

**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
(ウガンダ)**

平成 26 年 2 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

AfDB	Africa Development Bank	アフリカ開発銀行
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
BGR	Federal Institute for Geosciences and Natural Resources of Germany	ドイツ地科学天然資源研究所
BMZ	The German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development	経済援助省
CER	Certified Emission Reduction	認証排出削減量
DEM	Digital Elevation Model	数値標高モデル
DGSM	Department of Geological Survey and Mineral Development	地質調査・鉱物資源開発局 (GSU ウガンダ地質調査所)
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
ERA	Electricity Regulatory Authority	電力監督庁
ETM+	LANDSAT Enhanced Thematic Mapper Plus	
FIT	Feed in Tariff	固定価格買い取り制度
GIS	Geographic Information System	地理情報システム
GIZ	German Society for International Cooperation	
GRMF	Geothermal Risk Mitigation Facility	地熱リスク軽減ファシリティ
IAEA	International Atomic Energy Agency	国際原子力機関
ICEIDA	The Icelandic International Development Agency	アイスランド国際開発機関
IPP	Independent Power Producer	独立発電事業者
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
MEMD	Ministry of Energy and Mineral Development	エネルギー・鉱物資源開発省
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	正規化植生指標
NEMA	National Environment Management Authority	国家環境管理局
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
PPA	Power Purchase Agreement	売電契約
SIDA	Swedish International Development Cooperation Agency	スウェーデン国際開発庁
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
TICAD	Tokyo International Conference on African Development	アフリカ開発会議
TIR	Thermal Infrared	熱赤外
Terra		テラ衛星
UEB	Uganda Electricity Board	ウガンダ電力公社
UEDCL	Uganda Electricity Distribution Company Limited	ウガンダ配電会社
UEGCL	Uganda Electricity Generation Company Limited	ウガンダ発電会社
UETCL	Uganda Electricity Transmission Company Limited	ウガンダ送電会社
UNDP	United Nations Development Programme	国連開発計画
UNEP	United Nations Environment Programme	国際連合環境計画

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

【地名】

地熱地域名

アムル	Amuru
アモルピ	Amorpi
イアガラ	Igara
イヒンボ	Ihimbo
カイトボシ	Kaitabosi
カガンバ	Kagamba
カトゥウェ	Katwe
カナンゴロ	Kanangorok
カニナバロンゴ	Kanyinabalongo
カヌング	Kanungu
カブガ	Kabuga
カルング	Karungu
キコロンゴ	Kikorongo
キシジ	Kisiizi
キタガタ	Kitagata
キタガタサ	Kitagatasa
キビロ	Kibiro
キベンゲ	Kibenge
キルルマ	Kiruruma
サビニョ	Sabinyo
ニヤルシヤンジ エ	Nyarushaje
ヌトゥングガモ	Ntunngamo
パケレ	Pakele
パニムル	Panyimur
ビララ	Birara
ビルンガ	Virunga
ブシェニ	Bushenyi
ブバレ	Bubale
ブフンビア	Bufumbia
ブランガ	Buranga
ミネラ	Minera
ムガヒンガ	Mgahinga
ムハブラ	Muhavura
ムホチャ	Muhokya
ルウイミ	Rwimi
ルクンギリ	Rukungiri
ルゾンガ	Lusonga
ルバアレ	Rubaare
ルバボ	Rubabo

その他地名

アジュマニ	Adjumani
アヤゴ	Ayago
アルア	Arua
アンコレアン	Ankolean
イガンガ	Iganga
イシャシャ	Ishasha
イシンバ	Isimba
イバンダ	Ibanda
ウトウンガ	Utunga
ウトウンガモ	Utungamo
エンテベ	Entebbe
オリアング	Oriang
カセセ	Kasese
カタクイ	Katakwi
カバレ	Kabale
カプチョルワ	Kapchorwa
カムリ	Kamuli
カラグウエー	Karagwe
カラングラ	Kalangala
カルマ	Karuma
カンパラ	Kampala
キソロ	Kisoro
キトゥグム	Kitgum
クトゥナ	Katuna
クミ	Kumi
グル	Gulu
コティド	Kotido
シーメ	Sheema
ジンジャ	Jinja
ソロティ	Soroti
トロロ	Tororo
ナマル	Namalu
ニアンシンボ	Nyansimbe
ニイラゴンゴ	Nyiragongo
フォートポータル	Fort Portal
ホイマ	Hoima
ボンボ	Bombo
マーチソンフォールズ	Murchison Falls
マサカマシンディ	MasakaMasindi

ルバンダ	Rubanda	マシンディムバララ	MasindiMbarara
ルビリジ	Rubirizi	ムバララムバレ	MbararaMbale
ルワギンバ	Rwagimba	ムバレムベンデ	MbaleMubende
レウエンゾリ	Rwenzori	ムベンデムロレーニ ヤカバンゴ	MubendeMulore- Nyakabungo
ンドウグツ	Ndugutu	ムロレーニヤカバン ゴモロト	Mulore- NyakabungoMoroto
		モロトリラ	MorotoLira
		リラルバンジャリ	LiraRwbanjari
		ルバンジャリロサア ロサア	RwbanjariLothaa Lothaa

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.....	1
	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.....	18
	II-4-3 地熱担当部署の設立.....	21
	II-4-4 ドナーの支援状況.....	21
	II-5 地熱開発有望地域	22
	II-5-1 予備調査.....	22
	II-5-2 現地調査.....	40
	II-5-3 地質情報.....	56
	II-5-4 地化学情報.....	67
	II-5-5 GIS	77
	II-5-6 有望地域選定.....	79
	II-5-7 地熱ポテンシャルの試算.....	86
	II-6 環境社会配慮制度	89
III	今後の支援策の提案.....	92
	III-1 地熱資源の特徴	92
	III-2 地熱資源開発の一般的流れ.....	94
	III-3 支援策の提言	95
	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	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	ウガンダ国における地熱地域.....	15
図 II-2	地熱探査権設定地域位置図.....	19
図 II-3	提案中の新しい鉱物・地熱資源部門組織図.....	21
図 II-4	ASTER データのカバレッジマップ.....	24
図 II-5	現地調査におけるフローチャート.....	25
図 II-6	ASTER 及び LANDSAT/ETM+複合画像.....	26
図 II-7	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	SRTM 陰影画像と ASTER 画像の重ね合わせ.....	29
図 II-10	SRTM DEM による傾斜量画像.....	30
図 II-11	地質構造判読結果.....	34
図 II-12	地質構造判読結果(アルバート湖地域).....	35
図 II-13	ウガンダの温泉水の主要陰イオン三成分図.....	37
図 II-14	ウガンダの温泉水の Cl 濃度と泉温の関係図.....	37
図 II-15	ウガンダの現地調査候補地.....	39
図 II-16	現地調査地点位置図.....	41
図 II-17	温泉の温泉分布図.....	52
図 II-18	温泉の pH 分布図.....	53
図 II-19	温泉の電気伝導度分布図.....	54
図 II-20	温泉の水質等の相関図.....	55
図 II-21	自然保護区の位置図.....	56
図 II-22	ウガンダ西部の地質図.....	58
図 II-23	地質図凡例.....	59
図 II-24	カトゥエ地域の地質図.....	60
図 II-25	カトゥエーキコロongo火山地域のクレーター等の分布.....	61
図 II-26	代表的な粘土鉱物及び方解石のスペクトル.....	66
図 II-27	スペクトル測定結果の代表例.....	67
図 II-28	主要陰イオンの三成分図.....	69
図 II-29	温泉水の Cl 濃度と B 濃度の関係図.....	70

図 II-30 温泉水の水の酸素同位体比と水素同位体比の関係図70

図 II-31 温泉の Na-K-Mg 三成分図71

図 II-32 カバレーントウンガモ地域の地化学温度71

図 II-33 ルクンギリ地域の地化学温度72

図 II-34 カヌングーシーマ地域の地化学温度72

図 II-35 カセセーカバロレ地域の地化学温度73

図 II-36 主要陰イオンの三成分図 (キビロ地域)75

図 II-37 温泉水の Cl 濃度と B 濃度の関係図 (キビロ地域)76

図 II-38 温泉の Na-K-Mg 三成分図 (キビロ地域)76

図 II-39 キビロ地域の地化学温度77

図 II-40 25 万分の 1 地質図の例78

図 II-41 ウガンダ国の送電網79

図 II-42 仮定した確率分布87

図 II-43 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 (ミネラ)
.....88

図 II-44 EIA レポート準備及び審査プロセス91

図 III-1 断裂型地熱貯留層の例93

図 III-2 多孔質地層型地熱貯留層の例93

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94

図 III-4 地熱発電開発の一般的な流れ95

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 ウガンダ政府が優先的に調査を進めている地熱地点及び調査の進捗状況17

表 II-2 地熱探査権設定地域18

表 II-3 ウガンダにおける再生可能エネルギーのポテンシャル20

表 II-4 再生可能エネルギーの固定価格買取制度20

表 II-5 収集したリモートセンシングデータ一覧23

表 II-6 作成画像一覧25

表 II-7 参考にした既存調査の温泉分析値36

表 II-8 地熱徴候地の温度情報 (ウガンダ)38

表 II-9 現地調査地点一覧40

表 II-10 温泉水試料及び水質データ一覧42

表 II-11 岩石試料一覧43

表 II-12 X 線回析分析結果64

表 II-13	スペクトル測定結果.....	65
表 II-14	化学・同位体分析方法.....	68
表 II-15	温泉水の地化学分析結果 (本調査)	68
表 II-16	地化学温度計算結果.....	74
表 II-17	キビロ地域の温泉水の地化学分析結果 (既存データ)	74
表 II-18	地化学温度計算結果 (キビロ地域)	75
表 II-19	調査地域の地熱資源に関する評価.....	84
表 II-20	調査地域の環境社会面の評価.....	85
表 II-21	地熱ポテンシャル試算結果.....	89
表 II-22	ウガンダ国の関連環境法令・基準.....	90
表 III-1	地熱開発の概略工程	96
表 III-2	考えられる JICA 案件.....	97
表 III-3	有望地熱地点に関する情報	98

写 真 目 次

写真 II-1	カガンバ地点(Ka01).....	43
写真 II-2	カルング地点(Ku01).....	44
写真 II-3	ブバレ地点(Bu01).....	44
写真 II-4	ムロレーニャカバンゴ地点(Mu01)	45
写真 II-5	ルバアレ地点(Ru01).....	45
写真 II-6	ルバロ地点(Rb01).....	46
写真 II-7	ビララ地点(Bi01).....	46
写真 II-8	ミネラ地点(Mi01).....	47
写真 II-9	イヒンボ地点(Ih01).....	47
写真 II-10	カニナバロンゴ地点(Kn01)	48
写真 II-11	キルルマ地点(Km01).....	48
写真 II-12	キタガタ地点(Kt01).....	49
写真 II-13	ムホチャ地点(Mh01).....	49
写真 II-14	キベンゲ地点(Kb01).....	50
写真 II-15	ルワギンバ地点(Rw01).....	50
写真 II-16	ルウィミ地点(Rm01).....	51

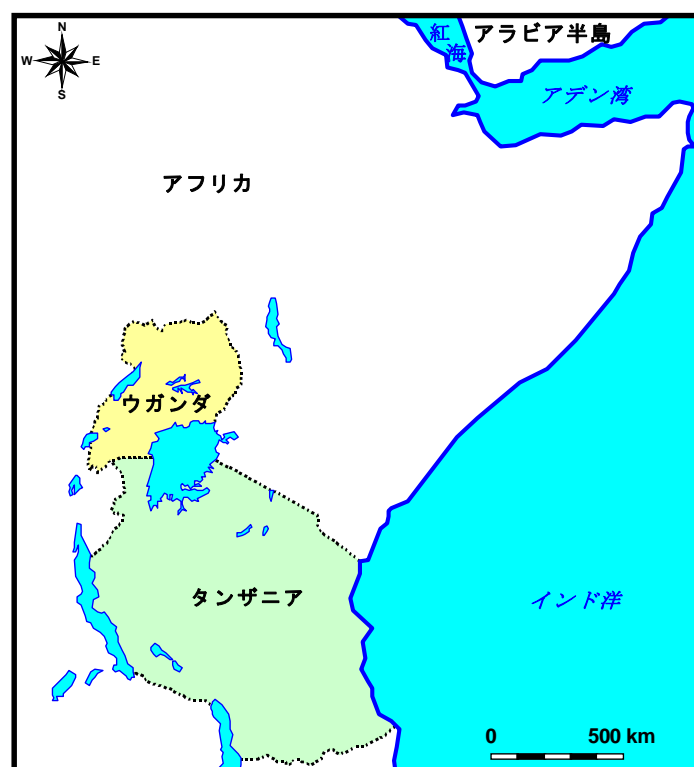
I 緒言

I-1 調査目的

ウガンダ国において、「アフリカ地熱開発に係る現状確認調査（2010年10月、以下「現状確認調査」）」の結果も踏まえ、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

ウガンダ国（図 I-1参照）



（調査団作成）

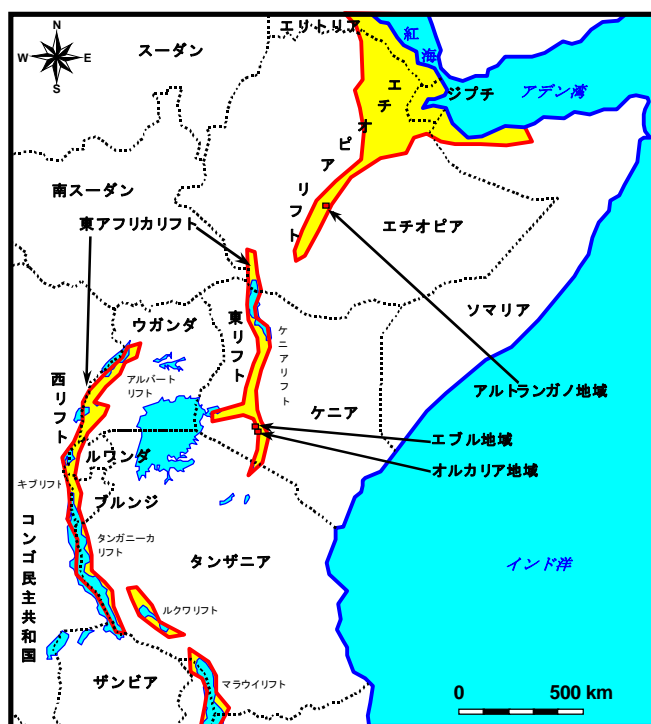
図 I-1 調査対象地域

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の発電設備が設置されている(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「現状確認調査」が実施された。しかし、ウガンダ国政府・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ウガンダ全土を網羅したものではなく断片的である。ウガンダ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

本調査ではウガンダ国における「現状確認調査」結果も踏まえ、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、これ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、ウガンダ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、ウガンダ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、ウガンダの地質調査・鉱物資源開発局を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ウガンダ国の関連資料収集・レビューを行い、「現状確認調査」結果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

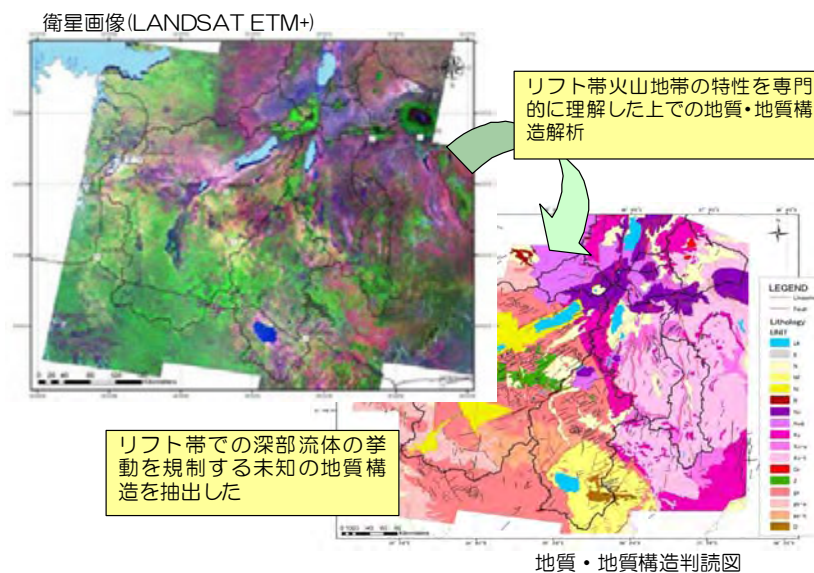
b) 地質調査

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。ウガンダ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。

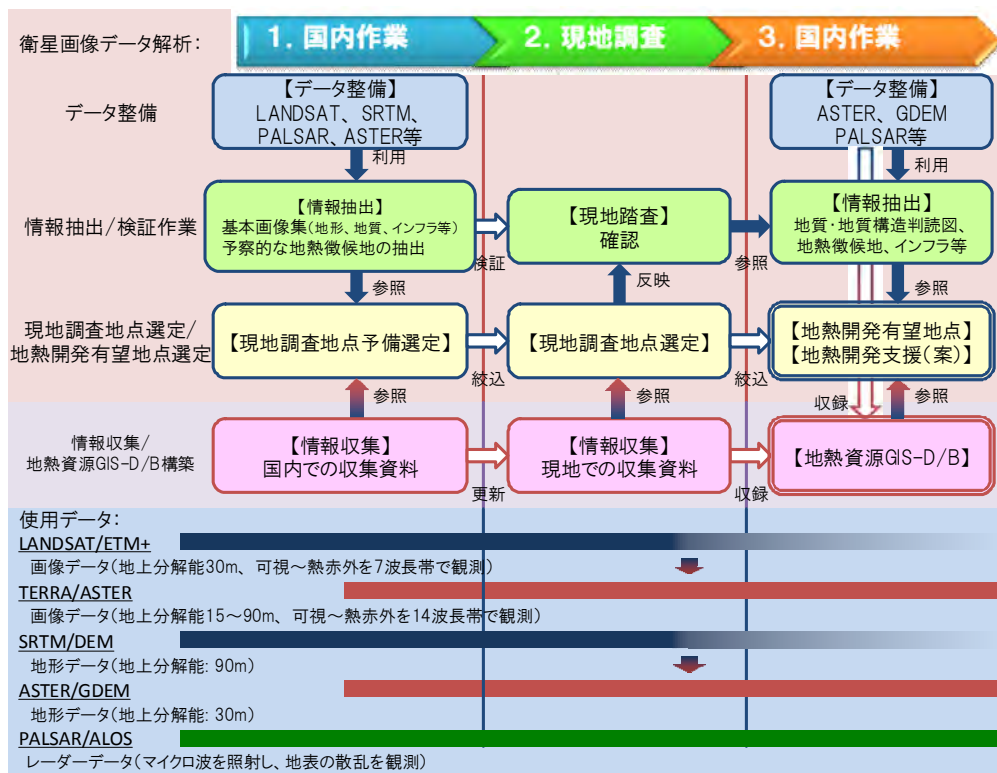
図 I-3 は、東アフリカリフト帯での 15 万 km² におよぶ広大な地域を対象とした衛星画像データ解析の例である。この地域は地熱資源賦存地域でもあり、本件においても主要な対象地域である。このようにリフト帯火山地帯での情報抽出にリモートセンシング技術を効果的に適用するためには、リフト帯の特性についての高度な知見と、対象国での豊富な調査経験に基づくノウハウが要求される。また、対象国の地質図幅は、デジタル化が進められてはいるものの、隣り合う図幅間での地質区分の違いが頻繁に認められるなどの問題があり、地熱開発支援のための GIS データベースの構築には、衛星画像データを利用した統合的な地質・地質構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 年次を通じ次の作業を行った。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 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)

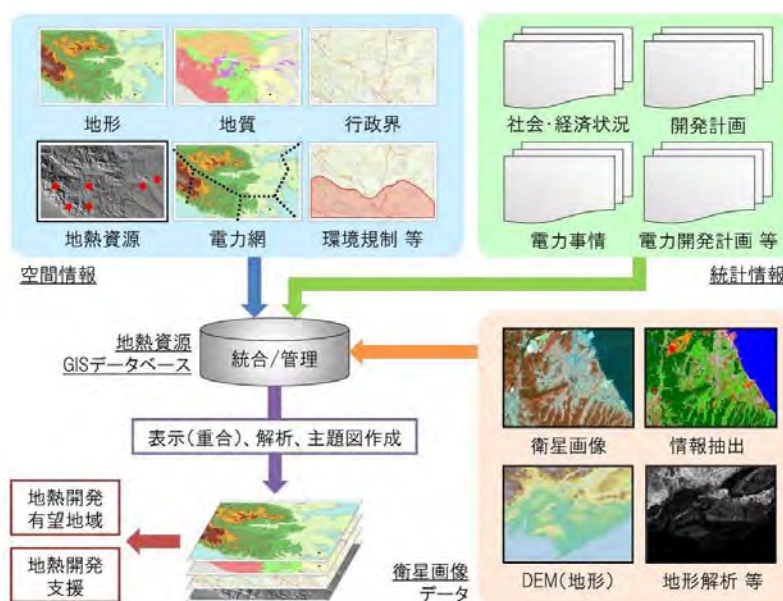
図 I-4 衛星画像データ解析フロー

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、「現状確認調査」でウガンダ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（各国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ならびにウガンダ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
- ウガンダ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（各国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。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：6 試料程度

X線回折分析試料：7 試料程度

スペクトル測定： 9 試料程度

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、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、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、ウガンダ国の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ウガンダの地質調査所等との協議を経たうえで最終的に決定することとした。

試料の分析については、同位体比（ $\delta D(H_2O)$ 、 $\delta^{18}O(H_2O)$ ）の分析が現地では困難であること、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-SiO₂、 $\delta D(H_2O)$ 、 $\delta^{18}O(H_2O)$

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（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（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）については、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、ウガンダ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。ウガンダ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によるウガンダ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

プログレスレポート

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

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（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：各月毎の業務内容、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、ウガンダ分は以下のとおりである。全体調査工程を第 I-1 表に示す。

2013 年 3 月 8 日	インセプションレポート
2013 年 11 月 12 日	プログレスレポート
2014 年 1 月 31 日	ドラフトファイナルレポート
2014 年 2 月 20 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

作業計画

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	2	3	
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インベ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アウトルックレポート作成・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トラフアファイルレポート作成・協議・提出																△
④ファイルレポート作成・提出																△

凡例: [] 国内作業期間
 ■ 現地業務期間
 △ 報告書等の説明

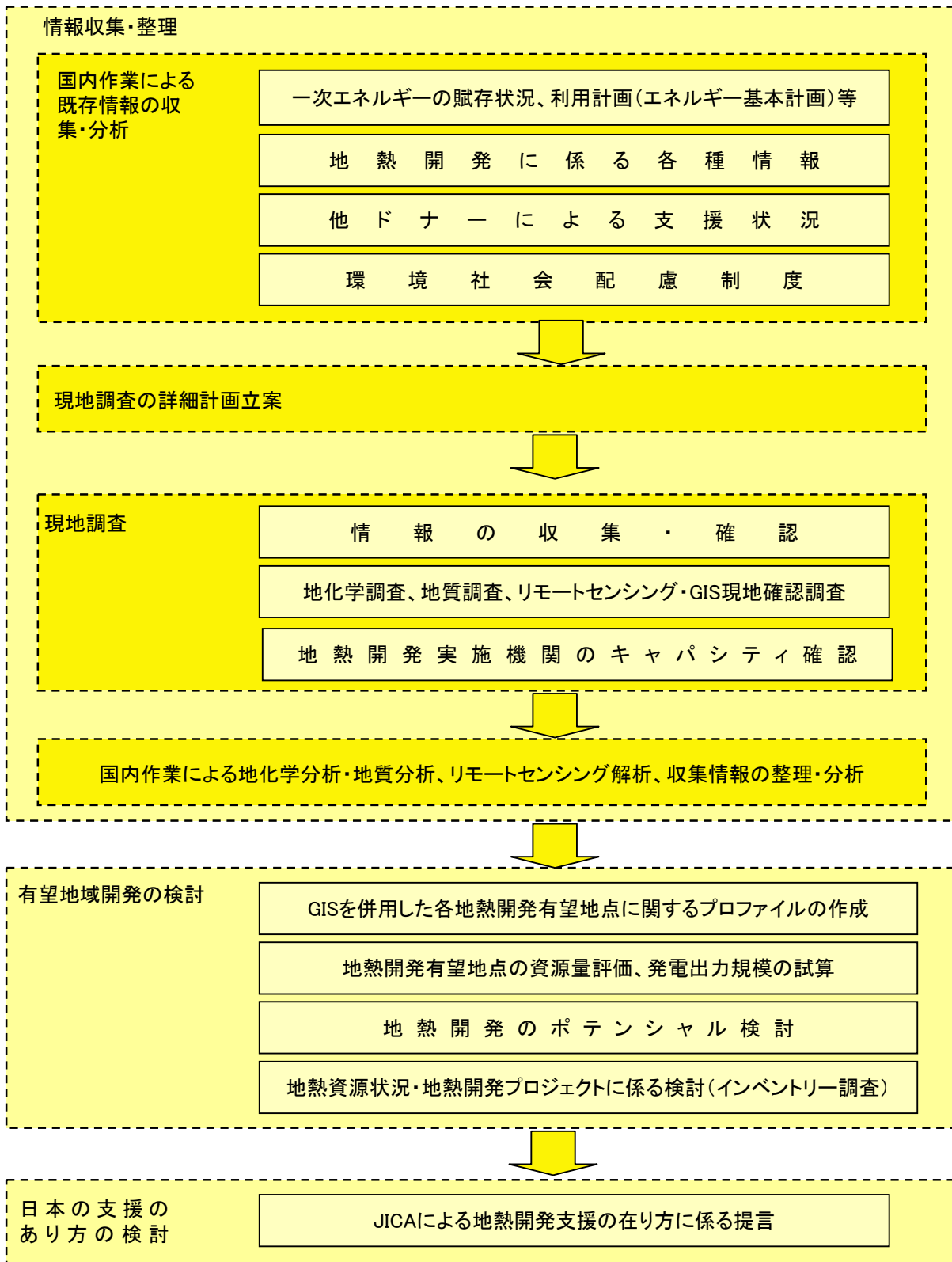


図 I-6 調査フロー

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

ウガンダは、世界第三位の湖水面積を有するヴィクトリア湖に面し、白ナイル川などがあるため、水資源に恵まれている。また、2010年の「現状確認調査」によれば、1980年代初頭に隣国のケニアにおいて石油が発見され、ウガンダでも石油探査が実施された。その結果、1998年に石油が発見され、数カ所で石油開発が進められている。2008年からウガンダ政府と中国企業（China National Petroleum Co.とChina Petroleum & Chemical Co.及びChina National Offshore Oil Co.）の合弁会社（Heritage Oil Co.）がアルバート湖周辺のトゥロウ地域で採掘を開始している。2009年2月現在、同地域の埋蔵量は約6億バレルと推定されていた。ただし、全国の石油埋蔵量は確定されていない。エネルギー・鉱物資源開発省（MEMD：Ministry of Energy and Mineral Development）では、輸入石油の割合を軽減するため、アルバート湖畔（石油採掘地点近郊のHoima地区）に石油精製設備を建設する計画である。石油の生産が軌道に乗ればケニアをはじめ海外諸国に石油を輸出する計画もあり、ケニア東部のモンバサ港まで約1,500kmのパイプラインを敷設することが検討されている。また、エネルギー・鉱物資源開発省では、電力供給不足を解消するため、油田地帯に石油火力発電所（5～10万kW）を建設するとともに、油田地域から首都カンパラまでの送電線も建設する予定である。

II-2 電力事情及び電力供給体制

ウガンダでは、1999年に改正電力法（Electricity Act、1999）の制定が内閣で承認され、電力監督庁（ERA：Electricity Regulatory Authority）が電力産業の監督官庁として設立された。なお、エネルギー・鉱物資源開発省は、産業育成政策を所管している。この改正電力法により、国営企業であったウガンダ電力公社（UEB：Uganda Electricity Board）は、ウガンダ発電会社（UEGCL：Uganda Electricity Generation Company Limited）、ウガンダ送電会社（UETCL：Uganda Electricity Transmission Company Limited）及びウガンダ配電会社（UEDCL：Uganda Electricity Distribution Company Limited）の3事業体に分割された。また、発電事業と配電事業については、それぞれ Eskom 社と Umeme 社に長期間の営業権が譲渡された（既設設備の所有権は譲渡されておらず、Eskom 社と Umeme 社は設備の運転・保守を行っている）。なお、新規の電源開発は、主として政府とパートナーシップを持った独立系発電事業者（IPP：Independent Power Producer）により行われる。

Bahati (2012)によれば、ウガンダにおける現在の発電設備容量は総計 778.5MW である。電源構成を見ると、約 88%に相当する 682.5MW が水力であり、重油火力が 70MW、砂糖産業によるコジェネレーションが 26MW となっている。電力需要への短期的対応として、ウガンダ政府はナイル川沿いに2つの水力発電所（カルマの 600MW とイシンバの 188MW）を 2018年までに建設する計画である。また、西部地域に小規模水力発電所を建設する計画も進めている。一方、中期的対策として、ナ

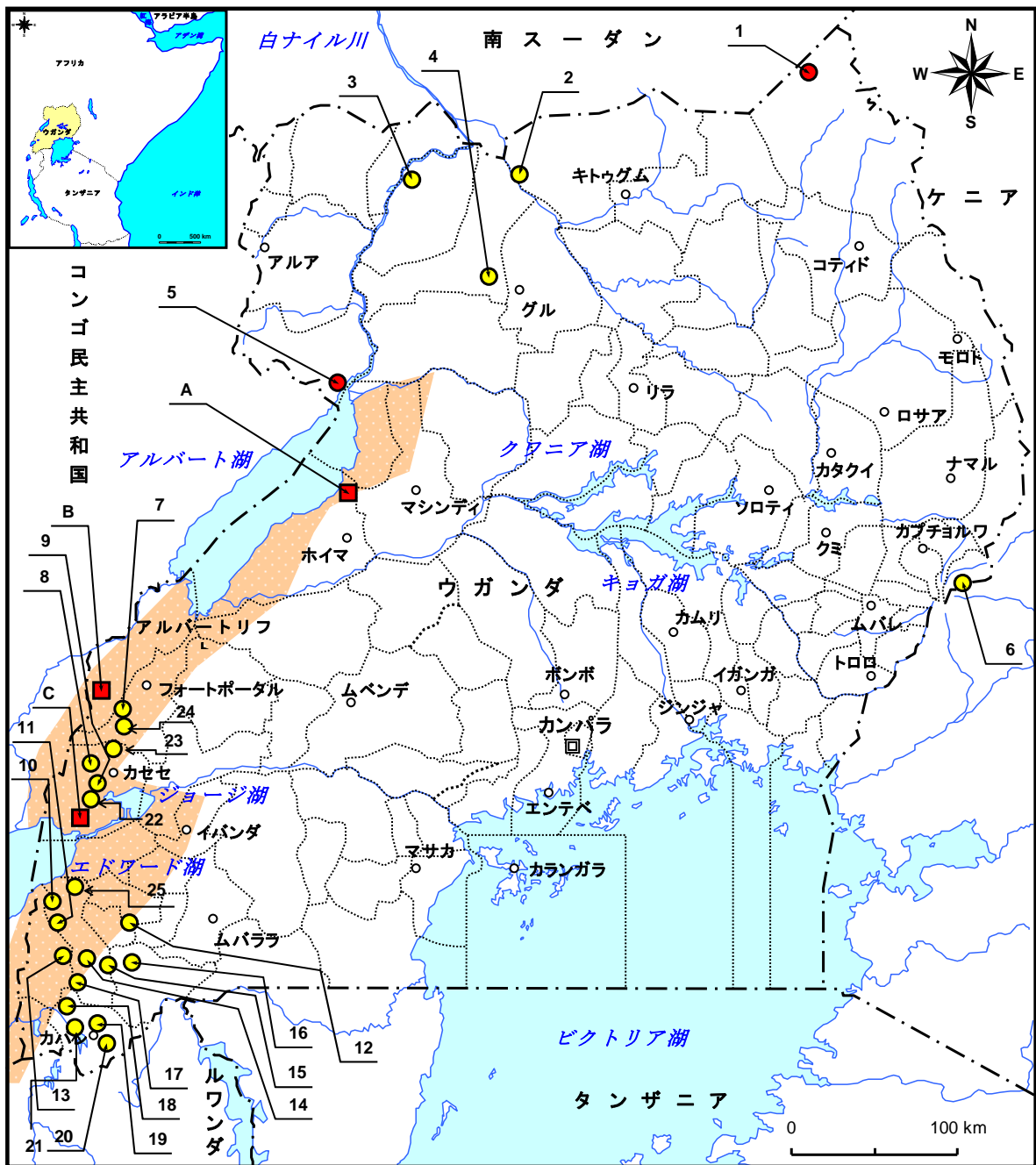
イル川沿いのアヤゴでの 600MW 水力発電所建設を検討している。さらに、長期的には、ナイル川沿いのマーチソンフォールズ（600MW）及びオリアング（400MW）での水力発電所建設を検討している。

上述のように、水力に大きく依存した電源構成となっているため、発電設備の利用率はヴィクトリア湖の水位などによって大きく変動する。ケニアやタンザニア、ルワンダなどの上流地域における干ばつによりヴィクトリア湖の水位は下がり、利用率が低下する。例えば、水位の低い2006年の発電量は1,178 GWhであったのに対し、水位の高かった2004年の発電量は1,896 GWhであり、約60%もの違いが生じている。このため、補完的電源として泥炭や太陽、バイオマス、地熱の活用が検討されている。海外電力調査会の「海外諸国の電気事業（第2編）（2010）」によれば、水力を除く再生可能エネルギーのポテンシャルは、バイオマス1,650 MW（農業廃棄物が中心）、地熱450 MW、太陽光200 MW（地方電化電源として推進）、その他800 MW（風力が中心）と見積もられている。政府の資料によると、2012年に25MW、2017年に45MWの地熱発電がそれぞれ着手されることになっている。なお、PB Power社の2009年12月電力セクターマスタープランでは、2020年、2021年、2022年に各30 MW地熱発電運転開始となっている。このマスタープランでは、地熱開発が順調に進み、その資源量が確定した場合、次のマスタープラン改訂時に、2013年予定の汽力発電設備100MWを地熱に置き換える可能性も示唆している。再生可能エネルギー政策と電力部門投資計画を達成する望みを結合するために、現在から2020年までに、できるだけ多くかつ早く地熱発電が系統につながることを許可されるように提案される。

II-3 地熱資源概要

ウガンダにおける探査掘削を含む地熱調査を実施する政府機関は、エネルギー・鉱物資源開発省の地質調査・鉱物資源開発局（DGSM：Department of Geological Survey and Mineral Development、あるいは略してウガンダ地質調査所（GSU）とも呼ぶ）である。地熱プロジェクトとしては、ICEIDAの資金援助でカトゥウェ地域とキビロ地域の地表探査を実施している。また、BGRの支援による、ブランガ地域の地表探査も実施している。

ウガンダにおける地熱地域は、主としてリフトバレー沿いに分布している（図 II-1 参照）。全国規模の地熱資源量調査は実施されていないが、1980年代にアメリカの調査機関が UNDP の調査で約 450MW の地熱ポテンシャルを見積もっている（McNitt, 1982）。キビロ地域、ブランガ地域及びカトゥウェ地域の3地域が主要な地熱地域とされた。また、石油探査によりパニムル地域の地温勾配が高いことが確認されている。近年までの地熱調査は主としてこれら4地域に絞って実施されてきた。



- 凡例
- ライセンス発行済み主要地熱地域
 - ライセンス発行済みその他の地熱地域
 - その他の地熱地域
- A: キピロ B: プランガ C: カトゥウエ
- | | | | |
|-------------|----------|-------------|----------|
| 1: カナンゴロ | 2: アモルピ | 3: アムル(パケレ) | 4: アムル |
| 5: パニムル | 6: カイタボシ | 7: ルワギンバ | 8: キベンゲ |
| 9: カブガ | 10: キルルマ | 11: イホンボ | 12: キタガタ |
| 13: ビララ | 14: ルバボ | 15: ミネラ | 16: ルバアレ |
| 17: キシジ | 18: カルング | 19: ブバレ | 20: カガンバ |
| 21: ムロレ | 22: ムホチャ | 23: インドウグツ | 24: ルウィミ |
| 25: カニナバロンゴ | | | |

Bahati (2012)を基に作成

図 II-1 ウガンダ国における地熱地域

II-4 地熱開発の現状

II-4-1 地熱開発

Economic Consultants Associated Ltd.が2012年10月に刊行した”East Africa Geothermal Energy: Review of Donor Initiatives and Current Regulatory Framework”によれば、ウガンダではこの20年あまりに多くのドナーによる地熱開発に対する支援を受けている。しかしながら、ウガンダにおける地熱開発はほとんど進捗していない。恐らくこれは、ナイル川沿いに2,000MW以上の水力資源に恵まれ、また最近石油も発見されながら、今日まで明確かつ魅力的な地熱調査の結果が得られていないことに起因している。積極的な探査を継続するだけの政府資金が不足してきたこともまた一因であると考えられる。しかしながら、ウガンダ政府は、頻繁な干ばつや原油価格の予期せぬ変動による電力不足から国を保護するために、エネルギーのベストミックスを目指している。

キビロ地域は、ウガンダ国内において地熱調査が進んでいる3地域（キビロ、ブランガ、カトゥウエ）のうちの1つである。この地域はアルバート湖の東岸に位置している。1993年に、UNDP、アイスランド政府及びOPECは地質・地化学探査の費用を補助し（Gislasonほか, 1994）、温泉水の地化学温度から、地下温度として200から220°Cが推定された。1997年から2002年にはIAEAの支援により同位体調査が実施され、140°C以下と推定された（IAEA, 2003）。硫酸の酸素・硫黄同位体比はマグマ起源の流体の寄与を示唆している。2004年にはICEIDAによってTEM調査が実施され、ウガンダ政府の石油探査開発局によって重力及び磁器探査が実施された。これらの物理探査結果の解釈は、6本（約300m）の熱流量孔の掘削結果と統合され、本地域の地温勾配は断崖の東側では16°C/km程度であるが、キビロ村近くの崖ではやや高く30°C/km程度あることが示された（Arnason and Gislason, 2009）。この調査は、発電に適した地熱流体の可能性があるため、深部調査井を掘削するためのMT調査を実施することを推奨している。この地域における地熱資源の調査・開発については、Moberge Finance Limitedが2012年に調査免許を取得している。

ブランガ地域では地質調査と地化学調査（同位体含む）、熱流量孔掘削（最深349m）が実施されている。この調査結果は、Arnason（1994）、Arnason（2003）及びArnason and Gislason（2009）によってまとめられている。温泉の最高湧出温度は98.3°Cであり、化学組成からマグマ起源流体混入の可能性が考えられている。温泉水の化学成分に基づく地化学温度計算結果から120～150°Cの貯留層温度が推定され、同位体比からは200°C以上の温度が推定される。熱流量孔で測定された温度勾配は最高でも31°C/km程度であった。BGRはGEOTHERMプロジェクトで、比抵抗、TEM、重力、微小地震探査等の更なる調査を2005年に実施した（Ochmann et al., 2010; BGR, 2007）。これらの調査は、断層帯の中で最適地を選定し、深部井掘削をすべきであると結論付けている。この地域の地熱資源の調査・開発については、2011年にGIDS Consult Limitedが調査免許を取得している。

カトゥウエーキコロongo地域ではICEIDAによる調査が実施されている。クイーン・エリザベス国立公園内にあり、地表地熱兆候はキタガタ火口湖の中にある。この地域では、種々の調査が実施されている。地質調査と地化学調査はUNDPにより実施され、貯留層温度を約200°Cと推定した（Armansson, 1994）。同位体調査は貯留層温度を140～160°Cと推定した（Bahati et al., 2005）。TEM調査及び重力調査は、ICEIDAの支援により実施された（Gislason et al., 2009）。6本の熱流量孔掘削（約300m）は世界銀行の援助で実施されたが、解析はICEIDAが実施している。温泉水の化学組成は高塩濃度であり、海水の4倍以上の濃度である。この温泉水は、カトゥウエ湖地域の製塩業の源となっている。浅い熱流量孔で測定された温度勾配は15～36°C/km程度であり、あまり高

くない。この結果から、開発対象となる 2,000～3,000m が果たして高温かどうかは疑念を抱かざるを得ない。この地域における地熱資源の調査・開発については、Cozumel Energy Ltd が 2010 年に西部地域の調査免許を取得しており、東部地域については Katwe Geothermal Power Project Limited が 2011 年に調査免許を取得している。

パニムル地域はアルバート湖の北端付近に位置している。ウガンダ政府による「ウガンダ地熱資源開発プロジェクト（No. 1199）」において、2011年から地質調査、地化学調査、磁気調査、重力調査が、DGSMによって実施されている。この地域は最初、石油探査井によって高い温度勾配が発見されたことから注目された。温泉の湧出温度は35～60℃であり、硫化水素ガス濃度は高い

（Bahati, 2012）。温泉水の化学分析結果に基づく地化学温度から推定される貯留層温度は100～140℃である。この地域における地熱資源の調査・開発については、2012年にPawakom International Limitedが調査免許を取得している。

ウガンダは、2006年のBGRによるブランガの調査以降、ドナーからの支援を受けず、政府として2011年に「ウガンダ地熱資源開発プロジェクト（No. 1199）」を実行している。このプロジェクトにおいて、掘削前の調査はキビロ、カトゥウェ、パニムル、ブランガの4地域に絞られている（表 II-1）。これら4地点はすでに探査権が発行されている地点であるが、ライセンスホルダーによる地熱調査がほとんど進展していない状況である。探査権の期限切れ後の政府主導による調査も考慮して、DGSMは継続して調査を実施している。最近のマッピングにより、未発見の地熱兆候地は以前考えられていたよりも大きい可能性があることが明らかになってきた。全国的な範囲で実施された持続的鉱物資源管理プロジェクトの空中磁気探査結果の再解析により、磁気の低い地域はキビロ、カトゥウェ、パニムル、ブランガといった地熱系と結びついていることが示された。DTMイメージを用いた構造解析と環境調査がキビロで実施中である。また、その他の地熱地点についてもDGSMによる調査が実施中もしくは計画されている。

表 II-1 ウガンダ政府が優先的に調査を進めている地熱地点及び調査の進捗状況

地点名	空中磁気探査	磁気及び重力探査	地質調査	地化学及び同位体化学	環境調査 (Base line)
キビロ	着手済み	実施済み。MT 探査提案中	実施済み（一部、再検討の必要あり）	データ取得済み	実施中
カトゥウェ	着手済み	延期	実施済み（一部、再検討の必要あり）	データ取得済み	実施中
パニムル	着手済み	計画中	実施済み（一部、再検討の必要あり）	データ取得済み	延期
ブランガ	着手済み	一部実施済み	実施中	データ取得済み	実施中

（DGSM資料に基づき調査団作成。2013年8月現在のデータ）

なお、これら4地点については、地熱開発権がウガンダ政府から民間事業者へ既に付与されていることから、今回の補足地質・地化学調査の対象地点からは除外し、これら以外の有望地点を探すために調査が実施された。

II-4-2 地熱探査権

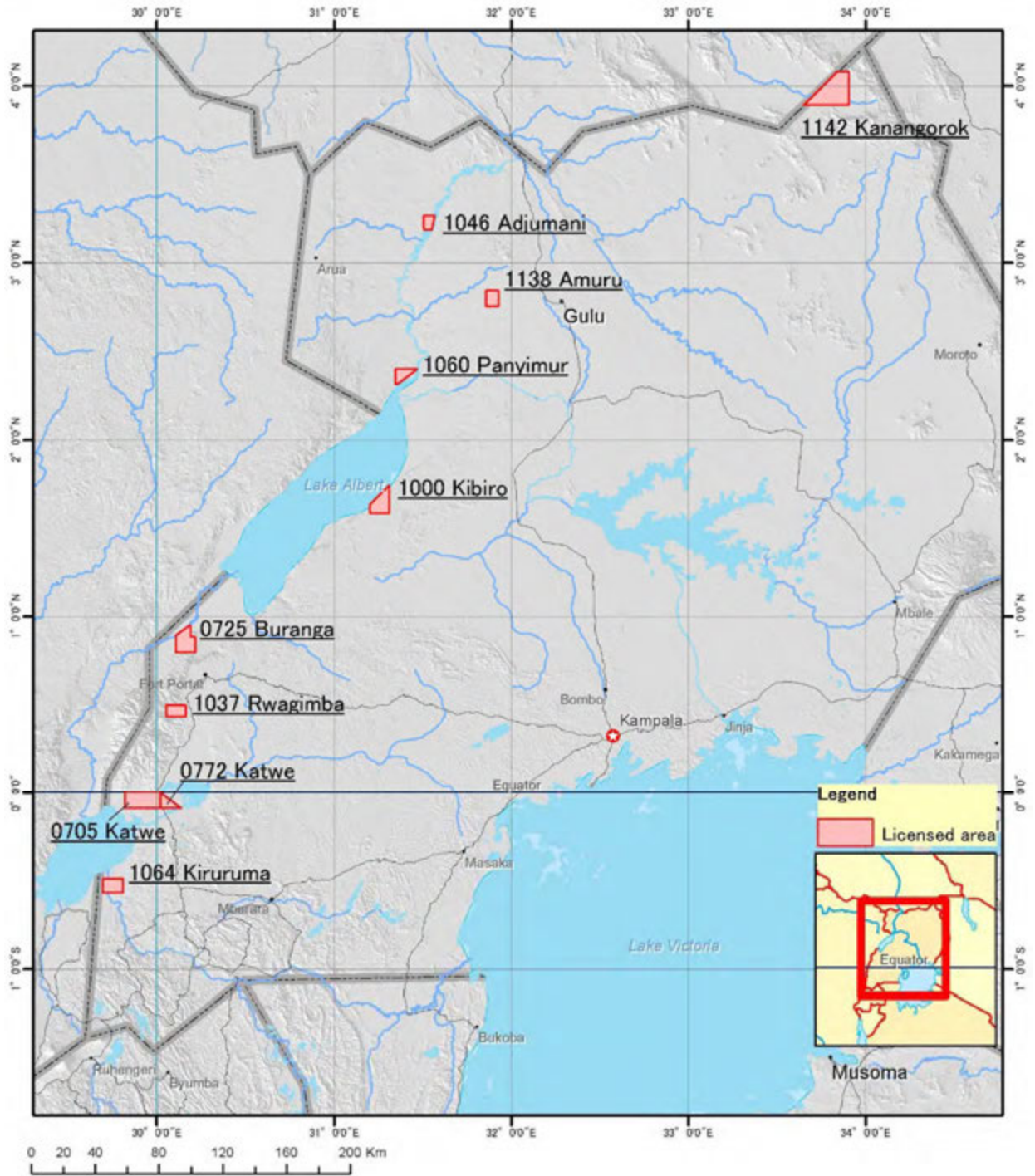
ウガンダ政府は、鉱物法の下、2010年に地熱探査権の発行を始めた。最初の探査権はCozumel Energy (U) Limitedに対してのカトウェの探査権であり、現在、10の探査権が計8つの企業に付与されている（図 II-2、表 II-2）。このうち、Katwe Geothermal Power Project LtdはAAEと共に、2013年5月に、初期出力150MWで8.0米セント/kWhの電力購入契約を締結している。しかし、探査権が付与されている地点のほとんどで、法律で定められた調査が実施されていない。探査権は、タンザニアで同様のケースがあったように、投機目的で取得されたようである。ライセンスホルダーによる調査がほとんど進展しないため、ウガンダ政府は、探査権の期限切れ後は、改めてこれらの地点を民間に委ねることはせず、政府主導による調査を検討している。DGSMは新たな探査権の発行を中止している模様である。ARGeo プロジェクトとして2013年10月にキビロに詳細調査の調査団を派遣する準備ができていたため、Morbege Finance Ltdへのキビロの探査権を取り消す計画があった。同社への取り消し通告がなされたが、何も反応がなく、取り消しの前に2回目の通告がなされることになっている。また、Clean Source Energy Partners Ltdは、Yumbe (Adjumani) において地熱兆候がないため、その探査権を取り下げたいと申し出た。しかし、同社はAmuruにおいて新しい探査権を2013年5月に取得した。FCN Energy Ltdが2013年5月23日に探査権を取得したのが最新であるが、同社もまた何も地熱調査をしていない。

電力拡大のための2009年のPB (2009) による最小コストマスタープランによれば、2021年から2023年の間に90MW（1年につき30MW）の地熱発電設備設置が期待されており、国には探査、掘削や電源開発、また人材育成のための時間が十分ある。再生可能エネルギー分野への投資を促進するため、ERCは2012年6月にウガンダにおける再生可能エネルギー資源の開発と投資に関する文書を発行した(ERC, 2012)。政府の再生可能エネルギー政策は、新たな再生可能エネルギーをエネルギー消費の本質的な部分に位置づけることである。この点において、この政策は再生可能エネルギーの依存度を現在の4%から2017年までに61%に増加させることを目的としている。これを実現するためのウガンダにおける再生可能エネルギーポテンシャルは、5,300MWある（表 II-3）。

表 II-2 地熱探査権設定地域

Number	License Holder	Field	Opening Date	Expire Date
0705	Cozumel Energy (U) Limited	Katwe	2010.11.29	2013.11.28
0725	Gids Consults Limited	Buranga	2011.2.10	2014.2.9
0722	Katwe Geothermal Power Project Ltd	Katwe	2011.6.27	2014.6.26
1000	Moberge Finance Ltd	Kibiro	2012.7.24	2015.7.23
1037	Clean Source Energy Partners Ltd	Rwagimba	2012.8.20	2015.8.19
1046	Clean Source Energy Partners Ltd	Adjumani	2012.9.4	2015.9.3
1060	Pawakom International Ltd	Panyimur	2012.10.15	2015.10.14
1064	Ascot Associates	Kiruruma	2012.11.23	2015.11.22
1138	Clean Source Energy Partners Ltd	Amuru	2013.5.2	2016.5.1
1142	FCN Energy Ltd.	Kanangorok	2013.5.23	2016.5.22

(DGSM資料に基づき調査団作成。2013年8月現在のデータ)



(調査団作成)

図 II-2 地熱探査権設定地域位置図

表 II-3 ウガンダにおける再生可能エネルギーのポテンシャル

	Energy Source	Estimated Potential (MW)
1	Hydro	2,000
2	Mini-Hydro	200
3	Solar	200
4	Biomass	1,600
5	Geothermal	450
6	Peat	800
7	Wind	-
	Total	5,300

(ERC, 2012)

ウガンダ政府は、この分野への早期の投資を促すため、再生可能エネルギーの固定価格買取制度 (FIT) を制定した (表 II-4)。

表 II-4 再生可能エネルギーの固定価格買取制度

	Technology	Tariff (US Cents/kWh)
1	Hydro (0.5-1MW)	10.9
2	Hydro (1-8MW)	9.1
3	Hydro (9-20MW)	7.9
4	Bagasse	8.1
5	Biogas	11.5
6	Land fill gas	8.9
7	Geothermal	7.7
8	Solar PV	36.2
9	Wind	12.4

(ERC, 2012)

FIT は、地熱においては 20MW 未満に適用される。これ以上の出力の発電所では、価格交渉となる。発電事業者と UETCL の間には 20 年間の PPA が締結される。

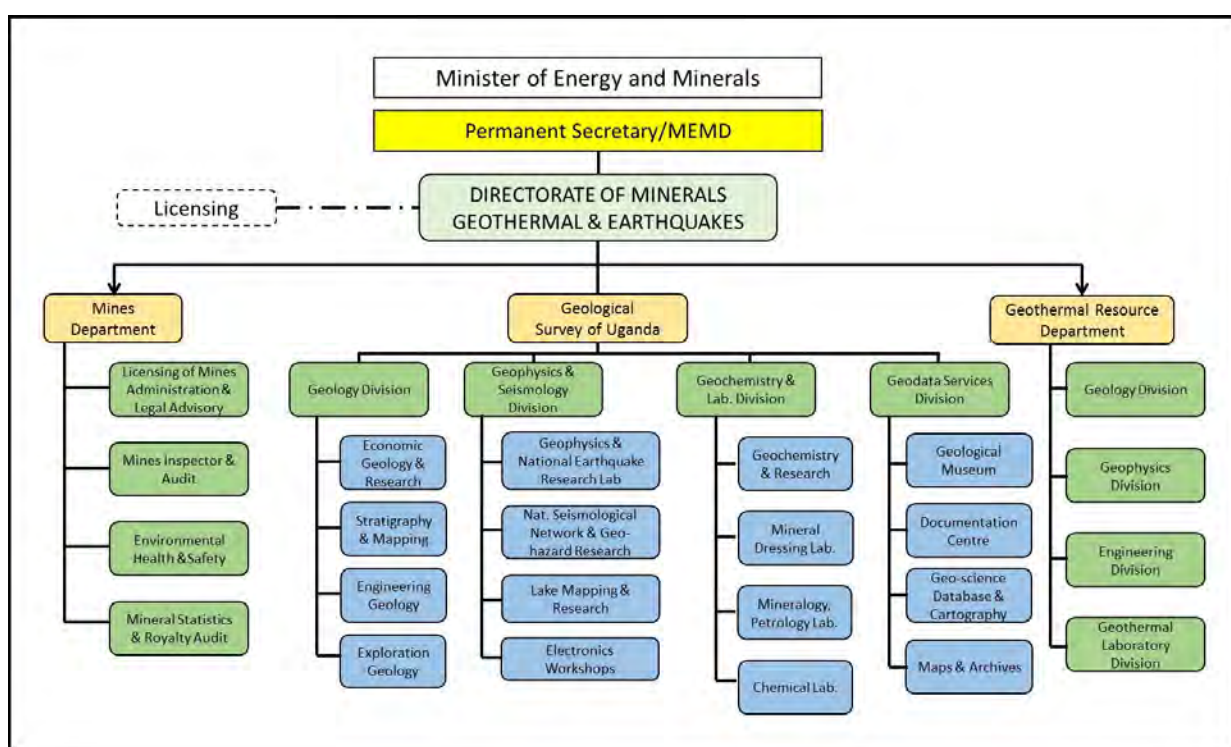
FIT の目的は、より多数の企業の再生可能エネルギー発電部門への参入を促進し支援することである。FIT が内包するリスクは以下のとおり。

- 自動的な送電網への接続と価格柔軟性
- UETCL との 20 年間の PPA を通じた引き取りリスク
- 長期間の PPA により UETCL が持つ価格及び通貨リスク
- 物価上昇要因によるインフレリスク
- CERs (Certified Emission Reduction : 認証排出削減量)取引

地熱エネルギーは、発電されるやいなや、国家電力計画に関わりなく、送電網に取り込むことができると考えられる。

II-4-3 地熱担当部署の設立

ウガンダ政府は、地熱開発を効率的に進めるため、関連組織の再構築が必要であると考えている。したがって政府は、鉱物・地熱資源部門を立ち上げ、地熱開発を取り扱う部署を作ることを決定した(図 II-3)。この部署は、地質、鉱山、そして地熱の3つの部局からなる。この計画はまだ実施段階ではないが、最終的な組織構成を議論するため、会議が開催された。現在の DGSM の地熱スタッフは新しい地熱開発の部署に吸収される見込みである。地熱部は地熱が開発されるにつれて、業務と共にスタッフも増員されると考えられる。この組織は 2013/2014 年度に設立され、地熱調査を実施するため (MT 探査機器は今年調達予定)、地熱開発に適した法的枠組みを作成し、新しい法律の下で地熱探査権を発行し、地熱開発ロードマップを作成するであろう。地熱探査権はエネルギー部が、電力購入契約は ERA が担当すると考えられる。これらを実施するために、ウガンダ政府へのドナーからの財政的及び技術的な支援が必要である。



(DGSM資料)

図 II-3 提案中の新しい鉱物・地熱資源部門組織図

II-4-4 ドナーの支援状況

他ドナーによる地熱開発調査の支援動向は次のとおりである。

- AfDB : DGSM は地熱調査のための資金援助 (51.865 百万米ドル) の要請書を提出済み (2012.12.12 付) で、審査結果を待っている状況である。この資金は、主要地熱4地域 (キビロ、カトゥウェ、パニムル、ブランガ) における詳細調査、特に最有望地点での MT、3本の深部調査井掘削、5MW の坑口発電装置の設置、国の法的枠組み整備及び職員のトレーニング費用を含んでいる。

- ▶ ICEIDA – WB：カトゥウエで探査権が切れた場合、追加調査のための70万米ドルの援助を実施する可能性を検討している。
- ▶ ARGeo-UNEP：キビロ地点の地熱開発調査を実施する計画がある。UNEPとDGSMは既存データを再評価し、新しいプロジェクトを計画するためのワークショップをエンテベで開催済みである。この支援は、現在のMorbege Financial Ltdへの探査権が失効した後に実施される。
- ▶ GRMF：ウガンダはアジスアベバのAUCが運営する、GRMFによってカバーされた東アフリカ諸国の加盟国である。GRMFはBMZ（20百万ユーロ）とEU-アフリカインフラ信託基金（30百万ユーロ）によって設立された。ウガンダは、最初のラウンドで、3本の井戸掘削と1箇所の地表調査プロジェクト（22百万米ドル）の検討のための提案を提出しなかった。GRMFは、GRM援助可能国を11カ国まで増やしており、もし全てが承諾されれば合計163百万米ドルの第2、第3ラウンドの申し込み（Mayer 2013）が見込まれている。第2、第3ラウンドの申し込みでは、ウガンダは4箇所の地表探査（キビロ、カトゥウエ、パニムル、ブランガ）と、キビロでの1本の井戸掘削を提案する見込み。
- ▶ UNU-GTP, KenGen and GDC：2005年からケニアにおいて、ウガンダ人に対する4週間のショートコースを引き続き実施。UNU-GTPは、アイスランドでの6ヶ月間の地熱コースを申し出ている。これらのコースへの受け入れは、受入国による適した候補者の選定により行われる。
- ▶ GIZ及びUSAID—東アフリカ地熱パートナーシップ(EAGP)：法的枠組みの開発を援助することを望んでいる。EAGPは既に探査権を所有しているアメリカ企業の支援を望んでいる。しかしながら、具体的なことは何も決まっていない。

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

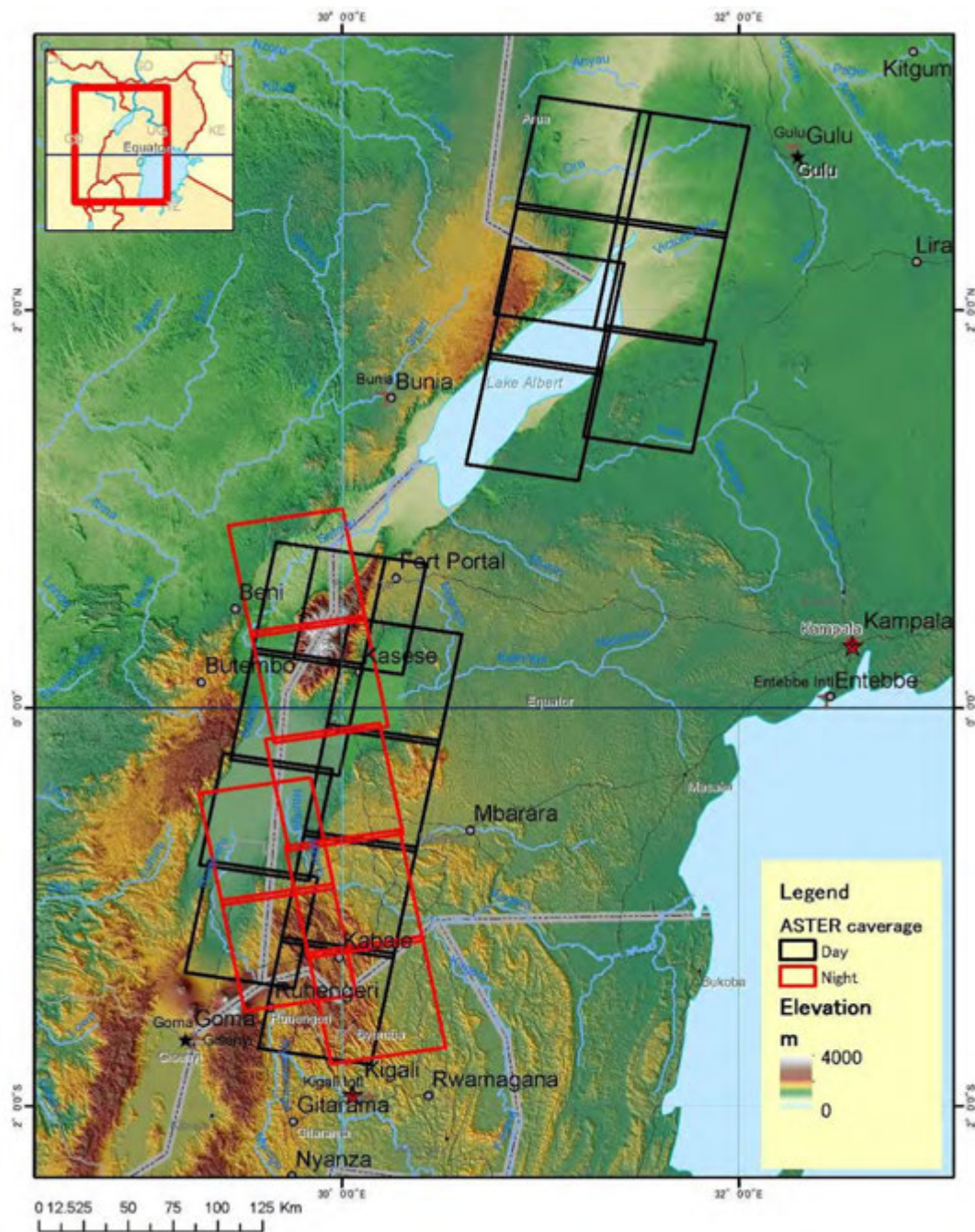
a. データの収集

収集したリモートセンシングデータを表 II-5 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ウガンダ国西部のアルバート湖北側周辺及び南西部のエドワード湖からルウェンヅリ山にかけての地域である。

表 II-5 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; 16scenes 3B temperature; 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)

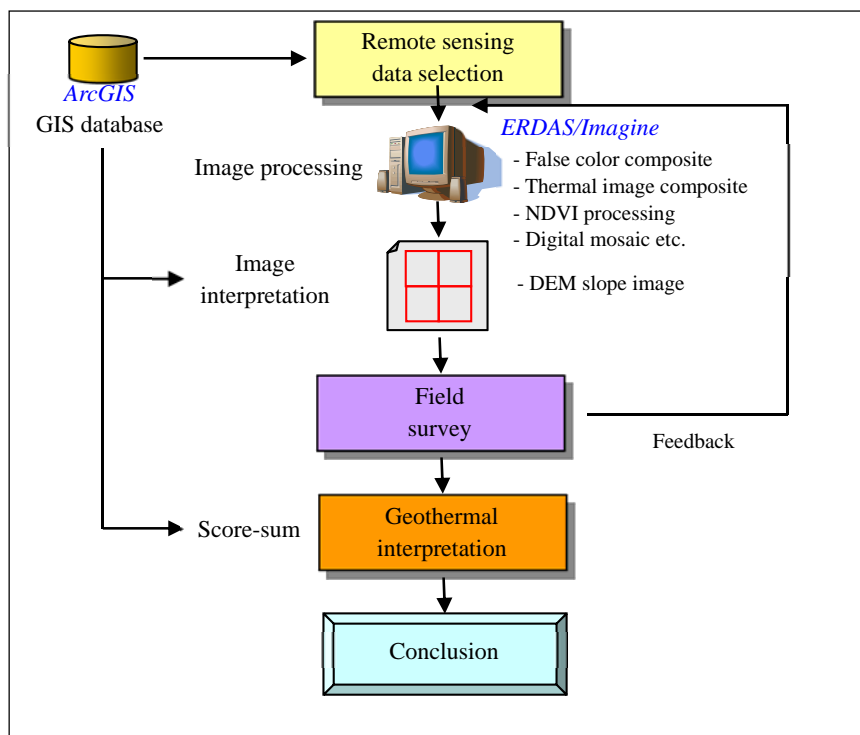


(調査団作成)

図 II-4 ASTER データのカバレッジマップ

b. 調査方法

調査の流れはリモートセンシングデータの選定、そのデータ処理、画像判読、画像判読に基づく現地地質調査、地熱に関連する判読・解析、それらを総合した結論より成る。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+及び EOS/ASTER 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-5 に示した。

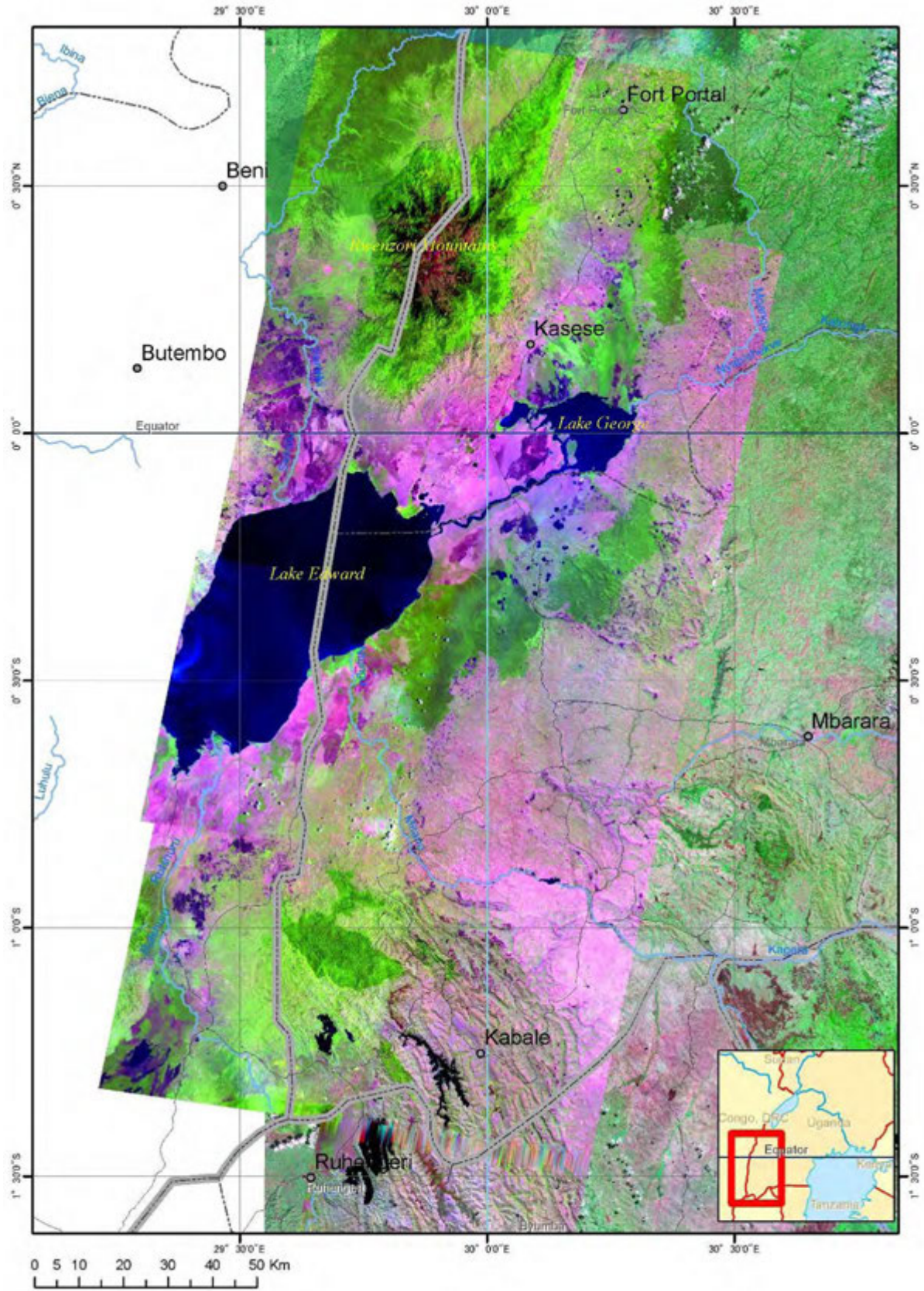
適用した処理方法はフォールスカラー合成処理、NDVI 処理、デジタルモザイク処理等である。フォールスカラー合成処理では適切な 3 バンドを青・緑・赤の光の三原色に割り当てて色合成画像を作成した (図 II-6)。NDVI 処理では標準化植生指数を利用して湧水と関連する植生を強調して表示した (図 II-7)。ASTER 熱画像では処理レベル 2B03 プロダクトを利用して地表の放射温度を表示した。同画像では高い放射温度の階調が高く (明るく) なるように設定した (図 II-8)。

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の画像と陰影効果を持たせた画像を作成し、これら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 (図 II-9 及び図 II-10)。

表 II-6 作成画像一覧

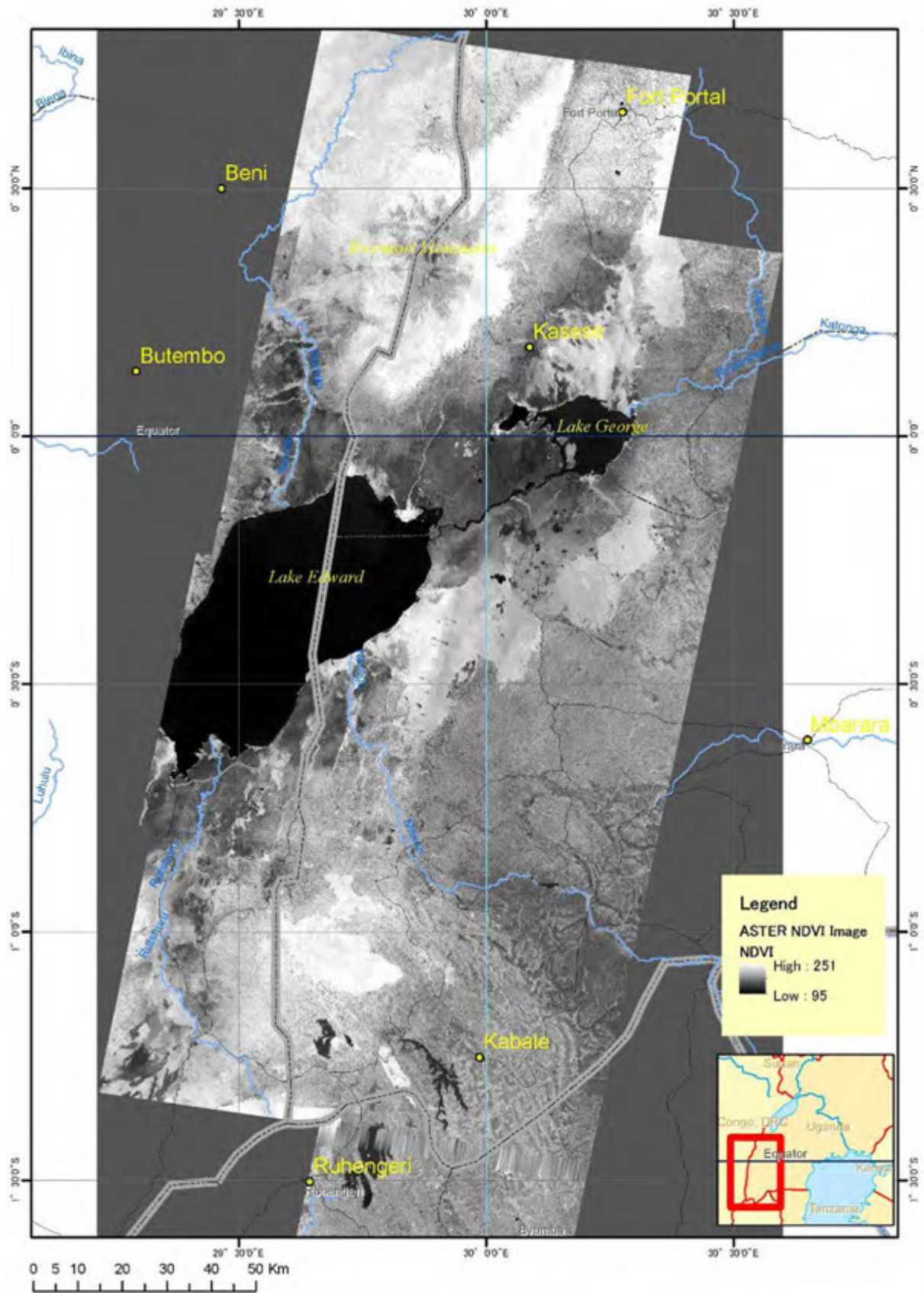
Generated imagery	Scale
ASTER false color image combined with LANDSAT/ETM+	1:250,000
SRTM slope image superimposed on ASTER false color image	1:250,000
SRTM shaded image superimposed on ASTER false color image	1:250,000
ASTER NDVI (Normalized Vegetation Index image)	1:250,000
ASTER Level 2B03 product (surface kinetic temperature)	1:250,000

(調査団作成)



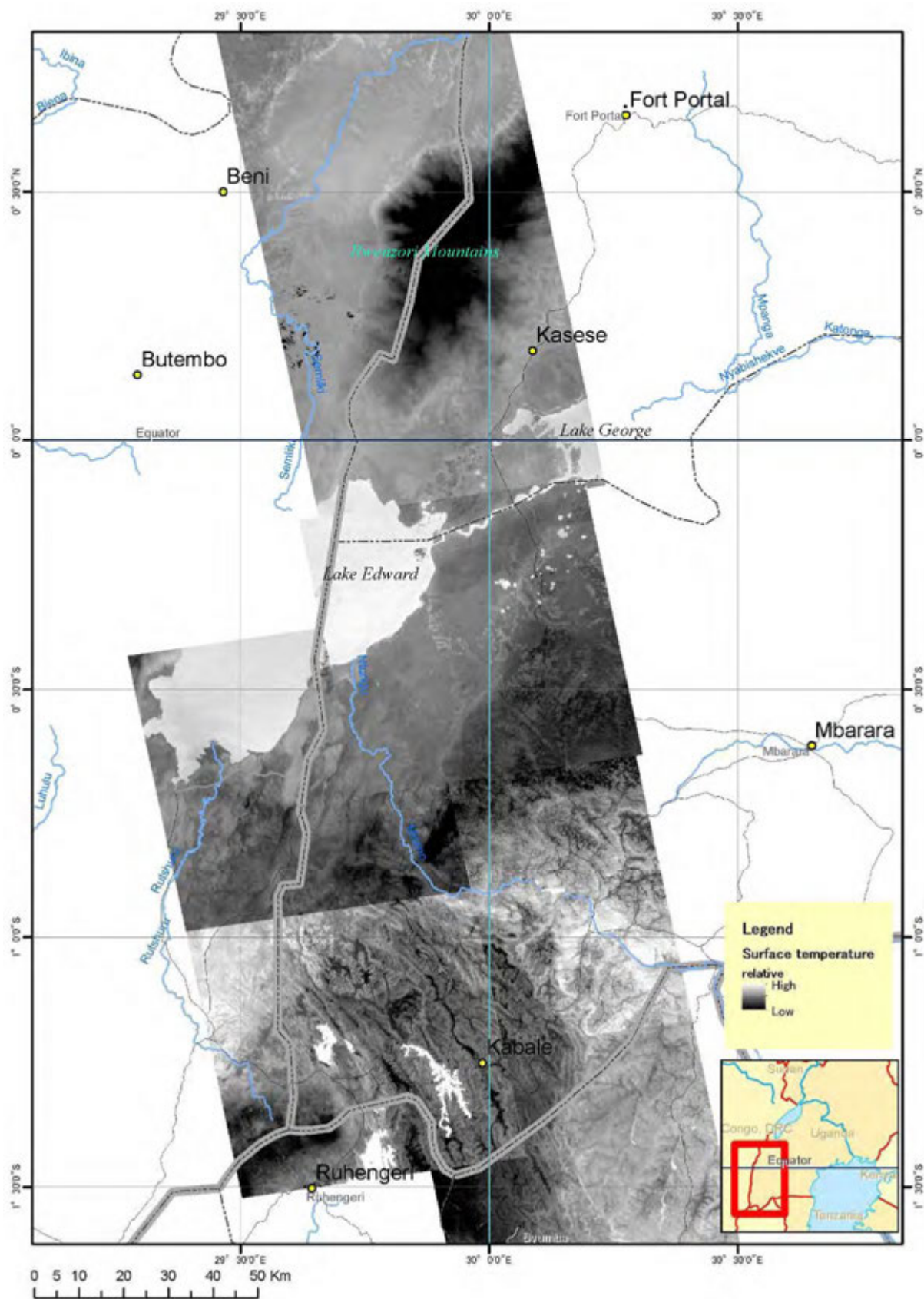
(調査団作成)

図 II-6 ASTER 及び LANDSAT/ETM+複合画像



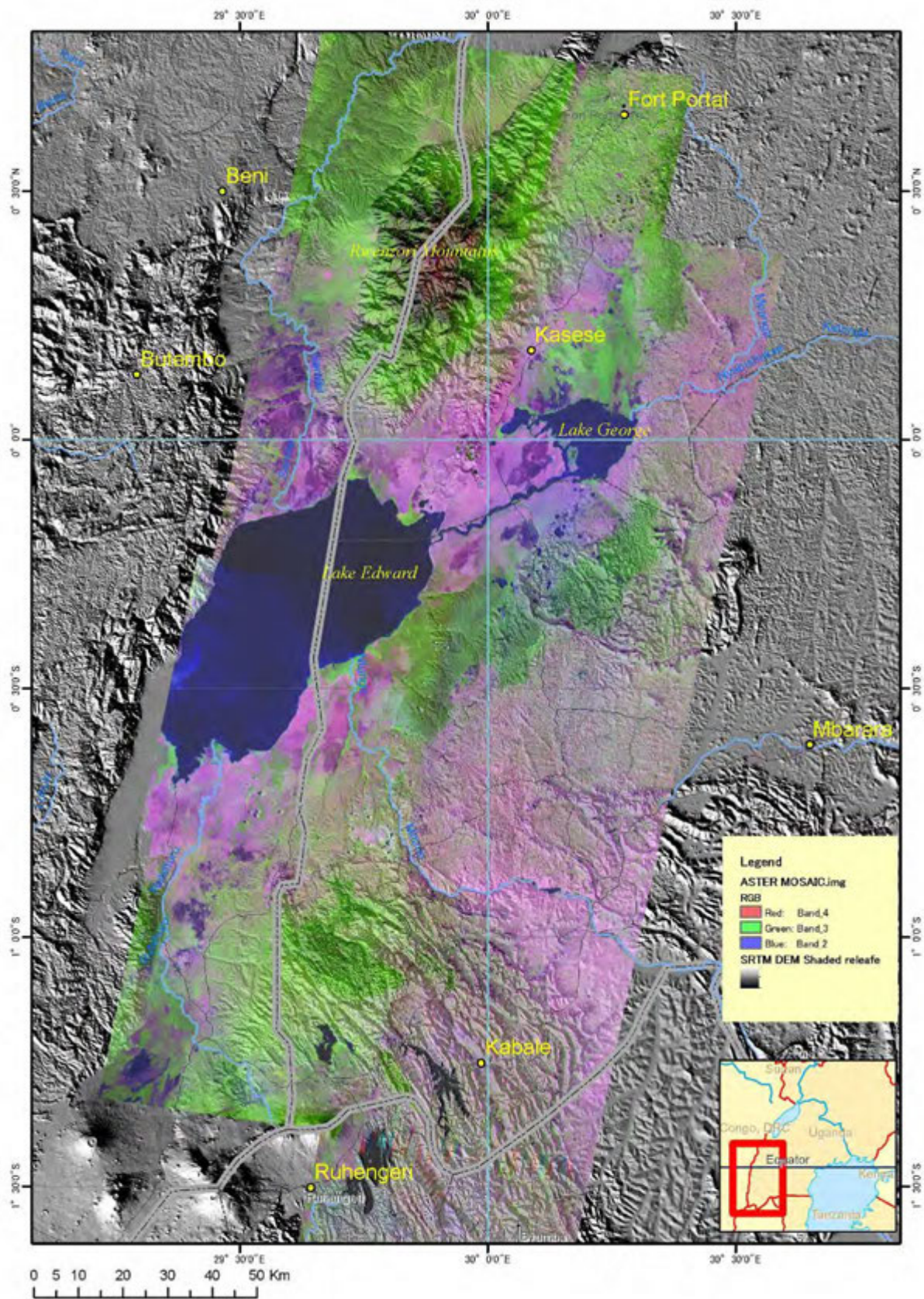
(調査団作成)

図 II-7 ASTER 植生指数画像(NDVI)



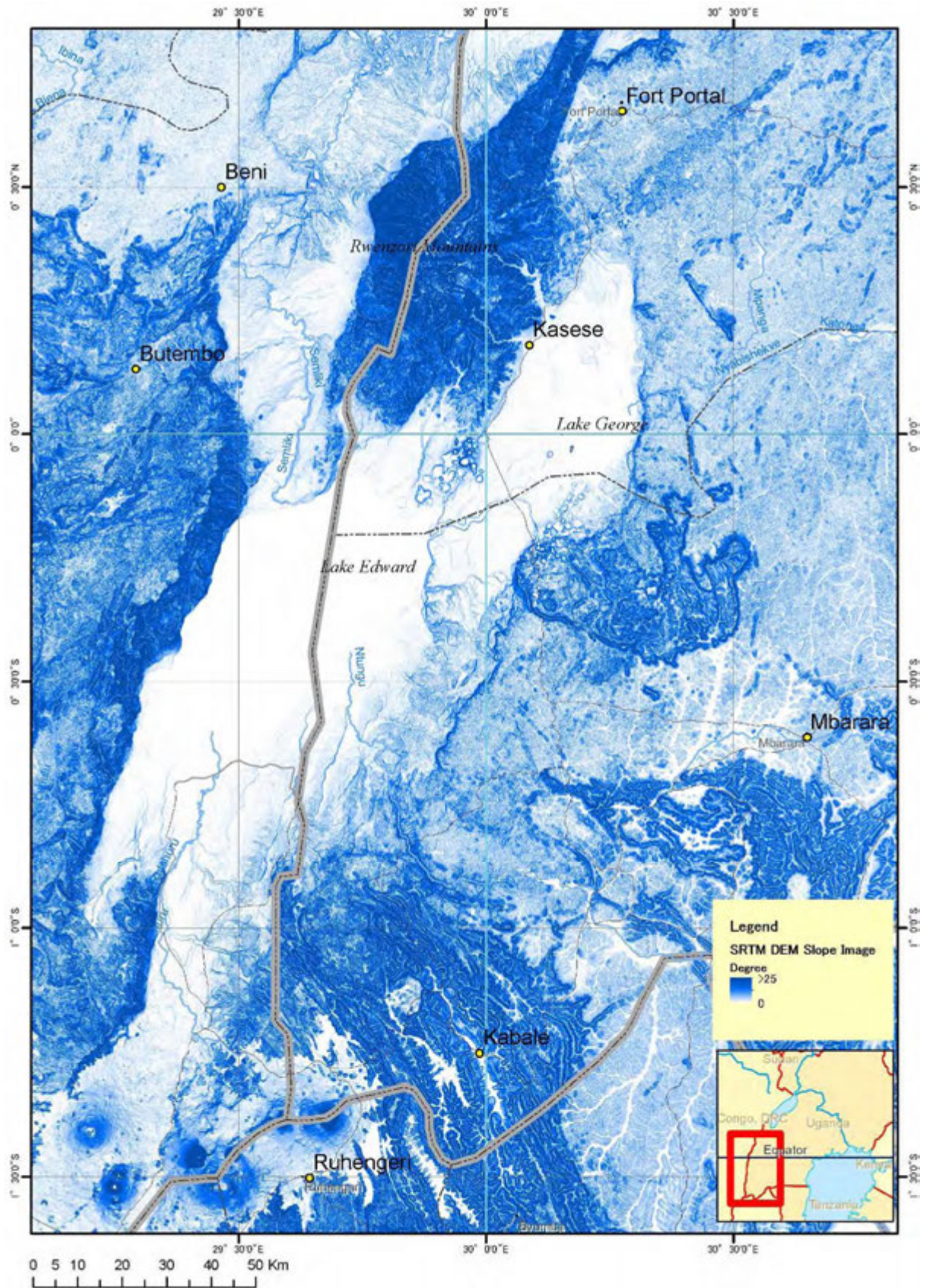
(調査団作成)

図 II-8 ASTER Level 2B03 プロダクト (地表面温度)



(調査団作成)

図 II-9 SRTM 陰影画像と ASTER 画像の重ね合わせ



(調査団作成)

図 II-10 SRTM DEM による傾斜量画像

d. 画像判読

(a) 画像判読の着目点

1) 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。
- ・ 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。

2) 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。その着目点は以下のようなになる。

- ・ 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る。

(b) 画像判読結果

図 II-11 には現地調査を実施した地域の地質構造判読結果を、図 II-12 には地熱有望地域として知られているアルバート湖岸のキビロおよびパニムル地域の地質構造判読図をそれぞれ示した。現地調査を実施した地域については、南西地域と西部地域に分けて以下に記述する。

南西地域

この地域はカバレ市からキタガタ地区までの範囲で、カガンバ、カルング、ブバアレ、ルバアレ、キシジ、ルバゴ、ビララ、ミネラ、イヒンゴ、カニナバロンゴ、キルルマおよびキタガタの各温泉湧出サイトを含む。

基盤岩は概ね変堆積岩と片麻岩から構成される。これらのうち、変堆積岩分布地域では NNW-SSE 方向に軸を持つ褶曲構造が発達し、一般に大きな水系が発達する地域では向斜構造

を示し、湖沼部分では背斜構造を示す傾向にある。片麻岩は当該地域の北部に分布し、均質な画像上のテクスチャを示す。リニアメントについては、主なものは褶曲軸の方向と平行する NNW-SSE 方向に発達し、副次的なリニアメントは ENE-WSW 方向を示す。また、直径数キロメートル規模の環状構造が基盤岩分布地域にいくつか抽出された。

第四紀火山岩は地域最西端のわずかな地域に分布するのみである。そこでは数多くの火山丘や火口跡を抽出することができる。リニアメントについては、リフトの東側を境するリニアメントは断層と考えられ、画像上で明瞭に抽出できる。これらの火山岩分布地域はさらに西側に連続して分布する。

西部地域

この地域はルビリジ地区からフォートポータル市までの範囲で、ムホチャ、キベンゲ、ンドゥグツ、ルワギンバおよびルウィミの各温泉湧出サイトを含む。

基盤岩はその東部と西部に分布し、片麻岩と花崗岩から構成される。そのうち、西部に位置するルウェンゾリ山系は西縁の国境となる。東部に分布する基盤岩では縮尺 1:250,000 ではマッピングし難い小規模なリニアメントが E-W と N-S 方向に良く発達する。これらの構造は既存地質図等を参照すると、第四紀火山活動より以前の構造であることがわかる。ルウェンゾリ山系は、画像上で非常に粗いテクスチャを示し E-W、NW-SE、NE-SW 方向のリニアメントが発達する。

西側リフトについては、さらに東側サブリフトと西側サブリフトの 2 つに区分することができ、その境界はルウェンゾリ山系となる。東側サブリフトはルウェンゾリ山系の東側を迂回して連続し、N-S 方向から NE-SW 方向に方向を転じる境界断層と考えられるリニアメントが抽出できる。これらのリニアメントの抽出には特に DEM 画像が有効であった。ムホチャ、キベンゲ、ンドゥグツおよびルワギンバの各温泉は、この境界断層に沿ってほぼ N-S 方向に配列する。この地域には 4 つの火山岩分布地域が確認され、ジョージ湖南部、西部、ルウィミ地区およびフォートポータル市である。これらの地域には非常に多くの火山丘や火口跡が ASTER 画像および DEM 画像の双方から抽出することができる。一方、西側サブリフトはルウェンゾリ山系の西に沿って発達し、ウガンダ西方へと連続する。

アルバート湖地域

この地域はウガンダ国西部のアルバート湖沿岸に位置する地熱徴候地のキビロおよびパニムル地域を対象とする。キビロ地熱徴候地はアルバート湖南東岸に位置し、パニムル地熱徴候地はアルバート湖北側のアルバートナイル川の流出口西側に位置する。

アルバート湖周辺の地質は、基盤岩として湖の南東側には原生代の変堆積岩類が、湖の北側には始生代から原生代の変成岩類と花崗岩類が分布し、アルバート湖の伸長方向に当たる北東側にはリフティングに関係する新生代の堆積岩類が分布し、低地形成している。

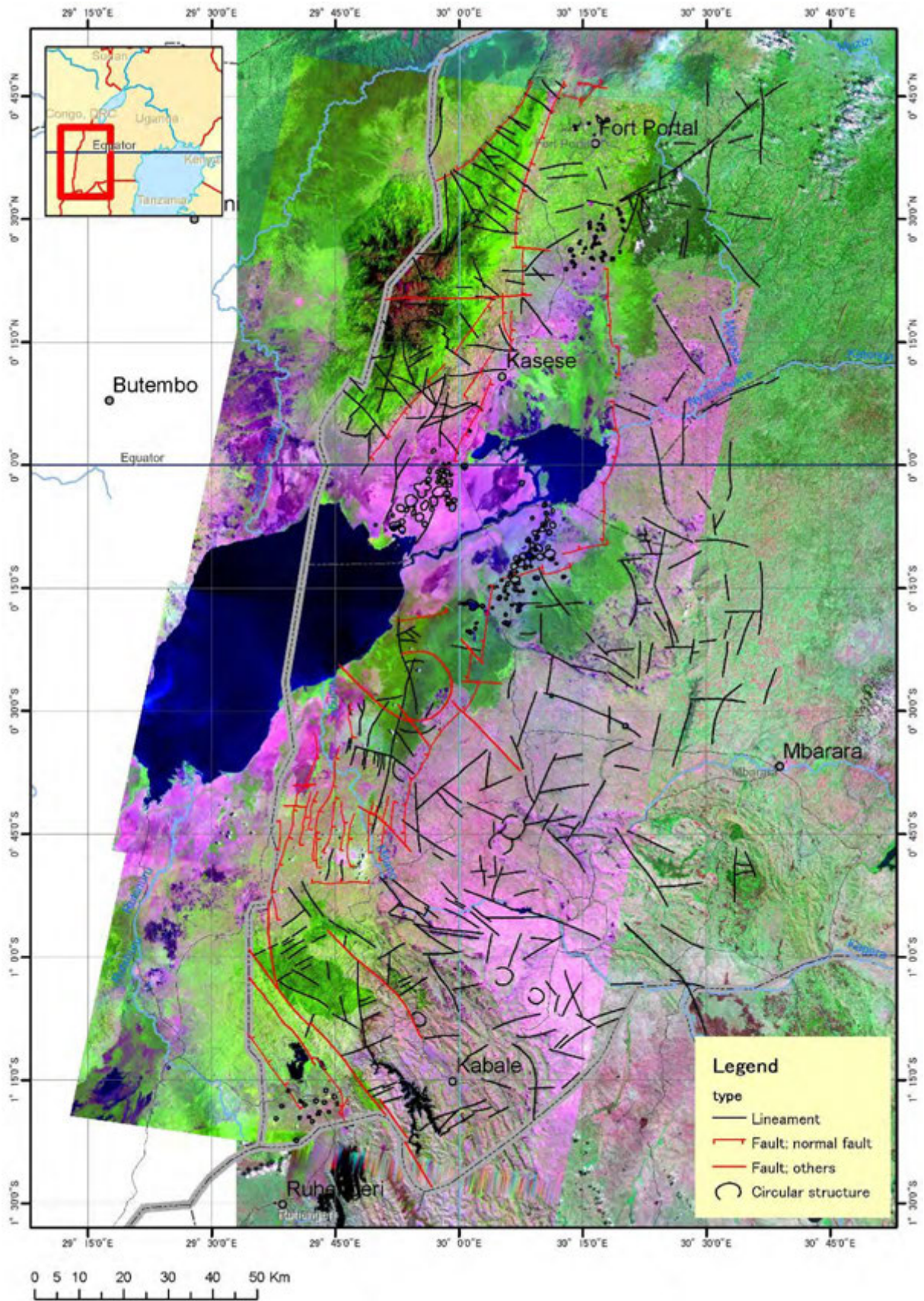
アルバート湖の北西岸と南東岸は、リフト帯の境界をなす NE-SW 系の明瞭な断層崖が連続する。南東岸の断層崖はそのまま北東に延長しリフト堆積物と基盤岩類の境界をなし、北東岸の断層崖はパニムル地域の北側で消滅する。

湖の南東側のリニアメントは、断層崖に並走する NE-SW 方向のリニアメントと、NW-SE、E-W、N-S 方向のリニアメントが発達する。地熱徴候地のキビロ付近は、NE-SW 断層崖と N-

S 及び SNW-SE 方向の明瞭なリニアメントが交差する地点に当たる。

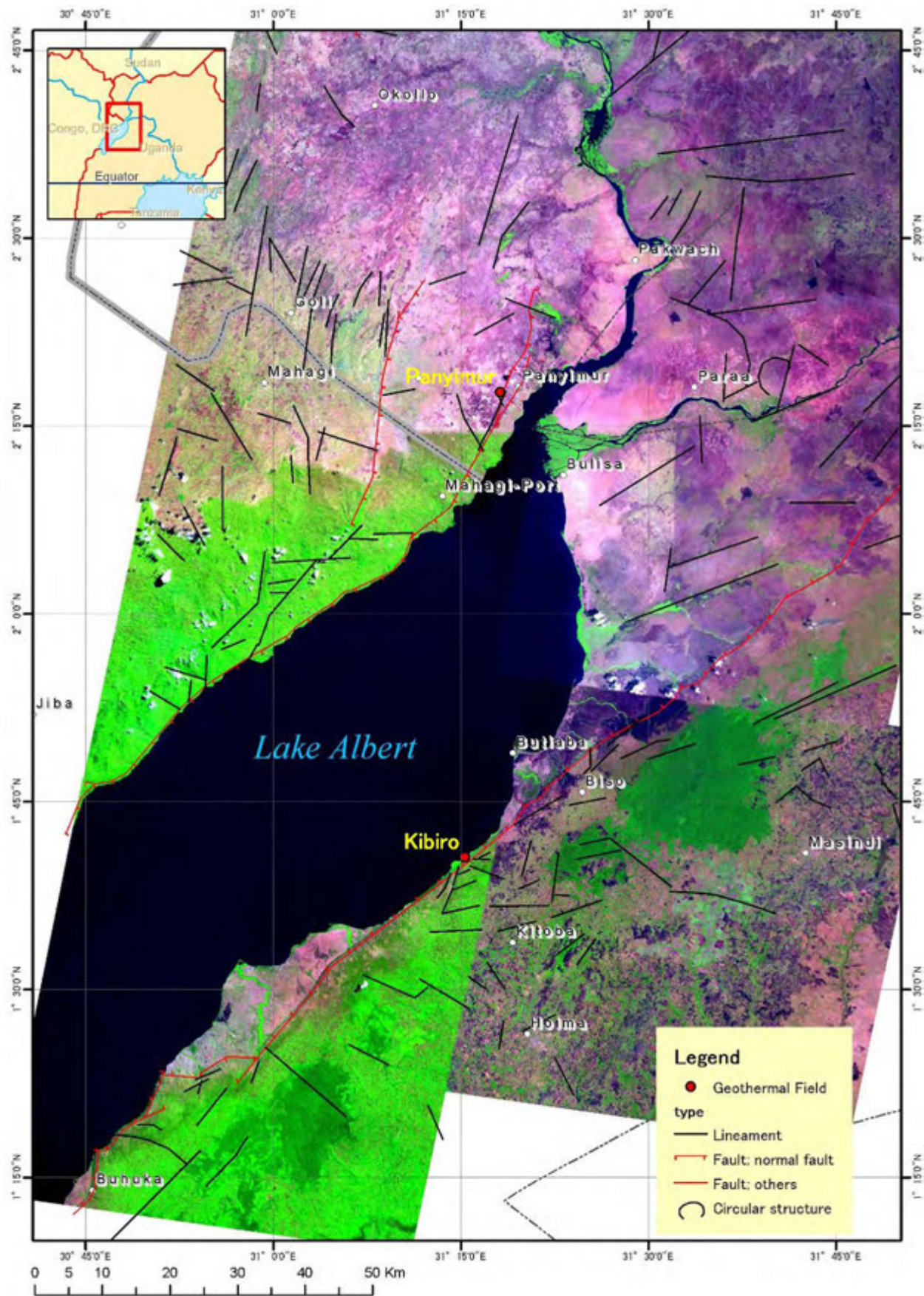
湖の北西側のリニアメントは、主に NE-SE 方向、E-W 方向および N-S 方向のものが発達する。さらに北に離れると基盤構造を反映する N-S 方向のリニアメントが発達する。地熱徴候地のパニムル付近では、リフト帯の境界をなす NNE-SSW 方向の断層による 2 本の断層崖の発達と、これらに並走するリニアメントの発達が認められる。

湖北東側のリフト堆積物の分布地域にも主に NE-SW 方向と N-S 方向のリニアメントが発達する。



(調査団作成)

図 II-11 地質構造判読結果



(調査団作成)

図 II-12 地質構造判読結果(アルバート湖地域)

2. 既存の温泉地化学データの予察的解析

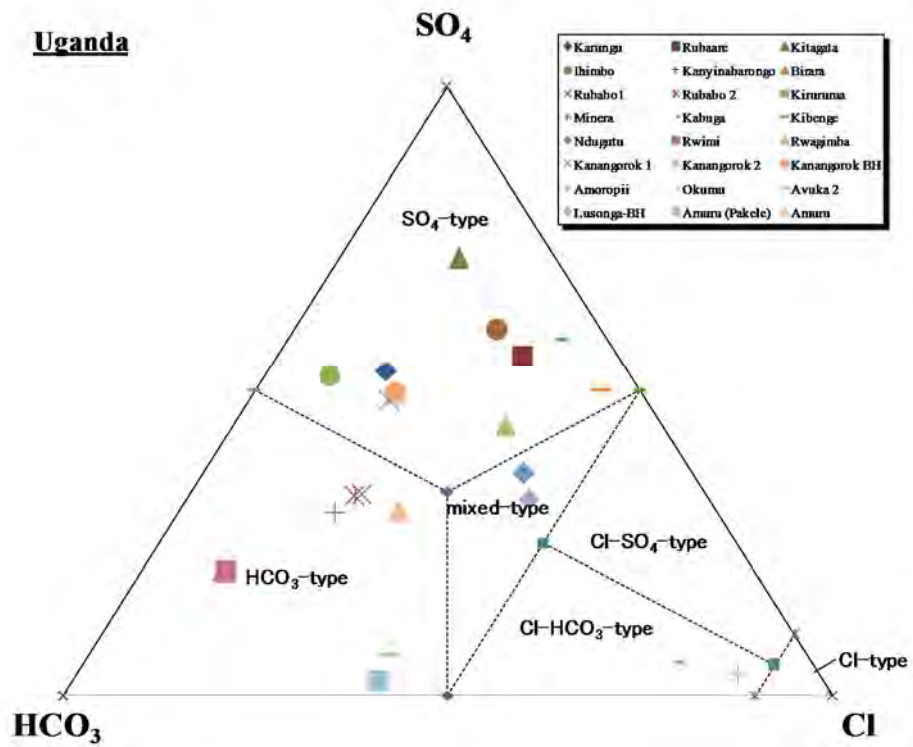
温泉水・地表水の化学分析結果は、BGR(2007)及び ISOR の調査で実施された Armannsson et al. (2007) にまとめられている。前者は 2005 年に調査されたもので、分析項目は同位体比までを含む 24 項目である (表 II-7 参照)。後者は 2006 年頃に調査されたもので、分析項目は通常解析に使用しない微量成分まで約 60 項目が分析されている。これらの調査の後、温泉水・地表水の調査が実施されているかどうかは明らかでないが、ウェブ検索では新たなデータは入手できていない。BGR(2007)は地熱探査権の設定された地域のひとつであるブランガ地域のみを調査されたものであったため、Armannsson et al. (2007)の分析値 (既存データ) を基に、ウガンダ全土の予察的な地化学解析を行った (温泉水分析値のうち、主要成分の一覧はそれぞれ添付資料に示す)。

陽イオンと陰イオンの電荷バランスについては、合っていないものが多く、分析値の信頼性に少々疑問が残る。このため、今後の現地調査で測定されている化学組成の信頼性を確認することが望まれる。温泉水の pH は、概ね中性～弱アルカリ性である。ウガンダ国内の温泉は、陰イオンの分類では大部分が HCO₃ 型または SO₄ 型である (図 II-13 参照)。深部熱水型である Cl 型を示す温泉や Cl-HCO₃ 型、Cl-SO₄ 型の温泉は認められない。次に、高温で岩石と反応した温泉であれば濃度が高くなる Cl 濃度と、泉温との関係を調べたところ、ルワギンバのみが 60°C 以上の泉温で Cl 濃度も 200mg/L 以上であり、高温・高 Cl 濃度の温泉水であった (図 II-14)。Cl 濃度のみが約 3,000mg/L と高いルゾンガとンドゥグツは、例えばカトゥウエ湖が塩湖であるように (Natukunda, 2012)、周辺の塩湖や塩田からの流体の流入を示唆していると考えられる。

一方、Armannsson et al. (2007)は、地熱探査権が設定されたカトゥウエ、キコロongo、ブランガ、キビロ以外の有望地域について調査したものである。温泉水の化学成分から計算される地化学温度 (添付資料) に基づけば、ルバアレ (134-140°C)、キタガタ (120-140°C)、カナンゴロ (140-160°C) が地熱資源有望地として抽出される。

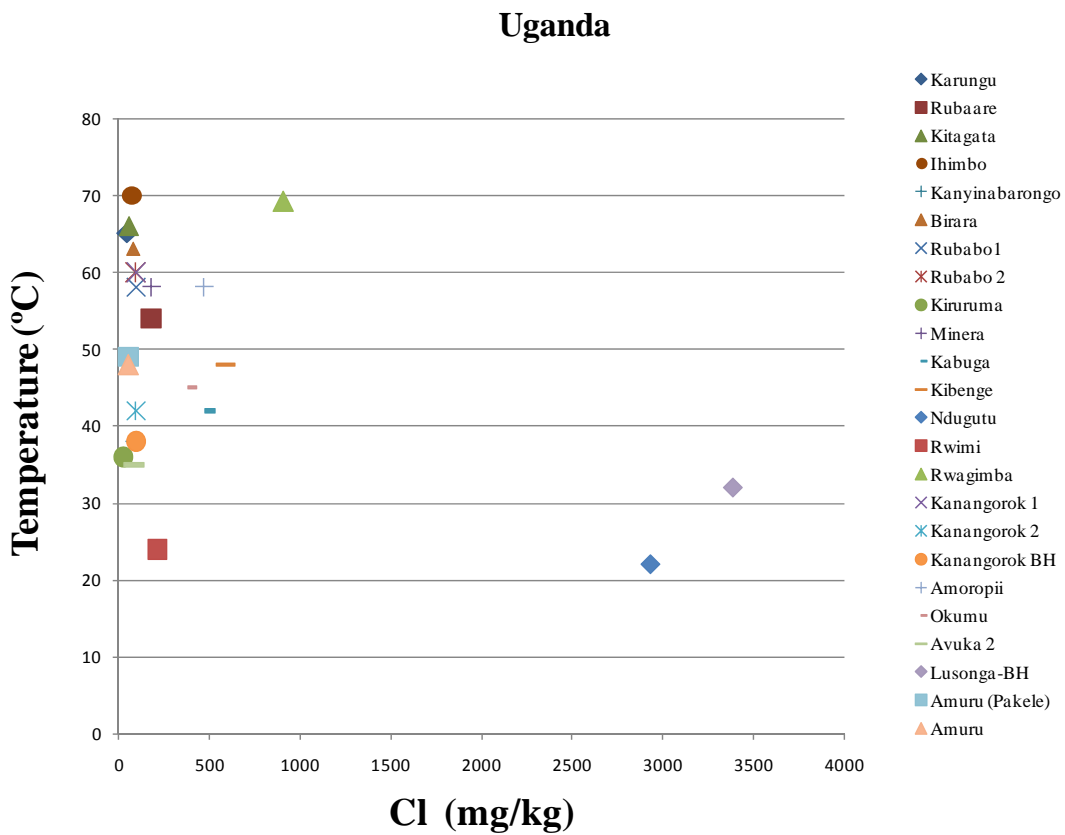
表 II-7 参考にした既存調査の温泉分析値

出展	試料採取年	分析項目	対象地域	分析値の信頼性
Armannsson et al. (2007)	2005	同位体比まで含む 24 項目	ウガンダ全土 28 泉源	問題あり (イオンがアンバランス)
BGR (2007)	2006 頃	微量成分まで 64 項目	ブランガ地域 44 泉源	概ね問題なし



(Armannsson et al., 2007 を基に調査団作成)

図 II-13 ウガンダの温泉水の主要陰イオン三成分図



(Armannsson et al., 2007 を基に調査団作成)

図 II-14 ウガンダの温泉水の Cl 濃度と泉温の関係図

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-8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を除くと、イヒンボ、キタガタ、カルング等が候補地域としてあげられる (図 II-15 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。

表 II-8 地熱徴候地の温度情報 (ウガンダ)

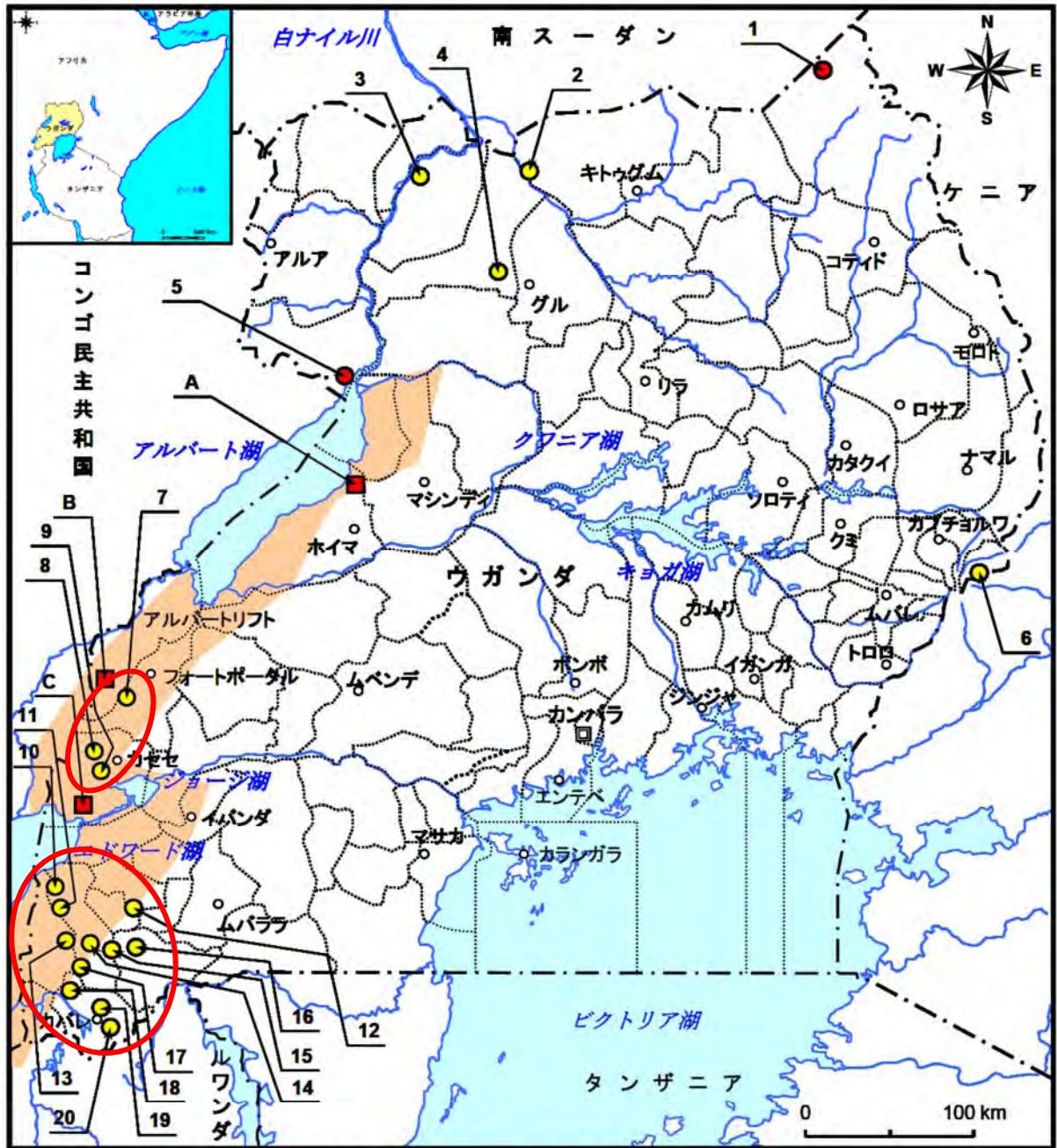
地熱徴候地名	県名	湧出温度 (°C)	地化学温度*1 (°C)	備 考
キビロ	ホイマ	86.4	150, 200 - 220*2	地熱権設定済み
イヒンボ	ルクンギリ	50 - 70	52	
ルワギンバ	カバロレ	69.2	85	地熱権設定済み
キタガタ	ブシェニ	66	91	
カルング	カバレ	34.4 - 65	71	
ビララ	ルクンギリ	63	109	
ルバボ	ルクンギリ	58 - 60	94.9 - 96.9	
カナンゴロ	コティド	38 - 60	111.6 - 119	地熱権設定済み
ミネラ	ルクンギリ	58	99	
アモロピ	キトゥング	58	82	
ルバアレ	ントウンガモ	54	112	

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。

*1： シリカ温度 (カルセドニー)

*2： シリカ温度 (石英)

(調査団作成)



- 凡例
- ライセンス発行済み主要地熱地域
 - ライセンス発行済みその他の地熱地域
 - その他の地熱地域
 - A: キピロ B: プランガ C: カトゥウェ
- | | | | | |
|----------|----------|--------------|---------|-----------|
| 1: カナンゴロ | 2: アモルビ | 3: アムル (パケレ) | 4: アムル | 5: パニュイムル |
| 6: カイタボシ | 7: ルワギンバ | 8: キベンガ | 9: カプガ | 10: キルルマ |
| 11: イヒンボ | 12: キタガタ | 13: ビララ | 14: ルバボ | 15: ミネラ |
| 16: ルバアレ | 17: キシイジ | 18: カルング | 19: プバレ | 20: カガンバ |

○ : 現地調査候補地

(調査団作成)

図 II-15 ウガンダの現地調査候補地

II-5-2 現地調査

1. 現地調査結果

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、ウガンダ国エネルギー・鉱物資源開発省、地質調査・鉱物資源開発局の情報や要求を踏まえ決定した。なお、JICA 安全対策措置に基づく除外地域はなかったが、国立公園内の 1 地域は JICA の指示により除外された。

現地調査地点の位置図を図 II-16 に、現地調査地点のリストを表 II-9 にそれぞれ示した。また、温泉水の水質測定結果と試料リストを表 II-10 に、岩石分析用の試料リストを表 II-11 に示した。

各温泉湧出地点の特徴を以下に述べる。

表 II-9 現地調査地点一覧

Location No.	Date	Place	District	Longitude	Latitude	Elevation	Geology
				degree(E)	degree(N)	m	
Ka01	9-Oct	Kagamba	Kabale	29.99716	-1.32024	1805	Meta-sedi ments
Kr01	9-Oct	Karungu	Kabale	29.87281	-1.07401	1831	Meta-sedi ments
Bu01	9-Oct	Bubale	Kabale	29.95998	-1.23178	1811	Meta-sedi ments
Mu01	9-Oct	Murole	Kabale	29.85442	-1.14709	1971	Quaternary volcanics
Ru01	9-Oct	Rubaare	Ntungamo	30.08225	-0.89426	1377	Granitic rocks
Ki01	10-Oct	Kisiizi	Rukungiri	29.94384	-0.99533	1662	Meta-sedi ments
Rb01	10-Oct	Rubabo	Rukungiri	29.94488	-0.90198	1309	Granitic gneiss
Bi01	10-Oct	Birara	Rukungiri	29.88278	-0.88771	1288	Meta-sedi ments
Mi01	10-Oct	Minera	Rukungiri	30.01129	-0.90385	1344	Gneiss
Ih01	11-Oct	Ihimbo	Rukungiri	29.81719	-0.68512	1019	Quaternary sedi ments
Kn01	11-Oct	Kanyinabalongo	Rukungiri	29.78933	-0.64318	989	Quaternary sedi ments
Km01	11-Oct	Kiruruma	Kanungu	29.74691	-0.66558	1013	Quaternary sedi ments
Kt01	11-Oct	Kitagata	Sheema	30.16074	-0.68038	1478	Gneiss
Mh01	12-Oct	Muhokya	Kasese	30.04698	0.10264	1001	Quaternary sedi ments
Kb01	12-Oct	Kibenge	Kasese	30.0546	0.18739	1071	Gneiss
Nd01	13-Oct	Ndugutu	Kasese	30.09586	0.29324	1230	Gneiss
Rw01	13-Oct	Rwagimba	Kabarole	30.10631	0.47695	1556	Gneiss
Rm01	13-Oct	Rwimi	Kabarole	30.21778	0.38668	1109	Quaternary sedi ments

準拋橢円体 : WGS 1984

(調査団作成)

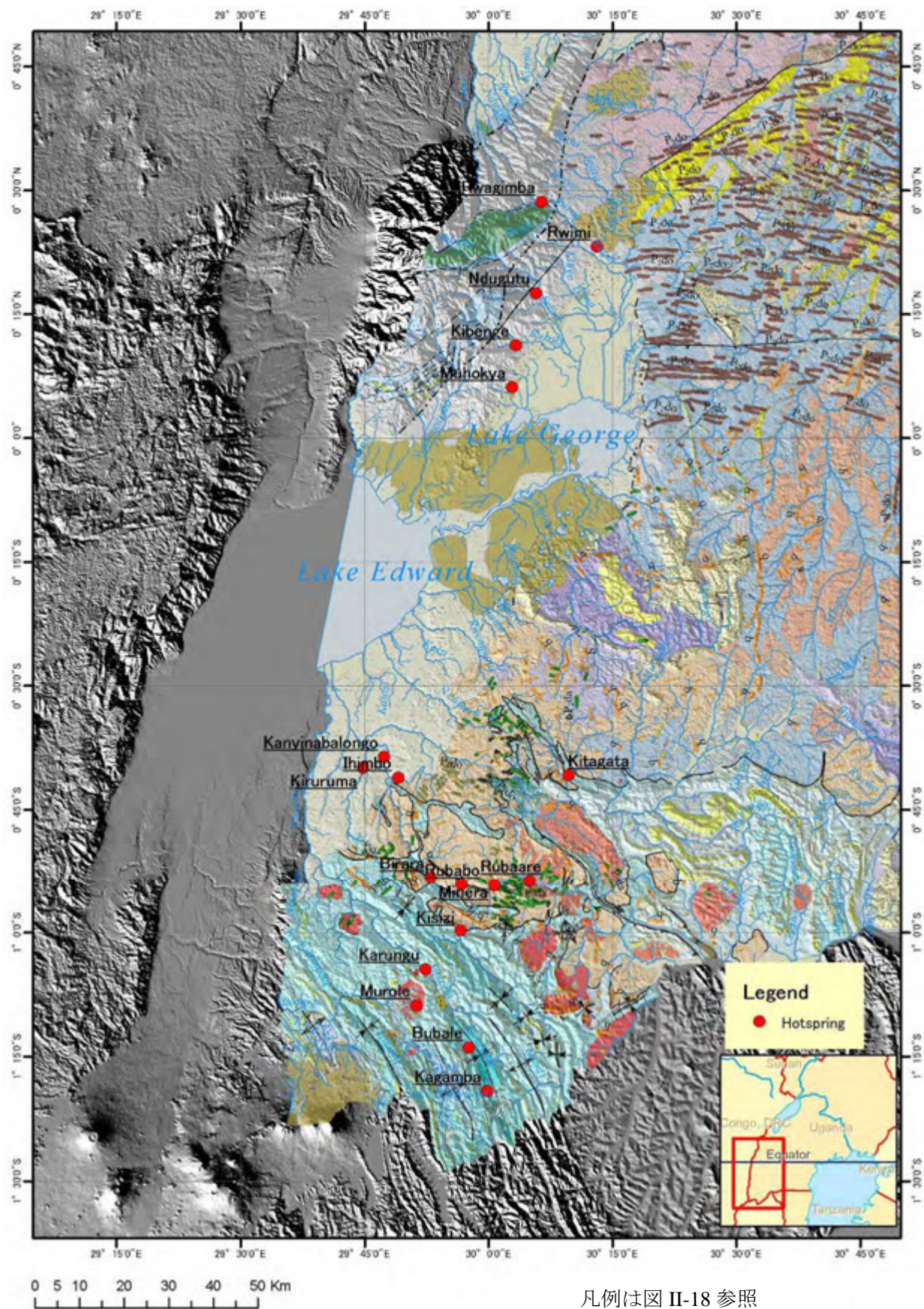


図 II-16 現地調査地点位置図

(調査団作成)

表 II-10 温泉水試料及び水質データ一覧

sample name	date	place	air temp	water temp	pH	EC
			℃	℃	- (℃)	mS/m
Ka01	9-Oct	Kagamba	17.4	28.4	7.1 (29)	50
Kr01	9-Oct	Karungu	22.0	61.7	6.7 (59)	86
Bu01	9-Oct	Bubaare	20.0	29.5	6.1 (29)	76
Ru01	9-Oct	Rubaare	19.5	52.0	7.3 (52)	165
Ru02	9-Oct	Rubaare	-	52.0	-	-
Ki01	10-Oct	Kisizi	21.5	29.1	7.4 (29)	32
Rb01	10-Oct	Rubabo	22.0	57.5	7.0 (53)	124
Bi01	10-Oct	Birara	23.4	61.0	6.7 (50)	141
Mi01	10-Oct	Minera	24.0	56.2	6.9 (49)	240
Mi02	10-Oct	Minera	24.0	42.3	7.0 (25)	240
Mi03	10-Oct	Minera	-	55.0	-	-
Ih01	11-Oct	Ihimbo	22.0	69.0	8.7 (61)	98
Ih02	11-Oct	Ihimbo	-	67.3	8.7 (59)	98
Kn01	11-Oct	Kanyinabalongo	31.6	36.3	6.7 (36)	104
Km01	11-Oct	Kiruruma	-	36.0	7.3 (35)	112
Km02	11-Oct	Kiruruma	-	33.0	-	130
Kt01	11-Oct	Kitagata	21.4	64.0	7.7 (57)	118
Mh01	12-Oct	Muhokya	22.3	42.0	7.2 (42)	360
Mh02	12-Oct	Muhokya	-	37.6	-	410
Mh03	12-Oct	Muhokya	-	40.0	7.2 (39)	350
Kb01	12-Oct	Kibenge	25.0	46.6	7.2 (46)	370
Kb02	12-Oct	Kibenge	-	44.0	-	-
Kb03	12-Oct	Kibenge	-	42.3	7.3 (42)	380
Rw01	13-Oct	Rwagimba	27.0	68.7	6.6 (68)	650
Rw02	13-Oct	Rwagimba	-	68.0	-	-
Rw03	13-Oct	Rwagimba	-	68.7	-	-
Rw04	13-Oct	Rwagimba	-	59.0	-	530
Rm01	13-Oct	Rwimi	28.0	25.0	6.3 (26)	420
Rm02	13-Oct	Rwimi	-	24.3	-	-

(調査団作成)

表 II-11 岩石試料一覧

Sample name	Date	Place	Rock name	Thin section	X-ray	Spectrum
Ka01	9-Oct	Kagamba	Meta-conglomerate	○	○	○
Kr01	9-Oct	Karungu	Phyllite	○	○	○
Bu01	9-Oct	Bubale	-	-	-	-
Mu01	9-Oct	Murole-nyakabungo	Limburgite	○	○	○
Ru01a	9-Oct	Rubaare	Travertine	○	○	○
Ru01b	9-Oct	Rubaare	Pegmatite	-	-	○
Ki01	10-Oct	Kisiizi	-	-	-	-
Rb01	10-Oct	Rubabo	Schist	○	○	○
Bi01	10-Oct	Birara	-	-	-	-
Mi01	10-Oct	Minera	Bio-gneiss	○	○	○
Ih01	11-Oct	Ihimbo	-	-	-	-
Kn01	11-Oct	Kanyinabalongo	-	-	-	-
Km01	11-Oct	Kiruruma	-	-	-	-
Kt01	11-Oct	Kitagata	-	-	-	-
Mh01	12-Oct	Muhokya	-	-	-	-
Kb01	12-Oct	Kibenge	-	-	-	-
Nd01	13-Oct	Ndugutu	Travertine	-	○	○
Rw01	13-Oct	Rwagimba	-	-	-	-
Rm01	13-Oct	Rwimi	Travertine	-	-	○

(調査団作成)

(a) 現地調査地点概要

1) 南西地域

カガンバ; Ka01

本地域はカバレ市街地から南に約 8km、カバンガ地区のカバレ-カツナ道路沿いに位置し、温泉は未固結堆積物より湧出する。付近には小規模な池や湿地が形成されている。温泉の湧出温度は最も高い地点で 28.4℃、pH7.1、電気伝導度は 50mS/m を示した。本地点の基盤は中期原生代の弱変成砂岩及び弱変成礫岩より構成され、付近に分布する岩石の面構造は、走向 N45°W、傾斜 90°W である。本地点には ENE-SWS 走向のリニアメントが発達する。

本地点のカガンバ、ブバレ及びカルングの温泉は、基盤岩の面構造にほぼ一致する NW-SE 方向に配列し、25 万分の 1 既存地質図によると NW-SE 方向の背斜構造が存在する。



写真 II-1 カガンバ地点(Ka01)

カルング; Ku01

本地点はカバレ市街地から北西に約 20km、カルング地区のイシャシャ川渓谷に位置する。温泉は河床の未固結堆積物または千枚岩に発達した割れ目から流出する。泉温は最も高い地点で 61.7°C、pH 6.7、電気伝導度は 86mS/m である。温泉は浴場施設として利用されている。

岩石は中期原生代の千枚岩などの弱変成堆積岩類より構成され、これらの面構造は走向 N35°W、傾斜 80°W である。本地点は明瞭な NW-SE 方向のリニアメントと NE-SW 方向の小規模なリニアメントの交差点に当たる。温泉は走向 N60E の割れ目から湧出している。

本地点のカガンバ、ブバレ及びカルングの温泉は、基盤岩の面構造にほぼ一致する NW-SE 方向に配列し、25 万分の 1 既存地質図によると NW-SE 方向の背斜構造が存在する。



写真 II-2 カルング地点(Ku01)

ブバレ; Bu01

本地点はカバレ市街地から北に約 4km、ブバレ地区のカバレーキソロ道路沿いに位置する。温泉は斜面端部の未固結堆積物から湧出し、小規模な池を形成する。泉温は最も高い地点で 29.5°C、pH 6.1、電気伝導度は 76mS/m である。岩石は弱変成堆積岩類が分布すると推定される。本地点にリニアメントの発達認められない。

本地点のカガンバ、ブバレ及びカルングの温泉は、基盤岩の面構造にほぼ一致する NW-SE 方向に配列し、25 万分の 1 既存地質図によると NW-SE 方向の背斜構造が存在する。



写真 II-3 ブバレ地点(Bu01)

ムロレーニャカバンゴ; Mu01

ムロレーニャカバンゴ地域は第四紀のリンバージャイト溶岩が分布する。溶岩はよく発砲した組織を示し、まれに花崗岩質の捕獲岩が認められる。



写真 II-4 ムロレーニャカバンゴ地点(Mu01)

ルバアレ; Ru01

本地点はウトンガモ市街地から西に 20km、広い谷地形の左岸側に位置する。この谷は WNW-ESE 方向に発達し幅は約 1km に及ぶ。温泉は谷の南側斜面の末端部より流出し、小規模な池を形成する。泉温は最高 52.0°C、 pH 7.3、電気伝導度は 165mS/m である。温泉の周囲にはトラバーチンが形成されている。

本地の岩石は層状または塊状の花崗岩より構成され、頻繁にペグマタイト脈が発達する。本地点には WNW-ESE 方向のリニアメントが発達する。

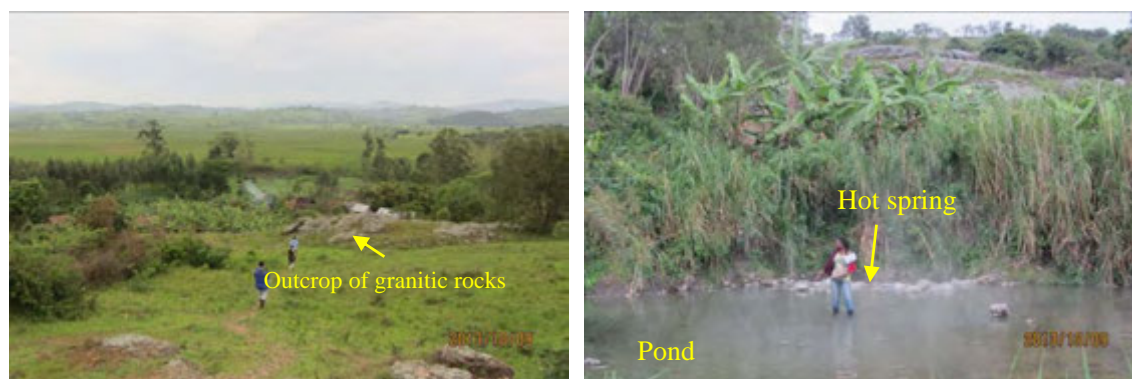


写真 II-5 ルバアレ地点(Ru01)

キシジ; Ki01

本地点はルクンギリの市街地より 20km 南のキシジ地区に位置する。温泉は片麻岩の斜面堆積物から湧き出している。泉温は最高 29.1°C、 pH 7.4、電気伝導度は 32mS/m である。

片麻岩は石英に富むペグマタイト脈の影響を受けて珪質である。付近には直径 1～5m の巨礫が分布する。また本地点には E-W 方向のリニアメントが発達する。

ルバロ; Rb01

本地点はルクンギリの市街地から東南東に 12km、ルバボ地区を流れる河川の左岸に位置する。温

泉は結晶片岩に発達する割れ目から湧出する。泉温は最高 57.5°C、pH 7.0 電気伝導度は 124mS/m である。岩石は結晶片岩からなり、その面構造は走向 N35°W、傾斜 80°W である。本地点は、WNW-ESE 方向と NE-SW 方向の小規模なリニアメントの交差点に対応する。



写真 II-6 ルバロ地点(Rb01)

ビララ; Bi01

本地点はルンギリ市街地の西南西 12km、ビララ地区に位置する。温泉は深い渓谷の底を流れる河川の両岸に 4 箇所確認された。泉温は最高 61.0°C、pH 6.7、電気伝導度は 141mS/m である。河川沿いに NW-SE 方向のリニアメントが発達する。

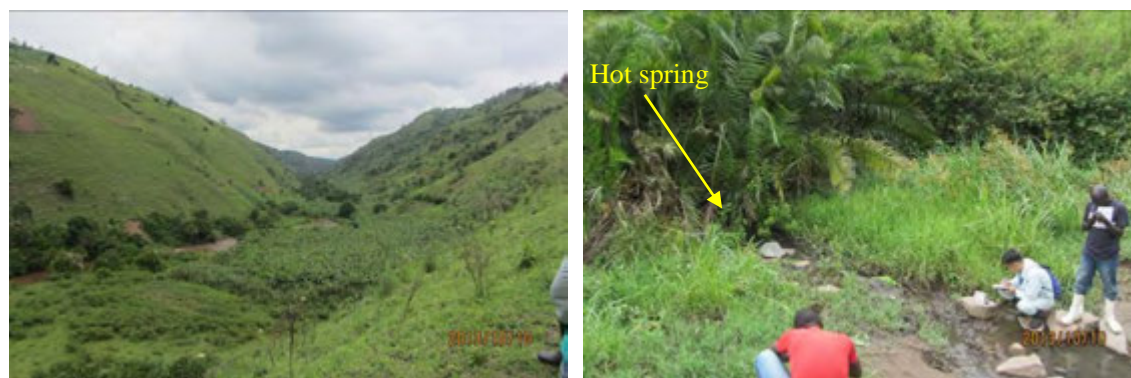


写真 II-7 ビララ地点(Bi01)

ミネラ; Mi01

本地点はルンギリ市街地の南東 15km のミネラ地区に位置する。温泉は片麻岩に発達する割れ目から湧出する。泉温は最高 56.2°C、pH 6.9 電気伝導度は 240mS/m である。岩石は黒雲母片麻岩よりなり、面構造は走向 N40°W、傾斜 80°W である。本地点の近くに小規模な WNW-ESE 方向のリニアメントが発達する。



写真 II-8 ミネラ地点(Mi01)

イヒンボ; Ih01

本地点はルクンギリ市街地の北西約 15km、イヒンボ地区に位置する。本地点は基盤岩類と西リフトバレーの第四紀堆積物との境界付近にあたる。温泉は第四紀の河川堆積物から湧出する。泉温は最高 69.0°C、pH 8.7、電気伝導度は 98mS/m である。温泉は 2 箇所から湧出し、これらは N10°E 方向に配列している。

本地点は保護林区域に該当する。温泉は浴場施設として利用されている。



写真 II-9 イヒンボ地点(Ih01)

カニナバロンゴ; Kn01

本地点はルクンギリ市街から北西に約 20km のカニナバロンゴ地区に位置する。本地点は西リフトバレーの第四紀のリフト堆積物の分布地域にあり、温泉はこの第四紀の未固結堆積物から湧出する。泉温は 36.3°C、pH 6.7、電気伝導度は 104mS/m である。

本地点には NE-SW 方向のリニアメントが発達する。



写真 II-10 カニナバロンゴ地点(Kn01)

キルルマ; Km01

本地点はカニナバロンゴ地点の西南西約 5km のキルルマ地区に位置する。本地点は西リフトバレーの第四紀リフト堆積物の分布域にあり、温泉は未固結堆積物中から湧出する。湧出地点の背後は高さ 20m の急崖が発達し、崖はよく成層した堆積物より構成される。泉温は最高 36.0°C、pH 7.3、電気伝導度は 112mS/m である。

本地点は NNE-SSW 方向の小規模なリニアメントが発達する。



写真 II-11 キルルマ地点(Km01)

キタガタ; Kt01

本地点は、シーメ県西部のキタガタ地区に位置する。温泉は片麻岩の割れ目から湧出している。泉温は 64.0°C、pH 7.7、電気伝導度は 118mS/m である。岩石は縞状片麻岩より構成され、その面構造は走向 N45W、傾斜 90° である。本地点には NE-SW 方向の主要なリニアメントが発達する。

この温泉は、大規模な公衆浴場として利用されている。



写真 II-12 キタガタ地点(Kt01)

2) 西部地域

ムホチャ; Mh01

本地点はカセセ市街地の南西約 10km、ムホチャ地区に位置する。温泉は緩丘陵地の未固結な斜面堆積物から湧出する。泉温は 42.0°C、pH 7.2、電気伝導度は 360mS/m である。本地点は第四紀の崩積土層の分布地域にあたり、地表には片麻岩の巨礫が散在する。また、付近には大規模な湖成石灰岩層が分布している。

本地点にはリフト帯の外縁断層と考えられる NE-SW 方向の明瞭なリニアメントが発達する。本地点の近くには石灰石工場が立地する。



写真 II-13 ムホチャ地点(Mh01)

キベンゲ; Kb01

本地点はカセセ市街地の西約 5km のキベンゲ地区に位置する。温泉は谷部の未固結堆積物から湧出する。本地点は基盤の片麻岩より構成され、地表には片麻岩の巨礫が散在している。泉温は 46.6°C、pH 7.2、電気伝導度は 370mS/m である。温泉は公共浴場として利用されている。

本地点にはリフト帯の外縁断層と考えられる NE-SW 方向の明瞭なリニアメントが発達する。

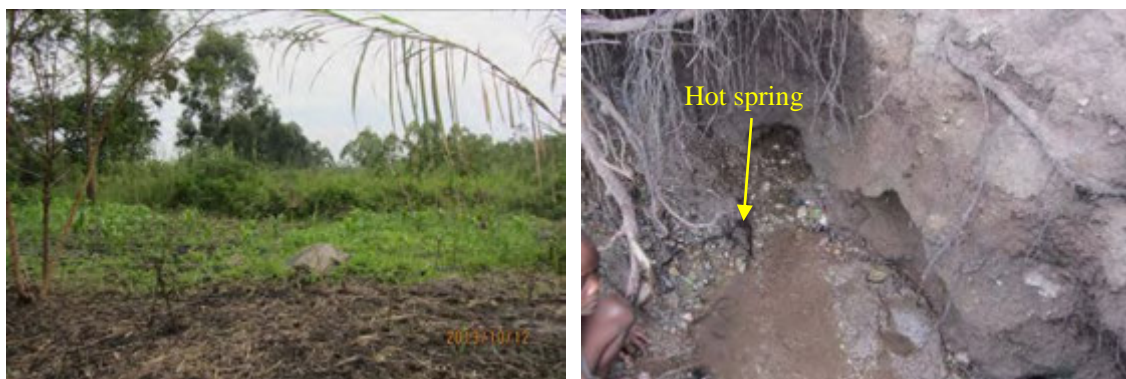


写真 II-14 キベンゲ地点(Kb01)

ンドウグツ; Nd01

本地点はカセセ市街地から北に約 10km のンドウグツ地区に位置する。本地点は、古いトラバーチンが多様な石灰棚を形成しており、現在は冷泉がこれらのトラバーチンから湧出している。本地域には基盤の片麻岩類が分布し、地表には片麻岩の巨礫が点在する。

本地点にはリフト帯の外縁断層と考えられる N-S 方向の明瞭なリニアメントが発達し、ンドウグツ及びルワギンバの温泉は、この構造に沿って南北に配列している。

ルワギンバ; Rw01

本地点はカセセ市街地の南西約 30km、ルワギンバ地区に発達する V 字谷底に位置する。温泉は未固結な河川堆積物から湧出する。泉温は最高 68.7°C、pH 6.6、電気伝導度は 650mS/m である。本地点には基盤の片麻岩類が分布し、渓谷沿いには片麻岩などの転石が認められる。温泉は川の両岸に認められる。

本地点は村落から大きく離れている。

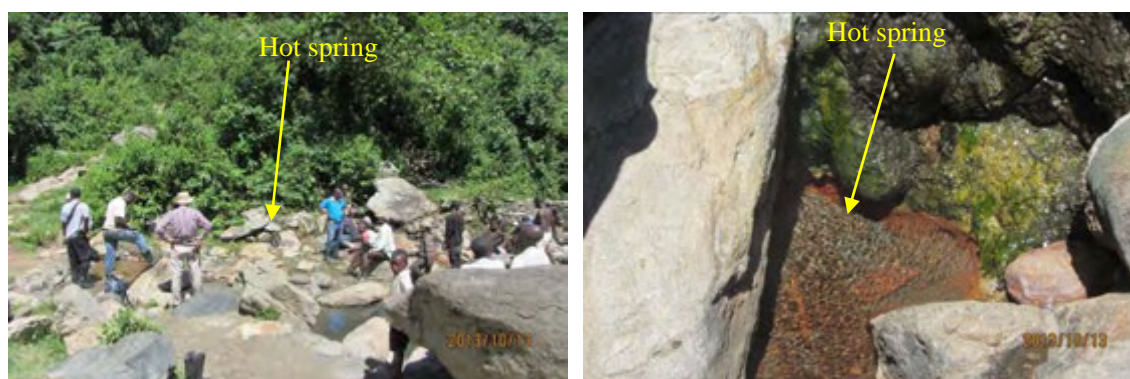


写真 II-15 ルワギンバ地点(Rw01)

ルウィミ; Rm01

本地点はカセセ市街地の北西約 25km のルウィミ地区に位置する。温泉は未固結堆積物から湧出し、泉温は最高 48.7°C、pH 6.3、電気伝導度は 26mS/m である。本地点には基盤の片麻岩が分布するが、すぐ北側には第四紀の火山礫凝灰岩が広く分布している。

本地点はバナナ園として利用されている。温泉の近くには高さ 1m 程度のトラバーチンからなるマウンドが形成されている。



写真 II-16 ルウィミ地点(Rm01)

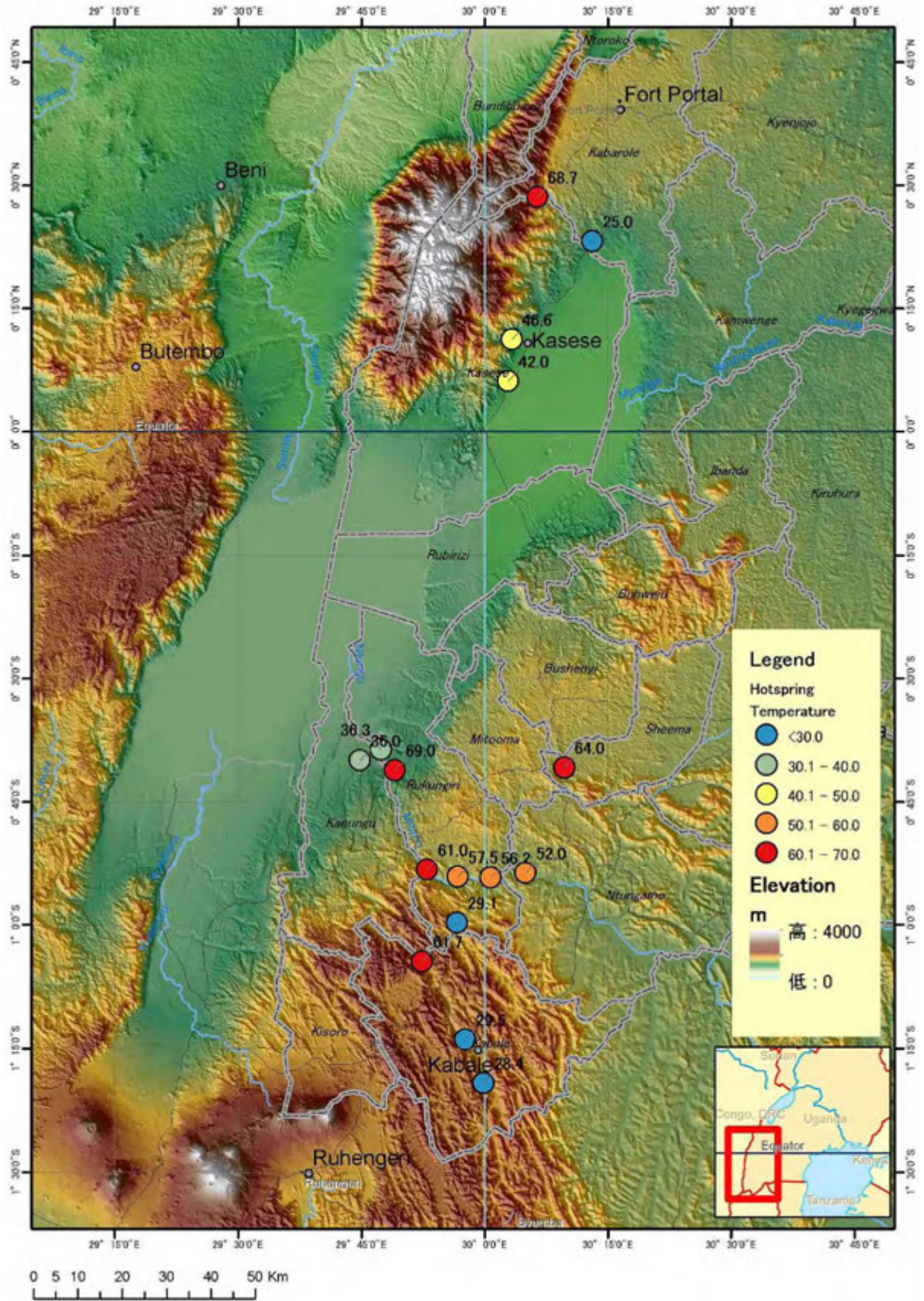
(b) 調査結果の比較

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-17、図 II-18 及び図 II-19 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-20 に示した。

比較的高い温度の温泉として、ルンギリ県イヒンボ地区の 69.0°C 、カバロレ県ルワギンバ地区の 68.7°C そしてシーマ県キタガタ地区の 64.0°C が挙げられる。これらの温泉の熱源として、西部地域においてはリフトバレーに沿って分布する第四紀の火山岩類が想定される。一方、南西部の温泉の多くは先カンブリア系の基盤岩地域に分布している。また、最南西部に分布する第四紀ブフンビア火山岩類は、最も近い温泉より 20km 以上離れている。ただし、ムロレ地区の花崗岩質岩の上位にリンバージャイト溶岩が産し、最も近いカルング温泉から南西に約 8km の地点にあたる。

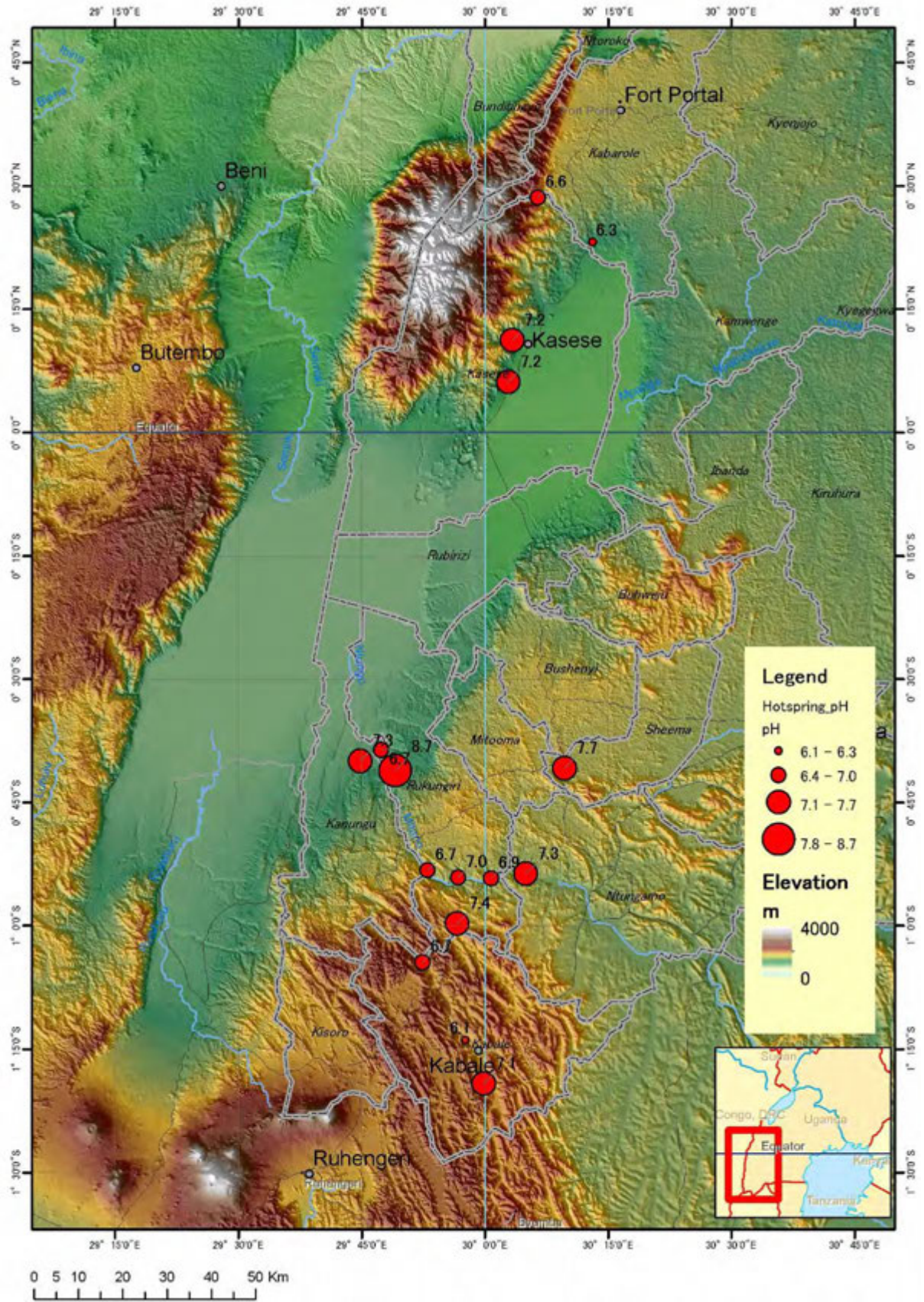
温泉の pH については、 6.1 (ブバレ) から 8.7 (イヒンボ) の範囲を示した。地域的な傾向は明瞭ではない。また、高温の火山ガスの寄与を示す酸性の温泉は存在しない。

電気伝導度については、 32mS/m (キシジ) から 650mS/m (ルワギンバ) の範囲を示した。概して、西部地域の電気伝導度は南西部のものよりも高い傾向を示している。いくつかの温泉の電気伝導度は、泉温に対して負の相関を示している (図 II-20)。これは、 HCO_3 濃度が温度と逆相関を示すことから、これらの温泉が HCO_3 卓越型であり、伝導加熱されたことを示している。一方、ルワギンバの電気伝導度は、泉温に対して正の相関を示し、 Cl 濃度が卓越した深部熱水の寄与を示唆している。



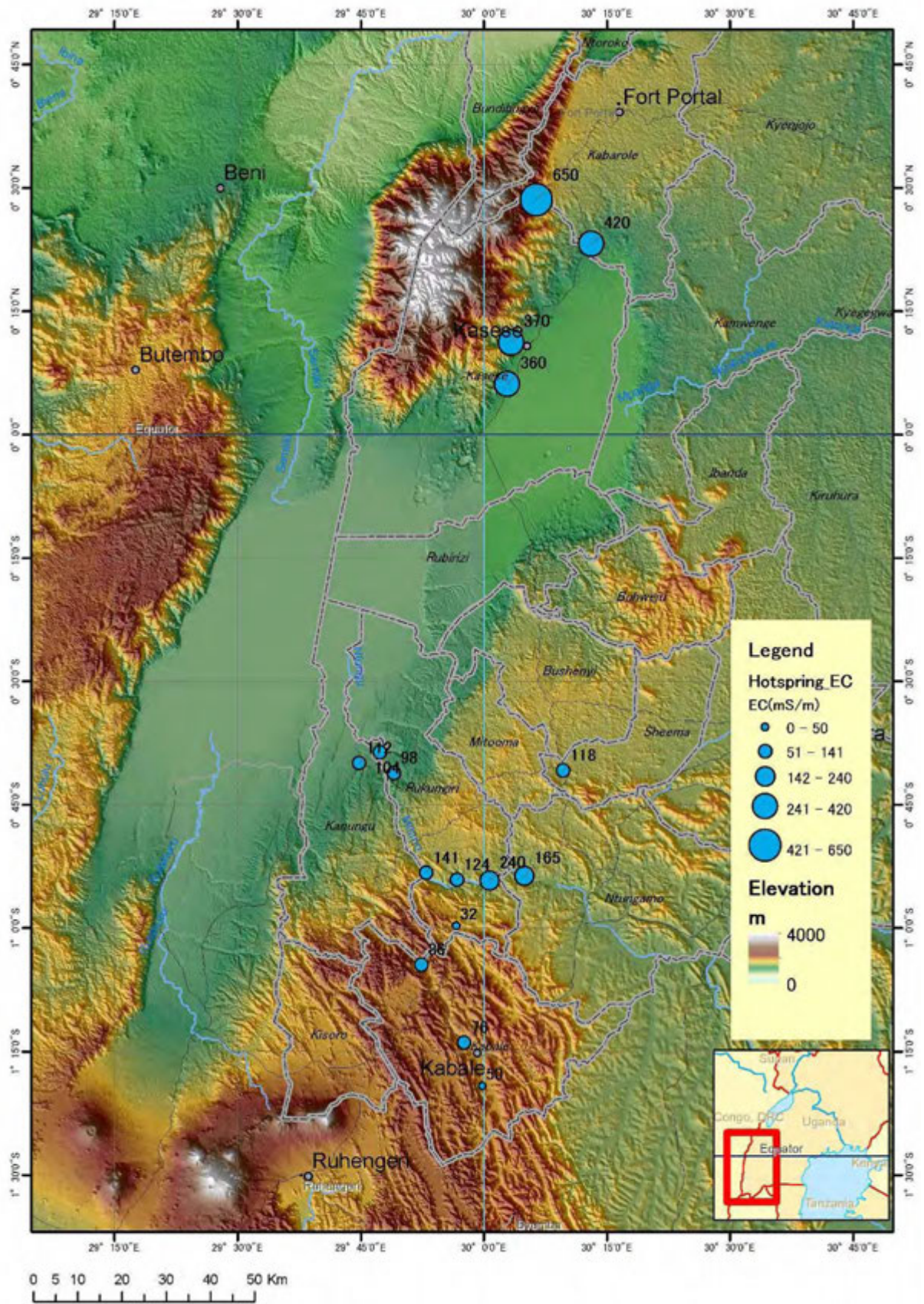
(Study team)

図 II-17 温泉の温泉分布図



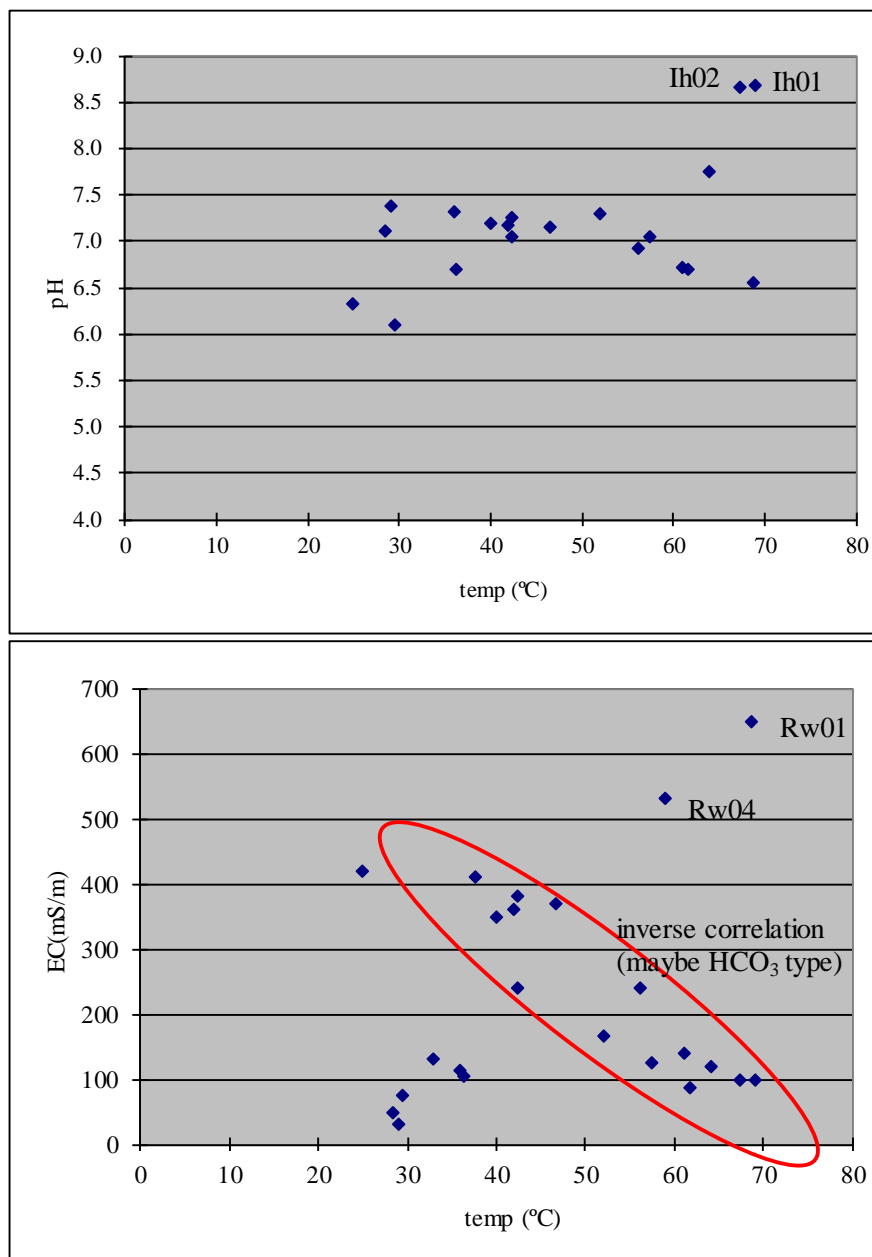
(調査団作成)

図 II-18 温泉の pH 分布図.



(調査団作成)

図 II-19 温泉の電気伝導度分布図



(調査団作成)

図 II-20 温泉の水質等の相関図

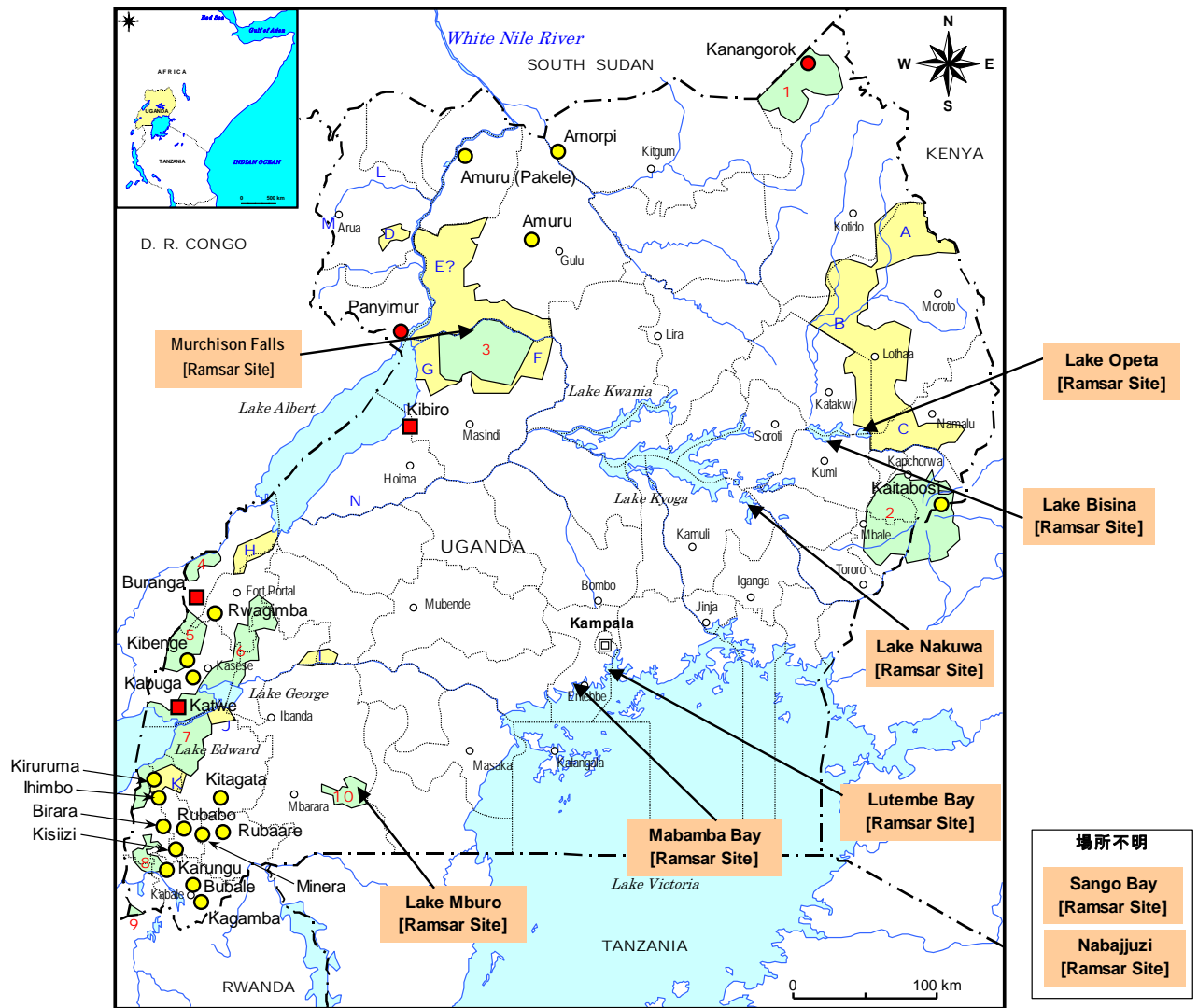
2. 自然保護区に関する情報収集

ここでは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-21)。

自然公園は主に次の 2 種類に区分されている。

- 国立公園、鳥獣保護区

なお、国立公園地域では、その後の開発が非常に困難であるため、本調査での現地調査には、国立公園は含めていない。



(ウィキペディアを基に調査団作成)

図 II-21 自然保護区の位置図

II-5-3 地質情報

図 II-22 にウガンダ国西部の地質図、図 II-23 に地質図の凡例を示す。本図は 25 万分の 1 スケール地質図を編集したものである。ウガンダの地質は、同国西部の西部リフトによって分断された先カンブリア紀の基盤からなる。

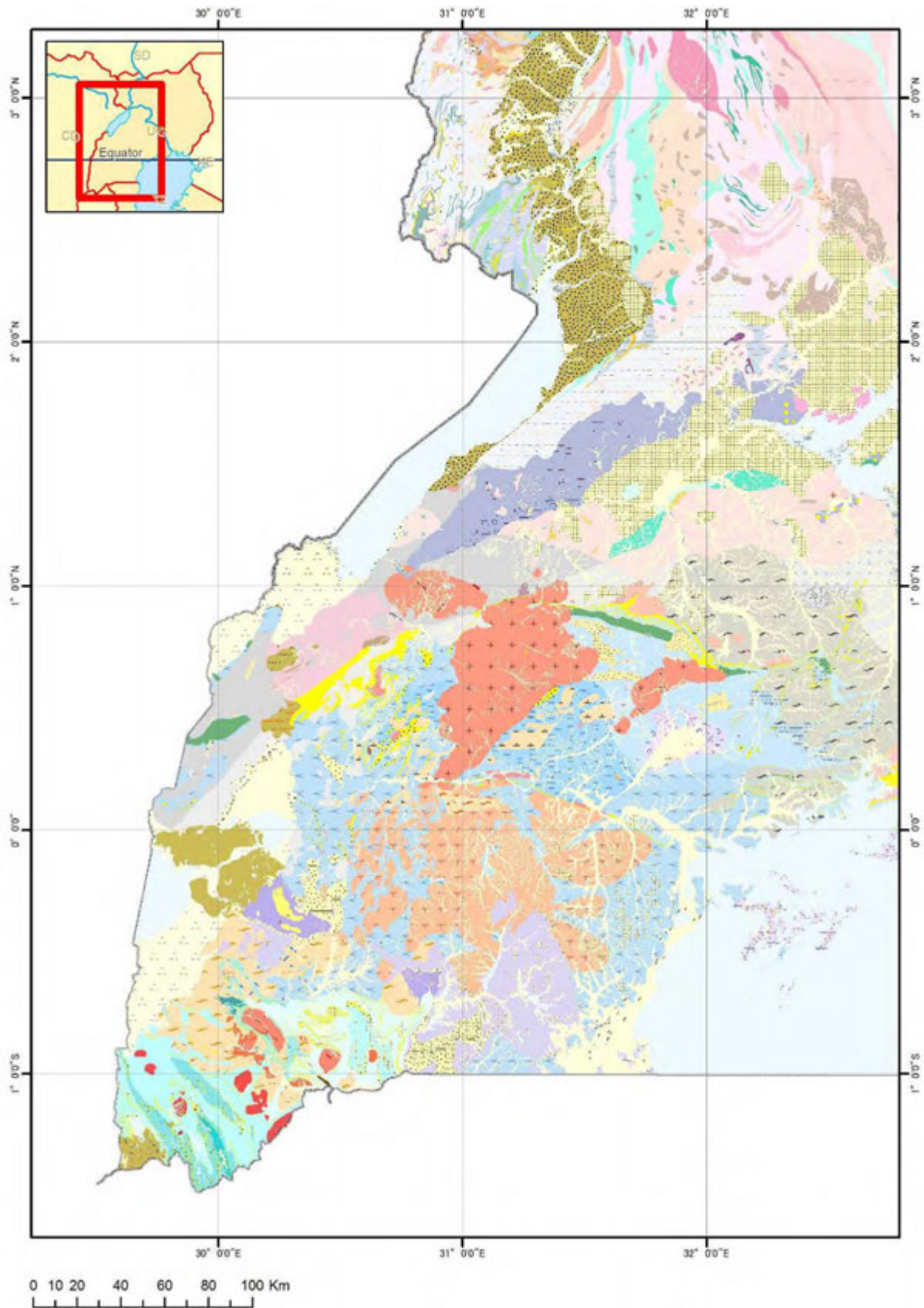
西リフトを構成するアルバートリフトはスーダン国境沿いの北縁から西方に湾曲してコンゴ民主主義共和国国境に沿って南西方に進み、ルワンダ、ブルンジ、タンザニア西部へと南下している(図 II-1 参照)。東アフリカリフトシステムは少なくとも 15 Ma 以前の中新世に活動を開始し、西リフトは活動の初期段階にあり、より熟成した東リフトより若い段階にあると考えられている。アルバート

リフトは 27 km から 40 km の深度を震源とする深い地震活動で特徴づけられ、地震学的には活動期にある。また、先カンブリア紀の基盤が分布する地域と比べると、高い熱流量を示している。リフトには 2 つの異なるエシェロンタイプの断層が認められ、標高 5,000 m を超えるルウェンゾリ山塊によって境されている。リフト内部には第三紀及び第四紀の堆積物や火山岩が厚く埋積している。アルバート湖やエドワード湖は淡水や塩水をたたえるが、その下位には深成岩が存在するとの報告がある。

ウガンダにおける主要な地熱地域とされている 4 地域（キビロ地域、カトゥエ地域、ブランガ地域及びパニムル地域）は、いずれもアルバートルフトに位置している。このリフトは NE-SW 方向に伸長している。また、物理探査の結果では、2,500 m から 3,000 m もの厚さの更新世堆積物がリフトを埋積していると推定されている。

1. キビロ地域

キビロ地域はアルバートルフトの東縁に位置し、3 つの斜交する断層の断層崖でいくつもの温泉活動が認められる。これらの断層は基盤とリフト中の新規堆積岩相との境界となっている。基盤は先カンブリア紀の花崗岩、花崗岩質片麻岩、片麻岩から構成され、これらに角閃岩質貫入岩が N-S 方向に貫入している。断層谷では片麻岩が圧砕片麻岩に変化している。当該地域では NE-SW 方向の断層が発達し、この方向はリフトの伸長する断層と斜交し、さらに E-W 方向の断層をも切断している。熱水活動の兆候として、温泉活動、硫気孔、粘土化変質、二次的熱水鉱物の生成が見られる。二次的熱水鉱物は石膏や方解石からなり、断層崖の変質した圧砕片麻岩の節理を充填する。温泉の最高温度は 86.4°C に達している。



(GEOLOGICAL MAP of UGANDA 1:250,000 より引用)

図 II-22 ウガンダ西部の地質図

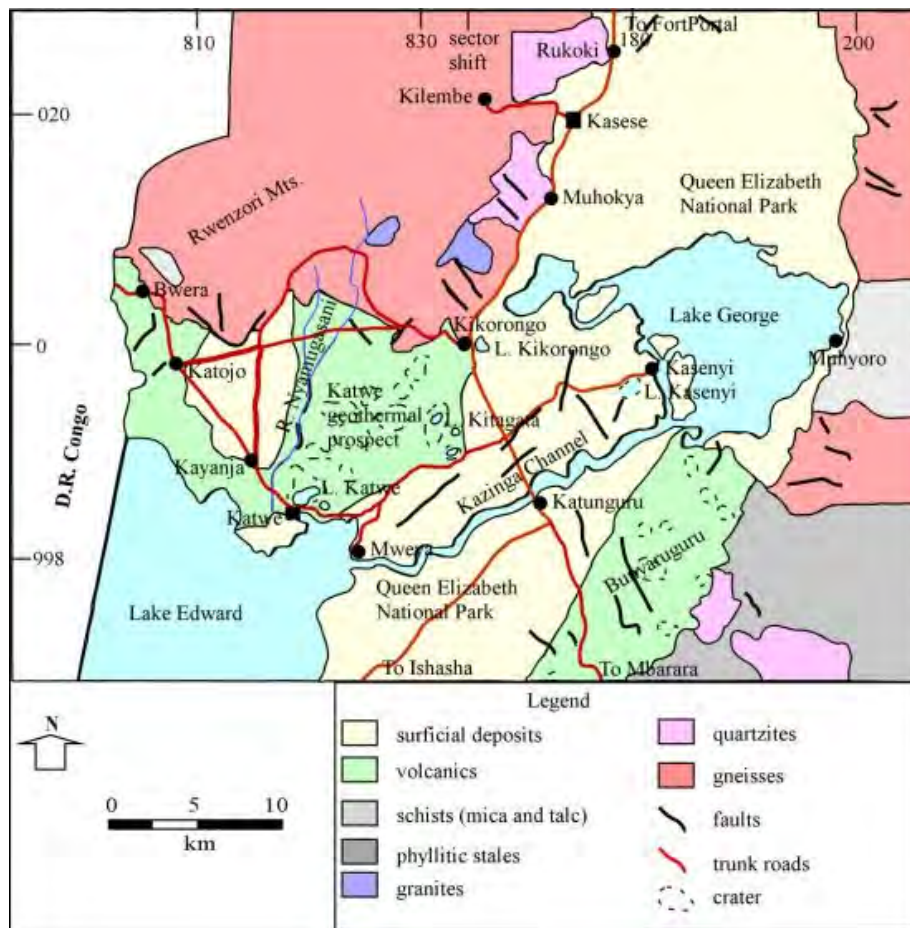
	Unit	SEDIMENTARY VOLCANIC ROCK AND METAMORPHIC COMPLEXES	PLUTONIC ROCKS AND DYKES
QUATERNARY		<p>QH_u Alluvium, swamp, lacustrine deposits</p> <p>QH_c Colluvium</p> <p>QH_r Rift alluvium</p> <p>QH_{tc} Terrace conglomerate</p> <p>QH_l Laterite</p>	
	Albertine	<p>QFP_l Lapilli tuff</p> <p>QGL_l Tuff and lava</p> <p>QG_{pv} High-K volcanics, also carbonatite lava</p>	
MESOPROTEROZOIC	Akanyaru-Ankole	<p>P₂AC_s Sandstone, quartzite, grit</p> <p>P₂AP_q Mudstone, shale, slate, phyllite</p> <p>P₂AP_q Sandstone, quartzite, grit</p> <p>P₂AP_q Quartzite</p> <p>P₂AP_{fg} Feldspathic grit</p> <p>P₂AP_{gq} Garnet quartzite</p> <p>P₂AP_{bq} Border quartzite</p> <p>P₂AP_s Mudstone, shale, slate, phyllite</p> <p>P₂AG_{sq} Sandstone, quartzite, grit</p> <p>P₂AG_{sq} Sandstone, quartzite, grit intercalated with shale, phyllite and schist</p> <p>P₂AG_q Quartzitic sandstone</p> <p>P₂AG_s Mudstone, shale, slate, phyllite</p> <p>P₂AG_r Mudstone, slate, turbiditic</p> <p>P₂AG_{ms} Mica schist, muscovite quartzite</p> <p>P₂AG_{cs} Calc-silicate rock</p>	<p>P₂Ag Tourmaline biotite granite</p> <p>P₂Rpg Rubaale pegmatite granite (~1.12 Ga)</p> <p>P₂Kpg Bwindi porphyritic granite</p> <p>P₂Kgr Porphyritic biotite granite</p> <p>P₂do Dolerite, hornblende bearing</p> <p>P₂do Dolerite, pyroxene bearing (1368±41 Ma; 1374±42 Ma)</p> <p>P₂uan Kafunzo ultramafic rock, geophysical interpretation</p> <p>P₂Ngr Ntungamo granite</p> <p>P₂Cgr Chitwe granite</p>
		PALEOPROTEROZOIC	Kagera-Buhweju
Buganda	<p>P₁BN_{ms} Mica schist with quartzitic interbeds</p> <p>P₁BN_q Sericite quartzite and quartzite</p>		
ARCHAIC			<p>A₁Wg TTG gneiss</p>

(GEOLOGICAL MAP of UGANDA 1:250,000;KABAARE より引用)

図 II-23 地質図凡例

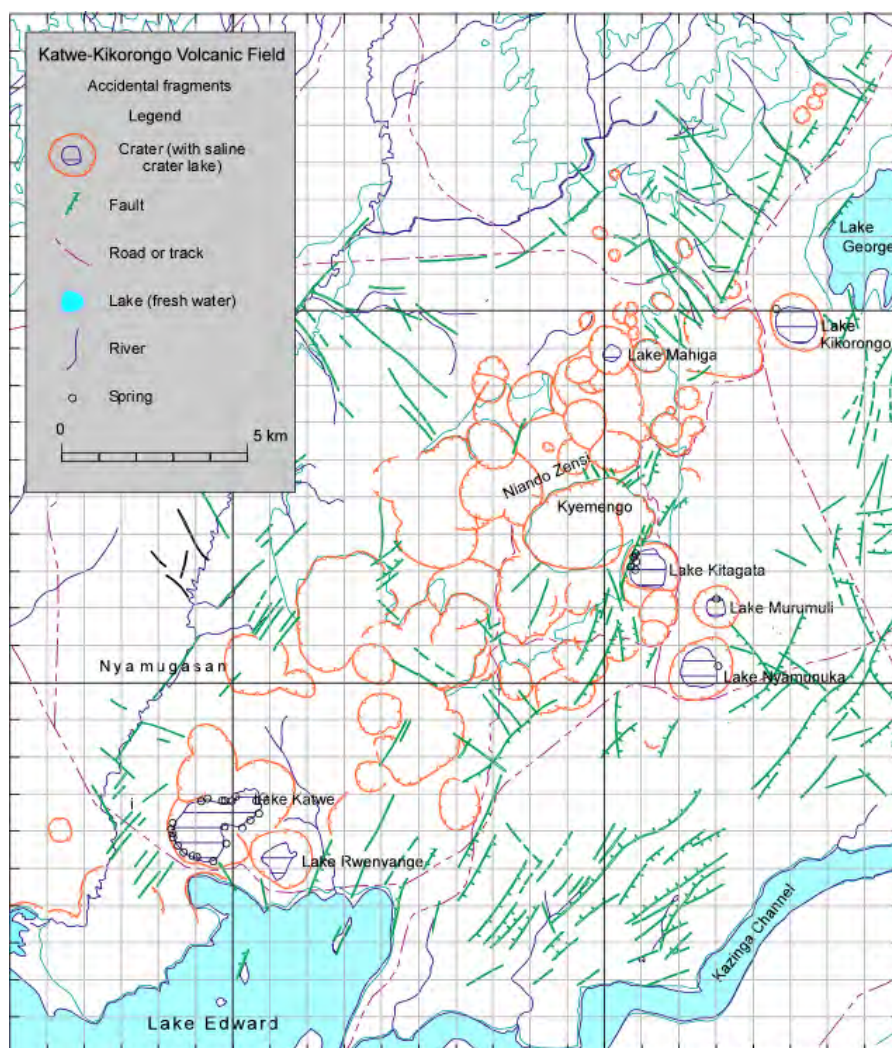
2. カトゥエ地域

カトゥエ地域はルウェンゾリ火山体の南東に位置している。78のクレーター（噴火口）があり、そのうちの7つは火口湖を形成している。これらの火山は更新世堆積物の上位に位置し、その西縁ではトロ系の基盤を直接被覆している。更新世堆積物の下位にはカラグウェーアンコレアン（K-A）変堆積岩が分布している。カトゥエ地域の南東部はブニアルグル火山域となっており、K-A変堆積岩の岩片を含む凝灰岩が分布している。カトゥエ火山群の岩石は主に火山灰、凝灰岩、火山礫、火山弾及び基盤岩のゼノリスなどから構成されるマグマ水蒸気爆発性の火砕流である。そのうちのキエメンゴやキタガタクレーター周辺では玄武岩質溶岩と溶岩塊が分布している。これらの火山岩類は周辺の堆積岩より420 mの高さまで積み上がっている。当該地域にはリフトの伸長方向に平行するNE-SW方向の断層が発達している。炭素同位体比年代測定では火山活動は更新世～完新世とされている。熱水活動の兆候として石灰華、カトゥエ湖における温泉（30°C）、キタガタ湖における温泉（70°C）がある。カトゥエ地域の地質図及びカトゥエーキコロongo火山地域のクレーター等の分布を図 II-24、図 II-25にそれぞれ示す。



(Bahati, 2012)

図 II-24 カトゥエ地域の地質図



(Bahati, 2012)

図 II-25 カトゥエーキコロongo火山地域のクレーター等の分布

3. ブランガ地域

ブランガ地域はブワンバ断層崖付近のルウェンゾリ火山体の北西縁に位置している。温泉は基盤を被覆する更新世堆積物分布域で認められる。リフトに関連する断層はNE-SW方向に伸長し、その傾斜角度は60°から65°程度である。ムンブガ、ニアンシンベ及びカゴロの3つの温泉はこの断層とほぼ平行に、N40°E方向に配列している。ルウェンゾリ火山の北半分には先カンブリア紀の基盤が位置しており、そのミグマタイトと片麻岩はN10°EからN30°Eの走向を示している。堆積物の粒度は細粒～中粒であり、弱い固結度を示す砂泥からなり、石灰質殻を伴っている。温泉の最高温度は98°Cに達しており、石灰華錐体やカゴロ温泉での硫黄沈殿などが認められている。また、この地域では地震がしばしば観測されており、ニアンシンベ湖付近の温泉形成の兆候とされている。

4. ウガンダ国南西部の地熱地帯

本地域は、現地調査の対象とした地熱地帯である。Armannsson 他(2007)は、ウガンダの南西部のカバレ県、カヌング県、ルクンギリ県そしてブシェニ県に分布する11の地熱地帯を調査している。

この地域は西部リフト帯の東側外れに位置し、地質は広く分布する先カンブリア代の基盤岩類と、

最南西端のブフンビア火山岩類から構成される。ブフンビア火山地帯は、ニイラゴンゴ山のような活火山のあるコンゴとワンダの広大なビルンガ火山地帯の一部をなす。ブフンビア地帯にそびえる三つの主な火山は、サビニョ火山(3,415 m)、ムガヒンガ火山(3,475 m) 及びムハブラ火山(4,126 m)であり、どれも活動はしていない。リフト帯は南東－北西方向の傾向を示すが、これらの火山は東西に一直線に並び、火山活動は基盤岩類の断層により支配されていると考えられている。

5. 岩石の室内試験結果

地熱微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

岩石薄片の観察を実施した結果、顕著な熱水変質の特徴は認められなかった。以下に各試料の観察結果を述べる。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。

Ka01 ; カガンバ

岩石は石英に富む礫岩であり、礫は主に石英と白雲母から構成される。基質は不透明鉱物から構成され、肉眼ではこの部分は暗赤紫色を示す。この不透明鉱物は、後述する XRD 分析の結果から赤鉄鉱であると考えられる。礫径は最大 1cm のものからなり、それ以外に径 0.5mm 程度の石英の砂粒子も多く含まれる。

Kr01 ; カルング

岩石は千枚岩であり、主に石英、白雲母および赤褐色の不透明鉱物から構成される。石英と雲母は 0.1mm 以下の微細な結晶からなる。不透明鉱物が充填する短冊状の仮晶が認められる。また、石英や白雲母の粒間もごく微細な不透明鉱物により充填されている。片理構造が発達し、これに沿うように雲母類が配列する。

Mu01 ; ムロレーニャカバンゴ

岩石は玄武岩質火山岩であり、斑晶はカンラン石および輝石よりなる。斑晶は、1.5～2mm 程度のものが認められる。石基は、火山ガラス、斜長石および不透明鉱物よりなり、良く発砲する。カンラン石は新鮮であり、岩石全体に変質は認められない。ウガンダ 25 万分の一地質図では、リンバージャイトと記載されている。

Ru01a ; ルバアレ

岩石はトラバーチンである。方解石とその粒間を充填する褐色の粘土鉱物より構成される。方解石結晶は径 0.5 mm 以下のものが主体である。空隙が多く認められる。

Rb01 ; ルバロ

岩石は結晶片岩であり、石英、黒雲母および白雲母より構成される。雲母類は定向配列し、片理面を構成する。石英は 0.2～2mm 程度で、内部がモザイク状の組織や波動消光を示すものが認められる。白雲母および黒雲母は長軸が 0.2～0.5mm 程度のものが多く、劈開が発達する。

Mi01 ; ミネラ

岩石は黒雲母片麻岩であり、石英および微斜長石を主体として構成され、黒雲母を伴う。少量の白雲母も認められる。組織は粒径が 0.5 mm 前後の等粒状を示し、雲母類には定向配向が認め

られる。緑泥石が少量認められる。

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-12 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(kaolinite)、スメクタイト(smectite)、イライト(illite)、緑泥石(chlorite)そして混合層鉱物(mixed layer)である。

原生代の変堆積岩である Ka01 (カガンバ) の礫岩および Kr01 (カルング) の千枚岩からは、カオリナイトとイライトが検出された。原生代の変成岩類である Rb01 (ルバロ) の結晶片岩からは緑泥石、イライトおよびスメクタイトが検出され、また同時代の Mi01 (ミネラ) の片麻岩からはイライト、カオリナイトおよびスメクタイトが検出された。第四紀の玄武岩である Mu01 (ムロレーニャカバンゴ) からは極低い回折強度であるがイライトが検出されている。温泉に係るトラバーチンについては、Ru01a (ルバアレ) では混合層鉱物が検出された。

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が、カオリナイトについては長石類の風化生成鉱物としても普遍的に形成されることが知られている。

試料 Ka01、Kr01 および Mi01 にカオリナイトが検出されたが、後述するスペクトル測定の結果、Ka01 の風化部にカオリナイトが確認されていることや、現地調査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、Rb01 および Mi01 のスメクタイトについては、岩石と温泉水との反応により形成された可能性が指摘できる。

イライトは、スメクタイトよりも高温の条件での熱水変質で形成されるが、堆積岩や比較的低温度の変成岩には普遍的に含まれる。変堆積岩の Ka01 および Kr01、変成岩の Rb01 および Mi01 に検出されているが、現地調査での産状の確認や岩石薄片の観察結果からは、顕著な熱水変質の痕跡は確認されなかったことから、これらのほとんどは第四紀の熱水変質とは異なる起源を持つと推定される。

表 II-12 X線回折分析結果

Sample No.	Rock name	Bulk specimen (Quartz index)									Oriented specimen					
		quartz	feldspar	mica	pyroxene	chlorite	kaolinite	calcite	ankerite	hematite	chlorite	illite	kaolinite	smectite	mixed layer	other
Ka01	Conglomerate	22.6		3.2						5.8		○	○			
Kr01	Phyllite	19.0		9.7			0.7					○	○			
Mu01	Basaltic rock (Limburgite)		2.0		3.8							○				
Ru01a	Travertine							11.0						○		○ (calcite)
Rb01	Schist	16.2	2.1	13.7		1.3					○	○		○		
Mi01	Gneiss	16.7	9.6	1.5				1.1				○	○	○		○ (quartz, feldspar)
Nd01	Travertine							14.9	0.9					○		○ (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。各試料の反射スペクトル測定結果については、添付資料3に示した。

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-26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(kaolinite)、イライト(illite)スメクタイト(smectite)、方解石(calcite)および緑泥石(chlorite)の反射スペクトルを示したものである。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出現する。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、その吸収帯の波長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-26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レットまたはショルダーが現れることにより識別される。

赤外反射スペクトルにより同定された鉱物の一覧表を表II-13に、代表的な試料の反射スペクトルを図II-27に示した。同定された鉱物は、カオリナイト(kaolinite)、スメクタイト(smectite)、イライト(illite)、緑泥石(chlorite)、方解石(calcite)および電気石(tourmaline)である。

カオリナイトは、Ka01(礫岩)の風化部に認められたことから、風化生成鉱物と判断される。スメクタイトについてはX線回折分析結果と同様に結晶片岩のRb01および片麻岩のMi01で同定された。イライトについてはKa01の試料で確認できた他は、Rb01とMi01に非常に弱い特徴として表れている。また、X線回折分析でイライトが確認されたMu01については、粘土鉱物は

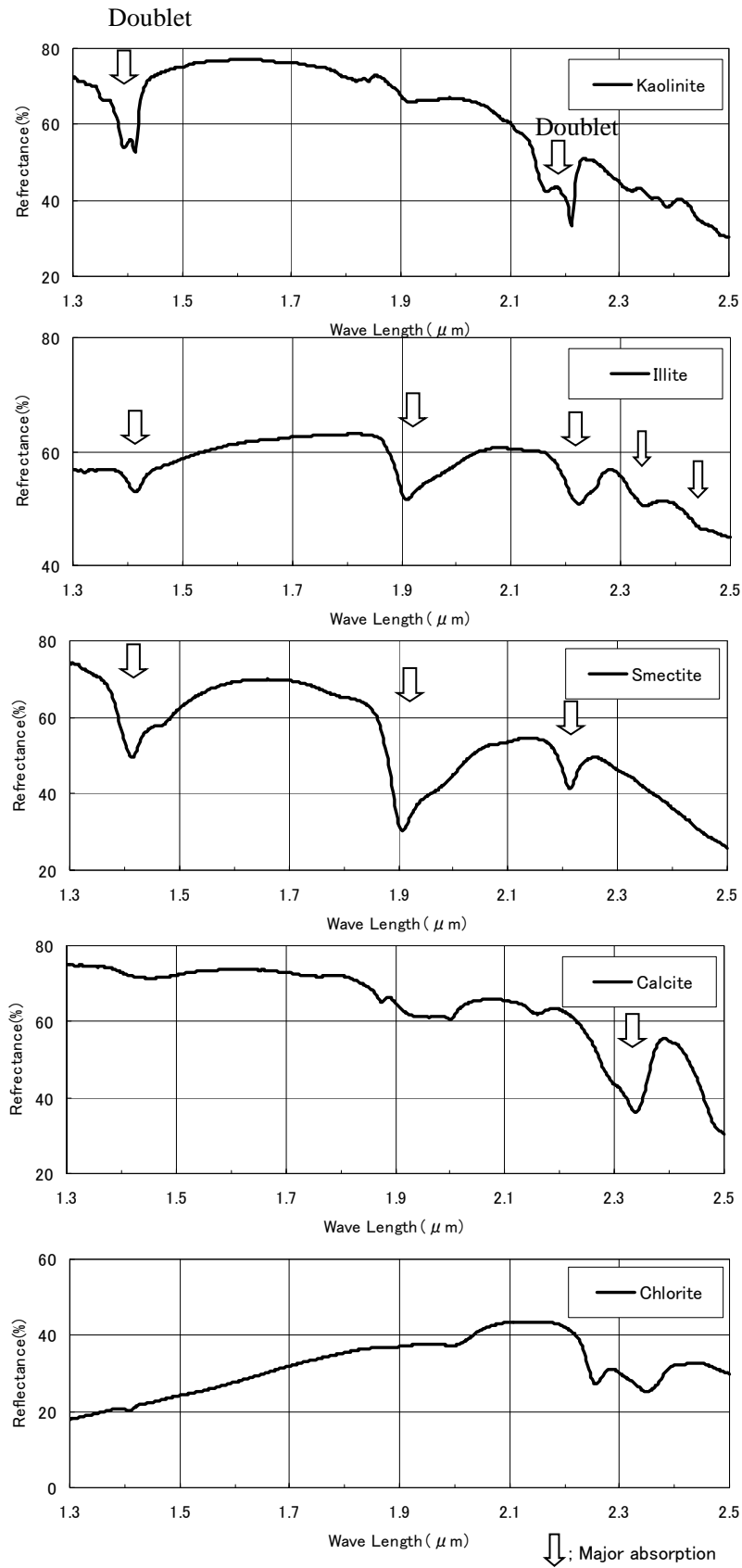
検出されなかった。

トラバーチンの Ru01a、Nd01 および Rm01 については、方解石のほかに粘土鉱物が同定されているが、顕微鏡観察での粘土鉱物の産状を考慮すると、これらは土壌からの混入を起源とすると考えられる。

表 II-13 スペクトル測定結果

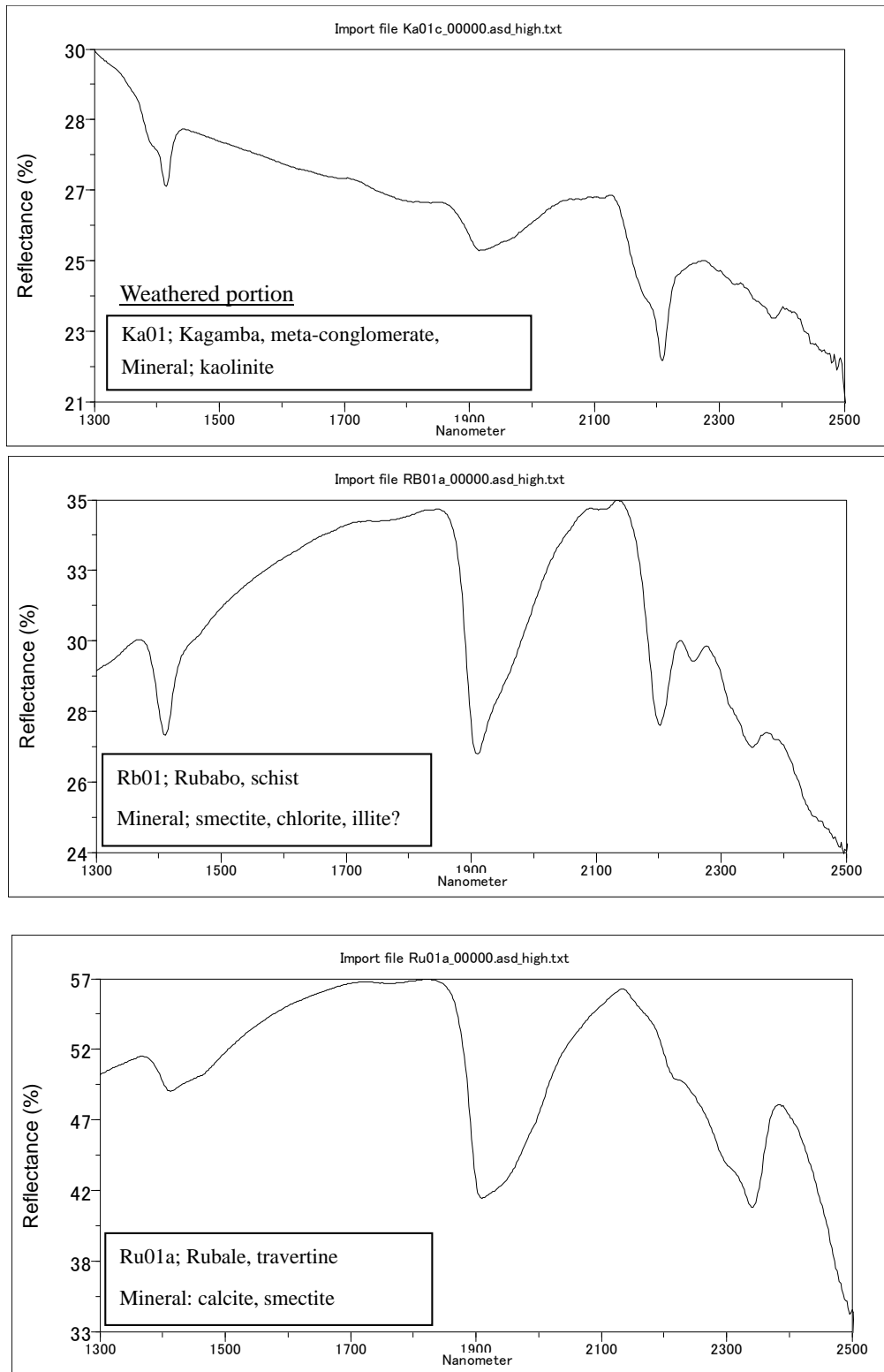
Sample name	Place	Rock name	kaolinite (halloysite)	smectite	illite (sericite)	chlorite	calcite	tourmaline	Remark
Ka01	Kagamba	meta	○						weathered portion
		-conglomerate			○				unweathered portion
Kr01	Karungu	phyllite							non-detection
Mu01	Murole- nyakabungo	limburgite							non-detection
Ru01a	Rubaare	travertine		○			○		
Ru01b	Rubaare	pegmatite						○	
Rb01	Rubabo	schist		○	○?	○			
Mi01a	Minera	bio-gneiss		○	○?	○?			
Nd01	Ndugutu	travertine					○		
Rm01	Rwimi	travertine		○	○?	○?			

(調査団作成)



(調査団作成)

図 II-26 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-27 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-14 に、分析結果を表 II-15 に示す。ま

た地化学解析図面を図 II-28～図 II-31 に、地化学温度計算結果を図 II-32～図 II-35 及び表 II-16 に示す (計算式は添付資料-6)。

表 II-14 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-15 温泉水の地化学分析結果 (本調査)

試料名	採取日	化学成分													同位体成分		
		pH	E ⁶¹	Na	K	Li	NH ₄	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	F	B	T-SiO ₂	δD(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)	(%)	(%)
Ka01	2013/10/9	-	-	-	-	-	-	-	-	6.0	-	-	-	-	-	-17	-4.0
Kr01	2013/10/9	7.39	79.2	134	8.77	0.38	0.02	28.8	3.69	46.8 ^{±2}	207	149	5.00	0.37	51	-12	-3.3
Bu01	2013/10/9	6.53	71.8	58.8	5.54	0.23	0.19	60.5	35.9	20.8 ^{±2}	70.1	376	0.60	0.18	19	-11	-3.4
Ru01	2013/10/9	7.92	154	270	14.3	0.29	0.24	72.8	1.56	170	410	145	5.43	0.72	108	-16	-3.7
Ki01	2013/10/10	-	-	-	-	-	-	-	-	12.0	-	-	-	-	-	-11	-3.2
Rb01	2013/10/10	7.50	115	203	10.6	0.08	0.08	42.1	8.03	91.0	181	334	3.52	0.20	80	-11	-3.2
Bi01	2013/10/10	7.11	132	203	13.6	0.21	0.19	82.8	12.0	82.9	213	442	5.99	0.20	107	-10	-2.8
Mi01	2013/10/10	7.09	236	478	21.0	0.72	0.19	72.6	21.8	180	362	824	2.74	0.58	83	-15	-3.6
Ih01	2013/10/11	9.14	90.5	173	5.25	0.01	0.03	3.99	0.088	71.8	220	66	5.41	0.22	68	-10	-3.1
Kn01	2013/10/11	6.72	101	158	8.38	0.02	0.37	32.0	4.36	92.2	294	54	2.46	0.30	36	-10	-2.7
Km01	2013/10/11	7.32	108	198	8.76	0.04	0.82	28.4	2.76	92.7	254	161	5.14	0.58	63	-12	-3.2
Kt01	2013/10/11	7.94	113	190	10.2	0.52	0.18	35.9	0.315	59.0	350	95	7.13	0.52	77	-9	-2.7
Mh01	2013/10/12	7.45	354	608	19.0	0.04	<0.01	214	12.5	470	1050	143	2.85	0.36	50	-14	-3.8
Kb01	2013/10/12	7.36	354	582	24.8	0.22	0.01	242	5.95	610	887	89	3.79	0.47	45	-19	-4.4
Rw01	2013/10/13	7.31	620	1490	44.3	0.47	0.05	76.0	5.14	860	1470	784	7.58	0.70	67	-17	-4.2
Rm01	2013/10/13	6.80	413	442	62.6	0.06	0.32	419	215	250	684	2120	2.23	0.24	93	-4	-2.3

(調査団作成)

南西地域、西部地域に分けて、それぞれ述べる。

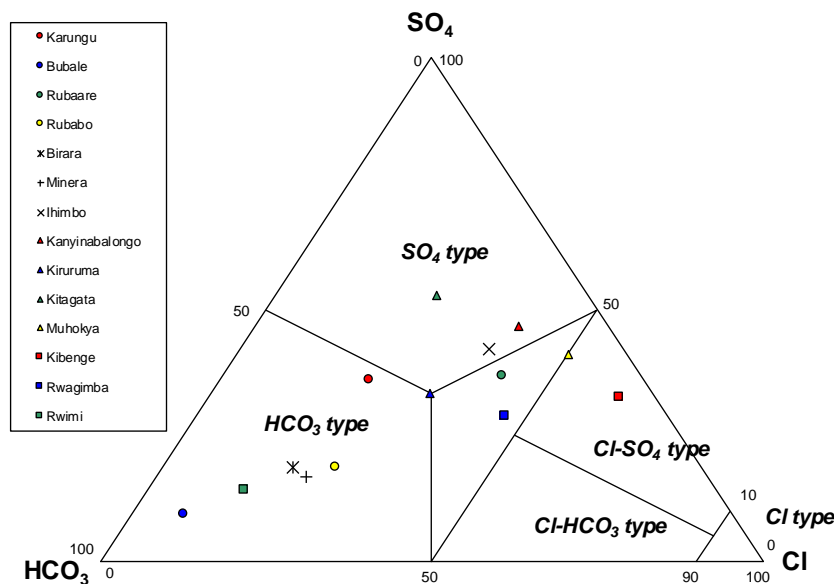
a) 南西地域

南西地域はカバレ市からキタガタ地区までの範囲で、カルング、ブアレ、ルバアレ、ルバボ、ピララ、ミネラ、イヒンボ、カニナバロンゴ、キルルマ及びキタガタを含む。本地域の温泉水は、Cl 濃度が 20～180mg/L と比較的低濃度で (表 II-15)、主要陰イオンの特徴から判断すると、一部 SO₄ 型ま

たは中間型のものもあるが大部分が HCO_3 型に分類されることから、本地域の温泉は伝導加熱型または蒸気加熱型であって、高温の地熱熱水の混入を示す深部熱水混入型の温泉はない(図 II-28)。Cl-B 濃度関係図(図 II-29)は、本地域の温泉水が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。水の同位体比は、本地域の温泉水が天水起源であることを示しているだけで(図 II-30)、高温での熱水と岩石の相互作用を示す酸素シフトはない。化学平衡の温度依存性を用いた地化学温度に基づく地下温度は、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(図 II-31)、カルシウムも加味した Na-K-Ca 温度に基づき、カバレーントウンガモ地域で $52\sim 93^\circ\text{C}$ (図 II-32)、ルクンギリ地域で $85\sim 124^\circ\text{C}$ (図 II-33)、カヌンゲーシーマ地域で $94\sim 95^\circ\text{C}$ (図 II-34)の温度が推測される(表 II-16)。

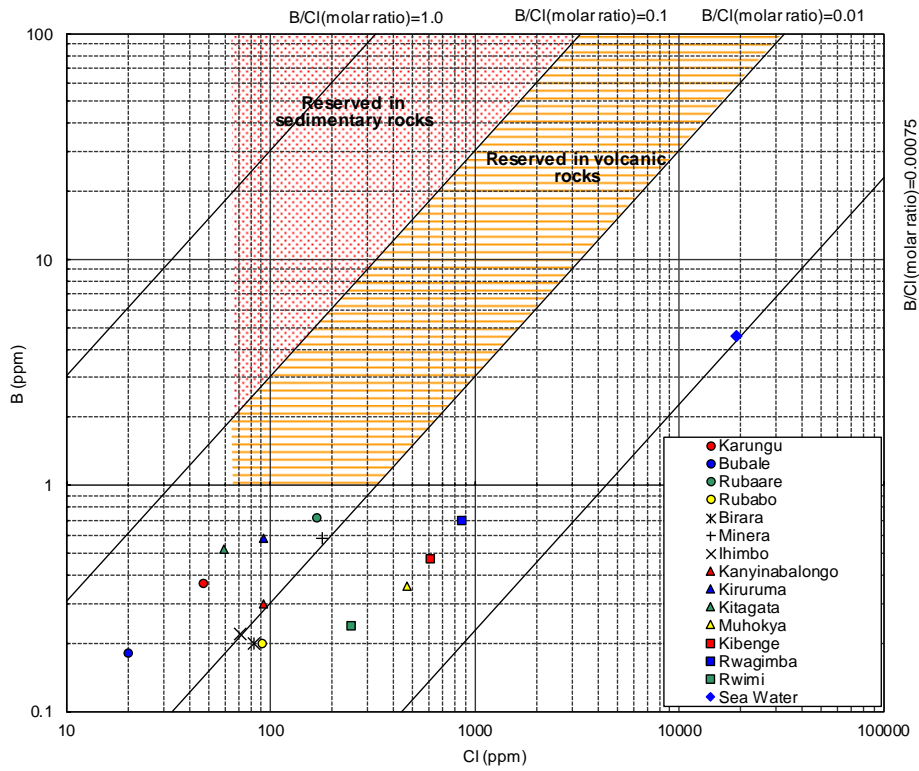
b) 西部地域

西部地域はルビリジ地区からフォートポータル市までの範囲で、ムホチャ、キベンゲ、ルワギンバ及びルウィミを含む。本地域の温泉水は、Cl 濃度が $250\sim 860\text{mg/L}$ と比較的高濃度であり(表 II-15)、主要陰イオンの特徴から、ルウィミだけは HCO_3 型であるが、その他は Cl-SO_4 型または中間型に分類され(図 II-28)、高温の深部熱水の寄与を示唆する。Cl-B 濃度関係(図 II-29)においては、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、蒸発岩等の影響が考えられる。水の同位体比は、南西地域と同様に、本地域の温泉水が天水起源であることを示し(図 II-30)、高温での熱水と岩石の相互作用を示す酸素シフトはなかった。化学平衡の温度依存性を用いた地化学温度に基づく地下温度は、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(図 II-31)、カルシウムも加味した Na-K-Ca 温度に基づき、カセセーカバロレ地域で $88\sim 145^\circ\text{C}$ (図 II-35、表 II-16)の温度が推測される。



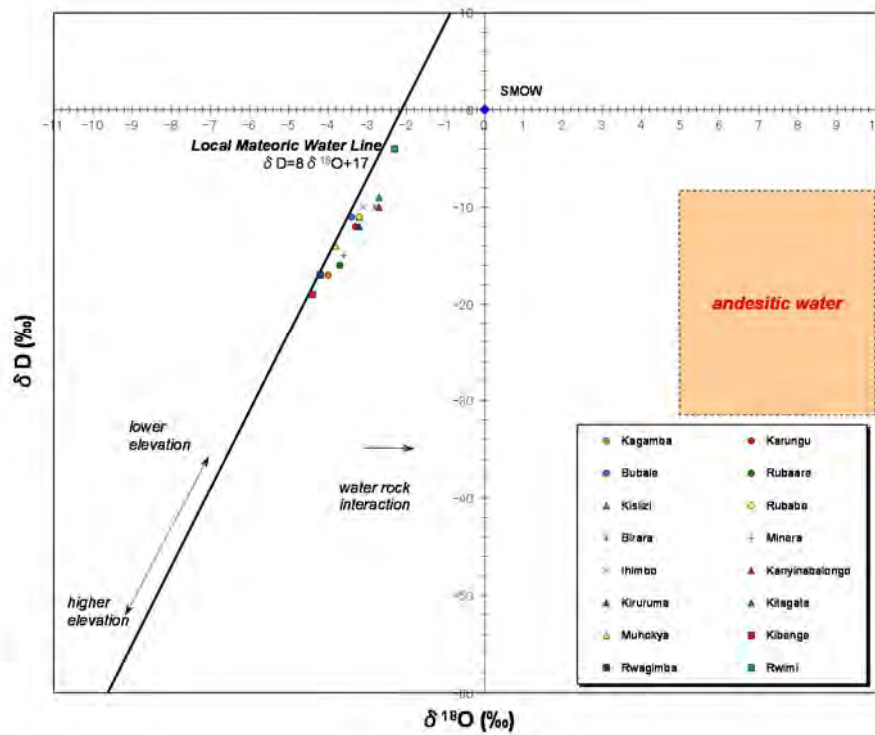
(調査団作成)

図 II-28 主要陰イオンの三成分図



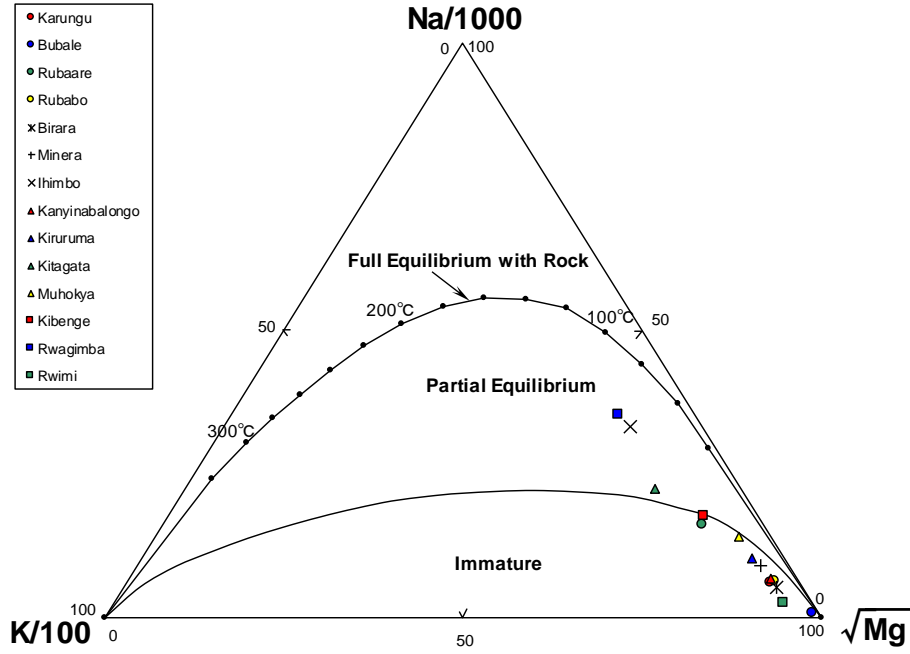
(調査団作成)

図 II-29 温泉水の Cl 濃度と B 濃度の関係図



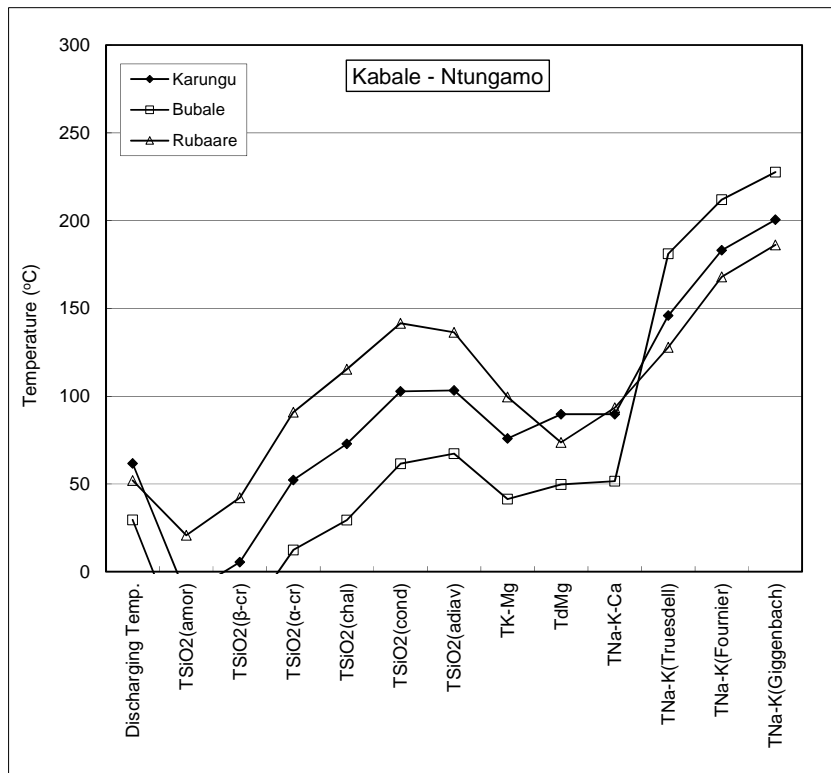
(調査団作成)

図 II-30 温泉水の水の酸素同位体比と水素同位体比の関係図



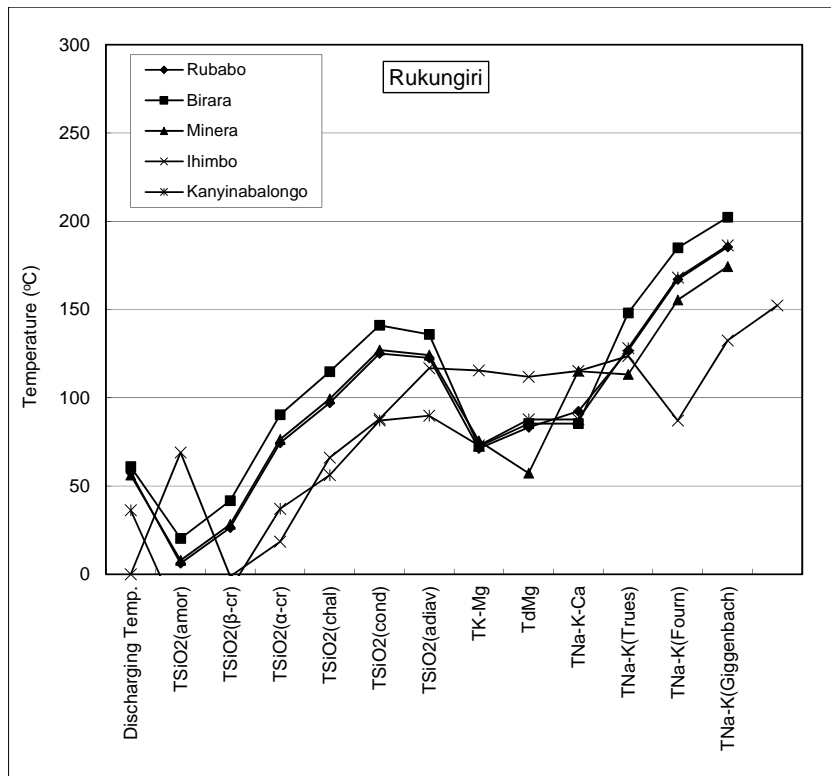
(調査団作成)

図 II-31 温泉の Na-K-Mg 三成分図



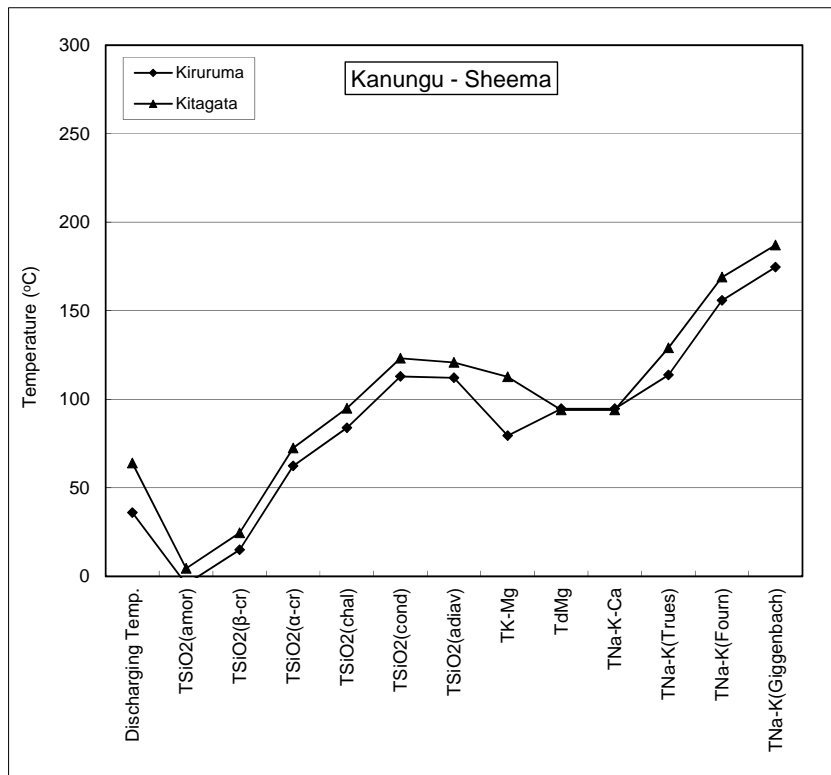
(調査団作成)

図 II-32 カバレーン トウンガモ地域の地化学温度



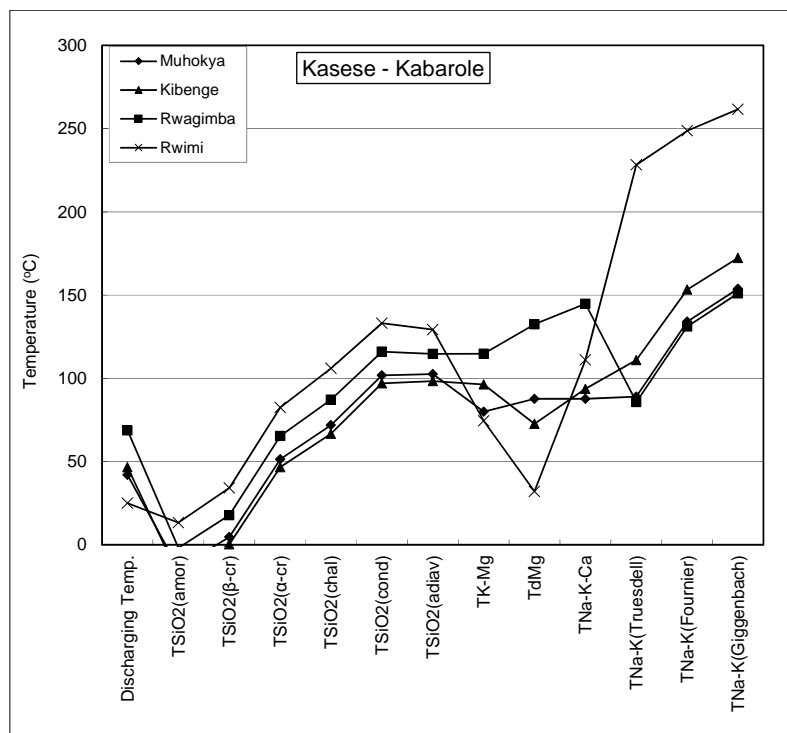
(調査団作成)

図 II-33 ルクンギリ地域の地化学温度



(調査団作成)

図 II-34 カヌンゲーシーマ地域の地化学温度



(調査団作成)

図 II-35 カセセーカバロレ地域の地化学温度

表 II-16 地化学温度計算結果

Area	Kabale-Ntungamo			Rukungiri					
Site	Kagamba	Bubale	Rubaare	Rubabo	Birara	Minera	Ihimbo	Kanyinabalongo	
Sample No.	Kr01	Bu01	Ru01	Rb01	Bi01	Mi01	Ih01	Kn01	
Discharging Temp. (°C)	61.7	29.5	52	57.5	61	42.3	69.0	36.6	
Geothermometry (°C)	TSiO ₂ (amor)	-13	-48	21	6	20	8	-1	-26
	TSiO ₂ (β-cr)	6	-31	42	26	42	28	19	-9
	TSiO ₂ (α-cr)	52	12	91	74	90	76	66	37
	TSiO ₂ (chal)	73	29	115	97	115	99	88	56
	TSiO ₂ (cond)	103	62	142	125	141	127	117	87
	TSiO ₂ (adiav)	103	67	136	122	136	124	115	90
	TK-Mg	76	41	100	71	72	76	112	73
	TdMg	90	50	74	83	85	57	115	88
	TNa-K-Ca	90	52	93	92	85	115	124	88
	TNa-K(Truesdell)	146	181	128	127	148	113	87	128
	TNa-K(Fournier)	183	212	168	167	185	155	132	168
	TNa-K(Giggenbach)	201	228	186	185	202	174	152	186

Area	Kanungu	Sheema	Kasese		Kabarole		
Site	Kiruruma	Kitagata	Muhokya	Kibenge	Rwagimba	Rwimi	
Sample No.	Km01	Kt01	Mh01	Kb01	Rw01	Rm01	
Discharging Temp. (°C)	36	64.0	42	46.6	68.7	25	
Geothermometry (°C)	TSiO ₂ (amor)	-4	4	-14	-18	-2	-18
	TSiO ₂ (β-cr)	15	25	5	0	18	0
	TSiO ₂ (α-cr)	62	72	51	47	65	47
	TSiO ₂ (chal)	84	95	72	67	87	67
	TSiO ₂ (cond)	113	123	102	97	116	97
	TSiO ₂ (adiav)	112	121	103	98	115	98
	TK-Mg	79	113	80	96	115	0
	TdMg	95	94	88	73	132	4
	TNa-K-Ca	95	94	88	94	145	3
	TNa-K(Truesdell)	114	129	89	111	86	111
	TNa-K(Fournier)	156	169	134	153	131	153
	TNa-K(Giggenbach)	175	187	154	172	151	0

(調査団作成)

c) キビロ地域

既存の温泉水化学分析データに基づいて、キビロ地域の地化学解析を行った。温泉水の Cl 濃度は約 2,500mg/L と高く (表 II-17)、深部熱水型 (Cl 型) に分類される (図 II-36)。Bahati et al. (2010) は、Cl と Li に比べて B 濃度が低いということは、この温泉水は上部を覆っている若い堆積岩というよりも基盤である火山岩起源ではないかと述べている (図 II-37)。化学平衡の温度依存性を用いた地化学温度に基づく地下温度は、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 (図 II-38)、カルシウムも加味した Na-K-Ca 温度に基づき、217~229°C (図 II-39) の温度が推測される (表 II-18)。

表 II-17 キビロ地域の温泉水の地化学分析結果 (既存データ)

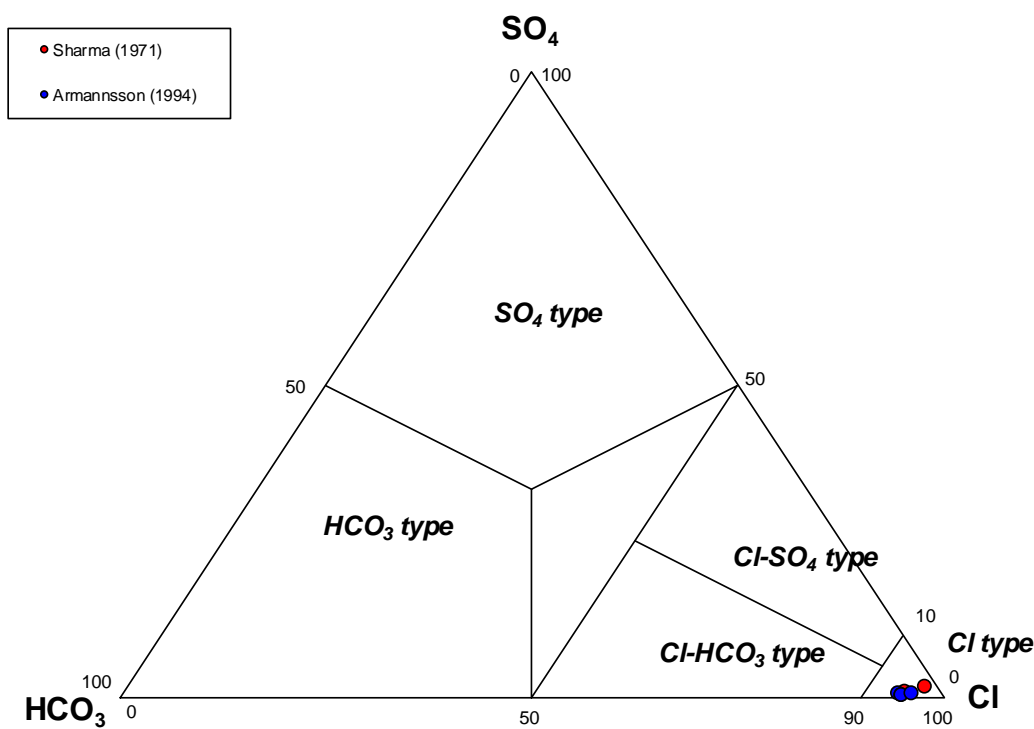
pH	化学成分															参考	
	Na	K	Li	Ca	Mg	T-Fe	Al	Cl	SO ₄	HCO ₃	F	B	SiO ₂	Mn	δD (H ₂ O)		δ ¹⁸ O (H ₂ O)
7.5	1539	188	-	60	16	-	-	2500	57	188	-	2.5	166	-	-	-	Sharma (1971)
7.5	1620	200	-	50	20	-	-	2500	120	60	-	2.5	21	-	-	-	Sharma (1971)
7.06	1530	169	1.5	62	8.14	-	0.037	2500	46.7	227	5.12	2.26	129	0.004	-11.3	-2.0	Armannsson (1994)
7.14	1490	164	1.48	62.69	7.96	0.02	0.041	2450	26.4	215	5.02	2.23	125	0.004	-11.8	-2.1	Armannsson (1994)
7.14	1480	165	1.46	65.7	9.12	-	0.044	2440	15.4	215	4.74	2.21	122	0.007	-10.6	-2.0	Armannsson (1994)
8.05	1570	182	1.53	75.9	8.71	0.03	0.029	2580	49.9	159	5.37	2.47	135	0.006	-3.9	-1.0	Armannsson (1994)

(Sharma, 1994; Armannsson, 1994 を編集)

表 II-18 地化学温度計算結果 (キビロ地域)

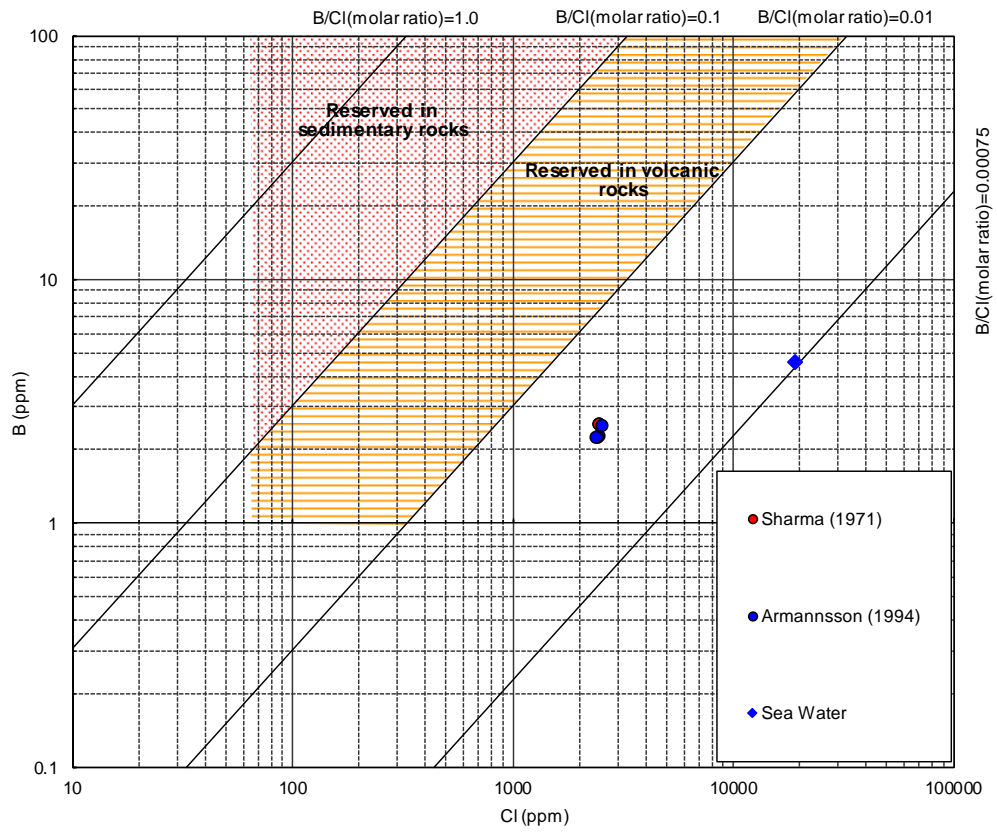
Area		Kibiro					
Site		Sharma (1971)		Armannsson (1994)			
Sample No.		Sharma (1)	Sharma (2)	Armannsson (1)	Armannsson (2)	Armannsson (3)	Armannsson (4)
(°C)	Discharging Temp.	no data	no data	86.5	81.1	71.8	39.5
Geothermometry (°C)	TSiO ₂ (amor)	45	-45	30	29	27	33
	TSiO ₂ (β-cr)	68	-28	52	51	49	55
	TSiO ₂ (α-cr)	117	16	101	100	98	104
	TSiO ₂ (chal)	145	33	127	125	123	130
	TSiO ₂ (cond)	168	65	152	150	149	155
	TSiO ₂ (adiav)	158	71	145	143	142	147
	TK-Mg	143	141	151	150	148	152
	TdMg	129	112	167	167	160	171
	TNa-K-Ca	225	229	218	217	218	220
	TNa-K(Truesdell)	210	211	198	198	200	204
	TNa-K(Fournier)	235	236	226	225	226	230
	TNa-K(Giggenbach)	249	250	240	240	241	244

(調査団作成)



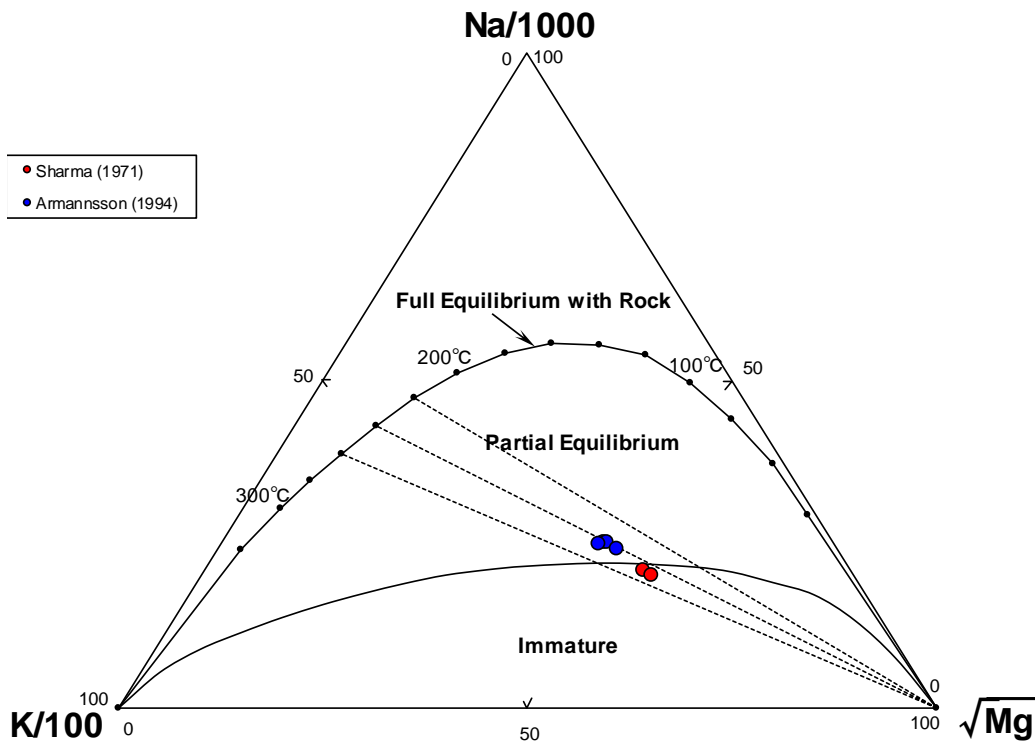
(調査団作成)

図 II-36 主要陰イオンの三成分図 (キビロ地域)



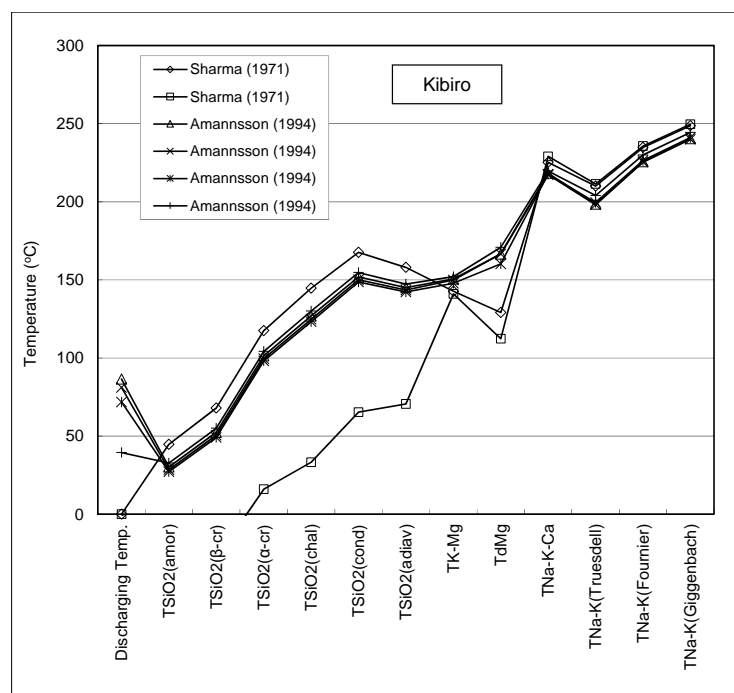
(調査団作成)

図 II-37 温泉水の Cl 濃度と B 濃度の関係図 (キビロ地域)



(調査団作成)

図 II-38 温泉の Na-K-Mg 三成分図 (キビロ地域)



(調査団作成)

図 II-39 キビロ地域の地化学温度

II-5-5 GIS

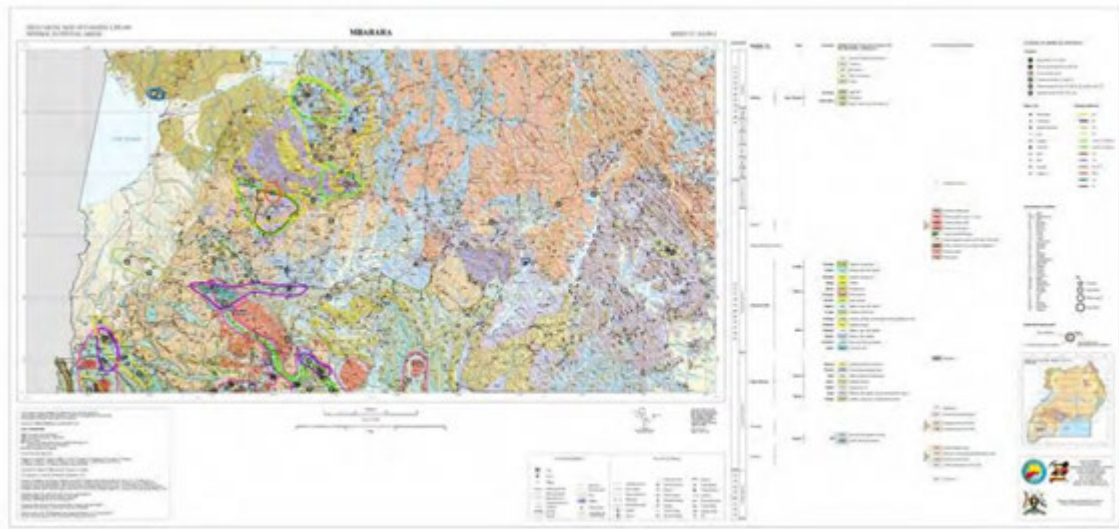
収集した GIS データは、リモートセンシングデータ、地質図、自然保護区の分布図及び送電線網図である。

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-5-2 章を参照)。地質図については、シート番号を以下に示す。

1. 地質図

DGSM より 25 万分の 1 スケールの地質図 7 葉が提供された。データは ARC/GIS フォーマットのシェープファイル形式である。

- Geological Map of Uganda 1:250,000, FORT PORTAL, sheet No.NA-36-13.
- Geological Map of Uganda 1:250,000, MBARARA, sheet No.SA-36-1.
- Geological Map of Uganda 1:250,000, KABALE, sheet No.SA-36-5.
- Geological Map of Uganda 1:250,000, KAMPALA, sheet No.NA-36-14.
- Geological Map of Uganda 1:250,000, JINJA, sheet No.NA-36-15.
- Geological Map of Uganda 1:250,000, MASAKA, sheet No.SA-36-2.
- Geological Map of Uganda 1:250,000, HOMEBAY, sheet No.SA-36-3.

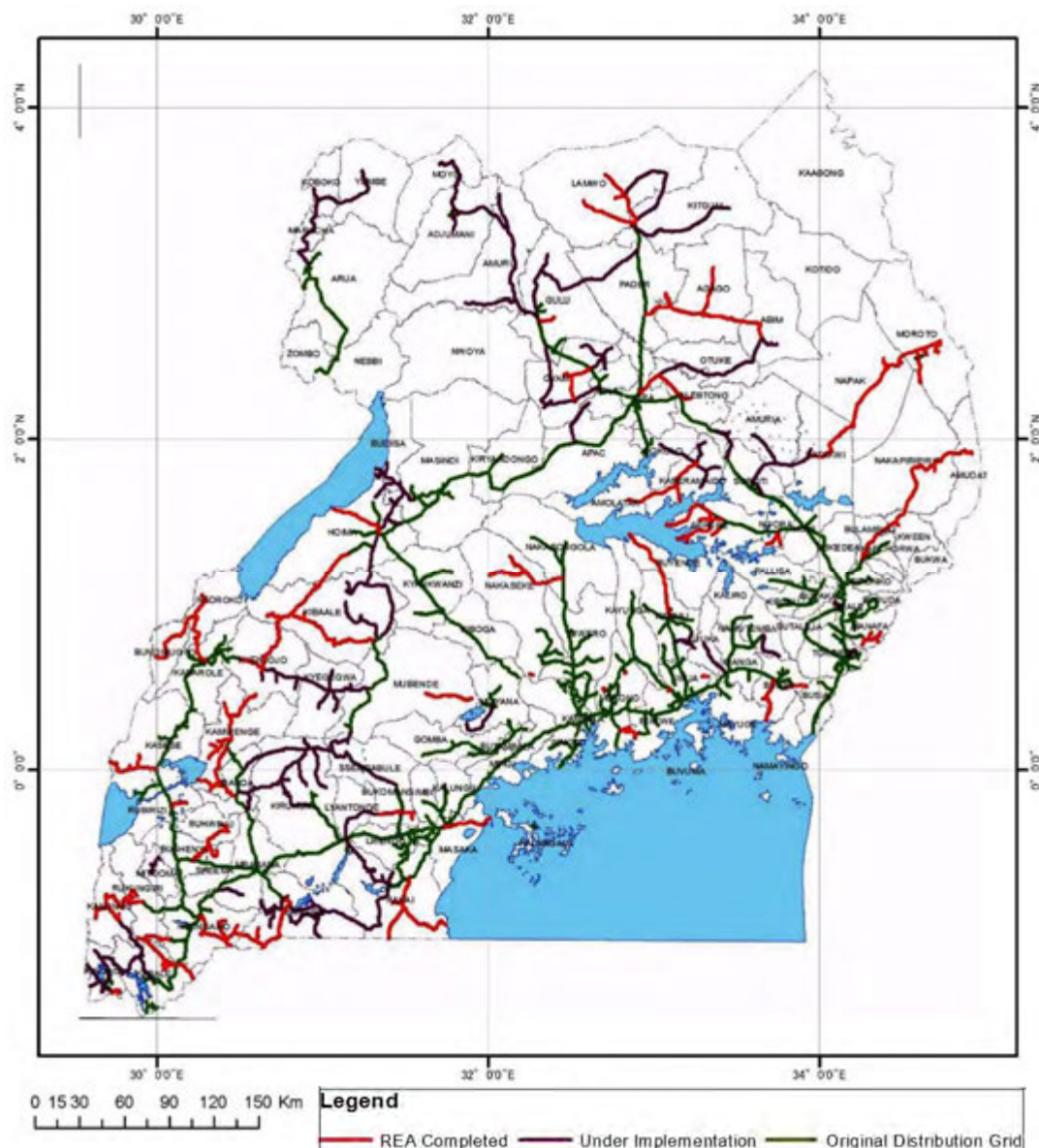


(DGSM 提供)

図 II-40 25 万分の 1 地質図の例

2. 送電網

ウガンダ国の送電網図を図 II-41 に示す。送電網図は MEMD (2012) による「Joint Sector Review」に掲載されている。



(MEMD, 2012)

図 II-41 ウガンダ国の送電網

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値選定を実施した（表 II-19 及び表 II-20）。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。しかしながら、各カテゴリーの基準をどのように設定するかは課題も内包する。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は重要となる。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、ウガンダ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。ウガンダ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、今回の調査ではウガンダ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 15 点以上の地点を有望性のより高い地点として抽出した（15 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。

- ミネラ（15 点）

- イヒンボ（15点）
- ムホチャ（17点）
- キベンゲ（15点）
- ルワギンバ（22点）
- ルウィミ（17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2地域が45点で最高同点となった。

- ムホチャ（45点）
- ルウィミ（45点）

資源評価結果（第一ステップ）で最も高いスコアとなったルワギンバは、立地条件が劣り、合計でムホチャとルウィミに追い抜かれている。今回検討した地点の中で、飛びぬけて評価の高い地点はなかった。

表 II-19 調査地域の地熱資源に関する評価

Category	Item	Criteria	Point	Score																	
				Southwestern area							Western area										
				Kagamba	Kaungu	Bubale	Rubaare	Kisizi	Rubabo	Birara	Minera	Ihimo	Kanyina barongo	Kirunuma	Kitagata	Mukoya	Kibenge	Ndugutu	Rvagimba	Rwimi	
Geological aspect	Heat source	Distribution of Quaternary volcanic rocks	6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	2	2	2	4	
		Within 10 km far from volcanic rocks	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	2	2	2	4
	Structure	Over 10 km far from volcanic rocks	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	2
		Large fault and/or intersection of faults	6	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	2
Seal	Fault and/or lineament	No structure	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	3
		Lava	6	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	3
Hot spring features	Fumarole	Overburden	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		No seal	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Existence of fumarole	Existence of fumarole	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Not lower than 80°C	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Hot spring temperature	Lower than 80°C and not lower than 60°C	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Lower than 60°C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Estimated reservoir	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Lower than 200°C	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	fluid geothermometry	Lower than 200°C and not lower than 170°C	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Lower than 170°C and not lower than 140°C	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lower than 140°C and not lower than 100°C		4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Lower than 100°C		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Extent on the surface	Exceeding 0.01 km ²	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Not exceeding 0.01 km ²	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Deep	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Composition	Intermediate	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	-	2	2	
	Shallow	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Subtotal score in 1st step				10	13	9	12	10	11	12	15	15	11	9	11	17	15	13	22	17	
Remarks				Flats of travertine limestone			Travertine limestone		Travertine limestone	hot springs are located in both side of the river						Lacustrine limestone	Travertine limestone	Marginal fault	Marginal fault	Travertine limestone	Volcanic area

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

() : guessed from nearby field because not analysed

- : No hot water

(調査団作成)

表 II-20 調査地域の環境社会面の評価

Category	Item	Criteria	Point	Score																				
				Southwestern area								Western area												
				Kagamba	Kanungu	Bubale	Rubaare	Kisizi	Rubabo	Birara	Minera	Ihimo	Kanyina - batongo	Kiruruma	Kitagata	Muhokya	Kibenge	Ndagutu	Rwagimba	Rwimi				
Environmental aspect	Natural reserves	No reserve	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10						
	Game reserves	National parks and/or Conservation	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4						
		<= 5 km	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2						
Engineering aspect	Power line	5-10 km	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4						
		>=10 km	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
Socio-economic aspect	Concession	None	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8						
		Other landuses	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4						
	Already established	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
	Population	Close to large city	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3						
		Close to town or village	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2						
Others	Social acceptance	Remote area	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
		Yes	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3							
		Yes or No	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2						
Accessivity		No	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
		<= 1 km	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3						
		1-3 km	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2						
			>= 3 km	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
Subtotal score in 2nd step				26	26	30	23	25	24	23	24	23	24	23	24	19	24	24	28	28	27	26	16	28
Subtotal score from 1st step				10	13	9	12	10	11	12	11	12	11	12	10	11	15	11	9	11	15	13	22	17
Total score				36	39	39	35	35	35	35	35	35	35	35	35	34	35	33	39	45	42	39	38	45
Remarks						Close to Kabale city									Forest reserve area			Close to Kitakata town			Close to Kasese city		Concession	

(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-42 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微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。

貯留層温度及び利用下限温度：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 と仮定した。なお、フラッシュ方式の場合は 180°C で一定と仮定した。

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 及び 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 0.7kJ/kg・°C 及び 1.0kJ/kg・°C と仮定した。

°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% 及び 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% 及び 5% と仮定し、矩形分布とした。

流体の密度及び比熱：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% 及び 12.5% と仮定し、矩形分布とした。なお、フラッシュタイプの場合は、最小値と最大値をそれぞれ 12.5% 及び 25% 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。なお、フラッシュタイプの場合は、最小値と最大値をそれぞれ 12% 及び 14% とした。

プラント運転期間及びプラント稼働率：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。

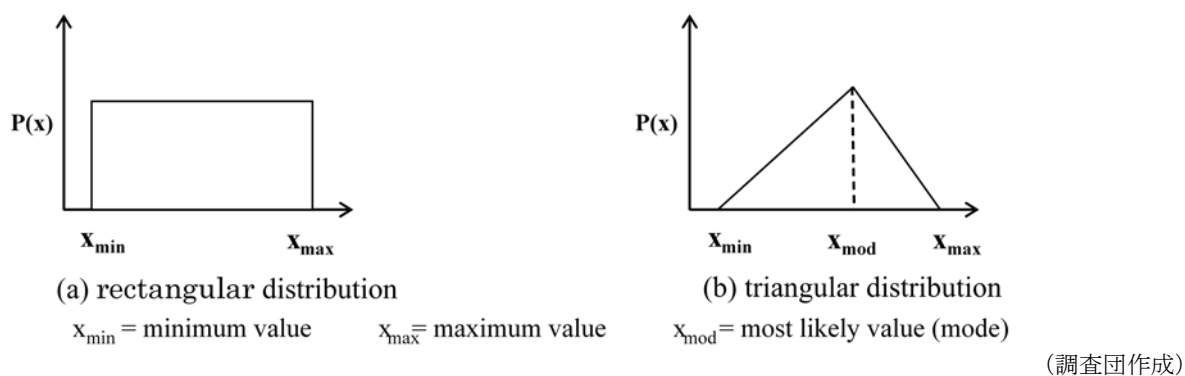
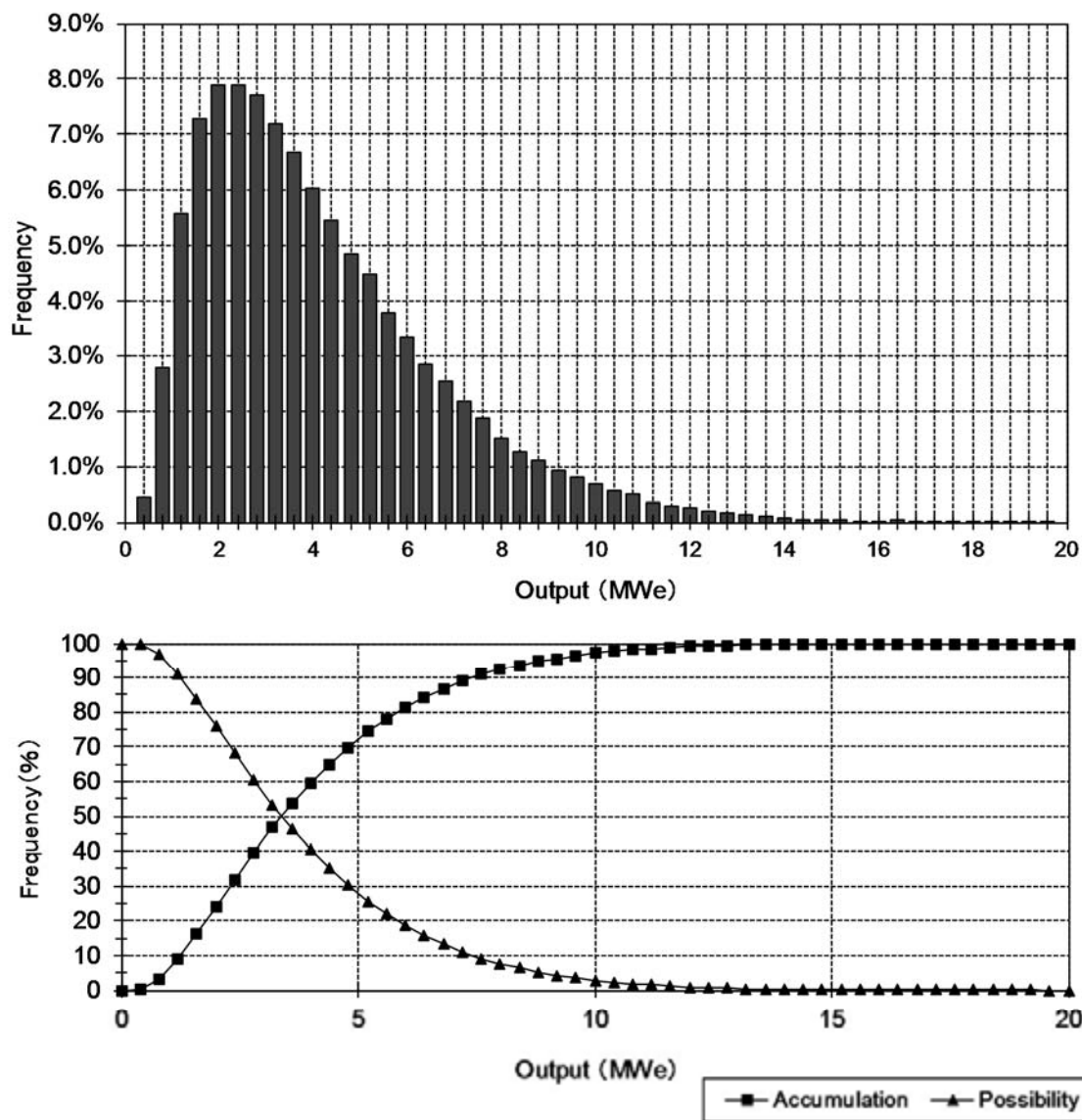


図 II-42 仮定した確率分布

入力パラメータと地熱ポテンシャル計算結果の例（ミネラ）を図 II-43 に示す。ミネラの地熱ポテンシャルは 80% の確率で 2.00MW と計算された。なお、貯留層温度の最低値が 100°C 未満である地点は、利用限界温度未満と判断し、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。探査権が設定されているため、現地調査を行っていないキビロをバイナリー式発電と仮定して追加した場合、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約 26MW、キビロをフラッシュ式発電と仮定して計算した場合、約 50MW と非常に小さい値となった（表 II-16）。



Input			
Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	1.50	-	3.75
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)	115	135	155
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-43 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 (ミネラ)

表 II-21 地熱ポテンシャル試算結果

	Field Name	Estimated Potential (MW)	Remarks
Surveyed areas	Minera	2.00	Assuming binary system plant
	Ihimbo	2.38	Assuming binary system plant
	Rwagimba	4.52	Assuming binary system plant
	Rwimi	1.81	Assuming binary system plant
Not Surveyed areas	Kibiro	14.90	Assuming binary system plant
		38.89	Assuming plash type plant
Total		25.61	Kibiro assuming binary system plant
		49.60	Kibiro assuming plash type plant

(調査団作成)

II-6 環境社会配慮制度

EIA については 1998 年の EIA 規定及び 1997 年発行の EIA ガイドラインがある。本 EIA ガイドラインに加えて、セクター別ガイドラインを整備中であり、エネルギーと鉱山開発(mining)セクターのガイドラインが作成されている。

EIA 対象事業については、EIA ガイドラインの Annex 3 に EIA 対象事業リストがある。地熱発電事業については同リストのうち、主に電力インフラストラクチャー(11. Electrical infrastructure)が関連し、鉱山(6. Mining)にも含まれるものと想定される。しかしながら、対象事業の規模要件などは規定しておらず、スクリーニングプロセスの段階で Full EIA の対象かどうかを判断することとなっている。また、当該リストはあくまでも参考リストであり、未掲載の事業タイプについてもスクリーニングプロセスの結果に応じて Full EIA を要する場合がある。

EIA の手続きフローを図 II-44 に示す。EIA 手続き期間は、事業実施主体が EIA 報告書を国家環境管理庁(National Environmental Management Authority: NEMA)に提出してから最大 180 日間で承認手続きを完了する。通常は、当該期間よりも短期間である。この期間のうち、IEE については 21 営業日内、Full EIA は 30 営業日内で NEMA から事業実施主体に審査フィードバックが行われる。EIA の手続き費用は、1998 年の EIA 規定に掲載の費用基準が現在も使用されている。EIA 調査は NEMA 登録事業者のみが実施できる。

EIA の審査は、基本的に NEMA 内部で行われ、主務官庁(lead agency)及び関連 District office に EIA 報告書が送付され、コメントを求める(stakeholder consultation)。問題案件については技術委員会(Technical committee)が組織されることがある。

住民協議(public hearing)は、問題案件について開催されることがある。通常は、EIA レポートのサマリーを公開し、コメント受領の形式を取っている。EIA レポートのサマリーの公開は、現地語に訳され、NEMA 図書館、公共図書館、マケレレ大学、District の環境局または役所で行われる。

用地取得・住民移転については、社会環境として EIA でカバーする必要があるが、現行の EIA ガイドラインでは十分な記載はない。EIA と別に RAP の作成を求める規定はなく、WB のガイドラインなどを参考に実施している。用地取得・住民移転は、対象事業の立地する District Land Board が主

に用地取得に係る手続きについて担当する。

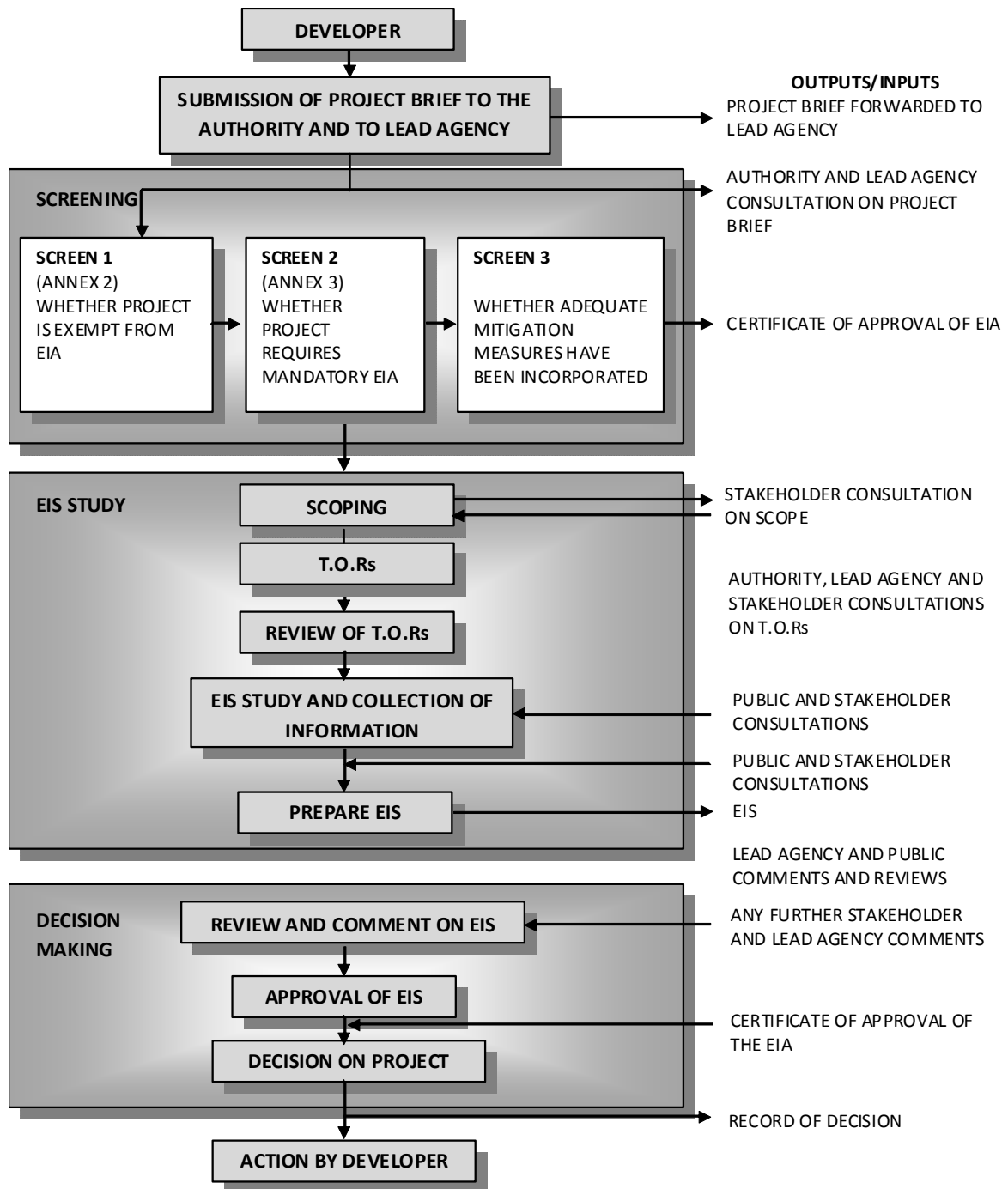
Full EIA を要する EIA 承認手続き数は年々増加傾向にあり、現在年間 300 件程度の手続きが実施されている。そのうち、30 件程度がエネルギーセクターであり、主に石油採掘に関連したものである。

開発事業に伴う主な環境問題は、住民移転、健康被害、越境自然環境影響などである。NEMA によると地熱開発事業については NEMA では経験がないため、環境社会配慮上の留意事項についてはよく分からないとのことであったが、井戸掘削と発電所建設のそれぞれの段階で EIA 手続きが必要となると想定されるとのこと。

表 II-22 ウガンダ国の関連環境法令・基準

No.	法規名
1	The National Environmental Act, Cap 153 (Commencement 19 May, 1995)
2	The Environmental Impact Assessment Regulation, S.I. No. 13/1998
3	Guidelines for Environmental Impact Assessment in Uganda, NEMA, 1997
4	Sectoral Guidelines for the Environmental Impact Assessment Process for the Mining Sector in Uganda (Draft under review process), NEMA
5	The National Environment (Standards for Discharge of Effluent into Water or on Land) Regulations, S.I. No 5/1999
6	The National Environment (Noise Standards And Control) Regulations, 2003
7	The National Environment (Hilly And Mountainous Area Management) Regulations, 2000
8	The National Environment (Management Of Ozone Depleting Substances And Products) Regulations 2001
9	The National Environment (Access to Genetic Resources and Benefit Sharing) Regulations, 2005
10	The Mining Act, 2003
11	The National Forestry and Tree Planting Act, 8/2003
12	The Water Act, Cap. 152

(資料) NEMA



(資料) NEMA (1997)

図 II-44 EIA レポート準備及び審査プロセス

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、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、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、岩石が破碎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ある。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、過熱蒸気の状態でも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、CI 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。

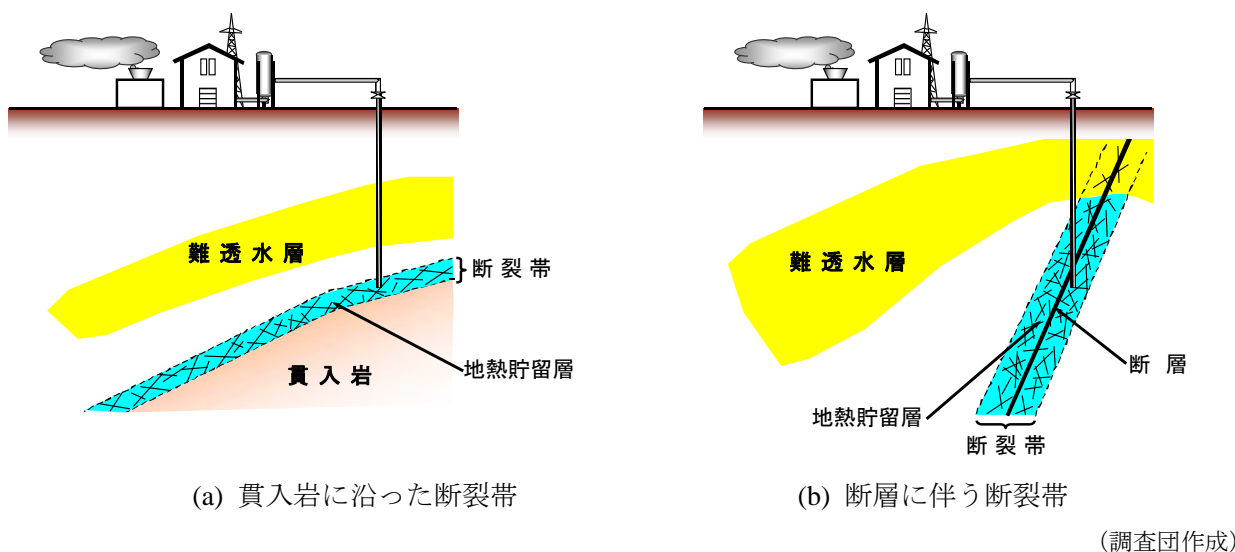


図 III-1 断裂型地熱貯留層の例

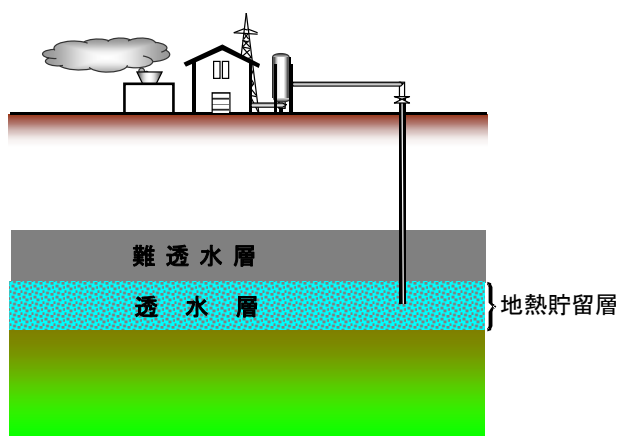
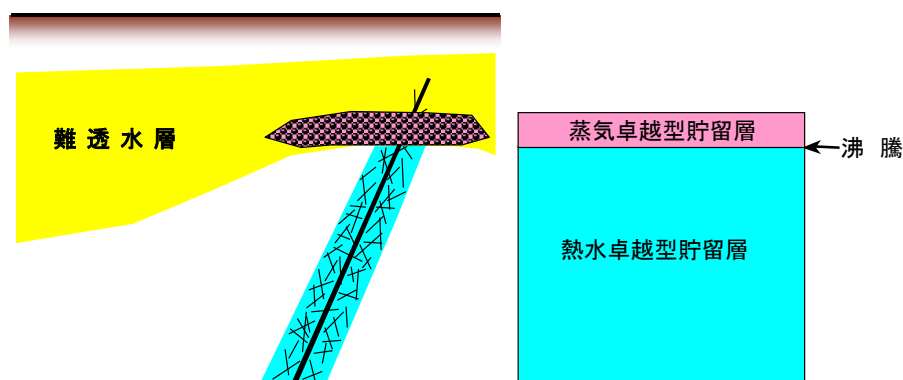


図 III-2 多孔質地層型地熱貯留層の例



(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**

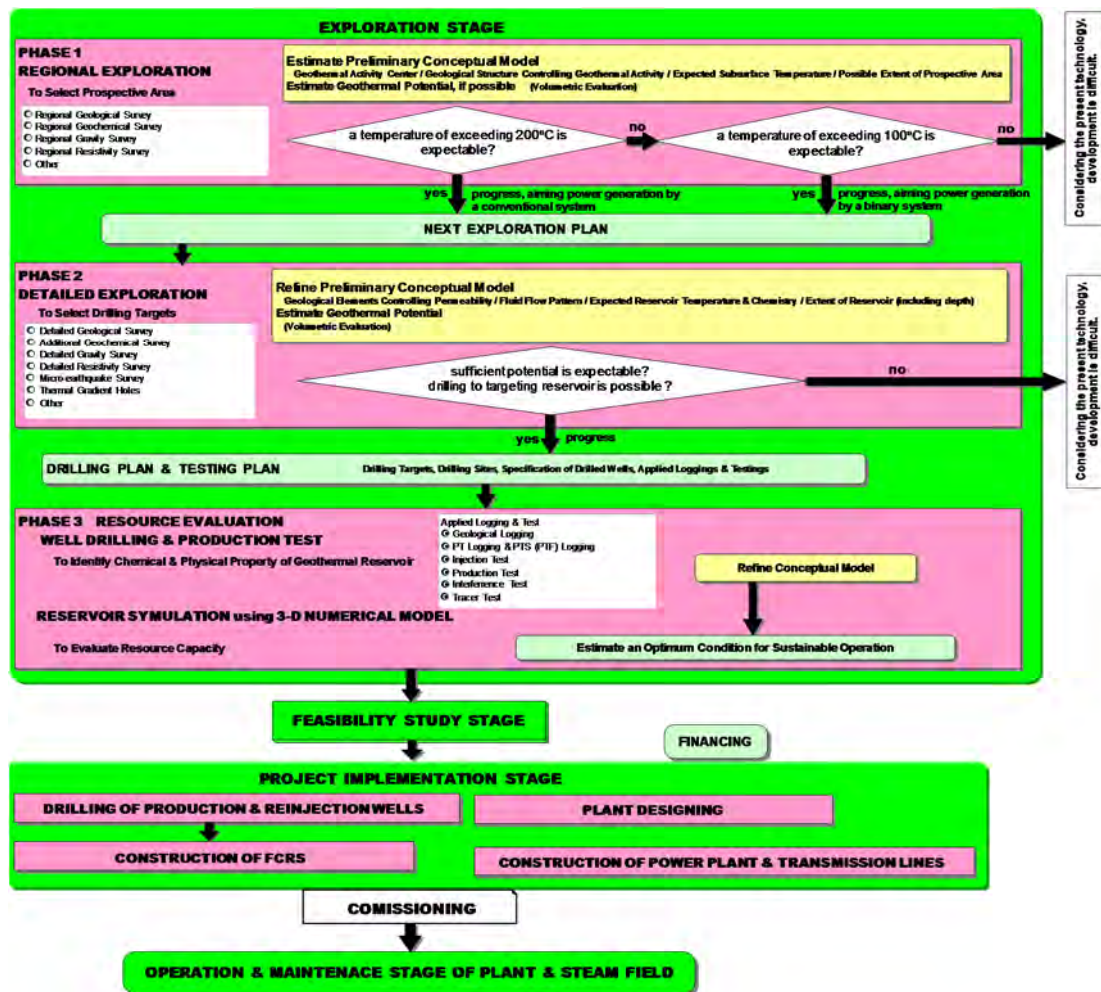
広域調査段階では、有望範囲（最重点調査域）を抽出するため、対象地域全域での調査が行われる。精査段階では、広域調査で絞り込まれた有望範囲内で、地熱資源確認のための調査井掘削地点を選定することが可能な精度での精密調査が行われる。資源量評価段階では、地熱資源確認のための調査井が掘削され、噴出試験が行われる。噴出試験結果とこれまでの探査結果に基づいて、3次元貯留層シミュレーションによる資源量評価が行われるが、その精度を向上させるためには、3本以上の調査井を掘削することが望まれる。広域調査段階、精査段階及び資源量評価段階の各段階で、その段階で得られた情報を基に地熱概念モデルが作成される。このモデルには、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の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、ウガンダ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 広域調査	■									
	Phase 2 詳細調査		■								
	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－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)

II-5-6 節及び II-5-7 節で述べたように、今回調査した地点には、大きな地熱資源量が見込めて、かつ社会環境も整った有望地点が存在しなかった。一方で、II-4-1 節で述べたように、ウガンダ国内に

は4箇所の地熱有望地域（キビロ、カトゥウェ、パニムル、ブランガ）が存在し、民間に探査権が付与されているが、ライセンスホルダーによる地熱調査がほとんど進展していない状況である。なおかつ、ウガンダ政府は、探査権期限切れに備えて、独自の調査を実施している（表 II-1）。探査権は3年間で期限が切れるため、期限切れ後に、これらの地域におけるウガンダ政府の調査を支援することが支援策のひとつとして挙げられる。したがって、これらの探査権地域の進展を引き続き注視していくことが重要である。

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。ウガンダの現状および国立公園などの立地条件を考慮すれば、次のようなJICA案件が考えられる（表 III-2）。また、今回の調査により貯留層温度が100°C未満と評価された地点についても、今後の現地調査により新たな温泉などが確認され、貯留層温度が100°Cを超えると再評価される可能性は残されている。ウガンダにおける多くの地熱地点が広域調査段階の途上にあること判断されるから、地熱開発促進策としてウガンダ政府が各地熱地点の追加・補足地熱調査や詳細調査を今後実施する場合には、数地点について、地熱調査技術移転の一環としてのOJTを含めた資源調査支援案件も考えられる。

表 III-2 考えられる JICA 案件

案件番号	1		
案件名	有望地域（キビロ：表 III-3）の資源確認調査（※探査権が切れ、ウガンダ政府による開発が可能な状況になった場合）		
案件概要	資源確認調査（MTを含む地上調査及び調査井2-4本掘削）に対し、大型開発調査による支援を行う。		
支援先	ウガンダ地質調査所（DGSM-MEMD）		
支援手法	大型開発調査	課題分野	資源調査
案件規模	3年間 10-20億円程度		
備考			

案件番号	2		
案件名	地熱開発体制整備支援		
案件概要	ウガンダの地熱推進体制に関し、ロードマップ作成、UEGCL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（MEMD）		
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			

(調査団作成)

表 III-3 有望地熱地点に関する情報

1	国名	ウガンダ		
2	地熱地域名	キビロ地域		
3	地区名（温泉名）	キビロ		
4	自治体名	ホイマ郡キビロ村		
5	位置/交通	アルバート湖の東岸、ホイマの北北西約 30km		
6	調査/開発状況	地表調査（地質調査、地化学調査、磁気及び重力探査、空中磁気探査、熱流量孔）		
		Stage	Phase1-2 相当（表 III-1）	
7	地熱資源に関する情報			
	1) 地質/地質構造	アルバートリフト東縁の断層崖直下に位置し、断層崖に斜交するリニアメントが発達する。基盤は先カンブリア紀の花崗岩および変成岩類より構成され、付近では粘土化変質の存在が報告されている。		
	2) 地化学	温度・化学性状	湧出温度 86.5℃、pH7.0、全蒸発残留物濃度 4,600mg/kg、Cl 型（Bahati et al., 2010）	
		地化学温度	約 220℃（Na-K-Ca 温度）	
	3) 物理探査	磁気及び重力探査、空中磁気探査		
	4) 坑井調査	未実施		
	5) 地熱構造モデル	未構築		
6) 地熱資源量	39MW(本調査)			
8	社会環境			
	1) 環境制約/国立公園	対象外（要確認）		
	2) インフラ等	送電線/電化	既設主要送電線から約 30km（要調査）	
		道路/土地利用	不明（要調査）	
		人口密度/ 人家から距離	不明（要調査）	
産業地		不明（要調査）		
9	調査課題	社会環境に関する事項の確認が必要		
10	提案する地熱開発調査	MT 調査、調査井掘削		
11	現地調査	未実施（探査権地域であったため）		
12	備考			

(調査団作成)

参考文献

- Armannsson, H., Bahati, G., Kato, V. (2007) Preliminary investigations of Geothermal areas in Uganda, other than Katwe-Kikorongo, Buranga and Kibiro Final Report. ICEIDA.
- Bahati, G. (2012) Geothermal Energy Development in Uganda: A Country Update 2012, Proceedings of the 4th African Rift Geothermal Conference Nairobi, Kenya
- Bahati, G., Natukunda, J.F., and Tuhumwire, J. (2010) Geothermal energy in Uganda, Country update, Proceedings world geothermal congress 2010.
- Bahati, G., Kato, V., Nyakecho, C. (2010) Geochemistry of Katwe-Kikorongo, Buranga and Kibiro geothermal areas, Uganda, Proceedings world geothermal congress 2010.
- BGR (2007) Detailed surface analysis of the Buranga geothermal prospect, West-Uganda.
- Chandrasekharam, D. and Chandrasekhar, V (2012) Clean Development Mechanism through Geothermal: Ethiopian Scenario. Proceedings of the 4th African Rift Geothermal Conference 2012 Nairobi, Kenya
- Deus Katomi Muhwezi (2009) The potential relationship of some geothermal fields in Uganda, Geothermal training programme.
- DGSM, Geological map of Uganda, Scale 1:1,250,000.
- Fujii, T., (2010) Petroleum exploration in East African Rift basin, Analysis (Japanese).
- Hamlin, T., and Fikre, A., (2004) The African rift geothermal energy development facility (ARGeo), Renewable energy conference.
- JICA (2010) Situation Analysis Study on Geothermal Development in Africa.
- Keiji Kimbara (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.
- MEMD (2012), Joint Sector Review
- Mwangi, M.N., (2010) The African rift geothermal facility (ARGEO)-Status, Presented at short course V on exploration for geothermal resources.
- Natukunda, J.F. (2012) Geology of Kibiro, Katwe and Buranga Geothermal Prospects of Uganda, Proceedings of the 4th African Rift Geothermal Conference 2012 Nairobi, Kenya
- Natukunda, J.F., (2010) Geology of Kibiro, Katwe and Buranga geothermal prospects of Uganda, Proceedings world geothermal congress 2010.
- Ochmann, N., Kraml, M., Babirye, P and Lindenfeld, M. (2010) Microearthquake Survey at the geothermal prospect, western Uganda, Proceedings world geothermal congress 2010.
- 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.
- Sharma D.V. (1971) Report on the preliminary survey of thermal anomalies of Western Uganda for the possible development of geothermal energy. Geological Survey and Mines Department, Uganda, unpubl. report DVS/3, 23 pp.
- Schluter, T. (1997) Geology of east Africa, Gebruder Bornetraeger/Berlin/Stuttgart, Independent book.
- Teklemariam, M. (2010) Barriers for development of geothermal resource in countries of the east: Overcoming these challenges, 11th Annual east African power industry convention.

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.	Ka01		DATE	9-Oct-13	
Place Name	Kagamba		DISTRICT	Kabale	
Cordination;					
Longitude (E)	29.99716	Latitude (N)	-1.32024	Elevation	1805 m
Water sample No.	Ka01				
Temperature	28.4 °C		Air Temp	17.4 °C	
pH	7.1 (29°C)		Remark;	pond, diluted	
Electric conductivity	50 mS/m				
Rock sample No.	Ka01	conglomerate			

Geological condition;

The basement rocks are composed of MesoProterozoic meta-sandstone and meta-conglomerate. The foliation of these rocks strikes N45°W dips 90°W is distributed around this place. The lineaments are developed in ENE-WSW and NE-SW directions.

Discription;

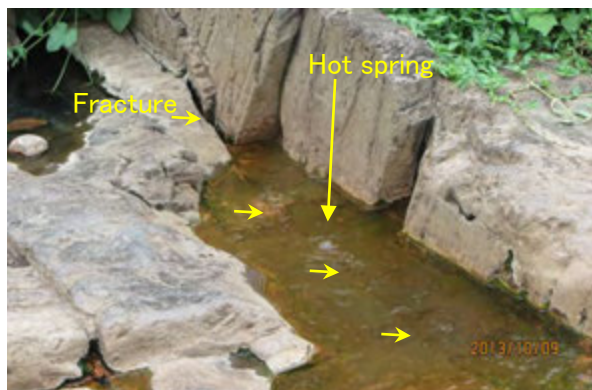
This place is located at the roadside of the Kabale–Katuna road of Kagamba area, being approximately 8km south of Kabale Town. The hot spring is gushing out from unconsolidated sediment in the place. The small pond and wet land are developed in the vicinity.



Location No.	Kr01		DATE	9-Oct-13	
Place Name	Karungu		DISTRICT	Kabale	
Cordination;					
Longitude (E)	29.87281	Latitude (N)	-1.07401	Elevation	1831 m
Water sample No.	Na02				
Temperature	61.7 °C		Air Temp	22.0 °C	
pH	6.7 (59°C)		Remark;	bubbling	
Electric conductivity	86 mS/m				
Rock sample No.	Na02	phylite			

Geological condition;
 The rock is composed of Mesoproterozoic phyllite and meta-sediments. The foliation of these rocks strikes in N35°W, dips 80°W. This place is situated in the intersection between NW-SE trending clear lineament and NE-SW trending minor lineament.

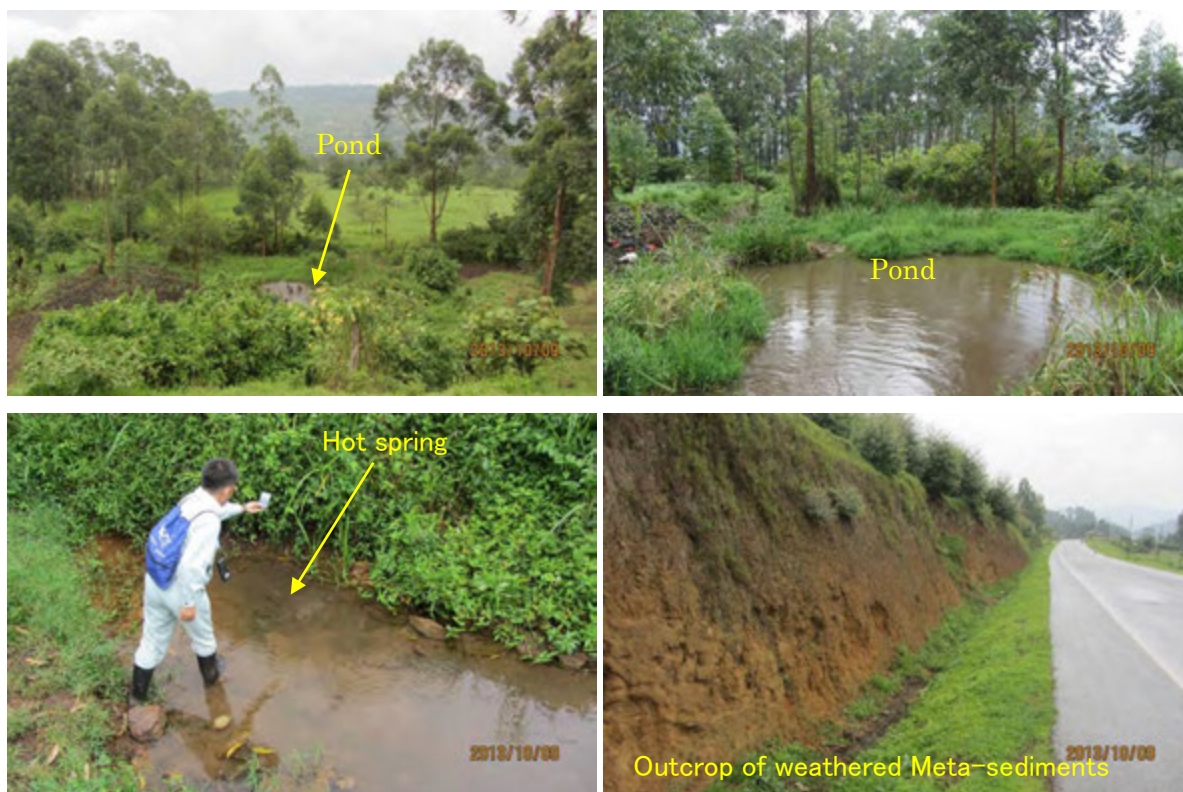
Discription;
 This place is located at the Ishasha River valley in Karungu area, being approximately 20km northwest of Kabale Twon. The hot springs are gushing out from unconsolidated sediments or through the fractures developed in phyllite outcrop of the river bottom. A hot spring is flow out of N60E trending joint in situ.



Location No.	Bu01	DATE	9-Oct-13
Place Name	Bubale	DISTRICT	Kabale
Cordination;			
Longitude (E)	29.95998	Latitude (N)	-1.23178
Elevation	1811	m	
Water sample No.	Mn01		
Temperature	29.5 °C	Air Temp	20.0 °C
pH	6.1 (29°C)	Remark;	bubbling
Electric conductivity	76 mS/m		
Rock sample No.	-		

Geological condition;
 The rock is considered to be composed of meta-sandstone and conglomerate. No lineament is developed in this place.

Discription;
 This place is located at the roadside of the Kabale–Kisoro road of Bubale area, being approximately 4km southwest of Kabale Town. The hot spring is gushing out from unconsolidated sediment in the end of slope. The small pond is developed in the vicinity.



Location No.	Mu01	DATE	9-Oct-13
Place Name	Mulore-Nyakabungo	DISTRICT	Kabale
Cordination;			
Longitude (E)	29.85442	Latitude (N)	-1.14709
Water sample No.	-	Elevation	1971 m
Temperature	- °C	Air Temp	- °C
pH	-	Remark;	-
Electric conductivity	- mS/m		
Rock sample No.	Mu01	limburgite	

Geological condition;
 This area is underlain by Quaternary limburgite lava. The lavas have vesicular texture and contains granitic xenoliths which derived from basement rocks.

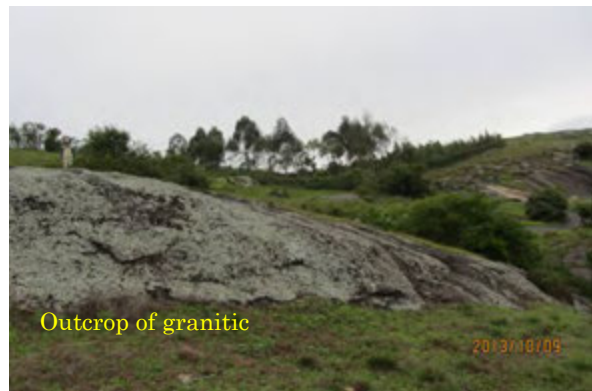
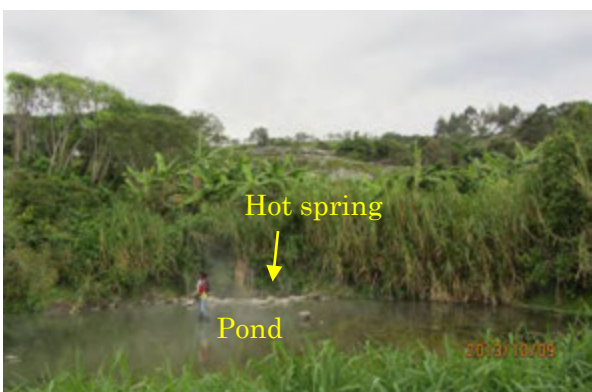
Discription;
 No spring.



Location No.	Ru01		DATE	9-Oct-13	
Place Name	Rubaare		DISTRICT	Ntungamo	
Cordination;					
Longitude (E)	30.08225	Latitude (N)	-0.89426	Elevation	1377 m
Water sample No.	-				
Temperature	52.0 °C		Air Temp	19.5 °C	
pH	7.3 (52°C)		Remark;	bubbling	
Electric conductivity	165 mS/m				
Rock sample No.	Ru01a	travertine			
	Ru01b	pegmatite			

Geological condition;
 The rock is foliated and massive granitic rocks with a great amount of pegmatite vein. WNW-ESE trending lineament is developed in this place.

Discription;
 This place is located in Rubaare area the left bank of wide valley, being approximately 20km west of Utungamo Town. The valley is approximately 1km width, WNW-ESE trending. The hot spring is gushing out from foot of slope south side of valley. The small ponds is developed in the vicinity. There are huge amount of travertine limestone around the hot spring.



Location No.	Ki01		DATE	10-Oct-13	
Place Name	Kisizi		DISTRICT	Rukungiri	
Cordination;					
Longitude (E)	35.25440	Latitude(N)	3.57560	Elevation	1045 m
Water sample No.	-				
Temperature	29.1 °C		Air Temp	21.5 °C	
pH	7.4 (°C)		Remark;	no smell, no tastes	
Electric conductivity	32 mS/m				
Rock sample No.	-				

Geological condition;
 The rocks are silicified gneiss very much by affected quartz dominant pegmatite intrusion. In particular, there are a lot of big boulders ranging 1 to 5 m in size in its vicinity. E-W trending lineament is developed in this place.

Discription;
 This place is located in Kisizi area, being approximately 20km south of Rukungiri Town. The hot spring is gushing out scree deposits made up of gneiss. The hot spring is utilized as daily use.



Location No.	Rb01		DATE	10-Oct-13	
Place Name	Rubabo		DISTRICT	Rukungiri	
Cordination;					
Longitude (E)	29.94488	Latitude (N)	-0.90198	Elevation	1309 m
Water sample No.	Na01				
Temperature	57.5 °C		Air Temp	22.0 °C	
pH	7.0 (53°C)		Remark;	bubbling	
Electric conductivity	124 mS/m				
Rock sample No.	Rb01	schist			

Geological condition;
 The rock is schist of the basement. The foliation of these rocks strike N35°W, dips 80°W is distributed in this place. The place is situated in the intersection of WNW-ESE and NE-SW trending minor lineaments.

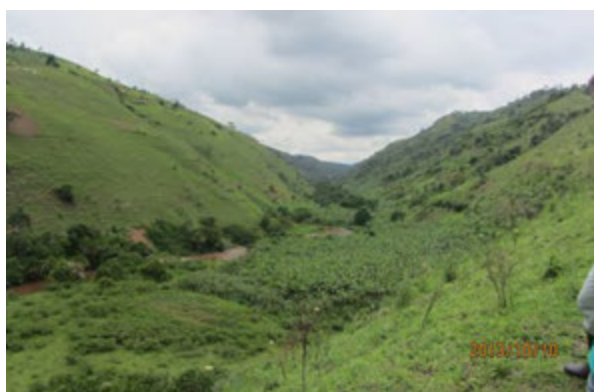
Discription;
 This place is located in the left bank of river valley of Rubabo area, being approximately 12km east-southeast of Rukungiri Town. The hot spring is gushing out through the fractures developed in schist.



Location No.	Bi01		DATE	10-Oct-13	
Place Name	Birara		DISTRICT	Rukungiri	
Cordination;					
Longitude (E)	29.88278	Latitude (N)	-0.88771	Elevation	1288 m
Water sample No.	-				
Temperature	61.0 °C		Air Temp	23.4 °C	
pH	6.7 (50°C)		Remark;	bubbling	
Electric conductivity	141 mS/m				
Rock sample No.	-				

Geological condition;
 Gneiss and granitic gneiss are distributed in this place.
 NW-SE trending major lineament parallel to the river is developed very well.

Discription;
 This place is located in Birara area, being approximately 12km west-southwest of Rukungiri Town. The hot springs are flow out from bottom of gouge. There are 4 hot springs in both sides of the river.



Location No.	Mi01		DATE	10-Oct-13	
Place Name	Minera		DISTRICT	Rukungiri	
Cordination;					
Longitude (E)	30.01129	Latitude (N)	-0.90385	Elevation	1344 m
Water sample No.	-				
Temperature	56.2 °C		Air Temp	24.0 °C	
pH	6.9 (49°C)		Remark;	bubbling	
Electric conductivity	240 mS/m				
Rock sample No.	Mi01	biotite-gneiss			

Geological condition;
 The rock is composed of biotite gneiss, having foliation strikes N40°W and dips 80°W. WNW-ESE trending minor lineament crosses the place.

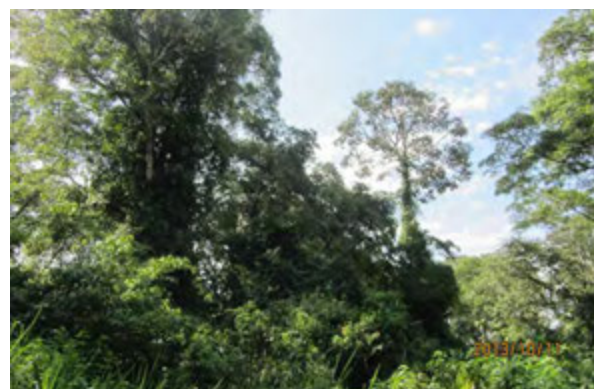
Discription;
 This place is located in Minera area, being approximately 15km southeast of Rukungiri Town. The hot spring is gushing out through the fractures of gneiss. The hot spring is utilized as daily use and a small facility was made for that.



Location No.	Ih01	DATE	11-Oct-13
Place Name	Ihimbo	DISTRICT	Rukungiri
Cordination;			
Longitude (E)	29.81719	Latitude (N)	-0.68512
Elevation	1019	m	
Water sample No.	Ih01		
Temperature	69.0 °C	Air Temp	22.0 °C
pH	8.7 (61°C)	Remark;	bubbling
Electric conductivity	98 mS/m		
Rock sample No.	-		

Geological condition;
 The place area is located at a boundary between basement rocks and Quaternary rift sediments the western Rift Valley. There is no specific structural feature on the image.

Discription;
 This place is located in the Ihimbo area, being approximately 15km northwest of Rukungiri Town. Hot waters are seeping out from Quaternary alluvial rift sediments. There are two hot springs aligned in N10°E direction.
 The hot spring are utilized as a spa. This area applies to the forest reserve area.



Location No.	Kn01		DATE	11-Oct-13	
Place Name	Kanyinabalongo		DISTRICT	Rukungiri	
Cordination;					
Longitude (E)	29.78933	Latitude (N)	-0.64318	Elevation	989 m
Water sample No.	Kn01				
Temperature	36.3 °C		Air Temp	31.6 °C	
pH	6.7 (36°C)		Remark;	sulfate tastes?	
Electric conductivity	104 mS/m				
Rock sample No.	-				

Geological condition;
 The place is located on Quaternary rift sediments area of the western Rift Valley.
 NE-SW trending minor lineament is situated in this place.

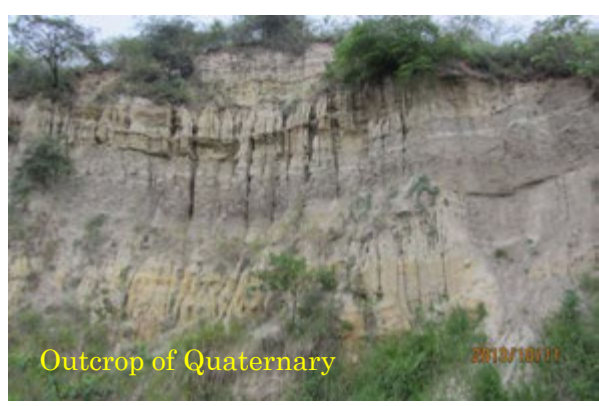
Discription;
 This place is located in the Kanyinabalongo area, being approximately 20km northwest of Rukungiri Town. Hot waters are seeping out from Quaternary unconsolidated sediments. The wet land and the small pond are developed in the vicinity.



Location No.	Km01		DATE	11-Oct-13	
Place Name	Kiruruma		DISTRICT	Kanungu	
Cordination;					
Longitude (E)	29.74691	Latitude (N)	-0.66558	Elevation	1013 m
Water sample No.	Km01				
Temperature	36.0 °C		Air Temp	- °C	
pH	7.3 (35°C)		Remark;	bubbling	
Electric conductivity	112 mS/m				
Rock sample No.	-				

Geological condition;
 The place is located on Quaternary rift sediments area of the western Rift Valley.
 NNE-SSW trending minor lineament is situated near this place.

Discription;
 This place is located in the Kiruruma area, being approximately 5km west-southwest of Kanyinabalongo hot spring. Hot waters are seeping out from Quaternary unconsolidated sediments. 20m high cliff which consists of stratified sediments is behind the hot spring.



Location No.	Kt01		DATE	11-Oct-13	
Place Name	Kitagata		DISTRICT	Sheema	
Cordination;					
Longitude (E)	30.16074	Latitude (N)	-0.68038	Elevation	1478 m
Water sample No.	Kt01				
Temperature	64.0 °C		Air Temp	21.4 °C	
pH	7.7 (57°C)		Remark;	no smell, no tastes	
Electric conductivity	118 mS/m				
Rock sample No.	-				

Geological condition;
 The rock is composed of banded gneiss. The foliation of these rocks strikes N45W, dips 90. NE-SW trending major lineament is developed very well.

Discription;
 This place is located at Kitagata area, western part of Sheeme district. The hot spring is gushing out through the fractures of gneiss.
 This hot spring is utilized as one of the biggest public spa.



Location No.	Mh01	DATE	12-Oct-13
Place Name	Muhokya	DISTRICT	Kasese
Cordination;			
Longitude (E)	30.04698	Latitude (N)	0.10264
Elevation	1001	m	
Water sample No.	Mh01		
Temperature	42.0 °C	Air Temp	22.3 °C
pH	7.2 (42°C)	Remark;	taste SO4
Electric conductivity	360 mS/m		
Rock sample No.	-		

Geological condition;
 This place is consisting of Quaternary colluviums sediments. There are gneiss boulders on the surface. A great amount of lacustrine limestone, which is not travertine limestone, is distributed around the place.

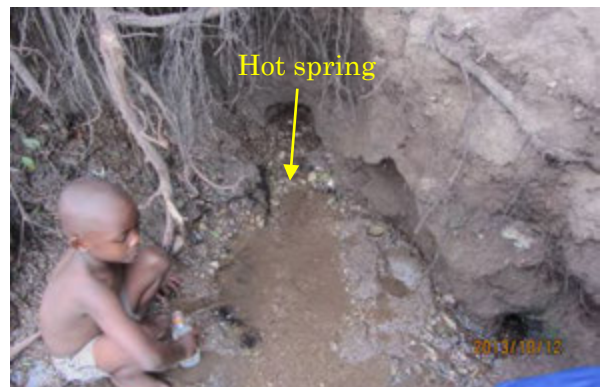
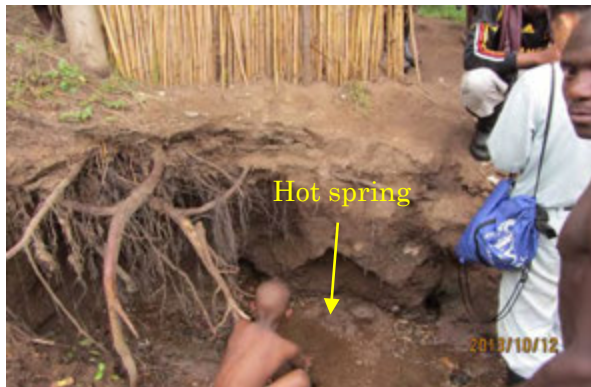
Discription;
 This place is located in Muhokya area, being approximately 10km southwest of Kasese Town. The hot springs are gushing out from unconsolidated slope deposits on the gentle hill.
 Lime factory was established in this place.



Location No.	Kb01		DATE	12-Oct-13	
Place Name	Kibenge		DISTRICT	Kasese	
Cordination;					
Longitude (E)	30.0546	Latitude (N)	0.18739	Elevation	1071 m
Water sample No.	Kb01				
Temperature	46.6 °C		Air Temp	25.0 °C	
pH	7.2 (46°C)		Remark;	no smell, no tastes	
Electric conductivity	370 mS/m				
Rock sample No.	-				

Geological condition;
 This place is consisting of gneiss basements. There are gneiss boulders on the surface. NE-SW trending major lineament is developed, which is considered to be rift margin fault.

Discription;
 This place is located in Kibenge area, being approximately 5km west of Kasese Town. The hot springs are gushing out from unconsolidated deposits.
 The hot spring is utilized as a public spa.



Location No.	Nd01		DATE	13-Oct-13	
Place Name	Ndugutu		DISTRICT	Kasese	
Cordination;					
Longitude (E)	30.09586	Latitude (N)	0.29324	Elevation	1230 m
Water sample No.	-				
Temperature	-	°C	Air Temp	-	°C
pH	-	(°C)	Remark;	-	
Electric conductivity	-	mS/m			
Rock sample No.	Nd01	travertine			

Geological condition;
 This place is consisting of basement gneiss. There are gneiss boulders on the surface. N-S trending major lineament is developed, which is considered to be rift margin fault.

Discription;
 This place is located in Ndugutu, being approximately 10km north of Kasese Town. Travertine limestone (old spring deposits) making various sizes of pools develops very well on the surface. The cold springs are flow out from these travertines.
 Hot springs, Ndugutu and Rwagimba, are aligned in N-S direction controlled by the rift margin fault.



Location No.	Rw01	DATE	13-Oct-13
Place Name	Rwagimba	DISTRICT	Kabarole
Cordination;			
Longitude (E)	30.10631	Latitude (N)	0.47695
Water sample No.	Rw01	Elevation	1556 m
Temperature	68.7 °C	Air Temp	27.0 °C
pH	6.6 (68°C)	Remark;	a little salty tastes
Electric conductivity	650 mS/m		
Rock sample No.	-		

Geological condition;
 This place is consisting of gneiss basements. There are gneiss boulders along the stream.

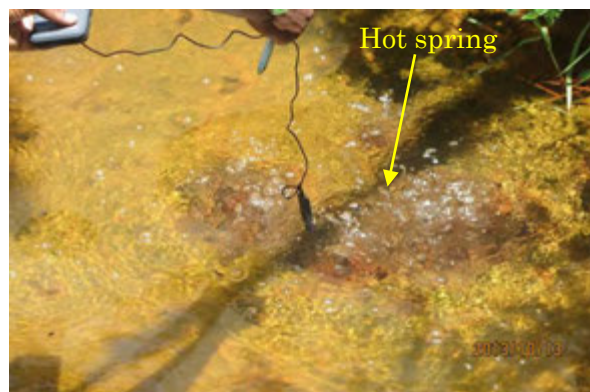
Discription;
 This place is located on the bottom of V-shaped valley in Rwagimba area, being approximately 30km southeast of Kasese Town. The hot springs are gushing out from unconsolidated deposits of river. Hot springs sit both side of the river. The place is very remote area far from the village.



Location No.	Rm01	DATE	13-Oct-13
Place Name	Rwimi	DISTRICT	Kabarole
Cordination;			
Longitude (E)	30.21778	Latitude (N)	0.38668
Elevation	1109 m		
Water sample No.	Rm01		
Temperature	25.0 °C	Air Temp	28.0 °C
pH	6.3 (26°C)	Remark;	bubbling hard, red soil
Electric conductivity	420 mS/m		
Rock sample No.	Rm01	Cemented pebbly deposite(travertine)	

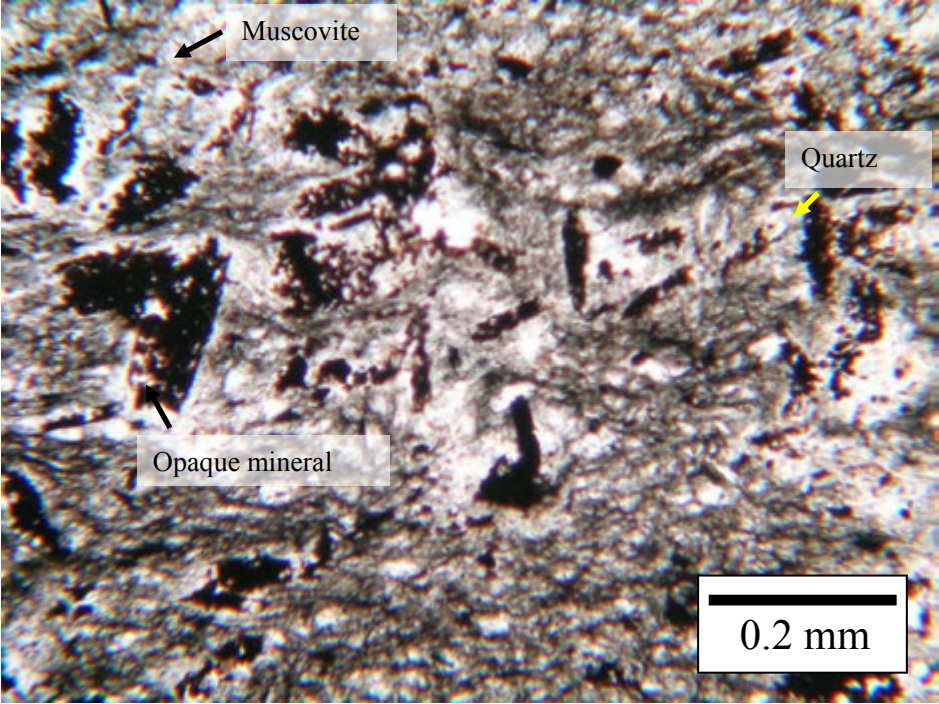
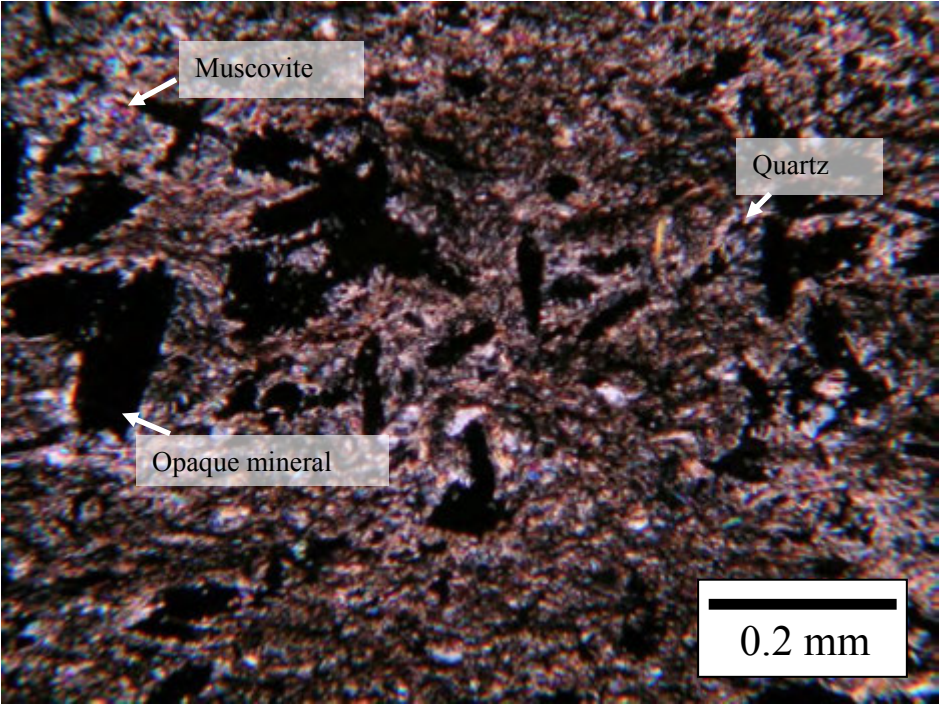
Geological condition;
 This place is consisting of gneiss basements. Quaternary lapilli tuff is distributed widely just north of this place.

Discription;
 This place is located in Rwimi area, being approximately 25km northeast of Kasese Town. The hot springs are gushing out from unconsolidated deposits.
 Hot spring sits banana field. The mound 1 m high of travertine limestone is observed close to the current hot spring.

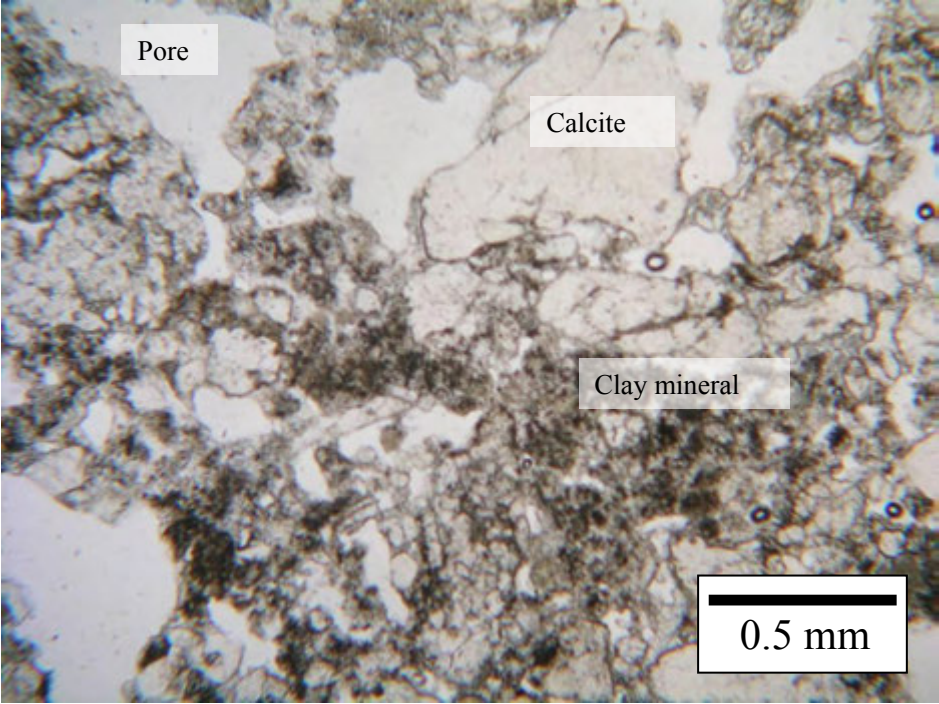
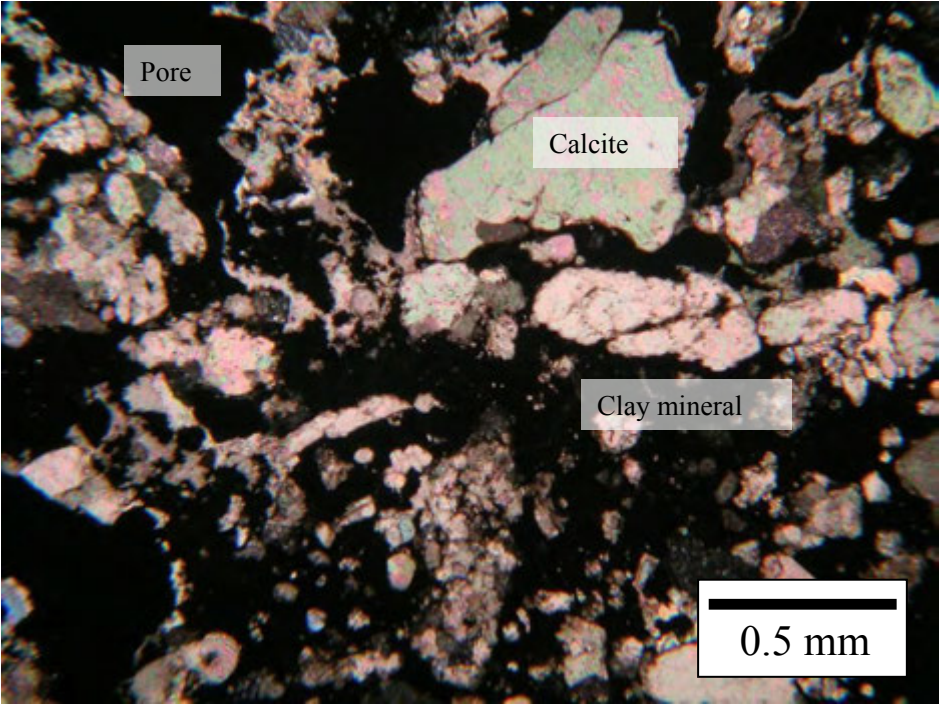


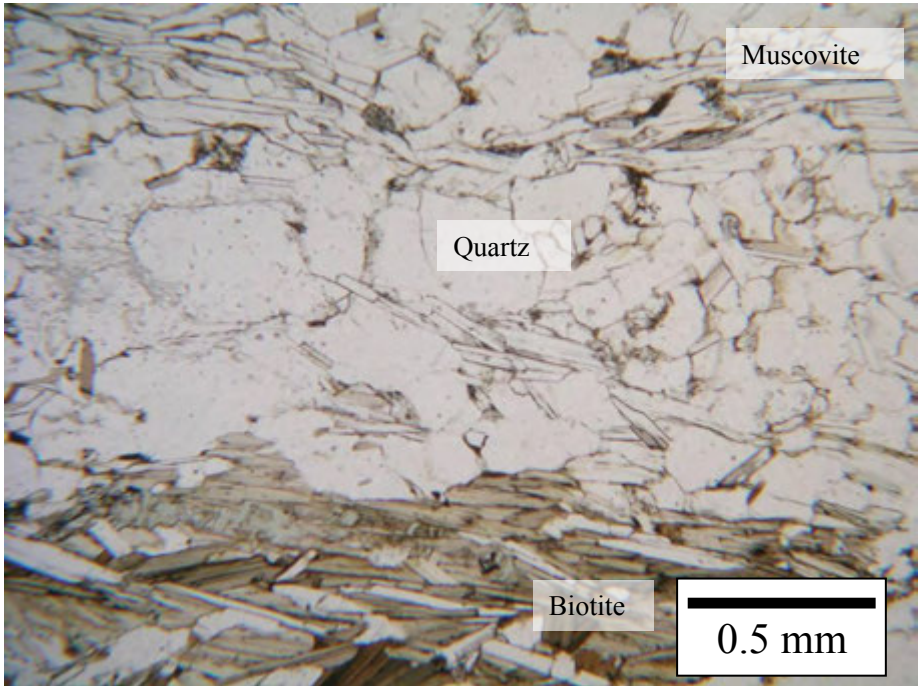
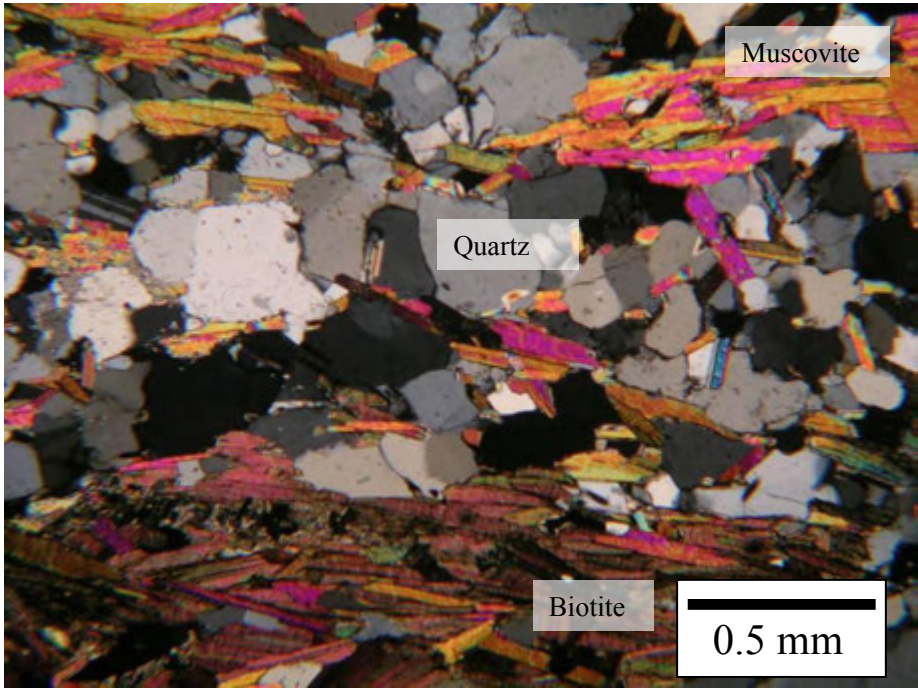
2. 岩石試料顕微鏡観察結果

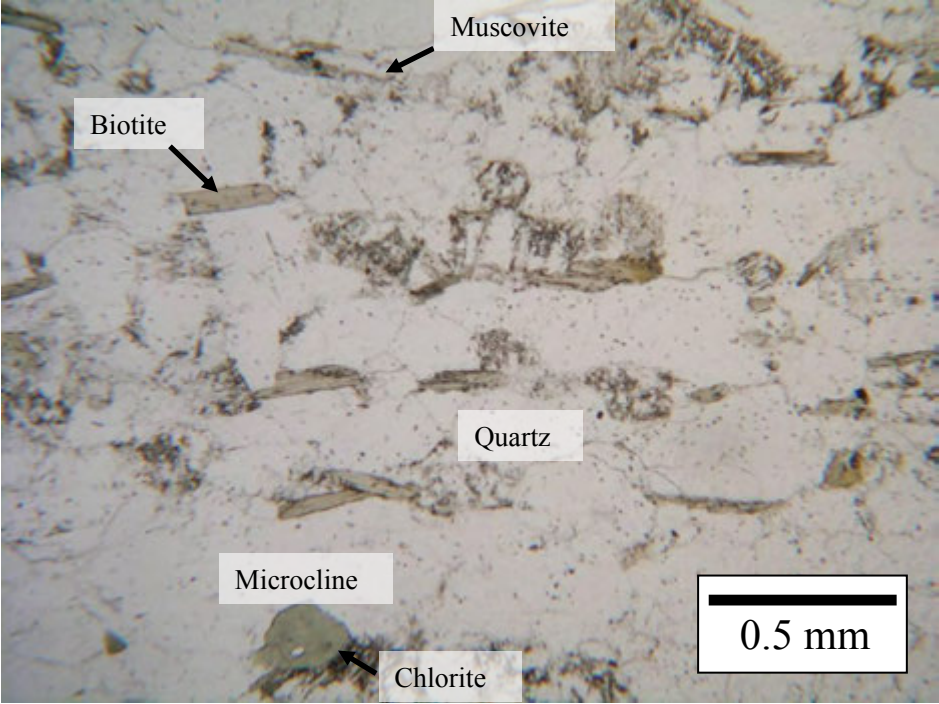
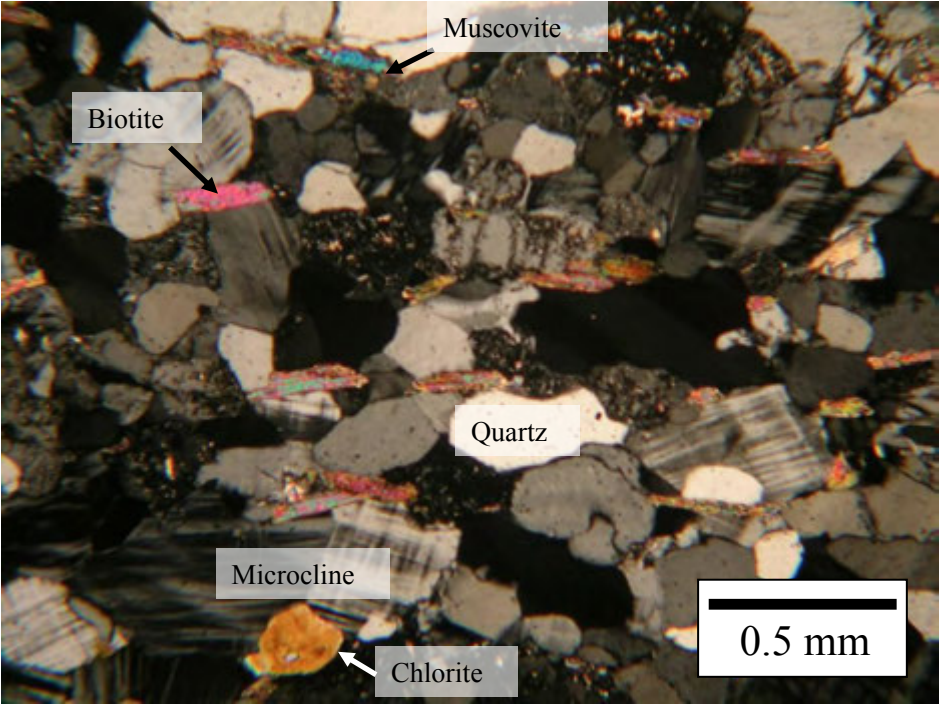
Petrography sheet No.1	
Field	Kagamba(Ka01)
Plane-polarized light	
Crossed-polarized light	
Description	<p>Rock name : Conglomerate</p> <ul style="list-style-type: none"> • This rock consists of quartz grain, pebble of quartz and muscovite. • The matrix mostly consists of opaque mineral and looks like dark reddish purple to naked eye. It is considered hematite from result of XRD analysis. The maximum grain size is around 1cm, and a lot of particles of around 0.5mm are included.

Petrography sheet No.2	
Field	Karungu(Kr01)
Plane-polarized light	
	
Crossed-polarized light	
	
Description	<p>Rock name : Phyllite</p> <ul style="list-style-type: none"> • The rock mainly consists of quartz, muscovite and hematite. • Quartz and muscovite are less than 0.1mm in diameter. • Pseudomorph laths consist of fine opaque minerals. The intergranular of quartz and muscovite are filled up by very fine opaque minerals. • Cleavage with orientation of mica is developing.

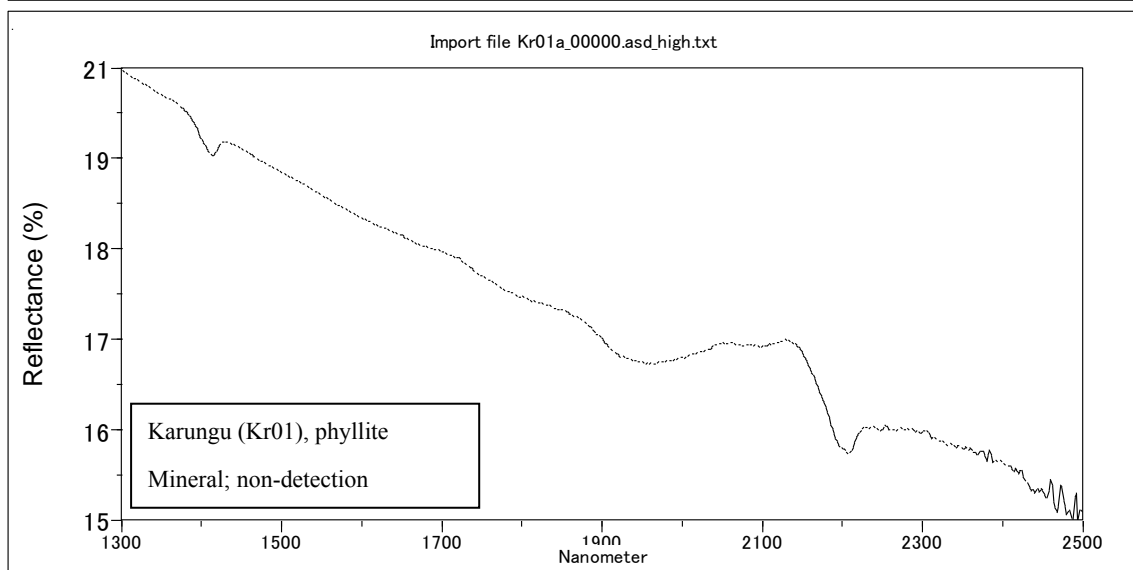
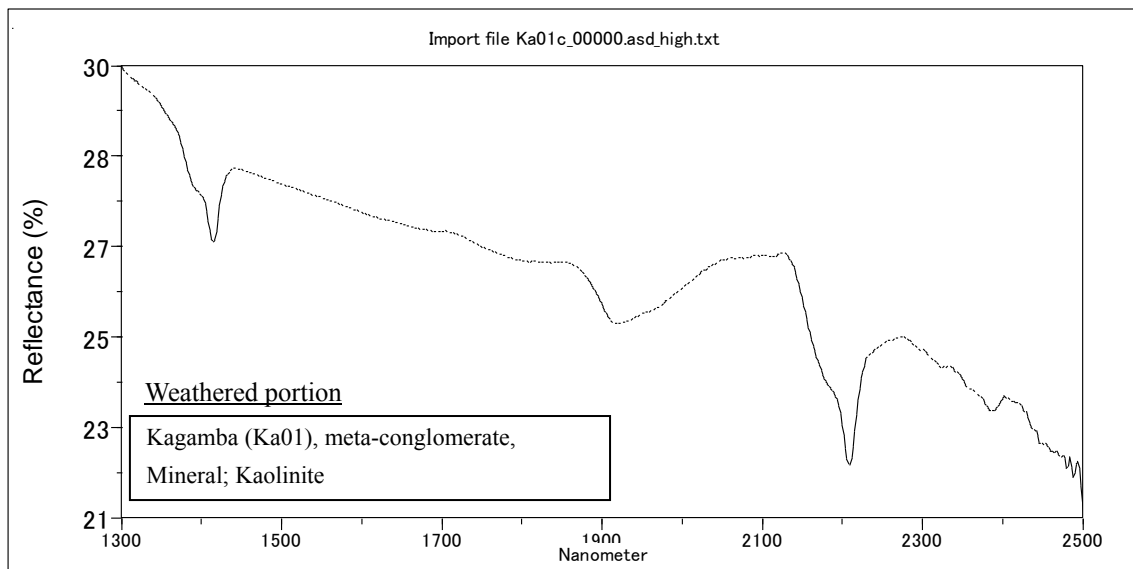
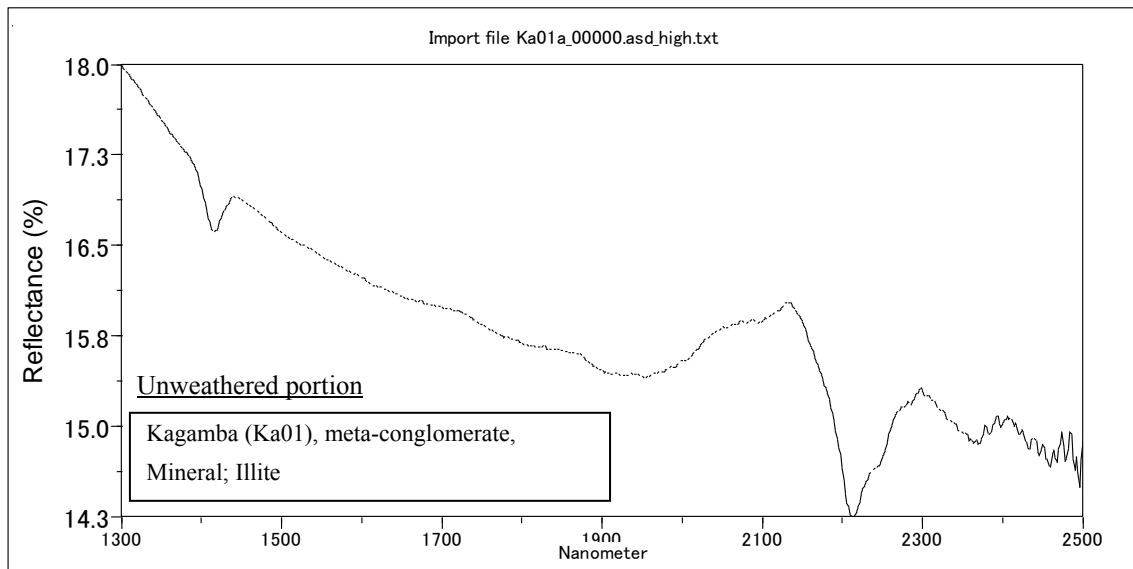
Petrography sheet No.3	
Field	Murole-Nyakabungo(Mu01)
Plane-polarized light	
<p>This micrograph shows a dark, granular groundmass with several large, light-colored phenocrysts. A large, irregularly shaped vesicle is visible on the left side. The phenocrysts are labeled as Pyroxene and Olivine. A scale bar in the bottom right corner indicates 0.5 mm.</p>	
Crossed-polarized light	
<p>This micrograph shows the same field as the plane-polarized light image. The groundmass is dark, and the phenocrysts exhibit characteristic colors under crossed polars: Pyroxene is reddish-brown, and Olivine is blue. The vesicle is dark. A scale bar in the bottom right corner indicates 0.5 mm.</p>	
Description	<p>Rock name : Basalt</p> <ul style="list-style-type: none"> The rock is olivine-pyroxene basalt. Phenocrysts are less than 1.5-2.0mm in diameter. The porous groundmass consists of volcanic glass, plagioclase and opaque mineral.

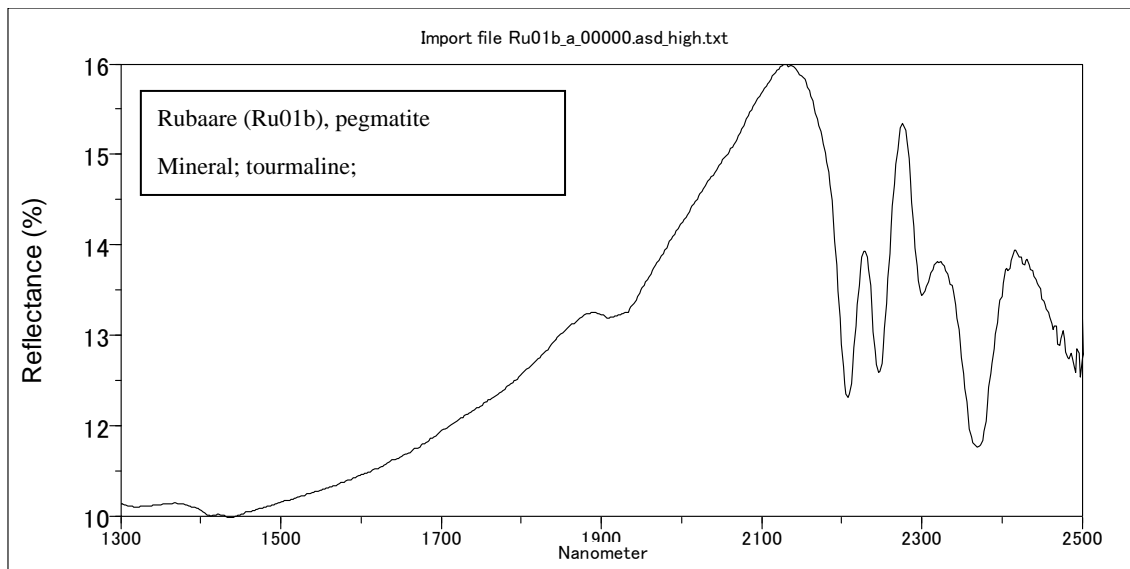
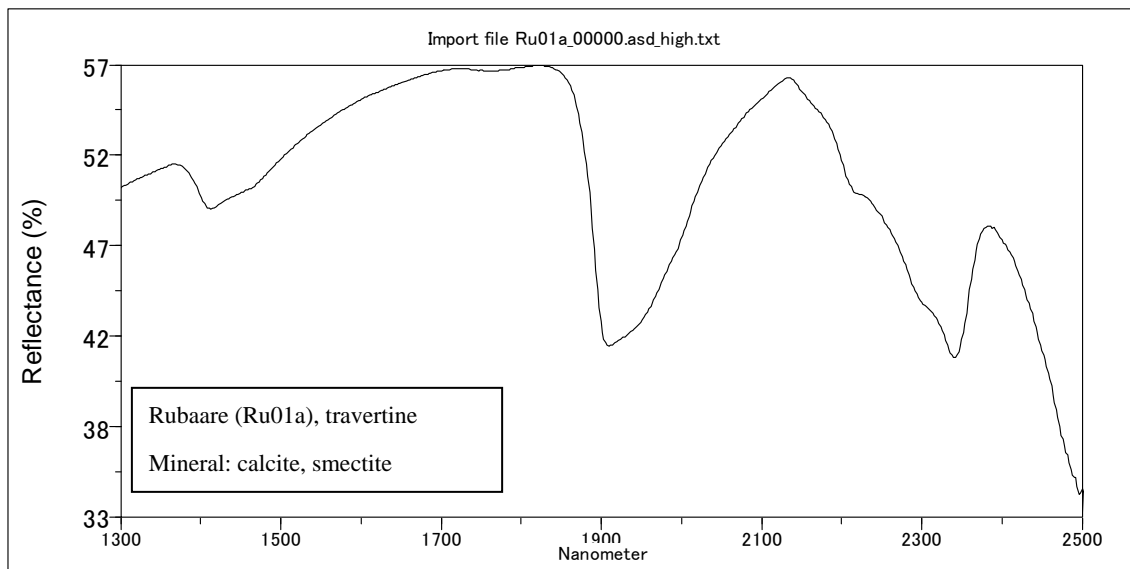
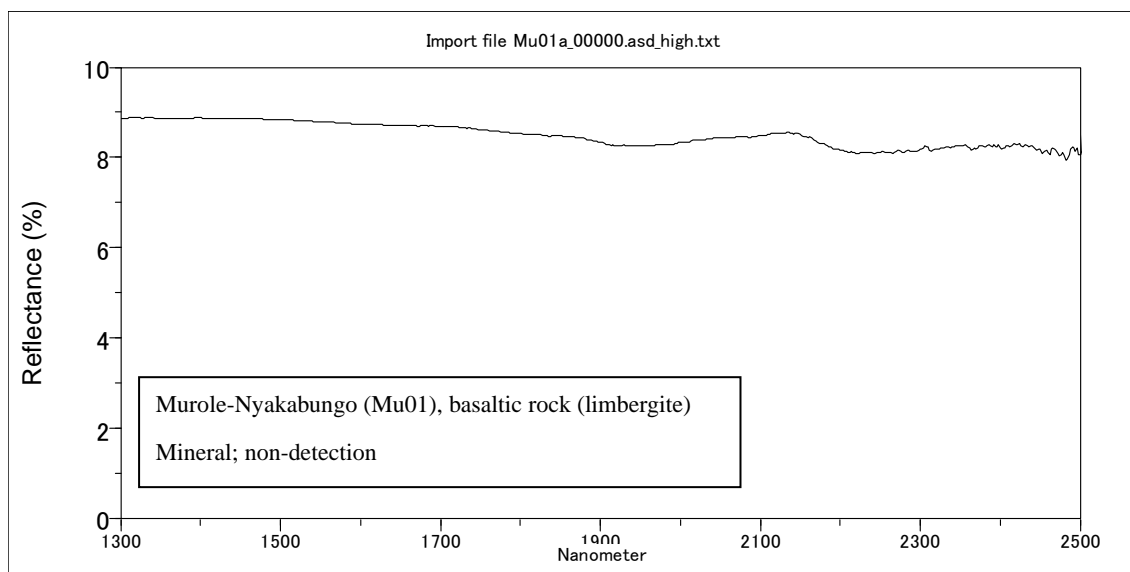
Petrography sheet No.4	
Field	Rubaare(Ru01a)
Plane-polarized light	
	
Crossed-polarized light	
	
Description	<p>Rock name : Travertine</p> <ul style="list-style-type: none"> • The rock consists of calcite and matrix of brown clay mineral. • Calcite is less than 0.5mm in diameter. • The rock shows porous texture.

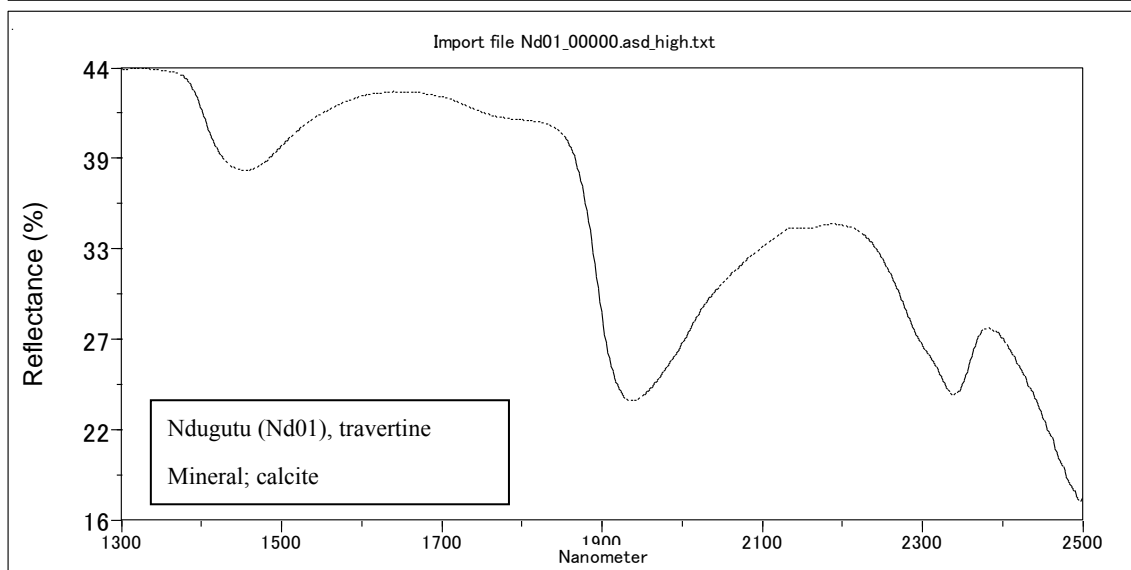
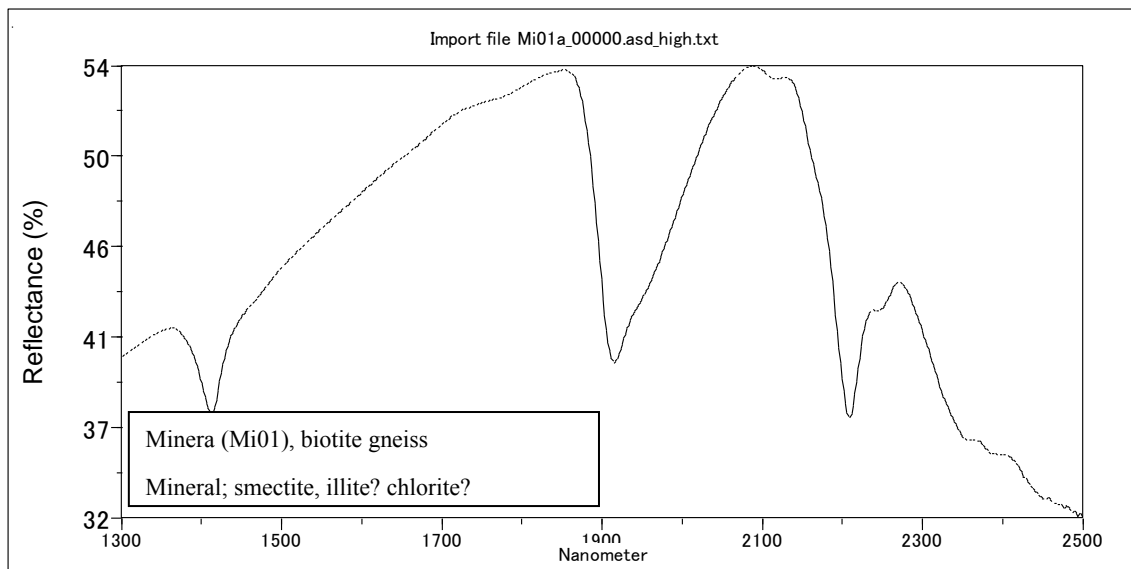
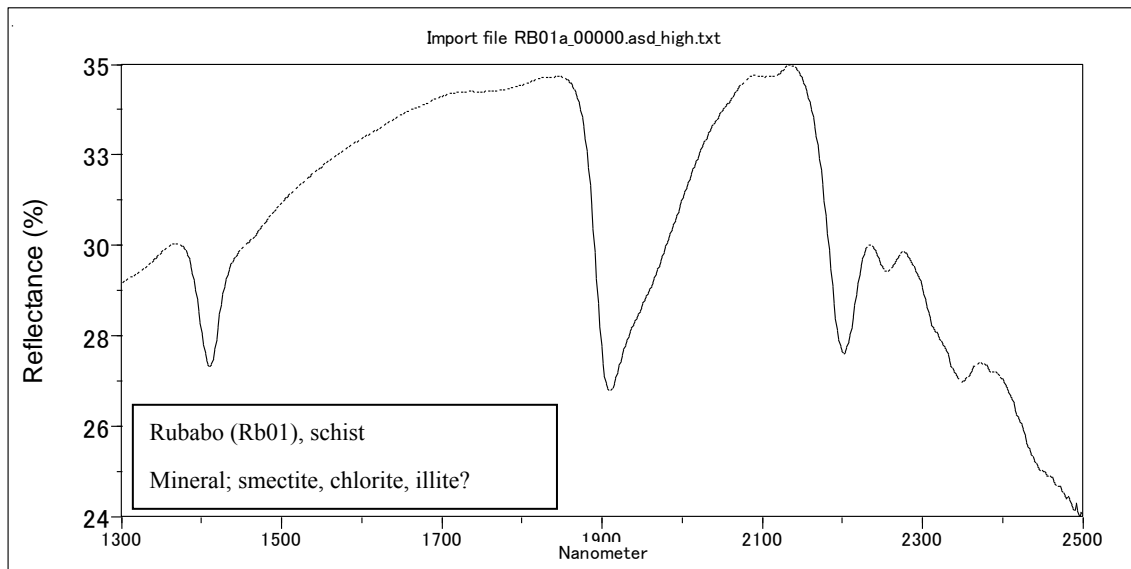
Petrography sheet No.5	
Field	Rubabo(Rb01)
Plane-polarized light	
	
Crossed-polarized light	
	
Description	<p>Rock name : Schist</p> <ul style="list-style-type: none"> • The rock consists of mainly quartz, biotite and muscovite. Biotite and muscovite show parallel alignment. • Quartz are around 0.2-2mm in diameter, show mosaic texture and undulatory extinction. • Muscovite and biotite are 0.2-0.5mm in length and cleavages are developed.

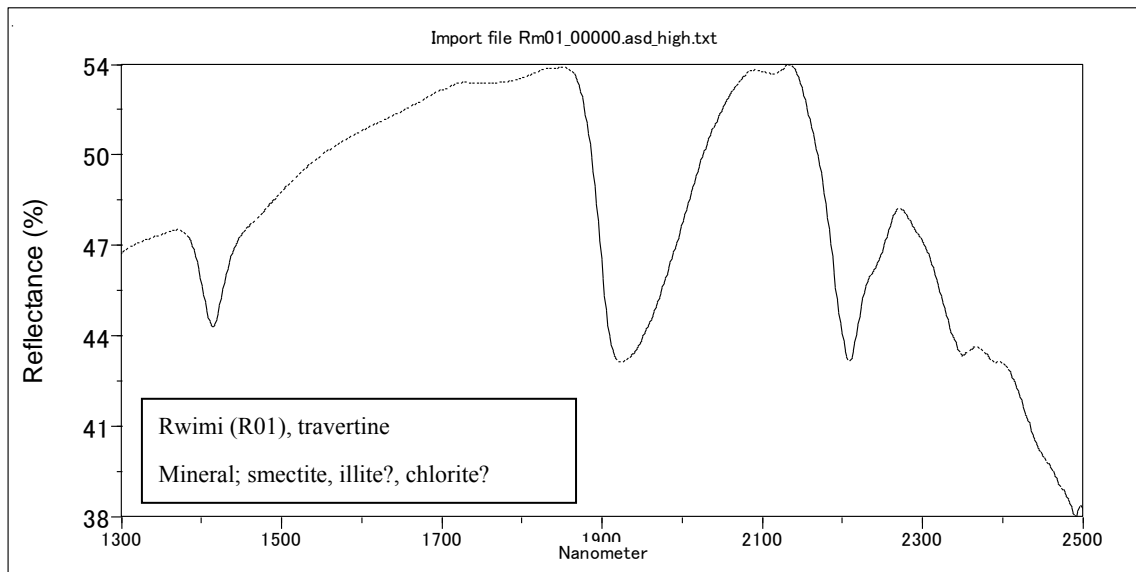
Petrography sheet No.6	
Field	Mineral(Mi01)
Plane-polarized light	
	
Crossed-polarized light	
	
Description	<p>Rock name : Gneiss</p> <ul style="list-style-type: none"> • The rock consists of quartz and microcline mainly with biotite and a little muscovite. • The rock shows equigranular texture around 0.5mm grain size. Mica has orientation. • Small amount of chlorite are 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）

Location	Temp. °C	pH	EC μ s	Na mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	Cl mg/kg	SO ₄ mg/kg	HCO ₃ mg/kg	F mg/kg	B mg/kg	CO ₂ mg/kg	H ₂ S mg/kg	SiO ₂ mg/kg	Fe mg/kg	Sr %	NH ₃ %	Li %	Br %	$\delta^{18}\text{O}$ ‰	δD ‰	
																							mg/kg
Kagamba	35	7.49	467	13.2	4.7	29	44	<20	37		1.8	0.3	186	0	26	<0.02	0.2	0.13	<0.05	<0.2	<0.2	-4.7	-17.1
Karungu	65	7.09	846	149	9.4	29	3.8	44	206		5.4	0.44	111	0	49	0.9	1.5	<0.1	0.38	<0.04	<0.04	-3.97	-9.6
Rubale	34	6.29	578	61	5.7	60	38	<20	73		0.69	0.27	406	0	19.2	1.8	0.5	0.1	0.23	<0.02	<0.02	-3.93	-9.1
Rubaare	54	7.52	1600	285	14.9	70	1.4	177	417		6	0.78	85	0	106	0.08	1.1	0.48	0.29	1.2	1.2	-4.2	-12.1
Kitagata	66	7.92	1110	203	10.7	36	0.28	55	346		7.4	0.61	56	0	76	0.05	0.77	0.41	0.5	0.36	0.36	-3.3	-3.1
Ihimbó	70	9.2	893	186	5.6	3.8	0.02	71	219		6	0.27	45	0.92	66	0.08	0.24	0.58	<0.05	0.42	0.42	-3.45	-4.1
Kanyinabarongo	38	7.37	992	173	9	31	4.5	92	280		2.6	0.66	58	0	34	6.8	0.74	0.63	0.05	0.54	0.54	-3.45	-5
Birara	63	7.44	1072	210	13.6	70	10.5	80	208		6.2	0.33	647	0	103	0.25	1.1	0.25	0.21	0.35	0.35	-3.51	-7.2
Rubabo 1	58	7.14	1069	216	11.2	41	8.3	93	184		3.9	0.27	230	0	81	0.04	1.2	0.19	0.09	0.4	0.4	-3.61	-8.5
Rubabo 2	60	7.5	1077	216	11.3	41	8.3	90	183		3.9	0.26	235	0	80	0.09	1.2	0.25	0.09	0.39	0.39	-3.58	-7.2
Kiruruma	36	7.09	609	110	9.4	36	2.9	22	182		2.7	0.34	124	0	57	0.4	0.79	0.95	0.08	<0.2	<0.2	-3.28	-4.7
Kisizi	30.1	7.43	292	5.8	3.8	30	18.9	<20	14.7		0.18	<0.10	106	0	17.5	0.04	0.07	0.15	<0.05	<0.04	<0.04	-3.69	-7.9
Minera	58	6.88	2180	482	23	70	22	181	361		2.5	0.65	547	0	83	0.23	1.5	0.21	0.7	0.88	0.88	-4.13	-10.7
Kabuga	42	7.42	3290	622	21	208	13.2	474	1071		2.7	0.42	110	0	53	0.38	1.5	<0.1	0.1	3.5	3.5	-4.33	-11.4
Kibenge	48	7.5	3300	581	26	233	6.5	589	889		4.2	0.52	79.2	0	46	0.15	3.3	0.1	0.26	3.9	3.9	-4.9	-15.7
Ndagutu	22	8.5	17580	4482	268	25	11.2	2931	3469		16.5	3	1918	0	40	0.04	2.9	0.43	1.9	<0.2	<0.2	-2.94	-4.4
Rwimi	24	7.09	3160	382	61	384	191	211	523		1.3	0.53	1620	0	94	7.5	8.9	0.25	0.11	1.3	1.3	-2.61	1.9
Rwagimba	69.2	6.87	6400	1481	46	75	5.1	905	1527		8	0.94	651	0	65	0.8	3.3	<0.1	0.59	4.1	4.1	-4.8	-14.7
Kanangorok 1	60	8.35	1631	322	17.7	24	2.7	95	341		12	0.18	216	0	118	0.08	0.77	<0.1	0.19	<0.2	<0.2	-4.92	-18.8
Kanangorok 2	42	8.39	1627	323	19.2	21	1.5	97	343		13.8	<0.1	207	0	129	0.18	0.71	<0.1	0.2	<0.2	<0.2	-4.83	-17.2
Kanangorok BH	38	8.44	1658	342	22	21	1.5	96	352		13	0.76	207	0	129	0.32	0.73	0.15	0.22	<0.2	<0.2	-4.88	-16.6
Kaitabosi	48	10.55	1038	248	7	0.52	0.014	<20	36		22	0.17	155	8.3	157	0.03	0.1	0.15	0.08	<0.2	<0.2	-5.91	-25.3
Amoropi	58	8.66	1790	352	10.9	4.5	0.36	470	26		5.2	0.65	71	5.61	73	0.06	0.27	2.1	0.12	1.5	1.5	-3.52	-7.7
Okumu	45	8.45	1590	321	9.5	8.5	0.68	379	36		4.7	0.58	109	2.48	69	0.02	0.2	1.6	0.08	0.93	0.93	-3.29	-5.5
Avuka 2	35	7.56	676	138	7.3	8.4	3.1	83	19		2.4	0.22	142	0	54	0.23	0.07	0.25	<0.05	0.17	0.17	-2.5	1.9
Lusonga-BH	32	7.57	46300	42	316	163	243	3385	3313		0.32	0.85	2218	0	53	1.2	2.4	10.7	0.18	22	22	-3.42	-7.3
Amuru (Pakele)	49	9.06	449	110	2.6	1.4	0.04	53	4.4		6.6	<0.1	95.5	0	70	0.1	0.02	<0.1	<0.05	0.29	0.29	-2.48	-1.9
Amuru	48	8.23	508	111	3.9	6.6	0.76	51	73		8	0.2	91.1	0	68	0.04	0.07	<0.1	<0.05	0.45	0.45	-1.95	2.5

(From Armannsson et al, 2007)

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）

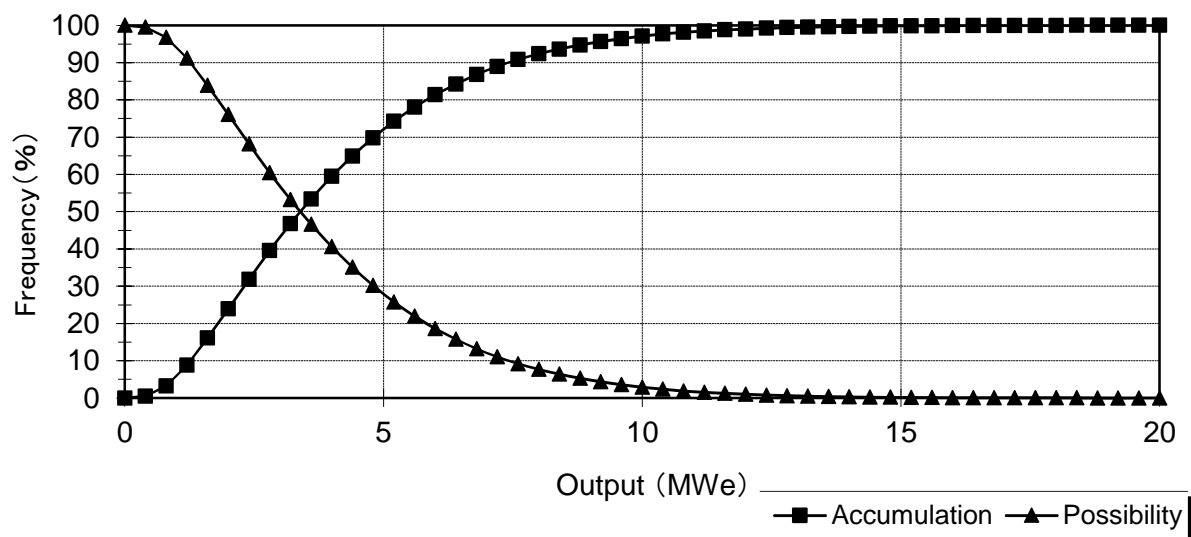
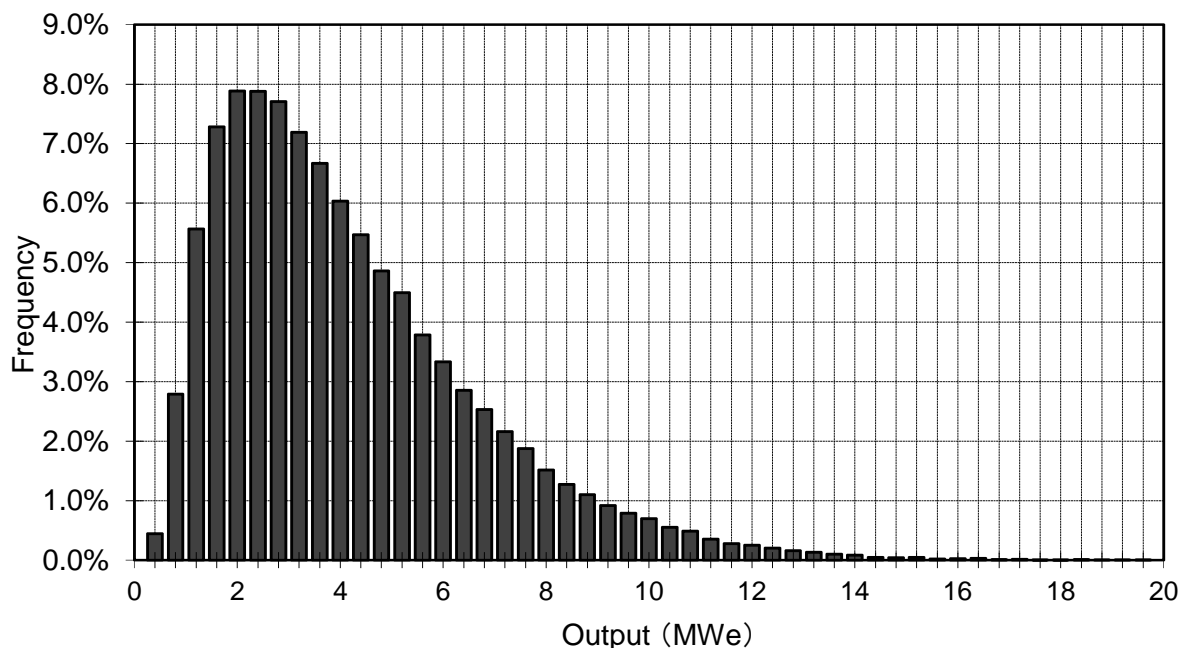
Location	Sample No.	Measured temp. (°C)	Quartz temp. (°C)	Chalcedony temp. (°C)	Na/K temp. (°C)
Kagamba	UG-05-15	35	73.9	41.8	338.9
Karungu	UG-05-16	65	101.1	70.7	153.9
Bubale	UG-05-17	34	62.6	30.3	194.7
Rubaare	UG-05-18	54	138.8	112.1	134.6
Kitagata	UG-05-19	66	120.1	91.4	136.1
Ihimbo	UG-05-20	70	83.8	52.2	96.0
Kanyinabarongo	UG-05-21	38	85.0	53.4	136.4
Birara	UG-05-22	63	136.1	109.1	155.8
Rubabo 1	UG-05-23	58	125.0	96.9	136.2
Rubabo 2	UG-05-24	60	123.2	94.9	137.0
Kiruruma	UG-05-25	36	108.2	78.4	183.9
Kisiizi	UG-05-26	30.1	58.6	26.4	n.a.
Minera	UG-05-27	58	126.8	98.8	128.1
Kabuga	UG-05-29	42	104.0	73.8	100.2
Kibenge	UG-05-30	48	97.5	66.8	121.6
Ndugulu	UG-05-31	22	79.7	47.9	141.3
Rwimi	UG-05-32	24	133.2	105.9	250.3
Rwagimba	UG-05-33	69.2	114.3	85.0	93.1
Kanangorok-1	UG-05-58	60	138.4	111.6	139.4
Kanangorok-2	UG-05-59	42	145.0	119.0	146.0
Kanangorok-BH	UG-05-60	38	144.9	118.9	153.2
Kaitabosi	UG-05-61	48	26.9	-3.1	93.7
Amoropii	UG-05-62	58	111.3	81.8	98.5
Panyimur (Okumu)	UG-05-63	45	112.9	83.6	95.4
Panyimur (Avuka-2)	UG-05-64	35	104.6	74.5	139.6
Panyimur (Amuru)	UG-05-117	49	78.7	46.7	82.5
Amuru	UG-05-118	48	114.0	84.7	106.8

(From Armannsson et al, 2007)

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)

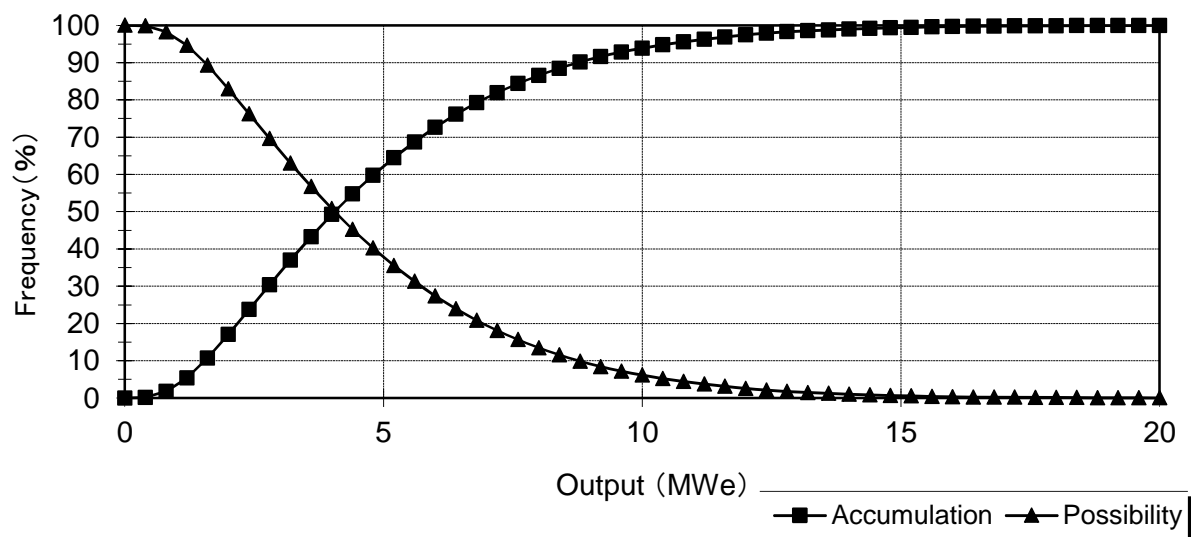
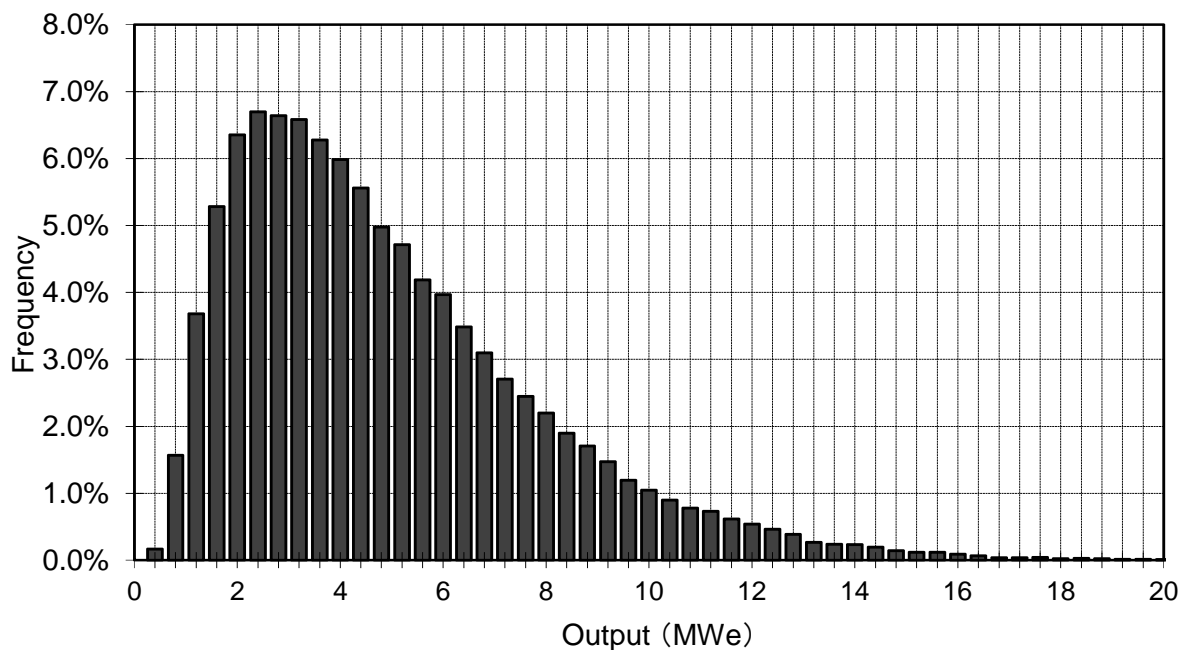
7. モンテカルロ解析を適用した容積法による地熱資源量計算結果



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	1.50	-	3.75
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)	115	135	155
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	-

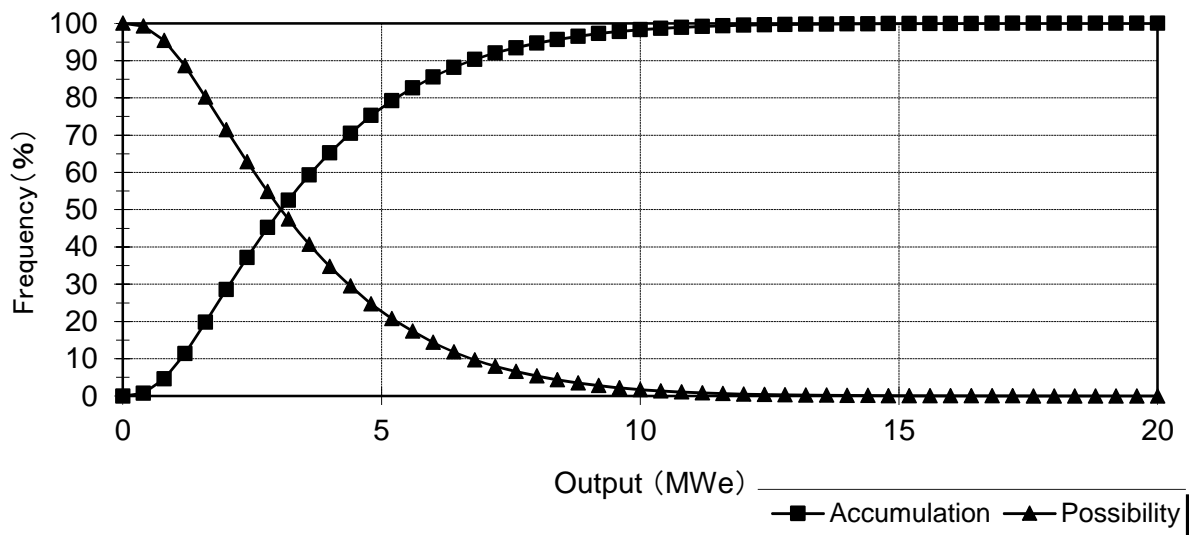
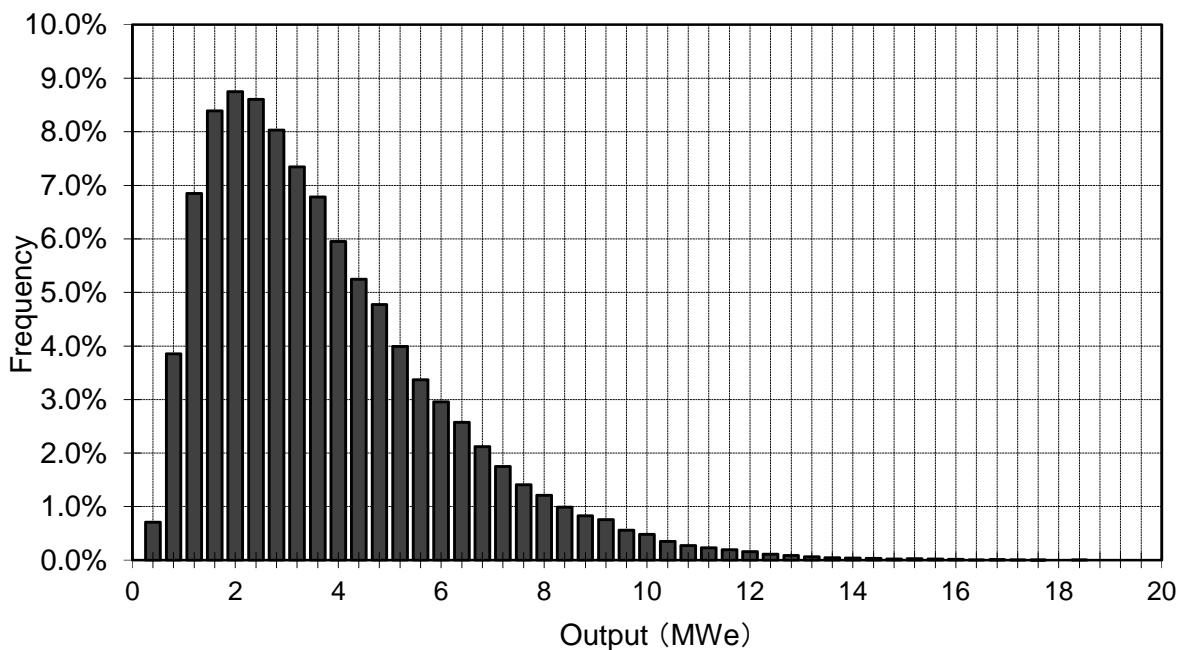
Probability Distribution of the Geothermal Potential for Minera



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	1.50	-	3.75
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)	125	145	165
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	-

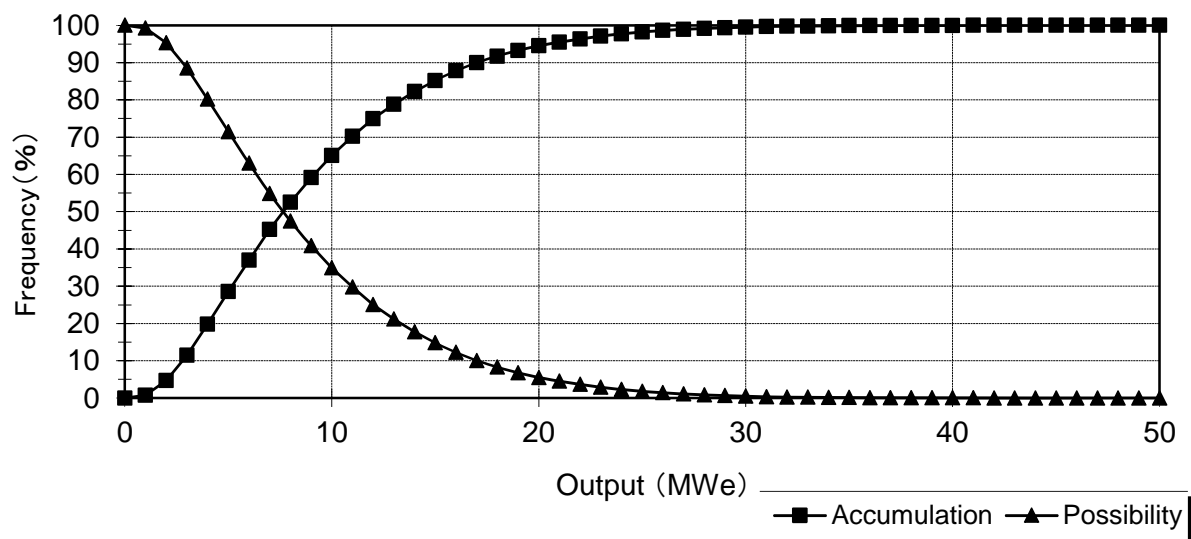
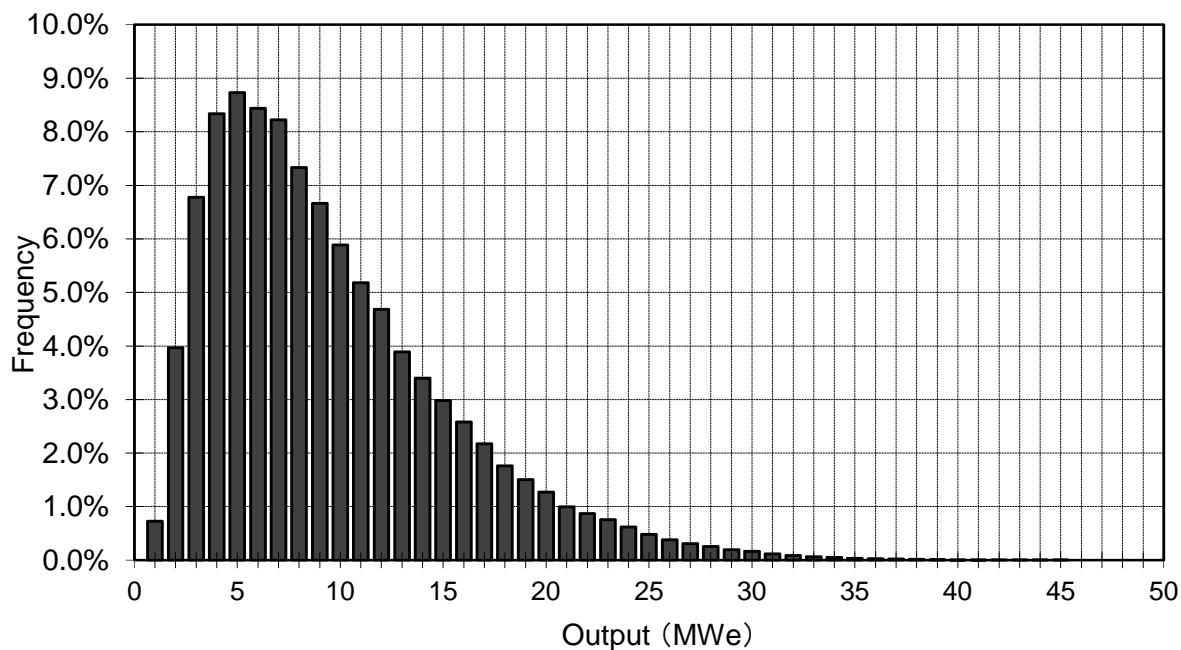
Probability Distribution of the Geothermal Potential for Ihimbo



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	1.50	-	3.75
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)	110	130	150
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	-

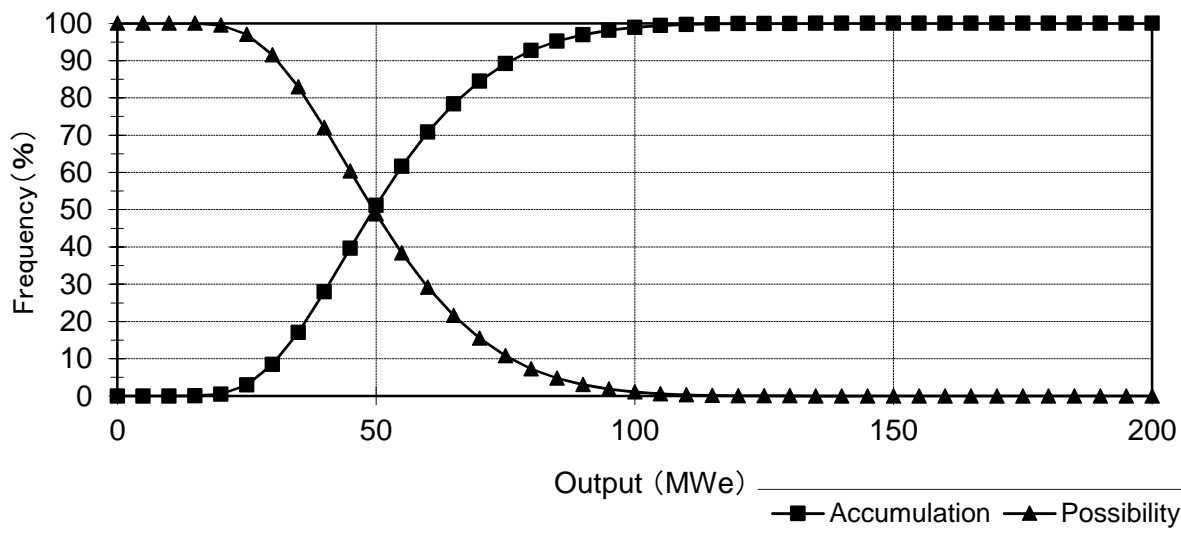
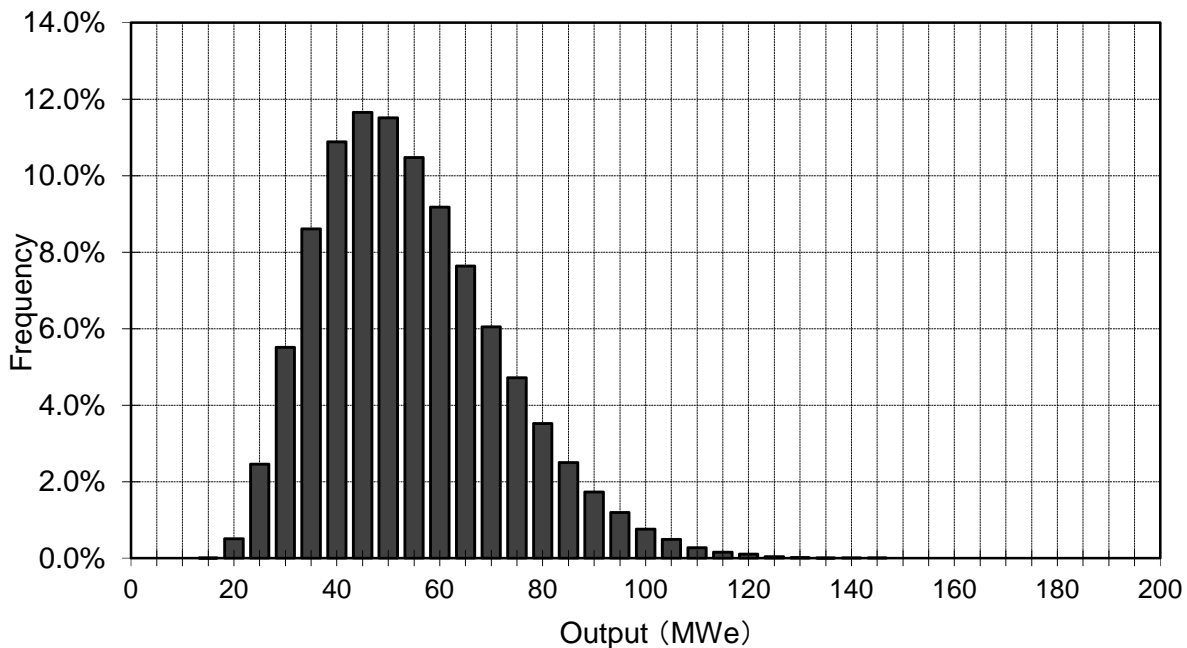
Probability Distribution of the Geothermal Potential for Rwimi



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	1.50	-	4.50
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 Rwagimba



Input

Parameter	min.	most likely	max.
Reservoir Area (km ²)	4.40	-	8.30
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)	220	240	260
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 Kibiro