

第5回地熱資源会議に参加して

(1981年10月25日—29日・ヒューストン)

玉生志郎 (地殻熱部)
Shiro TAMANYU

1 はじめに

地熱資源会議 (Geothermal Resources Council) の1981年年度大会が 1981年10月25日から29日まで米国ヒューストンのシャムロック ヒルトン ホテルで開催された。今大会の副題は「国際的な地熱開発の成功例」となっており「世界各国の地熱開発状況について」という特集が組まれた。この他「地熱の地球化学と地球物理」「地熱モデル」「掘削」「坑井試験」「貯留層の化学と工学」「システムと要素」「腐食と物質」「直接利用」「法律と規則」「経済性と財政」「地圧型地熱」の11分科会が開かれた。会議はまず受付からはじまり 分科会 レセプション 展示 映画 ポスターセッション 昼食時の特別講演などと盛りだくさんあり 日本の学会より企画に富んでいるように思われた。特に種々の資料が豊富に展示され かつコピーが容易に入手できる上に なくなれば住所氏名を記入するだけで 後で郵送してくれるというシステムには感心した。アメリカ地質調査所も関連文献などを展示して参加者に情報サービスをしていた。

2 ヒューストンへ

私は1981年10月1日より カルフォルニア州メンロパーク (サンフランシスコの南方約60 km) にある米国地質調査所に一年間の予定で滞在していたので この地熱資源会議には是非出席したいと考えていた。私が予約したヒューストンへの飛行機は サンフランシスコ空港を10月25日朝7時10分発であった。10月25日は10月最後の日曜日 現地の人もよく時間を間違えるサマータイムから元のタイムへ戻る日にあたっていた。私は旅行代理店の人をはじめ何人かの米国人に尋ねて 当日は今迄より一時間時計を遅らせる日であることを確認していた。私のアパートから飛行場まで車で30分かかり また旅行代理店の人が国内線でも出発一時間前に飛行場へついて欲しいとのことだったので 私はエアポート リムジン サービス (予約しておけば飛行機の時間にあわせて家まで迎えてきてくれて料金はタクシーの6割程度のもの) を当日の朝5時30分に予約しておいた。初めて利用するので来てく



写真1 地熱資源会議の会場となったシャムロック
ヒルトンホテル

れるかどうか不安だったが 前の晩にリムジン サービスの方からきちんと確認の電話が入ったので安心していた。ところが翌朝まだ暗いアパートの前で待てど暮せどリムジンはあらわれない。飛行機の出発時間もせまるのでしびれをきらして6時10分頃リムジン サービスへ電話をしたところ 何ということだ 運転手が眠っていて起きないというではないか。こちらは興奮して普段でもうまく話せない英語を尚更つかえつかえしながら抗議した。ともかくかわりにタクシーをまわしてリムジンとの料金の差額は会社の方で負担するというので落ちついた。ところがこのような時に限っているような問題が起こるもので その朝私は現金6ドルのみで 他は500ドルのトラベラーチェックしか持ち合わせていなかった。飛行場の銀行で両替できるだろうと思って タクシーで飛行場へつくや否や銀行に飛び込んだ。その時飛行機出発の15分前。ところが銀行は閉まっているし他の売店もすべて閉っていていかんともしがたい状態だ。タクシーの運転手に事情を了解してもらって一週間後に支払うということで飛行機にまさに飛び乗った。

ヒューストンへの空の旅は朝のトラブルとはうってかわって海岸山脈 グレートバレー シエラネバダ山脈 ベーズン アンド レンジの美しい地形を見ながら快適なものだった。但しコロラド高原は雲の下だった。

ヒューストン空港につき早速両替所に向った。するとトラベラーチェックの両替は200ドルまでだという話で銀行にたのんでくれということだった。しかし銀行は日曜日のため閉まっているので何とかしてくれと言っても聞き入れてくれない。途方に暮れていると何と天の恵み日本重化学工業(株)の斎藤さんがあらわれたではないか。彼もまた地熱資源会議に出席するため丁度アルバカーキから着いた所だった。これで助かった。いっしょにホテルまでバス(バス代は私の持金と丁度同じ6ドル)に乗った。ホテルについて早速フロントに両替をたのんだところここでもできないという話。ともかく当座は斎藤さんから借金して何とかするが早くトラベラーチェックを現金化したいと思い翌日銀行へ行った。ところがいずれの銀行(3店まわった)でも200ドルまでですと断わられてしまった。困り果ててしまったところ斎藤さんが本屋で大量の本を購入する機会があったので500ドルトラベラーチェックで支払いをたのんだところやっとOKとなった。エアポートリムジンサービスも憎かったけれどもこの時は500ドルトラベラーチェックがうらめしく思えた。トラベラーチェックは200ドル以下のチェックにして持ち歩いた方が無難のようだ。ともかくこのように結果的には無事ヒューストンにつけ会議に参加することができた。



写真2 ヒューストンのダウンタウンにあるノッポビル街

うだ。このヒューストンではジオロジスト(地質屋)の社会的地位が高く現実多くのジオロジストがいろいろな会社から求められているとのことであった。但し昨今においては地質のみならず地探のデータを正しく解釈できる人という意味でジオロジストジオフィジシスト(地球物理屋)の区別なくアースサイエンティスト(地球科学屋)としての人材が強く要望されているとのことであった。

3 会議の内容

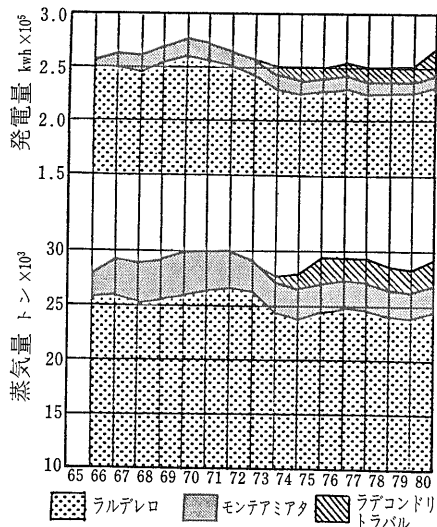
地熱探査に関連深い「世界各国の地熱開発状況について」「地熱の地球化学と地球物理」「地熱モデル」「貯留層の化学と工学」の各分科会での論文を以下に紹介する。くわしくは講演要旨集を参照して下さい。

3.1 「世界各国の地熱開発状況について」

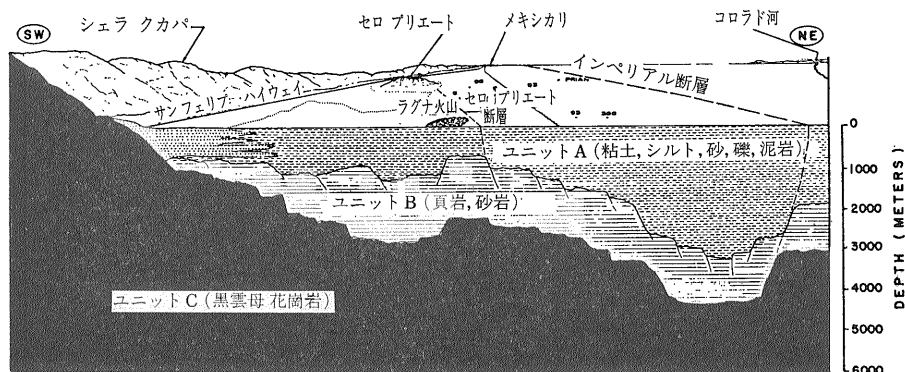
世界各国の地熱発電容量は1981年現在第1表に示す通りでフィリピンメキシコの急激な開発が目される。最も地熱開発の歴史の古いイタリアでは第1図に示す

第1表 世界の地熱発電容量

国名	ユニット数	発電容量 (MW)	
		1981年7月現在	1983年計画
アメリカ合衆国	18	932.2	1297.2
フィリピン	11	446.0	781.0
イタリア	39	439.6	463.6
ニュージーランド	14	202.6	202.6
メキシコ	5	180.0	425.0
日本	7	168.0	223.0
エルサルバドル	3	95.0	95.0
アイスランド	5	41.0	50.0
ケニア	1	15.0	30.0
ソ連	1	11.0	21.0
アゾレス	1	3.0	3.0
インドネシア	2	2.25	32.25
中国	7	1.936	7.936
トルコ	1	0.5	5.5
合計	115	2538.086	3636.086

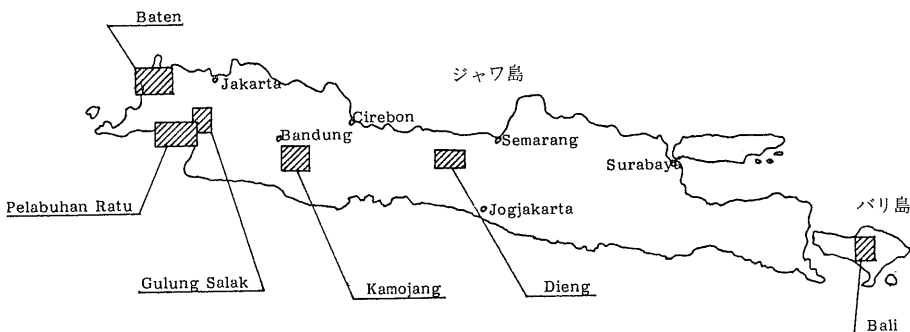


第1図 イタリアの地熱発電量の推移



第2図
セロ プリエート地熱地帯の地質断面図

第3図
インドネシアのジャワ島 バリ島での有望地熱地域



通り ここ15年間でほとんど発電量は増加していない。これは既存の地熱地域の生産量が減少してきて 新しく開発した地域の生産量がその不足分をやっとカバーしているのが現状であるためである。そのため ①より深部の地熱貯留層開発のための深部掘削 ②既存の地熱地域の周辺地域での掘削 ③還元井のための地域選定 ④発電量の日変化 などについて検討をすすめている。

メキシコの地熱発電量は1981年6月現在で150MWで1981年中には新たに30MWの運転が計画されている。そのため合計180MWとなり日本の地熱発電量を上まわ

ることになった。これらの発電所はメキシカリ バレーのセロ プリエートに集中するもので この地域の地質断面は第2図の通りである。地熱徴候はサン アンドレアス断層系と密接に関連し合っているので 地熱流体は深部断裂に沿って上昇し ユニットB (第三系三角州堆積物) に貯留されていると考えられる。

アイスランドの地溝帯にはいくつかの地熱地域が存在するが その一つのクラフラでは1977年に30MWの発電所が完成し現在運転されている。この貯留層は二層準あり 地下1,100m深のものは熱水型で205°Cの温度を有し 地下1,300—2,200m深のものは熱水・蒸気混合型で300°C—350°Cの温度を有している。地熱流体の特性は坑井ごとに異なるが平均すると以下の通りである。

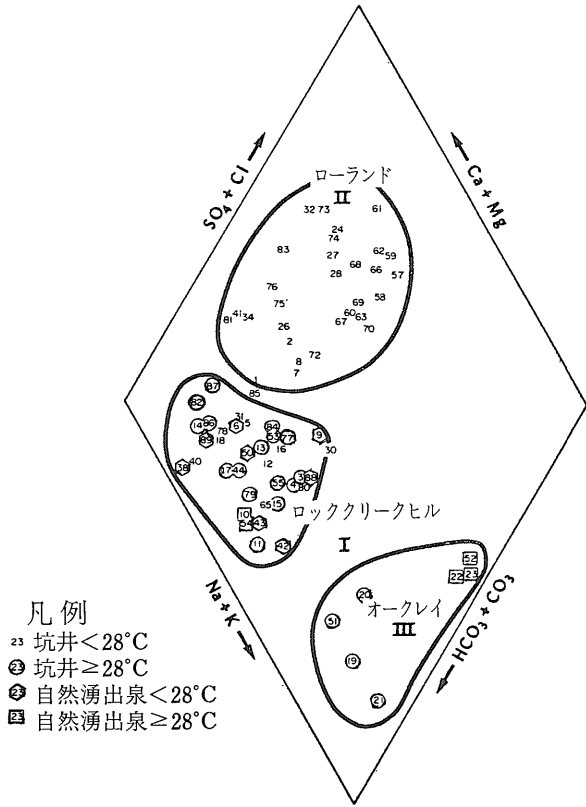


第4図 250 KW 地熱発電モノブロック

溶存成分は660ppm程度と少なく ケイ酸 (383ppm) ナトリウム (102ppm) 硫酸 (67ppm) 塩素 (31ppm) カリウム (18ppm) などが主要なもので 非凝縮性ガスは2.2—2.4%で炭酸ガス (96.7%) 硫化水素 (3.2%) が主要なものである。

日本の地熱開発状況はこの分科会 および昼食時の特別講演で日本重化学工業(株)の中村久由氏から紹介されたがここでは割愛する。

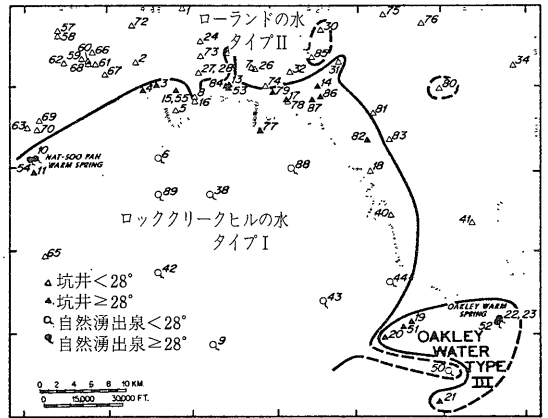
インドネシアでは1974年に地熱有望地域としてジャワ島とバリ島に6地点を選定した (第3図)。この時す



凡例

- ②③ 坑井 < 28°C
- ②④ 坑井 ≥ 28°C
- ②⑤ 自然湧出泉 < 28°C
- ②⑥ 自然湧出泉 ≥ 28°C

第5図 アーテシアン地域の水の化学分析



第6図 採水地点位置図

3.2 「地熱の地球化学と地球物理」

3.2.1 地化学探査

アイダホ州アーテシアン地域の低温熱水は化学成分上第5図のように3つに区分でき、そして各々第6図のように地理的に分かれて分布している。ロッククリークヒルクォーター(タイプI)は温度上昇に伴いpHやTDSが上昇する傾向をもつことから天水に起源するものと判断される。この結論は第7図の概念図と調和的である。

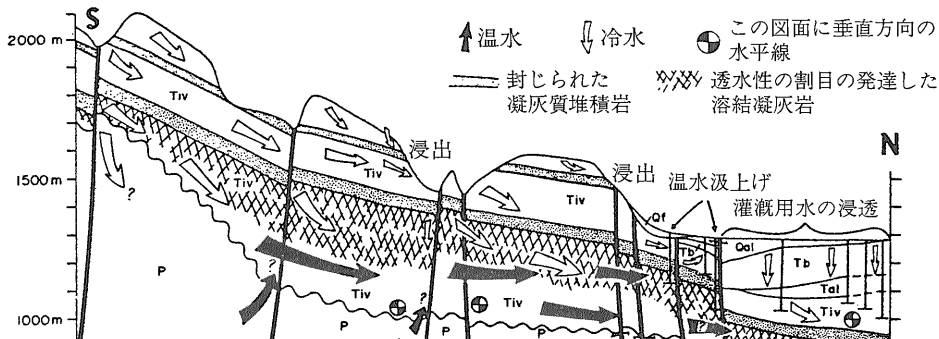
ユタ州北部イースト ショア地域の熱水の起源を化学成分と水素・酸素同位体から検討したところ ①山岳地域の断層より流出している深部熱水循環系と ②地底より流出している表層水とが存在することが判った。

アリユーション列島の温泉地域は34ヶ所(第8図)ありその溶存成分の地化学温度計から考えて地熱開発はアクタン島、ウナクスカ島北部、アトカ島北東部の3地域が特に有望であると思われる。

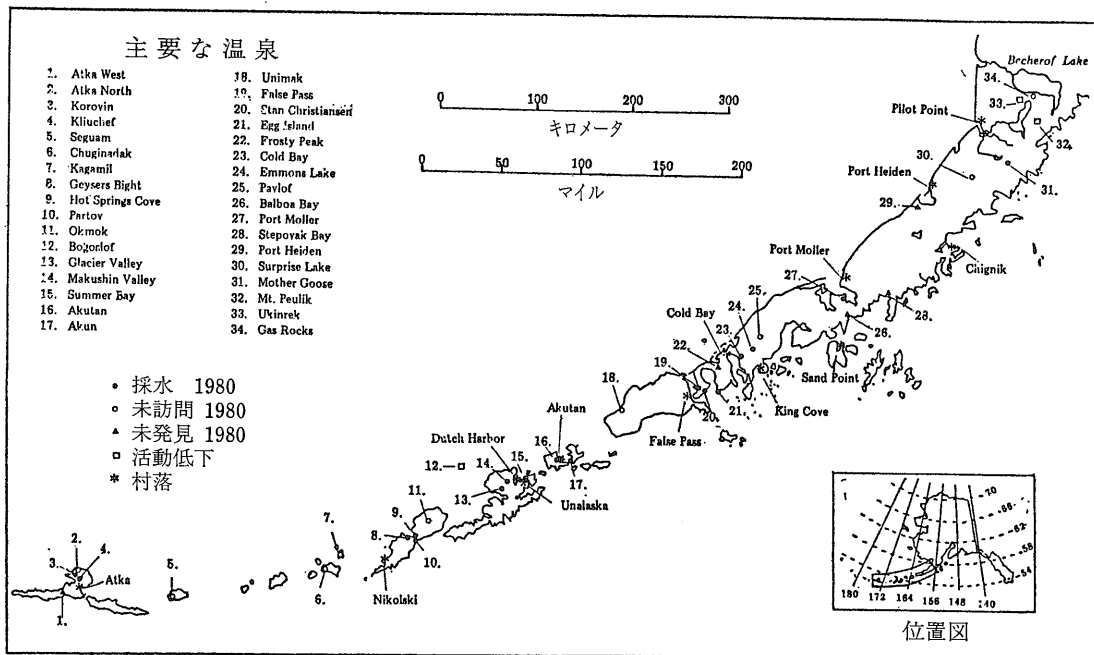
メキシコ中北部で温泉水の溶存成分、特にケイ酸の濃度と熱流量の相関について検討したところ、第9図、第10図のような結果が得られ、次式がほぼ成り立つことが証明された。

にカモージャンで40MWの、ディエンで15MWの発電可能な蒸気量を確保している。カモージャンでは現在30MWの発電所を建設している。これとは別に小出力の地熱発電装置としてカモージャンに250KWのディエンに2,000KWのモノブロックが据えつけられ稼働している(第4図)。

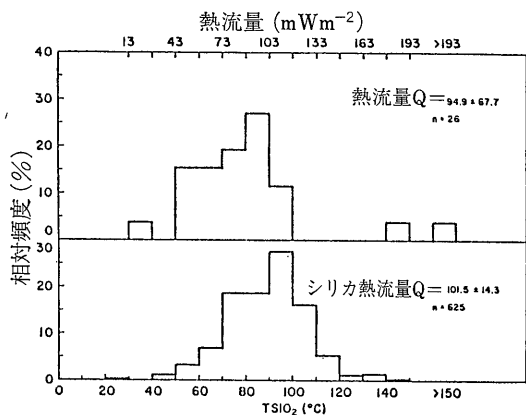
ニュージーランドについてはワイラケイの腐食問題について詳しく報告されたがここでは省略する。



第7図
ロッククリークヒルとローランドの地質および水理の概念図



第8図 アリューシャン列島の温泉地域



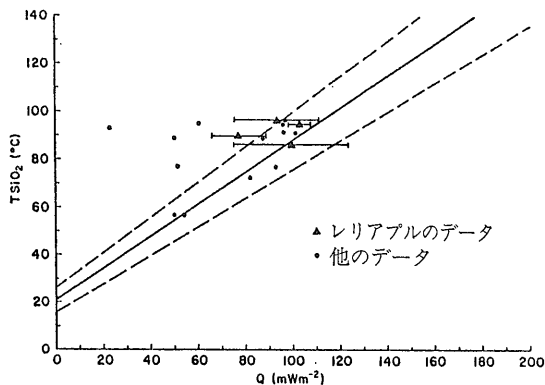
第9図 熱流量とシリカ熱流量の頻度分布

$$T_{siO_2} = mq + T_o \quad (1)$$

但し

- T_{siO_2} : シリカ地化学温度
- m : $0.670^\circ C m^2 W^{-1}$
- q : 熱流量 ($mW m^{-2}$)
- T_o : 年平均地表面温度

アイダホ州南東部の熱水についてマグネシウム補正したアルカリ地化学温度計を適用した結果 第2表に示す



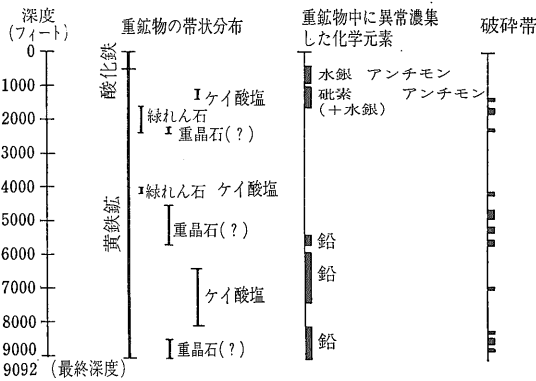
第10図 熱流量とシリカ熱流量の相関図

ようにシリカ温度計とほぼ近い値が得られた。

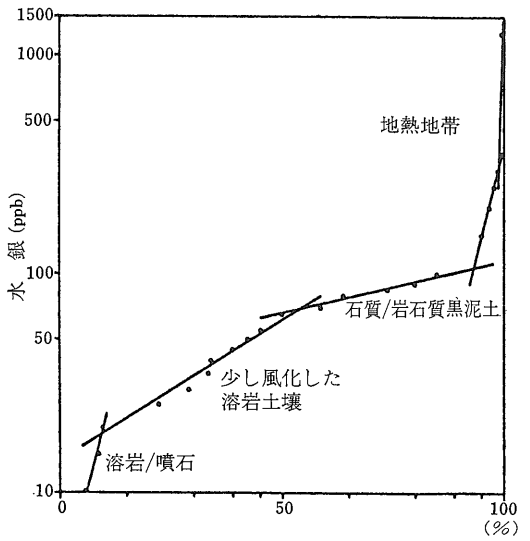
ネバダ州デキシーパーレーの2本の地熱井コアについて変質鉱物を検討したところ第11図 第12図のような結果を得た。これは蒸気や熱水の供給帯と鉱化帯がほぼ一致することを示している。

同じくネバダ州ディキシーパーレーで土壌中の水銀とヒ素の濃度分布を検討したところ 水銀はプラヤ (塩水が蒸発した低地帯) 付近で低く 扇状地堆積物のところで異常が認められ ヒ素はプラヤ付近の断層沿いに異常が認められることが判った。

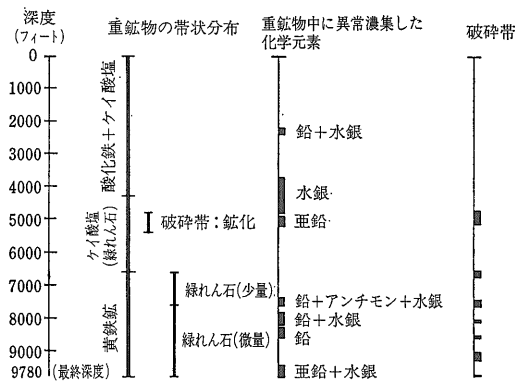
ハワイ島のプマで土壌中の水銀を調査したところ その累積曲線は第13図のようになり4つの地域に区分でき



第11図
ディキシーバレー DF45-14 孔の鉱化帯



第13図 プナ地域の土壌水銀の累積曲線



第12図
ディキシーバレー DF66-21 孔の鉱化帯

ることが判った。

土壌中の水銀濃度を地熱探査の一環として米国のディキシーバレー ルーズベルト 日本の野矢の3地域で検討した結果 水銀の高異常地域はいずれも高い地温勾配を示す地域と一致することが判った(第14図 第15図)。

アラスカのペリグリン温泉で土壌ガスとしてのヘリウム濃度を測定したところ地温勾配の高い地域でヘリウムの高い値が得られた。

3.2.2 物理探査

カルフォルニア州ロングバレーで空中熱映像(使用波長は10-12μm 4.5-5.5μm)をした結果 抽出された熱異常帯は6-30m深地温の高い分布域と一致した。

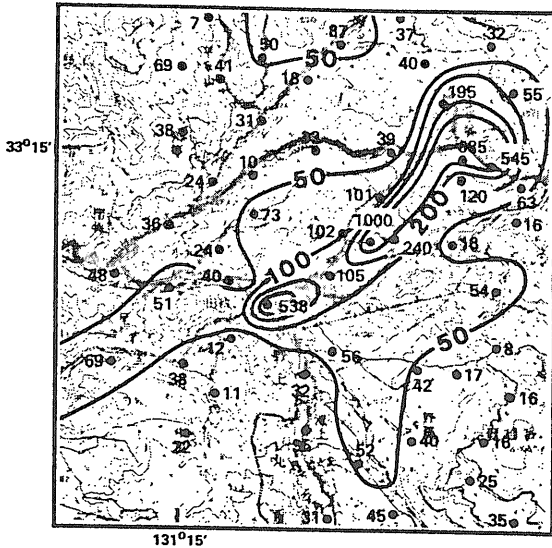
ネブラスカ州の低温熱水の探査アセスメントにおいて熱流量データのコンパイルは大変有効な手段であった。熱流量データから求めた垂直断面における等温曲線は第16図に示すようなものであった。

アラスカ州ウナラスカ島サマーベイ地域の温水の熱源を検討した結果 北西方向の断裂に沿って貫入した岩脈状のマグマに起因していることが判った。

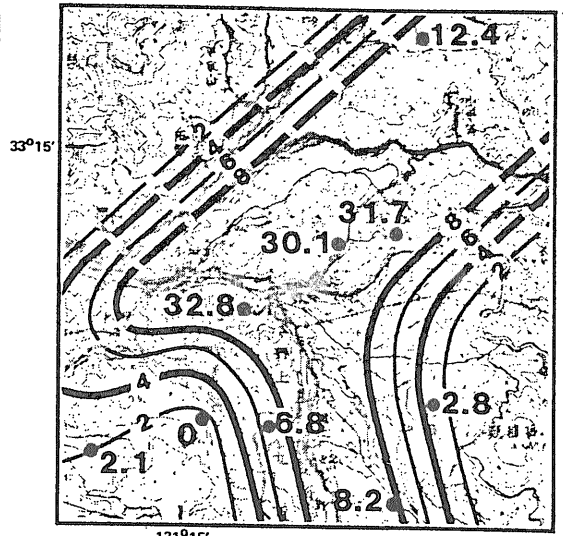
第2表 地化学温度計による地熱貯留層の推定温度

坑井または地温温度(°C)	地化学温度に基づく推定貯留層温度(°C)		マグネシウム補正		生成の自由エネルギー				
	ナトリウム-カリウム-カルシウム法	マグネシウム補正したナトリウム-カリウム-カルシウム法(石英-熱伝導法)	R 値	温度補正(°C)	燧石	方解石			
4N-40E-25DCB1S	249.0	206	95	80 (3)	19.8	111	0.9	1.0	
1N-43E-9CBB1S	25.0	191	75	42 (3)	24.0	116	-0.1	-0.1	
5S-34E-26DAB1	40.5	185	45	64 (3)	33.8	140	1.0	1.0	
6S-41E-19BAA1S	42.0	368	100	70 (3)	35.4	268	1.5	1.5	
9S-38E-21DDA1S	44.5	211	68	82	27.4	143	-0.2	-0.1	
13S-41E-7ACA1S	76.0	236	98	106	21.4	138	1.1	1.2	
14S-36E-27CDA1S	25.0	228	72	62	30	27.2	156	-0.1	-0.1
14S-39E-36ADA1	44.5	170	73	125	23.9	97	-0.1	0	
15S-35E-3AAB1S	25.0	176	54	65	33	30.3	122	-0.6	-0.5
15S-39E-8BDC1S	77.0	269	230	125	97	5.0	39	1.0	1.1
17BCD1	82.0	269	229	153	128	5.1	41	2.4	2.5
15S-44E-13CCA1S	47.5	231	73	86	55	27.3	158	-0.4	-0.3
16S-36E-10BBC1S	27.0	192	57	78	47	29.8	135	0.3	0.3

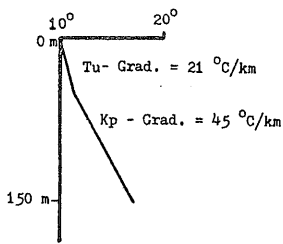
1 値は理論的平衡からのエネルギー差(キロカロリー単位) (+) は過飽和を示し (-) は不飽和を示す
計算はコンピュータープログラム SOLMNEQ (Kharaka and Barnes, 1973) に基づく
2 温度はもっと高いかもしれない; 測定が口元で実施できなかった
3 推定貯留層温度が地表の温度より低かった



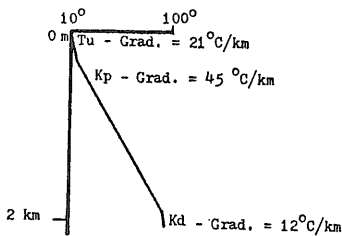
第14図 日本の野矢地域の土壤水銀濃度



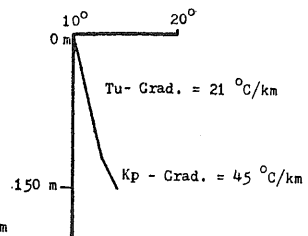
第15図 日本の野矢地域の地温勾配 (°F/100フィート)



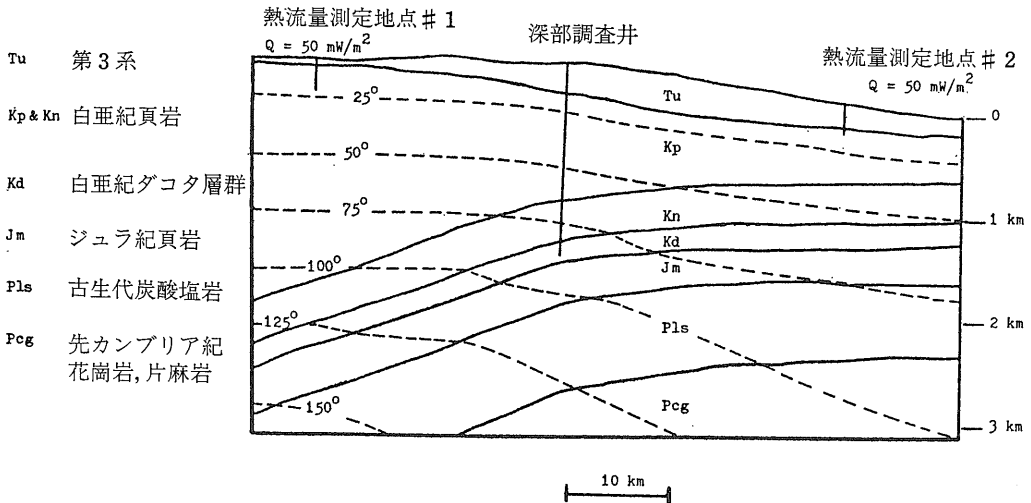
地点#1の温度曲線



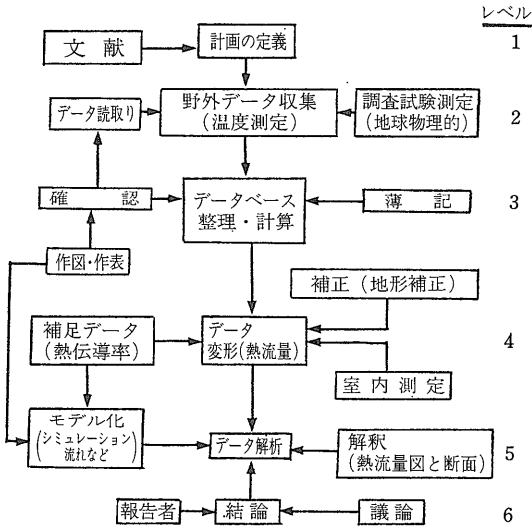
深部坑井の温度曲線



地点#2の温度曲線



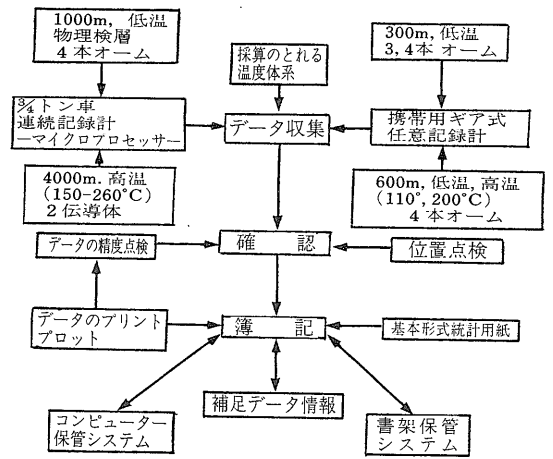
第16図 ネブラスカ西部デンバー ジュルスパーク ベーザンの地温分布



第17図 地熱データ収集のための概念的な流れ図

熱流量や地温勾配のデータベースをつくるため 第17図に示したような流れ図に基づき 第18図のようなものを作成した。

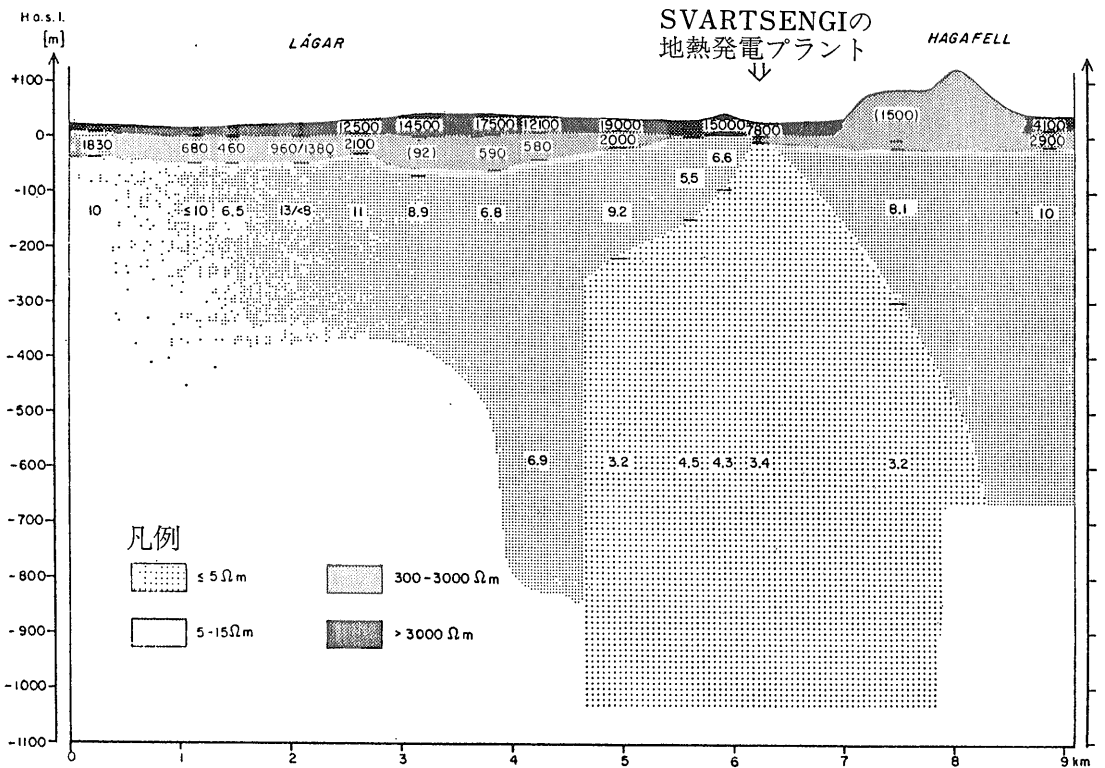
アイスランド南西部のヘンジル地区において電気比抵抗を測定した結果 地熱地帯はすべて低比抵抗域となっ



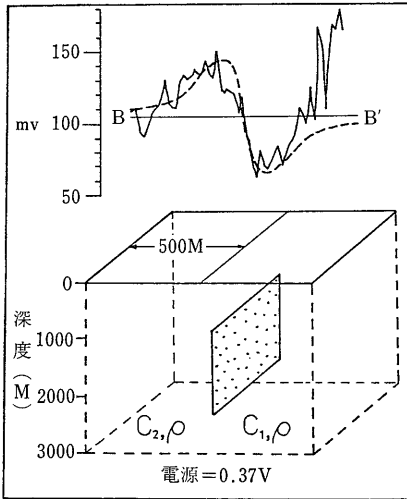
第18図 地熱データベースの一例

た。また空中磁気測定では地熱地帯は熱水変質のため負の異常を示した。

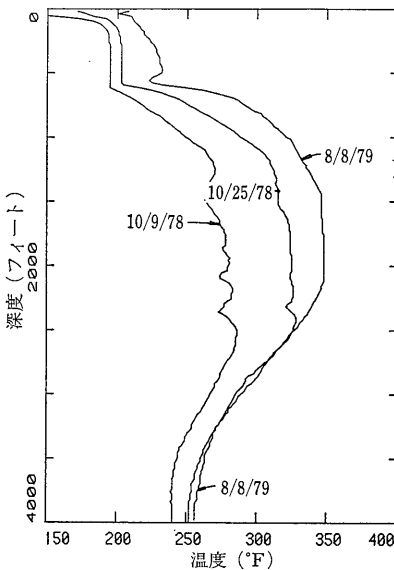
アイスランドのレイキャネス半島西部でシュランベルジャー法で電気比抵抗を測定したところ 第19図のような結果を得た。ここで低抵抗帯は地震頻発帯と一致していることより プレート境界部に相当しているものと思われる。



第19図 電気比抵抗断面図



第20図 板状モデルに基づいた自然電位の理論値と実測値



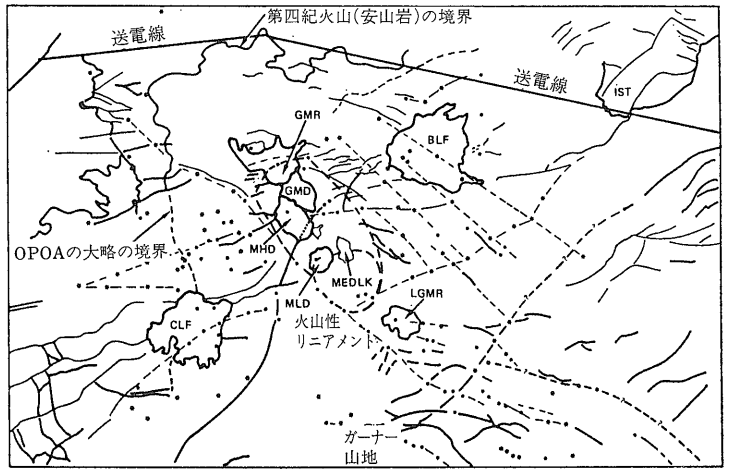
第22図 ターミナル地熱地域の No.1 孔の温度検層

ヴァージニア西部で重力 空中磁気 温度勾配を測定した結果 ローマトラフは深部に潜在する古い堆積盆であることが判明した。

フィジー島ランバス地区で得られた自然電位のデータを説明するために 第20図のようなうすい板状のモデルを考えた。

ハワイ州マウイ島で13本の測線に沿って自然電位の測定をした結果 ほとんど地形や人造建築物の影響で説明づけることができた。

ネバダ州グラニット山地では 南北性の正断層系が直



- GR --- レーダーのみで検出できる断層
 - レーダー及びその他の画像で検出できる断層
 - 地質境界
 - 噴石丘
 - 推定断層上の火口配列
 - 確定断層上の火口配列
- | | |
|--------|---------------|
| OPOA | 古期板状橄欖岩質安山岩 |
| GMR | グラス山流紋岩 |
| LGMR | リトルグラス山流紋岩 |
| MLD | メディスン湖サイト |
| MHD | ホフマン山サイト |
| GMD | グラス山サイト |
| BLF | バートン玄武岩溶岩流 |
| CLF | カラハン玄武岩溶岩流 |
| IST | インディアンアリング火山灰 |
| MED LK | メディスン湖 |

第21図 シーサットレーダー映像

接火山岩に被れているため地熱貯留層がどこに形成されているか探ることが重要な課題となっている。今回重力 磁気 自然電位 土壌水銀 熱流量を検討したが貯留層の位置を決めることはできなかった。

ニューメキシコ州北西部のヘイメス山地で シュランベルジャー法による電気探査を行った結果 3つの低温地熱地域を見出した。これらの地域は温泉や若い火山岩の分布域と一致している。

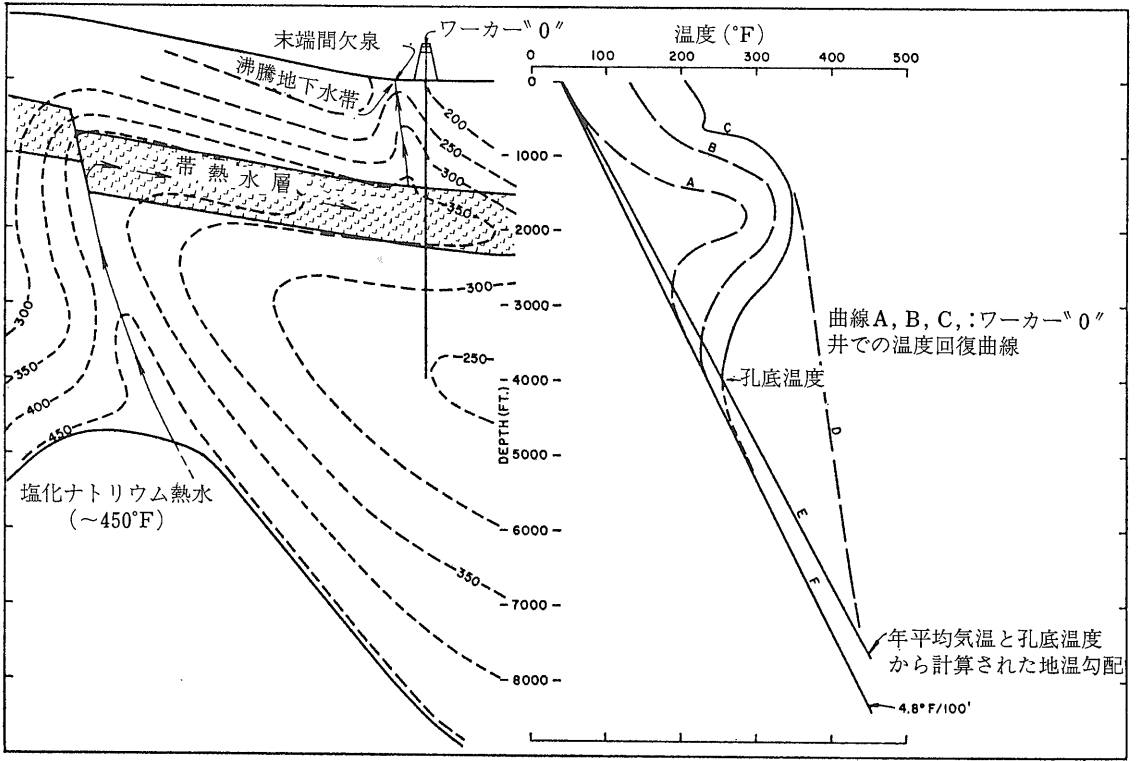
カルフォルニア州グラス山地でシーサット レーダー映像調査を行った結果 第21図のように種々の線構造を認識することができた。

3.3 「地熱モデル」

カルフォルニア州ターミナルガイザーの地熱井の温度検層で第22図のような結果を得た。これは1400—2200フィート深で水平方向の熱水流動が存在することを示しているので 熱流量や地化学温度のデータを参考に第23図のようなモデルを考えた。

カルフォルニア州インペリアルバレーのブローレイ東部地域は 地表徴候は認められないものの重力の正異常 高熱流量 低抵抗などのデータから有望な地熱地域と考えられる。

カルフォルニア州ガイザーズにおいて今までに明らかにされた事実は ①熱源はマグマの貫入による ②幅岩



第23図 温度検層データ (第22図) を満足させる水理モデル

はセルフシーリングで形成された ③貯留層は破碎されたフランシスカンの地層である ④フランシスカン複合岩体は第三紀初期には プレートのサブダクションによりグレートバレーの基盤をなした海洋地殻の下へ押し込まれていた ⑤グレートバレー系は貯留層となりにくい ⑥垂直方向の不透水層が若干存在する ⑦貯留層は最初熱水系であったが 地表の温泉が貯留層の圧力を下げることにより蒸気卓越型となった などのことである。

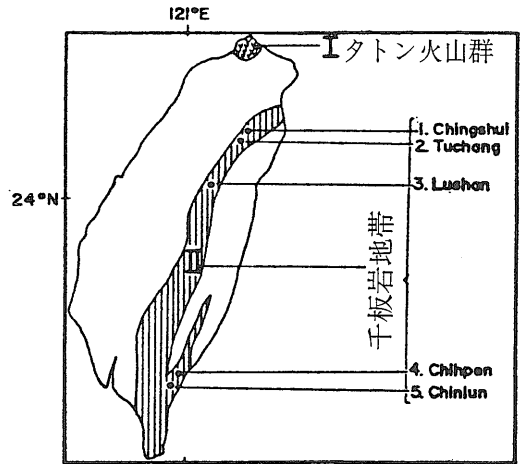
九州大学の林氏たちは地熱系の評価法の一つとして下記のような式で表現される活動係数 (AI) なるものを提案した。

$$AI = (1 - Tb - Tm) / (Tb - Tg) \times 100 \text{---(2)}$$

但し

- Tb : ある深度における水圧下の沸騰温度
- Tm : 地化学温度計や液体包有物温度から推定される最高温度
- Tg : 地温勾配 3°C/100m と仮定した場合のある深度での推定温度

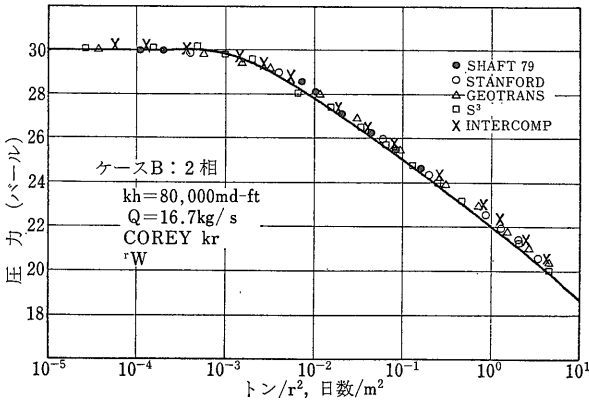
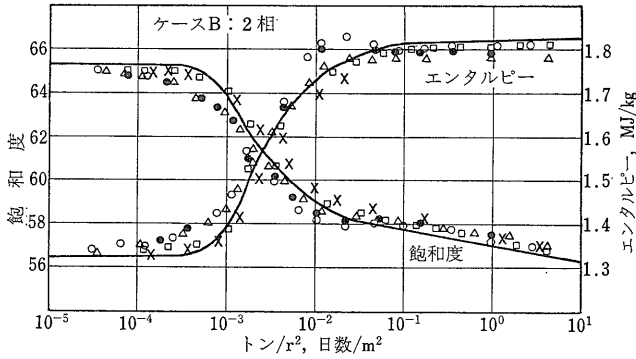
台湾の地熱地帯は第24図に示す通りで 地熱井の温度検層から貯留層の存在が予測された。



第24図 台湾の地熱地帯

地熱貯留層のシミュレーションの確度をあげるため貯留層への注水 放射状の流れ 断層を通る流れ 2次元または3次元の多相流体などの条件を考慮して数値解析を行った。 その結果は第25図に示す通り測定値とほぼ一致するものであった。

リオ グランデ リフト地熱地域で予想される地下の熱対流を温度検層のデータからシミュレートして第26図のような結果を得た。

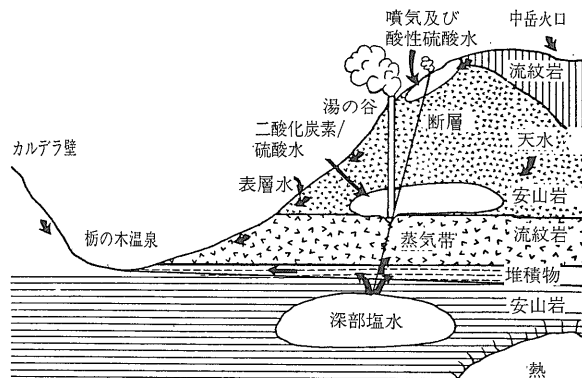


第25図 実測値と理論値の比較

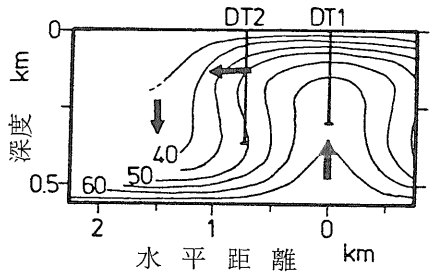
ネバダ州エルコ北方95kmに位置するタスカロラでの12日間の自然地震観測により第27図のような発電機構のデータを得た。また地震断層が広範囲にわたる液体飽和地域と密接な関連をもっていることも明らかになった。

日本の阿蘇湯の谷の地熱モデルとして第28図に示されるような断層支配型の蒸気卓越モデルが提唱された。

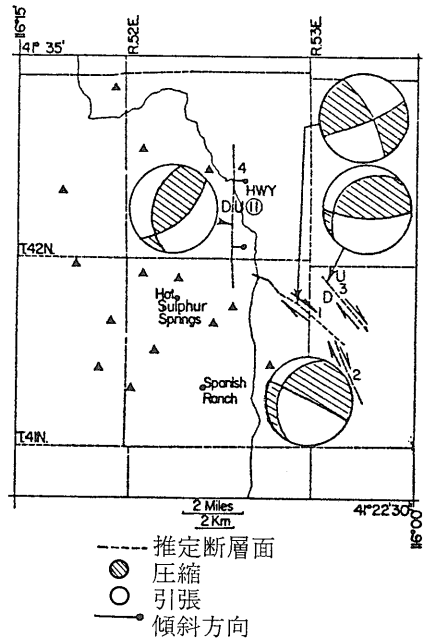
アイスランド南部セルフオスでは1948年以来家庭暖房として地熱を利用している。この地下水には塩素濃度の高い熱水と低い冷水とが存在していてポン



第28図 日本の阿蘇湯の谷の地熱モデル



第26図 数値解析により求められた等温曲線



第27図 タスカロラで得られた自然地震の発電機構

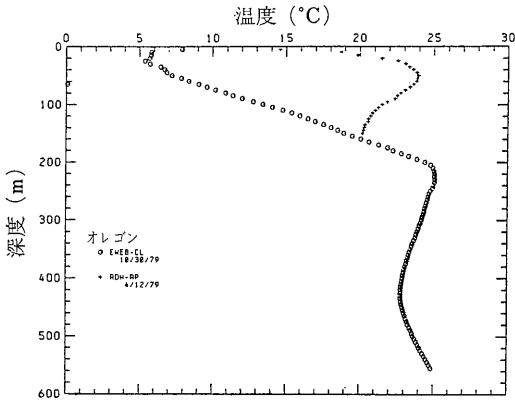
プで汲み上げをはじめたら互いに混じるようになった。その原因は坑井が冷水の下降域に位置していたためと思われる。

日本重化学工業(株)の吉田氏は会議には参加されなかったが講演要旨集に日本の濁川の熱水の化学成分について発表している。その中でカルシウム 硫酸 炭酸の濃集は無水石膏 方解石の溶解により また ナトリウム カリウムの濃集は曹長石とカリ長石またはカリ雲母との平衡状態で生じたと指摘している。

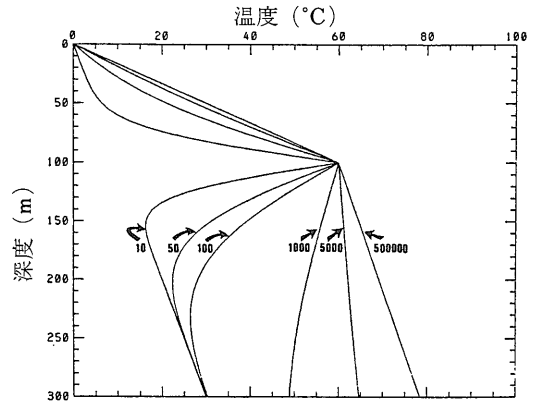
坑井の温度曲線から水平流動の存在を知ることができる(第29図)。このような水平流動の影響を考える上で流動係数 $\alpha = K/VMC$ (3)

但し

K : 岩石の熱伝導率



第29図 温度曲線にみられる水平流動の影響



第30図 理論的に計算された温度曲線の時間変化 (年単位) $X=0, \alpha=0.13$ として

V : 流体速度

M : 流体の単位質量

C : 流体の熱容量

を考慮して次式のような解を求めた。

$$T(X, Y, Z) = T_a e^{-\frac{\alpha X}{l}} \operatorname{erfc} \left[\frac{\alpha X + l - Z}{(4Kt)^{1/2}} \right] \quad (4)$$

但し

X : 流入点からの距離

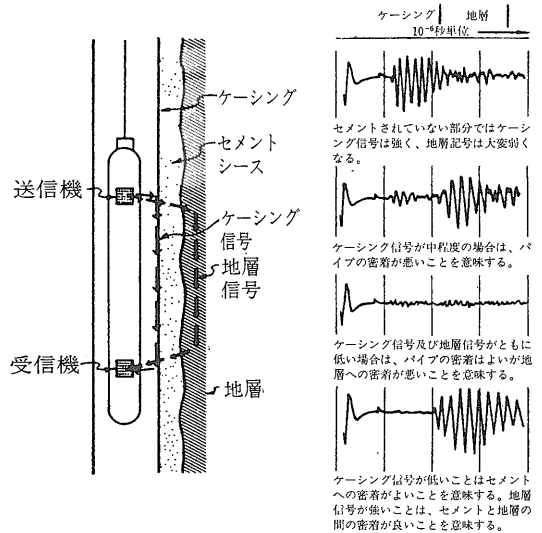
Z : 地表面からの深度

l : 帯水層の深さ

T_a : 帯水層中の流体の温度

t : 時間

この解の一つを第30図に示す



第31図 セメント ボンド音波検層とその記録

3.4 「坑井試験」

地圧型の地熱貯留層での塩水の還元は経費的に2倍程度高くなるがメタンの回収率が3-10倍になるので経済的に有利と判断される。

坑井内の熱水供給層準と流動方向は圧力検層データと静水圧における圧力データとの比較から求められることが判った。

セメント ボンド音波検層は第31図に示すようにケーシングと坑壁との密着度合を適確に知る上で重要である。

この検層装置を改良して 275°C 以上でも使用可能とさせた。

メキシコ湾岸の地熱井で地層水の塩濃度を知るため SP 検層を行った結果実際の値と大きく違った。そこで頁岩中のナトリウムイオン移動係数と泥の比抵抗とを考慮して改良した SP 検層法を開発した。

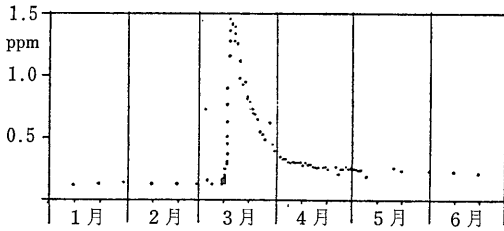
日本の大沼 八丁原 大岳でのトレーサー試験のデー

タを参考にして (第32図) フラクチャー流動モデルで数値解析したところ実測値とよく一致する計算結果を得た (第33図)。

ニューメキシコ州フェントンヒル計画で 300°C を越える高温岩体の温度測定は大変困難であったが 温度検層と坑井内測定でよい結果を得ることができた。

ラフトリバーで注入試験をしたところ ある浅い坑井では注水に対応して圧力増加が観測され またある坑井では堆積物の塑性変形に伴う圧力降下が観測された。

デジタル式坑井検層は種々の岩相 変質度 破砕度などを知ることができるので カuttingスによる岩相決定を補完するものとして有効な手段である。



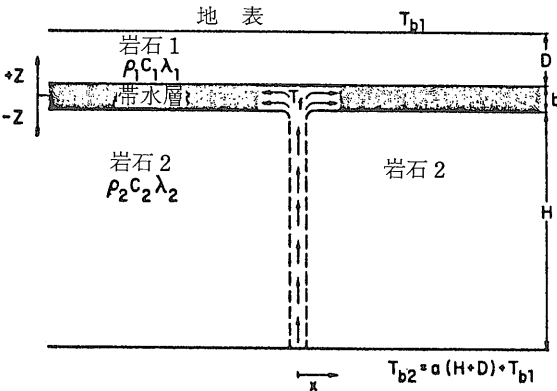
第32図 日本の大沼地熱地域でのトレーサー試験の結果

3.5 「貯留層の化学と工学」

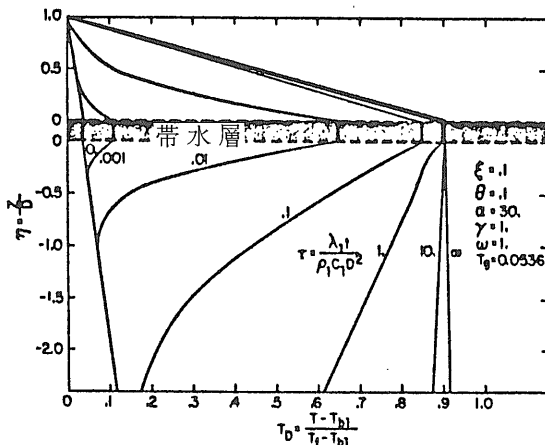
断層に賦存する熱水系を第34図のように二次元でモデル化し その温度勾配の時間的変化を計算して第35図のような結果を得た。

ニューメキシコ州フェントンヒルで人工的に造られた熱水循環系は 臭素82によるトレーサー試験によりその経路がよく認識された。

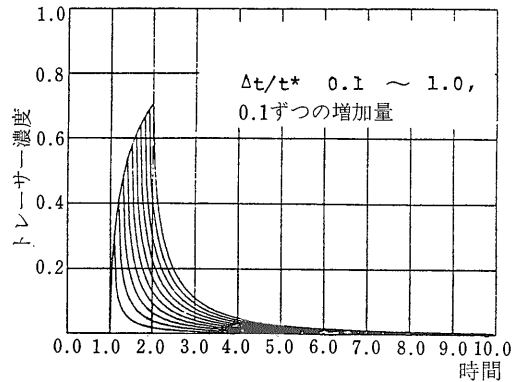
ニューメキシコ州バイアス カルデラ内のバカ地熱地



第34図 断層賦存型の地熱モデル



第35図 数値解析により得られた温度勾配の時間変化



第33図 割れ目流動モデルにより計算されたトレーサー濃度減衰曲線

域で詳細な圧力 温度検層が行われて第36図のようなモデルがつけられた。

インペリアルバレーの地熱井で貯留層へ別の新しい水を注入したところ硫酸塩が沈澱した。

地圧型の地熱貯留層の経済性を検討するためルイジアナ州南部の帯水層を例に数値解析したところ 生産効率は配管の太さ 地層の割れ目密度 空隙率 初期圧力などに大きく影響されることが判った。

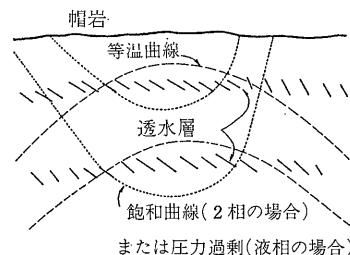
イースト メサの地熱井でフラッシュ圧力を測定したところ 17—345psi で従来言われていた圧力より高かった。これは二酸化炭素などの非凝縮性ガスによるものと思われる。

地熱系の二酸化炭酸含有量は液体中よりも気体中に濃縮するため 熱水中の二酸化炭素含有量は貯留層よりも一般に低くなる。

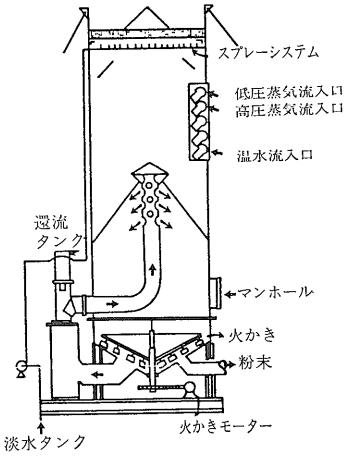
密度検層と中性子検層の対応性から貯留層中の蒸気特性を知ることができる。またガンマー線検層からは岩石の熱水変質度を知ることができる。

塩水を地下に還元する前に浮遊性固形物を除去するため第37図のような除去装置を製作した。

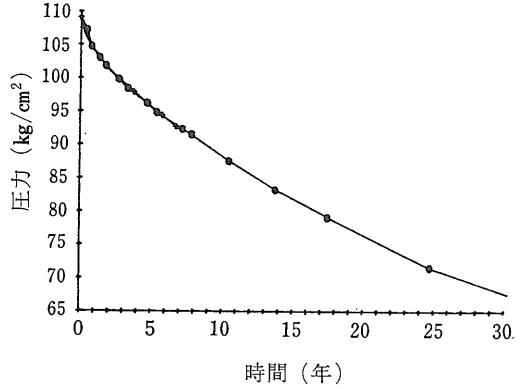
メキシコのセロ プリエートのデータを基に地熱貯留層をシミュレートして計算した結果第38図のような圧力減衰曲線を得た。



第36図 バカ地熱貯留層の概念図



第37図
浮遊性固形物の除去装置



第38図 セロ プリエートでの今後30年間に予想される圧力減衰

ニューメキシコ州フェントンヒルで人工的に作った貯留層を用いて 286 日の流動試験が行われた。

3.6 「その他の分科会」

日本関連の発表としては「地熱の直接利用」の分科会およびポスターセッションで防衛大の関岡氏が岩手県雫石町での熱水利用計画について講演した。

4 会議の終わった後で

10月29日の午前中で会議が終了した。その午後にドレッサーというヒューストンに本社をもつ掘削検層関連の複合企業が日本人参加者を会社見学に案内してくれた。会社の実験室やトレーニングセンターを見せてもらったが いずれも機能的につくられていた。この会社は石油産業とともに育ってきた長い経験を生かして 高い技術水準を確保しているようにうかがえた。現在の地熱開発において貯留層の実体把握ということが最大の焦点となっていることを考えると 日頃検層などにうとい私

にも地熱分野での検層技術 貯留層評価技術の重要性が痛感させられた。

10月30日はヒューストンの市内観光を楽しんだ。午前中はダウンタウンを見学しガイドから歴史などの説明を受けた。その英語はよく理解できなかったが 短い歴史しかないアメリカであるが故に 歴史を大切にしようとする心意気は十分感じとれた。午後はアポロ衛星で有名になったジョンソン スペース センターを見学した。まず広い敷地内に入っていくと野外に 3本のロケットが展示してある。2本は10メートル程度の小さいものであるが 残りの1本は100m程度の長さのある三段式ロケットで 目の当りにするとすごい迫力がある。この他敷地内には宇宙航空士トレーニングセンター 衛星との交信をする指令室 種々の展示館などたくさん建物がある。短い見学時間であったが 展示が見学者のために十分配慮されていたので アポロ衛星に乗って月面に立つ自分の姿をしばし夢みる事ができた。



写真3 ドレッサー工業株式会社

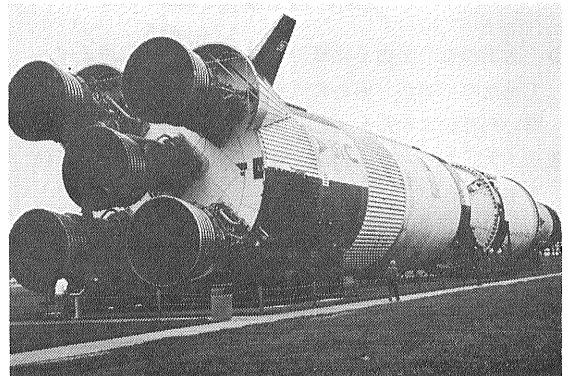


写真4 ジョンソン スペースセンターの月ロケット