

# ローマで開かれた 地熱の国際会議に出席して

斎藤正次

## I 会議の構成と目的

いろいろの国で 地熱の研究や開発が行なわれてきたが 今回はじめて関係各国の専門家が集まって地熱の国際会議が開かれた。これは 1961年8月21日から31日まで イタリアのローマで開催された United Nations Conference On New Sources Of Energy の部会として行なわれたものである。この会議では普通にエネルギー源として考えられている 石炭・石油・水力・原子力などではない太陽熱・風力 および地熱というちょっと風変りな3つを採り上げ これらについて 各国が今までにやってきた開発の方法や成果を開陳し 技術上・経済上の現実問題 エネルギー源としての見通しなどについて意見を交換するのが目的であった。日本からは地熱部会に対し 電源開発株式会社の広田孝一調査役京都大学地球物理学教室の湯原浩三氏 地質調査所から佐藤光之助物理探査部長と私とが参加した。

## II 各国から提出された報文

前もって会議のために 各国から多数の報文が提出され 地熱に関するものだけでも 80 にのぼった。いま地熱関係の報文を 提出国別および内容別に分類してみると 下表のようになる。

提出報文類別表

	イクリ リ	ニュ ラ ジ	ア ド ラ	米 国	エ バ ド ル	メ キ シ コ	ソ 連	フ ラ ン ス	イ ギ リ ス	日 本	計
地質その他全般	4	*5	1	3	1	1	1		**1	2	19
物理探査その他の探査法	1	2	1		1			1		1	7
ボーリング技術および孔井付帯装置	3	10	1	2						1	17
噴出物の物理性	2	4					1				7
噴出物の化学性	4	6			1						11
発電技術	6		1	2							9
暖房・加熱技術		1	5							1	7
総括報文		1	1			1					3
計	20	29	10	7	3	2	2	1	1	5	80

\* このうち1つは オーストラリア領の Rabaul 地熱地を紹介している  
 \*\* ニュージーランドの Wairakei 地熱地について述べている  
 \*\*\* 各国からの提出論文をもとにして 全国の地熱につき総括した報文

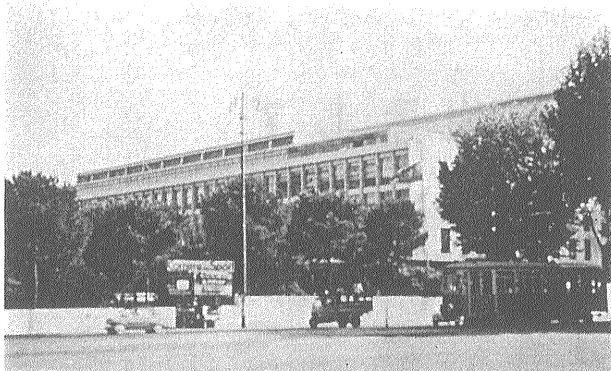
まず 提出国別にみると 前表の脚註にあげたものを除けば それぞれ自国の地熱を主題にして述べている。これらによって 各国の地熱の全ぼうがわかるようになったのは 今回の会議の一つの大きな収穫であったといえる。ことに従来有名であるわりに技術的にはわかっていなかったイタリアの地熱や あまり情報がなかったアイスランドやソ連の地熱も それらの概要が英文で報告された。ただアフリカのケニヤおよび南米のチリーの地熱については 会議で講演はされたが 報文は提出されていない。提出報文の数は その国の地熱技術の実績にほぼ比例するとみてよく 会議場における発言や活躍も同じような割合であった。

次に内容別にみると 報文によっては内容が多岐にわたり類別に困るものもある。これらはおもにその国の地熱の地質や調査・開発の技術などを概括的に紹介したもので 表では「地質その他全般」の中に一括した。表中の「総括報文」としたものは 各国からの提出報文を基にして これらを「地熱の探査と評価」「地熱の動力化と地熱発電」「地熱の加熱への利用や副産物など」の3事項に分けて それぞれについて所定の人が総括を試みたものである。

内容別に通覧すると 地熱のどんな技術が現在問題となっているかがうかがわれる。ボーリング技術以下噴出物の温度 圧力 噴出量 蒸気と熱水との割合などの物理性の測定 噴出物の化学性の測定とかの開発技術がおもに問題になっている。新地熱資源の発見に必要と思われる「物理探査その他の探査法」に関するものは案外少ない。

## III 地熱部会における議題

会場においては 報文と同じようなことをくり返し述べることをなるべく避け 共通の問題について意見を述べることになっていた。議題は地熱の探査から ボーリング・発電・加熱・暖房などの工学技術 さらに経済上の問題などいろいろであった。ここには議場の講演と報文の内容とを通じて 地質やである私の立ち場から印象の深かった事項を 私の感想を加えて解説すること



会場になった国迎食糧農業機関の外観

にする。

地熱蒸気の本源：地熱蒸気は地下の岩漿溜のようなものからの高熱放出物であるか それとも普通の地下水が加熱されたものであるかの問題がある。アメリカ イタリー ニュージーランドでは地熱蒸気に対し同位元素の研究がなされ 結論として世界の地熱蒸気の大部分は 天水源の地下水が加熱されたものであるとの見解が出されている。この考えでゆくと 必然的に地下水を加熱する熱は 熱源からそのまわりの岩石を通じる伝導によっておもに加えられると説明し また 多くの地熱蒸気などに含まれているところのガス分や鉱物成分のうちには 加熱された地下水が地中を循環する間に岩石と化学反応をすることによって 採り込んできたものが少なくないと説明することになる。

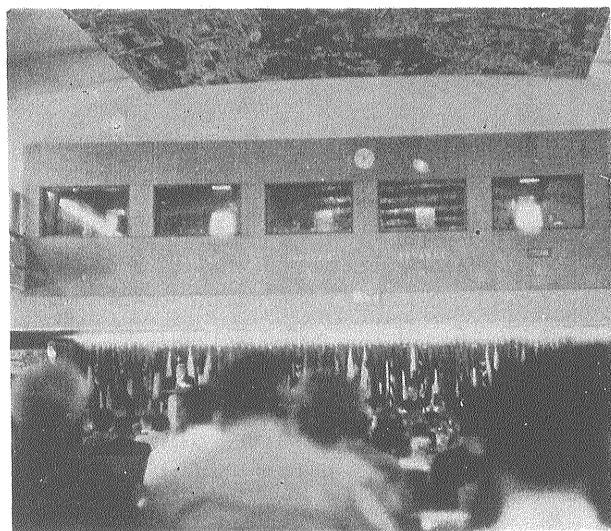
しかし この同位元素研究を根拠にして出された天水説には なお 吟味すべき点があるように思われる。岩石の熱伝導性は小さいものであるから 今世界で開発されている地熱地でみるような多量の蒸気を連続的に産出するためには 伝導で熱が供給されるとすると 膨大

な熱源の存在を想定しなければならない。もし地熱の熱源を一般に考えられているように 火山地帯地下の岩漿溜であるとすると 今までの常識よりけたはずれに大きい岩漿溜を考えなければならない。なお イタリーの有名な Larderello の地熱地の蒸気に対しても 同位元素の研究からは 天水源であるとの説があるが その南方で最近開発された Monte Amiata という地熱地では ガス分が数10%にたつる蒸気を産出しており これをも天水源と考えるには特別な説明が必要のように思われる。

いずれにしても今回の会議では 前に述べた天水説が支配的で アイスランドや サルパドルの研究者もこれに同調しているようである。会議では とくに反論もなく終わったが 報文をみると事実異論もある。米国 イタリーでも 岩漿放出物説を抱く人があり また ニュージーランドでは 高熱の岩漿放出物と天水源の地下水とがまざり かくて多量の熱水を生じるといふ いわば混合説が有力のようである。

今回の会議は学術的な理論よりも技術的 経済的な応用面をおもに話し合うものであったのに対し このような地熱の本源を論じるのはやや学問的に過ぎはしないかとの発言もあったが この問題は究極には地熱の出力や永続性に関連があることで 応用面からも重要である。

探 査 技 術：地熱は他の鉱物資源に比べて その開発は まだ初期の段階にある。多くの国々では地表に噴気や温泉がたくさんみられる明白な地熱地のうち最も大きなものの開発にやっと手をかけた程度であり 今のところ地熱調査とは これらの地熱地の出力などを量的に測定する企業化調査が主であり 隠れた新しい資



国迎食糧内訳のたんのぞむ 二階正面の窓は各国語への同時通訳の部屋



開会式に列席した日本代表団の一部

源を捜し出す必要を強く感じるまでになっていない。したがって日本の私たちが今最も知りたいと思う新しい地熱を発見する探査法については 会議でも報文にもあまり多くは述べられなかった。ただイタリアでは有名な Larderello の開発をほぼ完了し 新しい資源を物色することにも努力しつつある。前に述べた Monte Amiata がその例であり そこでは地表に温泉や噴気がほとんどなく ただ異常に高温な個所があったのを端緒として 探査を実施し開発に成功した。しかし探査法の技術的内容は はっきりとは報告されていない。

ニュージーランド アイスランドなどでは 地熱地の温泉や噴気 そのほか地表一般から放散される総放熱量をまず計測して それぞれの地熱地の大きさを予測し 国内に数ある地熱地のうち どれを開発するかを選定するさいの有力な資料としている。この値は開発後に実際に得られる出力に比べて ずっと小さいのが普通であるが不透水層などによって被覆されていないような型の地熱地においては 大きさを比較する一応の目安となる。日本では この種の量的測定は 2, 3 の温泉地を除いてはまだ実施されておらず したがって地熱探査にあつても あらかじめ規模を量的に判定する資料が不足であることが多かったのが実情である。

地熱は地下に滞留しているものであるから これに對し物理探査が効果的であろうことは容易に想像される。地熱に対する物理探査は 日本でもかなり行なわれているが イタリアとニュージーランドでとくに盛んに実施されている種々の探査法のうち 地震探査法・重力探査法などは 大きな地質構造の調査に用いられている。電気探査法はニュージーランドでは さほど実施してい

ないようであるが イタリアの地熱地では自国およびフランスの物理探査技術者によって 地熱調査に最も効果的なものとして常用され かつその探査深度もかなり深くなっている。

一般に物理探査は 地下の岩石の性質や地質構造を調べ これによって間接に地熱の存在を推察するのに使われてきた。しかし 日本でも北海道の昭和新山において試験したことがあるように 物理探査によって直接に熱そのものの所在を捜そうとする考案もある。イタリアその他のヨーロッパの専門家によれば この目的にも電気探査がもっとも有効であるとのことである。岩石の電気抵抗は温度の上昇によって低下することを利用するものである。ただし 岩石の電氣的性質は温度だけでなく とくに地熱地のような所では 熱水変質や含有水分などの具合によっても違ってくるであろう。はたしてどの原因によるかを いかにして断定するかにつき個別に 2, 3 の人に当たってみたが 地熱地の特質によって判断するという以外には あまり要領は得られなかった。

ボーリングの孔壁にある岩層の性質を深度ごとに判断するデータを得る方法として電気検層法があり 石油・天然ガス・地下水などを調査するボーリングでは常用されている。これによって よしんば岩石のコアを採取しなくても地下の地層の対比を行なうことができ また 岩石の透水性も判断される。透水性が判断されることは とくに地熱調査においては 蒸気や熱水が産出する地下の層準を推定するのに役立つであろう。事実日本では 地熱用ボーリングにも 最近では電気検層が併用されつつある。外国では ニュージーランドで試



会場屋上からローマの町をのぞむ 右はしに有名なコロシウムが見える



会場屋上からローマ遺跡カラカラ浴場をのぞむ



会期中に有名な Larderello 地熱発電所へ見学旅行があった 万国旗で一行をむかえた発電所の車よせ

験されたことがある以外は 地熱孔井に対する検層が実施されたことについての具体的な報告はない。 検層の際にはプローブを孔井内に降ろして諸測定を行なうのであるが これと地表の計器とをつなぐ導線が必要でありその被覆が普通のゴムなどでは地熱調査における $100^{\circ}\text{C}$ 以上というような孔内温度や あるいはガス成分などによる腐食に耐えられない。 これが ニューゼーランドにおいて検層が有効な手段であると認められながらも実用的でないとしてきたわけである。

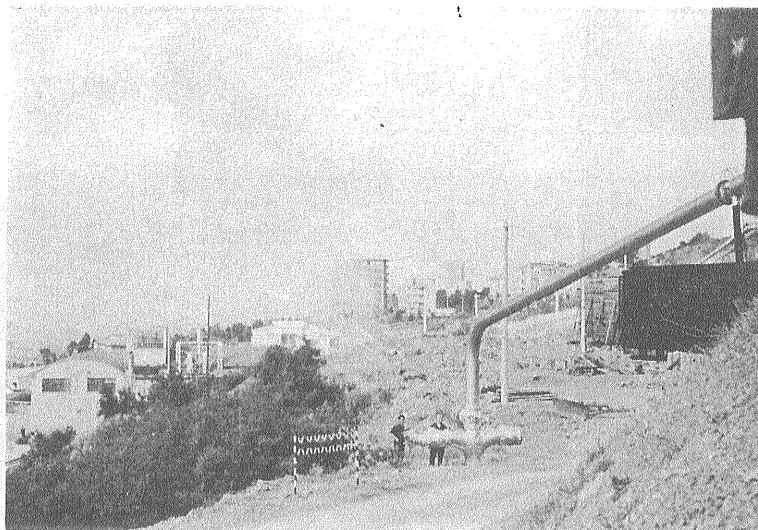
日本では被覆物としてブチルゴムやテフロンを用いこのため導線はやや高価にはなるが  $200^{\circ}\text{C}$ を少し越す温度まで使用でき 地熱用としてじゅうぶんとはまではいかないまでも一応使えるようになっている。 なお 日本ではプローブの中にサーミスターを封入することにより 電気検層と同時に温度も深度ごとに連続的に測定されている。 地熱における検層は 日本が最も経験を積んでいると推察され 会議において日本の実状を講演し

たところ かなり注意をひいたようである。

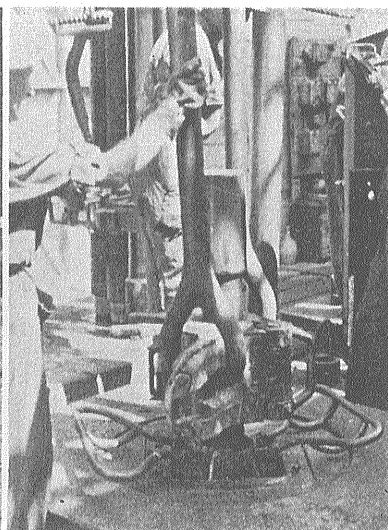
隠れた新地熱を発見する方法としては 外国でも特殊な方法があるわけではなく 地質調査 物理探査 ボーリングなどを実施して行くほかはなく 日本でやっているのとあまり変わらない。

しかし 外国では 日本で当面しているような温泉開発との社会的関係というようなめんどろさが少ないために開発に値する地熱地を比較的容易に選定することができ順調に企業化調査に移行でき この調査に伴って大規模に実施してきたボーリング 噴出熱気の諸性質の測定などの技術面では とうてい日本がおよばない多大の経験や考案がある。 これらの技術は 新資源の探査にさいしても役立つことが多いであろう。 会議の性格上あまり細かい理論やテクニックの面にまではおよんでいないが 以上の技術の概要は 会議に提出された報文に豊富に述べられている。

地熱と石油との開発技術上の関係： 会議全般が地熱問題以外にもおよんでいたのもう他のエネルギーの専門家も地熱部会にかなり顔を出していたようである。 アメリカの石油専門家が登壇し 地熱には石油天然ガスなどの探査 開発の技術・経験を今後一そう採り入れるべきであると述べた。 そうしたら イタリアその他の国のいわゆる地熱やたちからかなりの反論があり やや活発な意見がかわされた。 私が思うには イタリア ニューゼーランド アイスランドなどのいわゆる地熱国は石油資源にはとほしい国であり したがってその方面の技術に関する認識の不足によるやや見当違いの反論もあったようである。 もちろん石油と地熱とではいろいろ異なる点もあろうが ともに地下の流動体を



見学者のために孔井から蒸気を噴出させてみせる ほとんど白煙をあげず過熱蒸気であることがわかる



発電を行なうかたわら新しいボーリングによる探査も続行されている

取り扱うものであり とくに探査・採取にボーリングをおもに用いるなどの点で 地質学上や地球物理学上にもまた工学上にも共通点が多いはずである。 反論の眼目であった高温・高圧もかならずしも地熱だけでなく 石油・天然ガスを発するさい むしろ普通にであうことである。 いろいろ議論はあったが 地熱に石油などの開発技術を参考とすべきであることが 会議の終わりには認められたのは当を得たことと思う。

低開発国における問題：今回の会議が国連の主催で行なわれたねらいのひとつは 地熱や太陽熱 風力がいわゆる低開発国においてもエネルギーとして利用されるように計ることにあつた。

地熱発電についていうと 低開発国では 急に大きな電力を必要とすることはあまりなく 少なくとも当初は数1,000kWというような小出力の発電所でも効果がある。 小出力の場合は 一般にkWあたりの発電単価は高くつくが 他のエネルギー源との比較においてがまんであることがある。 出力を増すことができれば単価は安くつくが 建造費が大きくなり 一般に低開発国では運転費が高いことよりも建造費を負担することが問題である。 また何も発電にかぎらず 地熱を地方的な加熱・暖房などに使うだけでも それで高価な燃料が節減できるならば進んで実行すべきであるという話も行なわれた。 やや余談になるが 日本全国の多数の温泉地にある無数のボーリングの掘進メートル数を通計するとあるいは外国のどこの地熱ボーリングのメートル数にも負けないであろう。 これによる燃料の節約はばく大であり そうすると日本は地熱の最大利用国であるかもしれない。



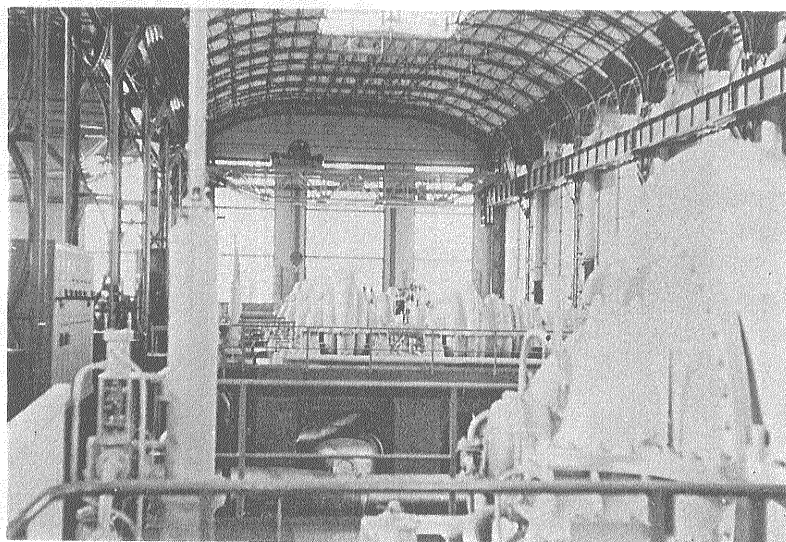
発電所を見学中の一行

低開発国において 始め加熱・暖房や 小出力の発電に地熱を利用するさいには 調査・開発も比較的かんたんであろう。 しかしながら しだいにこれを拡張してゆこうとすると 地質構造の調査や蒸気の物理化学的測定などに高度の技術が必要となり また開発装置も複雑で大きくなる。 これには先進地熱国の技術が—そう必要となる。

以上いずれの場合にも もし必要ならば 先進国の技術者から成る地熱調査団を 国連の仲介のもとに低開発国に派遣する方法もあることが述べられた。

その他の地熱開発技術：会議においては ボーリング技術 孔井まわりの諸装置・発電装置・化学的副産物・加熱装置などについても紹介されたが 本文では省略しておく。 これらに興味がある方々には 会議に提出された報文が たいへん参考になることと思う。

(筆者は地質部長)



←  
発電所内の  
タービン室