

ケニア共和国  
リフト溪谷  
地熱開発計画調査(第2年次)報告書  
要約

昭和56年3月

国際協力事業団

407  
643  
NPN



ケニア共和国  
リフト溪谷  
地熱開発計画調査(第2年次)報告書  
要約

JICA LIBRARY



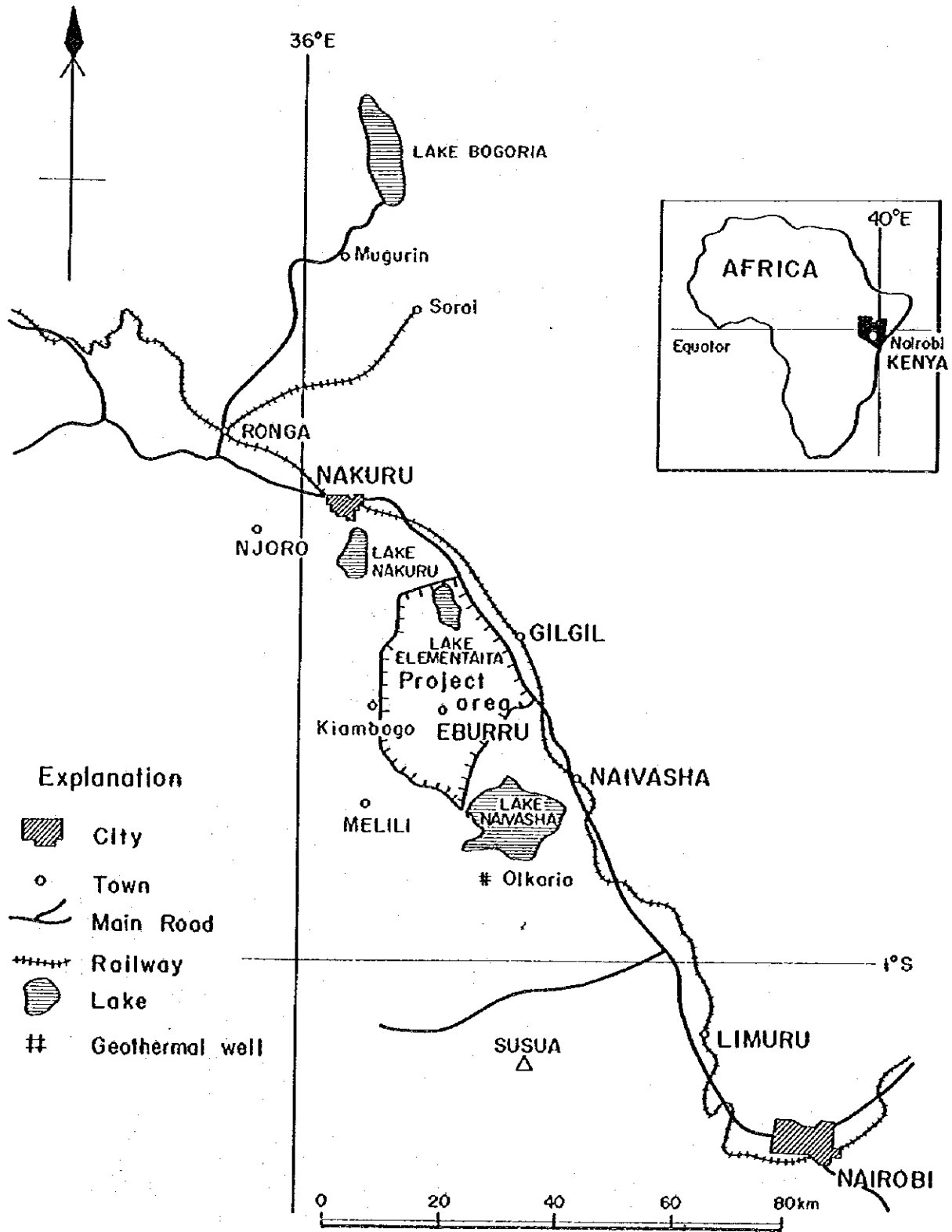
1062652C1J

昭和56年3月

国際協力事業団

国際協力事業団	
受入 月日 '84. 3. 16	407
登録No. 00419	64.3 MPN

Fig. 1 Location of Project Area





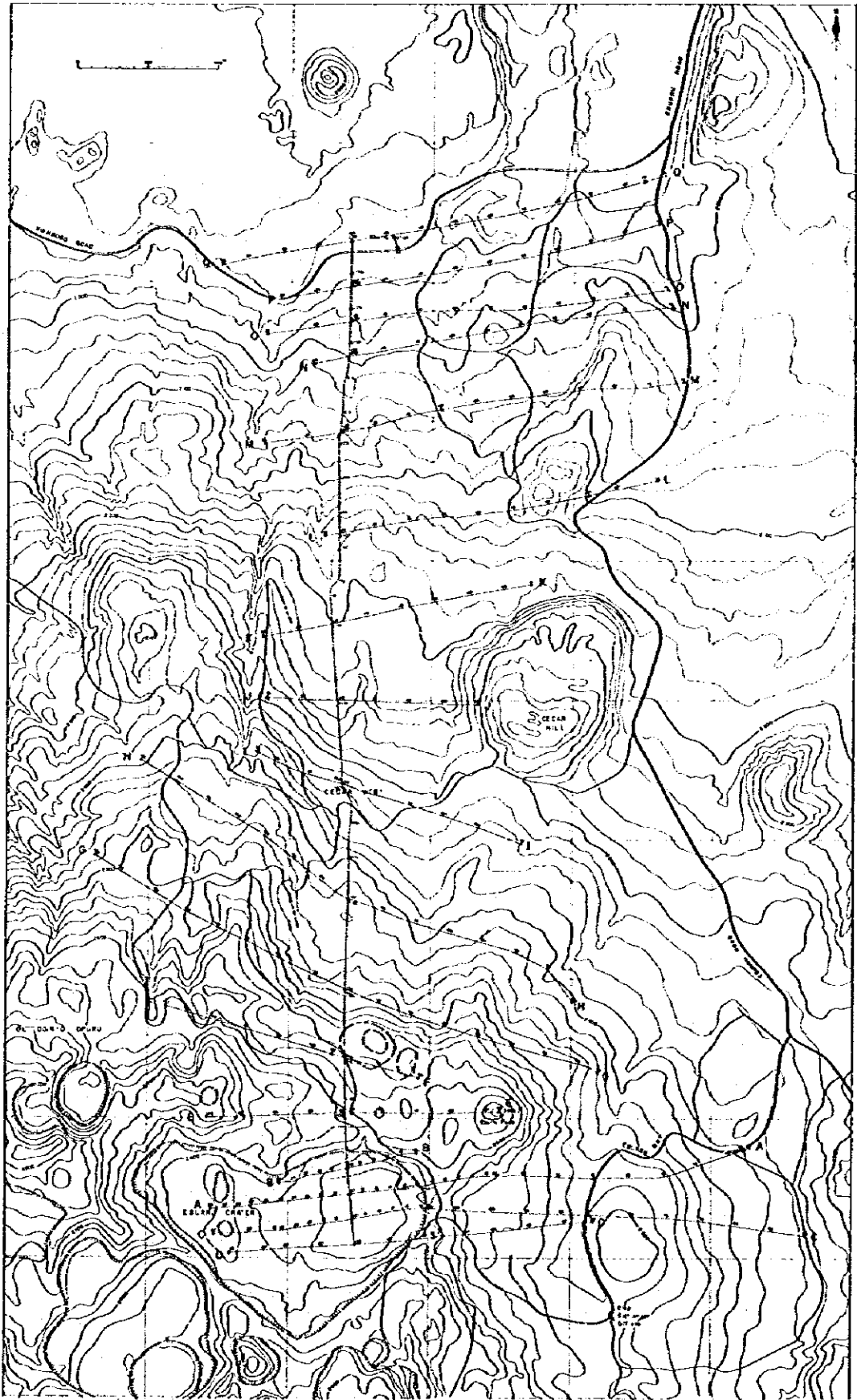


Fig. 2 Location of Project Area





# 目 次

1. 調査の経緯 .....	1
2. 調査の目的 .....	2
3. 調査地域の位置・交通 .....	2
4. 調査項目 .....	3
5. 調査団の構成及び日程 .....	3
6. 調査の内容 .....	4
7. 勧 告 .....	10



## 1. 調査の経緯

ケニア共和国は水力以外、化石燃料エネルギー資源に恵まれず、火力発電用等の石油は全て輸入に頼っている。発電能力も充分ではなく、不足電力の約3万KWを隣接するウガンダ共和国より購入している。近年の原油価格の高騰により火力発電能力増強は不可能となり、タナ川 (Tana River) 流域における水力発電及びその他新しいエネルギー資源に目を向ける必要が生じていた。

ケニア共和国のリフト溪谷は、世界的に知られた東アフリカ大地溝帯に属し、活発で若い火山帯であると共に優勢な地熱地帯である。

これらの背景に基き、ケニア政府は1950年代から地熱の予備調査を開始し、1956年～58年にはリフト溪谷のOlkaria地区で2本の調査井を掘削したが、充分な蒸気が得られなかった。1970年～74年には国連開発計画 (UNDP) による地熱調査 (地質調査、物理探査、地化学調査、調査井掘削等) がリフト溪谷特にその南部地域一帯にかけて行なわれた。

この間、1972年に国連開発計画に基づく派遣技術団により主要地熱地帯の評価が行われ、Olkaria, Eburru, Lake Bogoria (当時はLake Hannington と呼称された) の3地区が開発有望地域と選定された。

上記3地区のうち、開発上最優先されたOlkaria地区においては、動力通信省 (Ministry of Power and Telecommunication) の下でKenyan Power Co. (KPC) が統轄し、East African Power and Lighting Co. (EAPL) が第2世界銀行の協力を得て生産井の掘削および地熱発電所を建設中である。地熱発電所建設第1期工事 (15MW) は1981年完成予定で、日本の三菱重工業株式会社の手で進められている。なお第2期工事 (15MW) は、1983年完成予定である。

一方、Eburru, Lake Bogoriaの2地区は、概査の結果きわめて有望視されながらも、各種精密調査を実施し、有望な地熱資源を確認するための資金および技術員の不足から、国連開発計画調査以降開発調査は行われなかった。

天然資源省鉱山地質局 (Mines and Geology Department, Ministry of Natural Resources) は、地熱開発調査を行うにあたり、技術者の訓練を含み地熱探査の実施を日本政府に要請して来た。

1979年11月ケニア共和国内において内閣改組が行われ、新たにエネルギー省 (Ministry of Energy) が設立された。地熱エネルギーの調査・開発全般にわたりエネルギー省の管轄になるとともに、発電・配電関係のKPCやEAPLも組織的にその指導下に含まれ、地熱エネルギーについては一本化された。

上記要請に基づき日本政府は、昭和54年2月1日から2月23日に至る23日間に事前調査団 (団長 山崎達雄氏) を現地へ派遣して、地熱調査計画およびこれにともなう技術援助計



画の策定を行った。

ケニア共和国は、リフト溪谷内の地熱エネルギーポテンシャルの調査として、5年間でEburruとLake Bogoriaの2地区の精査と、リフト溪谷全域の広域地熱資源概査を希望していたが、この事前調査の結果、3年間でEburru地域の地熱資源精査を行うことが最適と決定された。

本調査の初年次として昭和54年度に、本島公司を団長とする6名からなる調査団を、国際協力事業団はケニア共和国に派遣し、地表調査ならびに資料検討を行なった。この調査結果に基づき、本調査団が派遣された。

## 2. 調査の目的

この計画調査は、ケニア共和国エネルギー省が計画しているリフト溪谷地熱開発計画に関し、過去に実施された調査資料を考慮して、当面次期開発区域であるEburru地区の地熱地帯開発の可能性を、その地熱エネルギー埋蔵量の面から調査するとともに、ケニア人技術者の教育訓練を含むものである。

## 3. 調査地域の位置・交通

ケニア共和国は、アフリカ大陸の東部インド洋に面した国で、全国土面積は、582,646<sup>km</sup>を有し日本の約1.5倍あり、全人口は1,485,600人で日本の約7分の1である。その位置は、東経33°55'から41°53'、北緯5°1'から南緯4°40'に至る赤道直下の範囲にある。首都はNairobiであり、主要都市としては、東アフリカ諸国の貿易の中心地Mombasaがある。

調査地域(Eburru地域)は、南緯0°39'、東経36°17'付近を中央として、東西25<sup>km</sup>、南北30<sup>km</sup>に及ぶ範囲を占め、行政的にはRift Valley州に所属している。

本地域の南方には、リフト溪谷内の数少ない淡水湖の一つであるNaivasha湖があり、更にその南方約20<sup>km</sup>に現在地熱発電所を建設中のOlkariaが位置する。一方本地域の北方には、Elementaita湖及び、Gilgil、Nakuruの町がある。

首都Nairobiから調査地に至る交通路としては、Nairobi-Naivasha間は、ウガンダ共和国への主要交通路である国道A104号線が利用される。次いで、Naivashaから調査地間は、上記国道から西方に向い支線砂利道約20<sup>km</sup>によって調査地に達する。

この経路を利用するとNairobiから距離約150<sup>km</sup>、2時間程の自動車旅行で調査地に到達する。



#### 4. 調査項目

今回の調査は、地質調査、地化学調査、物理探査より成る。各調査手法別の調査内容は下記のとおりである。

##### 4-1 地質調査

約100㎞の範囲（東西約10㎞、南北約10㎞）の地質図を作成した。地質図作成にあたり、70個の岩石薄片の検鏡を行なった。地質調査として、40㎞の範囲で160個の変質した岩石試料を採取し、X線回折装置により、変質鉱物の研究を行なった。

##### 4-2 地化学探査

約30㎞の範囲で、ほぼ東西方向に設定した16測線上で、おおむね50m毎に下記の事項を測定した。測定点数等は下記の通りである。

土壤空気中の水銀量	722点
土壤空気中の炭酸ガス量	721点
1m深地温測定	722点
土壤試料採取	842点

##### 4-3 物理探査

シュランベルジャー電極配置による垂直電気探査を、7測線（総延長18.5㎞）で行なった。測定は、原則として250m毎の測点において、所により500m毎に行ない、測定点数は45点である。

##### 地形測量

地化学探査及び物理探査は、測線上で測定を行なったため、これらの測定以前に、牛方製ポケットコンパスにより、16測線及び1基線の測量ならびに仮払いを行なった。

#### 5. 調査団の構成及び日程

本調査団の編成は次の通りである。

団長 本 島 公 司（地質調査、地化学探査）

工業技術院地質調査所

佐 藤 良 昭（地質調査）

工業技術院地質調査所

佐 藤 博 之（地質調査）

工業技術院地質調査所





駒井二郎(物理探査)

工業技術院地質調査所

下出春吉(ボーリング)

三井金属エンジニアリング㈱

水口忠夫(地化学探査, 物理探査)

三井金属エンジニアリング㈱

大屋峻(物理探査)

三井金属エンジニアリング㈱

金原啓司(地質調査)

工業技術院地質調査所

佐藤功(物理探査)

工業技術院地質調査所

加藤圭一(業務調整)

国際協力事業団

本調査団の現地における調査日程は次の通りである。ただし本調査団団長本島公司は、本調査に引続き昭和58年までの予定で、佐藤良昭は昭和56年3月までの予定で、国際協力事業団専門家としてケニア共和国に駐在している。

## 6. 調査結果

### 6-1 地質調査

Eburru地域及び周辺の地質調査は、1/25,000地形図を利用し、延40日間にわたり実施した。

調査地域の岩石は、リフト溪谷の中に噴出した更新世以降の火山岩類からなっており、堆積岩は存在しない。火山岩の大部分は、酸性のアルカリ岩からなり、同質の降下軽石堆積物も広範囲にわたって分布する。

調査範囲内で認められたもっとも時代の古い岩石は、北東部に露出する溶結凝灰岩、次いで、フォノライト及びコメンド岩溶岩、Ol Doinyo Opur降下軽石堆積物、縞状黒曜岩、Eburru Peak粗面岩、黒曜岩、溶岩、溶岩円頂丘及び火山錐、古期Badland玄武岩、Cedar Hill溶岩円頂丘、火山性土壌、新期降下軽石堆積物からなる。

Eburru地熱地域には、上記の内主として、Ol Doinyo Opur降下軽石堆積物と、これを買く黒曜岩岩脈からなると推定される。本地域の下に、溶結凝灰岩が分布しているか、あるいは非溶結相として存在するかが問題となる。この上位にあるフォノライトとコメンド岩溶



Fig. 3 調査団行動日程表

	1980年								1981年		
	4月~6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
全般的調査研究	[Horizontal bars spanning all months]										
調査準備資料検討			[Horizontal bar]								
リフト溪谷巡検			[Horizontal bar]				[Horizontal bar]				
野外調査					[Horizontal bar]	[Horizontal bar]					
総合検討報告書作成									[Horizontal bar]		
報告書印刷										[Horizontal bar]	



岩も早急に確認する必要がある。

本地熱地域では、完新世に南北の断層運動が生じ、落差5～10mの断層が多数、地形面に認められる。断層に沿っては、黒曜岩の溶岩円頂丘や軽石噴石丘、玄武岩の岩滓噴石丘、噴気孔、地熱変質帯が生成している。

本地域では、Ol Doinyó Opur 降下軽石堆積物の累層に、黒曜岩岩脈が複雑に進入して複合岩体を構成しており、それぞれの量比や総層厚、その下位に存在する地層を確認する必要がある。

## 6-2 地球化学探鉱(地化探)

### 6-2-1 1m深地温測定

1m深地温の最高値94℃がEburru Stationの南東1,500mで測定され、最低値16.2℃は、Cedar Westの西1,500mで測定された。

全地域の地温を、ヒストグラムでまとめると、30℃以上が異常値として取扱えることがわかった。実際には、高所と低所の標高差が550m位あり、したがって年平均気温の差が4.5℃に達する。このことは、北方の標高2,000mクラスの地区と、南方の標高2,500mクラスの地区との地温差にもはっきりと表現される。

高温度は、南部のEburru Crater地区と、北部のEburru Station地区とに著しい。高温部の伸びの方向は略々N-Sで地質の線構造の方向とよく符合する。

使用機器は次の通りである。

サーミスター：宝工業製A600型

測温範囲5～110℃

### 6-2-2 1m深土壌空気中のCO<sub>2</sub>測定

エブル・プロスペクトの1m深土壌空気中のCO<sub>2</sub>最高値は20Vol%を越え、それは中部地区と南部地区に見られる。最低値は0.1%であり、全地区に見られる。

調査地の全域にわたってCO<sub>2</sub>分布を集計してみると、その含有量はおよそ0.5%以上を異常値と見做せることがわかる。

CO<sub>2</sub>の多いところは、南部のEburru Crater地区と、中部地区とであって、1m深地温の地区的分布と、その状況を少しく異にする。

使用機器は次の通りである。

CO<sub>2</sub>検知器：光明理科学製、北川式検知器。

CO<sub>2</sub>検知管：ST(1～10%)、S(1～20%)

### 6-2-3 Hg分析について

1m深の土壌空気中のHgの現場測定は、使用したシントレックスHg測定装置のサン



ブル・セルに微細土壌が侵入し、作動が不安定化したので、目下全測定値について検討を進めている。

使用機器は次の通りである。

水銀ガス分析：Scintrex製HGG-3携帯型

一方、1 m深土壌試料中のHgの化学分析は、ケニア国、鉱山地質局の地化学分析室で行なわれたが、第一次調査時の数値と比較して、異常に高い値を示すものが、特に中部地区に多数現われたので、目下この点を検討中である。

### 6-3 物 理 探 査

地中にある岩石の電気比抵抗は、主にその岩石の孔隙中にある水の比抵抗及びその含有量に支配される。岩石中に含まれる水は、温度上昇に伴ない、溶解度が高くなり、周囲の岩石等から、塩類を溶解させるため、その比抵抗は低くなる。

しかし、ある温度（その地点の圧力等に関係して決る温度）に達すると、孔隙中の水は水蒸気となるため、岩石全体の比抵抗は高くなる。この原理を利用し、地下の電気比抵抗分布の調査が、地熱貯溜層の探査に広く利用されている。

今回の調査では、シュランベルジャー（Schlumberger）電極配置による垂直探査を、原則として250 m毎、所により500 m毎に行なった。測定は、地化学探査に使用された16測線のうち、Eburru Peakの南西方にある、Eburru Crater地域の3測線、北部のEburru Station地域の3測線、及びその両地域の中央部での1測線、合計7測線で測定を行なった。最大電流電極間隔は3000 mである。

使用機器は次の通りである。

送信機：横浜電子研究所製 I 5 2 0 2 型

受信機：東亜電波製 EPR-200A 記録計

MESCO型 プレボックス

発電機：新ダイワ工業製 2400型

### 6-4 変質帯調査

ケニア共和国リフト溪谷Eburru地熱地域約40 km<sup>2</sup>の地熱変質帯調査を実施した。野外調査により約160個の変質岩サンプルを採取した。このうち約70個のサンプルがケニア共和国エネルギー省のX線回折装置により分析され、この結果に基づいて変質帯の考察がなされた。なおこれとは別に100個のサンプルが日本において精密X線分析された。さらにこれらサンプルのうち10個のサンプルが再び精密X線分析された。

Eburru地熱地域の地熱変質帯は変質鉱物、特に粘土鉱物の組合せに基づいて以下の5帯





と1分布域を設定することが可能である。

Zone I : カオリナイト (高結晶度) -  $\beta$ ・クリストバル石 - 石英

Zone II : カオリナイト (高結晶度) - 石英

Zone III : カオリナイト (高～低結晶度) - 石英

Zone IV : ハロイサイト～アロフェン

Zone V : モンモリロナイト

温泉沈殿物 (方解石) 分布域

Zone I, II, IIIはEW方向に連続するOl Doinyo Eburru火山の爆裂火口とはほぼ平行な延びを持ってEburru Crater地域に分布している。一方Eburru Craterの北斜面には、この地域に発達するNS方向の断層群に沿ってZone IVが、さらにその北側にZone Vが分布し、Eburru Stationの北方において消滅する。これらの変質帯は、全体的には帯状配列を示し、またその拡がりはIR調査によって検出された温度異常地のそれにほぼ一致している。以上の調査結果から以下のことが説明可能である。

爆裂火口の密集するEburru Crater地域の深部に存在する熱源からの伝導熱により高温、高圧の塩水が生成される。この塩水からもたらされた蒸気およびCO<sub>2</sub>に富む凝縮水と岩石が溶脱反応し、この結果Zone I～IIIが形成された。蒸気の一部は爆裂火口周辺の噴気孔より大気中に放出される。このようにして形成された変質帯はVapor-dominated geothermal systemに特徴的な変質帯である。

一方深部より上昇してきた塩水は、やがてEburru Crater (標高2600m)の斜面を地下水面に沿って北に流下し、岩石との反応により温度の低下とpHの上昇を伴いながらEburru Station付近の山麓 (標高2000m)に到達する。この結果、この付近にはHot-water geothermal systemに特有な温泉沈殿物 (方解石) や沸石を伴うZone Vが形成される。流下の途中、塩水からの蒸気の一部は断層に沿う噴気孔より地表に出ることになる。

### 6-5 ボーリング用水調査

地熱徴候地域でのボーリング掘削工事においては、断層帯、亀裂帯に逢着した場合に逸水する事が多い。又、地熱貯溜層に近づいた場合には、噴気する事もしばしばある。このため逸泥掘が長時間にわたる事もあり、又噴気の徴候が見えた場合には、孔内冷却のために多量の送水を必要とする。

1,500mの調査井掘削について、必要な水の量を算定し、水量確保の可能性と水の輸送方法を検討した。



## 6-5-1 調査井(1,500 m)掘削に必要な水量の算定

### (i) 掘削時の使用水量

掘りくずを坑内より排除する循環液は、掘りくずを地上まで運び上げるのに必要な上昇流速を必要とする。

上昇流速は、清水の場合  $0.9 \text{ m/sec}$  ( $54 \text{ m/min}$ ) 以上の流速を必要とし、一般的には  $80 \text{ m/min}$  程度とされている。実際は循環泥水が使用され、泥水の比重、粘性等の泥水管理を充分に行い、水利の悪い条件を勘案し最小の水量におさえる様計画する。

逸泥防止をこまめに行い逸泥による補泥及び泥水の比重調整に要する補給水を次の通り見込んでいる。

トリコン掘削	1日当り	54 tの補給水
ワイヤライン掘削	1日当り	10.8 tの補給水

### (ii) 貯水タンク容量

逸泥掘を止むを得ず行う場合および掘削中の温度の急上昇又は暴噴に有効に対処するため、冷却対策として貯水タンクが必要である。その容量は次の通り見込まれる。

掘削補給水	54 t
セメンチング洗滌水	10
逸泥対策水	20
暴噴抑制対策水	100
予備水	200
計	384

タンク有効水量 80%として

$$\frac{384}{0.8} = 480$$

$$\approx 500 \text{ t}$$

よって、調査井候補地周辺に500 t容量の貯水タンクを設備する。

## 6-5-2 水源調査と水量確保の可能性

水源として次の3つが考えられる。

- (1) 近隣の灌漑用井戸の余剰水を利用する
- (2) 新たに井戸を掘削し、揚水する
- (3) Naisuasha 湖から採取する

井戸所有者からの聴取では、余剰水はほとんどなく、又貯溜容量が小さいことから新井戸を掘削し、水脈に当たっても、既存の灌漑用水に及ぼす影響を考慮すれば不確実なもの



なる。

従って水源としては Naivasha 湖の湖水とする事が適当と考える。

### 6-5-3 用水の運搬方法

Naivasha 湖から採水し、調査井掘削予定位置まで用水を輸送する方法は、タンクローリー車による道路輸送とポンプ圧送によるパイプ輸送がある。

- (1) 約 400 m 深および約 1,500 m 深の調査井の掘削のみを考えると、タンクローリー車による運搬が経済的である。
- (2) 住民の生活用水および有望な貯溜層の存在が確認され、生産井を掘削する場合は期間が長期間となり、パイプ輸送が経済的と考えられる。

## 7. 勧告

- (i) 調査結果として下記の 5 地点で約 400 m 深の調査井の掘削を勧める。( Fig 3 参照)

Site I : 変質帯調査によるとこの附近が Eburru 地熱地帯の熱源になる。ジュランベルジャー垂直電探は高比抵抗の地層が浅い部分 ( 100 m 以下 ) より連続して深部へ続くことを示している。炭酸ガス及び水銀の濃度及び 1 m 深地温が高い。

Site II : この地域は炭酸ガスの濃度が高く、1 m 深地温も高いので地下熱水面が比較的深いと地化学的には考えられる。地質的には Ol Doinyo Opur 軽石降下堆積物と縞状黒曜石及びそれらの下にある地層を調査する為この試錐点が重要である。

Site III : この地点周辺が Eburru Station 地域で最も地熱活動が盛んであり、噴気の徴候も強い。炭酸ガス濃度や 1 m 深地温もやや高くなっている。地質的には、縞状黒曜岩層の厚さやこの黒曜岩の下にある地層を調査する必要がある。

Site IV : この地域は Eburru Crater 地域とは異なる水系に属している。比抵抗調査によると厚い低比抵抗層の下に、比較的比抵抗の高い層がこの付近で見つかっている。さらに重力図によるとこの附近から西に向い重力傾度が大きくなっている。

Site V : 地熱徴候が非常に強く、炭酸ガス濃度も 1 m 深地温もはっきり異常を示している。電気探査は比較的薄い高比抵抗体の下に非常に厚い低比抵抗層がある。

- (ii) 上記の浅いボーリングをする場合、岩石コア採取と温度検層をすることを勧める。
- (iii) 下記の野外調査を行なうことを勧める。

地質調査 :



地質的な線構造を調査する事及び精密変質帯調査を行なう事

地化学探査：

土壤空気中の炭酸ガス濃度，水銀濃度，土壤中の水銀濃度及び1 m深地温図を完成する事が，探査を進める上で非常に重要である。

物理探査：

地域的な物理探査を完成させるため，ダイポールダイポール電極配置による調査を行なう必要がある。この際電極間隔は約200 m位で電極隔離係数は1～4とする。

- (iv) 信頼出来る地球科学的工学的な地下情報を得，エブルー地熱地帯の評価の為に，1000 m以上の探査井を掘削することを勧める。
- (v) 南北方向はLake NaivashaからLake Elementitaにかけ，東西方向は，Nakuru～Naivasha道路からリフト溪谷の西側の崖にかけての広い地域の重力図を完成し，地熱機構の巨視的な解明をすることを勧める。
- (vi) ダイポールマッピング法により Soysambu農場附近で非常に比抵抗の低い地帯が見ついている。将来この附近を調査することを勧める。







Fig. 4 Recommended 400 M Drilling Site





JICA