

エチオピア連邦民主共和国
水エネルギー省

エチオピア連邦民主共和国
リフトバレー湖沼地域地下水開発調査計画

最終報告書
メインレポート

平成24年3月
(2012年)

独立行政法人
国際協力機構(JICA)
国際航業株式会社

調査結果の要約

1. 調査の背景

エチオピア国（以下「エ」国）は、2005年の段階で都市及び地方の給水率が合計で約38%にとどまっているため、ユニバーサル・アクセス・プログラム(UAP : Universal Access Program)を策定し、2012年までに都市部における給水率を100%に、農村部においても98%に改善するという目標を立てた。その後2015年までに目標年を変更し都市部、農村部ともに100%の給水率をめざす目標となっている。しかしながら、現時点において国内の地下水賦存量を的確に把握するための情報が欠如しており、効果的な地下水開発及び持続的な地下水利用を行うにあたり、大きな弊害となっている。一方、「エ」国の地下水調査にかかる国家マスタープランであるエチオピア地下水資源評価プログラム(EGRAP : Ethiopian Groundwater Resources Assessment Program)によって、地下水ポテンシャルの情報を水源開発に活用すべく、地下水データベース(ENGDA: Ethiopia National Groundwater Database)の構築、地下水ポテンシャル調査の実施及び水理地質図の作成、NGI(National Groundwater Institute)の設立を計画するなど能力強化を図ってきた。しかしながら、効果的な運用がなされなかったため、2014年を最終年次としたフェーズ3までの改善計画を再策定し、(2007年-2010年)を第1フェーズとする新しいプログラムがEGRAP+（いわゆるニューEGRAP）としてスタートした。その中でとくにGIS/データベースシステム構築のためのENGWIS（Ethiopian National Groundwater Information System）の導入を検討するなど活動の活性化が図られている。

以上の背景のもと、「エ」国政府は、2007年、日本国政府に対し「ウォリクテ、ウォリソ、アンボ地域」の水理地質図作成を目的とした地下水ポテンシャル調査の実施、関係技師への技術移転を目的とした開発調査を要請した。これを受けJICAは、2008年12月予備調査団の派遣、2009年7月には詳細計画策定調査団を派遣し、最終的には対象地域をリフトバレー湖沼地域（以下RVLBと通称）に絞ることとし、同地域における地下水ポテンシャルの把握、水理地質図の作成、小都市の給水計画の策定を内容とした調査計画を作成し、2009年7月S/Wを署名・交換した。

2. 地下水ポテンシャル評価と水理地質図作成

RVLBにおいて主要な帯水層及び地下水域の地下水ポテンシャル評価にかかる調査を実施し、水理地質図の作成を行った。

(1) 地勢と気象・水文

RVLBは、エチオピアの首都アディスアベバから南方約190kmの北緯5度00分~8度30分、東経37度00分~39度30分の間に位置する。流域面積は約53,000Km²で周囲を断層に区切られた独立の流域を形成している。RVLBには8つの主要な湖沼が存在しているが、湖の成因はほとんどが構造湖あるいはカルデラ湖である。主要流域として4つ、またその中のサブベズンとして14の流域に分割される。4つの主要流域は、1. Ziway-Shalla、2. Awassa、3. Abaya-Chamo、4. Chew-Bahirである。RVLBは周辺流域から閉鎖された環境にあり、湖沼からの蒸発量が全蒸発量のほとんどの量を占める。

湖にそそぐ河川の観測所は地域内で 36 か所あり、流量の変動量も概ね降雨量のピークに呼応する。降雨量は RVLB の 72 箇所の観測所の年間平均値を比較すると、最小値で 492mm、最大値で 2,582mm、平均値で 1,080mm となる。エチオピア全土における 7 月~9 月の雨季は RVLB では明瞭ではない。蒸発量は 5 箇所の観測所の記録であるが、年平均値の比較で最小値 1,395mm、最大値 1,963mm である。気温は全観測所の年平均気温は 19.6°C である。

流域に属する州は南部諸民族州とオロミア州であり、人口約 900 万人前後(2006)である。主な産業は農業、製造業およびサービス業である。

(2) 地形・地質

RVLB は「アフリカ大地溝帯」と呼称される地理帯に属する。地溝帯はアデン会合点から南西~南南西へジプチ、エリトリア、エチオピア、ケニア、ウガンダ、タンザニアと東アフリカ地域を縦断する。地域内では地形的に 2 つの地域に区分され、Ziway 湖周辺から Awassa 湖までの平坦な地域と Abaya 湖から Chew Bahir 間の比較的急峻な地形である。これらはエチオピアリフト (MER) と南西エチオピアリフト (SWR) の存在と関連している。

エチオピアリフトにおける最古の火山活動は漸新世における玄武岩と流紋岩の活動、前期中新世での地溝の形成と玄武岩の活動、鮮新世の大規模な火山灰を伴う噴火活動があった。更新世になるとエチオピアリフトの主拡大軸として Wonji 断層群がリフト内に形成され、これに伴う玄武岩および流紋岩が噴出した。火山活動は、大規模なカルデラを伴う流紋岩質火山岩と、単性の火山円頂丘からなる玄武岩の火山列が存在する。火山活動は大きく後期鮮新世~前期更新世と中期更新世以降の活動が認められる。

詳細な地質図の作成は正確な水理地質図作成の基礎となる。そのため現地踏査の最初には堆積物の特徴と分布から全域を 7 つの地域にわけ、その中から特徴的な層相を基準にして（一種の鍵層）各地域の地質対比を行い、層序対比表を作成した。最終的にはそれから総合層序表を作成し調査地全域の地質図（縮尺：1:250,000）を完成させた。

(3) 地下水ポテンシャルと水理地質

地下水ポテンシャルの高い地層に関しては帯水層単元を考慮して次の 3 つに区分できる。1. 沖積層ならびに湖沼堆積物、2. 更新世の凝灰岩、溶結凝灰岩、玄武岩質岩、3. 第三紀の流紋岩質凝灰岩ならびに玄武岩。これらの帯水層ポテンシャルは、既存井戸や JICA 新規井戸からエチオピアの基準に沿って、以下のように区分できる (A: 高い、B: 中間、C: 低い、1~3 は地層区分)

1. = 1B~1C、2. = 3A~3B、3. = 3A~3C

帯水層常数から地下水ポテンシャルを評価すれば、帯水層 2 が湧水量、比湧水量ならびに透水量係数いずれも高い値を示し、特に玄武岩質凝灰角礫岩~火山礫凝灰岩では湧水量平均 6.3l/sec、比湧水量平均 134l/min/m、透水量係数も平均 242m²/day と突出している。また帯水層 1 も良好な帯水層であるといえるが、この帯水層の多くは不圧帯水層で浅層地下水である場合が多いことから、地表からの流入によって季節変動することがあり、かつ水質も地表面の影響を受けやすい。帯水層 3 は主に南部での水源となる可能性

のある帯水層である。この帯水層も主に裂隙系の地下水を主源とするため、その分布は把握しにくい、南部地域では重要な水源となると考えられる。

帯水層区分の結果を表 1に示す。水理地質図はこの区分をもとに作成した。

表 1: RVLB 地域での帯水層区分

年代区分	層序	地層名	代表的な層相	帯水層区分	帯水層の説明	備考			
第四紀	完新世	Al / Q	Alluvium, unclassified fluvial deposits	細粒砂および泥	1B	層状水の帯水層	砂質部分は透水性が良いが泥質部では難透水。		
		lac 2	Bulbula Lacustrine Deposits	砂礫層、泥層などの湖成堆積物	1C	層状水の帯水層	基本的には透水性は良好であるが、粘土質部分は難透水性、礫質部は透水性が高い。		
		Pm	Corbetti Pumice Flow & Fall Deposits/ Corbetti Rhyolitic	流紋岩質溶岩、降下軽石、軽石流堆積物および黒曜岩	3C	裂隙水の帯水層	透水性は高いが下位層に難透水層がなければ漏水。		
		rb	Butajira Recent Basalt	玄武岩溶岩、赤褐色玄武岩質スコリア	3C	裂隙水の帯水層	塊状の玄武岩で透水性は悪い。スコリア部分も下位層や玄武岩との関係で一部帯水層となりうる。		
		lac 1	Meki Lacustrine Deposits	不淘汰砂礫層および凝灰岩、軽石、火山砂層などの湖成堆積物	1B	層状水の帯水層	透水性は極めて良好であるが、下部の不透水層の存在により局部的に良好な帯水層となりうる。		
	更新世	Y	Langona Poorly Welded Pumiceous Pyroclastics	黄～黄白色流紋岩質軽石質凝灰岩	1B	層状水の帯水層	透水性は極めて良好であるが、下部の不透水層の存在により局部的に良好な帯水層となりうる。		
		ob	Kulmusa Highly Welded Tuff	流紋岩～安山岩質溶結凝灰岩	3B	裂隙水の帯水層	比較的裂隙が多くすぐれた帯水層となりうるが、下位層の透水性状により漏水の可能性もある。		
		W	Ketar River Acidic Volcanic Sedimentary Rocks	流紋岩質軽石質凝灰岩および凝灰岩	1B	層状水の帯水層	基本的には下層に不透水層の存在が不可欠であるが、透水性は高水が溜まる環境であれば良好な帯水層。		
		G	Gonde Strongly Green Welded Tuff	流紋岩～安山岩質溶結凝灰岩	3A	裂隙水の帯水層	比較的裂隙が多くすぐれた帯水層となりうる。		
		tb	Adami Tulu Basaltic Pyroclastics	玄武岩質凝灰角礫岩～火山礫凝灰岩	3A	裂隙水の帯水層	基本的には下層に不透水層の存在が不可欠であるが、透水性は高水が溜まる環境であれば良好な帯水層。		
		ba	Ogolche Pleistocene Basalt	塊状玄武岩溶岩	3B	裂隙水の帯水層	塊状ではあるが、亀裂が発達する部分も存在し、亀裂部分には良好な帯水層が期待できる。		
		lak	Lekansho Lacustrine Deposits	砂礫層、泥層などの湖成堆積物	1C	層状水の帯水層	半固結性の堆積物であり、一部良好な帯水層の存在が認められる。		
		第三紀	鮮新世-更新世	rh	Gademotta Rhyolite	流紋岩溶岩および凝灰岩	3A-3C	裂隙水の帯水層	地域の水理の基盤の上位にある良好な帯水層である。特に亀裂の発達した玄武岩や玄武岩層の間の軽石層に良好な帯水層が認められる。
				N2b	N2b Basal	玄武岩溶岩および火砕岩類	3A	裂隙水の帯水層	
NQs	NQ s Rhyolite			流紋岩質凝灰岩					
鮮新世	rh/N1_2n		N1_2n Rhyolite	斜長石流紋岩質凝灰岩	3C	局部的な層状水及び裂隙水の帯水層	まだ、個々の岩層についての性状を十分把握されていないが、亀裂質の部分を除き、基本的に、難透水性の地層である。		
	N1n		N1n Basalt	アンカー玄武岩、アルカリ玄武岩	3B	局部的な層状水及び裂隙水の帯水層	局部的に良好な帯水層が分布するが、平面的な広がりには限定的である。		
	N1ar		N1ar Rhyolite	流紋岩質凝灰岩					
	中新世		Ngs	Sharenga Rhyolite	流紋岩質	3C	局部的な層状水及び裂隙水の帯水層	まだ、個々の岩層についての性状を十分把握されていないが、亀裂質の部分を除き、基本的に、難透水性の地層である。	
			Ngu	Upper Basalt	多孔質玄武岩溶岩				
			Ngb	Beyana Tuff	火山礫凝灰岩および凝灰岩				
			Ngm	Middle Basalt	塊状玄武岩溶岩				
始新世-晩新世	Pgs	Shole Welded Tuff	流紋岩質溶結凝灰岩	3C	局部的な層状水及び裂隙水の帯水層	局部的に良好な帯水層が分布するが、平面的な広がりには限定的である。			
	Pgl	Lower Basalt	塊状玄武岩溶岩						
中生代	Mes	Adigrat Sandstone, Antaro Limestone	砂岩・石灰岩	4D	局部的な層状水及び裂隙水の帯水層	まだ、個々の岩層についての性状を十分把握されていないが、亀裂質の部分を除き、基本的に、難透水性の地層である。			
先カンブリア紀	Pre	Biotite Gneiss, Pegmatite	黒雲母片麻岩・花崗岩						

References: (1) Laury and Albritton 1975, (2) Mohr et al. 1980, (3) EIGS-GLE 1985, (4) Woldegabriel et al. 1990, (5) GSE 1994, (6) GSE 2002, (7) EWTEC 2008

地下水ポテンシャルに基づく水理地質図からみた地下水開発の可能性については以下のようなものである。

a. 湖周辺での完新世末固結堆積物

Ziway 湖から Awassa 湖にかけての一連の湖と Abaya 湖及び Chamo 湖そして現在は塩湖であるが Chew Bahir 周辺には砂、砂礫、泥を主体とした湖沼堆積物 (lac2、lac1) が分布する。さらに流入河川などからもたらされた現世の堆積物 (Al、Q=砂、泥、砂礫) が分布する。このタイプの堆積物で特に地下水ポテンシャルが高いと想定される地域としては Ziway 湖の北東のやや標高の高い地域から西方の低地部であり、とくに西方部は厚く沖積層や湖沼堆積物が分布する。また Bilate 川沿いならびに Abaya 湖北部でも地下水ポテンシャルは高いと想定される。

b. ZiwayからDilaにかけての北部新期火山岩地帯の水理地質状況

主要な帯水層は前述した、更新世の凝灰岩、溶結凝灰岩および玄武岩質岩であり、水理地質図上では水色系に区分されている地域である。一連の火山岩の中で最も帯水層として有望なのが、前期更新世の流紋岩質凝灰岩～凝灰岩 (W)、流紋岩～安山岩質溶結凝灰岩 (G)、玄武岩質凝灰角礫岩～火山礫凝灰岩 (tb)、塊状玄武岩 (ba) である。地

質図上では全域がほぼ更新世流紋岩質軽石質凝灰岩及び凝灰岩（W）によって覆われているため、水理地質図では北部全域がこの地層である様に見えるが、主要な帯水層はこの下位の凝灰岩や安山岩である。このタイプの火山岩が分布する Abaya 湖北部全般において、特に Ziway 東部から Bilate 川東部にかけての地溝帯東部斜面から中央平野に至る地形変化点、ならびに Awassa から Dila にかけての地溝帯西部斜面から中央平野に至る地形変化点付近は比較的地下水ポテンシャルが高いエリアであると考えられる。

c. Abaya湖中央部からそれ以南にかけての第三紀火山岩類及び古生層

この地域の大多数の地層は第三紀の凝灰岩及び玄武岩、流紋岩の互層からなる。また先カンブリア紀の黒雲母片麻岩・花崗岩（Pre）が分布する。時代的にも古く、上記更新世帯水層の水理学的基盤と考えられている。完新世と第三紀層の境界付近に分布する流紋岩溶岩及び凝灰岩（rh）の破碎帯、さらにその下層の玄武岩溶岩および火砕岩類（N2b）についても条件によっては帯水層となる。第三紀鮮新世の凝灰岩、玄武岩（N1n）及び第三紀中新世の流紋岩類、玄武岩溶岩（N1ar）などについても局地的に帯水層をなす。また JICA 井戸の掘削で、Arba Minch 周辺で古い玄武岩（Pgl 相当層）から生産性の高い揚水結果も得られている。ただし、これらの地層の多くは連続性が未定であり、また帯水層としての能力も極めて限定的で全般に地下水ポテンシャルは小さい。ただし全体としてこの地域についての水理地質的な情報（特に既存井戸）は欠如しており、流動や帯水層の定量的特性などはわかっていない。問題点もある。今後はこれらの地域の新規井戸データを付加することでよりポテンシャルの高いエリアを特定する必要がある。

（4）地下水涵養量

地下水涵養量に関しては、長期水文周期での涵養量と流出量が等しいことを利用し、地下水流出量の算定より涵養量を求めた。

河川流量は、降水の直接流出と地下水流出で構成され、前者には地表流出や中間流出があり、後者には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などが挙げられるが、最も重要なのは河川への地下水流出である。河川日流量データを基に降水の直接流出と地下水流出（基底流）を区分する解析プログラムを利用し、基底流分＝地下水涵養量として以下の表 2 のような流域ごとの地下水涵養量を求めた。

表 2: 主要流域内の地下水涵養量

流域名	Ziway	Langano	Abijata	Shalla	Awassa	Abaya	Chamo	Chew Bahir
地下水涵養量	611.1	285.5	66.6	54.8	43.1	377.4	199.0	315.7

(単位：Mm³/year)

（5）地下水モデルによる将来予測

地下水モデルの計算は選定した 4 地域の流域（Ziway-Shalla 地域、Bilate 地域、Abaya 湖東地域、Abaya 湖西地域）で行い内挿検定を実施した結果は現況を反映したものとなっ

ている。そのためモデルを固定して今後の地下水利用に対応した地下水変動予測を行った。その結果4つのシナリオのうち揚水量の増加が最大の場合においても最大 5.6m（平均 1.3m）の地下水位低下で、地域も限定されており、地下水環境に与える影響は少ない。

3. 給水計画

RVLB 内において水理地質図を利用した人口約 10,000 人以下の小都市における給水計画を立案した。小都市は 2 州から要請されたすべての都市と、優先順位の高い小都市について計画した。

(1) 要請小都市に対する給水計画

要請小都市は 82 であり（南部諸民族州で 52、オロミア州で 30）、それらの小都市に対して給水計画を作成した。主な必要項目は次のようである。1. 目標年次：2015 年、2. 給水原単位：20L/c/d、3. 水源：地下水、4. 給水施設のモデル：10 通りのモデルを検討した。既存の水管理組合の維持管理状況は水管理組織に必要な人員が配置されておらず、データの記録・保管がされていない、そのため収支バランスにもとづく料金の設定がなされていないなどの課題が明らかになった。技術的には施設の老朽化、漏水などが原因の給水量の不足が発生している。全体とすれば個別技術不足や管理能力が低い。これらの運営維持管理計画に対する健全化とあわせ、全体の給水計画を以下の表 3 のようにまとめた。

表 3: 要請小都市の施設規模と概算事業費

要請都市	小都市	人口	井戸	ポンプ	管路総延長	貯水槽	公共水栓	事業費(設計監理費含む)	
	数	(2015年)	本	個	km	箇所	箇所	USD	
南部諸民族州	52	323,204	108	108	494.3	56	923	65,011,594	
オロミア州	30	227,695	62	62	394.5	33	651	49,084,101	

1USD=75.85円(2011年11月JICA統制レート)

(2) 優先上位都市に対する給水計画

要請小都市の給水計画の実施にあたり、実施の優先度を定めるために小都市の分類と優先付けを行なった。分類とそれに基づく優先上位都市の選定に際してとくに必要と思われる水量、水質、給水率、裨益人口・率の分類項目についてすべて該当する小都市を優先上位小都市とした（南部諸民族州 11 小都市、オロミア 9 小都市）。これらの優先上位都市の施設規模と概算事業費は以下の表のようにまとめた。

表 4: 優先上位小都市の施設規模と概算事業費

優先上位都市	小都市	人口	井戸	ポンプ	管路総延長	貯水槽	公共水栓	事業費(設計監理費含む)	
	数	(2015年)	本	個	km	箇所	箇所	USD	
南部諸民族州	11	71,770	21	21	86.9	13	205	162,229	
オロミア州	9	63,354	23	23	113.2	10	181	143,205	

1USD=75.85円(2011年11月JICA統制レート)

優先上位小都市に対するの評価は、事業を実施することによる社会経済的な便益の増減や経済財務分析に基づき実施した。その結果水供給の増加による時間短縮や健康に関

する改善によって便益が上昇することや住民の支払能力が建設コストから想定される運営維持管理費用よりも多くなる結果になった。またその他の組織制度、自然社会環境および技術状況の評価もとくに問題ない結果となった。

4. 技術移転ワークショップ

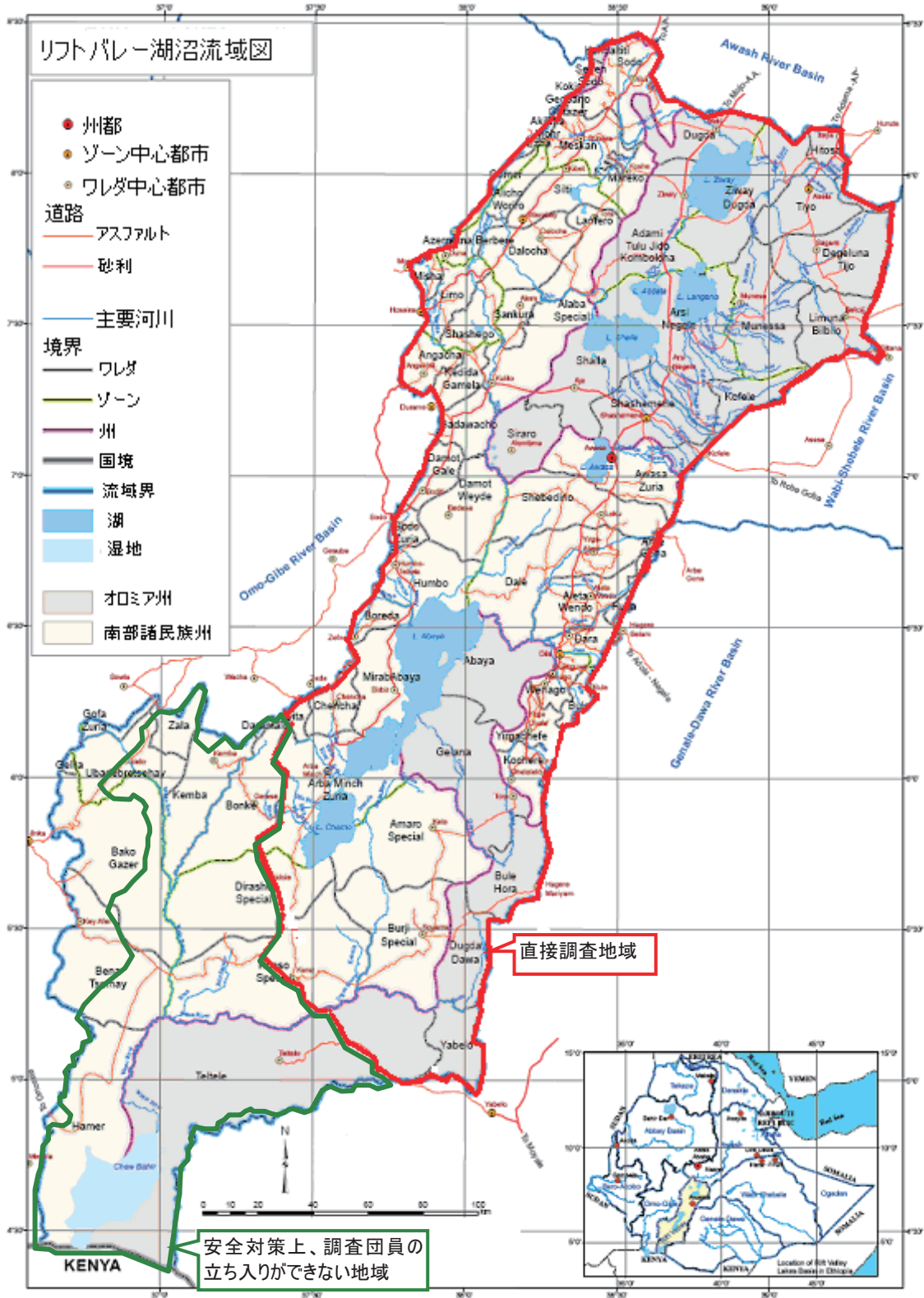
プロジェクトの実施中に、技術移転の一環として実施機関、EWTEC、GSE および AAU の C/P と関連する民間企業等に対するワークショップを開催した。C/P は基本的に学識レベルが高く知見や情報をもっており、彼らと協議しながらより実践的な技術内容の移転を図った。つまり電磁探査では電磁探査機を使用した実習を取り入れ、火山地質は現地踏査を現地で行い、GIS、地下水モデルではソフト演習の事例を紹介し、同位体分析では実際に AAU の同位体分析機を体験した。

対象国の位置



対象地域全体図





目 次

調査結果の要約
調査位置図
目次
表目次
図目次
略語一覧
現場写真

頁:

1	はじめに	1-1
1.1	概要	1-1
1.2	調査の背景	1-1
1.3	調査の目的	1-2
1.4	調査の範囲	1-2
1.5	作業計画	1-2
1.6	調査地域と要請された小都市	1-4
	1.6.1 調査地域	1-4
	1.6.2 要請された小都市	1-5
1.7	調査団とエチオピア側メンバー	1-5
	1.7.1 調査団	1-5
	1.7.2 エチオピア側メンバー	1-6
2	調査地の一般状況	2-1
2.1	概要	2-1
2.2	気象と水文	2-1
	2.2.1 気象	2-1
	2.2.2 調査地の湖沼	2-5
	2.2.3 サブベースン	2-7
	2.2.4 水文	2-10
2.3	地理的特徴、地質および水理地質	2-13
	2.3.1 地理的特徴	2-13
	2.3.2 地質および地質構造、火山活動	2-14
	2.3.3 水理地質	2-22
2.4	社会経済状況	2-26
	2.4.1 地方の社会経済	2-26
	2.4.2 社会経済フレームワーク	2-27

3	水資源ポテンシャル	3-1
3.1	概要	3-1
3.2	表流水の使用可能性とポテンシャル	3-1
	3.2.1 河川水	3-1
	3.2.2 湖水	3-2
3.3	地下水ポテンシャル	3-3
	3.3.1 帯水層単位の分類	3-3
	3.3.2 帯水層単位の特徴と井戸	3-6
	3.3.3 帯水層ポテンシャルの評価と揚水量	3-6
	3.3.4 地下水涵養量	3-9
3.4	水理地質図と地下水流動	3-10
	3.4.1 水理地質図	3-10
	3.4.2 地下水流動	3-14
3.5	地下水水質	3-16
	3.5.1 水質分析の項目と方法	3-16
	3.5.2 水質の特徴と同位体分析	3-17
4	給水計画	4-1
4.1	要請小都市に対する給水計画	4-1
	4.1.1 要請小都市の概要	4-1
	4.1.2 要請小都市の地下水開発の可能性	4-2
	4.1.3 給水計画の概略設計方針	4-2
	4.1.4 給水施設の運営・維持管理の現状と課題	4-7
4.2	優先上位都市に対する給水計画	4-8
	4.2.1 要請小都市の詳細情報	4-8
	4.2.2 優先上位都市の選定と規模	4-8
	4.2.3 優先上位都市の給水計画における運営維持管理の財務分析	4-9
	4.2.4 地下水涵養量と揚水量の比較	4-9
	4.2.5 給水計画の実施により期待される効果	4-10
5	地下水モデルによる将来予測	5-1
5.1	概要	5-1
5.2	地下水モデリング	5-1
5.3	地下水モデルの修正と内挿検定結果	5-4
5.4	将来の予測シナリオ案の設定	5-8
5.5	給水計画案における井戸の分布	5-9
5.6	非定常流解析での条件設定	5-12
	5.6.1 必要パラメーター	5-12
	5.6.2 ピリオド設定	5-12

5.6.3	予測期間での涵養量設定	5-12
5.6.4	予測期間での境界条件設定	5-16
5.7	将来予測結果	5-19
5.7.1	Ziway地域地下水モデルにおける地下水低下量	5-19
5.7.2	Bilate 地下水モデルにおける地下水低下量	5-23
5.7.3	Abaya湖東地下水モデルにおける地下水低下量	5-26
5.7.4	Abaya湖西地下水モデルにおける地下水低下量	5-30
5.8	予測による井戸の評価	5-33
6	技術移転ワークショップ	6-1
6.1	概要	6-1
6.2	ワークショップの実施	6-1
6.2.1	主な目的と技術移転内容	6-1
6.2.2	技術移転ワークショップの意義と課題	6-4
7	結論と提言	7-1
7.1	結論	7-1
7.2	提言	7-3
7.2.1	地下水データベースシステムの確実な構築	7-3
7.2.2	水理地質図のよりよい活用と作成技術の向上のために	7-4
7.2.3	井戸掘削技術、掘削結果の整理、揚水試験の向上をめざして	7-5
7.2.4	人口約10,000人以下の小都市における給水計画の利用	7-6

巻末資料：

添付図面

- ・地質平面図（縮尺：1/250,000）（4枚）
- ・水理地質図（縮尺：1/250,000）（4枚）

表 目 次

	頁:
表 1.1: 概略工程表	1-2
表 1.2: 要請された計画対象小都市の数	1-5
表 1.3: JICA 調査団	1-5
表 1.4: エチオピア側のメンバー	1-6
表 2.1: 降雨量変動周期分析結果	2-4
表 2.2: 主要湖の諸元	2-6
表 2.3: 主要流域とサブベーズン	2-7
表 2.4: サブベーズンの地形・水系	2-9
表 2.5: 調査地域の第三紀以降の層序対比表	2-14
表 2.6: 層序対比表	2-17
表 2.7: 総合層序表	2-20
表 2.8: 後期鮮新世～前期更新世の流紋岩質の火山活動	2-21
表 2.9: 中期更新世以降の流紋岩質の火山活動	2-21
表 2.10: 既存井戸帯水層の地質構成	2-22
表 2.11: JICA井戸と近隣井戸の記載比較 (カラー: JICA井戸)	2-24
表 2.12: 地質層序と帯水層比較	2-25
表 2.13: 分野別構図	2-27
表 2.14: GDP経済成長率と今後のエチオピアにおける予測	2-28
表 2.15: 本調査で使用する人口増加率	2-28
表 2.16: 本調査で利用する経済成長率と経済構造	2-29
表 3.1: 主要河川の水質 (主要項目のみ)	3-1
表 3.2: 主要な湖の水質 (主要項目のみ)	3-2
表 3.3: 水理地質図 (縮尺: 1/2,000,000) での帯水層区分と定義	3-4
表 3.4: リフトバレー地域の帯水層区分	3-5
表 3.5: 主要帯水層及び既存井戸記載との対比と分布	3-6
表 3.6: 帯水層常数	3-7
表 3.7: RVLB内の湖から求めた地下水涵養量	3-9
表 4.1: 要請小都市の施設規模と概算事業費	4-4
表 4.2: 要請小都市の給水計画	4-5
表 4.3: 優先上位都市の施設規模と概算事業費	4-8
表 4.4: 優先小都市の給水計画	4-9
表 4.5: 地下水涵養量に対する揚水量の比率	4-10
表 5.1: モデルの基礎情報	5-2
表 5.2: モデル内での透水係数設定	5-3
表 5.3: 湖水位標高の修正結果	5-6
表 5.4: Ziway地下水モデル地域の計画井戸 (32 井戸)	5-10
表 5.5: Bilate 地下水モデル地域の計画井戸 (12 井戸)	5-11
表 5.6: Abaya湖東地下水モデル地域の計画井戸 (12 井戸)	5-11
表 5.7: Abaya湖西地下水モデル地域の計画井戸 (6 井戸)	5-11
表 5.8: Ziway地域地下水モデルでの地下水位低下量	5-19
表 5.9: Bilate地下水モデルでの地下水位低下量	5-23

表 5.10:	Abaya湖東地下水モデルでの地下水位低下量.....	5-26
表 5.11:	Abaya湖西地下水モデルでの地下水位低下量.....	5-30
表 6.1:	各分野の実施状況	6-1
表 6.2:	火山地質ワークショップ内容とスケジュール	6-2

目 次

	頁:
図 1.1: 調査実施フロー	1-3
図 1.2: 調査地域図	1-4
図 2.1: リフトバレー流域内における降雨量観測所及び年平均降雨量の分布	2-2
図 2.2: RVLB内のサブベースンごとの降雨量分布図	2-3
図 2.3: RVLBとエチオピア全土での平均月降雨量の比較	2-3
図 2.4: 月平均蒸発散量変動 (5か所)	2-4
図 2.5: 月平均気温変動 (52観測所)	2-5
図 2.6: リフトバレー湖沼地域の主要湖の分布	2-6
図 2.7: サブベースン区分図	2-8
図 2.8: 主な湖水位の変動	2-10
図 2.9: 主な河川流量観測所の位置	2-11
図 2.10: 河川流量の変動パターン	2-12
図 2.11: アフリカ大地溝帯の分布と連続	2-13
図 2.12: RVLBの地質平面図	2-16
図 2.13: JICA井戸位置図	2-23
図 3.1: 水源の揚水量 (湧出量)	3-8
図 3.2: リフトバレー地域の水理地質図	3-13
図 3.3: F断面線の水理地質状況	3-15
図 3.4: 流域ごとにみるトリリニアダイアグラム	3-18
図 3.5: 流域ごとの同位体比ダイアグラム	3-19
図 3.6: フッ素濃度分布図	3-21
図 3.7: 調査地域全域のフッ素濃度と深度の関係	3-22
図 4.1: 流域と要請された小都市	4-1
図 4.2: 給水施設のモデル	4-3
図 5.1: 地下水モデルサブベースン	5-1
図 5.2: Ziway-Shallaサブベースン内の内挿検定結果(第1層で代表:単位m)	5-4
図 5.3: Ziway地下水モデルの境界条件の修正	5-5
図 5.4: Ziway地下水モデルの境界条件の修正(Shalla湖)	5-5
図 5.5: Ziway地下水モデルの観測井位置と内挿検定結果	5-6
図 5.6: Ziwayモデルの内挿検定結果(第1層:単位m)	5-7
図 5.7: Ziwayモデルの内挿検定結果(第3層:単位m)	5-7
図 5.8: Ziwayモデルの内挿検定結果(第4層:単位m)	5-8
図 5.9: シナリオによる給水計画ごとの揚水量変化	5-9
図 5.10: モデル内で選定された各雨量観測所の位置	5-13
図 5.11: Ziway観測所での月別平均降雨量	5-14
図 5.12: Alaba Kulito観測所での月別平均降雨量	5-15
図 5.13: Kebado観測所での月別平均降雨量	5-15
図 5.14: Mirababaya観測所での月別平均降雨量	5-16
図 5.15: Ziway湖の湖水位変動結果	5-17
図 5.16: Abaya湖の湖水位変動結果	5-18
図 5.17: 計画井戸O_10の地下水位変動 (Ziway地域地下水モデル)	5-20

図 5.18:	計画井戸O_02の地下水位変動 (Ziway地域地下水モデル).....	5-21
図 5.19:	計画井戸O_02の位置 (Ziway地域地下水モデル).....	5-21
図 5.20:	計画井戸位置と地下水位低下予測 (第1層) (Ziway地域地下水モデル： 単位m)	5-22
図 5.21:	計画井戸位置と地下水位低下予測 (第3層) (Ziway地域地下水モデル： 単位m)	5-23
図 5.22:	計画井戸 S_55の地下水位変動 (Bilate地下水モデル).....	5-24
図 5.23:	計画井戸 S_32の地下水位変動 (Bilate地下水モデル).....	5-25
図 5.24:	計画井戸位置と地下水位低下予測 (第1層) (Bilate地下水モデル：単 位m)	5-25
図 5.25:	計画井戸位置と地下水位低下予測 (第3層) (Bilate地下水モデル：単 位m)	5-26
図 5.26:	計画井戸S_27の地下水位変動 (Abaya湖東地下水モデル).....	5-27
図 5.27:	計画井戸S_56のの地下水位変動 (Abaya湖東地下水モデル).....	5-28
図 5.28:	計画井戸位置と地下水位低下予測 (第1層) (Abaya湖東地下水モデル： 単位m)	5-28
図 5.29:	計画井戸S_22 周辺の地下水低下状況 (Abaya湖東地下水モデル)	5-29
図 5.30:	計画井戸位置と地下水位低下予測 (第3層) (Abaya湖東地下水モデル： 単位m)	5-29
図 5.31:	計画井戸S_30の地下水位変動 (Abaya湖西地下水モデル).....	5-31
図 5.32:	計画井戸S_34の地下水位変動 (Abaya湖西地下水モデル).....	5-31
図 5.33:	計画井戸位置と地下水位低下予測 (第1層) (Abaya湖西地下水モデル： 単位m)	5-32
図 5.34:	計画井戸位置と地下水位低下予測 (第3層) (Abaya湖西地下水モデル： 単位m)	5-32
図 6.1:	現場での露頭観察	6-2

略語一覧

AAWSA	Addis Ababa Water Supply and Sewerage Authority	アディスアベバ上下水道局
AAU	Addis Ababa University	アディスアベバ大学
AFD	Agence Française de Développement	フランス開発機構
BoFED	Bureau of Finance and Economic Development	財務経済開発局
CIDA	Canadian International Development Agency	カナダ国際開発機構
CPI	Consumer Price Index	消費者物価指数
CRS	Catholic Relief Services	カトリックリリーフサービス
CSA	Central Statistical Agency	中央統計局
DfID	Department for International Development	国際開発部
DTH	Down the Hole Hammer	ダウンザホールハンマー
EAP	Economically Active Population	経済活動人口
EIA	Environmental Impact Assessment	環境影響評価
EIGS	Ethiopian Institute of Geological Survey	エチオピア地質調査機関
ENGDA	Ethiopian National Groundwater Database	エチオピア国家地下水データベース
ENGWIS	Ethiopian National Groundwater Information System	エチオピア国家地下水情報システム
EPE	Environmental Policy of Ethiopia	エチオピア環境政策
EPSA	Ethiopian Postal Service Agency	エチオピア郵政サービス局
EROAM	Economic Resources Optimization and Allocation Model	経済資源最適配給モデル
ETC	Ethiopian Telecommunications Corporation	エチオピア通信協力機関
EU	European Union	欧州連合
EWTEC	Ethiopian Water Technology Center	エチオピア水技術センター
FINDA	Finnish Development Agency	フィンランド開発機構
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GEF	Global Environmental facility	地球環境ファシリティー
GIS	Geographic Information System	地理情報システム
GNI	Gross National Income	国民総生産
GPS	Global Positioning System	全地球測位システム
GRP	Gross Regional Product	域内総生産
GSE	Geological Survey of Ethiopia	エチオピア地質調査所
GTZ	German Technical Cooperation	ドイツ技術協力公社
HES	Horizontal Electric Sounding	水平電気探査
HICE	Household Income, Consumption and Expenditure	勤労者世帯家計収支
IEE	Initial Environmental Examination (Evaluation)	初期環境評価
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力機構
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau	ドイツ復興金融公庫
MER	Main Ethiopian Rift	エチオピアリフト
MoM	Ministry of Mines	鉱山省
MoH	Ministry of Health	厚生省
MoWE	Ministry of Water & Energy	水エネルギー省
MP	Master Plan	マスタープラン
NGOs	Non-Government Organizations	非政府組織
NMSA	National Meteorological Services Agency	国家気象サービス局
NWP	National Water policy	国家水政策
PA	Preliminary Environmental Assessment	事前環境評価
PASDEP	Plan for Accelerated and Sustained Development and End Poverty	加速的持続的開発と貧困撲滅の計画
RHBs	Regional Health Bureaus	州健康局

ROE	Rest of Economy	余りの経済圏
RVLB	Rift Valley Lakes Basin	リフトバレー湖沼地域
RVS	Rift Valley Study	リフトバレー研究
RWBs	Regional Water Bureaus	州水局
RWS	Rural Water Supply	村落給水
SNNPRS	Southern Nations, Nationalities and Peoples' Regional State	南部諸民族州
TVETC	Technical and Vocational Education and Training College	技術職業訓練教育大学校
UAP	Universal Access Program	ユニバーサルアクセス計画
UNDP	United Nations Development Programme	国連開発計画
UNICEF	United Nations International Children Fund	国連国際児童基金
UTM	Universal Transversal Mercator	ユニバーサル横メルカトル
VES	Vertical Electric Sounding	垂直電気探査
WASHCO	Water Supply and Health Committee	水衛生組合
WFB	Wonji Fault Belt	Wonji断層群
WHD	Woreda Health Desks	Woreda厚生班
WLR	Water level Recorder	自記水位計
WMO	World Meteorological Organization	世界気象機関
WRDF	Water Resources Development Fund	水資源開発基金
WSDP	Water Supply Administration Agency	水供給管理局
WWMEO	Woreda Water, Mining and Energy Office	郡水鉱山エネルギー事務所

プロジェクト写真 (1/5)

第一年次 (2010年1月～7月)



IC/R 協議

2010年1月26日にIC/R説明・協議。C/Pが主に参加。2月4日にM/Mが締結される。



地質踏査(1)

Butajiraの西方急崖から、リフトバレーの低地側を望む。低地は、第四紀の堆積物から構成される。



地質踏査(2)

Bilate川近くの溶結凝灰岩の露頭。水理地質1担当が念入りに岩相をチェックしている。



地質踏査(3)

国立公園内からShalla湖(左)とAbijata湖(右)を望む。周辺の地質はおもに凝灰岩等からなる。



地質踏査(4)

Shashamaneから西方へ向かう途中の深井戸から取水している。フッ素濃度は1.5mg/L程度。



合同巡検

調査団のほぼ全員で、地質や小都市の調査の内容を共有するため合同巡検を実施した。

プロジェクト写真 (2/5)

第一年次 (2010年1月～7月)



電気探査

No1 観測井掘削予定地での電気探査風景。測線の展開は近接する村落住民を雇用して実施。



小都市実態調査(1)

再委託による小都市実態調査の対象都市に対するインタビュー調査の風景



小都市実態調査(2)

対象小都市 Kela (SNNPRS) での給水タンク状況。ほとんど小都市で給水施設が確認された。



観測井掘削(1)

No3 観測井掘削地点でのケーシング挿入風景。機械口元には、掘りくずが散在。ほとんど軽石。



観測井掘削(2)

No2 観測井掘削地点の状況。泥水ポンプを用いたロータリー掘削を実施中。泥水濃度を調整中。



観測井掘削(3)

No1 観測井掘削定点の口元仕上げ状況。自記水位計をセットするため、蓋を取った状態である。

プロジェクト写真 (3/5)

第二年次

(2010年11月～2011年1月)



地質踏査(1)

調査地南方の Dila 付近で見られる第四紀更新世の玄武岩の分布。第二年次で分布が確認された。



電磁探査

Abijata 湖北西側の Tora 地域での電磁探査測定状況。手前はインダクションコイル。



水源調査

Yirga Chafe 北側の要請小都市のハンドポンプ。タウン給水の他にもこのような施設がある。



観測井掘削

Bilate 川沿いの BH-No5 の井戸掘削状況。83m で孔内トラブルがあり、一時中断している。



電磁探査ワークショップ

12 月末に団員による電磁探査のワークショップを EWTEC で実施した。研修は室内での講義と敷地での実習と記録解析を行った。



火山地質ワークショップ

1 月に火山地質に関するフィールドワークショップを実施した。16 名の参加で盛況だった。AAU の火山学の教授も C/P として参加し、説明した。

プロジェクト写真 (4/5)

第二年次

(2011年2月～2011年6月)



地質踏査(1)

Asela 西方の断層崖。リフトバレーを形成している大地溝帯と同一走向の断層崖。主に第四紀更新世の溶結凝灰岩等からなる。



地質踏査(2)

リフトバレー西側傾斜地からみた平坦部。Bilate川方向を望む。ほとんどが「Acidic Volcanic -Sedimentary Rocks」から構成されている。



観測井掘削 (1) No.9N 掘削地点

No. 9N 観測井の井戸洗浄風景。深度 200mまで掘削し、揚水試験による最大揚水量は 16L/s を記録している。その時の水位降下は約 9m。



観測井掘削 (2) No.4 掘削地点

Awassa 南方の平坦部での No. 4 の観測井掘削状況。250mまで掘削予定(現在 157m)。地下水位は、GL-7mでかなり被圧された状況にある。



水源調査 (1) Dalbo Atowa Town

Sodo から北東約 9km の南部州の小都市。約 4000 人の人口で湧水を水源としている。既存給水施設があるが、給水率はわずか 6%となっている。



水源調査 (2) Lemo Sirba Town

Asela から南に約 45km のオロミア州の小都市。約 5600 人の人口で湧水を水源としている。既存給水施設があり、給水率は 32%となっている。

プロジェクト写真 (5/5)

第二年次

(2011年5月～8月、2012年1月)



No5N 掘削自噴温泉

オロミア州とSNNPRSとの州境界のDimtu付近。No5N地点での掘削で自噴温泉。温度54°C、湯量100L/sec。水質はフッ素濃度がエチオピア国基準値より高いので問題がある。



水質・同位体ワークショップ

水質分析・同位体分析結果の解析を主な目的としワークショップをアディスアベバ大学で実施し、更に分析機器使用法の講義を大学ラボで行った。



地下水モデルワークショップ

地下水モデル解析手法取得を目的としたワークショップ。地下水の基礎知識及び2次元と3次元流動モデルによる手法紹介等の講義を行った。



GISワークショップ

GIS運用の取得を目的としたワークショップ。GISソフトウェアで収集資料及び解析結果の電子化作業方法、図面作成の手法を講義し実習を行った



IT/R 報告のステアリングコミッティ開催

インテリムレポートの完成に伴い、C/P とステアリングコミッティメンバーに説明と協議を行い、今後の課題について討議を行った。



技術移転セミナーの実施

ドラフトファイナルレポートの発表を兼ねて、RVLBでの調査結果の総まとめを技術移転セミナーで実施した。

第1章

はじめに

1 はじめに

1.1 概要

このファイナルレポートは、エチオピア連邦共和国（以下、「エ」国）の水資源省（2010年10月に水エネルギー省に改名）と独立行政法人国際協力機構（JICA）によって同意された議事録（M/M）に沿った、「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」（以下、調査と標記）の調査結果をまとめたものである。

JICAは、調査に関係する幾多の分野に、12名の団員からなる調査団（以下、調査団と標記）を組織した。

調査は、平成22年（2010年）1月に始まり、平成24年（2012年）の2月末に完成した。第一年次は平成22年（2010年）1月から同9月まで実施し、プロGRESSレポート（1）が作成された。第二年次の現地調査は2010年11月から2011年7月初旬まで実施され、プロGRESSレポート（2）とインテリムレポートが作成された。この最終報告書ではその主要な内容と10月末までの国内作業の結果のすべてを含め記述する。この調査の期間、調査団は、「エ」国水エネルギー省（以下 MoWE とする）を中心とした実施機関および C/P 機関と協力しながら作業を行った。

1.2 調査の背景

「エ」国は、2005年の段階で都市及び地方の給水率が合計で約38%にとどまっているため、ユニバーサル・アクセス・プログラム(UAP : Universal Access Program)を策定し、2012年までに都市部における給水率を100%に、農村部においても98%に改善するという目標を立てた。しかしながら、現時点において国内の地下水賦存量を的確に把握するための情報が欠如しており、効果的な地下水開発及び持続的な地下水利用を行うにあたり、大きな弊害となっている。一方、「エ」国の地下水調査にかかる国家マスタープランであるエチオピア地下水資源評価プログラム(EGRAP : Ethiopian Groundwater Resources Assessment Program)によって、地下水ポテンシャルの情報を水源開発に活用すべく、地下水データベース(ENGDA: Ethiopia National Groundwater Database)の構築、地下水ポテンシャル調査の実施及び水理地質図の作成、NGI(National Groundwater Institute)の設立を計画するなど能力強化を図ってきた。しかしながら、効果的な運用がなされなかったため、2014年を最終年次としたフェーズ3までの改善計画を再策定し、(2007年-2010年)を第1フェーズとする新しいプログラムが EGRAP+ (いわゆるニューEGRAP) としてスタートした。その中でとくに GIS/データベースシステム構築のための ENGWIS (Ethiopian National Groundwater Information System) の導入を検討するなど活動の活性化が図られている。

以上の背景のもと、「エ」国政府は、2007年、我が国政府に対し「ウォリクテ、ウォリソ、アンボ地域」の水理地質図作成を目的とした地下水ポテンシャル調査の実施、関係技師への技術移転を目的とした開発調査を要請した。

これを受け JICA は、2008年12月予備調査団の派遣、2009年7月には詳細計画策定調査団を派遣し、対象地域をリフトバレー湖沼地域に絞ることとし、同地域における地下

水ポテンシャルの把握、水理地質図の作成、小都市の給水計画の策定を内容とした調査計画を作成し、2009年7月 S/W を署名・交換した。

本件調査は、リフトバレー湖沼地域において地下水ポテンシャル調査を実施し、その結果として当該地域の水理地質図を作成し、給水計画を策定することにより、EGRAP+ 及び UAP の目標達成に寄与するものである。

1.3 調査の目的

本件調査は、リフトバレー湖沼地域の主要な帯水層及び地下水域の地下水ポテンシャル評価にかかる調査を実施し、水理地質図の作成を行う。その結果、水理地質図を利用した人口約 10,000 人以下の小都市における給水計画を立案し、合わせて MoWE の給水計画策定能力の向上を図る。

1.4 調査の範囲

本件調査は、2009年7月23日に合意された S/W 及び同協議に関する議事録（M/M）に基づき実施するものである。調査団は下記に述べる作業スケジュールと作業計画に沿った内容の調査を実施して、調査の進捗に応じ報告書を作成し、「エ」国政府へ説明・協議を行う。主な作業は以下の通りである。

フェーズ I：基礎調査

フェーズ II：詳細調査

1.5 作業計画

フェーズ I とフェーズ II は、2010年1月に開始し、2012年2月に終了した。概略の工程は以下の表 1.1 に、また作業の全体概要は図 1.1 の調査実施フローの通りである。

表 1.1: 概略工程表

契約年次 調査年度	第1年次								第2年次																								
	2009年度				2010年度				2011年度																								
暦月	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3					
現地調査		[B]第1次現地調査										[C]第2次現地調査																					
国内調査		[A]第1年次国内準備作業																															
		フェーズ I 基礎調										フェーズ II 詳細調査																					
レポート		▲									▲																						
セミナー																																	

Note: IC/R: インセプションレポート IT/R: インタリムレポート P/R: プログレスレポート
DF/R: ドラフトファイナルレポート F/R: ファイナルレポート

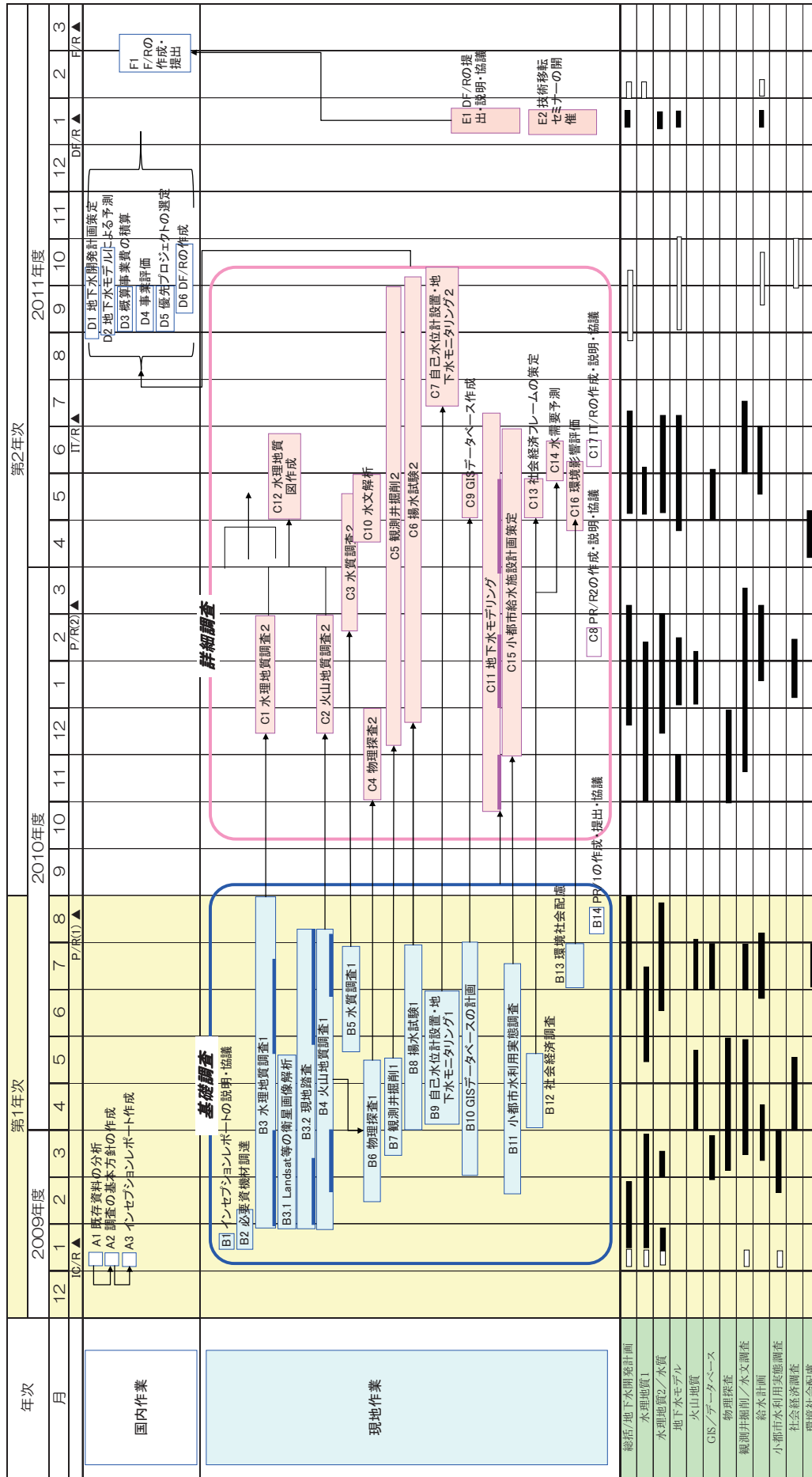


図 1.1: 調査実施フロー

1.6 調査地域と要請された小都市

1.6.1 調査地域

調査地域は、図 1.2に示すようにリフトバレー流域であり、対象となる州は、南部諸民族州とオロミア州である。

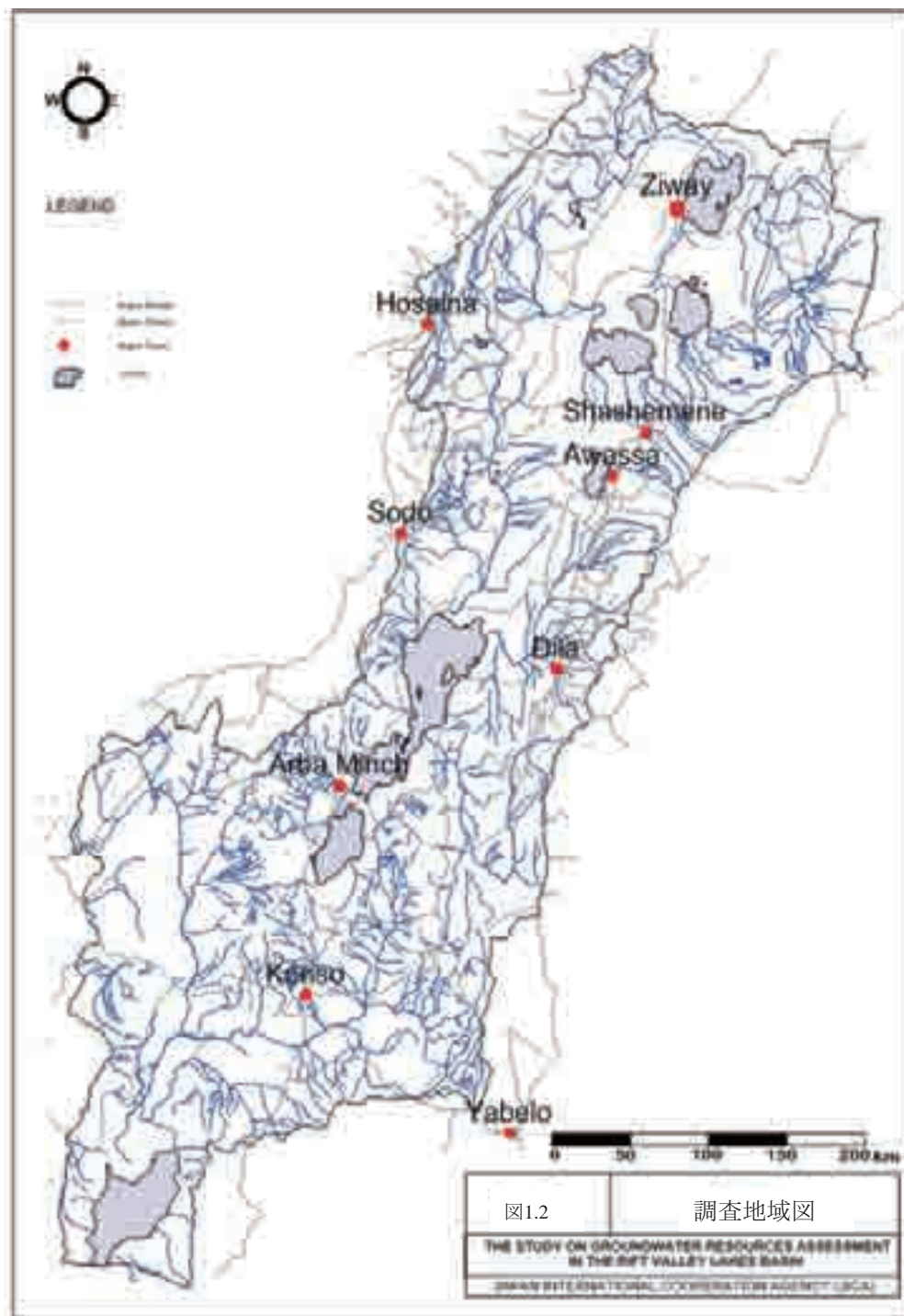


図 1.2: 調査地域図

1.6.2 要請された小都市

今回の対象とする小都市は、概ね 10,000 以下の人口を有する都市とする。南部諸民族州、オロミア州の担当者の要請に沿って調査団が入手した計画対象小タウンの数はゾーンごとに以下の表 1.2 のようである。

表 1.2: 要請された計画対象小都市の数

ゾーン名		要請計画対象小都市の数
南部諸民族州	Gurage	6
	Hadiya	6
	Kembata Timbaro	3
	Sidama	9
	Gedeo	4
	Wolayita	4
	Gamo Gofa	10
	Siliti	10
小計		52
オロミア州	Arsi	10
	West Arsi	7
	East Shewa	8
	Borena	5
小計		30
合計		82

1.7 調査団とエチオピア側メンバー

1.7.1 調査団

JICA 調査団は、以下の国際航業(株)の松本俊幸を総括とした 12 名の団員と調査に関連した調整員 1 名からなる。日本からの各団員と分野については、以下に示す通りである。

表 1.3: JICA 調査団

名前	分野	出身国
松本 俊幸	総括/地下水開発計画	日本
浮島 久幸	水理地質 1	日本
市川 建介	水理地質2/水質	日本
雷 沛豊	地下水モデル	中国
細田 年晃	火山地質	日本
郷内 吉瑞	GIS/データベース	日本
石川 次男	物理探査	日本

安田 直樹	観測井掘削/水文調査	日本
高嶋 洋	給水計画	日本
柿沼 潤	小都市水利用実態調査	日本
小原 克	社会経済調査	日本
山崎 典和	環境社会配慮	日本
山本 陽介	業務調整	日本

1.7.2 エチオピア側メンバー

エチオピア側のプロジェクトに参加したメンバーは責任機関の水エネルギー省（MoWE : Ministry of Water and Energy）、実施機関のEGRAP室、C/P機関の水エネルギー省エチオピア水供給技術センター（EWTEC : Ethiopia Water Technology Centre）、鉱山省地質調査所（GSE : Geological Survey of Ethiopia）、アディスアベバ大学（AAU : Addis Ababa University）と南部諸民族州およびオロミア州の担当者である。メンバーと所属等は以下の通りである。

表 1.4: エチオピア側のメンバー

名前	所属	役割
Mr. Abera Mekonnen	MoWE 技監	運営委員会議長
Mr. Tesfaye Tadesse	MoWE/EGRAP	実施機関/C/P総括
Mr. Zebene Lakew	MoWE	運営委員会メンバー
Mr. Girum Admasu	MoWE	責任機関
Mr. Muhuddin Abdela	GSE	C/P
Mr. Sileshi Mamo	GSE	C/P
Mr. Mulgeta Kinfu	MoWE/EWTEC	C/P
Mr. Tamiru Fekadu	MoWE/EWTEC	C/P
Prof. Dr. Gezahegn Yirgu	AAU/Volcanology	C/P
Prof. Dr. Tenalem Ayenew	AAU/Hydrogeology	C/P
Mr. Meskelu Tumiso	南部諸民族州水資源局	C/P
Mr. Fekadu Lebecha	オロミア州水資源局	C/P
Ms. Ghrmawit Haile	MoWE/WRDF*	運営委員会メンバー

第2章

調査地の一般状況

2 調査地の一般状況

2.1 概要

調査地での自然条件と社会条件に関わる一般的な状況をここでは記述する。調査地域は首都アディスアベバの約 190km 南方の北緯 5 度 00 分~8 度 30 分、東経 37 度 00 分~39 度 30 分の間に位置する。調査地域は周囲と断層で区切られた低地帯に位置し、独立した流域を形成し「リフトバレー湖沼地域=RVLB」と呼ばれる。RVLB は南部諸民族州とオロミア州の一部から構成され、人口約 980 万人(2006 年)を有する。主な産業は農業、製造業およびサービス業である。

2.2 気象と水文

2.2.1 気象

気象条件は独立した流域の水資源形成、分布および消費に大きく影響しており、主なものは 1)降雨量、2)蒸発散量、3)気温等の気象関連因子である。

a. 降雨量状況と解析

主に 1)降雨量の地域分布、2)降雨量変動の長期的傾向、3)降雨量の変動周期および変動確率計算を行った。降水量解析に使用した収集データは現地気象観測所からの日単位オリジナル観測データ（70 か所）と世界気象機関（WMO）からの月単位観測データ(10 か所)である。オリジナルデータの観測期間は最も古いもので 1951 年であり、最新は 2010 年まで入手した。降雨量の解析は最初にデータのチェックを行い、前後の記録と比較して明らかに間違ったデータについて削除か修正を行った。その後データは欠測状況にあわせ補完を行った。降雨量平均値は年間で 492mm~2,582mm の間であり地域によって 5 倍程度の差がある。また RVLB 全域での 72 箇所の観測所平均年間降水量は 1,079mm である。解析に利用した降雨量観測所の位置及び年平均降水量は図 2.1に示している。

降雨量と標高（オリジナルデータの標高：582m~2875m）の相関関係が認められないため降雨量の地域分布は水文解析の標準方法であるティーセン区分法に基づき求めた。RVLB の流域面積が 1,000km²~13,000m² の大規模河川を基にした 14 のサブベースンごとの降水量分布を図 2.2に示す通りである。またリフトバレー流域内とエチオピア全国を比較した平均月降雨量を図 2.3に示す。

降雨量の変動傾向は、最も観測期間の長い観測所のデータを用いて解析した。結果は観測年数と降水量の変動に良好な相関関係はないが、年数と降水量の勾配係数からどちらかと言えば年数の経過で降水量はわずかに増加傾向にある。

降雨量の変動周期は連続観測期間が長く、欠測数の少ない Awassa 観測所のデータを用いた。結果は表 2.1に示したように 5 つの変動周期がみられる。また変動確率に関しては、渇水年では 10 年確率で約 790mm の年平均降雨量、豊水年では 10 年確率で約 1,160mm の年平均降雨量となる傾向である。

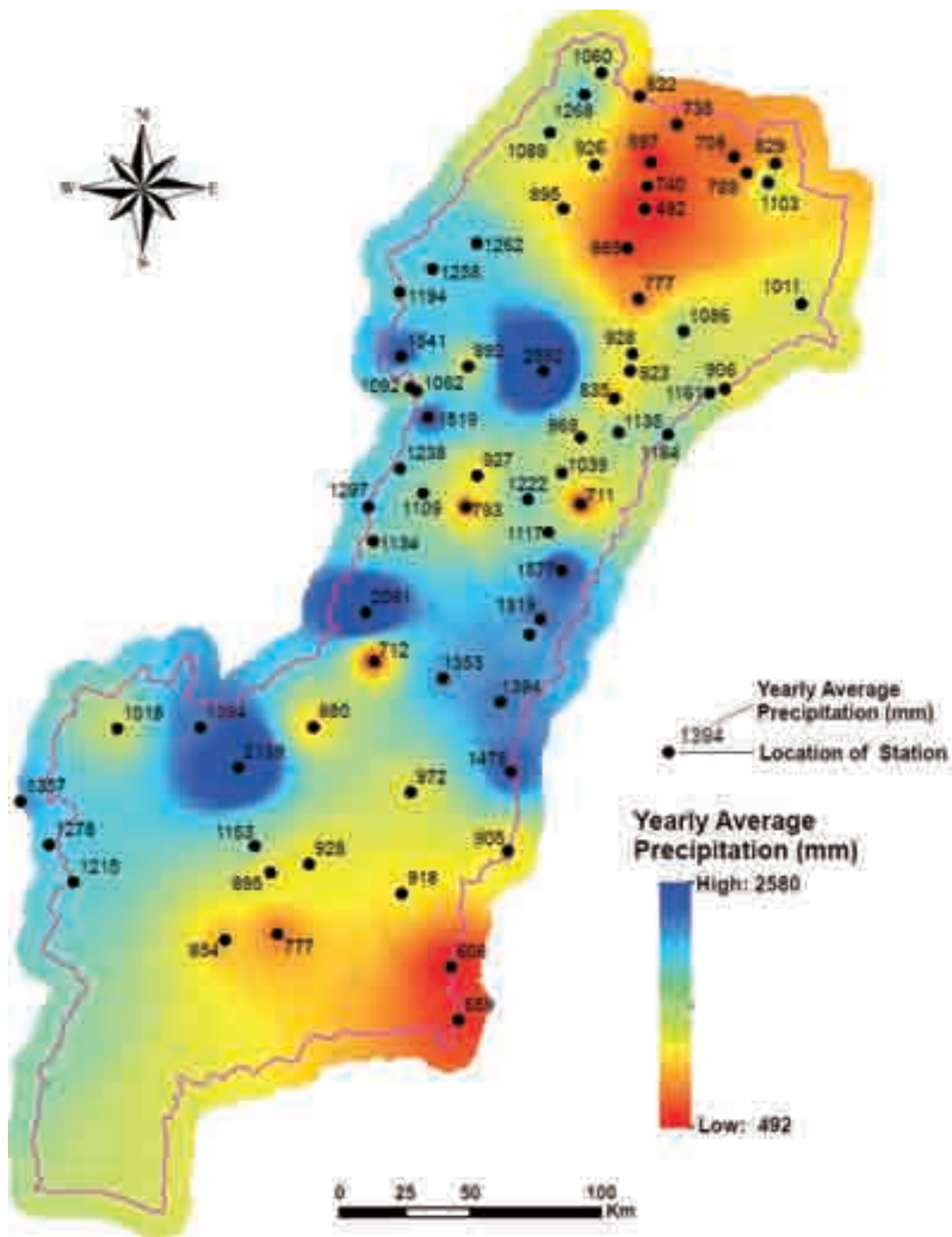


図 2.1: リフトバレー流域内における降雨量観測所及び年平均降雨量の分布

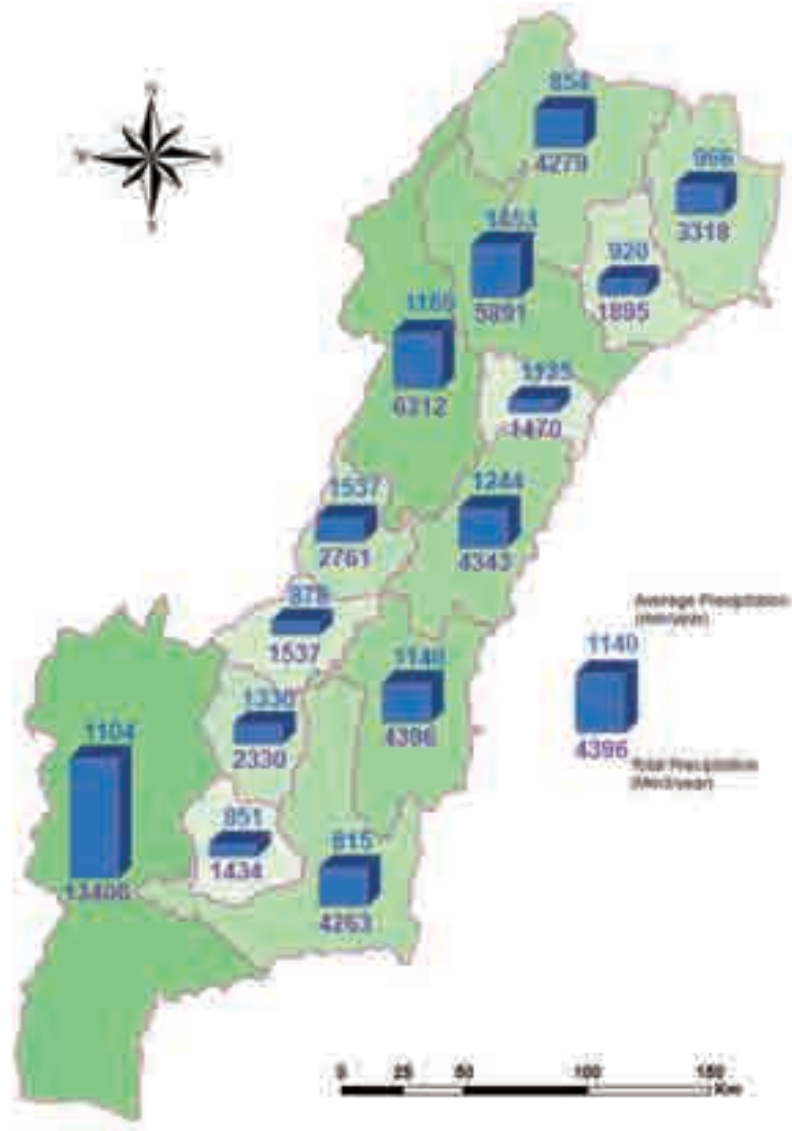


図 2.2: RVLB 内のサブベースンごとの降雨量分布図

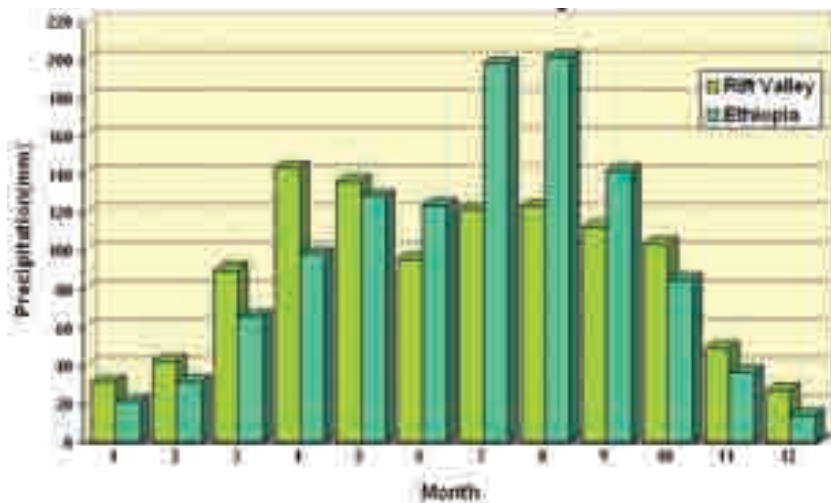


図 2.3: RVLB とエチオピア全土での平均月降雨量の比較

表 2.1: 降雨量変動周期分析結果

Sequence	Duration	Wet Year	Drought Year
1	-1985	- 1983	1984 -1985
2	1986 - 1994	1986 - 1989	1990 - 1994
3	1995 - 2004	1995 - 1998	1999 - 2004
4	2005 - 2009	2005 - 2007	2008 - 2009
5(?)	2010 -	2010 -	--

b. 蒸発量

蒸発量の観測データを保有している観測所は RVLB の中でわずか 5 か所である。そのうち 1 か所はすべて最大値を取っている。その箇所を除くと年平均蒸発量は 1,395~1,963mm である。5 か所の月平均蒸発量を以下の図 2.4 に示す。なお観測所の標高と蒸発量の相関関係は認められない。

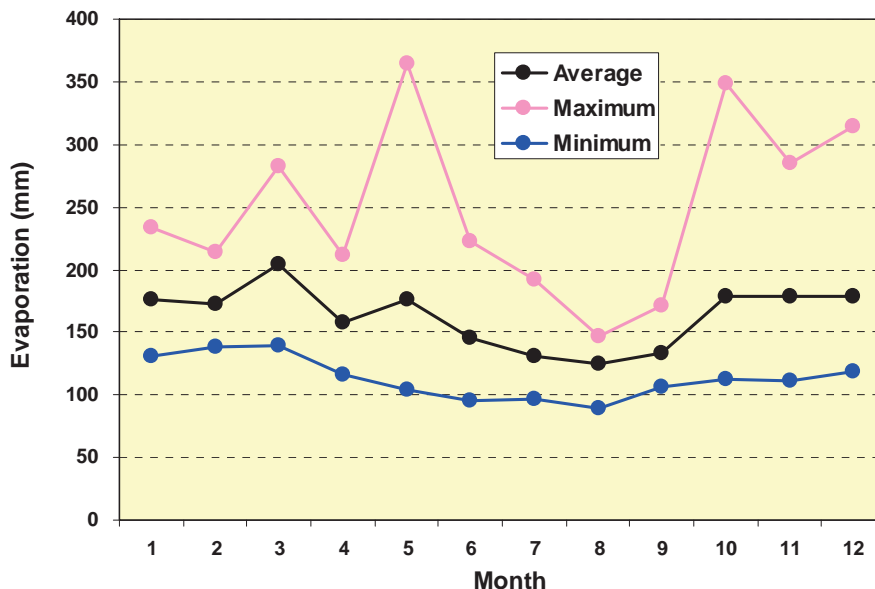


図 2.4: 月平均蒸発散量変動(5 か所)

c. 気温

気温に関しては、RVLB の 52 か所の観測所からデータを入手した。観測期間の早い年代は 1961 年からで、最終は 2010 年までの記録を得た。全観測所の年平均気温は 19.6°C、年平均最大気温は 27.1°C（Beto 観測所）、最小気温は 12.3°C（Kawakoto_Alichio 観測所）であった。52 観測所の月平均気温の変動は次の図 2.5 に示される。

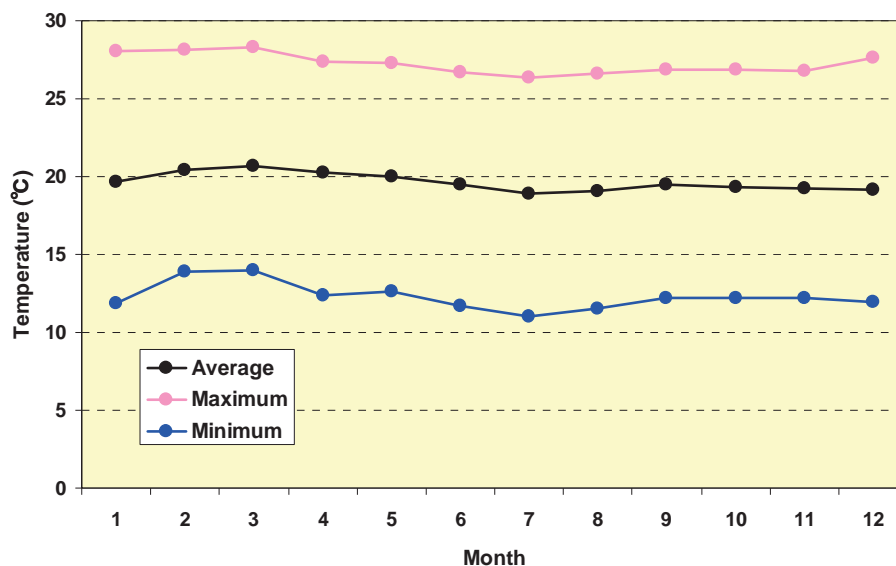


図 2.5: 月平均気温変動(52 観測所)

2.2.2 調査地の湖沼

本調査地にはリフトバレー湖沼地域の名が示す通り大小様々な湖が散在する。湖はリフトバレーで形成された地溝帯の谷部に分布していて、例えば旧火山カルデラの小さなクレーターに溜まる水も含めれば数十の湖、もしくは池が点在する。主要な湖は Ziway、Langano、Abijata、Shalla、Awassa、Abaya、Chamo および Chew Bahir である（図 2.6 参照）。

地域の主要湖の諸元を表 2.2 に示した（Chew Bahir を除く）。調査地内で最大の湖は Abaya 湖で面積 $1,160\text{km}^2$ であるが、平均深度は 7m と浅く、貯水量は 8.2km^3 しかない。他方、地域内でもっとも貯留容量が大きな湖は Shalla 湖である。この湖は面積では 409km^2 で Abaya 湖の三分の一しかないにもかかわらず、最大深度 266m、平均深度が 87m あり、貯水量は 36.7km^3 と Abaya 湖の四倍に達する。Ziway 湖、Langano 湖、Abijata 湖から Shalla 湖にかけては火山活動に伴う構造的な凹地によって形成された湖でとくに Shalla 湖はカルデラの形成にも影響され水深も他の湖にくらべ深くなっている。Awassa 湖は周辺のカルデラ形成後の中央部に形成されたカルデラ湖、Abaya 湖から Chamo 湖は構造運動に伴う細長く伸びた地溝沿いに形成された構造湖である。完新世のはじめには、気候変動に伴う温暖湿潤期の降雨の影響で Ziway 湖から Shalla 湖にかけて巨大な一つの湖（例えば古 Ziway 湖（仮称））が形成された。それらは Lacustrine の分布で確認できる。

表 2.2: 主要湖の諸元

湖名	標高	表面積	最大深度	平均深度	容量
	海拔m	km ²	m	m	km ³
Ziway	1636	440	8.95	2.5	1.1
Langano	1582	230	47.9	17	5.3
Abijata	1578	205	14.2	7.6	1.61
Shalla	1558	409	266	87	36.7
Awassa	1697	129	22	11	1.3
Abaya	1285	1160	13	7	8.2
Chamo	1235	551	13	6	3.3

Water Balance and Level Regime of Ethiopian Lakes as Integral Indicators of Climate Change
(2008, A.M. Mikhailovich D, B.A. Getahum, The 12th World Lake Conference)

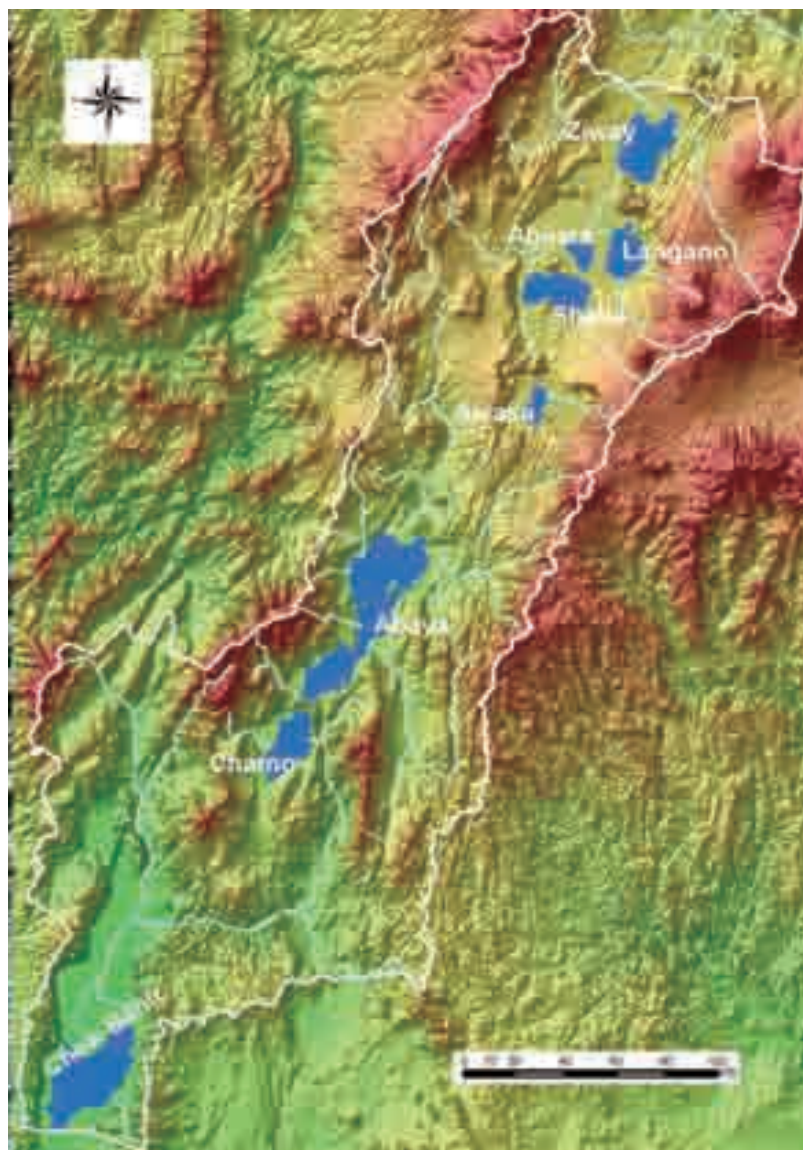


図 2.6: リフトバレー湖沼地域の主要湖の分布

2.2.3 サブベーズン

RVLB は、前述のように低地部に 8 つの主要な湖が分布しそれぞれの独立した水文学的な集水域を形成している。これらを大きく分けて次の主要流域に区分される。

1. Ziway-Shalla 流域、2. Awassa 流域、3. Abaya-Chamo 流域、4. Chew Bahir 流域

この主要流域区分では地質毎、地域ごとの水理地質特性を把握するためには極めて大雑把であることから、さらにサブベーズンに区分した。

a. サブベーズンの分類

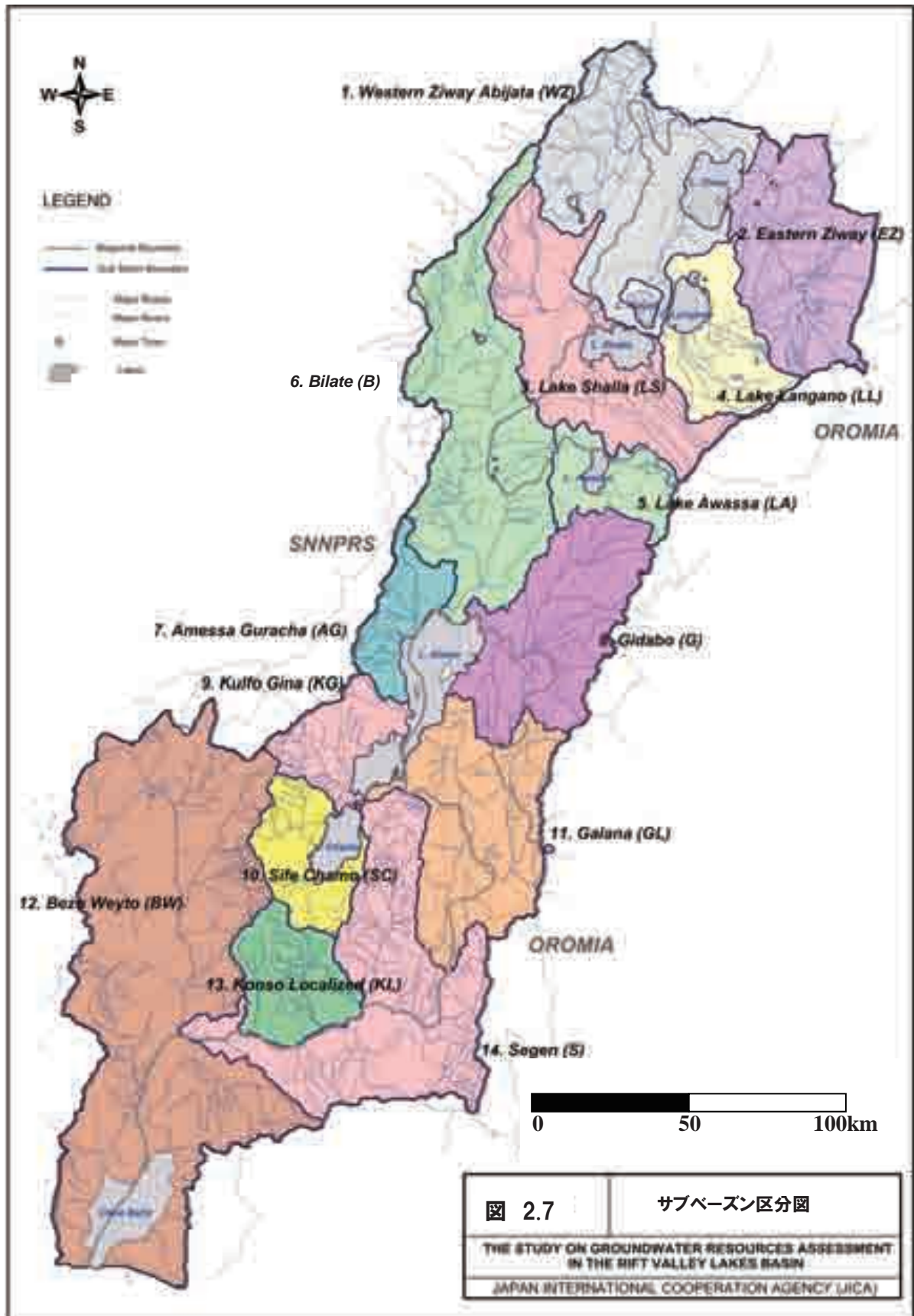
サブベーズンの分類にあたっては河川の流入終端、及び流入河川の特徴から各流域を以下の通り細分した。

Ziway-Shalla 流域では、基本的に河川が流入する湖によってサブベーズンを区分した。Awassa 流域は Awassa 湖を中心として完全に閉じた流域を持つことから単独で Awassa サブベーズンとした。Abaya-Chamo 流域の Abaya 湖はリフトバレー湖沼地域で最大の湖であり、多くの河川が流入している。この流域でのサブベーズンは、主に流入する主要河川の流域をサブベーズンとして区分した。Chew-Bahir 流域は Chew Bahir 湖に至る 2 つの大きな河川の流域である。また Chamo 湖南部の Segen 合流する小河川の集合域を Konso Localized、Weyto 川流域を Bezo Weyto サブベーズンとした。

表 2.3 に主要流域とサブベーズンの区分を、図 2.7 にサブベーズン区分図を示す。

表 2.3: 主要流域とサブベーズン

No	主要流域	No	サブベーズン	面積 (km ²)
1	Ziway-Shalla	1	Western Ziway-Abijata	4398
		2	Eastern Ziway	3434
		3	Lake Shalla	3762
		4	Lake Langano	1807
2	Awassa	5	Lake Awassa	1201
3	Abaya-Chamo	6	Bilate	5419
		7	Amessa Guracha	1125
		8	Gidabo	3491
		9	Kulfo Gina	1302
		10	Sife Chamo	1436
		11	Galana	3856
4	Chew Bahir	12	Bezo Weyto	12143
		13	Konso Localized	1685
		14	Segen	5230



b. サブベースンの特徴

各サブベースンの地形・水系の特性を表 2.4に示す。

表 2.4: サブベースンの地形・水系

No	主要流域	No	Sub Basins	地形特性	主要水系	面積 (km ²)
1	Ziway-Shalla	1	Western Ziway-Abijata	西部はカルデラ壁と直立した崖からなり、なだらかな丘陵地へ至る。Butajira 東側から Ziway-Abijata 湖にかけては平坦面を形成。	主要河川は Meki 川で Ziway 湖に流入する河道は地形の影響を強く受け、西で南北、東で東西方向の流路となる。Abijata 湖付近では流入河川は認められない	4398
		2	Eastern Ziway	標高約 4000m の Galema 山脈からすり鉢状の山麓を経、断層崖から Ziway 平坦面に至る。河川勾配は比較的傾斜あり。	山脈から枝上に伸びた小河川系が幾重にも発達して Ketar 川に集積される。流路は西北西-東南東方向。	3434
		3	Lake Shalla	北西-南東方向に伸び、東西縁辺部で急崖を認める。Shalla 湖周辺は平坦面、火山コーン点在。	主要な湖への流入河川は認められない。小さな非正常河川が数条、北西-南東方向に発達する。	3762
		4	Lake Langano	標高 4000m 級の Kaka 山、Kubsa 山から落差 100m 近い断層崖を経て Langano 湖に至る。	主要な湖への流入河川は認められない。小さな非正常河川が数条、北西-南東方向に発達する。	1807
2	Awassa	5	Lake Awassa	東部に 2500m 以上の崖があり、Awassa 湖面までの落差 600m。Humo 山に連なる一連の丘陵地が堰堤状に Awassa 湖を囲む。	小河川系が東西方向に発達する。Awassa 湖の東部では 100km ² を越すスワンプが認められる。	1201
3	Abaya-Chamo	6	Bilate	なだらかな Bilate 川沿いの平坦面。西部に断層崖、火山コーンが認められる。	流路 3km 以上で調査地内では最も長い Bilate 川が主要水系であり、Abaya 湖に流入する。	5419
		7	Amessa Guracha	標高 2500m 前後の丘陵地に囲まれた流域で、Abaya 湖の北端部で広大な平野を形成する。	すりばち状の斜面のあらゆる方向から、Amessa, Guracha 川に合流し Abaya 湖に至る。	1125
		8	Gidabo	東壁は 300m 級の断層崖からなる。ほぼ丘陵地から構成されるが、Abaya 湖付近で平野となる。	主要河川は Gidabo 川で、多くの小河川を集めて南北方向に流下、湖付近で東方向となる。	3491
		9	Kulfo Gina	3000m 級の山脈が連なり平坦面はほとんど認められない。	北東-南西方向の谷が発達する。主要河川は Kulfo 川	1302
		10	Sife Chamo	Chamo 湖を取り巻く様に山嶺が発達する。	主要な河川は Chamo 南部、西部山麓から流下する。	1436
		11	Galana	南北方向に明瞭な構造線が発達する。Furfursa, Haro 稜線間に広い谷状部が存在。	Furfursa, Haro 稜線間をほぼ南北から北西方向に流下する Galana 川が主体。	3856
4	Chew Bahir	12	Bezo Weyto	南北に強い構造線が認められる。東西に断層崖発達。	主要河川は Weyto 川で流路は 200km 以上。北方向に流下	12143
		13	Konso Localized	ほぼ南北に山塊が認められる。丘陵地帯。	短い枝流が多数発達する。Segen 川に合流する。	1685
		14	Segen	構造的な山稜の間に細い谷地形が発達する。	東西方向に流下する Segen 川が主要河川である。	5230

2.2.4 水文

a. 湖沼と蒸発量

RVLB 内には前述のように8つの大きな湖が存在しており、主な湖沼面の変動記録を図 2.8に示す。1970 年ころからの湖水面変動で今日までに低下傾向にあるのが Abijata 湖であり、Awassa 湖、Abaya 湖では逆に上昇傾向、Ziway 湖では低下した時期もあるが、ほぼ横ばいの傾向である。

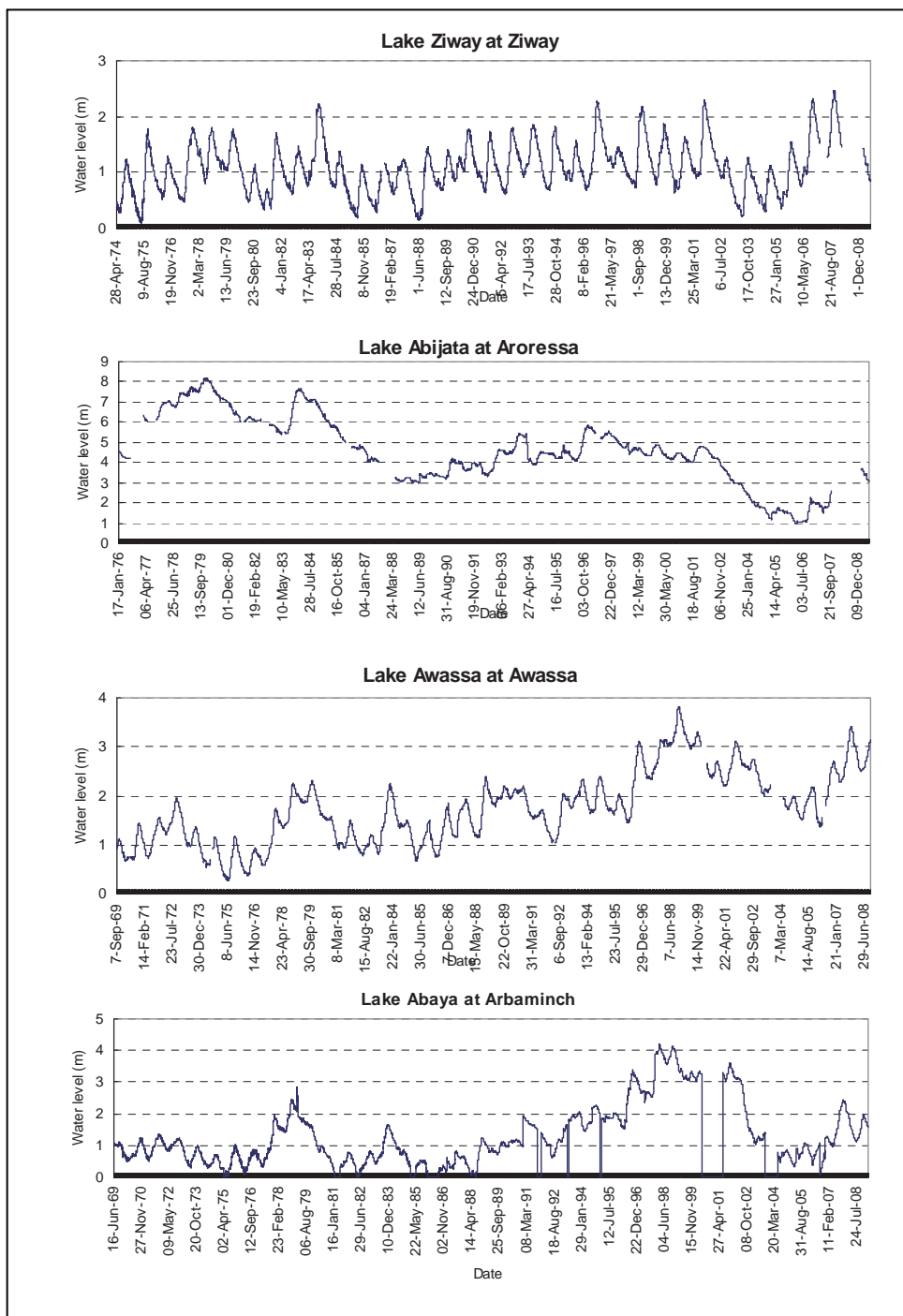


図 2.8: 主な湖水位の変動

リフトバレー湖沼地域は周辺流域から閉鎖された環境にある。降水によって供給された水資源は蒸発と水資源の利用によって消費される。リフトバレーの湖沼からの蒸発量は全蒸発量の 95%以上を占めることがわかっており、湖沼とその周辺の蒸発量観測所との対応関係をティーセン区分によって求めた。その結果リフトバレー地域の全湖沼からの年間総蒸発量は 6,545.2 (Mm³/year) であった。その蒸発量は、湖にはいる河川からの流入量、地下水涵養量および湖に直接降った降水量から構成される。湖への降雨量を観測所の位置等の関係から求めると 3,461 (Mm³/year) となり、降雨量を除いた湖への流入量は 3,084.2 (Mm³/year) となる。この値は実質の蒸発量に等しく、それは実水資源消費量の 95%以上にあたることから、実水資源消費量は、 $3084.2/95\% = 3246.5$ (Mm³/year) となる。

b. 河川流量

河川の日流量観測所は 36 か所であり（図 2.9の位置図参照 33 か所のみ表示）、流量データの補完やチェックによって精度を高めた。



図 2.9: 主な河川流量観測所の位置

河川流量の季節変動状況から流量の傾向が4つのパターンに区分された（図 2.10参照）。主なパターンは雨季と乾季に対応し、降雨量の 2 回のピークに対応するものと、1 回しかピークが出ないものである（パターン 1 とパターン 2）。他の 2 つのパターンは、調

査地の中でも特殊で、点数も少ない。とくにパターン3は湧泉観測所の可能性が高い。

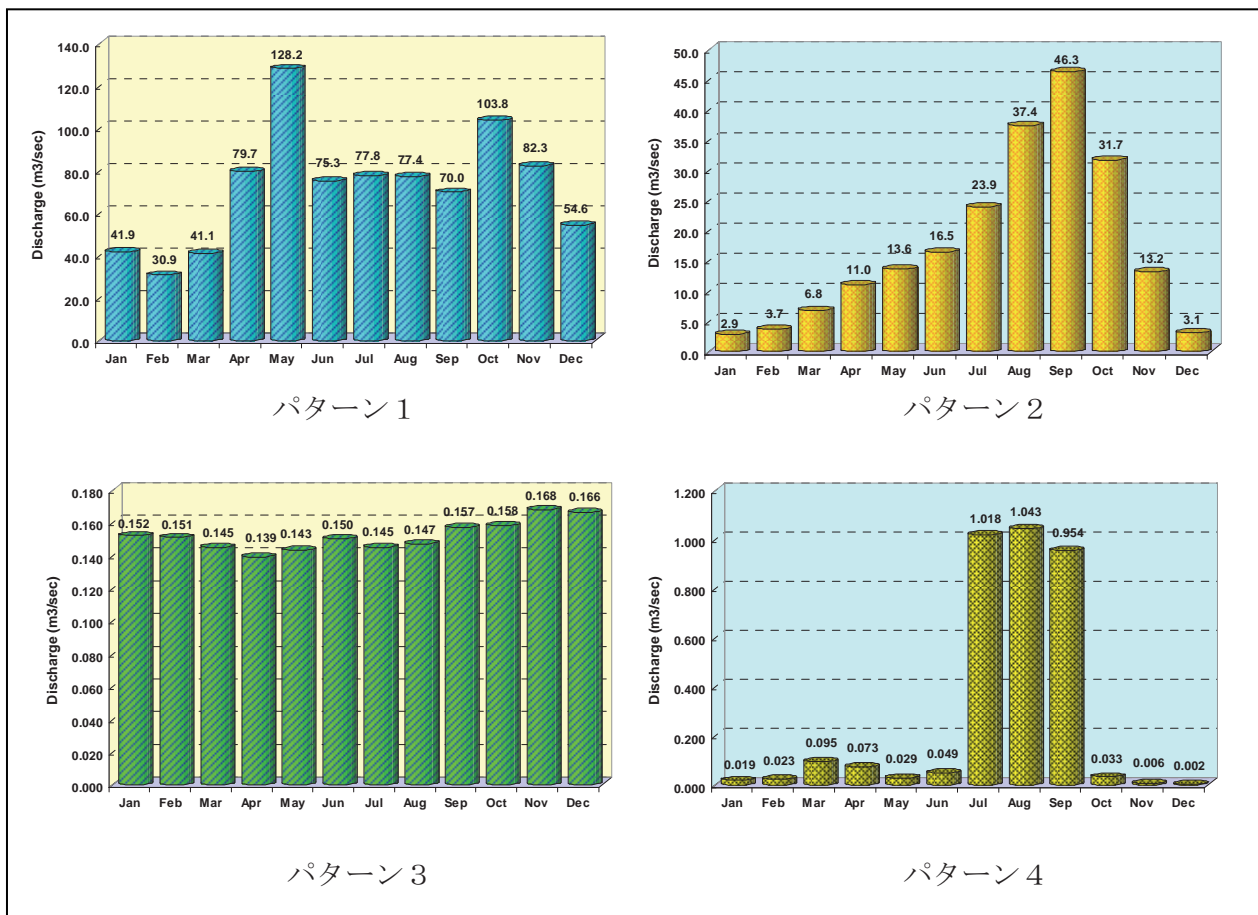


図 2.10: 河川流量の変動パターン

2.3 地理的特徴、地質および水理地質

2.3.1 地理的特徴

a. 概要

調査地域のリフトバレー湖沼地域は「アフリカ大地溝帯」と呼称される地理帯に属している。アフリカ大地溝帯はアデン会合点（図 2.11: Aden Junction）より南西～南南西へ、ジブチ、エリトリア、エチオピア、ケニア、ウガンダ、タンザニアと東アフリカ地域を縦断する。

アフリカ大地溝帯は一般的に活断層、活火山および温泉などの地熱地帯によって特徴づけられる。地球物理学的研究や岩石学的研究から、大地溝帯の地下では高温のマントルの貫入により地殻が薄くなっていることが示されている。

大地溝帯はまたアフリカプレート内の発散境界と考えられている。東側はソマリアプレート、西側はヌビアプレートと呼ばれ、両プレートは大地溝帯を境に東西方向に年間 5mm の速度で離れている

(Stamps et al, 2008)。

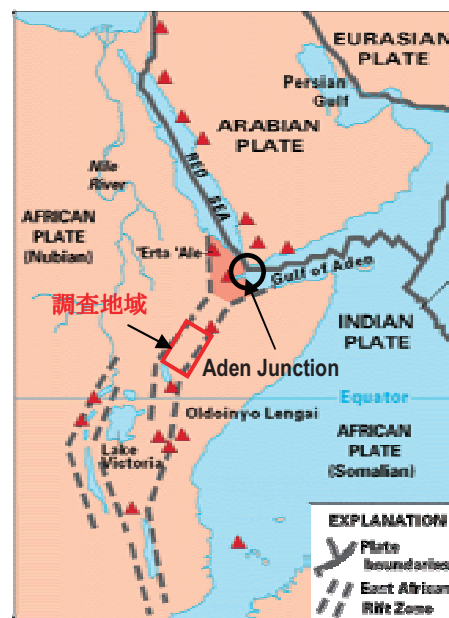


図 2.11 : アフリカ大地溝帯の分布と連続

(Source: <http://people.dbq.edu/faculty/deasley/Essays/EastAfricanRift.html>)

b. 地形

大局的に見てリフトバレー湖沼地域の地形特性から 2 つの地域に区分できる。Ziway から Awassa にいたる北部地域では谷底部は西側の起伏と火山体を除きほとんど平坦面である。東側では階段状の断層崖が谷縁辺部まで達している。北北東-南南西方向のリニアメントが卓越している。一方、南側の地形特性では、Lake Abaya から Chew Bahir の南縁では比較的急峻な地形が卓越している。また Abaya-Chamo の東では連続した山岳地帯が南北から北北東-南南西方向にのびており、そのリニアメントは Lake Awassa まで追跡出来る。これらの北側では東北東-西南西方向のリニアメントが卓越している。

本地域の構造特性はリフトバレー湖沼地域に分布する二つのリフト、エチオピアリフト (MER) と南西エチオピアリフト (SWR) の存在と関連している。MER は Afar から Lake Chamo 地域まで広がり、MER では主要な二つの断層系が認められる:ENE 方向の断層系はリフトの縁辺部に卓越し、N-S 方向の断層系 (Wonji 断層群 WFB) は様々な形態 (S 字型、重複、右階段状、階段状) からなる断層系でリフト底部にも影響を及ぼし、数十 km 連続して分布する。形成された多くのブロックはこの断層系を境界としている。MER の外縁部は広い間隔でならぶ断層系と垂直方向の大きな変位に特徴付けられる。東縁部では良く発達した連続する一連の断層からなり、西側では Mt. Guragie 地域に分布す

るいくつかの主要断層からなる。SWR は西側に分布し大まかに南北方向に伸びるものでケニアリフトと関連している。SWR は Gofa 盆地と Chew Bahir リフトが西部を占め、Chamo 地溝帯（Ganjuli 地溝帯）が南部に分布する。

2.3.2 地質および地質構造、火山活動

a. 地質概況

調査地域はエチオピアリフト(Main Ethiopian Rift: MER)の中央部～南部地域と南西エチオピアリフトの北側に一部位置する。エチオピアリフトは古第三紀漸新世～第四紀にかけて形成、発達した地質帯である。この形成、発達においては、漸新世、中期中新世、後期中新世、前期～中期更新世、完新世に主要な火山活動が発生している（WoldeGabriel et al. 1990）

エチオピアリフトにおける最も古い火山活動は漸新世における玄武岩と流紋岩の噴出であり、これらは地溝帯縁辺部およびアビシニア高地周辺部に露出している（例：青ナイル峡谷）。前期中新世には、いくつかの地域で地溝が形成され、玄武岩の火山活動があった。鮮新世には大規模な噴火による火山灰がリフト中央部に広く堆積した。この特徴的な火山灰は、現在地熱調査によりリフト底の地下 2100m 付近で確認されており、噴出から現在までに約 2km の沈降があったと想定される（WoldeGabriel et al. 1990）。

更新世には、エチオピアリフトの主拡大軸として Wonji 断層群(Mohr, 1967)がリフト内に形成され、これに伴う玄武岩および流紋岩が噴出した。これらの火山活動はアルカリ岩系の玄武岩による割れ目噴火、および流紋岩の噴火による火山体とカルデラの形成により特徴づけられる（表 2.5参照）。

表 2.5: 調査地域の第三紀以降の層序対比表

年代区分	絶対年代 (Ma)	WoldeGabriel et al. (1990)	EWTEC (2008)	Halcrow (2008)
第四紀	完新世	Wonji Group	Wonji Group	Wonji Group
	更新世			
第三紀	鮮新世	Chilalo Trachytes	Nazareth Group	Chilalo Trachytes
		Butajira Ignimbrites		Nazret Group/Afar Group
	中新世	Guraghe Basalts	"Ancher Basalts", "Arba Guracha Silicics"	"Ancher Basalts", "Arba Guracha Silicics"
		Shebele Trachytes		
	漸新世	Kella Basalts		A laji Formation

b. 地質概説

リフトバレー湖沼地域の地質概況を説明する。全域を7地域について記述する。また、今回の地質踏査と既存文献に基づき作成したリフトバレー湖沼地域の地質平面図を図 2.12に示す。なおRVLBの中で各地域の地質対比を行った層序対比表(HagareSalem-Yabero地域はGSEに準拠しここではのぞく)を表 2.6に示す。

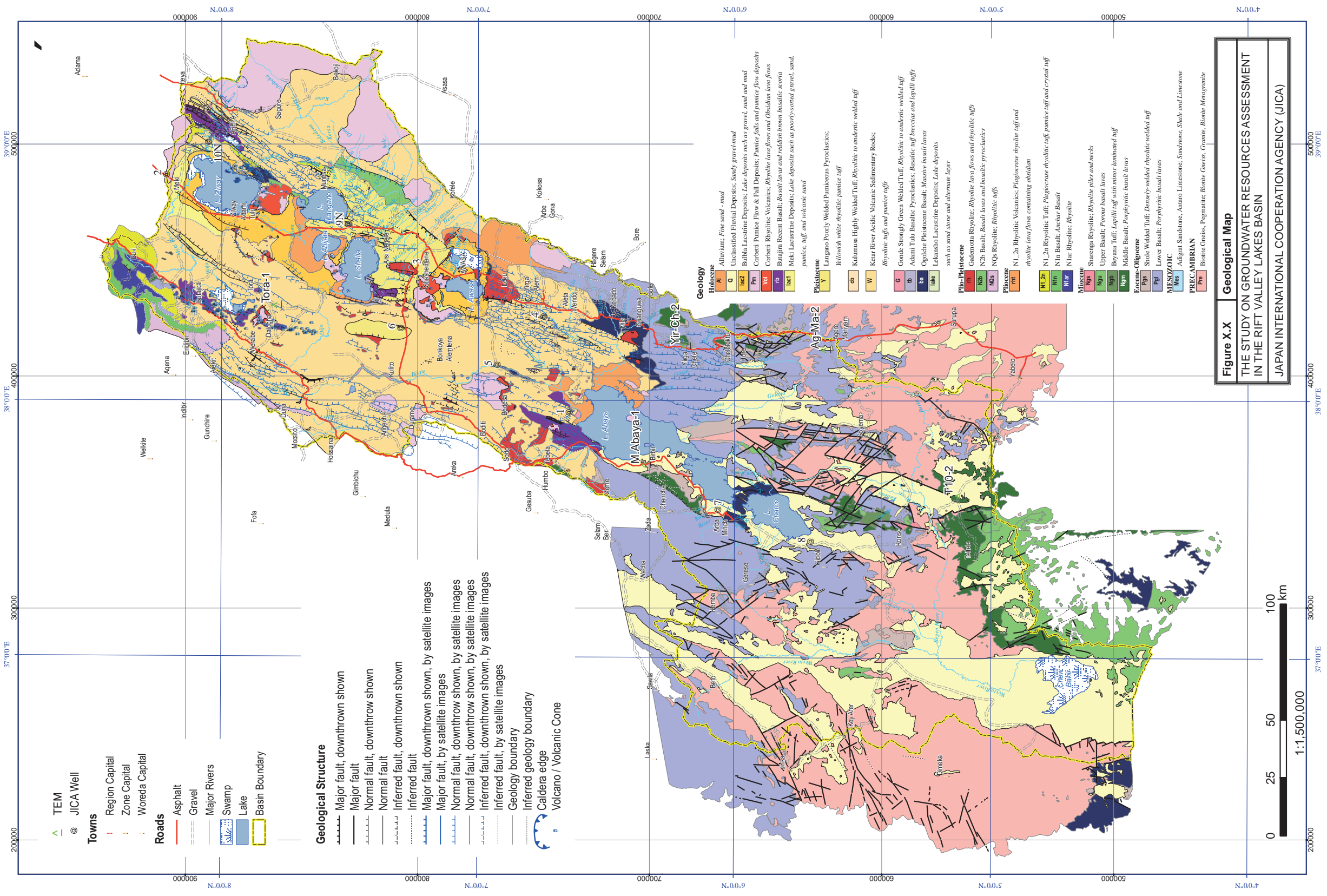


図 2.12: RVLB の地質平面図

表 2.6: 層序対比表

Period/ Epoch	Laka Ziway	Lake Abijata, Langanjo, Shala	Butajira, Hosaina	Lake Awasa	Sodo-Dila-YirgaChafe	Abaya-ArbalMinch	Major Lithology
	Holocene	Alluvium, Unclassified fluvial deposits Bubbia lacustrine deposits Mt. Aluto volcanics Deneba Recent Basalt Mekki lacustrine deposits	Alluvium, Unclassified fluvial deposits Bubbia lacustrine deposits Alge volcanics Awara Recent Basalt	Alluvium, Unclassified fluvial deposits Mt. Ambericho volcanics Butajira Recent Basalt Dugha poorly welded pumiceous pyroclastics Koshe highly Welded-Tuff	Alluvium, Unclassified fluvial deposits Shalo lacustrine deposits Conbetti volcanics Awasa Recent Basalt Wondolika lacustrine deposits	Alluvium, Unclassified fluvial deposits Dugna Fangpo volcanics Abaya Recent Basalts	Alluvium, Unclassified fluvial deposits
Quaternary	Asela poorly welded pumiceous pyroclastics Kulmusa highly Welded-Tuff Ketar river acidic volcanic sedimentary rocks Gonde Strongly Green Welded-Tuff Adami Tulu basaltic pyroclastics Ogiche Basalt Lekansho lacustrine deposits	Langanjo poorly welded pumiceous pyroclastics Kuyera highly Welded-Tuff Lake Shala acidic volcanic sedimentary rocks Bilate river Strongly Green Welded-Tuff Shala Senbete basaltic pyroclastics Lake Chitu Basalt	Amecho acidic volcanic sedimentary rocks Bilate river Strongly Green Welded-Tuff Deneba Basalt Gademotta rhyolite N2b N0s N1_2n N1n N1ar Adigrat Sandstone Antaro Limestone Biotite Gneiss, Pegmatite	Steshemene poorly welded pumiceous pyroclastics Mt. Kuwe highly Welded-Tuff Yirga Alem acidic volcanic sedimentary rocks Hamata Strongly Green Welded-Tuff Abaya ridge basaltic pyroclastics Yubo Basalt	Samerro highly Welded-Tuff Yirga Alem acidic volcanic sedimentary rocks Hamata Strongly Green Welded-Tuff Donga basaltic pyroclastics Kerato Basalt	Post-lift Volcanics	玄武岩質凝灰岩角礫岩〜火山凝灰岩 塊状玄武岩溶岩 砂岩層などの湖成堆積物
Pleistocene	Gademotta rhyolite Bofe Basalt	Ale rhyolite Lepis Basalt Munesa rhyolite	Wendo Genet Rhyolite N2b N0s N1_2n N1n N1ar		Hobocha rhyolite	Gocha Rhyolite	玄武岩質溶岩および凝灰岩 玄武岩溶岩および火砕岩類 流紋岩溶岩および凝灰岩
Pliocene	Hangasau Rhyolite	Munesa rhyolite					流紋岩溶岩および凝灰岩 玄武岩溶岩および火砕岩類 流紋岩溶岩および凝灰岩
Neogene							
Miocene							
Oligocene							
Mesozoic							
Precambrian							黒雲母片麻岩・花崗岩・ペグマタイト

Ziway 湖周辺はエチオピアリフトの中央部であり、表層は湖成堆積物等により広く覆われており、表層部には完新世以降の湖沼堆積物が広く分布している。リフト縁辺部やリフト底には NNE-SSW の 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。Gademotta、Mt. Aluto では、それらの火山体を構成した火山岩類 (Gademotta rhyolite, Mt. Aluto Volcanics) が厚く堆積しているのが確認されたが、それらの周囲への分布は堆積層に覆われて不明である。

Mt. Aluto で行われた地熱調査では、約 2100m 以深に後期中新世 (3.6Ma) の凝灰岩が発見されていることから、鮮新世以降約 2000m 近い堆積盆の沈降と、それに伴う地層の堆積があったと考えられる。

本地域で最も最下位の地層は Bofa Basalt であり、Mt. Aluto の東側のリフト東壁のみに露出している。その上位には Gademotta rhyolite が重なることが、坑井資料で確認されている。Gademotta rhyolite と類似した流紋岩類は Ziway 湖東方にも局所的に火山体として見いだされており、当時いくつかの火山体が存在した。その上位には一部湖成堆積物を挟み Ogolche Basalt, Adami Tulu Basaltic Pyroclastics などの玄武岩溶岩および火砕岩、Kulumusa highly Welded-Tuff などの流紋岩～安山岩の溶結凝灰岩、軽石質凝灰岩が重なっていると考えられる。

完新世では Wonji 断層群に沿ったリフト底玄武岩の活動と、Mt. Aluto で代表される流紋岩の大規模な火山活動、そしてそれらの火山活動と平行して湖沼が発達していたと考えられる。

Abijata-Langano-Shala 湖周辺は Ziway 湖とその周辺から連続するエチオピアリフトの中央部であり、表層部は完新世以降の湖沼堆積物に広く覆われているが、NNE-SSW の Wonji 断層群はこれらを変形させ、段差状の地形が形成されている。Abijata 湖、Langano 湖はこれらの断層に規制された断層湖である。一方で Shalla 湖はカルデラ湖である。

本地域では最下層の地層は Langano 湖東方の Munesa 地域に分布する流紋岩質凝灰岩であり、WoldeGabriel et al(1990)では 3.17-3.48Ma の年代が出されている。この流紋岩質凝灰岩は広域に分布することが知られており、当時この地域に膨大な火山活動があったことが想定されている(WoldeGabriel et al 1990, Le Turdu et. al, 1999)。

Bilate River Strongly Green Welded Tuff より上位の地層は、Shala 湖のカルデラ内壁部に連続して確認される。このうち、Kuyera Highly Welded Medium Tuff および Langano Poorly Welded Pumiceous Pyroclastics は Langano 湖、Abijata 湖の間の地塁帯から、Shashamene 付近までの緩傾斜の地表面を広く覆って分布している。

完新世では Wonji 断層群に沿ったリフト底玄武岩の活動が Shalla 湖南西部より南に連続している。また、Shalla 湖北方では流紋岩の火山活動が発生している。

Awassa 湖周辺は周囲を急崖で囲まれた盆地状のカルデラ構造をなしており、この崖部には後期中新世～更新世の火山岩を主とする岩石が露出している。また、完新世以降の堆積物は主にカルデラの内部に分布している。Awassa カルデラ内壁部には Wendo Genet Rhyolite が下部に厚く露出していることから、この流紋岩は Awassa カルデラの噴出物であろうと考えられる。カルデラ西方、南方ではその上位を Yubo Basalt および Abaye Ridge basaltic pyroclastics が覆っている。他の 2 つの地域で見られた溶結凝灰岩類はカルデラ壁ではわずかに確認される。

完新世以降の火山活動として Awassa 湖の北部の Corbetti 火山が特徴的である。この火山は約 2 万年前まで活動したと考えられており、現在も山頂部に噴煙が見られる。

Sodo-Dila-YirgaChafe 周辺地域ではリフトバレーの幅が北方より狭まってきており、地溝帯内部の堆積盆は比較的浅く小規模である。火山岩類は、リフトバレー発生初期に噴出した新第三紀の玄武岩、およびこれより古い地層が広く分布している。先カンブリア紀の基盤岩類や第三紀の火山岩類が地溝帯内部でも確認される。

Butajira-Hosaina 周辺はリフトバレーの西縁部に位置し、リフトバレー底部から縁辺崖部まで、連続した NE-SW 系の断層によって段状に境された地形をなす。縁辺部には主に第三紀の地層が露出し、これらと断層で接し、リフトバレー底部に連続する地層群が断層で区切られて階段状に分布する。

Abaya-ArbaMinch 周辺地域では、先カンブリア紀および第三紀の地層が南北性の断層より沈降し、その沈降部に鮮新～更新世以降の地層がわずかに分布している。鮮新～更新世以降の地層は不連続に発達する火山岩類であり、北部と異なり、堆積盆構造は未発達である。

Hagare Selam – Yabero 周辺地域は先カンブリア紀の基盤岩が緩い丘状をなして分布している。西部にかけては、N-S および NW-SE 系の断層が発達し山稜を形成する。堆積盆は未発達であり、第三紀および第四紀の地層は盆地などに堆積した未固結の砂、泥などである。

c. 地質層序表

各地域の地層を対比し、リフトバレー湖沼地域の総合層序表を表 2.7 のように作成した。これらの地質各説の詳細はサポーティングレポートに記述する。

d. 地質構造概説

リフトバレー地域には縁辺部から堆積盆底部にかけて NNE-SSW の断層群が発達している。断層の発達の度合いはリフトバレー北部と南部では若干異なっている。

北部の断層群は両縁辺部に存在する変位の大きい連続した断層と、それに伴う同方向の小断層群が発達するとともに、堆積盆の底部火山活動に伴う断層群で特徴づけられる。一方、南部の先カンブリア系および第三系の分布域では、断層は連続性および規則性に乏しい。これら断層の発達の違いは、リフトバレーの堆積盆の発達の程度と深く関連していると考えられ、北部で発達する堆積盆が、南部では未形成もしくは形成段階であることがうかがえる。

WoldeGabriel et al., (1990) は、これらの断層群を活動性や変位を与えている地層群により区分し、リフトバレー縁辺断層(Rift Valley Marginal Faults)が初期のリフトバレー形成に関与し、現在も発達しながら活動を続けていると述べ、また更新世以降、リフトの発達と共にリフト底部にウォンジ断層群(Wonji Fault Belts)が発達し、リフト底部での拡大活動が開始されたと述べている。

表 2.7: 総合層序表

年代区分	層序	地層名	各地域における層序名	代表的な層相	分布	
第四紀	Al	Alluvium	Alluvium	細粒砂および泥	調査地全域に分布する。	
		Unclassified Fluvial Deposits	Quaternary sediments	砂質礫および泥	調査地全域に分布する。	
	完新世	lac 2	Bubbula Lacustrine Deposits	Bubbula lacustrine deposits, Shale lacustrine deposits	砂礫層、泥層などの湖成堆積物	調査地域北部およびAwassa周辺に局所的に分布する。
			Conbeiti Pumice Flow & Fall Deposits/ Conbeiti Rhyolitic Volcanics	Mt. Adu volcanics, Adu volcanics, Mt. Ambericho volcanics, Conbeiti volcanics, Dugna Frango volcanics	流紋岩質溶岩、降下軽石、軽石流堆積物および黒曜岩	Ziway周辺地域からAbaya-ArbaMich周辺地域まで、火山体やカルデラ地形をなし、局所的に分布する。
		lac 1	Butajira Recent Basalt	Deneba Recent Basalt, Awaraa Recent Basalt, Butajira Recent Basalt, Awasa Recent Basalt, Abaya Recent Basalts	玄武岩溶岩、赤褐色玄武岩質スコリア	調査地域南部を除き、大地溝帯底部に帯状に分布する。
			Meki Lacustrine Deposits	Meki lacustrine deposits, Wondolika lacustrine deposits	不連続砂礫層および凝灰岩、軽石、火山砂層などの湖成堆積物	Ziway湖周辺およびAwassa湖周辺にのみ局所的に分布する。
	更新世	Y	Langano Poorly Welded Pumiceous Pyroclastics	Asela poorly welded pumiceous pyroclastics, Langano poorly welded pumiceous pyroclastics, Dugba poorly welded pumiceous pyroclastics, Shastemene poorly welded pumiceous pyroclastics	黄～白色流紋岩質軽石質凝灰岩	ZiwayからAwassa周辺地域にかけて連続的に分布する。
		ob	Kulmusa Highly Welded Tuff	Kulmusa highly welded Tuff, Kuyera highly welded Tuff, Koshe highly welded Tuff, Mt. Kuwe highly welded Tuff, Samero highly welded Tuff	流紋岩～安山岩質溶結凝灰岩	ZiwayからDilla周辺にかけて連続的に分布する。
		W	Kejar River Acidic Volcanic Sedimentary Rocks	Kejar river acidic volcanic sedimentary rocks, Lake Shala acidic volcanic sedimentary rocks, Arnecho acidic volcanic sedimentary rocks, Yrega Alem acidic volcanic sedimentary rocks	流紋岩質軽石質凝灰岩および凝灰岩	ZiwayからDilla周辺にかけて連続的に分布する。
		G	Gonde Strongly Green Welded Tuff	Gonde Strongly Green Welded-Tuff, Bilate river Strongly Green Welded-Tuff, Hamate Strongly Green Welded-Tuff	流紋岩～安山岩質溶結凝灰岩	ZiwayからDilla周辺にかけて連続的に分布する。
tb		Adami Tulu Basaltic Pyroclastics	Adami Tulu basaltic pyroclastics, Shala Sembebe basaltic pyroclastics, Abaya ridge basaltic pyroclastics, Donga basaltic pyroclastics	玄武岩質凝灰岩有礫岩～火山礫凝灰岩	調査地域全域にかけて局所的に分布する。	
ba		Ogolche Pleistocene Basalt	Ogolche Basalt, Lake Chilu Basalt, Deneba Basalt, Yubo Basalt, Kebeato Basalt, (Post-Tuff Volcanics)	塊状玄武岩溶岩	調査地域全域にかけて局所的に分布する。	
鮮新世-更新世	lak	Lekansho Lacustrine Deposits	Lekansho Lacustrine Deposits	細粒砂岩の細い層の湖成堆積物	Ziway周辺のみ局所的に分布する。	
		Gademotta Rhyolite	Gademotta rhyolite, Aje rhyolite, Wendo Genet Rhyolite, Hobicha rhyolite, Gochu Rhyolite	流紋岩溶岩および凝灰岩	調査地域全域にかけて連続的に分布する。	
	N2b	N2b Basal	Bofa Basalt, Lepa Basalt	玄武岩溶岩および火砕岩類	Ziway南部～Langano湖東方に分布する。	
	NQs	NQs Rhyolite	NQs	流紋岩質凝灰岩	Butajira周辺に分布する。	
	rh/N1_2n	N1_2n Rhyolitic Volcanics/Rhyolitic Tuff	Munesa rhyolite, Hangasu Rhyolite, Wajjira Rhyolite, N1_2n	斜長石流紋岩質凝灰岩	調査地域全域にかけて局所的に分布する。	
	N1n	N1n Basalt	N1n	アンカー玄武岩、アルカリ玄武岩	Butajira周辺に分布する。	
	N1ar	N1ar Rhyolite	N1ar	流紋岩質凝灰岩	Butajira周辺に分布する。	
	Ngs	Sharenga Rhyolite	Sharenga Rhyolite	流紋岩岩頭	Abaya-ArbaMich周辺地域にのみ分布する。	
	Ngu	Upper Basalt	Upper Basalt	多孔質玄武岩溶岩	Dila以南の調査地域全域に連続的に分布する。	
	Ngb	Beyana Tuff	Beyana Tuff	火山礫凝灰岩および凝灰岩	Dila以南の調査地域全域に連続的に分布する。	
中新世	Ngm	Middle Basalt	Middle Basalt	斑状玄武岩溶岩	Dila以南の調査地域全域に連続的に分布する。	
	Pgs	Shole Welded Tuff	Shole Igimbrite	流紋岩質強溶結凝灰岩	Dila以南の調査地域全域に連続的に分布する。	
	Pgl	Lower Basalt	Lower Basalt	斑状玄武岩溶岩	Dila以南の調査地域全域に連続的に分布する。	
	Mes	Adigrat Sandstone, Antaro Limestone	Adigrat Sandstone, Antaro Limestone	砂岩・石灰岩	Butajira北方のKellaに局所的に分布する。	
中生代	Pre	Botile Gneiss, Pegmatite	Botile Gneiss, Pegmatite	黒雲母片麻岩・花崗岩	Butajira北方のKella, および調査地域南方のHagerselam-Yabeo地域に分布する。	

References: (1) Laury and Albritton 1975, (2) Mohr et al. 1980, (3) EIGS-GLE 1985, (4) Woldegabriel et al. 1990, (5) GSE 1994, (6) GSE 2002, (7) EWTEC 2008

e. 火山活動

リフトバレー地域における火山の分布については、WoldeGabriel et al (1990)が総括している。それによれば、リフトバレー地域には、大規模なカルデラを伴う流紋岩質火山岩と、単性の火山円頂丘からなる玄武岩の火山列が存在する。

現在リフトバレーに分布する火山岩類は後期鮮新世以降にリフト底部に発達した、NNE-SSW の構造を持つ Wonji 断層群の形成に伴い形成されたものと考えられる。これらの断層群は玄武岩および流紋岩のバイモーダルな活動を伴い、Na₂O および K₂O に富むアルカリ岩に分類される。

火山活動は大きく後期鮮新世~前期更新世と中期更新世以降の活動が認められる。両時期とも玄武岩の火山活動を伴う。前者の時期における流紋岩類の活動は現在の地形から大規模な山体とカルデラを形成したことが推察される。この時期に形成されたカルデラは以下の通りである。

表 2.8: 後期鮮新世~前期更新世の流紋岩質の火山活動

カルデラ名	規模	深さ	容積	火山活動の時期	カルデラ形成の時期
Gademotta	14 x 28km	300m	94km ³	1.3Ma(1)	1.1Ma(1)
Awassa	22 x 38km	300m	200km ³	2.5-1.1Ma(1)	0.2Ma(1)

WoldeGabriel et al. (1990)

また後者の時期における流紋岩の活動は流紋岩類が玄武岩の火山列上に位置するが、それらは大規模な火山体を形成し、部分的にカルデラを伴う。これらは北より、Aluto、Shalla、Corbetti、Dugna と呼ばれている。ブタジラ地域では火山列に沿った流紋岩類の噴出は確認されていない。これらの活動の諸元は以下の通りである。

表 2.9: 中期更新世以降の流紋岩質の火山活動

火山名	規模	高さ (深さ)	体積 (容積)	火山活動の時期	現在の活動
Aluto	10x 12km	250m	8km ³	0.27-0.021Ma(4)	噴煙
Shalla	15 x 16km	500m(2)	96km ³	0.28-0.18Ma(3)	なし
Corbetti	7 x 8km x 2	600m	18km ³	0.02Ma(1)	噴煙
Dugna	13 x 14km	600m	29km ³	---	なし

References : (1) WoldeGabriel et al. 1990, (2) Le Turdu et al. 1999, (3) :Mohr 1980, (4) Laury and Albritton, 1975

2.3.3 水理地質

a. 水理地質データの収集

RVLB 内での既存井戸データは少なく見積もっても 1 万箇所以上の井戸、湧泉が水源として存在している。しかしながら解析上は次のようなデータを重視して整理した。1) ボーリング位置の座標があるもの（一部は現地にて測定）、2) 帯水層の特性がわかるもの、3) 帯水層の層厚またはスクリーンの位置がわかるもの、4) 揚水量（湧水量）他帯水層常数の記載があるもの（最低限揚水量（湧出量）Q の記載）。以上よりインテリムレポートの段階で、ボアホールで 324 本、湧泉で 445 箇所のデータを利用した。

b. 既存井戸の帯水層

既存井戸データ・JICA 試掘井戸の帯水層について検討した。既存井戸データは前述したとおり、基本的には帯水層の記述並びにその分布深度（一部はスクリーンポジションを帯水層の分布深度と仮定している）のデータがあるものを用いており、帯水層の地質区分は概ね次の表 2.10の通りとなっている。

表 2.10: 既存井戸帯水層の地質構成

No	井戸帯水層表記	その他の記載	データ数	構成比%
1	沖積層	-	10	3.2
2	泥	Sandy clay	4	1.3
3	砂	Coarse sand, lacustrine	57	18.1
4	礫	Sandy gravel	38	12.1
5	砂及び礫	Sand gravel clayの記載の場合3に含めた	-	-
6	玄武岩	Fractured basalt, weathered basalt, scoriacious basalt	86	27.3
7	イグニブライト	Fractured ignimbrite, coria/ignimbrite, weathered ignimbrite	38	12.1
8	軽石	Pumice sand, sand/pumice	23	7.3
9	火山砕屑物	-	4	1.3
10	スコリア	Scoria & sandy gravel	13	4.1
11	凝灰岩	Pumicious tuff, sandy tuff weathered tuff,	33	10.5
12	溶結凝灰岩	-	2	0.6
13	その他の火山岩	Trachyte, Rhyolite, volcanic sediments	7	2.2

この表が示す通り、本地域の帯水層は約 70%が火山岩とそのメンバーから構成されていることがわかる。既存井戸データから良好な帯水層としては礫層（Gravel）、軽石層（Pumice）、スコリア層などがあげられる。なお、本解析に用いたすべてのデータの結果から井戸深度は平均で 50m 以上であり、大部分の火山岩の帯水層は 80m 以上の深度に分布している。「エ」国においては帯水層の地質については、DTH 掘削による掘削屑の岩片から判別するしかない。従って、適切な地質技術者がいない場合は岩質を的確に判断出来ないことから、掘削屑の形状から、砂（Sand）、礫（Gravel）などの記載が多くなる。ここでの分類結果が砂や礫ということだけでは沖積層か、他の火山岩の砕屑片だったのかを判断するのは困難である。記載で砂や礫となっても、本来は火山砕屑物のものである可能性を否定出来ないことに留意する必要がある。

c. 既存井戸とJICA井戸、地質断面図との対比

JICA 井戸の位置図を図 2.13に示す。

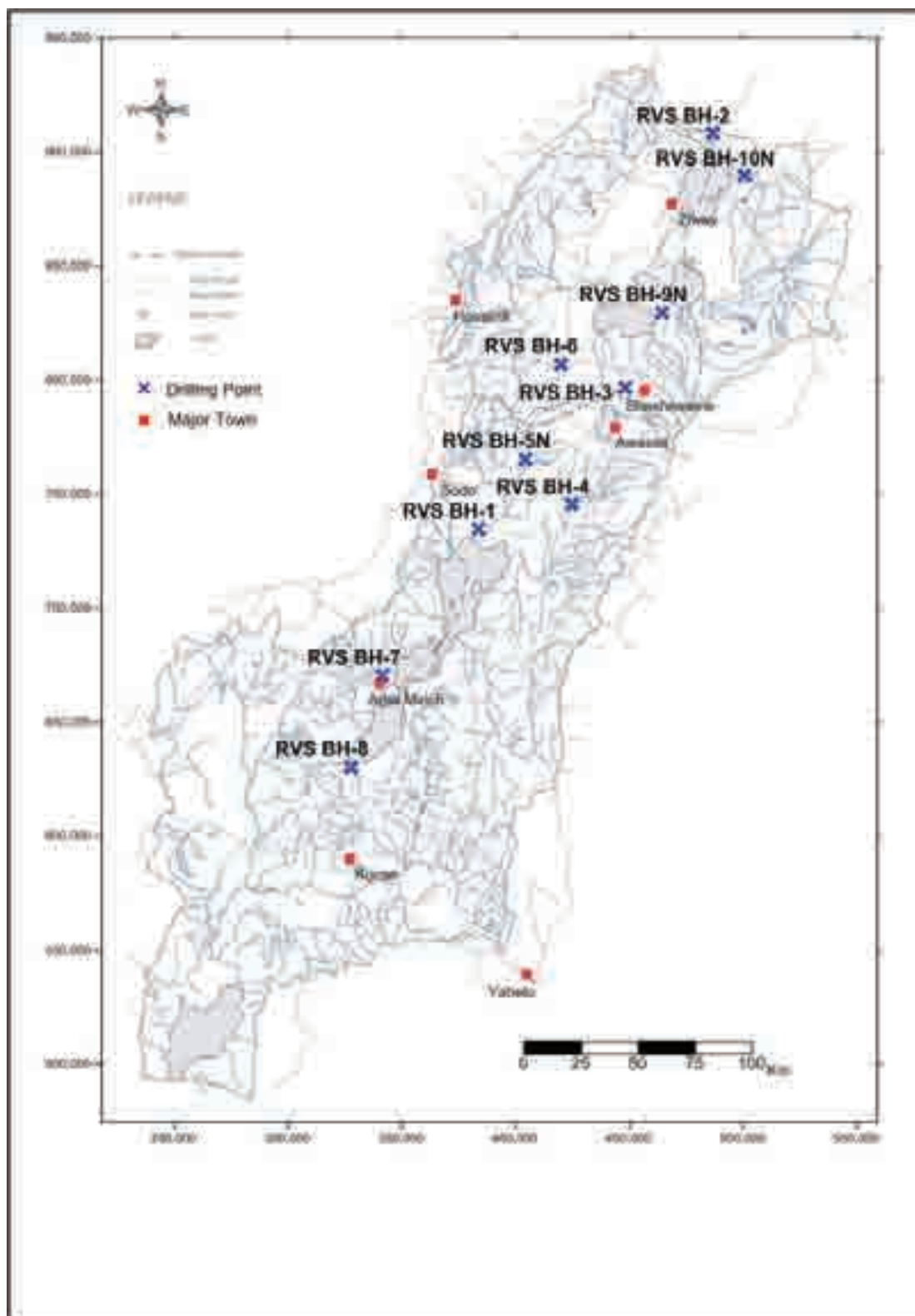


図 2.13: JICA 井戸位置図

掘削された 10 本の JICA 井戸のうち 8 本の井戸の帯水層は大きく 2 つに区分される。すなわち、第四紀更新世の流紋岩～安山岩質溶結凝灰岩（G）及びその下位層の玄武岩質凝灰角礫岩～火山礫凝灰岩（tb）である。各井戸の近傍に分布するボーリング孔の帯水層を比較すると、溶結凝灰岩は Sand, Gravel, Pumice, などと記載されており、凝灰角礫岩に対しては、Rhyolite, Ignimbrite, などと記載されており帯水層性状を示す岩相の記載は無い。基本的には Rhyolite, Ignimbrite の記載は(tb)と判定しこの地域の主要帯水層と判断できる。残りの 2 本は Arba Minch 周辺とその南側に位置しており、玄武岩が帯水層の可能性がある。

表 2.11: JICA 井戸と近隣井戸の記載比較(カラー: JICA 井戸)

No	BasinName	Code	Locality	Eastings	Northings	Level	Type	Depth (m)	Upper Screen Depth (GL-m)	m	Aquifer	Q	SWL	DWL	TDD	Sc	T	S	
												l/s	GL-m	GL0m	(L/min/m)	(m2/day)			
JICA BH4	Gidabo	RVS BH4	Yirga Alem	424916	745491	1632	BH	244	82.00	1550	Tuff Breccia (tb)	6	7.7	44.9	37.2	9.60	27	2.90E-07	
	Gidabo	SW102		424178	742349	1621	BH	141	72.00	1549	Gravel, w/fr/Rhyolite	6.5	0.5	9.12	8.62				
	Gidabo	SW101		422684	736474	1689	BH	134	95.00	1594	Ignimbrite & Sand	5	62		28.55	10.5	13.17	5.6	
	Gidabo	SW112		431035	752301	1742	BH	120	72.00	1670	Volcanic Sand	6.6	9.75		69.85	5.66	2.71	4.29	
BH5	Bilate	RVS BH5	Dimutu	404261	765667	1485	BH	250	28.00	1457	Basalt (Pleistocene)	100	Artesian	-	-	-	-	-	-
	Bilate	RVS BH1	Walayta	383591	734651	1237	BH	150	96.00	1141.00	Welded tuff (rh)	12	47.35	53.20	5.85	139.2	377	4.80E-08	
	Bilate		Siaro1	410305	767729	1663	BH	221.7	130.00	1533	Gravel, sand	5	146.1				24.1	2.70E-05	
	Bilate		Siaro2	411579	765908	1708	BH	300	162.00	1546		14	146.6						
	Bilate		Chericho	397591	750809	1330		111	15.40	1315	Basalt gravel, sand	5.6	5.65		1.93	12.90	211.7		
BH2	EasternZiway	RVS BH2	Meki	486788	907743	1688	BH	147	105.00	1583	Tuff Breccia (tb)	8.5	90.6	93.43	2.83	1731.00	914.4	2.03E-03	
	EasternZiway		Alem Tena	493472	917127	1660	BH	102	58.90	1601	Highly weathered Ignimbrite	7.2	57.4	57.52	0.12		60.4	0.987	
BH10	EasternZiway	RVS BH10	Yabelo BW	500339	889953	1674	BH	200	94.00	1580	Welded tuff (G)	19	25.32	34.05	8.73	148.80	521	5.80E-11	
BH10	WesternZiwayAbijata	SW176		437406	858687	1822	BH	243	204.50	1618	sand + gravel	4.7	152.8	190	37.2			207	
BH9	LakeLanganano	RVS BH9	Konso	464826	829769	1635	BH	200	86.00	1549	Welded tuff (G)	16	43.41	52.37	8.96	114.00	261	3.00E-05	
	WesternZiwayAbijata	SW189		439050	889444	1835	SW	31	21.45	1814	Pumice	2	10					20	
BH3	LakeShalla	RVS BH3	Sheshemene	447623	795610	1801	BH	247	190.00	1611	Tuff Breccia (tb)	1	171	179.7	8.7	43.80	12.5	1.10E-02	
	Lake Shalla	RVS BH6	Kenche	420114	807271	1869	BH	356	266.00	1603	Welded tuff (G)	4.6	247.6	253.2	5.6	51.60	88	2.00E-03	
	LakeAwassa	SW162		436398	790447	1714	BH	66	45.00	1669	Sand	5.9	40.6						
	LakeAwassa	SW160		437444	789560	1720	BH	45.4	31.22	1689	Tuff	5.5	34						
BH7	Kulfo Gina	RVS BH7	Arba Minchi	341700	670517	1198	BH	200	86.00	1112	Basalt (Pgl)	16	4.89	53.8	48.91	20.4	41	1.70E-04	
BH8	Sife Chamo	RVS BH8	Chamo South	327946	630717	1157	BH	152	50.00	1107	Basalt (Pgl)	26	15.3	17.89	2.59	-	1015	4.80E-02	

試験井戸がすべて終了したため、地表地質踏査から想定される地質断面図に試験井戸データをインプットして完成させた。それらの断面図に既存井戸の帯水層を記載すると、既存井戸で玄武岩（Basalt）と記載されている帯水層は、鮮新世-更新世の流紋岩溶岩及び凝灰岩（rh）、玄武岩溶岩及び火砕岩類（N2b）に相当すると考えられる。また、既存井戸の主要帯水層は更新世の溶結凝灰、凝灰角礫岩であるが、その上部に分布する軽石凝灰岩層なども条件によって良好な帯水層となることがある。

表 2.12: 地質層序と帯水層比較

年代区分	層序	代表的な層相	既存井戸帯水層との対比	分布		
新生代	完新世	Al / Q	細粒砂および泥	Alluvium	調査地域全域に分布する。	
		lac 2	砂礫層、泥層などの湖成堆積物	Clay Sand Grave	調査地域北部およびAwassa周辺に局所的に分布する。	
		Pm volcan	流紋岩質溶岩、降下軽石、軽石流堆積物および黒曜岩		Ziway周辺地域からAbaya-ArbaMich周辺地域まで、火山体やカルデラ地形をなし、局所的に分布する。	
		tb	玄武岩溶岩、赤褐色玄武岩質スコリア		調査地域南部を除き、大地溝帯底部に帯状に分布する。	
	lac 1	不淘汰砂礫層および凝灰岩、軽石、火山砂層などの湖成堆積物		Ziway湖周辺およびAwassa湖周辺にのみ局所的に分布する。		
	第四紀	更新世	Y	黄～黄白色流紋岩質軽石質凝灰岩	Tuff	ZiwayからAwassa周辺地域にかけて連続的に分布する。
			ob	流紋岩～安山岩質溶結凝灰岩	Ignimbrite Welded Tuff	ZiwayからDila周辺にかけて連続的に分布する。
			W	流紋岩質軽石質凝灰岩および凝灰岩	Tuff	ZiwayからDila周辺にかけて連続的に分布する。
		鮮新世-更新世	G	流紋岩～安山岩質溶結凝灰岩	Pyroclastics Welded Tuff	ZiwayからDila周辺にかけて連続的に分布する。
			tb	玄武岩質凝灰角礫岩～火山凝灰岩	Scoria	調査地域全域にかけて局所的に分布する。
			ba	塊状玄武岩溶岩	Basalt	調査地域全域にかけて局所的に分布する。
	lac	砂礫層、泥層などの湖成堆積物		Ziway周辺のみ局所的に分布する。		
	第三紀	鮮新世-更新世	rh	流紋岩溶岩および凝灰岩	Pumice Basalt	調査地域全域にかけて連続的に分布する。
			N2b	玄武岩溶岩および火砕岩類	Basalt	Ziway南部～Langano湖東方に局所的に分布する。
NQs			流紋岩質凝灰岩		Butajira周辺に分布する。	
鮮新世		rh/N1_	斜長石流紋岩質凝灰岩		調査地全域にかけて局所的に分布する。	
		N1n	アンカー玄武岩、アルカリ玄武岩		Butajira周辺に分布する。	
		N1ar	斜長石流紋岩質凝灰岩		Butajira周辺に分布する。	
		Nqs	流紋岩岩頭		Abaya-ArbaMich周辺地域にのみ分布する。	
中新世		Nqu	多孔質玄武岩溶岩	Basalt?	Dila以南の調査地域全域に連続的に分布する。	
		Nqb	火山凝灰岩および凝灰岩		Dila以南の調査地域全域に連続的に分布する。	
		Ngm	多孔質玄武岩溶岩	Basalt?	Dila以南の調査地域全域に連続的に分布する。	
始新世-暁新世	Pgs	流紋岩質強溶結凝灰岩		Dila以南の調査地域全域に連続的に分布する。		
	Pgl	多孔質玄武岩溶岩	Basalt?	Dila以南の調査地域全域に連続的に分布する。		
中生代	Mes	砂岩・石灰岩		Butajira北方のKellaに局所的に分布する。		
先カンブリア紀	Pre	黒雲母片麻岩・花崗岩		Butajira北方のKella、および調査地域南方のHagereSelam-Yabero地域に分布する。		

References: (1) Laury and Albritton 1975, (2) Mohr et al. 1980, (3) EIGS-GLE 1985, (4) Woldegabriel et al. 1990, (5) GSE 1994, (6) GSE 2002, (7) EWTEC 2008

2.4 社会経済状況

エチオピアは地方分散の構造を呈しており、連邦レベルの省、9つの州政府組織、2つの統治地区（Addis Ababa と Dire Dawa）、および 550 の Woreda（郡）レベルの統治組織からなる。それぞれの Woreda はコミュニティレベルで政府のもっとも下位組織の Kebele（村落）からなる。

2.4.1 地方の社会経済

a. 土地面積と人口

SNNPRS は、エチオピアの9つの連邦州政府の一つである。州は、約 110,000km² の面積をもち、エチオピアの全土のほぼ 10% を占める。リフトバレー地域だけでは約 32,000km² の面積を示す。人口は SNNPRS 全域で 1,500 万人以上、リフトバレー地域では約 659 万人以上である。州都は Awassa であり、民族性と言語の同一性から、州は 13 の Zone（県） その下に 125 の Woreda（郡）と 8 つの特別 Woreda（Alaba, Konso, Burji, Amaro, Derashe, Konta, Basketo, and Yem）と 19 の自主独立タウン自治組織がある。3,561 の Kebele（村落）と自治体をもつ 90 のタウンがある。RVLB では 10 の Zone からなる。

一方オロミア州は、同じく連邦州政府の一つであり 9 つの国内州のうちで最も多くの人口と最も広い面積からなる。全域では約 353,000km² 以上の面積を示すがリフトバレー地域では約 20,000km² 程度で RVLB の中で面積の占める割合は SNNPRS よりも小さい。また人口は 2,650 万人以上の全体人口に対して、RVLB の中では約 230 万人程度である。州都は Adama であり 17 の Zone（県）、301 の Woreda（改革によって 262 の村落区域、39 の都市センター） および 6,630 以上の小規模村落と都市居住連合/Gandas に行政上区分される。RVLB では 5 つの Zone からなる。

b. 地方経済

b.1 SNNPRS

SNNPRS においては 2004-2005 年の現在要素費用での一人当たりの域内総生産（GRP）は、約 1,059Birr である。SNNPRS の一般物価傾向は、1994-1999 年では 6% を下回っていたが、2002 年以来 7% 以上に増加している。GRP のうち定常的な要素費用からみて、地方経済の農業の平均的な貢献度は、1992-1994 年の期間の 65% から 1995-1997 年の期間に 47% に減少している。一方、製造業の貢献度は同じ時期に 15% から 24% に、またサービス業は、22% から 29% にそれぞれ増加しており、経済の構造的な変換が農業から製造業、サービス業に行われている。

耕作に適した土地は、全体の半分に以下に思われる。4 分の 3 の農民は、耕作と家畜を同時に実施し、耕作地のうち 1ha 以下の土地は全体の 80% からなる。主な作物は、トウモロコシ、ジャガイモ、サツマイモ、主な家畜は、牛、家禽および羊である。SNNPRS での農業は、小規模で必要最低限の耕作を行い、主に家族の消費のために実施していると結論付けることができる。土地の耕作は、木の鋤を用いて手作業で行われるか、2 頭立ての牛を利用するが、2 頭あるいはそれ以上の牛を持っている農民は、全体の 20% 程度であ

る。

b.2 オロミア州

オロミア州の中で、農業は主な経済活動であり、人口の約 89%がそれにより生活する。州の全体の農業生産のうち、約 98%が小規模小作農業形態に数えられる。

農業は州の域内総生産（GRP）には以下の表 2.13のように全体の 66.7%貢献している。一方サービス業は 21.2%、製造業は 12.1%である。また 1999-2000 年から 2005-2006 年の間のそれぞれの年間成長率を以下に示す。なお、最新の連続した 3 年間（2003-2004 年から 2005-2006 年）の 3 分野（農業、製造業およびサービス業）の年間成長率は、それぞれ 18.4%、3.5%および 8.3%であった。

表 2.13: 分野別構図

Gross Regional Product (GRP)	Composition (%)	Growth Rate 1999-2005 (%)
Primary Sector (Agriculture)	66.7	7.7
Secondary Sector (Industry)	12.1	3.5
Tertiary Sector (Services)	21.2	5.6

2001-2002 年の穀類、豆類、油料種子、野菜および根菜類を生産した耕作地は、3,532,670 ha（国の耕作地の約 44.2%）、一方これらの耕作物の量は、全体で 54,338,050 キンタル（112 ポンド）（国の耕作物全体の 47.8%）であった。州の貢献度は、農業サンプル調査（ASS）による 2004-2005 年の結果では、耕作地面積と耕作物量でそれぞれ、46.6%と 52.3%と貢献度が 2001-2002 年に比べ増加している。

オロミア州は、エチオピア経済に対して最も大きな産業貢献をしており、外国為替収入の 60%を占めている。オロミア州で生産されたエチオピアからの輸出品が最も大きな割合を占める。主な生産物は、コーヒー、油料種子、革製品、果物と野菜、花、金、その他である。オロミア州は、全州 GDP の約 12.1%の貢献を産業部門が行っており、それは国の GDP の約 40%を占める。

2.4.2 社会経済フレームワーク

社会経済フレームワークの解析は、基本的にはプロジェクトの実施期間での経済成長率の予測を暗示しており、例えばプロジェクトに組み込まれてくる水需要増加に対して経済成長の効果を考慮する必要がある。

過去の傾向をみて将来予測を行う方法はデータソースによっては過去の傾向に等しくなり結果は予測されたデータの基礎年による場合が多い。エチオピアでは、中央統計局が統計データを公表する部局で、この出典は過去のデータの予測として使用された。統計データの二つの出典元がある。それは Statistical Abstract 2007 と Statistical Abstract 2011 である。その二つの結果も含めすべての組織の予測結果は表 2.14に示す。

表 2.14: GDP 経済成長率と今後のエチオピアにおける予測

GDP Growth Rate Sources & Estimated GDP Projection for Ethiopia (%)								
Data Source	Year	StatAbs2007	StatAbs2011	African	CIA	IMF/Afric	Halcrow	本調査
		GDP Growth	GDP Growth	Dev Bank	Factbook	Business M	Projection	Framework
		(%)	(%)	17-Sep-10	2011	18-Apr-11	(%)	(%)
Statistical data	2001		1.28					
Statistical data	2002		-2.00					
Statistical data	2003	11.78	11.78	11.7				
Statistical data	2004	12.67	12.67	12.6				
Statistical data	2005	11.78	9.39	11.5				
Statistical data	2006	11.28	13.90	11.8				
Projection/Stat data	2007	11.28	11.43	11.2				
Projection/Stat data	2008	11.04	10.32	9.9	11.6			
Projection/Stat data	2009	10.80	10.42	10.16	8.7			
Projection	2010	10.56	14.97	9.79	7.0			
Projection	2011	10.32	16.20	9.42	4.50	8.1	5% - 7%	7%
Projection	2012	10.09	17.44	9.05	2.20	8.1	5% - 7%	7%
Projection	2013	9.85	18.67	8.69	-0.10	8.1	5% - 7%	7%
Projection	2014	9.61	19.91	8.32	-2.40	8.1	5% - 7%	7%
Projection	2015	9.37	21.14	7.95	-4.70	8.1	5% - 7%	7%
Projection	2016	9.13		7.58			5% - 7%	6%
Projection	2017	8.89		7.21			5% - 7%	6%
Projection	2018	8.65		6.84			5% - 7%	6%
Projection	2019	8.41		6.47			5% - 7%	6%
Projection	2020	8.17		6.11			5% - 7%	6%
Projection	2021	7.93		5.74			5% - 7%	6%
Projection	2022	7.69		5.37			5% - 7%	6%
Projection	2023	7.46		5.00			5% - 7%	6%
Projection	2024	7.22		4.63			5% - 7%	6%
Projection	2025	6.98		4.26			5% - 7%	6%
Projection	2026	6.74		3.89			5% - 7%	5%
Projection	2027	6.50		3.53			5% - 7%	5%
Projection	2028	6.26		3.16			5% - 7%	5%
Projection	2029	6.02		2.79			5% - 7%	5%
Projection	2030	5.78		2.42			5% - 7%	5%
Projection	2031	5.54		2.05			5% - 7%	5%
Projection	2032	5.31		1.68			5% - 7%	5%
Projection	2033	5.07		1.31			5% - 7%	5%
Projection	2034	4.83		0.95			5% - 7%	5%
Projection	2035	4.59		0.58			5% - 7%	5%
Sources:								
		Statistical Abstract 2007, Statistical Abstract 2011, CSA						
		Own Projection based on statistical data						
		Ethiopia's Economic Growth, AfDB, 17 September 2010						
		Ethiopia, CIA Factbook 2011						
		African Business Magazine, 18 April 2011						
		RVLB Integrated Resources Development Master Plan, Halcrow						
		Statistical Data						
		Projection						
		Short term growth rate						
		Medium term growth rate						
		Long term growth rate						

本調査での GDP の予測は、上記に示すように 7%~5%への緩やかな減少である、これらの経済成長率を考慮しつつ本調査で利用する RVLB での人口増加率の推移は次の表のようである。

表 2.15: 本調査で使用する人口増加率

Year	Adopted Low Population Growth Rates		
	Total	Rural	Urban
2011-2015	3.30%	3.00%	5.20%
2016-2020	2.80%	2.50%	4.70%
2021-2025	2.50%	2.10%	4.40%
2026-2030	2.30%	1.80%	4.20%
2031-2035	2.10%	1.60%	4.00%

また今後予測される RVLB での経済成長率と経済構造は以下の表を利用する。

表 2.16: 本調査で利用する経済成長率と経済構造

Basin Economy & Development Sectors	Baseline (2008)	Short Term (2011-2015)	Med. Term (2016-2025)	Long Term (2026-2035)
Annual growth rate	7%	7%	6%	5%
Economic Structure				
Agriculture	69%	58%	47%	36%
Industry	8%	10%	12%	13%
Services	23%	32%	41%	51%
Employment				
Agriculture	74%	62%	50%	38%
Industry	7%	12%	17%	23%
Services	19%	26%	33%	39%

（表 2.15および表 2.16は、Halcrow ほか 2009、Rift Valley Integrated Resources Development Mater Plan Study Project から一部引用。）