

中川温泉の地下温度構造

大木靖衛, 大口健志, 広田 茂, 荻野喜作, 平野富雄, 守矢正則

神奈川県温泉研究所*

(昭和42年1月17日受理)

Geothermal Structure in the Nakagawa District, Tanzawa Mountains

Y. ŌKI, T. OHGUCHI, S. HIROTA, K. OGINO, T. HIRANO and M. MORIYA

Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture

(Abstract)

A geothermal structure is synthesized to assess the areal extent of hydrothermal activity in the Nakagawa district. Temperature anomaly is encountered in a narrow area (1 km×0.5 km) along a fractured zone filled with a lot of veins of Ca-zeolite and shows that thermal water is flowing out through this zone. The energy release is evaluated to be 186.7 kcal/sec for discharged thermal water and 15.2 kcal/sec for conductive heat flow. The hydrothermal activity of the present area is essentially resulted from the conduction of thermal energy in a widely extending, though weak geothermal area (6-8°C/100m). It is necessary to assume an anomalous area of about 10 km² in the activity of the Nakagawa District. Thermal energy absorbed in water comes to a focus and moves toward the surface through the fractured zone.

In the Tanzawa mountains the terrestrial heat flow of the region of plutonic rocks (3.3 h.u.) is more than three times greater than that of the sedimentary region (about 1 h.u.).

* 神奈川県小田原市南町2-4-45

1. ま え が き

地熱地帯の地下温度構造を明らかにして、温泉活動の規模を正しく評価する事は温泉を適切に利用するためにも重要な事である。中川温泉の概要についてはすでに報告したが(大木他,1964),その後急激に温泉の乱掘と過剰揚湯の傾向が現れて、温泉の枯渇を防止しなければならない状態になっている。この報告は中川温泉地域で行なった各種の調査(試錐,温度測定,源泉相互の関係)の際に得られた地中温度,孔内水温度の資料をもとにして、この地域の地下温度構造を明らかにしたものである。

2. 地中温度の資料

擾乱されていない地中温度や地中温度勾配の資料を求めるには、掘さく中の孔井の孔底温度を追跡観測するのが理想的である。しかし、すでに掘さくされている孔井では温泉や地下水が常に

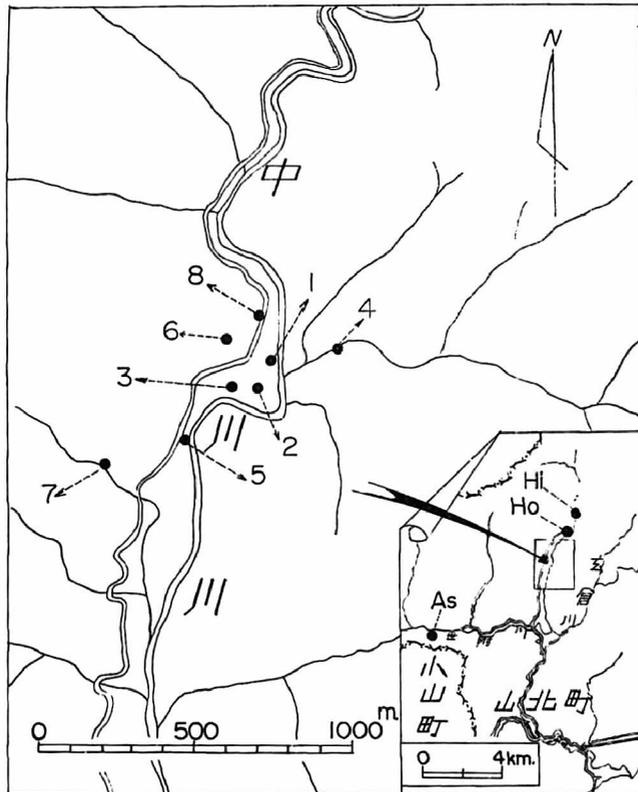


図1. 中川温泉の源泉分布図

本論に記載した中川温泉地域以外のボーリング地点, Hi 東沢, Ho 箆沢, As 浅瀬

揚水されているので、各深さでの真の地中温度を直接測定する事は出来ない。温泉や地下水が孔底から湧出していない場合には、現在利用されている孔井でも孔底部分だけは真の地中温度を保っていると見なす事が出来る。孔内の或る深さで大量の水が湧出しているとき、孔内の温度は湧水の温度に支配される。湧水の温度はその深さでの地中温度とかなり近いと考えられるので、掘

さく中の地中温度記録のない場合は湧水の温度を参考にして地中温度を推定した。現在の孔底温度のみしか測定されていない孔井では、その周囲の孔井と同様な傾向の地中温度勾配を持つものと仮定して任意の深さの地中温度を求めた。

図1は今までに掘さくされた孔井に、まだ掘さくの途上にある孔井を加えて示した中川温泉の泉源分布図である。

図2は中川温泉の地下温度構造を描くために用いた孔内の温度の資料である。図2の深さは信玄館源泉(No. 2)の地表を0mとし、他の孔井の深さもこれを基準にして記入してある。次に各孔井について、その地中温度曲線をどのようにして求めたかを略記する。

No. 1 山北町町営源泉 孔径が細くて温度計を孔内に降下させる事が出来ないため測温資料はない。

No. 2 信玄館源泉 昭和41年10月より300mの増掘工事中。深さ90mの地中温度は増掘前の孔底温度(34.3°C)を用いた。昭和41年12月24日深さ240mの孔底温度38°C、145mで温泉が湧出している。孔底より30mの間の地温勾配を用いて145mの地中温度を推定した(36.8°C)。地表温度は最初に温泉が採取されていた横穴の地下水温(23.8°C)*を用いた。

No. 3 丹沢観光ホテル源泉 (+2m) 深さ68m(29.7°C)から孔底96.3m(30.3°C)までの孔内温度勾配を延長し、150mより深い部分は信玄館の温度曲線と平行にした。68mより浅い部分は湯川館源泉(No. 5)と信玄館源泉(No. 2)の浅い部分の地温勾配の中間に位置するようにした。昭和40年5月19日測定。

No. 4 北沢義興源泉 (+12.5m) 孔底(282m) 温度40.9°C。242mより40.3°Cの温泉が孔内に湧出しているのが検出されているので、これを地中温度とした。242mから282mの地温勾配は1.5°C/100mとなり小さい。この温度勾配を地表の方まで延長すると中川温泉の中心と考えられる信玄館の地中温度よりも3~4°Cも高くなって実状に合わない。信玄館の地温勾配とほぼ平行になるように修正した。昭和40年3月18日測定。

No. 5 湯川館源泉 (-5m) 温研テスト・ボーリング地点と数mしか離れていないので50mまでの地中温度は温研が求めた地温勾配を用いた(大木他,1964)。190mの地中温度29.6°Cは昭和40年3月14日掘さく工事一時中止の際に測定した。深さ85m, 108m, 126m 附近より大量の湧水が検出された。それぞれの深さの地中温度を孔内に湧出する地下水の温度で、25.1°C(85m), 27°C(108m), 28.8°C(126m)と推定した。

No. 6 朴日水源泉(+44m) 深さ160mの地中温度26.0°Cを昭和41年2月5日測定。地中温度分布は信玄館(No. 2), 湯川館(No. 5)のそれと著しくかけはなれないように適当に描いた。

* 38-9-27

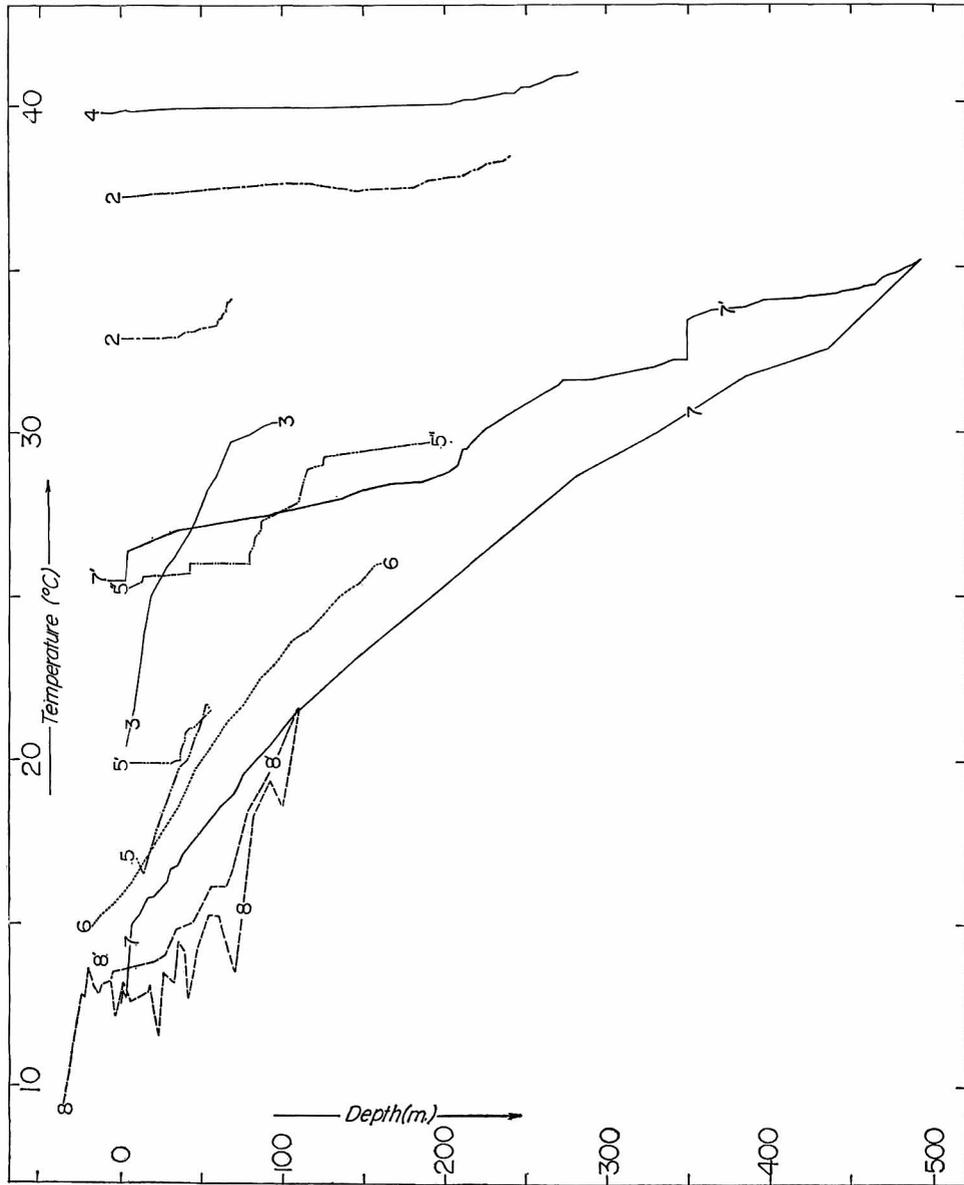


図2. 孔井の温度資料
 信玄館源泉 (No. 2) の地表を0 mとした比高で深さを示した。

No. 7 神奈川県1号井 (+8.5 m) 地中温度分布はすべて実測値。昭和40年2月から8月までに測定。掘さく工事を一時中止し、孔井を8時間以上放置して孔底温度を測定した。

No. 8 神奈川県2号井 (+41.5 m) 神奈川県1号井と同様に実測値。ただし、注水効果が著しく、容易に真の地中温度が得られなかった。

図3は前述のような方法で図2の資料を整理して求めた地中温度分布曲線である。

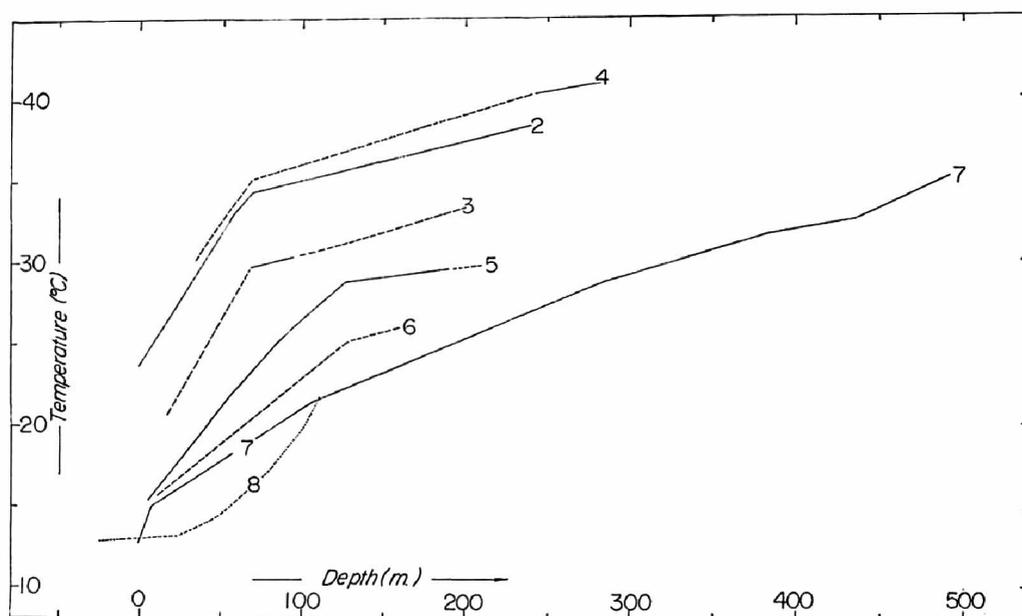


図3. 地中温度図
信玄館源泉 (No. 2) の地表を0 mとした。

3. 地下温度構造

図3の資料をもとにして地下50mから200mまでの50m毎の地下温度平面図を描くと図4(a-d)が得られる。等温線は信玄館源泉(No. 2)と北沢義興源泉(No. 4)を中心にして、

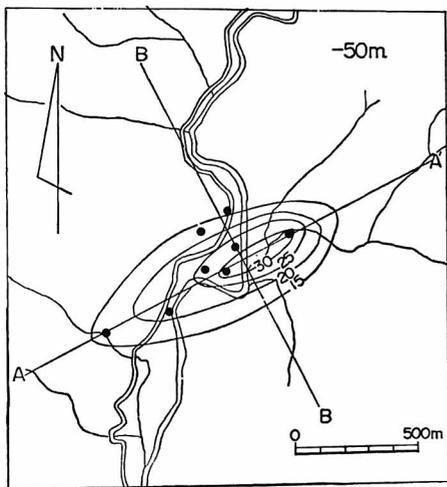


図 4-a

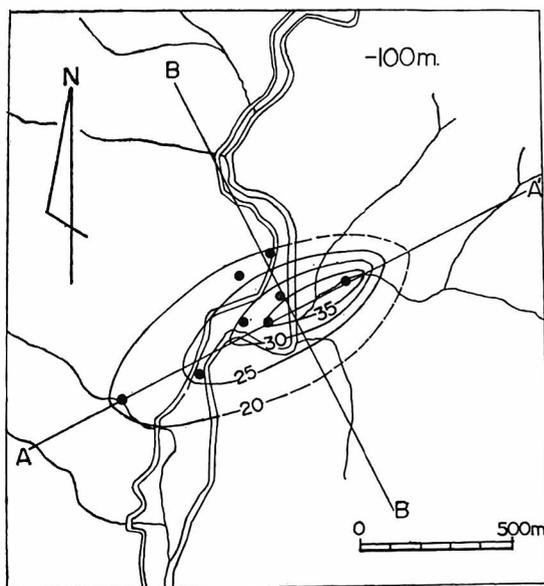


図 4-b

長軸を $N60^{\circ}E$ の方向に持つ楕円形である。
 -200m の平面図において地温 $25^{\circ}C$ でかこまれる部分を温泉地帯と見ると、長軸方向に 1 km, 短軸方向に 500 m の狭い範囲となる。

図5 a,bは長軸方向(A-A')と短軸方向(B-B')に沿って描いた温度の断面図である。これらの図は温泉水がNE~SW方向の割れ目に沿って図4に示したような狭い範囲に上昇して来ていることを想像させる。谷の最も低い部分に温度の中心があるのは、地下の静水位がそこで最低値をとることによっている。 $N60^{\circ}E$ 方向の割れ目と南北に流れる中川川の交点附近が温泉活動の中心となっている。

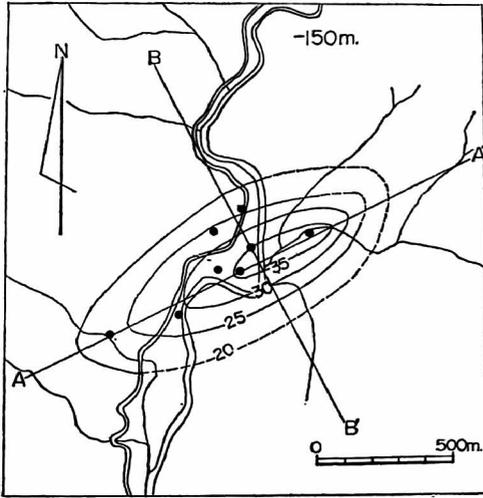


图 4-c

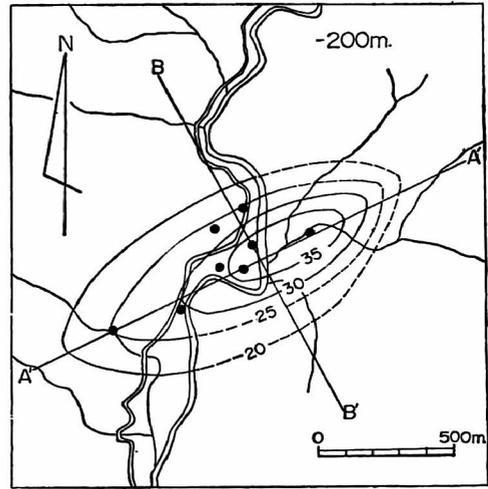


图 4-d

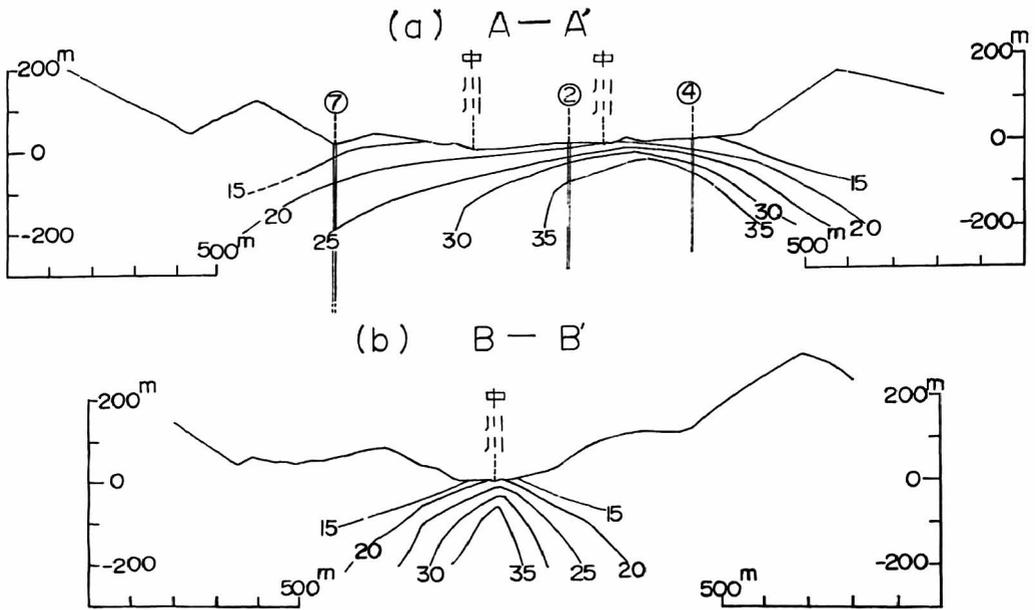


图 5. 地下温度断面图

4. 考 察

中川温泉で地温勾配を深さ 50 m の掘さくで測定したところ 12.6°C/100 m であった (大木他 1964, 宝来 1964)。しかし、実際に深い掘さくが行なわれて温度の測定をしてみると図 2, 3 に示されているように地温勾配は深くなるにつれて小さくなる傾向になっている。各孔井の地温勾配を折線に分割して、その平均の地温勾配にしてみると表 1 のようになる。地下温度構造図で温泉活動の中心と見られる部分 (Nos. 2, 4) ほど深部での地温勾配は小さい。熱エネルギーが下部から上昇して来る水によって主に運ばれているので地温勾配が小さくなっているものと考えられる。地表近くでは岩石中の割れ目も多くなり、上昇して来た水は横の流れに移化し、この附近に地温勾配の変曲点が生ずるのであろう。ボーリング・コアとして採集される資料は緻密で硬いものが多く、浅い部分のように割れ目の多い風化作用の進んでいるところでは岩石熱伝導率を室内実験から求める事が困難である。丹沢の石英閃緑岩やその周辺をとりまく角閃片岩類の熱伝導

表 1. 平均地温勾配

源泉番号	地温勾配を求めた深さ (m) と温度 (°C)	平均地温勾配
2	0 m (23.6°C) ~ 58 m (33.3°C)	16.72
	58 m (33.3°C) ~ 69 m (34.3°C)	8.18
	69 m (34.3°C) ~ 240 m (38.4°C)	2.40
3	68 m (29.7°C) ~ 96.3 m (30.3°C)	3.28
4	242 m (40.3°C) ~ 282 m (40.9°C)	1.50
5	5 m ~ 55 m ※	12.6
	55 m (21.6°C) ~ 85 m (25.1°C)	11.67
	85 m (25.1°C) ~ 108 m (27.2°C)	9.13
	108 m (27.2°C) ~ 126 m (28.8°C)	8.89
	126 m (28.8°C) ~ 190 m (29.6°C)	1.25
7	0 m (13.0°C) ~ 7 m (15.0°C)	28.57
	7 m (15.0°C) ~ 106 m (21.4°C)	6.46
	106 m (21.4°C) ~ 282 m (28.7°C)	4.15
	282 m (28.7°C) ~ 385 m (31.7°C)	2.91
	385 m (31.7°C) ~ 435 m (32.5°C)	1.60
	435 m (32.5°C) ~ 493 m (35.2°C)	4.66

※ 大木他 8 名 (1964)

率として $6 \times 10^{-3} \text{cal/cm sec } ^\circ\text{C}$ を仮定する（角閃片岩では $6.4 \times 10^{-3} \text{cal/cm sec } ^\circ\text{C}$ の測定値がある）。浅い部分の割れ目や風化作用の影響のある地層に対して $4 \times 10^{-3} \text{cal/cm sec } ^\circ\text{C}$ を仮定して熱流量を求め表 1 に示した。地表近くでは熱伝導の形で熱エネルギーが放散され、その熱エネルギーは水によって地下から運ばれて来ている事を示しているものと解釈される。中川温泉の地表近くの平均地温勾配を $10^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ として熱伝導による熱放散を図 4-d の 25°C 等温線にかこまれる部分について求めると 15.2 Kcal/sec となる。温泉として採取されている熱エネルギーは地下水温 14°C とした場合 186.7 Kcal/sec となる（表 2）。大部分の熱エネルギーは温泉として放散されている。

表 2. 湧水量, 揚水量とカロリー

源泉番号		温 度 °C	自噴量 l/min	自噴の温泉※ エネルギー Kcal/sec	揚水量 l/min	揚水の温泉※ エネルギー Kcal/sec
1	町営源泉	31.9	5.21	1.554	80.44	23.998
2	信玄館	33.3	22.9	7.366	74.3	23.900
3	丹沢ホテル	26.8	—	—	112.8	24.064
4	北沢義興	39.5	270.0	114.760	270.0	114.750
			298.11	123.670	537.54	186.712

※地下水温を 14°C とした場合の熱流測定 40-5-20

松田, 杉田 (1964) は中川川流域の沸石脈で満されている割れ目の分布を明らかにした。中川温泉地域の地熱帯の広がりには松田, 杉田の明らかにした割れ目帯の分布とよく一致して興味深い。

中川温泉地域と同様に沸石脈の多い箒沢で深さ 60 m の掘さくを行った。石英閃緑岩体の中であるにもかかわらず 1 日 (8 時間) で数米以上の速さで掘さく出来た程もろく、岩石はコアとしてほとんど採集されなかった。孔底温度の測定では、地中温度は全く上昇しなかった (図 6)。ここで湧出した地下水は 14.1°C , pH 9.58 で丹沢山地の温泉、鉱泉に共通な性質を持っていた (田嶋, 平野 1967)。箒沢附近は熱的には死滅しているとも云えるであろう。

丹沢山地の中央部を代表する意味で、中川川東沢で求められた地温勾配は $5.55^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ であった (大木他 1964, 宝来 1964)。石英閃緑岩の熱伝導率を 6 と仮定すると 3.33 h.u. の値が得られる。多分、丹沢の深成岩体とそれを取りまく高変成度の変成岩類の地域の地殻熱流量はこの程度であろう。低変成度地域では世附川浅瀬附近の資料があり、地表温度 13.5°C (横浜地方気象台, 1962) と仮定して地温勾配を求めると $1.97^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ となる。深さ不明のボーリング・コアの熱伝導率は $4.96 \times 10^{-3} \text{cal/cm sec } ^\circ\text{C}$ であった。地殻熱流量として 0.98 h.u. が得られる。丹沢の低変成度地域では東丹沢でもかなり小さな地殻熱流量の値が求められている (大木他, 1967)。

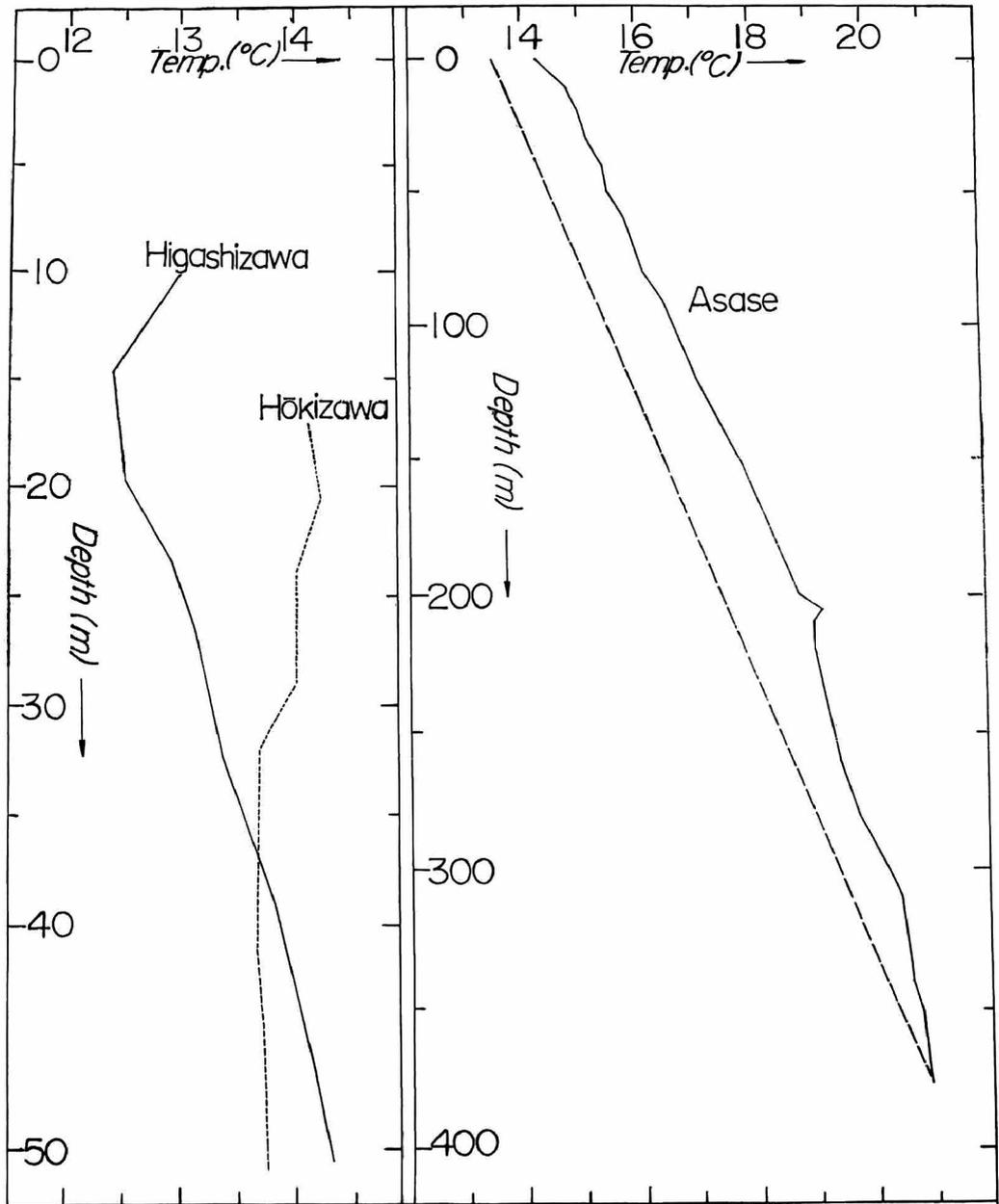


図6. 西丹沢の温度資料

中川温泉の熱エネルギーは丹沢山地の中央に露出している石英閃緑岩体に依存し、この熱源は冷却の一途をたどっているものであろう。中川温泉は溶存物質を余り含まず、その主要成分は、Na Clではないので、岩漿性の熱水が熱エネルギーの主要な供給源ではない。熱エネルギーは熱伝導によって地表にむかい、地表水の循環が行なわれる深さになると、それは水によって地表に運び出されているのであろう。地表近くではすでに明らかにしたように、温泉は“割れ目”を通して湧出しているが、本質的には熱伝導型の温泉と称すべきものであろう。地下深部の岩石の熱伝導率を $6 \times 10^{-3} \text{ cal/cm sec } ^\circ\text{C}$ 、その地温勾配を $6^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ として、仮りにその半分が循環する地下水によって運び出されているとすれば、 1 km^2 当り 18 Kcal/sec の熱エネルギーが水によって移動することになる。現在揚湯されている温泉の熱エネルギーは 10 km^2 の範囲から供給されていることになる。この程度の広がりを持つ微弱な地熱活動を考えるのは妥当なことであらう。

謝辞 東京大学地震研究所の水上武先生、松田時彦助教授、神奈川県温泉審議会委員植村発己男先生からは有益な御意見を頂いた。神奈川温研所長代理高橋惣一氏、小椋藤幸氏をはじめ職員諸氏には常日頃色々御世話を頂き、轟秀雄温研所長、林秀前温研所長からは激励を頂いた。神奈川県環境衛生課の中川清七係長、石井喜一主任技師、松田保健所内田三郎衛生課長からは野外調査の際色々便宜をはかって頂いた。以上の方々に厚く感謝の意を表す。

参考文献

- HORAI, K. (1964), Studies of the thermal state of the earth, the 13th paper: Terrestrial heat flow in Japan, Bull. Earthquake Res. Inst., v. 42, 93-132.
- 宝来帰一 (1964), 丹沢山中川温泉近傍の地熱流調査, 神奈川温研報告, No. 2, 11-32.
- 松田時彦, 杉田宗満 (1964), 丹沢山塊の地質学的調査, 神奈川温研報告, No. 2, 1-11.
- MIKAMI, K. (1962), Geological and petrographical studies on the Tanzawa Mountainland, Sci. Rep. Yokohama National Univ., Sec. II, 8/9.
- 大木靖衛他 8 名 (1964), 丹沢山地の温泉鉱泉, 神奈川温研報告, No. 2, 19-38.
- 大木靖衛他 4 名 (1967), 丹沢大山附近の試錐資料, 神奈川温研報告, No. 5, 1-10.
- 坂本峻雄他 3 名 (1964), 丹沢山塊の地質, 丹沢大山学術調査報告書, 1-53, 神奈川県.
- UYEDA, S. and HORAI, K. (1964) Terrestrial heat flow in Japan, Jour. Geophysical Res., v. 69, 10, 2121-2141.
- 横浜地方気象台 (1962), 神奈川県の気象, 気象協会関東中部本部.