HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| Title | 5. 北海道、濁川温泉の調査報告 |
| Author(s) | 福富, 孝治; 藤木, 忠美; 須川, 明; 大谷, 清隆; 和田, 昭夫; 徳永, 英二 |
| Citation | 北海道大学地球物理学研究報告, 10, 62-76 |
| Issue Date | 1963-03-25 |
| DOI | 10.14943/gbhu.10.62 |
| Doc URL | http://hdl.handle.net/2115/13848 |
| Type | bulletin (article) |
| File Information | 10_p62-76.pdf |

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

# 5. 北海道，濁川温泉の調査報告

福富孝治・藤木忠美・須川　明
大谷清隆*・和田昭夫・徳永英二
(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和37年9月受理 —

## I. 序　　言

北海道茅部郡森町の濁川温泉は森市街の西凡そ11 km，噴火湾海岸の石倉の南西凡そ5 kmにあり，直径約2.5 kmの典型的な濁川盆地の北半部に湧出する。温泉は天然湧出，ボーリングによるものを併せて28口あり，温度は43～92°Cである。ガス噴気孔も数口あり，温泉・噴気孔とも$CO_2$を多く含み，炭酸ガス性の間歇温泉も存在する。

付近の地質に関しては，田中館[1]矢島[2]及び北海道地下資源調査所[3]等の研究調査があり，温泉の化学成分と化学的見地からみた湧出機構に関しては太秦・那須・瀬尾[4]の詳しい研究がある。

筆者等は昭和35年11月9～11日，温泉調査と温泉湧出地域の1 m深地温の測定等を行なったので，その結果の概略を報告する。

## II. 濁川盆地付近の地質，地形

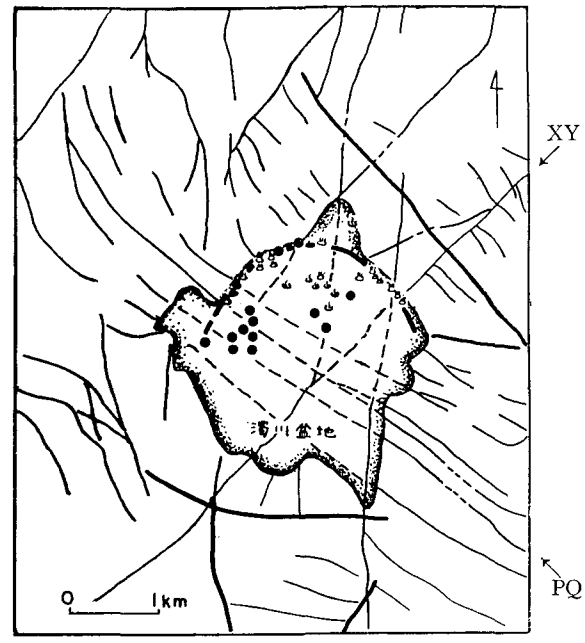
付近の地質は北海道立地下資源調査所の地質図によれば，古い方から，新第三紀中新世八雲層に属する硬質頁岩と砂質泥岩の互層が盆地の南東部の壁及び南東の壁を破って流入している濁川の両岸に露出し，東方の壁を除き一帯の壁には新第三紀鮮新世黒松内層に属する角礫凝灰岩・凝灰質泥岩・凝灰質砂岩互層が露出し，盆地北東部山地には黒松内層に属する安山岩熔岩流を伴う安山岩質集塊岩層が露出している。盆地の南方を除く周辺の山地には第四紀更新世石倉層に属する火山砕屑岩・熔結凝灰岩があって盆地壁の上部や周辺山地の谷に露出している。盆地の壁の下方は同時代の崖錐堆積物があり，周囲の山地の表面は広く冲積世の駒岳火山噴出物である両輝石安山岩質軽石の堆積で覆われている。盆地内は現河床堆積物である砂礫層で覆われている。

付近一帯は断層の発達が著しく，地質図記載の断層を第1図中に太い線で示した。前に述

1) 田中館秀三：地学雑誌 **42** (昭和5年) 497号.
2) 矢島：地学雑誌 **46** (昭和9年) 548号.
3) 北海道地下資源調査所：森町地質図 (昭和34年).
4) 太秦康光・那須義和・瀬尾淑子：日本化学雑誌 **80** (1959), 866.
* 現在は北海道大学水産学部気象海洋学研究室勤務

べたように，付近には更新世の熔結凝灰岩が存在することから，濁川盆地は Caldera とも考えられている。盆地底の高さは 110～120 m で，その周囲を比高 250 m 位の山の壁で囲まれている。現在は湖は存在せず，濁川が盆地の水を集めて北東隅から山地の壁を破って流出し噴火湾に注いでいる。

地理調査所発行の 5 万分の 1 地形図を一見すると気付くことであるが，他の地方と異なって比較的深く長い谷が数多く系統的に走っている。これはこの地方に地質から判断された断層よりも更に規模の小さい断層や割目が多く存在することを暗示する。これらの谷の線の著しいものを第 1 図中に細線で示した。濁川盆地北部付近におけるこれらの線の走向は図から判るように，NW から SE の方向と NE から SW の方向の線が多く，おそらくは濁川温泉の湧出と密接な関係をもつものと思われる。




**第 1 図**　濁川盆地付近の著しい谷線(細い線)及び地質断層 (太い線)，♨は天然温泉 (Natural hot spring)，♨はガス噴出口 (fumarole)，黒丸はボーリングによる温泉 (Dots are sites of hot spring obtained by boring)

**Fig. 1.** Remarkable valley lines (thin lines) and geologic faults (thick lines) in the vicinity of Nigorikawa Basin.

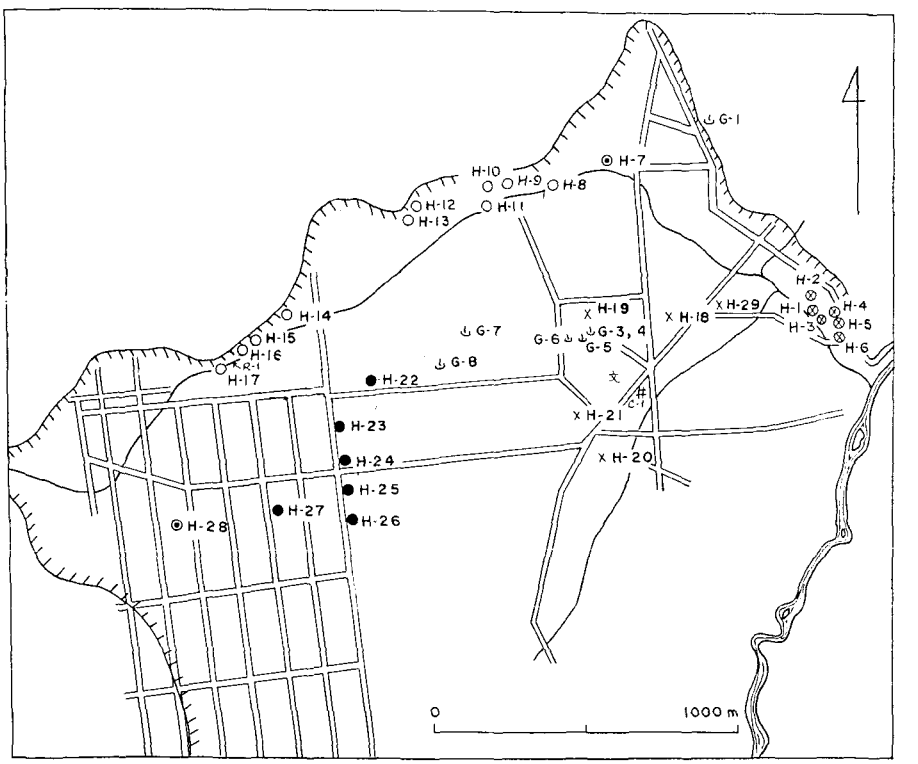
## III.　1 m 深地温の分布

濁川盆地の北半部において，100 m×100 m の面積に 1 測点位の割合で総計 364 測点について従来の方法[5] を用いて 1 m 深地温を測定した。第 2 図中，黒点は測点の位置でそれらに付けた数字は実測値である。地温は 10°～45°C の範囲の値であったが，判り易いように 12°C, 13°C, 14°C, 及び 15°C の等温線を図中に示した。この測定と同時期で濁川と同緯度 (N 42°7′.5), 同高度 (115 m) における普通の土地の 1 m 深地温の値は福富の表[6] によれば 11.5°C である。図から判るように，盆地の略々北半分では 12°C 以上の地温であって，普通より稍々高いことが判る。もう少し詳しく言えば，第 1 図中に XY 及び PQ の細い線分で劃した北方の部が大体普通より高温である。 この XY, PQ の 2 線は第 1 図に示したように地形から推定した断層又は割目に丁度当っている。即ち，これらの割目とカルデラ壁で構成される扇形の内部で地温が周囲より

5)　福富孝治：1 m 深地温より温泉探査の可能性，北大地球物理研究報告 **1** (昭和 26 年), 1.
6)　福富孝治：5) と同じ。

高いのであるが，その理由は未だ判っていない。ただ想像に過ぎないが，この部分が周囲に対し稍々陥没していて地下に広く存在する盆地地下水の流動が他の部分と絶縁されている結果，この部の地下から流出して盆地地下水と混合している温泉もPQ, XYの壁でさえぎられて他への流出が妨げられているためではないかと考えている。

天然湧出の高温な温泉又は高温なガス噴出口は，当然のことではあるが，15°Cの等地温線に包まれる高温部に全部存在している。又15°C以上の地温を示す比較的広い面積の高温部はカルデラの北の壁に沿った円孤(第1図中 ------)上に多く分布しており，これはカルデラ陥没の境界線であり，これに沿って地下深くから湧出した温泉によることを示唆している。他の15°C以上の高温部は盆地北半部の中央にあり，高温な噴気孔や後述するFC系の高温温泉の湧出口はこの中に存在し，これら噴気孔をつくるガスや水蒸気とFC系の源温泉はこの地下深くから




**第3図** 濁川盆地における温泉湧出口及びガス噴出口の分布図

**Fig. 3.** Geographical distribution of hot springs and fumaroles in Nigorikawa Basin.

○ AB系温泉 (Hot spring of AB-system)
× FC系温泉 (Hot spring of FC-system)
● EBC系温泉 (Hot spring of EBC-system)
⊗ AB系とも FC系とも思われる温泉 (Intermeadiate hot spring between AB- and FC-systems)
⊙ AB系と EBC系との中間的温泉 (Intermeadiate hot spring between AB- and EBC-system)
♨ 噴 気 孔 (Fumarole)
C 採水した普通井戸 (Sampling well)
R 採水した小川 (Sampling point of stream)

**第1表**　濁　川　温　泉　の　測　定

**Table 1.**　Result of Measurement of Nigorikawa

| No. | 温泉名又は所有者 (Name of Hot Spring or Owner's Name) | 湧出状態 (Condition of Orifice) | 深度(m) (Depth) | 湧出温度(°C) (Temperature) | 湧出量(l/min) (Volume Output) | 穿井の底温(°C) (Bottom Temp.) | 湧出熱量* (cal/min) (Discharged Heat) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H-1 | 元　湯(神泉館) | N | 1 | 52.6 | 6.4 | — | $273\times10^3$ |
| H-2 | (体阿弥 初太郎) | N | 0.95 | 53.0 | 9.5 | — | 409 〃 |
| H-3 | 〃 | N | 0.63 | 46.0 | 10.4 | — | 374 〃 |
| H-4 | 〃 | N | 1.33 | 45.0 | 2.4 | — | 84 〃 |
| H-5 | 〃 | N | 1.22 | 49.7 | 3.1 | — | 123 〃 |
| H-6 | 〃 | N | — | 46.8 | 12 | — | 442 〃 |
| H-7 | 辻　　原 | B 自噴 | 4.4 | 42.7 | 17.2 | 42.9 | 562 〃 |
| H-8 | 松田とし夫 | B 〃 | 5.5 | 50.7 | 微 | — | — |
| H-9 | 新　栄　館 | B 〃 | 8.5 | 88.2 | 5.5 | — | 430 〃 |
| H-10 | 〃 | N | — | 75.0 | 10.0 | — | 650 〃 |
| H-11 | 中　　田 | N | — | 69.9 | 4.0 | — | 240 〃 |
| H-12 | 二　　村 | N | — | 77.0 | 3.9 | — | 248 〃 |
| H-13 | 愛場久蔵 | N | 1.4 | 92.1 | 3.7 | — | 304 〃 |
| H-14 | 高　　野 | N | — | 60.5 | 0.9 | — | 45 〃 |
| H-15 | 辻原竹雄 | N | — | 69.1 | 10.0 | — | 591 〃 |
| H-16 | 〃 | N | — | 58.2 | 4.3 | — | 207 〃 |
| H-17 | 村　湯(南出) | N | — | 61.0 | 5.5 | — | 281 〃 |
| H-18 | 第一温泉旅館 | B 自噴 地上1m | (60) | 83.4 | 390 | — | 28626 〃 |
| H-19 | 溝口政信 | B自噴せず | (9～21) | 78.8 | — | — | — |
| H-20 | 中谷旅館 | B 自噴 | (64) | 48.2 | 205 | — | 7831 〃 |
| H-21 | 中谷正作 | B | 7.0 | 56.8 | — | 64.3 | — |
| H-22 | 高瀬清作 | B 自噴 | (73～76) | 53.4 | 3.1 | — | 135 〃 |
| H-23 | 松岡作次郎 | B 〃 | (80) | 43.5 | 4.3 | — | 144 〃 |
| H-24 | 中谷朝吉 | B 〃 | (90) | 43.2 | 22 | — | 730 〃 |
| H-25 | 豆沢幸一 | B 〃 | 不明 | 46.7 | 10.9 | — | 400 〃 |
| H-26 | 〃 | B 〃 | 66以上 | 45.4 | 6.5 | 61.0 | 230 〃 |
| H-27 | 上村　豊 | B 〃 | (110) | 64.0 | 37.6 | — | 2030 〃 |
| H-28 | 上村忠吉 | B 〃 | (67) | 47.5 | 17.2 | — | 645 〃 |
| G-1 | さいの河原 | | — | 11.4 | — | — | — |
| G-2 | 学校北側ガス穴 | N | — | 73.1 | なし | — | — |
| G-3 | 温泉小池 | N | 浅 | 6.0 | 〃 | — | — |
| G-4 | 〃 | N | 浅 | 23.0 | 〃 | — | — |
| G-5 | (ガス穴) | N | — | 97.0 | 〃 | — | — |
| G-6 | (小泥火山状) | N | — | 70.8 | 〃 | — | — |
| G-7 | (泥火山) | N | — | 54～71 | 〃 | — | — |
| C-1 | 学校前普通井戸 | B自噴せず | — | 10.0 | — | — | — |
| R-1 | 村湯脇の小川 | — | — | 8.5 | — | — | — |

湧出量計　805 l/min,　　熱量計　$4.56\times10^7$ cal/min

N.B.　N: 天然湧出 (Natural hot spring), B: ボーリング (Hot spring obtained by boring), 括弧中の

*: 浅い掘抜井戸の水温 10°C を基準とした熱量 (Heat based on normal temperature of ground

結　果　(昭和35年11月9～11日)
Hot Springs in Nov. 9～11 th, 1960

| $Cl^-$(mg/l) | $SO_4^{2-}$(mg/l) | $Ca^{2+}$(mg/l) | 備考 (Notes) |
|---|---|---|---|
| 806 | 68 | 121 | 湧出口に黄色沈澱，澄，浴槽白濁 (女湯) |
| 486 | 33 | 123 | 〃　〃　〃　澄 (男湯) |
| 709 | 39 | 100 | 白　濁 |
| 621 | 38 | 61 | 澄 |
| 846 | 35 | 105 | |
| 609 | 37 | 88 | 付近天然湧出の寄せ集め |
| 81 | 29 | 91 | 赤褐色のガリ少量 |
| 399 | 39 | 124 | 浴槽白濁 |
| 2421 | 44 | 115 | 湧出口透明，浴槽白濁 |
| 2668 | 38 | 90 | 〃　〃 |
| 2574 | 57 | 88 | 〃　〃 |
| 1946 | 48 | 104 | 〃　〃 |
| 2327 | 59 | 99 | 〃　〃 |
| 1282 | 54 | 110 | 〃　〃 |
| 1764 | 42 | 123 | 〃　〃 |
| 1844 | 46 | 127 | 〃　〃 |
| 1228 | 21 | 113 | 〃　〃 |
| 795 | 56 | 108 | 湧出口，樋にガリ多量付着，温泉湧出に脈動あり |
| 818 | 48 | 44 | 手押ポンプ使用 |
| 548 | 26 | 127 | 脈動的湧出，ガリなし，石油臭刺劇臭あり，鉄管腐蝕す<br>初澄→樋で白沈→浴槽にて赤褐色に濁る |
| 88.3 | 69 | 163 | ガス性間歇泉，周期18分10秒 |
| 21.0 | 22 | 11 | |
| 18.0 | 18.9 | 46 | |
| 14.5 | 15.5 | 12 | |
| 21 | 21 | 22 | |
| 22 | 16.5 | 13 | ガス多し，少し石油臭あり |
| 13.0 | 14.2 | 20 | |
| 207 | 30 | 76 | 赤褐色軟弱ガリ多し |
| 15.5 | 292 | 25 | S沈澱あり，ガス優勢 |
| 水なし | — | — | 噴口2，旧口2，白沈多く黄沈少なし，$H_2S$臭あり |
| 12.0 | 17.2 | 11 | ガス多し，褐色沈澱及び黄色沈澱あり |
| 40 | 250 | 27 | 〃　少し白濁，$H_2S$臭 |
| — | — | — | 噴口5あり，白色沈澱及び鉱物質沈澱あり |
| — | — | — | ガス噴出，2口あり，口にS沈澱 |
| — | — | — | 8口あり，泥水からガス噴出，ロート状ガス穴あり<br>高温の口にはS沈澱 |
| 20.0 | 12.1 | 15 | 手押ポンプ使用 |
| 17.0 | 14.8 | 9 | 川床赤褐色 |

値は掘穿当時の値 (Numerals in bracket are depth of wells at the time of boring),
water in this locality 10°C)

湧出することを示している。

14℃以上の地温を示す地域の形はかなり複雑であるが，上に述べたカルデラ陥没線と中央高温部の存在をよく示している。

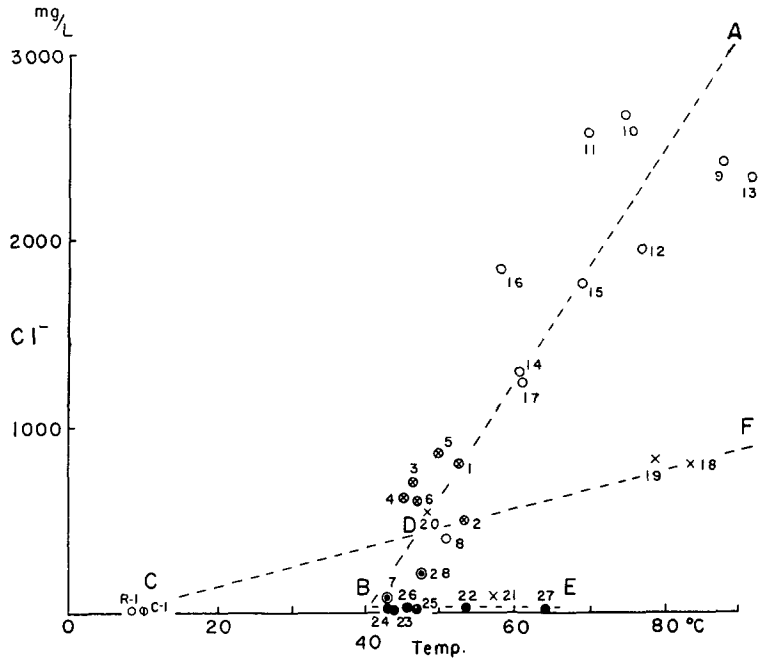
## IV. 温泉の調査

第3図は濁川における温泉分布図である。図中Hは温泉湧出口，Gはガス噴出口，Cは普通の地下水用の掘抜井でRは川水の採取位置である。記号につけた数字は第1表中の番号である。これらの温泉28口については湧出口の温度・湧出量を測定し，穿井の場合は更にその深度・孔底温度を測定し，採水について $Cl^-$, $SO_4^{2-}$, $Ca^{2+}$ 等の分析を行なった。ガス噴出口8については，その温度を測定し，湧出口に水が溜っている場合は参考として採水して上と同様な化学分析を行なった。温泉地域の浅い地下水及び小川の夫々1カ所についても参考のため温度と化学成分を調べた。これらの結果を第1表に示した。

第3図及び第1図から判るように，温泉28口中17口は盆地の北隅において北方山地の壁に沿って分布し，3口の浅い穿井を除き天然湧出である。前に述べたように，これらの温泉はカルデラの北側の陥没面に沿って地下から湧出するのであろう。其他の温泉はいずれもボーリングによるものであるが，天然のガス噴出口の大部分と共に盆地の北半部の平地に存在している。

第1表の資料によって濁川温泉各湧出口について $Cl^-$ とその湧出温度との関係を調べてみると第4図が得られる。図中の各印につけた数字は第1表中の番号である。第3図，第4図中に白丸，白丸の中に掛け印及び白丸の中に黒丸を入れたものは何れもカルデラ北側の陥没線に沿って湧出していると考えられる温泉であるが，第4図において線分ABに沿って分布することから，これらの温泉は源温泉Aと他の温泉Bとが地下において種々の割合で混合して生じたものであろうことが推察される。源温泉Aは温度90℃以上，$Cl^-$ も3 g/$l$ 以上の高温高鹹な熱水であるが，H–9, H–10, H–11, H–13等の地下深くからカルデラ陥没面に沿うて湧出しているものと思われる（第3図参照）。温泉Bは，次に述べるように，北部盆地の地下60 m位の深さに層状をなして存在する40℃位の温水で $Cl^-$ は微小である。

第3図において盆地中央から見て西方乃至北方の盆地内のかなり広い区域にボーリングによって湧出する温泉を第3図及び第4図中に黒丸及び白丸の中に黒丸で示したが，これらの温泉は第4図においてEBで示した線分に沿って分布している。これらの温泉は温度は43～64℃であるが，EB系とAB系の中間的な性質をもつと思われるH–28とH–7の $Cl^-$ が夫々207mg/$l$, 81 mg/$l$ であるのを除けば $Cl^-$ は何れも30 mg/$l$ 以下の微量で温度によって変化しないことが特徴である。又これらの中間的性質の温泉を除外すればEB系統の温泉はボーリングの深さは60～110 mの範囲であり，温度とボーリングの深さとの間にはボーリングの深度が大きいものほど温度が高い傾向がある。即ち，EB系統の温泉は深さ60～110 mの範囲に層状泉をなして




第 4 図　濁川温泉の $Cl^-$ 含量と湧出温度との関係

**Fig. 4.** Relation between $Cl^-$ content and the corresponding orifice temperature of hot springs in Nigorikawa Basin.

存在するらしいことが推察される。H–28 と H–7 は上記両系統の性質を併せもっている温泉で白丸中に黒丸を入れて示してある。

以上の AB 系統・EB 系統の何れにも属さない温泉は H–18, H–19, H–20 及び H–21 の 4 温泉であって第 3 図・第 4 図中に掛印で示してある。何れも盆地の略々中央に位置している。温泉は深さ 7～64 m で濁川としては中程度の深さのボーリングによって得られている。H–19 は深さが 9～21 m の深度であるが，浅いためか自噴しないので手押ポンプを使用している。充分汲出したところで 78.8°C を示した。付近にはガス噴出口が多い。H–21 は深度 7 m であるが $CO_2$ ガス性の間歇泉で周期凡そ 18 分，噴出時の温度 56.8°C，孔底温度 64.3°C，噴出高は 3～5 m である。H–18 は深度 60 m 位 83.4°C の湯を脈動的に地上 1 m の高さに噴出しその量は 390 $l$/min，濁川温泉第一の湧出量を示している。湧出口には石灰華の沈澱が著しい。H–20 は深さ 64 m で地上 1.5 m 位の湧出口から脈動しながら 48.2°C の温水を 205 $l$/min (第二位の湧出量) 湧出している。湧出口では温泉は澄んでいるが樋の中途で白沈を生じており浴槽は赤褐色に濁っていた。H–20, H–21 は $Ca^{2+}$ 含有量も濁川中最も多い部類に属する。以上に述べたように H–19 から H–21 には濁川温泉中最も $CO_2$ が多量に含まれていることが推定されるのであって，以上に述べたような著しい現象は濁川の他の温泉では見受けられない。

本調査の後昭和 36 年末，皆口正次郎氏により第一温泉旅館温泉 (H–18) と神泉館温泉 (H–1

～H–6) との略々中間 (概略位置を第3図中に H–29 で示した) に深さ 94 m, 口径 7.5 cm のボーリングが行なわれ, 温度 59°C 湧出量 220 $l$/min の温泉が地上 4 m の湧出口から湧出したということである。その結果, 神泉館の温泉の温度・湧出量にかなりの影響を及ぼし, 第一温泉旅館の温泉にも多少の影響があったという。この温泉も湧出状況から判断して上記4温泉の系統に入るものと思われる。

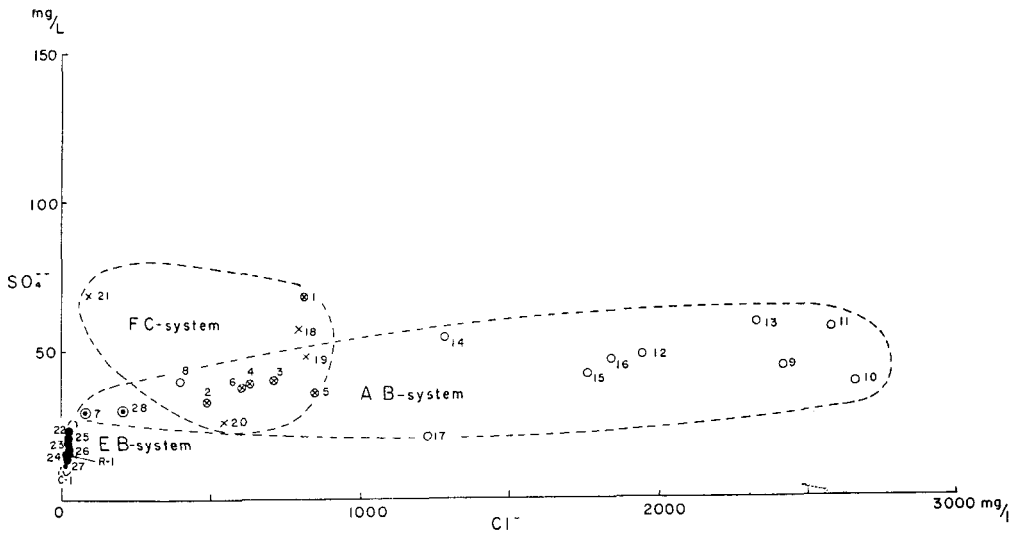
上記4温泉の $Cl^-$ 対温度の関係を第4図上で調べてみると, その数が少ないのであまり明瞭ではないが, 4温泉を表わす点は FC 線分の近くに分布する。即ち, この系統の温泉はF源温泉水, C地下水の混合によって生じたものと考えられるが, F源温泉水は温度 83°C 以上, 塩素量は A・E の中間の 800 mg/$l$ 位を示し, C はこの地域の浅層に存在する盆地地下水で C–1 で代表される温度 10°C, $Cl^-$ = 20 mg/$l$ の普通地下水である。いま第4図において FC 線と AB 線との交点を D とすれば, D 温泉水は神泉館の温泉 (H–1～H–6) に近い温度・化学成分の水であることになる。H–29 の掘穿に伴った影響の見地からみても H–1～H–6 は FC 系統にも属すると考えるのが都合がよいので, 図中には白丸に掛印を入れて示した。FC 系統の温泉は, 上に述べたように, $CO_2$ を多量に含んでいること及び近くに7カ所のガス噴出口が存在していることから, gas 噴出口と密接な関係があると考えられるが, F源温泉と gas G とはおそらく地下深所においては一つの混合体 FG を形成していたものが, 上昇の途中で gas と水蒸気との気相 G と gas を多量に溶かした源温泉水 F に分離したのではないかと思われる。gas 噴出口の温度は 6～97°C の広い範囲であるが, 測定した7カ所の中4カ所では 70°C 以上であり, 特に温泉 H–19 に近い G–5 では 97°C を示した。従って, F源温泉と gas G の温度は地下深くで分離前には 97°C 以上でおそらくは 100°C 以上で水蒸気の部分が存在したと考えた。この仮定は後章に述べたように濁川温泉地域の総熱量と総湧出量とから考えても妥当である。

FC 系温泉及び gas 噴出口の起源である F 源温泉及び水蒸気と gas G の混合体 FG は第2図の 1 m 深地温分布図において, 濁川盆地北部中央 H–18 又は H–19 付近の地温高温部の地下深所から上昇し, $CO_2$, 水蒸気及び $H_2S$ 等を含む気相 G と $CO_2$ を $Ca(HCO_3)_2$ の形でかなり溶かした液相 F に分離し, この液相即ち源温泉 F は地表下 100 m 以浅で水平に移動して盆地地下水 C と混合して FC 系の温泉となり, 溶解していた $Ca(HCO_3)_2$ の一部は上昇の圧力低下に伴って $CO_2$ を有離し $CaCO_3$ の沈澱をおこし, 深さ 20～100 m の boring によって $CO_2$ 性泡沸泉や $CO_2$ 性間歇泉を形成し最後には D となって Caldera 陥没面の割目から湧出していると考えられるが, Caldera 割目沿いに地下深くから流出する A 源温泉が一部分混合しているとも考えられる。

又混合体 FG より分離した気相 G の一部は真直ぐ上昇して盆地北部中央の gas 噴出口を形成し, 他の一部は 60～110 m の深さで水平に移動して盆地地下水 C 中に侵入拡散し, 盆地水の温度を最高 63°C 位まで高めると共に $HCO_3^-$ を生じ, EBC 系の温泉を形成しているが, 最後には B となって, 前に述べたように, Caldera 陥没面に沿って地下深くから湧出した源温泉 A と

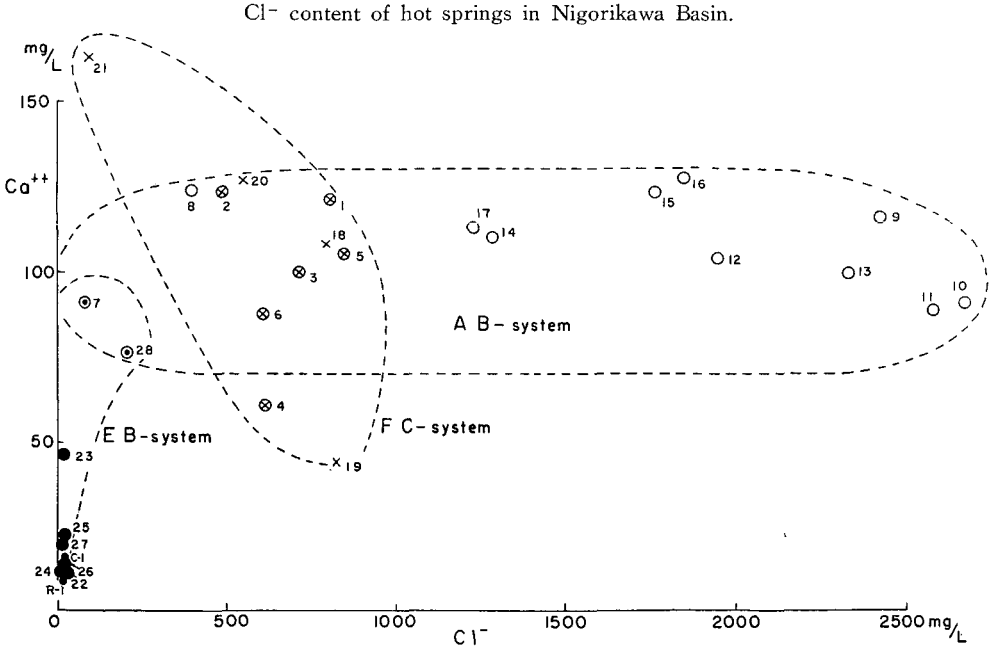
混合してAB系温泉となっていると思われる。

以上の考えは他の化学成分間の関係についても矛盾しない。その例として，$SO_4^{2-}$ 対 $Cl^-$ の関係及び $Ca^{2+}$ 対 $Cl^-$ の関係を夫々第5図及び第6図に示した。図中の記号番号は第4図と同様である。




**第5図**　濁川温泉の $SO_4^{2-}$ 含量と $Cl^-$ 含量との関係

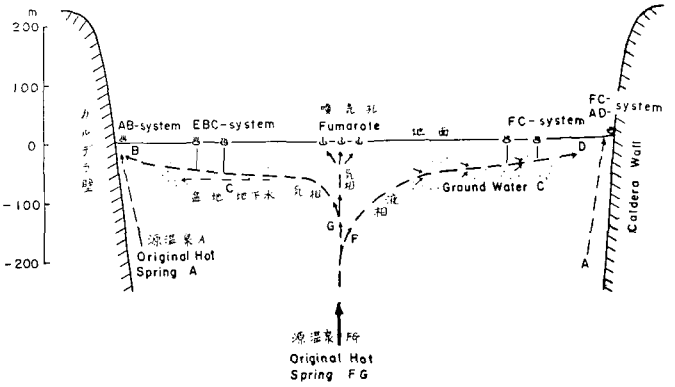
**Fig. 5.** Relation between $SO_4^{2-}$ content and the corresponding $Cl^-$ content of hot springs in Nigorikawa Basin.




**第6図**　濁川温泉の $Ca^{2+}$ 含量と $Cl^-$ 含量との関係

**Fig. 6.** Relation between $Ca^{2+}$ content and the corresponding $Cl^-$ content of hot springs in Nigorikawa Basin.

以上の結果に基づいて，濁川における温泉湧出の機構を模型的に図示したのが第7図である。AB系，FC系，EBC系に属する温泉について，温泉口数，最高温度，湧出量，温泉として湧出している熱量$Q_1$，主要化学成分の比較をしてみると第2表に示した結果を得た。但し，2系統の中間性を示す温泉の口数，湧出量，熱量については夫々1/2宛を両系に割振って計算し，又$HCO_3^-$含量については太秦・那須・瀬尾三氏の研究結果によった。




**第7図**　濁川温泉の湧出機構の模型的説明（鉛直断面）

**Fig. 7.** Diagramatic representation of mechanism of formation of hot spring systems in Nigorikawa Basin (Vertical section).

**第2表**　AB, FC, EBC各温泉系の性質の比較

**Table 2.** Comparison of volume output and heat discharged from AB, FC and EBC systems.

| 温泉系統 Hot spring system | 湧出口数 Number of orifices | 最高温度 Max. temperature (°C) | 総湧出量 Total volume output (l/min) | 湧出熱量 Total heat (cal/min) | $Cl^-$含量 $Cl^-$-content (mg/l) | $SO_4^{2-}$含量 $SO_4^{2-}$-content (mg/l) | $HCO_3^-$含量* $HCO_3^-$-content (mg/l) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AB 系 | 14 | 92.1 | 87(11%) | $0.4\times10^7$( 9%) | 81～2421 | 21～68 | 607～ 950 |
| FC 系 | 7 | 83.4 | 617(77%) | 3.7 〃 (82%) | 88～ 846 | 26～69 | 823～1476 |
| EBC 系 | 7 | 64.0 | 101(12%) | 0.4 〃 ( 9%) | 13～ 207 | 14～30 | 215～ 876 |
| total | 28 | | 805(100%) | $4.6\times10^7$(100%) | | | |

* $HCO_3^-$含量は太秦・那須・瀬尾による。

著しいことは，湧出量，湧出熱量$Q_1$を綜合して考えると，FC系の温泉が最も優勢で総湧出量及び総湧出熱量$Q_1$の凡そ8割を占め，AB系とEBC系の温泉は弱勢で各々1割宛に過ぎないことである。

太秦・那須・瀬尾[7]の3氏は昭和31年7月と昭和32年11月に濁川温泉の23泉源について詳しい化学的研究を行なったが，微量成分を含めて化学成分相互間の関係を検討した結果，$Cl^-$含量の大きい高温のCl型の水が$HCO_3^-$含量の大きい比較的低温の水に混合して湧出する

7) 太秦康光・那須義和・瀬尾淑子：4)に同じ。

と考え，Cl 型の水は主として火山性発散物として供給され，それより分離した $CO_2$ が $HCO_3$ 型の水を形成する要因となったであろうと述べている。

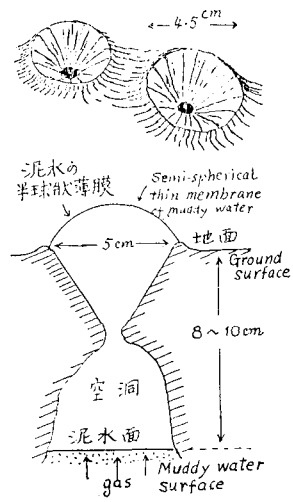
筆者らの研究結果と比較すれば，以上諸氏の Cl 型の水は A 源温泉，F 源温泉に相当し，$HCO_3$ 型の水は EBC 系の温泉に当っている。

## V. ガス噴出孔

濁川盆地の北半部の中央部平野中には 7 カ所(第 3 図中に G で示した) 大小併せて 20 口位の噴気孔がある。口の温度は 6°～97°C, その主要成分は $CO_2$ と水蒸気であると思われるが，中には $H_2S$ 臭があり，口付近に硫黄と思われる沈澱を認めた所もある。噴出口に溜った水には $SO_4^{2-}$ に富むものもあったが $Cl^-$ は微小であった。各噴出孔の状況並に溜水についての測定結果を第 1 表中に G-1～G-7 として記入した。

ガス噴出孔の一つの種類として Mud pot があるが，これにも種々の形が知られている。G-7 において，筆者らの知る限りでは未だ記載のない Mud pot を認めたのでここに記しておく。

G-7 は畠中にある 5 m×7 m 位の面積の僅かに凹んだ泥寧状の土地であるが8口余りのガス噴出孔を認めた。温度は 54°～71°C であった。中には直径 0.5 m, 深さ 0.5 m 位の穴があって底に溜った水中からガスを出している所もあったが，一般には平坦な泥寧部にある多数の小孔から気泡が出ていた。その所々には第 8 図に見取図を示したような直径 4.5～5.0 cm, 深さ 3～5 cm の小ロート状の穴があり，その底の小さい孔から半球状の泥水の薄膜が成長しながら上昇してきて膜面が円錐形穴の上の縁までくると膜が破裂して泥の微粒がロート状穴の縁に徐々に堆積しているのが認められた。一つの穴を縦に切断して見た所，ロート状穴の下の口の下は小空洞になっており，口の下 5～7 cm に泥水の水面が認められた。




**第 8 図**　濁川の噴気地域に見られる泥火山の一種

**Fig. 8.** A kind of small mud pot seen in humarole area of Nigorikawa Basin.

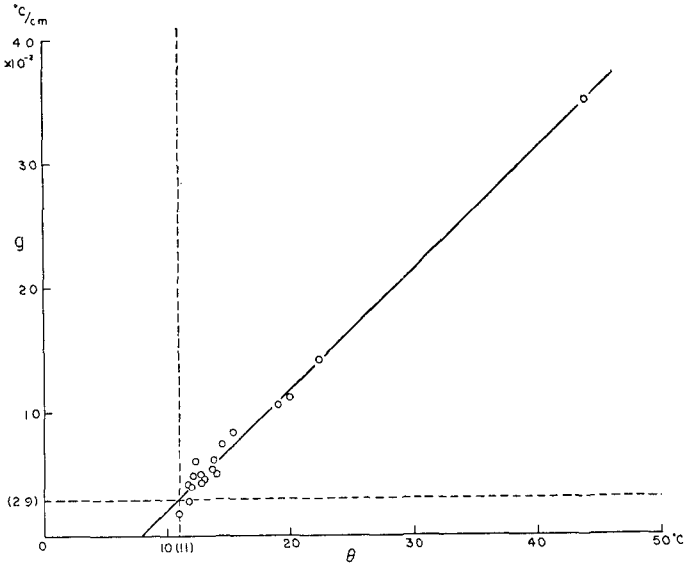
## VI. 濁川温泉地域から放出される総熱エネルギー

一温泉地域から出る熱エネルギー $Q$ は温泉として湧出している熱量 $Q_1$ と地下の温泉などの地下熱源から岩石又は土を伝って地表から放出される熱量 $Q_2$ との和である。

濁川温泉地域の 28 湧出口から湧出する温泉の総湧出量は 805 $l$/min で熱量は第 1 表に示したように $Q_1=4.6\times10^7$ cal/min であった。但し，この土地の地下水温度 10.0°C を基準とし普通の地下水に対し温泉のもつ熱エネルギーを算出したものである。

熱伝導によって地表から放出される熱量 $Q_2$ を求めるために，先ず，1 m 深地温が異なる 17

測点において 0.5 m 深と 1.0 m 深の地温の測定値から地温の鉛直方向の勾配を求め，この勾配と夫々の点における 1 m 深地温との関係を第 9 図に示した。この関係から 1 m 深地温の平常値 11°C に対する勾配 $\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_0$ 及び 1 m 深地温が夫々 11.5°, 12.5°, 13.5°, 14.5° 及び 18°C (地温が 15°C 以上の場合の平均値) における地温勾配の値 $\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_i$ を求めた。次に第 2 図の 1 m 深地温分布図において等地温線 11°, 12°, 13°, 14°, 15° の間の面積 $S_i$ を求めた。これらの結果を第 3 表に示した。




**第 9 図**　濁川温泉地域における 1 m 深地温 $\theta$ と 0.75 m における地温垂直勾配 $g$ との関係 (地温及び勾配の特種熱源の影響のないと思われる値は夫々 11.0°C 及び $2.9\times10^{-2}$ °C/cm である)

**Fig. 9.**　Relation between vertical thermal gradient $g$ at 0.75 m and the corresponding ground temperature at a depth of 1 m. Those normal values are respectively $2.9\times10^{-2}$ °C/cm and 11.0°C.

**第 3 表**　熱伝導により地表から放出される熱量の計算

**Table 3.**　Estimation of heat energy discharged by heat conduction.

| 1 m 深地温 $\theta_i$ (°C) | $\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_i-\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_0$ (°C/cm) | 面　積 $S_i$ (cm²) | $S_i\left\{\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_i-\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_0\right\}$ (°C・cm) |
|---|---|---|---|
| 11.0 | $2.9\times10^{-2}$* | — | — |
| 11～12 | $0.5\times10^{-2}$ | $0.80\times10^{10}$ | $0.40\times10^{8}$ |
| 12～13 | 1.3 〃 | 1.51 〃 | 1.96 〃 |
| 13～14 | 2.6 〃 | 0.09 〃 | 0.24 〃 |
| 14～15 | 2.9 〃 | 1.00 〃 | 2.91 〃 |
| 15＜ | 6.8 〃 | 0.22 〃 | 1.50 〃 |

* この場合は 1 m 深地温 11°C に対する勾配.　　Total $=7.01\times10^{8}$

$Q_2=3.24\times10^{-3}\times7.01\times10^{8}=2.27\times10^{6}$ cal/sec

$=13.6\times10^{7}$ cal/min

地面下 0.5～1.0 m 付近の土の熱伝導度を $\kappa$ とすれば $Q_2$ は次式で与えられる。

$$Q_2=\kappa\sum_i S_i\left\{\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_i-\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_0\right\}$$

土の熱伝導度については，濁川温泉地域の 3 カ所において，地下 0～1.0 m の範囲の値を Blackwell, Lachenbruch 梶原等[8] の probe method を用いて測定した結果その平均値として $\kappa=3.24\times10^{-3}$ c.g.s. を得た。

故に熱伝導によって地表から放出される熱量 $Q_2$ は

$$Q_2=2.27\times10^6\ \mathrm{cal/sec}=13.6\times10^7\ \mathrm{cal/min}$$

となる。

従って，総熱エネルギー $Q$ は

$$Q=Q_1+Q_2=18.2\times10^7\ \mathrm{cal/min}$$

となった。即ち，温泉の熱階級[9] は IV である。

又 $Q_2/Q=0.75$ となり，一般に $Q_2$ は $Q_1$ よりかなり小さいのが普通であるが，濁川では熱伝導により地表から放出されている熱エネルギー $Q_2$ が温泉として湧出している熱エネルギー $Q_1$ の 3 倍にも達していることは著しいことである。若し $Q_2$ の総てが地下深くから湧出した源温泉から供給されたと仮定すれば，地下深所における源温泉は 100°C を越えた熱水と水蒸気との混合体であることが推察されるのである。この問題については別報に詳しく論じたいと考えている。兎に角，第 IV 章においてガス G と FC 系の源温泉は地下深くでは一つになっており，100°C 以上の温度を有し水蒸気を含んでいると想定したが，熱量と湧出量の見地からも妥当であると思われる。

## VII. 総括及び結語

昭和 35 年 11 月 9～11 日北海道南部の濁川温泉につき地球物理学的見地から調査を行なったが，その結果を総括すれば次の様である。

1. 濁川盆地の北半分において 1 m 深地温が稍々高い分布をなしている (第 2 図)。その形は，詳しく言えば，北に拡った扇形をなしているが，その扇の柄に当る 2 本の直線部分は盆地付近に発達する NW-SE 及び NE-SW 方向の構造線と大体一致している (第 1 図)。地温の高温部の主なものはこの盆地の北の壁沿いに略々円弧をなして存在するが，高温の原因である地

8) J. H. Blackwell: A Transient-Flow Method for Determination of Thermal Constants of Insulating Materials in Bulk, Journ, Appl. Phys., **25** (1954).
A. H. Lachenbruch: A Probe for Measurement of Thermal Conductivity of Frozen Soils in Place, Trans. A.G.U., **38** (1957), 691.
梶原昌弘: 表土 1 m の平均熱伝導率測定，北大地球物理学研究報告，**7** (昭和 35), 31.

9) T. Fukutomi: Rates of Discharge of Heat Energy from the Principal Hot Spring Localities in Hokkaido, Japan, Journ. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII. **1** (1961). 315.

下温泉がこの割目（おそらく Caldera 陥没面）沿いに湧出していることを暗示する。実際この部分には濁川の全湧出口(28)の中17口の AB 系温泉が存在し(第3図)，3口の浅い穿井を除けば天然湧出である。盆地北部の中央には他の1m深地温の高温部があるが，この部には $CO_2$ を多く含む高温な噴気口や $HCO_3^-$ を多量に含む FC 系の温泉（穿井によるもの）が存在している。又盆地の北西部には数口の60～110m の boring による EBC 系の温泉が湧出しているが，この部の1m深地温はあまり高くない。

2.　温度と化学成分特に $Cl^-$ との関係(第4図)からみて，AB 系の温泉は Caldera 陥没面沿いに地下深くから湧出した高温で $Cl^-$ が多い A 源温泉と B 温泉水との混合によって生じたと推定された。FC 系温泉は盆地北部の中央の地下深くから上昇した $Ca(HCO_3)_2$ を多量に含み，高温且優勢な F 源温泉と地面下数10m の深さに盆地一帯に存在する盆地地下水 C とが混合して生じ穿井によって得られているが，$CO_2$ 性の間歇泉や $CO_2$ 性の所謂泡沸泉をなしている。最終には D 温泉水となって Caldera の割目の稍々東寄りに一部天然湧出している。F 源温泉は地下深くでは100℃以上で水蒸気及び多量の $CO_2$ と少量の $H_2S$ を含んでいると想像されるが，上昇に伴い $CO_2$，水蒸気，$H_2S$ 等の気相部分と液相の F 源温泉とに分離し，気相の部は真直ぐ上昇して噴気孔をつくっており，一部は水平方向に移動し盆地地下水 C に熱と $CO_2$ 及び $HCO_3^-$ を供給し EBC 系の温泉を形成していると思われる。EBC 系温泉は温度40°～64℃，$Cl^-$，$SO_4^{2-}$ 等を殆んど含まないが $HCO_3^-$ が他成分に比べて多いのが特徴であり，大体60～110m の穿井により得られている。最終的には温度40℃位の B 温泉水となって Caldera の割目から上昇した A 源温泉と混合して AB 系の温泉を形成している。第7図は斯様な湧出機構の模型的説明図である。

3.　濁川における AB 系，FC 系，EBC 系の3温泉系統の湧出量，湧出熱量を比較すると(第2表)，その凡そ8割は FC 系の温泉によって供給され，残りの1割宛が AB 系，EBC 系の温泉によって供給されていることは注意に値する。

4.　濁川温泉地域から出る熱 energy の中，温泉として湧出する熱量 $Q_1$ は $4.6\times10^7$ cal/min 地下熱源から岩石や土を伝って地表から放出される熱量 $Q_2$ は $13.6\times10^7$ cal/min，従って総熱 energy $Q$ は $18.2\times10^7$ cal/min に達し，温泉の熱階級は IV である。又一般には $Q_1$ が $Q_2$ よりかなり大きいのが普通であるが，濁川温泉地域の場合は $Q_1$ は $Q_2$ の凡そ1/3に過ぎない。

終りに臨み，この研究を実施するに当り便宜を与えられた森町役場並に現地の方々に謝意を表する。又この研究に要した費用の一部は文部省科学研究費によったことを記し，謝意を表する次第である。

# 5. On the Hot Spring of Nigorikawa in Southern Hokkaido

By Takaharu FUKUTOMI, Tadaharu FUJIKI, Akira SUGAWA,
Kiyotaka OHTANI, Akio WADA and Eiji TOKUNAGA.
(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

The writers had investigated, in the geophysical point of view, on the hot springs of Nigorikawa in Southern Hokkaido, on November 9–11 th, 1960.

The results of investigation are summarized as follows:

1) Geographical distribution of underground temperature measured at a depth of 1 m in Nigorikawa Basin indicates more or less high values in the northern half of the basin in comparison with the normal value as shown in Fig. 2. In detail, the more or less high temperature region is almost a fan-shaped area expanded to north and two straight boundaries corresponding to two lateral arms of the fan are coincident with two structural cracks, directions of which are predominant in the vicinity of the basin (Fig. 1). A moderately high temperature zone runs along northern wall of the basin forming an arc. It may be attributed to a zone of the ascending hot water through a semi-circular crack, that is perhaps a fault scarf of Caldera. 17 orifices out of total number of hot springs 28 in Nigorikawa exist in this area as shown in Fig. 3, and have temperature of 43～92°C and moderate amount of $Cl^-$. Hot springs of this type are denoted as those of AB-system and they are natural hot springs except three artesian wells of shallow boring.

The other moderately high underground temperature area exists in central part of northern half of the basin. In this area, there are several fumaroles discharging water vapor of 6～93°C in temperature, $CO_2$, a little amount of $H_2S$, and there are also several orifices of hot spring of FC-system which were obtained by boring of 7～64 m in depth and have temperature of 48～83°C. Several hot springs of EBC-system which were obtained by boring of 60～110 m in depth and contain a moderate amounts of $HCO_3^-$ exist in the north-western part of the basin, though the underground temperature at a depth of 1 m is low in this area.

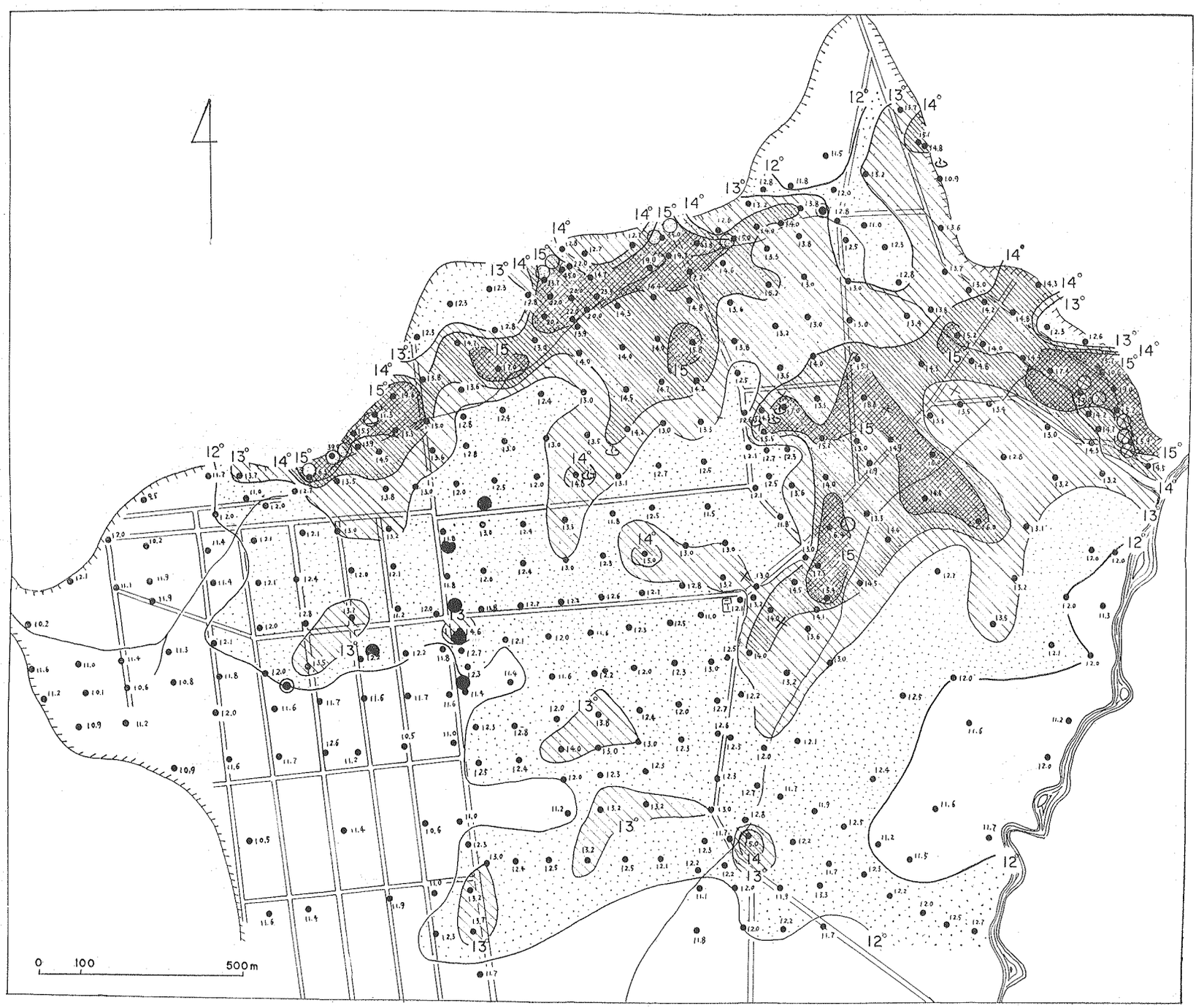
2) Relation (Fig. 4) between orifice temperature of hot springs and the corresponding amount of chemical constituents (especially $Cl^-$) indicates that the hot springs of AB-system are formed by mixing of hot water B with an original water A which is ascending from the deep through a fissure lying along the wall of Caldera. It is also estimated that hot springs of FC-system are produced by mixing of ground water C underlying at scores of meters below ground surface all over the basin with the original hot water F of high temperature, predominant water quantity and of abundant amount of $Ca(HCO_3)_2$ which is ascending from the deep at the central part of the northern half of the basin. Hot springs of this system indicate phenomena of geyser-like eruption and of bubbling spring due to ejection of $CO_2$. At the end, the water becomes to hot water D and is discharged as a group of natural hot springs at the estern corner of the Caldera. The original hot water F in the deep should have a temperature of more than 100°C and contains abundant amount of $CO_2$ and a little quantity of $H_2S$, and then gas phase containing vapor seperates from

the liquid phase F in the course of ascending. Principal part of the gas phase ascends vertically upward and discharges from fumaroles. A part of the gas phase flows horizontally through an underlying aquifer in the basin and supplies heat and $CO_2$ (consequently $HCO_3^-$) to ground water C and changes it into the hot springs of EBC-system. These hot springs have a characteristics indicated by moderate content of $HCO_3^-$ in spite of little amount of $Cl^-$, $SO_4^{2-}$ and of more or less lower temperature (40～63°C). At the end, this water becomes the hot water B and mixes with the original hot water A as mentioned above.

Fig. 7 is a schematic diagram showing the mechanism of formation of these hot spring systems.

3) Table 2 indicates the comparison of volume output and heat discharged from AB, FC and EBC systems. It may be worthy of note that about 80 % of these quantities is supplied by FC-system and every 10 % of those is supplied by AB or EBC systems.

4) Heat discharged as hot water $Q_1$ and that generated from ground surface through rock or soil by heat conduction $Q_2$ from Nigorikawa Hot Spring Locality are respectively estimated as $4.6\times10^7$ cal/min and $13.6\times10^7$ cal/min, and then the total heat energy is estimated as $18.2\times10^7$ cal/min. It is also noted that $Q_1$ is about one-thirds of $Q_2$ in this locality, though $Q_1$ is, in general, larger than $Q_2$.




**第 2 図**　濁川温泉地域における1m深地温分布図
黒点は測点，それにつけた数字は1m深地温の値，曲線は等地温線，大きい数字はその値，
大きな白丸，黒丸等は第3図の記号と同じで各系統の温泉及び噴気孔等である。

**Fig. 2.** Geographical distribution of underground temperature at a depth of 1 m in the hot spring locality of Nigorikawa.
Dot: Site of measurement, Numerals attached to dot: Temperature measured at 1 m depth, Curve: Isothermal,
Large white circle and large black circle, etc.: Site of hot springs of various kind indicated in Fig. 3.