第4章 モザンビーク国

4.1 モザンビーク国の地熱資源

「モ」国は東アフリカ地溝帯の南端に位置しており（図 2.1-1）、地熱徴候として多数の温泉が分布する（図 4.1-1）。

4.1.1 地熱資源分布

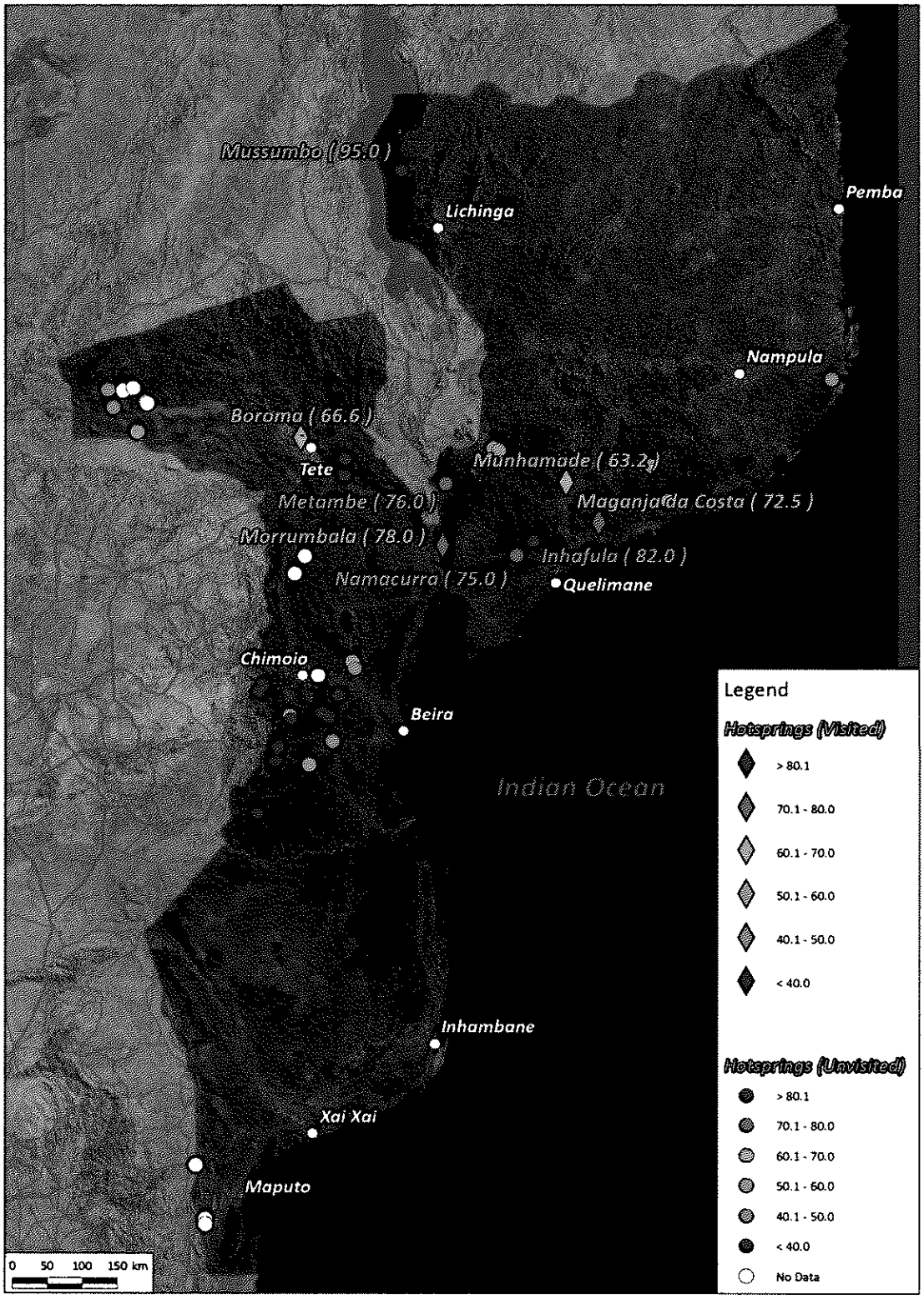
(1) 地質

JOGMEC (2012)、Lächelt (2004)によれば「モ」国の地質は、北部を形成する先カンブリア紀の地質体と南部を形成する Karoo 系～第四系の地質体に区分される。北部の地質体は先カンブリア紀の始生代から原生代の火成岩と変成岩からなり、最古の岩石は Manica 州西部に分布し、約 27 億年前のジンバブエ・クラトンを形成する。南部の Karoo 系から第四系の地質体は後期石炭紀～前期ジュラ紀の Karoo 系、ジュラ系、白亜系、第三系および第四系の堆積岩類とジュラ紀、白亜紀および第三紀の火山岩類からなる（図 4.1-2）。

先カンブリア系はジンバブエ・クラトンと Barue 複合岩体の花崗岩類、片麻岩、ミグマタイトからなり、ザンベジ川の北方に広く分布する。広範なミグマタイト化と花崗岩化、様々な花崗岩質岩の存在から、国内北西部の Irmide 造山帯（1,800Ma～1,350Ma）とモザンビーク造山帯（1,100Ma～850Ma）の二つの構造帯が認められる。原生代後期サイクル(800Ma～410Ma）は、卓状小盆地の形成と、北西部に見られる汎アフリカ（Katanga）造山運動の影響、さらに、モンゾナイト、閃長岩、花崗岩、ペグマタイトの分布が特徴である。

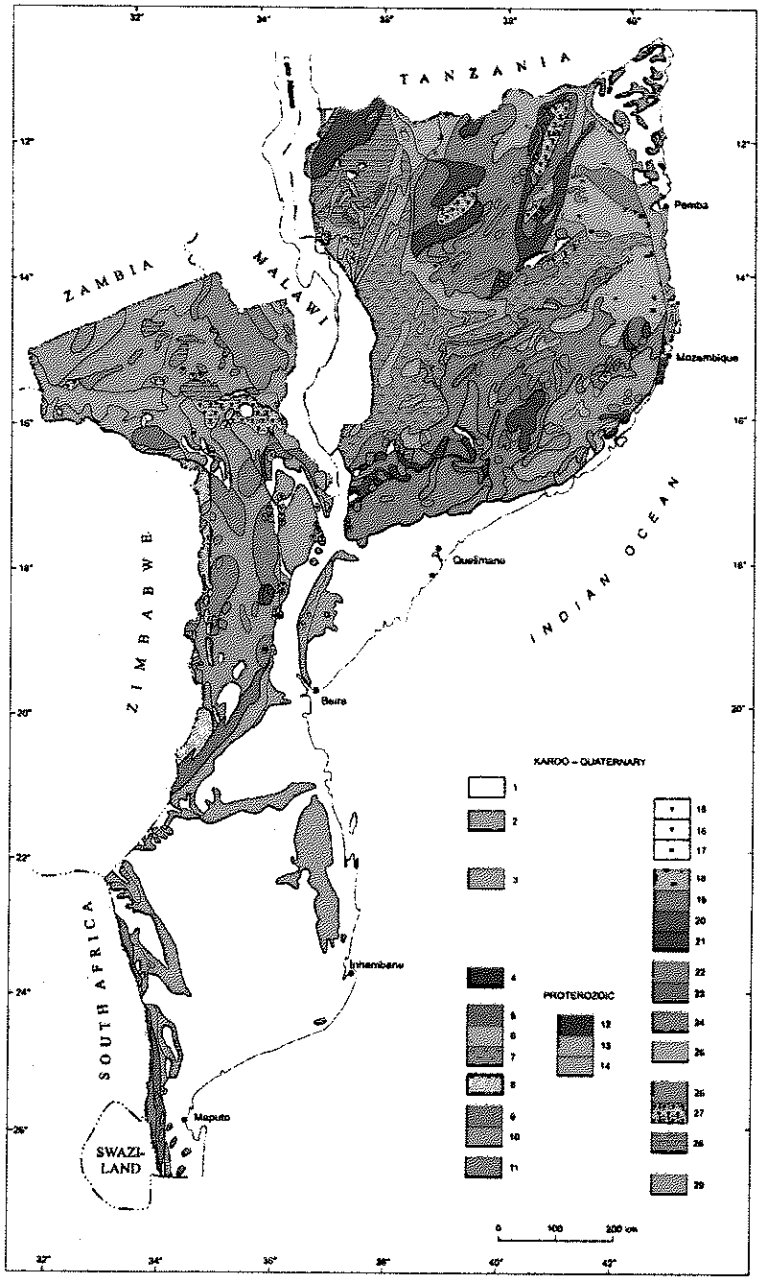
石炭紀からジュラ紀前期のリフト帯形成に伴って、堆積作用と火山活動が生じた。この活動により安定地塊の上位に Karoo 系が堆積した。Karoo 系は層序により大きく 4 区分され、氷河堆積物、石炭を伴う浅海成堆積物、両生類・爬虫類の化石を伴う浅海成堆積物、玄武岩溶岩からなる。Karoo 系は地溝状の堆積盆地を形成しており、北部には Maniamba 堆積盆、西部にはザンベジ堆積盆が分布している（図 4.1-3）。その後は Karoo 系以降の陸成堆積物と火山岩類、中・新生代の陸成堆積物と海成堆積物が堆積している。

東アフリカ地溝帯は「マ」国北方で東部リフトと西部リフトが合流し、合流後は Malawi リフトとして「マ」国を経て「モ」国の Beira 付近まで伸張している(図 4.1-1)。この地溝帯はさらにその南方にも雁行状に配列しながら連続している(図 4.1-3)。



出典：調査団作成

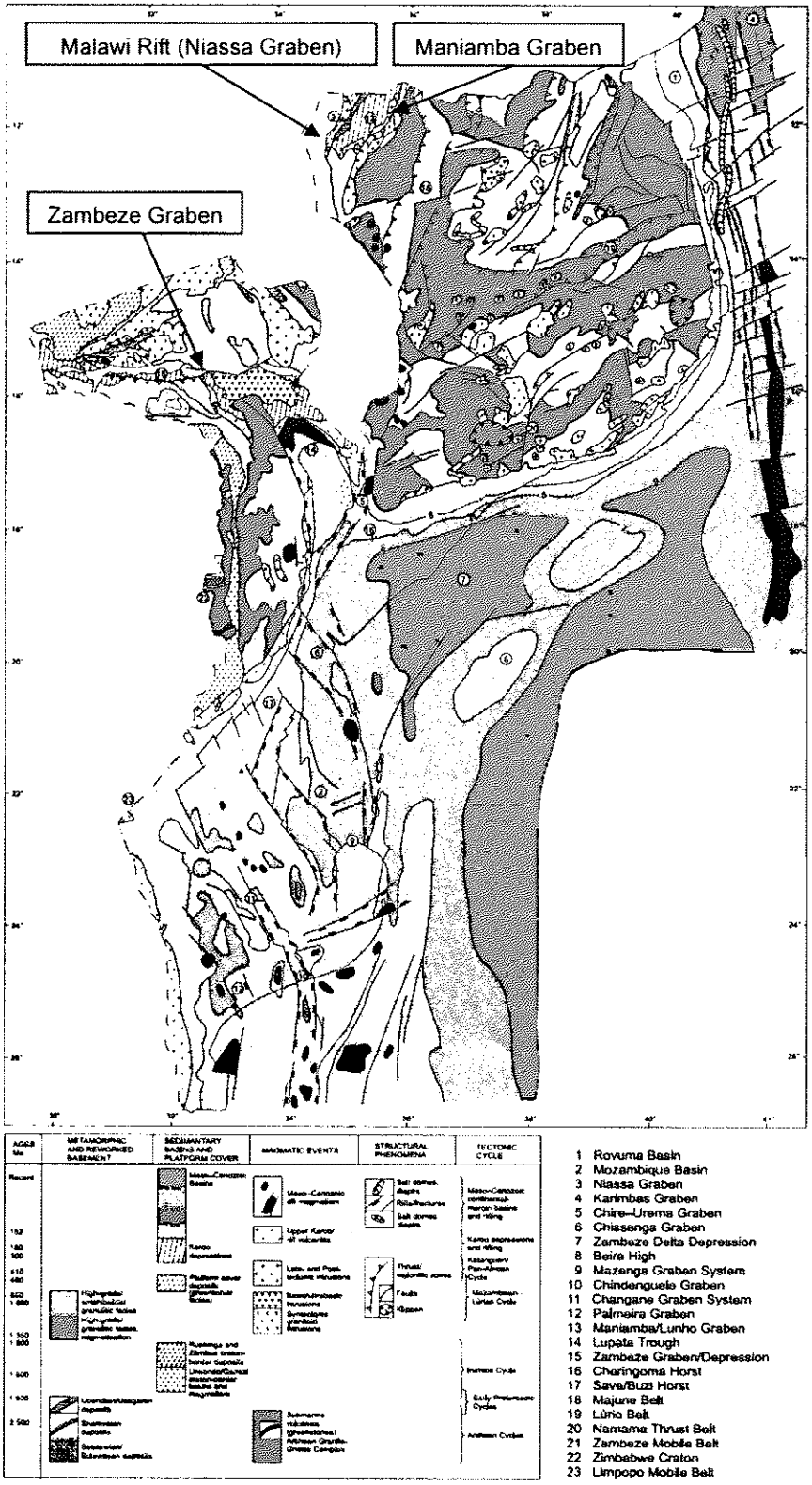
図 4.1-1　「モ」国位置図



QUATERNARY KAROO: 1: Quaternary; 2: Paleogene and Neogene; 3: Cretaceous; 4: Karoo, sedimentary; ARCHEAN AND PROTEROZOIC ROCKS: 5: Nappes and klippen of the Lúrio Supergroup; 6: High-grade gneisses, enderbites and amphibolites of the Chiure Supergroup, Mecuburi and Unango Groups; 7: Granulites, enderbites and charnockites of the Lúrio Supergroup; 8: Metasedimentary rocks of the Umkondo, Gairezi and Rushinga Groups; 9: Migmatites, migmatitic gneisses and synkinematic granitoids of the Nampula Supergroup and the Báruè Complex; 10: Leucogneisses, leptites, high-grade gneisses and mafic granulites of the Nampula Supergroup, Luia, Angónia and Zambuè Groups and the Báruè Complex; 11: Archean greenstones and Archean and Proterozoic quartzites/BIF; PROTEROZOIC ROCKS OF THE MYLONITIC TYPE: 12: Mylonites and blastomylonites; 13: Allochthone mylonites; 14: Mylonitic zones of fracture zones (northern bordering zone of the Tete Suite); MAGMATIC ROCKS: 15: Basic and ultrabasic intrusions; 16: Alkaline and carbonatitic intrusions; 17: Mt Muambe Carbonatite; 18: Cretaceous tuff; 19: Cretaceous trachyte; 20: Meso-Cenozoic granite intrusions; 21: Meso-Cenozoic gabbroide intrusions 22: Karoo rhyolites; 23: Karoo basalts; 24: Proterozoic metamorphosed granitoid intrusions; 25: Proterozoic syenites, monzonites and mangerites; 26: Proterozoic acid intrusions; 27: Ring dykes (acid to basic composition; 28: Proterozoic basic-ultrabasic suites (Tete Suite); 29: Proterozoic enderbites and enderbitic gneisses; 30: Archean and Proterozoic Granite-Gneiss Complexes

出典：Lächelt（2004）

図 4.1-2　「モ」国の地質図

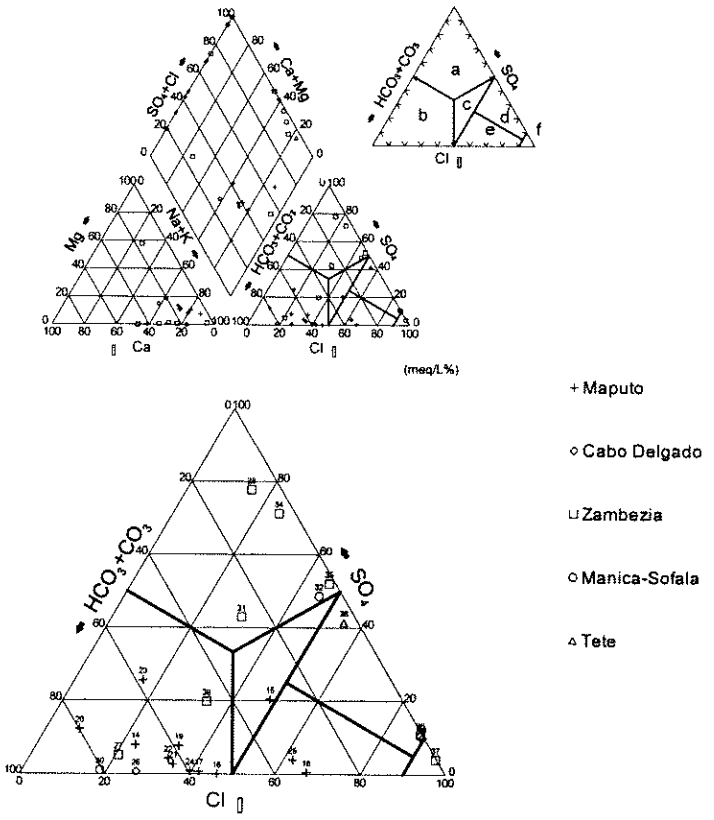


出典：Lächelt（2004）

図 4.1-3　「モ」国の地質構造図

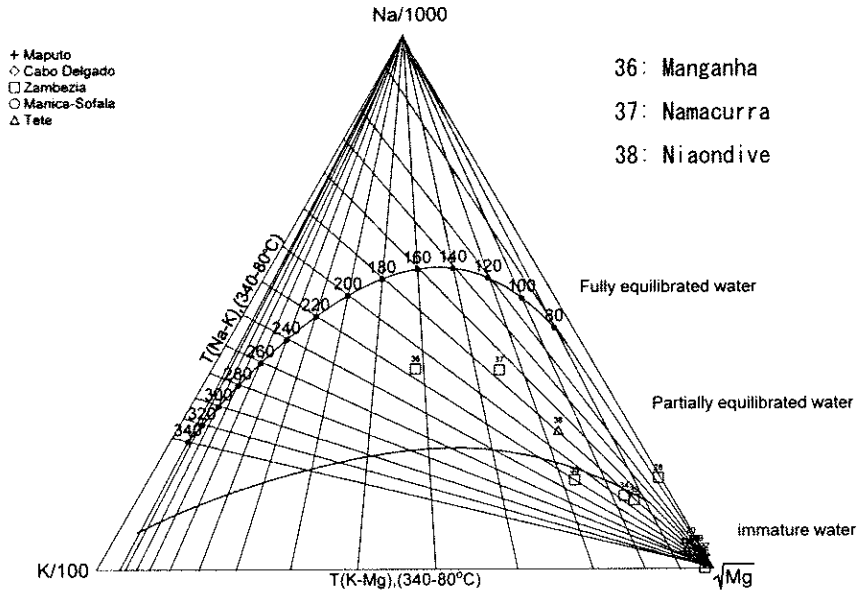
(2) 地熱兆候

「モ」国の地熱兆候として温泉の分布が報告されている。温泉は Malawi リフト周辺、ザンベジ川流域、および先カンブリア系との境界付近に分布する。Lächelt (2004)では 53 の温泉が報告されており、次の地域に多く分布するとしている。①リフト境界部、②地溝帯に沿った地域（ザンベジ 、Limpopo)、③Karoo 火山岩類の分布域、④断層による原生代ブロックの再活動域（Zambezia province 南緯 16° 付近)。温泉の化学組成を図 4.1-4 に、Na-K-Mg 組成を図 4.1-5 に示す。また、主要な温泉の概要を取りまとめたものを表 4.1-1 に、それらの化学分析値と地化学温度を巻末に示す。



出典：調査団作成

図 4.1-4　「モ」国の温泉化学組成図



出典：調査団作成

図 4.1-5　「モ」国の温泉 Na-K-Mg 組成図

表 4.1-1　「モ」国の主要温泉一覧表

Region	Geothermal Field/Area	Hot spring	Temp. (°C)	Cl (ppm)	Chemical Type	Geology	Remarks	Ref.
Niassa	Metangla	Mussumbo	>95	-	-	Malawi-Rift, Maniamba-Graben, Karoo Group	Boilig water was reported	1
Zambezia	South Zambezia	Munhamade (Mualama)	64 (63.2)	429	Cl-SO_4	Marginal fault, Border zone of Basement and the Mesozoic-Cenozoic Bsin		1
		Maganja da Costa (Manganha)	73 (72.5)	2,858	Cl-SO_4		Partlially equilibrated water	1,2
		Namacurra	75	4,584	Cl		Partlially equilibrated water	1
		Morrumbala	78 (78)	96	Cl-SO_4			1
		Inhafula	82	-	-			2
Tete	East Tete	Niaondive	80	436	Cl-SO_4	Malawi-Rift Zambeze-Graben	Partlially equilibrated water	1
		Boroma	80 (66.6)	-	-			2
	West Tete (Lake Cabora Bassa)	Metamboa	>50	-	-	Zambeze-Graben		2
		Zumba	50	-	-			2
Monica-Sofala	Grongoza	Rupizi	60	238	SO_4	Zambeze-Graben		1
		Chichere	47	1,691	Cl-SO_4			1
Maputo	Maputo	Ressano Garcia, Goba	-	-	HCO_3	Karoo Group	Mineral Spring	2

Reference

1: Martinalli et al. (1995)

2: Lächelt (2004)

(Temp.): Measured temperature in the site visit

出典：調査団作成

(a) Niassa 地域

Mussumbo は Niassa (Malawi) 湖畔に位置する。この地域では湖の水位が上昇する以前には沸騰泉が報告されていたが、現在では湖面にガス徴候を残すのみになっている (Martinelli et al.,1995)。泉温は >95℃とされている。この温泉は N-S 方向に伸張する Malawi リフトの断層沿いで、この構造と斜交する NE-SW 方向の Karoo 系が堆積している Maniamba 堆積盆との交差部に位置している。

(b) Zambezia 地域

Malawi リフトの延長と原生代ブロックの境界部においてほぼ E-W 方向に並ぶように多数の温泉が分布している。この地域では Munhamade (Mualama)、Maganja da Costa (Manganha)、Namacurra、Morrumbala、Milange、Gile などの温泉が分布する。Maganja da Costa は泉温が 73℃で Cl-SO_4型の泉質を示し、Namacurra は泉温が 75℃で Cl 型の泉質を示す。Munhamade、Morrumbala、Gile は Cl-SO_4型の泉質を示し、泉温はそれぞれ 64℃、78℃、52℃である。また、泉質は不明であるが Inhafula は泉温 82℃を示す。現地視察は Karonga 地域では Munhamade、Maganja da Costa、Morrumbala にて実施し、泉温はそれぞれ 63.2℃、72.5℃、78℃である。

(c) Tete 地域

本地域は Karoo 系のザンベジ堆積盆に位置し、Niaondive、Boroma、Metamboa、Zumbo などの温泉が分布している。Niaondive と Boroma は Tete 周辺に位置しており泉温は 80℃であり、Niaondive は Cl-SO_4型の泉質を示す。Metamboa と Zumbo は地域西部の Cabora Bassa 湖周辺に位置しており、50℃以上の泉温を示す。現地視察は Boroma にて実施し、泉温は 66.6℃である。

(d) Manica-Sofala 地域

本地域は Malawi リフト境界部、ジンバブエ・クラトンの境界部に位置している。Zonue、Rupizi、Chichere、Macune、Nhambita などの温泉が分布し、泉温は 33℃～61.2℃を示している。

(e) Maputo 地域

本地域には Ressano Garcia、Goba などの鉱泉が分布しているが泉温は不明である。

(3) 温泉の泉質

Zambezia 地域と Tete 地域の温泉の泉質は Cl 型～Cl-SO_4型を示す。Monica-Sofara 地域と Maputo 地域の温泉は多様な泉質を示す。Zambezia 地域では Maganja da Costa および Namacurra の Cl 濃度が高いことが特徴である。「モ」国において収集できた温泉分析データは少ない。

(4) 地化学温度

Zambezia 地域の Maganja da Costa (Manganha) はシリカ温度、アルカリ温度ともに高く (Tqc=126℃、TNa-K、TNa-K-Ca=162～213℃)、同様に Namacurra もシリカ温度とアルカリ温度がともに比較的高い (Tqc=130℃、TNa-K、TNa-K-Ca=110～172℃)。また、Munhamade (Mualama)、Morrumbala、Gile のシリカ温度は Tqc=113～136℃、アルカリ温度計では TNa-K、TNa-K-Ca=89～219℃を示している。Tete 地域の Niaondive のシリカ温度とアルカリ温度はともに比較的高く、Tqc=135℃、TNa-K、TNa-K-Ca=117～177℃を示す。Monica-Sofala 地域の Zonue、Rupizi、Chichere のシリカ温度は 116～128℃を示す。

図 4.1-5 において Zambezia 地域の Maganja da Costa (Manganha)、Namacurra、Tete 地域の Niaondive は部分的に平衡にある流体を示し、Munhamade (Mualama)、Morrumbala、Gile は部分的に平衡にある流体に近い組成を示している。これらのことからこの地域ではある程度地下の岩石と平衡にある流体が上昇しており、地下温度は Maganja da Costa (Manganha) が比較的高い可能性がある。

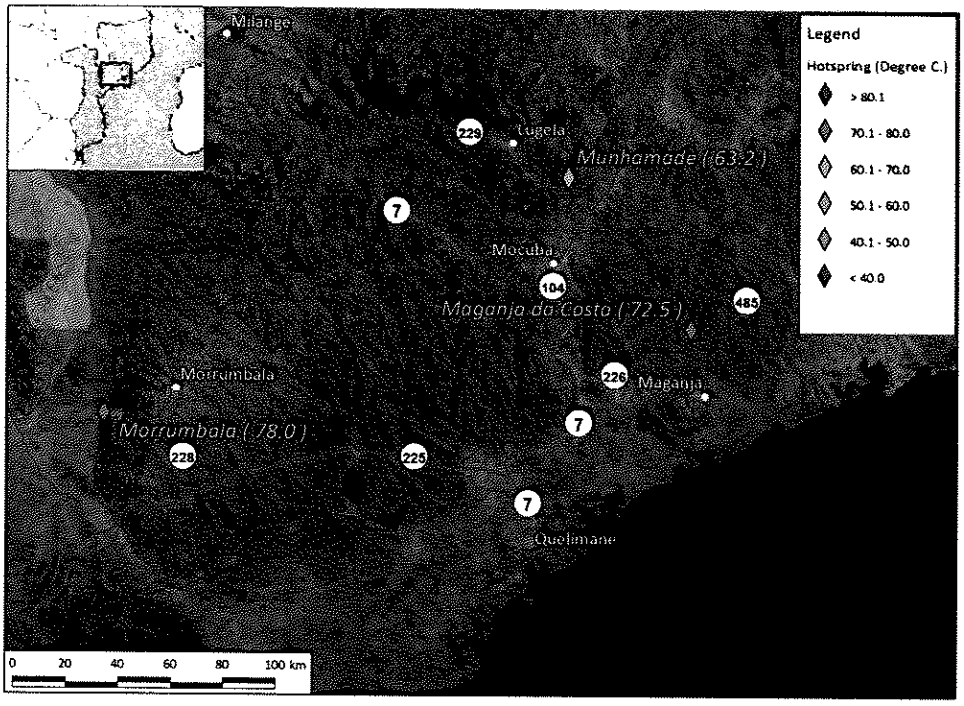
(5) 地熱地域の状況

現地視察結果は次の通りである (表 4.1-2)。なお、以降の記載では温泉の泉温、pH、電気伝導度は現地視察の結果を用いる。また、South Zambezia 地域の地熱徴候位置図を図 4.1-6 に示す。

表 4.1-2 「モ」国における現地視察結果一覧表

No.	Geothermal Field	Field Name Hot Spring	Location		Temp.	pH	Cond.	Remarks
			S	E	(℃)		μS/cm	
1	South Zambezia (MZ-2)	Munhamade	16.565291	37.002433	63.2	8	1,323	With gas bubbles, Geology: Charnockitic Gneiss
2	South Zambezia (MZ-2)	Maganja da Costa	17.080138	37.451977	72.5	7.5	8,230	With gas bubbles, Geology: Granite
3	South Zambezia (MZ-2)	Morrumbala	17.411918	35.355668	78	8.3	837	With gas bubbles, Geology: Boundary of Lift zone
4	East Tete (MZ-3)	Boroma	16.024007	33.444175	66.6	8	2,440	With gas bubbles, Geology: Gabrro, Anothosite

出典：調査団作成



出典：調査団作成

図 4.1-6　South Zambezia 地域の地熱徴候位置図

(a) Munhamade 地区（South Zambezia 地域、MZ-2）

Munhamade 地区は、Zambezia 州 Lugela 県の中心都市である Lugela の南東約 35km に位置する。同州の州都である Quelimane（人口約 19 万人）からは、470 号線、7 号線および 104 号線（いずれも片側 1 車線、舗装）を約 100km 経て、同州 Mocuba 県の中心都市 Mocuba へ至り、Mocuba からは 229 号線および 492 号線（いずれも片側 1 車線、未舗装）を約 90km 経て同地区へと至る。温泉湧出口は、492 号線から更に未舗装路を約 3km および人道を約 0.5km 入った平坦地に位置しており、周辺には数戸～十数戸の住居が点在する。源泉には 1m×3m のモルタル製の源泉カバーが設置されている。温泉は温泉ガスを伴って湧出し、湧出温度は 63.2℃である。約 30～50m 離れてオンドル式の草室と小プール（5m×10m、現在未利用）がある。湧出箇所から下流側の温度が下がったところ（35℃程度）に水汲み場があり、水の代わりに使用されている。送配電線は、229 号線に沿って敷設されており、そこから分岐した送配電線が 492 号線に沿って Munhamade の村落（温泉湧出口の南西約 3km、人口数百人）まで到達している。周辺地域の産業としては、農業（コメ、トウモロコシ、畜産等）が中心である。

写真 4.1-1　Munhamade
(S. Zambezia, MZ-2)

写真 4.1-2　Munhamade
(S. Zambezia, MZ-2)

(b) Maganja da Costa 地区（South Zambezia 地域、MZ-2）

Maganja da Costa 地区は、Zambezia 州 Maganja da Costa 県の中心都市である Maganja の北方約 25km に位置する。同州の州都 Quelimane からは、470 号線、7 号線および 226 号線（片側 1 車線、未舗装）を約 150km 経て Maganja へ至り、Maganja からは 485 号線（片側 1 車線、未舗装）を約 15km 経て同地区へと至る。温泉湧出口は、485 号線から更に未舗装路を約 20km 入った平坦地に位置しており、温泉入り口には「De Aguas Quente」の看板がある。また、未舗装路沿いに数十戸の住居が点在する。温泉は花崗岩類の破砕帯や割れ目からガスを伴って湧出しており、湧出温度は 72.5℃である。湧出口には硫化鉱物（細粒から粗粒の黄鉄鉱）を伴っている。湧出口付近の岩石の表面には石英が沈殿、硫黄華が分布し、弱い硫黄臭がある。送配電線は、485 号線に沿って敷設されているが、周辺村落の大半は未電化である。周辺地域の産業としては、農業（コメ、トウモロコシ、畜産等）が中心である。

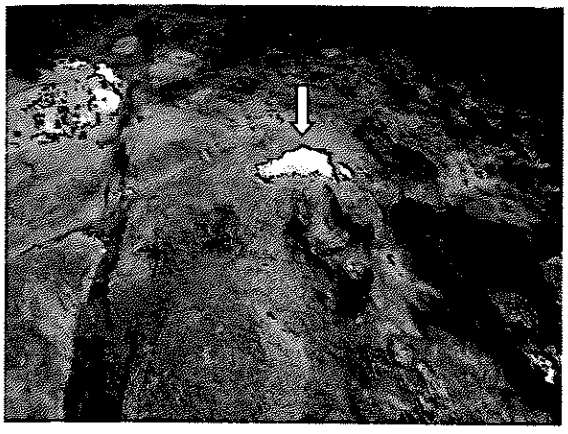


写真 4.1-3 Maganja da Costa
(S. Zambezia, MZ-2)
Temp is 72.5°C at gushing point along fracture.

写真 4.1-4 Maganja da Costa
(S. Zambezia, MZ-2)
Distant view of hot spring

(c) Morrumbala 地区（South Zambezia 地域、MZ-2）

Morrumbala 地区は、Zambezia 州 Morrumbala 県の中心都市である Morrumbala（人口数万人）の西方約 25km に位置する。同州の州都 Quelimane からは、470 号線、7 号線および 472 号線（片側 1 車線、未舗装）を約 200km 経て Morrumbala へ至り、Morrumbala からは 477 号線（片側 1 車線、未舗装）を約 30km 経て Pinda（人口数百人）へ、更に 448 号線（片側 1 車線、未舗装）を約 5km 南下し同地区へと至る。温泉湧出口は、448 号線から人道を約 25m 入った山麓に位置しており、周辺には主として道路沿いに数十戸の住居が点在する。また、温泉湧出口の北西約 2km の Shire 川沿いの低地には大規模な耕作地が広がっており、その周辺には住居が数百戸存在している。温泉は 5～10m 程度に仕切られたコンクリートのプールの底から湧出している。プールは 3 槽からなり、上流側 2 槽から温泉が湧出し、下流側を浴用に利用している。プールのほぼ全域に気泡が確認され、湧出温度は 78.0℃である。本地域はマラウイから連続するリフト帯の東縁部に位置しており、この構造に関連して温泉が湧出しているものと推定される。送配電線は、Morrumbala から 477 号線および 448 号線に沿って敷設されているが、周辺村落の大半は未電化である。周辺地域の産業としては、農業（コメ、トウモロコシ、畜産等）が中心である。

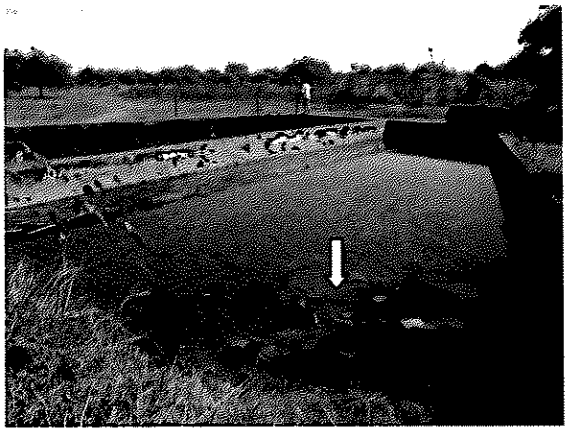


写真 4.1-5　Morrumbala
(S. Zambezia, MZ-2)
Pool for bathing

写真 4.1-6　Morrumbala
(S. Zambezia, MZ-2)
Temp is 78.0°C at gushing point in pool.

(d) Boroma 地区　(East Tete 地域、MZ-3)

本地区は Tete 州の中央部、Tete 市街の北西部に位置している。ザンベジ川から約 1km 程度の地点で温泉が湧出している。温泉は緩傾斜の窪地（半径 30m 程度）から気泡を伴い 3 カ所湧出している。中央部の湧出口における泉温は 66.6℃である。南側の湧出口での泉温は 45.5℃、北側の湧出口では 37.1℃である。湧出量はそれぞれ 5～10L/min 程度である。周辺の地質は斑レイ岩、斜長岩の分布域であり、ペグマタイトが各種方向に貫入している。また、これらを多数の石英脈が貫いている。中央部の湧出口は E-W 方向の石英脈（幅 50cm）の延長部にあたり、北側の湧出口は石英脈を伴う破砕帯から湧出している。本地区においては、南南東約 3km に位置する Boroma の集落までは電化されている。

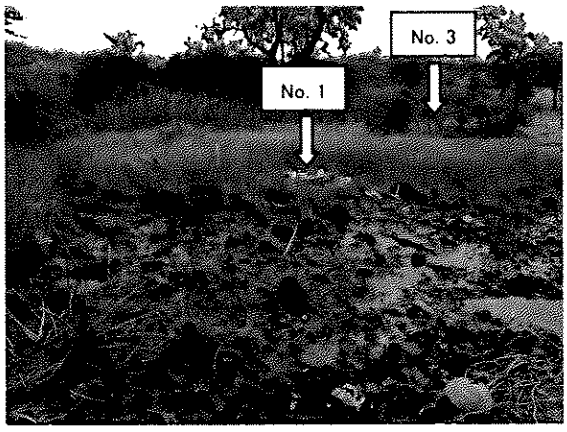


写真 4.1-7　Boroma (E. Tete, MZ-2)
Temp is 66.6°C at gushing point of "No. 1".

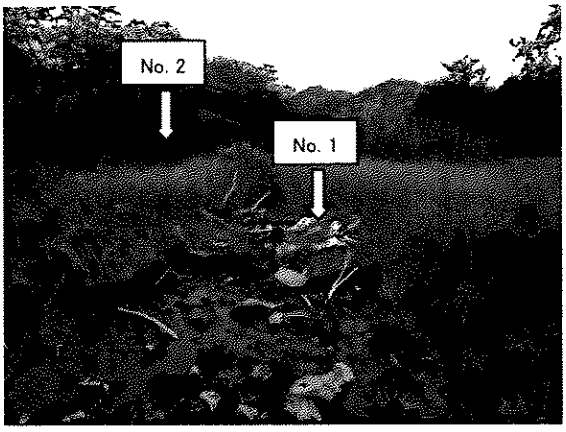


写真 4.1-8　Boroma (E. Tete, MZ-2)
Temp is 45.5°C at gushing point of "No. 2".

写真 4.1-9　Boroma (East Tete, MZ-2)
Temp is 37.1°C at gushing point of "No. 3".

写真 4.1-10　Boroma (East Tete, MZ-2)
Distant view of gushing point of "No. 3"

(e) その他

South Zambezia 地域（MZ-2）の温泉として、Namacurra 地区および Inhafula 地区の情報があったため、現地視察を試みた。しかしながら、Inhafula 地区に関しては現地における聞き込みで温泉の存在が確認されたが、道路事情が悪く、到達することができなかった。また、Namacurra 地区に関しては、既存の位置情報周辺には温泉が存在しなかった。

また、Tete 州の Boroma 地区ではザンベジ川を挟んで向かい側左岸にも温泉が分布する情報が得られた（Nhandue 地区、泉温 80℃）。

4.1.2　地熱資源開発状況

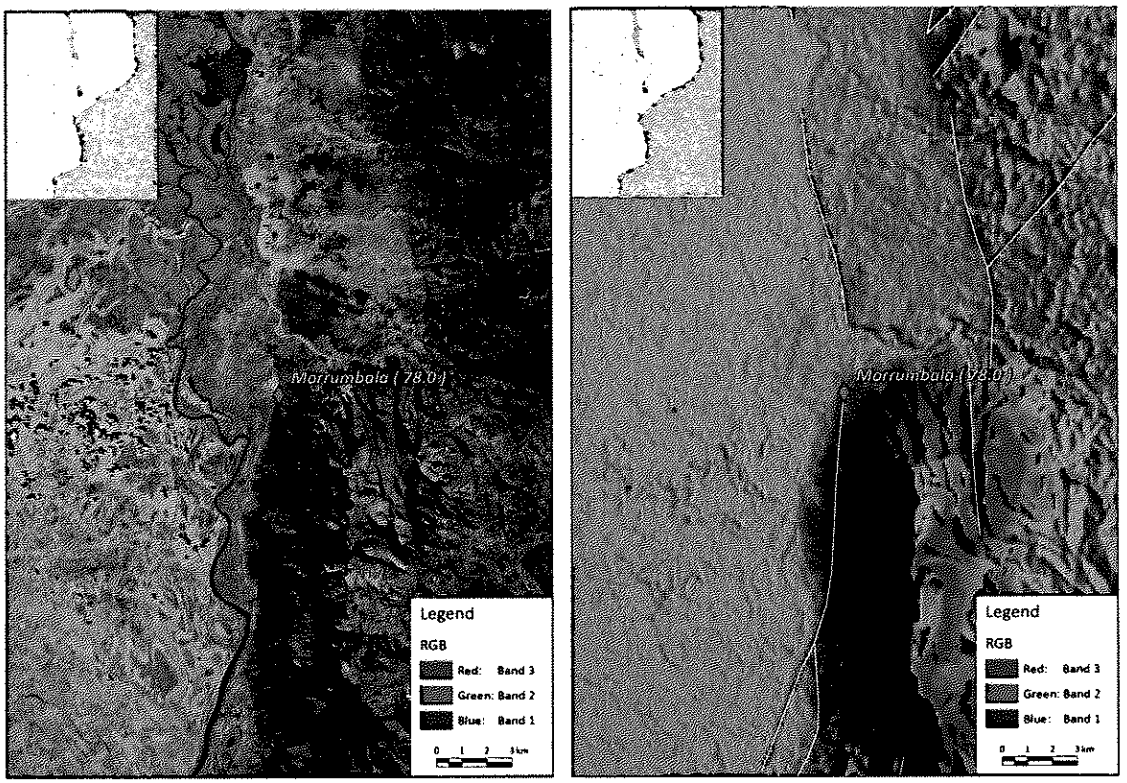
「モ」国における地熱資源開発調査は、ポルトガル政府の援助によりエネルギー省が全国規模で再生可能エネルギーアトラス調査を実施している。この調査は 2011 年から 2013 年にかけて実施されている調査であり、水力、風力、太陽光、地熱、バイオマス、潮流発電を対象としている。地熱に関する調査内容は、地質および地化学的な文献調査、温泉水採取と分析、物理探査（TEM 法）を行い、地熱ポテンシャルの評価を行うものである。物理探査は温泉の温度が高かった次の 5 地域について実施している。

① Maganja da Costa
② Morrumbala
③ Munhamade
④ Boroma & Nhandue
⑤ Mussumbo

また、Chambal (2010) によれば、「モ」国の地熱資源量は少なくとも Tete 州、Manica 州、Niassa 州で約 25MW と推定されている。

4.1.3　衛星画像データ解析

「マ」国同様、現地視察地点周辺の ETM+データ、ASTER データおよび SRTM データを用いて衛星画像を作成し解析を実施した。「モ」国の Morrumbala 地区における ASTER フォールス・カラー画像（B:G:R=バンド 1:バンド 2:バンド 3）および SRTM 傾斜量/陰影合成図を図 4.1-7 に示す。



出典：調査団作成

図 4.1-7　「モ」国・Morrumbala 地区における衛星画像
（左：ASTER フォールス・カラー画像、右：SRTM 傾斜量/陰影合成図）

ASTER フォールス・カラー画像においては、Morrumbala の東側には植生に対応する赤色のピクセルが分布している。また、西側には緑色～ピンク色～暗色のピクセルが分布しているが、Zambezi 川の支流である Shire 川が南北に流下、蛇行しており、流域には湿地や耕作地が広く分布している。一方の SRTM 傾斜量/陰影合成図においては、Morrumbala の東側には起伏地形（丘陵～山地）に対応する青色～濃青色のピクセルが、西側には平坦地形に対応する薄青色～白色のピクセルが分布している。

いずれの画像においても Morrumbala の東側（丘陵～山地）と西側（平坦地形）との境界は非常に明瞭であり、南北方向に伸長するリニアメントとして抽出することが可能である。なお、Morrumbala 地区は、Malawi 湖から「マ」国南部に伸長する Malawi リフトの

南側延長部に該当するため、同地区の南北方向のリニアメントは、リフトおよび堆積盆地形成以降に活動した正断層系の断裂帯およびその地表軌跡に対応すると推察される。また、Morrumbala 地区の温泉は、南北系のリニアメント上に位置することより、これらリニアメント（断裂帯）は熱水の通路になっているものと推察される。

また、「マ」国同様、地表面温度画像による高温部（熱異常域）の抽出および RBD 法による変質鉱物マッピングおよび熱水変質帯の抽出を試みた。しかしながら、対象地域は比較的降水量が多く（年間 1,000～1,500mm 程度）、表層は広く植生に覆われるため、上記解析手法による情報の抽出は困難であった。

4.2　モザンビーク国の電力・エネルギー事情

4.2.1　電力事情

「モ」国は、広大な国土面積（799,380km²）に 22.4 百万人が居住し、低い人口密度（28 人/km²）となっている。国民一人当たりの年間消費電力量は 143kWh/人と低く、それに対応して「モ」国の総発電電力量は 4,025GWh である。Tete 州に位置する Cahora Bassa 水力発電所の発電量が全体の 88%を占めており、残りは老朽化したディーゼル発電や天然ガス発電による。「モ」国の電力供給の管理・運営は EDM（Electricidade de Moçambique, E. P.）が行っている。

近年の順調な経済成長と相まって国内消費電力量は総発電電力量の 60%であり、17%は南アフリカ国や南部アフリカパワープール（SAPP）に輸出され、電力損失率は 21～23%に達する。

電力需要は大きな伸びが見込まれており、2011 年には前年比 15%を記録している。「モ」国全体の電化率は 18%であり、首都の Maputo を含む南部においては 42%（Maputo 市は 82%）である一方、遠隔地である北部および中部においては 10～20%程度である。

広大な国土面積に対して、全国電力網（ナショナル・グリッド）が地方部まで十分に延伸されておらず、また、南北のグリッドが連系されていないため、都市／地方間および地域間に格差が生じている。

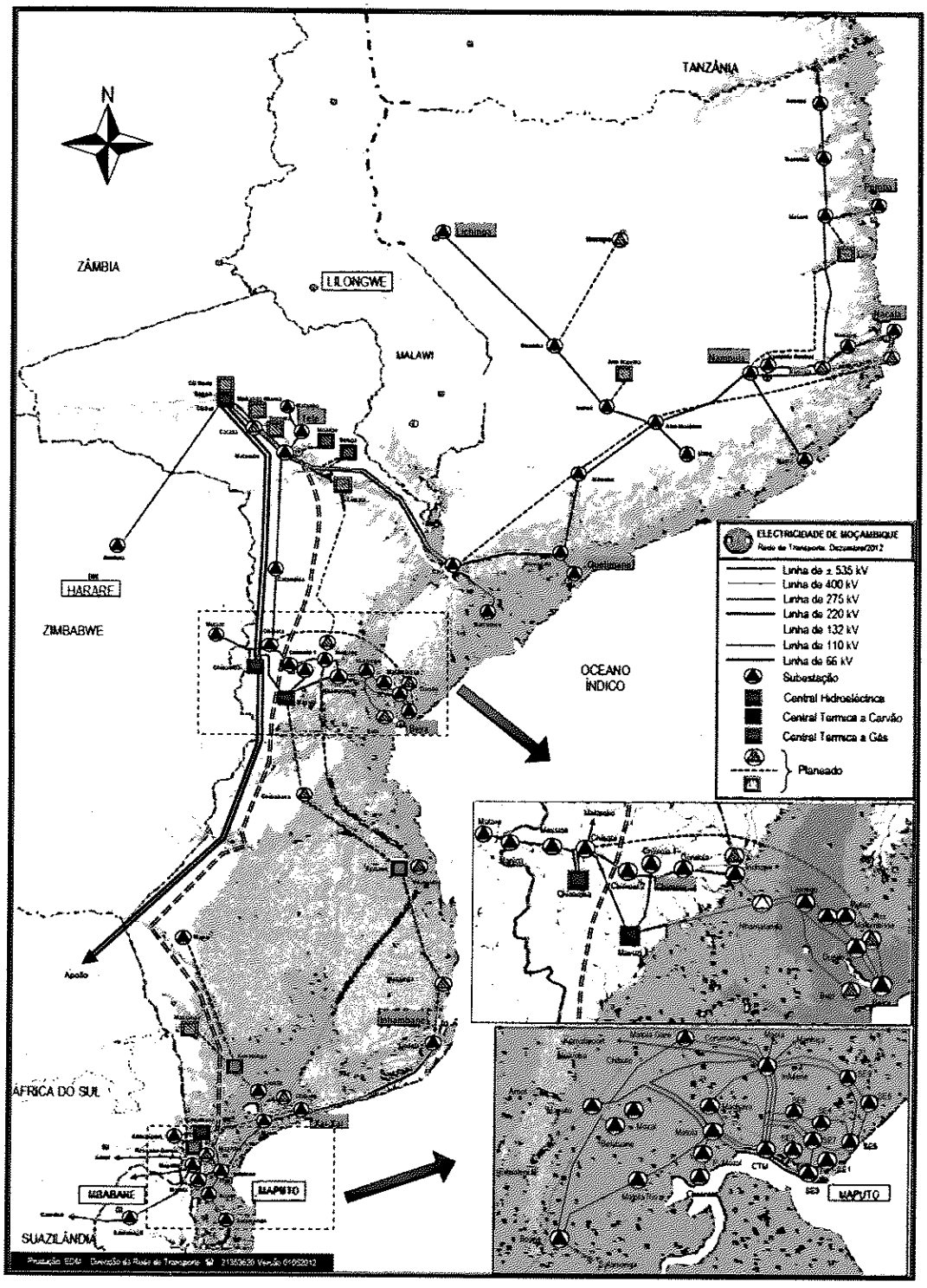
4.2.2　送配変電と系統運用の現況

「モ」国の送電系統図を図 4.2-1 に示す。同国は南北に 2,000km に亘る広大な国土を擁しているため、電力系統は南部ならびに中・北部系統の 2 系統に分離されており両系統は連系されておらずそれぞれ独立系統となっている。

図 4.2-2 に力率を 95%と仮定した場合の送電線送電容量を示す。400kV 送電線の容量は 1,631MW（330kV 運転送電線は 989MW）、275kV は 455MW、220kV は 116～453MW、132kV は 660MW、110kV は 59～95MW、66kV は 36～83MW に分布している。

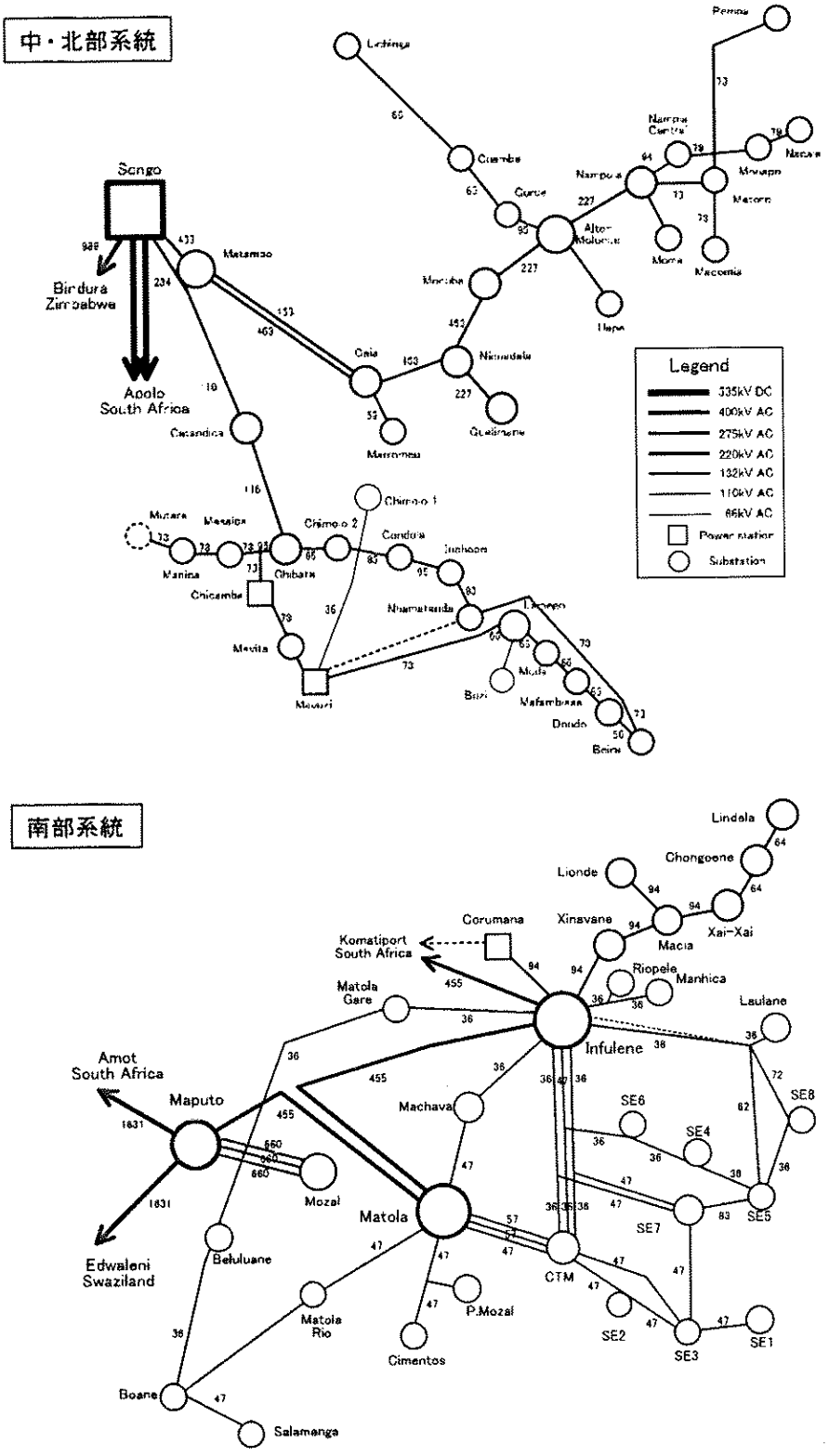
主要電源である Cahora Bassa 水力発電所（出力 2,075MW）は中・北部系統に接続されている。その発電電力の一部は交流 220kV 送電線により中部ならびに北部地域に送電され自国負荷への供給に向けられるとともに、400kV 交流送電線で隣国ジンバブエにも送電されているが、発電電力の大部分は 535kV 直流送電線を介し南アフリカの Apollo 変電所に送電され、SAPP に送電されている。

首都マプトを擁する南部系統は、Cahora Bassa 水力発電所から 1,000km 以上の遠距離にあるため、400kV 交流送電線により国際連系されている南アフリカ系統ならびにスワジランド系統を経由して SAPP から電力輸入している。これにより国内需要の 80%以上を再輸入電力で賄う結果となっている。



出典：EDM（2012）

図 4.2-1　「モ」国の送電系統図



(出典：Created with reference to PSSE network analysis data provided by EDM)

図 4.2-2　「モ」国の送電線送電容量（単位：MW）

4.2.3　発電設備の現況

「モ」国の発電設備の現況は表 4.2-1 に示す通りである(EDM 所轄分)。水力発電所及び火力発電所の合計の設備容量は 207.6 MW であり、その内水力発電所の設備容量は 108.85 MW で運転可能容量が 61.10 MW、火力発電所の設備容量は 98.75 MW で、運転可能容量が 69.35 MW である。

現在、「モ」国全体の最大電力は、610MW であり、自国で賄える電力は 130.45MW (61.10 MW+69.35MW) と必要電力の約 21% (＝130.45MW/610MW) に過ぎない。

表 4.2-1　「モ」国の水力発電所及び火力発電所リスト

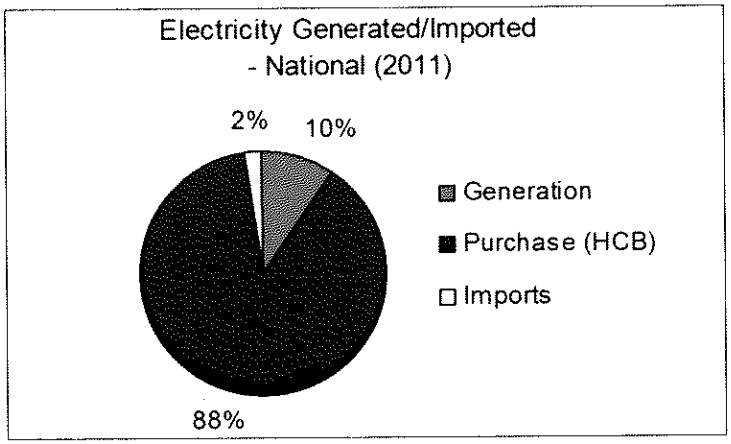
Power Station	Unit	Turbine/ Generator Manufacturer	Year Installed	Nominal Cap. (MW)	Available Capacity (MW)	Comments
1. Hydropower						
Mavuzi	1	Charmilles/BBC	1955	5	4.5	Operational
	2	Charmilles/BBC	1955	5	0	Out-of-order
	3	Neyrpic/SIEMENS	1967	14	12	Operational
	4	Neyrpic/SIEMENS	1957	14	12	Operational
	5	Neyrpic/SIEMENS	1957	14	0	Out-of-order
Chicamba	1	Voith/SECRON	1968	19.2	0	Operational
	2	Voith/SECRON	1968	19.2	17	Operational
Corumana	1	Undenas/ABB	1990	8.3	7.0	Operational
	2	Undenas/ABB	1990	8.3	7.0	Operational
Cuamba	1	Soerumsand/NEBB	1989	0.55	0.5	Operational
	2	Soerumsand/NEBB	1989	0.55	0.5	Operational
Lichinga	1	Soerumsand/NEBB	1983	0.75	0.6	Operational
Total Hydro				**108.85**	**61.10**	
2. Thermal						
Beira	1-Gas	ABB Stal	1988	14.0	12.0	Operational
Maputo	1-Gas	Rolls Royce	1968	17.0	0	Out-of-order
	2-Gas	BBC	1973	38.0	30.0	Operational
	3-Gas	Alsthom	1991	24.0	22.0	Operational
Temane	1-Gas			5.2	4.8	
Nova Mambone	1-Gas			0.55	0.55	
Total Thermal				**98.75**	**69.35**	
Total Hydro + Thermal				**207.60**	**130.45**	

出典：JICA (2012)

なお、表 4.2-1 の数値は EDM の運営する全国電力網 (ナショナル・グリッド) だけのものであり、グリッドに接続されていない地方部の独立型ディーゼル発電や、太陽光発電、小水力発電などの数値は含まれていない。

4.2.4　電力需給の現況

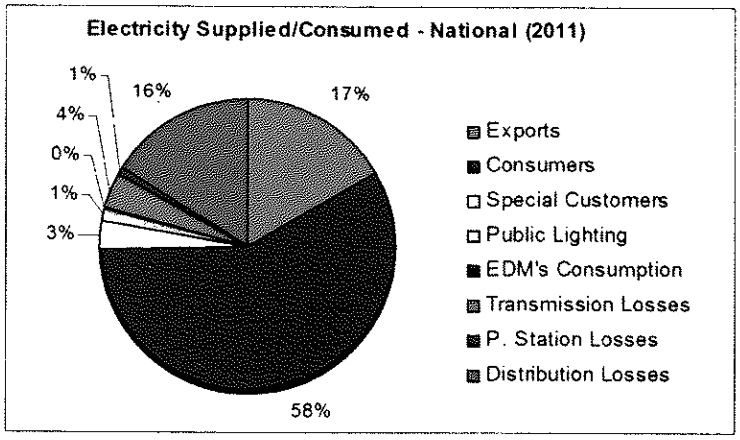
「モ」国の基幹電源である Cahora Bassa 水力発電所の運転開始によって、電力供給力は格段に増加し、それまでの潜在的な電力需要が顕在化する一方、経済活動の活発化に伴い電力需要が堅調に増加している。総発電電力量は 4,025 GWh である。この内訳を図 4.2-3 に示す。Cahora Bassa 水力発電所を運用する Cahora Bassa 水力発電会社（Hidroelétrica de Cahora Bassa: HCB）の発電電力量はその 88%を占めている。これに対し、EDM の発電電力量は全体の 10%を占めるに過ぎない。また、地方の一部に EDM の配電網が延伸されていないために隣国（南ア）から電力を購入しており、その量は全体の 2%である。



（出典：Statistical Summary 2011, EDM）

図 4.2-3　「モ」国の発電電力量の内訳（2011 年）

消費電力量の内訳を示したものが図 4.2-4 である。電力の輸出が 17%を占めていることや、電力損失が合計で 25%と大きな数値になっているのが目立つ。配電損失だけで 19%に達する。

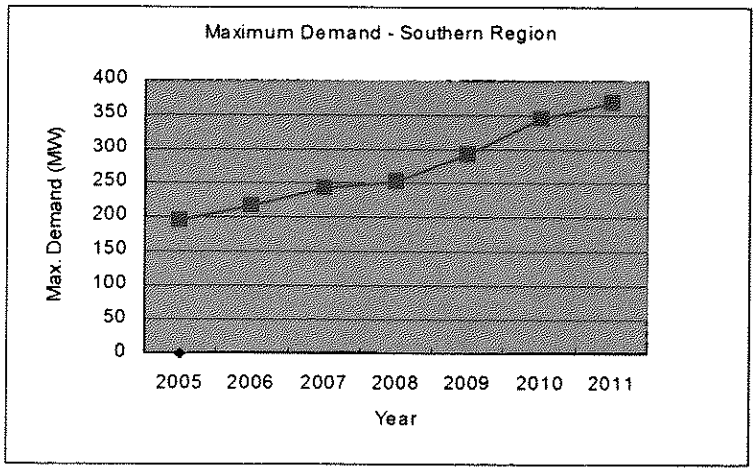


(出典：Statistical Summary 2011, EDM)

図 4.2-4　「モ」国の消費電力量の内訳（2011 年）

4.2.5　電力需要想定

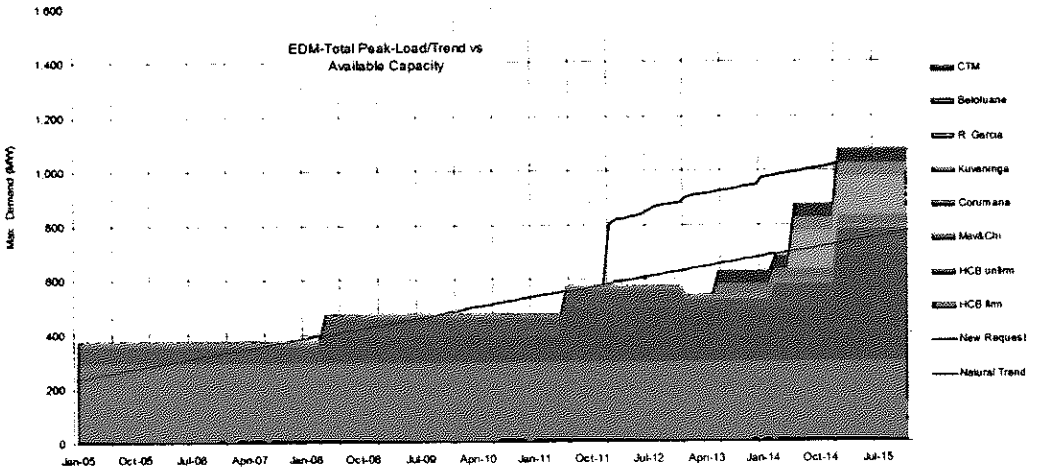
マプト首都圏を抱える南部地域は「モ」国内で最大の電力需要地である。同地域の 2005 年～2011 年の最大電力の推移を図 4.2-5 に示す。この期間の年平均伸び率は 11.3%である。2011 年の最大電力 369.1MW は速報値であり、7 月に記録されている。



(出典：EDM)

図 4.2-5　「モ」国南部地域の最大電力の推移（2005 年～2011 年）

今後の電力需要について、モザールアルミ精錬所の電力需要は現在 950MW であるが、今後予定されている拡張計画によって、920 – 1,320MW もの大規模需要が新たに生まれることになる。その他にも、セメント工業や金属工業など電力多消費産業の需要が今後の電力需要の牽引役となり、2015 年頃から大口プロジェクトが順次立ち上がることを見込めば、電力需要の伸び率も大きくなるものと予測される（図 4.2-6）。



（出典：EDM）

図 4.2-6　「モ」国における全国レベルの電力需要の推移と見通し（2005 年 - 2015 年）

4.2.6　電力開発計画

(1)　発電プロジェクト

EDM が公表している発電プロジェクトの計画概要を表 4.2-2 に示す。これら 6 件を合計すると、発電量は 4,005MW、投資額は 6,540 百万ドルという大規模な計画である。

上記の大規模発電プロジェクトは、中長期的電源開発計画に沿って開発が進められているところであるが、電力需給が特に逼迫している南部地域における供給力の向上が喫緊の課題になっている。このため EDM は Maputo 首都圏への電力供給増強のため、Matola 市にガスコンバインドサイクル発電所（70～110MW）の建設を計画しており、「モ」国は JICA にこのプロジェクトに対する支援を要請している。

表 4.2-2　計画中の主要発電プロジェクト

	プロジェクト	設置容量 (MW)	事業規模 (MUSD)	進捗状況	実施時期
1	Moatize 火力発電所（IPP：Vale）	600	1,400	設計、ESIA、融資協議。	2014/2015
2	Benga 火力発電所（IPP：Rio Tinto）	450	1,100	設計、ESIA、融資協議。	2014/2015
3	Malema 水力発電所（IPP：EDM）	60	120	プレ F/S 実施中。	2015
4	Mphanda Nkuwa 水力発電所（Campbell/Correia）	1,500	2,900	設計、ESIA、融資協議。	2017
5	Cahola Bassa 水力発電所（HCB/CEZA）	1,245	800	プレ F/S 実施中。	2017
6	Moamba/Ressano Garcia 火力発電所（EDM/SASOL）	140	220	プレ F/S 実施中。	2013
	合計	**4,005**	**6,540**		

出典：EDM（2012）

(2)　送配電プロジェクト

EDM が重要視している送配電プロジェクトとして「220kv Line Caia-Nacala (800km)」がある。このプロジェクトは Sofala 州の Caia 変電所から Nampula 州の Nacala 変電所まで 220kv の超高圧送電線を敷設し、近年特に電力需要が増加している Nacala 地区に送電するものであり、これが実現すれば Nacala 回廊地域に長期間にわたって大電力を供給するインフラが整うことになる。しかし投資規模が 224 百万ドルと高額であるのが課題である。

また、上述したように南部地域の電力需要が逼迫していることから、これを解消するための送配電プロジェクトとして CESUL 400kv HVAC 及び CESUL 500kv HVDC の 2 つの計画がある。これらは Tete 州内の豊富な水力・石炭エネルギーにより発電した電力を大電力需要地である Maputo 首都圏に直接送電するための「Mozambique Regional Transmission Backbone Project」（通称 CESUL プロジェクト）である。前者は交流送電線建設プロジェクトで、後者は直流送電線建設プロジェクトである。

4.3　モザンビーク国における環境社会配慮

4.3.1　政府関係機関

環境問題調整省（Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental: MICOA）が、天然資源の保全と責任ある利用の保証、環境活動の調整と環境ライセンス交付を任務とする政府機関である。1995 年に創設された同省は、次の 2 つを主な責任分野としている。

・国家環境管理計画（NEMP）および関連する環境政策・法令を実施する。
・他の省庁と環境問題について調整を行い、各々の担当プロジェクト、計画、政策に環境面の事項を組み入れる。

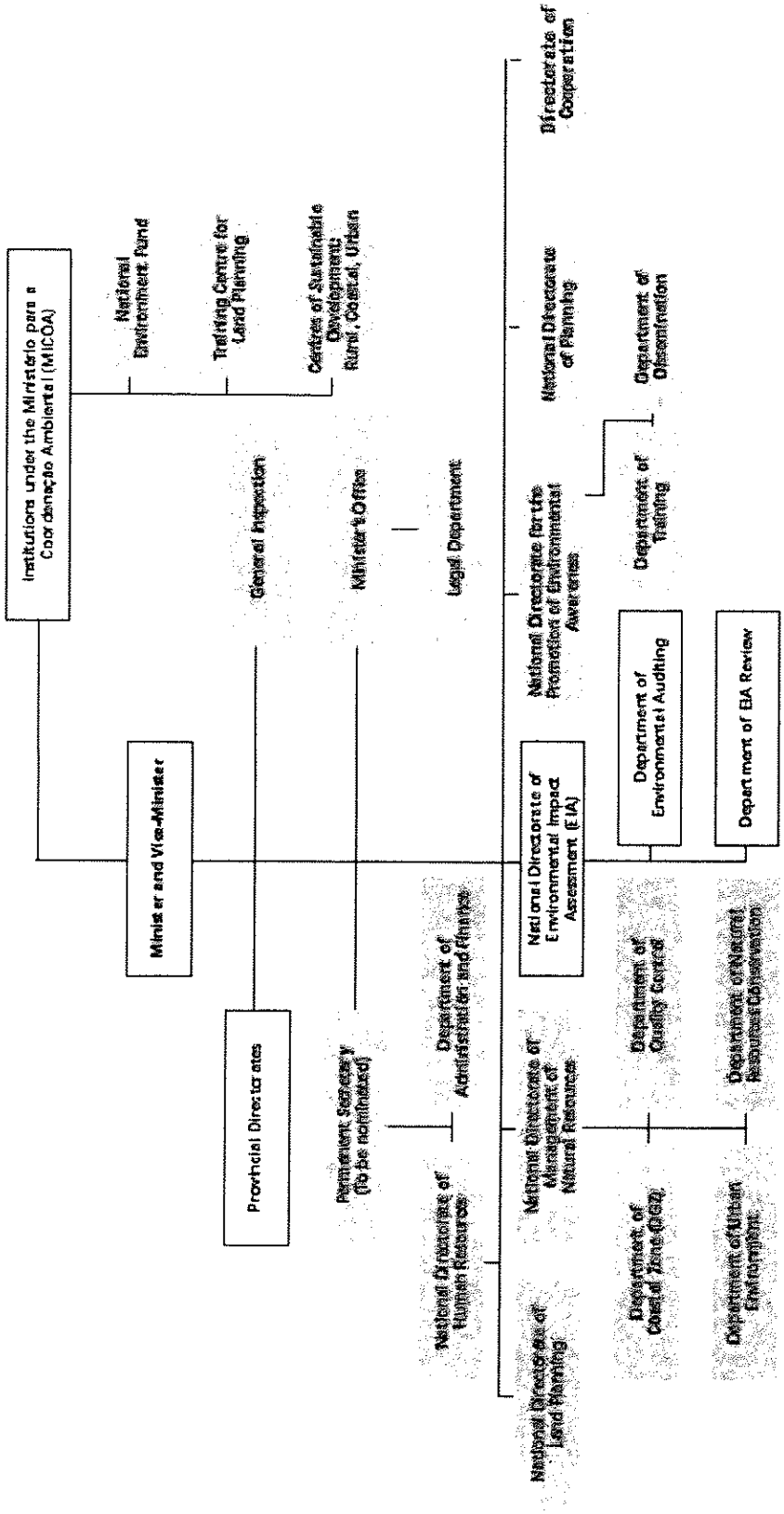
図 4.3-1 に MICOA の組織図を示す。MICOA では効果的に業務を遂行するために、そして政府の地方分権政策に沿って、1995 年から 10 州すべてに州環境問題調整担当局（DRCA）を設置している。DRCA の役割は原則として、EIA 規則や指針をはじめ中央政府から発令された環境法令、政策、計画について地方での実施を促進することである。

4.3.2　環境影響評価制度

環境影響評価（EIA）の規制は MICOA が担当し、EIA の業務指示書の承認と完了した EIA の評価を行い、監査プロセスを実施する。MICOA の中で EIA を担当する部門は、国家環境影響評価局（National Directorate of Environmental Impact Assessment：NDEIA）である。

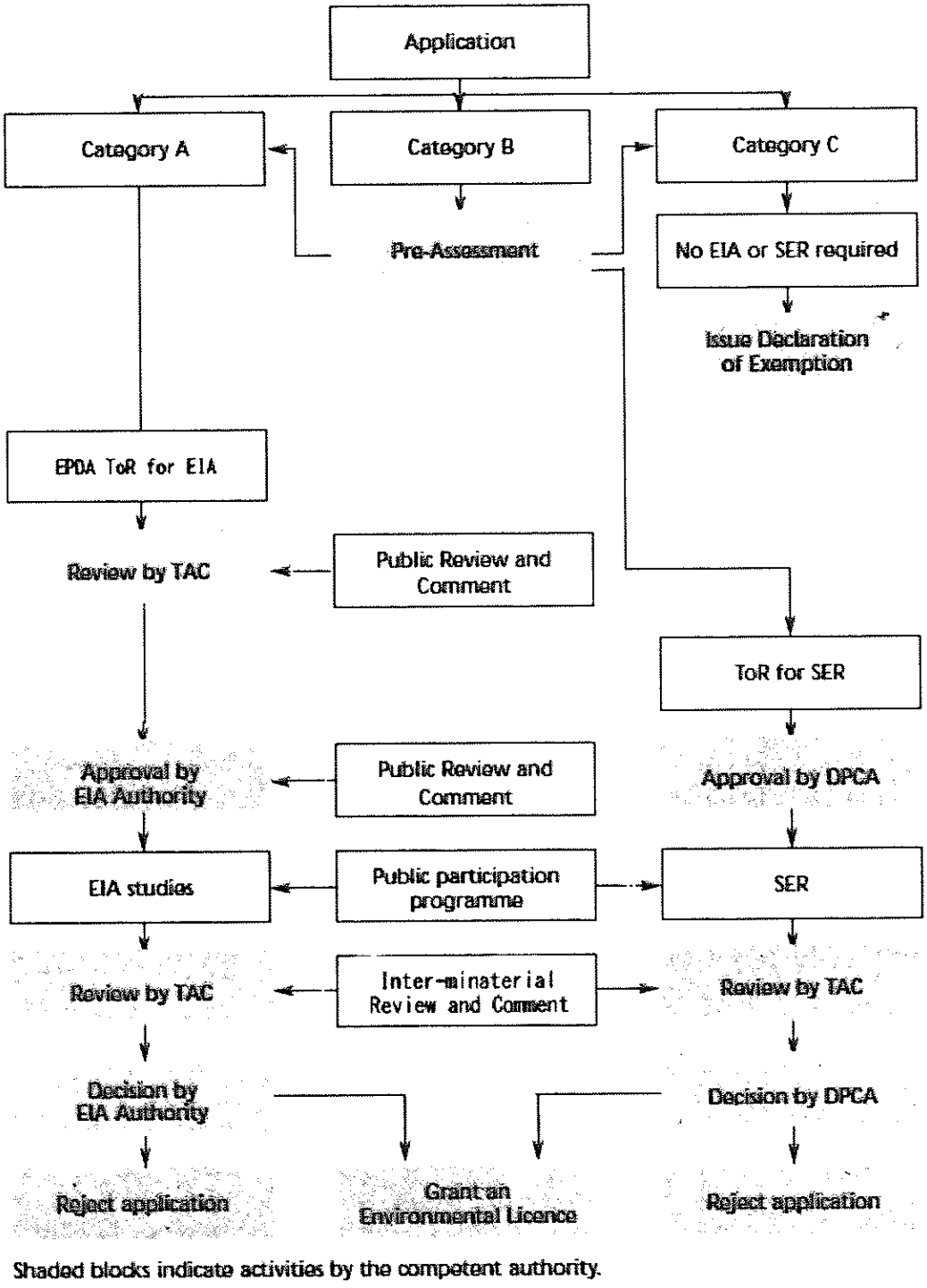
NDEIA は現在、局長を含めた専門家チームからなり、2 つの部門（EIA 評価部と環境監査部）に配属されたこれらの専門家が、局内で発生する業務に柔軟に対処している。また、NDEIA は、開発・投資プロジェクトに関わる他の政府省庁と密に連携を取りながら業務にあたっており、観光、工業、林業、野生動植物を担当する各国家局と基本合意の交渉を行い、了解を取り付ける役割を担っている。

EIA のプロセスは、EIA プロセスに関する規則（政令第 45/2004 号）で定められている（図 4.3-2）。そのプロセスは表 4.3-1 に示すように、プロジェクトの区分（A、B、C）によって若干異なる。



出典：Handbook on Environmental Assessment Legislation in the SADC Region (2007)
（調査団改変）

図 4.3-1　MICOA の組織図



出典：Handbook on Environmental Assessment Legislation in the SADC Region (2007)
（調査団改変）

図 4.3-2　「モ」国の EIA プロセス・フロー

表 4.3-1　必要な EIA プロセス構成要素（プロジェクト区分別）

Component of EIA Process	Category A Projects (EIA required)	Category B Projects (EIA or SER required)	Category C Projects (no EIA or SER required)
Application	Yes	Yes	Yes
Pre-Assessment	No	Yes	No
Environmental Pre-Viability Report and Scope Definition (EPDA)	Yes	No	No
Terms of Reference	Yes	Yes	No
Environmental Impact Assessment (EIA)	Yes	No	No
Simplified Environmental Report (SER)	No	Yes	No
Public Participation Programme	Yes	Maybe	No
Review by Technical Assessment Commission	Yes	Yes	No

出典：Handbook on Environmental Assessment Legislation in the SADC Region (2007)

表 4.3-1 中の EPDA、TOR および SER についての詳細は以下の通りである。

○EPDA（環境存続可能性報告および評価対象範囲設定）

EPDA は、全ての区分 A プロジェクトにおいて必須ステップとなっている。主たる目的は、プロジェクトの欠点の有無を判定し、無ければ、EIA の範囲を定めて業務指示書の構成を決定することである。EPDA には次の情報が含まれていなければならない。

- 主たる問題と結論を中心とした概要報告
- 提案者および主たる EIA コンサルタントの名称と連絡先
- 提案する活動の影響の範囲（直接と間接）、対象区域の開発前の土地利用
- 活動内容。計画、建設、探鉱、閉山（短期プロジェクトの場合）の各段階に関わる行動と、合理的な代替行動の全てを含む
- 生物物理学的、社会経済的環境の説明
- 何らかの決定的な欠点がある場合は、その特定と評価
- 潜在的な環境影響の指摘
- EIA（専門家調査）で詳細調査すべき点の特定と説明

EPDA はポルトガル語で記入し、業務指示書を添えて環境影響評価局へ提出しなければならない。副本の数は事前評価の段階で決められる。提出された EPDA は技術評価委員会（TAC）が審査し、委員会の勧告とともに環境影響評価局へ戻される。

○TOR（業務指示書）

業務指示書（TOR）はEIA ないしはSER の実施プロセスを提示するもので、少なくとも以下の内容を含めなければならない。

- 専門家調査の内容（区分Aプロジェクトのみ）
- プロジェクトの立地、影響範囲、現在の土地利用（区分Bプロジェクトのみ）
- 当該プロジェクトと土地利用計画の適合性（区分Bプロジェクトのみ）
- EIA ないしはSER で調査する合理的代替行動の説明
- プロジェクトライフサイクルの各段階における影響を特定する手法
- 提案する公衆参加プロセスの概要
- 提案者の名称と所在地
- EIA チームのメンバー氏名
- その他、必要に応じて追加情報

区分 A プロジェクトでは、業務指示書を EIA 開始前に環境影響評価局へ提出して承認を得なければならない。区分 B プロジェクトの場合は、DPCA が任命した TAC が審査する。

○SER（簡易環境報告）

SER のための業務指示書に関して州環境問題調整担当局（DPCA）の承認を取り付けたら、提案者はSER を開始し、報告書を提出しなければならない。報告書には、少なくとも以下の情報を含めなければならない。

- 主たる問題と結論を記した概要報告
- 活動の法的・計画上の位置づけ
- 当該活動の立地と内容
- ベースラインとなる環境状況の概説
- 影響の特定と評価
- 影響監視、環境教育、事故防止、不測事態対応計画を含めた環境管理計画
- 調査を実施したチームのメンバー氏名
- 公衆参加プログラムに関する報告書

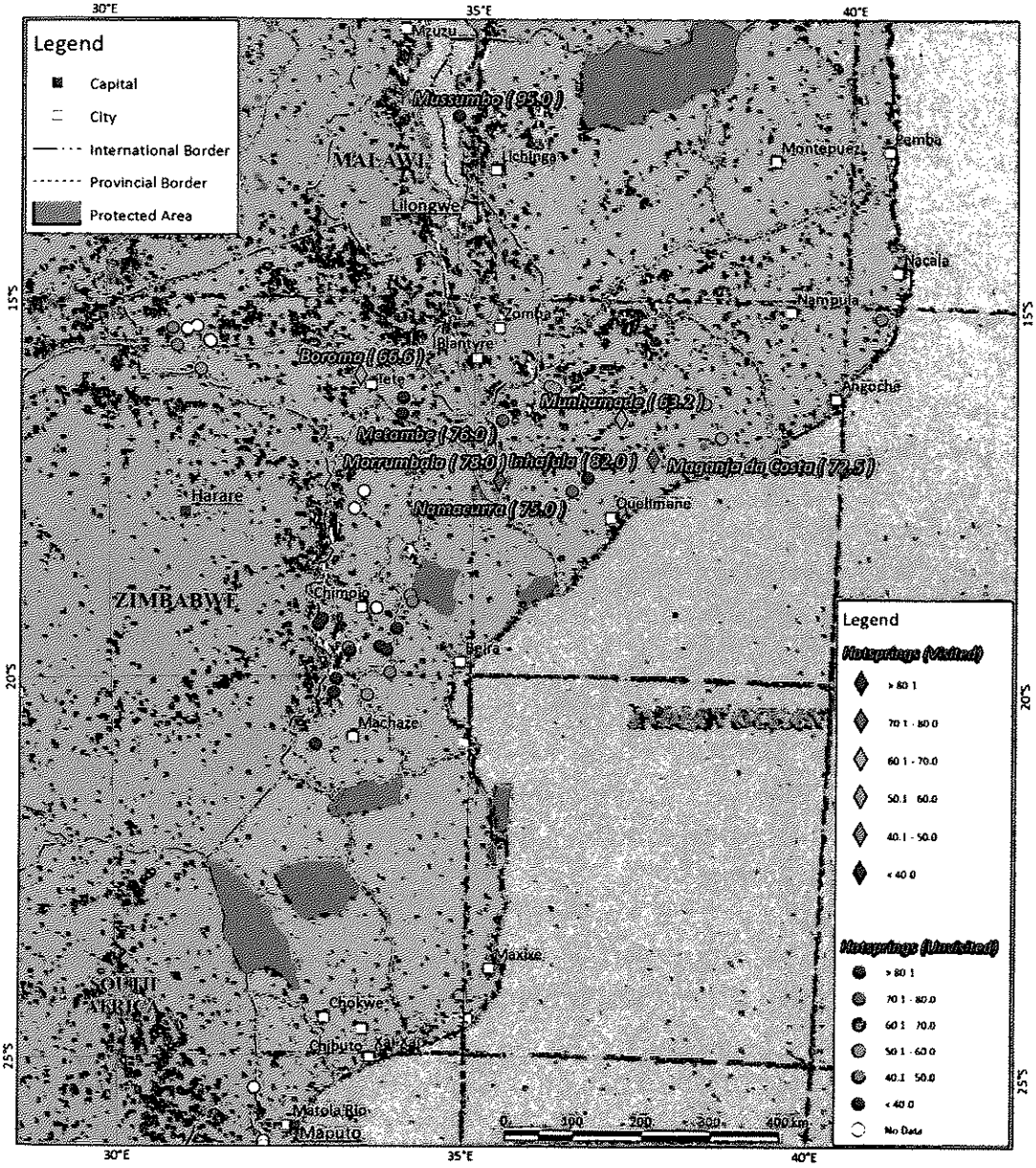
報告書はポルトガル語で記し、管轄の DPCA へ提出しなければならない。副本の数は、業務指示書承認の過程で決められる。

4.3.3　排水等に関する規制

水質汚染、大気汚染、土壌汚染、騒音公害に関して、各々基準が設けられている。事故その他の異常事態により起こる異常排出についても規定がある。そのような場合、排出企業が MICOA からライセンスを取得（事後取得）し、手数料を支払うように義務付けられている。

4.3.4　国立公園および保護区

「モ」国内の国立公園および保護区の位置を図 4.3-3 に示す。



出典：調査団作成

図 4.3-3　「モ」国内の国立公園および保護区位置図

4.4 モザンビーク国における地熱開発に係る情報の総括

4.4.1 地熱開発ポテンシャル評価

(1) 地熱資源ポテンシャル

「モ」国の地質は北部に分布する先カンブリア紀の火山岩・変成岩と、主に南部に分布する Karoo 系以降の堆積物からなる。北部の「マ」国からリフト帯が南北に伸張している。この周辺では地下深部まで断裂が発達し、地熱流体の胚胎に適した構造を有している。その他では Karoo 系堆積盆地周辺、原生代ブロックの再活動域周辺に断裂が発達していると推定される。

Zambezia 州、Tete 州の南側の温泉（Munhamade、Maganja da Costa、Morrumbala、Boroma、Niaondive 等）の泉温は 60℃以上を示し、地熱活動が活発な地域として注目される。現地視察したなかでの最高温度は Morrumbala の 78℃であった。地質構造を考慮するとこれらの温泉は、①リフト帯（Morrumbala）、②原生代ブロックの再活動域（Maganja da Costa、Morrumbala、Boroma、Niaondive）に区分される。温泉の泉質は Morrumbala を除き Cl-SO_4 型を示し、Maganja da Costa では Cl 濃度が高く、地化学温度も高いことから、深部流体が混入している可能性を示している。

最高温度を示す Morrumbala は、温泉は沖積層から湧出していると推定されるが、Malawi リフト帯に位置し、温泉はリフト帯に生じた断裂を通路として上昇しているものと推定される。このリフト帯に沿う地域は温泉の湧出状況、地質状況等から地熱活動の発達が期待される地域として抽出される。北方の Niassa 州の Mussumbo は Malawi リフト帯に位置し、かつ Karoo 堆積盆に位置しており、地下深部まで断裂系が発達すると推定される。温泉の温度は 50℃以下であるが、温泉はニアサ湖中に湧出している。その他の地域の地質はすべて基盤岩の先カンブリア系からなり、原生代ブロックの再活動域に位置している。Maganja da Costa 地区では花崗岩質変成岩の割れ目から湧出し、Tete 州の Boroma 地区でも温泉は破砕帯から湧出するなど、基盤岩中の断裂系が地熱流体の流動に関与していると推定される。

(2) 社会環境状況

「モ」国は広大な国土面積（799,380km^2）に 22.4 百万人が居住し、低い人口密度（28 人/km^2）となっている。国民一人当たりの年間消費電力量は 143kWh/人と低く、それに対応して「モ」国の総発電電力量は 4,025GWh である。Tete 州に位置する Cahora Bassa 水力発電所の発電量が全体の 88%を占めている。

電力需要は大きな伸びが見込まれており、2011 年には前年比 15%を記録している。「モ」国全体の電化率は 18%であり、首都の Maputo を含む南部においては 42%（Maputo 市は 82%）である一方、遠隔地である北部および中部においては 10～20%程度である。
広大な国土面積に対して、全国電力網（ナショナル・グリッド）が地方部まで十分に延伸されておらず、また、南北のグリッドが連系されていないため、都市／地方間および地域間に格差が生じている。

(3) 地熱開発ポテンシャル

地熱資源ポテンシャルおよび社会環境状況から地熱開発ポテンシャルが高い地域として次の地域が抽出される。各地熱開発有望地域の概要を表 4.4-1 にまとめる。

①リフト帯：Morrumbala、Mussumbo
②原生代ブロックの再活動域：Munhamade、Maganja da Costa

4.4.2 地熱開発調査およびドナー活動の状況

「モ」国では 2011 年からポルトガル政府の援助により、エネルギー省が全国を対象として再生可能エネルギーアトラス調査を実施している。地熱に関する調査内容は、地質および地化学的な文献調査、温泉水採取と分析、物理探査（TEM 法）を行い、地熱ポテンシャルの評価を行うものである。「モ」国での温泉水の分析は、これまで系統的に実施されてきた調査がないため、貴重な情報である。物理探査は温泉の温度が高かった次の 5 地域について実施されている。

① Maganja da Costa
② Morrumbala
③ Munhamade
④ Boroma & Nhandue
⑤ Mussumbo

これまでのところ上記以外の地熱調査は実施されていない。

4.4.3 地熱調査実施機関のキャパシティ

モザンビーク地質調査所では 74 名の技術者のうち地質技術者が 13 名在籍しているが、地熱関する技術者はいない。海外地熱技術者養成機関への派遣もこれまでにない。一方、エネルギー省では地質技術者が 1 名在籍しており、再生可能エネルギーアトラス調査でも水力と地熱を担当している。次年度にはこの技術者がアイスランドの地熱研修に派遣される予定である。

4.4.4 JICA による地熱開発に係る支援内容案

「モ」国では現在再生可能エネルギーアトラス調査により、温泉水分析、物理探査（TEM）が実施されている。この調査は地熱資源基礎調査に相当する。また、現在までこの調査以外の地熱関連調査は実施されていない。このため、再生可能エネルギーアトラス調査結果をレビューして地熱開発有望地域を抽出し、地熱資源量賦存調査を実施することが重要である。なお、再生可能エネルギーアトラス調査により実施された物理探査は、限定された狭い範囲での TEM 調査であるため、深部地熱構造解析のための MT 調査を実施して地熱地域の評価を行うことが望まれる。JICA による今後の支援策として以下の内容を提案する。

(1) 再生可能エネルギーアトラス調査（地熱開発基礎調査）のレビュー

①調査報告書の入手
②調査結果についてのヒアリング
③調査結果の評価および地熱開発有望地域の抽出

(2) 地熱資源量賦存調査

再生可能エネルギーアトラス調査のレビューにより抽出された地域において、精密調査を実施する。調査内容はアトラス調査の結果により検討されるが、現段階では次のような内容が考えられる。

①地質調査・地化学調査
②物理探査（MT 調査）
③熱流量坑調査

表 4.4-1　モ国の地熱開発有望地域概要

1	国名		Mozambique	Mozambique	Mozambique	Mozambique
2	地熱地域名		South Zambezia	South Zambezia	South Zambezia	Metangla
3	地区名(温泉名)		Munhamade (63.2℃)	Maganja da Costa (72.5℃)	Morrumbala (78.0℃)	Mussumbo (95.0℃)
4	自治体名		Zambezia州 / Luela県	Zambezia州 / Maganja da Costa県	Zambezia州 / Morrumbala県	Niassa州 / Lago県
5	位置/交通		・Luela県南東部 ・州都Quelimane→470/7/104号線(約100km)→Mocuba→229/492号線(約90km)→同地区	・Maganja da Costa県中央部 ・州都Quelimane→470/7/226号線(約150km)→Maganja→485号線(約15km)→同地区	・Morrumbala県西部 ・州都Quelimane→470/7/472号線(約200km)→Morrumbala→477号線(約30km)→Pinda→448号線(約5km)→同地区	・Lago県南部 ・州都Lichinga→249号線(約100km)→同地区
6	調査/開発状況		再生可能エネルギーアトラス調査(2012-13) ・地化学調査: 温泉分析 ・物理探査: TEM	再生可能エネルギーアトラス調査(2012-13) ・地化学調査: 温泉分析 ・物理探査: TEM	再生可能エネルギーアトラス調査(2012-13) ・地化学調査: 温泉分析 ・物理探査: TEM	再生可能エネルギーアトラス調査(2012-13) ・地化学調査: 温泉分析 ・物理探査: TEM
		Stage	I - 2	I - 2	I - 2	I - 2
7	地熱資源に関する情報					
	1)地質／地質構造		・断層による基盤岩類(原生代ブロック)の再活動域	・断層による基盤岩類(原生代ブロック)の再活動域 ・花崗岩類に断裂・破砕帯発達	・リフト帯の東縁部	・Malawiリフト帯 ・Karoo堆積盆地
	2)地化学	温度・化学性状	・温泉は岩盤の割れ目から温泉ガスを伴って湧出 ・Temp.: 63.2℃, pH: 8.0, EC: 1,323 μS/cm ・泉質: アルカリ性SO_4型	・温泉は花崗岩類の破砕帯や割れ目からガスを伴って湧出、湧出口には硫化鉱物、石英 ・硫黄華あり、弱い硫黄臭がある。 ・Temp.: 72.5℃, pH: 7.5, EC: 8,230 μS/cm ・中性Cl-SO_4型(Cl濃度が高い)	・温泉はコンクリートのプールの底から湧出 ・Temp.: 78℃, pH: 8.3, EC: 837 μS/cm ・泉質: アルカリ性HCO_3型	・温泉は湖周辺、湖中に湧出(DNENR)
		地化学温度	Tqc: 130℃, TNa-K, TNa-K-Ca: <100℃	Tqc: 126℃, TNa-K, TNa-K-Ca: 162-213℃, 部分的に平衡に達している	Tqc: 136℃, TNa-K, TNa-K-Ca: 121-181℃	–
	3)物理探査		TEM (DNENR, 2012-13)	TEM (DNENR, 2012-13)	TEM (DNENR, 2012-13)	TEM (DNENR, 2012-13)
	4)坑井調査		–	–	–	–
	5)地熱構造モデル		基盤岩中の断裂沿いに地熱流体が胚胎している	基盤岩中の断裂沿いに地熱流体が胚胎している	リフト帯を形成する断裂帯に地熱流体が胚胎している可能性がある	リフト帯を形成する断裂帯に地熱流体が胚胎している可能性がある
	6)地熱資源量		–	–	–	–
8	社会環境に関する情報					
	1) 環境制約/国立公園		国立公園外	国立公園外	国立公園外	国立公園外
	2) インフラ等	送電線 / 電化	・229/492号線に沿って南東約3kmのMunhamadeまで敷設済み ・大半は未電化	・485号線に沿って敷設済み ・大半は未電化	・477号線/448号線に沿って敷設済み ・大半は未電化	–
		道路 / 土地利用	・492号線から未舗装路および人道を約3.5km ・村落、耕作地	・485号線から未舗装路および人道を約20km ・村落、耕作地	・448号線から人道を約25m ・村落、耕作地	–
		人口密度 / 人家からの距離	・22人/km^2 (Zambezia州Lugela県) ・0.5-1km(数戸～数十戸)、3km(村落, 数百人)	・36人/km^2 (Zambezia州Maganja da Costa県) ・0.5-1km(数十戸)	・28人/km^2 (Zambezia州Morrumbala県) ・0.5-1km(数十戸)、5km(Pinda: 数百人)	・13人/km^2 (Niassa州Lago県)
		産業他	農業(コメ、トウモロコシ、畜産)	農業(コメ、トウモロコシ、畜産)	農業(コメ、トウモロコシ、畜産)	–
10	調査課題		・地質構造の確認 ・流体流動の検討 ・再生可能エネルギーアトラス調査結果の検討	・地質構造の確認 ・流体流動の検討 ・再生可能エネルギーアトラス調査結果の検討	・地質構造の確認 ・流体流動の検討 ・再生可能エネルギーアトラス調査結果の検討	・地質構造の確認 ・流体流動の検討 ・再生可能エネルギーアトラス調査結果の検討
11	提案する地熱開発調査		①地質調査/地化学調査(温泉水分析) ②物理探査(電磁探査等)	①地質調査/地化学調査(温泉水分析) ②物理探査(電磁探査等)	①地質調査/地化学調査(温泉水分析) ②物理探査(電磁探査等)	①地質調査/地化学調査(温泉水分析) ②物理探査(電磁探査等)
12	現地視察		○	○	○	–
13	備考		–	–	–	–

出典：調査団作成

第5章 ザンビア国

5.1 ザンビア国の地熱資源

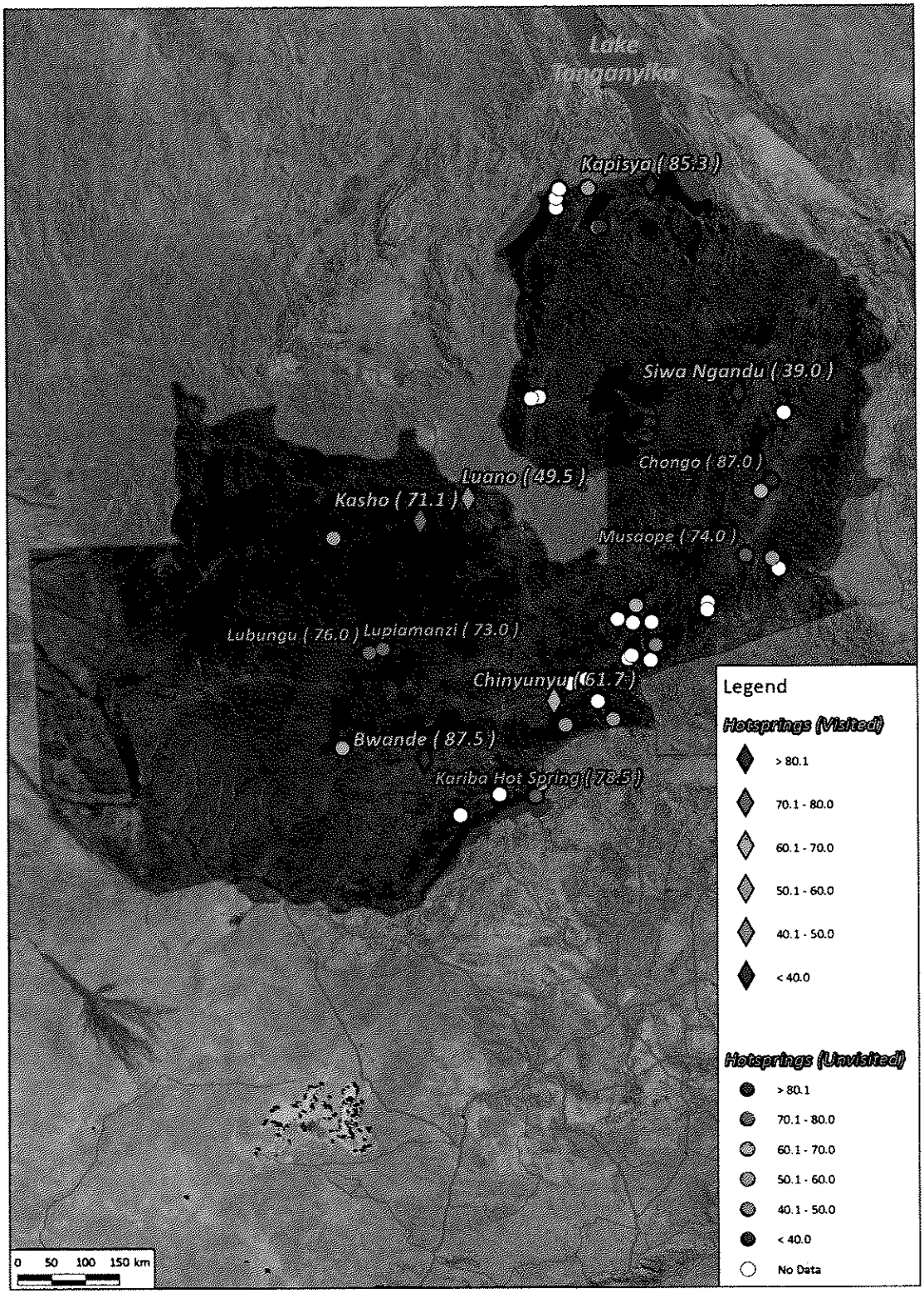
「ザ」国は西部リフトの南西側に位置しており（図 2.1-1)、その地熱活動は Tanganyika 湖周辺および首都ルサカの東方にて活発で、Kapisya、Chinyunyu などの地熱徴候地（温泉湧出地）が知られている。Kapisya は、Tanganyika 湖の西岸に位置し、85.3℃の温泉が湧出している（図 5.1-1)。Kapisya ではイタリア政府の援助により、1987 年に 200kW のパイロット・プラントが調査用に設置された。しかしその後は運転されていない。

5.1.1 地熱資源分布

(1) 地質

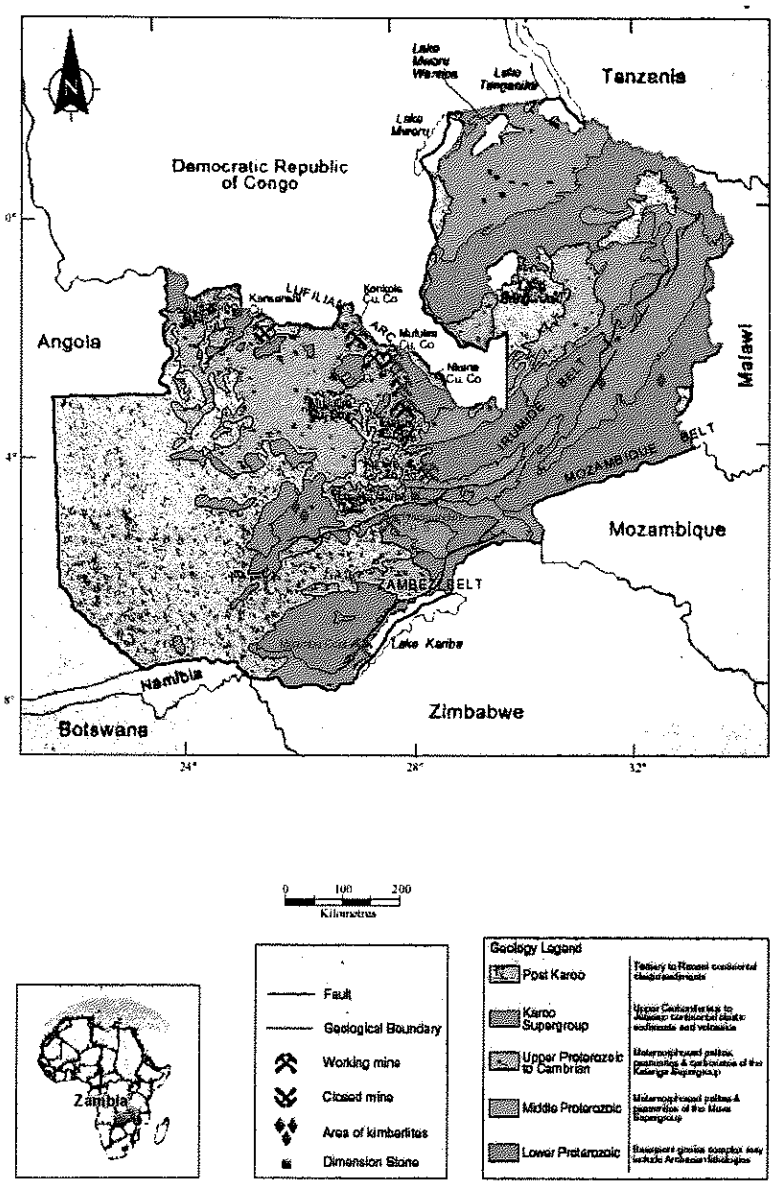
「ザ」国の地質は、基盤岩の花崗岩類と片岩類、先カンブリア紀の Katanga 系、石炭紀～ペルム紀の Karoo 系、および Kalahari 系以降の堆積物から構成される (Sakungo,1988)。基盤岩は二つのユニットからなり、先 Eburnian 造山（20 億年前）の花崗岩類と片岩類、これらを覆う Muva 系からなる（図 5.1-2)。Muva 系は Eburnian 造山以降の堆積岩、変堆積岩類から構成される。基盤岩類は東部、中央部、南部に分布し、「ザ」国の銅山地帯であるカッパーベルトではドーム状の隆起帯を形成している。Katanga 系は海進期の堆積物であり、カッパーベルトはこの Katanga 類層中の Roan 層群に胚胎されている。Karoo 系は地溝帯に関係した大陸内部を埋める堆積物であり、氷河堆積物、湖沼性堆積物などからなり石炭層を狭有している。これらを覆って Kalahari 系以降の風成～河川堆積物が分布する。

地質構造は基盤岩類からなる Bangweulu Block が北東部に分布し、その南西側にはカッパーベルトの隆起帯がある(図 5.1-3)。これらを Ubendian 造山帯、Kibaran 造山帯、Irumide 造山帯が取り囲み、南部には Mozanbique 造山帯がある。Bangwelulu Block の北側にはタンザニアから延びる Tanganyika リフトが分布し、東側には SW リフトが分布する。SW リフトは NE-SW 方向に伸長する Karoo 堆積盆の Luangwa Valley を形成している。



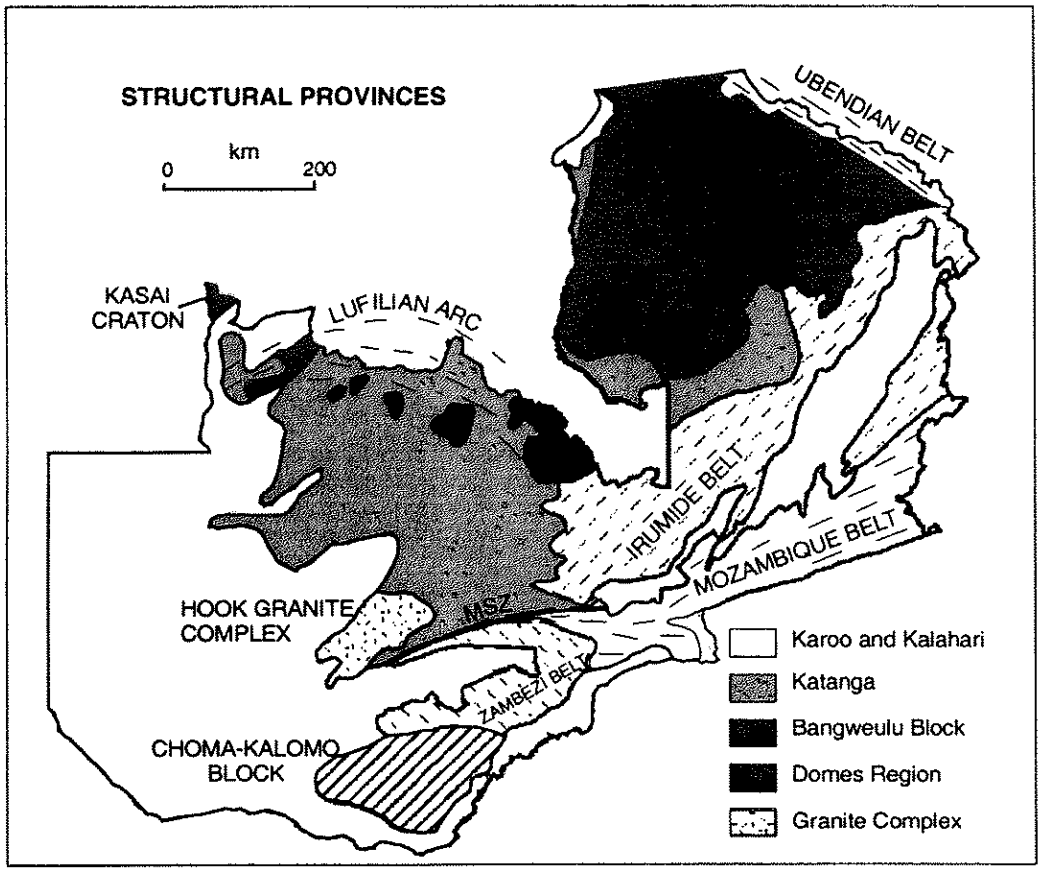
出典：調査団作成

図 5.1-1　「ザ」国位置図



出典：JOGMEC(2005)

図 5.1-2　「ザ」国の地質図

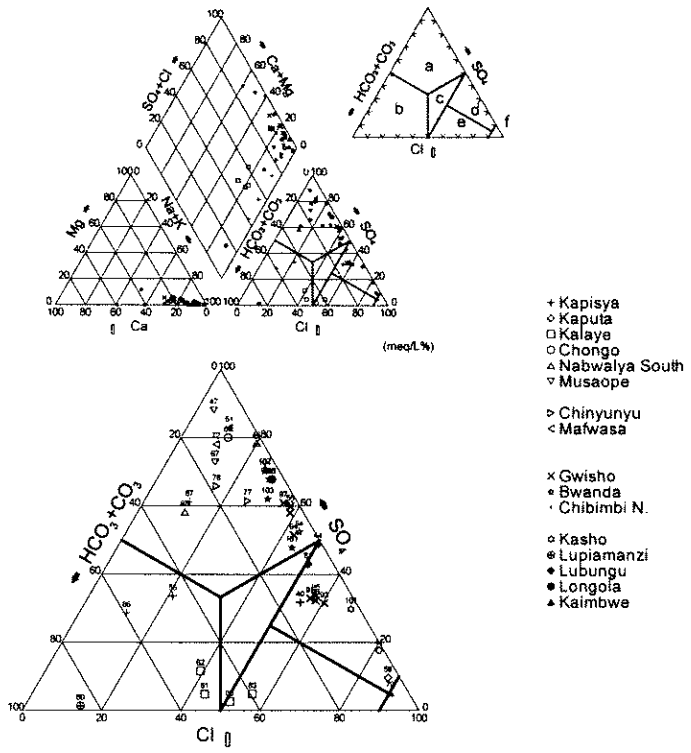


出典：MMMD

図 5.1-3　「ザ」国の地質構造図

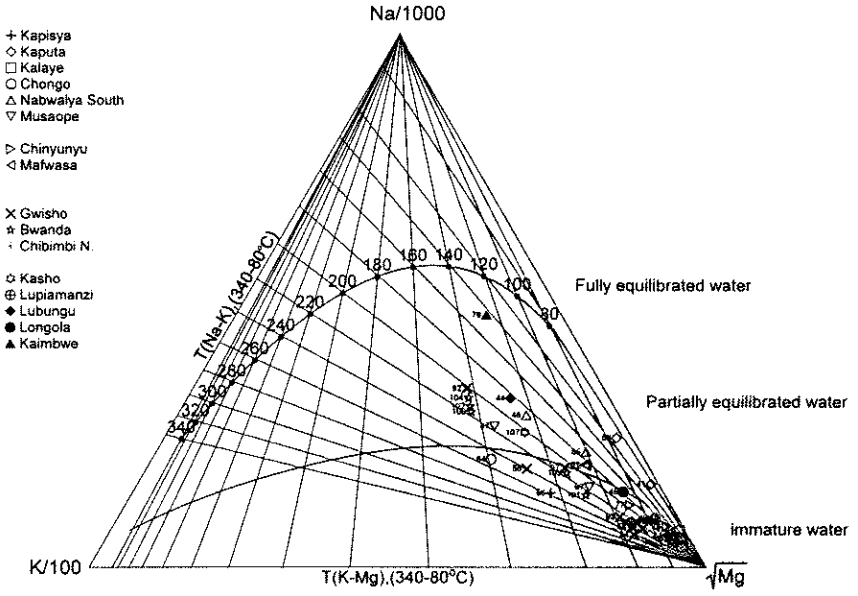
(2) 地熱兆候

「ザ」国では地熱徴候として温泉の湧出が報告されており、主な温泉は北部の Tanganyika リフト周辺、および SW リフトの延長方向に分布する。温泉の化学組成を図 5.1-4 に、Na-K-Mg 組成を図 5.1-5 に示す。主要な温泉の概要を取りまとめたものが表 5.1-1 で、これらについての化学分析値と地化学温度を巻末に示す。なお、以下の記載では温泉の温度、pH、電気伝導度は現地視察を行った温泉では測定した値を示す。



出典：調査団作成

図 5.1-4　「ザ」国の温泉化学組成



出典：調査団作成

図 5.1-5　「ザ」国の温泉 Na-K-Mg 組成図

表 5.1-1　「ザ」国の主要温泉一覧表

Region	Geothermal Field/Area	Hot spring	Temp. (℃)	Cl (ppm)	Chemical Type	Geology	Remarks	Ref.
Nortehn	Northern	Kapisya	85 (85.3)	124	HCO_3	Tanganyika-Rift	Phase II priority area Binary pirot plant (200kW) installed in 1988	1,4
		Kaputa	51	1202	Cl-SO_4		Exploration well drilled(<80m)	1
		Kalaye	51	100	Cl-HCO_3			1
		Siwa Ngandu	(39)	-	-	Bangweulu Block		-
Eastern	North Luangwa	Chongo	87	213	SO_4	SW-Rift (Luangwa Valley)	Phase II priority area	1,4
		Nabwalya S.	67	170	SO_4		Partlially equilibrated water	2
	South Luangwa	Musaope	74	36	SO_4	SW-Rift (Luangwa Valley)	Partlially equilibrated water	2
		Chikoa	64	-	-		Phase II priority area	3,4
South Eastern	Lusaka East	Chinyunyu	61 (61.7)	150	SO_4	SW-Rift Zambeze-Graben	Phase II priority area (73℃) [4]	1,4
		Chongwe	54	-	-			3
		Musensenshi	54	-	-			3
	Lukusashi	Mafwasa	65	48	SO_4		Partlially equilibrated water	1
Southern	Lochinvar	Gwisho	45-72	420-500	SO_4	SW-Rift Zambeze-Graben	Partlially equilibrated water	1
		Bwanda	68-94 (87.5)	260-320	SO_4		Partlially equilibrated water	1
	Kariba	Chibimbi	58	20	SO_4		about 100℃ [3]	1,3
		Kariba	78.5	-	-			1
Weatern/ Cooper belt	Copper belt	Kasho (Casho)	80 (71.1)	1614	Cl-SO_4	Cooper belt-Dome	Phase II priority area Geothermal project area Partlially equilibrated water	1,4
		Luano	(49.5)	-	-	Katanga Group		
	North Kafue	Lupiamanzi	73	72	HCO_3	Karoo-Basin	Phase II priority area Geothermal project area	1,4
		Lubungu	76	801	Cl-SO_4		Phase II priority area Partlially equilibrated water	2,4
	South Kafue	Longola	70	206	SO_4			2
	Kasempa North	Kaimbwe	52	5611	Cl	Katanga Group	Salt production Exploration well drilled (<80m)	1

Reference
1: Sakungo (1988)
2: Martinalli et al. (1995)
3: GSD
4: Musonda and Sikazwe (2005)
(Temp.): Measured temperature in the site visit

出典：調査団作成

(a) 北部地域

北部地域には Kapisya、Kaputa、Kalaye などの温泉がある。この地域には地溝帯形成に伴う断層によって形成された Tanganyika 湖、Mweru 湖などがあり、断層沿いに温泉の湧出が認められる。Kapisya は泉温が 85℃と高く、Tanganyika 湖の西側を規制する断層付近に湧出している。西部リフト帯では、この西縁断層沿いに温泉が湧出しており、この深

部に地熱貯留層が形成されている可能性がある。温泉の泉温は85℃で泉質はHCO_3型である。現在では坑井から温泉が自噴しており、温度は80℃以上で、最高温度は85.3℃である。この地点ではイタリア政府の支援により200kWの小規模なパイロット・プラントが設置されたものの、パイロット・プラントで得られた流体温度が85℃と低いことから、より深部の開発が求められている。国営電力会社であるZambia Electricity Supply Corporation（ZESCO）とケニア国のKenya Electricity Generating Company（KenGen）により地熱構造モデルが検討されており、今後の開発が期待される。この地点では2MWのバイナリーシステムによる発電が可能であると推定されている（Omenda,2010）。

この周辺にはKaputaとKalayeの温泉がある。Kaputaは泉温が51℃で、泉質は$Cl\text{-}SO_4$型でNE-SW系の断層から湧出している。Kalayeは泉温が51℃で、泉質は$Cl\text{-}HCO_3$～HCO_3型の温泉である。また、東部にはSiwa Nganduがあり、泉温は39℃である。現地視察はKapisya、Siwa Nganduで実施した。

(b) 東部地域

この地域はNE-SW方向に伸張するLuangwa Valley地域であり、Karoo系が堆積した地溝帯（SWリフト）が形成されている。主な温泉としてChongo、Nabwalya、Musaope、Chikoaがある。このうちChongoとChikoaはイタリアとの地熱調査で詳細調査の優先地に選定され、Chongoは泉温が87℃と高く、Kapisyaに次ぐ候補地点として位置づけられた。その他の温泉も60℃以上の泉温を有している。

(c) 南東部地域

この地域は首都ルサカの南東部に位置している。NE-SW方向に伸張するSWリフトとモザンビークからE-W方向に伸張するザンベジ堆積盆の交差部に位置する。主要な温泉としてChinyunyu、Mafwasaなどが分布する。ChinyunyuはイタリアとのPhase II調査の優先地域に選定され、Kapisya、Chongoに次ぐ地域とされている。Chinyunyuは泉温が61℃でSO_4型の泉質を示し、Mafwasaは泉温が65℃でSO_4型の泉質を示す。現地視察はChinyunyuにて実施し、泉温は61.3℃である。

(d) 南部地域

この地域は首都ルサカの南西部に位置し、NE-SW方向に伸張するSWリフトの延長部あるいはそれから派生する地質構造分布域に位置している。主要な温泉としてGwisho(72℃)、Bwanda（68-94℃）、Chibimbi(48～58℃）などが分布し、GwishoはKaroo系から湧出している。泉温の最高温度はGwishoが72℃、Bwandeが94℃である。これらの温泉は$Cl\text{-}SO_4$～SO_4型の泉質を示している。また、地質調査所のデータベースによれば、Karibaで78.5℃、Chibinbiで約100℃と報告されているが、現在はダム建設により湖の中に沈んでいるとのことである。現地視察はBwandeで実施し、泉温は80℃前後で最高温度は87.5℃である。

(e) 西部地域／カッパーベルト地域

この地域はカッパーベルトの隆起帯およびその周辺部に位置している。主要な温泉として Kasho（Casho、80℃）、Lupiamanzi（73℃）、Lubungu（77℃）、Longola（70℃）、Kaimbwe（52℃）、Luano（49.5℃）がある。Kasho と Lupiamanzi はイタリアとの調査で詳細調査の優先地域として選定され、現在は地熱開発プロジェクト地域として記載されている。また、Lubungu もイタリアとの調査で詳細調査の優先地域として選定されている。Kaimbwe はカタンガ系の断層から湧出している。

Kasho は泉温 80℃で Cl-SO_4 型の泉質を示し、Lupiamanzi、Lubungu、Longola の泉質はそれぞれ HCO_3 型、Cl-SO_4 型、SO_4 型を示し、湧出温度は 70℃を越える。現地視察は Kasho、Luano で実施し、泉温はそれぞれ 71.1℃、49.5℃である。

(3) 温泉の泉質

主な温泉の泉質は、Kapisya が HCO_3 型、Chongo、Chinyunyu、Bwande、Gwisho が Cl-SO_4～SO_4 型、Kasho が Cl-SO_4 型を示す。Cl 濃度は Bwange、Gwisho、Kasho では 300mg/L 程度以上を示し、深部流体が混入している可能性を示す。

(4) 地化学温度

北部地域の Kapisya および東部の Chongo の地化学温度はシリカ温度（それぞれ Tqc=133℃、137℃）もアルカリ温度も高いが（TNa-K、TNa-K-Ca＞200℃）、図 5.1-5 では平衡に達していない流体の組成を示し、地表付近での天水による希釈が進んでいる可能性がある。また、東部の Nabwalya ではシリカ温度は低いが(Tqc=100℃)、アルカリ温度がやや高い（TNa-K、TNa-K-Ca=127～186℃）。

南東部地域の Chinyunyu もアルカリ温度(TNa-K、TNa-K-Ca)が 133～190℃を示すが、図 5.1-5 では平衡に達していない流体の組成を示し、地表付近での天水による希釈が進んでいる可能性がある。Mafwasa はシリカ温度が<100℃、アルカリ温度が 59～185℃を示す。

南部地域の Gwisho、Bwanda の地化学温度はシリカ温度、アルカリ温度とも比較的高い（Tqc=102～111℃、TNa-K、TNa-K-Ca=162℃～260℃）。

カッパーベルトの Kasho はシリカ温度、アルカリ温度とも高く（Tqc=128℃、TNa-K、TNa-K-Ca=147～202℃）、西部地域の Lupiamanzi もシリカ温度、アルカリ温度ともやや高いが（Tqc=143℃、TNa-K、TNa-K-Ca=106～168℃）、図 5.1-5 では平衡に達していない流体の組成を示し、地表付近での天水による希釈が進んでいる可能性がある。Lubungu、Longola は地化学温度ではシリカ温度（Tqc）が 92～134℃、アルカリ温度（TNa-K、TNa-K-Ca）が 90～188℃を示す。

図 5.1-5 では東部地域の Musaope、Nabwalya、南東部地域の Mafwasa、南部地域の Gwisho、Bwanda、カッパーベルトの Kasho、西部地域の Lubungu が部分的に平衡に達している流体組成を示す。このうち Gwasho、Bwanda、Kasho では他の温泉よりも地下温度がやや高い可能性がある。

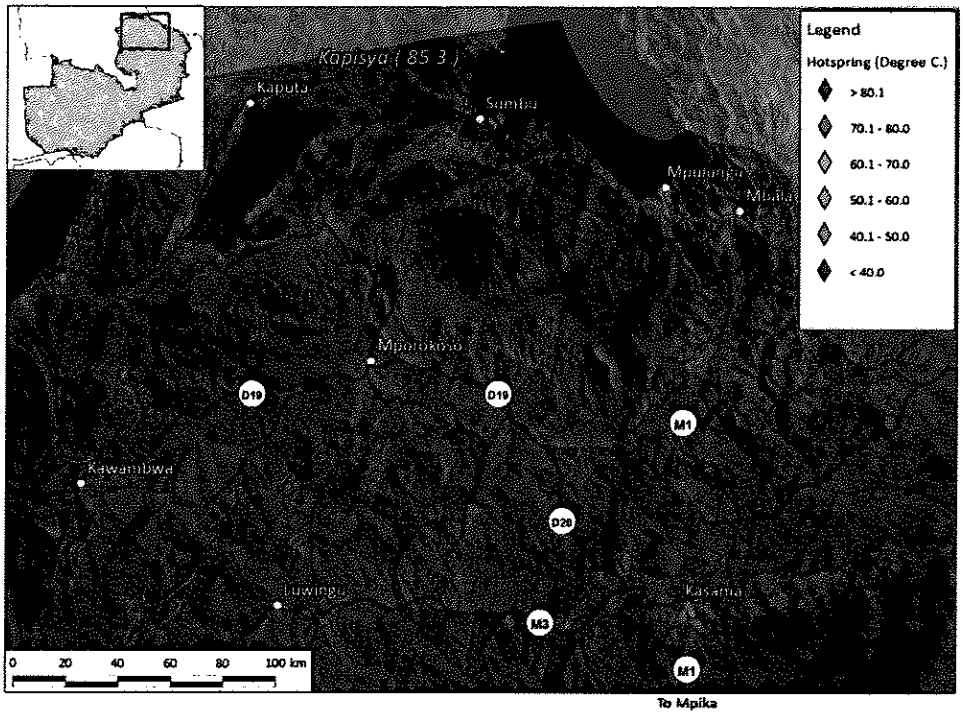
(5) 地熱地域の状況

現地視察結果は次の通りである。表 5.1-2 に現地視察結果を示す。また、Northern 地域の地熱徴候位置図を図 5.1-6 に、Lusaka East 地域および Lochinvar 地域の地熱徴候位置図を図 5.1-7、Copperbelt 地域の地熱徴候位置図を図 5.1-8 に示す。

表 5.1-2　「ザ」国における現地視察結果一覧表

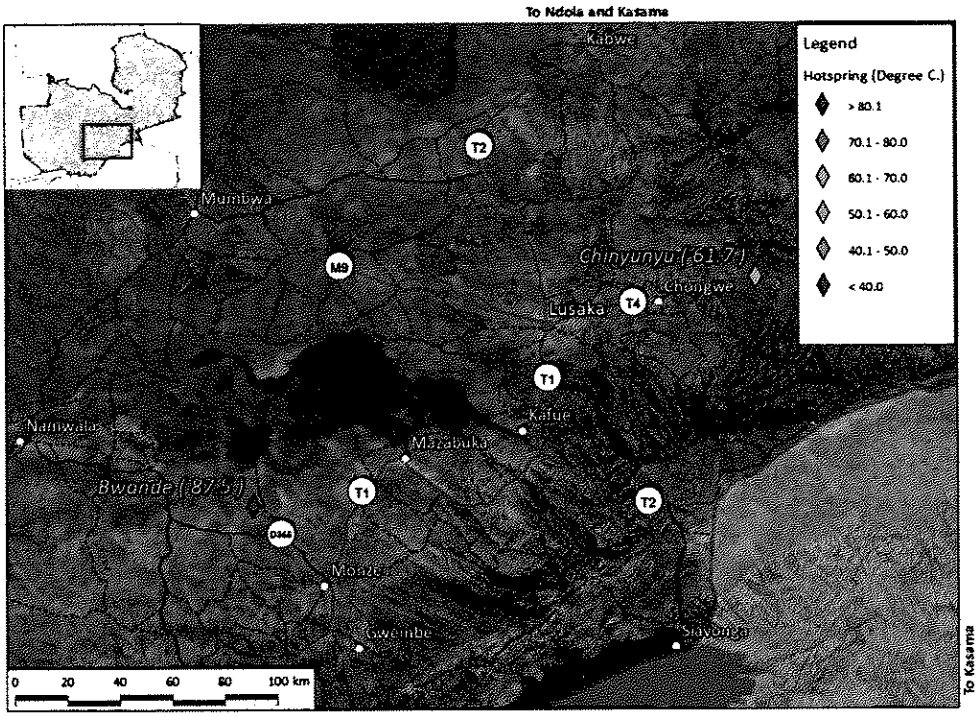
No.	Geothermal Field	Field Name (Hot Spring)	Location		Temp.	pH	Cond.	Remarks
			S	E	(℃)		μS/cm	
1	Northern (ZM-1)	Kapisya	8.388858	30.452674	85.3	8.5	846	With gas bables, Geology: Porphyry
2	Northern (ZM-1)	Siwa Ngandu	11.170763	31.600211	39.0	5.6	21	With gas bables, Geology: Quartzite
3	Lusaka East (ZM-4)	Chinyunyu	15.261319	29.023022	61.7	8.7	761	Bore Hole Geology:
4	Lochinvar (ZM-5)	Bwande	16.010694	27.220531	87.5	7.9	2,710	With gas bables, Geology: Boundary of Basement / Karoo
5	Copperbelt (ZM-7)	Kasho	12.814163	27.258620	71.1	7.4	5,460	With gas bables, Geology:Granitic Gneiss
6	Copperbelt (ZM-7)	Luano	12.522038	27.923239	49.5	6.5	525	With gas bables, Geology:Granitic Gneiss

出典：調査団作成



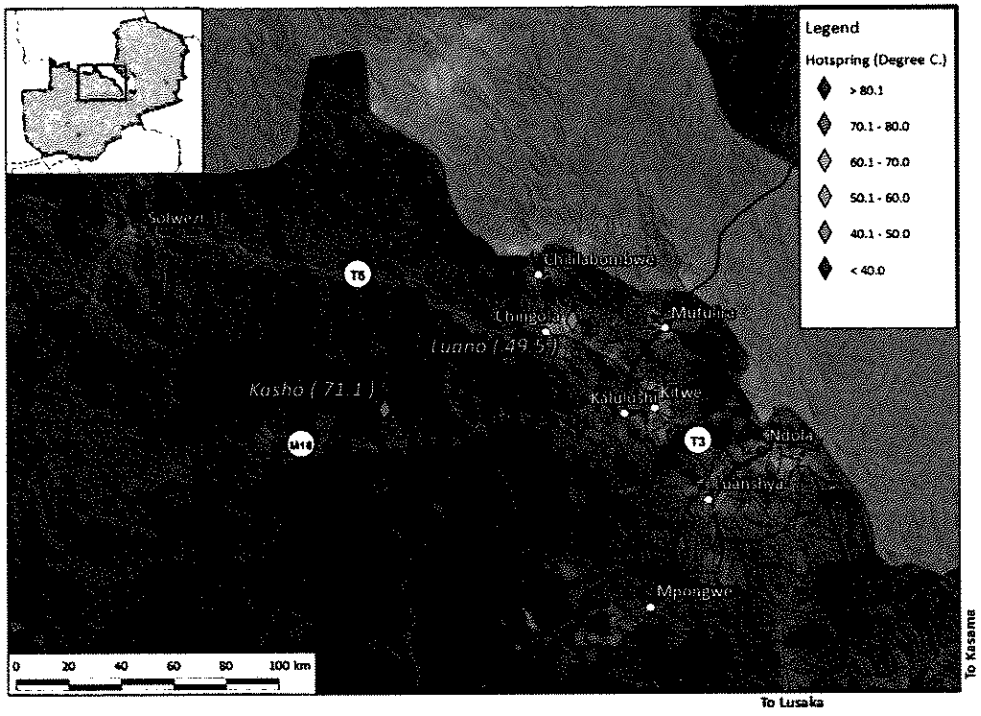
出典：調査団作成

図 5.1-6　Northern 地域の地熱徴候位置図



出典：調査団作成

図 5.1-7　Lusaka East 地域および Lochinvar 地域の地熱徴候位置図



出典：調査団作成

図 5.1-8　Copperbelt 地域の地熱徴候位置図

(a) Kapisya 地区（Northern 地域、ZM-1）

Kapisya 地区は、北部州 Kaputa 県の最北端、Tanganyika 湖の湖畔に位置する。同州の州都 Kasama からは、M3 号線（片側 1 車線、舗装）、D20 号線および D19 号線（いずれも片側 1 車線、未舗装）を約 170km 経て同州 Mporokoso 県の中心都市 Mporokoso へ至り、Mporokoso からは更に未舗装路を約 150km 経て Tanganyika 湖畔の町 Sumbu へと至る。同地区は、Sumbu の北方約 15km の湖畔に位置しているが、Sumbu と同地区を結ぶ道路は悪路でアクセスが困難であるため、船舶が唯一のアクセスとなる。温泉湧出口は、湖岸から人道を約 1.5km 入った山麓に位置しており、周辺には数戸の住居が点在するのみである。一方、同地区の約 5km にわたる湖岸には、約 2,000～3,000 戸の住居が密集しており、一万人前後の住民が生活しているものと思われる。Kapisya においては、1980 年代、イタリア政府の援助により 13 本の坑井(深度 150m 以浅)が掘削され、パイロット・プラントが設置されて試験運転が実施された。その後、ZESCO とケニアの KenGen の調査（2005～2006）により、2MW 以上の発電が可能と評価された（ZESCO は現在も開発を検討している）。現在、5 本の坑井がプラントと接続可能であり、各坑井からは温泉水が自然湧出している。温度は 80℃以上で、最高温度は 85.3℃であった（図 5.1-9）。山地と平野との境界の断層周辺に位置しており、この構造は、衛星画像においても明瞭なリニアメントとして確認できる。送配電線は、Sumbu およびその周辺の観光施設まで敷設されているが、遠隔地である同地区は未電化地域である。周辺地域の産業としては、農業（コメ、トウモロコシ、畜産等）および漁業が中心である。この地域は地熱発電による電力供給に適した地域と思われる。

写真 5.1-1　Kapisya (Northern, ZM-1)
Full view of pilot plant

写真 5.1-2　Kapisya (Northern, ZM-1)
Distant view of pilot plant

写真 5.1-3　Kapisya-5 (Northern, ZM-1)
Temp is 85.3°C at drain.

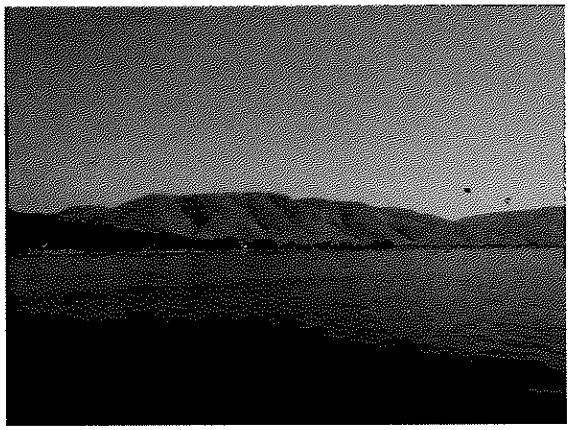
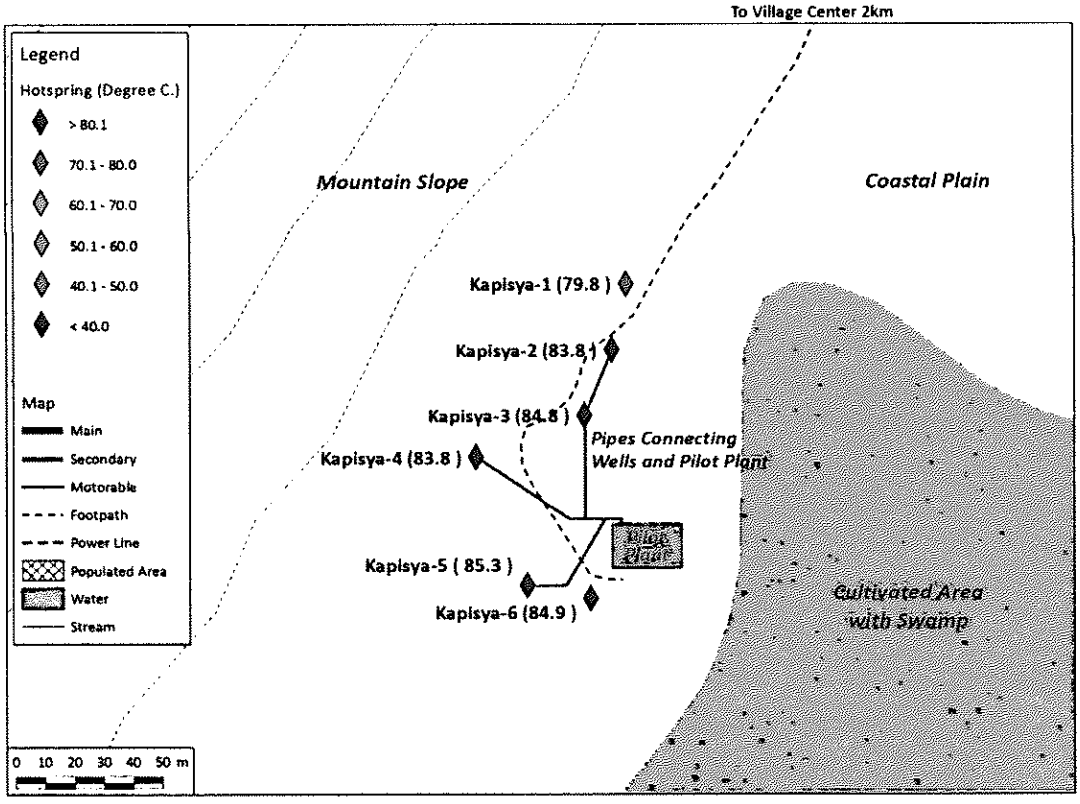


写真 5.1-4　Mountains behind Kapisya
Distant view



出典：調査団作成

図 5.1-9　Kapisya 地区の地熱徴候位置図

(b) Siwa Ngandu 地区（Northern 地域、ZM-1）

本地区は「ザ」国東部に位置しており、半径 20m 程度の露天風呂があり、その底からガスを伴って湧出している。温度は 39℃前後である。現在はロッジの施設として浴用に利用されている。本地域には基盤岩の変成岩類が分布している。

写真 5.1-5　Siwa Ngandu (New)
Temp is 39.0°C at Kapisya Hot Spring Lodge.

(c) Chinyunyu（Lusaka East 地域、ZM-4）

Chinyunyu 地区は、Lusaka 州 Chongwe 県の中央部に位置しており、首都 Lusaka からは、幹線である T4 号線（一部片側 2 車線、舗装）を約 80km 経て同地区へと至る。温泉湧出口は 2 ヶ所あり、それぞれ T4 号線から人道を約 100～500m 入った小河川沿いに位置しており、周辺には主として道路沿いに十数戸～数十戸の住居が点在する。T4 号線の北側に位置する温泉はボーリング孔からガスを伴って湧出し、泉温は 61.7℃である。このボーリング孔から南に 300m 程度のところには、低温(35.1℃)の温泉が湧出している。既述した ZESCO および KenGen による調査では、Kapisya 地区と同様に 2MW 以上の発電が可能と評価され、ZESCO は現在も開発を検討している。本地域の地質は基盤岩類の変成岩類からなる。周辺には NE-SW 方向の破砕帯が分布している。送配電線は敷設されておらず、同地区は未電化地域である。周辺地域の産業としては、農業（コメ、トウモロコシ、畜産等）が中心である。

写真 5.1-6　Chinyunyu
(Lusaka East, ZM-4)
Distant view of hot spring

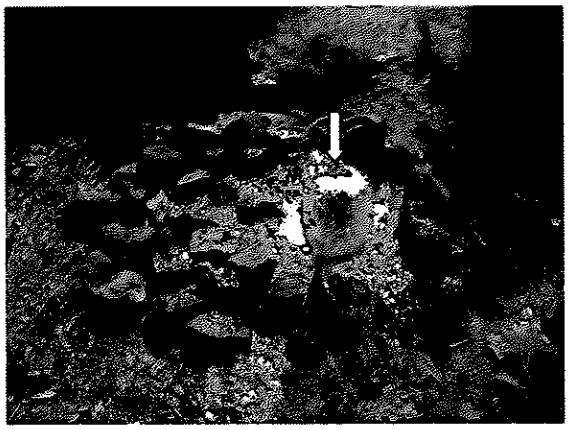


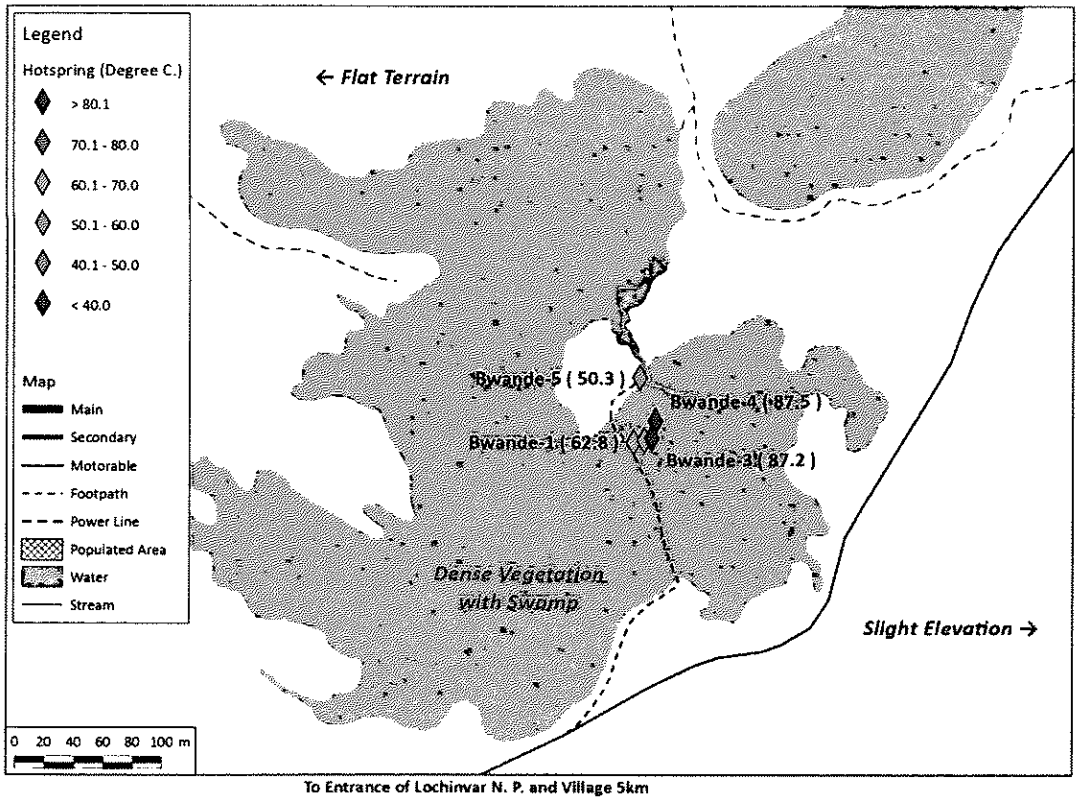
写真 5.1-7　Chinyunyu
(Lusaka East, ZM-4)
Temp is 61.7°C from borehole.

(d) Bwande 地区（Lochinvar 地域、ZM-5）

Bwande 地区は、南部州 Monze 県の中心都市 Monze（人口約 3 万人）の北西約 40km に位置している。首都 Lusaka（人口約 170 万人）からは、幹線道路である T2 号線および T1 号線（一部片側 2 車線、舗装）を約 180km、化学工業および製鉄業が盛んな Kafue（人口約 22 万人）および製糖業が盛んな Mazabuka（人口約 3.5 万人）経て Monze へ至り、D365 号線（片側 1 車線、未舗装）を約 20km 経て同地区へと至る。温泉湧出口は、D365 号線から更に未舗装路を約 20km 入った Lochinvar 国立公園内に位置しており、周辺に住居は存在しないがロッジなどの観光施設が一部存在する。本地区の周辺では Bwande および Gwisho の二ヶ所で温泉が湧出し、「ザ」国のなかでも活発な地熱徴候を示す地域の一つである。現地視察は Bwande において実施した。温泉は 100m×50m の範囲から温泉ガスを伴って 80℃前後の温泉水が湧出している（最高温度は 87.5℃、図 5.1-10）。温泉は基盤岩類と Karoo 系以降の地層との間の断層周辺から湧出している。これらの温泉は、堆積盆周辺の断層に規制されて湧出する温泉タイプの典型とみられ、「ザ」国では多くの温泉がこのタイプである。したがって、このような地表特徴を衛星画像解析によって抽出することにより、「ザ」国の地熱徴候分布を効率よく把握することができるものと考えられる。民間会社である Kalahari GeoEnergy Ltd.はこの地域の探査権を取得し、地質、地化学、物理探査を実施している。本年 7 月から浅部調査井（300m×3 本）を掘削する予定であり、その結果によっては 3000m 級の深部調査井の掘削を計画している。送配電線は、T1 号線および D365 号線に沿って敷設されているが、同地区まで延伸されておらず未電化地域である。周辺地域の産業としては、農業（コメ、トウモロコシ、畜産等）および観光業が中心である。

写真 5.1-8　Bwande (Lochinvar, ZM-5)
Distant view of hot spring

写真 5.1-9　Bwande (Lochinvar, ZM-5)
Temp is 87.5°C at gushing point.

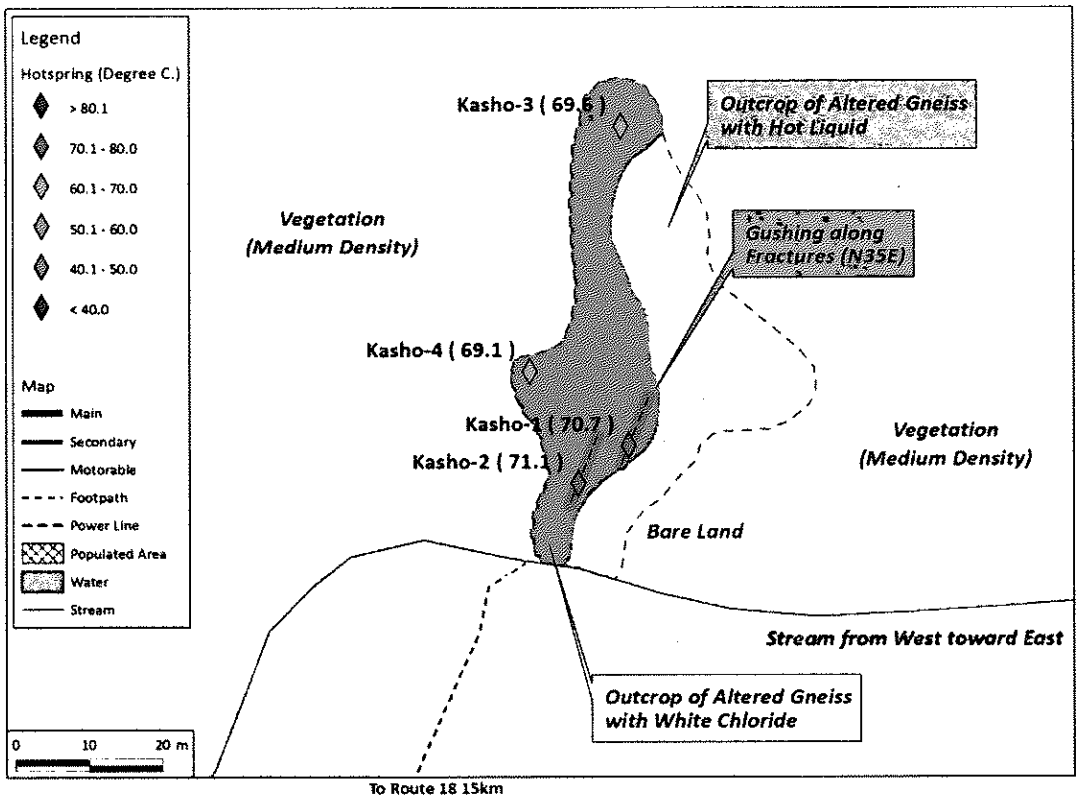


出典：調査団作成

図 5.1-10　Bwande 地区の地熱徴候位置図

(e) Kasho（Copperbelt 地域、ZM-7）

Kasho 地区は、Copperbelt 州 Lufwanyama 県の西部に位置しており、同州の州都 Ndola よりは約 160km の距離である。Ndola からは、幹線道路である T3 号線（一部片側 2 車線、舗装）を約 50km 経て同州の主要都市の一つである Kitwe へ至り、Kitwe からは M18 号線（片側 1 車線、未舗装）を約 110km 経て同地区へと至る。温泉湧出口は、M18 号線から更に未舗装路を約 15km 入った小河川沿いに位置しており、周辺に住居は存在しない。「ザ」国北西部の Copperbelt 地域にはいくつかの温泉が分布しており、Kasho の泉温は最高 71.1℃である。ここでは 70m×50m の範囲から温泉ガスを伴って 60℃前後の温泉水が湧出している。地表には塩類の沈殿物の分布が多数認められる。ここではボーリング孔の跡があり、そこから 70.7℃の温泉が湧出している（図 5.1-11）。送配電線は、M18 号線から St. Mary に向かう未舗装路に沿って敷設されているが、同地区まで延伸されておらず、周辺村落の大半は未電化である。周辺地域の産業としては、農業（コメ、トウモロコシ、畜産等）が中心である。



出典：調査団作成

図 5.1-11　Kasho 地区の地熱徴候位置図

写真 5.1-10　Kasho (Copperbelt, ZM-7)
Hot springs with white chloride

写真 5.1-11　Kasho (Copperbelt, ZM-7)
Temp is 71.1°C at gushing along fracture.

(f)　Luano（Copperbelt 地域、ZM-7）

Chingola 周辺の河川沿いに 49.5℃の温泉が自然湧出している。ここでは 2 カ所の湧出が確認された。

写真 5.1-12　Luano (Copperbelt, ZM-7)
Temp is 49.5°C at gushing point of "Luano 1".

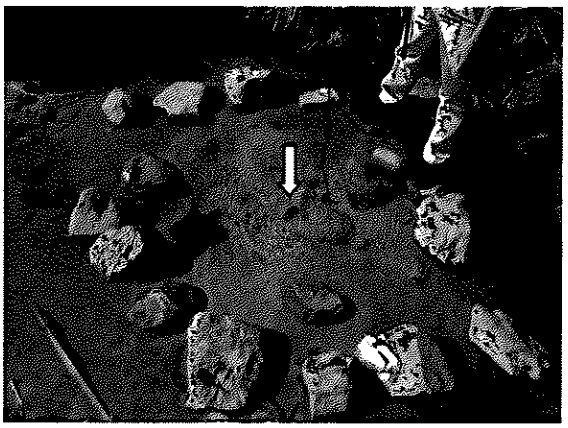


写真 5.1-13　Luano (Copperbelt, ZM-7)
Temp is 48.1°C at north of "Luano 1".

5.1.2　地熱資源開発状況

(1)　イタリアによる協力調査

Musonda and Sikazwe(2005)によれば、「ザ」国における地熱資源開発では 1976 年に Kaimbwe と Kaputa の 2 温泉が研究対象となり、80m の調査井の掘削により高塩濃度のフィードゾーンが捕捉され、その後の地熱調査活動についての情報が提供された。さらに 1984 年にはイタリア政府の援助により「ザ」国における地熱ポテンシャルの調査が開始された。

1986 年からの調査では地質、地化学、写真地質、物探（電気）を含む調査が Phase I の「開発地域選定調査」として実施された。この調査では 90,000km^2 の範囲で 80 地点の温泉が調査され、40 地点のより有望な温泉について詳細調査が実施された。この調査に続く Phase II の調査対象地域として 7 地域（Kasho、Lubungu、Lupiamanzi、Chinyunyu、Chikowa、Kapisya、Chongo）が選定され、詳細調査が実施された。その結果、Kapisya が最適なサイトとして選定された。調査井と生産井併せて 15 孔が 1987 年と 1988 年に 150m 以浅の深度で掘削された。パイロット・プラントはこのうち 4 本の井戸を利用して 1988 年 11 月に設置された。

本調査では送電線の建設は二国間協定でカバーされていなかった。さらに地表で得られた流体の温度は 85℃で発電機設計温度よりも低かった。このためその後は運転されていない（図 5.1-12）。

(2) ZESCO/KenGen による調査

Kombe and Sinyinza（2008）、Omenda（2010）および国営電力会社である ZESCO 社の資料によれば、ZESCO は、ケニア国の KenGen 社とともに、Kapisya プロジェクトの評価を行うための調査を 2005 年～2006 年に実施した。Kapisya までのアクセス道路は修復が必要で、現在はボートによるアクセスが必要である。この調査では地球科学的調査と設備のリハビリ調査が実施された。地球科学的調査では地質調査、地化学調査（土壌ガス：ラドンおよび CO_2 ガス、温泉採取・分析）、物理探査（MT 法、TEM 法）が実施された。その結果、Kapisya の地熱資源は NE 系の断層周辺に存在し、地下流体の温度は 124℃で貯留層は断層により支配されていること、深度 500m の掘削によって必要な地熱流体が得られることが推定された。地熱資源量はモンテカルロシミュレーションが実施され、貯留層範囲として 0.5km～1km で 2MW 以上の発電が可能と推定された。さらにこの資源を確認するため深部への掘削が必要であるとした。また、Kapisya においては断層に伴う地熱構造モデルが作成され、流体流動が検討された（図 5.1-13）。発電設備はオーバーホールが実施され作動可能であるが、発電設備、坑口設備、配管設備など腐食が進んでおり、機能が劣化している。現在では 5 本の坑井（150～200m と推定される）が発電設備と接続が可能な状態で、温泉はそれぞれの坑井から自噴している。

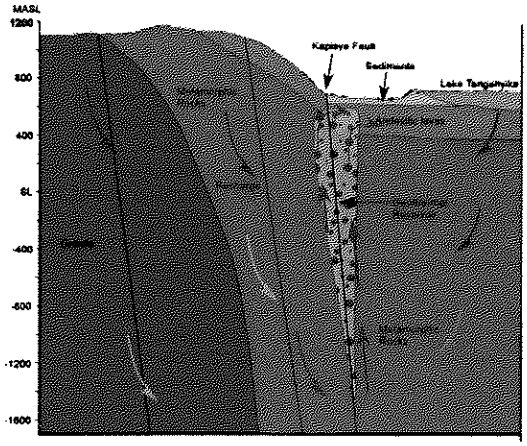
さらに同様な地球科学的調査が Chinyunyu にて実施されて Kapisya と同様な結果が得られ、2MW 以上の発電が可能と推定された。

(3) その他の調査

「ザ」国地質調査所（GSD）のデータベース（MOD: Mineral Occurrences Database）によれば、Kasho と Lupiamanzi において「地熱開発プロジェクト地域」との記載がある。

出典：ZESCO 社資料

図 5.1-12　「ザ」国 Kapisya 地熱発電設備

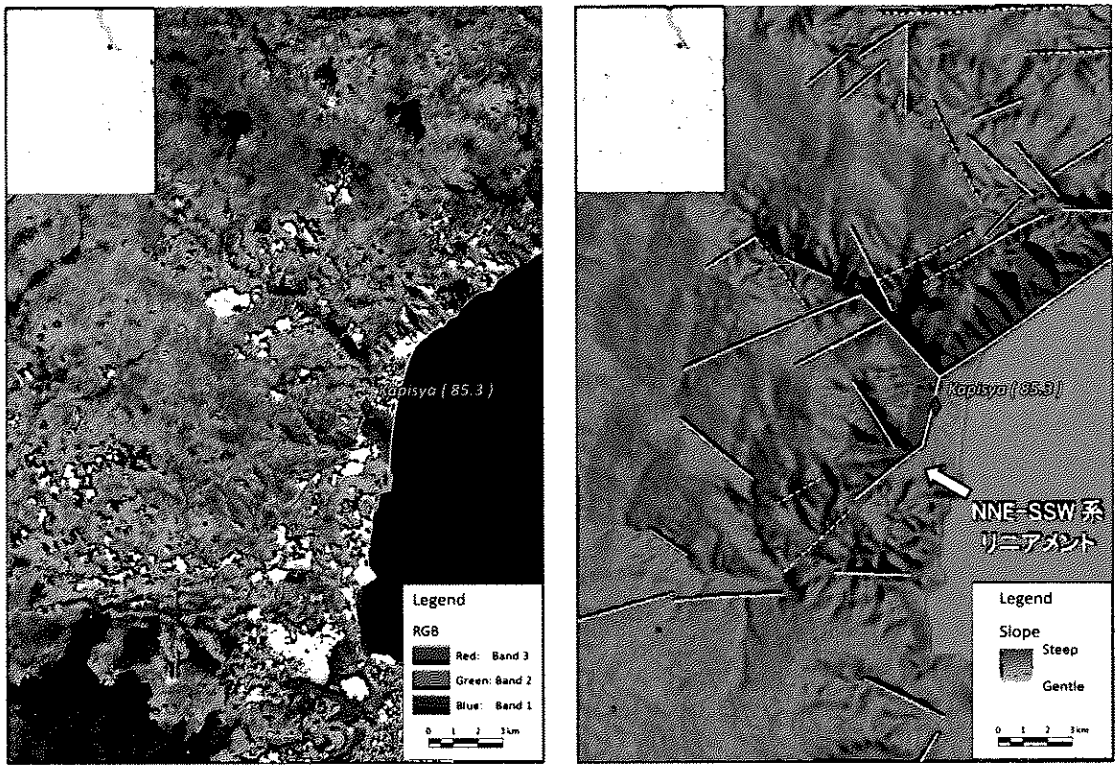


出典：Omenda（2010）

図 5.1-13　「ザ」国 Kapisya 地熱構造

5.1.3　衛星画像データ解析

「マ」国および「モ」同様、現地視察地点周辺の ETM+データ、ASTER データおよび SRTM データを用いて衛星画像を作成し、予察的な解析を実施した。「ザ」国の Kapisya 地区における ASTER フォールス・カラー画像（B:G:R=バンド 1:バンド 2:バンド 3）および SRTM 傾斜量/陰影合成図を図 5.1-14 に示す。



出典：調査団作成

図 5.1-14　「ザ」国・Kapisya 地区における衛星画像

（左：ASTER フォールス・カラー画像、右：SRTM 傾斜量/陰影合成図）

ASTER フォールス・カラー画像においては、Kapisya 東側の湖岸には白色および赤色のピクセルが、西側には褐色～ピンク色のピクセルが分布している。一方の SRTM 傾斜量/陰影合成図においては、Kapisya 東側の湖岸には平坦地形に対応する薄青色～白色のピクセルがわずかに分布しており、西側には起伏地形に対応する青色～濃青色のピクセルが広く分布している。また、起伏地形においては、NE-SW 方向および NW-SE 方向に伸長する陰影が多く観察され、これらは線状の地形特徴（リニアメント）として抽出可能である。

Kapisya 地区の温泉群は、湖畔の平坦地と起伏地形との境界に位置している。なお、この境界は非常に明瞭かつ直線的で、リニアメントとして抽出することが可能あり、NNE-SSW 方向に伸長する断裂帯の存在が推定される。

次に、衛星画像データから温泉の湧出を直接検出するため、ASTER の熱赤外データを用いて地表面温度画像を作成し、地熱徴候に関連する指標と考えられる高温部（熱異常域）の抽出を試みた。Kapisya 地区における ASTER 地表面温度画像を図 5.1-15 に示す。水色～黄色に発色するやや高温のピクセルは、海岸平野および山間部の平坦地に分布する乾燥した裸地（集落および耕作地）や焼畑に対応していることが明らかになった。現地視察において 80℃以上の泉温が確認された温泉湧出口付近において、明瞭な熱異常域を抽出する

ことはできなかった。この理由としては、「マ」国・Chiweta 地区と同様、温泉湧出口が局所的かつその分布域が小規模であるため、抽出対象の規模に対して ASTER の熱赤外データの地上分解能（90m）がやや粗いためと考えることができる。

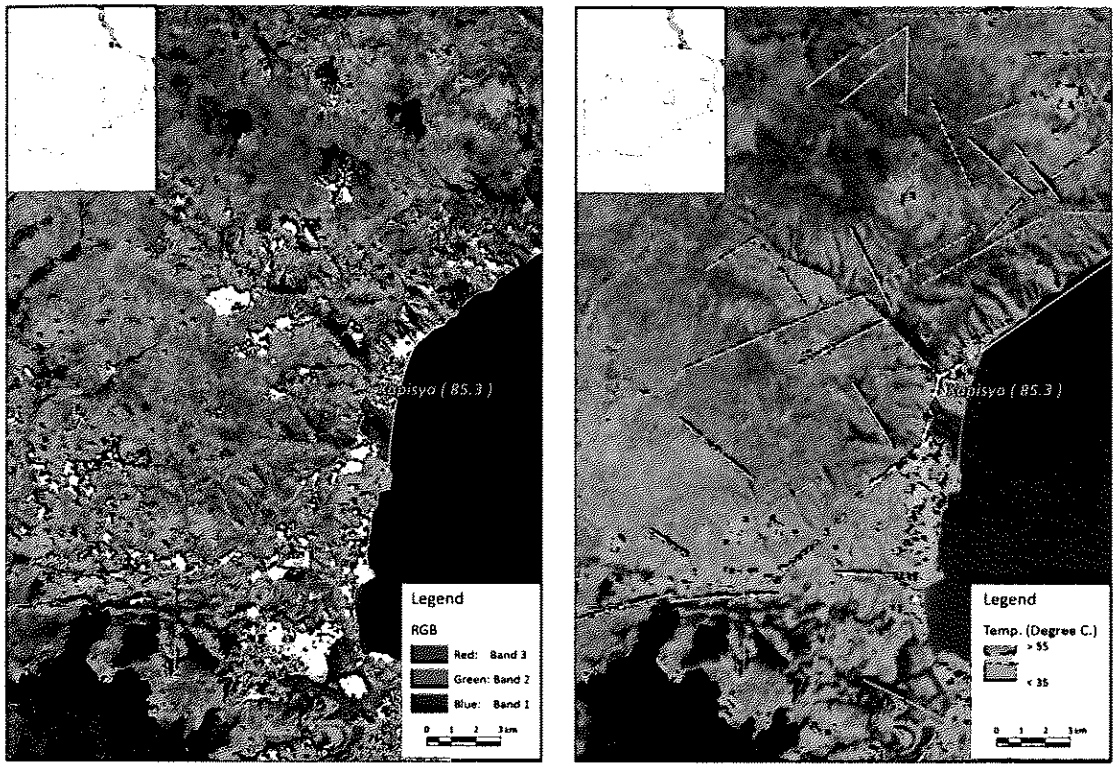


図 5.1-15　「ザ」国・Kapisya 地区における地表面温度画像
（左：ASTER フォールス・カラー画像、右：拡大画像）

また、地熱徴候に関連する熱水変質帯を抽出するため、RBD 法による変質鉱物マッピングを実施した。Kapisya 地区における変質鉱物マッピングの結果を図 5.1-16 に示す。

変質鉱物マッピングの結果、Kapisya 地区の温泉湧出口周辺においては、明瞭な変質帯を抽出することはできなかった。この理由としては、同地区においては掘削孔を用いて地下深部より地熱流体を汲み上げているため、地表付近には熱水変質帯が生成されなかったものと考えられる。しかしながら、Kapisya 地区の周辺においては、リニアメントに沿ってフィリック帯およびプロピリティック帯を構成する変質鉱物が検出されており、これらは断裂系に沿って湧昇した地熱流体により生成された熱水変質帯と考えることができる。以上の結果より、Kapisya 地区およびその周辺地域には比較的多くの地熱徴候が分布しており、本地区は「ザ」国において最も活発な地熱地域の一つであると推定される。

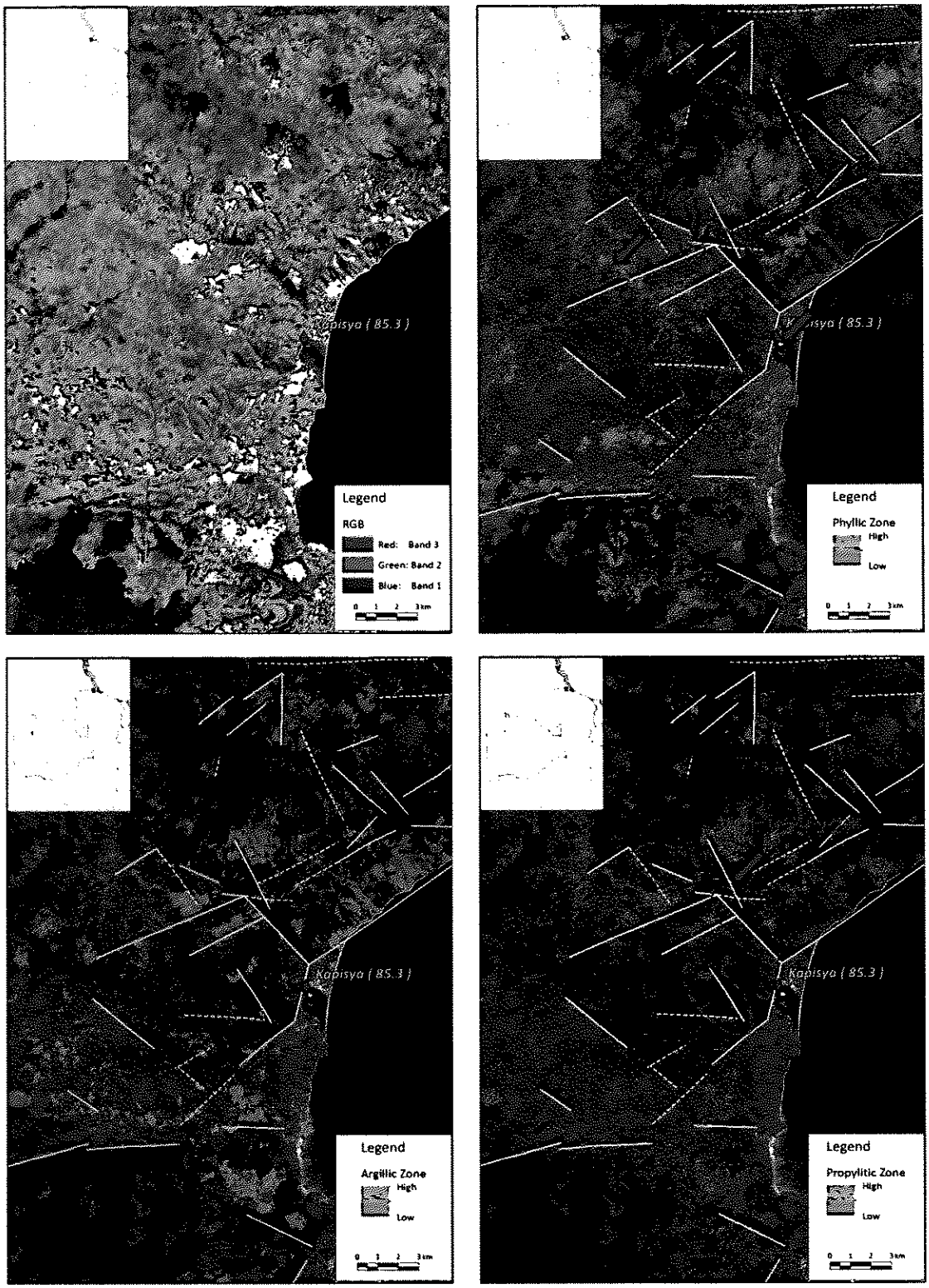


図 5.1-16　「ザ」国・Kapisya 地区における変質鉱物マッピング結果

（左上：ASTER フォールス・カラー画像、右上：フィリック帯、

左上：アージリック帯、右上：プロピリティック帯）

5.2　ザンビア国の電力・エネルギー事情

5.2.1　電力事情

「ザ」国 は、南部アフリカの内陸に位置し、国土面積 752,614 km² に約 1,253 万人（2008 年）が居住しており、人口増加率 2000 年以降年平均 3.0%と再び上昇傾向と推定している。人口密度は、「ザ」国全体では 1980 年の 7.5 人/km² から 1990 年には 9.8 人/ km²、2000 年には 13.1 人/ km² へと増加している。

初期の電力供給は、地方自治体が発電会社から電力を購入し、地域へ供給するという形態であり、例えば、Livingstone 市は Victoria Falls Electricity Board から、Kabwe や Copperbelt は発電設備を持つ鉱山会社から電力を購入し、小売していた。

発電設備を連系して運用するようになったのは 1950 年代に入ってからであり、Kitwe の中央制御所で総出力 120MW の 4 つの発電所が連系され、さらにこの Copperbelt 電力系統は 1956 年には隣国コンゴの Shaba 州の送電系統と 220kV 送電線により連系され、増加しつつあった鉱業用電力需要に対して輸入により安定的に供給できるようになった。

「ザ」国は電気事業を垂直統合して集中的に推進する機関として Zambia Electricity Supply Corporation（現在の ZESCO）を 1969 年に設立し、それまで分散していた発電あるいは配電事業を合併・吸収し、現在に至っている。

5.2.2　送配変電と系統運用の現況

「ザ」国における送電系統図を図 5.2-1に示す。この送電系統の特徴は以下の通りである。

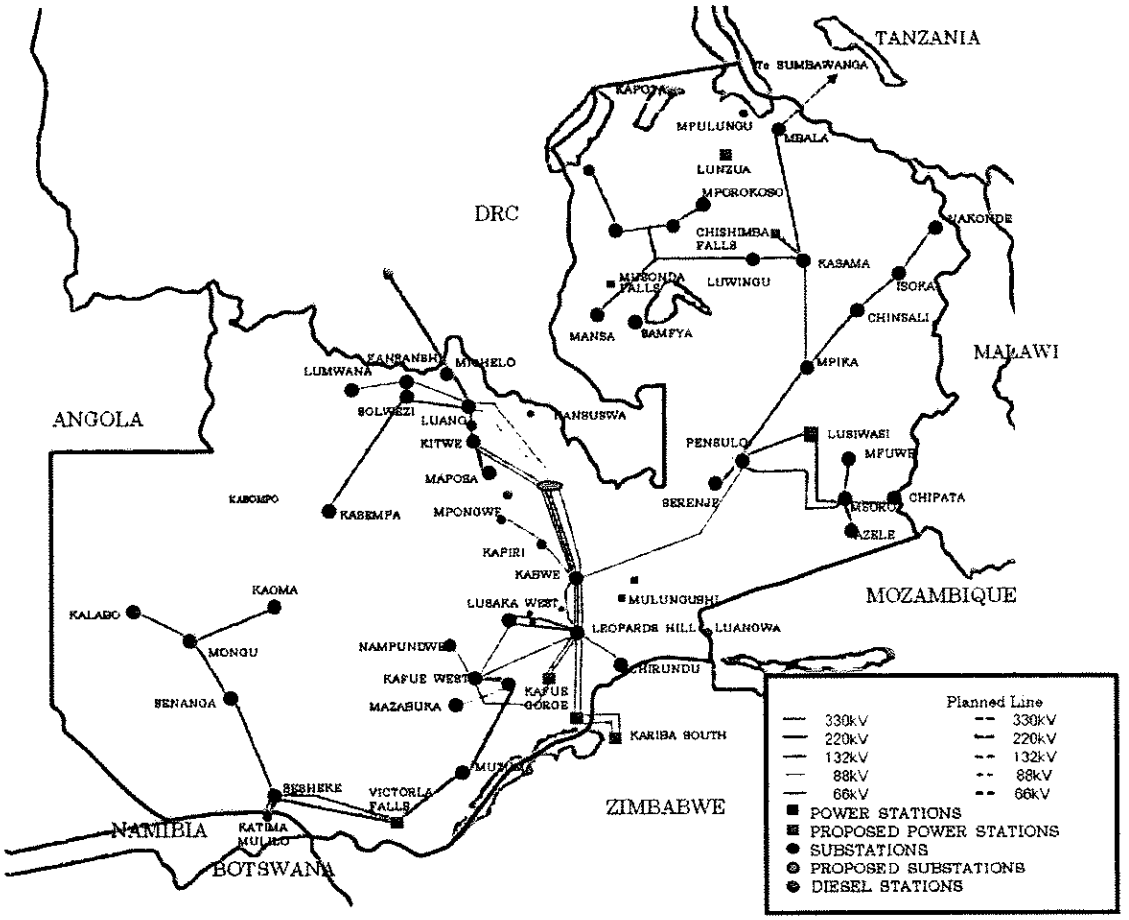
<u>基幹系送電線：</u>

主に 330kV 送電線にて構成。潮流は Kariba North、Kafue Gorge 等南側の大規模水力発電から Copperbelt 方面に向けて長距離重潮流が流れており、北部方面の電圧が低下する傾向にある。2008 年の Luano 変電所を見ると、年間の約 4 割の時間帯において 330kV 母線電圧が基準値（330kV ± 5%）を満たしていなかった。

<u>負荷送電線：</u>

主に 66kV 送電線にて構成。北東部および西部においては長距離の 1 回線送電線が大半であり、N-1 基準を満たせない箇所が多い。また、100km を超える距離を 66 kV 送電線で送電しているため、末端部での電圧変動が大きい。2008 年の Kasama 変電所を例に取ると、年間の 1/3 以上の時間帯において 66kV 母線電圧が基準値（66 kV ± 5%）を満たしていなかった。

これらのことから、「ザ」国送電系統においては電圧対策の検討が重要となっている。送電開発策定の基準は ERB によって定められた Grid Code に従っており、この基準に従って計画が作成されている。「ザ」国においても、系統の信頼性評価方法として世界中で標準的に用いられている N-1 基準を適用し、送電開発計画が進められている。



出典：JICA（2010）

図 5.2-1　「ザ」国の送電系統図

5.2.3　発電設備の現況

「ザ」国の発電設備の設備容量は約 1,860 MW であり、このうち ZESCO が 1,744 MW、Copperbelt Energy Corporation（CEC）が 80 MW、その他民間が 38 MW を占める（表 5.2-1）。このうち、いわゆるナショナル・グリッドに連系しているオン・グリッド電源は ZESCO の 3 箇所の主要水力発電所（Kariba North Bank、Kafue Gorge、Victoria Falls）と Lusiwasi 発電所（表 5.2-2、図 5.2-2）、民間の Lunsemfwa Hydropower Company (LHPC) が所有・運転する Mulungushi 発電所及び Lunsemfwa 発電所のみであり（表 5.2-3）、その他の発電所はマイクロ・グリッドあるいはミニ・グリッドを通じて特定地域に送配電されるものである。

発電電力量を見ると、1977 年度から 2007 年度までの平均年間発電電力量は約 8,400GWh と高稼働な値を示している。

表 5.2-1 「ザ」国の主要発電設備

(Unit: kW)

Station	Installed Capacity	Available Capacity	Remarks
ZESCO			
Main Hydros	**1,713,000**	**1,233,000**	
Kariba North	660,000	510,000	
Kafue Gorge	945,000	615,000	
Victoria Falls	108,000	108,000	
Mini Hydros	**23,750**	**19,750**	
Lusiwasi	12,000	9,000	
Musonda Falls	5,000	5,000	
Chishimba Falls	6,000	5,000	
Lunzua River	750	750	
Diesel	**7,285**	**6,545**	
Mwinilunga	1,360	1,360	
Kabompo	1,160	1,160	
Zambezi	960	960	
Mufumbwe	400	400	
Luangwa	1,280	732	
Lukulu	512	320	
Chama	263	263	
Kaputa	550	550	
Chavuma	800	800	
Total ZESCO	**1,744,035**	**1,259,295**	
CEC	**80,000**	**80,000**	
Bancroft	20,000	20,000	Gas Turbine
Luano	40,000	40,000	Gas Turbine
Luanshya	10,000	10,000	Gas Turbine
Mufulira	10,000	10,000	Gas Turbine
Lunsemfwa	**38,000**	**38,000**	
Lunsemfwa	18,000	18,000	Hydro
Mulungushi	20,000	20,000	Hydro
Total	**1,862,035**	**1,377,295**	

(Source) Statistics Yearbook of Electric Energy 2007/08, ZESCO

表 5.2-2 ZESCO 管理水力発電設備（2008 年 3 月現在）

Power Station	Installed Capacity (MW)	Location
Kariba North Bank	660 (720)*	Zambezi River
Kafue Gorge	945 (990)*	Kafue River
Victoria Falls	108	Zambezi River
Sub Total	1,723	
Mini Hydropower Station		
Lusiwasi	12	Northern Province
Musonda Fall	5	Northern Province/ Luapula Province
Chishimba Fall	6	Northern Province
Lunzua River	0.75	Northern Province
Sub Total	23.75	
Total	1,746.75	

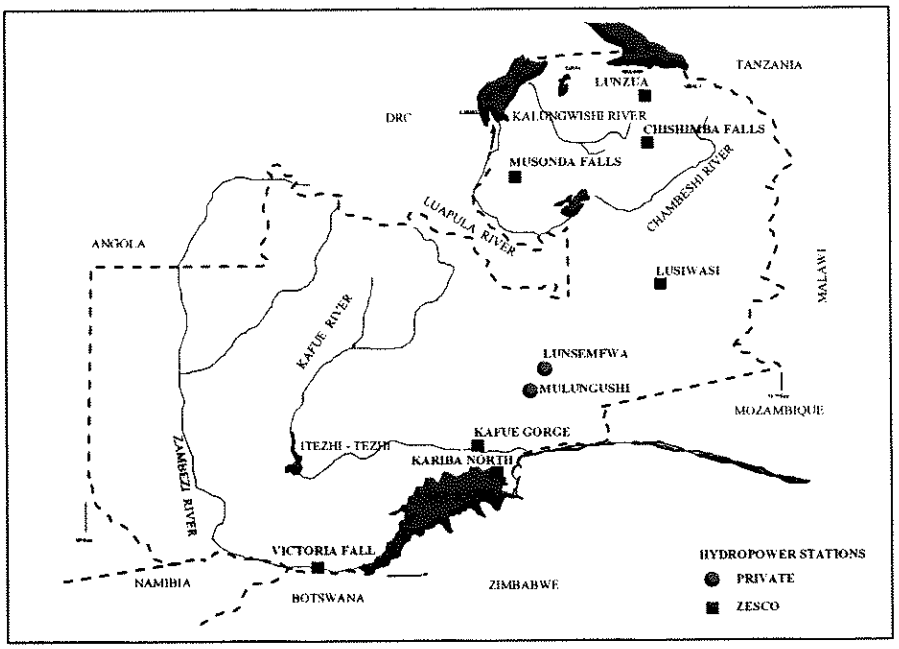
* Values after rehabilitation.

(Source)ZESCO, Statistics Year Book of Electric Energy 2007/2008

表 5.2-3　「ザ」国における民間水力発電設備（2008 年 3 月現在）

Power Station	Installed Capacity (MW)	Location	Ownership
Lunsemfwa	18	Central Province	LHPC
Mulungushi	20	Central Province	LHPC
Total	38		

(Source) ZESCO, Statistics Year Book of Electric Energy 2007/08

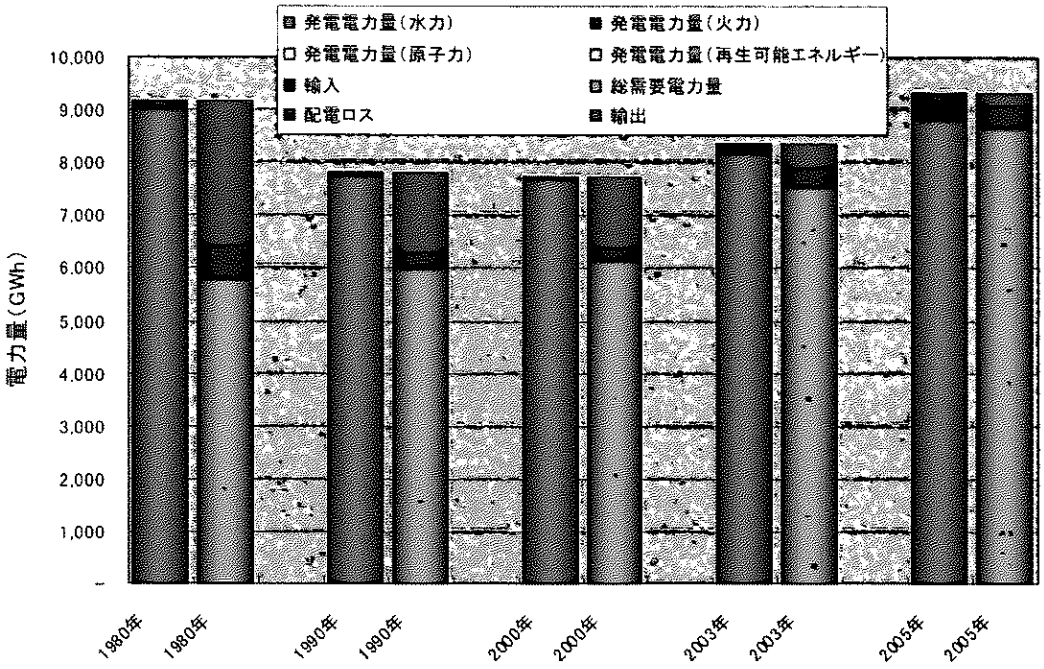


出典：JICA（2010）

図 5.2-2　ZESCO および民間の管理する水力発電設備位置図

5.2.4　電力需給の現況

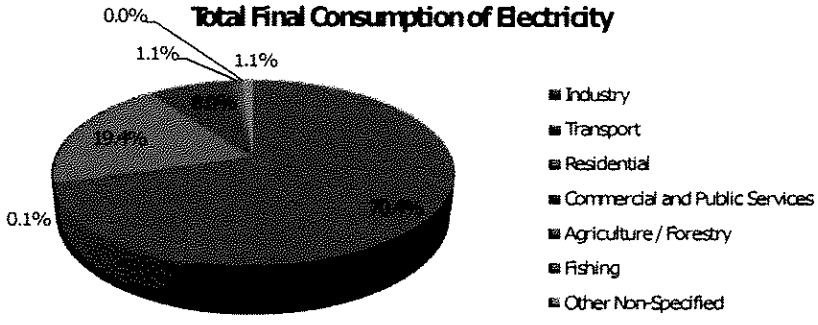
産業構造の劇的な変化等が遠因となり、1980 年以降現在まで総需要電力量はほぼ横ばいとなっている。2005 年現在の総需要は 9.3TWh。電力供給については、2005 年において約 95%を水力発電でまかなっており（図 5.2-3）、残りの 5%は輸入でカバーしている。一人当たりの年間電力消費量は 620kWh。1980 年代から 2000 年の前半まで周辺国に電力を輸出していたが、2005 年の電力輸出量は 1980 年のわずか 8%まで落ち込んでいる。



出典：JICA（2008）

図 5.2-3　「ザ」国の電力バランス

また、図 5.2-4 の通り、電力消費のほとんどは工業セクターが占めており、一方、民政消費は 19.4%に留っている。

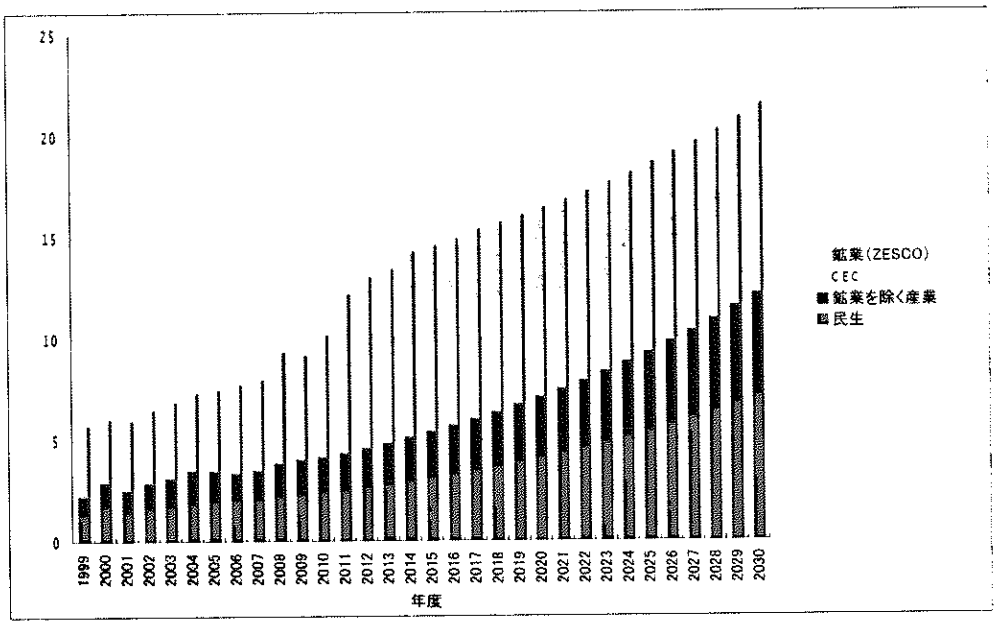


出典：JICA（2010）

図 5.2-4　「ザ」国のセクター別最終電力消費割合

5.2.5　電力需要想定

2007 年度実績の電力量総需要 81 億 kWh（8.1TWh）は 2020 年度で 166 億 kWh（16.6TWh）、2030 年度には 216 億 kWh（21.6TWh）まで拡大すると予想される（図 5.2-5）。その間の伸び率を見ると、2007 年度から 2020 年度までの向こう 13 年間の平均値が年率 5.7%、2030 年度までの 23 年間では年率 4.4%である。ちなみに、1999～2007 年度の実績は年率 4.1%の伸びであった。



出典：JICA（2010）

図 5.2-5　「ザ」国の電力需要予測

5.2.6　電力開発計画

(1) 発電プロジェクト

現在の発電可能設備容量は 1,841MW に対し、ピーク需要は 1,800MW 以上である。2015 年には需要が 2,400MW に達するものと予想されている。これらの需要に対応するための新規の発電所建設プロジェクトの計画概要を表 5.2-4 に示す。

上記の新規発電所の建設以外に、既存の発電所の改修も計画されており、その主なものは以下の 3 つである。

- Kafue Gorge 水力発電所：　900MW から 990MW への出力アップ
- Victoria Falls 水力発電所：　機器の入れ替えによる 108MW のフル出力
- Karia North Bank 水力発電所：　600MW から 720MW への出力アップ

表 5.2-4　建設中および計画中の主要発電プロジェクト

	プロジェクト	設置容量 (MW)	事業規模 (MUSD)	進捗状況	運転開始予定時期
1	Kariba North Bank 水力発電所拡張計画（ZESCO）	360	420	機器の据付作業中。	2013/2014
2	Itezhi-Tezhi 水力発電所（ZESCO /TATA）	120	232	土木工事が開始された。	2015
3	Kafue Gorge Lower 水力発電所（ZESCO/SINOHYDRO/CAD）	750	2,000	計画準備中。	2018
4	Maamba Collieries 水力発電所（IPP：CFPP）	300	?	2014-2016 に建設予定。	2017?
5	Lower Maamba 水力発電所（IPP：EMCO）	300	?	2015-2017 に建設予定。	2018?

出典：ZESCO

(2) 送配電プロジェクト

計画中の送配電プロジェクトの主要なものを表 5.2-5 に示す。

表 5.2-5　建設中および計画中の主要送配電プロジェクト

	プロジェクト	背景等	事業規模 (MUSD)	進捗状況等
1	Kariba North Bank 水力発電所から配電する送電線の増設	Kariba North Bank 水力発電所の拡張に伴う送電能力の増強。	62	建設中。建設期間は 18 カ月。
2	ITT- Mumbwa -Lusaka West 間の送電線建設	新設される Itezhi-Tezhi（ITT）水力発電所から Mumbwa 及び Lusaka West への送電用。	133	EIA が承認された。220kv line を 142 km、330kv line を 134 km。
3	Pensulo-Kasama、Pensulo-Chipata 送電線建設	北部、Muchinga 及び東部州への電力供給を増やすため。	334	送電線ルートの調査は完了。EPC 契約済。
4	Kafue Town-Victoria Falls 間の 220kv 送電線のアップグレード	Kafue と Livingstone 間（348km）の送電能力の増強。220kv line を 330kv にアップグレード。	100	コンサルタント契約は完了。建設期間は 18 カ月。
5	北西部州をナショナル・グリッドに連結するための送電線建設	安価で安定した電力を需要が増えている北西部州に供給するため。	140	各種調査を実施中。

出典：ZESCO

5.3　ザンビア国における環境社会配慮

5.3.1　政府関係機関

ザンビア環境管理庁（Zambia Environmental Management Agency：ZEMA）は、新しい環境管理法（Environmental Management Act）の下で創設された国家機関で、2011 年に前身の Environmental Council of Zambia（ECZ、1992 年に創設）から改名されたものである。ZEMA は、人の健康と福祉、および環境を提供するために環境を保護し、汚染を管理することを任務としている。図 5.3-1 に ZEMA の組織図を示す。

5.3.2　環境影響評価制度

「ザ」国の環境管理は環境影響評価（EIA）から始まり、その後、様々な法令に従ってライセンス交付と法規遵守の監視が続く。ZEMA は、EIA 法令を通して、環境影響評価が必要であるプロジェクト、計画および政策を特定する権限が与えられている。

EIA は、提案されたプロジェクトに対する環境内での諸条件の徹底的な調査であり、それに続いてプロジェクトが環境に与えるであろう、全体的な影響の評価が行うものである。

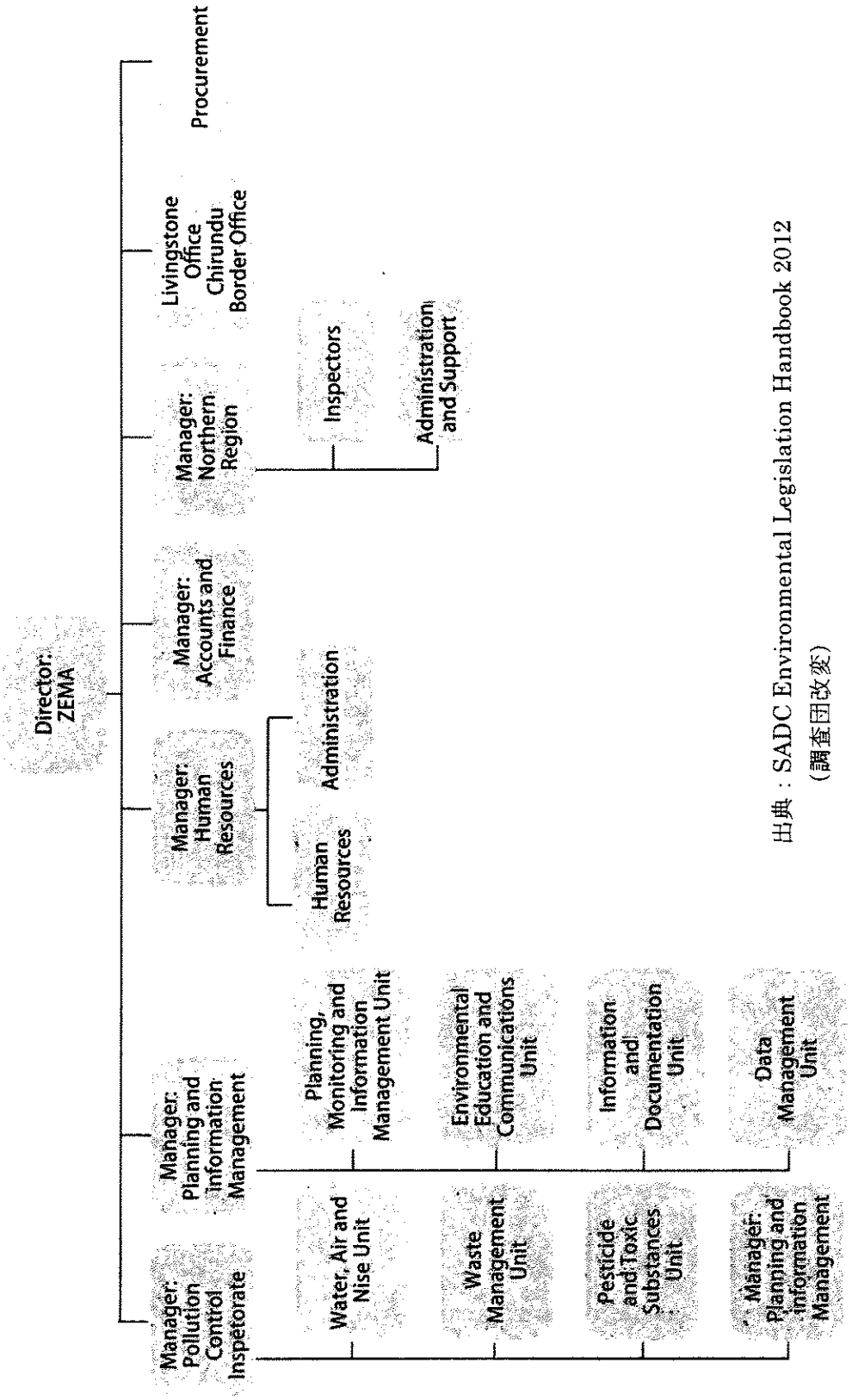
EIA の手順を図 5.3-2 に示す。「ザ」国における EIA プロセスにおいては以下のような本質的な要件が満たされる必要がある。

- 様々な利害関係者と影響を受ける当事者を特定する。
- 開かれた状態で、すべての利害関係者と影響を受ける当事者を関与させる。
- 幅広い代替案に基づいた決定を容易にするために、プロジェクトの主要なプラス面、マイナス面の影響に重点を置く。
- 立案者、プロジェクト提案者、政府、民間部門、NGO、地域社会等の間で、効果的な調整とコミュニケーションのルートを創り出す。
- 選ばれたオプションと、実施基準を着実に守るために、固有の環境モニタリングと監査を含む。
- 可能な場合、特定された影響を限定し、経済的な評価を行う。

5.3.3　水質汚染

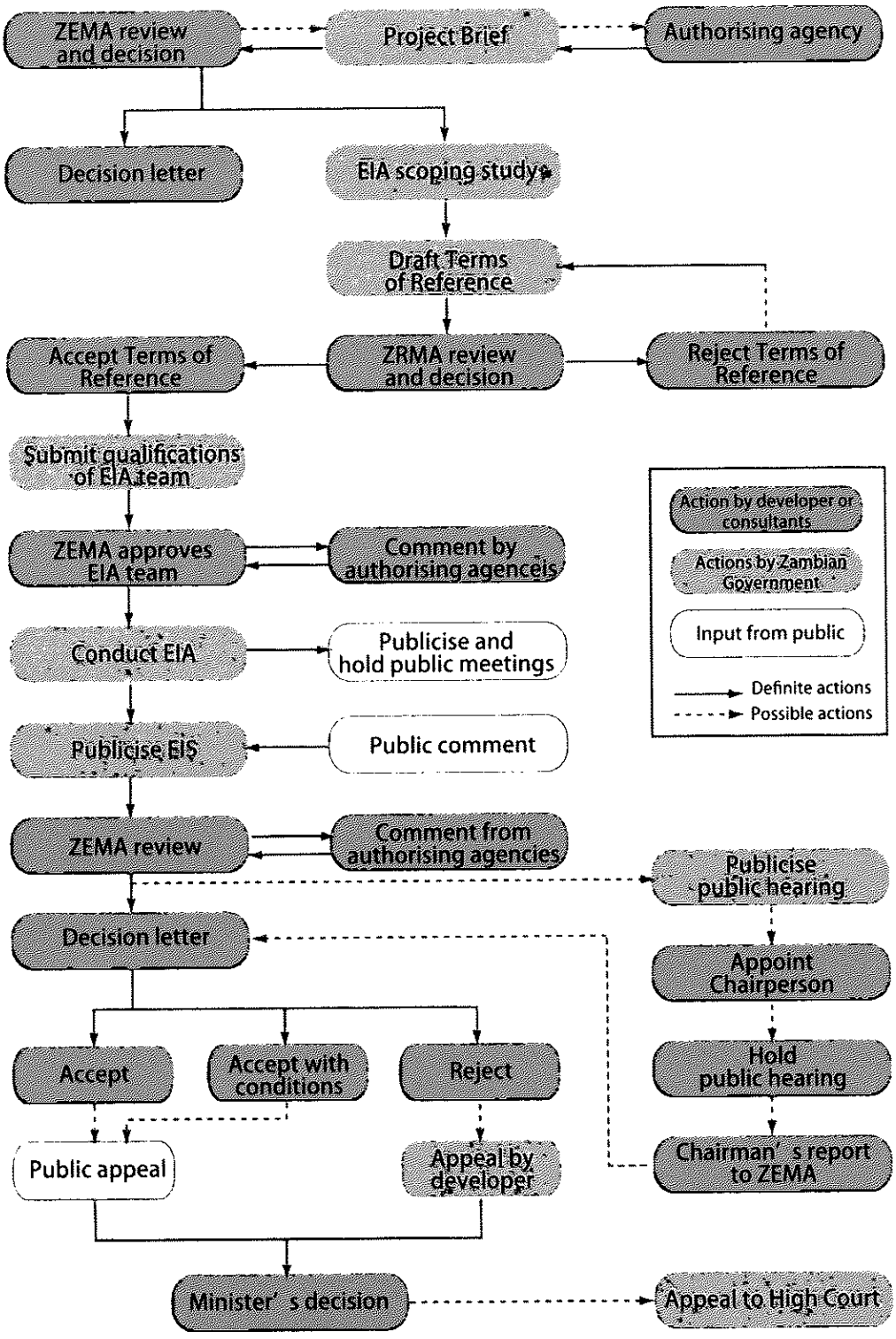
「ザ」国における水汚染は、水汚染管理規則（The Water Pollution Control (Effluent and Waste Water) Regulation、1993 年）によって管理・監督されている。

水質汚染は、水生の環境への汚染物質の、直接または間接的な拡散と定義され、それは EPPCA（環境保護および汚染管理法）によって規制されている。この法律は、排出物の量と水質に関する情報を ZEMA に提出することをプラント等の所有者に義務付けている。さらに EPCCA は、計測装置の設置、試料の採取、および記録の取得を行うことをプラント等の所有者に命令する権限を ZEMA に与えている。EPCCA はまた、ライセンスなしに排水することも禁じている。



出典：SADC Environmental Legislation Handbook 2012
（調査団改変）

図 5.3-1　ザンビア環境管理庁（Zambia Environmental Management Agency：ZEMA）の組織図

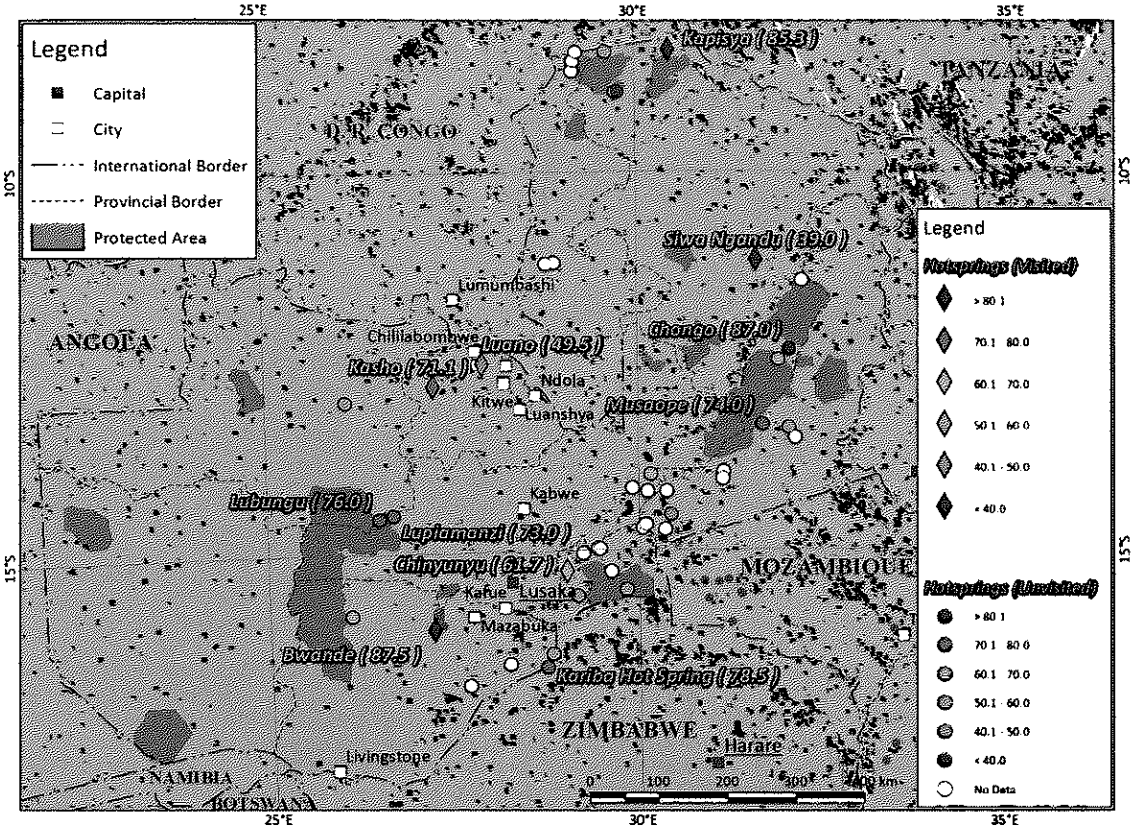


出典：SADC Environmental Legislation Handbook (2012)
（調査団改変）

図 5.3-2　「ザ」国の EIA プロセス・フロー

5.3.4　国立公園および保護区

「ザ」国内の国立公園および保護区の位置を図 5.3-3 に示す。



出典：調査団作成

図 5.3-3　「ザ」国内の国立公園および保護区位置図

5.4　ザンビア国における地熱開発に係る情報収集結果の総括

5.4.1　地熱開発ポテンシャル評価

(1) 地熱資源ポテンシャル

「ザ」国の地質は、基盤岩の花崗岩類と片岩類、先カンブリア紀の Katanga 系、石炭紀～ペルム紀の Karoo 系、および Kalahari 系以降の堆積物から構成される。本地域では Tanganyika リフト帯が北東部に分布し、さらには南東部には NE-SW 方向に伸長する Karoo 系の堆積盆である Luangawa Valley が分布し、基盤岩との境界付近では地下深部まで断裂が発達していると推定される。この NE-SW 系の構造は Lusaka の南西方向まで連続している。また、Copperbelt の隆起帯があり、その周辺部では断裂が発達していると推定される。

「ザ」国では地熱徴候として温泉の湧出が報告されており、主な温泉は北部の Tanganyika リフト帯周辺、および南東部から南西部にかけての NE-SW 系の Karoo 堆積盆の周辺、Copperbelt の隆起帯周辺に分布する。温泉の泉温は Northern 地域の Kapisya、Lusaka East 地域の Chinyunyu、Lochinvar 地域の Bwande および Copperbelt 地域の Kasho に 60℃以上の高温の温泉が分布しており、これらの地区は地熱活動が活発な地域である。最高温度は Bwande の 87.5℃であった。これらの温泉の泉質は中性～アルカリ性 HCO_3 型を示し、Kapisya は HCO_3 型、Chinyunyu、Bwande は SO_4 型、Kasho は Cl-SO_4 型を示す。地化学温度は、Kapisya では地表水による希釈の影響も考えられるが、Bwande、Kasho とともに高い温度を示している。なお、化学組成による温泉の評価は再度化学分析を実施することにより行う必要がある。

Kapisya は Tanganyika リフト帯に位置し、NE-SW 系の断層沿いに位置している。また、Bwande は Karoo 系の堆積盆周辺に位置し、地質は基盤岩類と Karoo 系以降の地層との境界部に相当している。これらリフト帯および Karoo 堆積盆の周辺に位置する各地区は、地下深部まで断裂が発達し、地熱流体の流動に適した構造を有していると推定される。また、Copperbelt 地域（Kasho 地区)は基盤岩類の分布地域に位置するが、温泉湧出範囲が広いことから注目される地域である。

(2) 社会環境状況

「ザ」国 は国土面積 752,614 km^2 に約 1,253 万人（2008 年）が居住しており、人口増加率が 2000 年以降は年平均 3.0%と再び上昇傾向と推定されている。人口密度は、「ザ」国全体では 1980 年の 7.5 人/km^2 から 1990 年には 9.8 人/ km^2、2000 年には 13.1 人/ km^2 へと増加している。

「ザ」国の供給可能総設備容量は約 1,860MW であり、主要な水力発電所（Zambezi 川流域の Kariba North および Victoria Falls 水力発電所、Kafue 川流域の Kafue Gorge 水力発電所）で全体の 92%を占め、残りは小水力発電やディーゼル発電による。電力需要量は約 8,000GWh であり、電力需要の伸びは年率 3～4%で推移している。需要の伸びは主として鉱業および農業によるものであり、最大購入者である産銅鉱山会社の電力需要に左右される構造となっている。「ザ」国全体の電化率は 19%であり、都市部の電化率は 44%である一方、人口の約 6 割が居住する地方部の電化率は 2.2%と著しく低い。また、配電損失率は

23%と非常に高い。

(3) 地熱開発ポテンシャル

地質資源ポテンシャルおよび社会環境状況から、「ザ」国において地熱開発ポテンシャルが高いと考えられる地域は次の地域である。各地熱開発有望地域の概要を表 5.4-1 にまとめる。

①Tanganyika リフト帯：Kapisya
②Karoo 系堆積盆周辺：Bwande
③基盤岩分布域：Kasho、Chinyunyu

5.4.2 地熱開発調査およびドナー活動の状況

1980 年代にイタリア政府の援助により「ザ」国における地熱ポテンシャルの調査が開始された。「開発地域選定調査」として地表調査が実施され、40 地点のより有望な温泉について詳細調査が実施された。この調査に続く PhaseⅡの調査対象地域として 7 地域（Kasho、Lubungu、Lupiamanzi、Chinyunyu、Chikowa、Kapisya、Chongo）が選定され、詳細調査が実施された。その結果、Kapisya が最適なサイトとして選定された。調査井と生産井併せて 15 孔が 1987 年と 1988 年に 150m 以浅の深度で掘削された。パイロット・プラントはこのうち 4 本の井戸を利用して 1988 年 11 月に設置された。

国営電力会社である ZESCO は、ケニア国の KenGen 社とともに、Kapisya プロジェクトの評価を行うための調査を 2005 年～2006 年に実施した。この調査では地質調査、地化学調査（土壌ガス、温泉採取・分析）、物理探査が実施され、地下流体の温度は 124℃で貯留層は断層により支配されていること、深度 500m の掘削によって必要な地熱流体が得られることが推定された。地熱資源量は貯留層範囲として 0.5km～1km で 2MW 以上の地熱発電が可能と推定された。さらにこの資源を確認するため深部への掘削が必要であるとした。また、Kapisya においては断層に伴う地熱構造モデルが作成され、流体流動が検討された。さらに Chinyunyu も Kapisya と同様に調査が実施され、2MW 以上の地熱発電が可能と推定されている。

Kalahari GeoEnergy Ltd は Lusaka 南部の Lochinver 地域の探査権を取得し、地熱開発調査（地質、地化学、物理探査）を実施している。2013 年 7 月から浅部調査井（300m×3 坑）を掘削する予定であり、その結果によっては 3,000 級の深部調査井の掘削を計画している。

5.4.3 地熱開発実施機関のキャパシティ

ザンビア地質調査所では 26 名の技術者のうち地質技術者が 12 名在籍しているが、地熱開発に関する技術者はいない。海外地熱技術者養成機関へはケニアに 2 名が派遣されている。ZESCO にも地熱開発調査に関する技術者はいない。ZESCO では地熱開発関係部署は水力関係の部署が担当している。

5.4.4 JICA による地熱開発に係る支援内容案

「ザ」国では 1980 年代にイタリアの援助により全国的な地熱開発基礎調査が実施され、浅部の坑井調査まで実施されているが、現存する設備は Kapisya のパイロット・プラントのみである。この地域では地熱開発ポテンシャル評価と地熱プラントのリハビリ調査が 2005 年～2006 年に ZESCO と KenGen により実施されたものの、その後の調査は実施されていない。JICA による地熱開発に係る今後の支援策として次のような内容が考えられる。

(1) Kapisya の地熱開発調査

これまで実施された ZESCO と KenGen の調査結果をレビューし、地熱開発計画を策定する。これまでに坑井掘削が行われているが深度は 150m である。このため、今後の開発を促進するためには深度 500m 程度の熱流量坑掘削を含む調査が必要であると考えられる。調査内容を次に示す。

①既存調査結果のレビュー
②追加調査（地化学調査、物理探査）
③資源量評価
④熱流量坑調査（500m 深の温度構造を把握）。

(2) Lochinvar 地域における地熱資源量賦存調査

「ザ」国において地熱構造発達が期待される構造の一つが Karoo 系堆積盆地周辺である。Karoo 系堆積盆地では現在 Lochinver 地域（Bwande、Gwisho）において民間会社の地熱開発調査が実施されている。このため、この地域の調査の進捗を考慮しながら、調査結果をレビューすることにより、今後の調査内容、地熱開発計画を策定する。

①既存調査結果のレビュー
②追加調査（地化学、物理探査）
③資源量評価
④熱流量坑調査（深度 500m～1000m）

(3) 基盤岩分布地域における地熱開発基礎調査とその結果に基づく地熱資源量賦存調査

Kasho 地域では基盤岩隆起域のドーム構造に伴って高温の温泉が広く分布している。また、Chinyunyu においては基盤岩の断裂中から温泉が湧出していると推定される。このためこれらの地域を含む地域の周辺部を対象として地熱開発基礎調査を実施することが望まれる。調査内容は次の通りである。

①地質・地化学調査
②地熱開発有望地域の抽出
③地熱開発有望地域における物理探査
④熱流量坑調査

表 5.4-1　ザ国の地熱開発有望地域概要

1	国名		Zambia	Zambia	Zambia	Zambia
2	地熱地域名		Northern	Lusaka East	Lochinvar	Copperbelt
3	地区名(温泉名)		Kapisya (85.3℃)	Chinyunyu (61.7℃)	Bwande (87.5℃)	Kasho (71.1℃)
4	自治体名		北部州 / Kaputa県	Lusaka州 / Chongwe県	南部州 / Monze県	Copperbelt州 / Lufwanyama県
5	位置/交通		・Kaputa県北部の湖岸 ・州都Kasama→M3/D20/D19号線(約170km)→Mporokoso→未舗装路(約150km)→Sumbu→船舶(約15km)→同地区	・Chongwe県中央部 ・首都Lusakaから→T4号線(約80km)→同地区	・Monze県北部 ・首都Lusaka→T2/T1号線(約180km)→Monze→D365号線(約20km)→同地区	・Lufwanyama県西部 ・州都Ndola→T3号線(約50km)→Kitwe→M18号線(約110km)→同地区
6	調査/開発状況		イタリア政府による援助調査およびZESCO-KenGen社による共同調査 ・地化学調査: 温泉分析 ・物理探査: MT / TEM ・坑井調査: 13本(150m以浅) ・パイロットプラント設置(200kW)	ZESCO-KenGen社による共同調査 ・物理探査: MT / TEM ・坑井調査	Kalahari GeoEnergy社による調査 ・物理探査: MT ・坑井調査: 300m級×3本	イタリア政府による援助調査 ・坑井調査
		Stage	I - 4	I - 3	I - 4	I - 2
7	地熱資源に関する情報					
	1)地質/地質構造		・Tanganyikaリフト帯、NE-SW系断層	・基盤岩の変成岩類、断裂構造、NE-SW系破砕帯	基盤岩とKaroo堆積盆地との境界断層	基盤岩のドーム構造
	2)地化学	温度・化学性状	・7本の坑井から79.8~85.3℃の温泉湧出 ・Temp.: 85.3℃, pH: 8.5, EC: 846 μS/cm (Kapisya-5) ・泉質: アルカリ性HCO_3型	・温泉はボーリング孔から湧出 ・Temp.: 61.7℃, pH: 8.7, EC: 761 μS/cm (Chinyunyu-1) ・泉質アルカリ性SO_4型	・温泉は100m×50mの範囲から湧出 ・Max. Temp.: 87.5℃, pH: 7.9, EC: 2,710 μS/cm ・泉質: 中性SO_4型	・温泉は70m×50mの範囲から湧出 ・地表には塩類の沈殿物が多数。 ・Max. Temp.: 71.1℃, pH: 7.4, EC: 5,460 μS/cm ・泉質: 中性Cl-SO_4型
		地化学温度	Tqc: 133℃, TNa-K, TNa-K-Ca >200℃	TNa-K, TNa-K-Ca: 133-190℃	Tqc: 102℃, TNa-K: 162～213℃, TNa-K-Ca: 175℃, 部分的に平衡に達している	Tqc: 128℃, TNa-K, TNa-K-Ca: 147～202℃, 部分的に平衡に達している
	3)物理探査		MT/TEM	MT/TEM	MT	-
	4)坑井調査		13本の坑井(深度150m以浅)	実施済み(スペック不明)	300m級×3本(2013年7月)	実施済み(スペック不明)
	5)地熱構造モデル		・Tanganyikaリフト帯の断層沿い(NE-SW系)に流体が流動する ・深度500mで120℃前後	基盤岩中の断裂に沿って地熱流体が胚胎する	基盤岩とKaroo系以降の堆積物の境界の断層付近に地熱流体が貯留されている	基盤岩体のドーム構造に伴う断裂に沿って、地熱流体が貯留されている
	6)地熱資源量		2MW以上	2MW以上	-	-
8	社会環境					
	1) 環境制約/国立公園		国立公園外	国立公園外	Lochinvar 国立公園	国立公園外
	2) インフラ等	送電線 / 電化	・なし ・未電化地域	・なし ・未電化地域	・T1号線およびD365号線に沿って敷設済み ・未電化地域	M18号線からSt. Maryに向かう未舗装路に沿って敷設済み ・未電化地域
		道路 / 土地利用	・Sumbuより船舶を約15km、湖岸から人道を約1.5km ・村落、耕作地	・T4号線から人道を約100～500m ・村落、耕作地	・D365号線から未舗装路を約20km ・国立公園、観光施設、村落、耕作地	・M18号線から未舗装路を約15km ・村落、耕作地
		人口密度 / 人家からの距離	・9人/km^2 (北部州Kaputa県) ・0.5～5km(約2,000～3,000戸)	・16人/km^2 (Lusaka州Chongwe県) ・0.5～1km(十数戸～数十戸)	・40人/km^2 (南部州Monze県) ・5km(数十戸)	・7人/km^2 (Copperbelt州Lufwanyama県) ・15km(数十戸)
		産業他	農業(コメ、トウモロコシ、畜産等)および漁業	農業(コメ、トウモロコシ、畜産等)	農業(コメ、トウモロコシ、畜産等)、観光業	農業(コメ、トウモロコシ、畜産等)
10	調査課題		・地質構造の確認 ・流体流動の検討	・地質構造の確認 ・流体流動の検討	・地質構造の確認 ・流体流動の検討	・地質構造の確認 ・流体流動の検討
11	提案する地熱開発調査		①ZESCO-KenGen共同調査結果のレビュー ②補足調査として地質調査・地化学調査(温泉水分析)・物理探査(MT) ③坑井概略計画 ④坑井調査	①地質調査/地化学調査(温泉水分析) ②物理探査(電磁探査等)	①地質調査/地化学調査(温泉水分析) ②物理探査(電磁探査等)	①地質調査/地化学調査(温泉水分析) ②物理探査(電磁探査等)
12	現地視察		○	○	○	○
13	備考		-	-	-	-

出典：調査団作成