するために, 深度1000mにおける温度分布を第4図にまとめた. 仏念寺山断層, 上町断層の西側で高く, 東に低くなる傾向がある. また, 北から池田, 杭瀬, 荻田を中心とする範囲で47℃以上の高温を示す地域が認められる. また, 荻田では高温を示す地点が西側にもあり, 東西方向の分布を示す. 温度勾配については平野西部の龍宮(第1図), 梅南など(第2図), 温度勾配が高いものがある. これは先に述べた4~5℃/100mの温度勾配を示す部分に相当している.

大阪平野の東西断面(第1図)ではこれらの温度勾配をもとに地質構造, 温度勾配の両者を併せて検討すると, 上町台地では相対的に温度勾配が高くなっている. 平野西部では基盤岩と大坂層群との不整合面と等温線はほぼ平行である. 一方, 平野東部では等温線は平行であるが, 地質構造は背斜構造をなしており, 両者は斜交する. 従って, 平野の西部と東部では大坂層群内での温度構造はやや異なっている可能性がある.

南北断面では(第2図)温度構造は北から南に低くな



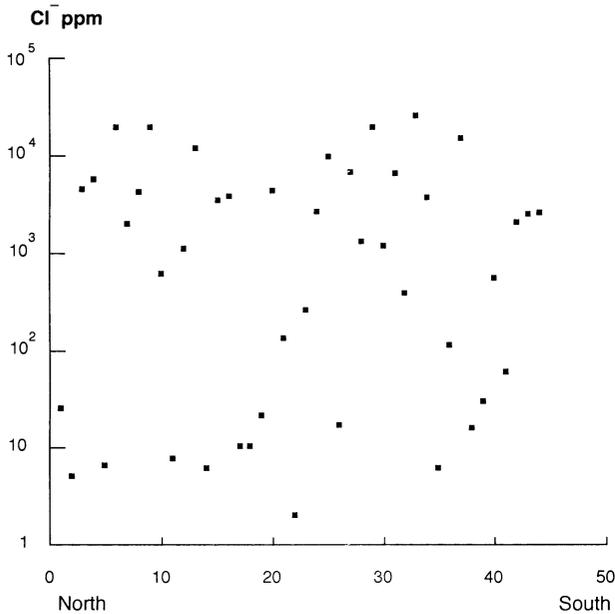
第4図 大阪平野の1000mにおける温度構造を類推した図。ボーリング位置を示し、温度構造を類推している。温泉のデータは第1表を参照。45、46については特殊プラント工業株の未公表試料に基づく。

る傾向が認められる。この断面は平野の北部において作成しているため、梅南での特徴的な温度構造が示されている。また、平野北部の基盤岩における温度勾配よりも、大阪層群最下部層で温度勾配は急速に高くなっているようすがわかる。断面図最南部の堺大浜では基盤の花崗岩類が高まっており、温度勾配も緩くなっている。

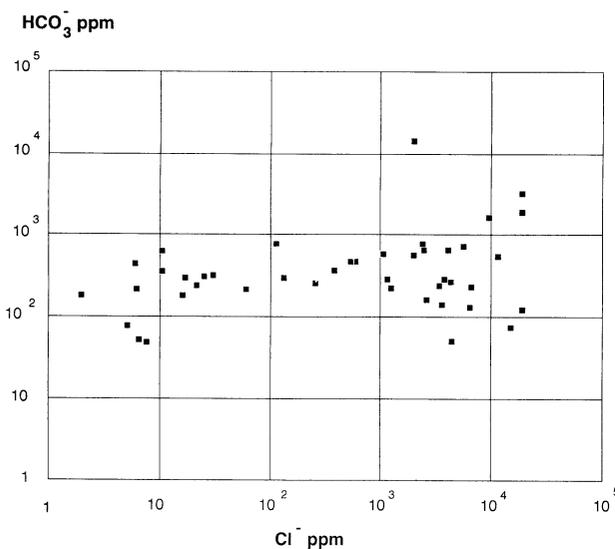
考 察

泉質について

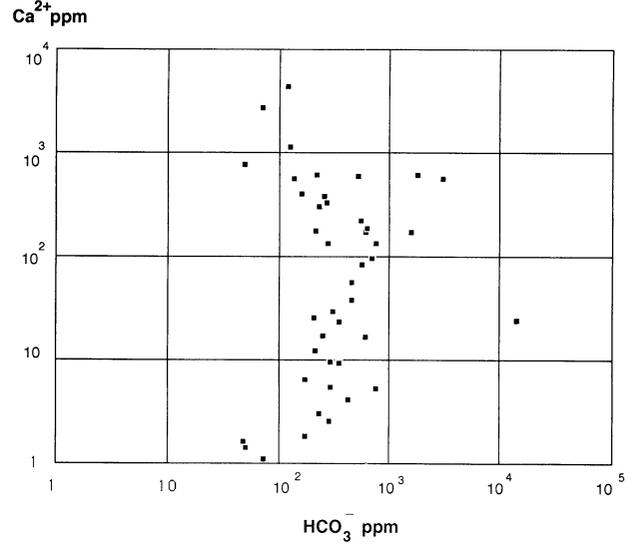
温泉の泉質について、地表水の影響を評価しやすい



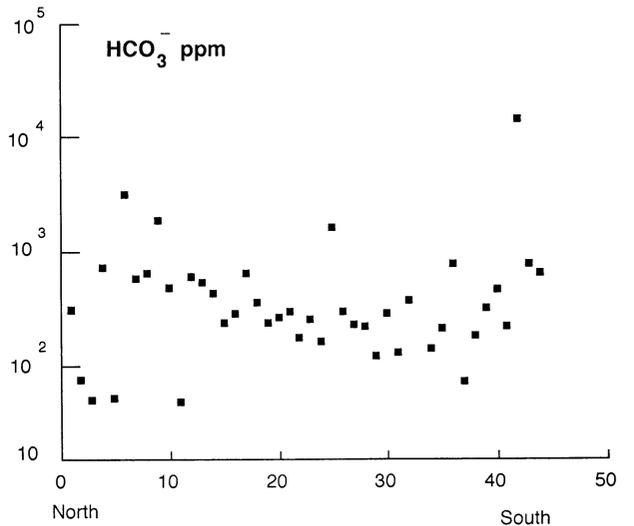
第5図 大阪平野の温泉についての Cl イオン濃度の南北方向における変化。横軸番号は第1表の泉源の番号に対応する。温泉のデータは第1表を参照。



第6図 大阪平野の温泉についての Cl イオンと HCO₃ イオン濃度の相関を示すグラフ。温泉のデータは第1表を参照。



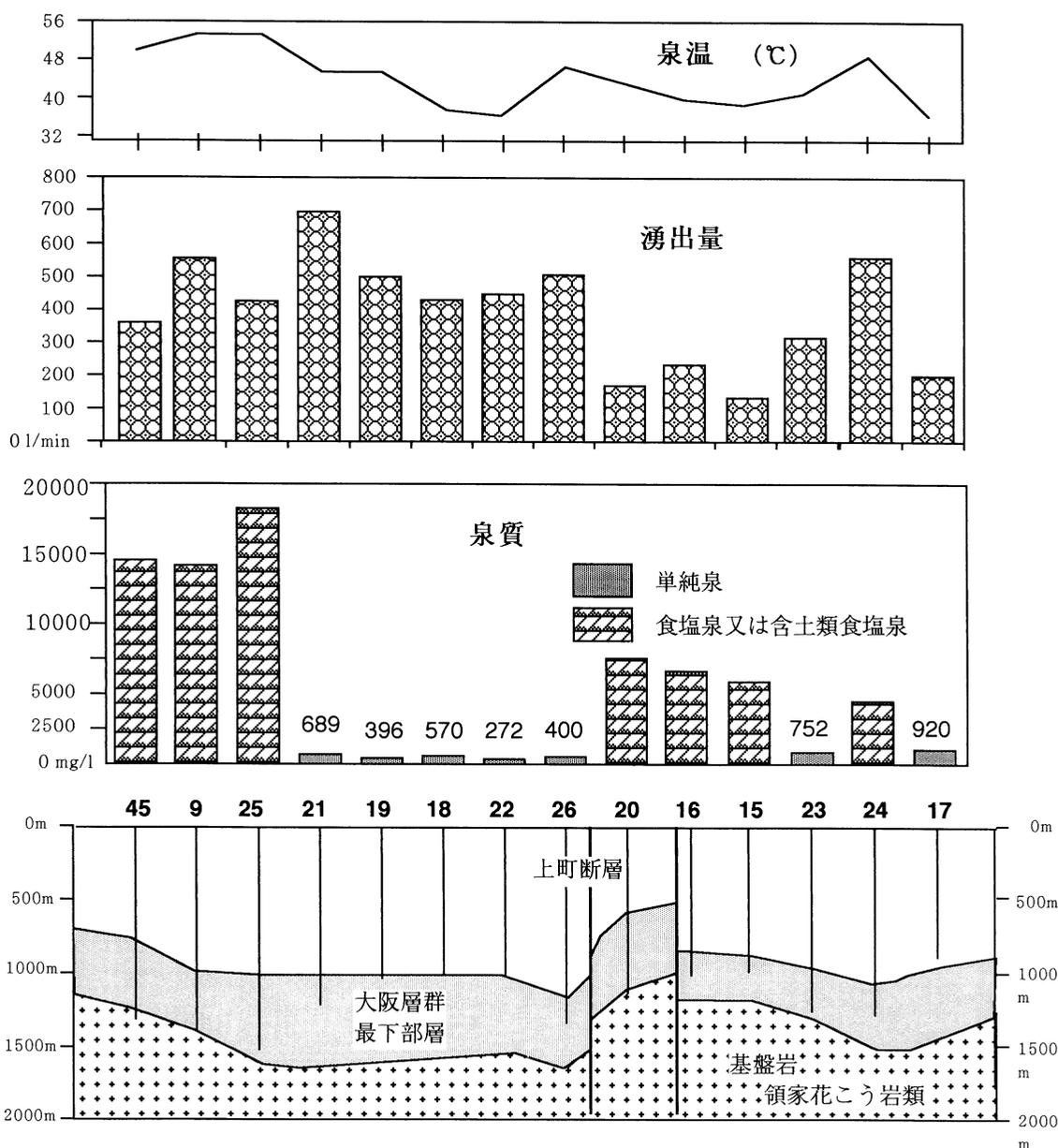
第7図 大阪平野の温泉についての Ca イオンと HCO₃ イオン濃度の相関を示すグラフ。温泉のデータは第1表を参照。



第8図 大阪平野の温泉についての HCO₃ イオン濃度の南北方向における変化。番号は第1表の泉源の番号に対応する。温泉のデータは第1表を参照。

Ca および HCO₃ イオンを、そしてこれに対置して地表水中ではもっとも多様な Na および Cl イオンを取り上げて温泉の特性について考察する。

布浦ほか (1991) で示されているように、大阪平野の温泉には 10000ppm をこえる高い蒸発残留物を持つものがあり、このような温泉では Cl イオン濃度も数千から 10000ppm に達している。布施ほか (1991) ではこのような温泉の存在について、上町台地以西については海水進入による地下水塩水化を上げている。また、内陸部での高 Cl イオンについては地層中の化石水に期待している。しかし、これらのうちには明らかに海水よりも高塩濃度のものがあり、これらの説明では不十分といえる。



第9図 大阪平野の上町大地を通る東西断面とそこに配列する主な温泉，湧出量，泉質を示した図。断面図上の温泉番号は第1表に準ずる。

大阪層群では海成層が出現するのは下部層の中部以上であり，ここにいう化石水の可能性は考えがたい。第5図に南北方向に各温泉を配列し，Clイオン濃度を示した。横軸の番号は第1表の温泉を北から並べた番号に対応している。ここでは10000ppmに達する高Clイオン濃度を示すものが南北大阪平野の広い範囲にわたって分布していることが分かる。しかも，番号9，33を中心として緩やかなピークをなしているように見える。33の温泉は500mと比較的掘削深度が浅いにも関わらず，25000ppmにも達するClイオンを含んでいる。このような事実は地下深部からのマグマの影響を考えざるを得ないといえる。事実，富田林市甘南備，同伏見堂町には高Clイ

オンの温泉が古くから知られていて，特に後者では14500ppmもの高Clイオンが含まれている。周辺には第三紀の火山岩が分布しており，これらの火山岩類に伴ったマグマ性の温泉水が保存されている可能性がある。

ClイオンとHCO₃イオンについての相関は第6図に示されるようにHCO₃イオンはほぼ100-1000ppm前後の含有量を示すのに対して，Clイオンは変化に富んでいる。第7図には南北に配列したHCO₃イオンの分布図を作成した。大まかな傾向として，平野の北と南で高く，中心部付近で低くなっているように見える。これは周辺の山地からの地下水が温泉水に混合している可能性が考えられる。一般に地下水に含まれるHCO₃イオンはCa

イオンと相関を持つと考えられる。そこで、両者の相関を見るためにグラフを作成した(第8図)。このグラフで明らかなことは、Ca イオン濃度が100mg/l を境として大きく2つの傾向をもつグラフに分かれることである。100mg/l 以下では正の相関をもち、これ以上では負の相関を持っているようである。前者については、地下水中のHCO₃に結びつく、Ca イオンを、後者は高Cl イオン濃度の温泉水に伴われるものと思われる。

泉質と地質構造について

第9図に上町台地をとる東西断面および、平野北部のデータをも併せて示した。この図では水平距離については泉源を等間隔として示しているが、温度、湧出量、泉質と地質構造の特徴の関係が把握できるようにしている。

湧出量については東部のものに比較して、平野西部で多くなっている。西部についてはいずれも300 l/min 以上であるのに対して、東部では200 l/min のものも多い。地質構造からも明らかなように、基盤の深度が西部の方が深くなっており、東部の方で浅くなっていることによる可能性がある。泉質については明瞭な特徴があり、掘削が大阪層群最下部層に達し、基盤まで到達するような泉源では、10000mg/l をこえる高い塩濃度の温泉となっている。いっぽう、大阪層群最下部層に到着後掘

削を停止している泉源では単純線となっているものが多い。泉質と地質構造の特徴として大阪層群最下部層からは高塩濃度の泉質の温泉が湧出する可能性が高いといえる。

温度勾配のところで述べたように5℃/100mを越える温度勾配はこのような大阪層群最下部層中で起こっているように見え、高塩濃度の温泉水の存在と最下部層が礫岩を主としていることをあわせて考えると、この層が熱を伝えにくく断熱効果を上げていることが考えられる。大阪層群のこのような特性はキャップロック効果(ブランケット効果)に似たものといえる。しかも、このことは前述の高Cl イオン濃度の温泉とマグマ起源の地下水の関係を考える上で興味深い。すなわち大阪平野下には温泉が存在し、現在は大阪層群によっておおわれていると考えられる。

文 献

- 市原 実, 1991: 大阪とその周辺の第四紀地質図. アーバンクボタ, 30, KKクボタ(大阪).
- 石賀裕明・佐藤光男, 1991: 深層ボーリングデータによる大阪平野北部の中・古生界. 地質雑, 97, 675-678.
- 布浦雅子・富島年男・田中栄次・足立伸一, 1993: 大阪府の温泉. 大阪府公衆衛生研究所報, 193-229.