

松川地熱地域の地下構造*

——松川における探査、開発の歴史——

中 村 久 由**

Geothermal Exploration and Subsurface Structure of Matsukawa Area, Northeast Japan

by

Hisayoshi NAKAMURA

Geological Survey of Japan

Abstract In Matsukawa geothermal area, about 50 km far from Morioka to north, seven bore holes were made to get thermal water for bathing by Matsuo village office during 1952~1955. This was the beginning of geothermal exploration in this area. By the drilling, it became clear that this area has a cap rock called Matsukawa andesite in the uppermost part and geothermal steam emitted from dacite tuff and its lava (Tamagawa welded tuff) overlain by Matsukawa andesite in the depth of 200~300m, though geothermal manifestations are poor on the surface. Geologic columns of the bore holes are shown in Fig. 3.

From 1957 to 1961, regular exploration was made under the cooperation of Geological Survey of Japan and Azuma Kako Co. Ltd. Geological survey and geophysical prospecting by seismic, electric and logging methods were made by the former and drilling was carried out by the latter.

The result obtained from the geothermal investigations in this period is summarized in Fig. 7.

To get geothermal steam reserved in Tertiary welded tuff and Yamatsuda formation (Figs. 8 and 9), four productive wells have been drilled by Azuma Kako Co. by subsidy of the Japanese Government since 1963. The depths of MR-1 ~ MR-4 wells the locations of which are shown in Fig. 10, are 945, 1080, 1200 and 1500m respectively. The position of each well was determined by using and discussing the data obtained from the above mentioned geothermal investigations.

According to the core investigation of each productive well, the stratigraphic profile and stratigraphic sequence are shown in Figs. 11 and 12.

Figs 13 and 14 are the distribution map of altered rocks. As seen in Table 2, the altered rocks of this area are classified into weakly altered zone, montmorillonite zone, kaolin zone, alunite zone and pyrophyllite zone. Except pyrophyllite zone, zonal arrangement of altered rocks can be seen in horizontal and vertical distributions. From the chemical composition of drainage water of each well (Table 4), it was clarified that alunite and kaolin have been formed under the acidic condition. While, the temperature near surface of this area is not so high as pyrophyllite can be formed, and therefore, it is assumed that pyrophyllite would not be the same product as other minerals, but that of early stage of geothermal activity.

From the data of stratigraphic profile in each well (Fig. 11), structural contour map presented by the depth to the top of Yamatsuda formation is made as shown in Figs. 16 and 17. If the bedding planes of the

* 昭和42年2月16日, 松川地熱地域講演会にて講演

** 地質調査所応用地質部環境地質課長

地熱 No. 10 (5月特集号), 1967

basement rocks are nearly horizontal as seen in core samples of welded tuff, this means that there may be fault zone parallel to structural contour lines, namely along Matsukawa river, and then it may be assumed that the structural movement would be associated with the activity of Marumori volcano (Fig. 17).

When drilling was being made, leakages of mud water from bore holes occurred often in welded tuff formation and especially in Yamatsuda formation. From this fact, it can be said that Yamatsuda formation plays the principal role as reservoir in this area. Fig. 15 shows that leakages of mud water occurred in the hard rocks of the welded tuff formation having horizontal welding planes.

Summarizing the data obtained from drilling, the schematic profile of subsurface structure and occurrence of geothermal resource in the Matsukawa area are shown in Fig. 18.

MR-1, MR-2 and MR-3 wells have succeeded to get geothermal steam of 150 tons per hour in total discharge. Japan's first geothermal power plant was put in operation, October, 1966. Its capacity is 15000 kilowatts at present.

まえがき

終戦後、わが国が地熱資源の開発調査にのり出してから20年の歳月が流れた。

この間に、イタリーのラルデレロでは戦時中の壊滅状態から立上り、現在30数万kWを得て世界の地熱界に君臨している。一方、戦後初めて地熱開発を取り上げたニュージーランドでは、ワイララケイにおいて着々とその規模を拡張し現在19万kWに達し、なおラルデレロとの差を縮めようとしている。この他、北アメリカのザガイザーズ、メキシコのパセ等でも小規模ながら発電を開始しており、さらに出力を増大させるべく開発調査をおし進めつつある。

このような諸外国の成功を耳にしながら、われわれが初めて岩手県松川地域に接したのは昭和30年のことであつた。本格的に調査を開始したのは、それから2年後の昭和32年であるから、今年でかれこれ10年目を迎えることになる。しかし、その甲斐あって、昨年10月8日、東化工機の手でいよいよ松川地熱発電所が運転に入り、わが国で初めての地熱発電がここに実現したことは、実際これまで調査研究に当たってきたわれわれにとって感無量のものがある。

この成功のうらには、昭和32年以来、東化工機と地質調査所とが共同的に開発調査を続けてきた研究体制、あるいは新技術開発事業団によって与えられた生産井掘削のチャンス、その他開発に関連ある事柄がすべて有機的に結びつき、その成果がこの歴史的な一頁に集約されたといつて過言でない。

いま振り返ってみると、この調査期間中に松川工事事務所の森芳太郎所長、片桐邦雄探査課長はじめ現場関係の人達、そして直接、間接、この調査研究を通じて触れ合った方々から、多くの御指導、御便宜、はげ

ましをいただいた。一々名前を記さないが、これら諸氏の御好意に対して、いま改めて心から感謝の意を表したい。いうまでもなく、これらの方々の御好意なくしては、われわれの調査研究がこれほど効果的に推し進めることができなかったと断言してはばからないからである。

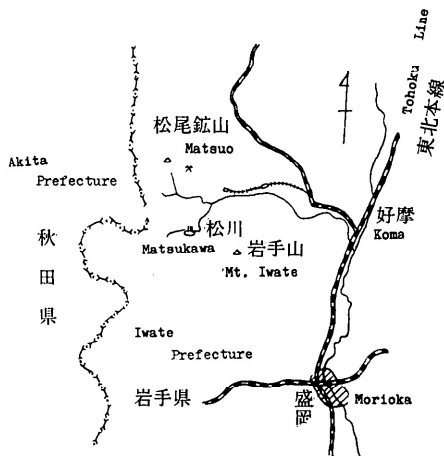
今回地熱調査会が、松川の開発成功を祝して記念講演会を開催し、併せて「地熱」誌上に松川特集号を発刊する運びとなつた。切角、与えられたこの機会に、これまでわれわれが行なってきた調査・研究の内容、特に、いかにしてわれわれが松川の地熱をとらえ、取り出すここに成功したか、そしてその中での未解決の問題は何かという点を主題にして、できるだけ詳しく書いてみたいと思う。そしてこの松川における調査・研究の経過、共同研究の体制などが、今後の地熱開発の進め方に幾分でも寄与するところあるとすればわれわれにとって望外の喜びとするものである。

なお、この調査研究は、地熱調査所においてグループ制で行なってきたものであつて、地質関係では、筆者のほか、地質部角清愛博士に参加を求め、共同的に調査研究を続けてきた。本文には一々名前は記さないが、このほか、物理探査部、技術部試錐課・地形課・化学課・地球化学課所属の各専門家も参加しており、松川で得られた成果は、とりもなさず、グループ制による成果であるとさえいえる。この点一言つけ加えておきたい。

1. 地熱開発以前の松川

松川は盛岡の北方約50kmの地点にあり(第1図)、現在盛岡から車で1時間半で達する。今でこそ国道4号線や津軽街道が舗装され、大更から東八幡平を経て松川に達する道路も道幅が広く、路面も整備されてい

第1図 松川地熱地域位置図
Index map showing the location of
Matsukawa area



るが、松川の名がまだ世に出ぬ昭和27年頃までは、屋敷台（現在の東八幡平）から松川までの8kmの山道は、徒歩によらざるを得なかった。

その頃の松川には松楓荘という湯治専門の旅館が1軒しかなく、源泉も松川右岸から湧出するものただ1カ所というみるからに僻地のさびしい温泉場であった。しかし、この8kmの山道から望む岩手山の眺めは素晴らしく、新緑の候から紅葉時にかけて、その折々に展開される山容のうつりかわりは、山道を通う湯治客の足の疲れをいやすに十分であった。

とはいえ、一たびこの松川温泉に足を踏み入れると、周囲の景色は一変し、その荒々しい地形は、この地域がかつて烈しい火山活動の場であったことを思わさずにはいない。

すなわち、松川・赤川沿いに露出する岩石は、堅くあるいは軟かく変質して懸崖を作り、白あるいは褐色の岩肌は往時の異変の烈しさを物語っているようにみえる。

これに加えて丸森とその背後にそそりたつ大きな崖は、かつてこの地に大爆発が起り、盆地状のくぼみを作った上に、丸森の火山が噴出し、現在のような地形をもたらしただという、火山活動の歴史を秘めているかのような感がある。

このように、火山地方独特の特異な地形を有するとはいえ、松川の地上には、他の地熱地域でみられるような活潑な温泉活動が全く存在せず、いわば平凡な山間の温泉地に過ぎなかったのである。

2. 地熱開発の端緒

昭和26、27年頃といえば、終戦の混乱も漸く収まり、いわゆる温泉ブームのはしりともいえる風潮がぼつぼつ世にあらわれてきた頃である。

松川は行政上、岩手郡松尾村に含まれるが、村内にはこの松川に温泉がただ1カ所あるにすぎない。そこで松尾村は、この松川を開発し、村民の憩いの場にしよという狙いから、松尾鉱山に依頼し、ボーリングの計画をたてたのは昭和26年のことであった。

調査の依頼をうけた松尾鉱山の技術者は、カルデラ状の地形に着目し、松川と澄川の合流点付近にこのカルデラ壁の延長が通り、かつ、このカルデラ壁に沿って温泉が存在すると想定した。

温泉取得を目的としたボーリングの位置や資料については次の項目で説明するが、昭和27年から始まったボーリング工事の結果は、今からみると大成功であったにもかかわらず、当時松尾村で必要であったのは温泉であって、蒸気ではないという理由から、結局、最後に50℃に満たない温泉を得てこの工事は終了した。

ちなみに、昭和27年から31年に亘る4年間に掘削されたボーリング孔の数は7本、深度は167～327mで、そのうち6本まで水蒸気が噴出するという全く予想外の結果を生んだのである。

地表の地熱徴候がきわめて乏しい場所にもかかわらず、たかだか150mから200mくらいの深さから高温の温泉や水蒸気が噴出するという噂は、地熱に関心をもつ者にとって聞き逃すわけにはいかない。

この話を耳にした東化工機が、松川を地熱開発候補地域として取上げ、それから10年間の開発調査の実が結んで、ここに世界の松川として名を上げるまでに至ったことはすでに述べた通りである。

このように、松川発見のきっかけは、松尾村のボーリングにあるという一語につきるのであるが、繰返し述べたように、地熱徴候の乏しい場所であるだけに、松尾村のボーリングが行なわれなかったなら、今の松川が生れるまでにはなお相当の時間のおくれがあったにちがいない。場合によっては、永久に陽の目をみなかったかもしれないのである。

3. 調査研究の内容

地質調査所が、正式に東化工機からの申し入れによって共同研究を開始したのは昭和32年からであるが、それまでに昭和30年、安藤武・渡辺和衛両技官によって予備調査が行なわれ、ここでいよいよ松川地域

第1表 松川・滝の上地域調査一覧表

調 査 種 目	地 域	深 度	年 度	施 行 者	備 考
試 錐 (1 号)	松 川	163.5m	昭 27	松 尾 鉦 山	松尾村の依頼
" (2 号)	"	159.3	"	"	"
" (3 号)	"	327.0	昭 28	"	"
" (4 号)	"	88.7	"	"	"
" (5 号)	"	57.0	昭 29	"	"
" (6 号)	"	205.6	"	"	"
" (7 号)	"	164.0	昭 30	"	"
地 質 調 査 そ の 他	"		"	地質調査所	地質調査所事業
試 錐 7 号 増 掘	"	164.0→222.8	昭 32	東 化 工	東化工事業
地 質 調 査	"		"	地質調査所	東化工の受託
地 形 測 量	松川、 滝の上		昭 33	"	地調、東化工共同研究
地 質 調 査	"		"	"	"
電 気 探 査	松 川		昭 34	"	"
地 震 探 査	"		"	"	"
試 錐	"	{78.5 50.5	昭 35	"	松尾村受託
試 錐 青 沼 GS-1	"	214.0	"	"	共同研究
" AR-1	"	325.0	"	帝 石	東化工依頼
" BR-1	"	450.0	"	"	"
同 上 電 気 検 層	"		"	地 調	共 同 研 究
試 錐 BR-2	"	570.0	昭 36	東 化 工	"
同 上 電 気 検 層	"		"	地 調	"
地 質 精 査	滝の上	"	"	"	"
試 錐 (温度分布調査)	"	30×13	"	"	"
"	"	30×6	昭 37	"	"
"	"	30×23	昭 38	"	"
"	"	30×7	昭 39	"	"
電 気 探 査	"		"	"	"
温泉水、噴気ガス分析	"		"	"	"
MR-1	松 川	945	昭 38	東 化 工	新技術開発事業団依頼
同上地質、電気、温度検層	"		"	地 調	"
MR-2	"		昭 39	東 化 工	"
同上地質、電気、温度検層	"	1080	"	地 調	"
試 錐 21 号	"	600	"	東 化 工	東化工事業
MR-3	"	120.7	"	"	事業団委託
同上地質、温度、電気検層	"		"	地 調	"
MR-4	"	150.1	"	東 化 工	"
同上地質、温度、電気検層	"		"	地 調	"

に対するミスがおろされたのである。

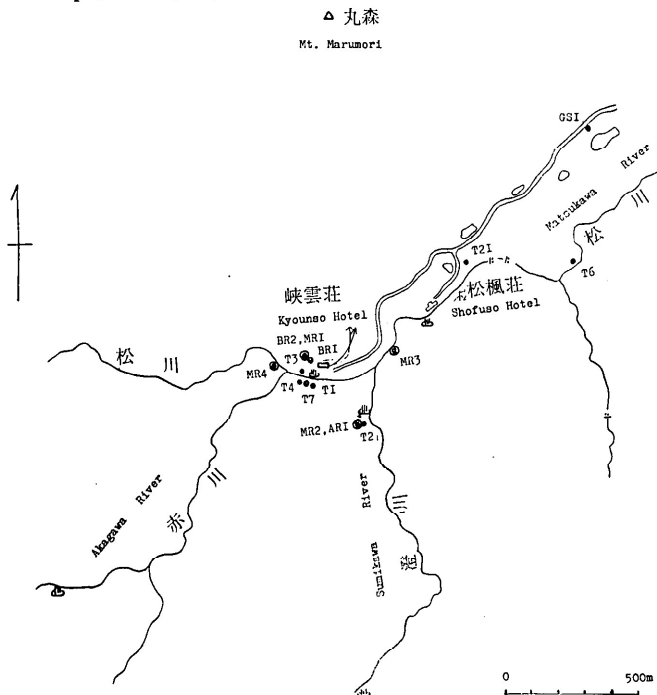
第1表は、松尾村のボーリングが初めてこの地におろされてから現在まで、松川・滝の上地域で行なわれた調査・研究・開発の内容を一覧表として掲げたものである。もちろん、この表にはのっていないが、この他東化工欄が単独で行なった試錐・温度分布調査、その他幾つかの調査項目がある。

これらの内容を逐一説明することはいたずらに紙数を費すだけなので、説明の便宜上、これらの内容を

1. 共同研究以前の調査・研究
2. 共同研究期間における調査・研究
3. 開発段階における調査・研究

のおおのに分け、その期間で得られた資料・成果について説明を加えることにしたい。

第2図 試錐孔および生産井位置図
Index map showing the location of test bore holes and productive wells



3.1 共同研究以前の調査・研究

いうまでもなく、松尾村のボーリングがなされた時期であって昭和27年から昭和31年までの期間に当る。この時期は、松川の開発からみれば、予備的な段階に当るが、この時期で得られた資料から、松川が地熱地域の場として、その進むべき方向が決定づけられたといえてよい。

第2図は、松尾村の温泉ボーリングから始まり、共同研究の段階および開発段階で掘削された試錐孔・生産井の位置を図示したものである。

この図から知られるように、松尾村の温泉ボーリングは松川・赤川合流点付近で5本、松川・澄川合流点付近で1本、さらに松川下流左岸で1本掘削されている。このうち、No.1号井(深度161.2m)、No.2号井(159.35m)、No.3号井(327m)およびNo.7号井(161.0m)はおのおの自噴し、熱水を混えた水蒸気が噴出した。

これらのボーリングは、丸森火山のカルデラ壁の延長と思われる場所を占め、温泉の探査を目的として行なわれたのであるが、直接カルデラとの関係は別としても、松川の地下構造について次のような興味ある結果を与えた。すなわち、この地域は、後で述べるよう

に第四紀の松川安山岩に被われる場所であるが、熱水の存在はこの松川安山岩の下に潜む石英安山岩質の地層中に貯溜されるということである。

この関係は、松尾鉱山に保管されていたNo.2、No.3、No.7号井のコアの観察から知られ、石英安山岩質の地層に熱水が貯溜されることについては、孔底温度の測定から判断された。すなわち、第3図は、ボーリング孔の柱状図と孔底温度を示したものであるが、そのうちのあるものから松川安山岩の掘削中、比較的低温であるにもかかわらず、その下の石英安山岩質の地層に近ずくと、急激に温度が上昇することが判明した。いいかえると、松川安山岩は熱水の貯溜層に対して、いわゆる帽岩の役割を果しているということである。この熱水の貯溜層とみられる石英安山岩質の地層は、後で玉川熔結凝灰岩層と名づけられたが、以上の松尾村のボーリングの結果から

- 1) 松川地域では、地表に温泉徴候が少ないにもかかわらず、孔底温度は高く、深部に高温の熱水が存在する。
- 2) 松川安山岩が比較の変質をうけていないところでは、その下位の玉川熔結凝灰岩に近づくとき急激に温度が上昇する。
- 3) これらの関係から、松川安山岩はいわゆる帽岩の役目をなし、熱水は玉川熔結凝灰岩の中に貯溜される。

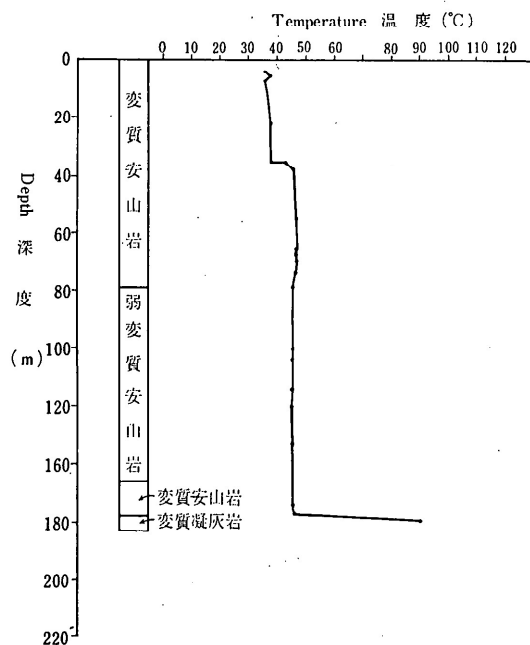
ことが明らかとなり、地熱関係者の注目を引くだけでなく、さらに進んで地熱開発を目的とした調査・研究を行なう価値ありと判断されるに至ったのである。

3.2 共同研究期間における調査・研究

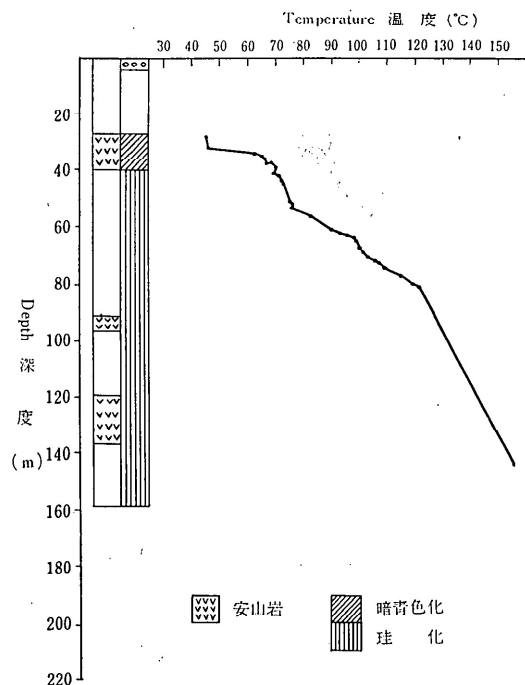
上述のように松尾村のボーリングによって、松川が地熱開発候補地域として注目されることに加えて、興味ある地下構造を有することも漸次明らかにされた。

一方東化工(株)は、試錐孔から噴出する蒸気の永続性をさらに確かめるため、昭和32年の後半、No.7号井を増掘りし、一冬、蒸気の流量・圧・温度の継続観測を行なうことを企画した。というのは、掘削当噴出した蒸気は、早いもので9日、長いもので6カ月で停止してしまうという事故がそれまでしばしば繰返されたからである。この原因としては50~60m以深にケーソン

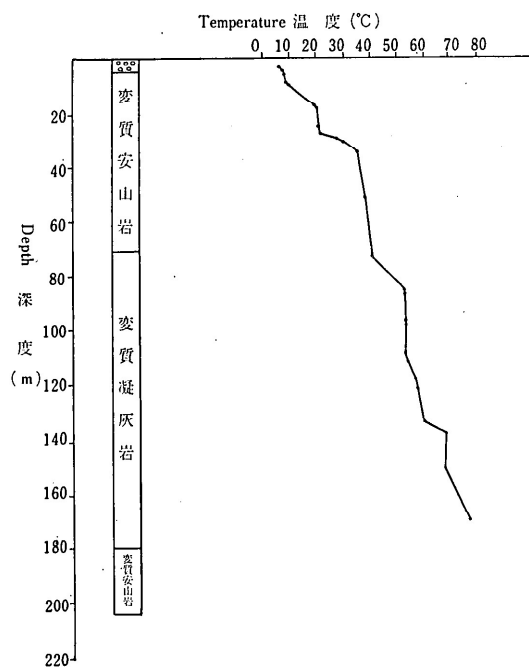
第3图 (a) 1号井柱状图
Geologic column of No. 1 test hole



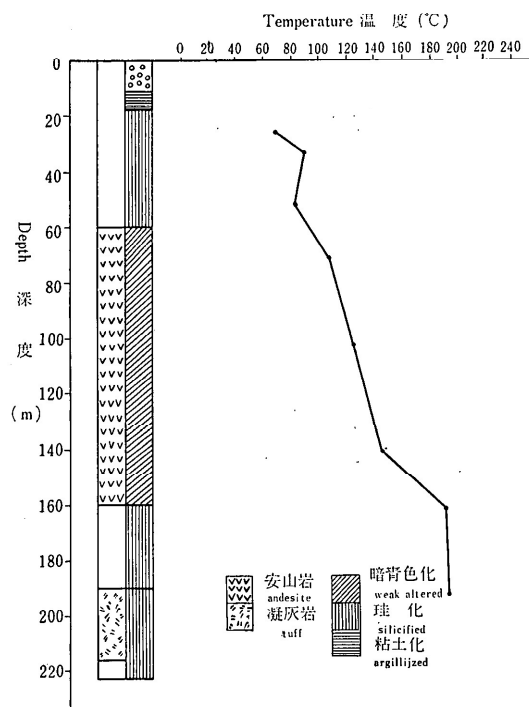
第3图 (b) 2号井柱状图
Geologic column of No. 2 test hole



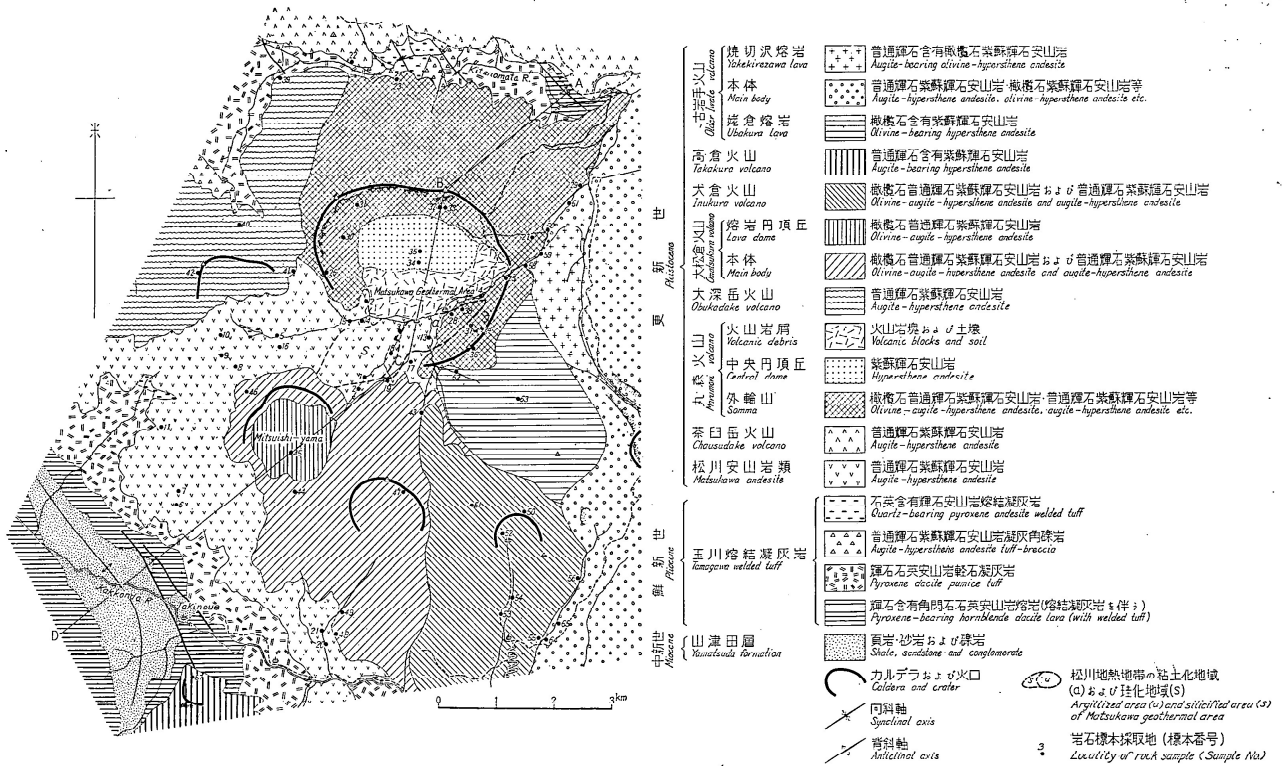
第3图 (c) 6号井柱状图
Geologic column of No. 6 test hole



第3图 (d) 7号井柱状图
Geologic column of No. 7 test hole



第4図 松川地域周辺地質図
Geological map of Matsukawa and its surrounding area



グパイプが挿入されていないため、孔内の崩壊により閉塞されると考えられたので、まず7号井を深度164mから222.8mまで増掘りし、ストレーナーを切ったケーシングパイプを孔底まで挿入して流量の変化を読み取り、その永続性を試験しようという段取りになったわけである。

この結果、少なくとも孔明管を挿入することにより、蒸気は継続的に噴出し、かつ流量・圧・温度とも変化がほとんどないことが確かめられたので、ここでも松川の地熱開発に対する問題点の1つが解明される見通しが得られたのである。

さて地質調査所と東化工機が共同研究契約を結び、松川地域の開発調査を推進させることになったことは前に述べた通りであるが、共同研究のたて前は、互に調査費を持ちより、かつ互に重複しないように仕事の分担を決め、調査・研究の成果をあげることを狙いとしている。そこで、地質調査所は、主として地質調査・物理探査を受持ち、東化工機は試錐関係の仕事を分担することになり、まず、地表地質調査を昭和33年から開始することになった。なお、地質調査については、共同研究に入る直前の昭和32年に、東化工機からの依頼で周辺だけ大ざっぱに行なったことがある。

松川は、少なくとも地上に関する限り、全く第四紀の火山岩類に覆われ、この附近の調査だけでは基盤の地質構造に関する情報を知るすべもない。しかし、松尾村のボーリングの記録から、深度160m附近を境としてその下に、第三紀の石英安山岩質凝灰岩が潜在することが確かめられたので、実際の調査に当たっては、少なくとも第三紀層が露出する範囲まで調査地域を拡大し、できるだけ、松川の地下に潜む基盤岩層の資料を集取しておく必要があると判断された。このような意味から、注目を引いたのは、^{しずくいし}雫石町の奥の^{たき}滝の上地域と、松川の北の北の又川流域である。これらの地域には、上記の熔結凝灰岩やその下の山津田層と呼ばれる海成層が露出することが知られていたので、昭和33年から始まった地質調査では、滝の上地域・北の又川流域まで範囲を拡げ、第4図に示すような地質

図を作製した。また、滝の上から松川を通り、北の又川中流を結ぶ地質断面図は第5図に掲げてある。

この地質調査により、松川を含む、八幡平東南地域の地質については、以下次に述べるような幾つかの事柄が浮び上ってきた。

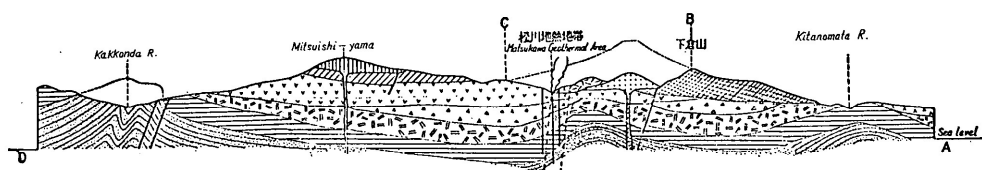
- 1) 松川地域を覆う松川安山岩は、恐らく赤川上流に中心をおく火口から流れ出たと考えられ、この地域の第四紀の火山活動の口火を切ったものである。
- 2) この松川安山岩の下には玉川熔結凝灰岩が厚く堆積し、その上部は比較的粗鬆な凝灰岩を主とするが、下部は熔結した堅い熔岩状の岩石からなる。滝の上地域一帯では、概ね上部から下部に亘って露出するが、北の又川流域に分布するものはその上部に当る。
- 3) 滝の上地域に露出する山津田層は、泥岩・凝灰質砂岩・礫岩等からなり、背斜構造を呈する。地上には数多くの地熱徴候がみられ、これらの分布は、山津田層の地質構造と関係がある。
- 4) 山津田層の下底に、一部、硬質頁岩がみられるが、いわゆる緑色凝灰岩 (green tuff) は露出しない。
- 5) 滝の上・北の又川に分布する第三紀層の構造的方向は、北東—南西、北西—南東の2方向に卓越する。

以上は、地質調査から得られたこの地域一帯の一般的な知識であるが、それでは焦点を松川だけにしぼった場合、そこにはどのような問題点があるかを知らねばならない。

地質調査のあと行なわれた物理探査（電気探査および地震探査）および地質調査所の構造試錐も、結局、これらの問題点の解明を主目的としたものであるが、それには次のような幾つかの事柄が含まれる。

- 1) 松川および滝の上地域に亘って広く分布する松川安山岩の中には広大な変質帯が発達する。特に松川地域では、松川本流、その支流の澄川・赤川に沿って幅1.5km、延長7kmに及ぶ変質帯が北東

第5図 松川地熱地帯地質断面図
Geologic section through A-D line



一南西方向に拡がる。

- 2) 温泉の湧出地点はこの変質帯の中に存在するが、きわめて散点的でたかだか5カ所程度にすぎない。しかもいずれも低温(78℃を最高とし、他の4地点は40℃前後)である。
- 3) 松川安山岩が帽岩(cap rock)の役割を果たしているようにみえるが、果して、この変質帯全域の地下に熱水の潜在が期待できるかどうかは、今後の大きな問題である。
- 4) 滝の上・北の又川流域の地質状況から判断すると、松川地域の地下に玉川熔結凝灰岩のみならず、山津田層さらに緑色凝灰岩の存在が期待できる。しかし、その厚さは不明である。
- 5) 松尾村のボーリングの結果から、玉川熔結凝灰岩の上部に熱水が貯留されていることが判明したが、構造的にどのような貯留状態をとるかは明らかでない。
- 6) 地形的に、丸森背後の崖はカルデラ壁とみなされる。丸森は恐らく中央火口丘であろう。それではこのカルデラは爆発によるものか、あるいは陥没によるものか。また、丸森の南斜面を覆う碎屑物(debris)は地すべり地形を呈する。この地すべりをもたらした原因は何か。
- 7) 上記のカルデラ壁に沿って果して熱水が存在するものかどうか。これを知るため、カルデラ壁の近くで構造試錐をおろしてみる必要がある。

もちろん、上記の問題全部を解明するには、多くの地下構造に関する情報が必要であり、それには多額の調査費と長期の年月を見込まねばならぬことはいうまでもない。

物理探査は、松川地域における地下構造、特に、熔結凝灰岩および山津田層の厚さ、それに変質帯の垂直的分布を知ること重点をおき、構造試錐はカルデラ壁の構造と地熱の存在状態との関連を確かめる目的でとり上げられたのであるが、このうち、物理探査の成果については別項目で詳しく紹介されているので、ここでは地質調査所と東化工機で実施した構造試錐の結果だけを総括して説明し、次に移る足がかりとした。

第1表でみるように、地質調査所で物理探査・構造試錐を行なったのは昭和34、35年のことであるが、丁度時を同じくして、この頃東化工機が、工業技術院から試験研究費の補助金をうけ、AR-1(深度325m)、BR-1(深度450m)の2本の構造試錐を試みた。場所は、現在の生産井MR-1、MR-2と同じ地点である

(第2図)。

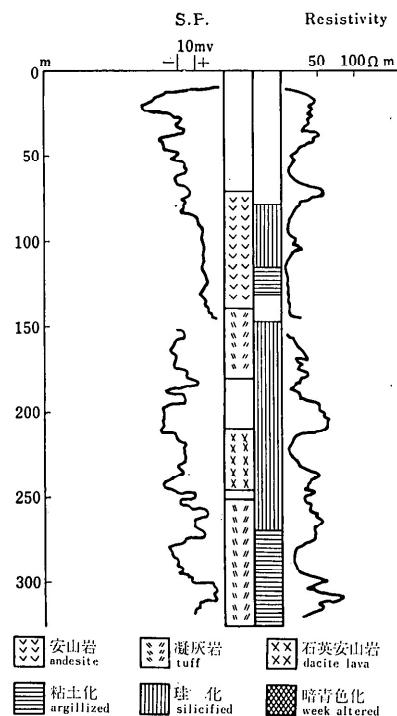
松尾村のボーリングの結果では、深度327mまでの間で蒸気を噴出することが明らかであるから、AR-1、BR-1の掘削により、場合によっては使用に耐えるほどの蒸気量が得られるかもしれないと期待されたのは当然である。しかし、実際掘ってみると、確かにある期間は蒸気を噴出するのであるが、蒸気量が伴わずにただでなく、冬季に入ると水位が高まり孔内温度が低下して、遂に噴出は停止するという事態が生じた。

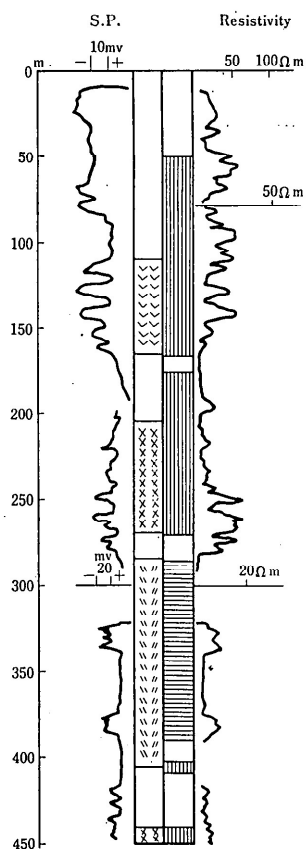
水位の変動や孔内温度の低下は、浅い地下水の浸入によるいたずらといってよいが、蒸気量の問題は、多分に地質構造に関連がある。

この2本の試錐孔はいずれもオールコアリングで掘られたものであり、かつ孔内の電気検層も行なわれているので、これらの調査から得られた柱状図と電気検層図を併せて第6図・第7図に掲げた。また、地質調査所が青沼の岸近くで掘ったGS-1の記録は第8図に示してある。

まずAR-1、BR-1の記録をみるといずれの試錐孔もコアは著しく変質しているが、石英の存在や原岩の

第6図 AR-1 柱状図
Geologic column of AR-1 well



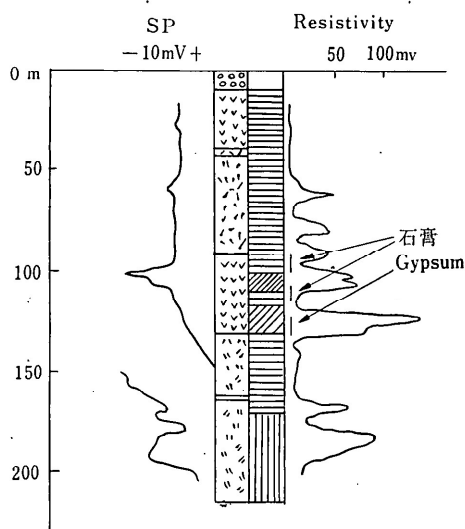


第7図 BR-1 柱状図

Geologic column of BR-1 well

(凡例は6図と同じ、Regend→see fig. 6)

第8図 GS-1 青沼柱状図
Geologic column of GS-1 well
(凡例は6図と同じ、Regend→see fig. 6)



構造を手掛りに柱状図を組み立ててみると、ほぼ160m付近に松川安山岩と玉川熔結凝灰岩の境があり、玉川熔結凝灰岩に入ると凝灰岩の中に何枚かのうすい熔岩が挟まれていることが知られる。玉川熔結凝灰岩層の上部を占める凝灰岩は、原岩でみると粗鬆で、かなり水を含みやすいような地層である。従って、松川においても、熱水の貯溜層はこの凝灰岩の部分とみてよさそうに思われる。

ところが、電気検層図をみると、この凝灰岩の部分は変質して粘土化し、著しく低抵抗を示している。一方、熔岩の部分は、比抵抗、S P曲線のあらわれ方が特徴的で、丁度、含油層の中の帯水層に相当するように見える。

この傾向は、GS-1の記録で比較してみるとなお一そう明瞭である。もちろん、このGS-1の中でみられる熔岩は比較的新鮮で、AR-1、BR-1ほど変質していないが、注目すべきことは、この熔岩を中心とする部分に石膏が含まれることである。

以上の事柄を総括すると、次のようにいうことができよう。すなわち、玉川熔結凝灰岩層の上部では凝灰

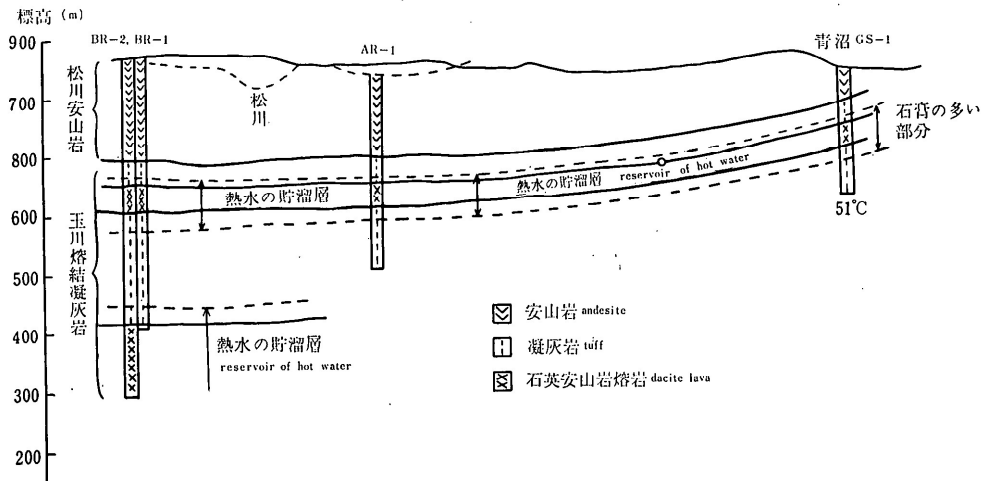
岩が主体となり、その中に熔岩が挟まれるが、熱水はむしろこの熔岩の割目に貯溜されるということである。このような考え方から、BR-1、AR-1、GS-1を結ぶ線上の地質断面を図示すると第9図のようになる。

AR-1、BR-1が孔径を太くしたにもかかわらず、蒸気量が伴なわぬことの理由を考えると、結局、深度450mまでの範囲内では、熱水の貯溜層に当る熔岩が期待するほど厚くないという結論に達する。それでは、さらに深く掘っても、もはや量を得ることが期待できないものかどうか、ここに重大な問題が提起されたのである。

この問題を解きほぐすには、差当り松川の地下でみられる玉川熔結凝灰岩の層序上の位置をまず知らねばならない。この点については、前にも書いたように、凝灰岩を主体とすることから考えて、やはり、玉川熔結凝灰岩の上部に当るとみて間違いはなさそうである。

もしそうであるとすれば、滝の上地域一帯の層序から推して、やがて熔結された堅い熔岩状の岩石がその下

第9図 各井戸を結ぶ断面図
Geologic section through the locations of three bore holes



に続くことが期待される。

このような基本的な考え方が、AR-1あるいはBR-1の柱状図にも適用できるかどうかをチェックしてみると、BR-1の孔底近くでみられる熔岩状の岩石は、その出現する深さから推して、上で述べた熔結凝灰岩を主とする部分の頭に相当する可能性が強く浮び上ってきた。

この堅い熔結凝灰岩の中に含まれる熱水の在り方については、この時点でまだ確定的とはいえないが、少なくとも堅い熔岩状の岩石の横の割目につながりをもつことを上記の両試錐孔は示唆している。

昭和36年、BR-1のすぐ傍に掘ったBR-2(深度570m)は、より深部の地質構造と噴出産物の永続性を見極める目的で掘削されたが、結果は上首尾を収め、深部開発に明るい見通しを与えた。すなわち、深度500m以下の岩石は予想通りきわめて堅く、粘土化の部分ほとんど認められないが、深度570m付近で循環泥水が逃げるほどのクラックがあり、予定深度650mまで掘削することが困難となり571mで掘りどめにしたものである。掘削終了後、揚水して蒸気を噴出させたが、冬季に入っても停止することなく、安定した状態で噴出を続けた。ちなみにBR-1の孔径は73%、蒸気量は1.2t/minで、ケーシングパイプは550mまで挿入してある。

BR-2の掘削を最後に、松川における共同研究は一応終了したが、以上の調査・研究から、深部開発に対する見通しが決して悲観的でないことを裏づける幾つかの資料が得られたため、ここでいよいよ開発段階へとその踏切がつけられたのである。

3.3 開発段階における調査・研究

以上述べた松川での共同研究は、いわば開発の見通しが得られるかどうかを知るための基礎的な調査研究であり、その方針としては、広い範囲から狭い地域へと焦点を絞り、垂直的には浅部から深部に探索を進めるというオーソドックスな行き方であった。

しかし、地熱の開発が実際に可能であるかどうかを最終的に決定するのは、生産井を掘削し、その蒸気量を確認することによってなされるのであって、それまでの段階は、いかに可能性の裏づけが豊富にあっても、それはあくまで蓋然性の範囲を出ない。地熱の開発が投資的でなく、投機的といわれるゆえんもここにある。

松川における共同研究から得られた資料は前項で書いた通り、深部開発の可能性を著しく前進させた。しかも、問題の玉川熔結凝灰岩の下位を占める山津田層については、滝の上における例を照合するまでもなく、有力な貯溜層になり得る可能性またすこぶる大なるものがある。

別項の地震・電気探査の成果が示すように、松川における山津田層までの推定深度は約900m、その厚さを300mとみても、生産井の掘削深度は少なくとも1,200m見込んでおく必要があるという理由も、いま述べたような事情から生れたことにはかならない。

しかし、開発といっても1,200mの生産井を掘るためには、少なくとも数1,000万円を要するとなれば、そう簡単に実行できる事柄ではない。

この問題が、工業技術院研究業務課から、新技術開発事業団に「地熱発電技術」という研究課題で持ちこ

まれたことはすでに周知の通りであるが、昭和37年という年の1年間、深部開発の可能性について微に入り細をうがつ検討がなされた結果、昭和38年、生産井MR-1の掘削が実行に移され、ここにいよいよ松川が開発段階に足を踏み入れる機会が開かれたのである。

新技術開発事業団における検討は、専務理事の原田久氏の担当によってなされたが、この期間に提出を求められた技術関係の資料が58編に及ぶことからみても、いかに慎重かつ詳細にこれまでの調査・研究の内容、今後の深部開発の可能性について、検討が加えられたかを察することができよう。

この間における審議の経緯については、いずれ原田専務から報告されることと思われるので、ここでは問題になった要点だけを列記しておく。

- 1) 松川のように cap rock をおく地熱地域での深部における熱のとらえ方。
- 2) 山津田層までの深度、かつ山津田層が熱水の貯溜層になりうる可能性。
- 3) 1との関連において cap rock 以深の温度分布の問題。すなわち熱伝導によるものか、熱水を媒介とするものか。また、いかにそれを区別するか。
- 4) 予測される取得蒸気量に対する推算の方法。
- 5) 2との関連において、玉川熔結凝灰岩層および山津田層の透水性に対する評価。
- 6) 蒸気および熱水のもつ地球化学的意義。

以上は順不同であるが、どれをとりあげても深部開発に通じる問題であり、その重要性に遜色はない。

しかし、「地熱のいれもの」という形で松川の地質構造を考えた場合、熔結凝灰岩中に発達する横の割目に加えて、松川に沿う構造帯（これは変質帯の分布および地震探査の弾性波のみだれから推定された）が、熱水の上昇通路としての役割を果たすこと、さらに山津田層自体も貯溜層になり得る可能性が強いこと（当初は砂岩・礫岩の孔隙率が帯水層になりうるほど高いものと考えたが、実際掘ってみると透水性の大きいのは他の理由によることが判明した。後述）などの理由から、十分「地熱のいれもの」としての条件を具えているといつてよく、cap rock 以深における温度分布については、このいれものの中に貯えられた熱水の媒介

によって与えられたと断言できるので、この両者を組み合せて考える時、深部開発に対する見込みは相当の確率をもつ、というのが筆者等の考え方であった。問題は、蒸気量であるが、これについては早川物探部長の推算により、BR-1をそのまま孔径を大にした場合でも、30t/min は得られると見積られた。

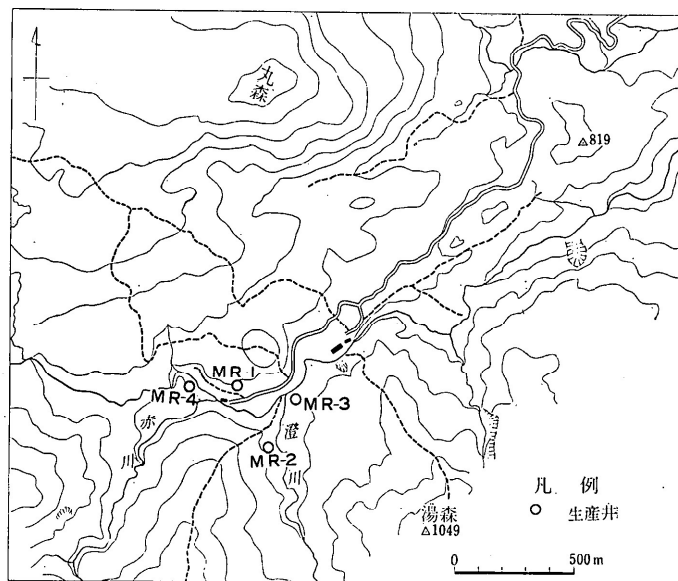
結局、この問題については松川における熱水の貯溜層を山津田層が占めると考えた場合、この山津田層が実際に松川の地下に存在するものかどうかを確認しておく必要があるという結論に達した。そして、資源総合開発研究所に依頼して北の又川沿いに測線を設置し、直流法による電気探査を行なった結果、山津田層に相当する地層が潜在する可能性が見出され、ここに1,200mの生産井掘削の断が下されたのである。

東化工に委託された生産井の掘削は、各井とも予想以上の成果を収め、当初予定した5,000kW発電の計画を大きく上廻り、昭和41年10月20,000kWの発電所が完成、現在9,000kWで営業運転を続けていることは、広く世間に紹介されている通りである。

生産井の掘削期間中は、現地において東化工側、帝石釜井工業側の現場担当者と地質調査所の調査員がしばしば技術検討会を開き、それまで得られた資料について検討を重ねたが、これは、問題点と進むべき方向を把握する上できわめて有意義な会合であったといつてよい。また、新技術開発事業団を中心として、工業技術院、東化工側との間で3者会談を随時開催し、同

第10図 生産井位置図

Index map showing the locations of productive wells



じく技術上の問題について意見交換を重ねた。

以下、昭和38年以降の開発段階における調査・研究の内容を説明し、併せて未解決の問題、今後の問題点にも触れてみることにする。

1. 層序

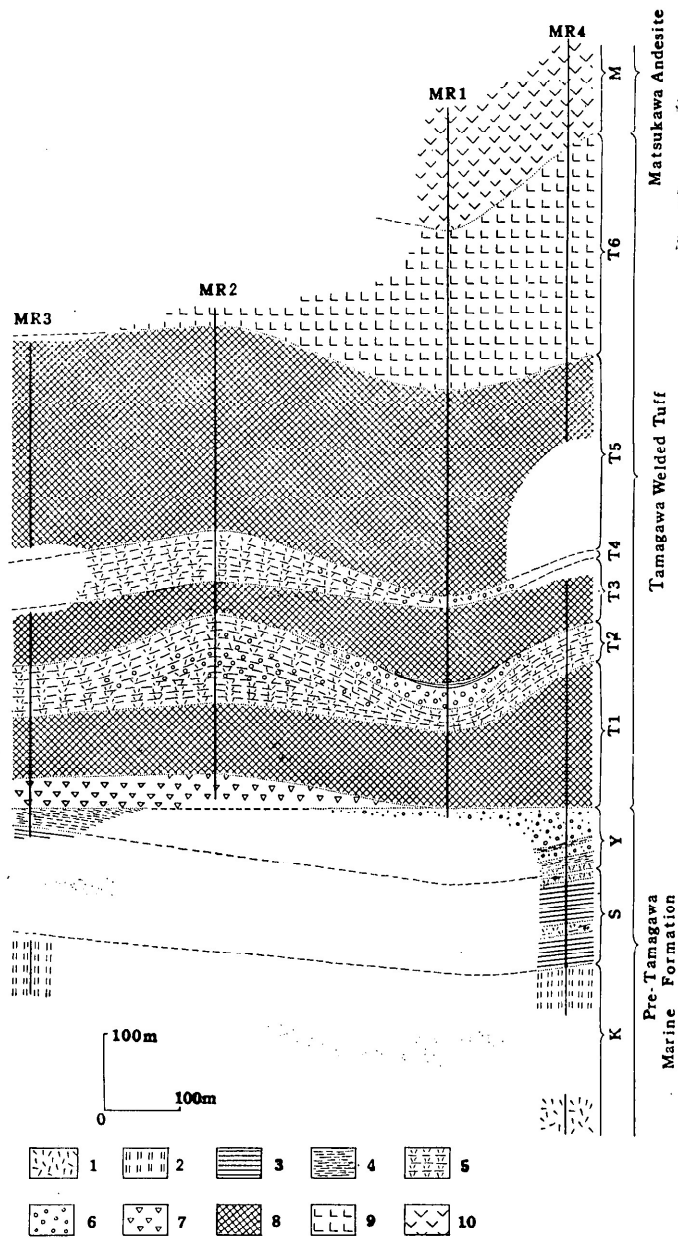
4本の生産井の位置は第10図に示す通りである。このうち、MR-1はBR-1の傍、MR-2はAR-1の傍と、おのおの既試錐孔の位置に決定したが、MR-3は松川沿いの構造帯を重視して、その位置を定めたものである。さらにMR-4については、他の1案として、現在の発電所建物の傍に掘ることも提案されたが、安全性をみてMR-1から160m離れた現地点に採択された。この他、生産井とは別に、21号井と呼ばれる試錐孔が御護沼の傍に掘られたが(深度600m)、この付近まで離れると、孔底温度は生産井より低く(生産井においては深度500mで240℃に達するにもかかわらず、21号井では600mで180℃)、かつ熔結凝灰岩の中に期待するほどのクラックが存在しないことが判明した。

以上のうち、4本の生産井から得られた各井戸の層序断面を第11図に示す。この図では山津田層の上面を同一水準におくように配列してある。山津田層は予想通り、MR-1、MR-3、MR-4の孔内で出現したが、その厚さは、MR-1で10m以上、MR-4で100mという程度にすぎない。これには、その下の硬質頁岩の部分を含めていないが、一応硬質頁岩まで含めると210mに達する。それにしても、滝の上地域の400m以上という厚さと比較すれば、半分以下という薄いものであるが、これは、山津田層が堆積した当時の湖盆の形態に関係あるためと考えられる。

なお、MR-2は、直接山津田層に達していないが、玉川熔結凝灰岩の岩相から判断して、山津田層の直上に位置しているとみてよい。

第11図 層序断面図

Stratigraphic section of the Matsukawa geothermal area
(K. Sumi, 1965)



1 : Basic tuff breccia, 2 : Rhyolite volcanic breccia, 3 : Siliceous shale, 4 : Black shale, 5 : Sedimentary tuff, 6 : Conglomerate, 7 : accidental tuff breccia, 8 : Dacite welded tuff, 9 : Acid andesite lava and welded tuff, 10 : Andestie lava, Y : Yamatsuda.

この図から松川地域の層序を組み立てたのが、第12図の層序表である。

第12図 松川地熱地帯層序表
Stratigraphic sequence at the
Matsukawa area

時代	地層	厚さ (m)	岩相
更新世	火山岩層	3	火山岩塊および土壌
	松川安山岩類	150	普通輝石紫蘇輝石安山岩熔岩
中後新世	T ₈	50	安山岩凝灰角礫岩
	T ₇	110	安山岩熔岩 石英含有輝石安山岩 熔結凝灰岩
	T ₆	90	安山岩凝灰岩
	T ₅	270	石英安山岩熔結凝灰岩
	T ₄	100	凝灰質礫岩 石英安山岩熔結凝灰岩 玢岩岩脈
	T ₃	60	頁岩 凝灰質礫岩
	T ₂	100	石英安山岩熔結凝灰岩
	T ₁	100	異質凝灰角礫岩 黒色頁岩 凝灰質頁岩
	山津田層	?	?
	中期		細粒閃緑岩 酸性凝灰岩

この中で、松川安山岩は約160mの厚さを持ち、既に述べたように、開発地域に限る限り、cap rockの役割を果たしている。

玉川熔結凝灰岩層は岩質の違いで幾つかの部層に区分されるが、注目すべきことは、この地層のコアの中にきわめて明瞭な熔結面があり、それが横の割目となってあらわれていることである。しかも、岩石がいずれも著しく変質作用を受けていることからみても、この横の割目に沿って、熱水が貯溜されているとみなしてまず間違いはない。

次に山津田層であるが、これは主に黒色ないし灰色の頁岩からなり、場合によっては細かく砕けやすく、ザク層を呈することがある。この地層が果して熱水の貯溜層になり得たかどうかについては、後で触れることにする。

硬質頁岩以下の地層は緑色凝灰岩からなり、閃緑岩の貫入がみられる。硬質頁岩および緑色凝灰岩に入ってから割目の発達に乏しく、地熱の貯溜層としての価値はほとんどないと判断された。

2. 岩石の変質

松川地域には、北東-南西方向をとって幅1.5km、延長7kmの変質帯が分布する。この変質帯は過去および現在の地熱、温泉活動によって生成されたものであ

り、その分布は基盤岩層の構造的弱帯に支配されると考えられるため、すでに共同研究を行なっている頃より注目が払われていたものである。

最初は主として肉眼的な観察によって変質帯を分帯したが、その後、共同研究者の角清愛は、試錐孔のコアについてX線による廻析を行ない、主として粘土鉱物の組み合わせにもとづいてこれらを分帯し、第13図および第14図のように水平的、垂直的な変質帯の分布図を作製した。なお、これらの分帯に含まれる特徴的な鉱物を示すと第2表の通りである。

以上の変質帯のうち、松川・赤川の上流に発達する珪石帯(X線による廻析では、明礬石帯に含まれる)は、酸性の熱水溶液により岩石中の珪酸を除く諸成分が溶脱されたもので、しばしば現在の噴気地帯の表面でみられることが多い。いいかえると、珪石帯の分布範囲は、過去の地表面における噴気活動ということができる。しかし、現在、この範囲にはただ1カ所の温泉湧出地点がみられるに過ぎない。

もともと、現在の松川地域一帯の地形がその昔から原地形を留めていたのか、あるいは、かなり削剝された浸蝕地形であるのか、という問題は、現在地表でみられる変質帯の性質を知る上にきわめて重要である。

この点、後で述べるパイロフィライトの存在や原地形の復元図から推定すると、少なくとも現在の開発地域は赤川上流附近に比べ、浸蝕の度合いが大きく、その当時変質をうけたいわば中身が露出していると考えられる。

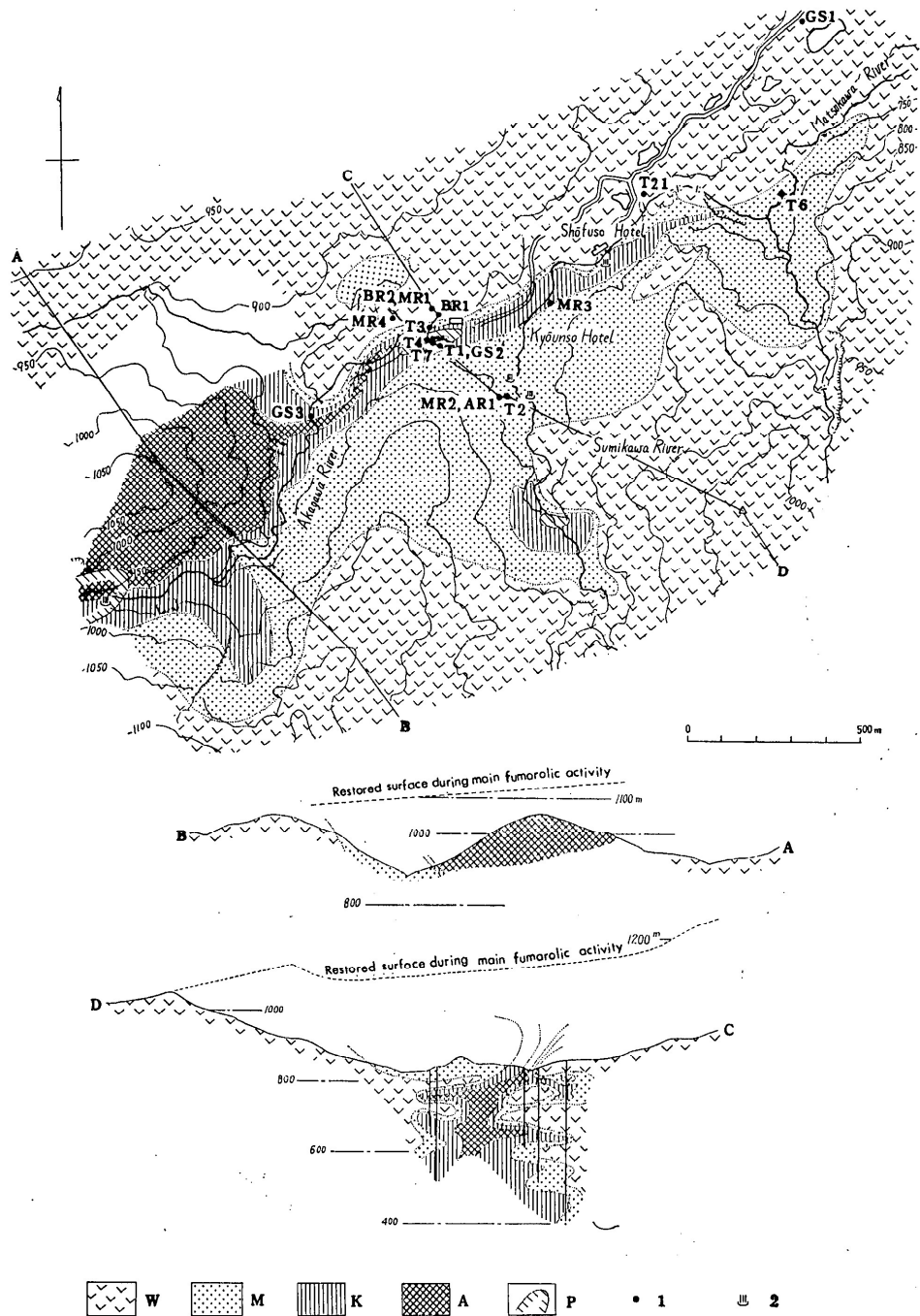
以上の事柄を念頭に入れて第13図および第14図をみると、明礬石帯・カオリン帯・モンモリロナイト帯・弱変質帯は中心から外側に向って、水平的にも垂直的にも帯状に分布することが判る。一方この中に、パイロフィライトが含まれるが、これは明瞭な帯状分布を示さない。

これらの変質鉱物は、酸性の熱水によって生成されたと考えられるが、特にパイロフィライトは温度高く、かつ酸性度も高い条件で生成される鉱物といわれている。それにもかかわらず、パイロフィライトが松川の表面に存在することは、現在の地下の温度分布とパイロフィライトの分布とは、必ずしも一致しないことを意味する。

このような食い違いから、パイロフィライトはこの地域の地熱活動がもっと活潑な時期に生成された産物であり、その当時の変質帯と、現在の変質帯とが重なり合っていると解釈されるのであるが、全般的な変質帯の分布が帯状の形態をとること、さらに後述の熱水

第13図 変質帯分布図

Distribution map of altered rocks in the Matsukawa geothermal area



W : 弱変質帯 Weakly altered zone

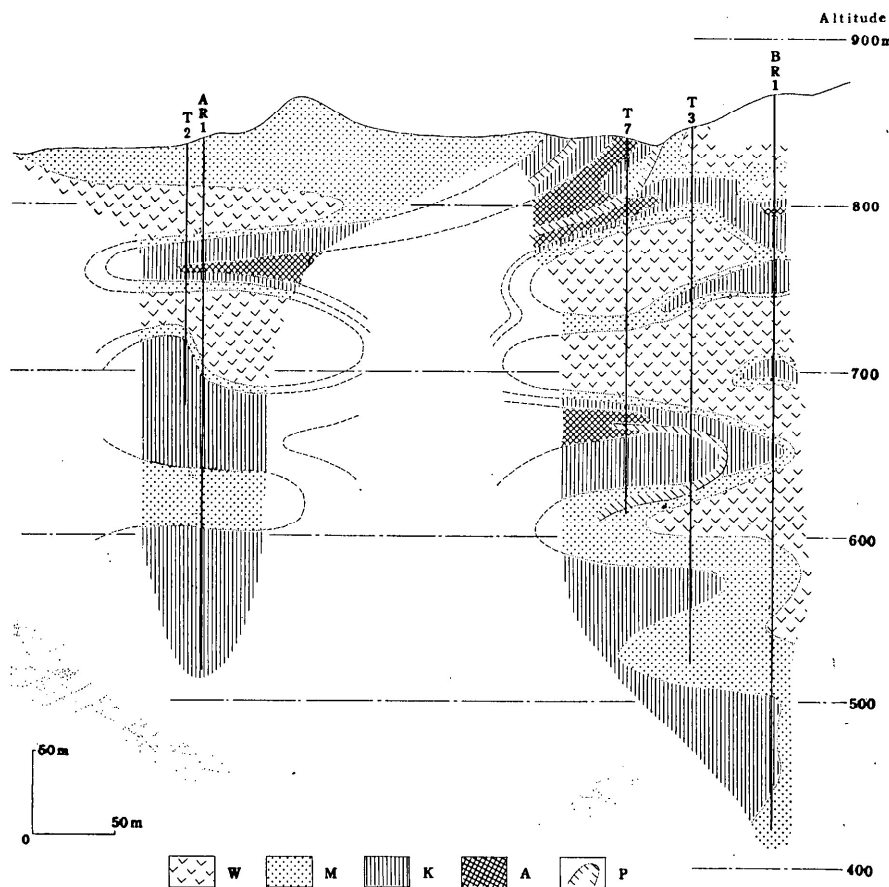
M : モンモリロナイト帯 Montmorillonite zone

K : カオリン帯 Kaolinite zone

A : 明礬石帯 Alunite zone

P : 葉ろう石帯 Pyrophyllite zone

1 : 孔井 bore hole 2 : 温泉 hot spring



第14図 変質帯の断面図

Section of altered zones at Matsukawa (K. Sumi, 1965)
凡例は第13と同じ、
Regend→see fig. 13

第2表 各変質帯における鉱物の組み合わせ
Mineral assemblage in each altered zone

Zone	I	Weakly altered zone	Montmorillonite zone	Kaolin zone	Alunite zone	Pyrophyllite zone
	II	Dark green colored zone	Argillized zone	Silicified zone	Silicestone zone	
Saponite						
Montmorillonite						
Sericite						
Kaolin						
Alunite						
Pyrophyllite						
Andalusite						
Diaspore						
Zunyite						
Chlorite						
Quartz						
α -Cristobalite						
"Leucoxene"						
Rutile						
Pyrite						
Calcite						
Sulfur						

I : K. SUMI (1966), II : H. NAKAMURA & K. SUMI (1961)

の化学性と変質帯の性質との間にある種のつながりがみいだされるなどの点から、少なくとも生産井の掘削範囲内における変質帯の発達、現在の地熱活動の影響を強くうけているとみるのが妥当であろう。

3. 蒸気ならびに熱水の化学成分

変質帯に含まれる鉱物が、酸性の熱水によって生成されたという前項での考え方が、実際に松川地域から湧出する温泉水の化学成分あるいは試錐孔から噴出する熱水の化学成分の上からいえるものかどうか、ここで若干説明を加えてみたい。

第3表は、松川地域の地上でみられる温泉の化学成分を示したものである。この表から明らかなように、大部分 pH 3 前後の液性を示し SO_4^{2-} の含量で特徴づけられることからみて、硫酸酸性の湧水であることは容易に推定されるが、反面、 Cl^- 含量に乏しいことが注目を引く。

一方、探査期間中に掘削された AR-1、BR-1、に伴う熱水の化学成分、さらに生産井MR-1、MR-2に伴う熱水の化学成分を第4表に掲げた。

第4表の分析結果をみると、これらの試錐孔から噴出する熱水の液性が必ずしもみな酸性のものばかりでないことが判る。すなわち、同一地点で掘られた井戸でも、浅いものでは酸性の熱水を伴ない (AR-1)、深く掘ったものはむしろ中性になる (MR-2)。同様

に、BR-1、BR-2、MR-1の場合でも、比較的深度の浅いBR-1、BR-2は中性の熱水を伴うのに対して、より深く掘ったMR-1では酸性の液性を示している。

なぜこのように、同一の井戸でも深度が異なると熱水の液性が変化するかという問題は、変質帯の生成環境を知る上にきわめて興味深いものがある。

現在、この問題についてはなお検討中であるが、気の付いた点をあげてみると次のような事柄が指摘できる。それは、変質帯の垂直分布との関連であるが、第14図に示した変質帯の垂直分布図と照らし合せてみると、澄川左岸のAR-1 (深度 325m) はカオリン帯の中の熱水を得ていることが判る。一方、BR-1、BR-2はいずれも大部分モンモリロナイト帯および緑泥石帯の中を掘削したものであり、MR-1はその下の明礬石帯から熱水を得ている (生産井の水どめのケーシングパイプはいずれも 500m まで挿入されており、500m 以浅の熱水は直接孔内に流入しないものと考えられる)。

いいかえると、熱水の液性は、変質帯の性質に関係があるということであって、このような例から類推すると、MR-2の深部にはカオリン帯や明礬石帯の発達が乏しいことも予想されよう。

結局、明礬石帯やカオリン帯は、酸性の熱水により

第3表 松川地域湧泉化学成分表
Chemical composition of thermal waters

単位 mg/l

試料名	Locality	Temp. (°C)	PH	Cl^-	SO_4^{--}	HCO_3^-	HS	Na^+	K^+
1. 赤川上流	1. Up. stream of Akagawa	32	3.9	1.0	229.5	0.0	14.9	20.8	10.0
2. 峽雲荘源泉	2. Kyouonso Hotel	44.6	3.2	3.0	94.6	0.0	44.6	14.0	7.3
3. 松楓荘源泉	3. Shofuso Hotel	78.5	3.1	3.0	315.2	0.0	5.0	40.0	9.6
4. 澄川上流	4. Up. stream of Sumikawa	44.4	5.8	1.5	306.2	198.3	62.7	70.3	17.6
5. No. 7 の凝縮水	5. Condensed water of No. 7		5.3	0.5	4.9	6.1	1.7	0.5	1.3
5. //	5. //		3.8	1.0	374.5	0.0	11.6	57.3	22.8
試料名	Locality	Ca^{++}	Mg^{++}	Fe^{++}	Al^{+++}	NH_4^+	HBO_1	H_2SiO_3	T.S.M
1. 赤川上流	1. Up. stream of Akagawa	48.2	8.7	0.7	5.3	1.5	2.2	36.4	413
2. 峽雲荘深泉	2. Kyouonso Hotel	8.2	2.1	0.7	5.3	2.0	11.1	29.9	250
3. 松風荘深泉	3. Shofous Hotel	31.8	8.2	8.6	11.5	2.5	13.1	88.4	670
4. 澄川上流	4. Up. stream of Sumikawa	76.9	24.2	1.4	2.1	2.0	19.9	49.4	734
5. No. 7 の凝縮水	5. Condensed water of No. 7	1.5	0.4	1.4	2.1	1.5	2.2	3.9	11
5. //	5. //	15.4	15.5	65.8	4.7	1.5	15.5	201.5	818

Date of analysis : December 25, 1959

Analyst : K. Maeda

分析 : 前田憲二郎

第4表(a) 熱水化学成分表 Chemical composition of condensed water and drainage water of productive wells

単位 mg/l

試料名	Name	Date	PH	RPH	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
1. MR-1の凝縮水	Condenced water of MR-1	Jan. 25, 1964	4.6	4.7	3.9	3.3	1.5	0.8	0.3	0.1	0.1
2. "	"	Aug. 15, 1964	4.5	4.6	6.7	13.2	6.1	2.2	1.2	0.6	2.2
3. MR-1に伴う熱水	Drainage water of MR-1	Aug. 15, 1964	4.9	4.9	12.4	1,779.9	36.6	263.5	143.5	22.9	8.7
4. MR-2の凝縮水	Condenced water of MR-2	Aug. 15, 1964	5.3	5.3	1.7	2.8	9.1	0.7	0.2	0.4	0.4
5. MR-2に伴う熱水	Drainage water of MR-2	Aug. 15, 1964	6.9	6.9	5.3	114.8	45.8	57.0	4.0	5.6	1.3
6. MR-2の凝縮水	Condenced water of MR-2	Feb. 2, 1965	5.9	5.9	0.5	2.1	—	5.6	3.0	0.40	0.24
7. MR-3の凝縮水	Condenced water of MR-3	Feb. 2, 1965	4.0	4.2	0.5	72.0	0.0	40.4	16.2	3.42	0.44
8. MR-3に伴う熱水	Drainage water of MR-3	Feb. 2, 1965	5.0	5.0	8.8	1,343.3	18.3	204.6	84.2	28.79	2.61
9. AR-1に伴う熱水	Drainage water of AR-1	Feb. 25, 1961	3.4	—	3.5	961.3	0.0	—	—	30.8	26.0
10. BR-1に伴う熱水	Drainage water of BR-1	Feb. 26, 1961	6.3	—	3.5	146.5	372.1	—	—	33.9	1.3

試料名	Name	Date	Fe ⁺⁺	Al ⁺⁺	CO ₂	H ₂ S	HBO	H ₂ SiO ₃	T. S. M.	Free S
1. MR-1の凝縮水	Condenced water of MR-1	Jan. 25, 1964	0.45	0.38	15.4	11.9	0.1	2.3	21.5	14.0
2. "	"	Aug. 15, 1964	4.30	0.35	73.7	49.8	0.1	6.5	44.0	6.2
3. MR-1に伴う熱水	Drainage water of MR-1	Aug. 15, 1964	507.7	28.6	—	tr.	248.2	825.5	3,843	—
4. MR-2の凝縮水	Condenced water of MR-2	Aug. 15, 1964	0.004	0.18	81.4	60.7	1.2	1.7	15.0	3.9
5. MR-2に伴う熱水	Drainage water of MR-2	Aug. 15, 1964	0.11	4.2	—	tr.	43.4	594.1	853	—
6. MR-2の凝縮水	Condenced water of MR-2	Feb. 2, 1965	0.01	0.1	50.1	101.0	2.0	2.6	21.9	—
7. MR-3の凝縮水	Condenced water of MR-3	Feb. 2, 1965	18.61	0.1	53.0	14.9	4.8	34.7	173	—
8. MR-3に伴う熱水	Drainage water of MR-3	Feb. 2, 1965	389.5	12.8	—	tr.	65.3	773.5	3,015	—
9. AR-1に伴う熱水	Drainage-water of AR-1	Feb. 25, 1961	86.0	10.8	0.0	6.1	—	—	—	—
10. BR-1に伴う熱水	Drainage water of BR-1	Feb. 26, 1961	20.1	1.5	85.2	tr.	—	—	—	—

Analyst: K. Maeda 分析: 前田憲二郎

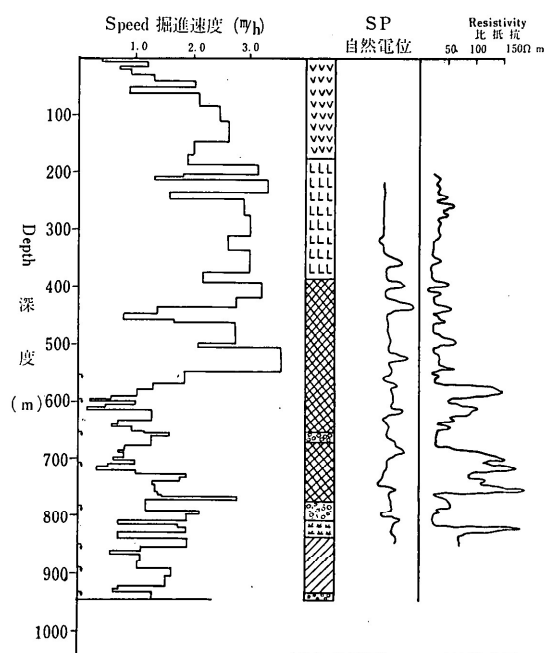
第4表(b) 生産井から分離された蒸気のガス分析 Chemical component of gases separated from steam of productive wells in Matsukawa

Name	Date	Vapour : Gas Vol. %		Components Vol. %				
				H ₂ S	CO ₂	SO ₂	O ₂	Re
MR-1	Aug. 15, 1964	99.80	0.20	13.7	82.1	trace	0.0	4.2
MR-2	"	99.78	0.22	14.1	81.8	trace	0.0	4.4
MR-2	Feb. 2, 1965	99.52	0.48	13.37	83.47	trace	0.0	3.22
MR-3	"	99.41	0.59	9.78	87.20	trace	0.0	3.01

Analyst: K. Maeda 分析: 前田憲二郎

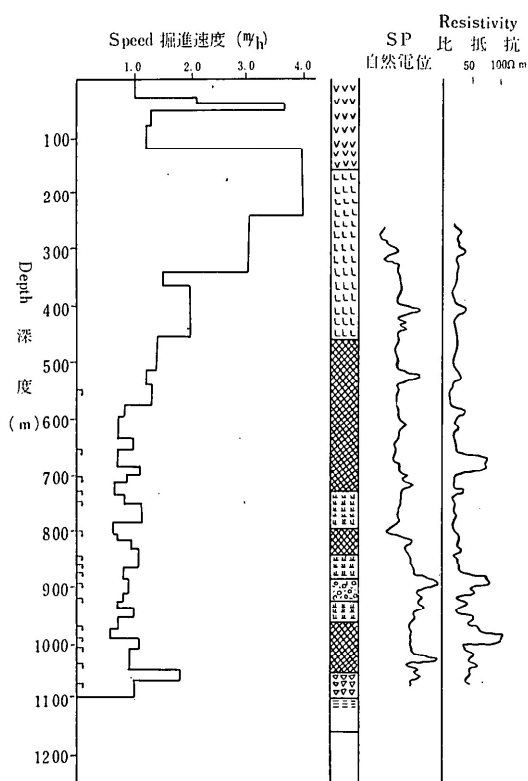
第 15 図

- (a) MR-1号井掘進速度と岩質の相関図
The relation of drilling speed and hardness of rocks of MR-1
- (b) MR-2号井掘進速度と岩質の相関図
The relation of drilling speed and hardness of rocks of MR-2
- (c) MR-3号井掘進速度と岩質の相関図
The relation of drilling speed and hardness of rocks of MR-3

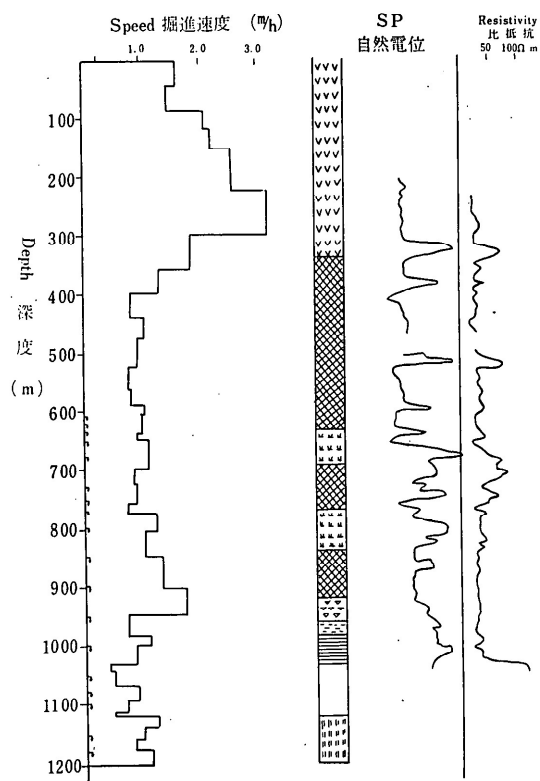


(註) 柱状図については第6図
参照
掘進速度は東化工の資料
による。

(a)



(b)



(c)

生成され、モンモリロナイト帯や緑泥石帯は中性の熱水によってもたらされたことが、熱水の化学成分の上からも裏づけられたことになるわけであるが、問題は、より深部の熱水がいかなる化学性をもつかという点である。しかし、松川の場合には、噴出後3~6カ月の間に過熱蒸気に移行するため、遺憾ながら、熱水の化学性を追求する手掛りが失われ、この問題については結論が得られていない。ただ、MR-2の場合、熱水の液性が中性からアルカリ性に移り、過熱蒸気になる頃は酸性に変じたといわれていることや、蒸気量が安定するまでには矢張り3~6カ月を要することなど併せ考えると、当初噴出する熱水は井戸の周りを満す熱水であり、漸次、孔内に流入する熱水の範囲が拡がり、過熱蒸気になる頃は、もともと深部から供給された本来の熱水あるいは蒸気だけとなり、量も安定するという考え方も可能である。

この深部から供給される地熱が、もともと液相か気相かという問題も今後検討を要する課題である。さらに、熱水の特徴づける SO_4^{2-} が地下水の中に含まれていたものか、あるいは温泉成分として供給されたものかという問題、加えて熱水中の Cl^- 含量が乏しいのはなぜかという問題も、地球化学の面からみて興味を引く課題である。

4. コアの掘進速度および逸泥個所の分布と岩質との関係

実際井戸を掘る場合、はたしてどの程度の量が得られるかどうかは最大関心事であるが、この判定には循環泥水の逸水いかなる程度の示唆を与える。

第15図は、各井戸の掘削記録から作製した掘進速度を柱状図・電気検層図と比較させて示したものである。速進速度は、いうまでもなく岩石の堅さに支配されるため、熔結の度合や変質の度合によって同じ岩石でも必ずしも一様ではない。

この図をみると、MR-1では深度550m、MR-2では450m、MR-3では300mから岩質が硬くなっていることが判り、堅い地層は玉川熔結凝灰岩の中・下部、それに緑色凝灰岩とそれを貫ぬく閃緑岩に当ることも明瞭である。

一方、図で示したように、逸泥個所の分布をみると、その多くは上記の堅い岩層、とくに玉川熔結凝灰岩の中・下部に多いことが注目を引く。もちろん、これらの逸泥現象は必ずしも記載された位置全部に生じているとは限らず、逸泥個所が十分閉塞されていない場合には、見掛上、その場所より下に連続して存在するようにみえることもある。

いずれにしても、逸泥個所は、玉川熔結凝灰岩の中に多くみられ、緑色凝灰岩の中で減少する傾向があるが、これらの地層における逸泥量は比較的少なく、数カ所を除いて1カ所につき平均5kl前後である。

これらの逸泥は、地層内に発達する縦あるいは横の割目の存在によって生じることはいうまでもない。そして既に指摘したように、玉川熔結凝灰岩のコア中に横の割目が富むことから考えると、玉川熔結凝灰岩中の逸泥は主としてこの横の割目から泥水が洩れることによるとみてまず間違いない。これに対し、緑色凝灰岩中の逸泥は、断層に伴う縦方向の割目によるものであろう。

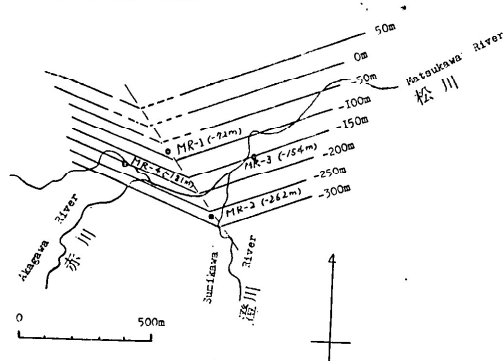
5. 松川地域の地下構造

以上、開発期間で得られた種々の資料について説明してきたが、これらを総括し、松川の開発地域がどのような地下構造で特徴づけられるかという問題に触れてみる。

まず、山津田層までの深さであるが、これは各生産井ごとで異なり、MR-1を中心としてその南および南西側でより深くなる傾向がある。従って、生産井4本のおのおのから知られた山津田層までの深さから、山津田層上面の地下構造図を画くことができる。第16図は、海面上の高さであらわした地下コンターラインである。ここで問題になるのは、山津田層と玉川熔結凝灰岩との関係であるが、滝の上地域でみるとこの両者は平行不整合の関係にある。しかも、繰返し述べたように、玉川熔結凝灰岩のコアには、水平方向の熔結面が発達するのであるから、地下コンターラインでみると、約30度の傾斜をもって、南あるいは南西方向に

第16図 地下構造図
Structural contour map of Matsukawa geothermal area

数字は玉川凝結凝灰岩の底の海拔高度を示す。
Numbers show the height of the base of welded tuff formation with the unit of above sea level



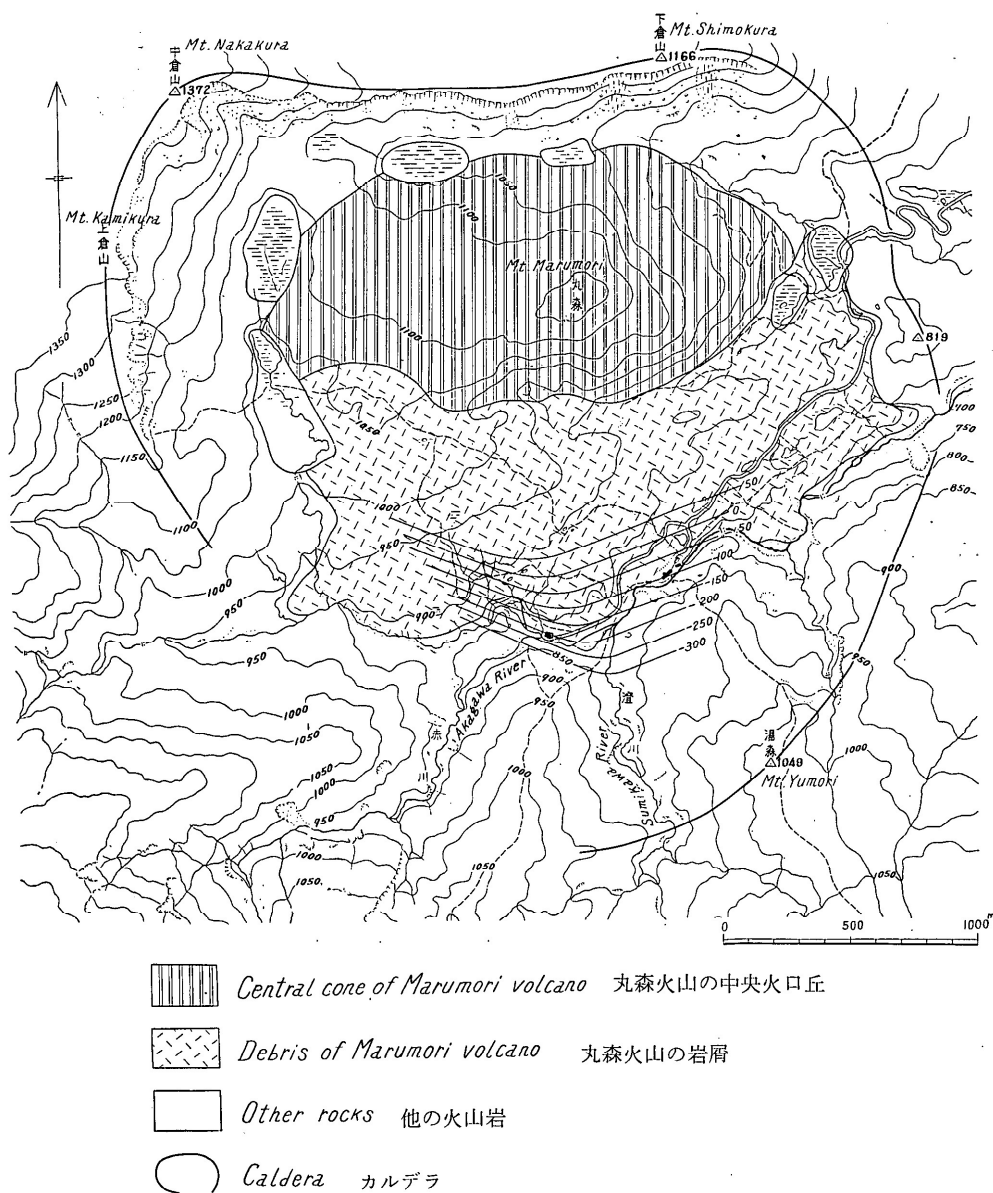
傾く面を作るけれども、実際にはこのように傾斜した面ではなく、断層によって階段状に南および南西側に落ち込むような構造をとるとするのが妥当であろう。いいかえると、松川沿いに断層破砕帯があり、断層の走向が、第16図のコンターラインに平行して走るということである。

それでは、このようにN70°EとN65°Wの2方向に走向が変わる構造は何に起因するかという問題が生じ

る。この理由を考えるため、第17図に、丸森やその背後のカルデラまで含めた松川地域の地質図に、この構造図を入れてみた。

この図をみると、上記の断層は、丁度丸森を取囲んで存在することが判る。この地域の地下構造全般については、なお検討しなければならぬ問題が多く残されているが、第17図でみる限り、この破砕帯の発達、丸森を作る中央火口丘の出現とつながりがあるように

第17図 松川地熱地下構造図
Subsurface structure in the Matsukawa geothermal area



みえる。恐らく変質帯の分布が物語るように、松川沿いに北東—南西方向に走る基盤の弱帯が潜在すると考えられるが、丸森の火山活動に伴って、この構造帯の中にドーム状の盛り上がりができ、その盛り上の周辺に第17図のような破碎帯が生じたとみなされるのである。

さて、山津田層までの深さから、松川沿いに断層破碎帯が存在する事実を引出したのであるが、ここで話を前項で述べた逸泥の問題に戻すことにしよう。

掘進中にしばしば逸泥があり、それが主として玉川熔結凝灰岩の中で生じることはすでに述べた通りであるが、きわめて注目を引くことは、全量逸泥（ある個所から循環泥水が大量に洩れ、孔口まで戻ってこないような逸泥現象）が、この山津田層あるいは山津田層と玉川熔結凝灰岩との境界付近に生じることである。これはMR-2を除く3本の井戸ではほぼ共通した出来事であるが、このように透水性の大きなクラックがもし断層に関係あるとすれば、たまたま山津田層の中あるいはその直上で、おのおのの井戸が断層に当たったということになる。しかし、これでは余りにも偶然すぎるように考えられるのであって、むしろ、他の理由にそれを求める方が自然である。

そこで考えられるのは、山津田層およびその直上の岩質と前記の断層破碎帯との関係である。山津田層はもともと頁岩を主体とする地層であり、孔隙率はきわめて小さいはずである。しかし、コアの中には丁度ザク層のように細かく砕かれたものが上ってくることから考えると、この山津田層は、その上の熔結凝灰岩、下の緑色凝灰岩に比べ、破碎されやすい地層といえるであろう。このため地層中に多くのクラックが生じ、いわば地熱の貯溜層の役割を果たすに至ったと考え

るのが妥当な解釈と思われるのである。

このような考え方から、松川地域の地下構造と地熱の在り方を模式的に示したのが第18図である。もちろん、緑色凝灰岩や玉川熔結凝灰岩を切る断層も存在するのであろうが、実際の掘削に当って、この断層を識別することは困難である。ただMR-3、MR-4のように、緑色凝灰岩の中まで掘削した井戸では、この地層の中に逸泥個所が認められるので、これらは恐らく断層に伴う縦方向の割目に当たるとみてよいであろう。しかし、前にも述べたように、そのいずれもが全量逸泥をおこすほど透水性の大きなものではない。

結局、松川の地熱の主体が1,000m前後という深いところにあり、いずれの井戸もほぼ失敗なく多量の蒸気を取得することに成功したということも、松川地域の地下構造上の特徴、すなわち山津田層が断層破碎帯の中にはほぼ水平に拡がり、有力な地熱の貯溜層を形成するという有利な条件が幸いしたといつて過言でない。もちろん、玉川熔結凝灰岩の中の横の割目も無視できないが、1時間当たり40tないし50tという世界の平均値を上廻る蒸気量が得られる理由としては、この山津田層が大きく与って力があるといわざるを得ないであろう。

共同研究当時から注目の的であった山津田層がやはり松川地域にとって重要な意味をもつことが改めてここに証明されたのである。

4. あとがき

以上で長々と紙数を費し、松川における探査・開発の経過を述べてきた。

松川における10年に近い調査・研究の実が結んで、ここに発電所の建設まで漕ぎつけたことは、関係者一同喜びに耐えぬところであるが、といって松川の調査研究はこれで全部終わったというものでは決してない。むしろ、これまでの調査研究過程で未解決の問題が多々あり、いずれも今後の解決に持ちこされているものばかりである。その中には、学問的なものばかりでなく、実際、今後の開発に直結した事柄も幾つかある。例えば、熱水系の水収支の問題、熱源の問題を初め、もっと広域的な地質構造と地熱の在り方に関する問題等である。

これらについて幾らかでも触れてみる予定であったが、紙数も尽きたので、いずれ改めてまた取上げてみることにしたい。(1967. 4. 5)

第18図 松川地域地下構造模式断面図
Schematic profile of subsurface structure
of the Matsukawa geothermal area

