

アイスランド、ハンガリー、イタリー およびフランスをめぐるて

——地熱多目的利用と環境問題——

鎌 田 政 明 *

1. は し が き

1975年7月、羽田をふりだしに3週間ほど題記の国ぐにをめぐってきた。のんびりした旅ではなくあわただしいものだったが、地熱多目的利用の現状視察ということであった。この旅行は27名のメンバーと同行したもので、筆者はとくに地熱多目的利用と環境問題にしぼって、先進地の実状をしらべるのを念とした。

この稿はその旅行記のなかから、環境問題とのかかわりのある印象をぬきだし、筆者が今までに見聞した問題点をまとめたものである。

1974年7月にアメリカのカリフォルニア、ニュージーランド各地で見聞したことも加えておいた。

わが国においても、すべての問題が環境問題とのかかわりにおいて論議される傾向にある。地熱利用も例外ではない。このことはわが国の特殊事情もあるけれども、ある意味では地球のうえに人間が進化し、人類社会をつくり、それが文明社会とよばれるようになってきた必然の所産の一部とみることができる。

われわれはまさに「環境管理」の理念をしっかりとふまえて、一步一步われわれの道をきづくために努力すべきであろう。

そのために小生の見聞記がいささかお役にたつとすれば望外のしあわせである。

2. 地熱利用と環境問題

環境問題という概念はかならずしも明確ではない。常識的に定義すればつぎのようになる。

人間のいとなみによって環境が変化し、その影響が人間の生活ないしは生存に好ましくない結果を生み、ときに災害にもいたること。

ここに人間のいとなみといったのは動物としての人間のいとなみの他、もろもろの高次の活動を含む。地熱利用に関連したいろいろの作業もむろんそのひとつにあたる。

地熱の賦存形態が蒸気系であれ熱水系であれ、それらの利用にあたってはかなりの深度にボーリングをおこない、そこから熱水なり、蒸気なりを熱エネルギーの媒体としてくみだすのである。

この場合、ボーリングをおこなうことと、熱流体（化学的にいえば大部分は H_2O 、このほか多くの溶存成分）が地表に流出すること、熱が付近に流出することなどはすべてに共通した現象である。いろいろの必要から排水を地下に再注入、あるいは還元 (re injection) するとなれば、流体を地下深部に押しこむという行為がこれに加わる。

このような人間のいとなみの規模が小さく、次元も低いときには、人間は完全に自然の一部としてとらえるが、人口が増加し、集団の規模も大きくなり、生活程度が高かつ多様化してくると食糧、エネルギーなどの需要も増大し、それらに関連した生産の必要性もあって、人間の高次の活動が激しくなり、自然への影響も無視できなくなる。

このうえに景観としての自然をなるべくあるがままに保全したいという願望も強まると問題はなお複雑なものとなっていく。

地球表面はむろん有限の表面積をもっているのだから、人口増加、生活程度の向上とともに、人口あたりの空間はしだいにせまくなる。平均的にみてもそうだが、人口の分布、地形、地勢などは

* 鹿児島大学理学部教授、理学博士
本協会理事

地球の各部分で一様ではないから、条件の組みあわせによって、ある場所では過密状態、環境問題の深刻化といった事態がおこり、一方他の地域ではそれほどでもないという不均一さも考えられる。

地熱利用にあたって、本邦をはじめ世界各国での環境問題に対する関心がしだいに高まってきた一般的背景は前述したようなものである。

1973年ユネスコから出版された「Geothermal Energy」にも Geothermal Field の Management 問題の一部として環境問題をくわしくとりあつっている。

今回の視察旅行で見聞した事項を中心として、環境へどのような影響が考えられるか、また実際に起っているか、それに対してどのような対策がたてられているかを以下列記し、今後の地熱多目的利用の参考としたい。

いまや各国とも、程度の差こそあれ環境問題に真剣にとりくみ、その解決に努力しているのが実情である。

3. 有害物質による環境汚染と対策

地熱利用にあたっては化学成分としては H_2O の他にさまざまな物質が地表に流れだしてくるのであるから、その放出量が大きくなるとひとつの環境問題となる。よく有害物質というが、天然自然に存在するものである限り、有害性というものは絶対的なものではない。ミネラルウォーター (mineral water) という言葉がある通り、自然の水は多くの成分を含有し、微量ならば有益もしくは必須の成分であるものもある。しかし地熱利用にあたって流出する水は自然であっても高温のものであるから時としてはかなりの量の問題成分を含む。

アメリカ、南カリフォルニア州のソルトン湖 (Salton Sea) の近傍の地熱井からはとくに塩分濃度の高い熱水が流出することで有名である。

この場合そのまま環境に放出することはとても不可能であるので、地下に再注入、還元する方法がとられている。むろんその熱水のもつエンタルピーをできるだけ利用してのちのことである。

同じアメリカのガイザー (Geyser) 地区の地熱は蒸気が噴出するシステムであるにもかかわらず、

ホウ酸 (H_3BO_3) アンモニア (NH_3) などの環境への放出が問題になってきているという。この開発の規模がとくに急速にのびていることと関連がある。

イタリーについて世界で2番目に地熱発電に成功したニュージーランドにおいても、本格的対策はこれからの所で、今後開発される地区、ブロードランド (Broadland) において地下に再注入—還元する方向で研究中である。

ニュージーランドの場合には人口密度が日本などよりずっと低く、関心がもたれるようになったのが少しおくれたためもあると思われる。

3-1 アイスランド

今回訪問した最初の国、アイスランドの首都レイキャビク (Reykjavik) においては、市内および近郊の比較的低温型 ($100^{\circ}C \sim 128^{\circ}C$) の熱水をかなり大規模に多目的利用しているが、その水質は一般に稀薄で、たとえばホテルの洗面所の蛇口から出てくるお湯は温泉水そのものである。飲むとかすかに H_2S の臭いがするが別にさしつかえない程度のもので、まことにきれいな泉質といえる。同市の住民の98%以上は地域暖房の恩恵をうけていて、このように暖房を地熱に切りかえることにより同市の大気汚染はいちじるしく軽減したといわれている。大気圏、水圏ともに環境問題は全くないようである。ただ北部フサビク付近の Namafjall 地区では高温型の熱水を利用し、発電 (3,000KW) と珪藻土の乾燥がおこなわれているが、高温のためかこの熱水はかなりの含有成分を含む。この近傍には同様な高温型熱水を利用して約6万KWの規模の発電が計画されているが、この場合には環境への影響がある程度予想される。

次表に Namafjall 地区3号井の熱水の化学組成を示す。

Namafjall 地区 3 号井の熱水の化学組成

pH	7.15	(25°C)
Eh	-0.29	volt (")
SiO ₂	591	ppm
B	0.69	"
Na ⁺	133	"
K ⁺	26.1	"
Ca ⁺⁺	1.1	"
Mg ⁺⁺	0.03	"
Total Carbonate	188.3	(as CO ₂) (")
HCO ₃ ⁻	173	"
CO ₃ ⁻⁻	0.1	"
SO ₄ ⁻⁻	62.5	"
S ⁻⁻	118.9	"
Cl ⁻	19.7	"
F ⁻	1.5	"
Total Dissolved Solids	996.0	"

表からわかるようにこの地区の熱水中にはシリカ (SiO₂) がかなり含まれている。近くに地熱発電所が建設中のクラフラ (Krafla) の高温型熱水は 600ppm のシリカを含む。この近くの人口密度は極端に小さいが、近くには夏保養地としてにぎわいをみせる風光明媚なミバトン (Myvatn) 湖があるため、排水が直接この湖に流入しないよう、シリカ (SiO₂) の量の軽減を中心としていろいろな対策を考察中であった。その方法というのはわが国の大岳地熱発電所で採用され好結果をえている方法を参考としていた。

まづ近くの丘のうえのくぼ地に池をつくり、そこに排水を pump up して一時的に貯留する。放置中に熱排水中の溶存シリカ (SiO₂) は急速に減少し、コロイド状シリカの状態を経過して沈澱となり池の底にたまる。このようにしてシリカの量を減じた上ずみを近くにある大溶岩原下の伏流水中に放流し、数百～数千倍に稀釈して影響をなくするというプランである。

シリカは特に有害成分ではないが、Myvatn 湖がとくに風致に富む湖であるのでこのような配慮がなされたものであろう。シリカのほか問題になる微量成分については定量例もないようであったが、全島の面積が日本の 1/3.5、人口

わずか 20 万人余というお困柄かも知れない。

3-2 ハンガリー

ハンガリーにおいても地熱多目的利用がさかんであるが、ブタペスト、セゲド、セントスなどで利用されている熱水は温度こそそう高くないが、石灰質岩石から湧出するため、時にかなりの石灰分を含んでいる。

次表はセゲド (Szeged) 地区の熱水 2 種、セントス (Szentcs) 地区の熱水 1 種の分析結果である。

Szeged Klinika の熱水は Ca⁺⁺ あるいは Mg⁺⁺ の含有量がやや大きく、炭酸カルシウム、マグネシウム質のスケール付着の問題があり、その沈積を促進する塔 (貯湯タンク) を用意し、そこでこのスケールを除去するなどのくふうをしている。

この分析表にはヒ素 (As)、硫化水素などの分析値がないが、おそらく問題にならない程度なのであろう。ハンガリーにおいては暖房用のほかにプールへの利用が盛んにおこなわれているが、プールサイドにおいても硫化水素 (H₂S) 臭はまったく感ぜられなかった。

ハンガリーの熱水の化学組成

		Szeged Klinika (セゲド大学病院)	Szeged, Mora Frenetsz (セゲド・モーラフェレンツ農場)	Szentes の集井
深度 (m)		1,799	2,007	—
Na ⁺ + K ⁺	mg/ℓ	981.40	978.6	594.8
NH ₄ ⁺	"	16.00	10.5	—
Ca ⁺⁺	"	10.10	5.9	6.5
Mg ⁺⁺	"	14.20	2.5	2.2
Fe ⁺⁺	"	1.80	0.49	—
Mn ⁺⁺	"	0	0	—
NO ₃ ⁻	"	—	—	—
NO ₂ ⁻	"	—	—	—
Cl ⁻	"	29.80	24.0	23.4
Br ⁻	"	—	—	—
I ⁻	"	—	0.330	—
F ⁻	"	—	3.0	—
SO ₄ ⁻⁻	"	30.00	29.6	23.0
HCO ₃ ⁻	"	2,670.00	2,574.2	1,575.0
S ⁻⁻	"	—	—	—
others	"	—	—	2.0
HBO ₂	"	—	6.0	—
H ₂ SiO ₃	"	—	72.02	—
CO ₂ (free)	"	325.00	—	—
酸素消費量	(mg/ℓ)	49.70	28.00	—
pH		7.27	—	—
分析者		Dr. Papp Szilárd	"	—

3-3 イタリアー

世界で最初に地熱発電をはじめたイタリアーにおいても環境問題への対応はこれからであるという印象をうけた。

ラルデレロ (Larderello) 地熱発電所の正門にたつと、ごくかすかな硫化水素臭が感じられるので、ここの地の蒸気中に微量の硫化水素が含まれていることがわかる。

よく知られているように、ここには大量の温排水の問題はなく、冷却塔から排出されるこれらのガスと、生成する凝縮水が環境問題にかかわるだけである。

カステルヌーボ (Castelnuovo) などの地区では排水中にホウ素 (B) の含有量が3~16mg/ℓであるが、飲料水中に許される基準20mg/ℓを下まわっている。

このように蒸気系の地熱を利用する地区ではまだ深刻な事態ではないが、イタリアー南部の開発中の地域では地熱泉が熱水系で、その熱水中にかなりの塩分を含むため、還元井—地下再注入の必要をみとめ研究中である。

ナポリ近郊のアルフィーナ (Alfina) などでは温度 150°C、含塩量 6 g/ℓにおよぶ熱水がみいだされている。またなかには含塩量が数十グラム (リットルあたり) 以上におよぶものもある。したがって地下再注入—還元システムなしでは利用ができない。

ラルデレロは蒸気系だから大量の温排水の問題はないわけだが、使用蒸気量もすくなくないので、凝縮水量もいくらかあり、この点から地下再注入—還元システムを1974年度から研究している。それには生産井のまわりにある生産

力の減退した井戸などをつかっている。この研究は単に環境問題への対策だけではない。水を蒸気滞留（貯留）層に補給（recharge）すること、地盤沈下などを防止軽減することなどもあわせて期待している。

蒸気系の地熱システムするとき、まれに問題となるラドン（ ^{222}Rn ）の放出について質問したが、現在とくに考えていないとのことであった。もし問題であればこの核種が比較的短寿命のため（半減期 3.8日）地下再注入—還元すればよいと考えている。

3-4 フランス

パリ郊外のムラン（Melun）にはフランス独特の地熱利用システムが開発され 2,500戸の住宅（高層アパート群）と若干の公共施設に対し暖房、給湯を実施している。

ここには生産井、還元井のカップルがあり（地上で2本はごく近接しているが地下深部ではいくらか離れるように掘さくしてある）、くみ出しているのは熱だけである。水（ H_2O ）のほか化学物質は全く地表に流出していない。したがって有害物質による大気あるいは水質の汚染はまったくない。

このシステムは大気汚染に対する関心が急速にたかまっているフランスでも画期的なもので操作その他すべて順調にうまくいっているようである。

以上各国ともに地熱利用にともなう大気もしくは水圏の汚染には大きな関心を払っている。しかし問題にしている成分あるいは対応策はかならずしも同一ではない。それぞれの国の人口密度、環境の利用形態などもそれぞれちがうためであろう。

水質がよくめぐまれた条件にあるわけだが、アイスランド・レイキャビクの例では冬期絶対に必要な暖房という目的のために、多数の地熱井が掘さくされ利用されている。これらの地熱井の地上部分は市街の景観の中にとけこんでおり、わずかになだらかな丘のうえの数個の銀白色に塗られた貯湯タンクの群が眼につくだけである。

これらはむしろ景観のひとつのポイントとな

っている。地下に埋設されたパイプを通り各戸に配湯された熱水は暖房用、給湯用として利用されたあと温排水としてすてられるわけだが、結局海に放流されている。アイスランドでは外洋に放出されること、排水がきれいで温度もそう高くないこと、分散的に排出されることなどからトラブルがないのであろう。

4. 環境の熱汚染と対策

さきものべたように地熱利用においては深く掘った井戸から熱流体がくみあげられる。利用したのちには、これが熱排水となる。含有される成分が多く種類も多ければ前項の汚染形態を考えねばならない。しかし含有される成分がすくなくとも排水の温度が高ければそれでひとつの汚染形態となる。これを熱汚染という。排水の温度が環境の大気、あるいは水圏の温度よりもかなり高い場合である。河川が排水の放流の場であるとき、河川の流量がすくなく逆に排水の量が多く、また温度が高ければ、無機的、生物学的な影響がおこる可能性がある。

ニュージーランドのワイラケイ（Wairakei）では $\sim 100^\circ\text{C}$ の排水が直接河川に放流されている。この河は Waikato 河で、氷雪におおわれた山岳に発するつめたい流量の巨大な河川であるため、水温の上昇の影響はごく小さいといわれる。今回見聞した各地ではどうであろうか。

4-1 アイスランド

まえにものべたように現在利用されている目的は給湯、地域暖房、温室の保温などで地熱井の分布は分散的である。しかも排水もたとえば地域暖房のとき、各戸からでてくる排水は分散的にでてくるわけだからこれも分散的といえる。したがって温排水による熱汚染の問題は全くないといってよい。北部のかなりの規模の発電所の建設にあたって珪酸（ SiO_2 ）の除去、軽減のために大きな池が用意されるということを通じてのべたがこれはまた排水の冷却用にも役立つはずである。

4-2 ハンガリー

アイスランドとちがいハンガリーは内陸国であり、温排水は結局河川に放流しなければなら

ない。したがって当局者はこの問題に十分の関心を払っている。そして熱水の利用をなるべく多目的に、徹底的におこない排出される温水の温度をできるだけ低くすることにつとめているようであった。この意味でも地熱の多目的利用は大いにのぞましい方向であると考えられる。

暖房、温室などの加温用に熱水を使用するとき、需要量には季節によって当然ことなっている。この点はアイスランドとも、またわが国の同目的の利用のケースと同じ事情にある。温排水が年間を通して排出されているわけではない。

4-3 イタリア

地熱関係の当局者の語るところによれば地熱開発は地熱発電一本というシステムでは次第に困難になってきているという。したがって温排水の問題解決方法として地熱多目的利用に大きな関心を寄せるようになってきている。ただしイタリアがもともと気候温暖な南欧の国であることもあってアイスランドなどとはいづらか事情がちがう。

4-4 フランス

ムラン (Mellun) で実働を開始した地域暖房システムの場合には、深さ1800mの坑井から75°Cの熱水をくみあげ、熱交換器を使用して、温度55~58°Cの温水をつくり、暖房用と炊事用に給湯している。

使用ずみの排水は温度約50°Cとなっているがこれは完全に地下へ再注入一還元されている。普通の意味での熱汚染は全くない。

100°C以下の温排水も目的によっては利用可能なのであるから、なるべく多目的に利用することが理にかなっている。温度が高いからこそ熱利用が可能なので、利用したあとの熱汚染になやまされるというのではまったく裏腹である。アメリカでは100°C内外の熱水としては比較的低温のものを使用しているバイナリーシステムによる発電を試験中である。本邦においても鋭意研究中である。このような方向をも含めて多目的利用を大いにすすめること、これが地熱利用の合理的な道であり、環境の熱汚染を防ぐ方法ともなるものでまさに一石二鳥ともいえる。わが国の地熱開発はかならずしも全面的、

併進的にすすめられているとはいえない。今後不十分な点をできるだけおきないながら研究開発をすすめるべきであろう。

5. 地盤の変化と対策

地熱利用というのは結局地下深部にある熱流体をくみだす。そしてそのもつエンタルピーを利用することである。還元井による地下への再注入のことを考えると地下への流体の注入がこれに加わる。

いづれにしても地層中のものをとりだし、あるいはそこに入れこむという作業であり、地盤が関係し、そこにある流体一地下水の賦存状況、あるいは流動状況とも密接な関係がある。

地下水はふつう多孔質 (porous) な帯水層中に賦存する。

地熱利用のさいくみだされる熱流体もやはり同様の賦存状態をもつものとされている。ただし温度がふつうの地下水にくらべて高いから、その賦存状況、流動のしかたは多少ことなるであろう。

もしそのようなところにボーリングしてこの流体を外にだすとすれば貯留層あるいはそれを一部とする地盤には何らかの変化がある。これが地盤の変化である。

その変化もごく微小なものからかなりのものまで、またかなり時間をかけてあらわれるものから短期間のあいだにおこるものまでさまざまであろう。時間をかけておこるものとしては地盤の沈下、すべり、傾きなどで、短期間の周期でおこる変化としては地震などが考えられる。

既に開発された地熱地帯でこのような地盤の変化が知られているのはニュージーランドのワイラケイ (Wairakei) の場合で、長年のあいだにおこなわれた熱水のくみあげによる地盤の変化のくわしい観測結果がある。それによると熱水をくみあげてきたボーリング孔群の中心から約1,500フィートはなれた所に中心をもつ地域が、年平均0.2~1.2フィート沈下したことが確認されている。現在でも多数のベンチマークが設置されくわしく観測されているようであるが、この沈下は同地方の泥岩 (mud stone) を帽岩 (Cap Rock) とする熱水貯留層から長年熱水をくみあげた結果沈下として影響があらわれたものと思われる。こ

の場合くみあげの中心と地盤沈下の中心とはかならずしも一致していずすこしずれていることに注意しなければならない。熱水のくみあげによる影響がその中心で起ることは限らないのである。これは地盤が均一とは限らないことと関連して地下水の賦存、流動が一様でないことを反映している。

地熱地帯ではまだたしかめられていないがアメリカのデンバー (Denver) において 3,700 m の深井戸に圧力をかけて水を押しこんだ所、小地震の引き金となったという例がある。これは水の押しこみによって地盤の短周期の変化が誘発された例である。透水性の大きい熱水もしくは蒸気の貯留層につながる適当な還元井に水を再注入してやるのが任意に可能となれば、このような地震のおこる可能性は少ないであろう。しかしデンバー (Denver) の例もあるのでその土地土地の地盤の性質をよくしらべ、地下水の賦存、流動などについての情報をも適切に把握しながらことをはこぶ必要がある。以下地盤の変化についての各国の実情、関心のもち方などをのべ対策についてもふれる。

5-1 アイランド

アイランドは火山国である。したがって火山活動というかたちの地盤の変化はしょっちゅうおこっている。このようなバックグラウンドであるので、地盤の変化に関しては大して気にもとめていないようであった。自然活動としての火山活動のスケールの大きさと時間の長さに対し、地熱利用のスケールのこまかさ、開発がかなり以前からすすんでいるといっても地質学的にはごく最近であることなどを痛感させられた次第である。

5-2 ハンガリー

ハンガリーでも地盤の沈下ということはほとんど問題にしていなかった。同国の地熱利用が農業用でありまた浴用であり、暖房用であることなどから一ヶ所に集中的に掘さくするのではなく、いくらか分散的にボーリングをおこなって揚湯しているという事情もある。また地盤が安定していることもあるのであろう。

セゲド医科大学病院の例では熱水とともに年

間 2~3 t の砂が湧出することもある。しかしそれは地盤沈下には全くつながっていない。しかし砂の湧出には地盤沈下につながるおそれもあるということで注意しているとのことであった。

5-3 イタリア

イタリアの地熱利用の歴史はすでに60年に及んでいる。しかし顕著な地盤の変化はあらわれていない。しかし現在最大の地熱地帯であるラルデレロのフィールドで蒸気貯留層と思われる地層への水の補給 (recharge) と沈下などの地盤の変化の防止をねらって地下再注入の実験がおこなわれており、全く無関心というわけではない。

5-4 フランス

ムランの例ではこのシステムがはじまってから日もお浅いがすべてがうまくいっており、源泉温度もとくに低下せず、地盤の変化もまったくみとめられず、地震なども皆無ということであった。何よりも一組の地熱井のまわりに林立する高層アパート群そのものの存在が、地盤の安定性とこの地熱利用システムの合理性を象徴するかのようであった。

くりかえしのべてきたように熱水もしくは蒸気の貯留層からただ熱流体をくみだしただけでは影響が長時間ののちにはでることも考えられる。

したがって地下再注入—還元方式により水をおぎない地盤そのものを安定化することは、もしできれば合理的といえる。

単純なくみあげだけの場合でも周辺地区からの水の再補給と、深部からの熱の供給がうまくバランスをとって実現すれば熱水の温度の低下もめだたないであろう。

アイランドのレイキャビック市のように1時間 3,600 t もの熱水をくみあげて熱利用をしながら地盤の変化も、温度のさしたる低下もみとめられないような例もある。事実同位体地球化学的な研究によるとレイキャビック市の地下の熱水の H_2O ははるかにはなれた中央山岳部からの大循環の結果の水であって近傍の地からのものでないことがわかっている。

しかし地下熱水のくみあげにともない周辺からの水の補給が間に合わなければ、ふつうの地下水の過剰くみあげの場合と同じく地盤の変化がおこるかも知れず、深部からの地熱の供給がふじゅうぶんであれば、冷水化の可能性もあることに留意しなければならない。

このように地下再注入—還元という方法は単に環境汚染対策に対してだけではなく、地盤の変化に対する対策としても有効である。

ただ地熱帯の地質学的条件、水理学的条件はその土地土地でことなるのであるから、いろいろな性質をよくしらべながら計画をすすめることが大切である。

6. 自然景観等の保全と対策

最近になってとくに環境保全問題がとりあげられるようになった背景には、高度に開発された文明社会のなかに、かえて景観としての自然を保全したいという願望がたよまってきたことがあることを指摘した。

しかし自然景観の保全に対する願望は価値観ともからみ客観的なものとして位置づけることはかなり困難である。すくなくとも生存のために絶対必要な食糧、水、エネルギーなどと同等のものとしての評価が単純明快にはできない。生存そのもののかかわり……たとえば安らぎをおぼえることがストレスの解消に役立つといったような……があることはみとめられるものの、どの程度に大切なものかという点になると論議があいまいになってしまう。すでに地熱地帯として開発されている先進諸地域ではどのような事情であろうか。

ニュージーランドのワイラケイには立派なビジターセンターがあっという間の資料、展示物があり、地熱発電所がひとつの観光のポイントになっている。もとはこの地がどのようなところであったかという、噴気孔、湧泉などが散在する地熱地帯だったようで、いまではそれらの自然露頭は消失してしまっている。ワイラケイに近接するガイザーバレー (Geysir Valley) の自然露頭もすこし勢力を弱めてしまっている。

ニュージーランドにおいてもこのような教訓からか、最近開発しているブロードランドの地熱地帯においては、熱流体がえられたとしてもそれを

すべて地下還元する方向で計画をすすめている。これは自国でえた教訓をすぐに次のステップに生かすという態度であり、生産井、還元井のほかに観測井を最初から用意するという徹底ぶりである。

アメリカのガイザー発電所は無人の荒地であった所にひとつの観光資源が生まれたともいわれる。国土広大な土地に余裕があるためでもあろうがうらやましい次第である。今回視察した国ではどのようなであったか、これを次にのべてみよう。

6-1 アイスランド

この国が人口密度稀薄な国であることはくりかえしのべてきたが、レイキャビク郊外の荒涼たる道路ぞいに、えんえんとつづいている熱水輸送用のパイプラインピットをみると、自然景観の中の異分子的存在というよりは、バイキングの末えいの人びとがきびしい自然—北極圏の環境の中に人間生活をうちたてている実感のほうに迫ってくるから不思議である。保養地ミバトン湖の景観を保全するための努力がはらわれていることはすでにのべてきたが、首都レイキャビクの美しい街並みをみているとこの国民の美的感覚の高さ、それを活かす国土の広さがすぐ連想されてくる。

6-2 ハンガリー

組合組織でひとつの集団農場を営んでいることはよく知られているが、そのひろびろとした農場の中に多くの源泉、パイプラインが散在した縦横にのびている。むしろやや雑然とした感じもあったが、いかにも生産の場の中での地熱利用という感じがつよい。住宅の暖房の配湯施設などはアパート群にかこまれている所にあるが、さすがに周囲の景観にマッチするような配慮がなされていた。

6-3 イタリア

ラルデレロにおける地熱利用は世界一古い。したがってここの施設、パイプラインの配置などは今思えばもうすこし景観に対する配慮があってもよいような気がする。やはりこの地区全体が工場という感じがする。他の地域は視察できなかったが環境の保全全般にかなり気をくばっていく方針のようで、今後開発される地域は

おそらく多少おもむきのことになったものになるかも知れない。

6-4 フランス

ムランの大アパート群の中にスマートな銀白色の貯湯タンク群、半地下式のポンプ小屋など十分に環境に気をくばっていると思われる点いかにもフランスらしかった。パイプラインはすべて地下を通り、地上にはみることではできなかった。

7. まとめ 地熱多目的利用と環境問題

以上世界的に環境問題が高い関心をもたれていること、それと地熱利用計画との関連につきのべてきた。そしていろいろ問題別にとられている対策、考えられる対策をのべてきたがもう一度まとめてみよう。

有害物質による環境汚染については、次のようにまとめられる。

- 1) 地熱井からくみだされる化学物質の質と量について正確な知識をつみかさねること、これはすべてに優先するもので地熱そのものの利用にも、環境問題への対応を考えるときにも根本的な基礎資料となる。
- 2) 地熱井周辺の自然の状態について、すなわちバックグラウンドについて正確な情報をえておくこと。
- 3) 環境の基礎的な観測をおこたらないこと—このなかには生態系への影響も含まれる。
- 4) 影響があり、影響があると予想されるときには排水の地下還元の方法を十分な検討のうちに採用すること。
- 5) 地下還元自体の環境におよぼす影響に関連し、環境の基礎的な観測をおこたらないこと。

環境の熱汚染については、やはり前項に準じた諸策が実行されるべきであり、対策としては地下への再注入—還元がもっとものぞましい。それはまた地熱田のかん養、その寿命の長期にわたる保持にも役立つからである。ただそれを効果的にこなうためには、その地熱地帯における水質地質学的な調査を充分におこなわねばならない。

今回の視察旅行で特に印象的であったことは各国とも、地質学、水理地質学、地球物理学、地球化学などの知識をフルに動員し充分基礎的な調査がおこなわれている点であった。

地盤の変化についての基礎的な観測の重要性ももちろんである。

自然景観の保全にもできるだけ努力すべきである。地下還元のシステムも有効であろう。また地熱の多目的利用そのものも自然景観の保全そのものと矛盾しない。

多目的利用と地下還元とを組みあわせることが特に有効であろう。多目的利用としてはまだ普及が充分でない冷房用への応用、研究中の段階であるバイナリーシステムによる比較的低温の熱水利用も注目すべきであろう。アイスランド、ハンガリー、イタリー、フランスともにナショナルプロジェクト、もしくはそれに準ずる組織のもとに、エネルギー問題解決の一環として真剣にとりくむ姿は大いに参考としなければなるまい。

地熱現象そのものは一般的なことながら、地熱地帯そのものの性格は local な問題が多くさまざまである。他においてえられた知識にくわえてその土地、その土地での基礎的な、継続的な研究、観測が重要であることをかさねて強調しておきたい。環境問題への取りくみにはこのことがまたとくに重要である。