

滝の上地域における地熱開発の幕あげ

中村 久由

はじめに

昭和27年頃 筆者が岩手県松尾鉱山の坑内水調査のため 鉱山の倶楽部に泊っていた時 たまたま八幡平地質図幅の仕上げに 野外調査をしておられた河野義礼先生(地質調査所から東北大学に転勤 現在同大学名誉教授) 上村不二雄技官(地質部)と同宿したことがある。その折 河野先生から 雫石町の奥に大きな地熱地域があるという話を聞いたのであるが ともかく不便な場所なので すぐ見に行くというわけにもいかず 話はそのまま立消えになってしまった。

八幡平図幅の1つ南の雫石図幅の中で 雫石川の支流 葛根田川を遡り ほぼ両図幅の境界近くの河岸に「滝の上」という温泉がある。ここが河野先生が指摘した場所であり 現在日本重化学工業㈱が開発を進めている地熱地域である(第1図)。

昭和32年から始った松川地域での 地質調査所と日本重化学工業(当時 東化工株式会社)との共同研究は 最初松川だけに限られていたが その後 滝の上地域まで拡げられるようになり ここで筆者もこの地に足を踏み入れる機会に恵まれたのである。共同研究の期間 この地域では 地質調査 電気探査 30m深度の地下温度調査 化学調査などの基礎調査がなされたが この地域が開発地域に値するかどうかを評価する目的で 昭和42年 同じく地質調査所の手で 深度400mのテスト井

が滝の上温泉入口近くで掘さくされた。今でも生きている GSR-2 といわれるのは この井戸である。

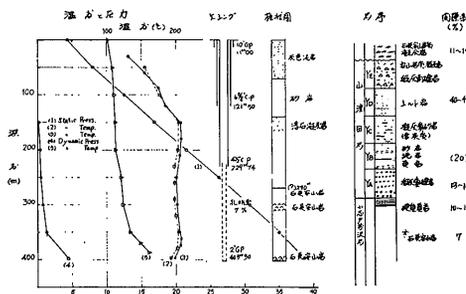
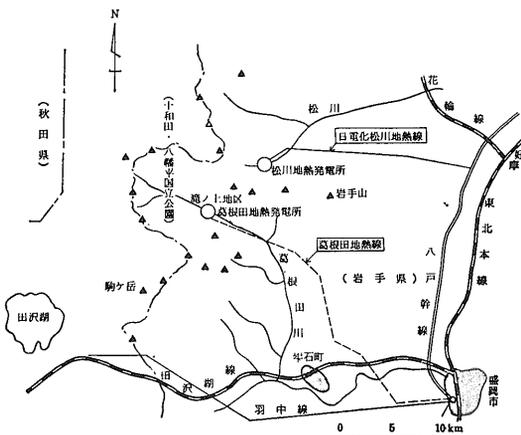
このテスト井は深度270m 付近まで 山津田層といわれる新第三紀中新世の地層からなり それ以下は石英安山岩である(第2図)。石英安山岩に入ってから割れ目に乏しいが 山津田層の泥岩 砂岩 凝灰岩には割れ目が多く 掘さく中しばしば熱水が噴出して工事は難渋したものである。230m まで水止めのパイプを入れたので大部分の割れ目がふさがれ このため間歇的にしか熱水 蒸気が噴出ししないという結果に終わったが 少なくとも山津田層は割れ目に富み その中に貯溜されている熱水の温度も 200°Cを下まわらないという判断から この地域は 有力な地熱開発地域に値するという評価が下されたのである。

松川地域で 20MW(現在 22MW)の発電所を建設し終わった日本重化学工業では 昭和43年から滝の上地域の精査にとりかかり その調査結果に基づいて 滝の上温泉から約 1.3km 上流の松倉沢合流地点を中心に 50MW発電の計画を策定 昭和47年9月から開発段階第1歩目の調査井の掘さくを開始したのである。

地熱開発をめぐって

地熱開発の現況を述べる前に 松川地域との違い その他 開発に関係ある 2 3の事柄にまず触れておきたい。

ここは 岩手山を挟んで北に松川 南に滝の上という位置関係にあるが 松川と滝の上の間は僅か 7km しか



第1図 滝の上地域位置図

第2図 GSR-2 坑内調査図

ない。しかしこの間は岩手山から三石山に連なる山嶺にさえぎられているのでまだ直通の道路がない。このように僅か7kmしか離れていないにもかかわらずよく知られているように松川はいわゆる蒸気型の地域であるのに対しこの滝の上は典型的な熱水型の地域である。松川と滝の上との成因的なつながりについてはこれまで1, 2議論されたこともあったがまだ確かなことは判っていない。どのような連りで両者がなり立っているかは開発にも結びつく重要なそして興味ある題材である。

松川では開発建設発電運転まですべてが日本重化学工業の手でなされ地熱発電による電気は東北電力に売電されている。しかし滝の上の場合には東北電力と協定を結び蒸気の生産は日本重化学工業発電は東北電力という分担で地熱開発を行なうことがとりきめられている。したがって前者は50MW発電に必要な蒸気量すなわち500t/hの蒸気を生産井でとり出しパイプラインでタービン入口まで送るまでの分野をうけもち後者はタービン発電機冷却塔などの地上設備を装置し発電することが仕事となる。このような形式はアメリカのThe Geysers(ガイザー)地域でUnion OilとPacific Gas and Electric Co.との間で採用されているがアメリカと同じように企業が地熱開発に取組む日本の場合には九州電力や電源開発のような電力会社を除き多分将来このような一般企業と電力会社との組合せ方式によって地熱開発が進められることになろう。したがって滝の上はその前例になるわけである。

日本重化学工業と東北電力との共同開発の例を持ち出すまでもなく地熱開発計画は蒸気の生産と発電との過程に分けられる。このうち技術的な問題を多く抱えるのは蒸気の生産関係の部門である。このため新技術開発事業団は新規開発課題「大規模地熱発電用蒸気生産技術」を特別開発プロジェクト的な性格で日本重化学工業に委託し開発費7億6,000万円という規模で昭和47年10月から新技術の開発を行なうことになった。この特別開発プロジェクトというのは資源エネルギーなど国家的に重要なものについての技術開発課題のうち資金規模が著しく大きくなるものを同事業団の特別プロジェクトとし昭和47年から新規事業にしようとしたものである。しかしこのプロジェクト制度は予算を伴うまでに至らなかったためこのプロジェクトの課題の1つに数えられていた前記テーマが従来の委託開発課題の取扱いで実施されるようになったのである。

このテーマは次の3の柱で構成されている。

1) 蒸気井群設計技術

生産井掘さく地点その深度さらに地熱流体の採取可能位置を予測し生産井の成功率を高めようとするのがこの狙いである。これにはまず各種の探査データに基づいて確かとみられる開発可能範囲を設定し地質構造と流体を含む透水性の部分を加味したモデルを組立て調査井の掘さく資料によってこのモデルを修正して実際の生産井掘さくに移行することになる。各種探査データの組合せ解析およびマッピングにはコンピューターが用いられる。

2) エアードリルによる掘さく技術

蒸気型のThe Geysers地域ではエアードリリングによって高能率をあげているが熱水地域ではまだ使用された例がどこにもない。掘さく能率の向上がその狙いであるが一方国産の技術で装置の設計製作を行なうこともその眼目となっており1)と次の3)の項目をソフト技術の開発とすればこれはハード技術の開発ということになる。

3) 蒸気井群制御技術

熱水蒸気が噴出してから時間がたつと一般に噴出量の減衰がみられる。この減衰は孔内の埋没スケールによる割れ目の閉そくなどの物理的な原因と貯溜層の衰退による場合とが考えられるがこれらの原因による井戸の減衰が生じないよう最適の採取量を求め生産井の寿命を長びかせると同時に安定した蒸気の供給すなわち発電を継続させるため蒸気井の制御を行なおうとするのがこのテーマの狙いである。

以上の開発課題は全く新しい技術開発に属する問題のため試行錯誤的な行き方をとらざるを得ないが一応の目鼻をつけるべく目下研究が進められつつある。ただ2)のエアードリリングについてはすでに装置が完成し目下生産井の掘さくにこの装置が使用されているが熱水地域での初めての試みにもかかわらず予期以上の好成績をあげている。

以上の事柄に加えて今年度地質調査所がサンシャイン計画の中の“熱水系の研究”で取上げた「地熱地帯における地殻微変動調査」についても特筆せねばならない。地質調査所は活断層に伴う地殻の微変動の研究を現在房総・三浦半島で行なっているが地熱地帯において開発に伴う熱水の採取により地殻の微変動

全部掘り終った時点でまたとりまとめて報告することとし、今回は、地表探査と調査井からどのような結果が得られたか、熱水の処理方法をどうするかなどについてその概要を紹介することにしたい。

1) 探査結果のあらまし

地熱の探査は、大別すると、(1)地質構造に関する調査と、(2)地熱流体の存在に伴う異常現象についての調査とに分けられるが、滝の上地域ではこれまで(1)に関するものとして地質調査、地震探査、(2)については電気(比抵抗)探査、変質岩石調査、化学調査、地化学探査、地下温度調査などが実施された。

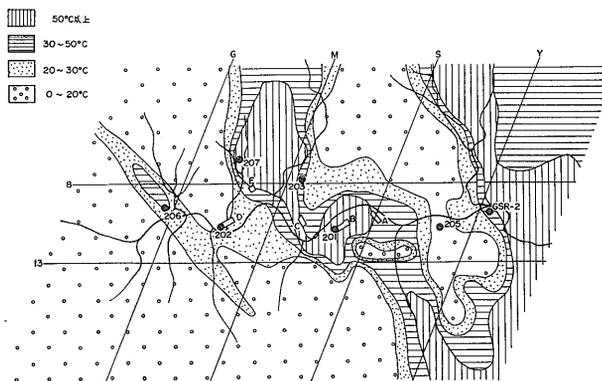
第3図に滝の上地域の地質図を示したが、この図から判るように、この地域は北西-南東方向に軸をもつ背斜向斜構造と、この方向およびこれに交わりほぼ東西方向に走る断層の存在によって特徴づけられる。なお、地上での調査と後で述べる調査井から得られた資料とで作成したこの地域の地質層序を第4図に掲げた。この層序表が示すように、地上でみられるもっとも下位の地層は頁岩を主体とする滝の上温泉層であるが、調査井によって知られた限り、この滝の上温泉層の下部に国見峠層が潜在し、場合によっては生産井の掘さくにより、生保内層にまで達するかもしれないということが明らかになった。なお、地質構造に関する調査資料の1つとして、地層傾斜図の分布を参考までに第5図に示した。

第6図は、(2)の地熱流体の存在に伴う異常現象に関する資料の1つとして、滝の上地域における噴気孔、温泉の分布を示したものである。この分布をみると、噴気孔、温泉には2群あって、1つは滝の上温泉を中心とするもの、他は上流側の背斜軸に沿ってほぼ北西-南東方向に連るものである。かつて、この地域で地質調査所が、30m深度の地下温度調査を行なったことがあるが、

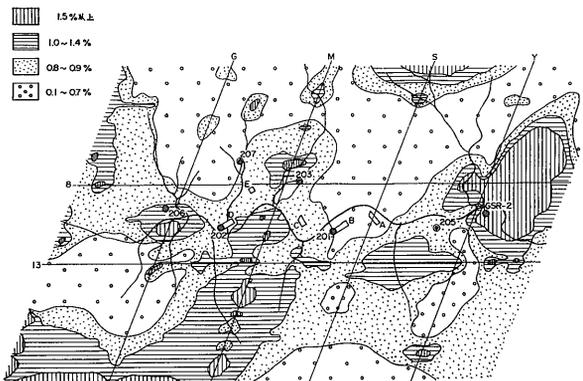
それによると、ほぼこれらの噴気孔、温泉の分布を中心として等温線が画かれるような結果が得られている。

第7図および第8図は、地震探査、電気探査の測線を利用して行なった10m深度の地下温度調査および酸性ガス濃度調査の結果をとりまとめたものである。前者の場合は、等温線の分布と高温部の占める範囲が、主として温泉、噴気孔の分布に支配されているような結果を示しているのに対し、後者の場合は、直接地上に地熱徴候が存在しない場所にも、しばしば酸性ガス(主としてCO₂)の濃度の異常が検知されている。酸性ガスの濃度の異常が、地下の熱水からもたらされたとすると、この結果は地熱徴候を含む範囲だけでなく、かなり広い地域まで熱水が貯留されていることを暗示するようにみえてきわめて注目すべきものがある。

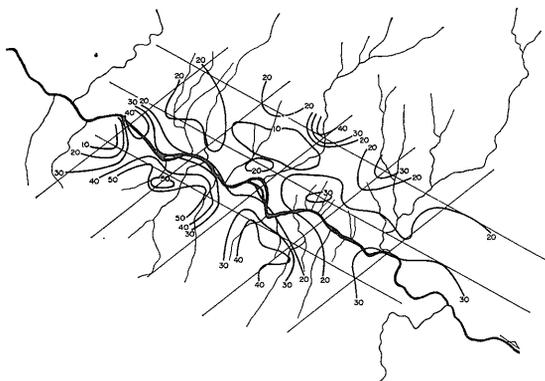
第9図は、深度300mにおける比抵抗の分布を示したものであるが、上流右岸よりに50Ω-mというやや高い比抵抗値がみられる以外、全般的に比抵抗値が低く、特に川の北側ではその傾向が強い。比抵抗の分布だけからみると、東西方向に低比抵抗帯が卓越しているようにみえるが、他の調査資料を参考にすると、この比抵抗調査



第7図 地下温度(深度10m)分布図



第8図 酸性ガス濃度分布図



第9図 深度300m比抵抗分布図

第1表

調査井関係一覧表

	項目	201井	205井	202井	203井	207井	206井
掘さく深度	m	700.00	1,020.00	744.20	837.60	1,000.00	1,003.00
掘さく開始		47. 9. 12.	47. 10. 1.	48. 5. 28.	48. 7. 13.	48. 9. 18.	48. 10. 16.
掘さく終了		48. 6. 17.	48. 1. 2.	48. 9. 3.	48. 10. 6.	48. 12. 11.	49. 2. 6.
垂直・傾斜の別		垂直	傾斜	垂直	傾斜	垂直	垂直
噴気月日		48. 6. 22.	48. 1. 9.	48. 11. 2.	48. 10. 13.	48. 12. 22.	49. 2. 15.
準備日数	日	19	19	16	31	32	28
掘さく日数	日	167	94	79	86	85	114
解体日数(仕上含む)	日	10	10	20	8	17	16
掘さく装置	型式	S-600	S-1000(I)	S-1000(I)	OH-700	S-1000(II)	S-1000(I)
挿入ケーシングパイプ(シュー位置)	22"	3.30m					
	12 ¹ / ₂ "		27.55	27.72	-31.44	27.20	30.00
	11 ³ / ₄ "	19.40					
	8 ⁵ / ₈ "	134.80	151.72	153.27	133.36	155.47	143.20
	6"		500.00	481.50	479.00	401.20	504.94
	5 ¹ / ₂ "	353.40					
	4"孔明管		1,020.00	—	837.60	1,000.00	(974.93)
	3 ¹ / ₂ "	700.00					1,003.00
	孔明管全長	359.58m	581.00	—	365.60	608.80	504.66
ペルカラー頭部深度		340.42m	489.00	—	472.00	391.20	498.34

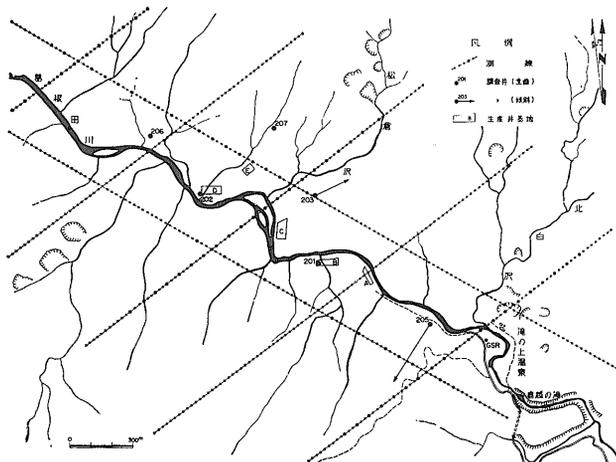
の結果は 広汎な地熱貯溜の部分的な異常だけしか示していないのかもしれない。

2) 調査井

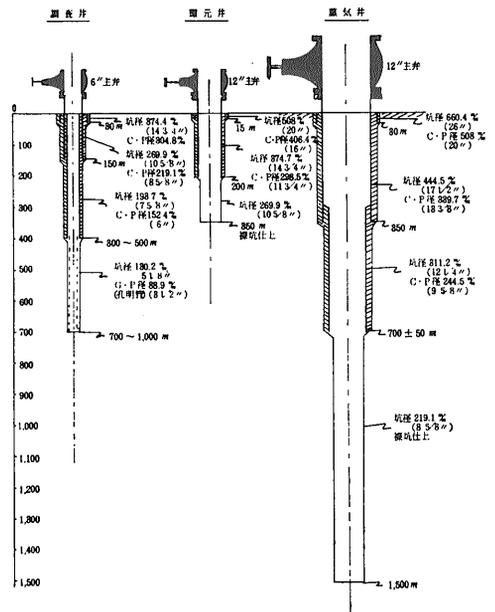
前項では地上探査の結果を断片的にしか示さなかったが それらを総括すると概略次のような結論になる。すなわち 構造的には断層 背斜軸が地熱流体の存在ともっとも直接的なかわり合いをもつ。しかし 山津田層自体にもかなり割れ目がみられる。これらのことから次のような概念が画かれる。すなわち この地域は砂岩 頁岩 凝灰岩などの互層からなるので 褶曲構造が形成された折の構造運動に伴って 特定な地層に割

れ目が発達し そのような地層に地熱が貯溜されているという構造的な概念である。

調査井はこのような地熱構造のモデルを現実に確かめ生産井を掘さくする場合 地下温度 有効な割れ目の深さ貯溜層自体の深さ などに關する指針を得る目的で掘さくされた。第10図は 調査井 生産井の掘さく地点を示したものである。一般には 調査井の掘さくの結果をみて 生産井の掘さく地点が決められるべきもので



第10図 調査井 生産井位置図



第11図 坑井仕上げ図

あるが この地域は国立公園地内にあるため 許可を得る都合上 調査井と同時に生産井の位置も決定された。それが図で示したA～Eの場所である。生産井の予定本数は14本であるが これらは1本ずつ散在させず 5個所の基地を設け 各基地内に3～4本の生産井を掘る方式が採用されている。このように 生産井を数本ずつ集約させることで 敷地面積が狭くなり 掘さく装置の運搬にも時間 経費が省かれ かつ パイプラインの延長距離も短縮されるなどの利点が生れる。この場合各基地の生産井は傾斜掘りで望む方向に向って掘さくされることになる。なお 調査井 生産井そして後で述べる還元井の坑井仕上げの基本図を第11図に示した。

調査井は昭和47年9月から第1本目の掘さくに入り昭和49年2月に計画本数6本の掘さくを終了した。深度 ケーシングプログラムなどは一括して第1表に掲げている。

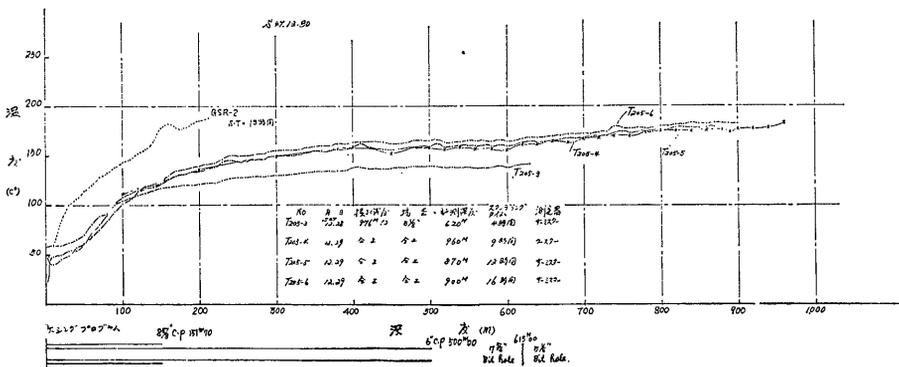
第12図は各坑井内の温度測定結果の中から 1本だけその実例を示したものであるが 各々の測定値を用いて平衡状態にある地層温度を推定したのが第13図である。その後 1 2の調査井について 実際噴出させながら

坑内の温度を測定してみたが ほぼ この推定に近い値が得られたので 滝の上地域の地層温度は 大体240°C～250°Cとみて大きな間違いはないようである。

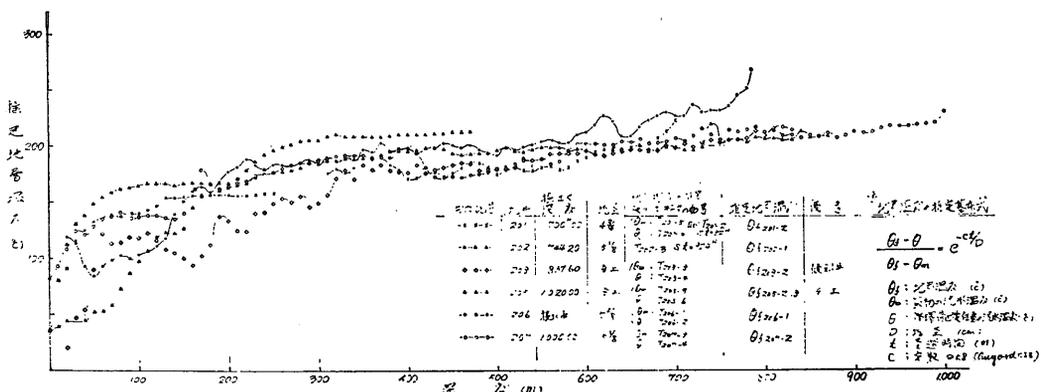
一方 割れ目の発達 は 次のような場所 で知られた。1つは 断層を横切る付近他は異種地層間の境界付近である。滝の上地域は 山津田層 滝の上温泉層 国見峠層とも砂岩 頁岩 凝灰岩などの海成の堆積岩からなる地層で構成されているので 恐らく褶曲構造をもたらした構造運動に伴い 剝離しやすい地層間の境界に 後者のような割れ目が生じたものと思われるが このことは 地熱流体をとり出す上に好都合な構造的な条件を暗示しているようにみえ 開発の前途をさらに明るくさせるものであった。

還元井 と 生産井

第2表は 調査井から噴出した蒸気および熱水の化学成分を示したものである。この地域から湧出する自然湧泉はもとも弱アルカリ性の食塩 (NaCl) を主成分とするものであったが 調査井から得られた熱水は この自然湧泉より各成分とも若干濃度がふえている。これらの成分の中で 注目されたのは砒素 (As) である。



第12図 205号井坑内温度分布図



第13図 滝の上地域の推定地層温度

第2表 噴出蒸気 熱水の化学組成

(a) 熱水とガスの比及びガス組成

vol/%

調査井名	水とガスの比		ガス組成			残留ガス組成			測定年月日
	H ₂ O	GaS	H ₂ S	CO ₂	R	H ₂	N ₂	CH ₄	
201井	99.967	0.033	29.4	63.1	7.5	31.7	47.9	20.4	S48. 10. 22
203井	99.954	0.033	26.8	59.3	13.9	65.3	26.2	8.5	49. 1. 29
205井	99.951	0.049	25.2	66.8	8.0	33.2	43.3	23.5	48. 12. 24
207井	99.953	0.047	30.6	62.3	7.1	31.2	52.6	16.2	49. 1. 30

(b) 凝縮水成分

単位 mg/l

調査井名	PH	Fe	Al	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₂	H ₂ S	As	採取年月日
201井	6.08	0.01	0.01	0.46	Trace	0.10	0.27	0.10	0.42	3.40	26.4	51.0	Trace	S48. 7. 6
203井	6.37	0.01	0.01	0.74	"	Trace	0.58	0.20	0.51	3.30	14.0	38.0	"	48. 12. 22
205井	6.18	0.02	0.01	0.64	"	"	0.50	0.10	0.24	2.30	59.3	68.1	"	48. 1. 24
207井	6.39	0.05	0.04	1.10	"	"	0.72	0.28	0.83	1.96	37.0	24.0	"	49. 1. 26

(c) 熱水成分

単位 mg/l

調査井名	PH	Fe	Al	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₂	H ₂ S	As	採取年月日
201井	9.07	0.18	0.26	520.0	9.12	0.08	375.0	52.8	72.8	625.2	20.6	2.40	2.75	S48. 12. 25
203井	8.90	0.19	0.36	609.0	8.55	0.13	407.0	64.2	75.3	660.8	4.93	4.42	3.88	48. 12. 24
205井	9.05	0.14	0.33	539.0	10.5	0.11	432.0	61.3	68.7	634.2	11.5	3.06	2.85	48. 12. 24
207井	9.11	0.01	0.20	769.0	9.75	0.19	445.0	67.5	111.5	705.0	4.11	1.37	3.05	48. 12. 26

滝の上の熱水に類似のワイラケイ（ニュージーランド）や大岳などではすでに熱水の中に砒素の存在が知られていたが この地域でも調査井に伴う熱水から排出基準0.5ppmを上回る2~3ppmの砒素の存在が確認されたので生産段階における熱水の処理方法を講じなければならぬことになった。これには各基地ごとに還元井を設けまず還元能力を確認してから生産井の掘さくに着手するという方針で今年の夏からD基地とB基地で還元井の掘さくに着手した。現在までに用意された4本の還元井の資料を第3表に掲げたが川水を使って注入テストを行った結果いずれも400t/h以上の処理能力があることが確められている。

還元井の完成をみてこの秋から生産井の掘さくに入りD B基地で各々1本目の掘さくが終了目下両基地で2本目の掘さく工事が進められている。なおD基地で掘さくが終了した最初の井戸は真南の方向に傾斜をつけ深度は951m B基地のものは垂直井で深さは1,054mである。これらの生産井は700~750mまで

第3表 還元井関係一覧表

〔還元井〕		D地区	B地区	A地区
掘さく深度	m	139.50	350.00	570.00
掘さく開始		49. 7.21	49. 8.19	49. 9.27
掘さく終了		49. 7.27	49. 9. 7	49.10.21
垂直・傾斜の別		傾斜	傾斜	垂直
挿入ケーシングパイプ	16"	15.00	13.69	18.93
(シュー位置)	11 ³ / ₄ "	92.46	132.87	140.72

泥水で掘さくしケーシングパイプを挿入した後エアードリルで掘さくされた。最初の井戸は今計量中なので近く蒸気量が判明するであろうが恐らくとも40t/hを下回ることはないようである。この冬も生産井の工事を続ける予定であり昭和50年一杯で残りの10本の生産井が仕上げられる計画である。

(筆者は 元応用地質部長 現日本重化学工業(株))