

チリ共和国プチュルガイサ地区

地熱開発計画調査報告書

1981年3月

国際協力事業団



チリ共和国プチュルディサ地区

地熱開発計画調査報告書

JICA LIBRARY



1026035[4]

1981年3月

国際協力事業団

国際協力事業団	
取入 月日 '84. 4-5	704
登録No. 03006	64.3
	MPN

は し が き

日本政府はチリ共和国政府の要請に基づき同国北部ブチュルディサ地熱開発計画のフィージビリティ調査を行うこととし、その実施を国際協力事業団に委託した。

当事業団は、坂井定倫氏（大手開発株式会社）を団長とする調査団を編成し、1972年10月24日より56日間及び1980年10月24日より68日間の2回にわたる現地調査を行なった。

調査団はチリ共和国政府及び関係機関の協力を得て、プロジェクト関連地域の現地踏査、関係資料の収集等の現地調査を実施し、そのうち同現地調査によって得られた結果及び資料に基づき、データの検討、解析等の国内作業を行った。

本報告書はこの成果を取りまとめたものである。本報告書がチリ共和国の電力需要増に対応する地熱開発に貢献できれば幸いである。

終りに、本調査の任に当たられた団員の労を多くするとともに、調査に際し多大の協力をいただいた、チリ共和国政府、在チリ日本国大使館、外務省及び通商産業省の関係各位に対し、衷心より感謝の意を表わすものである。

1981年 3月

国際協力事業団

総裁 有田 圭 輔

伝 達 状

国際協力事業団

総 裁 有 田 圭 輔 殿

ここに提出する報告書は、チリ共和国ブチュルデイサ地区地熱開発計画調査に関する報告書であります。

この調査は、第一次調査により選定された調査井の結果を解析し、地熱貯留層の評価を行なうものであります。

調査団は、昭和54年10月24日から同年12月18日までの57日間と、昭和55年10月12日から同年12月18日までの68日間、CORFO (Corporacion de Fomento de La Production) の協力を得て、電気探査、調査井の評価、掘削の指導及び検層の解析を実施いたしました。

調査団は、帰国後、各種測定記録の解析及び資料の分析等を行い、従前の調査結果と併せ検討致しました。

その結果、調査井No 6孔は、満足出来ない噴気にもかかわらず深度1,157mで地温勾配の上昇を示していることから、さらに深度を増せば良好な結果が得られることが予想され、ブチュルデイサ地区は有望な地熱地帯であると考えられます。

従って、ブチュルデイサ地区の地熱貯留層の特性を把握するために孔井試験とスワビングを実施し、さらに高ポテンシャルの地熱貯留層の広がりを知るために、調査井No 6孔の北部での調査井の掘削をおすすめいたします。

本報告書の提出にあたり、諸般の御協力を賜りましたCORFO、イキケ州、その他関係政府諸機関ならびに在チリ共和国日本大使館、外務省、通商産業省の方々に対し、心から感謝の意を表します。

1981年3月

チリ共和国地熱開発計画調査団

団長 坂 井 定 倫

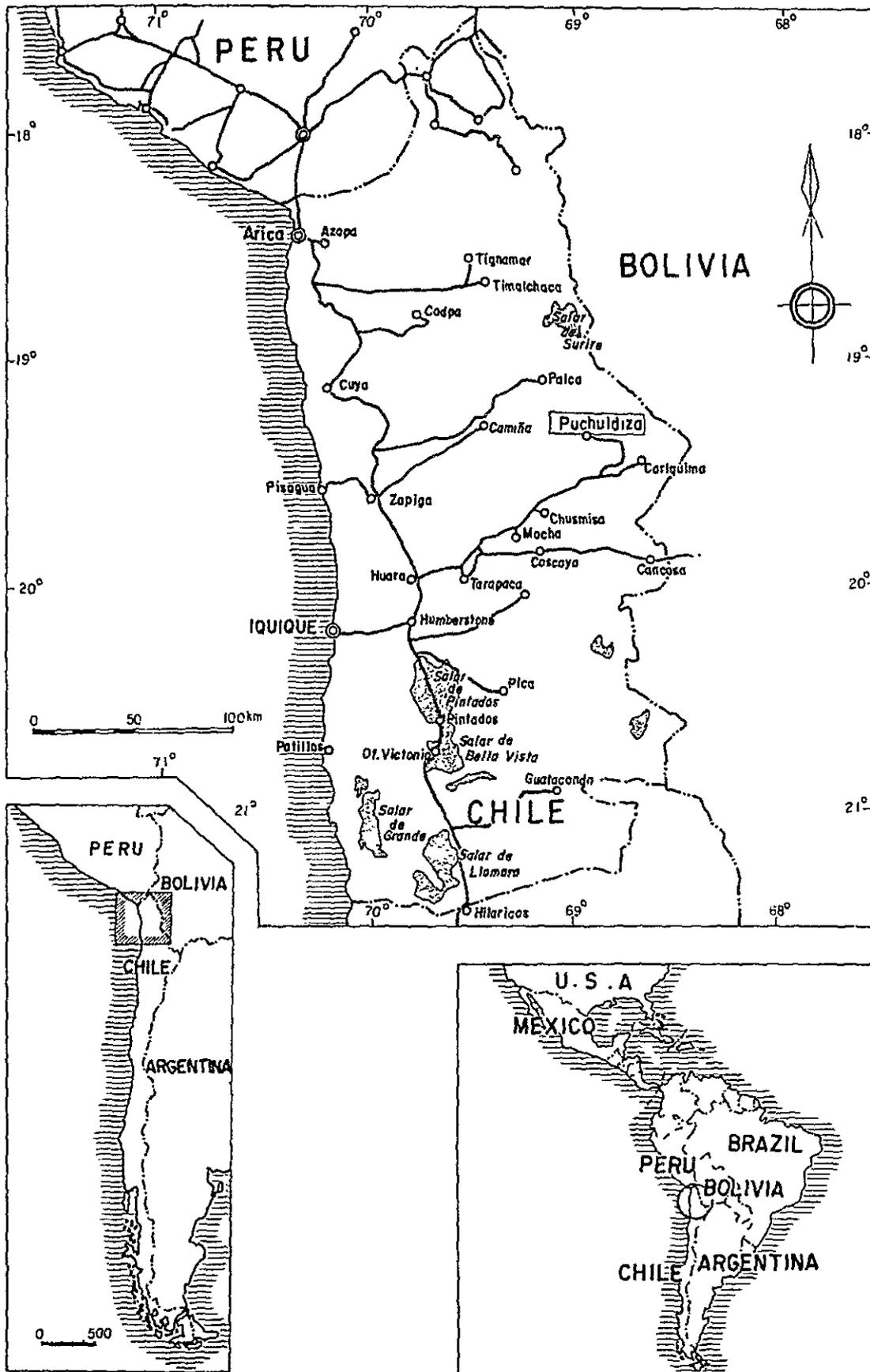
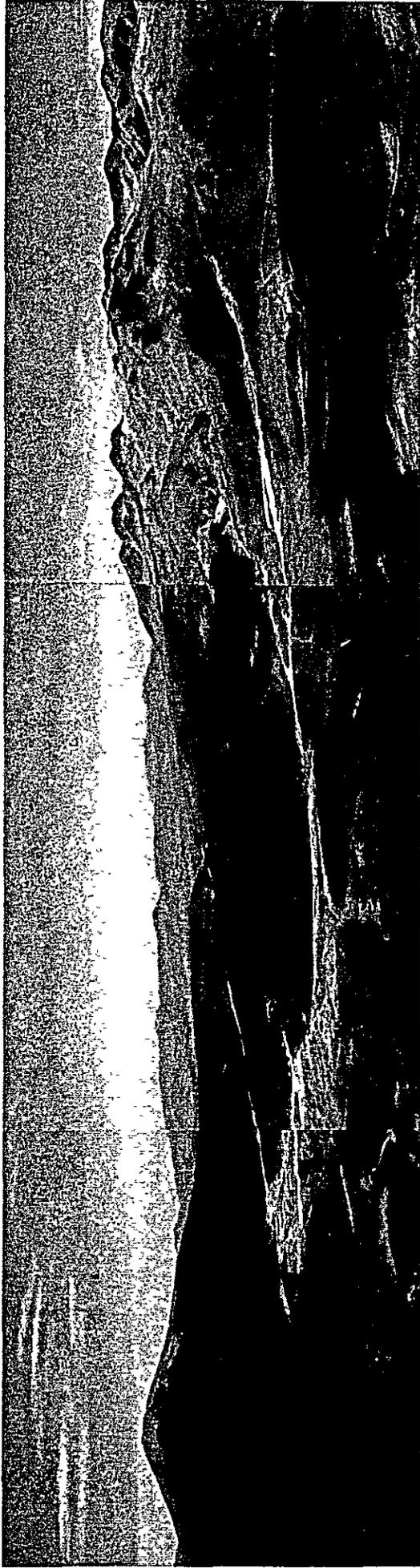
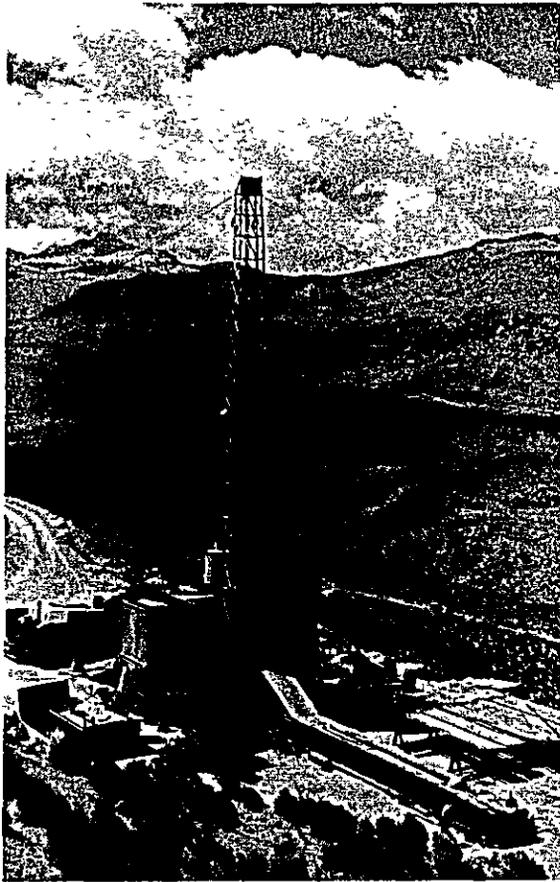


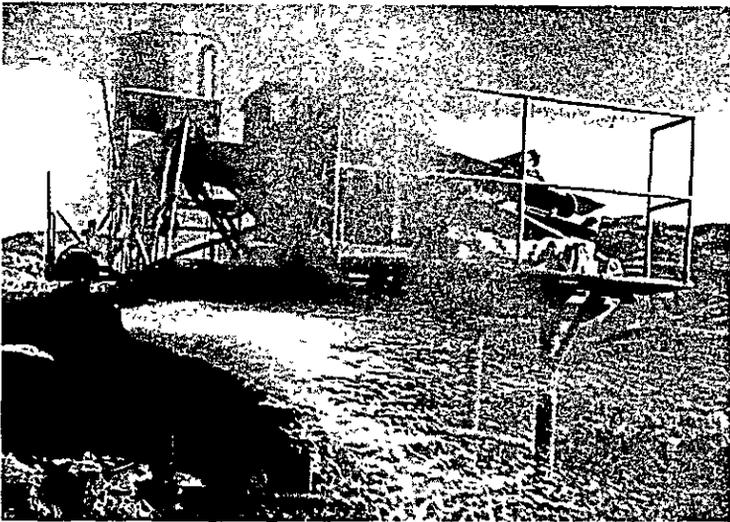
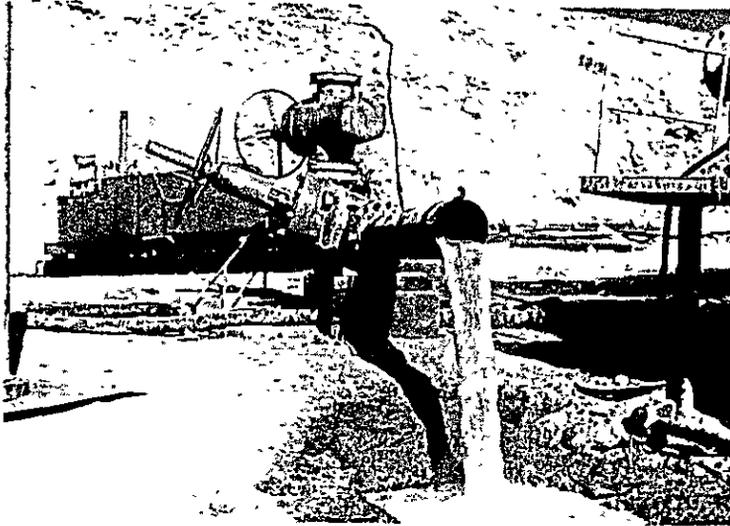
Fig I-1-1 LOCATION OF THE SURVEY AREA



Survey area from Co. Condoriri



Perspective view of the
exploration Well No.6



Production of Well No.6

結 論 と 勧 告

ブチュルデイサ地熱地帯のポテンシャルを評価するため、以下の様な調査が行われた。

第1段階では、1978年に、地表調査、地球化学調査、地球物理探査を行い、調査井№6孔の掘さく位置の選定を行った。第2段階では1979年に電気探査を3測線15Kmを追加すると共に、既存調査井1～5孔の再解析を行った。1980年第3段階では、深度1,157mまで掘削された調査井№6孔の掘削、検層を実施しその評価を行った。

以上、3段階の調査を総括すると以下の結論が得られる。

1. ブチュルデイサ地区に於て3ヶ年にわたって調査の結果、調査井№6孔の北部は地熱開発にとって有望であると推定される。№6孔は良透水性ではなく、噴気も充分ではなかったが深度1,157mの孔底温度は、200℃以上を示し、深部での温度勾配も上昇を示している。
2. JICA調査団以前CORFO側によって掘削されたタイピコージョ山南、南東部の地域は地熱発電にとって経済的に開発できる高温の貯留層は期待できない。
3. 以上の結論になった理由は次の通りである。

- (1) 地表地質調査と重力探査は、この地域がブロック運動によって盆状構造を呈していることを明らかにした。この構造は、タイピコージョ山とその西側で、地熱貯留層形成に適した地質構造を示している。
- (2) 調査井№6孔は、調査井の中で最も深くまで掘削された。そしてその深部には、地熱貯留層に適した孔隙性の地層であるウタヤネ又はチュリコージョ層が存在し、この地層は、さらに深部に厚く分布すると期待される。
- (3) 自然湧泉および孔井から得られた熱水の化学組成は、200℃あるいはそれ以上の地熱貯留層温度を示唆しており、さらに調査井の岩芯の変質鉱物として深度1,000m以深に緑簾石が検出された。これは調査井№6孔の周辺では過去の地質時代に200℃以上であったことを示している。
- (4) タイピコージョ山の周辺では、調査井№1～№4孔の最高温度帯は浅部にあつて、深部に向つては、むしろ温度の降下が認められる。

比抵抗断面では、低比抵抗帯が深部まで連続していないことを示している。これらの事実から、前述の地域では、経済的地熱発電にとって十分に高温な貯留層賦存の期待は出来ない。

4. 測線長30kmの電気探査の結果は、今後さらに探査の価値ある地域を抽出することができた。

- (1) 1978年に実施された重力探査により確認された盆状構造の中に、北西～南東方向に

広がる $10\Omega\text{-m}$ 以下の低比抵抗帯が検出された。その異常帯は長径 8 km, 短径 4 km の長円形を呈している。

(2) 特に電気探査の Line D.E の北方で $5\Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗帯の存在が判明した。従って高温の地熱流体は、調査井 No 6 孔の北方の深部にも広がりを持つことが推定される。

5. 調査井 No 6 孔は、掘削機の最大能力に近い、1,157 m まで、掘削された。孔底温度は、 201°C で、これは既存 6 孔の調査井の中で最も高い温度である。さらに孔底付近の温度は、 $0.9^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ の増温率を示し、深部に向って上昇する傾向にあり、この点は他の 5 孔の調査井とは異っている。従って、より高温帯を捕捉するために深部に向って掘削することが望まれる。

6. 調査井 No 6 孔の掘削中に逸泥は認められなかった。しかし圧入テストによって深度約 830 m に割目が生じ、その透水指数は、 $4\text{m}^3/\text{h}/\text{kg}/\text{cm}^2$ で、良好なものであった。圧入テスト後、孔口からは、約 $40\text{t}/\text{h}$ の蒸気・熱水の混合流体が流出したが、その流出は、長く続かなかった。これは割目が地熱流体の供給に十分な透水性を持たなかったことに起因するもので、このことは、後ほど行なわれたエアリフト試験によって確認された。

7. 以上の結果に基づき、以下の事項を勧告する。

(1) 調査井を掘削することによって、多くの貴重な資料を得ることが出来た。しかしながら、連続的な噴気が無かった事、および掘削機の能力が不足したため、地熱貯留層特性に関する十分な情報は入手出来なかった。

従って、より大きな容量を持つポンプにより、圧入テストを繰り返し、新たな割目の生成を促すか、あるいは閉塞された割目の洗滌を行って温度検層、圧入テストを繰り返すこと。

(2) 調査井 No 6 孔の温度は下部に向ってさらに上昇する傾向にあり、かつ孔底で最高温度が記録されたので、調査井 No 6 孔の北方地域で探査を継続したいと考える。特に、地質、地化学・地球物理探査によって得られたすべての資料は、高温の地熱貯留層の存在を示唆している。今後の試錐位置は次の様に考える。

859 N, 501 E 付近

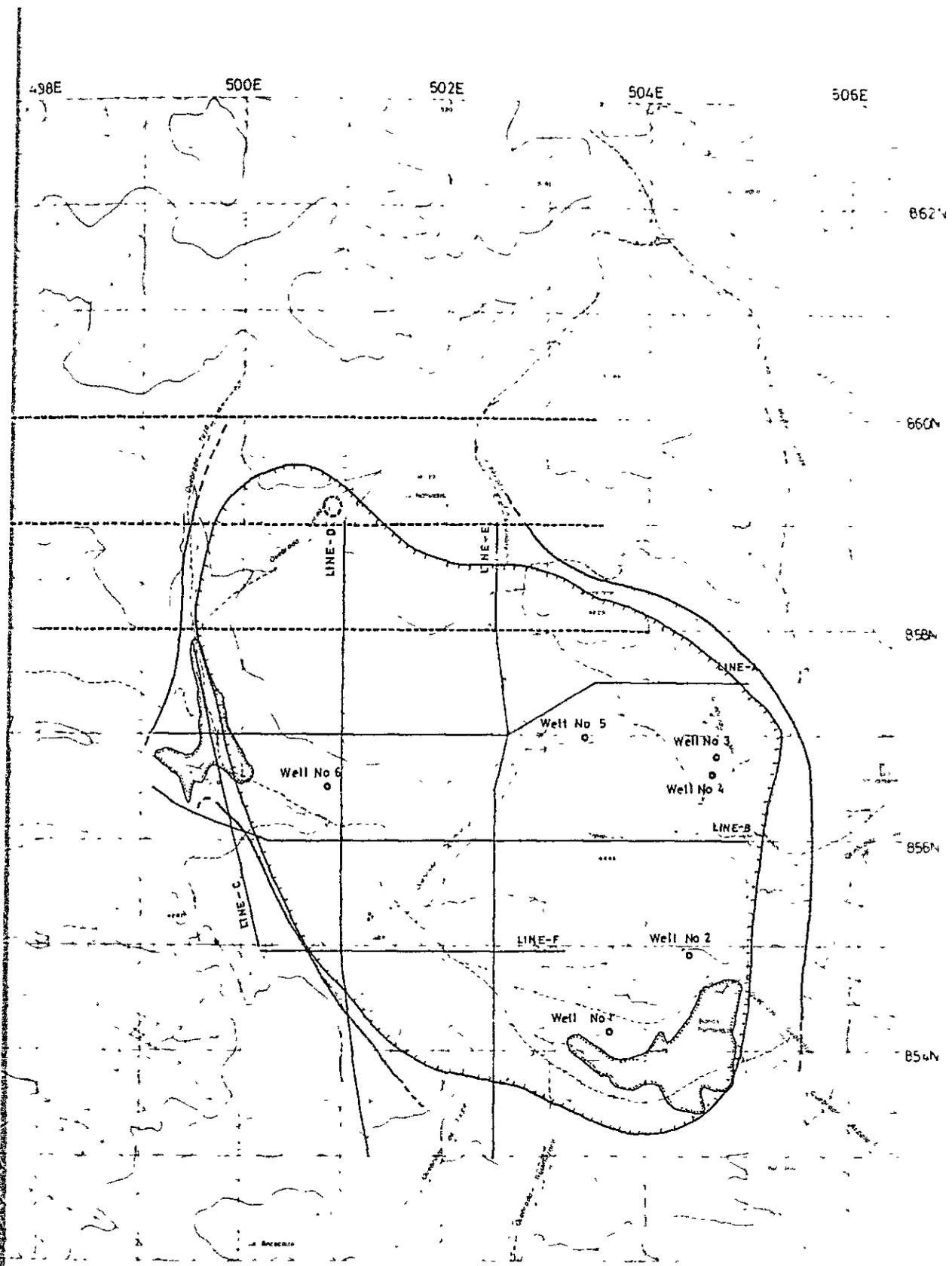
(3) 以上の調査井の掘削に加えて、ナティビダ山の南斜面で少なくとも東西方向測線長 6 km, 3 測線 ($AB/2=2,000\text{m}$) の電気探査を実施することを推薦します。

(4) イタリアのエレクトロコンサル (1979) も JICA の第 1 次調査結果を評価し当地域の探査を継続することを勧告している。したがって当地域の有望な貯留層の範囲を確認して行くことは重要なことである。

(5) 世界の多くの地熱地帯では蒸気生産井の深度は、 $2,000\text{m}$ を越えている。従って、より

大きな能力を持つ掘削機を準備することが必要である。

- (6) 掘削にあたって、必ず、浅部の冷水の影響を防止しなければならない。従って、十分な長さのケーシングパイプを準備しなければならない。



PROPOSED SITE

LEGEND

- Low Gravity anomaly
- Low Resistivity anomaly
- Sinter deposition area
- Drilled Exploratory wells
- Surveyed line
- Proposed Survey line
- Proposed Drilling site

目 次

はしがき
伝 達 状
結論と勧告
目 次

第 I 編 既調査井・再解析と追加電探

第1章	序 論	1
1-1	調査の目的と経緯	1
1-2	調査団の編成	2
1-3	調査日程	3
1-4	調査団の訪問機関	4
第2章	調査井№1～№5の再解析	5
2-1	調査井の概要	5
2-2	調査井の再解析	5
第3章	電気探査	7
3-1	調査の目的と経緯	7
3-2	調査方法	7
3-3	解析方法	8
3-4	解析結果	9

第 II 編 調査井№6孔

第1章	序 論	17
1-1	調査の目的と経緯	17
1-2	調査団の編成	18

1-3	調査日程	19
1-4	調査団の訪問機関	21
第2章	調査井の掘削	23
2-1	掘削機材・掘削方法	23
2-2	掘削の経過と孔井の仕上	23
2-3	噴出試験	24
第3章	調査井の地質・地熱変質・地球化学	27
3-1	調査の方法	27
3-2	調査井の地質	28
3-3	調査井の地熱変質	31
3-4	地熱熱水の地球化学	34
第4章	調査井の物理検層	39
4-1	検層の目的と方法	39
4-2	温度検層	39
4-3	透水試験	44
4-4	物性測定	47
第5章	調査井の総括	49

MAP LIST

- Fig. I-1-1 : Location of the Survey area
- Fig. I-2-1 : Geologic Drill Log with Temperature Curve
- Fig. I-3-1 : Apparent Resistivity Section
- Fig. I-3-2 : Lateral Change of Apparent Resistivity
- Fig. I-3-3 : Distribution of Apparent Resistivity on Conductive paper
- Fig. I-3-4 : Resistivity Section
- Fig. I-3-5 : Apparent Resistivity Map

- Fig. II-2-1 : Location of Well No. 6
- Fig. II-2-2 : Drilling Process of Well No. 6
- Fig. II-3-1 : Geologic Column of Well No. 6
- Fig. II-3-2 : Distribution of Altered Minerals and Logging Temperature
- Fig. II-3-3 : Location of Collected Water Samples
- Fig. II-4-1 : Logged Temperature of Well No. 6
- Fig. II-4-2 : Calculation of Reservoir Temperature
- Fig. II-4-3 : Injection Rate of Well No. 6
- Fig. II-4-4 : Drow Down Curve
- Fig. II-4-5 : Iso Temperature Curve
- Fig. II-5-1 : Generalized Columnar Section, Well No. 6

- o VES Curve
- o X-ray Diffraction
- o Microscopic Photographs

TABLE LIST

Table II-3-1 :	X-Ray Diffraction Analysis
Table II-3-2 :	List of Water Samples
Table II-3-3 :	Chemical Composition of Hot Water
Table II-4-1 :	Logged Temperature of Well No. 6
Table II-4-2 :	Analized Reservoir Temperature
Table II-4-3 :	Well Head Pressure and Injection Rate
Table II-4-4 :	Resistivity of Rock Sample of Well No. 6

- o Temperature and Pressure Logging Condition
- o Calculation of Analized Reservoir Temperature
- o Photographs

第 I 編

既調査井の再解析と追加電探



第1章 序 論

2023

1

2023

第1章 序 論

1-1 調査の目的と経緯

この調査は、チリ共和国 (The Republic of CHILE) 政府の要請に基づき、同国北部のタラバカ (Tarapaca) 州に位置するプチュルディサ (Puchuldiza) 地熱地帯に対し、地質・地化学・物理探査および試錐掘さくによる探査を実施したものである。

当地域では、チリ共和国側により一部基礎調査が行われていたが、さらに精密調査を行って、地熱貯留層の規模を推定し、今後の地熱開発計画に対する資料に寄与する目的を持って、1978年、1979年、1980年の三次に亘り実施された。

チリ共和国は、南米アンデス山脈を通る環太平洋火山帯に属し、地熱貯留の可能性が大きく、同国産業開発公社 CORFO (Corporacion de Fomento de la Produccion Republica de CHILE) は、1968年に地熱委員会 (Comite para el Aprovechamiento de la Energia Geotermica) を発足させて、地熱開発の有望地区として、エル・タティオ (El Tatio)、および、プチュルディサ (Puchuldiza) の両地区を選定した。

エル・タティオ地区については、1968年より1974年迄、国際連合 (UNDP) の経済・技術援助を受けて探査を続け、開発に成功し、現在建設計画が進められている。プチュルディサ地区は、CORFO 独自で探査が進められて来たが、資金および技術力の不足から開発が延期されていた。

一方、タラバカ州を始め、チリ共和国北部では、同国の鉱物資源の開発に積極的であるが現在の電力は、高価な火力発電に頼らなければならない。将来の産業開発促進のために安定、かつ安価なエネルギー供給源として、プチュルディサ地区の地熱開発に対する期待は非常に大きいものがある。

1977年11月通産省の海外投資、および開発輸入促進費補助金の交付を受けた地熱技術株式会社が現地調査をした結果、民間企業が現地地点で進出する事は困難であるが、さらに精密な基礎調査を行い開発計画を樹立すれば、当地熱地帯の開発利用は、きわめて有望であるとの結論を得ている。

チリ共和国は、我国の地熱開発技術を高く評価し、日本政府の援助・協力を求め、1978年5月外交ルートを通じて、公式要請書を提出した。日本政府および国際協力事業団は、かかる経緯をもって発展途上国に対する経済技術援助の一環として本調査団を派遣したものである。

1-2 調査団の編成

調査団は下記の通り編成された。

団 長	坂井 定倫	三菱金属 (株) 地熱開発担当部長 (大手開発 (株) 嘱託技師長)	総 括
団 員	服部 旭	大手開発 (株) 物理探査部次長	物理探査総括
	＃ 黒澤 昌志	大手開発 (株) 秋田事業所地熱主任技師	電 気 探 査
	＃ 立川 三郎	日鉱探開 (株) 地質物理探査部技師	電 気 探 査
カウンターパート		(CORFO地熱委員会)	
Project Manager		Mr. Claudio Cádiz Chavarria	Industrial Engineer
Assistant Project Manager		Mr. Raul Bravo Espinoza	Geochemist Engineer
Camp Manager		Mr. Turides Solar Venegas	Chemical Engineer
		Mr. Ricardo Sandoval Salas	Geologist

1-3 調査日程

ITINERARY OF II PHASE JAPANESE SURVEY TEAM

No.	Date	Day	Schedule
1	1979. Oct.	24	Tokyo Lv. → Los Angels Ar.
2		25	Los Angels Lv.
3		26	Santiago Ar.
4		27	A courtesy call on the Japanese Embassy, CORFO etc.
5		28	Arrange for the survey
6		29	Customs procedure
7		30	Santiago → Iquique
8		31	A courtesy call on the relative facilities in TARAPACA
9	Nov.	1	Iquique → Chusmiza (3,500 m elevation)
10		2	Chusmiza → Puchuldiza
11		3	
12		4	Sun. Beginning of the survey
13		5	"
14		6	"
15		7	"
16		8	"
17		9	"
18		10	"
19		11	Sun. "
20		12	"
21		13	"
22		14	"
23		15	"
24		16	"
25		17	"
26		18	Sun. Team Leader Tokyo Lv. → New York Ar.
27		19	New York Lv.
28		20	Santiago Ar.
29		21	A courtesy call on the Japanese Embassy, CORFO
30		22	
31		23	Arrange for the survey
32		24	Santiago → Iquique → Chusmiza
33		25	Sun. Survey
34		26	" Chusmiza → Puchuldiza
35		27	"
36		28	"
37		29	"
38		30	"
39	Dec.	1	"
40		2	Sun. Finish the survey
41		3	
42		4	Puchuldiza → Iquique
43		5	Arrange the survey data
44		6	Pack and transport the equi.
45		7	"
46		8	Sun. Iquique → Santiago
47		9	
48		10	Calculate the data
49		11	Write up the interim report
50		12	"
51		13	Report the interim report and Export the equi.
52		14	Santiago Lv. → Miami
53		15	San Francisco Ar.
54		16	Sun. San Francisco Lv.
55		17	Tokyo Ar.

1 - 4 調査団の訪問機関

日本大使館

特命全権大使 赤谷 源 一

参 事 官 松 隅 和 馬

CORFO (産業開発公社)

Ministro Vicepresidente, Ejectivo de CORFO (国務大臣, CORFO 副総裁)

Gerente de Desarrollo de CORFO (地熱開発委員会会長)

Comandante Hernan Velasques Mullatti

Secretario Ejectivo del Comité Geotermico (エネルギー開発部長)

Ingeniero Jorge de la Fuente

Jefe Finanzas Gerencia de Desarrollo (財務局長)

Asesora Isabel Letelier

Director Regional de CORFO Iquique (CORFO イキケ事務所長)

Gilberto Navarro

SERPLAC Primero Region de Tarapaca (タラバカ州計画局)

第2章 調査井No.1～No.5の再解析

第2章 調査井№1～№5の再解析

2-1 調査井の概要

第一次JICA調査団の基礎調査に先だって1978年以前調査井5孔、総延長3,774mの調査井がCORFOによって掘削された。これらの調査井の温度検 ならびに噴気テストは繰返し実施され報告されている。

Fig. 1-2-1 に示す通りこれらの井戸の中で、調査井№2孔の280m深度における166.2℃が最高温度で、他の調査井は約130～140℃と比較的低温である。しかも調査井の比較的浅部において最高温度を示し、深部では逆に温度降下の現象がみられる。

各井戸の生産帯は圧水試験によって解るように比較的浅部にあり地質層序的にはコンドリリ層以深の各地層が生産帯となっている。

各井戸の噴気テストは何回か試みられており、噴出熱水の地球化学的研究は既に報告されている。噴気テストにおいて№1孔は温度が十分に高温でないため噴気の実績はない。

№2～№4孔は圧気を封入することにより容易に噴気させることができている。№5孔は水位が孔口より約150m深部にあるため、圧気の封入、ならびにエアリフトによって噴気をうながす試みが行われたが、不成功に終わった。従って№5孔はスワッピングを行って噴気を成功させたものである。

地熱流体の温度が比較的低温であるため、噴気は何れも低エンタルピーで、気水比は1:8ないし1:10で各井戸とも15～20 t/hの流出がみとめられた。しかしながら、連続噴気テストの結果何れの井戸とも約1ヶ月で自然に噴気を停止している。チリ側の説明によれば何れも噴気中に孔井内でスケーリングを起こし、孔井が閉塞されたと説明している。従来、この閉塞による噴気停止はしばしば起こり、試錐機による閉塞物除去により再び噴気をうながす方法によって試験が行われている。

2-2 調査井の再解析

CORFOで掘削された5孔の調査井は既に述べた如くタイピコージョ山の周囲約1.2km²の範囲に位置している。これらの位置は、チリ側で実施された比抵抗探査の結果AB/2=500の等比抵抗曲線の3～5Ω-mと低比抵抗帯の中に行なわれ、しかも地形的には谷部の低地に掘削されたものである。

当地域の地熱徴候の活発な位置は、既に第一次調査団によって明らかにされたごとく、当地域に卓越する断層活動と深い関係をもつて顕われている。即ちN-S系断層とNW-SE、NE-SW断層の会合部一帯が有勢な地熱徴候地帯である。これらの位置は地熱貯留層の帽岩

とみなされるブチュルディサ安山岩が最も薄い部分で、しかもこの安山岩が断層によって破壊されたため、深部の地熱流体の上昇を容易にしている地域である。

この浅部の破壊帯は深部の地熱流体の通路となるばかりでなく、地表部の低温水が地下に容易に浸透することも考えられる。従って調査井の比較的浅部が生産帯となった場合、深部の高温熱水の補給のみならず、浅部の低温水の混入が生ずることが考えられる。さらにプロダクションセーキングが比較的浅部に設置されると浅部冷水の混入がますます促進され、貯留層の圧力・温度低下を起し生産井に悪影響を起していると考えられる。

次に温度検層の結果、No 2 ~ 4 孔の井戸は浅部に於てその井戸の中で最高温度を示し、孔底温度は逆に温度降下が認められる。しかしNo 5 の最高温度は孔底である。すなわち、タイピコージョを取巻く試錐位置の配置の中で、地域の南東に位置する井戸が深部に進むに従って温度降下が顕著であり、北西部に位置するNo 5 は深部になるにつれて高温になる傾向を示している。

一方、比抵抗探査の断面解析において、第一次調査団のレポートに示されているごとく、No 2 ~ 4 孔の位置するタイピコージョ山南東山麓は、地表より $3\Omega\text{-m}$ の低比抵抗帯が顕われ、深部では逆に比抵抗値が高くなっている。しかしながら、No 5 孔の近くでは $5\Omega\text{-m}$ の低比抵抗帯は深部まで連続している。比抵抗断面解析図の低比抵抗異常をそのまま地下深部の温度分布と結びつけることは異論のあるところであるが、当地域の温度検層図が比抵抗断面解析図から判断される地下の温度とほぼ一致していることは、今後の探査に重要な手がかりを与えていると考えられる。

No 2 ~ 4 孔の各井戸が浅部で最高温度を示し、孔底では逆に低温を示している事実は、高温の地熱流体が透水性の良い地質層序をほぼ水平的に西ないし北西方向から流れ、かつ、ブチュルディサ周辺で冷水が地下に浸透していることを暗示している。

一方噴気の減衰ならびに自然停止については色々な要因が考えられる。すなわち、

- 1) 生産井の過剰汲上げ
- 2) 生産井の相互干渉
- 3) 孔井内の崩壊、目結り
- 4) 生産帯割目の閉塞
- 5) 地熱貯留層の温度・圧力の低下

等であるが、当地域の場合は既に述べたごとく孔井内のフラッシュ地点付近に於て、化学的沈澱物による閉塞の結果、噴気の停止が起っている。すなわち噴気をうながすことにより、充分に高温な熱水が供給されず、比較的温度の低い熱水が孔井内に流入したと、熱水の酸化に際しさらに温度が低下し炭酸塩を主体とする化学沈澱が生じたものと考えられる。

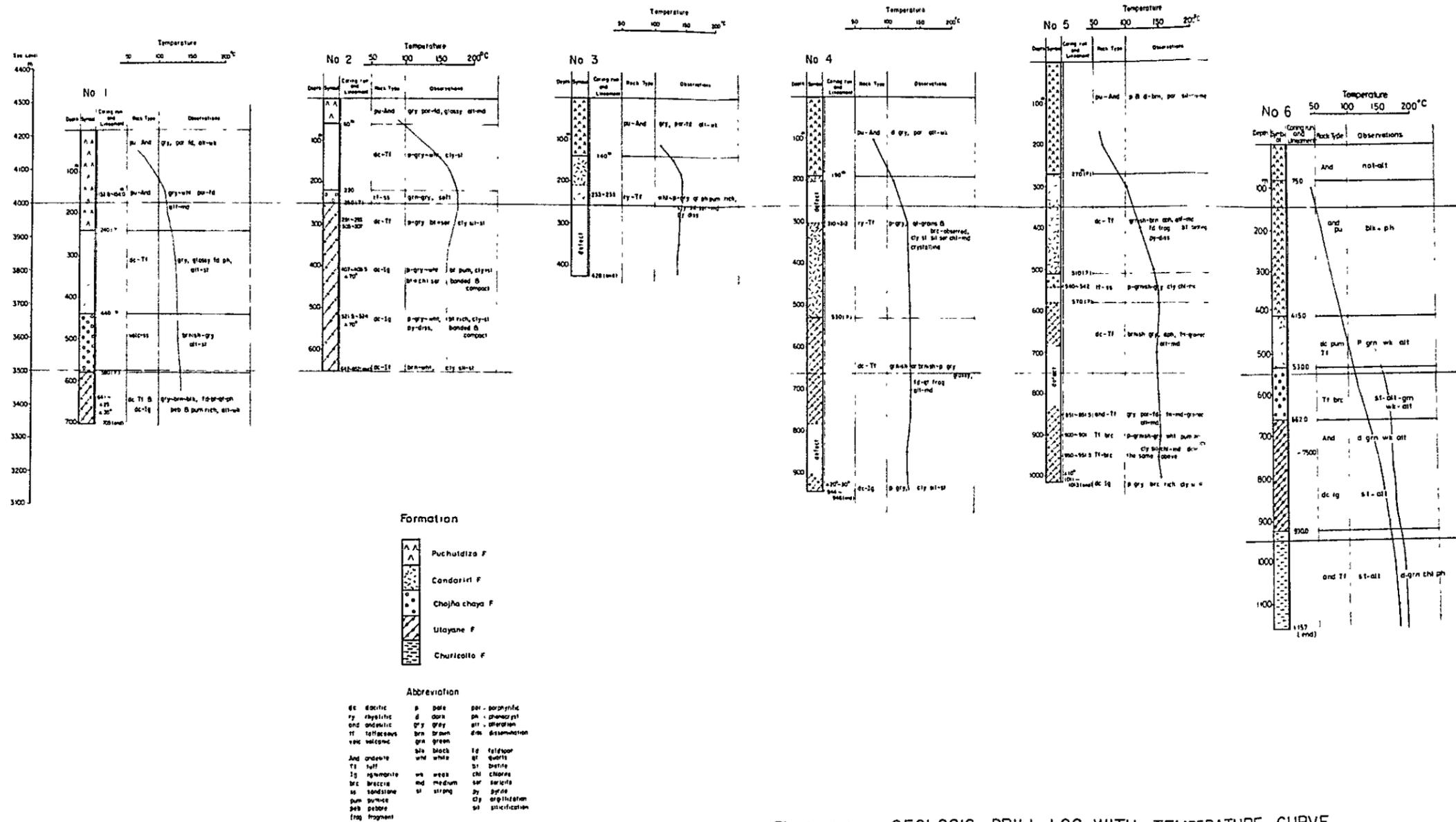


Fig 1-2-1 GEOLOGIC DRILL LOG WITH TEMPERATURE CURVE

第 3 章 電気探査

第3章 電気探査

3-1 調査の目的と経緯

ブチェルディサ地区では、Risk (1970年)、Hostein (1971年)らによる電気探査の概査により、地熱流体の賦存域に対応すると思われる広範囲な低比抵抗帯が確認されている。この異常は主に、タイピコージョ山を中心として東西3km、南北4km以上の北に開いた低比抵抗(10Ω-m以下)帯をなしており、かなりの高温流体を含む厚い地層が存在すると解釈されたため、調査井№1～№5が掘削された。しかしながら、いづれも高温流体は比較的浅く、地熱流体は発電には不十分であることが判明したので、さらに有望な地域を調査する必要が認められた。

1978年、地熱開発計画調査初年次調査により、地質、地化学探査と共に重力探査、磁気探査および電気探査などの物理探査が実施された。この時実施された電気探査は、従来の水平探査法に加え、電極間隔を継続的に拡大して見掛比抵抗を測定する垂直探査法(Vertical Electrical Sounding)である。問題となっていたタイピコージョ山からトゥーハに至る地域について、比抵抗構造を解析し、地熱貯留層と比抵抗の関連を検討し、かつ、各種探査法を総合的に検討した結果、上部に帽岩となりうる高比抵抗を示す安山岩の覆りが厚く、低比抵抗が深部に続き、近くに構造線の予想される地域が有望地点として選定された。

これらの探査の結果、調査井№6孔の位置が選定されたが、第一年次調査では東西の測線2本各6kmが実施されたにすぎないので、№6孔の掘削と併行して、貯留層の規模をさらに詳細に確認するため、少なくとも6km2本の南北方向の電気探査を実施することが勧告された。

1979年10月～12月に実施された電気探査では、№6孔を通り、ほぼ501Eに沿うLine-Dとチグアナネ沢(Q. Chiguanane)を通り502.5Eに沿うLine-Eの各6kmと855Nに沿う3kmのLine-F計3測線を実施して、低比抵抗帯の南北のひろがりを確認した。

3-2 調査方法

初年次調査の結果と整合的に結合し、平面的な低比抵抗分布を把握するため、調査方法は、初年次と全く同一の方法を採用した。

測定方法：シュランベルジャー電極配置による直流法電気探査

電極間隔：電流電極AB/2：10m～1,500m

電位電極MN/2：2m～100m

電流：周波数0.1Hz 定電流矩形波(0.1A～2.0A)

電流値は送信機出力電流計にて読みとり、同時に測定時の電流波形をペンレコーダーに記録して電流波形を監視した。

電位：自然電位 (S.P) 補償された電位波形をペンレコーダーに記録し、ノイズの少ない電位差を読みとった。

本調査で使用した電流電極と電位電極の組み合わせは、下表の通りであり、測線の端をのぞいて電流電極を $AB/2 = 1,500\text{ m}$ まで拡大し、各点 21 回の測定を実施して VES (Vertical Electrical Sounding) 曲線を作成した。

Measuring electrode spacing

No.	AB/2(m)	MN/2(m)	K	No.	AB/2(m)	MN/2(m)	K
1	10	2	75.4	12	200	40	1508
2	15	2	173.6	13	250	40	2392
3	20	2	311	14	375	40	5459
4	30	2	703.7	15	500	40	9755
5	40	2	1253	16	500	100	3770
6	50	2	1960	17	625	100	5979
7	50	10	377	18	750	100	8679
8	75	10	867.9	19	1000	100	15550
9	100	10	1555	20	1250	100	24390
10	150	10	3519	21	1500	100	31590
11	200	40	6267				

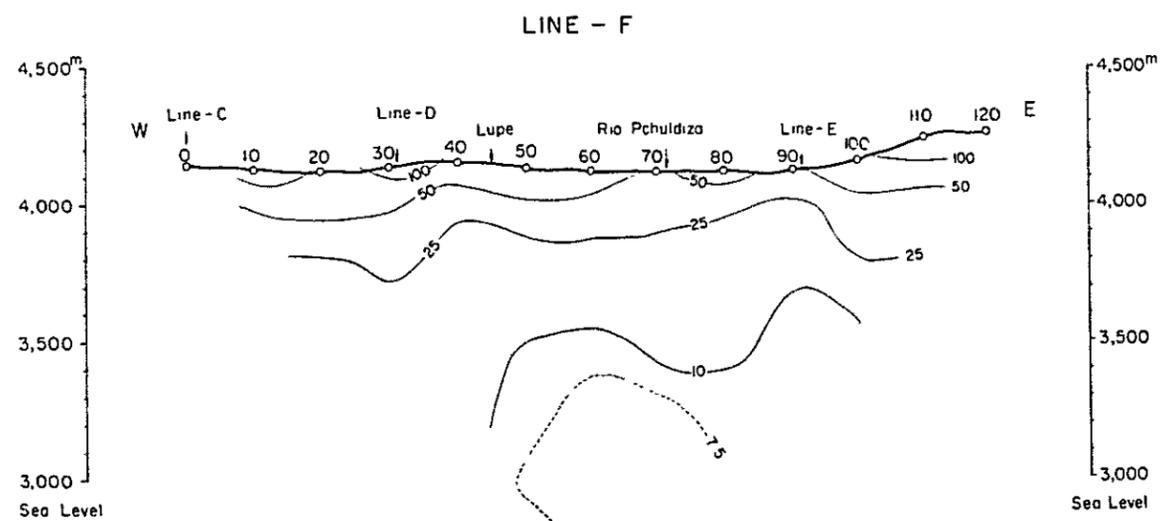
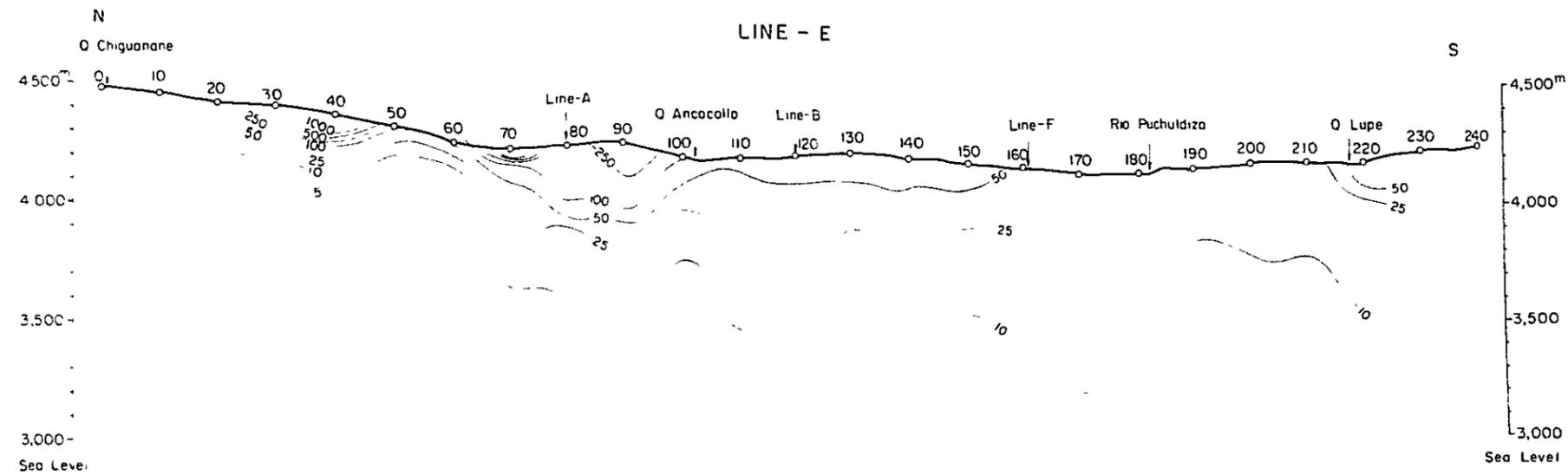
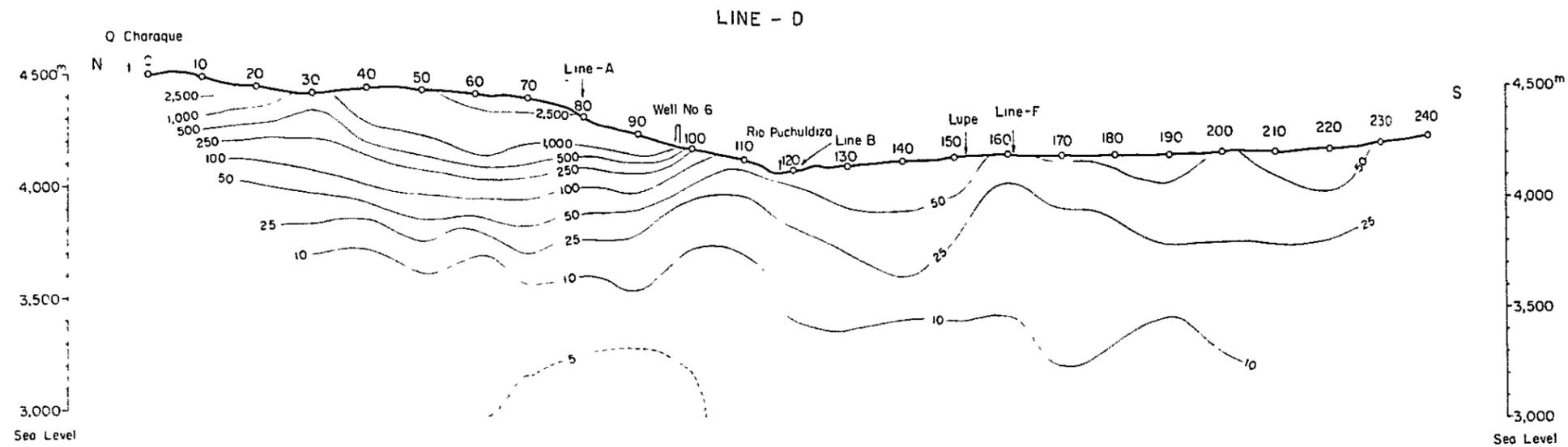
K : Geometrical factor

3-3 解析方法

各測点の見掛け比抵抗値はコンピューターに入力され、VES 曲線は CRT (ブラウン管) 上に表示される。比抵抗、深度などの想定される比抵抗構造を入力すると、これに対する理論曲線が現われ実測値との差がある場合には入力データを修正することにより比抵抗構造を決定する。

このシミュレーションを実施するにあたり、1978年に実施された Line A, B, C の比抵抗構造を参考にした。

即ち、比抵抗層の分類



Geothermal Power Development Project
in Puchuldiza
the Republic of Chile

**APPARENT RESISTIVITY
SECTION
(LINE-D, E, F)
(Unit Ω -m)**

1 : 25,000

0 500 1,000 1,500m

Oct. - Dec 1979 **Fig. I-3-1**

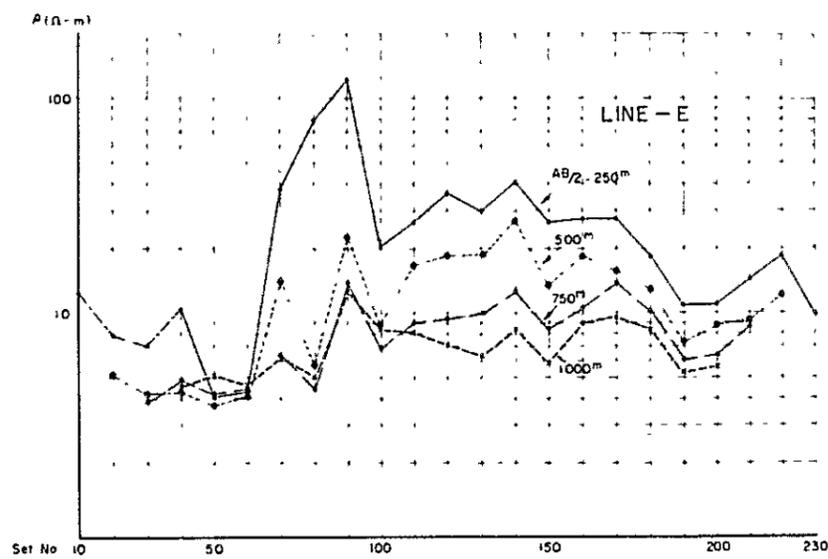
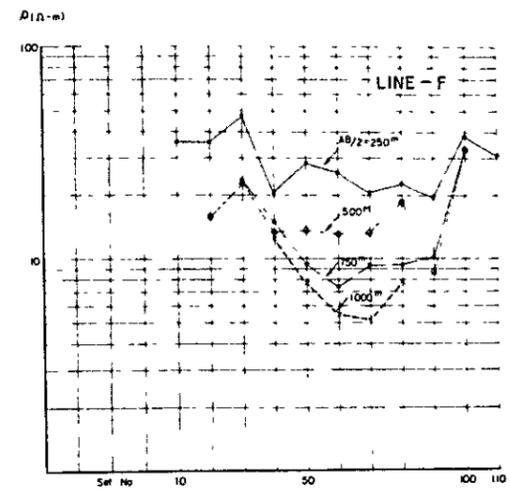
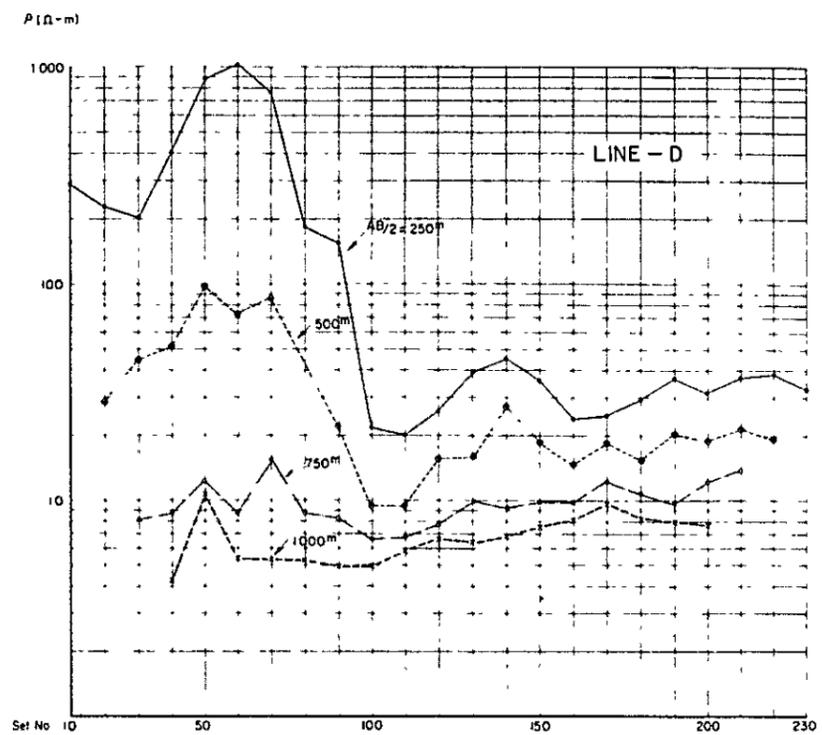


Fig. I-3-2
 LATERAL CHANGE
 OF
 APPARENT RESISTIVITY
 (LINE-D, E, F)

1) 上部高比抵抗層

㊸層 (1,000~3,000 $\Omega\text{-m}$) Line A No 60~100および180付近に分布し、厚さ0~200 mである。これは、第四紀火山岩類(角閃石-黒雲母安山岩)に相当する。

㊹層 (100~600 $\Omega\text{-m}$) Line A No 40~110, 140, Line B No 40, 90~190付近に分布し、厚さ約100 mである。これは、第四紀安山岩および新第三紀輝石安山岩類、又は㊸層の変質帯に相当する。

㊺層 (20~80 $\Omega\text{-m}$) Line A No 20~40のトゥーハ変質帯とNo 140以東およびLine B No 20~150, No 200以東に分布し、層厚はLine Bで厚く約100~400 mで、ブチュルディサ層上層の安山岩質溶結凝灰岩に相当する。

2) 中部低比抵抗層 (2~6 $\Omega\text{-m}$)

両測線に厚く分布している。測線両端のトゥーハおよびブチュルディサでは特に低く、Line B, No 90, 100付近は若干高い。層の厚さは500~700 mである。本層は、ブチュルディサ層安山岩質溶結凝灰岩、コンドリリ層石英安山岩質溶結凝灰岩、チョニャチャヤ層緑色砂岩に相当する。Table III-4-4の密度測定から算出された有効空隙率より比抵抗を推定すると、コンドリリ層が最も低い比抵抗を示し、深さとともに比抵抗は徐々に高くなる様である。

3) 下部高比抵抗層 (15 $\Omega\text{-m}$ <)

VES曲線の立ち上りから推定される最下位層で、比抵抗値は上位層より高いが層厚は不明である。両測線とも東側では浅く、西に深くなって西端では確認されていない。ウタヤネ層流紋岩質溶結凝灰岩に相当すると思われるが層厚は不明である。調査井No 4, No 5の岩芯の空隙率から推定される比抵抗もやや高い。割れ目が発達しているためか、ブチュルディサ地区の調査井の逸水は主にこの下部層で生じている。

Line A, B に直交する Line D, E でも、ほぼ同様の傾向がみられるので、この分類を用いて比抵抗断面を分類した。

3-4 解析結果

3-4-1 見掛比抵抗断面図 (Fig. I-3-1)

観測されたVES曲線は、各深度における見掛上の比抵抗であり、標準曲線との照合により、各比抵抗層の深さや比抵抗が決定される。比抵抗構造を解析する前に見掛比抵抗図を作成し、比抵抗分布の概要を把握することは重要である。一般に見掛比抵抗図では、コンターが地表とほぼ平行になれば成層構造であり、コンターの乱れは、地層の境界、断層や浅所の比抵抗の変

化と解釈される。現地調査が完了した時点では、この見掛比抵抗断面図により、おおよその比抵抗構造が推定される。

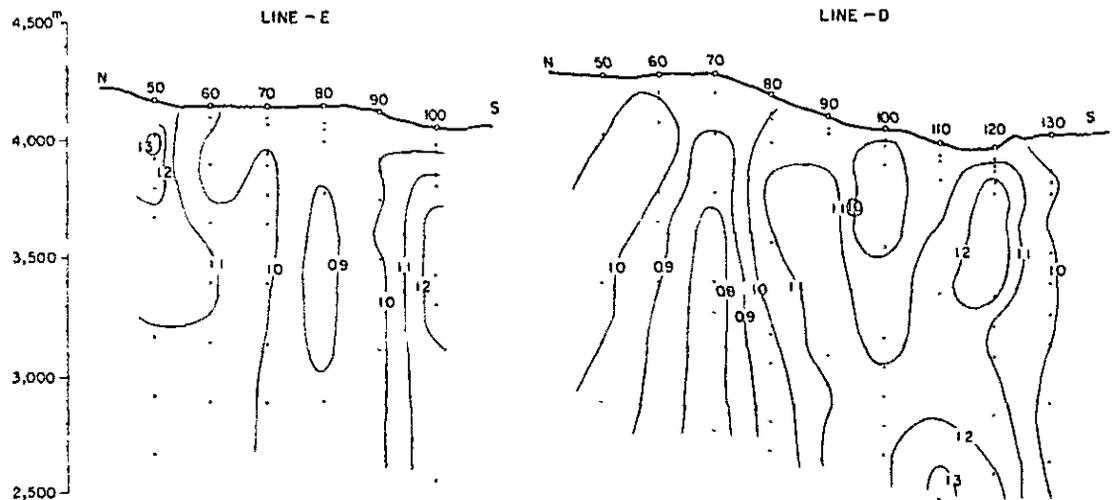


Fig 1-3-3 DISTRIBUTION OF APPARENT RESISTIVITY ON CONDUCTIVE PAPER

• Line D

全線に亘り、コンターの流れが地形にほぼ平行であることより、成層構造によるものと思われる。Na 110より北側ナティビダ山では約2,000 Ω -mの高比抵抗層が被覆しており、測線南側では、浅所から比抵抗は概して低い。高比抵抗は、更新世角閃石安山岩および中新世のブチュルディサ安山岩に対比され、その分布は、ブチュルディサ川の北方、ナティヴィダ山に続いている。Na 100, Na 120では、コンターの乱れより構造線が推定され、同様に測線の南側Na 135, Na 155, およびNa 175でも深部に、それぞれ構造線の存在が推定される。低比抵抗帯はNa 80, Na 90付近の深部に捕捉されているが、調査井Na 6孔はこの地域に掘さくされた。

• Line E

Line D同様に測線の北側に高比抵抗が分布し、南側は比較的low比抵抗帯で、部分的にコンターの乱れがみられるが、ほぼ成層構造を示している。高比抵抗帯は、更新世の安山岩に対比されるが、Line Dに比較して層厚は薄く比抵抗値も小さい。Na 60付近では、5 Ω -m以下の低比抵抗が比較的浅所に分布しているが、これは、測線が、チグアナネ沢に併走している所から、塩分に富む伏流水の影響と推定される。Na 45, Na 65, Na 115, Na 145, およびNa 185にコンターの乱れがあり、比抵抗の不連続面として構造線を推定した。

• Line F

この測線は、Line D, Eに捕促的に、比抵抗の南方への伸展を知るために計画されたものである。全般的に平坦地であり、測線中心近くにはブチュルディサ川が位置している。コンタは深部で低比抵抗の成層構造を示しており、比抵抗値も一般に低い。No 45, No 70付近には、構造線が推定され、比抵抗 $7.5 \Omega\text{-m}$ 以下の低比抵抗帯は、両構造線に挟まれ、ブチュルディサ川深部に厚く分布している。これは、塩分に富む高温の地層水によるためと推定される。

3-4-2 比抵抗断面図 (Fig 1-3-4)

• Line D

全測線にわたり、層厚 $100 \sim 200 \text{ m}$ の第四紀火山岩類に対応する上部高比抵抗が被覆しているが、No 6 孔の掘削されたNo 94 以北では $2000 \Omega\text{-m}$ 以上の④層が $50 \sim 70 \text{ m}$ の厚さで地表を覆っている。これは、ナティビダ (Nativided) 山の風化された安山岩溶岩であると思われるが、No 30 には全くみられない。

上部高比抵抗層の中で、比較的low比抵抗な④層 ($20 \sim 30 \Omega\text{-m}$) は、Line B と交叉するNo 120 を中心に南北約 1 km にわたって層厚約 200 m で分布し、No 95 とNo 135 附近の断層によって、陥没構造を呈している。ここは地形的にも低地にあたり、ブチュルディサ川の流域であることから塩分に富む伏流水により低比抵抗を呈しているものと思われる。

同様の④層はLine F と交叉するNo 160 付近とNo 220 付近にもみられ、弱い地熱徴候が潜在すると思われる。

中部低比抵抗層は、No 130 \sim 140 の比抵抗不連続線を境界に北側では低く $3.5 \Omega\text{-m} \sim 5 \Omega\text{-m}$ 、南側では $5 \Omega\text{-m} \sim 7 \Omega\text{-m}$ を呈している。

ことに、ナティビダ山南西麓のNo 30 \sim 60 は比較的low比抵抗で、深部に地熱流体の期待出来る地域である。

尚、No 140 の深部約 $1,000 \text{ m}$ には $30 \Omega\text{-m}$ の比較的高比抵抗層が検出されているが、隣接点の測定で確認されていないため、基盤を捕促したとは考えにくい。

• Line E

高比抵抗の④層は、山頂をなすNo 40 とNo 90 以外には認められない。

アンココージョ (Ancocollo) 沢と斜交するNo 90 \sim No 110 は断層帯に沿っている模様で、No 110 以南には④層が厚く分布しており、比抵抗の不連続線がみられる。

チグアナネ (Chiguanane) 沢に沿うNo 65 以北では、中部低比抵抗層がきわめて浅く、No 40 以北には最下位層 ($15 \sim 40 \Omega\text{-m}$) がみられない。

ここは、塩分に富む高温地熱流体が南流する地域と思われ、二年次調査の試錐候補地④に該当する。

CLASSIFICATION OF VES CURVES LINE-D

unit : Ω -m

STATION	TYPE	UPPER LAYER		MIDDLE LAYER	LOWER LAYER	REMARKS	
10	2*	a 3,300	b 820	5.0	30	2* : two layer ---- : Fault ... : Boundary	
20	Q	2,900	720	5.0			
30	2*		500	3.5			
40	Q	2,000	300	3.5			
50	Q	2,800	500	3.5			
60	Q	3,000	800	3.5			
70	Q	4,800	500	4.0			
80	Q	2,350	200	4.0			
90	Q	2,000	115	4.8			
100	Q	b	130	c 25			4.5
110	Q		55	22			4.9
120	Q		70	30			4.8
130	Q		90	25			4.8
140	H	b	70				5.0
150	Q		66				6.6
160	2*	c		25			7.0
170	Q	b	50	20			6.0
180	2*	b	33				6.5
190	2*		52				6.5
200	2*		45				5.0
210	2*		42				7.3
220	2*	b	90	c 17			
230	2*		45	20			

Resistivity classification	Resistivity (Ω -m)	Thickness (m)
I. Upper L.	a. 2,000 ~ 4,800	50 ~ 70
	b. 33 ~ 820	30 ~ 250
	c. 17 ~ 30	150 ~ 300
II. Middle L.	3.5 ~ 7.3	800±
III. Lower L.	30<	

CLASSIFICATION OF VES CURVES LINE-E

unit : Ω -m

STATION	TYPE	UPPER LAYER	MIDDLE LAYER	LOWER LAYER	REMARKS
10	2*	c 55	9.0		2* : two layer
20	Q	b 160 c 30	4.8		
30	Q	a 2,000 600	3.5		---- : Fault
40	2*	2,000	4.0		... : Boundary
50	QH	2,000 c 13	3.0	25	
60	H	55	3.5	20	
70	QH	b 120 60	3.0	20	
80	H	250	3.2	20	
90	Q	a 550 100	4.0		
100	H	60	5.0	20	
110	QH	b 85 c 30	3.8	20	
120	Q	200 33	5.0		
130	QH	70 30	3.5	15	
140	Q	250 45	4.0		
150	Q	b 80 c 30	4.8		
160	Q	55 25	5.5		
170	Q	85 30	5.5		
180	Q	110 30	7.5		
190	Q	65 12	4.5		
200	2*	c 13	4.5		
210	2*	c 25	8.0		
220	2*	b 95 c 15			
230	2*	70 16			

Resistivity classification	Resistivity (Ω -m)	Thickness (m)
I. Upper L.	a. 200 ~ 2,000	30 ~ 60
	b. 55 ~ 600	40 ~ 130
	c. 12 ~ 55	60 ~ 480
II. Middle L.	3 ~ 9	500+
III. Lower L.	15 <	

CLASSIFICATION OF VES CURVES LINE-F

unit : Ω -m

STATION	TYPE	UPPER LAYER	MIDDLE LAYER	LOWER LAYER	REMARKS
10	2*	c 100	15		2* : two layer --- : Fault ... : Boundary
20	2*	75	13		
30	Q	b 100	55	10	
40	2*	50	10		
50	2*	c 60	7.5		
60	Q	b 100	33	4.5	
70	2*	25	4.5		
80	Q	b 120	25	4.3	
90	2*	c 22	5.0		
100	2*	55	10		
110	2*	b 150	20		

Resistivity classification	Resistivity (Ω -m)	Thickness (m)
I. Upper L.	b. 100 ~ 150	20 ~ 65
	c. 22 ~ 100	200 ~ 260
II. Middle L.	4.3 ~ 15	500+
III. Lower L.	-	

Line Aと交叉するNo 80付近は中部低比抵抗層は $\rho \approx 3 \Omega m$ と低く、Line A No 140の比抵抗構造より傾向的に低い値を示している。これは、Line Eがこの地域を $\rho \approx N-S$ に切る断層に平行しており、 $N-S$ の割れ目、流路が発達していることによるものであろう。

本地域における $\rho_{N-S} < \rho_{E-W}$ の指向性については、Lahsen (1970)も指摘しており、地熱流体の北からの供給を裏づけるデータとなっている。

No 140~No 150間、ブチュルディサ川と交るNo 180~No 190間にも比抵抗不連続線があり、No 190~No 200は陥没状構造で周辺より低比抵抗である。

• Line F

ルーベ (Lupe) 南方の855 Nに沿うE-W測線 (3 km) について、低比抵抗帯の南方へのひろがりを確認するため、補足的調査を実施した。

全般に①層が厚く、NS系の数条の断層によっていくつかのブロックにわけられている。ブチュルディサ川以東では東に向い、①層の層厚は薄くなり、測線東端にはタイピコージョ山のブチュルディサ安山岩による①層が確認されている。

No 70付近には向斜軸又は断層が想定され、約300 m以深には $4 \sim 5 \Omega - m$ の低比抵抗層が確認されている。地熱構造としてはこの測線の中では最も有望な地域である。

一方、No 40付近では下位層が浅く、地壘状比抵抗構造を示している。この構造は重力探査の高重力異常と一致している。

3-4-3 見掛比抵抗平面図 (Fig. I-3-5)

1979年の調査結果を既存の資料に追加して、見掛比抵抗図を作成した。深度は電流電極間隔 $AB/2 = 500 m$ および $1,000 m$ の2種である。この図では、真の比抵抗値ではないが、その分布状態より比抵抗変化の傾向や、構造線の推定等も出来る。

○ $AB/2 = 500 m$

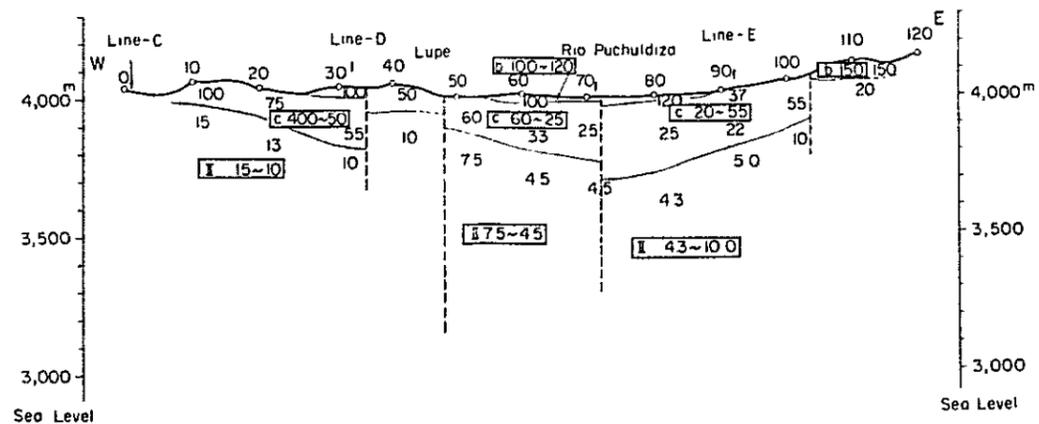
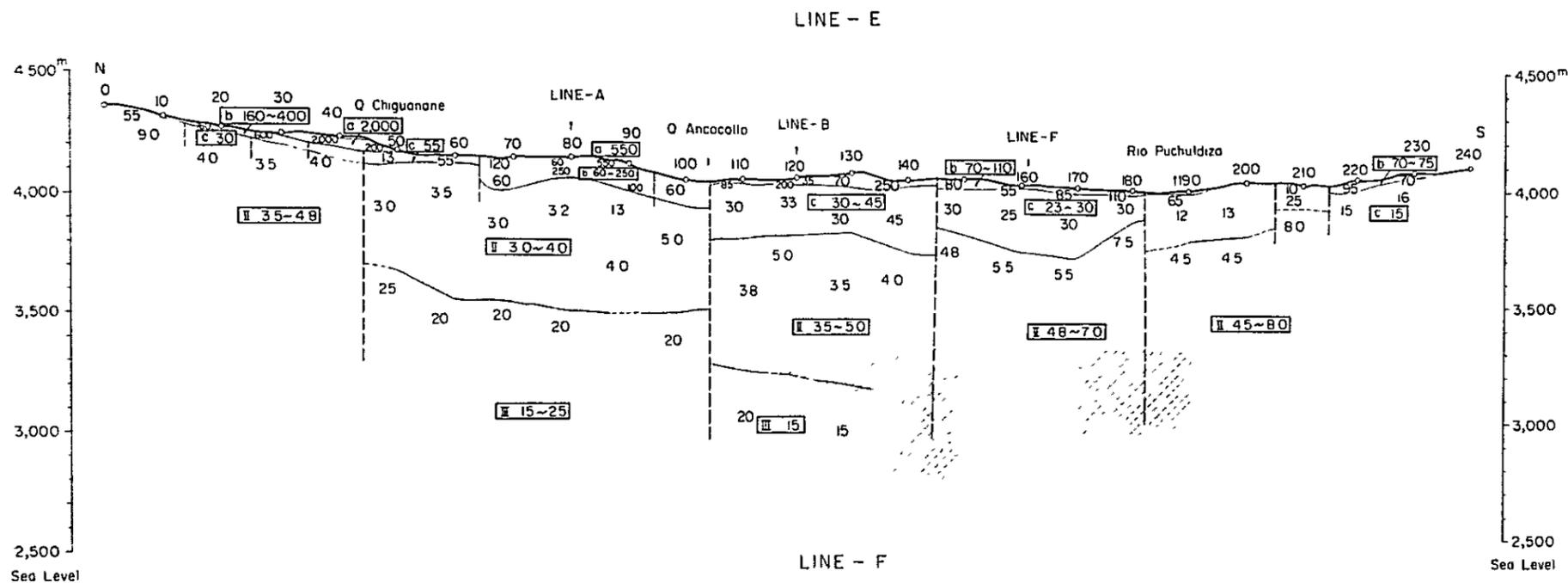
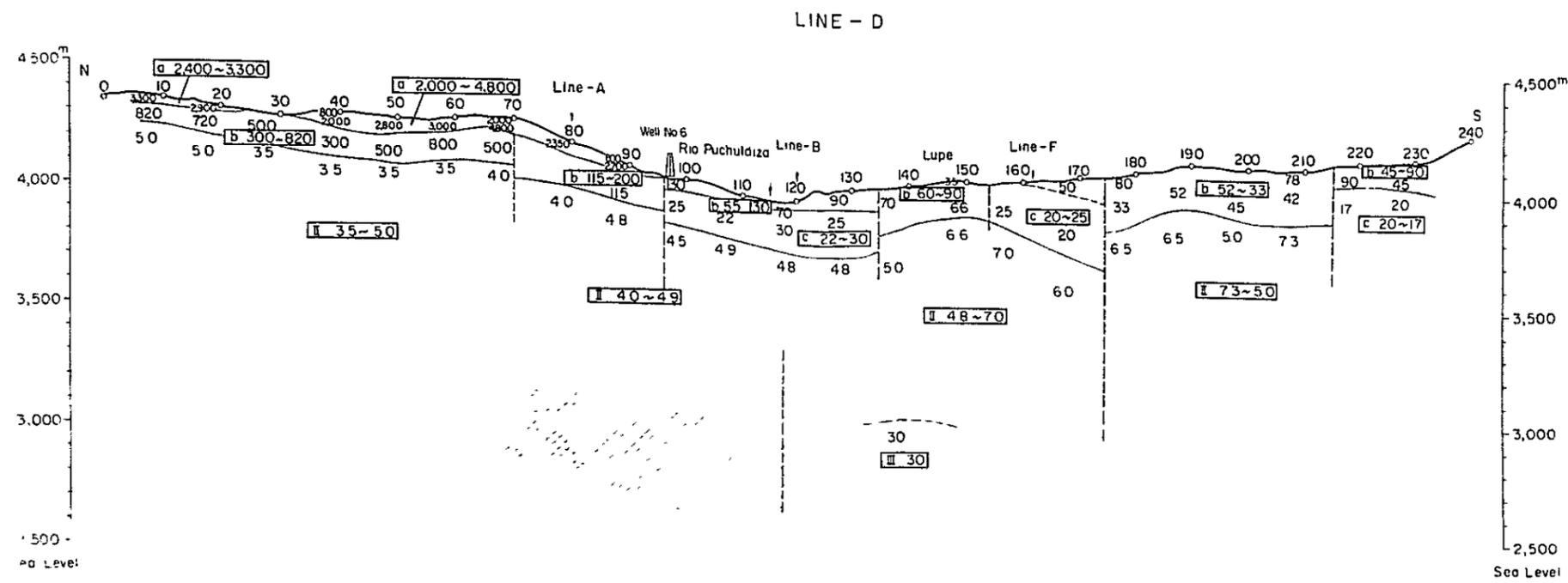
低比抵抗帯は、タイピコージョ、ブチュルディサのNS系、トゥーハの顕著なNS系がみられる。これは前回と全く同様であり、第三紀輝石安山岩および第四紀堆積物に対比され、主に沢沿いに分布している。

高比抵抗帯は、低比抵抗同様にNS系でナティヴィダ山、トゥーハ沢西側に分布し、更新世角閃石絹雲母安山岩に対比される。又、ブチュルディサ川沿は約 $10 \sim 15 \Omega - m$ で比抵抗値の変化は少ない。

比抵抗コンターラインの密な部分や乱れの多い所は、地質調査、電探調査による構造線と略一致している。

○ $AB/2 = 1,000\text{ m}$

$AB/2 = 500\text{ m}$ では、トゥーハとブチュルディサに分れていた低比抵抗帯は、深部では一ヶ所にまとまっている。その範囲はタイピコージョ山を通るNW系でブチュルディサ川の北側に分布する。その大きさは約 $8\text{ km} \times 4\text{ km}$ で、北西方に向って開いている長円形を示す。



LEGEND

Low Resistivity zone

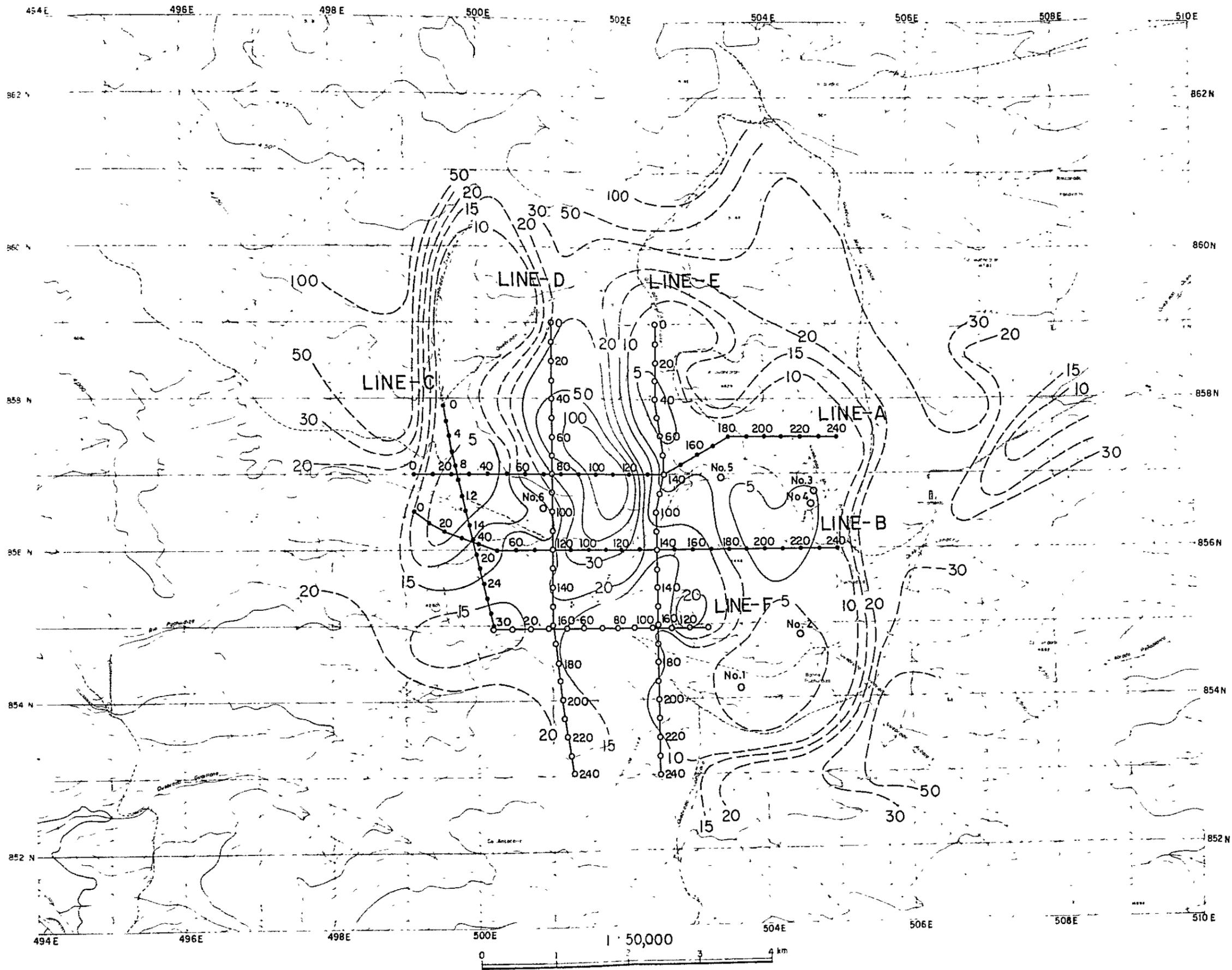
Geothermal Power Development Project
in Puchuldiza
the Republic of Chile

RESISTIVITY SECTION
(LINE-D, E, F)
(Unit: Ω-m)

1 : 25,000

0 500 1,000 1,500^m

Oct. ~ Dec 1979 **Fig. I-3-4**



LEGEND

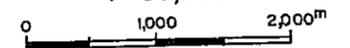
- 1978
- 1979
- Exploratory Well
- ~ 5 Counter Line of Apparent Resistivity (Unit: Ω-m)

Geothermal Power Development Project
in Puchuldiza
the Republic of Chile

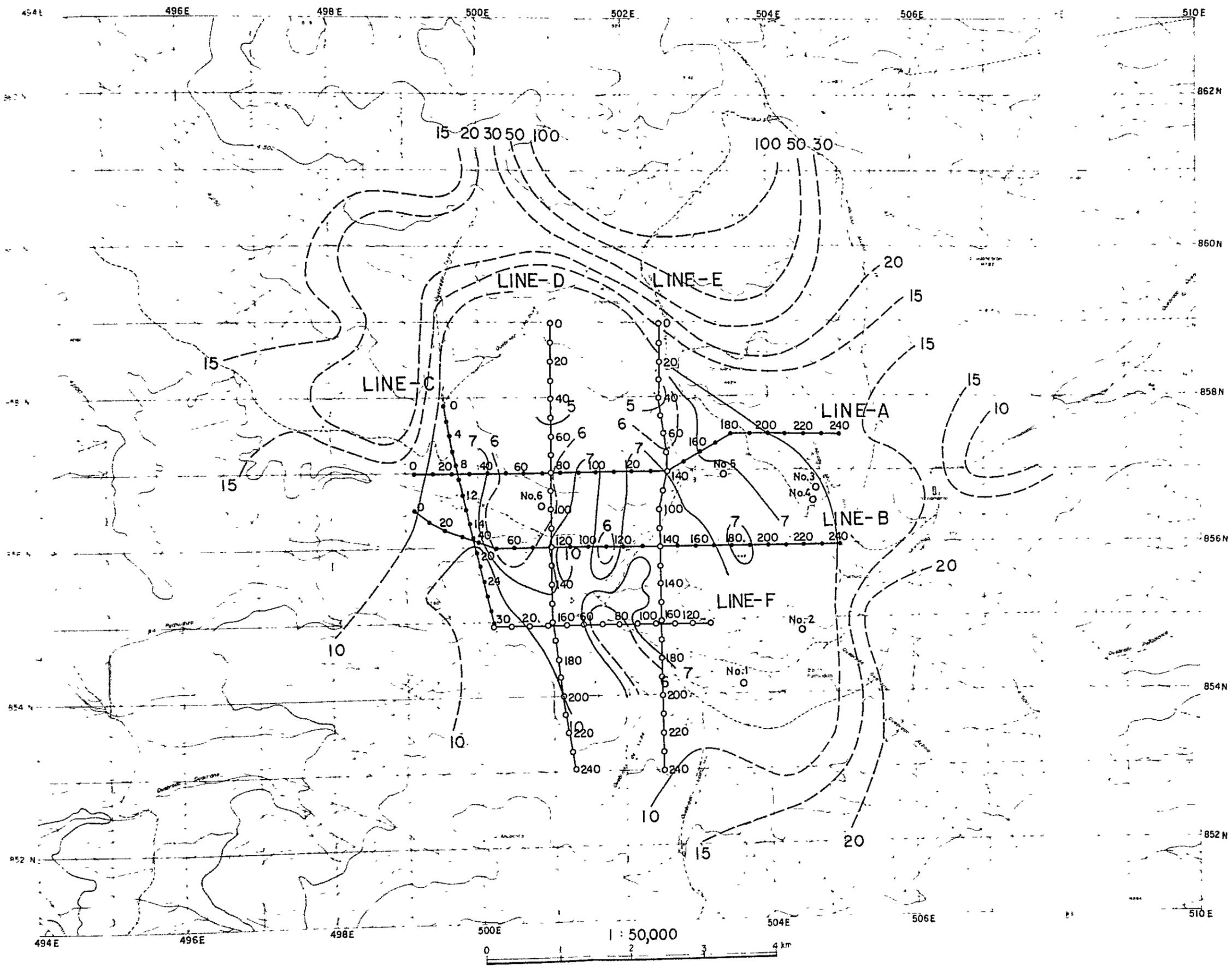
APPARENT RESISTIVITY MAP

AB / 2 = 500m

1 : 50,000



Oct.~Dec, 1979 Fig. I-3-5 I



LEGEND

- 1978
- 1979
- Exploratory Well
- 5 Counter Line of Apparent Resistivity (Unit : $\Omega \cdot m$)

Geothermal Power Development Project
in Puchuldiza
the Republic of Chile

**APPARENT RESISTIVITY
MAP**

$AB / 2 = 1,000^m$

1 : 50,000

0 1,000 2,000^m

Oct ~ Dec 1979 Fig. I-3-5 2

第Ⅱ編

調査井No.6 孔

1000

1000

1000

第1章 序 論

第1章 序 論

Ⅱ-1-1 調査の目的と経緯

当地域においては、JICA第1次調査以前に5孔の調査井が、主としてタイピコージョ山周辺に掘削されている。しかし、それらの孔井は、いずれも、経済的に地熱発電を行うに必要な、十分に高い温度を得るまでに到っていない。その後、チリ側は、JICA第一次調査団によって実施された電気探査などの基礎地表調査結果にもとずき、その調査範囲内で最も有望と推定される地点、即ち、トゥーハ地熱徴候地の東方約1.5kmの地点で、調査井№6孔の掘削を準備した。掘削は1979年にはじめられ55mまで掘削されたが、掘削機の故障およびCORFOの機構改組により、本格的掘削は1980年に持ちこされた。

調査井は、当地熱地帯の地下地質・地質構造・地下温度・透水量・噴出物の化学組成など、地表調査で入手することの出来ないいくつかの地熱要素について、それを直接測定することを目的として掘削されるもので、地熱資源の量および質を規定するこれらいくつかの因子を測定することにより、最終的には当地域の地熱貯留層を評価・解析することを目的としている。

なお、本調査井は、JICA第一次調査団の勧告に従い、掘削深度は少なくとも1,000mとし、浅部低温帯の悪影響を防ぐために充分と思われる長さのプロダクションケーシングパイプが準備された。

1-2 調査団の編成

調査団は下記の通り編成された。

団 長	坂井 定倫	三菱金属 (株) 地熱開発担当部長 (大手開発 (株) 嘱託技師長)	総 括
団 員	窪田 康宏	三菱金属 (株) 資源部地熱開発担当課長 (大手開発 (株) 調査部付)	掘削指導貯 留層評価
団 員	黒澤 昌志	大手開発 (株) 秋田事業所地熱担当課長代理 (CORFO地熱委員会)	物 理 検 層
カウンターパート			
Project Manager		Mr. Claudio Cadiz Chavarria	Industrial Engineer
Camp Manager		Mr. Turides Solar Venegas	Chemical Engineer
		Mr. Ricardo Sandoval Salas	Geologist
		Mr. Renan Argandoña Ramos	do
		Miss. Margarita Letelier Parga	do
		Mr. Jaime Caviedes Dupra	do

1-3 調査日程

ITINERARY OF III PHASE JAPANESE SURVEY TEAM

No.	Date	Day	Schedule
1	1980. Oct.	12 Sun.	A member KUROSAWA, Tokyo Lv. → Los Angeles Lv.
2		13	Santiago Ar.
3		14	A courtesy call on the Japanese Embassy, CORFO
4		15	Make arrangements with CORFO
5		16	Santiago → Iquique
6		17	Make arrangements with CORFO
7		18	Iquique → Chusmiza (3,500 m elevation)
8		19 Sun.	Chusmiza → Puchuldiza (4,300 m elevation)
9		20	
10		21	Temperature logging
11		22	Calculation of logged data
12		23	"
13		24	Temperature logging of Well No. 2
14		25	Calculation of logged data
15		26 Sun.	" A member KUBOTA, Tokyo Lv.
16		27	" Santiago Ar.
17		28	Adjustment A courtesy call on the Japanese Embassy and CORFO
18		29	" Santiago → Iquique
19		30	" Iquique → Chusmiza
20		31	Chusmiza → Puchuldiza
21	Nov.	1	Around inspection at the area
22		2 Sun.	Temperature logging
23		3	Cementation of anchor casing pipe
24		4	Calculation of logged data
25		5	"
26		6	Logged data calculation
27		7	"
28		8	Geothermal survey
29		9 Sun.	"
30		10	"
31		11	"
32		12	"
33		13	"

No.	Date	Day	Schedule
34	1980. Nov	14	Logging preparation
35		15	Temperature logging
36		16 Sun.	Temperature logging
37		17	Logging data Calculation, Cementation of production casing pipe
38		18	Puchuldiza → Iquique
39		19	
40		20	Iquique → Puchuldiza
41		21	Logged data calculation and geological survey
42		22	"
43		23 Sun.	"
44		24	"
45		25	"
46		26	Logging preparation
47		27	Temperature logging
48		28	"
49		29	"
50	Dec.	30 Sun.	"
51		1	Injection test
52		2	Calculate the data
53		3	Production test
54		4	Temperature logging
55		5	Pack the equipment
56		6	Puchuldiza → Iquique
57		7 Sun.	Calculate the data
58		8	Write up the interim report
59		9	"
60		10	"
61		11	A member KUBOTA, Iquique → Puchuldiza
62		12	A member KUROSAWA, Iquique → Chusmiza
63		13	Mr. KISHIDA of JICA make of field inspection
64		14 Sun.	Iquique → Santiago
65		15	Report the interim report
66		16	Santiago Lv.
67		17	Los Angeles Ar. and Lv.
68		18	Tokyo Ar.

1-4 調査団の訪問機関

日本大使館

特命全権大使 赤谷源一

参事館 松隅和馬

三等書記官 木下 健

CORFO (産業開発公社)

Secretario Ejectivo del Comite Geotermico (エネルギー開発部長)

Ingeniero Herman Breinbauer Cadagan

Director Regional de CORFO Iquique (CORFO イキケ事務所長)

Gilberto Navarro

第2章 調査井の掘削

第2章 調査井の掘削

2-1 掘削機材・掘削方法

調査井は、GARDNER-DENVER社製のロータリー型掘削機、PORTABLE WATER WELL DRILLING RIG MODEL 2500によって掘削された。掘削機の主要要素は以下の通りである。

ENGINE ; CAT 3306-66D, 250HP

DRUMS ; SINGLE LINE PULL 18,000 lbs

MAST ; Height 65 feet

Recommended working load capacity on six lines 60,000 lds

PUMP ; N.S.CO., IDEAL, C-250

N.S.CO., IDEAL, C-150

また、最大掘削能力は、 $2\frac{7}{8}$ "の掘管を使用した場合で1,372mとされているが、当地は標高4,200mに位置するので、その能力は1~2割減少すると考えられる。

調査井は、ベントナイト泥水を使用した、極く普通の工法によって掘削された。掘削に関するいくつかの指標はおゝむね以下の通りである。

掘削泥水PH : 9.0~10.0

掘削泥水比重 : 1.04~1.09 (650m以浅)

" 1.01~1.08 (650m以深)

掘削泥水粘速 : 37秒~45秒

ビット荷重 : 約10,000 lds

回転数 : 70~80回転/分

使用ビット型 : OWV, W7R

掘進率 : 20分/m~45分/m

掘削泥水性状、ビット荷重などはよく管理されており、30m毎に地質岩芯が採取されたにもかゝらず、掘進率は20~45分/mと良好な結果が得られている。

2-2 掘削の経過と孔井の仕上げ

掘削の経過およびケーシングパイプの設置状況はFig. II-2-2に示す通りである。なお、深度55mまでは、過年度中に掘削され、 $1\frac{1}{2}$ "サーフェイケーシングパイプが設置されている。

深度55m以深は、1980年9月1日より掘進が再開された。深度312mまでは、

12 1/4" の孔径で掘削され、9 5/8" アンカーケーシングパイプが設置されていた。この間、深度154 mで一時的に約400 lの逸泥が認められた。

その後、8 3/4" の孔径で深部に向って掘削され、深度653 mに達したところで、孔内温度検層を実施して地熱貯留層温度を算出するとともに、7" のプロダクションケーシングパイプを設置した。なお、この区間の掘削中に逸泥現象は認められなかった。

ケーシングパイプのセメンテーションは、普通ポルトランドセメントに約4%のベントナイトの混合されたセメント液が使用され、充分にカンテングスの排出を行った後に、IDEAL C-150のポンプによって孔井内に充填された。セメント液の孔口からの還流は確認されており、プロダクションケーシングパイプの設置とそのセメンテーションは満足出来るものであった。

本来、プロダクションケーシングパイプは、地熱貯留層温度が200℃を超える深度に設置されるべきである。本調査井の場合、深度650 mにおける地熱貯留層の温度は約122℃と算出された (Fig. II-4-2, Table. II-4-2)。この温度は、プロダクションケーシングパイプの設置温度としては、満足出来るものではないが、掘削機的能力および準備されたパイプ長さが限られるため、止むを得ないものである。

セメンテーション終了後、充分な養生時間をおくとともにその期間中に孔口装置を設置して、11月7日より深部への掘削が再開された。掘削作業は、順調にすすみ、11月21日、当初予定の深度1,000 mに達したが、深度800 mにおける温度検層の結果から、予定深度における地熱貯留層温度が180℃を超えることは期待出来ないと判断され、かつ、地熱流体を貯留する割れ目に逢着していないため、引きつづきより深部への掘削が継続された。11月27日、深度1,157 mに達したところで掘削機能力の限界に達し、掘削を終了した。

この間、深度1,090 mを掘削中に一時的に少量の逸泥が、また、深度1,145 mで約3時間の間に1.9 klの逸泥が認められた。

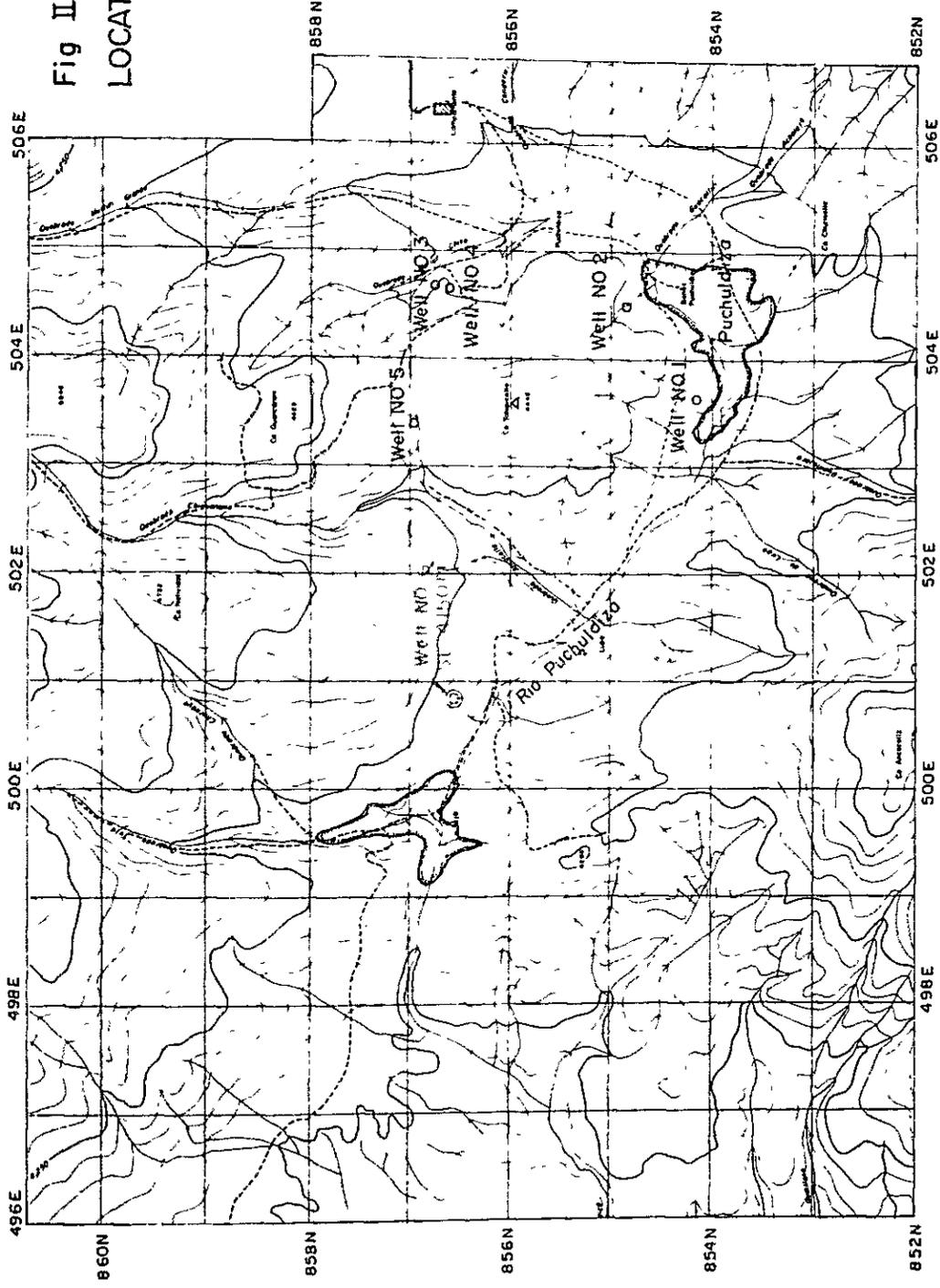
2-3 噴出試験

5" の孔明管を設置して、約5時間孔壁を洗滌した後、孔内温度検層および透水試験を数回にわたって実施した。その測定結果の詳細は第5章で述べるが、孔底における地熱貯留層の温度として180℃、透水指数4~5 m³/h/kg/cm²の値が得られた。温度は当初期待した程には高くはないが、透水指数はかなり良好なものである。かつ、地熱貯留層の水位は、孔口の海水準より高い約4,200 mの海水準にあることが明らかとなった。従って、圧気あるいはスワビングによることなく、地熱流体が噴出するものと期待された。

12月3日および4日の両日、主井を開放して地熱流体の自然流出を試みた。

Fig II-2-1
 LOCATION OF WELL NO.6

Scale 1:50,000

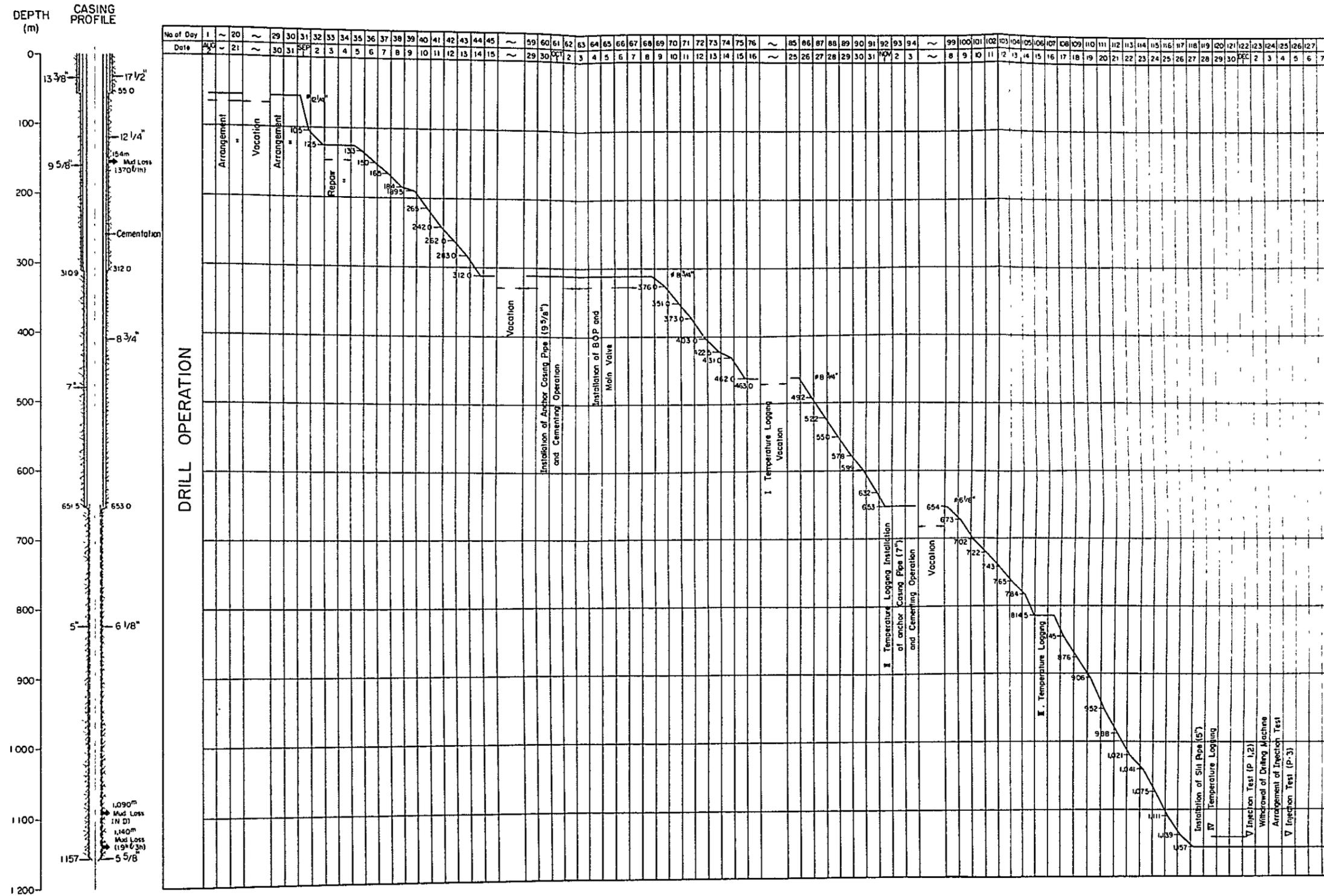


LEGEND

- Well NO
- ⊖ Sinter deposition area

Fig. II-2-2

DRILLING PROCESS OF WELL NO. 6





主弁開放後の約20分間で、孔内に停滞していた低温流体が流出した後、噴出流体の温度は当地の沸点である85℃を超え、しだいに蒸気の噴出量が増加した。主弁開放後約40分で、蒸気と熱水との混合した流体が噴出しはじめ、しだいに噴出の勢いを強めながら、蒸気と熱水とは間欠的に噴出しつづけるに到った。しかしながら、地下温度が掘削循環水あるいは圧入した冷水の影響により冷却された状態にあるため、連続的噴気を見るまでに到らなかった。

その後、孔内熱水の温度の回復を促進するため、圧気を封入した。主弁を再度締切った後約7日を経過した12月12日主弁を開放したが、地熱流体の噴出をみることは出来なかった。なお、コンプレッサの故障のため当初計画よりかなり低い圧力しか得られず主弁開放直前の主弁締切圧は10 atgであった。

地熱流体の自然流出がみられないのは、(1)温度検層図 Fig. II-4-1 に示されるように深度500 mまでの区間の温度は低く、この区間に停滞した沸点以下の冷水が地熱流体の流出を妨げている。(2)割れ目が何らかの要因により閉塞された。かのいずれかと考えられた。従って、エアリフトにより浅部に停滞した冷水を排除することを、12月12日および13日の両日こわたって試みるものとした。エアリフトの実施時間、排出冷水量および地下水位は以下の通りである。

日 時	エアリフト 継続時間	排出冷水量*	排出前水位	排出後水位
12 / 12	2時間20分	約3 m ³	-7 m	ND
12 / 13	3時間	約7 m ³	-24 m	-58 m

*目測による

孔内水位は、排出された冷水量をまかなうだけ回復していないことは明らかで、このことは、透水性が悪いことを表わし何らかの要因で割れ目が閉塞したことを示している。割れ目閉塞の原因としては、残留泥水が高温下で固化した又はシリカ・炭酸カルシウム等化学物質が沈澱したなどが考えられるが、現在の段階では推察の域を出ない。

第3章

調査井の地質・地熱変質・地球化学

10

第3章 調査井の地質・地熱変質・地球化学

3-1 調査の方法

調査井の岩芯は、JICA第一次調査団の勧告に従い30m毎に採取され、カッテングスは5m毎に採取された。岩芯およびカッテングスについては、それを観察・記載するとともに、地表地質調査結果と合せ、地層の対比を行った。また、主要岩石については、試料を採取して岩石薄片による顕微鏡観察を行ない、鉱物組成組織・共生関係変質状況などを明らかにした後、顕微鏡写真を作成した。同時に、X線粉末回折試験を行って変質鉱物の同定を行った。また、調査井より噴出した熱水および周辺の地表水・温泉水を採取し分析に供した。使用した機器および測定条件は次の通りである。

(1) 顕微鏡観察

i) 使用機器：

POH型偏光顕微鏡（日本光学工業製）

HFH型写真撮影装置（日本光学工業製）

ii) 観察方法：

採取した試料より岩石薄片を作成し、上記岩石顕微鏡によって、鉱物組成・組織・共生関係などを観察し、岩質・変質を明らかにした後、その結果を記載するとともに、その代表的部分について顕微鏡写真を作成した。

(2) X線回折分析

i) 使用機器：

X線回折装置（フィリップ社製）

ii) 試験方法：

試料を細粉した後、メノウ乳鉢で指頭に感じない程度（50～100 mesh）まですりつぶして、無定方位試料を作成した。さらに、一部試料については、水比を行って定方位試料を作成するとともに、塩酸処理・エチレングリコール処理を行って、回折に供した。

iii) X線回折測定条件

Target : Cu K α

Filter : Graphite monochrometer

Voltage : 30 KV

Current : 20 mA

Divergence slit : 1°

Scanning slit : $2^{\circ}/mm$ および $1^{\circ}/min$

Chart speed : $2 cm/min$ および $1 cm/min$

(3) 熱水の化学分析

調査井から噴出した地熱熱水およびプチュルディサ(Pchuldiza)地熱地帯の天水および湧出温泉水を採取し、これら試料を日本へ持ち帰り、分析に供した。ただし、 SiO_2 については試料が少ないため分析することが出来なかった。

3-2 調査井の地質

調査井の地質は、下位より、白亜紀のチュリコージョ(Chucollo)層、第三紀のウタヤネ(Utayane)チョニヤチャヤ(Chojña Chaya)層、コンドリリ(Condoriri)層、およびプチュルディサ(Pchuldiza)層からなり、それらを第四紀の火山噴出物が覆う。また、その時代は明らかではないが、深度700m付近に岩脈が存在する。

これらの地層区分および層序は、第一次調査団が地質調査結果から組立てた層序区分に極めて調和的であり、その層厚も予想されたものとおおよそ一致する。

以下、肉眼観察結果と顕微鏡観察結果とにもとずき深度順に記載する。なお、地質柱状図をFig. II-3-1に示す。

第四紀火山噴出物

第四紀火山噴出物は深度0m~75mに産出し、そのうち深度60m~75mは同質の火砕流堆積物からなる。斜長石と角閃石の大きな斑晶と石基とからなる斑状構造をもつ安山岩溶岩および同質の火砕流堆積物であり、調査井北方に広く分布するものと同質である。なお、地熱変質は認められない。

プチュルディサ層

プチュルディサ層は深度75m~415m間に産出する。本層は、75m~210mの安山岩溶岩(I)、210m~315mの同質火砕流堆積物、および315m~415mの安山岩溶岩(II)に区分される。安山岩溶岩(I)は、黒色・塊状・緻密で、石基中に少量の斜長石・輝石の斑晶が認められ、時に流理構造がみとめられる。鏡下の観察によると、斑晶として斜長石のほか普通輝石および紫蘇輝石が存在し、石基は極細粒の斜長石輝石および不透明鉱物からなる。変質は下位の地層と比べ全般に弱い。火山碎屑岩は凝灰岩、火山礫凝灰岩および凝灰角礫岩からなり、上部では凝灰岩が、下部では凝灰角礫岩が卓越する。結晶片としては、斜長石・輝石類、不透明鉱物が主で、極く少量の石英、カリ長石、黒雲母がみられるほか、ガラス片および浮石を含む。岩片としては、輝石安山岩が主で、稀に流紋岩質・石英安山岩質岩がみられ、前者は本質岩片と考えられる一方、後者は下位のウタヤネ層の岩相に似て基質はガラスからなる。

変質鉱物としてモンモリロナイトが生じ、それは主にガラス片、石基を交代し、また、空隙の壁面に沿って生じている。安山岩溶岩(II)は上位の安山岩溶岩(I)と同質の輝石安山岩であるが、流理構造が発達しており石基中の斜長石が定方向に配列することによって特徴づけられる。上位の安山岩溶岩(I)と比べ、モンモリロナイト化は強く、石基のほか斑晶の晶壁、割れ目等に沿っても変質がすすんでおり、時に微脈状を呈する。なお、深度370m付近には赤褐色の火山岩様岩が産出する。これを鏡下で観察すると、赤鉄鉱の不規則な集合体からなっていることがわかるが、その詳細は明らかでない。

コンドリリ層

コンドリリ層は深度415m～530mに分布する。石英安山岩質凝灰岩～火山礫凝灰岩で、浮石を含むことによって特徴づけられる。鏡下では岩片、ガラス片、結晶片が混在している。岩片は石英安山岩質岩片のみで、結晶片は斜長石、黒雲母、不透明鉱物などからなる。変質は上位のブチュルディサ層より強く、特に浮石は完全にモンモリロナイトに置き換えられている。なお、本層の円磨度、淘汰度は不良である。

チョニヤチャヤ層

チョニヤチャヤ層は本層は深度530m～662mに産する。火山礫凝灰岩～凝灰角礫岩からなる火山碎屑岩で、前述コンドリリ層から漸移的に変化するか、軽石を含まないかあるいは極めて少ない点において、区別される。角礫は大部分の石英安山岩と少量の輝石安山岩とからなり、軽石のみとめられることもある。基質は強くモンモリロナイト化され、初生の状況は推定出来ない。また、モンモリロナイトは斜長石結晶の結晶壁間、割れ目などに沿っても生じており、かつ、初生の苦鉄質鉱物のすべては変質されており、わずかに初生形状を示すにすぎない。チョニヤチャヤ層は、標式地においては緑色あるいは褐色の砂岩で薄い礫岩をはさむとされる。本調査井では火山碎屑岩の岩相を示し、その点において標式地の岩相とは異なる。しかし、同時に浮石を殆んど含まない点において、コンドリリ層とも異なっている。従って、この区間の火山碎屑岩は、1) 東方に向って岩相変化して砂岩に移化するか、2) 地表には産出しない地層かのいずれかと判断される。特に根拠はないが、ここでは?マークを付したまゝ、上・下地層の関係からチョニヤチャヤ層とする。

ウタヤネ層

ウタヤネ層は深度750m～930mに産する。自破碎本質岩片を含み、帯紫褐灰色の濃淡の縞模様構造で特徴づけられる石英安山岩質強溶結凝灰岩で、一見塊状の安山岩溶岩様に見える。* 本来上部は弱溶結の凝灰岩であろうと推定されるが、本層の見かけ上上位では岩脈と強溶結岩相とが接している。下部には溶結凝灰岩が産する(コアサンプルT-27)。強溶結岩の斑晶は斜長石・黒雲母・角閃石および不透明鉱物からなり、石基は斜長石・石英・および

び少量のカリ長石と二次の粘土鉱物からなる。コアサンプルT-27は本層下部の溶結凝灰岩であり、その構成鉱物は強溶結岩と同一である。そして著しく変質を受けているためその詳細は明らかではないが、流理組織および溶結組織の残存が認められる。

全体に強く変質を受けており、特にそれは石基および苦鉄質鉱物に著しい。変質鉱物は主にモンモリロナイトであるが二次の微小粒状石英のほか一部にセリサイト様鉱物も認められる。

- * 模式地のコンドリリ山東麓での再調査によると、本層は上・下部が弱溶結の凝灰岩、中心部が強く溶結した溶岩様岩からなるいくつかのフローユニットから構成されていることが判明した。調査井の本層は、主として溶岩様の強溶結岩から構成されている。

チュリコージョ層

チュリコージョ層は本層は深度930m以深に産し、浅部より粗粒凝灰岩、凝灰角礫岩および安山岩溶岩の順に分布する。深度930m～1,060mは、斜長石と少量の石英・苦鉄質鉱物結晶片、および安山岩岩片（本層下部と同質）と少量の石英安山岩片・火山砕屑岩岩片とを含む火山砕屑岩で、上部は凝灰岩から、下部は凝灰角礫岩からなる。粗粒凝灰岩の淘次度はやや良いが、級化構造は認められない。

深度1,060m以深は、斑状組織をもつやや細粒の輝石安山岩で、斑晶は斜長石・輝石・不透明鉱物よりなり、石基は斜長石・二次石英・粘土鉱物・不透明鉱物から構成される。斑晶はやや一定方向に配列する傾向を示しており、本岩が強溶結の凝灰岩である可能性を残している。

標式地におけるチュリコージョ層は、下位より、安山岩質～石英安山岩質溶結凝灰岩、流紋岩質凝灰岩～溶結凝灰岩、および緑色砂岩・礫岩からなるとされている。調査井には砂岩および礫岩は認められなかった。しかしながら標式地において、

- a) 砂岩は凝灰岩質である。
- b) 礫円磨度はやや不良である。
- c) 構成礫は主として安山岩質岩である。

などの理由により、模式地の砂岩・礫岩と調査井の火山砕屑岩とは、漸移関係あるいは指交関係にある可能性が大きいと推察される。ここでは、両者の相互関係の詳細説明を残したまま、調査井の火山砕屑岩をチュリコージョ層に対比する。

本層は、全般に強く変質されており、それは特に石基および苦鉄質鉱物に著しい。変質鉱物は主に緑泥石であり、そのほかセリサイト様鉱物・緑泥石ーモンモリロナイト混合層鉱物・炭酸塩鉱物・石英などがみとめられる。特記すべきことは、深度1,040m以深にエピドーテが、斜長石結晶中あるいは石基に生成していることである。なお、苦鉄質鉱物の大部分はオバ

サイト化あるいは緑泥石化しており、輝石のほかに角閃石・黒雲母が苦鉄質鉱物斑晶として含まれていた可能性がある。

岩脈

岩脈は深度662m～750mに産する安山岩は岩脈と考えられる。その理由は以下の通りであるが、調査井のコアは部分的に採取されているにすぎず、また、上・下位の地層との相互関係は確認出来ない。従って、岩脈としたものが地表には分布しない他の地層である可能性を否定出来ない。

- a) 流理構造の傾斜は全般に急傾斜(約70°)で上・下位の地層の構造とは不調和である。
- b) 上位の火山砕屑岩に本岩の角礫は含まれていない。
- c) 変質は上・下位の地層と比べやや弱く、時にX線回折でモンモリロナイトの検出されないことがある。

本岩は、苦鉄質鉱物斑晶の極めて少ない細粒の安山岩で、著しい流理構造が発達している。下位層との境界付近では破碎構造が認められるが、異質角礫は含んでいない。斑晶として確認出来るものは斜長石のみで、他の少量の苦鉄質鉱物はすべて変質している。石基は斜長石・カリ長石・二次の石英・粘土鉱物および不透明鉱物などからなる。変質はみかけ上上・下位の地層と比べやや弱い。苦鉄質鉱物および石基にはモンモリロナイトが生成しているほか斜長石割れ目などに少量の方解石が生じ、石基には少量の微粒の二次石英が生じている。また、玉髄質シリカ石英・粘土鉱物からなる微脈のみとめられたこともあり、稀に流理構造に平行した割れ目に褐鉄鉱が生じていることもある。

調査井は、JIOAの第一次調査で明らかにされたトゥーハを通る背斜構造の東翼付近で掘さくされた。地表地質調査結果から解析された調査井付近の地質層序・地質構造と今回掘削された調査井の地質とでは、後者で基盤のチュリコージョ層の産出深度が約200m浅く、ウタヤネ層の層厚が約200m薄い。このことは、調査井からトゥーハへ向う背斜構造が、当初考えられていたものよりやや緩傾斜であることを示唆しているが、地表地質調査で解析された地質構造と今次調査井の地質とはおむね調和していると考えてよい。

3-3 地熱変質

調査井の変質鉱物としては、モンモリロナイト、セリサイトーモンモリロナイト混合層鉱物、セリサイト、緑泥石、緑レン石および一部に方解石が検出された。しかし、沸石類は検出されなかった。検出された変質鉱物をTable II-3-1に示し、X線解析チャートおよび顕微鏡写真を巻末に添付する。

a-クリストバル石、トリデマイトは、深度580mまでの間に数ヶ所でX線回折により検

Table II-3-1 X-ray Diffraction Analysis

No	Sample No. and its depth (-m)		Silica			Feldspar		Clay					Zeolite		Others				
			α-Qz	Tri	α-Cr	Pl	K-Fel	Mon	S-M	Ser	Chl	Kao	Mor	Lau	Cc	Hm	Bi	Epi	
1	T-3	186-192		•	○	○	•	•											
2	T-4	215-221				○		•											
3	T-5	243-247				○		○											
4	T-5'	*OS				•		○											
4'	"	*EG						○											
5	T-7	315-320	•			•		○											
6'	T-7'	OS						○											
6		FG						○											
7	T-9	368-373	•				•	○								•	•		
8	T-9'	OS					•	○									•		
8'		EG						○											
9	T-10	402-404				○	•	•											
10	T-13	489-492	•	•		○	•	○											
11	T-15	550-552	•			○		○											
12	T-16	580-583			•	○	•	•	•										
13	T-17	611-614				•		○											
14	T-17'	OS				•		○											
14'	"	EG						○											
15	T-18	641-643	•			○		○											
16	T-20	702-704	○			○	•	•											
17	T-21	733-735	○			○	•												
18	T-22	763-765	○			○		○											○
19	T-24	812-814				○		○											○
20	T-27	904-908	○			○	•	○											
21	T-28	935-937	○			○													
22	T-30	996-996.3	○			○													
23	T-30'	OS	•			•		○				○							
23'	"	EG						○				○							
24	T-31	1039-1041								○	○								•
25	T-34	1154-1157								○	○								•

Qz . Quartz Mon . Montmorillonite Lau . Laumontite • . rare
 Tri . Tridymite Ser . Sericite Cc . Calcite ○ common
 α-Cr . α-Cristobalite Chl . Chlorite Hm . Hematite ⊗ . abundant
 Pl . Plagioclase Kao . Kaoline Bi . Biotite
 K-fel . K-feldspar Mor . Mordenite Epi . Epidote
 S-M . Sericite-Montmorillonite Mixed Layer
 * OS (Oriented Sample) * EG (Ethylene Glycol)

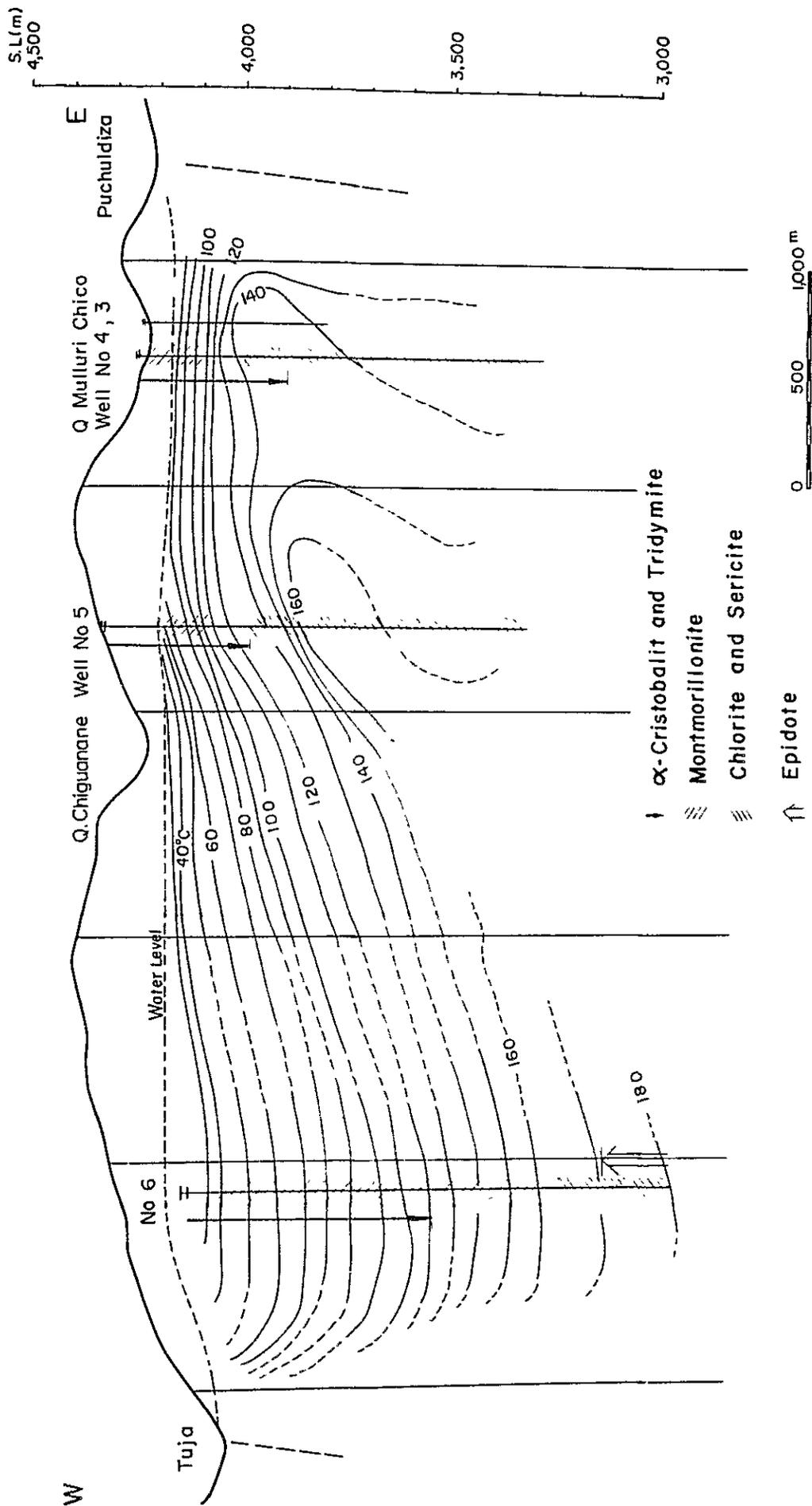


Fig. II-3-2 DISTRIBUTION OF ALTERED MINERAL AND LOGGING TEMPERATURE SECTION W-E (857N)

出されたが、顕微鏡観察ではその産出形態を確認出来なかった。

モンモリロナイトは、浅部から深度905mまでの間に、一様に産出する。モンモリロナイトは、初生鉱物の斑晶の緑辺あるいは割れ目に沿ってそれらを交代しながら産出するほか、基質を一様に交代し空隙を充てんして生じている。なお、深度662m~750m間に産出する岩脈では、一般に変質の度合いは低く、これが比較的遅れた時期に貫入したことを示唆している。

セリサイトおよび緑泥石は、深度935m以深に産出する。その産状はモンモリロナイトとほぼ同様で、斑晶の一部を交代し、かつ石基に一様に生じているほか、一部脈状を呈して産している。なお、この緑泥石はその光学的特性からFe-Mg緑泥石でや、Feに乏しい型であろうと推察される。

モンモリロナイトの検出下限深度とセリサイト検出上限深度との移行帯には、セリサイトーモンモリロナイト混合層鉱物が検出された。その産出形状は、モンモリロナイトのそれと同様である。但し、E・G処理のなされた試料は少いので、その分布域はより拡がるものと推定される。

緑レン石は、深度1,040m以深に、顕微鏡観察によって見いだされた。その産状は、主に斜長石斑晶の一部を交代した斑点状を呈しているほか、一部に脈状を呈している。

方解石は、X線回折ではコアT-9に検出されたのみであるが、肉眼観察では、殆んどのコアに微細な脈状を呈して少量産出するのが確認される。

地熱変質鉱物は、過去の地熱熱水系の温度を知るための地質温度計として、その安定領域の研究がすすめられている。

α -クリストバライトは、温度の上昇に伴って石英に転位するもので、その転位温度は約100℃と考えられる(Tomasson et al., 1972, 金原, 1978)。トリデマイトもおおむね同様と考えられる。従い、 α -クリストバライトの検出される下限深度約600mが、過去における100℃の等温面の上限に当たっていると考えられる。

モンモリロナイトの安定上限温度は、多くの地熱地帯の実測温度と変質鉱物の分布との比較から、おおむね230~240℃にあると考えられている(Brown et al., 1970; Tomasson et al., 1972; 窪田, 1979ほか)。従って、モンモリロナイトの消失する深度約930mが、過去のある時期に、現在実測された地温よりかなり高い温度条件、即ち、230~240℃の温度にあったものと推定される。

また、同様に、緑泥石・セリサイトの安定下限温度は約200~210℃であると考えられており、緑泥石の検出されはじめる深度約930mがその安定に存在し得た深度の上限を示すと考えられる。

同様に、緑レン石の安定下限温度は、260℃ないし230℃にある。(Kristmannsdttir, 1975, Ellis et al, 1977; 窪田, 1979 ほか), 本調査井では深度1,000m以深が緑レン石の安定して存在し得る温度条件にあったと考えられる。

前述の地質温度計から得られた深度・温度を打点することによって得られる深度-温度曲線は、深度600mを100℃とした時の深度-飽和温度曲線に極めてよく一致することが判明する。従って、当調査井においても過去のある地質時代には、現在よりもかなり高い温度条件にあり、かつ、それが何らかの要因によって冷却され、その結果が現在の実測温度曲線に示されていると考えられる。

但し、変質鉱物の検出された地層は第三紀および白亜紀の地層であり、もし、前述の変質鉱物が地熱変質を受ける以前に生成されたものであれば、その地質温度は過去の地熱貯留層の温度を必ずしも示さない。このような視点から前述の地質温度計を見直した場合、深度930mのモンモリロナイト検出下限およびセリサイト・緑泥石の検出上限の位置が最も問題として残されることになる。なぜなら深度930mは第三系と先第三系との境界に一致するからである。この問題点を解決するためには、本来変質鉱物そのものゝ地質時代を決定しなければならない。このような未解決の問題点はあるが、モンモリロナイト検出下限と緑泥石・セリサイト検出上限との間に、セリサイト-モンモリロナイト混合層鉱物が検出されるので、モンモリロナイト・セリサイト・緑泥石も、地熱変質の産物である可能性が高いと判断される。

今、No 6孔、No 5孔、No 4孔を結ぶ等温度曲線図に、セリサイト・緑泥石の検出上限位置をプロットし、それを結ぶと、Fig II-3-2に示すように、おゝむね実測等温度曲線図に示すと同様な傾向、即ち、西側に向って検出深度が深くなる傾向が見い出され、かつ、その曲線は地質断面に示される地質境界と斜交する。

3-4 地熱熱水の地球化学

調査井および調査地域に賦存する地熱流体の地球化学的特性を明らかにし、地熱貯留層評価の基礎資料とする目的のため、以下の地区で温泉水・天水などを採取した。

- i) 調査井No 6孔の噴出熱水
- ii) 調査井No 6孔付近の地表水
- iii) 当地域地熱徴候地の温泉水
- iv) 当地熱地帯周辺の温泉水
- v) スリリ地熱地帯の温泉水

ブチュルディサの北方約40kmに位置するスリリ(suriri)地熱地帯を調査する機会を得たので、その時採取した温泉水の分析値を参考資料として示す。

以上の分析結果およびその採取位置を、Table II-3-2, 3およびFig. II-3-3 に示す。

I) 調査井No 6 孔熱水の化学組成

前述のように、No 6 孔では圧入停止後主弁を開放すると、地熱流体の噴出がみとめられた。試料は湧出開始後約1時間および約2時間に採取されたものである。化学組成は、相対的にNaClに富み、それが典型的な地熱熱水であることを示している。しかしながら、付近のトゥーハおよびブチュルディサの噴出熱水やNo 1～No 5 孔の噴出熱水の化学組成と比べ、その濃度は約 $\frac{1}{2}$ であり、圧入した河川水が約50%混入していることを示している。なお、このように圧入冷水が混入しているため、この分析値を地球化学温度計として用いることは出来ない。

II) 調査井No 6 孔付近の地表水の化学組成

相対的にCa, Mg, HCO₃に富むが、他の地熱熱水と比べ全体の濃度は低く、典型的な地表水と云える。先に述べた調査井への圧入水の化学組成とみてさしつかえない。

III) 当地熱徴候地の温泉水

トゥーハおよびブチュルディサの地熱徴候地の温泉水のうち、第一次調査報告に記載されている地点から数点を選んで分析に供した。全般に、第一次調査報告に記載された値よりやや塩濃度に富んでいるが、その差は±10%以内である。少ない分析値からは地熱活動の経年的変化を論じることは出来ないが、今後さらに分析を継続して地熱活動の経年的変化や孔井掘削による影響などについて観測を継続する必要がある。

IV) 当地熱地帯周辺の温泉水の化学組成

ブランコ山を中心とする火山体を中心として、ブチュルディサをはじめいくつかの地熱徴候地が知られている。ブチュルディサ地熱地帯と比較検討するため、いくつかの温泉・冷泉の湧出地点から試料を採取した

キタリリ(Quitari)には、トゥーハと比べて劣らない拡がりをもつ珪酸の沈澱層が広く分布しており、採取された温泉水も十分に塩濃度が高い。

ウスカナ(Uscana)は塩湖の縁辺部に温泉ガスを伴って湧出する温泉である。HCO₃に富み炭酸泉に分類される泉質であるが、塩濃度もやや高い。これは、深部のNaCl型地熱水が混入したためか、あるいは塩湖に沈澱した塩が再溶解したかのいずれかであろう。

ピンカジュリ(Pingalluri)は、火山山麓を刻む河岸より少量の珪酸沈澱物を伴って湧出する温泉で、その温度は比較的高く、約35℃である。HCO₃に富むが、塩濃度も比較的高い。地表水にNaClに富む地熱熱水が混入したことを示唆する。

パリーナコタ(Parinacota)湖は、ブランコ山火山体の北麓に位置し、塩湖に流入する自然湧出水である。全体に濃度が低く、浅層地下水ないし地表水であることを示す。

以上の分析値は、少くとも、調査井№6孔の西方のマクルキマ (Macarquima) 山の南西山麓の深部に、ブチュルディサ地熱地帯と同一か、あるいは単元を異にする類似の地熱貯留層が存在している可能性を示している。湧出条件からみて温泉水の分析値から、地熱貯留層の温度を推定することは危険であるが、おゝむね200℃程度あるいはそれ以上の貯留層温度が推定される。

V) スリリ地熱地帯の温泉水はNaCl型に属し、地球化学温度は地熱流体の温度として200℃程度あるいはそれ以上が期待出来ることを示している。

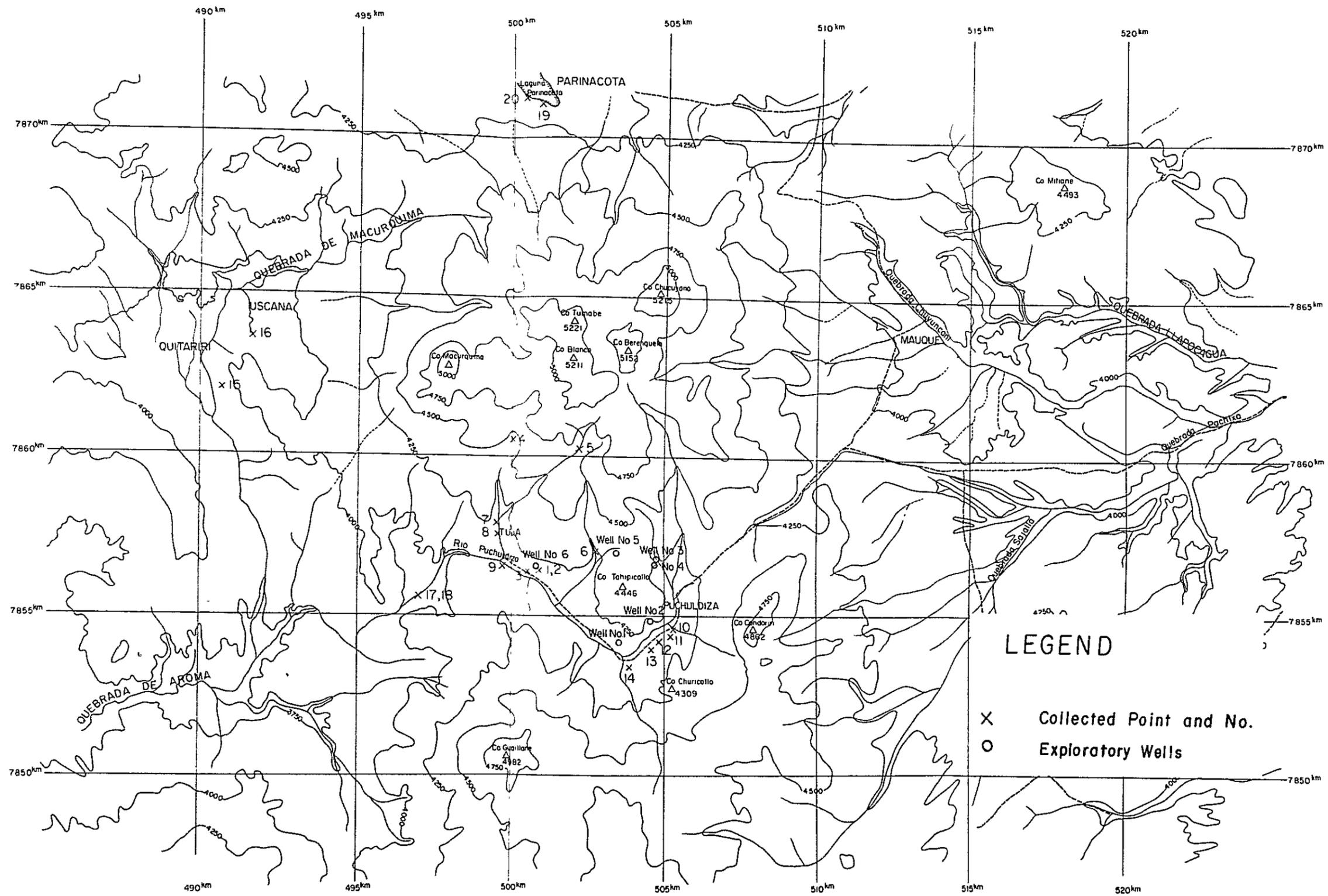


Fig. II-3-3 LOCATION OF COLLECTED SAMPLES

Table II-3-2 LIST OF WATER SAMPLES

Nos. and its location	Temp. °C	Flow Rate ℓ/min	Remarks
(Well No. 6)			
1 Well No. 6 1	86	700	
2 Well No. 6 2	86	700	
(Meteoric Water)			
3 Near Well No. 6	13	1	Cold spring water for potable water
4 Tuja Al Fondo	13	0.5	River water
5 Charaque Al Fondo	13	1	River water
6 Near Well No. 5	10	5	River water
(Manifestation of Tuja and Puchuldiza)			
7 Tuja No. 112	85	0.5	Hot spring water
8 Tuja No. 115	86	5	"
9 Tuja No. 124	85	0	"
10 Puchuldiza No. 2	85	0	"
11 Puchuldiza No. 4	85	10	"
12 Puchuldiza No. 5	85	10	"
13 Puchuldiza No. 58	85	3	"
14 Puchuldiza No. 76	86	1	"
(Manifestation surround Volcan Co. Blanco)			
15 Quitariri	86	10	Hot spring water
16 Uscana	32	15	Hot spring water with CO ₂ gas in salt lake
17 Pingalluri 1	25	2	Hot spring water
18 Pingalluri 2	30	4	"
19 Laguna Parinacota	25	5	Cold spring water near salt lake
20 Laguna Pannacota	20	5	
21 Suriri No. 1	55	0.5	Hot spring water
22 " 2	62	0	"
23 " 3	50	2	"
24 " 4	85	10	"
25 " 5	85	1700	Most large hot spring water

Table II-3-3 CHEMICAL COMPOSITION OF HOT WATER

Sample No. and its location	Chemical Composition (unit in ppm)							
	PH	Na	K	Ca	Mg	Cl ⁻	SO ₄	HCO ₃
(Well No. 6)								
1. Well No. 6 1	6.50	1060	61	61.5	1.6	1512	205	118
2. Well No. 6 2	7.98	1200	81	80.2	0.8	1860	336	142
(Meteoric Water)								
3. Near Well No. 6	6.52	39	22	26.3	8.9	62.8	83	36.7
4. Tuja al Fondo	6.46	26	10.8	67.5	17.4	4.5	280	23.3
5. Charaque al Fondo	4.66	25	12	44.1	7.1	4.5	119	Tr
6. Near Well No. 5	4.02	42	31	53.2	13.7	7.9	291	Tr
(Manifestations of Tuja and Puchuldiza)								
7. Tuja No. 112	6.72	2010	243	41.3	3.9	3376	114	111.5
8. Tuja No. 115	7.46	1775	169	64.5	2.3	3081	107	96.8
9. Tuja No. 124	6.42	2790	140	78.6	2.1	2866	114	86.9
10. Puchuldiza No. 2	7.46	1570	210	24.1	3.7	2673	122	213
11. Puchuldiza No. 4	7.72	1600	206	26.7	2.3	2226	121	216
12. Puchuldiza No. 15	7.94	1620	222	31.1	2.4	2484	124	218
13. Puchuldiza No. 58	6.50	1670	222	44.4	3.7	2661	131	288
14. Puchuldiza No. 76	7.58	1610	201	23.4	1.5	2494	117	202
(Manifestation surround Volcan Co. Blanco)								
15. Quitariri	8.80	1340	84	0.6	2.5	1549	282	637
16. Uscana	6.50	222	34	78.5	16.9	264	332	115
17. Pingalluri 1	6.46	268	54	51.1	7.0	453	90	154
18. Pingalluri 2	6.54	149	64	23.2	9.1	185	90	138
19. Laguna Parinacota	6.18	11	21	15.7	7.0	7.5	64	36.7
20. Laguna Parinacota	6.22	11	18	10.7	5.9	7.5	45	36.7
(Suriri)								
21. Suriri No. 1	6.42	1690	223	115.1	8.0	2722	240	140
22. " 2	6.54	1190	180	150.7	19.0	1880	317	265
23. " 3	6.58	1160	186	100.2	11.7	1852	283	247
24. " 4	6.60	1100	179	143.5	25.7	1890	359	260
25. " 5	6.54	1210	217	227.7	39.5	1707	1036	279

第4章 調査井の物理検層

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

第4章 調査井の物理検層

4-1 検層の目的と方法

地熱井の物理検層としては、温度検層、透水試験、速度検層、電気検層、電磁検層、放射能検層などが通例実施され、それらによって地熱貯留層の定量的評価が試みられている。今次調査では、これら検層の中で最も重要な、温度検層と透水試験とが実施された。

坑井内の温度分布の調査は、地熱井の物理検層の中では最も重要なもので、逸水層あるいは地熱流体賦存割れ目位置の検出、地熱貯留層の温度分布状態の解析、産出蒸気量の推算などに使用される。また、坑井掘削途中で温度検層を実施することにより、坑井掘削中の事故対策あるいはプロダクションケーシングパイプの設置深度の決定などに活用され、かつ、いくつかの孔井の資料をコンパイルすることにより地熱貯留層の拡がり、優勢な地熱資源の分布状態の解明に供される。

透水試験は、地熱貯留層の生産指数を解析することを目的として実施され、産出するであろう地熱流体の流量が推算される。

測定機材は、以下に示すアメラダ型温度・圧力計である。この温度計は、ある溶液が感熱素子に封入されており、この溶液の温度変化に伴う膨脹力の変化を回転力に変換し、チャートプレートに自記記録させるものである。

温度計： KTB Temperature element №10004
(KUSTER COMPANY, U. S. A.)

圧力計： KPG Pressure element №10201
(KUSTER COMPANY, U. S. A.)

ウインチ： 油圧駆動型 C. A. MATHEY F. H. 1210/12
(MACHINE WORKS INS., U. S. A.)

ケーブル： ステンレスワイヤー、 $\phi 208 \text{ mm}$

チャートリーダー： Type S. G. 250-1
(HILGER WATTS, ENGLAND)

なお、アメラダ型温度計は、本来点測定用に装置されているが、各測点間の途中温度変化を解明するため、今次調査では、降下速度を10 m/分以下にして、連続測定を行った。

4-2 温度検層

温度検層は、掘削深度400 m、600 m、800 m、1,157 mで計5回にわたって実施した。前3回の測定時の坑内循環水は泥水であり、最終検層ではスリットパイプ設置後循環泥

Table II-4-1 Logged Temperature of Well No. 6

Logging No.	I	II - 1	II - 2	III - 1	III - 2	III - 3
Logging Curve No.	①	②	③	④	⑤	⑥
Date	21/Oct/1980	1/Nov/1980	2/Nov/1980	15/Nov/1980	15/Nov/1980	16/Nov/1980
Drilling Depth (m)	463.0	653.0	653.0	814.5	814.5	814.5
Standing Time (hour)	144:05	4:30	23:40	7:30	16:30	31:00
Circulation Water	Bentonite Mud					
Water Level (m)	73.0	0	7.0	0	0	0
Water Level Temp. (°C)	No data	No data	No data	No data	18.0	25.0

Depth	Temp.	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
0 m	No data	No data	-	No data	No data	No data	No data
50 m	No data	44.9	-	No data	No data	No data	No data
100 m	43.9	48.0	44.7	44.4	45.5	43.9	
150 m	48.2	48.9	48.8	46.8	50.9	49.8	
200 m	51.7	50.7	51.1	51.9	54.6	53.5	
250 m	53.2	51.1	53.3	53.5	56.9	56.0	
300 m	60.3	51.8	56.3	57.3	60.3	59.1	
350 m		53.1	57.0	61.4	64.8	65.2	
400 m		54.4	59.7	64.3	69.3	71.0	
450 m		55.6	70.5	65.4	73.3	76.1	
500 m		57.8	77.2	72.1	78.1	82.7	
550 m		58.5	83.9	76.2	85.1	88.3	
600 m		59.8	93.9	77.7	88.0	93.4	
650 m		60.3	111.2	84.1	93.3	103.2	
700 m				90.5	103.2	109.4	
750 m				95.8	113.4	116.3	
800 m				114.5	132.8	142.6	
Remark							

Table II-4-1 Logged Temperature of Well No. 6

Logging No.	IV - 1	IV - 2	IV - 3	IV - 4	IV - 5	V - 1
Logging Curve No.	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
Date	27/Nov/1980	28/Nov/1980	29/Nov/1980	30/Nov/1980	1/Dec/1980	4/Dec/1980
Drilling Depth (m)	1,157.0	1,157.0	1,157.0	1,157.0	1,157.0	1,157.0
Standing Time (hour)	10:20	23:00	48:00	72:00	96:00	-
Circulation Water	Cool water	Cool water	Cool water	Cool water	Cool water	Cool water
Water Level (m)	0	0	0.5	1.5	2.0	-
Water Level Temp. (°C)	14.0	19.0	19.0	20.0	22.0	-

Depth	Temp. (°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
0 m	No data	No data	No data	No data	No data	-
50 m	43.8	No data	No data	No data	43.8	-
100 m	49.2	44.3	43.8	44.0	46.6	-
150 m	54.4	45.6	52.1	54.3	52.4	-
200 m	57.3	57.6	56.3	57.0	56.9	-
250 m	60.1	62.4	60.2	61.5	61.0	-
300 m	65.4	67.9	64.8	66.4	66.9	-
350 m	71.3	72.5	71.1	72.7	74.7	-
400 m	77.1	78.3	77.7	79.8	81.8	-
450 m	81.3	83.5	83.7	86.9	87.5	-
500 m	86.9	89.1	90.8	93.3	94.8	-
550 m	90.4	94.5	96.5	99.8	99.9	-
600 m	94.9	99.6	102.3	106.3	108.3	-
650 m	99.7	107.9	111.4	113.1	117.8	72.2
700 m	105.1	117.7	117.2	120.6	124.4	93.5
750 m	109.5	116.6	121.7	126.4	129.3	104.8
800 m	112.6	121.4	127.7	131.7	136.6	109.1
850 m	117.3	125.3	131.8	136.5	141.0	110.7
900 m	120.7	130.7	138.5	143.2	146.3	117.7
950 m	123.7	135.2	142.2	147.3	151.0	122.1
1,000 m	127.9	139.5	147.1	152.1	155.8	132.9
1,050 m	132.9	145.7	152.2	157.4	162.4	142.5
1,100 m	138.6	151.5	159.2	163.2	167.2	155.8
1,150 m	146.1	158.9	165.5	169.3	171.5	166.8
Remark						

Table II-4-2 Analyzed Reservoir Temperature

Measures Depth (m)	I	II	III	IV
100	44	39	40	45
200	52	53	53	57
300	60	67	64	70
400		70	90	90
500		100	106	105
600		122	127	121
700			139	140
800			161	155
900				165
1000				170
1100				176
1150				179

* I Depth of Drilling 463.0 m
 II " 653.0 m
 III " 814.5 m
 IV " 1,157.0 m

Fig. II-4-1 LOGGED TEMPERATURE OF WELL NO. 6

GEOLOGIC COLUMN

TEMPERATURE (°C)

Dec 1980

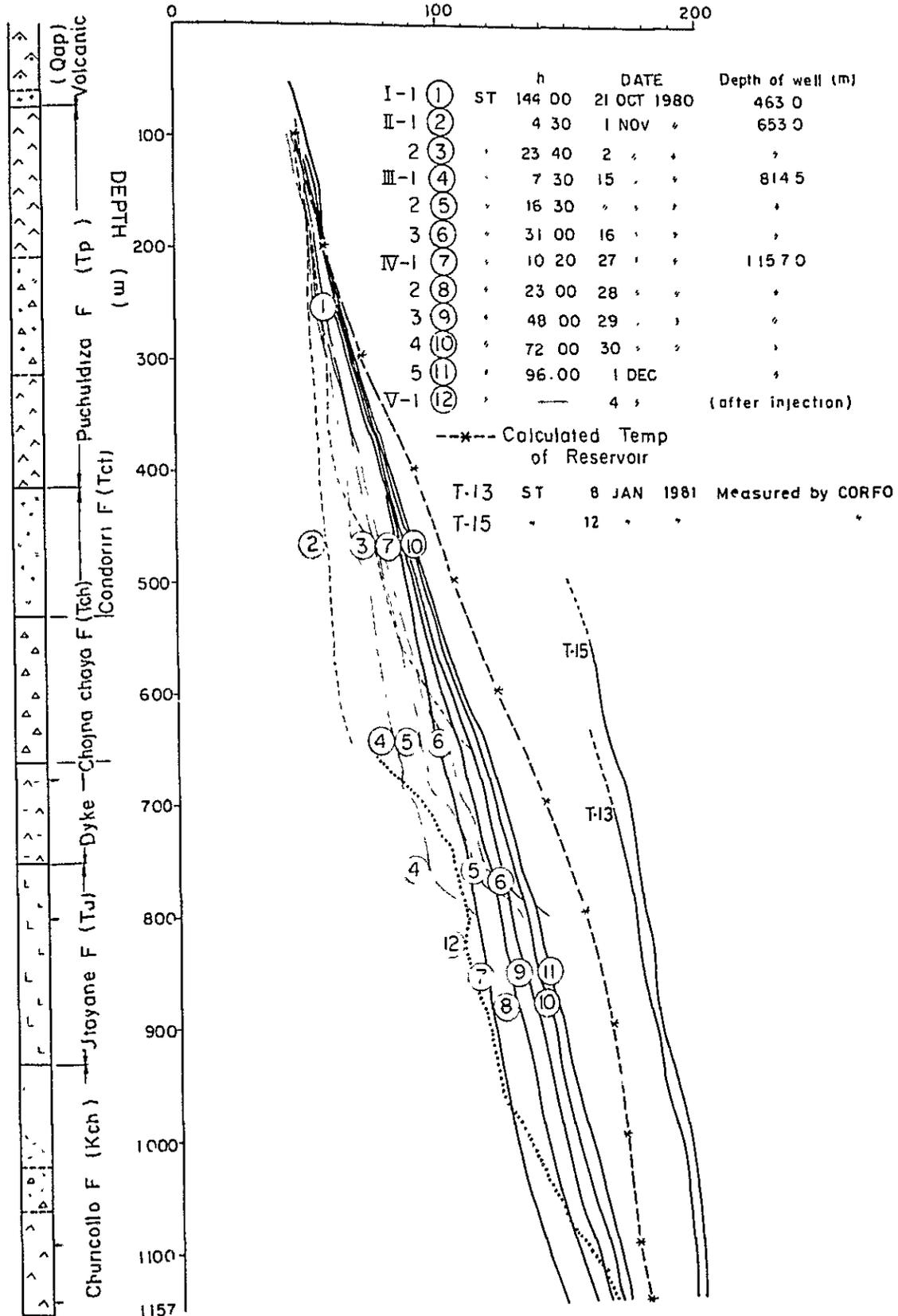
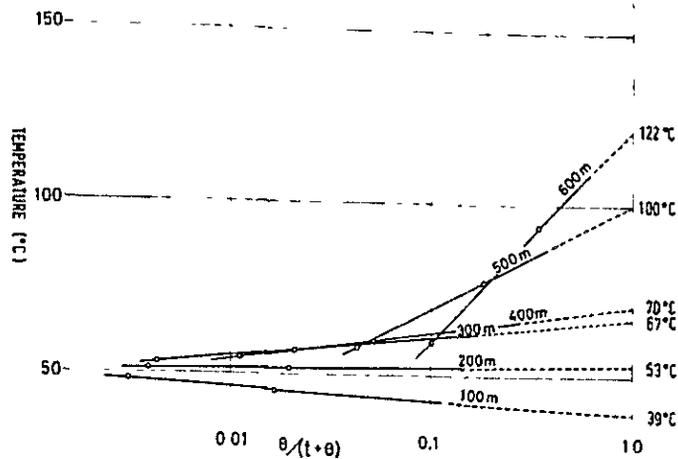
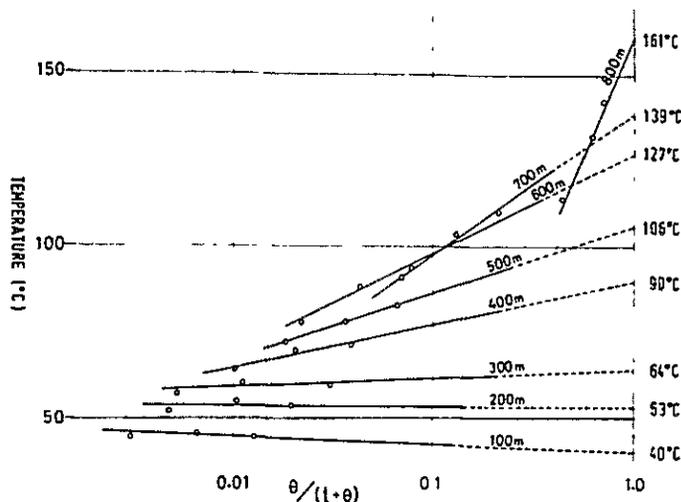


Fig. II-4-2 CALCULATED RESERVOIR TEMPERATURE

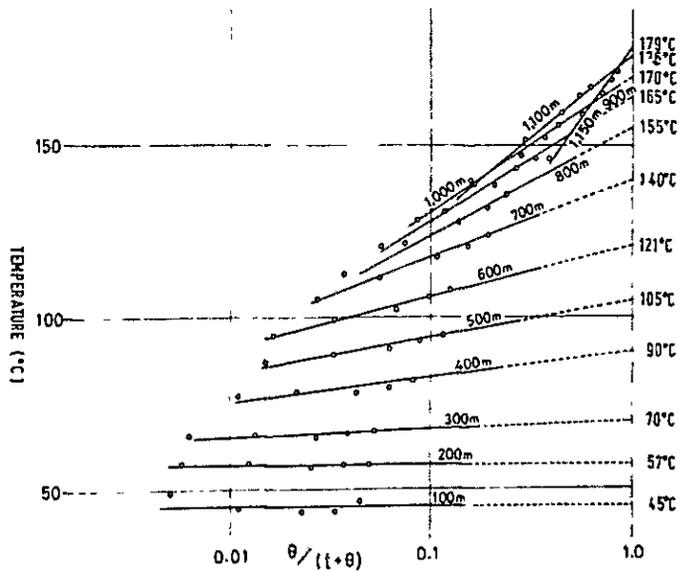
(LOG II at Depth 603.0m 2 Nov 1980.)



(LOG III at Depth 814.5m 16 Nov 1980)



(LOG IV. at Depth 1,157.0m 2. Dec 1980)



水を清水によって洗滌し、その後5日間にわたって温度回復状況を測定した。測定結果は Table II-4-1, Fig. II-4-1 の⑦~⑩に示し、測定条件は添付資料に示す。

これらの測定結果から、LACHENBRUCH, A. H et al (1959) の方法によって、深度別に地熱貯留層の温度を算出した。計算された深度別の推定地熱貯留層温度を Table II-4-2 および Fig. II-4-2 に示す。

このようにして求められた当地点の地熱貯留層温度は、プロダクションケーシング設置深度 650 m で約 130℃、坑底 1,150 m で約 180℃である。この温度条件は他の条件が整えば、即ち、地熱流体の存在する割れ目あるいは多孔質地層が存在し、坑内にある被圧力が存在するならば、地熱流体が噴出することが可能なことを示している。

実測された温度曲線は、浅部から坑底に到るまでほぼ直線状を示しており、掘削中に逸泥の無かったことを示している。また、推定地熱貯留層温度は、深度約 800 m までは、約 1.5℃/10m の温度上昇率でほぼ直線状を呈し、800 m 以深ではほぼ直線状を呈するものの、その温度上昇率は 0.7℃/10m で、浅部に比べ低い。

透水試験終了後に行った温度検層結果を Fig. II-4-1 の⑫に示す。温度検層曲線は、深度 800 m ~ 850 m の間で、低温側に凸の形状を示している。この検層作業は、冷水圧入の約 5 時間後に行われたものなので前記区間で圧入された冷水が貯留層に浸透した結果、このような特定区間が冷却された温度曲線が得られたものと考えられる。また、深度 730 m および深度 950 m にも小規模ながら低温側に凸の形状の温度曲線が得られており、これらの深度でも冷水が貯留層に浸透していることを示している。

尙、JICA 調査団帰国後、CORFO 所有の温度測定器で測定した深度 550~1,150 m 迄の温度分布は Fig. II-4-1 (T-13, T-15,) に示すごとく孔底で 201℃を示したと報告された。

深度 550 m より孔底迄の温度勾配を求めると 0.9℃/10m である。

4-3 透水試験

調査井の掘削中には、地熱流体の通路の存在を示す指標である逸泥現象や湧出現象は認められなかった。しかしながら、掘削泥水が地熱流体の割れ目を閉塞している可能性、あるいは孔井の極く近くに割れ目が存在している可能性があると考えられるので、冷水の圧入によるフラクチャリング効果を期待して、透水試験・圧入試験を試みた。使用したポンプはNSCO, IDEAL, C-250である。

試験は、12月1日および12月4日の二回にわたって行われ、その結果をTable II-4-3およびFig. II-4-3, 4に示す。最大負荷圧力は孔井口元圧力で 22.6 kg/cm^2 である。

見掛の透水指数は、最大 $5.7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{kg/cm}^2$ 、最小 $2.1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{kg/cm}^2$ であり、平均 $4.1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{kg/cm}^2$ である。

また、Drow Downカーブより、ヤコブの直線解析法によって、透水量係数を算出したところ、おゝむね $1.0 \text{ m}^2/\text{h}$ の値が得られた。

試験	透水量係数 m^2/h
I	1.46
II	1.00
III	1.03

貯留層の地下水位は、圧入停止後約20分で安定し、その後約2時間圧力計を放置しても、圧力の変化はない。従って、貯留層の地下水位は、孔口より約100m高い海水準にあると考えられる。試験毎にその位置を示すと以下の通りである。

試験	圧力計位置	理論圧力値	定常時圧力値	地下水位 対坑口標高
I	-200 m	20 kg/cm^2	39.8 kg/cm^2	+198 m
II	-200 m	20 kg/cm^2	41.1 kg/cm^2	+211 m
III	-494 m	47.1 kg/cm^2	58.8 kg/cm^2	+117 m

このように、透水性が良くかつ、地下水位が孔口標高より高いにもかかわらず、調査井掘削中に循環水の逸泥あるいは流出がなかったのは以下のいずれかの要因によるものと考えられる。

- i) 比重1.06~1.09の掘さく泥水が貯留層内に充満し、泥水柱圧力と地熱貯留層圧力とが丁度バランス状態にあった。
- ii) 割れ目あるいは透水層に掘削泥水が入り込み、それを閉塞する状態にあった。

No.6孔の貯留層地下水位の標高は、見掛上は過年度に掘削されたNo.1~No.5孔の地下水位とほぼ同一であり、No.6孔周辺では、地熱流体が被圧状態にあることを示している。

Table II-4-3 Wellhead Pressure and Injection Rate

No.	Date	Time		* Wellhead pressure	Injection volume	** Injection Rate
V-1 P-1	1/Dec	16:10 – 16:40		18.0 Kg/cm ²	19.25 m ³	38.5 m ³ /h
V-1 P-2		16:40 – 17:10		22.5	44.95	89.9
V-1 P-3		17:10 – 17:25		7.5	4.50	18.0
		17:25 – 17:40	*** D.D. No. 1			
V-2 P-4		17:40 – 18:05		18.0	48.71	83.5
V-2 P-5		18:05 – 18:25		7.5	5.57	16.7
V-2 P-6		18:25 – 18:45		22.6	29.97	89.9
		18:45 – 19:40	*** D.D. No. 2			
V-3 P-7	4/Dec	10:50 – 11:40		14.3	67.75	81.3
		11:40 – 14:00	*** D.D. No. 3			

* Wellhead pressure is measured by pressure gauge

** Injection rate is measured by stroke number of the Pump

*** D.D. is Draw Down Curve measurement

従って、主弁を開放するなら、地熱流体は自然に流出することが期待され、そして、12月3日および12月4日に、地熱流体の噴出があったことは、すでに第2章-3で述べた通りである。

その後のチリ側よりの連絡によると、J I G A調査団帰国後C O R F O自身で圧入テストを実施した。それによると圧入初期はJ I G A調査団と同じ圧入状態を示したが、2～3時間連続圧入すると注入量が大きく減少した。又圧入後孔井口を開放すると熱水は噴出するがこれも時間と共に減少した。おそらく圧入した全量が排出されたものと推定され、クラックが広範囲に形成されていないことを意味している。

Fig. II-4-3

INJECTION RATE OF WELL NO. 6

Dec. 1980

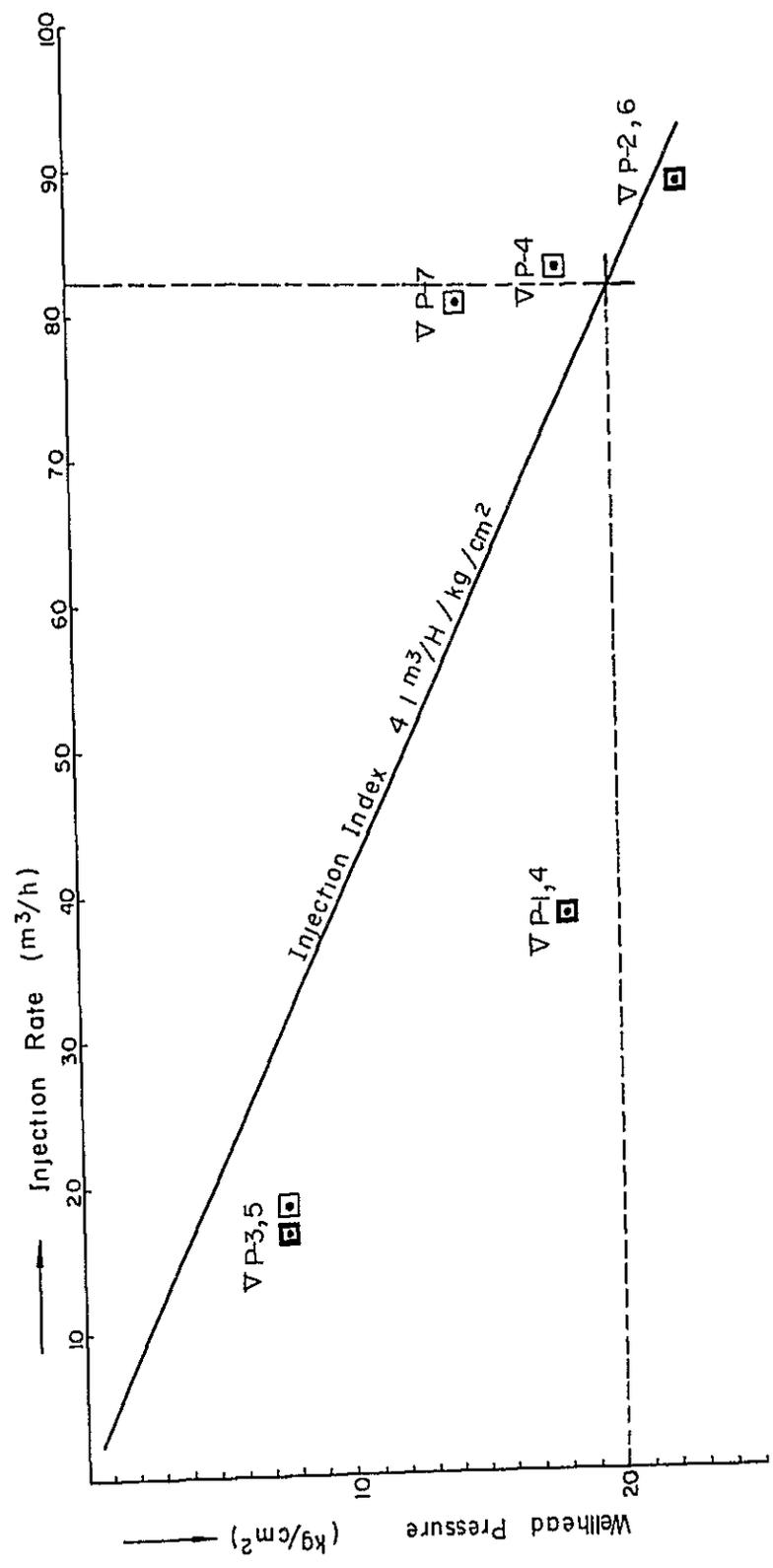
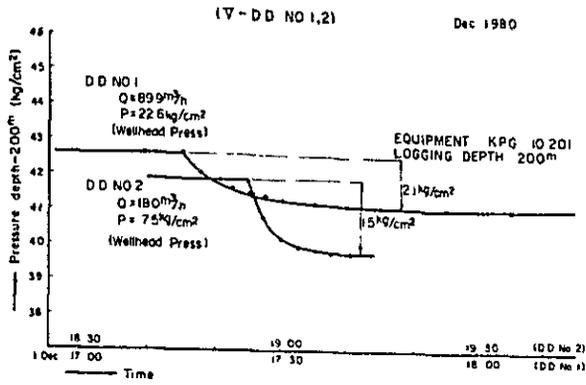


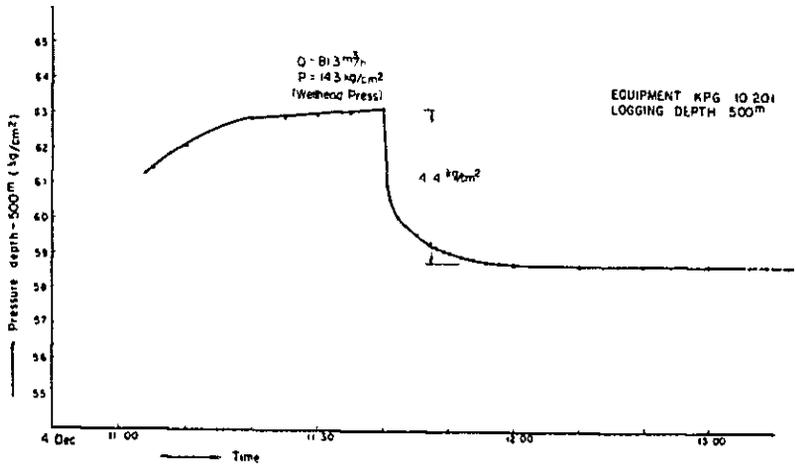
Fig. II-4-4 DROW DOWN CURVE



DROW DOWN CURVE

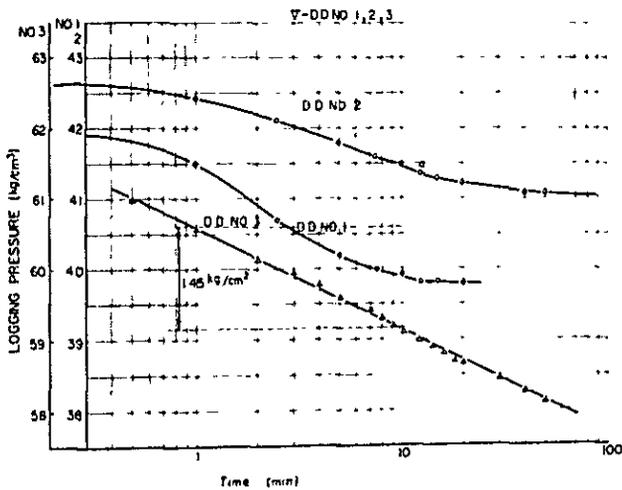
Dec 1980

V-DD NO 3



DROW DOWN CURVE

Dec 1980



4-4 物性測定

なお、調査井から採取したいくつかの試料について、比重・孔隙率・比抵抗を測定した。その結果はTable II-4-4に示す通りである。

比重は1.96～2.59の間にあり、一般に、凝灰角礫岩で低く、溶岩・岩脈で高い。また、その値は一般に知られている値とあまりむね調和する。

孔隙率は22.9～30.12%で、比重とは逆に、凝灰角礫岩で高く、岩脈で最も低い。

比抵抗は、 $1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3 \Omega\text{-m}$ であり、岩石物性について1978年度の岩心サンプル測定値と1980年度のボーリングコアサンプルの測定値を総合すると次表の様になる。

岩種	比抵抗 ($\Omega\text{-m}$)	密度 (g/cm^3)	孔隙率 (%)
第四紀安山岩	$(1.2 \pm 0.2) \times 10^3$	2.50 ± 0.1	6.56 ± 1.5
第三紀安山岩	$(3.2 \pm 0.8) \times 10^3$	2.54 ± 0.1	6.40 ± 2.0
第四紀安山岩質 溶結凝灰岩	$(0.4 \pm 0.2) \times 10^3$	2.40 ± 0.1	6.70 ± 1.0
第三紀石英安山岩質 溶結凝灰岩	$(1.5 \pm 0.8) \times 10^2$	2.25 ± 0.15	16.12 ± 2.5
第三紀石英安山岩質 凝灰岩	$(0.8 \pm 0.3) \times 10^2$	2.12 ± 0.1	24.39 ± 5.0
白亜紀安山岩質 凝灰岩	$(1.3 \pm 0.5) \times 10^2$	2.39 ± 0.05	14.23 ± 3.0

岩石の物性測定と地質・比抵抗柱状図 (Line A.D) との関係は次の通り。

- (1) 上位層：ブチュルディサ層の第三紀安山岩類は、密度は高く孔隙率が小さく明らかに高比抵抗層を示している。
- (2) 中間層：コンドリリ・チョニャチャヤ層の第三紀石英安山岩質凝灰岩、溶結凝灰岩類は低密度、高孔隙率で低比抵抗を示す。又、ウタヤネ層の大部分に分布している第三紀石英安山岩質溶結凝灰岩は、若干緻密質になり比抵抗値も高くなる傾向を示す。
- (3) 下位層：チュリコージョ層は安山岩質凝灰岩でウタヤネ層よりは密度を増し、孔隙率は低下し高比抵抗を示している。これは、比抵抗柱状図での深部下位層の高比抵抗帯に対比される。

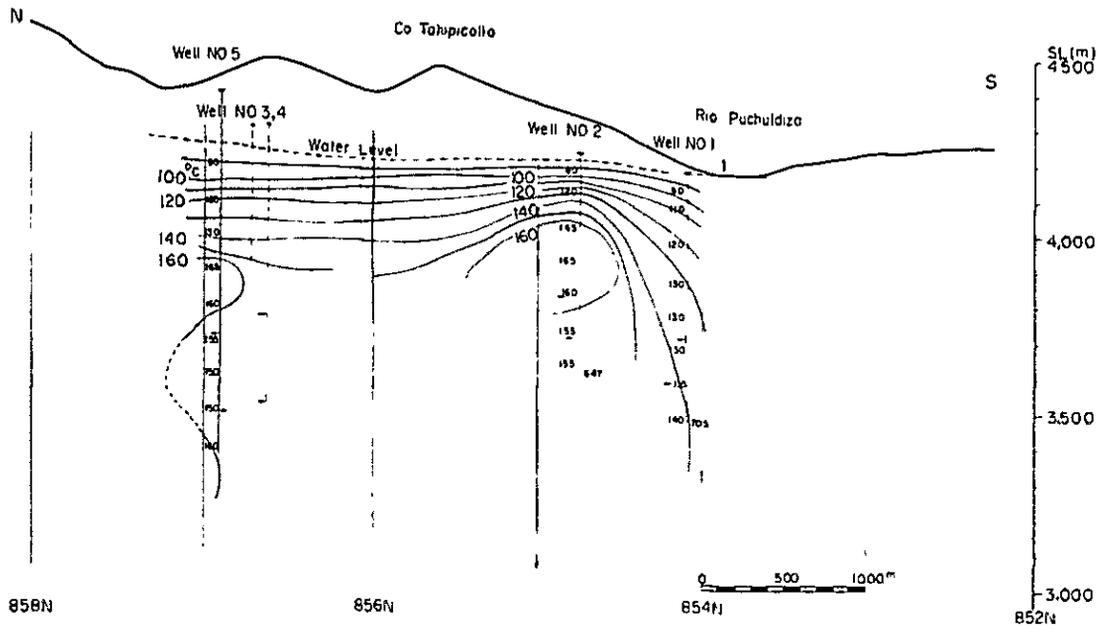
サンプルによる比抵抗値と電探による測定値とでは岩石の地下での条件 (地層水の分布、温度、堆積状態等) により比抵抗値は変化するがその傾向は一致している。

Table II-4-4 Resistivity of Rock Sample of Well No. 6

Depth (m)	Geologic Column & Formation	Sample No & depth (m)	Resistivity (Ω m)/20°C	Density (g/cm ³)	Porosity (%)	Resistivity Column (Ω m)		
						Line A No 70	Line D No 90	
0	Hornblende Andesite lava its Pyroclastics Q (Qap)					80	40	
100						100	115	
200		Pyroxene Andesite Lava intercalated with its Pyroclastics Puchulalza Formation (Tpi)	1 152					
			2 166					
			3 190	1,360	2.59	2.29		170
			4 220					
			5 245	265				
300		Dacitic Pumiceous Tuff to lapilli tuff Condor F (Tct)	6 280	685				
			7 317					
			8 350	160				
	9 370							
400	10 403		182.5					
	11 430							
500	Chojña chaya F (Tch)		12 460	29.5	1.96	30.12		
			13 490					
			14 520	32				
			15 551	154			40	
600		16 582	32				4.8	
700	Basic Andesite Dyke	17 612	40					
		18 642						
		19 672	540					
		20 703	570	2.53	6.65			
		21 734	565					
800	Dacitic Ignimbrite Uyayane F (Tu)	22 764	124					
		23 783	33.5					
		24 813	44.5	2.39	16.81			
		25 844	71.5					
		26 875	79					
900	Pyroxene Andesite Lava and its Pyroclastics Churicollo F (kch)	27 905	26.5					
		28 936	97.5					
		29 966	60	2.43	16.14			
1,000		30 996						
		31 1,041	73					
1,100		32 1,075	82			1,075		
		33 1,125	43.5					
1,157		34 1,155	65.5			20		

Fig. II-4-5

ISO-TEMPERATURE CURVE
N-S (SECTION 504E)



W-E (SECTION 857 N)

