

トルコ共和国の堅実な地熱開発戦略

—ハイリスク・ハイリターンより

ロウリスク・ワイドリターンを—

玉生志郎¹⁾

1. 日本人を虜にしてしまう国—トルコ

今回のトルコ訪問(1992.10.1~11.15)は、私にとって3年ぶり、二度目のものであった。そのため、一回目のように見るもの聞くものすべて興奮させられるような状況ではなく、かなりゆとりをもってトルコ文化に接することができた。今回はベルリンの壁が崩壊した時期にあたったため、トルコのテレビ放送では毎晩、隣国のソ連、東欧の社会主義崩壊の様子を生々しく伝えていた。解らないトルコ語での放送ではあったものの、歴史の一コマとなるような映像に見入りながら、歴史が動いていることを実感することができた。一方、今回はトルコ語放送のみならずCNNをはじめイギリス、ドイツ、イタリア、フランス各国の衛星放送が受信できるようになっていたため、ボスニア・ヘルツェゴヴィナをはじめヨーロッパ各地の動きが、より鮮明にかつ詳しく知ることができた。社会主義崩壊後の民族紛争は、日本にいると遠いよその国の出来事としか感じられないが、トルコにいと身近な問題として捉えることができる。われわれ日本人は外国に出ることで、はじめて民族問題を意識することができるのである。

トルコと言う国は不思議な国で、日本人の多くを虜にしてしまうところがある。地質調査所の中にもトルコを訪れた後、トルコ派になった人が何人もいる。また、小説や紀行文のなかにも虜になった人々のことが、いろいろ描かれている(岡部, 1985; 平岩, 1985; 地球の歩き方編集室, 1989, 1992; 内藤, 1993など)。私もトルコ国内を旅行して地元の

人達とのんびりチャイ(トルコではお茶のことをこのように呼ぶ)など飲んでみると、忽ちトルコに魅せられてしまう(写真1)。それはトルコ人がヨーロッパや中近東の人達より親しみやすいことや、生活のリズムが日本に比べるとゆったりしているためと思われる。さらに治安が大変よいため日本人が安心して海外生活をエンジョイすることができることもその要因と思われる。トルコ駐日大使館が出版している大型ポスターには、「知れば知るほど離れがたい国—トルコ」、「東西文明の十字路 三大陸と七つの海の交差点—トルコ」というキャッチフレーズが付いている。言い得て妙である。

2. トルコの地熱開発に関するGSJ-MTA共同研究

2.1 これまでの経緯

地質調査所(以下、GSJと略記)は1989年度より



写真1 現地調査の途中で、現地の人達とチャイを楽しむ

1) 地質調査所 地熱熱部

4年間に亘って、国際協力事業団(以下、JICA と略記)の短期専門家として都合5人の地熱研究者をトルコに派遣することができた。トルコにおけるカウンターパートはエネルギー天然資源省鉱物資源総局(以下、MTA と略記)である。まず1989年にGSJとMTAとの「地熱に関する共同研究」をスタートさせるために、筆者がトルコを訪れた(玉生, 1990a)。次いで1990年には湾岸戦争中にも拘わらず、茂野・須藤両氏が中央アナトリアの火山性地熱資源調査に(茂野, 1991)、そして1991年には阪口・菊地両氏がアフィオン地熱地域の資源評価に(阪口・菊池, 1992)、それぞれMTAを訪れた。そして、1992年には筆者が再びトルコを訪問し、これらの結果について最終取りまとめを行った。

トルコの地熱地域は大局的にみるとそれぞれ固有の特徴をもつ三つの地域に区分できる(Simsek and Okandan, 1990; 玉生, 1990a)。西アナトリア地方の地壘地溝構造に伴う地熱系、中部・東部アナトリア地方の第四紀火山に伴う地熱系、そして北アナトリア断層に伴う地熱系である。このうち最も地熱ポテンシャルが高いのは西アナトリア地方である(Kocak, 1990)。それ以外の地方では発電に使用可能な200°C以上の高温熱水は未だ見つかっていない。西アナトリア地方のクズルデレ(Kizildere)ではすでに2万kWeの地熱発電所が1984年以来稼働し続けており、またゲルメンジック(Germencik)でも有望な地熱貯留層が確認され、3.5万kWeの地熱発電所が建設可能という評価が得られている(MENR*, 1989; 1990)。但し、JICA海外プロジェクトの行なわれたディキリベルガマ(Dikili-Bergama)地域の調査結果はあまり芳しいものではなかった(国際協力事業団, 1987; Yilmazer et al., 1990; Sarifakioglu et al., 1992)。一方、中部及び東部アナトリア地方ではいくつかの第四紀火山が存在し、それに係わる高エンタルピーの火山性地熱資源が何箇所か期待されている。しかしながら、いままでの数少ない坑井掘削結果によればあまり良い結果は得られておらず、開発リスクが大きいことをうかがわせている。MTAはこのような状況を鑑み、火山性地熱資源の開発に詳しいGSJに中部アナトリア地方の火山性地熱資源の共同研究を要望してきた。こ

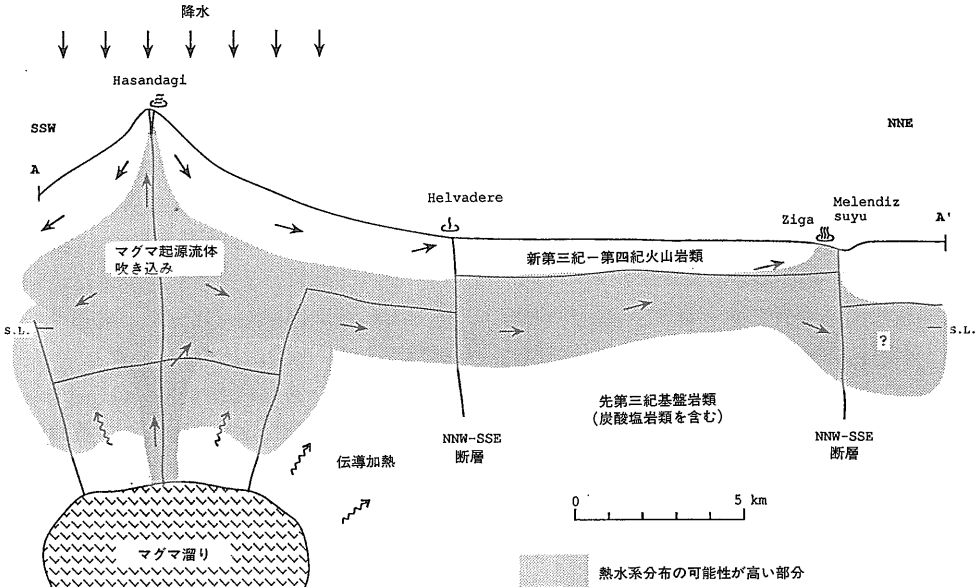
れに対して当初GSJ側は坑井データの豊富な、西アナトリア地方の高エンタルピー地熱系についての広域地熱構造モデリングを提案した。最終的にはMTA側の要望を受けて、1989年から3年間、中部アナトリア地域の火山性地熱資源をどのように資源評価すべきかという課題で共同調査・研究していくことになった。1990年度にはいままでの調査データを火山地質および地化学的観点から再解析するとともに現地調査を行なって、地熱系の概念モデルを作成した(茂野, 1991)。また1991年度にはかなりの坑井データの利用できるアフィオン(Afyon)地域で現地調査を行なうとともに、坑口圧から地下水位を計算し熱水流動系の数値シミュレーションを行った(阪口・菊池, 1992)。この結果、石灰岩地域における断層系に沿う熱水の大規模側方流動モデル(第1図)を提案するとともに、坑井データがあれば熱水流動を定量的に数値シミュレーション(第2図)できることを示した。

2.2 共同研究のまとめ

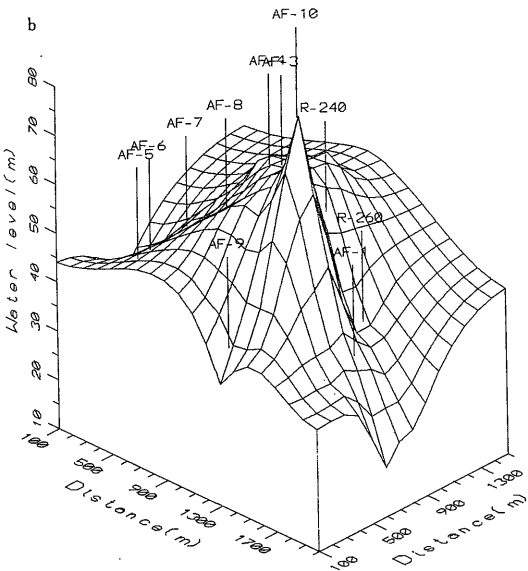
今まで3年間に亘って実施してきた中部アナトリアの火山性地熱資源に関する共同研究を、今回最終報告書として取りまとめた(Tamanyu et al., in preparation)。但し、当初予定していた実証ボーリングがMTAの予算の制約から延期されているため、地熱ポテンシャルがどの程度なのか、実証性のある結論を下せなかった。また、現地で具体的に対応してくれた研究者が長期出張中だったりして直接詳細な議論ができず、充分詰めきれない部分もいくつか残った。例えば、Olmez et al. (in preparation)のソフララークサライ(Sofular-Aksaray)地区のアジギョル(Acigol)地熱系モデル(第3図)については、茂野(1991)と異なる直下型熱源モデルが提案されていて興味深いのが、十分な議論をすることが出来なかった。

筆者はまた共同研究の一環として、日本の代表的な火山性地熱系について1時間半の講演を行った。講演は英語で行い、Kocak氏がトルコ語に通訳した。題目は「Characteristics of the geothermal convection systems in Japan based on temperature and pressure profile data」で、その内容は日本のサンシャイン計画で実施された仙岩、豊肥、栗駒地域での調査結果を、温度・圧力検層データを基に各地熱系の特徴を取りまとめたものである(Tamanyu,

* MENR: Ministry of Energy and Natural Resources Turkey
の略



第1図 ハッサンダー—ジガ(Hasandagi-Ziga)地区の概念的熱水系モデル(茂野, 1991)



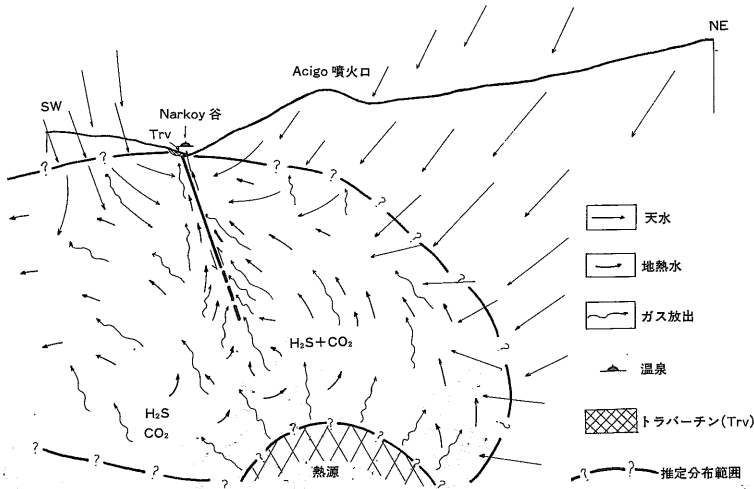
第2図 坑口庄から求めた水位分布の鳥瞰図(阪口・菊地, 1992)

1990b; 1991a, b). この講演には副総裁, エネルギー部長, 副部長はじめ約20名の人が出席し, 講演後, 約1時間の質疑応答がなされた. 主な質疑は以下の様なものであった.

- Q1. 地下等温線図はどのようにして作成されたか?
- A1. これらの地域ではかなりの密度で坑井掘削

がなされているので, その温度検層データに基づいて地下等温線図を作成した.

- Q2. この3地域以外での日本の地熱調査はどのようになされているか?
- A2. この地域以外にも40個以上の地域で地表調査ならびに坑井調査がなされ, それらの調査結果に基づいて資源評価が行なわれている(山口ほか, 1992; 日本地熱調査会, 1992).
- Q3. 日本の地熱系はトルコの地熱系と比較してどんな違いがあるか?
- A3. 熱源は日本の場合, 一般に若い第四紀火山, 大体40万年前より若い火山活動に係わるマグマ溜りもしくは貫入岩がそれに相当することが多い. 一方, トルコの場合, 特に西アナトリア地方の場合, 熱源がはっきりしないことが多い. ここでは地塁地溝構造に伴う断列系が深部からの熱を供給しているのか, または地下深部に若い貫入岩体が存在しているのか, 現在のところ不明である. 流体の集水構造は日本の場合, 第四紀のカルデラ構造や堆積盆に支配されていることが多いが, トルコの場合, 第四紀地溝構造や断列帯に支配されているようである. 貯留構造については, 日本もトルコも



第3図
中部アナトリアのソフララー-ア
サライ (Sofular-Aksaray) 地区の
アジギョル (Acigol) 地熱系モデル
(Olmez et al., in preparation)

透水性の良い岩質や断層系に支配されている。但し、日本の場合、新第三系下部の溶岩部、貫入岩体周縁部および先第三系基盤岩中の変成岩などに発達することが多いのに対して、トルコでは第三系の発達が乏しいので、第四系および先第三系基盤岩中の結晶質石灰岩や変成岩中に発達することが多い(玉生, 1990a; Simsek and Demir, 1992)。

Q4. 日本での地熱の直接利用の開発はどんな状況か？

A4. 昔から温泉浴用として最も広く利用されている。地域冷暖房や農業・水産業用としての利用は、温泉兆候の活発な地域や地熱発電所の還元熱水利用のできる地域で行われているが、全体的にはそれほど多いとは言えない。

Q5. 地熱の熱源をどのように考えるべきか？

A5. 浅部まで高温の熱異常をもたらすもので、代表的な例としては地殻浅部のマグマ溜りである。しかし、それ以外の熱源として、例えば新期貫入岩体なども考えられそうである。

Q6. 断層と地熱貯留層との関係はどうか？

A6. 地熱流体が貯まる場所として、断層に伴う断層群の隙間が最も有望である。但し、地熱貯留層が形成されるには、帽岩などの不透水層によってシールされていることも重要な要素である。

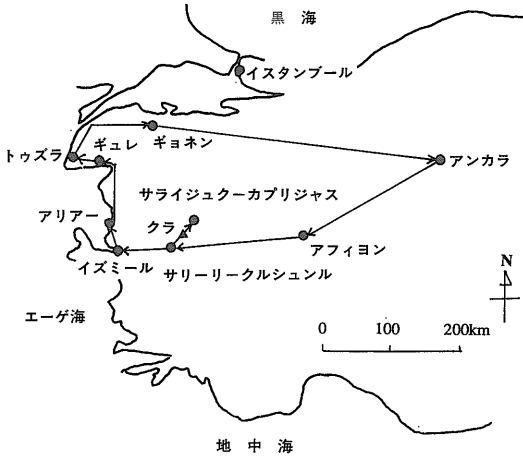
以上のように、一般的な質問が多かったことから、もう少し、日本の地熱開発と言うような概括的な前置きが必要であったと思われる。当初は日本より持参したビデオ「Search for geothermal resource」(地質調査所編, 1992)を上映して、日本の地熱開発状況を理解してもらってから講演する予定であった。しかし、日本から持参したビデオがうまくPALシステムへ変換しておらず、講演のみとなってしまった(帰国後、正しく変換し直したビデオテープをMTAに送付した)。

2.3 今後の計画

来年度以降の共同研究については、MTA側の計画を踏まえた上で、可能性のあるテーマを検討した。その結果、現在MTAが進めている西部アナトリアの深部坑井掘削に関連する、各種調査・検層データの収集と解析を行うということで合意に達した。また、地塁地溝構造に伴う地熱系の特徴の抽出と資源評価についても行ないたいと話合っている。この地域はトルコで最も地熱ポテンシャルの高い地域なので、GSJとしても興味深いところである。

更に、将来的には以下のようなテーマについても検討したらどうかと言う事も話し合われた。

- 地化学温度と坑井検層温度の比較・検討(GSJ提案)
- いままで貯留層評価のなされたクズルデレとゲルメンジック両地域のデータの再評価と、これに基づく広域地熱系モデルの作成(GSJ提案)
- 低エンタルピー熱水の直接利用のための水理シミュレーション(MTA提案)



第4図 トルコ西部の地熱地域見聞コース

- 熱水の安定同位体測定 (MTA 提案)
- 熱流量測定 (MTA 提案)
- 還元井に関する問題の検討 (MTA 提案)
- 掘削データのコンピュータによるデータベース化 (GSJ 提案)
- 掘削コア、スライムの保管システムの作成 (GSJ 提案)
- 炭化物の反射率から古地温の推定 (MTA 提案)
- その他

3. トルコ西部の地熱地域見聞録

1992年11月2日から11月6日の5日間、私は Kocak 氏の案内でトルコ西部の地熱・温泉地帯を見学することができた。そのルートと見学地点は第4図に示すとおりである。トルコ西部の有名な高エンタルピー地熱地域(クズルデレ、ゲルメンジック、バルチョバ(Balçova)、セフェリヒサル(Seferihisar)、ディキリーベルガマなど)はすでに前回訪問して報告しているので(玉生, 1990a)、今回はそれ以外のやや低エンタルピー地熱調査地域およびそれを利用した熱水利用施設を訪れた。その時、見聞したことを以下に紹介する。

3.1 アリアー(Aliaga)地区

この地区はイズミール(Izmir)市の北方50 km の石油精製の町アリアーに位置し、MTA イズミール支所によりここ数年来地表調査が行われてきた所である(Esder, 1992)。MTA は1992年度事業として、本地区の西端部で750 m の地熱井掘削をすすめて

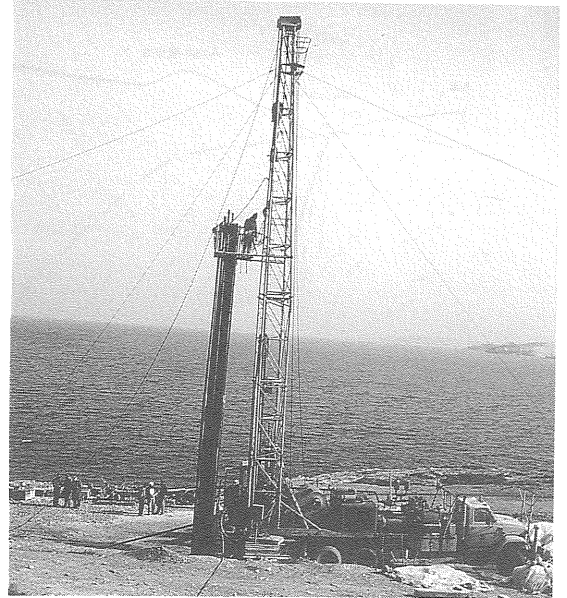


写真2 アリアー(Aliaga)地区で掘削中の地熱調査井ウルジャブルン(Ilicaburun)-1

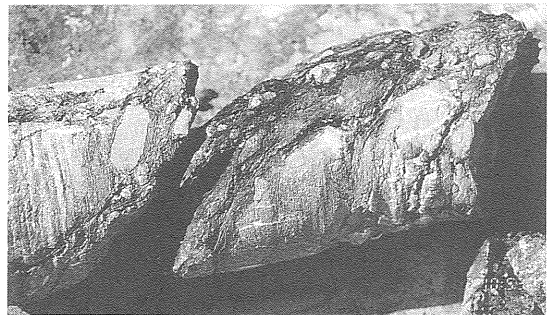


写真3 ウルジャブルン(Ilicaburun)-1 坑井から採取されたコア試料に見られる基盤岩の構造角礫岩(?)

いる(写真2)。この事業はMTAの地熱予算が厳しくなっているなかで、久しぶりの本格的な調査井掘削のため、MTAのエネルギー部、イズミール支所の関係者の総力をあげて取り組まれている。私が訪れた時は丁度600 mでのコアリングの最中で、採取できたばかりの興味深いコアを観察することができた(写真3)。私やKocak氏はそのコアを破碎を受けた基盤岩の構造角礫岩であると考えたが、説明者のEsder氏はマトリックスが堆積性のものであるとして新生代のソマ層の礫岩であると主張した。翌日の掘削ではこの下位にまた典型的なソマ層がでてきたため、Esder氏は我が意を得たりとばかりにニコニコしていたが、私にはスラスト構造による地層の繰り返しではないかと思われた。地質構造はと

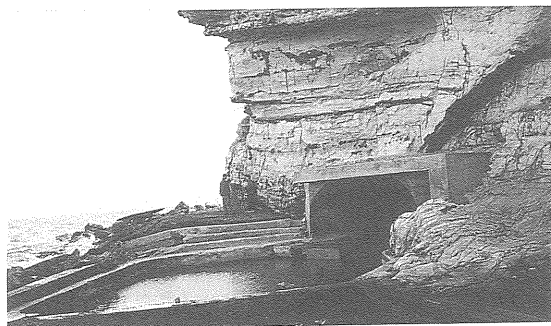


写真4 正断層に沿って湧出する温泉

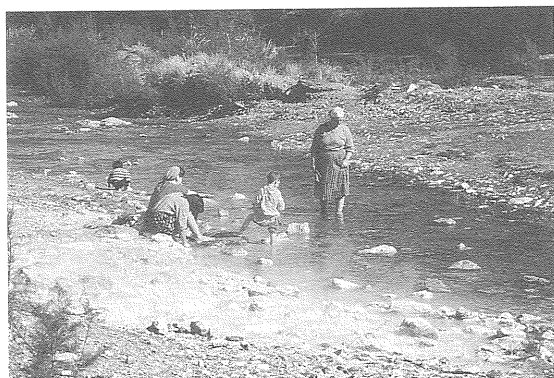


写真5 サリーリークルシュンル(Salihli-Kursunlu)地区の温泉

もかくとして、かんじんの温度の方は 58.6°C (21時間後)とあまり芳しくなかった。温度検層結果によれば、地表から深度150 m 付近までは 45°C 前後の浅部熱水対流層があり、それ以深では一旦地温は低下して、その後徐々に上昇して深度500 m 以深でその温度勾配が少し急になっている。この坑井の掘削地点の裏側の海岸では、正断層に沿って 56°C の炭酸塩泉が湧出している(写真4)。ここでは深度600 m の坑井掘削でやっと得られた温度の熱水が、自然に湧出しているのだ。自然のメカニズムは誠にもって天賦のごときものである。また、この海岸に面した温泉は、日本人好みするすばらしい露天風呂になっていた(写真4)。

3.2 サリーリークルシュンル(Salihli-Kursunlu)地区

本地域は、ゲデズ(Gediz)地溝帯の南端を画するNW-SE方向の活断層に沿って湧出している温泉地帯である。ここでは深度40 m 程の坑井から 80°C の熱水が20-25 l/min 採取され、その熱水はORME社の熱交換器を通して小規模ながら地域暖房に利用



写真6 クラ(Kula)火山

されている。温泉水が流れ込んでいる川では、のどかに洗濯がなされていた(写真5)。これも熱水の直接利用の一形態と言えなくもない。

3.3 クラ(Kula)火山

ここでは先第三系基盤岩の上に第四紀の玄武岩質単成火山群が直接重なっている(写真6)。韓国の済州島や米国のインヨー(Inyo)火山での地熱開発調査の事例を考えると、このような単成火山地域ではあまり熱水系の発達を期待することは出来ない。ここでも、地下の熱水系を示唆する温泉などの地表兆候は認められなかった。但し、ここでは大変珍しいものを観察することが出来た。それは火山豆石を多量に含む火山灰の上に残された人類の足跡で、それらは大量のスコリアによって埋められている。大股で坂道を駆け下っているもので、ストロンボリ式の大噴火を目の前に慌てふためいている様子が生々しく伝わってくる(写真7)。案内者のEsder氏によれば、人間の足跡のほか犬の足跡もあるそうである。また、スコリア丘の噴火口の中には、噴火後、人類が生活していた跡が発見されているそうである。何とも愉快な話である。

3.4 サライジュクーカプルジャス(Saraycik-Kaplicasi)地区

ここはクラ火山の北方約20 km にあたる。ここはローマ時代より温泉として利用されていたところで、今でも温泉地となっている。MTAが最近掘削した318 m 坑井(No. 1)からは、 62°C の熱水25 l/s が、また、100 m 坑井(No. 2)からは 78°C の熱水40-45 l/s が湧出している。まわりに若い火山が見当たらないにも係わらず、浅部でかなり高温の温泉に遭遇している。その解釈として、EsderはNNE-



写真7 火山灰の上に残された人類の足跡

GÜRE BELEDİYESİ AFRODİT TERMAL TESİSLERİ

Kaplıca sularının 1 Litresinde bulunan maddeler şunlardır.

POTASYUM İYONU	13,5 MG.
SODYUM	279,703 MG.
KALSİYUM	32.2 MG.
MAGNEZYUM	2.4 MG.
DEMİR	0,124 MG.
ALÜMİNYUM	2,88 MG. DIR.

Radyoaktivitesi 4 Eman olan bu suyun kükürtlü hidrojen oranı 1,6 olup özellikle kadın hastalıkları, müzmin romatizmalar cilt hastalıkları, guatr, kireçlenme, sedef böbrek, taş ve kumları ile karaciğer Rahatsızlıklarına iyi gelmektedir.

Çanakkale Asfaltı Üzeri GÜRE
Tel : 9(671) 41978

第5図 ギュレ(Gure)温泉の科学組成

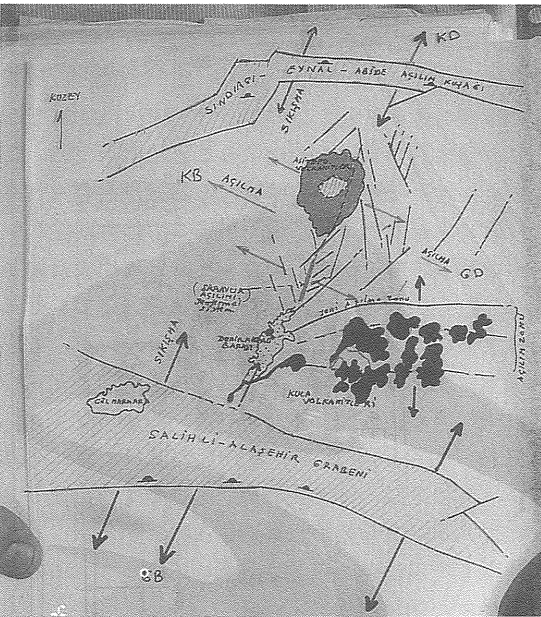


写真8 サライジューカブルジャス(Saraycik-Kaplicasi)地区の地熱系モデル(Esder, 私信)

SSW 性の深部断裂系が WNW-ESE 性の引張テクトニクスにより開いて、深部からの地熱流体を地表にもたらしている、と考えている(写真8)。この断裂系に沿っては幅100 m のオニックス帯が形成されている。

3.5 ギュレ(Gure)地区

本地域は古くから温泉として利用されていて、ギ

リシャ神話のアフロディテにあやかってアフロデテ温泉と名付けられている。現在は地方自治体によって温泉付きホテルが建てられて、積極的に利用されている。この温泉は北アナトリア断層の西方延長部の E-W 性断層に沿って上昇していると考えられる。この温泉は海岸に近いので、海水の影響を強く受けている(第5図)。

3.6 トゥズラ(Tuzla)地区

ここはアジア側トルコの西端に位置している。本地域の温泉は高塩濃度のためか、沸点が100°C以上で、かつ加圧されている。温泉からは多量の塩の結晶が析出している(写真9)。現在は泉源がコンクリート壁で覆われてしまったが、それ以前には被圧されて水頭が数メートルも立ち上がっていたそうである。この周辺には大規模火砕流堆積物が広く分布していて、温泉の成因と何らかの因果関係がありそうである。

3.7 ギョネン(Gonen)地区

ここでは大規模な熱水利用施設を見学した(写真10)。河川の合流する平坦な地域であるにも拘わらず、80°Cの熱水がかなり豊富に産する(第1表)。この熱水は、熱交換システムにより地下水を62°Cに熱し、自らは42°Cに冷やされる。そして、これらの造成熱水はホテル、浴場、地域暖房、皮革乾燥

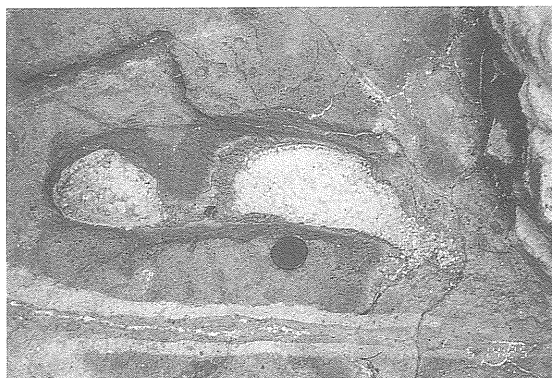


写真9 トゥズラ(Tuzla)地区の熱水から析出した塩結晶

などに広く供給されている。トルコ全体の熱水の直接利用状況については、次章で詳しく説明する。

4. MTAの地熱開発戦略—ハイリスク・ハイリターンよりロウリスク・ワイドリターンを—

前章で一部述べたように、トルコにおいては開発リスクの大きい高エンタルピー熱水による地熱発電所開発よりも、むしろ開発リスクの低い中・低エンタルピー熱水を直接利用した地域暖房、温室、浴用などの開発の方がよりワイドに進められている。観光資源としての開発も盛んである。このようなトルコの地熱開発戦略は、一言でいえば本報告のタイトル副題にした「ハイリスク・ハイリターンよりロウリスク・ワイドリターンを」ということになる。

現在MTAの副総裁であるGuner Unalan氏は、以前はエネルギー部長であった。そのため、今回もたびある毎にわれわれの共同研究についていろいろ相談にのってくれた。そんな時、筆者はGSJの研究者は技術開発要素の大きい高エンタルピー熱水の

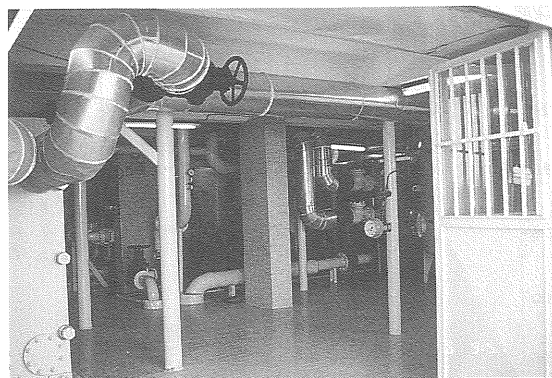


写真10 ギョネン(Gonen)市の熱水利用施設

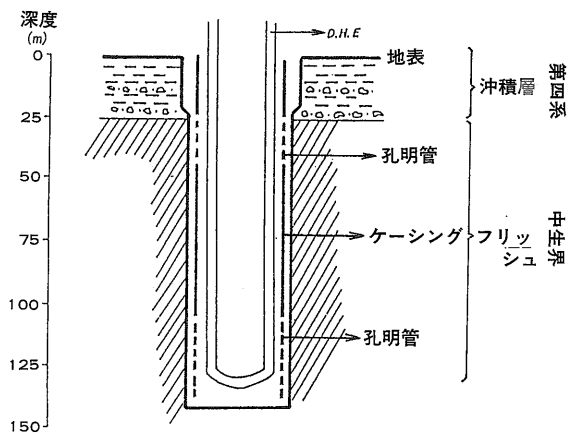
探査・開発に興味があり、低エンタルピー熱水の直接利用に関してはあまり興味がありませんと申し上げた。これに対して、彼はGSJの事情に理解を示してくれたものの、MTAの地熱開発の戦略を以下のように説明してくれた。トルコの今の経済状況を考えると、現在優先すべき課題はリスクの大きい高エンタルピー熱水を利用した地熱発電所建設でなく、低エンタルピー熱水を利用した直接利用開発である。そのために、MTAは地方自治体と協力して直接利用開発を着実にすすめている。高エンタルピー熱水の探査・利用に関する技術開発は、日本などの先進国にお任せしたい。との事であった。この話を聞いて、筆者は発展途上国に対する技術協力と我々の研究とはどのように調和させることができるのか、今一度考えさせられる思いであった。

トルコ国内における直接利用状況については、Akkus(1990)により以下のようにまとめている。

トルコ国内では地熱エネルギーを利用した室内・温室暖房は、1982年以前は極めて少なかった。その主な原因は、坑井内や地表設備に付着する炭酸カルシウムのスケール問題であった。この問題は坑

第1表；ギョネン(Gonen)の熱水利用施設の給湯量

坑井名	流量 (ℓ/sec)	水位 (m)	坑井深度 (m)	水中ポンプ深度 (m)
G-1	12	28	133	38
G-2	27	54	534	58
G-3	24	52	308	58
G-4	24	50	433	58
G-1/2	51			
G-2/3/4	68			
G-3/4	48			
G-2/4	44			



第 6 図 バルチョバ (Balcova) の DHE の設置状況 (Simsek, 1988)

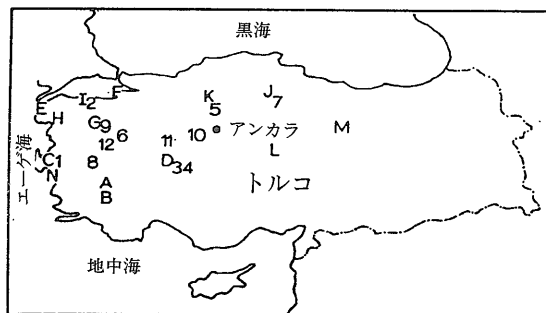
井内熱交換システム (Down-hole Heat Exchanger System; 以下 DHE と略記) の導入 (第 6 図), スケール防止剤 (Inhibitor) の注入および HCl 薬注によりほぼ解決することができた。そのため現在では, 直接利用は大幅に拡大している。室内暖房に利用されている地熱エネルギーは 23.9 Kcal/h で, 4,000 人分に相当している。そして, 1991 年にシマブーキュタヒア (Simav-Kutahya) のプロジェクトが完成すれば, それは倍増するはずである。一方, 温室暖房は約 100,000 m³ に達している。室内と温室暖房の両方を合計すると, 45 MWt の熱エネルギーとなり, 石油換算で年間 15,300 ton/year に相当するエネルギー量である。ただし, この量はトルコ全体のポテンシャルからすると僅かなもので, 今後一層の開発・利用が期待されている。

直接利用が行なわれている具体的な地点とその規模は第 7 図に示す通りである。主な地域での利用状況について, 地域暖房と農業利用に分けて以下に記述する。

4.1 地域暖房

4.1.1 バルチョバ (Balcova-Izmir) 地区

1982 年に MTA によってはじめて DHE が設置されて以来, 本格的な熱水利用がスタートした。現在では DHE を使った 11 本の坑井から, 5 × 10⁶ Kcal/h 相当の熱水が生産され, 旅行用ホテル, モーター, 温泉施設, 温泉療養所, 温泉プール, Eylul 大学などに利用されている。これは 900 人の居住者の消費熱量に相当するものである。



トルコ国内の地熱地域位置図

室内暖房		10 ⁶ kcal/h	温度 (°C)
1	バルチョバ (Izmir)	5	93-126
2	ギョネン (Balikesir)	14	82
3	エメル (Afyon)	2	98
4	ガズル (Gyoluer-Afyon)	0.5	67
5	クズル (Jahamam-Ancara)	0.9	75-81
6	ゲデズ (Kutahya)	0.5	76
7	ハウザー (Samson)	0.3	50
8	サリ (Ramanisa)	0.3	90
9	ヒサル (Koyun-Balikesir)	0.2	56-98
10	ハイマ (Ankara)	0.1	50
11	エスキ (Seyir)	0.1	45
12	シマブ (Kutahya) (予備調査)		96
合計:		23.9	(~28 MWt)
温室		面積 (ha)	温度 (°C)
A	クズル (Devediz)	0.5	171
B	テッケ (Hamam)	0.3	100
C	バルチョバ (Izmir)	5.5	63
D	エメル (Afyon)	0.35	98
E	ケスタン (Bor-Çaynakkale)	0.1	73
F	ヤロ (Istanbul)	0.04	66
G	スンドウ (Ulu-Balikesir)	0.2	98
H	ハウラン (Balikesir)	0.8	42
I	ギョネン (Balikesir)	0.2	82
J	ハウザー (Samson)	0.05	55
K	クズル (Jahamam-Ancara)	0.14	75
L	コザク (Neshehir)	0.05	90
M	スジャク (Çelmeçkesen-Sivas)	0.03	47
N	セフェリ (Hisar-Izmir)	0.1	174
合計:		8.36	(~17 MWt)

第 7 図 トルコ国内で地熱熱水の直接利用がなされている地域 (Tamanyu, 1992; Akkus, 1990 を一部修正)

4.1.2 ギョネン (Gonen-Balikesir) 地区

1987 年に地熱利用システムが作られて以来, 本格的な熱水利用がスタートした。この地熱集合システムは 1,600 人の居住者への地域暖房, 650 人収容のホテル, 64 の皮革作業所への熱水供給, 2,000 m² の温室などの施設から構成されている。

現在このシステムへは, 深度 308-504 m の 2 本の坑井から 82°C の熱水が 80 l/s 供給されている。システムの設備容量は 14 × 10⁶ Kcal/h で, 石油換算

で2,000 l/h, 消費熱量で2,600人に相当する。100 m²の家の暖房および熱水の利用代金は13ドル/月で、作業場への熱水の利用代金は0.44ドル/月である。このシステムが現在うまく機能しており、かつ住民の要望も強いことから、設備容量を倍増する計画が進んでいる。

4.1.3 アフィオン(Afyon)地区

本地域もバルチョバと同様、1982年にDHEが設置されてから本格的な熱水利用が可能となった地区である。現在、深度120-210 mの坑井9本により93-106°Cの熱水が生産されていて、熱量換算で2×10⁶ Kcal/hに相当している。これらの熱水はモーター、浴場、温水プールなどに利用されている。

4.2 農業利用

現在、地熱エネルギーを利用した温室の面積は全土で8.36 haに達する。しかしながら、トルコにおける地熱資源は、特に低-中エンタルピー資源は極めて豊富であることを考えると、利用率は極めて低い状態である。最初に地熱エネルギーが温室用に利用されたのはクズルデレで、それが現在では0.5 haに広がっている。近い将来には、地熱発電所からの放出熱水を用いて、100 ha以上に拡げることが可能である。現時点ではクズルデレ地区のほか、第7図に示すような地区で農業利用が行なわれている。セフェリヒサル地区は現在のところ僅かしか利用されていないが、DHEシステムを適用すれば資源的には8.1×10⁶ Kcal/h (9.4 MWt)の熱量が採取可能であると推定されている。

5. トルコとの更なる研究協力を目指して

われわれのカウンターパートとなっているMTAとは、GSJは30年来の付き合いをしてきている。その間、GSJの関係者がJICAの長期専門家として、代わる代わるMTAに駐在してきている。このような長期専門家が継続しているおかげで、また長年のMTA-GSJ協力に基づいて培われた信頼関係のおかげで、われわれ短期専門家が効率的に共同研究を行なうことができる。最近ではGSJにおいてもいろいろな諸国との技術協力が盛んに行なわれているものの、これだけ長年にわたって継続している国はトルコを除いて一つもない。これは先輩諸氏のたゆまぬ努力によって築きあげられた資産であ

る。今後更なる協力関係を発展させるためには、このような連綿として続いてきたJICA長期専門家を継続できるか否かに係っている。1993年度には念願の駐トルコJICA事務所が開設されるとのことであるので、このようなGSJの実績を十分評価して頂き、今まで以上にJICAの協力が頂けるようお願いする次第である。また、来年1994年9月にはIAVCEI主催の国際火山学会がアンカラで開催されるということなので、それを機会に多くの日本の火山・地熱研究者がトルコを訪れ、日本とトルコ間の研究交流が一層推進することを、心から念願したい。

謝辞：今回のトルコ派遣にあたってはJICAの派遣事業部第三課の田中 泉氏ならびにGSJの国際協力室の方々に手続き等においてお世話になった。また、トルコにおいてはMTAのGuner Unalan 副総裁、エネルギー部 Nizamettin Senturk 部長、Zeynel Demirel 副部長、Ali Kocak 地熱課長、Ibrahim Akkus 副地熱課長らに協力を頂いた。特にAli Kocak氏には筆者のカウンターパートとして、大変お世話になった。現地調査においては、Ali Kocak氏をはじめ、Erdogan Olmez氏やイズミール支所のTuncer Esder氏らにお世話になった。鉱物資源部 Yasin Akdag氏にはコンピュータ処理に関して協力して頂いた。現在、JICA長期派遣専門家としてMTAに滞在している藤井紀之博士ならびに奥様には、公私に亘って大変お世話になった。駐トルコ日本大使館の山口洋一大使、坂元 信二等書記官はじめ大使館の方々にも機材供与手続き等でお世話になった。Hacettepe大学のSakir Simsek 助教授には貴重な文献を提供して頂いた。地質調査所地殻熱部長谷紘和部長(現、国際協力室長)、川村政和課長(現、地殻熱部長)、茂野 博氏、阪口圭一氏、菊地恒夫氏、西 祐司氏、西沢 修氏、燃料資源部渡部芳夫氏、地殻物理部村上 裕課長、北海道支所岡部賢二所長には今回の派遣に関わる計画・立案において種々相談にのって頂いた。以上の方々には心から感謝の意を表す。最後に、筆者のトルコ出張中に亡くなられた、元所員で地熱研究に多大な貢献をされた高木慎一郎氏に心から哀悼の意を表す。

文 献

- (トルコ全般に係わる文献)
- 地球の歩き方編集室(1989):地球の歩き方. 21, トルコ, '89年度版, 276P, ダイアモンド社.
- 地球の歩き方編集室(1992):地球の歩き方. 21, イスタンブールとトルコの大地, '89年度版, 309P, ダイアモンド社.
- 平岩弓枝(1985):青の回帰(上・下). 講談社文庫, 250P(上), 272P(下).
- 内藤正典(1993):メルハバ テュルキエ! ⑦. トルコ人はなぜ日本人が好きか. 地理, 38, 4, 118-125
- 岡部清子(1985):トルコ, 遙かな国. 旺文社文庫, 255P. 旺文社.
- (地熱関連の文献)
- Akkus, M. F. (1990): New developments of geothermal energy uses on house and greenhouse heating in Turkey. FAO/CNRE Second Joint Workshop on the Use of Thermal Effluents in Agriculture and Aquaculture, Como (Italy), 12-14 March 1990, 1-9.
- 地質調査所編(1992):地熱資源を探る(日本語版, 英語版25分ビデオテープ). 日本シネセル(株).
- Esder, T. (1992): The geology and petrology on the Neogene aged volcanic rocks of Aliaga (Izmir) area. 1st International Symposium on Eastern Mediterranean Geology. 13-16 October 1992, Adana, Turkey, Proceedings and Abstracts, 201-217.
- Kocak, A. (1990): An approach to occurrence of the geothermal systems in Western Anatolia. Proceedings of International Earth Sciences Congress on Aegean Regions, 1-6 October 1990, Izmir Turkey, vol. 1, 148-159.
- 国際協力事業団(1987):トルコ共和国ディキリ・ベルガマ地熱開発計画調査最終報告書, 210P.
- Ministry of Energy and Natural Resources Turkey (1989): Germencik geothermal field feasibility report(part one) Geothermal Model. Consulting report by Mitsubishi and Compagnie Francaise De Geothermie.
- Ministry of Energy and Natural Resources Turkey (1990): Germencik geothermal field feasibility report (part two) Reservoir and well test analysis. Consulting report by Mitsubishi and Compagnie Francaise De Geothermie, 80P.
- 日本地熱調査会(1992):わが国の地熱発電の動向(1992年版). 80P.
- Olmez, E., Akbasli, A., Gevrek, A. I., Aydin, S. N., Ercan, T. and Yildirim, N. (in preparation): Geothermal energy possibilities of the Acigol area.
- 阪口圭一・菊地恒夫(1992):トルコ共和国アフィオン地熱地帯の熱水系. 地質ニュース, 456, 44-56.
- Sarifakioglu, E., Yilmazer, S. and Gevrek, A. I. (1992): Petrographic and geochemical investigations of volcanic rocks from the By Kaynarca-1 well (Dikili-Kaynarca-Izmir). 1st International Symposium on Eastern Mediterranean Geology. 13-16 October 1992, Adana, Turkey, Proceedings and Abstracts, 29-38.
- 茂野 博(1991):トルコ中央部の地熱系とその概念モデル. 地熱エネルギー, 16, 347-381.
- Simsek, S. (1988): Technical problems and their solution alternatives on geothermal energy in Turkey. Third joint workshop of the CNRE (European cooperative network on rural energy), Adana (Turkey), April 11-14.
- Simsek, S. and Demir, A. (1991): Reservoir and cap rock characteristics of some geothermal fields in Turkey and encountered problems based on lithology. Jour. Geotherm. Res. Soc. Japan, 13, 191-204.
- Simsek, S. and Okandan, E. (1990): Geothermal energy development in Turkey. Geothermal Resources Council Transactions, 14 (1), 257-266.
- 玉生志郎(1990a):トルコにおける最近の地熱開発状況. 地熱, 27, 111-136.
- Tamanyu, S. (1990b): Geothermal models for the Hohi, the Sengan and Kurikoma areas in Japan. Proceedings of the 12th New Zealand Geothermal Workshop, 193-196.
- Tamanyu, S. (1991): Alternative geothermal heat sources besides the youngest volcanism related magma chamber-Examples in the Hohi and the Sengan geothermal areas in Japan-. Geothermal Resources Council Transactions, 15, 47-51.
- Tamanyu, S. (1992a): Geometrical relationship between hydrothermal convection systems and their heat source: examples from the Hohi and Sengan geothermal areas in Japan. Rept. Geol. Surv. Japan, 279, 179-182.
- Tamanyu, S. (1992b): Turkey; Use of geothermal energy for house and greenhouse heating. IGA News (Newsletter of the International Geothermal Association), 11, 8-9.
- Tamanyu, S., Shigeno, H., Suto, S., Sakaguchi, K., Kikuchi, T., Kocak, A., Ünalán, G., Demirel, Z., Senturk, N., Yuksel, V., Yildirim, T., Olmez, E., Gevrek, A. I., Saroglu, F., Demir-Bulbul, A., Ersen, B. and Simsek, S. (in preparation): Summary of the GSJ-MTA cooperative project on the geothermal system in Turkey; examples at Hasandagi-Ziga and Sivrihisar-Acigol areas in central Anatolia and Afyon area in western Anatolia.
- 山口 靖・金原啓司・玉生志郎・角 清愛・田中啓策(1992):日本地熱資源図. 日本地質アトラス(第2版) Sheet 11, 朝倉書店.
- Yilmazer, S., Gevrek, A. I. and Aydin, N. (1990): Surface and subsurface hydrothermal alteration studies of volcanic rocks in Dikiri-Bergama (Izmir) areas. Proceedings of International Earth Sciences Congress on Aegean Regions, 1-6 October 1990, Izmir, Turkey, 2, 474-484.

TAMANYU Shiro (1993): A steady strategy for geothermal exploration in Turkey—low risk, broad application is better than high risk, high technology—

〈受付: 1993年4月21日〉