



Title	2 . 山形県東根温泉の調査
Author(s)	浦上, 晃一; 大槻, 栄; 三好, 日出夫; 田上, 龍一; 川村, 政和; 三宅, 秀男; 市川, 悟; 小関, 迪子; 西, 和男; 大橋, 幹夫; 佐倉, 保夫
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 22, 9-29
Issue Date	1969-08-30
DOI	10.14943/gbhu.22.9
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/13960">http://hdl.handle.net/2115/13960</a>
Type	bulletin (article)
File Information	22_p9-29.pdf



[Instructions for use](#)

## 2. 山形県東根温泉の調査

浦上晃一・大槻 栄・三好日出夫  
 田上龍一・川村政和・三宅秀男  
 市川 悟・小関迪子・西 和男  
 大橋幹夫・佐倉保夫

(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和44年4月受理 —

### I. 序 言

山形県の依頼によって、昭和43年11月5日から11日にわたって、山形県東根市東根温泉において、電気探査、1 m 深地温の測定、廃井中の水温の鉛直分布の測定、浅層地下水の調査、温泉揚湯の一時停止に伴う温泉水頭の変化の観測、水準測量による地下水及び温泉の静止水頭の測定等を行なった。

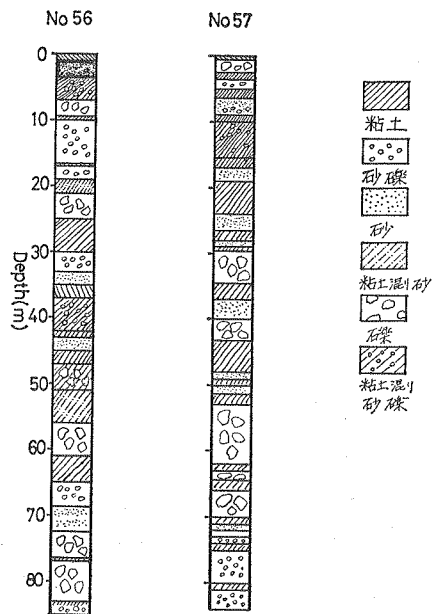
この調査結果と山形県衛生部薬務課によって行なわれた過去の調査結果<sup>1)</sup>から、東根温泉地域の地下構造、表層地下水の動向、温泉と深層地下水との関係等について纏めた結果を報告する。

調査に際し種々の援助を与えられ、また過去の調査資料を提供して下さった山形県衛生部薬務課の東海林辰雄氏をはじめ他の方々、東根市産業課の柴崎喜四郎氏をはじめ他の方々、また東根温泉協同組合の青木庸太郎氏をはじめ他の方々に対し厚く感謝する次第である。

### II. 地形、地質の概況

東根温泉は奥羽本線東根駅の北東約1 km に位置し、村山盆地の東北隅を占める沖積層から湧出する層状泉である。温泉街の東500~600 m には村山盆地の東の境となっている山地が発達し、西方は境の山地まで約8 km 間は沖積平野が拡がり、その中を最上川が蛇行して流れている。

東方の山地には石英粗面岩が広く発達してお



第1図 地質柱状図 (東根温泉協同組合保存の資料)

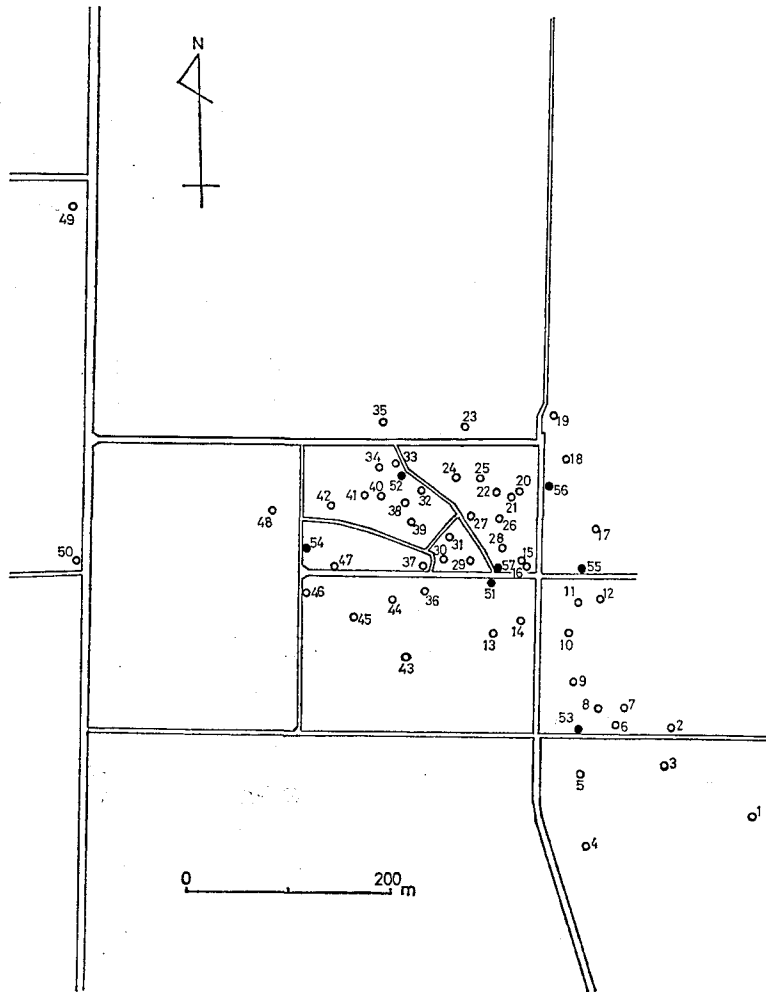
Fig. 1. Geologic structure

1) 山形県衛生部；山形県の温泉 (第4輯).

り、これらは奥羽山脈を構成する第三紀層を貫いて噴出したもので第三紀末期の噴出物と推定されている。温泉街付近では、この石英粗面岩の基盤の上に沖積層がのっていると考えられているが、ボーリングによる地質柱状図(第1図)が示すように砂礫層、砂層、粘土層等が幾枚も繰返して重なり、深度約200 m でもまだ基盤に達していない。

### III. 源泉分布, 泉温, 湧出状況

温泉は沖積層に深さ52~70 m まで掘さくして得られており、何れも当初は自噴していた(第2図の白丸)。昭和24年10月頃は、総量として500 l/min 程湧出していたが、その後温泉水



第2図 源泉の分布図(白丸は昭和24年当時の自噴井, 黒丸は現在の揚湯井)

Fig. 2. Geographical distribution of hot springs at Higashine in Yamagata prefecture.

頭が低下し、自噴が停止したので昭和32年から集中管理により源泉が統合され、現在は温泉協同組合の7源泉(第2図の黒丸)から動力揚湯して各旅館に配湯している。(なお第2図の数字は廃井及び揚湯井に便宜上つけた番号である。)その他、現在自噴している源泉として使用されているのはNo.20だけである。各源泉の現況を第1表に示す。

第1表 泉温と湧出量の現況

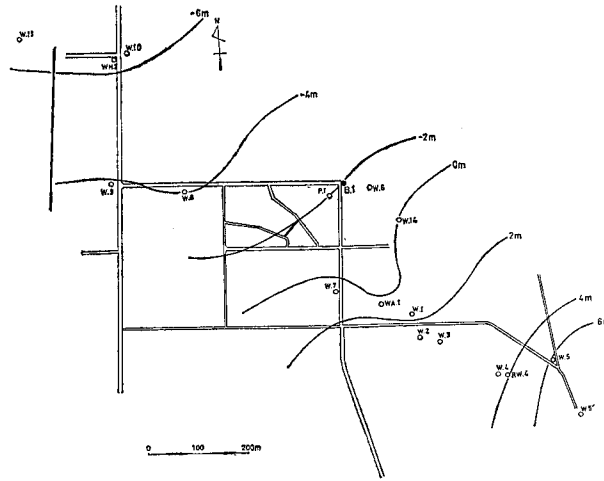
	Sp. No.						
	52	53	54	55	56	57	58
泉温(°C)	66.5	63.8	63.2	57.6	59.5	57.1	64.5
湧出量(l/min.)	$1.27 \times 10^3$	$2.86 \times 10^3$	$2.00 \times 10^3$	$1.67 \times 10^3$	$3.44 \times 10^3$	$1.70 \times 10^3$	$1.88 \times 10^3$
掘さく深度(m)	171.0	118.8	118.8	118.8	85.0	85.0	85.0

## IV. 地下水調査

東根温泉街から本町北宿に至る地域の26箇所の浅井戸、池について地下水調査を行なった。調査は地表付近の自由水面地下水に対して行ない、基準点からの水位、水温、 $\text{Cl}^-$ 濃度を測定した結果を第2表に示した。第3図は表層地下水の水頭分布図であるが、測点が少なく地下水の動向を詳細に論ずることはできないが、大体南東から北西にこの地域の地表の傾斜の方向に流動していると思われる。

第2表 東根温泉地下水調査

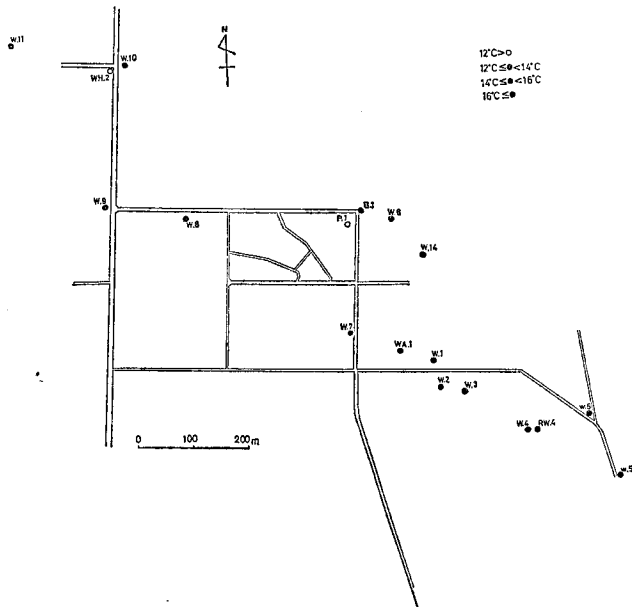
井戸 No.	B1を基準とした水頭高(m)	井戸の深さ(m)	水温(°C)	$\text{Cl}^-$ (mg/l)	井戸 No.	B1を基準とした水頭高(m)	井戸の深さ(m)	水温(°C)	$\text{Cl}^-$ (mg/l)
WA 1		0.176	15.8	25.20	W 12				9.35
W 1	+0.8		16.2	28.08	W 14	+0.5	0.8	15.2	39.30
W 2	+2.2		14.3	16.58	W 15			13.8	11.89
W 3	+2.3		14.0	15.33	W 16			13.8	11.28
W 4	+3.5	1.16	14.3	15.21	W 17			11.7	9.76
W 5	+6.6	2.32	13.6	17.77	W 18			13.2	13.26
W 5'		0.30	14.7	13.70	W 19			16.1	20.69
W 6	-1.2		13.7	55.8	W 20			19.3	16.20
W 7	+1.5		17.1	71.4	W 20 B			16.8	17.21
W 8	-4.3	1.8	12.4	70.8	WH 2		0.23	10.8	10.68
W 9	-3.7	0.8	12.7	18.25	WH10			14.6	15.4
W 10	-6.8	6.0	15.5	176.70	RW 4			11.5	11.18
W 11	-6.8	1.9	13.0	105.00	P 1			10.2	



第3図 表層地下水の水頭分布

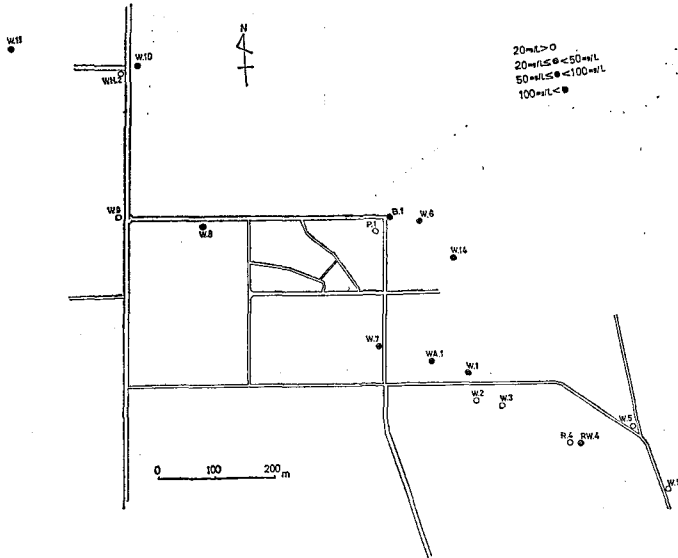
Fig. 3. Horizontal distribution of height of water head

第4図及び第5図は表層地下水の水温分布、 $Cl^-$ 濃度の分布である。水温は温泉市街の東南側で $14\sim 15^{\circ}C$ の値をとり、西北側ではやや低く $14^{\circ}C$ 以下となっている。温泉街では1m深地温(第6図参照)から考えて、 $15^{\circ}C$ 以上の値を示すと思われる。第2表及び第5図から判るように、 $Cl^-$ 濃度は大部分の井戸で $20\text{ mg/l}$ 前後の値であって、W7, W8, W11のように高い値を示す所は温泉水または温泉廃水等が混入したためであろう。



第4図 表層地下水の温度分布

Fig. 4. Temperature distribution of shallow ground water

第5図 表層地下水の  $\text{Cl}^-$  濃度分布Fig. 5. Horizontal distribution of  $\text{Cl}^-$  Content of shallow ground water

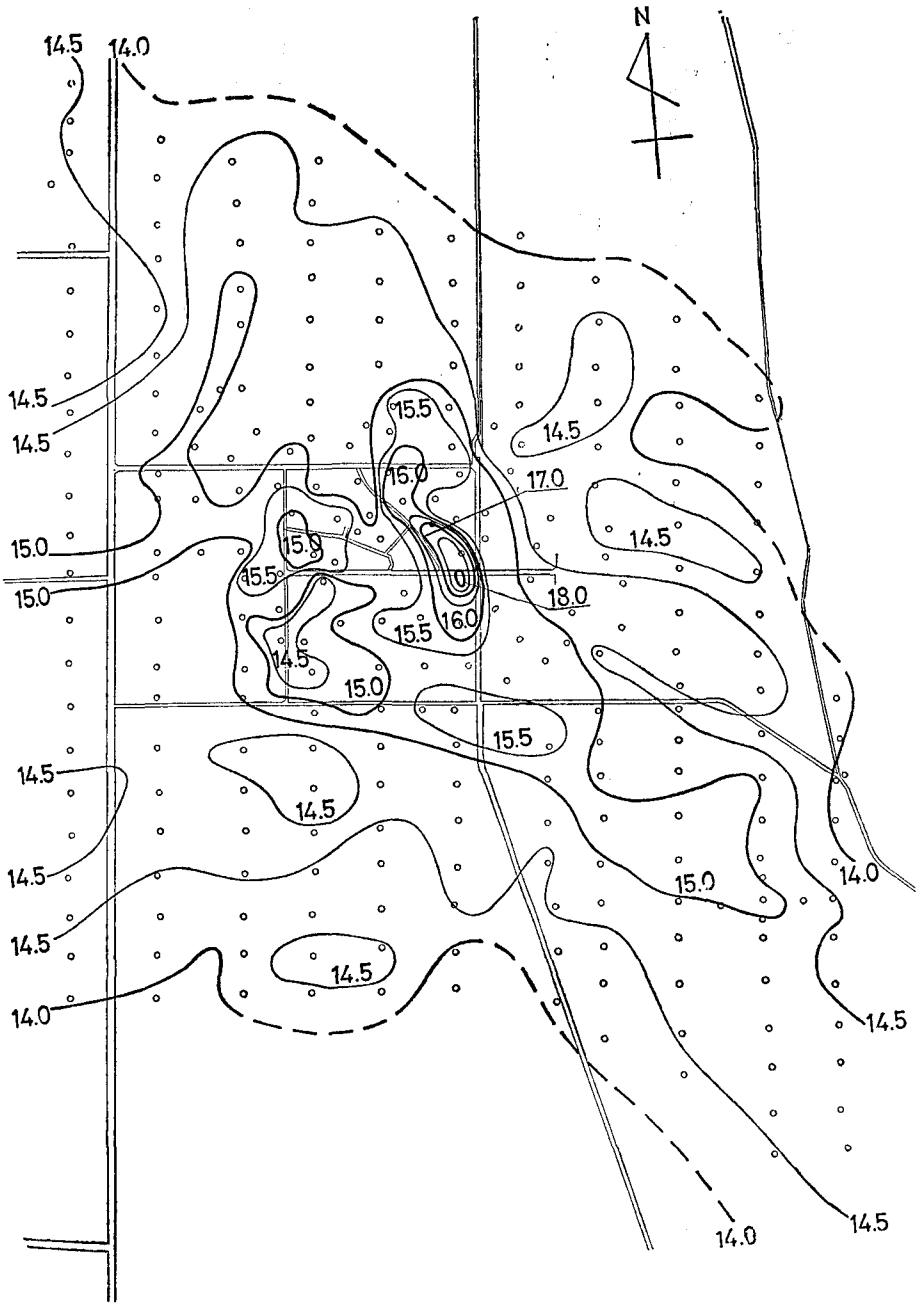
## V. 温泉地域の地中温度分布

### 1. 1 m 深地温分布

温泉市街及びその周辺に 50~100 m 間隔に測点を設けおよそ 250 の地点で 1 m 深地温を測定した。東根温泉では昭和 26 年 3 月に山形県衛生部によって 1 m 深地温の測定が行なわれているが、今回の調査は、前回は行なわれなかった温泉市街、その北側及び西側を含めかなり広範囲にわたって実施した。温泉市街においては、予め配管図を調べ配湯管の影響がないと思われる地点を選んだ。第 6 図は測定結果から  $0.5^\circ\text{C}$  毎の等温線を引いたものであり、図中の白丸が測点の位置を示す。この地域の地温は  $13.4^\circ\text{C}$  から  $18.1^\circ\text{C}$  の間にあり、 $15.5^\circ\text{C}$  以上の高い値は温泉市街においてのみ見られる。前回の調査から高温帯が温泉地域を中心にして南東から北西方向にかけて帯状に存在することが指摘されていたが、今回の調査でも同様な傾向が認められ、更に地域西側では高温帯が広がっている。特に高温な場所は温泉市街の東寄り、温泉 No. 14, No. 15, No. 16 の付近である。

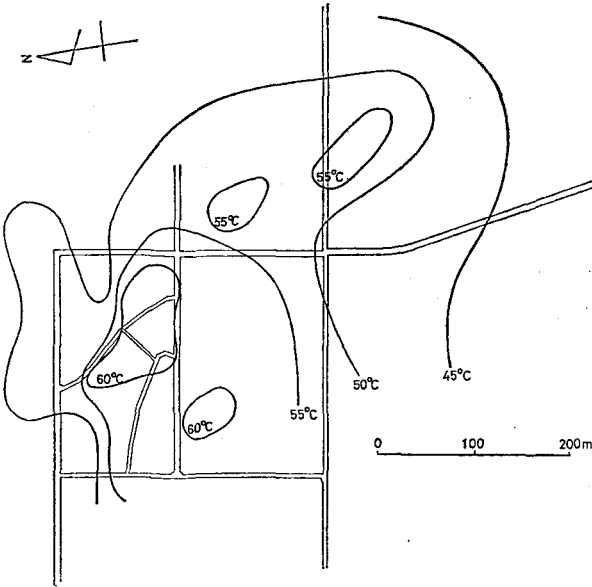
### 2. 孔底温度の水平分布

昭和 26 年 9 月 26 日に測定された各源泉の孔底温度を用いて孔底温度の水平分布図を作成した(第 7 図)。孔底深度は 50~70 m と各源泉により異なっているが、大部分は 65 m 前後である。一般に、深くなるにつれて地中の温度が増すことが知られているが、東根温泉でも昭和 26 年の資料から 50~70 m 付近で大体深さ 1 m 増す毎に  $1^\circ\text{C}$  程度の増加が見積られる。第 7 図



第6図 1m深地温分布

Fig. 6. Horizontal distribution of ground temperature at a depth of 1 m



第7図 孔底温度の分布 (昭和26年9月, 山形県衛生部の測定資料による)

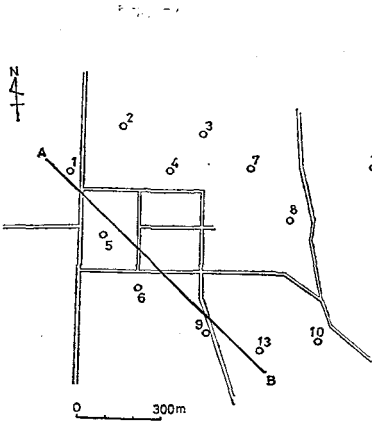
Fig. 7. Distribution of bottom temperature of hot spring wells

ではこのような各源泉孔底深度の相違による補正は行っていない。図から判るように、60°C以上の高温を示す地域は温泉市街中央部及び南西寄りの部分に現われているが、後者の孔底深度は他の部分より6~7m程度深い。また東北部に低温部が入り込み、この部分の源泉の深さは他と比べ5m前後浅いが、これを考慮してもなお低い値である。それは後程述べるように、この地域で地下水の多く混入した比較的温度的の低い温泉水が上昇するためと考えられる。1m深地温と比較すると最高温部については、多少のずれが認められるが全体としてはかなりの一致がみられる。

## VI. 東根温泉の地下構造

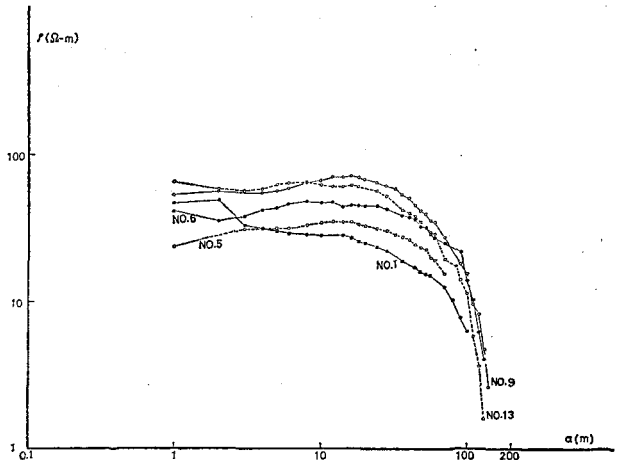
### 1. 電気探査

東根温泉の温泉帯水層の深さを推定するため、第8図に示される市街周辺の13測点において比抵抗法による垂直探査を行なった。測定装置は横河電機製作所の大地比抵抗測定器3244型を使用し、方法はWennerの4極法によった。測定深度は100~160m、測線の方



第8図 電気探査の測点

Fig. 8. Points of resistivity investigation



第9図 ρ-a 曲線

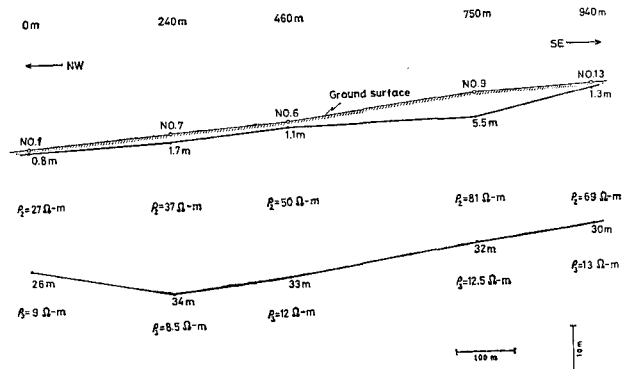
Fig. 9. ρ-a curves



第3表 電気探査解析結果

測点 No.	海拔高度 (m)	測線方向	第1層の厚さ (m)	第1層比抵抗 ( $\Omega$ -m)	第2層の深さ (m)	第2層比抵抗 ( $\Omega$ -m)	第3層比抵抗 ( $\Omega$ -m)
1	92.8	NW-SE	0.8	54	25	27	9
2	93.5	N-S	0.4	20	14.6	30	14
3	95.0	NW-SE	6.2	17	21	34	8.6
4	95.5	E-W	4	34	25	23.5	5
5	95.5	NW-SE	1.7	25	32	37.5	8.5
6	97.0	E-W	1.1	25	32	50	12
7	98.0	NW-SE	0.4	22	17.6	66	12
8	101.0	NW-SE	1.2	60	26	40	9
9	102.5	NNW-SSE	5.5	54	26.5	81	12.5
10	107.5	NW-SE	4	99	19	48	10
11	106.0	NW-SE	0.6	32	24.5	96	19.5
12	100.0	NW-SE	1.8	32	24	128	27.5
13	104.0	NW-SE	1.3	46	28.7	69	13

向は大部分の測点において南東—北西にとった。第9図は $\rho$ -a曲線の例であるが、各曲線はいずれも類似しており、100 m 前後から急激に落ちこみ、標準曲線による解析は不可能となる。したがって、解析はこの地域の最も浅い温泉帯水層の上部境界と推測される30 m 前後の境界を求めるとどめた。第3表に標準曲線法による解析結果を、また第10図に測点1, 5, 6, 9及び13を結んだ地質断面の概略を示した。



第10図 電気探査の結果から推定される地層断面

Fig. 10. The estimated laminar structure

この地域の表層は厚さ0.5~5 m, 比抵抗値20~50  $\Omega$ m である。測点がすべて水田中にあり、表面は水分の多い粘土質土壌なので、この比抵抗値とも対応させ表層は粘土質の土壌と考えてよい。

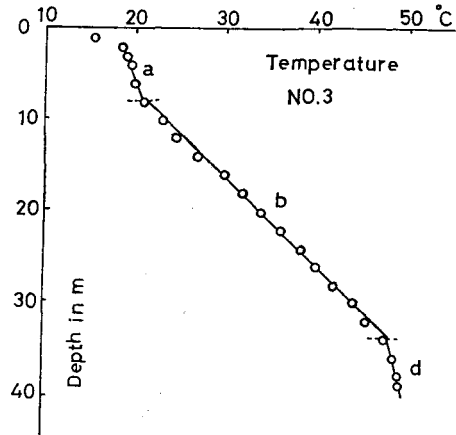
第2層は地表から25~35 mに第3層との境界を持ち比抵抗値は20~90  $\Omega$ m のかなり広い範囲にある。この地相は温泉街の地質柱状図(第1図)からみて、粘土層をかなり含む砂礫帯水層と考えられるが、比抵抗値がかなり低いことから更に下層の温泉帯水層から化学成分に富む水が滲透しているものと思われる。

第3層は25~35 m あたりから現われ、比抵抗値も10  $\Omega$ m 前後と極めて低く、後述の廃井

中の水温の鉛直分布とも対応させ、この地域での最も上層にある温泉帯水層と推定される。

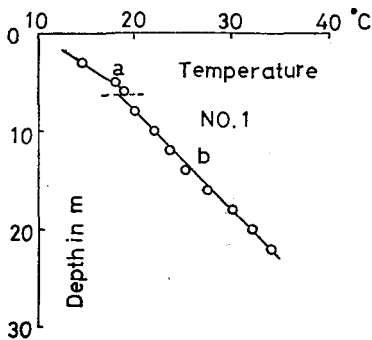
2. 温泉廃井中の鉛直温度分布

No. 1, No. 3, No. 10, No. 21, No. 24, No. 42 及び No. 47 (第2図参照) の7つの温泉廃井においてサーミスター温度計を使用し、管内水温の鉛直分布を測定した。結果を第11~17図に示す。管の口径は1インチ及び1インチ半でありNo. 24を除きいずれも自噴していない。No. 24はパイプを継ぎ、自噴を停止させ、5日間放置後測定した。このように細くまた長期間使用されていない廃井の温度はその周辺における地中の温度に等しいと考える。福富ら<sup>2)</sup>によれば、夫々熱伝導率の異なる水平な地層が地面下に数層重なっていて、横方向の熱の移動がなく定常状態にあるものとすれば、各地層の地温の鉛直分布はその熱伝導率の相違に応じて温度勾配の異なる直線分布をし、全体としては折れ曲がった直線で表わされる。従って、直線の曲り角を地層の境界と考えてよく、夫々温度勾配に対応させて層構造が



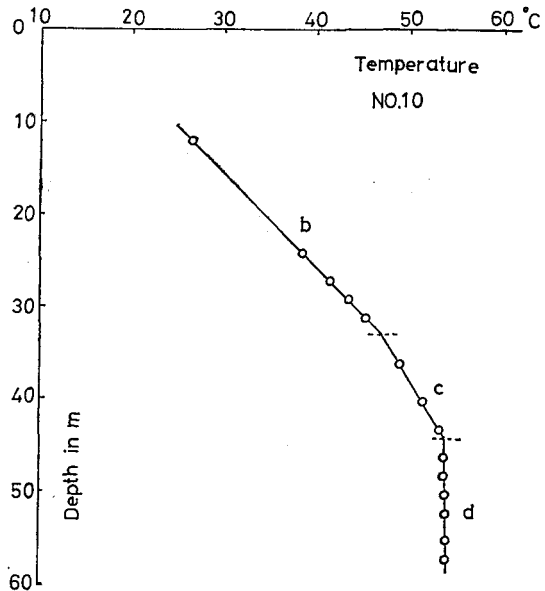
第12図 No. 3における孔内水温の鉛直分布

Fig. 12. Vertical distribution of underground temperature at bore-hole No. 3



第11図 No. 1における孔内水温の鉛直分布

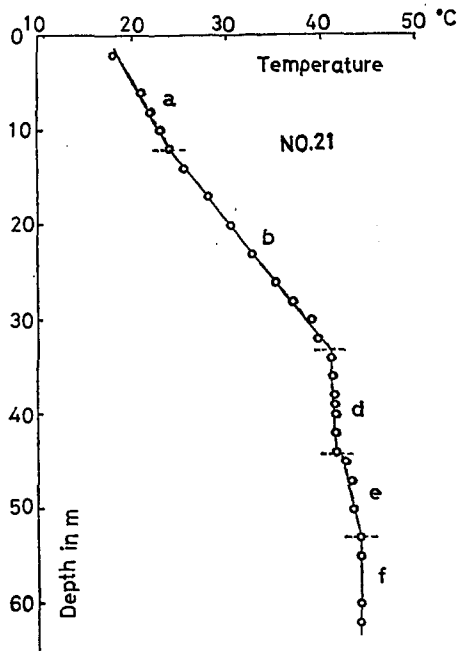
Fig. 11. Vertical distribution of underground temperature at bore-hole No. 1



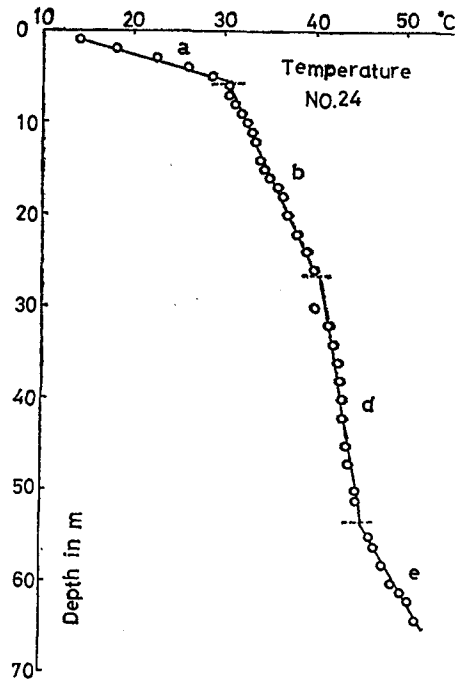
第13図 No. 10における孔内水温の鉛直分布

Fig. 13. Vertical distribution of underground temperature at bore-hole No. 10

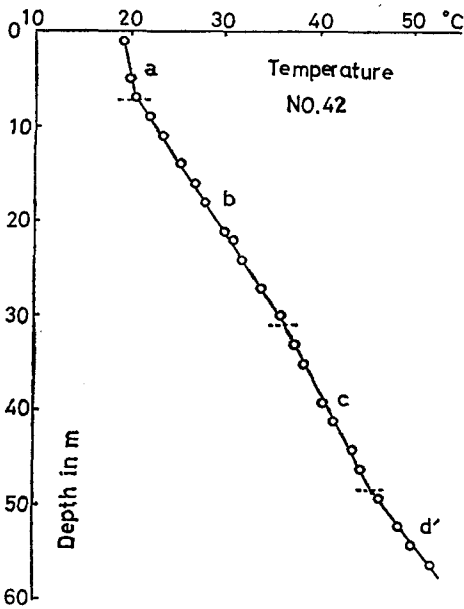
2) 福富・中尾・浦上・大槻・和氣・三好・田上・小泊・小島・西田；山形県天童温泉の地球物理学的研究，北大地球物理学研究報告，18 (1967), 1-32.



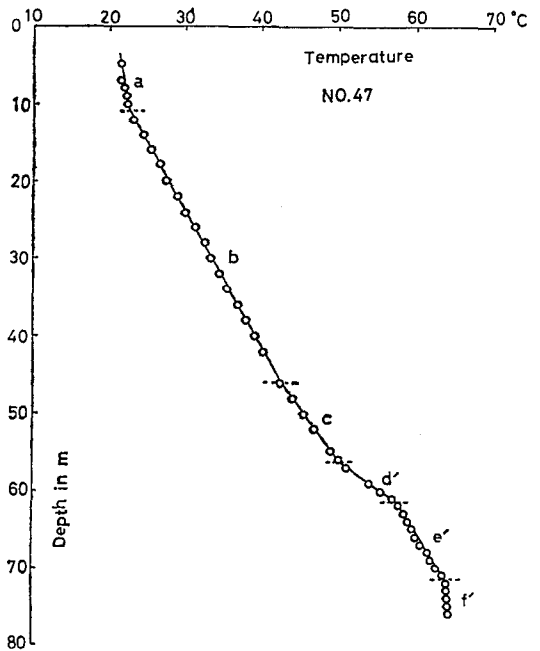
第14図 No. 21における孔内水温の鉛直分布  
Fig. 14. Vertical distribution of underground temperature at bore-hole No. 21



第15図 No. 24における孔内水温の鉛直分布  
Fig. 15. Vertical distribution of underground temperature at bore-hole No. 24



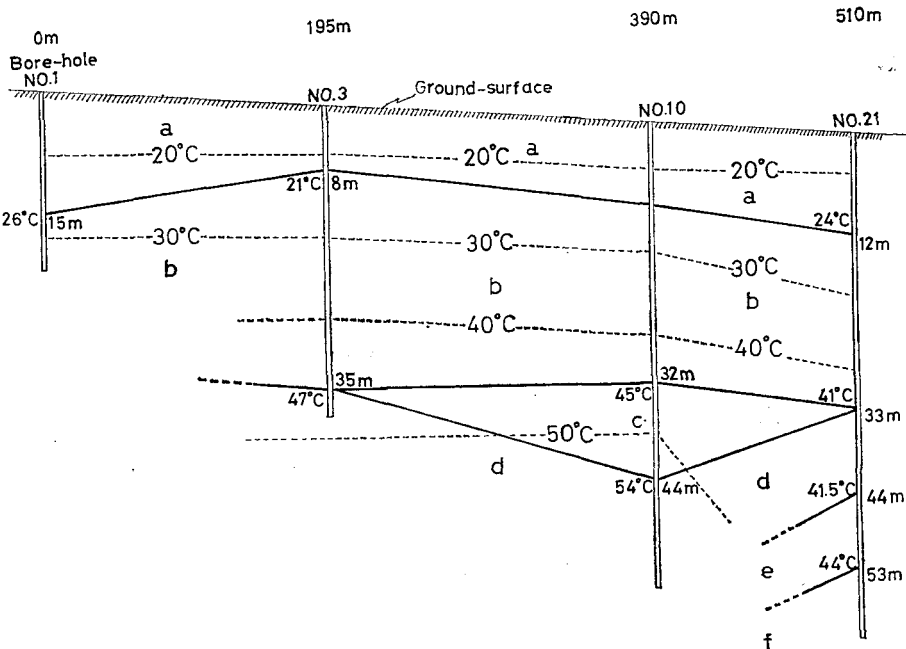
第16図 No. 42における孔内水温の鉛直分布  
Fig. 16. Vertical distribution of underground temperature at bore-hole No. 42



第17図 No. 47における孔内水温の鉛直分布  
Fig. 17. Vertical distribution of underground temperature at bore-hole No. 47

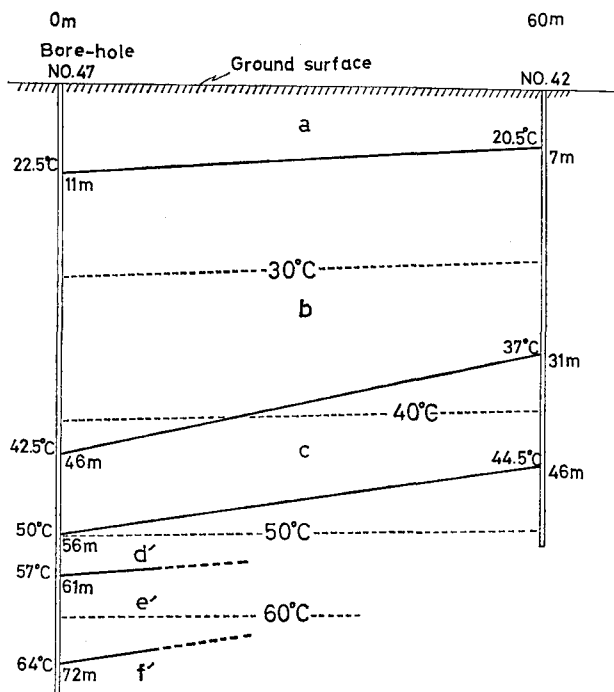
推定できる。

No. 21 (第 14 図) では、温度勾配から a 層、b 層、d 層、e 層、f 層の 5 つの地層が認められる。33~34 m の間にある d 層及び 53 m 以深の f 層は温度勾配が殆んどないことから、この層を通して温泉水が流れている、すなわち、温泉帯水層と考えられる。No. 1, No. 3, No. 10 は井戸が浅く e 層、f 層の存在は確認できないが、35 m 付近から第 1 の温泉帯水層と思われる d 層が現われている。No. 1, No. 3, No. 10, No. 21 を結ぶ断面の地層構造の概略を 18 図に示す。図中、実線は地層の境界、破線は 10°C 毎の等温線である。上部の a 層及び b 層では、深さ、温度について良い一致をみせるが、それより下層ではやや乱れ、No. 10 付近で b 層より温度勾配の急な c 層があり (第 13 図参照)、No. 21 では温度が極めて低いことは注目すべきことである。また、この地域の最も浅い温泉帯水層 (d 層) の上部境界の深さは電気探査の結果と大体一致する。No. 47 では a 層、b 層、c 層、d' 層、e' 層及び f' 層の 6 つの地層が存在する (第 17 図)。第 1 の温泉帯水層と思われる d 層がなく温度勾配の大きい d' 層が現われており、温泉帯水層と考えられる f' 層は 70 m 以下にあり、温度及び深さ等から No. 21 の f 層と同じとは考え難い。No. 42 は No. 47 と同様な傾向を示すが、温泉帯水層と思われるものは存在しない。No.



第 18 図 孔内水温の鉛直分布から推定される地層断面及び地中の温度分布  
 実線は地層の境界、破線は等温線

Fig. 18. The estimated laminar structure and underground temperature distribution at a vertical plane passing through bore-holes No. 1, No. 3, No. 10 and No. 21  
 Solid line; boundary of lamina. Broken line; Isothermal line



第19図 孔内水温の鉛直分布から推定される地層断面及び地中の温度分布  
 実線は地層の境界，破線は等温線

Fig. 19. The estimated laminar structure and underground temperature distribution at a vertical plane passing through bore-holes No. 42 and No. 47  
 Solid line; boundary of lamina.  
 Broken line; Isothermal line

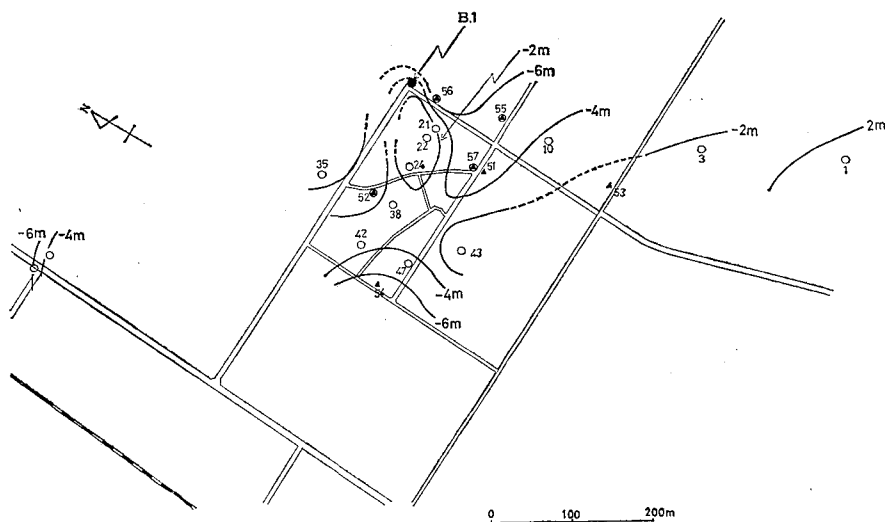
42, No. 47 を結ぶ断面を第 19 図に示した。

温泉市街東南寄りの地域と西寄りの地域とでは、地層構造の相違が見られる。両者の中間に No. 24 があり、No. 24 では d 層が温泉帯水層と考えられるが、これより深い帯水層はまだ現われていない。e' 層の勾配から考えて、No. 47 の f' 層より温度は低いが、それに相当する帯水層が存在するかも知れない。

### VII. 温泉水の地下動向

#### 1. 温泉水の水頭分布

温泉水の流動状態を調べるため、水準測量によってその静止水頭の高さを求めた。基準点 B1 の高さを 0.0 m としたときの各温泉の水頭分布を第 20 図に示す。白丸が測定点、三角印のあるのは水頭を測定した揚湯井で、揚湯停止後 1~1.5 時間



第20図 温泉水の水頭分布

Fig. 20. Horizontal distribution of height of water head at hot spring wells

経過し管内の水面の上昇がほぼ止まったときの水位を静止水頭とした。

これまで述べたように、東根温泉では温泉帯水層が幾層もあり、しかも水頭を測定した井戸の深さは30~200 m と広い範囲にあるので、この水頭分布は同一帯水層中のものとは考え難い。水頭は市街の東南側が最も高く、また No. 21, No. 22, No. 24 を含む部分に、周囲に比べて高い所があって、(この中にある No. 20 は現在でも自噴している) 温泉水は南東から市街の中心に向かって、また市街北東部の水頭の高い所では周囲の低い方へ流れていると考えられるが、これは主としてこの部分の井戸が比較的浅いこと、後述の如く化学成分の濃度の低い温泉が湧出していた地域であること等を考慮すれば、この地域において比較的浅い所にある温泉帯水層；d 層及び f 層中の温泉水の動向を示しているものと推察される。市街西寄りの地域では井戸もかなり深く、f' 層中の水頭を示していると考えられる。

## 2. 温泉水の化学成分

山形県衛生部薬務課の提供による昭和 43 年 11 月 12 日に採水された各源泉の主要化学成分の分析結果を第 4 表に示す。このうち、No. 20, No. 22, No. 24 は現在でも自噴しており、他はポンプによって揚湯されている。また、東根温泉では昭和 25 年 3 月の温泉自噴時代にも各源泉の化学分析が行なわれ、 $\text{HCO}_3^-$  を除き各主要化学成分相互に正の直接関係があり、一源泉一地下水型の温泉、すなわち、各源泉はいずれも同一源泉に由来し、 $\text{HCO}_3^-$  をかなり含む地下水との混合の結果生じたものであることが指摘されているが<sup>3)</sup>、化学成分の濃度と湧出温度との関係、化学成分濃度の水平分布等から考えて、むしろ二つのグループに分類する方が良い。以下、この二つのグループの関係、さらに化学成分等からみた温泉水の動向について考察しよう。

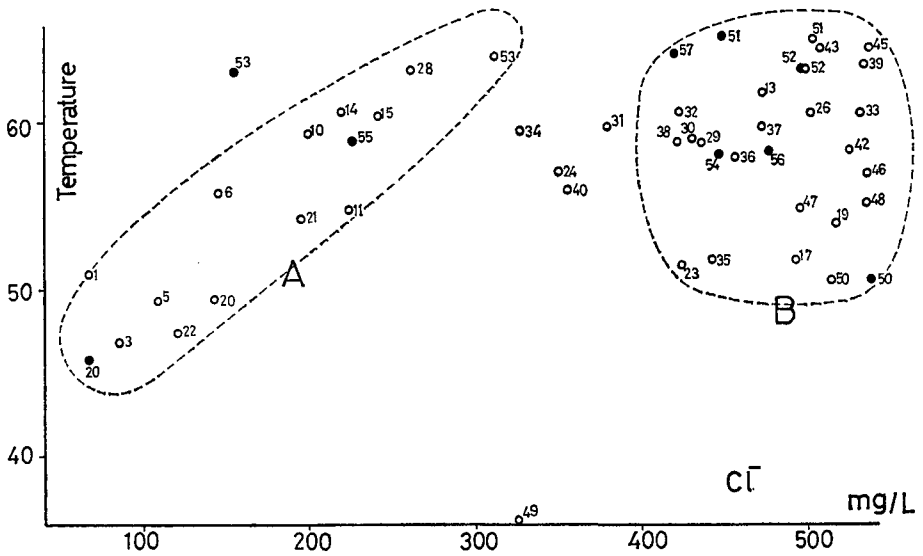
第 21 図に各源泉の湧出温度と  $\text{Cl}^-$  濃度の関係を示す。図中、白丸は昭和 25 年 3 月(ただし No. 50 は昭和 32 年 1 月；No. 51~53 は昭和 34 年 6 月)の値であり、黒丸は昭和 43 年 11 月

第 4 表 温泉水の化学分析 (昭和 43 年 11 月 12 日)

源泉 No.	$\text{K}^{+*}$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{--}$	$\text{HCO}_3^-$
51	10.17	464.1	47.85	3.038	449.6	158.8	449.4
52	12.51	425.5	50.45	0.729	496.4	287.6	94.37
53	5.47	185.4	14.01	0.972	146.0	97.11	166.0
54	12.12	379.5	41.84	0.729	446.8	201.2	153.4
55	8.05	228.6	20.02	0.389	227.0	95.06	189.8
56	12.12	411.7	47.65	0.729	478.0	268.7	94.37
57	15.09	366.6	42.44	0.972	421.2	234.1	118.4
20	3.12	104.4	4.40	0.729	67.3	25.50	152.6
50	7.19	449.0	48.85	2.066	538.8	214.0	182.0

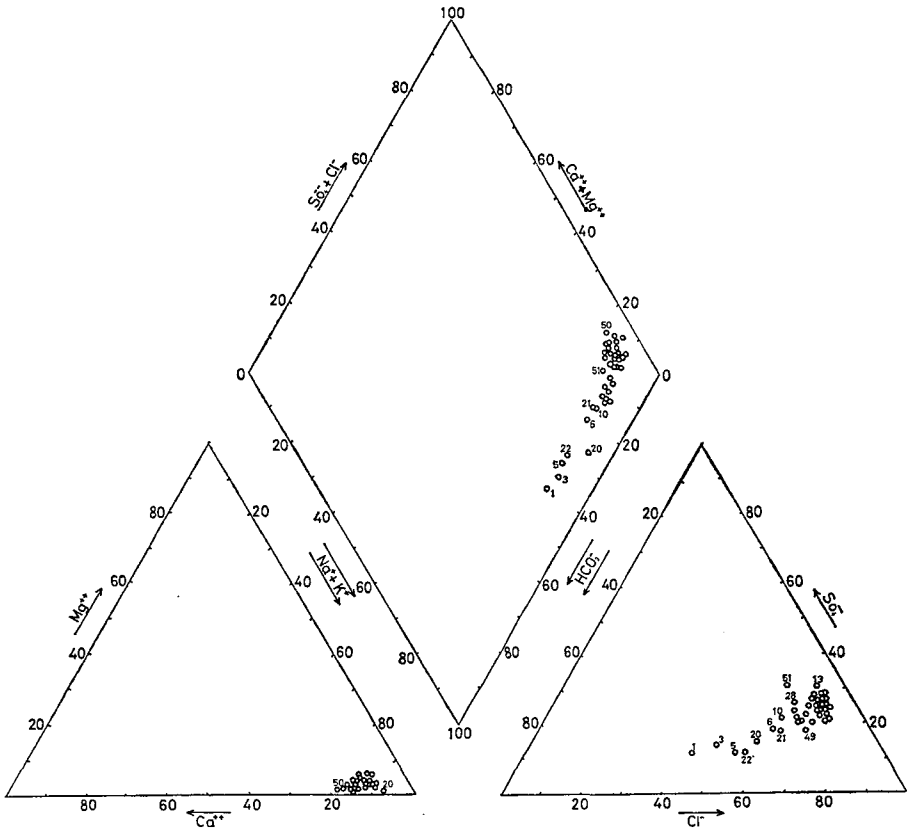
[\* 単位は mg/l] (山形県衛生研究所による分析結果)

3) 山形県衛生部；前出 1)。



第 21 図 湧出温度と Cl<sup>-</sup> 濃度の関係 (山形県衛生部の資料による)

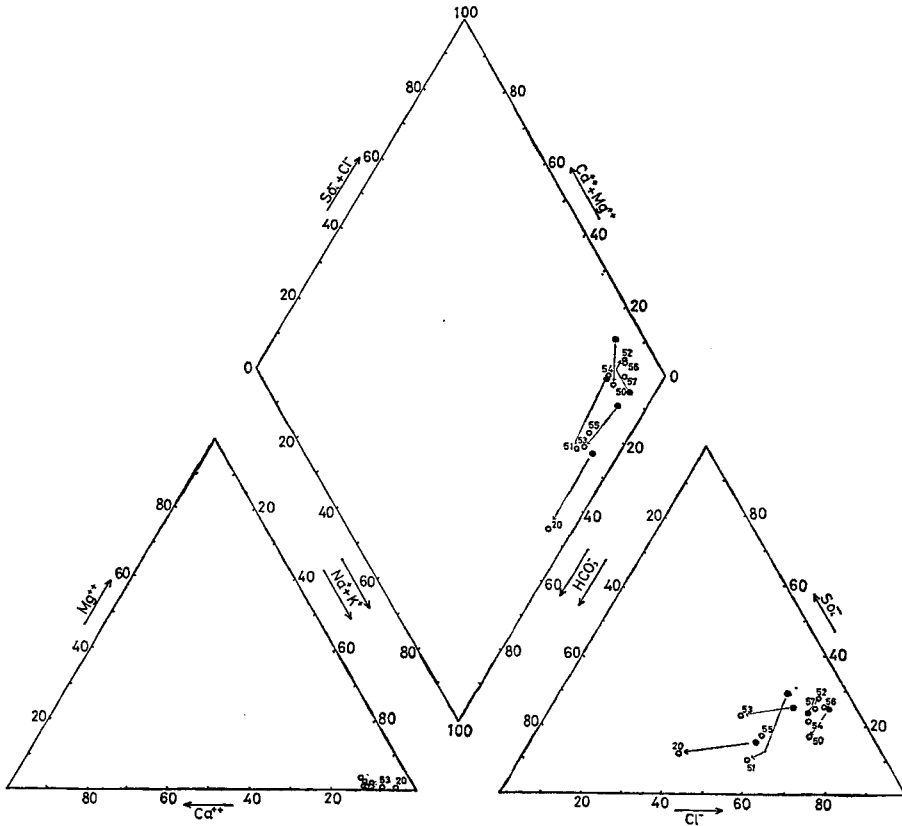
Fig. 21. Relation between temperature and Cl<sup>-</sup>



第 22 図 キー・ダイアグラム (山形県衛生部の資料による)

Fig. 22. Key-diagram

の値である。Cl<sup>-</sup> 量ほぼ 300 mg/l 以下で Cl<sup>-</sup> 濃度と泉温とが直線的関係を示すグループ (A) と Cl<sup>-</sup> 濃度の濃い他のグループ (B) とに分類できる。各源泉に含まれる主要な化学成分の含有比からみれば、第 22 図のキー・ダイアグラムが示す如く、陽イオンは各源泉とも Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup> の割合が 80~90% と大きいが源泉相互間の相違はほとんどない。しかしながら、陰イオンの HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> の割合が 6.5~45% とかなり広い範囲にあって、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> の含有率の大きいものは A グループに属している。A グループの個々の源泉についてみれば、Cl<sup>-</sup> 濃度の減少にともない湧出温度が低下し HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> の含有率が増加しており、Cl<sup>-</sup> 量ほぼ 300 mg/l 程度の温泉と HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> を多く含む地下水の混合によって第 21 図のような直線関係が生ずるのであろう。A, B 二つのグループを比較すれば、A の方が化学成分濃度 (各源泉の化学成分は、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> を除き Cl<sup>-</sup> 量と正の直線関係がある) が低く、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> の含有率が高いが他の化学成分間の比はほとんど差がない。



第 23 図 キー・ダイアグラム (山形県衛生部の資料による)

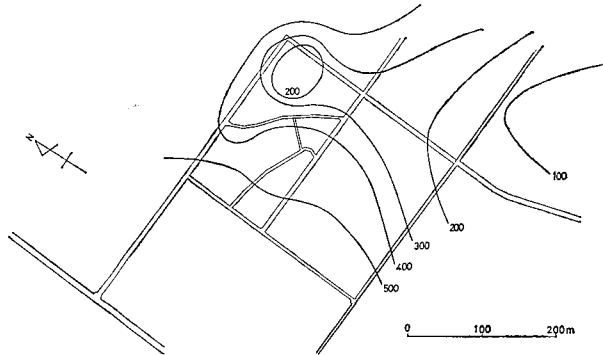
白丸は昭和 43 年 11 月の分析値  
 黒丸は昭和 25~34 年の分析値

Fig. 23. Key-diagram

- value of chemical analysis, Nov. 1968
- value of chemical analysis, 1949~1958.



第 21 図において、夫々の源泉について白丸と黒丸を比較すれば、No. 21, No. 51, No. 52 及び No. 53 はいずれも黒丸、すなわち今回 (昭和 43 年 11 月) の測定値の方が  $\text{Cl}^-$  濃度が小さく、温度も低い。また、第 23 図のキー・ダイヤグラムにおいて、昭和 25~34 年 (図中の黒丸) と昭和 43 年 (図中の白丸) の値を比較すると、後者の方が  $\text{HCO}_3^-$  の割合が増加しており、温泉水の水頭低下にともなって地下水の流入が強まったと考えられる。



第 24 図  $\text{Cl}^-$  濃度の分布 (単位は  $\text{mg/l}$ )  
(昭和 25 年, 山形県衛生部測定資料による)

Fig. 24. Horizontal distribution of  $\text{Cl}^-$ , ( $\text{mg/l}$ )

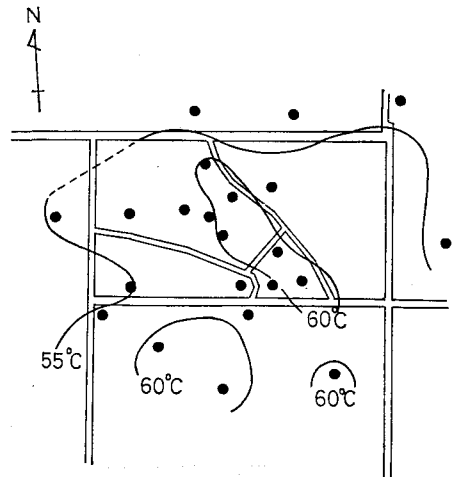
の温泉は両者の混合によって生じたものと思われる。さらに、この地域の温泉帯水層とも対応させると、A グループは d 層または f 層から、B グループはさらに下層にあると思われる f' 層から湧出する温泉と推定される (第 VI. 章参照)。

市街西方の No. 50 は、泉温は低いが  $\text{Cl}^-$  量が  $540 \text{ mg/l}$  と多く  $\text{HCO}_3^-$  の割合が小さいことから、f' 層を通して流下する途中で冷却されたものと考えてよい。No. 49 は泉温も低く  $\text{Cl}^-$  量は約  $300 \text{ mg/l}$  と A, B 両者の中間にあるが、 $\text{HCO}_3^-$  の割合がかなり大きく f' 層の温泉と地下水の混合によるものであろう。温泉市街南東にある No. 53 及び No. 55 は、井戸の深さ  $85\sim 100 \text{ m}$  とかなり深い、 $\text{Cl}^-$  量がそれぞれ  $156 \text{ mg/l}$  及び  $227 \text{ mg/l}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  の割合も多く A グループに属している。

第 25 図に B グループに属する温泉についてその源泉の位置と湧出温度の分布を示す。市街の中心部及び南寄りの部分にその周囲より高温な所があって、これらは井戸の深さ、温泉が管内を上昇する際の冷却等を考慮してもなお高い。B グ

第 24 図は昭和 25 年温泉自噴当時の  $\text{Cl}^-$  濃度の水平分布図であるが A グループはこの地域南東から温泉市街北部に分布し、特に市街北隅に  $200 \text{ mg/l}$  以下の低い値を示す所があって、温泉水頭が周囲に比して高い No. 20, No. 21, No. 22 を含む範囲とはほぼ一致する (第 20 図参照)。

B グループは市街西側の地域を中心に広範囲に分布する。二つのグループの境にある  $\text{Cl}^-$  量  $300\sim 400 \text{ mg/l}$



第 25 図 B グループに属する温泉の位置と湧出温度の分布  
(山形県衛生部の資料による)

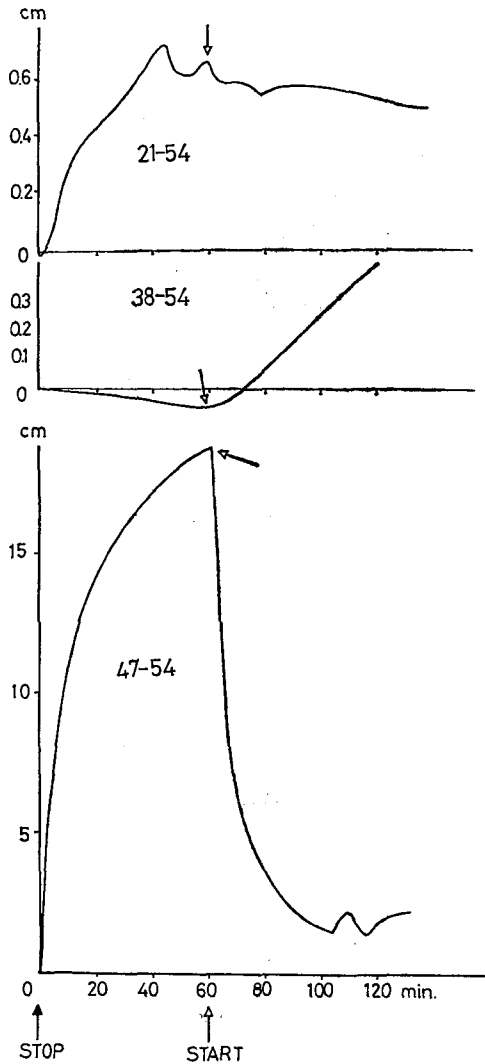
Fig. 25. Geographical distribution of hot springs belong to B group and horizontal distribution of temperature

ループの温泉の水頭分布がほとんど測定されていないのでその流動状態は明らかでないが、第25図の湧出温度の分布からは高温の地域から周囲の低温の部分に向かって流れていると推定できよう。東根温泉は基盤の割れ目から堆積層中に湧出し、この地域に幾層もある帯水層中を流れている温泉と考えられているが、化学成分の濃度がかなりちがうこと等から、それぞれの帯水層中を流動する際地下水と異なった割合で混合し、温泉市街では以上に述べたような動向を示すと思われる。なお、今回の調査では基盤の割れ目の位置は推定できなかった。

**IX. 東根における温泉帯水層の透水量係数及び貯留係数**

東根における温泉帯水層の透水量係数、貯留係数を求めるため、常時揚湯中の7つの源泉No.51~57の中1井宛1時間乃至1時間半程度揚湯を停止させて、付近の廃井を観測井として利用しその管内の水頭変化を精密水位計を用いて測定した。揚湯を停止させた瞬間を時間の原点に選び、水位の上昇を正としたときの観測結果の一例を第26図に示す。このような揚水試験では通常26図(c)の如き変動を示すが、東根温泉では、揚湯を停止したにもかかわらず水位が降下したり(b)、振動するもの(a)が多かった。この地域の温泉帯水層が幾層もあり、揚湯井と観測井とでは井戸の深度がかなり違い、通じている帯水層が異なること、温泉配湯管がすべて連絡されており、一つの源泉で揚湯を停止させたとき、管内の圧力が低下しポンプにかかる負荷が減少するため、他の源泉での揚湯量が増加すること等が原因として考えられる。このような影響がないと思われる測定結果を用いて、透水量係数及び貯留係数を求めた。

福富らによれば<sup>4)</sup>、観測井中の水位変化を  $y$ 、その時間微分を  $dy/dt$  と表わせば、透水量



第26図 揚湯の一時停止及び揚湯再開にともなう (No. 54) 観測井 No. 21, No. 34, No. 47 の水位変化

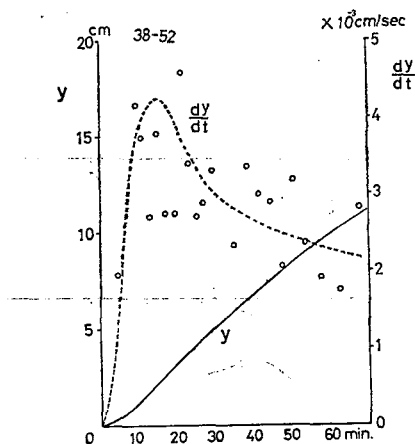
Fig. 26. Change of water-head observed at well No. 21, No. 34 and No. 47 due to sudden stop and start of discharge of well No. 54

4) 福富孝治・その他；前出 2)。

係数  $T$  及び貯留係数  $S$  は

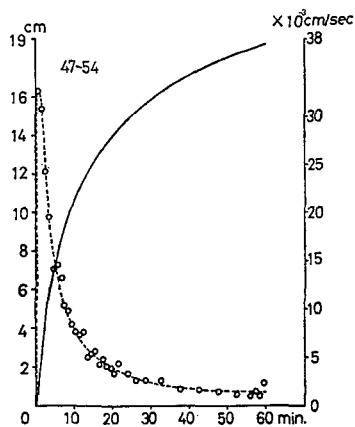
$$\left. \begin{aligned} T &= 1.74 \times 10^{-2} \cdot \frac{Q}{y_0} \quad (\text{cm}^2/\text{sec}) \\ S &= 6.98 \times 10^{-2} \frac{t_0 Q}{y_0 r^2} \quad (\text{dimensionless}) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

で与えられ、 $y_0$  は  $dy/dt$  が極値をとる時刻  $t_0$  での  $y$  の値、 $Q$  は揚湯量、 $r$  は揚湯井と観測井間の距離である。また、 $t_0$ 、 $y_0$  及び  $dy/dt$  の極値  $(dy/dt)_0$  の間には



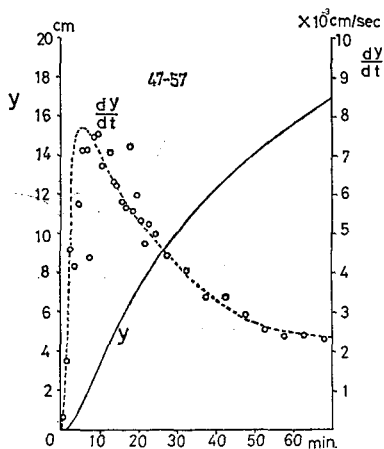
第 27 図 揚湯井 No. 52 の揚湯停止による廃井 No. 38 中の水位上昇  $y$  の時間変化

Fig. 27. Change of rise of water-head observed at well No. 38 due to sudden stop of discharge of well No. 52



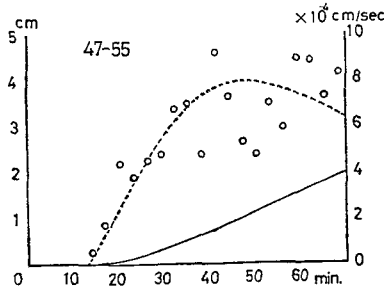
第 28 図 揚湯井 No. 54 の揚湯停止による廃井 No. 47 中の水位上昇  $y$  の時間変化

Fig. 28. Change of rise of water-head observed at well No. 47 due to sudden stop of discharge of well No. 54



第 29 図 揚湯井 No. 57 の揚湯停止による廃井 No. 47 中の水位上昇  $y$  の時間変化

Fig. 29. Change of rise of water-head observed at well No. 47 due to sudden stop of discharge of well No. 57



第 30 図 揚湯井 No. 55 の揚湯停止による廃井 No. 47 中の水位上昇  $y$  の時間変化

Fig. 30. Change of rise of water-head observed at well No. 47 due to sudden stop of discharge of well No. 55

$$\frac{t_0 \left( \frac{dy}{dt} \right)_0}{y_0} = 1.675 \quad (2)$$

の関係がある。

第 27~30 図に水位上昇量  $y$  及びその時間微分  $dy/dt$  を示す。実線が  $y$  であり、白丸はそれぞれの時刻において  $y$  から計算した  $dy/dt$  であり、破線はこれらの点をなめらかに結んだ曲線である。(1), (2) 式を用いて求めた透水量係数  $T$ 、貯留係数  $S$  及び  $t_0 \left( \frac{dy}{dt} \right)_0 / y_0$  を第 5 表に示す。 $T$  および  $S$  はあまり一致した値を示していないが、 $t_0 \left( \frac{dy}{dt} \right)_0 / y_0$  はかなり一致した値を示している。

第 5 表

No.	38-52	47-54	47-57	47-55	mean
Observing well	38	47	47	47	
Pumping well	52	54	57	55	
$r_1$ (m)	30	36	159	247	
$Q$ (cm <sup>3</sup> /sec)	$2.86 \times 10^3$	$1.68 \times 10^3$	$1.88 \times 10^3$	$3.44 \times 10^3$	
$t_0$ (sec)	900	60	300	2850	
$y_0$ (cm)	2.30	0.90	1.10	1.00	
$(dy/dt)_0$ (cm/sec)	$4.25 \times 10^{-3}$	$32.6 \times 10^{-3}$	$7.50 \times 10^{-3}$	$8.10 \times 10^{-4}$	
$T$ (cm <sup>2</sup> /sec)	21.69	32.56	29.81	59.99	35.76
$S$	$8.68 \times 10^{-3}$	$1.01 \times 10^{-4}$	$1.42 \times 10^{-4}$	$3.26 \times 10^{-4}$	$1.312 \times 10^{-4}$
$t_0(dy/dt)_0/y_0$	1.66	2.17	2.05	2.31	2.05

## X. 総括及び結語

昭和 43 年 11 月 5~11 日に行なった調査と山形県衛生部によって行なわれた過去の調査資料とから、東根温泉についての次の結果が得られた。

1) 表層地下水は地表の傾きとほぼ同様に南東から北西方向へ流動している。温度は 14~15°C を示し、Cl<sup>-</sup> 濃度は大部分の井戸で 20 mg/l 前後の値を示した。また、温泉水の水頭は温泉街の南で高く温泉街に向かって低くなるが、No. 20 の付近で周囲より高い部分が存在する。

2) 1 m 深地温は昭和 26 年と同様南東から北西方向に高温帯が伸びていることが認められた。特に高温を示すのは No. 14, No. 15, No. 16 付近である。

温泉用さく井の孔底温度分布は、26 号~32 号付近で最も高く、1 m 深地温とほぼ同様な傾向を示すが No. 20 を含む地域に低温帯が存在する。

3) 電気探査、廃井中の垂直温度分布より、一番浅い温泉帯水層は 30 m 付近に存在し、温泉街南東の地域ではこの帯水層が比較的深い所まで存在するが、市街西寄りの地域ではさらに下層の帯水層と考えられる f' 層が 70 m 前後から現われていると考えられる。

4) 主要化学成分間には  $\text{HCO}_3^-$  を除き正の直線関係がある。 $\text{Cl}^-$  量と泉温の関係から A, B 二つのグループに分類できるが, 両者は化学成分濃度及び  $\text{HCO}_3^-$  の含有率のみに相違が見られることから, 上流において  $\text{HCO}_3^-$  を多量に含む地下水と温泉水とが混合し, 異なった帯水層を通過して温泉密集地域に湧出したものと推察される。東側の地域では  $\text{HCO}_3^-$  の割合が多く, さらに付近の地下水が混入していると考えられる。

5) 東根温泉の地下流動状態及びその水平の拡がりについて,  $\text{Cl}^-$  量の多い温泉が市街西寄りの地域を中心にしてかなり広い範囲に分布し, 湧出温度から考えて市街から西方に向かって流れていると推定されるが, 最も上流 (基盤から帯水層に湧出する源) の位置は決定できなかった。また, 温泉水頭分布, 温度などからみて, 市街南東から中心にむかう  $\text{Cl}^-$  量の少ない温泉の流れが比較的浅い所に存在し, さらに市街北隅には地中を上昇する部分があると思われる。

6) 常時揚湯中の協組井を1つずつ約1時間乃至1時間30分停止させ, 付近の温泉廃井中の水頭の回復を測定し, それから東根温泉帯水層の透水量係数及び貯留係数を求めた (第5表)。

おわりに, 御指導, 御助言をいただいた, 福富教授をはじめ地球物理学教室陸水学講座の皆様へ厚く感謝します。

## 2. Geophysical Report on Higashine Hot Springs, Yamagata Prefecture

By Koichi URAKAMI, Sakae ŌTSUKI, Hideo MIYOSHI,  
Ryuichi TANOUÉ, Masayori KAWAMURA, Hideo MIYAKE, Satoru ICHIKAWA,  
Michiko KOSEKI, Kazuo NISHI, Mikio ŌHASHI and Yasuo SAKURA  
(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

From the result of our investigation during one week, from November 5 to November 11, 1968, and the previous data taken by the Sanitary Office of Yamagata Prefecture, we obtained the following conclusions on the Higashine hot springs region.

1) Shallow water flows from SE to NE in direction, following with the ground surface slope. The water temperature shows values between  $12^\circ\text{C}$  and  $14^\circ\text{C}$ , and its  $\text{Cl}^-$ -content is about 20 mg/l. Piezometric heads of hot springs are generally high in southern part of the hot springs region and gradually decline to the center of Higashine hot springs region and the heads show exceptionally high value in the vicinity of bore hole No. 20.

2) Horizontal distribution of underground temperature at 1 m depth in this region indicates the same tendency with the past result, and high temperature zone runs from SE to NE passing through this region. Especially high value is seen in the area around bore hole No. 14, 15 and 16. The pattern of distribution of temperature at well

bottom is the same as on that of the 1 m depth temperature, but it is also remarkable that low temperature area exists in the vicinity of bore hole No. 20.

3) The most shallow aquifer containing hot water of poor  $\text{Cl}^-$ -content exists at 30 m depth and this layer becomes gradually deeper to the south-eastern part of Higashine. Main layer is at 70 m depth with much  $\text{Cl}^-$ -content and this expands all over the region. It is supposed that the deeper hot water rises up to the upper layer in the western part of Higashine.

4) There are positive linear co-relations among principal chemical constituents of the hot water except  $\text{HCO}_3^-$ . Judging from the relation between  $\text{Cl}^-$ -content and temperature of hot water, there are two hot water groups A and B in the deeper aquifer. It is considered that A group separates somewhere in upper flow from B and mixes with ground water of much contents of  $\text{HCO}_3^-$ , because, A group has more  $\text{HCO}_3^-$  and less the other chemical constituents than B. In eastern part of the region,  $\text{HCO}_3^-$ -content becomes much perhaps by increasing rate of ground water supply.

5) Discharge of a pumping up well, from which steady discharge of hot water had been carried out, was stopped during one hour and changes of water head in several other observation wells were measured. From this observation, we estimated transmissibility and storage constant of the aquifer in the Higashine hot springs region as shown in Table 5.