

# 大岳地熱帯開発の歴史 と熱水変質について

林 正 雄

## はじめに

京都別府と阿蘇をむすぶ“やまなみ”ハイウェイは果てしなく続く高原の旅である。 その中ほど 九州の屋根九重火山群を横切るところ 牧ノ戸峠(1,333m)はこのコースの最高点で つづら折の彼方に 阿蘇の五岳と巨大なカルデラを見おろしている。 峠の背後には九重硫黄のもうもうとした噴気から 久住山(1,787.8m)を主峰とする悠然と大きい火山群が連なっている。 西の斜面下には 幾条となく激しい噴煙が轟音を伝えてくる。 “大岳地熱帯”八丁原地区である。

この地区から北に向かうと 昔から九重登山客に有名な筋湯温泉を始め ひぜん湯 大岳温泉 河原湯など数多くの温泉および地獄が連続し これらを含む地域を大岳地熱帯と総称する。 便宜上 筋湯温泉から以北を“大岳地区”以南を“八丁原地区”と呼んでいる。

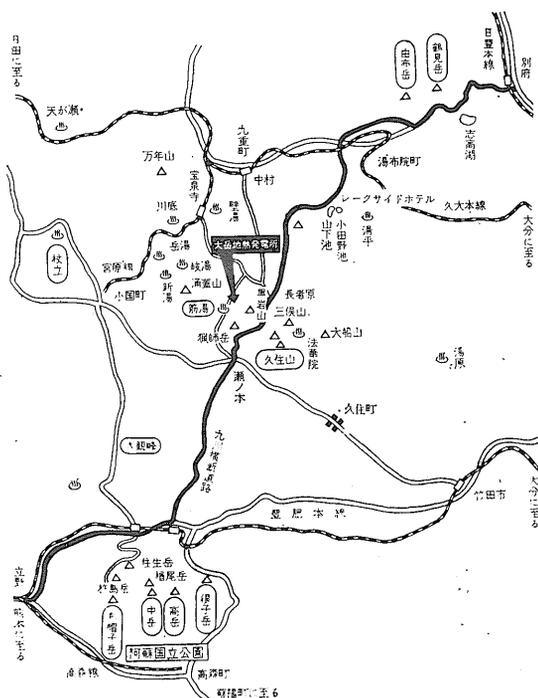
大岳地熱帯は標高約900~1,100m そのまわりには

九重火山群の西部を構成する<sup>おいた</sup>涌蓋 ミソコブシ 一目獵師 合頭 黒岩 泉水などのなだらかな斜面を造るトロイデ状(溶岩ドーム)火山体が ほぼ環状に配列して 雄大な景観が展開し 大局的に盆地状を示している。 地熱帯はこの盆地の中央を北に向かって貫流する玖珠川と その支流によって開析された低地および斜面の地下に分布する。 この地熱帯は 古く昭和初頭から注目されている。

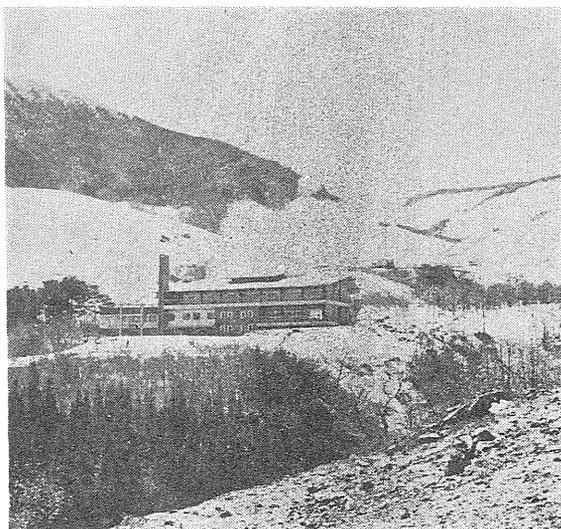
東京電灯株式会社太刀川平治氏によって 強力な噴気が得られたのは昭和2年で その後幾多の紆余曲折をたどり ついに昭和42年8月 出力1万kWの大岳地熱発電所が九州電力株式会社によって完工 営業運転を開始した。 その前年に建設された岩手県松川の発電所とともに わが国における本格的な地熱発電時代へのスタートを飾るものである。

大岳発電所に続いて 八丁原地区では より大規模な開発計画が急速に進展中 すでに深さ約1,000mの6本の生産井が完成 うち5本から猛烈な噴気が確かめられた。 今後 さらに4本の生産井が追加され 近く5万kW程度の発電所の建設が予定されている。

地熱資源の開発 とくに地熱発電を目的とした地下深部の高温熱水の開発利用は 新しい分野としてなお未解決の点が多い。 筆者は この地熱帯をフィールドとして選び 地熱開発の基礎資料を得ることを目的として 熱水変質作用を鉱物学的に検討してきた。 しかし 開発に伴って数多くの地温測定や 熱水 ガスの分析データが得られる現段階に達しても 鉱物学的な研究結果をいかにして地熱開発に役立てるか あるいはその成果か



第1図 大岳地熱発電所付近地図



写真① 八丁原地区全景と1号井 手前の建物は九州地区国立大学九重共同研究所

ら地熱現象を正しく解釈することは非常むずかしい。その最大の理由は 過去の変質作用と 現在進行中の作用とを 岩石試料から区別することが はなはだむずかしいためである。このような変質作用の新旧の問題に加えて 変質帯では しばしば条件の違いによって 変質鉱物の組み合わせが小範囲で著しく変化することである。したがって より広く たとえば 貯溜層全体の温度 圧力などの生成条件 あるいは 変質過程を明確にするためには 非常に多くの試料を取扱い 細かな研究が必要となってくる。ここでは 大岳地熱帯の開発の歴史を それに寄与した地質学および鉱物学的データに関連づけて述べてみよう。

### 1 沿革

大岳地熱帯の開発の歴史は 古く昭和初期の前記の太刀川氏によるボーリングに始まる。その後約20年 戦後になって昭和25年から31年までの約6年間の本格的探査があり 数年間の中絶の時期を経て 昭和36年に探査開発は軌道に乗り 昭和42年 ついに現在の大岳地熱発電所の完成を見るに至った。引続き 昭和43年以降は主として南部の八丁原地区の開発が進められている。以下に 昭和初期から現在に至る経過を括めておく。

昭和2年(創始期) 別府温泉鉄輪において1.12kWの試験発電に成功した太刀川氏は ついで大岳地熱帯に注目し 昭和2年には 大岳温泉付近に口径8インチのボーリングを行ない噴気を得た。しかし 大岳では発電に至らず地熱発電の研究はまもなく中止された。

昭和25年～31年(第1期探査) 約20年間の空白期間を経て 九州電力㈱が大分県下の各地熱帯の予備調査

を行なった結果 大岳が再びクローズアップされた。大岳が選ばれた理由は 前述のように地熱の地表徴候が顕著であるほか 国立公園の指定区域からわずかではあるが外れている 成功した場合の電力供給の便がよい 冷却水の供給が可能であるなどの種々の社会的 経済的な立地条件が他の地域に比べて優れていたからである。

この期間に地質調査 電気探査 自然電位法 比抵抗法 地化学探査 地温分布測定が行なわれ これらと並行して昭和28年には 工業技術院からの応用研究補助金により 大岳1号井(2 $\frac{1}{2}$ in×300m)と2号井(6in×300m)の2本のテストボーリングが掘さくされた。引続き昭和29～30年には 工業化試験研究補助金により大口径の大岳3号井(8in×359m)と5号井(8in×450m)のボーリングを実施したが 噴出物はいずれも熱水と湿り蒸気であって 期待していた過熱蒸気は得られなかった。

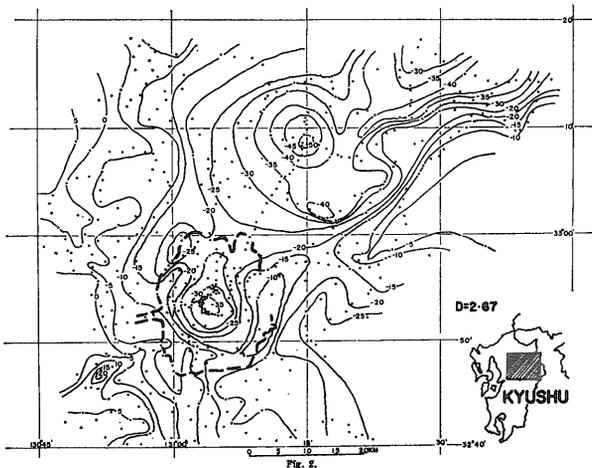
これまでの試錐は すべて輝石安山岩中に掘さくされていたが 広域の地質調査の結果 その下位には第三紀層が基盤岩として賦存することが予想され 有力な貯溜層となり得ることが想定された。このため 昭和31年には3号井を深度900mまで増掘した。しかし 深度900mに達してもなお安山岩であったので 当時全国各地の地熱帯を視察していた フランスのゼネラル・ド・ゼオフィジック社の技術者は このような地質条件や噴出物の性質を考慮して 大岳を含む日本の地熱帯では地熱発電の可能性はほとんどないと結論した。同氏はイタリアの地熱帯を調査した経験から 過熱蒸気の場合しか地熱発電は成功しないという先入観があったので 判断を誤ったといえる。この意見により 九州電力㈱は探査活動を中断せざるを得なかった。



写真② 大岳発電所遠望 手前の建物は九州大学生産科学研究所付属九重地熱資源開発実験所



写真③ 大岳温泉の地獄風景



第2図 阿蘇—九重地域重力分布図  
KUBOTERA, TAJIMA, SUMITOMO and DOI (1969)

昭和36年～42年(第2期探査 大岳発電所建設) ニューゼーランドにおいて いわゆる湿り蒸気を用いて地熱発電に成功したというニュースに勇気づけられ 九州電力(株)は探査活動を再開した。 初年度には前述の5号井に気水分離器をとりつけ 噴出量 安定性 継続性についての観測を行ない有望であるとの結論を得た。

昭和38年から40年にかけて九州大学や地質調査所等の協力を得て 地質調査(九大) 比抵抗法による電気探査(九大) 重力探査(地調) 磁力探査(九大) 放射能探査(九電興業)などを行なった。 その結果 東西約1km 南北約3kmの有望な地熱帯が確認された。

各種探査と並行して 4本の生産井(No. 6～No. 9)と2本の調査井(T-1 T-2)が掘さくされた。 生産井の中で8号井は蒸気 その他は蒸気まじり熱水を噴出した。 その後 No. 6～No. 9 生産井の特性について

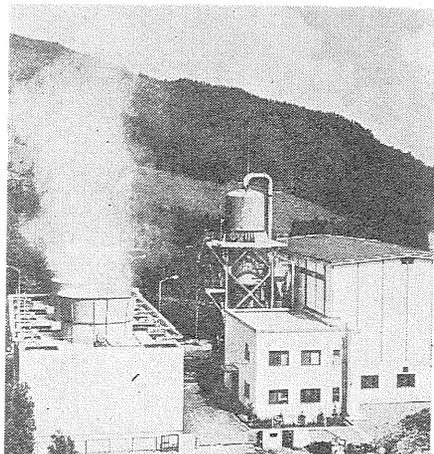
種々計測を行ない 1万kW 発電の見通しを得たので 昭和41年3月から発電所の建設にとりかかった。 昭和42年8月には わが国においては2番目の 電力会社によるものとしては最初の地熱発電所の営業運転が開始された。

昭和43年～現在(八丁原地区の開発) 大岳発電所の完成後 第2の発電所建設の予定地として南部の八丁原地区が選ばれた。 八丁原地区の開発は 地質調査や各種の物理探査からも支持されていたが 直接的には調査2号井の成功がその発端になったといっても過言ではない。 八丁原地区には 現在までに6本の生産井(H-1～H-6)が掘さくされており うち5本が噴気に成功している。 八丁原生産井は 大岳のものに比べて深度が深く 蒸気圧および温度も高く 噴出量も多い。 今後4本の生産井が追加された時点では 出力 5万kWに相当する蒸気が得られるものと想定されている。

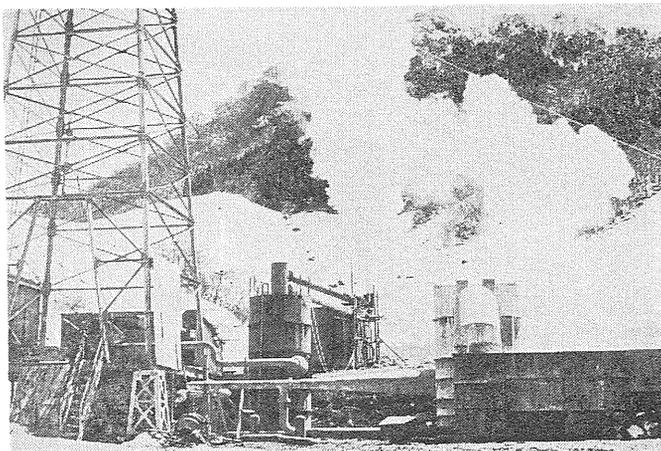
## 2 地質概説

大岳地熱帯は第四紀のいわゆる九重火山群の活動と密接な関係を有し 地質構造的には埋没したカルデラである。 京都大学阿蘇火山研究所の久保寺章教授等によって行なわれた重力測定の結果 阿蘇カルデラ(第2図中左下部の太線がカルデラ壁を示す)とともに九重カルデラ(中央上部)の存在がみごとに示されている。 大岳地熱帯は 九重カルデラの中心部より南西約8kmの地点に位置している(数字の-35付近)。

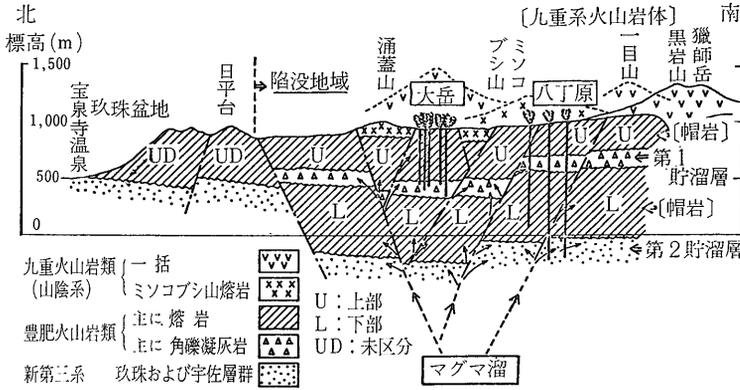
大岳地熱帯の地下構造を模式的に示したのが第3図である。 本地域の基岩層は 新第三紀の珍珠層群および宇佐層群であり 現在開発されつつある八丁原地区生産井の最下部で認められた。 その最上部の深度は 1,000



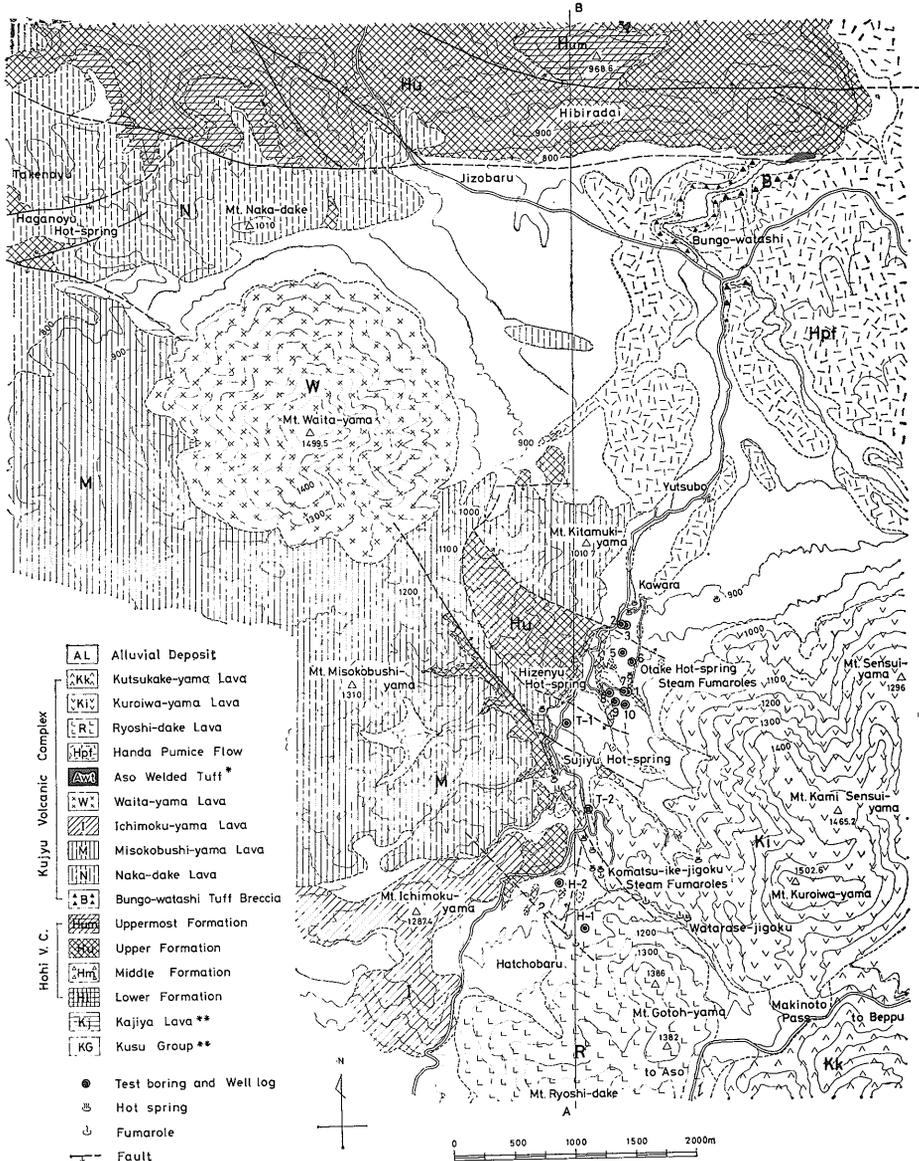
写真④ 大岳発電所 右側の大きな建物に発電機が設置されている。 左側の建物は冷却塔 中央部の円筒形のタンクは復水器である。



写真⑤ 八丁原1号井の成功



第3図 大岳地熱帯の地中構造模式図 山崎(未発表)による



第4図 大岳地熱帯地質図 [YAMASAKI, MATSUMOTO and HAYASHI (1970)]

mを越え ほぼ海水面と一致している。一方 大岳の北方約20kmの玖珠盆地において 新第三紀層は局部的に地表に露出しており その標高は500m前後である。したがって 大岳地熱帯は これに比べて約500mの陥没地域であることがわかる。新第三紀層と上部の豊肥火山岩類との関係は不整合であると考えられ この境界面は八丁原地区において有力な“地熱貯溜層”となっている。豊肥火山岩類(下部更新世)

は 主として両輝石安山岩質の溶岩 および同質の凝灰角礫岩 凝灰岩などの火山碎屑層との互層よりなり 確認された層厚は900m以上におよぶ。ほぼ中位に厚い凝灰角礫岩層を抜き この上下をそれぞれ上部溶岩層と下部溶岩層とに区分している。中部凝灰角礫岩層は先に開発された大岳地区での“地熱貯溜層”に相当している。しかし 八丁原地区では 変質作用は顕著であるが 高温の熱水はほとんど貯溜されていない。

九重火山岩類(中～上部更新世)は 山陰系火山岩類に対比せられ 豊肥火山岩類を貫入被覆し 数多くのドーム状火山を造っている。本域のものは しばしば普通輝石や紫蘇輝石を含有し ときに石英や黒雲母を含む 比較的粘性の高

第1表 生産井および調査井の概要〔主として HAYASIDA and EJIMA (1970) による〕

坑 井 No.	6	7	8	9	10
掘削開始年月日	1963. 12. 6	1964. 3. 21	1964. 10. 10	1965. 1. 18	1966. 1. 12
掘削終了年月日	1964. 2. 23	1964. 4. 48	1964. 12. 1	1965. 3. 7	1966. 3. 29
ボーリング直径 (in)	8	8	8	8	8
ボーリング深度 (m)	500	350	346*	550	600
ケーシング直径 (in)	8 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>				
ケーシング深度 (m)	250	235	250	250	250
地下水水面 (m)	133	100	—	130	225
噴出物	蒸気および熱水	蒸気および熱水	蒸 気	蒸気および熱水	蒸気および熱水
最高測定温度 (C°)	202	161	195	150	183
坑井の特性					
締切圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	4.3	11.3	4.6	8.0	5.8
最高締切圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	10.0	17.8	7.0	15.0	7.0
噴出量					
セパレーター圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
蒸気量	19	53	17	29	30
熱水量	187	193	0	61	135
合計	206	246	17	90	165

\* 8井号は1967年に154m増掘した後は他の生産井と同じように蒸気まじり熱水を噴出している。

第1表続き

T-1	T-2	H-1	H-2	H-3	H-4
1964. 8. 27	1965. 10. 26	1968. 8. 24	1969. 3. 6	1970. 3. 22	1970. 7. 26
1966. 3. 1	1966. 11. 12	1969. 2. 1	1962. 1. 2	1970. 6. 16	1970. 10. 13
3	3	8	8	8	8
1,000	900	785	764	1,175	1,084
97mm	4	8 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	8 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	8	8
420	442	560	600	600	600
90	90.5	155	130	150	220
—	蒸気および熱水	蒸気および熱水	蒸気および熱水	蒸気および熱水	蒸気および熱水
220	267	216	175	220	212
—	28	6.3	2.8	5.0	42
—	—	22	7	18	—
—	1.3	2.5	2.5	2.5	—
—	19	42	20	46	—
—	33	107	50	143	—
—	52	149	70	189	—

い角閃石安山岩を主としている。本岩類の活動のほぼ中期に最大厚さ30mの飯田軽石流を挾んでいる。地熱帯の東部に隣接する黒石山溶岩は もっとも新しく活動したものと考えられ 現在の地熱現象はその後火山作用によるものと推定されている。

現在までに確認または推定された断層は数条で 大局的に北西系統が優勢である。 もっとも顕著な断層は

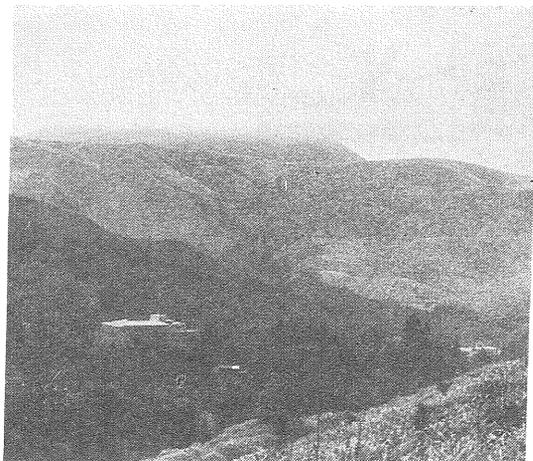
湧蓋山からひぜん湯の西側を走る北西断層で ひぜん湯から上流の玖珠川上流では見事な断層地形を造っている。調査1号井と2号井との試錐コアを比較すると この断層は 北東翼大岳地区側に見掛上約270m 落ちている。数多くの温泉 地獄 硫気孔 変質帯などのいわゆる地熱の露頭が 上記の断層とこれに付随する節理や裂罅と密接な関係を有して配列している。大岳地熱帯が古く

から地熱発電の候補地として注目された第1の理由は  
このような地表の地熱徴候が顕著であったからである。

### 3 坑井およびその特性

大岳地区の生産井は深さ 350~600m で 八丁原地区  
あるいは他の地熱帯にくらべると かなり浅く その中  
でも No. 7号井や No. 8号井がとくに浅い。これは掘  
さく時に突然自噴し 当時のボーリング技術では それ  
以上の掘進ができなかったためである。八丁原では  
大岳地区の貯溜層と対比される層準は熱源が乏しく 多  
くは 1,000m 以深の基盤の新第三紀層まで掘さくして優  
勢な熱源を確めている。調査井および生産井を含めて  
現在までに掘さくされた坑井は ほとんどが蒸気まじり  
熱水を噴出している。第1表に含まれていない古い調  
査井も 太刀川井(深度84mで蒸気噴出)を除き 同様  
である。しかも 熱水の占める割合が大きく 大岳生  
産井では 蒸気:熱水の重量比が 平均 1:4 であり  
八丁原ではやや小さく 1:2~3 である。

蒸気ばかりを噴出した試錐は 太刀川井 増掘前の大  
岳 No. 8号井 ワタラセ地獄中に掘さくされた温泉ボー  
リングの3例だけである。これらはいずれも深度が浅  
いので この3例から地下深所に蒸気の優勢な貯溜層が  
存在するかどうかは にわかに結論することはできない。  
しかし 最近の興味深い例として調査2号井がある。  
本坑井は掘さく当時 優勢な蒸気と熱水を噴出していた  
が予定の観測を終えたので 注水および土砂等を投入し  
て噴出を停止させた。ところが1年以上を経過した今  
年の7月8日夕刻に突然暴噴し ほとんど乾いた蒸気を  
轟音とともに吹き出し始めた。この原因やメカニズム

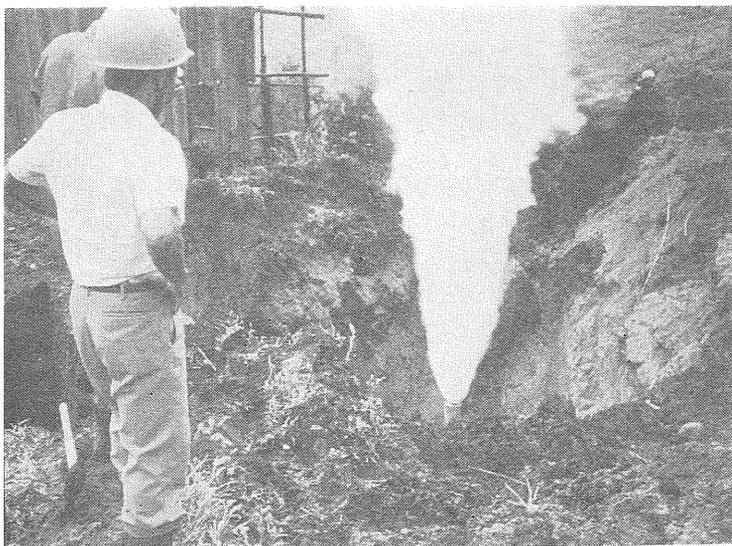


写真⑥ ひぜん湯西方の断層谷 撮影当日は小雨模様で涌蓋山の上部が見られない。

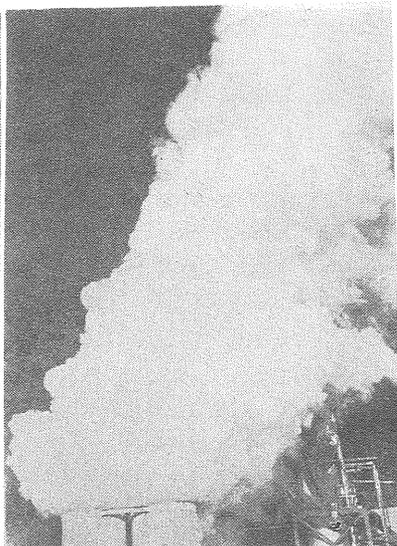
はまだ明らかでないが この突発事故は廃坑処理を綿密  
にする必要があること これとともに大岳地熱帯でも  
過熱蒸気を得る可能性があることをわれわれに教えてく  
れた。

人間と同じように各坑井もそれぞれの個性を持つてい  
る。噴水量 蒸気と熱水の量比 蒸気圧 温度 熱水  
やガスの化学組成など近接した坑井間においても すべ  
ての特性がよく類似するものはほとんどない。

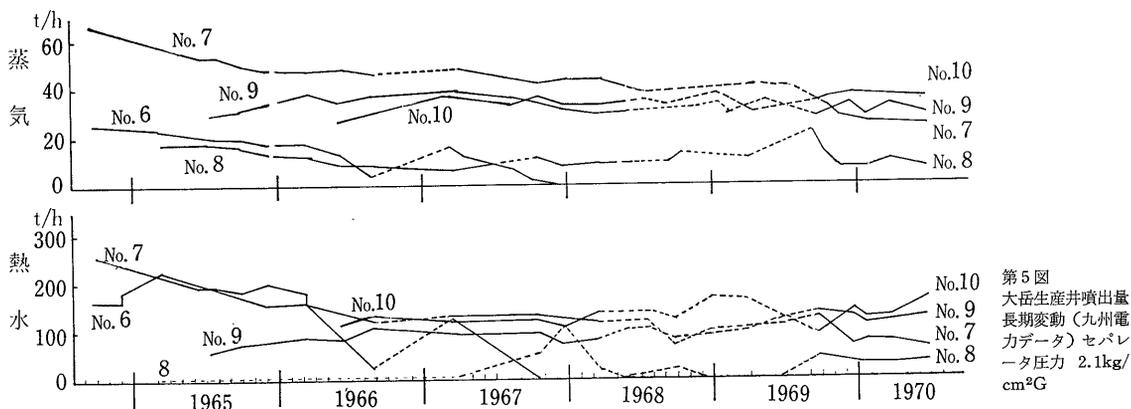
大岳生産井のなかでは No. 7号井は浅い井戸にもか  
かわらず蒸気の噴出量が非常に多く この1本だけで大  
岳発電所の出力の約半分を補っていた。しかしその噴  
出量は次第に減少し 現在では噴出量がほとんど変化し  
なかつた No. 10号井に首位の座を譲っている。また



写真⑦ 暴噴した調査2号井 注水および土砂等で噴出を停止させていたが 最近の昭和47年7月  
8日に突然暴噴をし 現在停止作業をしているところ。



写真⑧ 大岳7号井掘さく終了後の大噴煙



No. 6号井のように掘さく後わずか20カ月でその生命を終えたものもある。

前述の暴噴を起こした調査2号井は掘さく当時から元気で小口径にもかかわらず噴出量はきわめて多く大口徑の営業井に換算するとこの坑井だけで約1万kWの出力が推定された。また口元のバルブを除々に締めていった場合にも噴出量が急激に減少しない特性を有していた。この調査井が八丁原地区を大規模に開発する直接のきっかけとなったものである。なお第1表の測定温度267°Cは深度800mにおいて送水停止後90時間後のもので本域での最高記録である。

八丁原生産井のなかで特筆すべきものは4号井である。本坑井は深度1,014mおよび1,060mで大規模なクラックに遭遇しスワッピングにより強烈な蒸気と熱水を噴出しその勢いで圧力ゲージは破壊されてしまった。現在は冷却水を注入して噴出を停止しているのでその特性はなお明らかでないが蒸気圧は42気圧以上そのエネルギーは電力に換算して1万kWに相当するものと推定されている。

#### 4 熱水およびガスの化学的性質

各坑井からの噴出物はまず気水分離器に導かれ蒸気と熱水とに分離される。われわれが手にできるのはこの分離された熱水であって地下で存在していたものとは異なっている。もし地下深所ではほとんど熱水だけであると仮定すれば第2表の熱水の化学組成はフラッシングによって生じた蒸気の量比だけ濃縮されているはずである。その補正係数は採集当日の蒸気と熱水との量比によって決定せられ大岳生産井ではそれぞれ No. 6=0.91 No. 7=0.82 No. 8=0.79 No. 9=0.78 No. 10=0.81 八丁原生産井では1号=0.72 2号=0.71

である。熱水のpHは大岳地区の生産井ではすべて中性～弱アルカリ性であり一方八丁原生産井では中性～アルカリ性のグループと酸性のものに分かれている。この坑井間のpHの相違は八丁原地区の複雑多様な変質作用を反映しているといえる。

熱水の電気伝導度は大岳地区では2,500～5,100 $\mu$ V/cm 八丁原地区ではやや大きく5,400～8,000 $\mu$ V/cmの範囲にある。熱水の化学組成から明かなように大岳地熱帯の深部熱水は生成深度の差によって多少の濃度の変化が認められるがCl Na K SiO<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> HCO<sub>3</sub>などを主とする食塩泉である。これらの主成分の含有量は各坑井の噴出量の変化に対応して増減する。すなわち掘さく当初から噴出量が次第に減少した大岳No. 6やNo. 7号井の熱水はClが次第に減少し逆にSO<sub>4</sub>は増加する傾向を示している。噴出量がほとんど変化しなかったNo. 9やNo. 10号井の熱水はいずれの成分の濃度もほとんど変わっていない。

ガスの主成分はもちろん水蒸気であって常に99.5wt%以上含まれている。残りはいわゆる非凝結ガスでありそのほとんどはCO<sub>2</sub>でその他H<sub>2</sub>O O<sub>2</sub> N<sub>2</sub>などが含まれている。酸性熱水を噴出する坑井はガス中に含まれるH<sub>2</sub>Sの量が一般に多い。

#### 5 地熱発電

地熱発電は原理的に火力発電所に類似しているがもちろんエネルギー源が異なりボイラーに相当するものが蒸気井および坑口装置である。一般に地熱発電所には次のような特徴がある。

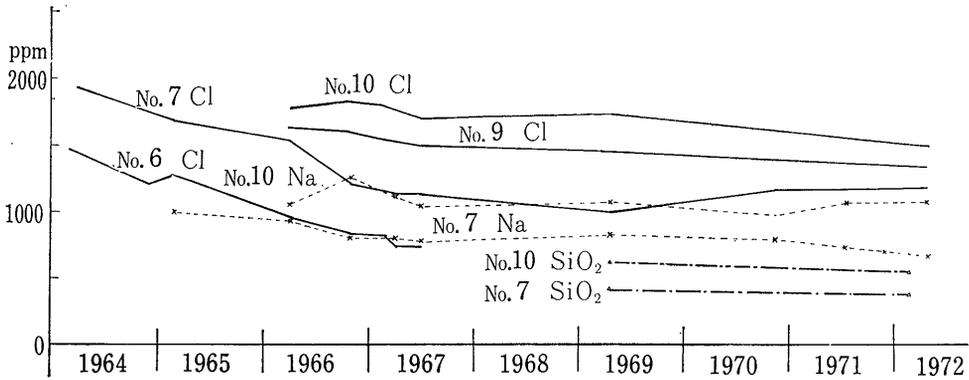
- (1) 火力発電所にあるボイラーがないため給水は再循環の必要がなく発電所サイクルは単純である。

第2表 熱水とガスの化学組成〔熱水の分析値は主として KOGA (1970) ガスの分析は HAYASHIDA and EJIMA (1970) による〕

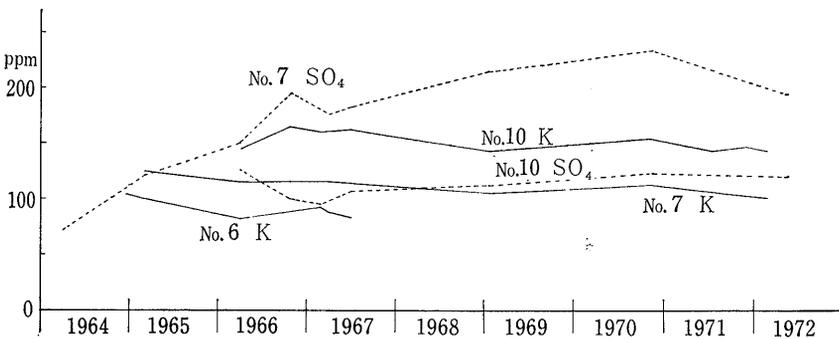
坑井 No.	6	7	8	9	10
熱水成分					
pH (25°C)	8.4	8.4	8.4	8.15	8.4
電気伝導度 (μV/cm)	2,750	3,510	2,500	3,500	5,100
SiO <sub>2</sub>	414	427	510	665	624
Li	—	4.50	4.35	5.15	5.68
K	70	105	108	131	143
Na	670	846	805	936	1,098
NH <sub>4</sub>	—	0.11	0.05	0.06	0.15
Ca	15.0	9.9	19.8	12.3	20.1
Mg	4.81?	0.025	0.05	0.190	0.010
Fe	3.5?	0.05	0.05	0.03	0.06
Al	—	0.09	0.02	0.03	0.09
Mn	—	0.00	0.00	0.01	0.00
F	—	3.80	4.18	4.65	4.20
Cl	1,010	1,219	1,248	1,474	1,753
Br	—	2.48	2.88	3.40	4.15
I	—	0.26	0.22	0.26	0.33
B	—	32	28	32	40
HPO <sub>4</sub>	—	0.90	1.25	1.06	0.77
HCO <sub>3</sub>	—	78.1	66.8	56.4	76.9
SO <sub>4</sub>	200	214	202	136	112
HS	—	2.76	2.41	2.09	2.26
OH	—	0.043	0.043	0.024	0.043
全固定成分	2,390	2,950	3,000	3,460	3,880
ガス成分					
pH	5.0	5.1	5.7	5.0	5.3
蒸気 (wt. %)	99.54	99.75	99.70	99.56	99.95
非凝結ガス (wt. %)	0.46	0.25	0.30	0.44	0.05
CO <sub>2</sub> (wt. %)	95.3	99.65	93.48	96.02	93.00
H <sub>2</sub> S (wt. %)	0.57	0.65	2.02	1.38	1.00
ON <sub>2</sub> その他 (wt. %)	4.40	2.70	4.50	2.60	6.00

第2表続き

T-2	H-1	H-2	H-3	H-4	H-6
4.6	8.15	3.4	4.3	7.4	8.4
3,810	5,400	7,100	6,950	8,000	—
—	1,076	626	960	390?	749
—	11.1	7.03	—	—	—
—	289	228	238	320	270
—	1,396	1,186	1,204	1,550	1,523
—	0.11	0.41	—	—	—
—	9.9	15.0	—	—	—
—	0.158	0.467	—	—	0.8
—	0.15	32.35	—	—	0.11
—	0.09	6.64	—	—	—
—	0.00	0.69	—	—	—
—	4.95	1.48	—	—	—
2,300	2,327	1,941	2,200	2,325	—
—	6.28	5.58	—	—	—
—	0.51	0.37	—	—	—
—	31.6	35.8	—	—	—
—	0.22	2.6	—	—	—
—	58	0.0	—	—	—
168	98	318	43	40	—
—	—	1.5	—	—	—
—	0.02	0.00	—	—	—
—	5,300	4,400	4,900	6,080	—
4.3	4.3	3.9	4.3	—	—
99.84	99.77	99.93	99.95	—	99.87
0.61	0.23	0.07	0.05	—	0.13
85	94.3	90.0	85.0	—	98.5
3	0.1	0.4	4.3	—	0.9
12	5.6	9.6	10.7	—	0.5



第6図a  
大岳生産井熱水の化学組成長期変動 (NaCl SiO<sub>2</sub>) 種々のデータを編集したものの

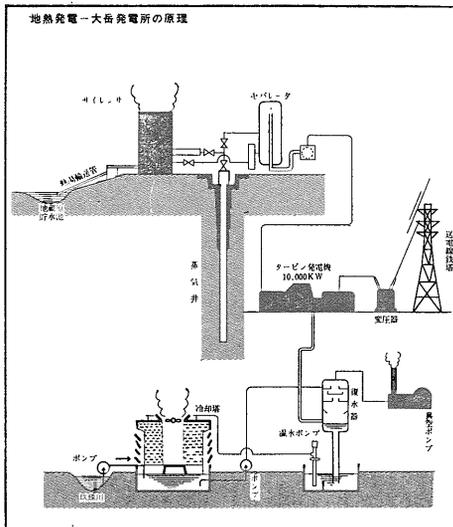


第6図b  
大岳生産井熱水の化学組成長期変動 (K SO<sub>4</sub>)

- (2) 蒸気井あたりのエネルギー量は一般に少なく また圧力も低くて単位出力当りの蒸気消費率が大きいので 大容量ユニットの開発は困難である。
- (3) 地熱発電所は一般に内陸地方に作られ したがって冷却水

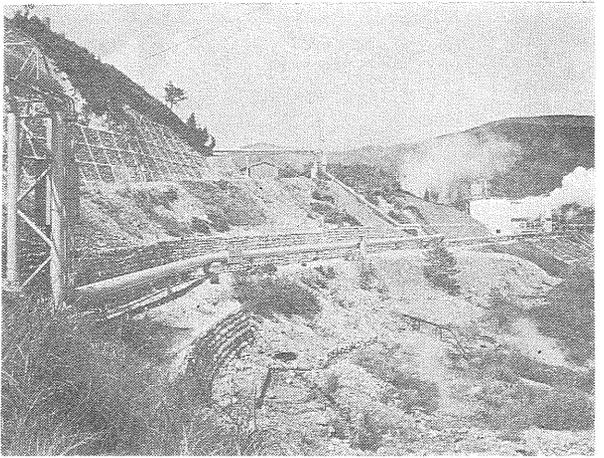
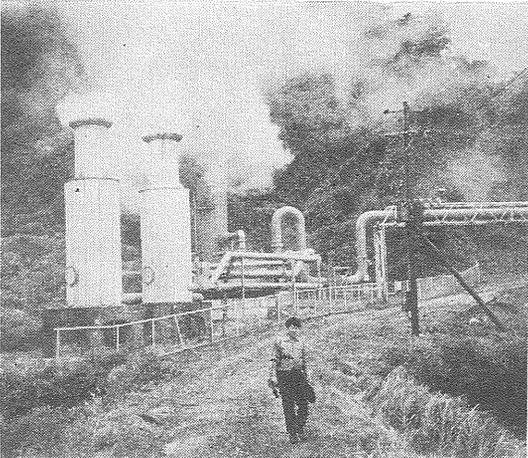
がえにくいので 冷却水を繰り返し利用できるような冷却塔を設けていることが多い。

- (4) タービンに使用する天然蒸気には 腐食性のガスを含んでいることと 復水はボイラーに回収の必要がないので 復水器には冷却水を直接噴射混合するゼット型を採用している。



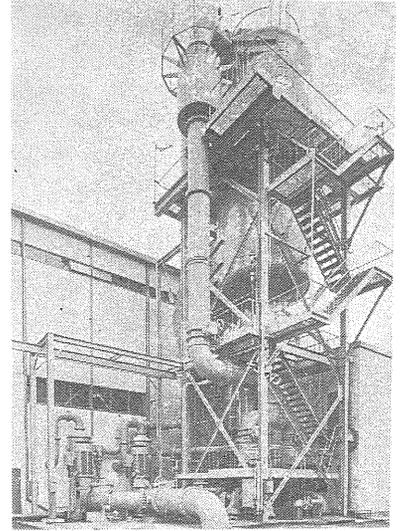
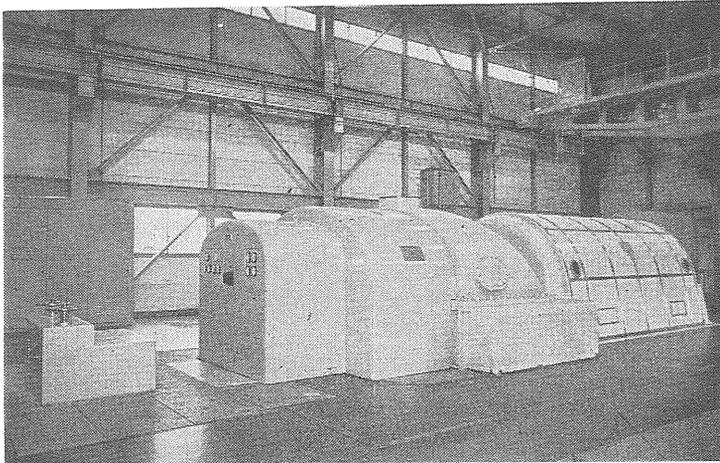
第7図 大岳発電所の系統図

地熱発電の概要は第7図に示している。各蒸気井から上昇してきた噴出物は まず気水分離器(セパレーター)に導かれ蒸気と熱水とに分離され 熱水はサイレンサを通して系外へ排出される。熱水の一部は付近の各家庭へ配給し 浴用 冬期の暖房用として利用されている。余分の熱水は 熱湯輸送管で 大岳から 4.5km 北方の地蔵原貯水池へ放流している。一方の蒸気(2.5気圧 127°C)は 厳重に防寒された蒸気輸送管を通り 発電所の蒸気レシーバに集められ 次にタービンへ送られて発電し その排気は復水器(コンデンサー)に導かれる。ここで冷却水を噴射され凝縮液化する(0.1気圧)。同時に真空ポンプによって不凝縮ガスを系外へ排出し 高真空を維持している。復水した温水(47°C)は 発電所床下のプールに一時貯溜し 適宜冷却塔へ送られる。



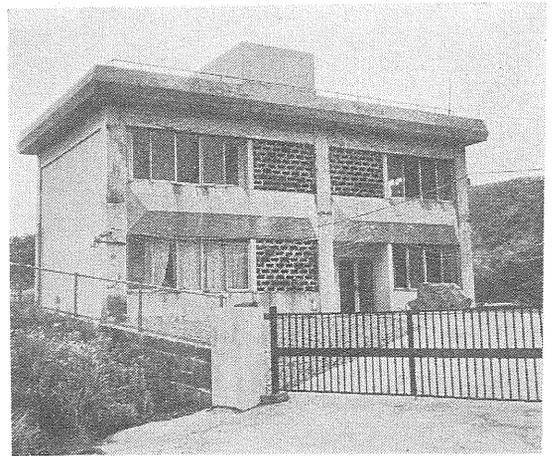
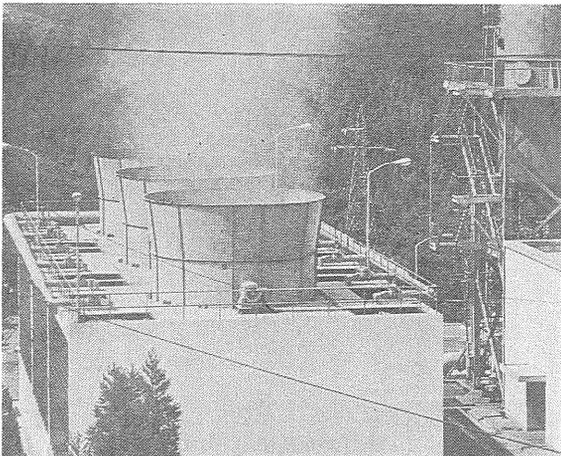
写真⑨ 大岳7号井の坑口設備 白い2本の円筒がサイレンサ 奥の円筒が気水分離器（セパレータ）

写真⑩ 蒸気輸送管



写真⑪ 発電機

写真⑫ 復水器（コンデンサ）



写真⑬ 冷却塔

写真⑭ 九重地熱資源開発実験所（昭和41年4月開設）

第3表 変質作用の分類(試案)

変質作用	固定成分	熱水溶液	記号	主要な鉱物組合
シリカ型	なし	酸性 中性	Ia Ib~Id	C Q
硫酸塩型	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	強酸性	IIa IIb~IIc	A+C A+Q
アルミニウム 珪酸塩型	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	酸性	IIIa IIIb IIIc IIId	K+C K+Q K+P+Q P+Q
多塩基 珪酸塩型	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> その他	中性 アルカリ性	IVa IVb IVc IVd IV'a IV'b IV'c IV'd	H+C L+W+Q Ab+Q Or+Q M+C M+S/M+Q Ch+S/M+Q S+Q

(注) A: ミョウバン石 Ab: Na長石 C: クリストパライト  
 Ch: リョクデイ石 H: キフツ石 K: カオリナイト  
 L: ダク沸石 M: モンモロロナイト Or: K長石  
 P: パイロフィライト Q: セキエイ S: セリサイト  
 S/M: セリサイト-モンモロロナイト混合層 W: ワイラカイト  
 変質温度 a 100°C以下 b 100°C~200°C  
 c 150°C~250°C d 230°C以上

冷却塔は強制通風方式で 滴下した冷却水は 玖珠川の表流水とともに 再び復水器で使用される。

### 6 熱水変質作用

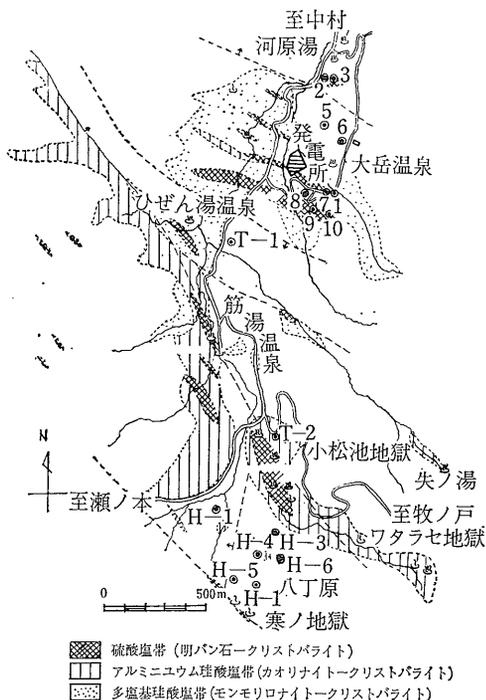
大岳地熱帯において変質作用はどのようなメカニズムで進行したであろうか? まず地下深所(たとえばマグマ溜)から地層の弱線に沿って上昇してきた高温のガスは 孔隙率の大きな地層中(新第三紀層)に貯留されている地下水を加温し また多少の化学物質をも供給するであろう。しかし熱水中のほとんどの化学成分は 岩石と加熱された熱水との化学反応によって 岩石中から抽出されたと考えられる。この反応が熱水変質作用であり 熱水が中~弱アルカリ性の場合は 岩石の組成変化は比較的少なく種々の多塩基珪酸塩が生成される。逆に熱水が酸性の場合には Fe が黄鉄鉱として また Ca が硬石膏として固定される以外は 多くの主要な塩基は溶脱され Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 系の鉱物が特徴的に生成される (Al-珪酸塩型)。このようにして孔隙率や透過率の大きい地層は 変質作用が急速に進行し 全体的に変質している場合が多い。

貯溜層の上に透過率の非常に小さい溶岩(豊肥火山岩)が覆っていると 熱水は 断層 破碎帯 節理 クラックなどを通して それらの周辺を変質させながらさらに上昇していく。しかし透過率が小さいので いわゆる地層の弱線から離れた場所では変質作用の影響が少なく 部分変質帯になっている。

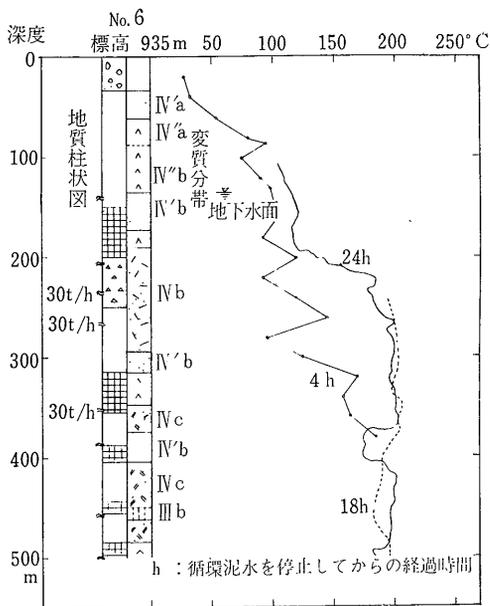
熱水が透過率の大きい中部凝灰角礫岩層にはいと 変質は再び急速に進行する。したがって凝灰角礫岩層はどこでも 全体変質帯である。この深度になると 熱水は酸素を多量に含んだ地表水としばしば遭遇する。この場合に熱水は硫酸酸性となり 明バン石が生成する(硫酸塩型)。上部溶岩層は 下部のものと同様に透過率が小さいので 部分変質帯が多い。地表近くでは 空気中の酸素の影響が大きいのでほとんどの熱水は強酸性となり 地表への湧口ではいわゆる地獄や硫気帯を形成している。

地表の変質帯 北西系の断層によって支配された弱線に沿って硫酸塩型の変質作用(明バン石-クリストパライト)がレンズ状に発達し、その周囲を八丁原地区ではAl-珪酸塩帯(カオリナイト-クリストパライト)が大岳地区では多塩基珪酸塩帯(モンモロロナイト-クリストパライト)が取り巻いている。

大岳地区 ほとんどの熱水が中~弱アルカリ性であることから 多塩基型の変質作用が卓越している。 No.6



第8図 大岳地熱地域の地表変質帯

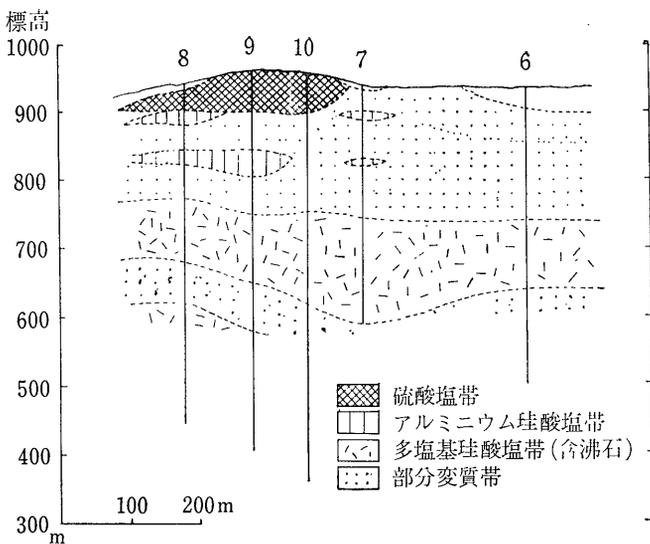


第9図 大岳6号井の地質柱状図 変質帯 深度-温度変化 (凡例は第13図)

号井を例に示せば深度200mまでは 部分変質帯が多く 200~300m 間にCa-沸石を含む多塩基珪酸塩型 その下部に Na-長石を伴う多塩基珪酸塩型が発達し 酸性型の変質作用である硫酸塩型や Al-珪酸塩型がほとんど認められない。上部の部分変質帯は 緻密な溶岩を主とし温度が低い。いわゆる“帽岩”の役目をはたしている。

Ca-沸石を含む多塩基帯にはいと温度が急上昇し 大きなクラックが存在することから この部分はいわゆる“貯溜層”に相当するものと判断される。現在の大岳発電所に使用している他の生産井 No. 7~No. 10号井の変質作用は 最上部に硫酸塩型が認められる他は ほぼNo. 6号井に類似している。

八丁原地区 酸性熱水型の変質作用の好例として調査2号井について述べよう。試錐コアの大部分は全体的に変質しており シリカ型(珪化帯) 硫酸塩型 Al-珪酸塩型が発達している。深度70~375m間に硫酸塩帯が4カ所で認められ 最上部のものを除いて Al-珪酸塩を伴っている。最下部の硫酸塩帯は 中部凝灰角礫岩層と一致している。硫酸塩型を欠く深度400m付近から 地温勾配が急に大きくなり 大規模なクラックのある560m付近(シリカ帯)で最高温度に達する。シリカ帯は深度560m付近の外 720~725m 805~820m間にも認められ 後者には大きなクラックが存在し 本域での最高温度267°Cを記録した。

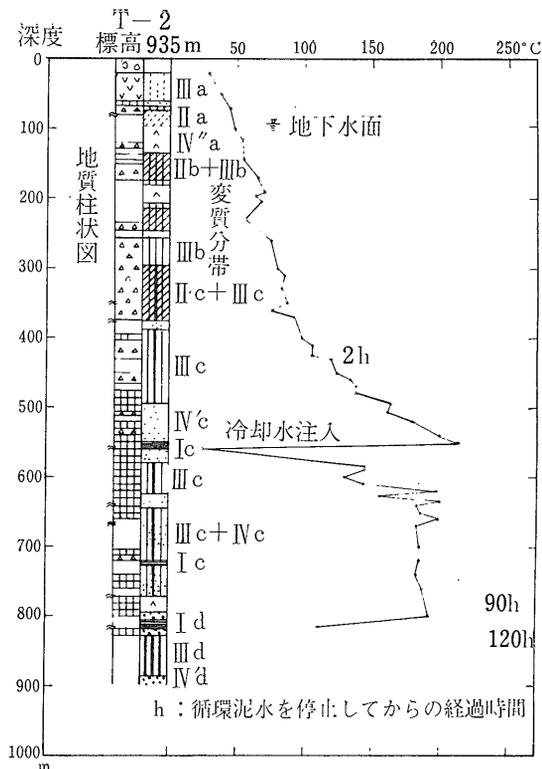


第10図 大岳地区の変質帯断面

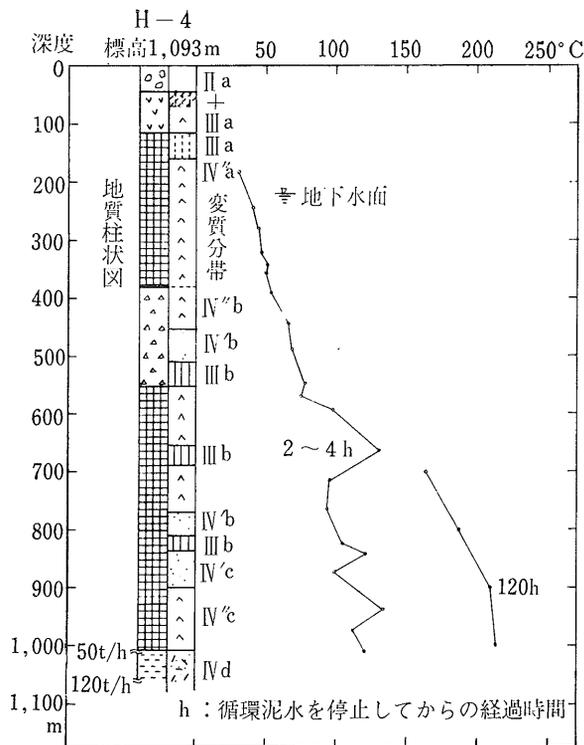
同じ八丁原地区においても 八丁原4号井は調査2号井と非常に異なっている。その変質作用は全体的に中~弱変質型で さらに部分変質帯が半分以上を占めている。しかし 部分変質帯のなかでも高温の貯溜層に近接する所には 高温を示すK-長石が生成している。世界的に優秀な坑井であっても このように変質作用は必ずしも“強”くはない。調査2号井の経験から 筆者は本坑井のように部分変質帯が多い場合には 強力な貯溜層に遭遇しないと予想していたが 結果は喜しい悲鳴となった。おそらく緻密な岩石は熱水の影響を受けることが少なく 優秀な帽岩の役割を果たしているためであろう。

### あとがき

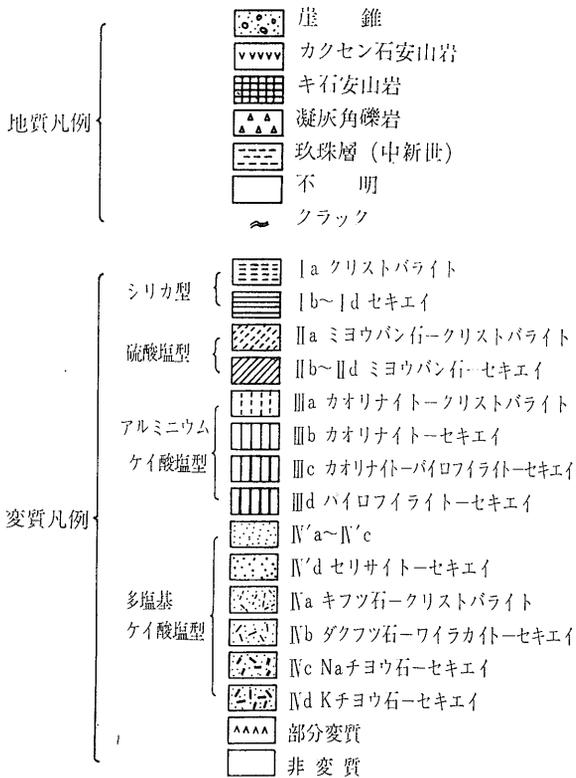
以上のように 大岳地熱帯において地質構造や変質作用と貯溜層との関係が次第に明らかになってきた。現在の八丁原地区の開発は 暗中模索の大岳地区時代と異なり かなり計画的に進められている。たとえば ボーリングの位置は 前述の北西断層に近接する場所が良好であり また ボーリング深度は 海面付近にある新第三紀層を目標としている。掘進中は 試錐コアやスライムの鉱物組成を逐次決定し ケーシングプログラムや掘さく時の事故処理などに有効な指示を与えることができるようになってきた。さらに貯溜層付近の変質作用のタイプから 熱水が最初に噴出する以前に 熱水の化学的性質をある程度予想することが可能である。しかし われわれが一番知りたい正確な温度や圧力条件は 残念ながらもまだまだ推定できる段階に到達していない。



第11図 調査2号井の地質柱状図 変質分帯 深度—温度変化 (凡例は第13図)



第12図 八丁原4号井の地質柱状図 変質分帯 温度—深度変化 (凡例は第13図)



第13図 地質および変質作用の凡例

この原稿をまとめるにあたり 九州大学生産科学研究  
所山崎達雄教授からは 種々のデータや多数の写真を拝  
借させていただいた。さらに 原稿の校閲や有益なご  
助言ご批判も賜った。記して深謝の意を表する。また  
九州電力大岳調査所および総合研究所の関係各位  
から 貴重な試錐コアやボーリングデータを提供して  
いただいた。併せて深謝する。

(筆者は 九州大学生産科学研究所)

参 考 文 献

HAYASHIDA, I. and EJIMA, Y. (1970): Development of  
Otake geothermal field, Geothermics Special Issue 2.  
KOGA, A. (1970): Geochemistry of the waters discharged  
from drillholes in the Otake and Hatchobaru areas,  
Geothermics Special Issue 2.  
KUBOTERA, A., TAJIMA, H., SUMITOMO, N., DOI, H. and  
IZUTUYA, S. (1969): Gravity Surveys on Aso and Kuju  
volcanic region, Kyushu district, Japan, Bull. Earthq.  
Res. Ins., 47, 215—255.  
YAMASAKI, T., MATSUMOTO, Y. and HAYASHI, M. (1970):  
The geology and hydrothermal alteration of Otake  
geothermal area, Kujyu volcano group, Kyushu,  
Japan, Geothermics, Special Issue 2, 197—207.

地 学  
と  
切 手



スイス 寄付金 つき切手の化石 鉱物 シリーズ

P. Q.

スイスでは毎年の冬と夏に寄付金付切手が発行されている。冬期のは1913年から 夏期のは1938年から続いているもので これらの2つのシリーズは もっとも長期間にわたって発行されるシリーズとして評判が高く 美しいスイスの自然や風物をデザインしたもので 国際的にも切手収集家によって愛好されている。寄付金は そのたびに児童福祉とか母子家庭援助に使用され 国防基金になることもあるが 一般に慈善切手と呼ばれる。このシリーズの1958年から1961年までの4年間は 化石と鉱物が使用された。1回は5枚1組であるが そのうちの1枚は図案である。

1961年 螢石 魚の化石 天藍石\*\* 羊歯化石

\* 二枚貝類貧歯目 Ostreidae 科の一属 ジュラ紀—第三紀。中生代に多い。

\*\* Lazulite  $(Mg, Fe^{+2})Al_2(PO_4)_2(OH)_2$ 。単斜晶系 硬度 5.5~6 比重 3.1~3.4 ガラス光沢らん青色 透明~半透明 多色性顕著 X=無色 Y=Z=らん青色 高アルミナ含有の高度変成岩中およびその中の石英脈 花崗岩 ペグマタイト中に産出。

(平凡社 地学辞典による)

1958年 螢石 アンモナイト ザクロ石 水晶  
1959年 瑪瑙 電気石 紫水晶 山椒魚化石  
1960年 煙水晶 正長石 Gryphaea\*の化石  
藍銅鉱

名称はドイツ語の Iazurstein (青色の石) に由来する