

エチオピア連邦民主共和国  
水灌漑電力省

エチオピア連邦民主共和国  
アワシュ川中流域  
地下水開発計画プロジェクト

ファイナル・レポート  
サポーティングレポート

平成27年12月  
(2015年)

独立行政法人  
国際協力機構(JICA)  
国際航業株式会社

## ファイナル・レポートの構成

要約

メインレポート

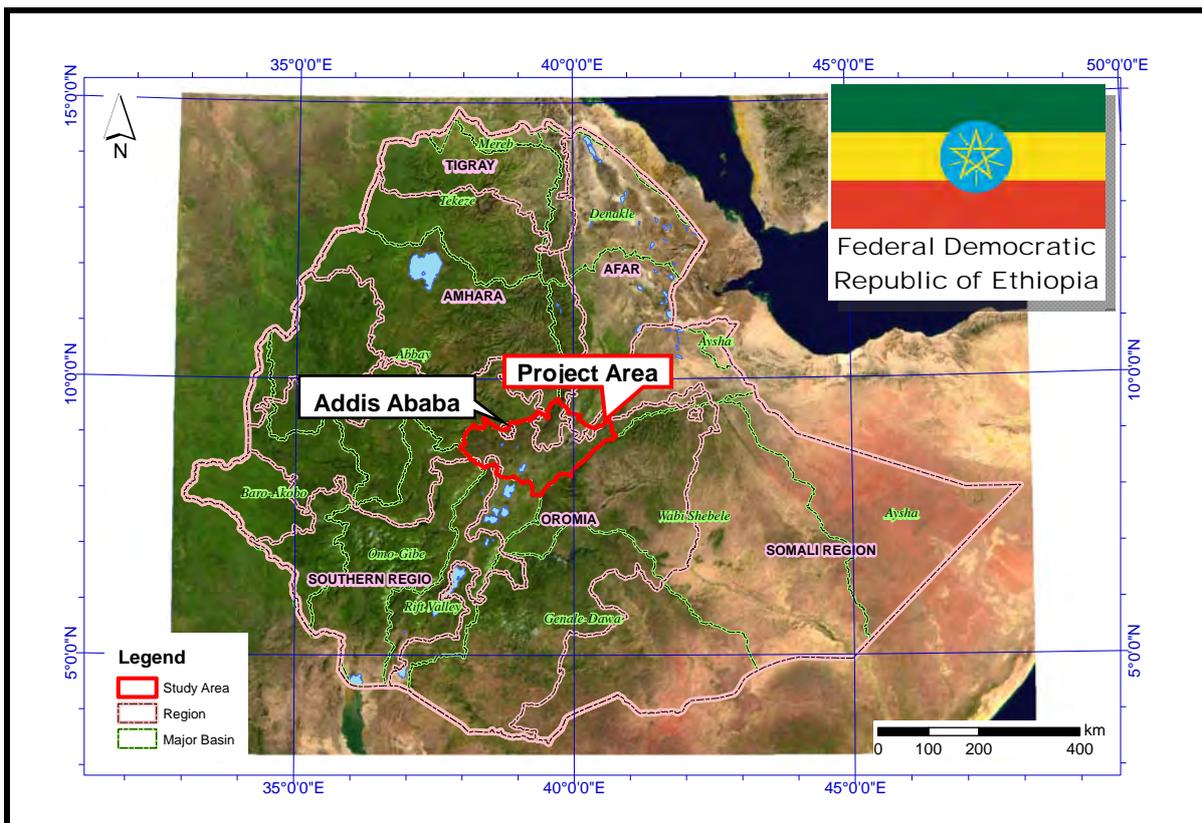
サポーティングレポート

データブック

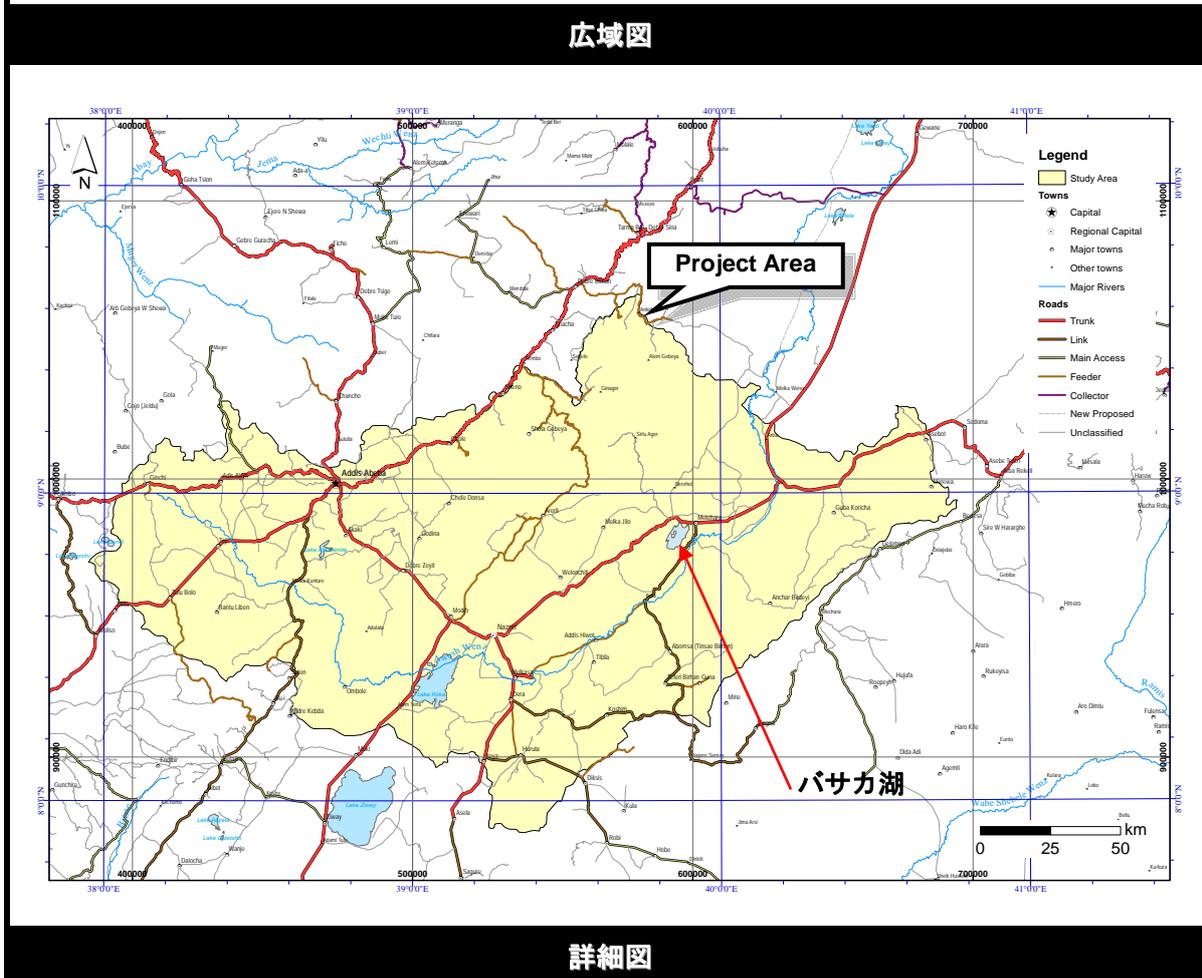
地質図および水理地質図

本報告書は、2015年7月時点の物価水準並びに外貨交換レートに基づき作成されている。採用した外貨交換レートは下記のとおりである。

US\$1.00 = ETB 20.6298 = ¥123.80



広域図



詳細図

調査対象地域位置図

# 目 次

調査位置図  
目次  
表目次  
図目次  
略語一覧  
プロジェクト写真

頁:

<b>1</b>	<b>気象・水文</b> .....	<b>1-1</b>
1.1	気象データのレビュー .....	1-1
1.1.1	気象観測網と観測項目 .....	1-1
1.1.2	降水量 .....	1-2
1.1.3	蒸発量 .....	1-7
1.1.4	気温及びその他のデータ .....	1-10
1.2	水文データのレビュー .....	1-14
1.2.1	アワシュ川中流域の水文観測所 .....	1-14
1.2.2	河川流量 .....	1-15
1.3	水文解析 .....	1-16
1.3.1	はじめに .....	1-16
1.3.2	河川流量解析 .....	1-19
1.3.3	水収支解析 .....	1-24
1.3.4	水収支計算結果 .....	1-27
<b>2</b>	<b>地質</b> .....	<b>2-1</b>
2.1	Adama-Boseti山とその周辺 .....	2-1
2.1.1	概説 .....	2-1
2.1.2	地質各説 .....	2-4
2.2	Kone-Fentale山周辺地域 .....	2-23
2.2.1	概説 .....	2-23
2.2.2	地質各説 .....	2-24
2.3	Mojo-Arerti-Debre Birhan周辺地域 .....	2-41
2.3.1	概説 .....	2-41
2.3.2	地質各説 .....	2-43
2.4	Awash-Asebe Teferi周辺 .....	2-58
2.4.1	概説 .....	2-58
2.4.2	地質各説 .....	2-59
2.5	地域別地質層序対比 .....	2-77
2.6	既往文献との地質層序対比 .....	2-79

2.7	地質構造・火山活動 .....	2-81
2.7.1	断層系 .....	2-81
2.7.2	活構造 .....	2-81
2.8	火山活動 .....	2-82
2.8.1	アワシユ川中流域での火山地形の特徴 .....	2-82
2.8.2	アワシユ川中流域の火山活動の変遷 .....	2-85
<b>3</b>	<b>水理地質 .....</b>	<b>3-1</b>
3.1	地形 .....	3-1
3.1.1	概要 .....	3-1
3.1.2	水系 .....	3-2
3.2	衛星画像解析 .....	3-4
3.2.1	衛星画像解析の入手 .....	3-4
3.2.2	地形解析 .....	3-7
3.3	水理地質データの収集 .....	3-12
3.3.1	既存研究とマッピング .....	3-12
3.3.2	既存研究の概要 .....	3-14
3.3.3	既存井戸データ .....	3-15
3.3.4	湧泉データ .....	3-26
3.3.5	その他（ハンドダッグウェル） .....	3-26
3.4	地下水ポテンシャル .....	3-29
3.4.1	地下水の状況と流動 .....	3-29
3.4.2	帯水層（地質）の分類と特徴 .....	3-34
3.4.3	帯水層ポテンシャルの評価 .....	3-37
3.5	水質 .....	3-38
3.5.1	サンプル地点の選定 .....	3-38
3.5.2	水質分析の項目と方法 .....	3-44
3.5.3	水質分析結果 .....	3-45
3.5.4	水質の評価 .....	3-47
<b>4</b>	<b>物理探査 .....</b>	<b>4-1</b>
4.1	調査地域と調査の目的 .....	4-1
4.1.1	調査地域 .....	4-1
4.1.2	調査の目的 .....	4-1
4.2	探査地点 .....	4-2
4.2.1	探査数量 .....	4-2
4.2.2	探査地点の踏査結果 .....	4-2
4.3	探査方法 .....	4-12
4.3.1	垂直比抵抗電気探査（VES） .....	4-12
4.3.2	過渡現象電磁探査（TEM） .....	4-16

4.4	探査及び解析結果 .....	4-21
4.4.1	探査結果.....	4-21
4.4.2	解析結果.....	4-22
4.4.3	探査結果と既存地質との比較.....	4-31
4.4.4	物理探査結果から見た水理地質的解釈.....	4-33
<b>5</b>	<b>井戸掘削と揚水試験.....</b>	<b>5-1</b>
5.1	井戸掘削の目的と方法 .....	5-1
5.1.1	概要.....	5-1
5.1.2	目的.....	5-1
5.1.3	方法.....	5-1
5.2	掘削地点 .....	5-3
5.2.1	掘削業務の概要.....	5-5
5.2.2	掘削による岩相.....	5-5
5.2.3	物理検層の結果.....	5-10
5.2.4	掘削結果と物理探査の比較.....	5-15
5.3	揚水試験 .....	5-31
5.3.1	はじめに.....	5-31
5.3.2	段階試験.....	5-31
5.3.3	連続試験.....	5-39
5.3.4	回復試験.....	5-54
5.3.5	揚水試験のまとめ.....	5-61
5.4	掘削結果と水理地質的特徴 .....	5-62
5.4.1	各井戸の地下地質と物理検層の比較.....	5-62
5.4.2	各井戸の帯水層の概要.....	5-66
5.5	自記水位測定の結果 .....	5-69
5.5.1	測定方法.....	5-70
5.5.2	自記水位測定の結果.....	5-71
<b>6</b>	<b>地下水開発支援のためのGIS/データベース .....</b>	<b>6-1</b>
6.1	はじめに .....	6-1
6.2	地下水情報に関する既存システムの現状 .....	6-1
6.2.1	エチオピア国地下水情報システム (ENGWIS) の現状 .....	6-1
6.2.2	既往JICA調査で作成されたGISデータの現状.....	6-2
6.3	データの収集・整理 .....	6-3
6.3.1	基盤データ .....	6-3
6.3.2	自然条件.....	6-4
6.3.3	社会条件.....	6-5
6.3.4	地下水情報.....	6-6
6.4	土地利用図 (土地被覆図) の概要 .....	6-8

6.5	地下水開発支援のためのGIS/データベースの概要.....	6-9
6.6	システム構成 .....	6-10
6.7	GIS/DBのインターフェイス（表示画面） .....	6-11
6.8	GIS/データベースの想定される活用例.....	6-13
6.9	GIS/DBに係る技術移転 .....	6-17
<b>7</b>	<b>地下水モデル.....</b>	<b>7-1</b>
7.1	はじめに .....	7-1
7.2	モデル地域の設定 .....	7-1
7.3	地下水モデルの構築 .....	7-2
7.3.1	モデルドメイン(Domain)の作成 .....	7-2
7.3.2	地下水グリッド(Grid)の初期設定.....	7-3
7.3.3	モデル層(Layer)の設定.....	7-3
7.3.4	モデル境界(Boundary)の設定 .....	7-4
7.3.5	層の特性(Layer Property)設定 .....	7-5
7.3.6	パラメータ(Parameter)の設定.....	7-5
7.4	モデル解析の結果 .....	7-16
7.4.1	ドライセル.....	7-16
7.4.2	最終解析結果.....	7-17
<b>8</b>	<b>社会経済調査.....</b>	<b>8-1</b>
8.1	概要 .....	8-1
8.1.1	背景と目的.....	8-2
8.1.2	方法と調査項目 .....	8-2
8.2	開発計画と法制度 .....	8-2
8.2.1	エチオピア連邦.....	8-2
8.2.2	オロミア州.....	8-5
8.3	調査地域の社会経済状況 .....	8-6
8.3.1	人口と人口統計.....	8-6
8.3.2	地方行政区分.....	8-9
8.3.3	地方経済.....	8-11
8.4	社会経済調査結果 .....	8-18
8.4.1	郡レベルでの調査結果.....	8-36
8.4.2	対象小都市の調査結果.....	8-42
8.4.3	サンプル家庭調査結果.....	8-46
8.4.4	その他の調査結果.....	8-54
<b>9</b>	<b>小都市の給水計画のための基礎調査 .....</b>	<b>9-1</b>
9.1	概要 .....	9-1

9.1.1	背景と目的.....	9-1
9.1.2	方法と調査項目.....	9-1
9.2	小都市のプロファイル.....	9-3
9.3	水利用実態調査結果.....	9-11
9.3.1	郡の給水状況に関する聞き取り調査.....	9-11
9.3.2	小都市の給水状況に関する聞き取り調査.....	9-12
9.3.3	サンプル家庭調査.....	9-15
9.4	既存給水施設・管理状況の分析.....	9-24
9.4.1	対象小都市の給水状況と困窮度.....	9-32
9.4.2	既存給水施設の現状と課題.....	9-36
9.4.3	水源.....	9-47
9.5	給水施設の運営維持管理.....	9-48
9.5.1	運営維持管理に関する組織制度と政策.....	9-48
9.5.2	対象小都市での運営維持管理の現状.....	9-55
9.5.3	対象小都市の運営維持管理に対する水組合・事務所の能力と活動の現状.....	9-58
9.5.4	運営維持管理全般の課題.....	9-60
<b>10</b>	<b>環境社会配慮.....</b>	<b>10-1</b>
10.1	はじめに.....	10-1
10.2	事業コンポーネントの概要.....	10-1
10.3	給水計画コンポーネントの概要.....	10-1
10.3.1	対象都市給水計画.....	10-2
10.4	村落給水.....	10-4
10.5	ベースとなる環境及び社会の状況.....	10-4
10.5.1	自然環境.....	10-4
10.5.2	環境汚染・汚濁.....	10-8
10.5.3	社会環境.....	10-8
10.6	環境カテゴリー分類.....	10-11
10.6.1	JICAカテゴリー.....	10-11
10.6.2	エチオピア国ガイドラインカテゴリー.....	10-12
10.7	エチオピア国の環境社会配慮制度及び組織.....	10-12
10.8	代替案（ゼロオプションを含む）の比較検討.....	10-14
10.9	スコーピング.....	10-16
10.10	環境社会配慮調査のTOR.....	10-17
10.11	環境社会配慮調査結果.....	10-17
10.11.1	地域経済（失業者の発生）.....	10-17
10.11.2	建設車輛の往来に伴う環境・社会影響.....	10-18

10.11.3	地域紛争・民族対立.....	10-20
10.12	環境影響評価（初期環境影響評価）.....	10-21
10.13	緩和策.....	10-23
10.14	環境モニタリング計画.....	10-24
10.15	ステークホルダー協議.....	10-27
10.16	結論.....	10-27
<b>11</b>	<b>Beseka湖周辺の水文・水理地質解析.....</b>	<b>11-1</b>
11.1	はじめに.....	11-1
11.2	Beseka湖の拡張問題.....	11-1
11.2.1	Beseka湖の現状.....	11-1
11.2.2	Beseka湖の水位変動と放水量.....	11-3
11.2.3	Beseka湖周辺の灌漑計画と現況.....	11-8
11.3	地形・地質・地質構造.....	11-11
11.3.1	地形.....	11-11
11.3.2	地質.....	11-17
11.3.3	地質構造.....	11-40
11.4	水理地質.....	11-41
11.4.1	帯水層区分と地下水流動.....	11-41
11.4.2	水理地質図・断面図.....	11-48
11.5	湧泉、灌漑水等の流入状況.....	11-51
11.5.1	画像解析による湧水分布の経年変化.....	11-51
11.5.2	水質分析結果.....	11-58
11.5.3	灌漑排水量の推定.....	11-71
11.6	Beseka湖の湖水涵養機構.....	11-90
11.6.1	Beseka湖周辺の灌漑地.....	11-90
11.6.2	灌漑地からの流入量.....	11-91
11.6.3	第1の解析結果.....	11-92
11.6.4	第2の解析結果.....	11-93
11.6.5	第3の解析結果.....	11-94
11.6.6	モデルによる灌漑地の地下水変動予測.....	11-96
11.6.7	灌漑地流入量と湖水位上昇の比較.....	11-98
11.7	まとめ.....	11-99

## 添付資料

### 会議議事録

- インセプション・レポートにかかる協議
- プロGRESS・レポート1にかかる協議
- プロGRESS・レポート2にかかる協議

インテリム・レポートにかかる協議  
ドラフト・ファイナル・レポートにかかる協議

**確認書**

機材供与に関する確認書  
機材貸与に関する確認書  
貸与機材返却に関する確認書

## 表 目 次

	頁:
表 1.1.1: アワシュ川中流域内の気象観測所数 .....	1-2
表 1.1.2: 流域内外11観測所における月間蒸発量 .....	1-8
表 1.1.3: 年間雨量と年間蒸発量の比較 .....	1-9
表 1.1.4: 気候に関する入手データ項目と期間 .....	1-10
表 1.1.5: 流域内外の観測所における気温、相対湿度および日照時間 .....	1-12
表 1.2.1: 流域内水文観測所リスト .....	1-14
表 1.2.2: アワシュ川中流の主要測水所における10日平均流量 .....	1-16
表 1.3.1: 部分流域の概要 .....	1-18
表 1.3.2: BFI算定のために選定した測水所 .....	1-22
表 1.3.3: 河川流量分離によるBFI算定結果 .....	1-23
表 1.3.4: 12測水所流域に対するティーンセン係数 .....	1-25
表 1.3.5: 12測水所流域における年平均流出量と降水量 .....	1-25
表 1.3.6: 12測水所流域における年間地下水涵養量 .....	1-26
表 1.3.7: 部分流域ごとのティーンセン係数 .....	1-28
表 1.3.8: 部分流域ごとの地下水涵養量推定結果 .....	1-28
表 1.3.9: 部分流域ごとの水収支 .....	1-29
表 2.1.1: Adama及びBoseti山周辺地域における地質層序 .....	2-2
表 2.1.2: Nazret- Boseti山周辺の模式地質柱状図 .....	2-6
表 2.1.3: Koka湖-Huruta- Sire 周辺の模式地質柱状図 .....	2-7
表 2.2.1: Koka及びFentale山周辺地域における地質層序 .....	2-24
表 2.2.2: Kone-Fentale山周辺の模式地質柱状図 .....	2-26
表 2.2.3: Fentale山 – Awash周辺の模式地質柱状図 .....	2-27
表 2.3.1: Mojo-Arerti-Debre Birhan周辺の地質層序 .....	2-42
表 2.3.2: Mojo -Arerti -Debre Birhan周辺の模式地質柱状図 .....	2-48
表 2.3.3: Mojo – Chefe Donsa – Debre Birhan 周辺の地質柱状図 .....	2-49
表 2.3.4: Arerri - Melka Jiro 周辺の模式地質柱状図 .....	2-53
表 2.4.1: Awash及びAsebe Teferi周辺の地質層序 .....	2-59
表 2.4.2: Mieso-Asebe Teferi周辺の模式地質柱状図 .....	2-64
表 2.4.3: Bordede-Bube-Belo周辺の模式地質柱状図 .....	2-65
表 2.4.4: Adami Hara-Kora-Debala周辺の模式地質柱状図 .....	2-68
表 2.4.5: Asebot-Beka周辺の模式地質柱状図 .....	2-69
表 2.4.6: Awash-Mieso周辺の模式地質柱状図 .....	2-71
表 2.5.1: 調査地域別層序比較 .....	2-78
表 2.6.1: 既往文献との地質層序対比 .....	2-80
表 3.2.1: 解析に用いた衛星画像 .....	3-4
表 3.3.1: 参考文献のリスト .....	3-12
表 3.3.2: 井戸データ内の項目毎の情報点数（座標有の地点） .....	3-16
表 3.3.3: West Hararge ゾーンの既存井戸記録 .....	3-17
表 3.3.4: Beseka湖周辺の井戸記録 .....	3-19
表 3.3.5: Arsiゾーンの井戸記録 .....	3-21
表 3.3.6: East Shewaゾーン、Amhara州等の既存井戸記録 .....	3-23

表 3.4.1:	1:2,000,000 水理地質図 (GSE) – 帯水層区分と定義	3-36
表 3.4.2:	1:2,000,000 水理地質図 (GSE) – 帯水層区分と定義 (一部削除)	3-36
表 3.5.1:	水質サンプリングリスト	3-40
表 3.5.2:	旧来の水質基準	3-44
表 3.5.3:	エチオピア基準局及びWHOによる水質基準	3-45
表 3.5.4:	サンプリング地点 (アワシユ川沿い、2015年乾季)	3-63
表 4.2.1:	物理探査数量	4-2
表 4.3.1:	シュランベルジャー法電極間隔一覧	4-13
表 4.3.2:	電気探査測定器STING R1の仕様	4-14
表 4.3.3:	TEM測定システムの仕様	4-18
表 4.3.4:	送信器TEM-57-MK2のサンプリング時刻表	4-19
表 4.4.1:	電気検層結果による岩相別比抵抗のまとめ	4-32
表 4.4.2:	各地点結果の一覧表	4-34
表 5.1.1:	試掘井戸の基本仕様	5-1
表 5.2.1:	観測井戸の一覧表	5-3
表 5.2.2:	AWBH-1 地点の岩相	5-5
表 5.2.3:	AWBH-2地点の岩相	5-5
表 5.2.4:	AWBH-3地点の岩相	5-6
表 5.2.5:	AWBH-4N地点の岩相	5-6
表 5.2.6:	AWBH-5地点の岩相	5-7
表 5.2.7:	AWBH-6地点の岩相	5-7
表 5.2.8:	AWBH-7地点の岩相	5-8
表 5.2.9:	AWBH-8地点の岩相	5-8
表 5.2.10:	AWBH-9地点の岩相	5-8
表 5.2.11:	AWBH-11 地点の岩相	5-9
表 5.2.12:	AWBH-12地点の岩相	5-9
表 5.2.13:	孔内物理検層の仕様	5-10
表 5.2.14:	AWBH-1地点の深度別の比抵抗値	5-10
表 5.2.15:	AWBH-2地点の深度別の比抵抗値	5-11
表 5.2.16:	AWBH-3地点の深度別の比抵抗値	5-11
表 5.2.17:	AWBH-4N地点の深度別の比抵抗値	5-12
表 5.2.18:	AWBH-5地点の深度別の比抵抗値	5-12
表 5.2.19:	AWBH-6地点の深度別の比抵抗値	5-13
表 5.2.20:	AWBH-9地点の深度別の比抵抗値	5-13
表 5.2.21:	AWBH-11地点の深度別の比抵抗値	5-14
表 5.2.22:	AWBH-1チップ試料観察結果	5-16
表 5.2.23:	AWBH-2チップ試料観察結果	5-17
表 5.2.24:	AWBH-3チップ試料観察結果	5-19
表 5.2.25:	AWBH-4Nチップ試料観察結果	5-20
表 5.2.26:	AWBH-5チップ試料観察結果	5-21
表 5.2.27:	AWBH-6チップ試料観察結果	5-22
表 5.2.28:	AWBH-7チップ試料観察結果	5-24
表 5.2.29:	AWBH-8チップ試料観察結果	5-25

表 5.2.30:	AWBH-9チップ試料観察結果 .....	5-26
表 5.2.31:	AWBH-11チップ試料観察結果 .....	5-27
表 5.2.32:	AWBH-12チップ試料観察結果 .....	5-29
表 5.2.33:	各地点における比抵抗構造と掘削結果の対比 .....	5-29
表 5.3.1:	揚水試験の仕様 .....	5-31
表 5.3.2:	段階揚水試験の揚水量と水位低下量 (1) .....	5-32
表 5.3.3:	段階揚水試験の揚水量と水位低下量 (2) .....	5-32
表 5.3.4:	AWBH-1 サイトの井戸効率算定結果 .....	5-33
表 5.3.5:	AWBH-4N (再試験) サイトの井戸効率算定結果 .....	5-34
表 5.3.6:	AWBH-5サイトの井戸効率算定結果 .....	5-35
表 5.3.7:	AWBH-6サイトの井戸効率算定結果 .....	5-36
表 5.3.8:	AWBH-9サイトの井戸効率算定結果 .....	5-37
表 5.3.9:	AWBH-11サイトの井戸効率算定結果 .....	5-38
表 5.3.10:	帯水層の水理常数 (1) .....	5-61
表 5.3.11:	帯水層の水理常数 (2) .....	5-61
表 5.3.12:	揚水試験時での現場水質分析結果 (1) .....	5-62
表 5.3.13:	揚水試験時での現場水質分析結果 (2) .....	5-62
表 5.4.1:	AWBH-1掘削地点の地下地質層序 .....	5-63
表 5.4.2:	AWBH-2掘削地点の地下地質層序 .....	5-63
表 5.4.3:	AWBH-3掘削地点の地下地質層序 .....	5-63
表 5.4.4:	AWBH-4N掘削地点の地下地質層序 .....	5-64
表 5.4.5:	AWBH-5掘削地点の地下地質層序 .....	5-64
表 5.4.6:	AWBH-6掘削地点の地下地質層序 .....	5-64
表 5.4.7:	AWBH-9掘削地点の地下地質層序 .....	5-65
表 5.4.8:	AWBH-11掘削地点の地下地質層序 .....	5-65
表 5.4.9:	AWBH-12掘削地点の地下地質層序 .....	5-66
表 5.4.10:	掘削井戸と帯水層の概要 (1) .....	5-67
表 5.4.11:	掘削井戸と帯水層の概要 (2) .....	5-67
表 5.4.12:	各孔の地下水位の性状 .....	5-68
表 6.2.1:	ENGWISの現状に関する調査概要 .....	6-1
表 6.2.2:	ENGWISの現状に関する調査結果 .....	6-2
表 6.3.1:	収集した基盤データ .....	6-3
表 6.3.2:	収集した自然条件関連データ .....	6-4
表 6.3.3:	収集した社会条件関連データ .....	6-5
表 6.3.4:	収集した地下水関連データ .....	6-6
表 6.3.5:	収集した水源データ .....	6-7
表 6.5.1:	地下水開発計画で求められるデータ例 .....	6-9
表 6.6.1:	本プロジェクトで作成したGIS/DBのシステム構成 .....	6-10
表 6.7.1:	GIS/DBのレイヤ構造及びその内容 .....	6-11
表 6.9.1:	地下水開発調査のためのGISワークショップ実施概要 .....	6-17
表 6.9.2:	ワークショップに関するアンケート概要 .....	6-18
表 7.3.1:	透水量係数 .....	7-7
表 7.3.2:	小流域内の涵養量 .....	7-9
表 7.3.3:	地下水利用量 .....	7-10

表 8.1.1:	一人当たりのGNI値の比較.....	8-1
表 8.1.2:	対象30タウンの社会経済調査の方法及び調査項目.....	8-2
表 8.2.1:	近年のエチオピアの実質経済成長率の推移*1).....	8-3
表 8.3.1:	最近数年のエチオピア人口と人口成長率.....	8-6
表 8.3.2:	1994年・2007年・2013年のエチオピア各州の人口センサスデータ.....	8-6
表 8.3.3:	プロジェクト対象地域にある主要都市の人口変化.....	8-7
表 8.3.4:	オロミア州の年齢区分別の男女人口.....	8-7
表 8.3.5:	オロミア州における主な民族構成.....	8-8
表 8.3.6:	オロミア州で信仰されている宗教の割合.....	8-8
表 8.3.7:	オロミア州で使われている主な言語の割合.....	8-9
表 8.3.8:	オロミア州の18ゾーン.....	8-10
表 8.3.9:	オロミア州の1次産業の男女別就業割合.....	8-11
表 8.3.10:	オロミア州の主要作物の作付面積.....	8-12
表 8.3.11:	オロミア州全体の家畜数.....	8-13
表 8.3.12:	主要都市及び対象タウン間の距離及び所要時間.....	8-14
表 8.3.13:	対象タウン間の道路分類(アクセスルート図)の凡例の特徴.....	8-15
表 8.3.14:	架線工事が進んでいない箇所.....	8-17
表 8.3.15:	エチオピア-中国共同による鉄道建設プロジェクトの建設期間と ルート.....	8-18
表 8.4.1:	プロジェクトの対象小都市.....	8-19
表 8.4.2:	社会経済調査の結果概要.....	8-19
表 8.4.3:	郡レベルの社会経済及び水利用実態調査のインタビュー結果.....	8-21
表 8.4.4:	対象小都市の社会経済及び水利用実態調査のインタビュー結果.....	8-25
表 8.4.5:	対象小都市の社会経済及び水利用実態に関するサンプル家庭調査 の全体調査結果.....	8-33
表 8.4.6:	対象30小都市が属している郡の一覧.....	8-36
表 8.4.7:	対象小都市が属する郡の民族構成の割合.....	8-37
表 8.4.8:	対象小都市の属する郡の学校数.....	8-38
表 8.4.9:	対象小都市の属する郡の子供の数及び生徒の数.....	8-38
表 8.4.10:	対象小都市が属する郡の土地利用状況.....	8-39
表 8.4.11:	対象小都市が属する郡の主要農作物の収穫量.....	8-40
表 8.4.12:	対象小都市が属する郡の主要家畜頭数.....	8-40
表 8.4.13:	対象小都市が属する郡の農業普及施設の数.....	8-41
表 8.4.14:	対象小都市が属する郡の保健施設における水因性疾患の症例報 告数.....	8-41
表 8.4.15:	対象小都市が属する郡の保健施設での衛生施設の報告数.....	8-42
表 8.4.16:	対象小都市の主要作物の収穫量.....	8-43
表 8.4.17:	対象小都市の主要家畜頭数.....	8-44
表 8.4.18:	対象小都市の学校の数.....	8-45
表 8.4.19:	対象小都市の子供の数及び生徒の数.....	8-45
表 8.4.20:	サンプル家庭調査結果による対象小都市の職業の全体割合(デー タ).....	8-48
表 8.4.21:	サンプル家庭調査結果による対象小都市の水因性疾患.....	8-49
表 8.4.22:	対象小都市の衛生施設(トイレ)の普及状況.....	8-52

表 8.4.23:	対象小都市のサンプル家庭調査による保健衛生情報の主要収集源 .....	8-52
表 8.4.24:	アワシユ川中流域の国営農場他の位置 .....	8-54
表 8.4.25:	Wonji-shoa Sugar Factoryの社会状況調査結果 .....	8-56
表 8.4.26:	Metehara Sugar Factoryの社会状況調査結果 .....	8-58
表 8.4.27:	Nura Hera農場の社会状況調査結果 .....	8-60
表 9.1.1:	既存給水施設現況・管理状況実態調査の項目 .....	9-1
表 9.1.2:	調査実施日程 .....	9-2
表 9.1.3:	水利用実態調査の調査内容 .....	9-3
表 9.2.1:	対象小都市リスト .....	9-4
表 9.3.1:	郡の人口、利用者数及び給水率 .....	9-11
表 9.3.2:	郡別の既存水源数 .....	9-12
表 9.3.3:	対象小都市の人口および世帯数 .....	9-12
表 9.3.4:	水源別給水施設数量 .....	9-13
表 9.3.5:	既存の給水栓及び水道メーターの数 .....	9-14
表 9.3.6:	雨季・乾季別の水源 .....	9-15
表 9.3.7:	水汲みをする人 .....	9-15
表 9.3.8:	水汲みの容器 .....	9-16
表 9.3.9:	水汲みの距離・時間・回数 .....	9-16
表 9.3.10:	雨季・乾季別及び用途別の世帯当たり水消費量 .....	9-17
表 9.3.11:	水に対する支出額 .....	9-18
表 9.3.12:	新規または追加の給水施設が必要と考える人の割合 .....	9-19
表 9.3.13:	改善が必要と考える給水状況 .....	9-20
表 9.3.14:	水がめの清潔さ .....	9-21
表 9.3.15:	衛生教育受講の有無 .....	9-21
表 9.3.16:	水処理の方法 .....	9-21
表 9.3.17:	2週間以内に家族が下痢症に罹患した人の有無 .....	9-21
表 9.3.18:	分担金支払い意志額 .....	9-22
表 9.3.19:	水料金支払い意志 .....	9-23
表 9.3.20:	水料金支払い意志額 .....	9-24
表 9.4.1:	既存給水施設・管理状況調査結果 .....	9-25
表 9.4.2:	対象小都市の人口データの比較 .....	9-32
表 9.4.3:	給水施設利用者数 .....	9-33
表 9.4.4:	水使用量 .....	9-34
表 9.4.5:	給水施設の水使用量 .....	9-36
表 9.4.6:	給水システムの種類 .....	9-36
表 9.4.7:	動力ポンプ及び発電機の銘柄 .....	9-39
表 9.4.8:	動力ポンプの運転時間 .....	9-40
表 9.4.9:	小都市別の給水栓及び水道メーターの数 .....	9-42
表 9.4.10:	水需要に対する既存給水施設の充足率 .....	9-44
表 9.4.11:	安全な水の使用量 .....	9-45
表 9.4.12:	井戸建設年代 .....	9-46
表 9.4.13:	動力ポンプの使用年数 .....	9-46
表 9.4.14:	ディーゼル発電機の使用年数 .....	9-46

表 9.4.15:	動力タイプ別水料金 .....	9-47
表 9.4.16:	対象小都市の水源 .....	9-47
表 9.5.1:	給水システムのタイプ比較 .....	9-49
表 9.5.2:	オロミア州における給水関連組織 .....	9-50
表 9.5.3:	OWMEBの職員数及び予算 .....	9-51
表 9.5.4:	県水・鉱物・エネルギー事務所の職員数及び予算 .....	9-52
表 9.5.5:	WWMEO事務所の職員数及び予算 .....	9-53
表 9.5.6:	WWMEOの保有資機材 .....	9-53
表 9.5.7:	小都市ごとの運営維持管理組織、会議開催状況及び収支記録作成 状況 .....	9-56
表 9.5.8:	給水施設の分類による水料金の範囲 .....	9-57
表 9.5.9:	対象小都市の運営維持管理組織及び人員 .....	9-59
表 9.5.10:	市給水事務所・水組合の収入、支出及び積立金残高（単位：Birr） .....	9-60
表 9.5.11:	技術情報シート .....	9-62
表 10.3.1:	既存施設及び新規施設の給水量分担 .....	10-1
表 10.3.2:	新規給水施設設計画 .....	10-3
表 10.3.3:	既存給水施設更新計画 .....	10-4
表 10.4.1:	ハンドポンプ井戸の事業費 .....	10-4
表 10.5.1:	流域内外の観測所における気温、相対湿度および日照時間 .....	10-6
表 10.5.2:	1994年・2007年・2013年のエチオピア各州の人口センサスデー タ .....	10-9
表 10.5.3:	対象小都市が属する郡の民族構成の割合 .....	10-10
表 10.5.4:	オロミア州の住民が信仰する宗教の割合 .....	10-10
表 10.5.5:	オロミア州で使用されている主な言語 .....	10-10
表 10.5.6:	主要作物の作付面積 .....	10-11
表 10.6.1:	本給水計画における事業特性と地域特性 .....	10-12
表 10.7.1:	エチオピア国給水・衛生事業の環境影響調査分類 .....	10-13
表 10.8.1:	本計画に対する非実施案及び実施案の影響比較 .....	10-14
表 10.9.1:	本計画におけるスコーピングマトリクス .....	10-16
表 10.10.1:	スコーピング結果に基づく環境社会配慮調査の概要 .....	10-17
表 10.11.1:	エチオピア国における大気汚染ならびに騒音・振動に関する環 境基準 .....	10-19
表 10.12.1:	水供給施設の建設及び供給による環境社会影響 .....	10-22
表 10.13.1:	予想される負の影響に対する緩和策 .....	10-24
表 10.14.1:	環境モニタリング計画案 .....	10-25
表 11.2.1:	Abadir農場の取水量 .....	11-10
表 11.2.2:	Nura Hira農場の取水量 .....	11-10
表 11.2.3:	Beseka湖流域内の主要灌漑プロジェクト .....	11-11
表 11.3.1:	Beseka湖周辺の火山地形の特徴 .....	11-11
表 11.3.2:	Beseka湖周辺の地質層序の他地域との対比表 .....	11-39
表 11.4.1:	柱状図のある既存井戸、JICA井戸 .....	11-45
表 11.4.2:	Beseka湖周辺の帯水層層準と特徴 .....	11-47
表 11.5.1:	解析に用いたデータ .....	11-52

表 11.5.2:	水質サンプルの温度 (2014年3月9日) .....	11-57
表 11.5.3:	Beseka湖周辺の水質サンプリング地点リスト .....	11-59
表 11.5.4:	既存データのリスト (Beseka湖周辺) .....	11-60
表 11.5.5:	安定同位体分析リストと結果 .....	11-68
表 11.5.6:	トリチウム分析リストと結果 .....	11-71
表 11.5.7:	既往調査によるAbadir農場の灌漑効率 .....	11-73
表 11.5.8:	サトウキビ生育段階ごとの作物係数 (Kc) .....	11-75
表 11.5.9:	Abadir農場における有効雨量 .....	11-76
表 11.5.10:	Abadir農場における年ごとの灌漑効率 .....	11-76
表 11.5.11:	ELSA=33.4 km <sup>2</sup> とした場合のBeseka湖流出入量 .....	11-79
表 11.5.12:	ELSA=4 km <sup>2</sup> とした場合のBeseka湖流出入量 .....	11-79
表 11.5.13:	気候条件に対する平衡湖面積の感度分析結果 .....	11-82
表 11.5.14:	灌漑余剰水 (35百万m <sup>3</sup> ) を含んだ水バランス計算結果 .....	11-82
表 11.5.15:	灌漑余剰水 (46.2百万m <sup>3</sup> ) を含んだ水バランス計算結果 .....	11-83
表 11.5.16:	灌漑余剰水 (102百万m <sup>3</sup> ) を含んだ水バランス計算結果 .....	11-84
表 11.5.17:	灌漑余剰水 (35百万m <sup>3</sup> ) を含んだ水バランス計算結果 (損失Yなし) .....	11-86
表 11.5.18:	灌漑余剰水 (102百万m <sup>3</sup> ) を含んだ水バランス計算結果 (損失Yなし) .....	11-87
表 11.6.1:	灌漑地からBeseka湖への想定流入量 .....	11-91
表 11.6.2:	各灌漑地への河川からの流入量 .....	11-95

## 目 次

	頁:
図 1.1.1: アワシユ川中流域内および近傍の気象観測所位置図 .....	1-1
図 1.1.2: 日雨量データを入手した観測所と欠測状況 .....	1-3
図 1.1.3: アディスアベバにおける年降水量のトレンド (1951-2011) .....	1-4
図 1.1.4: Debre Zeitにおける年降水量のトレンド (1952-2011) .....	1-4
図 1.1.5: Kulumsaにおける年降水量のトレンド (1972-2012) .....	1-4
図 1.1.6: アワシユ川中流域の年間雨量の等雨量線図 .....	1-5
図 1.1.7: アフリカにおける熱帯収束帯 (ITCZ) の季節移動 .....	1-6
図 1.1.8: 観測所標高と年間雨量の関係 .....	1-6
図 1.1.9: アワシユ川中流域の流域平均降雨量の推移 .....	1-7
図 1.1.10: 日蒸発量データを入手した観測所と欠測状況 .....	1-7
図 1.1.11: 3観測所における月蒸発量 .....	1-8
図 1.1.12: 観測所標高と年間蒸発量の関係 .....	1-9
図 1.1.13: アワシユ川中流域の気候分類 .....	1-10
図 1.1.14: アディスアベバの気温の長期変動 (1951-2012) .....	1-11
図 1.1.15: Debre Zeitの気温の長期変動 (1953-2012) .....	1-11
図 1.1.16: 流域内外の観測所における月間気温と相対湿度 .....	1-12
図 1.1.17: 流域内外の月基準蒸発散量 (ET <sub>0</sub> ) .....	1-13
図 1.2.1: アワシユ川中流の主要測水所における10日平均流量ハイδροグラ フ .....	1-15
図 1.3.1: 水文解析の手順 .....	1-17
図 1.3.2: 地下水涵養量推定のための流域分割 .....	1-18
図 1.3.3: 降水と河川水の形成過程 .....	1-19
図 1.3.4: BFI算定のために選定した測水所位置図 .....	1-22
図 1.3.5: 河川流量分離結果の例 .....	1-23
図 1.3.6: 流域面積とBFIの関係 .....	1-24
図 1.3.7: 流域面積と流出率の関係 .....	1-26
図 2.1.1: 本文中に記載の露頭位置図 .....	2-3
図 2.1.2: Kelefa川 (L-AB21) .....	2-4
図 2.1.3: Tulu (L-AB07) (上段、左)、Chefeko (L-AB08) (上段、右)、 Debeso山 (L-AB09) (下段) .....	2-5
図 2.1.4: Sire (L-AB35) (上段)、Boko (L-AB11) (下段) .....	2-8
図 2.1.5: Koka Dam (L-AB02) (上段)、Rukecha (L-MAD40) (下段) .....	2-9
図 2.1.6: Robi川 (L-AB28) .....	2-10
図 2.1.7: Bofa (L-AB25) (上段左)、Holly spring (L-AB39) (上段右)、 Weleso River (L-AB43) (下段) .....	2-11
図 2.1.8: サンプルNo.140419-1の薄片写真 .....	2-12
図 2.1.9: Jogo (L-AB06) (上段)、westward of Bofa town (L-AB22) (下段) .....	2-13
図 2.1.10: サンプルNo.140414-1の薄片写真 .....	2-14
図 2.1.11: サンプルNo.140414-2の薄片写真 .....	2-14
図 2.1.12: サンプルNo.140414-5の薄片写真 .....	2-15

☒ 2.1.13:	サンプルNo.140414-6の薄片写真.....	2-16
☒ 2.1.14:	サンプルNo.140419-3の薄片写真.....	2-17
☒ 2.1.15:	サンプルNo.140419-5の薄片写真.....	2-17
☒ 2.1.16:	Gademsaカルデラ北東壁 (L-AB05) .....	2-18
☒ 2.1.17:	Boru川 (L-AB19) (上段)、Sire (L-AB37) (下段) .....	2-19
☒ 2.1.18:	Gambedra (L-AB38) .....	2-20
☒ 2.1.19:	Welensu (L-AB17) (左)、Boseti山 (L-AB29) (右) .....	2-20
☒ 2.1.20:	Madiga (L-MAD37) (上段)、Lake Koka (L-AB10) (下段) .....	2-21
☒ 2.1.21:	Harorecha (L-AB32) (左)、Haribona (L-AB42) (右) .....	2-22
☒ 2.1.22:	Waka Bute (L-AB04) (上段)、Miesa (L-AB03) (下段) .....	2-22
☒ 2.2.1:	Bosena (L-KF02) .....	2-25
☒ 2.2.2:	サンプルNo.140415-4の薄片写真.....	2-28
☒ 2.2.3:	Fentale南東麓 (L-KF39) .....	2-29
☒ 2.2.4:	Sobebor (L-KF23) (上段)、Boru Alore (L-KF18) (中段)、Dinbiba (L-KF30) (下段) .....	2-30
☒ 2.2.5:	サンプルNo.140417-5の薄片写真.....	2-31
☒ 2.2.6:	Dodote Use (L-KF20) (上段)、Bogda (L-KF25) (下段) .....	2-32
☒ 2.2.7:	Kone (L-KF13) (上段)、Koneカルデラ南西麓 Ofe (L-KF03) (下 段) .....	2-33
☒ 2.2.8:	サンプルNo.140415-2の薄片写真.....	2-34
☒ 2.2.9:	Korke (L-KF10) .....	2-35
☒ 2.2.10:	Dinbiba (L-KF31) (上段)、Fentale山南麓 (L-KF30) (下段左)、 Fentale山南麓 (L-KF34) (下段右) .....	2-36
☒ 2.2.11:	サンプルNo.140415-3の薄片写真.....	2-37
☒ 2.2.12:	サンプルNo.140417-1の薄片写真.....	2-37
☒ 2.2.13:	サンプルNo.140417-2の薄片写真.....	2-38
☒ 2.2.14:	サンプルNo.140417-4の薄片写真.....	2-39
☒ 2.2.15:	Boru Alore (L-KF21) .....	2-40
☒ 2.2.16:	サンプルNo.140415-1の薄片写真.....	2-40
☒ 2.2.17:	Dinbiba (L-KF29) .....	2-41
☒ 2.3.1:	Balchi (L-MAD14) (上段)、Balchi (L-MAD15) (下段) .....	2-43
☒ 2.3.2:	Aroge Minjar (L-MAD29) (上段、中段)、Chifey (L-MAD12) (下 段左)、Gina Ager (L-MAD30) (下段右) .....	2-45
☒ 2.3.3:	Aroge Minjar (L-MAD29) (上段)、Balchi (L-MAD14) (中段左)、 Zengo (L-MAD10) (中段右)、Gobemsa (L-MAD25) (下段) ...	2-46
☒ 2.3.4:	Gidm Asfa (L-MAD21) (上段)、Zongo (L-MAD10) (下段左)、 Megezeze (L-MAD24) (下段右) .....	2-47
☒ 2.3.5:	Bokan流紋岩類 (L-MAD09) .....	2-50
☒ 2.3.6:	Samasembet (L-MAD11) .....	2-51
☒ 2.3.7:	Aroge Minjar (L-MAD29) .....	2-51
☒ 2.3.8:	Kunche (L-MAD06) .....	2-52
☒ 2.3.9:	Jelo (L-MAD41) .....	2-54
☒ 2.3.10:	Chefe Donsa (L-MAD02) .....	2-55
☒ 2.3.11:	Zikwala山 (L-MAD41) .....	2-55

☒ 2.3.12:	Argoba (L-MAD04) (上段)、Haro Meja湖 (L-MAD01) (下段左)、Haro Kilole湖 (L-MAD39) (下段右) .....	2-56
☒ 2.3.13:	Wubit Ager、Kersa川 (L-MAD19) .....	2-57
☒ 2.3.14:	Borchota (L-MAD23) .....	2-57
☒ 2.3.15:	Borchota (L-MAD23) .....	2-58
☒ 2.4.1:	Arba Rekete (L-AA59) (上)、Komena (L-AA35) (左下) と Cheleleka (L-AA09) (右下) .....	2-60
☒ 2.4.2:	Huse Ridge (L-AA53) .....	2-61
☒ 2.4.3:	サンプルNo.140416-1の薄片写真.....	2-62
☒ 2.4.4:	サンプルNo.140416-2の薄片写真.....	2-62
☒ 2.4.5:	Asebe Teferi (L-AA57) (上段)、Agemti (L-AA20) (下段) .....	2-63
☒ 2.4.6:	Gara Gumbi (L-AA06) (上) と Dalecha (L-AA46) (下) .....	2-66
☒ 2.4.7:	模式地 (L-AA30) (上) と 模式地近傍 (L-AA29) (下) .....	2-67
☒ 2.4.8:	模式地 (L-KF43) (上) と Gara Gumbi Rasa (L-AA10) (下) .....	2-70
☒ 2.4.9:	模式地Awash River (L-KF42) (上) と Komena (L-AA40) (下) ..	2-72
☒ 2.4.10:	サンプルNo.140416-4の薄片写真.....	2-73
☒ 2.4.11:	模式地Riv. Jejeba (L-AA03) .....	2-74
☒ 2.4.12:	模式地Adami Hara (L-AA33) (上)、Buri Korkoda Ridge (L-AA22) (左下) と Awash Arba (L-KF40) (右下) .....	2-75
☒ 2.4.13:	模式地Asebot山 (L-AA44) (上)、Kulbus (L-AA38) (左下) と Aneno (L-AA21) (右下) .....	2-76
☒ 2.4.14:	Awash River (L-KF41) .....	2-77
☒ 2.7.1:	北部エチオピアリフト内にみられる火山構造的軸の雁行配列.....	2-82
☒ 2.8.1:	調査対象地域の標高分布図 (DEMデータ: ASTER (version 2)、解像度30m、垂直精度20m) .....	2-84
☒ 2.8.2:	エチオピア地溝帯の変遷 (Kazmin and Berhe, 1978を一部改定) .....	2-85
☒ 3.1.1:	エチオピア国の流域区分.....	3-1
☒ 3.1.2:	エチオピアリフトシステムの位置図.....	3-2
☒ 3.1.3:	アワシュ川中流域の数値標高モデル (DEM) .....	3-3
☒ 3.1.4:	アワシュ川水系 (上中流) .....	3-3
☒ 3.2.1:	SPOT衛星画像.....	3-5
☒ 3.2.2:	ALOS衛星画像.....	3-6
☒ 3.2.3:	SRTM DEM陰影図.....	3-9
☒ 3.2.4:	ASTER DEM .....	3-10
☒ 3.2.5:	衛星画像による地形情報.....	3-11
☒ 3.3.1:	West Harargeゾーンの既存井戸深度と揚水流量.....	3-18
☒ 3.3.2:	Arsiゾーンの既存井戸深度と揚水流量.....	3-22
☒ 3.3.3:	East Shewaゾーン、Amhara州等の既存井戸深度と揚水流量.....	3-26
☒ 3.3.4:	湧泉とハンドダッグウェル位置図.....	3-28
☒ 3.4.1:	既存井戸深度と揚水流量の関係図.....	3-30
☒ 3.4.2:	West Hararge地域での地下水位コンター図.....	3-31
☒ 3.4.3:	Amhara地域での地下水位コンター図.....	3-32
☒ 3.4.4:	Koka湖東-Deraタウンにかけての地下水位コンター図.....	3-33
☒ 3.4.5:	Koka湖北-東側の地下水位コンター図.....	3-33

図 3.4.6:	Beseka湖周辺の地下水位コンター図 .....	3-34
図 3.5.1:	水質サンプリング位置図 .....	3-39
図 3.5.2:	トリリニアードイアグラム .....	3-47
図 3.5.3:	トリリニアードイアグラム (全データ) .....	3-49
図 3.5.4:	トリリニアードイアグラム (河川水) .....	3-50
図 3.5.5:	トリリニアードイアグラム (井戸水) .....	3-51
図 3.5.6:	トリリニアードイアグラム (湧水) .....	3-52
図 3.5.7:	トリリニアードイアグラム (湖水) .....	3-53
図 3.5.8:	トリリニアードイアグラム (その他: ハンドダッグウェルの水等) .....	3-54
図 3.5.9:	ヘキサダイアグラム .....	3-55
図 3.5.10:	ヘキサダイアグラム (全水源) (Beseka湖周辺は左上図面を表示) .....	3-57
図 3.5.11:	ヘキサダイアグラム分布図 (河川水) .....	3-58
図 3.5.12:	ヘキサダイアグラム分布図 (井戸水) .....	3-59
図 3.5.13:	ヘキサダイアグラム分布図 (湧水) .....	3-60
図 3.5.14:	ヘキサダイアグラム分布図 (湖水) .....	3-61
図 3.5.15:	ヘキサダイアグラム分布図 (その他) .....	3-62
図 3.5.16:	小雨季/乾季での水質サンプリング地点図 (アワシュ川沿い) .....	3-64
図 3.5.17:	小雨季/乾季でのヘキサダイアグラム (アワシュ川沿い) .....	3-64
図 3.5.18:	小雨季/乾季でのトリリニアードイアグラム (アワシュ川沿い) ....	3-65
図 4.1.1:	物理探査調査位置図 .....	4-1
図 4.2.1:	探査地点詳細図(AW BH-1).....	4-3
図 4.2.2:	探査地点詳細図(AW BH-2).....	4-3
図 4.2.3:	探査地点詳細図(AW BH-3).....	4-4
図 4.2.4:	探査地点詳細図(AW BH-4).....	4-5
図 4.2.5:	探査地点詳細図(AW BH-4N).....	4-6
図 4.2.6:	探査地点詳細図(AW BH-5).....	4-7
図 4.2.7:	探査地点詳細図(AW BH-6).....	4-8
図 4.2.8:	探査地点詳細図(AW BH-7).....	4-8
図 4.2.9:	探査地点詳細図(AW BH-8).....	4-9
図 4.2.10:	探査地点詳細図(AW BH-9).....	4-10
図 4.2.11:	探査地点詳細図(AW BH-10).....	4-10
図 4.2.12:	探査地点詳細図(AW BH-11).....	4-11
図 4.2.13:	探査地点詳細図(AW BH-12).....	4-12
図 4.3.1:	シュランベルジャー法電極配置 .....	4-13
図 4.3.2:	電気探査測定器STING R1.....	4-14
図 4.3.3:	IX1DによるVESデータのインバージョン解析例 .....	4-15
図 4.3.4:	TEM法測定概念図 .....	4-17
図 4.3.5:	TEM測定システム.....	4-18
図 4.3.6:	X1DによるTEMデータのインバージョン解析例.....	4-20
図 4.4.1:	物理探査作業写真 .....	4-21
図 4.4.2:	比抵抗構造断面AW BH-1 (左) &BH-2 (右) .....	4-22
図 4.4.3:	比抵抗構造断面AW BH-3 (左) &BH-4 (右) .....	4-24

図 4.4.4:	比抵抗構造断面AW BH-4N (左) &BH-5 (右)	4-25
図 4.4.5:	比抵抗構造AW BH-6 (左) &BH-7 (右)	4-26
図 4.4.6:	比抵抗構造断面AW BH-8 (左) &BH-9 (右)	4-28
図 4.4.7:	比抵抗構造断面AW BH-10-1 (左) &BH-10-2 (右)	4-29
図 4.4.8:	比抵抗構造断面AW BH-11-1 (左) &BH-11-2 (右)	4-30
図 4.4.9:	比抵抗構造断面(AW BH-12)	4-31
図 4.4.10:	Beseka湖周辺の地下水の比抵抗分布	4-32
図 4.4.11:	ボーリング掘削候補地(AW BH-1)	4-35
図 4.4.12:	ボーリング掘削候補地(AW BH-2)	4-36
図 4.4.13:	ボーリング掘削候補地(AW BH-3)	4-37
図 4.4.14:	ボーリング掘削候補地(AW BH-4N)	4-38
図 4.4.15:	ボーリング掘削候補地(AW BH-5)	4-39
図 4.4.16:	ボーリング掘削候補地(AW BH-6)	4-40
図 4.4.17:	ボーリング掘削候補地(AW BH-7)	4-41
図 4.4.18:	ボーリング掘削候補地(AW BH-8)	4-41
図 4.4.19:	ボーリング掘削候補地(AW BH-9)	4-42
図 4.4.20:	ボーリング掘削候補地(AW BH-10)	4-43
図 4.4.21:	ボーリング掘削候補地(AW BH-11)	4-44
図 4.4.22:	ボーリング掘削候補地(AW BH-12)	4-44
図 5.1.1:	井戸仕上げの構造図	5-2
図 5.2.1:	観測井戸の位置図	5-4
図 5.2.2:	掘削候補地比抵抗断面図 (AWBH-1)	5-15
図 5.2.3:	掘削候補地比抵抗断面図 (AWBH-2)	5-17
図 5.2.4:	掘削候補地比抵抗断面図 (AWBH-3)	5-18
図 5.2.5:	掘削候補地比抵抗断面図 (AWBH-4N)	5-20
図 5.2.6:	掘削候補地比抵抗断面図 (AWBH-5)	5-21
図 5.2.7:	掘削候補地比抵抗断面図 (AWBH-6)	5-22
図 5.2.8:	掘削候補地比抵抗断面図 (AWBH-7)	5-23
図 5.2.9:	掘削候補地比抵抗断面図 (AWBH-8)	5-25
図 5.2.10:	掘削候補地比抵抗断面図 (AWBH-9)	5-26
図 5.2.11:	掘削候補地比抵抗断面図 (AWBH-11)	5-27
図 5.2.12:	掘削候補地比抵抗断面図 (AWBH-12)	5-28
図 5.3.1:	段階試験の水位グラフ (AWBH-1)	5-33
図 5.3.2:	段階試験の水位グラフ (AWBH-4N)	5-35
図 5.3.3:	段階試験の水位グラフ (AWBH-5)	5-36
図 5.3.4:	段階試験の水位グラフ (AWBH-6)	5-37
図 5.3.5:	段階試験の水位グラフ (AWBH-9)	5-37
図 5.3.6:	段階試験の水位グラフ (AWBH-11)	5-38
図 5.3.7:	連続揚水・回復試験の経過時間と水位変動 (S-Tカーブ : AWBH-1)	5-39
図 5.3.8:	AWBH-1ヤコブの図解法	5-40
図 5.3.9:	AWBH-1タイスの図解法	5-40
図 5.3.10:	連続揚水・回復試験の経過時間と水位変動 (S-Tカーブ : AWBH-2)	5-41

☒ 5.3.11:	AWBH-2ヤコブの図解法 .....	5-41
☒ 5.3.12:	AWBH-2タイスの図解法 .....	5-42
☒ 5.3.13:	連続揚水・回復試験の経過時間と水位変動（S-Tカーブ： AWBH-3） .....	5-43
☒ 5.3.14:	AWBH-3ヤコブの図解法 .....	5-43
☒ 5.3.15:	AWBH-3タイスの図解法 .....	5-44
☒ 5.3.16:	連続揚水・回復試験の経過時間と水位変動（S-Tカーブ： AWBH-4N） .....	5-45
☒ 5.3.17:	AWBH-4N ヤコブの図解法（解析不能） .....	5-45
☒ 5.3.18:	AWBH-4N タイスの図解法.....	5-46
☒ 5.3.19:	連続揚水・回復試験の経過時間と水位変動（S-Tカーブ： AWBH-5） .....	5-47
☒ 5.3.20:	AWBH-5ヤコブの図解法 .....	5-47
☒ 5.3.21:	AWBH-5タイスの図解法 .....	5-48
☒ 5.3.22:	連続揚水・回復試験の経過時間と水位変動（S-Tカーブ： AWBH-6） .....	5-49
☒ 5.3.23:	AWBH-6ヤコブの図解法 .....	5-49
☒ 5.3.24:	AWBH-6タイスの図解法 .....	5-50
☒ 5.3.25:	連続揚水・回復試験の経過時間と水位変動（S-Tカーブ： AWBH-9） .....	5-50
☒ 5.3.26:	AWBH-9ヤコブの図解法 .....	5-51
☒ 5.3.27:	AWBH-9タイスの図解法 .....	5-51
☒ 5.3.28:	連続揚水・回復試験の経過時間と水位変動（S-Tカーブ： AWBH-11） .....	5-52
☒ 5.3.29:	AWBH-11ヤコブの図解法 .....	5-52
☒ 5.3.30:	AWBH-11タイスの図解法 .....	5-53
☒ 5.3.31:	連続揚水・回復試験の経過時間と水位変動（S-Tカーブ： AWBH-12） .....	5-53
☒ 5.3.32:	AWBH-12ヤコブの図解法 .....	5-54
☒ 5.3.33:	AWBH-12タイスの図解法 .....	5-54
☒ 5.3.34:	回復試験の図解解析結果（AWBH-1） .....	5-55
☒ 5.3.35:	回復試験の図解解析結果（AWBH-2） .....	5-56
☒ 5.3.36:	回復試験の図解解析結果（AWBH-3） .....	5-56
☒ 5.3.37:	回復式の図解法結果(AWBH-4N).....	5-57
☒ 5.3.38:	回復式の図解法結果(AWBH-5).....	5-58
☒ 5.3.39:	回復式の図解法結果(AWBH-6).....	5-58
☒ 5.3.40:	回復式の図解法結果(AWBH-9).....	5-59
☒ 5.3.41:	回復式の図解法結果(AWBH-11).....	5-60
☒ 5.3.42:	回復式の図解法結果(AWBH-12).....	5-60
☒ 5.5.1:	自記水位計（OYO S&DL mini） .....	5-70
☒ 5.5.2:	自記水位計設置の概要図 .....	5-71
☒ 5.5.3:	自記水位計の記録結果(AWBH-1).....	5-71
☒ 5.5.4:	自記水位計の記録結果(AWBH-2).....	5-72
☒ 5.5.5:	自記水位計の記録結果(AWBH-3).....	5-73

図 5.5.6:	自記水位計の記録結果(AWBH-4N).....	5-73
図 5.5.7:	自記水位計の記録結果(AWBH-5).....	5-74
図 5.5.8:	自記水位計の記録結果(AWBH-6).....	5-75
図 5.5.9:	自記水位計の記録結果(AWBH-9).....	5-76
図 5.5.10:	自記水位計の記録結果(AWBH-11).....	5-76
図 5.5.11:	自記水位計の記録結果(AWBH-12).....	5-77
図 6.3.1:	基盤データの図化例.....	6-4
図 6.3.2:	自然条件関連データの図化例.....	6-5
図 6.3.3:	社会条件関連データの図化例.....	6-6
図 6.3.4:	地下水関連データの図化例.....	6-7
図 6.4.1:	土地被覆分類結果の図化例.....	6-8
図 6.5.1:	GIS/DBの概念図.....	6-9
図 6.7.1:	GIS/DBのインターフェイス (表示画面).....	6-11
図 6.8.1:	GIS/DB活用時の画面表示例.....	6-14
図 6.8.2:	表示例：給水候補小都市の人口・水源種類.....	6-15
図 6.8.3:	表示例：フッ素濃度分布・揚水量・地下水コンター.....	6-15
図 6.8.4:	表示例：給水候補小都市の水道料金、井戸建設年代.....	6-15
図 6.8.5:	表示例：給水候補小都市の水需要に対する既存給水施設の充足率...6-16	6-16
図 6.8.6:	表示例：水質調査地点と一般細菌調査結果.....	6-16
図 7.2.1:	調査地の地下水盆 (SRTMデータを利用した解析).....	7-1
図 7.2.2:	調査地域外の境界地域.....	7-2
図 7.3.1:	Row32における初期モデル層.....	7-3
図 7.3.2:	Column 73における初期モデル層.....	7-3
図 7.3.3:	モデル地域内の河川と湖の位置図.....	7-4
図 7.3.4:	初期モデル境界の設定.....	7-4
図 7.3.5:	井戸位置図.....	7-5
図 7.3.6:	地下水位と標高の関係図.....	7-6
図 7.3.7:	初期地下水位コンター図.....	7-6
図 7.3.8:	初期透水量係数分布図.....	7-8
図 7.3.9:	地下水涵養量パッケージ.....	7-9
図 7.3.10:	井戸位置図の比較 (初期と修正後).....	7-11
図 7.3.11:	井戸パッケージ (第1層の初期値と修正値).....	7-12
図 7.3.12:	井戸パッケージ (第2層の初期値と修正値).....	7-12
図 7.3.13:	井戸パッケージ (第3層の初期値と修正値).....	7-13
図 7.3.14:	グリットサイズの変更.....	7-14
図 7.3.15:	行の修正前後.....	7-14
図 7.3.16:	列の修正前後.....	7-15
図 7.3.17:	定水頭境界の修正.....	7-16
図 7.4.1:	修正後のモデルより最初の計算で発生したドライセルの数.....	7-16
図 7.4.2:	地下水位コンター図 (緑：実測初期水位、青：モデル地下水位) ...7-17	7-17
図 8.2.1:	エチオピア国の水分野の関連政策・計画.....	8-3
図 8.3.1:	オロミア州内の主要都市の位置関係.....	8-7
図 8.3.2:	地方行政区分の関係図.....	8-9
図 8.3.3:	水灌漑電力省及び関係部局の組織図.....	8-10

図 8.3.4:	オロミア州水鉱物エネルギー局及び関係部局の組織図 .....	8-11
図 8.3.5:	対象サイトに向かう道路の様子(1) .....	8-15
図 8.3.6:	対象サイトに向かう道路の様子(2) .....	8-15
図 8.3.7:	オロミア州対象30タウンの位置及び各タウンへのアクセスロード ...	8-16
図 8.3.8:	Awash Melkasa市の水力発電及びAdama市の風力発電の様子 .....	8-17
図 8.4.1:	サンプル家庭調査による回答者の民族及び宗教の全体割合 .....	8-46
図 8.4.2:	サンプル家庭調査結果による対象小都市別の世帯収入の比較 .....	8-47
図 8.4.3:	サンプル家庭調査結果による対象小都市の職業の全体割合 .....	8-48
図 8.4.4:	サンプル家庭調査による水の煮沸意識と下痢症状の有無 .....	8-50
図 8.4.5:	対象小都市の衛生状態に関連する調査の様子 .....	8-51
図 8.4.6:	対象小都市のゾーン別の水汲みの役割担当 .....	8-53
図 8.4.7:	対象小都市別の7-14歳の子供の就学率 .....	8-53
図 8.4.8:	Guba Qoricha郡でみられる土壌流亡対策措置（左：目標値、右:実施の様子） .....	8-54
図 8.4.9:	Wonji-shoa Sugar Factoryの位置 .....	8-55
図 8.4.10:	Wonji-shoa Sugar Factoryのアワシュ川のメイン取水堰 .....	8-55
図 8.4.11:	Metehara Sugar Factoryの位置 .....	8-58
図 8.4.12:	Metehara Sugar FactoryのAbadir Farm地区の取水堰 .....	8-58
図 8.4.13:	Nura Hera農場の位置図 .....	8-60
図 9.2.1:	対象小都市位置図 .....	9-5
図 9.5.1:	OWMEB組織図 .....	9-51
図 9.5.2:	ZWMEO事務所組織図 .....	9-52
図 9.5.3:	WWMEO事務所組織図 .....	9-53
図 9.5.4:	維持管理支援体制 .....	9-58
図 10.3.1:	地下水源及び地上式配水池による給水システム概略図 .....	10-2
図 10.3.2:	地下水源及び高架式配水池による給水システム概略図 .....	10-3
図 10.5.1:	調査位置図 .....	10-5
図 10.5.2:	アワシュ川中流域の年間雨量の等雨量線図 .....	10-7
図 10.5.3:	アフリカ大地溝帯の分布の連続 .....	10-8
図 10.5.4:	ヘルスセンターに併設の小型焼却炉（現在は使用されていない模様（Areda市）） .....	10-8
図 10.7.1:	オロミア州環境保護部組織図及び州内の関係機関 .....	10-13
図 10.11.1:	Aneno市の水小売人（中央男性、自身の小売店前にて） .....	10-18
図 10.11.2:	各地の一般的な道路状況 .....	10-19
図 11.2.1:	Beseka湖位置図 .....	11-1
図 11.2.2:	Beseka湖の現状 .....	11-2
図 11.2.3:	Beseka湖流域の水収支解析結果（Ayalew、2009） .....	11-2
図 11.2.4:	Beseka湖流域の水収支解析結果（WWDSE、2011） .....	11-3
図 11.2.5:	Beseka湖水位の時系列データ（1977－2009） .....	11-4
図 11.2.6:	Beseka湖水位の時系列データ（1912－2009） .....	11-4
図 11.2.7:	5千分の一地形図に基づくBeseka湖の水位—湖面積および水位—湖貯留量曲線 .....	11-5
図 11.2.8:	Beseka湖面積の時系列データ（1912－2009） .....	11-5
図 11.2.9:	Beseka湖貯留量の時系列データ（1912－2009） .....	11-5

図 11.2.10:	Beseka湖貯留量の変化 .....	11-6
図 11.2.11:	Metehara観測所の年降水量とBeseka湖貯留量変化の関係(1977-1998) .....	11-6
図 11.2.12:	Metehara地域の砂糖農場における年間降水量の長期トレンド .....	11-7
図 11.2.13:	Beseka湖からの推定流出量 .....	11-8
図 11.2.14:	Beseka湖流域内外の灌漑プロジェクト .....	11-9
図 11.3.1:	Beseka湖周辺の標高分布図 .....	11-13
図 11.3.2:	Beseka湖周辺の地形区分図 .....	11-14
図 11.3.3:	Beseka湖周辺の北西-南東方向の地形断面(A-A') .....	11-15
図 11.3.4:	Beseka湖周辺の東西方向の地形断面(B-B') .....	11-15
図 11.3.5:	Beseka湖周辺の南北方向の地形断面(C-C') .....	11-16
図 11.3.6:	解析に用いた航空写真位置図 .....	11-16
図 11.3.7:	Beseka湖南部から流入する旧河道 .....	11-17
図 11.3.8:	詳細調査地域の地質図 .....	11-19
図 11.3.9:	詳細調査地域の地質断面図 .....	11-20
図 11.3.10:	Birenti-Hada流紋岩類の露頭写真 .....	11-21
図 11.3.11:	古イグニンプライトの露頭写真 .....	11-22
図 11.3.12:	Nura Hira玄武岩類の露頭写真 .....	11-23
図 11.3.13:	Dinoイグニンプライトの露頭写真 .....	11-23
図 11.3.14:	Sobebor火山性砂岩層の露頭写真 .....	11-24
図 11.3.15:	更新世玄武岩類の露頭写真 .....	11-26
図 11.3.16:	Koneイグニンプライトの露頭写真 .....	11-27
図 11.3.17:	Fentale火山岩類の露頭写真 .....	11-28
図 11.3.18:	Fentaleイグニンプライトの露頭写真 .....	11-29
図 11.3.19:	Fentaleイグニンプライトの地表面に形成されているBlisterの露頭写真 .....	11-30
図 11.3.20:	完新世玄武岩類の露頭写真 .....	11-31
図 11.3.21:	沖積層の写真 .....	11-32
図 11.3.22:	Beseka湖周辺の既存井戸及び本プロジェクトの試掘井戸の位置と柱状図断面のプロファイル .....	11-33
図 11.3.23:	既存井戸柱状図プロファイルA-A'断面(縦横比30:1) .....	11-34
図 11.3.24:	既存井戸柱状図プロファイルB-B'断面(縦横比30:1) .....	11-35
図 11.3.25:	既存井戸柱状図プロファイルC-C'断面(縦横比40:1) .....	11-36
図 11.3.26:	既存井戸柱状図プロファイルD-D'断面(縦横比30:1) .....	11-37
図 11.3.27:	既存井戸柱状図プロファイルE-E'断面(縦横比40:1) .....	11-38
図 11.3.28:	既存井戸柱状図プロファイルF-F'断面(縦横比40:1) .....	11-39
図 11.3.29:	詳細調査地域に分布する断層群 .....	11-41
図 11.4.1:	Beseka湖周辺の地質図と既存井戸、JICA井戸 .....	11-42
図 11.4.2:	JICA井戸AW BH-3の概略柱状図と地質対比 .....	11-43
図 11.4.3:	JICA井戸AW BH-4 Nの概略柱状図と地質対比 .....	11-43
図 11.4.4:	JICA井戸AW BH-5の概略柱状図と地質対比 .....	11-44
図 11.4.5:	Beseka湖周辺の地下水位コンター図(既存井戸100 m以浅) .....	11-46
図 11.4.6:	Beseka湖周辺の地下水位コンター図(既存井戸100 m以深) .....	11-46
図 11.4.7:	Beseka湖周辺の既存井戸の深度とフッ素濃度の関係図 .....	11-48

図 11.4.8:	Beseka湖周辺の水理地質図（平面図） .....	11-49
図 11.4.9:	Beseka湖周辺の水理地質図（断面図） .....	11-50
図 11.5.1:	Beseka湖付近の水源の水温調査結果 .....	11-51
図 11.5.2:	Landsatデータを用いた湖面温度の解析のフロー .....	11-52
図 11.5.3:	Beseka湖面温度の経年変化 .....	11-53
図 11.5.4:	Beseka湖、Koka湖、アワシユ川（A-5）の位置.....	11-54
図 11.5.5:	Koka湖面温度の経年変化 .....	11-55
図 11.5.6:	Beseka湖面温度とKoka湖面温度の比較.....	11-55
図 11.5.7:	Beseka湖面温度の平面分布状況 .....	11-56
図 11.5.8:	Abadir灌漑地区付近のアワシユ川表面温度とBeseka湖面温度 .....	11-57
図 11.5.9:	Beseka湖周辺の水質サンプリング地点 .....	11-60
図 11.5.10:	トリリニアードイアグラム（Beseka湖周辺） .....	11-62
図 11.5.11:	サンプリング地点のヘキサダイアグラム（Beseka湖周辺） .....	11-63
図 11.5.12:	Beseka湖西側の代表的なヘキサダイアグラム .....	11-64
図 11.5.13:	Beseka湖南西側の代表的なヘキサダイアグラム .....	11-65
図 11.5.14:	Beseka湖南側の代表的なヘキサダイアグラム .....	11-66
図 11.5.15:	Beseka湖周辺の安定同位体比のデルタダイアグラム .....	11-70
図 11.5.16:	Beseka湖の水位変化と灌漑プロジェクト開始時期 .....	11-72
図 11.5.17:	灌漑時に発生する主な損失.....	11-73
図 11.5.18:	本調査で推定する灌漑効率.....	11-74
図 11.5.19:	サトウキビの生育段階.....	11-75
図 11.5.20:	閉塞流域における水バランス .....	11-78
図 11.5.21:	ELSA=33.4 km <sup>2</sup> とした場合のBeseka湖の年間水バランス .....	11-79
図 11.5.22:	ELSA=4 km <sup>2</sup> とした場合のBeseka湖の年間水バランス（流出Xを 仮定） .....	11-80
図 11.5.23:	ELSA=4 km <sup>2</sup> とした場合のBeseka湖の年間水バランス（損失Yを 仮定） .....	11-80
図 11.5.24:	各年の水バランス計算によるBeseka湖水位の変化 .....	11-81
図 11.5.25:	各年の水バランス計算によるBeseka湖面積の変化 .....	11-81
図 11.5.26:	灌漑余剰水（35百万m <sup>3</sup> ）を含んだBeseka湖の年間水バランス .....	11-83
図 11.5.27:	灌漑余剰水（46.2百万m <sup>3</sup> ）を含んだBeseka湖の年間水バランス .....	11-84
図 11.5.28:	灌漑余剰水（102百万m <sup>3</sup> ）を含んだBeseka湖の年間水バランス .....	11-85
図 11.5.29:	各年の水バランス計算によるBeseka湖水位の変化（灌漑余剰水あ り） .....	11-85
図 11.5.30:	各年の水バランス計算によるBeseka湖面積の変化（灌漑余剰水あ り） .....	11-86
図 11.5.31:	灌漑余剰水（35百万m <sup>3</sup> ）を含んだBeseka湖の年間水バランス（損 失Yなし） .....	11-87
図 11.5.32:	灌漑余剰水（102百万m <sup>3</sup> ）を含んだBeseka湖の年間水バランス（損 失Yなし） .....	11-87
図 11.5.33:	Beseka湖水位の変動から計算した追加流入量 .....	11-89
図 11.5.34:	WWDSE (2011)によるBeseka湖への地下水流入量計算結果.....	11-89
図 11.6.1:	Beseka湖周辺の灌漑地の位置図 .....	11-91

図 11.6.2:	灌漑地流入量とモデルによる湖水位変動との解析結果（50%減少値） .....	11-93
図 11.6.3:	灌漑地流入量とモデルによる湖水位変動との解析結果（灌漑流入量と同じ） .....	11-94
図 11.6.4:	灌漑地流入量とモデルによる湖水位変動との解析結果（灌漑流入量の倍） .....	11-95
図 11.6.5:	河川流入量とモデルによる湖水位変動との解析結果（流入量と同じ） .....	11-96
図 11.6.6:	Abadir 灌漑地での地下水位変動モデル予測（灌漑地からの流入量） .....	11-97
図 11.6.7:	Abadir 灌漑地での地下水位変動モデル予測（河川流入量での推定） .....	11-98
図 11.6.8:	湖水位変動と灌漑地流入量との比較.....	11-99

## 略 語 一 覧

AAU	Addis Ababa University	アディスアベバ大学
AGRAP	Alidge Groundwater Resources Assessment Project	Alidge地下水資源評価プロジェクト
AIDS	Acquired Immune Deficiency Syndrome	エイズ、後天性免疫不全症候群
ALOS	Advanced Land Observing Satellite	陸域観測技術衛星
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer	(リモートセンシング衛星画像の一つ)
ASTER-GDEM	ASTER-Global Digital Elevation Model	ASTERによる数値標高モデル
AU	Adama University	アダマ大学
BFI	Base Flow Index	基底流量インデックス
CAD	Computer Aided Design (System)	コンピュータ支援設計
CDE	Center for Development and Environment, Ministry of Agriculture	農業省開発・環境センター
CFC	Chloride Fluoride Carbon	クロロフルオロカーボン
CREC	China Railway Engineering Corporation	中国中铁
CSA	Central Statistical Agency	中央統計局
CSE	The Conservation Strategy of Ethiopia	エチオピア国環境保護戦略
C/P	Counterpart (organization or personnel)	カウンターパート (人・組織)
DB	Database	データベース
DCI	Ductile Cast Iron	ダクタイル鋳鉄
DEM	Digital Elevation Model	数値標高モデル
DF/R	Draft Final Report	ドラフトファイナルレポート
DTH	Down the Hole Hammer	ダウンザホールハンマー
DWL	Dynamic Water Level	動水位
EC	Electric Conductivity	電気伝導度
EEPCO	Ethiopia Electric Power Corporation	エチオピア電力公社
EGRAP	Ethiopian Groundwater Resources Assessment Program	エチオピア地下水資源評価プログラム
EIA	Environmental Impact Assessment	環境影響評価
EIGS	Ethiopian Institute of Geological Survey, now renamed as Geological Survey of Ethiopia (GSE)	エチオピア地質調査所 (現在のGSE)
EL	Elevation	標高
ELC	Elc electroconsult milano and Geotermica italiana pisa, Italia	(イタリアのコンサルタント)
ELSA	Equilibrium Lake Surface Area	平衡湖面積
EMA	Ethiopia Mapping Agency	エチオピア国土地理院
ENGDA	Ethiopian National Groundwater Database	エチオピア国地下水データベース
ENGWIS	Ethiopian National Groundwater Information System	エチオピア国地下水情報システム
EPA	Environmental Protection Agency, now renamed as Ministry of Environment and Forest (MEF)	エチオピア国環境保護局 (現在は環境森林省 (MEF) )
EPC	Environmental Protection Council	環境保護評議会
ERA	Ethiopian Road Authority	エチオピア道路公社
ERC	Ethiopian Railway Corporation	エチオピア鉄道公社
ESA	Ethiopian Standard Agency	エチオピア基準局
ESIA	Environmental and Social Impact Assessment	環境社会影響調査
ET	Evapotranspiration	蒸発散
EU	European Union	欧州連合
EWCA	Ethiopian Wildlife Conservation Authority	エチオピア野生動物保全局
EWTEC	Ethiopia Water Technology Center, now renamed as Ethiopia Water Technology Institute (EWTI)	エチオピア水技術センター (現在の水供給技術専門学校 (EWTI) )

EWTI	Ethiopia Water Technology Institute, formerly known as Ethiopia Water Technology Center (EWTEC)	エチオピア水供給技術専門学校(旧水技術センター (EWTEC) )
F/R	Final Report	ファイナルレポート
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations	国連食糧農業機関
FAO-AGLW	FAO Water Resource, Development and Management Services	FAO水資源開発管理サービス
FDM	Finite Difference Method	有限差分法
FEM	Finite Element Method	有限要素法
GD	Groundwater Directorate (of MoWIE)	地下水局 (水灌漑電力省)
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GHB	General Head Boundary	(地下水モデルの境界条件の一種)
GIS	Geographical Information System	地理情報システム
GL	Ground Level	地盤高
GNI	Gross National Income	国民総所得
GPS	Global Positioning System	全球測位システム
GRSDM	Groundwater Resources Study Development and Management Directorate, MoWR, now renamed as GD of MoWIE	水灌漑電力省地下水開発管理局(現在の地下水局 (GD) )
GSE	Geological Survey of Ethiopia	エチオピア地質調査所
GSP	Galvanized Steel Pipe	亜鉛メッキ鋼管
GTP	Growth and Transformation Plan	成長と構造改革計画
GWR	Groundwater Recharge	地下水涵養量
HIV	Human Immunodeficiency Virus	ヒト免疫不全ウイルス
IAEA	International Atomic Energy Agency	国際原子力機関
IC/R	Inception Report	インセプションレポート
IEE	Initial Environmental Examination	初期環境調査
IMF	International Monetary Fund	国際通貨基金
INGEIS	Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (Institute of Geochronology and Geology, Argentine)	(アルゼンチンの地質年代学・地質研究所)
ISO	International Standard Organization	国際標準化機構
ISODATA	The Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique	(リモートセンシングの画像処理手法名)
IT/R	Interim Report	インテリムレポート
ITCZ	Inter-tropical Convergence Zone	熱帯収束帯
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力機構
LEL	Local Evaporation Line	蒸発線
LMWL	Local Meteoric Water Line	天水線
M&E	Monitoring and Evaluation	モニタリングと評価
M/M	Minutes of Meeting	協議議事録
MCM	Million Cubic Meter	百万立方メートル
MDGs	Millennium Development Goals	ミレニアム開発目標
MEF	Ministry of Environment and Forest, formerly known as Environmental Protection Agency (EPA)	環境森林省 (旧環境保護局)
MER	Main Ethiopian Rift	主エチオピアリフト
MOA	Ministry of Agriculture	農業省
MoWR	Ministry of Water Resources, now renamed as Ministry of Water, Irrigation and Electricity (MoWIE)	水資源省(水灌漑電力省の旧名)
MoWE	Ministry of Water and Energy, now renamed as	水エネルギー省(水灌漑電力省の旧

	Ministry of Water, Irrigation and Electricity (MoWIE)	名)
MoWIE	Ministry of Water, Irrigation and Electricity, formerly known as Ministry of Water, Irrigation and Energy, Ministry of Water and Energy (MoWE) or Ministry of Water Resources (MoWR)	水灌漑電力省
MSE	Metehara Sugar Estate	Metehara砂糖農場
MWL	Meteoric Water Line	天水線
NASA	National Aeronautics and Space Administration, USA	米国航空宇宙局
NGI	National Groundwater Institute	国立地下水研究所
NGO	Non-Governmental Organization	非政府組織
NMA	National Meteorology Agency	国立気象局
OLEPB	Oromia Land and Environmental Protection Bureau	オロミア州土地・環境保護局
ORP	Oxidation and Reduction Potential	酸化還元電位
O(R)WMEB	Oromia (Regional) Water, Material and Energy Development Bureau	オロミア州水・鉱物・エネルギー局
OWNP	One WASH National Program	—
OWWDSE	Oromia Water Works Design and Supervision Enterprise	オロミア州水工設計施工エンタープライズ
P/R	Progress Report	プログレスレポート
PA	Preliminary (Environmental) Assessment	事前環境影響評価
PASDEP	Plan for Accelerated and Sustained Development to End Poverty	貧困削減のための加速的かつ持続的な開発計画
PC	Personal Computer	パーソナルコンピューター
PPP	Purchasing Power Parity	購買力平価
PRSP	Poverty Reduction Strategy Paper	貧困削減戦略文書
PVC	Polyvinyl Chloride	ポリ塩化ビニル
R/D	Record of Discussion	討議議事録
REA	Regional Environmental Agency	州立環境保護庁
RESTEC	Remote Sensing Technology Center of Japan	リモートセンシング技術センター (日本)
RVLB	Rift Valley Lakes Basin	リフトバレー湖沼地域
SC	Steering Committee	運営委員会
SCM	Steering Committee Member or Steering Committee Meeting	運営委員会メンバー又は運営委員会会議
SDPRP	Sustainable Development and Poverty Reduction Program	貧困削減戦略ペーパー
SEA	Strategic Environmental impact Assessment	戦略的環境影響評価
SFGS	Streamflow Gauging Station	測水所
SP	Spontaneous potential	自然電位
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre (France)	フランスの地球観測衛星
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission	スペースシャトル立体地形レーダー作成ミッション
SS	Suspended Solids	浮遊物質、懸濁物質
TDS	Total Dissolved Solids	総溶解固形分
TEM	Transient (or Time-domain) Electromagnetic Method	時間領域電磁探査法
TIR	Thermal Infrared	熱赤外線
TM	Thematic Mapper	セマティックマッパー(ランドサット衛星のセンサー)

TOR	Terms of Reference	取り決め事項
TU	Tritium Unit	トリチウムユニット
TWSSO	Town Water Supply Service Office	市給水事務所
TWSSSE	Town Water Supply and Sewerage Service Enterprise	市上下水道公社
UAP	Universal Access Program	ユニバーサルアクセスプログラム
UNEP	United Nations Environment Programme	国連環境計画
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization	国連教育科学文化機構（ユネスコ）
UNICEF	United Nations Children's Fund	国連児童基金
uPVC	Unplasticized Polyvinyl Chloride	無可塑ポリ塩化ビニル
USBR	United States Bureau of Reclamation	米国内務省開拓局
USGS	United States Geological Survey	米国地質調査所
UTM	Universal Transversal Mercator	ユニバーサル横メルカトル図法
VES	Vertical Electrical Sounding	垂直電気探査
VIP	Ventilation Improved Pit	VIPトイレ
WASH	Water Supply, Sanitation and Hygiene Program	水と保健と衛生の強化プログラム
WB	World Bank	世界銀行
WC	Water Committee	水管理委員会
WFB	Wonji Fault Belt	Wonji断層群
WHO	World Health Organization	世界保健機関
WSDP	Water Sector Development Program	水セクター開発プログラム
WSSM	Water Supply and Sanitation Master Plan	給水衛生マスタープラン
WWDSE	Water Works Design and Supervision Enterprise	水工設計施工エンタープライズ
WWMEO	Woreda Water, Mineral and Energy Office	郡水・鉱物・エネルギー事務所
ZWMEO	Zonal Water, Mineral and Energy Office	ゾーン水・鉱物・エネルギー事務所

## プロジェクト写真 (1/5)



### IC/R 協議

2013年11月5日にIC/R説明・協議。水灌漑電力省（MoWIE）や地質調査所（GSE）のC/Pが主に参加。11月11日にM/Mが締結される。



### プロジェクト紹介

水文資料収集のためプロジェクト概要をステークホルダーに説明している様子。



### 現場視察 (1)

写真はBeseka湖での現地調査の様子。カウンタパートと団員の間で土台の建設年について協議。



### 現場視察 (2)

Beseka湖水位上昇を低減させる対策として、現在は湖の東側から水路を通じて湖水をアワシュ川に放流している。



### 物理探査作業 (1)

写真は物理探査作業（VES電気探査）の様子。物理探査で得られた地下の比抵抗値を基に、観測井掘削の場所を選定する。探査深度は約200m。



### 物理探査作業 (2)

写真は物理探査作業（TEM電磁探査法）の様子。物理探査で得られた地下の比抵抗値を基に、観測井掘削の場所を選定する。探査深度は約400m。

## プロジェクト写真 (2/5)



### 地質踏査 (1)

水灌漑電力省 (MoWIE) の C/P が 2014 年 12 月～2015 年 2 月まで約 2 月間及び、2015 年 4 月の約 1 月間地表踏査に同行し、露頭の検討、地質図作成に参加した。



### 地質踏査 (2)

写真は Bofa 西方に見られる Bofa 玄武岩を覆う Megacha 高溶結凝灰岩の露頭の様子。



### 社会経済調査

オロミア州ケンテリー小都市にて水利用の実態調査と課題に関するフォーカスグループディスカッションの様子。



### 小都市水利用実態調査 (1)

オロミア州ゲルディヤー小都市での既存給水施設調査の様子。



### 小都市水利用実態調査 (2)

オロミア州アレダ小都市で公共水栓での水汲みの様子。20ℓ容器あたり約 2 円で水管理組合が販売している。



### IAEA 用試料サンプリング

安定同位体分析等を IAEA で実施するためのサンプリング試料の採取のうち、銅管を用いたヘリウムガスのチューピングの指導を行なっている。

## プロジェクト写真 (3/5)



### 初回 C/P 会議

2014年4月24日にP/R1の説明・協議のC/P会議を実施。水灌漑電力省（MoWIE）やオロミア州のC/Pが主に参加。その後にM/Mが締結された。



### JICA 専門員の現地視察 (1)

アワシユ川支流のArba川沿いの流紋岩体付近での露頭観察風景。C/Pとも調査しながら意見交換を行なっている。



### JICA 専門員の現地視察 (2)

岡山大学の鈴木先生とBeseka湖周辺やFentale火山周辺の踏査及び調査地域全域の地形地質踏査を4月に実施。写真はFentale火山調査後の撮影。



### Wonji 砂糖プランテーション

Adama市の南約10kmに位置し、面積11,000haを超える大規模国営農場である。写真は農場内でプランテーションの概要を聞き取りしている。



### Metehara 砂糖プランテーション

Metehara市の南約5kmに位置し、面積10,000haを超える大規模国営砂糖プランテーションである。写真はプランテーション内の井戸の状況。



### 観測井掘削 (1)

AW BH-3の掘削は表層から30m付近まで孔壁の保持が難しく、孔壁からの逸水防止のためにわらとペントナイトを混ぜた粘土ボールを投入した。

## プロジェクト写真 (4/5)



### 観測井掘削 (2)

試掘地点 AWBH-11 の井戸洗浄：試掘完了後にケーシング挿入して井戸を作成した後に高圧の空気を孔内に送り井戸に溜まっている泥水を排出し井戸を清掃する作業。



### 観測井掘削 (3)

試掘地点 AWBH-1 の揚水試験：汲み上げた地下水の水量を測定中：三角ノッチタンクを越流している水高 (cm) を計測して揚水量を算定する作業。



### 水質サンプリング (1)

水質サンプリングは既存井戸、湧水、河川水、湖水等の水源から採水し、それぞれの水質の特徴を把握した。写真は East Shewa ゾーンの深井戸からの採水。



### 水質サンプリング (2)

Beseka 湖南西側にみられる湧泉のサンプリング状況。水質解析から、Beseka 湖へ流入する湧水は他の湧水と分析結果が異なる。



### 水質サンプリング (3)

灌漑地からの流入水の水質サンプリングを実施した。水質の結果は、湖水の性状を強く示すが、 $\text{HCO}_3$  値が顕著で植生の影響を受ける。



### プロGRESS・レポート2の説明

2014年7月24日にP/R2の説明・協議のC/P会議を実施。水省(MoWIE)やオロミア州のC/Pが主に参加。その後にM/Mが締結された。

## プロジェクト写真 (5/5)



### GIS ワークショップ

2015年1月30日、MoWIE 内にて開催した GIS ワークショップにおいて、地下水開発支援のための GIS/データベースの概要について講義している様子。



### Tone 湧水の状況

Beseka 湖の南西側に分布する湧泉。湧出量は水没しているため把握することが困難であるが、湧き出ている様子がよく観察できる。



### 環境社会配慮の調査

Mojo 市にある対象小都市を管轄するワレダ事務所の教育局での聞き取り状況。とくに水汲みの実態と就学率の関係についてのデータを収集した。



### インテリム・レポートの説明

2015年6月11日に IT/R の説明・協議のステアリングコミティ会議を実施。プロジェクトの責任者である水省 (MoWIE) の副大臣も参加し、多岐にわたる内容の討議がなされた。その後に M/M が締結された。



### 技術移転セミナーの開催

2015年10月27日にプロジェクト実施にかかる成果、課題及び提言における技術移転セミナーを開催。C/P (MoWIE、EWTI、GSE、OWMEB 及び AAU) の他に、NGO も本セミナーに参加した。



### ドラフト・ファイナル・レポートの説明

2015年10月27日に DF/R の説明・協議のステアリングコミティ会議を実施し、プロジェクト終了後の報告書の活用を含めた内容の討議がなされた。その後に M/M が締結された。

# Chapter 1

---

---

気象・水文

*Meteorology and Hydrology*

# 1 気象・水文

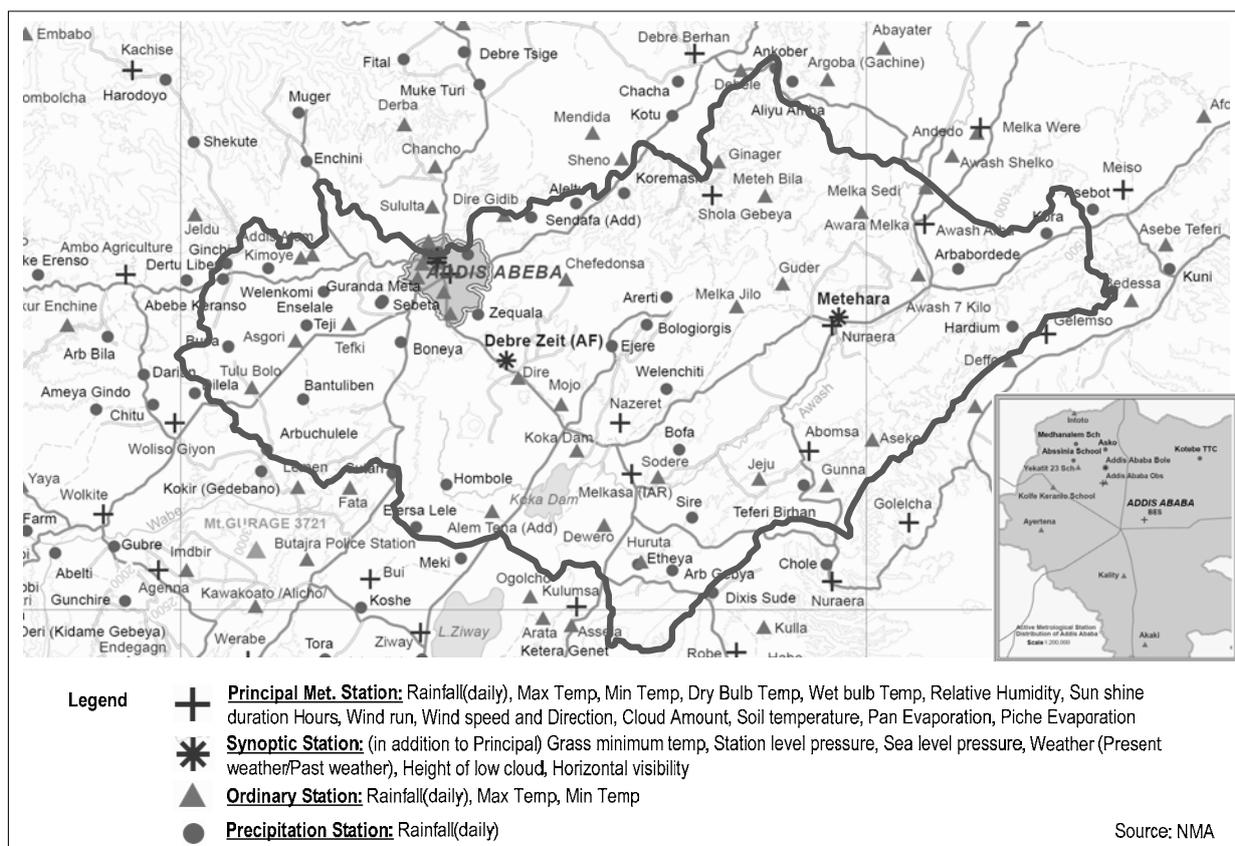
## 1.1 気象データのレビュー

### 1.1.1 気象観測網と観測項目

エチオピア国における気象観測所は国家気象局（National Meteorological Agency : NMA）によって管理され、以下の4種類に区分される。

- 主要（Principal）気象観測所：以下の項目を観測する。1) 日雨量、2) 最高気温、3) 最低気温、4) 乾球温度、5) 湿球温度、6) 相対湿度、7) 日照時間、8) 風程、9) 風速／風向、10) 雲量、11) 土壌温度、12) パン蒸発量、13) ピチェ蒸発量。
- 総観（Synoptic）気象観測所：上記の13項目に加えて以下の項目を観測する。14) 草生最低温度、15) 気圧、16) 海面気圧、17) 天気（現在／過去）、18) 下層雲高、19) 水平視程。
- 通常（Ordinary）気象観測所：以下の項目を観測する。1) 日雨量、2) 最高気温、3) 最低気温
- 雨量（Precipitation）観測所：日雨量を観測する。

アワシュ川中流域内および近傍の気象観測所の位置図を図 1.1.1に示す。



出典：NMA

図 1.1.1: アワシュ川中流域内および近傍の気象観測所位置図

観測所区分ごとの観測所数（アワシュ川中流域内）を表 1.1.1に示す。

表 1.1.1: アワシュ川中流域内の気象観測所数

区分	観測所数	備考
主要（Principal）気象観測所	8	Addis Ababa Obs., BES, Melkasa (IAR), Nazret, Abomsa, Nuraera, Shola Gebeya, Awash Arba
総観（Synoptic）気象観測所	3	Addis Ababa Bole, Debre Zeit (AF), Metehara
通常（Ordinary）気象観測所	30	
雨量（Precipitation）観測所	33	
合計	74	

出典：調査団、データ元：NMA の観測所位置情報

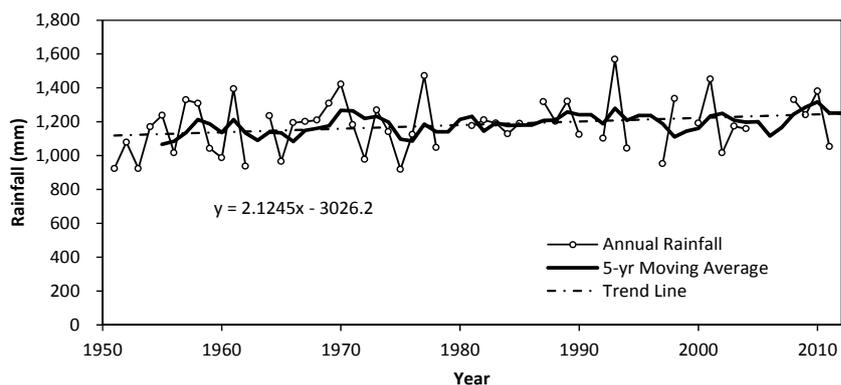
NMA から入手した気象データの解析結果について以降に示す。

## 1.1.2 降水量

### a. 利用可能期間

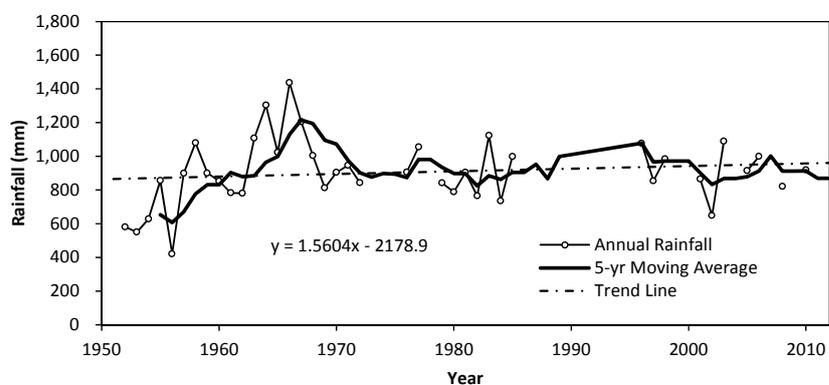
以下の 20 観測所について、最近 62 年間（1951 年－2012 年）の日雨量データを NMA から購入した。これらの観測所はアワシュ川中流域を均等にカバーするように選定した。入手したデータの期間および欠測状況は図 1.1.2に示すとおりである。





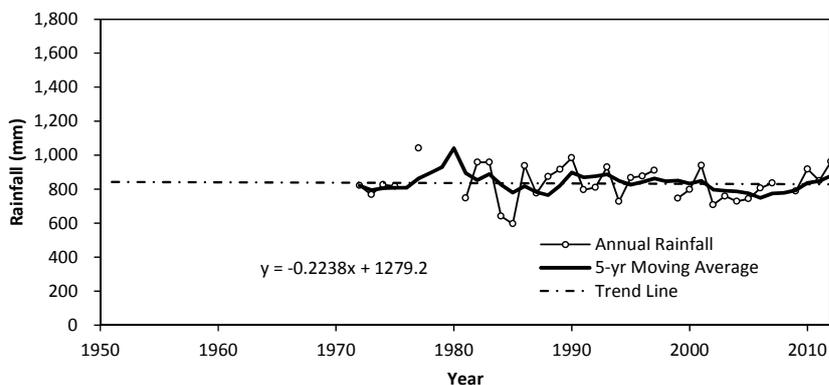
出典：調査団、データ元：NMA の日雨量データ

図 1.1.3: アディスアベバにおける年降水量のトレンド(1951-2011)



出典：調査団、データ元：NMA の日雨量データ

図 1.1.4: Debre Zeit における年降水量のトレンド(1952-2011)



出典：調査団、データ元：NMA の日雨量データ

図 1.1.5: Kulumsa における年降水量のトレンド(1972-2012)

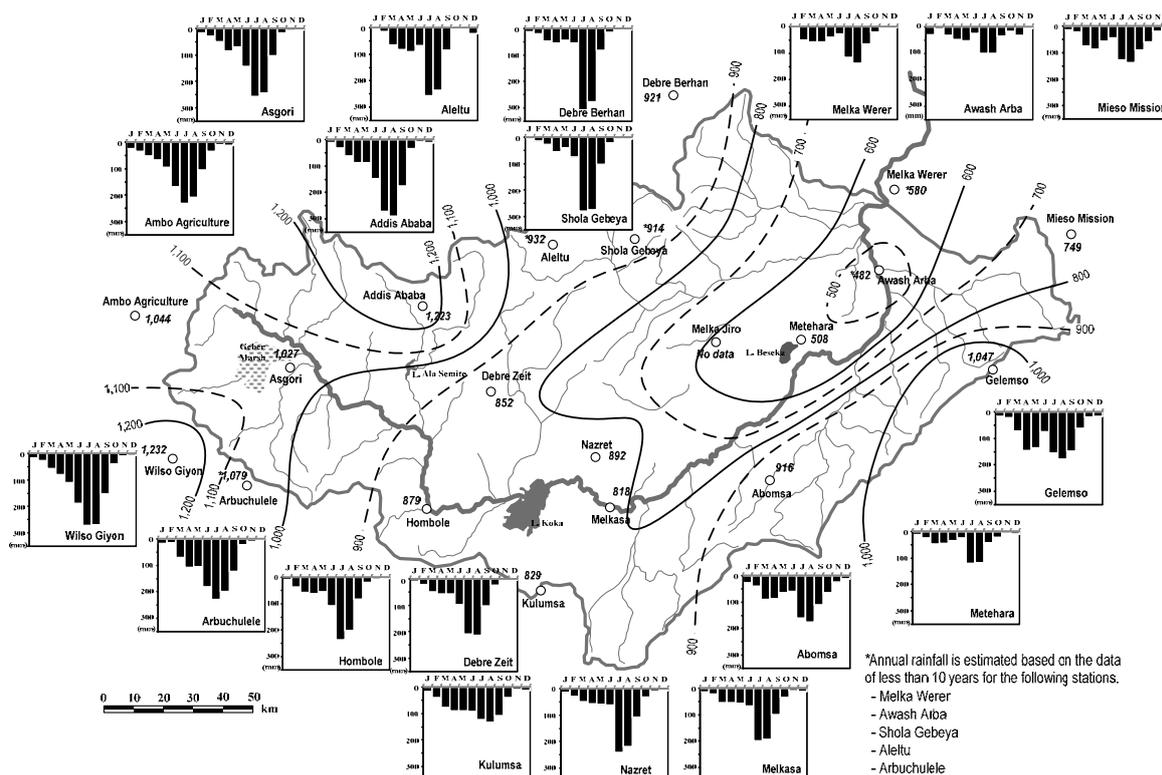
上に示したグラフは、それぞれの観測所において、欠測のない年の年間降水量とその5年移動平均、および近似直線を示している。近似直線によると、アディスアベバと Debre Zeit においてはわずかな上昇トレンドが見受けられる一方、Kulumsa ではわずかな下降トレンドが見られる。すなわち、アワシュ川中流域において何らかの明確な年間降水量の変化トレンドを見出すことはできない。

### c. 降雨の空間分布

収集した雨量データに基づき、アワシユ川中流域における年雨量に関する等雨量線図を作成した。同図は以下の手順で作成した。

- i) 各観測所における年平均降水量を計算する。
- ii) 計算した年平均降水量を流域地図上の観測所位置に記す。
- iii) 上記を基に、年間降雨量値が等値となる点を手作業で結ぶ。

作成した等雨量線図を図 1.1.6に示す。

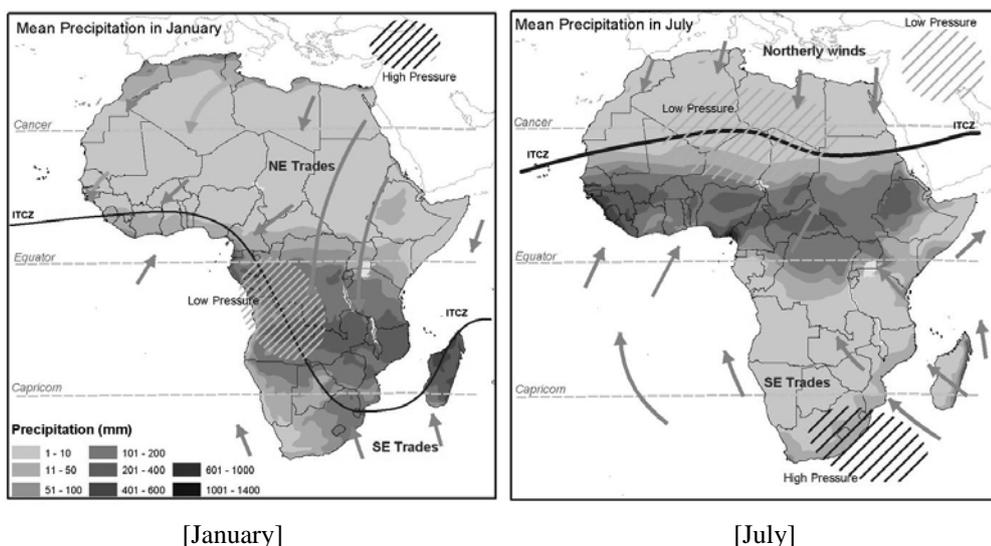


出典：調査団、データ元：NMA の日雨量データ

図 1.1.6: アワシユ川中流域の年間雨量の等雨量線図

流域北西部（上流部）において年間雨量が比較的多く、下流へ行くに従って減少する傾向がある。流域西部および北西部においては年間 1,000 mm 以上の降水がある。流域中流部の Koka 湖付近の年降水量は 800 mm から 900 mm 程度である。また、Metehara から下流域では 500 mm 程度かそれ未満の降水量しかない。

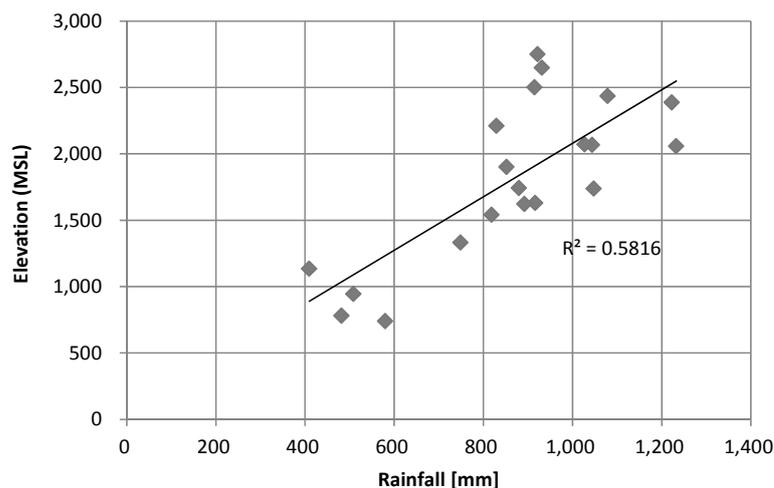
図 1.1.6によると、月間雨量の明瞭なピークは7月および8月に見られる。さらに、多くの観測所では3月から4月にかけて小規模なピークが見られる。アワシユ川中流域の気候は3つの明瞭な季節によって特徴づけられる。それらは、ベガ（Bega、乾季、10月から1月）、ブレグ（Bleg、小雨季、2月から5月）およびキレムト（Kiremt、雨季、6月から10月）と呼ばれる。この地域の降水は熱帯収束帯（ITCZ）の位置に大きく依存する。ITCZは赤道付近に形成される低気圧帯であり、太陽と地球の位置関係により南北へ移動するものである。アワシユ川中流域では ITCZ がその北限すなわち「エ」国北方からアラビア半島を結ぶあたりに位置するとき雨季を迎えることとなる（図 1.1.7参照）。



出典：Grid Africa by United Nations Environment Programme (UNEP)

図 1.1.7: アフリカにおける熱帯収束帯(ITCZ)の季節移動

観測所標高と年間降水量の関係は図 1.1.8に示すとおりである。



出典：調査団、データ元：NMA の日雨量データ

図 1.1.8: 観測所標高と年間雨量の関係

年間降水量は標高の高い観測所ほど多い。アワシュ川中流域においては標高が 1,000 m かそれ以下の地点ではおよそ 400 mm から 600 mm である。また、標高が 1,500 mm かそれ以上の地点では 800 mm から 1,200 mm の年間降水量が観測される。

#### d. アワシュ川中流域における流域平均降雨

アワシュ川中流域における流域平均降水量はティーセン法を用いて推定した。ティーセン法は図解法による面積降雨推定手法であり、まず各観測所の位置に基づき作成される多角形網（ティーセン網）の面積から、各観測所データの重みを計算する。次に、各観測所の観測データに重みを掛け、それらを足し合わせることで面積平均降雨を計算す



**b. 月平均蒸発量の推定**

月平均蒸発量は日蒸発量データから推定した。具体的には、欠測日のない月を対象に日蒸発量を積算しそれを平均することである月の蒸発量を推定した。例えばある観測所において、1月の日蒸発量データに欠測のない年が1998年、2000年および2005年であった場合、同観測所の1月の平均蒸発量はこれら3年の1月の蒸発量の算術平均値とした。

このようにして推定した11観測所の月平均蒸発量を表1.1.2に示す。

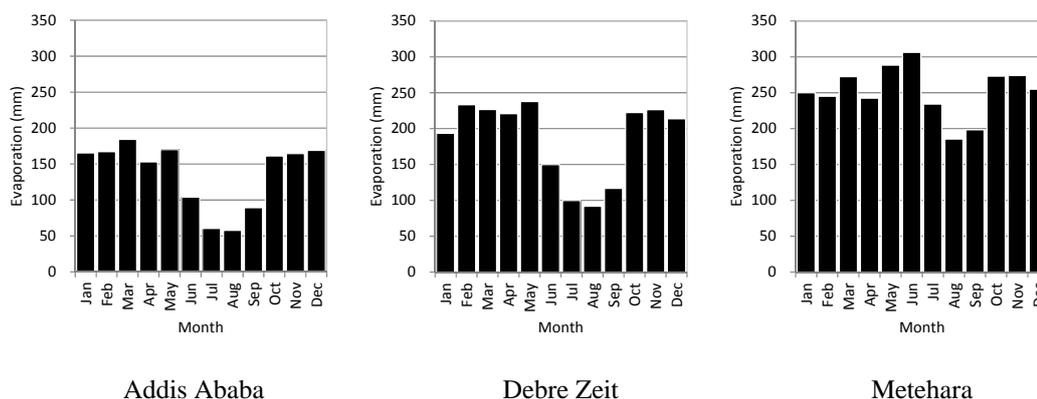
**表 1.1.2: 流域内外 11 観測所における月間蒸発量**

	Abomsa	Addis Ababa	Ambo Agriculture	Debre Zeit	Debre Berhan	Gelemso	Kulumsa	Metehara	Mieso Mission	Shola Gebeya	Woliso Givon
Elevation (m amsl)	1,630	2,386	2,068	1,900	2,750	1,739	2,211	944	1,332	2,500	2,058
Jan	190	165	217	193	153	244	200	250	204	152	260
Feb	203	167	229	233	173	288	195	245	215	202	290
Mar	226	184	229	227	163	242	207	272	222	192	259
Apr	232	153	195	221	147	180	192	242	222	194	245
May	303	170	185	238	193	150	197	288	289	253	177
Jun	298	104	83	150	163	139	147	306	309	174	80
Jul	224	61	50	100	68	131	115	234	267	78	51
Aug	163	58	47	92	56	116	96	185	222	64	51
Sep	144	89	62	117	85	108	93	198	176	104	76
Oct	184	161	161	222	127	162	203	273	242	159	178
Nov	205	165	193	226	143	237	217	274	228	164	265
Dec	210	169	216	214	151	244	207	255	197	160	306
Total	2,585	1,646	1,867	2,232	1,622	2,240	2,069	3,023	2,794	1,895	2,239

注) 観測所の位置は図 1.1.6 に示している。

出典：調査団、データ元：NMA の日蒸発量データ

年間蒸発量は Debre Berhan（流域外近傍）の 1,622 mm から Metehara の 3,023 mm までの範囲となっている。流域内 3 箇所すなわちアディスアベバ（標高 2,386 m）、Debre Zeit（同 1,900 m）および Metehara（同 944 m）における月蒸発量のグラフを図 1.1.11 に示す。



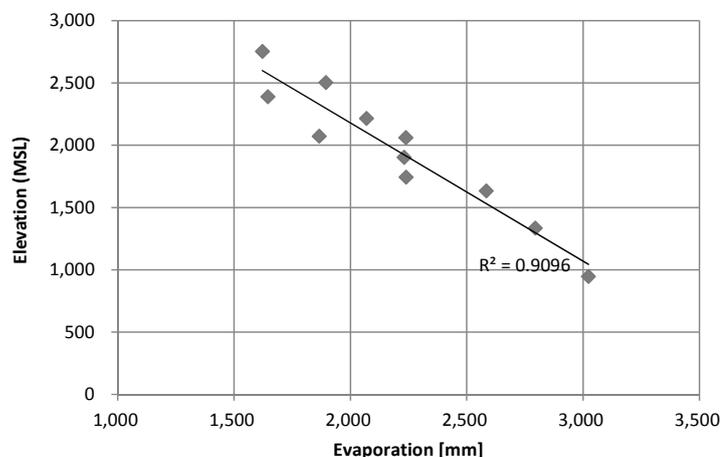
出典：調査団、データ元：NMA の日蒸発量データ

**図 1.1.11: 3 観測所における月蒸発量**

月蒸発量の最小値は雨季にあたる 7 月から 9 月にかけて現れる。月蒸発量に明瞭なピークは見られないが、乾季および小雨季間は概ね高い値となっている。

### c. 標高と蒸発量の関係

観測所標高と年間蒸発量の関係について、図 1.1.12に示すとおり両者をグラフ上にプロットして解析した。標高と蒸発量の明瞭な関係（逆相関）が見て取れる。



出典：調査団、データ元：NMA の日蒸発量データ

図 1.1.12: 観測所標高と年間蒸発量の関係

### d. 年間降水量と年間蒸発量の比較

表 1.1.3は 11 観測所における年間雨量と年間蒸発量を比較したものであり、蒸発量が降雨量を大きく上回っている。

表 1.1.3: 年間雨量と年間蒸発量の比較

観測所	標高 (m amsl)	年間降水量 (R) (mm)	年間蒸発量 (E) (mm)	比 (R/E)	分類*
Abomsa	1,630	916	2,585	0.35	Semi-arid
Addis Ababa Obs	2,386	1,223	1,646	0.74	Sub-humid
Ambo Agriculture	2,068	1,044	1,867	0.56	Sub-humid
Debre Zeit	1,900	852	2,232	0.38	Semi-arid
Debre Berhan	2,750	921	1,622	0.57	Sub-humid
Gelemso	1,739	1,047	2,240	0.47	Semi-arid
Kulumsa	2,211	829	2,069	0.40	Semi-arid
Metehara	944	508	3,023	0.17	Arid
Mieso Mission	1,332	749	2,794	0.27	Semi-arid
Shola Gebeya	2,500	914	1,895	0.48	Semi-arid
Woliso Giyon	2,058	1,232	2,239	0.55	Sub-humid
Mean	1,956	930	2,201	0.42	

\* UNESCOによる気候分類は以下のとおりである。

R/E < 0.03: Hyper-arid zone (非常に乾燥した地域)

0.03 < R/E < 0.20: Arid zone (乾燥地域)

0.20 < R/E < 0.50: Semi-arid zone (半乾燥地域)

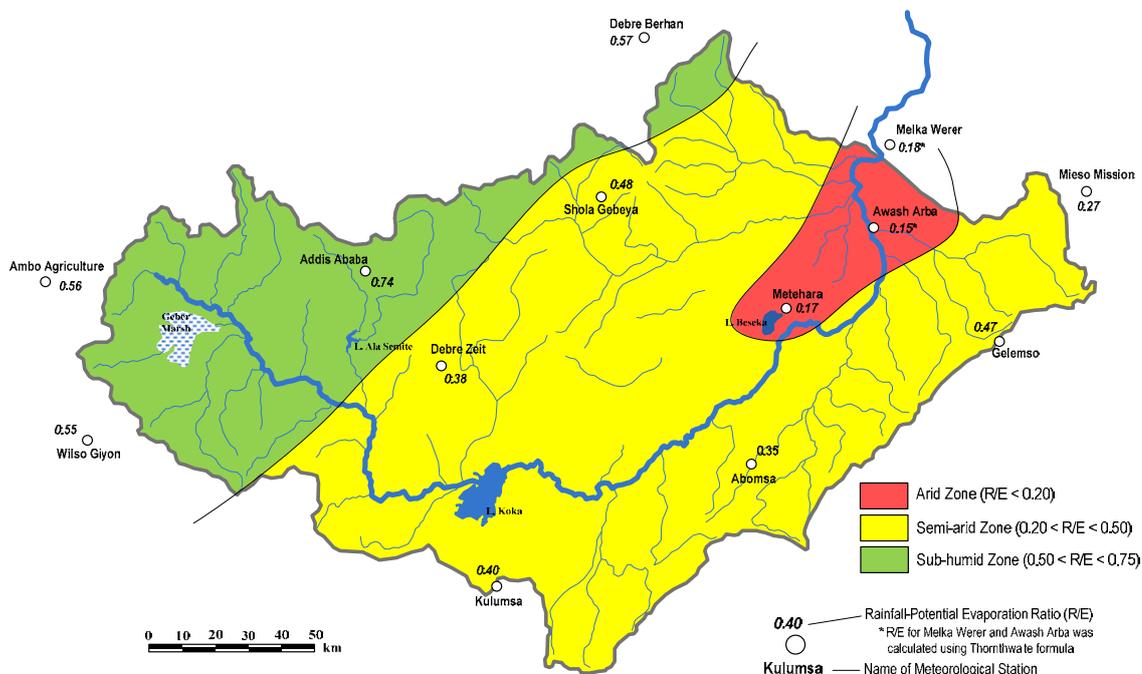
0.50 < R/E < 0.75: Sub-humid zone (亜湿潤地域)

出典：調査団、データ元：NMA の日雨量および日蒸発量データ

上表に示したとおり、アワシュ川中流域における年間降水量は年間蒸発量の 17%から

74%に相当する。アデイスアベバを含む流域上流部ではこの比率が高く、Metehara など下流部では低い。

国連教育科学文化機構（UNESCO）の気候分類に基づく、アワシュ川中流域の多くは半乾燥地域（Semi-arid Zone）に分類される。各気候分類の流域内の分布を図 1.1.13に示した。



出典：調査団、データ元：NMA の日雨量および日蒸発量データ

図 1.1.13: アワシュ川中流域の気候分類

### 1.1.4 気温及びその他のデータ

#### a. 収集したデータ

気候について、i) 最高／最低気温、ii) 相対湿度、および iii) 日照時間に関するデータを NMA から入手した。データは月ベースであり、観測所および入手期間は下表に示すとおりである。

表 1.1.4: 気候に関する入手データ項目と期間

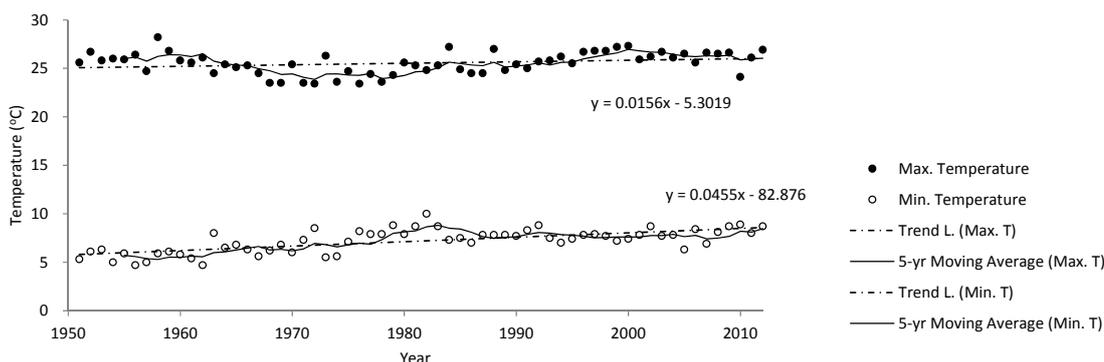
観測所	気温	相対湿度	日照時間
Abomsa	1977-2013	1988-2013	2010-2012
Kulumsa	1971-2013	1972-2013	2010-2013
Gelemso	1986-2013	2010-2013	2010-2012
Addis Ababa Obs	1951-2013	1949-2013	2011-2013
Ambo Agriculture	1954-2013	2010-2013	2010-2013
Debre Berhan	1957-2013	1965-2013	2010-2012
Melkasa(IAR)	1977-2013	1965-2013	1977-2013
Woliso Giyon	1953-2013	2010-2013	2013
Metehara (NMSA)	1984-2013	-	-
Awash Arba	2008-2013	-	-
Debre Zeit(AF)	1951-2012	-	-

観測所	気温	相対湿度	日照時間
Meiso Mission	1952-2006	-	-
Melka Were	1974-2001	-	-
Shola Gebeya	2006-2013	-	-

出典：調査団、データ元：NMA の気象データ

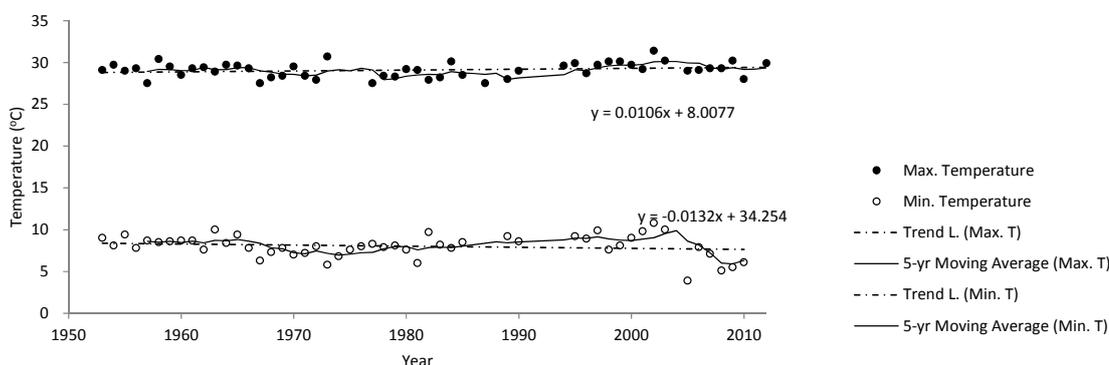
### b. 気温の長期変動

長期間のデータが入手可能なアディスアベバと Debre Zeit について、図 1.1.14 および図 1.1.15 に最高・最低気温の長期的な傾向を示した。図には近似直線と 5 年移動平均線も示している。



出典：調査団、データ元：NMA の気象データ

図 1.1.14: アディスアベバの気温の長期変動(1951-2012)



出典：調査団、データ元：NMA の気象データ

図 1.1.15: Debre Zeit の気温の長期変動(1953-2012)

アディスアベバにおいては、最高気温、最低気温ともに上昇傾向にある。最低気温の上昇率の方がより大きいことが分かる。一方、Debre Zeit においては最高気温ではごくわずかな上昇傾向が見受けられるが、最低気温の方に上昇傾向は見られない。

### c. 気候データの要約

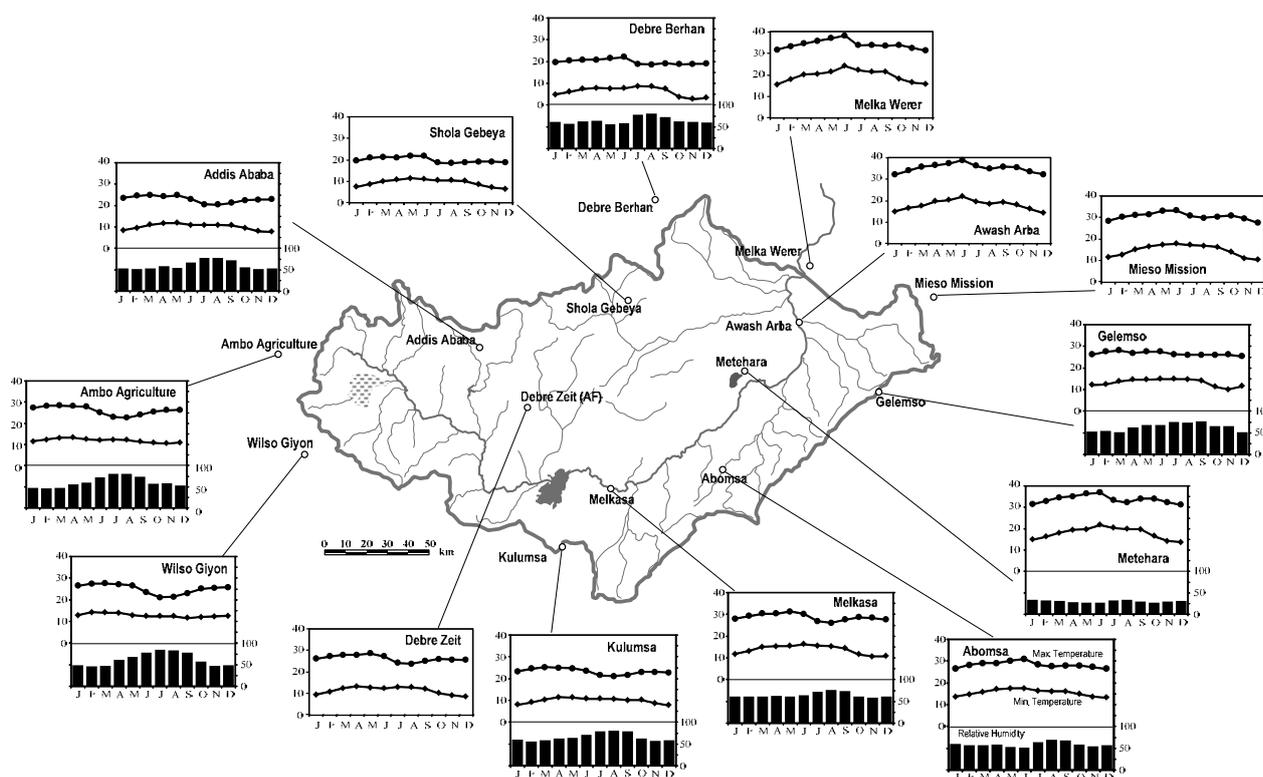
アワシュ川中流域内外の最高気温、最低気温および相対湿度を図 1.1.16 に示すとともに、表 1.1.5 に要約する。

表 1.1.5: 流域内外の観測所における気温、相対湿度および日照時間

Station	Elevation (m a.m.s.l)	Max. Temperature (°C)	Min. Temperature (°C)	Annual Mean Temperature (°C)	Annual Mean Relative Humidity (%)	Annual Mean Sunshine Hours (hours/day)
Abomsa	1,630	31.0 (Jun.)	13.2 (Dec.)	21.9	59.3	7.5
Addis Ababa Obs	2,386	24.9 (Mar.)	7.7 (Dec.)	16.5	60.4	6.6
Ambo Agriculture	2,068	28.4 (Mar.)	10.5 (Nov.)	18.9	61.2	6.4
Awash Arba	780	38.9 (Jun.)	14.3 (Dec.)	26.8	-	-
Debre Berhan	2,750	22.0 (Jun.)	2.8 (Nov.)	13.1	64.7	-
Debre Zeit	1,900	28.6 (May)	8.6 (Dec.)	18.9	-	-
Gelemso	1,739	28.1 (Mar.)	10.0 (Nov.)	20.0	64.0	6.7
Kulumsa	2,211	25.2 (Mar.)	7.8 (Dec.)	16.6	65.8	7.0
Melka Werer	740	38.1 (Jun.)	15.3 (Jan.)	26.7	-	-
Melkasa	1,540	31.2 (May)	10.6 (Nov.)	21.2	64.8	8.4
Metehara	944	36.9 (Jun.)	13.6 (Dec.)	25.8	30.4	8.5
Mieso Mission	1,332	33.3 (Jun.)	10.5 (Dec.)	22.7	-	-
Shola Gebeya	2,500	22.0 (May)	6.5 (Dec.)	14.7	-	-
Wilso Giyon	2,058	27.6 (Mar.)	11.7 (Sep.)	18.9	62.3	-

- : Data is not available or has not been collected.

出典：調査団、データ元：NMA の気象データ



出典：調査団、データ元：NMA の気象データ

図 1.1.16: 流域内外の観測所における月間気温と相対湿度

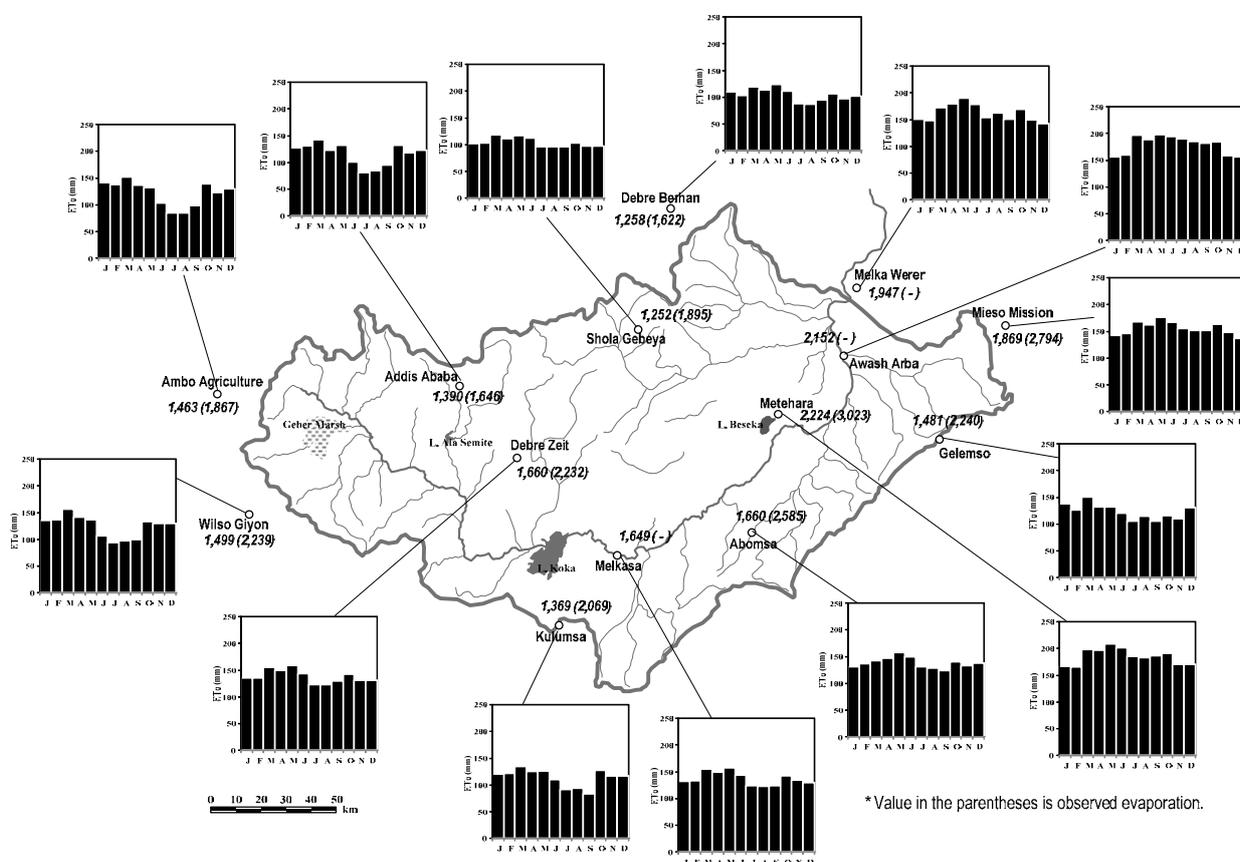
どの観測所においても、年間の最高気温は小雨季后期から雨季初期にかけての 5 月から 6 月に観測される。雨季においては最高気温が低い一方で、最低気温は他の時期に比べて高い傾向にある。流域下流の Awash Arba、Melka Werer、Metehara では最高気温は 36 °C に達する。また、高地のアディスアベバ、Debre Zeit、Kulumsa、Shola Gebeya などでは最低気温が 10 °C を下回る。

相対湿度は雨季にピークを迎える。年平均の相対湿度はわずか 30% の Metehara など一部の乾燥地を除き、概ね 60% から 65% である。

**d. 観測所ごとの基準蒸発散量の推定**

基準蒸発散量（ET<sub>0</sub>）は流域からの蒸発散量を推定するための基本となる情報である。これを直接的に観測することはほぼ不可能であるが、いくつかの推定方法が提案されている。そのうち、国際食糧農業機関（FAO）が提唱するペンマン-モンティース（Penman-Monteith）法<sup>1</sup>は世界中で適用されている唯一の標準的手法である。

FAO によるペンマン-モンティース法では放射、気温、湿度および風速といった各種データが必要である。その一方で、同法では利用可能な気候データが限られている場合でも ET<sub>0</sub> を推定することができるため、今回入手した気候データから ET<sub>0</sub> を図 1.1.17 に示すとおり推定した。



出典：調査団、データ元：NMA の気象データ

図 1.1.17: 流域内外の月基準蒸発散量(ET<sub>0</sub>)

図 1.1.17 に示したとおり、年間の基準蒸発散量は Shola Gebeya における 1,252 mm から Metehara における 2,224 mm にかけての範囲にわたる。この結果によると、アワシュ川中流域における基準蒸発散量は NMA によって観測される蒸発量（上記 1.1.3 節参照）の 65% から 80% に相当する。

<sup>1</sup> <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm#Contents>

## 1.2 水文データのレビュー

### 1.2.1 アワシュ川中流域の水文観測所

2013年現在、以下の水文観測所が MoWIE によって管理されている。

表 1.2.1: 流域内水文観測所リスト

SL No.	MAIN CATCHM.	SUB CATCHM.	STN. No.	RIV/LAKE	SITE	LAT.	LON.	UTM		INSTA. DATE	AREA KM2	AVG. ELEV.	REGIONAL	
								North	East				OFFICE	GOVERN.
1	AWASH (03)	UPPER (1)	031001	BERGAA	Nr. ADDIS ALEM	9d01'n	38d21'e	996668	428556	15-1-75	248		CEN	OROMIYA
2	AWASH (03)	UPPER (1)	031002	HOLETA	Nr. HOLETA	9d05'n	38d31'e	1004010	446886	16-1-75	119		CEN	OROMIYA
3	AWASH (03)	UPPER (1)	031003	TEJI	Nr. ASGORI	8d47'n	38d20'e	970876	426678	11-75	663	2415	CEN	OROMIYA
4	AWASH (03)	UPPER (1)	031004	AKAKI	@ AKAKI	8d53'n	38d47'e	981872	476177	12-12-80	884	2100	CEN	ADDIS ABABA
5	AWASH (03)	UPPER (1)	031005	L.BISHEFTU	@ DEBRE ZEIT	8d44'n	38d59'e	965283	498167	15-2-81	10		CEN	OROMIYA
6	AWASH (03)	UPPER (1)	031012	AWASH	@ MELKA KUNTIRE	8d42'n	38d36'e	961622	455998	11-62	4456	2332	CEN	OROMIYA
7	AWASH (03)	UPPER (1)	031013	AWASH	@ MELKA HOMBOLE	8d23'n	38d47'e	950551	476159	6-62	7656	2300	CEN	OROMIYA
8	AWASH (03)	UPPER (1)	031014	MOJO	@ MOJO VILLAGE	8d36'n	39d05'e	950545	509170	8-62	1264	2175	CEN	OROMIYA
9	AWASH (03)	UPPER (1)	031015	KELETA	Nr. SIRIE (ARSI)	8d17'n	39d24'e	915560	544050	8-62	747	2800	CEN	OROMIYA
10	AWASH (03)	UPPER (1)	031016	AWASH	@ WONJI	8d27'n	39d14'e	933970	525685	3-64	11690		CEN	OROMIYA
11	AWASH (03)	UPPER (1)	031017	AWASH	BELOW KOKA DAM	8d28'n	39d10'e	935809	518345	9-61	11219		CEN	OROMIYA
12	AWASH (03)	UPPER (1)	031018	HOT SPRING	D.S.OF KOKA	8d27'n	39d12'e	933968	522015	-9-68			CEN	OROMIYA
13	AWASH (03)	UPPER (1)	031019	KESSEM	@ BEKE	9d10'n	39d04'e	1013188	507324	20-3-84	50		CEN	OROMIYA
14	AWASH (03)	UPPER (1)	031020	AWASH	Nr. BELLO	8d57'n	38d25'e	978231	435855	1-5-86	2569		CEN	OROMIYA
15	AWASH (03)	UPPER (1)	031021	LIT. AKAKI	D/S GEFERSA DAM	9d02'n	38d42'e	998461	467028	4-8-89	131		CEN	ADDIS ABABA
16	AWASH (03)	UPPER (1)	031022	HORA	@ DEBRE ZEIT	8d46'n	38d59'e	968968	498167	23-8-86	9		CEN	OROMIYA
17	AWASH (03)	UPPER (1)	031023	KURIFTU	Nr. DEBREZEIT	8d46'n	38d58'e	968968	496334	22-8-86	33		CEN	OROMIYA
18	AWASH (03)	UPPER (1)	031025	BISHO (GUDO)	Nr. DEBREZEIT	8d44'n	38d59'e	965283	498167	22-8-86	3		CEN	OROMIYA
19	AWASH (03)	UPPER (1)	031026	MUTINCHA	D/S LEGEDADI DAM	9d03'n	38d55'e	1000291	490842	14-9-89	173		CEN	ADDIS ABABA
20	AWASH (03)	MIDDLE (2)	032001	LAKE BESKA	Nr. METEHARA	8d54'n	39d52'e	983819	595290	29-7-76	596	1176	CEN	OROMIYA
21	AWASH (03)	MIDDLE (2)	032002	ARBA	Nr. ABOMUSSA	8d34'n	39d49'e	946955	589872	4-23-82	140	2329	CEN	OROMIYA
22	AWASH (03)	MIDDLE (2)	032003	AWASH	@ METAHARA	8d51'n	39d51'e	978287	593470	6-62	16417		CEN	OROMIYA
23	AWASH (03)	MIDDLE (2)	032004	AWASH	@ AWASH STATION	8d59'n	40d11'e	993130	630082	6-62	19111		EAS	AFAR
24	AWASH (03)	MIDDLE (2)	032005	KESSEM	@ AWARA MELKA	9d09'n	39d57'e	1011482	604381	6-62	3113	2131	CEN	AFAR
25	AWASH (03)	MIDDLE (2)	032009	ARBA	@ BORDEDE	9d01'n	40d21'e	996879	648393	4-2-84	72		EAS	OROMIYA
26	AWASH (03)	MIDDLE (2)	032015	AWASH	@ MELKA SEDI	9d12'n	40d07'e	1017063	622679	APR. 82	21520		EAS	AFAR
27	AWASH (03)	MIDDLE (2)	032016	AWASH	@ MELKA WERER.	9d19'n	40d10'e	1029981	628130	SEP. 72	31183		EAS	AFAR
28	AWASH (03)	MIDDLE (2)	032017	AWASH	@ NURA HERA	8d32'n	39d35'e	943223	564199	JUNE 75	14173		CEN	OROMIYA
29	AWASH (03)			AKAKI	Nr. ABA SAMUEL	8d45'n	38d43'e	967138	468836		1476		CEN	OROMIYA
30	AWASH (03)			LAKE KOKA	Nr. KOKA DAM	8°28'2.63"N	39° 9'19.97"E				9818		CEN	OROMIYA
31	AWASH (03)			AWASH	Nr. GINCHI	9d01'n	38d08'e	996718	404740		76		CEN	OROMIYA

出典: MoWIE

水位観測はゲージリーダーにより一日2回（朝夕）行われている。2回の観測値（量水標の読み）の平均が日水位として記録される。MoWIE 水文局に確認したところ、量水標ゼロ点の標高（海拔値）は測量等によって求められていないとのことであった。すなわち、各水文観測所の水位データは標高値としては管理されていない。この場合、一般的に以下のような問題が生じる恐れがあるため、標高値に基づく水位データ管理が望まれる。

- 量水標を設置し直した時などにこれまでのデータとの一貫性が失われやすい。
- 測水所間の水位の関係（水位差、水面勾配など）が分からない。



Metehara 測水所

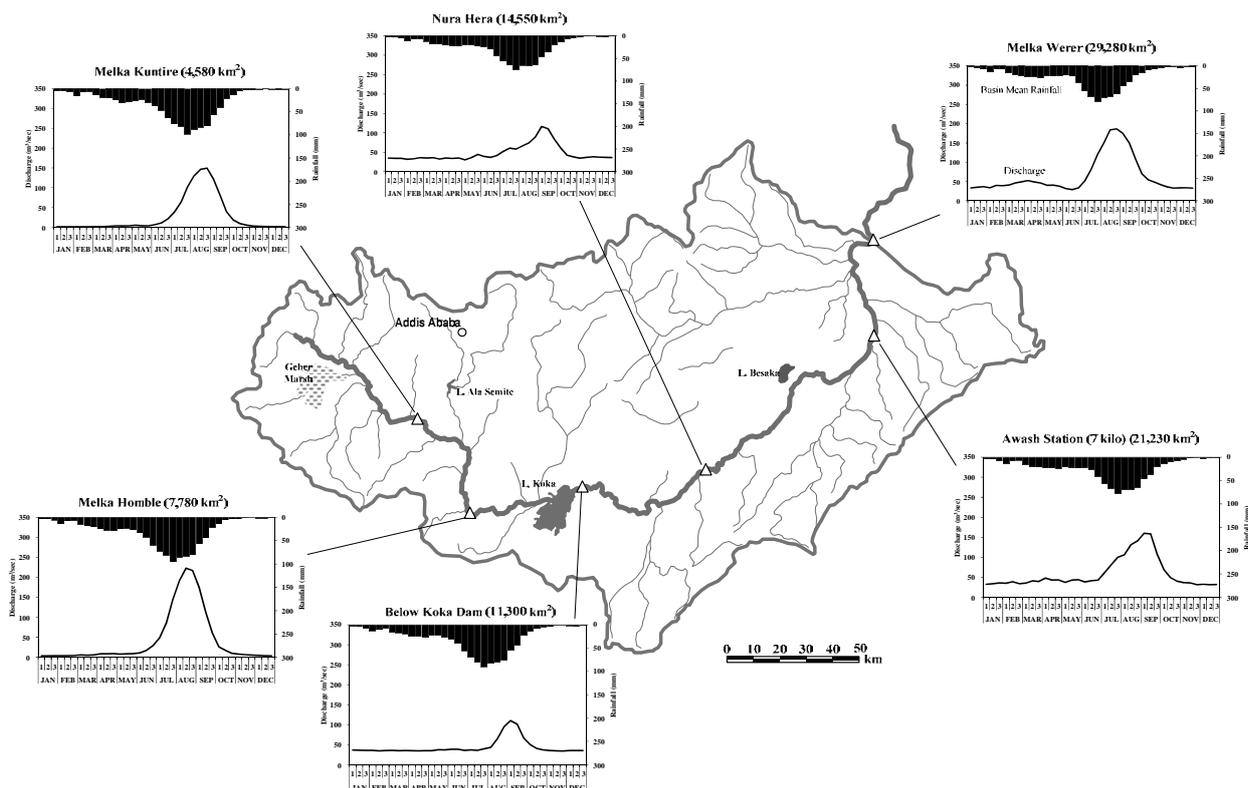


Metehara 地点のアワシュ川の様子

日平均流量は水位－流量曲線から観測水位のべき関数として推定する。水位－流量曲線の修正・更新は水文局の技術者がその必要性を認めた際に行われるのみで、定期的な更新は行われていない。水文局への聞き取りでは、各観測所での流量観測は、水位－流量曲線の適用性の確認を目的として概ね年1～2回程度実施しているのみである。

## 1.2.2 河川流量

MoWIE 水文局から入手した日流量データに基づく 1980 年から 2009 年までの 10 日平均流量を計算した（図 1.2.1、表 1.2.2 参照）。



出典：調査団、データ元：MoWIE の水文データおよび NMA の雨量データ

図 1.2.1: アワシュ川中流の主要測水所における 10 日平均流量ハイドログラフ

表 1.2.2: アワシュ川中流の主要測水所における 10 日平均流量

			Melka Kuntire	Melka Hombte	Below Koka Dam	Nura Hera	Awash Sta.	Melka Werer
集水面積 (km <sup>2</sup> )			4,580	7,780	11,300	14,550	21,230	29,280
流量 (m <sup>3</sup> /sec)	Jan	1	1.5	3.7	36.7	34.9	32.2	33.4
		2	1.6	3.9	36.3	34.4	33.6	35.2
		3	1.4	4.3	36.0	34.3	35.7	36.7
	Feb	1	1.4	4.0	36.1	31.9	34.9	33.9
		2	1.4	4.2	34.7	33.1	38.7	40.0
		3	1.4	4.7	35.4	36.2	33.7	39.1
	Mar	1	1.8	6.0	35.8	35.3	35.3	40.8
		2	2.0	5.1	34.9	36.1	40.8	46.2
		3	2.6	6.2	35.6	32.4	39.3	49.2
	Apr	1	4.0	8.9	35.1	35.2	47.8	52.4
		2	3.7	8.8	34.6	34.0	42.9	48.9
		3	4.0	9.1	35.1	35.1	43.1	46.3
	May	1	5.3	8.0	35.0	30.3	37.2	40.2
		2	4.1	8.9	37.7	36.0	42.6	40.8
		3	4.0	9.0	37.0	44.6	43.8	37.8
	Jun	1	6.9	11.4	38.7	39.2	38.1	31.6
		2	11.2	17.5	38.7	36.8	41.2	28.9
		3	21.7	29.6	36.2	41.6	42.6	33.7
	Jul	1	38.6	49.3	37.1	52.2	61.5	51.9
		2	63.5	85.7	36.2	60.6	81.0	81.9
		3	102.0	144.8	39.9	58.0	99.6	120.5
	Aug	1	129.8	191.7	43.6	66.3	106.1	150.7
		2	146.2	<b>223.2</b>	65.2	73.9	131.0	184.3
		3	<b>149.4</b>	216.9	94.7	88.9	140.8	<b>186.8</b>
	Sep	1	121.5	175.1	<b>110.2</b>	<b>116.2</b>	<b>159.7</b>	174.8
		2	80.9	113.2	101.6	110.8	158.2	150.5
		3	39.2	61.0	66.8	83.6	107.4	108.2
	Oct	1	19.0	26.4	49.9	60.6	69.2	69.6
		2	10.0	17.5	40.6	42.3	49.2	54.5
		3	5.8	9.9	36.9	38.0	40.0	48.2
	Nov	1	3.5	8.3	35.6	34.8	36.4	41.6
		2	2.7	6.6	34.7	36.6	35.8	36.0
		3	2.2	5.8	34.2	38.3	31.4	33.0
	Dec	1	1.9	4.9	35.5	37.5	32.3	33.6
		2	1.8	4.3	35.5	36.8	31.4	33.9
		3	1.6	3.9	35.7	36.4	31.8	33.0
年平均流量 (m <sup>3</sup> /sec)			27.8	41.7	44.0	47.6	58.5	64.1
年間流出高 (mm/yr)			191	169	123	103	87	69

出典：調査団、データ元：MoWIE の水文データ

上記から、以下のことがまとめられる。

- アワシュ川中流域における雨量のピークは7月から8月にかけて発生するのに対し、流量のピークは8月中旬から9月上旬にかけて観測される。
- Koka 湖（ダム）は乾季には約 35 m<sup>3</sup>/sec の流量をコンスタントに放流している。
- アワシュ川中流域末端の Melka Werer における年間流出高は 69 mm であり、これは年間流域平均雨量 876 mm（1983–2012）の 8%未満である。

### 1.3 水文解析

#### 1.3.1 はじめに

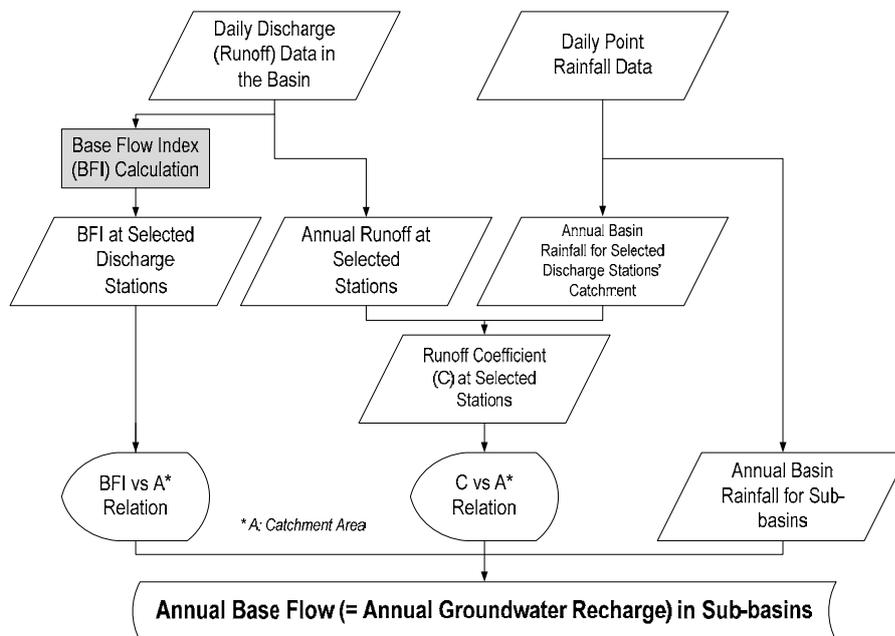
##### a. 水文解析の目的

本プロジェクトの主要な目的のひとつはアワシュ川中流域の利用可能な地下水資源量を評価し、それに基づいて地下水開発計画を立案することである。ここで言う水文解析

の目的はアワシュ川中流域における年間の地下水涵養量を推定することである。本節では、地下水涵養量すなわち利用可能な地下水資源量を、河川流量と地下水涵養量の一般的な関係やその他の関連情報に基づき推定する。

**b. 解析手順**

解析は以下の図 1.3.1の手順で実施する。



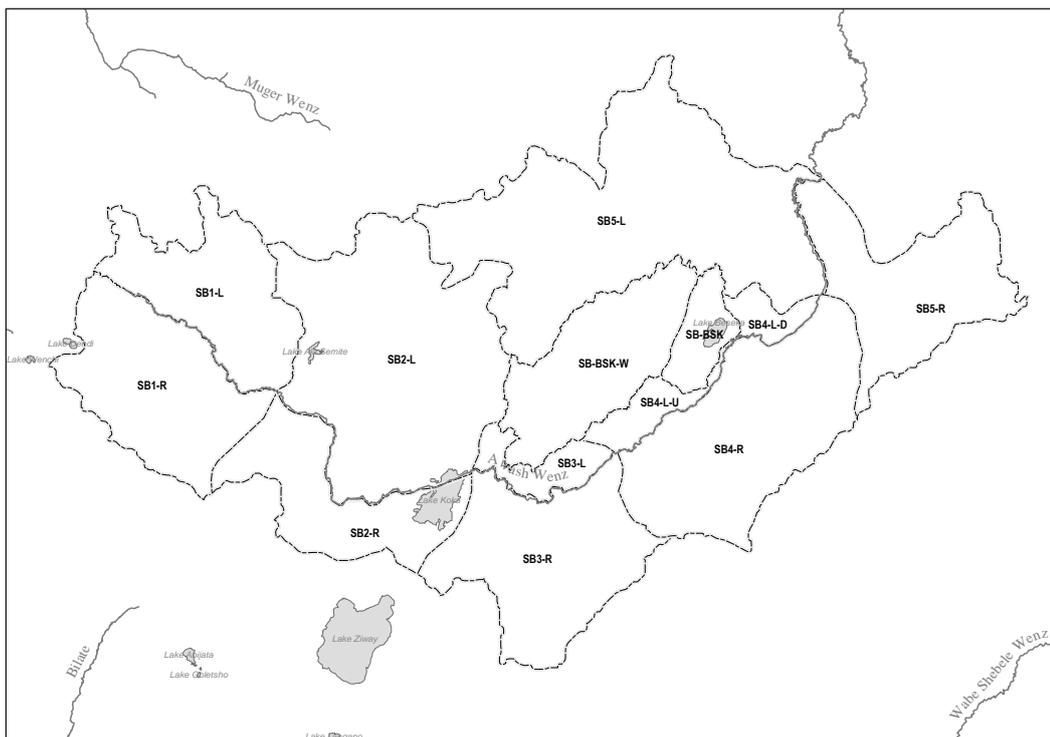
出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 1.3.1: 水文解析の手順

まず初めに、選定した流域内の測水所における河川流量を解析し、地下水涵養量に等しいと考えられる基底流量（又はインデックス）を算出する。これに基づき、基底流量と観測所の流域面積の関係について解析する。次に、選定した測水所における年間流量を年流域平均降水量と比較し、流出率と流域面積の関係について解析する。これらの関係に基づいて、部分流域ごとの地下水涵養量を推定する。

**c. 部分流域**

アワシュ川中流域を以下の図 1.3.2に示す 13 の部分流域に分割した。



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 1.3.2: 地下水涵養量推定のための流域分割

分割にあたっての基本的な考え方は以下のとおりである。

- 部分流域は既存測水所（水文観測所）地点に合わせて分割する。
- アワシュ川の右岸側と左岸側とで部分流域を分ける。
- Beseka 湖およびその周辺はより細かく分割する。

各部分流域の概要は下表のとおりであり、面積は 310 km<sup>2</sup> から 5,710 km<sup>2</sup> である。

表 1.3.1: 部分流域の概要

No	Name	Outlet	Area [km <sup>2</sup> ]	Description
1	SB1-L	Awash	2,068	Catchment of the left bank side of the Awash upstream "Melka Kuntire" SFGS (stream flow gauging station).
2	SB1-R	Awash	2,508	Catchment of the right bank side of the Awash upstream "Melka Kuntire" SFGS.
3	SB2-L	Awash	4,860	Catchment of the left bank side of the Awash between "Below Koka Dam" and "Melka Kuntire" SFGSs
4	SB2-R	Awash	1,859	Catchment of the right bank side of the Awash between "Below Koka Dam" and "Melka Kuntire" SFGSs
5	SB3-L	Awash	508	Catchment of the left bank side of the Awash between "Nura Hera" and "Below Koka Dam" SFGSs
6	SB3-R	Awash	2,743	Catchment of the right bank side of the Awash between "Nura Hera" and "Below Koka Dam" SFGSs

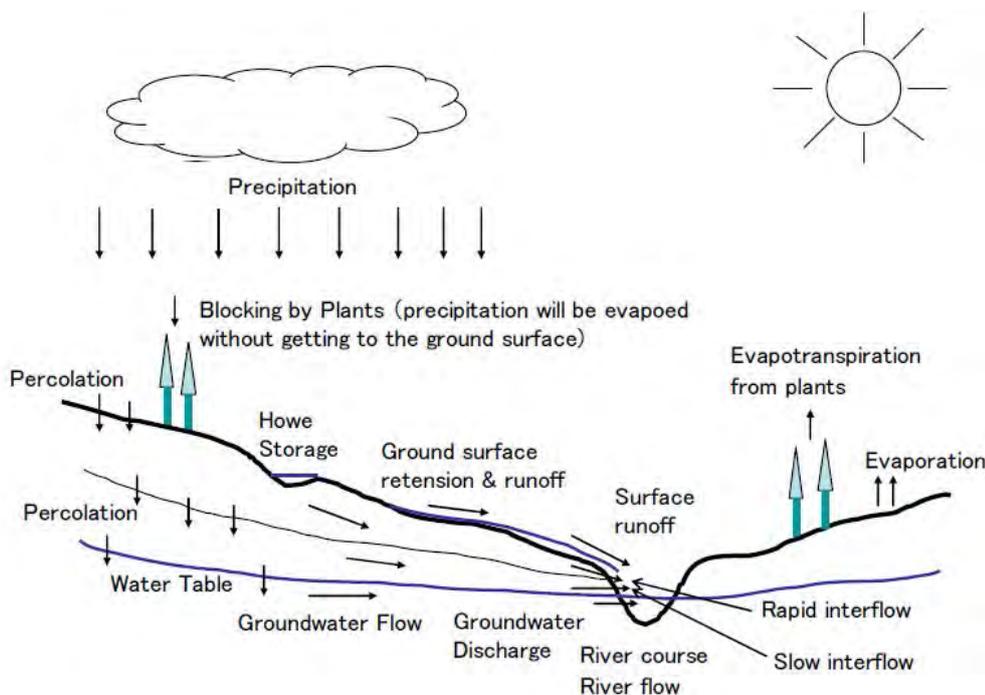
No	Name	Outlet	Area [km <sup>2</sup> ]	Description
7	SB4-L-U	Awash	435	Catchment of the left bank side of the Awash between the bridge on the Awash at the entrance of Metehara Sugar Plantation and "Nura Hera" SFGS
8	SB4-L-D	Awash	312	Catchment of the left bank side of the Awash between "Awash Station" SFGS and the bridge on the Awash at the entrance of Metehara Sugar Plantation
9	SB4-R	Awash	3,367	Catchment of the right bank side of the Awash between "Awash Station" and "Nura Hera" SFGSs
10	SB5-L	Awash	5,710	Catchment of the left bank side of the Awash between "Melka Werer" and "Awash Station" SFGSs
11	SB5-R	Awash	2,347	Catchment of the right bank side of the Awash between "Melka Werer" and "Awash Station" SFGSs
12	SB-BSK-W	Depression (no outlet is confirmed topographically)	2,041	Catchment in the western side of the Lake Beseka Catchment
13	SB-BSK	Lake Beseka, Awash (through a Drainage Channel)	532	Catchment of the Lake Beseka
Total			29,289	

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

### 1.3.2 河川流量解析

#### a. 河川水と地下水の関係

図 1.3.3に示すとおり、河川水は降水の直接流出と河川への地下水流出から形成される。



出典：参考資料①

図 1.3.3: 降水と河川水の形成過程

降水からの直接流出はさらに以下の3つの成分に分割される。

- 地下へ浸透せずに地表面から直接河川に流入する表面流出 (Surface Runoff)

- 一旦地下へ浸透するが、地下水面に到達する前に短時間で河川へ排出される早い中間流出（Rapid Interflow）
- 一旦地下へ浸透し、早い中間流と同様、地下水面へ到達以前に河川へ排出される。しかし、早い中間流出と比べ河川へ流出するまでにより長い時間を要する遅い中間流出（Slow Interflow）

また、降水により涵養された地下水の水位は河川水位より高いので、地下水流はその基本原理—高所から低所へ流れる—に従って河川へ流出する。

降水の直接流出は降雨停止後数時間、大きな流域であっても数日間で終了するが、多量の水が短時間で河川に入るため河川流量の急増を引き起こす。

それに対し、地下水からの流入量は地下水の水位と帯水層の透水性に依存するものの、表面流出と比較して流速がかなり小さく、降水のない日・季節でも河川に流入し続ける。従って、連続数日間雨が降らない場合の河川流量は全て地下水により涵養されていると言える。

以上のメカニズムに従って、河川総流量は降雨の直接流出成分と地下水流成分に分離することができる。

#### b. 地下水涵養量解析の方法

地下水涵養量の直接把握には多くの方法があるが、最も信頼できるのはライシメーターによる観測結果の利用、あるいはタンクモデルを利用して降水量と地下水位の日単位変動をリンクして計算する方法である。しかし、対象地域では利用できるライシメーター観測データや長期の日単位の地下水位観測データがない。従って、地下水涵養量を直接計算することはできない。

一方、涵養量と流出量は長期水文周期においては等しいといえる。そうでなければ地下水位が上昇傾向、あるいは低下傾向にあることになる。従って、地下水の流出量を算定できれば、涵養量を明らかにすることができる。地下水流量は次の成分から構成される。

- 河川への地下水流出
- 湖への地下水流出
- 流域外への地下水流出
- 井戸取水等による地下水の利用

上記 4 項目の中で最も重要なのは河川への地下水流出であると考えられるので、河川流量における地下水による涵養の割合の算出が重要となる。以下にその過程を述べる。

#### c. 河川流量分離（BFIの計算）

河川流量のうち、地下水流成分（基底流）の占める割合を Base Flow Index（BFI）という指標で表す。河川の日流量データから降水による直接流出と基底流を分離する方法（BFIの計算方法）は多く開発されている。しかし、選択する方法により結果が異なるのは普通であり、どれを採用するかが問題となる。そのため、今回は信頼度が高いと考え

られる次の2つのプログラムを採用した。

プログラム 1: PART (2007)<sup>2</sup>: 米国地質調査所 (United States Geological Survey; USGS) により開発されたもので、河川流の分離により日単位地下水流出量を推定する。本プログラムでは、地下水流出量を先行の流量逓減期の河川流量に等しいとした上で、それ以外の期間の地下水流出量を線形内挿により推定する。長期間の平均地下水流出量を推定することができる。

プログラム 2: BFI (2013)<sup>3</sup>: 米国内務省開拓局 (United States Bureau of Reclamation; USBR) により開発されたものである。本プログラムでは、まず1年をN日ごとの期間に分割し、各期間の最低流量を抽出する。抽出された最低流量は基底流量ハイドログラフの潜在的な頂点とする（なお、1年の日数がNで割り切れない場合、その余りは最終区間に含まれる）。仮にあるN日区間に最低流量を観測した日が複数ある場合は、初めに観測された日を潜在的頂点として採用する。ただし、1年の最終N日区間について複数の最低流量観測日がある場合には最後に観測された日を潜在的頂点とする。これらの潜在的頂点を実際に頂点とするか否かは、抽出されたN日最低流量群に対して以下の基準を適用して判定する。3つの連続したN日最低流量  $Q_0$ 、 $Q_1$ 、 $Q_2$  に対して、以下の条件を満たすとき、 $Q_1$  は頂点である。

$$Q_1 * f \leq Q_0 \text{ かつ } Q_1 * f \leq Q_2$$

ここに、 $f$  は0より大きく1より小さい係数である。

$Q_1$  がゼロの場合、この日は常に頂点となる。 $Q_0$  または  $Q_2$  がゼロの場合、 $Q_1$  の判定は  $Q_0$  または  $Q_2$  のうちゼロでない値に対してのみ行う。 $Q_0$ 、 $Q_2$  どちらもゼロである場合、 $Q_1$  がゼロでない限り頂点とはならない。

#### d. BFI計算のための測水所の選定

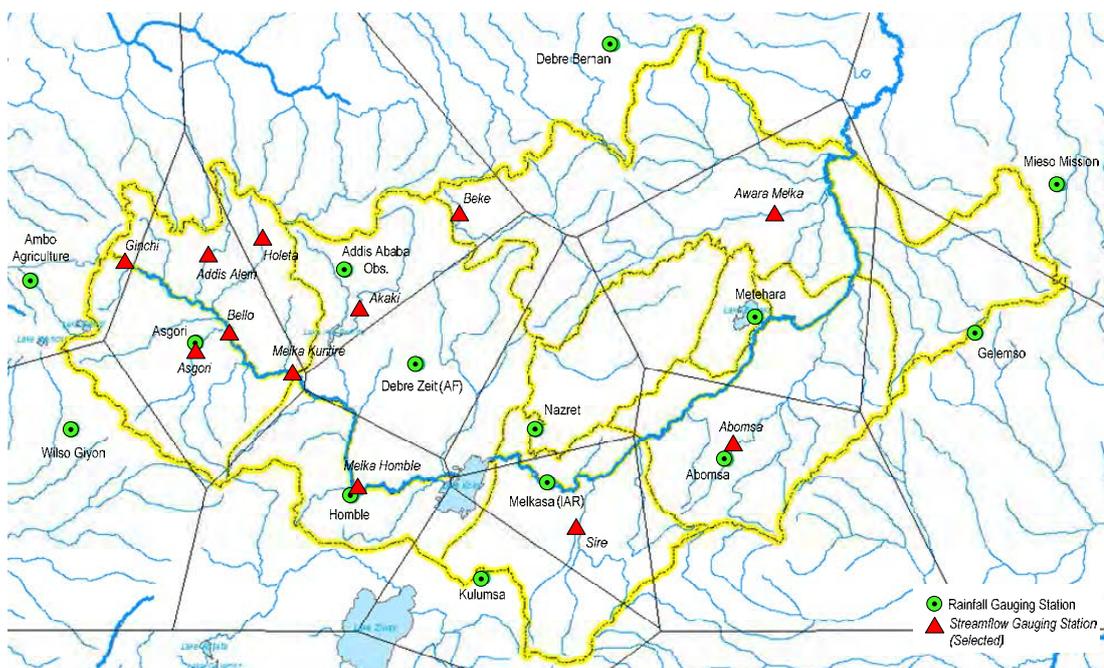
BFI 計算のために流量データを利用する測水所は以下の2つの基準を満たすものとした。

- 人為的な流量制御の影響を受けていないこと。
- 最低5年分の日流量データが欠測なく揃っていること。

これら基準を満たすものとして、以下の図 1.3.4に示す12の測水所を選定した。

<sup>2</sup> <http://water.usgs.gov/ogw/part/>

<sup>3</sup> [http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics\\_lab/twahl/bfi/](http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics_lab/twahl/bfi/)



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 1.3.4: BFI 算定のために選定した測水所位置図

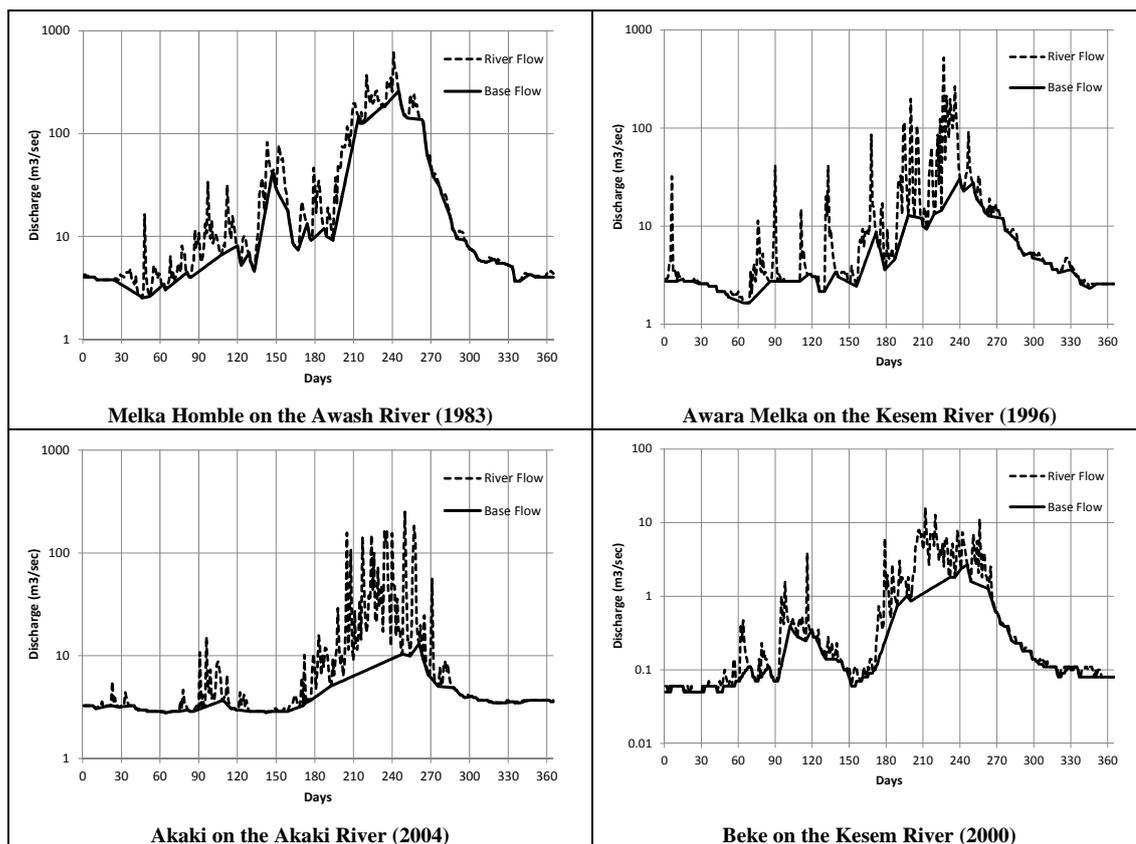
表 1.3.2: BFI 算定のために選定した測水所

測水所名	河川名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	データの年数	使用するデータ期間
Abomsa	Arba	140	5	1995–1999
Addis Alem	Berga	248	18	1984, 1989–1991, 1993–2002, 2004–2007
Akaki	Akaki	884	14	1983–1984, 1986–1992, 2000–2004
Awara Melka	Kesem	3,113	20	1983–1984, 1986–2000, 2003–2004, 2006
Asgori	Teji	663	11	1983–1985, 1987–1991, 1996, 2001, 2007
Beke	Kesem	50	14	1986, 1988–1989, 1993, 1995–1997, 1999–2003, 2005–2006
Bello	Awash	2,569	11	1987–1990, 1992, 1994, 1996–1997, 2000, 2004, 2008
Ginchi	Awash	76	12	1994–1995, 1997, 1999–2007
Holeta	Holeta	119	16	1988, 1991, 1994–2002, 2004–2008
Melka Homble	Awash	7,780	27	1983–2009
Melka Kuntire	Awash	4,580	24	1983–1984, 1986–2005, 2007–2008
Sire	Keleta	747	13	1983–1984, 1985, 1987–1988, 1990–1993, 1995, 1997, 1999–2000

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

e. 河川流量分離（BFIの計算）例

以下に示すハイドログラフは河川流量分離の例である。BFI は河川流量の総量（図 1.3.5 の点線ハイドログラフの面積）に占める基底流量の総量（同実線ハイドログラフの面積）の割合である。



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 1.3.5: 河川流量分離結果の例

f. BFI計算の結果

BFI は 2 種類のプログラム、すなわち「PART」と「BFI」を用いて算定した。同じ河川流量データに対して両プログラムによる算定結果が大きく異なる年もあるため、両者の計算結果がある程度一致する年のみ以降の解析に使用することとした。具体的には、「PART」と「BFI」による BFI 算定結果の相違が 25%以内の年について、その年の BFI を以降の解析に使用した。表 1.3.3に推定した BFI の平均値を採用した期間とともに示す。

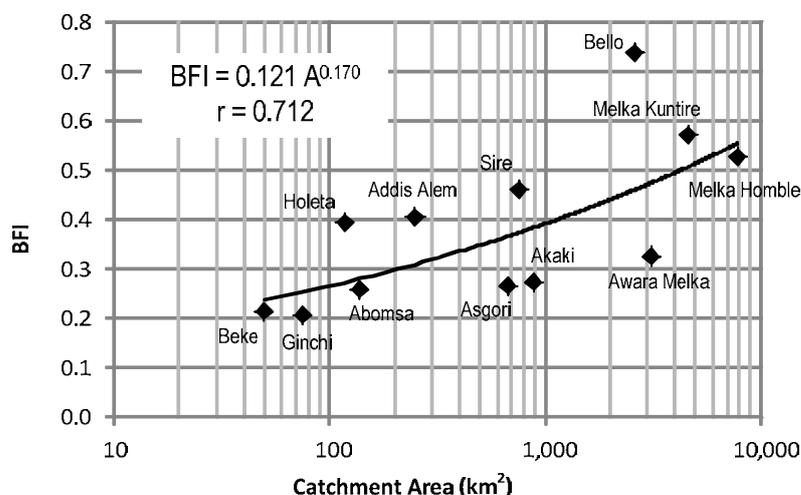
表 1.3.3: 河川流量分離による BFI 算定結果

測水所名	河川名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	「PART」による値	「BFI」による値	最小値	採用した期間
Abomsa	Arba	140	0.28	0.26	0.26	1995 – 1996, 1998 – 1999
Addis Alem	Berga	248	0.40	0.42	0.40	1984, 1989 – 1991, 1993, 1996, 1998 – 2000, 2006 – 2007
Akaki	Akaki	884	0.28	0.32	0.28	1983 – 1984, 1986 – 1987, 1990 – 1992, 2000 – 2004
Awara Melka	Kesem	3,113	0.33	0.33	0.33	1984, 1986, 1990 – 1991, 1993, 1995 – 1997, 1999, 2004
Asgori	Teji	663	0.27	0.27	0.27	1983 – 1987, 1989
Beke	Kesem	50	0.21	0.25	0.21	1986, 1993, 2000 – 2001
Bello	Awash	2,569	0.74	0.77	0.74	1987 – 1990, 1996 – 1997
Ginchi	Awash	76	0.21	0.21	0.21	1994, 1997, 1999 – 2007
Holeta	Holeta	119	0.39	0.42	0.39	1988, 1991, 1995 – 2002, 2004 – 2008
Melka Homble	Awash	7,780	0.52	0.57	0.52	1983 – 1984, 1987, 1990 – 1991, 1993 – 1994, 1996 – 2000, 2003, 2005, 2007, 2009

測水所名	河川名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	「PART」による値	「BFI」による値	最小値	採用した期間
Melka Kuntire	Awash	4,580	0.57	0.60	0.57	1983, 1986 – 1988, 1990 – 1991, 1993 – 1994, 1996, 1999 – 2002, 2004 – 2005, 2007 – 2008
Sire	Keleta	747	0.48	0.46	0.46	1983 – 1985, 1987 – 1988, 1990 – 1993, 1995, 1997, 1999 – 2000

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

最終的に各測水所における BFI として、地下水開発ポテンシャルの面で安全側に立つという観点から「PART」および「BFI」の両プログラムによる算定結果のうち小さい方を採用した。図 1.3.6は横軸を測水所の流域面積（対数軸）、縦軸を採用した BFI としてグラフに示したものである。



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 1.3.6: 流域面積と BFI の関係

グラフからは流域面積と BFI の間に高い相関が見られ、相関係数は 0.70 を超えている。すなわち、面積の大きな流域ほど BFI が大きい傾向があると考えられる。このことは、大きな流域においては降水を起源とする水の移動距離が長くなること、移動の間に浸透した水が地下水面に到達する可能性が小流域に比べてより大きいであろうことから理解しうる。

### 1.3.3 水収支解析

#### a. 選定12測水所における流出率

前節でアワシュ川中流域内 12 測水所における BFI を算定した。既に述べたとおり、BFI は総河川流量に占める基底流量すなわち地下水涵養量の割合である。このことから、地下水涵養量は河川流量が分かれば BFI を介して定量的に推定できる。

12 測水所における流出率を年間流域平均降水量に占める年間河川流量の割合として計算する。年間河川流量は日流量データを積算することで計算できる。流域平均降水量については、収集した地点雨量データを基にティーセン法により算定する（図 1.3.4 にティーセン網を掲載している）。表 1.3.4 は 12 測水所における流域平均降水量を算定するた

めのティーセン係数（重み）を示したものである。

表 1.3.4: 12 測水所流域に対するティーセン係数

測水所名	河川名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	雨量観 測所数	雨量観測所名	ティーセン 係数
Abomsa	Arba	140	1	Abomsa	1.00
Addis Alem	Berga	248	2	Asgori	0.50
				Addis Ababa Obs.	0.50
Akaki	Akaki	884	1	Addis Ababa Obs.	1.00
Awara Melka	Kesem	3,113	5	Metehara	0.34
				Debre Berhan	0.30
				Addis Ababa Obs.	0.13
				Debre Zeit (AF)	0.06
				Nazret	0.17
Beke	Kesem	50	1	Addis Ababa Obs.	1.00
Bello	Awash	2,569	4	Asgori	0.60
				Addis Ababa Obs.	0.17
				Ambo Agriculture	0.16
				Wilso Giyon	0.07
Ginchi	Awash	76	1	Ambo Agriculture	1.00
Holeta	Holeta	119	1	Addis Ababa Obs.	1.00
Melka Homble	Awash	7,780	6	Addis Ababa Obs.	0.27
				Debre Zeit (AF)	0.10
				Homble	0.13
				Asgori	0.40
				Ambo Agriculture	0.05
				Woliso Giyon	0.05
Melka Kuntire	Awash	4,580	5	Asgori	0.66
				Addis Ababa Obs.	0.16
				Ambo Agriculture	0.09
				Woliso Giyon	0.08
				Homble	0.01
Sire	Keleta	747	2	Melkasa	0.33
				Kulumsa	0.67

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

年流域平均降水量と年間河川流量の算定結果は表 1.3.5に示すとおりである。年間河川流量の最小値は Bello 地点の 111 mm/年、最大値は Beke 地点の 682 mm/年である。一方、年間流域平均降水量の最小値は Sire 流域の 806 mm/年、最大値は Beke 流域の 1,249 mm/年である。

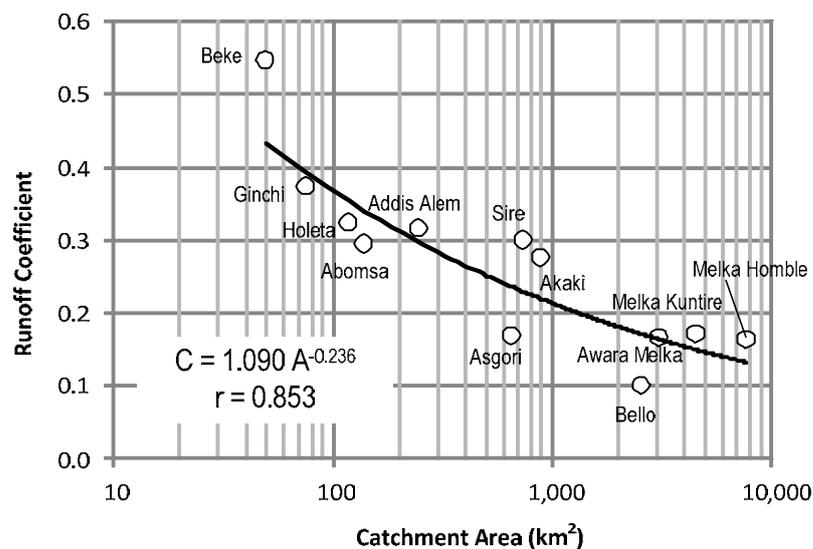
表 1.3.5: 12 測水所流域における年平均流出量と降水量

測水所名	河川名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	流出量 (mm/yr)	降水量 (mm/yr)	流出率	採用した期間
Abomsa	Arba	140	301	1,018	0.295	1995–1999
Addis Alem	Berga	248	357	1,136	0.315	1984, 1989–1991, 1993–2002, 2004–2007
Akaki	Akaki	884	331	1,198	0.276	1983–1984, 1986–1992, 2000–2004
Awara Melka	Kesem	3,113	135	824	0.164	1983–1984, 1986–2000, 2003–2004, 2006
Asgori	Teji	663	189	1,115	0.169	1983–1985, 1987–1991, 1996, 2001, 2007
Beke	Kesem	50	682	1,249	0.546	1986, 1988–1989, 1993, 1995–1997, 1999–2003, 2005–2006
Bello	Awash	2,569	111	1,098	0.101	1987–1990, 1992, 1994, 1996–1997, 2000, 2004, 2008
Ginchi	Awash	76	364	979	0.372	1994–1995, 1997, 1999–2007
Holeta	Holeta	119	393	1,220	0.322	1988, 1991, 1994–2002, 2004–2008
Melka Homble	Awash	7,780	172	1,066	0.162	1983–2009

測水所名	河川名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	流出量 (mm/yr)	降水量 (mm/yr)	流出率	採用した期間
Melka Kuntire	Awash	4,580	188	1,103	0.171	1983-1984, 1986-2005, 2007-2008
Sire	Keleta	747	242	806	0.300	1983-1984, 1985, 1987-1988, 1990-1993, 1995, 1997, 1999-2000

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

一般に流域面積が大きいほど流出率は小さくなるといわれ、このことはアワシ川中流域についても当てはまる。流域面積と流出率の関係を図 1.3.7に示す。



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 1.3.7: 流域面積と流出率の関係

上記グラフに示すとおり、流域面積と流出率の間には強い相関が見られ、ここでの相関係数は 0.85 を超えている。

#### b. 選定12測水所流域における年間地下水涵養量

ここまでの議論を踏まえると、年間地下水涵養量は以下の式で表すことができる。

$$GWR = R \cdot C \cdot BFI$$

ここに、*GWR*: 年間地下水涵養量(mm/year)

*R*: 年間流域平均降水量(mm/year)

*C*: 流出率(-)

*BFI*: Base Flow Index (-)

上式から選定 12 測水所流域における年間地下水涵養量を表 1.3.6のように推定した。

表 1.3.6: 12 測水所流域における年間地下水涵養量

測水所名	河川名	流域面積 [km <sup>2</sup> ]	年降水量 (R) [mm/yr]	流出率 (C)	Base Flow Index (BFI)	年間地下 水涵養量 (GWR) [mm/yr]	GWR/R
Abomsa	Arba	140	1,018	0.295	0.26	77	7.6%
Addis Alem	Berga	248	1,136	0.315	0.40	144	12.7%
Akaki	Akaki	884	1,198	0.276	0.28	91	7.6%
Awara Melka	Kesem	3,113	824	0.164	0.33	44	5.4%

測水所名	河川名	流域面積 [km <sup>2</sup> ]	年降水量 (R) [mm/yr]	流出率 (C)	Base Flow Index (BFI)	年間地下 水涵養量 (GWR) [mm/yr]	GWR/R
Asgori	Teji	663	1,115	0.169	0.27	50	4.5%
Beke	Kesem	50	1,249	0.546	0.21	145	11.6%
Bello	Awash	2,569	1,098	0.101	0.74	82	7.4%
Ginchi	Awash	76	979	0.372	0.21	76	7.8%
Holeta	Holeta	119	1,220	0.322	0.39	154	12.6%
Melka Hombte	Awash	7,780	1,066	0.162	0.52	90	8.5%
Melka Kuntire	Awash	4,580	1,103	0.171	0.57	108	9.8%
Sire	Keleta	747	806	0.300	0.46	111	13.8%

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

### 1.3.4 水収支計算結果

前節で示した 12 測水所流域における年間地下水涵養量の推定と同様の手法を用いて、アワシ川中流域の 13 の部分流域（図 1.3.2 および表 1.3.1 参照）における年間地下水涵養量の推定を行う。この解析では、BFI および流出率を流域面積の関数と仮定し、12 測水所流域での解析で見出された関係式（図 1.3.6 および図 1.3.7 参照）を活用して以下のように推定する。

$$GWR = R \cdot C \cdot BFI$$

$$BFI = 0.121A^{0.170}$$

$$C = 1.090A^{-0.236}$$

ここに、*GWR*: 年間地下水涵養量(mm/year)

*R*: 年流域平均降水量(mm/year)

*C*: 流出率(-)

*BFI*: Base Flow Index (-)

*A*: 流域面積(km<sup>2</sup>)

各部分流域の年間降水量は地点雨量データを基にティーセン法により推定した（ティーセン網は図 1.3.4 に掲載している）。部分流域ごとの支配雨量観測所とティーセン係数は表 1.3.7 のとおりとなる。

表 1.3.7: 部分流域ごとのティーセン係数

Sub-basin	Rainfall Station	Thiessen Ratio	Sub-basin	Rainfall Station	Thiessen Ratio
SB1-L	Asgori	0.557	SB4-L-U	Metehara (NMSA)	0.237
	Addis Ababa Obs	0.363		Nazeret	0.123
	Ambo Agriculture	0.080		Abomsa	0.641
SB1-R	Asgori	0.750	SB4-L-D	Metehara (NMSA)	1.000
	Ambo Agriculture	0.096		SB4-R	Metehara (NMSA)
	Woliso Giyon	0.149	Gelemso		0.101
	Hombole	0.005	Abomsa	0.601	
SB2-L	Asgori	0.002	SB5-L	Metehara (NMSA)	0.411
	Addis Ababa Obs	0.306		Debre Berhan	0.384
	Debre Zeit(AF)	0.481		Addis Ababa Obs	0.064
	Hombole	0.094		Debre Zeit(AF)	0.057
	Nazeret	0.116		Nazeret	0.084
SB2-R	Asgori	0.047	SB5-R	Metehara (NMSA)	0.143
	Debre Zeit(AF)	0.004		Gelemso	0.663
	Hombole	0.751		Meiso Mission	0.195
	Nazeret	0.008	SB-BSK-W	Metehara (NMSA)	0.443
	Melkasa(IAR)	0.057		Nazeret	0.535
	Kulumsa	0.133		Abomsa	0.021
SB3-L	Nazeret	0.445	SB-BSK	Metehara (NMSA)	1.000
	Abomsa	0.012			
	Melkasa(IAR)	0.544			
SB3-R	Nazeret	0.007			
	Abomsa	0.097			
	Melkasa(IAR)	0.494			
	Kulumsa	0.402			

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

上記のティーセン係数を用いて各部分流域の年平均雨量を計算し、この年平均雨量に上式で推定した流出率および BFI を掛ける。このようにして推定した部分流域ごとの年間地下水涵養量を表 1.3.8に示す。

表 1.3.8: 部分流域ごとの地下水涵養量推定結果

番号	部分流域	流域面積 (A) [km <sup>2</sup> ]	年降水量 (R) [mm/yr]	流出率 (C) [-]	Base Flow Index (BFI) [-]	年間地下水涵養量 (GWR)		GWR/R [%]
						[mm/yr]	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /yr]	
1	SB1-L	2,068	1,097	0.18	0.44	87.2	180.3	7.9%
2	SB1-R	2,508	1,075	0.17	0.46	84.4	211.6	7.8%
3	SB2-L	4,860	982	0.15	0.51	73.7	358.4	7.5%
4	SB2-R	1,859	867	0.18	0.43	69.4	129.0	8.0%
5	SB3-L	508	853	0.25	0.35	74.4	37.8	8.7%
6	SB3-R	2,743	832	0.17	0.46	64.9	178.1	7.8%
7	SB4-L-U	435	824	0.26	0.34	72.5	31.6	8.8%
8	SB4-L-D	312	548	0.28	0.32	49.3	15.4	9.0%
9	SB4-R	3,367	806	0.16	0.48	62.0	208.8	7.7%
10	SB5-L	5,710	779	0.14	0.53	57.9	330.8	7.4%
11	SB5-R	2,347	870	0.17	0.45	68.6	161.0	7.9%
12	SB-BSK-W	2,041	740	0.18	0.44	58.9	120.2	8.0%
13	SB-BSK	532	548	0.25	0.35	47.6	25.3	8.7%
All Basin		29,290	876	-	-	67.9	1,988.3	7.7%

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

解析の結果、上表のとおり年間地下水涵養量は47 mm から 87 mm の範囲となり、年間降水量に占める割合としては7.4%から9.0%の範囲となった。アワシユ川流域の地下水涵養量を推定した既往文献<sup>4</sup>によると、アワシユ川流域全体（112,700 km<sup>2</sup>）の年間地下水涵養量は約3,800 百万 m<sup>3</sup>（33.7 mm/年）であり、これは流域全体の年降水量 39,845 百万 m<sup>3</sup>（354 mm/年）の9.5%に相当する。今回の推定結果はこれに比べてやや保守的ではあるが、妥当であると考ええる。

最後に、部分流域ごとの水収支を表 1.3.9に示す。ここでは直接流出および基底流出以外の水資源損失は全て蒸発散量に含めている。

表 1.3.9: 部分流域ごとの水収支

番号	部分流域	流域面積 (A) [km <sup>2</sup> ]	流入	流出		
			年降水量 (R) [mm/yr]	直接流出 [mm/yr]	基底流出 (地下水涵養量) [mm/yr]	蒸発散量 [mm/yr]
1	SB1-L	2,068	1,097	110	87	900
2	SB1-R	2,508	1,075	100	84	891
3	SB2-L	4,860	982	71	74	837
4	SB2-R	1,859	867	90	69	707
5	SB3-L	508	853	139	74	639
6	SB3-R	2,743	832	75	65	692
7	SB4-L-U	435	824	141	73	610
8	SB4-L-D	312	548	105	49	394
9	SB4-R	3,367	806	67	62	677
10	SB5-L	5,710	779	52	58	669
11	SB5-R	2,347	870	83	69	719
12	SB-BSK-W	2,041	740	75	59	607
13	SB-BSK	532	548	88	48	412
All Basin		29,290	876	78	68	730

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

#### 参考文献

- ① エチオピア国リフトバレー湖沼地域地下水開発調査計画, JICA, 2012

<sup>4</sup> <http://www.iwmi.cgiar.org/assessment/files/pdf/publications/WorkingPapers/WaterofAwasBasin.pdf>

# Chapter 2

---

地質

*Geology*

## 2 地質

### 2.1 Adama-Boseti 山とその周辺

#### 2.1.1 概説

Adama 及び Boseti 山周辺は、MER の中央部であり、表層は完新世堆積物により広く覆われている。最も下位の地層は Alaji 玄武岩類で、東縁及び北東-南西方向の断層に沿って観察される。Alaji basalts は調査地に広く分布することが知られており、Chernet 他（1998）では、24-23Ma、Kuntz 他（1975）では 14.4Ma、Morbideli 他（1975）は 28-15Ma、Kazmin & Berhe（1978）では  $21.06 \pm 1.5\text{Ma}$ 、 $14.94 \pm 1.5\text{Ma}$ 、 $17.4 \pm 1.0\text{Ma}$  の年代が測定されている。Alaji 玄武岩類を覆って、Chefeko 流紋岩類、更新世流紋岩類が丘陵地を形成している。Nazret 火砕堆積物は主にリフト縁辺部の崖にみられる。Chilalo 粗面玄武岩類は、Chilalo 山の北麓に分布している。後期鮮新世～更新世にかけて Bofa 玄武岩類が広く分布している。Bofa 玄武岩類は Kazmin & Berhe（1978）で 1.21Ma、Morton 他（1979）で 6.1-4.4Ma が測定されている。更新世に入り、Dino イグニブライト、更新世流紋岩類、Chefe Donsa 火砕堆積物、更新世玄武岩類が広くリフト底に分布する。更新世後期には Boseti 降下軽石、Fentale イグニブライトがリフト底及び断層崖に分布する。完新世にはいり、完新世玄武岩類が Boseti 山の東側で活動する。

表 2.1.1 に Asdama 及び Boseti 山周辺地域における地質層序を示す。

また、本文中に記載の露頭番号（L-\*\*\*）を地形図上にプロットしたものを図 2.1.1 に示す。

表 2.1.1: Adama 及び Boseti 山周辺地域における地質層序

年代区分	層序	層相	凡例	年代		
新生代	完新世	Qa1	沖積層 砂、粘土、湖沼堆積物			
		Qr2	黒曜石溶岩及びドーム 流紋岩ドーム及び黒曜石溶岩			
		Qb2	完新世玄武岩類 ガラス質玄武岩 無斑晶玄武岩及びブスコリアコン			
	第四紀	更新世	Qi3	Fentale イグニンプライ ライト 淡緑色強溶結凝灰岩		168,000±38,000 y (OWWDSE,2013)
			Qp2	Boseti 降下軽石 降下軽石及び火山灰		
		Qb1	更新世玄武岩類 無斑晶玄武岩			
		Qp1	Chefe Donsa 火砕堆積物 軽石及びタフ、弱溶結した溶結凝灰岩を挟在する		Chefe Donsa pyroclastic deposits : 1.71±0.04 Ma(Morrton et al.,1979), 2.24±0.3 Ma(IGGI-Pisa)	
		Qr1	更新世流紋岩類 流紋岩			
		Qi1	Dino イグニンプライ ト 緑灰色含黒曜石レンズ溶結凝灰岩		Dino : 1.5my (Mobidelli et al., 1975), 1.51 Ma (Kazmun, et al.,1978)	
		第三紀	鮮新世	Tb3	Bofa 玄武岩類 無斑晶玄武岩	
	Tt			Chilalo 粗面玄武岩類 トラカイト及び粗面玄武岩		
	Ti3			Nazret 火砕堆積物 淡～暗灰色含黒曜石レンズ溶結凝灰岩		Nwp : 3.5±0.1 Ma, 3.2±0.1 Ma(IGGI-Pisa), 4.7±0.7 Ma, 5.4±0.2 Ma(INGEIS-Buenos Aires), 3.32±0.06 Ma, 3.11±0.06 Ma(Morton et al., 1979)
	中新世		Ti2	軽石及び凝灰岩		
			Tr2	Chefeko 流紋岩類 軽石質凝灰岩を含む流紋岩		
			Tb1	Alaji 玄武岩類 斜長石玄武岩		24-23Ma (Chernet et al., 1998), 14.4 Ma (Kuntz et al., 1975), 28-15 Ma (Morbidelli et al., 1975), 21.06±1.5 Ma, 14.94±1.5 Ma, 17.4±1.0 Ma (Kazumin, et al., 1978)

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

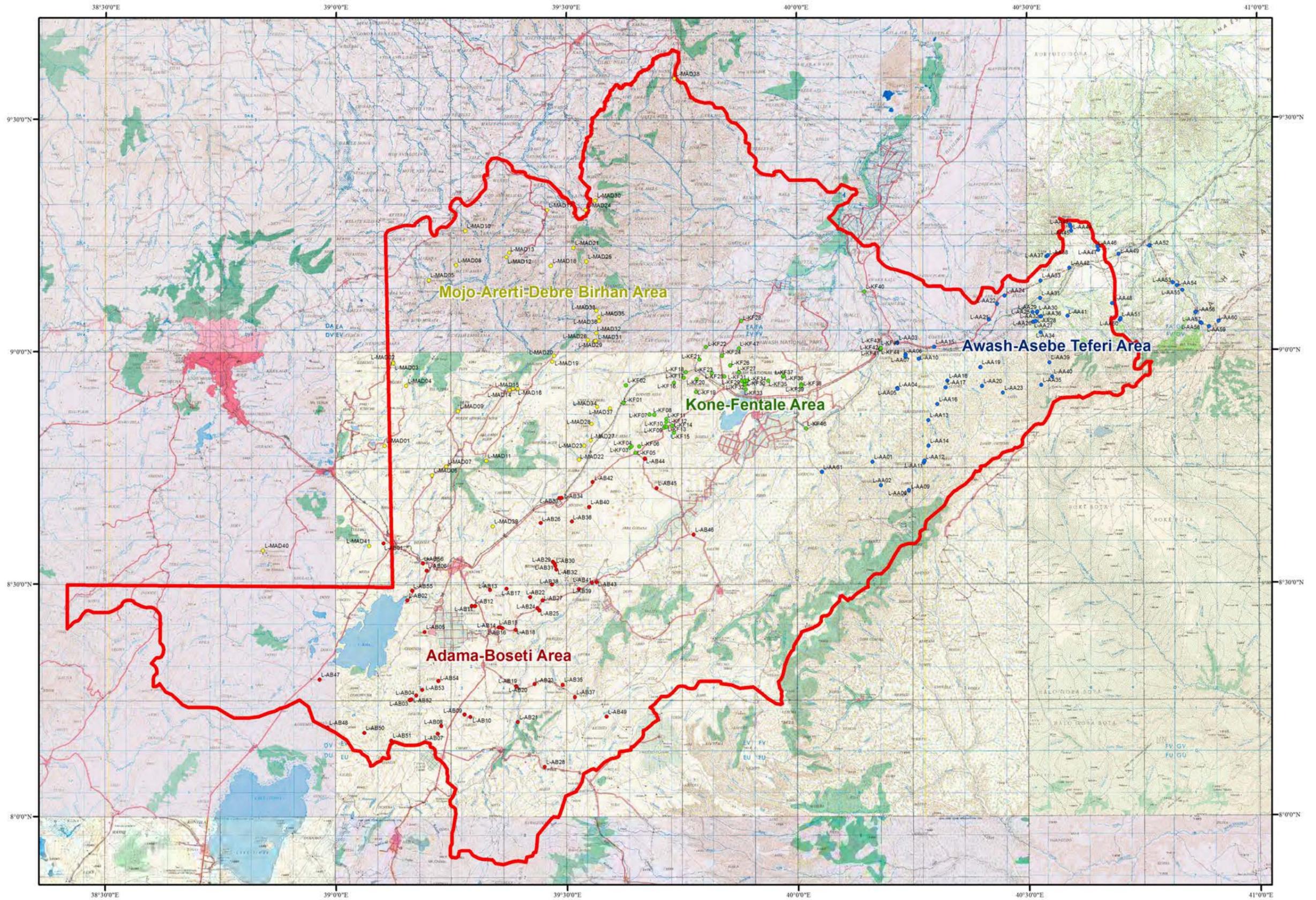


図 2.1.1: 本文中に記載の露頭位置図

## 2.1.2 地質各説

### a. 新第三系 中新統～鮮新統

#### a.1 Alaji玄武岩類：多孔質斜長石玄武岩：Tb1

層相： 斜長石の巨晶を含む多孔質玄武岩及び無斑晶玄武岩から構成される。模式地（L-AB21）では、Nazret 火砕堆積物に覆われる。

分布： Sire 西側の崖、Arboye 付近の Hula、Huruta 付近の Kelefa 川。

層厚： 模式地で 30m 以上。

模式地： Kelefa 川（L-AB21）。

対比： GSE（1985）では N1a: Alaji basalts に対比される。



暗灰色多孔質から斜長石斑晶玄武岩

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.1.2: Kelefa 川(L-AB21)

### b. 新第三系 鮮新統

#### b.1 Chefeko流紋岩類：流紋岩、流紋岩質凝灰岩、軽石質凝灰岩：Tr2

層相： 白～青灰色流紋岩溶岩、凝灰岩、白色軽石、黒曜石を含む硬質凝灰岩から構成される。Itaya に隣接する Tulu（L-AB07）において、Dino イグニンプライトに不整合で覆われる。模式地では流紋岩に板状節理がみられ、急冷層に沿って黒曜石が生成されている。

分布： Debeso 山、Chefeko、Logo、Dera、Sodore、Sara では丘陵地を形成、Korkoda Ridge では北東-南西方向に分布する。

層厚： 模式地で 150m。

模式地： Itaya から北西 5km の Chefeko（L-AB08）。

対比： GSE（1978）では、N2r: Older alkaline and peralkaline rhyolite domes and flows に対比されている。



Dino イグニンプライトに不整合に覆われる。



模式地、黒曜石を含む硬質凝灰岩



Debeso 山、流紋岩質凝灰岩、黒曜石が分布する。

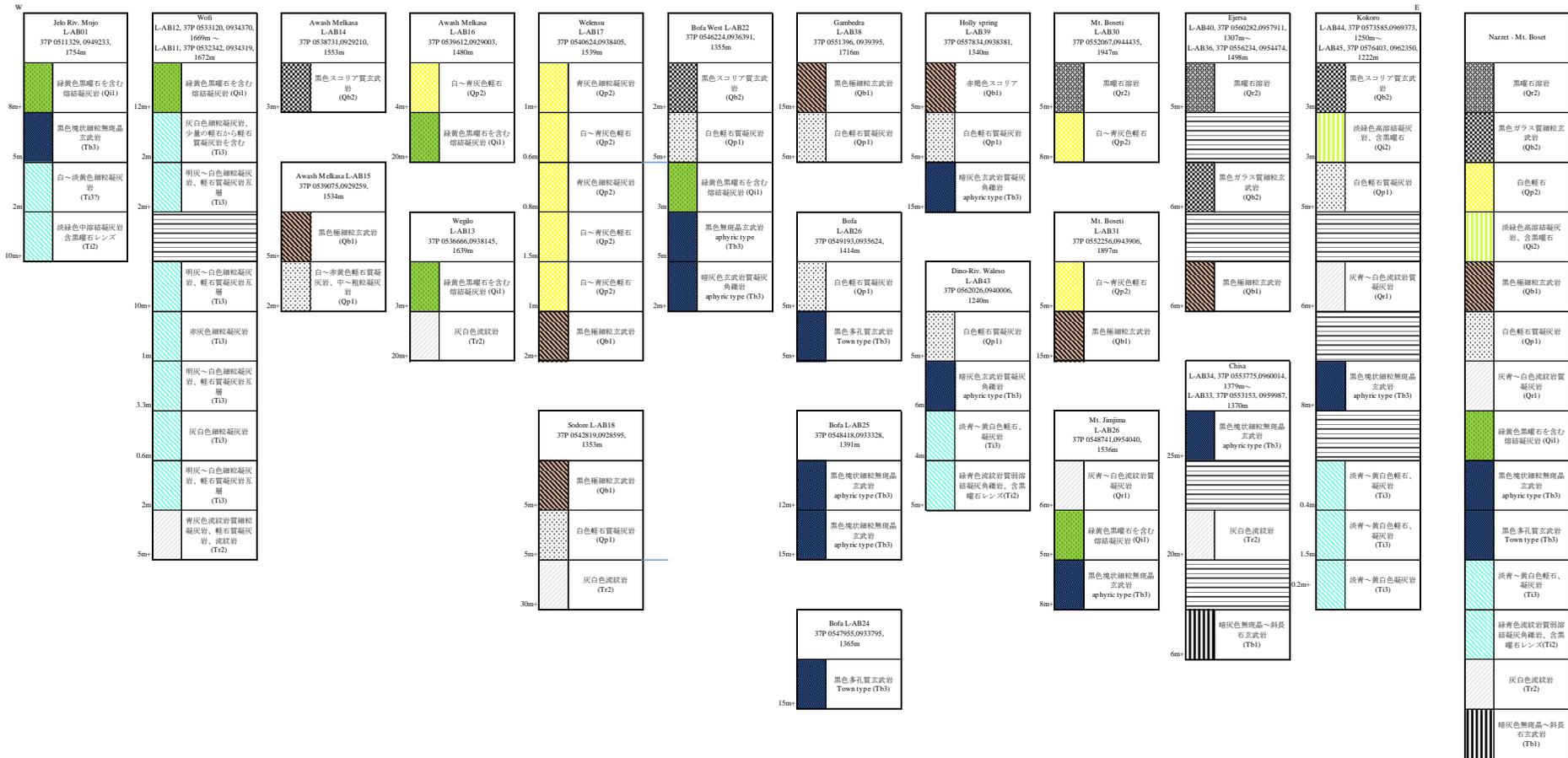


出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.1.3: Tulu(L-AB07) (上段、左)、Chefeko(L-AB08) (上段、右)、Debeso 山(L-AB09) (下段)

表 2.1.2に Nazret- Boseti 山周辺、表 2.1.3に Koka 湖-Huruta-Sire 周辺の模式地質柱状図を示す。

表 2.1.2: Nazret- Boseti 山周辺の模式地質柱状図



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果



## b.2 Nazret火砕堆積物：溶結凝灰岩、流紋岩質弱溶結凝灰岩及び凝灰角礫岩、軽石、凝灰岩、結晶質凝灰岩

本層は、岩相により二分される。下部（Ti2）は、黄白色降下軽石、結晶質凝灰岩、細粒火山砂と軽石質凝灰岩の互層、上部（Ti3）は白～青灰色溶結凝灰岩、圧密された流紋岩質凝灰岩、凝灰角礫岩から構成され、白色軽石、流紋岩溶岩片、破碎及び又は弱風化した黒曜石片と稀に赤茶色玄武岩片を含む。

### b.2.1 下部Nazret火砕堆積物：Ti2

層相： 黄白色降下軽石、結晶質凝灰岩、細粒火山砂と軽石質凝灰岩の互層から構成される。模式地では、暗灰色中粒凝灰岩、赤茶色細粒凝灰岩、白色軽石質凝灰岩、暗灰色火山礫凝灰岩及び青灰色細粒凝灰岩の互層が観察される。地層の走向傾斜は、N15°W22°Wを示す。DoniのWeleko川（L-AB43）においてBofa玄武岩類を不整合に覆う。

分布： Boru川、Sire、Huruta、Ufura Ridge。

層厚： 模式地で15m以上。

模式地： Boko、Wanji Sugar Farm北東（L-AB11）。

対比： GSE（1978）ではNn: Nazret Groupに対比される。

年代： Mohr（1974）及びMorbidelli他（1975）で3.5～5.5Ma K-Ar年代。



下位の凝灰角礫岩（左）、結晶質凝灰岩（右）



軽石質凝灰岩と凝灰岩の互層

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.1.4: Sire(L-AB35)(上段)、Boko(L-AB11)(下段)

### b.2.2 上部Nazret 火砕堆積物：Ti3

層相： 白～青灰色流紋岩質の圧密された凝灰岩、黒曜石レンズを含む灰緑色溶結凝灰岩、凝灰角礫岩から構成され、白色軽石、流紋岩片、破碎及び又は弱風化した黒曜石片とまれに赤茶色玄武岩片を含む。模式地において下部層を不整合に覆う。

分布： Buru 川、Huruta、Koka 湖北東岸。

層厚： 模式地で 2m 以上、Rukecha (L-MAD40) で 30m 以上。

模式地： Koka ダム (L-AB02)。

対比： GSE (1978) では Nn:Nazret Group に対比される。

年代： Mohr (1974) 及び Morbidelli 他 (1975) で 3.5～5.5Ma K-Ar 年代。



Nazret 火砕堆積物下部 (Ti2) を不整合に覆う



溶結凝灰岩及び軽石質凝灰岩から構成される。

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.1.5: Koka Dam (L-AB02) (上段)、Rukecha (L-MAD40) (下段)

### b.3 Chilalo粗面玄武岩類：Tt

層相： 黒色塊状粗面玄武岩及び凝灰角礫岩から構成される。模式地において Chefe Donsa 火砕堆積物に不整合で覆われる。

分布： Chilalo 山北麓に広く分布。

層厚： 模式地で 30m 以上。

模式地： Robi 川、Hamda Disks 北方。(L-AB28)

対比： GSE (1978) では、N2c: Chilalo and Badda Trachytes and Trachybasalts に対比。



Chefe Donsa 火砕堆積物に不整合で覆われる

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.1.6: Robi 川(L-AB28)

#### b.4 Bofa玄武岩類：塊状無斑晶玄武岩及び凝灰角礫岩：Tb3

層相： 本層は黒色塊状玄武岩及び玄武岩質凝灰角礫岩から構成される。模式地では、本層は北東-南西方向に伸長する尾根（高さ 30m の崖）を形成し、2枚のフローユニットに区分される。Doni の Awash 川では約 20m の滝を形成している（L-AB41）。また、Boset Guda 山南東麓 Doni の Holly 湧水（L-AB39）、Doni の Wakleso 川（L-AB43）では、細粒から中粒火山砂、黒色玄武岩質礫を含む凝灰角礫岩、僅かなハイアロクラスタイトが分布する。本層は Bofa 西方（L-AB22）において、上位の Megacha 高溶結凝灰岩（Dino イグニンプライト）に不整合で覆われる。

分布： Boset Guda 山南部に広く平坦面を形成、Bofa、Cheleko、Sire 周辺。

層厚： 模式地で 30m 以上、Aluto 山で約 700m（GSE, 1986 ボーリングデータ）。

模式地： Bofa（L-AB25）。

対比： GSE（1978）では、Bofa Basalts に対比される。

年代： Morton 他（1979）では、K-Ar 年代を 6.1-4.4Ma としている。



模式地（高さ30mの北東-南西方向の崖）



玄武岩質凝灰角礫岩相



Nazret火砕堆積物を不整合で覆う本層ハイアロクラスタイト。

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.1.7: Bofa (L-AB25) (上段左)、Holly spring (L-AB39) (上段右)、Weleso River (L-AB43) (下段)

### 岩石薄片観察

サンプル No.: 140419-1

採取位置: Koka 湖ダムの北東約 2km、コカ湖ダムに至る道路沿いの崖の下部 (L-AB55)。

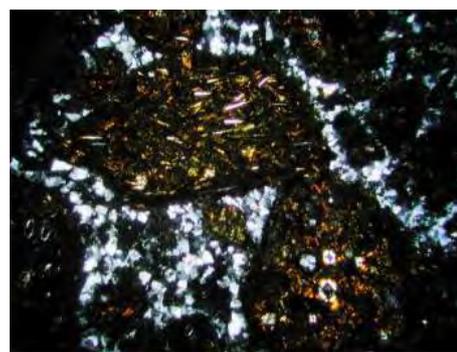
層準: Bofa 玄武岩類

岩石タイプ: 塩基性火山性砂岩

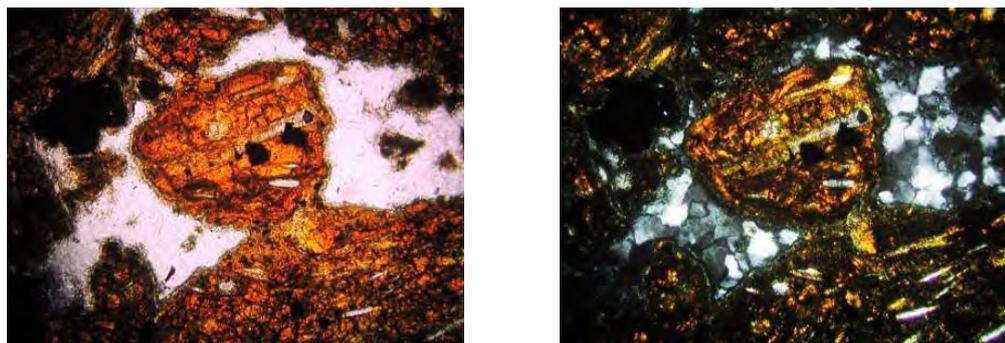
組織: 平行的に成層した淘汰度中程度の砂岩。

砕屑片: 主に塩基性火山岩片（玄武岩からガラス質急冷玄武岩およびスコリア）からなり、ガラス片、斜長石、アルカリ長石を伴う。

基質: 空隙でそのほとんどは沸石が埋める。



砂粒は玄武岩、スコリア、火山ガラスの破片からなる。砂粒間は元は空隙で、その後の続成過程で沸石の粒状結晶で埋められている。



玄武岩片と沸石のセメント。砂粒の周縁には薄い粘土鉱物サポナイトの層が被う。

図 2.1.8: サンプル No.140419-1 の薄片写真

#### c. 第四系 更新統

##### c.1 Dinoイグニブライト：流紋岩質～安山岩質溶結凝灰岩：Qi1

層相： 黄緑色から灰白色、流紋岩質～安山岩質溶結凝灰岩から構成されており、特徴的に扁平した黒曜石レンズを含む。一般にほとんどの黒曜石レンズは地層に平行または調和的であるが、地層に不規則及びまたは波状の黒曜石レンズも含まれる。模式地では、Bofa 玄武岩類を不整合で覆い、Chefe Donsa 火砕堆積物、更新世玄武岩類に不整合で覆われる。高～中溶結の中粒凝灰岩で、最大長 30cm の黒曜石レンズ、流紋岩、軽石、まれに玄武岩片を含む。

分布： Bofa 西方 Megacha 周辺、Bofa 西方、Awash Melkasa 東方、Sire 東方、Mojo、Jogo、Koka ダムに分布している。

層厚： 模式地周辺で 8m 以上。

模式地： Bofa 西方 (L-AB22)。

対比： GSE (1978) では、本層は Nn (Nazret Group) に対比される。



構造に不規則及びまたは波状の黒曜石レンズ。



Bofa 玄武岩類を不整合に覆う

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.1.9: Jogo(L-AB06) (上段)、westward of Bofa town(L-AB22) (下段)

### 岩石薄片観察

サンプル No.: 140414-1

採取位置: Dera と Sire の間、Keleta 川の橋から西へ約 500m、火砕流ユニット基底の固結部 (L-AB19)。

層準: Dino イグニンプライト

岩石タイプ: ガラス質凝灰岩 (非溶結)

組織: 主にガラス片からなり、斑晶由来の結晶片を伴う。

砕屑片: アルカリ長石多い、軽石片・流紋岩片・安山岩片あり、斜長石・緑色角閃石・石英まれ。

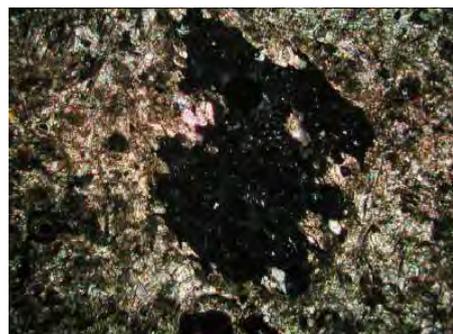
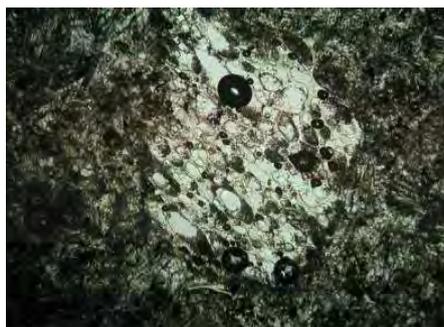
基質: 火山ガラスからなる。空隙は二次的な方解石で埋められている。



ガラス片からなる基質にアルカリ長石と流紋岩の破片が認められる



火山ガラスの破片からなる基質に、軽石・アルカリ長石 (劈開あり)・流紋岩の破片



軽石片とガラス質基質。基質は方解石で埋められる。これは不十分な地下水循環によって火砕流ユニットの底に炭酸カルシウム成分が濃集したためと推測される。

図 2.1.10: サンプル No.140414-1 の薄片写真

サンプル No.: 140414-2

採取位置: Dera と Sire の間、Keleta 川の橋下、黒色を呈す黒曜石状イグニブライト層（L-AB20）。

層準: Dino イグニブライト

岩石タイプ: ガラス質溶結イグニブライト質凝灰岩

組織: 主に溶結したガラス片からなる。

碎屑片: 粗粒で扁平な軽石片、細粒でガラス基質からなる本質的な流紋岩片およびアルカリ長石。

基質: 溶結した火山ガラスからなる。



溶結したガラス片からなる基質に扁平になった軽石片が認められる



溶結した火山ガラスの破片からなる基質に、アルカリ長石と細粒なガラス質流紋岩の破片

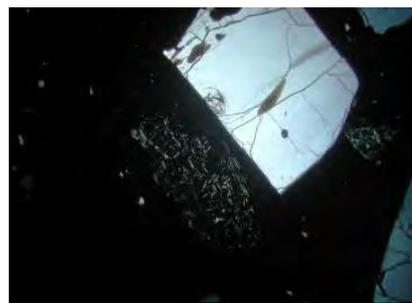


溶結したガラス質基質。アルカリ長石と流紋岩片がある。ほとんどがガラスであるため十字ニコルでは結晶以外は消光して暗く、光学的等方性のガラスであることを示す。



図 2.1.11: サンプル No.140414-2 の薄片写真

- サンプル No.: 140414-5  
 採取位置: Sire の南東約 3km の高い段丘（L-AB37）。  
 層準: Dino イグニンプライト  
 岩石タイプ: 溶結イグニンプライト質凝灰岩  
 組織: 溶結したガラス片に斑晶由来の結晶片と岩石片を伴う。  
 砕屑片: 粗粒で自形のアルカリ長石が特徴的：扁平な軽石片、安山岩片、流紋岩片あり：緑色角閃石、石英まれ。  
 基質: 溶結した火山ガラスからなる。基質に粘土鉱物や褐鉄鉱が形成：これらの鉱物形成に必要な時間だけ古いと考えられる。



粗粒で自形のアルカリ長石が特徴的。中央に安山岩片あり。軽石片は扁平になりガラス片は溶結。



溶結部に粘土鉱物が形成されている。この雲母状の粘土鉱物は方解石のように早くは形成されないであろう。それゆえこの岩石はある程度古いものと考えられる。

図 2.1.12: サンプル No.140414-5 の薄片写真

- サンプル No.: 140414-6  
 採取位置: Sire の南東約 3km の高い段丘、140414-5 の上位の火山豆石を伴う白色凝灰岩（L-AB37）。  
 層準: Dino イグニンプライト  
 岩石タイプ: 火山豆石を含むガラス質紋岩質凝灰岩。  
 組織: ガラス片に結晶片と岩石片を伴う。  
 砕屑片: 細粒のアルカリ長石と軽石片が普通に伴われる：まれに霞石、斜長石、石英あり。火山豆石を伴う。  
 基質: 非溶結の火山ガラスからなる。



火山豆石は極微粒の火山灰でコーティングされている。基質も微粒な火山ガラスからなり、鉍物片を少量伴う。霞石が認められた。



基質のガラス片や軽石片は溶結していない。

図 2.1.13: サンプル No.140414-6 の薄片写真

サンプル No.: 140419-3

採取位置: Koka 湖ダムの北東約 2km、コカ湖ダムに至る道路沿いの崖の上部 (L-AB55)。

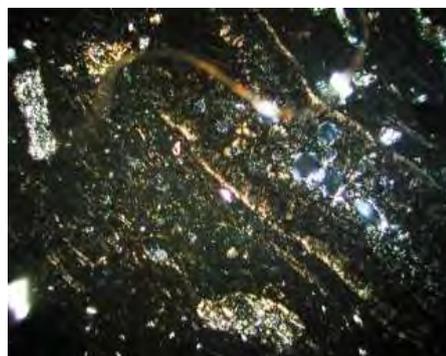
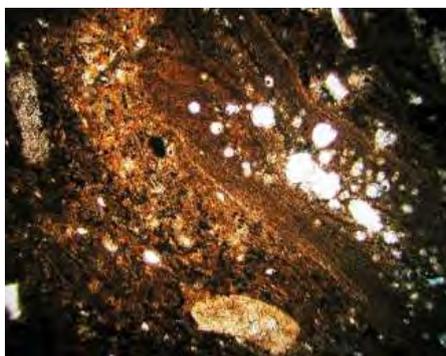
層準: Dino イグニンプライト

岩石タイプ: 流紋岩質溶結凝灰岩

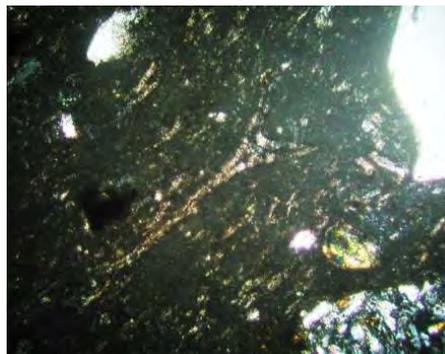
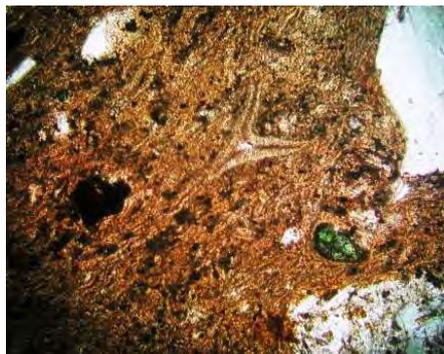
組織: 溶結したガラス片に斑晶由来の結晶片と岩石片を伴う。

碎屑片: アルカリ長石がめだつ：扁平な軽石片と酸性の火山岩片（岩相は多様）が多い：トラカイト片あり：緑色角閃石、不透明鉍物と稀に斜長石と輝石を伴う。

基質: 溶結した火山ガラスからなる。基質や溶結した軽石に粘土鉍物が形成されている。



軽石と酸性火山岩片が多い。基質のガラス片は溶結。粘土鉍物が溶結したガラスに形成されている。



いくつかのガラス片は粘土鉱物に置換されている。右下の微晶質な酸性火山岩片は本質火山岩からの由来ではない。

図 2.1.14: サンプル No.140419-3 の薄片写真

サンプル No.: 140419-5

採取位置: Nazret の西約 8km の道路沿い (L-AB56)。

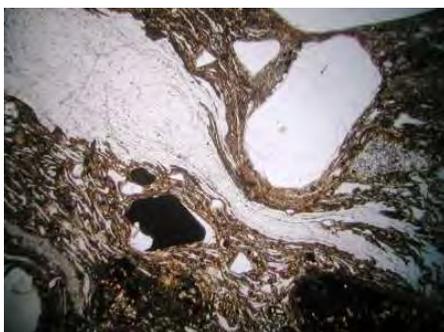
層準: Dino イグニブライト

岩石タイプ: 溶結イグニブライト質凝灰岩、自形の粗粒アルカリ長石を伴うイグニブライト。

組織: 溶結したガラス片と黒曜石レンズに斑晶由来の結晶片と岩石片を伴う。

碎屑片 粗粒で自形のアルカリ長石が特徴的: 扁平な軽石片、黒曜石レンズ、酸性～塩基性火山岩片あり: 緑色角閃石、不透明鉱物、カリ長石、クロムスピネルあり。

基質: 溶結した火山ガラスからなる。



粗粒で自形のアルカリ長石が特徴的。左上から中央に黒曜石レンズあり。ガラス片は溶結。



アルカリ長石と角閃石の結晶片あり。基質の溶結したガラスは十字ニコル下では消光し、続成作用の影響をほとんど受けていないことを示す。

図 2.1.15: サンプル No.140419-5 の薄片写真

## c.2 更新世流紋岩類：流紋岩、流紋岩質凝灰岩、軽石質凝灰岩：Qr1

層相： 白～青灰色流紋岩、凝灰岩、白色軽石、ピッチストーン、黒曜石を含む硬質凝灰岩から構成される。

分布： Gademusa カルデラ壁。

層厚： 模式地で 100m 以上。

模式地： Gademusa カルデラ北東壁。(L-AB05)。

対比： GSE (1978) では Nn: Nazret Group に対比される。



流紋岩質凝灰岩、黒曜石から構成される。

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.1.16: Gademusa カルデラ北東壁(L-AB05)

## c.3 Chefe Donsa火砕堆積物：軽石流、軽石質凝灰岩：Qp1

層相： 本層は軽石流、白色軽石質凝灰岩、青白色軽石および白色凝灰岩からなる。模式地では、少なくとも古土壌を伴う 3 層に不整合で区分される。下部は火山礫を多く含み、上部は軽石を含み、上方細粒化を示す。Sire 東方 (L-AB37) では、古土壌を含む不整合で、下位の Dino イグニンプライトを覆う。

分布： Mojo 周辺、Dera、Sire、Adama 北東周辺に分布している。

層厚： 模式地周辺で 70m 以上。

模式地： Dera 東方 10km の Boru 川 (L-AB19)。

対比： GSE (1978) では、本層は Nn (Nazret Group) に対比される。



古土壌を挟む軽石質凝灰岩から構成される



Dino イグニンプライトを不整合に覆う

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.1.17: Boru 川(L-AB19)(上段)、Sire(L-AB37)(下段)

#### c.4 更新世玄武岩類：玄武岩：Tb3

層相： 灰黒色無斑晶玄武岩、暗灰～暗青灰色含かんらん石玄武岩、斜長石玄武岩及びスコリア丘から構成される。模式地では、下位の Chefe Donsa 火砕堆積物を不整合に覆う。

分布： Koka 湖南東岸、Awash Melkasa～Bofa にかけて、Boseti 山周辺に分布。

層厚： 模式地で 15m 以上。

模式地： Gambedra、Bofa 北東 (L-AB38)。

下位層との関係： 模式地において下位の Chefe Donsa 火砕堆積物を不整合に覆う。

対比： GSE(1978)では、Qwb1: Pleistocene-subrecent basalt および N2Qb: Bofa basal に対比される。



Chefe Donsa 火砕堆積物を不整合に覆う

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.1.18: Gambedra(L-AB38)

### c.5 Boseti降下軽石：降下軽石、軽石質凝灰岩、凝灰岩：Qp2

層相： 淡灰色降下軽石、明灰色細粒火山灰、白色軽石質凝灰岩、青白色軽石及び凝灰岩から構成される。模式地において、更新世玄武岩類を不整合で覆う。

分布： Boseti 山周辺、Koka 湖及び Adama 周辺に分布。

層厚： Boseti 山（L-AB30）で 8m 以上。

模式地： Welensu（L-AB17）。

下位層との関係： 模式地において更新世玄武岩類を不整合に覆う。

対比： GSE（1978）では、Nn: Nazret Group、Qwb3: Recent basalt 及び N2Qb: Bofa basalt に対比。



更新世玄武岩類を不整合に覆う

降下軽石及び火山灰から構成される

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.1.19: Welensu(L-AB17) (左)、Boseti 山(L-AB29) (右)

### c.6 Fentaleイグニブライト：流紋岩質～安山岩質溶結凝灰岩：Qi3

層相： 青緑色から黄白色、流紋岩質～安山岩質溶結凝灰岩から構成されており、特徴的に扁平した黒曜石レンズを含む。一般に黒曜石レンズは地層に平行または調和的である。最大 20cm の長さの黒曜石レンズ、流紋岩、強溶結凝灰岩の岩片を含む。

分布： Gademusa カルデラ北壁、Melka Jiro 西方に分布している。

- 層厚： Koka ダム (L-AB46) で 10m 以上。
- 模式地： Madiga、Melka Jiro 西方 (L-AB46)。
- 対比： GSE (1978) では、本層は Qwi2 (Young ignimbrites of Fantale) に、OWWDSE (2013) では、Fantale Ignimbrite に対比される。
- 年代： Williams 他 (2004) では、フィッシュントラック年代 168,000 年±38,000 年、Bigazzi 他 (1981) では 0.12-0.18Ma。



Boseti 降下軽石 (Qp2) を不整合で覆う



流紋岩質～安山岩質溶結凝灰岩から構成される

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.1.20: Madiga(L-MAD37) (上段)、Lake Koka(L-AB10) (下段)

#### d. 完新統

##### d.1 完新世玄武岩類：多孔質玄武岩、降下スコリア及びスコリア丘：Qb2

- 層相： 本層は暗灰色～暗青灰色多孔質玄武岩及び暗褐色から赤褐色降下スコリア、スコリア丘から構成される。スコリア丘は Boseti 山及び Koka 湖周辺に分布している。本層は Haribona (L-AB42) で Chefeko rhyolite (Tr2) を不整合に覆う。
- 分布： Boseti 山周辺及び Koka 湖南西岸に分布している。
- 層厚： 模式地周辺で 12m。
- 模式地： Haribona、Boseti 山南麓 (L-AB32)。
- 対比： GSE (1978) では、本層は Qwb3: Recent aphyric basalts に対比される。



暗灰色～暗青灰色多孔質玄武岩  
出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果



Chefeko 流紋岩 (Tr2) を不整合に覆う

図 2.1.21: Harorecha(L-AB32) (左)、Haribona(L-AB42) (右)

## d.2 黒曜石溶岩：黒曜石溶岩及びドーム：Qr2

層相： 黒曜石溶岩、黒曜石を含む降下軽石、黒曜石ドームから構成される。模式地において Dino イグニブライトを不整合に覆う。

分布： Boseti 山南東麓で黒曜石溶岩が、Koka 湖南東岸でドームが観察される。

層厚： 模式地で 20m 以上。

模式地： Waka Bute、Koka 湖南東岸 (L-AB04)。

対比： GSE (1978) において Qwo: Recent pantelleric and comenditic obsidian flows and domes に対比される。



Dinoイグニブライトを不整合に覆う。



完新世玄武岩類を不整合に覆う。



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.1.22: Waka Bute(L-AB04) (上段)、Miesa(L-AB03) (下段)

### d.3 沖積層

層相： 細砂及び泥

分布： Awash 川

層厚： 1～5m

## 2.2 Kone-Fentale 山周辺地域

### 2.2.1 概説

Kone 及び Fentale 山周辺は、Adama-Boseti 山地域の北東に位置し、同じ地質構造が延長している。この地域は、MER の中央部であり、表層は完新世堆積物により広く覆われている。地溝帯縁辺部や地溝帯底には Wonji 断層群が発達しており、断層崖では鮮新世～更新世の地層が露出している。最も下位の地層は Birenti-Hada 流紋岩類で Bosena 山麓に分布する。Bofa 玄武岩類は Bosena の南麓で Birenti-Hada 流紋岩類を覆い、なだらかな溶岩台地を形成している。Dino イグニブライトは Kone カルデラ北麓、Fentale 山西麓及び南東台地で平坦面を形成して分布する。Dino イグニブライトの年代は Mobidelli 他（1975）で 1.5Ma、Kazmin & Berhe（1978）で 1.51Ma が測定されている。Sobebor 火山性砂岩層、更新世玄武岩類、Kone イグニブライト、Kone 降下軽石、Fentale 火山岩類、Fentale イグニブライトが Kone カルデラ、Fentale 山周辺に分布する。完新世にはいり、完新世玄武岩類及び黒曜石溶岩が Beseka 湖周辺で活動する。

表 2.2.1に Koka 及び Fentale 山周辺地域における地質層序を示す。

表 2.2.1: Koka 及び Fentale 山周辺地域における地質層序

年代区分	層序	層相	凡例	年代		
新生代	完新世	Qal	沖積層 砂、粘土、湖沼堆積物			
		Qr2	黒曜石溶岩及びドーム 流紋岩ドーム及び黒曜石溶岩			
		Qb2	完新世玄武岩類 無斑晶玄武岩及びスコリアコーン			
	第四紀	更新世	Qi3	Fentale イグニンプライト 淡緑色強溶結凝灰岩		168,000±38,000 y (OWWDSE,2013)
			Qf	Fenrale 火山岩類 緑色溶結凝灰岩、凝灰岩、トラカイト		
		更新世	Qp2	Kone 降下軽石 降下軽石及び火山灰		
			Qi2	Kone イグニンプライト 緑色圧密～溶結細粒凝灰岩		
			Qb1	更新世玄武岩類 無斑晶玄武岩		
			Qs	Sobebor火山砂層 砂及び凝灰岩互層		
			Qi1	Dino イグニンプライト 黒曜石レンズを含む溶結凝灰岩		Dino : 1.5my (Mobidelli et al., 1975), 1.51 Ma (Kazmun, et al.,1978)
			鮮新世	Tb3	Bofa玄武岩類 無斑晶玄武岩	
	Tr2	Birenti-Hada 流紋岩類 流紋岩及び軽石質凝灰岩				

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

## 2.2.2 地質各説

### a. 新第三系 鮮新統

#### a.1 Birenti-Hada流紋岩類：流紋岩、流紋岩質凝灰岩、軽石質凝灰岩：Tr2

層相： 白色から青灰色流紋岩質および凝灰岩、白色軽石、黒曜岩、黒曜石を含む硬質な凝灰岩から構成される。Birenti 山 (L-KF15) では層相から以下の6層に区分される。下位から青白色流紋岩質凝灰岩 (層厚 20m+)、青灰色降下軽石 (層厚 5m+)、青白色軽石質凝灰岩 (層厚 25m+)、白色軽石質

凝灰岩（層厚 3m）、黒曜岩（層厚 5m）、青白色流紋岩質凝灰岩（層厚 10m+）に区分される。Kone カルデラの南西壁、及び北東壁では本層がカルデラ底から約 200m 分布している。

分布： Bosena では北東-南西方向に伸長した丘陵地、Abadir Farm の Abadir Shero, Birenti 山、Metehara Sugar Plantation 南方の Dimitu Ridge に分布。

層厚： 模式地で 80m 以上。

模式地： Bosena、Melka Jiro 北西方（L-KF02）。

対比： GSE（1985）では模式地を Qwr: Recent to subrecent rhyolite domes and flows に、Abadir 及び Dimitu Ridge を N2 Qb: Bofa basalt としている。



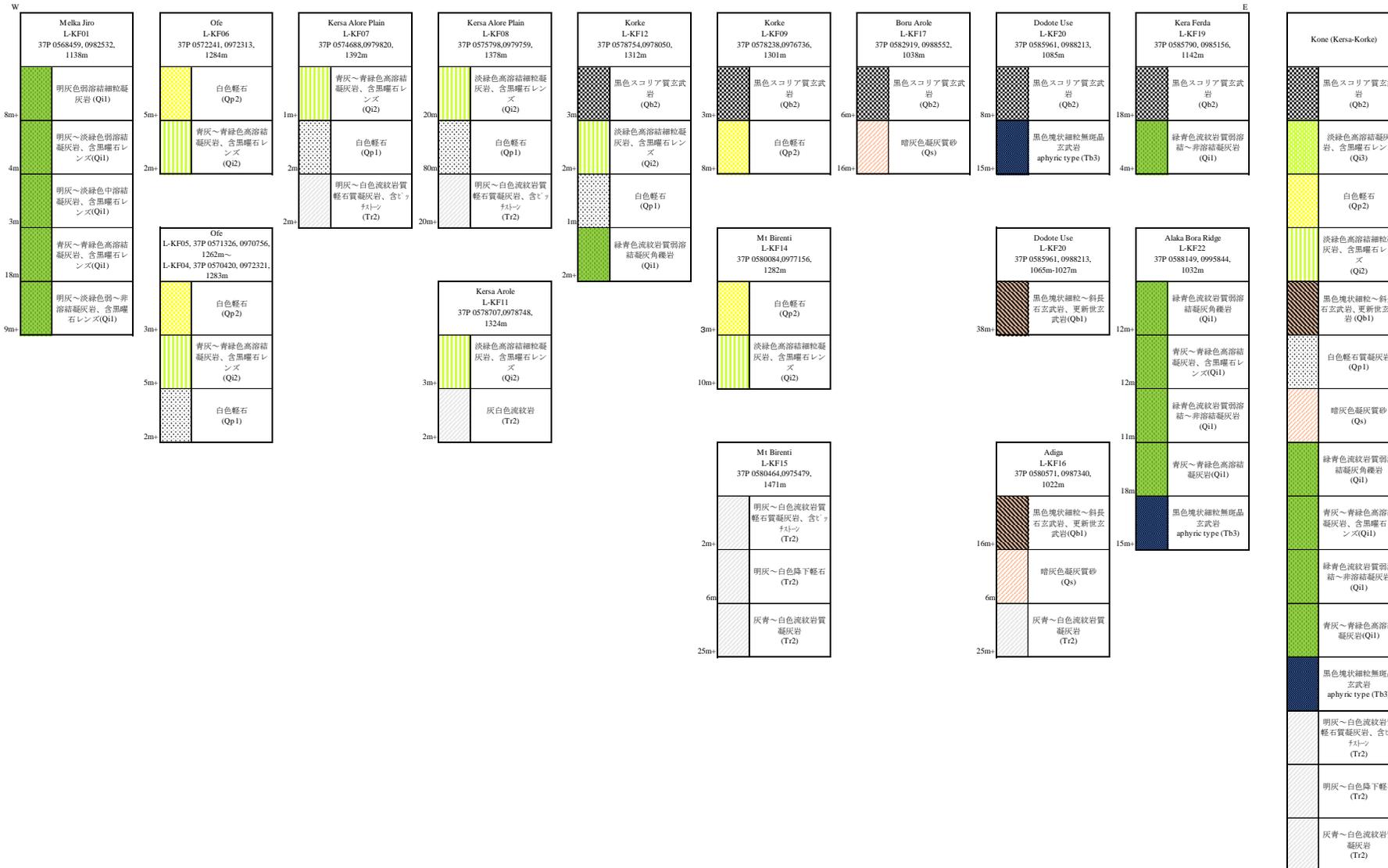
流紋岩質凝灰岩

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.2.1: Bosena(L-KF02)

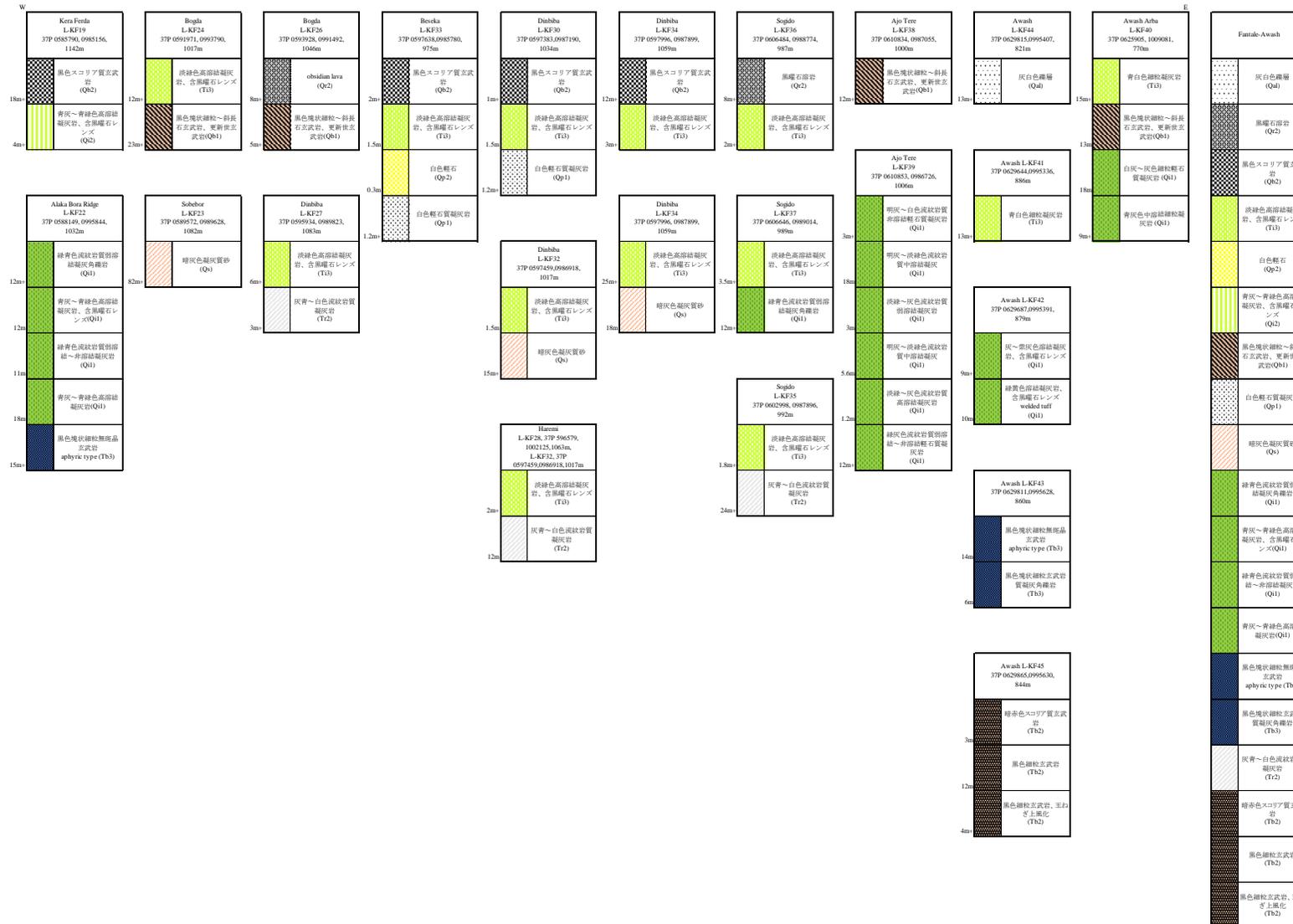
表 2.2.2及び表 2.2.3に Kone-Fentale 山-Awash 周辺の模式地質柱状図を示す。

表 2.2.2: Kone-Fentale 山周辺の模式地質柱状図



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

表 2.2.3: Fentale 山 – Awash 周辺の模式地質柱状図



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

## a.2 Bofa玄武岩類：massive aphyric basalt lava and tuff breccias: Tb3

- 層相： 本層は主に Birenti 山南麓に分布する無斑晶玄武岩で、まれにかんらん石玄武岩を含む。
- 分布： Birenti 山南麓。
- 層厚： 模式地で 15m 以上。
- 模式地： Nura-Hira 農園北部一帯。
- 対比： GSE（1978）では、Bofa basalts に対比される。
- 年代： Morton 他（1979）では、K-Ar 年代を 6.1-4.4Ma としている。

### 岩石薄片観察

サンプル No.: 140415-4

採取位置: アワシュ国立公園内の Awash 滝（L-KF46）。

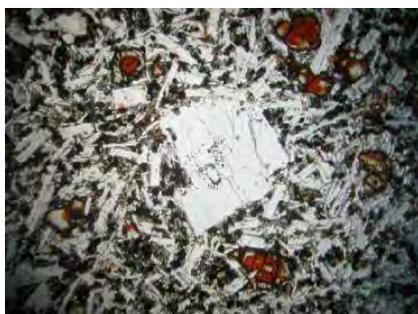
層準: Bofa 玄武岩類

岩石タイプ: 玄武岩、アア型溶岩流の気泡が多い黒色玄武岩。

組織: 斑晶と石基からなる。

斑晶: 斜長石とかんらん石および少量のアルカリ長石。

基質: 微小な短冊状の斜長石に微小な輝石、かんらん石と不透明鉱物が伴われる。



かんらん石斑晶は変質により周縁が茶色になっている。



石基は微粒な長石、不透明鉱物および輝石からなる。アルカリ斜長石の斑晶の左側は空隙があった部分で方解石が埋めている。方解石の形成はおそらく地下水など水の循環があったためである。このことからより古い岩石であることがわかる。

図 2.2.2: サンプル No.140415-4 の薄片写真

## b. 第四系 更新統

### b.1 Dinoイグニンプライト：流紋岩質～安山岩質溶結凝灰岩：Qi1

層相： 黄緑色から灰白色、流紋岩質～安山岩質溶結凝灰岩から構成されており、特徴的に扁平した黒曜石レンズを含む。一般にほとんどの黒曜石レンズは地層に平行または調和的であるが、地層に不規則及びまたは波状の黒曜石レンズも含まれる。模式地では、溶結度の違いから4層に区分される。

分布： Dodote Kelo 周辺の平坦面、Kone カルデラ北麓、Fentale 山南東麓。

層厚： 模式地で 39m 以上。

模式地： Fentale 南東麓（L-KF39）。

対比： GSE（1978）では、本層は Nn: Nazret Group 及び Qwi: Dino ignimbrites に対比される。

年代： Mobidelli 他（1975）でアワシュ川、Karayu 付近から 1.51My（K-Ar 年代）。



流紋岩質～安山岩質溶結凝灰岩

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.2.3: Fentale 南東麓(L-KF39)

### b.2 Sobebor火山性砂岩層：火山砂及び凝灰岩互層：Qs

層相： 本層は岩片を含む黄褐色玄武岩質凝灰岩から玄武岩質亜角礫を含む凝灰角礫岩から構成されている。Boru Alore 及び Sobebor はクレーターを形成し、クレーターの内側、外側ともほぼ同様な急傾斜の斜面が確認された。Fentale 山南麓 Dinbiba（L-KF30）で、Fentale イグニンプライトに不整合で覆われる。

分布： クレーターを形成している。Kone カルデラ北東麓の Boru Alore 周辺、Fentale 西麓の Sobebor、Fentale 南麓の Dinbiba に分布している。

層厚： Dinbiba で 15m 以上、Boru Alore で 240m 以上、Sobebor で 82m 以上。

模式地： Sobebor（L-KF23）

対比： GSE（1978）では、Qwh: Basaltic hyaloclastites に対比される。



Fentale 山西麓のタフリング



Kone カルデラ北東麓



約 25° 北東 (山側) に傾斜し、Fentale イグニンプライトに不整合で覆われる

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.2.4: Sobebor(L-KF23) (上段)、Boru Alore(L-KF18) (中段)、Dinbiba(L-KF30) (下段)

### 岩石薄片観察

サンプル No.: 140417-5

採取位置: Fentale 山南西約 5km、Fentale 山裾の崖に露出 (L-KF30)。

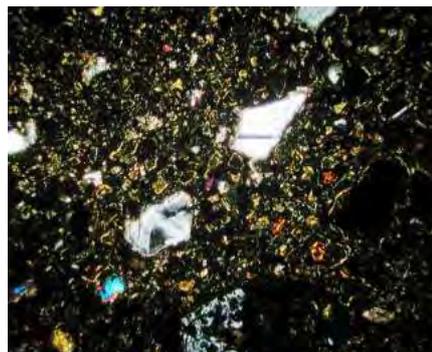
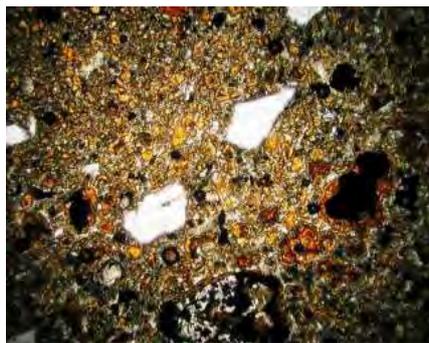
層準: Sobebor 火山性砂岩層

岩石タイプ: 塩基性火山性砂岩

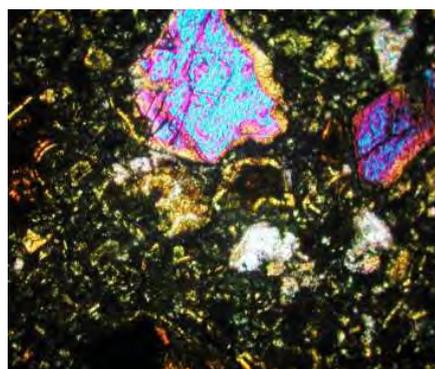
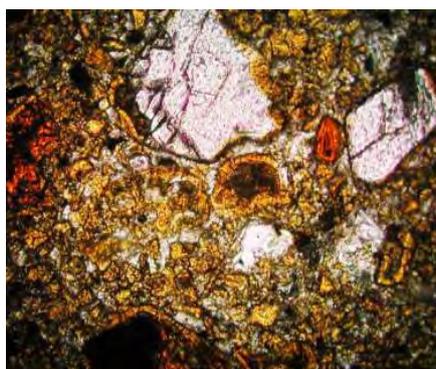
組織: 平行的に成層した淘汰度中程度の砂岩。

砕屑片: ガラス片がほとんどで、斜長石、アルカリ長石と少量の輝石、塩基性火山岩片を伴う。

基質: 空隙で部分的に沸石が埋める。



砂粒は火山ガラス、斜長石、アルカリ長石、輝石からなる。



ガラス片は緑色のサポナイトを含み塩基性の組成である。碎屑粒は細粒な沸石で膠結されている。輝石片があることから、この砂岩の碎屑物は塩基性火山灰由来であることがわかる。

図 2.2.5: サンプル No.140417-5 の薄片写真

### b.3 更新世玄武岩類：玄武岩：Tb3

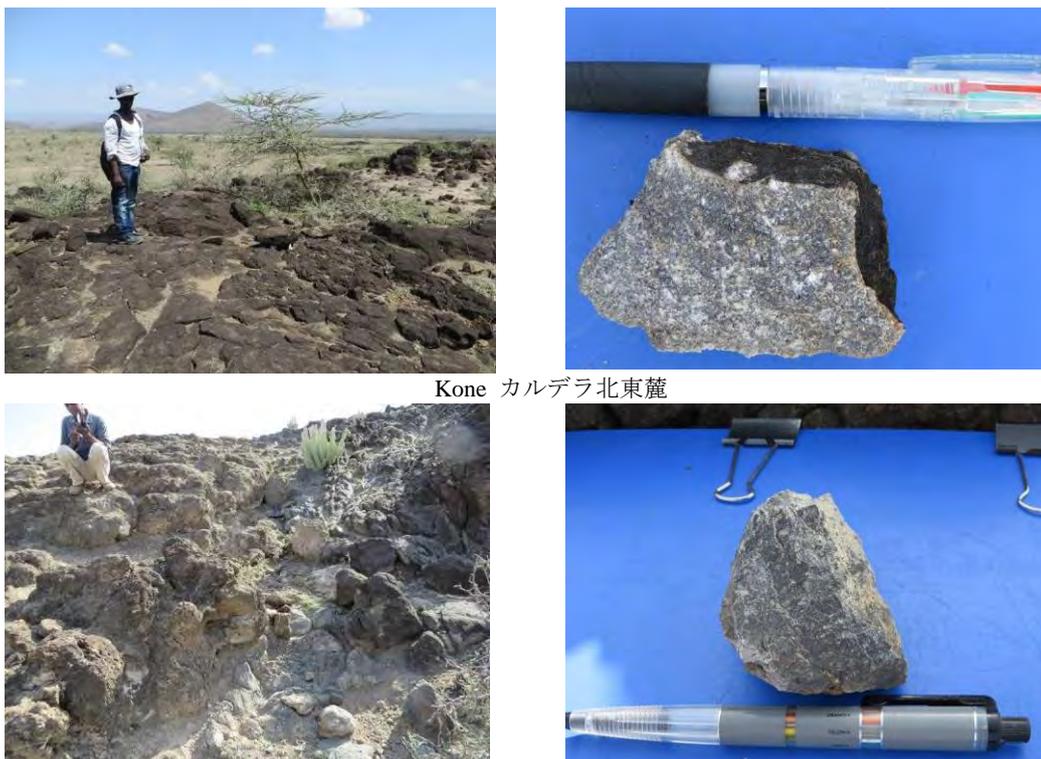
層相： 灰黒色無斑晶玄武岩、暗灰～暗青灰色含かんらん石玄武岩、斜長石玄武岩及びスコリア丘から構成される。Fentale 山南西麓 Bogda では Fentale イグニブライトに不整合で覆われる。

分布： Kone カルデラ、Kone カルデラ北～西麓、Fentale 山南西及び南東麓。

層厚： Dodote Use (L-KF20) で 38m 以上。

模式地： Dodote Use (L-KF20)。

対比： GSE (1978) では、Qwb1: Pleistocene-subrecent basalt および N2Qb: Bofa basal に対比される。



Kone カルデラ北東麓

Fentale 山南西麓、Fentale イグニンプライトに不整合で覆われる

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.2.6: Dodote Use(L-KF20) (上段)、Bogda(L-KF25) (下段)

#### b.4 Koneイグニンプライト：緑色圧密～溶結細粒凝灰岩：Qi2

層相： 緑青から明緑色、流紋岩質～安山岩質溶結凝灰岩から構成されている。模式地では、Kone 降下軽石に不整合で覆われている。

分布： Kone カルデラ及び Korke カルデラ周辺。

層厚： Kersa Alore Plain (L-KF08) で 20m 以上。

模式地： Kone (L-KF13)。

対比： GSE (1978) では、本層は Qwpu: Unwelded rhyolitic pumice and unwelded tuffs に対比される。



模式地（L-KF13）、Kone 降下軽石に不整合で覆われる



Kone カルデラ南西麓

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.2.7: Kone(L-KF13)(上段)、Kone カルデラ南西麓 Ofe(L-KF03)(下段)

### 岩石薄片観察

サンプル No.: 140415-2

採取位置: Korke カルデラ側面の軽石層に被われる緑色溶結凝灰岩（L-KF13）。

層準: Kone イグニンプライト

岩石タイプ: 溶結流紋岩質凝灰岩

組織: 溶結したガラス片に斑晶由来の結晶片と岩石片を伴う。

碎屑片: アルカリ長石が優勢：扁平な軽石片、塩基性岩片、酸性岩片あり：霞石、緑色角閃石、単斜輝石、石英まれ。

基質: 溶結した火山ガラスからなる。溶結した基質や軽石に石英が形成しており、続成作用の影響が考えられる。石英形成には時間が必要なため、ある程度古い岩石である。



アルカリ長石が優勢。中央付近に石英が形成された扁平な軽石あり。基質のガラス片は溶結。



溶結したガラス片と扁平化した軽石。レンズ状部の縁から中心に針状の集合体をなす沸石が結晶していることは、続成作用の影響を示す。このことからこの岩石はある程度古いものと考えられる。

図 2.2.8: サンプル No.140415-2 の薄片写真

#### b.5 Kone降下軽石：降下軽石、軽石質凝灰岩、凝灰岩：Qp2

層相： 淡灰色降下軽石、明灰色細粒火山灰、白色軽石質凝灰岩、青白色軽石及び凝灰岩から構成される。Kone (L-KF13) おいて、Kone イグニブライトを不整合で覆う。

分布： Kone カルデラ、Fentale 山周辺に分布。

層厚： 模式地で 10m 以上。

模式地： Korke (L-KF10)。

対比： GSE (1978) では、Qwpu: Unwelded rhyolitic pumice and unwelded tuffs に対比。



降下軽石及び火山灰

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.2.9: Korke(L-KF10)

### b.6 Fentaleイグニンプライト：流紋岩質～安山岩質溶結凝灰岩：Qi3

層相： 青緑色から黄白色、流紋岩質～安山岩質溶結凝灰岩から構成されており、特徴的に扁平した黒曜石レンズを含む。一般に黒曜石レンズは地層に平行または調和的である。最大 20cm の長さの黒曜石レンズ、流紋岩、強溶結凝灰岩の岩片を含む。模式地では、下位より、緑青色黒曜石レンズを含む高溶結凝灰岩、降下軽石、黄白色黒曜石レンズを含む溶結凝灰岩の 3 層に区分される。Fentale 山南麓 Dinbiba (L-KF30) では、最大 20cm の長さの黒曜石レンズ、流紋岩、強溶結凝灰岩の岩片を含む高～中程度の溶結中粒凝灰岩層で、下位の Sobebor 火山性砂岩層 (Qtr) を不整合で覆い、完新世玄武岩類 (Qwbh) に不整合で覆われる。

分布： Fentale 山山麓全域に分布している。

層厚： Fentale 山西麓 Bogda (L-KF24) で 12m 以上。

模式地： Dinbiba、Fentale 山南麓 (L-KF31)。

対比： GSE (1978) では、本層は Qwi2 (Young ignimbrites of Fentale) に、OWWDSE (2013) では、Fentale Ignimbrite に対比される。

年代： Williams 他 (2004) では、フィッシュントラック年代 168,000 年±38,000 年、Bigazzi 他 (1981) では 0.12-0.18Ma。



黒曜石レンズは地層に平行または調和的 ( Fentale 山南麓)



Sobebor 火山性砂岩層を不整合で覆う

完新世玄武岩類に不整合で覆われる

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.2.10: Dinbiba(L-KF31)(上段)、Fentale 山南麓(L-KF30)(下段左)、Fentale 山南麓(L-KF34)(下段右)

### 岩石薄片観察

サンプル No.: 140415-3

採取位置: Metehara の北西 5km の新道路沿い (L-KF33)。

層準: Fentale イグニブライト

岩石タイプ: 溶結イグニブライト質凝灰岩、黒色黒曜石レンズを伴う緑色イグニブライト。

組織: 溶結したガラス片と黒曜石レンズに斑晶由来の結晶片と岩石片を伴う。

碎屑片: 自形のアルカリ長石と扁平な黒曜石レンズが特徴的: 塩基性火山岩やトラカイトの岩片あり: 霞石、不透明鉱物、角閃石、黒雲母あり。

基質: 溶結した火山ガラスからなる。



上部に黒曜石レンズあり。ガラス片は溶結。



自形のアルカリ長石（双晶がない）。黒曜石には小さい包有物の泡が多い。基質の溶結したガラスは十字ニコル下では消光し、続成作用の影響をほとんど受けていないことを示す。

図 2.2.11: サンプル No.140415-3 の薄片写真

サンプル No.: 140417-1

採取位置: Fentale 山の北西約 5km (L-KF47)。

層準: Fentale イグニンプライト

岩石タイプ: 黒曜石、火砕流ユニット表面に株状に浮上した黒曜石。

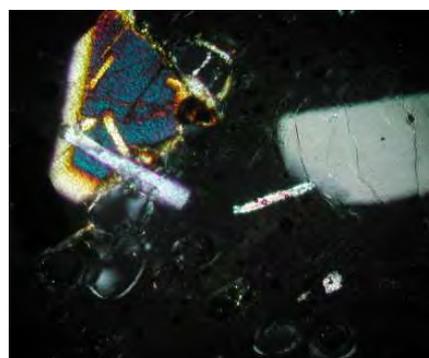
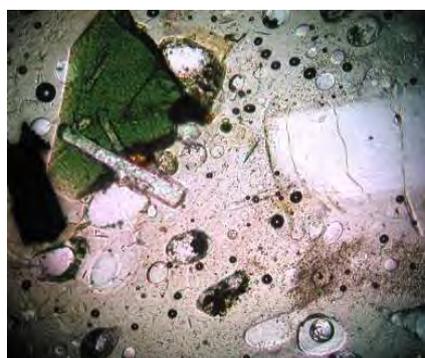
組織: 石基のガラスに斑晶を伴う。

斑晶: アルカリ長石が多い: 角閃石、不透明鉱物および稀に黒雲母を伴う: 粗面岩片あり。

石基: 塊状のガラスに微小な気泡を伴う。



アルカリ長石の斑晶。石基はガラスであるためクロスニコル下で消光する。



角閃石とアルカリ長石の小斑晶。石基のガラスには気泡が多い。

図 2.2.12: サンプル No.140417-1 の薄片写真

サンプル No.: 140417-2

採取位置: Fentale 山の北西約 5km (L-KF47)。

層準: Fentale イグニブライト

岩石タイプ: ガラス質凝灰岩（弱溶結）、火砕流ユニット表層の凝灰岩。

組織: 主にガラス片と軽石片からなり、斑晶由来の結晶片を少量伴う。

砕屑片: アルカリ長石と軽石片多い、軽石片；角閃石、不透明鉱物、酸性凝灰岩片、塩基性溶岩片、閃長岩片、粗面岩片あり。

基質: 火山ガラスからなる。



火山ガラスの破片からなる基質にアルカリ長石（劈開あり）；塩基性溶岩片が左上にある。ガラス片は弱く溶結しているため定向性を持っている。



ガラス片からなる基質。Y字型のガラス片は元が軽石の気泡だったことを示す。極微粒な角閃石を伴う。

図 2.2.13: サンプル No.140417-2 の薄片写真

サンプル No.: 140417-4

採取位置: Fentale 山の北西約 5km (L-KF47)。

層準: Fentale イグニブライト

岩石タイプ: 溶結流紋岩質凝灰岩、火砕流ユニットの表層から数mの緑色溶結凝灰岩、沢の浸食によって露出したもの。

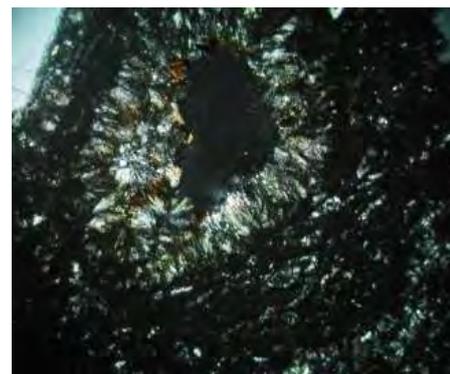
組織: 溶結したガラス片に 斑晶由来の結晶片と岩石片を伴う。

砕屑片: アルカリ長石が優勢：扁平な軽石片が多い：閃長岩片あり：緑色角閃石、不透明鉱物を伴う。

基質: 溶結した火山ガラスからなる。基質や溶結した軽石に微粒な石英が形成されている。空隙には沸石が埋めている。これらの鉱物形成は火砕流ユニット内部の熱による続成作用が考えられる。



アルカリ長石が優勢。石英が形成された扁平な軽石あり。基質のガラス片は溶結。



丸い空隙を沸石？が埋めている。溶結したガラス基質の一部に微粒な石英が形成されている。これらの鉱物形成は熱い火砕流ユニット内部の熱と蒸気による続成作用によるものと考えられる。

図 2.2.14: サンプル No.140417-4 の薄片写真

### c. 完新統

#### c.1 完新世玄武岩類：多孔質玄武岩、降下スコリア及びスコリア丘：Qb2

層相： 本層は暗灰色～暗青灰色多孔質玄武岩及び暗褐色から赤褐色降下スコリア、スコリア丘から構成される。スコリア丘は Kone カルデラ周辺及び Fentale 山西麓に分布している。

分布： Kone カルデラ南西から北東麓周辺及び Fentale 山周辺に広く分布している。

層厚： Kera Feda、Kone カルデラ西麓で 18m。(L-KF19)

模式地： Boru Alore (L-KF21)、Kone カルデラ北東麓。

対比： GSE (1978) では、本層は Qwb3: Recent aphyric basalts に対比される。



Kone カルデラ北東麓、Sobebor 火山性砂岩層を不整合で覆う

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.2.15: Boru Alore(L-KF21)

### 岩石薄片観察

サンプル No.: 140415-1

採取位置: Korke カルデラ壁を切る道路沿い (L-KF09)。

岩石タイプ: 玄武岩、アア型溶岩流の気泡が多い黒色玄武岩。

層準: 完新世玄武岩類

組織: 斑晶と石基からなり気泡が多い。

斑晶: 単斜輝石と斜長石が多くかんらん石を伴う。

基質: 微小な長石（斜長石と少量のアルカリ長石）に微小な輝石と不透明鉱物が伴われる。



単斜輝石斑晶（中央：開放ニコルで薄緑色：劈開がある）とかんらん石斑晶（左側：開放ニコルで無色：劈開なし）。



石基は微粒な長石、不透明鉱物および輝石からなる。斜長石の斑晶には縞模様の双晶がある。

図 2.2.16: サンプル No.140415-1 の薄片写真

## c.2 黒曜石溶岩：黒曜石溶岩及びドーム：Qr2

層相： Fentale 山に分布する黒曜石溶岩。

分布： Fentale 山西麓の Bogda、Dinbiba、Fentale 山南東麓の Sodido。

層厚： Bogda で約 8m。

模式地： Dinbiba (L-KF29)

対比： GSE (1978) において Nn: Nazret Group に対比される。



Fentale イグニブライトを不整合に覆う

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.2.17: Dinbiba(L-KF29)

## c.3 沖積層：Qa

層相： 細砂及び泥

分布： Awash 川

層厚： 1～5m

## 2.3 Mojo-Arerti-Debre Birhan 周辺地域

### 2.3.1 概説

Mojo、Arerti 及び Debre Birhan 周辺は、中央エチオピア高原および MER の中央部であり、高原は主に中新世火山堆積物に、MER 中央部は更新世堆積物により広く覆われている。最下位の地層は Kesem 川流域に分布する Kesem 玄武岩類。Debre Birhan イグニブライトはイグニブライト及び火山灰によりセメントされた礫岩から構成されており、Kesem 玄武岩類を覆い、Kesem 川北側の台地で観察される。Tarmaber-Megezeze 玄武岩類は高い山地を形成しており、年代は Zanettin 他 (1974) で 13Ma、Chernet 他 (1998) で 10.4Ma が報告されている。鮮新世にはいり、Bokan 流紋岩類、Nazret 火砕堆積物、Tulu Rie 玄武岩類がリフト底で観察される。Nazret 火砕堆積物は Kesem 川の南側の台地で広く観察される。Tulu Rie 玄武岩類は Bofa 玄武岩類と対比され、Mojo 周辺に分布する。年代は INGEIS-Buenos Aires で  $2.7 \pm 0.1$ Ma、Chernet 他 (1998) では  $1.44 \pm 0.03$ Ma が測定されている。更新世に入り、Dino イグニブライト、Chefe Donsa 火砕堆積物、Zikwala トラカイト、マール堆積物、Boseti 降下軽石、Fentale イグニブライトがリフト底に分布する。

表 2.3.1に Mojo-Arerti-Debre Birhan 周辺地域における地質層序を示す。

表 2.3.1: Mojo-Arerti-Debre Birhan 周辺の地質層序

年代区分	層序	層相	凡例	年代			
第四紀	完新世	Qal	沖積層 砂、粘土、湖沼堆積物				
		Qi3	Fentake イグニブレイト 淡緑色強溶結凝灰岩		168,000±38,000 y (OWWDSE ,2013)		
	更新世	Qp2	Boseti 降下軽石 降下軽石及び火山灰				
		Qb1	更新世玄武岩類 無斑晶玄武岩		Zikwala olivine basalt : 0.61±0.03Ma (Morton et al.,1979)		
		Qs	マール堆積物 砂及び凝灰岩互層				
		Qt	Zikwala トラカイト 暗灰色多孔質トラカイト		0.85±0.05Ma, 0.92±0.04Ma, 1.28±0.15Ma (Morton et al.,1979)		
		Qp1	Chefe Donsa 火砕堆積物 軽石及びタフ、弱溶結した溶結凝灰岩を挟在する		Chefe Donsa pyroclastic deposits : 1.71±0.04 Ma(Morton et al.,1979), 2.24±0.3 Ma(IGGI-Pisa)		
		Qi1	Dino イグニブレイト 黒曜石レンズを含む溶結凝灰岩		Dino : 1.5my (Morbidelli et al., 1975), 1.51 Ma (Kazmun, et al.,1978)		
		第三紀	鮮新世	Tb3	Tulu Rie 玄武岩類 無斑晶玄武岩		Tulu Rie basalt: 2.7±0.1 Ma(INGEIS-Buenos Aires), 1.44±0.03 Ma(Chernet et al., 1998) Bofa : 1.21 Ma (Kazumin, et al., 1978), 6.1-4.4 Ma(Morton et al.,1979)
				Ti2, Ti3	Nazret 火砕堆積物 淡～暗灰色含黒曜石レンズ溶結凝灰岩 軽石及び凝灰岩		Nwp : 3.5±0.1 Ma, 3.2±0.1 Ma(IGGI-Pisa), 4.7±0.7 Ma, 5.4±0.2 Ma(INGEIS-Buenos Aires), 3.32±0.06 Ma, 3.11±0.06 Ma(Morton et al., 1979)
Tr2	Bokan 流紋岩類 軽石質凝灰岩を含む流紋岩						
中新世	Tb2		Tamaber-Megeze 玄武岩類 無斑晶玄武岩		Anchar : 12.4 Ma (Kazumin et al., 1978) Mt. Megezeze: 13Ma, (Zanettin et al., 1974), 10.4Ma, (Chernet et al., 1998)		
	Ti1		Debre Birhan イグニブレイト 上部礫岩(緑色溶結凝灰岩礫を含む白色火山灰でセメントされている)、凝灰岩、砂岩互層 緑色圧密～溶結凝灰岩 下部礫岩(白色火山灰でセメントされている)、凝灰岩、砂岩互層				
	Tb1	Kesem 玄武岩類 斜長石玄武岩 軽石質凝灰岩を含む流紋岩 (Balchi 流紋岩)		24-23Ma (Chernet et al., 1998), 14.4 Ma (Kuntz et al., 1975), 28-15 Ma (Morbidelli et al., 1975), 21.06±1.5 Ma, 14.94±1.5 Ma, 17.4±1.0 Ma (Kazumin, et al., 1978)			

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

## 2.3.2 地質各説

### a. 新第三系中新統～鮮新統

#### a.1 Kesem玄武岩類：斜長石玄武岩、流紋岩：Tb1

層相： 斜長石の巨晶を含む多孔質玄武岩及び流紋岩から構成される。模式地では岩相から3層に区分される。下位から、淡青色～灰白色流紋岩（層厚 40m+、Balchi 流紋岩）、灰白～淡青色軽石混じり凝灰岩（層厚 2m+）、青灰色多孔質斜長石玄武岩（層厚 20m+）が分布している。Welenchiti 北東の Tigre Ridge (L-MAD22) では、岩相から3層に区分される。下位から、赤褐色凝灰角礫岩（層厚 2m+）、柱状節理の発達した黒色細粒斜長石玄武岩（層厚 17m）、黒色塊状細粒玄武岩（層厚 17m+）。本層は、Arerti-Kesem 川ルート沿いの露頭（L-MAD29）で、Derbre Birhan イグニンプライト下部礫岩に不整合で覆われる。

分布： Kesem 川流域に広く分布、Balchi 周辺、Melka Jiro 西方崖に北東-南西方向に分布。

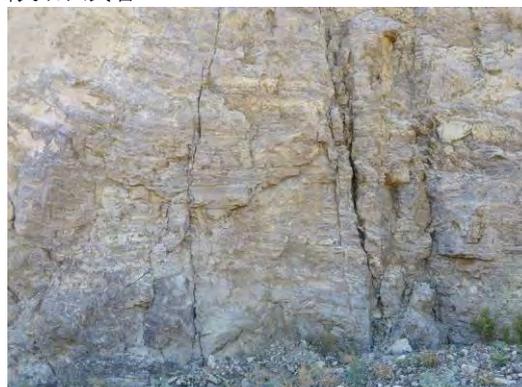
層厚： 模式地周辺で 62m+、Kesem 川沿いに 200m 以上。

模式地： Balchi (L-MAD14)。

対比： GSE (1985) では AGRAP (2009) では、N1a: Alaji basalts に GSE (2010) では Tkb: Kesem basalt に対比される。



青灰色多孔質斜長石玄武岩



最下部、Balchi 流紋岩

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.3.1: Balchi(L-MAD14)(上段)、Balchi(L-MAD15)(下段)

## a.2 Debre Birhanイグニンプライト：イグニンプライト、礫岩、凝灰岩：Ti1

本層は岩相から3層に区分される。下位より、礫岩、砂岩、凝灰岩及び少量の軽石の互層（下部礫岩）、広く分布する中部層の圧密～溶結した細粒～中粒凝灰岩及び非溶結～弱溶結した軽石質凝灰岩（Debre Birhan イグニンプライト）、上部はDebre Birhan イグニンプライトの円礫を特徴的に含む礫岩、砂岩・凝灰岩及び少量の軽石の互層（下部礫岩）から構成される。しかしながら、下部礫岩層はArerti-Kesem川沿いのみ確認される。

### a.2.1 礫岩：礫岩、凝灰岩、軽石

層相： 本層は、特徴的に火山灰でセメントされた礫岩、砂岩・凝灰岩、少量の軽石からなる互層から構成されている。挟在されるDebre Birhan イグニンプライトによって上下に2分される。下部は火山灰でセメントされた礫岩、砂岩、凝灰岩、少量の軽石からなる互層から構成され、上部は特徴的にDebre Birhan イグニンプライトの緑色の円礫を含む。模式地では、Debre Birhan イグニンプライトを挟在し、Nazret火砕堆積物に不整合で覆われる。

分布： Kesem川流域に広く分布。

層厚： 模式地周辺で下部礫岩は8m以上、上部は7.5m以上。

模式地： Aroge Minjar、Arerti-Kesem川ルート（L-MAD29）。

対比： GSE（1985）ではN1a: Alaji basaltsに、GSE（2010）では、Tdig: Sela Dengay-Debre Birhan-Gorgo ignimbriteに対比される。



Debre Birhan イグニンプライトを挟在する



Nazret 火砕堆積物に不整合で覆われる



礫岩と凝灰岩の互層

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.3.2: Aroge Minjar(L-MAD29) (上段、中段)、Chifey(L-MAD12) (下段左)、Gina Ager (L-MAD30) (下段右)

### a.2.2 Debre Birhan イグニンプライト：圧密～溶結した凝灰岩

層相： 本層は、緑青色～明緑色圧密～溶結した細粒～中粒凝灰岩から構成される。模式地では、Nazret 火砕堆積物に不整合で覆われる。Balchi (L-MAD14) では、Tarmaber-Megezeze 玄武岩に不整合で覆われる。

分布： Kesem 川、Kebena 川流域、Sendefa から Seno にかけての平坦面に広く分布。

層厚： Kosfe (L-MAD33,L-MAD35) で 25m 以上。

模式地： Aroge Minjar、Arerti-Kesem 川ルート (L-MAD29)

対比： GSE (1985) では N1a: Alaji basalts に、GSE (2010) では、Tkb: Kesem basalt、

及び Tdig: Sela Dengay-Debre Birhan-Gorgo ignimbrite に対比される。



Kesem basalt (Tb1)



を不整合に覆う



Tarmaber-Megezez basalt に不整合で覆われる



緑青～明緑色圧密～溶結細粒凝灰岩



Tarmaber-Megezez 玄武岩に不整合で覆われる



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.3.3: Aroge Minjar (L-MAD29) (上段)、Balchi (L-MAD14) (中段左)、Zengo (L-MAD10) (中段右)、Gobemsa (L-MAD25) (下段)

### a.3 Tamaber-Megazeze 玄武岩類：無斑晶玄武岩：Tb2

層相： 塊状無斑晶玄武岩及び凝灰角礫岩から構成される。模式地では Dedbre Birhan イグニブライトを不整合で覆う。Balchi (L-MAD14) では、Dedbre Birhan イグニブライトを不整合で覆い、Nazret 火砕堆積物に不整合で覆われる。

分布： Kesem 川流域に広く分布。

層厚： 模式地周辺で 20m 以上。

模式地： Gidm Asfa (L-MAD21)。

対比： GSE(1985)ではN1a: Alaji basaltsにGSE(2010)ではTtb: Tarmaber-Megezeze basalt に対比される。

年代： Zanettin 他 (1974) で 13Ma、Chernet 他 (1998) で 10.4Ma が測定されている。



Debre Birhan イグニンプライトを不整合で覆う



Debre Birhan イグニンプライトを不整合で覆う  
出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

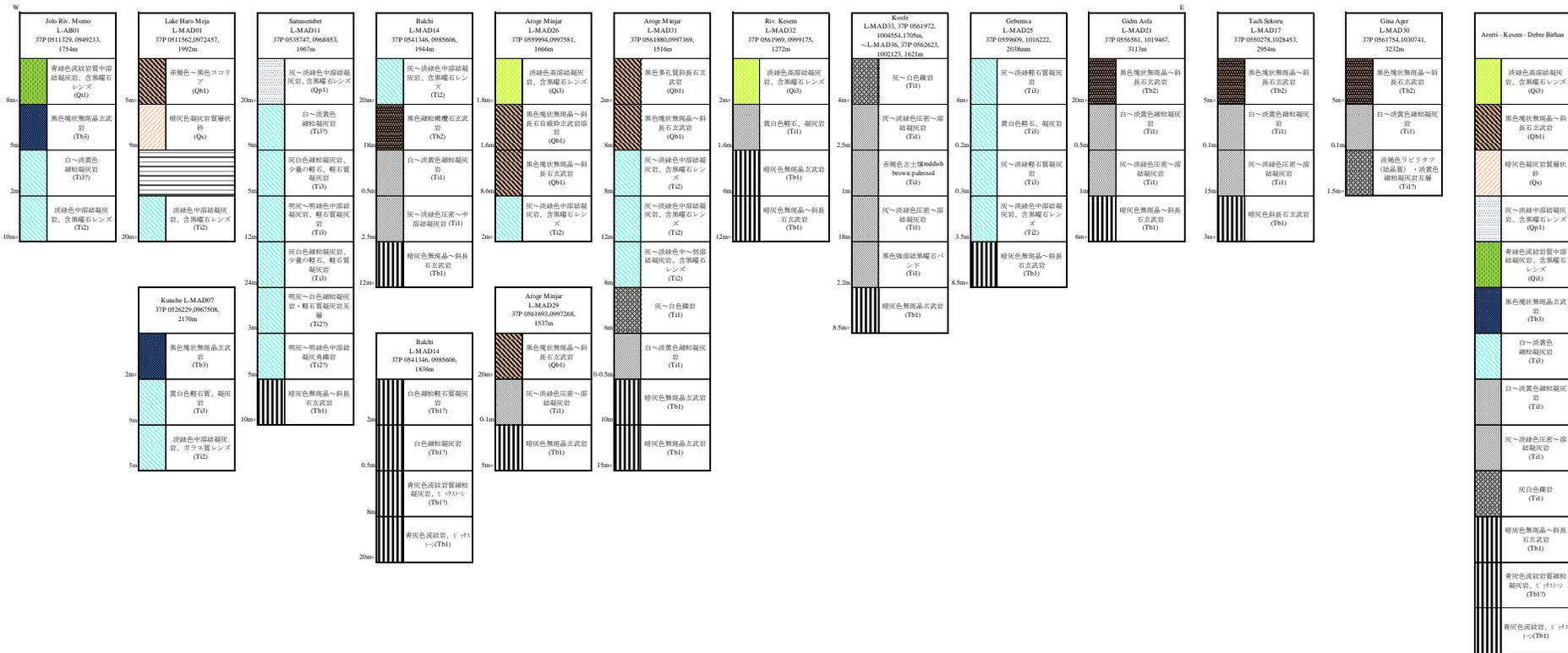


Megezeze 山 (EL.3595m)

図 2.3.4: Gidm Asfa (L-MAD21) (上段)、Zongo (L-MAD10) (下段左)、Megezeze (L-MAD24) (下段右)

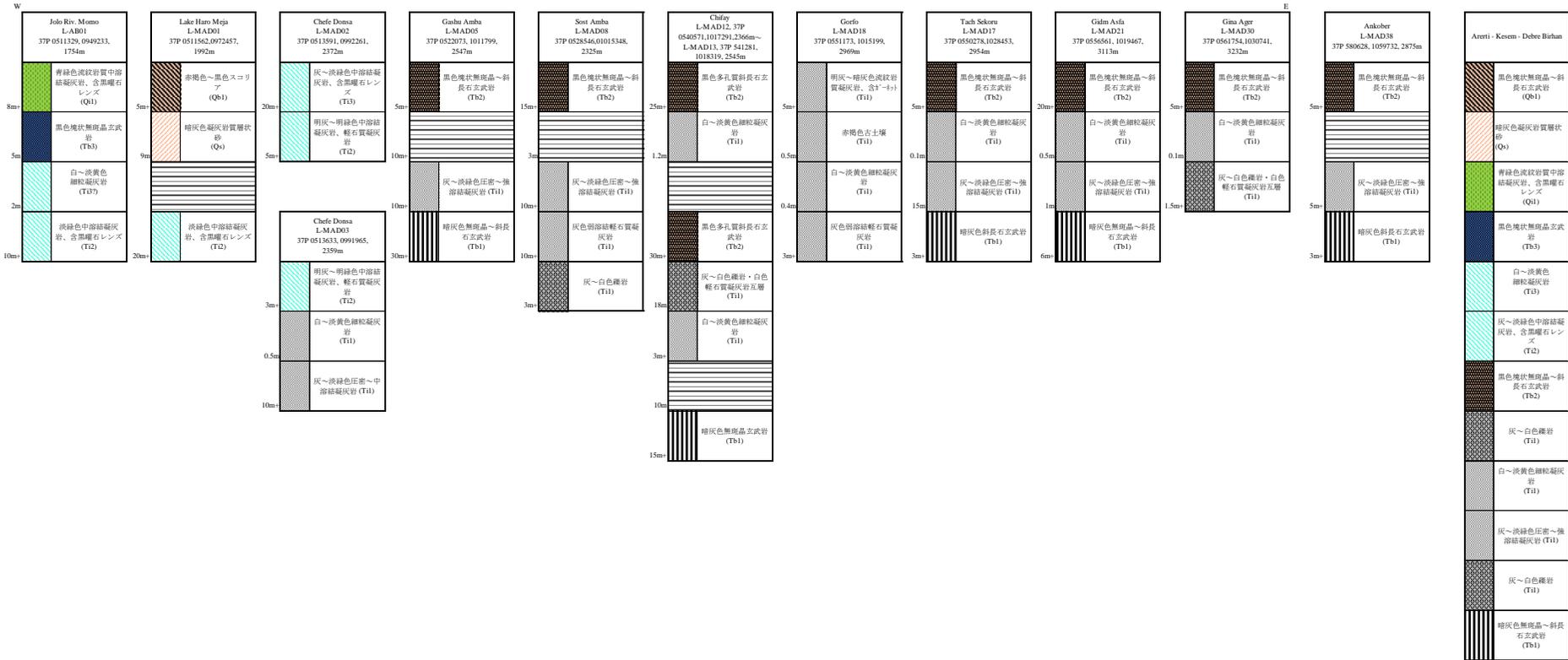
表 2.3.2に Mojo -Arerti - Debre Birhan ルート、表 2.3.3に Mojo – Chefe Donsa – Debre Birhan ルートの模式地質柱状図を示す。

表 2.3.2: Mojo -Arerti -Debre Birhan 周辺の模式地質柱状図



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

表 2.3.3: Mojo – Chefe Donsa – Debre Birhan 周辺の地質柱状図



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

**b. 新第三系 鮮新統**

**b.1 Bokan流紋岩類：流紋岩、軽石質凝灰岩：Tr2**

層相： 白～青灰色流紋岩、凝灰岩、軽石、ピッチストーン及び黒曜石を含む硬質凝灰岩から構成される。

分布： Balchi 西方 Bokan 山、Arerti 東方 Gebre Arada 山、Adadi Ridge に北東-南西方向に、Dikub、Yilas Ager に分布。

層厚： 模式地で 100m 以上。

模式地： Bokan 山（L-MAD09）。

対比： GSE（1978）では N2r: Older alkaline and peralkaline rhyolite domes and flows に対比される。



黒曜石を含む流紋岩

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.3.5: Bokan 流紋岩類(L-MAD09)

**b.2 Nazret火砕堆積物：流紋岩質弱溶結凝灰岩及び凝灰角礫岩、軽石、凝灰岩、結晶質凝灰岩**

本層は、岩相により 2 分される；下部は、黄白色降下軽石、結晶質凝灰岩、細粒火山砂と軽石質凝灰岩の互層（Ti2）、上部は白～青灰色流紋岩質圧密された凝灰岩、凝灰角礫岩から構成され、白色軽石、流紋岩片、破碎及び又は弱風化した黒曜石片とまれに赤茶色玄武岩片を含む（Ti3）。

**b.2.1 Nazret火砕堆積物 下部層：Ti2**

層相： 黄白色降下軽石、凝灰岩、結晶質凝灰岩、細粒火山砂と軽石質凝灰岩の互層から構成される。模式地では、軽石及び軽石質凝灰岩を少量含む灰白色細粒凝灰岩、明灰～白色細粒凝灰岩と軽石質凝灰岩の互層から構成され、Chefe Donsa 火砕堆積物に不整合で覆われる。

分布： Ejere 東方の Samasembet、Melka Jiro 西方の北東-南西方向の崖。

層厚： 模式地で 85m 以上。

模式地： Samasembet（L-MAD11）。

対比： GSE（1978）では Nn:Nazret Group に対比される。

年代： Mohr (1974) 及び Morbidelli 他 (1975) で 3.5～5.5Ma K-Ar 年代。



細粒火山砂と軽石質凝灰岩の互層

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.3.6: Samasembet(L-MAD11)

### b.2.2 Nazret 火砕堆積物 上部層 : Ti3

層相： 白～青灰色流紋岩質圧密された凝灰岩、黒曜石レンズを含む灰緑色溶結凝灰岩、凝灰角礫岩から構成され、白色軽石、流紋岩片、破碎及び又は弱風化した黒曜石片とまれに赤茶色玄武岩片を含む。模式地において Debre Birhan イグニンプライトの礫岩を不整合に覆う。

分布： Ejere～Arerti の平坦面を形成、Kesem 川流域に緩やかな斜面を形成し分布。

層厚： 模式地で 28m 以上。

模式地： Aroge Minjar、Arerti-Kesem 川ルート (L-MAD29)。

対比： GSE (1978) では Nn: Nazret Group に、GSE (2010) では、Tkb: Kesem basalt 及び Tdig: Sela Dengay-Debre Birhan-Gorgo ignimbrite 対比される。

年代： Mohr (1974) 及び Morbidelli 他 (1975) で 3.5～5.5Ma K-Ar 年代。



Debre Birhan イグニンプライトの礫岩を不整合に覆う

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.3.7: Aroge Minjar(L-MAD29)

### b.3 Tulu Rie玄武岩類：無斑晶玄武岩： Tb3

層相： 本層は、黒色無斑晶玄武岩から構成されている。模式地では、Nazret 火砕堆積物を不整合に覆う。

分布： Mojo 北方～Ejere までの北東-南西方向の丘陵地に分布。

層厚： 模式地周辺で 15m 以上。

模式地： Kunche (L-MAD06)。

対比： GSE (1978) では Bofa basalts に、F. Mazzarini 他 (1999) では、Tulu Rie basalt に対比される。

年代： Kazmin & Berhe (1978) では、1.21Ma、Morton 他 (1979) では 6.1-4.4Ma、INGEIS-Buenos Aires で  $2.7 \pm 0.1$ Ma、Chernrt 他 (1998) では  $1.44 \pm 0.03$ Ma。



Nazret 火砕堆積物を不整合に覆う

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.3.8: Kunche(L-MAD06)

表 2.3.4に Arerri - Melka Jiro 周辺の模式地質柱状図を示す。



## c. 第四系 更新統

### c.1 Dinoイグニブライト：流紋岩質～安山岩質溶結凝灰岩：Q11

層相： 黄緑色から灰白色、流紋岩質～安山岩質溶結凝灰岩から構成されており、特徴的に扁平した黒曜石レンズを含む。一般にほとんどの黒曜石レンズは地層に平行または調和的であるが、地層に不規則及びまたは波状の黒曜石レンズも含まれる。模式地では、Tulu Rie 玄武岩類を不整合に覆う。

分布： Mojo 南西部の Momo 川流域。

層厚： 模式地で 8m 以上。

模式地： Jelo (L-AB47)。

対比： GSE (1978) では、本層は Nn: Nazret Group に対比される。



Tulu Rie basalt を不整合に覆う

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.3.9: Jelo(L-MAD41)

### c.2 Chefe Donsa 火砕堆積物：軽石流、軽石質凝灰岩：Qp1

層相： 本層は軽石流、白色軽石質凝灰岩青、白色軽石および白色凝灰岩からなる。模式地では、Nazret 火砕堆積物を不整合で覆う。

分布： Mojo～Debre Zeyt、Chefe Donsa 周辺に分布している。

層厚： 模式地周辺で 20m 以上。

模式地： Chefe Donsa (L-MAD02)。

対比： GSE (1978) では Nn : Nazret Group に、GSE (2010) では Ncp: Chefe Donsa pyroclastic deposits に対比される。

年代： Morrton et al. (1979) では  $1.71 \pm 0.04$  Ma、IGGI-Pisa では  $2.24 \pm 0.3$  Ma。



Nazret 火砕堆積物を不整合で覆う

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.3.10: Chefe Donsa (L-MAD02)

### c.3 Zikwala トラカイト：トラカイト：Qt

層相： 本層は暗灰色多孔質トラカイト及び挟在される火砕物から構成される。

分布： Zikwala 山周辺に分布している。

層厚： 模式地周辺で 130m 以上。

模式地： Zikwala 山 (L-MAD41)。

下位層との関係：本層は Chefe Donsa 火砕堆積物を不整合で覆うが、境界は不明。

対比： GSE (2010) では、本層は Qtz: Zikawala tracytes に対比される。

年代： Morton 他 (1979) では、 $0.85 \pm 0.05 \text{Ma}$ 、 $0.92 \pm 0.04 \text{Ma}$ 、 $1.28 \pm 0.15 \text{Ma}$ 。



暗灰色多孔質トラカイト

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.3.11: Zikwala 山 (L-MAD41)

### c.4 Argoba マール堆積物：砂、凝灰岩互層：Qs

層相： 本層は黄褐色凝灰岩及び白色凝灰岩の互層から構成されている。Haro Kilole 湖 (L-MAD01) において、Nazret 火砕堆積物を不整合に覆う。

分布： Argoba、Haro Kilole 湖、Haro Meja 湖、Bebeli 周辺に分布する。

層厚： 模式地で 10m 以上。

模式地： Argoba (L-MAD04)。

対比： GSE (1978) では、本層は Qwe: Bedded explosion tuffs に対比される。



黄褐色凝灰岩及び白色凝灰岩の互層



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.3.12: Argoba (L-MAD04) (上段)、Haro Meja 湖 (L-MAD01) (下段左)、Haro Kilole 湖 (L-MAD39) (下段右)

### c.5 更新世玄武岩類：無斑晶玄武岩及びスコリア：Tb3

層相： 本層は暗青灰色かんらん石玄武岩及びスコリアから構成されている。模式地では、Nazret 火砕堆積物を不整合に覆う。

分布： Mojo、Debre Zeyt、Arerti 北東の Kersa 川周辺に分布する。

層厚： 模式地で 5m 以上。

模式地： Kersa 川沿いの Wubit (L-MAD19)。

下位層との関係：本層は模式地において、Nazret 火砕堆積物を不整合に覆う。

対比： GSE (1978) では、本層は Qwb1: Pleistocene-subrecent basalt に対比される。

年代： Morton 他(1979)では、Zikwala 山付近のかんらん石玄武岩を  $0.61 \pm 0.03 \text{Ma}$ 。



Nazret 火砕堆積物を不整合に覆う

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.3.13: Wubit Ager、Kersa 川 (L-MAD19)

#### c.6 Boseti 降下軽石：降下軽石、軽石質凝灰岩、凝灰岩：Qp2

層相： 淡灰色降下軽石、明灰色細粒火山灰、白色軽石質凝灰岩、青白色軽石及び凝灰岩から構成される。Tigre Ridge (L-MAD22) において、Chefe Donsa 火砕堆積物を不整合で覆う。

分布： Melka Jiro 西方の北東-南西方向の崖周辺に分布。

層厚： 模式地で 8m 以上。

模式地： Borchota (L-MAD23)。

下位層との関係：本層は更新世玄武岩類を不整合に覆うが、境界は不明。

対比： GSE (1978) では、Nn: Nazret Group に対比。



降下軽石、火山灰より構成される

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.3.14: Borchota (L-MAD23)

#### c.7 Fentale イグニブライト：流紋岩質～安山岩質溶結凝灰岩：Qi3

層相： 青緑色から黄白色、流紋岩質～安山岩質溶結凝灰岩から構成されており、特徴的に扁平した黒曜石レンズを含む。一般に黒曜石レンズは地層に平行または調和的である。最大 20cm の長さの黒曜石レンズ、流紋岩、強溶結凝灰岩の岩片を含む。模式地では、Boseti 降下軽石を不整合で覆う。

分布： Melka Jiro 西方の北東-南西方向の崖周辺に分布。

層厚： 模式地で 5m 以上。

模式地： Borchota (L-MAD23)。

対比： GSE (1978) では、本層は Na: Nazret Group に対比される。

年代： Williams 他 (2004) では、フィッシュントラック年代 168,000 年±38,000 年。



Boseti 降下軽石を不整合で覆う

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.3.15: Borchota(L-MAD23)

#### d. 完新統

##### d.1 沖積層：Qal

層相： 細砂及び泥。

分布： Mojo 川沿い。

層厚： 1-5m。

## 2.4 Awash-Asebe Teferi 周辺

### 2.4.1 概説

Awash 及び Asebe Teferi 周辺は、エチオピアリフトの中央部であり、表層は完新世堆積物により広く覆われている。リフト縁辺部やリフト底には Wonji 断層群が発達しており、断層崖では鮮新世～更新世の地層が露出している。最下位の地層は Alaji 玄武岩類で南部山脈に広く分布している。Alaji 玄武岩類を覆って Huse Ridge 流紋岩類、Anchor 玄武岩類が南部山脈に北東-南西方向に分布する。Anchar 玄武岩類は Kazmin & Berhe (1978) で 12.4Ma の年代が測定されている。Gara Gumbi 流紋岩類はリフト底に残丘状に観察され、Adele 流紋岩質凝灰岩類、Bofa 玄武岩類が広くリフト底に分布している。更新世に入り、Dino イグニブライト、Dofan 玄武岩類、Asebot 溶結凝灰岩類、Awash 酸性火山堆積岩類、Fentale イグニブライトが分布する。

表 2.4.1 に Awash 及び Asebe Teferi 周辺地域における層序を示す。

表 2.4.1: Awash 及び Asebe Teferi 周辺の地質層序

年代区分	層序	層相	凡例	年代	
新生代	完新世	Gal	沖積層 砂、粘土、湖沼堆積物		
		第四紀	Qi3	Fentale イグニブライト 淡緑色強溶結凝灰岩	
	Qi2		Asebot 溶結凝灰岩類 黄褐色軽石質凝灰岩		
	Qb1		Dofan 玄武岩類 暗灰色多孔質斜長石玄武岩		
	Qp1		Awash Arba 火山堆積岩類 弱溶結凝灰岩を挟在する軽石及び凝灰岩		Chefe Donsa pyroclastic deposits : 1.71±0.04 Ma(Morton et al.,1979), 2.24±0.3 Ma(IGGI-Pisa)
	Qi1		Dino イグニブライト 緑灰色溶結凝灰岩、含黒曜石レンズ		Dino : 1.5my (Mobidelli et al., 1975), 1.51 Ma (Kazmun, et al.,1978)
	第三紀		Tb3	Bofa玄武岩類 無斑晶玄武岩	
		Ti2	Adele 流紋岩質凝灰岩類 少量の溶結凝灰岩を含む軽石及び凝灰岩		Nwp : 3.5±0.1 Ma, 3.2±0.1 Ma(IGGI-Pisa), 4.7±0.7 Ma, 5.4±0.2 Ma(INGEIS-Buenos Aires), 3.32±0.06 Ma, 3.11±0.06 Ma(Morton et al., 1979)
		Tr2	Gara Gumbi 流紋岩類 軽石質凝灰岩を含む流紋岩		
		Tb2	Anchar玄武岩類 黒色細粒橄欖石玄武岩		Anchar : 12.4 Ma (Kazumin et al., 1978) Mt. Megezeze: 13Ma, (Zanettin et al., 1974), 10.4Ma, (Chernet et al., 1998)
		中新世	Tr1	Huse Ridge 流紋岩類 明灰～淡ピンク色流紋岩質弱溶結細粒凝灰岩	
	Tb1		Alaji玄武岩類 斜長石玄武岩		24-23Ma (Chernet et al., 1998), 14.4 Ma (Kuntz et al., 1975), 28-15 Ma (Morbidelli et al., 1975), 21.06±1.5 Ma, 14.94±1.5 Ma, 17.4±1.0 Ma (Kazumin, et al., 1978)

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

## 2.4.2 地質各説

### a. 新第三系中新統～鮮新統

#### a.1 Alaji玄武岩類：多孔質玄武岩：Tb1

層相： 斜長石の巨晶を含む多孔質玄武岩及び無斑晶玄武岩から構成される。模式地では岩相から2枚のフローユニットに区分される。下位から、暗灰色多孔質玄武岩（層厚 10m+）、灰白色～暗灰色多孔質な柱状節理の発達する斜長石玄武岩（層厚 10m+）。Komena (L-AA35) では、下位の斜長石を

多く含む多孔質玄武岩と上位の無斑晶玄武岩の2枚のフローユニットが観察された。本層は Asebe Teferi から 10km 北西の Huse Ridge (L-AA53) において、Huse Ridge 流紋岩類 (Tr1) に不整合で覆われる。

分布： Arba Rekete 周辺、Asebe Teferi 北西方の Huse Ridge 付近、Cheleleka 周辺に分布している。

層厚： 模式地周辺で 20m 以上。

模式地： Asebe Teferi から 5km 南西方の Arba Rekete (L-AA59)

下位層との関係： 同地域の最下層と考えられる。

対比： AGRAP (2009) では、PNa1: Alajae formation に、GSE (1978) では、N1a: Alaji basalts に、GSE (1985) では P3N1a: Alaji basalts に対比される。



模式地の灰白色多孔質な斜長石玄武岩



斜長石玄武岩



斜長石玄武岩

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.4.1: Arba Rekete(L-AA59) (上)、Komena(L-AA35) (左下)と Cheleleka(L-AA09) (右下)

#### a.2 Huse Ridge流紋岩類：流紋岩、流紋岩質凝灰岩、軽石質凝灰岩、トラカイト ト：Tr1

層相： 白色から青灰色まれに淡いピンク色の流紋岩から凝灰岩及びトラカイトから構成される。Asebe Teferi の採石場 (L-AA55) において Anchor 玄武岩類に不整合で覆われる。模式地では北東-南西方向の尾根 (高さ 50m 以上) を形成している。

分布： Beka から Mieso の南東 10km に位置する Huse Ridge にかけて北東-南西方向に分布している。

層厚： 模式地周辺で 50m 以上。

模式地： Mieso 南東 10km の Huse Ridge (L-AA53)。

対比： AGRAP (2009) 及び GSE (1985) では、N1r: Arba Guracha silicics に対比される。



模式地に分布する流紋岩質凝灰岩

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.4.2: Huse Ridge(L-AA53)

### 岩石薄片観察

サンプル No.: 140416-1

採取位置: Arba 川中流の段丘上 Gericha、灰色の幅 5m の貫入岩（流紋岩状の外観）(L-AA61)。

層準: 鮮新世流紋岩類

岩石タイプ: トラカイト

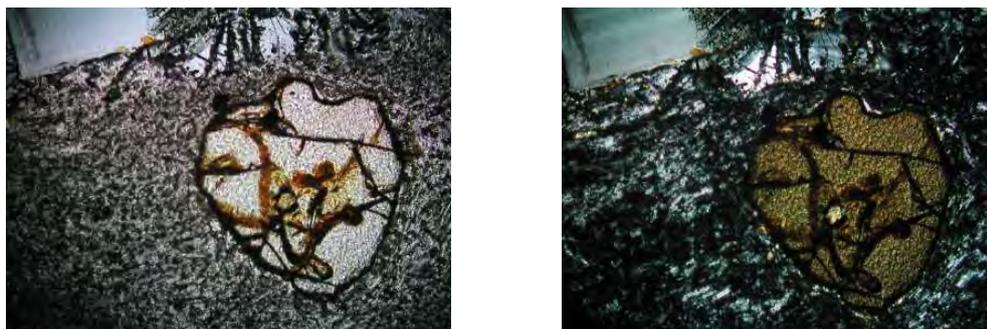
組織: 斑状組織、流理伴う。

斑晶: アルカリ長石（サニディン～アノーソクレス）の斑晶は大きく多い。輝石が長石斑晶中に形成されていることがある。かんらん石の小斑晶が少数認められる。

石質: 方向性がある微小な長柱状長石に微小な輝石と不透明鉱物が伴われる。



アルカリ長石の斑晶に輝石を伴う。石基に認められる流理構造は鉱物サイズの違いによる。



石基の自形をなす長石は流理的に配列する。小さいかんらん石の斑晶が認められる。

図 2.4.3: サンプル No.140416-1 の薄片写真

サンプル No.: 140416-2

採取位置: Gericha から Arba 川へ下る道路沿い (L-AA61)。

層準: 鮮新世流紋岩類中に取り込まれたブロック

岩石タイプ: 玄武岩、灰色細粒岩 (玄武岩状)

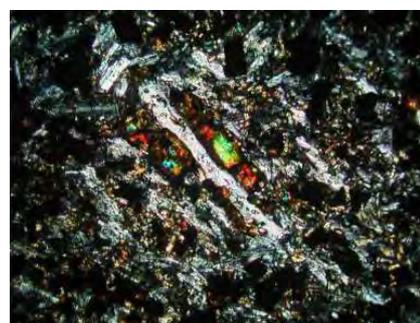
組織: 微粒塊状で斑晶は細粒で少ない。

斑晶: 細粒な斜長石。

石質: 微小な長石 (斜長石、アルカリ長石) に微小な輝石、かんらん石と不透明鉱物が伴われる。不透明鉱物は多く含まれる。



細粒の斜長石斑晶が少数認められる。石基には不透明鉱物が多い。



石基は微粒な長石、不透明鉱物、かんらん石およびさらに微粒な輝石 (開放ニコルで薄い緑色、十字ニコルで高い干渉色をなす) からなる。

図 2.4.4: サンプル No.140416-2 の薄片写真

### a.3 Anchor 玄武岩類：塊状玄武岩、凝灰角礫岩：Tb2

層相： 塊状無斑晶玄武岩及び凝灰角礫岩から構成される。模式地では岩相から3層に区分される。下位から、暗灰～黒色柱状節理の発達するかんらん石玄武岩（層厚 40m+）、赤褐色自破碎かんらん石玄武岩（層厚 6m）、赤褐色玄武岩質凝灰角礫岩（層厚 6m）。Awash 川（L-KF45）において、本層は Bofa 玄武岩類に不整合で覆われる。

分布： 南部の山脈において北東-南西方向に延び、Awash、Asebot、Debala、Cheleleka 付近に分布する。

層厚： 模式地周辺で 58m。

模式地： Asebe Teferi（L-AA59）。

対比： AGRAP（2009）及び GSE（1985）では、N1n: Anchor basalt に対比される。



Huse Ridge 流紋岩を不整合で覆う



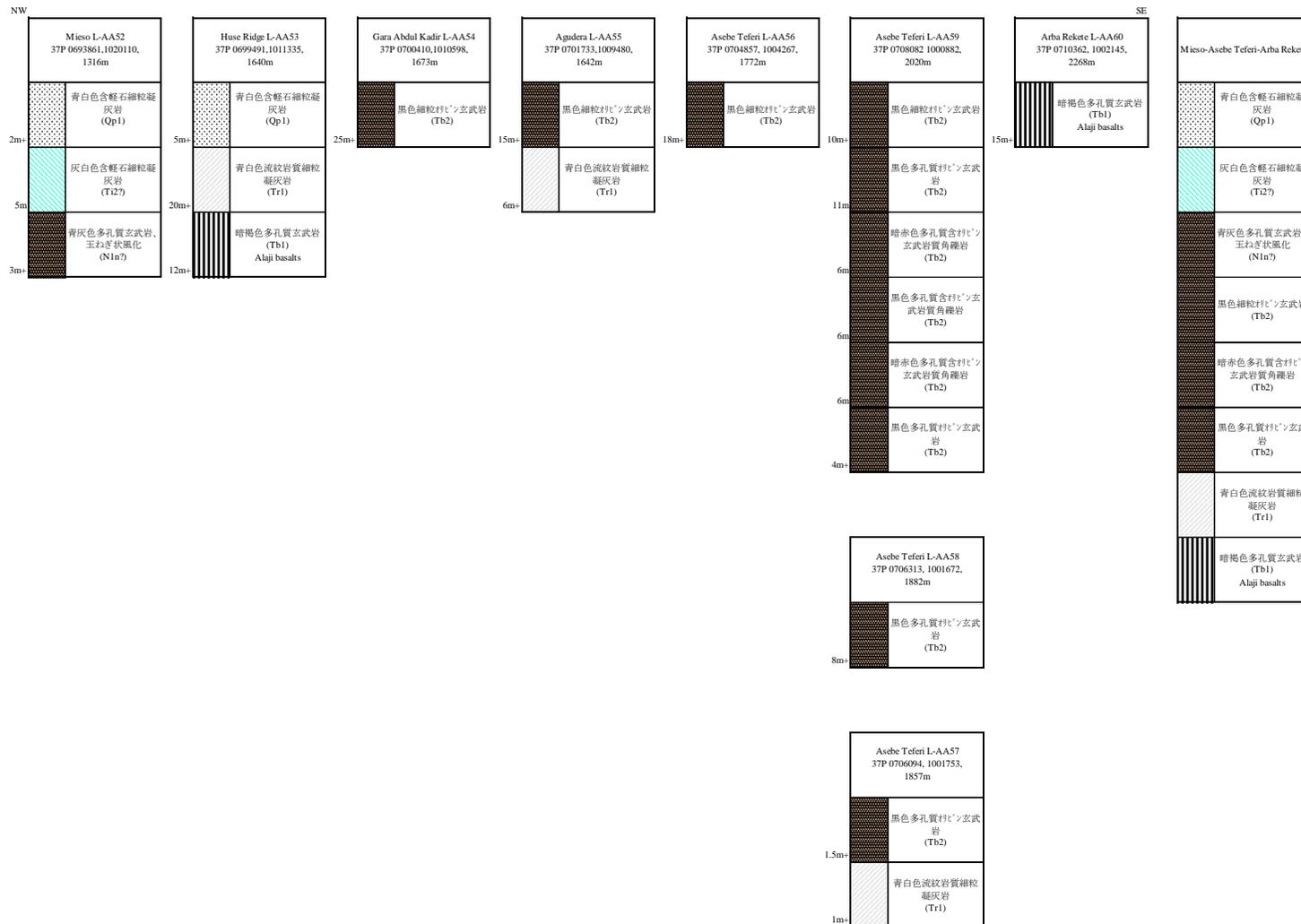
暗灰色無斑晶玄武岩

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.4.5: Asebe Teferi(L-AA57) (上段)、Agemti(L-AA20) (下段)

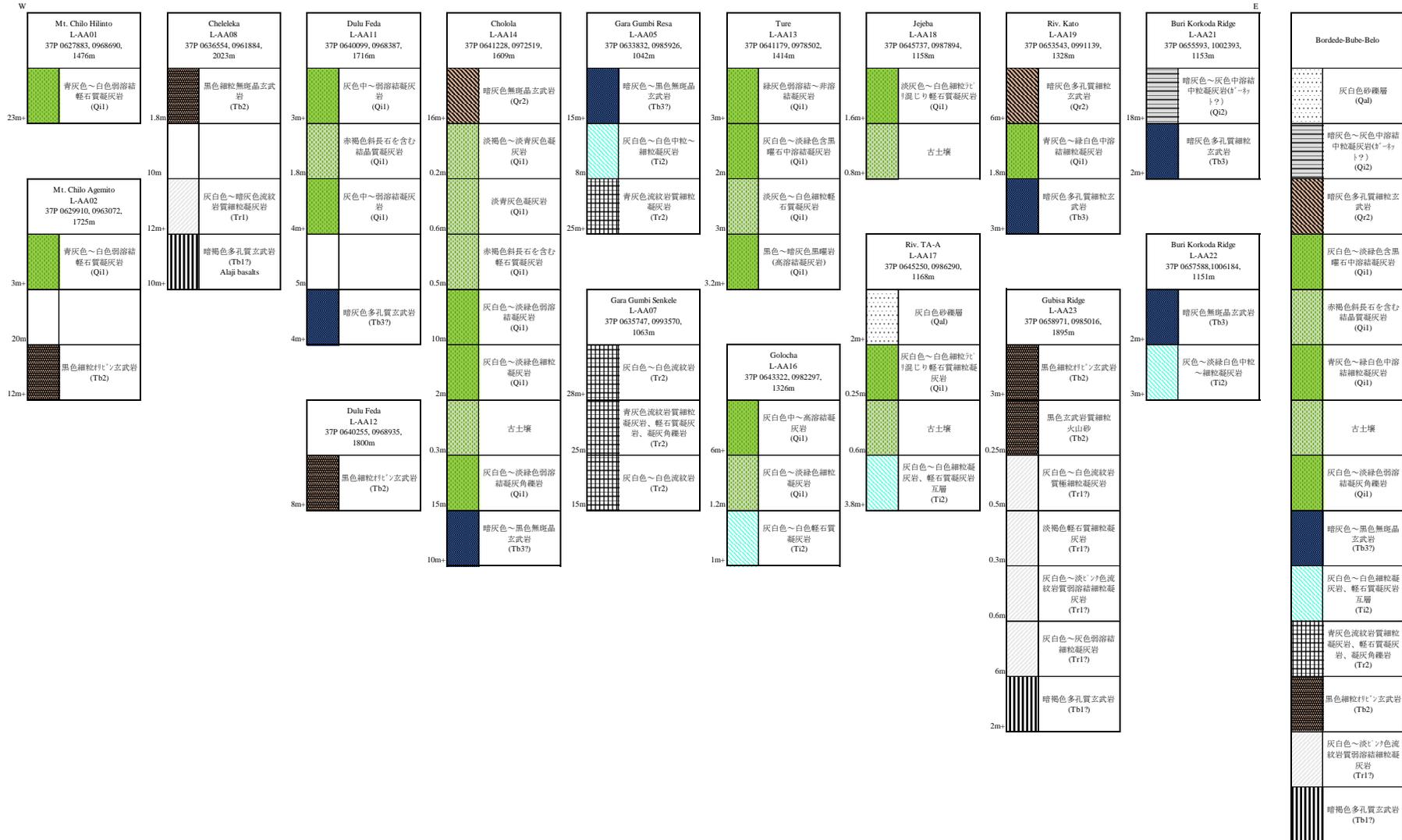
表 2.4.2に Mieso-Asebe Teferi 周辺、表 2.4.3に Bordede-Bube-Belo 周辺の模式地質柱状図を示す。

表 2.4.2: Mieso-Asebe Teferi 周辺の模式地質柱状図



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

表 2.4.3: Bordede-Bube-Belo 周辺の模式地質柱状図



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

**b. 新第三系 鮮新統**

**b.1 Gara Gumbi流紋岩類：流紋岩、流紋岩質凝灰岩、軽石質凝灰岩：Tr2**

層相： 白色から青灰色流紋岩、溶結凝灰岩、凝灰岩、白色軽石、黒曜岩、黒曜石を含む硬質な凝灰岩から構成される。模式地では青灰色流紋岩中に白色流紋岩質凝灰岩及び軽石質凝灰岩が挟まれる。Dalecha (L-AA46) では層相から以下の5層に区分される。下位から青灰～白色流紋岩質細粒凝灰岩（層厚 10m+）、青灰～緑灰色溶結凝灰岩（層厚 5m）、灰褐～白色軽石質凝灰岩（層厚 3m）、黒曜岩を伴う灰白～暗灰色流紋岩（層厚 10m）、青白色流紋岩質凝灰岩（層厚 20m+）に区分される。

分布： Gara Gumbi 周辺、Asebot の Dalecha 山、Adele 周辺、Mieso 北部に丘陵状に分布している。

層厚： 模式地で約 65m、Dalecha (L-AA46) で約 50m+。

模式地： Gara Gumbi Shinshit (L-AA06)。

対比： AGRAP (2009) では、Nry: Rhyolitic volcanic centers に、GSE (1985) では、N1-2gg: Stratoid silicics に対比される。



模式地の白色凝灰岩及び軽石質凝灰岩



黒曜石を含む流紋岩質凝灰岩。

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.4.6: Gara Gumbi(L-AA06) (上)と Dalecha(L-AA46) (下)

**b.2 Adele流紋岩質凝灰岩類：流紋岩質弱溶結凝灰岩、凝灰角礫岩、軽石、凝灰岩結晶質凝灰岩：Ti2**

層相： 本層は軽石質凝灰岩及び硬質凝灰岩から構成される。岩相は灰褐色～灰色軽石質凝灰岩（層厚 10m+）、白～灰白色細粒凝灰岩（層厚 2.5m）、暗灰

色中粒凝灰岩と青灰色細粒凝灰岩の互層（3m）、淡青色細粒～極細粒凝灰岩（層厚 0.6m）、白色細粒凝灰岩（1.5m）から構成される。下部は模式地において N65°E～75°E の走向、20°～30°W の傾斜を示している。模式地近傍（L-AA29）で玄武岩質の岩脈が貫入している。

分布： Adele、Kora、Gara Gumbi 南東麓の Jejeba から Wangeyu 周辺、Debala 北部に分布している。

層厚： 模式地周辺で 20m 以上。

模式地： Kora 近傍の Adele（L-AA30）

対比： AGRAP (2009) では、Nrig:Rhyolitic ignimbrite、N1ab:Afar stratoid basalt lower に GSE (1985) では、Nch: Chorora formation、N1-2n: Stratoid silicics に対比される。



模式地（L-AA30）に分布する軽石質凝灰岩、凝灰岩互層



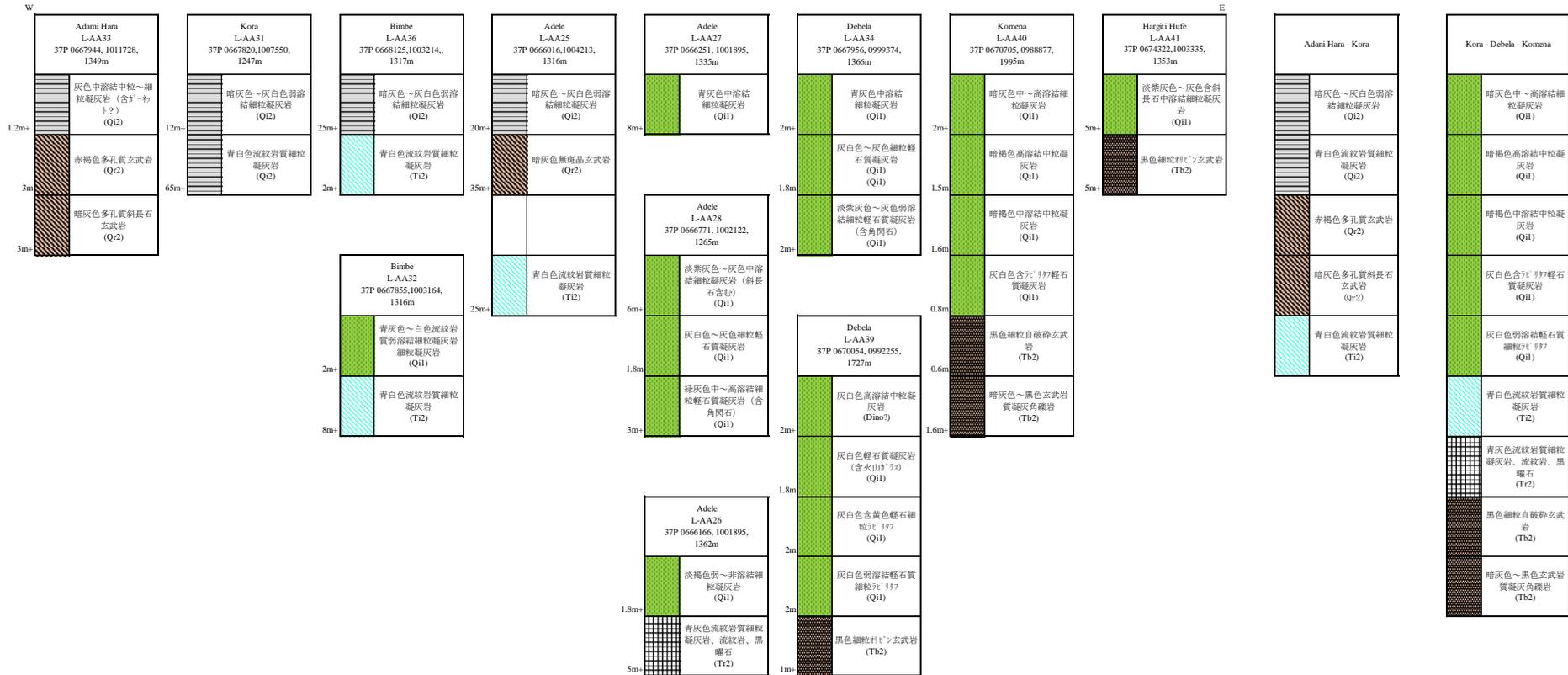
模式地近傍（L-AA29）で、本層に貫入する玄武岩質岩脈

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.4.7: 模式地(L-AA30)(上)と模式地近傍(L-AA29)(下)

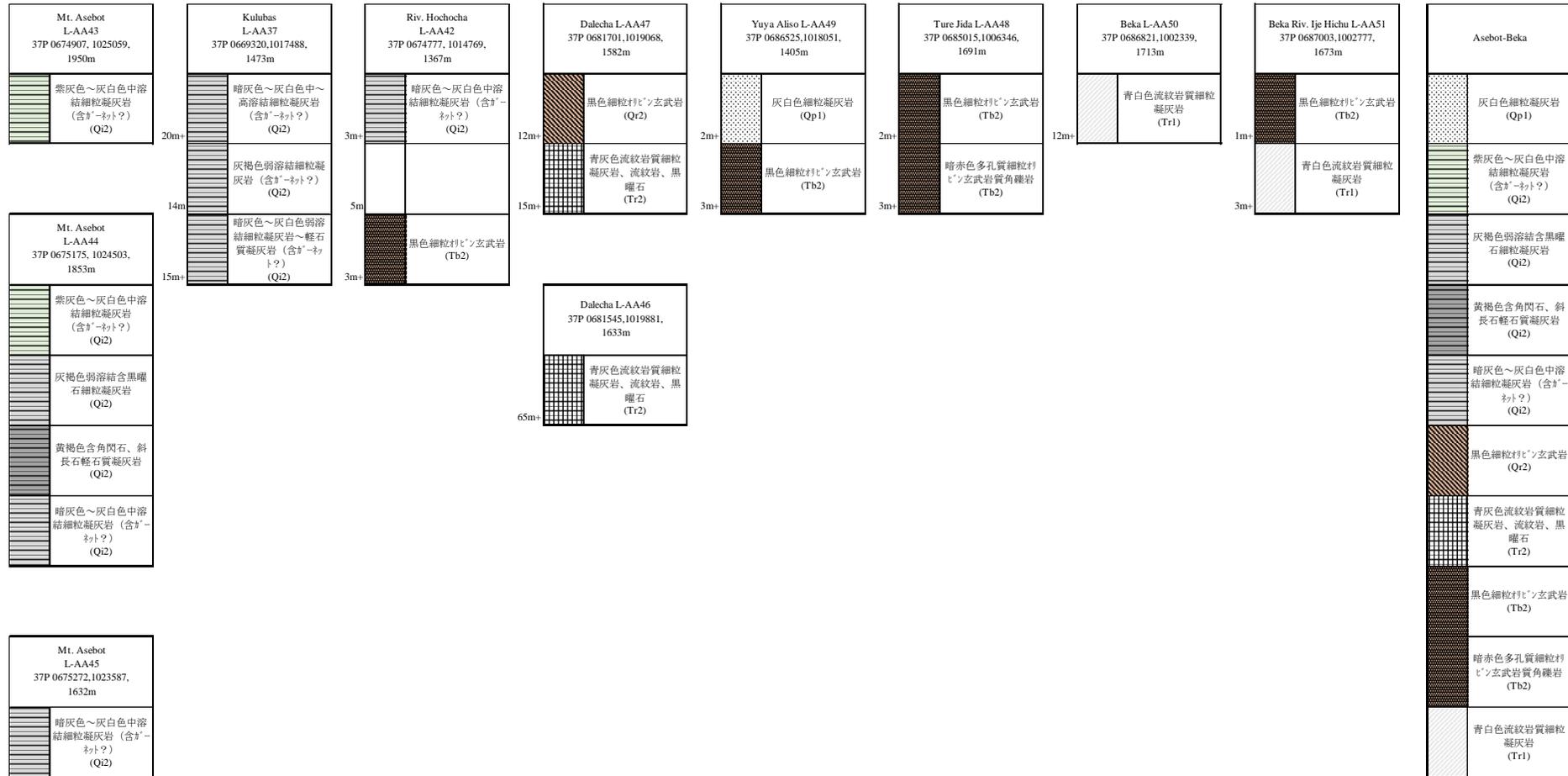
表 2.4.4に Adami Hara-Kora-Debala 周辺、表 2.4.5に Asebot-Beka 周辺の模式地質柱状図を示す。

表 2.4.4: Adami Hara-Kora-Debala 周辺の模式地質柱状図



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

表 2.4.5: Asebot-Beka 周辺の模式地質柱状図



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

### b.3 Bofa玄武岩類：塊状無斑晶玄武岩及び玄武岩質凝灰角礫岩：Tb3

層相： 本層は暗灰色から黒色塊状無斑晶玄武岩及び玄武岩質凝灰角礫岩から構成される。模式地で、本層は2層に区分される。下部は黒色玄武岩質凝灰角礫岩（層厚 6m）、上部は黒色塊状細粒玄武岩（層厚 14m）に区分され、Dino イグニブライトに不整合で覆われる。

分布： Awsh River、Gara Gumbi Rasa に分布している。

層厚： 模式地で約 20m。

模式地： Awash River (L-KF43)。

対比： GSE (1978) では Bofa Basalts に、GSE (2010) では Qfig: Fentale-Alay Dege ignimbrite に対比される。AGRAP (2009) では、N1ab: Afar stratoid basalt lower に対比される。



Dino イグニブライトに不整合で覆われる。



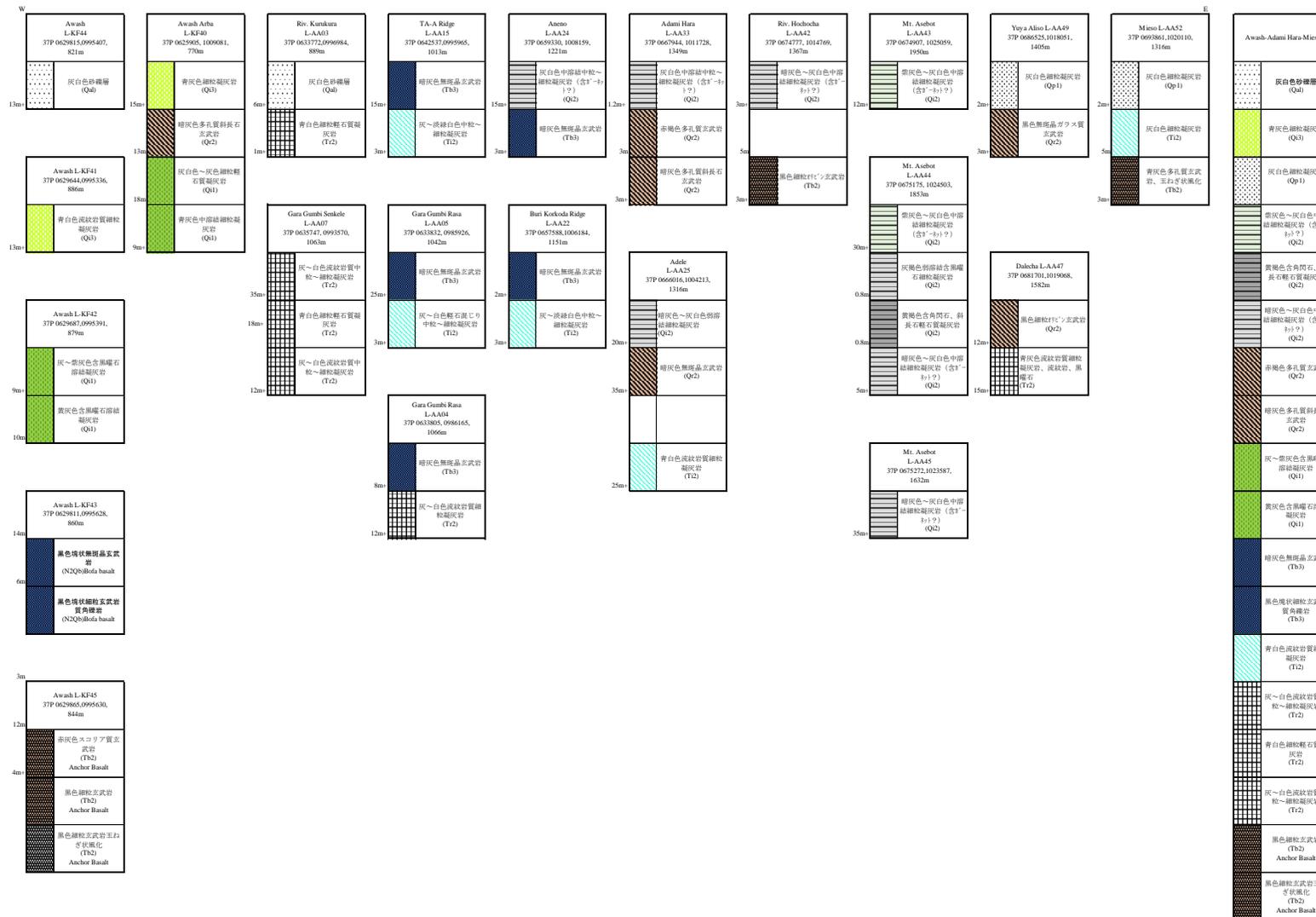
玄武岩質凝灰角礫岩

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.4.8: 模式地(L-KF43)(上)と Gara Gumbi Rasa(L-AA10)(下)

表 2.4.6に Awash-Mieso 周辺の地質柱状図を示す。

表 2.4.6: Awash-Mieso 周辺の模式地質柱状図



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

## c. 第四系更新統

## c.1 Dinoイグニブライト：Qi1

層相： 青緑色から灰白色、流紋岩質～安山岩質溶結凝灰岩から構成されており、特徴的に扁平した黒曜石レンズを含む。一般にほとんどの黒曜石レンズは地層に平行または調和的であるが、地層に不規則及びまたは波状の黒曜石レンズも含まれる。模式地では、2枚のフローユニットに区分される。下部は黄緑色、最大40cmの黒曜石レンズを含む中粒～粗粒溶結凝灰岩からなり、底部に50cmほどの非溶結部を伴い流紋岩、緑色溶結凝灰岩、白色軽石、まれに玄武岩質岩片を含み、岩片は上方粗粒化の傾向が見られる。上部は黒曜石レンズが上方細粒化、岩片（流紋岩、白色軽石、まれに緑色溶結凝灰岩）は上方粗粒化が観察される。Bordede 南部 Debela (L-AA39) 及び Komena (L-AA40) では、溶結度の垂直方向への変化が観察された。

分布： アワシュ川、Adele、Kora、Jejeba から Wangeyu 周辺、Debala、Komena 周辺に分布している。

層厚： 模式地周辺で20m以上。

模式地： アワシュ川 (L-KF42)。

対比： GSE (1978) では、本層は Qwi (Dino ignimbrites) に、GSE (2010) では、Qfig : Fentale-Alay Dege ignimbrite に対比される。

年代： Mobidelli 他 (1975) では、Karayu 付近の Awash 川の滝で、K-Ar 年代 1.51Ma



本層下部40cm超の黒曜石レンズ



非溶結部、弱溶結部、高溶結部の層相

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.4.9: 模式地 Awash River (L-KF42) (上) と Komena (L-AA40) (下)

岩石薄片観察

サンプル No.: 140416-4

採取位置: Gericha から Arba 川へ下った河床付近 (L-AA61)。

層準: Dino イグニンプライト

岩石タイプ: 溶結流紋岩質凝灰岩、火山礫を伴う溶結凝灰岩。

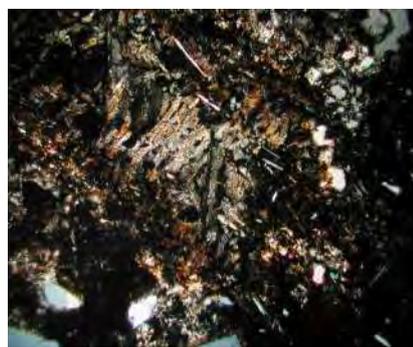
組織: 溶結したガラス片に斑晶由来の結晶片と岩石片を伴う。

碎屑片: アルカリ長石が優勢。扁平な軽石片も多い。塩基性～酸性の火山岩の岩片あり（粗面岩あり）。黒雲母、斜長石とマイクロクリンも認められる。

基質: 溶結した火山ガラスからなる。溶結した基質や軽石に石英や大きいサイズの沸石が形成しており続成作用の影響が考えられる。石英や沸石の形成には時間が必要なため、ある程度古い岩石である。



アルカリ長石が優勢。石英が形成された軽石片が左下にある。基質の溶結したガラス片は写真中央。



扁平な軽石の外側は溶結している。軽石の内部は沸石が形成されている。空隙には石英が埋めている。

図 2.4.10: サンプル No.140416-4 の薄片写真

### c.2 Awash Arba火山堆積岩類 : Qp1

層相: 本層は白色軽石質凝灰岩および白色凝灰岩からなり、軽石と凝灰岩の互層から構成される湖成～陸成堆積物を含む。

分布: Awash Arba 周辺に広く平坦面を形成し分布している。

層厚: 模式地周辺で 6m 以上。

模式地: Bordede 西方 Riv. Jejeba (L-AA03)

対比： GSE (1978) では、本層は Qwi2: Young ignimbrites of Fentale に、GSE (2010) では、Qfig: Fentale-Alay Dege ignimbrite、Qal: Alluvium with minor agglomerate に対比される。



軽石質凝灰岩

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.4.11: 模式地 Riv. Jejeba(L-AA03)

### c.3 Dofan玄武岩類：斜長石玄武岩：Qb1

層相： 斜長石の巨晶を含む暗灰色玄武岩、短冊状の斜長石を含む黒色玄武岩、黒色細粒かんらん石玄武岩から構成される。Awash Arba から Adami Hara 周辺では、斜長石玄武岩が卓越し、Deka Duku から Asebot 周辺では黒色細粒かんらん石玄武岩が卓越する。模式地では、上位の Asebot 溶結凝灰岩類に不整合で覆われる。

分布： Awash Arba、Buri Arba～Aneno、Adami Hara、Asebot 周辺に分布する。

層厚： 模式地で 12-16m。

模式地： Adami Hara (L-AA33)。

対比： GSE (1985) では N1\_2ab:stratoid basalt of Afar (lower part) に、GSE (2010) では、Qdb:Dofan basalt に、AGRAP (2009) では、N2ab: Afar stratoid basalt upper.に対比される。



Asebot 溶結凝灰岩類に覆われる。



Adele 流紋岩質凝灰岩類を不整合に覆う

斜長石玄武岩、GSE (2010) Dofan 玄武岩類  
に対比される

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.4.12: 模式地 Adami Hara (L-AA33) (上)、Buri Korkoda Ridge (L-AA22) (左下) と  
Awash Arba (L-KF40) (右下)

#### c.4 Asebot 溶結凝灰岩類：Qi2

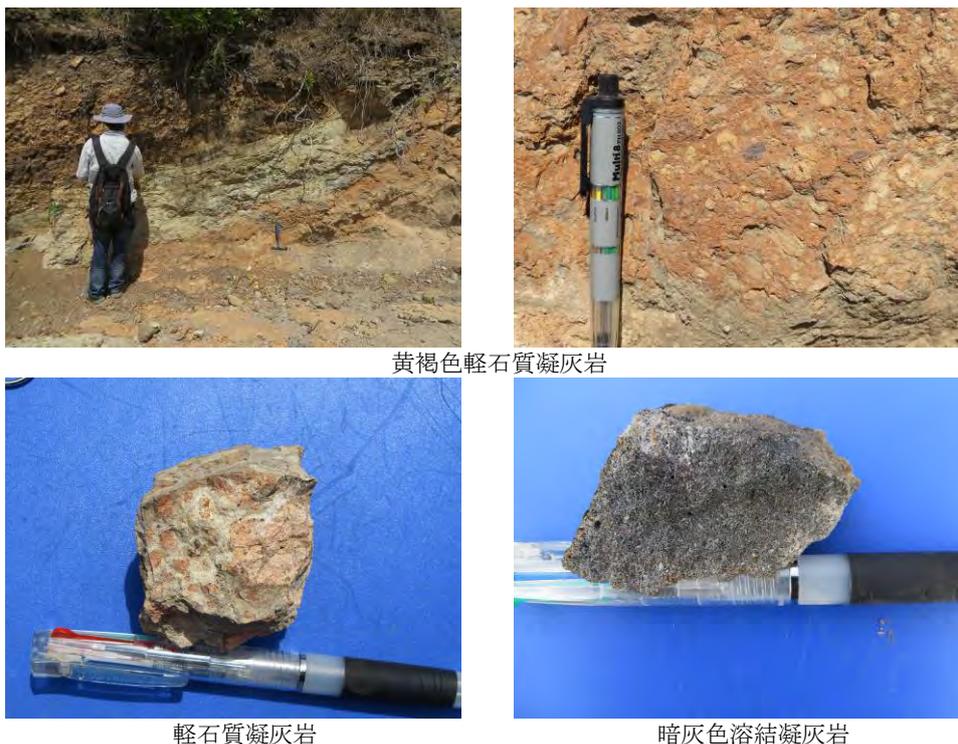
層相： 灰白～暗灰色流紋岩質溶結凝灰岩、軽石質凝灰岩から構成されており、特徴的にガーネット色、長方形～正方形の鉱物を含む。模式地では、下位より暗灰～灰白色中溶結凝灰岩（層厚 20m 以上）、黄褐色軽石質凝灰岩（層厚 0.8m）、灰褐色黒曜石レンズ含む弱溶結凝灰岩（層厚 0.8m）、紫灰色中溶結凝灰岩（層厚 5m 以上）の 4 層に区分される。Asebot 山の南西麓 Kulbus (L-AA38) では、本層の暗灰～灰白色中溶結凝灰岩が北東（Asebot 山）側に高度を増すのが観察される。

分布： Buri Arba～Aneno、Adami Hara、Asebot 周辺に広く平坦面を形成する。

層厚： 模式地で約 36m+、Kulubas (L-AA37) で約 60m+。

模式地： Asebot 山 (L-AA44)

対比： GSE (1985) では N1\_2ab: stratoid basalt of Afar (Lower part) に、GSE (2010) では、Qdb: Dofan basalt に、AGRAP (2009) では、N2ab: Afar stratoid basalt upper. に対比される。



黄褐色軽石質凝灰岩

軽石質凝灰岩

暗灰色溶結凝灰岩

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.4.13: 模式地 Asebot 山(L-AA44) (上)、Kulbus(L-AA38) (左下)と Aneno(L-AA21) (右下)

### c.5 Fentaleイグニンプライト：Qi3

層相： 本層は青灰色軽石質凝灰岩、溶結凝灰岩および淡緑色凝灰岩からなる。模式地では、下位の Dofan 玄武岩類を不整合に覆う。

分布： Awash、Awash Arba 周辺に広く平坦面を形成し分布している。

層厚： 模式地周辺で 15m 以上。

模式地： Awash Arba (L-KF40)。

下位層との関係： 本層は模式地において下位の Dofan 玄武岩類を不整合に覆う。

対比： GSE (1978) では、本層は Nn (Nazret Group)、Qwi2: Young ignimbrites of Fentale に、GSE (2010) では、Qfig: Fentale-Alay Dege ignimbrite に対比される。

年代： Williams 他 (2004) では、フィッショントラック年代 168,000 年±38,000 年。



軽石質凝灰岩

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.4.14: Awash River(L-KF41)

**d. 第四系完新統****d.1 沖積層：Qal**

層相： 細粒砂及び泥。  
分布： Awash 川岸に分布  
層厚： 1-5m

**2.5 地域別地質層序対比**

Nazret-Mt.Boseti、Kone-Mt.Fentale、Mojo-Arerti-Debre Birhan および Awash-Asebe Teferi の各地域に加え、詳細調査を実施した Beseka 湖周辺の層序をそれぞれ対比した調査地域全体の層序表を表 2.5.1に示す。

表 2.5.1: 調査地域別層序比較

年代区分	地域					調査地域全体の代表層序	年代			
	Nazret-Mt.Boseti	Kone-Mt.Fentale	Mojo-Arenti-Debre Birhan	Awash-Asbebe Teferi	Lake Besaka (1:100,000)					
新生代	第四紀	完新世	沖積層	沖積層	沖積層	沖積層	沖積層 (Qa)	沖積層 (Qa1)		
			黒曜石溶岩及びドーム	黒曜石溶岩及びドーム				黒曜石溶岩及びドーム (Qr2)		
			完新世玄武岩類	完新世玄武岩類			完新世玄武岩 (Qb2)	完新世玄武岩類 (Qb2)		
	第四紀	更新世	Fentale イグニンプライト	Fentale イグニンプライト	Fentale イグニンプライト	Fentale イグニンプライト	Fentale イグニンプライト (Qf)	Fentale イグニンプライト (Qf)	168,000±38,000 y (OWWDSE, 2013)	
				Fentale 火山岩類			Fentale 火山岩類 (Qf)	Fentale 火山岩類 (Qf)		
			Boseti 降下軽石	Kone 降下軽石	Boseti 降下軽石			Boseti-Kone 降下軽石 (Qp2)		
				Kone イグニンプライト		Asebot 溶結凝灰岩類	Kone イグニンプライト (Ql2)	Kone イグニンプライト (Ql2)		
			更新世玄武岩類	更新世玄武岩類	更新世玄武岩類	Dofan 玄武岩類	更新世玄武岩類 (Qb1)	更新世玄武岩類 (Qb1)	Zikwala olivine basalt : 0.61±0.03Ma (Morton et al., 1979)	
				Sobebor 火山性砂岩層	マール堆積物		Sobebor 火山性砂岩層 (Qs)	Sobebor 火山性砂岩層 (Qs)		
					Zikwala トラカイト			Zikwala トラカイト (Qt)	0.85±0.05Ma, 0.92±0.04Ma, 1.28±0.15Ma (Morton et al., 1979)	
			Chefe Donsa 火砕堆積物		Chefe Donsa 火砕堆積物	Awash Arba 酸性火山堆積岩類		Chefe Donsa 火砕堆積物 (Qp1)	Chefe Donsa pyroclastic deposits : 1.71±0.04 Ma (Morton et al., 1979), 2.24±0.3 Ma (GGI-Pisa)	
			更新世流紋岩類					更新世流紋岩類 (Qr1)		
			Dino イグニンプライト	Dino イグニンプライト	Dino イグニンプライト	Dino イグニンプライト	Dino イグニンプライト (Qil)	Dino イグニンプライト (Qil)	Dino ignimbrite: 1.5my (Mobidelli et al., 1975), 1.51 Ma (Kaznun, et al., 1978)	
			第三紀	漸新世	Bofa 玄武岩類	Bofa 玄武岩類	Tulu Rie 玄武岩類	Bofa 玄武岩類	Nura Hira 玄武岩類 (Tb)	Bofa 玄武岩類 (Tb3)
	Chilalo 粗面玄武岩類							Chilalo 粗面玄武岩類 (Ti)		
	Nazret 火砕堆積物	上部層				Nazret 火砕堆積物	上部層	古イグニンプライト (Ti)	上部 Nazret 火砕堆積物 (Ti3)	Nwp : 3.5±0.1 Ma, 3.2±0.1 Ma (GGI-Pisa), 4.7±0.7 Ma, 5.4±0.2 Ma (INGEIS-Buenos Aires), 3.32±0.06 Ma, 3.11±0.06 Ma (Morton et al., 1979)
		下部層					Adele 流紋岩質凝灰岩		下部 Nazret 火砕堆積物 (Ti2)	
	Chefeko 流紋岩類	Birenti-Hada 流紋岩類			Bokan 流紋岩類	Gara Gumbi 流紋岩類	Birenti-Hada 流紋岩類 (Tr)		鮮新世流紋岩類 (Tr2)	
					Tarmaber-Megeze 玄武岩類	Anchar 玄武岩類			Anchar 玄武岩類 (Tb2)	Anchar : 12.4 Ma (Kazumin et al., 1978) Mt. Megeze: 13Ma, (Zanettin et al., 1974), 10.4Ma, (Chemet et al., 1998)
					Debre Birhan イグニンプライト				Debre Birhan イグニンプライト (Ti1)	
				Huse Ridge 流紋岩類			Huse Ridge 流紋岩類 (Tr1)			
		Alaji 玄武岩類		Kesem 玄武岩類	Alaji 玄武岩類		Alaji 玄武岩類 (Tb1)	24-23Ma (Chemet et al., 1998), 14.4 Ma (Kuntz et al., 1975), 28-15 Ma (Morbidelli et al., 1975), 21.06±1.5 Ma, 14.94±1.5 Ma, 17.4±1.0 Ma (Kazumin, et al., 1978)		

## 2.6 既往文献との地質層序対比

本調査地域における代表的な以下の既往文献について、それぞれの地質層序と本論の層序との対比を行った結果を表 2.6.1に示す。

文献	対象地域
Kazmin & Berhe (1978)	Nazret 地域
Alidge Groundwater Resources Assessment Project (2009)	Alidge、Awash 地域
Oromia Water Works Design & Supervision Enterprise (2013)	Beseka 地域
GSE (1985)	Dire Dawa
GSE (2010)	Debre Birhan 地域
GSE (2010)	Akaki-Beseka 地域
F. Mazzarini 他 (1999)	Debre Zeyt 地域
JICA (2012)	リフトバレー湖沼地域

表 2.6.1: 既往文献との地質層序対比

年代区分	本論	Kazmin et al.(1978), GSE (1978) Nazret area	AGRAP (2009) Aldge-Awash area	OWWDESE (2013) Beseka area	GSE (1985) Dire-Dawa area	GSE (2010) Debre Birhan area	GSE (2010) Akaki-Beseka area	F. Mazarini, et al.(1999) Debre Zeyt area	JICA (2012) Rift Valley lake zone	年代	
第四紀	更新世	沖積層 (Qab)		Qed, Elhviai deposit Qsd, Slope deposits Qaf, Alluvial fan Qgf, Gravel outwash		Qtr, Travertine	Qal, Alluvial with minor agglomerate Qel, Elhviai	Qus, Alluvium	Alluvium Cover	Al, Alluvium Q, Unclassified fluvial deposits	
		黒曜石溶岩及びドーム (Qc2)	Qwra, Alkali and paraalkali rhyolites, trachytes, domes and flows of Boset Weldoyi and Hada mountains (Wanj group) Qwpu, Unwelded rhyolitic pumice and unwelded tuffs (Wanj group)								
		完新世玄武岩類 (QB2)	Qwb3, Recent aphyric basalt (Wanj group)	QB2, Aa lava	Holocene basalt Scoria cone	Qwbh, Recent and subrecent basaltic flows and caves		Qub, Basaltic lava flows Quc, Scoria cones and fall out deposits		rb, Butajira recent basalt	
	更新世	Fentale イグニンプライト (QJ5)	Qw12, Young ignimbrites of Fentale (Wanj group) Na, Ash flow tuffs, pantelleritic ignimbrites and unwelded tuffs (Nazret group)	Qed, Elhviai deposit	Fantak ignimbrite	Fantale ignimbrite	Qfig, Fentale-Ajay dege ignimbrite			G, Gonde strongly green welded tuff ob, Kulkusa highly welded tuff	168,000±38,000 y (OWWDESE, 2013)
		Fentale 火山岩類 (QJ)	Qw1, Trachyte flows and domes associated with Fantale, Timsh Fantale and Kone (Wanj group) Qwp, Pitchstone flows and domes (Wanj group) Qwpo, Pantelleritic volcanics of Fantale rhyolites, trachytes, tuffs and agglomerates (Wanj group)		diverse Fantale volcanics		Qfi, Fantale trachyte				
		Boseti-Kone 降下軽石 (Qp2)	Qwpu, Unwelded rhyolitic pumice and unwelded tuffs (Wanj group) Na, Ash flow tuffs, pantelleritic ignimbrites and unwelded tuffs (Nazret group) Qwb3, Recent aphyric basalt (Wanj group)							Y, Langano poorly welded pumiceous pyroclastics	
		Kone イグニンプライト (QJ2)	Na, Ash flow tuffs, pantelleritic ignimbrites and unwelded tuffs (Nazret group)	N2ab, Afar stratoid basalt upper		N1_2n, Stratoid silicics	Qbh, Dofan basalt			G, Gonde strongly green welded tuff	
		更新世玄武岩類 (QB1)	Qwb1, Pleistocene-subrecent basalts (Wanj group) Qwb2, Porphyritic feldspar basalts of Tulu Moya (Wanj group)	Qb1, Basic lava flow and caves	Pleistocene Basalt		Qbh, Dofan basalt			bu, Ogokhe pleistocene basalt	Zikwala olivine basalt : 0.61±0.03Ma (Morton et al., 1979)
		Sobehor 火山性砂岩層 (Qs)	Qwh, Basaltic hyaloclastites (Wanj group) Qwe, Bedded explosion tuffs (Wanj group)		Tuff Cone			Qup, Phreatomagmatic deposits			
		Zikwala トラカイト (QJ)					Qtr, Zikwala trachytes		Zikwala Volcanic unit		0.85±0.05Ma, 0.92±0.04Ma, 1.28±0.15Ma (Morton et al., 1979)
		Chefe Donsa 火砕堆積岩類 (Qp1)	Qwpu, Unwelded rhyolitic pumice and unwelded tuffs (Wanj group) Na, Ash flow tuffs, pantelleritic ignimbrites and unwelded tuffs (Nazret group) Qwb3, Recent aphyric basalt (Wanj group)	N2ab, Afar stratoid basalt upper	older ignimbrite of the Fantale area	N1_2n, Stratoid silicics	Ncp, Chefe dons a pyroclastic deposits		Chefe Donsa unit	W, Ketar river acidic volcanic sedimentary rocks	Chefe Donsa pyroclastic deposits : 1.71±0.04 Ma(Morton et al., 1979), 2.24±0.3 Ma(IGCP-P6a)
		更新世流紋岩類 (Qr1)	Na, Ash flow tuffs, pantelleritic ignimbrites and unwelded tuffs (Nazret group) Qwp, Pitchstone flows and domes (Wanj group)							rh, Gademotta rhyolite	
Dino イグニンプライト (QJ1)	Qw1, Dino ignimbrites (Wanj group) Na, Ash flow tuffs, pantelleritic ignimbrites and unwelded tuffs (Nazret group)	Nig, Dino ignimbrite	Dino Tuff					G, Gonde strongly green welded tuff	Dino ignimbrite: 1.5my (Morbidei et al., 1975), 1.51 Ma (Kazmin, et al., 1978)		
第三紀	中新世	Bofa 玄武岩類 (Tb3)	N2Qb, Bofa basalts	N1ab, Afar stratoid basalt lower	Bofa basalt	N1_2ab, Stratoid basalts of Afar (lower part)			Tulu Rie Basalts unit	N2b, Basalt Tulu Rie basalt: 2.7±0.1 Ma(INGEIS-Buenos Aires), 1.44±0.03 Ma(Chermet et al., 1998) Bofa : 1.21 Ma (Kazmin, et al., 1978), 6.1-4.4 Ma(Morton et al., 1979)	
		Chilalo 粗面玄武岩類 (T1)	N2c, Chilalo and Balda trachytes and trachybasalts								
		Nazret 火砕堆積物上部層 (T3)	Na, Ash flow tuffs, pantelleritic ignimbrites and unwelded tuffs (Nazret group) QL Lacustrine sediments	N1ab, Afar stratoid basalt lower	older ignimbrite of the Fantale area			Nwp, Welded pyroclastic flows		rh, Rhyolitic tuff Nqs, Rhyolite	Nwp : 3.5±0.1 Ma, 3.2±0.1 Ma(IGCP-P6a), 4.7±0.7 Ma, 5.4±0.2 Ma(INGEIS-Buenos Aires), 3.32±0.06 Ma, 3.11±0.06 Ma(Morton et al., 1979)
		Nazret 火砕堆積物下部層 (T2)	Na, Ash flow tuffs, pantelleritic ignimbrites and unwelded tuffs (Nazret group) QL Lacustrine sediments			N1_2ab, Stratoid basalts of Afar (lower part)		Npp, Welded to partially welded pyroclastic flows			
		鮮新世流紋岩類 (Tr2)	N2, Older alkaline and paraalkaline rhyolite domes and flows Qw1, Trachyte flows and domes associated with Fantale, Timsh Fantale and Kone (Wanj group) Qwra, Alkali and paraalkali rhyolites, trachytes, domes and flows of Boset Weldoyi and Hada mountains (Wanj group)	Nry, Rhyolitic volcanic centres	rhyolite domes, flows and pumice N2r	N1_2gg, Peralkaline rhyolitic and trachytic domes and flows		Nrd, Rhyolitic and trachytic lava domes		N1_2n, Rhyolitic volcanics	
中新世	Anchar 玄武岩類 (Tb2)	N1n, Anchar basalts	N1n, Anchar basalt		N1n, Anchar basalts	T1b, Tarmaber-Megezeze basalt Ega, Guraghe-Anchar basalts	E3m, Tarmaber megezeze formation Ega, Guraghe-Anchar basalts		Ngs, Sharenga rhyolite	Anchar : 12.4 Ma (Kazmin et al., 1978) Mt. Megezeze : 13Ma, (Zanettin et al., 1974), 10-8Ma, (Chermet et al., 1998)	
	Debre Birhan イグニンプライト (T1)					Tdg, Selh denggy-Debre birhan-Gorgo ignimbrite			Ngu, Upper basalt		
	Huse Ridge 流紋岩類 (Tr1)	N1r, Arba Garacha silicics	N1r, Arba garacha silicics		N1r, Arba garacha silicics				Ngu, Upper basalt		
	Alaji 玄武岩類 & Kesem 玄武岩類 (Tb1)	N1a, Alaji basalts	PNa1, Alajje formation		P3N1a, Alaji basalts	T1b, Kesem basalt	E2a, Aiba-Alajje basalts		Ngh, Beyana tuff, Ngm, Middle basalt	24-23Ma (Chermet et al., 1998), 14.4 Ma (Kuntz et al., 1975), 28-15 Ma (Morbidei et al., 1975), 21.06±1.5 Ma, 14.94±1.5 Ma, 17.4±1.0 Ma (Kazmin, et al., 1978)	

## 2.7 地質構造・火山活動

### 2.7.1 断層系

主要エチオピアリフト（Main Ethiopia Rift : MER）は、強い伸張テクトニクスに支配されており、それに伴う火山噴出物を堆積する盆地である。調査対象地域は、二つの海洋性の構造体（紅海とアデン湾）と一つの大陸性の構造体（東アフリカリフト）を合わせた、三つのリフト構造体が複雑に接し合う接合点に位置している（EIGS、1987）。

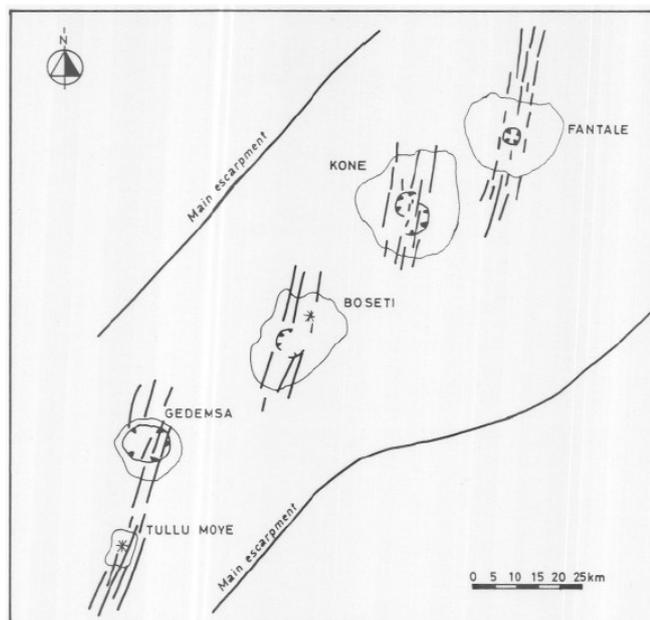
一般に、エチオピアリフトの形成過程には二つの仮定が唱えられてきた。ある研究者はエチオピアリフトほぼ単純な伸張構造によって形成されたと唱え（Mohr, 1983; Ebinger et al., 1993）、その中でも Chorowicz et al. (1994) はリフト構造体に沿った右方向の変位成分を指摘している。一方他の研究者は、第四紀におけるリフト軸に沿った左横ずれ成分の存在を指摘している（Boccaletti et al., 1999）。

Boccaletti et al. (1999) は、MER の構造場に関するそれまでの研究結果を以下のようにまとめている。MER には i) リフト縁辺部に見られる北東-南西から北北東-南南西方向のトレンドを示す断層系と、ii) 南北から北北東-南南西方向のトレンドを示す右雁行断層、いわゆる Wonji 断層群 (WFB、Mohr, 1960) の、大きく二つの断層系の存在が認められる。

### 2.7.2 活構造

Wonji 断層群（Wonji Fault Belt : WFB）は第四紀の火山構造的活動に伴って形成されたもので、左雁行状に分割されている（Gibson and Tazieff, 1970）。これは、この場所がおそらくリフト形成初期の中心であったこと示している（Kazmin and Barhe, 1978）。

MER 全体の一般的な構造パターンは、リフト軸にそった新期の左ずれ成分の存在を示している。リフト内部に分布する WFB はほぼ北北東-南南西方向のトレンドを示し、右に雁行したセグメントを形成し、これらがリフト境界線に対して斜めに配列されている。この配列は、リフトに沿った左横ずれの剪断の存在を示す証拠であると考えられる（Boccaletti et al., 1999）。これらの断層構造によるセグメントを図 2.7.1 に示す。Kazmin and Barhe (1978) は本対象地域のリフト内部に分布する WFB について、以下のように記述している。最南に位置するセグメントは幅約 10km で、Ziway 湖の東岸に沿って Gedemsa カルデラまで延びる。多くの断層と開口割れ目が 0.5~1km 毎に分布している。このセグメントは、Tulu Moye を中心とする大規模な玄武岩の噴火と Gedemsa を中心とする珪質火山岩によって特徴付けられる。Gedemsa カルデラの北側にはこのセグメントの延長は見られず、約 10km 東へずれた別のセグメントへと移行する。このセグメントは北へ約 20m 延び、Boseti と Kone の二つの大規模な珪質火山と大規模な玄武岩の割れ目噴火によって特徴付けられる。Kone カルデラの北側には、Fentale 火山より始まるまた別のセグメントに移行する。



出典:EIGS and ELC (1987)

図 2.7.1: 北部エチオピアリフト内にみられる火山構造的軸の雁行配列

## 2.8 火山活動

### 2.8.1 アワシュ川中流域での火山地形の特徴

アワッシュ川中流域（調査対象地域）には、中央に北東-南西方向の MER が分布し、リフトの南東側は主に中新世の玄武岩溶岩が作る標高約 2,000~3,000m の丘陵地が、また北西側は中新世から鮮新世に噴出した厚い玄武岩類及び火砕流堆積物が作る台地（標高約 2,000~3,000m）が広がっている（図 2.8.1 参照）。リフト内には、中新世から前期更新世にかけて堆積した火砕流や玄武岩質溶岩が比較的平坦な地形を広く残しているが、中心部では、中期更新世から完新世にかけて形成された成層火山やカルデラ、火山碎屑丘などが断続的に新しい地形を形成している。これらの新しい火山地形も、第四紀に形成された WFB の正断層によって連続的に切られており、北東-南西、北北西-南南東方向に伸びる数 m から 20m 程度の落差の断層崖をもつ無数の断層地形を広範囲に確認することができる。リフト側面の主要な断層崖では、河川による開析が進んでいる。

リフト中心部に分布する、後期更新世から完新世に堆積した比較的新しい玄武岩質溶岩は、表面がごつごつとした岩塊状（アア型溶岩）であるが、一部粘性の低い縄状溶岩（パホイホイ溶岩）の様相を呈する箇所も観察される。また、玄武岩噴出に関連する多くの火山碎屑丘がリフトと同じ方向（北東-南西）に断続的に分布している。火山碎屑丘は、直径 200~500m のスコリア丘が大半で、大きいものでは直径 1.5km を超えるタブリングも存在している。

対象地域内で認識されているカルデラは、いずれも後期更新世に形成されたと想定されており（EIGS and ELC, 1987）、リフト沿いに南から Gademsa カルデラ（直径約 8km）、Kone カルデラ（直径約 5km）、Fentale カルデラ（直径約 4km）がほぼ直線状に並んでい

る。

また、リフト内部の成層火山として、東から **Fentale** 火山 (2007m)、**Boseti** 火山 (2447m)、**Zikuwala** 火山 (2989m) などがある。いずれも後期更新世に形成された流紋岩質からトラカイト質の溶岩類で構成され、円錐状の成層火山地形を現在に残している。対象地域西部に広がるリフト外縁でも、**Yerer** 火山 (3099m)、**Wechecha** 火山 (3391m) などの後期更新世に活動したとされる成層火山が存在する。また対象地域最南端には、流域最高地点となる **Chilalo** 山 (標高 4005m、4170m) がトラカイト質溶岩から成る楯状火山を形成し、流域を境する南東側の丘陵地へと続いている。

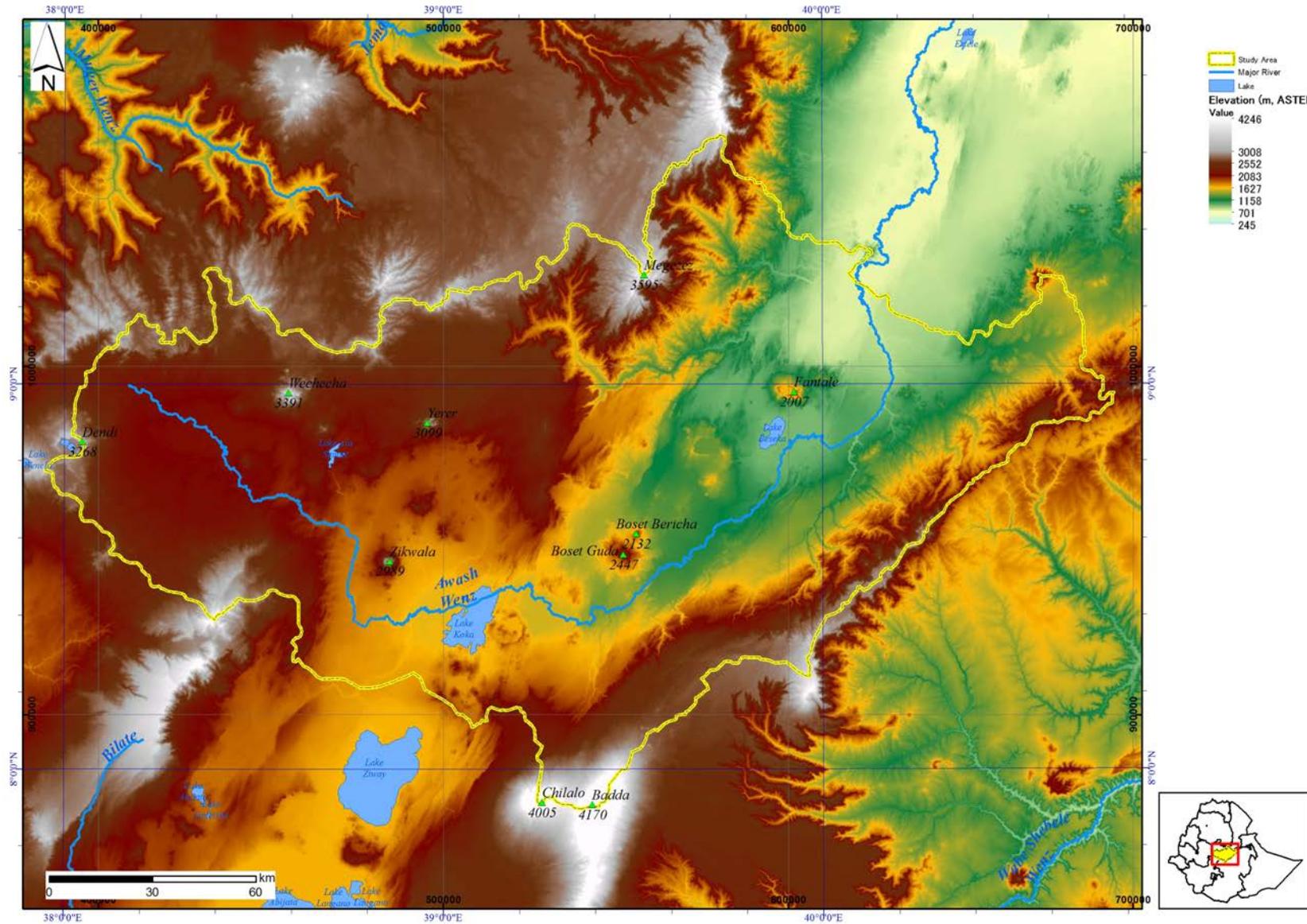


図 2.8.1: 調査対象地域の標高分布図 (DEM データ: ASTER (version 2)、解像度 30m、垂直精度 20m)

## 2.8.2 アワシユ川中流域の火山活動の変遷

Kazmin and Berhe (1978) は、MER 北部の火山活動の変遷を以下のようにまとめている。

漸新世から前期中新世の Alaji 火山活動によって、北部 MER とアファール地域の開口が始まった。地溝帯の形成の始まりは Anchar 玄武岩類と Arba Gracha 珪長質岩類 (14-10Ma) が地溝帯の斜面を境界とする地域に累積された 14Ma に遡る。初期の地溝帯の低下は古い地層の曲がりと放射状の断裂を伴い、後にアンチセティック断層へと変化していく。地溝帯の断層崖は 10Ma ごろに発達し、9.5~4Ma ごろに地溝帯内部で Nazret グループの珪長質の火山活動が始まる。その後地溝帯底部で Bofa 玄武岩類の割れ目噴火が起こり (3.5~2Ma)、雁行状に連なる Wonji 断層帯を形成する地溝帯の主要な構造運動の時期へ入る。断層帯に沿って分布する Wonji グループに属する最も古いイグニブルライトの年代は 1.5Ma と推定される。以上のように、14、10、4-5、1.6-1.8Ma の 4 つの主要な地溝帯形成ステージが想定され、それぞれの沈降ステージごとに地溝帯縁辺に楕状火山の形成を伴っている。

北部 MER の火山活動の変遷を図 2.8.2 に示す。

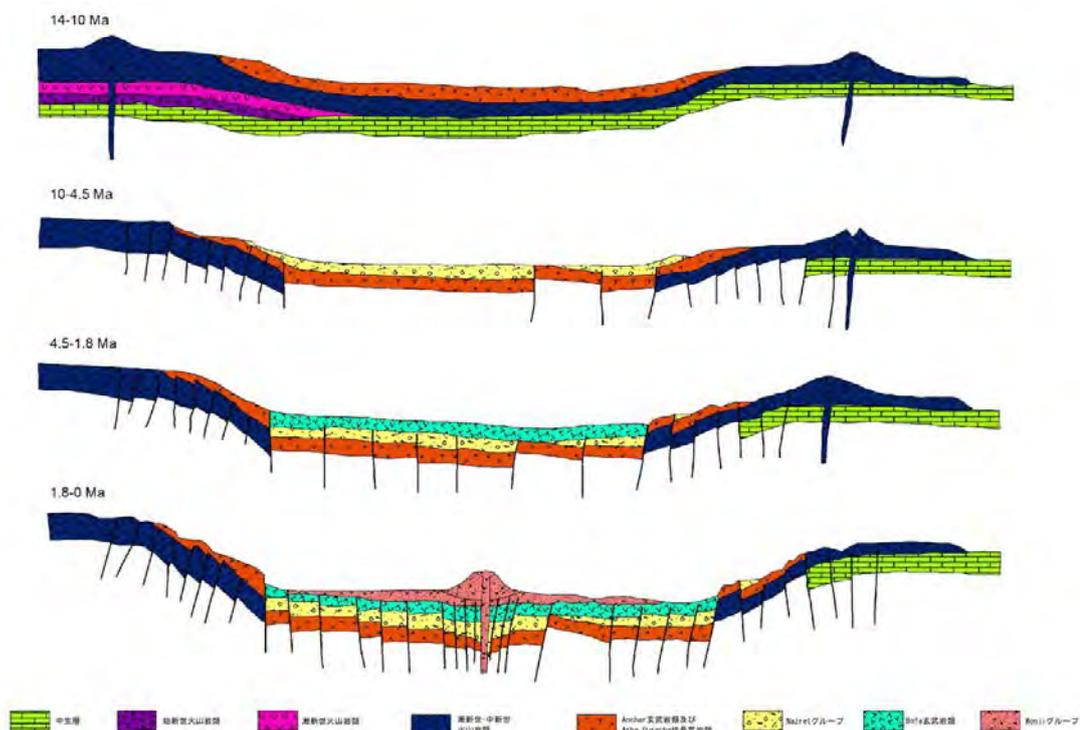


図 2.8.2: エチオピア地溝帯の変遷 (Kazmin and Berhe, 1978 を一部改定)