

3-5 Kinigi 地域における補足地表調査

3-5-1 地質調査

(1) 衛星画像解析及び地質調査結果

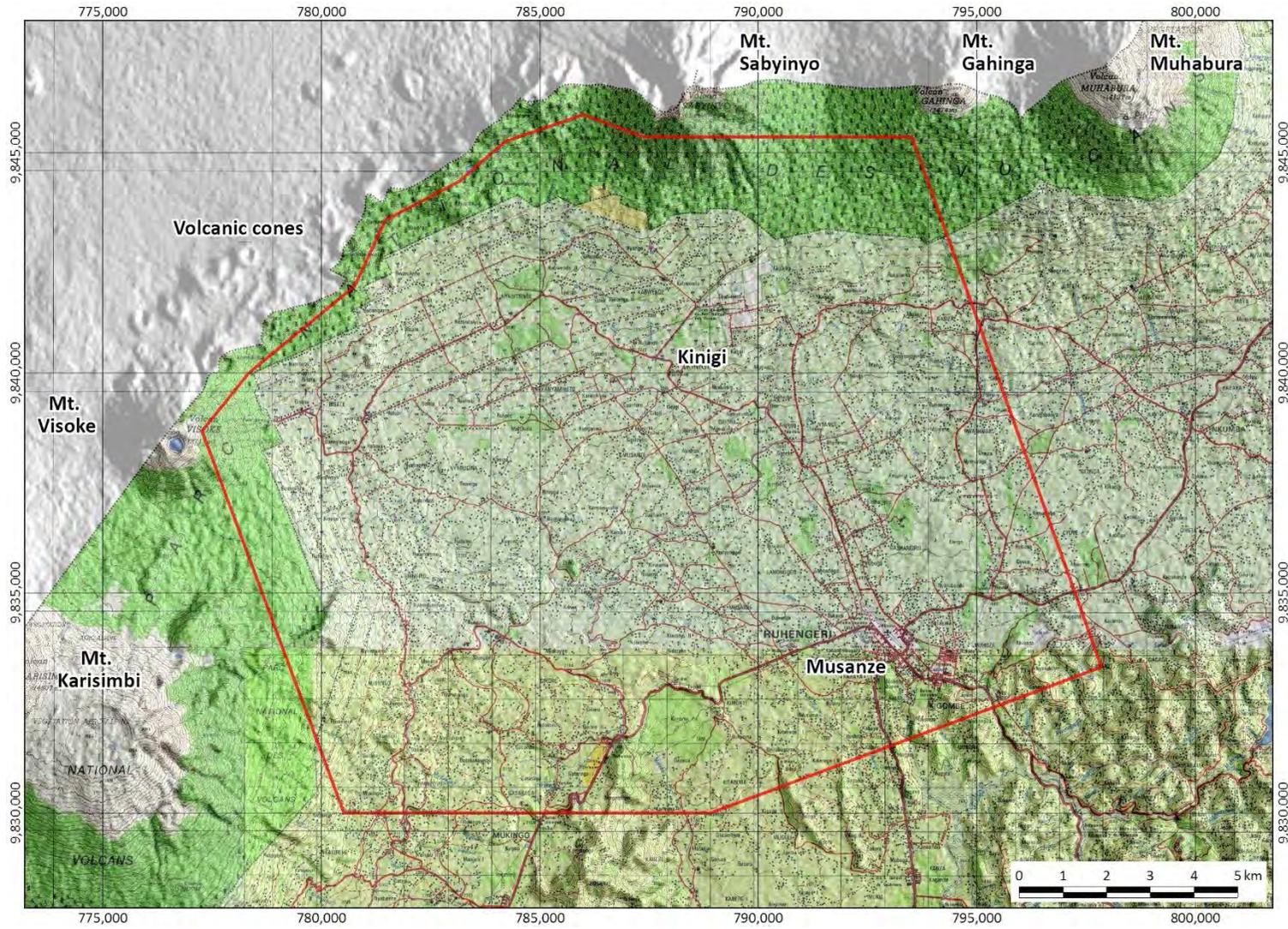
1) Kinigi 地域概要

補足地質調査の対象地域である Kinigi 地域は、第四紀の後期以降に活動した火山が分布する Virunga 火山帯 (Virunga Volcanic Range: VVR) の東部に位置する。本地域の位置図を図 3-5.1 に示す。本地域の西縁から北縁にかけては VVR の火山が連なり、西には Karisimbi 火山 (標高 4,507m)、北西には Visoke 火山 (同 3,711m)、北には Sabyinyo 火山 (同 3,645m)、北東には Gahinga 火山 (同 3,474m) が存在している。比較的山体の開析が進んでいる Sabyinyo 火山を除いて、他の火山は円錐状かつなだらかな山体と広大な裾野を持つ火山地形を形成している。また、Visoke 火山と Sabyinyo 火山との間には、数多くの火山円錐丘 (volcanic cone) が NE-SW 方向に配列している。本地域の中央部は、上記火山群の裾野 (標高約 1,800~2,600m) に該当しており、繰り返し噴出した溶岩や崖すい堆積物が広く分布しており、非常に平坦な地形を呈している。本地域の南部には、原生代の変成岩及び深成岩よりなる基盤岩類が露出しており、急峻かつ起伏ある山地地形を呈している。なお、南部の地形は基盤岩類中の地質構造を反映しており、その尾根や谷は N-S もしくは NNW-SSE 方向に伸長している。

2) 衛星画像解析結果

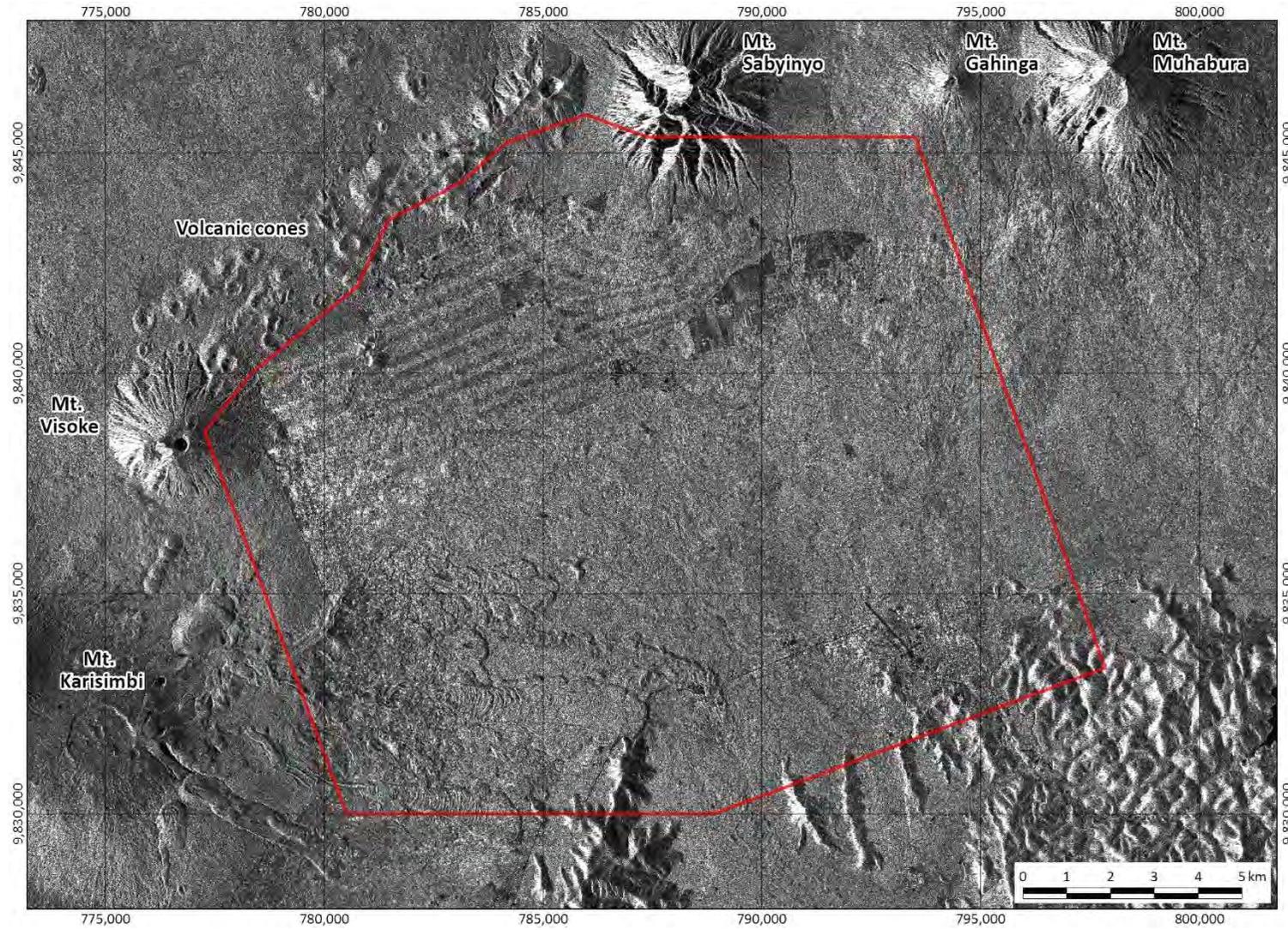
Kinigi 地域における地熱兆候 (断裂、変質鉱物、熱異常等) に関連する情報を抽出すべく、地球観測衛星が取得した衛星画像データ及び地形データ (数値標高モデル、Digital Elevation Model: DEM) を用いた衛星画像解析を実施した。なお、本地域において取得されている光学センサデータ (Landsat-7/ETM+, Landsat-8/OLI 及び Terra/ASTER データ) は、植生及び雲の被覆が多く、第二年次における衛星画像解析においても、変質鉱物や熱異常に関する情報を抽出することは困難であった。そこで、本地域での解析においては、雲の影響を受けない合成開口レーダデータ (ALOS/PALSAR データ) や DEM (ASTER/GDEM データ) を主体的に用いることとし、特に断裂に関する情報 (リニアメント) の抽出を試みた。解析に使用した衛星画像データのうち、ALOS/PALSAR 画像を図 3-5.2 に、ASTER/GDEM 陰影段彩図を図 3-5.3 に、ASTER/GDEM 傾斜量-陰影合成図を図 3-5.4 に示す。また、これらの画像に基づきリニアメント等判読結果を図 3-5.5 に示す。

既述のとおり、本地域の中央部は平坦な地形を呈しているため、地形特徴に基づきリニアメントを抽出することは困難であった。一方、北部の火山地形においては、山体開析に伴い形成される地形や火山円錐丘の配列等に基づいてリニアメントを抽出することができ、その伸長方向は NW-SE 方向及び NE-SW 方向が卓越している。また、南部においては NNW-SSE 方向のリニアメントが卓越しており、既存地質図における断層の方向とも調和的である。



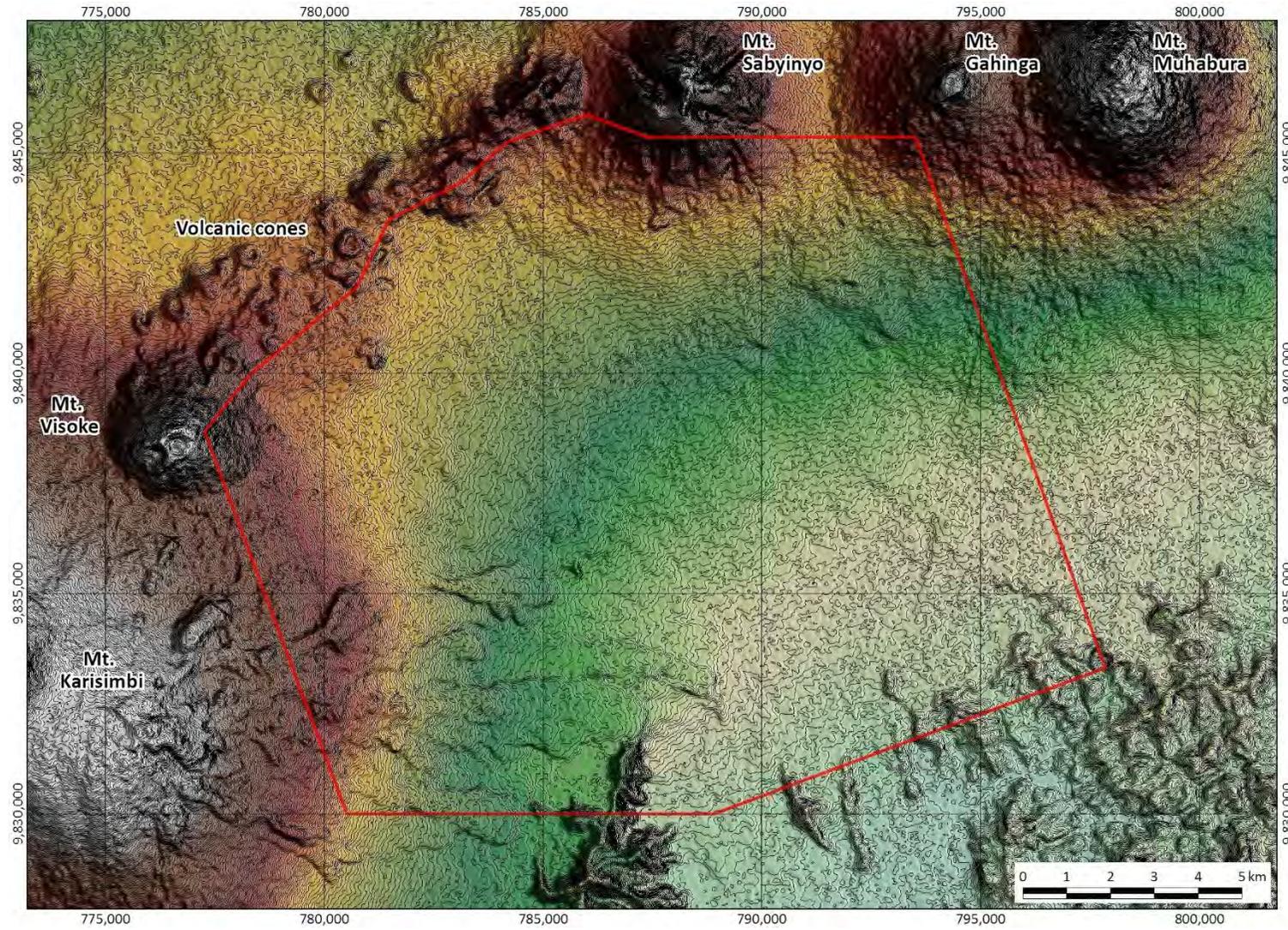
[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.1 Kinigi 地域位置図



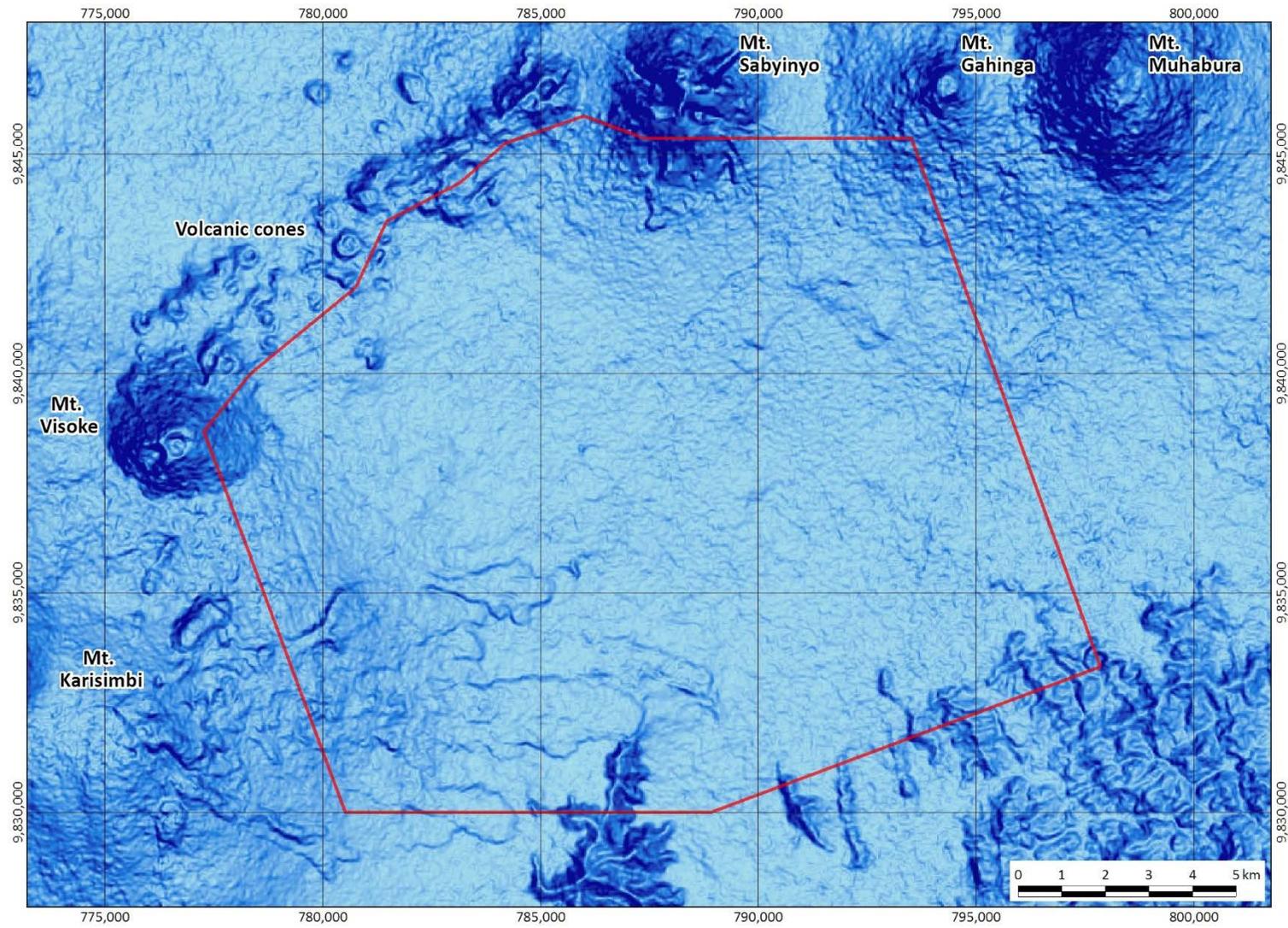
[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.2 Kinigi 地域の ALOS/PALSAR 画像



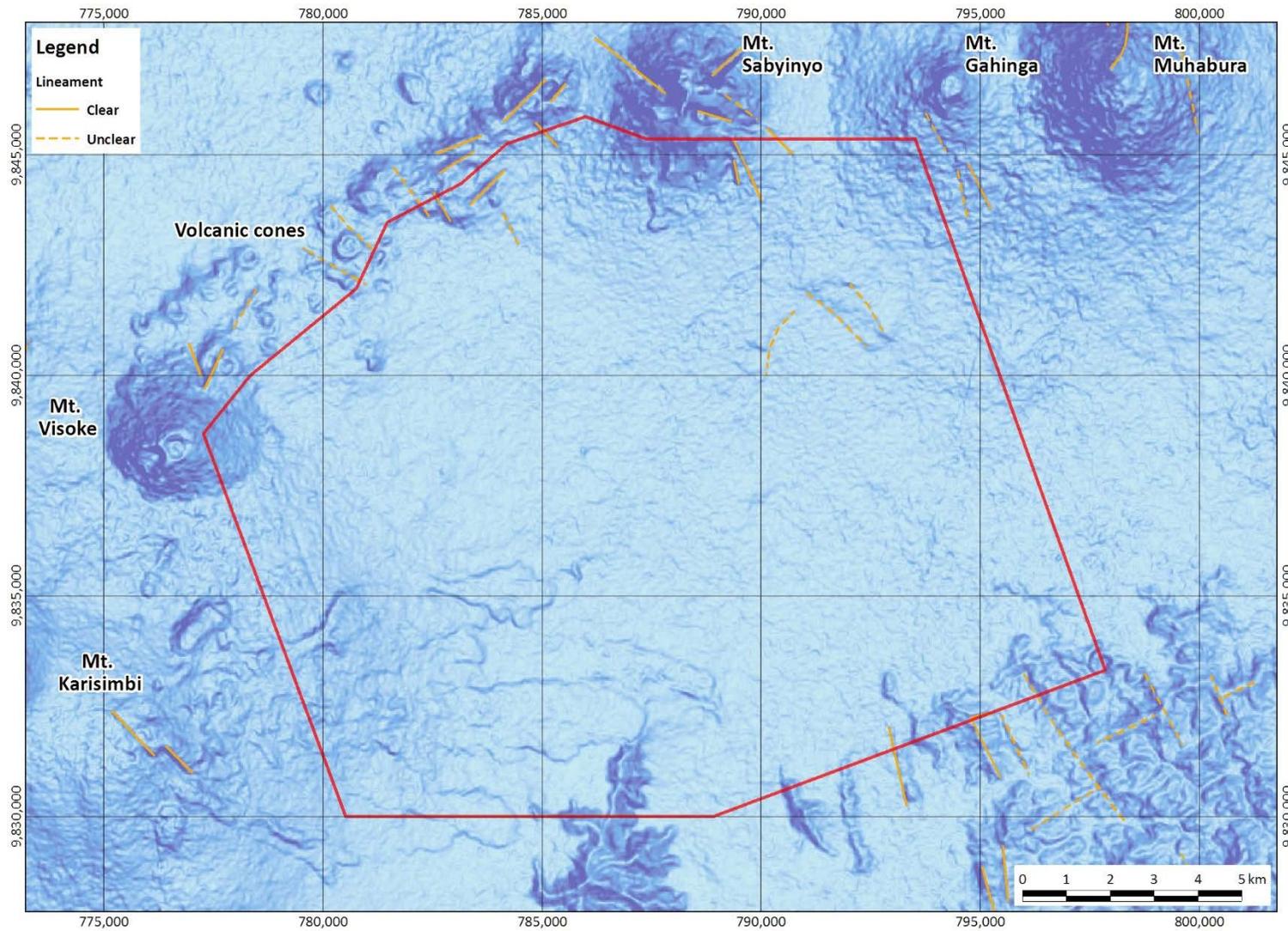
[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.3 Kinigi 地域の ASTER/GDEM 陰影段彩図



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.4 Kinigi 地域の ASTER/GDEM 傾斜量-陰影合成図



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.5 Kinigi 地域におけるリニアメント等判読結果

3) 地質調査結果

地質調査は、Kinigi 地域の地熱系概念モデル更新のための補足データを取得するとともに、事前の衛星画像解析結果を検証し、室内分析のための岩石試料を採取すること目的として実施された。調査チームの構成を以下に記す。

JICA 調査団： 矢原（副総括/貯留層解析）、小関（地質 A/データベース構築 B）、景山（地質 B）

REG / GU： Jean Pascal NIYIGENA（地化学）、Eugene KARANGWA（貯留層）

調査地域の位置図を図 3-5.6 に示す。本調査は 2015 年 8 月 27 日より 9 月 2 日までの 7 日間に、計 35 地点において実施された。このうち 31 地点においては、地表に露出する岩石の肉眼観察を実施し、それぞれの岩石は観察結果や周辺地形に基づき、以下の 8 種類に分類された。

火山岩： Karisimbi 火山岩類（Karisimbi V.）、Visoke 火山岩類（Visoke V.）、Sabyinyo 火山岩類 1（Sabyinyo V. 1）、Sabyinyo 火山岩類 2（Sabyinyo V. 2）、Gahinga 火山岩類（Gahinga V.）、火山円錐丘火山岩類 1（Cone V. 1）、火山円錐丘火山岩類 2（Cone V. 2）

火山砕屑岩（Pyroclastics）

基盤岩類（Basement）

また、このうち 5 地点においては、室内試験（岩石薄片観察及び年代測定）に供する岩石試料をそれぞれ 2 試料（計 10 試料）採取した。以上の地質調査結果を図 3-5.7 に示す。

(2) 室内試験

1) 岩石薄片観察結果

地質調査において採取した 5 試料の岩石薄片観察結果の一覧を表 3-5.1 に示し、その概要を以下に記す。また、各岩石薄片の写真を別添資料 2-5 に示す。

082701-T： Visoke 火山の東側斜面において採取した本試料（Visoke 火山岩類）は安山岩である。斑晶は白榴石、単斜輝石、斜方輝石、不透明鉱物から成り、白榴石は最大で粒径 1.1mm で、同 0.5~1.0mm 程度の粒状結晶を多量に含む。石基は粒径 0.2mm 以下の斜長石及び単斜輝石を中量、不透明鉱物を微量に含む。斑晶、石基ともに目立った変質は認められない。

082802-T： Sabyinyo 火山の南側斜面において採取した本試料（Sabyinyo 火山岩類 2）は安山岩である。斑晶は斜長石、黒雲母、単斜輝石、斜方輝石、不透明鉱物から成る。石基は粒径 0.1mm 以下の斜長石を主とし、微量の輝石、黒雲母、不透明鉱物から成り、明瞭な流理構造が認められる。斑晶の黒雲母が一部褐色に変色しているが、目立った変質は認められない。

083008-T： Sabyinyo 火山南東方の裾野において採取した本試料（Sabyinyo 火山岩類 1）は玄武岩である。斑晶は斜長石、単斜輝石、橄欖石、不透明鉱物から成る。石基は粒径 0.2mm 程度の斜長石を主とし、輝石を中量、橄欖石を微量に含む。斑晶、石基ともに目立った変質は認められない。

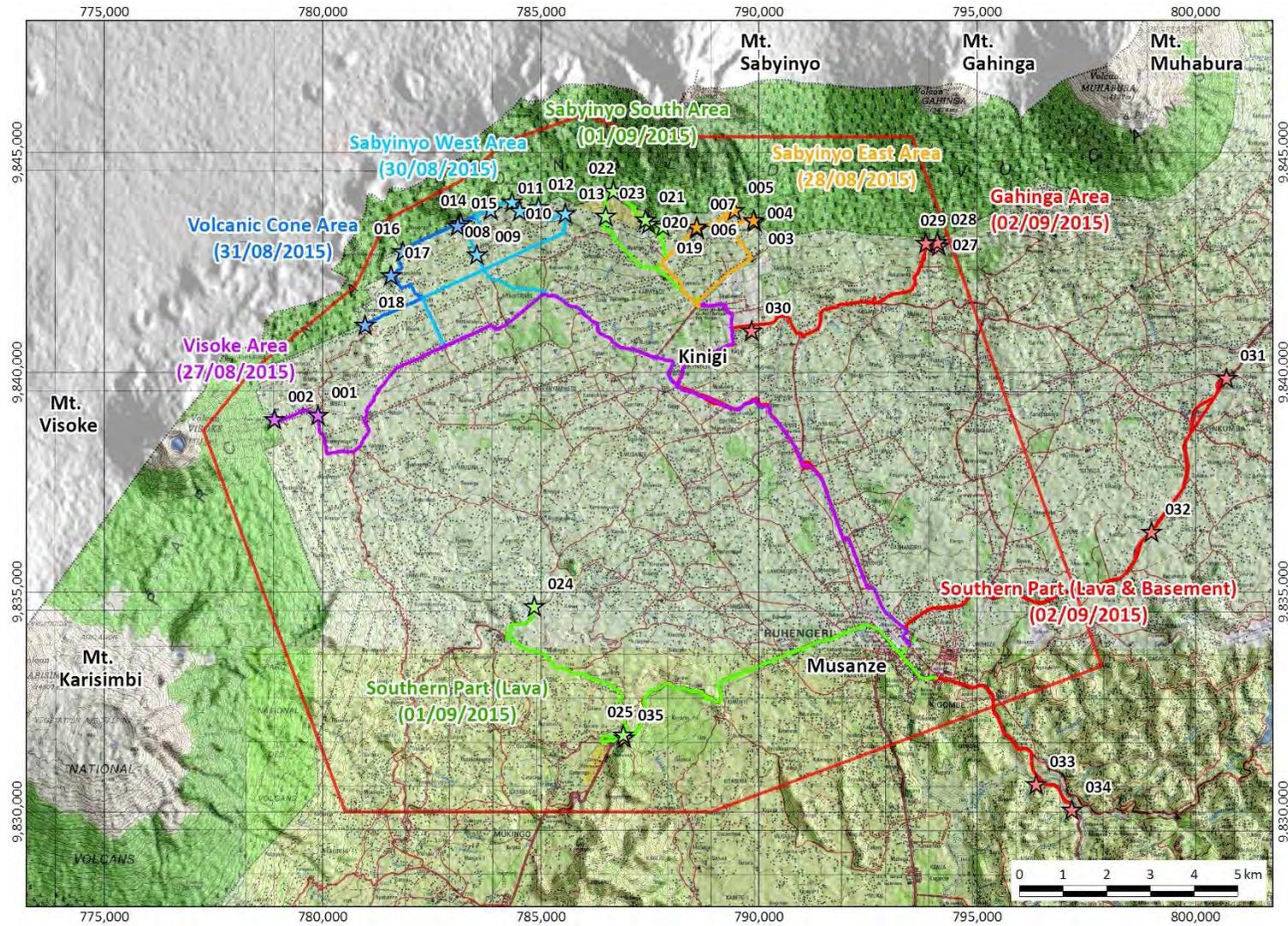
083101-T： 火山円錐丘群の南側斜面において採取した本試料（火山円錐丘火山岩類 2）は玄武岩である。斑晶は橄欖石、単斜輝石、斜長石から成る。石基は粒径 0.1mm 以下の微細な斜長石を主とし、輝石及び不透明鉱物から成り、明瞭な流理構造が認められる。斑晶、石基ともに目立った変質は認められない。

090201-T： Gahinga 火山の南側斜面において採取した本試料（Gahinga 火山岩類）は玄武岩で

ある。斑晶が比較的多く、単斜輝石、斜長石、橄欖石から成る。石基は粒径 0.2mm 程度の斜長石を主とし、単斜輝石、橄欖石、不透明鉱物を微量に含む。斑晶、石基ともに目立った変質は認められない。

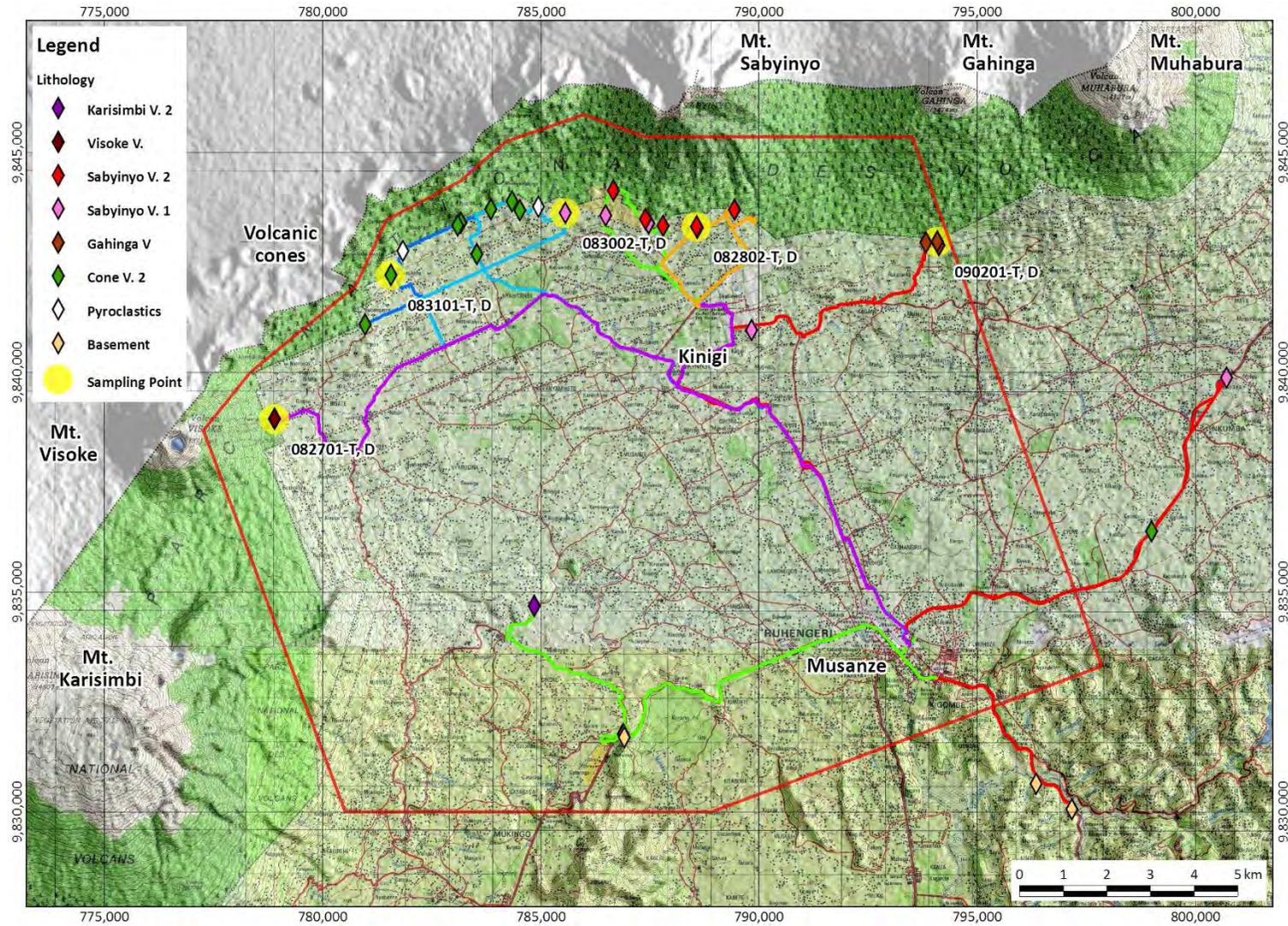
2) 年代測定結果

地熱系の熱源評価に係る火山活動の時期を把握するため、地質調査において採取した 5 試料の火山岩のカリウム-アルゴン法（以下、K-Ar 法）年代測定結果を実施した。測定結果を表 3-6.2 に示す。最も古い年代を示すのは、Sabyinyo 火山岩類 1 (Sv1) の $1.6 \pm 0.1 \text{Ma}$ であり、その他の試料は 1.0~0.7Ma の値を示す。



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.6 Kinigi 地域の地質調査地域位置図



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.7 Kinigi 地域における地質調査結果

表 3-5.1 岩石薄片観察結果一覧

Ser. No.	Sample No.	District	Coordination*		Rock Name	Texture	Phenocryst**								Groundmass**												
			X	Y			Qtz	Pl	Leu	Bt	Hb	Cpx	Opx	Ol	Opq	Qtz	Pl	Bt	Hb	Cpx	Opx	Ol	Gl	Opq			
1	082701-T	Mt. Visoke	778,902	9,838,942	Leucite - Clinopyroxene Andesite	Porphyritic (Intersertal)			◎			○	+		+		○				○						+
2	082802-T	Mt. Sabyinyo	788,582	9,843,317	Biotite Andesite	Porphyritic (Intergranular)		○		△		+	+		+		◎	+			+						+
3	083002-T	Mt. Sabyinyo	785,571	9,843,620	Olivine - Clinopyroxene Basalt	Porphyritic (Intergranular)		○				△		○	△		◎				○		+				
4	083101-T	Volcanic Cones	781,573	9,842,210	Olivine Basalt	Porphyritic (Intersertal)		+				+		△			◎				△						△
5	090201-T	Mt. Gahinga	794,103	9,842,969	Clinopyroxene - Olivine Basalt	Porphyritic (Intergranular)		△				○		△			◎				+		+				△

* Projection: Universal Transverse Mercator, Zone: 35S, Datum: WGS 1984, Spheroid: WGS 1984

** Qtz: Quartz, Pl: Plagioclase, Leu: Leucite, Bt: Biotite, Hb: Hornblende, Cpx: Clinopyroxene, Opx: Orthopyroxene, Ol: Olivine, Gl: Volcanic Glass, Opq: Opaque Mineral

◎: abundant (> 30 vol.%)

○: common (10 - 30 vol.%)

△: a little (3 - 10 vol.%)

+: rare (< 3 vol.%)

[出所] JICA 調査団で作成

表 3-5.2 K-Ar 法年代測定結果

Ser. No.	Sample No.	District	Coordination*		Rock Name (from petrographic observation)	K content (wt.%)	Rad. ⁴⁰ Ar	Non Rad. ⁴⁰ Ar (%)	K-Ar age (Ma)
			X	Y					
1	082701-D	Mt. Visoke	778,902	9,838,942	Leu - Cpx Andesite	2.35 2.41	0.093 0.095	96.8 94.4	1.0±0.4
2	082802-D	Mt. Sabyinyo	788,582	9,843,317	Bt Andesite	1.89 1.93	0.076 0.073	95.8 96.1	1.0±0.5
3	083002-D	Mt. Sabyinyo	785,571	9,843,620	Ol - Cpx Basalt	2.13 2.08	0.135 0.132	94.1 94.3	1.6±0.1
4	083101-D	Volcanic Cones	781,573	9,842,210	Ol Basalt	3.01 2.98	0.089 0.091	95.3 95.5	0.7±0.4
5	090201-D	Mt. Gahinga	794,103	9,842,969	Cpx - Ol Basalt	4.01 3.58	0.133 0.128	94.3 93.8	0.9±0.4

[出所] JICA 調査団で作成

(3) 地質

1) 地質層序

Kinigi 地域はルワンダ国の北西部に位置しており、地質構造区については、その北部は第四紀後期の火山が分布する Virunga Volcanoes Range (VVR) に、南部は原生代のマイロナイト化した花崗岩―千枚岩複合帯を形成する Butare Horst に区分される。本地域の地質は、原生代の花崗岩―千枚岩を火山の基盤として、火口丘火山岩類 (Cone volcanics)、Sabyinyo 火山岩類、Gahinga 火山岩類、Visoke 火山岩類、Karisimbi 火山岩類から成り、岩砕流堆積物を伴っている。衛星画像解析結果 (岩相判読結果) 及び現地調査結果に基づき作成した本地域の地質図を図 3-5.8 に、地質断面図を図 3-5.9 に示し、以下に各岩相の概要を記す。

i) 基盤岩類 (Br)

基盤岩類は本地域の南部に広がっており、原生代のマイロナイト化した花崗岩―千枚岩複合帯により構成される。基盤岩分布域では N-S~NW-SE 系の断層が卓越している。

ii) 火口丘火山岩類 (Cv1 及び Cv2)

Karisimbi 火山と Sabyinyo 火山間と、コンゴ共和国との国境付近に多数の火口丘火山が分布する。これらは玄武岩質スコリア、火砕岩及び玄武岩溶岩から構成され、その地形的特徴から、主として玄武岩溶岩よりなる Cv1 と、火口丘火山を形成する Cv2 に区分することができる。玄武岩溶岩は主としてカンラン石玄武岩から成り、南部の基盤岩分布域まで流下している (Cv1)。

iii) Sabyinyo 火山岩類 (Sv1 及び Sv2)

Sabyinyo 火山は本地域の中央部に位置し、山頂部には火口が分布し、崩壊により歯形のような地形を呈している。本火山岩類は火山基底を構成する第一期の玄武岩 (Sv1) と、第二期の安山岩 (Sv2) から構成される。安山岩は黒雲母の斑晶を有することが特徴である。

iv) Gahinga 火山岩類 (Gv)

Gahinga 火山は Sabyinyo 火山の東に位置している成層火山である。本火山岩類はカンラン石玄武岩から成り Sabyinyo 玄武岩 (Sv1) を覆う。

v) Visoke 火山岩類 (Vv)

Visoke 火山は Karisimbi 火山の東麓に位置している火山で、Karisimbi 火山の活動に先んじて活動した火山と推定される。本火山岩類は白留石安山岩から成る。

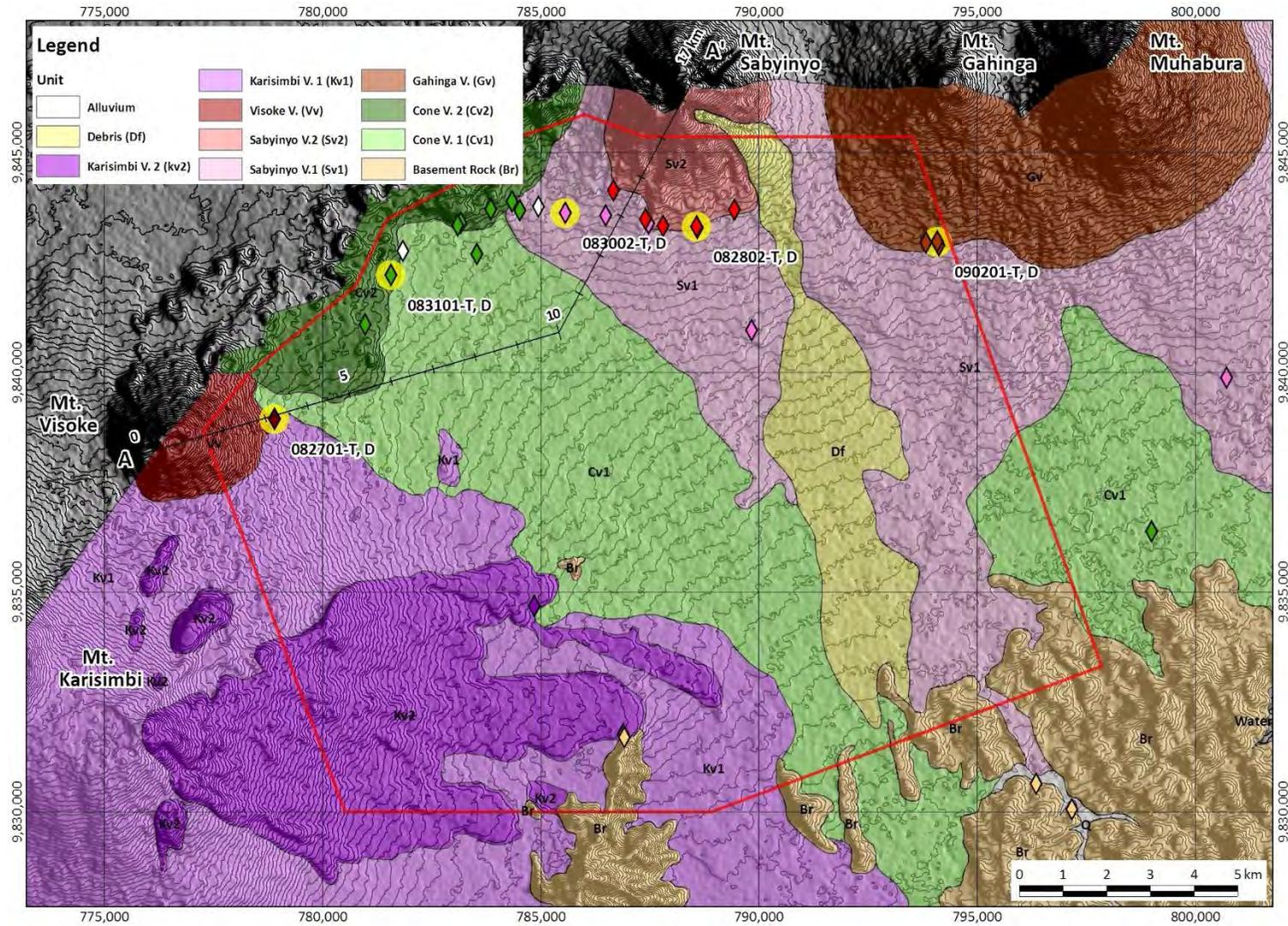
vi) Karisimbi 火山岩類 (Kv1 及び Kv2)

Karisimbi 火山は Kinigi 地域の西部に位置している。Karisimbi 火山岩類は玄武岩及び同質火砕岩から成る。地形的特徴から下位 (Kv1) 及び上位 (Kv2) の火山岩類に区分される。既存資料によれば活動年代は 0.01-0.24Ma を示している (Mulder, 1985)。

2) 火山活動

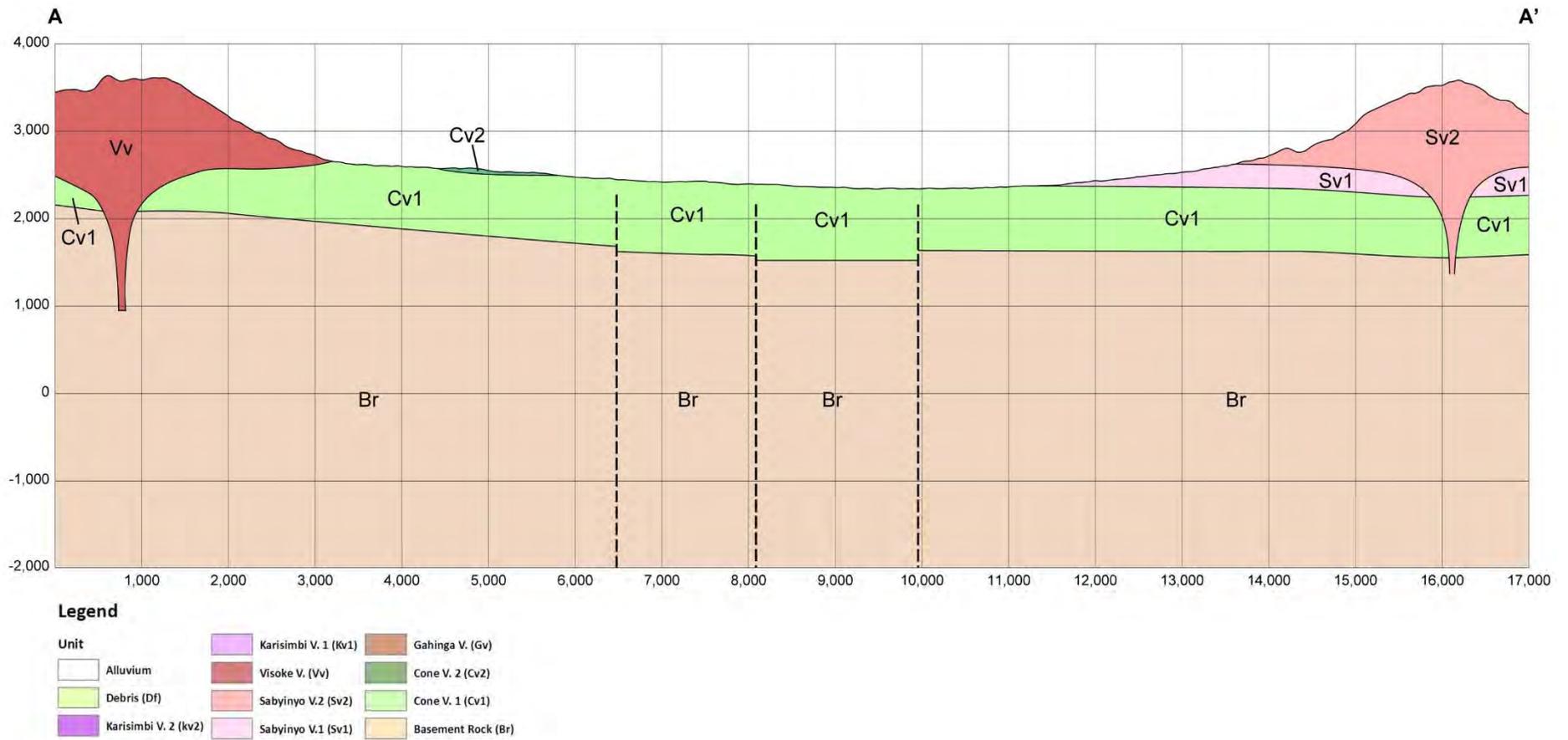
Kinigi 地域における地質層序を図 3-5.10 に示す。本地域は第四紀の火山が分布する Virunga Volcanoes Range に位置しており、本地域の火山活動は、火口丘火山岩類の活動に始まったと推定される。火口丘火山岩類は玄武岩溶岩及び火口丘火山から成り、火口丘火山は NE-SW 方向に配列することより、地下浅部には同方向に伸長する岩脈状のマグマが貫入していると推定される。火口丘火山岩類の活動はその後 (~0.7Ma) も継続している。また、北東部には Sabyinyo 火山、Gahinga 火山、Muhabura 火山が東西に分布している。Sabyinyo 火山は 2 期の火山活動に区

分され、第1期の玄武岩の活動 (Sv1) は 1.6Ma ごろ生じた。更に第2期は安山岩の活動 (Sv2) で特徴づけられ、1.0Ma～0.5Ma 以降に生じている。同時期には Gahinga の玄武岩の活動があり、成層火山が形成されている (1.0Ma 以降)。一方、南西部では Visoke 火山 (Vv) の活動が 1Ma 以降生じており、続いて Karisimbi 火山の活動が 0.24Ma 以降に発生している。



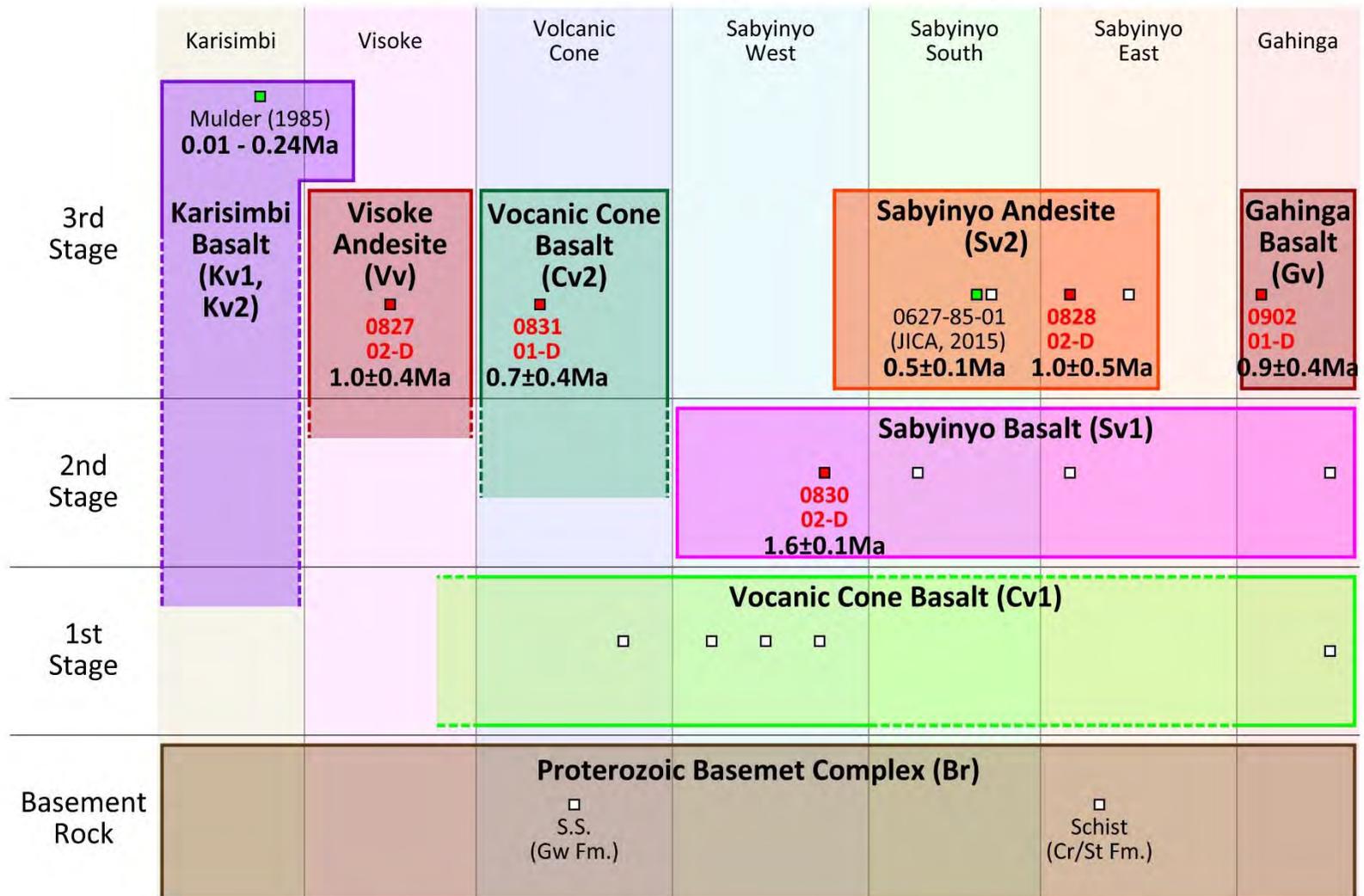
[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.8 Kinigi 地域の地質図



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.9 Kinigi 地域の地質断面図 (A-A'断面)



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.10 Kinigi 地域の地質層序

(4) 地質調査技術に係る技術移転

地質調査技術に係る技術移転は、次のとおり実施した。技術移転状況（写真）を写真 3-6.1 に示し、各技術移転の概要を以下に記す。

No.1 地質調査に関するキャパシティビルディング

- ✓ 実施場所： REG 本部（Kigali）
- ✓ 実施日： 2015 年 8 月 25 日
- ✓ 目的： キャパシティビルディングの概要、地質調査方法・リモートセンシング技術の理解
- ✓ 参加者： Jean Pscal NIYIGENA（専門分野：地化学）、Eugene KARANGWA（同：貯留層）、Theoneste NZAYISENGA（同：掘削）、Sancta（同：地質）、Assouman（同：地質）

No.2 水理地質(地化学)に係るキャパシティビルディング

- ✓ 実施場所： Kinigi 地域
- ✓ 実施日： 2015 年 8 月 29 日
- ✓ 目的： Kinigi 地域の水理構造（地化学）の把握
- ✓ 参加者： Jean Pscal NIYIGENA（同：地化学）、Eugene KARANGWA（同：貯留層）

No.3 リモートセンシングに係るキャパシティビルディング

- ✓ 実施場所： Kinigi 地域
- ✓ 実施日： 2015 年 8 月 29 日
- ✓ 目的： Kinigi 地域のリモートセンシング解析結果の把握
- ✓ 参加者： Jean Pscal NIYIGENA（同：地化学）、Eugene KARANGWA（同：貯留層）



写真 3-5.1 技術移転状況（左：Kinigi 地域、右：REG 本部）

3-5-2 重力探査

(1) 現地調査

1) 現地調査実績

現地調査の実績を表 3-5.3 に示す。

表 3-5.3 現地調査実績

項目	月 日		8月									9月								10月								
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1-22		23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	
1. 移動（日本→キガリ）	[Red bar]																											
2. 資機材準備, REG打合せ	[Red bar]																											
3. 移動（キガリ→キニギ）	[Red bar]																											
4. GPS・重力基点設定, 道路状況等確認	[Red bar]																											
5. 重力測定	[Red bar]																											
6. 移動(キニギ→キガリ), 機材輸送手続き	[Red bar]																											
7. キャパシティビルディング準備, データ整理・解析	[Red bar]																											
8. キャパシティビルディング	[Red bar]																											
9. 現地報告書作成, データ整理・解析	[Red bar]																											
10. 現地調査報告	[Red bar]																											
11. 移動（キガリ→日本）	[Red bar]																											

[出所] JICA 調査団で作成

2) 測定機器

i) 重力計

本調査では、相対重力計を用いて基準点からの重力差を測定し、各測点の重力値を決定した。使用した相対重力計の詳細を以下に述べる。

相対重力測定には、図 3-5.11 に示すカナダ SCINTREX 社製 CG-5 型重力計を用いた。（バックアップ用として LaCoste&Romberg 社製 D 型重力計（図 3-5.12）を準備した。）以下に各重力計の概要を説明する。

CG-5 型重力計は、1 秒 6 回のサンプリングを 60 秒間行い、統計処理を行うことで測定精度を上げている。また、この重力計は測定データを内部メモリに記録し、データを USB を介してパーソナルコンピュータに簡単にデータ転送できるため、データ処理が非常にやりやすくなっている。表 3-5.4 に CG-5 型重力計の仕様を示す。

D 型重力計は 200mgal のダイナミックレンジを持ち、レンジをリセットすることで地球上において読み取り精度 5 μ gal で重力測定を行うことが可能である。ドリフトが 1mgal/月以下ときわめて小さいことも特徴であり、可搬性、堅牢性にも富むため、重力探査の現地調査用重力計として取り扱いやすい測定機器である。表 3-6.5 に D 型重力計の仕様を示す。



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.11 CG-5 型重力計



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.12 D 型重力計

表 3-5.4 CG-5 型重力計の仕様

センサのタイプ	熔融石英センサ（静電ゼロ位法）
読み取り精度	1 マイクロガル
標準偏差	5 マイクロガル以下
自動補正機能	潮汐補正、傾斜補正、温度補正、ドリフト補正
データ出力	RS-232C 或いは USB インターフェース
寸法	21cm×22cm×31cm
重量	8kg（コントローラー込みの全重量）

[出所] JICA 調査団で作成

表 3-5.5 D型重力計の仕様

センサのタイプ	エリンバー合金製零長バネ
読み取り精度	±5 マイクロガル
ドリフト	1 ミリガル/月以下
ダイナミックレンジ	200 ミリガル
変位検出方法	70 倍顕微鏡
寸 法	18cm×18cm×25cm
重 量	8kg

ii) GPS 受信機

GPS 受信機は測定地点での位置情報（緯度、経度、標高）を測定する装置である。ブーゲー異常を計算するためには、測定で得られた重力値に各種補正を施す必要がある。この際に、緯度、経度、標高が必要となる。本調査では、表 3-5.6 に示す TOPCON 社製 GRS-1 及び TRIMBLE 社製 5700 L1 2 台の計 3 台の受信機を用いた。GRS-1 は 2 周波型、5700 L1 は 1 周波型 GPS 受信機で、アンテナ、受信機及びコントローラーから構成される。アンテナは、高度約 20,000km の GPS 衛星からの電波を受信し、受信機は受信電波より受信点位置を計算するための CPU とプログラムが内蔵された ROM などから構成される。コントローラーは、Windows Mobile を搭載した小型コンピュータで現場において測定条件（測点名、アンテナ高、測定方法、観測時間など）の設定に使用する。GPS 受信機を図 3-5.13 に示す。

表 3-5.6 GPS 受信機仕様

名 称	GRS-1	5700 L1
受信電波	L1 L2 C/A P コード (2 周波型)	L1 C/A コード (1 周波型)
観測精度 (スタティック)	水平 : ± (3mm+0.5ppm×基線長 km) 垂直 : ± (5mm+0.5ppm×基線長 km)	水平 : ± (5mm+0.5ppm×基線長 km) 垂直 : ± (5mm+1.0ppm×基線長 km)
寸 法	215mm×93mm×53mm (受信機本体部)	135mm×85mm×240mm (受信機本体部)
重 量	0.77kg (バッテリー含む)	1.4 kg (バッテリー含む)
データ解析 ソフトウェア	GNSS Pro Ver.7.52 (TOPCON) , Trimble Total Control™ (TRIMBLE)	
サンプリング間隔	30 秒 (短縮スタティック)	
データ取得時間	30 分 / 1 測点 (短縮スタティック)	
衛 星 暦	放送暦	

[出所] JICA 調査団で作成



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.13 GPS 受信機

3) 測定方法

i) 各測点の重力測定

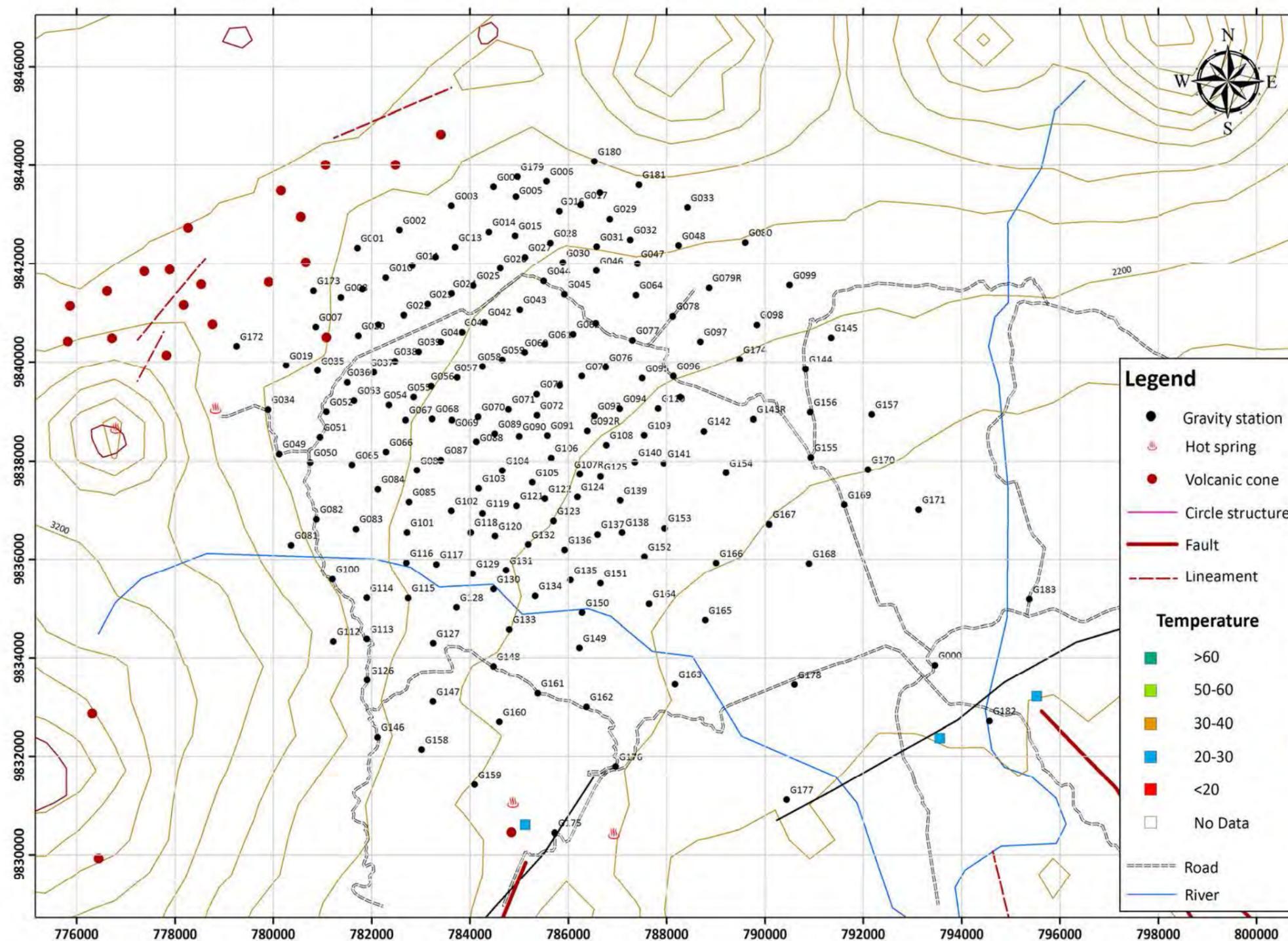
本調査で行った重力探査では、各測点における重力値を、相対重力計を使用して、基準点からの重力差を測定して決定した。重力計から出力される読み取り重力値は、1秒6回のサンプリングを60秒間行い、単観測の標準誤差が大きいものについては再測定を行った。なお、測定は重力計の三脚を地面に突き刺し動かないことを確認した後に測定を行った。

ii) 各測点の測量

本調査では基準局となる電子基準点が遠方にあり測量の基準局として適切ではないため探査地域周辺に基準局としてGPS受信機を設置し、各測点の測量を行った。基準局の座標は既知ではないため、始めに基準局の測量を3日間実施した。各測点の測量については、基準局に5700 L1を設置しGRS-及び5700 L1を移動局とした。各測点での観測時間は約30分とした。GPSのデータ処理にはTOPCON社製、GNSS統合データ処理プログラムGNSS-Pro ver.7.52及びTRIMBLE社製、Trimble Total Control™を用いた。各測点で測定したデータは基準点(5700 L1)との間の基線(2点間の3次元ベクトル)解析を行った。なお、GPS測量から求まる高さは準拋楕円体からの高さで、水準測量から得られるいわゆる標高とは異なる。このため楕円体高か

ら標高に変換するためにはジオイド高を楕円体高から差し引く必要があり、本調査では統合データ処理プログラム Trimble Total Control™ を用いてジオイド高を考慮した GPS データ処理を行い、測点の標高を算出した。

以上の処理を行い、各測点の緯度、経度、標高を求めた。各測点位置を図 3-5.14 に、GPS 測量結果を表 3-5.7 に示す。なお測点番号末尾に R がついているものに関しては再測定を実施した測点である。



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.14 重力探査測点位置図

表 3-5.7 GPS 測量結果 (1)

測点	世界測地系						UTM座標系		標高
	緯度			経度			NS(m)	EW(m)	
	度	分	秒	度	分	秒			
G000	-1	30	5.838	29	38	13.926	9833848	793459	1837.86
G001	-1	25	30.468	29	31	53.682	9842325	781707	2540.20
G002	-1	25	18.618	29	32	21.384	9842688	782564	2501.82
G003	-1	25	2.688	29	32	55.524	9843177	783621	2499.42
G004	-1	24	50.160	29	33	23.220	9843561	784478	2501.21
G005	-1	24	56.694	29	33	37.872	9843360	784931	2499.44
G006	-1	24	46.500	29	33	58.128	9843672	785558	2515.07
G007	-1	26	22.896	29	31	26.322	9840715	780859	2624.00
G008	-1	26	3.492	29	31	42.816	9841311	781370	2579.34
G009	-1	25	57.828	29	31	57.030	9841484	781810	2536.17
G010	-1	25	50.280	29	32	12.414	9841716	782286	2503.65
G011	-1	25	42.198	29	32	29.856	9841963	782825	2480.31
G012	-1	25	36.384	29	32	45.048	9842142	783295	2462.39
G013	-1	25	29.910	29	32	57.894	9842340	783693	2455.90
G014	-1	25	19.806	29	33	20.232	9842650	784384	2445.19
G015	-1	25	22.242	29	33	37.452	9842574	784917	2431.86
G016	-1	25	6.210	29	34	6.534	9843066	785817	2451.78
G017	-1	25	2.034	29	34	20.574	9843194	786251	2475.89
G018	-1	24	53.976	29	34	33.120	9843441	786640	2521.59
G019	-1	26	48.342	29	31	6.864	9839933	780256	2613.91
G020	-1	26	28.482	29	31	54.312	9840542	781724	2497.11
G021	-1	26	21.234	29	32	7.608	9840764	782136	2486.19
G022	-1	26	15.090	29	32	24.288	9840953	782652	2463.53
G023	-1	26	7.692	29	32	39.984	9841180	783138	2451.81
G024	-1	26	0.732	29	32	55.614	9841393	783621	2435.00
G025	-1	25	55.440	29	33	9.816	9841555	784061	2418.74
G026	-1	25	43.986	29	33	27.582	9841906	784611	2418.11
G027	-1	25	36.480	29	33	43.872	9842137	785115	2411.65
G028	-1	25	27.096	29	34	0.546	9842424	785631	2411.25
G029	-1	25	11.166	29	34	39.726	9842913	786844	2462.50

[出所] JICA 調査団で作成

表 3-5.7 GPS 測量結果 (2)

測点	世界測地系						UTM座標系		標高
	緯度			経度			NS(m)	EW(m)	
	度	分	秒	度	分	秒			
G030	-1	25	40.092	29	34	8.820	9842025	785887	2383.53
G031	-1	25	29.382	29	34	31.152	9842353	786578	2404.87
G032	-1	25	24.828	29	34	53.130	9842492	787258	2433.00
G033	-1	25	3.738	29	35	30.750	9843139	788422	2474.23
G034	-1	27	17.532	29	30	55.116	9839037	779892	2585.64
G035	-1	26	51.798	29	31	27.672	9839827	780900	2575.53
G036	-1	26	59.574	29	31	47.058	9839587	781499	2481.30
G037	-1	26	52.764	29	32	4.632	9839796	782043	2456.39
G038	-1	26	45.468	29	32	18.600	9840019	782475	2433.74
G039	-1	26	39.114	29	32	34.152	9840214	782956	2433.13
G040	-1	26	32.640	29	32	48.582	9840412	783403	2411.56
G041	-1	26	26.148	29	33	2.784	9840612	783842	2400.65
G042	-1	26	19.524	29	33	17.322	9840815	784292	2379.65
G043	-1	26	11.394	29	33	40.608	9841064	785013	2369.35
G044	-1	25	52.314	29	33	56.250	9841650	785497	2370.94
G045	-1	26	1.206	29	34	9.756	9841376	785915	2343.44
G046	-1	25	45.450	29	34	30.906	9841859	786570	2359.66
G047	-1	25	40.650	29	34	57.948	9842006	787406	2383.66
G048	-1	25	28.554	29	35	24.924	9842377	788241	2398.62
G049	-1	27	46.500	29	31	2.430	9838146	780117	2575.94
G050	-1	27	52.050	29	31	22.878	9837975	780749	2522.76
G051	-1	27	35.418	29	31	29.232	9838486	780946	2519.49
G052	-1	27	19.014	29	31	33.408	9838990	781076	2504.89
G053	-1	27	11.538	29	31	51.510	9839219	781636	2465.06
G054	-1	27	14.412	29	32	14.508	9839130	782348	2428.89
G055	-1	27	9.234	29	32	30.876	9839288	782854	2404.34
G056	-1	27	2.052	29	32	42.276	9839509	783207	2405.90
G057	-1	26	56.214	29	32	59.436	9839688	783738	2384.60
G058	-1	26	48.858	29	33	16.056	9839913	784252	2365.71
G059	-1	26	44.376	29	33	29.094	9840050	784656	2348.36

[出所] JICA 調査団で作成

表 3-5.7 GPS 測量結果 (3)

測点	世界測地系						UTM座標系		標高
	緯度			経度			NS(m)	EW(m)	
	度	分	秒	度	分	秒			
G060	-1	26	39.504	29	33	43.914	9840200	785114	2334.06
G061	-1	26	34.050	29	33	57.066	9840367	785521	2327.95
G062	-1	26	27.378	29	34	15.630	9840571	786096	2311.85
G063	-1	26	20.082	29	34	30.498	9840795	786556	2309.39
G064	-1	26	1.680	29	34	57.000	9841360	787376	2324.71
G065	-1	27	53.706	29	31	50.310	9837923	781598	2474.04
G066	-1	27	45.120	29	32	12.744	9838186	782292	2420.96
G067	-1	27	24.216	29	32	25.560	9838828	782689	2409.52
G068	-1	27	23.436	29	32	42.936	9838852	783226	2376.65
G069	-1	27	24.258	29	32	55.884	9838826	783627	2358.79
G070	-1	27	22.152	29	33	13.290	9838890	784165	2326.33
G071	-1	27	17.166	29	33	33.108	9839042	784779	2297.60
G072	-1	27	21.168	29	33	51.846	9838919	785358	2265.11
G073	-1	27	7.146	29	33	51.738	9839350	785355	2286.84
G074	-1	27	1.308	29	34	6.894	9839529	785824	2276.86
G075	-1	26	55.236	29	34	21.426	9839715	786274	2267.18
G076	-1	26	49.278	29	34	37.110	9839897	786759	2256.27
G077	-1	26	31.434	29	34	54.672	9840445	787303	2267.37
G078	-1	26	15.546	29	35	21.114	9840933	788121	2284.35
G079	-1	25	53.778	29	35	36.882	9841601	788610	2322.45
G079R	-1	25	56.838	29	35	45.144	9841507	788865	2311.93
G080	-1	25	26.484	29	36	8.886	9842439	789601	2389.42
G081	-1	28	46.878	29	31	10.308	9836290	780359	2643.23
G082	-1	28	29.808	29	31	26.970	9836814	780875	2554.80
G083	-1	28	36.174	29	31	52.998	9836618	781679	2463.60
G084	-1	28	9.948	29	32	7.320	9837423	782123	2428.97
G085	-1	28	18.402	29	32	27.876	9837163	782759	2368.90
G086	-1	27	57.294	29	32	33.066	9837811	782920	2405.56
G087	-1	27	50.406	29	32	48.714	9838022	783404	2355.99
G088	-1	27	38.322	29	33	12.078	9838393	784127	2318.07

[出所] JICA 調査団で作成

表 3-5.7 GPS 測量結果 (4)

測点	世界測地系						UTM座標系		標高
	緯度			経度			NS(m)	EW(m)	
	度	分	秒	度	分	秒			
G089	-1	27	33.126	29	33	24.132	9838552	784500	2300.72
G090	-1	27	34.800	29	33	40.284	9838500	785000	2267.14
G091	-1	27	34.104	29	33	58.764	9838521	785572	2246.00
G092	-1	27	34.992	29	34	16.224	9838493	786112	2216.28
G092R	-1	27	31.122	29	34	25.152	9838612	786388	2209.58
G093	-1	27	21.498	29	34	29.628	9838907	786527	2219.77
G094	-1	27	16.764	29	34	46.296	9839052	787042	2207.17
G095	-1	26	56.526	29	35	1.062	9839674	787500	2214.40
G096	-1	26	55.128	29	35	21.600	9839716	788135	2201.12
G097	-1	26	32.334	29	35	39.420	9840416	788687	2237.28
G098	-1	26	21.054	29	36	16.446	9840761	789833	2257.75
G099	-1	25	54.918	29	36	38.046	9841564	790502	2283.10
G100	-1	29	9.402	29	31	37.542	9835597	781200	2566.19
G101	-1	28	38.358	29	32	26.484	9836550	782715	2361.37
G102	-1	28	24.270	29	32	55.752	9836981	783621	2302.62
G103	-1	28	9.312	29	33	13.644	9837441	784175	2286.07
G104	-1	27	57.288	29	33	29.100	9837810	784653	2278.37
G105	-1	28	5.262	29	33	48.834	9837564	785263	2235.45
G106	-1	27	49.014	29	34	1.428	9838063	785653	2225.35
G107	-1	27	48.330	29	34	16.566	9838083	786122	2199.12
G107R	-1	27	59.730	29	34	20.148	9837733	786232	2187.79
G108	-1	27	40.464	29	34	37.578	9838324	786772	2190.12
G109	-1	27	33.954	29	35	2.478	9838523	787542	2169.91
G110	-1	27	16.488	29	35	11.616	9839060	787826	2181.63
G111	-1	27	8.988	29	35	26.190	9839290	788277	2179.92
G112	-1	29	50.406	29	31	38.160	9834337	781218	2675.01
G113	-1	29	48.828	29	32	0.234	9834385	781901	2510.72
G114	-1	29	21.780	29	32	0.072	9835216	781897	2494.84
G115	-1	29	21.834	29	32	27.354	9835213	782740	2390.61
G116	-1	28	58.398	29	32	26.250	9835934	782707	2354.35

[出所] JICA 調査団で作成

表 3-5.7 GPS 測量結果 (5)

測点	世界測地系						UTM座標系		標高
	緯度			経度			NS(m)	EW(m)	
	度	分	秒	度	分	秒			
G117	-1	28	59.454	29	32	45.906	9835900	783315	2284.95
G118	-1	28	38.220	29	33	8.520	9836552	784015	2278.94
G119	-1	28	25.860	29	33	16.212	9836932	784254	2267.40
G120	-1	28	40.578	29	33	24.450	9836479	784508	2250.45
G121	-1	28	20.790	29	33	38.670	9837087	784948	2239.68
G122	-1	28	16.104	29	33	57.240	9837230	785523	2211.45
G123	-1	28	30.780	29	34	2.988	9836779	785700	2194.50
G124	-1	28	14.808	29	34	18.642	9837269	786185	2185.29
G125	-1	28	1.290	29	34	33.702	9837684	786651	2173.91
G126	-1	30	16.134	29	32	0.486	9833545	781907	2473.90
G127	-1	29	51.624	29	32	43.794	9834297	783248	2309.76
G128	-1	29	28.038	29	32	59.124	9835022	783723	2322.66
G129	-1	29	5.592	29	33	9.726	9835711	784052	2240.17
G130	-1	29	15.870	29	33	23.412	9835395	784474	2261.11
G131	-1	29	3.408	29	33	31.776	9835777	784734	2202.91
G132	-1	28	46.146	29	33	46.254	9836307	785182	2182.95
G133	-1	29	42.522	29	33	33.846	9834575	784796	2178.08
G134	-1	29	20.436	29	33	50.874	9835253	785324	2152.58
G135	-1	29	9.906	29	34	14.094	9835576	786042	2098.40
G136	-1	28	49.686	29	34	10.242	9836198	785924	2164.31
G137	-1	28	39.486	29	34	31.920	9836510	786595	2146.38
G138	-1	28	38.112	29	34	48.018	9836552	787093	2096.22
G139	-1	28	17.220	29	34	46.866	9837194	787058	2129.71
G140	-1	27	51.744	29	34	56.352	9837977	787352	2140.53
G141	-1	27	52.512	29	35	15.486	9837953	787944	2124.05
G142	-1	27	31.302	29	35	41.778	9838603	788758	2135.27
G143	-1	27	23.652	29	36	13.626	9838837	789743	2082.78
G143R	-1	27	23.490	29	36	14.262	9838842	789763	2082.08
G144	-1	26	50.388	29	36	48.498	9839859	790823	2139.40
G145	-1	26	29.484	29	37	5.316	9840500	791344	2177.86

[出所] JICA 調査団で作成

表 3-5.7 GPS 測量結果 (6)

測点	世界測地系						UTM座標系		標高
	緯度			経度			NS(m)	EW(m)	
	度	分	秒	度	分	秒			
G146	-1	30	53.820	29	32	7.362	9832387	782119	2440.280
G147	-1	30	30.378	29	32	43.806	9833106	783247	2261.513
G148	-1	30	6.894	29	33	23.472	9833826	784475	2177.463
G149	-1	29	54.636	29	34	20.010	9834201	786224	2069.585
G150	-1	29	31.446	29	34	21.768	9834914	786279	2066.342
G151	-1	29	11.838	29	34	33.912	9835516	786655	2079.871
G152	-1	28	54.186	29	35	2.808	9836057	787550	2055.245
G153	-1	28	35.346	29	35	15.924	9836636	787956	2056.198
G154	-1	27	58.746	29	35	56.262	9837759	789205	2077.166
G155	-1	27	48.414	29	36	52.146	9838075	790934	2022.877
G156	-1	27	18.804	29	36	51.666	9838985	790920	2078.955
G157	-1	27	20.322	29	37	32.082	9838937	792170	2056.875
G158	-1	31	2.034	29	32	36.288	9832134	783013	2281.103
G159	-1	31	25.308	29	33	11.286	9831417	784095	2189.748
G160	-1	30	43.860	29	33	27.462	9832690	784597	2186.249
G161	-1	30	24.810	29	33	52.626	9833275	785376	2121.128
G162	-1	30	33.882	29	34	24.666	9832995	786366	2078.385
G163	-1	30	18.714	29	35	22.986	9833459	788171	1999.233
G164	-1	29	25.542	29	35	5.922	9835094	787645	2017.577
G165	-1	29	36.348	29	35	42.756	9834760	788784	1950.178
G166	-1	28	58.374	29	35	49.968	9835927	789008	1998.189
G167	-1	28	32.778	29	36	24.666	9836712	790082	1984.112
G168	-1	28	58.584	29	36	51.096	9835918	790899	1938.866
G169	-1	28	19.884	29	37	14.142	9837107	791613	1967.792
G170	-1	27	56.436	29	37	29.604	9837827	792092	1997.336
G171	-1	28	22.992	29	38	3.018	9837010	793125	1933.580
G172	-1	26	35.682	29	30	34.302	9840324	779249	2671.897
G173	-1	25	59.034	29	31	24.912	9841448	780816	2621.691
G174	-1	26	44.088	29	36	5.292	9840054	789487	2187.367
G175	-1	31	57.036	29	34	3.900	9830440	785721	2107.059

[出所] JICA 調査団で作成

表 3-5.7 GPS 測量結果 (7)

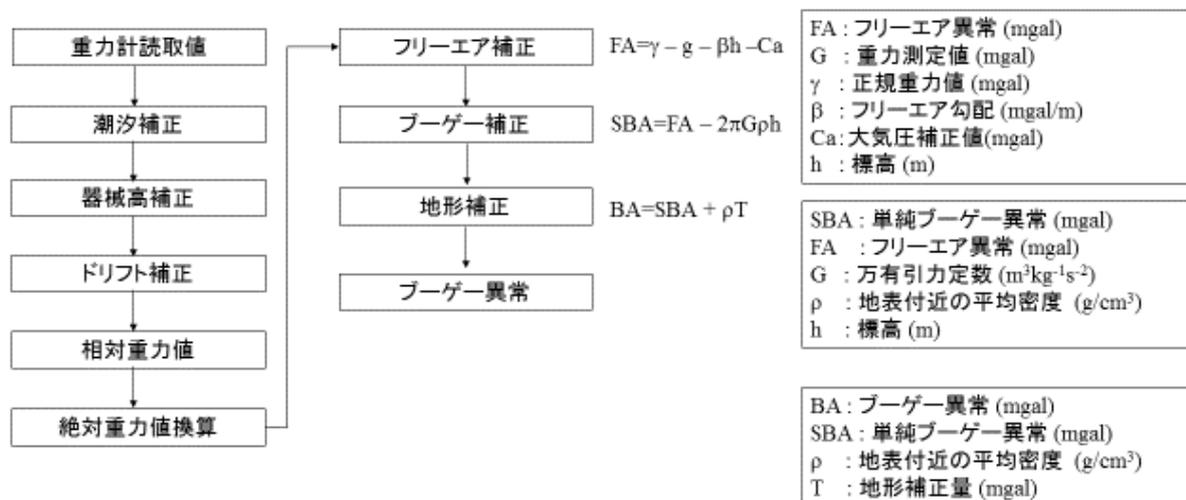
測点	世界測地系						UTM座標系		標高
	緯度			経度			NS(m)	EW(m)	
	度	分	秒	度	分	秒			
G176	-1	31	13.038	29	34	43.884	9831791	786959	2070.98
G177	-1	31	35.118	29	36	36.486	9831108	790441	1795.30
G178	-1	30	18.936	29	36	41.538	9833449	790600	1875.52
G179	-1	24	43.428	29	33	38.838	9843767	784961	2527.13
G180	-1	24	32.976	29	34	29.460	9844087	786527	2591.55
G181	-1	24	48.618	29	34	58.896	9843605	787437	2568.16
G182	-1	30	42.780	29	38	49.722	9832711	794564	1833.92
G183	-1	29	22.224	29	39	15.870	9835186	795376	1870.43

[出所] JICA 調査団で作成

(2) データ処理及び解析方法

1) 重力データ処理

測定した重力値にはブーゲー異常を算出するための各種補正を行った。図 3-5.15 に重力データ処理のフローを示す。



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.15 重力データ処理フロー

i) 潮汐補正

月や太陽の起潮力の変化を補正するものである。潮汐補正では、起潮力による地球の弾性変形及び潮の満ち引きによる潮汐荷重の変化も含めた補正を行う。

ii) 器械高補正

重力計のセンサー部と地表との間の高さの差異を補正するもので、地表付近の平均的な重力

鉛直勾配 (0.3086 mgal/m) を用いて、次式により補正を行う。

$$V_{hi} = 0.3086 \times Hi$$

V_{hi} : 器械高補正量 (mgal)
 Hi : 地表から重力計上面までの高さ (m)

iii) ドリフト補正

ドリフト補正は、重力計の経時的なばねの伸びに起因する見かけ上の重力値の変化で、ほぼ時間に比例する。このばねの伸びの影響を補正するものがドリフト補正である。実際のドリフトにはばねの伸びの他に、運搬時における機械的ショックによるもの（テア）や気温の急激な変化など不規則な要因も含まれている。通常ドリフト補正ではこれらの影響も含めて補正を行っている。測定は基準点を基点とする閉塞測定を行い、基点における閉塞差を重力計のドリフトとみなし、基点からの経過時間に応じて比例配分を行った。

iv) フリーエア補正

フリーエア補正は、測点の高さの違いによる影響を補正するものである。重力の鉛直勾配は必ずしも一定ではないが、ここでは平均的な値 0.3086mgal/m を用いて以下の式で補正を行った。

$$F = 0.3086 \times h$$

F : フリーエア補正量 (mgal)
 h : 測点の標高 (m)

v) ブーゲー補正

ブーゲー補正は、ジオイド面と測点の間に挟まれた物質が重力値に及ぼす影響を補正する。この補正にはブーゲー平板の仮定密度が必要である。本調査での仮定密度は、後述する仮定密度の推定法に基づいて計算された 2.4g/cm^3 を用いた。ブーゲー補正量は以下の式で補正を行った。

$$B = 2\pi G\rho h$$

B : ブーゲー補正量 (mgal)
 G : 万有引力定数 ($6.67 \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$)
 ρ : 仮定密度 (g/cm^3)
 H : 測点の標高 (m)

vi) 地形補正

地形補正は、ブーゲー面からの地形の起伏部分が測点の重力値に及ぼす影響を補正するもので、本調査では SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) の 90m メッシュ (標高) を用いて、測点を中心に半径 60km の円形範囲の地形の影響を計算した。この円形範囲は測点からの距離に応じて極近傍域 (測点が位置する 500m まで)、近傍域 (4km まで)、中間域 (4~16km)、遠方域 (16~60km) の 4 つのエリアに分けて、最後にこれらの影響を足し合わせることで補正值を算出した。

vii) ブーゲー異常の算出

以上の補正量を計算した後、次式を用いて各測定点におけるブーゲー異常値を算出した。

$$\Delta B = g_{\text{obs}} - \gamma + \beta h - 2\pi G \rho h + \rho T$$

ΔB : ブーゲー異常 (mgal)

g_{obs} : 重力測定値 (mgal)

γ : 正規重力値 (mgal)

β : 地表付近のフリーエア勾配 (mgal/m)

h : 測点の標高 (m)

G : 万有引力定数 ($6.67 \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$)

ρ : 仮定密度 (g/cm^3)

T : 地形補正量 ($\text{mgal}/\text{g}/\text{cm}^3$)

2) 仮定密度の評価

仮定密度の決定には、岩石試料の密度測定による方法、G-H 相関、F-H 相関を用いる方法、ブーゲー異常と地形図を見比べる方法などがある。本調査では仮定密度の決定に G-H、F-H 相関法 (萩原, 1978; Parasnis, 1979) を用いた。G-H 相関法は $g_{\text{obs}} - \gamma + T$ (または $g_{\text{obs}} - \gamma$) と h の相関をとる方法、F-H 相関法は

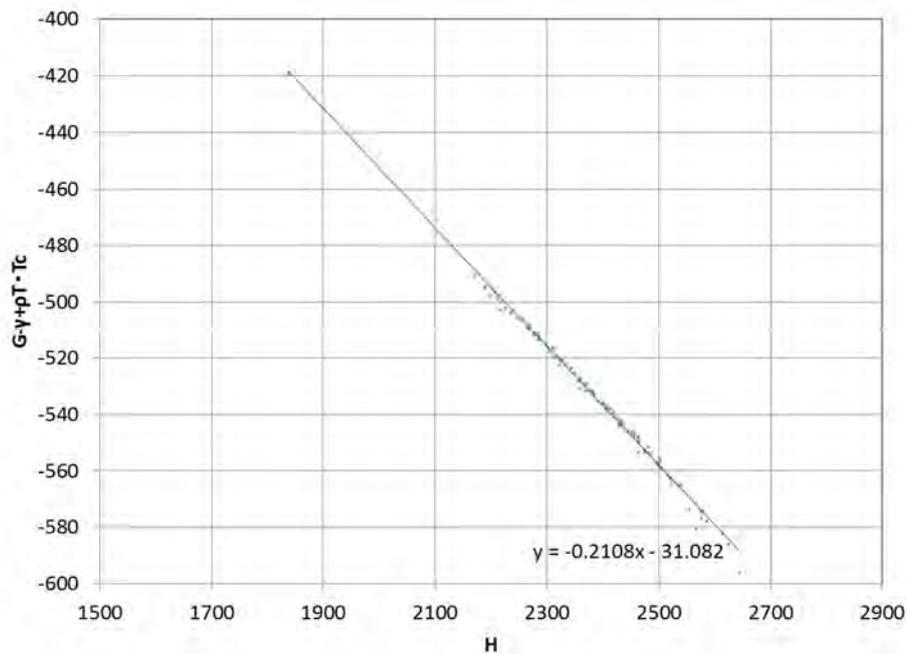
$$F = g_{\text{obs}} - \gamma + \beta h + Ca$$

$$H = 2\pi G h - T$$

として、

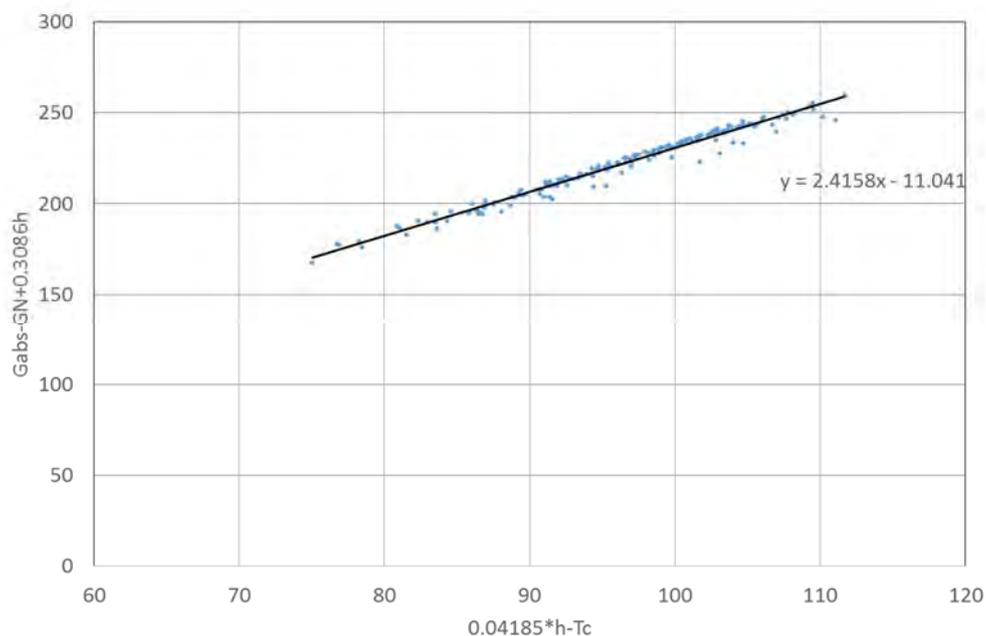
$$F = \rho H + g$$

と変形し、各測点におけるブーゲー異常値 g と全測点のブーゲー異常値の平均値との残差を最小にするように仮定密度を求める方法である。図 3-5.16 及び図 3-5.17 に G-H 及び F-H 相関図を示す。G-H 相関法により算出された仮定密度は $2.38 \text{g}/\text{cm}^3$ 、また、F-H 相関法による仮定密度は $2.42 \text{g}/\text{cm}^3$ であった。以上からそれぞれの密度の平均値である $2.40 \text{g}/\text{cm}^3$ を本調査地域の仮定密度とした。



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.16 G-H 相関図



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.17 F-H 相関図

3) ブーゲー異常

重力探査は、地下の密度分布の不均一性に起因する重力異常を地表において測定し、重力異常の空間分布から逆に地下の密度分布を推定する方法である。

重力探査という重力とは、物質と地球が引き合う引力、地球の自転による遠心力、及び月と太陽から物質が受ける引力（潮汐力）の合力である。自転による遠心力は赤道で最大、極で最小となるため、緯度の異なる測点では重力値は異なる。また、標高の高い地点では地球の中心から離れるため、標高の低い地点よりも引力が小さくなる。潮汐力は測点と月、太陽の相対位置によって変化するため、同一地点で重力を測定しても、測定時刻が異なれば異なる重力値が観測される。地球と物質が引き合う引力には地形の影響も含まれ、山体のような大きな質量の近くではそれに引き付けられる向きに引力が加わる。これらの要因を全て正確に補正してもなお、重力値は場所によって異なる値をとる。重力探査では、各測点の重力値と、平均的な重力値とのずれを重力異常と呼び、その大きさをブーゲー異常値という指標で測る。このブーゲー異常が地下の密度分布の不均一性に起因する重力異常であり、重力探査における解析（地下構造の検討・抽出）の対象となる。

4) 傾向面解析

傾向面解析は、図 3-5.18 に示す地下深部の構造に起因する長波長のブーゲー異常成分を抽出することを目的として実施される。傾向面解析による傾向面は、フィルター処理のうち、ローパスフィルター処理（短波長成分を取り除く処理）を施すこととほぼ等価であり、重力異常の長波長成分を低次の n 次の曲面で近似することである。具体的には、ブーゲー異常値の分布 $\Delta g(x, y)$ を用いて、多項式の各係数を最小二乗法により求める。各次数の傾向面はそれぞれ次の式で表される。

- 1次傾向面 : $\Delta G_1(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y$
- 2次傾向面 : $\Delta G_2(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2$
- n 次傾向面 :

$$\Delta G_n(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + \dots + a_{m-1}xy^{n-1} + a_my^n$$

ここに $m=n(n+3)/2$ である。

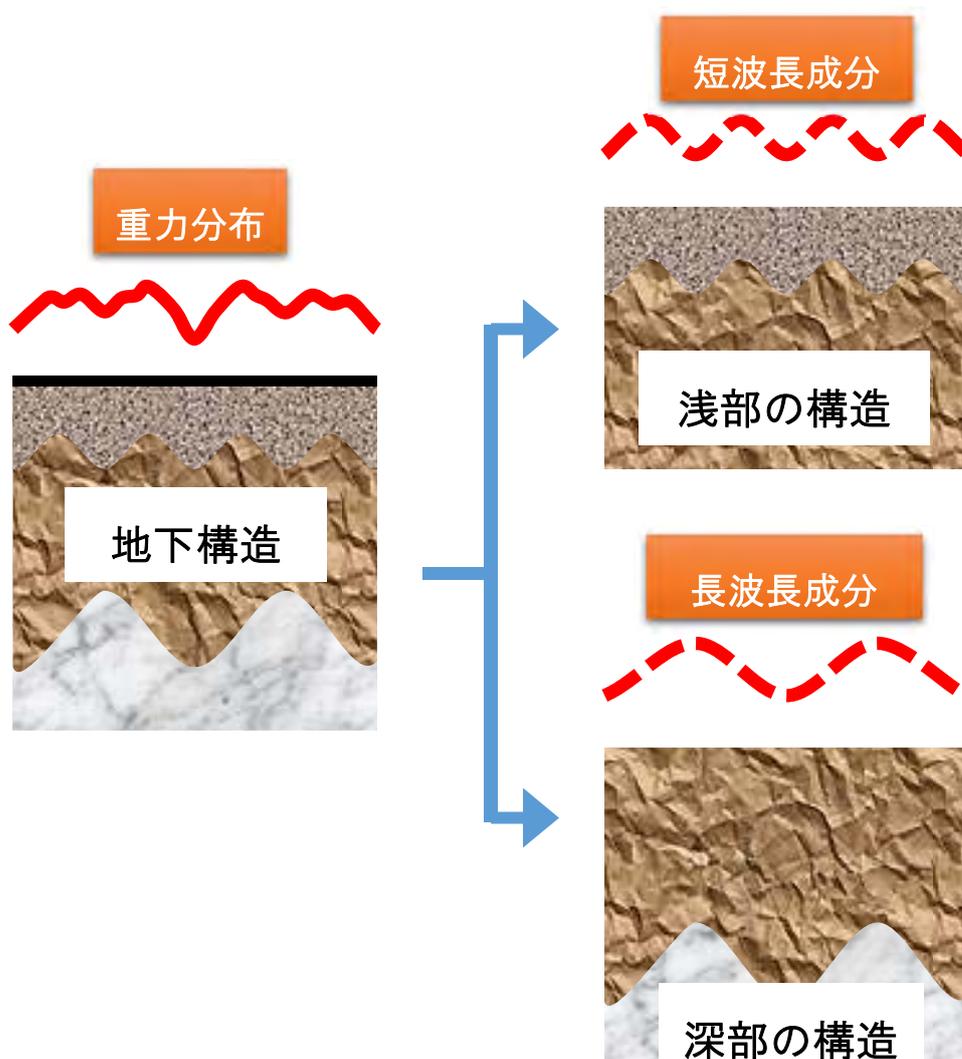
ブーゲー異常値 $\Delta g(x, y)$ から n 次の傾向面を差し引いた n 次傾向面残差は、重力異常値に一種のハイパスフィルター処理（長波長成分を取り除く処理）を施した結果を表す。

5) 上方接続フィルター

ある一定の高度で求められているブーゲー異常値を用いて、その面から高度 H だけ高い面におけるブーゲー異常を計算するフィルターである。これは x 方向の波数 m 、 y 方向の波数 n のフーリエ係数に、

$$w_{mn} = \exp\left(-\sqrt{(m^2 + n^2)H}\right)$$

の重みを付けることに相当する。波数の大きな成分ほど小さい重みが付けられることとなるため、上方接続フィルターはローパスフィルター（短波長成分を取り除く平滑化作用）となることが明らかである。また、異なる 2 つの H の値を用いて上方接続を行い、その差を計算することで、バンドパスフィルターの役割をさせることも可能である。



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.18 フィルター解析概念図

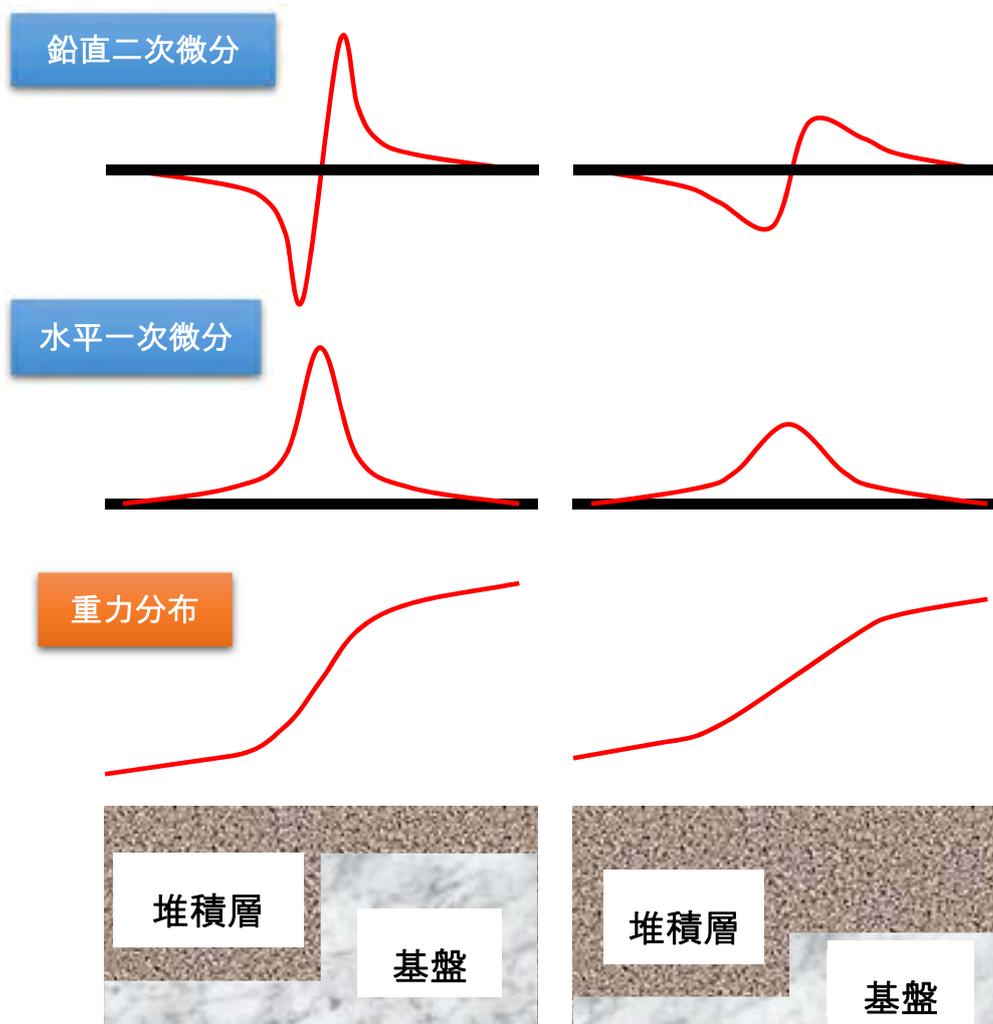
6) 水平 1 次微分及び鉛直 2 次微分フィルター

水平 1 次微分及び鉛直 2 次微分フィルターの概念図を図 3-5.19 に示す。水平一次微分フィルターとはブーゲー異常の水平勾配を求めるもので、構造の境界を強調するハイパスフィルターである。ブーゲー異常のフーリエ係数を求めておき、その係数に対応する波数をかけて逆フーリエ変換を求めることで x 方向、y 方向の微分値を求めることもできるが、通常は格子点値が求められているため、差分をとって最大振幅を求めることが多い。水平 1 次微分は直感的に理解しやすいが、微分値の大小で陥没構造の落差を判断しがちであり、深部の大きな規模の構造を見落とすことや、過小評価する可能性があるという短所を有している。このため、本解析においては、水平 1 次微分値の大きさのみでの判断は行わず、水平 1 次微分平面分布における極大値の連続性を検討して、重力構造（重力リニアメント）を抽出した。

鉛直 2 次微分も、ハイパスフィルターの一種であり、重力分布の局所的な分解能を高め、断層状構造などによる密度分布の急激な変化を伴った線状構造の抽出を目的として行われる。重力の鉛直 2 次微分は、ポテンシャル理論から、水平 2 次微分の和として表現される。これは、

重力異常の曲率を表わしているとも解釈できることから、格子化データのサンプリングフィルターの手法が用いられる。

なお、本解析では、格子間隔 500m の補間データを用いて水平 1 次微分値及び鉛直 2 次微分値の計算を実施した。



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.19 水平 1 次微分及び鉛直 2 次微分フィルターの概念図

7) 3次元基盤構造解析

図 3-5.20 のような鉛直下方に無限に長い直方体による点 (A,B,C)における重力値 (G) は、

$$G = \gamma\rho\{F(X1,Y1,Z) - F(X2,Y1,Z) - F(X1,Y2,Z) + F(X2,Y2,Z)\} \dots (1)$$

で与えられる。

ただし、

$$X1 = A - x1, \quad X2 = A - x2$$

$$Y1 = B - y1, \quad Y2 = B - y2$$

$$Z = |z - C|$$

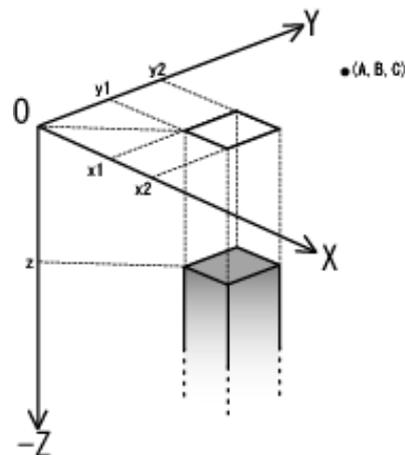


図 3-5.20 3次元基盤構造解析概念図

$$F(x, y, z) = -\iiint \frac{z dx dy dz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$= x \ln \left(\frac{y + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{\sqrt{x^2 + z^2}} \right) + y \ln \left(\frac{x + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{\sqrt{y^2 + z^2}} \right) - z \tan^{-1} \left(\frac{xy}{z \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \right)$$

である。

計算点と基盤を表す直方体が X 方向、Y 方向に格子状に同じように並んでいるとする。点(x_i, y_j, z)における(x_k, y_l, D_{kl})の直方体による重力値を G_{ij^{kl}}とすると、基盤による相対的な重力異常値 ΔG_{ij}(z)は基盤深度の平均値を D₀とおくと、

$$\Delta G_{ij}(z) = \sum_k \sum_l \{G_{ij}^{kl}(z, D_{kl}) - G_{ij}^{kl}(z, D_0)\} \dots (2)$$

と計算される。測定値 g*と計算値が最もよく合うような D_{kl}をイタレーション法によって求める。

測定値からその平均値を引いたものを δg*とする。D_{kl}の第1近似を

$$D_{kl}^{(1)} = D_0 + \lambda \delta g_{ij}^* / 2\pi\gamma\rho \dots (3)$$

とする。この基盤による重力異常値を上式で計算する。

$$g_{ij}^{(1)} = \Delta G_{ij}(z_{ij}) = \sum_k \sum_l \{G_{ij}^{kl}(z_{ij}, D_{kl}^{(1)}) - G_{ij}^{kl}(z_{ij}, D_0)\} \dots (4)$$

g_{ij}⁽¹⁾からその平均値を引いたものを δg_{ij}⁽¹⁾とする。δg_{ij}⁽¹⁾と δg*の残差の二乗和の平均が十分小さければその時の D_{kl}を最適解とする。もし、大きければ、第2近似として、

$$D_{ij}^{(2)} = D_{ij}^{(1)} + \lambda (\delta g_{ij}^* - \delta g_{ij}^{(1)}) / 2\pi\gamma\rho \dots (5)$$

を式(2)に代入して、

$$g_{ij}^{(2)} = \Delta G_{ij}(z_{ij}) = \sum_k \sum_l \{G_{ij}^{kl}(z_{ij}, D_{kl}^{(2)}) - G_{ij}^{kl}(z_{ij}, D_0)\}$$

を計算し、以下残差二乗和の平均値が十分小さくなるまで反復計算を繰り返し、最適解を求める。

(3) 解析結果

1) ブーゲー異常

当該地域のブーゲー異常分布図を図 3-5.21 に示す。ブーゲー異常値を計算するために必要な岩石の仮定密度は、先述した 2.40g/cm^3 とした。各種補正後の各測点におけるブーゲー異常値一覧を別添資料 2-6 に示す。

本地域は、北西部及び北東部に高重力異常域が存在し、南西部から南部に掛けて低重力異常域が存在する。この低重力異常域は南部から北西部に向かって張り出す形状を示す分布になっている。

2) 傾向面解析

ブーゲー異常分布のトレンド成分（大局的な傾向）を求め、その値をブーゲー異常値から差し引くことにより、リージョナル成分（中～小規模の 2 次的な構造）を抽出することを目的として、ブーゲー異常値を用いた傾向面解析を実施した。なお、本解析では、ブーゲー異常値に対して 1 次から 5 次までの傾向面解析を行い、これらを検討した結果、調査対象範囲の大局的な重力分布を表わしているものとして 3 次の傾向面を最適と判断した。

調査対象範囲におけるブーゲー異常値の傾向面解析結果を基に作成した 3 次傾向面図（大局的な傾向）及び 3 次傾向面残差図（中～小規模の傾向）をそれぞれ、図 3-5.22 及び図 3-5.23 に示す。

図 3-6.22 に示す 3 次傾向面図においては、調査地域の北西部から東部にかけて高重力異常域が、また調査地域の南西部には低重力異常域が分布する傾向が確認された。この大局的な重力異常の傾向は調査地域深部の重力基盤構造を反映しているものと考えられる。

ブーゲー異常分布から 3 次傾向面を差し引いた 3 次傾向面残差は、重力基盤構造の上部の岩石密度構造を反映したものと考えられる（図 3-5.23 参照）。この重力残差図では、北西－南東方向に重力残差値のコンターが伸びていることが認められる。また、調査地域北部、南東部及び西部に高重力異常域が存在しており、調査地域中央部から南東部、西部、北西部及び北東部に低重力異常域が認められた。これらの重力異常域の境界部付近には重力残差の急変部が認められる。これらの重力急変部は、地下の密度構造の不連続性を反映した示徴と考えられ、このような急変部が平面的に線状に連なって分布する場合には、断層等の構造を反映することがある。このため、断層等の構造を抽出する目的で、3 次傾向面残差分布における水平 1 次微分値を計算して、その分布平面図を作成した。水平 1 次微分平面図（3 次傾向面残差分布図から算出）を図 3-5.24 に示す。この分布図において、水平 1 次微分値の極大値が連続して分布している場合には、その箇所に密度構造上の境界部が分布する可能性が高い箇所である。この水平 1 次微分の平面分布の極大値の連続性から、以下に示す残差重力の急変部（重力分布から抽出される線構造で断層等の構造を反映している可能性がある）が抽出された。図 3-5.24 に抽出された重力リニアメントを赤い破線で示す。なお、重力リニアメント G1 の北西部は水平 1 次微分の極大値の連続性から抽出することは困難であるが、後述する 3 次元基盤構造解析よれば重力リニアメント G1 の北西部に線構造示徴が認められるため、この解析結果を含めた重力リニアメントを図中に記載した。

- 調査地域の南部を概略北西－南南東方向に延びる明瞭な重力急変部（G1）
- 調査地域の南東部を概略北西－南東方向に延びる明瞭な重力急変部（G2）

- 調査地域の西部を概略西北西－東南東方向に延びる明瞭な重力急変部（G3）
- 調査地域の中央部を概略北西－南東方向に延びる明瞭な重力急変部（G4）
- 調査地域の北東部を概略北東－南西方向に延びる明瞭な重力急変部（G5）
- 調査地域の北部を概略北東－南西方向に延びる明瞭な重力急変部（G6）
- 調査地域の北部を概略北西－南東方向に延びる明瞭な重力急変部（G7）
- 調査地域の北西部を概略北北東－南南西方向に延びる明瞭な重力急変部（G8）

3) 上方接続

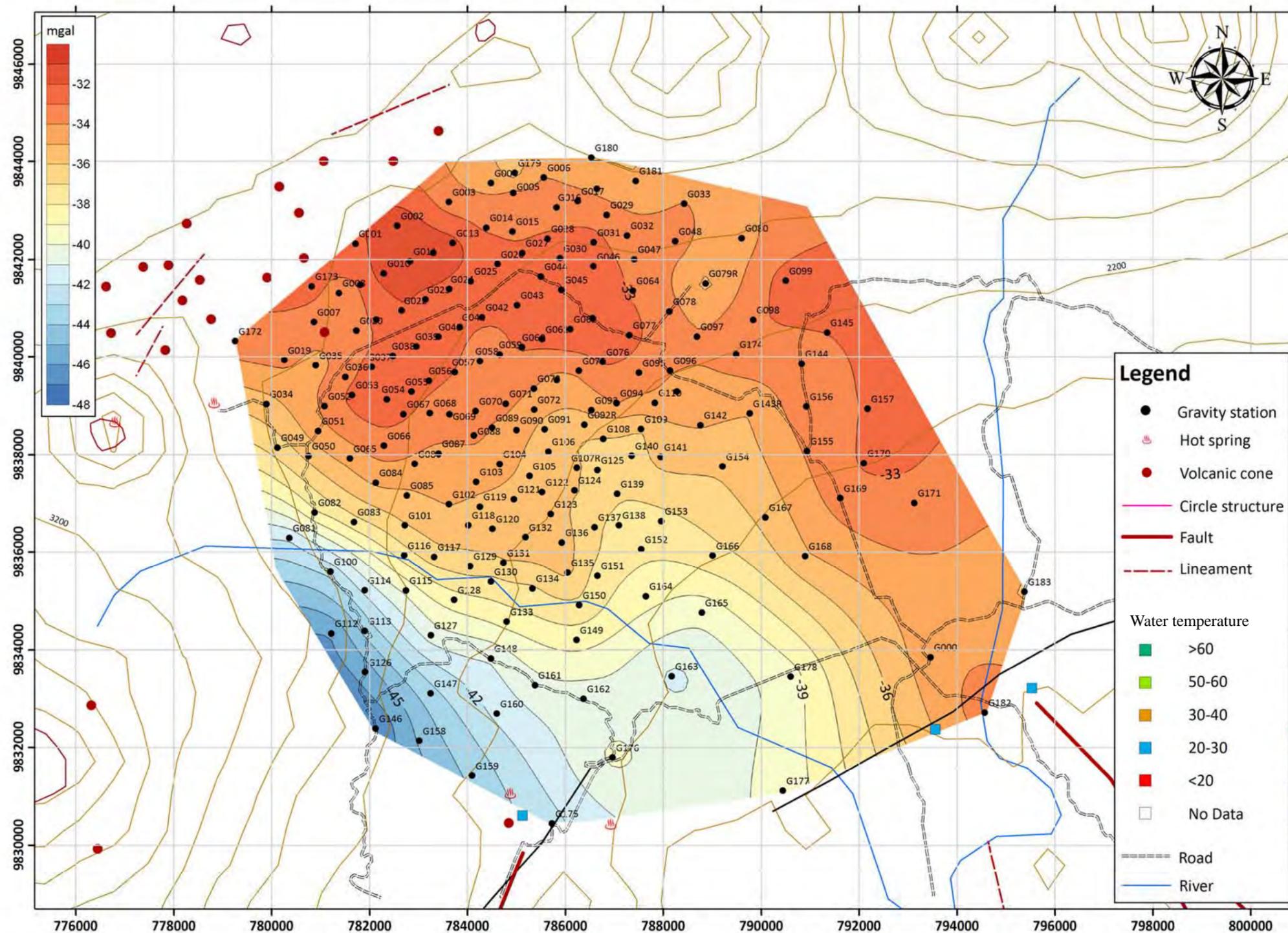
中～大規模な構造を把握するために、前述の傾向面解析とは異なるフィルター解析手法である上方接続を実施した。上方接続とは、地表からある一定の高さで観測した場合の重力値を計算するための方法であり、ローパスフィルター（短波長成分を除去した平滑化）の意味合いがある。このため、ブーゲー異常分布から浅部の小さなノイズ構造を反映する微小な分布傾向を取り除くことができ、解析地域における中～大規模の構造を把握することが可能となる。本解析においては、100m と 3,000m の上方接続値を計算して 100m における上方接続値から 3,000m における上方接続値を差し引きすることにより、ブーゲー異常上方接続図（100～3,000m）を作成した（図 3-5.25 参照）。この解析は、浅部の小さなノイズ構造及び周辺域を含む非常に大きな構造の両方の影響を除去するバンドフィルターの意味を持つ。

本分布図は、前述の 3 次傾向面残差と同様に調査地域中央から南東方向に低重力異常域が分布している。また、調査地域北西部には 3 次傾向面残差図より明瞭な高重力異常が確認されたが、大局的なブーゲー異常上方接続図（100～3,000m）の重力異常分布は、3 次傾向面残差図と類似している。前述の傾向面解析と同様に、断層等の構造を抽出する目的で上方接続に基づく水平 1 次微分値を計算して、その分布平面図を作成した。水平 1 次微分平面図（上方接続図から算出）を図 3-5.26 に示す。この水平 1 次微分の平面分布の連続性から、以下に示す重力の急変部が抽出された。図 3-5.26 の赤い破線は 3 次傾向面残差水平 1 次微分図から引いた重力リニアメントと同様である（図 3-6.24 参照）。

- 調査地域の南部を概略北西－南南東方向に延びる明瞭な重力急変部（G1）
- 調査地域の南東部を概略北西－南東方向に延びる明瞭な重力急変部（G2）
- 調査地域の西部を概略西北西－東南東方向に延びる明瞭な重力急変部（G3）
- 調査地域の中央部を概略北西－南東方向に延びる重力急変部（G4）
- 調査地域の北東部を概略北東－南西方向に延びる明瞭な重力急変部（G5）
- 調査地域の北部を概略北東－南西方向に延びる重力急変部（G6）
- 調査地域の北部を概略北西－南東方向に延びる明瞭な重力急変部（G7）
- 調査地域の北西部を概略北北東－南南西方向に延びる重力急変部（G8）

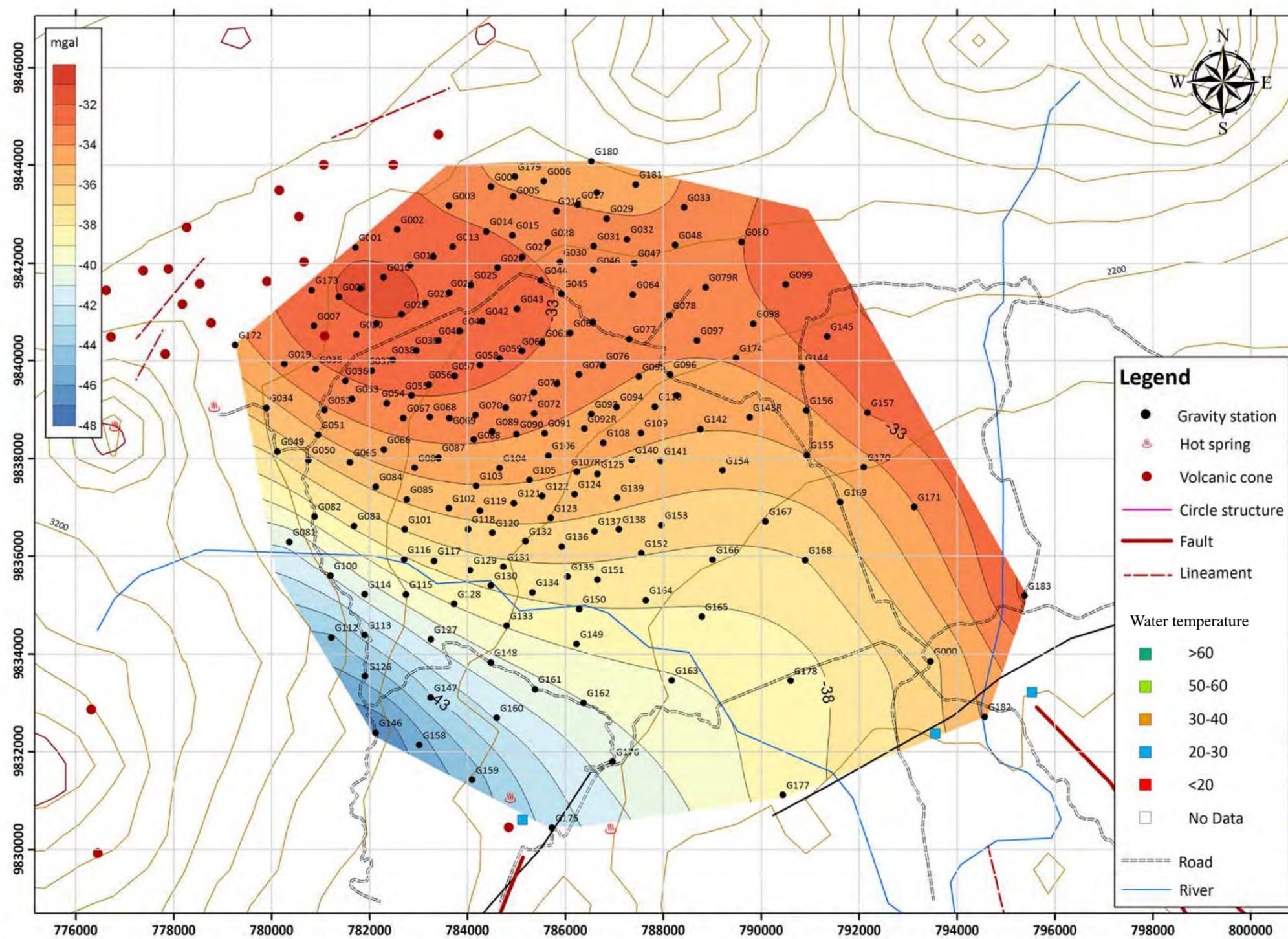
図中の赤い破線とブーゲー異常上方接続(100~3,000m)に基づく水平 1 次微分の極大値の分布がほぼ一致することから、上方接続水平 1 次微分図から抽出された重力リニアメントは、3 次傾向面残差の水平 1 次微分の平面分布から認められた重力リニアメントものとほぼ同じであることが判明した。上方接続値(100~3,000m)の水平 1 次微分分布においては重力急変部 G4 及び G6 が 3 次傾向面残差水平 1 次微分図ほど明瞭に確認されないが、上方接続水平 1 次微分の極大値の分布は 3 次傾向面微分図と類似している。このように異なる解析手法から抽出される同様の重力リニアメントは信頼性が高く、断層等の線構造を反映していることが高いものと期待さ

れる。



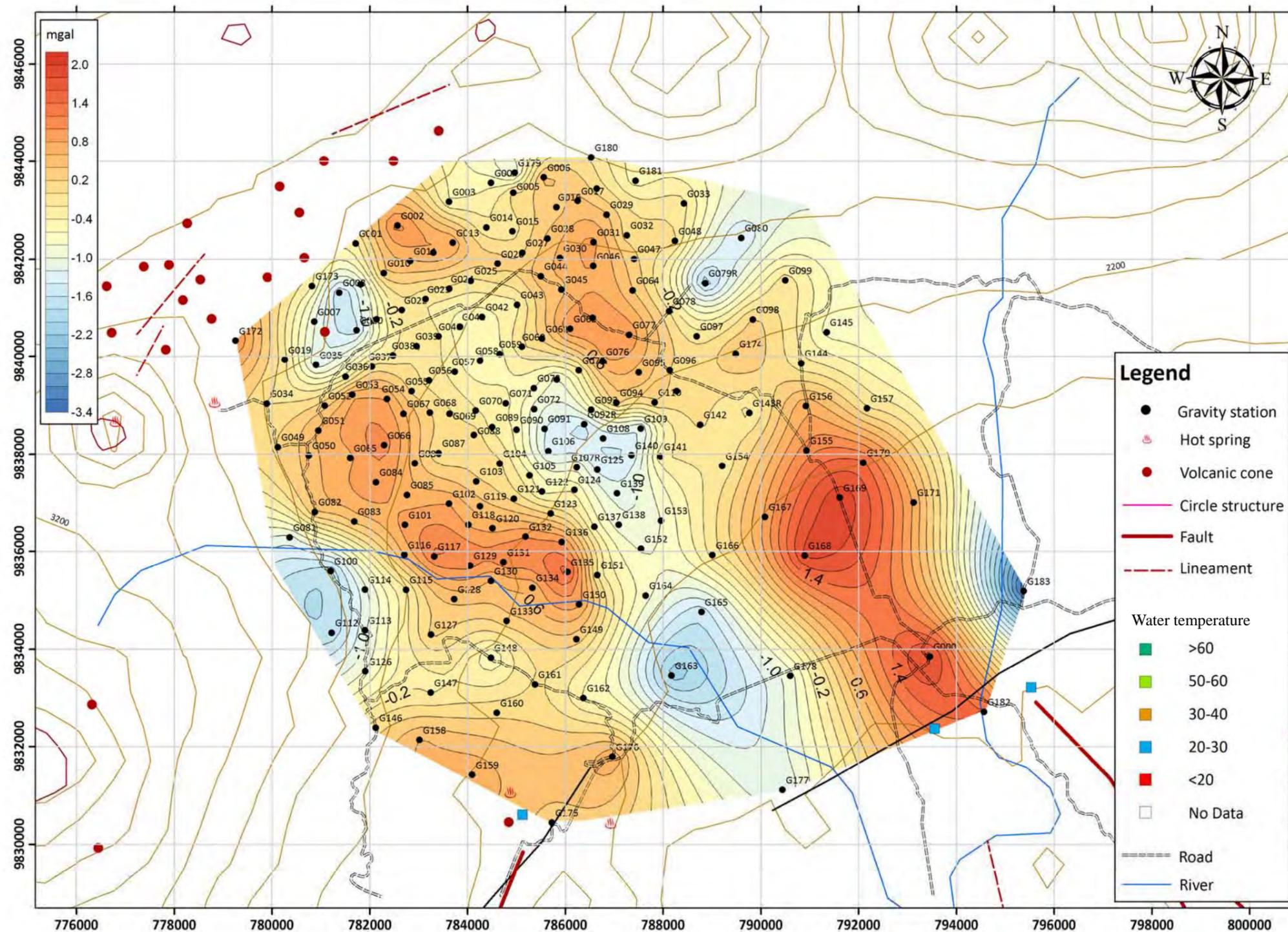
[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.21 ブーゲー異常図 (仮定密度 ; 2.40g/cm³)



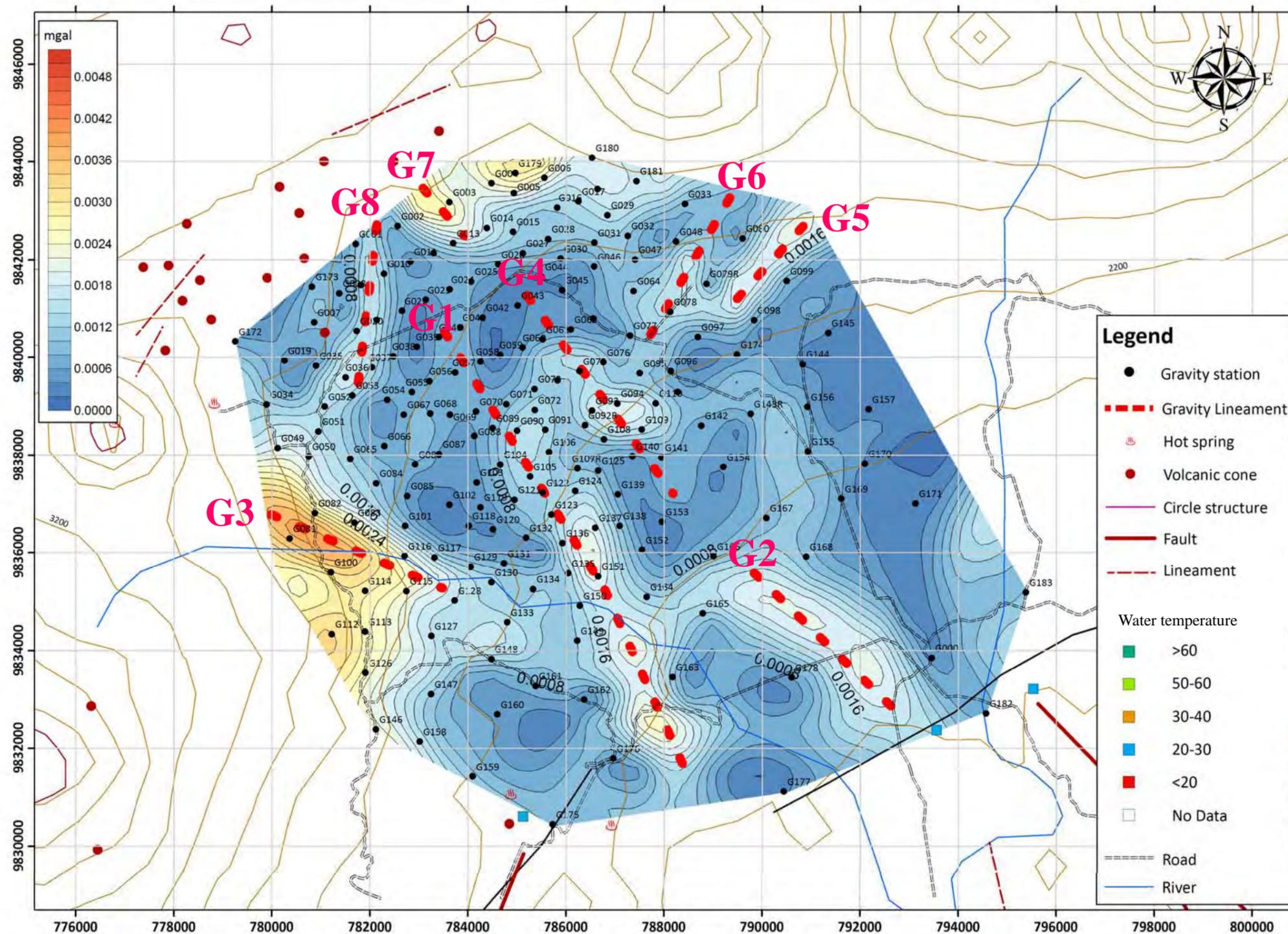
[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.22 3次元傾向面図



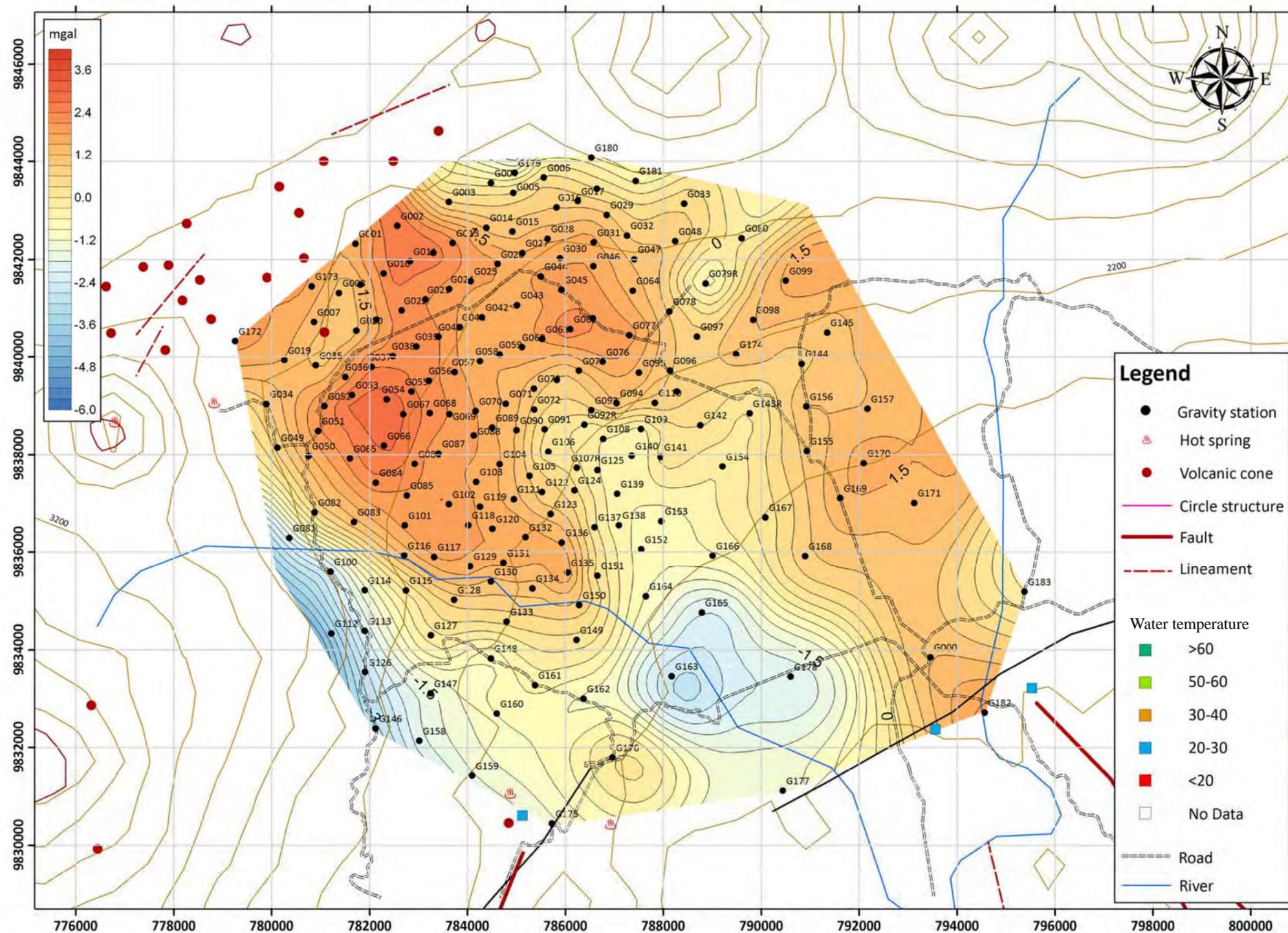
[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.23 3次傾向面残差図



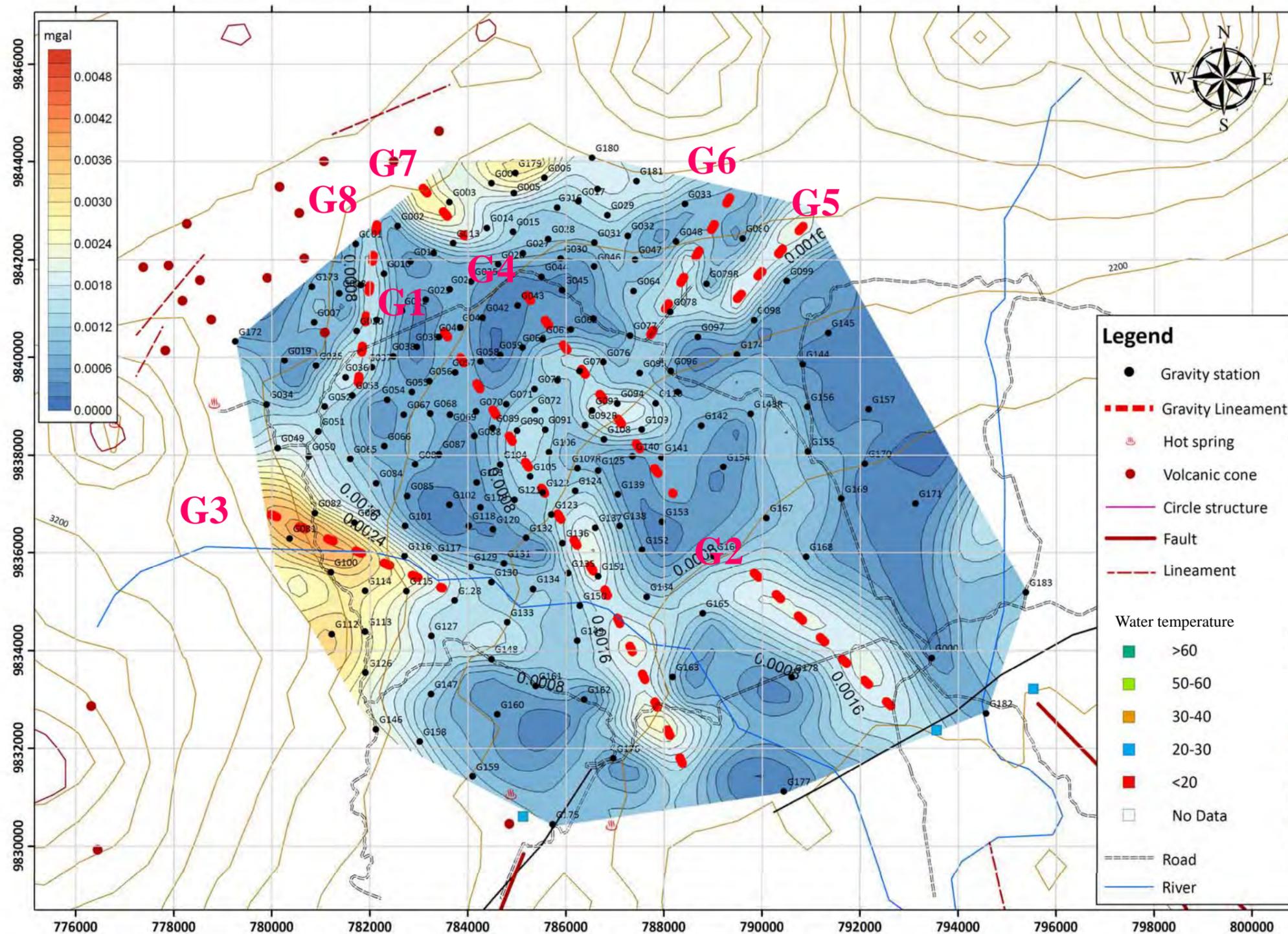
[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.24 3次傾向面残差水平1次微分図



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.25 上方接続図 (100-3000m)



[出所] JICA 調査団で作成

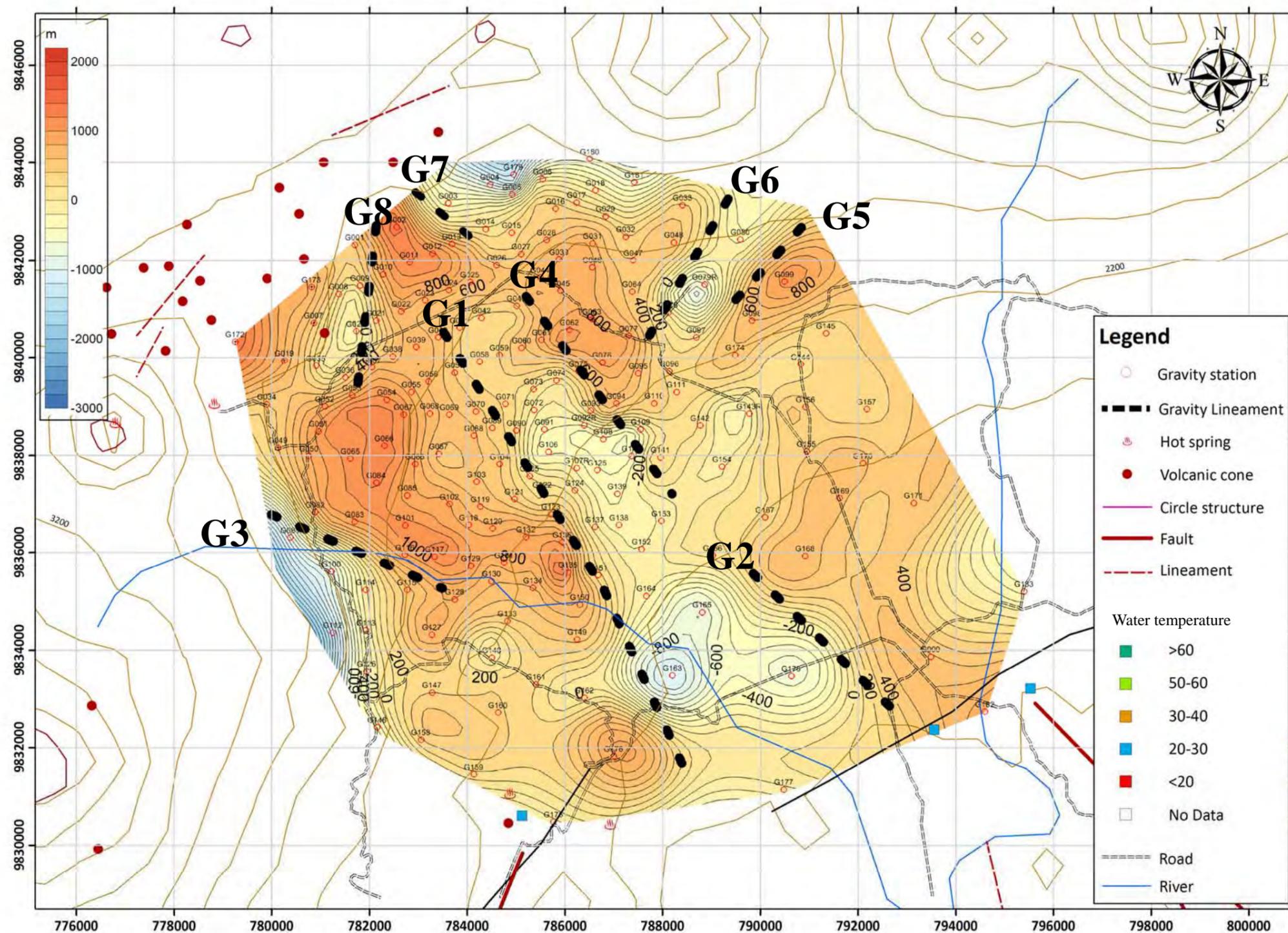
図 3-5.26 上方接続 (100-3000m) 水平 1 次微分図

4) 三次元基盤構造解析

調査地域における基盤構造の分布を推定するために3次元基盤構造解析を実施した。本解析は、深部に分布する基盤岩とその上面に堆積する火山岩との密度差を与えることで、最適な基盤の上面深度を推定するものである。ただし、本地域付近の岩石密度に関する情報が存在しないことから、当該地域の密度差としては、アフリカの重力探査結果について記述されている Josphat et al. (2010) で示されている 0.3g/cm^3 と仮定することとした。

図 3-5.27 に3次元基盤構造解析結果を示す。この3次元基盤構造解析図から抽出される基盤深度の急変部は断層等の構造を反映している可能性がある。図中の黒い破線は3次元傾向面残差水平1次微分図(図 3-5.24)及び上方接続(100-3,000m)水平1次微分図(図 3-5.26)とから抽出された重力リニアメントである。図 3-5.27 を見ると、3次元傾向面残差図及び上方接続図の水平1次微分極大値の分布から抽出された重力リニアメントと基盤深度の急変部が良く一致していることが分かる。更に、調査地域中央部から南東部に延びる低重力異常地域付近の基盤深度は深く分布しており、基盤深度の急変部が重力リニアメント G1、G2、G4 付近に認められることから、重力リニアメント G1、G2、G4 が基盤の陥没構造の縁辺部の断層を示しているものと考えられる。また、調査地域中央の北西-南東方向に延びる基盤深度の西側の急変部は、3次元傾向面残差水平1次微分図及び上方接続水平1次微分図で抽出された重力リニアメント G1 よりさらに北西方向に延びていることが確認される。

基盤岩とその上面に堆積する火山岩との密度差が正確でないことや、コントロールポイント(既存坑井の情報により基盤深度が判明している箇所)が存在しないことなどから、本解析で得られた基盤構造の分布は精度良く決定されたものとは言えないものの、前述の密度差を仮定して得られた基盤上面深度からは、地表下 2,000m 程度が本調査地域の平均的な基盤深度であると推定される。



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.27 3次元基盤構造解析図

5) 低比抵抗地域における重力探査結果解析

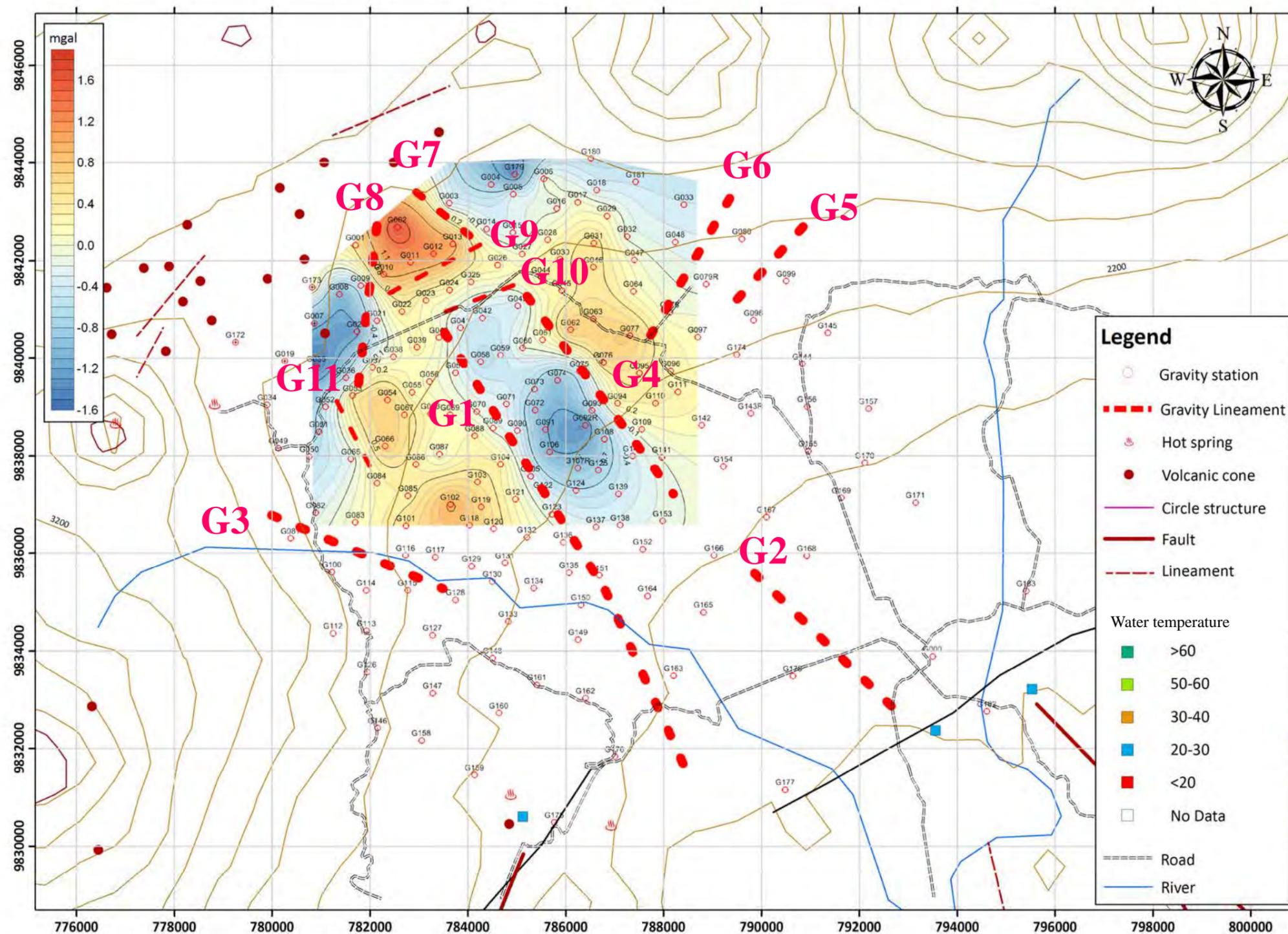
本調査が実施された Kinigi 地域では本プロジェクト第 2 年次において MT 探査データの再解析（3 次元比抵抗構造解析）が実施された。この再解析結果を基にすると、Kinigi 地域北部においては深度 2,000m 以深において 10 ohm-m 以下を示す顕著な低比抵抗域の分布が認められた。低比抵抗域及びその周辺域の詳細な地下構造を把握するため、低比抵抗域及びその周辺域で取得された重力探査のデータのみを選択し、傾向面解析及び水平 1 次微分解析を行い、重力リアメントの抽出を試みた。

図 3-5.28 に抽出した測点のみの 2 次傾向面残差図を示す。図 3-5.28 には前述した重力リアメント G1～G8 を記載している。2 次傾向面図北西部に明瞭な高重力異常、南東部に北西－南東方向に低重力異常が分布している。残差重力値の分布は北西－南東方向に分布しており、このトレンドは 3 次傾向面残差図と同様である（図 3-5.23 参照）。

先述の傾向面解析、上方接続と同様に断層等の構造の抽出を目的として 2 次の傾向面残差に対して水平 1 次微分値を計算した。2 次傾向面残差水平 1 次微分図を図 3-5.29 に示す。水平 1 次微分値の極大値の連続性から新たに以下に示す重力リアメントが抽出された。

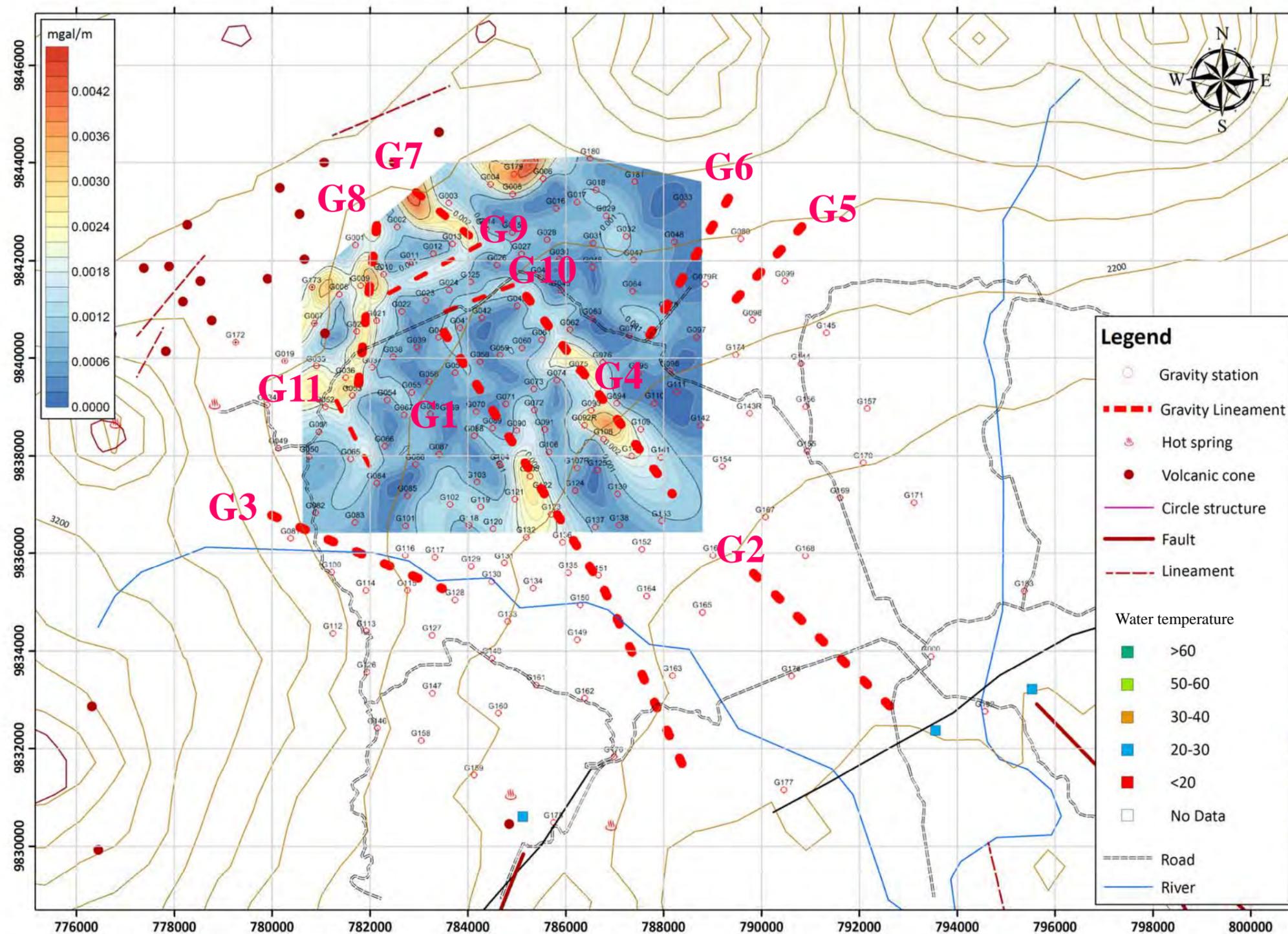
- 調査地域の北部を概略東北東から西南西に延びる重力急変部（G9）
- 調査地域の北部を概略東北東から西南西に延びる重力急変部（G10）
- 調査地域の西部を概略北西から南東方向に延びる重力急変部（G11）

これら抽出された重力リアメント（G9、G10 及び G11）のうち G9、G10 及び前述の重力リアメント G1 北部域は MT 探査データ再解析結果における低比抵抗域内及び周辺部に位置していることから、これらの重力リアメントは地下深部の地熱流体の流動を規制している断層を反映していることが示唆される。



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.28 2次傾向面残差図



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.29 2次傾向面残差水平1微分図

(4) 重力探査技術に係る技術移転

重力探査技術に係る技術移転は、次のとおり実施した。技術移転状況（写真）を写真 3-5.2 に示し、各技術移転の概要を以下に記す。

- ✓ 実施場所： Kinigi 地域及び EDCL/GU
- ✓ 実施日： 2015 年 9 月 27 日～10 月 1 日
- ✓ 目的： 重力探査データ取得及び解析技術の理解を目的とし、この技術移転では、ブガラマ地熱地帯で既に取得された重力探査データを使用し、下記の内容のトレーニングを実施した。
 - 本トレーニングの内容とスケジュールに関する説明
 - 現地探査でのデータ取得技術
 - 重力データ処理（地形補正、ブーゲー補正などの各種補正）の OJT
 - フィルター解析（傾向面解析、上方接続、水平一次微分）の OJT
 - ソフトウェア Surfer の使用方法の説明
 - 3次元2層構造インバージョン解析の OJT（入力データ作成、パラメータ設定、出力結果の図化等）
 - 重力探査結果を基にした断層構造等抽出の OJT
- ✓ 参加者： Mr.Jean d’Amour UWIDUHAYE（専門分野：物探）、Mr. Gatean SAKINDI（同：物探）、Mr. Jean Jacques HAVUGIMANA（同：物探）



写真 3-5.2 重力探査技術移転状況

3-5-3 地熱系概念モデル更新支援

(1) Kinigi 地域の地熱モデルの更新

Kinigi 地域における総合解析図を図 3-5.30 に、地熱系概念モデルを図 3-5.31 に示す。なお、この地熱系概念モデルはキャパシティビルディングによる更新支援の一貫として作成された。

1) 地質構造

Kinigi 地域の地質は基盤岩類及び第四紀火山岩類から成る。基盤岩類は透水性が低いことから、断層等に付随する透水性が比較的高い破碎帯等が地熱流体の流動に寄与すると考えられる。本地域においては、MT データの再解析より本地域北部の深度 2,000m 以深に明瞭な低比抵抗域の存在が把握され、深度 1,500m 以深に断層を反映している可能性がある比抵抗不連続線 R2 及び R3 が、この顕著な低比抵抗域の西端部及び東端部に検出されている。また、重力構造も同様に NNW-SSE 系の重力構造線が分布している。Kinigi 地域南方の (Butare Horst) の地質構造は NNW-SSE 系の断層が卓越していることを考慮すると、比抵抗不連続線 R2、R3 と重力構造線 G1、G4 で示される F1、F2 及び F3 が、火山岩の下位にある原生代基盤岩中に発達した NNW-SSE 系の断層の存在を示唆している。また、Visoke 火山と Sabyinyo 火山の間には、NE-SW 方向に火口丘火山が配列している。さらに、重力構造でも同方向 G9、G10 の構造線が本地域北部に分布しており、同方向の深部断裂が分布する可能性がある。

2) 熱構造

Kinigi 地域の地熱系の熱源は、火山直下に存在するマグマ等が推定されるが、地熱活動にどのように係るかはその活動年代や存在深度、規模に依存する。ただし、火山直下のマグマや貫入岩体が熱源となり得るかどうかにについては、いくつかの手掛かりを得ることができる。本地域の場合、多数の第四紀火山が活動しており、その火山活動は原生代の花崗岩一千枚岩を火山の基盤として、活動年代の古いもの順に火口丘火山、Sabyinyo 火山、Gahinga 火山、Visoke 火山、Karisimbi 火山がある。これら火山の大部分はアルカリ玄武岩であり、一般的には玄武岩質のマグマは深部に定置する傾向がある。なお、北部に位置する多数の火口丘火山は NE-SW 方向に伸張しており、地下では岩脈状のマグマが貫入しているものと推定される。一方、Sabyinyo 火山及び Visoke 火山では安山岩質の火山岩が噴出している。現地調査結果及び地形特徴より、Sabyinyo 火山では最初に玄武岩溶岩が噴出し、その後安山岩溶岩が噴出したものとみられる。また、Sabyinyo 火山の安山岩の K-Ar 年代は 0.5~1.0Ma の値を示し、第四紀中期に安山岩を噴出させていることは、現在の地熱系の熱源となり得るマグマ溜まりが Sabyinyo 火山の地下浅部に存在する可能性を示している。Visoke 火山も同様に安山岩質であるが、火山体の規模も考慮すると Sabyinyo 火山が最も熱源として有望であると考えられる。

MT データの再解析により、Kinigi 地域の北部では深度 2,000m あるいはそれ以深において 10 $\Omega \cdot m$ 以下を示す顕著な低比抵抗の分布が認められる。この低比抵抗は、スメクタイトや混合層粘土鉱物から構成されている熱水変質帯を反映している可能性がある。この場合、F1 (比抵抗不連続線 R2) 及び F3 (同 R3) 周辺は破碎帯が発達している可能性がある。また、F3 北東側には、周囲の高比抵抗よりやや低い比抵抗を示すゾーンが Sabyinyo 火山方向に伸びている。一方、F1 の南西側では浅部から深部まで高比抵抗が連続しており、Karisimbi 火山の南部と同様な比抵抗構造を示している。比抵抗解析からは、この高比抵抗域は破碎帯が発達していない火山岩を反映している可能性が指摘されている。このため、F1 の南西側では Karisimbi 火山南部と同様な地熱構造を示す可能性が考えられ、同地域で掘削された KW-01 は温度が低く、深部で高透水性を示す情報は得られていない。

3) 流体流動

Kinigi 地域において、噴気や温泉及び変質帯のような地熱地表兆候は認められない。ただし、

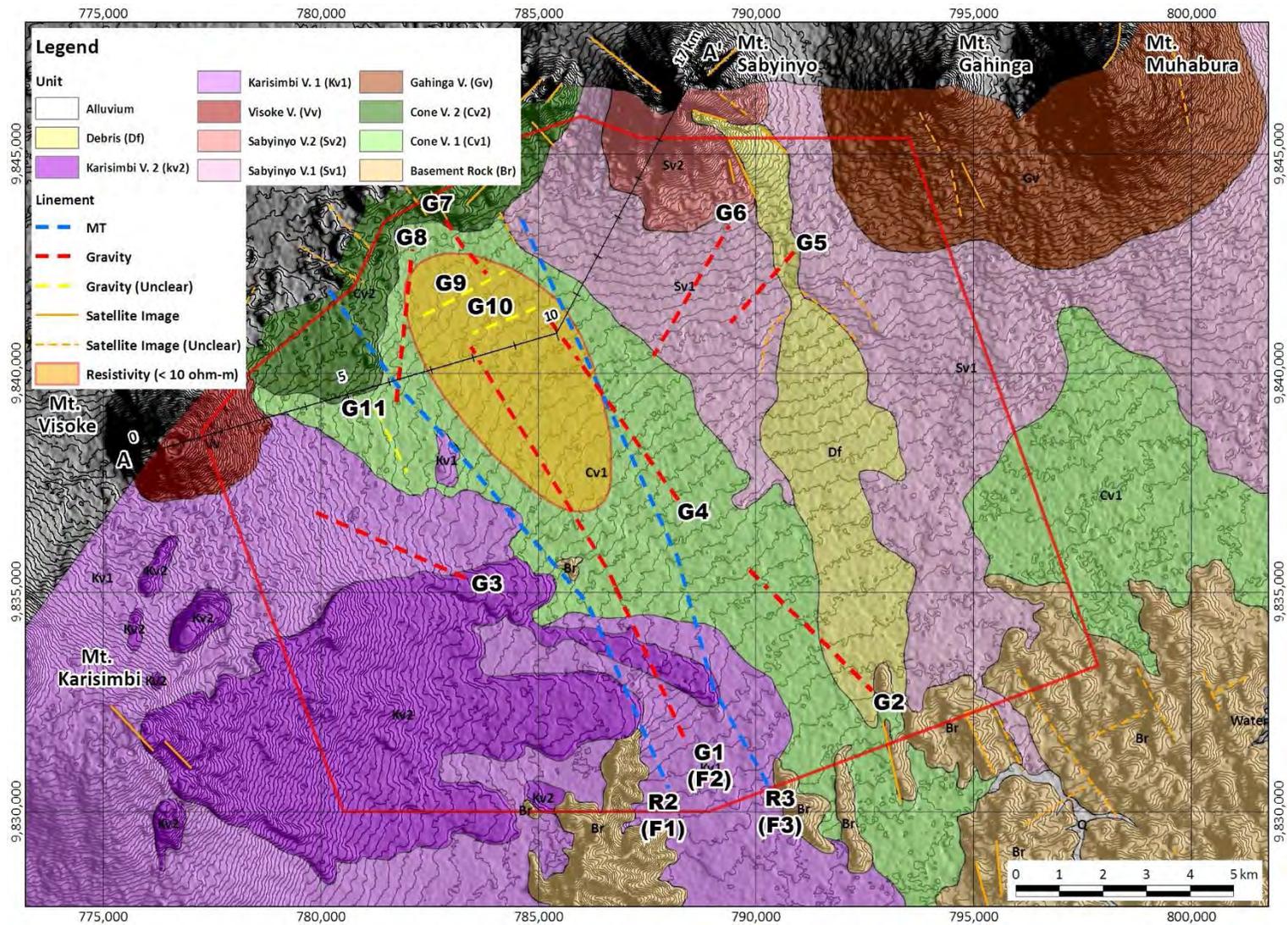
Rubindi、Mubona 及び Cyabararika などの冷泉が、北部火山地域の地形境界及び南部の Butare Horst で認められており、その湧水中には CO₂ ガスが含まれる。これら湧水は高 HCO₃ 型湧水に区分される。地化学調査では水温は 20°C 前後で低いが、中性で HCO₃ の含有量が最大 2,260mg/L と高いことが特徴である。これら湧水には深部熱水の混入はなく、浅部地下水に CO₂ が添加されたものと推定される。また、湧水のストロンチウム同位体は Virunga 火山岩のストロンチウム同位体の値に調査的であり (IESE, 2012)、これら湧水は火山岩類中を流動していると推定される。なお、これらの湧水は深部流体の情報を反映していないため、深部流体の性状については不明である。

本地域では火山岩の下位にある原生代基盤岩中に NNW-SSE 系の断層が分布する。これら断層周辺の透水性に富んだ破碎帯が存在すれば、地熱流体が胚胎し、この地熱流体により低比抵抗帯で示される変質帯が形成されている可能性が考えられる。このように、本地域では高所での降水は主に NE-SW 系などの断裂を通じて地下に浸透し、地下に分布が推定されるマグマにより加熱され、地熱流体が生成されている可能性が推定される。ただし、比抵抗構造からはこの断層周辺の透水性に富んだ破碎帯に地熱流体が存在する場合においても、大規模な地熱発電を行えるような高温の流体である可能性は低いことが示唆される。

(2) 地熱系概念モデル更新に係る技術移転

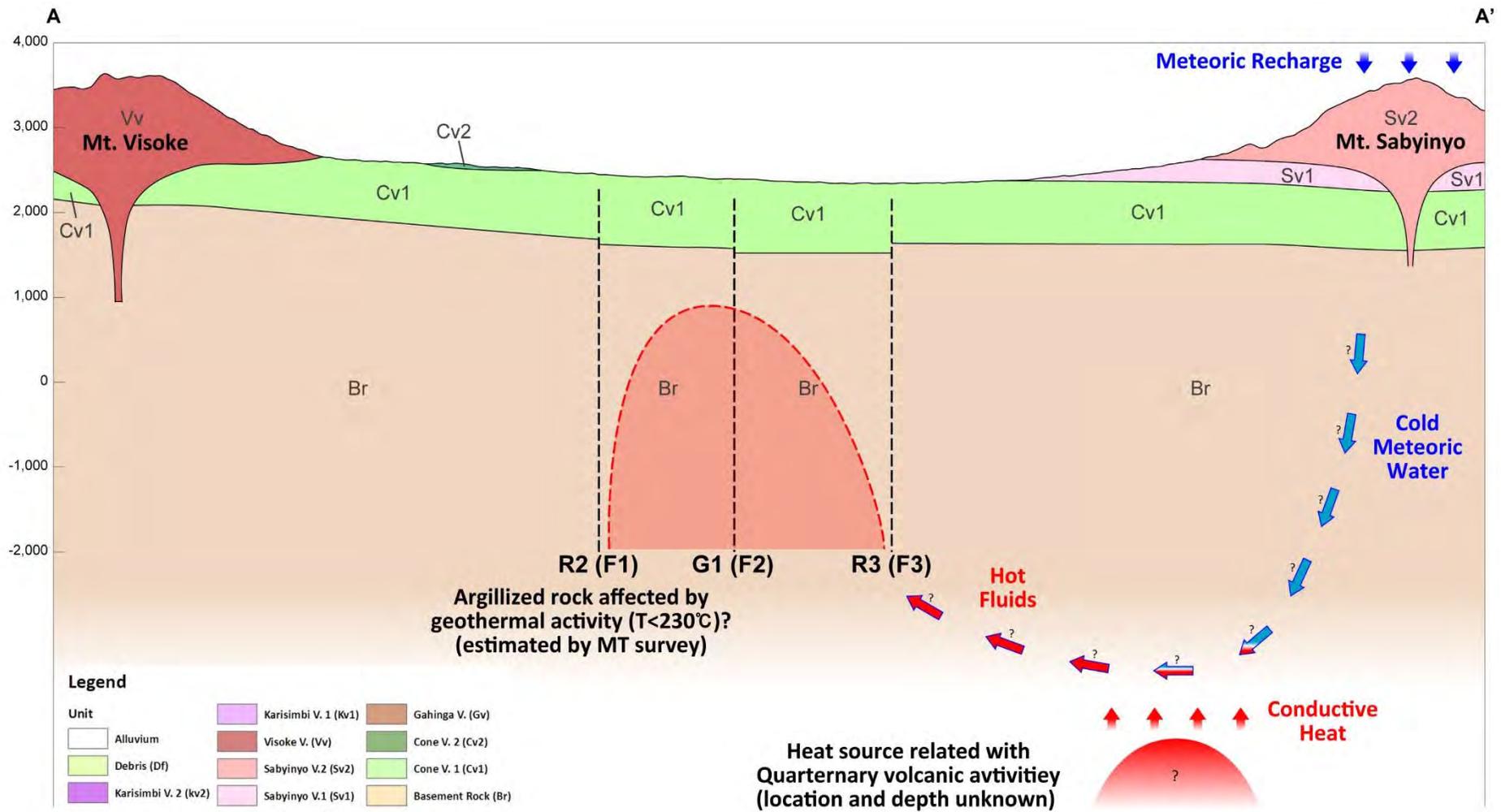
地熱系概念モデル更新に係る技術移転は、以下のとおり実施した。

- ✓ 実施場所：EDCL/GDU オフィス (Kigali)
- ✓ 実施日：2016年2月5日
- ✓ 目的：地熱系概念モデル更新方法についての理解
- ✓ 参加者：Ms.Uwera RUTAGARAMA (専門分野：貯留層)、Jean Pscal NIYIGENA (同：地化学)、Mr. Jean Jacques HAVUGIMANA (同：物理探査)、Theoneste NZAYISENGA (同：掘削)



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.30 Kinigi 地域の総合解析図



[出所] JICA 調査団で作成

図 3-5.31 Kinigi 地域の地熱系概念モデル

3-6 地熱開発計画策定に関する提言

ルワンダの地熱地域において地熱資源量が相対的に高いとされた Kinigi 及び Bugarama 両地域においても発電に適した地熱貯留層の存在は確認されておらず、両地域の地熱開発上の資源リスクは高い。そのため、現段階において詳細な地熱発電開発計画を策定することは困難であるが、本調査によって得られた地熱ポテンシャル評価結果に基づき、両地域の地熱発電開発計画を今後の開発調査実施の参考として検討した。その結果、標準的な地熱開発の手順を踏んだ場合、最も早い運転開始は Bugarama における 2023 年と想定された。Kinigi においては、フェーズ 2 の着手から約 10 年後の運転開始が想定された。ただし、これら本調査において提示された地熱開発プロジェクトは現段階における地熱資源量評価結果に基づくものであり、この地熱資源量概算値はその地域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。

特に、第 3 年次に示した Kinigi 地域の地熱系概念モデルについては、その構築の基となっている比抵抗構造の解釈や基盤岩中の流体温度等の地熱システムに関する明瞭な証拠が得られていないのが現状であり、地熱流体が賦存していない可能性も否定できない。さらに、断層周辺の透水性に富んだ破碎帯に地熱流体が存在する場合においても、賦存する地熱流体温度が高い可能性が低いことが示唆されるため、試掘を行った場合でも自噴しない可能性が否定できない。以上のような状況から、大規模な地熱発電に結びつく可能性は低いと推定される。このように、第 3 年次までに実施した調査でも地熱貯留層の存在に関するポジティブな情報を得ることはできておらず、これまでの調査結果を見る限り、依然として Kinigi 地域での地熱開発に関するリスクは高いと判断される。なお、次のステップに進む場合は、地下構造及び地熱貯留層の存在の確認を目的とした調査井掘削が考えられるが、上述したように、地熱開発リスクを十分に考慮して判断する必要がある。

このような現状を踏まえ、今後の課題や留意点を以下に提言として取りまとめた。

- ▶ ルワンダの地熱地域いずれの地域においても地熱発電開発の実施可能性を判断するためのデータは十分ではない。そのため、ルワンダにおいて地熱開発プロジェクトの実施可能性を検討するためには、更なる探査の実施が必要な状況である。
- ▶ 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）が必要であり、地熱開発計画についてもフェーズ 3 の結果に基づいた見直しが必要である。
- ▶ アクションプラン構築の一環として、フェーズ 2 及びフェーズ 3 の内容を提案した。今後これらの調査を実施する上で留意すべき点として、調査段階毎に適切な地熱資源評価を実施し、次段階調査に進むべきかの判断の実施が必要である。
- ▶ 地熱開発を促進するためには、地熱資源に関するリスクが現段階では比較的高いことから、今後も国が先導的にフェーズ 2 とフェーズ 3 に対応する調査を実施することが望まれる。
- ▶ 同国では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、MININFIRA 等の政策立案者や REG などの先導調査実施者などに対する能力向上支援が

重要と考えられる。ルワンダにおける地熱開発調査の実施主体は、REG/EDCL の Geothermal Unit であり、ルワンダにおける地熱開発の推進と Geothermal Unit の能力向上の観点から考慮すべき点を以下に列記する。

- ✓ 実際の地熱開発調査実施による Geothermal Unit のスタッフの能力向上（地熱開発の経験豊富な国外のコンサルタントや研究者・技術者等との共同作業による）。また、国外で開設されている地熱研修コースへの参加（日本、ニュージーランド、アイスランド、ケニアなど）。本プロジェクトでは、地質、地化学及び物理探査等に関するキャパシティビルディングを実施した。
- ✓ 地熱資源及び開発データベースの運用
- ✓ 地熱開発計画及びプロジェクトマネジメント（調達や経済・財務評価）に関する能力向上及び専門家による支援
- ✓ 地熱開発調査に必要な基礎的調査用具や解析ソフトウェアの充実

第4章 環境社会配慮

ルワンダ国においては、水力、火力（ディーゼル、メタン、ピートなど）による発電方式の開発及び系統開発が計画されているが、本調査開始時点では、地熱開発が最有望視されていたこと及び他開発計画の実現性が不透明であったことも踏まえ、地熱開発予定地域4地域に関する現況調査を実施し、SEAにおける環境影響評価を実施した。したがって、地熱発電所立地に係る基礎的SEAとしてとりまとめており、地熱発電所に接続する送電線に関しては定性的な評価を行った。

4-1 調査地域の概要

4-1-1 地熱開発地域の位置

地熱開発事業地の5か所は、Gisenyi、Karisimbi、Kinigi、KaragoとBugaramaであるが、次の地区（行政区分の1つでsector）に位置する。

- Bugaramaの事業地は、ルワンダ国西州 Rusizi 郡 Nyakabuye 地区
- Gisenyiの事業地は、ルワンダ国西州 Rubavu 郡 Nyamyumba 地区
- Karisimbiの事業地は、ルワンダ国西州 Nyabihu 郡 Kabatwa 地区
- Kinigiの事業地は、ルワンダ国北州 Musanze 郡 Kinigi 地区



図 4-1.1 地熱開発位置図

4-1-2 BUGARAMA

Bugarama サイトは Nyakabuye セクター、Rusizi 地区、ルワンダ西州に位置している。通常、Bugarama ゾーンはルワンダで最も着目される地域として知られ、またセメントと米の重要な生産地域となっている。

(1) 気候

Bugarama エリアは、平均気温 24°C と、6月に始まり 9月までの 3ヶ月間の乾季、によって特徴付けられる熱帯気候として知られる。年間降水量は約 1,050mm である。雨季が年に 2 回あり、10月から 11月までの短い雨季と、3月の中旬から 5月の終わりまで続く主な雨季がある。

(2) 生物多様性

調査地域は、種組成に富んでいる。広く調査地域に分布している栽培混合作物に加えて、いくつかの重要種や、いくつかの人里植物は、地域の自然植生を構成している。エリアの在来の植物種は、地元の人々による重度の土地利用圧及び利用によって徐々に消えつつある。

現地を観察された幾つかの植物相として、バナナ、キャッサバ、コーヒー、ソルガム、米（広大な範囲）、竹、*Grevelia* 属の植物、ユーカリ、アボカド、花卉類、数種のパパイヤ、*Ordinary beans*、*Climbing beans*、エンドウ、大豆、ジャガイモ、サツマイモ、タロイモ、ヤムイモ、その他の野菜があった。

自然林として唯一近傍に *Cyamudongo forest* (Bugarama の温泉から 20km 離れた *Nyungwe Forest* の近隣ゾーンに位置) がある。Bugarama の湿地は米作が主体だが、その他、各種の作物を植える農地となっている。

計画地は台地状の裸地であり、周辺部も開拓されている。その東、北、西側は山地で、畑地を伴った住居地もしくは草地・林地に区分される。南側は広大な稲作地帯が広がっている。Bugarama 地域は人間活動が介在した人里的な生態系が形成されているものと考えられる。温泉水、湧水を水源とし、定常的に流れを有する河川がある。調査時には河川水が全て農業用水路に取水されている状況で、取水堰下流はほとんど河川水が枯渇した状況であった。ただし、河川は自然性が残された形状であるので、維持用水を放流すれば、減水区間の河川生態系の回復も見込めるものと考えられる。

両生類、鳥類、渡り鳥であり固有種ではない鳥など、いくつかの生物種を調査エリア内で観察した。エリア内における哺乳類の数は極めて少なく、ほとんどのケースで、過去に森林エリア及び沼湿地に生息していた種は、生息地の消失及び狩猟圧により局地的に絶滅してしまったものと考えられる。現地調査時に小型のサルの子の出現が認められた。

(3) 水利用

CIMERWA では Njambwe 川から Nkangabashi 村へ水を引き込む水処理プラントが設備されている。水は処理した後、セメント工場や集落に供給される。水処理プラントは、一日あたり 2,500 m³ を処理し、そのうち 1,200 m³/日が工場に供給されている。CIMERWA は、周囲に住む 6,000 人の地元民衆の要件に見合った水を、社有のパイプラインを通じて 6 つの村、Kabarore、Ramiro、Rubeho、Nyenyeri、Murabyo 及び Busasamana の小学校に供給している。周囲を取り囲

む丘由来の川は、米の灌漑に使用されている Bugarama 湿地に水を供給している。Bugarama で石灰を生産する APC Mashyuza と COCOCHAUMA の二つの小さな工場によって、温泉から下流地点の水が利用されている。

村の人々の生活用水は主に CIMERWA 浄水場からのものを使用しており、その他、湧水などの自然水を住居での生活用水として利用している。



写真 4-1.1 水利用状況

(4) 廃棄物の発生と管理

概して、農村エリアでは、廃棄物は、食品や他の家庭需要品の残さである。廃棄物を管理するための適切な管理や高度な技術は存在していないが、すべての世帯は、農地で堆肥として使用するために、収集ゴミを廃棄する独自のゴミ捨て場を有している。

CIMERWA は、下水処理場を有している。CIMERWA からの固体廃棄物や他の未使用の材料は、Rusizi 埋立場に輸送される。一方、地元の市場からの廃棄物は、一時的なゴミ捨て場所に廃棄され、2 週間間隔で全ての廃棄物が収集され、Rusizi 埋立場に輸送される。一般的に、農村では廃棄物の適切な管理体制は存在しない。

(5) 地元の天然資源

概ね、プロジェクトエリア内の土地は、農業活動に使用されている。Bugarama の湿地（米の生産地）が広大な土地を占め、土地利用の残りの部分も本質的には農業に使用されている。プロジェクトサイトの近傍において 3 箇所の温泉の源泉が認められる。

(6) 人口

2012年の国勢調査では、Nyabihu 地区は少なくとも 295,580 人の住民によって構成されている。Rusizi 地区は 404,712 人（男性 194,310 人、女性 201,402 人）と、州西部で最も人口が多い。Rusizi 地区の年間平均成長率は 2.0 で、地区の人口密度は 422 人/km²である。

表 4-1.1 セクターあたりの人口分布

Sector	2002 Total Population	2012 Population			Sex Ratio	Population Change (2002-2012) (%)	Average Annual Growth Rate (2002-2012) (%)	Population Density (sq.km)
		Male	Female	Total				
Bugarama	20,271	14,632	15,449	30,081	95	48.4	4	1,266
Butare	16,932	9,416	10,585	20,001	89	18.1	1.7	97
Bweyeye	12,567	6,497	7,142	13,639	91	8.5	0.8	61
Gashonga	19,752	10,935	12,347	23,282	89	17.9	1.7	513
Giheke	18,827	8,864	10,631	19,495	83	3.5	0.3	545
Gihundwe	20,964	13,468	14,620	28,088	92	34	3	1,149
Gikundamvura	13,913	8,709	9,589	18,298	91	31.5	2.8	497
Gitambi	18,476	11,863	13,135	24,998	90	35.3	3.1	809
Kamembe	29,895	15,242	11,849	27,091	129	-9.4	-1	1,878
Muganza	16,781	13,461	14,311	27,772	94	65.5	5.2	1,482
Mururu	19,153	11,571	12,823	24,394	90	27.4	2.4	738
Nkanka	16,638	8,508	9,993	18,501	85	11.2	1.1	905
Nkombo	13,359	8,040	8,703	16,743	92	25.3	2.3	1,850
Nkungu	17,984	9,700	11,038	20,738	88	15.3	1.4	542
Nyakabuye	24,283	13,833	15,469	29,302	89	20.7	1.9	781
Nyakarenzo	13,224	7,273	8,282	15,555	88	17.6	1.6	495
Nzahaha	23,326	13,283	14,559	27,842	91	19.4	1.8	468
Rwimbogo	15,605	9,015	9,877	18,892	91	21.1	1.9	714
District	331,950	194,310	210,402	404,712	92	21.9	2	422

[出所]NISR (National Census 2012)

本表では、セクターによる Rusizi 地区のすべての人口分布を示したが Nyakabuye セクターは 29,302 人が居住し、この中で、13,833 人（47%）が男性で、15,469 人（53%）が女性である。

(7) 雇用と生計など地元経済

1) 産業

Rusizi 地区は、米加工、お茶加工、果物加工や蜂蜜加工、それとセメント生産など農産加工業が主体である。下表は、Rusizi 地区の工業の生産能力と直面している主な課題を示している。生産能力の稼働率は 25%未満で、これらの産業は十分に稼働しているとは言えない。

今回の事業は米生産者のためのよい機会となると考えられ、農業生産能力を高めるための助成となりうるすべてのメカニズムを奨励することが重要である。

COCOCHAUMA は温泉サイトに隣接しており（見通し 2 キロ以内）、また CIMERWA は温泉から約 7 キロと離れている。

表 4-1.2 Rusizi 地区の工業

業界の名前	設備容量	稼働率 (%)	平均稼働率 (ルワンダ国)	主な課題
SODAR 米加工場	6720 (トン/年)	29.3	26.7%	十分な原材料の欠如
MBIC 米加工場	13440 (トン/年)	30.0		
ICM-BUGARAMA 米加工場	12096 (トン/年)	29.3		
DUKOREREHAMWE 米加工場	6720 (トン/年)	20.0		
COTICORI 米加工場	6720 (トン/年)	20.0		
SHAGASHA お茶加工場	3200 (生産茶メガトン/年)	65.0	74.8%	十分なお茶摘採機の欠如
Ingenzi ビール地ワイン生産者	72575 (L/年)	22.0		包装材料の欠如 近代的な設備の欠如 熟練した人材の欠如
Urwengero Dusabane 地ワイン生産者	16800 (L/年)	60.0	53.5%	多くの非公式なワイン生産者の存在による不公平な競争
SONAFRUITs ミネラル浄水場	1300 万 (L/年)	閉設	運転資金不足	SONAFRUITs ミネラル浄水場
ARDI 蜂蜜加工	1720 (kg/年)	25.0	50.3%	原料の不足 養蜂能力のある建物の欠如 適切な機械の欠如
CIMERWA セメント生産	10 万 (メガトン/年)	85.0	55%	-
COCOCHAUMA	364x103 トン/年	-	-	薪に代わる再生可能エネルギー

2) 労働環境

Rusizi は全国平均 (0.9%) に近い失業率 (0.6%) に直面しているが、非活性率は (全国平均 15.8% に対して 21.6%) より低い。概ね、プロジェクトエリア内の土地は、農業活動に使用さ

れている。

表 4-1.3 雇用率と非活性率 (%)

分 類	Rusizi	ルワンダ国
雇 用	77.9	84.2
失 業	0.6	0.9
不活動率	21.6	15.8

[出所] EICV3. NISR 2011

16歳の居住人口における全体の就業率は84%に達し、Rusizi地区と同等である。失業率は0.6%で、不活動率は15.8%である。雇用率についてみるとRusizi地区は30地区中29位にランクされている。全国平均雇用率は84%で、失業率は0.9%で、経済的な不活動率は15.8%である。

Bugaramaのプロジェクトエリア内では、農業が雇用を創出する主な活動で、16歳以上の人口の70%、Rusizi地区における16歳以上の人口の14%が、その活動によって雇用されている。Bugarama湿地の稲作は、Bugaramaの主要な発展性を持った産業である。また、採石業もこの地域での雇用を創出している。

(8) 社会的弱者

地域内では、長老や女性が世帯主となっていること、いくつかの身障者あるいは浮浪者達を除き、特別な弱者は見当たらなかった。この地帯だけでなくRusizi地区全体でも難民キャンプはない。

(9) HIV/エイズ

HIV/エイズとその他の伝染病は広く分布する。そのため、Bugaramaでは、セメント産業と増加する輸送ドライバーによって引き起こされるこれらの拡がりを減らすために、注意をはらっている。これらの機構は、地方自治体、保険所のオピニオンリーダー、ユースクラブ及びBugaramaコミュニティが協力して構築したものである。

(10) 景勝地

Bugaramaにおいて注目されている景勝地として温泉があげられる。現在、温泉地点を含むその周辺はCIMERWAが所有している。温泉の入り口にある庭園のスペースはCIMERWAによって整備され、結婚式や地域のほとんどのイベントなどで利用され、写真撮影を目的の集客地となっている。また、温泉は医療効果があるという考えがあり、温泉はルワンダ国民の心理的な支えとなっている。そのため、多くの老人が温泉湖へ来訪し、入浴する。

また、Bugaramaの稲作地は規模が大きく、人里景観として貴重である。稲作地は盆地地形の低標高部に広がっており、周辺の山道路などからの眺望も雄大である。



写真 4-1.2 (1) BUGARAMA の温泉地



写真 4-1.2 (2) BUGARAMA の水田

(11) 土壌浸食

植林の施策が他地域の農園など生産地と同様に行われており、また、掘割はも十分整備されており、土壌侵食は Bugarama エリアでは大きな問題ではない。しかし、雨季の間に、いくつかの堆積物が川を流下する。植林の継続的な実施や適切な丘陵地の土地管理が必要である。事業開発においては、土壌侵食に対策に有効な方策を考慮することが望ましい。

4-1-3 GISENYI

GISENYI サイトは、ルワンダの西州の Rubavu 地区の Nyamyumba セクターに位置している。サイトのある Rubavu 地区は、12 の行政セクター、80 のセル及び 525 のビレッジによって構成される。

Rubavu 地区は、国を新たに 5 つの地方と 30 の地区へと、新たな行政区にした結果生じた。この地区は Kigali から 152 キロの西部地方に位置している。東側で Nyabihu 地区と、西側と北側でコンゴ民主共和国と、そして南側では Rutsiro 地区と隣接している。(出典：Rubavu 地区開発計画)

(1) 気候

Rubavu 地区の周辺は、北側の火山国立公園、南側の Gishwati 森林により多くが取り囲まれている。その標高は約 1,470m である。それは赤道付近における平均的な標高の気候である。平均気温の範囲は Kivu 湖における 20℃から、山の頂上で 15℃だが、そこの夜間の気温は 6℃にまで低下することがある。暴風雨があるなど、降水量が豊富であり、Rubavu 地区の年間降水量は 1,200-1,500mm/年の範囲となっている。

(2) 生物多様性

本来の山地・岸辺・湖沿岸帯・湖沖帯が連なった自然生態系の中に、人間が住み込んだ形となっており、陸地には自然林はほとんど残されていない。ただし、湖岸部の自然砂浜、岩礁は残されており、入江部では水生植物帯が形成され、多種の鳥類の生息がみられるなど、ある程度、生物多様性が保たれている。

サイト周辺のエリアは、多くの種類の混合栽培作物地が広く分布し、一部で、重要種やいくつかの荒地植物が地域の自然植生を構成している。エリア内の在来の植物種は、地元の人々による重度の土地利用圧によって徐々に消えつつある。

調査によって観察された植物相としては、竹、キャッサバ、コーヒー、バナナ、アボカド (少ない)、花卉類、Grevelia 属の植物、ユーカリ、パパイヤ、Ordinary beans、Climbing beans、ジャガイモなどの野菜類があげられる。生態系のいくつかの部分は、キブ湖の沿岸帯を基盤として形成されている。多くの種類の魚類、両生類、鳥類がキブ湖沿岸の周辺に生息する。

(3) 水利用

都市部の住居で EWSA 供給の水道水を利用する者を除いて、サイトの周辺に住んでいる人の大半は、生活用水として湧水などの自然水を使用している。地域の主要工業である Nyamyumba コーヒー洗浄ステーションや Bralirwa (ビール工場) では、原料として大量の水を使用している。Gisenyi 温泉は、観光サイトとなっており、入浴、飲用に利用されている。

(4) 廃棄物の発生と管理

概して、農村エリアでは、食品、家畜及び住民生活系の廃棄物が生成される。

世帯のほとんどは廃棄物をゴミ捨て場に廃棄する。それらはその後、短期間で堆肥に変換し、農業の施肥として使われるので、高度な管理技術は必要とされていない。Bralirwa は独自の下

水処理場をもっており、固形廃棄物は一時的なゴミ捨て場に廃棄され、その後、Rubavu 埋め立て地に運ばれる。地元の市場からの廃棄物は収集され、Rubavu 埋め立て地に運ばれる。

(5) 人口

Rubavu 地区の総面積は 388.3km² であり、404,278 人の住民が居住する。人口密度は 1,041 人 / km² である。その人口構成は、男性は 195,340 人 (48%)、女性が 208,938 人 (52%) である。温泉が位置する Nyamyumba セクターの人口は 37,917 人で、男性 18,300 人 (48%)、女性 19,617 (52%) である。Nyamyumba セクターの人口密度は 1,624 人 / km² である。このセクターが Rubavu 市に近いことから人口密度が高い。(出典：NISR (National Census 2012))

(6) 雇用と生計など地元経済

1) 労働環境

雇用面では、雇用率は 76.21% (EICV) 程度である。農場と非農場の雇用体制の中で、賃金は非農家の割合 23.9% に対して、農場は 11.1%、そして、独立した非農家の世帯で 23.8% に対し、独立した農家世帯で 37.8% と見積もられている。公共部門では、9.6% が給与型の仕事を持っており、10.2% が公式な個人の仕事を持っている。民間の個人の仕事を持っている世帯は 76.2% にあたる (EICV3/2011)。現在は、農業が最も雇用を創出しており、魚の養殖がこれに続く。次いでコーヒー産業 (Bralirwa など) となっている。地熱発電計画が追加の雇用機会をもたらすならば、これは地域のためにプラスに働くものと考えられる。

2) 産業

現地調査によって、プロジェクトサイトの近隣 4km 以内に 3 箇所の工場を確認した。BRALIRWA の他 2 つのコーヒー洗浄ステーションがある。地域経済は、農業が 45.5% で 1 位、続いて商業が 22.7%、工業は 3 位で 13.4% (DDP) となっている。また、Kivu 湖の Kigufi 側の湖岸で魚のカゴ養殖と養蜂、養豚、また、ヤギ、ヒツジなどの家畜、そして isambaza と呼ばれている小型魚の漁を確認した。



写真 4-1.3 Kivu 湖での魚の養殖(Kigufi 側)

(7) HIV/エイズ、その他の伝染病

EICV によると、住人の 3.3%が HIV /エイズと報告されている。Rubavu 地区の保健部門は、この病気の増加の原因は、DRC-ルワンダの国境を經由して往来する、Kivu 湖ビーチへの行楽者、特に若者の来訪者にあるとしている。健康な来訪者に対する、ユースクラブや健康センターなどにおけるコンドームの利用促進がこの問題の軽減可能策として考えられている。また、清浄な水利用が 74%しかできていないことが、17%の下痢、13%の眼科的疾患などの高い罹患率に繋がっている。(DDP)

(8) 景勝地

プロジェクトのゾーンでは、Robono 丘 (X=0751934, Y=9809198) が景勝地としてあげられる。その丘からは、Kivu 湖、Rubavu 市と DRC のゴマ市の全容について見渡すことができる。



写真 4-1.4 (1) 景勝地(Robono 丘)からの眺望



写真 4-1.4 (2) 景勝地(Robono 丘)からの眺望



写真 4-1.4 (3) 景勝地(Robono 丘)からの眺望



写真 4-1.4 (4) 景勝地(Robono 丘)からの眺望

(9) 土壌浸食

洪水に関連した問題が、Sebeya 川と Gitsimbe 川流域の Nyundo と Nyamyumba 両セクター内の住民や農作物に莫大な被害を及ぼすことがある (Nyamyumba セクターの管理者談)。土壌浸食や地滑りは Nyamyumba の丘陵地帯にしばしば影響を与えている。段丘 (テラス構造) は浸食を回避する解決策の一つと考えられており、Rubavu 地区の段丘・台地の割合は 91.2%となっている (DDP)。

(10) 社会的弱者

Rubavu 地区内では、障害者、極貧、女性が世帯主である世帯、未亡人 (母子家庭) などを含む弱者グループに関して、極度の貧困の割合は 35.8%で、生活を維持するのに必要な所得水準を下回る人々が 19.2%に達する。生後 7 年未満の子供がいる世帯の割合は 71.8%、女性が世帯主である世帯の割合は 30.1%、母子家庭の世帯の割合は 18.8%、そして障害者世帯の割合は 7%である。

(11) 難民

難民キャンプは Nkamira 難民キャンプのみであるが、現在は閉鎖されている。Nkamira 難民キャンプは、Kanzenze セクター (Musanze 道路へ Rubavu から約 10 キロ) 近くの主要道路 Musanze-Rubavu に位置している。全ての難民は、Gisagara 区に位置する新しいキャンプに移住させられている。

4-1-4 KARISIMBI

KARISIMBI サイトはルワンダ西州の Batikoti セル、Kabatwa 地区、Nyabihu 郡に位置する。事業地へは、Musanze-Rubavu 間の国道を使い、Seshwari の小さな通商センターで分岐する新しく整備された未舗装道を経てアクセス可能である。事業地の北部 (約 400m) は、火山国立公園の緩衝地帯となっている。

(1) 気候

本地域は半乾燥の気候で、6 月から 8 月までの暑い乾季が支配的である。季節による気温の変動があり、乾季に最高気温を、雨季に最低気温が観察され、最高気温の日平均は 22~26°C の範囲であり、最低気温の日平均は 10~15°C の範囲である。主に 4 つの季節があり、小乾季が 1 月から 3 月、豪雨に象徴される小雨季が 3 月から 5 月、大乾季が 6 月から 8 月、大雨季が 9 月から 12 月となっている。典型的な熱帯気候で、北部・北西部の火山地帯では年降水量が 1,500mm 以上を記録し雨量が多い (REMA、2009 年)。

(2) 生物多様性

生物多様性は、主に国立公園内の生物種によっている。火山国立公園を除けば、事業地域はアイリッシュ・ポテトと除虫菊を主作物とした農地である。出現種一覧を添付資料 1 に示す。

(3) 人口

Kabatwa 地区の地区代表によれば、この地区の人々は、元々この地区が火山国立公園の一部だったことから、他地域からの移住者である。地区の人口は 17,766 人で、3,704 世帯である。地区の面積は 36km² で、内 24km² が居住地で、12km² が農地として利用されている。人口密度は 400~1,000 人/km² と高い。また、その中でも若者と女性が占める割合が多い。

人口増加の主たる要因は、地区の主たる収入源となっているジャガイモ栽培を目的とした移民である。人口動態の傾向として、人口増加に対し農地が増えないため、域外への移民も生じている。その、行き先は東州が多い。

(4) 雇用と生計など地元経済

ルワンダは農村国家であり、約 90%の人口が（主に自給持続型の）農業を営んでいる。アフリカでは最も人口密度の高い国である。内陸国であり、天然資源は少なく産業も限られている。1994 年まで、農地の大きさは平均して 1ha より小さく、耕作可能地における人口密度は km² 当たり 450 人以上であった。

郡の経済は主に農業に依存している。農業はこの地での主たる雇用産業であり、Nyabihu 郡の全ての地区において主たる収入源となっている。Kabatwa 地区での主な作物は除虫菊とアイリッシュ・ポテトである。この地域における主な家畜は山羊、羊、牛と鶏である。本地域はルワンダで最初にジャガイモを育てた場所の 1 つであり、農作物の中でも、ジャガイモ栽培が主収入源となっている。農業以外では、Musanze-Rubavu 間の幹線道路につながる道に沿って小さな通商センターがあり、そこで小規模の商業活動が行われている。郡の中でも、所得が最も多い区の 1 つである。事業地の人々は、ジャガイモ栽培が主収入源となっている。

(5) 土地利用

事業地は、以前は国立公園管理者によって管理されていたが、1968 年に森林から村に転向された。当時は、換金作物であるタバコと除虫菊が栽培されていた。住民は他地域からの移住である。計画・組織化された体制の基、移住者は農村の居住区に住み、耕地は区画に分割された。住民の土地利用には下記の条件があった。

- － 除虫菊（40%）とジャガイモ（60%）の栽培を交互に行うこと
- － 道路に沿って住むこと
- － 一夫多妻は避けること

近年、土地政策に基づき、全ての人々が土地所有者となった。現在、人々は土地を所有するが、農地の 40%は除虫菊を栽培し、60%に自身の作物を栽培するのが条件となっている。

実際、この地ではそれぞれが集約型の自給自足型農業を行っており、条件どおり、主たる作物はアイリッシュ・ポテトと除虫菊である。農業以外では、家畜（牛、山羊）を有する家族が若干ある。狩猟活動や、薪や果物の採取は火山国立公園内では認められていない。

(6) 水利用

水は不足している。雨季の間、人々は大きな堀を作ってシートを張り、雨水を確保する。また、タンクに水を貯蔵するのが地域の戦略であり、それによって水を確保するとともに土壤浸

食を防いでいる。

(7) 社会的弱者

Kabatwa 地区の地区代表によれば、歴史的に辺境に追いやられた人々はいない。ただ、未亡人や孤児、あるいは身体障害者のような弱者は存在する。事業実施に当たっては、社会的弱者にも雇用の機会が与えられるような、特別な配慮を行うことがのぞましい。

(8) 宗教、文化、レクリエーション

ルワンダの人口の半数以上（56.5%）がカソリックであり、26%がプロテスタントで、11.1%がアドヴェンティスト、4.6%がイスラム教徒、0.1%が土着信仰の信者で、1.7%が無宗教である。Kabatwa 地区では、人口の大半がアドヴェンティストの英国教会派とバプテスト教会派であるが、若干のカソリックも存在する。文化的慣習として地域で連携した結婚式や葬式が盛んに行われている。

この地では、科学的、文化的、公共的、経済的、民族的、歴史的見地から重要だとみなされる考古学上の遺物は見当たらない。事業地から遠方ではあるが、Ngando セル (Cell) と Gihorwe セルの洞窟は観光資源として魅力的である。虐殺の際に事業地で殺害された人はおらず、記念施設もない。

(9) 観光

観光業はルワンダの外貨の主たる収入源である。主な訪問先としては、火山国立公園のゴリラ散策、チンパンジーが生息するニュングエの森、また、タンザニアに接するアカゲラ国立公園がある。火山国立公園はアフリカ初の国立公園であり、コンゴ民主共和国のヴィルンガ国立公園やウガンダの Mgahinga ゴリラ国立公園と接している。火山国立公園はマウンテン・ゴリラの生息で最もよく知られているが、ゴールデン・モンキーの生息地でもあり、両者が観光客を魅了している。他の公園内の行き先としては、Karisimbi や Bisoke といった火山の登山や、湖や洞窟の散策、ダイアン・フォッシーの墓参などがある。

火山国立公園の事務所本部は事業地から直線で約 15 マイルのところであり、計画地は公園の境界から 300~400mに位置する。

RDB (Rwanda Development Board) は Karago 湖近傍を鳥類の生息地と認定している。



写真 4-1.5 Karago バードウォッチングサイト

4-1-5 KINIGI

Musanze 郡は 15 の地区 (imirenge) に分かれており、計画地もこれに含まれる (Kinigi 地区)。Musanze はルワンダで最も山岳地域に近く、火山国立公園の大半と接する。公園事務所本部も本地区にある。

ヴィルンガ 3 系の 8 つの火山の内の 5 つ (Karisimbi、Bisoke、Sabyinyo、Gahinga と Muhabura) が郡内に位置する。ルワンダのマウンテンゴリラが最も頻度高く確認されるのもこの Musanze 郡であり、国内で最も人気のある旅行者の行き先である。郡都の Musanze は旅行者の中継点となっている¹。

Kinigi 地区は 5 つのセル (Cells) と imidugudu と呼ばれる 40 の村に分かれている。その行政庁は Nyonirima セルの Nyagisenyi 村に位置している。地区の境界の北部は火山国立公園と接しており、南部と東部は Nyange 地区に、西部は Shingiro 地区と接している。

(1) 気候

事業地は半乾燥の気候で、6 月から 8 月までの暑い乾季が支配的である。この地域は季節による気温の変動があり、乾季に最高気温を、雨季に最低気温を経験する。最高気温の平均は 22～26℃の範囲であり、最低気温の方は 10～15℃の範囲である。主に 4 つの季節があり、小乾季が 1 月から 3 月、小雨季が 3 月から 5 月、大乾季が 6 月から 8 月、大雨季が 9 月から 12 月となっている。当該地は典型的な熱帯気候であり、北部・北西部の火山地帯では年 1,500mm 以上を記録し雨量が多い (REMA、2009 年)。

¹ Musanze District retrieved from the website http://en.wikipedia.org/wiki/Musanze_District on 21st August 2014

(2) 生物多様性

Karisimbi 地区と同様、火山国立公園内の生物多様性が顕著であり、ほとんどの生物の生息・生育は公園内で見受けられる。植物、鳥類、哺乳類は特に着目されている。人間活動と気候変動によって絶滅の危機に瀕した極めて脆弱な種であるマウンテンゴリラ (*Gorilla beringei beringei*) はその中でも特に注目すべき種である。植物に関しては、植物相（個々の種）と植生（植物群落）という2つの観点から着目される。出現種一覧を添付資料1に示す。

(3) 水利用

Musanze 郡の家庭では、改善された飲料水源を利用できるのは74%であり、EDPRSの目標である（2012年までに達成すべき）85%を下回っている。Musanze 郡の家庭で改善された衛生設備を有するのは51.7%であり、これも国全体の平均（74.4%）より低く、2012年までに衛生状態のよい設備に国民の65%が利用できるようにするという目標を下回っている。

水不足も事業地の周辺住民にとって大きな問題である。多くの水源は通年確保できず、雨季にしか利用できないため、夏の間の水源の確保が困難な状況となっている。

(4) 廃棄物の発生と管理

Kinigi 地区の廃棄物管理は明確でないが、家庭レベルでは、生ゴミはコンポスト化しており、その分解後は堆肥として土地に還元している。Bisoke セルの Bunyenyeri 村では、バイオガス発生装置が3頭以上の牛を有する各家庭で使われている。最終的に発生する汚泥は農地で肥料として使われている。

Kinigi 地区では、廃棄物分別場が Kampanga セルの Kinigi 商業地区の近隣にある。そこには、分別場周辺の市場や家庭からの全ての廃棄物が持ち込まれる。Musanze 郡のレベルでは、廃棄物は民間業者によって回収されており、Musanze 地区の Rwambogo セル Gakoro 村に位置する郡の衛生埋立地に運搬されている。



[出所] GGS

写真 4-1.6 Kinigi 廃棄物処分場

(5) 人口

Musanze 郡の 2010～2011 年における全人口は 416,000 人であった²。これは北州の全人口の 21%を占め、ルワンダ全人口の 3.9%を占める。女性が郡人口の 54.1%を占める。84%が若者であり、40 歳未満である³。各家庭の平均人員は 4.8 人であり、国の平均と同じである。Musanze 郡は主に都市型で、居住域の平均的なサイズが小さいのが特徴である。次の表は、2002 年から 2012 年までの Musanze 郡の人口増加を示している。

表 4-1.4 Musanze 郡の人口

District	2002 Total	Sex			Population Change 2002-2012 (%)	Average Annual growth rate 2002-2012 (%)	Population Density (Sq.km)	
	population	2012 population	Male	Female				Total
Musanze	307,078	174,760	193,803	368,563	90	20.0	1.8	695

[出所] NISR, 2012 Population and Housing census- Provisional results

最新の統計によれば、Kinigi 地区の住民は、81.04km²の土地に 25,542 人居住し、平均 315 人/km²の人口密度である。Kinigi 地区は、99%の人々が密集して居住している⁴。

表 4-1.5 Kinigi 地区の人口

Gender	Population	Percentage
Male	11,591	45,3%
Female	13,951	54,7%
Total	25,542	-

Bisoke に至るまでの非常に高い人口密度が、農地確保の問題、住民による過剰な土地搾取、雇用や、家族や個人としての収入の状況に直接影響している。Kampanga と Kaguhu のセルに関していえば、Kaguhu では 5,396 人の住民が 1,250 世帯に住んでおり、Bisoke では 1,055 世帯が 4,356 人の住人を擁しており、Kampanga では 4,780 名が 1,160 世帯に住んでいる。

(6) 雇用と生計など地元経済

国の平均同様、Musanze 郡の全体の雇用率は 16 歳以上の住民で 84.7%であり、失業率は 0.4%、経済的に不活動な人の割合が 15%である。農業は、16 歳以上の若者の 67.1%が従事する主要産業であり、商取引 (7.9%)、その他サービス (6.5%)、建設業 (6.2%) がそれに続く⁵。

Kinigi 地区の経済は主に農業を基盤としているが、観光も重要である。農業と牧畜は Bisoke、

² NISR, 2010/11 Integrated Household Living Conditions Survey (EICV3), District Profile, Musanze

³ NISR, 2010/11 Integrated Household Living Conditions Survey (EICV3), District Profile, Musanze

⁴ Report on Kinigi Sector, 2013

⁵ idem

Kampanga、Kaguhu のセルにおいて主な生活の糧である。これらの 3 つのセル出身の若者は、火山国立公園で観光客の荷物を運ぶ労働者として所得を得ることもある。

Musanze 郡の 90%以上の住人が農業に従事している。この地域の農産物はコーヒー、茶、除虫菊、ソルガムとジャガイモである。郡内には 2 つの大きな産業がある。街の中心のそばにある除虫菊の工場と Kigali への道路近くに位置する小麦の工場である。その他の小規模の産業としては、セメント業、小規模な飲料生産業、化学工場、石鹼生産、家具生産、靴業、プラスチック製品生産、皮革業、タバコ業がある⁶。

地域の農業活動としては、Kinigi 地区は除虫菊とアイリッシュ・ポテトを耕作種として選んでおり、主な収入源となっている。Kinigi 地区で育つその他の穀物としては、コーン、エンドウ、豆、その他の野菜、果物類がある。農地が限られていることと強い人口圧により、農業には厳しい限界が生じている。

(7) 土地利用と土壌浸食

Musanze 郡では、各家庭の農地の平均は 0.45ha であり、国平均 (0.59) より小さく、地方平均 (0.6) や都市部平均 (0.46) よりも小さく、国全体で最も平均値が小さくなっている。Musanze 郡の 87%の家庭が 0.9ha 以下の土地で耕作を行っている。土壌浸食対策を施した土地として報告を受けているものは、Musanze 郡では 53.3%である。(国全体では 78%⁷)。

Bisoke、Kampanga と Kaguhu のセルでは、1968 年まで土地は火山国立公園の一部であり、その後には農地・住居地として変更された。当時、14,000ha の土地が 2ha ごとの区画に分割され、ルワンダ政府によって提供された。提供を受けた国民は、国の政策に則り、移住して農業活動を行い、国際・国内市場で除虫菊やタバコの販売につなげている。

移住の仕組みとして Karisimbi と同様な仕組みで、'paysanat' (「田舎に出来た街」を意味する) が確立された。移住は計画的に注意深くなされ、住居区は道路に沿って定められた。土地利用については一連の条件が課され、その主たるものとしては農地の 40%で除虫菊を育てなければならない、というものであった。他の条件としては、住民が通りをきれいにすること、土壌浸食を防ぐこと、農作物をローテーションで植えること、土地分割を防ぐために一夫多妻制を避けること、があった。

条例により、農民自身が土地を所有し、土地の所有権を有する。原則として、この土地には相続が認められず、農民が亡くなったときは、農地は政府に返却され、他の土地利用希望者が土地利用について政府と新たに契約を結ぶこととなっている。ただ実際は、土地を相続している人もいる。

(8) 考古学的文化遺産

Kinigi の地熱開発潜在地の周辺の考古学的・文化的遺産としては、溶岩トンネルや洞窟、虐殺記念施設が 1 つと、墓地 1 つがある。

1) 溶岩洞窟

以下が溶岩洞窟とその位置である。

⁶ <http://www.musanze.com/business/investing-in-musanze/> retrieved on 21st August 2014

⁷ NISR, 2010/11 Integrated Household Living Conditions Survey (EICV3), District Profile, Musanze

表 4-1.6 Ndubi 溶岩洞窟の GPS 情報

Names of the cave	GPS coordinates	Remarks
Ndubi 1 lava cave	E029° 31, 719' S01°26,939' altitude: 2499m,	Length: 25 m Vertical range: +3m
Ndubi 2 lava cave	E029° 31,719' S01° 26,939' altitude: 2499m	Length 5 m, depth: 0m
Ndubi 3 lava cave	E 029° 31, 682' S 01° 26,907' altitude: 2523m	Length 21 m and vertical range: +2m
Ndubi 4 lava cave	E 029° 25', 634" S 01° 26,892' altitude: 2543m	Length 10 m, vertical range: 0m



写真 4-1.7 Ndubi 溶岩洞窟

2) 虐殺記念施設

Kinigi 地区には虐殺記念施設が 1 つあり、Kinigi-Bisate 道路の右側、マウンテン・ゴリラ・ロッジに行く手前にある。施設は、Kinigi 地区 Nyonirima セル Butarwa 2 村の橋のそばに位置している。施設に埋葬された遺体の正確な数は、公共の穴で遺体が見つかるたびに施設に遺体が持ち込まれるため、はっきりしていない。本施設は、2000 年に Musanze 郡によって建設された。



写真 4-1.8 Musanze 虐殺記念施設

日々の施設の維持管理は Kinigi 地区を通じて Musanze 郡が行っている。そのため、虐殺記念施設について国レベルで責任を有するのは、キガリに位置する虐殺と闘う国家委員会 (CNLG) である。

3) 公共墓地

Kinigi 地区では、ルワンダ国の他の田舎と同様、自らの土地に小さな穴を掘り、墓として埋葬していた。しかし、地区は共同墓地を用意し、それは Kampanga セルの Muhe 村の、Kinigi の通商センターや市場の近くに位置している。

(9) 社会的弱者

貧しい、あるいは極度に貧しい部類に属する人の割合が、Musanze 郡は国内で 3 番目に低くなっている (20.1%)。Musanze 郡では、79.9%の人が貧しくなく、14.2%のが貧しく、わずか 5.9%の人が極度に貧しいとされている。北州の他の郡に比べ、Musanze 郡は貧しくない人の割合が最も高い⁸。

Musanze 郡、特に Kinigi 地区では、虐殺の生存者である孤児や未亡人が多く、身体障害者もいる。セルの代表によれば、Bisoke セルには 625 名の未亡人がおり、Kaguhu セルには 543 名の未亡人が、Kampanga セルには 327 名の未亡人がいる。社会的弱者は、健康保険制度による支援を受けている。

⁸ NISR, 2010/11 Integrated Household Living Conditions Survey (EICV3), District Profile, Musanze

4-2 環境社会配慮の制度・組織の現状

4-2-1 環境に係るルワンダの国レベルの政策

ルワンダ国の環境に係る国家政策（NPE）は 2003 年 11 月に制定され、持続可能な環境保全と管理に係る枠組みの開発を目指している。本政策は、持続可能な発展に資するべく、国民の福祉改善、天然資源の有効活用、生態系の保全と合理的管理を実現させるための基盤となっている。

本政策の確立に準拠し、2003 年 6 月 4 日に改訂されたルワンダ国憲法の第 49 条では、全ての国民は健康で満足できる環境を享受できると定めている。国民各々が環境を保全し、守り、より良くしていく義務を負う。国家は環境を保全し、法律は、環境を保全し、守り、より良くしていくための方法を定めている。

4-2-2 ルワンダ国の環境管理制度

環境管理に関する制度的枠組みは、2005 年 5 月 1 日の官報 RWA 第 9 号で公布された、ルワンダにおける環境の保全、保護及び促進に関する基本法によって定められている。

当該基本法第 65 条ではルワンダ環境管理庁（REMA）を設立し、環境に関する政策や法令を推進することで、ルワンダ国の環境問題を管轄する責任があると定めている。REMA は基本法（2005 年 4 月 8 日付け第 04/2005）で設立され、ルワンダ国における EIA の手続、遵守、モニタリングについて総覧、調整、監督を行う責任を有している。

昨今、EIA の検討と承認の責任は REMA からルワンダ開発局（RDB）の環境遵守部に移管されている。

再編後、環境管理に直接・間接に関与する政府機関は次のとおりとなった。

- 天然資源省（MINIRENA）
- 州や地方分権された主体（郡や地区）を介した自治省（MINALOC）
- 農業畜産省（MINAGRI）
- ルワンダ環境管理庁（REMA）
- ルワンダ天然資源庁（RNRA）
- ルワンダ基準局（RBS）
- ルワンダ公益事業規制庁（RURA）

4-2-3 ルワンダ国の環境保全法制度

2003 年 6 月に採択されたルワンダ国憲法では、環境の保全と持続的管理を保障しており、天然資源の合理的利用を進めるとしている。基本法（2005 年 4 月 8 日付け第 04/2005）や「ビジョン 2020」をはじめとした各種の社会経済開発政策・戦略は、よく規制された環境管理の仕組みの確立を求めており、そこでは持続可能な開発が貧困削減に貢献するとの原則が踏まえられている。基本法第 67 条は、環境に影響を与えうる事業（プロジェクト・プログラム）や政策は、その実施許可を得る前に EIA を経るよう求めている。

ルワンダ国憲法と国家環境政策の 2003 年制定を踏まえ、環境管理に係る法的枠組みが、政府が定めたルワンダの環境の保全、保護、推進に関する基本法（2005 年 4 月 8 日付け第 4/2005）によって明確となった。この他にも、いくつかの命令、他の法制度、省令において、ルワンダ

の環境保全について定められている。

本事業に関連する国レベルの法律、省令と政策は次のとおりである。

- 土地利用と管理に関する法律（2005年7月14日付け基本法第08/2005）
- 森林法（1988年12月5日付け第47/1988）
- 水法（2008年9月10日付け法第62/2008）
- 土地の権利と登記に関する法律（2008年4月1日付け省令第002/2008）
- 保全すべき動植物種を列記する省令（2008年8月15日付け省令第007/2008）
- EIAの必要事項と手続に関する省令（2008年8月15日付け省令第003/2008）
- 職場の健康と安全に関する委員会の設立と機能を定める省令（2012年5月17日付け省令第01）
- ルワンダの気候変動と低炭素開発に関する国家戦略（DOI10.4210/SSEE.PBS.2011.0002）
- 2004年国家土地政策
- 2004年水衛生政策
- 2004年鉱業と地質学に関する政策
- 2010年5月国家森林政策

4-2-4 ルワンダ国の社会保障，土地関連法

下記の社会保障に関する法律と政策がルワンダには存在する。

- 2003年ルワンダ環境政策
- 2005年ルワンダ保健部門政策
- 2008年ルワンダ農業政策
- 2004年ルワンダ土地政策
- 2010年ルワンダ水衛生政策
- 2011年国家水資源管理政策
- 2008年国家貧困削減政策
- 貧困者に焦点をあてた国の成長の実践を通じ貧困削減を目指すルワンダ・ビジョン2020
- 環境の管理と保全に関する法令を定める2005年4月8日付け基本法04/2005
- 2003年ルワンダ国憲法
- ジェノサイド・イデオロギーに関する犯罪を罰する法律（2008年7月23日付け法第18/2008）
- ルワンダ労働規正法（2009年5月27日付け法第13/2009）（健康と安全についても規制）
- 次の土地利用に関する法律は土地収用と住民移転に関連する。
- 2004年土地法
- ルワンダの土地の利用と管理を定める2005年7月14日付け基本法第08/2005
- 2007年に公布された土地評価法
- 2007年4月19日付け法第18/2007として公布された土地収用法
- 土地委員会の構造、責任、機能と構成を定める2006年10月12日付け大統領令第54/01
- 土地登記の構造と、郡土地局の責任と機能を定める2006年9月26日付け省令第001/2006

4-2-5 国の許可

本事業に係る建設と運営に必要な国の許可は次の表に示すとおりである。

表 4-2.1 ルワンダ国の EIA 許可手続き要件

一般に必要とされる建設許可	発行機関	補足
詳細設計書 (terms of reference) の許可	RDB	EIA の一般指針で要求されている (2006)
EIA 実施命令	RDB	EIA の一般指針で要求されている (2006)
EIA 承認証 (EIACA)	RDB	環境組織法 (2005) 及び EIA 一般指針 (2006)
下水の排出と処理	ルワンダ公益事業規制庁 (RURA)	RURA 設立に関する法第 39/2001 と、下水の処理と排出に係る最低条件に関する指令で求められている
廃棄物処分場の管理	RURA	廃棄物処分場の管理に関する基準 (2009)
建設許可	郡の許可が必要	ルワンダの都市計画と建物建設に関する法律 (2012)
水許可	天然資源省 (MINIRENA) / ルワンダ天然資源庁 (RNRA)	水資源の使用、保護、保全と管理に関する法律 (2008)

[出所] www.rdb.gov.rw

4-2-6 利害関係者の参加と情報公開について必要とされる事項

事業開発において、影響を受けるコミュニティや個人と意見交換をすることは、ルワンダの環境・社会影響評価において必須の要素と考えられている。ルワンダの環境・社会影響評価の手続では、地域コミュニティと影響を受ける人々と意見交換をし、その参加を求めるという形で、利害関係者の関与が次の3段階で求められている。

1. 環境・社会影響評価の調査事項を知らせるスクリーニングの段階
2. 環境・社会影響評価調査の実施中の継続した意見交換
3. 環境・社会影響評価の提出後の公聴会の間

事業概要（事業と環境・社会影響評価に関する情報の要約）が提出された後、環境・社会影響評価手続の責任機関である RDB はその概要を公開し、その段階で公聴会が必要かを判断する。これには地域コミュニティや利害関係者と会合を開き環境・社会影響評価の手続を説明することも含まれる。

環境・社会影響評価の過程で、当該評価の専門家は、対象事業によって影響を受けると考えられる人々から見解を求めることとされている。これは特に事業のスコーピングの段階で実施され、深刻な問題がないかどうか判断されるが、許可権限機関である RDB が必要と判断する他の重要な段階でも実施される。

環境・社会影響評価が担当機関に提出された後、その報告書は、市民が検証できるよう公聴会の前に公表される。公聴会の目的は、関心があったり影響を受ける団体や人々に、環境許可に係る申請について意見を述べたり問題提起をする機会を与えることにある。公聴会に含まれる個人、部局、機関の範囲には少なくとも、その事業によって影響を受ける責任関係を有する中央省庁、提案されている事業地を管轄している地方自治体、環境委員会、貿易協会、地域コミュニティ、NGO と開発者が含まれるべきとなっている。公聴会に引き続いて RDB が環境・社会影響評価を承認しその認証を発行した後、事業開発者は、環境・社会影響評価に関する一般向け（非技術者向け）のまとめ（NTS）を作成し、市民が入手できるように、事業の紹介を地方紙に行うとともに、環境・社会影響評価の NTS が入手できる場所を示すことが求められている。環境・社会影響評価の NTS は、RDB で少なくとも 120 日間入手可能な状態にしないといけない。

4-2-7 ルワンダ国の環境基準とその他の関連基準（一部）

基準のリストは下記のとおり。

表 4-2.2 ルワンダ国の許可手続き要件

装置	略語	排出 (mg/Nm ³)
マルチクロン	MLTC	2000
繊維フィルター－シートタイプ/機械的包装	FF-sm	150
静電気式沈殿器－低効率	EP-le	500
繊維フィルター－袖タイプ/ ジェット・パルス清掃	FF-jp	50
静電気式沈殿器－高効率	EP-he	50

[出所] East African Community 2010

表 4-2.3 (1) 東アフリカ共同体での大気許容限度

汚染物質	時間加重した平均	地 区			測定方法
		工業地帯	住居、田舎 その他の地域	管理地域	
硫黄酸化物 (SO _x)	年平均	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ISO4221-1980
	24 時間	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	年平均		0.019ppm/50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	月平均				
	24 時間		0.048ppm/125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	1 時間				
	瞬時ピーク		500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	瞬時ピーク (10 分)		0.191ppm		
窒素酸化物 (NO _x)	年平均	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ISO7996: 1985
	24 時間	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	8 時間				
	年平均		0.2ppm		
	月平均		0.3ppm		
	24 時間		0.4ppm		
	1 時間		0.8ppm		
	瞬時ピーク		1.4ppm		
二酸化窒素	年平均	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.05ppm		ISO6768: 1998
	月平均		0.08ppm		
	24 時間	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.1ppm		
	1 時間		0.2ppm		
	瞬時ピーク		0.5ppm		
浮遊粒子状物質 (SPM)	年平均	360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ISO9835: 1993
	24 時間	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
		工業地帯	住居、田舎 その他の地域	管理地域	
	mg/kg				
	年平均		100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	24 時間		180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		

[出所] East African Community 2010

表 4-2.3 (2) 東アフリカ共同体での大気許容限度

汚染物質	時間加重した平均	地 域			測定方法
		工業地帯	住居、田舎 その他の地域	管理地域	
呼吸可能な粒子状物質 (<10 μm) (RPM)	年平均	70 μg/m ³	50 μg/m ³	50 μg/m ³	ISO9835: 1993
	24 時間	150 μg/N m ³	100 μg/N m ³	75 μg/N m ³	
PM _{2.5}	年平均	35 μg/m ³			ISO9835: 1993
	24 時間	75 μg/m ³			
鉛 (Pb)	年平均	1.0 μg/N m ³	0.075 μg/N m ³	0.50 μg/m ³	ISO9855: 1993
	24 時間	1.5 μg/m ³	1.00 μg/m ³	0.75 μg/m ³	
	月平均		2.5		
一酸化炭素 (CO)/二酸化炭素 (CO ₂)	8 時間	5.0mg/m ³	2.0mg/m ³	1.0mg/m ³	ISO4224: 2000
	1 時間	10.0mg/m ³	4.0mg/m ³	2.0mg/m ³	
	mg/kg				
	24 時間				
非メタン炭化水素	瞬時ピーク	700ppb			
	6mg/m ³				
全 VOC	1 時間	200 μg/m ³	0.12ppm		ISO16000-6: 2004
オゾン					ISO13964: 1998

[出所] East African Community 2010

4-2-8 EIAに関する国家政策

2003年6月に採択されたルワンダの憲法では、持続可能な環境管理のもと、天然資源の合理的な利用を奨励している。また、Organic Law (No. 04/2005 of 08/04/2005) や、様々な社会経済開発政策・戦略（「Vision 2020」など）は貧困削減に寄与すると同時に持続可能な発展の原則を考慮した環境管理システムの整備を提唱している。更に、Organic Law (Article 67) では、環境に影響を与える可能性があるプロジェクト、プログラムや政策は、その実施の認可を得る前に、環境影響評価を受けなければならないとしている。

4-2-9 ルワンダのEIAの手続

ルワンダのEIAの手続は、地域レベルでの環境影響に係る将来の国際協力や紛争解決の助けとしての基礎・根拠を提供する (REMA、2006年)。

ルワンダでは、2008年8月15日付け組織法第004/2008が、EIA手続を経る必要のある作業、活動、事業を定めている (表4-2.4)。それらは4種に分類されており、国土基盤、農業、公園とその緩衝地帯での作業と、鉱物採掘である (ルワンダ国、2008年)。例えば、電源開発事業の実施は1つ目の分類に該当する。

表 4-2.4 ルワンダ国で EIA の対象となる事業

国土生活基盤 (I)	農業 (II)	公園 (III)	鉱業 (IV)
国際道路、国道、郡道の建設と修繕、大型橋梁の修繕 産業や工場の建設・構築と、その産業として行われる活動	化学肥料や農薬を使用する農業・畜産で、湿地で大規模にモノカルチャーとして実施されるもの	公園内やその緩衝地帯で実施される作業	鉱石抽出作業
水力発電用ダム、送電線、発電所、水保全のための公共ダム、農業用の雨水回収施設、人工池の建設	茶、コーヒー、花卉、除虫菊などに係る農業活動		
石油パイプラインや、石油製品やガスを貯蔵するタンクの建設	種子や動物を改変するバイオテクノロジーを用いた作業や活動		
ターミナルとなる港、空港、鉄道、駐車場、ホテル、大型公共ビル、水供給網、衛生関係施設、公共廃棄物最終処分場、と殺場、病院、スタジアム、大型市場、通信インフラの当初導入			

4-2-10 EIA 関連機関

ルワンダの EIA は、主としてルワンダ環境管理局 (REMA) とルワンダ開発局 (RDB) が担当し、両機関が EIA の審査・承認を行う。EIA の手順は General Guidelines and Procedure for Environmental Impact Assessment (2006) に定められている。EIA の手続き手順を図 4-1.1 及び表 4-1.1 に示す。

(1) REMA (Rwanda Environment Management Authority)

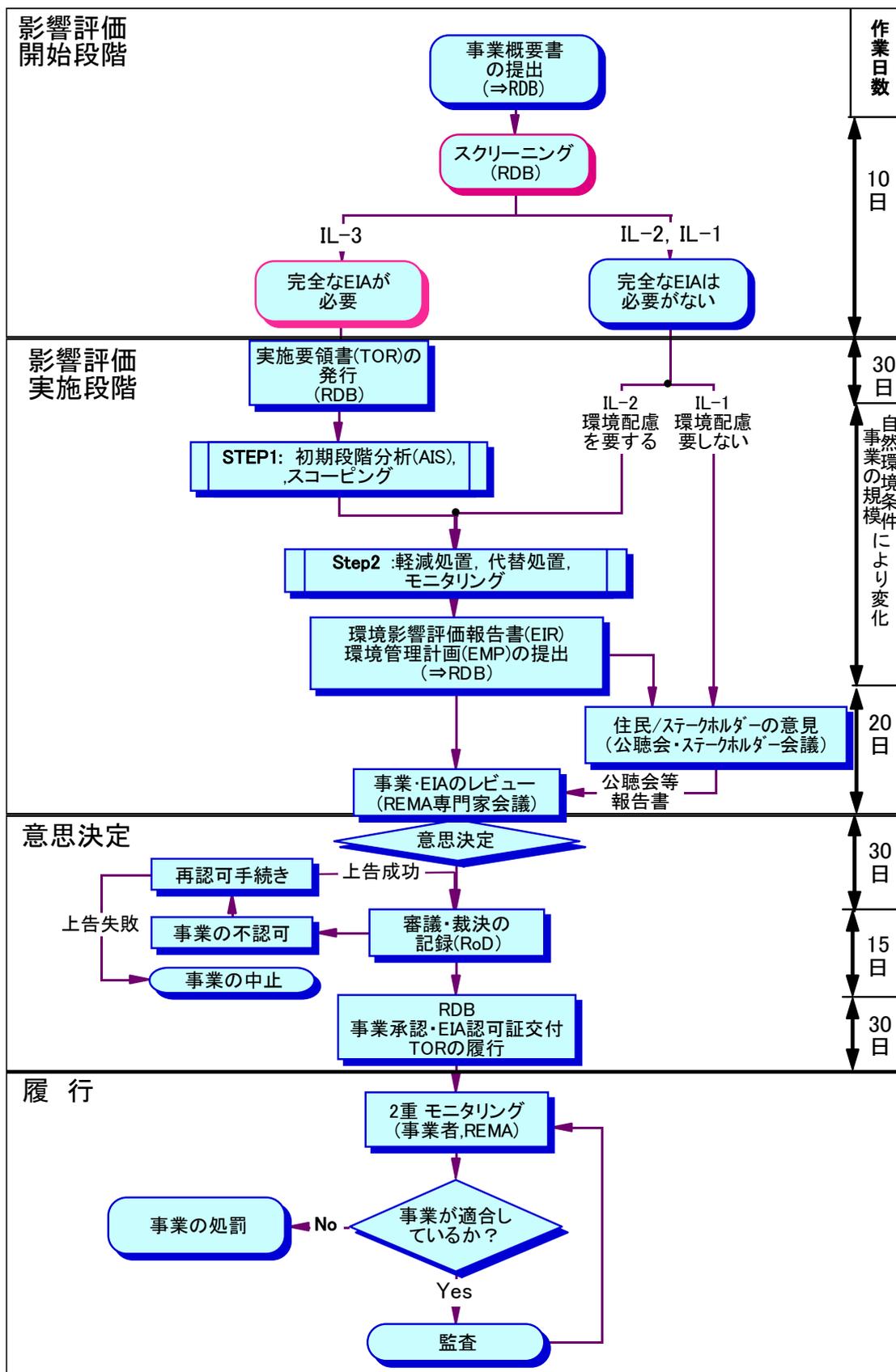
REMA は環境関連の政策や法律制定の実施期間として設立された。また、REMA は環境関連機関が実施する様々な環境保全活動を調整する役割も担っている。; EIA や SEA が課されている開発政策、開発プロジェクト、開発計画の調整; 政府内部部門や機関の間の国策における環境との統合の確保と国家政策や委員会での決定事項の推進調整; 環境関連立法及び環境管理環境分野に関連する会議、条約及び国際協定に関する必要に応じた助言; 環境管理あるいは環境政策及び環境戦略の分野における政府への提案などを実施している。

(2) RDB (Rwanda Development Board)

国内での開発事業において、環境に関連する手続きが一ヶ所で可能なように RDB が設立された。申請窓口の統一化により手続きが効率化され投資 (事業) の促進にもつながっている。EIA 手続きにおける RDB の役割は下記のとおり事業概要書の受付から EIA の認可までである。EIA に

係わる書類は RDB と REMA で全て共有され、実質的な EIA の作業及び認可後のプロジェクト実施中のモニタリングなども REMA によって行われる。

- ① 開発事業に対する Full EIA の必要性の判断（現地調査の実施）
- ② Full EIA のための TOR の審査及び承認
- ③ EIA レポートの審査（利害関係者へのヒアリング）
- ④ EIA の承認及び認可証明書の発行



[出所] General Guidelines and Procedure for Environmental Impact Assessment (REMA,2006)

図 4-2.1 EIA の手続きフロー

表 4-2.5 EIA 手続きにおける各主体の役割

各主体 EIA 段階	事業者	REMA	主導政府機関	地方政府	地域社会
EIA 申請	・事業概要を提出し申請	・開発者から提出された EIA 申請（事業概要書）を受理し、登録する。			
スクリーニング		・事業分類を決定するため、事業概要書を審査する。 ・事業のスクリーニングに参加する主導政府機関の確認を行う。	・スクリーニングに参加する。		
スコーピングと実施要領書		・事業概要書を、主要政府機関と自治体へ送付する。 ・計画を公表し、事業概要書について協議する。 ・パブリックコメントを集める。 ・EIA の調査を行うため、専門家（環境専門業者）を選定する。 ・ToRs を記載し、事業者へ送付する。	・事業概要書の写しを受理し、審査する。 ・事業概要書に関し REMA へ助言を送る。	・REMA から事業概要書の写しを受理し、審査する。 ・REMA へ事業概要書についてのコメントとアドバイスを送付する。	・REMA から事業概要書の写しを受理し、審査する。 ・REMA へ事業概要書についてのコメントとアドバイスを送付する。
影響評価		・影響評価の実施中、EIA 専門家に関する情報を提供する。	・EIA 専門家及び事業者へ情報を提供する。	・EIA 専門家及び事業者へ情報を提供する。	・コミュニティ協議内容をフィードバックする。
EIA 書類を REMA へ提出		・事業者から、EIR、EMP、該当する場合は付録のコピーを受領する。 ・EIA 文書が完成し、提出されたことを確認する。			
公衆及びステークホルダー意見の収集		・主導政府機関、地方政府、コミュニティに、EIR と EMP のコピーを送付する。 ・公聴会を編成する。 ・公聴会主催役員（委員長）を任命する。 ・パブリックコメントを受領する。	・技術委員会のメンバーではない場合、EIR、EMP のコピーを REMA から受領し、レビューする。 ・公聴会の委員の一員となる。	・EIR、EMP のコピーを REMA から受領し、レビューする。 ・公聴会編成について、REMA をアシストする。 ・公聴会の司会を行う。 ・個別相談の司会を行う。 ・一般市民からのコメントを収集する。 ・収集したパブリックコメントを REMA に送付する。	・EIR、EMP のコピーを REMA から受領し、レビューする。 ・地方政府にコメントを送付する。 ・公聴会に参加する。
審査過程と意思決定		・EIA 文書を審査し、それぞれに最終決定を出すため、技術・執行委員会を設立する。 ・技術委員会のメンバーを選任する。 ・EIR、EMP 及び公聴会レポートを技術委員会へ送る。 ・執行委員会の議長を務め	・技術委員を務める。 ・執行委員を務める。		

各主体 EIA 段階	事業者	REMA	主導政府機関	地方政府	地域社会
		る。 ・意思決定し、結果を事業者へ伝える。			
事業の実施、モニタリング及び検査		<ul style="list-style-type: none"> ・事業実施中に環境コンプライアンスが確保されているか検査する。 ・開発者が作成した年次モニタリングレポートを受理し、確認する。 ・モニタリング結果のクロスチェックを行う。 ・定期的に検査し、環境コンプライアンスが守られているか確認する。 ・コンプライアンス違反の事業は摘発する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業実施中に行われる環境コンプライアンスの検査及び監視を支援する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地方自治体レベルの環境部署の人間が、実施中の事業の環境コンプライアンスの点検及びモニタリングを手伝う。 	

[出所] General Guidelines and Procedure for Environmental Impact Assessment (REMA,2006)

4-2-11 EIA の実施が必要となるプロジェクト

環境に対して悪影響があるとみなされるプロジェクトは、影響緩和策を策定するための full EIA 手続きの実施が要求される。このため、2008 年 8 月 15 日に施行された省令 No004/2008 により特記される以下の内容に係る工事、活動及びプロジェクトについては、環境影響評価を実施しなければならない。

国際道路、国道、大きな橋、発電所、工場、水力発電のためのダム、送電線、治水のための公共のダム、農業活動及び人造湖への取水のための雨水の取水設備、一日あたりに 100 人より多い人数を収容する大きなホテルもしくは公共の建物、採石場、公共の埋立地などについての建設及び修復。

4-2-12 スクリーニングによる EIA の区分

RDB により行われるスクリーニングは、提案されたプロジェクトの環境影響のレベルを決定するプロセスであり、その後に EIA 調査の程度を決定する。RDB は、事業の概要書を受け取ると、適切な主導機関や関係するステークホルダーに意見を求め、検討する。REMA は、プロジェクトの概要書を受け取り、スクリーニングの基準に基づき、当該プロジェクトに EIA 手続きが要求されるかどうかを判断し、その結果を開発者に通知する。スクリーニングにより、プロジェクトによる環境への主要な問題点を早期に発見すること、またプロジェクトに適切な影響緩和策を組み込むことが可能になる。また、スクリーニングにより、自然資源に対する潜在的な影響（プロジェクトが自然資源に対して直接的または間接的に、正の影響または負の影響を与えるかどうか）、資源の過剰消費が発生する可能性、及び廃棄物の発生予測量について把握することができる。スクリーニングにより当該プロジェクトは、以下に示す 3 段階の影響レベル (IL) のいずれかに分類される。

(1) IL 1：更なる環境分析を必要としないプロジェクト

このカテゴリーに分類されるプロジェクトは、プロジェクトの梗概から、環境に対する悪影響が最小なものであることが、明確に判断されたものである。プロジェクトの梗概とは、提案された開発の環境影響の可能性をまとめた文章であり、対象になるサイトと提案する開発について、RDB が EIA の要否を判断するのに十分な内容を記載している必要がある。このカテゴリーに分類されたプロジェクトは、影響緩和策をプロジェクトの設計に含めるのに際し、詳細な環境影響評価の実施なしで設計してよい。このため、プロジェクトは、意見公募手続き期間の後に、合意形成段階まで直接進む。

(2) IL 2：評価の実施が必要とされるが、full EIA 実施の必要性までは生じないプロジェクト

このカテゴリーに分類されるプロジェクトは、環境への悪影響が生じると判断されたもののうち、環境への影響が不可逆的なものではないと判断されたものである。影響緩和策と管理計画をプロジェクトの設計に含めるのに際し、簡易な方法で設計してよい。

このカテゴリーのプロジェクトによる EIA の手続きは、IL3 に分類されたプロジェクトによる EIA の手続きと類似している。

(3) IL 3 : full EIA の実施が必要とされるプロジェクト

このカテゴリーに分類されるプロジェクトは、環境への重大な悪影響を生じることが想定され、その影響に対する緩和策の策定は容易ではないと判断されたものである。このため、完全な EIA 手続きの実施が必要となる。上記の定義が存在するが、プロジェクトの影響レベルの分類と EIA 調査の程度（期間と TOR に関して）の決定は、REMA により行われる。もし当該プロジェクトが、EIA の実施を必要せず、EIA 手続きを順守する必要がない場合、REMA は証明書を発行し、開発者と関係する許可権限をもつ機関に、その旨を勧告する必要がある。逆に、EIA 手続きを必要とする場合、REMA は、完全な環境影響調査を実施する必要性があることを開発者に通知する。

4-3 住民移転政策の枠組みの概要

4-3-1 住民移転政策の枠組み（RPF）の正当性と対象範囲

RPF は、事業活動地が明確となっていない将来の事業活動による影響について、その緩和・補償策をどう定めるかに関する指針を示す。RPF は、事業による環境・社会影響を洗い出し、分析・評価し、また適切な影響緩和・管理・モニタリングのための方策を設計してそれを事業に組み込むためのツールである。

4-3-2 住民移転計画の目的と原則

RPF は、住民移転の必要性があるかどうかを明らかにするための原則や手続を記しており、対象事業は、非自主的な住民移転に関するその手続に従うこととなる。手続は、政府の関連法令や、世界銀行の政策で、非自主的な住民移転に関する OP 4.12 にも沿っている。RPF は、事業実施にともなう土地収用と住民移転に関連して、関連の法的枠組み、移転住民にどの住民が該当するか判断要素、価値評価手法、補償の提供、権利の基盤、実施手続、意見聴取の手続、不服救済の仕組み、権利関係支払手続、モニタリング・評価の手続を定める。

RPF の基本的な目的は次のとおり。

1. 事業で影響を受ける人について、適正な生活環境を判定し、補償をし、その環境の回復が実現できるよう誘導する。
2. 事業で影響を受ける人に対して、補償費用の支払いを確実なものとし、その人を支援するための一覧できる文書となる。
3. 事業による住民移転を準備し、情報を更新し、実施し、モニタリングを行うための方針を示す。

RPF は、事業で影響を受ける人に対する次の施策についても定める。

- 住民移転に関し、彼らがとることのできる選択肢や権利について知らせる。
- 影響を受ける人が相談を受けられるようにし、選択肢を与えられ、技術的にも経済的にも実現可能な住民移転の代替案の提示を受けられるようにする。
- 事業によって直接的に失われた資産について、それにきちんと見合う資金が、迅速かつ効果的に補償されるようにする。

RPF は次の原則に基づいている。

- 非自主的な住民移転は避けるべきであり、実行するにしても最少規模とする。

- 補償は、影響を受ける人の生活水準が維持されるように行う。
- 補償の選択肢について、影響を受ける人は十分な情報を得られるように、また相談を受けられるようにする。
- 社会の周縁的地位に追いやられている人々や、女性が家長の家庭、高齢者の家庭などの社会的弱者には特に注意を払い、彼らの状況改善に適切な支援が提供されること。
- 土地の収用と住民移転は、事業の一環として準備・実施がなされるようにし、補償費用の全額が事業の収支に組み込まれていること。
- 補償と移転後の定住に関する支援金が、土地の工事や建物の撤去などあらゆる影響が生じる前に支払われること。

4-3-3 法的及び政策的枠組み

(1) 外観

RPFは、ルワンダ政府が定める土地収用と住民移転に関する法令・指針や世界銀行のOP4.12に沿って準備された。この法的・政策的枠組みに則り、支援・補償の対象として適切かどうか審査され、補償に関する一覧表が、それぞれの影響ごとに整理されて用意された。

(2) 法的政策的枠組み

RPFは、ルワンダ政府が定める土地収用と住民移転に関する法令・指針や世界銀行のOP4.12に沿って準備された。この法的・政策的枠組みに則り、支援・補償の対象として適切かどうか審査され、補償に関する一覧表が、それぞれの影響ごとに整理されて用意された。

次に、これらの法令についてより詳細に示す。

1) ルワンダ憲法

憲法は土地に関する最高法規である。憲法第29条では、国民の土地所有の権利が、個人であろうが他者との共同であろうが認められている。更に憲法では、その個々の所有権が、個人のものであろうが他者との共同のものであろうが不可侵であると定めている。ただし、公正・適切な補償を伴い、かつ法で定めた状況と手続に従えば、公共の福祉のためにその権利が制限されるとされている。第30条では、個人の土地所有権や土地に関する他の権利は国によって保障されると定めている。憲法では、土地の収用、移転、使用に関する仕組みを法律で定めるように求めている。

2) 公共の利益のための土地収用に関する 法律 2007年04月19日付け第18/2007、2007年5月21日付けO.G. 特別番号

本法は、公共の利益のために土地を収用する手続について定める。第3条では、土地収用は政府のみが行うことができると規定している。公共の利益のために収用を実施する事業は全て、収用対象の人々の資産価値をとりまとめ、損失に適切に見合う補償を算出する資金を用意する必要がある。

組織法によれば、何人も収用事業を自己中心的な理由を口実として妨害してはならず、いかなる土地所有者も、公益目的で当該者の地下や地上で行われる活動には反対してはならない。土地所有者に損害が生ずる場合は、それに対して適切な補償がなされる。

第 4 章では、収用対象とされた土地の評価法を扱っている。法では適切な補償の対象となる価値のある資産について述べており、それらは土地や、土地上の活動で農作物の栽培や植林、建物の建築などの土地の効率的な利用やその生産に資する活動が含まれる。

3) ルワンダの土地の使用や管理について定める組織法 2005 年第 08/2005

ルワンダにおける土地の利用や管理について定める法律である。本法はまた、ルワンダの土地やその従属物すべてについて、天然・人工にかかわらず、土地の法的権利が尊重されるべきとする原則を定めている。

組織法によれば、ルワンダの土地は 2 つに分類される。私有地と公有地である。後者は更に 2 分類される。公共利用の公有地と私人利用の公有地である。公共利用の公用地としては、環境保護を目的とした国の保全地域、行政府の建物が建設されている土地、公道、湖を有する土地、川、小川や泉が含まれる。私人利用の公有地としては、農作業に有効な湿地、所有者の不在な土地、公的に購入された土地、寄付、土地収用によって獲得された土地、公共団体が所有する森林に覆われた土地が含まれる。ルワンダの土地は主に私有地である。

法は、土地所有者が現存の法令に沿っている限り、土地をどのように利用してもよいと定めている。法はまた、第 56 条で土地収用は公益目的がある際に実施できると規定している。

4) ルワンダにおける土地保有の仕組みと規定

土地に関する組織法では、土地保有について 2 種類を規定している。完全所有と長期賃借である。

最近実施された公有地の私有化により、多くの土地利用者が土地保有に関するいずれの権利も有していない。そのため、土地組織法では、文書があろうとなかろうと、新しい国の土地保有についての取り決めに準拠し、民法と慣例に基づく既得権を認めている。

法第 7 条では土地の所有権について定め、特に慣習によって獲得した場合について規定している。そのような場合、慣習や土着のものとして土地の権利を有する人々は、土地登記を、地方分権が進んでいる郡土地委員会や、地区土地委員会、セル土地委員会で行うように促されている。ただ、そのように土地の保有を認めつつも、いかなる土地保有の形態についても、土地利用マスター・プランで示された土地利用用途や環境保全策を踏まえることが必要とされている（土地組織法 2005 年 07 月 14 日付け第 08/2005、第 6 条）。

5) ルワンダにおける不動産評価の専門家の確立と組織作りに関する法律 2010 年第 17/2010

本法では、ルワンダにおける土地評価人の登録について規定し、その登録要件を定める。法はまた、政府機関の権限に基づく際は政府が評価を実施することを認めている。法第 27、29、30 及び 31 条では評価方法について定めており、不動産の価格は、市場価格と同じかそれに近いものであるべきとしている。また評価は、全国の他の土地の価値との比較を勧められている。改善された土地の価値を定めるに当たって適当な比較対象となる価格が見つけれない場合は、不動産を参照し、代替費用がどうなるかを考慮して土地改善の価値を決定することとしている。本法では、評価委員会の承認があれば、本法で定めていない海外の評価手法を使用することも認めている。

6) 大統領令 2006 年第 54/01

この大統領令では、土地委員会の構造、責任、機能と構成について定めている。第 9 条では、

土地委員会の日々の技術的作業が独立して実施できるように定めている。そのため、本委員会は他の組織から指示を受けることはない。

7) 土地登記の仕組みと郡土地委員会の責任と機能を定める省令 2006 年第 001/2006

この省令では、土地登記の仕組みを定めるとともに、郡土地委員会の責任と機能を定める。

土地委員会の責任には、土地登記の実施、土地の管理と情報更新、土地登記情報の保持、土地や他の不動産の評価に関する活動の監視と承認、地籍図上の土地区画の区分けとその承認が含まれる。

8) キガリ市外の土地の参照価格を定める省令 2010 年第 002/16.01

この命令の目的は、キガリ市外で参考とされる地価情報を提供することである。この命令は、土地所有者が搾取されないよう保護し、市場が確立される前に土地投機がなされないようにすることを目的とする。しかし、土地評価法が定められたことにより、この命令は実用性の点で追い越されてしまったように見える。評価法では、土地評価について独立した市場での価格を基礎とするからである。

9) 土地登記の仕組みについて定める省令 2008 年第 002/2008

省令の附則 3 では、紛争解決の手続と、セル審判委員会 (CAC) について定めている。第 17、20、22 と 23 条は、紛争解決の手続を定めている。第 17 条では、紛争当事者が、その紛争を調停委員会に持ち込むことを認めている。当該条文では、土地の区分けや審判の際に生じた紛争が CAC の支援で解決した際には、当事者はその解決策に拘束され、以後不満を提起できないとも定めている。

第 20 条では、CAC における紛争聴取の手続について定めており、聴取は一般に公開され、開催の 8 日前には案内されている必要があることなどとしている。

第 22 条と 23 条では、60 日の間に決定に反対したり訂正を行ったりする手続を定めている。CAC は、セルの土地委員会の 5 人全員と、土地区分けや審判が行われている村 (umudugudu) の 5 人のメンバーから構成される。セルの代表が CAC の秘書として機能するが、投票権はもたない。この命令は、事業地の住民移転の紛争を解決させる際に適用される。

10) 収用と補償の基準

(a) 適格性

収用の結果としての補償適確は、憲法第 29 条と収用法に定められている。この 2 法は影響を受けた者に対し、彼らの土地所有権が慣習に基づくか正式な文書に基づくかにかかわらず、権利を与えると同時に規制を行っている。収用による影響を受ける者については収用法の第 2 条 (7) で定義されており、公共の利益によって個人資産の移転が必要となる個人あるいは法人とされていて、彼らには補償費用が支払われる法的権利があるとされている。

(b) 補償の権利

個人に損害が生じた場合、収用法の第 3 条は、それに対する適切な補償を当該者が受けることができるように定めている。この権利の程度は、独立した評価人による評価額に基づく。本法第 4 条では、公益目的で収用が必要とされる事業については、適正な補償費用全額を予算に組み込むことが求められている。支払い方法については、当事者双方の同意によって定められる。

収用法の第 22 条 (2) では、収用者と被収用者の同意により、適切な補償の形態は、適切な

資金的補償額に見合う限り、金銭、代替地、あるいは代替建物の形で提供されると定めている。適切な補償額が、収用で影響を受けた者が得た代替地の価値を上回る場合には、収用で影響を受けた者は差額の支払いを受けることができる。

(c) ルワンダでの土地収用と価値評価

収用される土地の所有者は、土地と他の資産に関する補償費を受ける権利を得るとともに、土地の改善に資することとなったあらゆる活動についても補償を得る。

土地と他の資産は2分類される。動産と不動産であり、両者とも補償の対象となる。動産については、移転に際して発生した不便や他の経過費用が補償の算定根拠となる。不動産には次のものが含まれる。作物、森林、建物、土地の効率的使用を目的とした活動、土地の価値、収用される個人に属する活動。

土地と附属する資産の評価は、政府か不動産評価人機関に登録された評価人によってなされるが、その評価は、土地の大きさ、性質、土地の位置、主な市場価値、あるいは国際的な評価手法に基づいて決定される。試算の補償額は、代替資産の費用に基づいて決定される。

本法によれば、収用された土地の評価は、土地の種類、使用状況、位置、入手可能性、MINIRENAによって提供されたこの指針に関する建物に基づく必要がある。その時点で、土地と附属資産の市場価値は、買い手と売り手の間でオープン・自由に、両者の同意の下に交渉される（潜在的売り手と買い手がベース）。

(d) 収用手続

収用に係る組織法では、事業確立の重要性と収用の必要性について国民に意識啓発をすることについて規定している。意思系啓発に加えて、収用法は、収用対象となる人などに対して、事案に関連して偏見が生じないよう、事前の相談会の開催と収用に係る事業提案の精査を求めている。通常、相談会は収用の提案を受けて30日以内に開催される。この相談を踏まえ、関係の土地委員会（セルカ地区か郡か国のレベル）が、15日以内に事業を承認するかを決定する。

収用の申請には事業に関する情報が含まれている必要があり、それらには、概要説明、事業が公共の利益のためになされるものであることの説明、事業実施が予定されている地域の土地利用マスター・プラン、事業が環境へ悪影響を及ぼすものでないこと（あるいは、事業によって影響は緩和されるものであること）を示す書類、そして、補償費用全額をまかなうことのできる資金があることの証明が含まれる。土地利用マスター・プランを参照しながら調査を実施して、対象の土地上の活動や品目、あるいは土地上の活動の受益者のリストが包括的に得られるようにしないとといけないとされている。

収用の申請には事業に関する情報が含まれている必要があり、それらには、概要説明、事業が公共の利益のためになされるものであることの説明、事業実施が予定されている地域の土地利用マスター・プラン、事業が環境へ悪影響を及ぼすものでないこと（あるいは、事業によって影響は緩和されるものであること）を示す書類、そして、補償費用全額をまかなうことのできる資金があることの証明が含まれる。土地利用マスター・プランを参照しながら調査を実施して、対象の土地上の活動や品目、あるいは土地上の活動の受益者のリストが包括的に得られるようにしないとといけないとされている。

調査の手続が完了し収用機関から承認を得た後は、当事者は収用の目的、補償される価値、支払い方法と時期に関する詳細を定めた契約に署名しなければならない。本契約は、当事者全員が権利と義務の内容と、その実現手続について同意していることを文書で証明する材料とな

る。当事者は契約に拘束され、当事者間で、契約の内容は法的拘束力をもつものとなる。

最終決定は、通常は関係の土地委員会を通じて国民に広く知らされる。決定は、関係地の役所でも通常は掲示され、ルワンダ国営ラジオや公共新聞でも伝えられる。こうするのは、関係当事者に情報提供をするのが意図であり、普通決定後 30 日以内に実施される(収用法第 13 条)。

(e) 不服手続と是正

2007 年 04 月 19 日付け収用法第 18/2007 の第 26 条では、補償額に不満を有する個人の不服手続について定めている。収用法第 19 条は、不満を有する者は事業承認の決定が明らかになってから 30 日間の猶予期間を有すると定めている。

是正の第 1 段階は、収用手続の間にどのような権利があるのかを被収用者に伝えることである。収用法の第 17~20 条は、(収用を必要とする事業を進めている) 政府の代表機関が、収用手続の各段階で被収用者に彼らの権利について伝えなければならないと定めている。

4-3-4 影響を受ける人々の分類ごとの適合基準と手続き

ここでは、適合基準を明確にし、住民移転とその恩恵を受けるべき人が誰かを定め、不適合な人々が手続に入ってくるのを避けることを目的とした手続きとなっている。

(1) 原則

非自主的に土地を奪うことは、影響を受ける人々 (Project Affected People: PAP) が別の地に移動する必要があるかどうかにかかわらず、移転や住居の喪失、また、資産そのものや資産へのアクセスの喪失、あるいは収入源や生活の糧の喪失をもたらす。影響を受ける人や、地方の関係行政、地域リーダーとの有意義な話し合いは、移転を強いられる人に対する補償や他の移転支援がどのような場合になされるべきかの基準を定めるのに役立つ。

OP4.12 では次の 3 つの適合基準を提起している。

- 1) ルワンダ法によって認められている、慣習や共同利用形態として認められている土地や、伝統的・宗教的権利なども含む、土地に対する正式な権利を有する者。
- 2) 事業開始時や住民調査開始時には土地に対する正式な法的権利を有しないが、ルワンダ法で認められている主張や、RPF (住民移転政策枠組み) /RAP (住民移転行動計画) の中にある手続によって認められた主張に基づいて土地や財産について主張を行う者。
- 3) 区切りの日付け以前から占有し、利用し、あるいは生活の糧を得ていた土地について法的権利も主張も有しないが、世界銀行の OP4.12 で認められている者。

3) に該当する人については、RPF によって設定された目的を達成するのに必要な範囲で住民移転の支援と、彼らが占有する土地への補償や他の支援が提供されるのであるが、そのためには、彼らが事業地を区切りの日付け以前に占有していることが必要であり、その日付けは、事業に係る担当官庁が、事業によって影響を受ける人 (PAP) や、地域のコミュニティ代表、地方の関係行政とよく相談し、また世界銀行の了承をとって定める。

区切りの日以降に当該地に移ってきた人々については、補償や他の形態での住民移転の支援の対象とはならない。上記 (a)、(b)、(c)に含まれる人々は全て、土地以外の資産の損失へも補償を受ける。したがって、事業によって影響を受ける人々は、彼らの地位や土地に対して正式な、あるいは法的権利を有するかどうか、更には不法居住をしたり不法にその地にやってきたかどうかに関係なく、権限付与の区切りの日以前に土地を占有するか使用していれば、何らか

の支援を受ける対象となる。

(2) 適合基準と権利

適合基準をきちんと定めることは、住民移転／社会復帰の手續と補償の支払いにおいて必須である。住民調査と資産目録作りは、影響を受ける人々（PAPs）と資産を明らかにするための基礎となる。次の表は、事業活動によって影響を受け得ると認識されている人々の種類と、それぞれの得ることのできる権利を一覧している。

表 4-3.1 地熱開発における適合基準マトリックス

損失のタイプ	適用対象	RAP の定義	補償対象	課題
1. 農地の恒久的な損失	アクセス道路や水ポンプ場プロジェクトの影響を受ける人々	土地所有者 (法的土地所有者/登録者)	市場価値で現金補償 (税金、登録、移動費用は無料) 取引コスト、税金、支払われる現金報酬 世帯で少なくとも影響を受ける一人のメンバーのプロジェクトの雇用を優先 ⁹	評価計算方法及び単位の価値率について透明性を持って開示、PAPs への説明
		農耕地を利用する全ての人々 (テナント、共同耕作者、それら法的なものでもないものも含む)	現金報酬市場の値と等価、影響を受ける土地の一年間総収穫額 世帯で少なくとも影響を受ける一人のメンバーのプロジェクトの雇用を優先	法的資格なしユーザーの識別 アプローチは地域社会のリーダーと相談、参加型の土地に着手するマッピングを使用して、権利の要求の検証が必要
2. 一時的な農地の損失	キャンプ場と建設のデポとすべての掘削の場所で土地の一時的な損失。	所有者 (土地の所有権の法的タイトル/登録者)	市場金利での現金補償 (税金、登録、移転費用は無料) 地熱資源が証明されていない場合、土地は元の状態へと戻され、返還される。リースは、土地が使用可能な状態であり、PAP と支部の事務局長及びセクターが同意するまで延長される もし土地の復元と PAPs への返還が成されていない場合は、損失のカテゴリー1 に従い、購入時の市場レートに則り購入される	土壌の肥沃度を低下させる掘削泥やその他活動により土地が汚染された場合は、回復が困難な場合がある
		農耕地を利用する全ての人々 (テナント、共同耕作者、それら法的なものでもないものも含む)	現金報酬市場の値と等価。土地が返却された後の最初の収穫までの期間、影響を受ける土地の総収穫のリース代土地が返却されない場合は、更に永久的な土地の損失がカテゴリー1 の詳述に従って更に補償する	
3. 作物の損失	恒久、一時的な土地の除去に伴うプロジェクト地域内の除去作物	作物の所有者	農家に対する地区土地局の見積もりに基づいた市場金利と作付け面積に基づく価格補償 地方土地局に基づいたシードの交換のコストの見積額 最後の作物の収穫コスト	

⁹ Household is defined as including all those who are economically dependent on the household head.

損失のタイプ	適用対象	RAP の定義	補償対象	課題
4. 生産性、装飾性のある木の損失	恒久、一時的な土地の除去に伴うプロジェクト地域内の除去木々	木の所有者	木の市場価値に匹敵する現金報酬に加え樹齢、高生産性価値を考慮した地区土地局の推定に基づいた失った種子の交換のコスト 最期の収穫コスト	木の成熟度と生産性の決定
5. 固定資産(壁、塀、井戸の小屋)の損失	全ての固定資産構造物	固定資産の所有者	完全置換コストで補償(税金、移転、登録費用は無料)	
6. 弱者援助	脆弱な人々への影響	国家土地法によって保護されていない、貧困 ¹⁰ 、高齢者、(>8)世帯、歴史的に疎外された人々	労働年齢の、脆弱なすべてのメンバーの雇用を優先 脆弱な人々に対し標準レートより大きい25%で現金補償を支払う	協議を通じて、脆弱なPAPsの土地買収に対し、影響を監視するための特別な努力が必要 脆弱な世帯が見つかった場合に更に援助、追加サポートを提供する必要がある
7. 重度な影響への手当	生産的な土地(またはリース)の25%以上が取られたとき、物理的な再配置が住居または事業の場所から発生するまたは人々の生活、収入の大幅な損失	影響を受ける人々	労働年齢のある深刻なAHのすべてのメンバーの雇用が優先される 深刻な影響を受ける人に標準レートより大きい25%で現金補償が支払われる	
8	破損した作物(土廃棄、その他の掘削廃棄物排水の影響による)	作物の所有者	農家は作物の面積に基づく金銭的補償を失ったし、地区土地局の見積もりに基づいた市場金利更に地方土地局に基づいた種の交換のコストを見積もる	
9. 永久的な設備の獲得	任意の構造の家、フェンス、衛生設備構造などを含む	設備の所有者	交換設備や交換、新しい構造体に値する現金報酬 交換する新しい設備を作成するために必要な完全な補償の手数料	

¹⁰ Living on < \$0.90 USD per person per day

(3) 社会的弱者である一部のグループ

影響を受ける人々（PAPs）のうちで、社会的弱者のグループに属する人には特に注意が必要であるが、土地を持っていなかったり、家長が女性であったり、孤児の家庭であったり、高齢者のみが住んでいたり、家長が病気だったりする場合がそれであり、彼らのニーズを明らかにし、適切な支援が提供されるようにしないといけない。弱者かどうかは各家庭のレベルで判断され、経済的弱者か、社会的弱者か、あるいは両方の観点からの弱者である場合がある。事業に係る住民移転行動計画（RAP）のための社会・経済調査においては、事業の影響の観点から弱者となる家庭をきちんと見出し、事業による影響と社会的弱者を生じてしまう合理性について、その正当性を詳述しなければならない。

住民移転行動計画（RAP）では、影響の性質とそれによって引き起こされる脆弱性を明確にするとともに、事業が脆弱な家庭に提供するものが、彼らの具体的ニーズに特に沿っており、また彼らの問題点を緩和するものであることを詳述する必要がある。社会的弱者である家庭については全てを監視サンプルの対象とし、住民移転が完了して少なくとも1年後に、フォロー・アップの訪問を行わなければならない。同様に、社会的弱者である家庭による苦情・不平は優先的に取り扱い、また、そのような苦情が提起しやすいように支援をしなければならない。

(4) 区切りの日付けを定める方法

事業設計が完成し法的手続が完了したら、事業のための住民移転行動計画（RAP）を準備することとなる。RAPの一環として、影響を受ける人々（PAPs）全てを把握し、関連の影響がどの程度かを把握するための住民調査を実施する。その調査を始める日が住民移転と補償の対象となるかどうかの区切りの日となる。そのため、事業による影響を受ける地域内の潜在的なPAPs 全ての人に対し、この日付けがよく周知される必要があり、彼らが住民調査に参加可能となるための十分な時間が与えられないといけない。

この周知は住民移転・補償委員会を通じて行い、この報告書で示した意見聴取手続に沿う必要がある。潜在的PAPs に対する周知は、書面による正式な告知と、地域リーダーや代表がいる中での口頭での告知の両方で実施する。

住民調査が実施されたら、作成されたリストは社会福祉担当の副市長や関係自治体などの関係機関によって確認・了承される必要がある。リストが了承された後は、影響受けるとされる人が新たに追加されることはない。土地利用者が明らかになると、彼らの詳細と補償の対象となるかどうかの情報が住民移転・補償委員会に提出され、これらの新しいPAPs が補償対象者として考慮される。

区切りの日の設定は、選定された地へ補償を期待して移ってくる人を避けるのに必要であり、これが避けられないと事業の有効性が危機に瀕する。そのため、区切りの日の設定は非常に重要である。住民移転・補償委員会は土地利用者を明らかにする点で重要な役割を担う。

区切りの日と事業活動（土木工事など）が始まる実際の時期とは（PAPs に補償が支払われ移転の建物などがこの住民移転政策枠組み（RPF）で求める条件に沿って建設された後により早く事業活動が開始される点も考えると）半年以上離れる可能性があり、補償を期待して事業地に流入する人がいないように特に配慮する必要がある。対策としては、確認されたPAPs とよく相談を行うこと、事業地の使用意図について大衆に知らせる標識を設置すること、補償を期待

しての侵入者がいないか治安パトロールを行うことなどがある。

4-4 JICA のガイドラインとの整合性

ルワンダにおいては全般的な事業開発の EIA のガイドラインが制定されており。EIA 手続き、許認可制度、ステークホルダーに対する対応など関連制度も充実している。これらは、項目的には JICA 環境ガイドラインの基本事項を含有し、理念、基本方針、目的、定義、についてもそれらの主旨を包括していると言える。したがって、ルワンダにおける環境社会配慮関連制度においては JICA 環境社会配慮ガイドラインとの間に問題になる相違は認められないと評価できる。ただし、地熱開発に関する EIA のガイドラインが作成中であり、自然環境項目において、マウンテンゴリラに代表されるように、事業による環境影響のデータが少なく、評価手法も確立されていない部分もあり、最新の情報を基に影響評価し、環境管理計画、モニタリング計画を十分に検討し、順応的に対応していく必要があるものと考えられる。