

アイスランド・イタリアにおける地熱エネルギー その開発と利用状況

松野久也*・平林健夫**・松尾圭二***

行なわれ またその拡大がはかられつつある。

はじめに

通商産業省工業技術院サンシャイン計画推進本部では1974年春のアメリカ合衆国に続いて 11月10日から同27日までにかけて ヨーロッパ各国(西ドイツ イギリス フランス アイスランド オランダ ベルギー=EC スイス)に調査団を派遣し エネルギー政策および新エネルギー技術研究開発の状況について調査を行なった。筆者らは 調査団の地熱エネルギーグループとして 主としてアイスランドおよびイタリアについて調査を行なった。これらの結果については すでに1974年12月9日付で「サンシャイン計画 ヨーロッパ調査団報告(概要)」として中間報告(謄写刷)が出ている。さらにその本報告についても 12月半ばに原稿が完成し 直ちに出版される予定となっている。

ここでは 正式報告とは別の形で 調査旅行中の印象などを加えて 両国の地熱エネルギー開発とその利用状況について報告することにする。この企画についてはサンシャイン計画本部の武田審議官(調査団団長)からも 有益なことであるとの了解を得ている。また 本誌「地熱特集号」の内容の1つとして 本稿の掲載について時日が迫っていたため 編集担当者から種々の面で原稿の完成について格段の協力をいただいた。ここに厚く感謝の意を表する次第である。

概要

地熱エネルギー開発およびその利用について 今回主として訪問 調査したアイスランドおよびイタリアの2国間では 大きな開きあるいは相違がある。すなわち前者は 発電以外——地域暖房を主とした——への利用において 永い歴史と実績とをもち 発電への利用がこれから始められようとしている段階にある。これに対して 後者イタリアは発電への利用について世界の先進国であるが いろいろな点から発電以外への利用を考えなければならぬ段階に来ており 現実にその検討が具体的に進められつつある。

アイスランドにおいては 首都 Reykjavik 市の熱水による地域暖房は 近郊を含めて 2カ年以内に 100%が完成するという計画が進められている。このほかに温室 農業 水泳プール 工業用利用(プロセス ヒーティング)さらに熱塩水からの化学物質の抽出など 多目的利用が

以上の地熱エネルギーの開発は 低温活動地帯と呼ばれる 100℃内外の温泉地帯において行なわれて来たが 今後の開発対象地域は 高温活動地帯へと拡大しつつある。すなわち 北部の Krafla, Namafjall 南西部の Hengill, Reykjanes など高温活動地域において 200℃以上 300℃に近い過熱蒸気が確認されている。Namafjall では 1969年以来 3 MW の発電所が運転されている。これに近接する Krafla では 1本の試験井が完成しており 1975年には生産井が掘さくされる予定で 55 MW の発電計画が具体的に検討されつつある。Hengill 地区では 300℃に近い高温熱水と蒸気が確認され その熱水による Reykjavik 市および近郊の地域暖房の拡大計画と併せて 70 MW の発電所建設が考えられつつある。

このような地熱エネルギー開発に対する一般の受容れ(public acceptance)は 永い歴史とそれから得られてきた大きなメリットから ごく自然であり むしろ歓迎されているところである。さらに今後開発されようとしている高温活動地帯の大部分は 不毛の砂漠的環境であって 人間の生活から隔離されており 別に環境保護上今のところ問題はないものと判断されている。

アイスランドにおける地熱エネルギー開発とその利用について強く感じられることは 産業エネルギーとして地熱開発が行なわれてきたのではなく 一般民衆の生活に直結したところから始まっており またその拡大を目的として進められていることである。とはいうものの 現在 この地熱エネルギーの開発と利用とが 国の経済構造を変える産業エネルギーへの利用という方向が打出されつつある。

イタリアにおける地熱エネルギーの開発は Larderello における鉍業(硼酸およびボロンの採取)から始まったものであるが 現在では発電への利用だけである。この発電も 設備容量 発電量ともに1950年頃から頭打ち横ばいの状態(現在 405.6 MW)にあつて 今後大きな飛躍は期待できそうもないという判断である。1968年から 新しく全国 8カ所の地熱地域の組織的な調査開発が行なわれ 現在なお進行中であるが 1973年に Travale 2号井による発電所の運転(15 MW)が加わつ

ただである。この間に掘られた8地点の井戸では120~140℃の熱水が得られただけで発電には利用できない状態である。

一方環境問題はどうかというと古い歴史をもつ Larderello 地区は別として Monte Amiata では河川の汚染 農作物への影響 騒音問題などが現実の問題として起っておりその解決に努力がなされている。Travale にしても新しく運転を開始したばかりで現在問題はないかのようにであるが今後当然起ることが予想されそうである。ナポリ付近で試掘井が掘さく中であるが今後の開発は従来通りの考え方で進めることは不可能であろうという認識も一部にある。そこで ENEL (電力・エネルギー公社) とその中央研究所および国際地熱研究所では 蒸気生産 発電 付随する熱水の発電以外への利用 注入を含めた熱水処理 人工蒸気の生産を一貫したシステムとして取扱う方向で検討を進めつつある。強い意見としては 利用処理できる熱水の量から 発電設備容量あるいは発電量の上限を決めるべきであるとさえいわれている。わが国の地熱エネルギー開発に当っても 当然考えなければならぬ問題であろう。

以上 国土の自然条件 さらに社会経済条件などそれぞれ差があつて一概にはいえないが 地熱エネルギー開発について これら両国が経て来た経緯 そこから得られた経験について わが国として大いに学ぶ必要がある。今後 急速に進むことであろうが わが国の地熱エネルギー開発の進展と平行して 今回のような包括的なものではなく 個々の具体的な問題について 両国との情報交換 人材交流を密にして行く必要があるのではなからうか？

調査団の編成

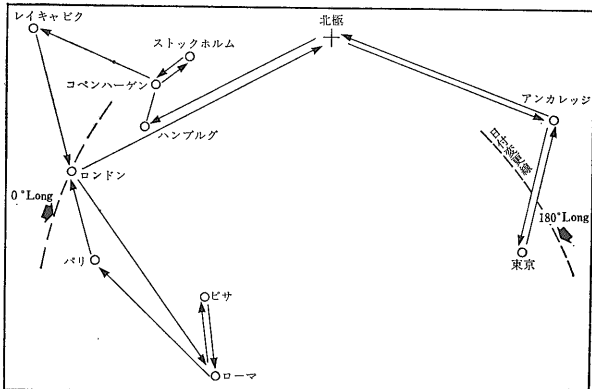
今回のヨーロッパ調査団の編成は 武田康審議官を団長として17名 団長班 太陽班 地熱班 石炭班および水素班からなる。各班の構成は次の通りである。

団長班

- 団長 武田 康 (工業技術院 技術審議官)
- 宮副 信隆 (" サンシャイン本部)
- 松井 正臣 (産業技術審議会 エネルギー特別部会政策分科会委員代理 電源開発エネルギー調査室 室長補佐)

太陽班

- 関根 泰次 (東京大学電気工学科教授)
- 市川 庄司 (石川島播磨重工業 原動機事業部部長補佐)
- 福田 和正 (三菱重工 機械事業部機械開発部主任)



第1図 地熱班旅行経路

- 地熱班 松野 久也 (地質調査所 応用地質部長)
- 平林 健夫 (東芝 タービン工場 開発部長)
- 松尾 圭二 (帝国石油 理事)
- 石炭班 辻 武之 (資源エネルギー庁 石炭部炭業課 課長補佐)
- 真田 雄三 (公害資源研究所 資源第一部 第二課長)
- 山村礼二郎 (財)石炭技術研究所 理事)
- 久保 幸彦 (日立製作所 化学プラント技術部主任技師)
- 高砂 智之 (東京ガス 工務部長期計画グループ)
- 石田弥重郎 (大阪ガス 総合研究所 副主任研究員)
- 水素班 小寺 嘉秀 (東京工業試験場 第六部長)
- 小野 正男 (三菱重工 広島研究所 資源研究室長)
- 丹野 和夫 (日立製作所 日立研究所第七部 主管研究員)

経過

調査団は揃って1974年11月10日東京を立ち 同11月27日17時帰国したが 地熱班は途中ハンブルグから別行動をとり 23日パリにおいて本団に合流した。この間の経路は第1図の通りである。日程は 各国についての記述の通りである。フランスにおいては Electricite de France でパリ盆地の温水の利用が検討されているということで その研究所を訪れる予定であったが 諸般の事情で目的を遂げることができなかった。

全日程18日 空路全行程——国際線のみ——およそ 33,000 km これに国内線を加え アイスランドにおける1日のジープ旅行 イタリアにおける3日間 750km の自動車旅行を加えるとおよそ35,000km 全行程地球を

ほぼ1周するに近い距離になる。この間に訪問通過した国6カ国 訪問した機関 試験地などおもものだけで12 面接した人約25人にのぼった。原則として土日曜日は移動に当てたのであるが ヨーロッパ内の移動は日本の国内線のようなもので ローマ・パリ間が3時間15分 ロンドン・レイキャビク間が3時間30分といった短い時間距離である。したがって 週末の2日がよい休養・見物の時間となった反面 残りの5日間で予定をこなさなければならぬという苦しい面があった。例えば17日(日)ロンドン発ローマ着 翌18日(月)朝9時に ENEL の研究局を訪問10時30分に辞去し 12時45分ローマ発(空路)ピサへ ホテルにチェックイン後 16時に国際地熱研究所訪問 翌19日朝8時に Larderello に向って出発という具合である。これに伴った国家間の移動が加わると 通関とお金の交換があつて なお大へんである。しかしながら今回の調査旅行のスケジュールは網渡りに近く 何処かでちょっとしたくいちがいでもあったと全体がメチャメチャになるところであつたが 大使館をはじめ在外機関 現地の商社の方々のご援助によって ほぼ完全に近いスケジュールどおりの経過であつた。

アイスランド

11月11日 スtockホルム

日本大使館 伊勢茂書記官

アイスランドにおける関係機関訪問約束取付状況確認

詳細は 現地名誉総領事と打合わせることにし 現地へ到着日時について打電。

アイスランドの一般状勢について情報入手

人口約200,000人 内約90,000人が首都 Reykjavik 市に居住 おもな産業は漁業であり経済的に苦しい状態に

ある。社会主義的色彩が強い。石油は USSR から輸入している。低電力価格によって Swiss Aluminium Co. が進出している。物価高(物価水準 年4回改訂 1月後に賃金水準改訂が行なわれる)など。

11月12日 スtockホルム—空路—Reykjavik.

B. EINARSSON 名誉総領事(元外務大臣)

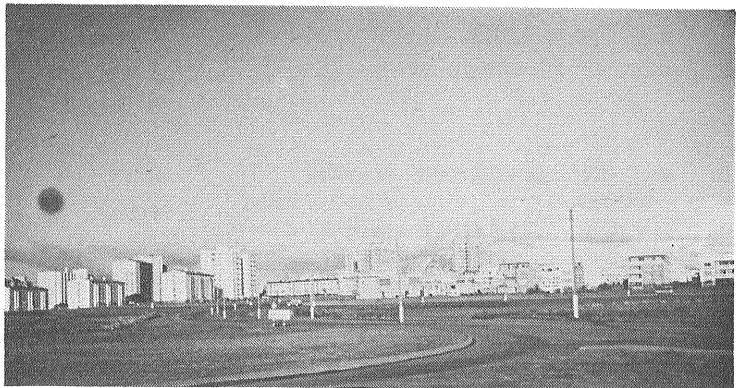
空港において各機関訪問時間確認 滞在中の日程について打合せ 空港からホテルまでの車中の談によれば 産業の90%が漁業 人口の大半が南西部に居住 北部の都市 Akureyri はアイスランド第2の都市 人口11,000 メキシコ湾流の影響で 年間気温差は少い(11°~11°~12°C)。NATO の基地がある。アイスランド自体軍備はもっていない。それらしいものといえば漁業監視を目的とした沿岸警備隊4人だけの由。

コペンハーゲンからの FI 20便 B-727 の半分は荷物室である。冬期間唯一の交通機関となるのであろう。国民の生命線ともいえる感じである。午後4時アイスランドの上空 機上ではまだ明るいが地上では既に暮れかけている。大西洋海嶺上 地球の割れ目のうえに位置するところ 機上から見たところでは 黒々とした陸地 これを覆う氷河 無気味な感じである。

空港の路面は凍っている。やはり北極圏の入口の国に来たことが感じられる。車で Reykjavik 市内へ途中 樹木は1本もない。黒々とした熔岩の岩塊 僅かな草だけである。遠くの山の平らの稜線 玄武岩台地である。未だ午後5時だというのに すでに日はとっぷりと暮れて街の灯と星の輝きが実に綺麗である。熱水暖房によってスモッグが解消したといわれているが 全く



写真① スtockホルムの市街地 教会が多い いたるところ街並から教会がみえる。



写真② Reykjavik 市の住宅 絶縁された暖房効果のよい家屋を市が建設して分譲しているという話である。

その通りである。

11月13日 Reykjavik 市 National Energy Authority
J. BJORNSSON (局長) G. PALMASON (地熱部長) K.
SOEMUNDSSON (地質学者) K. RAGNARS (電気技師)

エネルギー行政機構 NEA の業務・活動状況

NEA は工業省所属の機関であって エネルギー需給
についての統計調査 国産エネルギーの開発 これに伴
う調査研究を実施している。 電力部と地熱部 (Dept.
of Natural Heat) からなる。 電力部は水力・火力を取
扱う。 地熱部は地熱エネルギーを所管し 20人のスタ
フからなる。 地熱発電は現在 3MW だけで 利用は低
温地熱地帯の熱水の地域暖房 温室農業その他が主であ
る。 高温地熱地帯の開発は現在進行中である。

Reykjavik Municipal District Heating Service
J. ZOEGA (所長) J. TOMASSON (地球化学者 NEA)

Reykjavik 市の地域暖房と現状と将来計画

地域暖房は Reykjavik 市 (人口90,000人) について
99.5%完了。 近郊地域を含めて2年以内に 100%完了
となる予定である。 次の計画として Hengill 地区の高
温活動地帯の開発(蒸気発電と熱水供給の拡大を兼ねる)
がある。 発電設備容量 70 MW を考えている。

環境保全上の問題点

環境保全上の問題はない。 熱水暖房による経済的効
果が大きく 大気汚染が解消した点は環境保全上プラス
である。

熱水供給施設・コントロールシステム 修理工場
近郊開発地点視察

Distribution station, diaerator, monitoring station,
workshop などを見学。 さらに近郊新開発地域 Reykir,
Reykjablid における試錐作業 pumping station を視
察。 試錐作業は NEA と RMDHS の共同所有する
State Drilling Contract によって行なわれている。

11月14日 Reykjavik 市

Hengill 地区 (高温活動地帯)

K. SOEMUNDSSON, K. RAGNARS 氏の案内

地質 開発状況 試験井 各種テスト状況視察

この地域は 新期火山帯の西縁に位置し 深度 1,830
m の試験井によって高温 (285°~290°C) の蒸気熱水 (50

kg/sec 蒸気20~25%) が確認されている。 800m深度
付近に フラッシングポイントがあり 熱水の地域暖房
への利用に併せて 70 MW の発電が計画されている。
この地域の熱水は SiO₂ の含有量が高く (500~550 ppm)
直接給水できないという難点がある。 したがって SiO₂
の除去 湖水 河川水の加熱給水を目的として種々の試
験が行なわれている。 この地域と Reykjavik 市との間
の距離は 直線にして 20 km である。

11月15日 Reykjavik 市
National Energy Authority

NEA の 研究 活動 K. SOEMUNDSSON, J. TOMASSON
アイスランドにおける 地球科学の研究は NEA の
Dept. of Natural Heat 研究活動に負うところが実に大
きい。 当 Dept. は20人のスタッフからなり 地質学者 6
地球物理学者 3 地球化学者 3 技術者 4 を含んでいる。
野外における試験 観測には20~30人の Reykjavik 大学
の学生が臨時に雇われている。

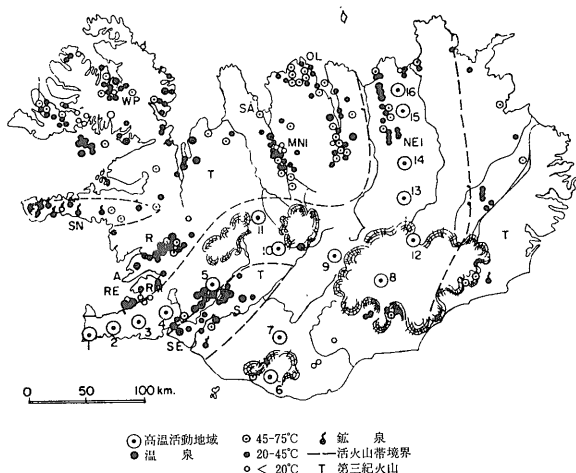
地熱エネルギー開発について基礎調査研究から開発ま
でを担当しており その課程において多くのアカデミック
な研究論文 地質図幅など業務報告以外の業績が次々
と生まれている。

アイスランドには 地質調査所がなく National Mu-
seum of Natural History が 形式的には地質調査所を
代行し国際的な窓口となっている。 地質図幅の公刊は
この Museum が実施しているが 実質的には NEA の
業務とあってよい。

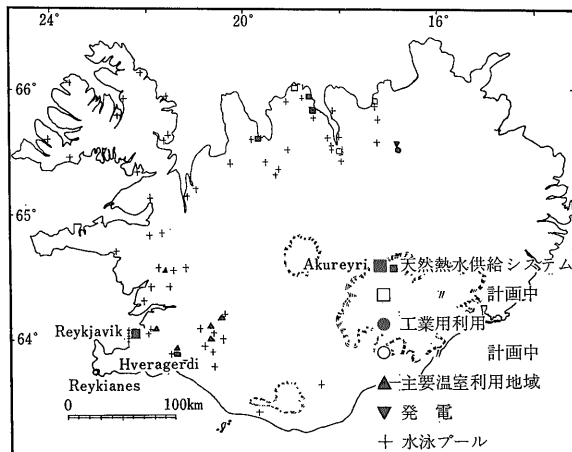
国際学会で活躍している学者も多い。



写真③ Pingvallvatn 湖南西岸 割目噴出による玄武岩(18,000年前の噴出)



第2図 アイスランドの温泉および鉱泉分布



第3図 アイスランドにおける地熱利用状況 (1969) Palmason & Zoega (1970)

試錐・掘さく作業 J. TOMASSON

アイスランドでは すべての試錐作業が State Drilling Contract によって実施されている。 所有試錐機として 2,000 m級大型リグ1台のほか数台の小口径試錐機がある。 生産井の掘さくについては NEA の40%を限度とした補助があり 成功払いとなっている。

地熱開発において hydro-fracturing が実施されたのは アイスランドが最初であって 現在では生産井仕上げに基本的に実施されている。

Namafjäll-Krafla 発電計画 K. RAGNARS J. ZOEGA, H. SIGARDSSON (工業省理事), E.J. SOLENS (土木技師 Krafla Building Com.).

Namafjäll では 3 MW の試験発電所が1969年から運転されている。 これに隣接する Krafla では試験井が1本掘られ高温蒸気が確認され 1975年には生産井が掘ら

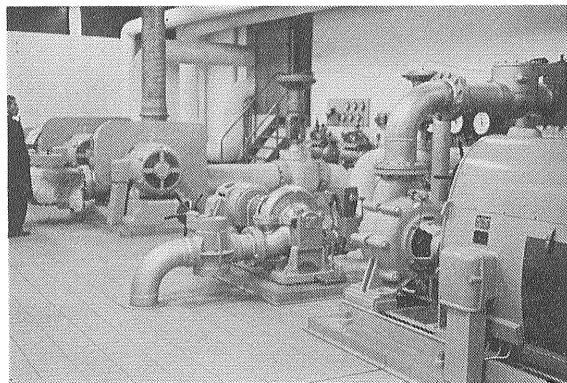
れる予定である。 この地域の地熱発電に関して 容量約 55 MW 単機 20~30 MW (2~3 台)として 地熱タービンの検討を行なった。

National Museum of Natural History. Department of Geology S. JAKOBSON (地質部長) 他1.

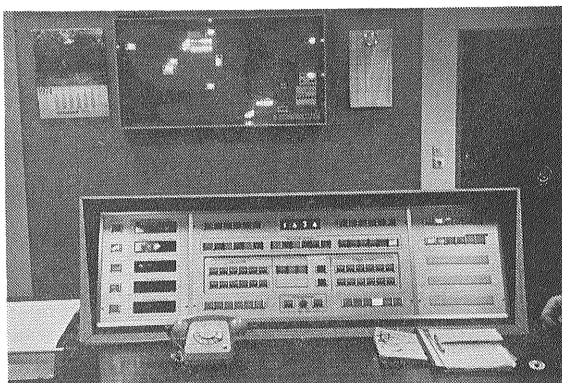
地質調査活動と地熱エネルギー開発との関連

当 Museum は 地質・地理学部 植物学部および動物学部の3部からなり それぞれ2名の専門家が研究活動と博物館活動を平行して実施している。 通常各国の地質調査所の実施している国土の統一的地質図幅類の出版と内外への配布は ここで行なわれている。

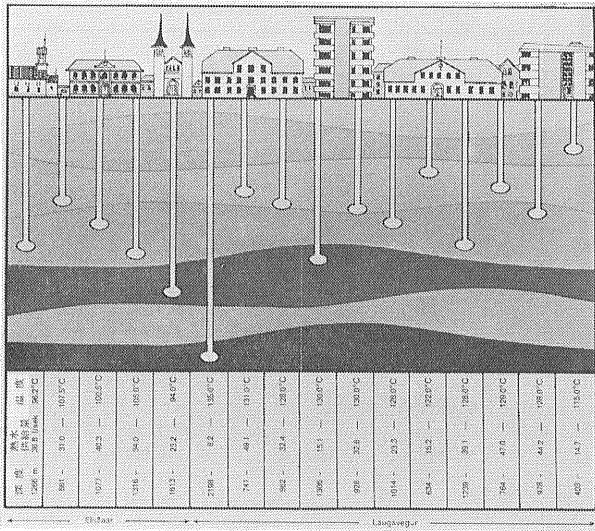
しかし 実際の調査研究活動は NEA 活動に負うところが大きく 出版と配布のみが行なわれ 形式的に国際的に地質調査所の立場を代行しているにすぎない。 今後 地熱エネルギー開発に関する地球科学情報について



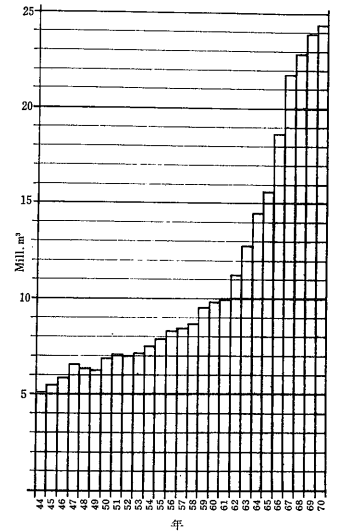
写真④ Reykjavik 市内にあるポンプ場の一つ。 この地区の熱水は温度が高く 深井戸ポンプを使用してフラッシングを防ぎ さらにデアエレーターによってガスを除去して供給している。



写真⑤ Reykjavik Municipal District Heating Service の供給センターの集中制御室。 ここでは湯 給水温度コントロールを集中的に行なっている。



第4図 Reykjavik 市地下の熱エネルギー Laugavegur の11本の井戸から128℃の熱水が300 l/sec, Ellidaar の6本の井戸から103℃の熱水が180 l/secの割合で供給されている。これは市に供給されている全熱水量の約 3/4 にあたっている。



第5図 Reykjavik市の熱水生産量の推移 (1944-1970)

との交流は 直接 NEA との間で実施される必要がある。

地熱エネルギー開発計画

アイスランドにおける地熱エネルギー開発は イタリアにおけるそれと利用形態の差こそあれすでに採算ベースに乗っており 将来のエネルギーとしての開発という形では進められていない。すなわち 従来の実績を足場にして 社会・経済状況に応じたその拡大であるといえることができる。

従来の経過

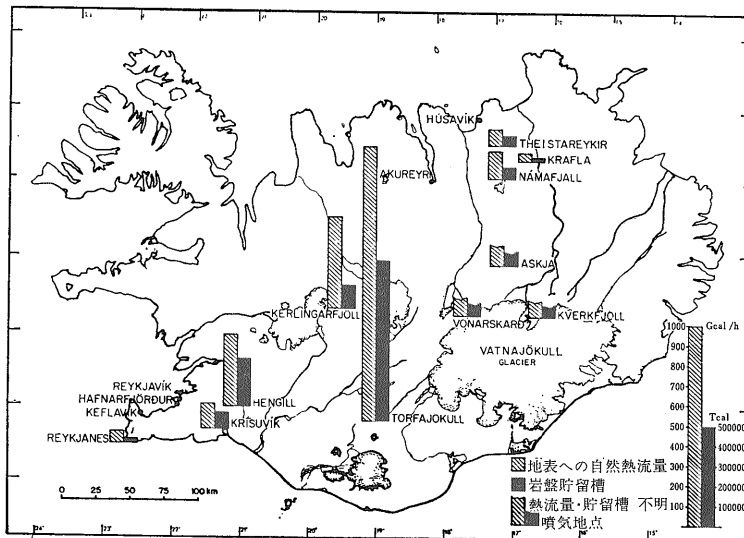
アイスランドにおける近代的地熱エネルギーの開発

とその利用は 1925年に始まった。すなわち 首都 Reykjavik 市近傍のいくつかのビルと温室の暖房に利用されたのが その始まりである。その後 その開発と利用は比較的順調に進み 1960年には約45,000人の人口が天然熱水によって暖房された家に住み 約95,000 m²の温室 さらに約80の水泳プールへの利用がなされるようになった。熱水開発のための試錐は 1928年から始められ 1960年において その掘さく総延長は70,000m 最大深度は 2,200 mに達した。

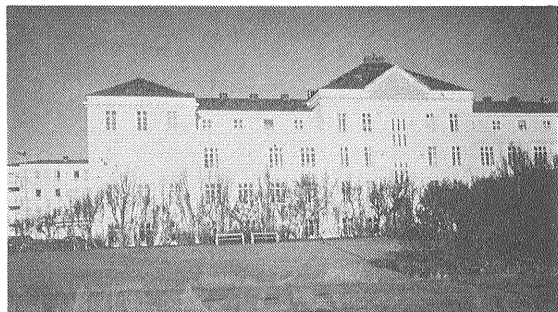
その後10年間に Reykjavik 市の地域暖房の拡大を目的として Ellidaar 地域が開発され10本 総延長13,000 mの生産井が掘さくされると同時に 北部の Akureyri 市 (人口11,000人) Husavik (同2,000人) Reykjavik

市北方の Akranes (同4,000人) その他の地域暖房のための熱水開発が進められて来た。1969年におけるアイスランドの天然熱水の利用状況は第3図の通りである。また Reykjavik 市地下からの熱水供給状況と同市における熱水生産の推移を図示すると第4・5図の通りである。

熱水利用の大部分は 首都 Reykjavik 市におけるものであり 現在市の99.5%地域暖房が完成し 2年以内には近郊を含めて 100%に達しようとしている。一方 高温蒸気の開発も北部アイスランドの Namafjall, Krafla, Reykjavik 市の南西部 Reykjanes および同市東方の Hengill



第6図 アイスランドの主要高温地熱地域における自然放熱量と貯溜熱量の推定 (Bjornsson 1970)



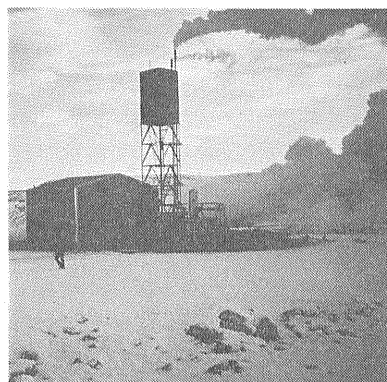
写真⑥ アイスランドの中央政府の建物。アイスランド中樹木はこのように植栽されたものしかない。

地区で行なわれている。Namafjall では1969年から3 MWの発電と珪藻土の乾燥への利用が行なわれている。Reykjanes 地区では熱塩水からの化学物質の採取の可能性の検討が実施され Hengill 地区では高温熱水の地域暖房への利用と平行して 70 MW の発電が検討されている。Krafla 地区では 55 MW の発電のため 1975年には生産井の掘さくが行なわれる予定である。

このようにして アイスランドにおける地熱エネルギーの生産量は 1960年の 600 t cal/年から 1969年の 1,400 t cal/年に拡大し 1975年には 2,880 t cal/年に達するものと予想されている。1969年における掘さく総延長は150kmに達したといわれ 同年におけるReykjavik市の暖房温水のコストは 3.80 \$/Gcal であって これを輸入石油でまかなうとすると 約 6.79 \$/Gcal になるであろうと試算された。

今後の開発計画

アイスランドにおける地熱エネルギー開発は 地域暖房 温室栽培 さらに水泳プールへの利用を主として Reykjavik 市およびその周辺に得られる低温活動地帯の開発が進められて来た。これがさいきん 高温地熱地帯の開発 すなわち高温蒸気による発電を考慮した開発



写真⑦ Hengill 地区 Nesjavellir の試験井 1,830 m で285°~290°の蒸気と熱水が確認されている。

第1表 アイスランドにおける発電設備容量および発電量

(1) 設備容量 MW						
歴 年	1963	1969	1970	1971	1972	1973
水 力	121.7	243.7	243.8	283.8	363.8	376.1
火力・地熱	24.9	89.4	90.3	90.5	90.4	92.6
計	146.6	333.1	334.1	374.3	454.2	468.6
年増加率%	14.1	94.9	0.3	12.0	2.3	

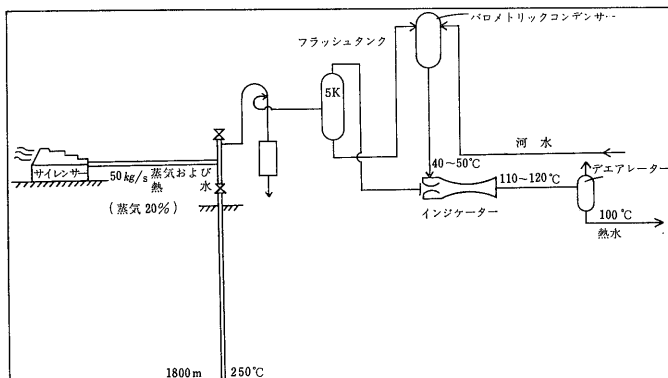
(2) 発 電 量 GWh						
歴 年	1963	1969	1970	1971	1972	1973
水 力	629.0	860.1	1,412.9	1,539.6	1,702.6	2,181.0
火力・地熱	11.6	43.2	47.5	52.3	65.2	104.4 (内地熱 24.2)
計	640.6	909.3	1,460.4	1,591.9	1,767.8	2,285.4
年増加率%	5.7	25.7	61.7	9.0	11.1	29.4

(3) 主要発電所の設備容量		総 容 量
水 力	Búrfell	240,000 kW
	Irafoss	47,800
	Steingrímsstod	26,400
	他に18発電所あり	
火力(蒸気) (ガス) (地熱) (ディーゼル)	Ellidaárstöd	19,000
	Straumsrik	35,000
	Namafjall	2,625
	Akureyri	7,500
	ディーゼルは他に38発電所あり。	

へと移行しつつある。

アイスランドの地熱地域は 低温活動地域と高温活動地域との2つに分けられる。アイスランドは 地質学的に Brito-Arctic Basalt Province に位置し 主として玄武岩からなる。そしてその噴出玄武岩は 全体として厚さ数 km に達するものと考えられている。また地震探査の結果から 大陸層あるいは花崗岩層という地殻構成層がないことも この地域の特徴の一つである。

島の中中部を南北から南西方向に縦断する第四紀火山活動帯 (Neo-Volcanic Zone) がある。これをとりかこむように 西部ないし北西部 および東部に第三紀玄武岩



第7図 Nesjavellir 試験井における河水水加熱テストループ概念図

台地が広がっている。地熱活動もこのような地質構成に対応して大きく2つに分けられる。すなわち低温活動 (low temperature activity) と高温活動 (high temperature activity) とである。前者は主として温泉の湧出 すなわち熱水によって代表され 後者は硫黄および噴気 さらに広い高温地熱異常地によって代表される。

高温活動地域として知られている個所は 16~17 であって 2,000m 深度以内で 250°~300°C の温度が得られ場所によって異なるが これらの個所においては 数100 t/hr から数 1,000 t/hr の蒸気が得られるものと推定され 1969年に National Energy Authority では そのうち11カ所についての探査計画を樹立し 調査を続けている。すなわち Reykjanes 半島における Reykjanes, Krisuvik および Hengill 南部における Trafajökull 中部の Geysir および Theistareykir の11である。これら11地域とその自然放熱量および貯溜熱量の推定値は第6図に示す通りである。なお現在の発電設備容量および発電量は 第1表のとおりである。

従来 高温地熱資源の大規模な利用については 豊かかつ安価な水力発電があることから 熱水からの化学物質の採取および加工工業 (プロセス ヒーティング) が主になるだろうと考えられていた。近年になって 豊富な電力と地熱資源について外国資本の注目が高まりつつある。そして 現実に Swiss Aluminium Co. が進出し Dow Chemicals の進出も予定されるなど これらによって国の経済構造が変えられるであろうという期待も高まりつつある。しかしながら 諸外国の安価な原子力発電の実現によって地熱発電が果して対抗できるかという懸念も一方にあることは 否定できない。

このような状況下にあつて Krafla/Namafjall における 55 MW の地熱発電計画が具体化しつつあるほか 基礎調査と平行して 高温熱水の工業用および家庭利用のため首都地域へのパイプ輸送の可能性 熱塩水からの化学物質の抽出の可能性の検討などが具体的な形で進められている。

(Hengill 地区 Nesjavellir 試験井)

この試験井は Reykjavik 市の東方 直線にして約20 km の地点にあり 深度1,830m で285°~295°C の熱水および蒸気 (50 kg/sec 蒸気20~25%) が確認されている (写真4)。将来 この地域の高温地熱を開発し Reykjavik 市への温水の供給を拡大すると同時に 70 MW の発電プラントを建設しようという計画のもとに種々の試験が行なわれている。

この試験井では 熱水中に SiO₂ の含有量 (約500~550 ppm) が多く そのままではパイプ輸送が不可能である。したがって 河川あるいは湖水の水 または浅層地下水を加熱して供給する必要がある。現地を視察した時には 熱水中の SiO₂ を減少させるため 第7図のようなテストループによって 河川水を加熱する実験が行なわれており 興味を惹くものがあった。

さらに この試験井の南方10数 km のHveragerdi 地区には自然井と掘さく井とがあり さいきんでは新に掘さくされた井戸からの蒸気・熱水混合流体を セパレーターで分離し 蒸気は空中に放出 熱水のみを河川および付近の扇状地下の浅層地下水と混合し 温室および家庭に供給している。

(Krafla Namafjall 発電計画)

この地域の Myvatn に蒸気プラントがあつて 6本の生産井が利用されている。Kisilidjan 珪藻土工場が 40 t/hr の蒸気を 10~11 kg/cm² で利用し 60 t/hr が 8~9 kg/cm² で 3 MW の発電に利用されている。4 5 および 9 号井が発電用であり 6 7 および 8 号井が珪藻土工場のものであるが 両方のパイプライン系統は連結されている。発電用に用いられているのは全蒸気量の約1/3である。随伴する熱水量は約 400 t/hr である。現在 この地域の発電計画が進められ すでに1本の試験井が完成している。計画設備容量は 55 MW であつて 1975年には生産井が掘さくされる予定である。

(Reykjanes 熱塩水からの化学物質生産)

Reykjanes 熱塩水地域は Reykjanes 半島の稜線に沿って分布し その熱流体の組成は 他の高温活動地帯のそれらとは異っている。貯溜層中の温度は250°~290°C の間にあつて 塩水はほぼ海水と同様な成分をもっている。しかしながら ある種のイオンについてみると 両者の間に差異があり これは貯溜層を構成する岩石と海水との相互作用によるものと説明されている。

Reykjanes 2号井 Njarvikurheidi 1号井および海水中の成分を示すと第2表の通りである。これらの熱塩水は その温度および化学組成からみて NaCl, KCl, CaCl₂, さらにその他の成分の経済的抽出が可能であろうという結果が 種々の調査研究から確められている。この開発については Dow Chemicals の進出が予定されていることについては すでに述べた通りである。

(ハイドロ・フラクチャリング)

Reykjavik 市南東方の Hildardalur 地熱井は 失敗した井戸に hydro-fracturing を施して成功したといわれ

第2表 Reykjanes 熱 塩 水 お よ び 海 水 の 組 成 (単 位 : ppm)

Locality	Depth of drill. hole	Temp. °C	pH/C	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Total carb as CO ₂	SO ₄ ⁻⁻	Cl
1. Reykjanes drillhole 2	300	190	7.2/23	374	1,380	1,607	1,915	8	754	60	21,610
2. Njardvikurheidi drillhole 1	500	30	—	54	8,900	294	2,140	442	—	2,280	19,800
Sea Water	—	—	—	3	10,520	416	386	1,282	—	2,640	13,800

This data are from Björnsson *et al.* (1970 and 1971).

る。そしてこれが地熱井で実行された最初のフラクチャリングであるといわれている。この方法は現在各地熱井を仕上げる度にほとんど基本的な作業として実施されており成績のよいときには蒸気生産が2~3倍になるといわれている。ここでいう“hydro-fracturing”とは生産ケーシングの下の裸孔部分にパッカー(たとえば Lynes packer)を効かせて圧力50~100 kg/cm² 圧入量 50~100 l/sec で3~4時間圧入を行なう方法である。注入物を通常温水(110°C)でありこれが得られない場合には冷水が用いられている。

これは深い深度の生産井においてその地層圧に對抗して広範囲に岩石を破壊するに充分な方法とは考えられない。しかしながら坑底温度の高い坑井において蒸気生産量を増加させる方法の1つとしてさらに検討の必要が認められる。

(アイスランド—ロンドン—ローマ)

11月16日 アイスランドの調査も終って次の調査地ローマに向う。澄んだ空気 清潔な街 Reykjavik に名残りを惜しみつつ朝8時15分の便に間に合うよう6時20分ホテル発タクシーで空港へ向う。清潔すぎて何の娛樂もないこの国の習慣か? 金曜日のホテルのパーは満員となり朝の2時頃まで飲んで踊って大へんな騒ぎである。第3金曜日にはさらに輪をかけたような状態になるそうである。星の綺麗な空を見ながら再び来るのは何時だろうか? などと感傷にひたりながら8時15分 未だ明けないうちに LL 702 便は出発する。

途中 グラスゴーに寄り 正午一寸前にロンドン着。土曜日 短い時間を惜んで三井物産ロンドン支店の車を拝借して市内見物 夜中の雨も上り 珍しい晴天の由。ロンドン塔 タワーブリッジ ハイド・パーク ウェストミンスター寺院など 観光客の誰でもが行く所を一まわりする。夜はそれぞれ旧知に会い またクリスマスの飾付けの始まったロンドンの夜を楽しむ。

シーズン オフとはいえ かなり観光客も多く 日本人の団体も多い。シーズン中は大へんなものであろう。

翌18日 イタリアにおけるハードスケジュールに備えて朝ゆっくりと休養 11時40分 AZ 281 便でローマに飛ぶ。テルミニのすぐ前のホテル コンチネンタルで石炭班と一緒にいる。大使館の飛永書記官に電話し ENEL との訪問約束(18日9時~10時)その他を確認 夜はナイトツアーで名所旧跡をさりと見物 ナイトクラブのふん囲気を味わう。ローマは遺跡の町 遺跡のそのものの中に人が生活しているという感じである。

イ タ リ ア

11月18日 ローマ

ENEL (Ente Nazionale per l'Energia Elettrica), Direzione Studi e Ricerche.

P. Di MARIO (局長).

地熱エネルギー開発および研究体制

イタリアにおける地熱エネルギー開発とそれに必要な研究は ENEL の中央地熱研究所 (Centro Ricerche Geothermiche) が中心となり その Larderello の現地研究施設 (Castelnuovo Lab.) および国際地熱研究所 (Istituto Internazionale Ricerche per le Geothermiche) との密接な関連のもとに行なわれている。またこれらはいろいろな面で ENEL の電力生産・配電事業単位の1つである Gruppo Larderello の支援を受けている。地熱エネルギーの探査 開発 およびその必要な研究のほとんど全部が 上述の機関によって実施されている。

探査および生産井の掘さくは ENEL の Firenze 支部がその所有する器材および人員で全面的に実施している。

地熱開発については 商工省が許可を与えているが 環境および文化財保護などについて 関係省庁と充分な協議が行なわれており 現在のところわが国におけるような問題はないようである。

わが国の地熱エネルギー開発は 今後の問題であるが イタリアでは発電設備容量 発電量ともに1950年頃から横ばい状態であって 飛躍的な増大は望めない。今後 3~5年間に 500 MW (現在 405.6 MW) 位に到達でき

る程度だろうと見られている。

1968年から開始された全国地熱地域の組織的調査の結果 現在までに運転開始されたのは Travale 2号井(15 MW) だけである。

11月18日 (ローマ——ピサ)

Istituto Internazionale Ricerche Geothermiche

T. TONGIORGI (所長), M. FANELLI

研究活動と将来の課題

この国際研究所は UNESCO と ENEL の協力のもとに維持され Consiglio Nazionale Ricerche の所管である。所在地はピサ市 ENEL の支部の建物内である。これは国際的な地熱開発の研修機関であるとともに ENEL の所属研究所との協力のもとに研究開発を行なっている。

最近 CNR と地方行政機関との間で土地利用計画の調査が行なわれているが この中に地熱エネルギー利用の項目が加えられ かつ ENEL との間の了解が成立し 発電以外への利用について ENEL も積極的に考えることになった。すなわち 熱水の農業 地域暖房 プロセス工業への利用→地中還元→フラクチャリング→人工蒸気の生産を含めたクローズドシステムでの発電の検討である。いかえれば 蒸気に伴って生ずる熱水の利用ないし処理できる範囲で発電量の上限を決めるという方向であって Larderello において実際の試験的研究が行なわれている。この研究は 公害防止という観点からも重要な研究課題であると同時に 将来の高温岩体の開発への第1歩であり 今後の発展が期待される。

熱水利用発電もその1つとして ミラノ大学と協力のもとに進められている。フレオンタービンの研究であ

って室内実験研究におけるシステムは 80℃の温水で容量 1,000 W である。

11月19日 (ピサ——自動車——Larderello) **Larderello 発電所 Museo di Larderello**

G. C. FERRARA (CRG. ENEL), P. D. BURGASSI (地質学者)。

発電所見学

Larderello 発電所の総発電設備容量は 189 MW である。1936年7月27日ブローアウトした井戸(370 m 180℃ 5 ata, 蒸気 10~15 t/h) が未だに利用されている。この井戸のケーシング 口元パイプ等は当時のままである。

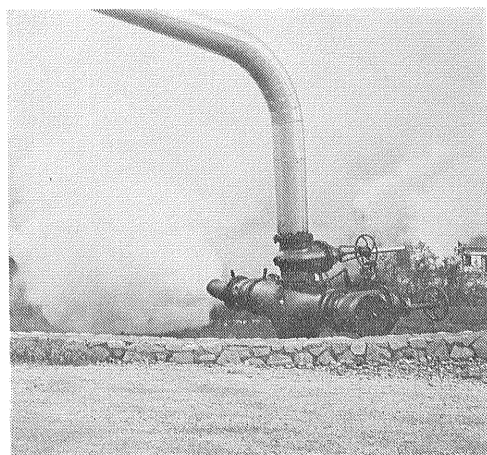
博物館の資料によって Larderello の概況について説明を受けた後 発電所および付属施設の視察を行なった。

Castelnuovo Lab. の活動

Castelnuovo Lab. は Larderello に近接する Castelnuovo にあって 地熱活動の観測と地球化学的調査とを行なっている。前者には 6人 後者には 2人の化学者と 10人の分析技術者が従事している。新地域開発のための地温勾配の測定 その熱流量の評価 ガス 水 噴気の地球化学的探査がその業務である。

試錐作業

Larderello 地区では 2台のリグが稼働している。その1台によって Castelnuovo で実施されている基盤岩中までの掘さくを目的とする試錐作業を視察した(予定深度 2,000 m)。



写真⑧ 1936年7月27日にブローアウトした井戸であるが現在なお使われている(深さ370m, 5 ata 180℃ 15~20 t/h)。バルブを取り替えただけで坑口パイプ類は当時のままである。



写真⑨ ENEL の地質学者 Burgassi 氏 イタリアではほとんど英語が通じない。平林(右) 三井物産の佐山氏(左)の通訳で話し合う。背景は Larderello 第2発電所

発電以外への地熱エネルギー利用

Larderello 地区では 現在全家屋が熱水暖房されている (対象人口 1,000 人)。

11月20日 Larderello——自動車——Travale—— 自動車——Monte Amiata Travale 発電所

発電所見学・開発の経緯

Travale 発電所は1973年7月から運転された新しい発電所である。ここには3本の井戸があり 2号井を利用している。蒸気量 200 t/h 口元温度214℃ 締切圧力 45 ata 水分 30~40 kg/h である。蒸気はセパレーターを通さず直接タービンに送気している。水は1号井に注入している。

3号井は 80 t/h の蒸気量で 現在密閉一部を放出している。密閉圧 60 ata である。本地域は 1968年から開始された全国調査によって新しく開発された地域である。

11月20日 Monte Amiata

Piancastagnaio 発電所

VITTORIO (所長)。

発電所見学・環境問題 など

Piancastagnaio 発電所は 1968年から運転開始 15 MW 5本の井戸 (550~600m深度) を使用している。ここではタービンの腐蝕 侵蝕の問題がある。5カ月に1回の割合でクリーニングのため運転を停止しており 1度ローターの羽根をとり替えたことがある。1968~1972年の間に経 470 mm の蒸気パイプがつまった例もある。これらの対策について事情聴取を行なった。

また 40~50℃の温排水 (80 m³/sec 夏期における河の流量に匹敵) によって公害問題を起したが 現在は注入処理によって解決している。その他 ガス 騒音対策が重要であり 地震による蒸気量の変動など多くの問題がある。この発電所には Bagnore No. 1, No. 2 の 2発電所 (各 3.5 MW 計 7 MW) が付属している。冬期巡回監視が困難でテレコマンドを行なっている。

現在の開発地域は 海拔250~550mの所であるが 海拔500~800mの地域が今後の開発対象となる。空中赤外線装置による地温分布探査と50m深度の坑井による地下温度調査が行なわれている。

この地域は 全体として農地内において土地問題がある。買上げ 借地によって解決されているが 農作物に対する若干の補償がなされている。

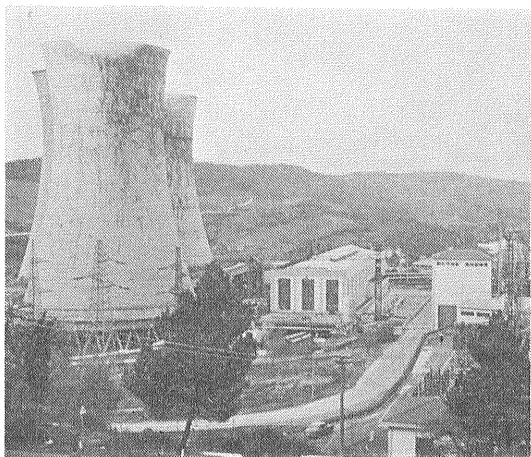
11月21日 (Monte Amiata—自動車——ピサ—空路 ——ローマ) ローマ

Ministero Ricerche Technologia

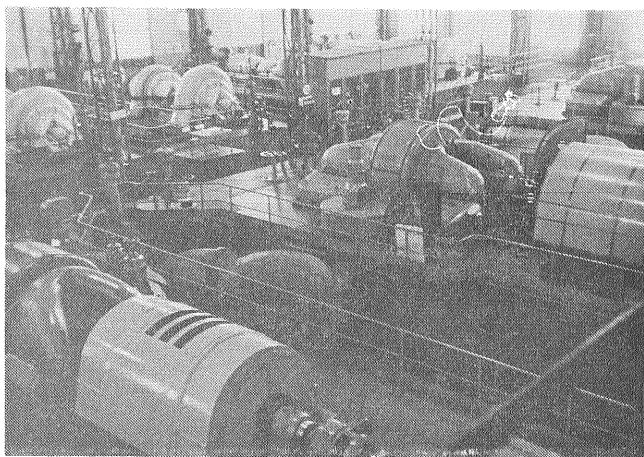
CORTELESSA (科学顧問) A. Rossi (同補)。

イタリアにおけるエネルギー研究開発

現在計画は予備的段階である。最初の結論は2カ月位先になる。エネルギー問題はイタリアだけの問題でなく EC さらに国際的な関係において考えられ 次の3点に焦点がおかれている。1) エネルギーの使用についての方向(省エネルギー) 2) 石油 天然ガス 鉱床の可能性があるが 原子力の増強が基本 3) 太陽・地熱エネルギーが原子力や石油エネルギーには置替わるとは考えていないが その開発は重要である。



写真① Larderello 第3発電所 この発電所は古いのが現在なおイタリア第一の設備容量を誇っている。



写真② Larderello 第3発電所の内部。発電設備容量120 MW (26MW×3 24MW×1 9MW×2)

11月22日 ローマ

Servizio Geologico d'Italia

A. JACOBECCI (所長) G. STAMPANOI (応用地質)

A. MAINO (地球物理) G. AMADEI (地球物理)

地熱エネルギー開発研究状況

イタリア地質調査所と一般に邦訳されているが 商工省 鉱山局の1部である。組織および専門技術者の内訳は次の通りである。

地球物理課 3 応用地質課 5 野外地質課 18 写真地質課(兼任2) 岩石・古生物研究室 3 地図課 10
このほかに図書室がある。

この調査所の任務は 国土の地質図および関連地図類の作成出版であって 地熱エネルギー開発のための研究は行っていない。応用地質課が 他省庁その他の委託調査を任務としているが 各機関が独自に実施する方向が強くなり この分野の業務はほとんどなくなっているということである。

地熱エネルギー開発計画

イタリアにおける地熱エネルギー利用は 現在発電への利用であるが 今後開発に伴って生産される熱水の有効利用と その処理が研究の課題となっている。この処理は 注入による人工蒸気の生産との関連において考えられている。さらにこれは高温岩体開発の第1段階として検討されている。

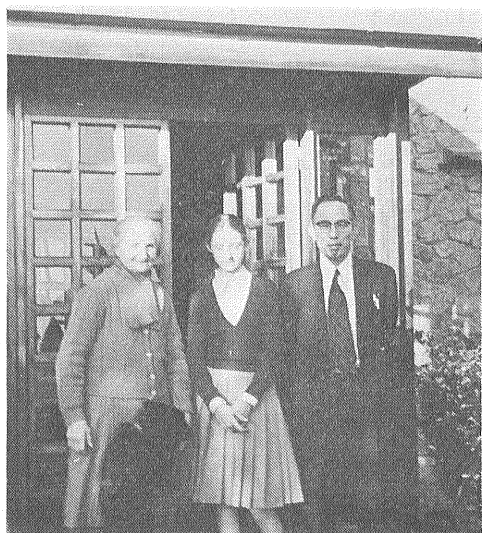
従来 の 経 過

イタリアにおいて最初に開発された Larderello 地区の地熱徴候の記載は 文献上 3世紀にさかのぼる。1777年に熱水溜り中に礫酸が発見されたのが 工業利用の始まりである。1810年になってその開発が試みられ 1818年に礫酸の抽出が F. LARDERELL によって行なわれ その最初の工場がここに建設され 1846年に Larderello という地名が その所在地に与えられた。1928年には熱水および蒸気中にボロンの存在が知られ ボロンの生産も行なわれるようになった。

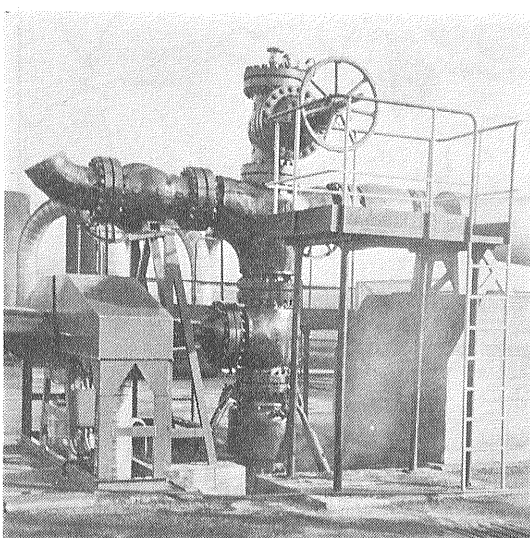
1927年以降においては 熱エネルギーとして従来の薪の代りに天然蒸気および熱水が用いられるようになり 礫酸およびボロンの生産量は非常に伸びをみるようになった。17世紀の終りから今世紀の始めにかけて 生産の増加に伴って 化学工場の容量も著しく増大し 種々のボロンおよびアンモニア合成品を生産し 世界的に有名な化学工業地へと発展した。

熱エネルギーとしての蒸気生産のため さく井が行なわれるようになり 需要の増大とともにさく井技術および装置も著しく進歩し 今日地熱発電への基礎が築かれることになった。地熱流体の発電への利用は 1904年に開始され 1913年に容量 0.25 MW の最初の地熱発電所が運転に入った。以後 引続く天然蒸気の開発によって 390.6 MW の発電容量レベル到達したのである。1959~1961年には Monte Amiata 地区の Piancastagnaio および Bagnore の地域が発電に入り 新たに 22 MW が加わった。

その後 1968年から全国にわたる地熱地域の系統的な調査開発が行なわれ 現在なお引続いているが これに



写真⑫ Larderello を見学のと Prategiano のホテルに泊る。左ホテルの女主人、われわれが来たので 14才の孫娘が手伝いに来た。田舎の宿で家族的。右は松野。



写真⑬ Travale 2号井。この井戸1本で 15 MW の発電所を運転している。(蒸気圧力 11 ata 温度 214℃ (井戸口元) 蒸気量 200 t/h)

よって 1973年7月4日から Travale 2号井 (15 MW) が加わり 現在総発電容量は 405.6 MW (全発電容量の 2%) になっている。

地熱発電については 従来の経緯および現在実施されている全国調査の状況からみて 天然蒸気による発電の飛躍的な増加は期待できないものと判断されている。過去に行なわれていた地熱流体からの硼素およびボロンの抽出は 現在経済的に成立たないことから 地熱資源の利用は 発電だけに止まっている。ただし Larderello では約 1,000 人の住民が 熱水暖房の恩恵を受けるまでになっており これから地域暖房 温室農業 加工工業などへの利用が考えられようとしている。

地熱発電については 今後数年間に 500 MW までに引上げる計画はあるが 日本が目指しているような大規模な拡大は考えられていない。1968年から現在(1974)までに 上述の地域以外の 8 地域で掘さくされた井戸では 大部分が熱水 (120°~140°C) であって 発電には利用できない。

以上のような点から 地熱エネルギーの大規模な利用は 今後 (15年位先の) 高温岩体の開発にかかっており 現段階では一般的なエネルギー源とは考えられていない。

今後の開発計画

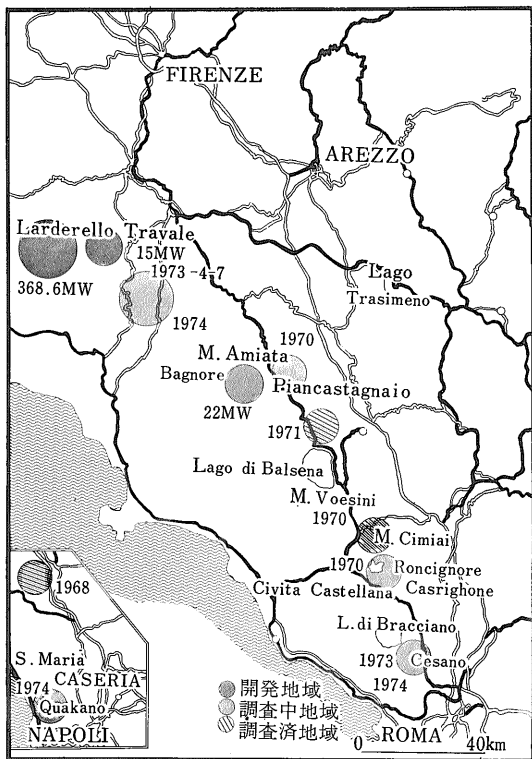
イタリアにおける地熱エネルギーによる発電設備容量は現在 405.6 MW であって全体の 2% である。これまでの実績から 飛躍的な増加は望むことは不可能であり 少なくとも天然蒸気に頼る限りでは 現在の 2 倍が上限であろうとされている。この意味から 現状では太陽エネルギーとともに 通常のエネルギー資源とは見られないという認識である。しかしながら エネルギー問題の一環として緊急に開発を行なう必要があることはいうまでもなく 高温岩体はその目標である。この開発のための研究開発には 15年を要するであろうという科学技術研究省の専門家の意見もある。

今回 イタリアにおける地熱エネルギー開発に関連する諸機関を訪問して その研究開発について注目される点は次の通りである。

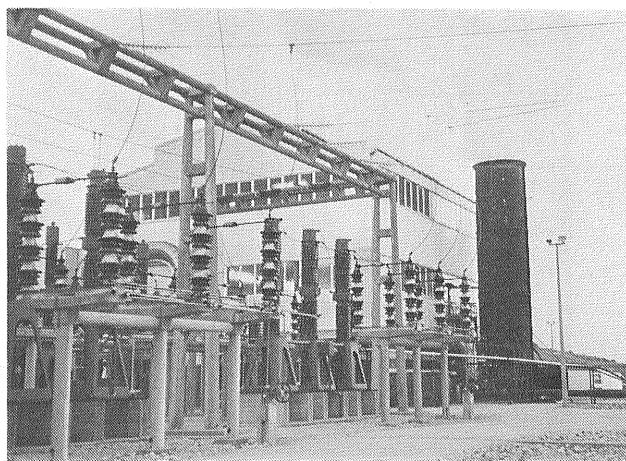
(全国地熱調査)

Larderello および Monte Amiata における現在の発電設備容量は それぞれ 368.6 MW 22 MW 計 390.6 MW であり その地熱開発は地域周辺部にいたっている。これら両地域の開発の目標は 現在の生産レベルの維持にあるといっても過言ではない。一方では これら両地域において 約 15% の発電設備容量の増加 (得られる熱流体から類推して) が可能な目標であり これは発電プラントの改良によって 適当な時間をかければ達成できるものと考えられる。

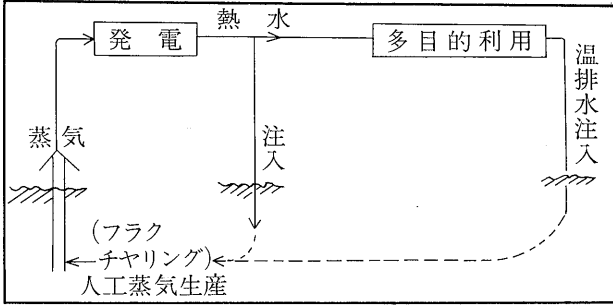
発電量の飛躍的な増加は 上記 2 地域以外の新しい地熱地域の発見にかかっており 1967年の終りに地熱資源の可能性のある全国の地域をカバーする一般調査計画が立案され 1968年以来調査・開発が進められて来た。その 1 つの成果が Travale における 15 MW の開発で



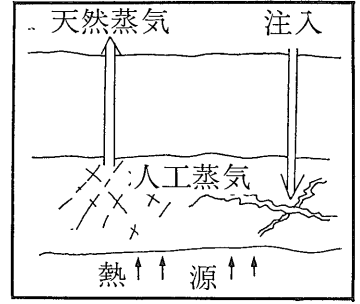
第 8 図 イタリアにおける地熱開発・調査地域



写真④ Piancastagnaio 第 2 発電所 (Monte Amiata) 発電設備容量 15 MW, Bagnore 1 号・2 号 (7 MW) を遠隔コントロールしている。



第9図 考えられる地熱エネルギー利用システム



第10図 フラクチャリングによる人工蒸気生産

あり 1973年7月4日から運転に入り 順調に1年半を経過している。この全国調査地域とその調査年次を図示すると 第8図の通りである。

(多目的利用)

イタリアにおける地熱エネルギー開発において 今後の研究課題として 重点的に取り組まれているのは 環境保全問題の解決を含めた熱水の利用 処理問題である。これは将来の大きな課題である高温岩体の開発への第1歩でもある。熱水の利用および処理について 従来 ENELの関心はなかったが 最近環境保全上の問題から強い関心が持たれるようになってきている。同時に CNRと地方行政機関との間で進められている土地利用計画調査の中で 地熱エネルギーの利用が検討項目の1つとして取上げられるにいたっている。すなわち 発電を含めて農業 地域暖房 工業への利用の検討である。この問題について 前記2者と ENEL との間に了解が成立し国際地熱研究所を含めて その研究開発が進められ

その成果が得られつつある。

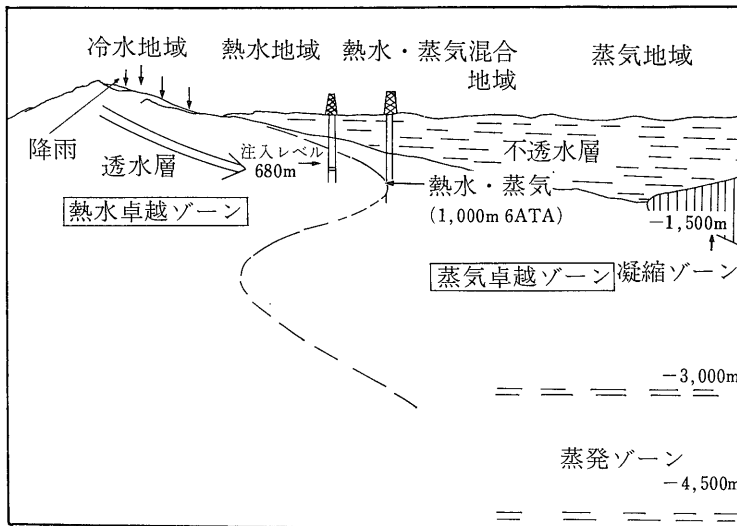
地熱エネルギーの開発に伴って 随伴する熱水量が増大し また発電に不向きな低温(120℃~140℃)の熱水だけしか得られない地域も生じている。また 開発に伴って 環境汚染の問題も生じつつあり さらに 古い歴史を持つ Larderello 地区は別として 今後開発される新地域では 地方住民の反対も予想され 従来のような進め方ができないという懸念もある。そこで 熱水の利用できる範囲内 あるいは処理できる範囲内で発電量を定めるべきであるという考えさえ出されている。すなわち 温水あるいは熱水を環境に放出しないシステムでの開発という方向が打出されている(第9図)。

温排水あるいは熱水の注入においては フラクチャリングの問題が当然入ってくる。これは現在においては人工蒸気の生産による発電量の増加であるが 将来の課題である高温岩体の利用にもつながるものである(第10図)。

上記のような考え方に立って Larderello 地区において

実験的研究が行なわれている。発電以外への利用について Larderello 地区において約1,000人の人々が熱水による地域暖房の恩恵を受けるようになった。

Larderello における実験的研究の現状は次の通りである。第11図に示すように 左側の山地からの地表水が矢印のように地下に入り 地下深部の熱源によって熱せられるのであるが 地下では逆S字状の境界をもって 水卓越部と蒸気卓越部とに分けられ 自然状態では平衡を保っている。現在の開発深度は1,000 m以



第11図 ラルデレロ地区熱水系モデル

内であって この範囲では 左から右に向って 冷水地域 熱水地域 熱水・蒸気混合地域 蒸気地域という順序での配列が見られる。このような平衡は 熱源の温度の増減 侵入地表水の増減によっても変化するが 本質的には蒸気の生産によって変化する。680 m レベルの注入と生産によるこの平衡の変化 水卓越部と蒸気卓越部の境の動きは熱水中の酸素同位体比 (O^{18}/O^{16}) の検討から把握される。こうして 平衡を保ちながら効率のよい蒸気の生産が可能となるとともに 効果的な注入が可能となる目途が得られているということである。現在注入レベルは 680 m 深度であるが 将来 1,800 m 深度を考えている。このために Castelnuovo で基盤に達する 2,000 m 深度の試験井が掘さくされつつある。

おわりに

サンシャイン (新エネルギー) 計画ヨーロッパ調査団の一員として アイスランド イタリアの地熱エネルギー開発およびその利用状況を調査して来た。

アイスランドは 従来あまり知られていない国である。今回の調査で短期間の滞在ながら まず強く感じられたことは 北極圏に近い寒冷地で耕地はもちろん森林資源もない砂漠的環境にあり 加うるに鉱産資源もなく 漁業以外に産業らしいものがない所に 1,000 年以上も人間が住んでいることである。とくに現在では 1 年に 4 回も賃金改訂が行なわれるという世界一のインフレ国家でありながら——NATO の軍事基地による収入はあるが——地熱エネルギー 水力エネルギーの開発によって 一般住民は高度の文化生活 とくに住宅 衣食については われわれ日本人よりはるかに高い水準にあることは驚異であった。

人口 90,000 人の首都 Reykjavik 市は 地熱による暖房給湯が 99.5% 普及しており 80°C の温水が約 90 円/m³ で供給され 2 年以内には近郊を含めて 100% 完成するということであった。温水プールも各地に設置され とくに冬期における国民レジャーおよび運動のため 広く利用されている。多数の地熱井の掘さく費 絶縁配管の配管費用など それぞれ算定されているが 日本国内と経済計算の基礎が全く異なると思われるような立派な設備である。家屋も暖房効果がよく考えられたものであって かなり規格化されている。国あるいは市が建設して分譲するということであるが 仲々キメの細かい施策が行なわれているようである。

産業面への地熱エネルギーの利用としては 野菜 草花の温室栽培があり 1969 年には 90,000 m² に達し 今後これを拡大して 草花の輸出が計画されている。加

工工業の分野では 珪藻土の乾燥 海草など海産物の乾燥 熱塩水からの塩をはじめ化学薬品の製造などが 実施あるいは計画され 地熱エネルギーの多目的利用では世界でもっとも進んでいる国ということができる。

地熱発電については 5 年前 1969 年から 3 MW の発電所が運転されているが 現在 55 MW および 70 MW の規模で計画および試験井による試験が進められている。これらは 都市への熱水供給の拡大との組合せで考えられているものであり 発電自体は豊富な水資源による水力発電と経済性の比較が問題であろう。天然蒸気による発電用機器については わが国は世界有数の輸出国となっており アイスランドは今後の市場の 1 つと考えられるが すでに述べたように 国家として経済力が弱い ため 財政面の援助を欠くことができないようである。アイスランドでは 地熱エネルギー資源は無尽蔵と考えられており 今後益々多目的利用が進められようが サンシャイン計画で 1 つの課題となっているバイナリ サイクルの発電については なおかなり先のことと考えられる。

イタリアは 地熱エネルギー開発 とくに地熱発電において 世界の草分けを演じた国であり わが国でも地熱発電を始めるに当って 多くの調査団を派遣したのである。しかしながら 現在では 発電設備容量 405.6 MW と 米国に次ぐ地熱発電国に後退し 今後も飛躍的な開発は望めず 当面のエネルギー源は火力と原子力におかれている。この要因として 1968 年以来新期に調査された地域は熱水型のものが多く 蒸気噴気地点でも不凝縮ガス量が多いなど技術的なこともあることは否定できない。しかし これと同時に イタリアの国力の低下と新地域開発の場合に生じる環境保全の問題 公害対策 地域住民対策など社会的問題が大きいと予想される。

今後の進め方としては バイナリ サイクルを含む熱水利用発電の研究とともに 地域暖房 温室栽培など地熱エネルギーの多目的利用 あるいは加工工業 化学工業などへの利用も検討されている。また 今後の地熱発電は むしろ熱水の利用 注入を含めた処理可能な範囲内で その容量の上限を決められるべきであるという考えのもとに 種々検討が進められている。これが人工蒸気の生産 さらに将来の高温岩体の開発へのステップとして進められていることは注目に値するものである。ミラノの大学で実験的研究が行なわれている地熱を利用するフロンと 水による水力発電の研究も興味あるものである。

(筆者らは * 工業技術院地質調査所 応用地質部長
 ** 東京芝浦電気株式会社 タービン工場開発部長
 *** 帝国石油株式会社理事 帝石鑿井工業株式会社社長)

参 考 資 料

(アイスランド)

- 1) Hitaveita Reykjavikur (本文 英語 Reykiavikにおける熱水利用の概要紹介)
- 2) Thorarinsson, S. (1967) : Fight with the Fire Below. *Iceland Review*, vol. 5, no. 2, pp. 27~33, 8 figs.
- 3) Björnsson, S. (1967) : Hot Springs and Thermal Energy *Iceland Review*, vol. 5, no. 2, pp. 35~39, 8 figs.
- 4) National Energy Authority (1973) : Orkumal, 112 p. (電力統計 1973年1~9月発電量その他)
- 5) Arnorsson, S., Jonsson, J. & Tomasson, J. (1969) : General Aspects of Thermal Activity in Iceland. *XXIII Internat. Geol. Congr.*, vol. 18, pp. 77~86, 2 tbs, 3 figs.
- 6) Palmason, G. & Zoëga, J. (1970) : Geothermal Energy Development in Iceland 1960~1969. *Gesthermics Special Issue 2*, pp. 73~76, 3 figs.
- 7) Arnason, B. & Tomasson, J. (1970) : Deuterium and Chloride in Geothermal Studies in Iceland. *Gesthermics Special Issue 2*, pp. 1405~1415, 6 tbs, 6 figs.
- 8) Björnsson, S. (1970) : A Program for the Exploration of High Temperature Areas in Iceland. *Geothermics Special Issue 2*, pp. 1050~1054, 1 tb, 4 figs.
- 9) Björnsson et al. (1972) : Economic Evaluation of Reykjanes Thermal Brine Area, Iceland. *Amer. Assoc. Petrol. Geologist Bul.* vol. 56, no. 12, pp. 2380~2391, 4 tbs, 9 figs.
- 10) Tomasson, J. & Kistmannsdottir, H. (1972) : High Temperature Alteration Minerals and Thermal Brines, Reykjanes, Iceland. *Contrib. Mineral. and Petrol.* vol. 36, pp. 123~134, 2 tbs, 3 figs.
- 11) Zoëga, J. & Kristinnsson, G. (19) : The Reykjavik District Heating System.
- 12) Tomasson, J. & Kristmannsdottir, H. (1974) : Investigation of Three Low-temperature Geothermal Areas in Reykjavic and its Neighborhood. *Internat. Symp on Water-rock Interaction*, Prague, Sept. 1974. 10 p. 1 tb, 6 figs.
- 13) Kristmannsdottir, H. & Tomasson, J. (1974) : Hydrothermal Alteration in High Temperature Area. *In-*

ternat. Symp. on Water-rock Interaction, Prague, Sept 1974. 9 p. 2 tbs 6 figs.

- 14) Palmason et al (1970) : Aerial Infrared Surveys of Reykjanes and Torfajökull Thermal Area, Iceland, with a Section on Cost of Exploration Surveys. *Gesthermics. Special Issue 2*. pp. 399~412, 1 tb, 11 figs.
- 15) Friedman, J. D. et al. (1972) : Infrared Emission from Subglacial Volcanic and Geothermal Area, Iceland. *Jakull*. 22, pp. 27~43, 8 figs.
- 16) NEA. Dept. Natural Heat (1972) : Geothermal Power Station. 53 p. 21 figs. (青焼)
- 17) NEA. Dept. Natural Heat (1973) : Geothermal Power Station. 10 p. 2 tbs. 3 figs. (青焼)

(イタリア)

- 1) ENEL () : Larderello and Monte. Amiata, Electric Power by Endogeneous Steam.
- 2) ENEL () : Il Museo di Larderello.
- 3) Maino, A. & Tribalto, G. (1971) : Rilevamento Gravimetrico di Dettaglio dell'Isola d'Ischia (Napoli). *Boll. Servizio Geologico d'Italia*, pp. 109~123, 11 figs.
- 4) Amadei, G. et al. (1972) : Contributo allo Studio Geofisico del Bacino Euganes. *Boll. Servizio Geologico d'Italia* pp. 3~20, 1 tb, 8 figs.
- 5) Barbier, E. & Fanelli, M. (1973) : Overview of Geothermal Exploration and Development in the World. *1st. Internat. Ricer. Geotherm.* 22 p. 2 tbs. 1 fig.
- 6) Gatali, P. et al. (1973) : Application of Geothermal Energy to the Supply of Electricity in Rural Area. *Geotherm.* vol. 2, no. 1, pp. 3~16, 3 tbs, 7 figs.
- 7) Leardini, T. (1974) : Geothermal Power. *Trads. R. Soc. Land. A.* no. 276, pp. 507~526, 3 tbs, 3 figs.
- 8) Mario, P. & Leardini, T. (1974) : L'Energie Geothermique es Utilisations Actuelles et les Experiences en Cours pour le Developments. 17 p. 3 figs (謄写)
- 9) Mario, P. & Leardini, T. (1974) : Aspetti Tecnico-Economici della Produzione Geothermica. *ENEL/DSR*, 28 p. 3 tbs, 4 figs.
- 10) Babier, E. & Fanelli, M. (1974) : L'Energia Geothermica una Fonte Alternativa di Energia. *Rev. Bimect. Istit. Geogr. Militare*, vol. LIV. nos. 3~4, pp. 375~400, 3 tbs, 16 figs.

新 刊 紹 介

改 著 地 下 水 学 要 論

本書は「地下水学要論」(昭和37年初版)の改訂版で 内容は地下水 地下水の循環機構 帯水層とその定数 井戸とその水理 帯水層試験法と井戸の段階試験法 揚水量の算定 水井戸の設計 地下水の温度と水質の8章から成っている。特に初版が改められたのは 帯水層定数及び試験法に関する箇所 また新たに追加されたのは 地下水の人工補給(かん養) 帯水層の水理境界 地下水の塩水化などである。

本書の特色は豊富な野外のデータに基づいて地下水の本質を平易に解説している点で 水資源としての地下水の定量的評価のみでなく 広く土木分野における地下水工法にも示唆を与えてくれる参考書であろう。

著 者 : 村 下 敏 夫
 発 行 所 : 昭 晃 堂 (東京都新宿区矢来町48 03-(269)-3449)
 定 価 : 2,900円
 発 行 : 昭和50年2月末