

ケニアの地熱開発

馬場 健三 (地熱熱部)

はじめに

筆者は今年2月1日より2週間ケニア共和国の地熱地帯を訪問する機会をえた。その際えた資料 見聞をもとに同国の地熱開発の現況の紹介をここに行うこととする。

ケニア共和国より同国の地熱開発についての協力が我が国に申し入れられ 我が国の海外協力事業団がその協力事業をすすめるため事前調査団を同地に派遣することとなった。筆者はその調査団の一員となり同地を訪れた。調査団の構成は九州大学教授山崎達雄 資源エネルギー庁高木慎一郎 国際協力事業団竹本節生 西日本技術開発株式会社江島康彦 同下池忠彦の各氏と筆者を加えた7名であった。なお山崎教授と西日本技術開発株式の2氏はさらに1週間の現地詳細調査をされた。

ケニア共和国の地熱開発へのわが国の技術協力は海外協力事業団によって今年度よりはじめられることとなり現在諸準備が関係方面によって進められている。後に順をおってのべる様に同国のリフト渓谷地帯にある地熱地域はきわめて大規模なものと思われる。その開発は大いに期待されるところである。

本文ではケニア共和国の電力事情の簡単な紹介 地熱地域のあるリフト渓谷の説明 各地熱地域について地熱発電所の建設のはじまるオルカリア地域の概要の紹介を行うこととする。なおまた同国の地質調査所についても最後に触れることとする。同地質調査所には元地質調査所物理探査部技官 本間一郎氏が国際協力事業団派遣専門家として滞在中である。氏は主として同国の

金属鉱床探査の業務に従事しておられる。

§1 ケニア共和国

ケニア共和国はアフリカ東部に位置し 北はエチオピアとソマリア 西はウガンダ 南はタンザニアと各国内境をなしている。東は印度洋に面し 港モンバサはケニア第2の都市としても有名である。首都ナイロビはほぼ南緯1度に位置するが 標高約1,700mの高原上にあり 年平均気温 17.5°C というしのぎ易い健康地である。気候条件の悪いアフリカの各地では諸外国からの外交官はじめ多くの駐在者が 定期的に気候のよいヨーロッパ方面に保養に行くのが通例とのことであるがここに駐在する分にはその必要もない。

1963年12月英領から完全な独立をはたし 国土の面積は58万4千平方キロメートル これは我が国の約1.6倍に当る。一方人口は1978年の数字で 1,440万人の程度で このうち首都ナイロビには約79万人がいるとのことである。政治的にはきわめて安定している国と見られている。隣国のウガンダ エチオピアに見られる最近のニュースとくらべると確かに安定している。

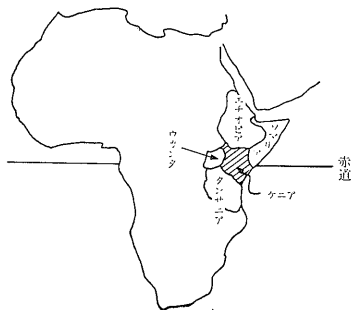
次にケニアの電力事情について触れてみよう。

ケニアの一次エネルギーとしては木材を除くと水力電力が国産の唯一のものである。近年の電力設備出力と発生電力の推移は次の通りである。

ケニア国の種類別電力設備出力と発電量の表

年	設備出力(MW)			発生電力(GWH)		
	水力	火力	合計	水力	火力	合計
1973	75.0	144.5	219.5	407.7	385.7	793.3
1974	139.1	145.1	284.1	547.1	322.6	869.7
1975	139.1	144.0	283.1	649.1	322.2	971.2
1976	171.4	181.7	353.1	583.2	574.7	1,157.9
1977	168.1	170.7	338.7	797.4	399.9	1,197.3

この表の設備出力の単位はMW (メガワット) である。これは 1,000kW に相当する。設備出力とはそれだけ



1図
アフリカ大陸中のケニア共和国の位置とその隣国

1977年のケニア国のエネルギーの生産輸入などをしめす表

	石炭及びコークス輸入	石 油				水 力			国内生産エネルギー	エネルギー輸入量	貯蔵分の使用
		原料油輸入	精製油輸出	貯蔵量の変化	石油消費量	水力発電量	水力輸入量	水 力 計			
1977年1000トンの石油換算	43.8	2,551.5	1,260.3	314.7		167.4	65.2	232.6	167.4	1,400.2	314.7

の量の発電が可能で設備がなされていることで 水力発電の場合は水量が充分でなければその能力はフルに発揮されない。 発生電力の単位は GWH (ギガワット時間) であり これは 100 万キロワット時に相当する。 この単位が発生する電力のエネルギーを意味する。 上の表で例えば1977年の水力設備 168.1 MW が1年 365 日フルに発電ができたとすると $168.1 \times 10^3(\text{kW}) \times 365(\text{日}) \times 24(\text{時間}) = 1,472(\text{GWH})$ となる。 一方実際の発生電力は 797.4(GWH) にすぎなかったから 稼働率は $1,472 \div 797.4 = 54\%$ と計算される。 同じく火力発電について見るにあきらかに稼働率が小さい。 火力発電は自然の降水に頼る水力発電と異なりその稼働率は必要とあれば 100%まで上げることができるが この国の近年の統計ではきわめて低い。

我が国の 1973 年における発電所の設備出力は 約 84,000MW 発生電力約 400,000GWH は この国からするとまさに目をむく様な数字である。 日本の人口がケニアの 8 倍程度であることを考えてもその較差は著しい。

我が国の稼働中の地熱発電所の設備出力は 6 発電所合計 168MW であり ケニアの全水力発電出力に当る。 これはまた同国の全電力設備の約半分となる。 1977年の我が国の地熱発電出力は 約 750GWH である。 この数字から見ると ケニアでは現在の総出力程度を地熱発電でまかなうことも十分可能であり 地熱エネルギーが同国のエネルギー問題に寄与する割合はきわめて大きいものといえる。

なおケニアは現在電力についても輸入国で隣国ウガンダから送電線を通じて 1977年には 271.8GWH の電力を輸入している。

上の表はケニア共和国の一次エネルギーの1977年における輸入量を見るため引用したものである。

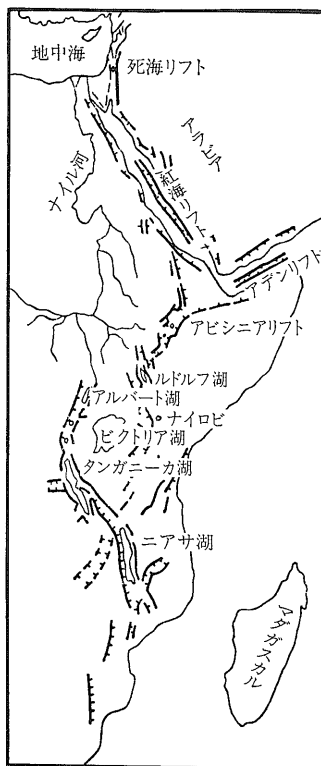
この表からわかる様に 水力発電 167.4×1000 トン石油換算以外は いわばすべて国外に頼るエネルギー資源である。 ケニアにおいては石油の探鉱も行われているが 以下に順を追って説明する様になんといっても地熱

は最も手近かな国産のエネルギー資源であり その開発の重要性はきわめて大きい。

§2 リフト 溪谷

リフトとは裂け目を意味する英語である。 ケニアを含むアフリカ大陸の東部の高原状のところを南北に縦断して存在する巨大な裂け目の連りで形成される溪谷の連りをこのように呼んでいる。 2 図にしめたように北端は トルコ南部から南下して ケニアの首都ナイロビ南方に至る大規模な溪谷である。

この溪谷地帯については地質調査所の元地質部長の松沢勲氏(名古屋大学名誉教授)を代表者とする我が国の地質学者による研究が1962年来行われている。 地質調査



2 図
リフト溪谷をしめす図
松沢(1966)の論文
より引用

ルカナ湖南岸を挙げることができる。これはこの図の更に北方になり図中にはっていないが テレキス火山という1894年に噴火活動の記録をもつ火山を含む一帯で 広くツルカナ湖の東岸に及び噴気徴候を含む地熱徴候の存在が知られている。

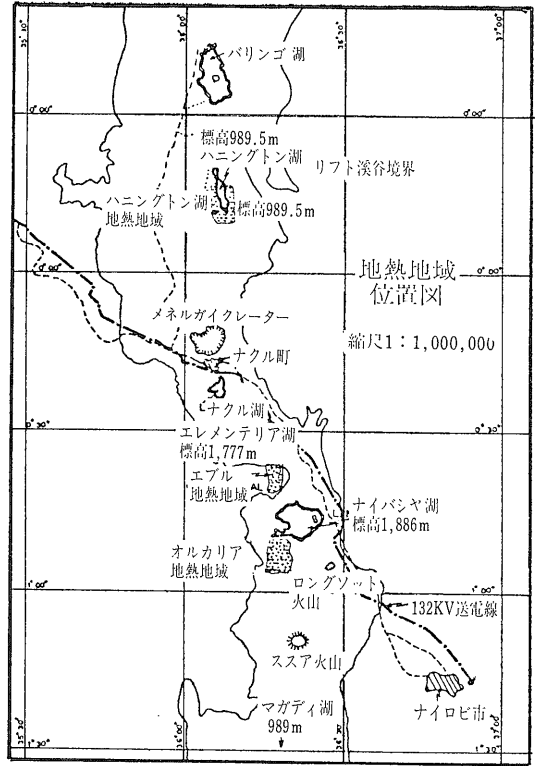
次にあげられているのはツルカナ湖南端より百数十km南方にあるシラリ火山である。長径約7kmのカルデラ地形を示し 豊富な温泉徴候が見られるとのことである。

ハンギントン湖は図にも示されてあるが 湖岸に地熱徴候が見られる。湖の緑藻を主食とするフラミンゴが群生しており いかにも野生の王国らしいアフリカの風景を見せる。北海道の屈斜路湖を思わせる様な地熱と静かな湖がここにはある。後述する様にここはまた地熱発電の有力な候補地と目され 調査の対象とされている。

ナクルの北方のメネルガイ・クレーターは 長径約10kmのカルデラ地形を呈し その内側は有史時代の溶岩でおおわれている。そしてその中から数か所の噴気活動が認められるとのことである。この地域では試錐も行われ かなりの蒸気の噴出を見たといわれている。従ってここも将来の地熱開発の有力な候補の一つと考えられる。

メネルガイの南方にある地熱地域がエブルである。今回日本の調査団が今後調査対象地ときめたところであり 噴気温泉および地表変質帯に富んだところである。先のハンギントン湖と共に国連の調査団の概査の対象ともなっている。

エブルの更に南方 ナイバシヤ湖の南にあるのがオル



4図 ケニアの地熱地域をしめす図
NOBLE および OJIAMBO の論文 (1975) より引用
地熱地域を通してナイロビからウガンダに続く送電線が鎖線で表わされてある。

カリア地熱地域である。現在地熱開発が進行中のところである。国連の調査団により調査の結果開発に成功し 現在1万5千kWの地熱発電所の建設がはじめられている。この地熱発電所は 1981年までに完成が見込まれており 第二期として更に1万5千kWが1983年ま

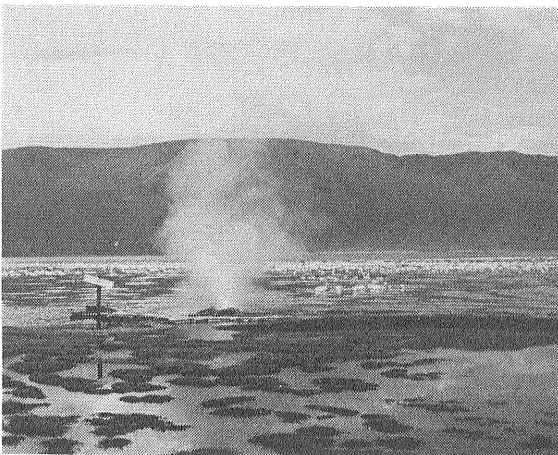


写真1 ハニグトン湖
湖上には無数のフラミンゴがいる 手前に噴気が見られる



写真2 エブル地熱地域にて 変質がはげしく温泉噴気の徴候が随所に見られる建物は温泉水を集めて利用するための施設

でに計画されている。これらについては章をあらためて後述する。

オルカリアの東方のやはりリフト渓谷内のロングノット火山にも噴気が認められる。数100年前に溶岩が流出した。その南方にあるスヌア火山は山頂に径5km程度のカルデラ状火口をもつ火山で活火山と考えられるがその地表の地熱活動についてはよくわからない。

さらに南に下ってタンザニアとの国境近くにあるマガデイ湖は塩湖であり有名な天然重碳酸ソーダの鉱産地であるが湖の北端で約80~85°Cの温泉および同じく中南部では約35~40°C程度の温泉が見られる。4図中ではしめされていないが図の更に南になる。

地熱活動としてはその温度の点から優勢とは言い難いがその徴候の広い分布は特徴的である。なおこの地の天然重碳酸ソーダの採取は1915年ごろからその操業がはじめられており現在年産約13万トンに達しケニアの重要鉱産物となっている。

以上の様にケニアの地熱地域はリフト渓谷内に広く分布しており今後その調査がすすむにつれて更にその個所が追加されるものと思われる。ケニアでは河川からえられる水に乏しいのでリフト渓谷内を含めて全国的に浅いさく井が数多く掘られているとのことである。そしてその中には温泉や稀には蒸気の噴出も記録されているとのことでありこれは渓谷内の地熱資源の豊富さを示すものであろう。

§4. ケニアの地熱調査

ケニアにおける地熱調査のはじまりは1950年代初期にさかのぼる。オルカリア地熱地域がその対象とされ1956年(昭和31年)および1958年とそれぞれ各一本の孔井が掘削された。X-1号井と名づけられた最初の孔井

は502mの深度である。掘進中370mにて120°Cが記録されている。若干の蒸気の噴出を見た様だが放棄された。次いで掘削されたのがX-2号井で942mまで掘られた。孔底温度は235°Cと十分なものであったが継続的な蒸気噴出を見るまでには至らなかった。

ケニアにおけるこの地熱開発のスタートは世界的に見てもきわめて早い時期のものである。我が国において地質調査所が日本重化学工業(当時東化工)と岩手県松川にて地熱発電の共同研究をスタートしたのが1957年のことでありこれは丁度このX-1およびX-2が掘削された時期である。しかしながら1960年代にはいつてはケニアにおける地熱調査は一たんその歩みを止めた様である。

そして1967年に再び調査が再開されハニングトン湖とオルカリアに至る地域における電気探査が行われたと報告されている。1970年になって国連の援助がケニアの地熱開発に対してなされることとなった。そして1974年までに4本の調査井掘削を含む各種調査が行われた。この間に行われた調査は地質調査 赤外線調査 1m 深地温調査 電気探査 重力探査 微小地震探査 水理地質調査 X-1 および X-2 の坑井特性測定 などであった。1972年にはニュージーランド地質調査所のヒーリー氏を団長とする国連の派遣技術団によって主要地熱地域の評価がなされている。そのメンバーはニュージーランドのワイラケイの開発にたずさわった上記ヒーリー氏をはじめアメリカの地球物理学者で当時国連に所属していたメイダフ氏 ニュージーランドの地球化学者のメーン氏 同じくエンジニアのデンク氏の計4氏である。

その結果オルカリア エブル ハニングトンの3つの有望地熱地域のうちまずオルカリアを対象として開発を

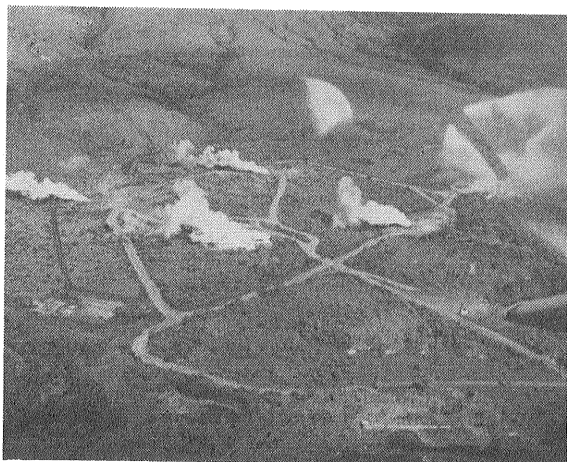


写真3 空からみたオルカリアの生産井 右側に飛行機の翼の一部がみえる

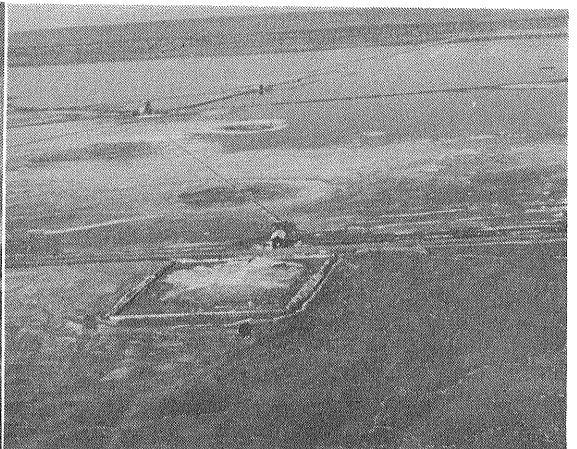


写真4 マガデイ塩湖を機上より眺める 重碳酸ソーダの採取が行われている 随所に温泉徴候が認められる

すすめることが提案された。これは地下の地熱条件と交通上の条件 発電所建設上の条件 等総合して検討された結果である。そしてまたオルカリアにて4か所 エブルにて3か所 ハニングトンにて5か所の調査井掘削地点が選定された。まずオルカリアの調査が集中的にすすめられることとなり 1974年までに4本の調査井がオルカリアで掘削された。1号井は不成功であったが 2～4号井は良好な結果をえたとのことである。

この坑井の掘削は先にのべた様に国連の技術援助として行われたが これに対するケニア側の機関は EAPL (East African Power and Lighting Co.) である。調査井の結果は概して良好であったので これは生産井とされ その後5～10号井が生産井として掘削されている。筆者が現地を訪れた時は丁度10号井の掘削準備中であった。

井戸のデータについては残念ながら筆者は入手出来なかったが海外事業団が事前に入手して筆者に示されたデータは1～6号井のものでそれを次に掲げることとする。5号井を除いてはいわゆる湿り蒸気がえられている。

ボーリング No.	深度 (m)	孔底温度 (C°)	蒸気量 (トン/時間)	蒸気:熱水	圧力 kg/cm ²
No. 1	1,003	120	—	—	—
No. 2	1,350	280	30～35	70:30	6
No. 3	1,357	290	10～15	20:50	4～5
No. 4	1,661	304	?	?	?
No. 5	910	260	30～35	99:1	6
No. 6	1,685	295	15～20	60:40	5

(蒸気熱水について No. 3 の数字には疑問があるがえられたデータのまゝ引用した)

4号井の流量データがないが 6号井までで1万kW程度の発電を行うに必要な蒸気流量は確保されている様である。生産井の掘削に際しての費用は第二世銀の融資を受けているとのことである。EAPL はすでに同じ融資で発電所の建設のスタートをきる段階にあり 今回の訪問時には丁度第一期工事の発電機器の入札が終わったところであった。第一期として1万5千kW (1951年までに) 第二期として同じく1万5千kW (1983年までに) が計画されている。

§5. 地熱開発体制と今後の開発

ケニアにおける地熱開発はもちろん発電を意図したものである。地熱調査は天然資源省の鉱山地質局が担当する。生産井の掘削および発電所の建設といった開発段階は動力通信省の監督下のケニア電力会社および前述の EAPL が担当する。EAPL は政府60%出資の電力会社である。先にも述べた様にオルカリアの地熱開発は現在 EAPL によってすすめられている。第一期の1万5千kWの発電機器については 最近の情報では日本のメーカーがこれにあたることとなった様である。

鉱山開発局はさらに地熱開発をすすめることを考えている。そのため3項目の計画を立てた。

- ① 鉱山地質局に地熱部を設置する
- ② リフト溪谷内の地熱資源のポテンシャルを評価する調査をすすめる
- ③ 5カ年後に地熱調査をケニアの技術のみで出来る様に技術者の養成を行う

ケニア政府のかかえる技術者のレベルについては 筆者の短い滞在期間からは判断できる材料がえられなかったが オルカリアの調査にあたっては国連援助として実

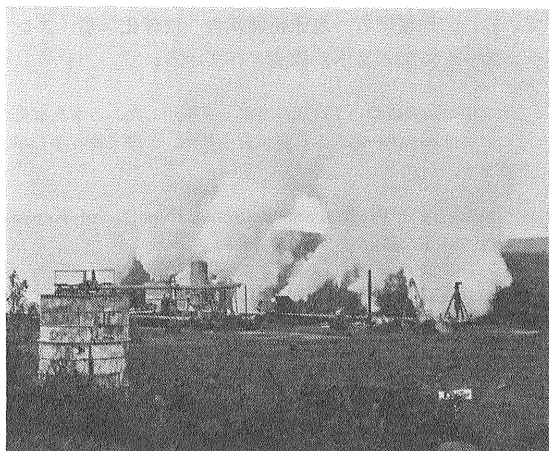
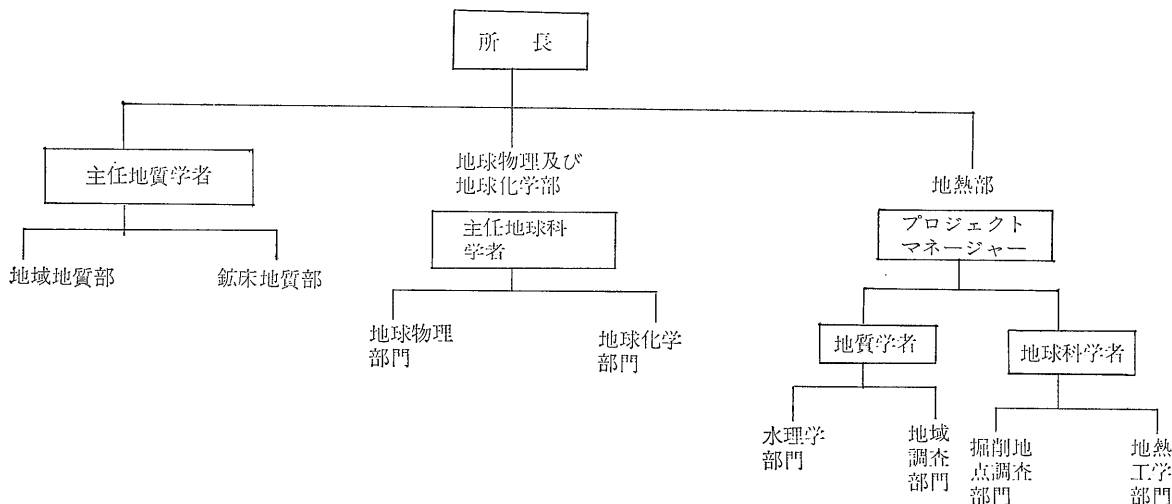


写真5 オルカリアの生産井の近景



写真6 ナクル近くの田舎の小学校の学童たち

地質調査所



ケニア地質調査所組織図

際にはアメリカ及びニュージーランドの技術者がこれを行った経緯である。従って技術者の数にも不足があるのではないかと推定される。

EAPL で働く地質技術者オジヤンボ氏は数年前 毎年九州大学で行われる地熱開発の国際トレーニングコースの研習生として参加した人である。現在はオルカリア地熱地域の開発の中核的役割をはたしている。この様な人材が不足しているのであろう。

以上の3つの計画に対して日本の援助を期待することがケニア政府より申入れられた訳である。ケニアの日本大使館もその実現には大きな熱意を示している。

地熱発電機器についてみるとこれまでのところ我が国は世界の最大供給国となっている。世界の総発電容量約265万kWに対し日本製機器は178万kW分でこれは約67%である。国内のものはすべて日本製となるので外国だけに限れば約65%が日本から輸出されたものである。

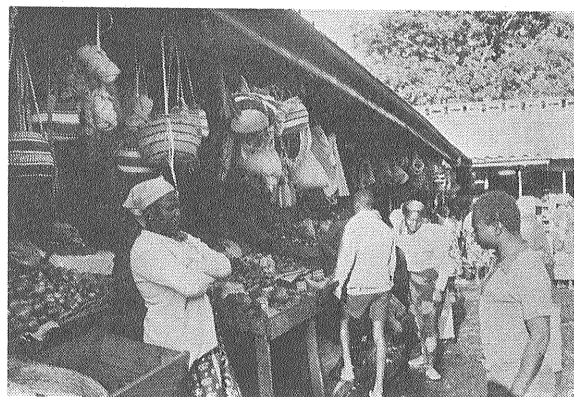


写真7 買物客でごったがえす市場

ケニアの様な技術者不足の発展途上国に対しては製品の供給だけでなく 開発技術の移転はきわめて意義あることといえる。この様なことは地熱開発に限らず今後の日本の発展途上国援助の上で充分考慮すべきことであろう。

なお最後にケニアの地質調査所について簡単な紹介をすることとする。ケニアの鉱山地質局は3部門によりなる即ち地質調査所 鉱山部および支援部門である。支援部門とは監督 ポーリング 実験室 出版などからなる。地質調査所は地質 地球物理及び地球化学 として将来の地熱の3部門からなる。地質部門は地域地質関係と鉱床地質関係とよりなっている。

地質調査所についての組織を表にすると上表の様になる。職員ポストは補助員を除きそれ以上の者52となっている。地質学者 地球物理学者 地球化学者 エンジニア で52ポストが構成されている。

本文中の図表については次の文献より引用した。また写真については高木慎一郎氏から提供を受けた。厚く御礼申し上げます。

- (1) Ministry of Finance and Planning, Republic of Kenya (1978) Economic Survey 1978
- (2) MATSUZAWA I. (1966) A study on the formation of the African rift valley, Journal of Earth Sciences Nagoya Univ. vol 12 No 2.
- (3) NOBLE and OJIAMBO (1975) Geothermal Exploration in Kenya, 2nd UN Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources vol 1