

ケニア共和国リフト溪谷 地熱開発計画調査報告書

要 約

昭和58年1月

国際協力事業団

407
643
1174

地熱
調査
報告書

ケニア共和国リフト溪谷
地熱開発計画調査報告書

要 約

JICA LIBRARY



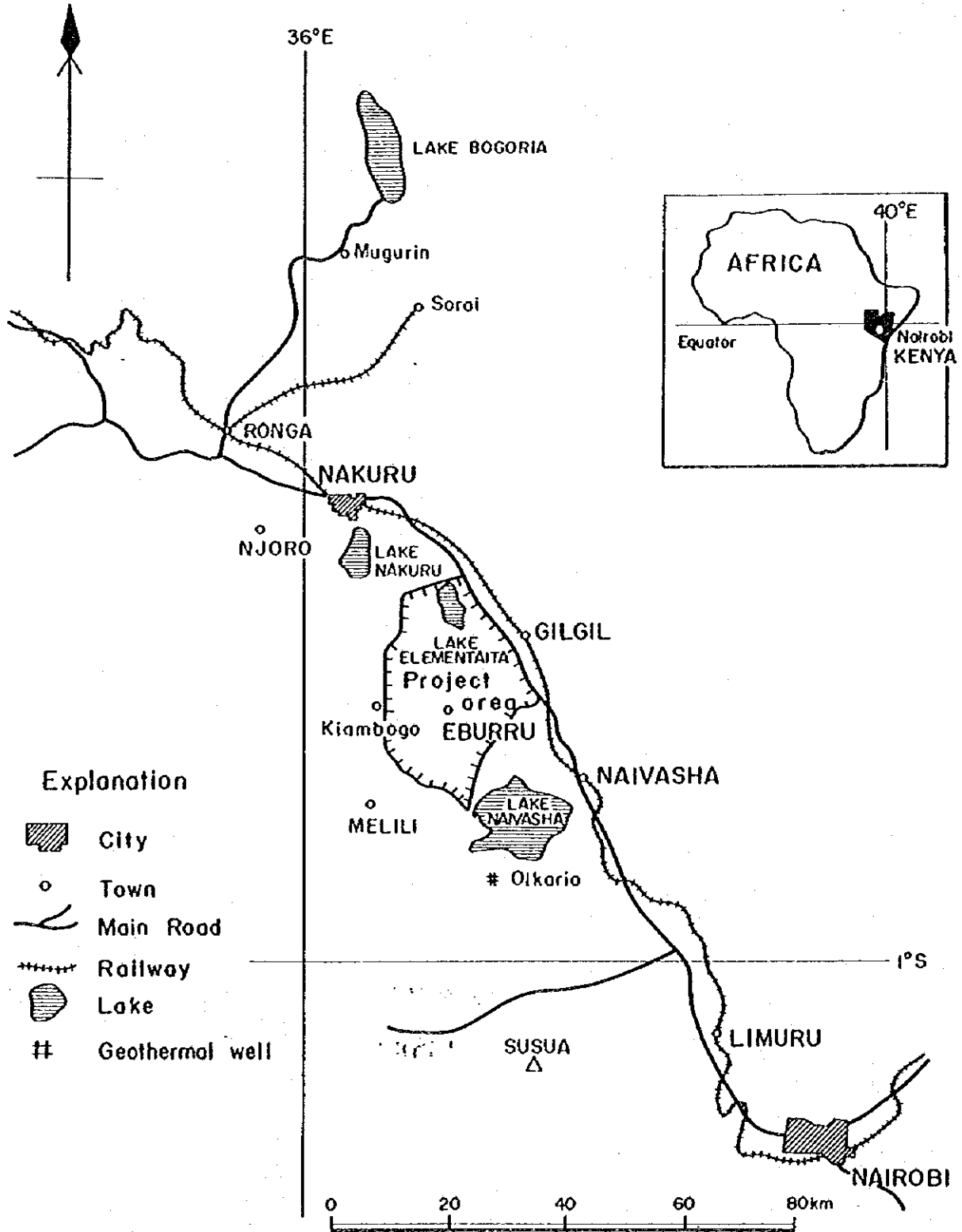
1062650〔5〕

昭和 58 年 1 月

国際協力事業団

國際協力事業團	
昭和 58. 5. 15	407
月 84. 8. 22	643
登録No. 13589	MPN

Fig. 1 Location of Project Area



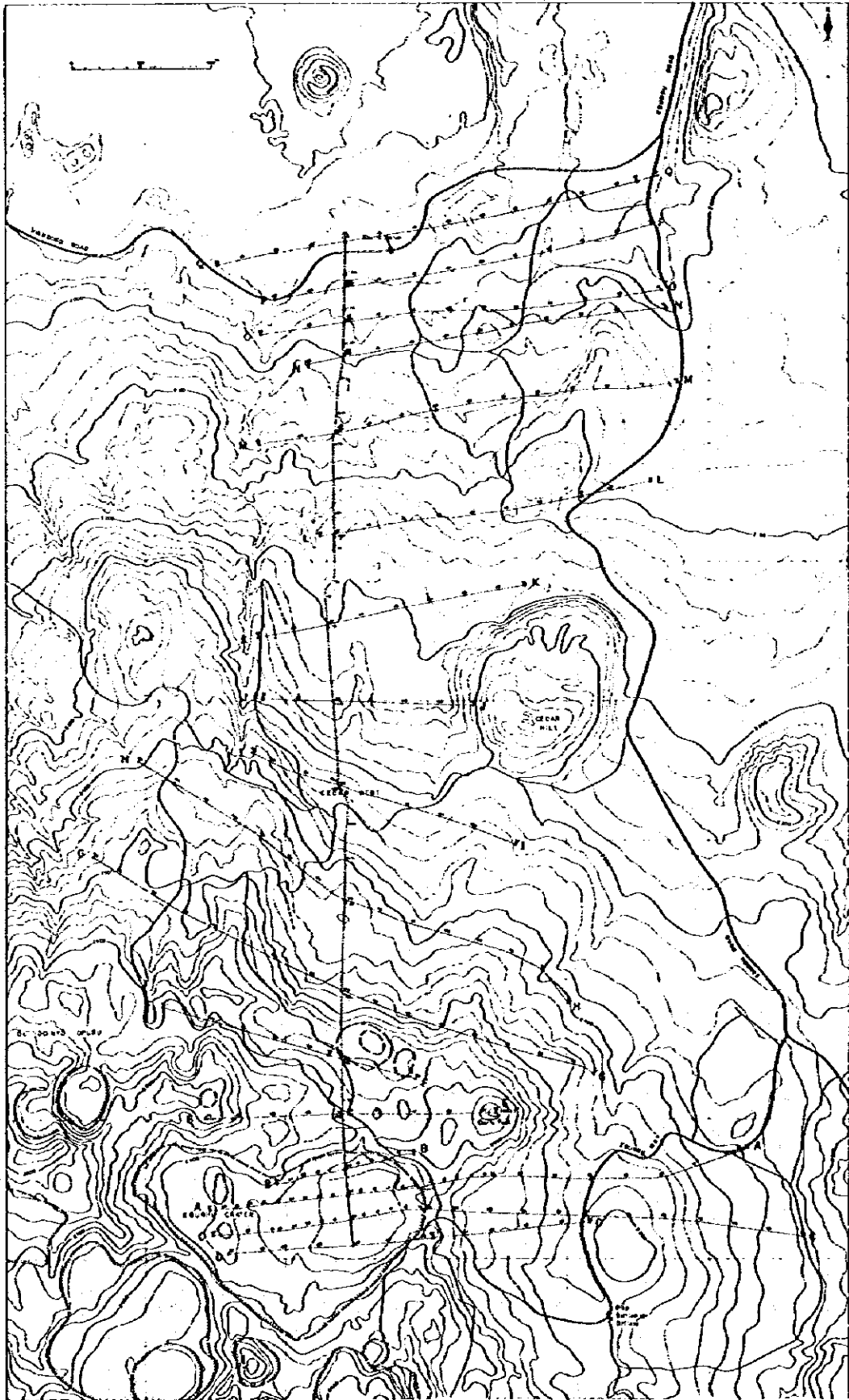


Fig. 2 Location of Project Area

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渓谷は、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年にはリフト渓谷のOlkaria地区で2本の調査井を掘削したが、十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)がリフト渓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し、第1期工事(1981年完工)、および第2期工事(1982年完工)により30MWの発電能力を持っている。なお、Olkaria地熱発電所はアフリカ大陸最初の地熱発電所であり、三菱重工業製の発電機を使用している。さらに、第3期、第4期と増設する予定である。

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）を現地に派遣して、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、リフト渓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、リフト渓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。

この決定に基づき、昭和54年度より昭和57年度にわたり、本島公司を団長とする調査団を、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。

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渓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、582,646km²を有し日本の約1.5倍あり、全人口は14,856,000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25km、南北30km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、リフト渓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20km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、Elementeita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20km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150km、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100km²の範囲(東西約10km, 南北約10km)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。変質帯調査として、45km²の範囲で160個の変質した岩石試料を採取し、そのうち100個の試料について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30km²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	1,143回
土壤空気中の炭酸ガス量	1,142回
1m深地温測定	1,143回
土壤試料採取	1,163個
凝縮水試料採取	8個

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、12測線(総延長33.2km)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81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

調査団は、国際協力事業団派遣の団員および、ケニア共和国エネルギー省派遣の団員によって編成された。団員は下記のとおりである。

日本人団員

本 島 公 司*

(団 長) (地 質 / 地 化 学 探 査)

ケニア人団員

W.J. Wairegi (Director of

Technical Division)

佐藤良昭*	(地質)	J.K. Kinyariro(Co-Leader)	(地化学探査)
佐藤博之*	(地質)	J. Barorgo	(物理探査)
馬場健三*	(地質/物理探査)	D.K. Kilele	(物理探査 Trainee)
駒井二郎*	(物理探査)	C. Wanjie	(地化学探査 Trainee)
下出春吉**	(試錐)	H.K. Andanbi	(地質助手)
水口忠夫**	(地化学探査/物理探査)	F.N. Ibutu	(地質助手)
広渡和裕**	(地化学探査)	D. Jacca L.	(地質助手)
大屋峻**	(物理探査)	D. Kamau	(地質助手)
金原啓司*	(地質)	D.M. Ndolo	(地質助手)
佐藤功*	(物理探査)	P. Mwangi	(地質助手 Trainee)
大坪良平**	(物理探査)		
竹本節男***	(調整)		
加藤圭一***	(調整)		
米田和弘***	(調整)		

* 通商産業省工業技術院地質調査所

** 三井金属資源開発株式会社(1979年から1982年3月の間は三井金属エンジニアリング株式会社)

*** 国際協力事業団

国際協力事業団の現地調査団は1979年から1982年の間に4回派遣され、合計約5ヶ月にわたり野外調査をおこなった。ただし本調査団団長本島公司は昭和58年までの予定で、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。

Scope of Work 調査団 昭和54年10月22日より11月5日

第1次調査団 昭和54年12月3日より昭和55年3月10日

第2次調査団 昭和55年7月28日より昭和56年2月15日

第3次調査団 昭和57年1月22日より昭和57年3月28日

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基盤岩石は、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、稿状黒曜岩 Eburru Peak 粗面岩黒曜岩溶岩などで、Eburru 火山は溶岩円頂丘及び砕屑錐、古期 Badland 玄武岩、Cedar Hill 溶岩円頂、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貫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 Doinyo 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 地球化学調査

6-2-1 1m深地温測定

1m深地温の最高値9.4℃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

测温範囲5～110℃

6-2-2 1 m 深土壤空気中のCO₂測定

エブル・プロスペクトの1 m 深土壤空気中のCO₂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CO₂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。

CO₂の多いところは、南部のEburru Crater地区と、中部地区とであって、1 m 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。

CO₂検知器：光明理科学製、北川式検知器。

CO₂検知管：ST(1~10%)、S(1~20%)

6-2-3 土壤空気中の水銀測定

全測定値のうち3分の2以上の測点で、土壤空気中の水銀濃度は、使用した原子吸光分析計の感度以下、即ち0.15 ng/l以下であった。本地域内で土壤空気中の水銀濃度が最も高かったのは、測点L-83、M-86、P-121で、その値は22.5 ng/lであった。

一般的な分布傾向は南北方向である。南部地区と北部地区で水銀濃度の平均値は、中部地区での値より大きくなっている。

使用機器は次の通りである。

水銀ガス分析器：Scintrex製HGG-3型

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、12測線で実施した。

測定結果によると、本地域のうち南部のEburru Crater地区を除いて、見掛比抵抗分布は南北に連なっている。Eburru Crater地区では、比抵抗層の厚さおよび比抵抗値の変化が大きくなっている。AB/2=500 mでの測定値を比較してみると、測定地域の北端

および両端にゆくに従い、見掛比抵抗値が小さくなり、両端部の深部で比抵抗が低くなっている事を示している。

使用機器は次の通りである。

送信機：横浜電子研究所製 L5202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深谷 Eburru 地熱地域約 40 km² の地熱変質帯調査を実施した。野外調査による約 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、以下のように分帯される。

(変質分帯)

Zone I : 明ばん石帯 (明ばん石, 明ばん, 良結晶カオリナイト, β -クリストバル石, 石英)

Zone IIa: カオリナイト帯 (良結晶カオリナイト, ベーム石, β -クリストバル石, 石英)

Zone IIb: カオリナイト帯 (不良結晶カオリナイト, α -クリストバル石, 石英)

Zone III : モンモリロナイト帯 (モンモリロナイト, カオリン/モンモリロナイト混合層 粘土鉱物, ハロイサイト)

(変質鉱物分布域)

石灰華 (方解石), β -クリストバル石, アロフェン

以上の変質帯分布は、おおむね O1 Doinyo Eburru 火山の爆裂火口群を中心にして、Zone I, Zone IIa, Zone IIb が累帯配列をなしている。すなわち Eburru 地域では以上のような変質帯の累帯配列から、Zone I を中心とした爆裂火口群地域が地質変質活動の中心的場所であることが推察される。

Zone I および Zone II のような変質帯は、一般的には蒸気卓越型地熱系環境下において生成すると説明されており、Eburru 爆裂火口群地域の地下には高温の蒸気卓越型地熱系資源の賦存していることが期待される。

一方 O1 Doinyo Eburru 火山の北斜面から山麓の Eburru Station にかけて Zone III

が南北方向に細長く、かつ広い面積を占め舌状に分布しており、これは Eburru Station の北方で消滅している。このようなモンモリロナイトや方解石を生成するような Zone III 変質帯は、一般に熱水卓越型地熱系環境下によって生成すると言われている。Eburru Station 付近のような低地では地下水面が浅くなるために、このように地表の岩石中にも熱水から析出した方解石を見ることが出来るものと考えられるが、いずれにしてもこの付近の地下には中性～アルカリ性の熱水卓越型地熱系資源の賦存が期待される。

7. 結 論

上記各調査の結果に基づき、主として変質帯調査から、Fig. 5 のような Eburru 地熱地帯における地熱系の仮説モデルを作成した。地化学調査や物理探査（電気探査）の結果もこの仮説モデルを支持するので、このモデルを作業仮説として使用する。

Eburru 地熱系の仮説モデルは次のようなものである。

- a) 熱源は Eburru 爆裂火口群の下にあり、東方へ伸びている。
- b) 地下水は、Naivasha 湖から北へ向けて流れ、本調査地域の下を通る。
- c) Eburru 爆裂火口群付近にある地熱徴候は、その下にある熱源によるものである。
- d) Eburru Station 付近の地熱徴候は、地下熱水面が浅くなることにより生じたものである。

このように、仮説モデルによれば Eburru 地熱地帯の地熱ポテンシャルは、非常に大きいものであると考える。

8. 勧 告

1. 調査結果に基づき、下記の 5 箇所での浅部コア試錐を勧める。（Fig. 4 参照）

地 点 I：変質帯調査によると、本地点が Eburru 地熱地帯の中心であると考えられる。垂直電気探査では浅部（100 m 以内）の所に高比抵抗体がある。さらに炭酸ガスや水銀の濃度および地温も高くなっている。

地 点 II：炭酸ガス濃度および地温が高くなっており、地下水面は比較的深いと考えられる。地質的には Ol Doinyo Opur の降下軽石堆積物や縞状黒曜岩およびそれらの下にある岩石を、本試錐により調査する。

地 点 III：変質帯調査によると、地点 III は Eburru Station 地区で、地熱活動の最も盛んな地点である。

噴気活動が盛んで、余り強くはないが、炭酸ガスおよび地温異常が確認されている。地質的には、縞状黒曜岩の厚さや分布その下にある岩石などの情報を得る必要がある。

地 点 IV：本地点は Eburru Crater 周辺とは異なる水系に属する。比抵抗調査によると基底の比較的比抵抗の高い層が、厚い低比抵抗層の下に見られる。重力図によると本地点の西側で重力の変化が大きい。

地 点 V：強い地熱徴候があり、炭酸ガスと地温で余り強くないがはっきりした異常がある。比抵抗調査では、比較的薄い高比抵抗層（層厚 100 m 以下）の下に厚い低比抵抗層がある。この低比抵抗層の下の層は、今回の調査では不明である。

地 点 VI：地点 II で試錐を実施する場合、地形上試錐機の運搬等に非常な困難が生じる可能性がある。

その場合地点 II の替りに、本地点 VI にて代用しても良い。

2. 浅い調査試錐を実施する際、岩芯試料収集および温度検層を行なう事を勧める。
3. Eburru 地熱地帯の地熱ポテンシャルの評価のための、地下の地球科学的および工学的なデータを得るため、1,000 m 以上の深度の深部探査井を、上記浅部探査井掘削後に掘削する事を勧める。
4. Naivasha 湖から Elementeita 湖、Nakuru - Naivasha 道路からリフト溪谷の西端にかけての広域の重力調査をし、地熱構造の巨視的機構を解明する事を勧める。
5. Soysambu 農場付近で、ダイポールマッピングにより非常に低い比抵抗が測定されている。この付近を後日調査する事を勧める。
6. 本調査によれば、地熱地帯が周辺地域に広がっている可能性を示している。従って地熱地帯の拡がりを明らかにするために周辺地域へ同様な調査を拡げる事を勧める。



Fig. 3 Schematic Profile of The Eburru Geothermal Prospect in E-W Direction

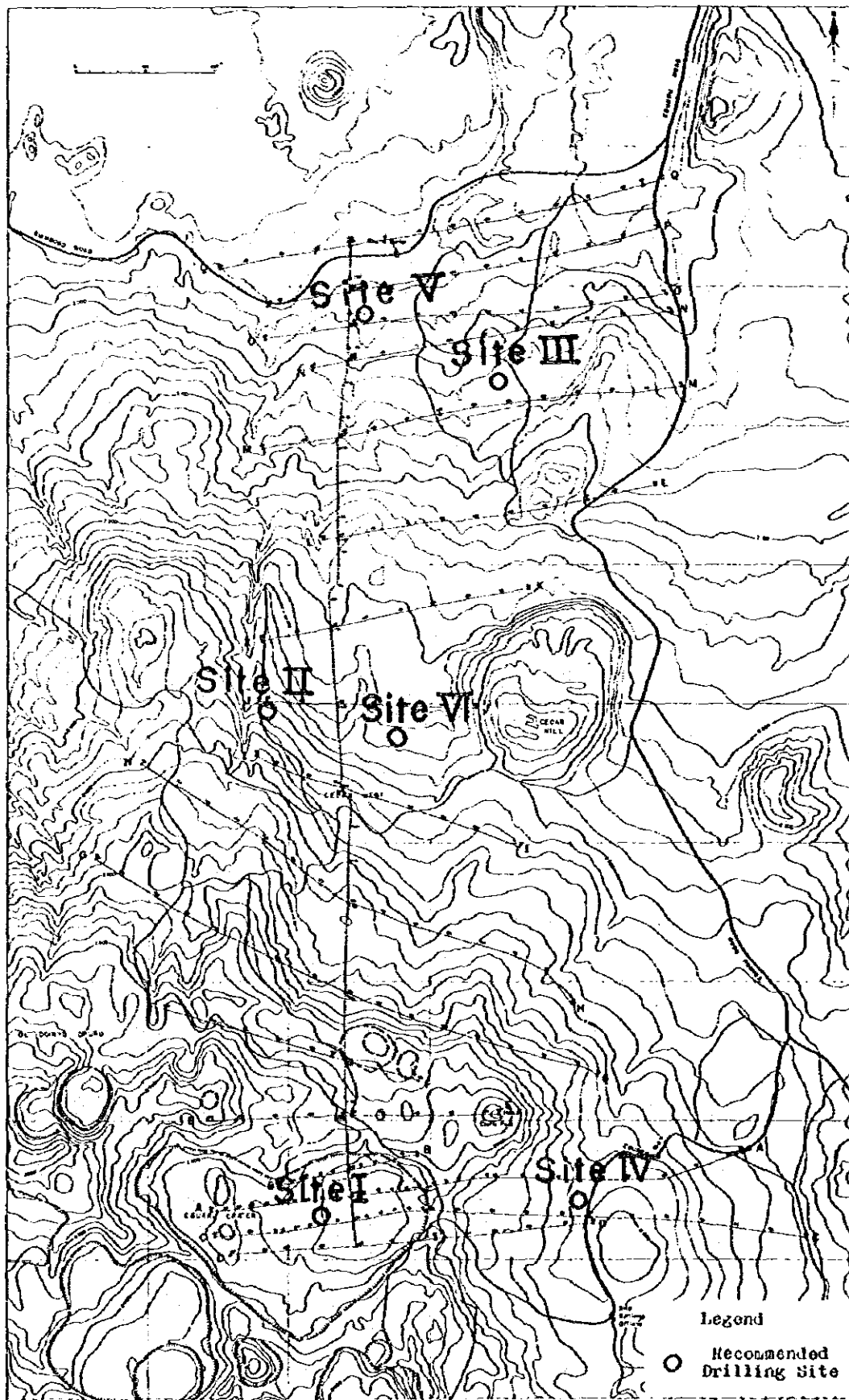


Fig. 4 Recommended Exploratory Drilling Sites

Genetic Model of Eburru Geothermal Area, KENYA

