

福井県芦原温泉の熱構造ならびに泉源保全に関する考察

中村 久由* 前田 憲二郎** 鈴木 孝*

Geothermal Structure in the Awara Hotspring Area, Fukui Prefecture

by

Hisayoshi Nakamura, Kenjirō Maéda & Takashi Suzuki

Abstract

The Awara hotspring area situated in the west of Fukui city consists of the Alluvial and Diluvial deposits overlying the Tertiary formation. The hotsprings occur from the aquifers in the Diluvial deposits. The writers found there were three aquifers in the deposits bored to the depth of 81 m by the temperature loggings of 45 wells conducted to know the geothermal conditions in the area. It is noteworthy that the aquifers are slightly depressed along NE direction, parallel to the direction of Cl⁻ content zones with high temperatures and high geothermal gradients. The depressed area is regarded as a weak zone formed in the basement of Tertiary formation, through which thermal waters ascend and are reserved in the overlying younger deposits.

要 旨

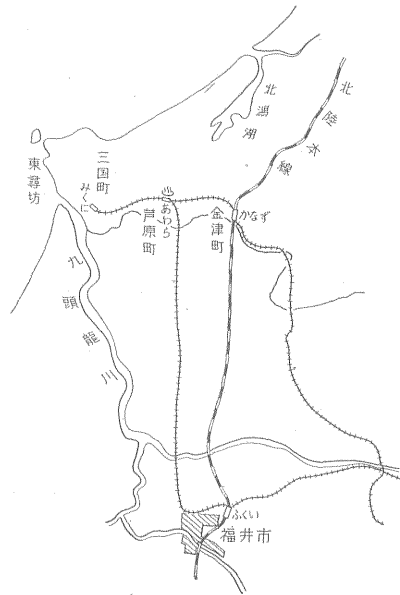
福井県芦原温泉における温泉の存在状態と地質構造との関係を知る手段として、温泉井内の温度測定結果から帯水層の分布状況に着目し、基盤（第三紀層）内における温泉水の存在方向を推定した。さらに、昭和29年以降における湧水量・水位・Cl⁻含量・水温等の変化について検討を加え、この数年間にかなり顕著な異常が認められることを確認した。この変化は温泉の使用量（揚水量）の増加に伴ない地下水の混入によつて生じたものであるから、この際、浅部（現在の温泉井の深度は81mが最深）からの採取を止め、泉源を統合し（現在74井）、少数の井戸で基盤内の温泉を取り出し、合理的に使用することが泉源保全対策であることを強調した。

1. ま え が き

温泉の存在状態が、その地域の地質構造と深いつながりをもつことは、改めて説く必要のないことである。いいかえると、温泉は構造的な条件に従い、種々の存在状態をとることになるが、温泉地帯では、しばしば岩層が温泉作用をうけて変質したり、より新期の地層に覆われたり、岩層の露出状況が不良であるなどの理由のため、地質構造を明確に捕えることが困難な場合が少なくない。

一方、温泉は、熱と成分で特徴づけられるものである

から、その存在状態は、しばしば水平ならびに垂直的な温度分布の上になりに明瞭に現われることがある。このため、温泉地帯で、いわゆる熱構造を明らかにすることは、温泉の存在状態と地質構造との関係を知ることに関立ち、ひいては実際的な温泉の開発、保全計画の基礎資料を提供することにもなる。



第1図 芦原温泉位置図

* 地質部
** 技術部

福井県芦原温泉は福井市の北方、約 18 km に位置し、北陸線金津駅から三国線に乗り換え 7 分で達しうる場所にある(第 1 図)。この温泉は、明治 16 年、かんがい用に設けた掘抜井戸から偶然に発見されたのがその端緒であつて、その名が示すように、芦の茂つた沼沢の地にあり、地表からみる限り、温泉の存在状態については全く手掛りをつかむことがむづかしいといつてよい。

この研究は、芦原温泉において、温泉井内の観測資料と温泉水の化学成分の分析結果から温泉地帯の熱構造を検討し、さらにここ数年間における湧出量・水位・化学成分等の変化に基づいて、泉源保護の問題についても検討を加えたものである。

本文を述べるに先立ち、種々の便宜を与えられた福井県衛生部医務業務課・芦原町役場・芦原温泉源泉保護協会の関係諸氏に対し、深甚の謝意を表す。なお、この研究の一部は福井大学学芸学部塚野善蔵教授と共同で行なつたものであるが、塚野教授はすでにその研究成果を発表しており²⁾、本報告においても、資料の一部は塚野教授および同大学の笹島貞雄助教授の測定結果を借用した。調査資料の解析に種々御助言を与えられた両氏の御好意に対し、附記して深謝の意を表する次第である。

2. 熱構造に関する考察

2.1 温泉井内の地質状況および温度分布

芦原温泉周辺の地形は、沖積平野と洪積台地からなり、地表から地下の地質構造をつかむことは容易ではないようにみえる。このため、ここではまず温泉井の資料に重点をおき、温泉井内の地質状況・温度分布等について説明を加えることにする。

2.1.1 源泉数

明治 16 年 9 月、堀江十楽の字一番(俗称念仏田)の地籍から温泉が湧出して以来、村民は相競つて浅掘りを行ない、乱掘の傾向がみえたので、福井県は県達をもつて明治 19 年 5 月以降、源泉数を 74 本に押え、それ以上の試掘を禁じた。以来、源泉数は 74 のまま現在に至り、ただ、交換掘りのみ許されている。この交換掘りというのは、温泉の水温が低下したり、湧出量が減退したような場合、その源泉を廃棄して代りに温泉井を掘さくすることであつて、掘さく井の延本数は増えても、源泉の絶対数 74 本を超えることはない。ただし実際には登録されてその権利のみ存在し、源泉が実在しない場合もあり、調査時における源泉の実数は 64 本であつた。

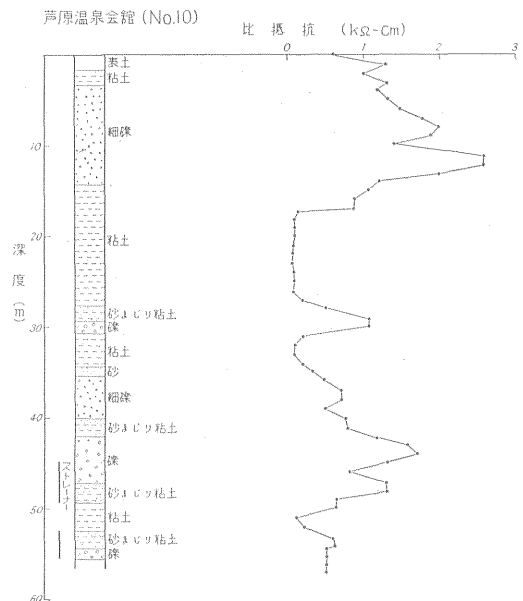
2.1.2 温泉井内の地質

芦原温泉は沖積平野に位置し、たかだか 30~80m 程度の深度から温泉が得られるので、掘さくの方法も簡単な

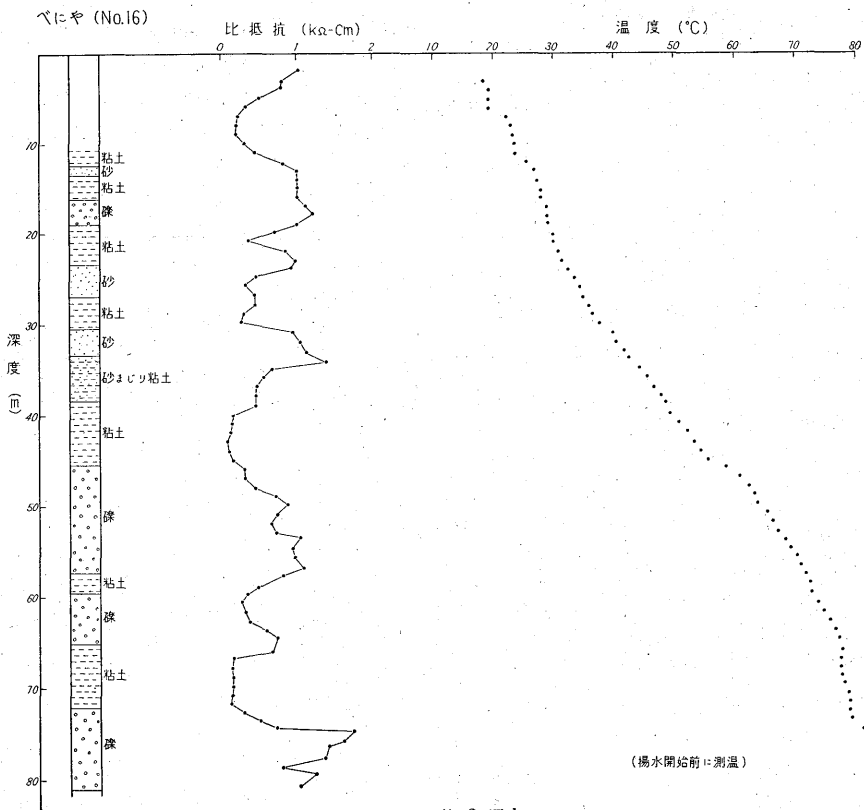
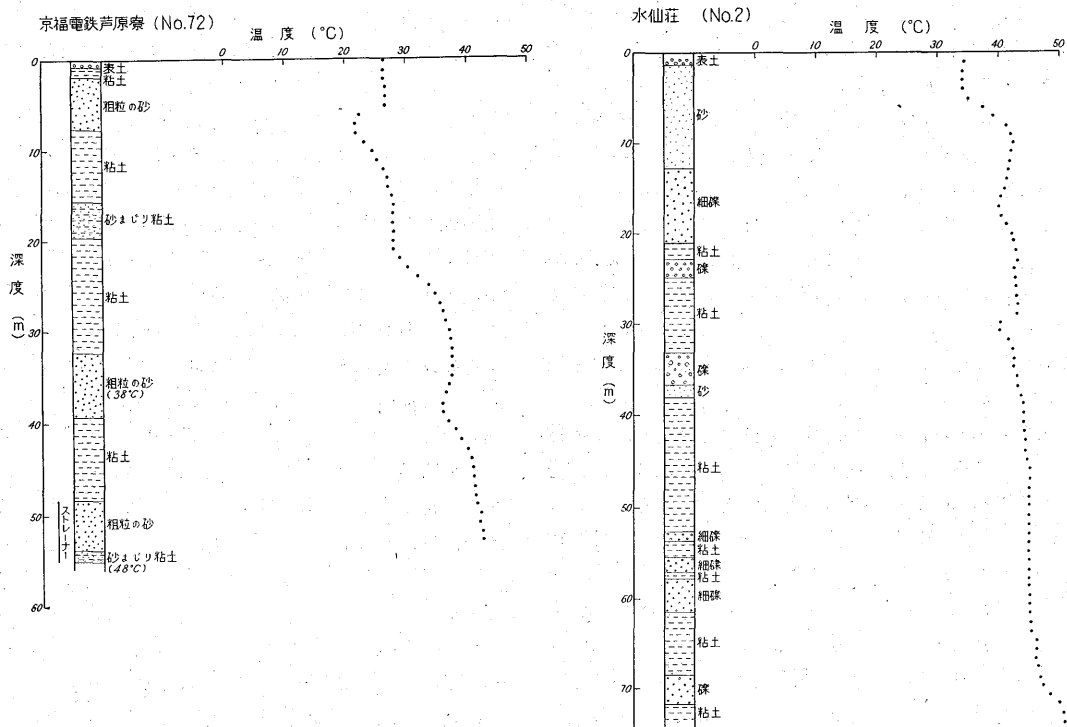
網掘りが主であり、したがつて地質の記載も業者の観察によるものが多い。調査期間中掘さくされた交換掘りの内、2、3のものについて地質柱状図を示すと第 2 図のとおりであるが、従来までの資料を総括すると、少なくとも 80m までの深度の地質は、砂・砂質粘土・礫等からなり、成層状態はあまり良好ではない。すなわち、地質は全般的に粘土質で、砂・礫を挟むが、これらは一般に細粒である。かつ帯水層も各井戸ごとで正しく対比できるほど連続した発達は認められないようであるが、概観すると、ある深度に温泉水を含む帯水層があり、業者はこの深度まで掘さくして鉄管を挿入し、砂層あるいは礫層の部分にストレーナを切つて温泉を取得する。これが従来行なわれている方法であつて、昔から 25 間盤、あるいは 35 間盤といわれている帯水層はこれに相当する。もちろん帯水層はこの深度だけのものに限らず、より浅い部分に発達するものを加えるなら、少なくとも 3~5 枚は存在するようであり、この点については温泉井内の温度測定項目でふたたびふれることにする。

なお、これまで温泉湧出地域内で掘さくされた最深の孔井は、田中惣湯(83m)と「べにや」(No. 16, 84m)である。特に高温地域で掘られたべにや No. 16 泉は、下部の地質状況を知るうえに注目されたが、結果は第 2 図に示すように粘土および礫からなり、この深度ではまだ基盤の第三紀層に達していないことが明らかになつた。

なお、この基盤までの深さについて、最も直接的な資料を提供したのは田中々で掘られた京福電鉄の試すい孔

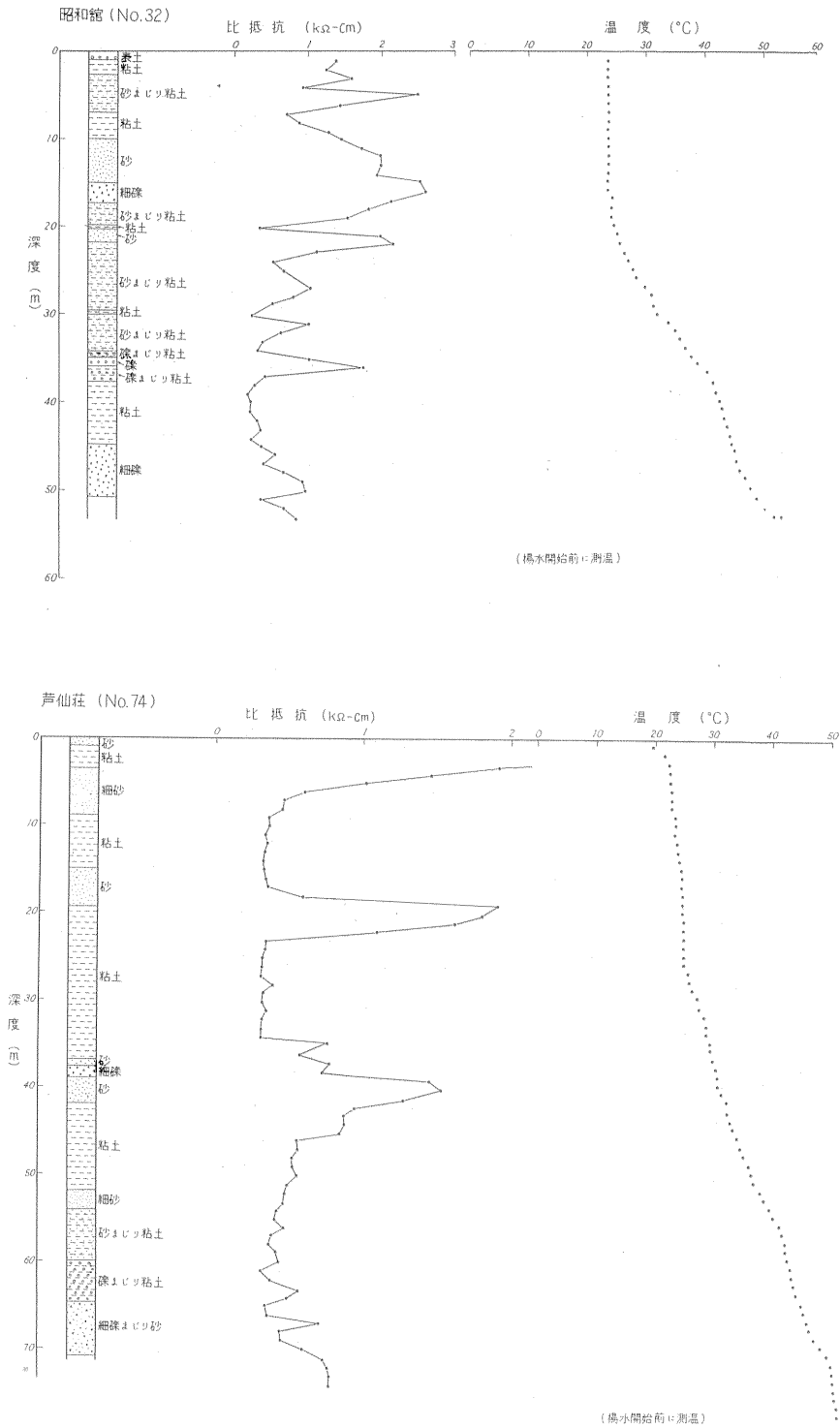


第 2 図 a 地質柱状図および電気検層図



第2図b

福井県芦原温泉の熱構造ならびに泉源保全に関する考察 (中村久由・前田憲二郎・鈴木 孝)



第 2 図 c

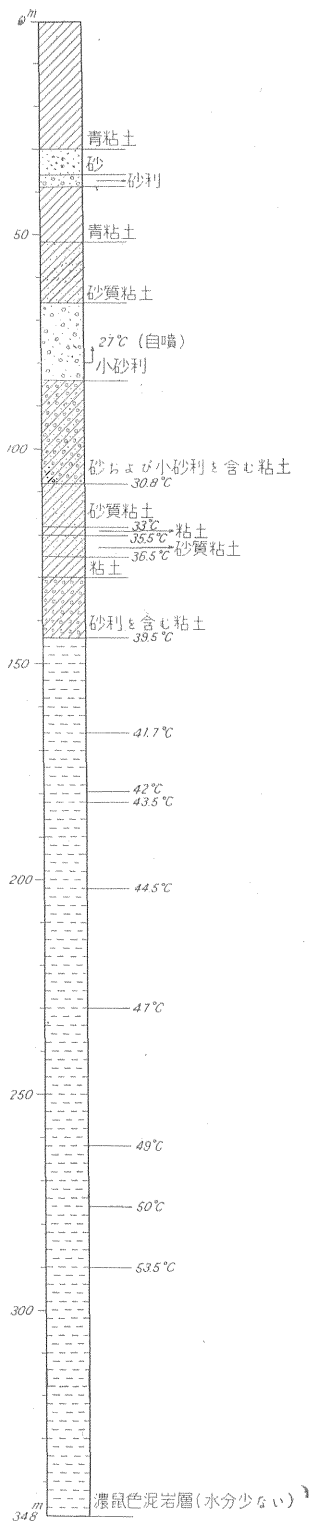
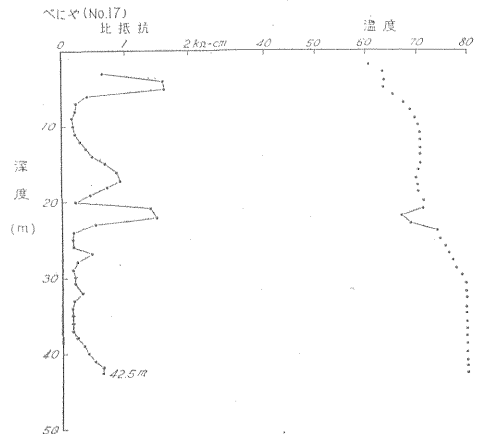


図 3 地質調査所月報 (第13巻 第9号) (源町田中々)

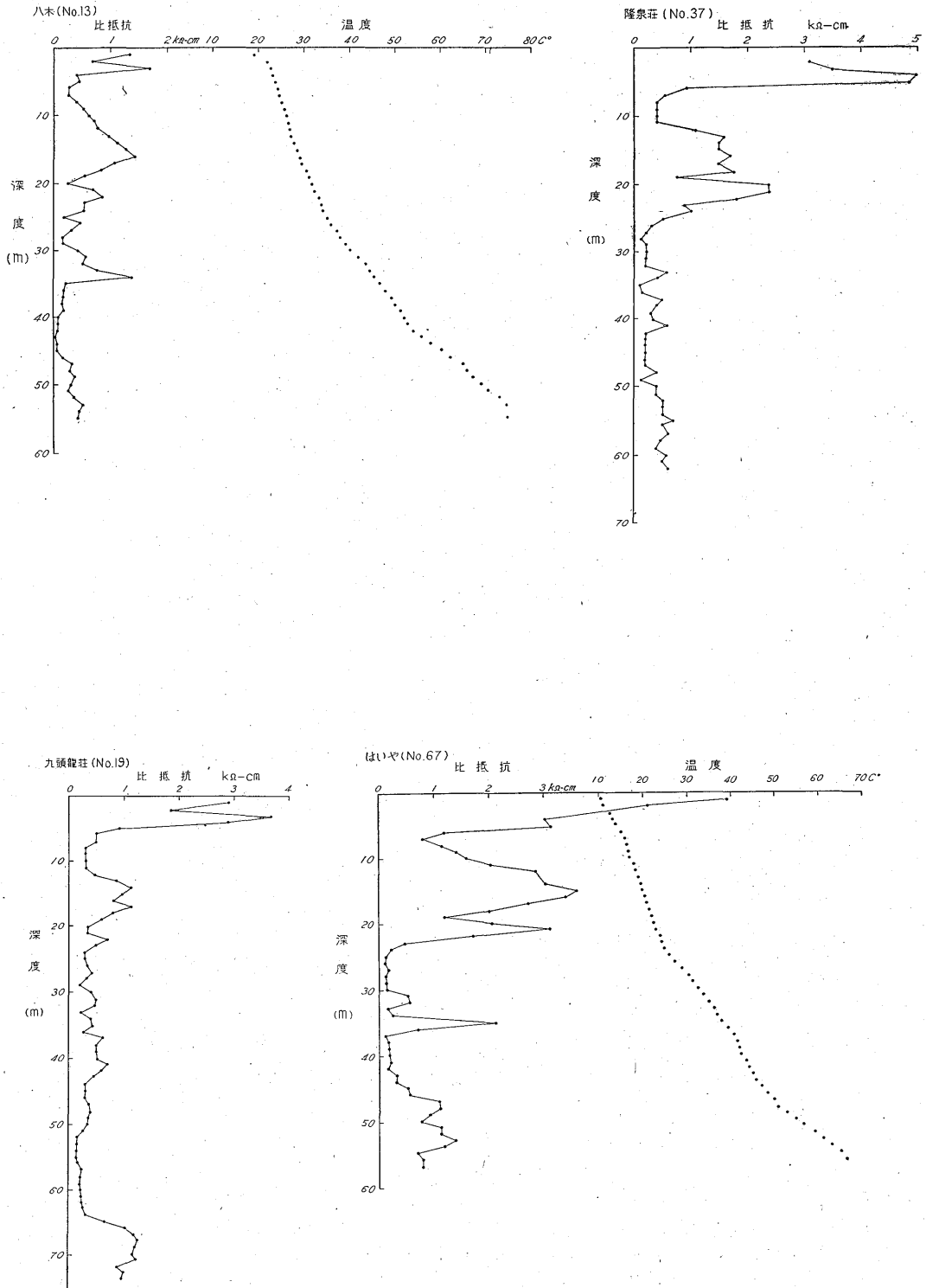
である。この井戸は深度 348.5m (1,150 尺) まで掘り下げられ、その時作製された柱状図は第 3 図に示すとおりである。深度 144 m (476 尺) まで、粘土・砂・礫等からなり、以下孔底までは濃鼠色の泥岩層からなる。しかもこの泥岩層は著しい帯水層を挟むことなく、均質なもののようで、おそらく 142 m 以下は基盤の第三紀層とみなされる。142 m より上方には数枚の帯水層があり、図に示したように深度 70 m および 82 m では 27°C の微温湯が多量に湧出した。なお泥岩層内の地温はかなり高く、直接、温泉の湧出はみなかつたが、深度 290 m (960 尺) では 53.5°C を示した。この地点は、芦原温泉の湧出地域の南東方約 500 m の距離にあり、現在の湧出地域からかなりへだたつた場所にありながら、なおこのように高い地温を示すことは、温泉の存在状態、その拡がり等について貴重な資料を提供するものとして注目に値する。

2.1.3 温泉井内の電気検層および温度測定

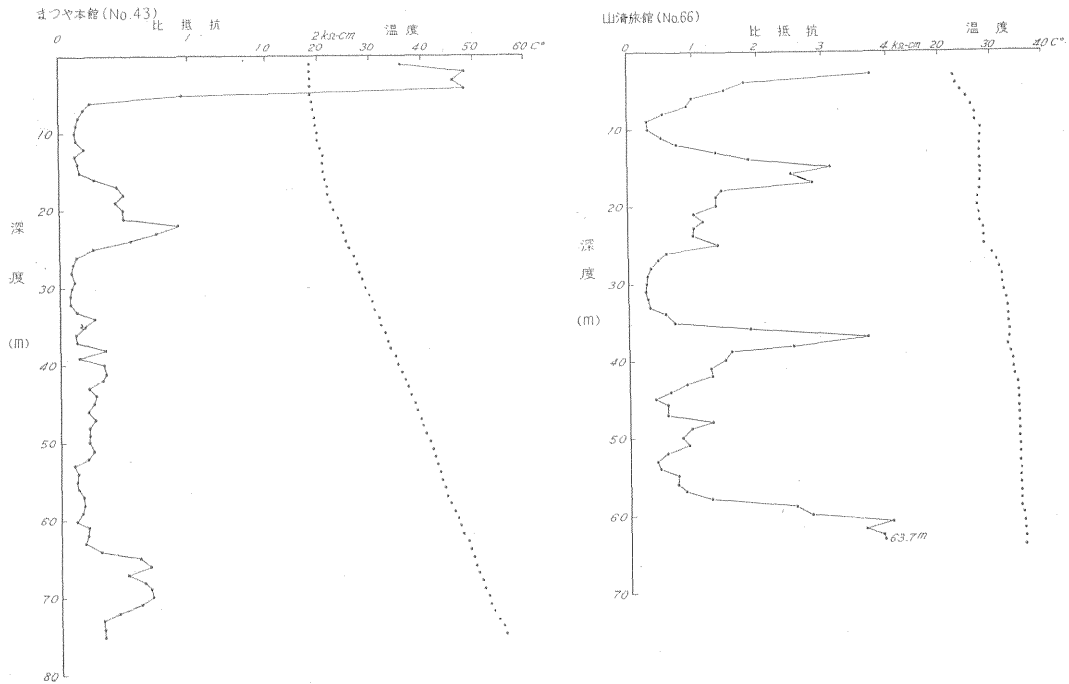
温泉井内の地質状況を間接的に知る手掛りとして、掘さく中の孔井数本について電気検層を行なつた。その結果の一部は第 2 図および第 4 図に掲げるとおりである。一方、現在利用中の源泉 45 本について孔内の温度測定を行なつたが、その結果の一部は第 5 図に示した。その測定は、現在利用中の源泉を主にしたため、測定の数時間前まで揚湯していたものが大部分を占める。したがつて、揚湯を停止した後、井内の温度分布に最も直接的な影響を与えるものは、鉄管の囲りに存在する地下水ないし低温の温泉水である。いいかえると、これらの垂直温度分布図において、温度降下を示す部分は、鉄管の外側に帯水層が存在することを意味する。この帯水層の存在は、前記地質柱状図ないし電気検層図を照合するとき、なお明瞭に察知できる。したがつて、温泉井内の温度分布の上に現われた温度異常部分を帯水層とみなし、この帯水



第 4 図 a 電気・温度検層図



第 4 図 b



第 4 図 c

層を手掛りに、湧出地域の地質構造を解析しようとする試みも全然無意味でないと思われるのである。

2.1.4 帯水層の水平分布

温泉井内における温度測定の結果をとりまとめると、少なくとも深度80mまでの範囲内に、3帯の帯水層の存在が認められる。以下、各帯の深度を示すと次のとおりである。

第1層	深度	21~23m
第2層	“	33~38m
第3層	“	61~64m
		66~72m
		75~80m

このうち、第1、第2層はほぼ全域にわたって分布し、深さもほぼ一定しているが、第3層の発達は、場所によつて異なり、深度も約20mの幅があり、61~64mの部分は南東側に、66~72mのものは北西側に、そして75~80mの部分は両者のほぼ中間に発達するようである。

第6図・第7図は上記各層の深度の水平分布を図示したものであるが、このうち、第1層は地表の傾斜に従つて拡がっているようであつて、その分布も普遍的である。このような状態から判断すると、沖積層と洪積層との境界は、この深さにあるという見方も可能になる。

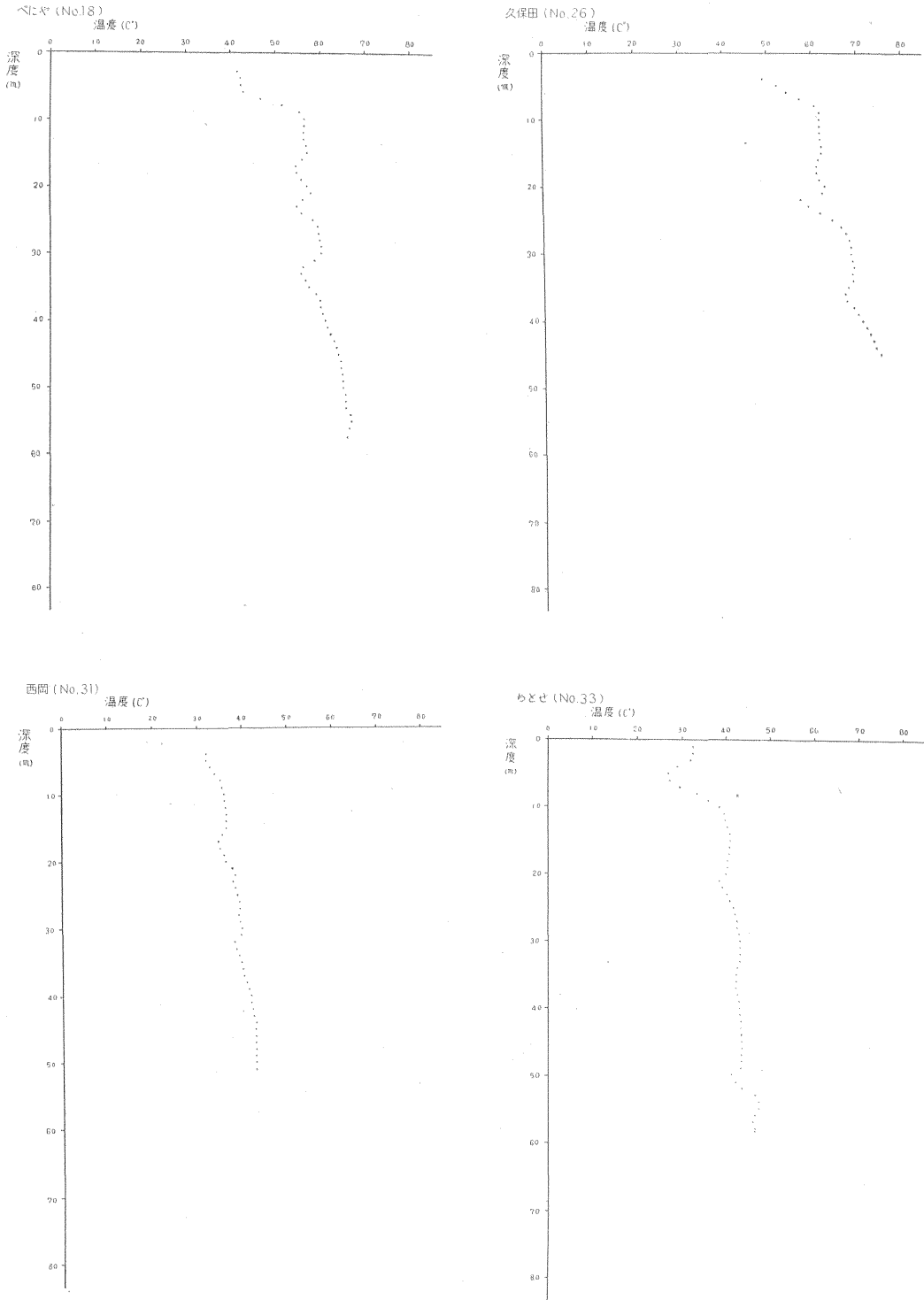
一方、第2層・第3層の分布状況をみると、次のような傾向がある。すなわち湧出地域の中心ではその外側の部分に較べて帯水層の深度がやや深い。正確な等深度線を描くことは困難であるが、概略の線を結んでみると、この向斜状の形態は、ほぼ北東~南西の2方向に連なることがわかる。

温泉湧出地域にかよな向斜状の構造が推定され、この方向が次に述べる当地域の熱構造の方向とも一致することは注目に価する。

2.1.5 地温増加率の分布

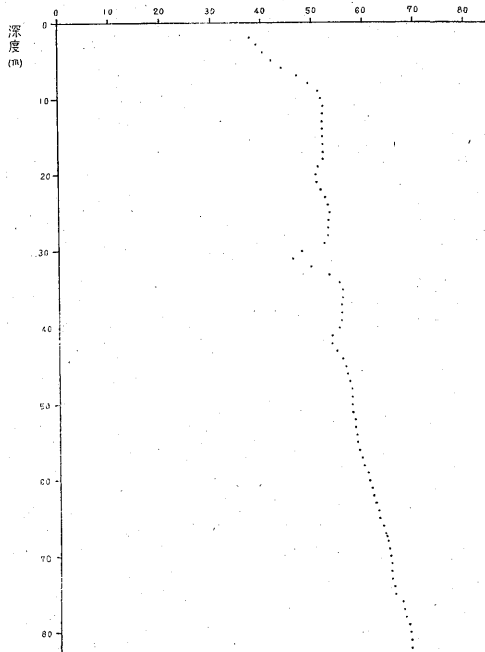
各温泉井から得られた温度測定の結果は、上述のように帯水層の存在等を知るうえに有効な手掛りを与えたが、その測定値はおもに流動する温泉水の温度^{注1)}を示すために、各深度ごとの値を比較してもあまり意味をもたない。しかし孔底温度は各井戸でほぼ固定した値とみることができるので、孔底温度/深度、すなわち、一般に地温増加率といわれるものの分布をとつてみることは、温泉の存在状態あるいはその方向性等を考えるうえに充分価値あるものと思われる。第8図はこの目的で描いた分布

注1) 揚水ポンプ停止後30分~2時間のうちに測つたものが多い。

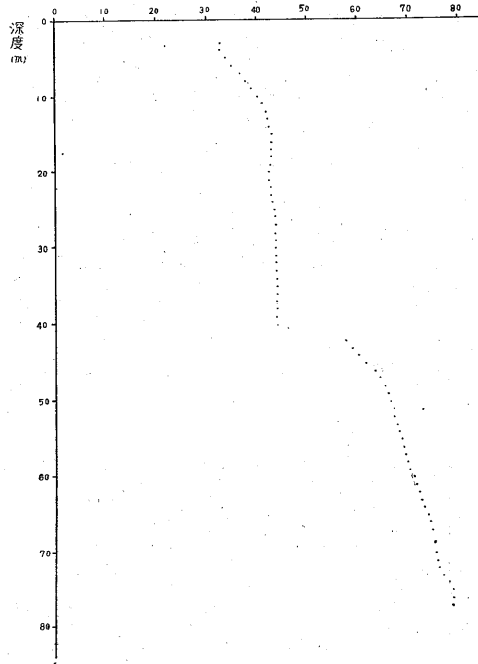


第 5 図 a 温度検層図

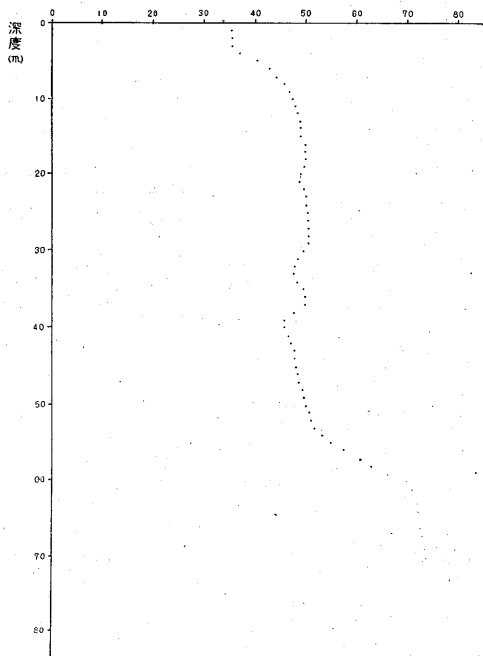
田中惣湯 (No.40)
温度 (c)



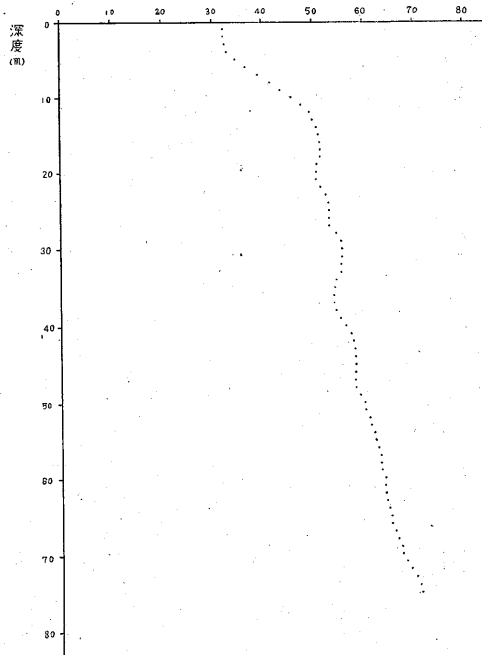
長谷川旅館 (No.41)
温度 (c)



池見屋 (No.42)
温度 (c)

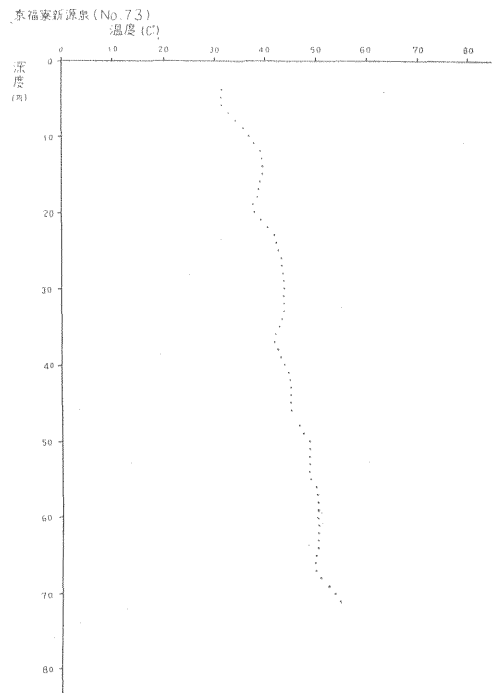
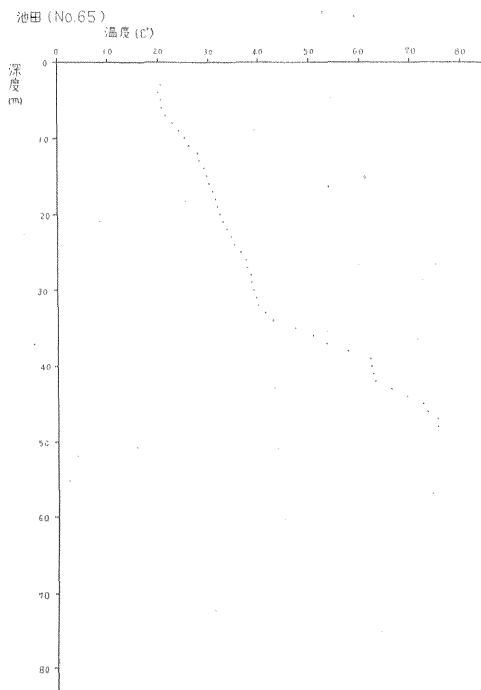
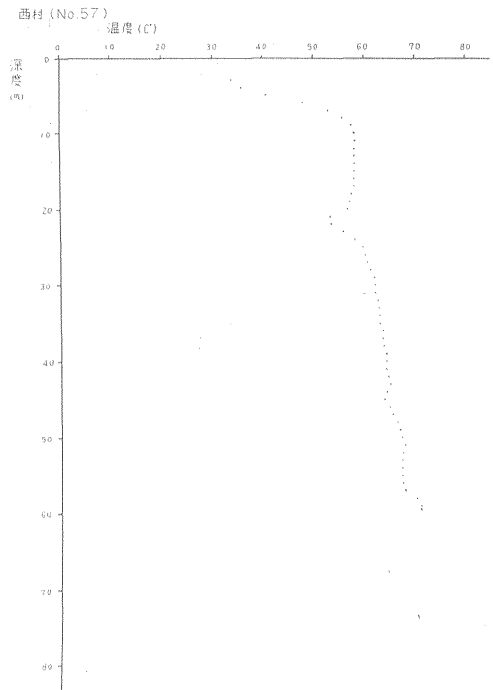
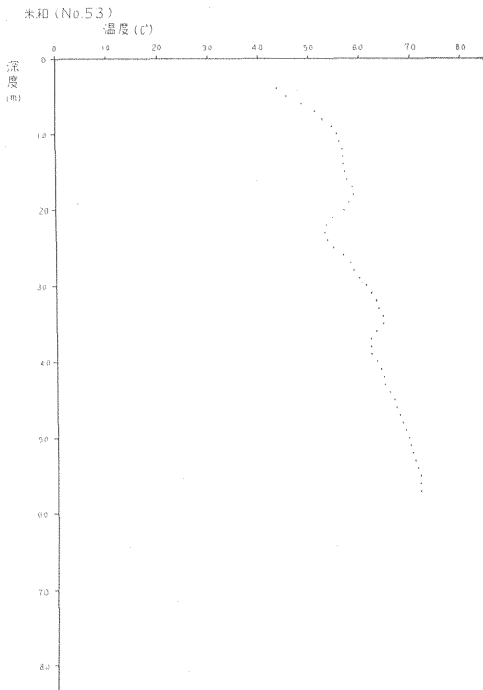


いろは (No.50)
温度 (c)

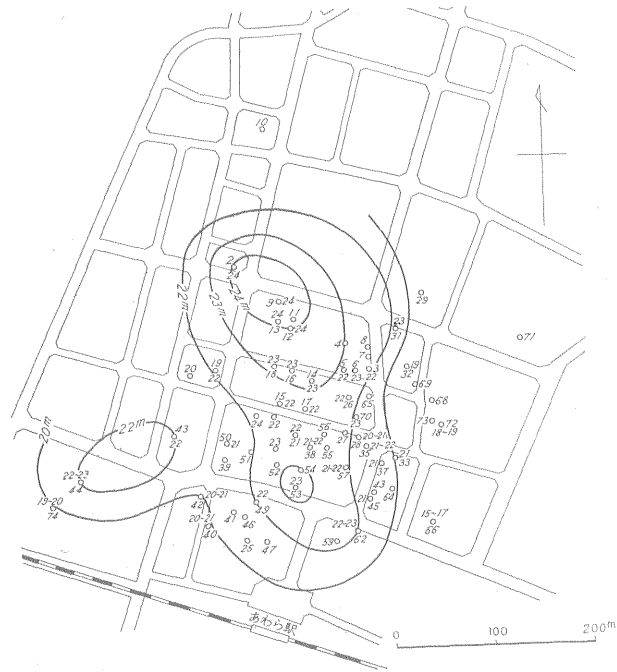


第 5 図 b

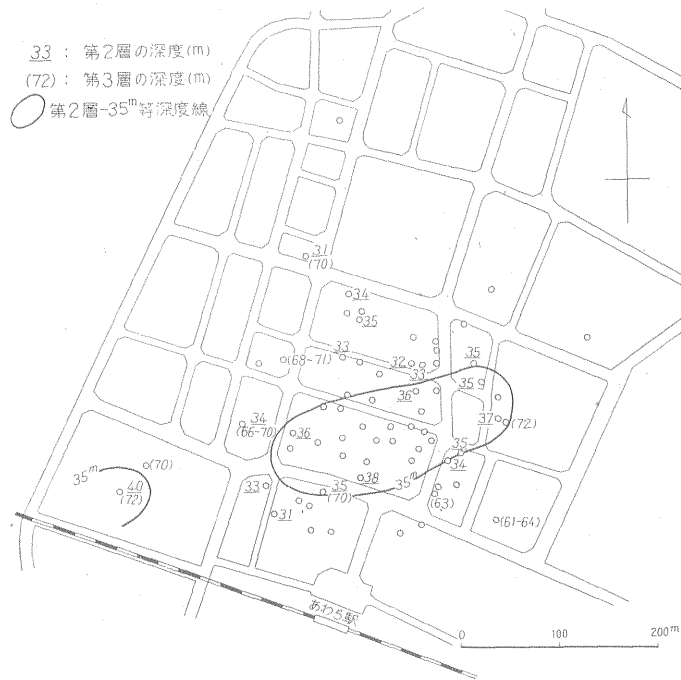
福井県芦原温泉の熱構造ならびに泉源保全に関する考察 (中村久由・前田憲二郎・鈴木 孝)



第 5 図 c



第6図 帯水層(第1層)分布図(I) 数字は深度



第7図 帯水層(第2層)分布図(II)



第 8 図 地温増加率の分布 数字は $\frac{\text{孔底温度}(\text{°C})}{\text{深度}(\text{m})}$ を示す

図である。

この図をみると、湧出地域のほぼ中央に高温の中心があり、外側に向かって増加率の値は小となるが、等値線の延びに注目するなら、それは北東～南西の方向を示していることがわかる。芦原温泉におけるこの熱構造が既述の帯水層の向斜状構造と位置および方向がほぼ一致する事実を併せ考えると、ほぼこの位置に基盤岩層内の弱帯があり、この弱帯に沿って温泉が湧出し、その一部は沖積層・洪積層中の帯水層に貯溜されているとみなされる。

2.2 比抵抗法による表層調査

前項では温泉井内の地質状況、温度分布等について説明を加えたが、さらに温泉湧出地域内における地質状況を知る補いとして、比抵抗法による表層部の調査を行った。

芦原温泉は田圃で囲まれ、ほとんど平坦地の上に位置するため、比抵抗法による電気探査には好適の場所といえる。測線は東西および南北方向に設け、計 28カ所で測定した注²⁾ (第 9 図)。

測定結果の解析には種々の方法がとられているが、ここでは表層部の地質状況に関する資料が得られれば充分であるから、細かな解析に立入らず、両対数グラフに抵

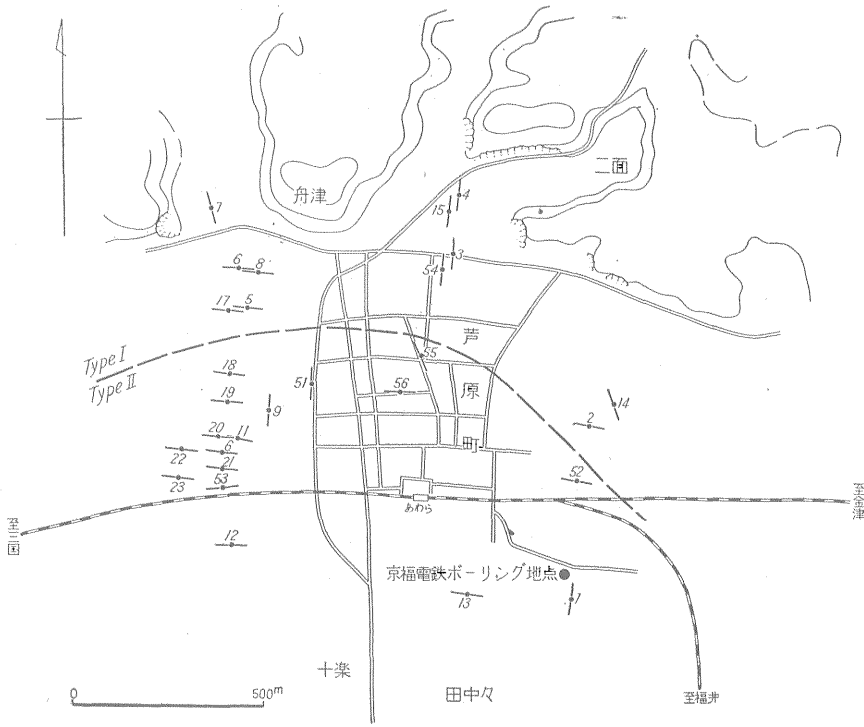
抗値をプロットし、各地点における深度—抵抗曲線の特徴を比較した。

各地点の代表的な曲線は第 9～12 図に掲げたが、これらの特徴を整理してみると、大きく 2 つの型に分けることができる。すなわち、1 つはある深度以下で抵抗が大きくなる型であり、他は逆にある深度以下で抵抗が小さくなる一群である。しかも、前者は温泉地域の北側、後者はその南側という分布をとることもまた地質状況の特徴につながるがらとして注目をひく (第 9 図)。

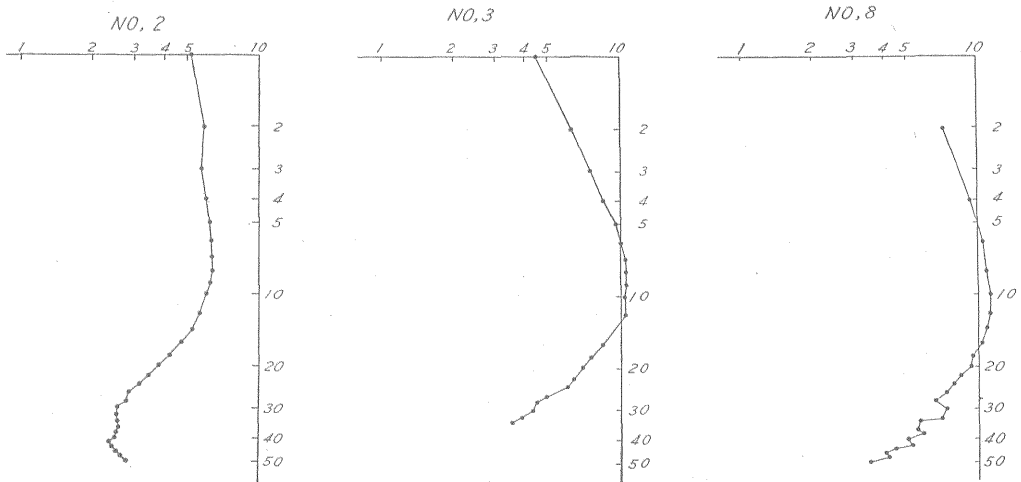
まず、浅部に抵抗の大きな曲線をもつ北側の地域についてであるが、ここは洪積層の台地に接近している場所であるため、大きな抵抗が現われることについて、次の 2 つの理由が考えられる。1 つは、背後の台地を構成する砂層が崩れ落ち、二次的に水を含まない砂が堆積したとみられる場合である。他の 1 つはこの地域自体がすでに抵抗の大きな洪積層の砂層からなると考えられる場合である。

この問題に関連して、温泉地域の最も北側に位置する温泉会館 (源泉番号 No. 10) の地質柱状図をみると (第 2 図)、その南側のものに比べ、かなり礫が多い等の特徴があるので、この資料を参考にすると、この北側の地域はすでに地表浅部から洪積層からなるとい見方が強い。この洪積台地は芦原温泉の背後を通り、東西方向に連なるものの一部であつて、温泉はこの古い地形の傾斜地帯から湧出していることになる。この点から推定

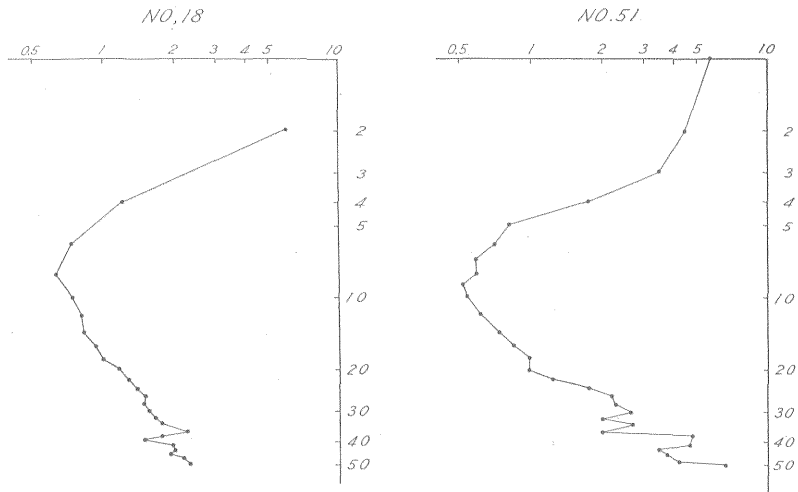
注²⁾ このうち 6 本 (No. 51～No. 56) は福井大学笹島貞雄助教授の測定による。



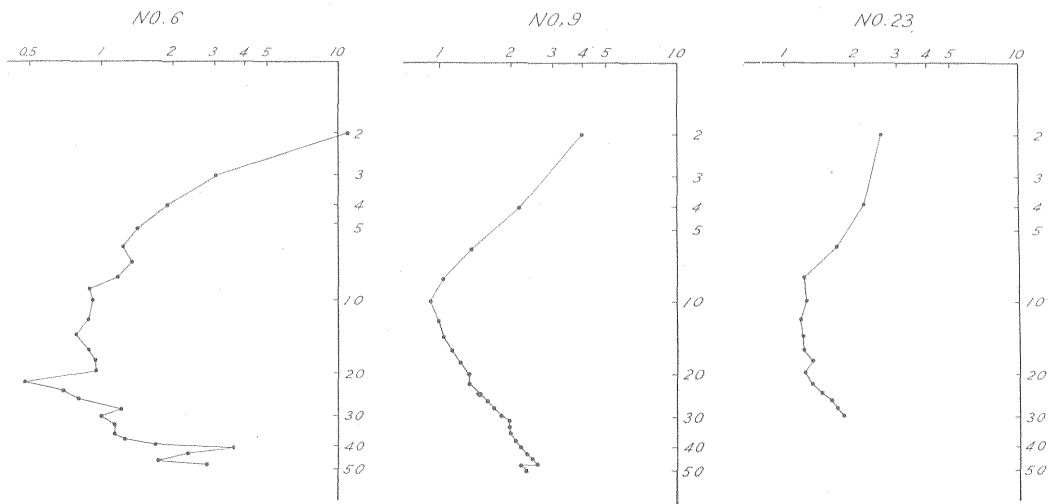
第9図 a 電探測線位置図 (数字は測線番号を示す)



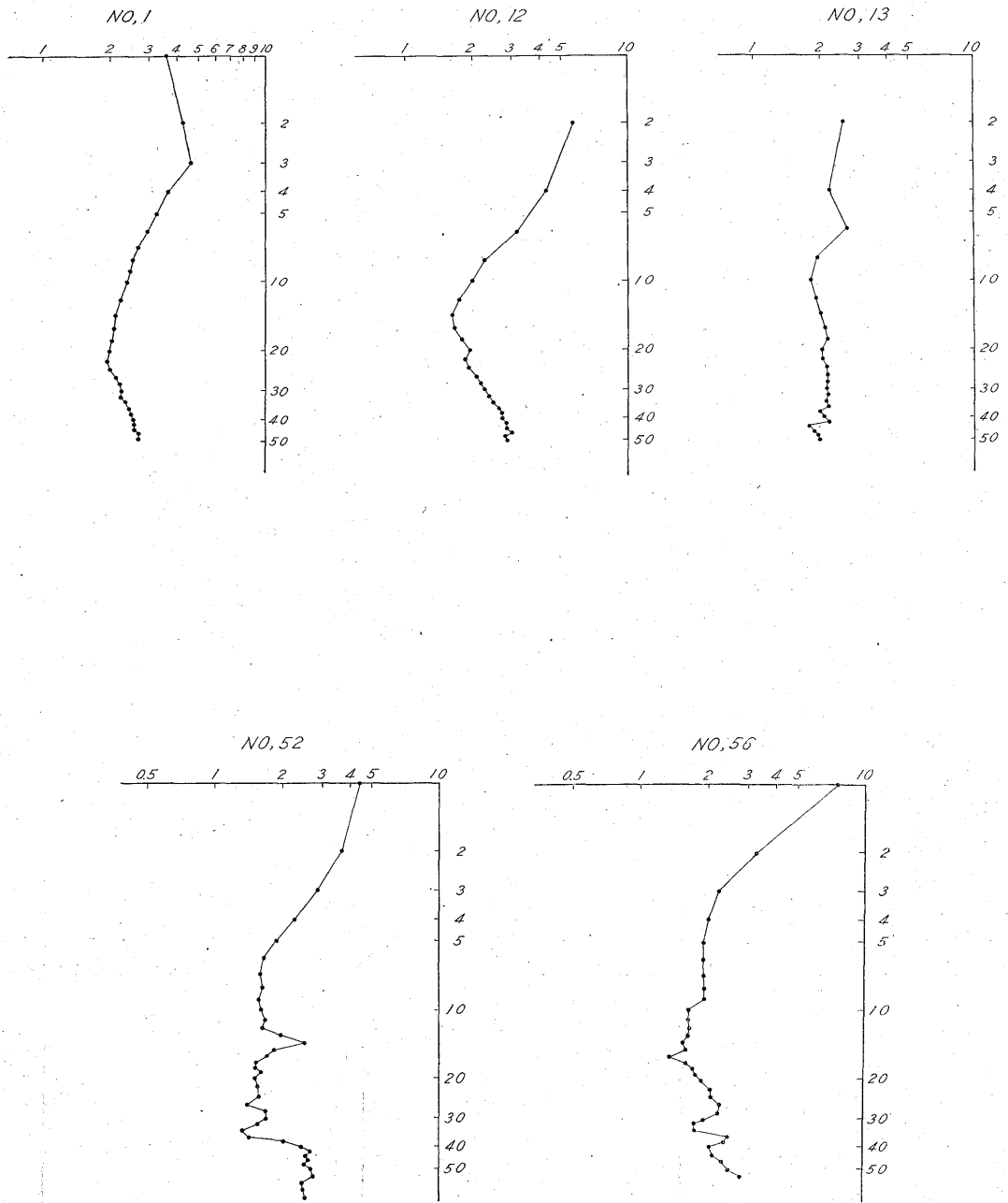
第9図 b 比抵抗曲線 Type I (この系列に入るもの: No. 2, 3, 4, 5, 8, 14, 15, 16, 54)



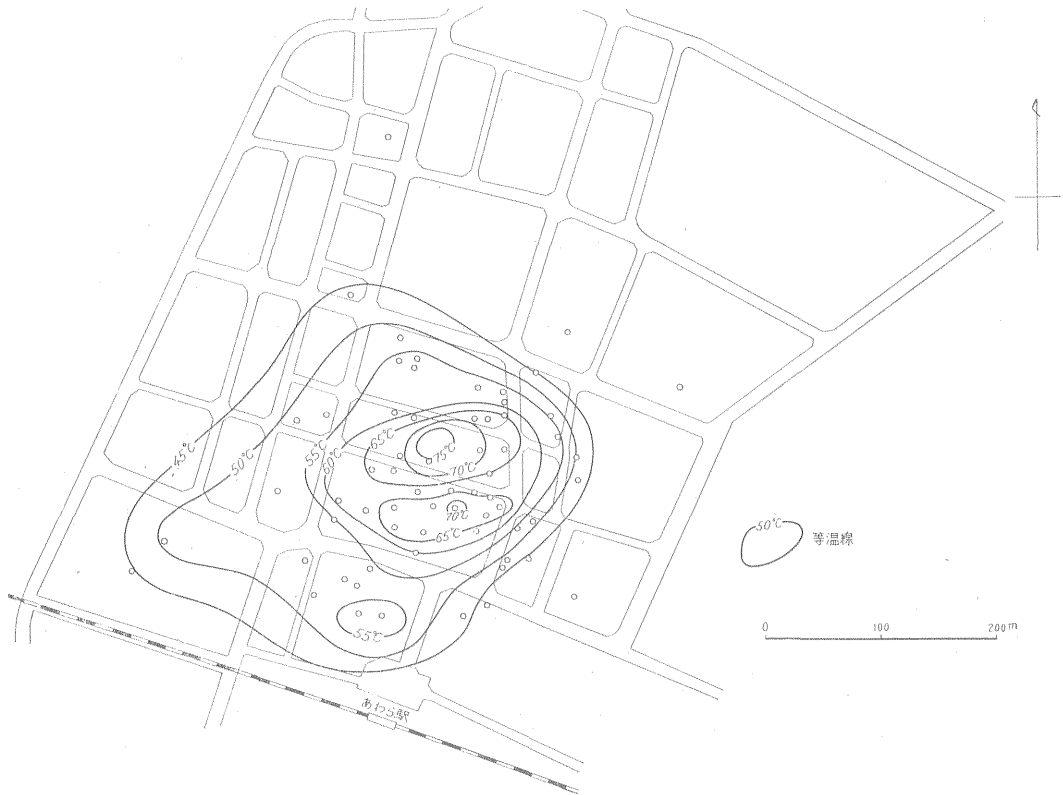
第 10 図 比抵抗曲線 Type II-1 (この系列に入るもの : No. 18, 51, 55)



第 11 図 比抵抗曲線 Type II-2 (この系列に入るもの : No. 6, 9, 19, 20, 21, 22, 23, 53)



第12図 比抵抗曲線 Type II-3 (この系列に入るもの: No. 1, 12, 13, 52, 56)



第13図 水温分布図

すると、この方向にもあるいは基盤の弱帯が存在するのかも知れない。

2.3 温泉水の温度・化学成分

2.3.1 揚水温の分布

現在各源泉はポンプで揚水しているので、ここでいう水温は、温泉井から最短の距離で測定した値である。

第13図は揚水温の分布を示したものである。この図をみると、高温帯はほぼ北東—南西の方向に連なり、前記の地温増加率の分布とほとんど一致する。ただ、場所によつて低温の部分が高温帯を中断するところがあるが、これは地下水の影響によるもので、後述の Cl^- の分布においてもこの傾向が明瞭に現われている。

2.3.2 Cl^- 含量の分布

芦原温泉の Cl^- 含量は比較的高く、最高 5,500 mg/l に達する。第14図は各源泉の Cl^- 含量の分布を示したものであるが、これをみると高含量地帯が中断されているところがあり、水温分布の場合に較べ、地下水の影響がより顕著に現われていることを知る。もちろんこれは温泉井内における冷地下水の混入によるものではなく、すでに地下水が深部で温泉水に混入した結果、 Cl^- 含量

に低下をきたしたものである。この点については、後でふたたびふれてみることにしたい。

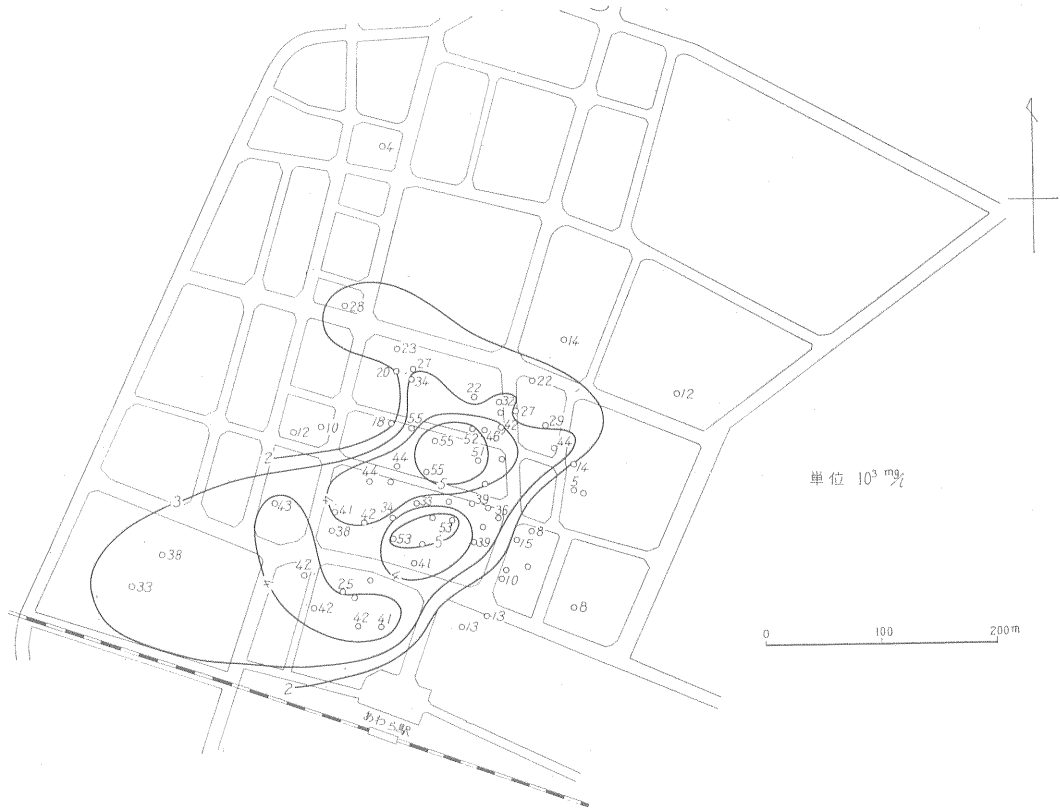
2.3.3 水温と Cl^- 含量との関係

温泉水と地下水との関係を知る意味で、第15図に、水温と Cl^- 含量の相関図を掲げた。この図をみると、水温と Cl^- とは正の相関関係にあるが、必ずしも線上にのらず、各点の分布はかなり散点的であることがわかる。この図から元の地下水の温度を推定すると、少なくとも 30°C 以上 40°C というかなり高温の範囲内にある。この地域の地熱がかなり広範囲にわたつて高い値をとることから考えると、より深部に存在する地下水全体は地熱によつてあらかじめ温められており、これが温泉水に混入し、結果的に第15図に示したような相関関係をとるに至つたと解されるのである。

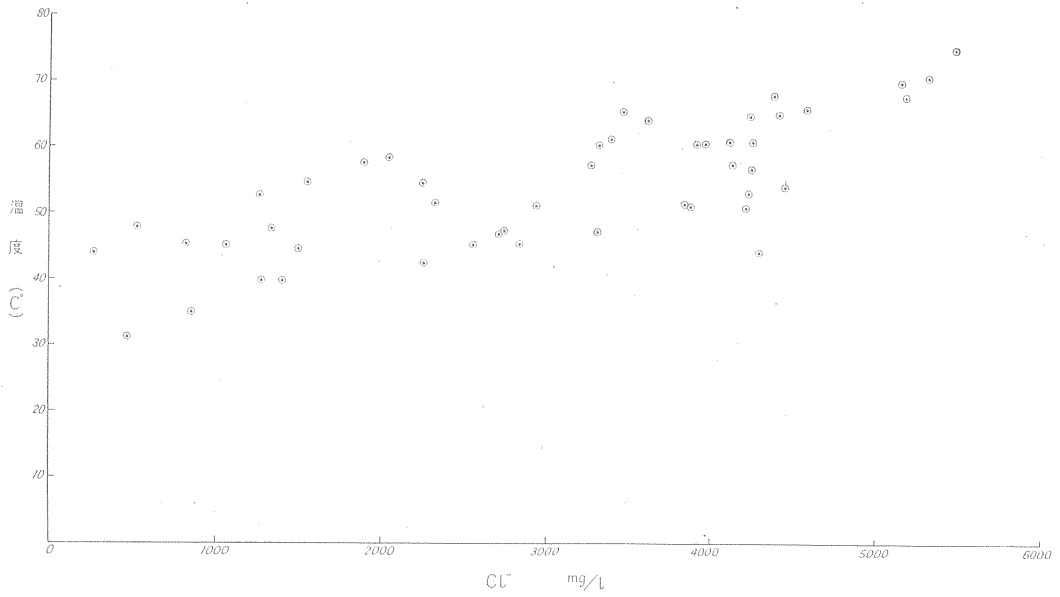
2.3.4 水温と HCO_3^- との関係

分析表から知られるとおり、温泉水自体の HCO_3^- 含量が比較的小さい。第16図は水温と HCO_3^- 含量との関係を示したものである。この図をみると両者は負の相関関係にあることがわかる。

すでに前項で指摘したように、温泉水はより深部で地



第14圖 Cl⁻ 分布圖 (單位 10³mg/l)



第15圖 Cl⁻~温度 相關圖

下水の影響をうけたとみなされるので、第16図における HCO_3^- の行動は、地下水中に含まれる HCO_3^- によるものと解される。おそらくより深部の地下水が温泉水から発散した CO_2 ガスを溶解して HCO_3^- を生成するに至り、この HCO_3^- を含む地下水が温泉水に混じたと考えられるのである。

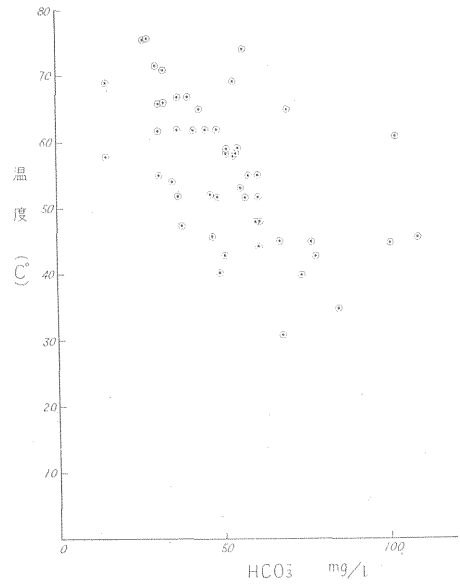
2.3.5 Cl^- と SO_4^{2-} 含量との関係

温泉水中の Cl^- と SO_4^{2-} 含量との関係は第17図に掲げた。この図をみると一見正の相関関係にあるように見えるが、はつきりした規則性はみだされない。しかし、分析表をよくみると、 SO_4^{2-} 含量は、水温、 Cl^- 含量に関係なく比較的一定したある幅の中にあることに気がつく。

芦原温泉の源泉が互いに接近して位置しているにもかかわらず、各源泉の Cl^- と SO_4^{2-} との関係がこのように不規則であることは、湧出過程において Cl^- あるいは SO_4^{2-} のいずれかが二次的に温泉水中にとりこまれたことを暗示するように見える。このうち、 Cl^- は種々の点からいわゆる温泉成分の1つとみなされるのに対して、 SO_4^{2-} は他成分との関係から推して二次的にとりこまれたとみなされる可能性が強い。おそらく、湧出の途中で洪積層中の粘土層から導かれたものであろうか。

2.3.6 Cl^- と HBO_2 含量との関係

Cl^- と HBO_2 との関係は第18図に示すように、正の相関関係にある。その比率 (HBO_2/Cl^-) は $3.1 \sim 7.9 \times 10^{-2}$ の範囲内にあり、海水 (1.3×10^{-3}) に比べ10倍以上の高い値を有する。

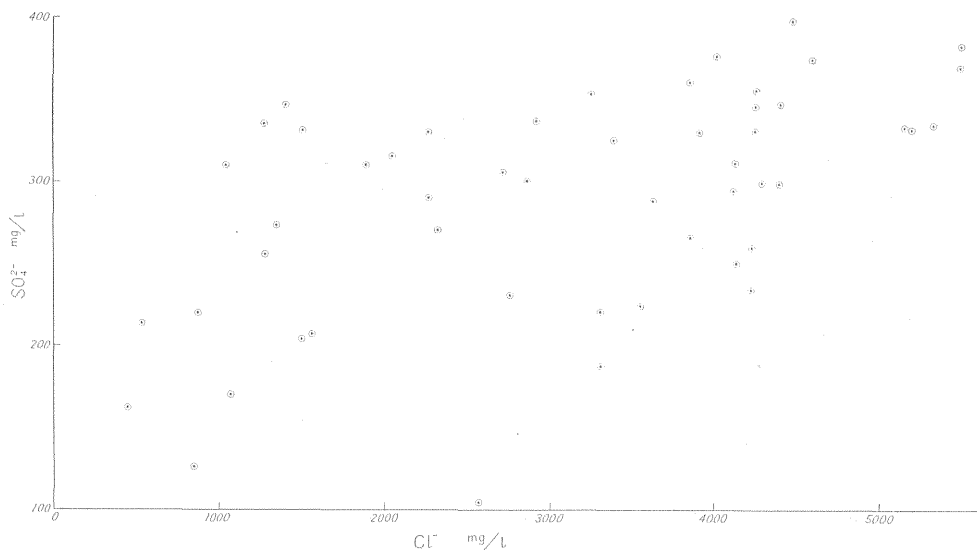


第16図 HCO_3^- ~温度相関図

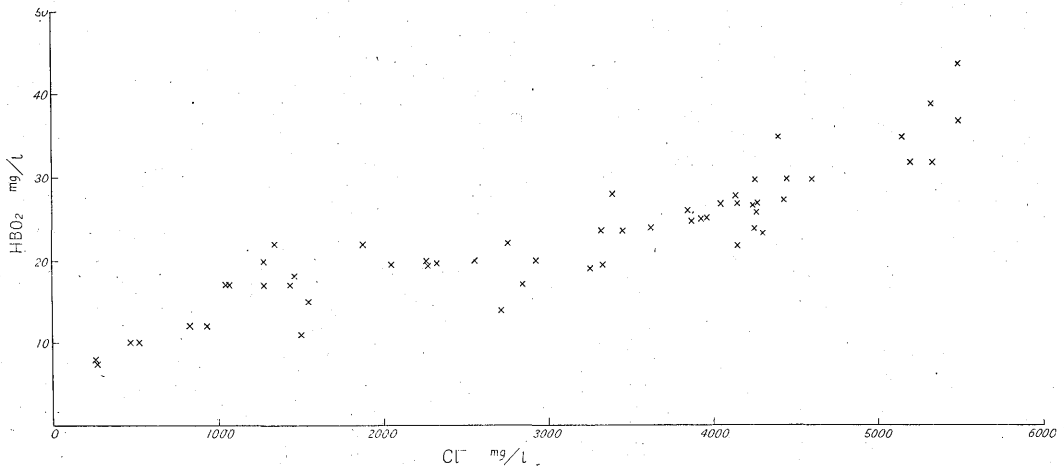
2.3.7 Cl^- と Br^- , I^- 含量との関係

芦原温泉の Cl^- 含量は最高 5,500 mg/l に達し塩分含量が高いことから、海水源とみなされる疑いもないわけではない。

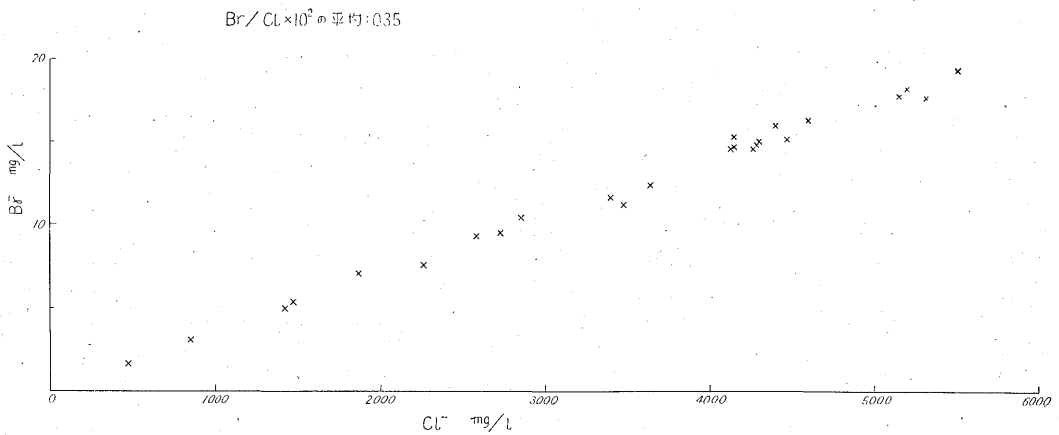
第19図は Cl^- と Br^- との関係を示したものであるが、全く正の相関関係にあり、 $\text{Br}^-/\text{Cl}^- \times 10^2$ の比率は平均 0.35 である。この数値は海水の比率 0.34 に近似する。一方 $\text{I}^-/\text{Cl}^- \times 10^2$ の比率も海水の 2.6×10^{-3} に比べ3~



第17図 Cl^- ~ SO_4^{2-} 相関図



第18図 Cl⁻~HBO₂ 相関図



第19図 Cl⁻~Br⁻ 相関図

5×10^{-3} という値であり著しい開きがない。

以上の結果だけを取り上げてみれば、海水源という見方にはなほだ有利ではあるが、Cl⁻ と HBO₂ との比率が海水の10倍以上の値をとることや、Ca²⁺ と Mg²⁺ の量的な割合が海水の場合と全く異なるなどの点を考えに入ると、海水源であるかどうかについては、今後なお検討を要する問題が残されているように思われる。

以上述べたことがらを要約すると、芦原温泉は Cl⁻、Na⁺、Ca²⁺ を主成分とし、その湧出過程で HCO₃⁻ を含む地下水を混合し、さらに SO₄²⁻ を二次的にとりこんで、現在のような成分的特徴を有するに至つたと結論される。

3. 泉源保全に関する考察

前章の各項目では、主として芦原温泉の熱構造について説明を加えたが、ここではこれらの資料と温度、湧出量、化学成分、水位等に関する若干の資料を基にして、泉源保全に関する問題を考察してみることにする。

芦原温泉は明治16年発見されて以来、乱掘をおそれて源泉数を74本に押えてきた。この措置は一面において芦原温泉の泉源保護の上に大きな役割をはたし、現在国内の他の温泉には水位の低下、湧出量の不足に悩むものがあるおりから、なお依然としてかなり高い水位を保ち、水量にもさほどの不足を訴えないことは、源泉数を制限したことに帰因するとみて、まず間違いのないところである。

しかし、このような内規は必ずしもよい影響のみを与

第1表. 芦原温泉化学成分表

名称	No.	Temp.	pH	Free CO ₂	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	I ⁻	Br ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Total Fe	Al ³⁺	Na ⁺	K ⁺	HBO ₂	H ₂ SiO ₃	T.S.M.
水仙荘	2	46	7.6	4.4	47.0	300.4	2872	0.1	10.3	5.3	631.6	<0.1	<1.0	1344	45.5	16.9	40.3	5505
開花亭	3	66	7.2	7.9	33.6	357.2	4265	—	—	4.4	918.0	0.2	1.0	1852	82.0	29.5	57.9	7859
〃	4	55	7.6	2.4	61.0	289.7	2269	—	—	3.7	433.5	0.2	1.0	1188	43.5	19.4	44.9	4425
〃	5	69	7.3	5.3	15.3	333.3	5206	0.3	18.2	4.8	1143.3	1.5	3.5	2400	103.0	32.9	67.6	9746
〃	6	67	7.4	5.0	40.0	376.1	4609	0.2	16.3	4.6	1013.6	<0.1	<1.0	1960	90.0	29.5	55.9	8437
〃	7	47.5	7.4	5.0	36.6	306.2	2721	0.15	9.5	3.5	529.1	<0.1	<1.0	1330	41.0	14.3	28.6	5243
〃	8	58	7.4	4.6	15.3	353.0	3280	—	—	3.6	675.6	<0.1	<1.0	1530	56.0	19.3	49.4	6203
舟津惣湯	9	52	7.4	5.3	57.3	270.8	2331	—	—	3.4	474.9	<0.1	<1.0	1176	41.5	19.7	36.4	4555
芦原温泉会館	10	31.5	8.0	0.0	67.7	162.9	477	<0.1	1.7	2.2	52.6	<0.1	<1.0	426	12.5	10.1	146.8	1193
八木	11	48	7.5	2.6	61.0	240.3	2773	—	—	2.9	555.4	<0.1	<1.0	1302	49.0	21.9	36.4	5410
〃	12	62	7.3	3.5	40.9	325.1	3405	0.3	11.6	2.9	724.5	<0.1	<1.0	1514	64.5	28.5	54.6	6550
〃	13	59	7.6	4.4	51.9	316.9	2053	—	—	1.9	374.3	<0.1	<1.0	1068	43.5	19.7	44.2	4229
べにや	14	76	7.3	6.6	27.5	371.2	5512	0.3	19.2	5.3	1231.6	0.2	1.0	2476	108.0	43.8	59.8	10252
〃	15	69	7.4	5.3	54.3	298.8	4406	—	—	4.1	968.0	0.2	<1.0	1854	84.0	35.1	62.4	8468
〃	17	76	7.4	6.6	26.2	384.3	5512	—	—	4.6	1229.5	<0.1	<1.0	2476	109.0	37.1	67.6	10256
〃	18	58	7.6	4.4	54.3	311.9	1895	<0.1	7.1	2.2	372.3	<0.1	<1.0	1010	41.0	21.9	54.6	3988
九頭竜荘	19	—	7.5	5.0	73.2	310.3	1048	—	—	1.1	160.5	<0.1	<1.0	688	29.0	17.7	35.1	2397
福寿荘	20	53	7.7	3.1	56.1	335.8	1282	—	—	1.7	195.2	<0.1	<1.0	765	28.7	17.5	39.0	2861
つるや	21	61	7.8	2.0	103.1	221.4	3324	—	—	3.6	680.0	<0.1	<1.0	1480	63.0	22.8	42.3	6008
〃	23	65	7.6	2.5	70.8	214.8	3475	0.1	12.1	3.6	690.6	<0.1	<1.0	1580	69.0	23.6	58.5	6232
〃	24	66	7.3	5.1	31.1	348.1	4414	0.2	15.9	4.1	953.1	<0.1	<1.0	1928	86.0	27.8	66.3	8165
有楽荘	25	58	7.4	4.4	51.2	234.6	4265	0.3	14.6	6.6	907.9	<0.1	<1.0	1856	74.0	27.0	33.8	7896
久保田医院	26	71	7.3	6.6	32.9	354.3	5178	0.3	17.8	5.3	1143.1	<0.1	<1.0	2376	101.0	35.1	66.3	9700
芦の湯	27 28	62	7.4	4.8	31.1	341.5	3927	—	—	3.5	818.5	<0.1	<1.0	1932	81.0	25.3	61.1	7327
三谷	29	40	7.6	4.0	74.4	347.2	1411	<0.1	5.0	1.2	235.5	<0.1	<1.0	850	25.0	17.5	32.5	3130
西岡医院	31	43	7.5	4.4	51.9	330.0	2275	<0.1	7.7	2.6	438.7	<0.1	<1.0	1162	36.0	19.7	26.0	4640
昭和館	32	52	7.4	3.5	47.5	337.4	2925	—	—	5.0	586.9	<0.1	<1.0	1460	60.0	20.2	52.0	5604
ちとせ旅館	33	45.5	7.7	2.2	76.9	176.1	828	<0.1	3.0	2.9	131.6	<0.1	<1.0	560	17.5	11.8	39.0	1861
仁泉	35	65	7.4	4.4	42.7	288.9	3634	0.1	12.4	6.9	750.1	<0.1	<1.0	1630	72.0	23.6	59.8	6732
隆泉荘	37	55	7.5	4.4	58.0	207.4	1572	—	—	2.2	280.7	0.2	<1.0	876	33.0	15.3	34.6	3256
いろは	39	52.5	7.6	3.0	61.0	267.5	3847	—	—	4.7	786.3	<0.1	<1.0	1750	65.0	26.1	40.3	7058
田中惣湯	40	54	7.2	3.7	34.8	346.5	4265	0.2	14.9	3.7	905.3	<0.1	<1.0	1874	86.0	27.0	58.5	7954
はせ川	41	46	7.4	5.3	109.2	104.5	2580	0.1	9.2	6.1	580.6	0.2	<1.0	1102	49.5	19.7	28.6	4839
池見屋	42	52	7.4	4.4	47.6	259.2	4230	0.3	14.3	6.0	947.8	<0.1	<1.0	1730	69.0	24.1	28.6	7825
松屋本館	43	45	7.4	5.3	67.1	295.5	4301	0.2	15.0	5.9	947.3	0.1	1.0	1874	70.0	23.6	29.9	7833
松屋別館	44	52	7.4	5.3	36.6	363.8	3882	—	—	3.5	829.0	<0.1	<1.0	1716	68.0	24.4	45.5	7218
みゆき荘	45	43	7.5	2.6	78.1	168.7	1070	—	—	1.3	175.1	<0.1	<1.0	619	19.5	17.5	33.8	2314
有楽荘	47	58.5	7.4	4.4	54.3	251.0	4151	—	—	6.6	886.9	<0.1	<1.0	1816	69.0	21.9	36.4	7632
いろは	50	62	7.3	5.1	36.6	312.7	4131	0.2	14.8	4.3	867.0	<0.1	<1.0	1846	79.0	27.0	53.3	7585
かめや	51	62	7.3	5.3	48.8	332.5	4272	—	—	3.7	918.5	<0.1	<1.0	1874	86.0	26.1	48.1	7903
国鉄寮	52	72	7.3	5.3	36.6	335.8	5336	0.3	17.7	4.4	1171.1	<0.1	<1.0	2400	104.0	32.0	68.9	9560
米和	53	59	7.4	5.7	54.9	296.3	4113	0.2	14.4	3.9	863.2	<0.1	<1.0	1816	82.0	26.1	54.6	7511
角惣	55	72	7.3	4.4	30.5	372.0	5319	—	—	5.4	1175.1	<0.1	<1.0	2448	106.0	39.4	67.6	9964
芦月荘	57	62	7.4	5.6	45.1	344.8	3962	—	—	5.8	852.7	<0.1	<1.0	1770	77.0	25.3	35.1	7368

名称	No.	Temp.	pH	Free CO ₂	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	I ⁻	Br ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Total Fe	Al ³⁺	Na ⁺	K ⁺	HBO ₂	H ₂ SiO ₃	T.S.M.
大針	59	48	7.6	2.6	60.4	273.2	1361	—	—	1.3	207.3	<0.1	<1.0	791	28.7	21.9	45.5	2957
なかに	62	44	7.9	trace	61.0	57.6	269	—	—	1.4	26.3	<0.1	<1.0	278	7.0	8.4	39.0	742
やま清	66	35	7.7	2.6	84.8	220.6	865	—	—	1.5	118.4	<0.1	<1.0	600	14.0	11.8	36.4	1905
松風園	68	45	7.5	5.3	101.3	204.1	1495	—	—	3.4	259.3	<0.1	<1.0	844	33.7	11.0	41.6	3055
〃	69	55	7.4	4.4	30.5	389.3	4467	0.1	15.1	3.8	942.8	<0.1	<1.0	2160	85.0	30.7	52.6	8305
ふじや	71	40	7.9	trace	48.8	256.0	1288	—	—	1.3	199.2	0.1	<1.0	748	28.0	20.0	36.4	2787
芦原寮	73	48	8.0	0.0	61.0	213.2	514	—	—	1.9	63.8	<0.1	<1.0	426	14.0	10.1	39.0	1311
芦泉荘	74	43	7.3	5.3	57.3	186.0	3315	—	—	6.9	756.5	<0.1	<1.0	1388	64.5	19.4	37.7	5975
〃	交換掘	—	7.3	5.5	32.3	378.6	4026	—	—	4.6	871.3	<0.1	<1.0	1884	75.4	27.0	50.7	7792
松屋本館	交換掘	—	7.6	5.8	61.0	331.7	1451	<0.1	5.3	2.1	223.1	<0.1	<1.0	885	33.0	18.5	44.2	3108
有楽荘用水	—	24	6.8	30.8	286.7	4.1	323	—	—	11.0	89.3	—	<1.0	234	20.5	6.7	7.8	834

(単位 mg/l)

えるとは限らず、次のようないくつかの問題が生ずるに至つた。すなわち、1つは源泉の権利の問題である。源泉数を74本に押え、新期増掘を認めぬ現在、源泉獲得のためそこに権利が生ずるのは当然であつて、現在のように温泉の使用量が增加するに伴ない、権利が権利を生むような事態に立至つてゐる。次は、74本の源泉の位置は一応、土地の所有権その他の関係で交換掘りの場合においてもそう著しく離れた場所に掘るわけにはいかず、結局現在ではその分布はほとんど固定された状態にある。このため温泉の中心地では高温の源泉を所有できるのに対して、外側の源泉の大部分は水温が低く、場合によつては、その使用にあつて加熱しなければならぬほどである。しかも掘さく深度が50間(91m)に押えられていることと、後述のように第3層の温泉貯溜層自体の温度が逐年低下しているため、掘さく限度の深さまで達しても高温の温泉水が得られる望みは薄いという状況にある。源泉の所有が平等の権利の上になつたという見方からすれば、中心部と外側とは著しく均衡を欠くことになる。これらの問題に加えて、温泉法の面からみれば、泉源に支障を与えぬ限り、新期源泉の掘さくになんらの制約が加えられないという法の精神にもていしくすることにもなる。

このように、明治19年以來の慣行は、技術的にも、あるいは行政的にも一考を要する時期に立ち至つてゐると考えられる。特に技術的な面においては、最近、温度・化学成分・水位等の上になりに著しい変化が生じているので、この際泉源保全の立場からいつても、再検討の時期にあると思われるのである。

以下、まず温度・化学成分・水位等に、どのような変

化が生じたかを述べ、これの資料を基にして、今後の対策について若干ふれてみることにしたい。

3.1 湧出量の変化

芦原温泉における湧出量の一斉調査の記録としては、昭和29年6月、昭和33年4月(いずれも町役場調査)のものがあり、さらに昭和35年に福井大学塚野善蔵教授によつて行なわれた測定資料がある。

このうち、昭和26年測定当時は、まだ直接サクシオンパイプを温泉井内に挿入せず、地表下数尺まで井戸枠を沈め、その底に湧出口がくるようにし、湧出した温泉水をそのまま浴場に自然流下させるか、あるいはポンプで揚水する方法であつた。この時の湧水量は1,353 ton/day(温泉井63本)で1井当り平均14.9 l/mである。昭和33年の測定時もほぼこのような状況にあつたが、その時の湧出量は1,556 ton/day(温泉井62本)であり、1本当りの平均は17.3 l/mであつた。昭和35年、塚野教授の測定時には、サクシオンパイプを10mまで温泉井内に挿入することが認められており、したがつて前二者の場合に較べ、明らかに湧水量(揚水量)の増加が認められた。すなわち、25本の温泉井の揚水量の合計は494.6 l/mで、温泉井68本の概算を求めると1,936 ton/dayになる。これは1本当り19.8 l/mの値になる。これらの結果を整理してみると、昭和29年当時に較べ昭和33年には約17%、昭和35年には約33%増加したことになる。しかも時間的には、前者は4年間であるのに対して、後者はわずかに2年間でこのように飛躍的な湧水量の増加をもたらしたのであるから、やはり、ポンプの使用がその主因であることは否めない事実であるといふことができる。

3.2 水位の変化

前項で述べたように、昭和29年当時は井戸枠にたまった温泉水をポンプで揚水していたとはいえ、一部になお、この井戸枠を越えて溢流するものがあつた。しかし、その後、温泉の使用量が增大したため、現在サクシオンパイプを10mまで挿入することを許可していることは既述のとおりである。中央温泉研究所¹⁾の報告によれば、昭和29年当時の自然水位はほぼ地表下50cm以内であろうといわれており、動水位は各井戸ごとで異なり、一定した値を示さなかつたという。

昭和35年、塚野教授の測定によれば、自然水位は西および西南地域で1.5m内外、東側では2m内外で、昭和29年当時に比べ1m内外低下しているといわれる。一方、動水位は温泉の中央部で地表下5m、外側に広がるほどより低くなり、最外側では地表下8mに達している。このような水位の低下は、前項で述べた揚水量の増加と密接な関係をもつ。

3.3 水温の変化

温泉水の水温は、同じ源泉の場合でもさく井時の仕上げの巧拙により時間的にかなりの幅で変化するので、源泉全般につき経年的な水温の変化をつかむことは思うほど簡単なことがらではない。しかし、昭和29年6月の一斉調査の資料と今回の調査資料とを比較してみると、意外に水温の変化が小さいことに気がつく。すなわち、60°Cの等温線はいずれもほとんど一致し、わずかに南西側に一部温度の低下が認められるだけである。この理由としては、おそらく混入する地下水自体がすでに30°C以上の水温を有する^{注3)}ため、実際に地下水の影響を受けていても、水温の上には、化学成分の場合ほど顕著な変化が生じないためと思われる。

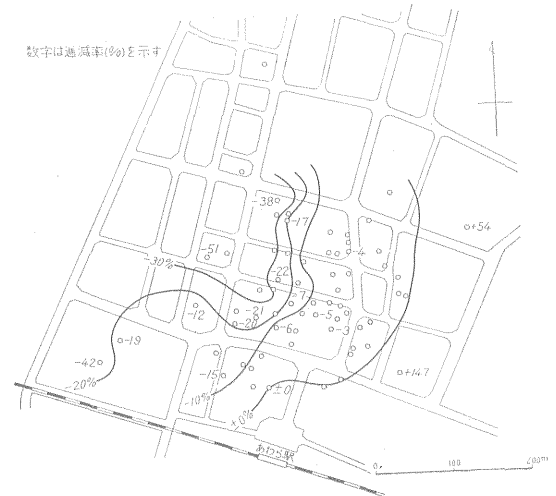
ただし、一般的に逐次水温が低下していることは事実のようであつて、たとえば昭和26年に行なわれたべにや16号泉の分析表をみると、水温は84°Cと記録されている。現在、水温の最高は76°Cで、80°C以上のものはなく、しかも最近この16号泉の近くで84mという深い試すいを行なつたが、孔底温度は81°Cにすぎなかつた。この事實は、往時に比べ、温泉貯溜層自体の温度がすでにかなり低下していることを示している。このような現象は、特に外側部で著しいようで、確かな資料は残っていないが、現在、南東側の低温帯の1源泉(水温45°C前後)では、明治年間に25間盤(第2層)で60°Cの温度があつたといわれる。このように、比較的短時間では著しい水温の変化はあらわれていないが、一般的にみると逐年水温はわずかずつ低下しているのは事実であ

注3) 2.3.3 水温とCl⁻含量との関係参照。

るといつてよい。

3.4 Cl⁻含量の変化

昭和29年から昭和35年までの間に生じたCl⁻含量の変化は第20図に示すとおりであるが、要するに水温の場合に比べ、このCl⁻含量の方がかなり明瞭な変化をとつて現われるということである。



第20図 Cl⁻含量の還元率分布図(昭和29~36年)
数字は還元率(%)を示す

このようなCl⁻含量の変化は、とりもなおさず温泉水に対する地下水の影響を意味する。昭和26年以前の一斉分析の資料を欠くので、その直接的な原因をはつきり指摘することはできないが、おそらくポンプ揚水による湧出量の増加、および水位の低下に伴ない、地下における温泉水圧と地下水圧の平衡に変化を来し、相対的により強く地下水の影響が現われるに至つたと解釈される。もちろん、この地下水の影響はポンプ揚水のみが原因ではなく、外側から徐々に温泉貯溜層に及んでいたものであろうが、ポンプ揚水の開始により、加速的に増加したものと考えられる。

いずれにしても、泉源保護の立場からみれば、この地下水の影響がどのような形で現われるかが、今後の最も大きな問題点の1つとみなされるのである。

3.5 今後の変化についての予測

以上述べたことがらのなかに、すでに今後、芦原温泉のたどる経路が浮きぼりされているようにみえる。すなわち、地下水の影響は垂直的には浅部から深部へ、水平的には外側から中心部へ及ぶこと必定であり、現在、まだ中心部ではかなりの高温を保持しているが、今後、使用量の増加、したがって揚水量の増加に伴ない、かなり

急速にこの影響があらわれるものと予測される。もちろん、帯水層の性質は、塚野教授が指摘しているように、上部ほど脆弱で孔隙率は大きい、下部ほど堅くしまつて孔隙率は小さい。この点については、

- 1) 源泉間の距離が近接しているにもかかわらず、相互の干渉が顕著にみられない。
- 2) 各源泉とも揚水量が少ない。
- 3) 蛍光剤投入により、温泉水の流動速度を知ろうと試みた実験結果は、その速度がきわめて小さいことを示す。

等のことから、温泉水自体の流動はきわめて緩慢であり、したがって、地下水の浸入速度もまたかなり小さいものと推定される。

芦原温泉が明治16年以来、比較的安定した状態におかれたのも、1つは源泉数を74本に限定したことに加えて、帯水層の性質が、このように著しく透水性ではなく、しかも含水率の高い粘土質の地層に厚く取り囲まれていることに関係あると考えられる。いずれにしても、ただか80m程度の温泉帯水層を対象としている限り、もはや開発は限界に達したといつて過言ではない。

3.6 今後の対策についての意見

以上述べた種々のことから、芦原温泉はいまや体質改善のため、なんらかの方法をとるべき時期にあると考えられる。

この際、一時的な延命策ではなく、もつと根本的に温泉取得の方法を変える行き方、たとえば源泉を統合し、少数の温泉井で基盤の第三紀層中に貯溜されている温泉水を得るような方向に進むことを提唱したい。

前章の熱構造の項目で述べたように、温泉の中心部を過り、北東—南西方向に基盤の弱帯が推定され、基盤中の温泉水は、この弱帯に沿つて上昇し、貯溜されるとみなされるので、この弱帯上に位置し、しかも最も温度の

高い中心地域の適当な地点を選び、少なくとも150m以上の試すいを行ない、まず深部の状況を知ることが望ましい。実際必要な温泉の使用量は、現在の2,000 ton/dayよりはるかに少ない量で済むはずであるから、この必要量が確保できれば、より多くの源泉を掘る必要はなく、この少数の源泉から湧出する温泉水を無駄なく使用できるように管理することが、結局、源泉保全のうえに最も直接的な対策であり、同時に新しい温泉開発の礎石であると結論されるのである。

4. ま と め

芦原温泉はほぼ北東—南西の方向をとる基盤(第三紀層)の構造的弱帯に沿つて湧出し、地表浅部では洪積層中に貯溜された存在状態をとる。

温泉水は Cl^- で特徴づけられるが、過去数カ年における Cl^- 含量の変化の状態をみると、全般的に減少の割合がかなり著しい。これと同時に水位の低下も来しているが、これらの現象は使用量(揚水量)の増加によるものである。このままの状態では、 Cl^- 含量の低下に伴ない、水温の低下を招くこと必定と思われるので、この際源泉保全と管理という面から源泉を統合し、基盤中の温泉を利用する行き方に切り換える必要があると結論される。

(昭和34年8月調査)

文 献

- 1) 坂本峻雄・益子 安・佐藤幸二：温泉の地球化学的研究，第3報芦原温泉，温泉科学，Vol. 7, No. 3, 1956
- 2) 塚野善蔵：芦原温泉の水理地質学的研究，福井大学学芸学部紀要，第II部，第10号，第5集，1960