

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  
要約

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

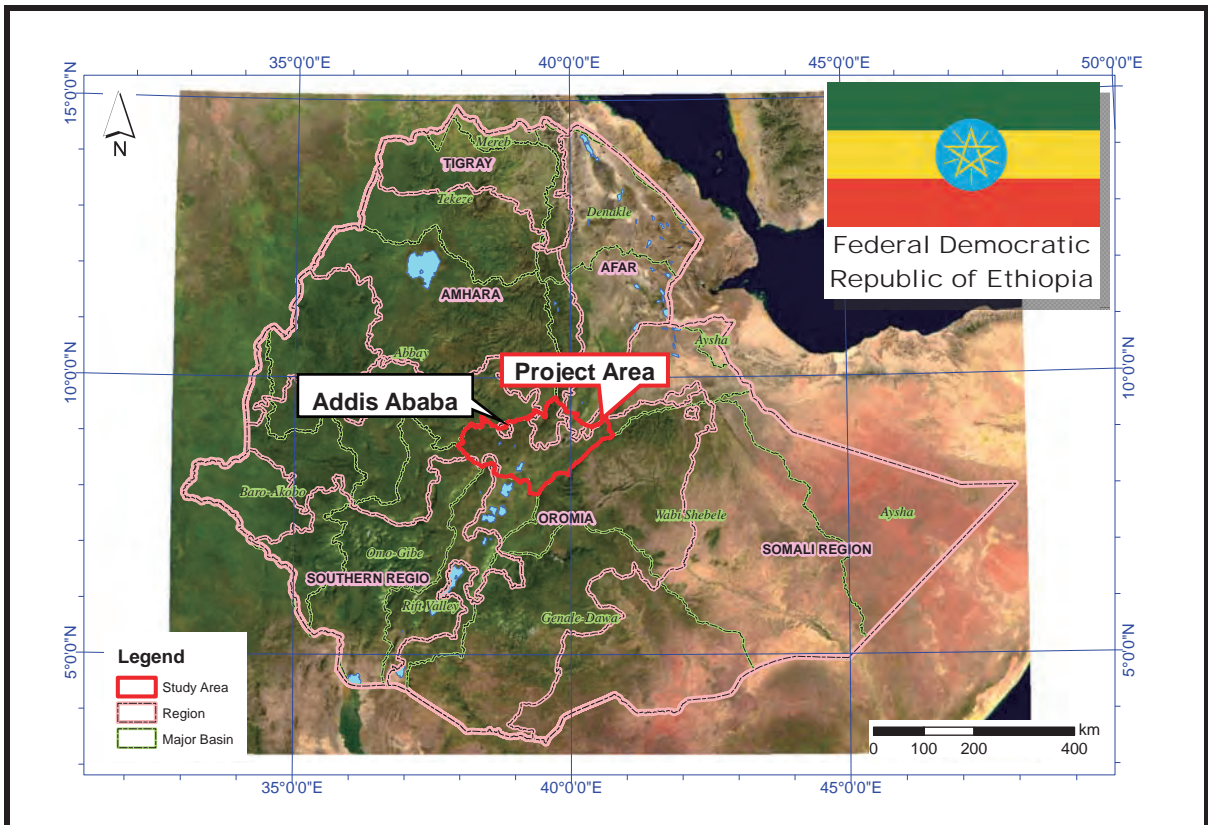
サポーティングレポート

データブック

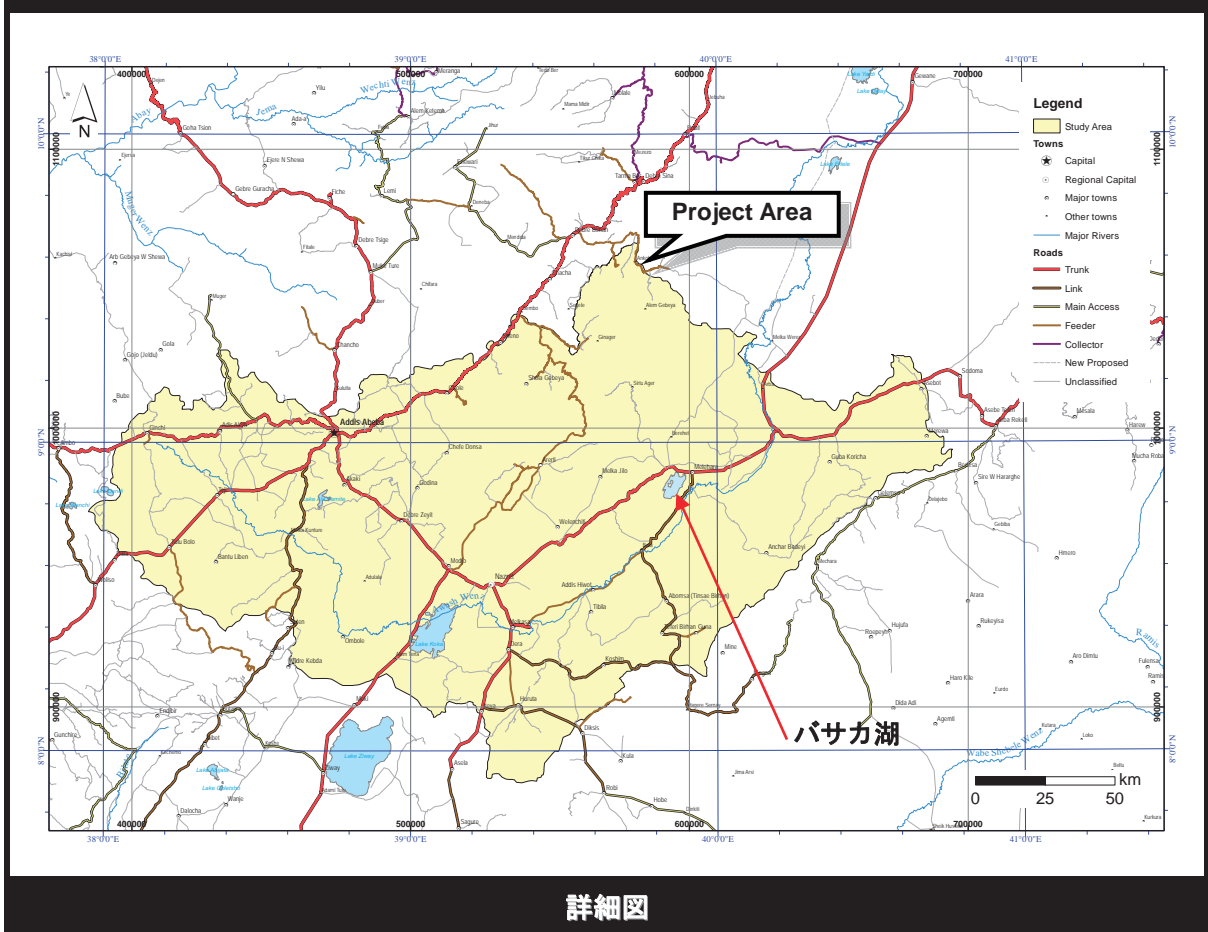
地質図および水理地質図

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

## 調査結果の概要

### 1. プロジェクトの背景

- エチオピア連邦民主共和国（エチオピア国）における給水率は42%（2008年）であり、サブサハラアフリカ平均の60%に比べても低い水準にある。
- エチオピア国政府は、2011年に国家開発計画「成長と構造改革計画」（GTP: Growth and Transformation Plan、2010/11-2014/15）を策定した。
- GTP達成に向け、エチオピア国政府は給水分野の戦略プランである Universal Access Program（UAP）及びUAP2を通じて、2015年までに都市部の給水率を100%に、農村部の給水率を98%に向上させるという目標を掲げている。
- 目標を達成するためには、水量が安定し、水質が良好である地下水の開発が重要である。
- アワシュ川中流域において適切な地下水開発を行っていくためには、地下水の涵養機構、流動機構、賦存状況及び開発可能量を解明し、それに基づいた地下水開発計画を策定することが必要である。
- こうした状況のもと、エチオピア国政府はアワシュ川中流域の地質図及び水理地質図の作成（25万分の1）、右情報を踏まえた小都市概略給水計画策定に係る開発調査型技術協力を我が国に要請した。

### 2. プロジェクトの目的

- アワシュ川中流域の地域における地質図及び水理地質図の作成（縮尺：1/25万）
- 地下水開発可能量の評価
- Beseka湖水位上昇原因に関する調査
- オロミア州の小都市を対象とした概略給水計画の策定、優先度の高い小都市概略給水計画の選定
- 水灌漑電力省地下水局（Ministry of Water, Irrigation and Electricity : MoWIE、Groundwater Directorate : GD）並びにオロミア州水・鉱物・エネルギー局（Oromia (Regional) Water, Mineral and Energy Development Bureau : OWMEB）の計画策定・実施能力の向上

### 3. 対象地域

- アワシュ川中流域の対象の面積は、主に地下水モデル作成範囲の約29,000 km<sup>2</sup>であり、その中に水理地質図作成の約20,000 km<sup>2</sup>、オロミア州給水計画小都市対象地域の約15,000 km<sup>2</sup>が含まれる。

### 4. プロジェクトの実施期間と体制

- 2013年10月に開始し、2015年12月に終了した。
- JICA調査団は12人のメンバーで構成された。
- エチオピア国側のカウンターパート機関は、MoWIE（GD）、エチオピア水供給技術専門学校（Ethiopia Water Technology Institute : EWTI）及びOWMEBであり、

さらにエチオピア地質調査所（Geological Survey of Ethiopia : GSE）とアディスアベバ大学（Addis Ababa University : AAU）及び JICA エチオピア事務所を加えて運営委員会を構成している。

## 5. プロジェクト地域の自然・社会概況

### 5-1 地勢・自然地理

- 調査地域は首都アディスアベバの約 180km 東方の北緯 8 度 00 分～9 度 30 分、東経 38 度 00 分～40 度 00 分の間に位置する。
- 「アフリカ大地溝帯」と呼ばれる地理帯に属し、周囲と断層で区切られた低地帯に位置しており、独立した流域を形成する。

### 5-2 気象・水文・水質

- アワシユ川中流域の年平均降水量は 876 mm であり、3 つの明瞭な季節によって特徴づけられ、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。
- 流域の年間蒸発量は 1,600 mm～3,000 mm 程度である。
- 流域下流では最高気温は 36 °C に達し、高地では最低気温が 10 °C を下回る。
- 本調査で実施した水質分析や既存のデータの分析結果によると、対象地域ではフッ素濃度がエチオピア国基準よりも高いが、その他の水質項目はほとんどの既存井戸で超えていない。
- フッ素濃度は多くの既存井戸でエチオピア国基準を超えており、特に Koka 湖周辺や Beseka 湖及び西側の流域で高く、全体として深度が大きいほど濃度は低下する傾向にあるが、地質との関係も参考にする必要がある。

### 5-3 地質・水理地質

- 地質は、第三紀中新世から第四紀完新世までの火山岩、火山砕屑岩からなる。
- 帯水層単元は、地質層序をベースにして区分され、大きく 1. 沖積層ならびに湖沼堆積物、2. 第四紀更新世の凝灰岩、溶結凝灰岩、玄武岩岩類、3. 第三紀鮮新世、中新世の凝灰岩、溶結凝灰岩ならびに玄武岩類に分けられる。

### 5-4 社会経済状況

- 2007 年の統計では、アワシユ川中流域内の人口は約 650 万人（うちアディスアベバでは約 270 万人）。
- オロミア州ではオロモ族が 88% を占める。
- オロミア州民が信仰する宗教の割合は、ムスリム（48%）、エチオピア正教（30%）、プロテスタント（18%）の順に多い。
- オロミア州は、エチオピア国の中でも面積が一番広く、農業が基幹産業となっており、総人口の 8 割が農業に従事し、GDP の 42% を占める。

## 6. 地質図・水理地質図の作成

### 6-1 地質図の作成

- 現地踏査、既存地質図・文献、既存井戸情報や本調査での観測井掘削（11箇所）の結果に基づき、流域内の地質分類と層序を検討した。
- アワシュ川流域約 29,000 km<sup>2</sup>のうち、約 20,000 km<sup>2</sup>に対する地質図（平面図・断面図）を縮尺 250,000 分の 1（平面図）で作成した。
- Beseka 湖流域約 520 km<sup>2</sup>については、別途詳細な地質調査を行い、平面縮尺 100,000 分の 1 で地質図を作成した。

### 6-2 水理地質図の作成

- 既存井戸や湧水に関する情報、及び本調査での試掘結果から流域内各所の地下水位、帯水層厚、湧水量、水質などを把握した。
- この結果に基づき、帯水層をその特徴ごとに分類した。
- さらに、流域内（約 20,000 km<sup>2</sup>）における地下水ポテンシャルを表現した水理地質図及び断面図を 25 万分の 1 の縮尺で作成した。
- Beseka 湖流域（約 520 km<sup>2</sup>）については 10 万分の 1 の縮尺で水理地質図及び断面図を作成した。

## 7. 地下水開発可能量の評価

### 7-1 地下水涵養量の推定

- アワシュ川中流域を 13 の小流域に分割し、河川の基底流量と流域面積、および流域雨量の関係から小流域ごとの地下水涵養量を推定した。
- 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は 7.4%から 9.0%の範囲となった。

### 7-2 地下水開発可能量の評価

- 本調査で収集・推定した 2035 年時点の地下水汲み上げ量データ（推定値）や計画値を地下水涵養量と比較した。
- 2035 年時点の推定揚水量は大部分の小流域で涵養量の 1%～5%であり、地下水の量的な確保は十分可能である。
- ただし、アディスアベバを含む小流域では 2035 年時点で涵養量の 35%が汲み上げられる見込みであり、その他に涵養量の 50%近い揚水量が見込まれる小流域もある。
- 各小都市の今後の人口増加に伴う、2035 年までの水利用量の増加を 3 段階のシナリオに基づき将来予測を行ったところ、2035 年の最大の想定くみあげ量（小都市での計画 1 日最大給水量：都市部の給水原単位 50 L/人/日）においては、地下水位降下量は 0.02 m～2.8 m の予測値となった。
- 地下水モデル（数値解析）を活用して持続可能な地下水開発量を推定した。その結果、小流域ごとの地下水開発可能量は涵養量の 4%～52%の範囲となった。

## 8. Beseka 湖水位上昇原因に関する調査

- アワシュ川中流域内にある Beseka 湖では、1960 年代後半から水位が急激に上昇（約 12 m）している。
- 同時期に開発された灌漑プロジェクトからの余剰水が水位上昇の原因であるとの認識が広がっている
- 衛星画像による湖面温度の解析、水質分析結果、水バランス解析結果からは、灌漑余剰水のみではこれほどの水位上昇を説明できないことが分かった。
- 特に衛星画像からは Beseka 湖面温度の継続的な上昇を示唆する結果を得、これは Beseka 湖流域西側に隣接する流域からの高温地下水の流入を窺わせるものである。

## 9. オロミア州小都市の概略給水計画策定と優先度の高い小都市の選定

- OWMEB との協議でリストアップされた 30 小都市のうち、他プロジェクトとの重複、地下水ポテンシャル(水質)、水需要予測と現状の比較などから 11 小都市を除外し、19 小都市に対する概略給水計画を策定した。
- 概略給水計画は、取水施設（機械掘り井戸、揚水管、水中ポンプ、発電機室及び発電機）、導水施設（導水管）、配水施設（配水池、配水管、共同水栓、家畜用水栓及び戸別接続）で構成される。
- 計画目標年は 2020 年、給水原単位はエチオピア国基準に準拠し Urban で 40 L/人/日、Rural で 25 L/人/日とした。
- 策定した概略給水計画を 1) 地下水開発ポテンシャル、2) 安全な水の困窮度、3) 裨益効果・費用対効果、4) 施設維持管理能力、及び 5) 環境・社会影響の各側面から評価し、優先順位付けを行った。
- 優先順位付けの結果は以下のとおりである。

順位	小都市名 (Town)	郡 (Woreda)	県 (Zone)
1	Ude Dhankaka	Adaa	East Shewa
2	Biyo	Lome	East Shewa
3	Hardim	Guba Qoricha	West Hararge
4	Aseko	Aseko	Arsi
5	Kamise	Lome	East Shewa
6	Bolo	Jeju	Arsi
7	Areda	Gimbichu	East Shewa
8	Chorora	Anchar	West Hararge
9	Bedeyi	Anchar	West Hararge
10	Hargeti	Mieso	West Hararge

## 10. 提言

調査結果の有効利用のため、以下を提言した。

- 地下水データベースシステムの実用  
MoWIE でのエチオピア国地下水情報システム (Ethiopia National Groundwater Information System : ENGWIS) が効果的に機能するために 3 点の提言を行った。
- 観測井掘削の教訓と掘削能力向上のためのエチオピア側への提言

エチオピア国の井戸掘削能力の向上のために2点の提言を行った。

- 給水計画の効果的な利用

オロミア州にプロジェクトで作成した各小都市の給水計画を効果的に利用する提案を行った。

- 地下水開発・管理に対する提言

アワシュ川中流域での地下水開発を行う際の留意点を水量、水質の面から提言し、また今後の地下水管理についてエチオピア国側に提案を行った。

- Beseka 湖の水位上昇を抑える対策について

Beseka 湖の水位上昇を抑えるための量的な排出対策の提案を行った。

以上



# 目 次

調査位置図  
調査結果の概要  
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>プロジェクト概要</b> .....	<b>1-1</b>
1.1	プロジェクトの背景 .....	1-1
1.2	プロジェクトの目的 .....	1-1
1.3	業務の内容と工程 .....	1-1
1.4	調査範囲と対象小都市 .....	1-3
	1.4.1 対象地域 .....	1-3
	1.4.2 対象小都市 .....	1-3
1.5	調査団とエチオピア国側のメンバー .....	1-4
	1.5.1 調査団 .....	1-4
	1.5.2 エチオピア国側のメンバー .....	1-4
<b>2</b>	<b>アワシュ川中流域の自然、社会概況</b> .....	<b>2-1</b>
2.1	はじめに .....	2-1
2.2	気象・水文 .....	2-1
	2.2.1 気象 .....	2-1
	2.2.2 水文 .....	2-2
2.3	自然地理、地質・地質構造 .....	2-4
	2.3.1 自然地理 .....	2-4
	2.3.2 地質概説 .....	2-4
	2.3.3 既往文献との地質層序対比 .....	2-9
	2.3.4 地質構造 .....	2-9
2.4	水理地質 .....	2-10
	2.4.1 水理地質基礎データ .....	2-10
	2.4.2 既存井戸の帯水層 .....	2-13
2.5	社会経済状況 .....	2-14
	2.5.1 アワシュ川中流域の社会経済状況 .....	2-14
	2.5.2 対象小都市を含む郡の社会経済状況 .....	2-16
<b>3</b>	<b>Beseka湖周辺の水文・水理地質解析</b> .....	<b>3-1</b>

3.1	Beseka湖の拡張問題.....	3-1
3.2	地形・地質・地質構造 .....	3-1
	3.2.1 地形 .....	3-1
	3.2.2 地質 .....	3-2
	3.2.3 地質構造 .....	3-6
3.3	水理地質 .....	3-6
	3.3.1 帯水層区分と地下水流動 .....	3-6
	3.3.2 水理地質図・断面図 .....	3-7
3.4	湧泉、灌漑水等の流入状況 .....	3-10
	3.4.1 画像解析による湧水分布の経年変化 .....	3-10
	3.4.2 水質分析結果 .....	3-11
	3.4.3 灌漑排水量の推定 .....	3-12
3.5	まとめ .....	3-13
<b>4</b>	<b>地下水ポテンシャル.....</b>	<b>4-1</b>
4.1	帯水層の分類とポテンシャル評価 .....	4-1
4.2	地下水涵養量と揚水流量 .....	4-3
4.3	水理地質図と地下水流動 .....	4-3
4.4	水質 .....	4-7
	4.4.1 水質分析の項目と方法及び結果 .....	4-7
	4.4.2 水質の特徴と考察 .....	4-8
<b>5</b>	<b>地下水モデルによる将来予測と地下水開発・可能量の評価 .....</b>	<b>5-1</b>
5.1	はじめに .....	5-1
5.2	将来予測シナリオ案の設定 .....	5-1
5.3	将来予測結果 .....	5-2
	5.3.1 地下水位変動結果 .....	5-2
5.4	周辺に対する水位降下の影響 .....	5-2
5.5	地下水開発可能量評価の試み .....	5-3
	5.5.1 くみあげ量の想定と地下水位変動の予測 .....	5-3
	5.5.2 可能揚水流量の予測 .....	5-4
<b>6</b>	<b>小都市の給水計画 .....</b>	<b>6-1</b>
6.1	基礎調査結果 .....	6-1
	6.1.1 給水人口 .....	6-1
	6.1.2 給水区外利用者 .....	6-1
	6.1.3 水使用量 .....	6-1
	6.1.4 戸別接続増加の推移 .....	6-1

6.1.5	既存給水施設の老朽化の現状 .....	6-1
6.1.6	商用電力供給の現状 .....	6-2
6.2	目標年次と人口予測 .....	6-2
6.2.1	目標年次 .....	6-2
6.2.2	各年次の人口予測 .....	6-2
6.3	水需要予測 .....	6-3
6.3.1	計画条件 .....	6-3
6.3.2	一日平均給水量 .....	6-3
6.3.3	計画一日平均給水量及び計画一日最大給水量 .....	6-3
6.4	地下水開発 .....	6-3
6.4.1	地下水ポテンシャル評価 .....	6-3
6.4.2	帯水層区分とその特徴 .....	6-4
6.4.3	地下水開発の可能性 .....	6-4
6.5	小都市の給水計画 .....	6-4
6.5.1	概略給水計画策定の妥当性検証 .....	6-4
6.5.2	給水計画の概要 .....	6-4
6.5.3	新規水供給施設の形態と規模 .....	6-5
6.5.4	給水施設計画概要 .....	6-6
6.5.5	概略積算 .....	6-7
6.5.6	給水計画代替案の検討 .....	6-9
6.6	給水施設の運営維持管理計画 .....	6-10
6.6.1	水管理組織に対する課題 .....	6-10
6.6.2	運営維持管理計画 .....	6-11
6.6.3	運営維持管理費 .....	6-13
6.6.4	運営維持管理能力強化計画の策定 .....	6-15
<b>7</b>	<b>環境社会配慮</b> .....	<b>7-1</b>
7.1	ベースとなる環境及び社会の状況 .....	7-1
7.1.1	自然環境 .....	7-1
7.1.2	社会環境 .....	7-1
7.2	環境カテゴリーの分類 .....	7-1
7.3	エチオピア国の環境社会配慮制度・組織 .....	7-1
7.4	代替案（ゼロオプションを含む）の比較検討 .....	7-2
7.5	スコーピング及び環境社会配慮調査のTOR .....	7-2
7.6	環境社会配慮の調査結果 .....	7-2
7.7	環境計画（初期環境影響評価）と緩和策及び環境モニタリング 計画 .....	7-2
7.8	ステークホルダー協議 .....	7-3
7.9	結論 .....	7-3

8	小都市の概略給水計画の事業評価－優先小都市の選 定－ .....	8-1
8.1	評価手法と点数化基準 .....	8-1
8.2	結論 .....	8-1
9	結論と提言 .....	9-1
9.1	結論 .....	9-1
9.1.1	自然状況 .....	9-1
9.1.2	Beseka湖周辺の水文・地質・水理地質解析 .....	9-2
9.1.3	社会経済状況、小都市給水計画及び優先小都市選定のた めの事業評価 .....	9-3
9.2	教訓と提言 .....	9-3

## 表 目 次

	頁:
表 1.5.1: JICA調査団.....	1-4
表 1.5.2: 運営委員会メンバー.....	1-4
表 1.5.3: C/Pメンバー.....	1-4
表 2.2.1: 部分流域ごとの地下水涵養量推定結果.....	2-3
表 2.3.1: 調査地域別層序比較.....	2-6
表 2.4.1: 井戸データ内の項目毎の情報点数（座標有の地点）.....	2-10
表 2.4.2: 既存井戸の帯水層層相と構成比.....	2-13
表 2.4.3: 既存井戸の代表的な帯水層情報.....	2-14
表 2.5.1: 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.....	2-15
表 3.2.1: Beseka湖周辺の火山地形の特徴.....	3-1
表 3.2.2: Beseka湖周辺の地層とその特徴.....	3-2
表 3.3.1: Beseka湖周辺の帯水層層準と特徴.....	3-6
表 4.1.1: 既存井戸とJICA井戸の帯水層単元と帯水層情報.....	4-1
表 4.1.2: 各地層の帯水層区分と生産性予測.....	4-2
表 5.3.1: シナリオ3の最大水需要量（揚水流量）に対する予測水位降下 量.....	5-2
表 5.5.1: 地下水涵養量に占める推定可能揚水流量の比率（2035年時点） .....	5-4
表 6.1.1: 既存施設の老朽化の現状.....	6-2
表 6.5.1: 概略給水計画策定対象小都市.....	6-4
表 6.5.2: 新規給水施設計画の概要.....	6-6
表 6.5.3: 既存給水施設更新計画の概要.....	6-7
表 6.5.4: 新規給水施設建設費.....	6-7
表 6.5.5: 既存施設更新費.....	6-8
表 6.5.6: 事業費.....	6-8
表 6.5.7: 我が国無償資金協力を想定した場合の概算事業費.....	6-9
表 6.5.8: ハンドポンプ井戸必要数量.....	6-10
表 6.5.9: 井戸の仕様及び数量.....	6-10
表 6.5.10: ハンドポンプ井戸の事業費.....	6-10
表 6.6.1: 運営維持管理関係者とその役割.....	6-12
表 6.6.2: 小都市別の運営維持管理組織.....	6-12
表 6.6.3: 人員計画.....	6-13
表 6.6.4: 運営維持管理費.....	6-14
表 6.6.5: 運営維持管理能力強化計画.....	6-15
表 8.1.1: 優先小都市選定のための点数化基準.....	8-1
表 8.2.1: 優先小都市.....	8-2

## 目 次

	頁:
図 1.3.1: 業務実施のフローチャート .....	1-2
図 1.4.1: 対象地域図 .....	1-3
図 2.2.1: アワシュ川中流域の年間雨量の等雨量線図 .....	2-1
図 2.2.2: 地下水涵養量推定のための流域分割 .....	2-3
図 2.3.1: 地質平面図 .....	2-7
図 2.3.2: 地質断面図 .....	2-8
図 2.4.1: 既存井戸位置図 .....	2-11
図 2.4.2: 既存井戸の揚水流量 .....	2-12
図 2.5.1: 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 .....	2-16
図 3.2.1: Beseka湖周辺の地形区分図 .....	3-2
図 3.2.2: 詳細調査地域の地質図 .....	3-4
図 3.2.3: 詳細調査地域の地質断面図 .....	3-5
図 3.3.1: Beseka湖周辺の水理地質図 (平面図) .....	3-8
図 3.3.2: Beseka湖周辺の水理地質図 (断面図) .....	3-9
図 3.4.1: Beseka湖面温度の平面分布状況 .....	3-10
図 3.4.2: Beseka湖面温度とKoka湖面温度の比較 .....	3-10
図 3.4.3: トリリニアードイアグラム (Beseka湖周辺) .....	3-11
図 3.4.4: サンプルング地点のヘキサダイアグラム (Beseka湖周辺) .....	3-12
図 3.4.5: 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) .....	3-13
図 4.3.1: アワシュ川中流域の水理地質図 .....	4-4
図 4.3.2: アワシュ川中流域の水理地質断面図 .....	4-5
図 4.3.3: 地下水位コンター図 .....	4-6
図 4.4.1: 調査地のフッ素濃度分布図 .....	4-7
図 4.4.2: 掘削深度とフッ素濃度の関係図 .....	4-8
図 5.2.1: シナリオによる揚水流量の変化 .....	5-1
図 5.4.1: 第3層での周辺域の水位低下量分布図 (シナリオ3) .....	5-2
図 5.5.1: 3つの小流域での揚水流量と予測水位降下量の相関図 .....	5-3
図 6.5.1: 地下水源及び地上式配水池による給水システム .....	6-5
図 6.5.2: 地下水源及び高架式配水池による給水システム .....	6-6
図 6.5.3: 地下水源及びハンドポンプによる給水システム .....	6-9

## 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

---

プロジェクト概要

*Project Summary*



# 1 プロジェクト概要

## 1.1 プロジェクトの背景

エチオピア国における給水率は42%（都市給水率は96%、村落給水率は32%）（UNICEF／世界保健機関、2008年）であり、サブサハラアフリカ平均の60%に比べても低い水準にあり、安全な水の確保に向けた早急な対応が必要である。エチオピア国政府は、2011年に国家開発計画「成長と構造改革計画」（GTP: Growth and Transformation Plan、2010/11-2014/15）を策定した。GTPの目標達成に向けて、エチオピア国政府は給水分野の戦略プランとして、2006年にUniversal Access Program（UAP）を策定し、2011年にはUAP2として改訂し、2015年までに都市部の給水率を全国平均91.5%（UAP、2010年）から100%に、農村部の給水率を全国平均65.8%（UAP、2010年）から98%に向上させるという目標を掲げている（一人当たりの消費量を都市部では20 L/日、農村部では15 L/日と設定）。

これらの目標を達成するためには、水量が季節変動はあるものの概ね安定しており、水質が比較的良質である地下水の開発が重要となる。アワシュ川中流域において適切な地下水開発を行っていくためには、地下水の涵養機構、流動機構、賦存状況及び開発可能性を解明し、右の情報に基づいた地下水開発計画を策定していくことが必要である。

こうした状況のもと、エチオピア国政府はアワシュ川中流域の地質図及び水理地質図の作成（25万分の1）、右情報を踏まえた小都市概略給水計画策定に係る開発調査型技術協力を我が国に要請した。

## 1.2 プロジェクトの目的

本件の目的は、次の通りである。

- アワシュ川中流域の地域における地質図及び水理地質図の作成（縮尺：1/25万）
- 地下水開発可能性の評価
- Beseka湖水位上昇原因に関する調査
- オロミア州の小都市を対象とした概略給水計画の策定、優先度の高い小都市概略給水計画の選定
- 水灌漑電力省地下水局（Ministry of Water, Irrigation and Electricity : MoWIE、Groundwater Directorate : GD）並びにオロミア州水・鉱物・エネルギー局(Oromia (Regional) Water, Mineral and Energy Development Bureau : OWMEB) の計画策定・実施能力の向上

## 1.3 業務の内容と工程

業務内容と工程を図1.3.1に示す。本件調査は、2013年10月に開始し、2015年12月に終了した。



## 1.4 調査範囲と対象小都市

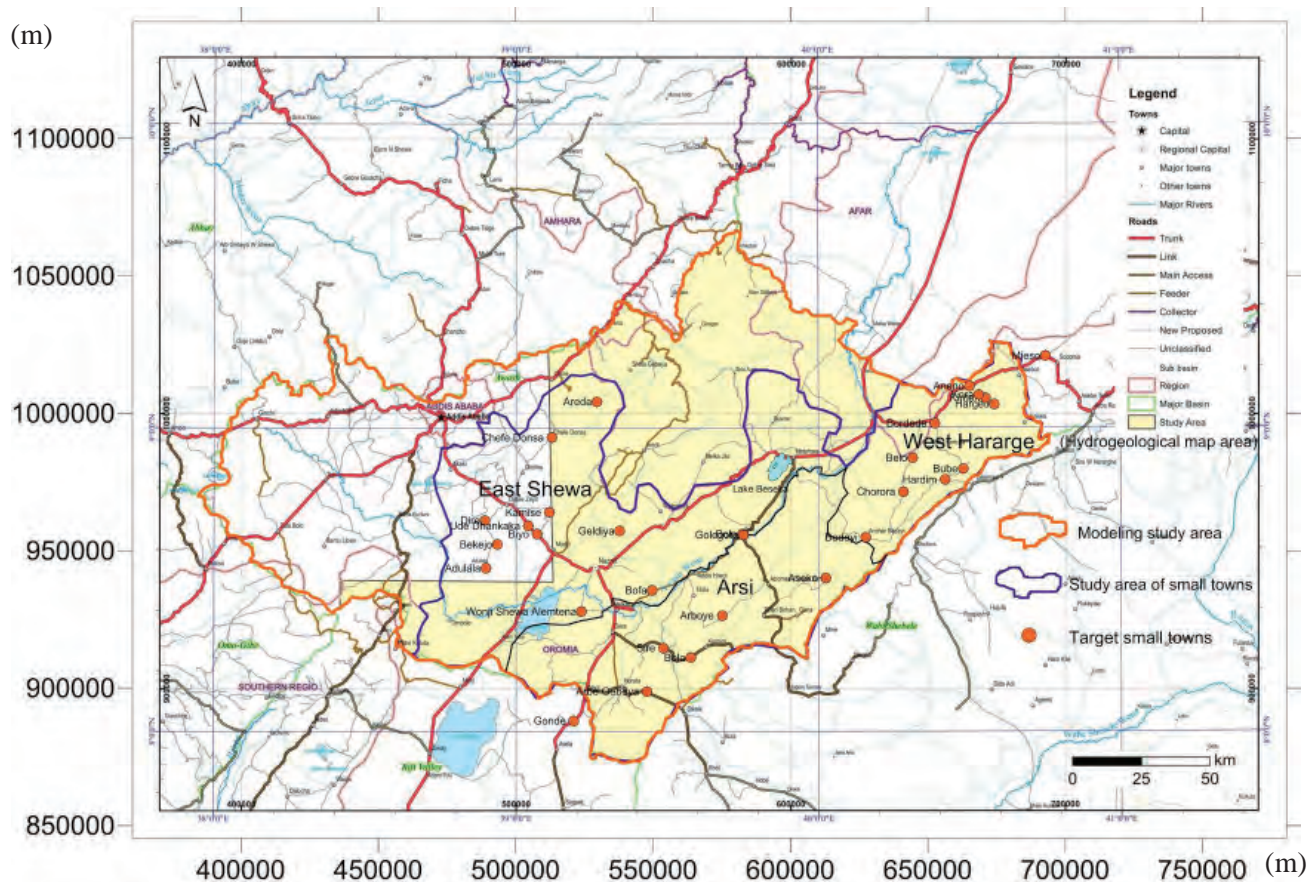
### 1.4.1 対象地域

アワシユ川中流域の対象の面積は、主に地下水モデル作成範囲の約 29,000 km<sup>2</sup>であり、その中に水理地質図作成の約 20,000 km<sup>2</sup>、オロミア州地方給水小都市対象地域の約 15,000 km<sup>2</sup>が含まれる。調査対象地域を図 1.4.1に示す。

### 1.4.2 対象小都市

オロミア州概略給水計画のために選定された対象都市は、JICA 調査団と OWMEB が合意決定した、30 小都市であり、3つのゾーンから選定された。

- East Shewa ゾーン: Adama Zuriya woreda (2), Ada A worera (3), Boset (2), Lume woreda (2), Gimbicheu woreda (2), Liben Chikuala woreda (1) ( )内は対象小都市数（以下同じ）。
- Arsi ゾーン: Sire woreda (1), Jeju woreda (2), Aseko woreda (1), Merti woreda (1), Tiyo woreda (1), Lodenhetosa woreda (1)
- West Hararge ゾーン: Anchar woreda (2), Guba Qoricha woreda (2), Mieso woreda (7)



出典：調査団、データ元：OWMEB

図 1.4.1: 対象地域図

## 1.5 調査団とエチオピア国側のメンバー

### 1.5.1 調査団

JICA 調査団は、以下の表 1.5.1の 12名の団員からなる。

表 1.5.1: JICA 調査団

名前	分野	名前	分野
松本 俊幸	総括/地下水開発・管理 計画	斎藤 光義	物理探査
坂井 健介	副総括/気象・水文/事業 計画	田中 正利	観測井掘削
浮島 久幸	水理地質/水質	郷内 吉瑞	GIS/データベース
石田 智	小都市給水/水利用計画/ 維持管理	新井 伸吾	環境社会配慮
雷 沛豊	地下水モデル	山本 陽介	社会経済調査
池元 壮彦	火山地質	徳田 誠	業務調整/気象・水文補助

出典：調査団、データ元：JICA指示書

### 1.5.2 エチオピア国側のメンバー

エチオピア国側の運営委員会メンバー及びC/Pメンバーを表 1.5.2及び表 1.5.3に示す。

表 1.5.2: 運営委員会メンバー

Name	Position	Organization	Remarks
Ato. Kebede Gerba	State Minister	MoWIE	Chair Person
Ato. Tesfaye Tadesse	GD Director	MoWIE	C/P
Ato. Zebene Lakew		MoWIE	C/P
Ato. Hundie Melka	Chief Geologist	Geological Survey of Ethiopia(GSE)	Member
Ato. Muhuddin Abdela		GSE	Member
Ato. Demissie Alamirew		GSE	Member
Ato. Fekadu Lebecha		OWMEB	C/P
Prof. Tenalem Ayenew		Addis Ababa University (AAU)	Member
Mr. Itsuro Takahashi		JICA Ethiopia Office	Member
JICA Project Team members		JICA Project Team	Member

出典：調査団、データ元：MoWIE、GSE、OWMEB、AAU、JICA エチオピア事務所

表 1.5.3: C/P メンバー

Name	Position	Organization	Remarks
Ato. Tesfaye Tadesse	GD Director	MoWIE	Project director, SCM
Ato. Zebene Lakew		MoWIE	Project coordinator, SCM
Ato. Ketema W/agegnehu		MoWIE	
Ato. Fekadu Lebecha		OWMEB	SCM
Ato. Tamiru Fekadu	Course coordinator	EWTI	

出典：調査団、データ元：MoWIE、OWMEB、EWTI

# Chapter 2

---

アワシユ川中流域の自然状況と  
社会経済状況

*Natural and Socio-Economic  
Conditions in the Middle Awash  
River Basin*

## 2 アワシ川中流域の自然、社会概況

### 2.1 はじめに

調査地域は首都アディスアベバの南東域の北緯 8 度 00 分～9 度 30 分、東経 38 度 00 分～40 度 00 分の間位置し、オロミア州の州都 Adama 市はアディスアベバより約 80 km 南東に位置する。

調査地域は周囲と断層で区切られた低地帯と一部高地に位置し、アワシ川周辺の独立した流域を形成した中流域にあたり、主にオロミア州（面積比 55%）からなる。

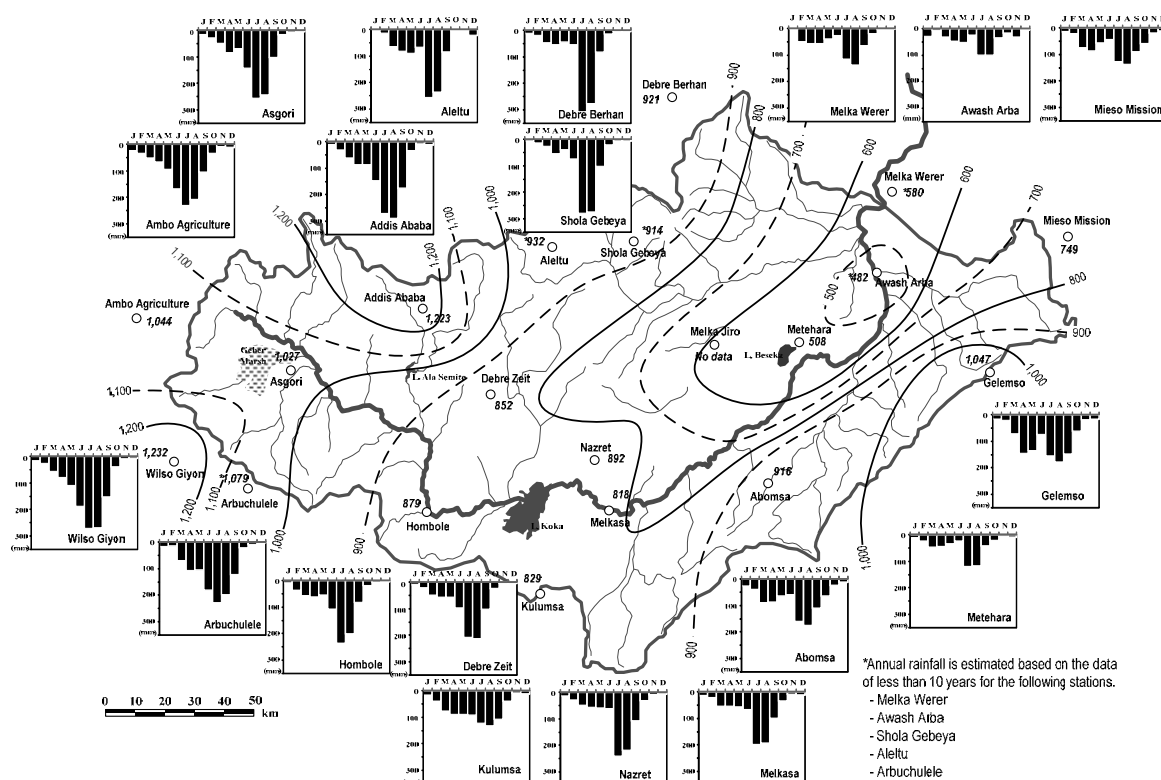
### 2.2 気象・水文

#### 2.2.1 気象

##### a. 降水量

1983 年から 2012 年の 30 年間に於けるアワシ川中流域の平均年雨量は 876 mm であり、年間地点雨量の長期変動は、明確な年間降水量の変化トレンドは見出せない。

収集した雨量データに基づき、アワシ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（図 2.2.1 参照）。



出典：調査団、データ元：NMA の日雨量データ

図 2.2.1: アワシ川中流域の年間雨量の等雨量線図

図 2.2.1 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。アワシ川中流域の

気候は3つの明瞭な季節、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）によって特徴づけられる。

#### b. 蒸発量

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。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. 気温及びその他のデータ

どの観測所においても、年間の最高気温は小雨季後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一部の乾燥地を除き、概ね 60% から 65% である。

### 2.2.2 水文

#### a. 流量データからの分析

アワシュ川中流域のデータから以下のことがまとめられる。

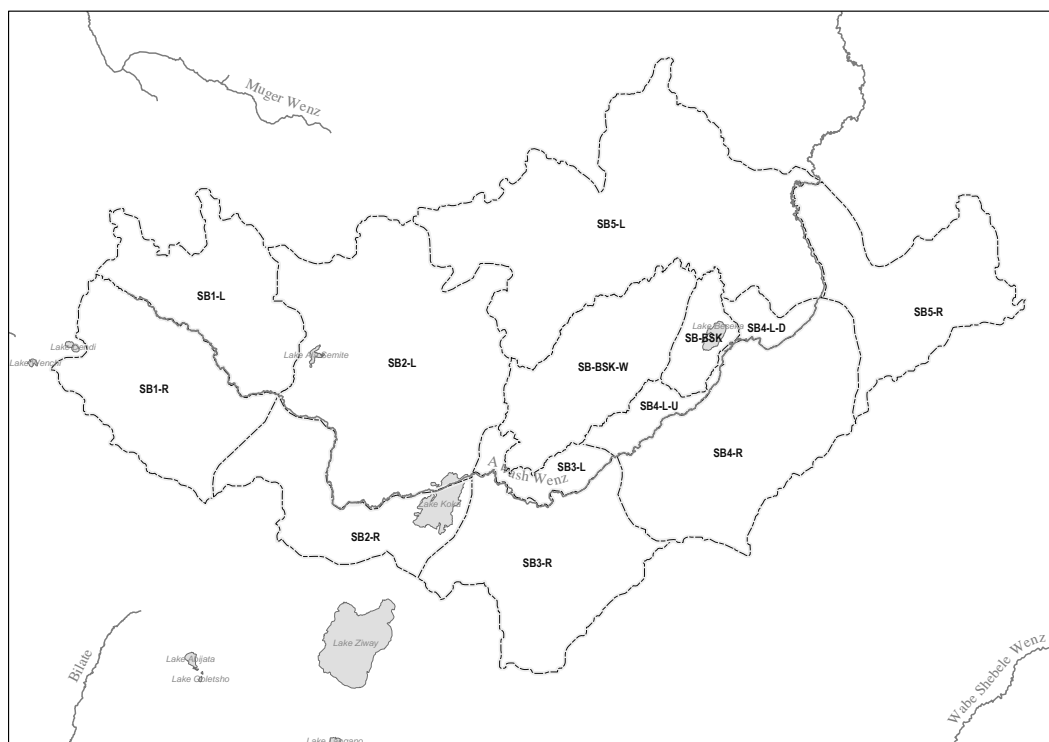
- アワシュ川中流域における雨量のピークは 7 月から 8 月にかけて発生するのに対し、流量のピークは 8 月中旬から 9 月上旬にかけて観測される。
- Koka 湖（ダム）は乾季には約 35 m<sup>3</sup>/sec の流量をコンスタントに放流している。
- アワシュ川中流域末端の Melka Werer における年間流出高は 69 mm であり、これは年間流域平均雨量 876 mm（1983–2012）の 8% 未満である。

#### b. 水文解析

アワシュ川中流域を 13 の部分流域に分割し（図 2.2.2 参照）、選定した流域内の測水所における河川流量の基底流量（又はインデックス）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した。水文解析の主な目的はこの地下水涵養量の推定にある。

##### b.1 河川流量解析

最初に BFI 計算のため、12 の測水所を選定し、河川流量のうち、地下水流出成分（基底流）の占める割合を Base Flow Index（BFI）という指標で表した。BFI 計算結果から流域面積と BFI の間に高い相関が見られた。



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.2.2: 地下水涵養量推定のための流域分割

## b.2 水収支解析

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し、流域面積と流出率の間には強い相関が見られた。

## b.3 地下水涵養量計算結果

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、アワシユ川中流域の 13 の部分流域における年間地下水涵養量の推定を行った。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を活用して部分流域ごとの年間地下水涵養量を求めた。結果は表 2.2.1に示す。

表 2.2.1: 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%



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]	
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。

## 2.3 自然地理、地質・地質構造

### 2.3.1 自然地理

調査地域は「アフリカ大地溝帯」と呼ば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より南西～南南西へ、ジブチ、エリトリア、エチオピア、ケニヤ、ウガンダ、タンザニアと東アフリカ地域を縦断する。

### 2.3.2 地質概説

地質踏査は、調査地域を 5 つに区分して実施した（Beseka 湖周辺地域は第 3 章で述べる）。それぞれの地域の地質概要は次のとおりである。

#### a. Adama-Boseti山とその周辺

Adama 及び Boseti 山周辺は、北部主要エチオピアリフト North Main Ethiopian Rift: NMER) 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 玄武岩類は調査地に広く分布することが知られており、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。更新世に入り、Dino イグニンプライト、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 イグニンプ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。

#### b. Kone-Fentale山周辺地域

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 イグニンプライトは 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。Sobebor 火山性砂岩層、更新世玄武岩類、Kone イグニンプライト、Kone 降下軽石、Fentale 火山岩類、Fentale イグニンプライトが 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。

#### c. Mojo-Arerti-Debre Birhan周辺地域

Mojo、Arerti 及び Debre Birhan 周辺は、中央エチオピア高原および NMER の中央部であり、高原は主に中新世火山堆積物に、NMER 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 イグニンプライトはイグニンプ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。更新世に入り、Dino イグニンプライト、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 イグニンプライトがリフト底に分布する。

#### d. Awash-Asebe Teferi周辺地域

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、Anchar 玄武岩類が南部山脈に北東-南西方向に分布する。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 イグニンプライト、Dofan 玄武岩類、Asebot 溶結凝灰岩類、Awash 酸性火山堆積岩類、Fentale イグニンプライトが分布する。

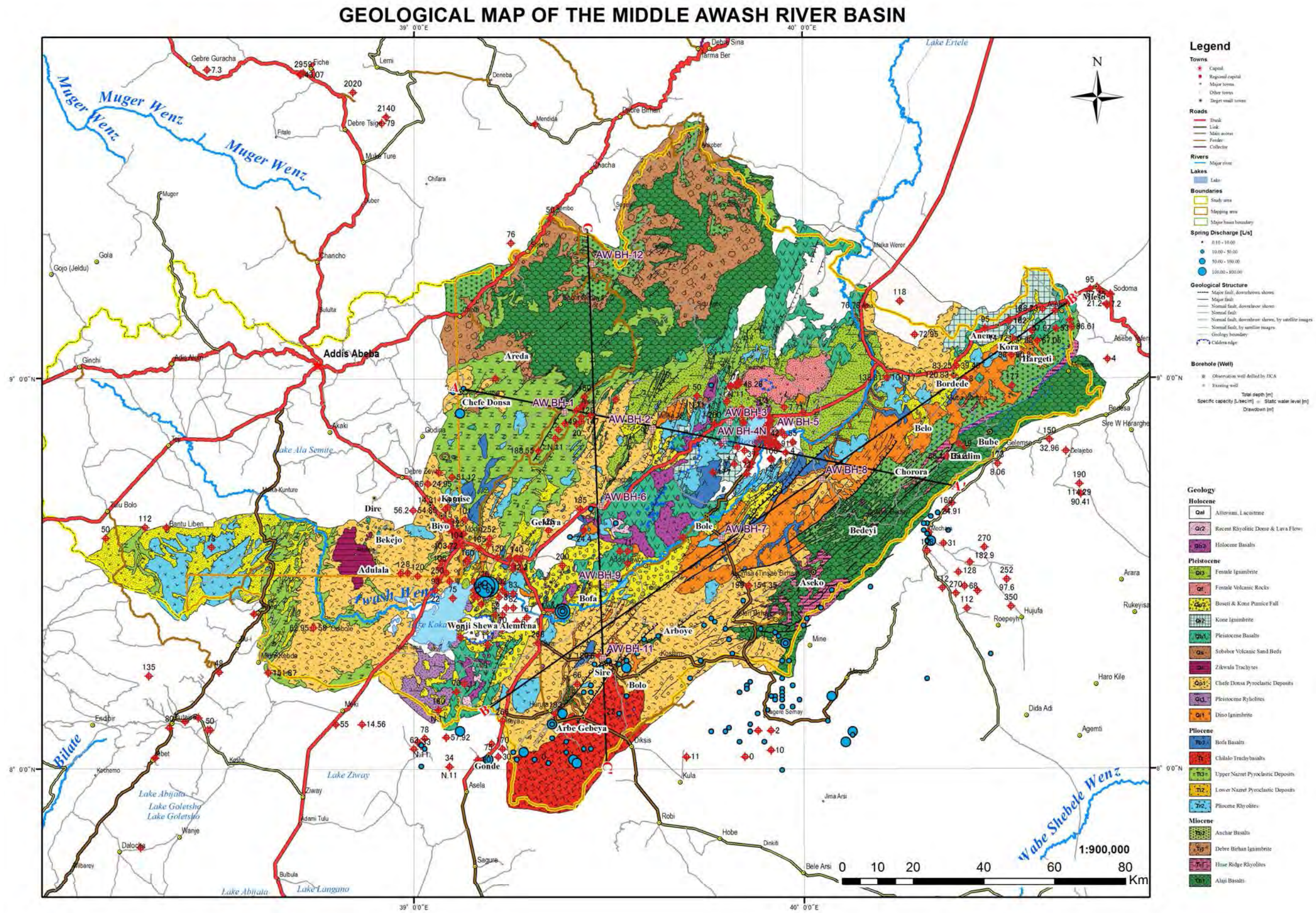
それぞれの地域の層序の対比表を表 2.3.1に示す（総合層序及び各層の年代値を含む）。

以上の地域をまとめた地質図及び地質断面図を図 2.3.1及び図 2.3.2次に示す。

表 2.3.1: 調査地域別層序比較

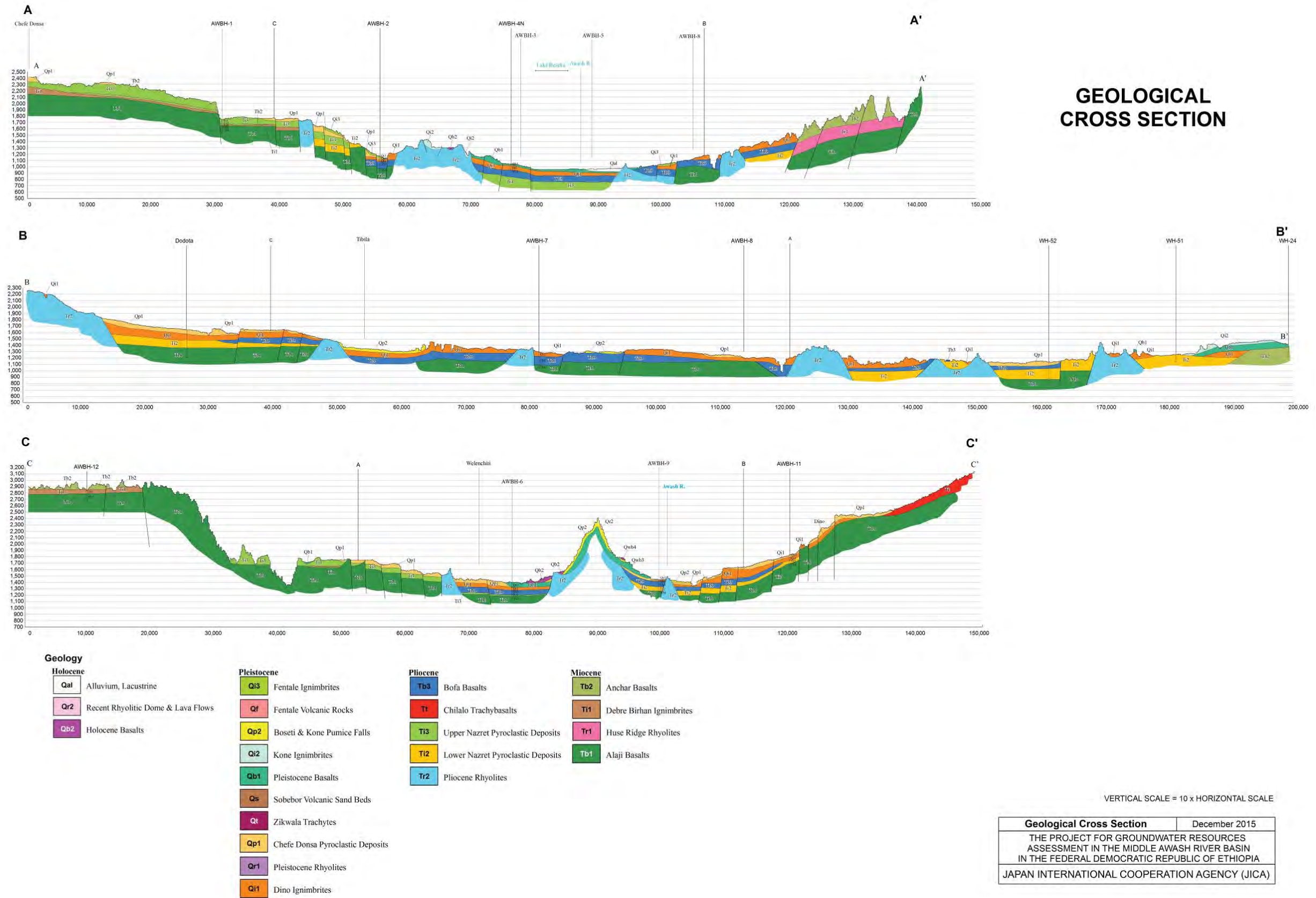
年代区分	地域					調査地域全体の代表層序	年代		
	Nazret-Mt.Boseti	Kone-Mt.Fentale	Mojo-Aretri-Debre Birhan	Awash-Asebe Teferi	Lake Besaka (1:100,000)				
新世代	完新世	沖積層	沖積層	沖積層	沖積層	沖積層 (Qa)	沖積層 (Qa)		
		黒曜石溶岩及びドーム	黒曜石溶岩及びドーム				黒曜石溶岩及びドーム (Qr2)		
		完新世玄武岩類	完新世玄武岩類			完新世玄武岩 (Qb2)	完新世玄武岩類 (Qb2)		
	第四紀	Fentale イグニブライト	Fentale イグニブライト	Fentale イグニブライト	Fentale イグニブライト	Fentale イグニブライト (Qi3)	Fentale イグニブライト (Qi3)	168,000±38,000 y (OW WDSSE, 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 イグニブライト		Asebot 溶結凝灰岩類	Kone イグニブライト (Qi2)	Kone イグニブライト (Qi2)		
		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 火山砂層 (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 火砕堆積岩類 (Qp1)	Chefe Donsa pyroclastic deposits : 1.71±0.04 Ma (Morton et al., 1979), 2.24±0.3 Ma (IGCP-Pisa)	
		更新世流紋岩類					更新世流紋岩類 (Qr1)		
		Dino イグニブライト	Dino イグニブライト	Dino イグニブライト	Dino イグニブライト	Dino イグニブライト (Qi1)	Dino イグニブライト (Qi1)	Dino ignimbrite: 1.5my (Morbidegli et al., 1975), 1.51 Ma (Kazmin, et al., 1978)	
		第三紀	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)	Tulu Rie basalt: 2.7±0.1 Ma (INGEIS-Buenos Aires), 1.44±0.03 Ma (Chemet 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						Chilalo 粗面玄武岩類 (T1)		
	Nazret 火砕堆積物		上部層	Nazret 火砕堆積物	上部層		古イグニブライト (T1)	上部Nazret 火砕堆積物 (Ti3)	Nwp : 3.5±0.1 Ma, 3.2±0.1 Ma (IGCP-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		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)	
	中新世			Tarnaber-Megezeze 玄武岩類	Anchar 玄武岩類		Anchar 玄武岩類 (Tb2)	Anchar : 12.4 Ma (Kazmin et al., 1978) Mt. Megezeze: 13Ma, (Zanettin et al., 1974), 10.4Ma, (Chemet et al., 1998)	
				Debre Birhan イグニブライト			Debre Birhan イグニブライト (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 (Morbidegli et al., 1975), 21.06±1.5 Ma, 14.94±1.5 Ma, 17.4±1.0 Ma (Kazmin, et al., 1978)

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.3.1: 地質平面図



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 2.3.2: 地質断面図

### 2.3.3 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。

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

### 2.3.4 地質構造

#### a. 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）。

Boccaletti et al. (1999) によれば、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。

#### b. 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）。

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（Boccaletti et al., 1999）。Kazmin and Berhe (1978) によれば、最南に位置するセグメントは幅約 10 km 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 0.5~1 km 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 カルデラの北側では、約 10 km 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 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。

## 2.4 水理地質

### 2.4.1 水理地質基礎データ

#### a. 参考文献

水理地質に関する地質図、水理地質図や主な文献等を収集し調査の参考資料とした。主な収集先は、エチオピア地質調査所（Geological Survey of Ethiopia : GSE）、水灌漑電力省（Ministry of Water Irrigation and Electricity : MoWIE）及び水供給、設計、監理公社（Water Works Design and Supervision Enterprise : WWDSE）等である。

#### b. 既存井戸データ

既存井戸のデータとして、① 水灌漑電力省保有の ENGWIS 台帳、② 既存研究報告書に掲載されている井戸、③ ゾーンの水事務所からの井戸掘削記録・井戸柱状図、を収集した。

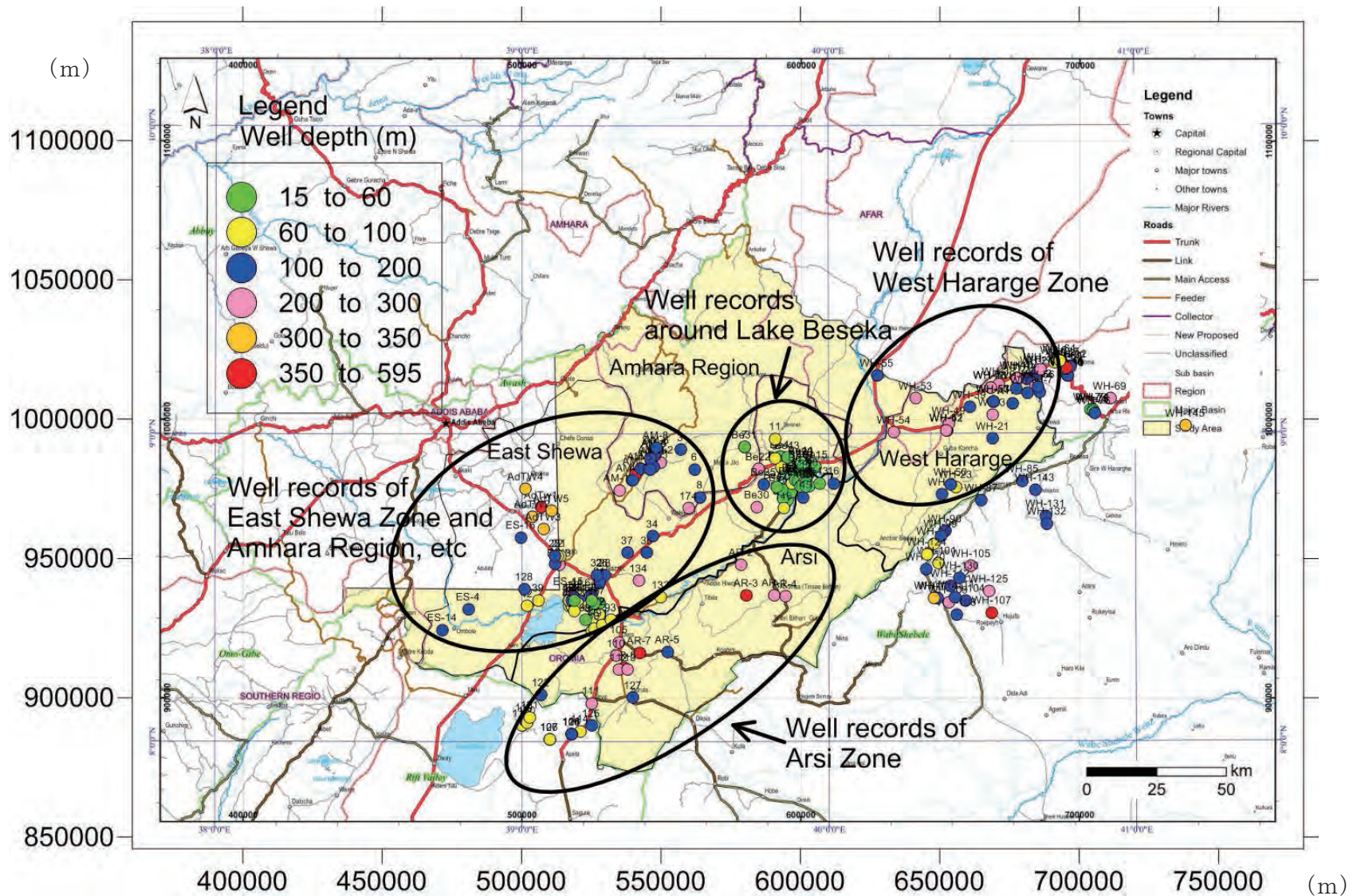
地下水にかかる情報が存在する基本的なデータ数を整理すると表 2.4.1の通りである。

表 2.4.1: 井戸データ内の項目毎の情報点数(座標有の地点)

項目	点数
静水位	339
動水位あるいは水位降下量	154
揚水流量	305
透水量係数 (T)	55
比湧出量 (Sc)	150
水質データ	128
地質柱状図 (座標のある数)	87

出典：調査団、データ元：参考資料①、②

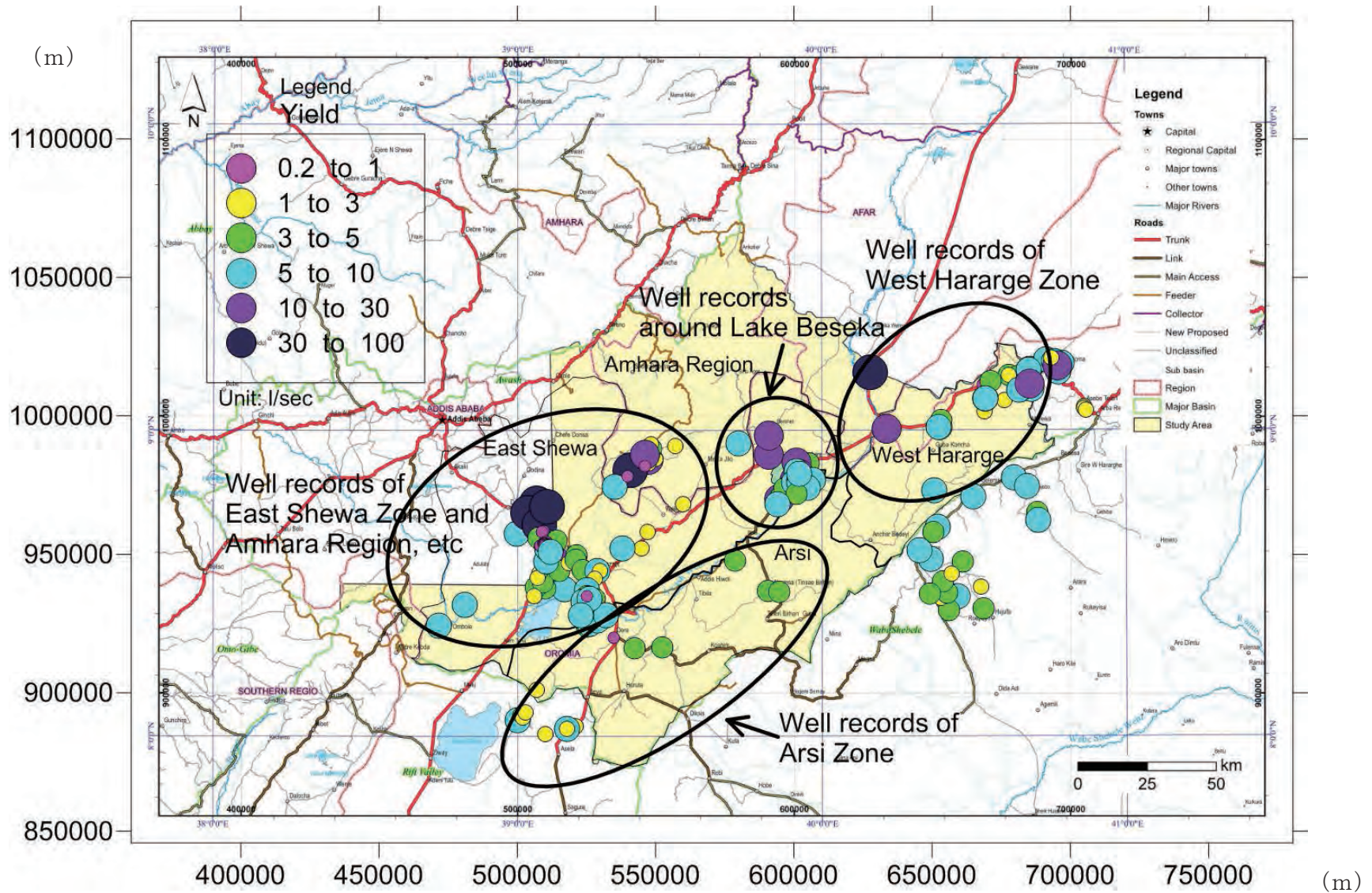
調査地の井戸台帳の既存井戸位置図を図 2.4.1に示す。また井戸の揚水流量データを図 2.4.2に示す。



出典：調査団、データ元：参考資料①、②

図 2.4.1: 既存井戸位置図





出典：調査団、データ元：参考資料①、②

図 2.4.2: 既存井戸の揚水流量

## 2.4.2 既存井戸の帯水層

層相の記載がある既存井戸をもとに柱状図を作成し、スクリーン位置と静水位を記述した。既存の柱状図がある地点については、その柱状図を利用した。これらの柱状図と地質平面図及び JICA 井戸の掘削結果を考慮して各地域での帯水層の可能性のある深度（スクリーン深度）を構成する地層と構成比及び想定される地質単元を表 2.4.2に示した。

表 2.4.2: 既存井戸の帯水層層相と構成比

ID	代表的な層相	主な柱状図での表現	数量	構成比	主な地質単元
1	玄武岩	Trachytic basalt, Vesicular basalt, Highly weathered and fractured basalt, Massive basalt, Scoriaceous basalt	40	29	Miocene Basalts (Anchar, Alaji basalts)、Bofa basalts. Pleistocene basalts, Holocene basalts
2	スコリア	Black scoria, Fine gravel with sand	9	7	上記の basalt に挟在する
3	イグニンプライト	Weathered ignimbrite, Fresh ignimbrite, Massive ignimbrite, Boulder ignimbrite	26	19	Nazret pyroclastic deposits, Pliocene rhyolites, Dino ignimbrite.
4	流紋岩	Highly fractured rhyolite, Weathered rhyolite	6	4	Debre Birhan ignimbrite and Huse Ridge rhyolites, Dino ignimbrite
5	凝灰岩	Tuff, Indurated tuff, Unwelded tuff, Pumiceous tuff	9	7	Nazret pyroclastic deposits, Dino ignimbrite
6	フォノライト	Fractured phonolite,	4	3	Nazret pyroclastic deposits, Anchar basalts.
7	溶結凝灰岩	Welded tuff	8	6	Kone ignimbrite, Fentale ignimbrite,
8	軽石	Modelately weathered pumice	7	5	Nazret pyroclastic deposits, Chefe Donsa pyroclastic deposits.
9	火山灰	Ash, Volcanic ash	10	7	Nazret pyroclastic deposits, Chefe Donsa pyroclastic deposits.
10	火山碎屑物	Highly weathered Pyroclastics, Pumicious pyroclastics, Volcanic breccia	4	3	Nazret pyroclastic deposits
11	粗面岩	Trachyte	2	1	Chilalo Trachy basalts.
12	砂、礫（下部層）	Pumiceous sand, agglomerate, Silica rich sand, Fine to coarse sand with pebble	8	6	Nazret pyroclastic deposits.
13	湖成堆積物、沖積層	Sand and gravel	5	4	Alluvium, Lacustrine deposits

出典：調査団、データ元：参考資料①、②及び④

スクリーンの深度に対応する層相のうち、スクリーン長から判断して代表的な帯水層を抽出し、帯水層定数等との比較を行った。既存データから帯水層にかかる揚水流量、

比貯留量（Sc）及び透水量係数（T）を下記の表 2.4.3に示した。

表 2.4.3: 既存井戸の代表的な帯水層情報

記載地層名	既存資料、収集資料													
	揚水流量(L/sec)				比貯留量(L/sec/m)				透水量係数(m <sup>2</sup> /day)				深度(m)	
	個数	最高	最低	平均	個数	最高	最低	平均	個数	最高	最低	平均	個数	平均
玄武岩	23	60	0.76	12.9	22	56.7	0.067	4.9	18	40800	0.0032	4689	27	190.7
スコリア	1	5.3	5.3	5.3	1	4.53	4.53	4.53	2	14758	378	7568	2	136.5
イグニンプライト (軽石流堆積物、溶結凝灰岩等)	20	25	0.51	7.3	18	89.2	0.0054	8.24	14	6947	0.071	924	20	188.9
流紋岩	4	11.8	5	8.2	4	2.16	0.61	1.25	4	348.07	34.39	129	5	159.8
凝灰岩	-	-	-	-	-	-	-	-	1	217.8	217.8	217.8	3	92.3
フォノライト	2	50	20	35	2	44.64	0.521	22.58	2	39528	102.4	19815	3	233.7
溶結凝灰岩	1	4	4	4	-	-	-	-	3	996.2	60.4	595	3	34.6
軽石	4	16.68	1.6	7.1	4	7.14	0.311	2.44	1	16.56	16.56	16.56	4	113
火山灰	4	12	1	4.1	1	12	12	12	-	-	-	-	4	55.9
火山碎屑物	3	30	1	11.8	1	7.14	7.14	7.14	-	-	-	-	3	264.3
砂・礫	5	9.2	2	4.9	5	6.66	0.17	2.26	-	-	-	-	5	95.6
湖成堆積物	5	4.5	1.3	2.6	3	0.65	0.06	0.34	-	-	-	-	5	75.4
沖積層	3	8	6	6.8	2	1.6	0.6	1.1	1	965.9	965.9	965.9	3	44

出典：調査団、データ元：参考資料①、②及び④

## 2.5 社会経済状況

### 2.5.1 アワシュ川中流域の社会経済状況

#### a. 人口、その他

オロミア州の人口は約 3,200 万人にのぼり（2013 年段階）、エチオピア国の中で最も人口と面積が大きい州である。2007 年統計では、アワシュ川中流域での人口は約 650 万人（うちアディスアベバでは約 270 万人）とされる。なお、人口の男女比は、都市部及び村落部でほぼ同率である。

オロミア州の民族の割合は、オロモ族が最も多く（88%程度を占める）、次いでアムハラ民族（約 7%）、グラゲ族（約 1%）などとなっている。

オロミア州の住民が信仰する宗教の割合は、ムスリムが一番多く（48%程度を占め）、次いでエチオピア正教（約 30%）、プロテスタント（約 18%）、その他（約 4%）となっている。

主な言語として、主要現地語であるオロミファ語（約 84%）を用いている。アムハラ語（約 11%）を用いる地域もあるが、全体では少数派となっている。

#### b. 地方行政区分

エチオピア国は、行政区分では 9 州と 2 つの統治地区に分けられており、各州はゾーンに分かれ、ゾーンはさらに郡（ワレダ）に分けられている。

オロミア州の行政組織は、18 ゾーンに分けられている。

## c. 地方経済

アデイスアベバを除く経済活動が最も活発なオロミア州は、エチオピアの中でも面積が一番広く、農業が基幹産業となっている。2012年時点で州の総人口の8割が農業に従事し、GRDPの42%を占める産業となっている。

男性は農水産業に従事している割合が多く、製造・ガス・電気・給水産業や工業やサービスの産業では女性の方が多い。

農業以外にも、オロミア州は、観光資源（Awash 国立公園、Sodere 温泉地、リフトバレー湖沼地域等）も豊富にみられる。

### c.1 農業

オロミア州の作物生産は、穀物が主体である。豆類、オイルシードの他、綿花、砂糖きび、ジャガイモ、チャット（嗜好作物）、切り花等である。特に砂糖きびを大規模栽培する国営農場が Adama より南にある Wonji 及び Wonji Shewa や Metehara にある。

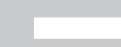
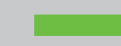


畜産は、牛、羊、山羊、鶏が主体となっている。

### c.2 インフラの整備状況（道路、電気等）

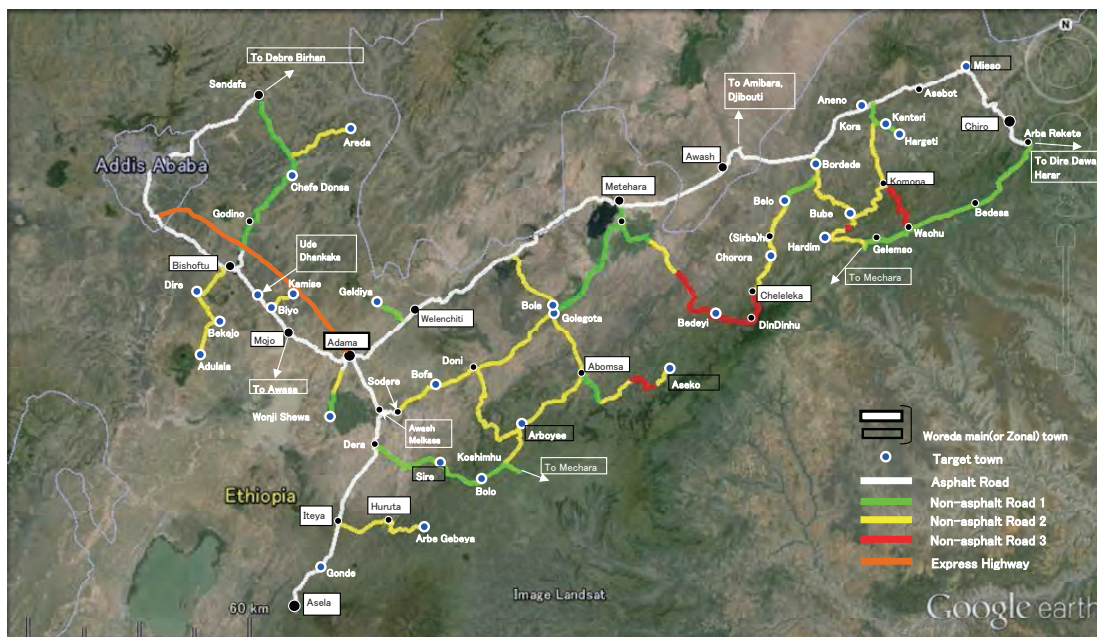
#### c.2.1 道路

地方経済の発展には、インフラの整備が大きな影響を及ぼす。アワシュ川中流域の道路状況を表 2.5.1及び図 2.5.1に示す。

表 2.5.1: 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

分類	項目	特徴
	舗装道路	4つの分類の中で最も通行しやすい。この区間では、時速 50～80 km で移動する目安がたつ。一年を通して通行には全く支障がない。
	未舗装道路 1	未舗装ではあるが路面が重機などで整備された道路であり、この区間では時速 30～50 km で移動する目安。
	未舗装道路 2	未舗装であり、道路が整備されてから時間が経っていることが想定され、路面には凹凸も多く見られる。通行には困難である。この区間では時速 15～30 km で移動する目安。
	未舗装道路 3	未舗装路の中でも通行には非常に困難が伴う道路。路面の凹凸に加え、大きな石の露出が多く、道路傾斜も急峻である。この区間では時速 10～15 km で移動する目安だが、雨季では路肩崩壊などの更なる困難も想定される。

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果



出典：調査団、データ元：Google Earth

図 2.5.1: 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

### c.2.2 電気

オロミア州は多くが水力発電によって賄われている。まだ全域が電化されておらず、電力公社（EEPCO：Ethiopia Electric Power Corporation）によって架線工事が鋭意進められている。しかしながら、人口に対する発電量の不足及び変電所の容量不足のため、州都 Adama や Bishoftu 等の主要都市において突発的な停電が発生し、不安定な電力供給事情にある。

## 2.5.2 対象小都市を含む郡の社会経済状況

### a. 民族、教育

民族は、オロミア州の主要民族であるオロモ族が一番多く、15 郡中 13 郡で 80% 以上を占めている。次いでアムハラ民族が多く、Arsi 県 Sire 郡では 30% を占めているが、他郡では概ね 10% 程度である。

対象小都市の属する郡レベルの学校数のうち、郡あたりの小学校の平均数は 41 である。

小学校への就学率は全体で約 73% であるが、West Hararge 県では 50% 程度と他県に比べて低い。小学校 1 校あたりの就学年齢（7～14 歳）の子供数は概ね 400 人から 900 人となる。

### b. 農業及び土地利用

農業用地が全体の約 44%、森林が約 16% となっており両分類でおよそ 60% を占める。

主要農産物については、作付面積ベースおよび収穫量ベースでともにテフと小麦が卓越している。面積ベースではテフが約 27%、小麦が約 20% である。また、収穫量ベースで見ると、テフ約 19%、小麦約 28% となる。

家畜頭数ではヤギ（31%）、牛（26%）、羊（22%）の順で多く、これらはどの郡でも多い。次いでニワトリが全体の約 13%を占める。Merti 郡（Arsi 県）や Mieso（West Hararge 県）ではラクダの頭数が他郡に比べて多い。

**c. 保健衛生状況**

水因性疾患の症例は、下痢およびマラリアの報告事例が多くともに全体の約 38%を占める。次いで腸チフスの報告事例が多く約 21%となっている。

衛生施設は、簡易トイレの数が最も多い。

参考資料、文献

- ① 既存研究報告書に掲載されている既存井戸データ：
  - 1) Hydrogeology (Map) of the Nazret, EIGS, 1985
  - 2) Evaluation of water resources of the Ada'a and Becho plans groundwater basin for irrigation development project, WWDSE, planned by MoWR, 2009
  - 3) Allaidege plain groundwater resources assessment project, WWDSE planned by MoWR, 2009
  - 4) Study and design of Lake Besaka level rise project II, WWDSE, planned by MoWE, 2011
  - 5) Growing lake with growing problems: integrated hydrogeological investigation on Lake Beseka, Ethiopia, ELENI AYALEW BELAY, 2009
  - 6) Assessment and evaluation of causes for Beseka Lake level rise and design mitigation measures Part II : Study for medium and long term solutions (Main report final), MoWIE and OWWDSE, 2014
  - 7) Groundwater origin and flow along selected transects in Ethiopian rift volcanic aquifers, Seifu Kebede et al, 2008
  
- ② 井戸完成記録・井戸柱状図・揚水試験記録：
  - 1) West Hararge ゾーンの水事務所からの既存井戸データ（柱状図、揚水試験記録含む）
  - 2) Arsi ゾーンの水事務所からの既存井戸データ（柱状図、揚水試験記録含む）
  - 3) East Shewa ゾーンの水事務所からの既存井戸データ（柱状図、揚水試験記録含む）
  - 4) Arerti (Amhara 州) 郡、Lomme (Oromia 州) 郡の井戸完成記録、個別井戸データ
  - 5) WWDSE, 2014 灌漑用井戸データ（深度 595m）
  
- ③ その他文献
  - 1) 日本地下水学会編「名水を科学する」,1994
  - 2) Hydrogeological map of Ethiopia (1:2,000,000) compiled by Tesfaye Chernet and the Regional Geology Department, EIGS, 1988
  
- ④ 調査団による現地調査、インタビュー等から得られたデータ（現地写真も含む）

# Chapter 3

---

*Beseka湖周辺の*

*水文・水理地質解析*

*Hydrology and Hydrogeology  
Analysis around Lake Beseka*



### 3 Beseka 湖周辺の水文・水理地質解析

#### 3.1 Beseka 湖の拡張問題

Beseka 湖は Oromia 州 Fentale 県に属し、アディスアベバの東方約 130 km に位置する。集水面積は 532 km<sup>2</sup> であり、地形上はアワシュ川中流域から独立している。

Beseka 湖は 1960 年代から水位上昇を始め、1970 年代からそれによる悪影響が顕在化し、湖周辺の国道 4 号線、鉄道、農場や居住地が浸水・水没した。1960 年代後半以降、Beseka 湖の水位は約 12 m 上昇し、湖面積は 3.6 km<sup>2</sup> から 55 km<sup>2</sup> へと増大している。

湖拡張が始まる時期は Beseka 湖周辺でアワシュ川を水源とする灌漑プロジェクトが開始される時期と重なっている。既往の調査や研究のほぼ全ては大規模灌漑プロジェクトからの余剰水が Beseka 湖拡張を招いていると結論づけている。

本プロジェクトでは、Beseka 湖周辺の地形・地質および水理地質上の特徴を調査した。また、Beseka 湖拡張の原因として広く認識されている灌漑地区からの余剰水流入について、その合理性を検証するという観点から、Beseka 湖面の温度解析、Beseka 湖およびその周辺の水質分析、灌漑排水量の推定とそれを考慮した水バランス解析を行った。

#### 3.2 地形・地質・地質構造

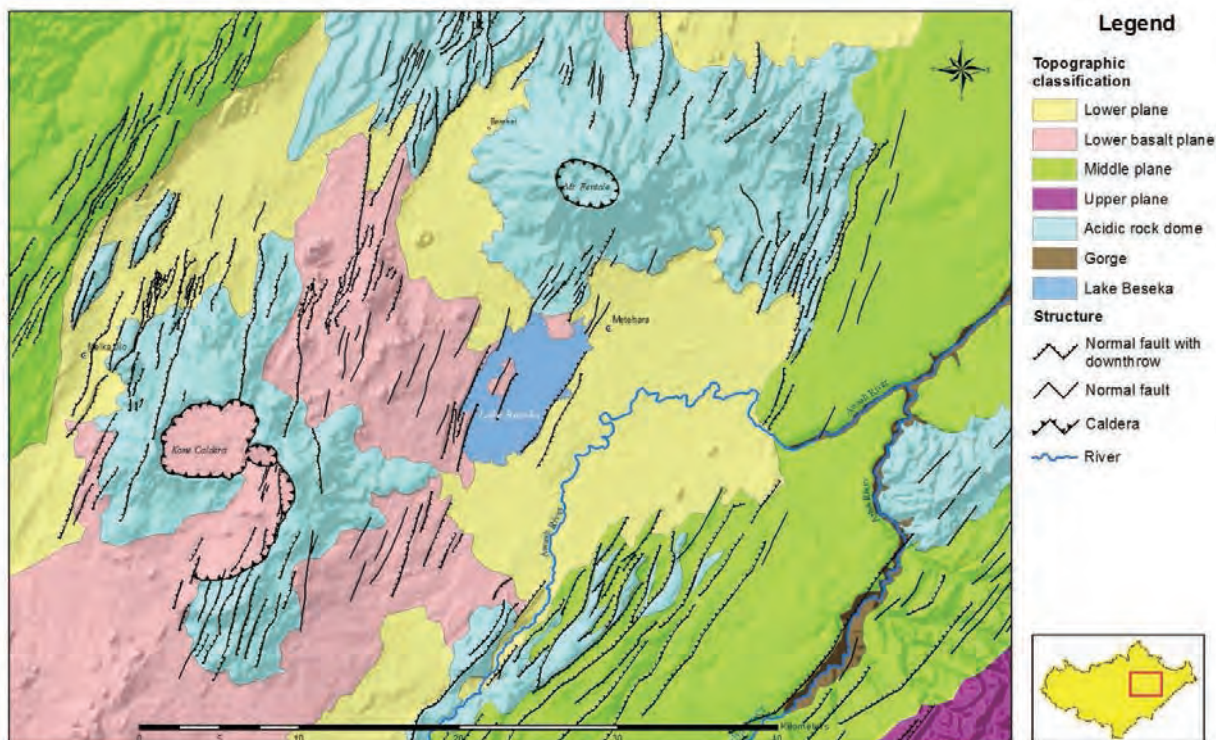
##### 3.2.1 地形

地形は、この地域の火山噴出物、堆積物及び地質構造等の特徴により 7 つに区分した。それぞれの特徴を表 3.2.1 に示す。また、地形区分図を図 3.2.1 に示す。

表 3.2.1: Beseka 湖周辺の火山地形の特徴

地形区分		特徴
沖積低地面	Alluvial lower plane	主にアワシュ川の氾濫原と、比較的新しい溶結凝灰岩（Fentale イグニンプライト）が形成する起伏の無い平らな地形。地溝帯の中心部に分布し、最も標高の低い地形面である。
更新世玄武岩低地面	Pleistocene basalt lower plane	主に更新世溶岩類が形成する緩やかな起伏をもった溶岩流地形。沖積低地面より一段高い地形面を形成するが、同じく地溝帯の中心部に分布する地形面である。
中間面	Middle plane	沖積低地面と玄武岩低地面よりも一段高い地形面で、両者とは北東-南西～北北東-南南西方向の断層で区切られている。主に漸新世～前期更新世の火山噴出物（Dino イグニンプライト及び Bofa 玄武岩類）が形成する比較的なだらかな地表面をもち、地溝帯の中心に向かって緩やかに傾斜する。
高地面	Upper plane	主に中新世の古い玄武岩類で構成される地形面で、主エチオピア地溝帯の主要な断層崖を形成している。
酸性火山岩ドーム	Acidic rock dome	Fentale 山、Kone カルデラ、Birenti 山、Hada 山等の火山体の主要部を形成する第三紀から第四紀の流紋岩類やトラカイト溶岩のドーム状地形、または一部これらの溶岩が流れた際の溶岩台地の地形。
峡谷	Gorge	アワシュ川及び Arba 川による開析によって形成された地形。Arba 川沿いに発達する峡谷は、北東-南西方向の断層群と平行するが、中間面を開析するアワシュ川本流の峡谷は、断層の方向と関係なく発達している。
湖面	Beseka Lake	Beseka 湖

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果（背景: ASTER の DEM データから作成した陰影起伏図）

図 3.2.1: Beseka 湖周辺の地形区分図

### 3.2.2 地質

Beseka 湖周辺において詳細な地質調査を行い、10 万分の 1 の地質図を作成した。地質図及び断面図を図 3.2.2及び図 3.2.3に示す。

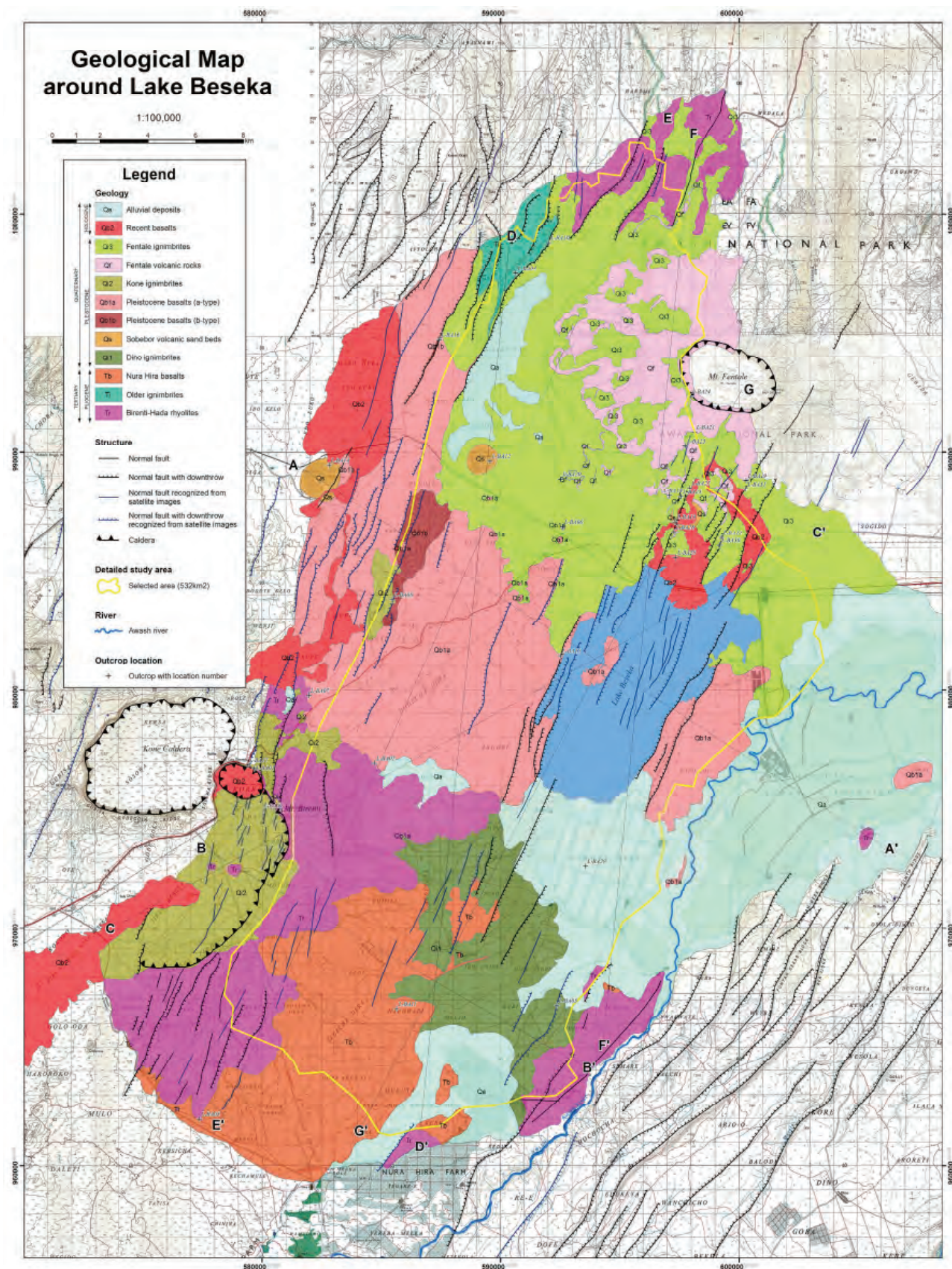
地質は表 3.2.2に示す層からなる。

表 3.2.2: Beseka 湖周辺の地層とその特徴

地質年代	地層名	特徴
第四紀 完新世	沖積層	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 主にアワシユ川の氾濫原に堆積した砂泥層</li> <li>● 現在は大部分がサトウキビ農園となっている</li> </ul>
	完新世玄武岩類	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 黒色の多孔質な無斑晶質玄武岩</li> <li>● 周辺の火山噴出物のうち、最も時代の新しいもの</li> <li>● Fentale 山南麓に分布し、南端は Beseka 湖に到達</li> <li>● 植生はまばらで、ほとんど風化や侵食を受けずに溶岩が流下した当時の様子を残している</li> <li>● 溶岩の粘性は非常に低く、噴出口と思われる周辺では、スパターが積み重なった構造や、溶岩トンネルが発達</li> </ul>
第四紀 更新世	Fentale イグニブライト	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Fentale 山を噴出源とする灰緑色～灰白色の溶結凝灰岩と非溶結の凝灰岩及び軽石で構成</li> <li>● Fentale 山側面、山麓及び周辺域に広範囲に分布</li> <li>● 地層中心部では溶結によって黒曜石化したガラス質レンズ構造が発達</li> </ul>
	Fentale 火山岩類	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Fentale 山の山体を形成している酸性火山岩類</li> <li>● 山体を形成しているのはアルカリ長石と角閃石が散在する流紋岩からトラカイトである</li> <li>● 地表面は数十 cm から 1 m 程度のブロック状</li> </ul>

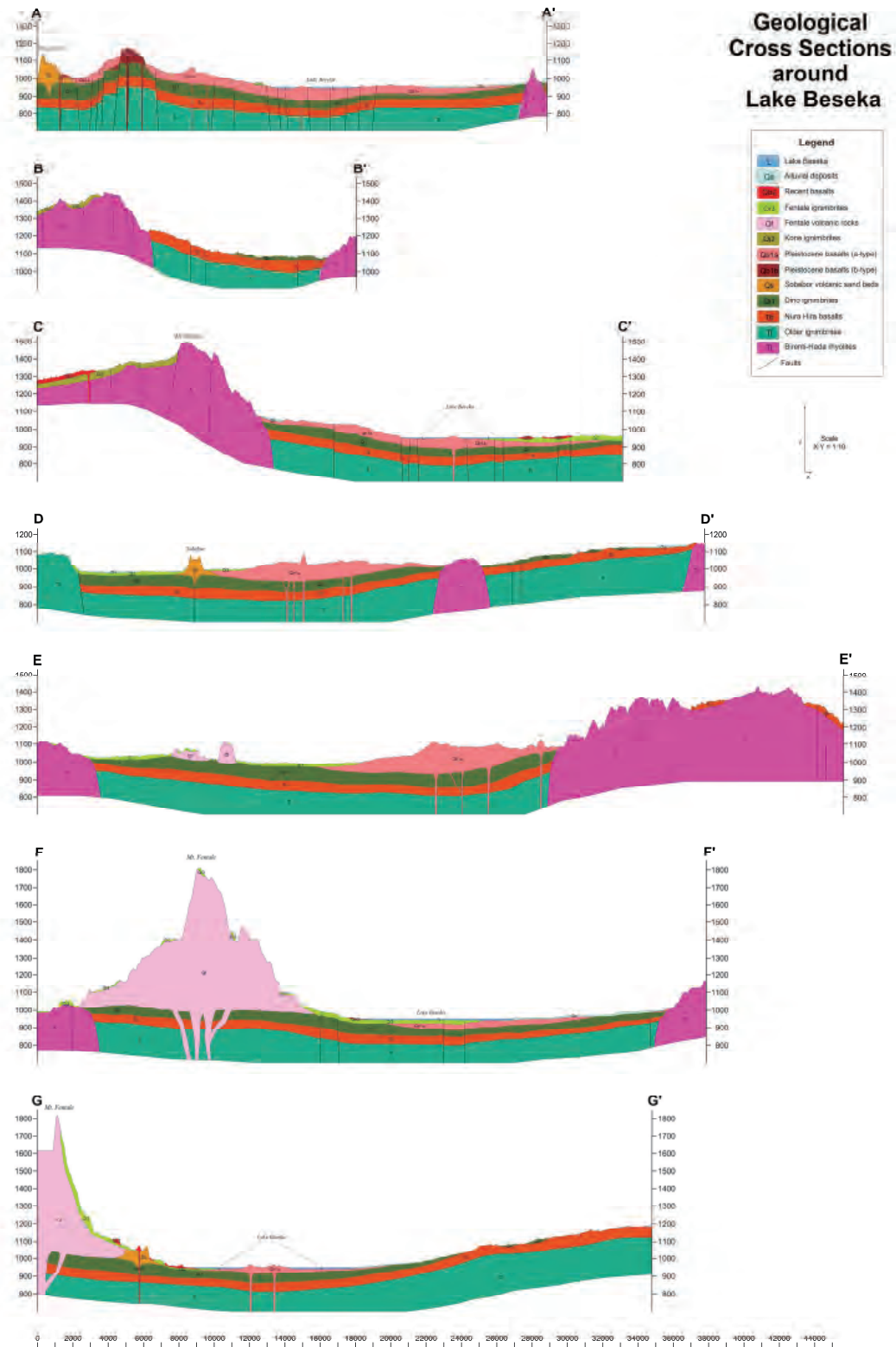
地質年代	地層名	特徴
		<ul style="list-style-type: none"> <li>● 溶岩は大半が非常にガラス質な基質をもち、黒色から深緑色を呈する</li> </ul>
	Kone イグニンプライト	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Kone カルデラ東部に分布する灰緑色～灰色の強溶結～非溶結の凝灰岩類及び軽石層より構成</li> <li>● 凝灰岩中には1～3 mmの針状の角閃石が比較的多く含まれ、数mm～数cm程度の異質岩片を多く含む</li> </ul>
	更新世玄武岩類	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Beseka 湖の西側一帯及び東側の一部に分布する玄武岩溶岩類及びスコリア層</li> <li>● かんらん石輝石玄武岩溶岩（a-type）及び斑状輝石玄武岩溶岩と無斑晶質玄武岩溶岩の互層（b-type）に区分</li> </ul> <p><u>a-type</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 更新世玄武岩類が分布する地域の大部分を占めている</li> <li>▶ 黒色で細粒な基質に0.5～1 mm程度のかんらん石及び輝石の斑晶を多く含んでいる</li> <li>▶ 地表面近くで溶岩は非常に多孔質で、空隙がしばしば白色の二次鉱物（沸石）によって埋められている</li> </ul> <p><u>b-type</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 調査地域西縁の一部にのみ露出</li> <li>▶ 黒色斑状玄武岩溶岩と、緻密な黒色無斑晶質玄武岩で構成</li> <li>▶ 前者は5 mm大の斜長石斑晶が目立ち、1～3 mm程度の輝石と少量のかんらん石斑晶が点在する</li> </ul>
	Sobebor 火山性砂岩層	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 3箇所にもみ、緩やかな円弧を描くように配列</li> <li>● 独立した山体（タフリング）を形成</li> <li>● 山体が比較的巨大で、中心に大きなクレーター（直径0.5～1 km）を有している</li> <li>● 2～10 cm程度の層理がよく発達する、1～2 mmの茶褐色火山砂～シルトで構成</li> <li>● 層理は山体の中心から周辺に向かって一様に20～30度傾斜</li> </ul>
	Dino イグニンプライト	<ul style="list-style-type: none"> <li>● アワシユ川右岸からArba川にかけて広く分布する広域溶結凝灰岩類の延長</li> <li>● Beseka 湖南西部の限られた地域にのみ分布し、全体に層厚は薄い（最大5 m程度）</li> <li>● 比較的平らな地形を形成</li> <li>● 岩相は灰緑色の弱溶結凝灰岩</li> <li>● 角閃石斑晶を顕著に含んでいる</li> </ul>
第三紀 鮮新世	Nura Hira 玄武岩類	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 黒色の緻密で無斑晶質な玄武岩溶岩類</li> <li>● 岩石学的及び地形的な特長を踏まえ、層序学的に検討した結果、新たにこれを区分し、Nura Hira 玄武岩類と命名</li> <li>● 地表面は比較的平らで連続しており、比較的多くの灌木類に覆われている</li> <li>● 一般的に本溶岩類は無斑晶質</li> </ul>
	古イグニンプライト	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 緑色から灰緑色の強～弱溶結凝灰岩及び軽石を含む非溶結凝灰岩で構成される広域イグニンプライト</li> <li>● 北西端に分布する北北東-南南西トレンドに露出</li> <li>● 調査地域外の北西方向へ広く分布</li> <li>● 溶結度の異なる複数のフローユニットで構成</li> </ul>
	Birenti-Hada 流紋岩類	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 西部から南西部に位置</li> <li>● 灰色から緑灰色の細粒な流紋岩で、基質はガラス質なものが多く、流理構造もしばしば発達</li> <li>● 角閃石と長石の斑晶が点在</li> <li>● 地表面近くでは板状節理が発達し、内部は塊状を呈する</li> <li>● Berenti 山頂付近から南方にかけて、黒曜石が帯状に広く分布</li> </ul>

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.2.2: 詳細調査地域の地質図



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.2.3: 詳細調査地域の地質断面図

### 3.2.3 地質構造

Beseka 湖周辺地域は、主エチオピア地溝帯（MER）軸の最も中心に位置し、第四紀に活動を開始し、現在に至るまで非常に活動的な北北東-南南西方向の正断層群（Wonji 断層群 WFB）に支配された地質構造を有する。詳細調査地域周辺の断層群は、Kone カルデラ周辺を中心とする地域と Beseka 湖を中心とする地域の二つのセグメントに分けられるが、地形的及び地質構造的にみると、Beseka 湖を中心とする地域の方が、より地溝帯の低地部に位置することから、活動の中心が Kone カルデラを中心とする地域から、Beseka 湖を中心とする地域に移行してきたことを示唆している。詳細調査地域内での最も新しい断層としては、Beseka 湖の北部で完新世玄武岩類（1810～1830 年、Buxton, 1949）を切っているものが露頭で観察できる。

## 3.3 水理地質

### 3.3.1 帯水層区分と地下水流動

Beseka 湖周辺の地下水流動に関しては、推定される帯水層の地質や深度によって地下水位の深度も異なるため、ここでは深度 100 m を境にして流動系を検討した。既存井戸が 100 m よりも浅い場合（Beseka 湖周辺ではほとんどの井戸が 60 m 程度の深度である）の地下水位コンター図では概ね南西-北東方向の流動が見られる。

一方、既存井戸が 100 m よりも深い場合の地下水位コンター図は、既存井戸の点数が少ないが、南北の流動が想定できる。帯水層深度による地下水流動の違いが見られる。

帯水層単元とそれぞれの特徴は表 3.3.1 に示すとおりである。

水質のうち、フッ素濃度に関しては、全体に Beseka 湖周辺は高く、ほとんどがエチオピア基準を超えている。深度とフッ素濃度との相関もほとんどない。

表 3.3.1: Beseka 湖周辺の帯水層層準と特徴

地質年代	帯水層名	記号	水理地質的特徴
第四紀 完新世/更新世	完新統	Qal（沖積層）	<ul style="list-style-type: none"> <li>アワシュ川沿いの沖積層は小規模な分布を示す。</li> <li>Beseka湖周辺の沖積層は、砂や泥、礫からなり、層厚は11 m～40 m程度ある。揚水流量も3～7 L/sec程度揚水している。</li> </ul>
	完新世玄武岩類	Qb2	<ul style="list-style-type: none"> <li>割れ目噴火の生成物である。</li> <li>空隙を多く内包し、多くの水の貯留が可能である。</li> <li>良好な透水性を保持するが、下位に不透水層がないと取水は難しい。</li> </ul>
	Fentale イグニンプライト	Qi3	<ul style="list-style-type: none"> <li>対比した“Fentale Group of Ignimbrites (Qwi2)”は、場所によって違った水理地質的な特徴を示す。</li> <li>Fentale山の西と南側では、新鮮な灰緑色の柱状節理の発達した溶結凝灰岩で、発泡し割れ目系も発達し、地下水を包含しやすい。そのため揚水流量7 L/secを得ている既存井戸もあり、この地域の透水性は高い。</li> <li>既存井戸の深度は30 m～60 mであり、揚水流量の記載は少ないが、層相によっては、7 L/secの記録がある。</li> </ul>
	更新世玄武岩類	Qb1	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉛直、水平方向のジョイントを持つ。</li> <li>既存井戸データからもドローダウンが小さく、比湧出量が7 L/sec/m以上の値を示す箇所もある。その他は湧出量が1.4～1.6 L/secである。</li> </ul>

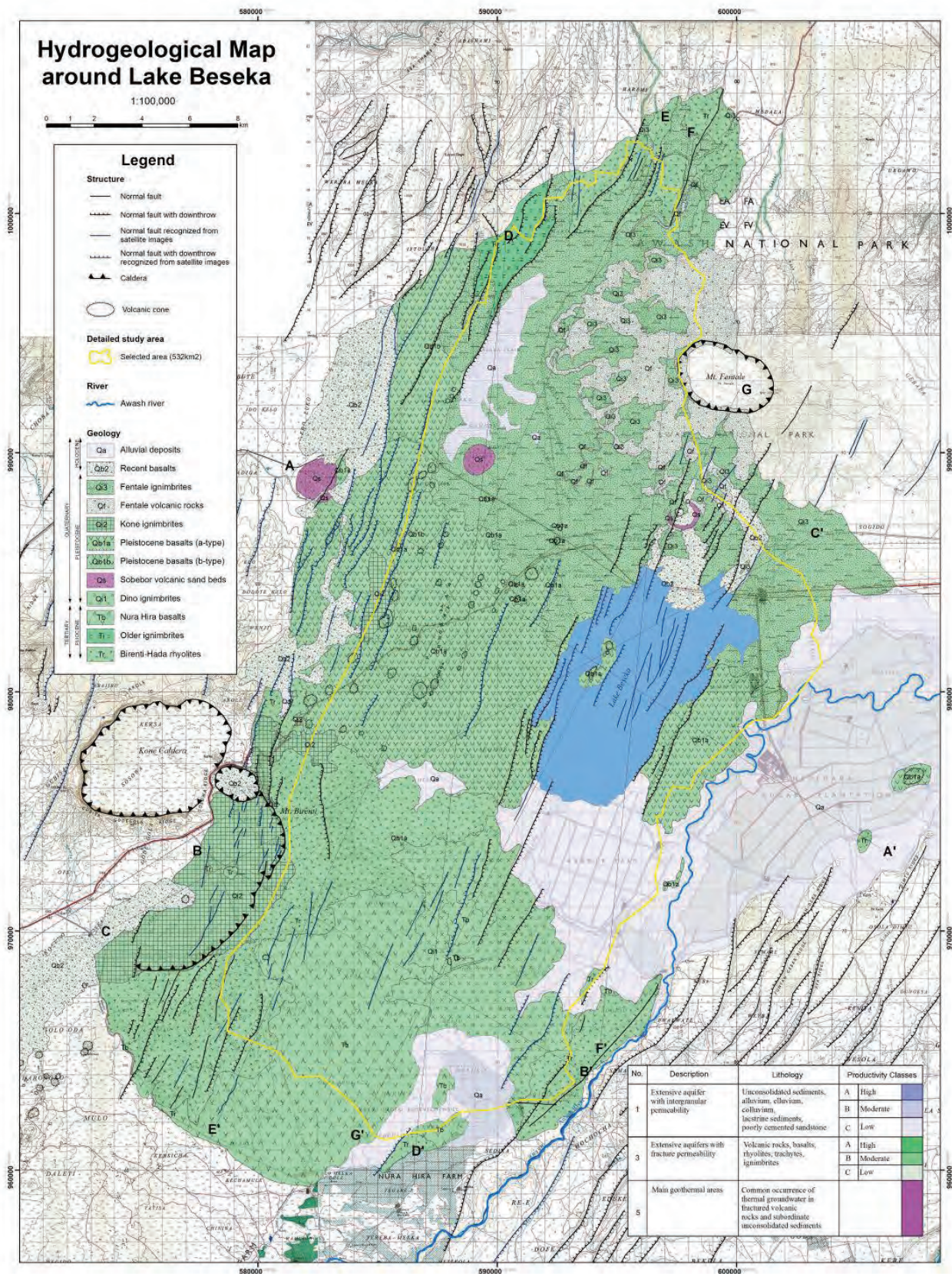
地質年代	帯水層名	記号	水理地質的特徴
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beseka湖周辺での深度50～70 m程度の深度の既存井戸で玄武岩が分布しており、揚水流量の記載は少ないが、8～12 L/secの値を示す。</li> <li>• そのためこの玄武岩のグループは中程度の透水性を持つと考えられる。</li> </ul>
	Dino イグニンプライト	Qi1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 対比した“Dino Ignimbrites (Qwi)”は、ジョイントや断層が見られる。</li> <li>• Beseka湖周辺での既存井戸の湧出量情報は少ない。</li> <li>• JICA井戸でDino層準に対比できる地層もあるが、取水はこの層準より下位で行った。</li> <li>• 他地域の情報では、既存井戸の比湧出量は、平均2.2L/sec/m、揚水流量は平均6L/secで中程度の透水性を示す。</li> </ul>
第三紀鮮新世	Nura Hira 玄武岩類	Tb (Bofa 玄武岩類 に対比)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 露頭では柱状節理がよく発達しており、ジョイントは2-3 cmの幅、間隔は1 m程度である。</li> <li>• Beseka湖周辺では露頭は見られないが、JICA井戸ではBofa玄武岩に対比できる層準を認識し、揚水流量は6～11L/secで比湧出量は0.15～9.3 L/sec/mと幅が広い。</li> <li>• この層は一般的に中程度の透水性を示す。</li> </ul>
	古イグニンプライト	Ti (上部 Nazret 火砕堆積物 に対比)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• “Nazret Group of Ignimbrites (Nn)”は、分布した場所によって透水性が異なる。</li> <li>• グループの地質は、イグニンプライト、溶結凝灰岩、火山灰流、流紋岩及び凝灰岩からなる。</li> <li>• Melka Jiloの北東やKoneカルデラの北側では、節理や断層が発達しており、既存井戸でも6.7L/secの揚水流量がある。</li> <li>• 全体として平均湧出量は15L/sec、比湧出量は2L/sec/m以上であり、生産性は高いに分類される箇所も多い。</li> <li>• その他の地域では火山灰流、凝灰岩の層相で、既存井戸データからも透水性が低い箇所もある。</li> </ul>
	Birenti-Hada 流紋岩類	Tr (鮮新世 流紋岩類 に対比)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 主に軽石質凝灰岩を含む流紋岩からなる。</li> <li>• 一般的には亀裂の多い箇所は中程度の透水性を示す。</li> </ul>

出典：調査団、データ元：参考資料①、②及び担当団員の調査結果

### 3.3.2 水理地質図・断面図

Beseka 湖周辺の水理地質図および断面図を作成し、図 3.3.1および図 3.3.2に示した。

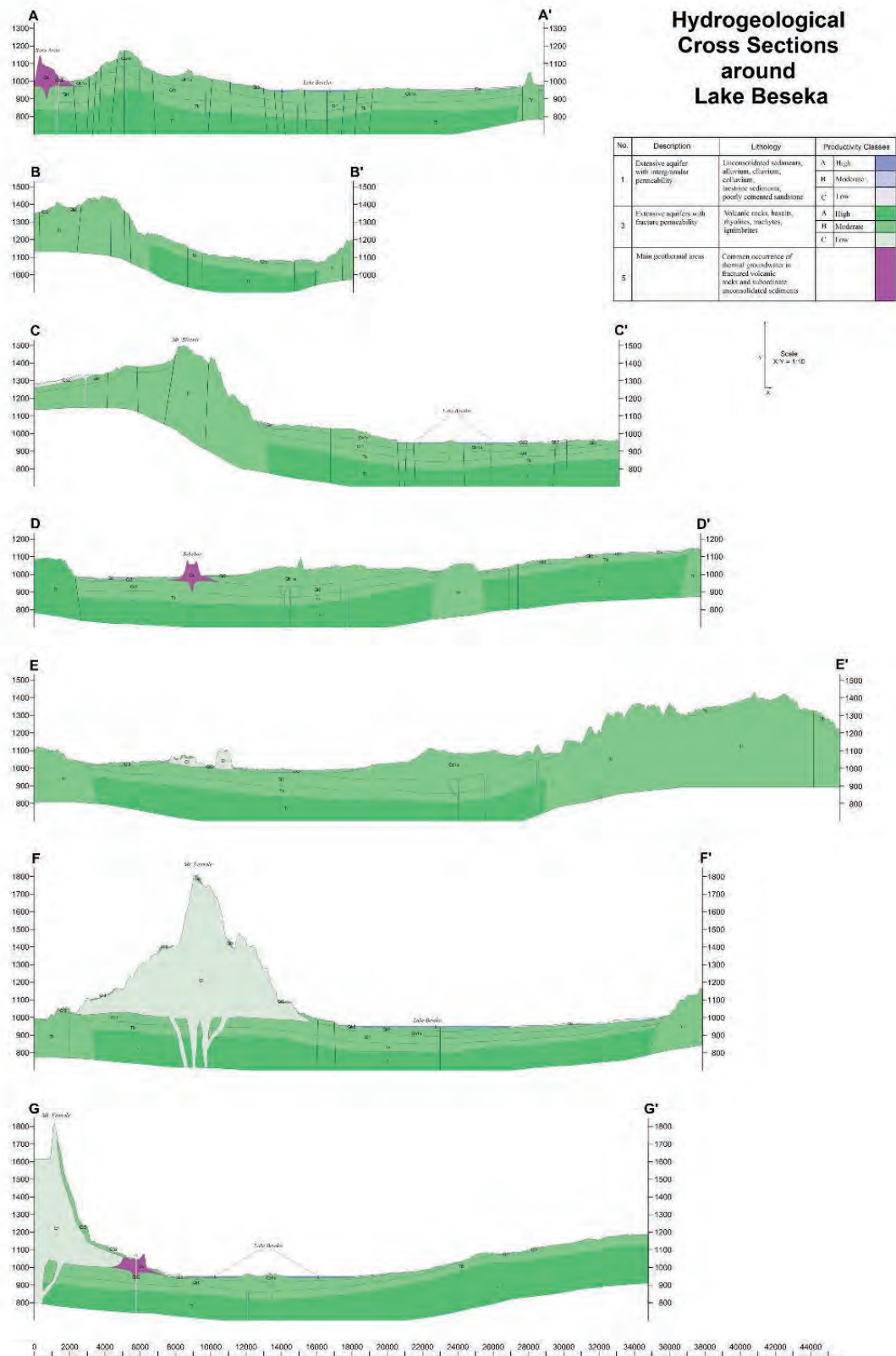
平面的には Fentale 火山周辺を除いて、表層に分布する大部分の帯水層が中程度の透水性を有し、断面図からも約 150 m の深度まで分布する。それ以深は第三紀鮮新世の火砕堆積物が分布し、帯水層情報では、高い生産性を有すると思われる。



出典：調査団、データ元：参考資料①、②、③及び担当団員の調査結果

図 3.3.1: Beseka 湖周辺の水理地質図(平面図)





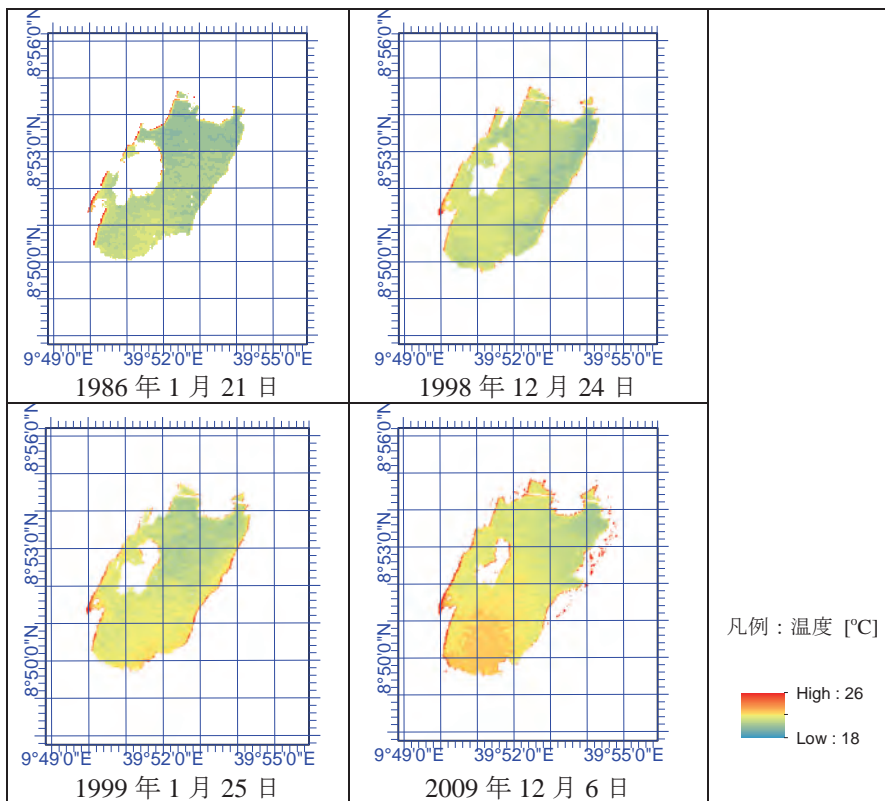
出典：調査団、データ元：参考資料①、②、③及び担当団員の調査結果

図 3.3.2: Beseka 湖周辺の水理地質図(断面図)

### 3.4 湧泉、灌漑水等の流入状況

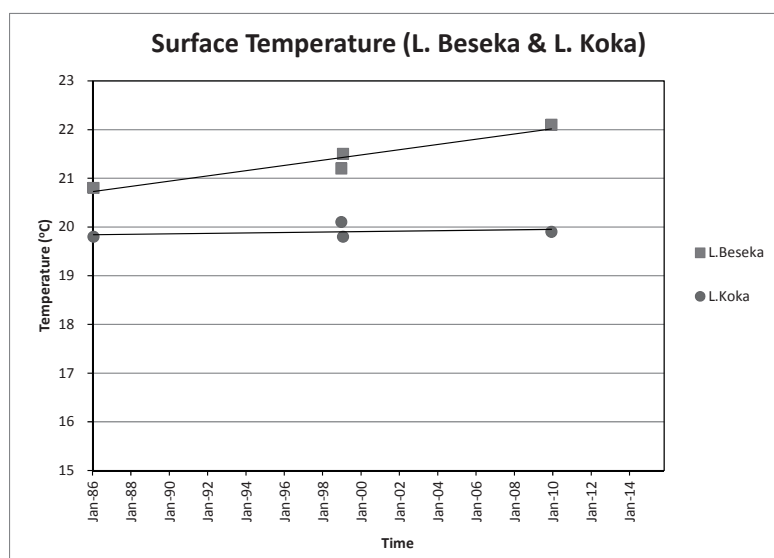
#### 3.4.1 画像解析による湧水分布の経年変化

Landsat の衛星画像データを用いて、各時点の湖面温度を解析した。解析結果を図 3.4.1 および図 3.4.2に示す。



出典：調査団、データ元：担当団員による調査結果

図 3.4.1: Beseka 湖面温度の平面分布状況



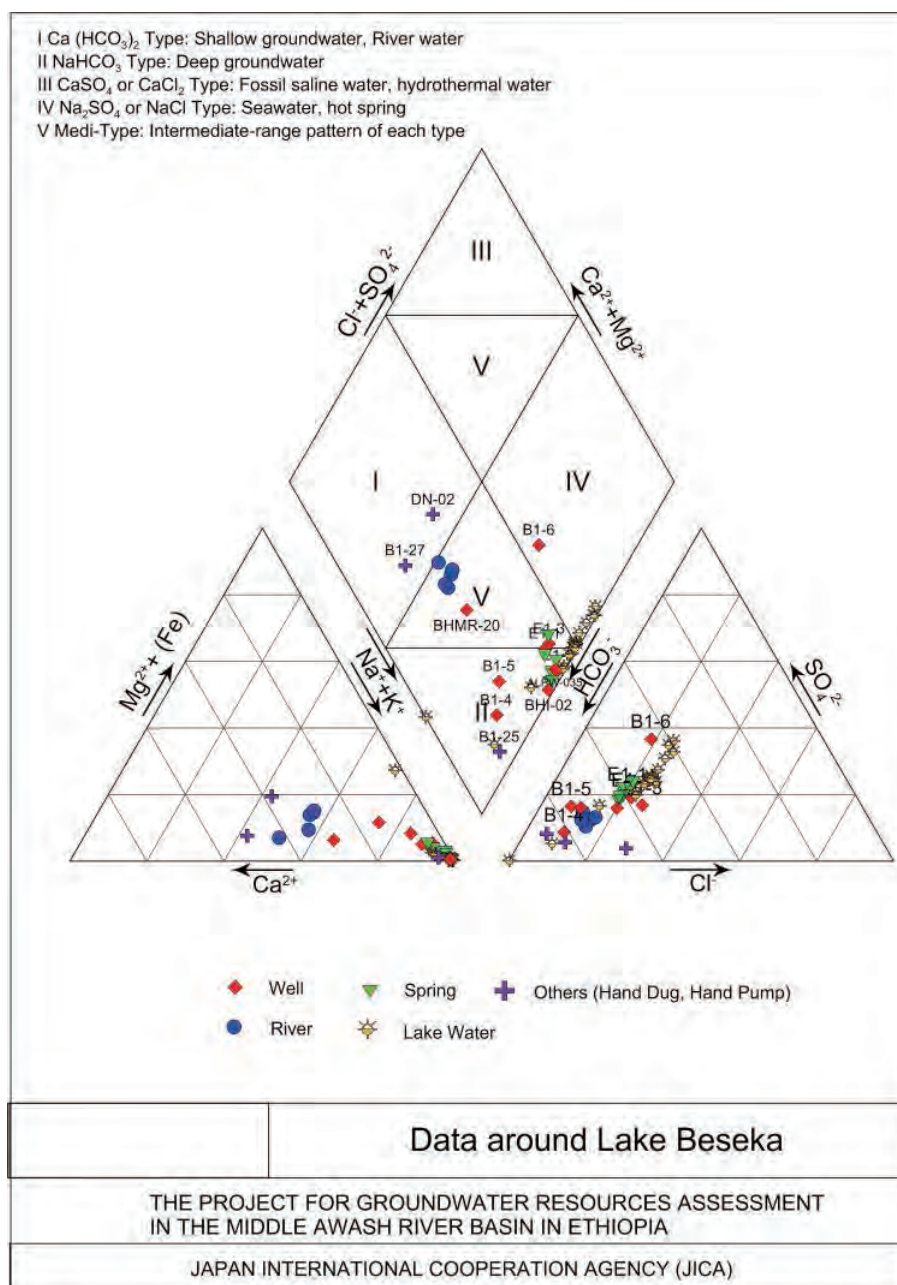
出典：調査団、データ元：担当団員による調査結果

図 3.4.2: Beseka 湖面温度と Koka 湖面温度の比較

解析シーン数は少ないものの、同一シーンでの Koka 湖面温度が安定していることから、Beseka 湖面温度は経年的に上昇している可能性が示唆される。この間、湖体積も拡張していることから、流域西側からの高温水の流入増が体積膨張と水温上昇の両方に寄与していると考えても矛盾しない。

### 3.4.2 水質分析結果

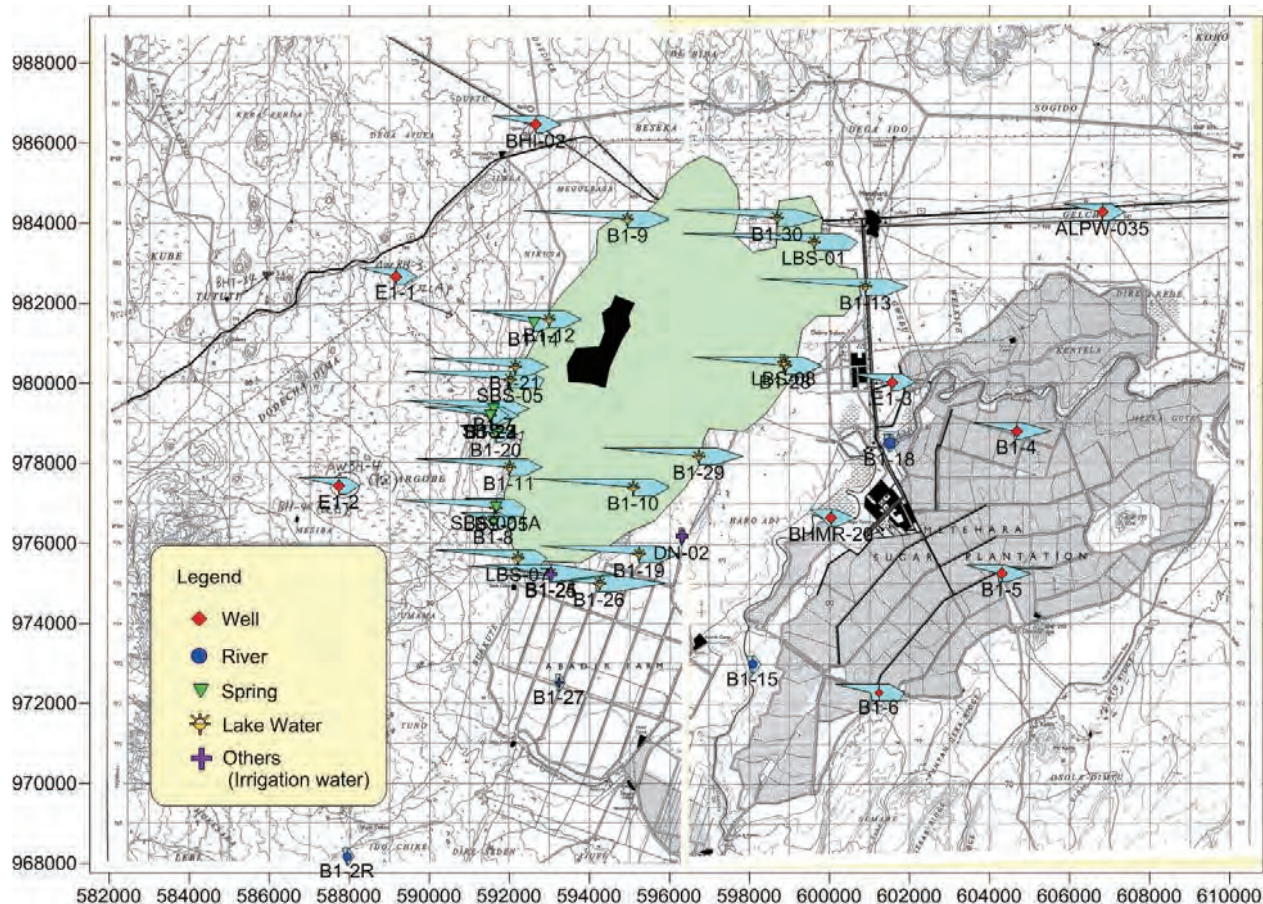
Beseka 湖周辺の水質分析結果について、主要イオンを用いてトリリニアードиаグラムに整理した結果を図 3.4.3に示す。



出典：調査団、データ元：担当団員による調査結果

図 3.4.3: トリリニアードиаグラム(Beseka 湖周辺)

図 3.4.4には、Beseka 湖周辺でのサンプリング地点と既存資料の地点のヘキサダイアグラムを示した。



出典：調査団、データ元：担当団員による調査結果

図 3.4.4: サンプリング地点のヘキサダイアグラム(Beseka 湖周辺)

これらの水質分析結果から、現在の Beseka 湖水の水質（ $\text{NaHCO}_3$  型もしくは  $\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{NaCl}$  型）が周辺の地下水や湧水（いずれも  $\text{NaHCO}_3$  型が卓越）とほぼ同じ性質であることが判明した。水質進化の観点からも湖水が湧水（湧泉）から進化していることが読みとれ、河川水（灌漑水）の影響は見られない。灌漑水の痕跡は、湖南岸の灌漑地に接する地域で検出された Ca イオンで確認できるのみである。

この結果からも、湖拡張に対し、灌漑水以外に主たる要因を求めることの重要性が示唆される。

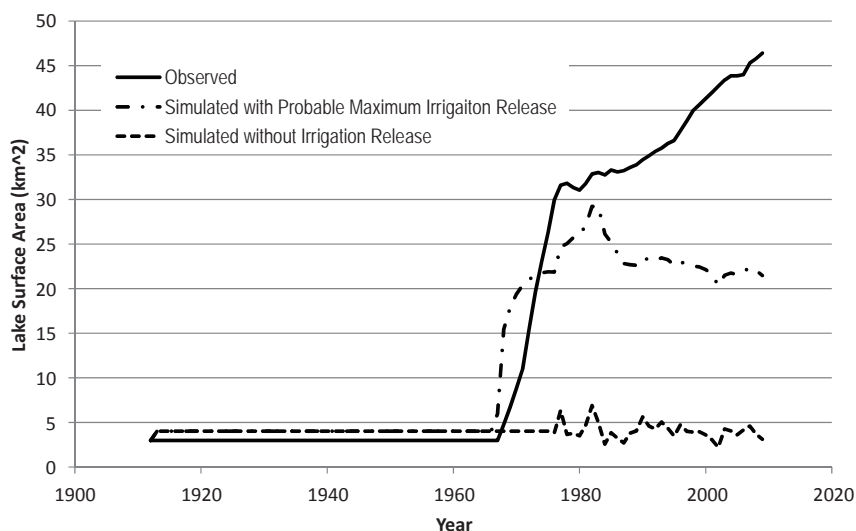
### 3.4.3 灌漑排水量の推定

Abadir 農場の取水量データと作物（サトウキビ）生育のための必要水量、および圃場への有効雨量から推定した灌漑効率は約 54%であり、良好と判断される。Abadir 農場から排出される灌漑余剰水は最大でも 35 百万  $\text{m}^3$  であるが、これは蒸発等湖に到達する前に消失する量も含んでおり、実際にはこれよりもはるかに少ないと考えられる。

水バランス計算上、過去に安定していたといわれる湖面積 4  $\text{km}^2$  が保たれるためには、

Beseka 湖への流域からの流入量に対し、年間 58.9 百万  $m^3$  の損失（損失 Y）を見込む必要がある。

損失 Y を見込んだ場合、Abadir 農場からの灌漑余剰水 35 百万  $m^3$  によって拡大しうる Beseka 湖面積は 20  $km^2$  程度、Nura Hira 農場分の 11.2 百万  $m^3$  を加味しても 27  $km^2$  程度であり、実績（50  $km^2$ ）には遠く及ばない。



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.4.5: 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)

### 3.5 まとめ

これらの分析から、Beseka 湖の水位上昇原因に関する調査団の見解は以下のとおりである。

- 1960年代以前にはBeseka湖の規模は湖面積4  $km^2$ 程度で安定していた。
- 1960年代後半からBeseka湖への地下水の流入が増加し始める。
- 同時期に始まった灌漑開発による余剰水の影響と相まって水位が急上昇する。
- 地下水の流入量は年々増加し、現在の規模にまで拡張する。
- 湖面温度が上昇していることから、Beseka湖へ流入する地下水の元は湖西側から流れ込む高温湧水と同起源である。

参考資料

- ① Hydrogeology (Map) of the Nazret, EIGS, 1985
- ② Study and design of Lake Besaka level rise project II, WWDSE, planned by MoWE, 2011
- ③ Gibson I.L. (1970): “A pantelleritic welded ash-flow tuff from the Ethiopian Rift Valley” - Contr. Mineral and Petrol., 28, 89-111.

# Chapter 4

---

地下水ポテンシャル  
*Groundwater Potential*

## 4 地下水ポテンシャル

### 4.1 帯水層の分類とポテンシャル評価

調査地の主要な帯水層は、既存井戸データ、新規データ及び地質図の結果をまとめ、以下の3つに大きく区分できる。

1. 沖積層ならびに湖成堆積物
2. 第四紀更新世の凝灰岩、溶結凝灰岩、玄武岩
3. 第三紀鮮新世、中新世の凝灰岩、溶結凝灰岩及び玄武岩

調査地において地質層序に基づき区分された各地層は、エチオピア帯水層区分に対比され、また生産性に関しては、表 4.1.1に示した JICA 井戸や既存井戸での帯水層区分ごとに帯水層情報（揚水試験からの揚水流量や比湧出量）を組み合わせて生産性の予測を A～C としてまとめた。各地層の帯水層区分と生産性予測の結果は、表 4.1.2に示す。

水理地質図はこの評価をもとに作成した。

表 4.1.1: 既存井戸と JICA 井戸の帯水層単元と帯水層情報

帯水層	記号	主な地層	Q(L/sec)			Specific Capacity (L/sec/m)			Transmissivity (m <sup>2</sup> /day)		
			AVE	MAX	MIN	AVE	MAX	MIN	AVE	MAX	MIN
1 沖積層ならびに湖沼堆積物	Qal (Lc含む)	細粒砂、泥	5.2	6.5	3.0	1.1	1.1	1.1	966.0	966.0	966.0
		砂礫層、泥層	3.3	6.5	0.8	0.4	0.8	0.1	-	-	-
2 更新世の凝灰岩・溶結凝灰岩・玄武岩	Qi3/Qi2	強溶結凝灰岩、固結溶結凝灰岩	5.7	7.0	4.7	3.1	3.1	3.1	501.0	996.2	60.4
	Qb1	無斑晶状玄武岩	7.4	12.0	1.4	3.2	8.7	1.2	189.2	189.2	189.2
	Qp1	弱溶結凝灰岩含む軽石、凝灰岩	2.2	5.0	1.0	4.4	7.1	1.6	-	-	-
	Qr1	流紋岩	5.3	9.2	1.8	1.9	2.2	1.9	102.7	171.0	34.4
	Qi1	緑灰色溶結凝灰岩	6.2	16.7	1.3	2.2	9.4	0.1	284.8	1044.0	0.1
3 第三紀鮮新世・中新世の凝灰岩・溶結凝灰岩・玄武岩	Tb3	無斑晶状玄武岩	7.0	11.1	4.4	3.3	9.3	0.2	26.5	107.0	0.0
	Ti3/Ti2	溶結凝灰岩、軽石、凝灰岩	15.4	57.0	0.5	2.3	6.8	0.0	337.9	1230.0	0.5
	Tb2	無斑晶状玄武岩	9.0	20.0	4.5	3.8	7.1	0.5	102.4	102.4	102.4
	Tb1	多孔質斜長石玄武岩	13.2	60.0	3.5	5.9	8.1	0.1	118.0	1150.0	0.0

出典：調査団、データ元：参考資料①、②、④



表 4.1.2: 各地層の帯水層区分と生産性予測

年代区分	地域					本論	エチオピア帯水層区分	生産性区分		
	Nazret-Mt.Boseti	Kone-Mt.Fentale	Mojo-Areiti-Debre Bihan	Awash-Asebe Teferi	Lake Besaka (1:100,000)					
新世代	完新世	沖積層	沖積層	沖積層	沖積層	沖積層 (Qa)	沖積層 (Qa)	1	C	
		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)	5	—	
		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)	3	C	
	第四紀	更新世	Fentale イグニブライト	Fentale イグニブライト	Fentale イグニブライト	Fentale イグニブライト	Fentale イグニブライト (Qi3)	Fentale イグニブライト (Qi3)	3	B
				Fentale 火山岩類			Fentale 火山岩類 (Qf)	Fentale 火山岩類 (Qf)	3	C
			Boseti 降下軽石	Kone 降下軽石	Boseti 降下軽石			Boseti-Kone 降下軽石 (Qp2)	1	C
				Kone イグニブライト		Asebot 溶結凝灰岩類	Kone イグニブライト (Qi2)	Kone イグニブライト (Qi2)	3	B
			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)	3	B
				Sobebor 火山性砂岩層	マール堆積物		Sobebor 火山砂層 (Qs)	Sobebor 火山性砂岩層 (Qs)	5	—
					Zikwala トラカイト			Zikwala トラカイト (Qt)	3	C
			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 火砕堆積岩類 (Qp1)	1	B
			更新世流紋岩類					更新世流紋岩類 (Qr1)	3	C
			Dino イグニブライト	Dino イグニブライト	Dino イグニブライト	Dino イグニブライト	Dino イグニブライト (Qi1)	Dino イグニブライト (Qi1)	3	B
		第三紀	鮮新世	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)	3
	Chilalo 粗面玄武岩類							Chilalo 粗面玄武岩類 (Ti)	3	B
	Nazret 火砕堆積物			上部層		Nazret 火砕堆積物 上部層		古イグニブライト (Ti)	上部Nazret 火砕堆積物 (Ti3)	3
			下部層		下部層	Adele 流紋岩質凝灰岩		下部Nazret 火砕堆積物 (Ti2)	3	A
			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)	3	B
	中新世				Tarmaber-Megeze 玄武岩類	Anchar 玄武岩類		Anchar 玄武岩類 (Tb2)	3	B
					Debre Birhan イグニブライト			Debre Birhan イグニブライト (Ti1)	3	C
					Huse Ridge 流紋岩類		Huse Ridge 流紋岩類 (Tr1)	3	C	
			Alaji 玄武岩類		Kesem 玄武岩類	Alaji 玄武岩類		Alaji 玄武岩類 (Tb1)	3	A

出典：調査団、データ元：参考資料 ④

## 4.2 地下水涵養量と揚水流量

アワシュ川中流域を13の小流域に区分し、それぞれの流域で地下水涵養量を求めた。各小流域での地下水利用量に関しては、小流域内の主要な中大都市の揚水流量データ(2035年の予測)と2035年での対象小都市の計画揚水流量(計画需要量のうち計画日最大給水量で50 L/人/日の給水原単位を想定した場合)及び代表的な既存井戸をそのまま2035年まで使用すると仮定し、揚水流量は近接する小都市の増加率(2015年の約2.23倍)をかけて2035年での使用量を推定し、合計した値と地下水涵養量との比較を行った。

地下水涵養量に対する揚水流量の比率は、データを得た大部分の小流域で、1%~5%程度であり、揚水流量の量的な確保は十分可能であることがわかった。

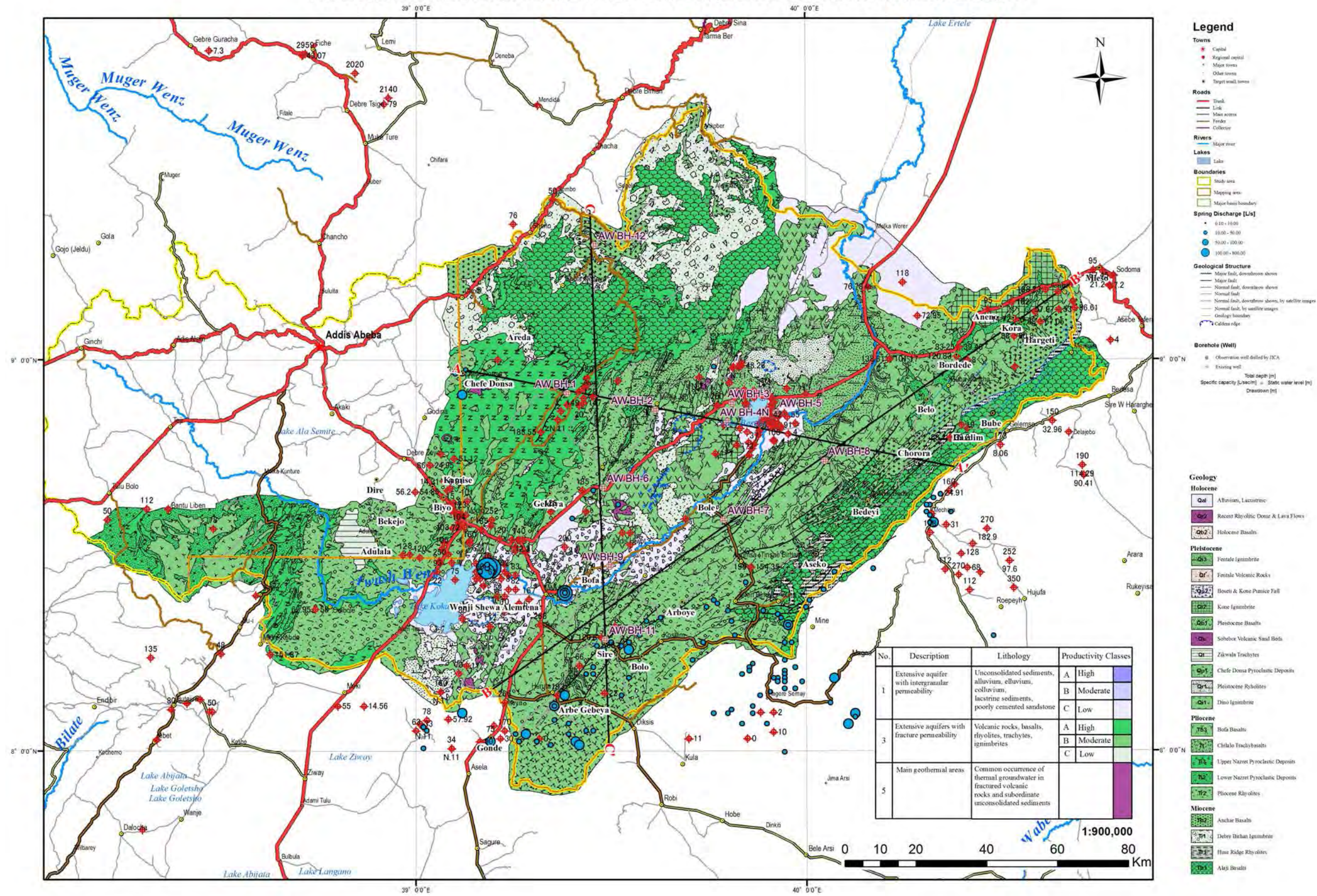
## 4.3 水理地質図と地下水流動

水理地質図は、地質と帯水層単位との関係及び帯水層情報に基づく生産性の評価をもとに作成されており、水理地質図によって、調査地内の帯水層の能力が判別でき、帯水層のポテンシャルが把握、評価できる。一方、小流域の地下水涵養量に対する今後想定される揚水流量の割合が少ないため、地下水利用量は、十分に確保できると思われる。

水理地質図と断面図をそれぞれ図 4.3.1及び図 4.3.2に示す。

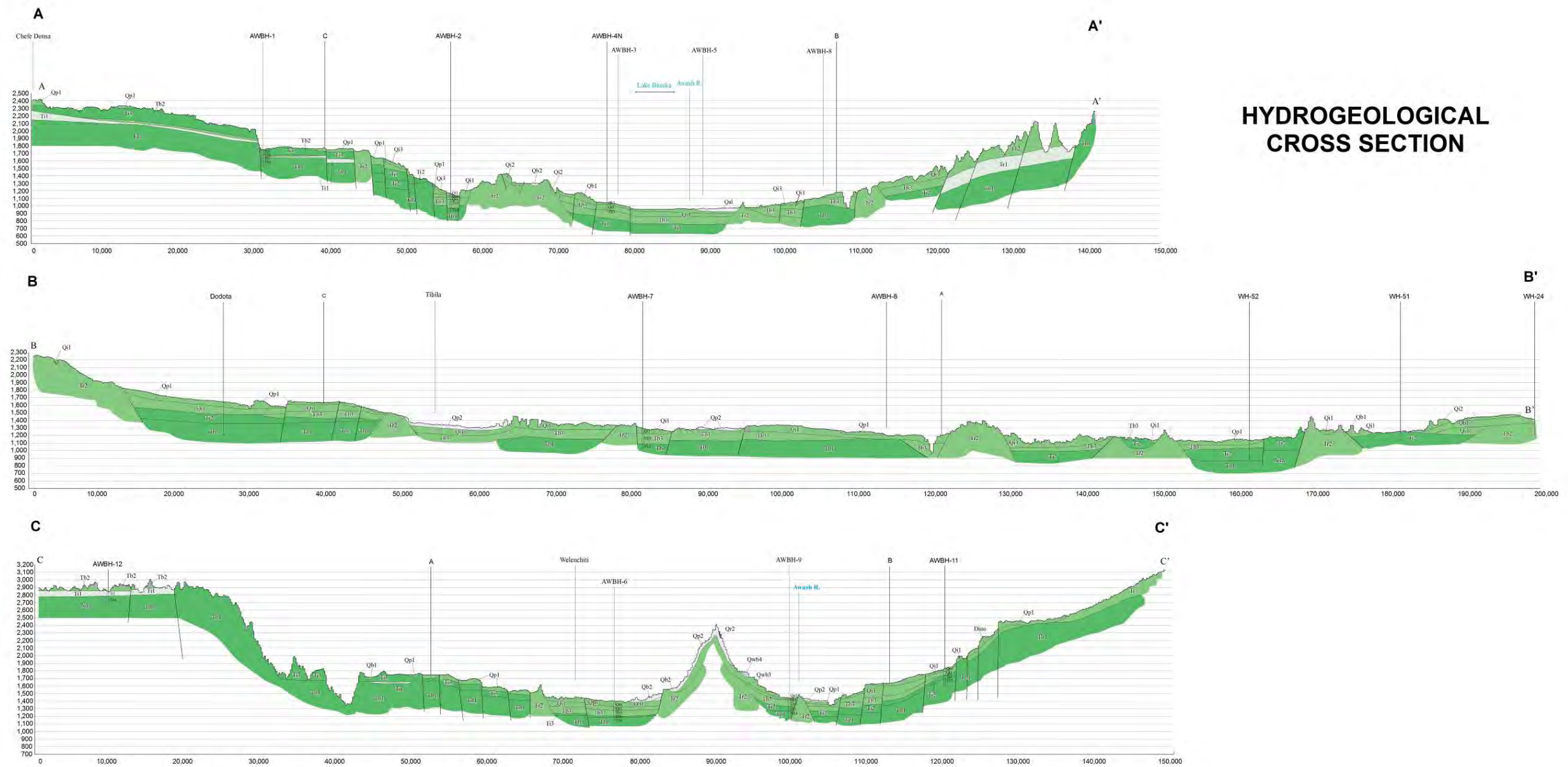
地下水流動に関しては、調査地の場合、一部の不圧地下水を除いて被圧水頭を示していると思われる静水位データをもとにJICA井戸や追加した既存井戸の情報から地下水位をコンターで表現した(図 4.3.3参照)。これから想定される流線の方向は、リフトバレーの北西側と南側の高地側からアワシュ川に沿う北東-南西方向の低地に向かう流れであり、表層地形と調和的である。

### HYDROGEOLOGICAL MAP OF THE MIDDLE AWASH RIVER BASIN



出典：調査団、データ元：参考資料①、②、③、④

図 4.3.1: アワシ川中流域の水理地質図



**HYDROGEOLOGICAL  
CROSS SECTION**

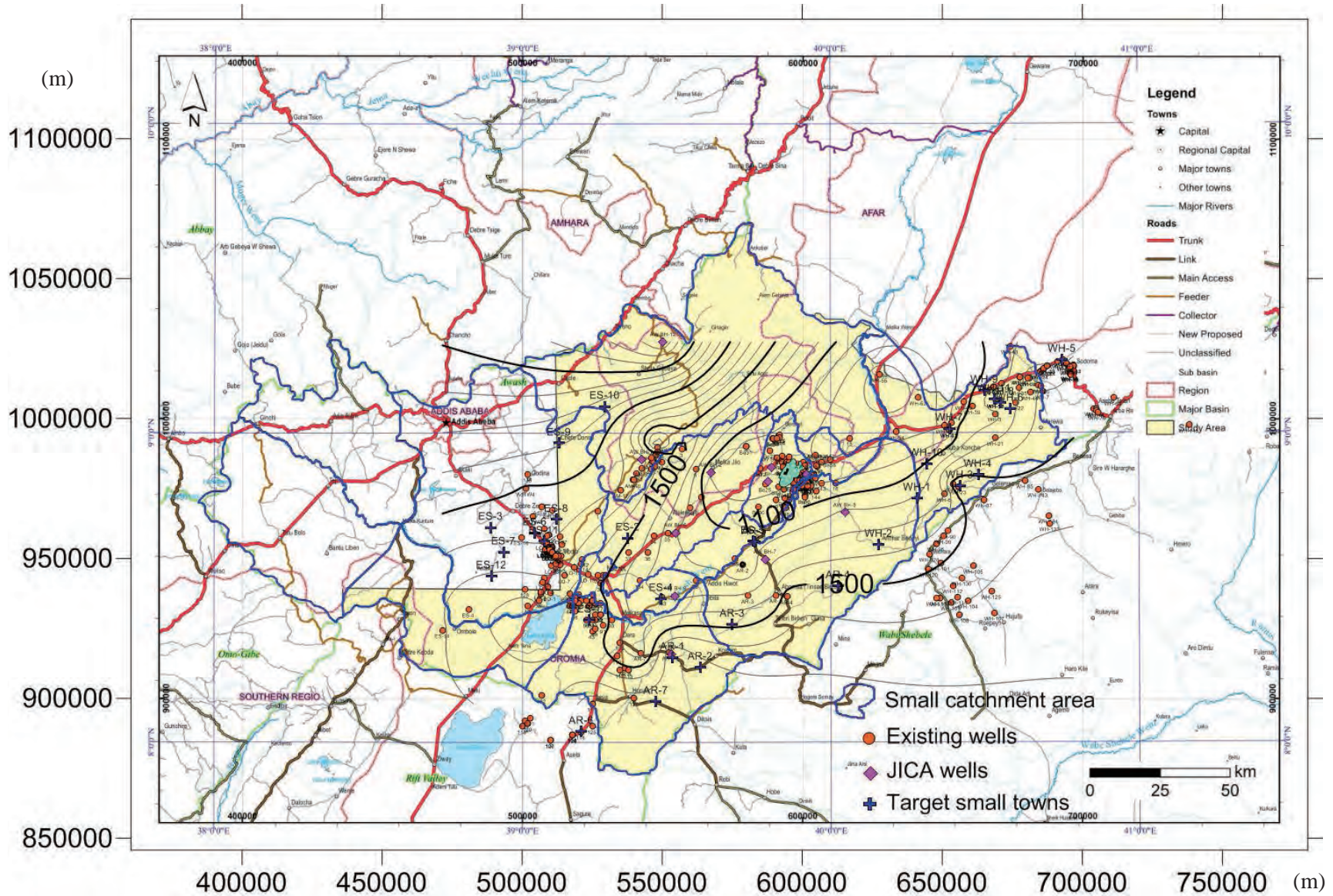
No.	Description	Lithology	Productivity Classes	
1	Extensive aquifer with intergranular permeability	Unconsolidated sediments, alluvium, elluvium, colluvium, lacustrine sediments, poorly cemented sandstone	A	High
			B	Moderate
			C	Low
3	Extensive aquifers with fracture permeability	Volcanic rocks, basalts, rhyolites, trachytes, ignimbrites	A	High
			B	Moderate
			C	Low
5	Main geothermal areas	Common occurrence of thermal groundwater in fractured volcanic rocks and subordinate unconsolidated sediments		

VERTICAL SCALE = 10 x HORIZONTAL SCALE

<b>Hydrogeological Cross Section</b>	December 2015
THE PROJECT FOR GROUNDWATER RESOURCES ASSESSMENT IN THE MIDDLE AWASH RIVER BASIN IN THE FEDERAL DEMOCRATIC REPUBLIC OF ETHIOPIA	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	

出典：調査団、データ元：参考資料①、②、③、④

図 4.3.2: アワシ川中流域の水理地質断面図



出典：調査団、データ元：参考資料①、②、④

図 4.3.3: 地下水位コンター図

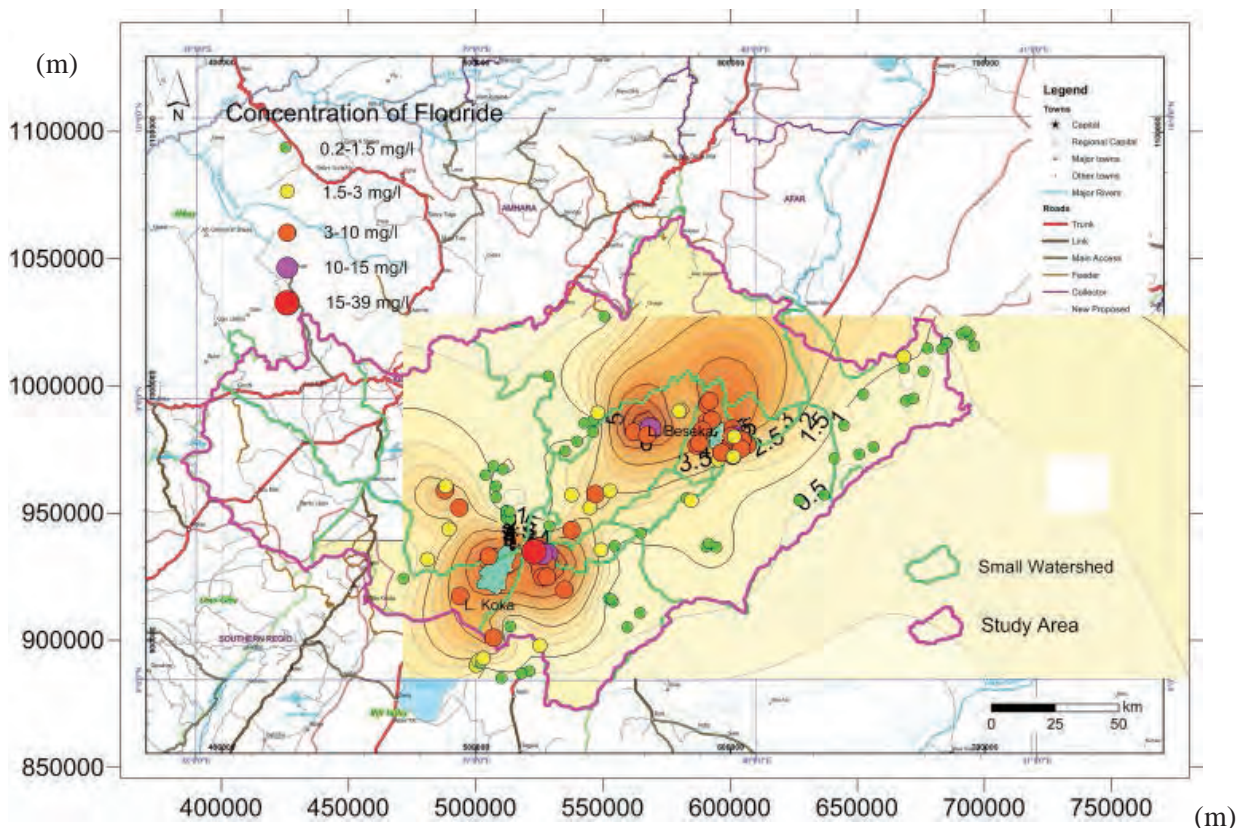
## 4.4 水質

### 4.4.1 水質分析の項目と方法及び結果

水質分析は、一般の水質分析と同位体分析を実施した。一般水質分析は既存井戸、JICA 井戸、河川水、湧水、湖水等からの 104 箇所から採取した。同位体分析は、IAEA で主に JICA 井戸の 9 箇所で行った。一般の水質分析は、現場での測定と室内分析を実施した。そのうち現場での測定は、12 項目、室内は 22 項目について実施した。

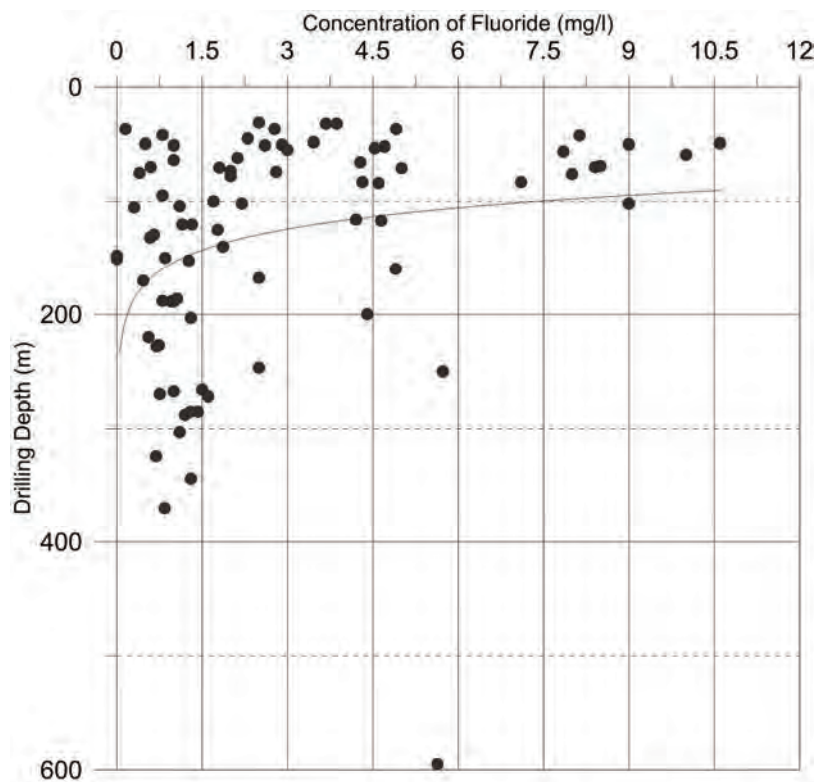
エチオピア基準値と WHO ガイドライン値と比較してみると既存井戸や JICA 井戸においては、フッ素以外の分析項目はほとんどの井戸でエチオピア基準値を超える箇所は少ない。その中で総硬度、カルシウムは、調査地の南側のリフトに沿った地域（対象小都市も 3 箇所含む）で主に既存井戸や湧泉からエチオピア基準以上の濃度が検出されるが、10 点程度である。

分析結果のうち健康項目で WHO 基準（1.5 mg/L）を超えたのは主にフッ素濃度であった。井戸の地下水の分析結果からは、主に鮮新世と更新世の境界付近の溶結凝灰岩の分布する地域や更新世以降の新しい酸性火山岩類の分布する箇所ではフッ素濃度も高い箇所が多く見られる（Koka 湖及び Beseka 湖周辺とアワシュ川中流域の低地部の東北東－西南西方向）（図 4.4.1 参照）。掘削深度とフッ素濃度の関係では、全体として深度が深くなるとフッ素濃度が低下する傾向がみられるが（図 4.4.2 参照）、上述の地質との関係も参考にする必要がある。



出典：調査団、データ元：参考資料①、②、④

図 4.4.1: 調査地のフッ素濃度分布図



出典：調査団、データ元：参考資料①、②、④

図 4.4.2: 掘削深度とフッ素濃度の関係図

#### 4.4.2 水質の特徴と考察

水質の特徴と考察では、トリリニアードイアグラムとヘキサダイアグラムを用いて考察を行った。井戸の地下水では、トリリニアードイアグラムでは、浅層地下水から停滞タイプの深層地下水領域及び中間領域のタイプの全体にばらつく。Beseka 湖に流入する湧水と Beseka 湖水は、伴に深層地下水領域 (Na-HCO<sub>3</sub> や Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-NaCl タイプ) に分布し Beseka 湖水が湧水の影響を受けていることを示す。

ヘキサダイアグラムからはアワシュ中流域の周辺部 (リフト周縁部) は浅層地下水を示す CaHCO<sub>3</sub> タイプの湧泉や既存井戸が多く、低地部は、深層地下水を示す NaHCO<sub>3</sub> タイプの井戸、河川等が多い。

参考資料・文献

① 既存研究報告書に掲載されている既存井戸データ：

- 1) Hydrogeology (Map) of the Nazret, EIGS, 1985
- 2) Evaluation of water resources of the Ada'a and Becho plans groundwater basin for irrigation development project, WWDSE, planned by MoWR, 2009
- 3) Allaidege plain groundwater resources assessment project, WWDSE planned by MoWR, 2009
- 4) Study and design of Lake Besaka level rise project II, WWDSE, planned by MoWE, 2011
- 5) Growing lake with growing problems: integrated hydrogeological investigation on Lake Beseka, Ethiopia, ELENI AYALEW BELAY, 2009
- 6) Assessment and evaluation of causes for Beseka Lake level rise and design mitigation measures Part II: Study for medium and long term solutions (Main report final), MoWIE and OWWDSE, 2014
- 7) Groundwater origin and flow along selected transects in Ethiopian rift volcanic aquifers, Seifu Kebede et al, 2008

② 井戸完成記録・井戸柱状図・揚水試験記録：

- 1) West Hararge ゾーンの水事務所からの既存井戸データ（柱状図、揚水試験記録含む）
- 2) Arsi ゾーンの水事務所からの既存井戸データ（柱状図、揚水試験記録含む）
- 3) East Shewa ゾーンの水事務所からの既存井戸データ（柱状図、揚水試験記録含む）
- 4) Arerti（Amhara 州）郡、Lomme（Oromia 州）郡の井戸完成記録、個別井戸データ
- 5) WWDSE, 2014 灌漑用井戸データ（深度 595m）

③ その他文献

- 1) Hydrogeological map of Ethiopia (1:2,000,000) compiled by Tesfaye Chernet and the Regional Geology Department, EIGS, 1988

④ 調査団による現地調査、インタビュー等から得られたデータ（現地写真も含む）



# Chapter 5

---

*地下水モデルによる将来予測と  
地下水開発・可能量の評価*

*Groundwater Modelling to  
Simulate Future Water Use and  
Evaluate Potential for Groundwater  
Development*

## 5 地下水モデルによる将来予測と地下水開発・可能量の評価

### 5.1 はじめに

モデルの内挿検定は実施され、現況とモデルの一致をみている。地下水モデルを利用して、今後の新規井戸の建設に伴う地下水変動と地下水環境への影響の予測を行った。解析はパラメーターやピリオド設定及び降水量の設定を行い、非定常解析を実施した。

また地下水モデルを利用して揚水流量と地下水位降下の関係から地下水開発・可能量の評価を行った。

### 5.2 将来予測シナリオ案の設定

将来予測計算は、30 箇所の対象小都市について実施した。それぞれの都市の想定した掘削深度は 150 m～300 m である。

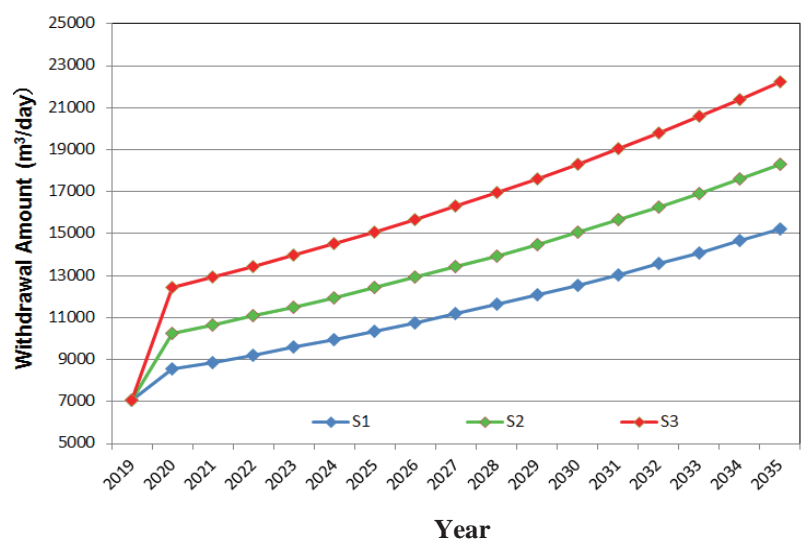
対象小都市においては、水位変動の解析を実施する予定年は給水計画の対象年の 2020 年から初めて（2019 年を基準とする）、解析終了年は 2035 年とした。今回は水需要量（揚水流量）の変動を解析するためにシナリオを 3 種類に分けた。それは次の通りである（数値は、想定目標年の 2035 年の日単位水需要量（揚水流量  $\text{m}^3/\text{day}$ ））。

シナリオ 1: 15,226（小都市での計画 1 日平均給水量）

シナリオ 2: 18,279（小都市での計画 1 日最大給水量: 都市部の給水原単位 40 L/人/日）

シナリオ 3: 22,224（小都市での計画 1 日最大給水量: 都市部の給水原単位 50 L/人/日）

また、シナリオ 1～3 の 2019 年（基本年）～2035 年までの水需要量（揚水流量）の変遷を図 5.2.1 に示す。



S1:シナリオ 1、S2:シナリオ 2、S3:シナリオ 3

出典：調査団、データ元：担当団員による算出

図 5.2.1: シナリオによる揚水流量の変化

### 5.3 将来予測結果

#### 5.3.1 地下水位変動結果

3つのシナリオと降水量及び涵養量設定に従って、モデルにより地下水変動の解析を行なった。各小都市での全体の水位低下量のうち、シナリオ3の想定揚水流量（最大値）に対する初期値からの予測水位低下量は表5.3.1の通りである。予測地下水位低下量の値は最大でも2.80mである。

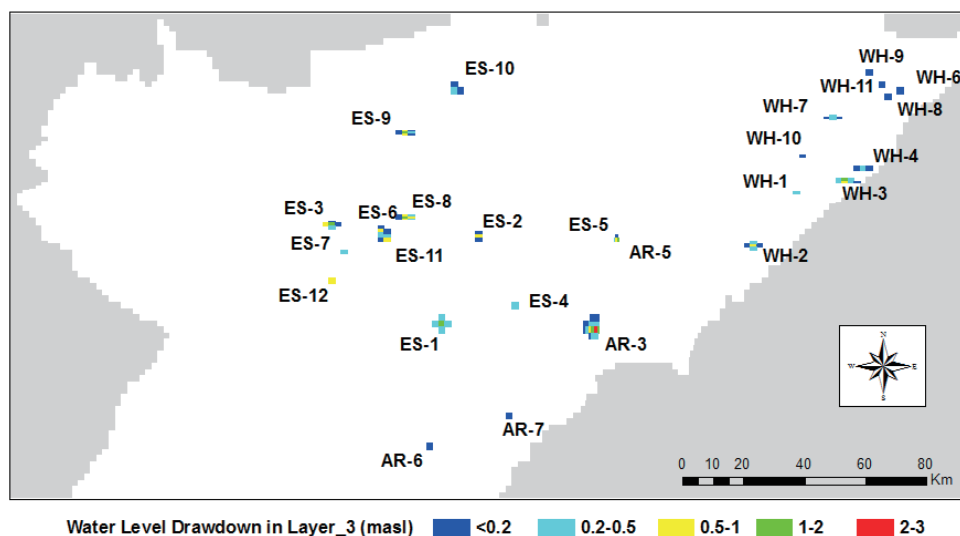
表 5.3.1: シナリオ3の最大水需要量(揚水流量)に対する予測水位低下量

小都市	予測水位低下量(m)	小都市	予測水位低下量(m)	小都市	予測水位低下量(m)
AR_1	1.59	ES_4	0.45	WH_2	0.66
AR_2	0.02	ES_5	0.85	WH_3	1.31
AR_3	2.80	ES_6	0.95	WH_4	0.50
AR_4	0.98	ES_7	0.47	WH_5	2.17
AR_5	1.11	ES_8	1.20	WH_6	0.18
AR_6	0.15	ES_9	1.89	WH_7	0.47
AR_7	0.19	ES_10	0.49	WH_8	0.13
ES_1	1.69	ES_11	0.63	WH_9	0.12
ES_2	0.54	ES_12	0.63	WH_10	0.19
ES_3	1.41	WH_1	0.23	WH_11	0.18

出典：調査団、データ元：担当団員による算出

#### 5.4 周辺に対する水位低下の影響

小都市での水需要量（揚水流量）に伴う地下水位の低下は周辺地域にもおよぶ可能性がある。想定水位低下量は WH-5、AR-3 の周辺で 2-3 m の低下量、その他は 0.5 m 以下程度の低下量であった（図 5.4.1参照）。



出典：調査団、データ元：担当団員による算出

図 5.4.1: 第3層での周辺域の水位低下量分布図(シナリオ3)

## 5.5 地下水開発可能量評価の試み

ここでの地下水開発可能量は、地下水の静的な貯留量そのものではなく、ある地域の帯水層単元から持続的に地下水障害を起こさないで汲み上げることのできる揚水流量を示す。今回は以下のような検討を行い、地下水可能開発量の提案を行った。

### 5.5.1 くみあげ量の想定と地下水位変動の予測

最初に将来予測計算とは別に、アワシユ川中流域の各小流域内の既存井戸と JICA 井戸を抽出し、初期揚水流量を基準として、3段階の揚水流量を想定した。地下水モデルを使用して、各小流域でのこれら井戸の3段階の揚水流量に対する水位降下量を予測した。

この結果から、揚水流量と水位降下量の相関式を推定した（3つの小流域での推定例を図 5.5.1に示す）。揚水流量と水位降下量の予測値は、高い相関性を示し、ある水位降下量を決めた時、それを招くような揚水流量を想定することが可能である。

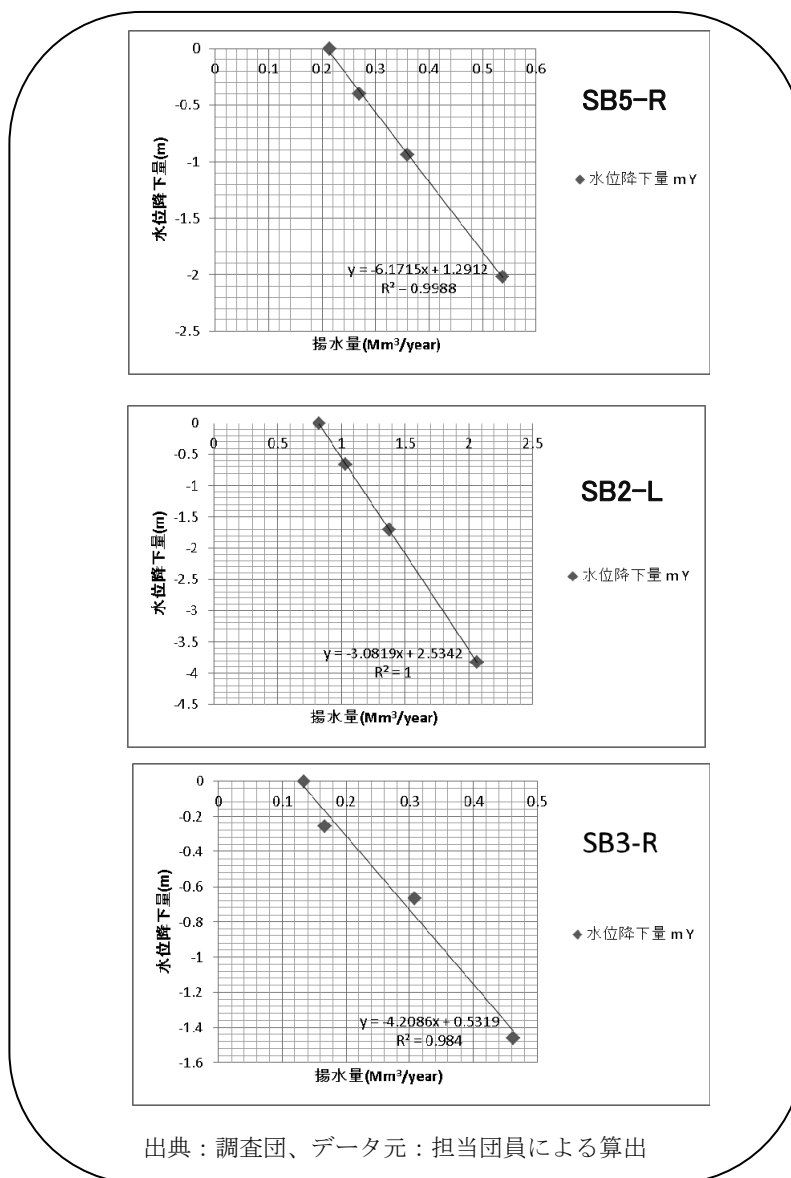


図 5.5.1: 3つの小流域での揚水流量と予測水位降下量の相関図

## 5.5.2 可能揚水流量の予測

ここでは二通りの方法で、可能揚水流量を予測した。

最初の方法としては、小流域内の井戸の平均静水位を、その小流域内の最低地下水位標高まで降下させるような揚水流量として計算した。この平均的な地下水位と小流域内の最低地下水位標高との差を計算し、許容できる最大の水位低下量とした。5.5.1 節に示したように小流域内の揚水流量と水位低下量の関係式に許容最大地下水位降下量の値を当てはめ、可能最大揚水流量を推定した。

一方、二つ目の方法として、各小流域内の既存井戸データから井戸深度と静水位の差を地下水位の降下量と置き換えて、その値を前述の揚水流量と地下水降下量の関係式に当てはめ、可能揚水流量を推定した。

今回の推定可能揚水流量は、現状の井戸分布状況や地下水位情報からひとつの試みとして算出した。今後の井戸の掘削深度が深くなった場合や本数が増加した場合、地下水位コンターも変動することが予想され、揚水可能量も変化する。

現状の井戸情報からの推定可能揚水流量は、各小流域で上述した 2 案を勘案した幅をもたせた予測値とした。推定可能揚水流量と地下水涵養量の比較を表 5.5.1 に示す。

推定可能揚水流量は、表 5.5.1 から各小流域において地下水涵養量の 5%～52% の範囲で利用可能である。

表 5.5.1: 地下水涵養量に占める推定可能揚水流量の比率(2035 年時点)

小流域	計算上の推定可能揚水流量(Q)	年間地下水涵養量(GWR)	Q/GWR [%]
	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /year]	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /year]	
SB2-L	50～73	358.4	14～20
SB3-L	6～12	37.8	16～32
SB3-R	18～63	178.1	10～35
SB4-L-D	8	15.4	52
SB4-R	11～47	208.8	5～23
SB-BSK-W	5～15	120.2	4～12
SB5-L	26～123	330.8	8～37
SB-BSK	5～8	25.3	20～32
SB5-R	19～58	161.0	12～36

出典：調査団、データ元：担当団員による算出

# Chapter 6

---

*小都市の給水計画*

*Water Supply Plan of Small  
Towns*

## 6 小都市の給水計画

### 6.1 基礎調査結果

#### 6.1.1 給水人口

2007年に中央統計局（Central Statistical Agency: CSA）が行ったセンサスの人口及び人口増加率に基づいて計算された予測人口の値（以下、CSA 予測値）を給水計画策定に採用することとした。

2014年時点の予測人口は約17,700人（Mieso）～1,600人（Bolo）の範囲であり、30小都市の平均値は5,132人、中央値は4,438人である。

#### 6.1.2 給水区外利用者

市給水事務所や水組合への聞き取りによると、2014年時点の給水区外利用者数は約17,600人（Arboye）～0人（Ude Dhankaka 他10小都市）である。しかしながら、データの信頼度が低いこと、新規給水プロジェクトの実施による給水区外利用者数を合理的に予測できないことから、給水区外利用者は給水計画の対象に含めないこととした。

#### 6.1.3 水使用量

対象小都市の既存給水施設における戸別接続、共同水栓別の水使用量を調査した。調査は市給水事務所または水組合への聞き取りおよび検針記録データに基づいて推定した。

戸別接続数は921（Chefe Donsa）～0（Ude Dhankaka 他5小都市）である。戸別接続の場合の一人一日当たり使用量は162（Arbe Gebeya）～9 L/人/日（Hardim）であり、平均値は80 L/人/日、中央値は73 L/人/日である。

共同水栓は30小都市中25小都市にあり、一人一日当たり使用量は25.5 L/人/日（Bofa）～0.1 L/人/日（Wonji Shewa Alemtena）であり、平均値、中央値はそれぞれ5.6 L/人/日、4.2 L/人/日である。

#### 6.1.4 戸別接続増加の推移

戸別接続による水供給が行われている小都市について、その普及率を年ごとに調査した。例えば、Chefe Donsaでは2010年時点の512（22.6%）から2014年には921（34.7%）へと普及が進んでいる。

#### 6.1.5 既存給水施設の老朽化の現状

既存給水施設の現況・管理状況実態調査に基づき、各小都市において計画目標年（2020年）時点での更新必要性を評価した。評価結果は以下のとおりである。

表 6.1.1: 既存施設の老朽化の現状

既存施設名（耐用年数）	設置済み小都市数	更新が必要な小都市数
井戸（20年）	20	9
動力ポンプ（10年）	23	18
ディーゼル発電機（10年）	16	9
導水管（40年）	26	2
配水池（50年）	26	0
配水管（40年）	26	2
共同水栓（25年）	26	10

出典：調査団、データ元：担当団員による調査結果

## 6.1.6 商用電力供給の現状

商用電力の供給状況を把握するために停電の発生状況について対象小都市において関係者への聞き取り調査を行った。未電化の小都市は 5 都市である。停電率は 4%（Ude Dhankaka）～40%（Aseko および Arbe Gebeya）であり、県都や幹線道路から遠いほど停電時間が多い傾向にある。停電率の平均値は 14.4%、中央値は 8.9%である。

## 6.2 目標年次と人口予測

### 6.2.1 目標年次

本調査結果より提案される給水計画が実施されるのは 2015 年以降になる見通しであるため、目標年次を 2020 年に設定した。

### 6.2.2 各年次の人口予測

#### a. 一般人口の予測

対象小都市を都市部・農村部に区分し、それぞれの人口増加率を 4.1%/年および 2.6%/年として 2020 年までの人口および世帯数を予測した。

2020 年時点の人口は約 22,500 人（Mieso）～2,000 人（Bolo および Kenter）であり、平均値は 6,434 人、中央値は 5,399 人である。世帯数は約 5,300（Mieso）～500 未満（Kenter）であり、平均値 1,630、中央値 1,329 である。

#### b. 学校及び医療機関の人口予測

エチオピア国設計基準では水需要として一般人口以外に学校用及び医療機関用の水需要を加えることが規定されている。対象小都市には学校及び医療機関が存在するため人口予測を行った。

2020 年時点の学校の給水人口は 5,300 人（Arboye）～70 人（Belo）である。医療機関の給水人口は 90 人（Arboye）～5 人未満（Hargeti、Kenter、Aneno）と予測した。

#### c. 水栓別人口予測

基礎調査結果に基づき、2020 年時点の戸別接続数（普及率）を予測し、水栓別の給水



人口を予測した。その結果、戸別接続利用人口は約 10,000 人 (Mieso)～10 人未満 (Kenteri)、平均値 1,937 人、中央値 1,403 人となった。一方、共同水栓利用人口は約 12,500 人 (Mieso)～700 人未満 (Geldiya、Arbe Gebeya) となり、平均値 4,497 人、中央値 3,721 人となった。

## 6.3 水需要予測

### 6.3.1 計画条件

本計画は、原則としてエチオピア国設計基準に準拠した。ただし、基準が明確でないもの、実情に合わないものについては、実情に基づいて算出した数値や手法を用いた。

なお、給水原単位については、「第2次成長と構造改革計画 (GTP2)」(2015年8月)に定められている 40 L/人/日 (都市部) 及び 25 L/人/日 (村落部) を採用した。

### 6.3.2 一日平均給水量

人口及び給水原単位を基に、2020年における一日平均給水量を算出した。一日平均給水量は 926 m<sup>3</sup>/日 (Mieso)～53 m<sup>3</sup>/日 (Kenteri) となった (平均値 248 m<sup>3</sup>/日、中央値 193 m<sup>3</sup>/日)。

### 6.3.3 計画一日平均給水量及び計画一日最大給水量

一日平均給水量を計画有効率 (87%) および計画負荷率 (83.3%) で除して計画一日平均給水量及び計画一日最大給水量を算定した。

計画一日最大給水量は 1,280 m<sup>3</sup>/日 (Mieso)～73 m<sup>3</sup>/日 (Kenteri) となった (平均値 342 m<sup>3</sup>/日、中央値 267 m<sup>3</sup>/日)。

## 6.4 地下水開発

### 6.4.1 地下水ポテンシャル評価

今回の対象となっている小都市は、原則として湧水か深井戸を利用している。既存の湧水は増設や増量が難しく、小都市の水源としては地下水、とくに深井戸を利用した水源の選定を行うこととした。地下水の飲料水源としての特徴は、1. 原則として飲用水としての水質の問題が少ない、2. 安定した水供給がなされ乾季でも枯渇はほとんどなく年間を通じて利用できる、3. 年間だけでなく長期間の持続的な水利用が可能、である。

アワシュ川中流域を 13 の小流域に区分し、各小流域の年間平均地下水涵養量 (m<sup>3</sup>/year) を推定した。この地下水涵養量と各小流域内の水需要量 (揚水流量の 2035 年の予測) を比較した。

その結果、地下水涵養量の方が十分に大きく、各小都市において水需要分の量的な確保は十分可能であることが分かった。

## 6.4.2 帯水層区分とその特徴

本プロジェクトで作成したアワシュ川中流域の水理地質図には、対象小都市の位置も示している。これに基づいて、小都市での地下水ポテンシャル（推定揚水流量）の目安を得た。

## 6.4.3 地下水開発の可能性

対象小都市の水理地質的状況から、取水可能量や井戸の仕様を推定した。推定可能取水量は2小都市（Bube、Aneno）を除き5 L/秒以上である。また、想定掘削深度は150 m～300 mの範囲となった。

## 6.5 小都市の給水計画

### 6.5.1 概略給水計画策定の妥当性検証

概略給水計画策定に先立って計画策定の妥当性の検証を行った。検証は他プロジェクトとの重複の有無、自然条件面（地下水開発可能性、ポテンシャル（水量・水質））、および社会条件面（アクセス、既得権、紛争の有無、運営維持管理能力、安全な水の過不足）から行った。

その結果、下表の19小都市について妥当性を認め、概略給水計画を策定することとした。

表 6.5.1: 概略給水計画策定対象小都市

No.	ID	小都市 (Town)	郡 (Woreda)	県 (Zone)
1	ES-2	Celdiya	Adama Zuria	East Shewa
2	ES-4	Bofa	Boset	East Shewa
3	ES-6	Ude Dhankaka	Adaa	East Shewa
4	ES-8	Kamise	Lome	East Shewa
5	ES-10	Areda	Gimbichu	East Shewa
6	ES-11	Biyo	Lome	East Shewa
7	AR-2	Bolo	Jeju	Arsi
8	AR-3	Arboye	Jeju	Arsi
9	AR-4	Aseko	Aseko	Arsi
10	AR-6	Gonde	Tiyo	Arsi
11	WH-1	Chorora	Anchar	West Hararge
12	WH-2	Bedeyi	Anchar	West Hararge
13	WH-3	Hardim	Guba Qoricha	West Hararge
14	WH-4	Bube	Guba Qoricha	West Hararge
15	WH-6	Hargeti	Mieso	West Hararge
16	WH-8	Kenteri	Mieso	West Hararge
17	WH-9	Aneno	Mieso	West Hararge
18	WH-10	Belo	Mieso	West Hararge
19	WH-11	Kora	Mieso	West Hararge

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

### 6.5.2 給水計画の概要

#### a. 給水施設の概要

本計画は、対象小都市において、取水施設（機械掘り井戸、揚水管、水中ポンプ、発

電機室及び発電機）、導水施設（導水管）、配水施設（配水池、配水管、共同水栓、家畜用水栓及び戸別接続）から構成される一連の管路系給水施設の建設による給水計画を策定することを基本とする。

#### b. 既存給水施設及び新規給水施設についての考え方

19 小都市のうち 14 小都市において既存の管路系給水施設が存在している。本計画においては、調査結果において得られた既存給水施設の現行の水使用量を水供給能力とみなし、目標年における水需要から現在の水供給量を差し引いた残りの水需要を賄うことのできる給水施設を新規に建設する方針とする。

ただし、既述のとおり、既存給水施設の中には建設してからかなりの歳月を経て老朽化しているものがある。このため、本計画目標年の 2020 年においてエチオピア国設計基準に示される耐用年数を超える施設については、本計画において更新する方針とする。

### 6.5.3 新規水供給施設の形態と規模

新規に建設する給水施設は次の 2 つのタイプに大別される。

#### a. 地下水源及び地上式配水池による給水システム

機械掘り井戸による地下水源、水中モーターポンプ、配水池、共同水栓及び戸別接続によるユニットとして計画する。配水池の建設予定地の標高が共同水栓及び戸別接続の建設予定地よりも高く規定の水圧を確保できると想定して、地上式の配水池を計画し、配水池から共同水栓及び戸別接続までは自然流下によって配水する。

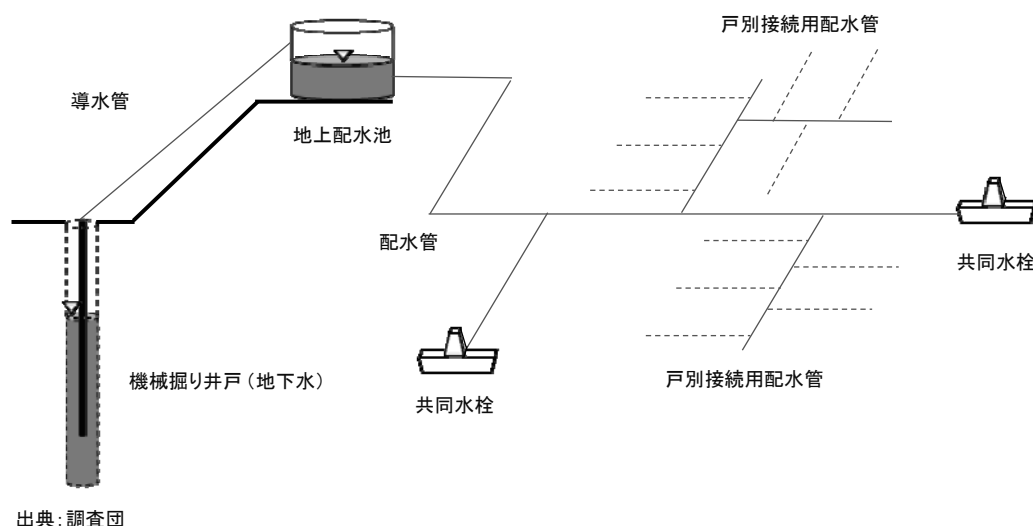
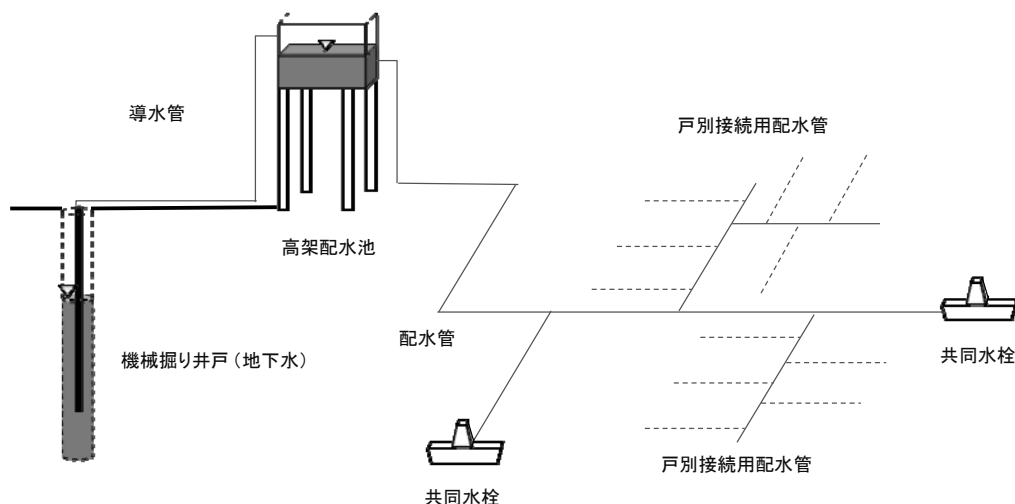


図 6.5.1: 地下水源及び地上式配水池による給水システム

#### b. 地下水源及び高架式配水池による給水システム

機械掘り井戸による地下水源、水中モーターポンプ、配水池、共同水栓及び戸別接続によるユニットとして計画する。配水池の建設予定地の標高が共同水栓及び戸別接続の建設予定地よりも低く規定の水圧を確保できないと想定されるため、高架式の配水池を

計画し、配水池から共同水栓及び戸別接続までは自然流下によって配水する。



出典：調査団

図 6.5.2: 地下水源及び高架式配水池による給水システム

### 6.5.4 給水施設計画概要

#### a. 新規給水施設計画

新規給水施設計画の概要は表 6.5.2に示すとおりとなった。

表 6.5.2: 新規給水施設計画の概要

ID	小都市	取水施設							導水施設		配水施設			
		深井戸		水中ポンプ		発電機		ポンプ棟	導水管		配水池		配水管	共同水栓
		数量 (本)	深度 (m)	数量 (台)	出力 (kW)	数量 台	出力 (kVA)	数量 (棟)	数量 (m)	数量 (基)	タイプ	容量 (m3)	数量 (m)	数量 (基)
ES-2	Geldiya	1	200	1	4	1	10	1	1,225	1	地上式	50	3,025	1
ES-4	Bofa	1	250	1	4	1	10	1	2,120	1	高架式	50	8,290	1
ES-6	Ude Dhankaka	1	300	1	15	1	34	1	965	1	地上式	300	6,850	13
ES-8	Kamise	1	350	1	19	1	42	1	1,750	1	地上式	250	5,100	10
ES-10	Areda	1	250	1	19	1	42	1	4,275	1	高架式	150	3,330	6
ES-11	Biyo	1	300	1	11	1	26	1	285	1	地上式	150	5,120	6
AR-2	Bolo	1	250	1	8	1	18	1	1,345	1	高架式	100	2,540	2
AR-3	Arboye	2	250	2	11	2	26	2	650	2	高架式	100	4,910	4
AR-4	Aseko	2	250	2	22	2	50	2	1,210	2	地上式	150, 100	3,500	9
AR-6	Gonde	1	150	1	8	1	18	1	2,175	1	地上式	100	5,935	2
WH-1	Chorora	1	150	1	4	1	10	1	625	1	地上式	100	1,870	2
WH-2	Bedeyi	1	250	1	22	1	50	1	1,130	1	地上式	150	2,750	4
WH-3	Hardim	1	150	1	13	1	30	1	1,645	1	地上式	300	3,820	10
WH-4	Bube	3	200	3	3	3	8	3	530	3	地上式	50	3,530	11
WH-6	Hargeti	1	250	1	8	1	18	1	1,070	1	地上式	100	1,575	7
WH-8	Kenteri	1	200	1	4	1	10	1	1,205	1	高架式	50	745	4
WH-9	Aneno	2	300	2	6	2	14	2	1,495	2	地上式	50	1,555	6
WH-10	Belo	2	200	2	4	2	10	2	150	2	地上式	100, 50	3,005	9
WH-11	Kora	1	200	1	4	1	10	1	585	1	地上式	50	1,350	2

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

#### b. 既存給水施設更新計画

既存給水施設の更新計画は表 6.5.3に示すとおりとなった。

表 6.5.3: 既存給水施設更新計画の概要

ID	小都市	取水施設										配水施設			
		深井戸		水中ポンプ		発電機		ポンプ棟	導水管	配水池			配水管	共同水栓	
		数量 (本)	深度 (m)	数量 (台)	出力 (kW)	数量 台	出力 (kVA)	数量 (棟)	数量 (m)	数量 (基)	タイプ	容量 (m3)	数量 (m)	数量 (基)	
ES-2	Geldiya	-	-	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ES-4	Bofa	1	250	2	4	1	10	-	-	-	-	-	-	11	
ES-6	Ude Dhankaka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ES-8	Kamise	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ES-10	Areda	-	-	1	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ES-11	Biyo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
AR-2	Bolo	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
AR-3	Arboye	-	-	-	-	1	26	-	-	-	-	-	-	7	
AR-4	Aseko	-	-	1	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
AR-6	Gonde	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
WH-1	Chorora	-	-	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
WH-2	Bedeyi	-	-	1	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
WH-3	Hardim	1	150	1	13	1	30	-	-	-	-	-	-	7	
WH-4	Bube	-	-	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
WH-6	Hargeti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
WH-8	Kenteri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
WH-9	Aneno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
WH-10	Belo	-	-	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
WH-11	Kora	-	-	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

## 6.5.5 概略積算

### a. 概略積算の方法

事業費の積算は、近年エチオピア国において実施された独立行政法人国際協力機構による類似の深井戸建設工事の現地再委託契約単価や我が国無償資金協力案件の積算単価に基づいて行った。

### b. 概算事業費

#### b.1 新規給水施設建設費

新規に建設する給水施設の建設費は、表 6.5.4に示すとおりとなった。

表 6.5.4: 新規給水施設建設費

ID	小都市	新規施設建設費									合計
		取水施設				導水管施設	配水施設				
		井戸建設 工事	揚水管設置 工事	水中ポン プ設置工 事	発電機室 築造工事	発電機設 置工事	導水管布 設工事	配水池設 置工事	配水管布 設工事	水栓設置 工事	
ES-2	Geldiya	1,360	46	190	192	270	2,341	344	5,549	99	10,391
ES-4	Bofa	1,635	46	190	192	270	4,051	1,124	12,575	50	20,133
ES-6	Ude Dhankaka	1,913	57	264	192	313	1,844	2,062	11,475	792	18,912
ES-8	Kamise	2,185	44	373	192	358	3,344	1,718	9,256	594	18,064
ES-10	Areda	1,635	111	373	192	358	8,170	2,342	6,238	297	19,716
ES-11	Biyo	1,913	47	238	192	313	545	1,031	9,766	297	14,342
AR-2	Bolo	1,635	85	190	192	270	2,570	1,562	4,349	149	11,002
AR-3	Arboye	3,271	195	476	384	626	1,242	3,123	8,394	198	17,909
AR-4	Aseko	3,271	222	746	384	716	2,312	1,718	5,964	446	15,779
AR-6	Gonde	1,084	33	190	192	270	4,156	687	10,719	99	17,430
WH-1	Chorora	1,084	33	190	192	270	1,194	687	3,376	99	7,125
WH-2	Bedeyi	1,635	111	373	192	358	2,159	1,031	5,323	198	11,380
WH-3	Hardim	1,084	20	264	192	313	3,144	2,062	7,154	495	14,728
WH-4	Bube	4,079	79	571	577	811	1,013	2,406	6,189	545	16,270
WH-6	Hargeti	1,635	65	190	192	270	2,045	687	2,750	347	8,181
WH-8	Kenteri	1,360	46	190	192	270	2,303	781	1,354	198	6,694
WH-9	Aneno	3,822	148	381	384	540	2,857	687	2,719	297	11,835
WH-10	Belo	2,719	105	381	384	540	287	1,031	4,948	545	10,940
WH-11	Kora	1,360	46	190	192	270	1,118	344	2,533	99	6,152
	合計	38,680	1,539	5,960	4,801	7,406	46,695	25,427	120,631	5,844	256,983

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

## b.2 既存施設更新費

既存施設の更新費は、表 6.5.5に示すとおりとなった。

表 6.5.5: 既存施設更新費

単位: 1000Birr

ID	小都市	既存施設更新費									合計
		取水施設				導水施設		配水施設			
		井戸建設 工事	揚水管設 置工事	水中ポン プ設置工 事	発電機室 築造工事	発電機設 置工事	導水管布 設工事	配水池設 置工事	配水管布 設工事	水栓設置 工事	
ES-2	Geldiya	0	46	190	0	0	0	0	0	0	236
ES-4	Bofa	1,635	92	381	0	270	0	0	0	545	2,923
ES-6	Ude Dhankaka	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ES-8	Kamise	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ES-10	Areda	0	111	373	0	0	0	0	0	0	484
ES-11	Biyo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AR-2	Bolo	0	85	190	0	0	0	0	0	0	275
AR-3	Arboye	0	0	0	0	313	0	0	0	347	660
AR-4	Aseko	0	111	373	0	0	0	0	0	0	484
AR-6	Gonde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WH-1	Chorora	0	33	190	0	0	0	0	0	0	223
WH-2	Bedeyi	0	111	373	0	0	0	0	0	0	484
WH-3	Hardim	1,084	20	264	0	313	0	0	0	347	2,028
WH-4	Bube	0	26	190	0	0	0	0	0	0	216
WH-6	Hargeti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WH-8	Kenteri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WH-9	Aneno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WH-10	Belo	0	52	190	0	0	0	0	0	0	242
WH-11	Kora	0	46	190	0	0	0	0	0	0	236
	合計	2,719	733	2,904	0	896	0	0	0	1,239	8,491

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

## b.3 事業費

新規給水施設建設費に既存給水施設更新費を加えた事業費は、表 6.5.6に示すとおりとなった。

表 6.5.6: 事業費

単位: 1000Birr

ID	小都市	事業費									合計
		取水施設				導水施設		配水施設			
		井戸建設 工事	揚水管設 置工事	水中ポン プ設置工 事	発電機室 築造工事	発電機設 置工事	導水管布 設工事	配水池設 置工事	配水管布 設工事	水栓設置 工事	
ES-2	Geldiya	1,360	92	380	192	270	2,341	344	5,549	99	10,627
ES-4	Bofa	3,270	138	571	192	540	4,051	1,124	12,575	595	23,056
ES-6	Ude Dhankaka	1,913	57	264	192	313	1,844	2,062	11,475	792	18,912
ES-8	Kamise	2,185	44	373	192	358	3,344	1,718	9,256	594	18,064
ES-10	Areda	1,635	222	746	192	358	8,170	2,342	6,238	297	20,200
ES-11	Biyo	1,913	47	238	192	313	545	1,031	9,766	297	14,342
AR-2	Bolo	1,635	170	380	192	270	2,570	1,562	4,349	149	11,277
AR-3	Arboye	3,271	195	476	384	939	1,242	3,123	8,394	545	18,569
AR-4	Aseko	3,271	333	1,119	384	716	2,312	1,718	5,964	446	16,263
AR-6	Gonde	1,084	33	190	192	270	4,156	687	10,719	99	17,430
WH-1	Chorora	1,084	66	380	192	270	1,194	687	3,376	99	7,348
WH-2	Bedeyi	1,635	222	746	192	358	2,159	1,031	5,323	198	11,864
WH-3	Hardim	2,168	40	528	192	626	3,144	2,062	7,154	842	16,756
WH-4	Bube	4,079	105	761	577	811	1,013	2,406	6,189	545	16,486
WH-6	Hargeti	1,635	65	190	192	270	2,045	687	2,750	347	8,181
WH-8	Kenteri	1,360	46	190	192	270	2,303	781	1,354	198	6,694
WH-9	Aneno	3,822	148	381	384	540	2,857	687	2,719	297	11,835
WH-10	Belo	2,719	157	571	384	540	287	1,031	4,948	545	11,182
WH-11	Kora	1,360	92	380	192	270	1,118	344	2,533	99	6,388
	合計	41,399	2,272	8,864	4,801	8,302	46,695	25,427	120,631	7,083	265,474

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

#### b.4 事業費に係る留意事項

以上に示した事業費は直接工事費であり、我が国の無償資金協力により実施される場合には、直接工事費（直工費）以外に間接費（共通仮設費及び現場経費）、一般管理費及び設計監理費（実施設計費、施工監理費及びソフトコンポーネント費）を見込む必要がある。

過去のエチオピア国内類似工事の無償資金協力案件の積算データより算出した、直工費に対する間接費、設計監理費及び事業費の割合の平均値を求め算出した概算事業費を表 6.5.7に示す。

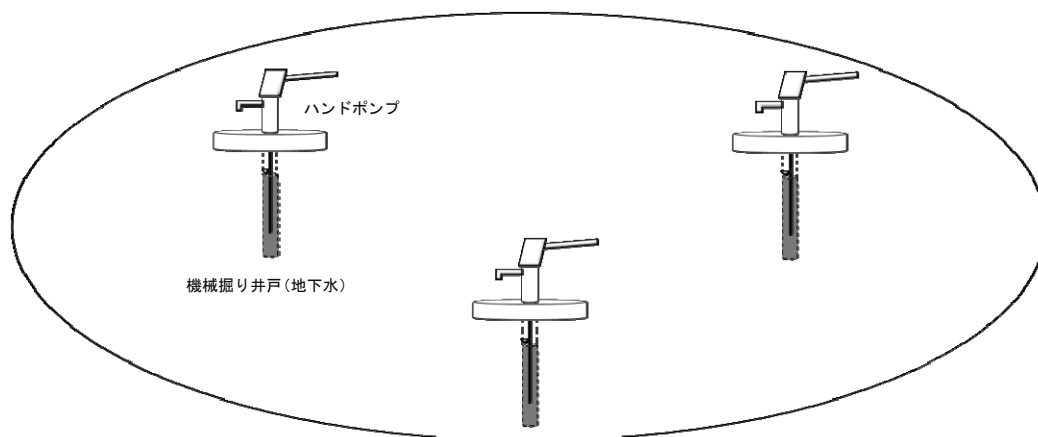
表 6.5.7: 我が国無償資金協力を想定した場合の概算事業費

単位: 1000Birr				
費目	直接工事費	間接費	設計監理費	事業費
直工費に対する割合	-	37%	26%	173%
金額	265,474	98,225	69,023	459,270

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

#### 6.5.6 給水計画代替案の検討

WH-6、WH-8 及び WH-9 において管路系給水施設を計画する場合には、①人口が少ないため裨益効果が低い、②タウンではなく Kebele（村）に分類されているように人口が分散しているため費用対効果が低い、③既存給水施設が存在しないため運営維持管理能力が未知数であることなどが懸念される。このため、代替案として 3 小都市に対するハンドポンプ付機械掘り井戸（以下、ハンドポンプ井戸）による給水計画の検討を行った。



出典: 調査団

図 6.5.3: 地下水源及びハンドポンプによる給水システム

##### a. 必要数量

3 小都市におけるハンドポンプの必要数量は表 6.5.8に示すとおりとなる。

表 6.5.8: ハンドポンプ井戸必要数量

ID	小都市	計画給水人口 (2020年) (人)	ハンドポンプ井戸必要数 (箇所)	ハンドポンプ1箇所当り人口 (人)
WH-6	Hargeti	3,926	12	328
WH-8	Kenteri	2,044	6	341
WH-9	Aneno	3,326	10	333

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

### b. 井戸の仕様・数量

ハンドポンプの取水能力は一般的に 10~20 L/分程度であることから、井戸の取水可能量は 30 L/分 (0.5 L/秒) あれば十分である。このため、管路系給水施設の井戸に比べて深度を浅くすることができる。対象小都市の水理地質状況を踏まえて井戸深度を 100 m と想定した。

想定する井戸の仕様及び数量を表 6.5.9に示す。

表 6.5.9: 井戸の仕様及び数量

ID	小都市名	井戸数量(1本当り)							井戸数量 (本)
		井戸深度	ケーシング (井戸深度の85%)			スクリーン (井戸深度の15%)			
		深さ (m)	材質	口径 (inch)	長さ (m)	材質	口径 (inch)	長さ (m)	
WH-6	Hargeti	100	uPVC	6	62	uPVC	6	38	12
WH-8	Kenteri	100	uPVC	6	70	uPVC	6	30	6
WH-9	Aneno	100	uPVC	6	55	uPVC	6	45	10

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

### c. 事業費積算

積算は、近年エチオピア国において実施された独立行政法人国際協力機構による類似の深井戸建設工事の現地再委託契約単価や我が国無償資金協力案件の積算単価に基づいて行った。事業費は表 6.5.10に示すとおりとなった。

管路系給水施設事業費と比較すると WH-8 及び WH-9 においてはハンドポンプ井戸とする方が割安であるが、WH-6 においては管路系給水施設とする方が割安となる。

表 6.5.10: ハンドポンプ井戸の事業費

ID	小都市名	ハンドポンプ井戸		管路系給水施設
		数量 (箇所)	事業費 (Birr)	事業費 (Birr)
WH-6	Hargeti	12	11,542,579	8,182,575
WH-8	Kenteri	6	5,938,701	6,693,520
WH-9	Aneno	10	9,645,979	11,835,317

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

## 6.6 給水施設の運営維持管理計画

### 6.6.1 水管理組織に対する課題

#### a. 不十分な運営維持管理組織

概略給水計画を策定した 19 小都市のうち 3 小都市は既存の給水施設が存在しないため、



本計画の実施段階において組織形成と能力強化を行う必要がある。

また、ハンドポンプ井戸などの給水施設の運営維持管理組織は存在するが、管路系給水施設の運営維持管理組織のない小都市が 3 箇所ある。これらの小都市においては管路系給水施設の運営維持管理を行う組織として再組織化と能力強化を行う必要がある。

さらに、残りの 13 小都市については既存の管路系給水施設の運営維持管理組織が存在しているが、新規給水施設を建設のうえ運営維持管理していく計画であるため、人員の増員と再組織化を行う必要がある。

#### **b. 不適切な水料金設定**

積立金が十分でない給水施設においては適正な水料金が設定されていない可能性があるため、適切な水料金を設定のうえ改定する必要がある。

#### **c. 水管理組織の運営維持管理能力不足**

##### **c.1 給水施設の維持管理に関する能力の不足**

大半の施設オペレーターは、記録・保存を適切に行っていない。このため、量水器検針による水消費量記録と水生産量との比較による無収水の見積りを行うことができない。施設オペレーターに対しては以下の能力強化が必要である。

- ① 運転記録の作成能力
- ② 水生産記録の作成能力
- ③ 給水施設の点検能力、維持管理能力

##### **c.2 給水事業のアドミに関する技術の不足**

大半の水組合では水消費量や収支の記録が適切に保管されていない。このため給水事業の経営状況をタイムリーに把握することができない。また、水組合の委員は 2 年で交代してしまうため事業経営のノウハウが蓄積されない。よって、2 年ごとに交代する水組合の新しい委員に対して以下の能力強化が必要となる。

- ① 量水器の検針記録に基づく水使用量・水料金記録の作成能力
- ② 水料金請求書作成及び領収書作成能力
- ③ 水料金徴収能力及び会計管理能力
- ④ 月例収支報告書及び年間収支報告書作成能力
- ⑤ 水使用量と水生産記録の対比による無効水量の把握能力、改善能力

### **6.6.2 運営維持管理計画**

#### **a. 運営維持管理体制**

現在のオロミア州における給水施設運営維持管理の関係者とその役割は表 6.6.1 に示すとおりとなっている。本計画においてもこの体制を前提として概略給水計画を策定した 19 小都市の運営維持管理計画を策定する。

表 6.6.1: 運営維持管理関係者とその役割

組織名	運営主体	役割	業務内容
州水・鉱物・エネルギー局	州政府	<ul style="list-style-type: none"> <li>州全体の給水計画の策定</li> <li>大型給水プロジェクトの実施</li> <li>下部組織への技術支援</li> <li>給水施設の運営維持管理支援</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ポンプ、発電機などの調達</li> <li>井戸メンテナンスチームの派遣</li> <li>ポンプ撤去・据付チームの派遣</li> </ul>
県水・鉱物・エネルギー事務所	州政府	<ul style="list-style-type: none"> <li>県全体の給水計画の策定</li> <li>給水プロジェクトの実施</li> <li>下部組織への技術支援</li> <li>給水施設の運営維持管理支援</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>井戸、ポンプ、発電機などの大規模な故障への対応</li> <li>市給水事務所への運営維持管理支援</li> </ul>
郡水・鉱物・エネルギー事務所	郡政府	<ul style="list-style-type: none"> <li>郡全体の給水計画の策定</li> <li>給水プロジェクトの実施</li> <li>農政部給水施設の運営維持管理支援</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ハンドポンプ修理など軽微な故障への対応</li> <li>水組合への運営維持管理支援</li> </ul>
都市上下水道公社	市政府	<ul style="list-style-type: none"> <li>大都市への上下水道サービスの提供</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>上下水道サービスの提供</li> <li>施設の運営維持管理</li> </ul>
市給水事務所	市政府	<ul style="list-style-type: none"> <li>小都市への給水サービスの提供</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>給水施設の運営維持管理</li> </ul>
水組合	住民	<ul style="list-style-type: none"> <li>農政部への給水サービスの提供</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>給水施設の運営維持管理</li> </ul>

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

## b. 運営維持管理組織

### b.1 組織計画

本計画における小都市別の運営維持管理組織を表 6.6.2に示す。

表 6.6.2: 小都市別の運営維持管理組織

ID	小都市名	維持管理組織	
		既存組織	本計画
ES-2	Geldiya	水組合	水組合
ES-4	Bofa	市給水事務所	市給水事務所
ES-6	Ude Dhankaka	水組合	水組合
ES-8	Kamise	水組合	水組合
ES-10	Arede	水組合	水組合
ES-11	Biyo	水組合	水組合
AR-2	Bolo	水組合	水組合
AR-3	Arboye	水組合	水組合
AR-4	Aseko	水組合	水組合
AR-6	Gonde	市給水事務所	市給水事務所
WH-1	Chorora	水組合	水組合
WH-2	Bedeyi	水組合	水組合
WH-3	Hardim	水組合	水組合
WH-4	Bube	水組合	水組合
WH-6	Hargeti	なし	水組合
WH-8	Kenteri	なし	水組合
WH-9	Aneno	なし	水組合
WH-10	Belo	水組合	水組合
WH-11	Kora	水組合	水組合

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

### b.2 人員計画

既存組織がある小都市においては新規給水施設の運営維持管理に必要な人員を増員する計画とする。

新規に水組合を設立する 3 小都市においては、利用者住民から選出される水組合の 7 名の委員以外に、給水施設の運営維持管理に直接携わる施設オペレーター、守衛及び共同水栓料金徴収人を雇用する計画とする。

表 6.6.3: 人員計画

ID	市	維持管理組織	既存人員			追加人員						合計		
			委員	職員	計	委員	職員			計	委員	職員	計	
							施設オペレーター	警備員	共同水栓料金徴収人					
ES-2	Geldiya	水組合	7	7	14	0	1	1	1	3	3	7	10	17
ES-4	Bofa	市給水事務所	0	11	11	0	1	1	1	3	3	0	14	14
ES-6	Ude Dhankaka	水組合	0	0	0	0	1	1	13	15	15	0	15	15
ES-8	Kamise	水組合	5	2	7	2	1	1	10	12	14	7	14	21
ES-10	Areda	水組合	7	3	10	0	1	1	6	8	8	7	11	18
ES-11	Biyo	水組合	7	3	10	0	1	1	6	8	8	7	11	18
AR-2	Bolo	水組合	7	3	10	0	1	1	2	4	4	7	7	14
AR-3	Arboye	水組合	7	14	21	0	2	2	4	8	8	7	22	29
AR-4	Aseko	水組合	7	10	17	0	2	2	9	13	13	7	23	30
AR-6	Gonde	市給水事務所	0	18	18	0	1	1	2	4	4	0	22	22
WH-1	Chorora	水組合	7	4	11	0	1	1	2	4	4	7	8	15
WH-2	Bedeyi	水組合	7	9	16	0	1	1	4	6	6	7	15	22
WH-3	Hardim	水組合	7	6	13	0	1	1	10	12	12	7	18	25
WH-4	Bube	水組合	7	3	10	0	3	3	11	17	17	7	20	27
WH-6	Hargeti	水組合	0	0	0	7	1	1	7	9	16	7	9	16
WH-8	Kenteri	水組合	0	0	0	7	1	1	4	6	13	7	6	13
WH-9	Aneno	水組合	0	0	0	7	2	2	6	10	17	7	10	17
WH-10	Belo	水組合	7	4	11	0	2	2	9	13	13	7	17	24
WH-11	Kora	水組合	7	5	12	0	1	1	2	4	4	7	9	16

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

### 6.6.3 運営維持管理費

新規給水施設の運営維持管理費を表 6.6.4に示す。

この結果、ES-2、ES-4、ES-8、AR-3 及び AR-5 の 5 小都市において給水原価が現行水料金を上回った。井戸掘削後に実施する基本設計調査において給水原価と水料金について慎重に検討を行う必要がある。

表 6.6.4: 運営維持管理費

ID	小都市	前提条件										運転費										施設更新費	運転費+施設更新費	1日平均給水量		給水原価	現行水料金
		水源	取水方式	停電率	ポンプ仕様 (kW)	ポンプ運転 時間 (時間/日)	電力消費量 (KWH/月)	ディーゼル発電機						運転経費		人件費			修繕費 (Birr/月)	諸雑費 (Birr/月)	計 (Birr/月)			(m <sup>3</sup> /日)	(m <sup>3</sup> /月)		
								出力		燃料消費量 (L/時間)	燃料費 (L/月)	電気料金 (Birr/月)	燃料費 (Birr/月)	計 (Birr/月)	計 (Birr/月)	施設オペ レーター (Birr/月)	守衛 (Birr/月)	共同水栓 料金徴収 係 (Birr/月)									
								(kVA)	(L/時間)																		
ES-2	Geldiya	深井戸	ポンプ導水	6.7%	4.0	10	1,200	10.0	2.2	44.2	830	924	1,754	1,754	400	400	2.2	400	5,000	1,000	8,954	4,220	13,174	50	1,500	8.8	7.0
ES-4	Bofa	深井戸	ポンプ導水	6.7%	4.0	10	1,200	10.0	2.2	44.2	830	924	1,754	1,754	400	400	400	400	5,000	1,000	8,954	4,220	13,174	50	1,500	8.8	4.0
ES-6	Ude Dhankala	深井戸	ポンプ導水	3.7%	15.0	10	4,500	34.0	7.1	78.8	3,062	1,647	4,709	4,709	400	400	5,200	5,000	16,709	5,287	21,996	299	8,970	2.5	-		
ES-8	Kamise	深井戸	ポンプ導水	100.0%	18.5	10	5,550	42.0	7.1	2,130.0	53	44,517	44,570	44,570	400	400	4,000	5,000	55,370	6,456	61,826	241	7,230	8.6	6.3		
ES-10	Areda	深井戸	ポンプ導水	100.0%	18.5	10	5,550	42.0	7.1	2,130.0	53	44,517	44,570	44,570	400	400	2,400	5,000	53,770	7,014	60,784	135	4,050	15.0	25.0		
ES-11	B'yo	深井戸	ポンプ導水	3.5%	11.0	10	3,300	25.5	3.9	41.0	2,264	857	3,121	3,121	400	400	2,400	5,000	12,321	4,978	17,299	142	4,260	4.1	12.5		
AR-2	Bolo	深井戸	ポンプ導水	6.7%	7.5	10	2,250	17.5	3.2	64.3	1,511	1,344	2,855	2,855	400	400	800	5,000	10,455	4,543	14,998	65	1,950	7.7	14.0		
AR-3	Arboye	深井戸	ポンプ導水	16.7%	11.0	10	3,300	25.5	3.9	195.4	1,962	4,084	6,046	12,092	800	800	1,600	5,000	21,292	10,807	32,099	202	6,060	5.3	2.0		
AR-4	Aseko	深井戸	ポンプ導水	40.0%	22.0	10	6,600	50.0	9.7	1,164.0	2,802	24,328	27,130	54,260	800	800	3,600	5,000	65,460	14,028	79,488	247	7,410	10.7	9.0		
AR-6	Gonde	深井戸	ポンプ導水	5.6%	7.5	10	2,250	17.5	3.2	53.8	1,528	1,124	2,652	2,652	400	400	800	5,000	10,252	4,113	14,365	96	2,880	5.0	5.0		
WH-1	Chorora	深井戸	ポンプ導水	13.3%	4.0	10	1,200	10.0	2.2	87.8	775	1,835	2,610	2,610	400	400	800	5,000	10,210	4,113	14,323	70	2,100	6.8	18.0		
WH-2	Bedeyi	深井戸	ポンプ導水	100.0%	22.0	10	6,600	50.0	9.7	2,910.0	53	60,819	60,872	60,872	400	400	1,600	5,000	69,272	7,014	76,286	146	4,380	17.4	38.0		
WH-3	Hardim	深井戸	ポンプ導水	20.0%	13.0	10	3,900	29.5	7.1	426.0	2,219	8,903	11,122	11,122	400	400	4,000	5,000	21,922	4,974	26,896	298	8,940	3.0	19.0		
WH-4	Bube	深井戸	ポンプ導水	100.0%	3.0	10	900	7.5	2.2	660.0	53	13,794	13,847	41,541	1,200	1,200	4,400	5,000	54,341	12,176	66,517	175	5,250	12.7	20.0		
WH-6	Hargeti	深井戸	ポンプ導水	100.0%	7.5	10	2,250	17.5	3.2	960.0	53	20,064	20,117	20,117	400	400	2,800	5,000	29,717	4,382	34,099	100	3,000	11.4	-		
WH-8	Kenteri	深井戸	ポンプ導水	25.0%	4.0	10	1,200	10.0	2.2	165.0	678	3,449	4,127	4,127	400	400	1,600	5,000	12,527	4,220	16,747	53	1,590	10.5	-		
WH-9	Aneno	深井戸	ポンプ導水	26.7%	5.5	10	1,650	13.5	2.4	192.2	893	4,017	4,910	9,820	800	800	2,400	5,000	19,820	8,908	28,728	84	2,520	11.4	-		
WH-10	Beko	深井戸	ポンプ導水	33.3%	4.0	10	1,200	10.0	2.2	219.8	609	4,594	5,203	10,406	800	800	3,600	5,000	21,606	8,548	30,154	129	3,870	7.8	20.0		
WH-11	Kora	深井戸	ポンプ導水	8.3%	4.0	10	1,200	10.0	2.2	54.8	817	1,145	1,962	1,962	400	400	800	5,000	9,562	4,220	13,782	44	1,320	10.4	19.0		

\*1 運転経費: ディーゼル発電機の運転時間は、小都市ごとの停電発生率を基に算出  
ディーゼル燃料単価は、20.9 Birr/L  
電気料金単価は、基本料金22.558 Birr/月、従量料金0.6088 Birr/KWH(50KWH未満)、0.6943 Birr/KWH(50KWH以上)  
\*2 人件費: 新規に建設する給水施設の運営維持管理に係る増員分の人件費のみ計上する  
水組合のメンバーは基本的に無報酬であるため人件費は計上しない  
施設オペレーター、守衛および共同水栓料金徴収係の給与は、一律 400 Birr/月/人を計上  
\*3 諸雑費: 通信費および事務経費を計上  
\*4 施設更新費: 機械(ポンプ、発電機)の償却期間を10年として計上  
出典: 調査団、データ元: 担当団員による調査結果

### 6.6.4 運営維持管理能力強化計画の策定

計画実施後の給水施設の運営維持管理が持続的に実施されるよう水管理組織に対する能力強化計画を表 6.6.5に示すとおりとする。能力強化計画は郡水事務所が実施することとし、これを県水事務所及び州水局が支援する。

表 6.6.5: 運営維持管理能力強化計画

時期	項目	活動内容		実施方法	対象者	
建設前 建設中	組織形成	1	住民の対応事項についての説明	住民総会を開催し、プロジェクトの内容を説明するとともに住民の役割分担を説明のうえ、住民のプロジェクト受入れ意志を確認する。	住民集会	住民
		2	組織形成	ワークショップを実施し、現状の問題点を検討した上で、水管理組織の運営方法を検討する。既存の水管理組織が存在しない小都市については民主的な方法で水管理組織のメンバーを選出する。	ワークショップ	住民
		3	水管理組織内規の策定・改訂	現在の水利用と給水施設の運営維持管理に関する問題分析を行い、水管理組織の内規の策定・改訂を行う。	ワークショップ	水管理組織
		4	水料金改定計画の策定	持続的な運営維持管理実現のために最低限必要な水料金を検討し、水料金の改定案、改定時期等の策定を行う。	ワークショップ	水管理組織
		5	住民への告知	住民総会を開催し、水料金の設定・改定および支払い義務に関し住民の同意を得る。	住民集会	住民
建設後 建設中	能力強化	6	技術訓練（水管理組織）	水管理組織の施設オペレーターに対して給水施設の維持管理に関する技術訓練を実施する。	座学／実地訓練	水管理組織
		7	技術訓練（水管理組織）	水管理組織の会計担当者に対し給水事業のアドミに関する技術訓練を実施する。	座学	水管理組織

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

# Chapter 7

---

環境社会配慮

*Environmental and Social  
Consideration*

## 7 環境社会配慮

### 7.1 ベースとなる環境及び社会の状況

#### 7.1.1 自然環境

本プロジェクトの主要対象地域であるアワシユ川中流域には、アワシユ国立公園が存在するが、対象小都市は全て同国立公園の区域外に当たる。また、計画された掘削地点及び付帯施設も保護区外に位置し影響しない。その他国内法令及び国際条例等で定められた保護区は存在しない。

#### 7.1.2 社会環境

周辺エリアでは、有料高速道路や鉄道らの建設活動を背景に経済活動も活発である。一方で地域によっては、交通インフラの整備はまだ不十分であり、水源へのアクセスが困難な地域も見受けられる。特に雨季中は未舗装のため通行が困難な地域もある。対象小都市は、Kamise や Bedeyi のように雨季に道路が寸断され現在補修中の箇所が見受けられるが、その他はアクセス上の問題はない。上記 2 小都市も今後補修される見込みである。

対象地域全体の初等教育への平均就学率は 70%程度である。これはオロミア州平均から見ても、低水準に留まっている。特に、West Hararge 県の対象小都市では平均 50%程度と他県に比べて低い。

対象地域内において、登録されている文化財、歴史的建造物、遺跡等はいずれも存在しない。

### 7.2 環境カテゴリーの分類

本プロジェクトで計画した小都市給水事業の内容・規模及び対象地方小都市の環境・社会状況から、本給水計画の環境カテゴリーは B に相当するものと判断した。

### 7.3 エチオピア国の環境社会配慮制度・組織

エチオピア国での環境影響評価の実施に関する基本的な法令として環境影響評価法が 2002 年 12 月に交付された。オロミア州独自の環境影響調査報告書審査のための公認ガイドラインは存在せず、連邦ガイドラインに従って実施される。オロミア州内の事業に関しては、オロミア州土地環境保護局の環境保護部（Environment Protection Core Process (EPCP)、Oromia Land and Environmental Protection Bureau (OLEPB)）が事業許可についての最終決定機関であり、連邦の環境森林省（Ministry of Environment and Forest :MEF）の判断は要さない。

連邦ガイドラインによると、本プロジェクトによる小都市給水事業はスケジュール 2 に該当し、簡易環境影響調査（Preliminary or partial assessment study: PA、JICA ガイドラインにおける初期環境影響評価：IEE に該当）が要求される。

## 7.4 代替案(ゼロオプションを含む)の比較検討

各給水計画は、各方面から十分に検討されており、給水計画に対する代替案の提出はない。代わりに、建設中及び供与後のモニタリングを推奨する。ここでは、ゼロオプション（計画案を実行しない）と計画を実行する場合の正負の比較を実施した。30 項目の検討結果の概要を以下に示す

- 事業の非実施案（ゼロオプション）は、対象地域の安全な飲料水や生活水の不足と水因性疾患患者数を今後にわたって増加させると懸念される。
  - 事業実施案は、地下水利用の増大、一部の副業者の失業、水を巡る新たな住民間対立、施設建設中における一時的な騒音・振動の発生等の負の影響を伴うが、限定的なものであり、適切な対策を講じることによりその負の影響を緩和することが可能であると考えられる。
- 一方で、飲料水不足の改善、適正な地下水利用、水組合を中心とした新たな雇用機会の創出、社会資本の増加、初等教育における就学率の向上、水因性疾患の減少等といった正の影響をもたらす。

## 7.5 スコーピング及び環境社会配慮調査の TOR

負の影響が予想される情報について、環境社会配慮調査を実施した。

井戸開発で利用する地下水位の確認に関しては、試掘調査及び揚水試験結果が利用できるため、給水事業の計画段階において新たな調査を計画・実施する必要はないと判断できる。

建設段階において予測される負の影響は、建設車両がもたらす大気汚染や工事騒音・振動等が想定される。これらの負の影響の程度を評価するために必要な調査項目を整理した。また、本計画の事業実施段階においてはエチオピア国環境基準値に則った定量的な調査を実施することが推奨される。

供用段階において予測される負の影響は、水の供給を起因とする民族対立の増長および経年変化による地下水位低下等が想定される。これらの負の影響の程度を評価するために、必要な調査を実施、整理した（詳細はサポーティングレポートを参照）。

## 7.6 環境社会配慮の調査結果

一部の小都市では、水の小売業者が存在する。これらの小都市で、給水計画が実施された場合の影響を検討した。その結果、影響は軽微かつ非常に限定的と考えられる。

大型車両による大気汚染や工事騒音は、法定速度の遵守で環境影響への回避が可能であると判断した。

民族対立の増長が懸念される一部小都市（Bordede 及びその周辺）にて、聞き取り調査を実施した。その結果、本計画自体を妨げるものではないと判断できる。

## 7.7 環境計画(初期環境影響評価)と緩和策及び環境モニタリング計画

影響評価の結果には、a 評定（重大な負の影響が予測される）及び b 評定（一定の負の



影響が予想される）に予見される項目はなかった。c 評価（現時点では影響が不明）として、建設段階における大気汚染、騒音・振動、廃棄物の発生、供与段階における雇用・生計等の地域経済、地下水の水質・水量、地域紛争・民族対立が挙げられた。

これらの緩和策について、基本的には実施可能な範囲の内容である。建設段階においては、工事車両に関する規制項目等を提案する。また供与段階では、適正な保全の提案とモニタリングの実施が挙げられる。

## 7.8 ステークホルダー協議

今回の計画では住民の非自発的移転及び土地収用は発生しないと想定されるため、ステークホルダー間の協議開催の必要性は薄いと思われる。

## 7.9 結論

事業の建設段階及び供与段階における配慮すべき環境項目は、現状は影響が不明若しくは軽微な負の予想に留まる。適切な緩和策の施行と必要に応じた状況確認及びモニタリングを実施することによって、深刻な事態を生じることはないものと考えられる。

非自発的住民移転の発生、二次汚染源の発生（重金属や有害物質による新たな環境汚染の発生）、文化財や遺跡の破損・喪失、及び自然保護区域への悪影響は、本計画の実施に伴う負の影響はいずれも予見されない。結論として、本計画に基づく事業の実施によって、対象地域における自然環境並びに社会的環境を著しく悪化させる可能性は低いと判断する。

# Chapter 8

---

*小都市の概略給水計画の事業評価*

*-優先小都市の選定-*

*Evaluation of Provisional Water  
Supply Plans and Selection of  
Priority Small Towns*

## 8 小都市の概略給水計画の事業評価－優先小都市の選定－

### 8.1 評価手法と点数化基準

概略給水計画を策定した 19 小都市の中から、優先度の高い小都市概略給水計画を 10 計画程度選定した。

評価の大項目は、①地下水開発ポテンシャル、②安全な水の困窮度、③裨益効果・費用対効果、④給水施設運営維持管理能力、⑤環境及び社会への影響の 5 項目とし、項目間の重要度を考慮して 5 点の重み付けを行い、それぞれの配点を 30 点、25 点、15 点、20 点、10 点の合計 100 点満点とした。

また、小項目についても項目間の重要度を考慮して重み付けを行った。

表 8.1.1 に点数化の基準を示す。

表 8.1.1: 優先小都市選定のための点数化基準

項目	判定事項	配点	判定	得点	判定基準	備考
地下水開発ポテンシャル		30				
1	水量	取水可能量	A	20	≧ 10 L/sec	
			B	12	5 - 10 L/sec	
			C	4	0 - 5 L/sec	
1	水質	水質分析結果	A	10	エチオピア国基準値を超えない	総硬度はエチオピア国基準の毒物・健康被害の水質項目ではなく、味覚の水質項目
			B	6	総硬度がエチオピア国基準値 (300mg/L) を超えるがフッ素は基準値を超えない。	
			C	2	フッ素がエチオピア国基準値 (1.5mg/L) を超えるが旧基準値 (3.0mg/L) は超えない	
安全な水の困窮度		25				
2	安全な水の使用量	1人1日当り使用量	A	10	0-10 L	量水器の検針記録
			B	9	10-20 L	
			C	3	>20 L	
2	安全な水の充足率	2020年計画 1日平均給水量に対する既存給水施設の供給量の割合	A	10	0-30%	GTP-2の給水原単位 (Urban: 40L/c/d, Rural: 25L/c/d) に基づく
			B	6	30 - 60%	
			C	2	60-100%	
裨益効果・費用対効果		15				
3	裨益効果	2020年人口	A	5	≧ 10,000	CSA2007年センサスに基づく予測値
			B	3	5,000-10,000	
			C	1	0-5,000	
3	費用対効果	タウンのグレード	A	10	タウングレード3	オロミア州工業・都市開発局発行タウンリスト (2014年) に基づく
			B	8	タウングレード4	
			C	2	タウンではなく、ケベレ (村)	
給水施設運営維持管理能力		20				
4	運営維持管理組織	種類	A	15	市給水事務所	既存給水施設・管理状況調査結果
			B	9	水組合	
			C	0	なし	
4	水料金支払い意思	「意思あり」とした回答者の割合	A	5	90-100%	水利用実態調査結果
			B	3	80-90%	
			C	1	<80%	
環境及び社会への影響		10				
5	環境への影響		A	3	影響が軽微・若しくは懸念されない	
			B	2	1つ以上の懸念が存在する	
			C	1	2つ以上の懸念が存在する	
5	社会への影響		A	7	影響が軽微・若しくは懸念されない及び非常に良い影響が期待される	
			B	4	影響が軽微・若しくは懸念されない	
			C	1	1つ以上の懸念が存在する	
合計		100				

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

### 8.2 結論

各小都市を点数化し、合計点数の高い順番に優先順位付けを行った結果、優先順位の高い上位 10 都市は表 8.2.1 に示すとおりとなった。

表 8.2.1: 優先小都市

優先 順位	ID	小都市 (Town)	郡 (Woreda)	県 (Zone)
1	ES-6	Ude Dhankaka	Adaa	East Shewa
2	ES-11	Biyo	Lome	East Shewa
3	WH-3	Hardim	Guba Qoricha	West Hararge
4	AR-4	Aseko	Aseko	Arsi
5	ES-8	Kamise	Lome	East Shewa
6	AR-2	Bolo	Jeju	Arsi
7	ES-10	Areda	Gimbichu	East Shewa
8	WH-1	Chorora	Anchar	West Hararge
9	WH-2	Bedeyi	Anchar	West Hararge
10	WH-6	Hargeti	Mieso	West Hararge
11	AR-6	Gonde	Tiyo	Arsi
12	WH-8	Kenteri	Mieso	West Hararge
13	WH-4	Bube	Guba Qoricha	West Hararge
14	AR-3	Arboye	Jeju	Arsi
15	WH-10	Belo	Mieso	West Hararge
16	WH-11	Kora	Mieso	West Hararge
17	ES-4	Bofa	Boset	East Shewa
18	WH-9	Aneno	Mieso	West Hararge
19	ES-2	Geldiya	Adama Zuria	East Shewa

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

# Chapter 9

---

結論と提言

*Conclusions and  
Recommendations*

## 9 結論と提言

### 9.1 結論

#### 9.1.1 自然状況

- 1) 調査地域は首都アディスアベバの南東域の北緯 8 度 00 分～9 度 30 分、東経 38 度 00 分～40 度 00 分の間に位置し、約 29,000 km<sup>2</sup> の面積を有する地域である。
- 2) 過去 30 年間のアワシュ川中流域の平均年雨量は 876 mm である。調査地内では、乾季、小雨季、雨季の 3 つの明瞭な季節によって特徴づけられる。年間蒸発量は 1,622 から 3,023 mm の範囲である。流域下流では最高気温 36 °C、高地では最低気温が 10 °C を下回る。
- 3) アワシュ川中流域の流量は、上流から下流にかけて年平均流量は 27.8 m<sup>3</sup>/sec～64.1 m<sup>3</sup>/sec である。また中流域末端での年間流出高は 69 mm である。
- 4) アワシュ川中流域は、小河川流域や小規模な地形変換線等を利用しながら 13 の小流域に区分できる。小流域の年間地下水涵養量は 47 mm から 87 mm の範囲となり、年間降雨量に占める割合は 7.4%から 9%の間である。
- 5) アワシュ川流域は、アフール地域やリフトバレー湖沼地域（RVLB）とあわせて「アフリカ大地溝帯」と呼称される地理帯に属し、主要エチオピアリフト（Main Ethiopian Rift : MER）のうちの北部地域に位置する。
- 6) MER 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 MER の主軸大軸として 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。地質構造では北部の断層群は両縁辺部に存在する変位の大きい断層と、それに伴う同方向の小断層群が発達する
- 7) 火山の特徴は、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。
- 8) 地質の作業においては、5 つの地域の地質対比と層序対比表の作成を行い調査地域の地質図（縮尺 1/25 万）を完成させた（Beseka 湖周辺は縮尺 1/10 万の地質図作成）。
- 9) 調査地域の主要な帯水層は次の 3 つに区分できる。1. 沖積層ならびに湖沼堆積物、2. 第四紀更新世の凝灰岩、溶結凝灰岩、玄武岩岩類、3. 第三紀鮮新世、中新世の凝灰岩、溶結凝灰岩ならびに玄武岩類。これらの帯水層ポテンシャルは、以下のように区分できる（A : 高い、B : 中間、C : 低い）
  1. =1C、2. =3B～3C、1B～1C、3. =3C～3A
- 10) 被圧水頭を示した地下水位コンター図では、流線の方向は、リフトバレーの北西側と南東側の高地側からアワシュ川に沿う北東－南西方向の低地に向かう流れであり、表層地形と調和的である。
- 11) 水理地質図を一瞥すれば、地下水生産量が高い地質は、第三紀中新世の玄武岩類や鮮新世の火砕岩類であり、地下地質ではリフトバレーフロア部で確認される。

いずれも割れ目や亀裂の発達した層相である。

- 1 2) 小流域の地下水のポテンシャルは、2035年の予測揚水流量の地下水涵養利用に対する割合は1%~5%程度である。これはアディスアベバのような大都市の水利用量を除いた場合であるが、それを見込んだ小流域でも35%程度の比率である。
- 1 3) 地下水モデルを利用した想定揚水流量と地下水降水量予測結果との相関式から、アワシュ中流域の利用可能揚水流量（地下水可能開発量）は、地下水涵養量の4%~52%である。
- 1 4) 既存井戸や JICA 井戸においては、フッ素以外の分析項目はほとんどの井戸でエチオピア基準値を超える箇所は少ない（総硬度、カルシウムで10箇所程度）。
- 1 5) 井戸の地下水の分析結果からは、フッ素濃度がエチオピア基準を超える箇所は、Koka 湖及び Beseka 湖周辺とアワシュ川中流域の低地部の東北東-西南西方向に認められる。掘削深度とフッ素濃度の関係では、全体として掘削深度が深くなるとフッ素濃度が低下する傾向が見られる、地質との関係も参考にする必要がある。

### 9.1.2 Beseka湖周辺の水文・地質・水理地質解析

- 1) Beseka 湖はアディスアベバの東方約 130 km に位置する。同湖の集水面積は 532 km<sup>2</sup> である。1960 年代後半以降、Beseka 湖の水位は約 12 m 上昇し、湖面積は 3.6 km<sup>2</sup> から 55 km<sup>2</sup> へと増大している。
- 2) 湖拡張が始まる時期は Beseka 湖周辺でアワシュ川を水源とする灌漑プロジェクトが開始される時期と重なっているため、他の多くの報告書は余剰水が Beseka 湖拡張を招いていると結論づけている。
- 3) Beseka 湖周辺の地形は、この地域の火山噴出物、堆積物及び地質構造等の特徴により、大きく 7 つに区分できる。
- 4) 地質は、下位より第三紀鮮新世の Birenti Hada 流紋岩類 (Tr) から始まり、第四紀更新世のイグニブライトや玄武岩類、及び第四紀完新世の沖積層まで分布する。詳細な地質調査を行い、10 万分の 1 の地質平面図及び断面図を作成した。
- 5) 水理地質的には、中~高の透水性を示す地層であり、亀裂や割れ目に沿った裂か系の地下水である。
- 6) Beseka 湖周辺の地下水流動に関しては、帯水層の地質や深度によって地下水位の深度も異なり、帯水層深度による地下水流動の違いが見られる。
- 7) 水質のうち、フッ素濃度に関しては、全体に Beseka 湖周辺は高く、ほとんどがエチオピア基準を超えている。深度とフッ素濃度との相関もほとんどない。
- 8) Beseka 湖面の温度解析では、Landsat 画像の近赤外波長データから、湖面温度の上昇を示唆する解析結果を得た。
- 9) Beseka 湖およびその周辺の水質分析結果から、現在の Beseka 湖水の水質 (NaHCO<sub>3</sub> 型もしくは Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/NaCl 型) が周辺の地下水や湧水 (いずれも NaHCO<sub>3</sub> 型が卓越) とほぼ同じ性質であることが判明した。
- 1 0) 灌漑水を考慮した水収支解析では、極端な仮定の下に考えうる最大の余剰水を含めても、水収支上は観測されたほどの湖面積には到底達しないことが分かった。

### 9.1.3 社会経済状況、小都市給水計画及び優先小都市選定のための事業評価

- 1) 調査地域は、主にオロミア州（面積比 55%）、アファール州（同 25%）及びアムハラ州（同 20%）から構成され、人口は 2007 年統計ではアワシユ川中流域で約 650 万人（うちアディスアベバで約 270 万人）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) 調査地域の民族はオロモ族が全体の約 88%を占め、言語はオロミファ語が約 84%使用されている。宗教はムスリムが 50%近くを占める。オロミア州は 18 のゾーン（県）に分けられ調査地域には 3 つのゾーン（East Shewa, Arsi, West Hararge）が入る。
- 3) 基幹産業である農業における主要産物は、テフと小麦である。家畜頭数ではヤギ（31%）、牛（26%）、羊（22%）の順で多く、これらはどの郡でも多い。
- 4) 対象小都市の属する郡レベルの学校数のうち郡あたりの小学校の数は平均 41 である。小学校への就学率は全体で約 73%である。
- 5) 要請小都市数は 30 であり、最初にそれらの小都市に対して概略給水計画策定の妥当性検討を実施した、最終的に 19 の小都市に対して概略給水計画を作成した。
- 6) 概略給水計画に当っては、水需要予測の設計条件として、給水原単位については、GTP II に基づき、都市 40 L/人/日、村落 25 L/人/日を採用した。給水施設は取水施設、導水施設及び配水施設から構成される。
- 7) 取水施設のうち、水源については井戸を設置する計画とした。基本的には地下水の開発が可能であるとの結論を得た。
- 8) 19 小都市の給水計画に対する総事業費は、新規給水施設建設費と既存給水施設更新費からなり、合計  $265,474 \times 10^3 \text{Birr}$  となった。
- 9) 今後の給水施設の運営維持管理計画は、現状の水管理組織の課題等を整理・検討した結果、運営維持管理関係者の明確化と役割の分担、支援体制の確立強化が特に必要であることが認識された。また運営維持管理組織では、組織計画、人員計画の立案を実施する。
- 10) 優先小都市の選定にあたっては、各小都市の事業評価を 1) 地下水開発ポテンシャル、2) 安全な水の困窮度、3) 裨益効果・費用対効果、4) 施設維持管理能力、及び 5) 環境・社会影響に沿って評価し、点数化の基準を決め、19 都市を点数順に優先順位付けした。
- 11) 環境社会配慮は、JICA 及びエチオピア国の環境社会配慮ガイドラインに基づき、本プロジェクトで作成される給水計画が実施された際に生じる環境影響や社会影響を予測し、その結果、本計画に基づく事業の実施によって対象地域における自然環境並びに社会的環境を著しく悪化させる可能性はないと判断した。

## 9.2 教訓と提言

### a. 地下水データベースシステムの実用

2009 年～2010 年に当時の水エネルギー省（Ministry of Water and Energy: MoWE）は、



ネットワーク基盤の中央集約型地下水情報システム構築を目的として、エチオピア国地下水情報システム（Ethiopia National Groundwater Information System : ENGWIS）プロジェクトを実施した。その段階で水源データの収集整理が行われたが、その後は進展していない状況にある。データ収集上の課題のひとつとして、各州が独自のフォーマットでデータを収集整理しているため ENGWIS へのデータの集約が進んでいないことが挙げられる。課題の二つ目としては、州・郡から ENGWIS へデータを集約するための体制が十分に機能していないことが挙げられる。最初の課題に対しては、各州などからの地下水情報は、入力すべき情報を特定し必要なデータを確実に取得すべきである。そのためにデータの内容について AAU、MoWIE、および GSE が協力して項目を決定し情報フォーマットを確定する必要がある。第 2 番目の課題に対しては、省の関係職員が州関係者と共に県への研修・指導を定期的実施すべきである。ENGWIS のデータベース管理用ソフトのライセンスも各州の担当者だけでなく、県レベルまで広げることが望ましいと考える。最後に技術面、運用面、情報内容面の実行の目途がついた段階、あるいは具体的なロードマップが確定した段階で、水灌漑電力省内での位置付けを明確にして国家プロジェクトとしての予算面、制度面を確立する必要がある。その後、省内の ENGWIS の運用、技術面の具体的な実施が可能な人員の増員配置を急ぎ行う必要がある。

#### **b. 観測井掘削の教訓と掘削能力向上のためのエチオピア側への提言**

リフトバレー湖沼地域の井戸掘削に続き、アワシュ川中流域の井戸掘削でも遅延とトラブルが多発した。リフトバレー地域という地質的に掘削が困難な地域と言う特異性もあるが、トラブルの原因としては大きくは、1) 掘削業者の機械のトラブルが多発し、機械トラブルに対応すべきスペアパーツ等の準備が事前になされていない点や、パーツは純正品を使用していないため、修理を何度も繰り返すことになる点、2) リフトバレー、アワシュ川中流域の掘削地点は逸水や孔壁崩壊が多く発生するが、掘削方法に対応した技術を持ちえていない、あるいは資機材が用意されていない、などの課題が散見される。エチオピア国における掘削技術の能力向上のためにも以下の提言を行う。

水灌漑電力省を中心に民間業者も巻き込んだ井戸掘削レベルの向上を目的とした長期間にわたる実地研修を行う必要がある。講師は、エンタープライズや高いレベルをもつ民間業者および EWTI が考えられる。大地溝帯地域のように地質的に掘削が難しい地域では、それを考慮した単価の設定も必要になる。この際、予算上限を考慮しつつも、アディスアベバで掘削する場合の 1.5 倍程度の予算を確保することが望ましい。水灌漑電力省を核として、民間業者を対象にした講習会を実施し、その中で資格制度を導入して業者のランクづけを行うことを提案する。

#### **c. 給水計画の効果的な利用**

給水計画の効果的な利用のために、オロミア州での調査報告書の活用や水理地質図の図面等の利用を提案した。主な点は次の通りである。19 の小都市のうち、9 は、プロジェクトの優先的な実施がなされない可能性があるが、19 の小都市に関する給水計画については作成されており、今後オロミア州独自の給水施設計画を立案する際に今回の成果は十分に利用できる。今回の 30 小都市以外における給水計画の地下水源の確保に関して

は、今回作成した、水理地質図を活用することによって地下水のポテンシャルが把握できる。

#### d. 地下水開発・管理に対する提言

今回の調査によって水理地質図が作成されたことにより、アワシュ川中流域での帯水層のポテンシャルの把握が容易になった。また現状の流域内の地下水涵養量と今後の開発で予想される揚水流量との比較から、地下水開発に関しては高い可能性があることが予想できた。ただし、調査地域においては、水質についてフッ素濃度の高い地域が存在しており、水量だけでなく水質についても注意することが重要である。主な提案点は次の通りである。

リフトバレー縁の北西側や南東側の高地での地下水開発は、中新世の玄武岩類の分布する地域での断層等の構造運動による割れ目系を把握することが重要である。これらの玄武岩類は、アワシュ川中流域の中央部では地下水位が深い場合（深度 150 m 以深）もあり、開発時にはケーシング口径や取水能力の高い水中ポンプの選定が重要である。

調査地域南東側のリフトバレー縁とアワシュ川流域の間の地域は、生産性は中程度の可能性があるが、断層等がリフトバレー縁ほど発達しておらず、また地下水流動からも涵養域にあたるため、開発にあたっては掘削地点の選定を慎重に行うことが肝要である。

調査地域北西側のリフトバレー縁とアワシュ川流域の間の地域には、中新世の玄武岩類も認められる。また第三紀鮮新世の火砕岩類が広く分布し、地下水開発の可能性が高い地域である。深度が浅くても早めに地下水位にヒットする井戸も確認されており、用途によっては掘削深度を 200 m 程度で掘留にすることも選択の一つである。

フッ素濃度の高い地下水は、Koka 湖や Beseka 湖周辺に分布し、またアワシュ川流域の東北東－西南西方向に沿って点在する。原則として地下水開発にあたってはこれらの地域を避け、代替水源を検討することが肝要である。今後はフッ素濃度の高い、代表的な地域でのフッ素の発生機構等を明確にしたのち、そのような地域での井戸掘削方法を事前に確定することが望ましい。

地下水管理に関しては、一般的には地下水位を把握する必要があるが、エチオピアにおいては地下水位をモニタリングしている事例は非常に少ない。そのため今回の調査においては、調査中に実施した掘削地点に自記水位計をセットして地下水位の連続測定を行っている。今後アワシュ川中流地域においては、今回実施した JICA 井戸の地下水位の観測を継続して実施し、地下水位の変動を観測することによって地下水の管理を行うことを提案する。

#### e. Beseka湖の水位上昇を抑える対策

Beseka 湖の水位上昇を抑える対策としては、灌漑余剰水が最大限湖に流入する同等量を排出し、アワシュ川に戻すことを提案する。想定流入量に対して放流施設的能力としては、現状の重力による自然流下で排出している開水路で確保されていると思われる。