

日米地熱資源評価に関する会議に出席して

角 清 愛 ・ 馬 場 健 三 ・ 川 村 政 和 ・ 金 原 啓 司 (地熱熱部)
 Kiyoshi SUMI Kenzo BABA Masayori KAWAMURA Keiji KIMBARA
 長 谷 紘 和 ・ 八 木 治 郎 (新エネルギー総合開発機構)
 Hirokazu HASE Haruro YAGI

1 はじめに

1978年に工業技術院と米国エネルギー省 (DOE) との間で締結された「日米地熱エネルギー応用実施とりきめ」に基づき 地熱資源評価に関する日米間の情報交換を行うために 工業技術院サンシャイン計画推進本部は1981年3月11日から3月22日まで米国に調査団を派遣した。調査団はサンシャイン計画推進本部より調査の委託を受けた新エネルギー 総合開発機構 (NEDO) 及び地質調査所 (GSJ) の専門家より構成され ワシントンでは DOE および米国地質調査所 (USGS レストン) の専門家 ソルトレークシティではユタ大学地球科学研究所 (ESL/URI) の専門家 サンフランシスコでは USGS (メンロパーク) の専門家とそれぞれ情報交換を行ったほか ユタ州からネバダ州にかけてのベースンアンドレンジ地域の地熱地帯の現地調査も行った。本報告はサンシャイン計画推進本部に提出された報告の概要である。

調査団の訪米にあたり 終始御指導をたまわった 工業技術院サンシャイン計画推進本部 岡山 巖研究開発官および地熱担当専門職 川口幸男 笹田政克両氏および現地調査について便宜供与をいただいた出光地熱(株)およびリパブリックジオサーマル(株)に対し厚く御礼申上げます。



第1図 DOEの地熱課のあるワシントンのフェデラルビルディング (ここで会議が開催された)

2 米国エネルギー省 (DOE) における専門家会議

3月11日 (水) NEDO ワシントン所長 和田正武氏の出迎えを受けてワシントン入りした調査団一行は 翌12日 (木) 8時30分宿舍のウエリントンホテルを出発し 9時に会場であるフェデラルビルディング内の DOE 7134号室に到着した (第1図)。議事の進行は DOE によりあらかじめ準備された下記のスケジュールに沿って行われることになった。

時 間	題 名	紹 介 者
9:00-10:00	日本の地熱プログラムの紹介	角 清愛, 長谷紘和
10:00-11:00	DOE の地熱プログラムの概観	C. McFarland
11:00-12:00	DOE の企業化活動	D. Lombard
12:00-13:30	昼 食	
13:30-14:30	高温岩体プログラム	A. Jelacic
14:30-15:15	地球科学プログラム	R. Gray
15:15-17:00	探査技術プログラム	C. Bufe

今回の会議のために特に準備された資料 (第2図) に基づいて 角が日本の地熱プログラムの紹介を行った。

これに対して米国側から地熱開発における民間と GSJ の役割 民間企業による調査および掘削データの取扱い 国立公園内における地熱開発の現状に対して強い関心が示された。続いて長谷が設立間もない NEDO の概要説明を行ったが パイナリーサイクル発電 トータルフロータービンの R&D の現状および地熱開発のための促進調査に対する質問がなされ 一般に NEDO に対する米国側の関心が非常に高いように思えた。

続いて DOE から話題提供がなされた。DOE の地熱課は先端エネルギーシステム 地熱企業化 地球科学 熱水技術の各室とプログラム調整室より構成されている。調査団の訪米直前 (3月10日) 議会に提出された1982年度の地熱関係の予算 (第1, 2表) が前年に比較して1/3

* 本報告は調査団によって作成された報告書「地熱資源評価に関する日米研究開発協力」(1981年4月サンシャイン計画推進本部) に基づいて 主に金原が本ニュース用にアレンジしたものである

RECENT STUDY ON GEOTHERMAL RESOURCES ASSESSMENT IN JAPAN

(Prepared for Panel Discussion for the Assessment of Geothermal Resources of USA-JAPAN in 1981)

1981

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN
NEW ENERGY DEVELOPMENT ORGANIZATION

第2図 日米地熱資源評価会議のため準備された日本側資料 (英文 80ページ) の表紙と目次

CONTENTS

1. Introduction
2. Historical Review of Geothermal Resources Survey in Japan
 - 2.1 First period (1918 - 1950)
 - 2.2 Second period (1951 - 1960)
 - 2.3 Third period (1961 - 1972)
 - 2.4 Fourth period (1973 - 1977)
 - 2.5 Fifth period (1978 - present)
3. Historical Review of Geothermal Assessment in Japan
 - 3.1 Geothermal resources assessment in the second period (1951-1960)
 - 1957 assessment
 - 3.2 Geothermal resources assessment in the third period (1961-1972)
 - 3.3 Geothermal resources assessment in the fourth period (1973-1977)
 - 1974 and 1977 assessments
 - 3.3.1 1974 assessment
 - 3.3.2 1977 assessment
4. Assessments of Geothermal Resources & Compilation of Geothermal Data
 - 4.1 Hydrothermal resources
 - 4.1.1 Assessment by heat discharge survey
 - 4.1.2 Assessment by hydrothermal alteration survey
 - 4.1.3 Compilation of geochemical data
 - 4.1.4 Compilation of gravimetric survey data
 - 4.2 Hot water resources in non-volcanic sedimentary basin
 - 4.3 Other kinds of geothermal energy resources
5. Basic Studies
 - 5.1 Basic studies of the assessment techniques of geothermal resources
 - 5.2 Basic studies for geothermal exploration
 - 5.3 Experimental geothermics
6. Applied Studies
 - 6.1 Studies until F.Y. 1979
 - 6.1.1 Research on hydrothermal system
 - 6.1.2 Research on exploration for deep geothermal resources
 - 6.2 Studies after F.Y. 1980
 - 6.2.1 Demonstration study of geothermal regime in Hobi, Sengan and Kurikoma basins (1978-1985)
 - 6.2.2 Research on new exploration technique for deep geothermal resources
 - 6.2.3 Geothermal resources data base system
7. Outline of Geothermal Program of NEDO
 - 7.1 Geothermal R&D program in NEDO
 - 7.2 Brief description of NEDO geothermal program in FY 1980 and 1981
 - 7.3 Outline of the nationwide survey of geothermal resources
8. Afterwords

References Cited
List of Contributors

程度に削減されている資料を会議で見せられ 我々一同大変なショックを受けるとともに レーガン新政権下で

の代替エネルギー開発の厳しさを強く印象づけられた。

第1表 米国エネルギー省 (DOE) の太陽および他の再生可能資源の1982年度予算 (単位百万ドル)

	1980年	1981年	1982年
(太陽)			
能動的太陽熱冷暖房	57	41	12
受動的太陽熱冷暖房	29	32	10
光起電力エネルギーシステム	150	139	63
太陽熱エネルギーシステム	152	124	44
バイオマスエネルギーシステム	33	31	20
風力エネルギーシステム	61	60	19
海洋エネルギーシステム	43	35	
太陽エネルギー研究所	10	5	
他の太陽	24	22	15
アルコール燃料	22	18	10
節約	—	-29	—
太陽小計	581	478	193
(水力)	21	- 3	
(地熱エネルギー)	149	143	48
(地熱資源開発基金)	—	-21	
合計	751	597	241

DOE では熱水系 地圧水 高温岩体の3部門に戦略目標を設定し R&Dを行っている。米国の地熱発電の目標は 西暦2000年で25,000 MW であるが(この値はレーガン政権により修正されるとのことである) 第3表に示すように1980年現在の米国の地熱発電設備容量は 812 MW (1981年3月現在では918MW) であり このうちガイザースが802 MW を占めている。1990年までに提案されている 3,304 MW の内訳を見ても 相変わらず ガイザースが45%を占めるなど米国の地熱開発が地域的に偏在し

第2表 地熱エネルギー R&D 予算 (単位千ドル)

	1981年	1982年 (カーター大統領)	1982年 (レーガン大統領)
熱水企業化	66,061	35,039	6,000
地圧水	34,474	26,436	20,336
地熱技術開発			
(要素開発)	34,110	15,000	10,439
(高温岩体)	14,000	13,100	10,000
(管理費)	2,376	2,000	1,600
合計	151,021	91,575	48,375

ていること また R&D の成果が実用化するには長い期間を要することをよく物語っている。 ちなみに米国では地熱を再生可能資源としているものの 電力会社ではその寿命を30年と 枯渇資源に位置づけている点は興味深い。

高温岩体 (HDR) プログラムにより実際に発電が行われたというニュースが以前紹介されたことがある。 この点について DOE から1980年5月 バイナリー方式で60 kW 発電したが フレオンの“もれ”があったので2〜3時間で運転を中止したとの説明があった。 また HDR の資源評価については 地下深部は homogeneous で isotropic と考えているので余りやっていない。 次期実験場候補地 (Site 2) は米国西部の浅い花崗岩地帯 (クリアレイク ロングバレー ルーズベルト カスケードなど) を考えているとの説明であった。 HDR 実験場に花崗岩地帯が選ばれる理由は実験が容易だからとのことであり この点日本が焼岳の古生層を相手にしていることは対照的である。

DOE ではしばしば“カップルド”という耳なれない言葉を聞いたが これは地球科学プログラムの中だけで使用される言葉であって これには

① Industry—Coupled Program

第3表 1990年までの米国の地熱発電容量 (単位 MW)

Location	容量 (MW)		合計
	稼動中 (1980年 7月現在)	計画中 (1990年 まで)	
Brawley, CA	10	595	605
Coso Hot Springs, CA	—	75	75
East Mesa, CA	10	100	110
Geysers, CA	792	1,488	2,280
Heber, CA	—	300	300
Mono-Long Valley, CA	—	28	28
Niland, CA	—	337	337
Salton Sea, CA	—	55	55
Wendel-Amedee, CA	—	50	50
Westmoreland, CA	—	48	48
Puna, HI	—	3	3
Raft River, ID	—	5	5
Valles Caldera, NM	—	50	50
Desert Peak, NV	—	50	50
Roosevelt H. S., UT	—	120	120
合計	812	3,304	4,116



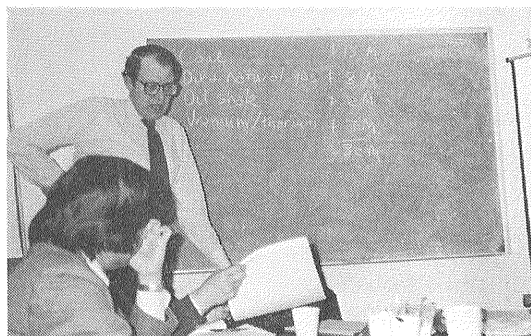
第3図 米国エネルギー省(DOE)における 会議参加者記念写真 前列 左より D. Lombard, A. Jelacic, R. Gray, C. Bufo (以上 DOE) 後列左よりヒラリー上原 (通訳) 八木治郎 (新エネ機構) 川村政和, 馬場健三, 角 清愛 (以上地調) 長谷敏和 (新エネ機構) 金原啓司 (地調)

- ② State—Coupled Program
- ③ User—Coupled Confirmation Drilling Program

の3つがある。 ①は電力に変換できる 150°C 以上の高温貯溜層の開発を促進させるプログラムであり ②は低温 (90°C 以下) から中温 (90°C~150°C) の地熱資源に関する情報を収集するプログラムであって 州別の地熱資源図として1981年度末までには12州が出版される予定になっている。 ③は地熱井掘削に対して 位置選定調査 掘削準備 掘削 流量テスト 流体処理 井戸仕上げ 還元井掘削に必要な経費の一部を国が負担することを定めており その負担率は 大まかに言えば 成功の場合企業80% 国20% 不成功の場合企業10% 国90% となっている。

3 米国地質調査所 (USGS) における情報交換

3月13日(金) 研究調整のため USGS から DOE に 連



第4図 米国地質調査所 (USGS, レストン) のエネルギー資源部長 Dr. L. Hoover よってエネルギープログラムの説明を受ける(エネルギー会議室において)

第4表 米国の地熱エネルギー資源評価 (Muffler, 1978)

	取得可能 資源基礎量 10km ² (10 ¹⁸ J)	取得可能 資源基礎量 7km ² (10 ¹⁸ J)	取得可能 流体資源基礎量 6.86km ² (10 ¹⁸ J)		取得可能 資源基礎量 3km ² (10 ¹⁸ J)			資源量 (10 ¹⁸ J)	電力 (MWe30年間)	利用熱量 (10 ¹⁸ J)
			砂岩	頁岩 計	>150℃	90°-150℃	計			
伝導卓越型										
陸地	33,000,000	17,000,000	.....	.....	.....	.....	3,300,000	.....	.....	.....
湾岸沖合	370,000	180,000	.....	.....	.....	.....	36,000	.....	.....	.....
計	33,000,000	17,200,000	.....	.....	.....	.....	3,300,000	.....	.....	.....
火成作用関連型										
既見積分	101,000	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
未見積分	>900,000	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
計	>1,000,000	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
熱水対流型貯留層										
確認分	.....	.....	.....	.....	950	700	1650	400	23,000	42
未発見分	.....	.....	.....	.....	2800-4900	3100-5200	8000	2000	72,000-127,000	184-310
計	.....	.....	.....	.....	3800-5800	3800-5900	9600	2400	95,000-150,000	230-350
メキシコ湾北部 (沿岸及び沖合)										
熱エネルギー	850,000	410,000	11,000	96,000	107,000	.....	.....	270-2800	.....	.....
メタンエネルギー	.....	.....	6,000	57,000	63,000	.....	.....	158-1640	.....	.....
計	.....	.....	17,000	153,000	170,000	.....	.....	430-4400	.....	.....
他の地圧水型盆地	.....	.....	.....	46,000	.....	.....	.....	.....	.....	.....

絡官として出向している地震学者の Dr. C. Bufe の案内のもとにワシントン近郊レストンにある USGS を訪問した。海外地質部中東およびアジア地域担当の Dr. M. Terman 氏が我々を出迎えた。氏は GSJ 海外地質調査協力室長嶋崎吉彦氏と旧知の仲であり 会議は同所エネルギー会議室で談笑裡にはじめられた (第4図)

USGS の地熱研究は国の地熱資源の本質 分布 エネルギーポテンシャルなどについての理解を深めることを目的としており 具体的には

- ① 地熱資源の新しい発見
- ② 探査および評価の手法研究
- ③ 資源の特性研究
- ④ 地下の孔隙率 滲透率の地質的規制の研究
- ⑤ 地熱開発の地質学的環境への影響

に関する研究を行っている

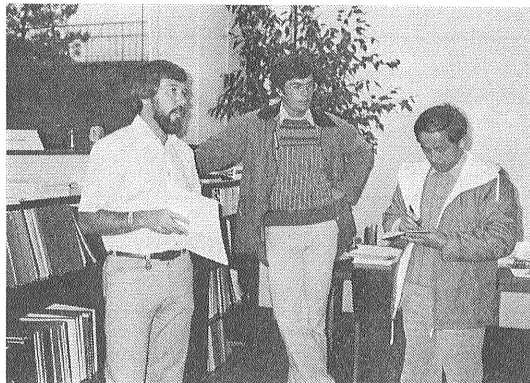
地熱エネルギーに限らず 石炭 石油 オイルシエール ウラン トリウムなど国家のエネルギー資源の量的評価は USGS の重要な業務の一つとなっている (USGS は資源の探査そのものは行わず 探査地域を選んだり 探査手法の研究を行ったりしている)。USGS による最初の評価は1975年に行われ その改訂が1978年になされた。これが現在最も新しい評価であり 結果の集計は第4表に示す通りである。90℃以上の温度を有す熱水系の確

認された資源量は 国立公園地域を除いて 30年間約23,000 MW 発電が可能という量に計算される。未発見のもので今後発見されるであろうと予測される熱水系を考慮すると 見積りはさらに大きくなり 30年間 150,000 MW となる。表中に示されてある様に 評価では資源基礎量と資源量が区別されている。資源基礎量とはいわば埋蔵量であり そのすべてが利用できるものではない。これに対して資源量は利用できる量の事であり 資源基礎量の何%かに計算される。見積りの対象は表にある様に

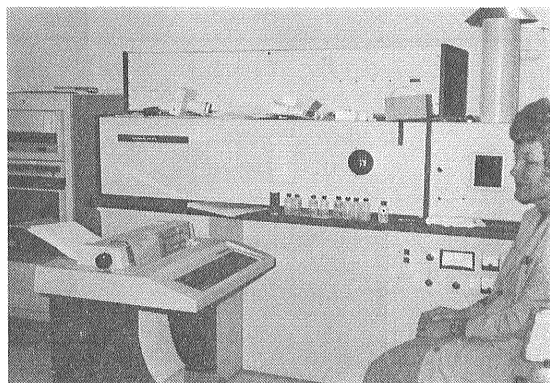
- ① 伝導卓越地域についての評価
- ② 火成活動関連の熱源評価
- ③ 熱水系の貯留層についての評価
- ④ メキシコ湾北部の地圧水についての評価
- ⑤ 他の地域の地圧水についての評価

の5つである。現在 USGS では カスケード山脈を中心とした地域の地熱資源の評価方法について 研究が集中的に行われている。

一方3月20日(金)には USGS の地熱に関連する研究者の大半がいるサンフランシスコ郊外のメンロパークを訪問した。研究本館は耐震工事のため 鉄骨等がかこまれ この工事のため多くの職員があちこちに借家をして分散しているとのことであった。訪問先の Dr. L. J.



第5図 ユタ大学地球科学研究所 (ESL/UURI) の次長 Dr. P. M. Wright (左端) より 彼の研究室において概要説明を受ける



第6図 ユタ大学地球科学研究所に設置されているプラズマ発光分光分析装置 (米国の Applied Research Laboratory 社製で現在37種の元素の分析を行っている) 座っているのは分析を担当している R. Kroneman 女史

P. Muffler も例外ではなかった。

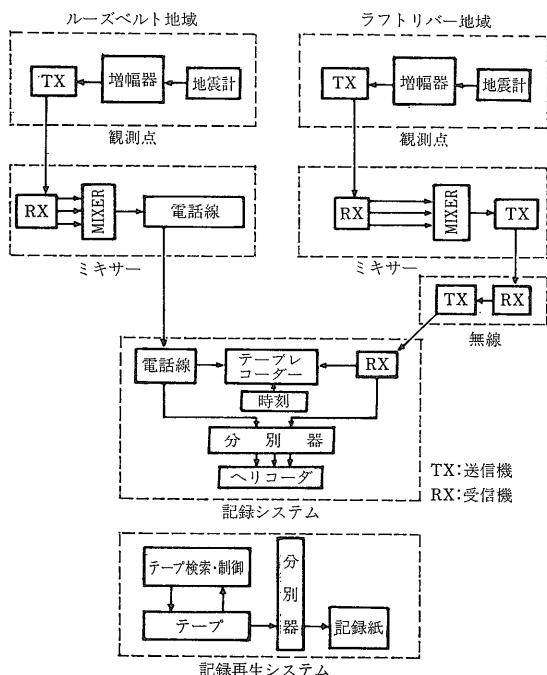
Dr. W. Duffield (地熱研究調整官) によれば DOE と USGS の地熱資源評価について 前者は地点評価 (Site specific study) と 試錐を伴うことや民間との共同調査 (Industry-coupled) を行い USGS は全国評価を行う (100~200m 級の熱流量孔を請負で掘削することはある) ことで分業しているとのことであった。また Dr. M. Reed (資源評価担当) によれば USGS は全国の地熱資源評価に責任をもつが 現在の所 熱の直接利用のための 100°C 以下の熱水の評価に力を入れているとのことであった。

なお評価にあたっては データベース “Geotherm” を活用している。すでに述べた DOE の州別地熱資源分布図の出版には USGS が支援している。日本においても 最近増大しつつある地熱井からのコアの保管管理が大きな問題となりつつあるが USGS はデンバーにコアレポジトリー (面積約 2,000坪) を持ち コアの管理に当たっており この点日本ははなはだ遅れた状態にあると言えよう。

Dr. C. Bacon (カスケードプロジェクトの研究調整官) によれば USGS は地殻熱流量が 1.8 HFU と高い カスケード地域の熱源探索のため MT 調査 300m 深の熱流量調査を実施しているとのことであった。

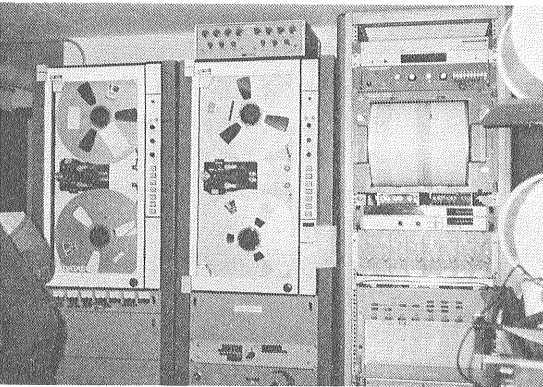
4 ユタ大学地球科学研究所

DOE での会議の際 地熱担当官は DOE の Industry-Coupled Program の“総合解析”を一手に引き受け地熱プロジェクトを積極的に支援しているユタ州ソルトレークシティのユタ大学地球科学研究所 (ESL/UURI) を訪問するように強く勧められた。そこで調査団は3月16日(月)ラフトリバーからの帰途午後4時過ぎ 小雨の降る中をユタ大学研究所 (UURI) の1部門である地球科学研究所 (ESL) を訪問した。次長の Dr. P. M. Wright の出迎えを受け 概要説明を受けた (第5図)。この研究所はケネコット アナコンダの鉱山会社とユタ大学地質 地球物理学部の共同で1977年に設立されたことから 30名以上のスタッフの多くは同会社出身の金属鉱山研究者が多く 地熱地質は石油地質よりも鉱山地質に近いというセンスで ルーズベルト地熱地帯などの研究を行っている。また地球化学的分野では USGS は水化学に力を入れているが ここではプラズマ発光分光



第7図 ユタ大学の自然地震モニタリングシステム

分析装置を用いた岩石中の微量成分分析を精力的に行いその分布から地熱を探索する研究を行っているほか(第6図) 物探関係では MT 法に力を入れている。地熱開発に伴う環境への影響を調べるためにルーズベルトとラフトリバーの微小地震観測を電話回線と無線を利用して行っている(第7 8図)。特筆すべきこととしてユタ大学には DOE のプロジェクトによって得られたボーリングコアを保存する全米で唯一の地熱専門コアライブラリ(床面積約 100 坪)があり 20の地熱地域の 180本の井戸から得られた 8,200m 分のカッティングス 2,034 m 分のコアサンプル 500 の特別に工夫された標本板(第9図)が所蔵されていることである。貴重なコアの保存にそれほど労力を払わない日本の地熱開発の現状は大いに反省する必要があるであろう。



第 8 図 ユタ大学地球科学研究所の自然地震観測装置
右側：モニター記録装置
左側：データレコーダ

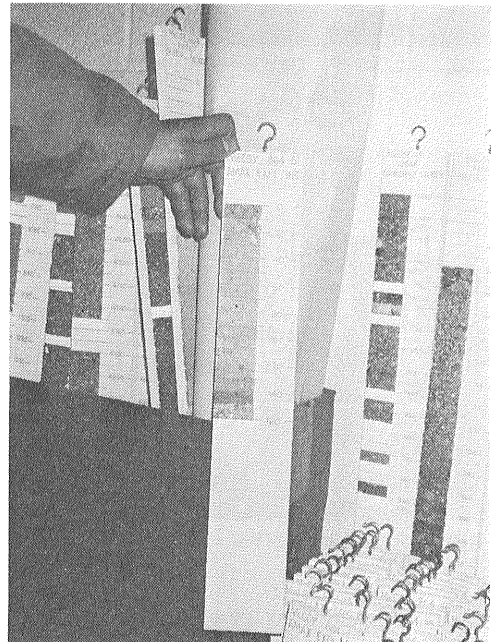
5 ベースンアンドレンジ地域の地熱地帯

ユタ州からネバダ州にかけて 南北方向に長軸をもつ何列かの盆地と山稜が配列している。山脈は新生代後半の高角度の断層運動でブロック化したもので 盆地は沈降した部分が厚い堆積物でおおわれており このような地域を地形学的にベースンアンドレンジ地域と呼んでいる。この地域内には多くの著名な地熱地帯があり今回そのいくつかを見ることができた(第10図参照)

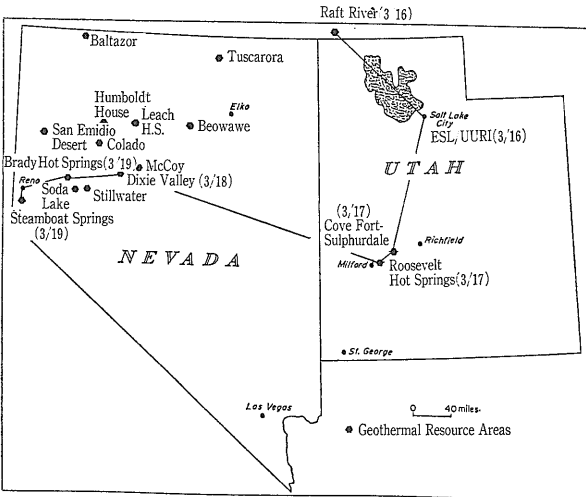
5.1 ラフトリバー (Raft River) のバイナリーサイクル発電プラント

3月16日(月) 午前8時10分 DOE の実施しているラフトリバーのバイナリーサイクル発電プラントを見学するためにソルトレークシティを出発し みぞれまじりの小雨の降る中を一路北上し 11時30分州境に近いアイダホ州の現地事務所に着した。現地事務所およびプラント施設は人里離れた荒野の中に孤立して建ており 現在10人程度の職員が地熱坑井の保守 プラント施設の管理および熱水分析を行っている。

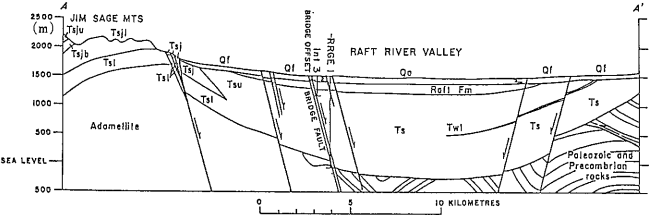
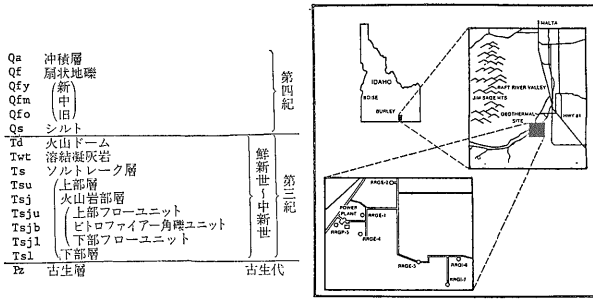
ラフトリバーはベースンアンドレンジ地域に含まれ第四紀の堆積物に厚く(最大2km) おおわれた盆地状である(第11図)。本地域の地熱徴候はきわめて少ないが 1973年に USGS と ERDA (DOEの前身) により各種の物理探査が行われた。1975年には最初の試錐が行われ



第 9 図 ユタ大学におけるカッティングスの標本板
カッティングスを深度順に木工用ボンドを用いて板にはりつける工夫をしている



第10図 ベースンアンドレンジ地域の地熱地帯調査ルート
() 内は日付



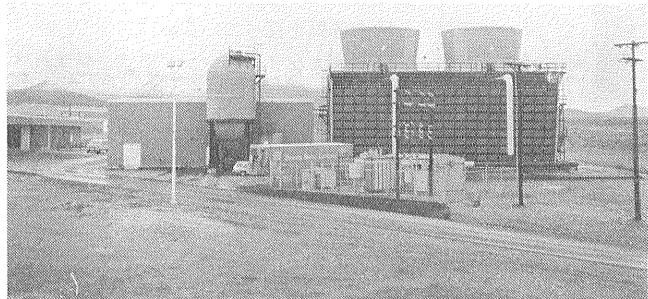
第11図 ラフトリバー地熱地帯の位置および地質断面図

1526mで147°C 流量120t/hの熱水が流出した。その後この熱水を利用して バイナリーサイクル発電を含む多目的利用の実験がなされてきた。

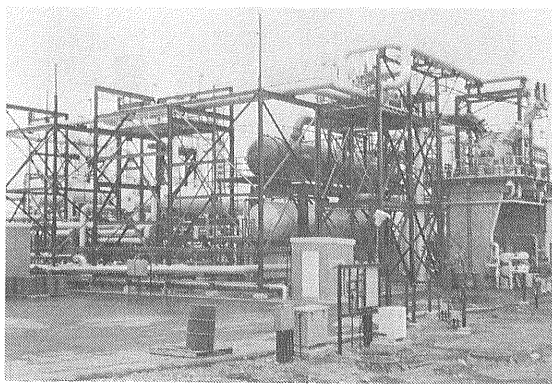
ラフトリバープラントは米国西部に豊富に存在する中温熱水資源の利用にあたって その経済性を実証することは大きな意味がある。発電所の構内には事務所の建物(事務室 制御室 化学分析室)と 設備の保守を行うための修理室 冷却ポンプ室 冷却塔 発電プラント それに排水ピットおよび水のタンク等が配置されている(第12 13図)

坑井は7本あって 3本の生産井 2本の還元井 2本の予備井からなっている。

発電プラントの系統は第14図の通りであるが 地熱熱水はブースポンプで取出され熱交換器を通して二次媒体(インプタン)を加熱し 仕事を終えた排熱水は還元井へ戻される。二次媒体は低圧予熱器で加熱され そのうち約66%は高圧予熱器に入り 加熱された後高圧ボイラに入る。 残りの34%は低圧ボイラに入る。 その後高圧ボイラから出た媒体蒸気はラジアルタービンの高 低圧車室に入ってタービンを駆動し 発電機を回す仕組みになっている。



第12図 ラフトリバー 5MWe バイナリーサイクル地熱発電施設の冷却塔



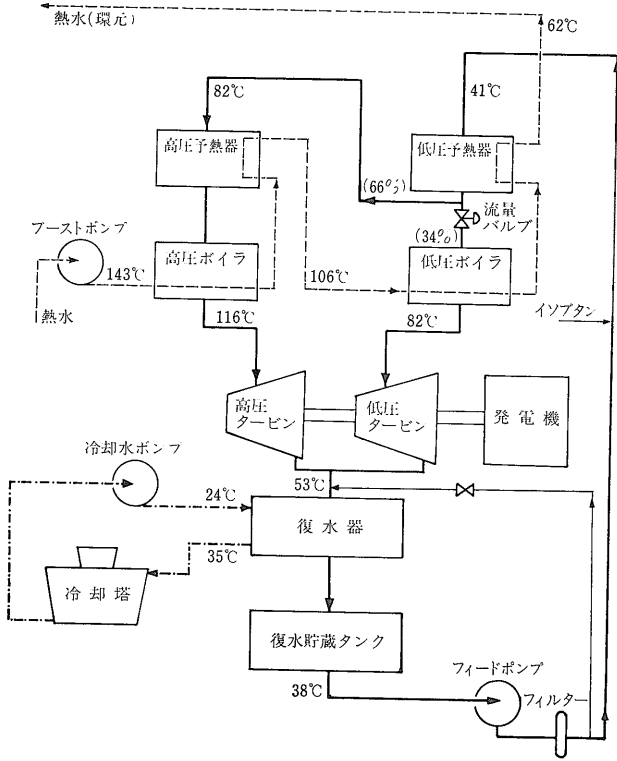
第13図 ラフトリバー 5MWe バイナリーサイクル地熱発電施設全景

右端の高い台にのっているのが発電機 その左の2段になっているタンクの上は復水器 下が復水貯蔵タンク さらにその左側には高圧ボイラ 高圧予熱器 低圧ボイラ 低圧予熱器等が配列している

しかしながら 我々調査団が訪れた時点では発電所は停止していたし 施設完成後の発電テストはほとんど行われていない状態であった。 その理由としては 地熱熱水の減衰 予算削減のため揚水ポンプの増設と生産井の掘削ができないことなどである。 現状で見る限り本計画は必ずしも成功とは言えないことを物語っている。

5.2 コブフォート (Cove Fort) 地熱地帯

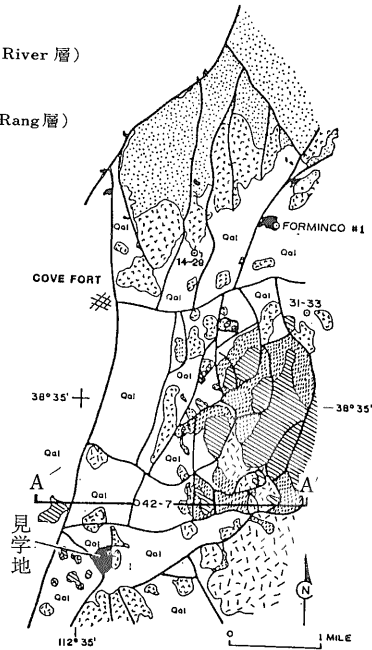
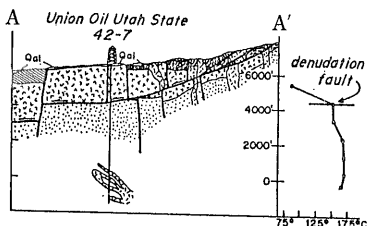
3月17日(火)朝8時にソルトレークシティの宿舎リトルアメリカを出発し コブフォート ルーズベルト地熱地帯を訪問するために一路南下した。 ルーズベルトまではユタ大学の地質学者 Dr. D. L. Nielson が我々と一諸に同行し 11時50分にコブフォートに到着した。コブフォートはユタ州南西 Marysville 火山地帯の北西端に位置する地熱地帯である。 この地域ではユニオンオイルにより多数の熱流量調査孔と4本の調査井(深度320~2358m)が掘削されており 42-7号井(2358m)では古生代の石灰岩石中で178°Cを記録している(第15図)。 見るべき地表の地熱徴候として特筆すべきもの



第14図 ラフトリバー 5MWe バイナリーサイクル地熱発電施設系統図

凡例

- ▨ Osiris Tuff, Joe Lott Tuff 部層 (Mount Belknap 火山岩類, Sevier River 層)
- ▧ 岩株、岩脈
- ▩ 含斜方チロル沸石凝灰岩
- 凝岩, Three Creeks Tuff 部層 (Bullion Canyon 火山岩類, Needles Rang 層)
- 古生代～中生代堆積岩類
- 酸性変質帯



第15図 コプフォート地熱地帯の地質概略図と地質断面図 (Moore and Samberg, 1979)



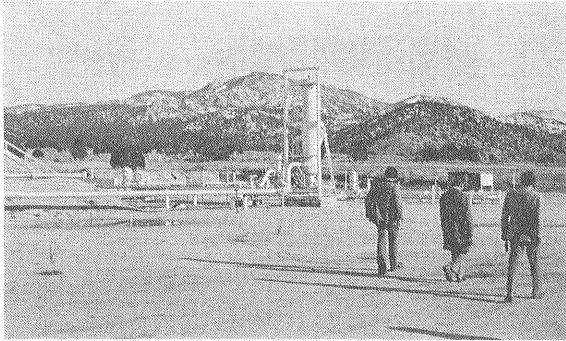
第16図 コプフォート地熱地帯の酸性変質帯
変質帯の中央にはガスを伴うプールがある
(後方の建物は鉱山の施設)

は何もないが 我々が見学をした Sulphurdale 鉱床 (石膏 硫黄 黄鉄鉱 白鉄鉱を産す) にはガスを伴う酸性変質帯が発達している (第16図). 25〜40万年前のコプフォート玄武岩の火成活動が熱源に関係していると考えられており また貯溜層は古生代〜中生代の堆積岩類と考えられている.

5.3 ルーズベルト (Roosevelt) 地熱地帯

コプフォートを12時過ぎに出発し 途中ミルフォードでの昼食をはさみながら 午後3時30分我々はルーズベルト地熱地帯に到着した. ここは USGS より970 MWe・30年間と見積もられた有望地域であり これまでに11本の調査井が掘削され そのうち6本の坑井が生産井として利用可能とされている (第17図) 現在開発を行ったフィリップス石油とユタ電力電灯会社の間で発電所建設の交渉が行われており 1983年に20 MW ついで1985年および1986年にそれぞれ50MWの発電所が計画されている.

1970年以前には本地域に関する科学的研究例はほとんどないが 1972年〜76年にわたりフィリップス石油による本格的探査が行われ 続いて77年には環境調査が行われ 発電所建設可能の下地は出来上がったものと推定される.

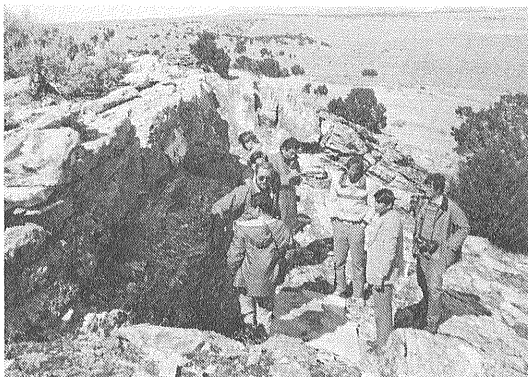


第17図 フィリピッサ石油によって掘削されたルーズベルト地熱地域の54-3号井 (深度879m 温度260°C)

ルーズベルト地熱地帯は前述のユタ大学の研究者により研究が大に行われており 米国でも最もよく研究された地熱系の1つでもある。 本地域の地質は先カンブリア紀の片麻岩と第三紀の貫入岩類 そして第四紀の火山岩類とからなっている (第18図)。 新しい火山岩類の噴出年代は50~80万年前であり この噴出岩源が現在の熱源と推定されている。

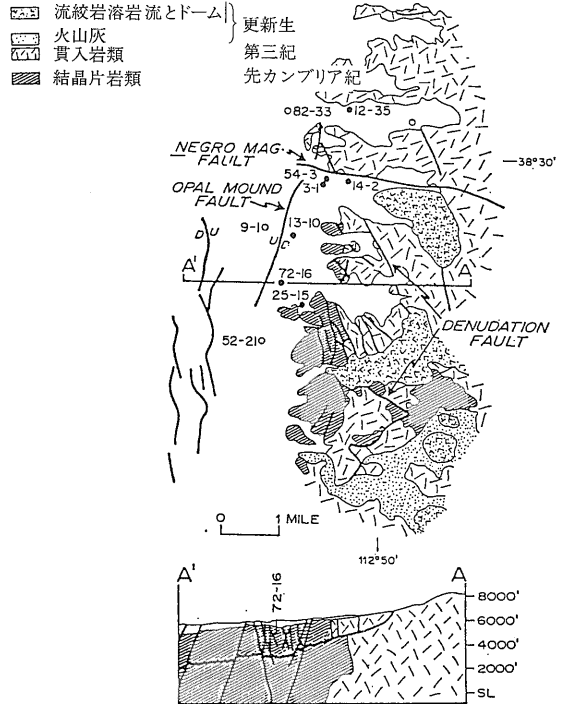
ルーズベルト地熱地帯において特徴的なことは 温泉沈殿物の広い分布であろう。 特にオパールマウンド断層に沿って珪華 オパール カルセドニーなどから成る見事な温泉沈殿物が存在する (第19図)。 坑井より得られる熱水はうすい食塩泉であり Na 2,000ppm Cl 3,000~4,000ppm 程度で As, Li, B, F などが比較的多く Ca Mg は少ない。 Na—K—Ca 地球化学温度計では貯溜層温度は280~290°C と推定されている。

午後5時にはルーズベルトの見学を終え この日の宿泊地であるネバダ州エリーに到着したのは午後7時過ぎであった。



第19図 オパールマウンド断層に沿って見られる見事な温泉沈殿物

左側のめがねをかけた人物が この付近の地質を詳細に調べているユタ大学の Dr. D. L. Nielson



第18図 ルーズベルト地熱地帯の地質概略図 (Nielson and Moore, 1979)

黒丸は噴出した坑井 白丸は噴出しなかった坑井

5.4 ディキシーバレー (Dixie Valley)

3月18日 (水) 8時50分 宿舎のベスト ウェスタンパークビュー モテルをたち ネバダ州の砂漠地帯を西にドライブすること実に5時間 我々はやっとのことで次の目的地であるディキシーバレーに到着することができた。 本地域はネバダ州の中央部に位置するベースランドレンジ地域内の地熱地帯の1つである。 ここはフンボルトロポリスと呼ばれるジュラ紀の貫入岩が階段状に落ち込んだ地溝状の部分で新生代の堆積岩類が水平に厚くおった地域であり 現在の地熱開発はバレーの西側 スティルウォーターレンジ寄りで行われている(第20図)。 バレー内には内陸乾燥気候に特徴的な広大な塩湖が発達しており その景観は実に雄大である (第21図)。 この地域では 熱源となるような火山岩類の年代が1,000万年以前と古いので 恐らく地殻が薄く上部マントルの熱そのものが熱源になっているのであろうと説明されている。 ディキシーバレーには数少ない地表地熱微候の1つとして 72°Cの温泉が塩湖の縁より湧出しているほか 小規模な硫気活動とそれに伴う変質帯を見ることができた。 硫気孔の付近ではウエストディキシーバレー断層に沿って分布する見事な温泉沈殿物 (オパール) の

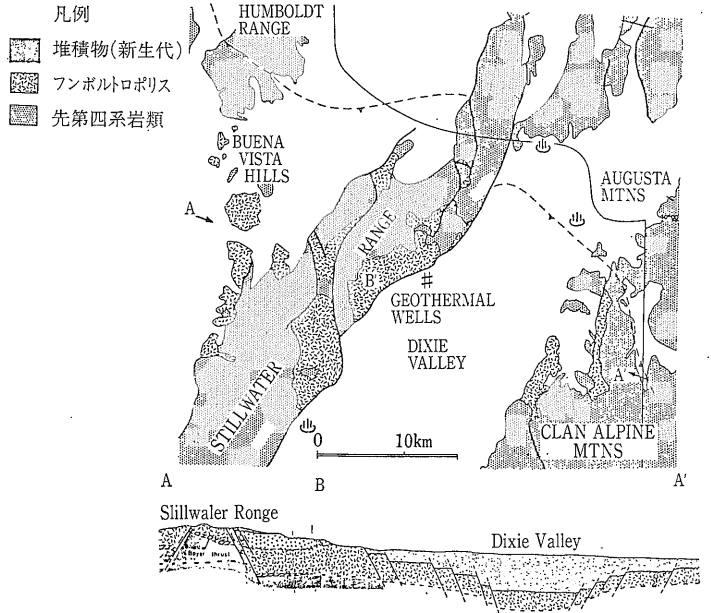
露頭を見ることができる(第22図)。

この地域では何本かの熱流量調査孔が掘削されている。例えば66—15 (610m 177°C) 53—15 (915m 204°C) 64—14 (1915m) などである。サーマルパワーが掘削した45—14 (2752m 179°C) および66—21 (2729m) はいずれも噴出を見なかった。一方1978年にサンオコエネルギー開発が掘削した1号井(2213m)の流量テストによれば59 t/hでこのうち15%が熱水であったことから米国の国立公園外で発見された第2番目の蒸気卓越型地熱地帯として注目されるようになった。ちなみにこの地域の温泉水の分析値(第5表)を見ると塩素量が少なく蒸気卓越型の特徴を備えていると言えよう。1号井のすぐ隣りで掘削された2号井(2715m)は蒸気の噴出を見なかったが5号井(3660m)は2440m付近で蒸気を噴出し6号井は噴出テスト中(第23図)7号井(65—18)は掘削中(第24図)であるなど本地域が将来米国内の地熱開発で大いに注目されるであろうことを我々に予感させるに十分であった。午後5時にはこのディキシーバレーを後にしてこの日の宿泊地であるネバダ州ファーロンに到着したのは午後7時過ぎであった。

第5表 ディキシーバレーの地表水および温泉水の分析値 (mg/l)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Temperature (°C)	22	24	12	77	75
SiO ₂	39	34	12	59.4	51.7
Ca	46	67	40	42	100
Mg	19	68	51	11	22
Na	101	225	160	390	200
K	6.4	15	9	21	27
HCO ₃	205	410	160	940	370
CO ₃	0	0	7.5	1	0
SO ₄	69	240	200	110	380
Cl	124	310	260	45	73
F	.5	.6	.52	7.8	5.2
B	NA	1.0	1.1	4.0	1.4
TDS	609	1,400	900	1,627	1,229
pH	7.9	7.3	9.0	7.1	6.9
SiO ₂ 温度(°C)	91	85	46	110	103
Na/K 温度(°C)	67	97	86	157	186

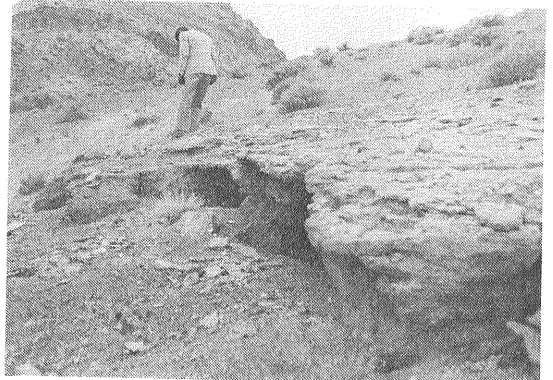
(1)(2)(3) 地表水 (4) Hyder 温泉 (5) Sou 温泉



第20図 ディキシーバレーの地質概略図



第21図 スティルウォーターレンジ側よりのディキシーバレー遠望
バレーの中央には乾燥した塩湖(白い部分)が広がっており右端に小さく見えるジープからバレーの雄大さがよくわかる



第22図 ディキシーバレー断層に沿って分布する温泉沈殿物(オパール)

5.5 ブラデー温泉 (Brady Hot Springs)

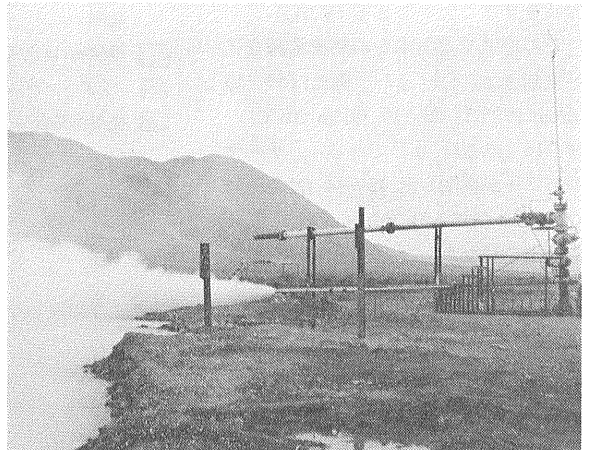
3月19日(水) 宿舎の ベスト ウェスタン ボナンザ インを9時に出発し スティームボート地熱地帯に向かう途中 ブラデー温泉の地熱を利用した玉ねぎ乾燥工場 (Geothermal Food Processors Inc.) に立ち寄った (第25図)． ブラデー温泉はネバダ州の西部レノ市の東北東約75kmにある地熱地帯であり 過去20年間に掘削された地熱井は12本ある 深さは104〜2217m 最高温度は214°Cを記録している．1978年この熱水 (130°C 2700l/分) を利用する玉ねぎ工場が建設された． 12m×180mの建物内には長さ60mの乾燥機があり 熱水により約90°Cにされた乾燥機内で 年間11,000〜14,000tのスライスされた玉ねぎが元の重量の約15%まで乾燥され 排熱水は55°Cで放流されている．

11時30分過ぎにこの玉ねぎ工場を出発し 途中レノでフィリップス石油の地質技師 W. L. Desormier 氏と合流し 我々の最後の訪問地であるスティームボートに向かった．

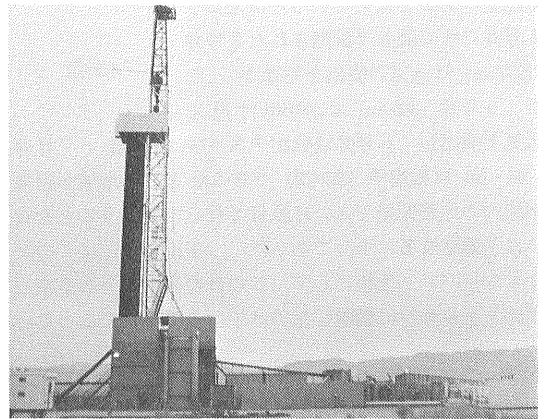
5.6 スティームボート (Steamboat Springs)

スティームボートはネバダ州の西縁に位置する著名な地熱地帯であり 1960年代初頭より USGS が100〜200m程度の調査孔 (GS1〜8) を掘削し 地熱変質作用などを研究してきており また Hg, As, Au, Ag などが温泉沈殿物として認められることから鉱床学者によって興味を持たれた地域でもある．

本地域では中生代初期の堆積岩類や火山岩類を貫いた中生代後期の花崗閃緑岩が基盤となって この侵蝕面上に第三 第四紀の火山岩類がのり また安山岩の岩脈が花崗閃緑岩を貫いている (第26図)． スティームボートヒルをおおう鮮新世後期〜更新世初期の玄武岩質安山岩や軽石質流紋岩の噴出源が熱源であると考



第23図 噴出テスト中の6号井 (詳細は不明であるが 熱水は比較的少ないようである) 後方の山はスティールウォーターレンジ

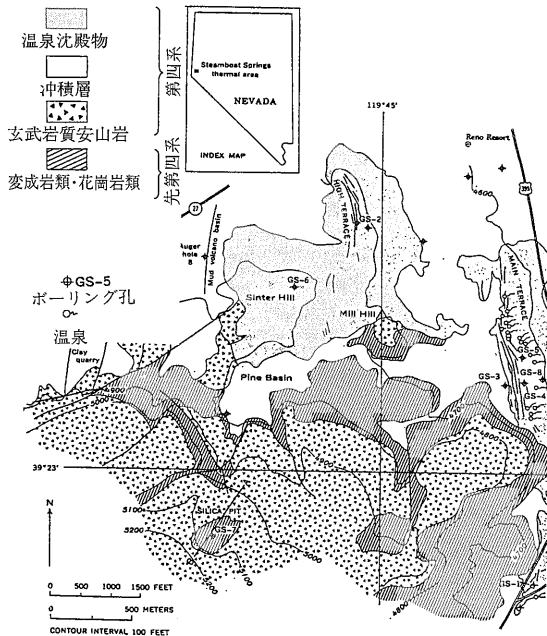


第24図 掘削中の7号井 この程度の掘削装置で深度4000m程度まで掘る (掘削用の水は近くからタンクローリーでピストン輸送されているのには驚いた)

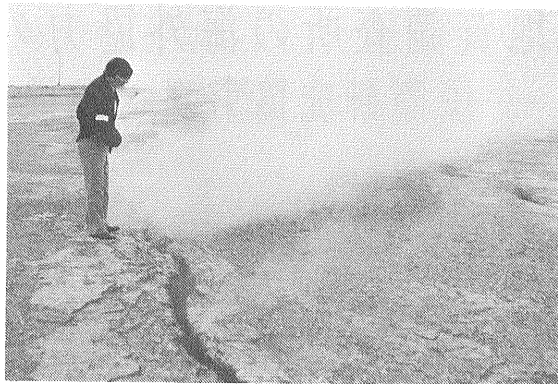


第25図 ブラデー温泉の地熱を利用した玉ねぎ乾燥工場

られている．スティームボートにはシリカピットで代表されるような酸性変質帯が広く発達しまたいたる所に硫黄などの地熱徴候を示す様相は日本の地熱地帯のそれに非常に似ている (第27 28図)． シリカピットの南側ではフィリップス石油により1号井 (915m) が掘削され (第29図) 流量テストの結果によれば 113.4t/hの流量があり このうち熱水は85%であった． このようにスティームボートは熱水卓越型であ



第26図 スティームボート地熱地帯の地質概念図 (Schoen et al., 1974)



第27図 スティームボート地熱地帯 メインテレス (Main Terrace) において 南北性の断層に沿って見られる噴気は圧巻である

文 献

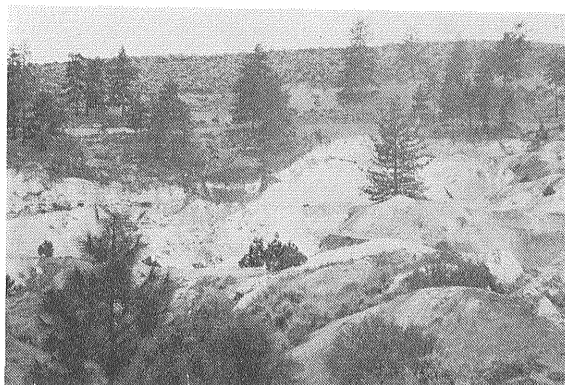
Moore, J. N. and Samberg, S. M. (1979) Geology of the Cove Fort-Sulphurdale KGRA. Univ. of Utah Research Inst., Earth Science Lab. Rept., #18. 44p

Muffler, L. J. P. (1978) Summary in the assessment of geothermal resources of the United States-1978. Geological Survey Circular 790, 156-163

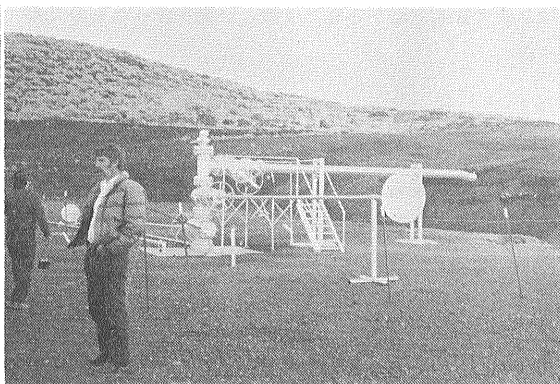
Nielson, D. L. and Moore, J. N. (1979) The exploration significance of low-angle faults in the Roosevelt Hot Springs and Cove Fort-Sulphurdale geothermal system Utah. Geothermal Resources Council Transactions, vol. 3, 503-506

Schoen R., White D. E. and Hemley, J. J. (1974) Argilization by descending acid at Steamboat Springs, Nevada. Clays Clay Minerals, vol. 22, 1-22

り 将来ここにバイナリーサイクル発電所の建設がフィリップス石油により計画されている。



第28図 スティームボート地熱地帯のシリカピットの酸性変質帯
その様相は日本の地熱地帯のそれによく似ている



第29図 フィリップス石油によって掘削された スティームボート1号井 (深度 915m 流量 113.4t/h で熱水は85%) (左に立っている人物は我々を案内してくれた フィリップス石油の地質技師 W. L. Desormier氏)