

**アフリカ地域
東アフリカ地熱開発に係る
情報収集・確認調査**

**ファイナル・レポート
(タンザニア)**

平成 26 年 1 月

(2014 年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)
委託先
西日本技術開発株式会社
三菱マテリアルテクノ株式会社

本報告書で用いた主要固有名詞（組織名及び地名）和文表記の英文表記

ALOS	Advanced Land Observing Satellite	陸域観測技術衛星だいち
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer	アスター
AUC	African Union Commission	アフリカ連合委員会
AfDB	Africa Development Bank	アフリカ開発銀行
BGR	Federal Institute for Geosciences and Natural Resources of Germany	ドイツ地科学天然資源研究所
DECON	Deutsche Energie-Consult Ingenieurgesellschaft mbH	DECON 社
DEM	Digital Elevation Model	数値標高モデル
DFID	Department for International Development	英国国際開発省
DOE	Division of Environmental	環境課
EIA	Environmental Impact Assessment	環境アセスメント
EIB	Europe Investment Bank	欧州投資銀行
EIS	Environmental Impact Statement	環境影響評価報告書
ESIA	Environmental and Social Impact Assessment	環境・社会影響評価
ESMF	Environmental and Social Management Framework	環境・社会管理フレームワーク
ESMP	Environmental and Social Management Plan	環境・社会管理計画
ETM+	LANDSAT Enhanced Thematic Mapper Plus	
EWURA	Energy and Water Utilities Regulatory Authority	エネルギー・水管理規制庁
FCRS	Fluid Collection and ReInjection System	蒸気・熱水輸送及び還元システム
FEC	First Energy Company Ltd	First Energy Company Ltd 社
GDC	Geothermal Development Company	Geothermal Development Company 社
GEF	Global Environment Facility	地球環境ファシリティ
GIS	Geographic Information System	地理情報システム
GPL	Geothermal Power Limited	Geothermal Power Limited 社
GPT	Geothermal Power Tanzania Limited	Geothermal Power Tanzania Limited 社
GRMF	Geothermal Risk Mitigation Facility	地熱リスク軽減ファシリティ
GST	Geological Survey Tanzania	タンザニア地質調査所
ICEIDA	The Icelandic International Development Agency	アイスランド国際開発機関
JEPIC	Japan Electric Power Information Center	海外電力調査会
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau	ドイツ復興金融公庫
LANDSAT	Land + Satellite	ランドサット衛星
MEM	Ministry of Energy and Minerals	エネルギー・鉱物省
MNRT	Ministry of Natural Resources and Tourism	天然資源観光省
NDC	National Development Corporation	国家開発協会
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	正規化植生指標
NEMA	National Environment Management Authority	国家環境管理局
NEMC	National Environmental Management Council	国家環境管理委員会
PALSAR	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar	フェーズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダ
REA	Rural Energy Agency	地方エネルギー庁
REB	Rural Energy Board	地方エネルギー委員会
REF	Rural Energy Fund	地方エネルギー基金

SIDA	Swedish International Development Cooperation Agency	スウェーデン国際開発庁
SREP	Scaling-up Renewable Energy Program	低所得国向けスケーリングアップ再生可能エネルギープログラム
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission	
SWECO	Sweden Consulting Group	スウェーデン国コンサルティ ンググループ
SWIR	Short Wave Infrared	短波長赤外
TANAPA	Tanzania National Parks	タンザニア国立公園
TANESCO	Tanzania Electric Supply Company	タンザニア電力供給公社
TICAD	Tokyo International Conference on African Development	アフリカ開発会議
TIR	Thermal Infrared	熱赤外
Terra	Terra	テラ衛星
UNDP	United Nations Development Programme	国連開発計画
UNUGTP	United Nations University Geothermal Training Programme	
USAID	United States Agency for International Development	米国国際開発局
USGS	United States Geological Survey	アメリカ地質調査所
VNIR	Visible and Near Infrared	可視近赤外
XRD	X-ray diffraction	X線回折
ZECO	Zanzibar Electricity Corporation	ザンジバル電力公社

【地名】

地熱地域名

アンボニ	Amboni
イサンジャ	Isanja
イブナ	Ivuna
イラティル	Ilatile
ウキンドウ	Ukindu
ウサンゴレ	Usangore
ウテテ	Utete
カシムル	Kasimulu
カバンゴ	Kabango
キサキ	Kisaki
キランプ	Kilambo
キルンガムケレ	Kilunga Mkele
コンドア	Kondoa
ゴンガ	Gonga
ソングウェ	Songwe
タガララ	Tagallalla
タクワ	Takwa
ダラジャヤムング	Daraja ya Mungu
ニヨンゴニ	Nyongoni
ハナン	Hanan
ヒカ	Hika
ブロングウェ	Bulongwe
ボンボ	Bombo
マスワレ	Masware

その他地名

アルーシャ	Arusha
イグルシ	Igurusi
イリング	Iringa
ヴィクトリア	Victoria
ウルグル	Uluguru
ウレマ	Urema
エヤシ	Eyasi
オールドイニョ・レンガイ	Oldoinyo Lengai
キゴマ	Kigoma
キュジョ	Kyejo
キュラ	Kyela
キリマンジャロ	Kilimanjaro
ザンジバル	Zanzibar
シニャンガ	Shinyanga
シンギダ	Singida
スンバワンガ	Sumbawanga
セルー	Selous
ソングア	Songea
タボラ	Tabora
タンガ	Tanga
ドドマ	Dodoma
ナトロン	Natron
ニアサ	Nyasa
ババチ	Babati

マジモト	Maji Moto	バランギダ-ラル	Balangida Lalu
マジヤウエタ	Maji ya Weta	ブコバ	Bukoba
マニェギー	Manyeghi	ポロト	Poroto
マプ	Mapu	マニャラ	Manyara
マンプロ	Mampulo	ミクミ	Mikumi
ミタガタ	Mitagata	ムゲタ	Mgeta
ムバカ	Mbaka	ムスーレ	Msule
ムポンデ	Mponde	ムソマ	Musoma
ランボ	Rambo	ムトゥワラ	Mtwara
ルフィジ	Rufiji	ムベヤ	Mbeya
ンゴジ	Ngozi	ムポンデ	Mponde
ンジョロノリ	Njoronoli	ムワンザ	Mwanza
		メル	Mel
		モシ	Moshi
		モロゴロ	Morogoro
		リンディ	Lindi
		ルブ	Luvu
		ルホイ	Luhoi
		ルングウェ	Rungwe
		レボンボ	Lebombo
		ンゴロンゴロ	Ngorongoro

目 次

I	緒 言.....	1
	I-1 調査目的.....	1
	I-2 調査対象地域.....	1
	I-3 背景・経緯.....	2
	I-4 調査実施の基本方針及び実施方法.....	3
	I-4-1 調査実施の基本方針	3
	I-4-2 調査実施の方法	3
	I-5 業務の工程.....	9
	I-6 調査のスケジュール.....	10
	I-7 要員計画.....	12
II	調査結果	13
	II-1 エネルギー事情	13
	II-2 電力事情及び電力供給体制	13
	II-3 地熱資源概要	14
	II-4 地熱開発の現状	16
	II-4-1 地熱開発.....	16
	II-4-2 地熱探査権.....	17
	II-4-3 ドナーの支援状況.....	18
	II-5 地熱開発有望地域	21
	II-5-1 予備調査.....	21
	II-5-2 現地調査.....	45
	II-5-3 地質情報.....	63
	II-5-4 地化学情報.....	73
	II-5-5 GIS	82
	II-5-6 有望地域選定.....	82
	II-5-7 地熱ポテンシャルの試算.....	89
	II-6 環境社会配慮制度	92
III	今後の支援策の提案.....	95
	III-1 地熱資源の特徴	95
	III-2 地熱資源開発の一般的流れ.....	97
	III-3 支援策の提言	99

参考文献

添付資料

目 次

図 I-1	調査対象地域	1
図 I-2	北部・中部リフトバレー地域と既開発地熱地帯.....	2
図 I-3	タンザニア国東アフリカリフト帯（地熱地域）での衛星画像解析の例.....	4
図 I-4	衛星画像データ解析フロー	5
図 I-5	地熱資源データベースの概念図	6
図 I-6	調査フロー	11
図 II-1	タンザニア国における主要地熱地域	15
図 II-2	ムベヤの GPT 探査権設定地域（2 箇所）及び浅部調査井（MBY105, MBY106 及び MBY403）計画位置図	17
図 II-3	ルングウェ火山群（ンゴジ、ルングウェ及びキエジョ火山）とムバカ断層.....	20
図 II-4	タンザニア国 ASTER 画像のカバレッジマップ	23
図 II-5	現地調査におけるフローチャート	24
図 II-6	北部地域の ASTER 及び LANDSAT/ETM+複合画像.....	26
図 II-7	北部地域の ASTER 植生指数画像(NDVI).....	27
図 II-8	ASTER Level 2B03 プロダクト（地表面温度）.....	28
図 II-9	シンギダ及びコンドア地域の ASTER 及び LANDSAT/ETM+複合画像.....	29
図 II-10	ムベヤ地域の ASTER 及び LANDSAT/ETM+複合画像.....	30
図 II-11	ルフィジ地域（キサキ）の ASTER 及び LANDSAT/ETM+複合画像.....	31
図 II-12	ルフィジ地域（ニョンゴニ）の ASTER 及び LANDSAT/ETM+複合画像	32
図 II-13	北部地域の地質構造判読図	35
図 II-14	北部地域（シンギダ南東部）の地質構造判読図.....	36
図 II-15	ムベヤ地域の地質構造判読図	37
図 II-16	ルフィジ地域の地質構造判読結果	39
図 II-17	ルフィジ地域（ニョンゴニ，ウテテ）の地質構造判読結果.....	40
図 II-18	温泉水の主要陰イオン三成分図（既存データ）	41
図 II-19	温泉水の Cl 濃度と泉温の関係図（既存データ）	42
図 II-20	現地調査候補地	44
図 II-21	現地調査地点位置図	46
図 II-22	温泉の泉温分布図	58
図 II-23	温泉の pH 分布図	59
図 II-24	温泉の電気伝導度分布図	60
図 II-25	温泉の水質等の相関図	61
図 II-26	自然保護区の位置図	62
図 II-27	タンザニアの地質及び地質層序	63
図 II-28	タンザニア周辺におけるリフトシステム	64

図 II-29 ESE-WNW 方向の地質断面概念モデル.....	65
図 II-30 タンザニアにおける地熱地域と主要地質構造.....	65
図 II-31 ナトロン湖の地質概念モデル	66
図 II-32 ムベヤ地域の位置及びその周辺のリフトシステム.....	67
図 II-33 代表的な粘土鉱物及び方解石のスペクトル.....	71
図 II-34 スペクトル測定結果の代表例	72
図 II-35 主要陰イオンの三成分図	76
図 II-36 温泉水の Cl 濃度と B 濃度の関係図.....	76
図 II-37 温泉水の水の酸素同位体比と水素同位体比の関係図.....	77
図 II-38 温泉の Na-K-Mg 三成分図.....	77
図 II-39 シリカ鉱物の溶解度曲線	78
図 II-40 ナトロン湖—ンゴロンゴロ地域の地化学温度.....	78
図 II-41 ムベヤ地域の地化学温度	79
図 II-42 ルフィジ地域の地化学温度	79
図 II-43 シンギダーコンドア地域の地化学温度	80
図 II-44 仮定した確率分布	90
図 II-45 モンテカルロ解析を適用した容積法による地熱ポテンシャル計算結果 (ナトロン湖)	91
図 III-1 断裂型地熱貯留層の例	96
図 III-2 多孔質地層型地熱貯留層の例	96
図 III-3 熱水卓越型貯留層の上に形成された蒸気卓越型貯留層の例.....	97
図 III-4 地熱発電開発の一般的な流れ	98
図 III-5 ムベヤ地域における Na-K-Ca 温度分布.....	101

表 目 次

表 I-1	調査のスケジュール	10
表 I-2	調査要員計画表	12
表 II-1	SREP 地熱開発プロジェクト（100MW）	20
表 II-2	収集したリモートセンシングデータ一覧	22
表 II-3	作成画像一覧	25
表 II-4	参考にした既存調査の温泉分析値	41
表 II-5	地熱徴候地の温度情報	43
表 II-6	現地調査地点一覧	45
表 II-7	温泉水試料及び水質データ一覧	47
表 II-8	岩石試料一覧	48
表 II-9	X線回折分析結果	69
表 II-10	スペクトル測定結果	70
表 II-11	化学・同位体分析方法	73
表 II-12	温泉水の地化学分析結果（本調査）	74
表 II-13	地化学温度計算結果	81
表 II-14	調査地域の地熱資源に関する評価	87
表 II-15	調査地域の環境社会面の評価	88
表 II-16	地熱ポテンシャル試算結果	92
表 III-1	地熱開発の概略工程	99
表 III-2	有望地熱地点に関する情報	102

写 真 目 次

写真 II-1	Na01 地点	49
写真 II-2	Mn01 地点	49
写真 II-3	Ey01 地点	50
写真 II-4	Ng01 地点	50
写真 II-5	Ba01 地点	51
写真 II-6	Ms01 地点	52
写真 II-7	Ko01 地点	52
写真 II-8	Ra01 地点	53
写真 II-9	Ki01 地点	53
写真 II-10	Mn01 地点	54
写真 II-11	Ki01 地点	54
写真 II-12	Ks01 地点	55

写真 II-13 Ut01 地点	55
写真 II-14 Ny01 地点.....	56

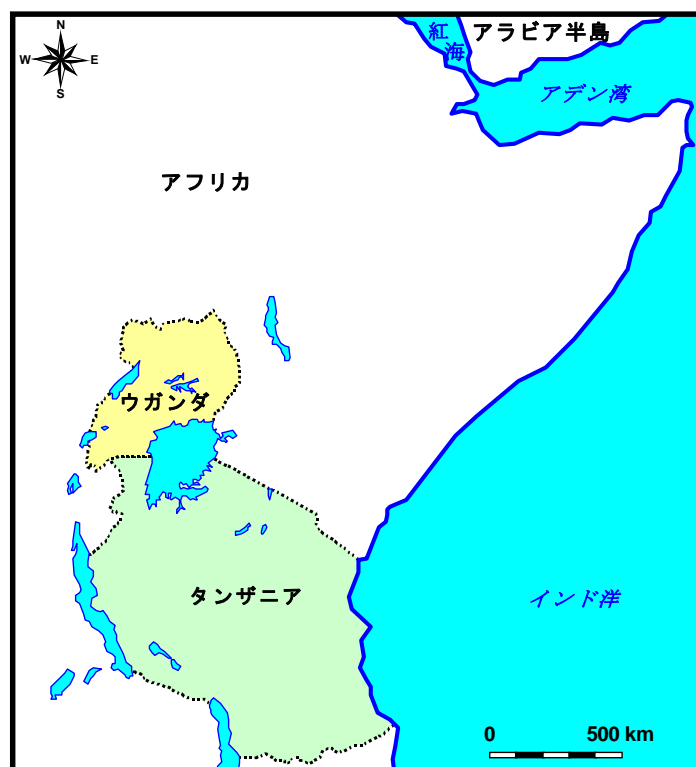
I 緒言

I-1 調査目的

タンザニア国において、前回調査結果（アフリカ地熱開発に係る現状確認調査、2010年10月、JICA）も踏まえ、地熱開発に関連した情報を収集・整理・分析し、今後の地熱開発支援検討のための基礎資料とする。なお、必要に応じて地化学調査（温泉水サンプリング/解析）などを行い、地熱開発ポテンシャルに関するより詳細な検討を行う。

I-2 調査対象地域

タンザニア国（図 I-1参照）



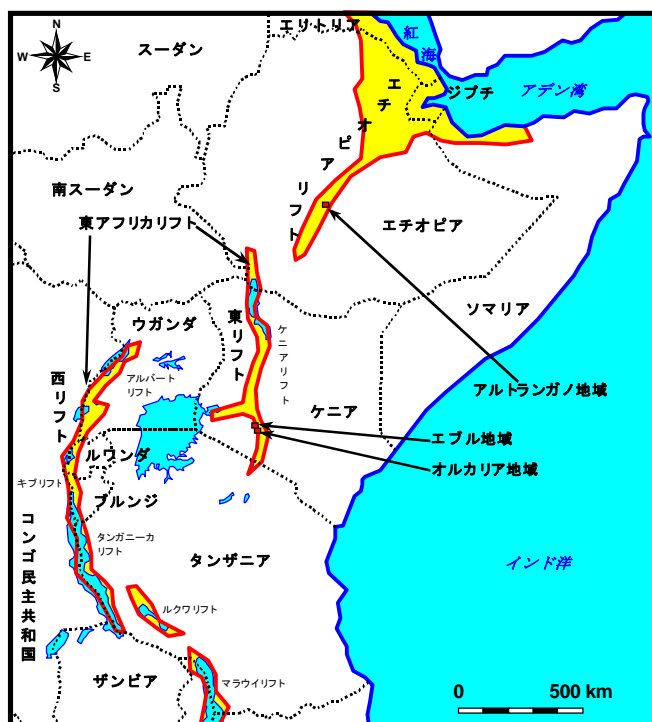
（調査団作成）

図 I-1 調査対象地域

I-3 背景・経緯

アフリカ地域では、経済社会開発を支えるために、安定的かつ購買可能な価格による電力の供給が喫緊の課題となっている。このような高まる電力需要への対応とエネルギー安全保障や温室効果ガス排出抑制への配慮を両立させる観点から、アフリカ諸国のみならず国際社会も再生可能エネルギーである水力や地熱の開発促進を重要視している。2013年6月に開催された TICAD V では、アフリカ・リフトバレー地域に賦存する豊富な地熱資源を利用した地熱開発がアフリカ支援の重点の1つとして挙げられた。

一方、アフリカ地域において地熱発電所が建設されているのは、リフトバレー地域北部のケニア国とエチオピア国の2か国のみである。ケニア国で地熱発電所が建設されているのは、オルカリア地熱地帯とエブル地熱地帯(図 I-2 参照)であり、それぞれの総設備容量は 209MW と 2.5MW である (Omenda, 2010)。また、エチオピア国で地熱発電所が建設されているのはアルトランガノ地熱地帯であり、7.3MW の発電が行われている (Chandrasekharam and Chandrasekhar, 2012)。今後、これら2か国も含めた地熱ポテンシャルを有する諸国を中心に地熱開発の進展が期待されるが、地熱開発に必要な基礎的情報整備は不十分である。このため、ケニア国、エチオピア国、ジブチ国、タンザニア国、ウガンダ国を対象とした「アフリカ地熱開発に係る現状確認調査」(JICA, 2010) が実施された。しかし、各国政府・国際機関等が地熱資源開発に関連した情報収集を進めてはいるが、収集されている情報は断片的である。タンザニア国における今後の地熱開発支援を検討するには、この情報をアップデートするとともに、収集された情報を体系的に整理する必要がある。



(調査団作成)

図 I-2 北部・中部リフトバレー地域と既開発地熱地帯

I-4 調査実施の基本方針及び実施方法

I-4-1 調査実施の基本方針

本調査ではタンザニア国における前回調査結果（アフリカ地熱開発に係る現状確認調査、2010年10月、JICA）も踏まえ、地熱開発に関連した情報を収集・整理するとともに、収集情報を分析し、タンザニア国に対する今後の地熱開発支援検討のための基礎資料とすることが主要な目的である。また、タンザニア国で実施されている地熱調査の多くが概査段階であることや全国規模の地熱調査がほとんど行われていないこと、十分な地形図が入手できないことなども考慮すれば、タンザニア国における地熱開発ポテンシャルに関するより詳細な検討を行うためには、地化学調査（温泉水のサンプリング・化学分析・解析）ならびに地質調査（確認調査、岩石試料のサンプリング・分析・解析）などとともに衛星画像解析などのリモートセンシングや地理情報システム（GIS）の活用も必要である。なお、地熱資源に関する情報収集に関しては、タンザニア地質調査所・鉱物資源開発局が主な対象機関とした。

I-4-2 調査実施の方法

1. 第1年次

a) 基礎情報のアップデート

日本国内において以下の事項に重点を置いてタンザニア国の関連資料収集・レビューを行い、前回調査結果（アフリカ地熱開発に係る現状確認調査、2010年10月、JICA）をアップデートした。

- 一次エネルギーの賦存状況及び利用計画（エネルギー開発計画）等
- 地熱開発に係る各種情報
- 他ドナーによる支援状況
- 環境社会配慮制度

b) 地質調査

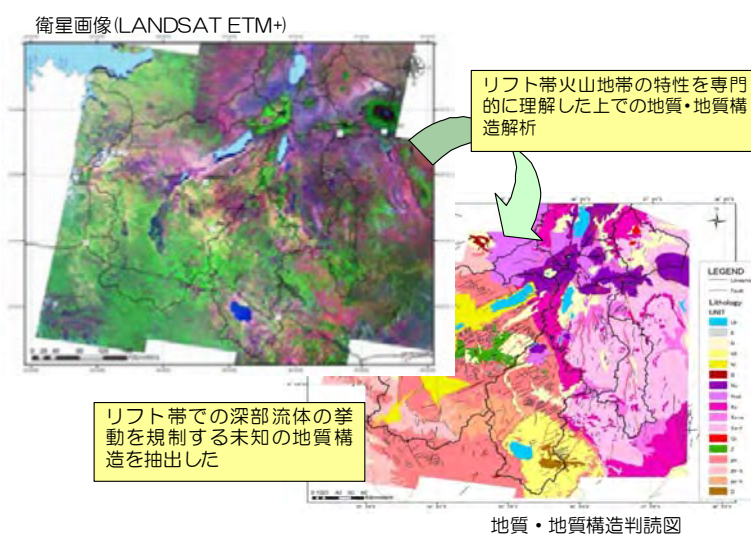
地熱開発有望地域及び地熱開発支援策の効率的な検討を基本方針に挙げ、この基本方針を支える柱として、我が国の衛星画像データ解析技術（リモートセンシング技術）及び地理情報システム（GIS）の有効活用を図った。タンザニア国では地溝帯沿いに地熱徴候の分布が認められていることから、衛星画像データ解析により地質構造を解析することは、地熱開発有望地域を抽出し地熱開発ポテンシャルにかかる詳細な検討を行う上で重要である。

地熱開発有望地域及び地熱開発支援策の効率的な検討を行うために、衛星画像データ解析と地理情報システム（後述）を柱として有効活用を図った。衛星画像データ解析は効率的な調査を行うために実施し、地理情報システムで取得した情報をまとめて効率的な検討に用いた。総合的な解析では、地熱資源 GIS データベースに登録した各種情報を表示するとともに、重ね合わせて出力することにより、様々な主題図（特定の主題について様々な情報を編集し表現した図）を作成した。これら主題図のうち、主として自然状況や地熱資源賦存状況に関連する主題図を総合的に

解釈することによって、地熱開発有望地域を効率的に抽出することができる。また、抽出された地熱開発有望地域と、社会・経済状況や電力事情、電力セクター及び他セクターにおける開発計画等の主題図とを比較・検討することによって、優先度の高い地熱開発支援案を決定することができる。

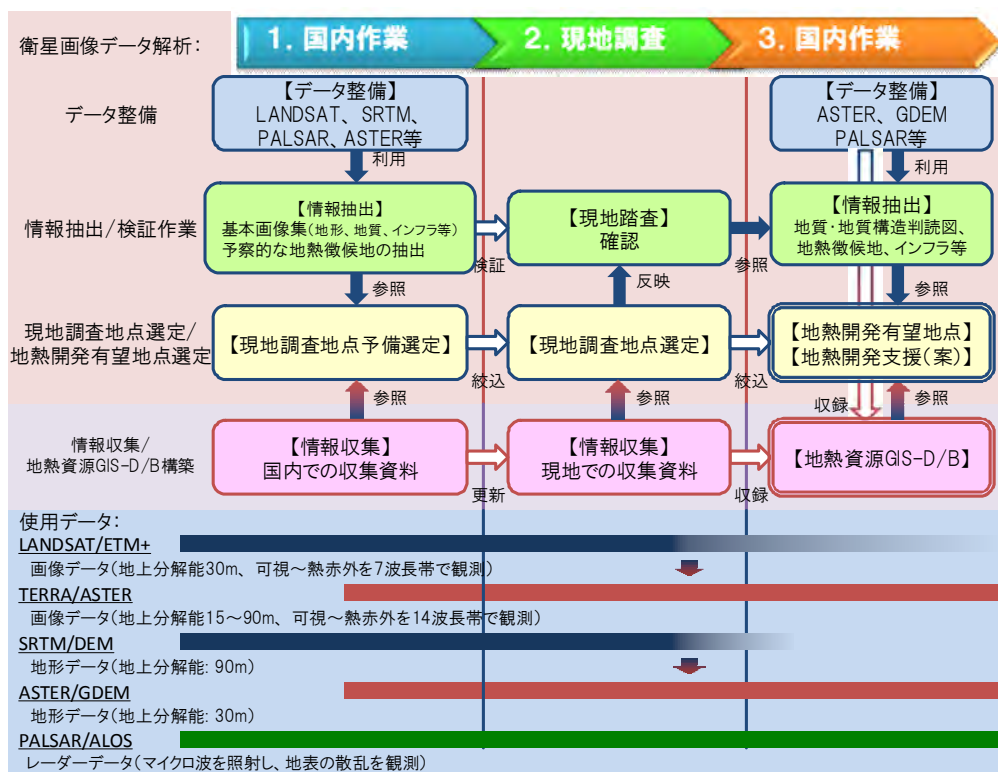
図 I-3 は、タンザニアの東アフリカリフト帯（アルーシャーシンギダ地域など）での 15 万 km² におよぶ広大な地域を対象とした衛星画像データ解析の例である。この地域は地熱資源賦存地域でもあり、本件においても主要な対象地域である。このようにリフト帯火山地帯での情報抽出にリモートセンシング技術を効果的に適用するためには、リフト帯の特性についての高度な知見と、対象国での豊富な調査経験に基づくノウハウが要求される。また、対象国の地質図幅は、デジタル化が進められてはいるものの、隣り合う図幅間での地質区分の違いが頻繁に認められるなどの問題があり、地熱開発支援のための GIS データベースの構築には、衛星画像データを利用した統合的な地質・地質構造判読図の作成が必須であると考えられる。そこで本調査では、第 1 年次及び第 2 年次を通じて積極的な衛星画像データの活用に取り組むこととした。衛星画像データ解析のフローを図 I-4 に示す。

第 1 年次においては、既往資料により、地熱資源情報として、地質、変質帯分布状況、温泉・噴気帯の分布状況、地熱地域の地熱構造、地熱開発有望地域、地熱開発状況の情報を収集整理した。さらに、入手が容易な無償の衛星画像データ（LANDSAT/ETM+、SRTM/DEM 等）を用いて、地熱地帯の地形、地質及びインフラ等に関する情報を収集した。別途収集した地熱資源に関する情報と上述データ処理・解析結果とを重ね合わせることによって、地熱資源が賦存する地質学的状況についての検討を行い、賦存可能性の高い地熱資源ポテンシャル地域を抽出した。また、1 年次から 2 年次を通じた作業を行った。絞り込まれた地域における地熱徴候（リニアメント等）を抽出した（LANDSAT/ETM+のほか ASTER、ASTER/GDEM、PALSAR 等を適宜選定・使用）。リフト帯の特性を念頭に置き、深部流体の挙動に重要な影響を及ぼすと考えられる地質構造である断層・リニアメントの判読を主体とした。また、ASTER データを用いて熱異常や変質帯の抽出、植生情報からの湧水地点の抽出についても検討した。



(調査団作成)

図 I-3 タンザニア国東アフリカリフト帯（地熱地域）での衛星画像解析の例



(調査団作成)

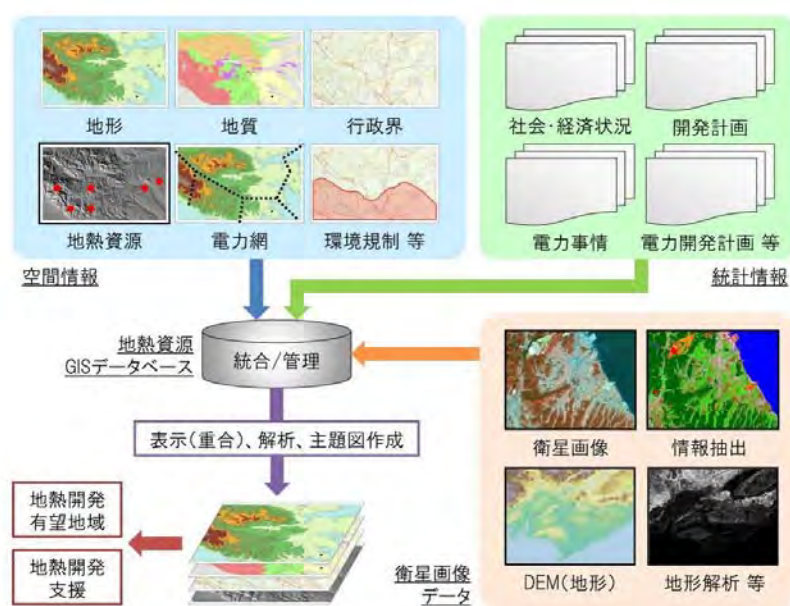
図 I-4 衛星画像データ解析フロー

c) 地化学調査

既往調査データや公表論文等の資料を収集し、調査対象地点の地熱流体の起源や生成機構、地下流体温度、流体の混合・流動状態などの地熱構造解析・地熱資源評価のための地化学的情報を集約した。なお、「アフリカ地熱開発に係る現状確認調査」(2010年10月、JICA)でタンザニア国の地化学調査に関する情報・文献が収集されていることから、その後の情報を重点的に収集した。

d) GIS

地熱開発支援の検討を行うにあたっては、当該国の地熱資源賦存状況のみならず、地形、地質、インフラといった自然状況や社会・経済状況、環境社会配慮、電力事情、将来的な電力開発計画、国及び自治体レベルの開発計画等に関する情報を、多角的な観点から比較・検討する必要がある。これら膨大な情報を管理するためには、データベースが必要不可欠である。特に、社会・経済状況や電力事情といった行政単位毎に集計された「統計データ」と、自然状況や地熱資源賦存状況といった「空間データ」(位置情報を有するデータ)とを統合管理し、総合的な解釈及び視覚的な表示・表現が可能な地理情報システム (Geographic Information System、以下、GIS) を活用した。本業務においては、国内及び現地において収集した情報と、衛星画像データ解析により抽出した情報を集約し、地熱開発有望地域抽出及び地熱開発支援検討に資する基礎的な「地熱資源GISデータベース」を構築した(図 I-5参照)。第1年次では、収集した情報と、衛星画像データ解析により抽出した情報を集約し、「地熱資源GISデータベース」を作成するための準備作業を行った。



(調査団作成)

図 I-5 地熱資源データベースの概念図

e) 第2年次調査計画検討

更新・補完された情報を基に地熱開発有望地点（3～4か所程度）を選定し、第2年次の具体的な調査計画を検討し、上述の情報とともに現地の治安情報などを基に立案し、JICAならびにタンザニア国関係機関と協議した上で調査計画を決定した。

2. 第2年次

a) 基礎情報の収集

第2年次では、文献レビュー情報を更新・補完するため、現地にて以下の情報を収集・確認した。

- 地熱開発候補地域のアクセス状況等に関する情報の収集、踏査
- 地熱開発に経験を有する他ドナーや研究所、民間企業、電力事業者等からの情報収集
- 各国政府や地域共同体の地熱開発計画・意向等の確認及び既存電源開発計画・系統計画との整合性確認・検討
- 地熱開発実施機関のキャパシティ確認

b) 地質調査

選定された地熱開発有望地点（3～4か所程度）について地質調査を行った。地質調査では衛星画像データ解析により解析された情報を基に、地熱開発有望地点の地質・変質帯分布等を明らかにして地熱構造に関連する断裂系などの地質構造を把握した。また、変質帯調査を実施し、変質鉱物の組み合わせなどにより熱水活動の状況を把握し、地質構造、熱構造など地熱構造を検討するための情報を取得した。

衛星画像データ解析で抽出された地質構造などを中心に現地調査を行い、地質、断裂の走向・傾斜、変質状況などを記載・マッピングする。特に、断裂と変質帯分布や温泉の湧出状況などの関連に留意して調査した。変質帯においては変質帯や熱水鉱物脈等の産状を記載した。本地域の

主要な地熱有望地域については、変質岩の試料を採取し、X線回折分析及びスペクトル測定、代表的な岩石を採取して岩石薄片観察を実施した。これらにより地質や変質などの熱水活動の状況などを把握し、地熱流体の流動及び貯留層の分布を規制すると考えられる地質構造について解析した。岩石のスペクトル測定は、粘土鉱物の簡易同定を行うと共に、ASTER データでの変質帯の抽出に教師データ（変質帯の特徴を示すデータ）として用いた。

以下の数量の分析試料を採取した。ただし、なお、分析結果の精度や分析に要する期間を考慮して日本国内で分析を実施した。

岩石薄片観察試料：8 試料

X線回折分析試料：13 試料

スペクトル測定：26 試料

現地調査により収集した資料を整理するとともに、現地調査により採取した岩石試料分析結果を整理し、現地調査結果を合わせて、各地熱開発有望地域の地質図など地質構造解析に利用する資料を作成した。また、地理情報システム（GIS）に投入する地質に係る情報を整理した。さらに、各地熱開発有望地域の地質構造、地熱構造を整理し、地熱資源量評価のための基礎資料を準備するとともに、地熱資源情報を整理し情報収集（インベントリー調査）の基礎資料を作成した。

現地踏査では、第1年次のデータ処理・解析結果の精度を検証するとともに、第2年次の国内作業における衛星画像データ解析（詳細解析）の精度向上に資するノウハウの蓄積に努めた。現地調査の情報及び現地にて収集した地質図幅等の詳細な地質情報を基に、ASTER 画像を用いた地質・地質構造判読を実施した。ここで作成された地質判読図は各地熱有望地域の地質情報を統一的な視点でもって解析・集約した総合的な地質図となり、地熱構造の解析に資する重要な情報の1つとなる。現地調査で確認した地熱徴候地の変質帯や熱異常地の情報に基づき、ASTER のスペクトルデータを利用した詳細なデータ処理・解析を実施し、地熱資源賦存状況の把握も含めた地熱開発支援の検討に資する情報を抽出した。ASTER は地上分解能（地表の物体を捉える能力）及びスペクトル分解能（スペクトル特徴を捉える能力）が高く、地熱徴候を精度良く抽出することが期待される。

c) 地化学調査

既往調査データの現地確認作業と化学分析データの確認・追加を目的として、温泉水・地表水を主な対象とした現地地化学調査を計画した。現地地化学調査の内容・数量（温泉水等採取試料数：合計 21 試料）については、既往調査結果のレビューや地質調査所等との協議を経たうえで決定した。

試料の分析については、同位体比（ $\delta D(H_2O)$ 、 $\delta^{18}O(H_2O)$ ）の分析が現地では不可能であること、及び分析値の信頼性の観点から、日本へ輸送し、国内で実施した。

分析項目：pH、EC、Na、K、Li、 NH_4 、Ca、Mg、Cl、 SO_4 、 HCO_3 、F、B、 $T-SiO_2$ 、 $\delta D(H_2O)$ 、 $\delta^{18}O(H_2O)$

なお、地化学データに基づく資源評価の重要点としては以下の事項である。

- ✓ 中性 Cl 型（主要陰イオンによる分類）の温泉水・熱水の存在：深部地熱貯留層の存在を示唆。
- ✓ 地化学温度：資源量推定のための容積法における重要なパラメーター（貯留層温度）。

- ✓ 高温・高地化学温度の温泉・噴気等の分布：容積法でのパラメーター（貯留層範囲）。
- ✓ 発電用地熱流体としての適性：酸性（腐食）、スケール付着等の推定・評価。

d) GIS

現地調査では、地理情報システムを用いた地熱資源データベースに必要な情報収集を行った。収集が必要と思われる情報は地形、地質、インフラ、地熱徴候等衛星画像データ解析に必要な情報、環境社会配慮に必要な自然公園などのデータである。国内作業では、地理情報システム（GIS）を用いた地熱資源データベースの構築を行った。第1年次及び現地調査において収集した情報と、現地調査における地質調査と地化学調査の調査結果及び解析結果、衛星画像データ解析により抽出した情報を集約し、地熱開発有望地域抽出及び地熱開発支援検討に資する基礎的な「地熱資源 GIS データベース」を構築した。さらに地熱資源分布図等の解析用図面を作成し、地熱開発有望地点の解析に用いた。「地熱資源 GIS データベース」は各地熱開発有望地域のプロファイル作成に利用した。

e) 資源量評価

発電開発が可能な地熱資源量（発電出力）について、地下温度、貯留層体積などのパラメータを仮定して容積法により推定した。容積法は、地熱貯留層の規模（容積）とその平均的な温度を推定して地熱貯留層内に賦存の熱エネルギーを試算し、それから回収できる割合を想定して発電出力に換算する手法であり、使用するパラメータは以下の12種類である。

①貯留層の容積、②岩石密度、③岩石空隙率、④岩石比熱、⑤地熱流体温度（貯留層の平均温度）、⑥地熱流体密度、⑦地熱流体の比熱、⑧回収率、⑨熱量から電力への変換効率、⑩プラントの運転期間、⑪プラントの稼働率、⑫利用限界温度または還元温度

また、タンザニア国の最新の地熱開発状況・計画の整理を行い、地熱開発のポテンシャルについての検討を行うとともに、タンザニア国の地熱資源状況及び地熱開発プロジェクトに係る情報収集（インベントリー調査）を行った。これらの結果に基づき、JICAによるタンザニア国の地熱開発支援の在り方を検討・提言した。

3. 成果品等

a) 調査報告書

調査業務の各段階において作成・提出する報告書等は以下のとおりである。なお、本契約における成果品は、第1年次はインセプションレポートとし、第2年次はファイナルレポートである。なお、ファイナルレポート以外の報告書等は、簡易製本とする。ファイナルレポートの仕様は「コンサルタント等契約における報告書の印刷・電子媒体に関するガイドライン」に基づき製本する。

調査計画書

提出時期：2013年2月中旬頃

提出部数：和文5部、電子データ

インセプションレポート

記載事項：国内調査の結果、第2年次の調査方針、現地調査の地点など

提出部数：和文 5 部、英文 15 部（JICA5 部、先方機関 10 部）及び電子データ

プロGRESSレポート(タンザニア)

記載事項：現地調査の結果、衛星解析の方向性など

提出部数：和文 5 部、英文 10 部（JICA5 部、先方機関 5 部）及び電子データ

ドラフトファイナルレポート(タンザニア)

記載事項：調査結果など

提出部数：和文 5 部、英文 10 部（JICA5 部、先方機関 5 部）及び電子データ

ファイナルレポート(タンザニア)（本書）

記載事項：ドラフトファイナルレポートに対するコメントに対応して必要な加除修正を行ったもの

提出部数：和文 5 部、英文 10 部（JICA5 部、先方機関 5 部）及び電子データ

b) コンサルタント業務従事月報

記載事項：月毎の業務内容、作業・進捗状況の他、現地の情勢、調査上の留意点等（A4 数ページ）を記載する。当該月に提出された現地再委託調査報告書及び当該月の関係機関との関係議事録を添付。

提出時期：調査月の翌月 5 日までに提出（月毎）

提出部数：1 部

c) 収集資料

業務期間中に収集した資料、データ（撮影写真を含む）及びそのリスト一式（JICA 定型フォーム）

提出時期：業務終了時

d) 写真

現地踏査の際、現地の状況を撮影するとともに、撮影した写真を電子データで提出。

提出時期：ドラフトファイナルレポート提出時

I-5 業務の工程

本調査プロジェクトは、2013 年 2 月から 2014 年 3 月まで実施され、このうち第 2 年次は 2013 年 7 月から 2014 年 3 月である。レポート提出時期については、タンザニア分は以下のとおりである。全体調査工程を表 I-1 に示す。

2013 年 3 月 8 日	インセプションレポート
2013 年 10 月 7 日	プロGRESSレポート
2013 年 12 月 3 日	ドラフトファイナルレポート
2014 年 1 月 31 日	ファイナルレポート

I-6 調査のスケジュール

本調査のスケジュールを表 I-1に示す。

表 I-1 調査のスケジュール

作業項目	期間	平成24年度		平成25年度										
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1. 第1次国内作業		[]												
①関連資料収集・レビュー		[]												
・一次エネルギーの賦存状況および利用計画等														
・地熱開発に係る各種情報、他ドナーによる支援状況														
・環境社会配慮制度														
②現地調査計画の作成・協議		[]												
③インゼプションレポート作成・協議・提出			△											
第2年次の契約				-----										
2. 現地調査							[]	[]						
①現地調査準備							[]							
②現地調査(現地事務所説明、温泉水・地質試料採取)							[■]	[■]						
③プログレスレポート作成・提出									△					
3. 第2次国内作業										[]	[]	[]	[]	[]
①分析(温泉水・地質)										[]	[]	[]	[]	[]
②解析作業(地質、地化学、GIS)										[]	[]	[]	[]	[]
③ドラフトファイルレポート作成・協議・提出														△
④ファイナルレポート作成・提出														△

凡例： [] 国内作業期間
 [■] 現地業務期間
 △ 報告書等の説明

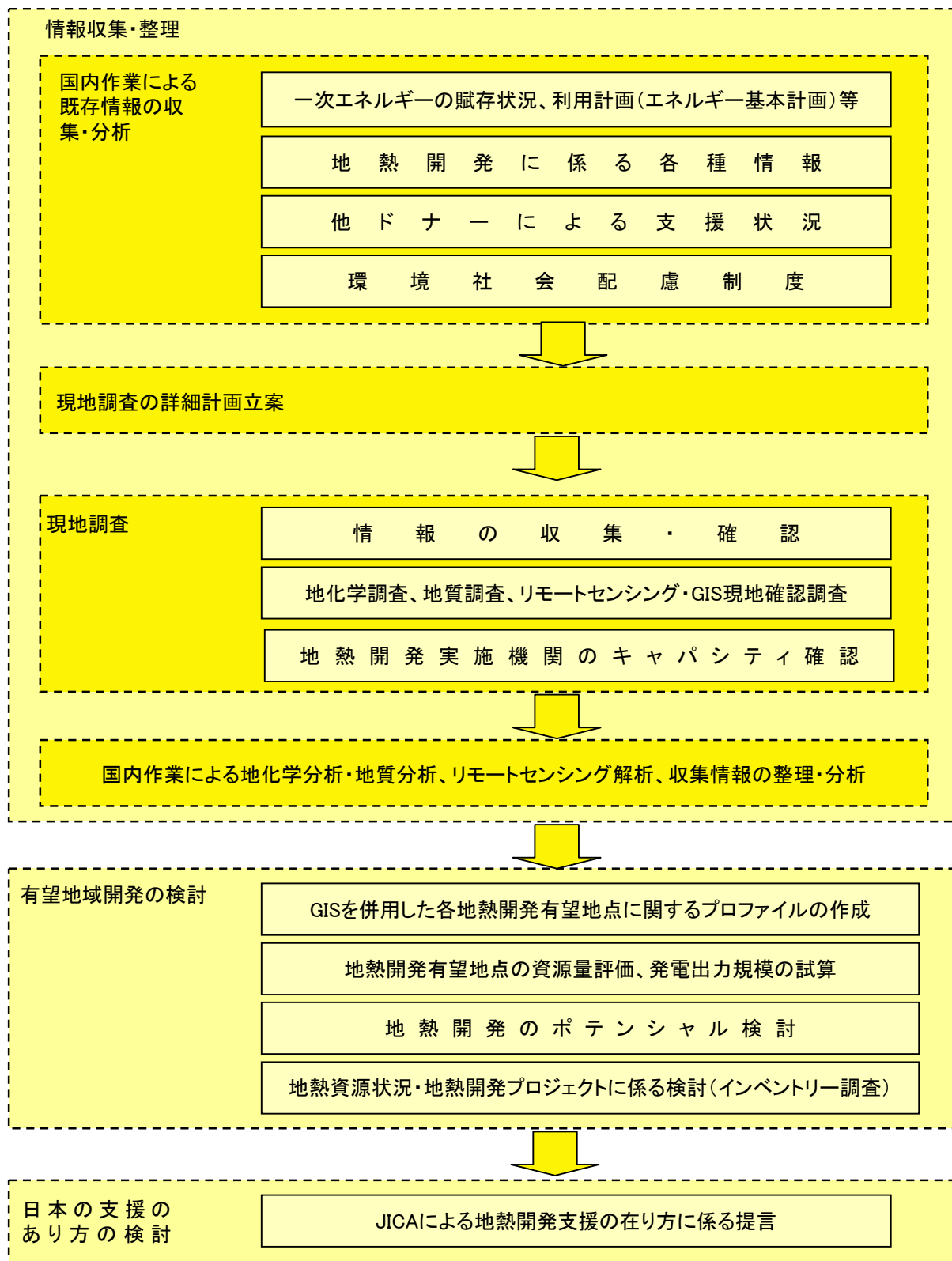


図 I-6 調査フロー

I-7 要員計画

本調査業務は、7名の専門家により実施する。業務従事者の分担業務内容を表 I-2に示す。

表 I-2 調査要員計画表

氏名	担当	業務内容
赤迫秀雄	総括/地熱開発計画	プロジェクト総括業務及び技術管理、地熱開発計画総括
矢原哲也	副総括/地熱開発計画	プロジェクト総括業務の補佐及び技術管理、地熱開発総括補佐
松田敏二	地化学調査 A	資源調査関連資料の収集・整理及び検討(地化学)、資源量評価
内山明紀	地化学調査 B	資源調査関連資料の収集・整理及び検討(地化学)、環境影響評価制度の調査
山川正	地質調査 A	資源調査関連資料の収集・整理及び検討(地質)、リモートセンシング解析
副田宜男	地質調査 B	資源調査関連資料の収集・整理及び検討(地質)
松尾重明	GIS	GIS(地理情報システム)構築

II 調査結果

II-1 エネルギー事情

2010年の「アフリカ地熱開発に係る現状確認調査」によれば、2007年におけるタンザニアの1次エネルギーの供給量は18,278千石油換算トン（toe）であった。この内、国産エネルギー（石炭、天然ガス、水力、薪など）は16,902千toeであった。一方、最終エネルギー消費量は15,806千toeであり、その内訳は、産業用が2,013千toe、運輸用が1,005千toe、その他（民生用、農業用等）が12,788千toeとなっている。タンザニアに存在する主要なエネルギー資源は水力、天然ガス、石炭、再生可能エネルギー（太陽エネルギー、風力、地熱、バイオマス）などであり、資源量は水力が500万kW、天然ガスが450億m³、石炭が約3億トン、太陽エネルギーが187kW/m²と見積もられている。天然ガスに関しては、世界銀行や欧州投資銀行（EIB: Europe Investment Bank）、スウェーデン国際開発庁（SIDA）の融資により、インド洋に位置するSongo Songo島周辺の開発が進み、2004年からSongo Songoガス田の生産を開始している。天然ガスの開発プロジェクトは、Songas社（カナダ系企業やタンザニア系企業など20社以上が出資）が担当し、ガス田の開発以外にも発電所の改修工事やパイプラインの建設を実施している。このプロジェクトに関係する発電所（18.6万kW）はパイプラインが敷設される前（2002年）に完成し、当初はジェット燃料を使用していたが、2004年にガス田から発電所までのパイプラインが完成し、現在は天然ガスを使用している。

II-2 電力事情及び電力供給体制

タンザニアの電力セクターは、エネルギー・鉱物省（MEM: Ministry of Energy and Minerals）、タンザニア電力供給公社（TANESCO: Tanzania Electric Supply Company）、Rural Energy Board（REB）、地方エネルギー庁（REA: the Rural Energy Agency）、地方エネルギー基金（REF: Rural Energy Fund）、エネルギー・水管理規制庁（EWURA: Energy and Water Utilities Regulatory Authority）で構成されている。TANESCOは、MEMの下に置かれている。民間と政府により、TANESCOが1930年代初めに設立されたが、1957年までに全株式をタンザニア政府が取得した。TANESCOは、タンザニア本土の発電、送電、配電、売電事業を行っており、タンザニア本土で唯一の大規模電力供給者であった。1980年からは、132kV海底ケーブル38kmを使って、ザンジバル島とペンバ島に配電供給の責任を持つザンジバル電力公社（ZECO: Zanzibar Electricity Corporation）に45MWの電力を供給している。なお、1992年6月に電力取引への民間セクター参加が可能となり、タンザニア電力供給公社の電力市場独占は終了した。2003年改訂のエネルギー政策によれば、国家開発目標を支援するために、合理的で持続可能な方法で信頼性があり妥当な料金のエネルギーの安定供給を保証することが政策目標となっている。また、産業、農業、商業、人口増加など

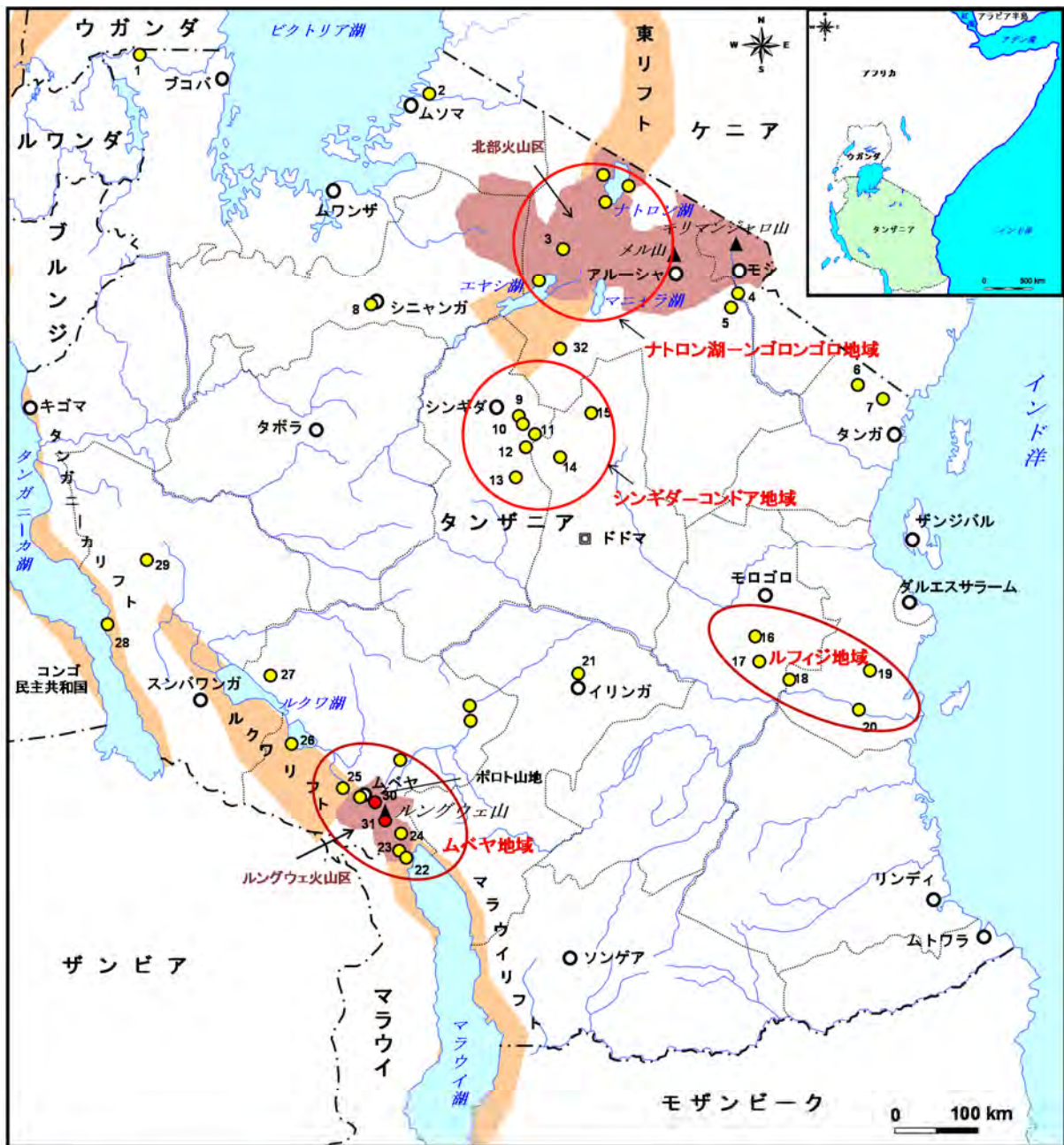
からの需要増加に対処するため、2023 年までに供給能力を 3 倍に増強する必要性が指摘されている。

2010 年の「アフリカ地熱開発に係る現状確認調査」によれば、タンザニア電力供給公社が有する発電設備容量は水力の 561MW と火力の 478MW の合計 1,039MW であった。また、Mnjokava (2012)によれば、タンザニアにおける総発電容量は 1,320MW であり、電源は水力、ガス及び火力とされている。また、近年は水力に大きく依存した電源構成となっていることから、干ばつなどの影響を受けやすい電力供給体制となっている。このため、タンザニア政府は最適なエネルギーミックスとなるような代替電源開発を目指している。前述したように、タンザニア国内において電源となり得るエネルギー源は水力、重油、石炭、風力、太陽、海洋波力、天然ガス、地熱、バイオマスなどであり、地熱エネルギーも代替電源として重要視されている。

II-3 地熱資源概要

タンザニア国において地熱開発を管轄するのは、MEM エネルギー・石油局再生可能エネルギー課である。再生可能エネルギー課では太陽、風力、小水力、地熱及びバイオマスの 5 分野を取り扱っている。地熱調査を実施している国の機関としては、タンザニア地質調査所（GST : Geological Survey Tanzania）がある。TANESCO には地熱開発の責務は課されておらず、関連予算も割り当てられていないが、GST や MEM 再生可能エネルギー課と共に、地熱作業グループのメンバーとして地熱開発調査に関わっている。また、REA は地方電化を目的とした小規模地熱発電所開発を検討している。

数はそれほど多くないが、タンザニア国における地熱資源に関連した調査が 1949 年以降行われている。初期の調査では、地温測定、温泉の水・ガス分析や流量測定などが行われた。これらの初期調査はそれ以降の地熱調査計画立案の基礎情報となっている。確認されている温泉地の大部分はリフトバレー地域内に位置している。これら温泉地のほとんどは、ケニアとの国境付近に位置するキリマンジャロやメル、ンゴロンゴロなどの北部火山区と南西部のルングウェ火山区に分布している（図 II-1 参照）。



凡例

● 地熱地域	● ライセンス発行済みの地熱地域			
1: ミタガタ	7: アンボニ	13: ヒカ	19: ルフィジ (ニョンゴニ)	25: ソングウェ
2: マジモト	8: ウサンゴレ	14: ゴンガ	20: ウテテ	26: イブナ
3: ンゴロンゴロ	9: イサンジャ	15: コンドア	21: ダラジャヤムンダ	27: マブ
4: ウキンドゥ	10: マニェギー	16: キサキ	22: カシムロ	28: ブロンダウェ
5: ンジョロノリ	11: タクワ	17: マジャウェタ	23: マンブロ	29: カバンゴ
6: ポンボ	12: ムボンデ	18: タガラ	24: キランボ	30: ンゴジ
				31: ムバカ
				32: マスワレ

Mnjokava (2012) を基に作成

図 II-1 タンザニア国における主要地熱地域

II-4 地熱開発の現状

II-4-1 地熱開発

スウェーデン国コンサルティンググループ（SWECO）は、スウェーデン国際開発庁（SIDA : Swedish International Development Cooperation Agency）の資金を利用し、アイスランド国 Virkir-Orkint と協力してタンザニアの地熱資源調査を 1976 年から 1979 年にかけて実施している。この調査では、タンザニア北部（アルーシャ周辺）、ナトロン湖、マニャラ湖）や南西部（ムベヤ地域）などに分布する 50 の温泉が調査され、湧出温度などが測定された。この調査により、マニャラ湖周辺、ナトロン湖、ンゴロンゴロクレーター及びムベヤで高い温度が検出され、ムベヤ、ンゴロンゴロ及びマニャラ湖が有望地域として絞り込まれている。

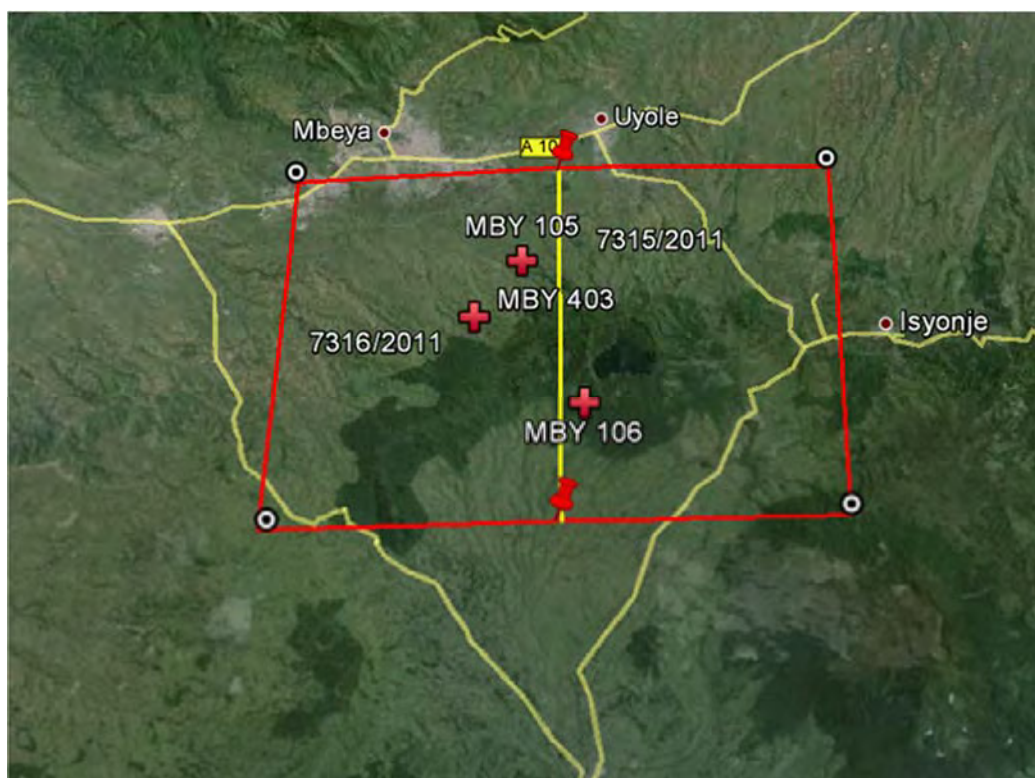
Hochstein ほか（2000）は、15 箇所程度の 40℃以上の温泉地の現地調査データをレビューしている。それらのうち 10 箇所は、東及び西リフト帯と結びついた第四紀の火山岩内に、それ以外はタンザニアの始生代クラトンと先カンブリア時代の岩石の中にある。彼らは、最も有望な地域はムベヤにあるルングウェ火山と結びついたソングウェ、キランボ、マンプロ、カシムロであると結論付けた。これらの温泉は、詳細な科学調査によって決定されるであろう地域から流出したものであることを示していた。

ダルエスサラームの南約 160 km に位置するルフィジ川流域のルホイ（ニョンゴニ）では、1997 年から 2004 年にかけて、First Energy Company Ltd.（FEC）によって地表概査が実施され、地熱貯留層の存在が推定されている。2004 年と 2005 年には、DECON（Deutsche Energie-Consult Ingenieurgesellschaft mbH）がアフリカ開発銀行の支援により、地方電化調査を実施している。この調査では、地熱エネルギーは将来の電力供給における地産型再生可能エネルギーの 1 つとして位置づけられている。この調査はナトロン湖とムベヤ地域を対象とし、限られた地域で地質、地化学、物理探査の調査が行われた。その結果、詳細な調査のためには、ナトロン湖よりも FEC に探査権が発行されていたムベヤとウテテ地域が望ましいと結論付けた。ナトロン湖においては、よりよい理解のため、レンガイ火山とゲライ火山の東側の地域を調査することが提案されている。

先の調査における推奨に基づき、ルングウェ火山近くに位置するムベヤで、ドイツ地科学天然資源研究所（BGR : Federal Institute for Geosciences and Natural Resources of Germany）が MEM、GST 及び TANESCO 職員の協力を得て、地質調査、地化学調査、物理探査（TEM、MT）を 2006 年～2009 年に実施した。この調査は、ルワンダ、ウガンダ及びケニアも対象とした、より大きな調査の一部である「GEOTHERM」プロジェクトの下で行われた。タンザニアにおいては、このプロジェクトは「地熱エネルギーはタンザニアの代替エネルギー」というタイトルであった。これらの調査は、ンゴジ火山と結びついたソングウェなどの温泉が分布する北部地域の地熱系と、ルングウェ及びキエジョ火山と結びついて南方にいくつかの温泉として流出している南部地域の地熱系があることを示した。北部地域の地熱系は 200℃以上であるが、南部地域の地熱系はそれ以下であることが判明した（BGR, 2008）。この調査結果に基づき、3 本の浅部調査井（300-400m）の掘削ターゲットを選定するために、より詳細な物理探査が 2010 年に、同じ調査団によってンゴジで行われた。BGR はこの詳細調査の最終報告を提出していない。しかしながら、この調査データに基づき、タンザニアのプロジェクトスタッフは、3 本の浅部調査井の掘削位置を提案した（MEM,

2012、図 II-2 参照）。ただし、提案された浅部調査井は、GPT の探査権設定地域内であった。

ンゴジ地域で実施された BGR の詳細調査を除いて、これまでにタンザニア国で実施された地熱調査の多くは概査段階のものである。このため、多くの地熱地点では依然として大きな開発リスクが残されている。したがって、タンザニアにおいて地熱開発を推進するためには、地熱開発リスクを低減させるための詳細調査を実施して有望地熱地域を抽出した上で調査井掘削を実施により、開発可能な地熱資源の存在を確認する必要がある。



(グーグル・マップ上に作成)

図 II-2 ムベヤの GPT 探査権設定地域（2 箇所）及び浅部調査井（MBY105, MBY106 及び MBY403）計画位置図

II-4-2 地熱探査権

First Energy Company Ltd. (FEC) は 1997 年に地熱探査権を取得した、タンザニアで最初の IPP である。この探査権は詳細調査とルフィジ川下流域のルホイにおける地熱開発を含んでいた。FEC はこの地域の石油探査の結果を基に結果を取りまとめ、地熱資源量を 100MW と見積もった。しかしながら、調査データと報告書は、公開されていない。なお、FEC による地熱開発はほとんど進捗しておらず、探査権は取り消された。

BGR と一緒に調査に携わった地熱スタッフは、3 本の熱流量孔の位置を設定したが、タンザニア政府は資金不足のため、掘削することができなかった。地熱開発を進めるために、政府は鉱物法に基づき、2011 年から様々な IPP に 30 の探査権を発行した。

Geothermal Power Tanzania (GPT) は、地熱探査及び開発を行うため 2012 年にタンザニアで登録された。GPT は、GPL (Geothermal Power Limited: モーリシヤスに登録) が 70%、Interstate Mining & Minerals Ltd が 25%、National Development Corporation が 5% 出資している。GPL は Aspac Mining

Ltd、Geothermal Engineering GmbH 及びオーストラリアとシンガポールの投資家が出資している。Interstate 及び NDC はタンザニアの企業である。この企業の地熱コンサルタントは、株主であるドイツの Geothermal Engineering GmbH である。

GPT は、Interstate Mining & Minerals Ltd を通じてムベヤとルフィジ地域に 6 つの探査権を当初取得していた(www.gpl-international.com/projects)。すなわち、ムバカで 3 箇所 (7314/2011、7312/2011、7317/2011)、ンゴジで 2 箇所(7316/2011、7315/2011) 及びルフィジで 1 箇所 (7261/2011)であったが、現在所有している地熱探査権はムバカの 1 箇所 (7317/2011)とンゴジの 2 箇所(7316/2011、7315/2011)のみとなっている。

GPT は、2012 年にムバカで地質調査と地化学調査を実施した (Kraml et al., 2012)。ムバカ断層は上昇域であり、地表付近で希釈されて温泉を形成していると推定されている (Kraml et al., 2012、図 II-3)。GPT はムベヤに供給する 10MW の坑口発電を現在目指しており、ムバカ断層をターゲットとして 600m~800m の 3 本の調査井を掘削している。紅茶やバナナの乾燥にも温泉水を利用しようとしている (Kraml et al., 2012)。より大きな掘削リグがタンザニアに持ち込まれており、ムバカでの生産井掘削に使用される予定である (Kraml、私信)。GPT はンゴジで 2018 年の 140MW 地熱発電を目指しており、3 本の浅部調査井を掘削した後に深部調査井を掘削し、100MW の PPA 交渉をする計画である。政府は GPT による 3 箇所の探査権地域における地熱開発の進捗状況をレビューしている。

II-4-3 ドナーの支援状況

2012 年 8 月に MEM において、MEM とドナー (DFID、AfDB 及び JICA) 間の会議が開催されており、MEM はタンザニアにおける地熱開発支援 (地熱資源調査、調査井掘削、人材育成及び法的規制枠組み) を歓迎する意向が示された。

Economic Consultants Associated Ltd.が 2012 年 10 月に”East Africa Geothermal Energy: Review of Donor Initiatives and Current Regulatory Framework” を刊行している。かなりのドナーがタンザニア国における地熱部門に興味を示しているとされている。この報告書によれば、SIDA 主導のエネルギードナーパートナーグループが結成されている。このグループは幾つかのドナーの協調による地熱部門への支援をとおして、タンザニアにおける再生可能エネルギー規模拡大プログラム (SREP, Scaling-up Renewable Energy Program) の一翼を担うことを目指している。

AfDB は、タンザニアにおける再生可能エネルギー導入促進の一環として地熱開発の促進を目指している。また、DFID や MEM と協力して、2013 年 3 月にダルエスサラームにおいて「地熱に関する法的枠組みワークショップ」を開催している。このワークショップは、気候変動投資ファンドに提出される前に、「SREP: タンザニアへの投資計画」にもフィードバックされている (MEM, 2013)。これらの提案には、地熱開発ロードマップや、鉱物法に代わる法的枠組み、再生可能エネルギー戦略と民間セクターの役割、プロジェクト開発の合理化や、地熱部門のガバナンス、エネルギー・鉱物省への地熱セクションの新設の提案が含まれている。

SREP 提案書は、地熱開発と、地方電化のための再生可能エネルギーという 2 つの大きな要素で構成される。SREP プロジェクトは、719.2 百万米ドルで合計 147.5MW の再生可能エネルギー開発を予定し、そのうち地熱は 536.8 百万米ドルである。AfDB は地方電化 (ミニグリッドやマイクログリッド) のための再生可能エネルギーのリーダー役である。地方エネルギー庁が地熱以外

の再生可能エネルギー開発推進の実施機関となり、エネルギー・鉱物省は地熱エネルギー開発推進の実施機関となることが計画されている。このため、エネルギー・鉱物省は再構築され、プロジェクトを担当する地熱セクションをエネルギー部に新設することが検討されている。

SREP の地熱部門の費用を表 II-1 に示す。プロジェクトは電力基本計画と呼ばれ、2025 年までに風力や地熱、太陽光などの再生可能エネルギーによる 100MW の電源開発を目的としている (MEM, 2013)。SREP はプロジェクトの準備や MEM の組織改正、キャパシティービルディング、地熱地点の詳細調査及びそれに続く調査井掘削及び地熱発電開発に関わるアドバイスをを行うために 25 百万米ドルを提供する予定である。本調査は SREP プロジェクトにおける詳細調査地点を抽出するための一助となることが期待されている。

2013 年 8 月 3 日、タンザニア政府派遣団が SREP のキャパシティービルディングの一環としてケニアの地熱発電所を訪問した (表 II-1-項目 1.3 を参照)。AfDB は法的枠組みの仕様を表 II-1-項目 1.1 の SREP 活動の一つとしてまとめた。派遣団がケニアから帰国するとすぐに、エネルギー・鉱物省はトレーニングされた職員で構成される地熱セクションを立ち上げた。タンザニアにおける全ての地熱探査権はこの地熱セクションが管轄することになる。この新組織は、地熱発電所建設のための本格的な地熱開発に先立つ地熱探査と調査井掘削に責任を負うこととなっている。新組織関係者のキャパシティービルディングは、職員の要望に基づいて実施される計画である。近い将来には、ケニアの GDC のような蒸気供給をする組織に進展する可能性もある。

AfDB は借款で約 100 百万米ドル、SREP は 20 百万米ドルの貢献をする予定であり、うち 25% は助成金、75% はソフトローンである。

SREP は 2014 年 1 月から始まる、地熱地点の詳細調査及び調査井掘削に融資する予定である。なお、DFID は、IPP の地熱プロジェクト参入で非常重要となる土地所有権と電力料金に関連した法的枠組み作りに興味を持っていた。

BGR は次のような分野における支援を検討している。

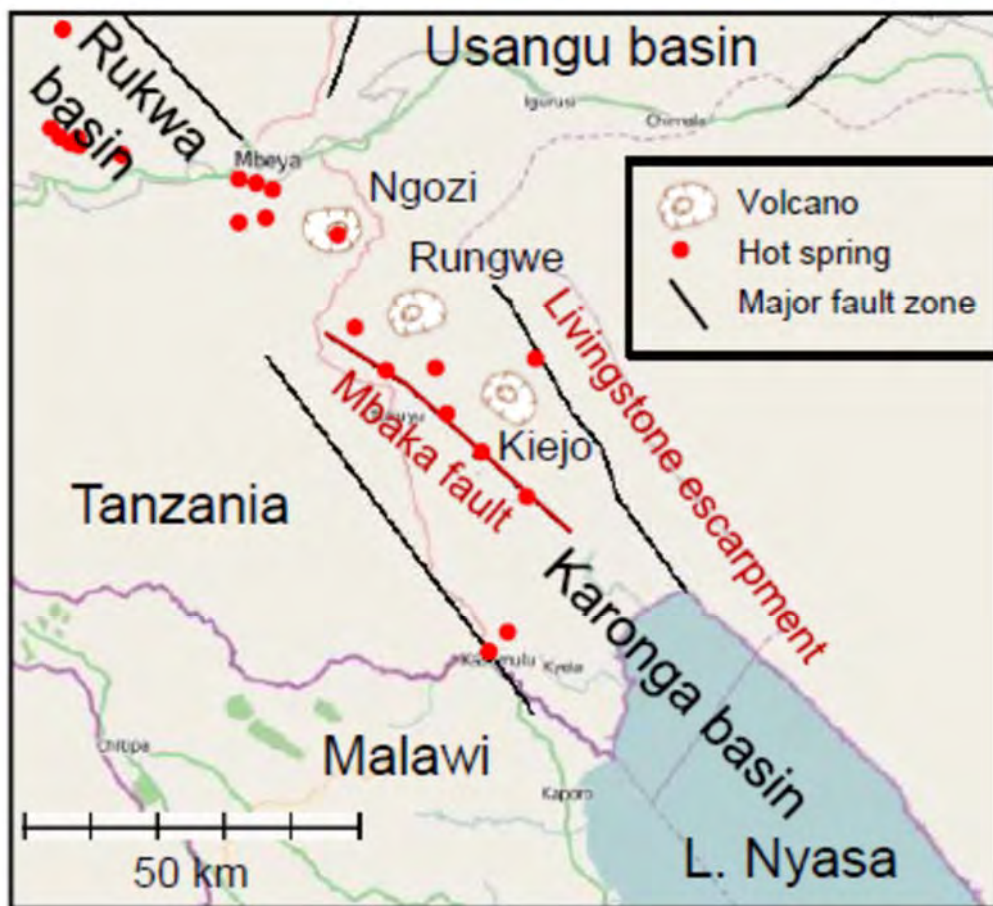
- 地熱探査におけるデータ取得、データ解析及び解析結果に対する解釈のタンザニア専門家の研修
- 近年の地熱探査手法に基づいた調査井掘削地点選定に関する助言
- 政策策定者の政策対話及び意識啓発
- MEM, GST 及び TANESCO が地熱資源探査を継続することが可能となるような支援
- 政策策定者へのタンザニアにおける地熱エネルギー利用可能性に関する情報の宣伝
- 地熱地域における浅部掘削への資金提供者探しへの協力

KfW は既に、アジスアババからタンザニアを含む東アフリカ諸国の AUC によって運営された GRMF を設立した。タンザニアはまだ GRMF からの支援を申し込んでいないが、この基金は調査支援や失敗坑井（噴出しない井戸）の掘削リスクをカバーし、支援額は失敗の度合いに基づいている。2003 年に設立され GEF の資金提供を受ける ARGeo もまたタンザニアで使用可能である。しかし、この制度には承認と実行の困難性がある。なお、資金は比較的限られている。

調査井掘削を含む地表調査に対する補助金を実施中、世界銀行と協力している ICEIDA もまた東アフリカ諸国への基金を設立している（コンパクト・プロジェクト）。コンパクト・プロジェクトは、地表調査とキャパシティービルディングを支援している。

UNUGTP もまた、2005 年から現在まで毎年ケニアで、KENGEN 及び GDC と協力してショー

トコース (4 週間) を開催・援助している。タンザニアからもこのコースに参加している。UNUGTP はまた、半年間のトレーニングコースをアイスランドで開催している。JICA は東アフリカ諸国を対象とした新しい地熱研修コースを 2011 年から九州で実施している。



(Kraml et al., 2012)

図 II-3 ルングウェ火山群 (ンゴジ、ルングウェ及びキエジョ火山) とムバカ断層

表 II-1 SREP 地熱開発プロジェクト (100MW)

	Target capacity	100MW						
		SREP	AfDB	Others	GoT	Private Sector	Commercial Banks	Totals
		Unit: Thousands of US\$						
0	Project prep grant	700	-	-	-	-	-	700
1	Strategy, Registration and Capacity Building	-	-	-				
1.1	Strategy, registration and regulation	-	-	2,300	500	-	-	2,800

1.2	Organization establishment, institutional development and program management	700	-	-	1,000	-	-	1,700
1.3	Capacity building, training, knowledge and lessons sharing	1,600	-	-	-	-	-	1,600
2	Geothermal Resource Confirmation and feasibility studies of promising sites							
2.1	Satellite and surface exploration and pre-feasibility studies			3,000				3,000
2.2	Test drilling program design, exploration drilling and feasibility studies	20,000						20,000
3	Power generation project development and Transaction Advisory	2,000						2,000
4	100MW Power Plant Project	-	15,000	-	-	142,500	317,500	475,000
5	Partial Guarantee for power plant	-	30,000	-	-	-	-	30,000
	Total	25,000	45,000	5,300	1,500	142,500	317,000	536,800

(MEM, 2013)

II-5 地熱開発有望地域

II-5-1 予備調査

1. リモートセンシング

a. データの収集

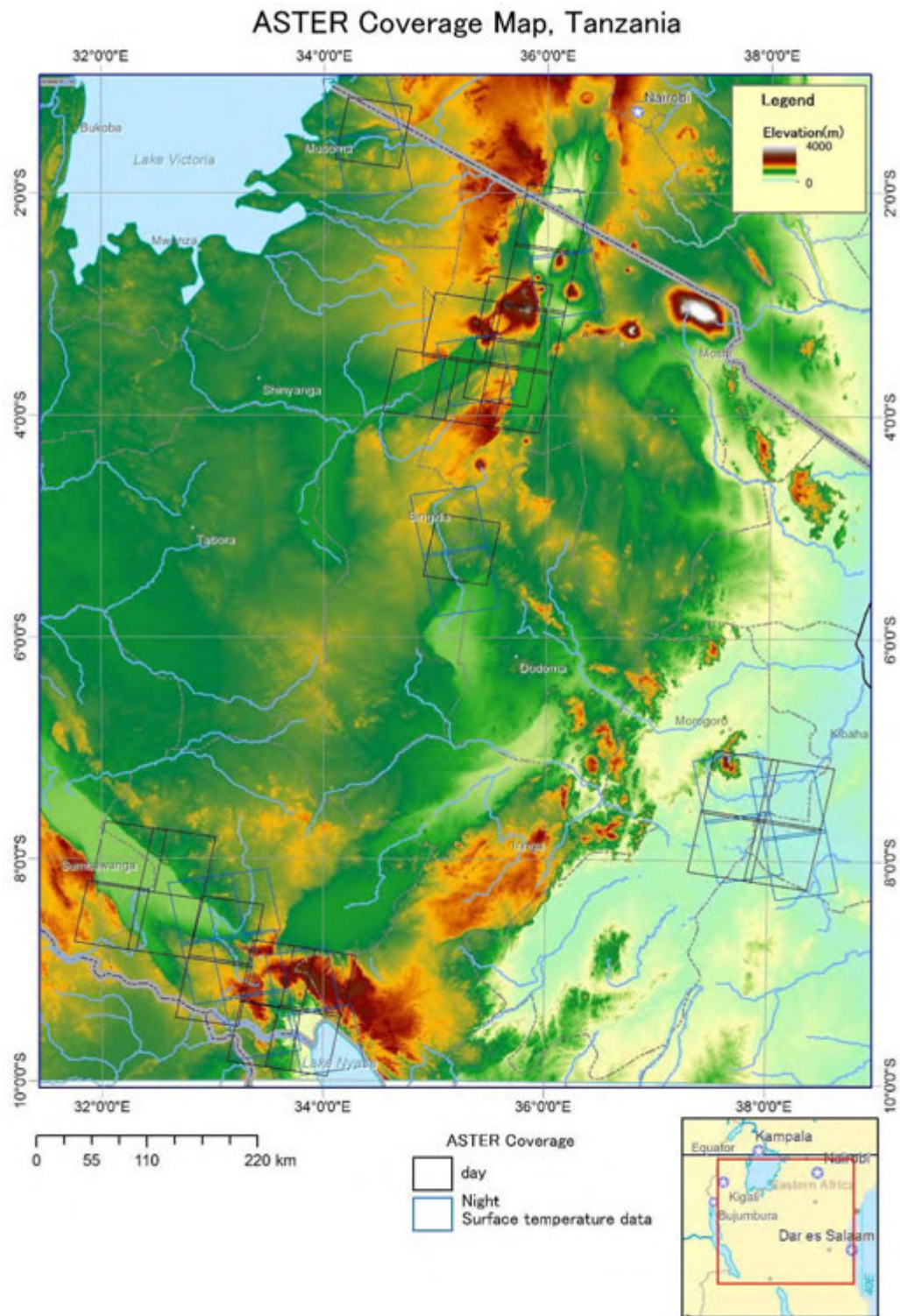
収集したリモートセンシングデータを表 II-2 に示す。また、入手した ASTER 画像のカバレッジマップを図 II-4 に示した。ASTER 画像を収集した地域は、文献情報等により地熱地帯として有望とされているタンザニア国南部（ムベヤ）と北部（ナトロン湖）及びマニャラ湖周辺など、以下の 5 地域を対象とした（図 II-1）。

- ▶ ムベヤ
- ▶ ナトロン湖及びマニャラ湖周辺
- ▶ マジモト
- ▶ キサキ
- ▶ シンギダ南東部

表 II-2 収集したリモートセンシングデータ一覧

Data used	Specification	Numbers	Remarks
LANDSAT/ETM+ Pan-Mosaic image (Optical)	-7 bands ranging from VNIR to TIR through SWIR -15m in spatial resolution	as required	USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center.
Terra/ASTER (Optical)	-14 bands ranging from VNIR to SWIR -15 to 90 m in spatial resolution -60 km in swath -Pointing -Stereoscopic view along track	23	Product Level1B; 25scenes 3B temperature; 18scene From Japan Space Systems
ALOS/PALSAR (SAR)	-L band -10 m in spatial resolution -50 km in swath -20-50° of off-nadir angles	7	Product Level1.5; 7scenes From Japan Space Systems
SRTM (DEM)	-90 m in spatial resolution -Data opened in 2002	as required	USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center.

(調査団作成)

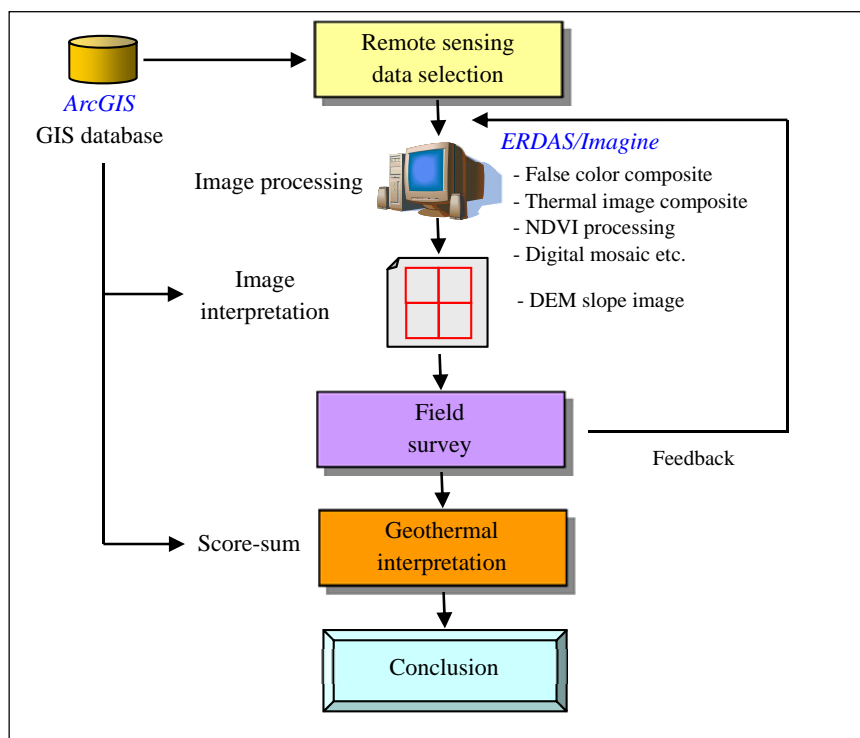


(調査団作成)

図 II-4 タンザニア国 ASTER 画像のカバレッジマップ

b. 調査方法

調査では、リモートセンシングデータを選定し、そのデータ処理と画像判読を行うとともに、画像判読結果に基づく現地地質調査をおこなった。また、地熱に関連する判読・解析を実施し、それらを統合した。これらの一連の流れは GIS 処理とリンクして実施された。現地調査におけるフローチャートを図 II-5 に示した。



(調査団作成)

図 II-5 現地調査におけるフローチャート

現地調査に利用した画像データは LANDSAT/ETM+、EOS/ASTER、ALOS/PALSAR であり、さらに地形的特徴を把握するために SRTM (Space-Shuttle Radar Terrain Model) を利用した。SRTM は DEM (数値標高モデル) の一種であり、様々な演算処理に対応可能である。

c. 現地調査のための画像処理

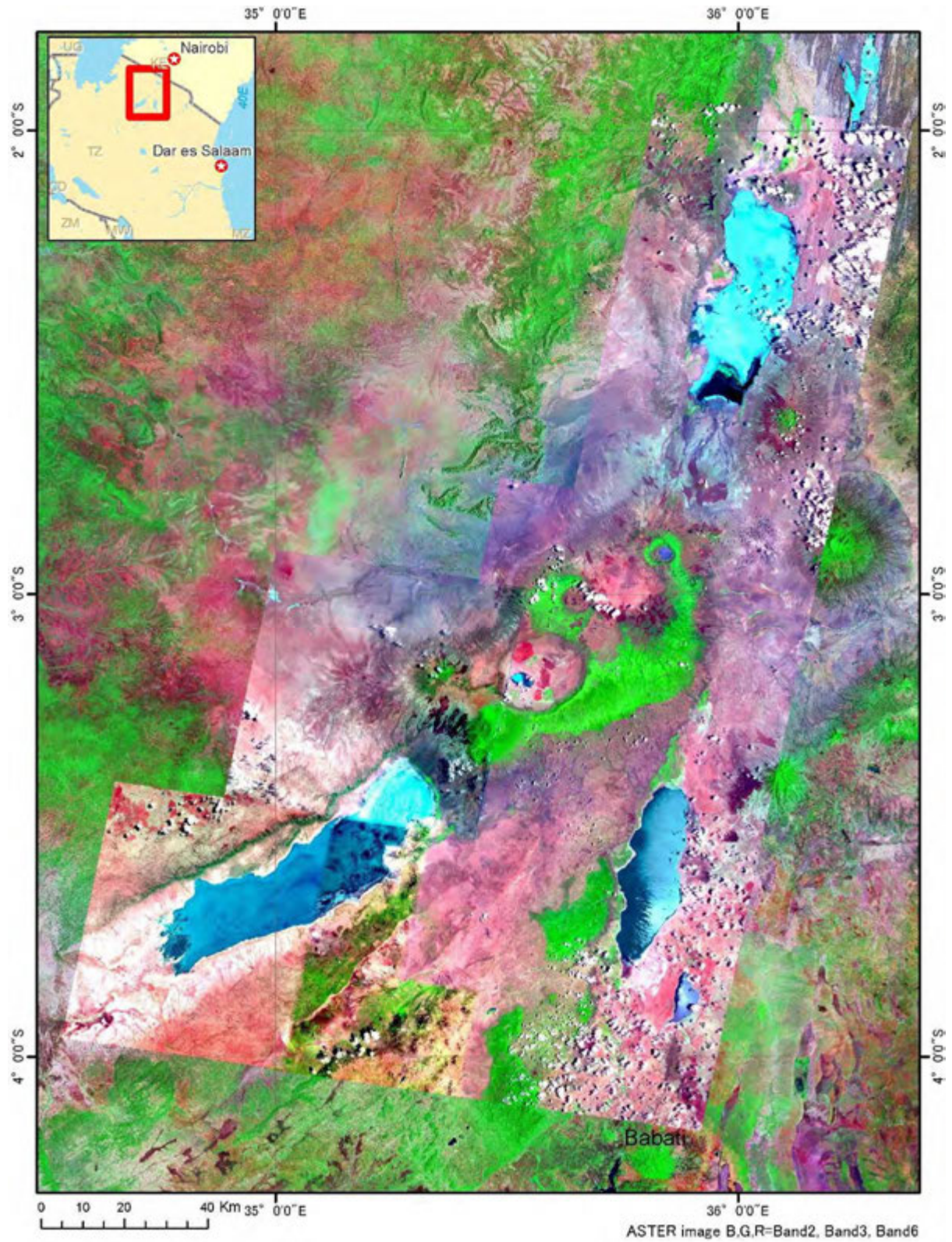
作成した画像リストを表 II-3 に示した。適用した処理方法はフォールスカラー合成処理、NDVI 処理、デジタルモザイク処理等である。フォールスカラー合成処理では適切な 3 バンドを青・緑・赤の光の三原色に割り当てて色合成画像を作成した。北部地域 (ナトロン湖およびマニャラ湖周辺) のフォールスカラー画像を図 II-6 に、シンギダおよびコンドア地域、ムベヤ地域、ルフィジ川流域のキサキおよびニョンゴニ付近のフォールスカラー画像を図 II-9~図 II-12 にそれぞれ示した。NDVI 処理では標準化植生指数を利用して湧水と関連する植生を強調して表示した。北部地域 (ナトロン湖およびマニャラ湖周辺) の NDVI 画像を図 II-7 に示した。同画像では、植生の活性度が高い地域を階調が高く (明るく) なるように設定した。ASTER 熱画像では処理レベル 2B03 プロダクトを利用して地表の放射温度を表示した。同画像では高い放射温度の階調が

高く（明るく）なるように設定した。北部地域のナトロン湖周辺の地表面温度画像を図 II-8 に示した。同画像では放射温度の違いを色分けして示した。一方、SRTM データについては、3*3 の矩形ウィンドウを適用して傾斜量を算出し、この結果をフォールスカラー画像に畳みこんで地形特徴を強調させた。

表 II-3 作成画像一覧

Area name	Generated imagery	Scale
Northern area	ASTER false color image combined with LANDSAT/ETM+	1:250,000
	ASTER false color image combined with LANDSAT/ETM+ (trimmed)	1:100,000
	SRTM slope image superimposed on ASTER false color image	1:250,000
	ASTER NDVI image (trimmed)	1:100,000
	ASTER Level 2B03 product (surface kinetic temperature)	1:100,000
(Shingida area)	ASTER false color image combined with LANDSAT/ETM+	1:250,000
	ASTER false color image combined with LANDSAT/ETM+ (trimmed)	1:100,000
	SRTM slope image superimposed on ASTER false color image	1:250,000
	ASTER NDVI image (trimmed)	1:100,000
Mbeya area	ASTER false color image combined with LANDSAT/ETM+	1:250,000
	ASTER false color image combined with LANDSAT/ETM+ (trimmed)	1:100,000
	SRTM slope image superimposed on ASTER false color image	1:250,000
	PALSAR image	1:100,000
Rufiji area	ASTER false color image combined with LANDSAT/ETM+	1:250,000
	ASTER false color image combined with LANDSAT/ETM+ (trimmed)	1:100,000
	SRTM slope image superimposed on ASTER false color image	1:250,000

(調査団作成)



(調査団作成)

図 II-6 北部地域の ASTER 及び LANDSAT/ETM+複合画像

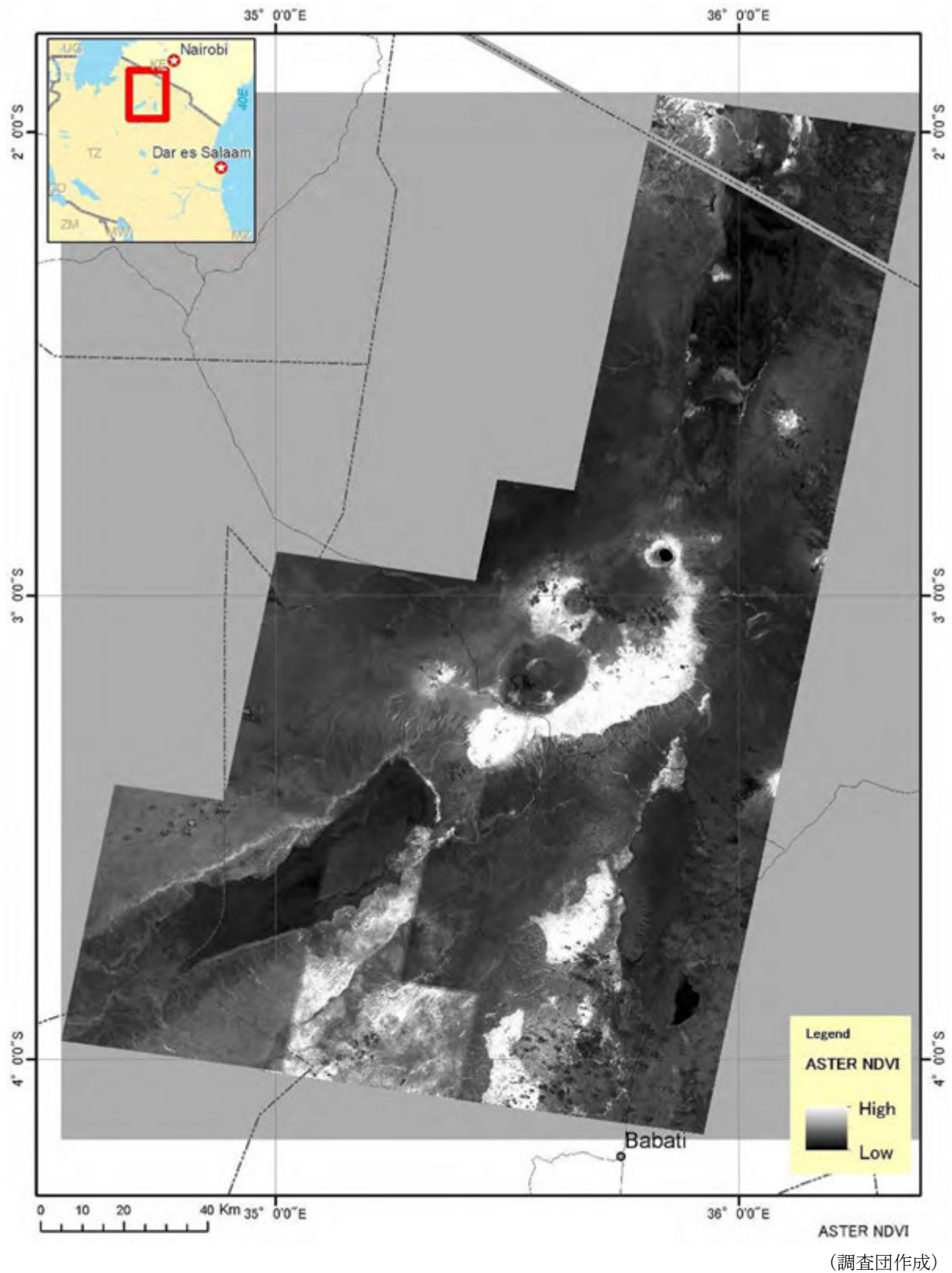
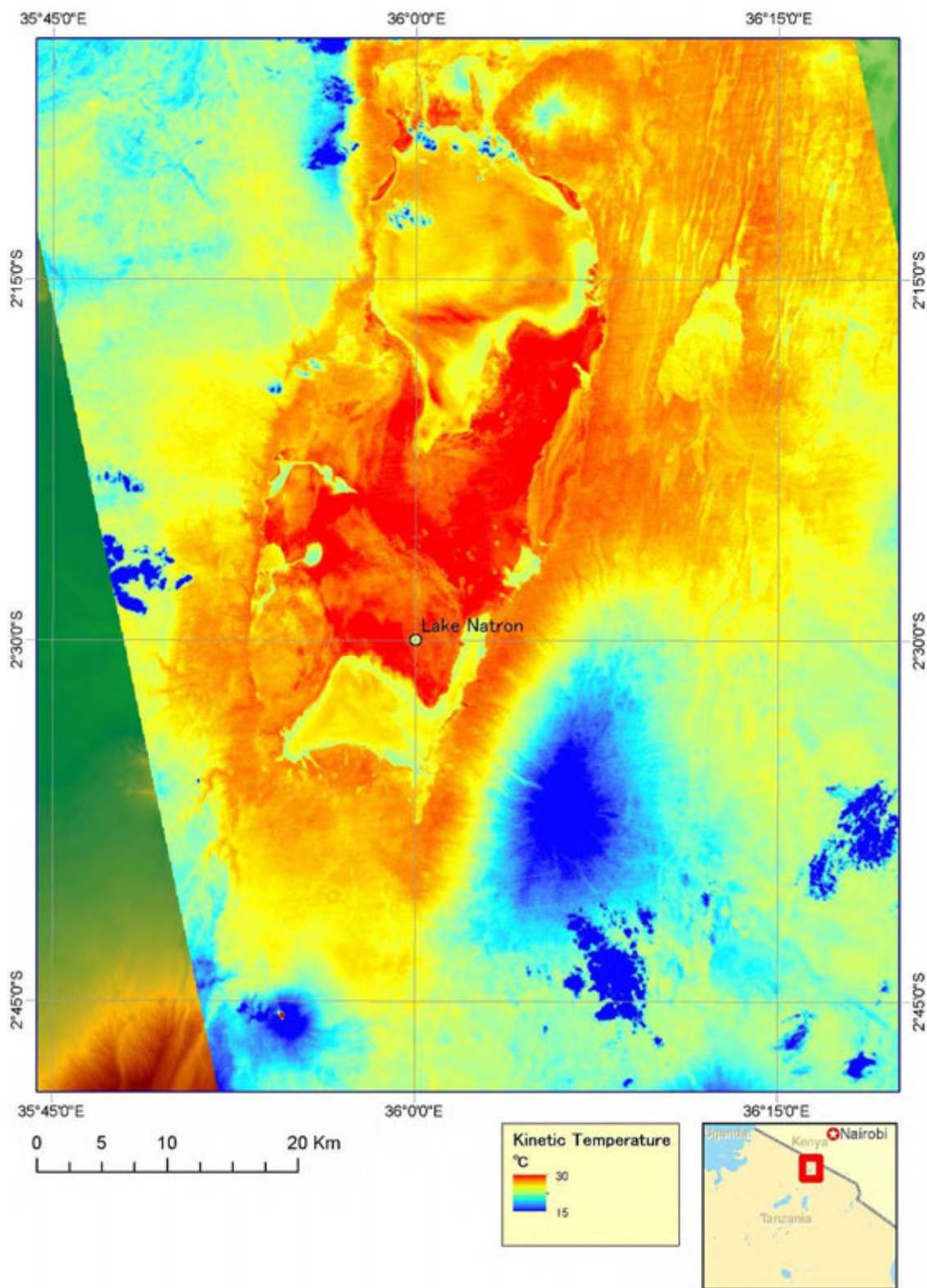
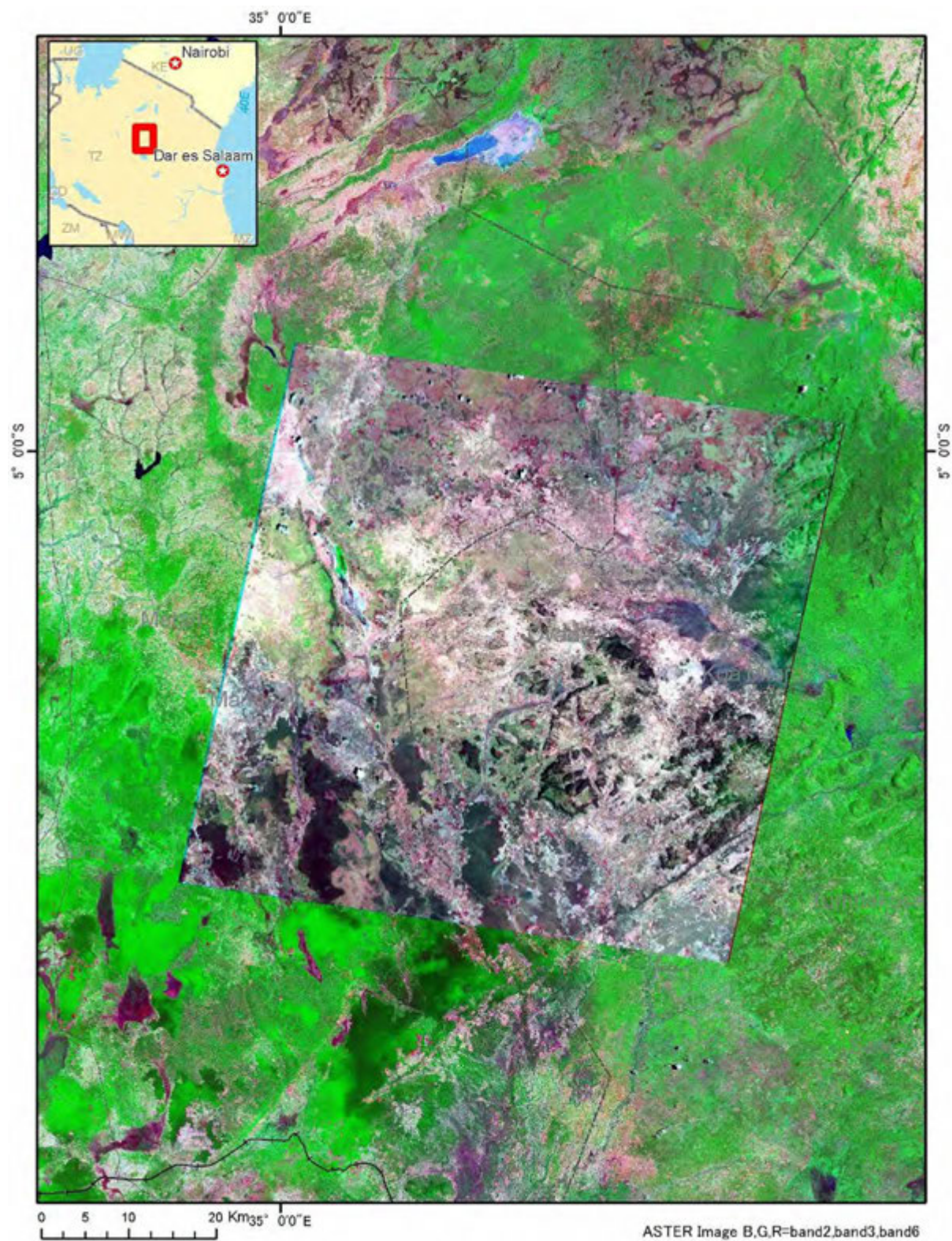


図 II-7 北部地域の ASTER 植生指数画像(NDVI)



(調査団作成)

図 II-8 ASTER Level 2B03 プロダクト (地表面温度)



(調査団作成)

図 II-9 シンギダ及びコンドア地域の ASTER 及び LANDSAT/ETM+ 複合画像

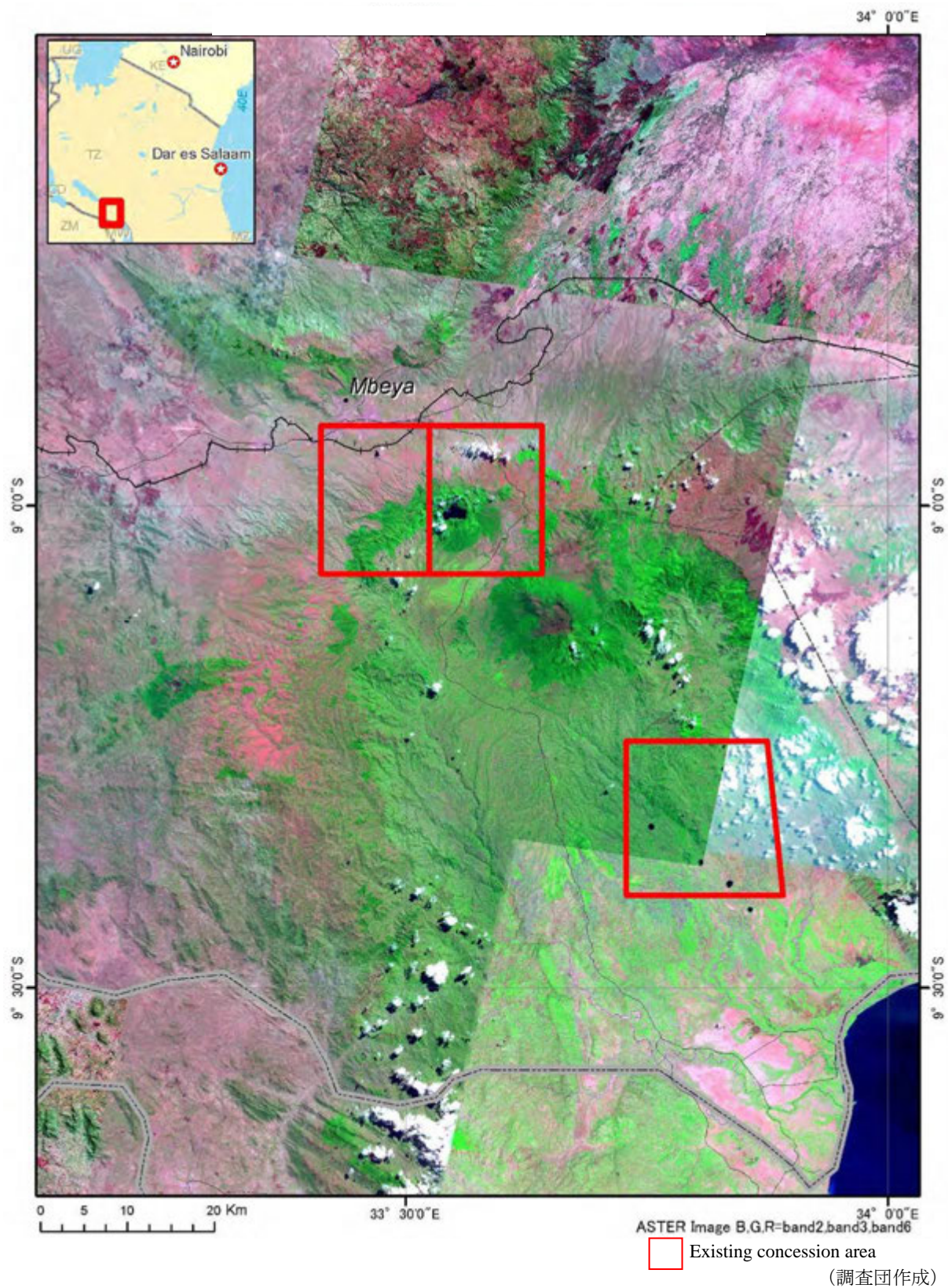
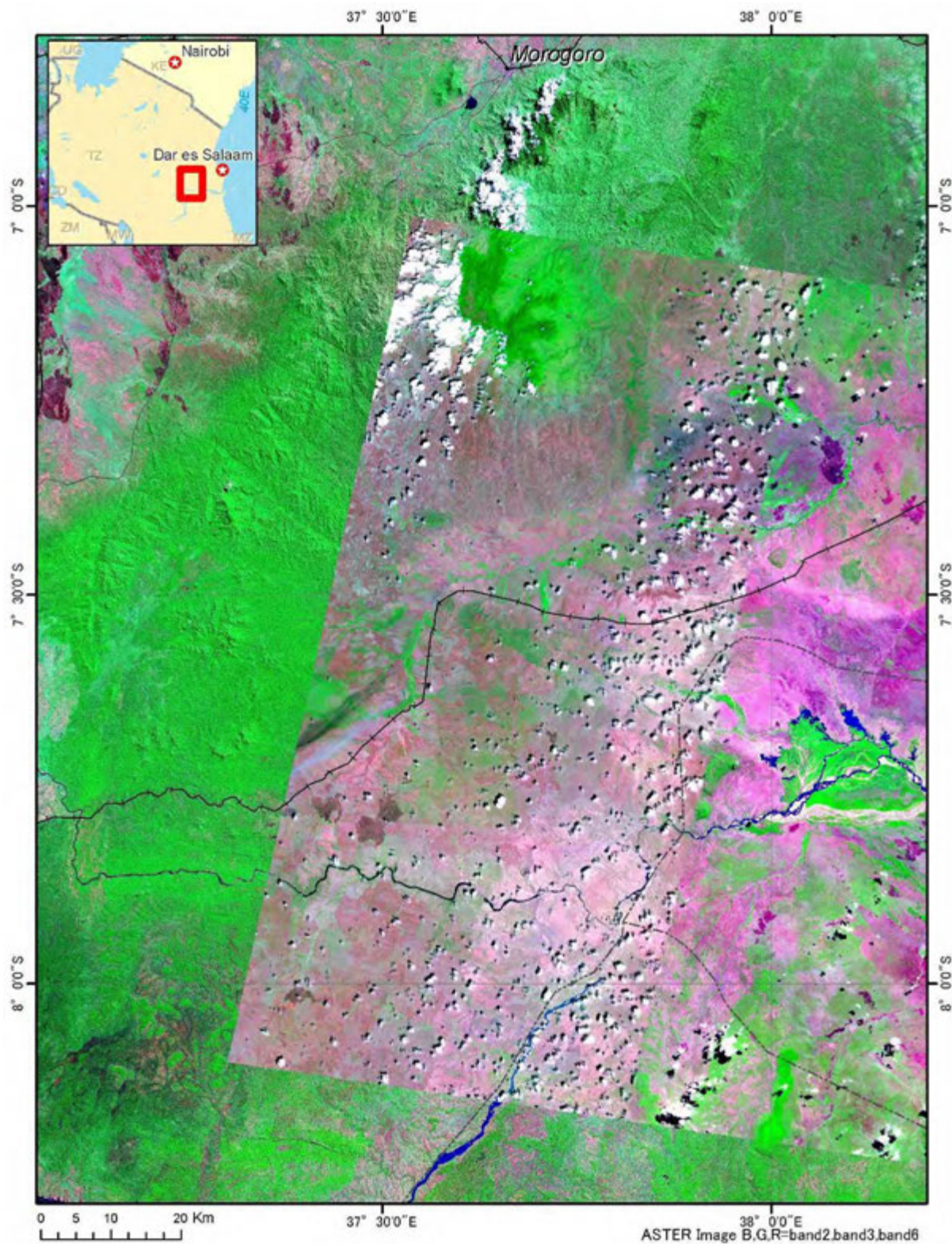
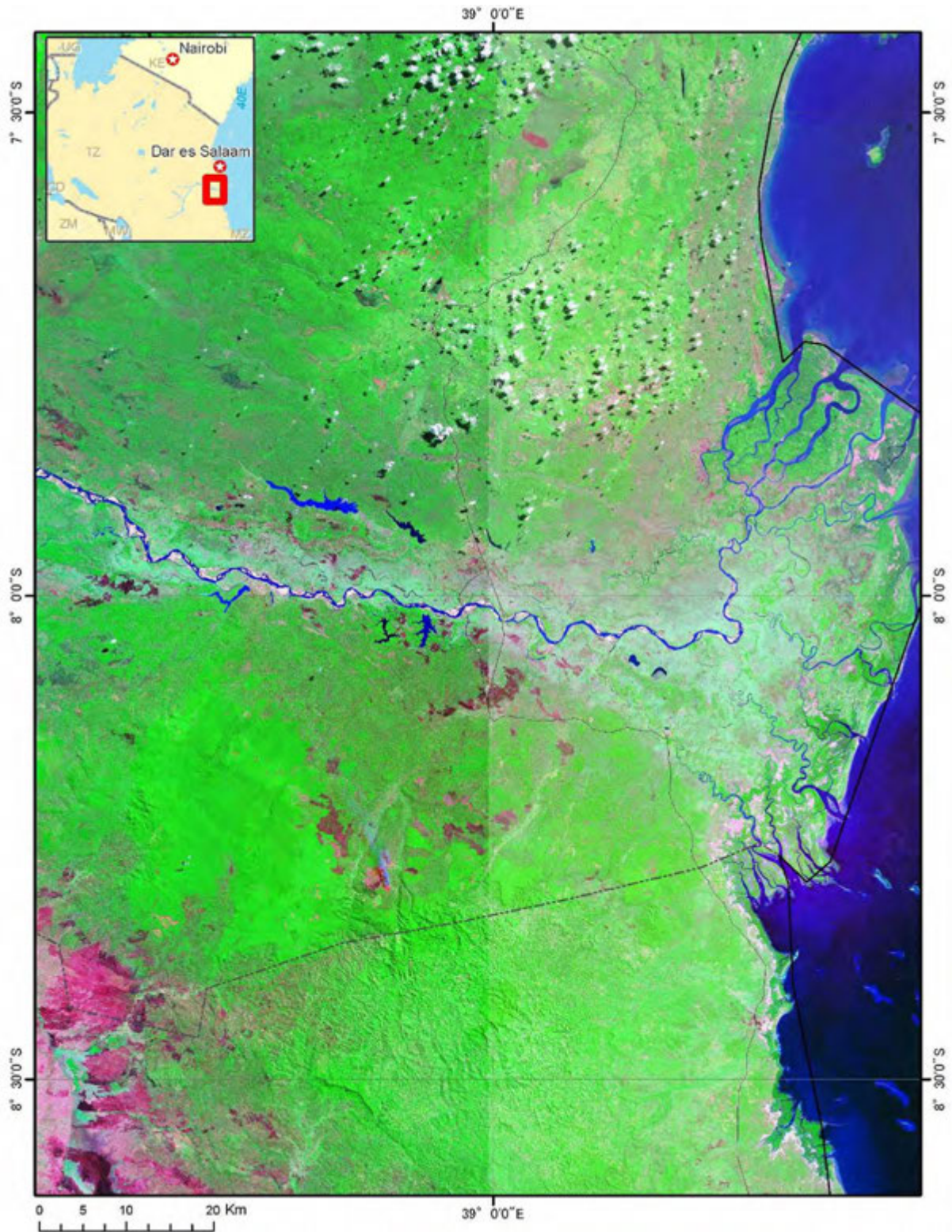


図 II-10 ムベヤ地域の ASTER 及び LANDSAT/ETM+複合画像



(調査団作成)

図 II-11 ルフィジ地域 (キサキ) の ASTER 及び LANDSAT/ETM+複合画像



(調査団作成)

図 II-12 ルフィジ地域 (ニヨンゴニ) の ASTER 及び LANDSAT/ETM+複合画像

d. 画像判読

(a) 画像判読の着目点

地熱ポテンシャル把握のための要件

画像判読をする場合には判読の目的を明らかにしておく必要があり、本調査では地熱ポテンシャルを対象とするため、以下の要件を設定した。

- ・ 熱源：第四紀火山活動が重要な役割を担うため、その鉛直方向の温度勾配と水平方向の広がりが必要となる。また、大規模な断層や断層の交差点なども高い地下の温度勾配が期待できる。
- ・ 地質構造：地質構造には2つの側面があり、熟成のための器と地下水を供給する断層が必要となる。
- ・ シール：溶岩はシール層として機能する。また、それに引き続く厚い第四紀堆積層もシールの役目を果たす。一般的には、地下で熱水変質作用によって粘土化した岩石がキャップロックとなっている場合が多い。しかし、現段階では地下の状況を推定できるだけのデータは取得されていない。ただし、溶岩は透水性が一般的に低く、キャップロックとなっている可能性もある。実際にキャップロックとなっているかどうかは地下の状況を検証する坑井掘削が必要である。
- ・ その他：地熱開発ポテンシャルを評価するためには環境側面、工学側面、社会経済側面などその他項目にも注目する必要がある。

画像判読の方法

上記の要件を前提として、写真地質学的手法により画像判読を実施した。その着目点は以下ようになる。

- ・ 熱源の一義的な範囲として第四紀火山岩活動地域を抽出する。これには火口、溶岩、スコリア丘などが含まれる。
- ・ 地表からの地質構造の抽出として断層と考えられるリニアメントの抽出を実施する。リニアメントはその確度から確定断層、明瞭・不明瞭なリニアメントの3区分を設定する。
- ・ その他の要件として温泉の湧出を示唆する繁茂する植生、放射温度高温域、それらの直線的な配列などにも着目して抽出を行う。

これらに加え、地熱資源開発ポテンシャルを評価する上で重要な自然公園、送電線敷設、開発権設定範囲、周辺の人口、探査段階のアクセス、地下水流動などについても検討を加えた。

(b) 画像判読結果

北部地域（シンギダ地域を含む）

当該地域の地質判読結果を図 II-13 及び図 II-14 に示した。本地域はナトロン湖 からマニャラ湖、エヤシ湖、ンゴロンゴロクレーター、バラングダ湖、コンドアを経てシンギダに至るまでの範囲をカバーする。本地域ではンゴロンゴロ山脈を中心に第四紀火山岩が広く分布する。火山岩分布地域の南限はバラングダラル湖 付近となり、コンドア周辺では火山岩の分布は認められない。この一連の火山岩は画像上では紫色～赤色の色調を呈し、一

般に滑らかな肌理を示す。しかし、標高の高い火山体やそれらの火口付近は起伏のある粗い肌理となっている。ンゴロンゴロクレーターは本地域最大のカルデラの1つである。また、直径1~2 km程度の多数のスコリア丘が認められ、それらが集中する地域はンゴロンゴロ山脈の北東部、マニャラ湖東岸、ババチ周辺などである。

当該地域におけるリフトの方向性は、その北縁ではNNE-SSW方向であり、その南縁ではNE-SW方向に伸長方向を転じている。リフトは大局的には北西落としのステップ構造を示すと考えられる。リフト西側の境界は500 m級の断層崖を特徴としており、東側の境界は画像範囲外へと連続している。リフト内では全体的にNNE-SSEからNE-SW方向の断層あるいはリニアメントが卓越しており、特にナトロン湖の東方ではNNE-SSW方向のリニアメントが集中している。場所によってはNW-SE方向の断層が確認でき、これらの断層はNE-SW方向の断層を切断する胴切り断層となっていることから、最も新しい時期の活動で生じた断層と推定される。

地熱のキャップロックとしては第四紀火山活動によってもたらされた溶岩が考えられるが、当該地域での溶岩分布は火山体及びその周辺地域に限られている。リフトの表層は広く第四紀未固結堆積物に被覆され、特に湖生堆積物が広く分布している。この地域に分布する湖沼は極めて水深が浅いため、湖生堆積物は薄いと判断される。

環境的側面から本地域を概観すると、ンゴロンゴロ特別保護区やマニャラ湖国立公園などが広い範囲を占めている。

ムベヤ地域

当該地域の地質判読結果を図 II-15 に示した。本地域は、ムベヤからソングウェ、イラティル、ランボ、キランボ、マンプル、カシムロ地点を経てキュラに至るまでの範囲をカバーする。

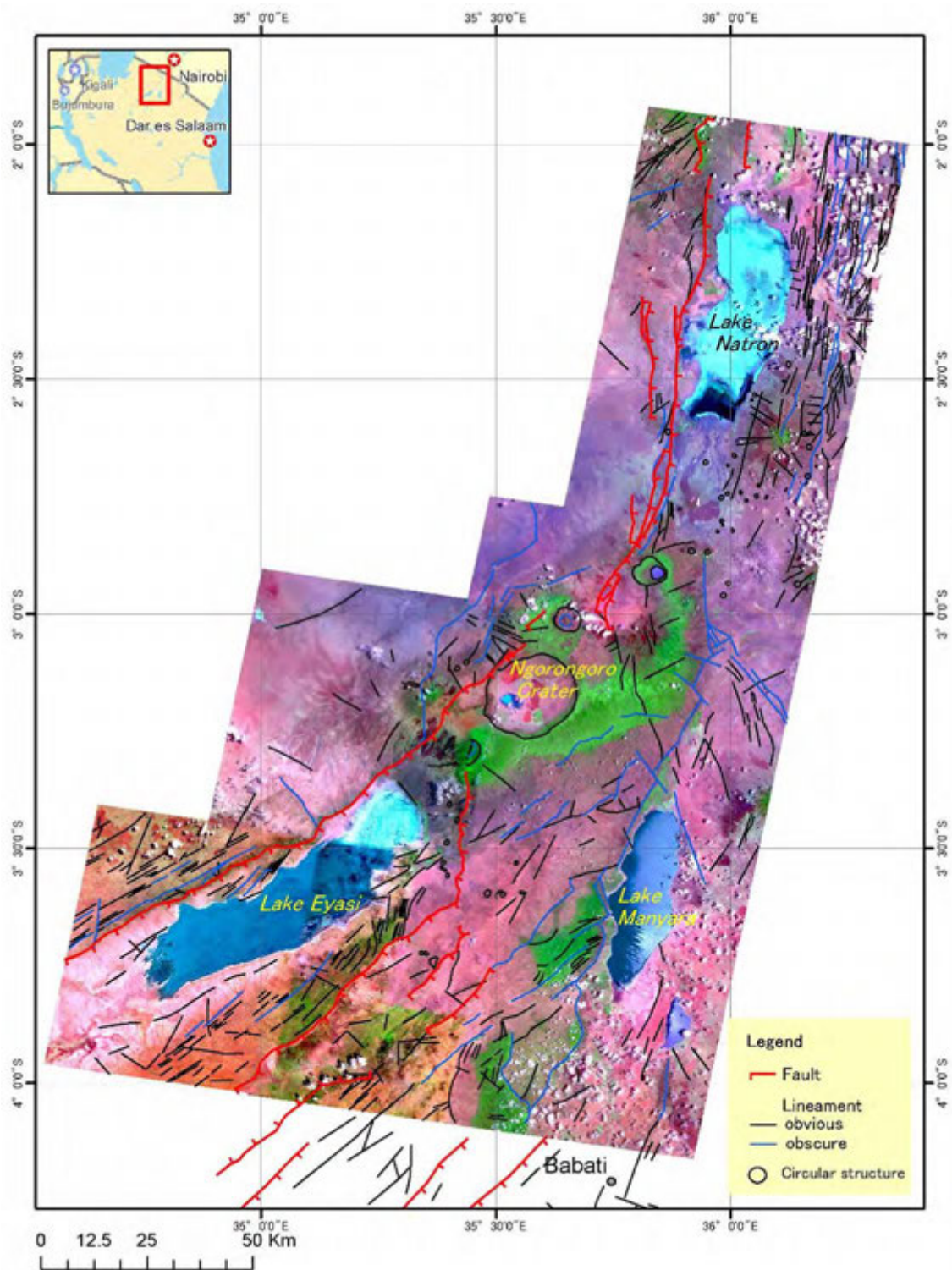
本地域には第四紀火山岩体として、ンゴジ、ルングウェ、ケジジョ、ムベヤが分布している。また、これらの周辺には多くのスコリア丘が散在している。特にルングウェ火山からニアサ湖にかけての地域では、これらのスコリア丘は直線的にNW-SE方向へ配列している。火山岩分布地域の東縁はイグルシ付近まで連続している。

当該地域はNW方向、SE方向、ENE方向のリフトが会合する3重点として知られている。しかし、地質判読結果ではNW-SE方向に伸長するリフトをENE-WSW方向のリフトが切断しているように解釈できる。ただし、WSW方向へのリフトの伸長は極めて弱い。NW-SE方向に発達するリフトの東縁は大規模な断層で境されているが、西縁は徐々に基盤岩へと移行している。ソングウェ、イラティル、ランボ地点などでの基盤岩は激しく褶曲している。このことから、NW-SE方向に発達するリフトでは、大局的に北東落としのハーフグラバーベン状の構造となっている。

現地調査の結果を考え併せると、当該地域の溶岩は水平的に広く分布しており、その高い浸食に対する抵抗性からテーブル状の丘陵地を形成している。これに加え、基底礫岩から砂岩までの厚い湖生堆積物はその上位に累積し、キャップロック層を形成していると考えられる。

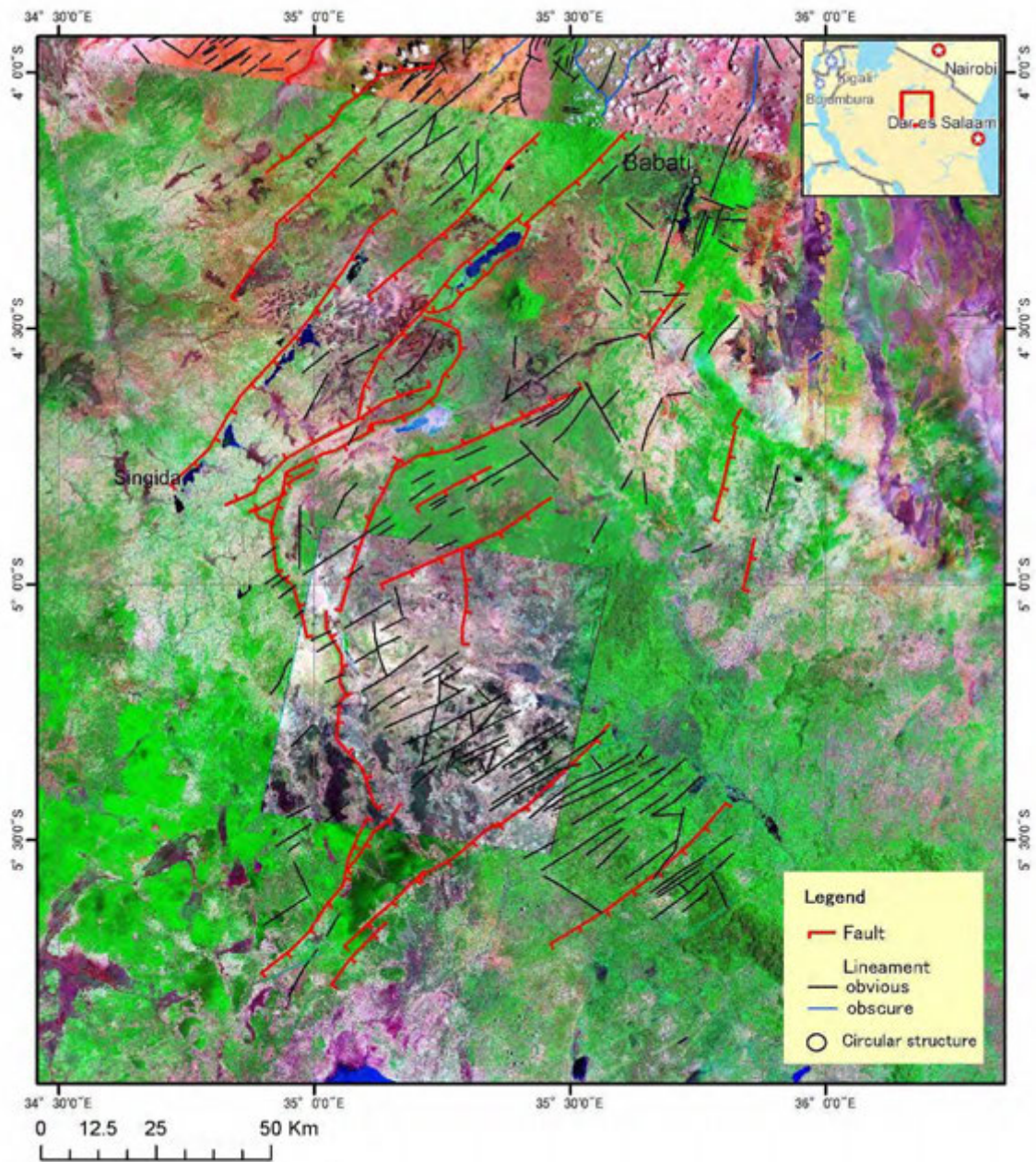
本地域では3地点の地熱探査鉱区が設定されているが、そのうち2地点は互いに接して

いる。互いに接している 2 地点はンゴジ火山をカバーしており、もう 1 つはケエジョ火山の南方地域である。



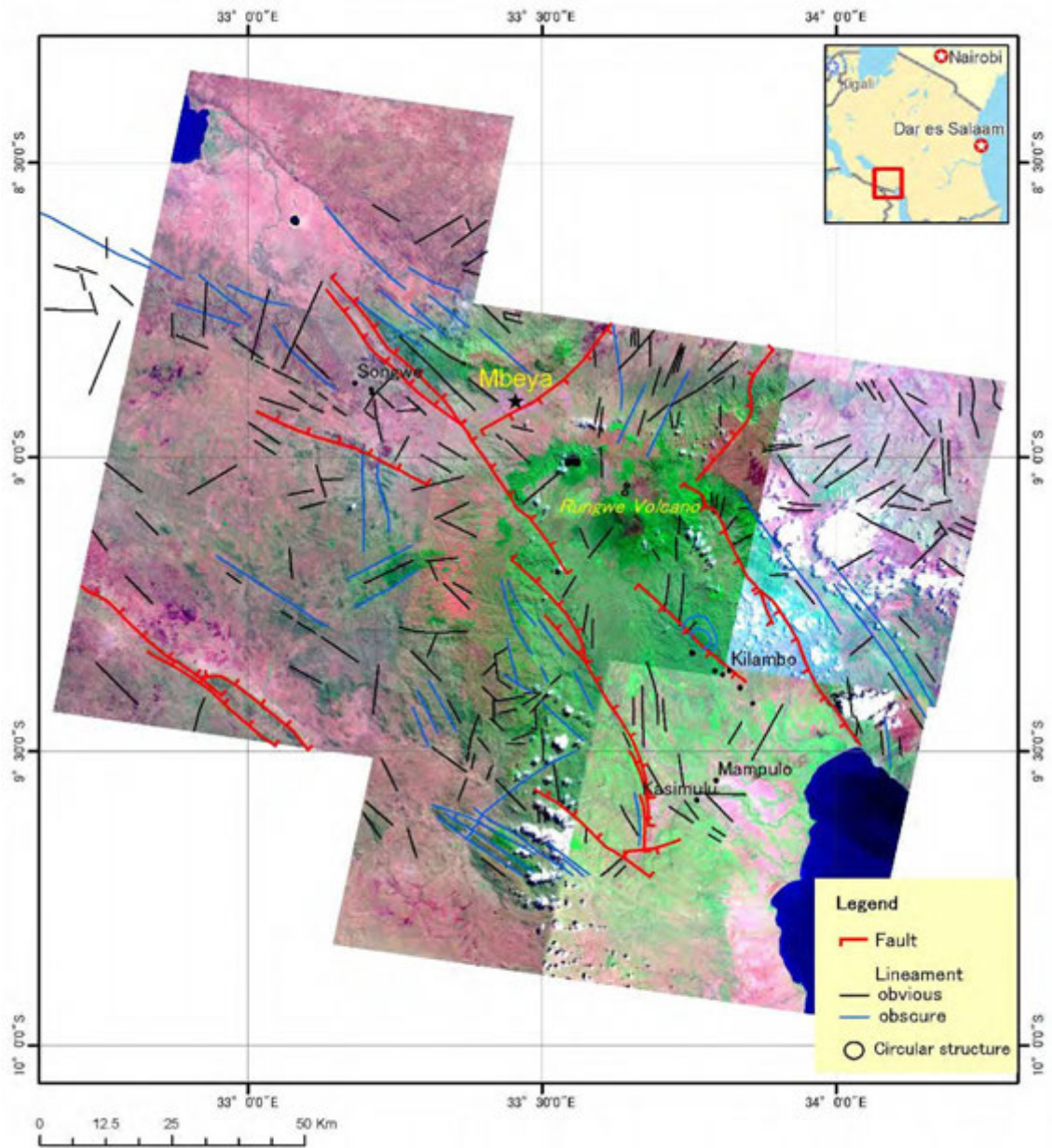
(調査団作成)

図 II-13 北部地域の地質構造判読図



(調査団作成)

図 II-14 北部地域（シンギダ南東部）の地質構造判読図



(調査団作成)

図 II-15 ムベヤ地域の地質構造判読図

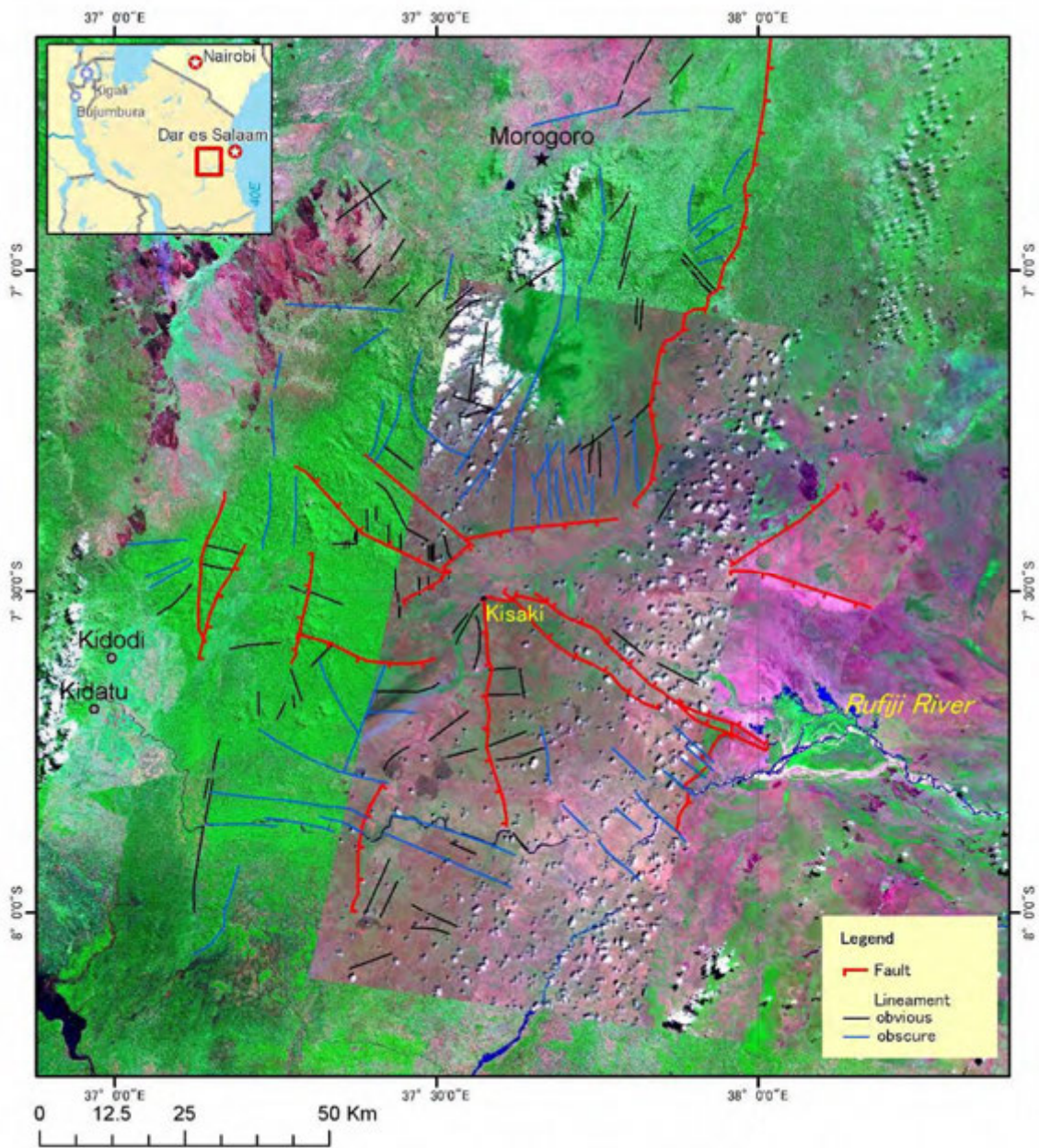
ルフィジ地域

当該地域の地質判読結果を図 II-16 及び図 II-17 に示した。本地域は、ウルグル山脈からキサキ、ニヨンゴニ地点を経てウテテに至るまでの範囲をカバーする。当該地域には、既往地質図を参照すると厚い白亜紀～第三紀の海生堆積岩類が広く分布している。これらの地層は一般的に東傾斜の単斜構造を示している。この地域にはこれまでに火山活動の報告はないが、いくつかの地点で温泉が確認されている。

キサキ地点では ENE-WSW 方向、NW-SE 方向及び N-S 方向のリニアメントが集中する複雑な地質構造を呈している。ニヨンゴニ地点は NE-SW 方向と NW-SE 方向の不明瞭なリニアメントの交差点にあたる。ウテテ地点では明瞭な地質構造は抽出されなかった。しかし、地域全体を通してムゲタやルブ低地帯に代表されるような NE-SW 方向の構造が卓越すると判断される。

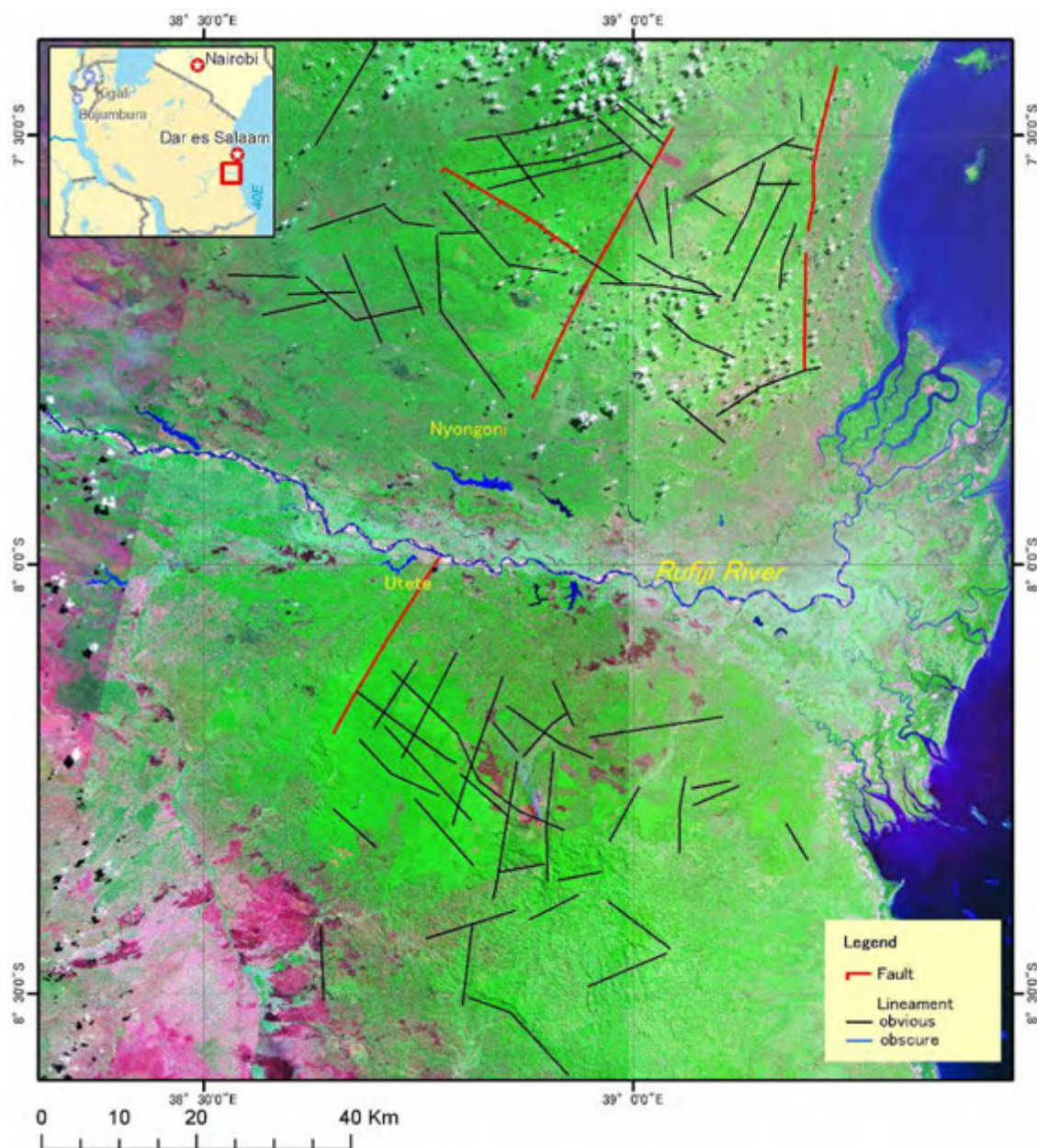
本地域には火山岩の分布は報告されていないが、地質構造的に高い地温勾配を示す地域では白亜紀～第三紀の厚い海生堆積岩類はキャップロックの役目を果たしている可能性がある。

環境的側面から本地域を概観すると、ミクミ国立公園やセルー鳥獣保護区などが広い範囲を占めている。



(調査団作成)

図 II-16 ルフィジ地域の地質構造判読結果



(調査団作成)

図 II-17 ルフィジ地域（ニヨンゴニ，ウテテ）の地質構造判読結果

2. 既存の温泉地化学データの予察的解析

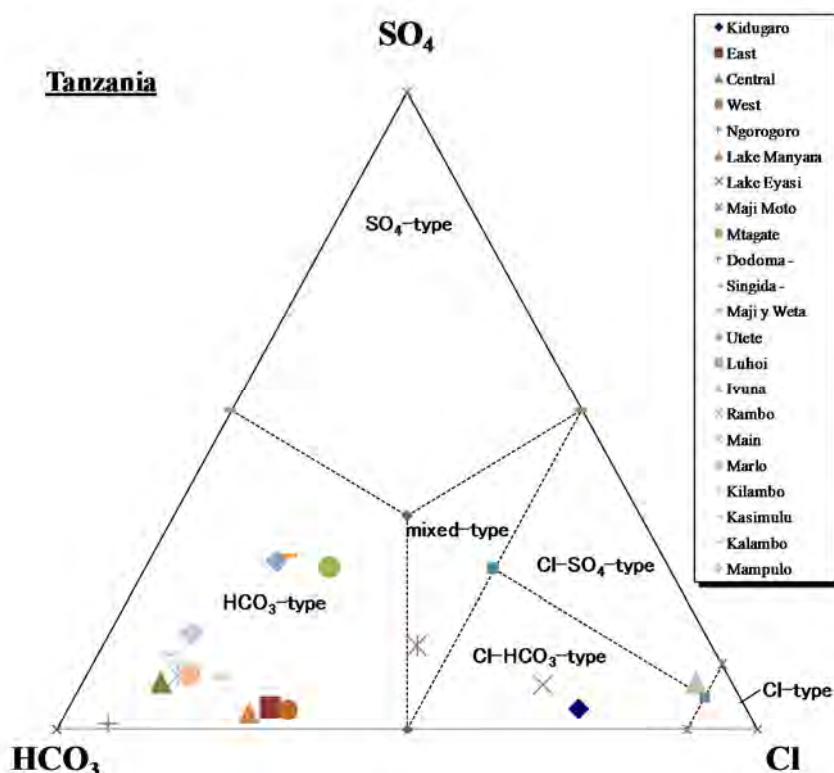
温泉水・地表水の既存化学分析結果は、既存調査では DECON-SWECO (2005) 及び BGR (2008) にまとめられている。前者は 28 の泉源を 1951 年から 2004 年にかけて調査したものであり、11 の主要成分分析が行われている。後者はムベヤ地域の 44 泉源を 2006 年から 2007 年に調査したものである。通常の解析には使用されない微量成分も含め、約 70 の成分が分析されている（図 II-14）。BGR の報告以後温泉水・地表水の調査が実施されているかどうかは明らかでないが、ウェブ上では入手できていない。BGR (2008) はタンザニアにおける地熱開発有望地域のひとつであるムベヤ地域のみを調査されたものであり、一部の試料では分析されていない項目もあったため、DECON-SWECO (2005) の分析値（既存データ）を基に、予察的な地化学解析を行った（温泉水分

析値のうち、主要成分の化学組成一覧は添付資料 4 に示す)。

各温泉で採取された温泉水の分析値を見ると、陽イオンと陰イオンの電荷はほぼバランスがとれており、分析値はある程度信頼性を有していると考えられる。温泉水の pH は、ほぼ中性～弱アルカリ性である。主要陰イオンによる分類では大部分が HCO₃ 型または SO₄ 型であり、深部熱水型である Cl 型を示す温泉は皆無であった (図 II-18)。ただし、Cl 型との混合型である Cl-HCO₃ 型と Cl-SO₄ 型の温泉が存在する。高温で岩石と反応した熱水を起源とする温泉水の場合、その Cl 濃度は一般的に高いことから、Cl 濃度の高い温泉の地下に高温の貯留層が存在する可能性が高い。泉温と Cl 濃度の関係を調べたところ、ヴィクトリア湖南東岸のマジモトならびにルクワ湖とニアサ湖の間に位置するイブナ、マジモト、カシムロ、マンプロ、キランボの温泉は泉温が 60°C 以上でかつ Cl 濃度が 200mg/L 以上の高温・高 Cl 濃度であり、地熱資源有望地である可能性を示した (図 II-22)。一方、Cl 濃度のみが高いエヤン湖周辺の温泉水については、塩湖であるエヤン湖から、高塩濃度の流体が流入していると考えられる。

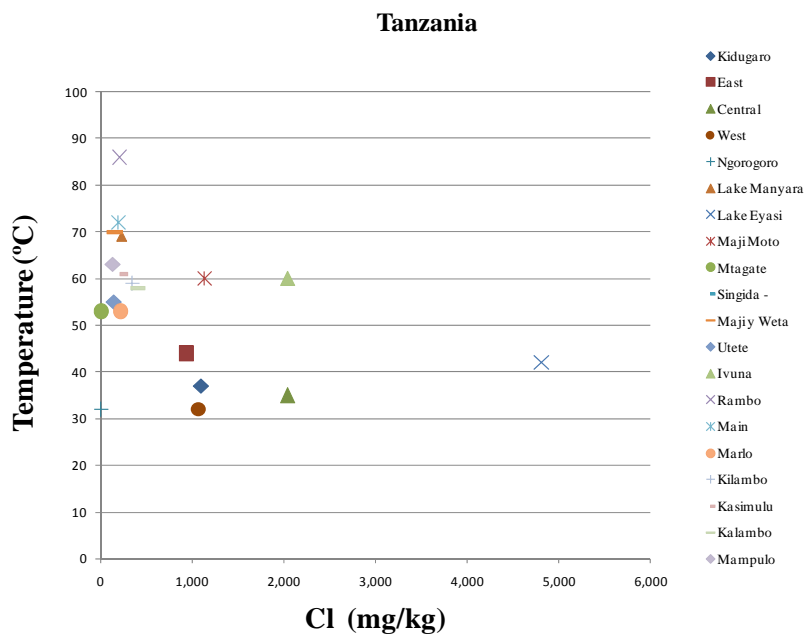
表 II-4 参考にした既存調査の温泉分析値

出展	試料採取年	分析項目	対象地域	分析値の信頼性
DECON-SWECO (2005)	1951-2004	主要 11 成分	タンザニア全土 28 泉源	概ね問題なし
BGR (2008)	2006-2007	微量成分まで 73 項目	ムベヤ地域 44 泉源	一部分析されていない項目あり



(DECON-SWECO, 2005 を基に調査団作成)

図 II-18 温泉水の主要陰イオン三成分図 (既存データ)



(DECON-SWECO, 2005 を基に調査団作成)

図 II-19 温泉水の Cl 濃度と泉温の関係図 (既存データ)

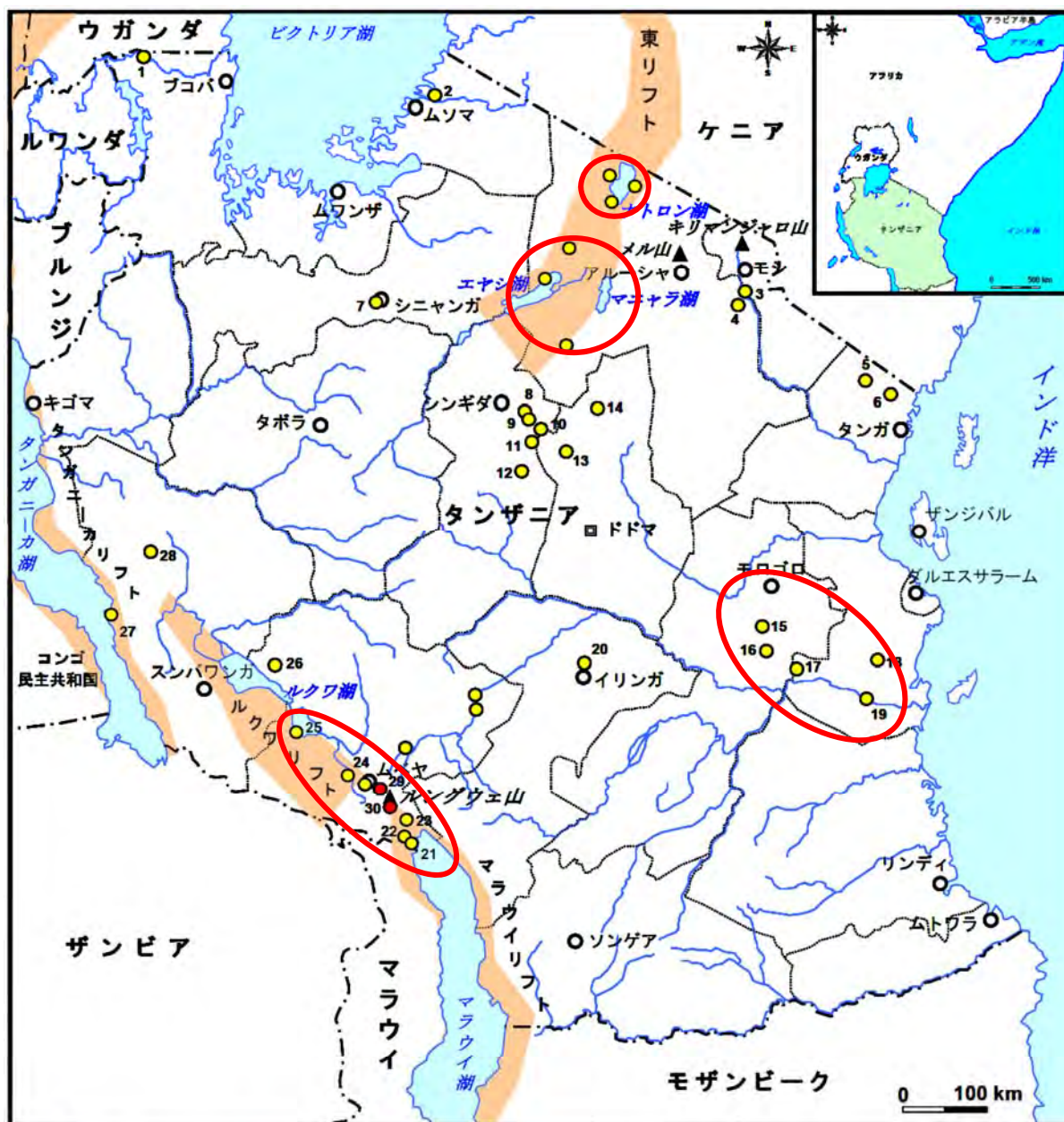
3. 現地調査地点の選定

既存文献に記載されている温泉の泉温及び地化学温度計から想定される貯留層温度を基に有望地域を選定した。50°C以上の泉温が記録されている地熱地域を表 II-5 に示す。これらの地熱地域の内、地熱探査権が設定されている地域やアクセスを考慮すると、南部のムベヤ周辺地域、北部のナトロン湖・マニヤラ湖周辺地域、及びルフィジ川周辺のキサキ地域が候補地域としてあげられる (図 II-20 参照)。なお、外務省海外安全情報によれば、これらの地域については渡航安全上の問題はないと思われる。ただし、地熱探査権が設定されている地域として、ルフィジ地域が登録されているが、どの範囲に探査権が設定されているかは不詳である。したがって、ルフィジ川周辺のキサキ地域もルフィジ地域に含まれている可能性もあり、ルフィジ地域探査権の範囲を今後確認しておく必要がある。

表 II-5 地熱徴候地の温度情報

地区名	地熱徴候地名	湧出温度	地化学温度*	備 考
		(°C)	(°C)	
ソングウェ川	ランボ	86	88	
ニアサ堆積盆	イバイ	82.4	99	
ニアサ堆積盆	イラティレ	65 - 80	88	
ルフジ溪谷	ルホイ	50 - 75	n. a.	
ソングウェ川	メイン	72	93	
ルフジ溪谷	マジヤウエタ	70	86	
マニヤラ湖	マニヤラ湖	69	109	
ニアサ堆積盆	ウディンディルワ	65.7	92	
ニアサ堆積盆	マンプロ	61 - 63	125	
ムソマ	マジモト	60	109	
ルクワ湖	イブナ	60	110	
ニアサ堆積盆	マホンベ	59.7	103	
ニアサ堆積盆	キランボ	56.5 - 59	122	
ニアサ堆積盆	カランボ	58	144	
ニアサ堆積盆	カンデテ	56.6	125	
ルフジ溪谷	ウテテ	55	61	
ニアサ堆積盆	カシムロ	54.7	127	
ニアサ堆積盆	ムバカ	54.7	93	地熱権設定済み
エヤシ湖	ムタガテ	53	72	
ソングウェ川	マルロ	53	89	
ナトロン湖	東岸	38 - 50	48	

温泉の湧出温度が50°C以上の地域を湧出温度順に並べた。
 *： シリカ温度 (カルセドニー)



凡例

● 地熱地域

● ライセンス発行済みの地熱地域

- | | | | | |
|------------|------------|-----------|-----------|--------------|
| 1: ミタガタ | 2: マジモト | 3: ウキンドウ | 4: ソンゴノリ | 5: ボンボ |
| 6: アンボニ | 7: ウサンゴレ | 8: イサンジャ | 9: マニエギー | 10: タクワ |
| 11: ムボンデ | 12: ヒカ | 13: ゴンガ | 14: コンドア | 15: キルンガムケレ |
| 16: マジヤウエタ | 17: タガララ | 18: ニョリゴニ | 19: ウテテ | 20: ダラジャヤムング |
| 21: カシムロ | 22: マンプロ | 23: キランボ | 24: ソングウェ | 25: イブナ |
| 26: マブ | 27: プロングウェ | 28: カバンゴ | 29: ソゴジ | 30: ムバカ |

○ : 現地調査候補地

(調査団作成)

図 II-20 現地調査候補地

現地調査地点は、本調査の第1年次に実施した既存資料に基づく有望地域の抽出結果のほか、タンザニア国エネルギー・鉱物省及び地質調査所の情報などを踏まえ決定した。なお、JICA 安全対策措置に基づく除外地域はなかった。

II-5-2 現地調査

1. 現地調査結果

現地調査地点の位置図を図 II-21 に、表 II-6 に現地調査地点のリストをそれぞれ示した。また、温泉水の水質測定結果と試料リストを表 II-7 に、岩石分析用の試料リストを表 II-8 に示した。温度（気温、泉温）はサーミスタ温度計で、pH は携帯用 pH 計、電気伝導度は携帯用伝導度計で測定した。

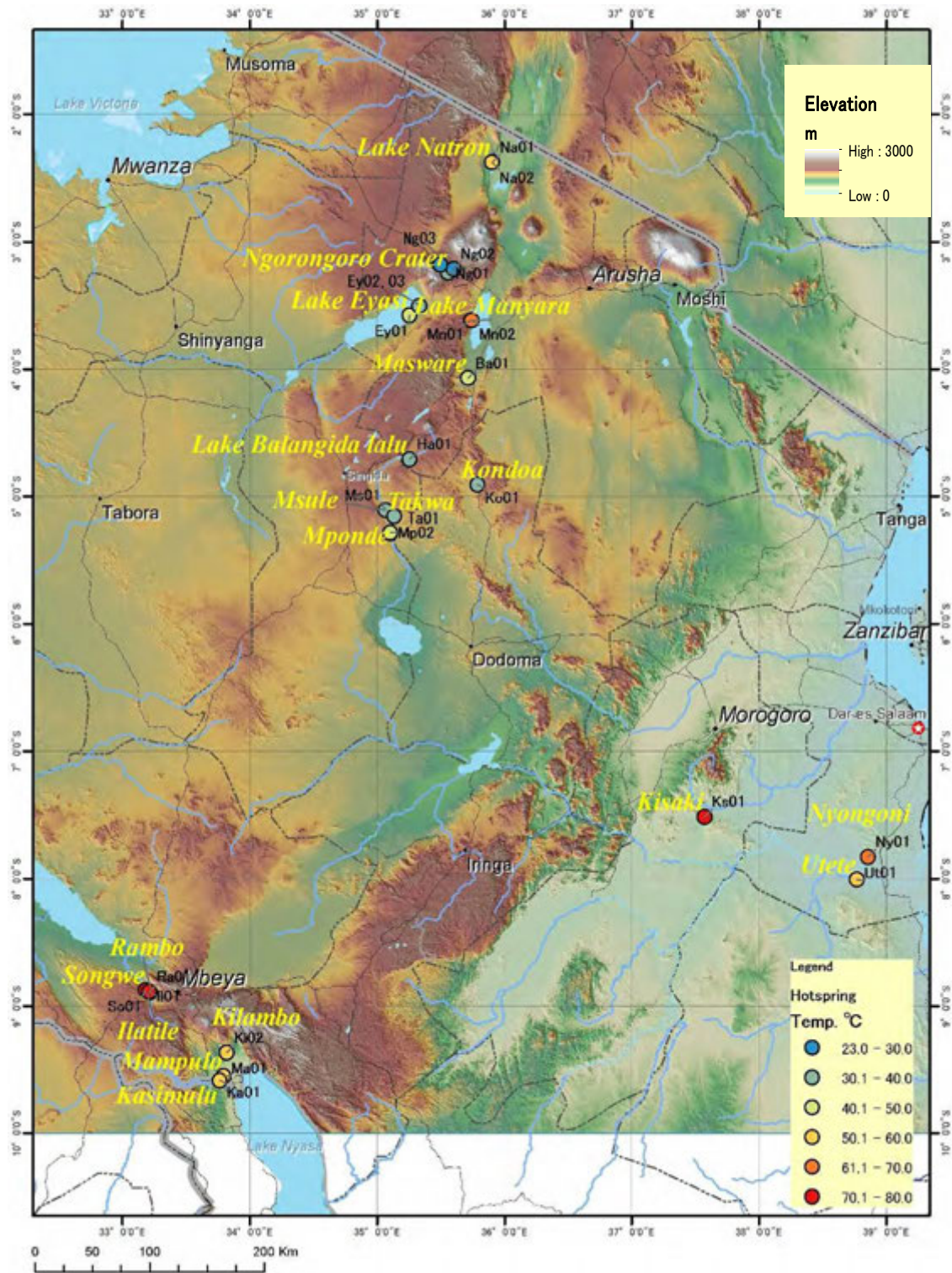
各温泉湧出地点の特徴を以下に述べる。

表 II-6 現地調査地点一覧

Location No.	date	place	Region	Longitude	Latitude	Elevation	Geology	Remark
				degree (E)	degree (S)	m		
Na01	16-Aug	Lake Natron	ARUSHA	35.90563	2.37312	600	volcanics	Ramsar convention
Na02	16-Aug	Lake Natron	ARUSHA	35.90376	2.37392	601	volcanics	Ramsar convention
Mn01	17-Aug	Lake Manyara	ARUSHA	35.73786	3.61676	968	gneiss	Lake Manyara National Park
Mn02	17-Aug	Lake Manyara	ARUSHA	35.74094	3.61712	973	gneiss	Lake Manyara National Park
Ey01	18-Aug	Lake Eyasi	ARUSHA	35.25440	3.57560	1,045	gneiss	
Ey02	18-Aug	Lake Eyasi	ARUSHA	35.33100	3.50276	1,037	gneiss	
Ey03	18-Aug	Lake Eyasi	ARUSHA	35.33057	3.50178	1,106	gneiss	
Ng01	19-Aug	Ngorongoro crater	ARUSHA	35.55775	3.24353	1,168	volcanics	Ngorongoro Conservation Area
Ng02	19-Aug	Ngorongoro crater	ARUSHA	35.60079	3.21050	1,216	volcanics	Ngorongoro Conservation Area
Ng03	19-Aug	Ngorongoro crater	ARUSHA	35.49837	3.17734	1,105	volcanics	Ngorongoro Conservation Area
Ba01	20-Aug	Masware	MANYARA	35.71347	4.06958	1,066	gneiss	
Ha01	20-Aug	Balangida lalu	MANYARA	35.25523	4.70477	1,118	basement	
Ms01	21-Aug	Msule	SINGIDA	35.06760	5.10671	1,212	granitics	
Ta01	21-Aug	Takwa	DODOMA	35.13322	5.15603	1,244	granitics	
Mp01	21-Aug	Mponde	DODOMA	35.10281	5.28361	1,229	granitics	
Mp02	21-Aug	Mponde	DODOMA	35.10293	5.28284	1,214	granitics	
Ko01	22-Aug	Kondoa	DODOMA	35.78966	4.90346	1,385	gneiss	
So01	25-Aug	Songwe	MBEYA	33.18213	8.87427	1,121	travertine	
Il01	25-Aug	Ilatile	MBEYA	33.21126	8.89121	1,072	travertine	
Ra01	25-Aug	Rambo	MBEYA	33.20984	8.88503	899	travertine	
Ki01	26-Aug	Kilambo	MBEYA	33.81793	9.36253	984	volcanics	
Ki02	26-Aug	Kilambo	MBEYA	33.81777	9.36403	1,031	volcanics	
Ma01	26-Aug	Mampulo	MBEYA	33.79546	9.54955	954	sediments	
Ma02	26-Aug	Mampulo	MBEYA	33.79627	9.55239		sediments	
Ka01	26-Aug	Kasimulu	MBEYA	33.76252	9.58319	1,025	sediments	
Ks01	28-Aug	Kisaki	MOROGORO	37.57241	7.51107	525	sediments	
Ut01	30-Aug	Utete	COAST	38.76907	8.00640	5	sediments	
Ny01	31-Aug	Nyongoni	COAST	38.85676	7.82700	70	sediments	

準拠楕円体：WGS 1984

(調査団作成)



(調査団作成)

図 II-21 現地調査地点位置図

表 II-7 温泉水試料及び水質データ一覧

sample name	date	place	air temp	water temp	pH	EC
			°C	°C	- (°C)	mS/m
Na01	16-Aug	Lake Natron	32.3	50.5	9.7 (48)	1,050
Na02	16-Aug	Lake Natron	32.3	53.1	9.7 (50)	1,530
Mn01	17-Aug	Lake Manyara	26.1	70.8	9.5 (62)	280
Mn02	17-Aug	Lake Manyara	26.1	62.9	-	-
Mn02'	17-Aug	Lake Manyara	26.1	65.4	-	-
Ey01	18-Aug	Lake Eyasi	17.9	48.6	9.3 (45)	1,010
Ey02	18-Aug	Lake Eyasi	28.3	35.7	9.1 (34)	270
Ey03	18-Aug	Lake Eyasi	28.3	36.6	-	-
Ng01	19-Aug	Ngorongoro crater	23.1	34.4	7.7 (32)	38
Ng02	19-Aug	Ngorongoro crater	23.1	sur21/deep23	7.9 (24)	31
Ng03	19-Aug	Ngorongoro crater	25.0	27.2	8.1 (27)	34
Ba01	20-Aug	Masware	21.2	40.9	7.4 (39)	270
Ha01	20-Aug	Balangida lalu	25.0	32.7	-	-
Ms01	21-Aug	Msule	24.2	37.1	8.1 (36)	350
Ta01	21-Aug	Takwa	31.0	35.9	7.8 (35)	290
Mp01	21-Aug	Mponde	-	43.3	8.3 (33)	241
Mp02	21-Aug	Mponde	-	45.4	8.6 (33)	-
Ko01	22-Aug	Kondoa	26.4	30.3	7.3 (30)	228
So01	25-Aug	Songwe	27.5	74.8	7.0 (65)	730
Il01	25-Aug	Ilatile	-	54.1	6.6 (54)	-
Ra01	25-Aug	Rambo	32.2	79.2	7.0 (68)	728
Ki01	26-Aug	Kilambo	28.3	61.5	6.9 (55)	1,013
Ki02	26-Aug	Kilambo	-	57.4	6.6 (54)	1,030
Ma01	26-Aug	Mampulo	30.9	56.3	7.1 (55)	1,016
Ma02	26-Aug	Mampulo	32.5	52.7	6.9 (47)	-
Ka01	26-Aug	Kasimulu	27.4	52.6	6.8 (40)	1,025
Ks01	28-Aug	Kisaki	36.2	72.3	7.0 (62)	721
Ut01	30-Aug	Utete	43.0	54.4	7.0 (54)	436
Ny01	31-Aug	Nyongoni (Luhoi river)	37.6	67.2	6.7 (66)	2,230

(調査団作成)

表 II-8 岩石試料一覧

sample name	date	place	Rock name	Thin section	X-ray	Spectrum
Na01	16-Aug	Lake Natron	basic volcanics	○	○	○
Na02	16-Aug	Lake Natron	basic volcanics	-	-	○
Mn01a	17-Aug	Lake Manyara	gneiss	-	-	○
Mn01b	17-Aug	Lake Manyara	evaporite	-	-	○
Ey01	18-Aug	Lake Eyasi	evaporite	-	-	○
Ng01	19-Aug	Ngorongoro crater	sediment	-	-	○
Ba01a	20-Aug	Masware	gneiss	-	-	○
Ba01b	20-Aug	Masware	sediment	-	-	○
Ba01c	20-Aug	Masware	sediment	-	-	○
Ha01	20-Aug	Balangida lalu	sediment	-	-	○
Ta01a	21-Aug	Takwa	granitic rock	-	-	○
Ta01b	21-Aug	Takwa	sediment	-	-	○
So01a	25-Aug	Songwe	travertine	-	○	○
So01b	25-Aug	Songwe	travertine	○	○	○
Ki01a	26-Aug	Kilambo	travertine	-	○	○
Ki01b	26-Aug	Kilambo	sediment	-	○	○
Ki02	26-Aug	Kilambo	basic volcanics	○	○	○
Ma01	26-Aug	Mampulo	conglomerate	○	○	○
Ka01a	26-Aug	Kasimulu	sandstone	○	○	○
Ka01b	26-Aug	Kasimulu	silicified rock	○	○	○
Ks01a	28-Aug	Kisaki	travertine	-	○	○
Ks01b	28-Aug	Kisaki	travertine	-	-	○
Ks01c	28-Aug	Kisaki	sediment	-	-	○
Ut01a	30-Aug	Utete	sandstone	○	○	○
Ut01b	30-Aug	Utete	travertine	-	○	○
Ny01	31-Aug	Nyongoni	travertine	○	○	○

(調査団作成)

(a) 現地調査地点概要

1) 北部地域

ナトロン湖 ; Na01, 02

本地点はナトロン湖の西岸に位置し、温泉は玄武岩溶岩に発達する割れ目から流出している。最も高温の泉温湧出温度は 53.1°C であり、その pH と電気伝導度はそれぞれ 9.7 と 1,530mS/m であった。

本地点には第四紀の玄武岩溶岩が広く分布しており、断層崖と推定されるほぼ N-S 方向のリニアメントが顕著に発達している。火山岩の発泡孔には炭酸塩鉱物が充填している。

衛星画像では、ナトロン湖の周囲には同じ地質条件で湧出する考えられる温泉が 8 箇所観察され、これらは蒸発岩上に特徴的なスリックを形成している。



写真 II-1 Na01 地点

マニャラ湖; Mn01, 02

本地点はナトロン湖の西岸に位置し、いくつかの温泉が、基盤の片麻岩類を起源とする崖錘堆積物の中から湧出している。温度が最も高い泉温の温度、ph 及び電気伝導度はそれぞれ 70.8°C 、 9.7、 280mS/m であった。

本地点に分布する片麻岩類には、断層崖と推定される NNE-SSW 方向のリニアメントが顕著に発達している。



写真 II-2 Mn01 地点

エヤシ湖; Ey01, 02, 03

本地点はエヤシ湖の東岸に位置し、温泉は湖成堆積物である未固結な砂から湧出し、周囲には薄い植生を伴う湿地が形成されている。温度が最も高い泉温の温度、pH 及び電気伝導度はそれぞれ 48.6°C、9.7、1,010mS/m であった。本地点には基盤である片麻岩類が分布し、断層崖と推定される NE-SW 方向のリニアメントが発達している。

衛星画像上でエヤシ湖の東岸には、湖に分布する蒸発岩上に、特徴的な水の流れが観察されることから、同じ地質条件で湧出すると考えられる 4 箇所の温泉が確認された。



写真 II-3 Ey01 地点

ンゴロンゴロクレーター; Ng01, 02, 03

ンゴロンゴロクレーター内に 3 箇所の温泉が確認された。地点 Ng01 の温泉は外輪山の直下の未固結堆積物から湧出している。湧出温度は 34.4°C、pH 7.7、電気伝導度は 38mS/m であった。本地点には第四紀の火山岩類が分布している。衛星画像では、特徴的な地質構造は認められない。温泉は外輪山からの地下水の流れによって供給されていると考えられる。



写真 II-4 Ng01 地点

マスワレ; Ba01

マスワレ地点はババチの北に位置する。温泉は緩く傾斜する斜面に分布する未固結な砂から湧出しており、周囲には湿地が形成されている。湧出温度は 40.9°C、pH 7.4、電気伝導度は 270mS/m であった。本地点には基盤の片麻岩類が分布し、断層崖と推定される NE-SW 方

向のリニアメントが発達している。衛星画像では、湧出箇所付近に地質構造に関する特徴は認められない。この温泉は、本調査が最初の報告である。



写真 II-5 Ba01 地点

ハナン (バランギダ-ラル湖); Ha01

本地点は、バランギダ-ラル湖の東岸に位置する。温泉は湖成堆積物である未固結な砂の中から湧出しており、植生が厚く発達する湿地と池を形成している。湧出温度は 32.7°C である。pH 及び電気伝導度は、表流水による汚染が認められるため測定していない。本地点には基盤の片麻岩類が分布し、断層崖と推定される ENE-WSW 方向のリニアメントが顕著に発達している。また、本地域には、ENE-WSW 方向のリニアメントが発達し、このリニアメントは NW-SE リニアメントにより変移を伴い切断される。

衛星画像では、水系に伴い厚く発達する植生が観察される。

シンギダ南東部; Ms01, Ta01, Mp01, Mp02

本地点はシンギダの南東に位置するムスーレ地区に位置し、厚い植生を伴う湿地と池が発達している。温泉の最も高い湧出温度は 37.1°C であり、その pH は 8.1、電気伝導度は 350mS/m であった。この温泉は、今回の調査により始めて報告される。

Ms01 地点の他、Ta01、Mp01 及び Mp02 地点には、基盤の花崗岩類が分布している。断層崖と推定される NE-SW 及び NNW-SSE 方向のリニアメントが分布し、互いに交差している。形成時期は前者のリニアメントの方が古いと推定される。水系沿いには草地のような植生が密に発達しており、衛星画像上でもその特徴が検出されている。なお、本地域の全ての温泉はムポンデ川に沿いに位置している。



写真 II-6 Ms01 地点

コンドア; Ko01

本地点はコンドア市街地に位置する。温泉は建物により保護され、コンドアの市街地へ 3,000,000L/day の生活用水として供給されている。温泉の湧出温度は 30.3°C、pH 7.3、電気伝導度は 223mS/m であった。本地点にはウサガラン系の片麻岩類が分布しており、NNE-SSW 方向のリニアメントが顕著に発達している。



写真 II-7 Ko01 地点

2) ムベヤ地域

ソングウェ; So01, Il01, Ra01

本地点は、ムベヤ市の西約 30km の地点のソングウェ川左岸に位置する。本地点には大量のトラバーチン（炭酸塩の析出物）が認められ、温泉はこのトラバーチンで構成される丘陵より湧出している。温泉の湧出温度は最高で 79.2°C、pH 7.0、電気伝導度は 728mS/m であった。

本地域には第四紀の火山岩類が広く分布しており、NW-SE 方向の断層が顕著に発達している。温泉と白色のトラバーチンはこれらの断層と平行な割れ目に産する。トラバーチンは、採石場で確認する限り 10m 以上の厚さであり、石灰岩状であった。その微細構造は、地表での析出過程により発達するコロフォーム組織を示している。トラバーチンの基底は白亜系の砂岩及び泥岩により構成されている。



写真 II-8 Ra01 地点

キランゴ; Ki01, Ki02

本地点はルングエ火山から南東へ約 30km 離れた河川の左岸に位置している。温泉は斜面中腹と河床から湧出しており、トラバーチンを伴っている。温泉の湧出温度は最高で 61.5°C、pH は 6.9、電気伝導度は 1,013mS/m であった。本地点には第四紀の火山岩類が分布しており、NW-SE 方向の断層が顕著に発達している。温泉は断層と同系統の割れ目から湧出している。温泉は川沿いに 200m 以上に並んで追跡できる。付近に分布する玄武岩は、径 1cm 以下の角閃石巨晶を含んでいる。



写真 II-9 Ki01 地点

マンプロ; Ma01, Ma02

この地点はマンプロ地区に位置する。いくつかの温泉が、礫岩の割れ目より湧出している。温泉の湧出温度は最高で 56.3°C、pH は 7.1、電気伝導度は 1,016mS/m であった。本地点には礫岩及び礫質砂岩が卓越しており、NW-SE 方向の断層が顕著である。これらの温泉は NE-SW 方向の割れ目から湧出しており、これらの湧出箇所は周囲より抵抗性が強くドーム状の構造を形成している。



写真 II-10 Mn01 地点

カシムル; Ka01

本地点はマラウィとの国境に近いカシムル地区に位置する。斜面末端の砂岩から温泉が湧出しており、その泉温は最高で 52.6°C、pH は 6.8、電気伝導度は 1,025mS/m であった。灰色砂岩が分布しており、NW-SE 方向の断層が発達している。湧出地点では NW-SE 方向の割れ目沿いに珪化が認められ、その割れ目表面には条線が認められる。

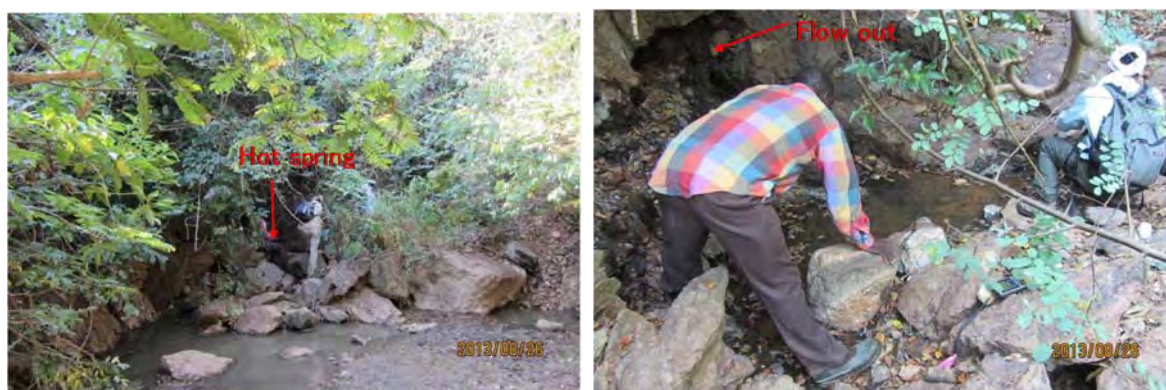


写真 II-11 Ki01 地点

3) ルフィジ地域

キサキ; Ks01

本地点はキサキ駅に近いキサキ村に位置する。温泉は未固結堆積物中から湧出しており、湧出温度は最高で 72.3°C、pH は 7.0、電気伝導度は 721mS/m であった。未固結の第四期堆積物（下位に片麻岩類が分布する）に覆われており、NW-SE 方向の断層が発達している。ウルグル山とルフィジ地域の間発達する断層沿いに 2 つの温泉が分布している。



写真 II-12 Ks01 地点

ウテテ; Ut01

本地点はルフィジ川の南約 2km のウテテ町に位置する。温泉は淡灰色の砂岩から湧出している。湧出温度は最高で 54.4°C、pH は 7.0、電気伝導度は 436mS/m であった。第三系の淡灰色砂岩が広く分布しており、NW-SE 方向のリニアメントが認められるが、その発達程度は弱い。砂岩には赤褐色の酸化鉄の脈が不規則に発達している。第四紀の火成活動は認められない。



写真 II-13 Ut01 地点

ニヨンゴニ(ルホイ川); Ny01

本地点は、ルフィジ川支流のルホイ川の北側、ニヨンゴニ村に位置する。温泉は未固結堆積物より湧出しており、トラバーチンを伴っている。付近には湿地と池が発達している。湧出温度は最高で 67.2°C、pH は 6.7、電気伝導度は 2,230mS/m であった。第四紀の未固結堆積物が広く覆い、NE-SW 方向と NW-SE 方向のリニアメントが交差する付近に位置している。

温泉の湧出範囲は 300m×200m 四方に広がっている。第四紀の火成活動は認められない。

No01 地点から北東に約 5km の地点にもう 1 つの湧水地点があり、この地点は NE-SW 方向のリニアメント沿いに位置する。

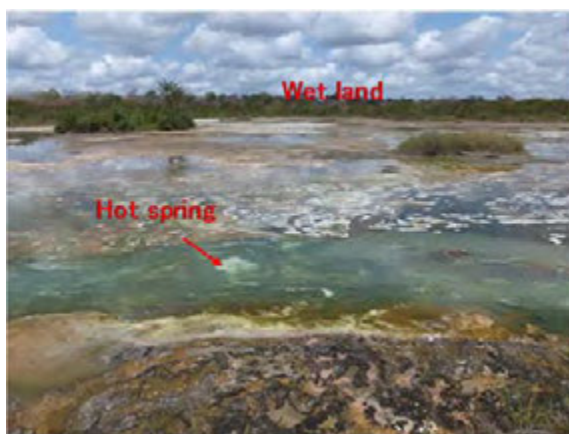


写真 II-14 Ny01 地点

(b) 現地測定結果の考察

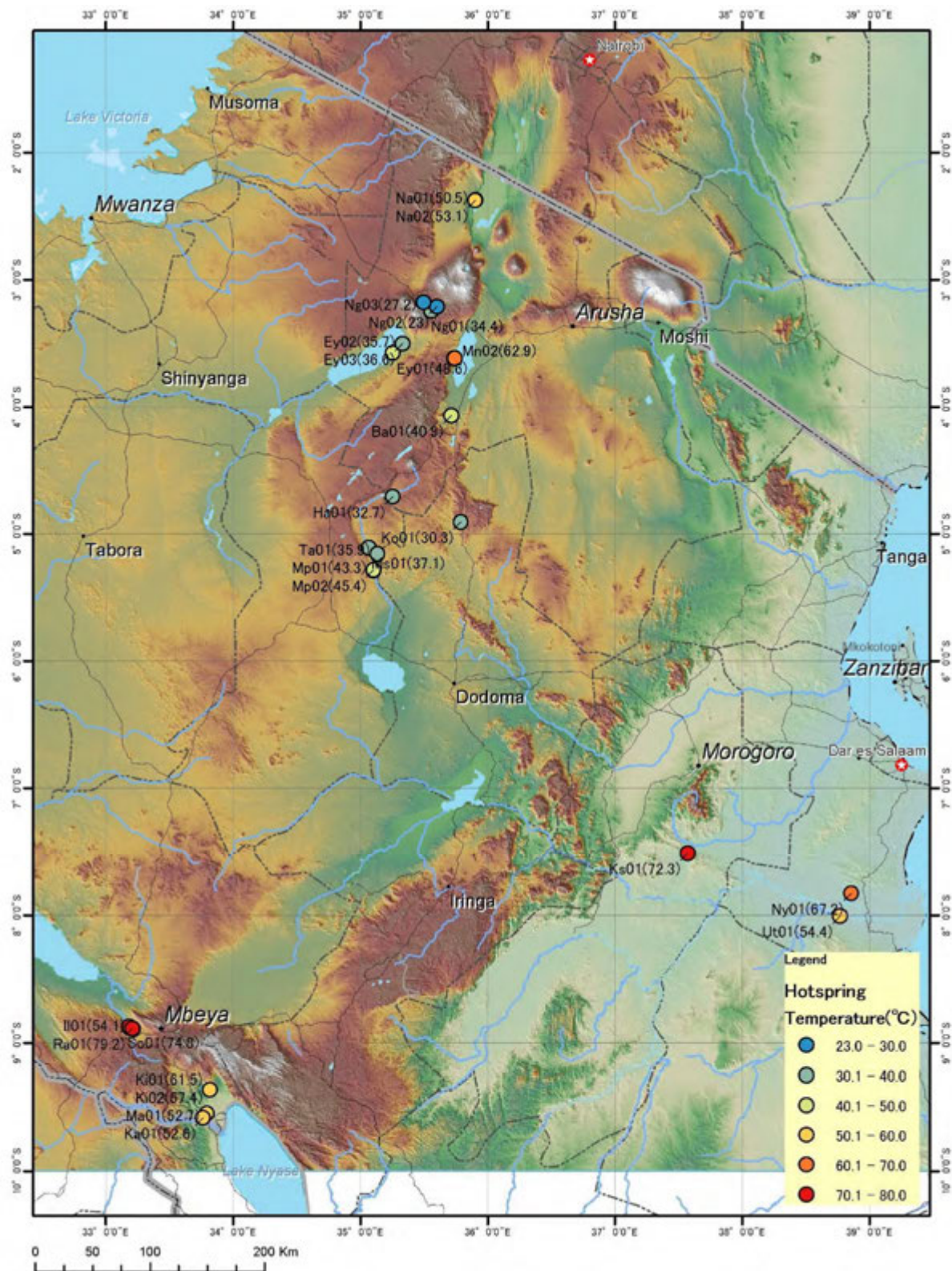
現地調査により取得した温泉の泉温、pH 及び電気伝導度の分布図を図 II-22、図 II-23 及び図 II-24 にそれぞれ示した。また、温泉の水質についての相関図を図 II-25 に示した。

泉温の高い温泉は、ムベヤ地域のランボ地点の 79.2 °C、ルフィジ地域のキサキ地点の 72.3 °C、北部地域のマニャラ湖の 70.8 °C であった。ランボ地点とマニャラ湖の温泉の熱源としては第四紀火山が想定されるが、北部地域においてはオールドイニョ・レンガイ火山やンゴロンゴロ火山岩地域など、またムベヤ地域ではルングウェ火山などが該当する。

一方、ルフィジ地域については第四紀の火山活動は報告されていない。ただし、既存地質図 (TANGANYIKA sheet) では、カルー系の堆積岩中に時代未詳の火道 (Volcanic vent) の記載が認められる。

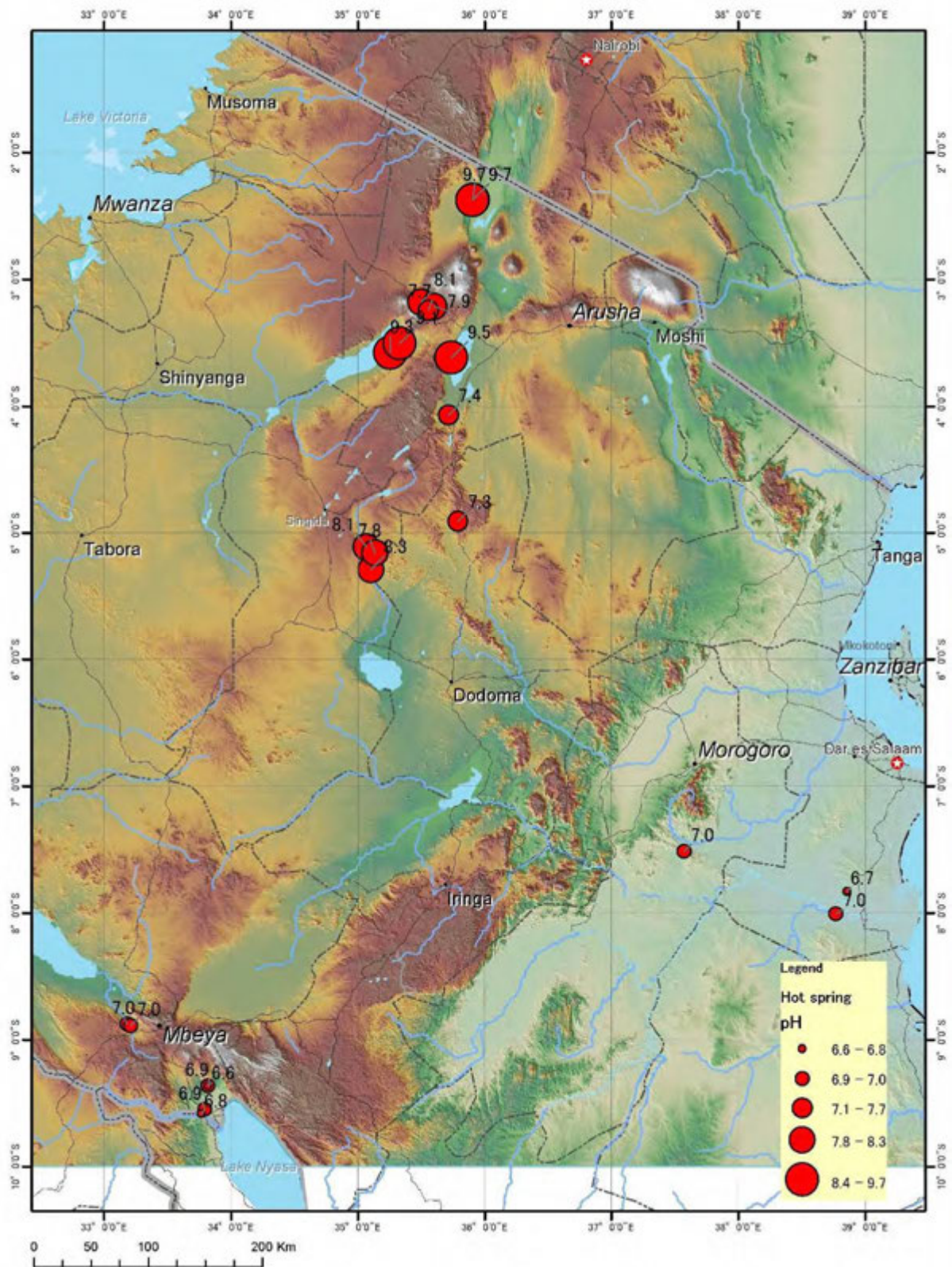
温泉水の pH については、北部地域が他の地域と比較してやや高い値を示す。ムベヤとルフィジ地域の pH はほぼ中性である。高温の火山ガスの寄与を示す酸性の温泉水は存在しない。

温泉水の電気伝導度は、Cl 濃度に比例して高い値の場合、地下で高温での岩石熱水反応によって生成した温泉水であることを一般的には示す。しかし、ナトロン湖とエヤシ湖の電気伝導度は 1,000mS/m 以上と非常に高い値を示しており、これらは塩湖由来の塩分濃度が高いかん水の影響と推定される。



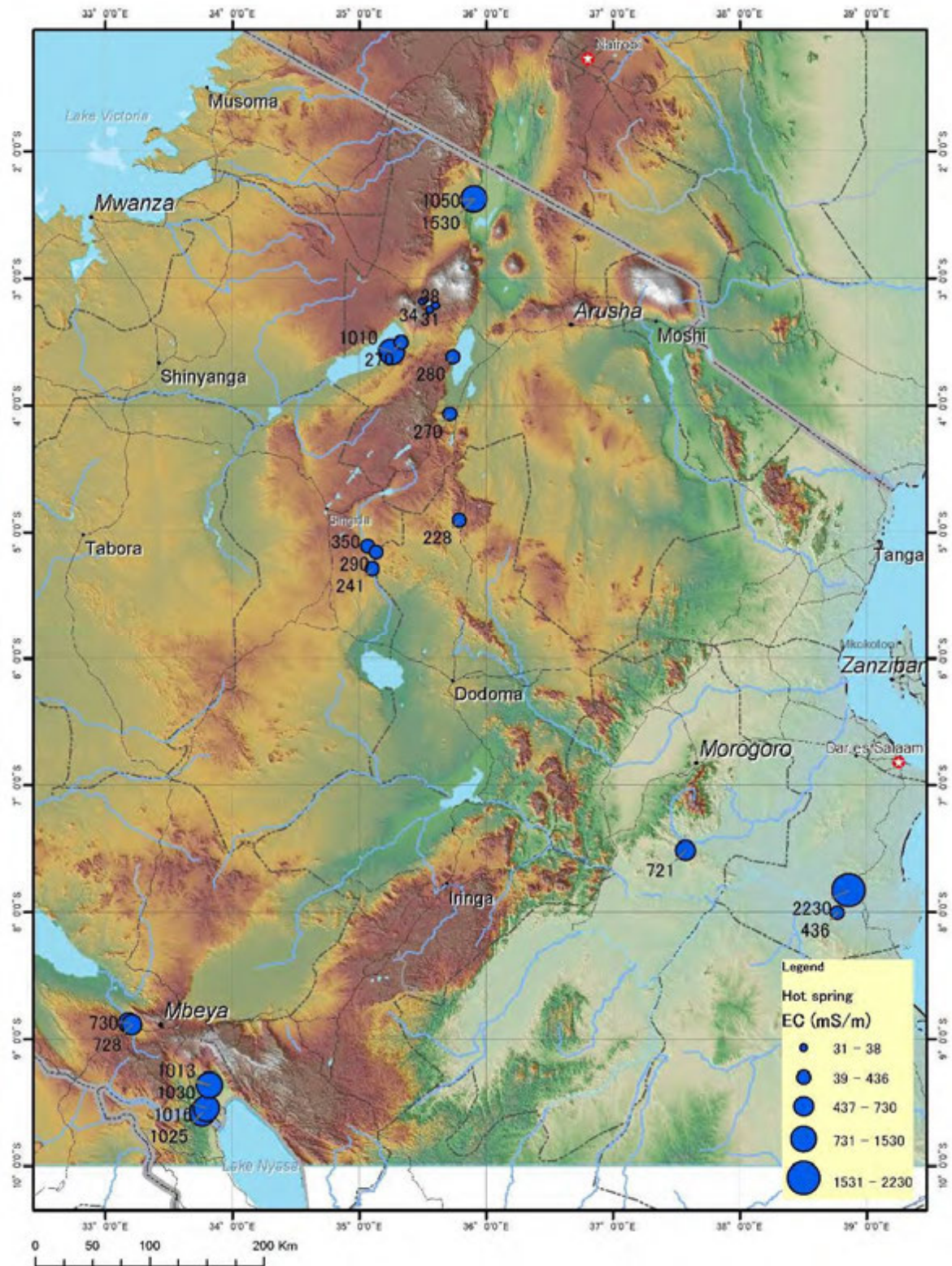
(調査団作成)

図 II-22 温泉の泉温分布図



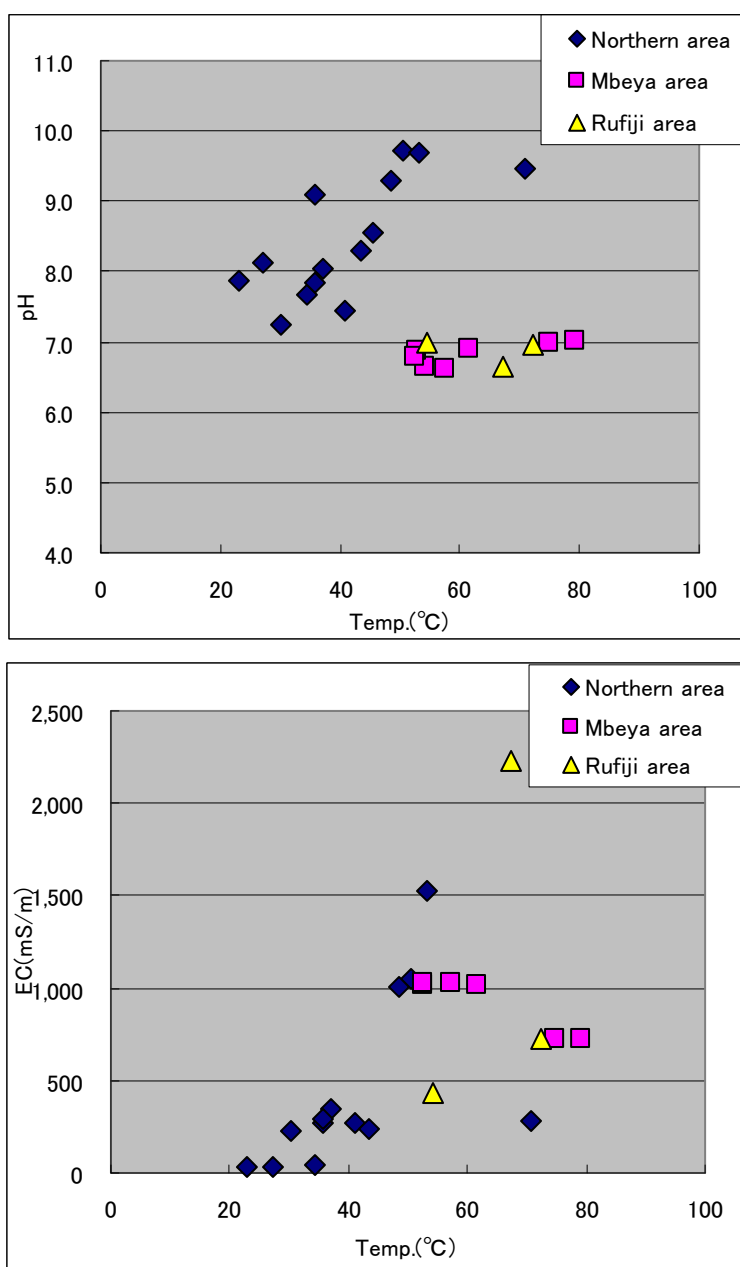
(調査団作成)

図 II-23 温泉の pH 分布図



(調査団作成)

図 II-24 温泉の電気伝導度分布図



(調査団作成)

図 II-25 温泉の水質等の相関図

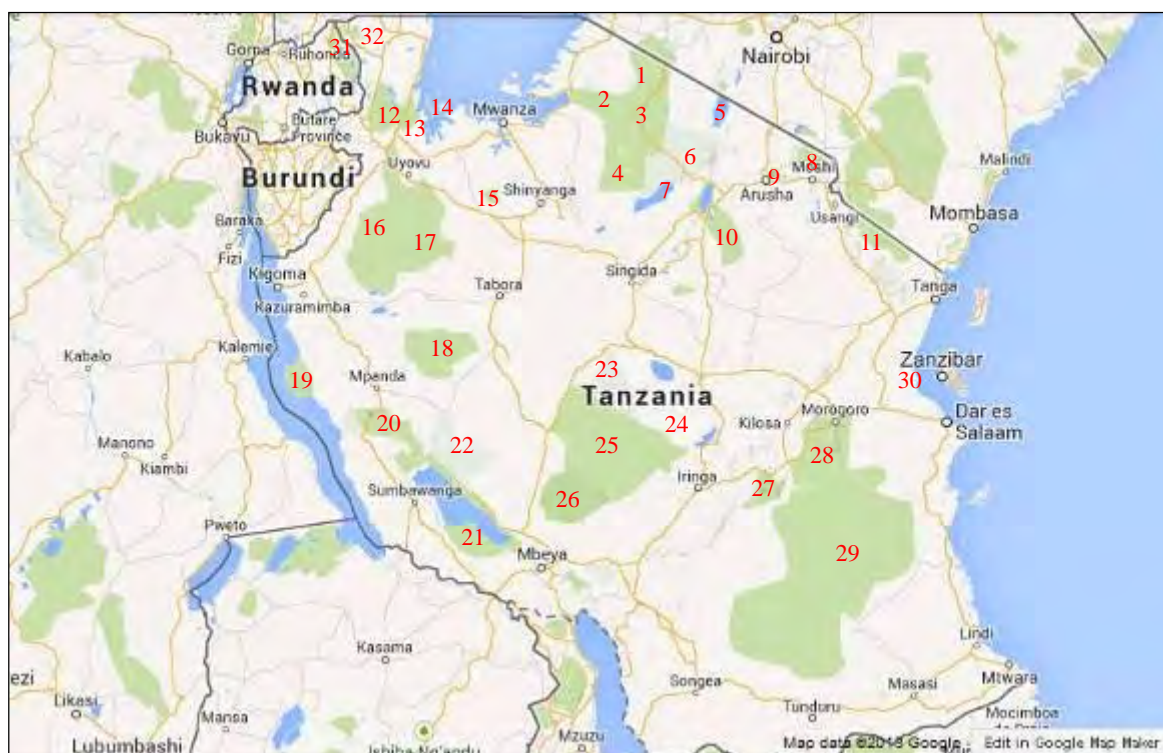
2. 自然保護区に関する情報収集

地熱資源を評価するための社会環境として、重要なデータの1つである自然公園についての情報収集を行った (図 II-26)。

自然公園は主に次の3種類に区分されている。

- 国立公園、国立公園保護区、鳥獣保護区

全国で国立公園は12ヶ所、国立公園保護区はンゴロンゴロ保護区1ヶ所のみ、鳥獣保護区は16ヶ所それぞれ指定されている。これに加え、ナトロン湖ではラムサール条約による湿原登録がなされている。現行法では国立公園内では一切の人為的な活動は禁止されている。ンゴロンゴロ保護区では現地マサイ族の生活に係わる活動を除き国立公園と同じ取扱いとなっている。鳥獣保護区ではいくつかの探査活動の例外を除き、人為的な活動は禁止されている。これら自然保護区の分布を図 II-26 に示した。



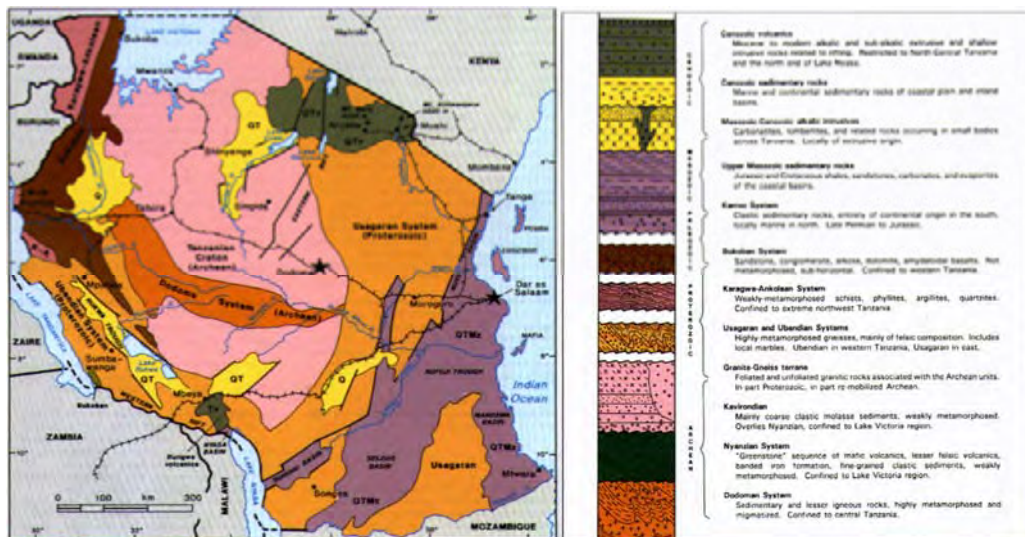
(TANAPA)

- | | | |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Ikorongo Game Reserve | 12. Buiigi National Park | 23. Muhesi Game Reserve |
| 2. Grumeti Game Reserve | 13. Biharamulo Game Reserve | 24. Kizigo Game Reserve |
| 3. Serengeti National Park | 14. Bubondo Island National Park | 25. Rungwa Game Reserve |
| 4. Masuwa Game Reserve | 15. (unknown) | 26. Ruaha National Park |
| 5. Lake Natron Ramsar Conv. | 16. Moyowosi Game Reserve | 27. Udzungwa National Park |
| 6. Ngorongoro Conservation Area | 17. Kigosi Game Reserve | 28. Mikumi National Park |
| 7. Lake Manyara National Park | 18. Ugalla River Game Reserve | 29. Selous Game Reserve |
| 8. Kilimanjaro National Park | 19. Mahale Mountains Nat. Park | 30. Sadani Game Reserves |
| 9. Arusha National Park | 20. Katavi National Park | 31. Ibanda Game Reserve |
| 10. Arangire National Park | 21. Uwanda Game Reserve | 32. Rumanyika Orugundu Game Reserve |
| 11. Mkomazi Game Reserve | 22. (unknown) | |

図 II-26 自然保護区の位置図

II-5-3 地質情報

タンザニアの地質図及び地質層序を図 II-27 に表す。先カンブリア紀の岩石がタンザニアの大部分を覆っている。また、東部や先カンブリア時代の岩石内にカンブリア紀以降の岩石が分布している。

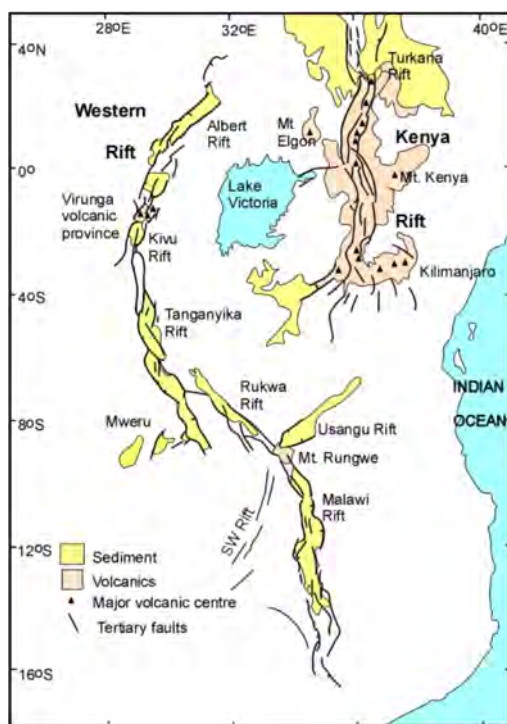


(JOGMEC, 2006)

図 II-27 タンザニアの地質及び地質層序

タンザニア・クラトンにおける始生代の岩石は、花崗岩状の複合岩体、片岩及び片麻岩帯とグリーンストーン帯を含んでいる。西部、東部、南部さらに北西部で原生代の変動帯が始生代タンザニア・クラトンを取り巻いている。クラトンの西部と南部の原生代岩石の累層は主として片麻岩と片岩であり、角閃岩が多少混在している。一方、クラトンの東部は片岩、片麻岩、花崗岩、大理石などである。主にタンザニア南西部で千枚岩・カルー岩の累層が先カンブリア紀の岩石に累重している。陸生変堆積岩、海洋堆積岩が沿岸部に沿って分布しており、その上位を占めている。貫入岩は様々な時代の超苦鉄質から珪長質岩石まで多岐にわたり、ハンレイ岩、ドレライト、キンバーライト、カーボナタイト、花崗岩、閃長岩などがある。

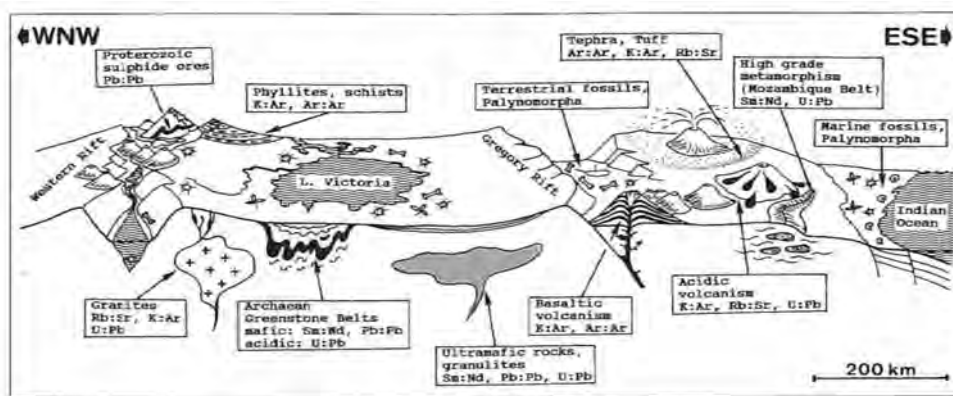
タンザニア周辺におけるリフトシステムを図 II-28 に示す。リフトシステムは東リフト (Eastern (Kenya) Rift) 及び西リフトにより構成される。東リフトはトゥルクナ湖から北部タンザニアに伸長しており、活動時期は北部では中新世初期、南部では中新世後期とされている。リフトの発達には、古生代後期のモザンビーク帯基盤内で生じている。リフト内で発達する地層は、その中央部でのドーム構造と火山活動により開始され、引き続き断裂構造とハーフグラベン構造によって特徴づけられる。火山岩は玄武岩質～トラカイト質の組成を示し、凝灰岩を挟在する。引き続きトラカイトのシートはN-S方向の開口断層と関連して分布している。第四紀には大量の珪質火山岩が噴出し、リフトを埋積している。一方、南部ではOl Doinyo Lengaiのようなアルカリ岩及びカーボナタイト質の活発な火山活動が認められる。これらのカーボナタイトはクラトン深部の起源と考えられ、アルーシャ市やその南部で小規模なリフトが発達し、キリマンジャロ山周辺ではアルカリ岩溶岩が卓越している。これらの活動以降にリフト軸部には第四紀の珪質岩火山が分布し、リフトにはマグマ活動が継続していることがわかる。これらが地熱資源として極めて重要とされる。



(Omenda, 2010)

図 II-28 タンザニア周辺におけるリフトシステム

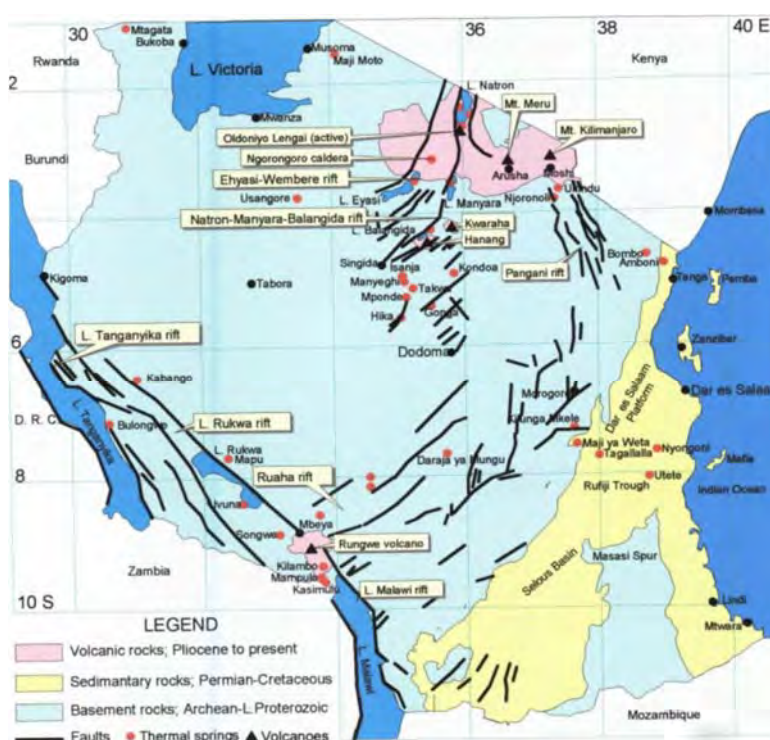
西リフトはヴィクトリア湖の西岸に沿って南下し、タンザニア・プラトンの西縁を迂回する。このリフトは典型的なハーフグラベン構造を示し、高角の正断層を伴うことによって特徴づけられる。また、西リフトでは東部リフトに比べ、火山活動が小規模である。東リフトの火山活動が 30 Ma に開始されたのに対し、西リフトのそれはアルバート湖北部では 12 Ma、タンガニーカリフトでは 7 Ma とされている。アルバート湖周辺はアルバートグラベンと称され、その南部では火山活動が見られるものの、中生代初期からの堆積岩類が厚く分布している。西リフトの火成活動は K アルカリ、超 K マフィック及び K-Mg 珪質火山岩の特徴を示す。火山活動は特にビルンガ火山地域で顕著に認められる。タンガニーカールクワマラウイ（以降 TRM と称する）リフトは原生代の基盤の構造に支配されている。この付近は正断層、ハーフグラベン、地塁及びステップ状の断層によって特徴づけられる。マラウイリフトはさらに南方のモザンビークウレマ及びレボンボグラベンに連続する。タンガニーカリフトとマラウイリフトには厚い堆積岩が分布し、第四紀火山活動は認められない。しかし、タンガニーカ湖南方のルングウェ市周辺については、第四紀火山活動が認められる。これは 9-7 Ma 前に開始された新生代後期の火山活動と考えられ、さらに NE-SW 方向のリフトを伴っている。このように西部リフトにおいてもケニアリフトの延長である新規火山活動が認められる。特に重要と考えられるのがムベヤにおける第四紀火山活動と関連する 86°C の温泉分布である。上述の地質・地質構造を ESE-WNW 方向の断面で示した概念モデルを図 II-29 に示す。



(Schluter, 1997)

図 II-29 ESE-WNW 方向の地質断面概念モデル

タンザニアにおける地熱資源賦存可能性地域を図 II-30 に示す。上述のように、タンザニアの地質・地質構造を概観すると、次の 2 地域の地熱資源賦存可能性地域が抽出される。すなわち、ケニアとの国境付近に位置するアルーシャ地域（ケニアリフト）及びルクワ湖とニアサ湖の間に位置するムベヤ地域（西リフト南部）の 2 地域である。



(Omenda, 2010)

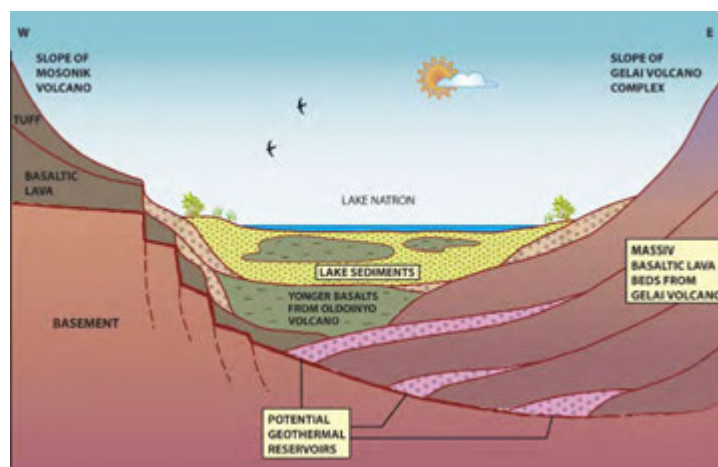
図 II-30 タンザニアにおける地熱地域と主要地質構造

その他の地熱資源賦存可能性地域としてはダルエスサラーム市の南方 160km に位置するルホイ地域が上げられる。この地域では、タンザニア First Energy Company が 1998 年から 2002 年に調査を実施している。この調査は地熱の予備評価を中心に実施されており、200°C 以上の貯留層

温度を示す地熱系が想定されている。地質はカルー層群及びその上位の若い地層が分布しており、南方のウサングリフトと並行する断層群の延長線上にある。

1. アルーシャ地域

ケニアとの国境付近に位置するアルーシャ地域にはダルエスサラーム市より陸路・空路のアクセスが可能である。ナトロン湖周辺の地質は、玄武岩質溶岩やアルカリ火山岩のような新生代火山岩の活動によって特徴づけられる。リフトの両縁には多数の溶岩流が認められ、特に西縁では最近の断層活動によりステップ状の傾斜した地質構造となっている。西縁では少なくとも 10 枚以上の溶岩流が確認され、東縁では西縁より古い時期の断層活動により緩い傾斜を示す。リフト自体はもともと東縁の断層によりハーフグララーベン状の形態を示していたが、その後の西縁の断層活動により西方で深くなるリフト構造に変遷している。その後、西縁では火山及び火山複合岩体が発達し、これらの断層を被覆している。この地域の火山及び火山複合岩体は断層を通路とし、より深部の岩石組成になったと推定されている。このうちの Ol Doinyo Lengai 火山は現世においても活動を続け、断層活動よりも新規の活動であることがわかる。しかし、断層の変位は必ずしも大きくなく、当該地域の地質・地質構造は依然概念モデルの域に留まっている。ナトロン湖の地質概念モデルを図 II-31 に示す。

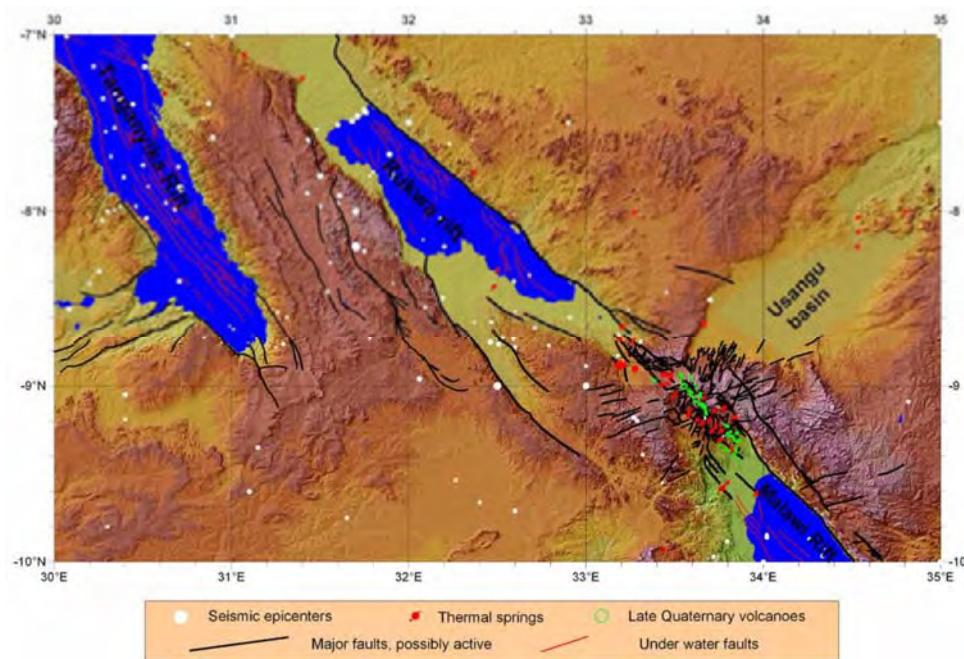


(DECON-SWECO, 2005)

図 II-31 ナトロン湖の地質概念モデル

2. ムベヤ地域

ルングウェ火山列に位置するムベヤ地域にはダルエスサラーム市より陸路・空路のアクセスが可能である。ムベヤ地域の位置及びその周辺のリフトシステムを図 II-32 に示す。



(Delvaux et. al., 2010)

図 II-32 ムベヤ地域の位置及びその周辺のリフトシステム

Delvaux ほか (2010) は、SRTM DEM90、空中写真、地形図、地質図を用いた現地踏査により詳細な調査を実施しており、地質構造の新たな解釈が行われている。これによると、ルングウェ火山区 (Rungwe Volcanic Province、以降 RVP と称する) は ENE-WSW 方向の水平的な最大圧縮と NNW-SSE 方向の最小圧縮による走向方向の引張り応力場にある。高角断層が発達してこれらの構造を変形させ、基盤構造を再活動させるとともに、第四紀リフト性堆積物及び火山岩類を正断層系によって変位させている。これらの構造は火道や温泉分布に影響を及ぼしている。K-Ar 法及び U-Th 法年代測定により、ンゴジ地熱系はおよそ 360 ka 前に活動を開始したと想定される。

RVP は東アフリカ地溝帯の西リフトと東リフトの会合部にあたり、南ルクワリフト、北メラウイ (ニアサ) リフト及びウサングリフト堆積盆の三重点を形成している。この構造には現在までに幾度かの継続的なリフトの変遷がある。最新の活動期は新生代後期とされ、ルングウェ火山岩の年代測定により 1.5 Ma 前より継続的に活動を続けている。当該地域の地質構造の解析では、地下流体の流動は活断層に沿う透水性に支配されている。地表の温泉分布はルクワリフト及び北メラウイリフト堆積盆の変遷に支配されるように NW-SE 方向に配列している。最近の 0.5 Ma では、NW-SE 方向の水平引張り応力及び NE-SW 方向の水平圧縮応力によって局所的に走向方向変位の共役断層が形成されている。

3. 岩石の室内試験結果

地熱徴候地点の岩石の変質状況を確認する目的で、岩石の偏光顕微鏡観察、XRD 分析及び反射スペクトル測定を行った。

1) 岩石薄片観察結果

岩石薄片の観察結果、顕著な熱水変質の特徴は認められなかった。以下に観察結果を述べる。また、各試料の偏光顕微鏡観察シートを添付資料 2 に示した。

Na01 ; ナトロン湖

岩石は無斑晶質玄武岩である。石基は 0.2~0.3mm 程度の斜長石の柱状結晶と 0.1mm 以下の輝石より成る。石基の火山ガラスの一部は、褐色の粘土鉱物に変質している。

So01 ; ソングウェ

岩石は方解石より構成されるトラバーチンである。樹枝状組織を示し、伸長方向に一定の方向性を示す。

Ki02 ; キランボ

岩石は玄武岩であり、斑晶は斜長石と輝石からなる。石基は火山ガラスを主体とし、方解石を充填する発砲孔が認められる。斜長石は新鮮であり、変質は認められない。

Ma01 ; マンプロ

岩石は礫岩である。石英を主体とした礫で構成され、一部に微粒の不透明鉱物を伴う。礫を構成する石英は、波動消光を示す。基質部は部分的に赤褐色化し、褐色の不透明鉱物が認められる。

Ka01a ; カシムロ

岩石は砂岩である。主に石英から構成され、黒雲母、不透明鉱物が認められる。基質部には褐色の不透明鉱物と粘土鉱物が認められる。

Ka01b ; カシムロ

岩石は主に石英から構成される砂岩である。粘土鉱物や褐色の不透明鉱物が認められる。

Ut01a ; ウテテ

岩石は、ほとんど石英から構成される砂岩である。基質部には微細な不透明鉱物及び粘土鉱物が認められる。

2) X 線回折分析結果

X 線回折分析により同定された鉱物の一覧を表 II-9 に示した。分析の結果、確認された粘土鉱物は、カオリナイト、スメクタイト、イライトそして混合層鉱物である。

北部地域の Na01 (ナトロン湖) の玄武岩からは、カオリナイトとスメクタイトが検出された。ムベヤ地域の So01 (ソングウェ) のトラバーチンは方解石のほか混合層鉱物が検出され、Ki01 (キランボ) のトラバーチンからは霏石が検出された。Ki02 地点(キランボ)の玄武岩からはスメクタイトが検出された。Ma01 (マンプロ)、Ka01a 及び Ka01b (カシムロ) 地点の砂岩・礫岩からはイライト、カオリナイト及び混合層鉱物が検出された。

ルフィジ地域の Ut01a (ウテテ) の砂岩からはイライトとカオリナイトが検出された。Ks01 (キサキ)、Ut01b (ウテテ) 及び Ny01 (ニョンゴニ) のトラバーチンは方解石からなり、Ut01b に確認された石英及び長石は細層物起源と考えられる。

粘土鉱物としてカオリナイト、スメクタイト及びイライトが検出されたが、一般にスメクタイトとイライトは中性の熱水変質により形成され、カオリナイトは酸性熱水変質により形成されるほか、熱帯地域において長石類の風化生成鉱物として普遍的に形成されることが知られている。

今回の現地調査結果や顕微鏡観察の結果において、顕著な熱水変質の痕跡は認められなかったことから推測すると、カオリナイトの成因は岩石に含まれる長石類の風化生成鉱物として形成されたものと考えられる。スメクタイトについては、中性低温の熱水変質で形成されることから、玄武岩のスメクタイトについては、温泉水との反応により形成された可能性が指摘できる。イライトについては、砂岩と礫岩の試料で検出されていることから、細屑粒子起源と推定される。

表 II-9 X線回折分析結果

Sample No.	Rock name	Bulk specimen (Quartz index)							Oriented specimen				
		quartz	feldspar	mica	pyroxene	olivine	kaolinite	calcite	aragonite	illite	kaolinite	smectite	mixed layer
Na01	basalt		2.7		1.9					○	○		○ (feldspar,pyrite)
So01a	travertine							21.0				○	○ (calcite)
So01b	travertine							18.3					○ (calcite)
Ki01a	travertine							< 0.5	6.0				○ (aragonite)
Ki01b	sediments	19.4	3.4				0.5			○	○	○	○ (quartz, feldspar)
Ki02	basalt		1.6		3.8	1.1						○	
Ma01	conglomerate	49.1	2.9				0.6			○	○		○ (quartz)
Ka01a	sandstone	13.3		0.6			2.2				○	○	
Ka01b	silicified sandstone	35.0								○	○	○	○ (quartz)
Ks01a	travertine							15.4					○ (calcite)
Ut01a	sandstone	67.4	1.0				1.1			○	○		
Ut01b	travertine	3.6	2.7					12.9			○	○	○ (quartz, calcite)
Ny01	travertine							23.8					○ (calcite)

(調査団作成)

3) スペクトル測定結果

岩石の赤外反射スペクトル測定は、岩石試料に含まれる粘土鉱物を確認し、XRDの結果を補足する目的で実施した。スペクトルから同定された鉱物を表 II-10 に示す。各試料の反射スペクトル測定結果については、添付 3 に示してある。

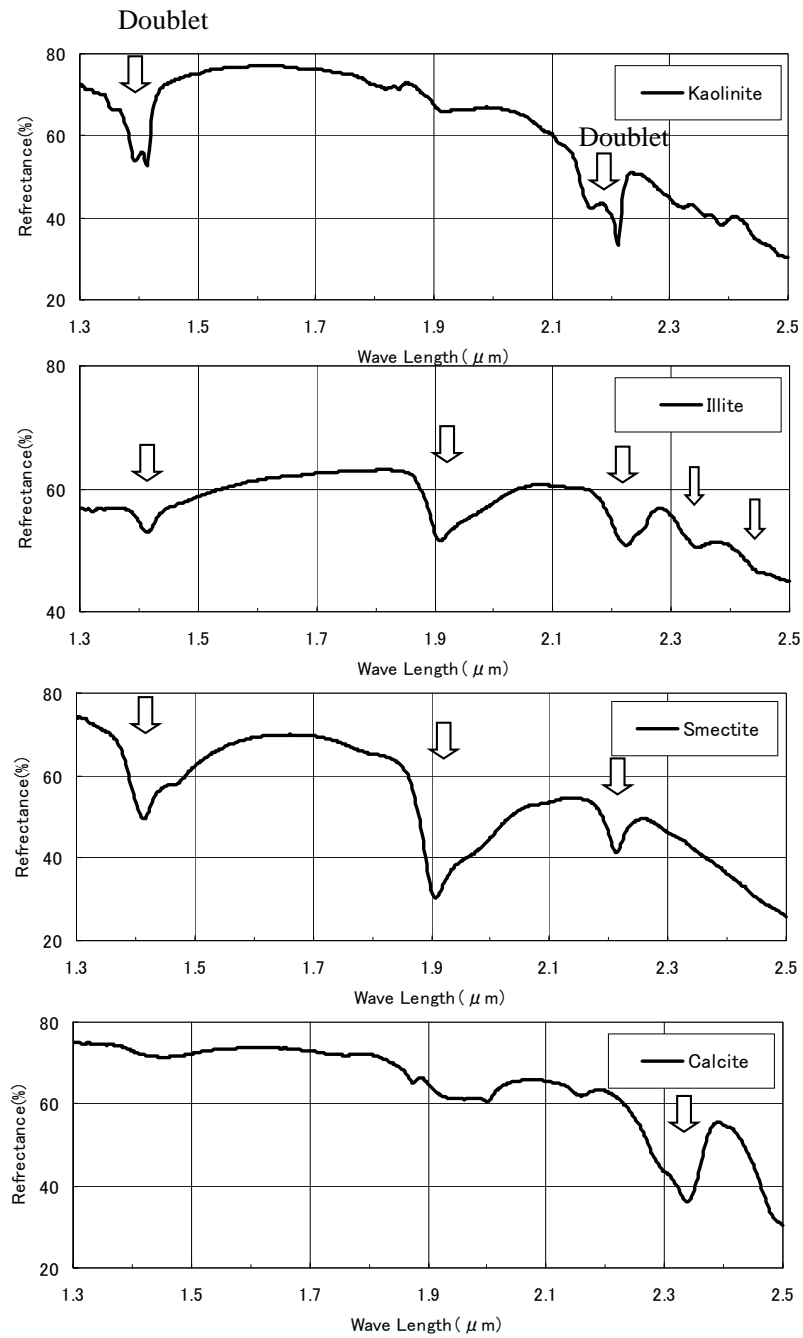
本試験で測定した波長帯は短波長赤外 (1,300~2,500nm) の領域に相当する。図 II-33 は、米国地質調査所のスペクトルライブラリーより、典型的なカオリナイト、スメクタイト及びセリサイト (イライト) の反射スペクトルを示した。短波長赤外域には粘土鉱物や炭酸塩鉱物に固有の吸収帯が現われる。これらの吸収帯は、鉱物を構成する水分子やアルミニウムと水酸化基間 (Al-OH) などの分子振動に起因するものであり、その吸収帯の位置や全体の波形の特徴から鉱物の同定や化学組成の推定が可能となる。例えば図 II-33 に示したカオリナイトのスペクトルには 2,200nm 付近に特徴的なダブルットまたはショルダーが現れることにより識別される。

同定された鉱物は、カオリナイト、イライト (セリサイト)、スメクタイト、バーミキュライト及び硬石膏である表 II-10。カオリナイトは、Ki01b (キランボ) や Ma01 (マンプロ)、Ka01a、Ka01b (カシムル) などの砂岩や表層堆積物から検出され、XRD 分析と同様な結果となった。XRD 分析でスメクタイトが検出された玄武岩の Na01 (ナトロン湖) 及び Ki02 (キランボ) のスペクトルについては、スメクタイトが認められず、この結果は顕微鏡観察からも明らかなように変質の程度が極弱いためと推定される。花崗岩質岩の Ta01a (タクワ) からは、黒雲母の風化生成物であるバーミキュライトが検出された。各地のトラバーチンからは、方解石が同定された。

表 II-10 スペクトル測定結果

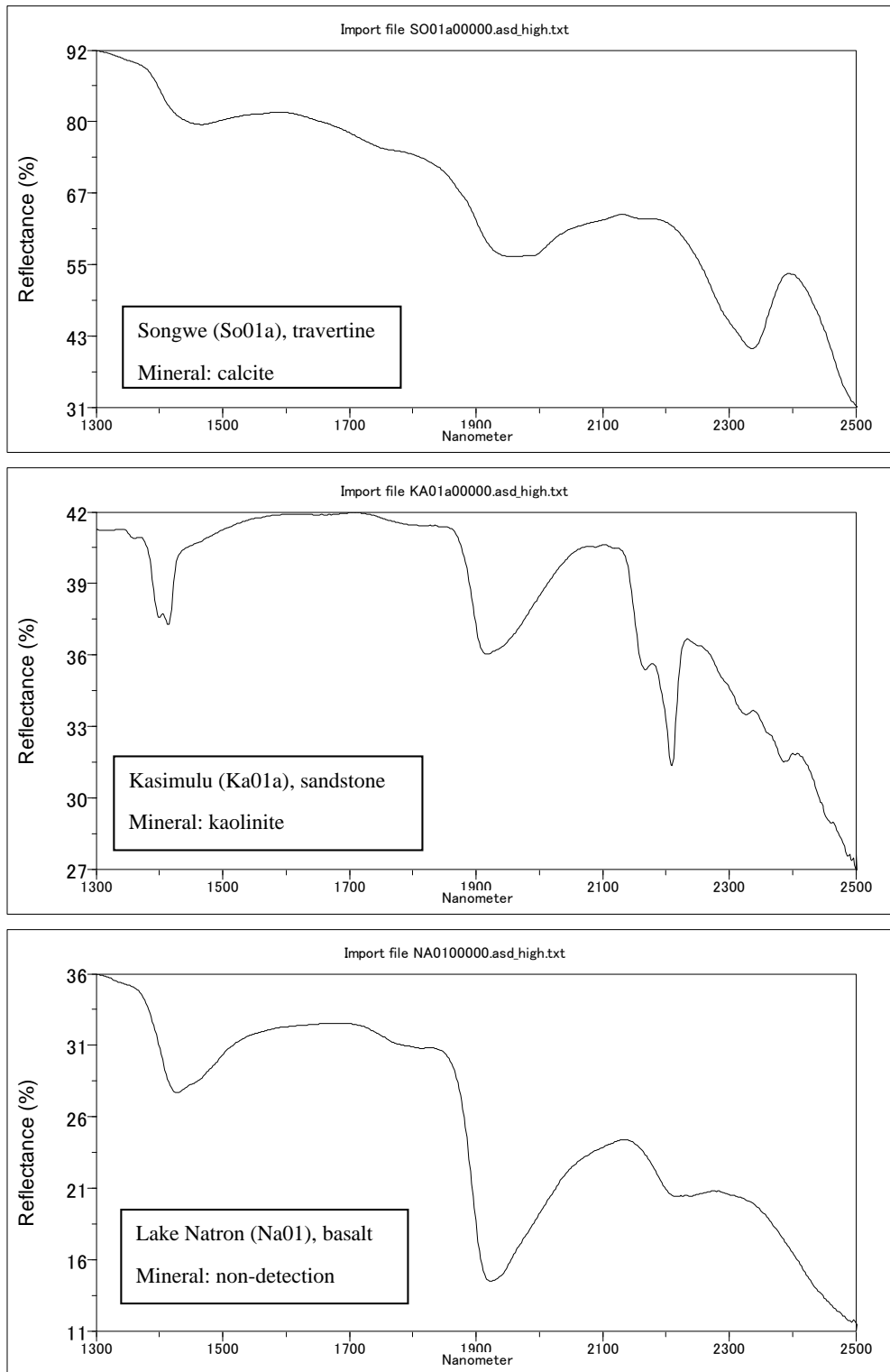
sample name	place	rock name	kaolinite (halloysite)	smectite	illite (sericite)	calcite	vermiculite	anhydrite	remark
Na01	Lake Natron	basalt							non-detection
Na02	Lake Natron	basalt							non-detection
Mn01a	Lake Manyara	gneiss		○?	○				
Mn01b	Lake Manyara	evapolite						○	
Ey01	Lake Eyasi	evapolite						○	
Ng01	Ngorongoro crater	sediment							2.3 μm absorption?
Ba01a	Masware	gneiss		○?	○				2.3 μm absorption?
Ba01b	Masware	sediment	○?	○?					2.3 μm absorption?
Ba01c	Masware	sediment	○	○?					
Ha01	Balangida lalu	sediment	○						2.3 μm absorption?
Ta01a	Takwa	granitic rock		○?	○?		○		
Ta01b	Takwa	sediment		○					
So01a	Songwe	travertine				○			
So01b	Songwe	travertine				○			
Ki01a	Kilambo	travertine				○			
Ki01b	Kilambo	sediment	○						
Ki02	Kilambo	basalt							non-detection
Ma01	Mampulo	conglomerate	○						
Ka01a	Kasimulu	sandstone	○						
Ka01b	Kasimulu	silicified rock	○						
Ks01a	Kisaki	travertine				○			
Ks01b	Kisaki	travertine				○			
Ks01c	Kisaki	sediment				○			
Ut01a	Utete	sandstone	○						
Ut01b	Utete	travertine				○			
Ny01	Nyongoni	travertine				○			

(調査団作成)



(USGS)

図 II-33 代表的な粘土鉱物及び方解石のスペクトル



(調査団作成)

図 II-34 スペクトル測定結果の代表例

II-5-4 地化学情報

「II-5-2 節 現地調査」で採取した試料の分析方法を表 II-11 に、分析結果を表 II-12 に示す。また地化学解析図面を図 II-35～図 II-39 に、地化学温度計算結果を図 II-40～図 II-43 及び表 II-13 に示す（計算式は添付資料-6）。

表 II-11 化学・同位体分析方法

	分析方法	定量下限/精度
pH	pH 計（ガラス電極法）	-
EC	電気伝導度計	-
Na	フレイム原子吸光法	0.02mg/L
K	フレイム原子吸光法	0.02mg/L
Li	フレイム原子吸光法	0.01mg/L
Ca	ICP 発光分光分析法	0.01mg/L
Mg	ICP 発光分光分析法	0.001mg/L
Cl	容量法/イオンクロマトグラフ法	10/0.01mg/L
SO ₄	イオンクロマトグラフ法	0.1mg/L
HCO ₃	容量法	1mg/L
T-SiO ₂	モリブデン黄法	2mg/L
B	ICP 発光分光分析法	0.04mg/L
δD(H ₂ O)	質量分析法	±1‰
δ ¹⁸ O(H ₂ O)	質量分析法	±0.1‰

（調査団作成）

表 II-12 温泉水の地化学分析結果（本調査）

sample name	date	Chemical component														Isotope component	
		pH	EC	Na	K	Li	NH ₄	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	F	B	T-SiO ₂	δ D(H ₂ O)	δ ¹⁸ O(H ₂ O)
		(-)	(mS/m)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(%)	(%)
Na01	2013/8/16	10.0	2,130	6,600	98.1	<0.01	3.77	0.65	0.037	2,830	270	3,380	66.1	5.57	78	-24	-3.8
Na02	2013/8/16	9.9	2420	-	0	-	-	-	-	3,370	350	4,870	68.3	6.36	-	-	-
Mn01	2013/8/17	9.8	304	676	10.8	0.11	1.00	0.43	0.018	200	151	558	23.0	0.79	146	-24	-4.5
Ey01	2013/8/18	9.4	2,670	7,510	47.4	0.05	< 0.01	0.71	0.095	6,570	869	4,180	80.1	2.63	52	-18	-2.5
Ey02	2013/8/18	8.9	383	948	9.27	0.07	0.15	0.97	0.156	580	161	1,100	14.8	0.70	42	-19	-4.1
Ng01	2013/8/19	7.2	43.5	65.5	8.97	0.01	0.43	29.6	11.8	15	0.5	295	1.16	0.23	104	-26	-5.2
Ng03	2013/8/19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-28	-5.2
Ba01	2013/8/20	7.8	380	939	19.5	0.30	< 0.01	8.64	3.23	280	368	1,560	19.7	0.58	70	-22	-4.2
Ms01	2013/8/21	8.0	485	1,110	8.40	0.12	< 0.01	8.94	3.50	980	462	719	10.5	0.36	36	-27	-4.7
Ta01	2013/8/21	-	-	670	5.57	0.15	0.03	19.4	5.66	-	-	-	-	-	43	-28	-4.7
Mp01	2013/8/21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-26	-4.2
Ko01	2013/8/22	7.3	113	106	8.21	0.02	0.03	111	30.6	118	120	380	0.54	0.11	60	-25	-4.7
So01	2013/8/25	7.4	368	837	99.6	0.88	0.04	40.6	16.0	210	167	1,980	7.12	0.70	75	-35	-6.1
Ra01	2013/8/25	7.3	354	856	88.0	0.94	0.11	20.6	8.39	230	169	1,850	8.58	0.75	70	-34	-6.0
Ki01	2013/8/26	7.3	511	1,190	61.0	0.80	< 0.01	77.1	34.6	430	235	2,600	2.67	0.95	125	-23	-5.2
Ki02	2013/8/26	7.0	515	1,180	60.7	0.80	0.21	89.7	35.0	430	236	2,680	2.59	0.95	122	-24	-5.2
Ma01	2013/8/26	7.6	510	1,300	66.7	0.50	< 0.01	28.6	14.3	280	307	2,820	1.57	0.89	130	-22	-4.7
Ka01	2013/8/26	7.3	511	1,300	72.3	0.45	< 0.01	44.3	17.4	240	367	2,900	1.55	0.87	108	-23	-4.8
Ks01	2013/8/28	7.5	357	819	48.9	0.42	< 0.01	53.4	24.5	180	452	1,650	6.33	0.26	63	-13	-3.3
Ut01	2013/8/30	7.4	205	467	18.5	0.47	1.67	19.2	5.74	160	258	787	3.73	1.93	39	-17	-3.5
Ny01	2013/8/31	7.0	1,090	2,280	120	3.40	19.1	55.9	19.2	3,220	42.8	1,470	2.81	33.8	51	-17	-1.0

(調査団作成)

ナトロン湖ーンゴロンゴロ地域、ムベヤ地域、ルフィジ地域、シンギダーコンドア地域に分けて、それぞれ述べる。

a) ナトロン湖ーンゴロンゴロ地域

ナトロン湖ーンゴロンゴロ地域（ナトロン湖、マニヤラ湖、エヤシ湖、ンゴロンゴロクレーター）のうち、ンゴロンゴロクレーターの温泉水は、Cl 濃度 = 14.9mg/L など総じて化学成分濃度が低く表 II-12、主要陰イオンの特徴から判断すると HCO₃ 型であること（図 II-35）、水の同位体比も天水（雨水等）のそれとほぼ同じである（図 II-37）ことから、天水がわずかに伝導加熱されて生成したものと考えられる。地化学温度のうち、アルカリ比（Na-K）温度は 200°C 以上の高温を示すが、化学平衡に達していないことから（図 II-38）適正な地下温度を示していないと判断さる。シリカ温度からは 40°C 程度しか見込まれず、地熱資源としては有望でない。

ナトロン湖及びエヤシ湖の温泉水は、エヤシ湖の 1 試料 Ey02 を除いて深部熱水混入型（Cl 型）と伝導加熱型（HCO₃ 型）の中間型の Cl-HCO₃ 型であるが（図 II-35）、Cl 濃度が約 3,000mg/L 以上表 II-12 で、通常の温泉水と比較して Cl 濃度に対して B 濃度が低いことから（図 II-36）、塩湖であるナトロン湖やエヤシ湖の水が混入しているために Cl 濃度が高くなっていると判断される。エヤシ湖の Ey02 は、Cl-B 濃度関係図（図 II-36）から、概ね Ey01 が天水によって希釈されたものと考えられる。地下温度については、Na-K-Mg 三成分の化学平衡以上にナトリウム濃度が高いことから（図 II-38）、カルシウム濃度を加味した Na-K-Ca 温度に基づき、134~174°C 程度の温度が推測される（図 II-40、表 II-13）。

マニヤラ湖の温泉水は、前節で述べたように、既存データは Cl 濃度 = 4,810mg/L と非常に高く、塩湖であるエヤシ湖からの湖水の混入が考えられたが、今回現地調査の結果、温泉の位置が変化しており、Cl 濃度 = 200mg/L と温泉水としては一般的な値で、主要陰イオンの特徴から HCO₃ 型

の伝導加熱型である (図 II-35)。Cl-B 濃度関係図 (図 II-36) から判断すると、今回採取した温泉水には湖水は混入しておらず、火山岩中に貯留されていた特徴を示す。カルシウム濃度を加味した Na-K-Ca 温度に基づけば、地下温度は 144°C 程度と推測される (図 II-40、表 II-13)。

b) ムベヤ地域

ムベヤ地域 (ソングウェ、ランボ、キランボ、マンプロ、カシムル) の温泉水は、Cl 濃度が 210~430mg/L であり、主要陰イオンの特徴から HCO₃ 型の伝導加熱型である (図 II-35)。Cl-B 濃度関係図 (図 II-36) から、温泉水が火山岩中に貯留されていた特徴を示す。水の同位体比より、これらの温泉水が天水起源であることが示され、また北西部に位置するソングウェとランボの温泉水の酸素・水素同位体比が小さいことから、南東部の温泉水よりも標高の高いところに降った降雨を起源としていることが明らかである (図 II-37)。地下温度は、マグネシウム濃度が高いことから Na-K-Mg 三成分は未平衡であるため、カルシウムも加味した Na-K-Ca 温度に基づき、168~215°C 程度の温度が推測される (図 II-41、表 II-13)。なお、ナトリウム、カリウムに比べてマグネシウム濃度が高い理由は、温泉の周辺にトラバーチン (カルシウムやマグネシウムの炭酸塩の析出物) が存在することから、その炭酸塩から溶出してきていることが推測される。

c) ルフィジ地域

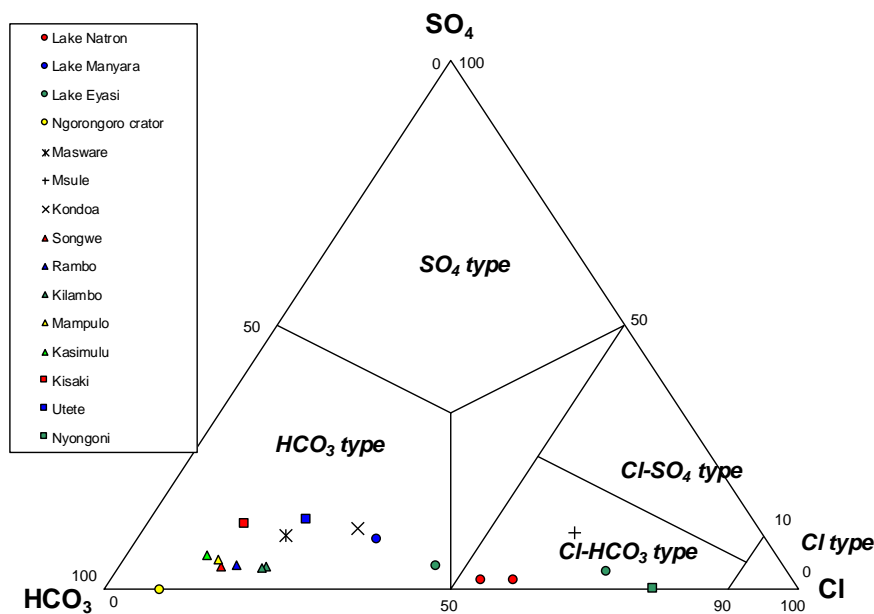
ルフィジ地域 (キサキ、ウテテ、ニョンゴニ (ルホイ川)) のうち、キサキ及びウテテの温泉水は、Cl 濃度が 160~180mg/L で、主要陰イオンの特徴から HCO₃ 型の伝導加熱型である (図 II-35)。Cl-B 濃度関係図 (図 II-36) から判断すると、キサキの温泉水は蒸発岩の影響を受けている可能性があるが、ウテテの温泉水は火山岩中に貯留されていたことを示す。ただし、地質調査の結果によれば、周辺の地表では火山岩は確認できていない。水の同位体比からは、これらの温泉水が天水起源であることが示される (図 II-37)。地下温度は、マグネシウム濃度が高いことから Na-K-Mg 三成分は未平衡であるため、カルシウムも加味した Na-K-Ca 温度に基づき、147~171°C 程度の温度が推測される (図 II-42、表 II-13)。

ニョンゴニ (ルホイ川) の温泉水は、Cl 濃度が 3,220mg/L で、主要陰イオンの特徴から深部熱水混入型 (Cl 型) と伝導加熱型 (HCO₃ 型) の中間型の Cl-HCO₃ 型である (図 II-35)。Cl-B 濃度関係図 (図 II-36) から、Cl 濃度が高いのは蒸発岩等の影響ではなく、温泉水が火山岩中に貯留されていた特徴を示す。ただし、地質調査の結果によれば、周辺の地表では火山岩は確認できていない。また水の同位体比の関係において、酸素同位体比が正にシフトしていることから (図 II-37)、天水が高温で岩石と反応して生成した温泉水であることを示している。地下温度は、マグネシウム濃度が高いことから Na-K-Mg 三成分は未平衡であるため、カルシウムも加味した Na-K-Ca 温度に基づき、183°C 程度の温度が推測される (図 II-42、表 II-13)。なお、ルフィジ地域においてナトリウム、カリウムに比べてマグネシウム濃度が高い理由は、前項のムベヤ地域と同様の理由によると推測される。

d) シンギダーコンドア地域

シンギダーコンドア地域 (マスワレ、ムスーレ、タクワ、コンドア) の温泉水のうち、ムスーレは Cl 濃度が 980mg/L で主要陰イオンの特徴から Cl-HCO₃ 型、それ以外は Cl 濃度が 118~280mg/L 程度であり、HCO₃ 型に分類される (図 II-35)。しかし、いずれの温泉水も通常の温泉水と比較して Cl 濃度に対して B 濃度が低いことから (図 II-36)、蒸発岩等の影響が考えられる。水

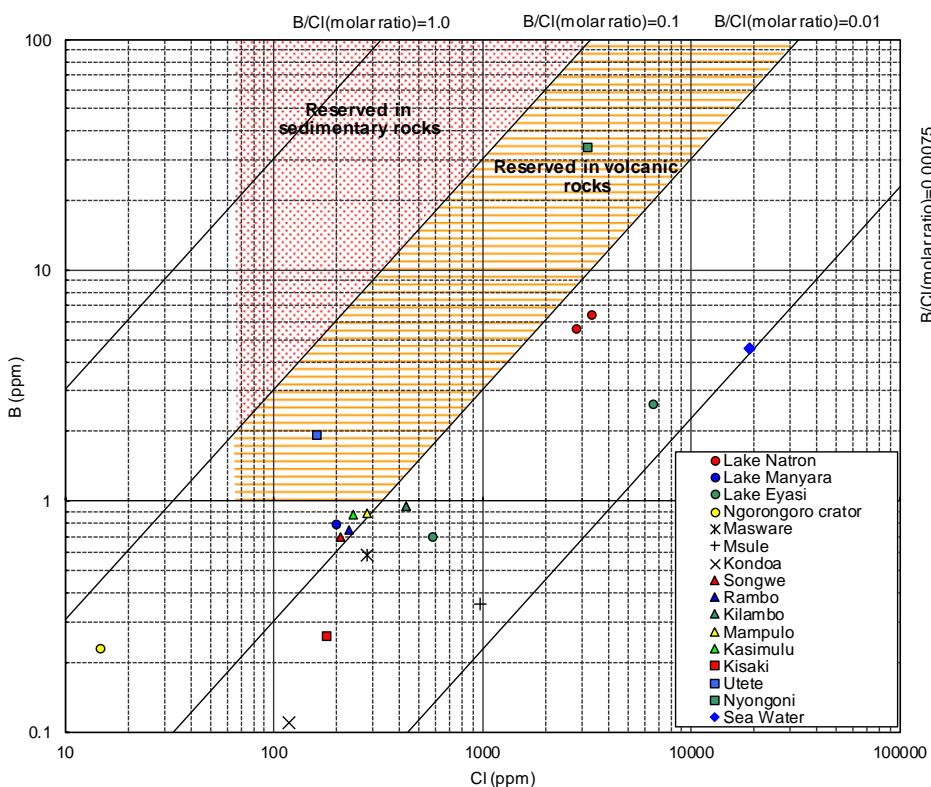
の同位体比からは、これらの温泉水が天水起源であることが示される (図 II-37)。地下温度は、マグネシウム濃度が高いことから Na-K-Mg 三成分は未平衡であるため、カルシウムも加味した Na-K-Ca 温度に基づき、57~138°C程度の温度が推測される (図 II-43、表 II-13)。



(調査団作成)

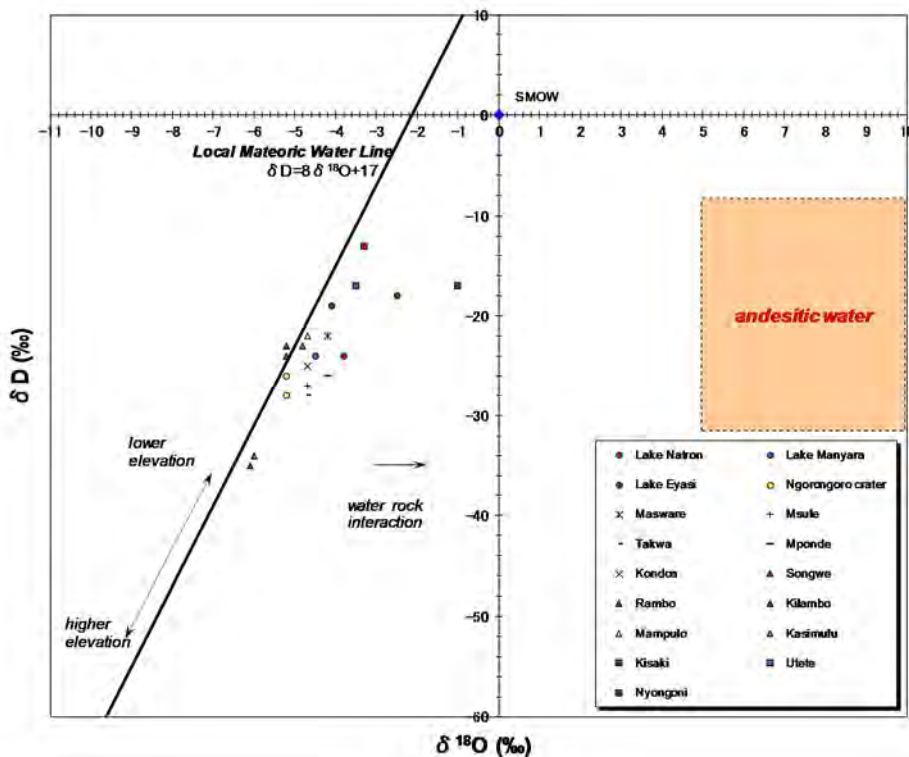
(凡例) ○ : 北部、△ : ムベヤ、□ : ルフィジ、その他 : シンギダーコンドア (以下同じ)

図 II-35 主要陰イオンの三成分図



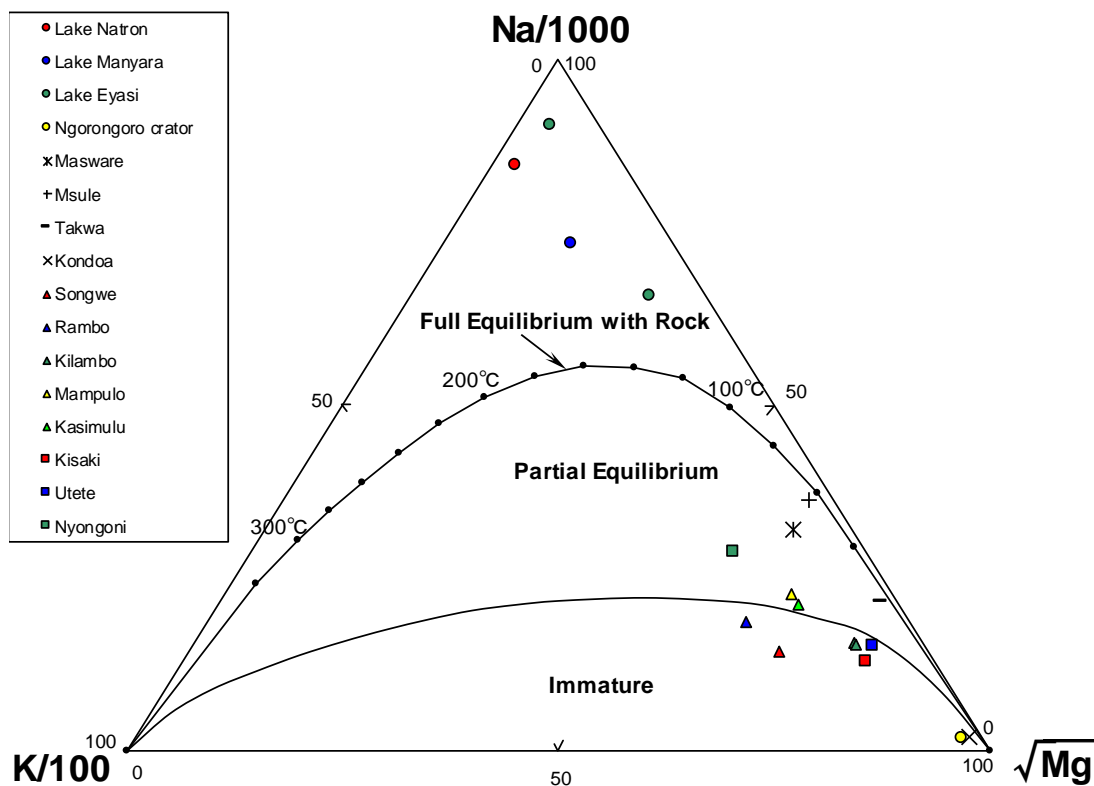
(調査団作成)

図 II-36 温泉水の Cl 濃度と B 濃度の関係図



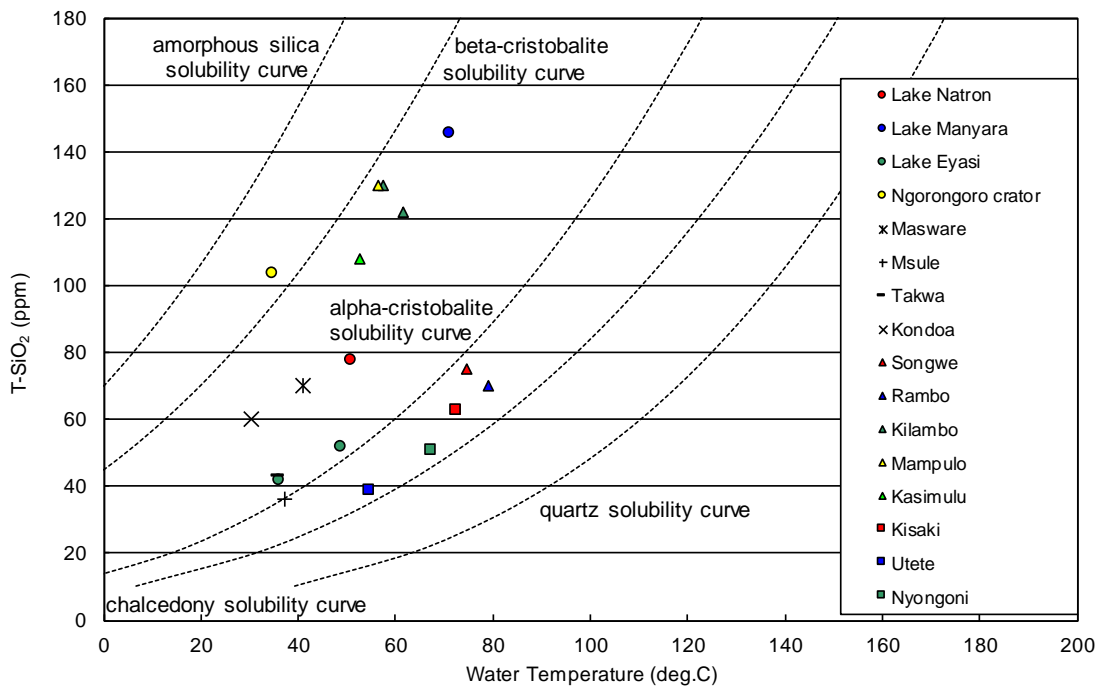
(調査団作成)

図 II-37 温泉水の水の酸素同位体比と水素同位体比の関係図



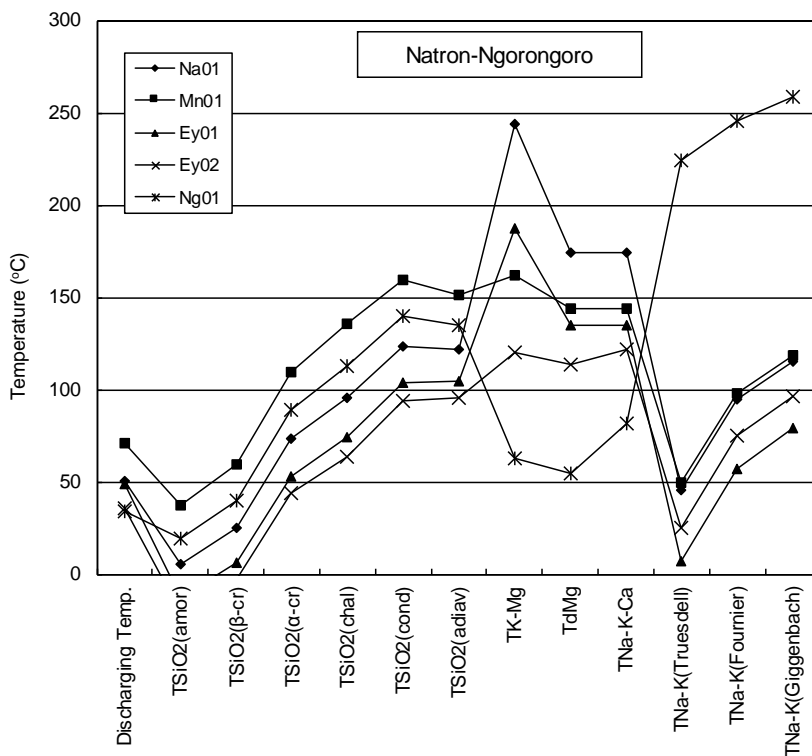
(調査団作成)

図 II-38 温泉の Na-K-Mg 三成分図



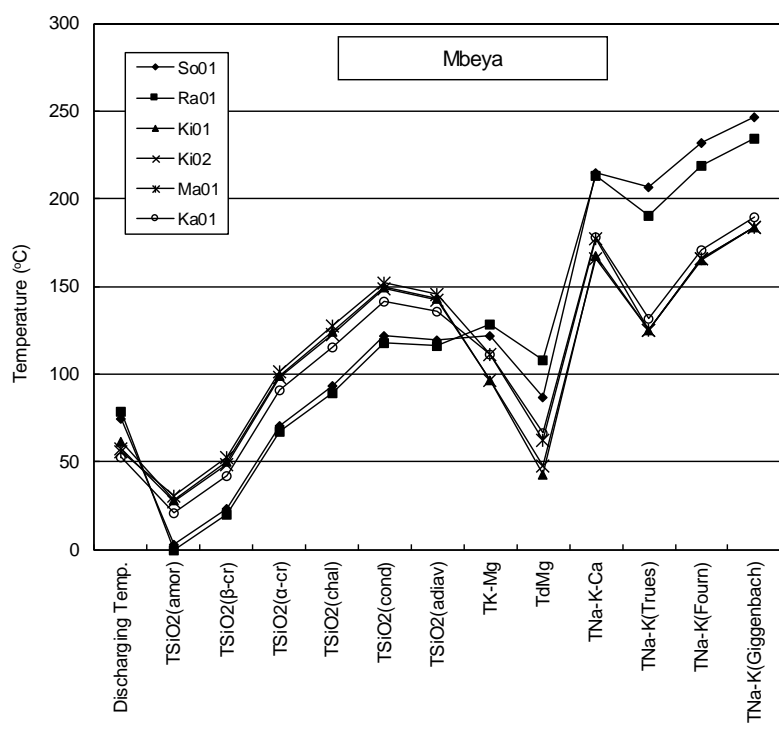
(調査団作成)

図 II-39 シリカ鉱物の溶解度曲線



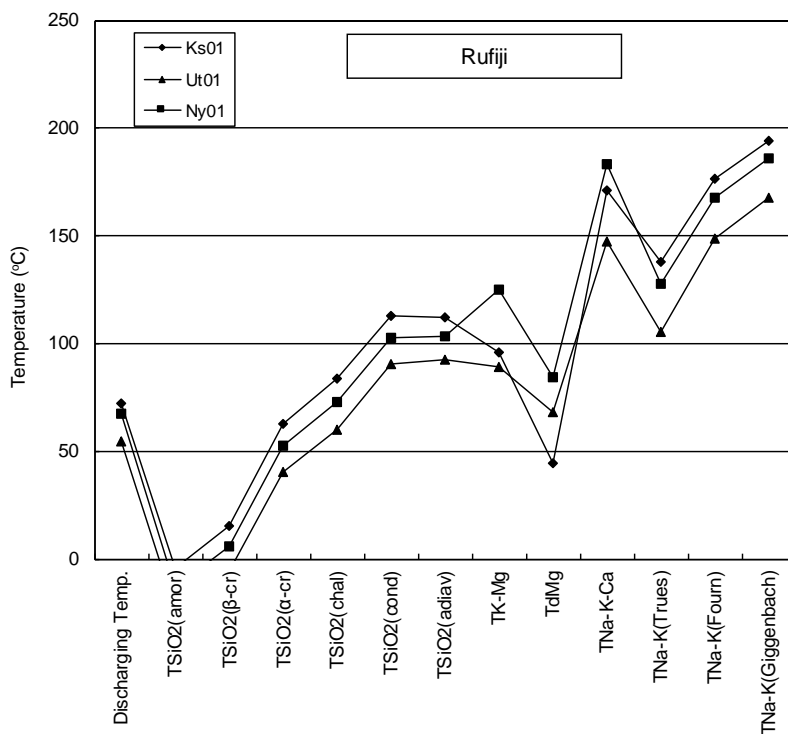
(調査団作成)

図 II-40 ナトロン湖—ンゴロンゴロ地域の地化学温度



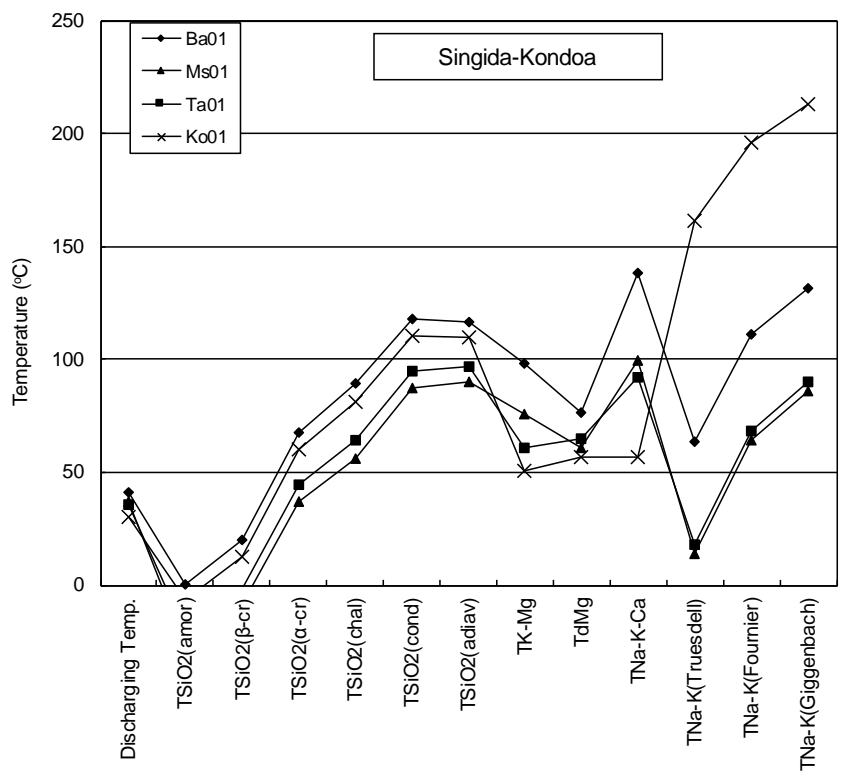
(調査団作成)

図 II-41 ムベヤ地域の地化学温度



(調査団作成)

図 II-42 ルフィジ地域の地化学温度



(調査団作成)

図 II-43 シンギダーコンドア地域の地化学温度

表 II-13 地化学温度計算結果

Area		Natron-Ngorongoro (northeast Tanzania)				Singida-Kondoa (central Tanzania)				
Site	Lake Natron	Lake Manyara	Lake Eyasi		Ngorongoro crater	Masware	Msule	Takwa	Kondoa	
Sample No.	Na01	Mn01	Ey01	Ey02	Ng01	Ba01	Ms01	Ta01	Ko01	
(°C)	Discharging Temp.									
Geothermometry (°C)	TSiO ₂ (amor)	5	37	-12	-21	19	0	-26	-20	-7
	TSiO ₂ (β-cr)	25	60	6	-3	40	20	-9	-2	13
	TSiO ₂ (α-cr)	73	109	53	44	89	68	37	45	60
	TSiO ₂ (chal)	96	135	74	63	113	90	56	64	81
	TSiO ₂ (cond)	124	159	104	94	139	118	87	95	111
	TSiO ₂ (adiav)	121	151	104	96	135	117	90	97	110
	TK-Mg	244	162	187	120	63	98	76	61	51
	TdMg	174	144	134	114	55	76	60	65	57
	TNa-K-Ca	174	144	134	122	82	138	99	92	57
	TNa-K(Truesdell)	45	49	7	25	224	64	14	18	162
	TNa-K(Fournier)	94	98	57	75	246	111	65	68	196
TNa-K(Giggenbach)	115	119	79	97	259	132	86	90	213	
Area		Mbeya (southwest Tanzania)				Rufiji (east Tanzania)				
Site	Songwe	Rambo	Kilambo		Mampulo	Kasimulu	Kisaki	Utete	Nyongoni (Ruhoi river)	
Sample No.	So01	Ra01	Ki01	Ki02	Ma01	Ka01	Ks01	Ut01	Ny01	
(°C)	Discharging Temp.									
Geothermometry (°C)	TSiO ₂ (amor)	3	0	29	27	31	21	-4	-24	-13
	TSiO ₂ (β-cr)	23	20	51	49	53	42	15	-6	6
	TSiO ₂ (α-cr)	71	68	100	98	102	91	62	40	52
	TSiO ₂ (chal)	93	90	125	123	127	115	84	60	73
	TSiO ₂ (cond)	122	118	150	149	152	142	113	91	103
	TSiO ₂ (adiav)	120	117	143	142	145	136	112	93	103
	TK-Mg	122	128	97	97	112	111	96	89	125
	TdMg	87	109	43	48	62	66	44	68	84
	TNa-K-Ca	215	213	168	166	178	178	171	147	183
	TNa-K(Trues)	207	191	125	126	125	132	138	106	127
	TNa-K(Fourn)	232	219	166	166	166	171	176	149	168
TNa-K(Giggenbach)	247	235	184	184	184	189	194	168	186	

(調査団作成)

II-5-5 GIS

収集した GIS データは、リモートセンシングデータ、地質図、地形図、物理探査データの磁気解析図、自然保護区の分布図及び送電線網図である。

リモートセンシングデータについては、一年次に収集を行っている(そのデータの詳細については II-5-1 章を参照)。地形図、地質図及び磁気解析図については、シート番号を以下に示す。

1. 地形図

Scale of 1:50,000

1. Arusha and Manyara Block

QDS 27/4, 28/3, 39/2, 40/1, 51/4, 52/3, 53/3, 53/4, 67/2, 68/1, 69/1, 69/2, 84/4.

2. Dodoma and Singida Block

QDS 104/4, 105/3, 105/4, 121/1, 123/1, 123/3, 127/1, 141/2, 141/4, 142/1, 142/2, 142/3, 143/1.

3. Mbeya Block

QDS 244/3, 244/4, 259/4, 272/1, 272/2, 272/3, 272/4.

2. 地質図

Scale of 1:1,250,000

Sheet No. QDS 27, 28, 39, 40, 51, 52, 67, 68, 69, 84, 104, 105, 121, 123, 127, 141, 142, 201, 219, 221, 239, 244, 259, 272.

3. 磁気解析図

Ministry of Minerals, Airborne Magnetic Survey, Magnetic Interpretation Map

Scale 1:100,000.

Sheet No. 27, No. 28, No. 39, No. 40, No. 51, No. 52, No. 67, No. 68, No. 69, No. 84, No. 104, No. 105, No. 121, No. 123, No. 127, No. 141, No. 142, No. 201, No. 244, No. 219, No. 221, No. 239.

II-5-6 有望地域選定

現地調査において実施した現地調査地点を中心に「スコア・サム」法を適用して各地域の有望地域選定を実施した（表 II-14 及び表 II-15）。スコア・サム法は簡便な加法により得られた得点から地域選定の優劣を客観的に評価するものであり、地熱資源調査の初期段階で一般的に用いられる評価手法である。この手法のメリットは各カテゴリー並びに細分化された各項目を網羅することができると共に、賦与した得点を再検討して結果の変化を確認できる追跡性に優れている点にある。しかし、各カテゴリーの基準をどのように設定するかという課題も内包している。なお、各得点は GIS 機能を利用して主題図から導出することができる。

本調査ではスコア・サムを2つのステップに区分した。ひとつは地熱資源を評価する第一ステップ、もうひとつは環境社会面を評価する第二ステップである。第一ステップで高得点を得て通過した地点のみが第二ステップで評価される。

第一ステップに関しては、今回取得された地表の地質条件と温泉などの地熱徴候条件に基づいて地熱資源評価を行った。なお、地熱徴候条件については、地熱地点の温泉水の化学組成から推定される地熱貯留層温度の多くは 200°C 未満であることから、バイナリーシステム適用を考慮する必要がある。したがって、バイナリーシステム適用の可能性も念頭に置いた各カテゴリーの重み付けとした。評価には以下の基準を用いた。

➤ 地質条件

■ 火山性熱源の有無：第四紀火山岩類の有無

火山地域における地熱系では、一般的にマグマが主要な熱源となっている。火山（マグマ活動）の規模にもよるが、地熱有望地点は火山の周辺に位置していることが多い。火山活動によって生成された火山岩の有無が火山活動の有無を判断する 1 つの指標となる。ただし、火山岩が分布している地域であっても第四紀よりも古い火山岩である場合には、マグマは既に冷却されてしまっている場合が多い。したがって、第四紀の火山岩かどうか重要となる。ただし、火山が若すぎる場合には、地熱系が成熟していない可能性もあるので注意を要する。第四紀火山岩の有無に基づいて以下のような重みづけを暫定的に行った。

第四紀火山岩分布範囲内（火山活動の中心近くである可能性あり）：重み 6

第四紀火山岩分布範囲から 10km 以内：重み 4

第四紀火山岩分布範囲から 10km 以上：重み 2

■ 透水性地質構造の有無：断層・リニアメントの有無

多くの地熱地帯では、断層沿いの高透水ゾーンが主要な地熱流体の通路となっている。このことから、大規模な断層の有無が地熱流体の通路となる地質構造が期待できるかどうかの指標となる。また、複数の断層が交差する部分は透水性が高いと期待される。このことから、断層・リニアメントの有無に基づいて以下のような重みづけを暫定的に行った。

大規模な断層／断層交差部存在：重み 6

断層／リニアメント存在：重み 4

断層／リニアメントは認められない：重み 2

■ キャップロック層の有無

多くの地熱地帯では、低温浅層地下水層と地熱貯留層との間にキャップロック（帽岩）が形成されており、低温浅層地下水の流入による貯留層冷却を妨げている。一般的には、地下で熱水変質作用によって粘土化した岩石がキャップロックとなっている場合が多い。しかし、現段階では地下の状況を推定できるだけのデータは取得されていない。ただし、溶岩などの透水性が低い岩石も地熱貯留層を浅層地下水からシールする役割を果たしている可能性もある。このことから、キャップロックとなり得るような地層の有無に基づいて以下のような重みづけを暫定的に行った。

溶岩存在：重み 6

被覆岩存在：重み 4

シール層は認められない：重み 2

➤ 地熱徴候条件

- 自然噴気の有無

その地点での水の沸騰温度ないしはそれを超える温度の自然噴気存在は地下に高温地熱貯留層が存在する重要な指標となることが多い。このことから、自然噴気の有無に基づいて以下のような重みづけを暫定的に行った。

自然噴気存在：重み 10

自然噴気なし：重み 0

- 温泉の湧出温度

温泉の湧出温度も地下に高温地熱貯留層が期待できるかどうかの指標となり得る。バイナリー発電の可能性も考慮して以下のような重みづけを暫定的に行った。

温泉湧出温度 80°C 以上：重み 8

温泉湧出温度 60°C 以上、80°C 未満：重み 4

温泉湧出温度 60°C 未満：重み 1

- 温泉水の化学組成から推定される貯留層温度

温泉水の化学組成から推定される地熱貯留層の温度（地化学温度）を指標として以下のような重みづけを暫定的に行った。

地化学温度 200°C 以上：重み 10 （フラッシュ型発電適用の可能性あり）

地化学温度 170°C 以上、200°C 未満：重み 8

地化学温度 140°C 以上、170°C 未満：重み 6

地化学温度 100°C 以上、140°C 未満：重み 4

地化学温度 100°C 未満：重み 1

- 地熱徴候地の広がり

地熱徴候地の広がり地熱活動の広がりを反映している場合がある。このことから以下のような重みづけを暫定的に行った。

地熱徴候地の広がり 0.01 km² 超：重み 2

地熱徴候地の広がり 0.01 km² 以下：重み 1

- 温泉水の化学組成：深部熱水混入の有無

温泉水の化学組成が高温の深部熱水混入の可能性（例えば主要陰イオン組成など）を示しているかどうかを指標として以下のような重みづけを暫定的に行った。

深部熱水混入顕著：重み 3

深部熱水混入の影響はそれほど顕著ではない：重み 2

深部熱水混入の影響は認められない：重み 1

なお、タンザニアでは地熱発電所建設にまで至った地熱地点はまだないため、どのような指標がどの程度有望地点抽出に寄与するかを検証することができない。今回の調査では、日本での地熱開発の経験を基に指標とその重み付けを暫定的に用いた。タンザニアにおける地熱開発の経験がある程度蓄積された段階で上述した指標とその重み付けの妥当性を検証する必要がある。また、今回の調査ではタンザニアにおける代表的な地熱徴候の一部を対象としたものであり、今後の調査によっては有望性を示す新たなデータが得られる可能性もある。したがって、今後の地熱調査により取得されるデータにより、アップデートされることが望まれる。

第二ステップでは、第一ステップで抽出された地点の立地条件を評価した。評価には以下の基

準を用いた。

➤ 自然環境：国立公園

国立公園や鳥獣保護区等、環境上の規制地域内での開発は、関係法規に基づいて規制がかかっており開発に一定の困難性が伴うことから、以下のような重みづけを暫定的に行った。

国立公園外：重み 10

鳥獣保護区：重み 4

国立公園または特別保護区：重み 1

➤ 既設送電網からの距離

対象地域が既設送電網から離れている場合、新規に送電線設置の必要性があり、開発に一定の困難性が伴うことから、以下のような重みづけを暫定的に行った。

5km 以内：重み 4

5-10km：重み 2

10km 以上：重み 1

➤ 鉱区設定の有無

対象地域に鉱区が設定されている場合、開発に一定の困難性が伴うことから、以下のような重みづけを暫定的に行った。

鉱区設定なし：重み 8

他の用途に使用中：重み 4

鉱区設定有：重み 1

➤ 周辺人口：電力消費地からの距離

電力消費地からの距離が、開発の優先度に一定の影響を及ぼすことから、以下のような重みづけを暫定的に行った。

大都市（州都またはそれに準ずる都市）の近く：重み 3

町や村（州都またはそれに準ずる都市以下）の近く：重み 2

辺鄙な地域：重み 1

➤ 社会環境

地熱開発に対して社会的な反対運動がある場合、開発に一定の困難性が伴うことから、地方政府訪問時の首長等の反応を参考に、以下のような重みづけを暫定的に行った。

地元が賛成している：重み 3

不明：重み 2

地元が反対している：重み 1

➤ 現地へのアクセス条件

地熱地域までアクセス道路がない場合、開発に一定の困難性が伴うことから、以下のような重みづけを暫定的に行った。

道路から 1km 以内：重み 3

1-3km：重み 2

道路から 3km 以上：重み 1

第一ステップでは、便宜上 25 点以上の地点を有望性のより高い地点として抽出した（25 点未

満の地点の有望性を否定するものではない）。抽出された地点は以下の通りである。

- ナトロン湖地域（32点）
- マンヤラ湖（28点）
- ソングウェ・イラティル・ランボ（36点）
- キランボ（30点）
- キサキ（28点）
- ニョンゴニ（29点）

第一ステップを通過した地域について、第二ステップでの評価結果を加えると、以下の地域が50点以上の高いスコアとなった。

- ソングウェ・イラティル・ランボ（59点）
- ニョンゴニ（52点）

資源評価結果で最も高いスコアとなったソングウェ・イラティル・ランボが立地条件を加味した評価でも最高スコアとなっている。したがって、今回検討した地点の中ではソングウェ・イラティル・ランボが最有望と判断される。

表 II-14 調査地域の地熱資源に関する評価

Category	Item	Criteria	Point	Score										Remarks					
				Northern area			Mbeya area				Rufiji area								
				Lake Natron Na01.02	Lake Manyara Mn01.02	Lake Eyasi EY01.02.03	Ngorongoro Crater Ng01.02.03	Maswara Ba01	Balangida lala Ha01	Singida South-east MS01.1a01, MP01.02	Kondoa Kd01	Songwe ilaile Rambao So01.1J01, Ra01	Kilambo Kd01.02	Mampulo Kasimulu Ma01.Ka01	Kisaki Ks01	Ulete UJ01	Nyongoni (Ruhai Rv) Ny01		
Geological aspects	Heat source	Distribution of Quaternary volcanic rocks	6	6	4	4	6	4	4	2	2	6	6	4	2	2	2		
		Within 10 km far from volcanic rocks	4	4	4	2	6	4	6	6	2	2	6	4	6	4	4	6	
	Structure	Over 10 km far from volcanic rocks	2	6	4	4	6	4	4	4	4	4	6	4	4	4	4	4	
		Large fault and/or intersection of faults	6	6	4	4	6	4	4	4	4	4	6	4	4	4	4	4	
Seal	Fault and/or lineament	No structure	2	4	4	4	6	4	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	
		Lava	6	4	4	4	6	4	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	
Hot spring features	Fumarole	Overburden	4	4	4	4	6	4	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	
		No seal	2	4	4	4	6	4	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	
	Existence of fumarole	Existence of fumarole	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Not lower than 80°C	8	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Hot spring temperature	Lower than 60°C and not lower than 60°C	4	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		Lower than 60°C	1	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		Not lower than 200°C	10	8	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		Lower than 200°C and not lower than 170°C	8	6	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Estimated reservoir temperature (fluid geothermometry)	Lower than 170°C and not lower than 140°C	6	6	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		Lower than 140°C and not lower than 100°C	4	6	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Extent on the surface	Lower than 100°C	1	6	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	Exceeding 0.01 km ²	2	2	2	2	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Composition	Not exceeding 0.01 km ²	1	2	2	2	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	Deep	3	2	2	2	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	Intermediate	2	2	2	2	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Subtotal score in 1st step				32	28	21	21	22	(19)	21	13	36	30	24	28	21	29		
Remarks							ground-water flow from outer rim					large amount of CaCO ₃ sinter				fissure	spring alignment		

Footnote: Area size is approximately 5 km in diameter centered each hot spring sampling point.
() : guessed from nearby field because not analysed

(調査団作成)

表 II-15 調査地域の環境社会面の評価

Category	Item	Criteria	Point	Score													
				Northern area			Mhaya area			Rufiji area							
Environmental aspect	Natural reserves	No reserve	10	Lake Natron Na01.02	Lake Manyara Mn01.02	Lake Eyasi Ey01.02.03	Ngorongoro Crater Ng01.02.03	Masware Ba01	Balangida Ialu Ba01	Singida Southeast Ms01.02.01, Mp01.02	Kondoa Ko01	Songwe Ilatie Rambo So01.01.01, Pa01	Kilambo Ki01.02	Mampulo Kasimulu Ma01.Ka01	Kisaki Ks01	Utete Ut01	Nyongoni (Ruini Rivi) Ny01
		Game reserves	4														
Engineering aspect	Power line	National parks and/or Conservation	1														
		<= 5 km	4														
	Concession	5-10 km	2														
		>=10 km	1														
Socio-economic aspects	Population	None	8														
		Other landuses Already established	4														
	Social acceptance	Close to large city	3														
		Close to town or village	2														
Others	Accessibility	Remote area	1														
		Yes	3														
		Yes or No	2														
		No	1														
		<= 1 km	3														
		1-3 km	2														
		>= 3 km	1														
		Subtotal score in 2nd step	15														
		Subtotal score from 1st step	32														
		Total score	47														
		Remarks		Ramsar	National Park	Conservation						Concession					

Footnote: Area size is approximately 5 km in diameter centered each hot spring sampling point.

(調査団作成)

II-5-7 地熱ポテンシャルの試算

推定される地下温度を基に、貯留層体積などのパラメータを仮定して容積法による各地点の地熱資源ポテンシャルを検討した。容積法の計算では、モンテカルロ解析手法を適用して確率統計的にポテンシャルを求めた。なお、容積法は地下に貯留されていると想定される総熱量を計算し、利用可能な熱エネルギーに対応する電気エネルギー（発電出力）を推定する方法である。ただし、ここで求める総熱量は、貯留層温度と利用限界温度との温度差に対応するエネルギー量である。発電出力の計算式を以下に示す。

$$\text{発電出力 [MW]} = (T_r - T_a) \times \{(1 - \phi) \times C_{pr} \times \rho_r + \phi \times C_{pw} \times \rho_w\} \times V \times RF \times CE / (LF \times PL)$$

ρ_r, ρ_w	:	それぞれ岩石密度 (kg/m ³)、地熱流体密度 (kg/m ³)
C_{pr}, C_{pw}	:	それぞれ岩石比熱 (kJ/kg・°C)、地熱流体比熱 (kJ/kg・°C)
T_r, T_a	:	それぞれ貯留層温度 (°C)、利用限界温度 (°C)
ϕ	:	岩石の空隙率 (%)
V	:	貯留層体積 (km ³)
RF	:	回収率 (%)
CE	:	変換効率 (%)
LF	:	プラント稼働率 (%)
PL	:	プラント運転期間 (年)

容積法で用いられているパラメータの値を1つに限定することは通常困難であり、不確実性を伴っている。このため、統計学的な解析法であるモンテカルロ解析手法を適用して確率論的にポテンシャルを求めることが多い。今回の試算においてもこの手法を適用した。モンテカルロ法では、各パラメータはある程度の幅をもった確率分布値として設定され、その計算結果もある確率分布に沿った幅を持つ値となる。図 II-44 に示すような矩形形状ないしは三角形形状の確率分布が通常用いられる（最大値と最小値のみが示されている場合は矩形、最大値と最小値及び最確値が示されている場合は三角形の分布が適用されていることが多い）。

貯留層体積：貯留層の厚みは、各地点ともに最小値 1,800m、最確値 2,000m、最大値 2,200m と仮定し、三角形分布とした。また、面積については地熱徴候の分布などを考慮して最小値と最大値を仮定し、矩形分布とした。貯留層体積は厚みと面積を掛け合わせることで求められる。なお、面積と厚みについては物理探査結果などによる再検討が必要である。

貯留層温度および利用下限温度：各地点ともにアルカリ比温度 (Na-K-Ca) を貯留層温度の最低値とし、最低値に 20°C 加算した値を最確値、最確値に 20°C 加算した値を最大値と仮定し、三角形分布とした。利用限界温度は、バイナリー方式を考慮して 80°C で一定と仮定した（フラッシュ方式の場合は 180°C と仮定することが多い）。

岩石密度：新生代の地層が分布する地点では、最小値、最確値、最大値をそれぞれ 2,400kg/m³、2,500kg/m³、2,600kg/m³ と仮定し三角形分布、中生代以前の地層が分布する地点では、最小値と最大値をそれぞれ 2,600kg/m³ および 3,000kg/m³ と仮定し、矩形分布とした。

岩石比熱： 一般的な岩石の値を採用し、最小値と最大値をそれぞれ $0.7\text{kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ および $1.0\text{kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ と仮定し、矩形分布とした。

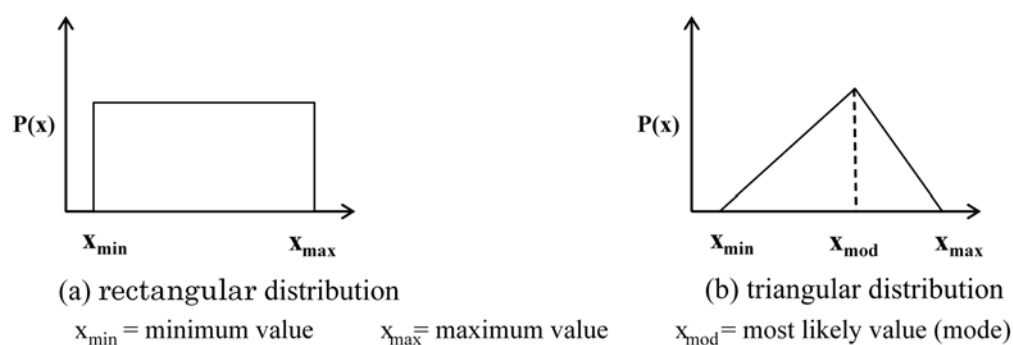
岩石空隙率： 新生代の地層が分布する地点では、最小値と最大値をそれぞれ 5% および 10% と仮定し、中生代以前の地層が分布する地点では、最小値と最大値をそれぞれ 1% および 5% と仮定し、矩形分布とした。

流体の密度および比熱： 想定される貯留層温度、圧力から蒸気表をもとに算出した。

回収率： 一般的に空隙率の 2.5 倍程度の値とされていることから、最小値と最大値をそれぞれ 2.5% および 12.5% と仮定し、矩形分布とした。

変換効率： バイナリーシステムを考慮して最小値、最確値、最大値をそれぞれ 1.9%、6.3%、11.4% と仮定し、三角形分布とした (フラッシュタイプの場合は、最小値と最大値は通常それぞれ 12% 及び 14% と想定される)。

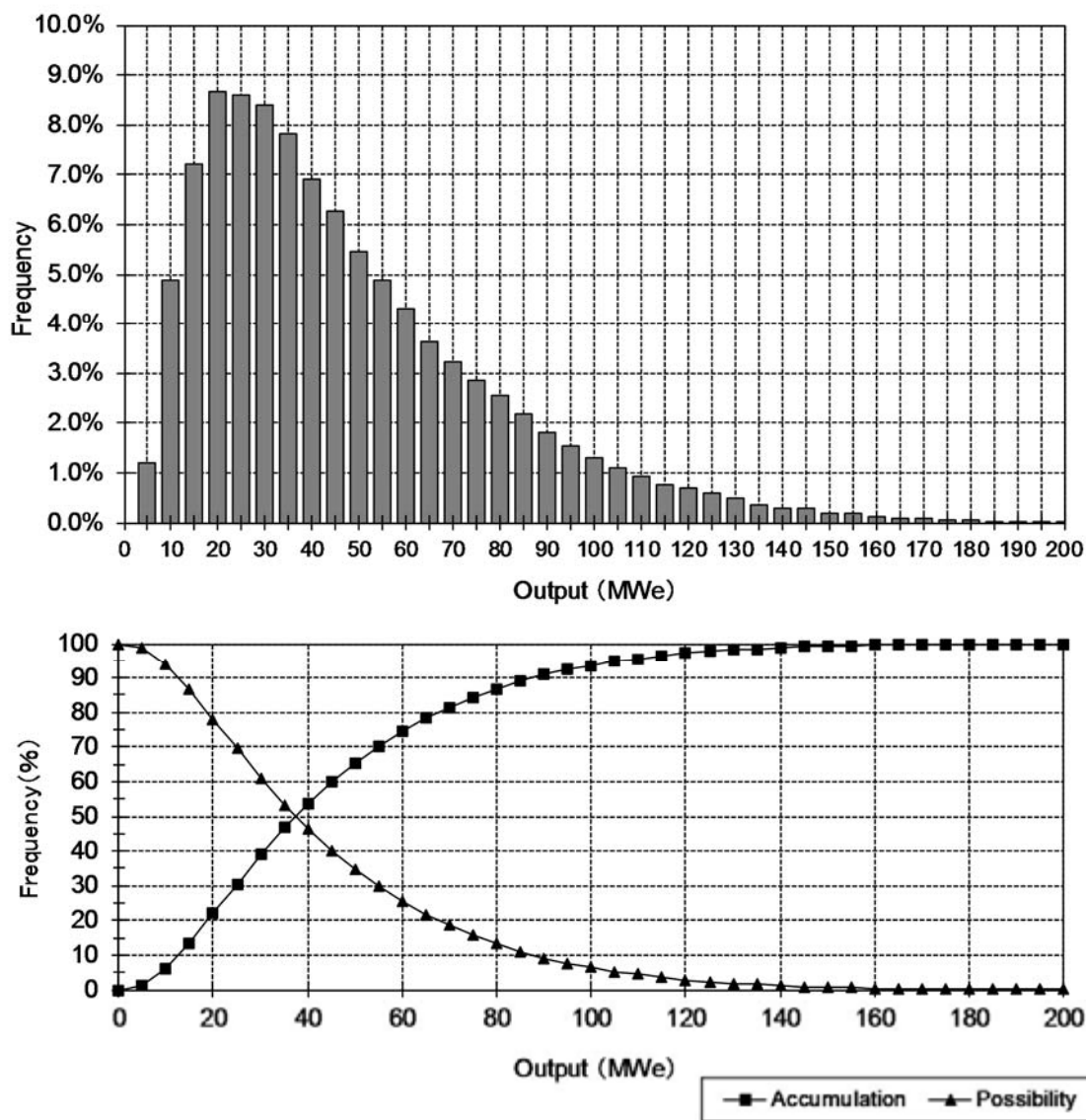
プラント運転期間およびプラント稼働率： プラント運転期間は 30 年、プラント稼働率は 85% でそれぞれ一定と仮定した。



(調査団作成)

図 II-44 仮定した確率分布

入力パラメータと地熱ポテンシャル計算結果の例 (ナトロン湖) を図 II-45 に示す。ナトロン湖の地熱ポテンシャルは 80% の確率で 21MW と計算された。なお、ンゴロンゴロ地点は温度が利用限界温度未達と予想されることから、計算対象から除外した。残りの地点の地熱資源量計算結果については添付資料-7 に付す。各調査地点の見積もられた地熱資源ポテンシャルの合計は 359MW となった (表 II-16)。ムベア地域のンゴジ地点については、BGR(2008) のデータから地下温度を推定すると、 230°C を超える温度と考えられる。ソングウェ地点と同等のポテンシャルを有すると仮定すると、総ポテンシャルは 465MW となる。さらに、ミタガタ、マジモト、ウキンドゥ、ンジョロノリ、ボンボ、アンボニ、ウサンゴリ、ダラジャヤムング、イブナ、マプ、ブロングェおよびカバンゴの各地点もマスワレ地点と同程度のポテンシャルを有するとすれば、タンザニアにおける地熱ポテンシャルは総計で 678MW と試算され、現在想定されているタンザニアの地熱ポテンシャル (650MW) に近い値となる。



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	6.00	-	24.00
Reservoir Thickness (m)	1800	2000	2200
Rock Density (kg/m ³)	2400	2600	3000
Porosity (-)	0.01	0.05	0.10
Recovery factor (-)	0.025	-	0.125
Rock Specific Heat (kJ/kg°C)	0.70	-	1.00
Reservoir Average Temperature (°C)	170	190	210
Reservoir Average Pressure (MPa)	-	10.0	-
Heat-Electricity Conversion Factor (%)	1.9%	6.3%	11.4%
Plant Life (year)	-	30	-
Load Factor (-)	-	0.85	-
Abandonment Temperature (°C)	-	80	-

(調査団作成)

図 II-45 モンテカルロ解析を適用した容積法による地熱ポテンシャル計算結果 (ナトロン湖)

表 II-16 地熱ポテンシャル試算結果

	Field	Estimated (MW)	Remarks
Surveyed areas	Lake Natron	21	Assuming binary system plant
	Lake Manyara	15	Assuming binary system plant
	Lake Eyasi	15	Assuming binary system plant
	Masware	18	Assuming binary system plant
	Singida Southeast	23	Assuming binary system plant
	Songwe, Ilatile, Rambo	106	Assuming binary system plant
	Kilambo	36	Assuming binary system plant
	Mampulo	39	Assuming binary system plant
	Kisaki	29	Assuming binary system plant
	Utete	24	Assuming binary system plant
	Nyongoni	31	Assuming binary system plant
	Total	359	Assuming binary system plant

(調査団作成)

II-6 環境社会配慮制度

エネルギー基本計画 (MEM, 2003) で、タンザニア政府は環境影響評価 (EIA) を全てのエネルギープロジェクトに求めている。

国家環境管理委員会(NEMC)は 2004 年発効の環境基本法で規定された環境局下の組織であり、環境関連法規定の執行を担い、主に EIA の審査を行う。環境局は、1994 年に自然資源観光省の下で設立され、省庁横断的な役割を果たすため、1994 年に Vice President Office に置かれた組織である。環境局の主な役割は環境保全に係る政策策定、関係機関へのガイダンス・ガイドラインの提供である。環境局では地方事務所を設置している。ほとんどの地方自治体に環境担当者を置いている。NEMC は地区事務所をタンザニア全土に設置している。

NEMC によると EIA ガイドラインは 2004 年の環境基本法に基づき 2005 年に発行された。当面改訂予定はないとのことである。EIA のセクターガイドラインはないがセクター別のチェックリストはあるとのことである。

EIA 審査手続きに係る期間は、開発事業者が NEMC に EIS 報告書を提出してから承認発行まで最大 3 カ月間を要する。EIA 審査手続きに係る費用については、Technical Committee の人数に応じて適宜異なる (通常 10~12 名)。EIA 調査は NEMC に登録しているコンサル担当等の現地業者が実施するが、外国の業者が現地登録業者と組んで EIA 調査を行う際には 200,000 シリングを支払う必要がある。

保護区内での開発事業に係る EIA については、例えば国立公園が関係する場合は、TANAPA (Tanzania National Parks)、その他適宜、Ministry of Natural Resources and Tourism (MNRT) 下の Tanzania Wildlife Research Institute や Tanzania Forest Research Institute が関係する。保護区の管理は、保護区の種類によって管轄部局が異なる (Marine Protected Area⇒Fishery Dept.、Nature Protected Area⇒Division of Nature (Ministry of Natural Resources)、Forest Protected Area⇒Division of Forestry (Ministry of Natural Resources))。

Public hearing の際に EIS 報告書のサマリー版（英語及びスワヒリ語）を公開している。主な公開場所は、NEMC 事務所、District 事務所、Project 事務所。要求に応じて報告書の本編を公開することも可能とのことである。モニタリングの期間や頻度は、事業に応じて適宜決められている。EIA 手続きでの Public Consultation は被影響者とのコンサルテーションを意味する。DOE によると EIA 手続きでは、EIS レビュー後に 1 回のみ実施することとなっているが、JICA ガイドラインで規定するように環境スコーピング時に追加的に実施することは、手続き上問題ないとのことである。

EIA の承認手続きは、「事業実施者による EIA の申請（EIA 報告書の提出）」⇒「NEMC による審査に基づく DOE への勧告」⇒「DOE による確認」⇒「Minister of State による EIA 承認」となる。なお、Minister of State は 2 名おり、1 名が環境担当、もう 1 名が Union of Affairs を担当する。小規模開発事業の EIA は地方自治体が審査・承認を行う方向であるが、キャパシティ不足である。EIA が承認されても、村人の反対が生じたケースがある。こうしたケースでは DOE は開発業者に対して、村人等と適切にコミュニケーションを取るようアドバイスがなされている。過去には、開発事業が周辺住民に及ぼす影響と便益が明確でなかったために、住民が反対したケースがあった。住民は、軽視されることを嫌がる。

用地取得・住民移転は、Ministry of Land and Human Settlement Development の管轄であり、用地取得は Land Act に基づいて行われる。一方、政府は土地を国の事業に使用することができるが、私有地は市場取引に基づき、取り引きされる。

タンザニアには活動的な環境 NGO が多くあり、DOE では適宜協力しているとのこと。NGO は Formal Affairs に登録が必要となる。

今後、SREP プロジェクトによりタンザニアの地熱開発が促進されることが期待される。SREP においては、その社会的管理枠組みが、国やドナーのガイドラインに従って、以下のような環境社会配慮、レビュー及び承認プロセスを定義し、準備することが期待される。

- ✓ **住民移転政策枠組み**：住民移転政策の枠組みは、住民移転計画を行うための法性を確立する。枠組みは、法的枠組み、適格基準、資産評価のための方法論、利害関係者との協議のためのメカニズムなどの住民移転計画に統合しなければならない要素を概説する。
- ✓ **詳細な環境社会配慮調査**：SREP の下で実現される要素ごとに、独立した包括的な環境社会配慮的評価が行われなければならない。これらの評価は、サブプロジェクトのそれぞれについて、具体的な環境や社会への影響を解明することを目的として詳細な調査を含める必要がある。詳細な環境社会配慮調査は、環境・社会影響評価、環境・社会管理計画と全住民移転計画が含まれる。
- ✓ **責任**：プロジェクト実施者は、国内法や規制とドナーの環境社会配慮方針、ガイドラインや基準を遵守する責任を負う。また、求められる詳細な環境社会配慮調査（環境・社会影響評価、環境・社会管理計画及び住民移転計画等）を準備し、承認を得て、全ての必要な緩和策と監視対策を実施し、また関係者により発行された法令を遵守するための十分な予算を確保しなければならない。
- ✓ **ステークホルダー協議**：社会的管理枠組みは、潜在的影響が環境・社会管理計画で対処される詳細なチェックリストと汎用的な緩和策を含む。求められる詳細な環境社会配慮調査（環境・社会影響評価、環境・社会管理計画及び住民移転計画等）を準備する際、プロジェクト実

施者は、ドナーの環境社会配慮の方針やガイドライン、基準に従い、参加ステークホルダー協議を確保するための要件に準拠する必要がある。人やその他の重要な利害関係者に影響を及ぼすプロジェクトは、関連するプロジェクトの影響と緩和策の内容、時期及び範囲について周知し、相談しなければならない。協議を組織し実施するために、参加型アプローチが活用されなければならない。ジェンダーについても考慮しなければならない。

- ✓ **承認**：詳細な環境社会配慮調査は、タンザニアの法令に基づき環境管理委員会へ、また各ドナーの環境社会配慮の方針やガイドライン、基準に基づく審査・承認のためにそれぞれ提出しなければならない。環境管理委員会は環境・社会影響評価と環境・社会管理計画のレビューと承認を担当する。環境管理委員会は、承認において他の全ての主要な政府機関を関与させることで、ワン・ストップ・サービスを実施する。

本調査では、地熱資源的な面からナトロン湖（ラムサール条約指定湿地）、ンゴロンゴロクレーター（特別保護地域）、マニャラ湖（国立公園）で現地調査を実施した（自然公園についてはII-5-1 6.「自然保護区に関する情報収集」参照）。そこで、実際の自然公園等規制地域内での地熱開発の可能性について、MNRT にヒアリングを行ったところ、現行法では国立公園、特別保護地域とも戦略的鉱物資源（石油、天然ガス）を除きいかなる開発行為も禁止しており、地熱開発の可能性があるとすれば、ナトロン湖に井戸のみ掘削し、蒸気を数 km 輸送して発電所を地域外に建設するという案ではないかとのことであった。しかしながら、ケニア・オルカリアでの経験を考慮すれば、十分検討された環境社会影響評価に基づき、地熱開発を正当化することができるのではないかと考える。

III 今後の支援策の提案

III-1 地熱資源の特徴

地熱資源はエネルギー源を海外に依存しない純国産再生可能エネルギーの1つと見ることができる。電源としては、それほど大きな単機容量を望むのは困難ではあるが、地熱発電所の稼働率は世界的にもかなり高く、90%近くの稼働率を記録している発電所もあり、ベースロードを担う電源の1つと見ることができる。また、適切な貯留層管理の基にプラントの保守・運転を行えば長期にわたる安定した発電が可能である。

電源として利用可能な地熱資源には、熱エネルギーの運搬媒体としての水の存在、温度（熱エネルギー）及び加熱された熱水が貯留され流動する地熱貯留層の存在が必要である。フラッシュ方式の従来型地熱発電には200°Cを超える温度が通常求められる。また、バイナリー発電方式の場合には100°Cを超える温度が求められる。比較的粗粒の未固結粒子（砂、礫など）で構成されている地表付近の地層は透水性が良く、帯水層が形成されやすい。しかし、地下に広がる岩石の場合は、例外はあるものの、一般的には透水性が低い。地熱貯留層を覆う難透水層は浅層地下水の浸透による貯留層冷却を妨げると期待されることから、地熱貯留層を覆うように広がる難透水性層（ゾーン）の存在が一般的に望まれる。

これまでに世界で確認されている地熱貯留層は、断裂型貯留層と多孔質地層型貯留層とに大別することができる。断裂型貯留層では、岩石が破砕されている断裂帯に地熱貯留層が形成されている（図 III-1 参照）。断層運動や岩体の貫入は既存の岩体（地層）に断裂を生じさせる。世界的に見れば、大部分の地熱貯留層は断層沿いに形成された断裂帯に存在する。地熱貯留層の上に広がる難透水層は、ほとんどの場合、スメクタイトの存在で特徴づけられる粘土化された岩石である。このような粘土化作用は、200°Cに満たない温度での水-岩石総合作用によって通常はもたらされる。このような難透水層は、比抵抗調査でしばしば低比抵抗層（ゾーン）として検出される。

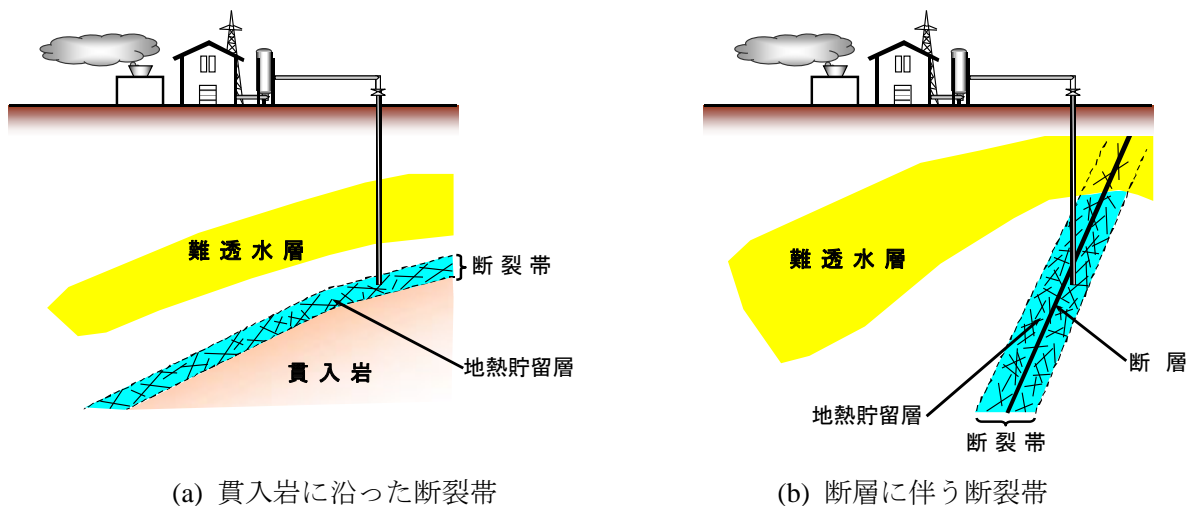
多孔質地層型貯留層では、透水性の良い地層中に地熱貯留層が存在する（図 III-2 参照）。比較的レベルに近い分布をしていることが多く、貯留層の上に広がる難透水層は強く溶結した溶結凝灰岩層などのような緻密な岩石によって構成されている場合が多い。ただし、この型に分類される地熱貯留層の例は比較的少ない。なお、この型に分類される地熱貯留層に貯留されている地熱流体は、多くの場合、断裂型貯留層から供給されていることが多い。

地熱開発を進めるに当たっては、地熱探査により地下の地質構造・地熱構造を把握することが重要である。すなわち、地熱探査によって地熱貯留層の位置・広がり把握することが求められる。探査によって推定された地熱貯留層の位置・広がり、調査井の掘削により確認・検証され、地熱貯留層の分布状況がより詳しく把握される。

貯留層中の水（H₂O）がどのような相で存在しているかによって地熱貯留層を分類することができる。熱水卓越型貯留層の場合、貯留層中の水は液相として存在し、蒸気卓越型貯留層の場合は液相と気相が共存する2相状態で水が存在する。また、希ではあるが、過熱蒸気の状態の水が存在する場合もある。蒸気生産及び熱水還元による干渉や減衰を考慮すれば、熱水卓越型の貯留層が一般的には望ましい。ただし、蒸気卓越型貯留層の場合、還元すべき熱水量が熱水卓越型貯留

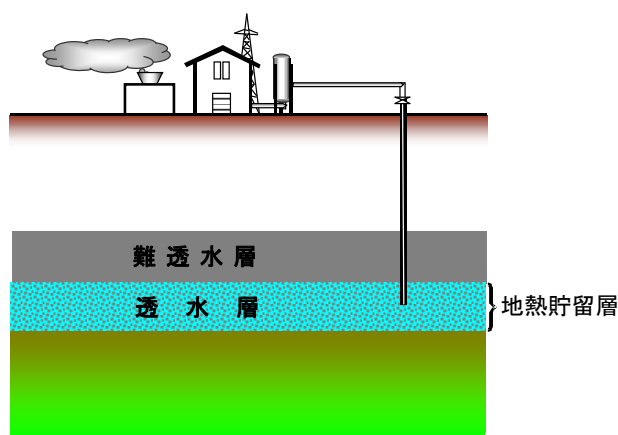
層よりも少ないことから、必要となる還元井の数も少なくすむというメリットがある。蒸気卓越型貯留層は熱水卓越型貯留層の上に形成されている場合が多々ある (図 III-3 参照)。このような蒸気卓越型貯留層は、しばしばスチームキャップと呼ばれる。いくつかの地熱地帯では、高いポテンシャルを有する比較的大規模に広がったスチームキャップが認められている。なお、スチームキャップは難透水層の下部に認められることが多い。地熱井から生産される蒸気・熱水の性状は、地熱発電所の運用条件を検討するに重要な要因となる。どのような蒸気・熱水が生産されるかは、地化学調査によって検討され、調査井掘削・噴出試験によってその性状が検証される。

地熱流体の化学的な性状は、高温下での水-岩石反応や H_2S 、 CO_2 などのガス成分の化学反応によって影響される。調査井掘削前の探査段階では、地熱流体の化学組成が地熱貯留層の特性評価に必要な温度などの情報を与えてくれる。特に、Cl 型に分類される高温の温泉水は、 $200^{\circ}C$ を超える温度の熱水卓越型貯留層に由来した熱水であることが多いため、地下深部の地熱貯留層特性を把握する上で重要である。酸性 SO_4 型に分類される温泉水や噴気ガスも高温地熱貯留層に由来している可能性があるため、これらの化学組成を調べることも重要である。



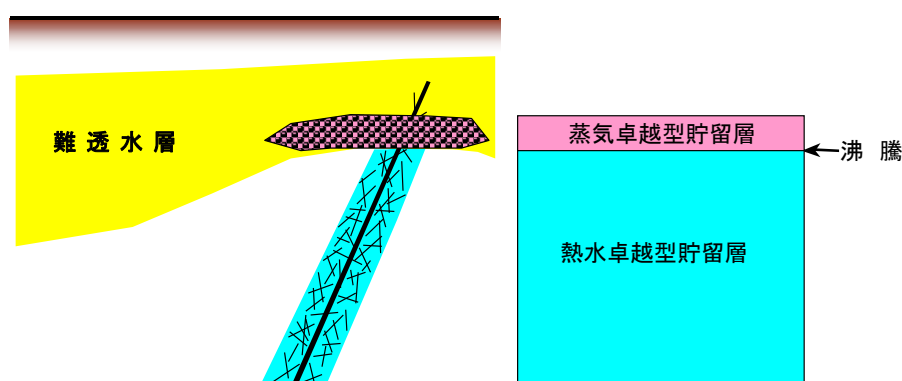
(調査団作成)

図 III-1 断裂型地熱貯留層の例



(調査団作成)

図 III-2 多孔質地層型地熱貯留層の例



(調査団作成)

図 III-3 熱水卓越型貯留層の上に形成された蒸気卓越型貯留層の例

III-2 地熱資源開発の一般的流れ

地熱資源の開発には開発リスクが伴う。すなわち、資源の賦存状況（分布範囲や品質など）を目で直接確認することができないため、開発失敗というリスクを常に伴っている。費用対効果も考慮して、この開発リスクを軽減するため、図 III-4 に示す段階的な地熱資源開発が通常進められている。各段階では、次の段階へ進めることの是非が検討・判断される。第1段階は探査（調査）段階であり、フィジビリティスタディ段階、建設段階を経て運転・保守段階と進む。第1段階の最終目標は、地熱資源存在の可能性、地熱資源の化学的・物理的性状及び地熱資源量（継続可能な最適発電規模）を把握することにある。第1段階の探査段階は、さらに以下の3段階に細分することができる。

- フェーズ1 有望範囲を抽出するための**広域調査段階**
- フェーズ2 地熱資源の広がり及び地熱構造を把握するとともに調査井掘削ターゲットを選定するための**精査段階**
- フェーズ3 開発対象とする地熱貯留層の化学的・物理的特性を坑井掘削により明らかにするとともに地熱資源量を評価する**資源量評価段階**

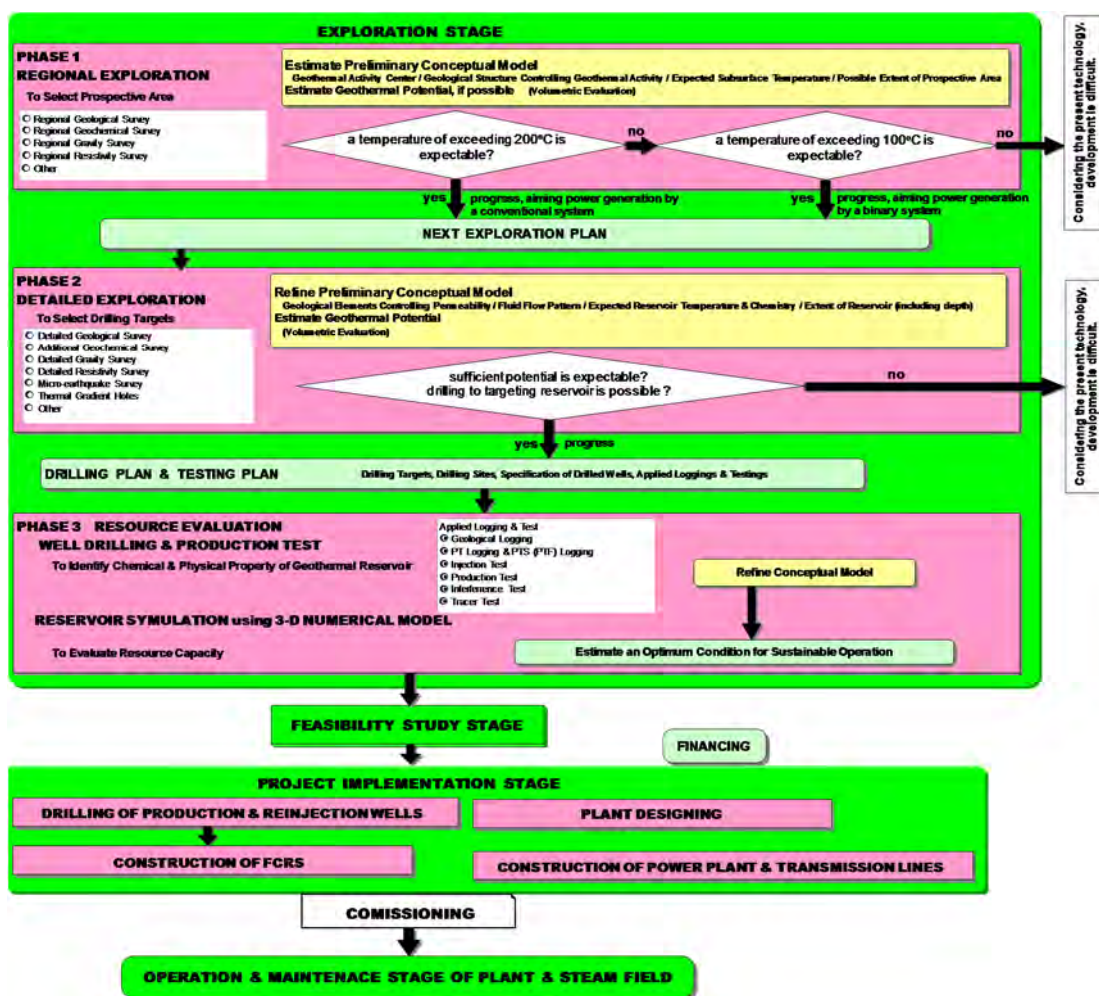
広域調査段階では、有望範囲（最重点調査域）を抽出するため、対象地域全域での調査が行われる。精査段階では、広域調査で絞り込まれた有望範囲内で、地熱資源確認のための調査井掘削地点を選定することが可能な精度での精密調査が行われる。資源量評価段階では、地熱資源確認のための調査井が掘削され、噴出試験が行われる。噴出試験結果とこれまでの探査結果に基づいて、3次元貯留層シミュレーションによる資源量評価が行われるが、その精度を向上させるためには、3本以上の調査井を掘削することが望まれる。広域調査段階、精査段階及び資源量評価段階の各段階で、その段階で得られた情報を基に地熱概念モデルが作成される。このモデルには、地熱活動を規制している地質要素、高温異常域の広がり、流体の流動パターンが理解しやすい形で記載される必要がある。多くの地熱探査手法が存在するが、1つの手法のみではこれらの要素を全て把握することができない。このため、いくつかの探査手法を組み合わせる必要がある。ただし、その組み合わせは対象とする地熱地域によって異なる。地質調査、地化学調査及びMT調査は世界的に見ても比較的汎用性の高い探査手法であるが、最適な探査手法の組み合わ

せは、対象とする地熱地域の特性を考慮した上で個別に検討しなければならない。なお、複数の探査手法が適用されることから、それらの結果を総合的に解釈した上で概念モデルを作成することが必要となる。

フィジビリティスタディ段階では、探査段階で評価された最適開発規模及び噴出試験により確認された蒸気・熱水品質を基に、地熱発電所の概念設計が行われる。さらに、この概念設計に基づいて、プロジェクトの経済・財務評価が行われる。この段階までに、発電所ならびに送電設備を含めた開発に関わる全ての環境影響評価を終わらせておくことが望まれる。

建設段階では、発電プラント及び FCRS (蒸気・熱水輸送及び還元システム) の詳細設計を経て、建設工事施工業者が競争入札により決定され、落札業者によりプラント建設が行われる。このプラント建設期間内に、予定している出力での発電に不足している生産井及び還元井が掘削され、その長期噴出試験が実施される。

運転・保守段階においても、蒸気生産・熱水還元実績、補充井掘削結果等の蓄積されたデータに基づく概念モデルの精緻化・貯留層シミュレーションが安定した蒸気生産を継続させる (貯留層管理) ためにも必要である。



(調査団作成)

図 III-4 地熱発電開発の一般的な流れ

III-3 支援策の提言

地熱発電開発プロジェクトはハイリスク・ローリターン の典型例とされてきた。安定した発電の持続が可能な最適出力規模を知るためには、前述したような段階的調査が必要と考えられる。地熱発電開発の一般的な工程の概要を表 III-1 に示す。最初に有望範囲を把握するための広域調査（フェーズ 1）が必要である。なお、タンザニアにおける地熱地点の多くはフェーズ 1 の途上と判断される。その次に、広域調査で抽出された有望範囲の精査（フェーズ 2）が行われ、地熱資源の広がり と掘削ターゲットが明らかにされる。この精査結果に基づいて対象地域におけるおおよその地熱ポテンシャルが容積法（あるいはストアードヒート法）により見積もられる。この見積もられた地熱ポテンシャル概算値は当面の開発目標となる。ただし、この概算値はその地点における持続可能な最適発電規模とは必ずしも一致しない。持続可能最適発電規模を知るためには、次段階の調査井掘削と噴出試験結果に基づく地熱資源評価（フェーズ 3）が必要である。開発検討初期段階では、上述のように、期待できる発電規模が一般的には不明な状況にある。持続可能最適発電規模を知るためには 3 段階の調査が必要であり、この調査のための費用調達が必要となる。しかし、段階的に調査を行えばプロジェクトは順調に進展するとは限らず、プロジェクト断念というケースも起こり得る。このような開発リスクの存在が地熱発電開発への民間参入の障壁となっている。民間の参入を促進させるための優遇策（例えばフィリピンのような税制上の優遇策）を講じている国もある。我が国では、フェーズ 1 からフェーズ 3 に対応する調査が国によって行われてきた。すなわち、民間が負担すべき開発リスクを低減させることにより、民間の参入を促進させる政策がとられている。インドネシアにおいても、フェーズ 1 とフェーズ 2 に対応する調査が国によって行われており、民間が負担すべき開発リスクの低減による地熱発電開発促進策が講じられている。

表 III-1 地熱開発の概略工程

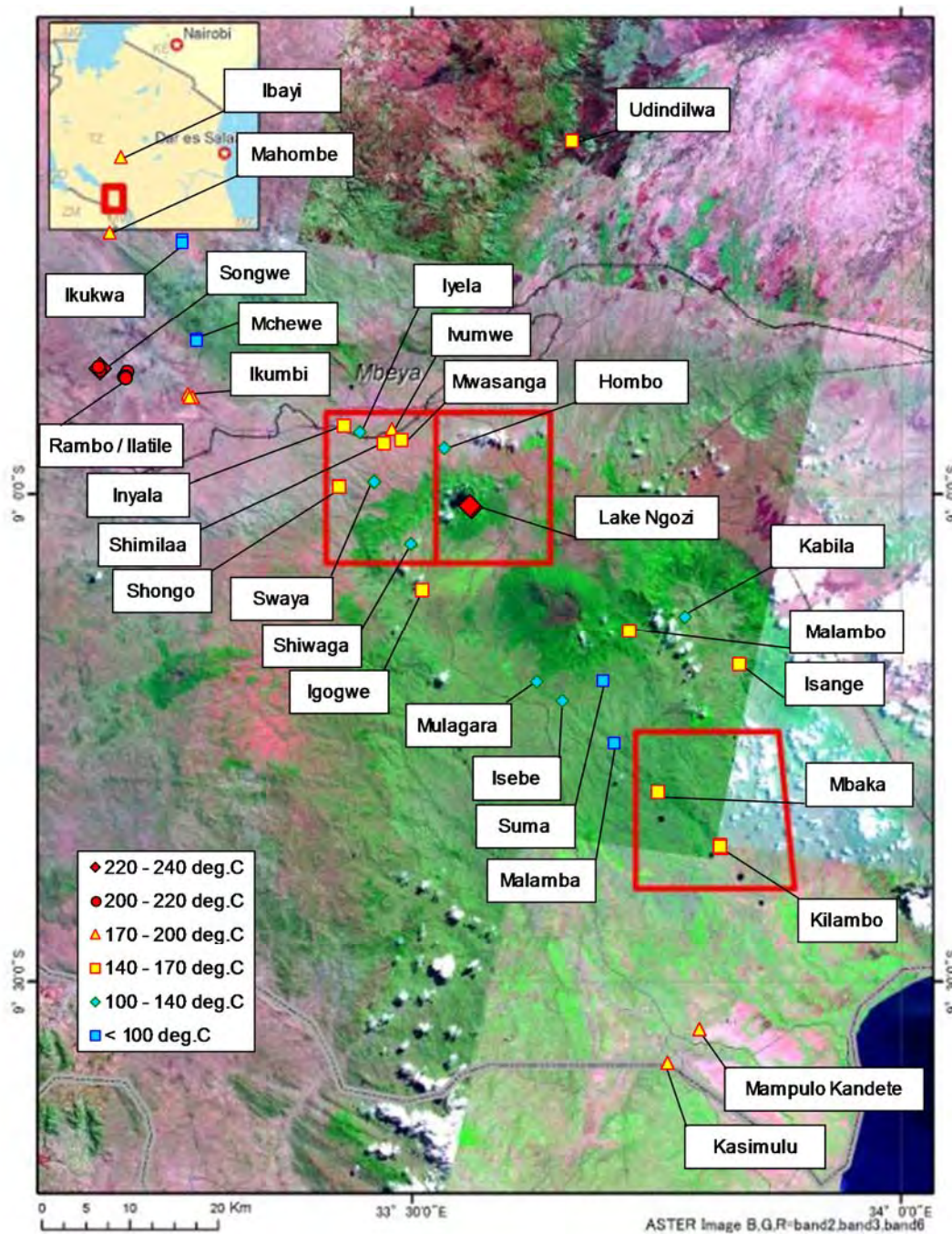
		1年次	2年次	3年次	4年次	5年次	6年次	7年次	8年次	9年次	
調査段階	コンサルタント雇用	■									
	Phase 1	■	■								
	Phase 2		■								
	Phase 3	調査井掘削	地形測量		■						
			掘削工事業者選定		■						
			搬入路建設・敷地造成工事 資材調達			■	■				
			掘削工事(3坑井程度)				■	■			
			噴出試験					■			
	資源量評価				■						
	F/S 段階	プラント概念設計・F/S				■					
建設段階	生産井 還元井	掘削工事業者選定				■					
		生産井・還元井掘削/坑井試験					■	■			
		蒸気・熱水輸送配管工事						■	■		
	発電プラント	コンサルタント選定					■				
		EPCコントラクター選定					■	■			
		詳細設計・製造・配送・建設						■	■		
		試運転一完工							■		
	送電 設備	業者選定					■				
		建設工事						■	■		

融資交渉？

注:用地買収、環境影響評価、その他必要な法的手続きに要する期間は考慮していない。

(調査団作成)

AfDB は本調査で選定された有望地点での詳細調査を計画しており、本調査がタンザニアにおける地熱開発促進の一助となることが期待される。調査対象から今回除外したンゴジ地域でも高温の地熱資源が期待されるが、GPT 社に同地点の探査権が付与されている（図 III-5 の赤枠内が探査権設定地域）。したがって、今回最有望と判断されたムベヤ地域のソングウェ・イラティル・ランボ地点を調査対象地点とすることが推奨される。同地点の情報を表 III-2 に示す。本調査以降に実施される、AfDB に期待される Phase 2（詳細調査）の調査内容としては、掘削ターゲット選定や構造調査のための物理探査（MT 探査）が考えられる。測点は原則として 300～500m 間隔で設置（縁辺部では 1km 間隔でも可）することが望まれる。調査費用は移動費も含めて現地測定が約 US\$3,500/点、解析費用として 600 万円程度必要で（測点数 80 点の場合）。測点数 80 点の場合、合計 3,400 万円（1US\$=¥100）程度の調査費が必要と考えられる。



(本調査データおよび BGR データもとに調査団作成)

図 III-5 ムベヤ地域における Na-K-Ca 温度分布

表 III-2 有望地熱地点に関する情報

1	国名	タンザニア			
2	地熱地域名	ムベヤ地域			
3	地区名（温泉名）	ソングウェ・イラティル・ランボ			
4	自治体名	ムベヤ			
5	位置/交通	ムベヤ市の西約 30km、ソングウェ空港の北西約 10km			
6	調査/開発状況	地表調査（地質調査、地化学調査）			
	Stage	Phase1 相当（表 III-1）			
7	地熱資源に関する情報				
	地質/地質構造	白亜紀の堆積岩類を基盤とし、トラバーチンが数 km 四方に渡り地表を被覆する。近くには第四紀火山岩類も広く分布する。			
	地化学	温度・化学性状	湧出温度(°C)		
			ソングウェ	イラティル	ランボ
		既存調査	74	65-80	86
		本調査	74.8	54.1	79.2
			pH7.0、電気伝導度 728mS/m、HCO ₃ 型(本調査)		
		地化学温度	215°C（Na-K-Ca 温度）		
	物理探査	未実施			
	坑井調査	未実施			
	地熱構造モデル	BGR によれば、ンゴジ火山から地熱流体が流出しているとのことであるが、追加調査に基づき再構築が必要			
	地熱資源量	推定 106MW（バイナリー発電を想定）			
8	社会環境				
	環境制約/国立公園	対象外			
	インフラ等	送電線/電化	既設主要送電線から 10km 以上		
		道路/土地利用	未舗装の林道(舗装路から約 10km)/林野		
		人口密度/ 人家から距離	人家は林野の中に数軒あるのみ		
産業地		ムベヤ市まで約 30km			
9	調査課題	アクセス道路の敷設			
10	提案する地熱開発調査	MT 調査、調査井掘削（AfDB が実施予定）			
11	現地調査	2013 年 8 月 25 日実施			
12	備考				

(調査団作成)

タンザニアにおいては地熱発電開発の経験がまだまだ蓄積されていないことも考慮すれば、同国における地熱開発を促進するために国が先導的にフェーズ 1 とフェーズ 2 に対応する調査を実施することが望まれる。このような開発リスク低減策により民間の地熱発電プロジェクト参加が容易となり、同国における地熱発電開発の促進が期待される。JICA の支援策としては、このような国ないしは国の機関による先導的調査への寄与が考えられる。また、地熱発電開発に関するノウハウがあまり蓄積されていないことから、政策立案者や先導調査実施者などに対する能力向上支援も重要と考えられる。タンザニアの現状を考慮すれば、次のような JICA 案件が考えられる。

案件番号	1		
案件名	地熱開発体制整備支援		
案件概要	タンザニアの地熱推進体制に関し、ロードマップ作成、TANESCO ないし国営新会社を中心とする地熱開発体制の整備、地熱法の策定、など地熱開発体制に対する改善策の提言、等を行う。		
支援先	エネルギー鉱物省（MEM）		
支援手法	開発調査	課題分野	政策支援
案件規模	1-2 年間 1 億円程度		
備考			

案件番号	2		
案件名	各国の地熱技術者の養成（国連大学 6 カ月コース）		
案件概要	<p>各国の地熱技術者を国連大学・地熱研修コース（UNU-GTP：6 カ月）に派遣する費用を国連大学（ないし各国政府）に提供する。</p> <p>現在、アイスランドの UNU-GTP にて 6 カ月の研修が行われており、アフリカ地域をはじめ世界各国の地熱技術者の育成に大きな成果を上げている。UNU-GTP では定員の拡大（20 名から 30 名へ）を検討しているが、アイスランド政府の支援に限界があるため、うまく進んでいない。このため、我が国がこれを支援しようとするものである。</p> <p>（費用 4 万ドル/名 アフリカ・リフトバレー地域から年間 5 名 5 年間）</p>		
支援先	国連大学（ないし各国政府）		
支援手法	技術協力、日本政府からの国連への拠出等	課題分野	技術力向上
案件規模	5 年程度 1 億円程度		
備考	検討に当たっては、国連大学、アイスランド政府、各国政府との協議が必要。		

参考文献

- BGR (2008) Geothermal Energy as an Alternative source of Energy for Tanzania.
- Chandrasekharam, D. and Chandrasekhar, V (2012) Clean Development Mechanism through Geothermal: Ethiopian Scenario. Proceedings of the 4th African Rift Geothermal Conference 2012 Nairobi, Kenya
- DECON, SWECO and Inter-Consult (2005) Tanzania Rural Electricity Study -Technical Report on geothermal power Activity 1.4.1
- Delvaux, D., Kraml, M., Sierralta, M., Wittenberg, A., Mayalla, J.W., Kabaka, K., Makene, C. and GEOTHERM working group (2010) Surface exploration of a viable geothermal resource in Mbeya area, SW Tanzania, Part I: Geology of the Ngozi-Songwe geothermal system, Proceedings world geothermal congress 2010.
- Fujii, T. (2010) Petroleum exploration in East African Rift basin, Analysis (Japanese). Geological map of Tanzania, Scale 1:1,250,000.
QDS 27, 28, 39, 40, 51, 52, 67, 68, 69, 84, 104, 105, 121, 123, 127, 141, 142, 201, 219, 221, 239, 244, 259, 272.
- Hamlin, T. and Fikre, A. (2004) The African rift geothermal energy development facility (ARGeo), Renewable energy conference.
- Hochstein, M.P., Temu, E.P., and Moshy, C.M.A (2000) Geothermal resources of Tanzania, Proceedings world geothermal congress 2000.
- JICA (2010) Situation Analysis Study on Geothermal Development in Africa.
- JOGMEC (2006) Investigation of investment environment of Tanzania, JOGMEC report.
- Kimbara, K. (1992) Geothermal resources in the African Great Rift Valley and its environs, Geothermal energy (Japanese).
- McNitt, J.R. (1982): The Geothermal Potential of East Africa. UNESCO/USAID Geothermal Seminar, Nairobi, Kenya, June 15-21, p. 1-9.
- Mgejwa, N. (2012) Geothermal energy: A possible source to Light Majimoto Community, Serengeti district, Tanzania, Proceedings of the 4th African rift geothermal conference.
- Ministry of Energy and Minerals, Airborne Magnetic Survey, Magnetic Interpretation Map, Scale 1:100,000.
- Ministry of Energy and Minerals, Geological map of Tanzania, Scale 1:1,250,000.
- Ministry of Energy and Minerals, Topographic Map, Scale 1:50,000.
- Mnjokava, T.T. (2007) Interpretation of exploration geochemical data for geothermal fluids from the geothermal field of the Rungwe volcanic area, SW-Tanzania, Geothermal training programme.
- Mnjokava, T.T. (2008) Geothermal exploration in Tanzania - Status report, presented at short course III on exploration for geothermal resources.
- Mnjokava, T.T. (2012) Geothermal development in Tanzania – A country update, Proceedings of the 4th African rift geothermal conference.
- Mnzava, L.J., Mayo A. W. and Katima J. H. Y. (2008) Geothermal surface manifestation mapping in

- south-western Tanzania, ARGeoC2.2008 Entebbe-Uganda.
- Muhwezi, D.K. (2009) The potential relationship of some geothermal fields in Uganda, Geothermal training programme.
- Mwangi, N.J. (2010) The African rift geothermal facility (ARGEO)-Status, Presented at short course V on exploration for geothermal resources.
- Ochmann N., Chiragwile S. A. and Mjokava T. T. (2012) TEM and MT surface exploration at the Ngozi geothermal prospect, Tanzania, Proceedings of the 4th African rift geothermal conference.
- Omenda, P.A. (2005) The geology and geothermal activity of the east African rift system, Presented at Workshop for decision makers on geothermal projects and management.
- Omenda, P.A. (2007) The geothermal activity of the east African rift, Presented at short course II on surface exploration for geothermal resources.
- Omenda, P.A. (2010) The Geology and Geothermal Activity of the East African Rift, Short Course V on Exploration for Geothermal Resources, Kenya
- Omenda, P.A. (2010) The geology and geothermal activity of the east African rift, Presented at short course V on exploration for geothermal resources.
- Schluter, T. (1997) Geology of east Africa, Gebruder Bornetraeger/Berlin/Stuttgart, Independent book. TANAPA Website <http://www.tanzaniaparks.com/>
- Telkemariam, M. (2010) Barriers for development of geothermal resource in countries of the east: Overcoming these challenges, 11th Annual east African power industry convention.
- USGS Digital Spectral Library splib06a (2006) <http://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib06/>

添付資料

1. 現地調査シート
2. 岩石試料顕微鏡観察結果
3. スペクトル測定結果
4. 温泉水の化学分析値（既存データ）
5. 温泉水の化学分析値から計算された地化学温度（既存データ）
6. 温泉水の地化学温度計算式一覧
7. モンテカルロ解析を適用した容積法による地熱資源量計算結果

1. 現地調査シート

Location No.	Na01	DATE	16-Aug-13
Place Name	Lake Natron	REGION	Arusha
Cordination;			
Longitude (E)	35.90563	Latitude (S)	2.37312
Elevation	613 m		
Water sample No.	Na01		
Temperature	50.5 °C		
pH	9.7		
Electric conductivity	1,050 mS/m		
Rock sample No.	Na01	Basic volcanic rock	

Geological condition;
 Quaternary volcanic zone; olivine basalt of middle Pleistocene age. Being situated on the site where almost N-S trending lineament, seemed to be fault by the presence of its scarp, is developed very well.

Discription;
 This field is located on the western shore of Lake Natron, where many hot springs well up through the fractures developed in the basalt lava. The temperature in the field was 50.5°C, maximum pH was 9.7 and maximum electrical conductivity was 1,050 mS/m. Quaternary basalt lava, which has a largely N-S trending lineament, is widely distributed in the field. The presence of a scarp suggests that the N-S trending lineament is a fault. The porous parts of the volcanic rocks are filled with carbonates forming an amygdaloidal texture.







Location No.	Na02		DATE	16-Aug-13		
Place Name	Lake Natron		REGION	Arusha		
Cordination;						
Longitude (E)	35.90376		Latitude (S)	2.37392	Elevation	592 m
Water sample No.	Na02					
Temperature	53.1 °C					
pH	9.7					
Electric conductivity	1,530 mS/m					
Rock sample No.	Na02	Basic volcanics				

Geological condition;
 Quaternary volcanic zone; olivine basalt of middle Pleistocene age. Being situated on the site where almost N-S trending lineament, seemed to be fault by the presence of its scarp, is developed very well.

Discription;
 This site is located at approximately 200 m west of Na01. This field is located on the western shore of Lake Natron, where many hot springs well up through the fractures developed in the basalt lava. The maximum recorded temperature in the field was 53.1°C, maximum pH was 9.7 and maximum electrical conductivity was 1,530 mS/m. Quaternary basalt lava, which has a largely N-S trending lineament, is widely distributed in the field. The presence of a scarp suggests that the N-S trending lineament is a fault. The porous parts of the volcanic rocks are filled with carbonates forming an amygdaloidal texture.



Location No.	Mn01	DATE	17-Aug-13
Place Name	Lake Manyara	REGION	Arusha
Cordination;			
Longitude (E)	35.73786	Latitude (S)	3.61676
		Elevation	710 m
Water sample No.	Mn01		
Temperature	70.8 °C		
pH	9.5		
Electric conductivity	280 mS/m		
Rock sample No.	Mn01a	gneiss	
	Mn01b	evaporite	
Geological condition;			
Gneiss of Usagaran system. Being situated on the site where NNE-SSW trending lineament, seemed to be fault by the presence of its scarp, is developed very well.			
Discription;			
This field is located on the western side of Lake Manyara, where several hot springs well up from scree deposits made up of gneiss. The maximum temperature, pH and electrical conductivity of the hot springs were 70.8°C, pH 9.5 and 280 mS/m, respectively. Basement rocks mainly consisting of gneiss are distributed in the field, which has NNE-SSW trending lineament and seems to be a fault, as its very well-developed scarp indicates.			
 <p>Lake Manyara</p>		 <p>Lake Manyara</p>	
 <p>Outflow</p>		 <p>Gneiss</p>	


Location No.	Mn02	DATE	17-Aug-13
Place Name	Lake Manyara	REGION	Arusha
Cordination;			
Longitude (E)	35.74094	Latitude (S)	3.61712
Water sample No.	-	Elevation	973 m
Temperature	62.9 °C		
pH	-		
Electric conductivity	- mS/m		
Rock sample No.	-		
Geological condition;			
Gneiss of Usagaran system. Being situated on the site where NNE-SSW trending lineament, seemed to be fault by the presence of its scarp, is developed very well.			
Discription;			
This field is located on the western side of Lake Manyara, where several hot springs well up from scree deposits made up of gneiss. The temperature of the hot springs was 62.9°C. Basement rocks mainly consisting of gneiss are distributed in the field, which has NNE-SSW trending lineament and seems to be a fault, as its very well-developed scarp indicates.			

Location No.	Ey01		DATE	18-Aug-13		
Place Name	Lake Eyasi		REGION	Arusha		
Cordination;						
Longitude (E)	35.25440		Latitude (S)	3.57560	Elevation	1045 m
Water sample No.	Ey01					
Temperature	48.6 °C					
pH	9.3					
Electric conductivity	1,010 mS/m					
Rock sample No.	Ey01	evaporite				

Geological condition;
 Gneiss of Usagaran system. Being situated on the site where NE-SW trending lineament, seemed to be fault by the presence of its scarp, is developed very well.

Discription;
 This field is located on the eastern side of Lake Eyasi, where hot springs well up from the unconsolidated sands of lake deposits. The field consists of wetland with sparse vegetation. The maximum temperature, pH and electrical conductivity were 48.6°C, pH 9.3 and 1,010mS/m, respectively. The Gneiss basement rocks show a NE-SW trending lineament, which seems to be a fault, as its very well-developed scarp indicates.



Location No.	Ey02		DATE	18-Aug-13		
Place Name	Lake Eyasi		REGION	Arusha		
Cordination;						
Longitude (E)	35.33100		Latitude (S)	3.50276	Elevation	1037 m
Water sample No.	Na01					
Temperature	35.7 °C					
pH	9.1					
Electric conductivity	270 mS/m					
Rock sample No.	-					
Geological condition;						
Gneiss of Usagaran system. Being situated on the site where NE-SW trending lineament, seemed to be fault by the presence of its scarp, is developed very well.						
Discription;						
This field is located on the eastern side of Lake Eyasi, where hot springs well up from the unconsolidated sands of lake deposits. The field consists of wetland with sparse vegetation. The temperature, pH and electrical conductivity were 35.7°C, pH 9.1 and 270 mS/m, respectively. The Gneiss basement rocks show a NE-SW trending lineament, which seems to be a fault, as its very well-developed scarp indicates.						
						

Location No.	Ey03		DATE	18-Aug-13		
Place Name	Lake Eyasi		REGION	Arusha		
Cordination;						
Longitude (E)	35.33057		Latitude (S)	3.50178	Elevation	1106 m
Water sample No.	-					
Temperature	36.6 °C					
pH	-					
Electric conductivity	-		mS/m			
Rock sample No.	-					

Geological condition;
 Gneiss of Usagaran system. Being situated on the site where NE-SW trending lineament, seemed to be fault by the presence of its scarp, is developed very well.

Discription;
 This field is located on the eastern side of Lake Eyasi, where hot springs well up from the unconsolidated sands of lake deposits. The field consists of wetland with sparse vegetation. The temperature was 36.6°C, pH 9.3 and 1,010 mS/m, respectively. The Gneiss basement rocks show a NE-SW trending lineament, which seems to be a fault, as its very well-developed scarp indicates.



Wet land



Lake Eyasi



Hot spring Ey03



Location No.	Ng01		DATE	19-Aug-13	
Place Name	Ngorongoro crater		REGION	Arusha	
Cordination;					
Longitude (E)	35.55775	Latitude (S)	3.24353	Elevation	1168 m
Water sample No.	-				
Temperature	36.6 °C				
pH	7.7				
Electric conductivity	32 mS/m				
Rock sample No.	Ng01	sediment			

Geological condition;
 Quaternary volcanic zone (Ngorongoro crater)

Discription;
 Three hot springs are found inside of Ngorongoro Crater. Hot spring Ng01 is located at the foot of the sommar, welling up from unconsolidated scree deposits. The maximum temperature, pH and electric conductivity were 36.6°C, pH7.7 and 32 mS/m, respectively. The geology of the fields is characterized by Quaternary volcanic rocks.
 No structural features are observed in the satellite imagery. The hot springs are derived from the flow of groundwater in the outer crater-rim.



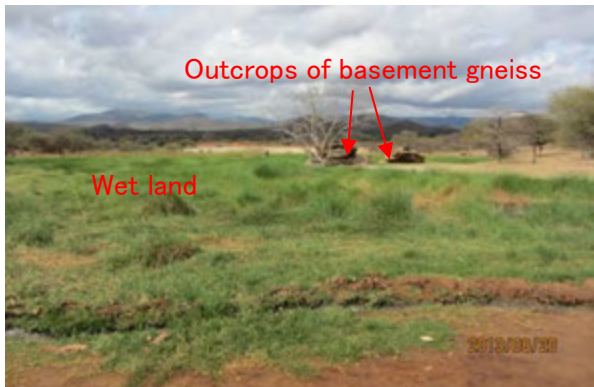
Location No.	Ng02		DATE	19-Aug-13		
Place Name	Ngorongoro crater		REGION	Arusha		
Cordination;						
Longitude (E)	35.60079		Latitude (S)	3.21050	Elevation	1216 m
Water sample No.	-					
Temperature	23 °C					
pH	7.9					
Electric conductivity	34 mS/m					
Rock sample No.	-					
Geological condition; Quaternary volcanic zone (Ngorongoro crater).						
Discription; Three hot springs are found inside of Ngorongoro Crater. Hot spring Ng01 is located at the foot of the sommar, welling up from unconsolidated scree deposits. The temperature, pH and electric conductivity were 23°C, pH7.9 and 34 mS/m, respectively. The geology of the fields is characterized by Quaternary volcanic rocks. No structural features are observed in the satellite imagery. The hot springs are derived from the flow of groundwater in the outer crater-rim.						
						

Location No.	Ng03		DATE	19-Aug-13		
Place Name	Ngorongoro crater		REGION	Arusha		
Cordination;						
Longitude (E)	35.49837		Latitude (S)	3.17734	Elevation	1105 m
Water sample No.	-					
Temperature	27.2 °C					
pH	8.1					
Electric conductivity	34 mS/m					
Rock sample No.	-					
Geological condition; Quaternary volcanic zone (Ngorongoro crater)						
Discription; Three hot springs are found inside of Ngorongoro Crater. Hot spring Ng01 is located at the foot of the sommar, welling up from unconsolidated scree deposits. The maximum temperature, pH and electric conductivity were 27.7°C, pH8.1 and 34 mS/m, respectively. The geology of the fields is characterized by Quaternary volcanic rocks. No structural features are observed in the satellite imagery. The hot springs are derived from the flow of groundwater in the outer crater-rim.						
						

Location No.	Ba01		DATE	20-Aug-13		
Place Name	Masware		REGION	Manyara		
Cordination;						
Longitude (E)	35.71347		Latitude (S)	4.06958	Elevation	1066 m
Water sample No.	Ba01					
Temperature	40.9 °C					
pH	7.4					
Electric conductivity	270 mS/m					
Rock sample No.	Ba01a	gneiss				
	Ba01b	sediment				
	Ba01c	sediment				

Geological condition;
 Gneiss basement zone. Being situated on the site where NE-SW trending lineament, seemed to be fault by the presence of its scarp, is developed very well.

Discription;
 This field is located to the north of Babati Town. The hot springs gush out from unconsolidated sands on the gentle slope. The vicinity of the hot springs consists of wetland. The maximum temperature, pH and electric conductivity were 40.9°C, 7.4 and 270 mS/m, respectively. A gneiss basement, showing a NE-SW trending lineament, is distributed in the field, and seems to be a fault, as its very well-developed scarp indicates.
 No geological features are observed in the imagery. This hot spring is newly reported in this preliminary survey.



Location No.	Ha01		DATE	20-Aug-13		
Place Name	Balangida Lalu		REGION	Manyara		
Cordination;						
Longitude (E)	35.25523		Latitude (S)	4.70477	Elevation	1118 m
Water sample No.	-					
Temperature	32.7 °C					
pH	-					
Electric conductivity	-		mS/m			
Rock sample No.	Ha01	sediment				

Geological condition;
 Being situated on the site where ENE-WSW trending lineament, seemed to be fault by the presence of its scarp, is developed very well. In this region, ENE-WSW trending lineaments are developed, and are dislocated by NW-SE lineaments.

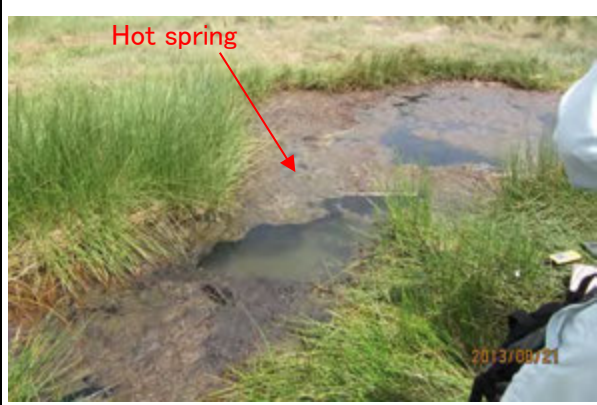
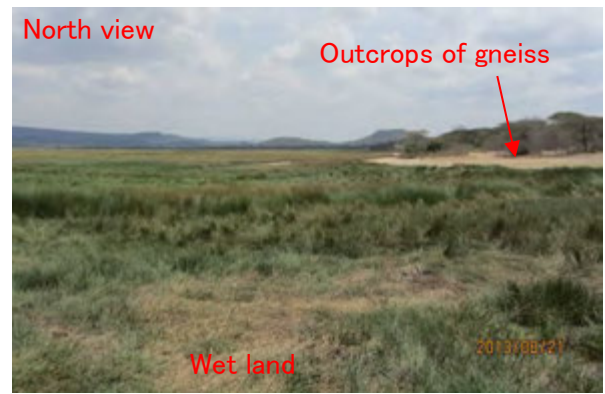
Discription;
 This field is located east of Lake Balangida Lalu, where hot springs well up from unconsolidated sands of sedimentary lake deposits. The field consists of wetland and ponds and is covered with thick vegetation. The maximum temperature was 32.7°C, but pH and electrical conductivity were not measured, because of contamination of the surface water. Gneiss is distributed in the field, trending ENE-WSW, and the lineament appears to be fault, as its very well-developed scarp indicates. In this area, ENE-WSW trending lineaments are found, and these are dislocated by NW-SE lineaments. Thick vegetation is observed along the watercourse in the satellite image.



Location No.	Ms01	DATE	21-Aug-13
Place Name	Msule	REGION	Singida
Cordination;			
Longitude (E)	35.06760	Latitude (S)	5.10671
		Elevation	1212 m
Water sample No.	Ms01		
Temperature	37.1 °C		
pH	8.1		
Electric conductivity	350 mS/m		
Rock sample No.	-		

Geological condition;
 Granitic rock of Precambrian age. Being situated on the site where NE-SW and NNW-SSE trending lineaments, seemed to be faults by the presence of their scarps, intersect each other. The former is elder than the latter in the activity age.

Discription;
 These fields are located in Msule Village southeast of Singida Town. Extensive wetland and ponds with thick vegetation are found in the area. The maximum temperature, pH and electrical conductivity of the hot spring were 37.1°C, 8.1 and 350mS/m, respectively. This hot spring is newly reported in this survey.



Location No.	Ta01		DATE	21-Aug-13		
Place Name	Takwa		REGION	Dodoma		
Cordination;						
Longitude (E)	35.13322		Latitude (S)	5.15603	Elevation	1244 m
Water sample No.	Ta01					
Temperature	35.9 °C					
pH	7.8					
Electric conductivity	290 mS/m					
Rock sample No.	Ta01a	granitics rock				
	Ta01b	sediment				

Geological condition;
 Granitic rock basement. Being situated on the site where NE-SW and NNW-SSE trending lineaments, seemed to be faults by the presence of their scarps, intersect each other. The former is elder than the latter in the activity age.

Discription;
 These fields are located in Takwa Village southeast of Singida Town. Extensive wetland and ponds with thick vegetation are found in the area. The maximum temperature, pH and electrical conductivity of the hot spring were 35.9°C, 7.8 and 290mS/m, respectively. This hot spring is newly reported in this survey.



Location No.	Mp01	DATE	21-Aug-13
Place Name	Mponde	REGION	Dodoma
Cordination;			
Longitude (E)	35.10281	Latitude (S)	5.28361
Water sample No.	Mp01	Elevation	- m
Temperature	43.3 °C		
pH	8.3		
Electric conductivity	241 mS/m		
Rock sample No.	-		

Geological condition;
 Granitic rock basement. Being situated on the site where NE-SW and NNW-SSE trending lineaments, seemed to be faults by the presence of their scarps, intersect each other. The former is elder than the latter in the activity age.

Discription;
 These fields are located in Mponde Village southeast of Singida Town. Extensive wetland and ponds with thick vegetation are found in the area. The maximum temperature, pH and electrical conductivity of the hot spring were 43.3°C, 8.3 and 241mS/m, respectively. This hot spring is newly reported in this survey.


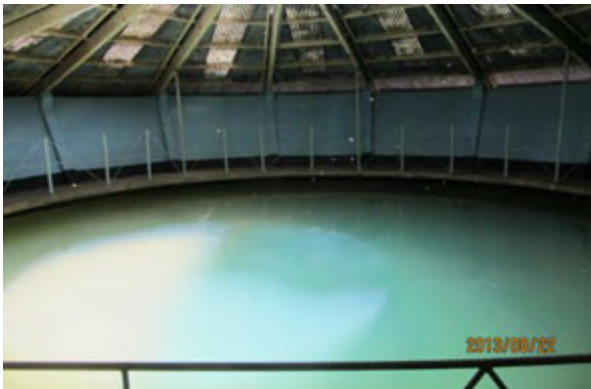


Location No.	Mp02		DATE	21-Aug-13		
Place Name	Mponde		REGION	Dodoma		
Cordination;						
Longitude (E)	35.10293		Latitude (S)	5.28284	Elevation	1214 m
Water sample No.	-					
Temperature	45.4 °C					
pH	8.6					
Electric conductivity	-		mS/m			
Rock sample No.	-					

Geological condition;
 Granitic rock basement. Being situated on the site where NE-SW and NNW-SSE trending lineaments, seemed to be faults by the presence of their scarps, intersect each other. The former is elder than the latter in the activity age.

Discription;
 These fields are located in Mponde Village southeast of Singida Town. Extensive wetland and ponds with thick vegetation are found in the area. The maximum temperature and pH of the hot spring were 45.4°C, 8.6, respectively. This hot spring is newly reported in this survey.

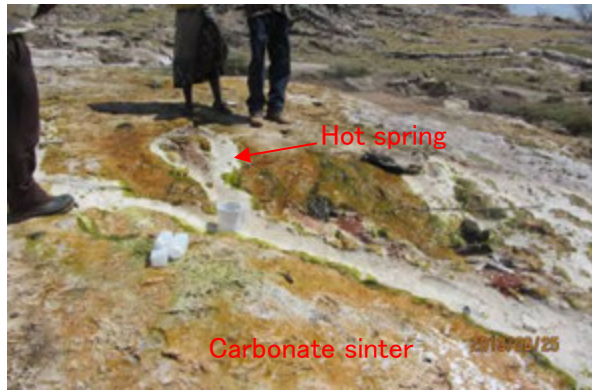
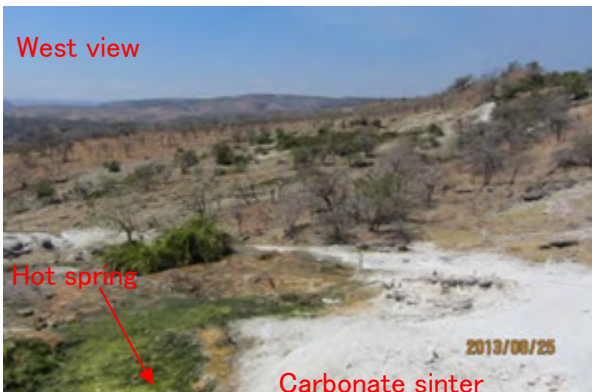


Location No.	Ko01		DATE	22-Aug-13		
Place Name	Kondo		REGION	Dodoma		
Cordination;						
Longitude (E)	35.78966		Latitude (S)	4.90346	Elevation	1385 m
Water sample No.	Ko01					
Temperature	30.3 °C					
pH	7.3					
Electric conductivity	228 mS/m					
Rock sample No.	-					
Geological condition;						
Gneiss of Usagaran system. Being situated on the site where NNE-SSW trending fault is developed very well.						
Discription;						
This field is situated in Kondo Town. The site of the hot spring is protected by a roofed structure and supplies 3 million L/day to Kondo Town. The maximum temperature, pH and electrical conductivity of the hot spring were 30.3C, pH 7.3 and 228 mS/m, respectively. Gneissic rock from the Usagaran System is distributed in the field, where a NNE-SSW trending fault is well-developed.						
						

Location No.	So01		DATE	25-Aug-13		
Place Name	Songwe		REGION	Mbeya		
Cordination;						
Longitude (E)	33.18213		Latitude (S)	8.87427	Elevation	1121 m
Water sample No.	So01					
Temperature	74.8 °C					
pH	7.0					
Electric conductivity	730 mS/m					
Rock sample No.	So01a	travertine				
	So01b	travertine				

Geological condition;
 Quaternary travertine and volcanic zone. The basement of travertine is Cretaceous sandstone and mudstone. Being situated on the site where NW-SE trending faults are developed very well. Hot spring and its white sinter are derived from a similar trend of fissures.

Discription;
 This site is located at the south side of the Songwe River approximately 30 km west of Mbeya city. The large amount of travertine (carbonate sinter) are widely distributed over the area. The hot spring is gushing out from hill composed of travertine.
 Huge amount of white travertine characterizes this area. The sinter is more than 10 m thick in maximum at quarry site observation, and it shows certain layer like a limestone. However, microstructure of the layer shows the colloform texture that is developed under the precipitation process at the surface like a sinter activity.



Location No.	II01		DATE	25-Aug-13		
Place Name	Ilatile		REGION	Mbeya		
Cordination;						
Longitude (E)	33.21126		Latitude (S)	8.89121	Elevation	1072 m
Water sample No.	-					
Temperature	54.1 °C					
pH	6.6					
Electric conductivity	- mS/m					
Rock sample No.	-					

Geological condition;
 Quaternary travertine and volcanic zone. The basement of travertine is Cretaceous sandstone and mudstone. Being situated on the site where NW-SE trending faults are developed very well. Hot spring and its white sinter are derived from a similar trend of fissures.

Discription;
 This site is located at the south side of the Songwe River approximately 30km west of Mbeya city. The large amount of travertine (carbonate sinter) are widely distributed over the area. The hot spring is gushing out from hillside which is consistant of travertine.



Location No.	Ra01		DATE	25-Aug-13		
Place Name	Rambo		REGION	Mbeya		
Cordination;						
Longitude (E)	33.20984		Latitude (S)	8.88503	Elevation	899 m
Water sample No.	Ra01					
Temperature	79.2 °C					
pH	7.0					
Electric conductivity	728 mS/m					
Rock sample No.	-					

Geological condition;
 Quaternary travertine and volcanic zone. The basement of travertine is Cretaceous sandstone and mudstone. Being situated on the site where NW-SE trending faults are developed very well. Hot spring and its white sinter are derived from a similar trend of fissures.

Discription;
 These fields are located on the left bank of Songwe River, approximately 30 km west of Mbeya City. A large amount of travertine (carbonate sinter) is widely distributed in the fileds. The hot springs gush out from a hill composed of travertine. The maximum temperature, pH and electrical conductivity of the hot springs were 79.2°C, pH 7.0 and 728 mS/m, respectively.



Location No.	Ki01		DATE	26-Aug-13		
Place Name	Kilambo		REGION	Mbeya		
Cordination;						
Longitude (E)	33.81793		Latitude (S)	9.36253	Elevation	984 m
Water sample No.	Ki01					
Temperature	61.5 °C					
pH	6.9					
Electric conductivity	1,013 mS/m					
Rock sample No.	Ki01a	travertine				
	Ki01b	sediment				

Geological condition;
 Quaternary volcanic zone. Being situated on the site where NW-SE trending faults are developed very well. Hot springs are derived from a similar trend of fissures.

Discription;
 This field is located on the left bank of the river, approximately 30km southeast of Rungwe Volcano. Travertine accumulates where the hot springs gush out from the hillside and riverbed. The maximum temperature, pH and electric conductivity of the hot springs were 61.5°C, pH 6.9 and 1,013mS/m. Quaternary basic volcanic rocks are widely distributed in the field, where NW-SE trending faults are well-developed. Hot springs well up from fissures with a similar trend.






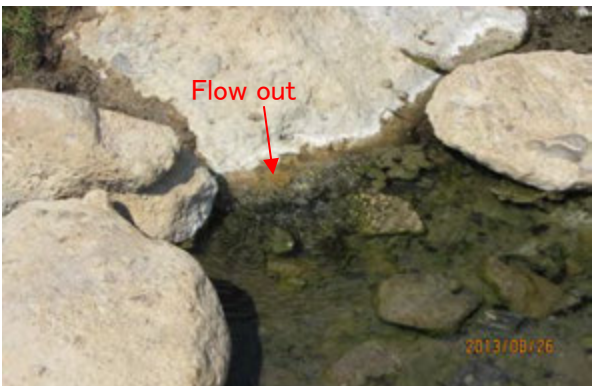
Location No.	Ki02		DATE	26-Aug-13		
Place Name	Kilambo		REGION	Mbeya		
Cordination;						
Longitude (E)	33.81777		Latitude (S)	9.36403	Elevation	1031 m
Water sample No.	Ki02					
Temperature	57.4 °C					
pH	6.6					
Electric conductivity	1,030 mS/m					
Rock sample No.	Ki02	basic volcanic rock				

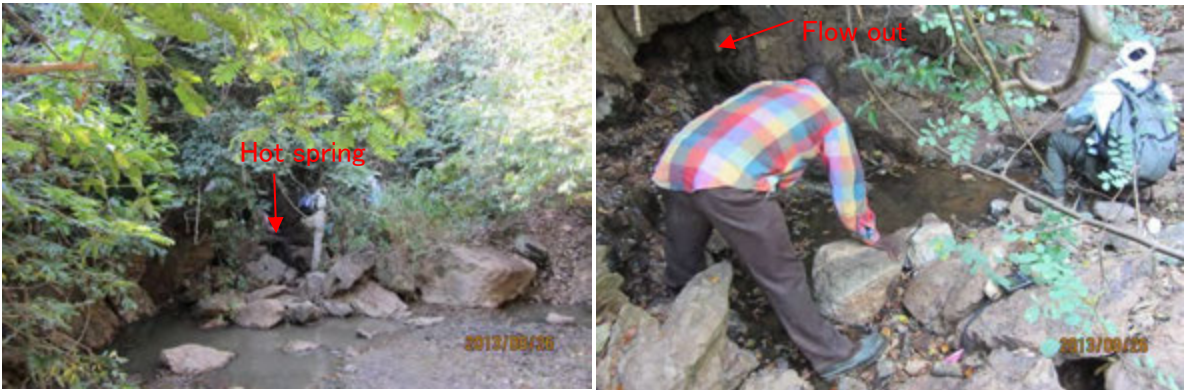
Geological condition;
 Quaternary volcanic zone. Being situated on the site where NW-SE trending faults are developed very well. Hot springs are derived from a similar trend of fissures.

Discription;
 This field is located on the left bank of the river, approximately 30 km southeast of Rungwe Volcano. Travertine accumulates where the hot springs gush out from the hillside and riverbed. The maximum temperature, pH and electric conductivity of the hot springs were 57.4°C, pH 6.6 and 1,030 mS/m. Quaternary basic volcanic rocks are widely distributed in the field, where NW-SE trending faults are well-developed. Hot springs well up from fissures with a similar trend.



Location No.	Ma01		DATE	26-Aug-13		
Place Name	Mampulo		REGION	Mbeya		
Cordination;						
Longitude (E)	33.79546		Latitude (S)	9.54955	Elevation	954 m
Water sample No.	Ma01					
Temperature	56.3 °C					
pH	7.1					
Electric conductivity	1,016 mS/m					
Rock sample No.	Ma01	Conglomerate				
Geological condition; Conglomerat and pebbly sandstone. Being situated on the site where NW-SE trending faults are developed very well.						
Discription; This field is located in Mampulo Village, where the hot springs well up from fractures in the conglomerate. The maximum temperature, pH and electrical conductivity of the hot springs are 56.3°C, pH 7.1 and 1,016 mS/m, respectively. Conglomerate and pebbly sandstone, in which NW-SE trending faults are well-developed, are dominant in the field. The hot springs are derived from NE-SW trending fissures, which form a dome-like structure with a higher resistance rather than surrounding areas.						
						

Location No.	Ma02	DATE	26-Aug-13
Place Name	Mampulo	REGION	Mbeya
Cordination;			
Longitude (E)	33.79627	Latitude (S)	9.55239
Water sample No.	Ma02	Elevation	m
Temperature	52.7 °C		
pH	6.9		
Electric conductivity	1,022 mS/m		
Rock sample No.	-		
Geological condition; Quaternary basal conglomerate. Geological condition: Being situated on the site where NW-SE trending faults are developed very well.			
Discription; This field is located in Mampulo Village, where the hot springs well up from fractures in the conglomerate. The maximum temperature, pH and electrical conductivity of the hot springs are 52.7°C, pH 6.9 and 1,022 mS/m, respectively. Conglomerate and pebbly sandstone, in which NW-SE trending faults are well-developed, are dominant in the field. The hot springs are derived from NE-SW trending fissures, which form a dome-like structure with a higher resistance rather than surrounding areas.			
			

Location No.	Ka01		DATE	26-Aug-13		
Place Name	Kasimulu		REGION	Mbeya		
Cordination;						
Longitude (E)	33.76252		Latitude (S)	9.58319	Elevation	1025 m
Water sample No.	Ka01					
Temperature	52.6 °C					
pH	6.8					
Electric conductivity	1,025 mS/m					
Rock sample No.	Ka01a	sandstone				
	Ka01b	silicified rock				
Geological condition; grey sandstone. Being situated on the site where NW-SE trending faults are developed.						
Discription; This field is located in Kasimulu Village close to the border between Tanzania and Malawi. The hot spring is gushing out from sandstone at the foot of a hill. The maximum temperature, pH and electrical conductivity of hot spring are 52.6°C, pH 6.8 and 1,025 mS/m, respectively. Grey sandstone is distributed in the field, where NW-SE trending faults are developed. NW-SE trending fracture is strongly silicified, and slickenside are observed on the surface.						
						

Location No.	Ks01		DATE	28-Aug-13		
Place Name	Kisaki		REGION	Morogoro		
Cordination;						
Longitude (E)	37.57241		Latitude (S)	7.51107	Elevation	525 m
Water sample No.	Ks01					
Temperature	72.3 °C					
pH	7.0					
Electric conductivity	721 mS/m					
Rock sample No.	Ks01a	travertine				
	Ks01b	travertine				
	Ks01c	sediment				

Geological condition;
 Quaternary unconsolidated materials (Gneiss basement underlying). Being situated on the site where NW-SE trending faults are developed.

Discription;
 This field is located in Kisaki Village close to Kisaki Railway Station. The hot springs well up from unconsolidated sediments. The maximum temperature, pH and electrical conductivity of the hot spring were 72.3°C, pH 7.0 and 721 mS/m, respectively. Unconsolidated Quaternary deposits (underlain by gneiss basement) cover the field, where NW-SE trending faults are developed.
 There are two hot springs aligned along the faults in the Uluguru Mountain and Rufiji area



Location No.	Ut01		DATE	30-Aug-13		
Place Name	Utete		REGION	Coast		
Cordination;						
Longitude (E)	38.76907		Latitude (S)	8.00640	Elevation	5 m
Water sample No.	Ut01					
Temperature	54.4 °C					
pH	7.0					
Electric conductivity	436 mS/m					
Rock sample No.	Ut01a	sandstone				
	Ut01b	travertine				

Geological condition;
 Tertiary light grey sandstone. Being situated on the site where NW-SE trending lineament is poorly developed.

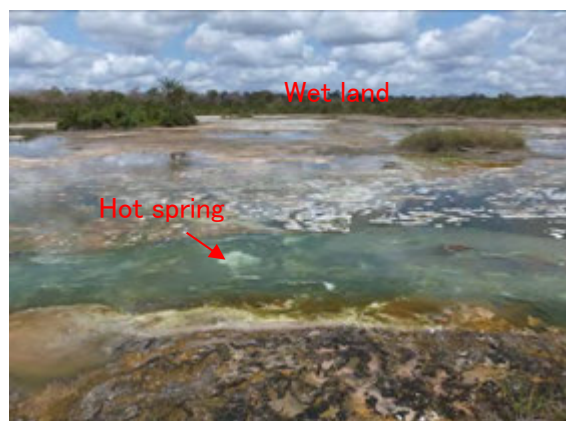
Discription;
 This field is located in Utete Town, approximately 2km south of the Rufiji River. The hot spring gushes out from light grey sandstone. The maximum temperature, pH and electrical conductivity of the hot spring are 54.4°C, pH 7.0 and 436 mS/m, respectively. Tertiary light grey sandstone is widely distributed in the field, and NW-SE trending lineaments in the sandstone are poorly developed. Reddish brown ferruginous irregular veins have developed in the sandstone. There is no Quaternary volcanism in the vicinity.



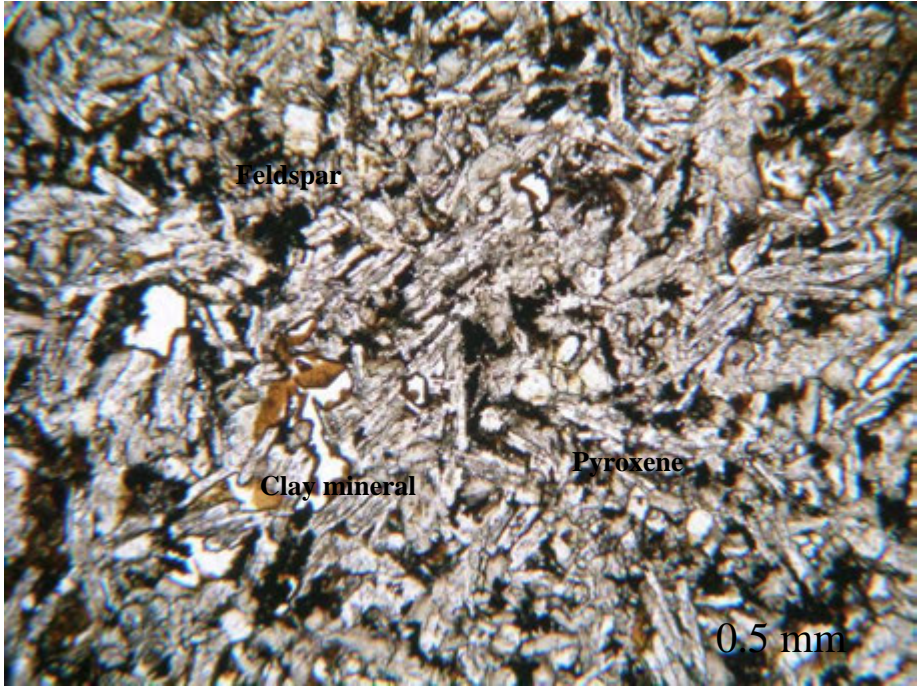
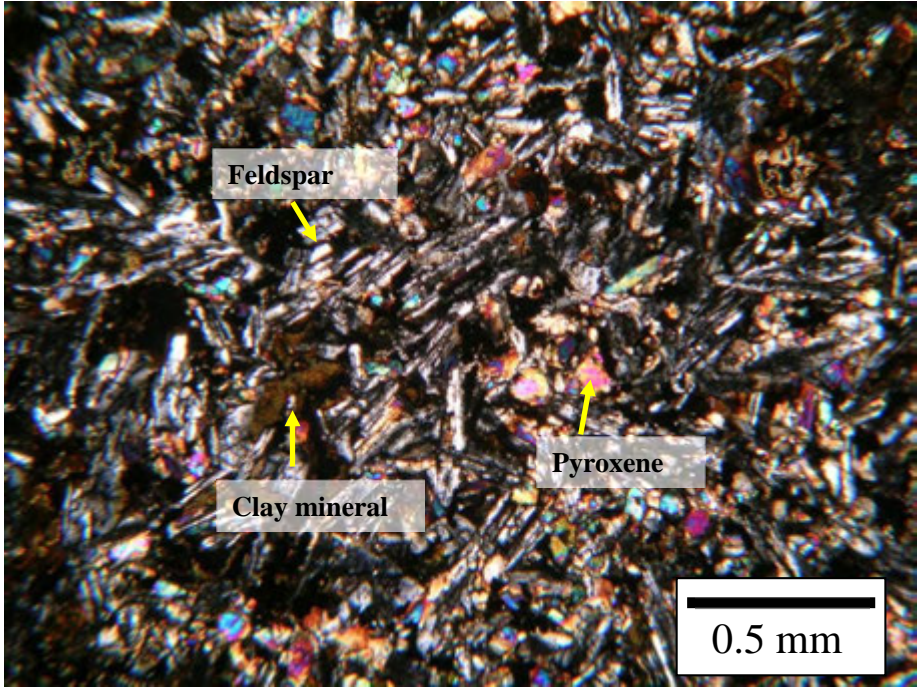
Location No.	Ny01		DATE	31-Aug-13		
Place Name	Nyongoni		REGION	Coast		
Cordination;						
Longitude (E)	38.85676		Latitude (S)	7.82700	Elevation	70 m
Water sample No.	Ny01					
Temperature	67.2 °C					
pH	6.7					
Electric conductivity	2,230 mS/m					
Rock sample No.	Ny01	travertine				

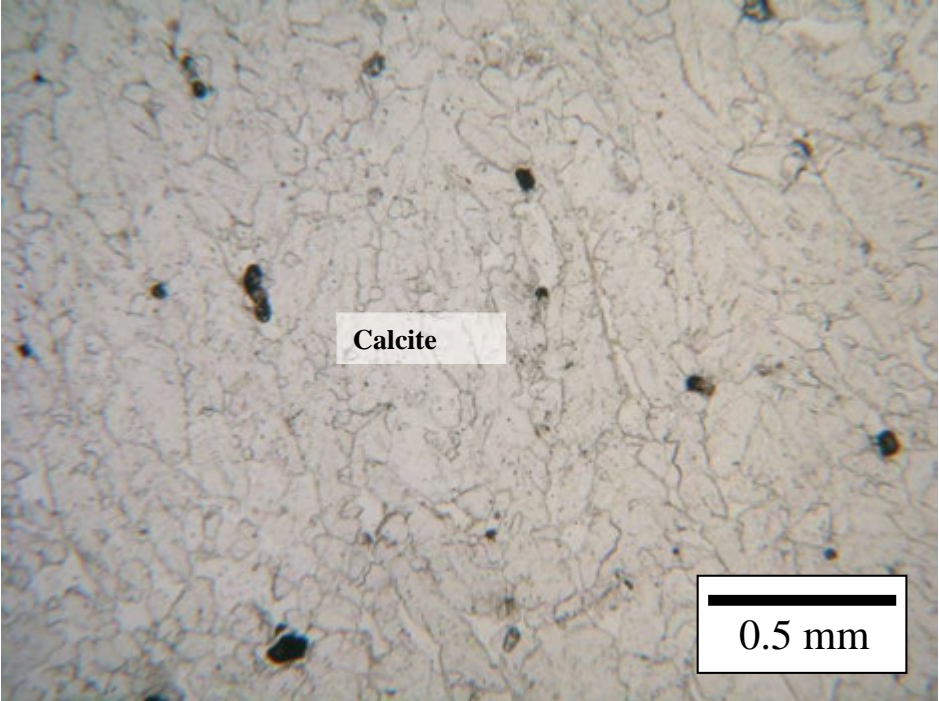
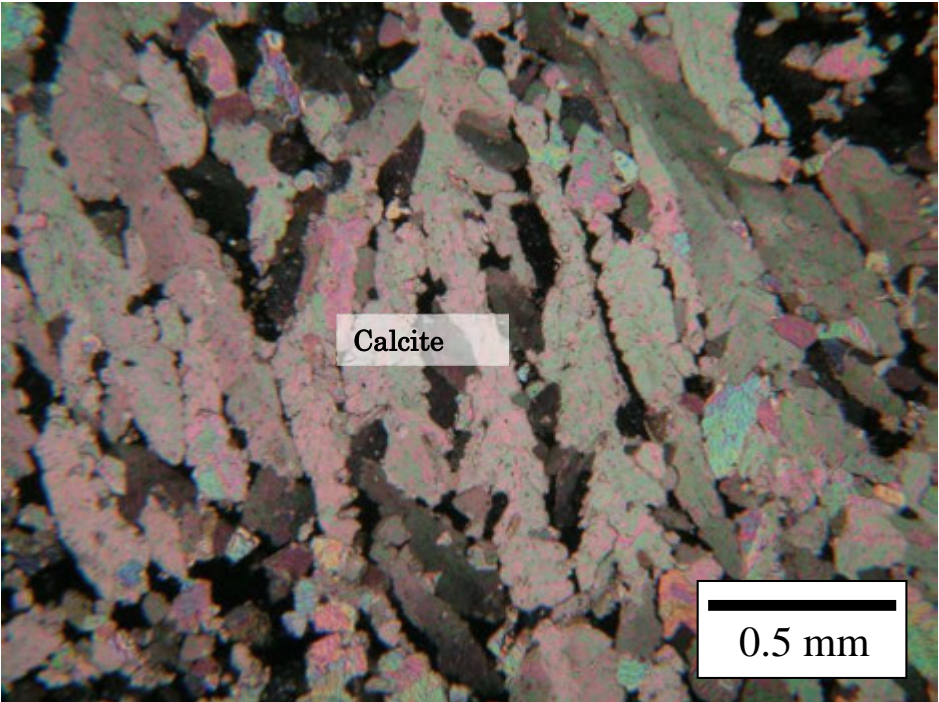
Geological condition;
 Quaternary unconsolidated materials. Being situated on the site where intersection between NE-SW and NW-SE trending lineaments sits.

Discription;
 This field is located in Nyongoni Village, northeast of the Luhoi River of tributary of the Rufiji River. The hot springs well up from unconsolidated sediments with travertine. The field is characterized by wetland and ponds. The maximum temperature, pH and electrical conductivity of the hot springs were 67.2°C, pH 6.7 and 2,230 mS/m, respectively. Quaternary unconsolidated sediments cover the field widely, where NE-SW and NW-SE trending lineaments intersect. The area characterized by hot springs covers a surface area of 300 m by 200 m. There is no Quaternary volcanism in the vicinity.

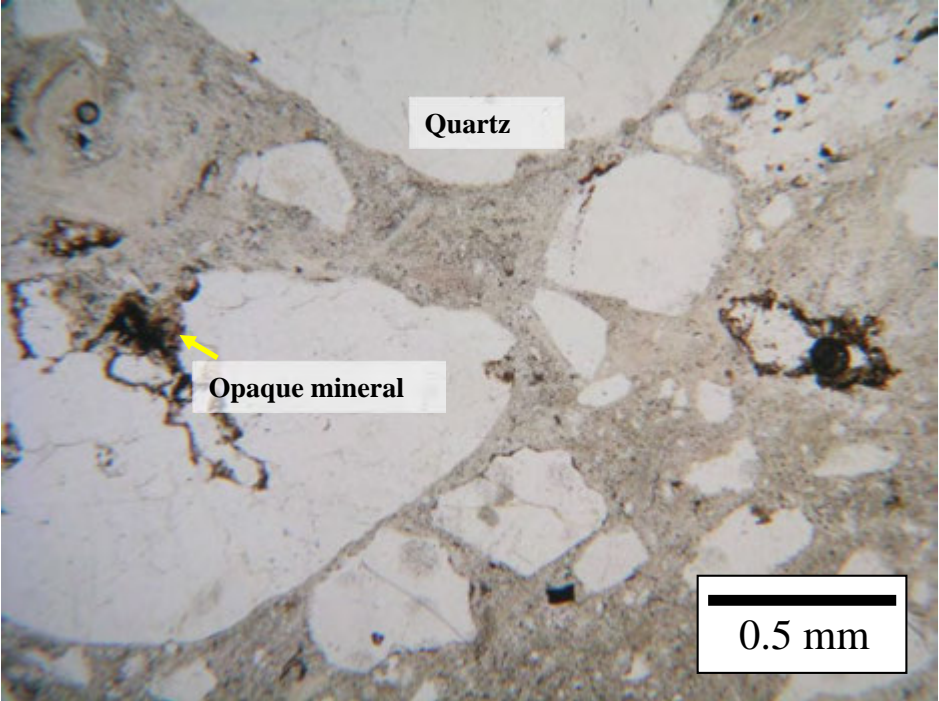
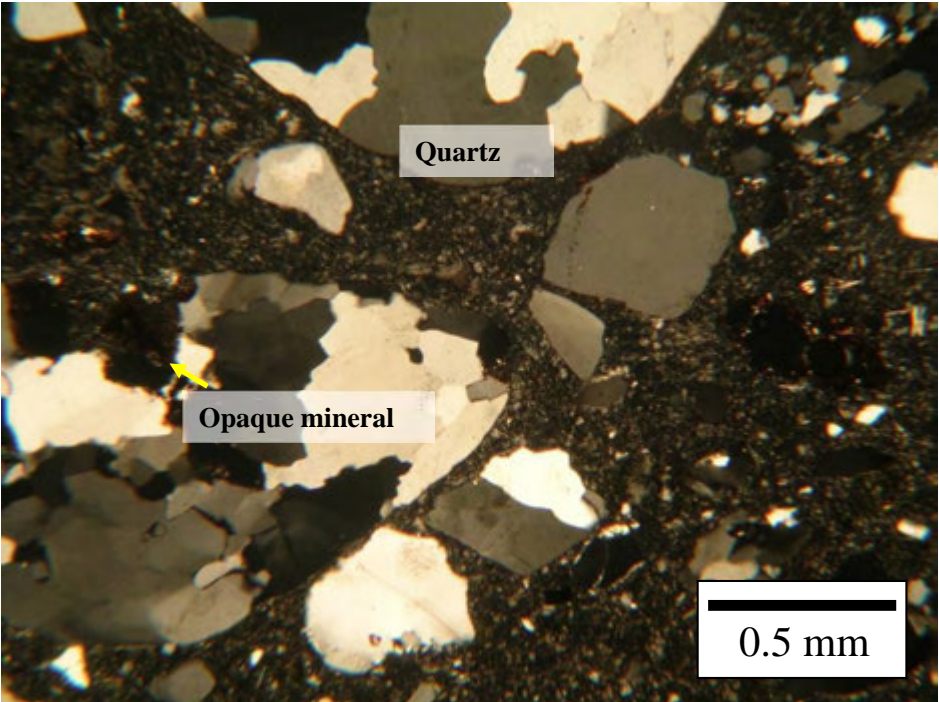


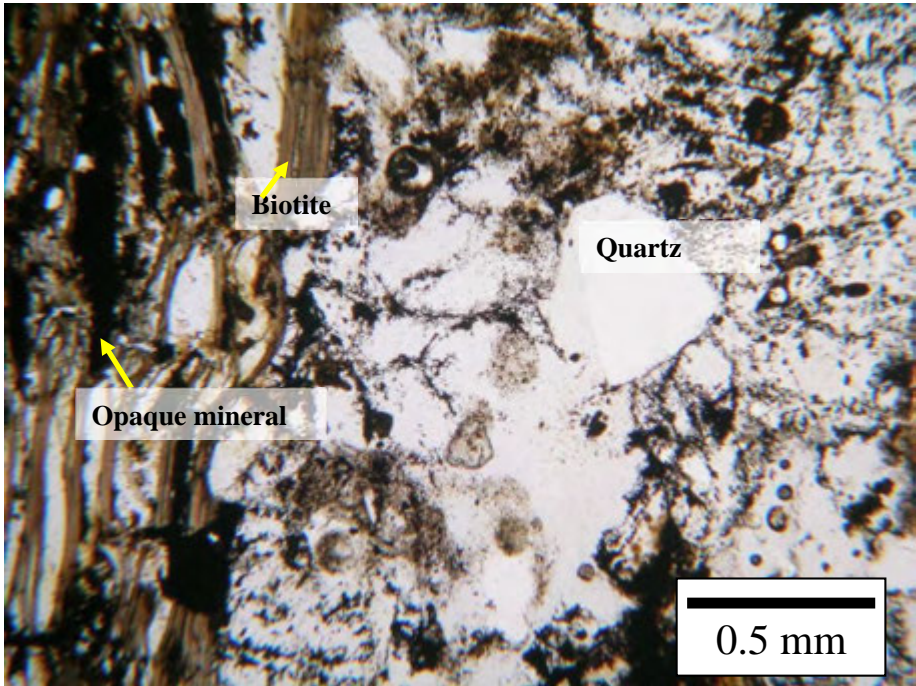
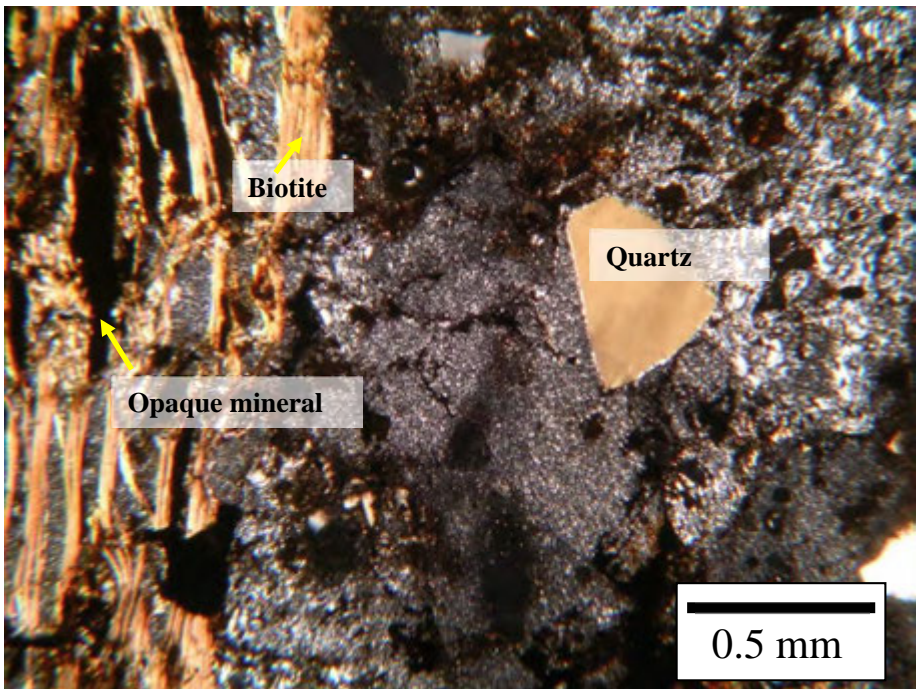
2. 岩石試料顕微鏡観察結果

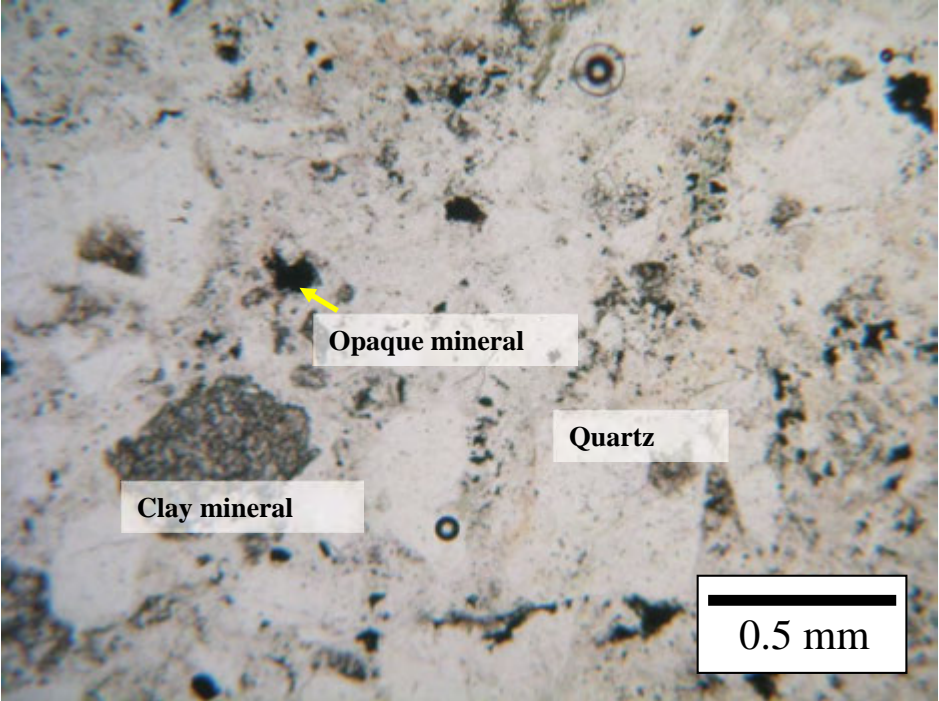
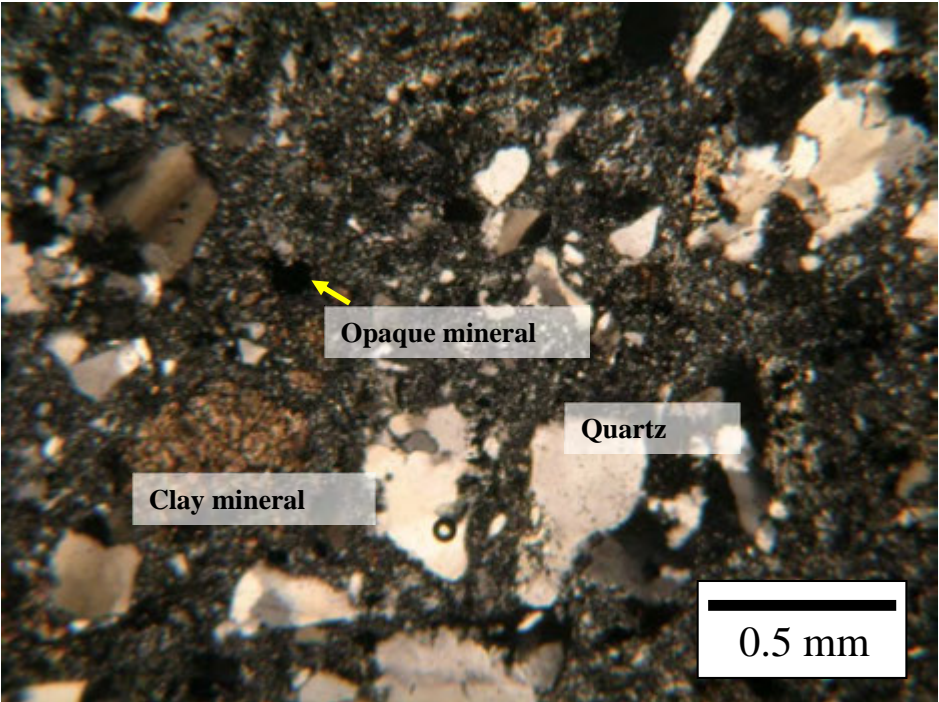
Petrography sheet No.1	
Field	Lake Natron (Na01)
Plane-polarized light	
	
Crossed-polarized light	
	
Description	<p>Rock name: Basalt</p> <ul style="list-style-type: none"> • The rock is aphyric basalt. • The ground mass shows intergranular texture and mainly consist of feldspar laths and pyroxenes. The feldspar laths are 0.2-0.3mm in diameter. The pyroxene is under 0.1mm in diameter. • Altered brown clay minerals are observed.

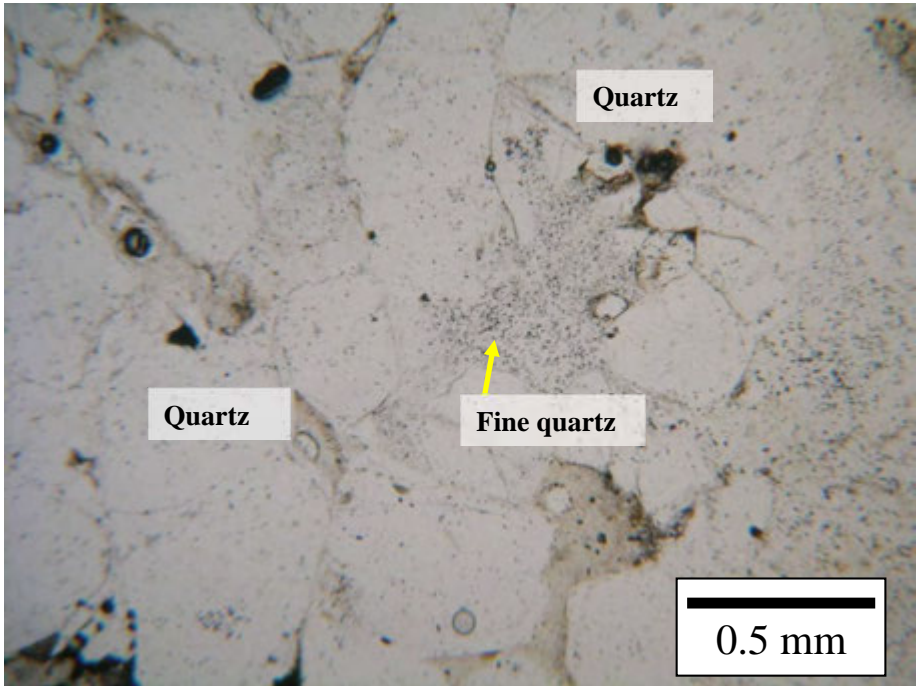
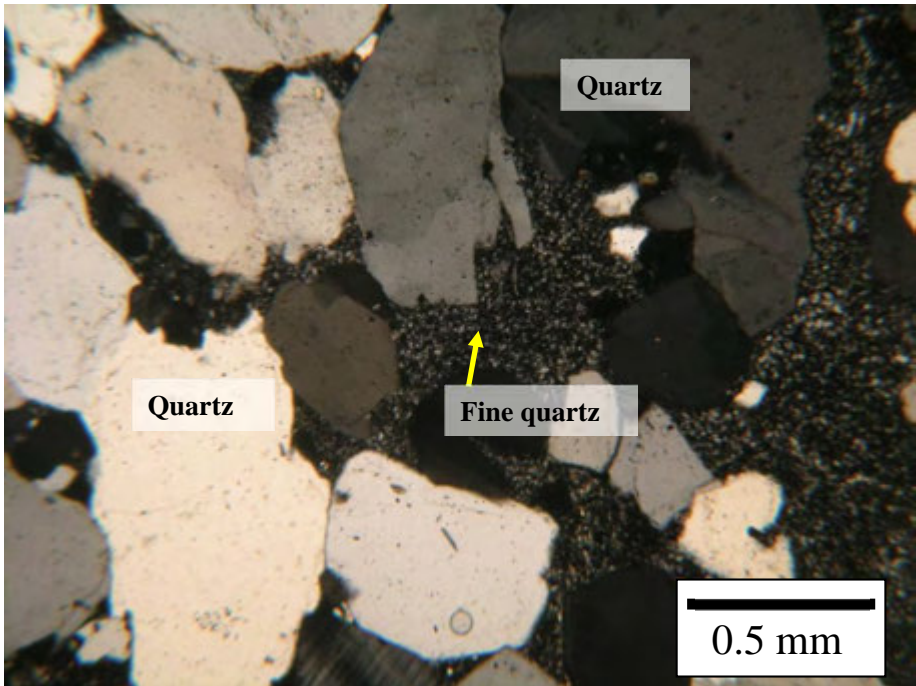
Petrography sheet No.2	
Field	Songwe (So01b)
Plane-polarized light	
	
Crossed-polarized light	
	
Description	<p>Rock name; Travertine</p> <ul style="list-style-type: none"> • The rock consists of almost all calcites and shows dendritic texture.

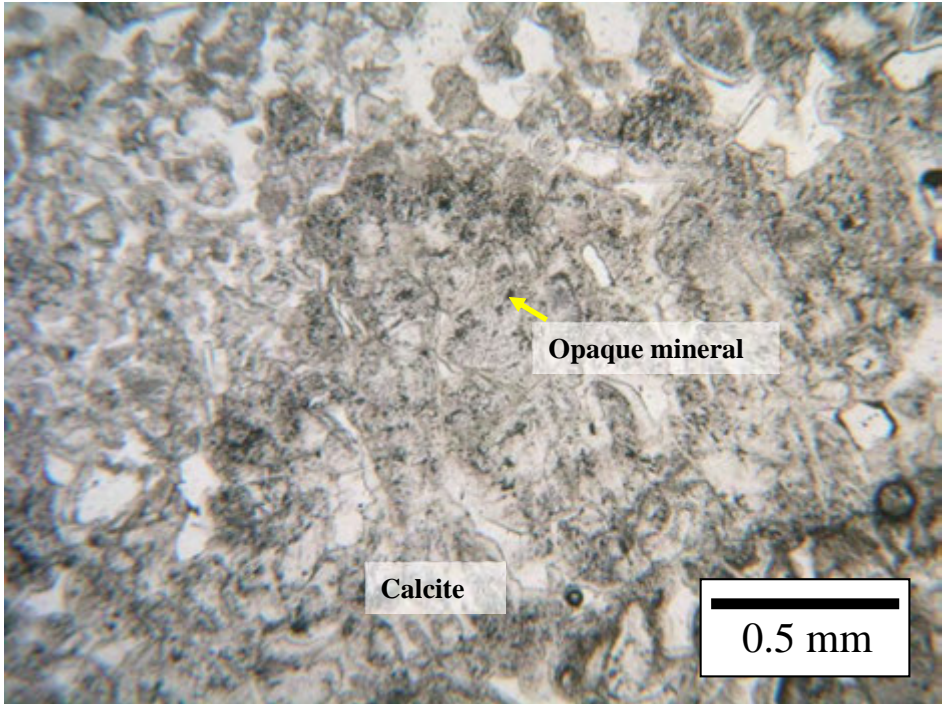
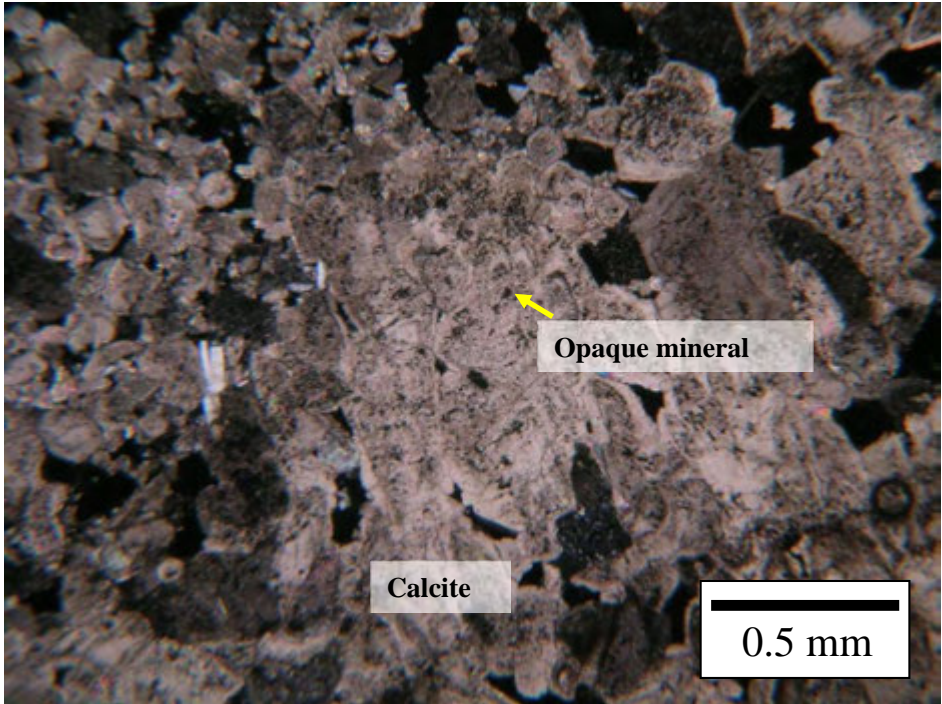
Petrography sheet No.3	
Field	Kilambo (Ki02)
Plane-polarized light	
Crossed-polarized light	
Description	<p>Rock name: basalt</p> <ul style="list-style-type: none"> • The rock is plagioclase-pyroxene basalt. The maximum diameter of pyroxene is 5mm. The ground mass shows intersertal texture of volcanic glass, fine plagioclase laths and pyroxene. • The vesicles (amygdaloidal texture) are filled by intergrowth calcite.

Petrography sheet No.4	
Field	Mampulo (Ma01)
Plane-polarized light	
	
Crossed-polarized light	
	
Description	<p>Rock name: Conglomerate</p> <ul style="list-style-type: none"> • The rock consists of quartz granule with matrix of fine quartz and opaque minerals. The quartz granules show sub-round form and undulatory extinction. The grain size of quartz is mainly 2mm in diameter, less 1 mm up to more 5mm. • The matrix shows partially reddish brown color.

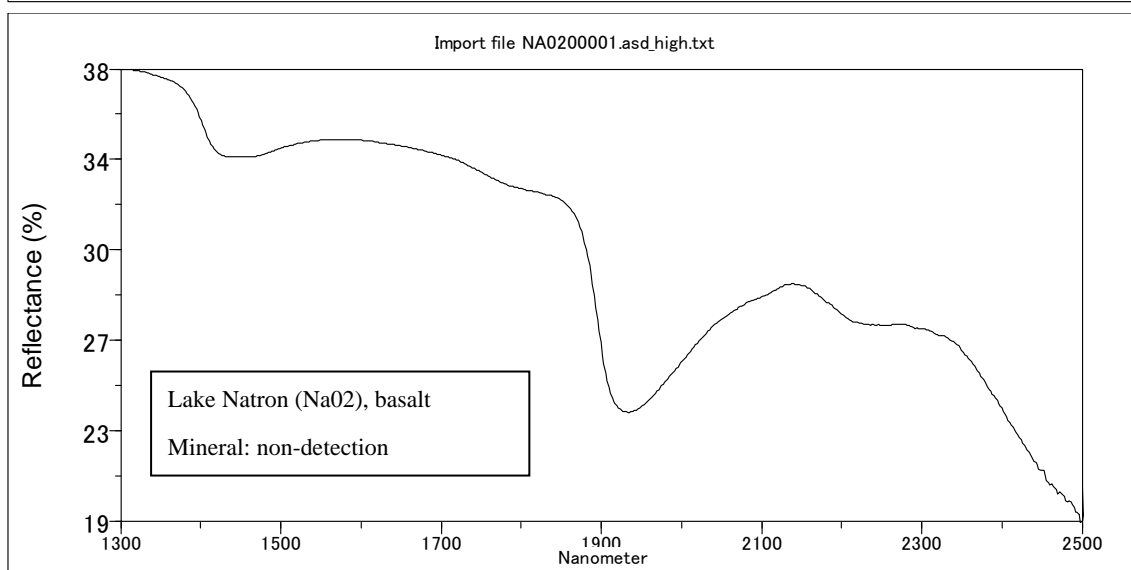
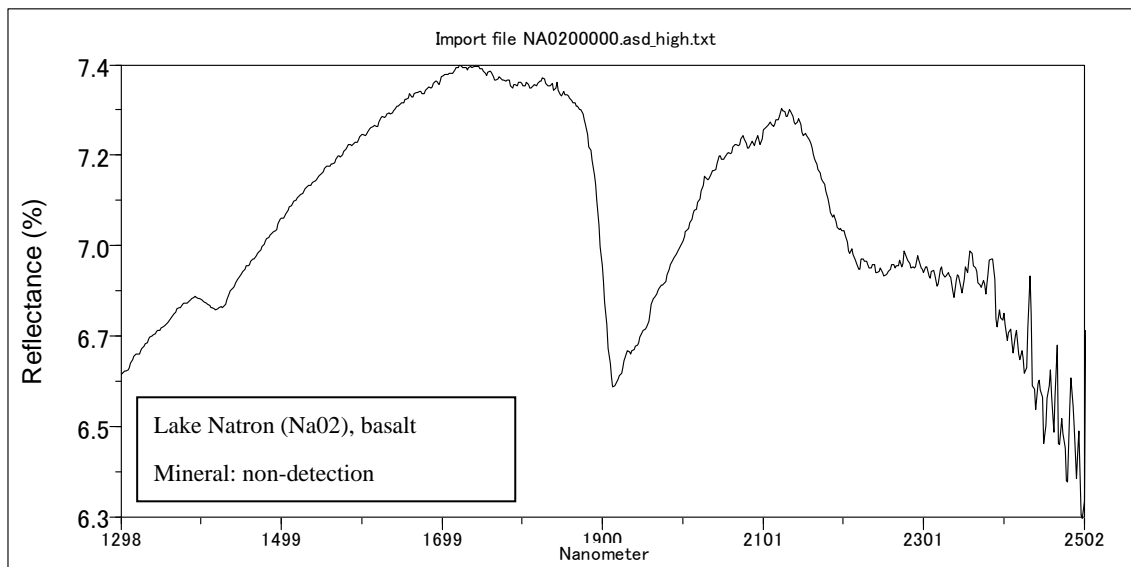
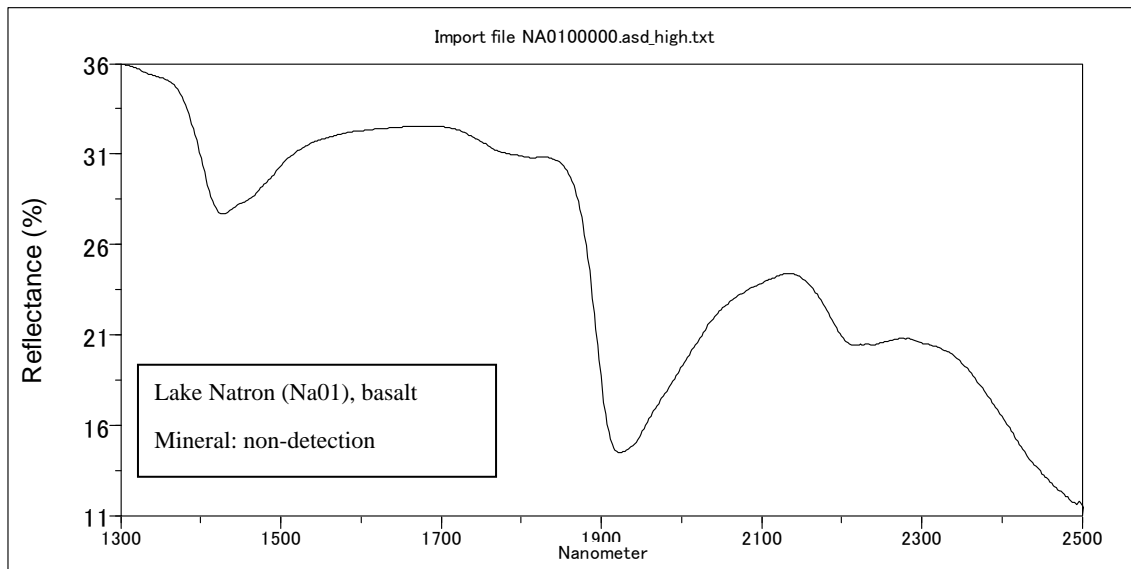
Petrography sheet No.5	
Field	Kasimulu (Ka01a)
Plane-polarized light	
	
Crossed-polarized light	
	
Description	<p>Rock name: sandstone</p> <ul style="list-style-type: none"> • The rock consists of mainly quartz fragments and fine grain matrix. The quartz fragments have sub-rounded to angular forms. The biotite vein with opaque mineral is observed. • The matrix consists of fine quartz and observes brown opaque minerals and clay minerals.

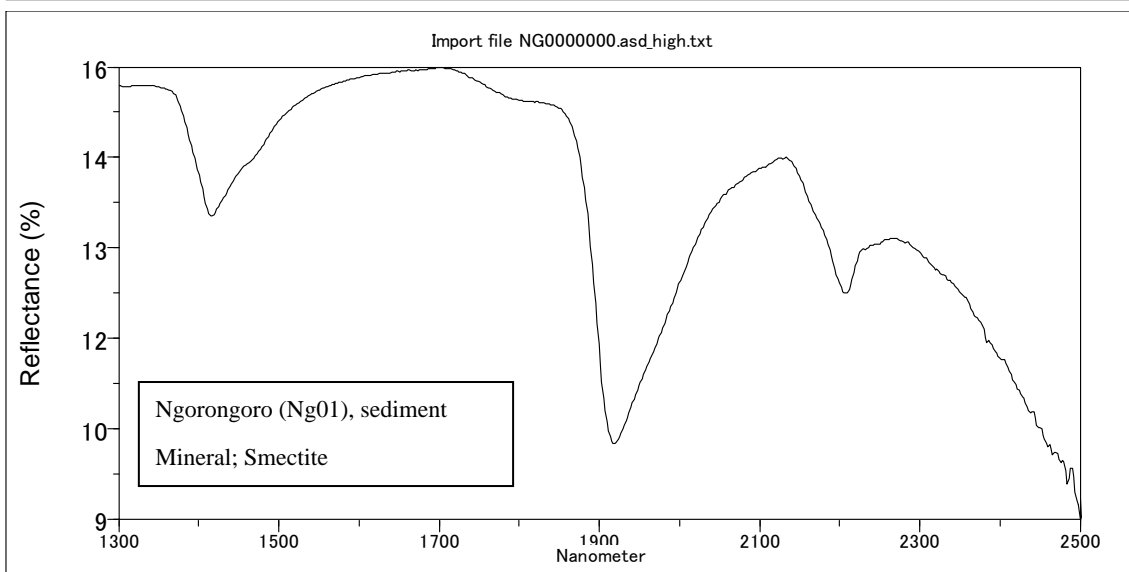
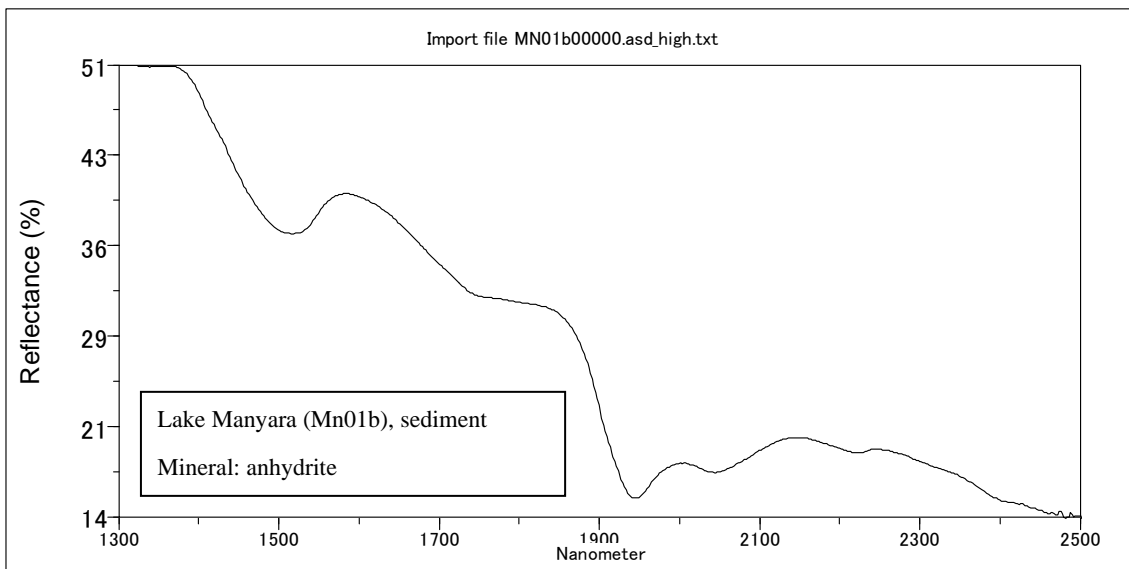
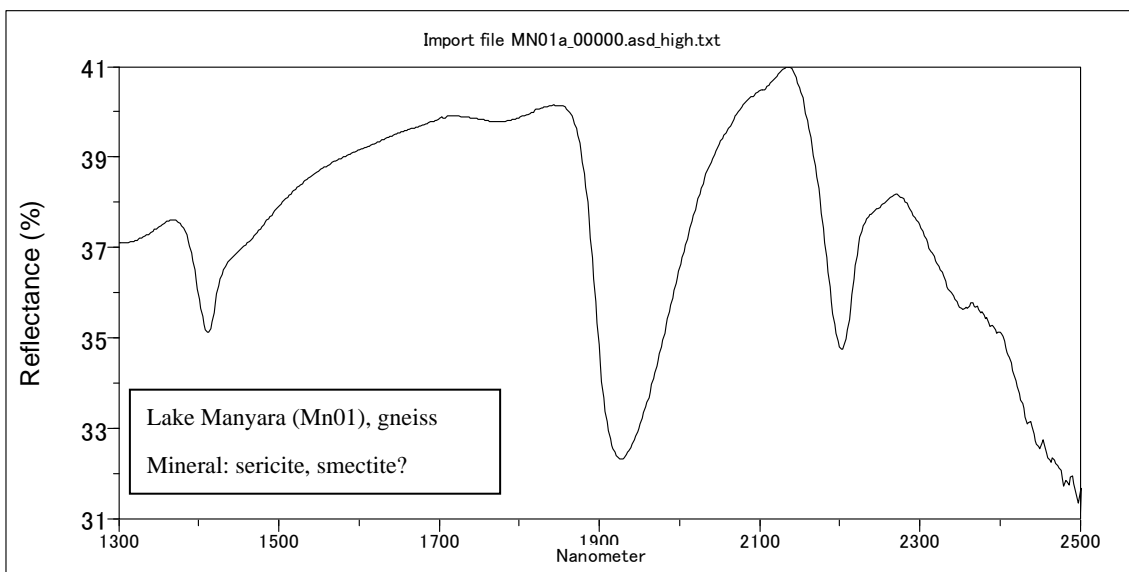
Petrography sheet No.6	
Field	Kasimulu (Ka01b)
Plane-polarized light	
	
Crossed-polarized light	
	
Description	<p>Rock name: Sandstone</p> <ul style="list-style-type: none"> • The grains consist of mainly quartz, irregular form and undulatory extinction. Little opaque minerals in the fine matrix, show aggregate of irregular shape. • Clay mineral and brown opaque mineral are observed.

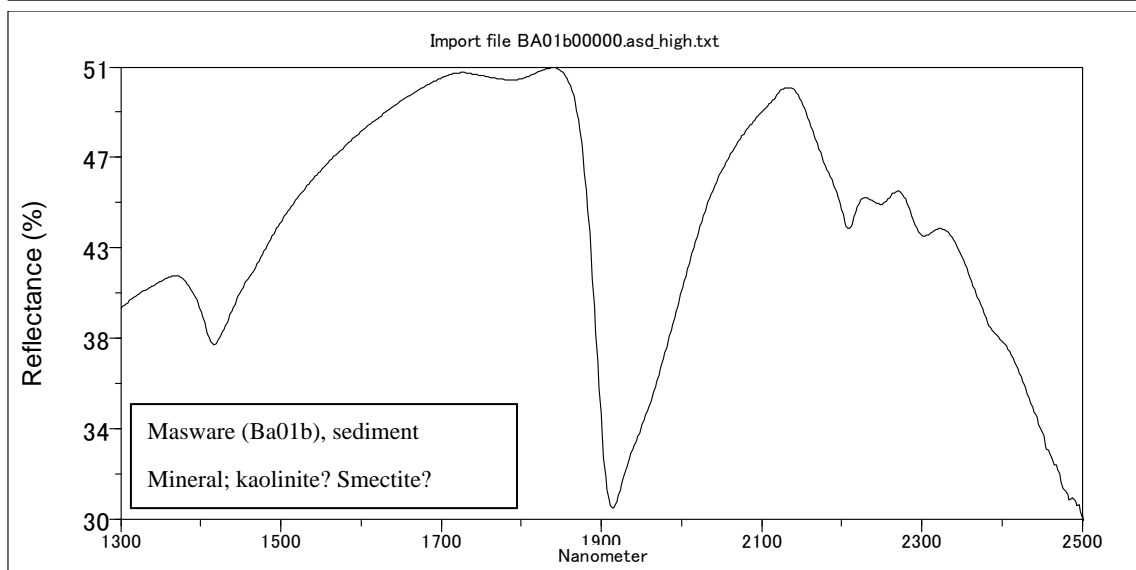
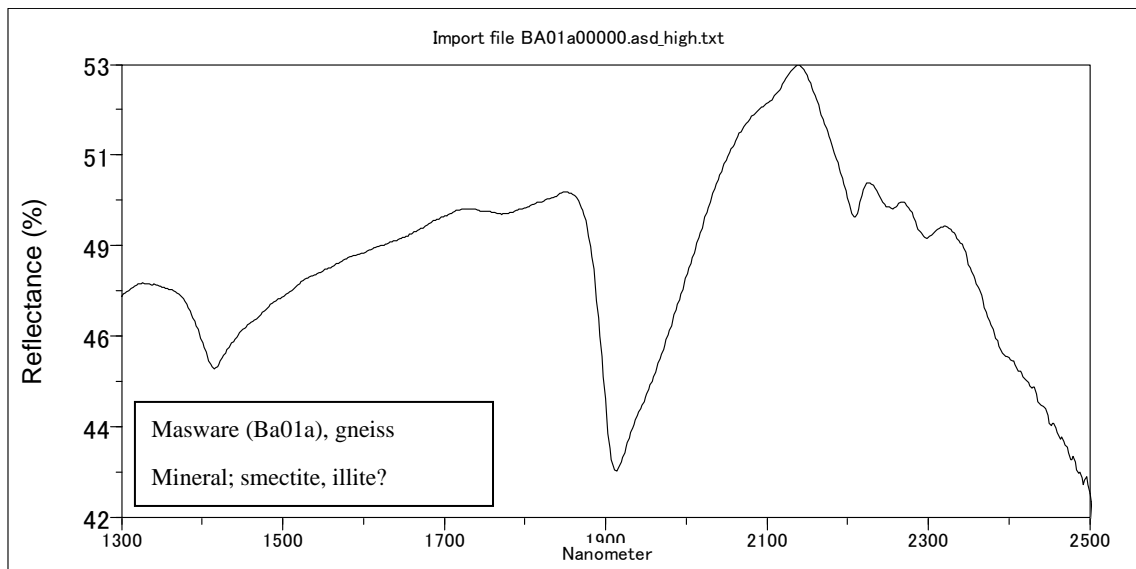
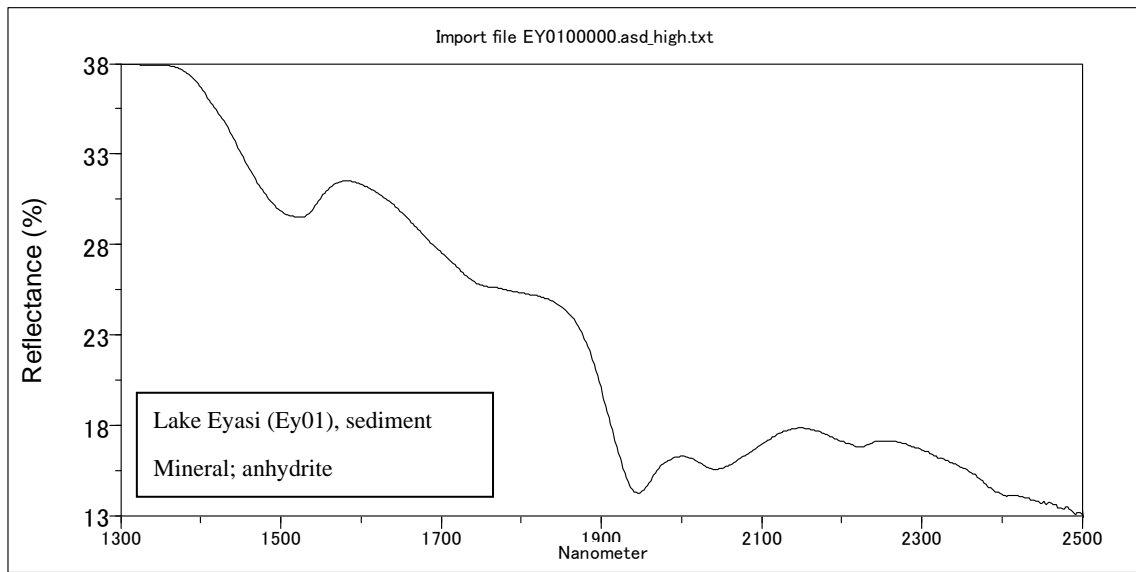
Petrography sheet No.7	
Field	Utete (Ut01a)
Plane-polarized light	
	
Crossed-polarized light	
	
Description	<p>Rock name: silicified rock</p> <ul style="list-style-type: none"> • The rock consists of almost quartz, which forming aggregate of subhedral quartz of 1mm in diameter. • The grain boundaries of quartz show partially corroded form. • Fine quartz, a small amount of fine opaque and clay minerals are observed in the matrix.

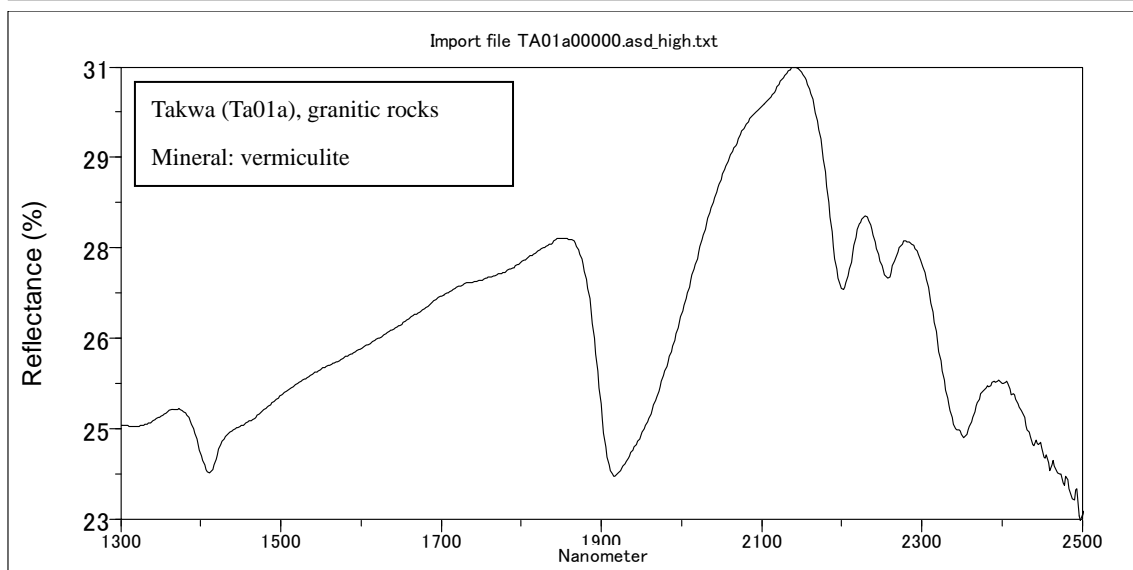
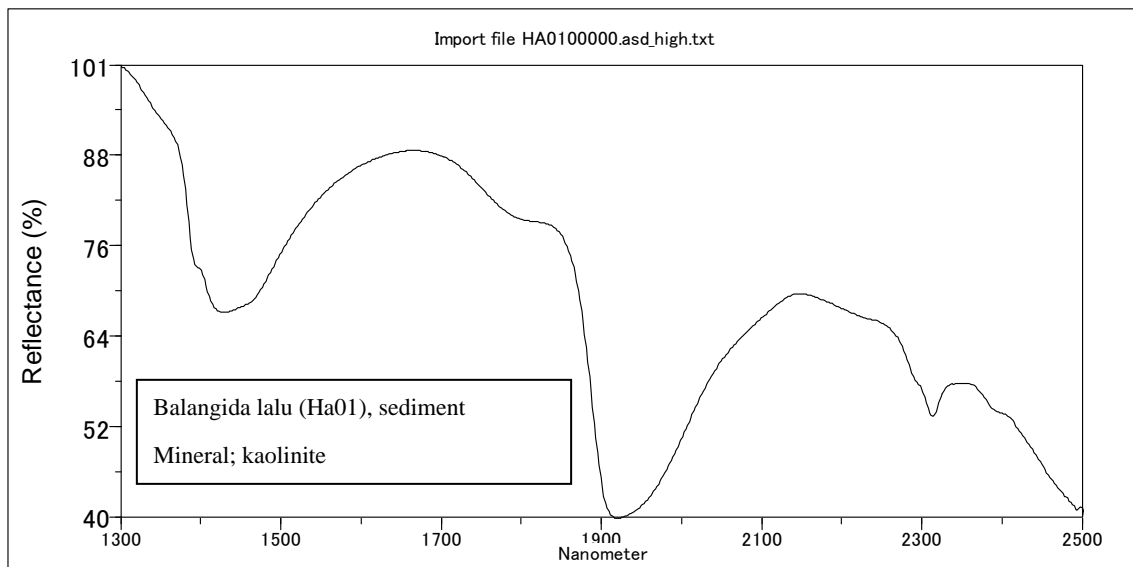
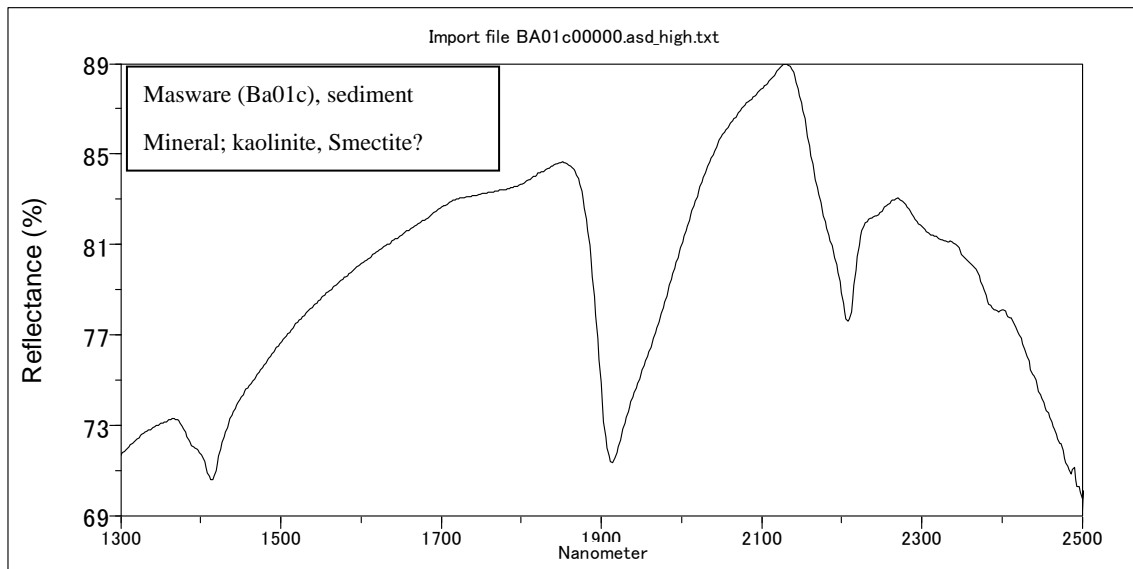
Petrography sheet No.8	
Field	Nyongoni (Ny01)
Plane-polarized light	
	
Crossed-polarized light	
	
Description	<p>Rock name: Travertine</p> <ul style="list-style-type: none"> • The rock consists of calcite, which fine opaque minerals are within the calcite. • The rock shows granular or dendritic texture. The porous texture which inferred to form in precipitation process is observed.

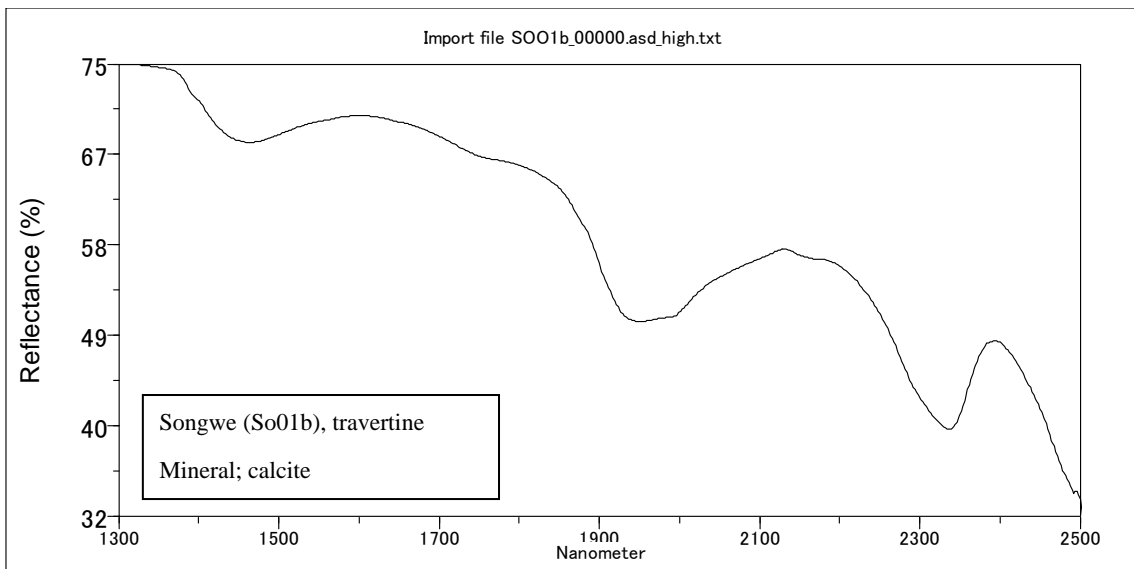
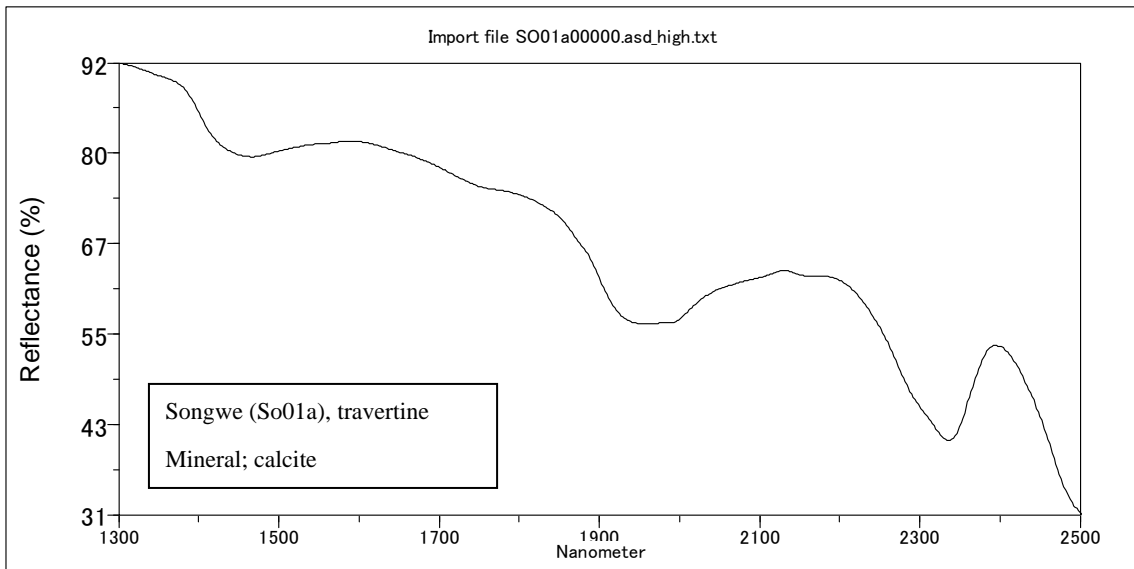
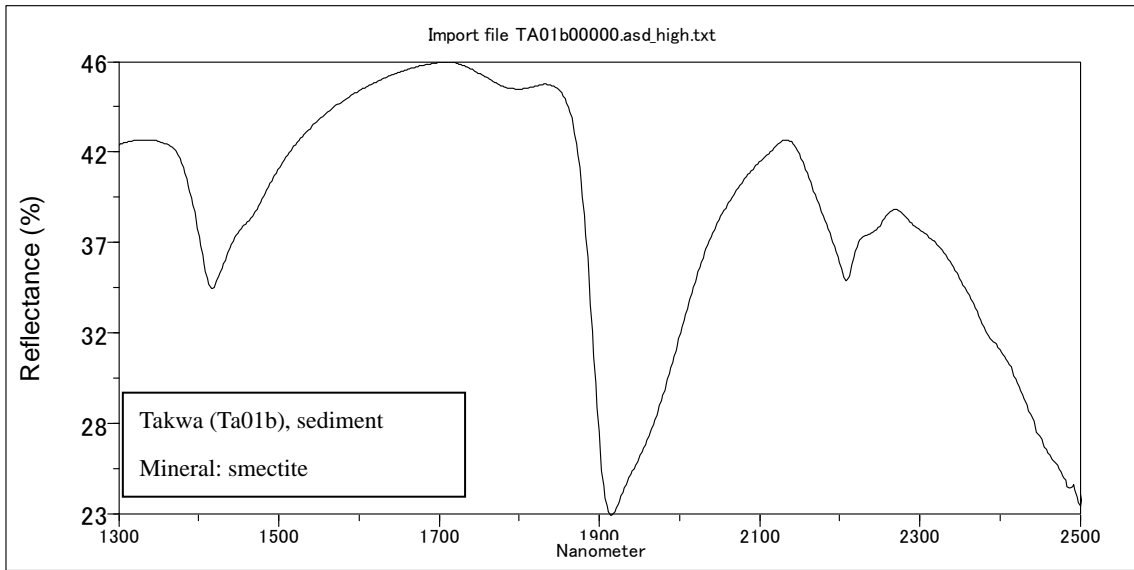
3. スペクトル測定結果

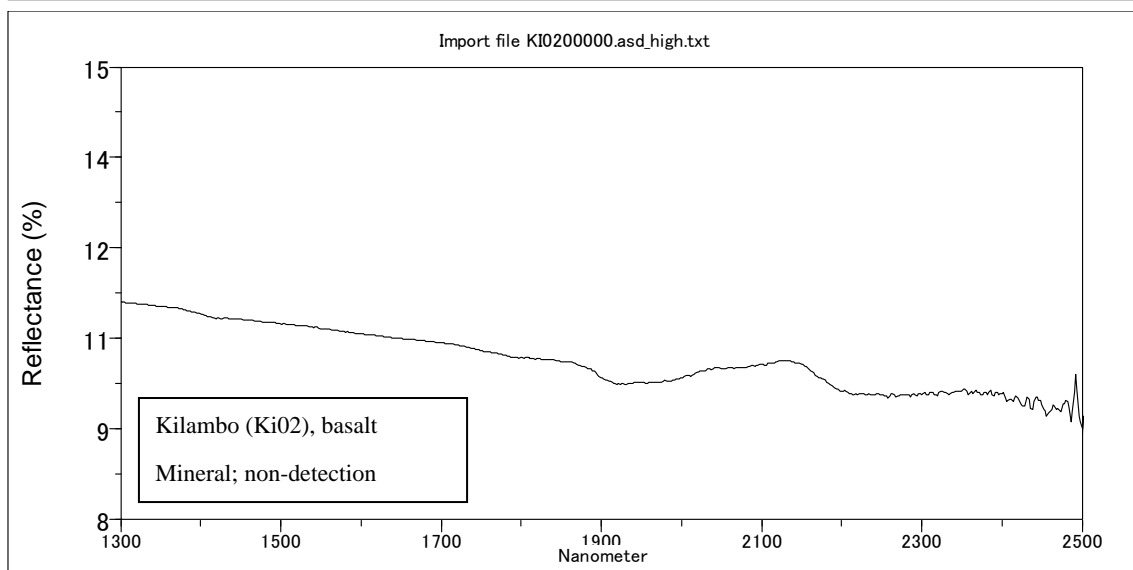
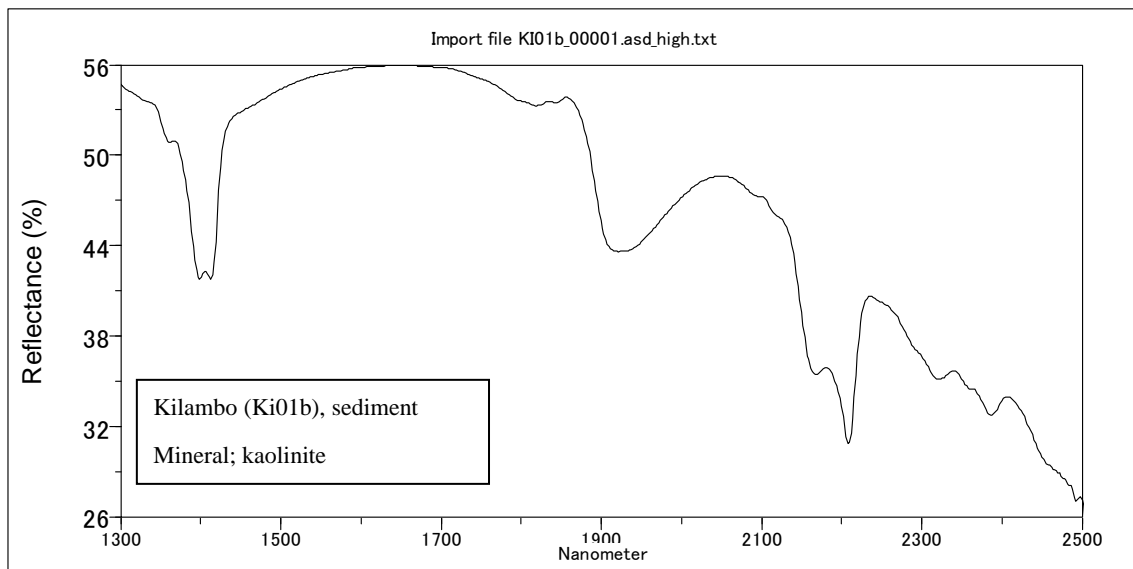
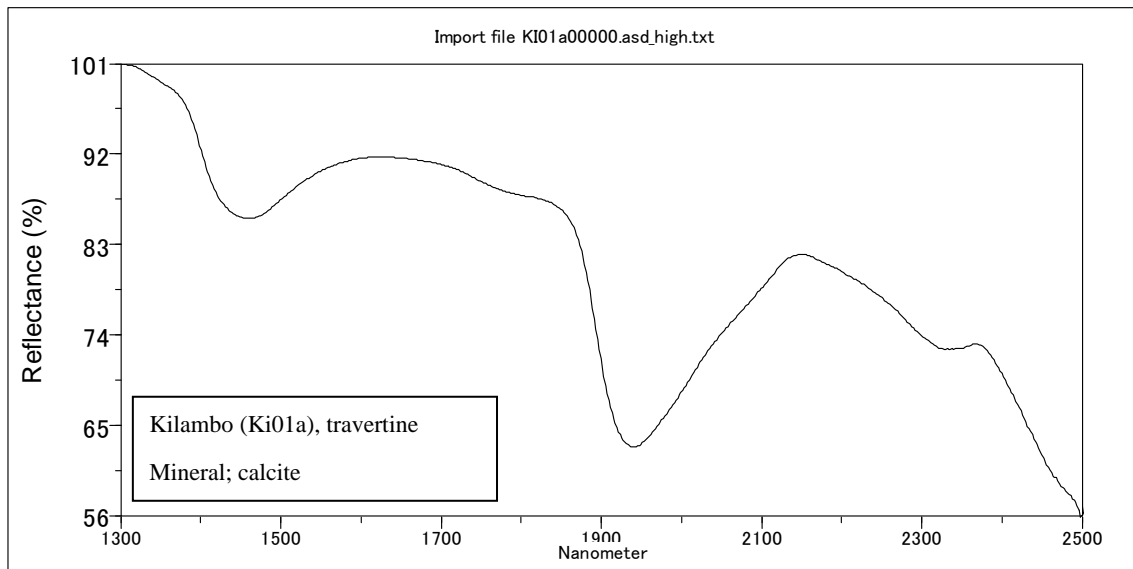


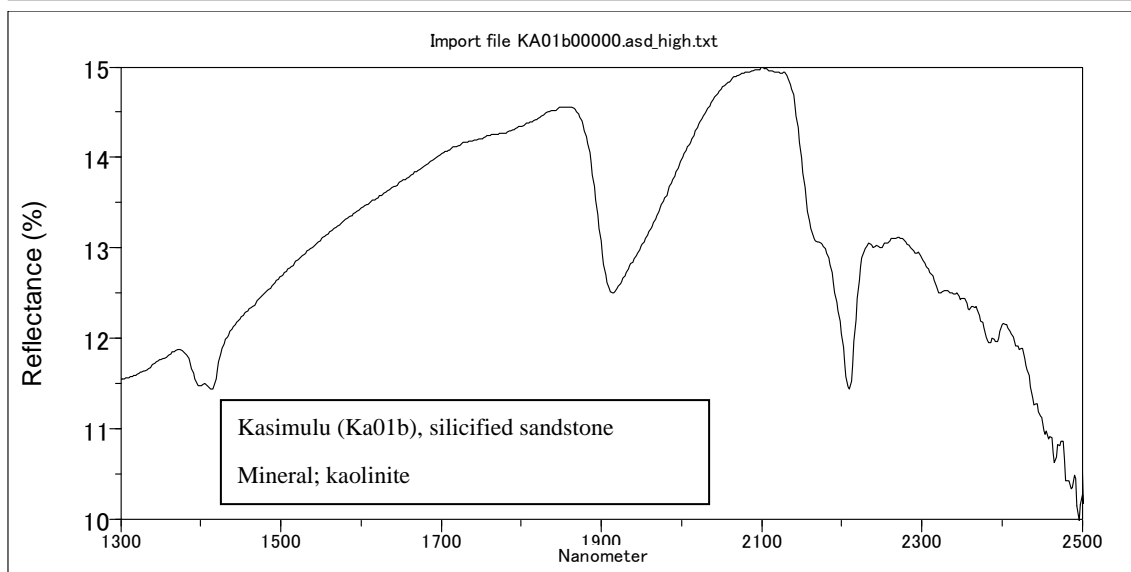
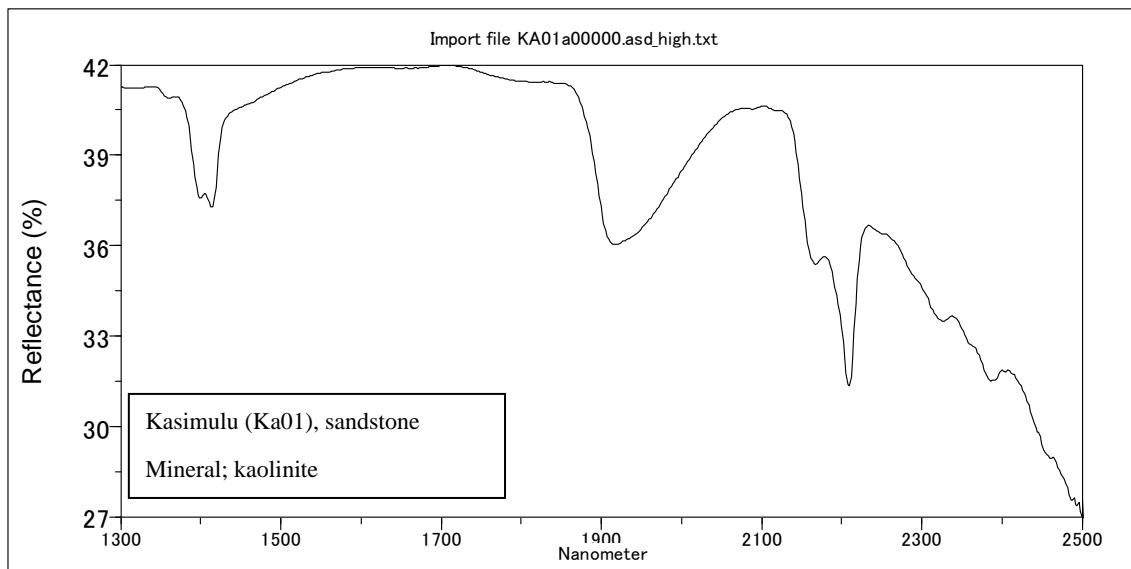
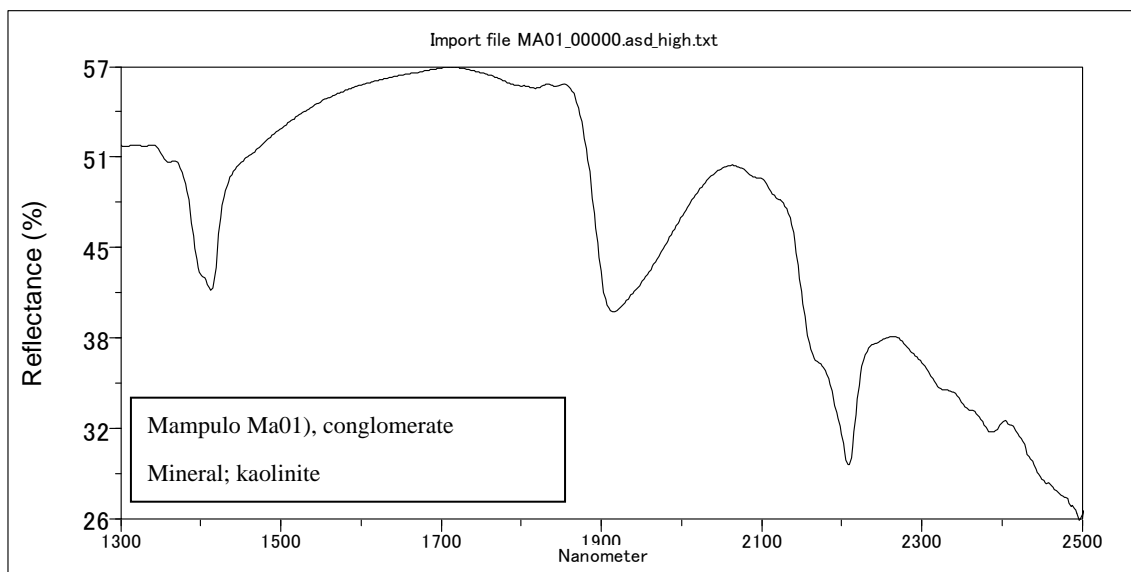


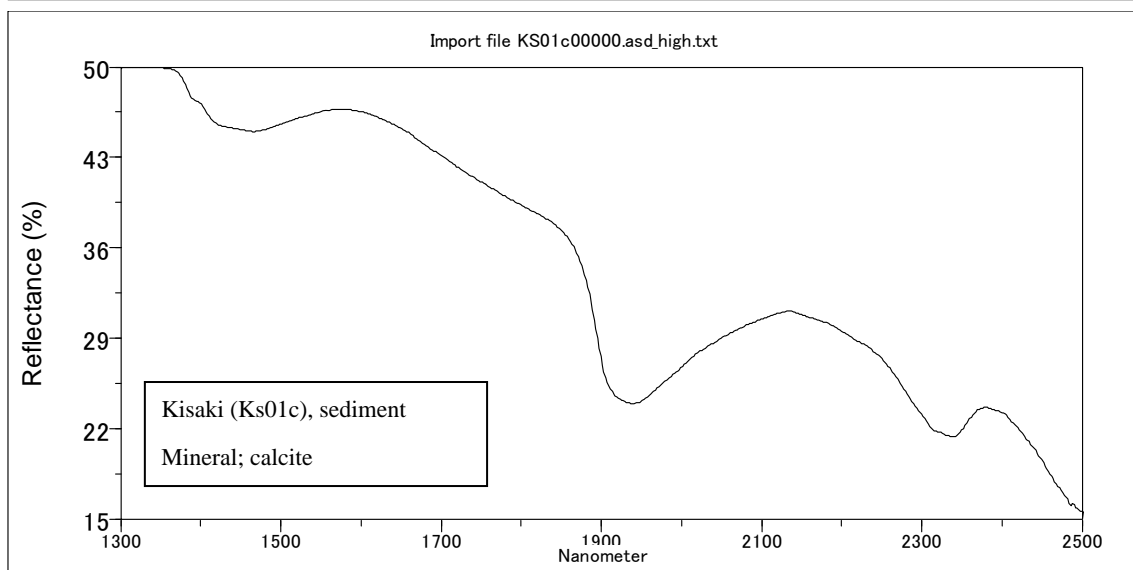
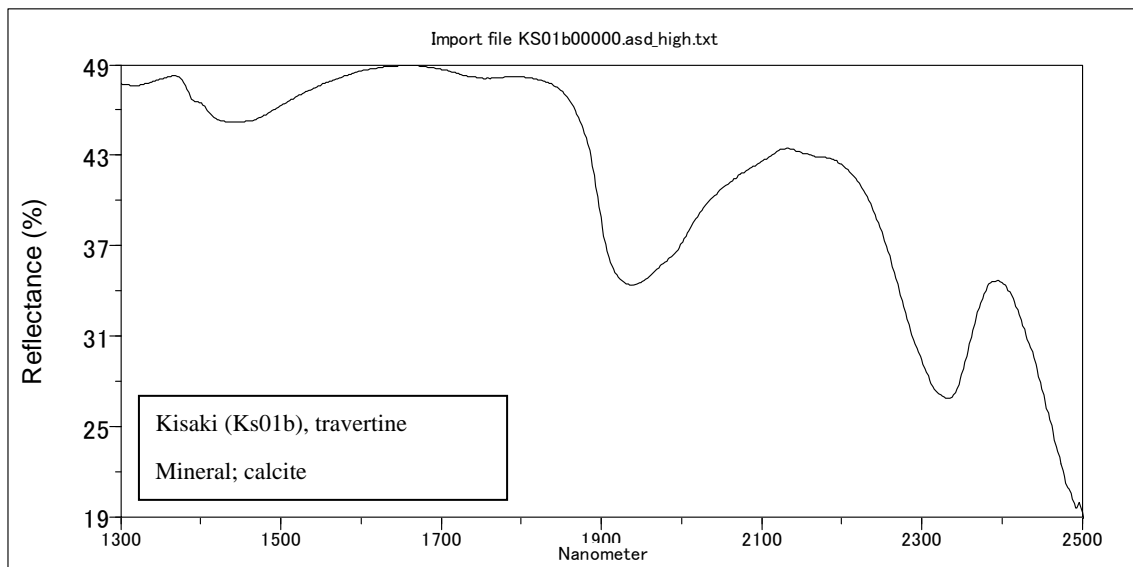
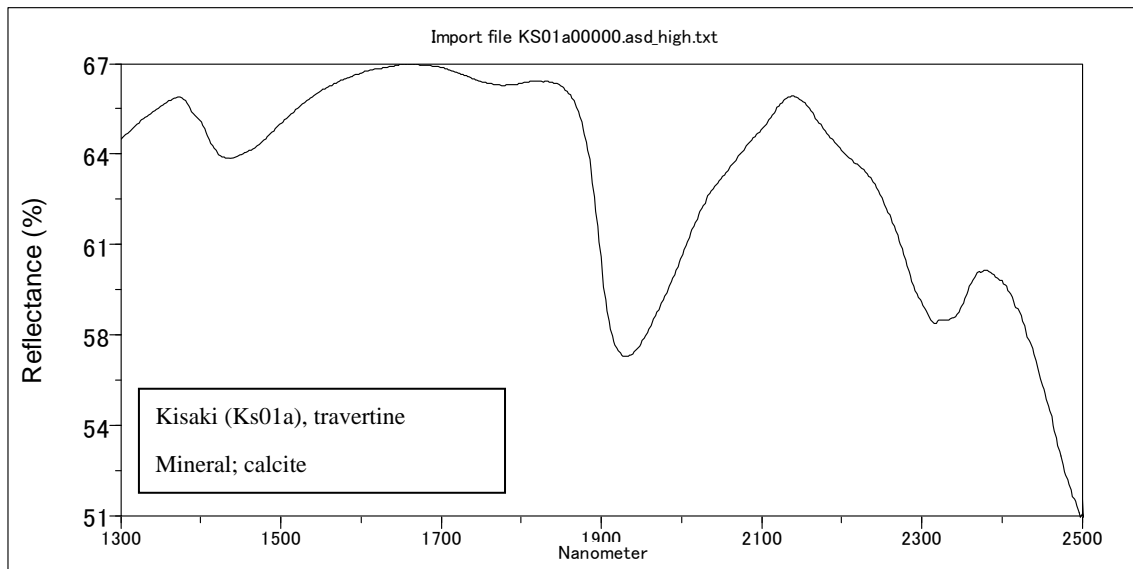


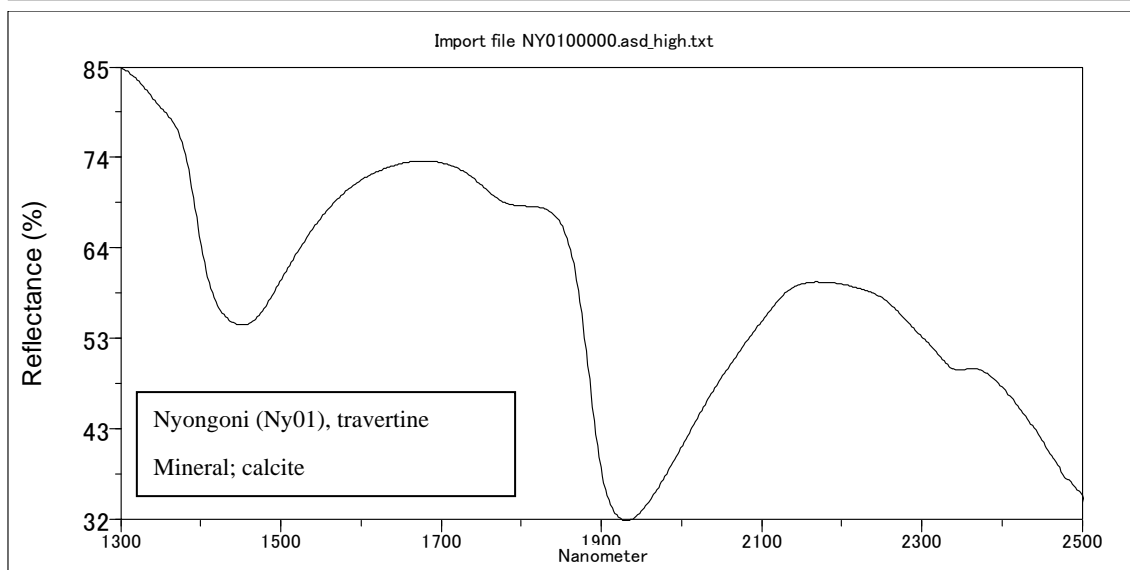
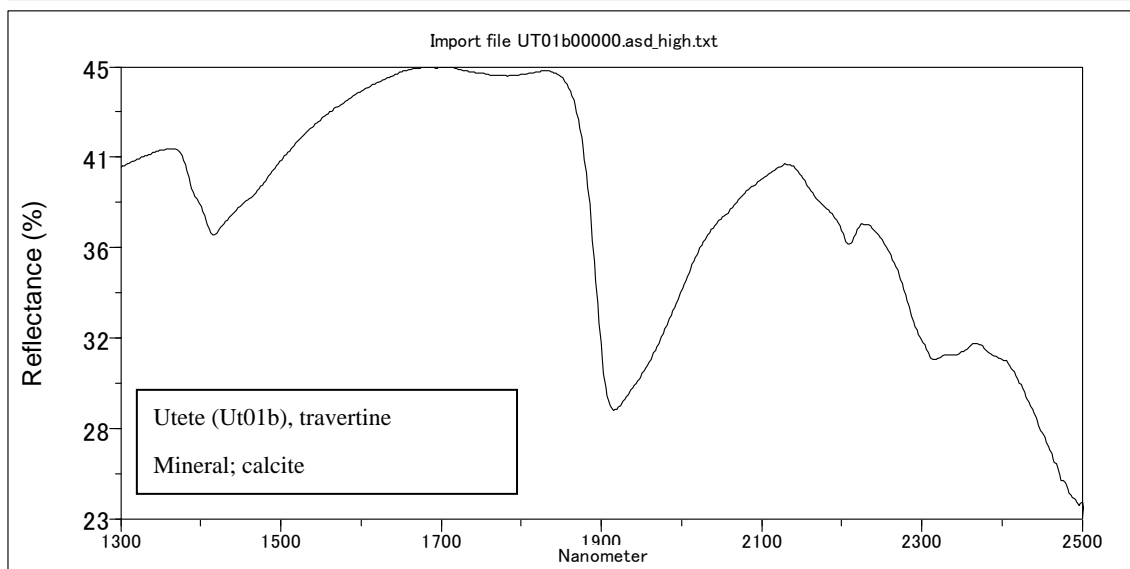
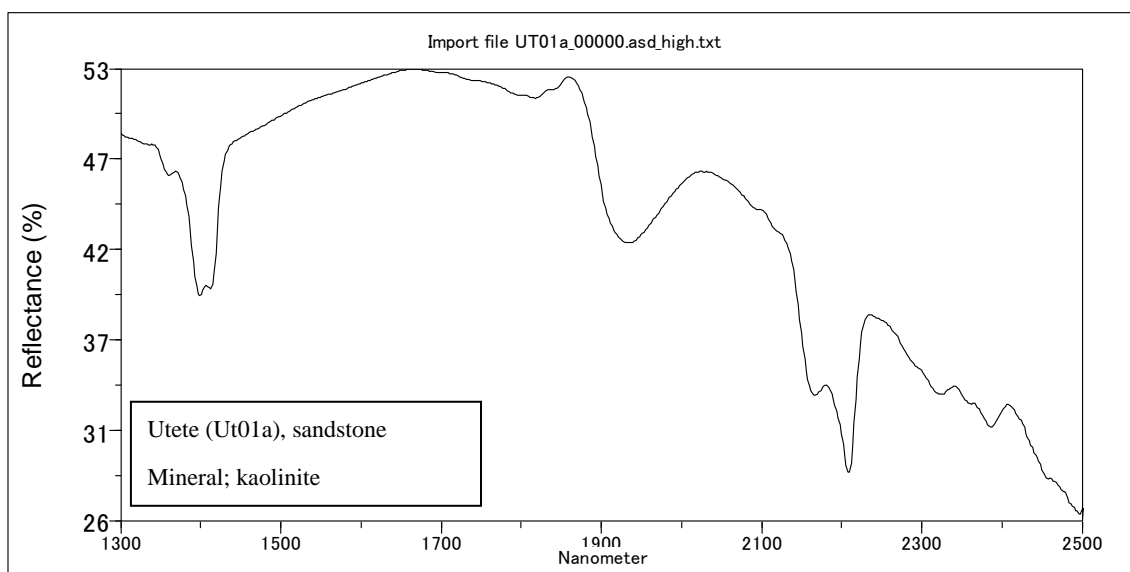












4. 温泉水の化学分析値（既存データ）

Spring Area	Temp. °C	pH F ¹⁾ pH L	HCO ₃ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	F mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Si mg/l	SiO ₂ mg/l	Ref.
Coastal Basin and Northern Rift System													
Tanga													
<i>Kidugaro</i>	37	6.6/7.0	620	1,100	63	0.8	192	21	700	49	14	29	G
Lake Natron													
<i>East</i>	38-50	8.9	3,780	940	145	24	2	1	2,280	56	n.a.	30	D
<i>Central</i>	35	9.3/9.4	25,000	2,040	1,730	350	2	0.5	10,800	617	50	106	G
<i>West</i>	32	10/10	3,800	1,070	136	22	0.8	0.1	2,080	34	11	23	G
Ngorogoro													
	32	7.6	268	12	2	1.4	4.5	11	61	12	n.a.	110	D
Lake Manyara													
	69	9.9	>1,100	235	30	n.a.	2	2	580	n.a.	n.a.	98	A
Lake Eyasi													
	42	9.3	3,390	4,810	680	59	1	1	5,440	50	n.a.	44	D
Musoma													
<i>Maji Moto</i>	60	9.4	1,832	1,140	445	20	1	1	1,980	33	n.a.	98	D
West Lake													
<i>Mtagate</i>	53	8.1	44	14	18	1	13	1	20	3	n.a.	50	C
Central Craton Precambrium Terrain-Rufiji Basin													
Dodoma - Singida - Kondoa	31-47	7.2-8.9	121-590	48-770	37-360	0.8-9.5	2.3-110	0.1-27	93-915	2-49	n.a.	29-56	D
		7.5-8.9											
<i>Max-Min values from 8 analyses representing 7 different springs</i>													
Rufiji Valley													
<i>Maji y Weta</i>	70	8.5	750	160	300	n.a.	40	32	815	n.a.	n.a.	65	C
<i>Utete</i>	55	7.5	756	147	280	4.3	16	5.8	510	20	n.a.	40	D
<i>Luhoi</i>	50-75	na	na	na	na	na	22.4	na	2,472	176	15.3	n.a.	F
Southern Rift System													
Lake Rukwa													
<i>Ivuna</i>	60	8	200	2,040	225	7	78	17	1,320	76	n.a.	100	E
Songwe River													
<i>Rambo</i>	86	6.6/7.5	1920	215	170	9	23	8	840	93	n.a.	68	D
<i>Main</i>	72	6.7/7.4	2000	197	168	7.6	39	16	773	100	35	75	G
<i>Marlo</i>	53	6.7/7.2	2000	225	175	8.8	44	9	823	90	32	69	G
Nyasa Basin													
<i>Kilambo</i>	59	6.7/7.2	3840	350	405	2.7	30	12	1810	64	n.a.	120	D
<i>Kasimulu</i>	61	6.7/7.1	3070	220	360	2	63	19	1330	74	n.a.	130	D
<i>Kalambo</i>	58	6.8/7.0	2610	410	230	3.2	73	34	1170	75	n.a.	120	D
<i>Mampulo</i>	63	7.2	1425	135	230	na	36	18	910	na	n.a.	125	B

Note: 1) F= field analyzed、 L= laboratory analyzed References: A. Harris 1951 – B. Harkin 1960 – C. Walker 1969 – D. SWECO 1978 – E. Makundi and Kifua 1985 – F. First Energy Company Ltd 1999 – G. SWECO 2004 (DECON-SWECO, 2005)

5. 温泉水の化学分析値から計算された地化学温度（既存データ）

Spring area Name	Temp °C	Silica °C	Chalcedony °C	Na-K °C	Na-K-Ca °C	F mg/l	CO ₂ ⁴⁾ mg/l	Ref.
Coastal Basin and Northern Rift System								
Tanga								
<i>Kidugaro</i>	37	78-83 ¹⁾	47	146-152 ²⁾	167	0.8	<0.1	C
L. Natron								
<i>East</i>	38-50	80	48	n.a.	172	24	0	A
<i>Central 1</i>	35	136-140	114	127-134	257	350	<0.1	C
<i>Central 2</i>	28	81-85	48	114-122	210	27	<0.1	C
<i>West</i>	32	69-74	37	40-51	159	22	<0.1	C
Ngorogoro	32	143	116	279	215	1.4	12	A
<i>(Caldera)</i>								
L Manyara	69	107	109	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	B
L Eyasi	42	55	66	n.a.	144	59	0	A
Musoma								
<i>Maji Moto</i>	60	123	109	n.a.	156	20	0	A
Central Craton Precambrium Terrain-Rufiji Basin								
Dodoma - Singida - Kondo	31-47	78-107	n.a.	n.a.	58-116	1-10	1-21	A
	<i>Max-Min values from 8 analyzes representing 7 different springs</i>							
Rufiji Valley								
<i>Maji y Weta</i>	70	91	86	136	177	7.2	74	A
<i>Utete³⁾</i>	55	90-92	61	n.a.	154-157	4.3	69	A
<i>Luhoi</i>	50-75	n.a.	n.a.	140	210	n.a.	n.a.	D
Southern Rift System								
Songwe River								
<i>Rambo 1</i>	86	117	88	196	216	9	110	A
<i>Rambo 2</i>	83	111	88	189	213	9.1	222	A
<i>Rambo 3</i>	73	128	88	216	217	7.3	181	A
<i>Main</i>	72	120-121	93	216-217	219	7.6	<1	C
<i>Marlo</i>	53	117-118	89	195-198	209	8.8	94	C
Nyasa Basin								
<i>Kilambo 1³⁾</i>	64	148-161	122	113-119	176-177	1.9	245	A
<i>Kilambo 2³⁾</i>	59	148-161	122	88-103	164-176	2.7	439	A
<i>Kasimulu 1</i>	61	152	127	124	176	2	441	A
<i>Kasimulu 2</i>	58	140	127	126	180	1.8	208	A
<i>Kalambo³⁾</i>	58	148-161	122	144	189	3.2	73	A

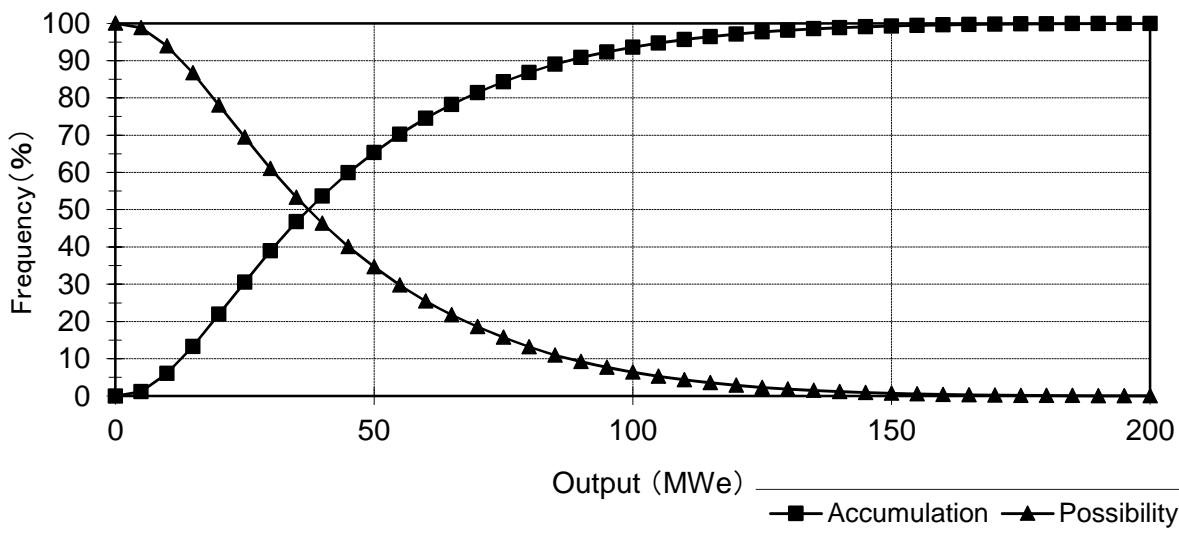
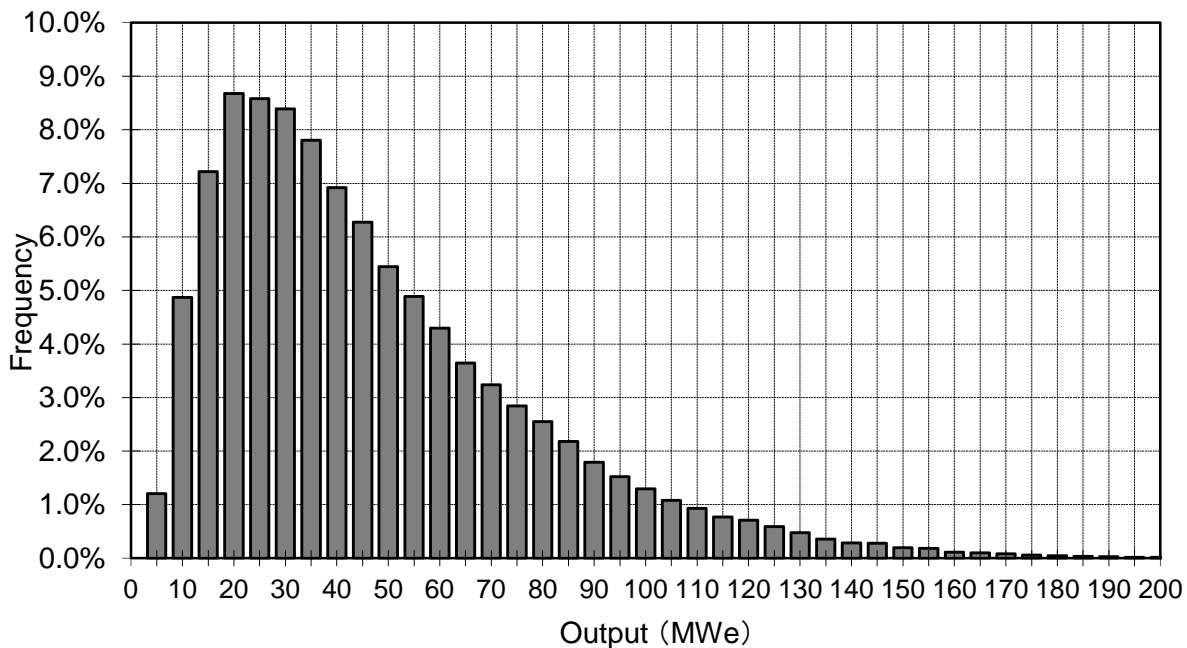
- 1) Higher ref C values represent adiabatic and lower values conductive conditions.
- 2) Higher ref C values according to White and Ellis and lower according to Fournier and Truesdell.
- 3) Analyses on duplicate samples.
- 4) CO₂ are all calculated values.

References: A. SWECO 1978 - B. Hochstein et al. 2000 - C. SWECO 2004 - D. First Energy Company Ltd 1999
(modified from DECON-SWECO, 2005)

6. 温泉水の地化学温度計算式一覧

T-SiO ₂ (adia.)	$\frac{1522}{5.75 - \log(T - \text{SiO}_2)} - 273.15$	T-SiO ₂ : mg/L	Fournier (1977)
T-SiO ₂ (cond.)	$\frac{1309}{5.19 - \log(T - \text{SiO}_2)} - 273.15$	T-SiO ₂ : mg/L	Fournier (1977)
T-SiO ₂ (chal.)	$\frac{1032}{4.69 - \log(T - \text{SiO}_2)} - 273.15$	T-SiO ₂ : mg/L	Fournier (1977)
T-SiO ₂ (α-crist.)	$\frac{1000}{4.78 - \log(T - \text{SiO}_2)} - 273.15$	T-SiO ₂ : mg/L	Fournier (1977)
T-SiO ₂ (amor.)	$\frac{731}{4.52 - \log(T - \text{SiO}_2)} - 273.15$	T-SiO ₂ : mg/L	Fournier (1977)
TNa-K (Truesdell)	$\frac{856}{0.857 + \log(\text{Na}/\text{K})} - 273.15$	Na, K: mg/L	Truesdell (1976)
TNa-K (Fournier)	$\frac{1217}{1.483 + \log(\text{Na}/\text{K})} - 273.15$	Na, K: mg/L	Fournier (1977)
TNa-K-Ca	$\frac{1647}{\log(\text{Na}/\text{K}) + \beta \times \log(\sqrt{\text{Ca}}/\text{Na}) + 2.24} - 273.15$		Fournier and Truesdell (1973)
	$\sqrt{\text{Ca}}/\text{Na} < 1 \text{ または } \frac{1647}{\log(\text{Na}/\text{K}) + 4/3 \times \log(\sqrt{\text{Ca}}/\text{Na}) + 2.24} - 273.15 > 100 \text{ の時}$		
	$\beta = 1/3, \text{ それ以外の時, } \beta = 4/3$	Na, K, Ca: mol/L	
Tna-K-Ca-Mg	$\frac{1647}{\log(\text{Na}/\text{K}) + \beta \times \log(\sqrt{\text{Ca} + \text{Mg}}/\text{Na}) + 2.24} - 273.15$		Fournier and Truesdell (1973)
	$\sqrt{\text{Ca}}/\text{Na} < 1 \text{ または } \frac{1647}{\log(\text{Na}/\text{K}) + 4/3 \times \log(\sqrt{\text{Ca}}/\text{Na}) + 2.24} - 273.15 > 100 \text{ の時,}$		
	$\beta = 1/3, \text{ それ以外の時, } \beta = 4/3$	Na, K, Ca, Mg: mol/L	
TΔMg	<p>1) この温度計はT-NaKにMg補正を加えるものである。</p> <p>2) TNa-K-Ca<70°Cの時は適用されない。</p> <p>3) R(右式参照)>50の時もこの温度計は適用されない。</p> <p>4) $5 \leq R \leq 50$の時 $\Delta t_{\text{Mg}} = 10.66 - 4.7415 \times R + 325.85 \times (\log R)^2 - 1.032 \times 10^5 \times$</p>	$R = \frac{\text{Mg}}{\text{Mg} + \text{Ca} + \text{K}} \square 100$	K, Ca, Mg: meq/L
	$T = \text{TNa-K-Ca (K)}$		
	5) $0.5 < R < 5$ の時、 $\Delta t_{\text{Mg}} = -1.03 + 59.971 \times \log R + 145.05 \times (\log R)^2 - 36711 \times$		
	$\frac{(\log R)^2}{T} - 1.67 \times 10^7 \times \log R / T^2$		
	6) 4), 5)で計算した $\Delta t_{\text{Mg}} < 0$ の時、または $R < 0.5$ の時、この温度計は適用されない。		
	7) $T\Delta\text{Mg} = \text{"TNa-K-Ca"} - \Delta t_{\text{Mg}}$	Fournier and Potter (1979)	
TKMg	$\frac{4410}{13.95 - \log(\text{K}^2/\text{Mg})} - 273.15$	K, Mg: mg/L	Giggenbach (1988)

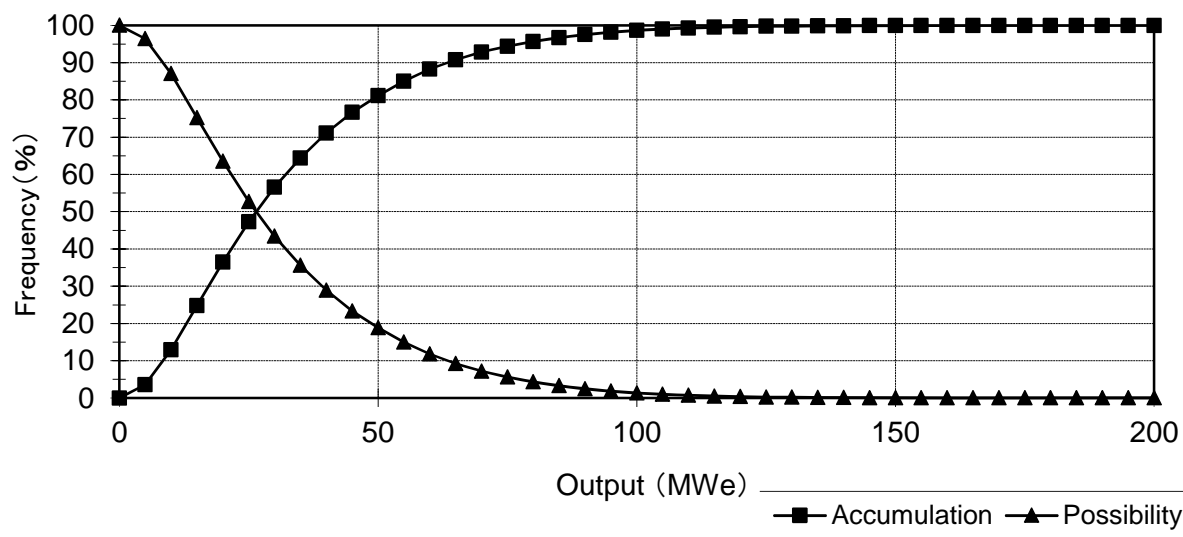
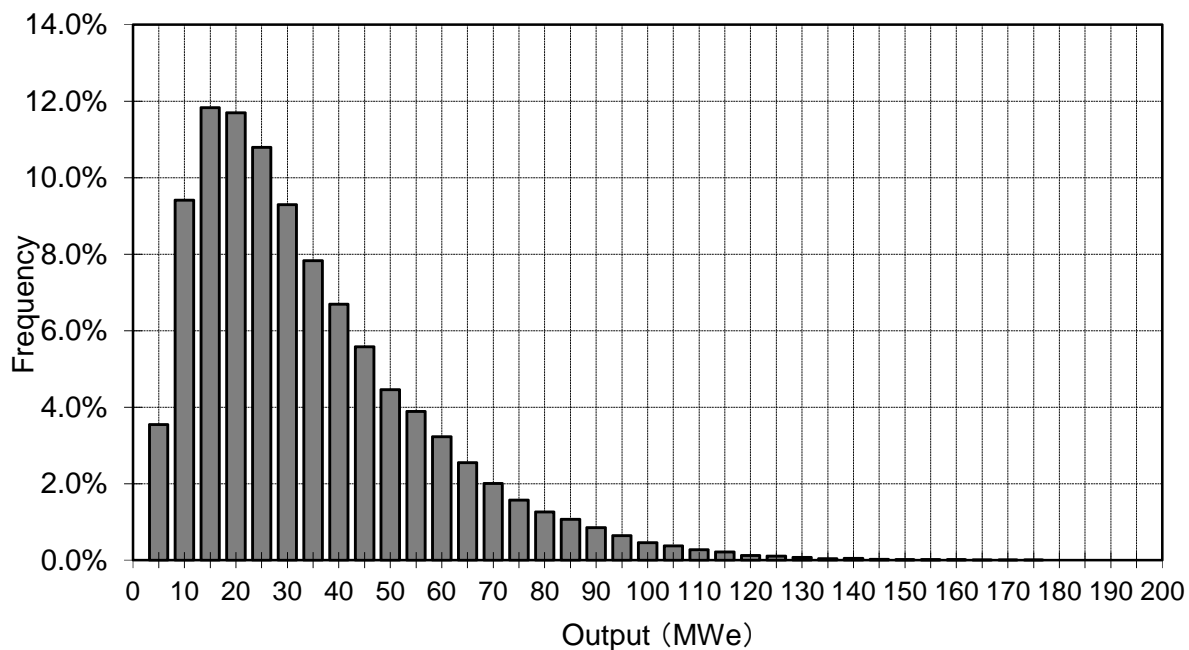
7. モンテカルロ解析を適用した容積法による地熱資源量計算結果



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	6.00	-	24.00
Reservoir Thickness (m)	1800	2000	2200
Rock Density (kg/m ³)	2400	2600	3000
Porosity (-)	0.01	0.05	0.10
Recovery factor (-)	0.025	-	0.125
Rock Specific Heat (kJ/kg°C)	0.70	-	1.00
Reservoir Average Temperature (°C)	170	190	210
Reservoir Average Pressure (MPa)	-	10.0	-
Heat-Electricity Conversion Factor (%)	1.9%	6.3%	11.4%
Plant Life (year)	-	30	-
Load Factor (-)	-	0.85	-
Abandonment Temperature (°C)	-	80	-

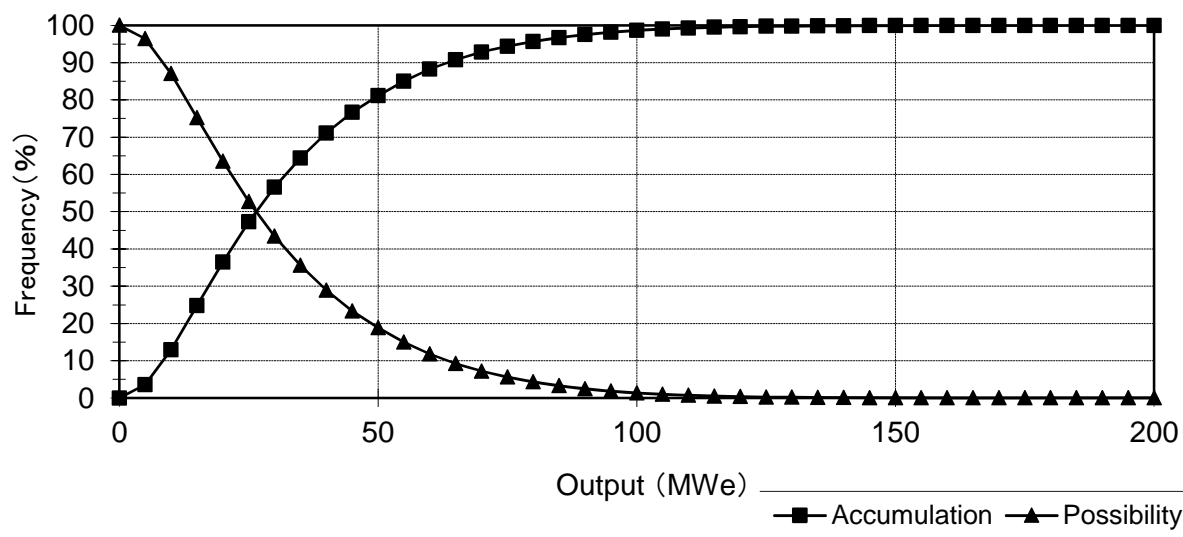
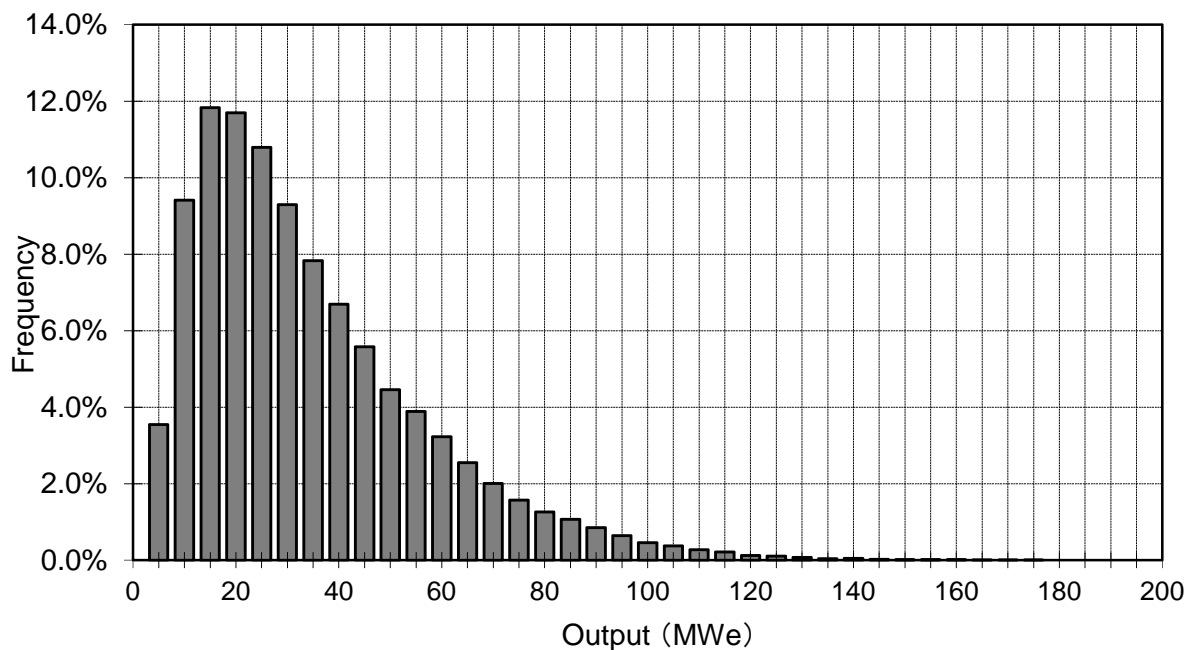
Probability Distribution of the Geothermal Potential for Lake Natron



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	6.00	-	24.00
Reservoir Thickness (m)	1800	2000	2200
Rock Density (kg/m ³)	2400	2600	3000
Porosity (-)	0.01	0.05	0.10
Recovery factor (-)	0.025	-	0.125
Rock Specific Heat (kJ/kg°C)	0.70	-	1.00
Reservoir Average Temperature (°C)	140	160	180
Reservoir Average Pressure (MPa)	-	10.0	-
Heat-Electricity Conversion Factor (%)	1.9%	6.3%	11.4%
Plant Life (year)	-	30	-
Load Factor (-)	-	0.85	-
Abandonment Temperature (°C)	-	80	-

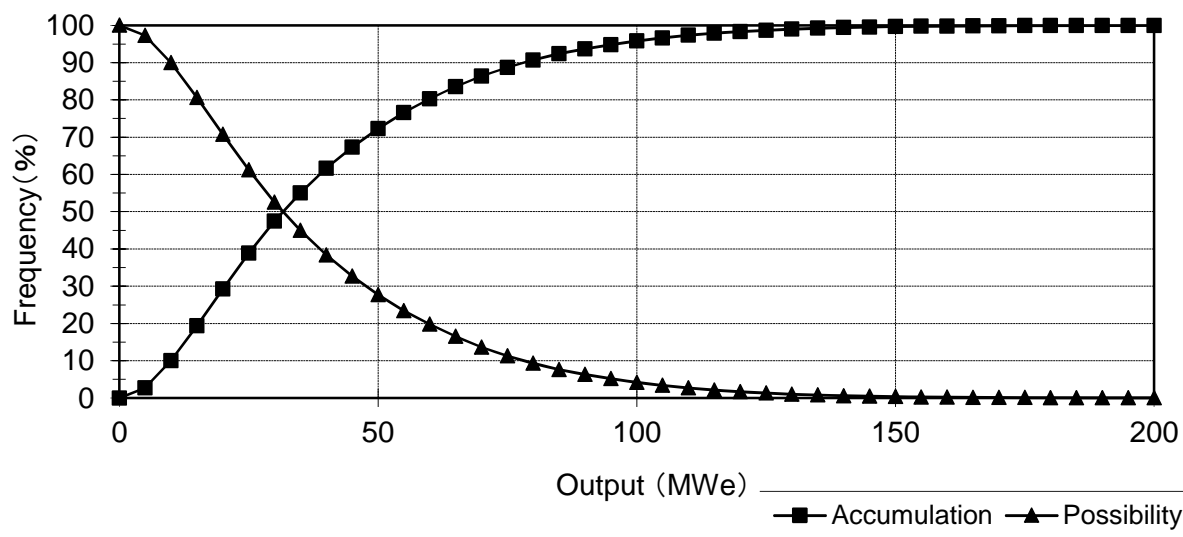
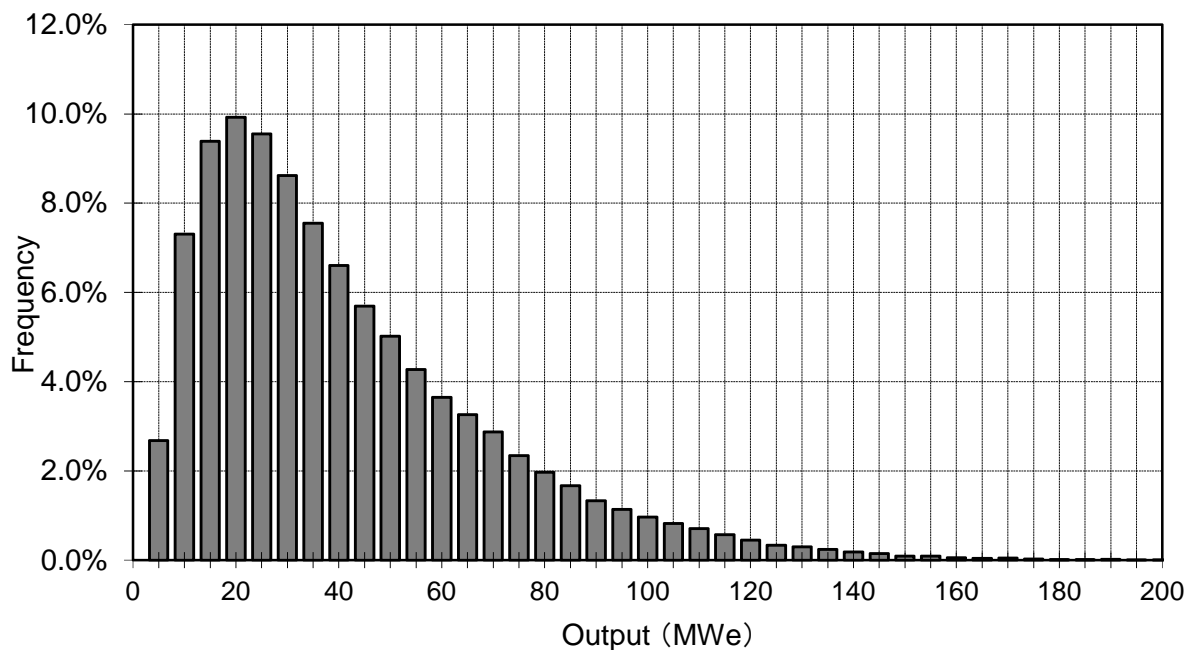
Probability Distribution of the Geothermal Potential for Lake Manyara



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	6.00	-	24.00
Reservoir Thickness (m)	1800	2000	2200
Rock Density (kg/m ³)	2400	2600	3000
Porosity (-)	0.01	0.05	0.10
Recovery factor (-)	0.025	-	0.125
Rock Specific Heat (kJ/kg°C)	0.70	-	1.00
Reservoir Average Temperature (°C)	140	160	180
Reservoir Average Pressure (MPa)	-	10.0	-
Heat-Electricity Conversion Factor (%)	1.9%	6.3%	11.4%
Plant Life (year)	-	30	-
Load Factor (-)	-	0.85	-
Abandonment Temperature (°C)	-	80	-

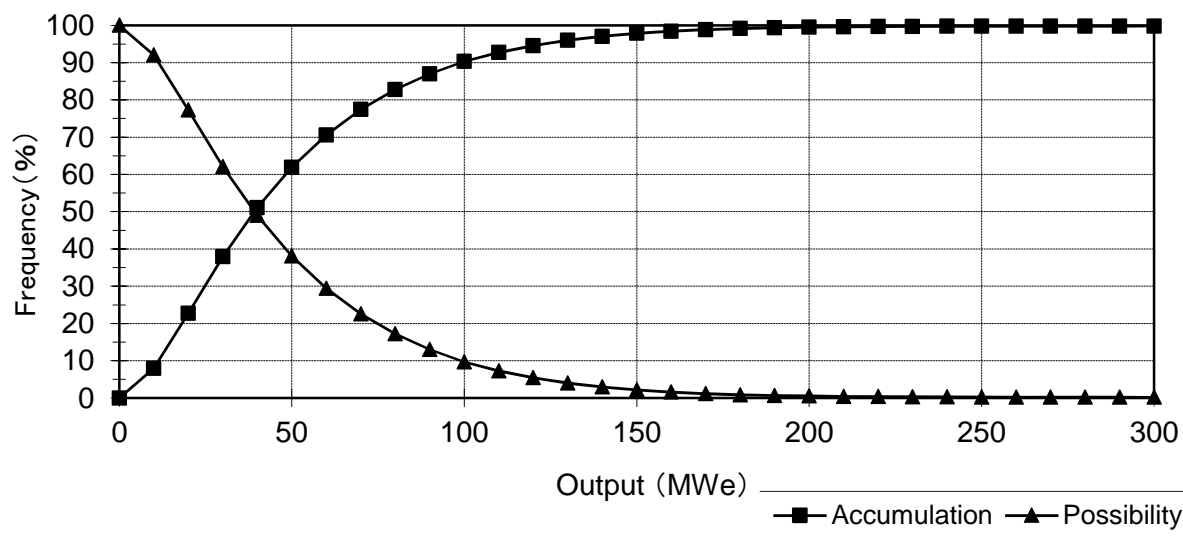
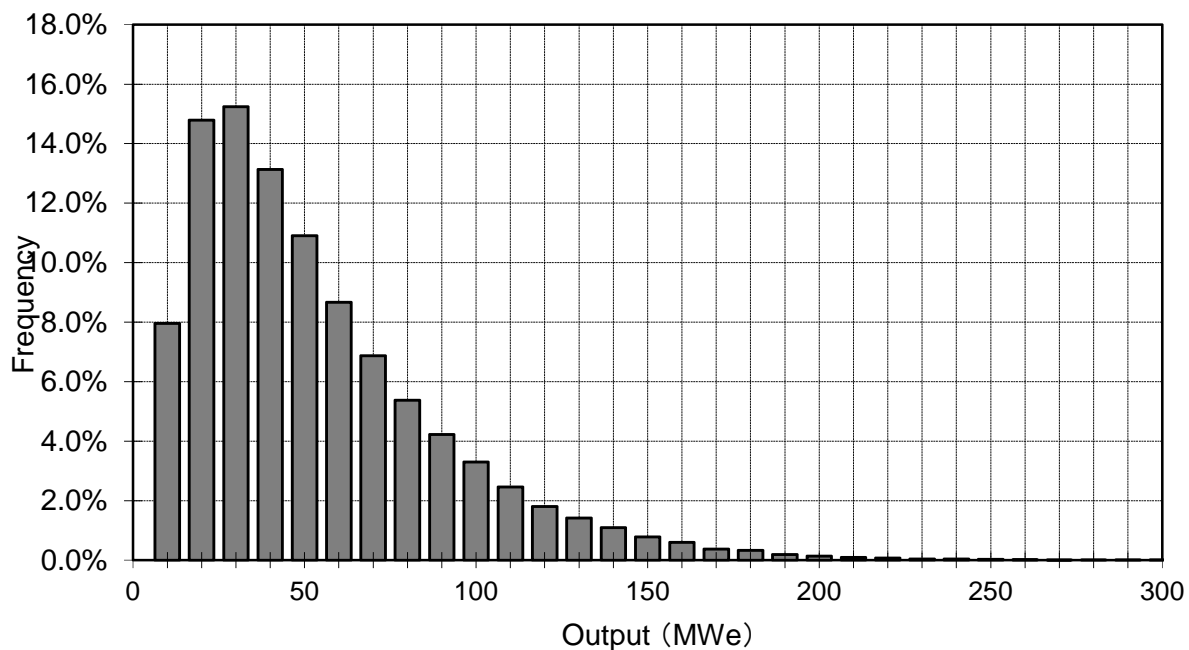
Probability Distribution of the Geothermal Potential for Lake Eyasi



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	6.00	-	30.00
Reservoir Thickness (m)	1800	2000	2200
Rock Density (kg/m ³)	2400	2600	3000
Porosity (-)	0.01	0.05	0.10
Recovery factor (-)	0.025	-	0.125
Rock Specific Heat (kJ/kg°C)	0.70	-	1.00
Reservoir Average Temperature (°C)	140	160	180
Reservoir Average Pressure (MPa)	-	10.0	-
Heat-Electricity Conversion Factor (%)	1.9%	6.3%	11.4%
Plant Life (year)	-	30	-
Load Factor (-)	-	0.85	-
Abandonment Temperature (°C)	-	80	-

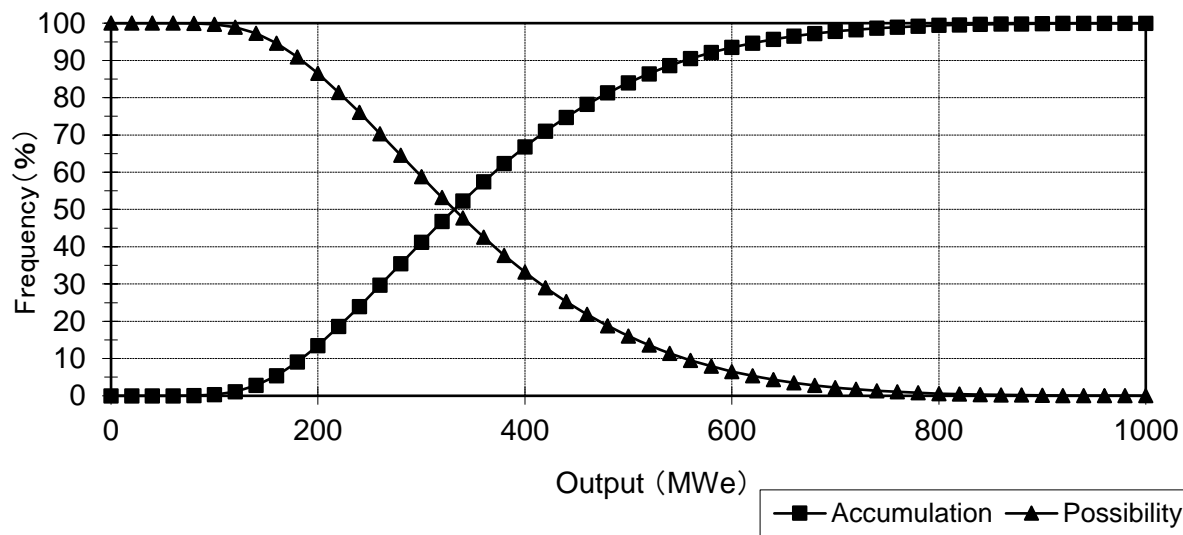
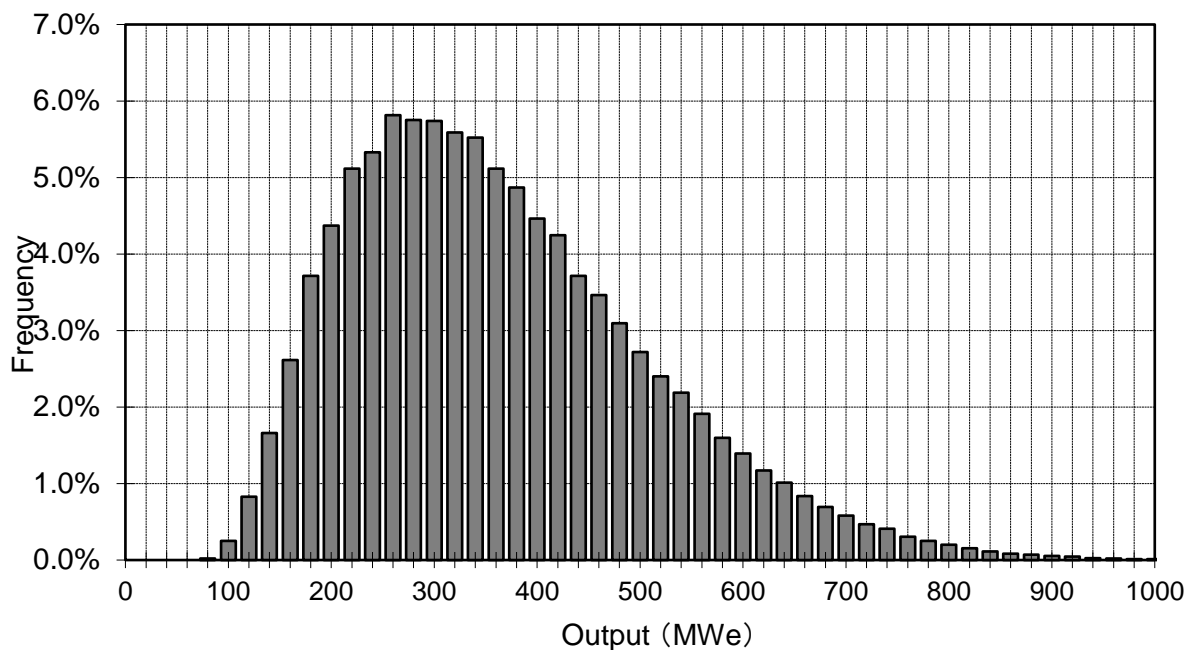
Probability Distribution of the Geothermal Potential for Babati



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	18.00	-	72.00
Reservoir Thickness (m)	1800	2000	2200
Rock Density (kg/m ³)	2600	2800	3000
Porosity (-)	0.01	0.03	0.05
Recovery factor (-)	0.025	-	0.125
Rock Specific Heat (kJ/kg°C)	0.70	-	1.00
Reservoir Average Temperature (°C)	100	120	140
Reservoir Average Pressure (MPa)	-	10.0	-
Heat-Electricity Conversion Factor (%)	1.9%	6.3%	11.4%
Plant Life (year)	-	30	-
Load Factor (-)	-	0.85	-
Abandonment Temperature (°C)	-	80	-

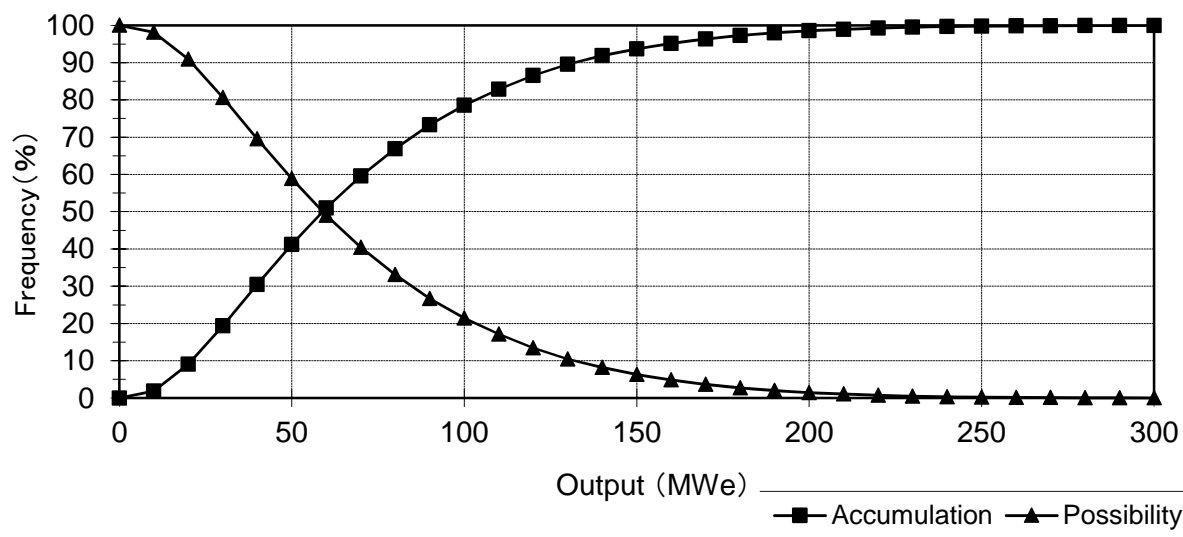
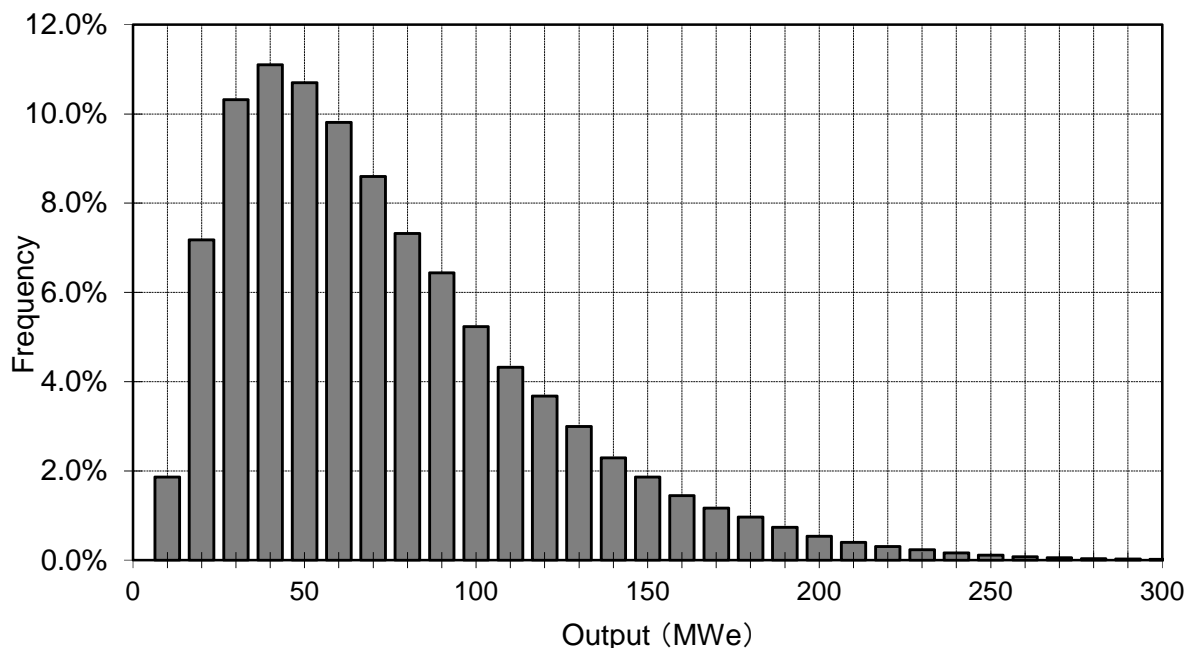
Probability Distribution of the Geothermal Potential for Msule



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	27.00	-	75.00
Reservoir Thickness (m)	1800	2000	2200
Rock Density (kg/m ³)	2400	2600	3000
Porosity (-)	0.01	0.05	0.10
Recovery factor (-)	0.125	-	0.250
Rock Specific Heat (kJ/kg°C)	0.70	-	1.00
Reservoir Average Temperature (°C)	210	230	250
Reservoir Average Pressure (MPa)	-	10.0	-
Heat-Electricity Conversion Factor (%)	12.0%	-	14.0%
Plant Life (year)	-	30	-
Load Factor (-)	-	0.85	-
Abandonment Temperature (°C)	-	180	-

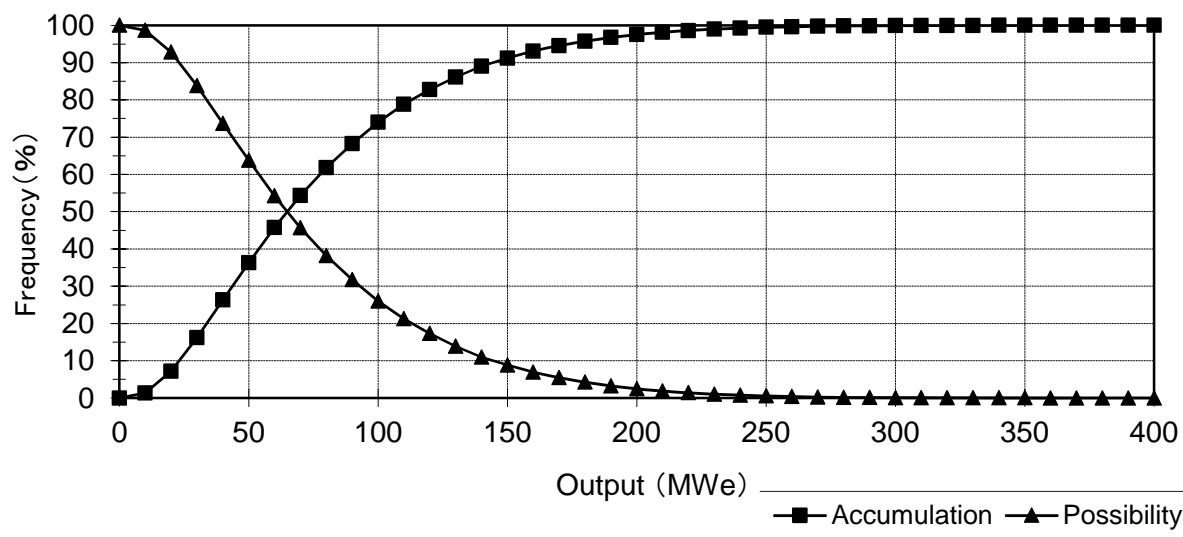
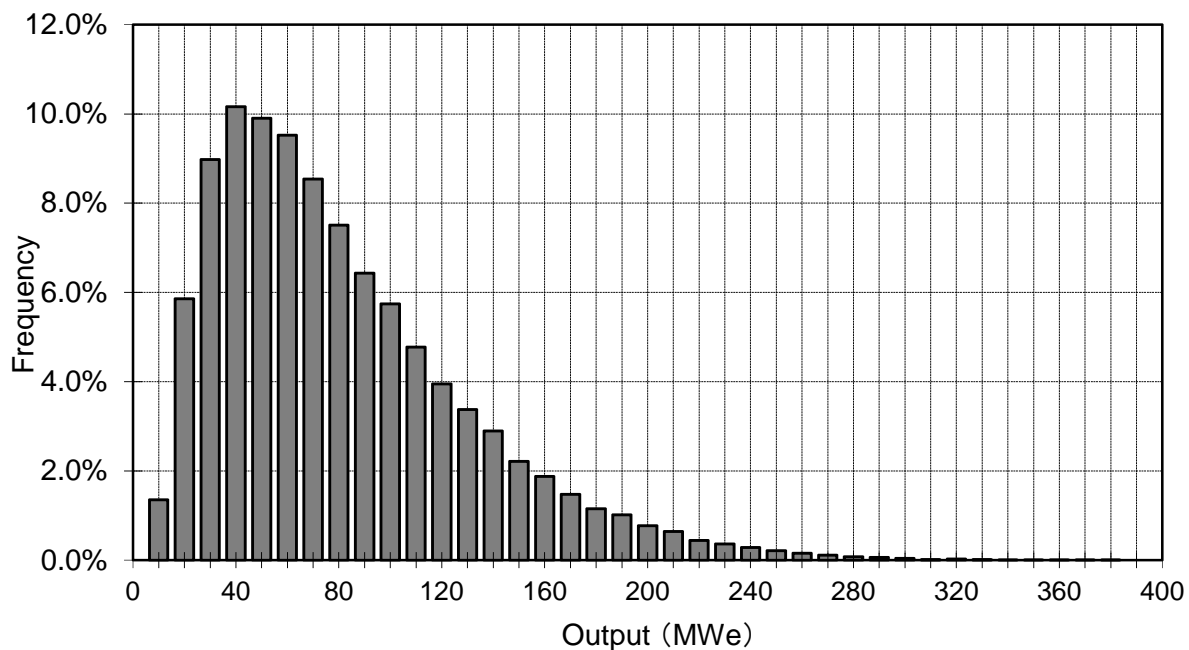
Probability Distribution of the Geothermal Potential for Songwe



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	12.00	-	35.00
Reservoir Thickness (m)	1800	2000	2200
Rock Density (kg/m ³)	2400	2600	3000
Porosity (-)	0.01	0.05	0.10
Recovery factor (-)	0.025	-	0.125
Rock Specific Heat (kJ/kg°C)	0.70	-	1.00
Reservoir Average Temperature (°C)	170	190	210
Reservoir Average Pressure (MPa)	-	10.0	-
Heat-Electricity Conversion Factor (%)	1.9%	6.3%	11.4%
Plant Life (year)	-	30	-
Load Factor (-)	-	0.85	-
Abandonment Temperature (°C)	-	80	-

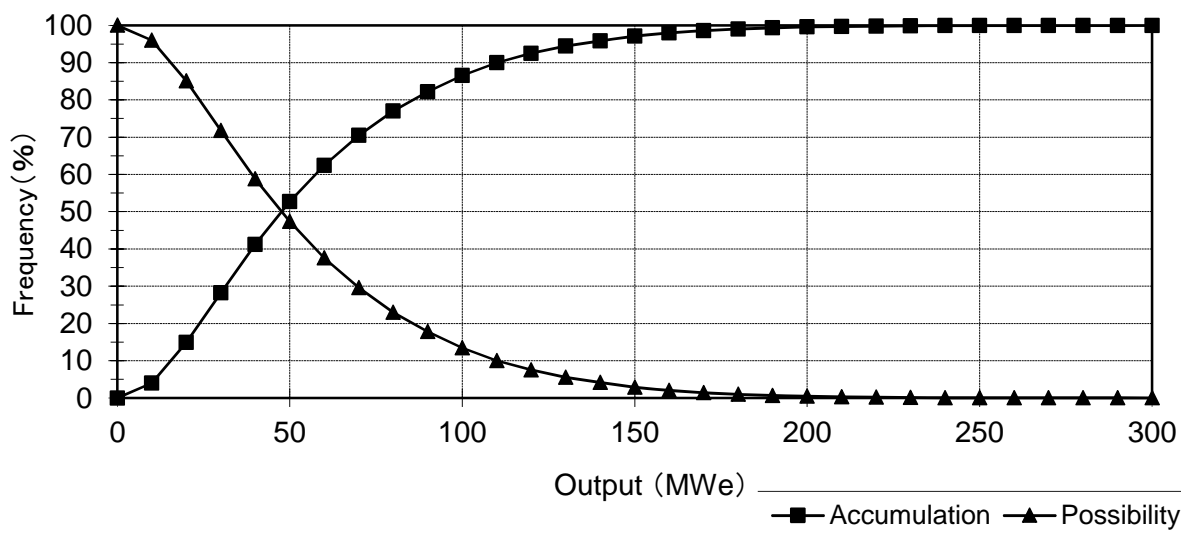
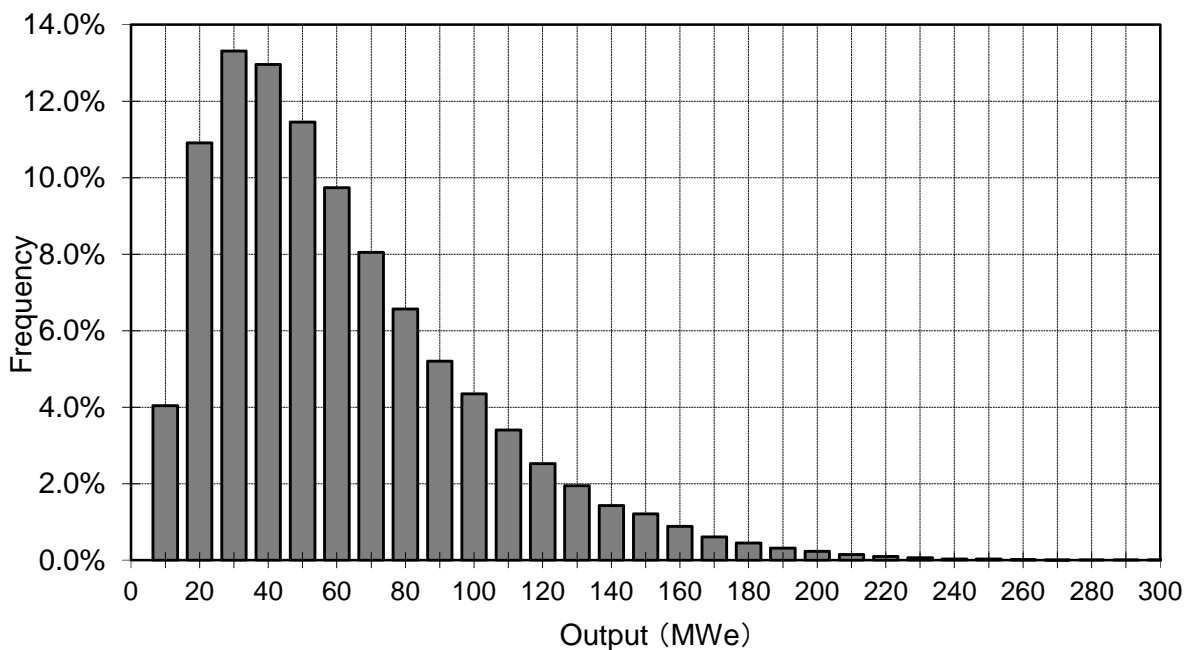
Probability Distribution of the Geothermal Potential for Kilambo



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	12.00	-	35.00
Reservoir Thickness (m)	1800	2000	2200
Rock Density (kg/m ³)	2400	2600	3000
Porosity (-)	0.01	0.05	0.10
Recovery factor (-)	0.025	-	0.125
Rock Specific Heat (kJ/kg°C)	0.70	-	1.00
Reservoir Average Temperature (°C)	180	200	220
Reservoir Average Pressure (MPa)	-	10.0	-
Heat-Electricity Conversion Factor (%)	1.9%	6.3%	11.4%
Plant Life (year)	-	30	-
Load Factor (-)	-	0.85	-
Abandonment Temperature (°C)	-	80	-

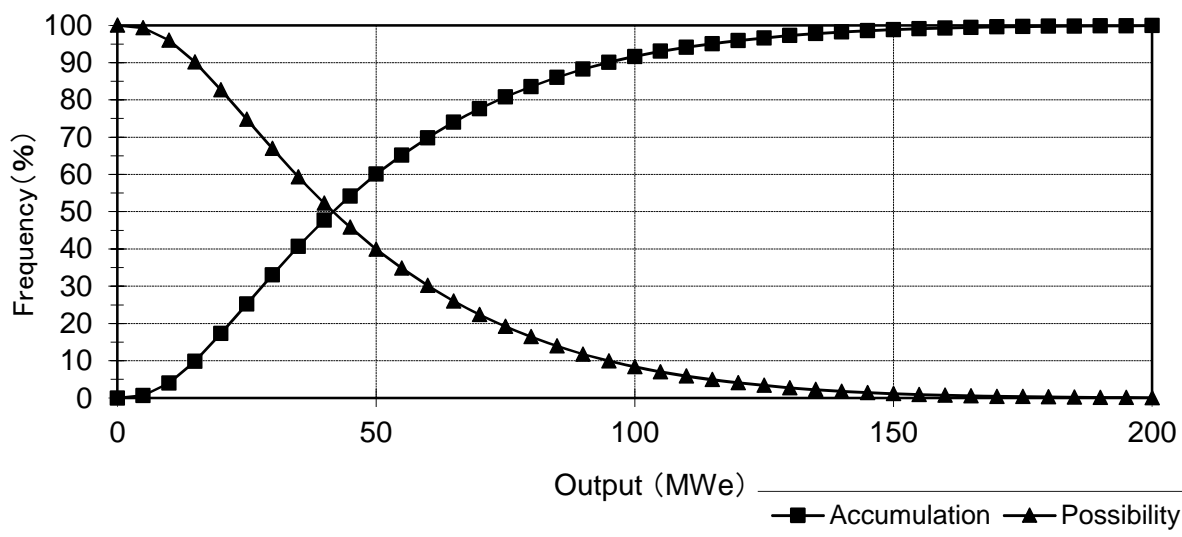
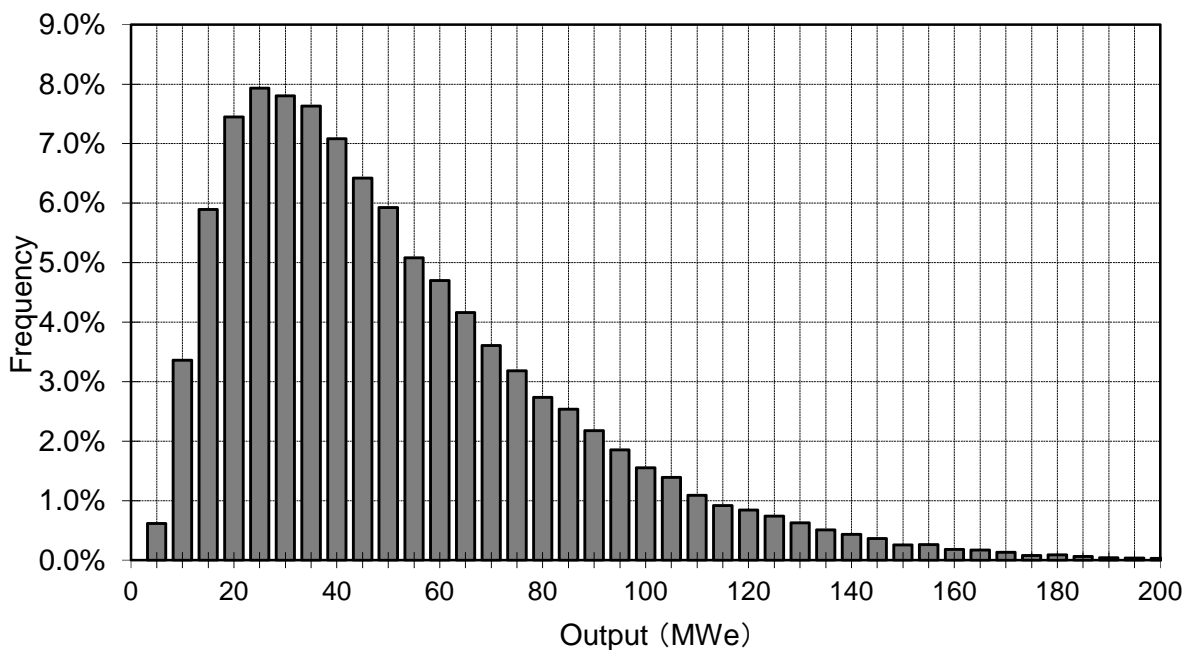
Probability Distribution of the Geothermal Potential for Mampulo



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	9.00	-	30.00
Reservoir Thickness (m)	1800	2000	2200
Rock Density (kg/m ³)	2400	2600	3000
Porosity (-)	0.01	0.05	0.10
Recovery factor (-)	0.025	-	0.125
Rock Specific Heat (kJ/kg°C)	0.70	-	1.00
Reservoir Average Temperature (°C)	170	190	210
Reservoir Average Pressure (MPa)	-	10.0	-
Heat-Electricity Conversion Factor (%)	1.9%	6.3%	11.4%
Plant Life (year)	-	30	-
Load Factor (-)	-	0.85	-
Abandonment Temperature (°C)	-	80	-

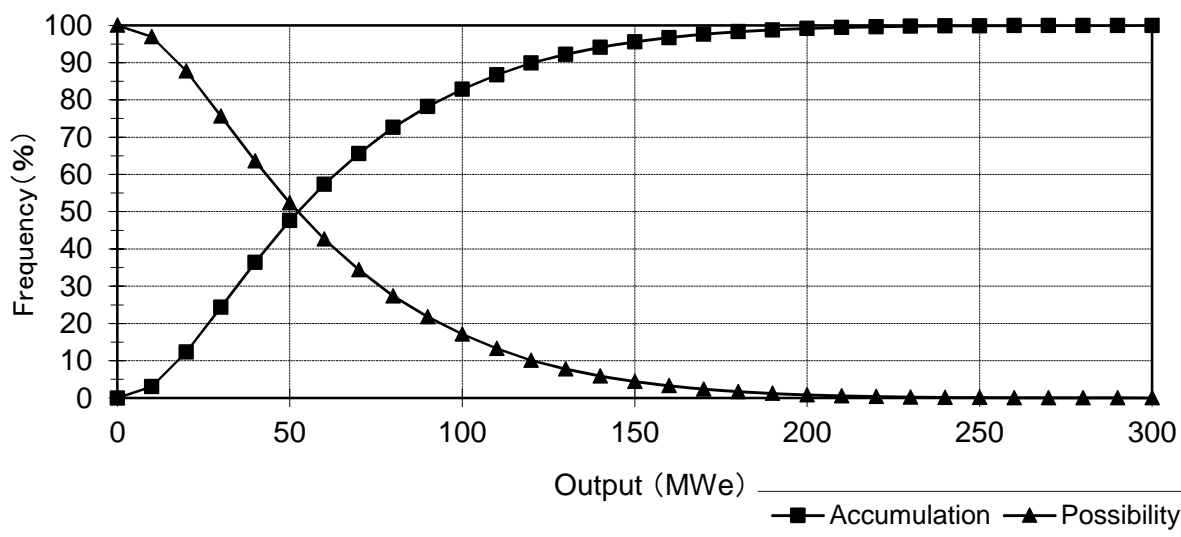
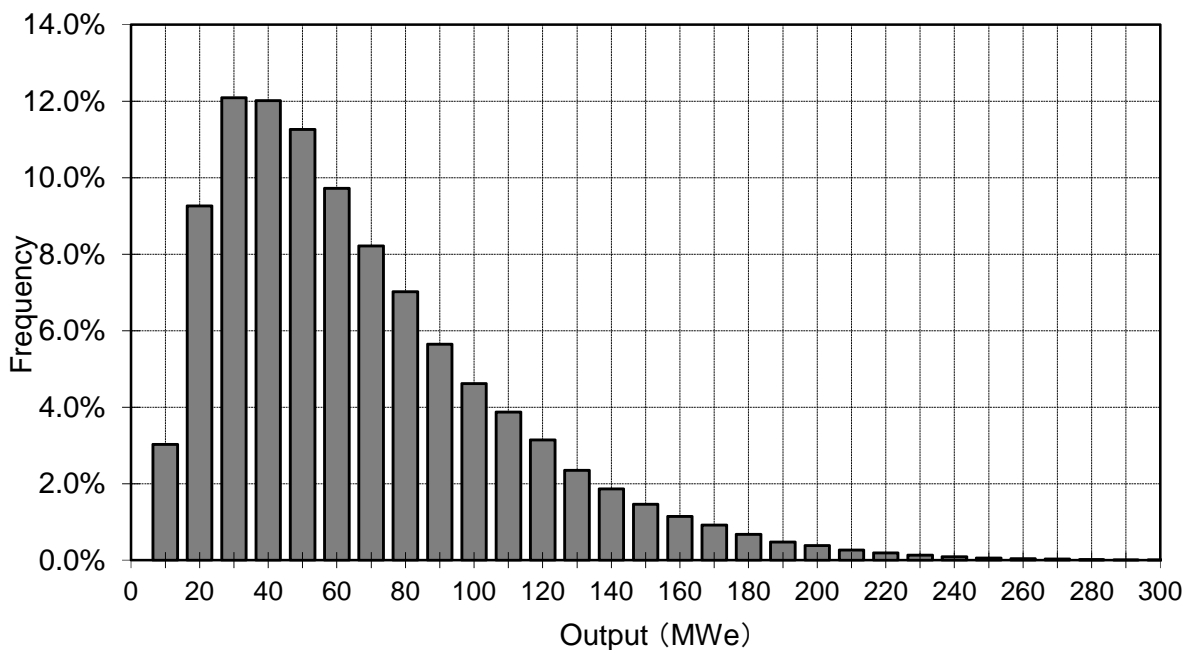
Probability Distribution of the Geothermal Potential for Kisaki



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	9.00	-	30.00
Reservoir Thickness (m)	1800	2000	2200
Rock Density (kg/m ³)	2600	-	3000
Porosity (-)	0.01	-	0.05
Recovery factor (-)	0.025	-	0.125
Rock Specific Heat (kJ/kg°C)	0.70	-	1.00
Reservoir Average Temperature (°C)	150	170	190
Reservoir Average Pressure (MPa)	-	10.0	-
Heat-Electricity Conversion Factor (%)	1.9%	6.3%	11.4%
Plant Life (year)	-	30	-
Load Factor (-)	-	0.85	-
Abandonment Temperature (°C)	-	80	-

Probability Distribution of the Geothermal Potential for Utete



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	9.00	-	30.00
Reservoir Thickness (m)	1800	2000	2200
Rock Density (kg/m ³)	2400	2600	3000
Porosity (-)	0.01	0.05	0.10
Recovery factor (-)	0.025	-	0.125
Rock Specific Heat (kJ/kg°C)	0.70	-	1.00
Reservoir Average Temperature (°C)	180	200	220
Reservoir Average Pressure (MPa)	-	10.0	-
Heat-Electricity Conversion Factor (%)	1.9%	6.3%	11.4%
Plant Life (year)	-	30	-
Load Factor (-)	-	0.85	-
Abandonment Temperature (°C)	-	80	-

Probability Distribution of the Geothermal Potential for Nyongoni