

# 日本の地熱開発と今後の課題

中村 久由

すでに本紙で紹介したように 岩手県松川地区で 本年1月 開発1号井の掘さくに成功 世界でも トップクラスの75トン/時という多量の蒸気が 現在 松川の谷間をふるわせながら轟々と噴出している。 さらにその後 2号井も順調に掘り進み この7月31日 深度1080mで揚水試験を行なった結果 1号井には及ばないが それでも同じく世界級のもので 40~50トン/時の蒸気が冲天高く噴出した。 この2本の井戸だけで 電力換算13,000kWを下らぬ出力が期待できそうである。

また 一方大分県大岳地区の開発も順調に進行し 5号井 6号井 7号井はすでに掘り終わり 現在 8号井 9号井の掘さく準備にとりかかっているが ここでは 来年秋までに10,000kWの発電設備が完了する予定といわれている。 このほか 電源開発株式会社が 岐阜県大井川や宮城県鬼首で また栃木県電気局が那須高原で 開発調査を実施中であり 地質調査所も 来年度は北海道昭和山 熊本県岳の湯地区の基礎調査を計画しているので この中から 第二 第三の松川 大岳が名乗りを上げる日もそう遠いことではあるまい。

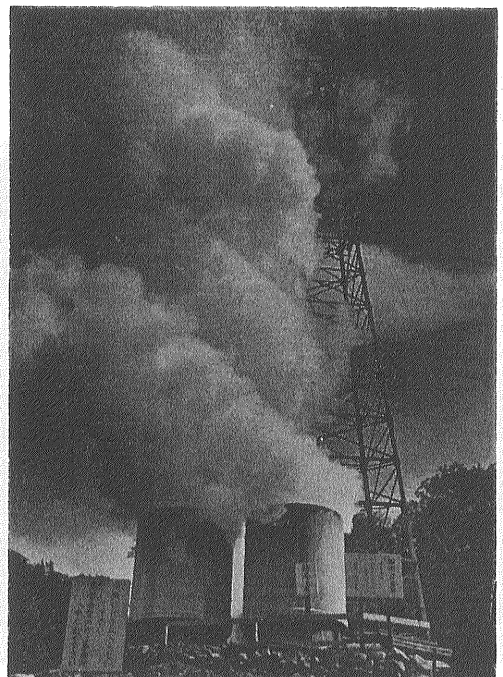
このように 日本の新しいエネルギー資源である地熱

の開発は いまや大きく前進しようとする時期を迎えている。 しかしふり返ってみると 地熱開発が叫ばれてから すでに10余年 松川 大岳の成功によって ようやく開発もその緒につこうとしているが それにしても 余りにも長い黎明期であったように思われる。 なぜ日本の地熱開発がこのようにおくれたのか という理由について 一面では社会的 経済的事情があったであろうし 他面には多くの技術的問題が介在していたことは 否めない。 社会的 経済的背景はさておき 技術上の内容に限って考えてみても これまでの目標は ともかく 一応のものになる地熱をまずみつけ出す という面に重点がおかれ このため地熱の在り方 いいかえるとその埋蔵形態の把握に多くの努力が払われた といっているように思われる。

もちろん 地熱の埋蔵形態を知ることは 各地域が開発段階に入ってからでも なお検討を続けなければならぬ事がらであり 諸外国の例をみても まずこの面に重点がおかれたことは 開発の歴史の上からでも読みとることができる。 しかし これから調査しようとする地域について その地域がはたして今後 開発に適した場所であるかどうか という問題を考えねばならぬ時には



松川 開発 1号井 (東化工 K K 提供)



サイレンサー (消音装置) を取り付けた松川開発 2号井 (東化工 K K 提供)

これまでのように 単に埋蔵形態という いわば静的な状態だけでなく 地熱蒸気を取り出すことにより 開発のペースに見合うだけの熱・量がこれを補うかどうかという動的な状態を知る必要が生まれてくる。と同時に鉄管 発電機械の腐食やスケールによる障害につながりをもつ熱水 蒸気の化学成分の問題も無視する訳にはいかない。結局 ある地域が 開発にかなう場所であるかどうかを判断する基礎は 熱・量・化学成分・埋蔵形態の4つの条件が満たされるかどうか にかかっているといてよさそうである。

これらの項目は いずれも相互につながりをもち 切り離して考えたいものであるが とくに今後の課題としてクローズアップするのは 多分 熱と量の問題であろう。しかし 困ったことに この熱と量の問題を取り上げようとする場合 非常に不利なことは 地上から直接解明のための手がかりとなる基礎資料がなかなか得られない という点である。したがって これから述べようとする事からも いきおい莫としたつかみどころのないものになるかも知れないが 上であげた項目の中から今後課題となりそうな幾つかの問題点を取り上げ その内容にふれてみることにしよう。

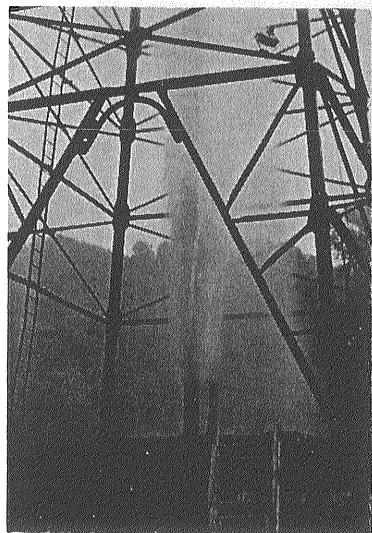
松川地区で1,200mのボーリングを下ろすことを計画した時 この地区の地熱がどの程度の温度をもっているだろうか ということがしばしば議論の対象となった。この問題は 松川地区に限らず いわゆる地熱の徴候をもつ場所では誰もが関心をもつ事からの一つである。

とくに 取り出した地熱を発電に利用しようとする場合 その地熱は地下で少なくとも200°C以上の温度をもち 量的には地表で10トン/時以上の蒸気が得られなければ対象になり得ない といわれている。ここで問題

にしているのは いわゆる地熱地域が どこでも200°C以上の地下温度をもつか どうかということである。

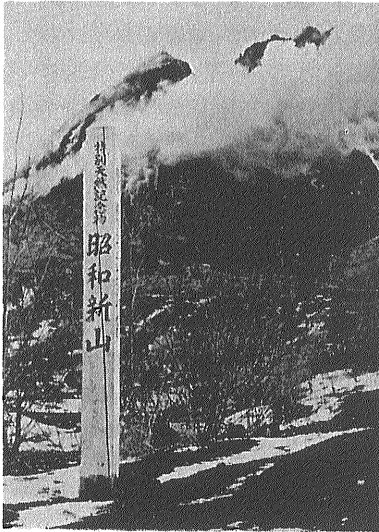
ところが地表でみられる いわゆる地熱徴候の温度を測ってみると 多くの場所では沸騰点以上の温度を示すことはまれである。ただ例外は いわゆる活火山地域 の噴気孔の温度であって たとえば 昭和新山 大島の三原山 那須茶臼岳 硫黄島などでは 地表で数100°Cの温度をもつと報告されている。おそらく このような場所では まだ熔融状態のマグマが地表近くにあり そのマグマから抜け出した揮発性成分がじゅうぶん冷却されずに地表から発散されているためであろう。したがって このような場所では 温度そのものは数100°Cという高い値を示すけれども それにみ合うだけの圧力をもっているかどうかは疑問である。もちろん このよな場所から噴出する火山ガスは 水に溶けて強酸性の液性を示す塩化水素(HCl) 亜硫酸ガス(SO<sub>2</sub>)のようなガス成分を含むのが一般であるから 化学成分の上からいっても多くの利用上の問題がある。

一方 松川 滝の上 後生掛 大岳 岳の湯 鬼首のように 現在地熱地域として取り上げられている場所の多くは 同じ第四紀の火山地域であっても 活火山地域のように マグマがすぐ地表近くまで接近しているような場所とは思われない。馬場健三技官の報告によると ニューゼーランドのワイラケイでは 地下10km位のところに熔融状態のマグマの存在を考え これが対流を起こして さらに深所の熱を上部に運んでいると推定しているそうであるが このような考え方は 日本の地熱地域の場合にも適応できそうである。ただ マグマの深度および温度 地下構造などは 地域毎で違おうから 何処でもニューゼーランドと同じように考える訳にはいかないであろうが 要は 数kmから10k



松川開発2号井噴出の瞬間  
(39. 7. 31 東化工 K K 提供)

手前は2号井で向う側は1号井(東化工 K K 提供)



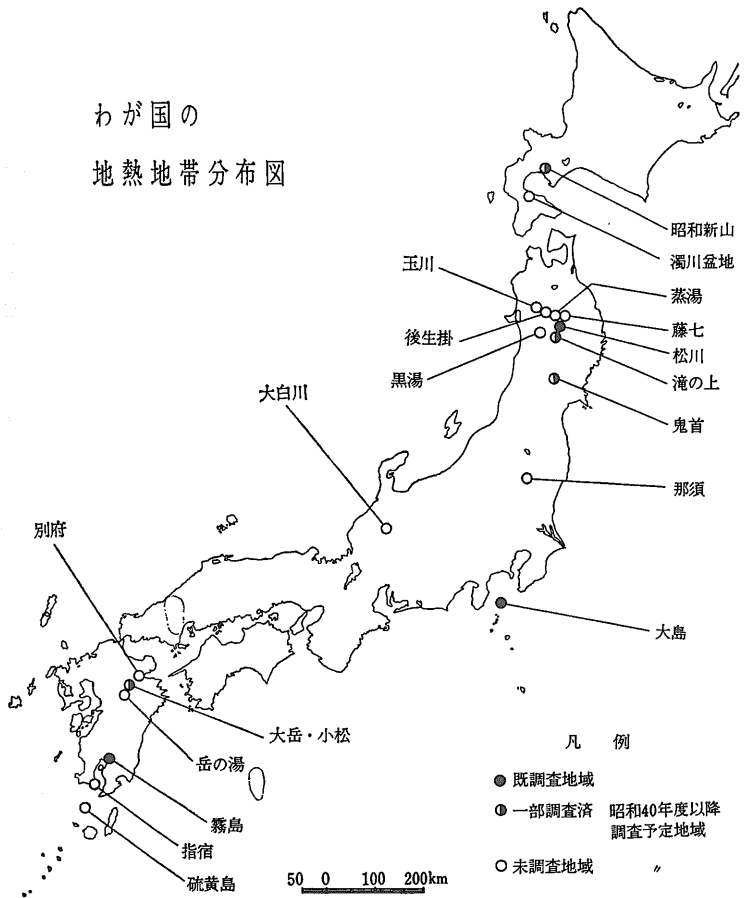
昭和新山

mくらいまでの深さのところにはマグマがあり そのマグマと成因的に関連ある地熱が その地域の地質構造に応じて 熱水なり蒸気の形で 貯溜されると考えられることである。そして地熱の本体そのものは多分液相であろうと思われるから 地表への洩れは 1気圧の下での飽和温度 すなわちその場所における沸騰点以上の温度をもつことが少ない ということになる。

しかし 100m 200m...500m 1000m と深くなるに従いどの程度の地下温度を示すか という点になるとこれは仲々やっかいな問題になる。そこで てっ取り早くだいたいの見当をつける意味で これまで各地で掘られたボーリングの資料の中から 孔間温度だけを取り出してみると 大部分は200°Cあるいはそれ以上の値を示している。

地熱の成因をごく単純に考えると ドロドロに溶けたマグマがあり それが段々冷え固まる時 マグマから抜け出た高温の揮発性成分——水その他のガス——が 地下水を加熱し そこに熱水なり蒸気なりのいわゆる地熱

### わが国の地熱地帯分布図



が生成される という構図が描かれる。もしこのような機構で地熱が生成されるものとすれば マグマの深さ温度が一定なら ボーリングによって知られた地下温度も大体同じ位の値を示してよさそうである。しかし実際には 必ずしも各地域の地下温度は同じ深度で同じ値をとるとは限らない。ただおもしろいことに ラルデレロ ワイラケイ 松川における深度1000mの地下温度が いずれも約300°Cという似かよった値を示すことである。しかも松川の孔底温度は 深度沸騰曲線にストレスにのるようであるから この状態で深くなるにしたがい温度も上昇するものと仮定すれば およそ2100mで



昭和新山の全景

臨界温度に達することになる。また上記三地域はいずれも地質構造が違う場所であるにもかかわらず同じ深度で だいたい同じ地下温度を示すということは地質構造 貯溜層の厚さなどの問題より もっと本質的ないわゆる熱源(マグマ)の深さとその温度に 関係があるのかもしれない。このような推定をおし進めると各地域の地下温度が必ずしも同じ値を示さない理由として地質構造の違い 貯溜層の厚さ 地下水の影響などの要素の他にマグマ自体の深さ 温度にむしろ支配されるのではないか という疑問が生まれてくる。場合によっては このマグマにドロドロに溶けているというのではなく ある場所ではすでに固化し終わって 温度もまた下っているのではないか という疑問である。

この疑問は地熱の量的な問題にも関係してくる。

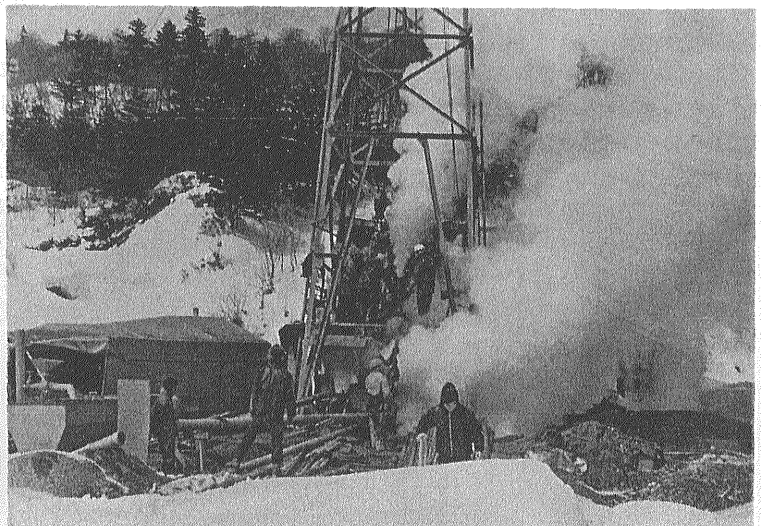
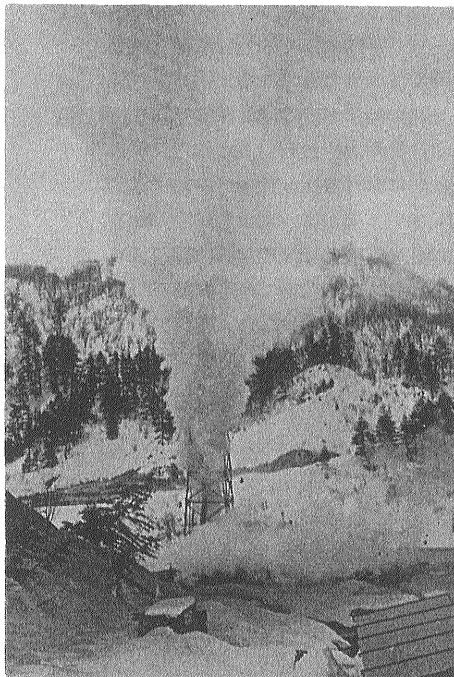
松川で75トン/時という多量の蒸気が噴出し いまなお少しの変化も見せずにその噴出を続けているのであるが この状況を見た人の中には そのうちこの蒸気は減ってしまうのではないか という心配をもったむきもあるかも知れない。確かに間断なく猛烈に噴出する様子を見ると この蒸気はどこからどのような機構で補われているのだろう という点にむしろ不思議な気持ちにさえなる。そこでこの供給の問題になるのであるが 前にも書いたように マグマから抜け出た揮発性成分が浸透してきた地下水を加熱し そこに地熱が作り出されるものとすれば 一方でその地熱を取り出しても 他方でその補いがある以上 無制限に取り出さない限り 半永久的に蒸気の噴出は続くはずである。いいかえると本原

的な地熱の補いがあるということは マグマがまだ熔融状態にあり 全部固結してしまわない時期だけに限られる ということである。すでに固結してしまった場合には マグマに含まれていた揮発性成分は全部追い出され 固化した岩体の熱伝導以外に地下水を加熱する力は失われた と考えざるを得ない。この段階では 地下に熱水が貯溜されていても それはたんなる溜りにすぎず 一方でその熱水を取り出しても その補いはつかないので 結局その地域の地熱は有限のもの ということになるろう。

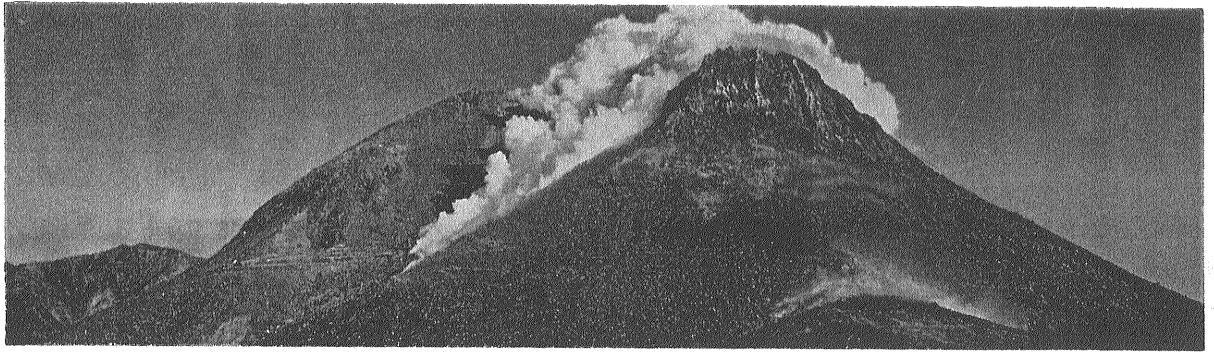
開発に着手して以来 50年の歴史をもつラルデロでも 蒸気の生産量は1950年頃から頭打ちの状態になったことが報ぜられている。これは蒸気の産出量と供給量が1950年頃にほぼ均衡に達したためと解釈できるが その供給量は 雨水が地下へ浸透する量にほぼ等しいという。この結果からみれば浸透した雨水が地下で加熱され 量の補いをする と考えられるのであるが すでにマグマが冷えて岩体となり 熱水そのものがたまつた状態をとる場合でも 見かけは 量の補いがあるようにみえるのではないだろうか。

たとえば ここに地下水に囲まれた大きな熱水のたまりがあるとす。この熱水は常に地下水の水圧をうけていると考えられるから 熱水を汲み出せば その分だけ地下水に押され 熱水の水塊は漸次減少するであろう。熱水のあり場所は もちろん地下水の浸透が許される深度であるから 場合によっては数km に達するかもしれない。またその広がりも 岩層の破碎帯を満たし 帯水層を充填すると考えれば 熱水の溜りは想像以上に大きな容積をもつ可能性がある。

ワイラケイでも 前に書いた熔融状態のマグマに熱源を求めるといふ まっとうな考え方の他に すでに貯溜



鬼首(宮城県)GO-3号井の噴気状況 (39.3.11噴出 電源開発KK提供)



南月山から茶臼岳をのぞむ(栃木県電気局土木課提供)

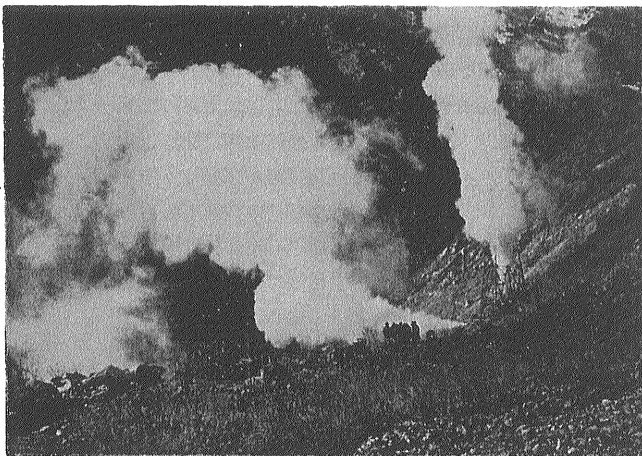
状態にある地下水が岩体の脱ガラス作用に伴う二次的な熱の発生 供給を受けてそこに300°Cくらいの熱水が生成されたという説も出されているという。この考え方も 溶融状態のマグマに熱源を求めなくても すでに相当量の熱水の溜りがあれば この問題についての説明はつくということに基づくものと推測できる。

地熱発電の規模を何万 kW にするか またその耐用年数を何年にみるか ということによってその地域の地熱の必要量がきまってくると思われるが いずれにしても熱水な

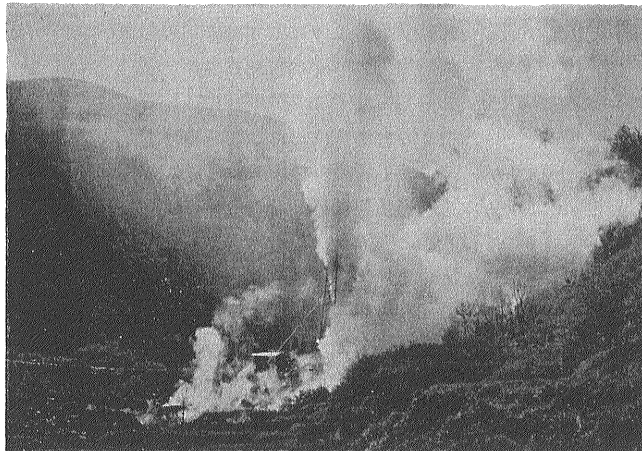
り蒸気の貯溜量が多く かつ本源的な量の補いがあれば 開発計画が有利に進展することはいうまでもないところである。この意味で 今後 熱と量に関する問題を解明するため 多くの努力がなされるであろうが これには熱水あるいは蒸気の埋蔵量を決定する地質構造の問題を基調にして マグマという われわれが手に取ってみることのできない伏兵の実態を知ること为目标に 地質学 地球物理学 地球化学の各専門分野が結集して挑戦することになるろう。

たとえば 熱水や蒸気の埋蔵形態を支配する地質構造が形作られた時 構造の分布や型に対して潜在的なマグマがどのような影響を与えたであろうか 地表で見られるどの火山が このマグマと親子 兄弟の関係にあるのか マグマが発生してからどのくらいの時間が経過したか などの問題やさらに具体的な課題として

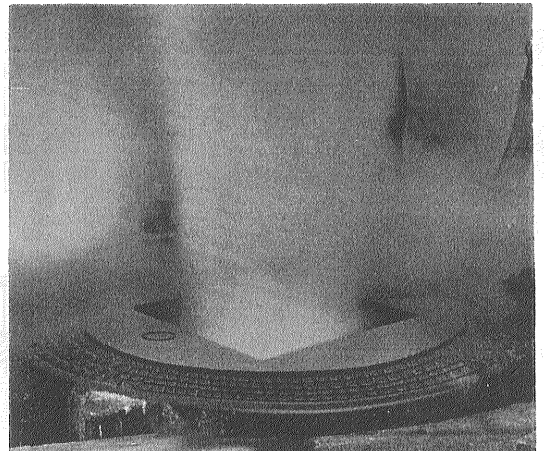
物理探査によるマグマの追跡 温泉 噴気活動に伴う変質帯の解析 熱水 蒸気に関する地球化学的研究などが さらに深く追求されるのであろう。このようにして幸い開発に成功したとはいっても これまで地熱の問題が終ったのではなく むしろ開発が進めば進むほど 解決しなければならぬ基礎的な問題が生まれてくるところに 天然のエネルギー資源 地熱の特異性があるということができよう。(筆者は地質部 応用地質課)



岐阜県大白川GM-3号井の噴気状況(電源開発提供)



大分県大岳7号井の噴出(4月20日噴出)



大岳7号井の坑口