

# 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

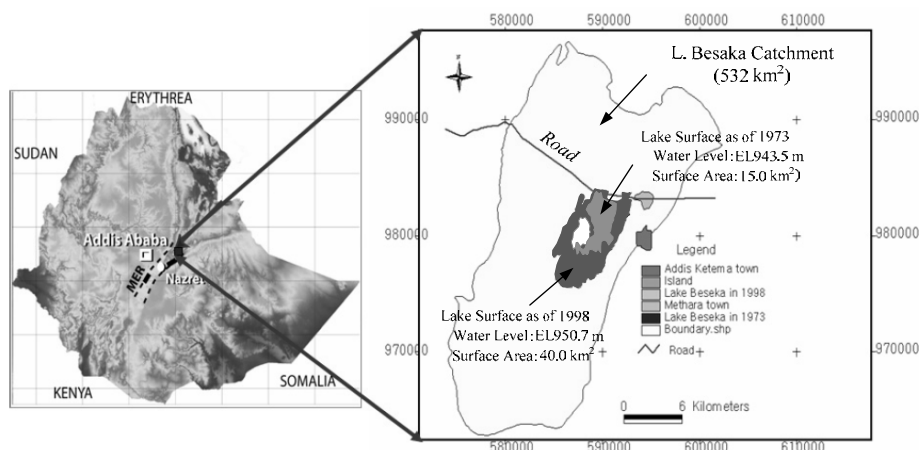
#### 3.1 はじめに

本章では、Beseka 湖周辺の地形・地質および水理地質上の特徴について、調査を通じて判明した事実を報告する。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。以下にその結果を報告する。

#### 3.2 Beseka 湖の拡張問題

##### 3.2.1 Beseka湖の現状

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。同湖の集水面積は 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内部収束流域を形成している（図 3.2.1 参照）。



出典：参考資料⑩

図 3.2.1: Beseka 湖位置図

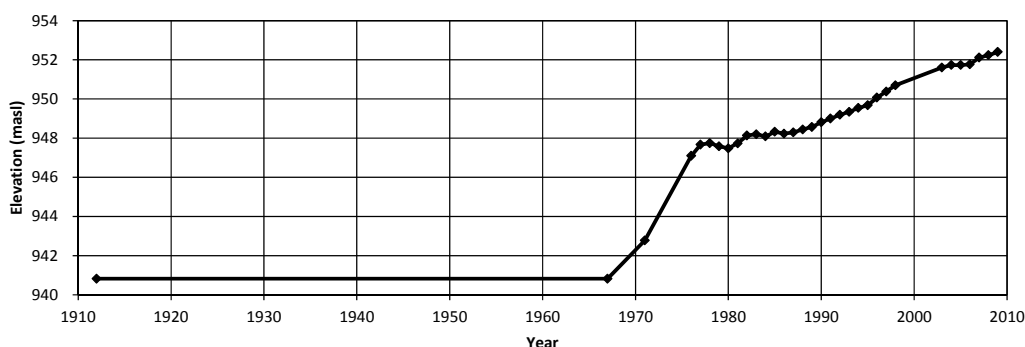
Beseka 湖は 1960 年代から水位上昇を始め、1970 年代からそれによる悪影響が顕在化し、湖周辺の国道 4 号線、鉄道、農場や居住家が浸水・水没した。1960 年代後半以降、Beseka 湖の水位は約 12 m 上昇し、湖面積は 3.6 km<sup>2</sup> から 55 km<sup>2</sup> へと増大している。

水位上昇に対処するため、既存道路や鉄道の嵩上げや迂回路の造成など各種の対策が取られてきた。また、水位自体を下げるための対策も取られてきた。2004 年には 8 機のポンプ（総容量 1.73 m<sup>3</sup>/sec）を用いた排水が開始されたものの、湖面上昇により 2009 年には全てのポンプが水没し機能不全に陥った。2011 年には湖水をアワシュ川へ放流するための排水路（開水路）が建設された。しかしながら、下流の水利用者からの不満表明を受けて同排水路からの放流ゲートは 2012 年に全て閉鎖された。現在、湖水は開水路の堤防や放流ゲートを越流し、調節されないままアワシュ川に流出している。

### 3.2.2 Beseka湖の水位変動と放水量

Beseka 湖の水位は湖面の拡張問題が認識された後、1976 年 7 月以降記録されている。また、既往調査によると、Beseka 湖水位は多少の季節変動はあるものの概ね安定していた。少なくとも 1912 年<sup>1</sup>から 1967 年にかけて、湖面積は乾季に 3 km<sup>2</sup>、雨季で 5 km<sup>2</sup>程度であったとされている。これを湖水位に換算すると約 941 m に相当する。これに加え、MoWIE による調査報告書（1999 年）から、1972 年 1 月の湖水位データが入手可能である。

これらの情報を加味した Beseka 湖水位の時系列データを図 3.2.2 に示す。



出典：調査団、データ元：参考資料⑤及び⑥

図 3.2.2: Beseka 湖水位の時系列データ(1912–2009)

グラフによると、1960 年代後半から 1970 年代後半にかけてのおよそ 10 年間に湖水位が急激に上昇している。1970 年代後半以降も水位は概ね一貫して上昇しているものの上昇量は小さくなっている。

### 3.2.3 Beseka湖周辺の灌漑計画と現況

湖拡張が始まる時期は Beseka 湖周辺でアワシユ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<sup>2</sup>。

Beseka 湖流域および近傍の大規模灌漑プロジェクトは、湖南岸の国営 Metehara 砂糖農場（Metehara Sugar Estate; MSE）所有の Abadir 農場、流域南端の Nura Hira 柑橘類農場、および Fentale 灌漑プロジェクトである（表 3.2.1 および図 3.2.3 参照）である。

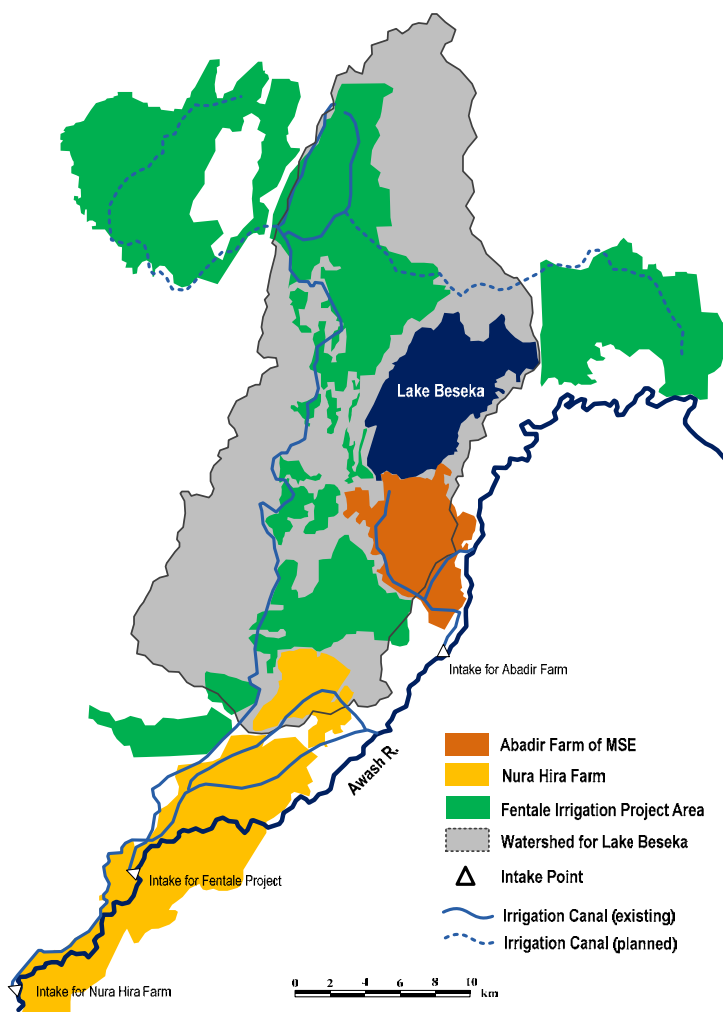
<sup>1</sup> 1912年時点の湖面積は、当時アディスアベバとジプチを結ぶ鉄道建設のためにフランスのエンジニアにより作成された地形図を根拠としている。

<sup>2</sup> Ayalew (2009)の研究では水化学分析や同位体分析から灌漑排水の影響は無視しようと結論づけているが、その他の入手可能な文献全てで灌漑排水を主要な原因とみなしている。

表 3.2.1: Beseka 湖流域内の主要灌漑プロジェクト

灌漑プロジェクト	灌漑開始時期	総面積	うち、Beseka 湖流域内	作物
Abadir Farm	1968	3,158 ha	2,315 ha	Sugarcane
Nura Hira	Late 1960's	6,335 ha	1,529 ha	Orange, Mandarin, Maize, Tomato, Onion, Cotton, etc.
Fentale	2007 (not completed)	18,000 ha	6,000 ha	Maize, Groundnut, Sugarcane, Onion, Forage, etc.

出典：調査団、データ元：参考資料⑤及び⑥



出典：調査団、データ元：参考資料⑥及び5万分之一地形図

図 3.2.3: Beseka 湖流域内外の灌漑プロジェクト

Abadir 農場における平均取水量は約 102 百万  $m^3$  (3.24  $m^3$ /秒)、Nura Hira 農場における平均取水量は約 105 百万  $m^3$  (3.34  $m^3$ /秒) である。



### 3.3 地形・地質・地質構造

#### 3.3.1 地形

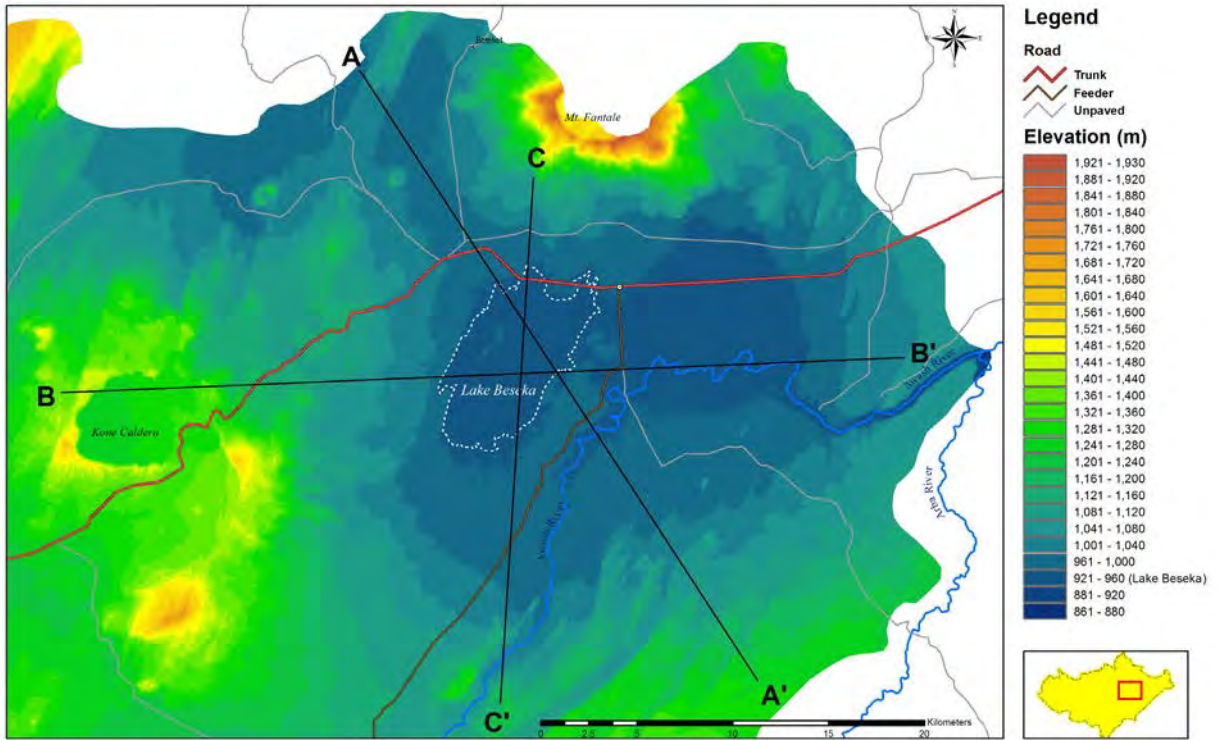
プロジェクトで購入した衛星画像 ALOS (Advanced Land Observing Satellite) の DEM (Digital Elevation Model) データ (水平解像度 5 m、垂直誤差 5 m) を元に作成した、Beseka 湖周辺の標高区分図を図 3.3.1 に、また現地踏査及び入手資料 (陰影起伏図、SPOT の衛星画像、既存地質図等) を元に作成した地形区分図を図 3.3.2 に示す。

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、大きく沖積低地面 (Alluvial lower plane)、玄武岩低地面 (Basalt lower plane)、中間面 (Middle plane)、高地面 (Upper plane)、酸性火山岩ドーム (Acidic rock dome)、峡谷、湖面の 7 つに区分した。それぞれの特徴を表 3.3.1 に示す。

表 3.3.1: Beseka 湖周辺の火山地形の特徴

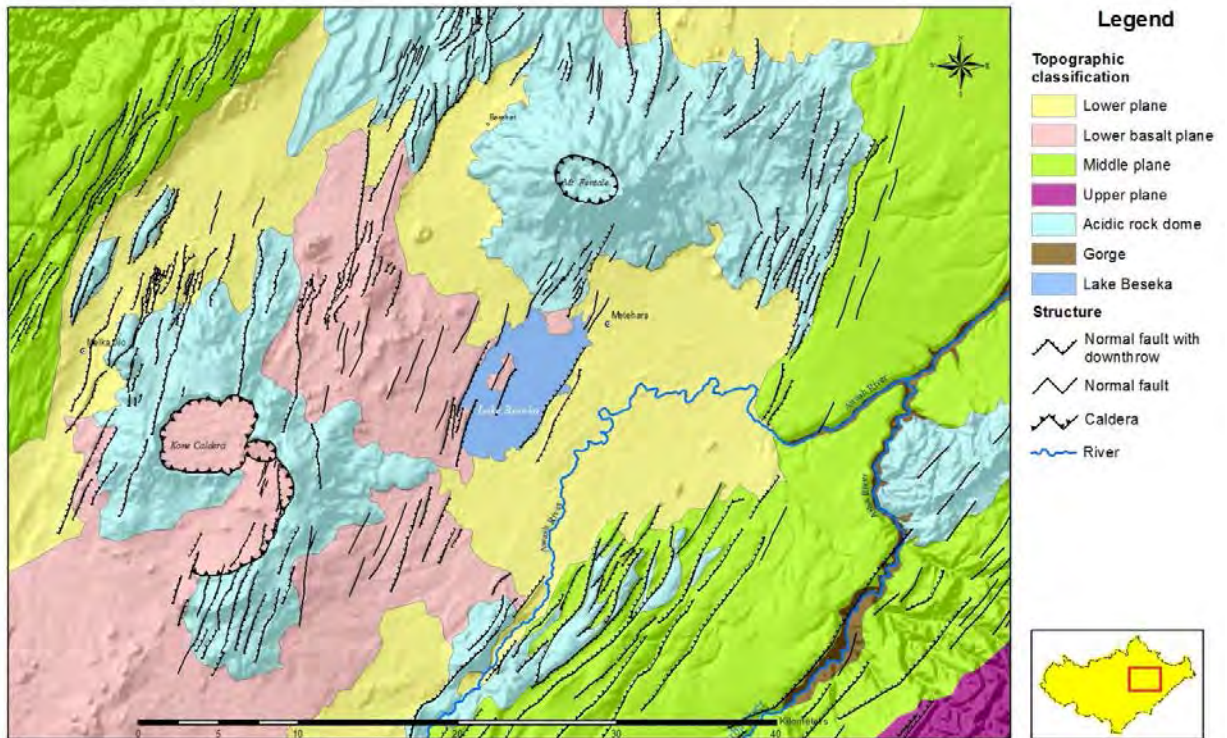
地形区分		特徴
沖積低地面	Alluvial lower plane	主にアワシュ川の氾濫原と、比較的新しい溶結凝灰岩 (Fentale イグニンプライト) が形成する起伏の無い平らな地形。地溝帯の中心部に分布し、最も標高の低い地形面である。
更新世玄武岩低地面	Pleistocene basalt lower plane	主に更新世溶岩類が形成する緩やかな起伏をもった溶岩流地形。沖積低地面より一段高い地形面を形成するが、同じく地溝帯の中心部に分布する地形面である。
中間面	Middle plane	沖積低地面と玄武岩低地面よりも一段高い地形面で、両者とは北東-南西～北北東-南南西方向の断層で区切られている。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：DEM データ: ALOS、解像度 5m、垂直精度 5m

図 3.3.1: Beseka 湖周辺の標高分布図



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 3.3.2: Beseka 湖周辺の地形区分図

### 3.3.2 地質

#### a. 地質各説

Beseka 湖周辺において、北は Fentale 山北西麓から南は Nura Hira 農場までの北北西-南南東に伸びる小流域（532 km<sup>2</sup>）について、詳細な地質調査を行い、10 万分の 1 の地質図を作成した（以下、本章にて詳細調査地域とはこの小流域を示す）。この地域の既存地質図としては、Kazmin and Berhe（1978）の 25 万分の 1 及び EIGS and ELC（1987）の 10 万分の 1 が挙げられる。前者は Nazret 周辺から Metehara までを含む広域な地質図で、このとき確立された地質層序及び地層名は現在に至るまでその後の論文や報告書等で最もよく引用されている。後者は、地熱開発調査の一環として実施した地質調査結果の一部であり、岩石の化学分析を含めた包括的な調査を行っている。いずれの地質図においても、この地域に限定した地質層序については詳細な議論が十分とは言えず不明な点があるため、今回の調査でこれを明らかにした。詳細調査地域の地質図及び断面図を図 3.3.3 及び図 3.3.4 に示す。

また、文章中や写真に露頭番号（L-BA\*\*）で示した場所については、詳細調査地域の地質図中に表現している。

#### 1) Birenti-Hada 流紋岩類

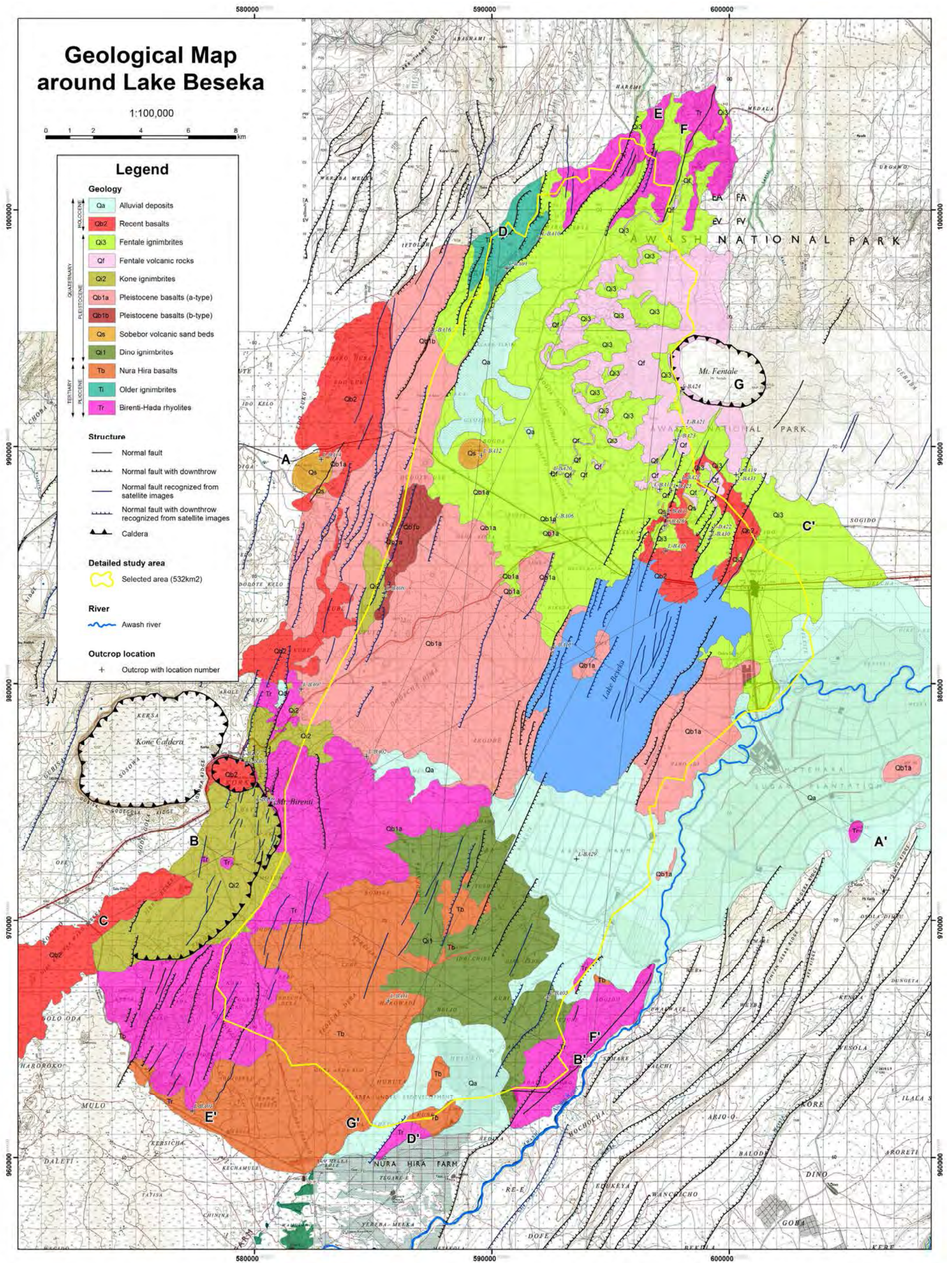
本地層は、詳細調査地域の西部から南西部に位置する、Birenti 山及び Hada 山に主に分布する細粒～粗粒の流紋岩類である。また岩層及び地形的な特徴から、詳細調査地域南部の Abadir 山周辺及び北部の Dekaki 山周辺に分布する流紋岩類も同層準とした。

岩石の特徴は、一般に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する。また角閃石と長石の斑晶が点在する。一般的に地表面近くでは板状節理が発達し、内部は塊状を呈する。Birenti 山頂付近から南方にかけて、黒曜石が帯状に広く分布している。また例外的に Hada 山南に位置する Mekidera 山では 1～3 mm の長石斑晶が目立つ粗粒な流紋岩が分布している。

本流紋岩類は、Korke カルデラ東縁（L-BA01）で Kone イグニブライトに、Birenti 山北東麓（L-BA02）で更新世玄武岩類に、更に Hada 山南麓（L-BA03）にて Nura Hira 玄武岩類にそれぞれ不整合で覆われているのが観察できる。

従来の地質図、Kazmin and Berhe（1978）及び EIGS and ELC（1987）では、Birenti 山一帯の地質はそれぞれ、Unwelded rhyolitic pumice and unwelded tuff 及び Welded ignimbrites とされていたが、今回の調査で流紋岩が従来考えられていたよりも広範囲に分布しており、また層準も当初想定されていたよりも下位に位置することが確認された。したがって、本地層を Birenti-Hada 流紋岩類と新たに命名した。

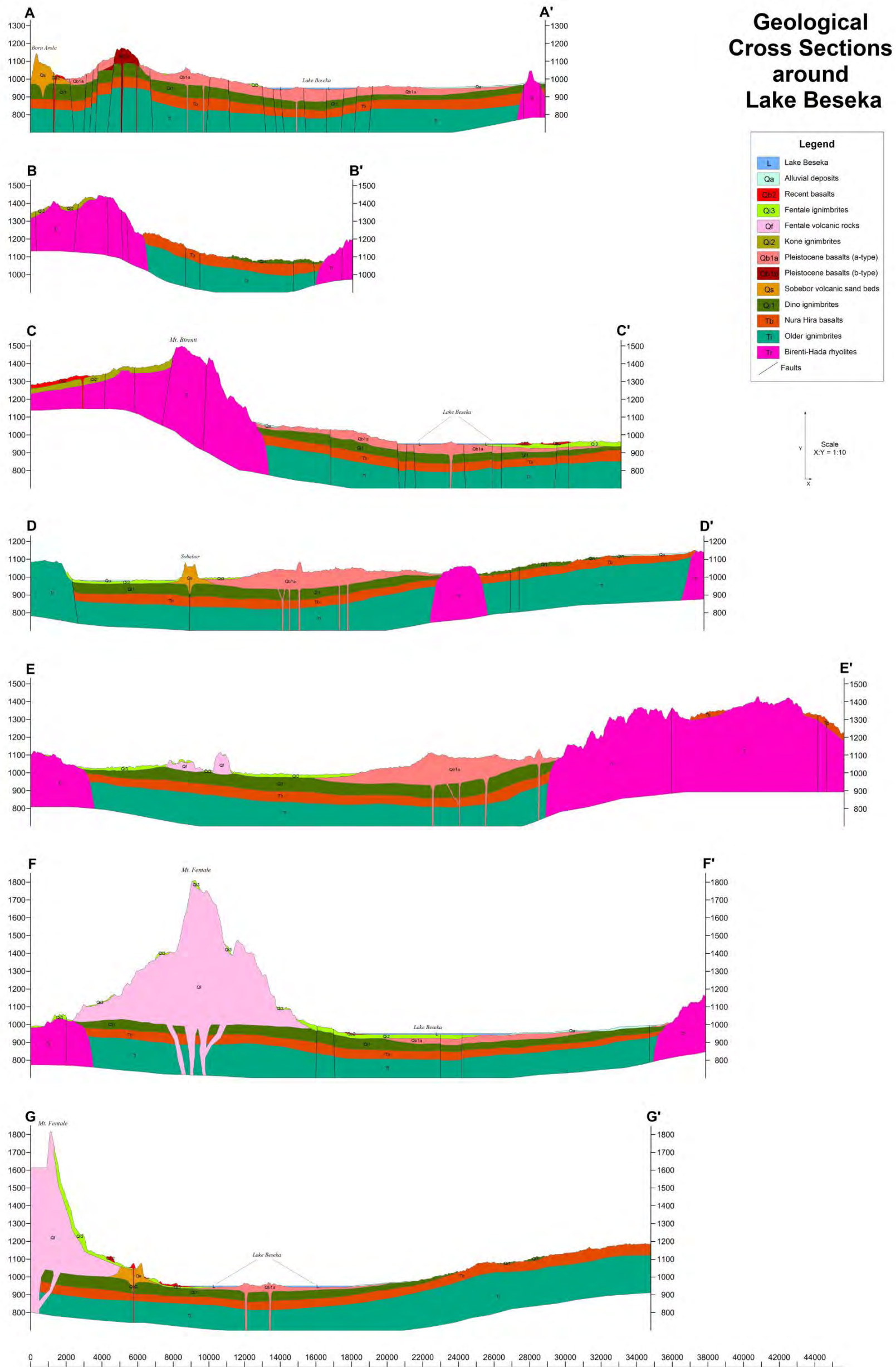




出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

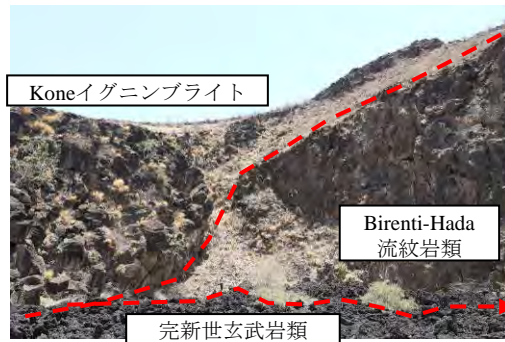
図 3.3.3: 詳細調査地域の地質図





出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.3.4: 詳細調査地域の地質断面図



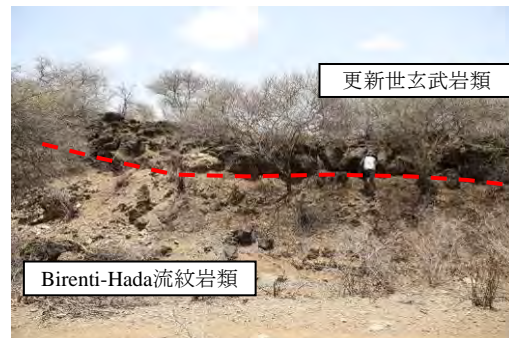
Kone イグニブライトに覆われる Birenti-Hada 流紋岩類。（Korke カルデラ北壁、写真下部の黒色溶岩はカルデラを埋める完新世玄武岩類） L-BA01



Belenti 山頂周辺に帯状に分布する黒曜石。L-BA09



Birenti-Hada 流紋岩類の板状節理。



更新世玄武岩類に覆われる Birenti-Hada 流紋岩類。L-BA02

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

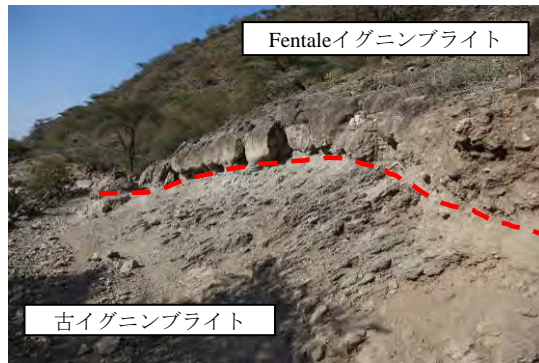
図 3.3.5: Birenti-Hada 流紋岩類の露頭写真

## 2) 古イグニブライト

本地層は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ブライトである。詳細調査地域内では北西端に分布する北北東-南南西トレンドで東落ちの断層崖（60～100 m）に沿って露出しており、さらに詳細調査地域外の北西方向へ広く分布している。断層崖の南西部では、Fentale イグニブライトが断層崖の斜面を薄く覆っているのが観察される。本イグニブライトは溶結度の異なる複数のフローユニットで構成されている。岩石のみからは Fentale イグニブライトとの区別が難しいが、前述の断層崖において、本溶結凝灰岩の上に不整合で Fentale イグニブライトが覆う様子が露頭（L-BA04）で観察されることから、これらを区分した（写真）。

既存地質図(Kazmin and Berhe, 1978)で、本詳細調査地域外の西方に広く分布する Nazret Group の溶結凝灰岩類に対比される。





傾斜した古イグニブライトの溶結凝灰岩を Fentale イグニブライトの溶結凝灰岩が不整合で覆う露頭 (Haro Gersa)。L-BA04

古イグニブライトが露出する北北東-南南西トレンドの断層崖。下半分は同地層の崖錐 (Haro Gersa)。L-BA10

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.3.6: 古イグニブライトの露頭写真

### 3) Nura Hira 玄武岩類

本地層は、詳細調査地域南部 Nura Hira 農園北部一帯に分布する、黒色の緻密で無斑晶質な玄武岩溶岩類である。本地層が分布する地域は、従来の地質図、Kazmin and Berhe (1978) では、更新世玄武岩類とされていたが、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 玄武岩類と命名した。

本地層が形成する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。一般的に本溶岩類は無斑晶質であるが、場所により 1 mm 程度の輝石や斜長石の斑晶が観察される。また一部の分布域では細粒 (0.5 mm 程度) のかんらん石及び輝石の斑晶が含まれる (Kubi Dimutu の北側等)。地表面に分布する溶岩は一般に多孔質な場合が多い。

本地層は、Hada 山南麓にて Birenti-Hada 流紋岩類を不整合で覆い (L-BA03)、Nura Hira 農場と Abadir 農場を結ぶ道路沿い (L-BA05) で、Kone イグニブライトに不整合で覆われるのが確認できる。



Nura Hira 玄武岩類がつくる平坦面 (Nura Hira 農場北西部)。

Birenti-Hada 流紋岩類を不整合で覆う Nura Hira 玄武岩類 (Hada 山南麓)。L-BA03

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.3.7: Nura Hira 玄武岩類の露頭写真

#### 4) Dino イグニンプライト

本地層は、主に本詳細調査地域外の南東部のアワシュ川右岸から Arba 川にかけて広く分布する広域溶結凝灰岩類（Dino イグニンプライト、Kazmin and Berhe（1978））の延長である。詳細調査地域内では、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）。比較的平らな地形を形成している。岩相は灰緑色の弱溶結凝灰岩で、角閃石斑晶を顕著に含んでいる。Kone イグニンプライトと層相が酷似しているが、地形と分布の連続性が認められないことからこれらを区別した。

Nura Hira ファームと Abadir ファームを結ぶ道路沿い（L-BA05）で、Nura Hira 玄武岩類に不整合で覆われるのが確認される。



Nura Hira ファーム北に位置する水路沿いに分布する Dino イグニンプライト。L-BA11



Nura Hira 玄武岩類を覆う Dino イグニンプライト。L-BA05

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.3.8: Dino イグニンプライトの露頭写真

#### 5) Sobebor 火山性砂岩層

本層は Alaka 平原の南部に位置する Sobebor 丘陵（L-BA12）に代表され、その他には Fentale 山南麓の Dinbiba（L-BA13）と、Sobebor 丘陵から更に西へ約 6 km に位置する Boru Arole 丘陵（L-BA14）の 3 箇所にもみ、緩やかな円弧を描くように配列され、独立した山体（タフリング）を形成している。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）を有していることから、他のスコリア丘と様相を異にしている。本地層は 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～シルトで構成される。稀に 1～30 cm の岩片～角礫を含む。層理は山体の中心から周辺に向かって一様に 20～30 度傾斜している。Dinbiba ではクレーター周縁の一部のみが現存し、中心部から新しい玄武岩溶岩（完新世玄武岩類）が流出している。Boru Arole でも崩壊した側面から新しい玄武岩溶岩が流出している。

従来の文献（Kazmin and Berhe, 1978 及び EIGS and ELC, 1987）では、いずれもこの地層を玄武岩質ハイアロクラスタイトとしているが、おそらくハイアロクラスタイトの成因を混乱しているか、あるいは当時のハイアロクラスタイトの定義が現在と異なっていたものと思われる。現在ではハイアロクラスタイトという用語は、水冷破碎された火砕岩に用いるが、本地層にはそのような痕跡は見られない。スコリアや軽石層とは異なり、マグマの本質物質（マグマから直接生成された火山碎屑物）をほとんど含んでいないことから、連続した小規模な水蒸気爆発の堆積物と考えられる。



Dinbiba (L-BA13) において、Fentale イグニブライトに不整合で覆われているのが観察できる。



Sobebor タフリングの遠景。



山体周辺に向かって傾斜する層理（Sobebor）。



堆積構造（平行ラミナ）の発達する火山性砂岩層。 Sobebor のクレーター内部。 L-BA12 (Sobebor)



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.3.9: Sobebor 火山性砂岩層の露頭写真

#### 6) 更新世玄武岩類

本地層は、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である。岩石の特徴により、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）の2種類に区分した。

a-type は更新世玄武岩類が分布する地域の大部分を占めている。岩石の特徴は、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。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。溶岩表面はアア溶岩の様相を呈し、溶岩が流れた当時の起伏の多い地形を残している。また、詳細調査地域に分布するスコリア丘の大部分は、本玄武岩類の分布地域に存在しており、地形及び衛星写真の解析から、溶岩の大半が、これらのスコリア丘を噴出源としていることが観察される。通常、スコリア丘形成後に、スコリア丘の中心及び側面から溶岩を流出している。またスコリア丘は断層と同じ北北東-南南西方向に配列されていることから、マグマが断層の弱線にそって噴出したものと考えられる。

b-type は詳細調査地域西縁に北北東-南南西に延びる小丘郡（Dodote~Tututi 間）の長さ約 6 km、幅 0.5~1 km の範囲及びその北部 Alaka 平原西方の断層崖の一部にのみ露出する。岩石の特徴は 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される。斑

状玄武岩溶岩と無斑晶玄武岩溶岩は同じ地域に分布しているが、それぞれの直接の関係を確認することはできなかった。一部で b-type の溶岩類が形成する小丘上に a-type の溶岩類が分布していることから、a-type の溶岩類は b-type の溶岩類よりも上位とした。

本地層は Fentale 山の南西麓に位置するスコリア丘 (Ilala) (L-BA06) にて、Fentale イグニブライトに不整合で覆われ、Korke カルデラ北東部 (L-BA07) にて Birenti-Hada 流紋岩類を不整合で覆うのが観察される。Kone イグニブライトとの直接の関係は露頭で確認できなかったが、地形及び分布の特徴から本地層を Kone イグニブライトより上位と判断した。



Beseka 湖西部の断層崖に露出するかんらん石輝石玄武岩溶岩 (a-type)。L-BA15

Fentaleイグニブライト



Alaka 平原西方の断層崖に露出する黒色斑状玄武岩溶岩 (b-type)。L-BA16



更新世玄武岩類

Fentale イグニブライトに覆われる更新世玄武岩類のスコリア (a-type) (Ilala)。L-BA06



更新世玄武岩類

Birenti-Hada流紋岩類

Birenti-Hada 流紋岩類を覆う更新世玄武岩類のスコリア (a-type) (Korke カルデラ北東) L-BA07

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.3.10: 更新世玄武岩類の露頭写真

#### 7) Kone イグニブライト

本地層は、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される。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。

Kone カルデラの東側に付随する小規模の Korke カルデラの南縁にて、本地層が約 70 m の連続したカルデラ壁を形成している。EIGS and ELC (1987) は、Korke カルデラのカルデラ壁にて溶結凝灰岩のいくつかのフローユニットを報告している。また、Korke カルデラ東壁では本溶結凝灰岩の下部に黒曜石の岩片 (径 1～5 cm) が点在する非溶結の軽石層が複数層に渡り約 20 m 堆積しているのが確認できる。

本溶結凝灰岩は Fentale イグニブライト及び Dino イグニブライトと層相が酷似し



ており、岩石の特徴だけでは判別が困難であるが、分布の連続性の観点からこれらを区別した。

本地層は、Korke カルデラ東縁で Birenti-Hada 流紋岩類を（L-BA01）、また Kube 東部で更新世玄武岩類を（L-BA08）不整合で覆っているのが確認される。



Korke カルデラ西壁に厚く露出する Kone イグニブライト。L-BA17



更新世玄武岩類を覆う Kone イグニブライト（Kube）。L-BA08

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.3.11: Kone イグニブライトの露頭写真

#### 8) Fentale 火山岩類

Fentale 山は、Beseka 湖のすぐ北に位置し、Beseka 湖との高度差約 1050 m（最高地点標高 2007 m）、また山頂に直径約 4 x 2.5 km のカルデラを有する成層火山である。本地層は Fentale 山の山体を形成している酸性火山岩類である。

本詳細調査地域では Fentale 山のほぼ西半分が含まれる。調査範囲内で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。地表面は通常数十 cm から 1 m 程度のブロック状で、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。

山腹に分布する溶岩は流下した当時の溶岩地形をよく残しており、衛星写真と数値標高データで溶岩流の一つ一つの分布を確認することができる。調査範囲に分布する本溶岩類はいずれも特徴が類似していることから、本報告書では Fentale 火山岩類としてひとまとめにしている。



Fentale イグニブライトに覆われる Fentale 火山岩類のトラカイト（Fentale 山南麓）。L-BA18



ブロック状を呈するガラス質トラカイト溶岩の末端（Fentale 山南麓）。L-BA19



Fentale イグニンプライトが侵食されて Fentale 火山岩類のガラス質トラカイト（矢印）が露出している様子（Fentale 山南麓）。L-BA20

Fentale 山南斜面に分布するガラス質流紋岩。L-BA21

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.3.12: Fentale 火山岩類の露頭写真

#### 9) Fentale イグニンプライト

本地層は、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され、Fentale 山側面、山麓及び周辺域に広範囲に分布している。数 mm～数 cm の岩片を多く含み、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（Fiamme）が発達する。Fiamme は長さ数 mm 程度のものから 50 cm を超えるものまで大きさは様々である。下部には、非溶結の軽石層を有する。

分布範囲は、Fentale 山体を中心として、南方から西方へは半径 15～18 km を覆い、既存地質図の Kazmin and Berhe（1978）によると、東方には 30 km 以上達している。山体斜面では、Fentale 火山岩類が形成する比較的傾斜の緩やかな面や谷に薄く（1 m 程度）へばりつくように溶結凝灰岩が堆積している。Fentale 山南西から西側山頂付近でも、カルデラ壁頂上から外側へ向けて軽石層と溶結凝灰岩が Fentale 火山岩類の流紋岩溶岩を覆って堆積しているのが観察される。

Fentale 山南山麓では、軽石が山体の側面に厚く堆積しているが、これは山頂から山腹にかけて堆積した軽石が山麓に崩れて二次堆積したものと考えられる。この軽石も Fentale イグニンプライトを形成した火砕流堆積物の一部であると推測する。この軽石層は山麓で完新世玄武岩類に覆われているのが観察される。

露頭で観察できる溶結凝灰岩の層厚は最大 10 m 程度であるが、ボーリングのカッティングサンプルでは Fentale イグニンプライトと考えられる層準で最大約 30 m の溶結凝灰岩が確認されている（AW BH-5）。

本溶結凝灰岩の年代は  $1.1 \pm 0.1$  Ma（Gibson, 1970）という報告があるが、EIGS and ELC（1987）はその地形的な特長から、更に新しい時代の堆積物である可能性について言及している。





Fentale 火山岩類のトラカイトを覆う Fentale イグニンプライト（Fentale 山南麓）。L-BA22



Fentale イグニンプライトにみられるガラス質レンズ構造（Fiamme）。



Fentale 山南斜面の谷地形を覆う Fentale イグニンプライトの溶結凝灰岩。黒色の楕円形の模様は、レンズ状ガラス（Fiamme）を上から見たもの。

L-BA23

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果



Fentale 山のカルデラ壁頂上から外側に向けて堆積する軽石層と溶結凝灰岩。L-BA24

図 3.3.13: Fentale イグニンプライトの露頭写真

#### 10) 完新世玄武岩類

詳細調査地域内に分布する本地層は、黒色の多孔質な無斑晶質玄武岩であり、周辺の火山噴出物のうち、最も時代の新しいものである（1810～1830 年、Buxton（1949））。Fentale 山南麓に分布し、南端は Beseka 湖に到達している。新しい溶岩であるため、植生もまばらで、大部分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。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（溶けた溶岩が飛び散ったもの）が積み重なった構造や、溶岩トンネルが発達し、稀に縄状構造も見られる。このように噴出源周辺ではパホイホイ溶岩の特徴を示しているが、流下した末端付近ではアア溶岩に変化している。断層に沿って複数の噴出源（Dinbiba の Sobebor 火山性砂岩層が作るタフリングの内部と周辺及び Fentale 山南麓山腹）が確認できる。

本溶岩類は、植生や表土がほとんど発達していないことから、衛星写真で明瞭に他の溶岩類との区別が可能である。同様の新しい玄武岩溶岩類は、詳細調査地域外の西側に多く分布している（Boru Arole、Kube、Korke、Kokoro 等）。これらはいずれもかんらん石と輝石を含む、多孔質な黒色の玄武岩類である。ほとんどがアア溶岩であるが、Boru Arole に分布している玄武岩溶岩には、溶岩トンネルや縄状構造といったパホイホイ溶岩の特徴も見られる。いずれも、本詳細調査地域に分布している無斑晶質玄武岩とは岩質が異なるものの、地表面の新鮮さから同時代の溶岩類と推測される。



溶岩噴出口周辺に見られる溶岩トンネル (Dinbiba)。L-BA26



玄武岩噴出口に見られるスパターコーン (Dinbiba)。L-BA26



Fentale 火山岩類を覆う Fentale イグニンプライト、さらにそれを覆う完新世玄武岩類。L-BA27



Beseka 湖に到達する完新世玄武岩溶岩。L-BA28

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.3.14: 完新世玄武岩類の露頭写真

### 11) 沖積層

本地層は主にアワシユ川の氾濫原に堆積した砂泥層である。現在は大部分がサトウキビ農園となっている。その他、Fentale 山西方の Alaka 平原及び Birenti 山東麓においても部分的に沖積層が分布している。



サトウキビ農園として利用されている沖積平野 (Abadir 農場)。L-BA29



沖積層の断面 (Birenti 山北東部)。

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.3.15: 沖積層の写真



### 3.3.3 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、Mohr, 1960）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（EIGS and ELC, 1987）、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（L-BA31）。

地溝帯中心部での正断層の落差は 10 m 以内のものが多く比較的小さいが、地溝帯の主断層崖（北東-南西方向）に近づくにつれ、落差が大きくなり、詳細調査地域内では、古イグニブライトが分布する Haro Gersa 地域で最大約 100 m の落差の断層崖が存在している。露頭で観察される断層の角度はほぼ垂直に近い。

また、調査地域に分布するいくつかの正断層には、開口クラックも発達する。顕著なものとしては、Fentale 山の北東側から山麓斜面を通して Beseka 湖に抜ける比較的長く連続する正断層が、Beseka 湖の北約 2 km の地域で西落ち落差約 10 m の変位に加え、幅約 10 m の開口クラックとして発達しているのが露頭で観察できる（L-BA30）。



Beseka 湖北 2 km に存在する幅 10 m を超える開口クラック。L-BA30



Beseka 湖から開口クラック（左写真）を経て、Fentale 山山体へ延びる正断層。



断層によって切られた完新世玄武岩溶岩。  
L-BA31



詳細調査地域北西部（Haro Gersa）で北北東-南南西方向に連続する断層崖。

図 3.3.16: 詳細調査地域に分布する断層群

### 3.4 水理地質

#### 3.4.1 帯水層区分と地下水流動

第2章で述べたように、Beseka 湖既存井戸データは主に以下の文献から収集している。

- Hydrogeology (Map) of the Nazret, EIGS, 1985
- Study and design of Lake Besaka level rise project II, WWDSE, planned by MoWE, 2011

収集したすべての既存井戸位置を Beseka 湖周辺の地質平面図にプロットし図 3.4.1に示した。チップサンプルの観察から、地質状況の判明される JICA 井戸の柱状図の地質対比を行い図 3.4.2～図 3.4.4に示した。その結果を基に、地質図や井戸の柱状図（断面）から各井戸の地質の想定を行った結果を整理して表 3.4.1に示す。

収集した既存井戸の大部分は深度 70 m 以浅であり、JICA 井戸の深度 100 m 以浅の地質状況と既存井戸の地質は概ね対比される。また JICA 井戸の 100 m 以深の地質は、地質図や周辺の地質踏査の結果を参考に対比を行った。

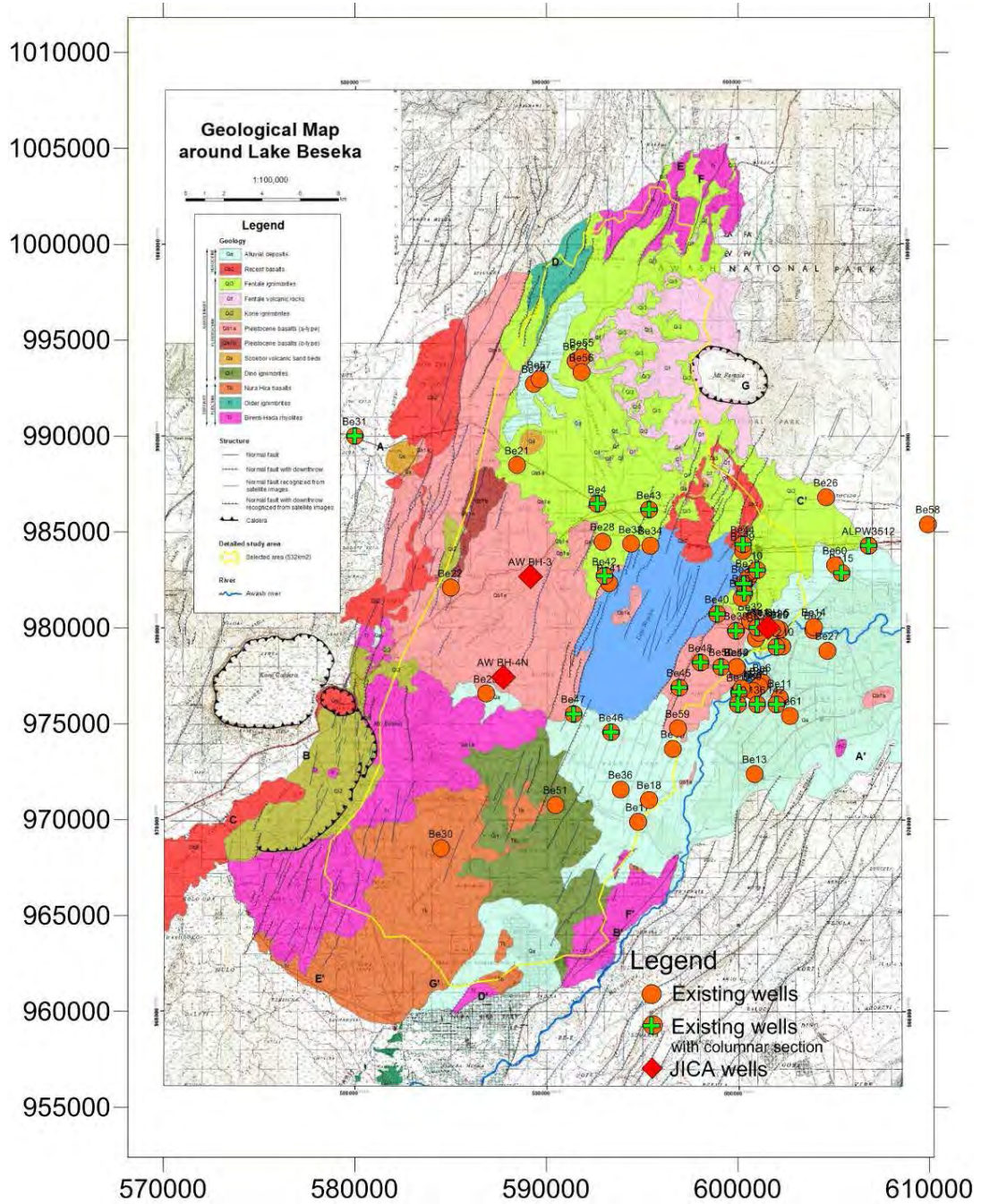
各既存井戸の帯水層定数のうち、透水量係数や比湧出量については表 3.4.1に示した。地下水位の状況やスクリーンの位置が判るものはそれを参考にして帯水層の推定を行っている。

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。図 3.4.5は既存井戸が 100 m よりも浅い場合の地下水位コンター図、図 3.4.6は既存井戸が 100 m よりも深い場合の地下水位コンターである。前者は、概ね南西-北東方向の流動、後者は、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。

帯水層の分類に関しては、上述したように地層が対比されて、帯水層単元に区分されそれぞれの特徴を表 3.4.1を参照しながら表 3.4.2に示した。

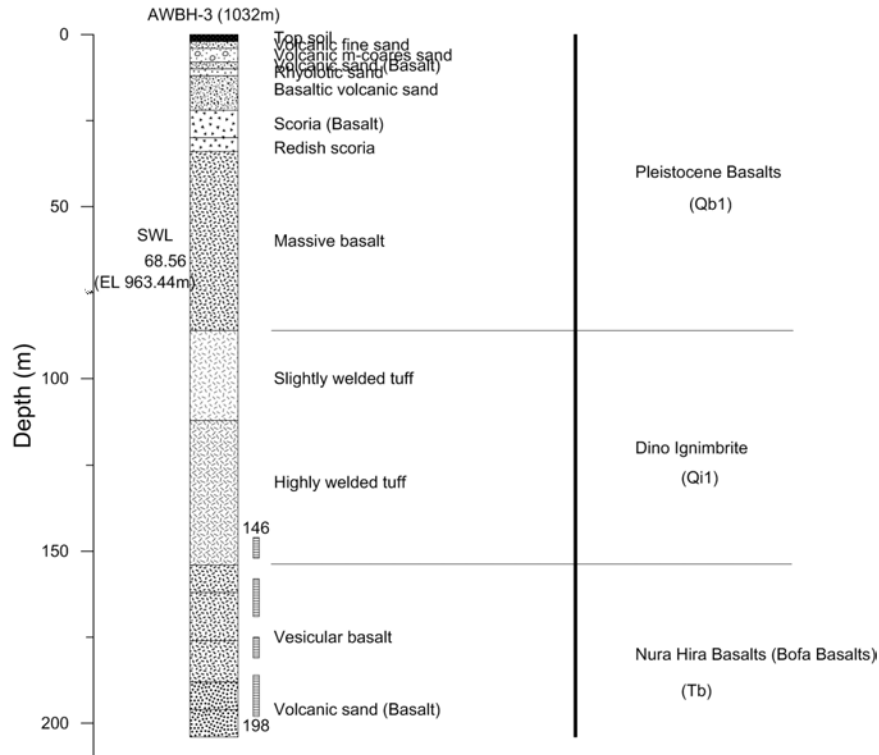
水質のうち、フッ素濃度に関しては、全体に Beseka 湖周辺は高く、ほとんどがエチオピア基準を超えている。図 3.4.7に示すように深度とフッ素濃度との相関もほとんどない。





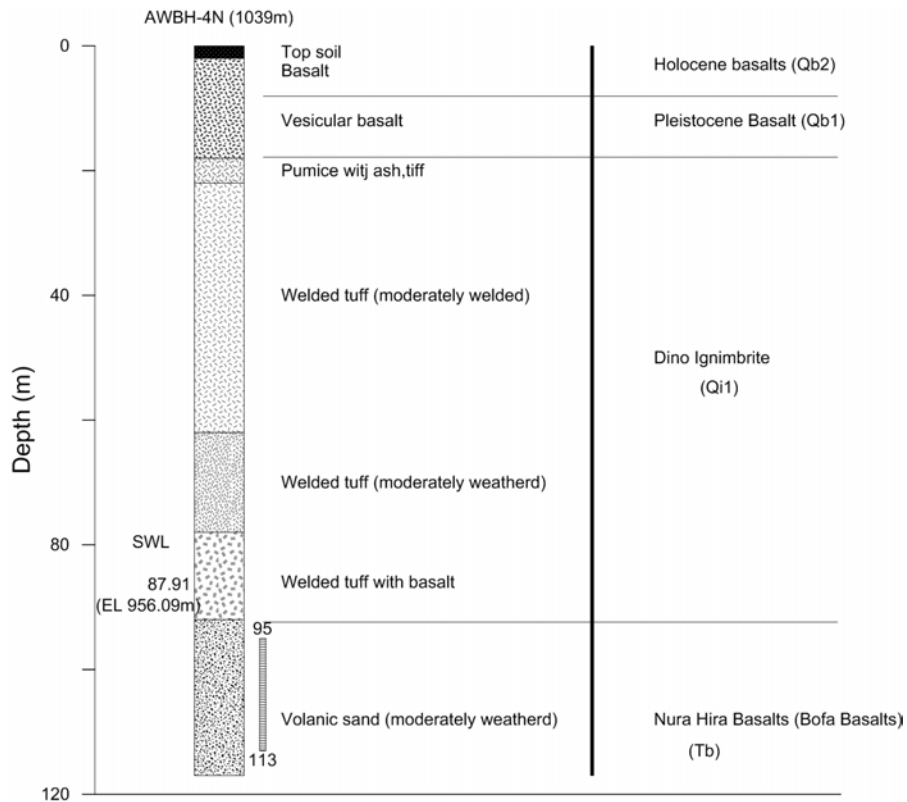
出典：調査団、データ元：参考資料①の1)、4)及び④

図 3.4.1: Beseka 湖周辺の地質図と既存井戸、JICA 井戸



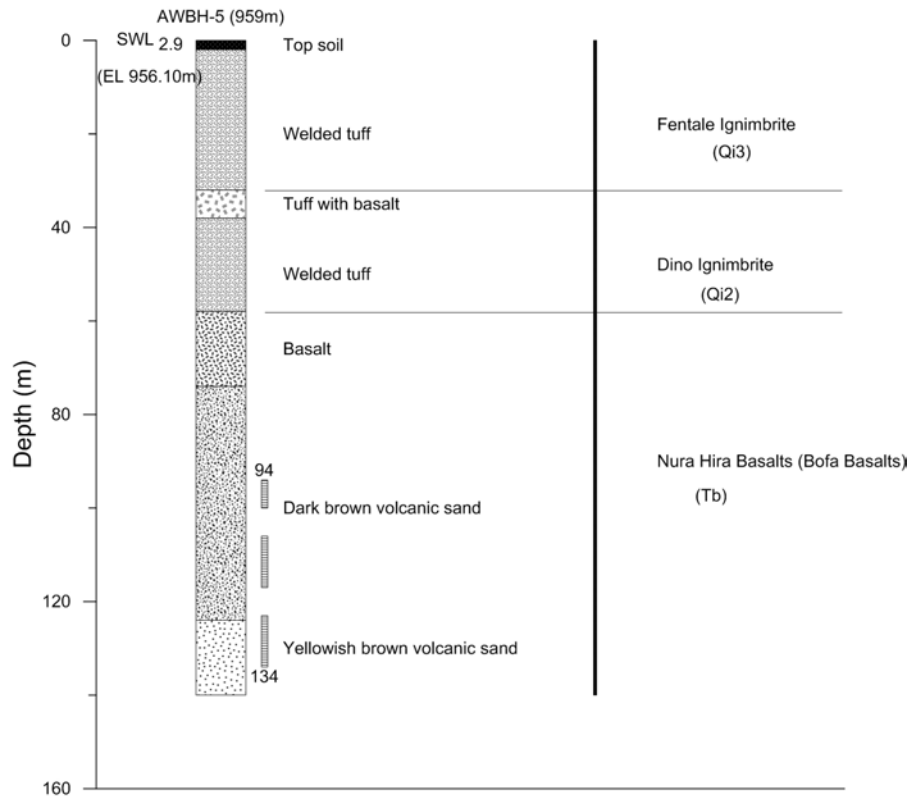
出典：調査団、データ元：参考資料④

図 3.4.2: JICA 井戸 AW BH-3 の概略柱状図と地質対比



出典：調査団、データ元：参考資料④

図 3.4.3: JICA 井戸 AW BH-4N の概略柱状図と地質対比



出典：調査団、データ元：参考資料④

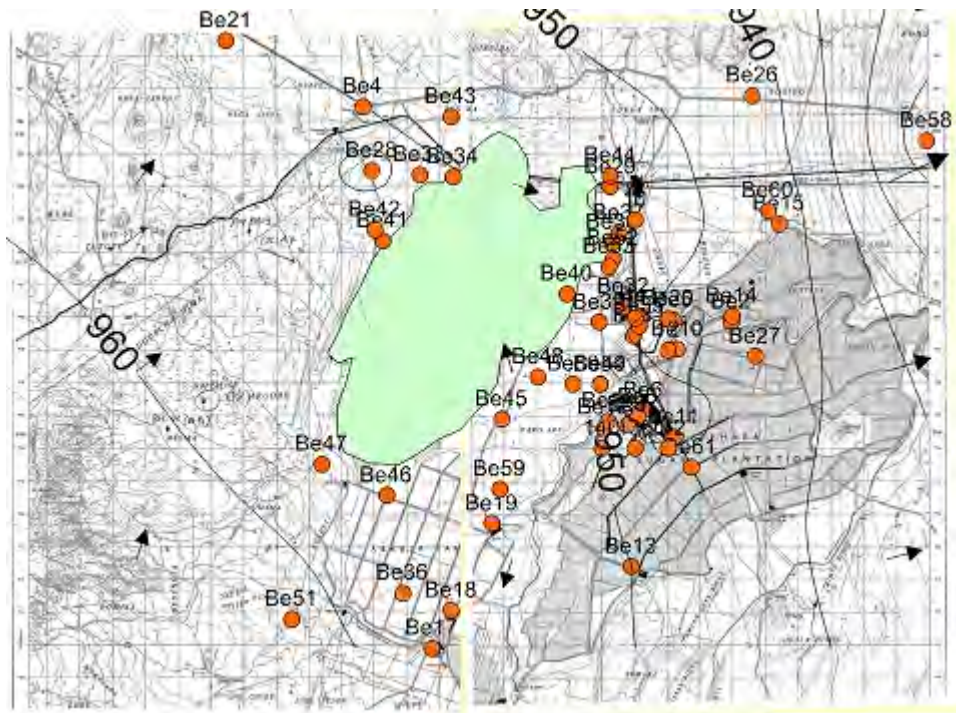
図 3.4.4: JICA 井戸 AW BH-5 の概略柱状図と地質対比

表 3.4.1: 柱状図のある既存井戸、JICA 井戸

X	Y	No	H	SWL	GWL	GWL2010	Total D (m)	Q(L/sec)	Existing name	Top of Screen(m)	Top of Screen (Elevation)	帯水層定数 T(m <sup>2</sup> /day)	Geology	Aquifer
592664	986463	Be4	981.29	30.94	950.35	953.09	53.3	-	BHI-02	29.3	951.99	8088	表層: Fentaleイグニンプライト(Qi3)、下位は更新世玄武岩(Qb1)	Qb1
600048	976634	Be12	959	15.32	943.68	955.36	48	6.5	BHMR-20	12	947	965	表層: 沖積層、下位はFentaleイグニンプライト(Qi3)	沖積層の砂
605405	982881	Be15	949.8	6.15	943.65	945	30	4	BHG-32	15	934.8	60.4	表層は沖積層、その下位Fentaleイグニンプライト(Qi3)	Qi3
600305	982301	Be38	953.21	3.7	949.51	951.31	56	-	BH-59	-	-	-	表層は沖積層が分布、下位はFentaleイグニンプライト(Qi3)	沖積層の砂
599903	979853	Be39	953.93	4.43	949.5	951.3	50.65	-	BH-23	18.65	935.28	2681	表層からFentaleイグニンプライト(Qi3)	Qi3
598914	980723	Be40	953.02	3.24	949.78	951.58	30.24	-	BH-37	11	942.02	502	表層は完新世玄武岩(Qb2)とFentaleイグニンプライト(Qi3)の間に分布、柱状はFentaleイグニンプライト(Qi3)+更新世玄武岩(Qb1)	Qi3
593035	982691	Be42	958.32	8.18	950.14	952.88	73	-	BH-50B	17.25	941.07	-	表層はQb1のBasaltとスコリア、その下位にTuffが分布する(深度50mから)。TuffはDinoイグニンプライト(Qi1)か	Qb1のBasalt
595362	986153	Be43	973.83	23.16	950.67	953.42	59	-	BH-57	24	949.83	217.8	表層はQi3のFentaleイグニンプライト。柱状も同様の記述	Qi3
600252	984352	Be44	958.93	8.62	950.31	951.91	50.5	-	BH-58	-	-	-	表層はQi3のFentaleイグニンプライト	Qi3
596921	976889	Be45	955.14	4.2	950.94	953.44	71.45	-	BH-63	-	-	-	表層はQb1のBasaltとスコリア、その下位にTuffが分布する(深度約50mから)	Qb1のBasalt
593389	974555	Be46	955.53	4.54	950.99	954.79	46.3	-	BH-62	-	-	-	表層は沖積層(深度17m程度)、それ以下はスコリア、Basalt(Qb1)、深度44m程度から凝灰岩	Qb1のBasalt
591413	975520	Be47	959.35	7.7	951.65	955.35	29.45	-	BH-60	-	-	728	表層は沖積層(深度12m程度)、それ以下は凝灰岩(Qi2)	Qi2の割れ目
598043	978183	Be48	965.16	14.25	950.91	953.42	50.45	-	BH-66	28.75	936.41	189	表層はQb1のBasaltとスコリア、深度約40m付近まで	Qb1のBasalt
599118	977968	Be50	958.64	8.08	950.56	952.36	42.45	-	BH-64	-	-	-	表層の地質はQb1のBasaltとスコリアであるが、柱状では凝灰岩が多数挟在する。深度14m程度からDinoイグニンプライト(Qi1)の可能性もある	Qi1
600331	981811	Be52	953.42	3.65	949.77	951.57	44.46	-	BH-05	23	930.42	996	表層からFentaleイグニンプライト(Qi3)	Qi3のBreccia
580000	990000	7	1000	25	975	975	50.6	6.7	-	25	975	-	表層はQi2のKoneイグニンプライト、	Qi2の割れ目
601000	983000	10	1000	13.6	986.4	986.4	56	12	-	-	-	-	表層はQi3のFentaleイグニンプライト。深度は10m程度で、それ以下は柱状図ではBasaltを挟在する(Qb1?)。	Qb1
602000	979000	12	950	8.8	941.2	941.2	42.6	12	-	-	-	-	沖積層が薄く分布する。柱状図にはBasalt(完新世玄武岩)、下位にはFentaleイグニンプライト	Qi3のBreccia 割れ目
601000	980000	14	950	11.19	938.81	938.81	49.6	7	-	-	-	Sc: 3.1(l/sec/m)	Fentaleイグニンプライト主体	Qi3
601000	976000	136	960	20.6	939.4	939.4	42	6	-	32	928	Sc: 0.6	表層から沖積層(Qa)が分布する。下位のBasaltはQb1	Qa
600000	976000	140	960	25.6	934.4	934.4	45	8	-	24.5	935.5	Sc: 2.3	表層から沖積層(Qa)が分布する。下位のBasaltはQb1	Qa
602000	976000	142	966	42.8	923.2	923.2	52	8	-	30	936	Sc: 4.7	表層から沖積層(Qa)が分布する。下位のBasaltはQb1	Qa+Qb1
606822	984277	ALPW3512	942	46.65	895.35	895.35	595	100	-	111.41	830.59	703, Sc:6.5	Qi3, Pleistocene basalt, Dino, Bofa, Nazret G. 最下位はAlaji B?	Qi1, Basalt(Tb1)
589168	982673	AW BH-3	1032	68.56	963.44	963.44	204	6.3	-	158	874	-	Qb1 (Pleistocene Basalt), Dino, Bofa	Bofa (Tb3)
587744	977436	AW BH-4N	1044	87.91	956.09	956.09	117	4.43	-	96	948	3.52	Qb2 (Holocene Basalt), Qb1, Dinoイグニンプライト, Bofa basalts	Bofa (Tb3)
601567	980025	AW BH-5	959	2.90	956.10	956.10	140	7.6	-	94	865	-	Fentaleイグニンプライト, Dinoイグニンプライト, Bofa basalts	Bofa (Tb3)

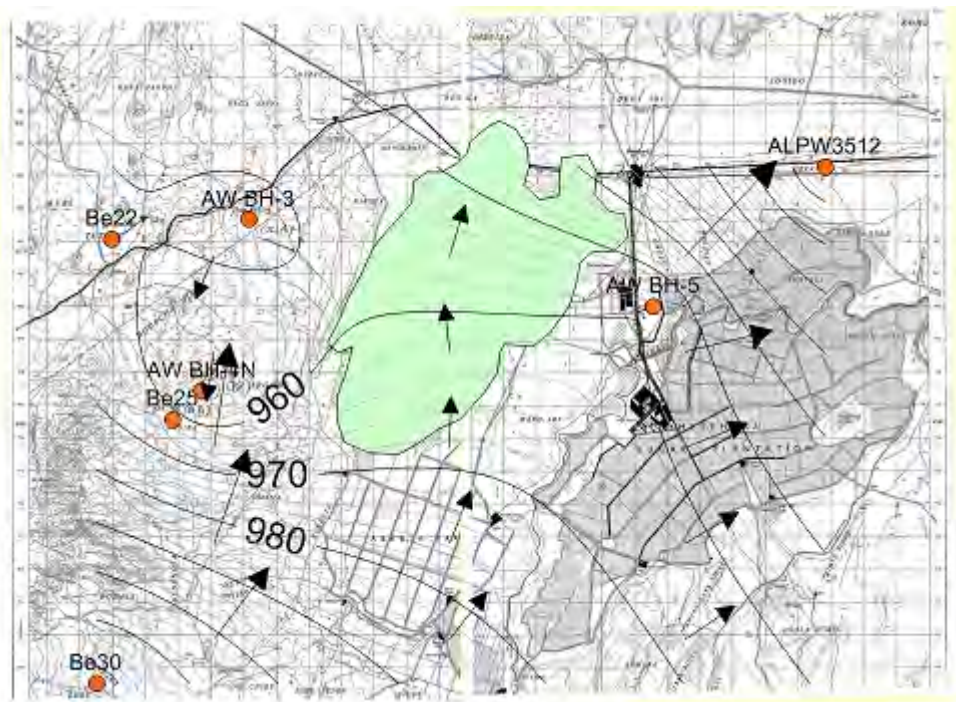
出典：調査団、データ元：参考資料①の 1)、4)、②の 5)及び④





出典：調査団、データ元：参考資料①の1)、4)

図 3.4.5: Beseka 湖周辺の地下水位コンター図(既存井戸 100 m 以浅)



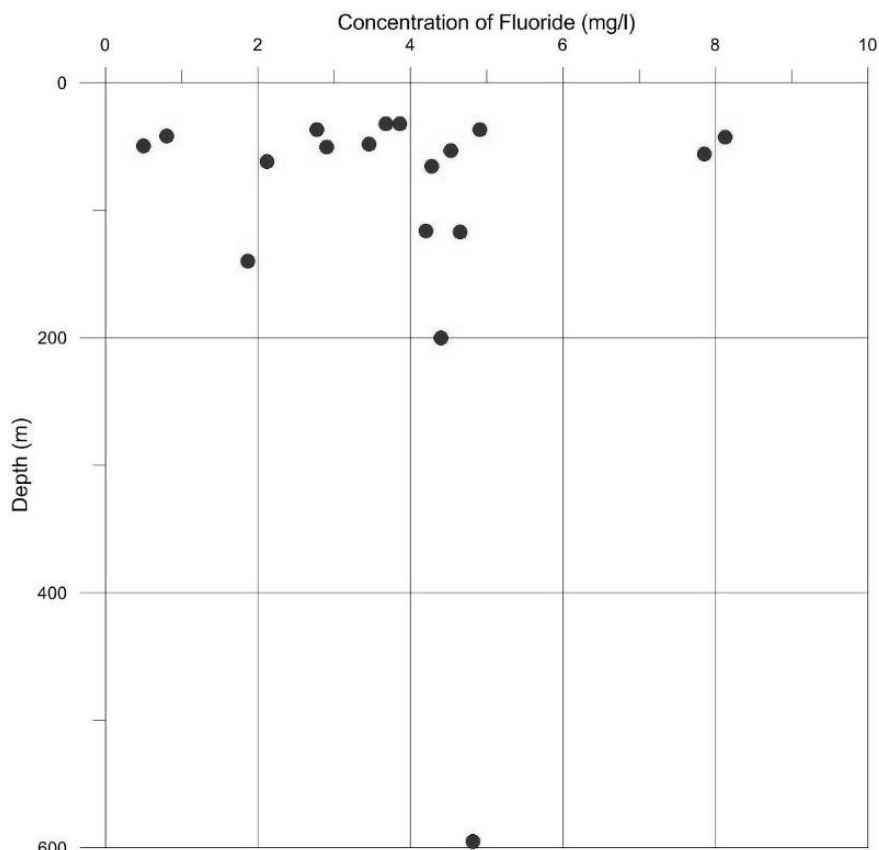
出典：調査団、データ元：参考資料①の1)、4)

図 3.4.6: Beseka 湖周辺の地下水位コンター図(既存井戸 100 m 以深)

表 3.4.2: 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> <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の 1)、4)及び④



出典：調査団、データ元：参考資料①の 1)、4)、②の 5)及び④

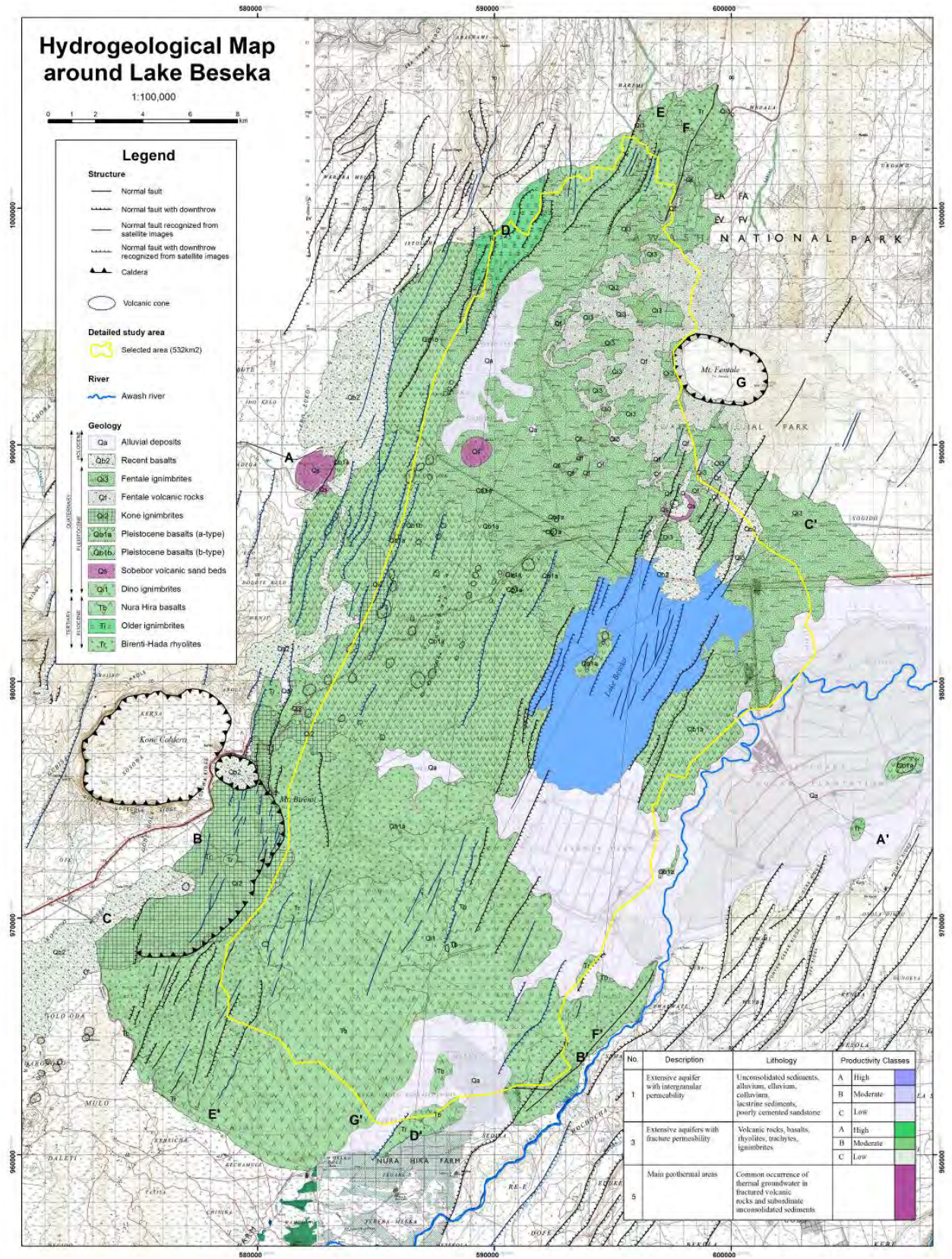
図 3.4.7: Beseka 湖周辺の既存井戸の深度とフッ素濃度の関係図

### 3.4.2 水理地質図・断面図

エチオピアの既存資料（1:2,000,000 水理地質図（GSE）－帯水層区分と定義）を基にして、アワシユ川中流域における帯水層区分を行った。また水理地質調査結果による帯水層情報をもとにした帯水層の生産性区分を行い、それらの組み合わせからアワシユ川中流域の水理地質図・断面図を作成した。全域の地質と Beseka 湖周辺の地質対比は完成しており、全域での水理地質図・断面図を参照しながら、Beseka 湖周辺の水理地質図および断面図を作成し、以下に示した。

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。

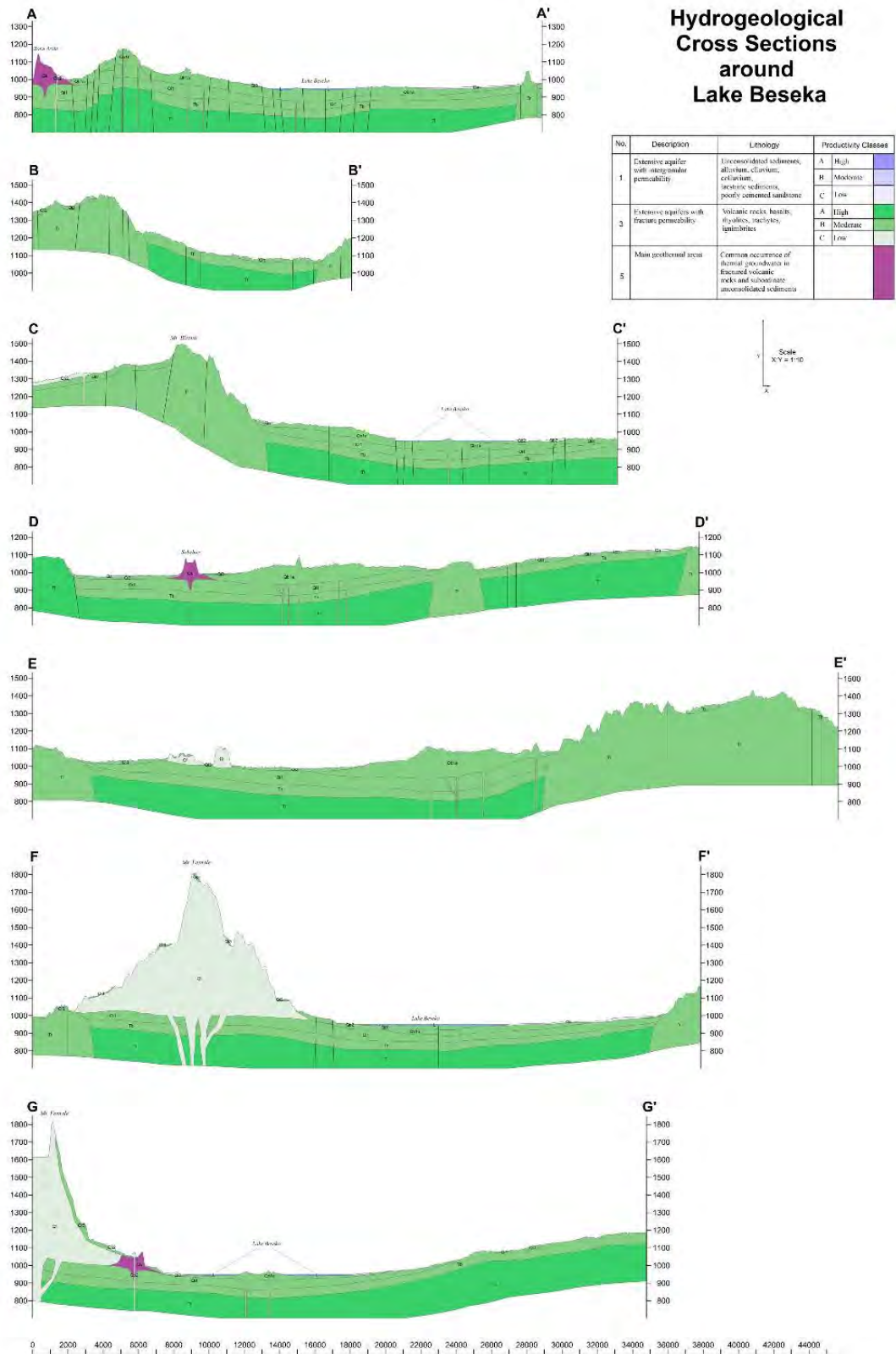




出典：調査団、データ元：参考資料①の1)、4)、④及び⑬

図 3.4.8: 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の1)、4)、④ 及び⑬

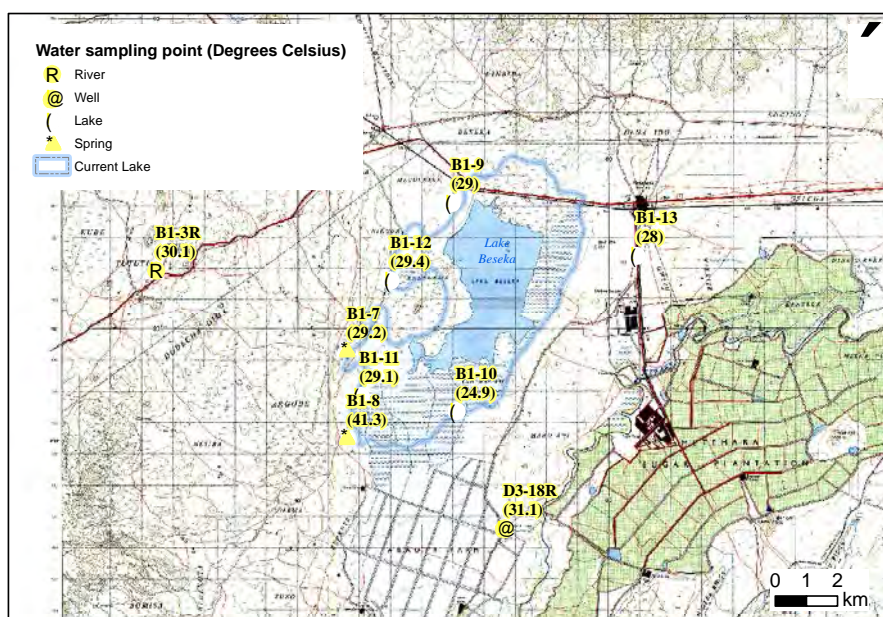
図 3.4.9: Beseka 湖周辺の水理地質図(断面図)

### 3.5 湧泉、灌漑水等の流入状況

#### 3.5.1 画像解析による湧水分布の経年変化

##### a. 背景・目的

図 3.5.1は、1975 年の地形図に、現在の湖境界線と本プロジェクトによる水質調査結果を重ねた地図である。図中、水質調査ポイントの括弧内数字はサンプリング水の温度を示している。この図からも分かる通り、Beseka 湖西部では、温度の高い湧水（以下、温泉水）が確認されている。



出典：調査団、データ元：担当団員による調査結果

図 3.5.1: Beseka 湖付近の水源の水温調査結果

Beseka 湖面の拡大原因としては、主に下記 2 種類の水の流入が挙げられている。

- A) 湖流域西方からの高温の地下水
- B) Abadir 灌漑地区等からの灌漑余剰水

Beseka 湖水温の変遷が分かれば、湖面積拡大の原因として何らかの手掛りが得られる可能性があるが、それを継続的に測定した記録は存在しない。そこで、衛星画像を用いて湖面温度の経年変化の推定を試みる。

解析には、Landsat の衛星画像データを用いて、各時点の湖面温度を解析する。

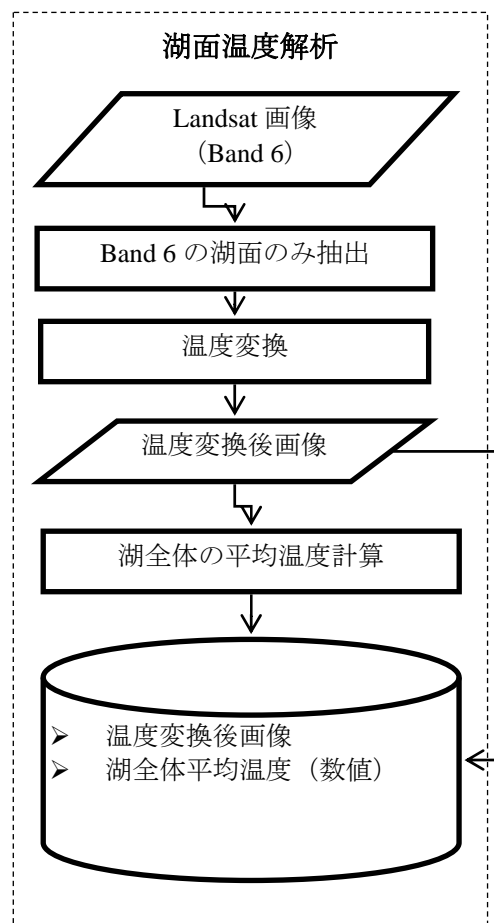
##### b. データ及び解析方法

解析に用いたデータを表 3.5.1に示す。また、解析のフローを図 3.5.2に示す。

表 3.5.1: 解析に用いたデータ

No.	衛星名	取得年月日
1	Landsat 5	1986年1月21日
2	Landsat 5	1994年12月13日
3	Landsat 5	1995年1月30日
4	Landsat 5	1998年12月24日
5	Landsat 5	1999年1月25日
6	Landsat 5	1999年12月27日
7	Landsat 5	2009年12月6日
8	Landsat 5	2010年12月9日

出典：調査団



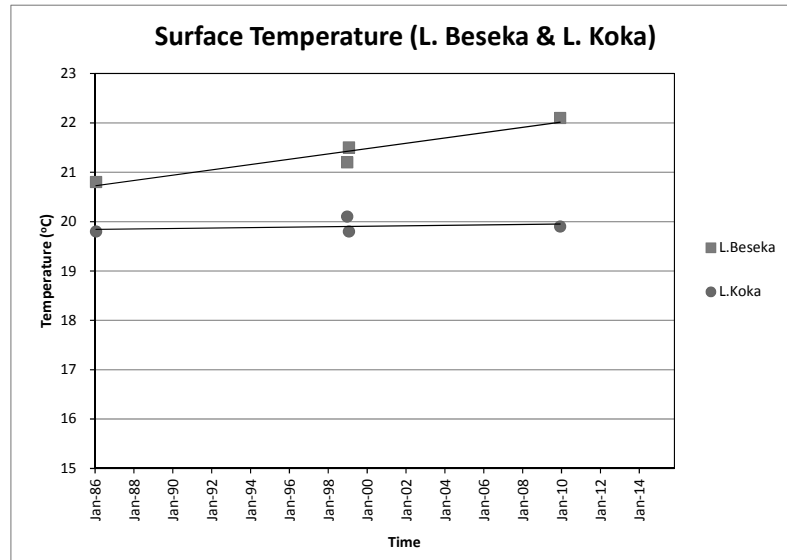
出典：調査団

図 3.5.2: Landsat データを用いた湖面温度の解析のフロー

データは、米国地質調査所 USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) のアーカイブより選定・取得した。

### c. 解析結果

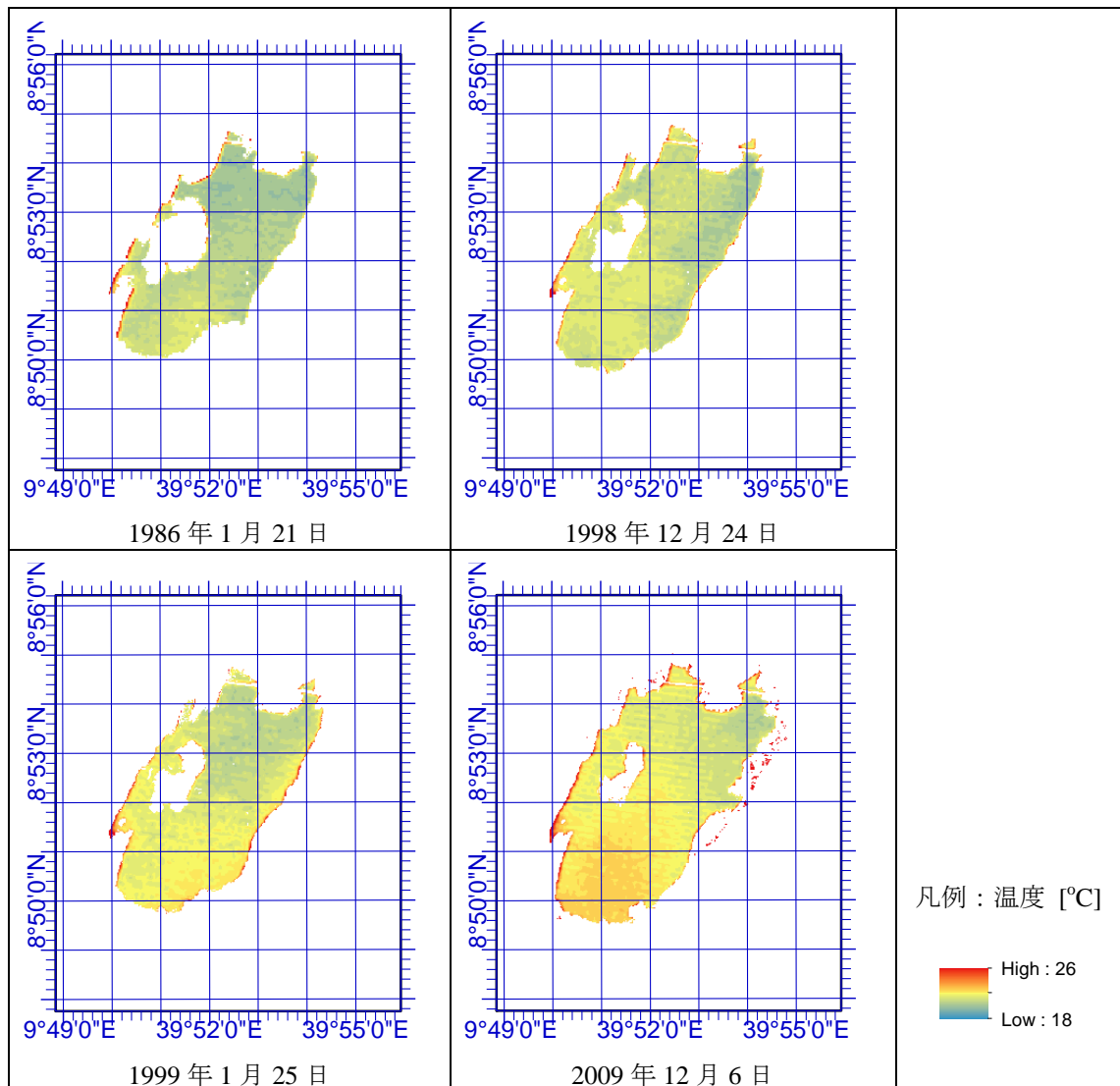
Koka 湖面温度が 20 °C 前後で安定している 4 シーン（1986/1/21, 1998/12/24, 1999/1/25, 2009/12/6）に対して、同シーンの Beseka 湖面温度と比較した（図 3.5.3）。



出典：調査団、データ元：担当団員による調査結果

図 3.5.3: Beseka 湖面温度と Koka 湖面温度の比較

上図から、1) Koka 湖よりも Beseka 湖の湖面温度が高いこと、2) Koka 湖面温度がほとんど変化していない一方で、Beseka 湖面温度が上昇傾向にあることが分かる。これは、Beseka 湖の西側から流入している高温の湧水が影響していると推定される。



出典：調査団、データ元：担当団員による調査結果

図 3.5.4: Beseka 湖面温度の平面分布状況

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。

ただし、本解析には以下の限界があり、これが原因の特定に直結するものではない。

- 解析シーン数が少なく、Beseka 湖面温度の上昇傾向が確実とまでは言えない。
- 仮に上昇傾向が確実であったとしても、Beseka 湖が灌漑地区を介してアワシュ川と繋がっていなかった時代の Beseka 湖水温が何らかの理由で河川水温よりも低かったとすれば、河川水（灌漑水）の流入によっても湖水温が上昇し得る。

本調査では、水質調査の際に温度計測も行っている。Beseka 湖、Koka 湖、アワシュ川周辺での水温計測結果を表 3.5.2に示す。

表 3.5.2: 水質サンプルの温度(2014年3月9日)

地点	温度	備考
Beseka湖	28.3 °C	湖内6ヶ所の算術平均
Tone湧水	41.3 °C	Beseka湖西岸の湧水
アワシュ川 (Meteharaプランテーション東側)	25.1 °C	
Koka湖	21.3 °C	湖内1ヶ所のデータ

出典：調査団、データ元：担当団員による調査結果

この表からは、Beseka 湖水温がアワシュ川の水温を大きく上回っていることが分かり、Beseka 湖面温度の上昇原因を湧泉の流入とした方がより合理的だと考えられる。

### 3.5.2 水質分析結果

Beseka 湖周辺の水質分析は、現時点における Beseka 湖水と周辺の井戸、湧泉及び河川や灌漑水の水質を比較することによって、Beseka 湖への周辺からの流入状況等を把握する目的で実施した。第 2 章において調査対象地域全体の水質状況を水源ごとに記述したが、Beseka 湖周辺の水質が他の地域に比べ、主要 7 イオンの濃度分布やフッ素濃度から見ても著しく特徴のある点が判明した。

調査団で実施した Beseka 湖周辺のサンプリング地点を表 3.5.3に示した。また参考資料として利用した、周辺の既存水質データの地点リストを表 3.5.4に示す。

表 3.5.3: Beseka 湖周辺の水質サンプリング地点リスト

Zone or Region	Detailed Place	Type of Water Sources	Number of Sampling Points		SL. No.	Location ID (Sample ID)	Reference Coordinate		Remarks
			For Physio-chemical Analysis	For Isotope Analysis			Easting	Northing	
East Shewa	Around Lake Besaka	Awash River Water	1	0		B1-2R	587,951	968,181	From BH-53 to River/Canal
		Existing Well	1	0		B1-4	604,677	978,810	From BHM-12 to R28
		Existing Well	1	0		B1-5	604,309	975,247	From BH-41to M21
		Existing Well	1	0		B1-6	601,234	972,270	From BH-64 to L11
	Near the Tone spring	Spring	1	0		B1-7	591,607	979,363	Lake water?
	Spring of Southwest Side of Lake Besaka	Spring	1	0		B1-8	591,608	976,552	
	North-western part of the Lake Besaka	Lake Besaka Water	1	0		B1-9	594,960	984,098	
	South-eastern part of the Lake Besaka	Lake Besaka Water	1	0		B1-10	595,100	977,400	Same point with suggestion
	South-western part of the Lake Besaka	Lake Besaka Water	1	0		B1-11	592,000	977,900	Same point with suggestion
	Central-western part of the Lake Besaka	Lake Besaka Water	1	0		B1-12	593,000	981,600	Same point with suggestion
	Drainage Channel of Lake Besaka	Lake Besaka Water	1	0		B1-13	600,905	982,406	Lake outlet
	Along West of Lake Beseka	Spring	1	1		B1-14	592,612	981,509	
	In Metehara Plantation	Awash River Water	1	1		B1-15	598,077	972,974	
	From Nura Hera Farm	Awash River Water	1	1		B1-16	592,729	967,092	Irrigation water
	Middle Awash River	Awash River Water	1	1		B1-17	596,078	965,762	River intake point
	Metehara SP	Awash River Water	1	1		B1-18	601,502	978,505	
	South of Lake Besaka	Lake Besaka Water	1	1		B1-19	595,246	975,723	
	Tone Spring	Spring	1	1		B1-20	591,674	978,734	
	Around Lake Besaka (AW BH-3)	New Well	1	1		E1-1	589,167	982,682	
	Around Lake Besaka (AW BH-4N)	New Well	1	1		E1-2	587,754	977,437	
	Around Lake Besaka (AW BH-5)	New Well	1	1		E1-3	601,565	980,024	
	West of Lake Beseka	Lake Water	1	1		B1-21	592,146	980,409	
	West of Lake Beseka	Spring	1	1		B1-22	591,536	979,199	
	West of Lake Beseka	Lake Water	1	1		B1-23	591,532	979,193	
	South of Lake Beseka	Lake Water	1	1		B1-24	593,045	975,249	
	South of Lake Beseka	Lake Water+Irrigation	1	1		B1-25	593,044	975,228	
	South of Lake Beseka	Lake Water	1	1		B1-26	594,247	974,998	
	South of Lake Beseka	Irrigation Water	1	1		B1-27	593,243	972,517	
	East of Lake Beseka	Lake Water	1	1		B1-28	598,897	980,437	
	East of Lake Beseka	Lake Water	1	1		B1-29	596,741	978,173	
East of Lake Beseka	Lake Water	1	1		B1-30	598,698	984,130		
			<b>31</b>	<b>20</b>					

出典：調査団、データ元：参考資料④

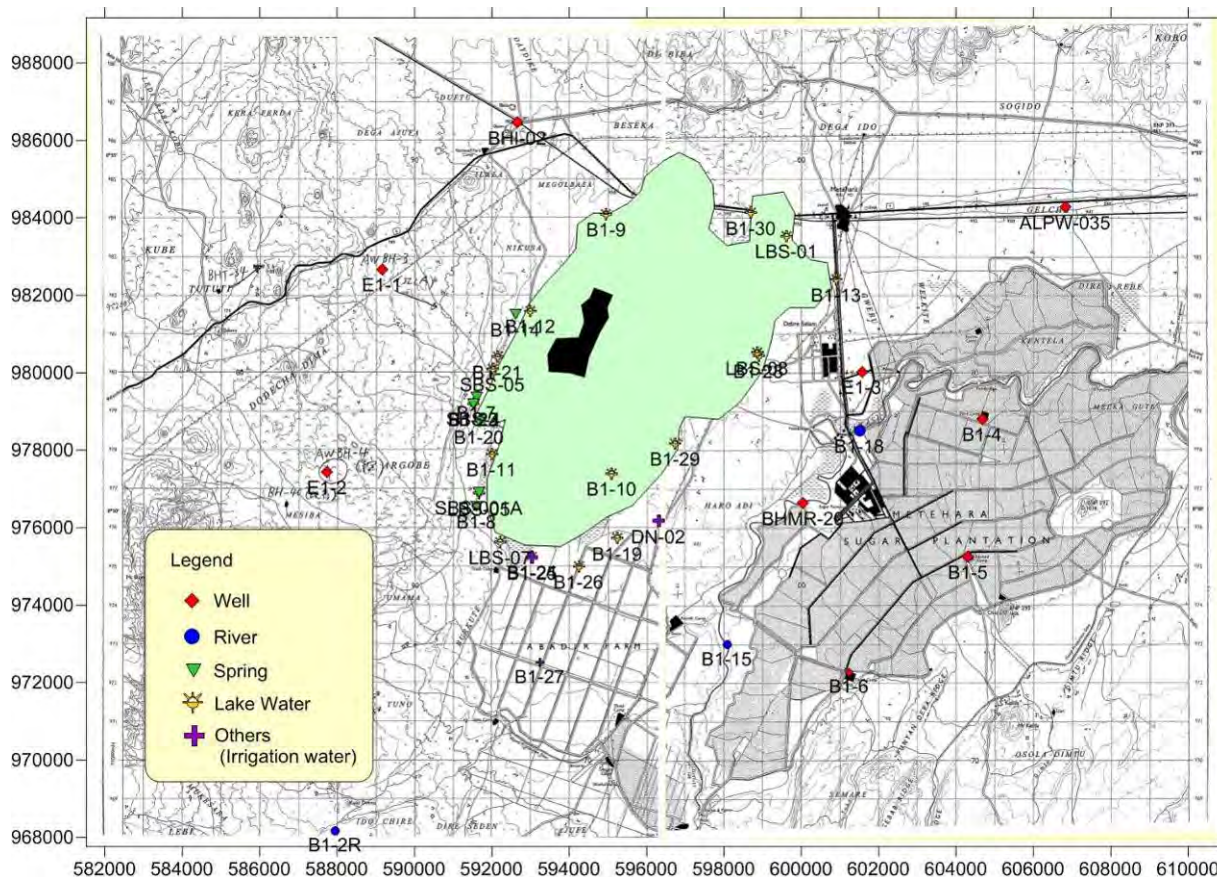


表 3.5.4: 既存データのリスト(Beseka 湖周辺)

Code	Easting	Northing	水源のタイプ	備考
LBS-01	599,618	983,534	Beseka 湖水	Beseka 湖北東
LBS-08	598,860	980,515	Beseka 湖水	Beseka 湖東
DN-02	596,308	976,168	灌漑水	Beseka 湖南東
LBS-07	592,218	975,624	Beseka 湖水	Beseka 湖南
LBS-05	591,670	976,881	Beseka 湖水	Beseka 湖南西
SBS-4	591,533	979,204	温泉水（湧泉）	Beseka 湖西
SBS-05	592,019	980,096	Beseka 湖水	Beseka 湖西
SBS-001A	591,669	976,913	温泉水（湧泉）	Beseka 湖南西
ALPW-035	606,822	984,277	既存井戸	深度 595 m (WWDSE, 2015)
BHMR-20	600,048	976,634	既存井戸	Be12 に同じ、深度 48m
BHI-02	592,664	986,463	既存井戸	Be4 に同じ、深度 53m

出典：調査団、データ元：参考資料①の 4)、②の 5)

サンプリング地点を図 3.5.5に示す。



出典：調査団、データ元：参考資料④

図 3.5.5: Beseka 湖周辺の水質サンプリング地点

a. トリリニアードイアグラムからみた水質の特徴

Beseka 湖周辺の水質分析の結果を第 2 章の巻末資料に添付した。このうち主要イオンを用いてトリリニアードイアグラムに整理した結果を図 3.5.6に示した。この図から以下の点が考察される。

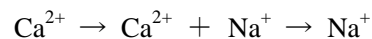


- 河川水や灌漑水（灌漑水路内の水として区分している）は、一般的にはCaHCO<sub>3</sub>型を示し表流水の性質を呈する。一部NaHCO<sub>3</sub>型が見られるのは、Beseka湖近くで採水したことによる湖水の影響である。
- Beseka湖周辺の既存井戸やJICA井戸は、湖を挟んで東西に位置しており掘削深度も様々であるが、一部を除いてNaHCO<sub>3</sub>型の深層地下水滞留型の性状を示す。一部は沖積層の影響で、浅層地下水との間に位置し、一部はSO<sub>4</sub>とClが多く含まれ、NaSO<sub>4</sub>型のものも存在する。既存井戸やJICA井戸の地下水質に井戸深度やBeseka湖との位置関係による水質性状の変化傾向は見られない。このことは、Beseka湖水からの地下水に対する影響は認められないことを示す。
- 湧泉は、湖の西側から南西側に集中して分布している。多くがBeseka湖に水没しているため、湧泉の正確な湧出位置を把握することは現状では困難である。ただし前述の地下水流動図等から、西側や南西側からの流線に沿って湧出していると思われる。湧泉の水質は、既存井戸やJICA井戸の主要イオンからみても同じような型に属しており、ダイアグラム上ではNaHCO<sub>3</sub>型にほぼ位置している。
- 湖水は、NaHCO<sub>3</sub>型かNaSO<sub>4</sub>あるいはNaCl型であり、大部分は深層地下水滞留型や温泉水（海水成分に近い）からなる水質を保持している。湖水は、その成分から見ても明らかに深層地下水滞留型の湧泉の影響を受けている。すなわち主要イオンでの組み合わせでは、地下水、湧泉の影響を端的にうけている水質である。
- 一般に地下水の水質進化と呼ばれる現象があり、地下水の流下距離や滞留時間に応じて、陰イオンや陽イオンの変遷(進化)が以下のように変化する。

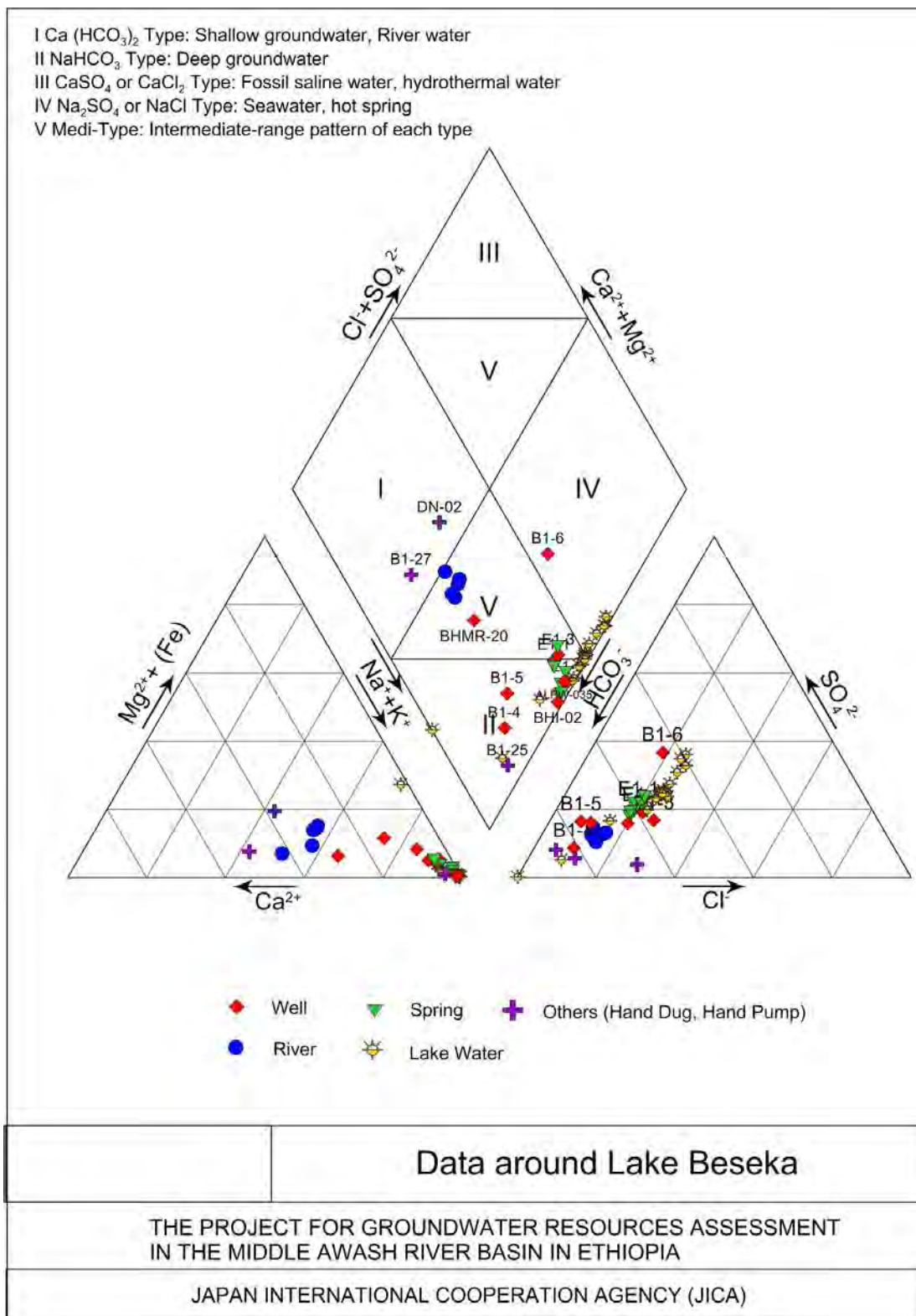
(陰イオン)



(陽イオン)



ダイアグラム上ではI → II → IVのように進化する。これらは地下水の滞留に影響された水質の進化であるが、今回の図 3.5.6のトリリニアードイアグラムからは、河川水→湧泉→湖水の変遷がイオン変化から読み取れる。かつ河川水（一部灌漑水）はあきらかに独立した位置に分布し、湧泉から出た地下水はダイアグラム上ではIIIに位置し、湖水の大部分が温泉水等のタイプに属するIVに位置する。このことは水質変化から見ても明らかに河川水や灌漑水よりも湧泉が湖水に影響していることを示す。

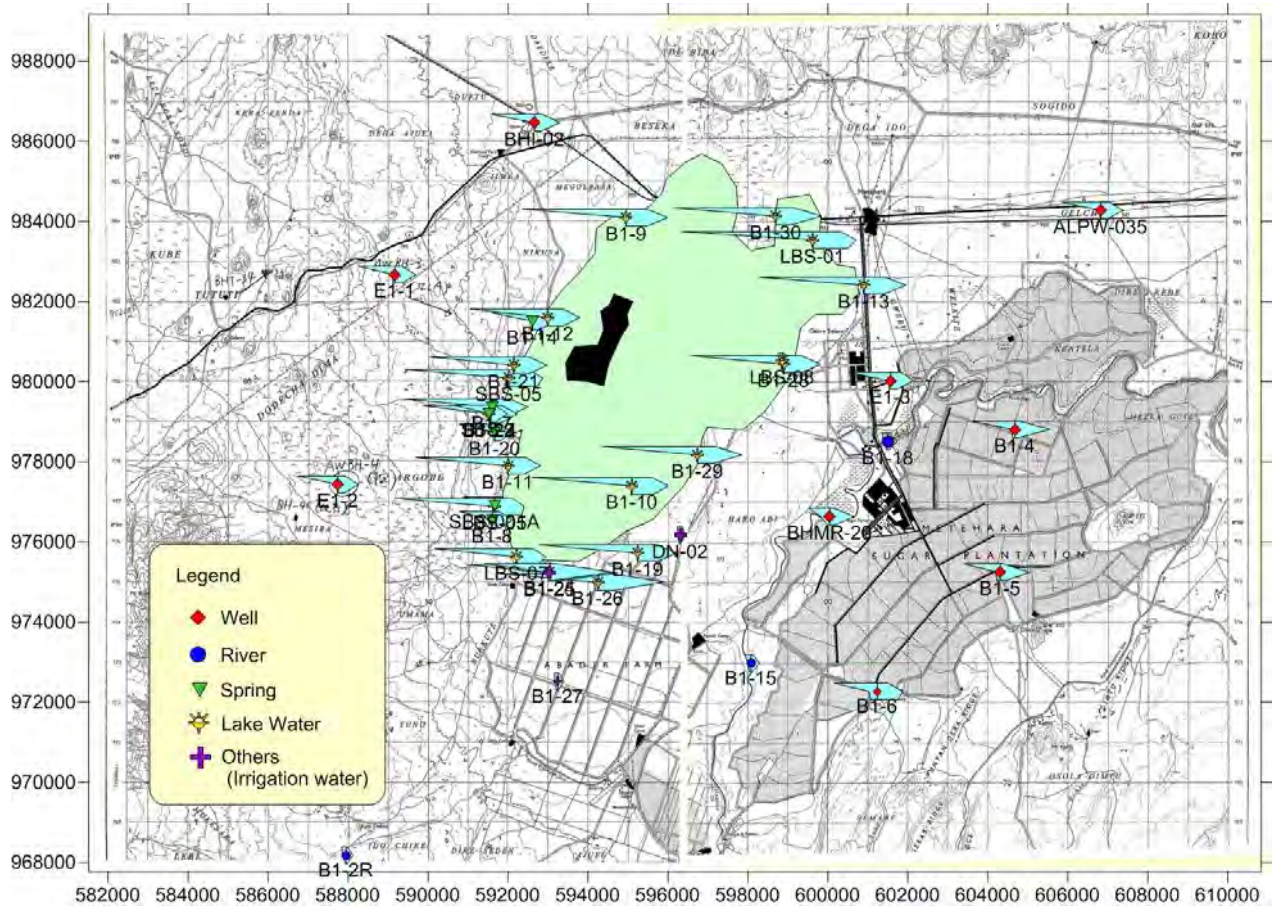


出典：調査団、データ元：参考資料④

図 3.5.6: トリリニアードイアグラム (Beseka 湖周辺)

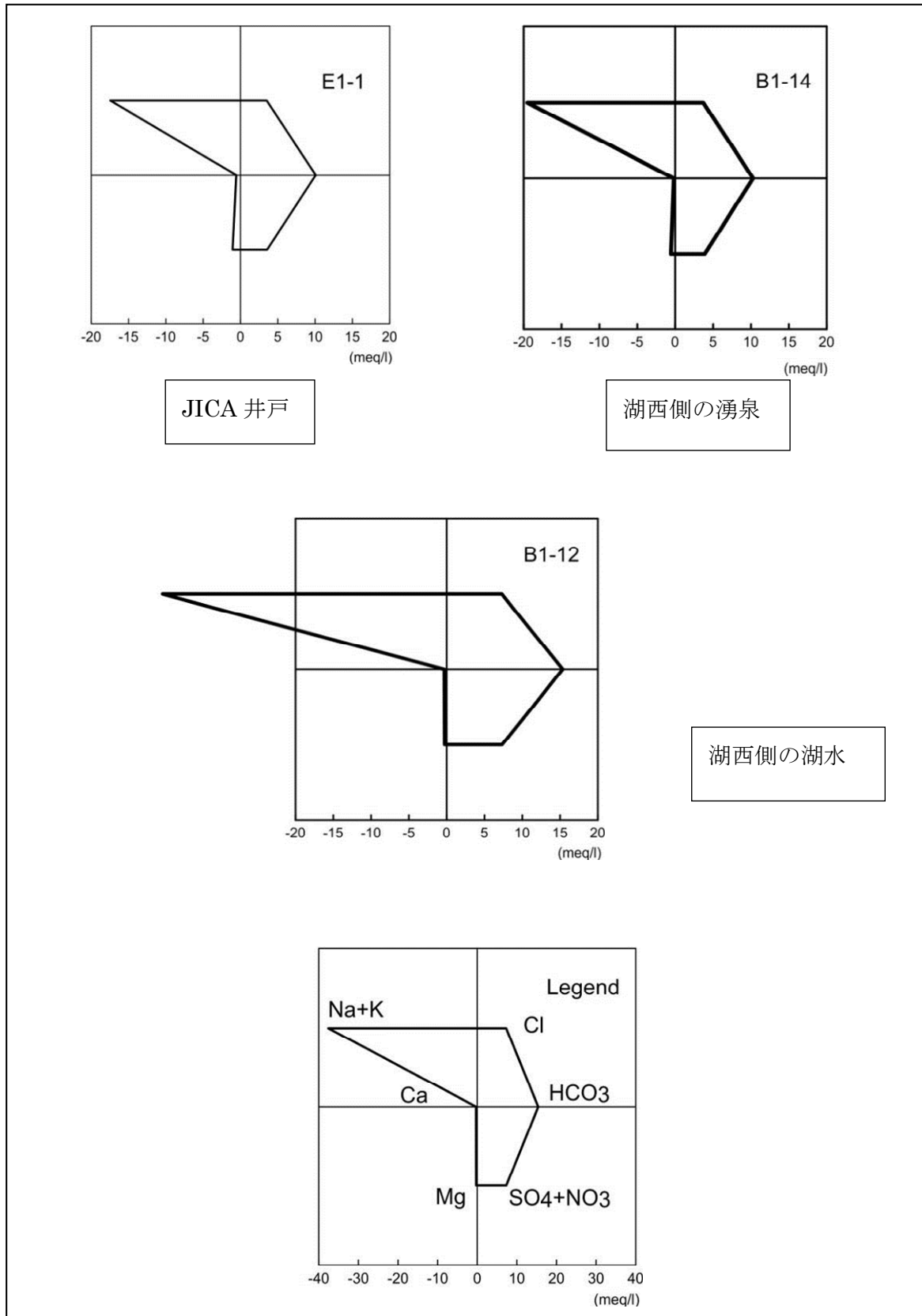
b. ヘキサダイアグラムからみた水質の特徴

ヘキサダイアグラムは、その形状から水質のタイプを識別できることと、イオンの濃度が分かりやすいという特徴を有する。図 3.5.7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表示した。また湖水への流入の可能性のある、西-南西側と南側のサンプル地点のヘキサダイアグラムを拡大して図 3.5.8～図 3.5.10 に示した。



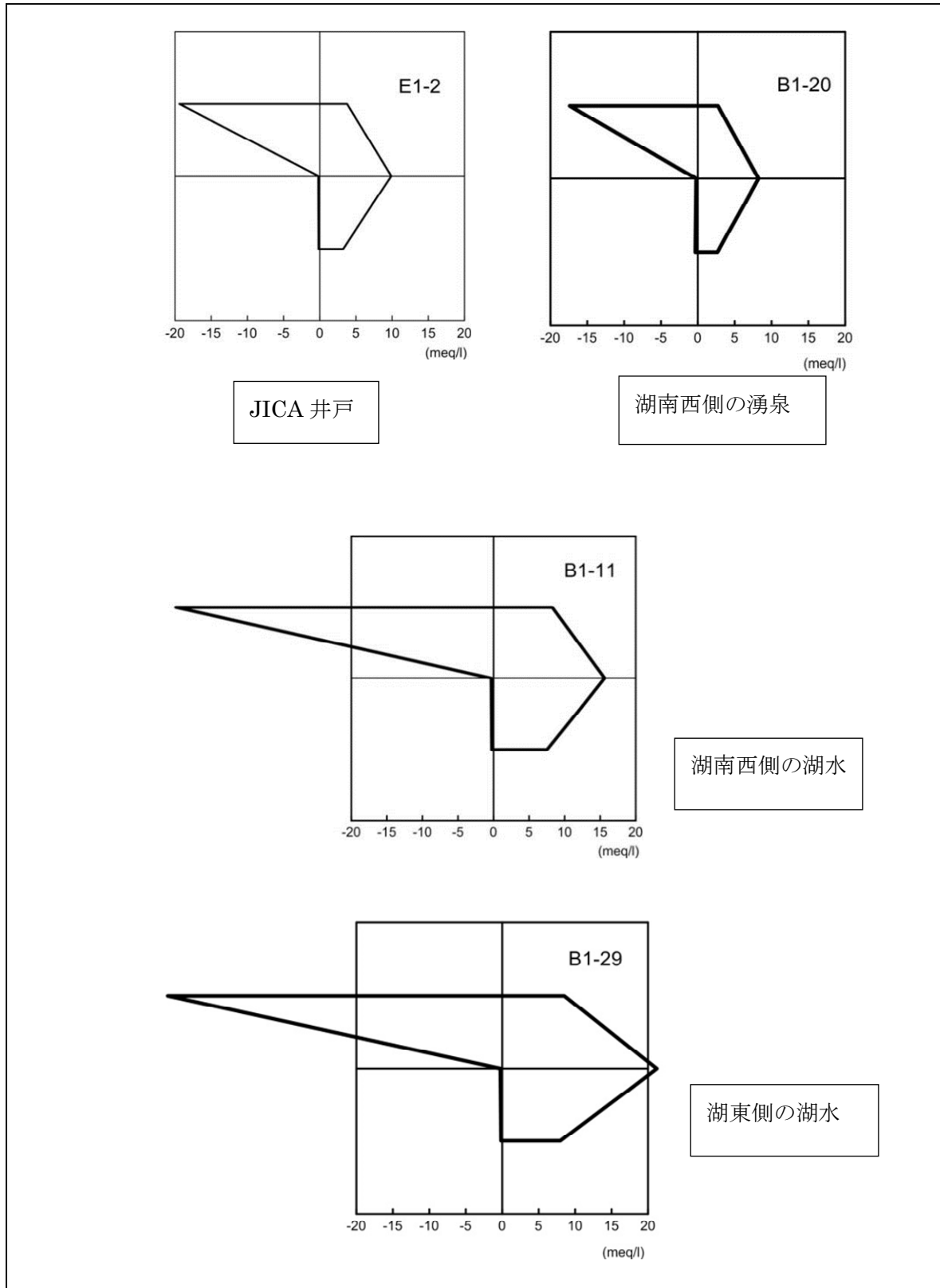
出典：調査団、データ元：参考資料④

図 3.5.7: サンプリング地点のヘキサダイアグラム(Beseka 湖周辺)



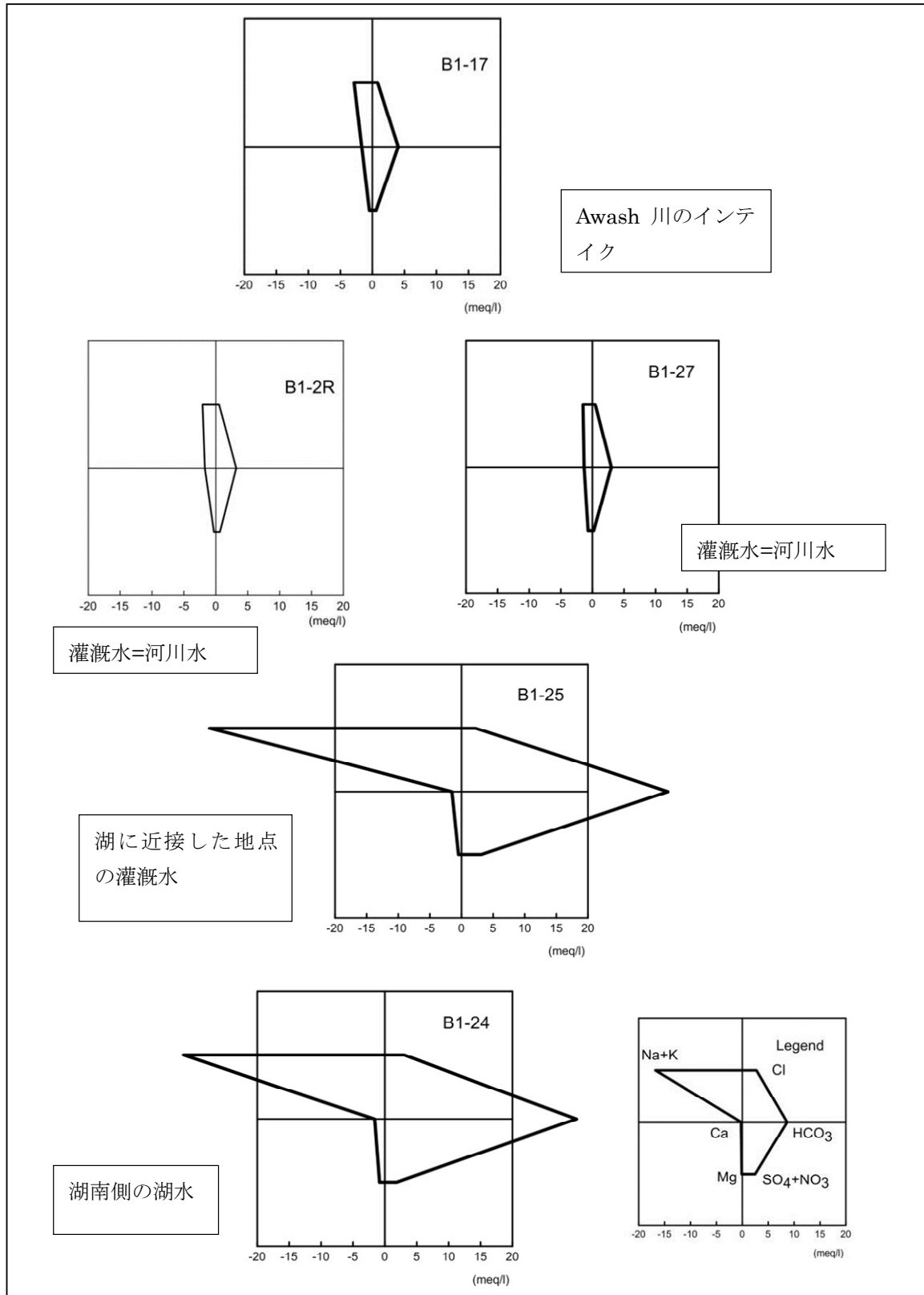
出典：調査団、データ元：参考資料④

図 3.5.8: Beseka 湖西側の代表的なヘキサダイアグラム



出典：調査団、データ元：参考資料④

図 3.5.9: Beseka 湖南西側の代表的なヘキサダイアグラム



出典：調査団、データ元：参考資料④

図 3.5.10: Beseka 湖南側の代表的なヘキサダイアグラム

これらの図から以下の点が考察される。

- 図 3.5.7には、Beseka湖周辺からやや離れた地点を取り巻くように9地点の井戸からの地下水のヘキサダイアグラムの結果を示した。形状と濃度は9点とも類似しておりNaHCO<sub>3</sub>型に属する。9点のうち1点（B1-6）はCl<sup>-</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が他と比べて多く含まれる。トリリニアダイアグラムではIVの位置に属しており、より長い滞留時間をもつ深層の地下水流動の影響が考えられる。各井戸の深度は50 m ~ 595 mと幅はあるが、主たる帯水層は玄武岩であり、深度に関係なく深層地下水滞留型の特徴を示す。河川水や灌漑水は、大きくはCaHCO<sub>3</sub>型に属する中間タイプであり、濃度も他の水源より低い。湧泉はBeseka湖の西側、南西側に集中しており、形状や濃度は井戸の地下水と類似する。水質のタイプはNaHCO<sub>3</sub>に属する深層地下水滞留型で、Beseka湖西側、南西側からの地下水の影響を受けている（あるいは地下水そのものである）。図 3.5.7でもっとも全体の濃度が高くSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>やCl<sup>-</sup>の濃度も高い、NaHCO<sub>3</sub>タイプに属する湖水の分布が明確に識別できる。ヘキサダイアグラムからも、湖水の水質は強く地下水の流入の影響を受けていることが読み取れる。一般的には深層地下水は、有機物の分解（酸化）に酸素が消費され、還元的な環境でNO<sub>3</sub><sup>-</sup>やSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が消失するケースが多いが、調査地内でも井戸の地下水はNO<sub>3</sub><sup>-</sup>やSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は消失しておらず酸化がそれほど進んでいない（滞留時間がさほど長くない）と思われる。
- 図 3.5.8は、井戸中の地下水、Beseka湖周辺の湧泉、湖水のヘキサダイアグラムの濃度と形状を示している。井戸の地下水と湧泉のヘキサダイアグラムは、形状、濃度ともに非常に類似しており、湧泉は若干Naイオンが増加している。Naは水に溶けやすい性質を持っており、地下水が湧泉として湧出するまでの間に取り込んだ結果であろう。湖水は、Naイオン、SO<sub>4</sub>イオン、Clイオン及び重炭酸イオンが増加しており、湧泉の性質を引き継ぎつつ、各イオンが湖水に溶解した結果増加しているのが判る。特に炭酸イオンは、空気中のガス体として存在する二酸化炭素が水に反応して発生しているため湖水で増加している。図 3.5.9も同様の結果であり、特にBeseka湖の東側の湖水のヘキサダイアグラムではより湖の中で滞留した結果、重炭酸イオンや他の陰イオンも増加傾向にある。
- 図 3.5.10はBeseka湖南側の湖水の水質の変化を示している。河川水及びそこから引き込まれて灌漑に利用される水、あるいは灌漑水として灌漑地に滞留した水及び湖水の変化を示した。西側、あるいは南西側の地下水、湧泉及び湖水と異なるのは、河川水や灌漑水ではCaイオンが判別できることである。図中、B1-25地点やB1-24地点ではNaHCO<sub>3</sub>型ではあるが、Caイオンが若干認められる。B1-25は灌漑水と湖水の中間地点で採水しているが、湖水の影響を強く受けている。いずれにしても湖水やここでの灌漑水は、SO<sub>4</sub>やClも見られるが、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度が他地点に比べて高いことが特徴的であり、これは灌漑地でのサトウキビの植生の影響と密接に関係している可能性が高い。
- ヘキサダイアグラムからは、湖水全体が地下水や湧泉の影響を確実に受けている。一方Beseka湖南側では、Caイオンの存在から河川水や灌漑水の流入の影響が読み



取れる。ただし、湧泉及び湖南側の一部を除いた全域の湖水はCaイオンがヘキサダイアグラムからは読み取れず、河川水の影響がないことを示している。

- 湧泉と湖水はヘキサダイアグラムを見ても濃度の違いこそあれ、ほとんど同じ形状であり、湧泉が蒸発等の影響を受けて濃縮し、湖水のようなタイプになったことが予測される。つまり現状の湖水の分析結果は、Caイオンの有無から見ても、河川水ではなく湧泉の影響を受けた水であることを示唆する。
- 以上は湖水の急激な上昇の直接的な理由にはなり得ないが、大部分の湖水のヘキサダイアグラムの形状は、濃度は別としても湧泉のものに近似しており、地下水（湧泉）の影響を強く考えざるを得ない結果となっている。

### c. 安定同位体分析

安定同位体分析は、JICA 井戸に関しては IAEA で実施した。一方井戸の地下水以外の河川水（灌漑水も含む）、湧泉及び湖水に関して安定同位体分析による地下水流動の予測を行った。安定同位体分析の採水地点と測定結果を表 3.5.5に示す。

表 3.5.5: 安定同位体分析リストと結果

Detailed Place	Type of Water Sources	Location ID (Sample ID)	Reference Coordinate		Date of Sampling	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
			Easting	Northing			
Around Ombole (Hombole)	Awash River Water	A1-1(D)	475,873	925,842	2015/1/16	-2.69	-1.31
Around North of Gefersa	Awash River Water	A1-2(D)	525,365	937,096	2015/1/10	5.81	-0.16
Around Awash Melkasa	Awash River Water	A1-3(D)	536,207	927,203	2015/1/10	9.11	0.35
Around Doni	Awash River Water	A1-4(D)	562,223	940,652	2015/1/15	8.43	-0.07
East of Metehara Sugar Plantation	Awash River Water	A1-5(D)	611,191	977,348	2015/1/15	15.39	1.89
Lake Koka	Mojo River Water	A1-7(D)	506,888	929,588	2015/1/16	6.08	0.36
Along West of Lake Beseka	Spring	B1-14	592,612	981,509	2014/7/7	-14.38	-2.76
In Metehara Plantation	Awash River Water	B1-15	598,077	972,974	2014/7/8	-12.78	-1.42
From Nura Hera Farm	Awash River Water	B1-16	592,729	967,092	2014/7/8	-11.22	-0.86
Middle Awash River	Awash River Water	B1-17	596,078	965,762	2014/7/8	-3.88	-1.06
Metehara SP	Awash River Water	B1-18	601,502	978,505	2014/7/9	-12.58	-1.02
South of Lake Besaka	Lake Besaka Water	B1-19	595,246	975,723	2014/7/9	31.64	3.29
Tone Spring	Spring	B1-20	591,674	978,734	2014/7/9	2.55	-1.74
West of Lake Beseka	Lake Water	B1-21(D)	592,146	980,409	2015/1/8	16.41	2.69
West of Lake Beseka	Spring	B1-22(D)	591,536	979,199	2015/1/8	-9.56	-2.68
West of Lake Beseka	Lake Water	B1-23(D)	591,532	979,193	2015/1/8	9.79	1.04
South of Lake Beseka	Lake Water	B1-24(D)	593,045	975,249	2015/1/9	25.55	2.97
South of Lake Beseka	Lake Water+Irrigation	B1-25(D)	593,044	975,228	2015/1/9	34.28	4.81
South of Lake Beseka	Lake Water	B1-26(D)	594,247	974,998	2015/1/9	21.64	2.94
South of Lake Beseka	Irrigation Water	B1-27(D)	593,243	972,517	2015/1/9	6.45	0.19
East of Lake Beseka	Lake Water	B1-28(D)	598,897	980,437	2015/1/9	25.77	4.55
East of Lake Beseka	Lake Water	B1-29(D)	596,741	978,173	2015/1/9	25.41	4.49
East of Lake Beseka	Lake Water	B1-30(D)	598,698	984,130	2015/1/9	26.26	4.44
Around Lake Besaka (AW BH-3)	New Well	E1-1	589,167	982,682	2014/8/9	-9.79	-2.65
Around Lake Besaka (AW BH-4N)	New Well	E1-2	587,754	977,437	2014/11/12	-9.75	-2.72
Around Lake Besaka (AW BH-5)	New Well	E1-3	601,565	980,024	2014/4/2	1.65	-1.08
Around Feto (AW BH-6)	New Well	E1-4	552,789	958,778	2015/8/11	-33.1	-6.24
Between Doni and Bofo (AW BH-9)	New Well	E1-6	555,025	936,983	2014/9/22	-12.87	-3.55
Around Sire (AW BH-11)	New Well	E3-2	553,313	916,009	2015/4/3	-12.2	-3.03
Around Balchi (AW BH-1)	New Well	E4-1	542,642	985,361	2015/4/8	-11.78	-3.11
Around Melka Jiro (AW BH-2)	New Well	E4-2	567,414	980,822	2015/7/21	-27.3	-6.10
Around Dehaye (AW BH-12)	New Well	E4-3	550,405	1,027,427	2014/10/20	-30.59	-5.41

出典：調査団、データ元：参考資料④、測定値は AAU 及び IAEA による

安定同位体としては水素と酸素の原子のうち、質量数 2 の水素元素（重水素：D、あるいは  $^2\text{H}$ ）と質量数 18 の酸素原子（重酸素： $^{18}\text{O}$ ）を測定した。これらの原子は水分子を構成し河川水や地下水中の溶存化学成分（水質）よりも高い濃度で含まれている。これ

らの同位体分子は、化学的にはそのものと同じ挙動を示し、溶存物質のように周辺物質との化学反応を起こさないため、水循環における地下水の流動を把握するうえで理想的なトレーサとして利用できる。

安定同位体の測定結果は、図 3.5.11のデルタダイアグラムに示す。

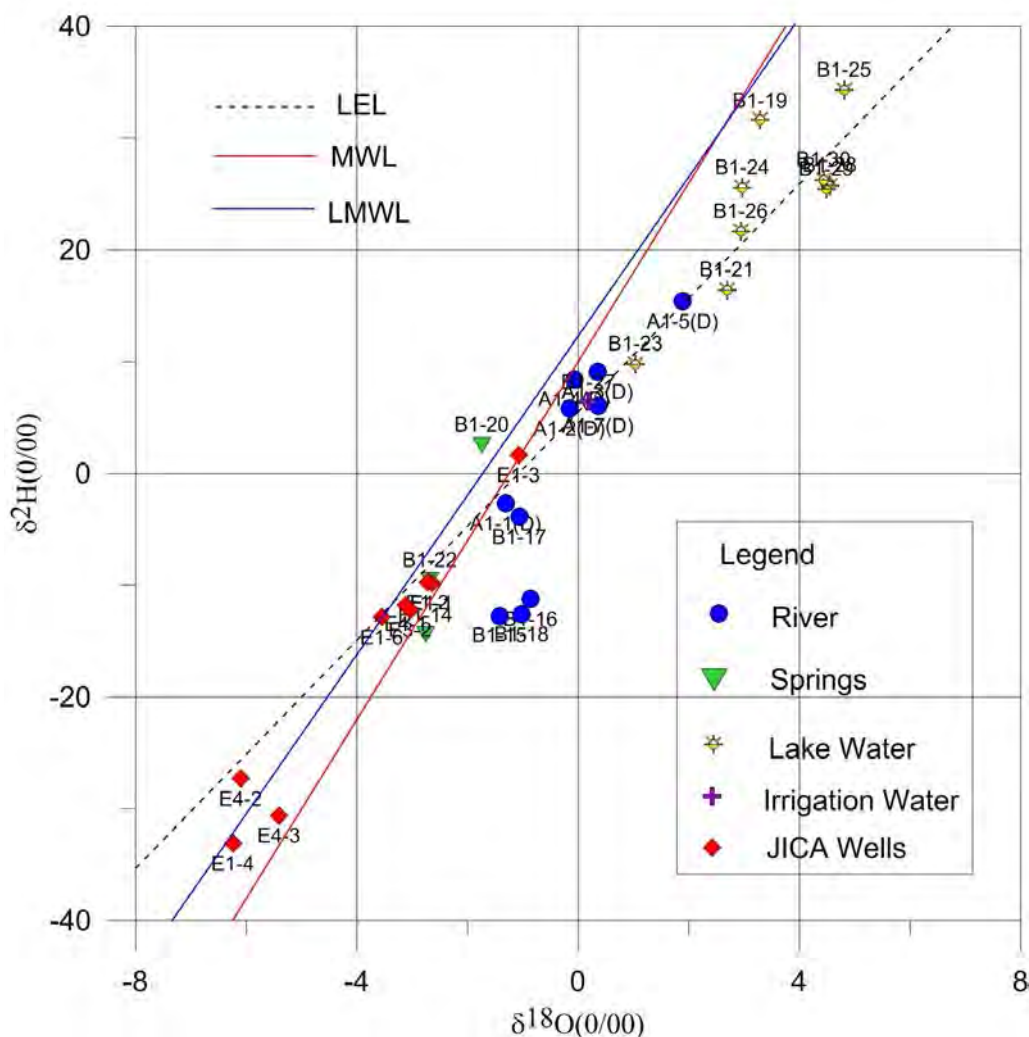
一般的な降水や地表水に対しては、天水線（Meteoric Water Line : MWL）と呼ばれる

$$\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$$

なる直線関係が、世界各地の降水の測定結果から求められている。同位体比は、気温が低くなるとともに、緯度が高くなるとともにこの線上に沿って低くなり、「温度効果」あるいは「緯度効果」と呼ばれる。このほか同位体比の変化には、降水量が多くなると同位体比が小さくなる「降水量効果」、標高が高く内陸へ入るほど同位体比が小さくなる「高度効果」、「内陸効果」が認められる。

また例えばアディスアベバでの降水の天水線は、L（Local）MWL と呼称され、1964年-2004年間の降水の式として、 $\delta D = 7.12 \delta^{18}O + 12.3$  が定義されている。MWL や LMWL は図 3.5.11に表示している。

降水や降水に起因する河川水や地下水の  $\delta$  値は天水線付近に分布する。特殊な要因がない場合には地下水の  $\delta$  値はその付近の降水の  $\delta$  値の加重平均値にほぼ等しいと考えられる。図 3.5.11では、地下水の露頭である湧泉の同位体比は、LMWL にほぼ近接しており、アディスアベバの降水に起因している可能性がある。河川水の同位体比は大きく、図中では 3 つの塊が認められる。河川水（一部灌漑水）のうち、最も右上の A1-5 (D) のサンプルやその左下の乾季に採水した (D) のマークのある河川水は、他と比較して  $\delta$  値が高くなっており、雨の少ない時期の降水量効果が認められる。A1-5(D)のサンプルは Beseka 湖より下流に位置しており、湖水水質の影響を強く受けている。最も同位体比の低い位置にまとまった河川水があるが、これは雨季に採水しており降雨量効果によって低い同位体比となっている。湖水は全体に天水線よりも右下に分布しており、水質も他と比較して滞留時間の長い水の影響を受けた傾向を示す。また蒸発の影響を受けたと思われる、酸素と水素の分別が異なるため、天水線とは異なる傾きの蒸発線（Local Evaporation Line : LEL）に沿って濃縮していく。この線は、既存文献（Eleni, 2009）を参照して、 $\delta D = 5.1 \delta^{18}O + 5.5$  を当てはめたがほぼ湖水の直線に載ってくる。この線は、アワシュ川の同位体比も含めて引くことができる。この線と LMWL との交点は、 $-3.40 \text{‰ } \delta^{18}O$  と  $-11.84 \text{‰ } \delta^2H$  の値であり、これが降水に起因する、より上流側の地下水等の同位体比と比較すれば、そこからの流入の有無が検討される。Beseka 湖西方の地下水のデータは、JICA の新規井戸の分析値が得られており、LEL と LMWL の交点付近の地下水（図 3.5.11 参照）（AW BH-1, 3, 4N, 9 及び 11）の平均値は、 $-3.01 \text{‰ } \delta^{18}O$  と  $-11.28 \text{‰ } \delta^2H$  の値である。この値は上述の交点の  $\delta$  値と類似しており、より北西や西方からの地下水の流入は否定できない。上述の既存文献では、Beseka 湖の小流域をさらに西側に行った流域で  $-2.8 \text{‰ } \delta^{18}O$  と  $-10.7 \text{‰ } \delta^2H$  の値の平均値を示す地下水について記述している。



出典：調査団、データ元：参考資料①の5)及び④

図 3.5.11: Beseka 湖周辺の安定同位体比のデルタダイアグラム

#### d. トリチウム分析

トリチウム分析を実施したサンプリング地点と結果は、以下の表に示した。地下水に関しては、今後 JICA 井戸において実施する予定である。A1-1 (D) ~A1-7 (D) は、アワシュ川、B1-21~B1-30 は大部分が Beseka 湖水であり、そのうち B1-22 は湧泉、B1-27 は灌漑水である。

表 3.5.6: トリチウム分析リストと結果

Detailed Place	Type of Water Sources	SL. No.	Location ID (Sample ID)	Reference Coordinate		Final Result TU $\pm 0.5\sigma$
				Easting	Northing	
Around Ombole (Hombole)	Awash River Water	1	A1-1(D)	475,873	925,842	2.33
Around North of Gefersa	Awash River Water	2	A1-2(D)	525,365	937,096	2.25
Around Awash Melkasa	Awash River Water	3	A1-3(D)	536,207	927,203	2.23
Around Doni	Awash River Water	4	A1-4(D)	562,223	940,652	2.17
East of Metehara Sugar Plantation	Awash River Water	5	A1-5(D)	611,191	977,348	2.19
Lake Koka	Mojo River Water	6	A1-7(D)	506,888	929,588	2.32
West of Lake Beseka	Lake Water	7	B1-21	592,146	980,409	2.21
West of Lake Beseka	Spring	8	B1-22	591,536	979,199	2.35
West of Lake Beseka	Lake Water	9	B1-23	591,532	979,193	2.30
South of Lake Beseka	Lake Water	10	B1-24	593,045	975,249	2.26
South of Lake Beseka	Lake Water+Irrigation	11	B1-25	593,044	975,228	2.14
South of Lake Beseka	Lake Water	12	B1-26	594,247	974,998	2.27
South of Lake Beseka	Irrigation Water	13	B1-27	593,243	972,517	2.25
East of Lake Besek	Lake Water	14	B1-28	598,897	980,437	2.13
East of Lake Besek	Lake Water	15	B1-29	596,741	978,173	2.36
East of Lake Besek	Lake Water	16	B1-30	598,698	984,130	2.29
Around Lake Besaka (AW BH-3)	New Well	17	E1-1	589,167	982,682	-
Around Lake Besaka (AW BH-4N)	New Well	18	E1-2	587,754	977,437	-
Around Lake Besaka (AW BH-5)	New Well	19	E1-3	601,565	980,024	-
Around Feto (AW BH-6)	New Well	20	E1-4	552,789	958,778	2.43
Between Doni and Bofo (AW BH-9)	New Well	21	E1-6	555,025	936,983	-
Around Sire (AW BH-11)	New Well	22	E3-2	553,313	916,009	-
Around Balchi (AW BH-1)	New Well	23	E4-1	542,642	985,361	-
Around Melka Jiro (AW BH-2)	New Well	24	E4-2	567,414	980,822	3.01
Around Dehaye (AW BH-12)	New Well	25	E4-3	550,405	1,027,427	-

出典：調査団、データ元：参考資料④、測定値は AAU 及び IAEA による

トリチウム ( $^3\text{H}$ ) は、水素の放射性同位体で、質量数は3、半減期は約 12.43 年で  $\beta$  崩壊して  $^3\text{He}$  に変わる。対流圏の水蒸気中のトリチウムはほぼ平衡状態にあって、その濃度は中緯度の降水中で 10 TU 前後であったとされる。しかし 1952 年以降、熱核爆発実験によって人工トリチウムが大量に大気中、特に成層圏に放出されたため、1963 年～1964 年のピーク時には 1,000 TU を超える値が現われた。その後は実験の停止で濃度は年々減少し、1990 年代ではほぼ天然レベルの 5～10 TU に戻っている。今回得られた値は、湖水の平均値で 2.245 TU、河川で 2.248 TU である。湧泉は 1 箇所だけであるが 2.35 TU を得た。Seifu Kebede, et all, 2008 の既存文献によれば、Beseka 湖周辺の地下水で 1.5 TU や 5.8 TU、また Fentale 山の温泉で 0.7 TU といった値を得ている。1984-1997 年のアディスアベバでの降水中のトリチウム濃度は概ね 5～15 TU の範囲で推移している (Eleni Ayalew Belay, 2009)。この結果、今回得られた湧水、河川水及び湖水のトリチウム値は、サブモダン (1953 年以前) とモダン (1953 年後) の降水が混合したものであると考えられる。

### 3.5.3 灌漑排水量の推定

#### a. はじめに

ここで行う解析の目的は、1960 年代後半から始まった Beseka 湖の拡大に灌漑余剰水がどの程度寄与しているのかを推定することである。現在 Beseka 湖流域内に開発されている灌漑事業は Abadir 農場、Nura Hira 農場、および Fentale プロジェクトである (図 3.2.3 参照)。

ここでは、入手可能な既存データに基づいて Abadir 農場の灌漑効率と Beseka 湖へ排出し得る灌漑余剰水の推定を試み、以下の観点から灌漑水が Beseka 湖体積拡大の原因とされることに対し考察する。

- Abadir農場の灌漑効率の評価とBeseka湖への排水量の推定
- 灌漑余剰水がBeseka湖拡張の原因とした場合の水バランス上の整合性の確認

## b. Abadir農場の灌漑効率

### b.1 灌漑時に発生する損失と効率評価の目安

灌漑効率は水路運搬時の効率と圃場灌水時の効率を掛け合わせて表現されるものであり、国連食糧農業機関（Food and Agricultural Organization; FAO, 1989）によると、50%~60%で良好（Good）、40%台で妥当（Reasonable）、20%~30%で不良（Poor）とされる。

### b.2 Abadir農場の灌漑効率推定

本 JICA 調査では、作物の生育に必要な水量を求めた上で、それをアワシュ川からの取水量および圃場への有効降雨量と比較することで灌漑効率を推定する。

$$\text{Irrigation Efficiency (\%)} = \frac{\text{Crop Water Requirement} - \text{Effective Rainfall}}{\text{Intake Water}}$$

出典：調査団

図 3.5.12: 本調査で推定する灌漑効率

#### b.2.1 Abadir農場の取水量

1977 年から 2009 年における Abadir 農場の取水量は 80~130 百万 m<sup>3</sup> であり、年平均取水量は約 102 百万 m<sup>3</sup> (3.24 m<sup>3</sup>/秒) である。Abadir 農場の全面積は 3,158 ha であり、その 90%を耕作地とすれば、耕地面積は 2,842 ha となる。このことから、Abadir 農場での年平均取水量は 3,589 mm と換算される (= 102 / 2,842 x 10<sup>5</sup>)。

#### b.2.2 作物生育のために必要な水量の推定

次に、Abadir 農場で栽培されているサトウキビが成長するための必要水量を推定する。サトウキビの必要水量は以下の式で求められる。

$$ET_{\text{sugarcane}} = ET_o \times K_c$$

ここに、  $ET_{\text{sugarcane}}$  : サトウキビの必要水量 (mm/年)

$ET_o$  : 基準蒸発散量 (mm/年)

$K_c$  : 作物係数

Metehara 気象観測所のデータからペンマン-モンテイス (Penman-Monteith) 法<sup>3</sup>を用

<sup>3</sup> <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm#Contents>



いて ETo を計算すると、2,224 mm/年となる。

FAO によるサトウキビの生育段階ごとの Kc 値から、年間の Kc を 0.965 と推定した。

以上から、サトウキビ生育のために必要な年間水量は 2,146 mm (= 2,224 x 0.965) となる。

### b.2.3 有効降雨量の推定

圃場への降雨も作物の生育に貢献する。全降雨量のうち、作物の生育に寄与する雨量（有効雨量）は FAO-AGLW（FAO Water Resource, Development and Management Services）による式から年間 220 mm と推定した。

### b.2.4 灌漑効率の推定と評価

これまでの推定結果をまとめると以下のとおりである。

Abadir 農場における年平均取水量： 3,589 mm

Abadir 農場における年間必要水量： 2,146 mm

Abadir 農場における有効雨量： 220 mm

したがって、Abadir 農場における灌漑効率は、約 54% (= (2,146 - 220) / 3,589) と推定され、良好と判断される。

### b.2.5 Beseka湖への排水量の推定

Abadir 農場の灌漑効率が 54% であるとすれば、残りの 46% は生育に寄与することなく消失する水量である。既述のとおり年平均取水量は約 102 百万 m<sup>3</sup> であるため、年間損失水量は約 47 百万 m<sup>3</sup> となる。

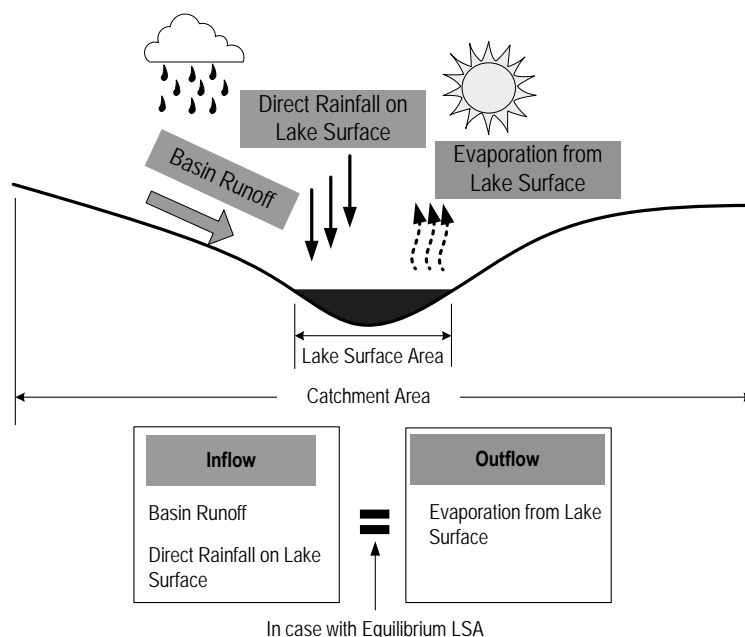
Abadir 農場の全面積 3,158 ha のうち、Beseka 湖流域内の面積は 2,315 ha とおよそ 73.3% を占める。このことを考慮すると、約 35 百万 m<sup>3</sup> (= 47 百万 x 73.3%) が Beseka 湖流域内で発生する損失水量となり、これが Abadir 農場から Beseka 湖へ流入し得る最大の灌漑余剰水量（リターンフロー）と考えられる。

## c. 灌漑余剰水と Beseka湖水バランスの関係

ここでは、上記項目で推定した Abadir 農場から Beseka 湖面積へ流入しうる最大の灌漑余剰水量が Beseka 湖水の年間バランスにどの程度影響しうるのかを検討する。具体的には、Beseka 湖流域における気象・水文条件や湖サイズから灌漑余剰水が無かった場合の水バランスを推定し、ここに灌漑余剰水が加わった場合に湖体積拡大が矛盾なく説明できるかを考察する。

### c.1 平衡湖面積の定義と前提条件

2004 年に放流施設が設置される前、Beseka 湖はアワシュ川流域から独立した閉塞流域を形成していたといわれている。この場合の湖流域内の水バランスを図 3.5.13 に示す。



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.5.13: 閉塞流域における水バランス

湖への流入は湖面への直接降雨と流域からの流入から構成され、湖からの流出は湖面からの蒸発と考えられる。湖面からの蒸発量は湖面積に比例するため、長期的には水バランス上流入量と流出量が釣り合うような湖面積が存在するはずである。このような湖面積をここでは平衡湖面積（Equilibrium Lake Surface Area; ELSA）と定義する。

Beseka 湖面積が平衡状態であれば、以下の関係が成り立つ。

$$E \cdot ELSA = R \cdot ELSA + Q$$

ここに、 ELSA: 平衡湖面積

E: 年間蒸発量（高さ）

R: 年間降水量（高さ）

Q: 年間の流域からの流入量（体積）

気象・水文状況等外部条件が安定していれば、長期的に湖面積は平衡湖面積で安定すると考えられる。洪水や少雨等で短期的に拡大・縮小することや多少の季節変動はあっても、長期的な視点でこの面積を逸脱することは無いと考えられる。

気象・水文解析の結果、Metehara 地点の年平均降雨量は 508 mm、年平均蒸発量は 3,023 mm と計算されており、これを Beseka 湖流域に適用する。パン係数を既往調査で用いられている 0.8 とすると、湖面蒸発量は年間 2,418 mm (= 3,023 x 0.8)となる。

流域からの流入量 Q については、年平均降雨量 (R) に流出率 (C) を掛けて計算する。流出率の推定には、水文解析で提案した以下の式を用いる。

$$C = 1.090(A - ELSA)^{-0.236}$$

ここに、 ELSA: 平衡湖面積 (km<sup>2</sup>)

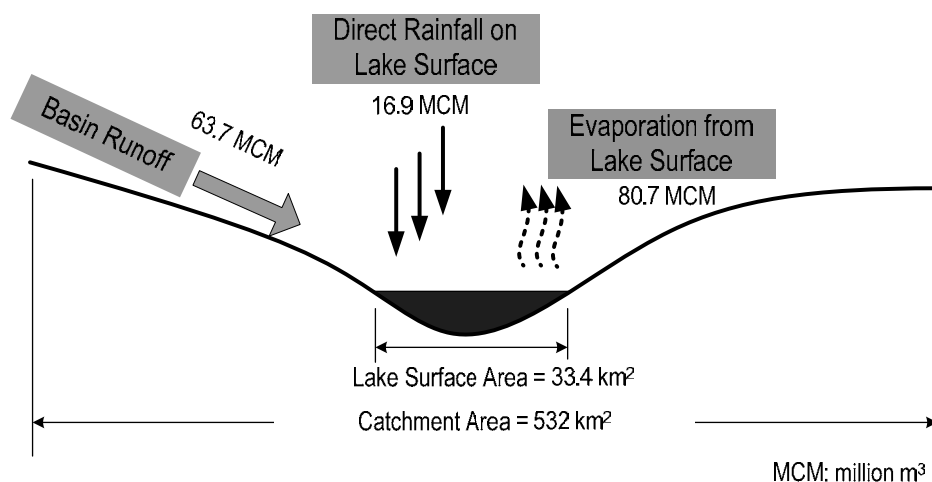
A: Beseka 湖流域面積 (= 532 km<sup>2</sup>)

以上の条件で平衡湖面積を計算すると、33.4 km<sup>2</sup>となる。

表 3.5.7: ELSA=33.4 km<sup>2</sup>とした場合の Beseka 湖流出入量

項目	体積	計算（備考）
流入量		
湖面への直接降雨量	16.9 百万 m <sup>3</sup>	508 mm x 33.4 km <sup>2</sup>
流域からの流入量	63.7 百万 m <sup>3</sup>	508 mm x 1.090 (532 km <sup>2</sup> - 33.4 km <sup>2</sup> ) <sup>-0.236</sup> x (532 km <sup>2</sup> - 33.4 km <sup>2</sup> )
<b>流入量合計</b>	<b>80.7 百万 m<sup>3</sup></b>	
流出量		
湖面からの蒸発量	80.7 百万 m <sup>3</sup>	3,023 mm x 0.8 x 33.4 km <sup>2</sup>
<b>流出量合計</b>	<b>80.7 百万 m<sup>3</sup></b>	
<b>バランス</b>	<b>0.0 百万 m<sup>3</sup></b>	

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 3.5.14: ELSA=33.4 km<sup>2</sup>とした場合の Beseka 湖の年間水バランス

一方、既存の情報によると、1970 年以前には Beseka 湖面積は 3~5 km<sup>2</sup>程度で安定していたと言われている。つまり、過去の平衡湖面積は 3~5 km<sup>2</sup>であったということであり、湖面蒸発による流出のみでは水バランスを説明できない。湖拡大前の平衡湖面積を 4 km<sup>2</sup>とすると、流出入は表 3.5.8に示すとおりとなる。

表 3.5.8: ELSA=4 km<sup>2</sup>とした場合の Beseka 湖流出入量

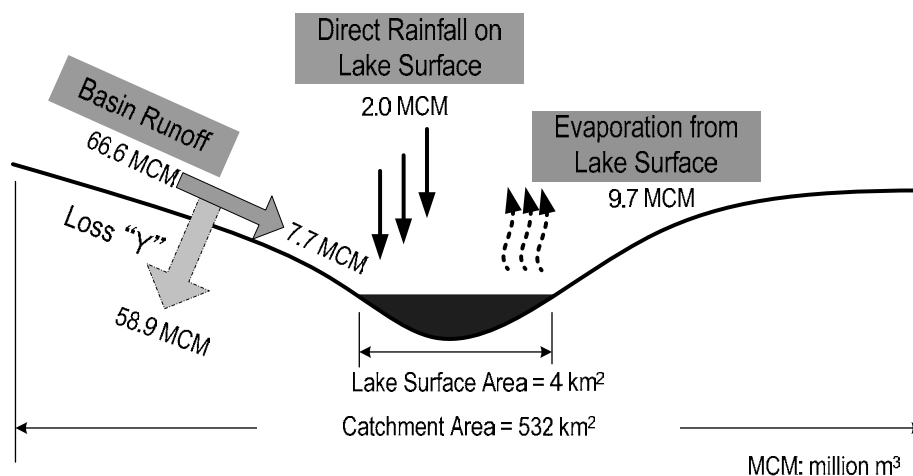
項目	体積	計算（備考）
流入量		
湖面への直接降雨量	2.0 百万 m <sup>3</sup>	508 mm x 4 km <sup>2</sup>
流域からの流入量	66.6 百万 m <sup>3</sup>	508 mm x 1.090 (532 km <sup>2</sup> - 4 km <sup>2</sup> ) <sup>-0.236</sup> x (532 km <sup>2</sup> - 4 km <sup>2</sup> )
<b>流入量合計</b>	<b>68.6 百万 m<sup>3</sup></b>	
流出量		
湖面からの蒸発量	9.7 百万 m <sup>3</sup>	3,023 mm x 0.8 x 4 km <sup>2</sup>
<b>流出量合計</b>	<b>9.7 百万 m<sup>3</sup></b>	
<b>バランス</b>	<b>58.9 百万 m<sup>3</sup></b>	

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

流入量 68.6 百万 m<sup>3</sup>に対して流出量は 9.7 百万 m<sup>3</sup>に過ぎず、水バランス上は 58.9 百万 m<sup>3</sup>の流入過多である。そこで、湖面積 4 km<sup>2</sup>で安定させるため以下の仮定を導入する。

【仮定】

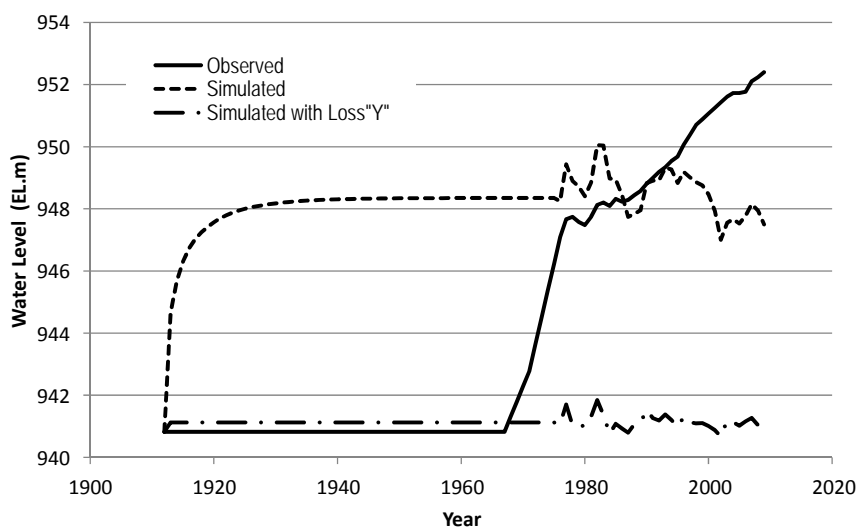
流域からの流入量 66.6 百万 m<sup>3</sup> のうち、58.9 百万 m<sup>3</sup> は浸透するなどして Beseka 湖へ到達することなく失われる。これを「損失 Y」と呼ぶ。



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.5.15: ELSA=4 km<sup>2</sup>とした場合の Beseka 湖の年間水バランス(損失 Y を仮定)

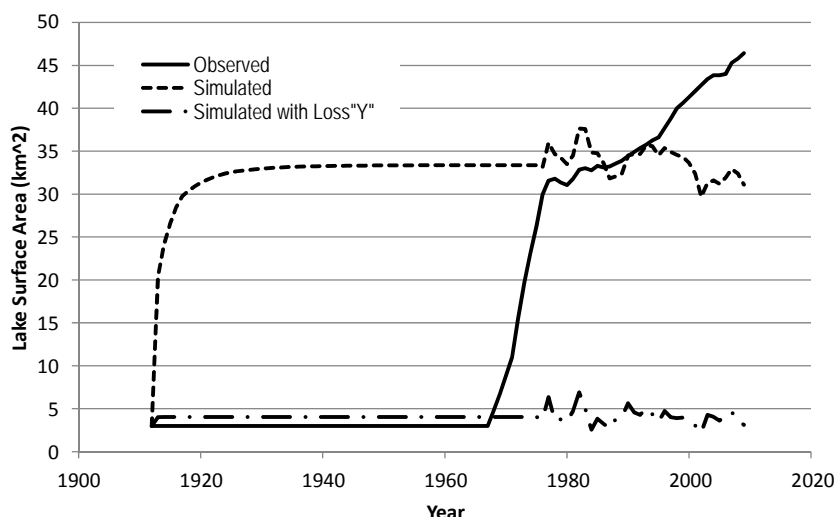
損失 Y を見込んだ場合と見込まない場合の Beseka 湖水位および湖面積の年毎の変化を入手した雨量データを元に計算したものを図 3.5.16および図 3.5.17に示す。



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.5.16: 各年の水バランス計算による Beseka 湖水位の変化





出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.5.17: 各年の水バランス計算による Beseka 湖面積の変化

損失 Y を見込まない場合、1912 年の計算開始からすぐに湖水位が上昇し、EL.948 m 程度に達する。この時、湖面積は 33 km<sup>2</sup> 程度で平衡状態に達し、湖水位が急上昇を始めた 1960 年代後半の状況を再現できていない。

損失 Y を見込んだ場合、湖水位は安定し、気象データが入手できた 1976 年以降では年毎の雨量の違いにより湖水位や湖面積に変動が見られるものの概ね湖面積 4 km<sup>2</sup> 程度で安定し、湖水位上昇前の状況を再現していることが分かる。

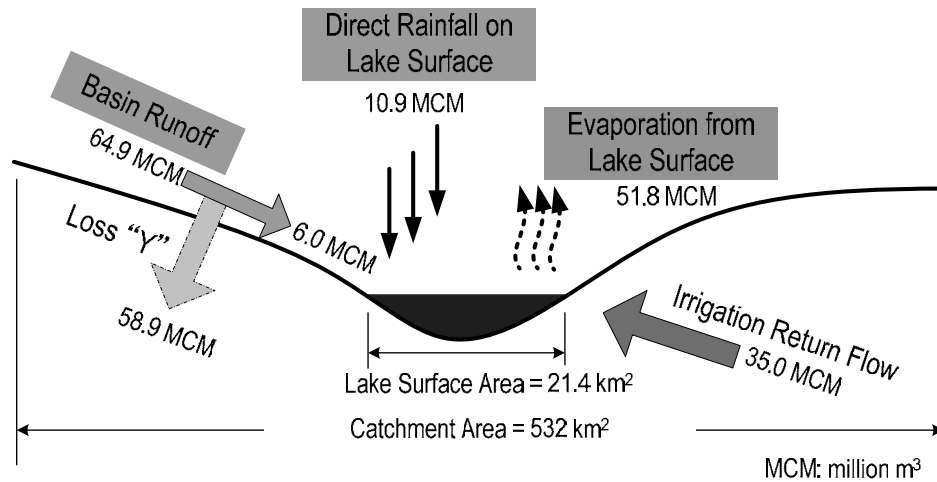
### c.2 灌漑余剰水を考慮した水バランス計算（損失Yあり）

b.2.5で Abadir 農場からの最大の灌漑余剰水を 35 百万 m<sup>3</sup> と推定した。Beseka 湖への流入量にこの灌漑余剰水を加えた場合の平衡湖面積を算定すると、21.4 km<sup>2</sup> となった（表 3.5.9および図 3.5.18参照）。

表 3.5.9: 灌漑余剰水(35 百万 m<sup>3</sup>)を含んだ水バランス計算結果

項目	面積/体積	計算（備考）
平衡湖面積（ELSA）	21.4 km <sup>2</sup>	
流入量		
湖面への直接降雨量	10.9 百万 m <sup>3</sup>	508 mm x 21.4 km <sup>2</sup>
流域からの流入量	64.9 百万 m <sup>3</sup>	508 mm x 1.090 (532 km <sup>2</sup> - 21.4 km <sup>2</sup> ) <sup>-0.236</sup> x (532 km <sup>2</sup> - 21.4 km <sup>2</sup> )
損失 Y	-58.9 百万 m <sup>3</sup>	
灌漑余剰水	35.0 百万 m <sup>3</sup>	
<b>流入量合計</b>	<b>51.8 百万 m<sup>3</sup></b>	
流出量		
湖面からの蒸発量	51.8 百万 m <sup>3</sup>	3,023 mm x 0.8 x 21.4 km <sup>2</sup>
<b>流出量合計</b>	<b>51.8 百万 m<sup>3</sup></b>	

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

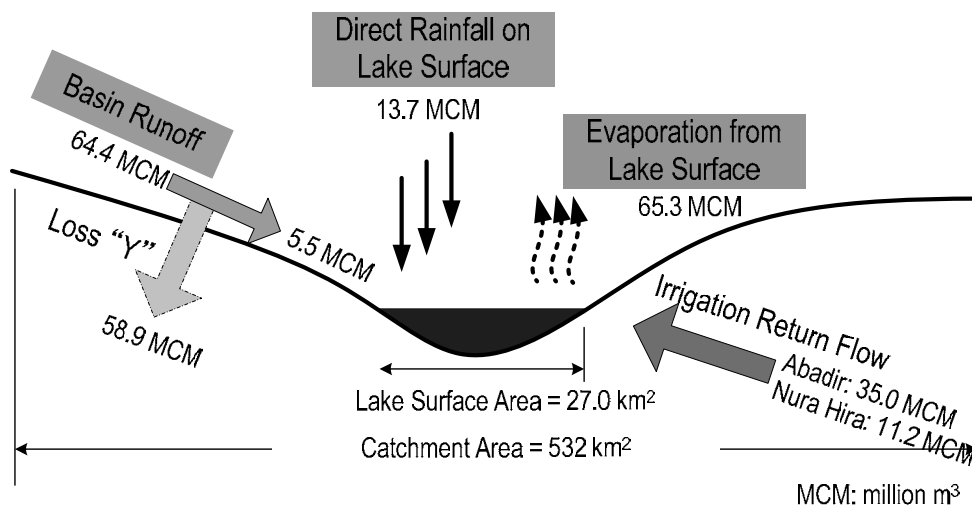
図 3.5.18: 灌漑余剰水(35 百万 m<sup>3</sup>)を含んだ Beseka 湖の年間水バランス

1977 年から 1983 年にかけては Nura Hira 農場からも年間 11.2 百万 m<sup>3</sup> の灌漑余剰水が Beseka 湖へ流入していたといわれる。これを加味して灌漑余剰水を 46.2 百万 m<sup>3</sup> とすると平衡湖面積は 27.0 km<sup>2</sup> となる（表 3.5.10 および図 3.5.19 参照）。

表 3.5.10: 灌漑余剰水(46.2 百万 m<sup>3</sup>)を含んだ水バランス計算結果

項目	面積/体積	計算（備考）
平衡湖面積（ELSA）	27.0 km <sup>2</sup>	
流入量		
湖面への直接降雨量	13.7 百万 m <sup>3</sup>	508 mm x 27.0 km <sup>2</sup>
流域からの流入量	64.4 百万 m <sup>3</sup>	508 mm x 1.090 (532 km <sup>2</sup> - 27.0 km <sup>2</sup> ) <sup>-0.236</sup> x (532 km <sup>2</sup> - 27.0 km <sup>2</sup> )
損失 Y	-58.9 百万 m <sup>3</sup>	
灌漑余剰水(Abadir)	35.0 百万 m <sup>3</sup>	
灌漑余剰水(Nura Hira)	11.2 百万 m <sup>3</sup>	
<b>流入量合計</b>	<b>65.3 百万 m<sup>3</sup></b>	
流出量		
湖面からの蒸発量	65.3 百万 m <sup>3</sup>	3,023 mm x 0.8 x 27.0 km <sup>2</sup>
<b>流出量合計</b>	<b>65.3 百万 m<sup>3</sup></b>	

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

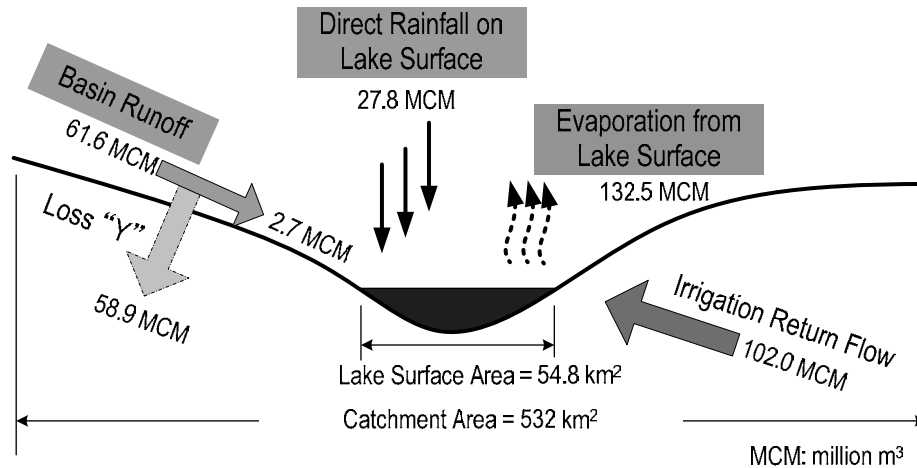
図 3.5.19: 灌漑余剰水(46.2 百万 m<sup>3</sup>)を含んだ Beseka 湖の年間水バランス

さらに極端なケースとして Abadir 農場での取水量全量（102 百万 m<sup>3</sup>、b.2.1参照）がそのまま Beseka 湖に流れ込んだ場合の平衡湖面積と水バランス計算結果を表 3.5.11および図 3.5.20に示す。

表 3.5.11: 灌漑余剰水(102 百万 m<sup>3</sup>)を含んだ水バランス計算結果

項目	面積/体積	計算（備考）
平衡湖面積（ELSA）	54.8 km <sup>2</sup>	
流入量		
湖面への直接降雨量	27.8 百万 m <sup>3</sup>	508 mm x 54.8 km <sup>2</sup>
流域からの流入量	61.6 百万 m <sup>3</sup>	508 mm x 1.090 (532 km <sup>2</sup> - 54.8 km <sup>2</sup> ) <sup>-0.236</sup> x (532 km <sup>2</sup> - 54.8 km <sup>2</sup> )
損失 Y	-58.9 百万 m <sup>3</sup>	
灌漑余剰水	102.0 百万 m <sup>3</sup>	
<b>流入量合計</b>	<b>132.5 百万 m<sup>3</sup></b>	
流出量		
湖面からの蒸発量	132.5 百万 m <sup>3</sup>	3,023 mm x 0.8 x 54.8 km <sup>2</sup>
<b>流出量合計</b>	<b>132.5 百万 m<sup>3</sup></b>	

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

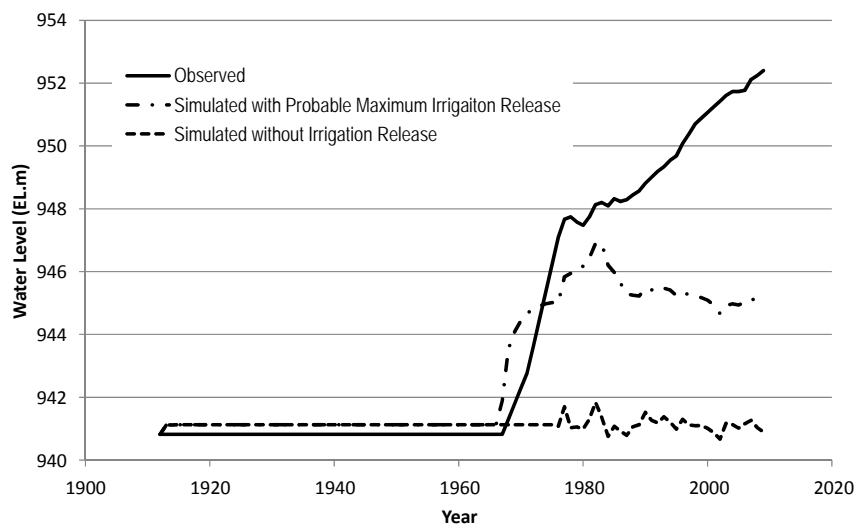


出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.5.20: 灌漑余剰水(102 百万 m<sup>3</sup>)を含んだ Beseka 湖の年間水バランス

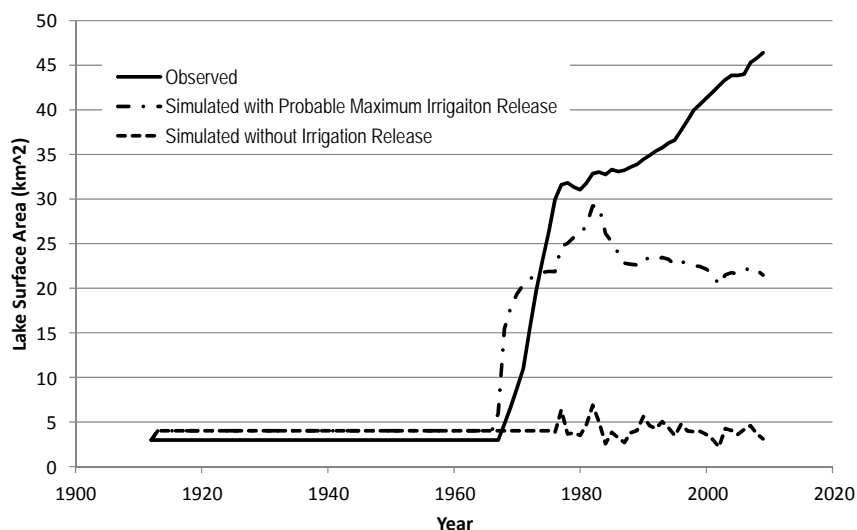
以上から、Abadir 農場からの灌漑余剰水のみで拡大しうる湖面積は 20 km<sup>2</sup>程度までとなり、Nura Hira 農場からの灌漑余剰水を加味した場合でも 27 km<sup>2</sup>程度にとどまる。実際に観測された 50 km<sup>2</sup>規模の湖面積が実現するには年間 100 百万 m<sup>3</sup>程度の灌漑余剰水が常時 Beseka 湖へ流入する必要がある。

下図は Abadir および Nura Hira 農場からの灌漑余剰水が全て Beseka 湖へ流れ込んだと仮定した場合の年毎の水位、湖面積を計算した結果である。



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.5.21: 各年の水バランス計算による Beseka 湖水位の変化(灌漑余剰水あり)



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.5.22: 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)

1960年代後半の Abadir 灌漑事業の開始に伴って湖水位は急激に上昇する。1977年から1983年にかけては Nura Hira 農場からの余剰水も加わり、水位は EL. 947 m (湖面積 30 km<sup>2</sup>) 程度にまで上昇するが、それをピークとして EL. 945 m (湖面積 23 km<sup>2</sup>) 程度に安定するのが分かる。

#### d. 考察

ここまでの検討をまとめると以下のとおりである。

- 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m<sup>3</sup>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 km<sup>2</sup>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<sup>3</sup>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<sup>3</sup>によって拡大しうるBeseka湖面積は20 km<sup>2</sup>程度、Nura Hira農場分の11.2百万m<sup>3</sup>を加味しても27 km<sup>2</sup>程度であり、実績（50 km<sup>2</sup>）には遠く及ばない。

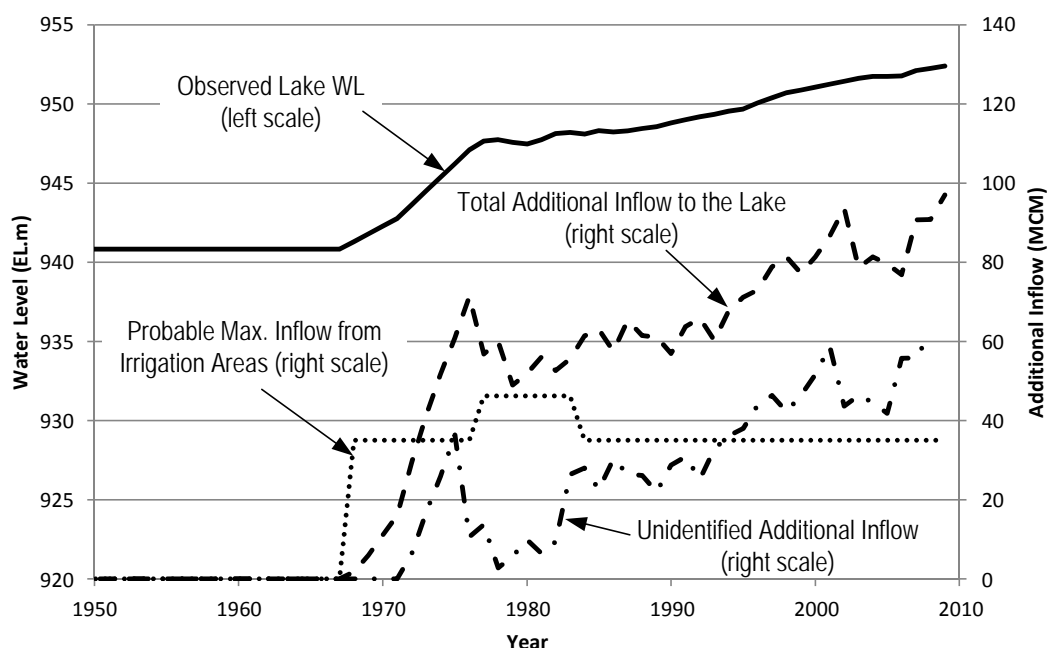
これらの検討を通じた結論は以下のとおりである。

- 湖水面上昇のタイミング（灌漑開発と湖面上昇が同時期に始まったこと）や灌漑余剰水を見込んだ水バランス計算から、灌漑余剰水がBeseka湖拡大と全く無関係とは言えない。
- しかしながら、相当安全側で見積もったとしても灌漑余剰水だけでは湖面拡張余地は限られ、現在確認されているほどの湖面積拡大は説明できない。



- これを説明するためには、灌漑余剰水の流入以外に損失Yの急減や消失、あるいは流域外からの流入の発生など別の重要な事象を考える必要がある。

図 3.5.23はBeseka湖水位のデータから、1960年代後半以降に発生した湖への追加流入量を計算したものである。毎年ほぼ一定と考えられる灌漑余剰水に加え、年々増加する何らかの流入量（もしくは損失Yの減少量）の存在を強く示唆するものである。



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 3.5.23: Beseka 湖水位の変動から計算した追加流入量

灌漑余剰水に対しては、以下の前提に立った対策の導入が重要である。

- Abadir農場については既に良好な灌漑効率を達成しており、これ以上の向上は望めない。
- Nura Hira農場については既に対策済みである。
- AbadirやFentaleなど既存の灌漑事業を中止させるのは現実的でない。
- 大部分の灌漑余剰水が土壌あるいは浅層地下水を介してBeseka湖へ流入するはずであり、これを流入前に止めるような対策は現実的でない。

このことから、今後灌漑余剰水として流入し得るのと同量量を排出する施設（放水路、排水ポンプなど）を湖内に設置し、アワシュ川へ戻すことが最も現実的と考える。

灌漑余剰水として今後流入し得る量を以下のとおり推定する。

Abadir農場： 年間35百万 $m^3$ 。安全側の立場から灌漑余剰水すべてが湖水になるとした。

Fentale灌漑地区： 年間91百万 $m^3$ 。Beseka湖流域内の灌漑面積が6,000 haであることから、Abadir農場（2,315 ha）との面積比から推定（ $=35 \times 6,000 / 2,315$ ）

これより、合計126百万 $m^3$ （4 $m^3$ /秒）の放流施設が必要となる。Beseka湖からの排水施設は2004年以降投入されており、上記排水能力は現状の開水路（幅約7m、水深約1.2m、流速約0.5m/秒とすると排水能力は4.20 $m^3$ /秒）ですでに確保されていると考えられる。

### 3.6 Beseka湖の湖水涵養機構

#### 3.6.1 灌漑地からの流入量

Beseka湖の水位上昇に関する原因については、大きくは1960年代からBeseka湖周辺でのサトウキビ農場が作られそこでの灌漑用水が流入したことによる湖水位の上昇が引き起こされたことやその他の要因が推定されているが、ここでは灌漑水の流入による湖水位の上昇の可能性についてモデルを用いて検討した。

灌漑地に用水を通じて流入された灌漑水が灌漑地にどの程度利用されているかはMoWIEにより1977年～2011年について推定されており、その情報を適用した。

各年の灌漑地流入量を算出してから、モデルへの流入量をさらに3つのクライテリア案で想定した。

第1の想定は、灌漑地流入量の50%、第2は灌漑地流入量に等しい値に設定、第3は灌漑地流入量を倍増するように設定した。

#### 3.6.2 第1の解析結果

第1の解析結果は図3.6.1に示した。Beseka湖水位変動と灌漑地の流入量の変動とほぼ合致している。

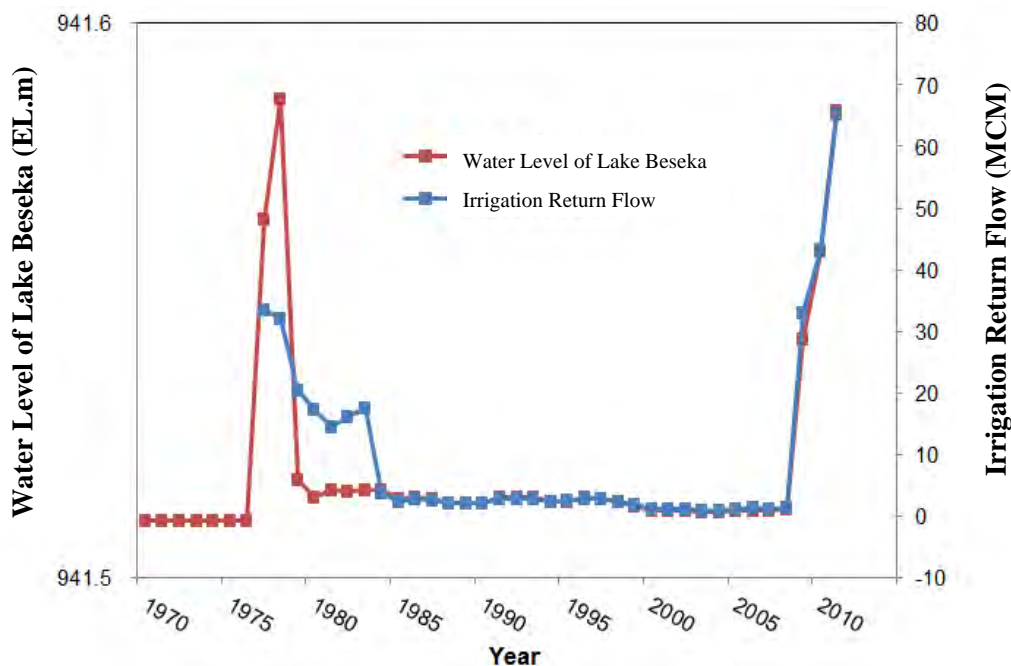


図 3.6.1: 灌漑地流入量とモデルによる湖水位変動との解析結果(50%減少値)

湖水位の上昇の最大値は1978年に現われ、Abadir灌漑地からの灌漑地流入量の最大値と一致している。初期設定した水位と比べれば、0.026 m 上昇した。それに比べて、水位上昇量の最小値は2003年である。Abadir灌漑地だけの最小灌漑地流入量値（0.9 MCM）の時期であり、初期水位と比べると僅か0.0005 m だけ上昇している。

### 3.6.3 第2の解析結果

第2の解析結果、つまり予測された灌漑用水量と同じ値で涵養量を設定した場合の結果を図3.6.2に示した。

湖水位の変動パターンは第1の解析結果とほぼ同じであり、灌漑地流入量の変動に沿って変化している。1978年には最大水位値が現われ、初期水位と比べれば、0.05 m 上昇し、第1の灌漑地流入量の50%を想定した場合と比べ約2倍となっている。水位上昇量の最小値は第1と同様に、Abadir灌漑地の最小灌漑流入量の2003年に現われ、初期水位と比べ水位が0.0009 m 上昇した。

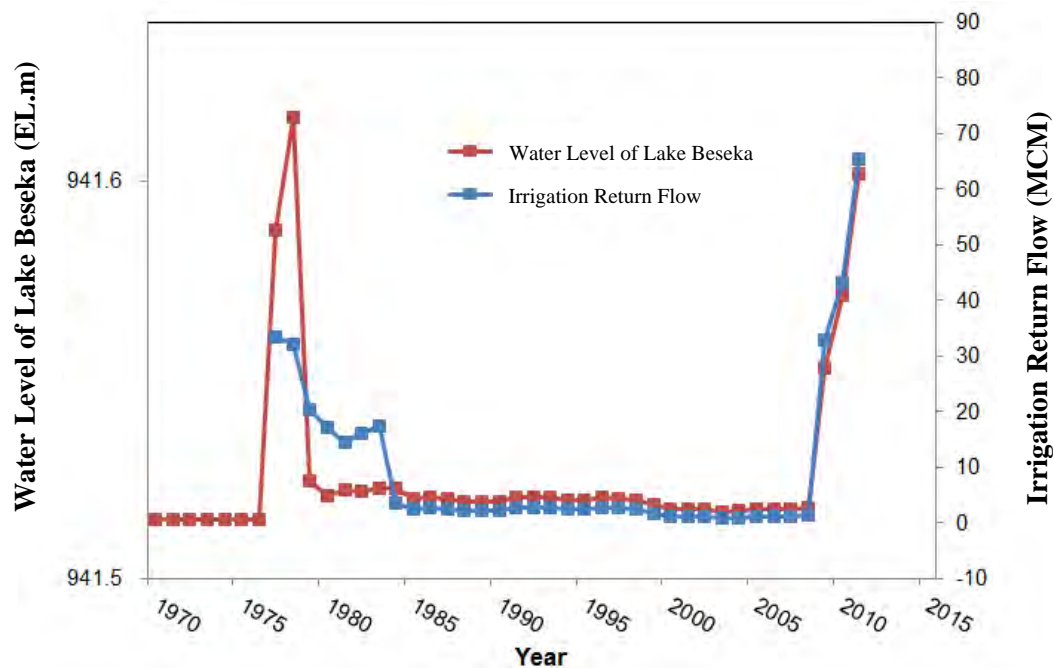


図 3.6.2: 灌漑地流入量とモデルによる湖水位変動との解析結果（灌漑流入量と同じ）

### 3.6.4 第3の解析結果

第 3 の解析結果、つまり予測された灌漑流入量を倍増して設定した場合の結果を図 3.6.3に示す。

湖水位の変動のパターンは第 1、第 2 の解析結果とかなり類似しており、灌漑地流入量の変動に沿って変化する。水位上昇の最大値は 1978 年で現われ、初期水位と比べれば 0.1 m 上昇した。水位上昇の最小値は 2003 年で現われ、初期水位と比べてば 0.0018 m 上昇している。最大値、最小値は、第 2 の約 2 倍、第 1 の結果の約 4 倍となっている。

以上の結果をみてもわかるように、灌漑地からの流入量による湖水位の変化は、モデル上ではほとんど影響を受けていないことが挙げられる。灌漑地流入量を倍に想定しても湖水位の上昇量は 0.1 m であり、モデルから見た結果は、灌漑流入量が湖水位上昇の主要原因とは判断しにくい。

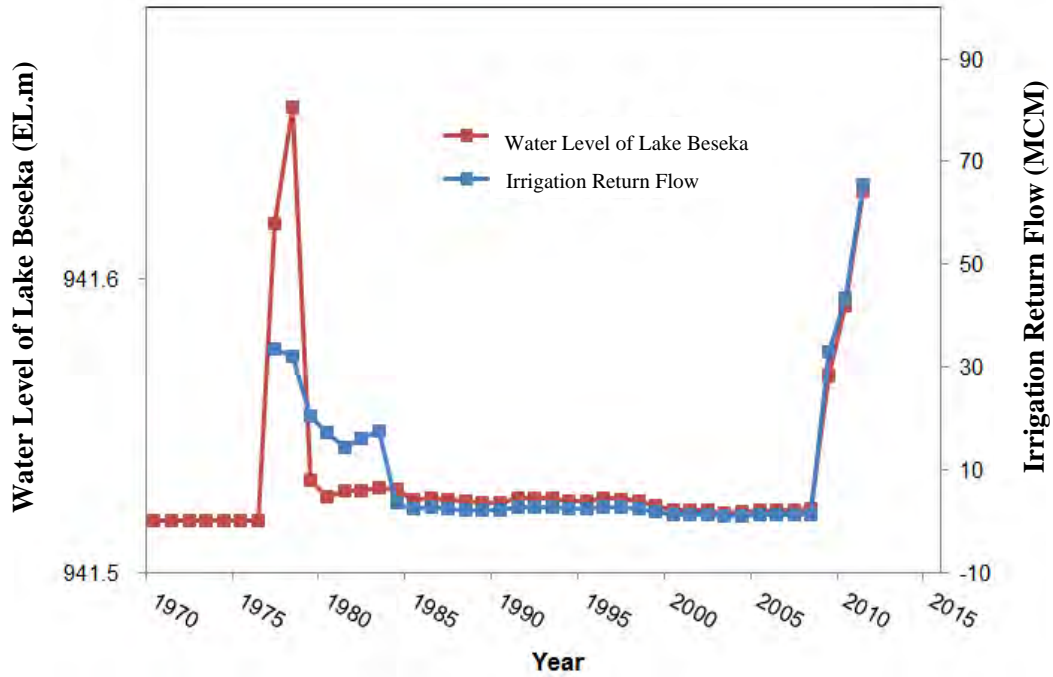


図 3.6.3: 灌漑地流入量とモデルによる湖水位変動との解析結果（灌漑流入量の倍）

### 3.6.5 灌漑地流入量と湖水位上昇の比較

Beseka 湖の水位変動と灌漑地流入量を比較した結果を図 3.6.4に示した。

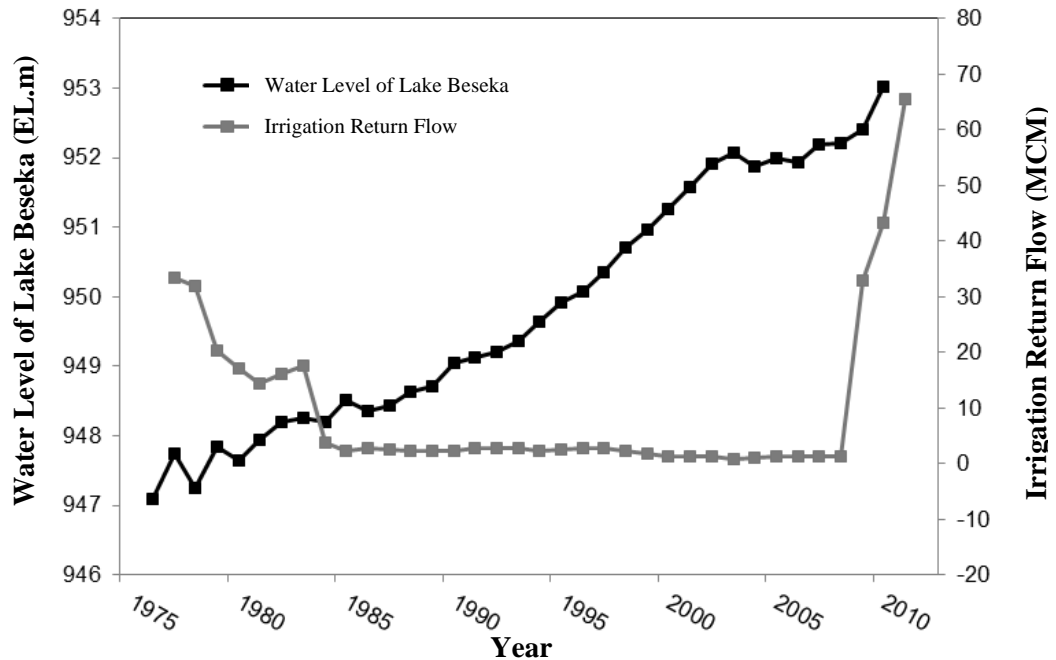


図 3.6.4: 湖水位変動と灌漑地流入量との比較。

モデルの解析結果に示されているように、灌漑地流入量の変動に伴い、湖水位が変動する。つまり灌漑地からの流入量が湖水位の変動に何らかの影響を及ぼすことを示す。

しかし、図 3.6.4に示すように、灌漑地流入量がどれだけ低減してもあるいは続けて変わらないとしても、湖水位は上昇している。1984 年～2008 年の間、灌漑地流入水量は



Beseka 湖の南側にある灌漑地 Abadir だけで認められており、灌漑地流入量の最大値は 2.8 MCM、最小値 0.9 MCM 及び平均値 2.0 MCM であった。モデルの解析結果では湖水位が上昇せずに、逆に低下が始まっている。

一方、MoWIE のデータによる湖水位はほぼ上昇しており 2003 年においては湖水位が初期水位と比べて 4.98 m ほど上昇した。モデル上では、灌漑地からの流入量があっても Beseka 湖の湖水位の上昇は認められず、3 種類設定した結果では初期水位に比べると 2003 年においては上昇した値は 0.0018 m、中間値は 0.0009 m、最小値は 0.0005 m で、いずれも初期水位とほぼ同じであった。このように灌漑地からの流入量から見ればモデル上では湖水位の上昇は少なく、MoWIE の実測による水位上昇の原因が灌漑地からの流入量以外の他の要因に起因する可能性を示している。

### 3.7 まとめ

本章では、Beseka 湖周辺の地形・地質・地質構造、および水理地質にかかる調査結果を報告するとともに、これまで Beseka 湖水位上昇の主たる原因とされてきた灌漑余剰水について、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 湖および周辺の水質分析、灌漑排水量の推定および水バランス解析を行った。

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。湖面温度の継続的な上昇は灌漑水（すなわち河川水）よりも流域西側ないしは南西側からの高温の湧水の流入を要因とした湖拡張を強く暗示するものである。

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（ $\text{NaHCO}_3$  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た。

Abadir 農場の灌漑効率は FAO の基準に照らしても十分に高く、効率的な灌漑が行われてきた。一方で、湖流域内での灌漑がアワシュ川からの導水を伴うものである限り、理論的にはその排水量（余剰水）は湖を拡張する方向に作用する。灌漑水を考慮した水バランス解析では、1960 年代後半に開発された灌漑地域からの余剰水で湖拡張が説明できるかを検証した。その結果、極端な仮定の下に考えうる最大の余剰水を含めても、水バランス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。

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<sup>2</sup>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。

ただし、以下の点については今回の調査で検証することは困難であり、引き続き学術的な調査が望まれる。

- なぜ1960年代後半から地下水流入が増加し始めたのか。
- 年々増加する地下水流入は最終的にどの程度まで増加し、定常状態に移行或いは減少に転じるのか。

参考資料

- 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
- 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）
- ⑤ Study of Lake Beseka, Ministry of Water, 1999
- ⑥ Study and Design of Lake Beseka Level Rise Project II, WWDSE, planned by MoWIE, 2011
- ⑦ Irrigation Water Management: Irrigation Scheduling, 1989  
(<http://www.fao.org/docrep/t7202e/t7202e00.htm#Contents>)
- ⑧ FAO Crop Water Information ([http://www.fao.org/nr/water/cropinfo\\_sugarcane.html](http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_sugarcane.html))
- ⑨ Manual for CROPWAT version 5.2. FAO, Rome. 45pp.
- ⑩ Growing Lake with Growing Problems: Integrated Hydrogeological Investigation on Lake Beseka, Ethiopia, Eleni Ayalew Belay, 2009

- ⑪ Buxton, D.R. (1949): “Travel in Ethiopia” – Centre national de la recherche scientifique (CNRS), France.
- ⑫ EIGS (Ethiopian Institute of Geological Survey) and ELC (Elc electroconsult milano and Geotermica italiana pisa, Italia) (1987): Geothermal reconnaissance study of selected sites of the Ethiopian rift system, Geotherm. Report, Milan, Ltaly.
- ⑬ Gibson I.L. (1970): “A pantelleritic welded ash-flow tuff from the Ethiopian Rift Valley” - Contr. Mineral and Petrol., 28, 89-111.
- ⑭ Kazmin, V. and Berhe, S. M. (1978): Geology and Development of the Nazret Area, Northern Ethiopian Rift, Ethiopian Institute of Geological Survey Report.
- ⑮ Mohr, P.A. (1960): Report on a geological excursion through southern Ethiopia. Geophys. Observatory of Addis Ababa Bull., 3, 9-20.

# 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 はじめに

アワシュ川中流域の地下水涵養量は、降水量と河川への流出率および基底流量係数を  
用いて求めた。地下水涵養量は、地下水の利用可能な基本値となるが、地下水ポテンシ  
ャルは、現状の地下水涵養量と地下水利用量を比較しても、今後地下水が十分に利用で  
きる程度に高いと思われる。ただし供給量が十分存在しているとしても、どの程度地下  
水が確保できるかを知るために帯水層のポテンシャル評価を行う必要がある。そのため  
帯水層ごとの地下水利用の生産性の評価が、帯水層の揚水試験から求めた揚水流量や比  
湧出量等の値を用いて行われた。また地下水の量だけでなく質の状況を把握しておく必  
要があるため、地下水の水質についても評価した。

### 4.2 地下水ポテンシャル

#### 4.2.1 帯水層の分類と特徴

表 4.2.1は、調査地での代表的な帯水層の水理地質的な特徴と定量的な数値をまとめた  
ものである。小規模な分布を示すタフリング（スコリアコーンを含む）やマールを構成  
する堆積物や分布地域の狭い火山体の堆積物は除いている。

表 4.2.1: 帯水層単元の分類と特徴

地質年代	帯水層名	記号	水理地質の特徴
第四紀 更新世	完新統	Qal (湖成堆積物含む)	<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> <li>湖成堆積物は、Wonji地域、Debre Zeit、Mojo、KokaやNazret地域に層厚50 m程度で広く分布する。主にグラベルの多い砂からなる。</li> <li>揚水流量は1～7 L/sec程度揚水できる。</li> <li>Debre Zeitの北東側の湖成堆積物は、厚いところで層厚60 m程度、粗粒砂～中礫からなる。比湧出量は平均は0.4～1.1 L/sec/mである。</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 イグニブライト /Kone イグニブライト	Qi3/Qi2	<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質的な特徴を示す。</li> <li>Fentale火山の西と南側では、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>一方Fentale火山の東側、北東側（Awashタウンの背後）では同じ地層でも強風化し、節理部には粘土が挟在する。既存井戸も200 m掘削してもドライの箇所もあり、透水性は低いとされる箇所もある。</li> <li>Beseka湖周辺では、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</li> </ul>

地質年代	帯水層名	記号	水理地質的特徴
			<p>がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>全体としては、揚水流量の平均は、6 L/sec、比湧出量の平均は、3 L/sec/m程度の中程度の透水性を示す。</li> </ul>
	更新世玄武岩類	Qb1	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉛直、水平方向の節理を持つ。</li> <li>既存井戸データにおいて水位降下が小さく、比湧出量が7 L/sec/m以上の値を示す箇所もある。その他は揚水流量が1.4~1.6 L/secである。</li> <li>Beseka湖周辺での深度50 m~70 m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>
	Chefe Donsa 火砕堆積物	Qp1	<ul style="list-style-type: none"> <li>対比した“Unwelded Rhyolitic Pumice and Unwelded Tuffs (Qwpu)”は、流紋岩質軽石や粘土を挟在する非溶結凝灰岩からなる。</li> <li>粘土の部分が透水性を悪くしており、全体に透水性は高くない。</li> <li>揚水流量は1~5 L/sec程度であるが、比湧出量は平均4 L/sec/m程度を示す。</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、節理や断層が見られる。</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>既存井戸の比湧出量は、平均2.2 L/sec/mであり、中程度の透水性を示す。揚水流量は記録では平均6 L/sec以上である。</li> </ul>
第三紀鮮新世	Bofa 玄武岩類	Tb3	<ul style="list-style-type: none"> <li>露頭では柱状節理がよく発達しており、節理は2-3 cmの幅、間隔は1 m程度である。</li> <li>Bofa地域では、地下水位は100 m以深であるが、これは鉛直節理が深いため、雨水の大部分は浸透する。</li> <li>DebreZeitの8 km南東では、目視できる多量の地下水が約深度36 mで得られるとの記録もある。</li> <li>JICA井戸でこの層準に対比される層準があり、揚水流量は4.4~11 L/secで比湧出量は0.15~9 L/sec/mと幅が広い。</li> <li>この層は一般的に高い透水性を示すとされるが、中程度の箇所もある。</li> </ul>
	下部、上部 Nazret 火砕堆積物	Ti3/Ti2	<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6.7 L/secの揚水流量がある。</li> <li>Koka地域では、シルトやシルト質砂を伴う凝灰岩を含む火山砕屑岩類からなり、また節理や断層も発達する。揚水流量に関する情報はない。</li> <li>近接する温泉等では38~798 L/secの湧出がみられるとの記録もある。</li> <li>全体として平均揚水流量は15 L/sec、比湧出量は2 L/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>
	鮮新世流紋岩	Tr2	<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>
第三紀中新世	Anchar 玄武岩類	Tb2	<ul style="list-style-type: none"> <li>層相は凝灰岩が挟在する箇所もある玄武岩である。</li> <li>West Hararge地域では、6~8 L/secの揚水流量が認められ</li> </ul>

地質年代	帯水層名	記号	水理地質的特徴
			<p>ている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>凝灰岩が挟在しない地域（Cheroraの谷）では、透水性の高い箇所もあるが、全体としては凝灰岩が挟在しており透水性は中程度となる。亀裂等の存在では高い透水性を得る可能性も高く、平均の揚水流量は9 L/sec、平均比湧出量は3.8 L/sec/mである。</li> </ul>
	Alaji玄武岩	Tb1	<ul style="list-style-type: none"> <li>層相は上部に空隙があり、中部で流理状、基底部で固結した状態であるとの記載がある。</li> <li>断層等もあるが、透水性が低減する古土壌が挟在する箇所もあり、一部この境界部で2.7 L/secの水量を湧出する湧水も確認されているとの記録もある。</li> <li>このため全体とすれば中程度の透水性を有するが、亀裂等の存在では高い透水性を得ており、全体として平均揚水流量は16 L/sec、平均比湧出量は約6 L/sec/mであり、生産性は高いに分類される箇所が多い。</li> <li>Mojo北西の既存井戸では深度300 m～380 mの深度で37 L/sec～60L/secの揚水流量を確認している。</li> </ul>

出典：調査団、データ元：参考資料 ①、②、④

#### 4.2.2 帯水層ポテンシャルの評価

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

エチオピアにおける、地質区分から帯水層を区分している事例から、調査地での地質区分からは以下の表 4.2.2のような帯水層区分と生産性区分を行った。

表 4.2.2: 1:2,000,000 水理地質図(GSE)–帯水層区分と定義(一部削除及び改編)

No.	記述	対象となる地層	生産性からの区分	
1	良好な層状水の帯水層	沖積層、風化残留層、崩積土層、湖沼堆積物及び未固結堆積層(火山性堆積層含む)	A	高
			B	中
			C	低
3	良好な裂隙水の帯水層	火山岩：玄武岩、流紋岩、粗面岩、イグニンプライト	A	高
			B	中
			C	低
5	主要な地熱地域	熱水が産出する。破碎した火山岩、粗面岩及び未固結堆積層	生産性の区分なし	

出典：GSE, 1988（参考資料③の1）に和訳を一部加筆

調査地の地質層序を基に、各帯水層と地層を表 4.2.2の区分にあてはめた。また生産性に関しては、各帯水層に対応する地層での揚水試験からの揚水流量、比湧出量等の値を参考にして各区分に対応させた。揚水流量に関しては、全体の値を見た場合に、調査地においては以下の区分が可能である。

- A：高揚水流量 10 L/sec 以上
- B：中揚水流量 5 L/sec～10 L/sec 未満
- C：低揚水流量 5 L/sec 未満

また、水中ポンプの容量の選定にも関係する、比湧出量に関しては、調査においては、以下の範囲の区分が可能である。

- A：高比湧出量 4 L/sec/m 以上
- B：中比湧出量 2 L/sec/m～4 L/sec/m 未満
- C：低比湧出量 2 L/sec/m 未満

この2つの値を組み合わせて生産性の評価を行った。なお、透水量係数は、データ数も少ないため参考値として扱った。

以下の表 4.2.3は、JICA 井戸や既存井戸での帯水層区分と帯水層情報についてまとめたものである。

表 4.2.3: 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	Qa1 (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

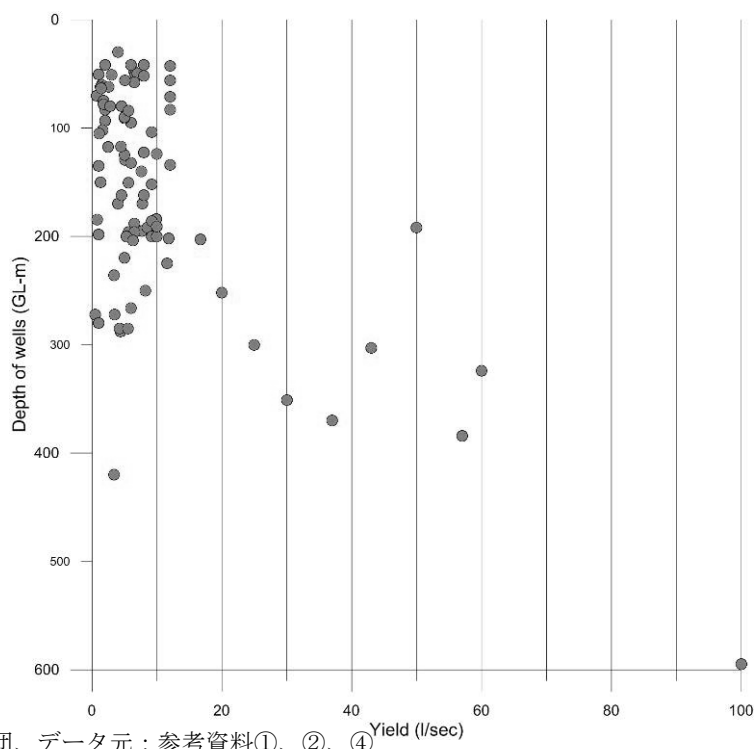
出典：調査団、データ元：参考資料①、②、④



調査地における地質層序に基づく各地層をエチオピア帯水層区分に対比し（表 4.2.2 参照）、また表 4.2.3 の帯水層情報を組み合わせて各地層の帯水層ポテンシャルを評価した結果を表 4.2.4 に示すが、水理地質図はこの評価をもとに作成した。

調査地での地域ごとの帯水層のポテンシャルの具体的な事例を挙げると概ね次のようである。

- 揚水流量と掘削深度の関係図を作成すると（図 4.2.1 参照）、大部分の井戸は 250 m ～300 m の深度までは、揚水流量が掘削深度にかかわらず 10 L/sec 以下の場合が多い（JICA 井戸も含む）。これは深く掘削しても被圧された地下水頭が深いため、ポンプの揚水能力に限界がある場合や、浅い掘削深度の不圧地下水の場合で汲み上げ揚水流量そのものに限界があることが考えられる。深度 300 m を超えると、第三紀鮮新世の溶結凝灰岩や、中新世の玄武岩からは 20 L/sec 以上の揚水流量の確保が可能になるが、これも被圧水頭が比較的浅いほうが揚水流量を多く得やすい。これらの地域は、Amhara 州の Arerti 周辺や Mojo 北西から Debre Zeyt にかけての地域である。



出典：調査団、データ元：参考資料①、②、④

図 4.2.1: 掘削深度と揚水流量の関係図

調査地の既存井戸で帯水層としての分布頻度が高い、玄武岩やイグニブライトと称される酸性火山岩類では、場所によっては地下水頭が深く、被圧の程度が弱い場合は地下水のポテンシャルも高くない。例えば Dera 周辺の小規模な地下水盆においては 400 m 以上深く掘削しても地下水位が 200 m 以深にあり、揚水流量は 3.4 L/sec であった。またアワシユ川に沿ったリフトバレーの低地部の JICA 井戸では、掘削深度 270 m まで掘削し、第三紀玄武岩であったが、地下水頭は深度 140 m 付近であり、揚水流量も 3.5 L/sec で比湧出量も低い値であった。一方 Mojo の北

西では、300 m 以上の掘削井戸で地下水頭は浅く、7~50 m の深度である。ここでは揚水流量が 40 L/sec 以上得られている（図 4.2.1参照）。

- リフトバレーの両端部では、構造運動の影響で階段状の構造を示し、断層により破碎帯や亀裂の多い玄武岩等が分布するが、割れ目系にうまく当たらないと高揚水流量は確保できない。本調査の掘削によりリフトバレー縁から流出域に向かう途中の箇所深度 250 m まで掘削し、第三紀玄武岩に到達していたが、断層運動による玄武岩の亀裂が少なかったことと地下水の賦存状況からみて失敗井であった。
- 一方同じリフトバレー南東縁に位置する West Hararge ゾーンは、比較的浅く第三紀中新世玄武岩が出現する地域であり、深度 150 m 程度の掘削で 5 L/sec 程度の揚水流量が得られるが、ここでも構造運動による断層等の存在が揚水流量確保にとっても重要である。
- 地下水の水量のポテンシャルが高い場合でも、水質が良好でなければ地下水利用は難しい。この章の水質の項でも述べるように調査地は中央部の小流域にフッ素濃度の高い地域が東北東-西南西方向に分布しており、とくに Beseka 湖や Koka 湖周辺では濃度 10 mg/L 以上の箇所も珍しくない。調査地においても一般的には掘削深度が深いほどフッ素濃度は低いとされているが、更新世以降の酸性火山岩類の分布地域では、Beseka 湖周辺等のように深度に関わらずフッ素濃度は基準値以上の値を示す。例えば JICA 井戸でも AWBH-2 と AWBH-6 は同じ小流域に位置し、掘削深度も 247 m から 250 m である。スクリーン位置も両孔とも Alaji 玄武岩類を対象に設置し、上部は止水しているが、フッ素濃度はそれぞれ、AWBH-2 で 5.73 mg/L、AWBH-6 で 2.50 mg/L であった。AWBH-2 は Fentale 火山の酸性火山岩類の影響を受けていることは十分考えられる。

表 4.2.4: 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 Birhan	Awash-Asebe Teferi	Lake Besaka (1:100,000)					
新生代	更新世	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	
	更新世	Fentale イグニンプライト	Fentale イグニンプライト	Fentale イグニンプライト	Fentale イグニンプライト	Fentale イグニンプライト (Qf3)	Fentale イグニンプライト (Qf3)	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 イグニンプライト		Asebot 溶結凝灰岩類	Kone イグニンプライト (Qf2)	Kone イグニンプライト (Qf2)	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	—	
				Zakwala トラカイト			Zakwala 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 イグニンプライト	Dino イグニンプライト	Dino イグニンプライト	Dino イグニンプライト	Dino イグニンプライト (Qf1)	Dino イグニンプライト (Qf1)	3	B	
		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	B
	Chilalo 粗面玄武岩類						Chilalo 粗面玄武岩類 (Tf)	3	B	
	Nazret 火砕堆積物		上部層		Nazret 火砕堆積物 上部層		古イグニンプライト (Tf)	上部Nazret 火砕堆積物 (Tf3)	3	A
			下部層		下部層	Adele 流紋岩質凝灰岩		下部Nazret 火砕堆積物 (Tf2)	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	
				Tarmaber-Megeze 玄武岩類	Anchar 玄武岩類		Anchar 玄武岩類 (Tb2)	3	B	
				Debre Birhan イグニンプライト			Debre Birhan イグニンプライト (Tf1)	3	C	
				Huse Ridge 流紋岩類		Huse Ridge 流紋岩類 (Tr1)	3	C		
	中新世	Alaji 玄武岩類		Kesem 玄武岩類	Alaji 玄武岩類		Alaji 玄武岩類 (Tb1)	3	A	

### 4.2.3 地下水涵養量と揚水流量

アワシュ川中流域は、13の小流域に区分され、それぞれの流域での年間平均降水量と流出率を求め、それにBFI（Base Flow Index）を乗じて基底流量（地下水涵養量）を求めた（表4.2.5参照）。各小流域の流域区分と年間平均地下水涵養量（m<sup>3</sup>/year）及び対象とした小都市と代表的な既存井戸地点を図4.2.2に示した。

表 4.2.5: 小流域ごとの地下水涵養量

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

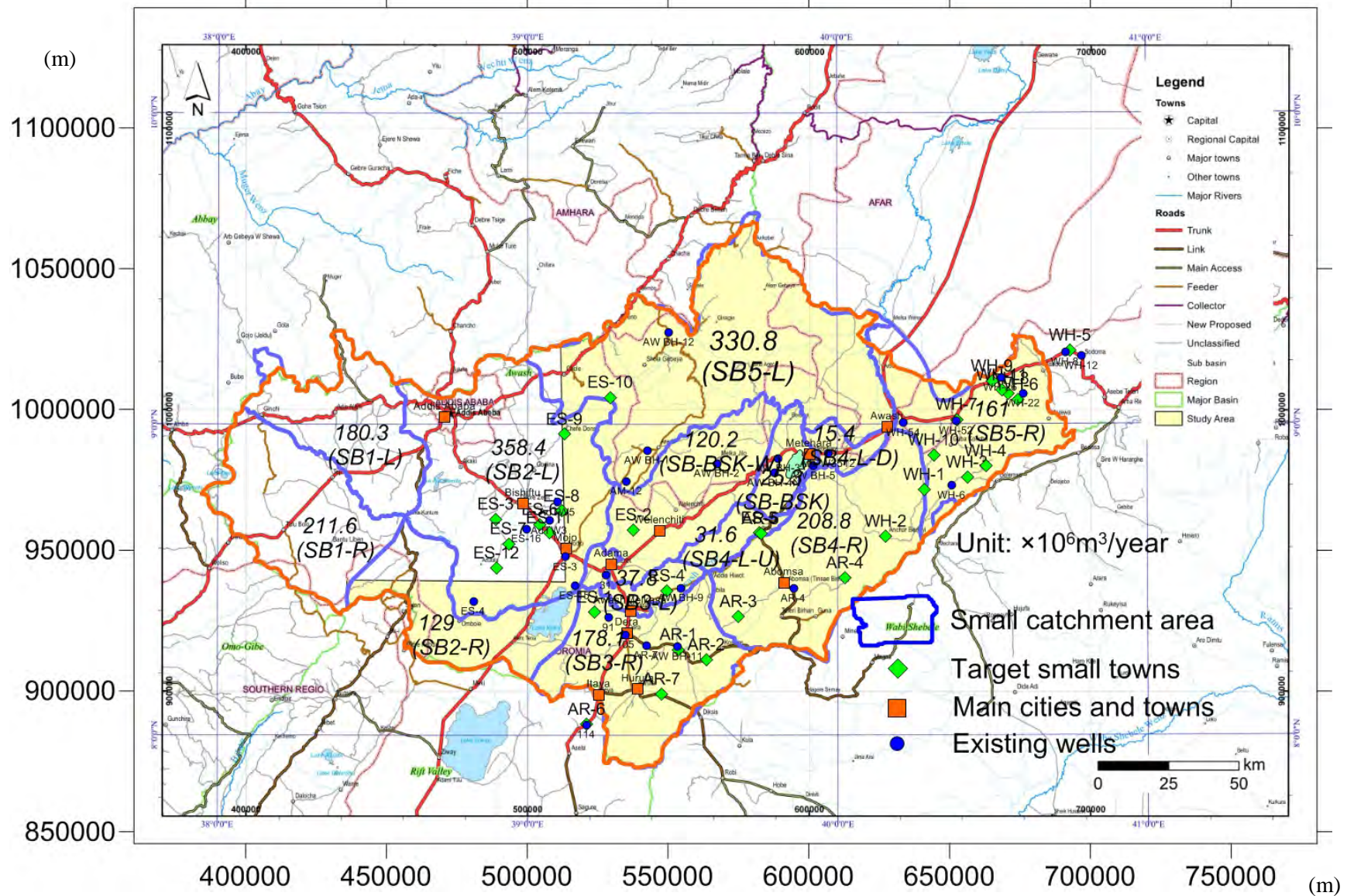
出典：調査団、データ元：参考資料 ④

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50L/人/日の給水原単位を想定した場合）を合計して地下水涵養量との比較を行った。主要都市は、アディスアベバ、Bishoftu（旧：Debre Zeyt）、Mojo、Adama（旧：Nazret）、Huruta、Itaya、Welenchiti、Dera、Awash Melkasa、Abomsa、Metehara及びAwashである。このうち、Adama、Metehara及びAwashは表流水を、またHuruta、Itaya、Welenchiti、Dera及びAwash Melkasaは湧水を使用しているため揚水流量の値からは除外している。

また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た。

地下水涵養量に対する揚水流量の比率は、表4.2.6に示したように、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る。小流域のうちSB2-Lは、図4.2.2からも判別されるように、アディスアベバ、Bishoftu及びMojoの中大都市を含んでおり、そこでの揚水流量と今回の対象都市の2035年の予測揚水流量を加算した値からは、地下水涵養量に対して揚水流量が35%以上を占める値となっている。またSB4-L-Dは、流域面積が狭く地下水涵養量が少ないが、対象の既存井戸の揚水流量が100L/secであり、50%近い揚水流量の比率となった。





出典：調査団、データ元：参考資料 ④

図 4.2.2: 小流域と地下水涵養量及びモデル既存井戸

表 4.2.6: 地下水涵養量に対する揚水流量の比率

小流域	中大都市の揚水流量 (2035年の予測値) (Y1) [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /year]	対象小都市の揚水流量 (2035年の予測値) (Y2) [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /year]	既存井戸の揚水流量 (2035年予測値) (Y3)10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /year]	揚水流量合計 [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /year] r (Y=Y1+Y2+Y3)	年間地下水涵養量 (GWR)	Y/GWR [%]
					[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /year]	
SB2-L	120.90	2.25	11.00	134.15	358.4	37.4
SB3-L	-	0.25	0.42	0.67	37.8	1.8
SB3-R	-	1.65	1.49	3.14	178.1	1.8
SB4-L-U	-	0.32	-	0.32	31.6	1.0
SB4-R	0.36	1.46	0.30	2.12	208.8	1.0
SB5-R	-	2.06	3.36	5.42	161.0	3.3
SB-BSK-W	0.59	0.14	0.49	1.22	120.2	1.0
SB5-L	-	-	1.59	1.59	330.8	0.5
SB-BSK	-	-	1.29	1.29	25.3	5.0
SB4-L-D	-	-	7.03	7.03	15.4	45.6

出典：調査団、データ元：参考資料 ④

### 4.3 水理地質図と地下水流動

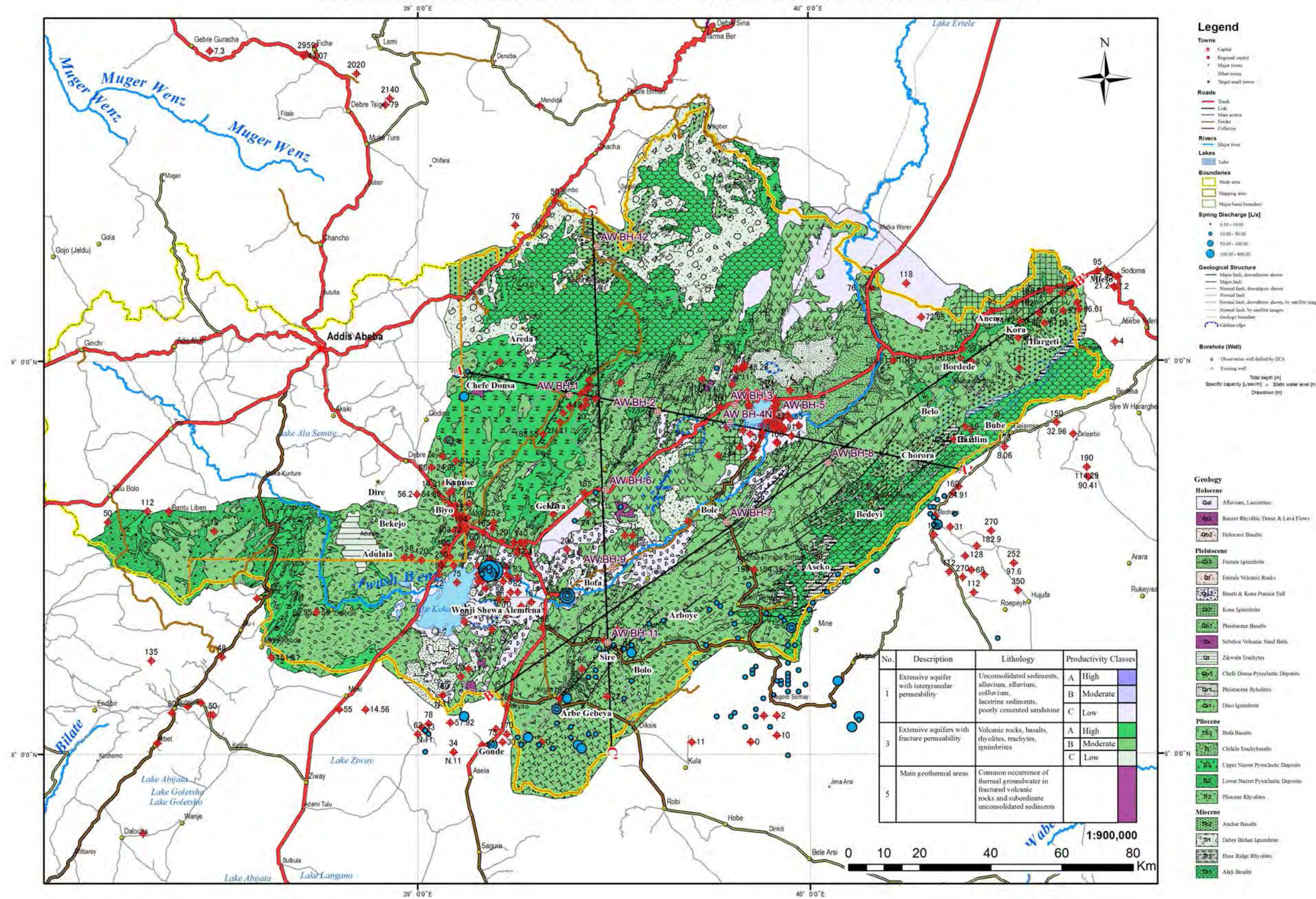
水理地質図は、地質と帯水層単元との関係及び帯水層情報に基づく生産性の評価をもとに作成されており、水理地質図によって、調査地内の帯水層の能力が判別でき、帯水層のポテンシャルが把握、評価できる。一方、小流域の地下水涵養量に対する今後想定される揚水流量の割合が少ないため、地下水利用量は、十分に確保できると思われる。

水理地質図と断面図をそれぞれ図 4.3.1と図 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ユ川に沿う北東-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。また、南側の Arsi ゾーンの Dera 周辺では、小規模な地下水位コンターの窪みがみられ、地下水の流れがそこに向かう。



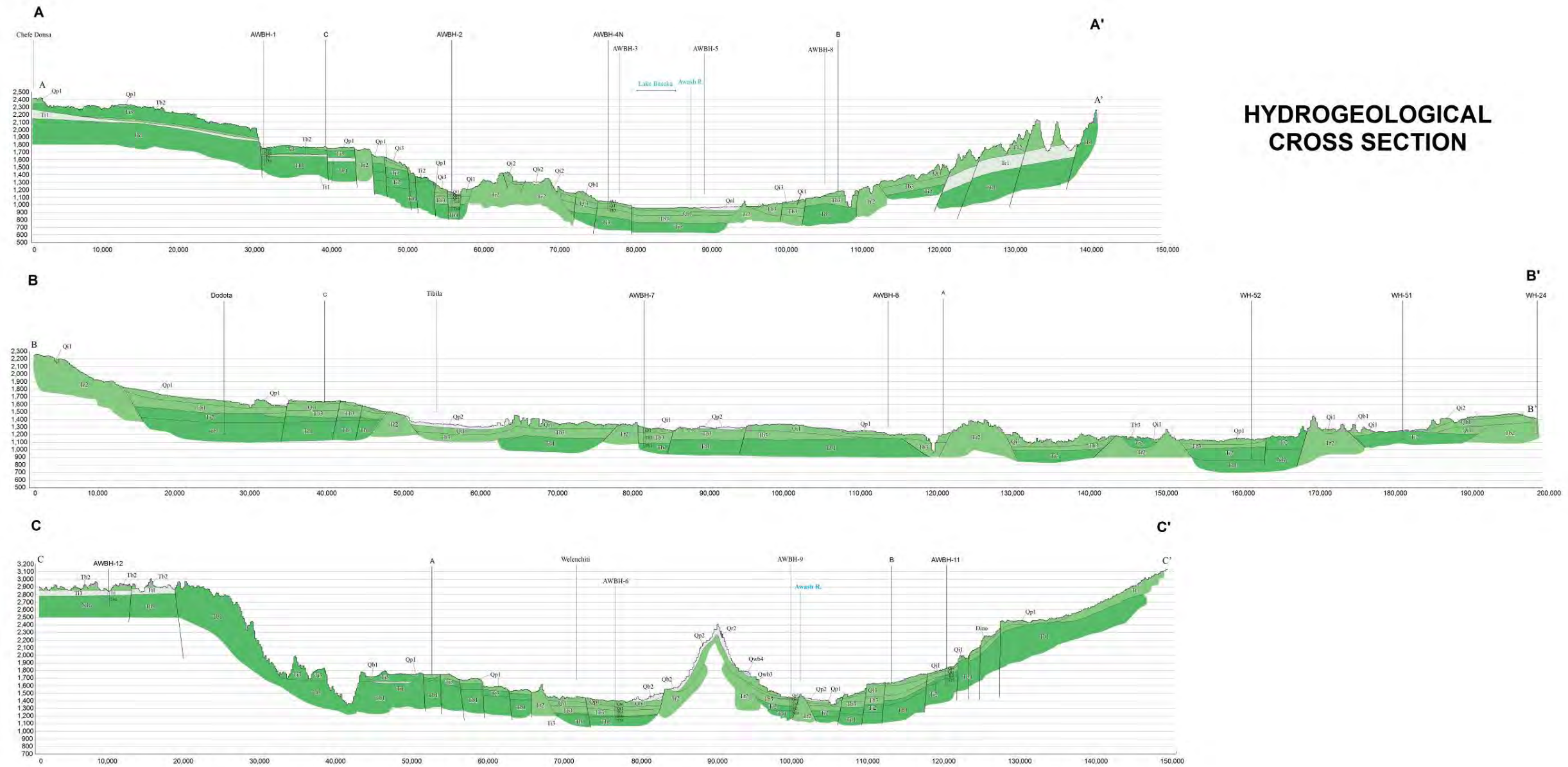
### HYDROGEOLOGICAL MAP OF THE MIDDLE AWASH RIVER BASIN



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, eluvium, 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			

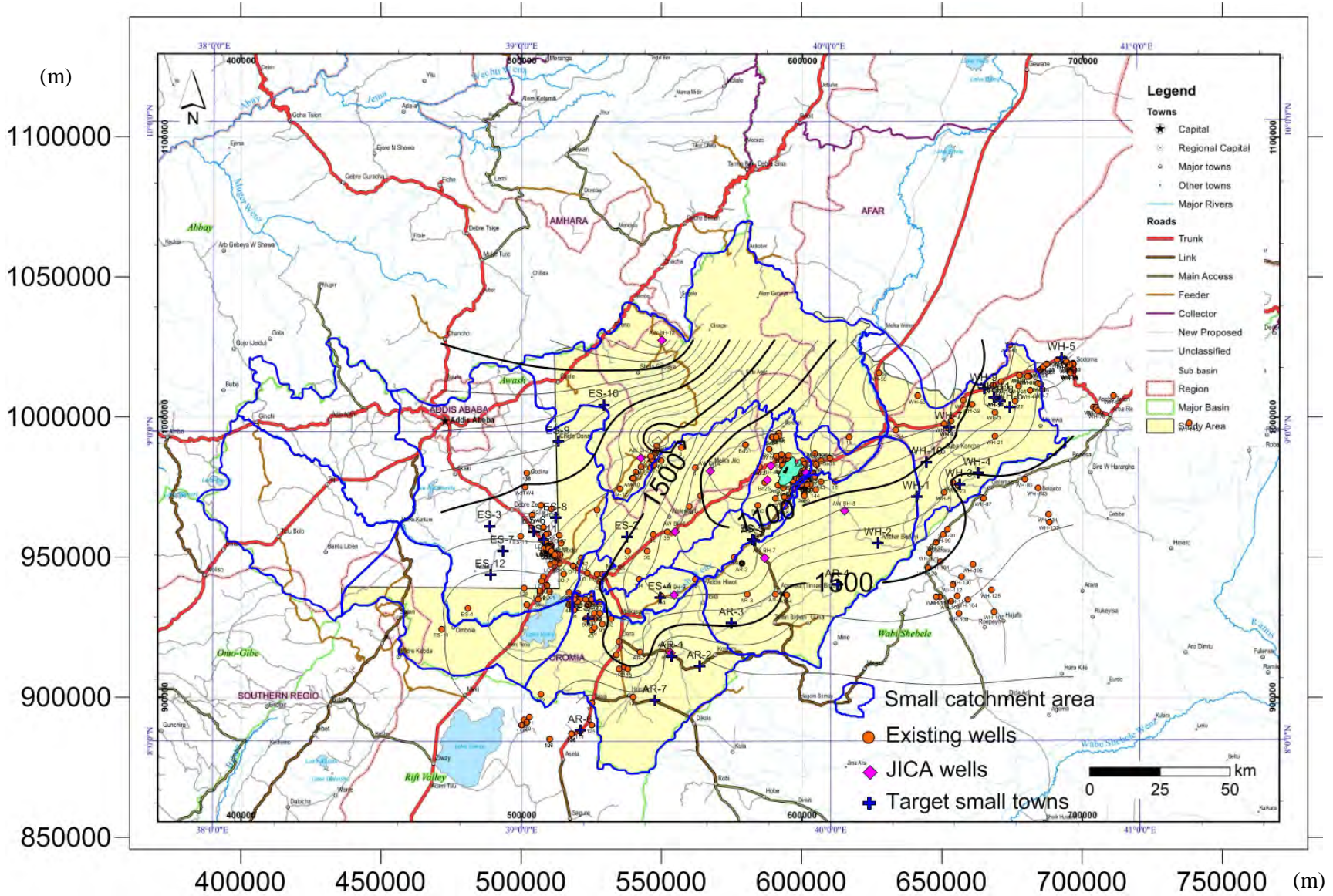
VERTICAL SCALE = 10 x HORIZONTAL SCALE

<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: アワシュ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

第1年次、第2年次において合計104サンプルを既存井戸（38地点）、湧泉（25点）、河川（21点）、湖水（7点）、JICA掘削井戸（9点）及びその他（4点）から採取した。水質分析（試料採水、分析）は、現地再委託（ローカルコンサル契約）により実施した（実施機関：AWE CONSULTANTS PLC.、分析機関：Water Works Design & Supervision Enterprise）。なお、Beseka湖周辺での解析に使用した水質に関しては3章のBeseka湖の解析の項で述べる。

全域のサンプル地点は図4.4.1に示す。

水質分析は、一般の水質分析と同位体分析を実施した。

#### a. 一般水質分析

一般の水質分析は、現場での測定と室内分析を実施した。

##### a.1 現場測定

現地では以下の12項目について簡易測定を実施した。測定結果の一覧表はデータブックに示す。

温度、電気伝導度（EC）、pH、酸化還元ポテンシャル（ORP）、Fe、Mn、F、NO<sub>3</sub>、As、NH<sub>4</sub>、大腸菌群、一般細菌

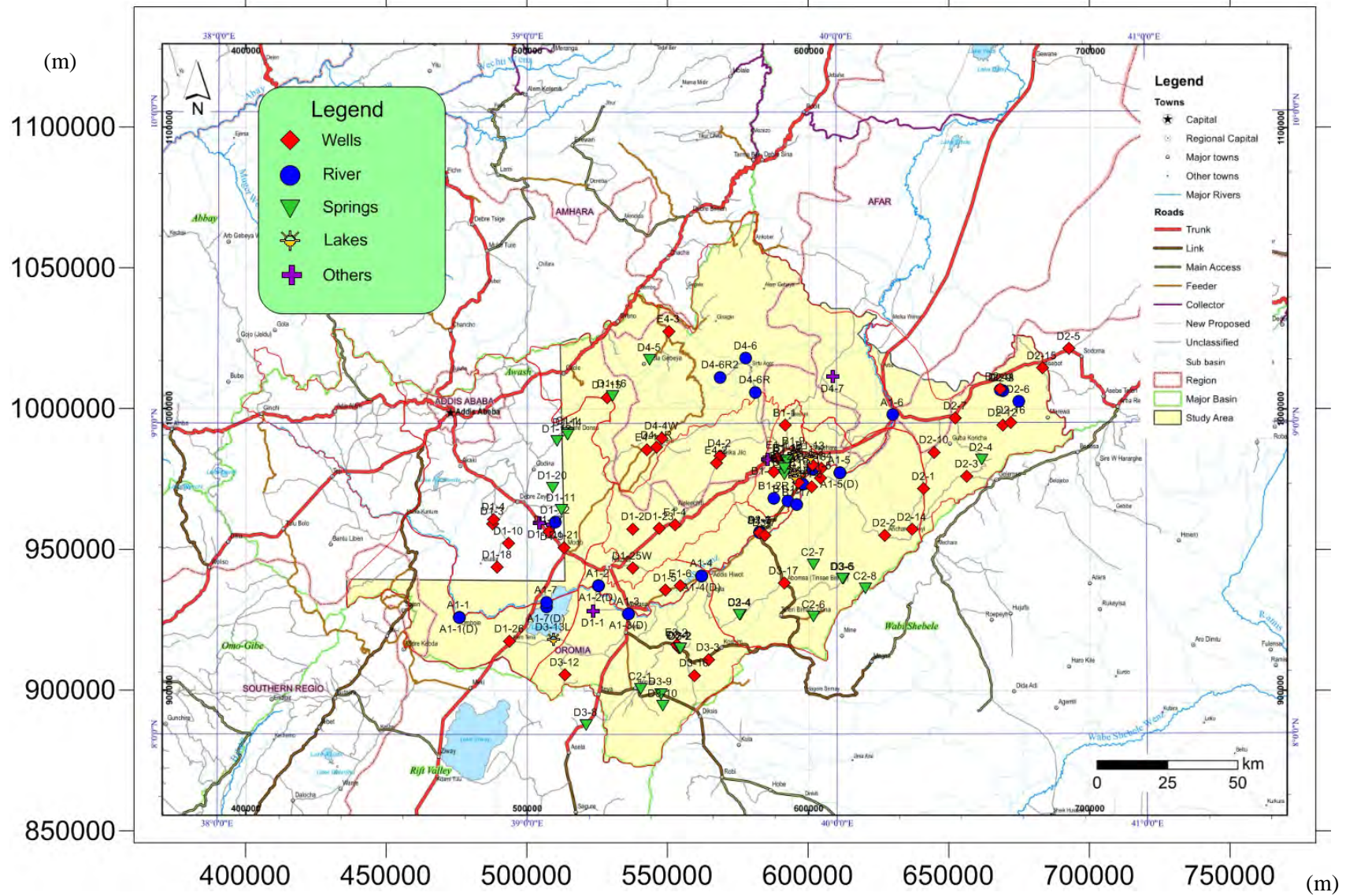
##### a.2 室内分析

室内分析は以下の22項目で実施した。

（味、臭い、濁度、全蒸発残留物（TDS）、懸濁物（SS）、pH、電気伝導度（EC）、全硬度（CaCO<sub>3</sub>）、カルシウム（Ca）、マグネシウム（Mg）、カリウム（K）、ナトリウム（Na）、鉄（Fe）、マンガン（Mn）、塩化物イオン（Cl）、硫酸イオン（SO<sub>4</sub>）、硝酸（NO<sub>3</sub>）、アルカリ度（CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>3-</sup>）、フッ素（F）、リン酸（PO<sub>4</sub>）、アンモニウム（NH<sub>3</sub>+NH<sub>4</sub>）

各項目のエチオピア飲用水質基準とWHOの飲料水ガイドライン値は新基準（エチオピア基準局で飲用水源の基準値, 2013）を採用する（表4.4.1参照）。





出典：調査団、データ元：参考資料④

図 4.4.1: 水質サンプリング位置図

表 4.4.1: エチオピア基準局及び WHO による水質基準

分析項目		エチオピア	WHO	方法	備考
		mg/L	mg/L		
大腸菌	Escherichia Coli	0	0	パックテスト	現地測定
一般細菌	Viable Bacteria	0	0	パックテスト	現地測定
砒素	Arsenic	0.01	0.01*	パックテスト	現地測定
フッ素	Fluoride	1.5	1.5*	ES ISO 10359-1	現地測定も実施
硝酸	Nitrate	50	50*	ES ISO 7890-3	現地測定も実施
色	Color	15	15	ES ISO 7887	
濁度	Turbidity	5	5	ES ISO 7027	
味	Taste	n.o	n.o	ES605	
臭気	Odor	n.o	n.o	ES605	
pH	pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	ES ISO 10523	現地測定も実施
総溶解性蒸発残留物	TDS	1000	600	ES 609	
全蒸発残留物	TS	-	-		
総硬度	Total Hardness	300	300	ES 607	
カルシウム	Calcium	75	-	ES ISO 7980	
マグネシウム	Magnesium	50	-	ES ISO 7980	
硫酸イオン	Sulfate	250	250	ES ISO 9280	
塩化物イオン	Chloride	250	250	ES ISO 9297	
鉄	Iron	0.3	0.3	ES ISO 6332	現地測定も実施
マンガン	Manganese	0.5	0.1	ES ISO 6333	現地測定も実施
アンモニア	Ammonium (NH3+NH4)	1.5	1.5	ES ISO 7150-2	現地測定も実施
全窒素	Total Nitrogen (Excluding NO3)	-	-		
亜硝酸	Nitrite	3	3*	ES ISO 6777	
アルミニウム	Aluminium	0.2	0.2	ES ISO 12020	
ナトリウム	Sodium	200	200	ES ISO 9964-1	
水温	Temperature	n.o.	-	-	
電気伝導度	Electrical Conductivity	-	-	-	現地測定も実施
カリウム	Potassium	1.5	-	ES ISO 9964-2	
重炭酸	Bicarbonate	-	-		

基準と方法は、Compulsory Ethiopian Standard: Drinking water-Specifications, 2013による  
WHOガイドラインのうち\*は健康ガイドライン値

## b. 同位体分析

同位体分析の主な項目は、重水素・酸素 18、ヘリウムガス、トリチウム及び炭素 14 である。同位体分析は、新規井戸（JICA 井戸）で実施した。同位体分析に関しては、国際原子力機関（International Atomic Energy Agency : IAEA）に委託して行った。すべての井戸掘削の採取が終了したあとに分析試料を IAEA に送付した。なお、第 2 年次に採取した Beseka 湖周辺の試料のうち、17 試料についてアディスアベバ大学（Addis Ababa University : AAU）で重水素・酸素 18 の同位体分析を実施した。その結果については第 3 章の Beseka 湖の解析に記述した。また JICA 井戸のうち、AWBH-2 と AWHB-6 については掘削の遅れで IAEA へのサンプル送付が遅延したため、同時に AAU で安定同位体分析を実施した。その結果も第 3 章に示す。

## c. 分析結果

すべての分析結果はデータブックに示す。分析結果を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。

フッ素の濃度に関しては、井戸を対象にした場合、以下のような分析結果である。



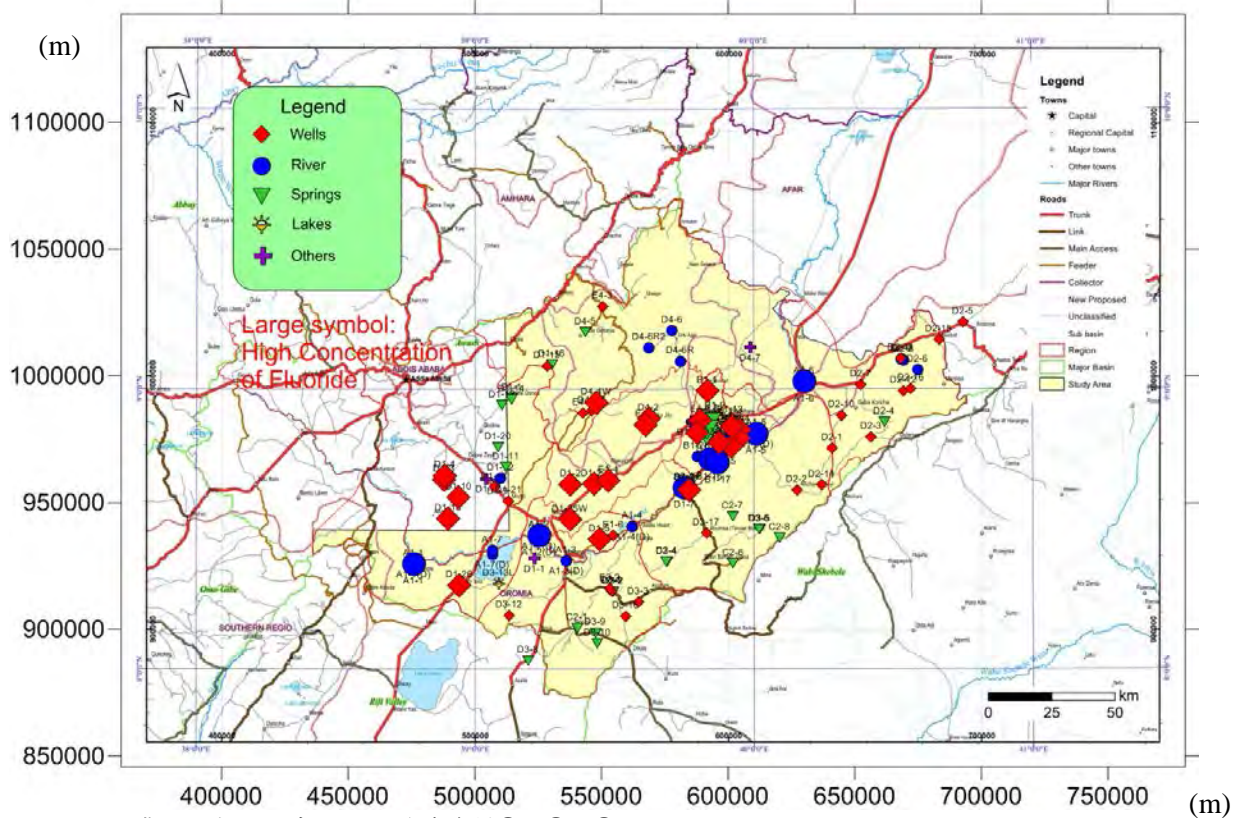
### 【フッ素濃度】

38 箇所の既存井戸と 9 ヶ所の JICA 井戸から地下水を採取した。19 箇所は今回概略給水計画立案のための対象とした小都市のうち管井戸を使用している箇所で、そのうち 14 箇所で井戸深度の情報が得られている。採取した地点のうち、フッ素濃度をみると新しいエチオピア基準の 1.5 mg/L（WHO ガイドラインと同じ）以上の井戸は JICA 井戸も含めて 20 箇所（対象小都市：7 箇所、うち 3.0 mg/L 以上の濃度：2 箇所、JICA 井戸：5 箇所、うち 3.0 mg/L 以上の濃度：3 箇所）に及ぶ。アワシュ中流域では、ほぼ地溝帯中央の低地部に東北東-西南西方向に高濃度の箇所が並ぶ。Adama 周辺を中心として Koka 湖周辺も含む約 50 km の同心円状内にある既存井戸のフッ素濃度は高い濃度で 3~4 mg/L であり、他は 3 mg/L 未満であるが、ともにエチオピア基準を超えている。井戸深度は 48 m~180 m であり、沖積層の分布する地域では、深度は 50 m を下回っている。Beseka 湖周辺や北西側の Melka Jilo 付近では井戸のみならず、湧泉、湖水で非常に高いフッ素濃度が集中しており、湖水は最大で 23 mg/L を越える。アワシュ川沿いもエチオピア基準を超える値を示すが、とくに Beseka 湖より下流の地点で 3 mg/L 以上の値を示す。前述のように井戸の深度は大部分が 60 m を下回る。

一方 West Hararge 周辺での既存井戸、湧泉のフッ素濃度はほとんど 0.5 mg/L 以下の値を示す。採取した既存井戸の深度は 78 m~130 m で、一部 50 m 以浅のものもある。また調査地南側と北側のリフトバレー縁でも同様にフッ素の濃度は井戸、湧泉ともに 1 mg/L 以下で WHO 基準を超えていない。今回の採水したすべての種別のエチオピア基準の 1.5 mg/L のフッ素濃度を超える地点を図 4.4.2 に示す。また、井戸情報（既存+本調査での採水井戸）のみのフッ素濃度分布図を図 4.4.3 に示す。

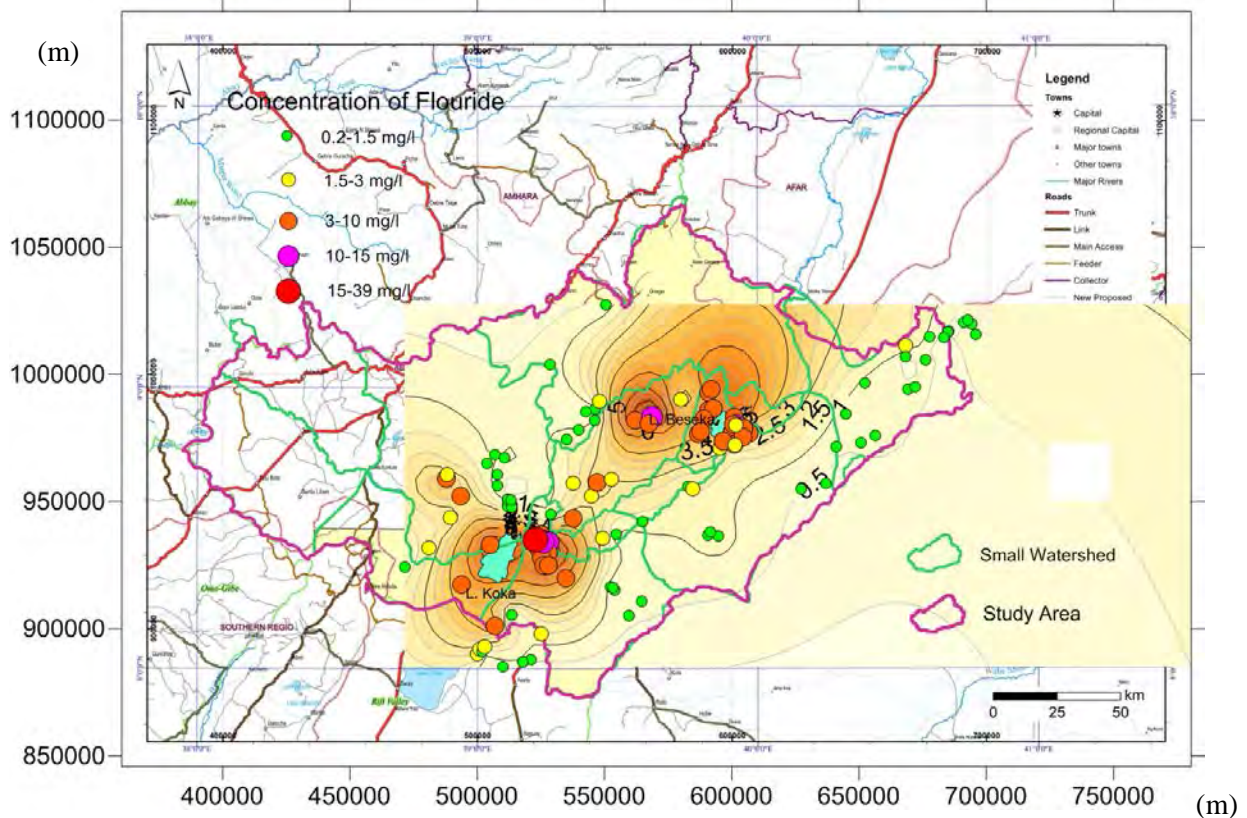
地質的に見れば、中新世の玄武岩や鮮新世と更新世の間の玄武岩では、フッ素の濃度は WHO 基準を下回る（調査地のリフト北、南側縁）。一方鮮新世と更新世の境界付近の溶結凝灰岩の分布する地域や更新世以降の新しい酸性火山岩類の分布する箇所ではフッ素濃度も高い箇所が多く見られる（地溝帯低地部、Beseka 湖、Koka 湖周辺）。このことは掘削深度とフッ素濃度の関係図からもほぼ想定される（図 4.4.4 参照）。例えば Beseka 湖周辺では 100 m 以浅の孔では、フッ素濃度が高いが、深度が深くなってもエチオピア基準以下にはなっていない（Metehara 東の深度 595 m 井戸でもフッ素濃度は 5 mg/L 以上である(WWDSE, 2014)）。また Beseka 湖の西から南西にかけての小流域での AWBH-2 や AWBH-6 の水質は深度が 250 m でもフッ素濃度はエチオピア基準以上である。これらの小流域や Beseka 湖周辺は Fentale 火山の影響を受けてフッ素濃度が高いと思われる。一方 West Hararge 周辺の井戸は深度にかかわらず全体にフッ素の濃度はエチオピア基準以下である。

とはいえ、地質による影響はみられるが、図 4.4.4 からは全体としてはほぼ深度が深くなるとフッ素濃度が低下する傾向にある。



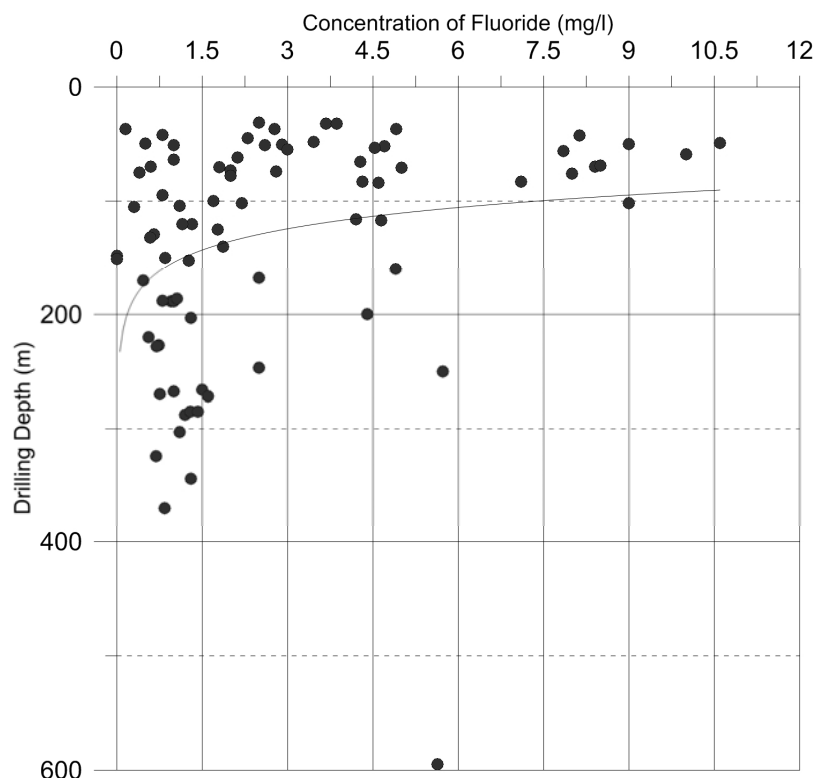
出典：調査団、データ元：参考資料①、②、④

図 4.4.2: フッ素濃度の基準値以上の地点図(水源タイプ別)



出典：調査団、データ元：参考資料①、②、④

図 4.4.3: 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 4.4.4: 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

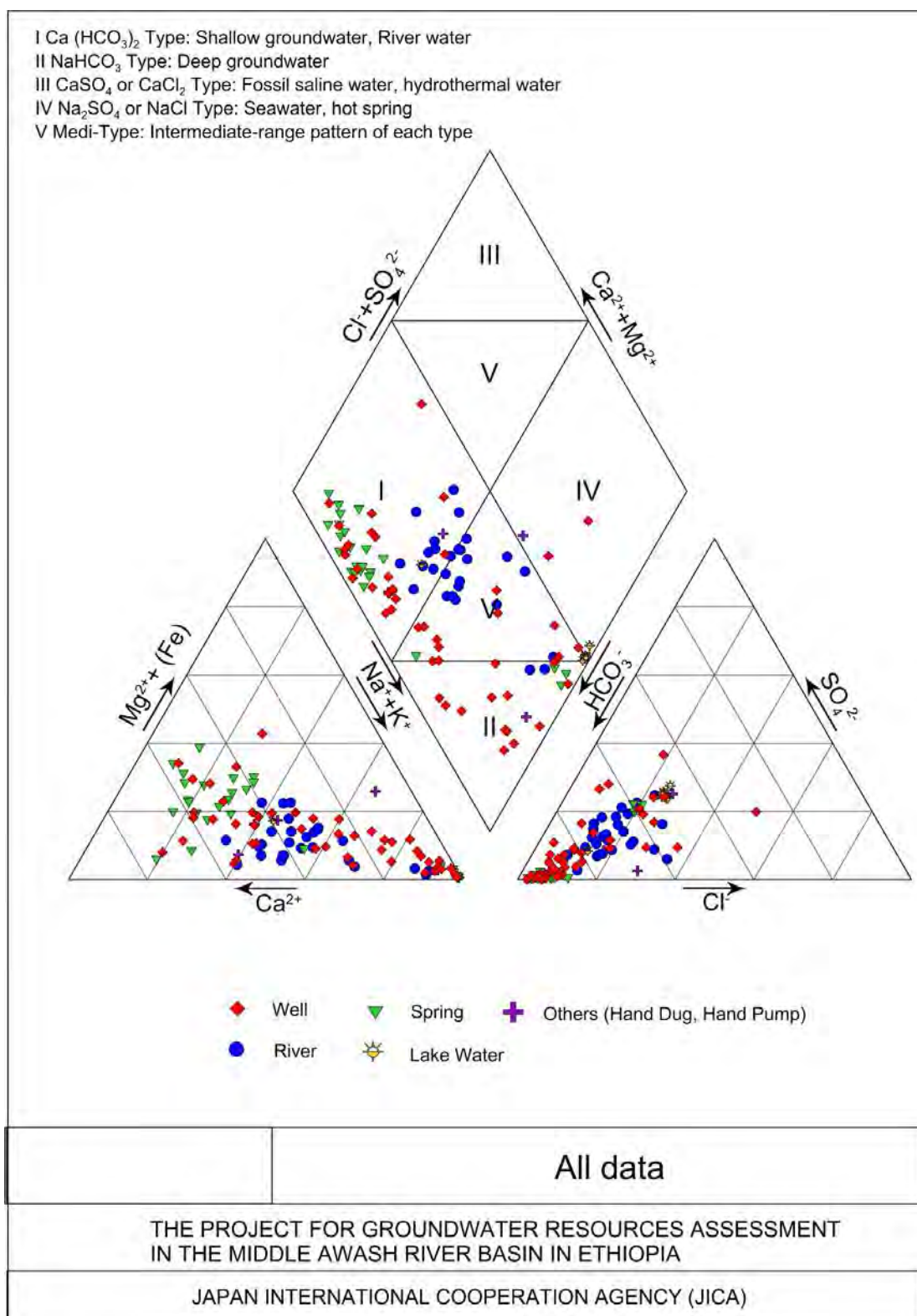
水質のタイプから、その特徴を把握し評価するために、すべてのサンプルについて、トリリニアードиаグラムとヘキサダイアグラムに表わし考察した。

##### a. トリリニアードиаグラムの特徴と考察

トリリニアードиаグラムは、測定した濃度で表示をするのではなく、主要陽イオン、陰イオンの各総当量に対する成分パーセントを表示する。多量のデータをひとつに表わせるが、濃度の情報は乏しい。キーダイアグラムで表わす水の分類は大まかには以下のように区分される。

- I  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  型 (Carbonate hardness) : 浅層地下水、河川水の大半がこのパターンに該当する。停滞しない状態にある。
- II  $\text{NaHCO}_3$  型 (Carbonate alkali) : 停滞的な環境にある比較的深層の地下水が対応。
- III  $\text{CaSO}_4 \text{ CaCl}_2$  型 (Noncarbonate hardness) : 温泉水・鉱泉水、化石塩水等が該当。
- IV  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ NaCl}$  型 (Noncarbonate alkali) : 海水、海水成分が混入した地下水、温泉水等が該当。
- V 中間領域型 : 各タイプの中間的なパターン

解析した各採水種別の全地点の結果をトリリニアードиаグラムにまとめた。



出典：調査団、データ元：参考資料④

図 4.4.5: トリリニアードイアグラム(全データ)



図 4.4.5から想定できる結果は次のようである。

- Beseka 湖近くでの河川水のサンプルは、Koka 湖へ流入する位置での Mojo 川の性状と同じように浅層と深層地下水の中間的な位置にプロットされる。その他の Koka 湖下流から Beseka 湖上流に位置するアワシユ川のサンプルは浅層地下水や河川水の一般的な性状を示す。また Beseka 湖を通過したアワシユ川の下流域では、深層地下水の停滞タイプのパターンに位置しており、Beseka 湖からのアワシユ川に流入する水質の影響を受けていることが想定される。
- 既存井戸は 1 箇所を除いて浅層地下水、停滞タイプの深層地下水およびそれらの中間領域のパターンに入り全体にばらついている。2 箇所はIVタイプに位置している。深層停滞タイプの地下水は Beseka 湖東側の井戸や JICA で掘削した井戸にみられるほか、Koka 湖周辺のリフトバレーフロアーに位置する。そこでのサンプリングした既存井戸の深度は 100 m～200 m である。浅層地下水タイプのサンプル地点は、概ね北東－南西に延びるリフトバレー縁に分布する。
- 湧泉の大部分は浅層地下水タイプに属するが、Beseka 湖に流入する湧泉は、4 箇所とも深層地下水で滞留するタイプに位置しており、Beseka 湖に流入する地下水の性質を表わしていると思われる。
- 湖水は Koka 湖と Beseka 湖の水質の違いが顕著に現われている。Koka 湖水は浅層地下水を示すパターンに属し、Beseka 湖水は海水成分の混在するような水と深層地下水で滞留するタイプの水の中間的な位置に属している。Beseka 湖に流入する湧泉の属するパターンとも類似した結果となった。
- トリリニアードиаグラムからは、Beseka 湖水は、水質の傾向としては、 $\text{NaHCO}_3$  型や  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{NaCl}$  型に属し、Beseka 湖の西側からの湧泉の影響を受けていると想定される。

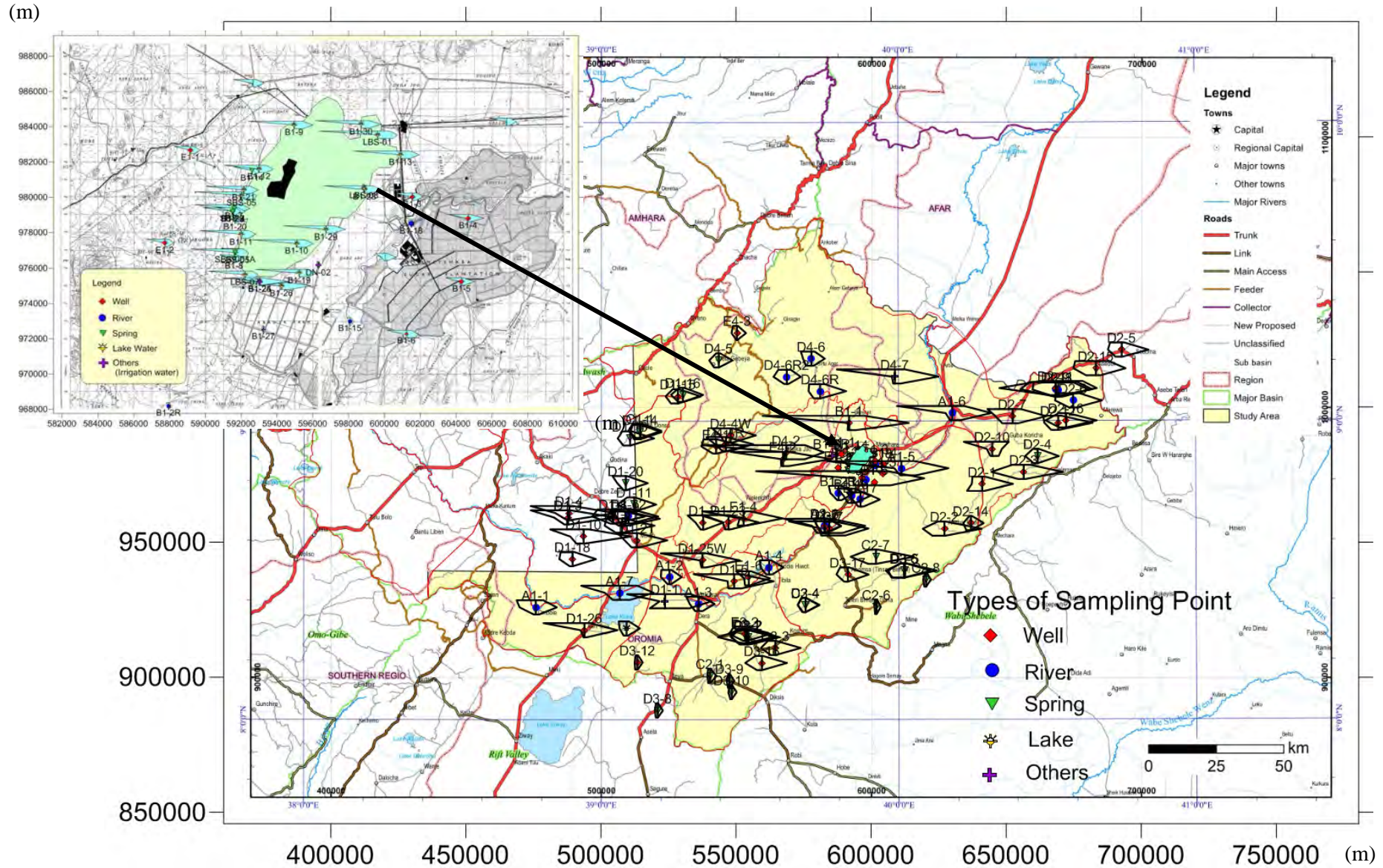
#### b. ヘキサダイアグラムの特徴と考察

ヘキサダイアグラムは、濃度や総塩分量情報を含み、形状から直視的にみて水質を把握することができる。水質の各パターンが視覚的にみることができるとの利点である。

ヘキサダイアグラムの井戸や河川等の水源別の特徴は、トリリニアードиаグラムの結果と調和的であり、ダイアグラムの形状から濃度等の違いもよく判別できる。サンプリングした全水源のヘキサダイアグラムの結果を調査地にプロットすると図 4.4.6のようである。また個々のヘキサダイアグラムの結果は水源ごとにデータブックに添付した。ヘキサダイアグラムから読み取れる、主な特徴は以下の通りである。

- 河川水は Koka 湖に流入する箇所と Beseka 湖を通過したアワシユ川下流の採取地点が全体の濃度が高い。とくに後者は  $\text{NaHCO}_3$  タイプを示し、深層停滞タイプの地下水の影響を受けていると思われる。
- 既存井戸は形状からは、浅層地下水から中間領域および深層で停滞タイプの地下水の形状が判定できる。Koka 湖周辺の数点は、 $\text{NaHCO}_3$  タイプを示す。また Beseka 湖周辺では濃度も高く、形状は  $\text{NaHCO}_3$  タイプに近い（ $\text{CaHCO}_3$  タイプではない）。West Hararge では一点  $\text{NaCl}$  タイプに対比できる形状の箇所が見られる。

- 湧泉は大部分が濃度の違いがあるが、形状から  $\text{CaHCO}_3$  タイプに属している。Beseka 湖の 2 箇所は濃度も高く、形状からも  $\text{NaHCO}_3$  タイプであり、深層停滞型のパターンに属する。
- 湖水は Koka 湖と Beseka 湖のタイプは異なり濃度も大きく違う結果となった。湖の成因を反映した結果となっている。Beseka 湖の水質パターンは海水成分を混入した、深層停滞型のタイプにも近いものとなっており、全体の濃度も非常に高い。
- 図 4.4.6からは、Beseka 湖の西側と Beseka 湖周辺及び東側では、あきらかに水質のタイプや濃度が異なってくることが読み取れる。ただしタイプに関しては、アワシユ川中流域の周辺部（リフト周縁部）は  $\text{CaHCO}_3$  タイプの湧泉や既存井戸が多く、低地部は、 $\text{NaHCO}_3$  タイプの井戸、河川等が多い。



出典：調査団、データ元：参考資料④

図 4.4.6: ヘキサダイアグラム(全水源)(Beseka 湖周辺は左上図面で表示)

## 4.5 まとめ

地下水ポテンシャルに関するまとめは以下の通りである。

- 帯水層の分類と特徴は、地質踏査結果に基づく地質層序と地質層相の記載を基本としてまとめられた。主な帯水層は、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である。
- エチオピア国における帯水層区分と定義を参考に、アワシュ川中流域の帯水層区分及び帯水層情報を整理し、生産性の予測を A~C にまとめた。地質層序は 22 種の地質に区分しており、それぞれの帯水層区分と生産性の予測を行った結果は、水理地質図に反映している。
- 地下水涵養量に対する今後利用される想定揚水流量（2035 年）の比率は、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に可能であると思われる。小流域のうち、大都市を含む地域及び地下水涵養量の小さい地域では、35%~45% 程度の比率となる。
- 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、これらの表層における分布は、調査地北西側と南東側のリフトバレーリッジ付近にみられる。地下地質ではリフトバレーフロア一部で確認される。いずれも割れ目や亀裂の発達した層相である。
- 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。
- 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 湖周辺とアワシュ中流域の低地部の東北東-西南西方向）。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、上述の地質との関係も参考にする必要がある。
- 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 595 m）
  
- 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

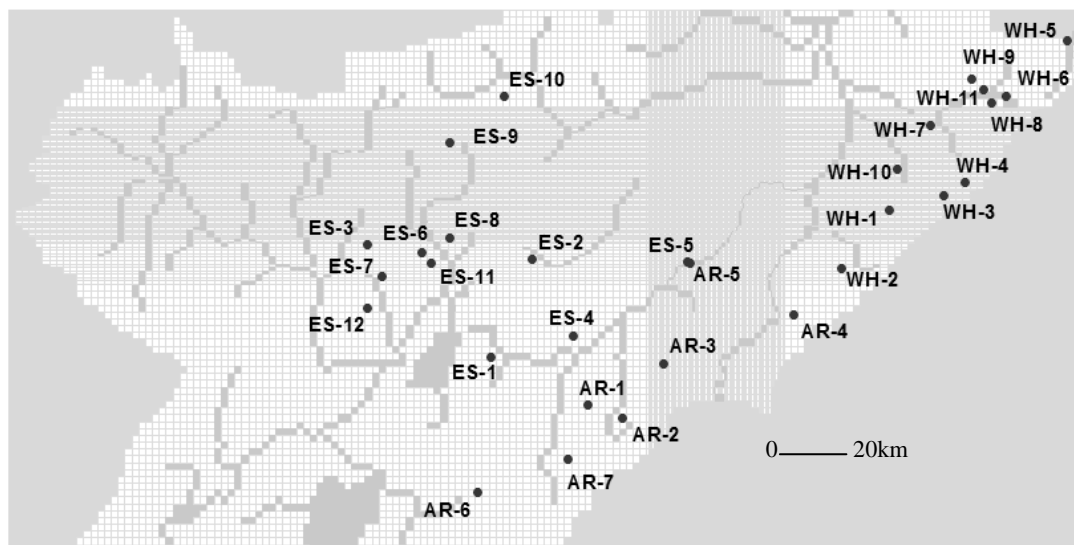
### 5.1 はじめに

地下水モデルは本件で計画された給水計画の実施可能性を検討する基礎資料として作成されたものである。調査地域では地下水モデルが調査地域の地下水環境にできるだけ合致するように利用可能な地下水関連パラメーター及び観測データを取り込みモデルのパラメーター及びパッケージを設定した。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（サポーティングレポート参照）。本章ではその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。

### 5.2 新規井戸の計画

将来予測計算は、30箇所の対象小都市について実施した。30小都市のうち、11箇所は、他プロジェクトが行われることや水質のうちフッ素濃度がエチオピアの旧基準値（3.0 mg/L）を越える等の理由で給水計画立案の段階から除外されている。ただし水需要量からの必要揚水流量と地下水降下量の関係を見るためにも、今回の将来予測の箇所に含めた。各小都市は、今後の新規井戸の建設によって必要な水需要量の確保が必要である。

新規井戸を予定する30箇所の対象小都市の位置図は図 5.2.1 に示した。



出典：調査団、データ元：担当団員による算出

図 5.2.1: 対象とした小都市(井戸)の位置図

モデル内での図 5.2.1の小都市の番号、座標、対応する行列番号と井戸の深さ及び対応する層区分（地下水モデルのレイヤーの設定を5層に区分しており、各井戸の予定深度が到達する層を表示した）は表 5.2.1に示す。

表 5.2.1: モデル内の井戸情報

番号	Easting	Northing	Row	Col	深度(m)	層区分
AR-1	553,789	914,629	124	85	250	2
AR-2	563,663	911,085	126	90	250	2
AR-3	575,105	926,450	118	104	250	3
AR-4	612,898	940,113	111	175	250	2
AR-5	582,942	955,787	100	119	250	3
AR-6	521,176	888,123	137	69	150	3
AR-7	547,813	898,826	132	82	250	3
ES-1	523,983	927,885	117	71	200	3
ES-2	537,805	957,201	99	77	200	3
ES-3	488,864	961,034	95	53	250	3
ES-4	549,706	935,610	114	83	250	3
ES-5	582,430	956,118	100	118	250	3
ES-6	504,593	959,074	97	61	300	3
ES-7	493,382	952,238	104	55	200	3
ES-8	512,241	963,884	91	65	350	3
ES-9	513,210	991,145	36	65	200	3
ES-10	529,573	1,004,272	13	73	250	3
ES-11	507,829	956,072	100	62	300	3
ES-12	489,099	943,666	110	53	200	3
WH-1	641,097	971,517	75	189	150	3
WH-2	627,376	954,910	102	182	250	3
WH-3	656,277	975,905	67	197	150	3
WH-4	662,813	979,936	59	200	200	3
WH-5	692,799	1,021,080	5	215	150	2
WH-6	674,221	1,003,489	13	206	250	3
WH-7	652,603	996,461	26	195	250	3
WH-8	670,893	1,005,689	14	204	200	3
WH-9	665,114	1,010,056	10	201	300	3
WH-10	644,399	983,865	51	190	200	3
WH-11	668,599	1,006,889	12	203	200	3

出典：調査団、データ元：担当団員による算出

### 5.3 将来予測シナリオ案の設定

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2020年から初めて、解析終了年は2035年とした。2020年は対象都市の目標年であり、この時点から水需要量（揚水流量）が増加することになる。その後は5カ年ごとの国家計画のスパンと給水ポンプ等の減価償却をほぼ10年間であるが、さらに5年間を考慮し2020年+10年+5年として2035年までの予測を行う設定とした。給水人口増加に基づいた給水量設定には不確定因子があるので、一つだけではなく、複数の給水計画案が考慮する必要があるため、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  $m^3/day$ ））。

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)

3種類設定されたシナリオにおいては、シナリオ1の水需要量は、2019年から2020年に1.22倍増加している。シナリオ2の水需要量は同じく1.47倍、シナリオ3は同様に1.8倍増加した。

なお、シナリオ3の変動は都市と村落の区分に従って給水原単位は都市部のみ変化させ（40 L/人/日→50 L/人/日）、村落区分の給水原単位は、25 L/人/日で変化させていない。

シナリオ1の2019年時点、2020年時点及び2035年時点の水需要量（揚水流量）の結果を表5.3.1に示した。

表 5.3.1: シナリオ1の各小都市における揚水流量変化(m<sup>3</sup>/day)

番号	小都市名	都市・村落区分	2019年	2020年	2035年
AR-1	Sire	都市	549.2	671.4	1,226.7
AR-2	Bolo	都市	78.2	95.5	174.5
AR-3	Arboye	都市	375.1	458.5	837.8
AR-4	Aseko	都市	263.7	322.3	588.7
AR-5	Golegota	都市	361.0	441.1	806.2
AR-6	Gonde	都市	169.0	206.6	377.6
AR-7	Arbe Gebeya	都市	137.8	168.4	307.6
ES-1	Wonji Shewa Alemtena	都市	425.7	520.5	950.8
ES-2	Geldiya	都市	111.0	135.7	248.0
ES-3	Dire	都市	330.5	404.0	738.2
ES-4	Bofa	都市	204.0	249.3	455.5
ES-5	Bole	都市	263.3	321.8	588.2
ES-6	Ude Dhankaka	都市	281.6	344.3	628.9
ES-7	Bekejo	村落	200.8	228.3	335.5
ES-8	Kamise	都市	234.1	286.2	523.0
ES-9	Chefe Donsa	都市	420.8	514.5	940.0
ES-10	Areda	都市	134.5	164.3	300.1
ES-11	Biyo	都市	133.6	163.1	298.3
ES-12	Adulala	都市	194.4	237.7	434.3
WH-1	Chorora	村落	86.0	97.7	143.7
WH-2	Bedeyi	都市	149.1	182.3	333.0
WH-3	Hardim	都市	291.7	356.6	651.5
WH-4	Bube	村落	189.8	215.7	317.1
WH-5	Mieso	都市	870.3	1,064.1	1,944.3
WH-6	Hargeti	村落	101.3	115.2	169.4
WH-7	Bordede	都市	143.9	175.9	321.5
WH-8	Kenteri	村落	53.8	61.0	89.7
WH-9	Aneno	村落	85.3	97.1	142.6
WH-10	Belo	村落	139.0	158.2	232.3
WH-11	Kora	村落	72.5	82.5	121.3

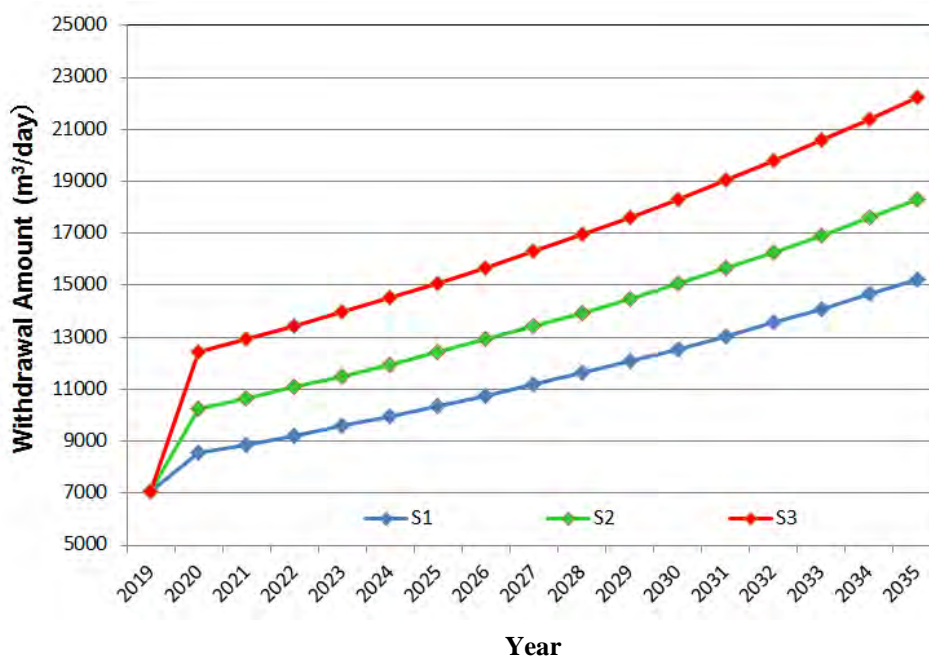
出典：調査団、データ元：担当団員による算出

また、シナリオ1～3の合計値の経年変化を2019年（基本年）～2035年まで表5.3.2に示し、また変遷図を図5.3.1に示す。

表 5.3.2: シナリオごとの想定揚水流量の経年変化(m<sup>3</sup>/day)

年	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3
2019	7051.0	7051.0	7051.0
2020	8,539.8	10,251.6	12,422.5
2021	8,874.3	10,653.4	12,912.8
2022	9,221.9	11,070.8	13,423.5
2023	9,583.2	11,504.4	13,953.8
2024	9,959.0	11,955.7	14,504.8
2025	10,350.0	12,425.2	15,078.4
2026	10,755.9	12,912.4	15,674.4
2027	11,178.5	13,419.4	16,295.5
2028	11,617.5	13,946.4	16,940.8
2029	12,074.6	14,495.6	17,612.4
2030	12,550.1	15,066.1	18,310.3
2031	13,044.4	15,659.5	19,037.3
2032	13,558.3	16,276.7	19,791.6
2033	14,091.8	16,916.8	20,576.1
2034	14,647.9	17,584.4	21,394.9
2035	15,226.3	18,279.2	22,244.7

出典：調査団、データ元：担当団員による算出



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 5.3.1: シナリオによる揚水流量の変化

## 5.4 非定常流解析での計算

### 5.4.1 パラメーター

貯留係数と比浸出量に関しては一般値（仮定値）として以下のように設定した。

Storage Coefficient：一律 0.0001

Specific Yield：一律 0.15

### 5.4.2 ピリオド設定

1年に2 periods（乾期（11月～3月）と雨期（4月～10月））のように非定常流計算のピリオド設定をした。2020年から2035年の16年間では合計ピリオド数は

全体 Periods = 32 Periods

それ以上、各ピリオド内の水位変動量をより詳細に把握するために、月単位でタイム・ステップを設定した。予測年数15年間では合計ステップ数は

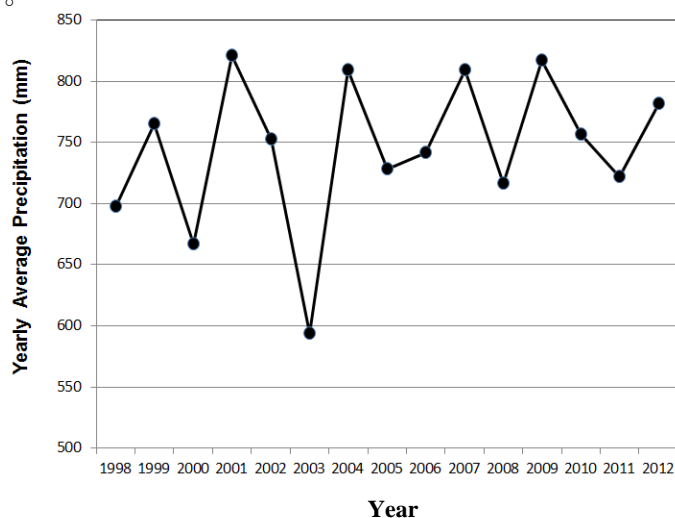
全体 Steps = 15 × 2 = 30 Steps

常識的に、乾期と雨期の給水量が一樣ではなく、雨期より乾期給水需要量が多くなる。従って、年間平均として設定された日単位給水計画は乾雨期の季節変動によって分けられ、雨期の7ヶ月間(4月～10月の7ヶ月間)の日単位揚水流量は年平均揚水流量の9割にし、乾期(11月～3月の5ヶ月間)の日単位揚水流量と年間平均揚水流量との関係は次の式で算出した。

$$\text{乾期での揚水流量} / \text{年平均揚水流量} = (12 - 0.9 \times 7) / 5 = 1.14$$

### 5.4.3 降水量の設定

降水量の設定は1998年から2012年までモデル地域をカーバしている13箇所の降雨観測所から得られた結果を利用して実施した。図5.4.1はそれら結果の年平均値を示している。



出典：調査団、データ元：担当団員による算出

図 5.4.1: 年平均降水量

降水量の設定は次の手順で実施した。まずは、各観測所から得られた降水量の値を地下水涵養量推定結果（各小流域での雨量に対する地下水涵養量の比率）に従って7.4%から9%の範囲に設定した。モデルの基本設定は日単位に直し、その結果をArcGISのNatural法を利用してモデルの各メッシュ内で算出し、モデル内に設定した。各年の降水量データを雨季の4月から10月までと乾季の11月から3月までの2回を設定し、16年間の水需要量値に対して16年×2回分の解析を実施した。

## 5.5 将来予測結果

### 5.5.1 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った。30箇所の小都市のうち小流域内から数箇所の地点の予想地下水位変動図を抽出し以下に示す（図 5.5.1～図 5.5.14：出典：調査団で担当団員による算出）。

【SB2-L】（単位：縦軸：標高値（m）、横軸：年、ES-12：初期値、S1：シナリオ1、S2：シナリオ2、S3：シナリオ3、以下同じ）

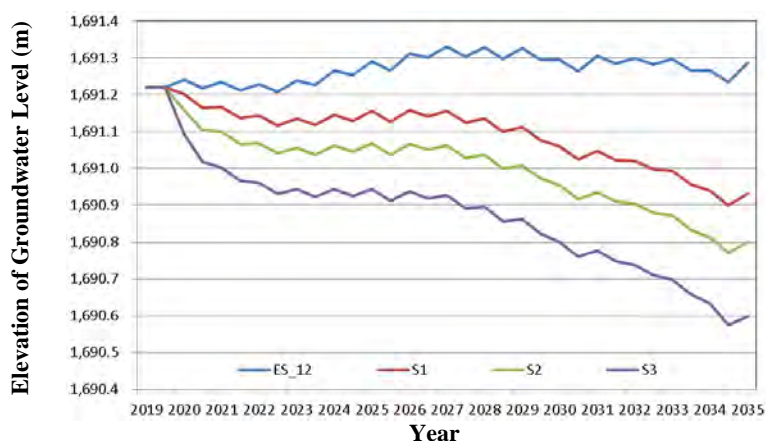


図 5.5.1: 予測地下水位変動図(ES-12)

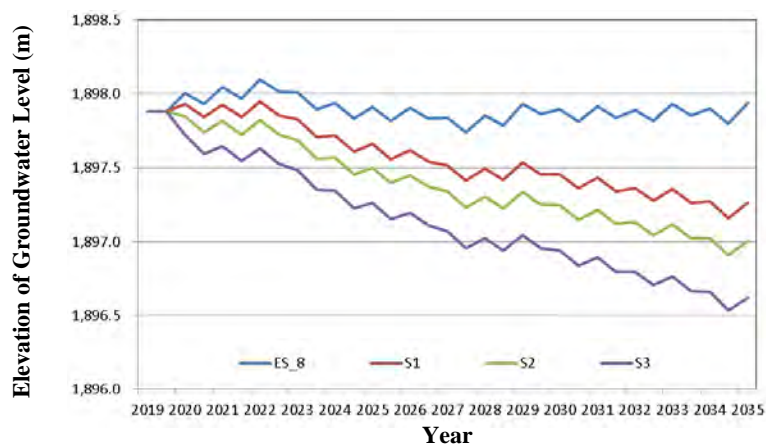


図 5.5.2: 予測地下水位変動図(ES-8)



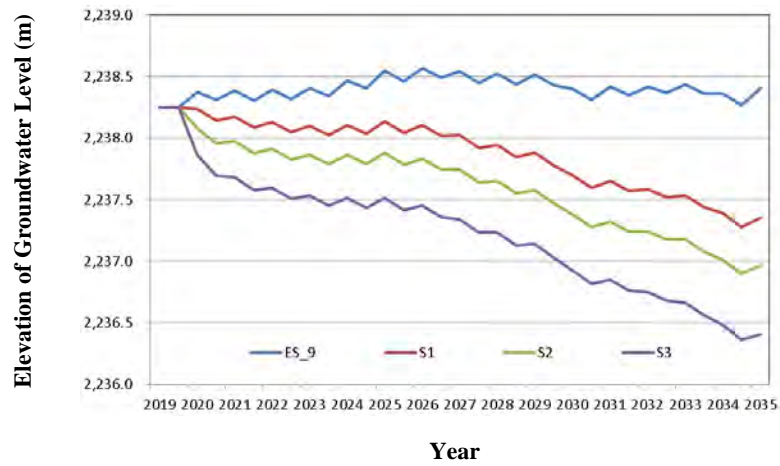


図 5.5.3: 予測地下水位変動図(ES-9)

【SB3-L】

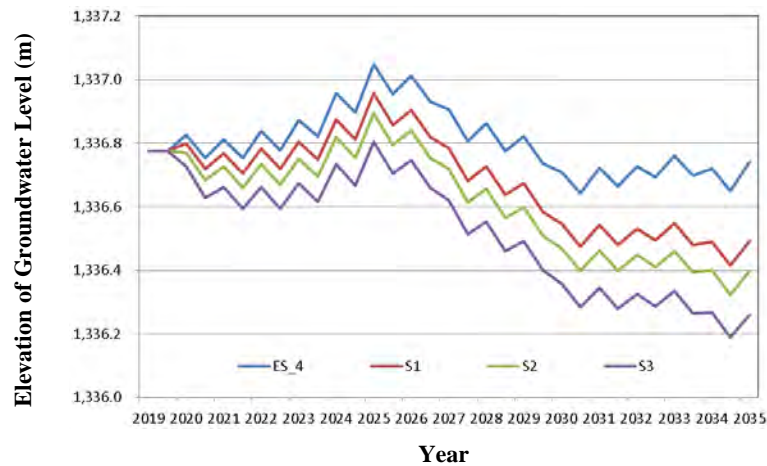


図 5.5.4: 予測地下水位変動図(ES-4)

【SB3-R】

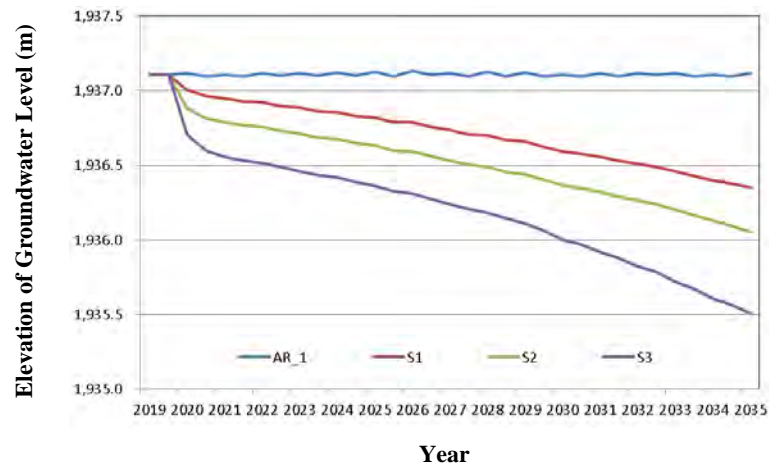


図 5.5.5: 予測地下水位変動図(AR-1)

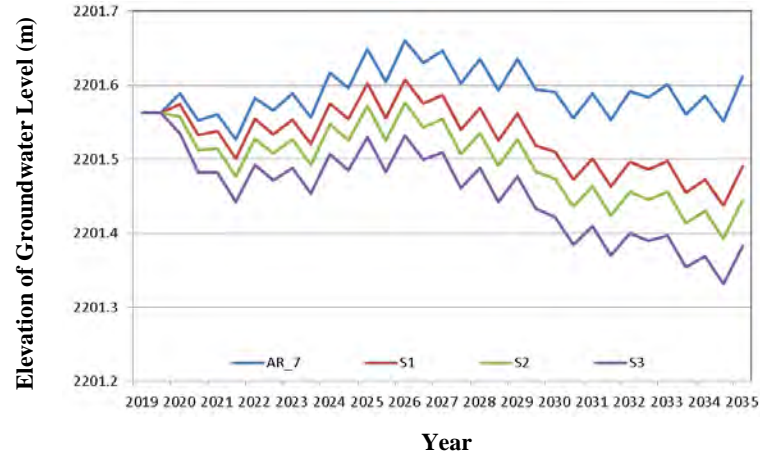


図 5.5.6: 予測地下水位変動図(AR-7)

【SB-BSK-W】

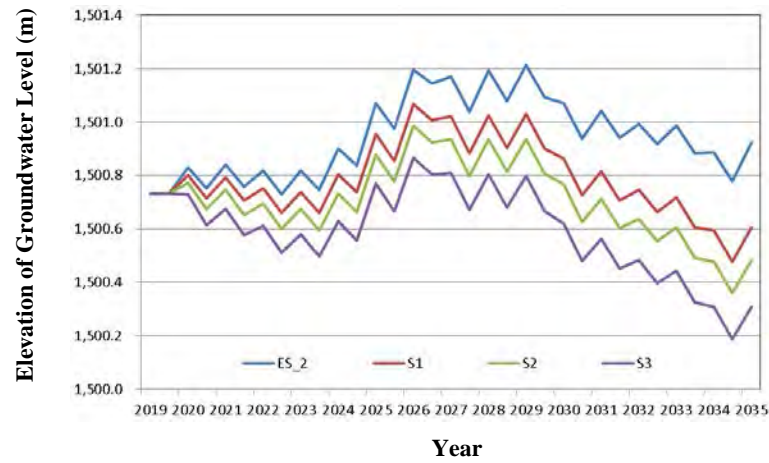


図 5.5.7: 予測地下水位変動図(ES-2)

【SB4-L-U】

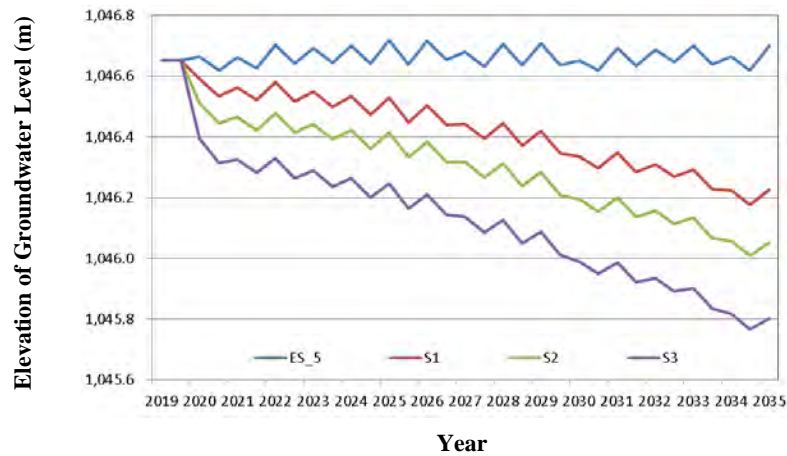


図 5.5.8: 予測地下水位変動図(ES-5)

【SB4-R】

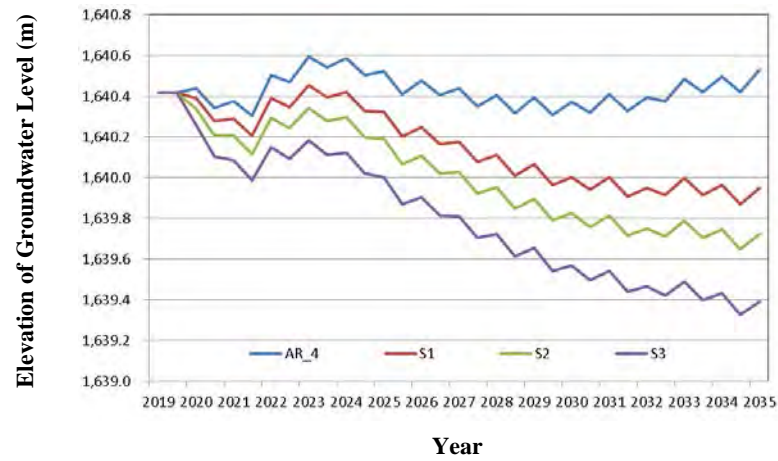


図 5.5.9: 予測地下水位変動図(AR-4)

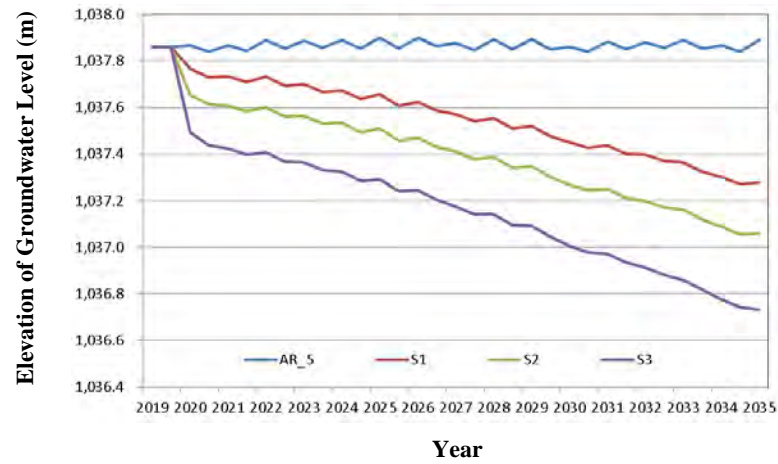


図 5.5.10: 予測地下水位変動図(AR-5)

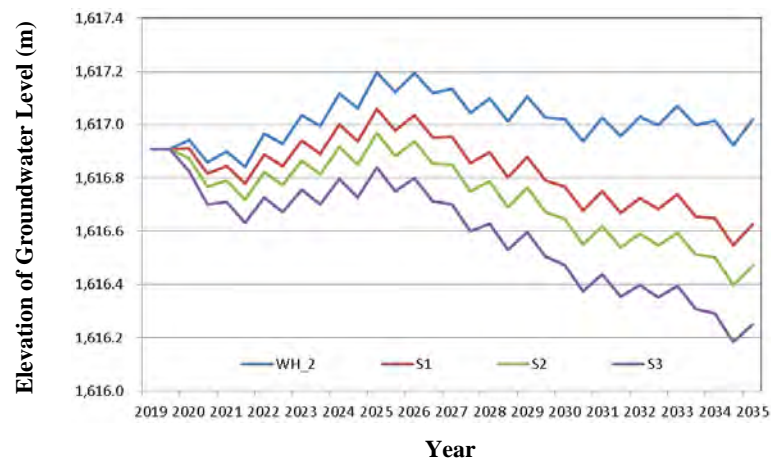


図 5.5.11: 予測地下水位変動図(WH-2)

【SB5-R】

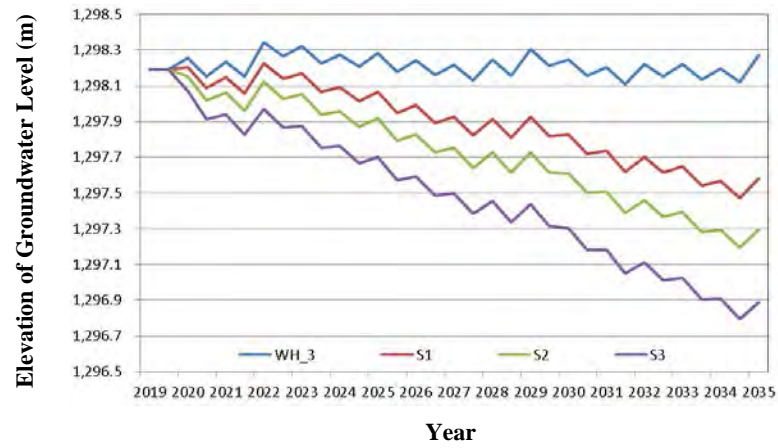


図 5.5.12: 予測地下水位変動図(WH-3)

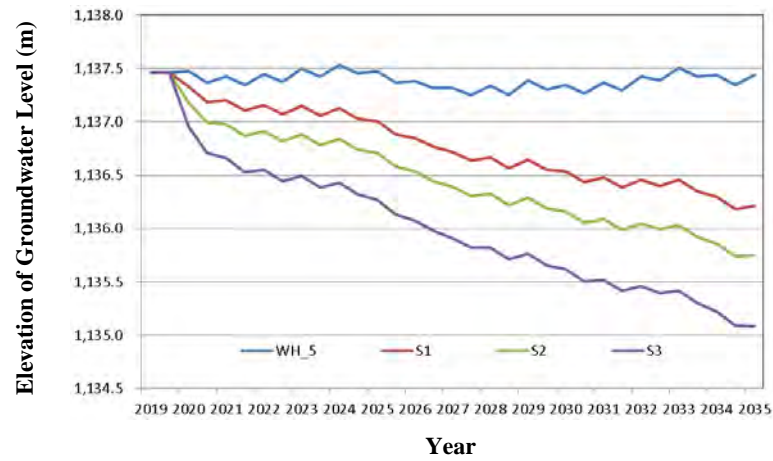


図 5.5.13: 予測地下水位変動図(WH-5)

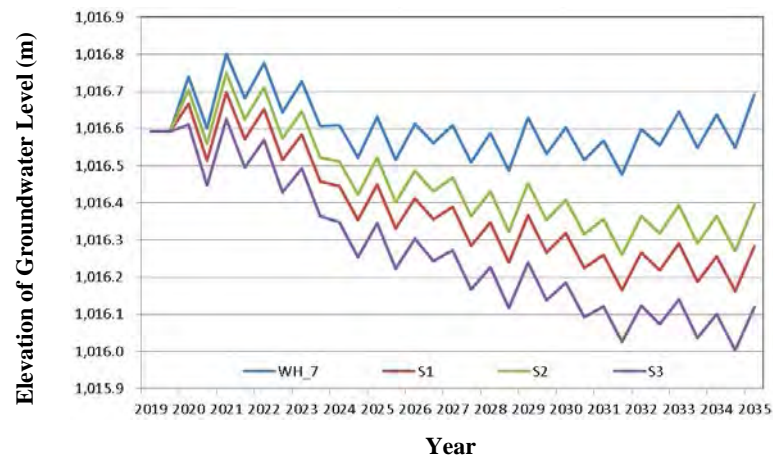


図 5.5.14: 予測地下水位変動図(WH-7)

## 5.5.2 水位低下量の結果

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 5.5.1の通りである。予測地下水位低下量の値は最大でも 2.80 m である。

表 5.5.1: 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

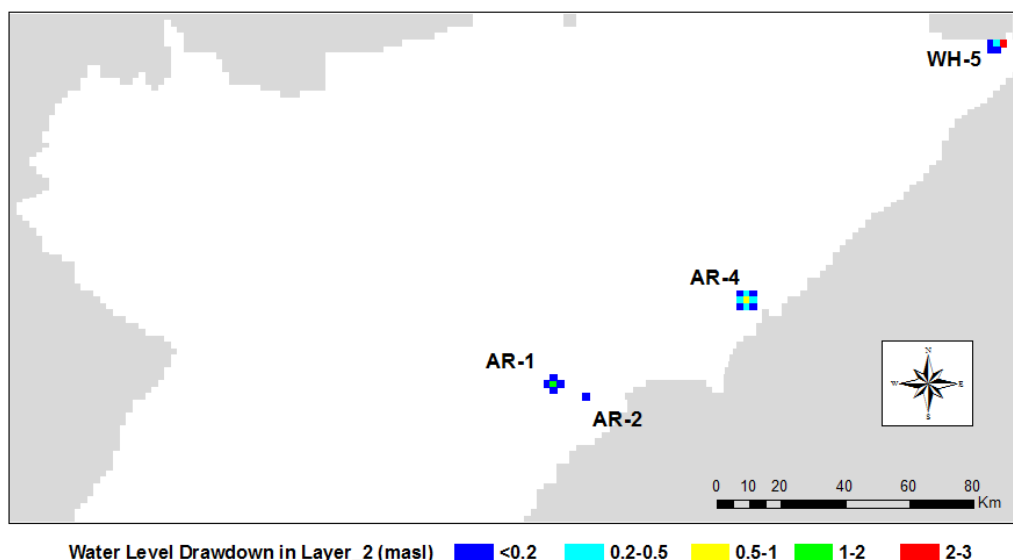
出典：調査団、データ元：担当団員による算出

## 5.6 周辺に対する水位低下の影響

選択された井戸の揚水流量増により、地下水位が低下になることは前述した通りである。また、地下水位の低下は周辺地域にもおよぶ可能性がある。比較的大きな揚水流量が設定された井戸の部分において、例えば最大水位低下量が認められた小都市 AR-3 の井戸では周辺に影響する可能性が高くなると考えられる。

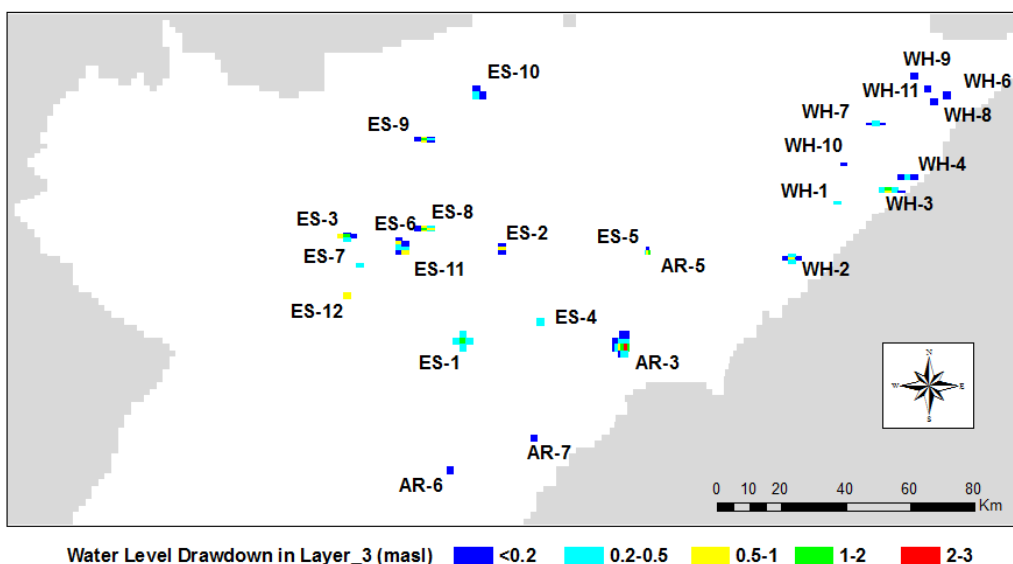
井戸による推定水需要量（揚水流量）によって、シナリオ 3 では最大水位低下量となっている。なお、選出された井戸の深さにより、第 2 層に 4 本の井戸を設定し、第 3 層に 26 本の井戸を設定した。各層で設定された井戸の地下水位低下量の周辺に対する影響を層区分ごとに図 5.6.1と図 5.6.2に示す。想定水位低下量は WH-5、AR-3 の周辺で 2-3 m の低下量、その他は 0.5 m 以下程度の低下量であった。





出典：調査団、データ元：担当団員による算出

図 5.6.1: 第 2 層での周辺域の水位低下量分布図(シナリオ 3)



出典：調査団、データ元：担当団員による算出

図 5.6.2: 第 3 層での周辺域の水位低下量分布図(シナリオ 3)

## 5.7 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汲み上げることのできる揚水流量を示す。調査地域における貯留量の指標として地下水涵養量を挙げ、これについては第 4 章でも述べた。揚水による人為的な流出量が地下水涵養量を上回るような現象は 2035 年時点までの利用量の予測から判断して発生しない。

地下水の汲み上げによって小流域の中で量的な変化が出現するとともに、地下水位の変動が発生する。揚水流量によっては地下水位の著しい低下やそれに伴う水質の悪化、あるいは地盤沈下現象（調査地ではほとんどないと思われるが）などの地下水障害が発生する。このような障害を招くほどの揚水流量は地下水開発可能量としては適切でない。それではこれらの地下水障害を発生させない地下水開発可能量はどのように算出される

のか。エチオピアにおいては、地下水位を経年的にモニタリングした記録が非常に少なく、地下水位の記録から地下水開発可能量を算出することは困難である。そのため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とする。

### 5.7.1 くみあげ量の想定と地下水位変動の予測

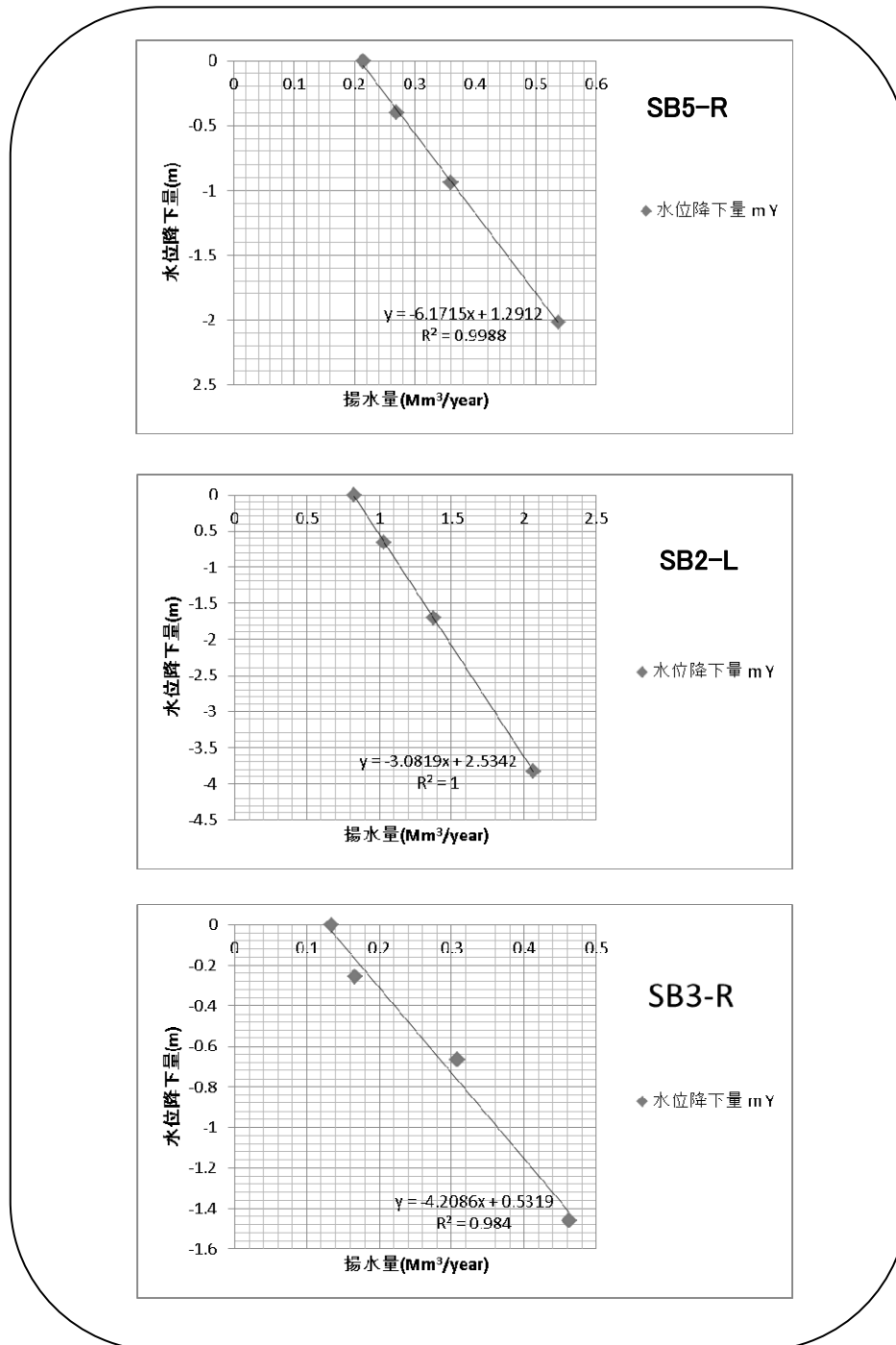
アワシュ川中流域を 13 の小流域に区分した。将来予測計算とは別に、各小流域内の既存井戸と JICA 井戸を抽出し、初期揚水流量を基準として、3 段階の揚水流量を想定した。3 段階とは初期揚水流量に対して、25%増（小）、70%増（中）及び 250%増（大）である。地下水モデルを使用して、各小流域でのこれら井戸の 3 段階の揚水流量に対する水位降下量を予測した。その結果を表 5.7.1 に示す。

表 5.7.1: 小流域ごとの揚水流量と予測水位降下量

小流域名	想定平均揚水量		予測平均水位降下量
		Mm <sup>3</sup> /year	m
SB2-L	現状	0.826	0
	小	1.032	-0.659
	中	1.376	-1.708
	大	2.064	-3.824
SB3-L	現状	0.095	0
	小	0.118	-0.369
	中	0.157	-0.823
	大	0.236	-1.735
SB3-R	現状	0.134	0
	小	0.167	-0.257
	中	0.308	-0.668
	大	0.463	-1.459
SB4-R	現状	0.132	0
	小	0.166	-0.467
	中	0.221	-1.117
	大	0.331	-2.425
SB-BSK-W	現状	0.221	0
	小	0.276	-0.141
	中	0.368	-0.647
	大	0.552	-1.667
SB5-L	現状	0.237	0
	小	0.297	-0.392
	中	0.396	-0.834
	大	0.594	-1.721
SB-BSK	現状	0.193	0
	小	0.241	-0.466
	中	0.321	-1.488
	大	0.482	-3.549
SB4-L-D	現状	3.154	0
	小	3.942	-1.912
	中	5.256	-5.222
	大	7.884	-11.857
SB5-R	現状	0.215	0
	小	0.269	-0.402
	中	0.359	-0.939
	大	0.538	-2.017

出典：調査団、データ元：担当団員による算出

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 5.7.1 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。そのため各流域で求めた相関式を用いて、想定水位降下量から可能揚水流量を小流域ごとに予測した。



出典：調査団、データ元：担当団員による算出

図 5.7.1: 3つの小流域での揚水流量と予測水位降下量の相関図

## 5.7.2 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、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。現状の地下水位標高は図 5.7.2に示すとおりである。過剰な揚水によって流域内井戸の平均水位標高が現状の最低水位標高を

下回った場合、地下水が枯渇すると考える。小流域内の井戸の初期静水位（SWL）は最初の平均的な静水位とした。次に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。先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。その結果を表 5.7.2に示す。

表 5.7.2: 推定可能揚水流量(1案)

小流域	平均標高 (E)	平均静水位 (標高) (SWL)	流域内における 水位コンターからの 最低地下水位 標高 (WE)	計算上の最大 地下水位降下 量 (L= WE-SWL)	計算上の推 定可能揚水 流量(Q)	年間地下水 涵養量 (GWR)	Q/GWR [%]
	[m]	[m]	[m]	[m]	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /year]	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /year]	
SB2-L	1,794	1,751	1,600	-151	50	358.4	14
SB3-L	1,512	1,390	1,250	-140	12	37.8	32
SB3-R	1,801	1,664	1,400	-264	63	178.1	35
SB4-L-D	938	891	880	-11	8	15.4	52
SB4-R	1,719	1,565	1,000	-565	47	208.8	23
SB-BSK-W	1,151	976	950	-26	5	120.2	4
SB5-L	2,202	2,080	1,500	-580	123	330.8	37
SB-BSK	1,012	959	900	-59	5	25.3	20
SB5-R	1,235	1,156	800	-356	58	161.0	36

出典：調査団、データ元：担当団員による算出

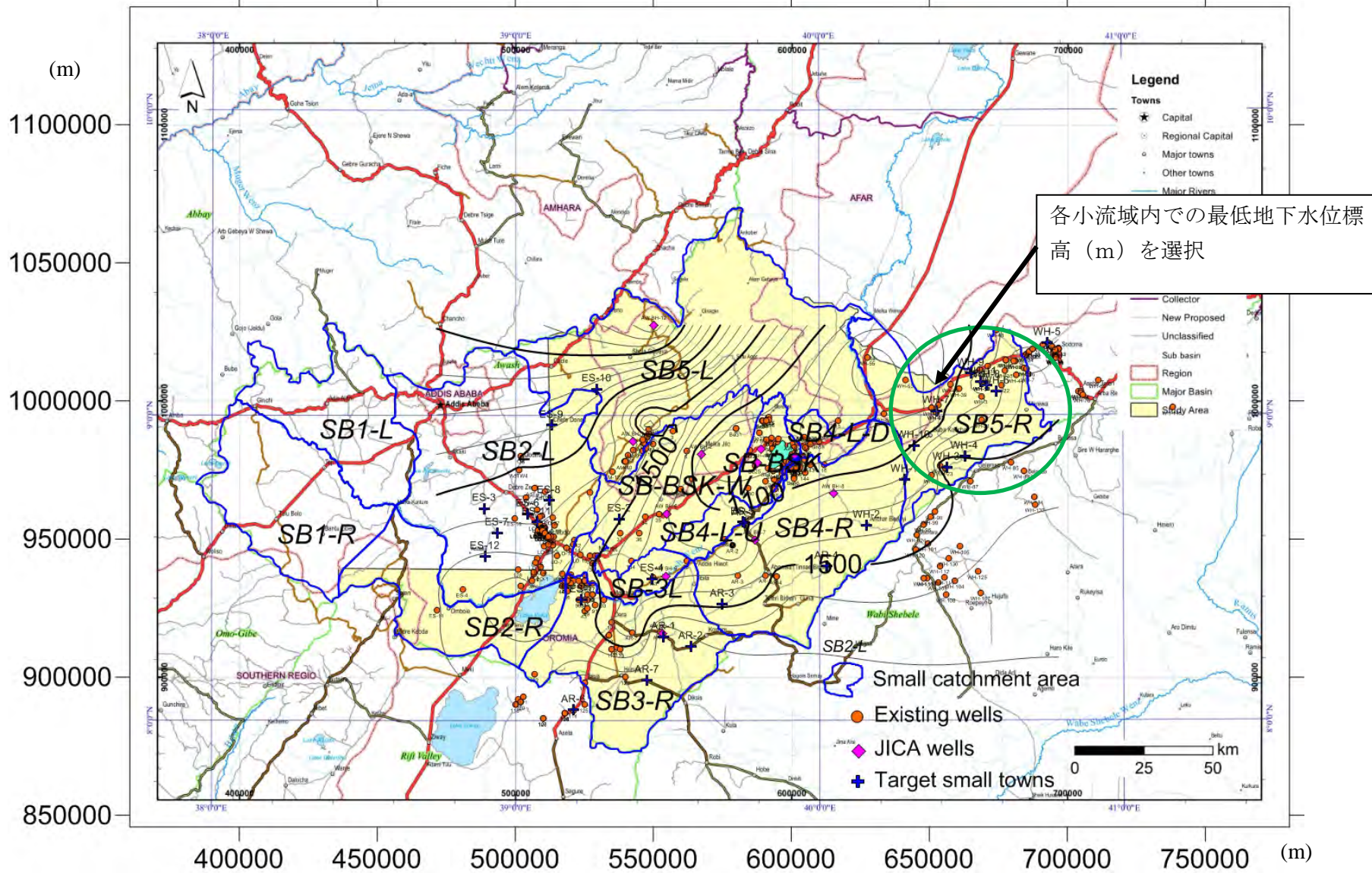
この結果は、小流域内の計算上の最大地下水位降下量がやや過大となっている小流域も存在するが、個々の井戸で考えた場合、井戸内での地下水位の規模の大きい水位降下は井戸深度と周辺の被圧状況からありえない数値ではない。

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。その結果を表 5.7.3に示す。

表 5.7.3: 推定可能揚水流量(2案)

小流域	平均地下水位 降下量	計算上の推 定可能揚水 流量(Q)	年間地下水 涵養量 (GWR)	Q/GWR [%]
	[m]	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /year]	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /year]	
SB2-L	-225	73	358.4	20
SB3-L	-72	6	37.8	16
SB3-R	-73	18	178.1	10
SB4-R	-134	11	208.8	5
SB-BSK-W	-75	15	120.2	12
SB5-L	-123	26	330.8	8
SB-BSK	-100	8	25.3	32
SB5-R	-115	19	161.0	12

出典：調査団、データ元：担当団員による算出



出典：調査団、データ元：参考資料①、②、④

図 5.7.2: 地下水位コンター図



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。

そこで、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 5.7.4 に示す。第 4 章で述べたように 2035 年の揚水流量合計からみても各小流域での地下水涵養量に対する揚水流量の比率は、2 つの小流域を除いて 1～5% 程度であり、表 5.7.4 からの比率を比較しても 2035 年以降の推定可能揚水流量は十分に開発可能である（2 つの小流域のうち、SB2-L はアディスアベバの地下水利用量がカウントされており、そのため想定揚水流量の合計は 134 百万 m<sup>3</sup> となっている。ただしそれを除くと 2035 年段階の想定揚水流量は年間 25 百万 m<sup>3</sup> であり、可能揚水流量以下である。また SB4-L-D は灌漑目的で掘削した 595 m の井戸がカウントされており（揚水流量 100 L/sec）、年間地下水涵養量と比較するとこの井戸だけで地下水涵養量に対して約 46% の揚水流量となるのでこの小流域では残可能揚水流量は限定的である）。

表 5.7.4: 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

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 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 はじめに

本章では以下の調査結果について述べる。

#### a. 基礎調査結果のレビュー

概略給水計画及び運営維持管理計画の策定のための基礎データとして調査対象 30 小都市の給水人口、給水区外利用者、水使用量、戸別接続数、既存給水施設の老朽化状況、停電発生状況等の調査結果をレビューした。

#### b. 目標年次と人口予測

水需要予測を行う上で必要となる目標年次の設定と 30 小都市の人口予測を行った。この中で戸別接続の増加予測を行い、共同水栓・戸別接続別の人口を予測した。

#### c. 水需要予測

上記の目標年次と人口予測を基に目標年次における 30 小都市の水需要を予測した。

なお、本調査のインテリムレポートでは、給水原単位として 20 L/人/日（共同水栓）及び 30 L/人/日（戸別接続）を採用して水需要の予測を行ったが、その後、2015 年 8 月に「第 2 次成長と構造改革計画（The Second Growth and Transformation Plan: GTP2）」が発行され、給水原単位が 40 L/人/日（都市部）及び 25 L/人/日（村落部）に定められた。

本調査のカウンターパートである水灌漑電力省（Ministry of Water, Irrigation and Electricity: MoWIE）及びオロミア州水・鉱物・エネルギー局（Oromia Regional Water, Mineral and Energy Bureau: OWMEB）より GTP2 に定められた給水原単位を採用するよう要請があったため、本稿では GTP2 に定められた給水原単位を採用してあらたに水需要予測を行った。

#### d. 地下水開発計画の策定

調査結果に基づく対象地域の地下水開発ポテンシャル評価を実施し、地下水開発の可能性を検討の上、30 小都市ごとの地下水開発計画を策定した。

#### e. 概略給水計画の策定

対象小都市ごとに概略給水計画策定の妥当性検証を行い、30 小都市のうち妥当性があると判定された 19 小都市に対して地下水開発計画に基づき小都市ごとに水源計画を含む概略給水計画を策定した。

#### f. 運営維持管理計画及び能力強化計画の策定

対象地域の運営維持管理体制及び対象小都市の運営維持管理の現状に係る調査結果を踏まえて、運営維持管理体制の課題を整理し、運営維持管理計画及び能力強化計画を策定した。この中で 19 小都市ごとに概略給水計画に基づく運営維持管理費を算出し、現行の水料金との比較検討を行った。

## 6.2 基礎調査結果

### 6.2.1 給水人口

対象小都市の人口について 3 種類のデータが存在する。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）、郡管理事務所データの値及び市管理事務所（または Kebele 管理事務所）データである。これらのデータの比較を表 6.2.1 に示す。

本調査において郡管理事務所及び市管理事務所のデータの裏付けの文書のコピー等を収集したが、漠然とした人口の合計が記載されているのみで内訳が不明であり、根拠に乏しく信頼性が低いと判断される。

このため、給水計画の策定においては CSA 予測値を原則採用することとし、郡管理事務所及び市管理事務所のデータについては参考情報扱いとする。

対象小都市ごとに CSA 予測値と郡管理事務所及び市管理事務所のデータを比較検討の上、CSA 予測値を採用する理由を表 6.2.1 に述べる。

### 6.2.2 給水区外利用者

給水施設が存在する多くの小都市において給水区外から水を汲みに来る利用者が存在する。しかし、これらの利用者は登録されているわけではないため正確な人数を把握することは困難である。人数を把握するためには、市給水事務所・水組合に対する聞き取りによるしかないが、漠然とした数値しか得られない、回答者によって数値が異なるなど、データの信頼性に乏しい。また、将来的には新規の給水プロジェクトの実施により現在水供給を受けていない給水区外利用者も水供給を受ける可能性がある。

よって、給水区外の利用者数は本給水計画の給水人口に含めないことが望ましいと判断される。



表 6.2.1: 人口データの比較

ID	小都市	郡	CSA 2007に基づく2014年予測人口		郡管理事務所データ		市管理事務所またはKebele管理事務所データ		採用人口	採用理由
			人口	年	人口	年	人口	年		
ES-1	Wonji Shewa Alemtena	Adama Zuria	8,525	2014	7,838	2013/2014	データなし		CSA予測人口	郡管理事務所データの信頼性に乏しいため
ES-2	Geldiya <sup>*2</sup>	Adama Zuria	2,257	2014	784	2013/2014	1,344	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
ES-3	Dire	Adaa	6,811	2014	6,878	2012/2013	6,002	2011/2012	CSA予測人口	郡管理事務所データと市管理事務所データに乖離があるため中間値であるCSA予測人口を採用
ES-4	Bofa	Boset	4,185	2014	2,028	2011/2012	5,260	2008/2009	CSA予測人口	郡管理事務所データと市管理事務所データに乖離があるため中間値であるCSA予測人口を採用
ES-5	Bole	Boset	5,275	2014	2,349	2011/2012	14,060	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データと市管理事務所データに乖離があるため中間値であるCSA予測人口を採用
ES-6	Ude Dhankaka <sup>*3</sup>	Adaa	5,763	2014	4,313	2012/2013	2,753	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
ES-7	Bekejo	Adaa	6,624	2014	7,130	2012/2013	7,130	2011/2012	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
ES-8	Kamise <sup>*4</sup>	Lome	4,846	2014	2,184	2013/2014	2,184	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
ES-9	Chefe Donsa	Gimbichu	8,386	2014	13,137	2013/2014	13,137	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
ES-10	Areda <sup>*5</sup>	Gimbichu	2,752	2014	2,880	2013/2014	1,465	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データと市管理事務所データに乖離があるため中間値であるCSA予測人口を採用
ES-11	Biyo <sup>*6</sup>	Lome	2,708	2014	2,500	2013/2014	2,500	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
ES-12	Adulala	Liben Zukala	3,882	2014	3,577	2013/2014	6,000	2012/2013	CSA予測人口	郡管理事務所データと市管理事務所データに乖離があるため中間値であるCSA予測人口を採用
AR-1	Sire	Sire	11,097	2014	10,216	2013/2014	9,240	2012/2013	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
AR-2	Bolo	Jeju	1,579	2014	4,000	2013/2014	3,000	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
AR-3	Arboye	Jeju	7,272	2014	7,800	2013/2014	10,600	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
AR-4	Aseko	Aseko	5,283	2014	7,750	2013/2014	7,750	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
AR-5	Golegota	Merti	7,377	2014	5,560	2013/2014	7,739	2012/2013	CSA予測人口	郡管理事務所データと市管理事務所データに乖離があるため中間値であるCSA予測人口を採用
AR-6	Gonde	Tiyo	3,434	2014	2,598	2013/2014	2,236	2006/2007	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
AR-7	Arbe Gebeya	Lode Hitossa	2,433	2014	2,711	2013/2014	6,149	2010/2011	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
WH-1	Chorora	Anchar	2,729	2014	2,511	2013/2014	3,100	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データと市管理事務所データに乖離があるため中間値であるCSA予測人口を採用
WH-2	Bedeyi	Anchar	2,945	2014	3,481	2013/2014	5,520	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
WH-3	Hardim	Guba Qoricha	5,905	2014	5,021	2013/2014	5,021	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
WH-4	Bube <sup>*7</sup>	Guba Qoricha	6,246	2014	5,920	2013/2014	5,920	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
WH-5	Mieso	Mieso	17,672	2014	12,293	2013/2014	18,000	2012/2013	CSA予測人口	郡管理事務所データと市管理事務所データに乖離があるため中間値であるCSA予測人口を採用
WH-6	Hargeti	Mieso	3,365	2014	4,966	2013/2014	データなし		CSA予測人口	郡管理事務所データの信頼性に乏しいため
WH-7	Bordede	Mieso	2,940	2014	6,029	2013/2014	5,517	2009/2010	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
WH-8	Kenteri	Mieso	1,752	2014	3,787	2013/2014	データなし		CSA予測人口	郡管理事務所データの信頼性に乏しいため
WH-9	Aneno	Mieso	2,851	2014	5,245	2013/2014	2,515	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データと市管理事務所データに乖離があるため中間値であるCSA予測人口を採用
WH-10	Belo	Mieso	4,690	2014	4,859	2013/2014	5,224	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため
WH-11	Kora	Mieso	2,376	2014	2,366	2013/2014	2,360	2013/2014	CSA予測人口	郡管理事務所データ、市管理事務所データ共に信頼性に乏しいため

\*1 出典：中央統計局(CSA)の2007年センサス人口および人口増加率に基づき調査団算出

\*2 CSA2007表記: Geldiya Alan Qebeti

\*3 CSA2007表記: Ouda

\*4 CSA2007表記: Beli Abo

\*5 CSA2007表記: Areda Gora

\*6 CSA2007表記: Biyo Biliq

\*7 CSA2007表記: Goro Bati

表 6.2.2: 給水区外利用者数

ID	小都市	給水区外利用者数 (2014年現在) <sup>1</sup>	根拠 <sup>1</sup>
ES-1	Wonji Shewa Alemtena	5,060	水組合情報1,012世帯
ES-2	Geldiya	2,000	水組合情報400世帯
ES-3	Dire	850	水組合情報170世帯
ES-4	Bofa	11,000	市給水事務所情報
ES-5	Bole	5,533	市給水事務所情報3,815人(Nura Hera 02), 1,718人(Nura Hera 03)
ES-6	Ude Dhankaka	0	
ES-7	Bekejo	0	水組合情報
ES-8	Kamise	2,600	水組合情報(Beli Abo)
ES-9	Chefe Donsa	2,000	市給水事務所情報(Harberseftu)
ES-10	Areda	1,750	水組合情報250世帯(Enbus Indode), 40世帯(Burekoulaula), 50世帯(Webemansur), 10世帯(Somjona Kombolcha)
ES-11	Biyo	0	
ES-12	Adulala	5,816	市給水事務所情報(Adele Mecha)
AR-1	Sire	1,000	市給水事務所情報(Gesela Shashe, Borera)
AR-2	Bolo	11,500	市給水事務所情報、1,300世帯(Hogesoboreno), 250世帯(Kolob Bolo), 200世帯(Utamo Doje), 300世帯(Keloba Kalo), 他
AR-3	Arboye	17,605	水組合情報、953世帯(Senbeto Fenicha), 381世帯(Egu Chuka), 774世帯(Gure Tebeno), 702世帯(Arijero Qere), 386世帯(Shedare Chefa), 325世帯(Wenjelo Wedeyimena), 合計3,521世帯
AR-4	Aseko	0	
AR-5	Golegota	0	
AR-6	Gonde	0	
AR-7	Arbe Gebeya	0	
WH-1	Chorora	2,000	水組合情報400世帯
WH-2	Bedeyi	0	
WH-3	Hardim	4,000	水組合情報800世帯
WH-4	Bube	400	
WH-5	Mieso	975	市給水事務所情報195世帯
WH-6	Hargeti	0	
WH-7	Bordede	1,550	水組合情報310世帯
WH-8	Kenteri	0	
WH-9	Aneno	0	
WH-10	Belo	250	水組合情報50世帯
WH-11	Kora	4,250	水組合情報850世帯

\*1 出典：市給水事務所または水組合への聞き取り調査の結果

### 6.2.3 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は表 6.2.3に示すとおりであった。

表 6.2.3: 既存給水施設の水使用量

ID	小都市	人口 <sup>1</sup>	世帯数 <sup>1</sup>	世帯当人口 <sup>1</sup>	既存給水施設の水使用量										備考
					戸別接続				共同水栓			全体			
					戸別接続数 <sup>2</sup>	人口	水使用量 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> /month)	1人1日当たり使用量 (l/capita/day)	人口	水使用量 (m <sup>3</sup> /month)	1人1日当たり使用量 (l/capita/day)	水使用量 (m <sup>3</sup> /month)	1人1日当たり使用量 (l/capita/day)		
ES-1	Wonji Shewa Alemtena	8,525	2,039	4.18	44	184	691	125.2	8,341	31	0.1	722	2.8		
ES-2	Geldiya	2,257	509	4.44	232	1,030	2,363	76.5	1,227	452	12.3	2,815	41.6		
ES-3	Dire	6,811	1,457	4.67	91	425	1,088	85.3	6,386	859	4.5	1,947	9.5		
ES-4	Bofa	4,185	1,105	3.79	260	985	4,451	150.6	3,200	2,444	25.5	6,895	54.9		
ES-5/ AR-5	Bole/ Golegota	12,652	4,057	3.12	273	846	3,513	138.4	11,806	1,908	5.4	5,421	14.3	1つの給水施設で2都市に供給	
ES-6	Ude Dhankaka	5,763	1,269	4.54	0	0	0	0.0	5,763	0	0.0	0	0.0	ハンドポンプ井戸	
ES-7	Bekejo	6,624	1,358	4.88	30	146	219	50.0	6,478	771	4.0	990	5.0		
ES-8	Kamise	4,846	963	5.03	3	15	69	153.3	4,831	277	1.9	346	2.4		
ES-9	Chefe Donsa	8,386	2,655	3.16	921	2,910	6,169	70.7	5,476	246	1.5	6,415	25.5		
ES-10	Areda	2,752	556	4.95	0	0	0	0.0	2,752	330	4.0	330	4.0		
ES-11	Biyu	2,708	560	4.83	0	0	0	0.0	2,708	0	0.0	0	0.0	風車井戸	
ES-12	Adulala	3,882	1,235	3.14	431	1,353	3,825	94.2	2,529	437	5.8	4,262	36.6		
AR-1	Sire	11,097	3,505	3.17	516	1,636	1,052	21.4	9,461	1,212	4.3	2,264	6.8		
AR-2	Bolo	1,579	403	3.92	56	220	488	73.9	1,359	238	5.8	726	15.3		
AR-3	Arboye	7,272	2,077	3.50	570	1,995	7,841	131.0	5,277	310	2.0	8,151	37.4		
AR-4	Aseko	5,283	1,587	3.33	67	223	351	52.5	5,060	1,039	6.8	1,390	8.8		
AR-6	Gonde	3,434	983	3.49	283	988	2,732	92.2	2,446	754	10.3	3,486	33.8		
AR-7	Arbe Gebeya	2,433	667	3.65	350	1,278	6,222	162.3	1,155	398	11.5	6,620	90.7		
WH-1	Chorora	2,729	566	4.82	146	704	516	24.4	2,025	121	2.0	637	7.8		
WH-2	Bedeyi	2,945	731	4.03	101	407	385	31.5	2,538	119	1.6	504	5.7		
WH-3	Hardim	5,905	1,231	4.80	90	432	118	9.1	5,473	426	2.6	544	3.1		
WH-4	Bube	6,246	1,238	5.05	13	66	56	28.3	6,180	488	2.6	544	2.9		
WH-5	Mieso	17,672	4,133	4.28	728	3,116	6,497	69.5	14,556	247	0.6	6,744	12.7		
WH-6	Hargeti	3,365	747	4.51	0	0	0	0.0	3,365	0	0.0	0	0.0	給水施設なし	
WH-7	Bordede	2,940	742	3.96	162	642	1,402	72.8	2,298	416	6.0	1,818	20.6		
WH-8	Kenteri	1,752	401	4.37	0	0	0	0.0	1,752	0	0.0	0	0.0	給水施設なし	
WH-9	Aneno	2,851	598	4.76	0	0	0	0.0	2,851	0	0.0	0	0.0	給水施設なし	
WH-10	Belo	4,690	926	5.06	2	10	0	0.0	4,680	366	2.6	366	2.6		
WH-11	Kora	2,376	597	3.98	80	318	453	47.5	2,058	680	11.0	1,133	15.9		

\*1 出典：中央統計局(CSA)2007年センサスに基づき算出

\*2 出典：市給水事務所または水組合

\*3 出典：市給水事務所または水組合の検針記録に基づき算出

### 6.2.4 戸別接続増加の推移

30 小都市のうちの 24 の小都市において戸別接続による水供給が行われている。戸別接続の数及び普及率は表 6.2.4に示すとおりである。給水計画の策定にあたっては、今後の戸別接続の増加を適切に予測した上で水需要予測を行う必要がある。

表 6.2.4: 戸別接続増加の推移

ID	Town	戸別接続の推移											備考	
		年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
ES-1	Wonji Shewa Alentena	戸別接続数 <sup>*1</sup>						0	14		44	44	44	
		全世帯数 <sup>*2</sup>						1,736	1,807	1,881	1,959	2,039		
		普及率 (%)						0.0	0.8	2.3	2.2	2.2		
ES-2	Geldiya	戸別接続数						no record	111	111	148	232		
		全世帯数							451	469	489	509		
		普及率 (%)							24.6	23.7	30.3	45.6		
ES-3	Dire	戸別接続数					no record	66	75	87	90	91		
		全世帯数						1,241	1,292	1,345	1,400	1,457		
		普及率 (%)						5.3	5.8	6.5	6.4	6.2		
ES-4	Bofa	戸別接続数				no record	98	98	98	116	198	260		
		全世帯数					904	941	979	1,020	1,061	1,105		
		普及率 (%)					10.8	10.4	10.0	11.4	18.7	23.5		
ES-5/AR-5	Bole/ Golegota	戸別接続数						0	61	171	210	273	1つの給水システムで2都市に供給	
		全世帯数						3,455	3,597	3,745	3,898	4,058		
		普及率 (%)						0.0	1.7	4.6	5.4	6.7		
ES-6	Ude Dhankala	戸別接続数										0	ハンドポンプ井戸	
		全世帯数										1,269		
		普及率 (%)										0		
ES-7	Bekejo	戸別接続数						no record		21	24	30		
		全世帯数								1,290	1,324	1,358		
		普及率 (%)								1.6	1.8	2.2		
ES-8	Kamise	戸別接続数							no record		1	2		
		全世帯数									925	963		
		普及率 (%)									0	0		
ES-9	Chefe Donsa	戸別接続数				no record	512	521	757	813	921			
		全世帯数					2,261	2,353	2,450	2,550	2,655			
		普及率 (%)					22.6	22.1	30.9	31.9	34.7			
ES-10	Areda	戸別接続数										0		
		全世帯数										556		
		普及率 (%)										0		
ES-11	Biyo	戸別接続数										0	風車井戸	
		全世帯数										560		
		普及率 (%)										0		
ES-12	Adulala	戸別接続数				no record	194	261	300	366	431			
		全世帯数					1,051	1,095	1,139	1,186	1,235			
		普及率 (%)					18.5	23.8	26.3	30.9	34.9			
AR-1	Sire	戸別接続数								no record		516		
		全世帯数										3,505		
		普及率 (%)										14.7		
AR-2	Bolo	戸別接続数									no record	56		
		全世帯数										403		
		普及率 (%)										13.9		
AR-3	Arboye	戸別接続数					no record	430	460	490	570			
		全世帯数						1,841	1,917	1,995	2,077			
		普及率 (%)						23.4	24.0	24.6	27.4			
AR-4	Aseko	戸別接続数									0	67		
		全世帯数									1,525	1,587		
		普及率 (%)									0.0	4.2		
AR-6	Gonde	戸別接続数	0	20	53	108	138	172	216	223	252	283		
		全世帯数	685	713	742	772	804	837	871	907	944	983		
		普及率 (%)	0.0	2.8	7.1	14.0	17.2	20.5	24.8	24.6	26.7	28.8		
AR-7	Arbe Gebeya	戸別接続数			no record	79	85	115	143	168	246	350		
		全世帯数				571	586	602	617	633	650	667		
		普及率 (%)				13.8	14.5	19.1	23.2	26.5	37.8	52.5		
WH-1	Chorora	戸別接続数					no record	28	35	99	99	146		
		全世帯数						524	538	552	566			
		普及率 (%)						5.3	6.5	17.9	25.8			
WH-2	Bedeyi	戸別接続数		no record	32	32	32	32	32	32	101	101		
		全世帯数			552	575	598	623	648	675	702	731		
		普及率 (%)			5.8	5.6	5.4	5.1	4.9	4.7	14.4	13.8		
WH-3	Hardim	戸別接続数							no record	18	47	90		
		全世帯数								1,136	1,182	1,231		
		普及率 (%)								1.6	4.0	7.3		
WH-4	Bube	戸別接続数		no record	12	12	12	12	12	12	12	13		
		全世帯数			1,034	1,061	1,088	1,117	1,146	1,176	1,206	1,238		
		普及率 (%)			1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1		
WH-5	Mieso	戸別接続数	no record	322	385	426	441	484	505	547	554	728		
		全世帯数		2,997	3,120	3,248	3,381	3,520	3,664	3,814	3,971	4,133		
		普及率 (%)		10.7	12.3	13.1	13.0	13.8	13.8	14.3	14.0	17.6		
WH-6	Hargeti	戸別接続数										0	給水施設なし	
		全世帯数										747		
		普及率 (%)										0		
WH-7	Bordede	戸別接続数						no record	87	130	132	162		
		全世帯数							658	685	713	742		
		普及率 (%)							13.2	19.0	18.5	21.8		
WH-8	Kenteri	戸別接続数										0	給水施設なし	
		全世帯数										401		
		普及率 (%)										0		
WH-9	Aneno	戸別接続数										0	給水施設なし	
		全世帯数										598		
		普及率 (%)										0		
WH-10	Belo	戸別接続数							2	2	2	2		
		全世帯数								880	903	926		
		普及率 (%)								0	0	0		
WH-11	Kora	戸別接続数							no record		66	80		
		全世帯数									582	597		
		普及率 (%)									11.3	13.4		

\*1 出典: 市給水事務所・水組合  
\*2 出典: 中央統計局(CSA)2007年センサスに基づき調査団算出

## 6.2.5 既存給水施設の老朽化の現状

### a. 給水施設の耐用年数

エチオピア国設計基準に示される給水施設の機材・施設の耐用年数を表 6.2.5に示す。

表 6.2.5: 給水施設の耐用年数

詳細	耐用年数
湧水保護工	25
井戸	20
モーターポンプ	10
ディーゼル発電機	10
鋼製貯水槽	25
共同水栓	25
貯水槽	50
DCI管、鋼管	40
硬質塩化ビニル管	25

出典: Rural Water Supply and Sanitation Design Criteria (Rural Water Supply and Sanitation Department, Ministry of Water Resources, April 2005)

### b. 既存給水施設の供用年数

既存給水施設現況・管理状況実態調査に基づく対象小都市の各施設の供用年数及び計画目標年次の2020年時点で耐用年数を超えるため更新が必要と判断される給水施設を表 6.2.6に示す。給水計画においてこれらを反映させた施設の更新計画を盛り込む必要がある。



表 6.2.6: 既存給水施設の供用年数

ID	小都市名	供用年数（2014年現在）														備考
		井戸 (耐用年数20年)*1		動力ポンプ (耐用年数10年)		ディーゼル発電機 (耐用年数10年)		導水管 (耐用年数40年)		配水池 (耐用年数50年)		配水管 (耐用年数40年)		共同水栓 (耐用年数25年)		
		供用年数	更新必要性*2	供用年数	更新必要性	供用年数	更新必要性	供用年数	更新必要性	供用年数	更新必要性	供用年数	更新必要性	供用年数	更新必要性	
ES-1	Wonji Shewa Alemtena	-		-		-		-		-		-		-		Adama市上下水道公社が供給
ES-2	Geldiya	11		9	有	-		11		11		11		11		
ES-3	Dire system #1	17	有	3		-		17		17		17		17		
	Dire system #2	27	有	17	有	-		27		27		27		27	有	
ES-4	Bofa system #1	32	有	8	有	-		32		32		32		32	有	
	Bofa system #2	9		9	有	-		9		9		9		9		
ES-5/ AR-5	Bole/ Golegota	4		4	有	3		4		4		4		4		1つの給水システムで2都市に供給
ES-6	Ude Dhankaka	-		-		-		-		-		-		-		ハンドポンプ井戸
ES-7	Bekejo	17	有	27	有	27	有	17		17		17		17		
ES-8	Kamise	-		-		-		-		-		-		-		Gimbichu-Fentale上水道サービス公社が供給
ES-9	Chefe Donsa	-		2		-		31		31		31		31	有	
ES-10	Areda	13		12	有	10	有	13		13		13		13		
ES-11	Biyo	15	有	-		-		-		-		-		-		風車ポンプ井戸
ES-12	Adulala	25	有	21	有	18	有	25		25		25		25	有	
AR-1	Sire system #1 (spring)	-		33	有	3		33		33		33		33	有	
	Sire system #2 (Borehole)	4		3		3		4		4		4		4		
AR-2	Bolo	8		14	有	14	有	8		8		8		8		
AR-3	Arboye	-		-		-		32		32		32		32	有	
AR-4	Aseko	-		5	有	6	有	5		5		5		5		
AR-6	Gonde	-		-		-		8		8		8		8		
AR-7	Arbe Gebeya	-		-		-		19		19		19		19	有	
WH-1	Chorora	12		12	有	12	有	12		12		12		12		
WH-2	Bedeyi	7		7	有	7	有	7		7		7		7		
WH-3	Hardim	20	有	19	有	2		20		20		20		20	有	
WH-4	Bube	-		4	有	4	有	8		8		8		8		
WH-5	Mieso system #1	37	有	6	有	2		37	有	37		37	有	37	有	
	Mieso system #2	13		2		-		13		13		13		13		
WH-6	Hargeti	-		-		-		-		-		-		-		給水施設が存在しない
WH-7	Bordede	38	有	1		5	有	38	有	38		38	有	38	有	
WH-8	Kenteri	-		-		-		-		-		-		-		給水施設が存在しない
WH-9	Aneno	-		-		-		-		-		-		-		給水施設が存在しない
WH-10	Belo	10		10	有	1		10		10		10		10		
WH-11	Kora	10		10	有	1		10		10		10		10		

\*1: 出典: Rural Water Supply and Sanitation Design Criteria (Rural Water Supply and Sanitation Department, Ministry of Water Resources, April 2005)

\*2: 計画目標年次2020年の時点で耐用年数を超えるもの

## 6.2.6 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結果を表 6.2.7に示す。未電化の小都市は5都市である。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。

停電発生状況を考慮した給水計画及び運営維持管理計画を策定する。

表 6.2.7: 停電発生状況

ID	小都市	1か月当り平均 停電発生回数	1回当り平均停 電時間	1か月当り平均 停電時間	停電率* (%)	備考
		(回/月)	(時間/回)	(時間/月)		
ES-1	Wonji Shewa Alemtena	12.0	4.00	48.00	6.7%	
ES-2	Geldiya	2.0	24.00	48.00	6.7%	
ES-3	Dire	75.0	0.50	37.50	5.2%	
ES-4	Bofa	8.0	6.00	48.00	6.7%	
ES-5	Bole	10.0	6.00	60.00	8.3%	
ES-6	Ude Dhankaka	40.0	0.67	26.80	3.7%	
ES-7	Bekejo	20.0	3.00	60.00	8.3%	
ES-8	Kamise	0.0	0.0	0.0	100.0%	未電化
ES-9	Chefe Donsa	18.7	7.7	143.2	19.9%	
ES-10	Areda	0.0	0.0	0.0	100.0%	未電化
ES-11	Biyo	50.0	0.50	25.00	3.5%	
ES-12	Adulala	4.0	20.00	80.00	11.1%	
AR-1	Sire	8.0	16.50	132.00	18.3%	
AR-2	Bolo	4.0	12.00	48.00	6.7%	
AR-3	Arboye	5.0	24.00	120.00	16.7%	
AR-4	Aseko	12.0	24.00	288.00	40.0%	
AR-5	Golegota	15.0	6.00	90.00	12.5%	
AR-6	Gonde	20.0	2.00	40.00	5.6%	
AR-7	Arbe Gebeya	12.0	24.00	288.00	40.0%	
WH-1	Chorora	2.0	48.00	96.00	13.3%	
WH-2	Bedeyi	0.0	0.0	0.0	100.0%	未電化
WH-3	Hardim	12.0	12.00	144.00	20.0%	
WH-4	Bube	0.0	0.0	0.0	100.0%	未電化
WH-5	Mieso	14.0	2.8	38.9	5.4%	
WH-6	Hargeti	0.0	0.0	0.0	100.0%	未電化
WH-7	Bordede	16.0	4.0	64.0	8.9%	
WH-8	Kenteri	5.0	36.00	180.00	25.0%	
WH-9	Aneno	4.0	48.00	192.00	26.7%	
WH-10	Belo	12.0	20.00	240.00	33.3%	
WH-11	Kora	5.0	12.00	60.00	8.3%	

\* : (1か月当り平均停電時間) ÷ 720時間 (24時間×30日)

出典: 市給水事務所または水組合への聞き取り調査の結果

## 6.3 目標年次と人口予測

### 6.3.1 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年に設定する。

### 6.3.2 各年次の人口予測

#### a. 一般人口の予測

給水計画の対象とする人口は、給水区人口（対象小都市人口）とし、給水区外から水を汲みに来る利用者数は考慮しないものとする。

また、本計画の基準人口及び世帯数は中央統計局（Central Statistical Agency : CSA）の2007年センサス人口を採用する。

人口増加率は、CSAの2007年のセンサスで得られたオロミア州の都市部人口増加率4.1%/年及び農村部人口増加率2.6%/年を採用する。都市部と農村部の区分についてはオロミア州工業・都市開発局（Oromia Industry and Urban Development Bureau）より入手したデータに基づく。対象小都市別の都市部・農村部の区分及び人口増加率を表6.3.1に示す。

上記の基準人口及び増加率から計算された2020年までの人口予測は表6.3.1に示すとおりである。また、2020年までの世帯数の予測は表6.3.2に示すとおりである。

表 6.3.1: 人口予測

ID	小都市	都市部・農村部区分 <sup>*1</sup>	人口増加率(%) <sup>*2</sup>	基準人口 <sup>2</sup>		予測人口 <sup>3</sup>					
				2007	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ES-1	Wonji Shewa Alemtena	Urban	4.1	6,435	8,525	8,875	9,239	9,617	10,012	10,422	10,849
ES-2	Geldiya	Urban	4.1	1,704	2,257	2,350	2,446	2,547	2,651	2,760	2,873
ES-3	Dire	Urban	4.1	5,141	6,811	7,090	7,381	7,683	7,998	8,326	8,668
ES-4	Bofa	Urban	4.1	3,159	4,185	4,357	4,535	4,721	4,915	5,116	5,326
ES-5	Bole	Urban	4.1	3,982	5,275	5,492	5,717	5,951	6,195	6,449	6,714
ES-6	Ude Dhankaka	Urban	4.1	4,350	5,763	5,999	6,245	6,501	6,768	7,045	7,334
ES-7	Bekejo	Rural	2.6	5,535	6,624	6,797	6,973	7,155	7,341	7,532	7,727
ES-8	Kamise	Urban	4.1	3,658	4,846	5,045	5,252	5,467	5,691	5,925	6,167
ES-9	Chefe Donsa	Urban	4.1	6,330	8,386	8,730	9,088	9,460	9,848	10,252	10,672
ES-10	Areda	Urban	4.1	2,077	2,752	2,864	2,982	3,104	3,231	3,364	3,502
ES-11	Biyo	Urban	4.1	2,044	2,708	2,819	2,935	3,055	3,180	3,310	3,446
ES-12	Adulala	Urban	4.1	2,930	3,882	4,041	4,207	4,379	4,559	4,745	4,940
AR-1	Sire	Urban	4.1	8,376	11,097	11,552	12,025	12,518	13,032	13,566	14,122
AR-2	Bolo	Urban	4.1	1,192	1,579	1,644	1,711	1,781	1,855	1,931	2,010
AR-3	Arboye	Urban	4.1	5,489	7,272	7,570	7,880	8,204	8,540	8,890	9,254
AR-4	Aseko	Urban	4.1	3,988	5,283	5,500	5,725	5,960	6,205	6,459	6,724
AR-5	Golegota	Urban	4.1	5,568	7,377	7,679	7,994	8,322	8,663	9,018	9,388
AR-6	Gonde	Urban	4.1	2,592	3,434	3,575	3,721	3,874	4,033	4,198	4,370
AR-7	Arbe Gebeya	Urban	4.1	2,033	2,693	2,804	2,919	3,038	3,163	3,293	3,428
WH-1	Chorora	Rural	2.6	2,280	2,729	2,800	2,873	2,947	3,024	3,102	3,183
WH-2	Bedeyi	Urban	4.1	2,223	2,945	3,066	3,192	3,322	3,459	3,600	3,748
WH-3	Hardim	Urban	4.1	4,457	5,905	6,147	6,399	6,661	6,934	7,219	7,515
WH-4	Bube	Rural	2.6	5,219	6,246	6,409	6,575	6,746	6,922	7,102	7,286
WH-5	Mieso	Urban	4.1	13,339	17,672	18,396	19,150	19,936	20,753	21,604	22,490
WH-6	Hargeti	Rural	2.6	2,812	3,365	3,453	3,543	3,635	3,729	3,826	3,926
WH-7	Bordede	Urban	4.1	2,219	2,940	3,060	3,186	3,316	3,452	3,594	3,741
WH-8	Kenteri	Rural	2.6	1,464	1,752	1,798	1,844	1,892	1,942	1,992	2,044
WH-9	Aneno	Rural	2.6	2,382	2,851	2,925	3,001	3,079	3,159	3,241	3,326
WH-10	Belo	Rural	2.6	3,919	4,690	4,812	4,937	5,066	5,198	5,333	5,471
WH-11	Kora	Rural	2.6	1,985	2,376	2,437	2,501	2,566	2,633	2,701	2,771

\*1 出典：オロミア州工業・都市開発局

\*2 出典：中央統計局(CSA)

\*3 出典：調査団算出

表 6.3.2: 世帯数予測

ID	小都市	人口増加率*1 (%)	基準世帯数*1	予測世帯数*2						
			2007	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ES-1	Wonji Shewa Alemtena	4.1	1,539	2,039	2,122	2,210	2,300	2,394	2,493	2,595
ES-2	Geldiya	4.1	384	509	530	551	574	597	622	647
ES-3	Dire	4.1	1,100	1,457	1,517	1,579	1,644	1,711	1,782	1,855
ES-4	Bofa	4.1	834	1,105	1,150	1,197	1,246	1,298	1,351	1,406
ES-5	Bole	4.1	1,356	1,796	1,870	1,947	2,027	2,110	2,196	2,286
ES-6	Ude Dhankaka	4.1	958	1,269	1,321	1,375	1,432	1,490	1,552	1,615
ES-7	Bekejo	2.6	1,135	1,358	1,394	1,430	1,467	1,505	1,544	1,585
ES-8	Kamise	4.1	727	963	1,003	1,044	1,087	1,131	1,177	1,226
ES-9	Chefe Donsa	4.1	2,004	2,655	2,764	2,877	2,995	3,118	3,246	3,379
ES-10	Arede	4.1	420	556	579	603	628	653	680	708
ES-11	Biyo	4.1	423	560	583	607	632	658	685	713
ES-12	Adulala	4.1	932	1,235	1,285	1,338	1,393	1,450	1,509	1,571
AR-1	Sire	4.1	2,646	3,505	3,649	3,799	3,955	4,117	4,285	4,461
AR-2	Bolo	4.1	304	403	419	436	454	473	492	513
AR-3	Arboye	4.1	1,568	2,077	2,162	2,251	2,343	2,440	2,540	2,644
AR-4	Aseko	4.1	1,198	1,587	1,652	1,720	1,790	1,864	1,940	2,020
AR-5	Golegota	4.1	1,707	2,261	2,354	2,451	2,551	2,656	2,765	2,878
AR-6	Gonde	4.1	742	983	1,023	1,065	1,109	1,154	1,202	1,251
AR-7	Arbe Gebeya	4.1	557	738	768	800	832	867	902	939
WH-1	Chorora	2.6	473	566	581	596	611	627	644	660
WH-2	Bedeyi	4.1	552	731	761	792	825	859	894	931
WH-3	Hardim	4.1	929	1,231	1,281	1,334	1,388	1,445	1,505	1,566
WH-4	Bube	2.6	1,034	1,238	1,270	1,303	1,337	1,371	1,407	1,444
WH-5	Mieso	4.1	3,120	4,133	4,303	4,479	4,663	4,854	5,053	5,260
WH-6	Hargeti	2.6	624	747	766	786	807	828	849	871
WH-7	Bordede	4.1	560	742	772	804	837	871	907	944
WH-8	Kenteri	2.6	335	401	411	422	433	444	456	468
WH-9	Aneno	2.6	500	598	614	630	646	663	680	698
WH-10	Belo	2.6	774	926	950	975	1,000	1,027	1,053	1,081
WH-11	Kora	2.6	499	597	613	629	645	662	679	697

\*1 出典：中央統計局(CSA)2007年センサス

\*2 出典：調査団算出

## 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結果を表 6.3.3に示す。

表 6.3.3: 学校及び医療機関の給水人口予測

ID	小都市	人口増加率 <sup>1</sup> (%)	基準人口 <sup>2</sup>		予測人口											
			2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020	
			学校 <sup>3</sup>	医療機関 <sup>4</sup>	学校	医療機関	学校	医療機関	学校	医療機関	学校	医療機関	学校	医療機関	学校	医療機関
ES-1	Wonji Shewa Alentena	4.1	2,821	26	2,937	27	3,057	28	3,182	29	3,313	31	3,449	32	3,590	33
ES-2	Geldiya	4.1	409	17	426	18	443	18	461	19	480	20	500	21	521	22
ES-3	Dire	4.1	595	30	619	31	645	33	671	34	699	35	727	37	757	38
ES-4	Bofa	4.1	515	18	536	19	558	20	581	20	605	21	630	22	655	23
ES-5	Bole	4.1	1,563	48	1,627	50	1,694	52	1,763	54	1,836	56	1,911	59	1,989	61
ES-6	Ude Dhankaka	4.1	845	23	880	24	916	25	953	26	992	27	1,033	28	1,075	29
ES-7	Bekejo	2.6	792	28	813	29	834	29	855	30	878	31	900	32	924	33
ES-8	Kamise	4.1	331	7	345	7	359	8	373	8	389	8	405	9	421	9
ES-9	Chefe Donsa	4.1	3,001	49	3,124	51	3,252	53	3,385	55	3,524	58	3,669	60	3,819	62
ES-10	Areda	4.1	318	25	331	26	345	27	359	28	373	29	389	31	405	32
ES-11	Biyo	4.1	582	13	606	14	631	14	657	15	683	15	712	16	741	17
ES-12	Adulala	4.1	1,272	34	1,324	35	1,378	37	1,435	38	1,494	40	1,555	42	1,619	43
AR-1	Sire	4.1	2,863	30	2,980	31	3,103	33	3,230	34	3,362	35	3,500	37	3,644	38
AR-2	Bolo	4.1	285	27	297	28	309	29	322	30	335	32	348	33	363	34
AR-3	Arboye	4.1	4,172	69	4,343	72	4,521	75	4,706	78	4,899	81	5,100	84	5,309	88
AR-4	Aseko	4.1	1,686	21	1,755	22	1,827	23	1,902	24	1,980	25	2,061	26	2,146	27
AR-5	Golegota	4.1	1,011	60	1,052	62	1,096	65	1,141	68	1,187	70	1,236	73	1,287	76
AR-6	Gonde	4.1	680	20	708	21	737	22	767	23	799	23	831	24	865	25
AR-7	Arbe Gebeya	4.1	1,301	35	1,354	36	1,410	38	1,468	39	1,528	41	1,590	43	1,656	45
WH-1	Chorora	2.6	800	25	821	26	842	26	864	27	887	28	910	28	933	29
WH-2	Bedeyi	4.1	1,147	43	1,194	45	1,243	47	1,294	49	1,347	50	1,402	53	1,460	55
WH-3	Hardim	4.1	1,339	34	1,394	35	1,451	37	1,511	38	1,572	40	1,637	42	1,704	43
WH-4	Bube	2.6	826	25	847	26	870	26	892	27	915	28	939	28	964	29
WH-5	Mieso	4.1	3,867	49	4,026	51	4,191	53	4,362	55	4,541	58	4,727	60	4,921	62
WH-6	Hargeti	2.6	346	1	355	1	364	1	374	1	383	1	393	1	404	1
WH-7	Bordede	4.1	446	19	464	20	483	21	503	21	524	22	545	23	568	24
WH-8	Kenteri	2.6	325	2	333	2	342	2	351	2	360	2	370	2	379	2
WH-9	Aneno	2.6	214	1	220	1	225	1	231	1	237	1	243	1	250	1
WH-10	Belo	2.6	61	13	63	13	64	14	66	14	68	14	69	15	71	15
WH-11	Kora	2.6	345	17	354	17	363	18	373	18	382	19	392	19	402	20

\*1 出典：中央統計局(CSA)2007年センサス

\*2 出典：本調査結果

\*3 出典：生徒数、教職員数の合計

\*4 出典：医療従事者数、ベッド数の合計

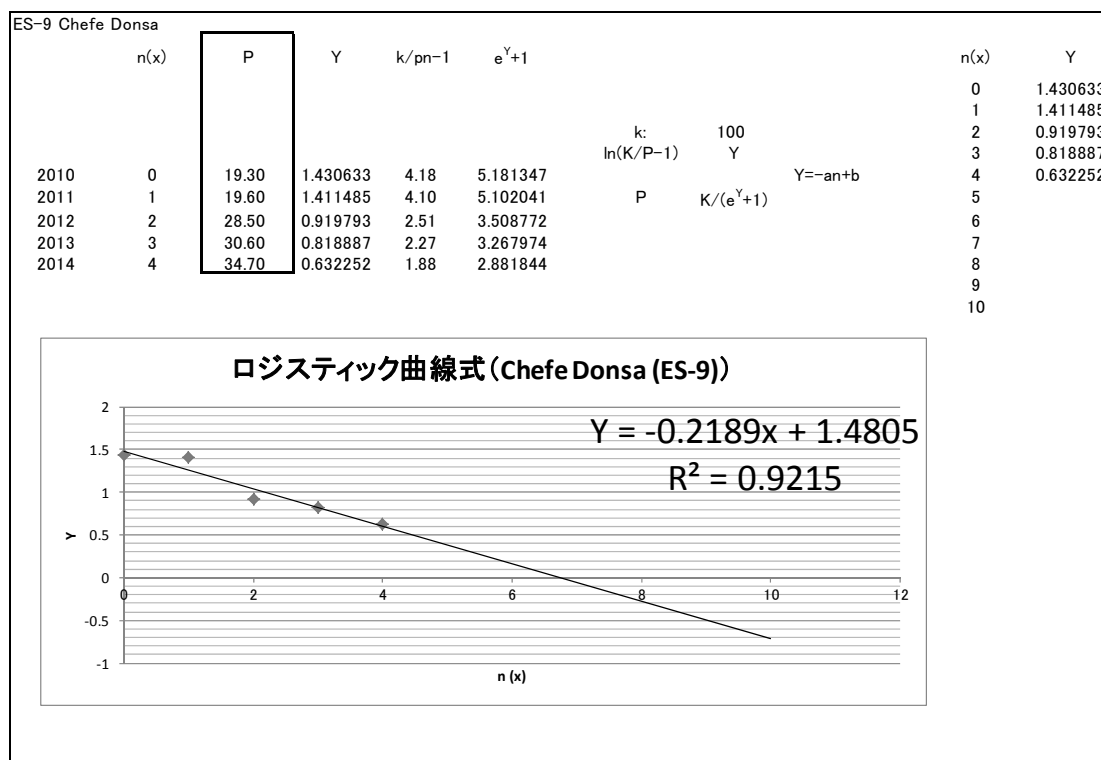


c. 水栓別人口予測  
c.1 戸別接続増加予測  
c.1.1 ロジスティック曲線

表 6.2.4に示す戸別接続の推移は小都市ごとに大きく異なる。これには様々な理由があると考えられるが、戸別接続が増加しない主な理由としては配水管網が小都市全体をカバーしていない、供給能力不足により戸別接続しても水が出ない等が考えられる。

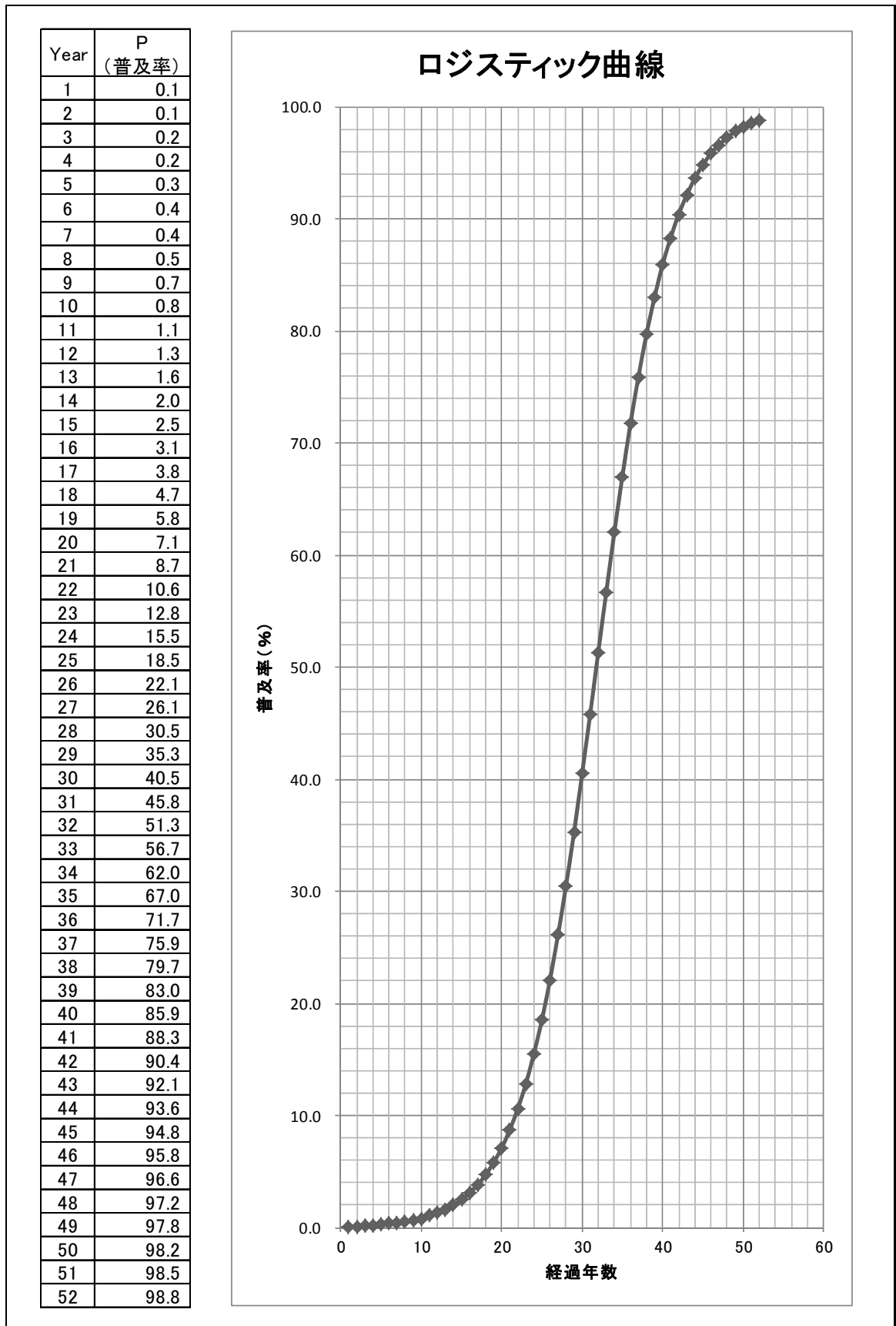
一方、本プロジェクトで提案する給水計画が実行された場合には配水管網が小都市全体をカバーするとともに十分な水供給能力を有するので戸別接続の普及が促進されることが考えられる。

このため、対象小都市の中でも水供給能力に比較的余裕があり、配水管網が都市全体に行き渡って、戸別接続が最も自然に増加してきたと思われる **Chefe Donsa (ES-9)** をモデルとして戸別接続の普及率を予測するためのロジスティック曲線式を図 6.3.1のとおり求めた。このロジスティック曲線式に基づき計算された普及率のモデルを図 6.3.2に示す。



出典: 調査団

図 6.3.1: モデルとするロジスティック曲線式



出典：調査団

図 6.3.2: 普及率のモデル

### c.1.2 普及率予測

各小都市の 2014 年現在の普及率を図 6.3.2に示すロジスティック曲線にプロットして求めた 2020 年までの普及率の予測を表 6.3.4に示す。

表 6.3.4: 戸別接続普及率予測

ID	小都市	2014年現在普及率			予測普及率(%)					
		世帯数 <sup>1</sup>	戸別接続数	普及率(%)	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ES-1	Wonji Shewa Alentena	2,039	44	2.2	2.7	3.4	4.2	5.1	6.3	7.7
ES-2	Geldiya	509	232	45.6	51.1	56.5	61.8	66.8	71.5	75.7
ES-3	Dire	1,457	91	6.2	7.6	9.3	11.3	13.6	16.4	19.6
ES-4	Bofa	1,105	260	23.5	27.6	32.2	37.1	42.4	47.7	53.2
ES-5	Bole	1,796	120	6.7	8.2	10.0	12.1	14.7	17.6	21.0
ES-6	Ude Dhankaka	1,269	0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4
ES-7	Bekejo	1,358	30	2.2	2.7	3.4	4.2	5.1	6.3	7.7
ES-8	Kamise	963	3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.7	0.8	1.1
ES-9	Chefe Donsa	2,655	921	34.7	39.9	45.1	50.6	56.0	61.3	66.4
ES-10	Areda	556	0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4
ES-11	Biyo	560	0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4
ES-12	Adulala	1,235	431	34.9	40.1	45.4	50.8	56.3	61.6	66.6
AR-1	Sire	3,505	516	14.7	17.6	21.0	24.9	29.2	33.9	39.0
AR-2	Bolo	403	56	13.9	16.7	20.0	23.7	27.9	32.5	37.4
AR-3	Arboye	2,077	570	27.4	31.9	36.8	42.1	47.4	52.9	58.3
AR-4	Aseko	1,587	67	4.2	5.2	6.4	7.8	9.5	11.6	14.0
AR-5	Golegota	2,261	151	6.7	8.2	10.0	12.1	14.7	17.6	21.0
AR-6	Gonde	983	283	28.8	33.4	38.5	43.8	49.2	54.6	60.0
AR-7	Arbe Gebeya	738	350	47.4	57.9	63.1	68.0	72.6	76.7	80.4
WH-1	Chorora	566	146	25.8	30.2	34.9	40.1	45.4	50.9	56.3
WH-2	Bedeyi	731	101	13.8	16.6	19.8	23.6	27.7	32.3	37.2
WH-3	Hardim	1,231	90	7.3	8.9	10.9	13.1	15.9	19.0	22.6
WH-4	Bube	1,238	13	1.1	1.3	1.6	2.0	2.5	3.1	3.8
WH-5	Mieso	4,133	728	17.6	21.0	24.9	29.2	33.9	38.9	44.2
WH-6	Hargeti	747	0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4
WH-7	Bordede	742	162	21.8	25.8	30.1	34.9	40.1	45.4	50.8
WH-8	Kenteri	401	0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4
WH-9	Aneno	598	0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4
WH-10	Belo	926	2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.7
WH-11	Kora	597	80	13.4	16.2	19.3	23.0	27.1	31.6	36.5

\*1 出典：中央統計局(CSA)2007年センサスに基づき調査団算出

\*2 出典：調査団算出

### c.2 水栓別人口予測

上記に基づいて予測した 2020 年の水栓別の給水人口予測を表 6.3.5に示す。

表 6.3.5: 水栓別の給水人口予測

ID	小都市	世帯当人口 <sup>1</sup>	2014年現在						2020年予測					
			世帯数 <sup>1</sup>	戸別接続数 <sup>2</sup>	普及率 (%)	全人口 <sup>1</sup>	戸別接続利用人口	共同水栓利用人口	世帯数	戸別接続数	普及率 (%)	全人口	戸別接続利用人口	共同水栓利用人口
ES-1	Wonji Shewa Alemtena	4.18	2,039	44	2.20	8,525	184	8,341	2,595	200	7.70	10,849	836	10,013
ES-2	Geldiya	4.44	509	232	45.60	2,257	1,030	1,227	647	490	75.70	2,873	2,176	697
ES-3	Dire	4.67	1,457	91	6.20	6,811	425	6,386	1,855	364	19.60	8,668	1,700	6,968
ES-4	Bofa	3.79	1,105	260	23.50	4,185	985	3,200	1,406	748	53.20	5,326	2,835	2,491
ES-5	Bole	2.94	1,796	137	7.60	5,275	403	4,872	2,286	480	21.00	6,714	1,411	5,303
ES-6	Ude Dhankaka	4.54	1,269	0	0.00	5,763	0	5,763	1,615	6	0.40	7,334	27	7,307
ES-7	Bekejo	4.88	1,358	30	2.20	6,624	146	6,478	1,585	122	7.70	7,727	595	7,132
ES-8	Kamise	5.03	963	3	0.30	4,846	15	4,831	1,226	13	1.10	6,167	65	6,102
ES-9	Chefe Donsa	3.16	2,655	921	34.70	8,386	2,910	5,476	3,379	2,244	66.40	10,672	7,091	3,581
ES-10	Areda	4.95	556	0	0.00	2,752	0	2,752	708	3	0.40	3,502	15	3,487
ES-11	Biyo	4.83	560	0	0.00	2,708	0	2,708	713	3	0.40	3,446	14	3,432
ES-12	Adulala	3.14	1,235	431	34.90	3,882	1,353	2,529	1,571	1,046	66.60	4,940	3,284	1,656
AR-1	Sire	3.17	3,505	516	14.70	11,097	1,636	9,461	4,461	1,740	39.00	14,122	5,516	8,606
AR-2	Bolo	3.92	403	56	13.90	1,579	220	1,359	513	192	37.40	2,010	753	1,257
AR-3	Arboye	3.50	2,077	570	27.40	7,272	1,995	5,277	2,644	1,541	58.30	9,254	5,394	3,860
AR-4	Aseko	3.33	1,587	67	4.20	5,283	223	5,060	2,020	283	14.00	6,724	942	5,782
AR-5	Golegota	3.26	2,261	136	6.00	7,377	443	6,934	2,878	604	21.00	9,388	1,969	7,419
AR-6	Gonde	3.49	983	283	28.80	3,434	988	2,446	1,251	751	60.00	4,370	2,621	1,749
AR-7	Arbe Gebeya	3.65	738	350	52.50	2,693	1,278	1,415	939	755	80.40	3,428	2,756	672
WH-1	Chorora	4.82	566	146	25.80	2,729	704	2,025	660	372	56.30	3,183	1,793	1,390
WH-2	Bedeyi	4.03	731	101	13.80	2,945	407	2,538	931	346	37.20	3,748	1,394	2,354
WH-3	Hardim	4.80	1,231	90	7.30	5,905	432	5,473	1,566	354	22.60	7,515	1,699	5,816
WH-4	Bube	5.05	1,238	13	1.10	6,246	66	6,180	1,444	55	3.80	7,286	278	7,008
WH-5	Mieso	4.28	4,133	728	17.60	17,672	3,116	14,556	5,260	2,325	44.20	22,490	9,951	12,539
WH-6	Hargeti	4.51	747	0	0.00	3,365	0	3,365	871	3	0.40	3,926	14	3,912
WH-7	Bordede	3.96	742	162	21.80	2,940	642	2,298	944	480	50.80	3,741	1,901	1,840
WH-8	Kenteri	4.37	401	0	0.00	1,752	0	1,752	468	2	0.40	2,044	9	2,035
WH-9	Aneno	4.76	598	0	0.00	2,851	0	2,851	698	3	0.40	3,326	14	3,312
WH-10	Belo	5.06	926	2	0.20	4,690	10	4,680	1,081	8	0.70	5,471	40	5,431
WH-11	Kora	3.98	597	80	13.40	2,376	318	2,058	697	254	36.50	2,771	1,011	1,760

\*1 出典：中央統計局(CSA)2007年センサスに基づき調査団計算

\*2 出典：市給水事務所／水組合

## 6.4 水需要予測

### 6.4.1 計画条件

本計画における設計条件は表 6.4.1に示すとおりであり、原則としてエチオピア国設計基準に準拠するが、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る。

表 6.4.1: 本計画の設計条件

番号	項目	設計条件	準拠する基準	
1	人口増加率	Urban Rural 4.1%/年 2.6%/年	CSA2007年センサス	
2	給水原単位	一般(Urban)	40.0L/人/日	エチオピア国基準*1
		一般(Rural)	25.0L/人/日	エチオピア国基準*1
		学校	5.0L/人/日	エチオピア国基準*2
		医療機関	25.0L/人/日	エチオピア国基準*2
3	無収水量	有効水量の15%	エチオピア国基準*2	
4	水需要量	給水人口×給水原単位÷87.0%=83.3%	エチオピア国基準*2	
5	1日平均給水量	給水人口×給水原単位		
6	1人1日平均給水量	1日平均使用水量÷給水人口		
7	供給率	計画1日最大給水量÷水需要量		
8	計画有効率	87.0%(100%÷115%)	エチオピア国基準*2	
9	計画1日平均給水量	1日平均給水量÷計画有効率		
10	計画負荷率	83.3%(100%÷120%)	エチオピア国基準*2	
11	計画1日最大給水量	計画1日平均給水量÷計画負荷率		
12	配水池の容量	10,000人以上	計画1日平均給水量の12h分	エチオピア国基準*2
		10,000人未満	計画1日平均給水量の15h分	

\*1: The Second Growth and Transformation Plan (2015/16 - 2019/20)

\*2: Rural Water Supply and Sanitation Design Criteria (Rural Water Supply and Sanitation Department, Ministry of Water Resources, April 2005)

### 6.4.2 一日平均給水量

人口及び給水原単位を基に算出した 2020 年における一日平均給水量は、表 6.4.2に示すとおりとなった。



表 6.4.2: 一日平均給水量

ID	小都市	都市部・農村 区分*1	計画給水人口 (2020年)	家庭用水						学校用水			医療機関用水			1日平均給 水量 (m <sup>3</sup> /日)
				共同水栓			戸別接続			人口 (2020年)	給水原単位*2 (L/人/日)	合計 (m <sup>3</sup> /日)	人口 (2020年)	給水原単位*2 (L/人/日)	合計 (m <sup>3</sup> /日)	
				人口 (2020年)	給水原単位*1 (L/人/日)	合計 (m <sup>3</sup> /日)	人口 (2020年)	給水原単位*1 (L/人/日)	合計 (m <sup>3</sup> /日)							
ES-1	Wonji Shewa Alemtena	Urban	10,849	10,013	40.0	400.5	836	40.0	33.4	3,590	5.0	18.0	33	25.0	0.8	452.7
ES-2	Geldiya	Urban	2,873	697	40.0	27.9	2,176	40.0	87.0	521	5.0	2.6	22	25.0	0.6	118.1
ES-3	Dire	Urban	8,668	6,968	40.0	278.7	1,700	40.0	68.0	757	5.0	3.8	38	25.0	1.0	351.5
ES-4	Bofa	Urban	5,326	2,491	40.0	99.6	2,835	40.0	113.4	655	5.0	3.3	23	25.0	0.6	216.9
ES-5	Bole	Urban	6,714	5,303	40.0	212.1	1,411	40.0	56.4	1,989	5.0	9.9	61	25.0	1.5	279.9
ES-6	Ude Dhankaka	Urban	7,334	7,307	40.0	292.3	27	40.0	1.1	1,075	5.0	5.4	29	25.0	0.7	299.5
ES-7	Bekejo	Rural	7,727	7,132	25.0	178.3	595	25.0	14.9	924	5.0	4.6	33	25.0	0.8	198.6
ES-8	Kamise	Urban	6,167	6,102	40.0	244.1	65	40.0	2.6	421	5.0	2.1	9	25.0	0.2	249.0
ES-9	Chefe Donsa	Urban	10,672	3,581	40.0	143.2	7,091	40.0	283.6	3,819	5.0	19.1	62	25.0	1.6	447.5
ES-10	Areda	Urban	3,502	3,487	40.0	139.5	15	40.0	0.6	405	5.0	2.0	32	25.0	0.8	142.9
ES-11	Biyo	Urban	3,446	3,432	40.0	137.3	14	40.0	0.6	741	5.0	3.7	17	25.0	0.4	142.0
ES-12	Adulala	Urban	4,940	1,656	40.0	66.2	3,284	40.0	131.4	1,619	5.0	8.1	43	25.0	1.1	206.8
AR-1	Sire	Urban	14,122	8,606	40.0	344.2	5,516	40.0	220.6	3,644	5.0	18.2	38	25.0	1.0	584.0
AR-2	Bolo	Urban	2,010	1,257	40.0	50.3	753	40.0	30.1	363	5.0	1.8	34	25.0	0.9	83.1
AR-3	Arboye	Urban	9,254	3,860	40.0	154.4	5,394	40.0	215.8	5,309	5.0	26.5	88	25.0	2.2	398.9
AR-4	Aseko	Urban	6,724	5,782	40.0	231.3	942	40.0	37.7	2,146	5.0	10.7	27	25.0	0.7	280.4
AR-5	Golegota	Urban	9,388	7,419	40.0	296.8	1,969	40.0	78.8	1,287	5.0	6.4	76	25.0	1.9	383.9
AR-6	Gonde	Urban	4,370	1,749	40.0	70.0	2,621	40.0	104.8	865	5.0	4.3	25	25.0	0.6	179.7
AR-7	Arbe Gebeya	Urban	3,428	672	40.0	26.9	2,756	40.0	110.2	1,656	5.0	8.3	45	25.0	1.1	146.5
WH-1	Chorora	Rural	3,183	1,390	25.0	34.8	1,793	25.0	44.8	933	5.0	4.7	29	25.0	0.7	85.0
WH-2	Bedeyi	Urban	3,748	2,354	40.0	94.2	1,394	40.0	55.8	1,460	5.0	7.3	55	25.0	1.4	158.7
WH-3	Hardim	Urban	7,515	5,816	40.0	232.6	1,699	40.0	68.0	1,704	5.0	8.5	43	25.0	1.1	310.2
WH-4	Bube	Rural	7,286	7,008	25.0	175.2	278	25.0	7.0	964	5.0	4.8	29	25.0	0.7	187.7
WH-5	Mieso	Urban	22,490	12,539	40.0	501.6	9,951	40.0	398.0	4,921	5.0	24.6	62	25.0	1.6	925.8
WH-6	Hargeti	Rural	3,926	3,912	25.0	97.8	14	25.0	0.4	404	5.0	2.0	1	25.0	0.0	100.2
WH-7	Bordede	Urban	3,741	1,840	40.0	73.6	1,901	40.0	76.0	568	5.0	2.8	24	25.0	0.6	153.0
WH-8	Kenteri	Rural	2,044	2,035	25.0	50.9	9	25.0	0.2	379	5.0	1.9	2	25.0	0.1	53.1
WH-9	Aneno	Rural	3,326	3,312	25.0	82.8	14	25.0	0.4	250	5.0	1.3	1	25.0	0.0	84.5
WH-10	Belo	Rural	5,471	5,431	25.0	135.8	40	25.0	1.0	71	5.0	0.4	15	25.0	0.4	137.6
WH-11	Kora	Rural	2,771	1,760	25.0	44.0	1,011	25.0	25.3	402	5.0	2.0	20	25.0	0.5	71.8

\*1: The Second Growth & Transformation Plan (2015/16 - 2019/20)に準拠

\*2: Urban Water Supply Design Criteria (Water Resources Administration Urban Water Supply and Sanitation Department, Ministry of Water Resources, January 31, 2006)に準拠

### 6.4.3 計画一日平均給水量及び計画一日最大給水量

表 6.4.1に示す計画有効率及び計画負荷率を用いて求めた計画一日平均給水量及び計画一日最大給水量は表 6.4.3に示すとおりとなった。

表 6.4.3: 計画一日平均給水量及び計画一日最大給水量

単位: m<sup>3</sup>/日

ID	小都市	1日平均給水量 a	計画有効率 b	計画1日平均給水量 c=a÷b	計画負荷率 d	計画1日最大給水量 e=c×d
ES-1	Wonji Shewa Alemtena	452.7	87.0%	520.3	83.3%	624.6
ES-2	Geldiya	118.1	87.0%	135.7	83.3%	162.9
ES-3	Dire	351.5	87.0%	404.0	83.3%	485.0
ES-4	Bofa	216.9	87.0%	249.3	83.3%	299.3
ES-5	Bole	279.9	87.0%	321.7	83.3%	386.2
ES-6	Ude Dhankaka	299.5	87.0%	344.3	83.3%	413.3
ES-7	Bekejo	198.6	87.0%	228.3	83.3%	274.1
ES-8	Kamise	249.0	87.0%	286.2	83.3%	343.6
ES-9	Chefe Donsa	447.5	87.0%	514.4	83.3%	617.5
ES-10	Arede	142.9	87.0%	164.3	83.3%	197.2
ES-11	Biyo	142.0	87.0%	163.2	83.3%	195.9
ES-12	Adulala	206.8	87.0%	237.7	83.3%	285.4
AR-1	Sire	584.0	87.0%	671.3	83.3%	805.9
AR-2	Bolo	83.1	87.0%	95.5	83.3%	114.6
AR-3	Arboye	398.9	87.0%	458.5	83.3%	550.4
AR-4	Aseko	280.4	87.0%	322.3	83.3%	386.9
AR-5	Golegota	383.9	87.0%	441.3	83.3%	529.8
AR-6	Gonde	179.7	87.0%	206.6	83.3%	248.0
AR-7	Arbe Gebeya	146.5	87.0%	168.4	83.3%	202.2
WH-1	Chorora	85.0	87.0%	97.7	83.3%	117.3
WH-2	Bedeyi	158.7	87.0%	182.4	83.3%	219.0
WH-3	Hardim	310.2	87.0%	356.6	83.3%	428.1
WH-4	Bube	187.7	87.0%	215.7	83.3%	258.9
WH-5	Mieso	925.8	87.0%	1,064.1	83.3%	1,277.4
WH-6	Hargeti	100.2	87.0%	115.2	83.3%	138.3
WH-7	Bordede	153.0	87.0%	175.9	83.3%	211.2
WH-8	Kenteri	53.1	87.0%	61.0	83.3%	73.2
WH-9	Aneno	84.5	87.0%	97.1	83.3%	116.6
WH-10	Belo	137.6	87.0%	158.2	83.3%	189.9
WH-11	Kora	71.8	87.0%	82.5	83.3%	99.0

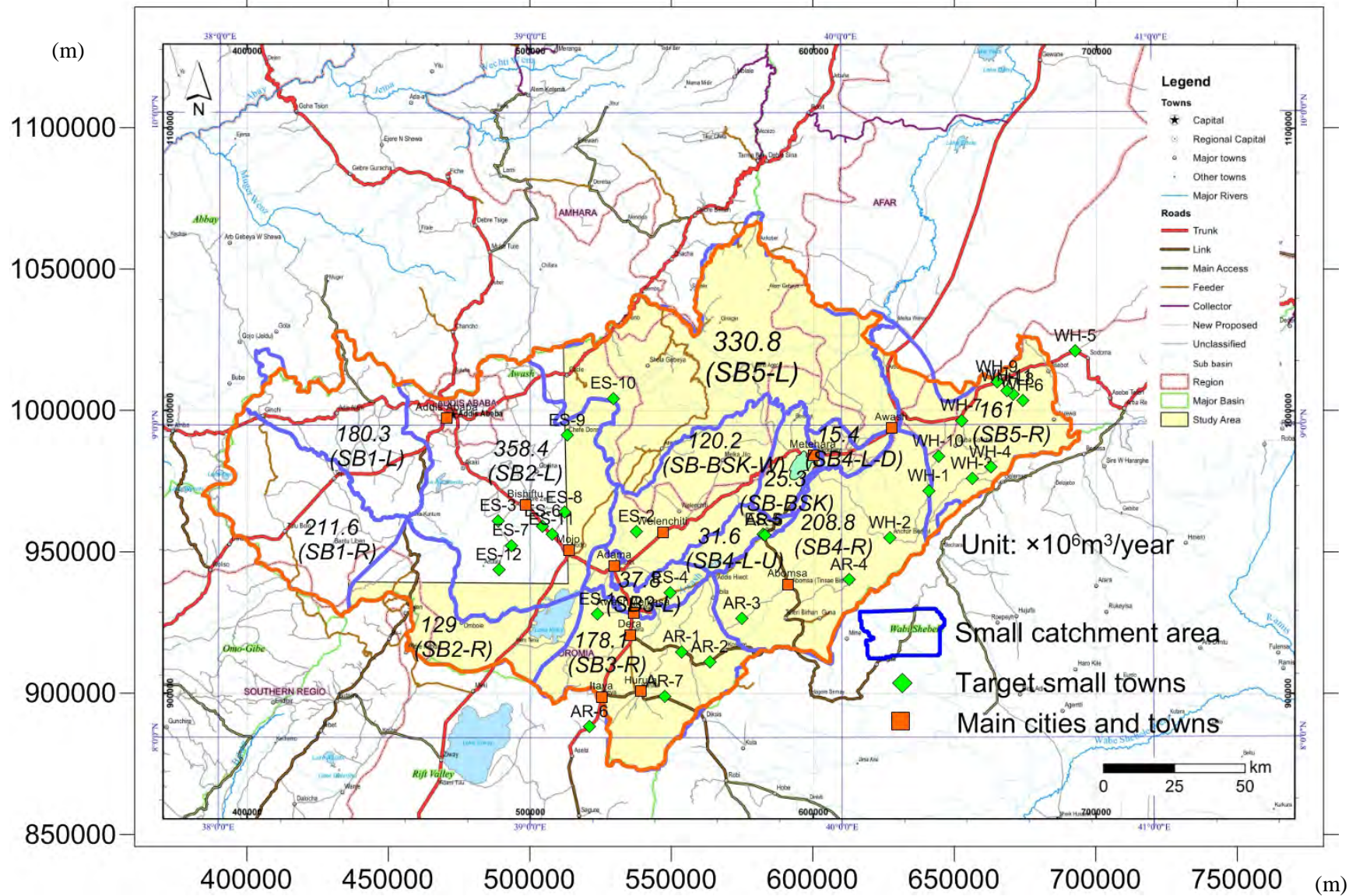
\*1 出典: 調査団算出

## 6.5 地下水開発

### 6.5.1 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、特に深井戸を利用した水源の選定を行うことにする。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。

アワシュ川中流域は、13の小流域に区分され、それぞれの流域での年間降水量と流出率を求め、それにBFI (Base Flow Index) を乗じて基底流量 (地下水涵養量) を求めた (表 6.5.1参照)。各小流域の流域区分と年間平均地下水涵養量 (m<sup>3</sup>/year) は図 6.5.1に示した。



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 6.5.1: 小流域の地下水涵養量

表 6.5.1: 小流域ごとの地下水涵養量

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

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

各小流域での地下水利用量に関しては、小流域内の主要な都市の水需要量（揚水流量）（2035年の予測）と2035年での対象小都市の計画需要量（揚水流量）（計画需要量のうち計画日最大給水量で都市部50L/人/日の給水原単位を想定した場合）を合計して地下水涵養量との比較を行った。主要都市は、アディスアベバ、Bishoftu（旧：Debre Zeit）、Mojo、Adama（旧：Nazret）、Huruta、Itaya、Welenchiti、Dera、Awash Melkasa、Abomsa、Metehara及びAwashである。このうち、Adama、Metehara及びAwashは表流水を、またHuruta、Itaya、Welenchiti、Dera及びAwash Melkasaは湧水を使用しているため揚水流量の値からは除外している。地下水涵養量に対する揚水流量の比率は、表6.5.2に示したように、データを得た大部分の小流域で、1%以下であり、揚水流量の量的な確保は十分可能であることがわかる。小流域のうちSB2-Lは、図6.5.1からも判別されるように、アディスアベバ、Bishoftu及びMojoの中大都市を含んでおり、そこでの揚水流量と今回の対象都市の2035年の予測揚水流量を加算した値からは、地下水涵養量に対して揚水流量が30%以上を占める値となっている。

表 6.5.2: 地下水涵養量に対する揚水流量の比率

番号	小流域	中大都市の揚水流量 (2035年の予測値) (Y1) [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /year]	対象小都市の揚水流量 (2035年の予測値) (Y2) [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /year]	揚水流量合計 [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /year] (Y=Y1+Y2)	年間地下水涵養量 (GWR)	Y/GWR [%]
					[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /year]	
3	SB2-L	120.90	2.25	123.15	358.4	34.4
5	SB3-L	-	0.25	0.25	37.8	0.7
6	SB3-R	-	1.65	1.65	178.1	0.9
7	SB4-L-U	-	0.32	0.32	31.6	1.0
9	SB4-R	0.36	1.46	1.82	208.8	0.9
11	SB5-R	-	2.06	2.06	161.0	1.3
12	SB-BSK-W	0.59	0.14	0.73	120.2	0.6

### 6.5.2 帯水層区分とその特徴

対象小都市の分布するアワシュ川中流域の地下水の生産性に関する帯水層の区分と地質の関係は表 6.5.3に示す。本地域での帯水層は以下に示す3種類の地層が挙げられる。

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

これらの地層の分布状況や帯水層定数を基本として、アワシュ川中流域の水利地質図を作成した。水利地質図においては対象となる小都市の位置も示し、小都市での地下水ポテンシャル（推定揚水流量）の目安が得られる。

表 6.5.3: アワシュ川中流域の帯水層区分

年代区分	地質層序	代表的な層相	帯水層区分	帯水層のタイプ	注釈	
新第三紀	沖積層 (Qa1)	砂、粘土、礫、湖成堆積物	1C	層状水の帯水層	砂質や礫質部分は透水性が良いが、粘土や泥質部は難透水層。	
		黒曜石溶岩及びドーム (Qr2)	黒曜石溶岩を含む流紋岩質堆積物	5	—	分布は非常に限定される。
		完新世玄武岩類 (Qb2)	ガラス質玄武岩、無斑晶質玄武岩及びスコリアコーン堆積物	3C	裂隙水の帯水層	塊状の玄武岩であるが、空隙の多い部分やスコリア質の箇所は下位層との関係から透水層になりうる。
	第四紀	Fentale イグニブライト (Q13)	流紋岩質～安山岩質淡緑色強溶結凝灰岩	3B	裂隙水の帯水層	固結した溶結凝灰岩を主体とするが、割れ目が発達する箇所は良い帯水層となる。
		Fentale 火山岩類 (Qf)	流紋岩、粗面岩、凝灰岩及び集塊岩	3C	裂隙水の帯水層	全体として空隙が多いがFentale火山周辺にしか分布せず平面的な広がりに限界がある。
		Boseti & Kone 降下軽石 (Qp2)	降下軽石堆積物	1C	層状水の帯水層	透水性は高いが下位層に難透水層がない場合は、取水が難しい。
		Kone イグニブライト (Q12)	緑色固結、溶結凝灰岩	3B	裂隙水の帯水層	固結した溶結凝灰岩を主体とするが、割れ目が発達する箇所は良い帯水層となる。
		更新世玄武岩類 (Qb1)	無斑晶玄武岩	3B	裂隙水の帯水層	塊状であるが、亀裂の発達する部分も存在し、良好な帯水層となることが期待される。
		Sobebor 火山砂層 (Qs)	タフリング、マールを構成した火山砂	5	—	分布は非常に限定される。
		Zikwala トライカイト (Qt)	粗面岩	3C	裂隙水の帯水層	Zikwala山周辺にしか分布せず、ドーム状の分布で平面的な広がりに限界がある。
		Chefe Donsa 火砕堆積岩類 (Qp1)	弱溶結凝灰岩を挟在する軽石、凝灰岩火山堆積物	1B	層状水の帯水層	透水性は高いが下位層に難透水層がない場合は、取水が難しい。
		更新世流紋岩類 (Qr1)	流紋岩	3C	裂隙水の帯水層	亀裂の発達した流紋岩であるが、下位層との関係から取水が難しい。
		Dino イグニブライト (Q11)	緑灰色溶結凝灰岩	3B	裂隙水の帯水層	亀裂の発達した溶結凝灰岩で良好な帯水層となる。
		第四紀	更新世	Bofa 玄武岩類 (Tb3)	無斑晶玄武岩	3B
Chilalo粗面玄武岩類 (Tt)	粗面岩、粗面岩質玄武岩			3B	裂隙水の帯水層	塊状粗面玄武岩であるが、割れ目もあり、また凝灰角礫岩の部分が良好な帯水層となる。
上部 Nazret 火砕堆積物 (T13)	淡、暗灰色溶結凝灰岩			3A	裂隙水の帯水層	裂隙系の発達した部分を挟在する溶結凝灰岩で、良好な帯水層になりうる。
下部 Nazret 火砕堆積物 (T12)	軽石、凝灰岩			3A	一部層状水及び裂隙水の帯水層	透水性が高く、取水の事例も多い。
鮮新世	鮮新世流紋岩類 (Tr2)		軽石質凝灰岩含む流紋岩	3B	裂隙水の帯水層	軽石質凝灰岩の部分や亀裂の多い箇所が、良好な帯水層になりうる。
	Anchar 玄武岩類 (Tb2)		無斑晶玄武岩	3B	裂隙水の帯水層	亀裂が比較的発達しており、取水事例も多い。
	Debre Birhan イグニブライト (Ti1)		火山質礫岩、凝灰岩、火山質砂と溶結した細～中粒凝灰岩及び弱溶結軽石質凝灰岩	3C	一部層状水及び裂隙水の帯水層	層状水が期待される箇所は、分布が局所的である。
	Huse Ridge 流紋岩類 (Tr1)		白色～青灰色流紋岩、凝灰岩	3C	裂隙水の帯水層	塊状の流紋岩類であり、割れ目はさほど多くない。
中新世	Alaji 玄武岩類 (Tb1)	長石、無斑晶玄武岩	3A	裂隙水の帯水層	構造運動による亀裂の発達がよく、良好な帯水層になりうる。	



### 6.5.3 地下水開発の可能性

地下水開発の可能性については、既存井戸や JICA 井戸の帯水層定数の情報や地質踏査での岩層等の判断から水理地質図を作成しており、アワシユ全域では中～高の生産性が見込める。ただし、Beseka 湖や Koka 湖周辺とアワシユ川流域では、フッ素濃度がエチオピア基準値（1.5 mg/L）を超えており、特に Koka 湖よりも北西側では、エチオピア国の旧基準値（3.0 mg/L）よりも高い地域が見られる。その他の地域、とくに南東側のリフトリッジ沿いの West Hararge ゾーンや北西側のリフトリッジ沿いではフッ素濃度は基準値以下である。

既存井戸や JICA 井戸の生産量は、揚水流量は、0～5 L/sec：低、5～10 L/sec：中、10 L/sec～：高に区分される。また比貯留量は、0～2 L/sec/m：低、2～4 L/sec/m：中、4 L/sec/m～：高に区分され、生産量の評価は両者の組み合わせで判定した。

第三紀鮮新世・中新世の凝灰岩・溶結凝灰岩及び玄武岩の分布する地域は、揚水流量が中～高の範囲を示し、比貯留量は中程度である。生産量は全体的にみて中～高の値を示す。ただし中新世の流紋岩には生産量の低い層準も挟まれる。主な地層は、調査地の南東、北西のリフトリッジ沿いに分布する。

第四紀更新世の凝灰岩・溶結凝灰岩及び玄武岩の分布する地域は、揚水流量は低～中の範囲を示し、比貯留量は低～高と範囲が広い。生産量はほぼ中程度の値を示し、流紋岩類で生産量が低いものも含まれる。これらの地層は、Koka 湖南部に分布する。その他の地層は主にアワシユ川中流域のリフトフロア一部に分布しているほか、Fentale 火山の南側に分布する。

沖積層ならびに湖沼堆積物は、揚水流量は低～中、比貯留量は低で、全体に生産量は低い。主に Beseka 湖周辺、Koka 湖周辺や北東側、さらに調査地の北東側に分布する。

対象小都市は調査地の北側のアムハラ州や Beseka 湖周辺を除いて、リフトフロアやリフトリッジ部及び Koka 湖北西側に広く分布する。全体に表層部の地層は多岐に及ぶが、帯水層としては第三系の割れ目の発達した玄武岩類や溶結凝灰岩を対象にした井戸が多い。そのため全体に井戸深度も深くなっている。

対象とされた小都市の水理地質的状况から推測した井戸の仕様及び想定される水理地質情報は次の表 6.5.4の通りである。

表 6.5.4: 対象小都市の井戸計画と水理地質的状况

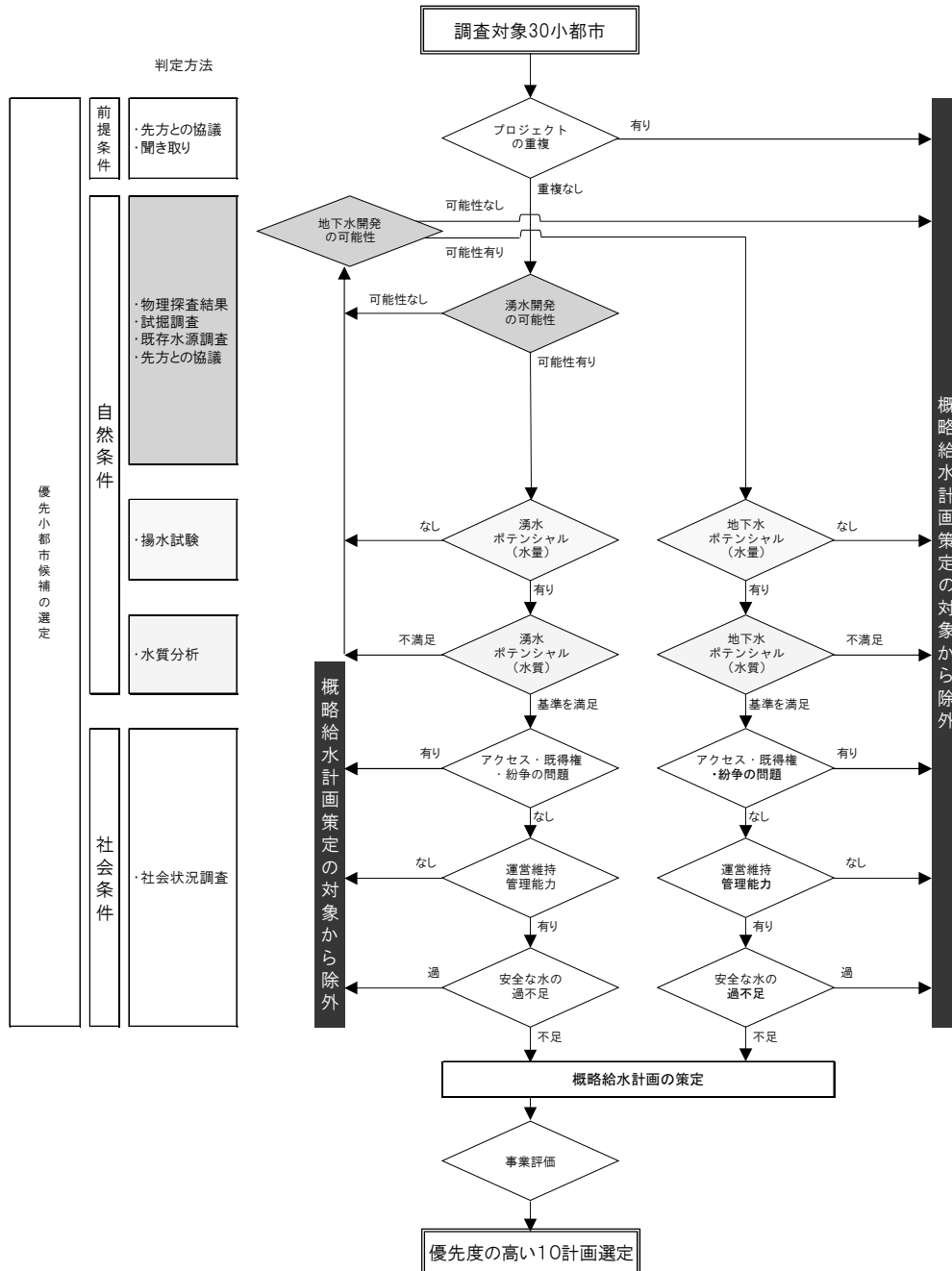
ID	小都市名	小都市の分布	標高 m	想定される 帯水層	諸言 水理地質状況	想定 取水可能量	想定静水位	想定 比湧出量	想定 掘削深度	想定スク リーン長
						L/sec	m	L/sec/m	m	m
ES-1	Wonji Shewa Alentena	Wonji プランテーションの西に近接する。Cedemsaカルデラの北東。	1,546	Qr1/Qi1	Cedemsaカルデラ壁の北東。NNE-SSWの断層が想定される。Qr1を抜いてQi1を対象。	5~10	20	0.2	200	30
ES-2	Geldiya	AdamaとWelenchitiの間に位置する。	1,577	Ti3	緩斜面上にQp1の火砕堆積物が分布するが、帯水層は下位のTi3を想定する。	10~	70	2-4	200	30
ES-3	Dire	Mt Zikwalaの約11km北側に位置する。	1,917	Ti3/Tb1	山麓緩斜面上に位置しており、Qp1が広く分布する。帯水層はその下位のTi3か、さらにTb1。	10~	65	2-4	250	50
ES-4	Bofa	Adama-Asela道路のAwash Melkasaから約13km北東に位置する。	1,398	Tb3/Ti3/Tb1	北北東方向の断層が想定される。JICA井戸でTb3下位層を確認しており、Ti3、Tb1が対象。	5~10	70	2-4	250	38
ES-5	Bole	調査地のほぼ中央部を流れるAwash川の中流地点。	1,155	Qi1/Tb3	アワシュ川流域のフローアに位置しており、Qi1あるいはTb3を帯水層とする。	5~10	130	2-4	250	38
ES-6	Ude Dhankaka	Mojoから北西側に約10kmの地点。	1,889	Ti3/Tb1	表層はQp1が分布する山麓緩斜面間の低地。Qp1が表層に分布。帯水層はTi3かTb1。	10~	65	2-4	300	50
ES-7	Bekejo	Mt.Zikwalaの約8km北東側、Direの南東約8kmに位置する。	1,753	Ti3/Tb1	山麓緩斜面上に位置しており、Qp1が広く分布する。帯水層はその下位のTi3か、さらにTb1。	10~	20	2-4	200	30
ES-8	Kanise	Mojoから北に約13kmの地点、Biyoから北東に約7kmの地点。	1,891	Tt/Tb1	周辺の山体の間に河川が流下。Ti3が分布するが、帯水層としてはTtあるいはTb1。	10~	50	2-4	350	50
ES-9	Chefe Donsa	Sendafafaから南南東に約20kmの地点。	2,326	Ti3	広大な山麓緩斜面に沿ってTi3が分布する。オロミア州の調査で自噴井が確認された。	10~	自噴	-	200	30
ES-10	Areda	Chefe Donsaから東北東に約16kmの地点。	2,490	Tb1	玄武岩溶岩の分布する台地。Ti1に覆われる。帯水層はTb1が対象となる。	5~10	170	2-4	250	38
ES-11	Biyo	Mojoから北西側に約7kmの地点。	1,873	Ti3/Tr1/Tb1	表層はQp1が分布する山麓緩斜面間の低地。Qp1が表層に分布。帯水層はTi3かTb1。	10~	70	2-4	300	50
ES-12	Adulala	Mt.Zikwalaの東側に近接する。	1,700	Nwp/N1a	Mt. Zikwalaの東側の山麓。Qp1あるいはZikwala山の堆積物(Qt)が分布。帯水層はTi3/Tb1	5~10	80	2-4	200	30
AR-1	Sire	Adama-Asela道路の途中、Deraから東北東約20kmの地点。	1,827	Tb1	北東-南西方向の断層の西側。JICA井戸でも帯水層はTb1とした。上位にはQi1やTi3。	10~	70	0.2	250	38
AR-2	Bolo	Sireの東北東約13kmの地点。	2,532	Qi1/Tb1	広大な緩斜面上の河川沿いにQi1が分布。帯水層はQi1の割れ目、あるいは下位のTb1に期待。	10	130	2-4	250	38
AR-3	Arboye	Abomsaの南西約20kmの地点。	2,090	Qi1	表層はQp1が分布。西北西-東南東の断層に期待。帯水層はQi1の割れ目に期待。	5~10	150	2-4	250	38
AR-4	Aseko	Abomsaの東約22kmの地点。	2,019	Tb1	地下水開発が難しい地点。NNE-SSW断層狙い。Tr1の下位にTb1が出現する地点に期待。	5~10	170	2-4	250	38
AR-5	Golegota	Boleの対岸の小都市。	1,156	Qi1/Tb3	アワシュ川流域のフローアに位置しており、Qi1あるいはTb3を帯水層とする。	5~10	130	2-4	250	38
AR-6	Gonde	Aselaより約11km北東に位置する。Adama-Asela道路沿い。	2,262	Qi1/Tb3	Qp1が表層に分布するが、川沿いはQi1(割れ目のある溶結凝灰岩)存在。下位のTb3も対象。	5~10	50	2-4	150	22
AR-7	Arbe Gebeya	Adama-Asela道路の途中、Itayaから東に約23kmの地点。	2,355	Tt	地下水開発が難しい地点。Ttの主たる分布する地域だが、一部Qp1分布。南北断層、要確認。	5~10	150	2-4	250	38
WH-1	Chorora	AwashからDeredawa道路を約20kmを東に、Bordedeより南に約30km。	1,670	Tb2	Tb2が一部地表にも分布する。沖積層の谷沿いで下流域が可能性がある。帯水層はTb2の割れ目。	5~10	50	2-4	150	22
WH-2	Bedeyi	Meteharaプランテーションから南東にArba川を渡り、約25kmの地点。	2,095	Tb1	地下水開発が難しい地点。表層はTb1の地点。割れ目系や断層に期待。	5~10	170	2-4	250	38
WH-3	Hardim	Chororaから東に約18kmの地点。	1,616	Tb1	Tb1の台地で一部の河川沿いに沖積層が分布。対象とする帯水層は、割れ目の発達したTb1。	10	20	2-4	150	22
WH-4	Bube	Hardimから東北東に約8kmの地点。	1,924	Tb1	地下水開発が難しい地点。北東-南西方向の断層に期待。帯水層は割れ目のあるTb1に期待。	0~5	40	2-4	200	30
WH-5	Mieso	Awash-Diredawa道路途中。	1,377	Qi1	表層にはQb1が分布。その下位のQi1が帯水層となる。	5~10	80	2-4	150	22
WH-6	Hargeti	Kenteriから約5km南東の地点	1,334	Qi1/Tb2	Tb2とQi1が一部断層で接していると思われる。その北東側の地点に期待する。帯水層はTb2。	10	100	2-4	250	38
WH-7	Bordede	AwashからDeredawa道路を約20kmを東に行き少し南に入った地点。	1,068	Ti2/Tb2	Qp1が表層に分布するが、帯水層は周辺からTb2あるいはTb1。	5~10	80	0.2	250	38
WH-8	Kenteri	Koraから約2.5km東の地点。	1,268	Ti2/Tb2	表層はQb1が分布し、下位にはTr1あるいはTb2が帯水層として出現する可能性がある。	10	70	2-4	200	30
WH-9	Aneno	Awash-Deredawa道路途中、AdamiHaraから西南西へ約4kmの地点。	1,309	Qi1/Tb2	地下水開発が難しい地点。表層には、Qb1やQi1が分布、帯水層はTb2の可能性はある。	0~5	160	2-4	300	45
WH-10	Belo	AwashからDeredawa道路を約20kmを東に、Bordedeより南に約15km。	1,260	Qi1/Ti2	表層は、Qi1あるいはTi2が分布するが、帯水層はTi2。	5~10	80	2-4	200	30
WH-11	Kora	Awash-Diredawa道路途中、AdamiHaraから約5km南に位置する。	1,236	Ti2	表層はQb1が分布し、下位には帯水層としてTi2が出現する可能性がある。	10	70	2-4	200	30

Qb1: Pleistocene basalt, Qp1: Chefe Donsa pyroclastic deposits, Qr1: Pleistocene rhyolites, Qi1: Dino ignimbrite, Tb3: Bofa basalts, Tt: Chilalo trachybasalts, Ti3: Upper Nazret pyroclastic deposits, Ti2: Lower Nazret pyroclastic deposits, Tb2: Anchar basalts  
Ti1: Debre Birhan ignimbrite, Tr1: Huse Ridge rhyolites, Tb1: Alaji basalts

## 6.6 小都市の給水計画

### 6.6.1 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。検証はインセプションレポートに示した妥当性検証フローチャート（図 6.6.1）に基づき実施した。妥当性判定項目ごとの検証結果を以下に述べる。また、検証結果に基づき概略給水計画策定の対象から除外する 11 箇所の小都市を表 6.6.1に示す。



出典：調査団

図 6.6.1: 概略給水計画策定の妥当性検証フローチャート

表 6.6.1: 概略給水計画策定の対象から除外する小都市

No.	ID	小都市名	除外理由
1	ES-1	Wonji Shewa Alemtena	地下水開発ポテンシャル（水質）なし
2	ES-3	Dire	地下水開発ポテンシャル（水質）なし
3	ES-5	Bole	他プロジェクトとの重複
4	ES-7	Bekejo	地下水開発ポテンシャル（水質）なし
5	ES-9	Chefe Donsa	他プロジェクトとの重複
6	ES-12	Adulala	他プロジェクトとの重複
7	AR-1	Sire	他プロジェクトとの重複
8	AR-5	Golegota	他プロジェクトとの重複
9	AR-7	Arbe Gebeya	安全な水の十分な供給
10	WH-5	Mieso	他プロジェクトとの重複
11	WH-7	Bordede	他プロジェクトとの重複

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

#### a. 前提条件

対象小都市において他プロジェクトとの重複がないことを前提条件とした。

エチオピア国では現在、国家プログラムである One Wash National Program の下、エチオピア国政府及び他ドナーの資金による給水計画策定が行われているため、対象小都市における他ドナー及びエチオピア国政府のプロジェクトとの重複の有無を調査した。

結果は、表 6.6.2に示すとおりであるが、他プロジェクトと重複する7つの小都市を概略給水計画策定の対象から除外する。

表 6.6.2: 他プロジェクトと重複する小都市

ID	小都市名	重複するプロジェクト
ES-5	Bole	オロミア政府
ES-9	Chefe Donsa	オロミア政府
ES-12	Adulala	One Wash Program
AR-1	Sire	One Wash Program
AR-5	Golegota	オロミア政府
WH-5	Mieso	One Wash Program
WH-7	Bordede	オロミア政府

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

#### b. 自然条件

自然条件の判定項目及び判定結果は以下に述べるとおりである。

##### b.1 地下水開発可能性

物理探査結果、試掘調査、既存水源調査等の結果より、湧水開発の可能性がある小都市は存在しなかったが、全ての対象サイトにおいて地下水開発の可能性がないと判定された小都市はなかった。

##### b.2 地下水ポテンシャル（水量）

試掘の揚水試験結果等より、水量面での地下水ポテンシャルがないと判定された小都

市はなかった。

### b.3 地下水ポテンシャル（水質）

水質ポテンシャルは対象小都市において既存井戸がある場合は本調査で実施した水質分析結果より評価した。対象小都市内に既存井戸がない場合は対象地域の既存井戸の水質をマッピングした水質濃度分布図に基づき評価した。

本調査の結果、エチオピア国水質基準に抵触する水質項目は、フッ素及び総硬度の 2 項目であった。

総硬度はエチオピア国水質基準の毒物・健康被害の水質項目ではなく、味覚の水質項目であるため、除外項目ではないと判断した。

一方、フッ素は健康に影響する水質項目であり、エチオピア国水質基準では毒性または病原性の健康に影響する水質項目に含まれている。エチオピア国水質基準は 2013 年 10 月に改訂されたが、フッ素は 3.0 mg/L から 1.5 mg/L に改訂されている。

しかしながら、本調査対象地域の East Shewa 県においてはフッ素濃度が高い地域が広範囲にわたっており新基準値を満足しない既存水源が多く存在する。このため、新基準値を満たさないが旧基準値を満たすものについては水質ポテンシャルがあるものとみなし、旧基準値を満たさないものについてのみ水質ポテンシャルがないものと判定した。

表 6.6.3: 水質ポテンシャルがないと判定された小都市

ID	小都市名	フッ素濃度(mg/L)*	備考
ES-1	Wonji Shewa Alemtena	3.0~10.0	周辺地域の水質データからの想定値
ES-3	Dire	4.49	
ES-7	Bekejo	3.14	

\* エチオピア国新基準1.5mg/L、旧基準3.0mg/L

出典: 調査団水質調査結果

### c. 社会条件

#### c.1 アクセス、既得権及び紛争の問題

社会状況調査結果より、プロジェクト実施に支障を及ぼすようなアクセス、既得権及び紛争の問題はないと判定された。

#### c.2 運営維持管理能力

現在、30 小都市のうち 23 小都市において市給水事務所または水組合により管路系給水施設の運営維持管理が行われているが、これらの小都市においてはこれまで運営維持管理が持続的に行われてきたので運営維持管理能力に問題はないと判断される。

これ以外の 7 つの小都市についての管路系給水施設の運営維持管理能力は未知数であるが、代表者インタビューを行った結果では、水組合を設立して運営維持管理を行う意思があると回答している。このため、運営維持管理計画において能力強化計画を策定する必要はあるものの、現時点で運営維持管理能力がない又は見込むことができないと判



定される小都市はない。

### c.3 安全な水の過不足

現在の給水施設の水供給量と 2020 年時点の水需要の比較を行った結果、1 つの小都市 (AR-7) において水供給量が 2020 年の水需要を上回っているため、安全な水の不足はないと判定された。このため、AR-7 を概略給水計画策定の対象から除外する。

表 6.6.4: 安全な水の不足がないと判定された小都市

ID	小都市名	2020年計画1日 平均給水量 (m <sup>3</sup> /日)	2014年現在水供 給量(m <sup>3</sup> /日)	2020年想定充 足率(%)
AR-7	Arbe Gebeya	168.4	220.7	131

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

## 6.6.2 給水計画の概要

### a. 概略給水計画策定対象小都市

上記の妥当性検証結果より妥当性がないと判断された 11 小都市を除く 19 小都市について概略給水計画を策定する。概略給水計画を策定する小都市は表 6.6.5に示すとおりである。

表 6.6.5: 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	Geldiya	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

## b. 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。

## c. 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。

したがって、本計画は、新規給水施設の建設計画及び既存給水施設の更新計画より構成される。各小都市の 2020 年における全体の給水量と既存施設及び新規施設が分担する給水量を表 6.6.6 に示す。

表 6.6.6: 既存施設及び新規施設の給水量分担

ID	小都市	全体		給水量分担	
		計画給水人口 (2020年)  (人)	計画1日最大 給水量  (m <sup>3</sup> /日)	既存施設	新規施設
				実際水供給量  (m <sup>3</sup> /日)	計画1日最大 給水量  (m <sup>3</sup> /日)
ES-2	Geldiya	2,873	162.9	93.8	69.1
ES-4	Bofa	5,326	299.3	229.8	69.5
ES-6	Ude Dhankaka	7,334	413.3	0.0	413.3
ES-8	Kamise	6,167	343.6	11.5	332.1
ES-10	Areda	3,502	197.2	11.0	186.2
ES-11	Biyu	3,446	195.9	0.0	195.9
AR-2	Bolo	2,010	114.6	24.2	90.4
AR-3	Arboye	9,254	550.4	271.7	278.7
AR-4	Aseko	6,724	386.9	46.3	340.6
AR-6	Gonde	4,370	248.0	116.2	131.8
WH-1	Chorora	3,183	117.3	21.2	96.1
WH-2	Bedeyi	3,748	219.0	16.8	202.2
WH-3	Hardim	7,515	428.1	18.1	410.0
WH-4	Bube	7,286	258.9	18.1	240.8
WH-6	Hargeti	3,926	138.3	0.0	138.3
WH-8	Kenteri	2,044	73.2	0.0	73.2
WH-9	Aneno	3,326	116.6	0.0	116.6
WH-10	Belo	5,471	189.9	12.2	177.7
WH-11	Kora	2,771	99.0	37.8	61.2

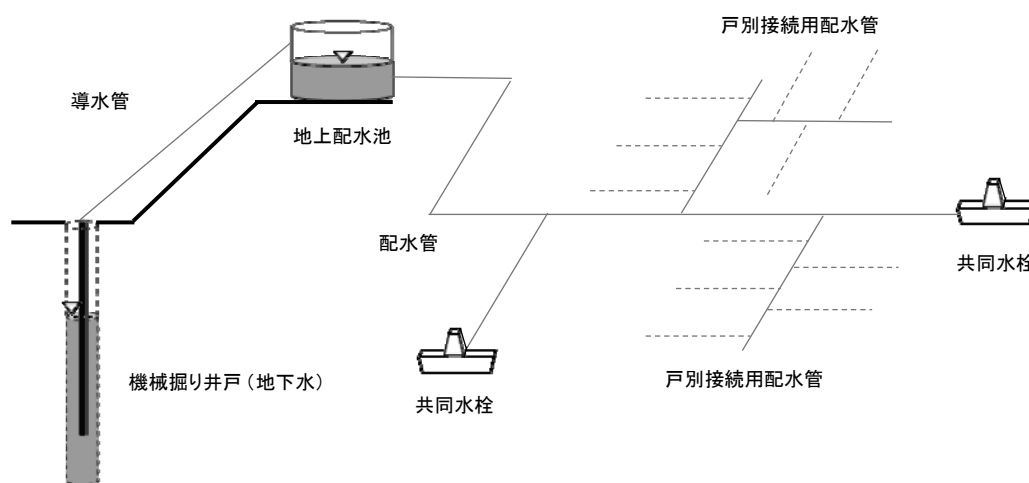
出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

### 6.6.3 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。



出典：調査団

図 6.6.2: 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。

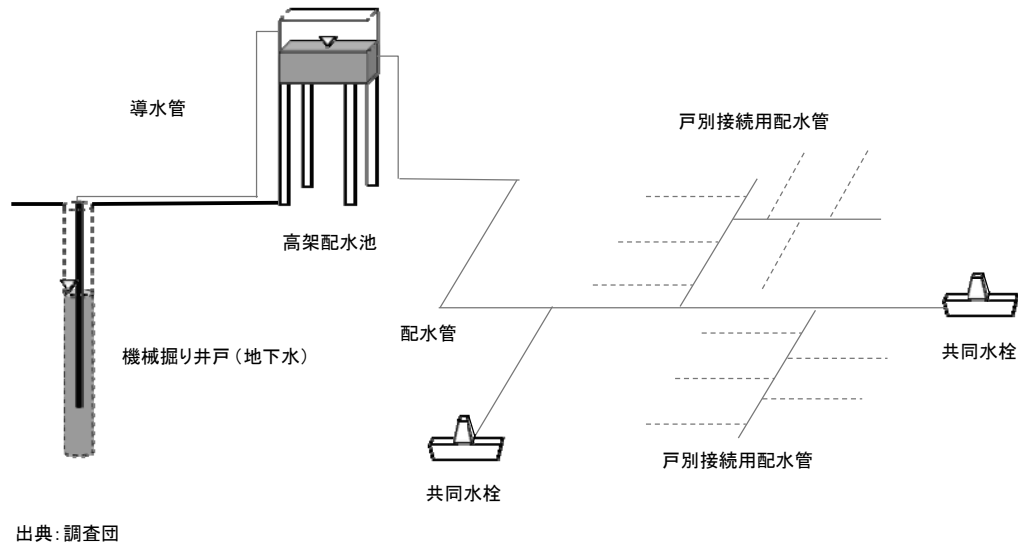


図 6.6.3: 地下水源及び高架式配水池による給水システム

#### 6.6.4 新規給水施設のデザインクライテリア

給水施設は、既存の給水システムの設計を踏襲し、水管理組織による運営・維持管理が容易となるシンプルな設計とする。給水システムの計画を策定するうえで、以下の点に留意する。

- 運営・維持管理費を最小限に抑えるため大型動力を使用しない給水システムとする。
- 水管理組織による運営・維持管理が容易となるよう、複雑なシステムや高性能なシステムは計画しない。
- 初期投資（建設費）を抑えるため、現地調達可能な資機材及び工法での施工を計画し、現地で一般的に流通している製品を積極的に採用する。

#### 6.6.5 新規給水施設計画と概略設計

##### a. 取水施設

##### a.1 井戸

設置する井戸の本数は小都市ごとに 1 日最大給水量、想定される取水可能量及び取水ポンプの 1 日当り運転時間により求める。取水ポンプの 1 日当り運転時間は 10 時間に設定する。

井戸の深度は対象地域の水理地質調査結果に基づき小都市ごとに検討した結果、150 m～350 m の範囲となった。ケーシングパイプ及びスクリーンパイプ共に材料は鋼製とする。口径は設置する水中ポンプの口径に見合う 8 インチとする。スクリーンの長さは井戸深さの 15% 程度を見込む。

井戸掘削の成功率は、本調査の試掘の結果、11 本中 9 本の井戸が成功井戸であったことから約 82% を見込む。

想定される井戸の諸元を表 6.6.7に示す。また、取水施設の諸元を表 6.6.8に示す。

表 6.6.7: 井戸の諸元

ID	小都市名	井戸諸元						
		井戸深度 (m)	ケーシング			スクリーン		
			材質	口径 (inch)	長さ (m)	材質	口径 (inch)	長さ (m)
ES-2	Geldiya	200	steel	8	170	steel	8	30
ES-4	Bofa	250	steel	8	212	steel	8	38
ES-6	Ude Dhankaka	300	steel	8	250	steel	8	50
ES-8	Kamise	350	steel	8	300	steel	8	50
ES-10	Areda	250	steel	8	212	steel	8	38
ES-11	Biyo	300	steel	8	250	steel	8	50
AR-2	Bolo	250	steel	8	212	steel	8	38
AR-3	Arboye	250	steel	8	212	steel	8	38
AR-4	Aseko	250	steel	8	212	steel	8	38
AR-6	Gonde	150	steel	8	128	steel	8	22
WH-1	Chorora	150	steel	8	128	steel	8	22
WH-2	Bedeyi	250	steel	8	212	steel	8	38
WH-3	Hardim	150	steel	8	128	steel	8	22
WH-4	Bube	200	steel	8	170	steel	8	30
WH-6	Hargeti	250	steel	8	212	steel	8	38
WH-8	Kenteri	200	steel	8	170	steel	8	30
WH-9	Aneno	300	steel	8	255	steel	8	45
WH-10	Belo	200	steel	8	170	steel	8	30
WH-11	Kora	200	steel	8	170	steel	8	30

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

表 6.6.8: 取水施設の諸元

ID	小都市	新規施設1 日最大給水量 (m <sup>3</sup> /日)	井戸1本当り取水可能量		1日当り取水 時間 (hrs/日)	井戸1本当り 取水可能量 (m <sup>3</sup> /日/本)	井戸数量 (本)	取水ポンプ	
			(L/sec/本)	(m <sup>3</sup> /hr/本)				数量 (台)	揚水量 (m <sup>3</sup> /hr/台)
ES-2	Geldiya	69.1	12.5	45	10	450	1	1	7.0
ES-4	Bofa	69.5	7.5	27	10	270	1	1	7.0
ES-6	Ude Dhankaka	413.3	12.5	45	10	450	1	1	41.4
ES-8	Kamise	332.1	12.5	45	10	450	1	1	33.3
ES-10	Areda	186.2	7.5	27	10	270	1	1	18.7
ES-11	Biyo	195.9	12.5	45	10	450	1	1	19.6
AR-2	Bolo	90.4	12.5	45	10	450	1	1	9.1
AR-3	Arboye	278.7	7.5	27	10	270	2	2	14.0
AR-4	Aseko	340.6	7.5	27	10	270	2	2	17.1
AR-6	Gonde	131.8	7.5	27	10	270	1	1	13.2
WH-1	Chorora	96.1	7.5	27	10	270	1	1	9.7
WH-2	Bedeyi	202.2	7.5	27	10	270	1	1	20.3
WH-3	Hardim	410.0	12.5	45	10	450	1	1	41.0
WH-4	Bube	240.8	2.5	9	10	90	3	3	8.1
WH-6	Hargeti	138.3	12.5	45	10	450	1	1	13.9
WH-8	Kenteri	73.2	12.5	45	10	450	1	1	7.4
WH-9	Aneno	116.6	2.5	9	10	90	2	2	5.9
WH-10	Belo	177.7	2.5	9	10	90	2	2	8.9
WH-11	Kora	61.2	12.5	45	10	450	1	1	6.2

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果



## a.2 取水ポンプ及び動力

井戸から取水するためポンプは水中ポンプとし、将来の維持管理の持続性を考慮して銘柄はエチオピア国設計基準において推奨されており、かつ現地に輸入代理店が存在する Grundfos（デンマーク）、Caprari（イタリア）などを想定する。

小都市ごとに水中ポンプの揚水流量と揚程を検討した結果、水中ポンプの出力は 4.0 kW～22.0 kW の範囲となった。

動力は可能な限りコストの安い商用電力を使用する方針とするが、19 小都市の中に未電化の小都市が 5 箇所（Kamise、Areda、Bedeyi、Bube および Hargeti）含まれていること、その他の小都市においても停電が発生していることから全ての小都市にディーゼル発電機を設置する。

ディーゼル発電機の本動機は、油脂、フィルターなどの消耗品やスペアパーツの調達などの将来の維持管理の持続性を考慮して、エチオピア国設計基準において推奨されており、かつ、現地に輸入代理店が存在する Lister（英国）、Deutz（ドイツ）、Perkins（英国）などを想定する。

水中ポンプ及びディーゼル発電機の諸元を表 6.6.9に示す。

表 6.6.9: ポンプ及び発電機の諸元

ID	小都市	水中ポンプ					発電機
		揚水量		揚程 (m)	出力 (kW)	口径 (mm)	出力 (kVA)
		(m <sup>3</sup> /hr)	(L/min)				
ES-2	Geldiya	7.0	117	111	4.0	145	10.0
ES-4	Bofa	7.0	117	134	4.0	145	10.0
ES-6	Ude Dhankaka	41.4	690	102	15.0	150	34.0
ES-8	Kamise	33.3	555	135	18.5	150	42.0
ES-10	Areda	18.7	312	242	18.5	148	42.0
ES-11	Biyo	19.6	327	109	11.0	145	25.5
AR-2	Bolo	9.1	152	203	7.5	145	17.5
AR-3	Arboye	14.0	233	218	11.0	145	25.5
AR-4	Aseko	17.1	285	340	22.0	148	50.0
AR-6	Gonde	13.2	220	136	7.5	145	17.5
WH-1	Chorora	9.7	162	114	4.0	145	10.0
WH-2	Bedeyi	20.3	338	281	22.0	148	50.0
WH-3	Hardim	41.0	683	83	13.0	150	29.5
WH-4	Bube	8.1	135	87	3.0	135	7.5
WH-6	Hargeti	13.9	232	152	7.5	145	17.5
WH-8	Kenteri	7.4	123	112	4.0	145	10.0
WH-9	Aneno	5.9	98	244	5.5	96	13.5
WH-10	Belo	8.9	148	120	4.0	145	10.0
WH-11	Kora	6.2	103	123	4.0	145	10.0

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

### a.3 ポンプ棟

ポンプの操作盤、発電機等を設置できるスペースを確保する。柱、梁による RC 構造とし、壁はコンクリートブロック積みとする。

### b. 導水施設

#### b.1 導水管

導水管は井戸設置地点から布設する。導水管の口径は、現時点では測量調査が未実施であるため導水管の損失水頭を求めることが困難であるが、極力損失を少なくするため口径 150 mm（6 インチ）を見込む。

材質については、耐久性、とくに管の破損による漏水の可能性や資材の調達の容易性等を考慮して、鋼管を採用する。

### c. 配水施設

#### c.1 配水池

エチオピア国設計基準によれば、配水池の容量は、給水人口が 10,000 人未満のサイトの場合、一日平均給水量の 15 時間分、給水人口が 10,000 人以上のサイトの場合、一日平均給水量の 12 時間分を確保することになっており、本計画においてもこの基準に準拠する。

配水池は、対象サイト内に高台がある場合には地上式配水池を選択する。高台がなく水压を確保できない場合は高架式配水池を選択する。

地上式配水池は、矩形の RC 構造とする。高架式配水池は、配水池本体を組み立て式鋼製パネルとし、架台を RC 構造とする。

配水池のサイズは 50～300 m<sup>3</sup> の範囲で 50 m<sup>3</sup> ごとに標準タイプを設定する。

#### c.2 配水管

管径を決定するためには配水管路線の高低に基づく管網計算を行う必要がある。現時点では測量が未実施であり、配水管路線の高さに関するデータが得られていないため、概算事業費算定の際に採用する管径は、極力損失を少なくするため一次配水管を口径 150 mm（6 インチ）、2 次配水管を口径 75 mm（3 インチ）、共同水栓までの給水管を口径 40 mm（1.5 インチ）と想定する。

各戸接続の給水管は、受益者負担とされているため事業費には含まない。ただし、将来の基本設計の段階において測量調査結果に基づく管網計算により配水管の口径を決定する際には、前述した戸別接続の増加率を考慮して計算を行い、将来ピーク時において水压不足が生じないようにする。

材質については、耐久性、とくに管の破損による漏水の可能性や資材の調達の容易性等を考慮して、鋼管を採用する。想定する新規配水管の数量は表 6.6.10 に示すとおりである。

表 6.6.10: 新規配水管数量

ID	小都市	配水管数量		
		一次配管	二次配管	給水管
		150A	80A	40A
		(m)	(m)	(m)
ES-2	Geldiya	2,120	880	25
ES-4	Bofa	1,650	6,620	20
ES-6	Ude Dhankaka	3,730	2,180	940
ES-8	Kamise	3,670	1,040	390
ES-10	Areda	2,690	400	240
ES-11	Biyo	4,470	200	450
AR-2	Bolo	1,330	1,140	70
AR-3	Arboye	2,535	2,260	115
AR-4	Aseko	1,970	1,180	350
AR-6	Gonde	3,905	1,970	60
WH-1	Chorora	1,250	570	50
WH-2	Bedeyi	2,420	230	100
WH-3	Hardim	3,130	350	340
WH-4	Bube	2,330	750	450
WH-6	Hargeti	1,065	250	260
WH-8	Kenteri	530	170	45
WH-9	Aneno	940	520	95
WH-10	Belo	1,645	750	610
WH-11	Kora	1,055	255	40

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

### c.3 共同水栓

エチオピア国設計基準において共同水栓 1 箇所当りの利用者数は 150 人と規定されているため、2020 年における新規給水施設の共同水栓利用者数を算出のうえ水栓数を算出した。共同水栓には 2 栓型、4 栓型、6 栓型などがあるが、実施の際に設置場所を選定の上、人口密度等から適当なタイプを選定することが望ましい。事業費算定には 4 栓型を想定する。

既存の管路系給水施設が存在する対象小都市の中で家畜用水栓が設置されているのは 4 箇所である。これ以外に家畜用水栓の設置を希望する小都市が 1 箇所あった。これらの 5 小都市については家畜用水栓の設置を検討する。これ以外の 14 小都市については事業実施の際に市給水事務所、水組合、利用者等に対して要望調査を行ったうえで設置を検討する。

## 6.6.6 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 6.6.11に示すとおりとなった。

表 6.6.11: 新規給水施設設計画の概要

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	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	Arede	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 6.6.12に示すとおりとなった。

表 6.6.12: 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	Arede	-	-	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

6.6.7 概略積算

a. 概略積算の方法

本調査で行った概略設計レベルでは各施設の正確な工事数量を算出することはできないため、材料単価、労務単価及び機械単価からの積み上げによる工事金額の算出は不可能である。

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。本積算に採用した工事単価を表 6.6.13に示す。

表 6.6.13: 工事単価

No.	施設	仕様	単位	採用単価 (Birr)
1	井戸建設工事			
	Mobilization	Demobilization含む	本	119,096
	掘削工事	仕上り径8インチ	m	2,269
	ケーシングパイプ設置工事	鋼製、8インチ	m	2,682
	スクリーンパイプ設置工事	鋼製、8インチ	m	3,094
	その他	電気検層、揚水試験、グラベル充填他	本	138,055
2	揚水管設置工事	口径32mm	m	459
		口径65mm	m	646
		口径80mm	m	833
3	水中ポンプ設置工事	7.5kW以下	箇所	190,383
		11kW以下	箇所	238,081
		15kW以下	箇所	264,138
		22kW以下	箇所	372,758
		37kW以下	箇所	580,776
4	発電機室建設工事	RC造、ブロック積み壁、床面積30.68m <sup>2</sup>	棟	192,221
5	発電機設置工事	20kVA以下	台	270,188
		37kVA以下	台	312,766
		50kVA以下	台	357,806
		100kVA以下	台	502,648
6	導水管設置工事	口径150mm(6インチ)	m	1,911
7	配水池建設工事	地上式RC造、50m <sup>3</sup>	基	343,650
		地上式RC造、100m <sup>3</sup>	基	687,300
		地上式RC造、150m <sup>3</sup>	基	1,030,950
		地上式RC造、250m <sup>3</sup>	基	1,374,600
		地上式RC造、250m <sup>3</sup>	基	1,718,250
		地上式RC造、300m <sup>3</sup>	基	2,061,900
		高架式鋼製、50m <sup>3</sup>	基	780,750
		高架式鋼製、100m <sup>3</sup>	基	1,561,500
		高架式鋼製、150m <sup>3</sup>	基	2,342,250
8	配水管布設工事	1次配水管、亜鉛メッキ鋼管、口径150mm(6インチ)	m	2,029
		2次配水管、亜鉛メッキ鋼管、口径75mm(3インチ)	m	1,391
		給水管、亜鉛メッキ鋼管、口径40mm(1.5インチ)	m	930
9	共同水栓	RC造、4栓タイプ	基	49,515

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

## 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 6.6.14に示すとおりとなった。

表 6.6.14: 新規給水施設建設費

単位: 1000Birr

ID	小都市	新規施設建設費									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	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	Biyu	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 6.6.15に示すとおりとなった。

表 6.6.15: 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	Biyu	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 6.6.16に示すとおりとなった。



表 6.6.16: 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	Arede	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、直工比に対する間接費、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 6.6.17に示す。

表 6.6.17: 我が国無償資金協力を想定した場合の概算事業費

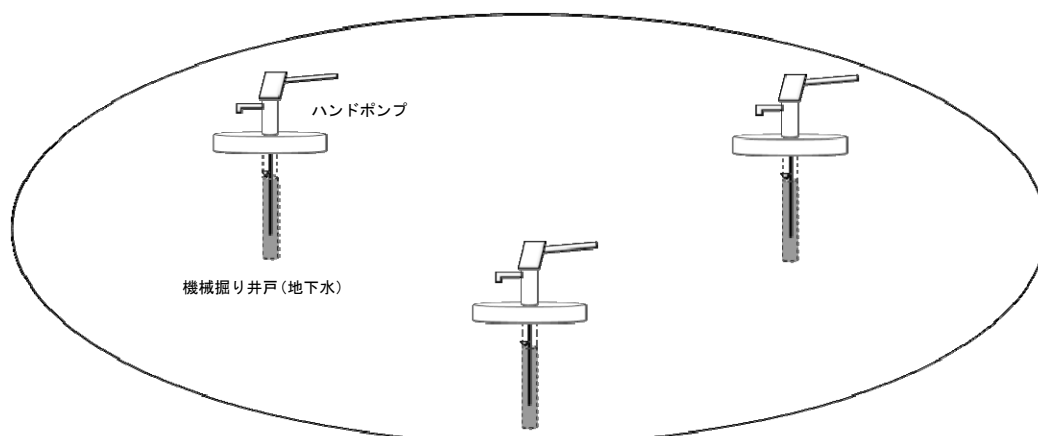
単位: 1000Birr

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

#### 6.6.8 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 6.6.4: 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

エチオピア国設計基準ではハンドポンプ井戸 1 か所当りの給水人口は 300～350 人規定されているため、3 小都市における必要数量は表 6.6.18に示すとおりとなる。

表 6.6.18: 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/sec) 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 と想定する。

管路系給水施設用井戸及びハンドポンプ井戸の想定取水可能量と想定深度の比較を表 6.6.19に示す。また、想定する井戸の仕様及び数量を表 6.6.20に示す。

表 6.6.19: 想定取水可能量と想定深度の比較

ID	小都市	管路系給水施設井戸		ハンドポンプ井戸	
		想定取水可能量 (L/sec)	想定深度 (m)	想定取水可能量 (L/sec)	想定深度 (m)
WH-6	Hargeti	12.5	250	1.0	100
WH-8	Kenteri	12.5	200	1.0	100
WH-9	Aneno	2.5	300	1.0	100

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

表 6.6.20: 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。本積算に採用した工事単価を表 6.6.21に示す。事業費は表 6.6.22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 6.6.21: 工事単価

No.	施設	仕様	単位	採用単価 (Birr)
1	井戸建設工事			
	準備工	撤去工含む	本	289,333
	掘削工事	仕上り径6インチ	m	132
	ケーシングパイプ設置工事	uPVC、6インチ	m	51
	スクリーンパイプ設置工事	uPVC、6インチ	m	58
	その他	電気検層、揚水試験、グラベル充填他	本	190,042
2	プラットフォーム建設工事		箇所	4,435
3	ハンドポンプ設置工事		箇所	16,896

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

表 6.6.22: 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

## 6.7 給水施設の運営維持管理計画

### 6.7.1 既存の水管理組織の実態と運営状況

#### a. 小都市における給水施設の運営維持管理組織

##### a.1 市給水事務所

市給水事務所 (Town Water Supply Service Office) は、市の水理事会 (Town Water Board) が運営母体となって設立される。理事会の構成員としては、市政府の代表者、県水・鉱物・エネルギー事務所、保健事務所、婦人事務所、財務・経済事務所、電力供給公社、教育事務所、水利用者及び市給水事務所経営者とされている。

理事会は、市給水事務所の経営者を任命すると共に運営維持管理に必要な市給水事務所の職員を雇用して、市給水事務所が運営維持管理を行っている。

##### a.2 水組合

給水施設利用者により選出された委員により給水施設の運営維持管理を行う組織である。この組織は通常、水組合 (Water Committee) と呼ばれている。

この組合の委員会 (Committee) のメンバーは通常 7 名 (組合長、書記、出納、監査、倉庫、購買、メンバーなど) 程度から構成され、任期は 2 年と定められている。メンバーは通常無給であるが、組合が雇用するオペレーター、会計、警備員、水売り人などは有給である。

#### b. 対象小都市での運営維持管理の現状

##### b.1 維持管理組織

調査対象の 30 小都市のうち 8 箇所の小都市 (ES-4、ES-5、ES-9、ES-12、AR-1、AR-5、AR-6、WH-5) において維持管理組織として市給水事務所が設立されている。

3 つの小都市 (WH-6、WH-8、WH-9) においては給水施設が存在しないため維持管理組織は存在しない。

残りの 19 小都市 (ES-1、ES-2、ES-3、ES-6、ES-7、ES-8、ES-10、ES-11、AR-2、AR-3、AR-4、AR-7、WH-1、WH-2、WH-3、WH-4、WH-7、WH-10、WH-11) においては水組合が設立されている。

##### b.2 会議、収支記録、住民総会

ES-3 の水組合を除く全ての管理組合及び市給水事務所において会議が定期開催されていた。開催頻度は月 1 回の開催が最も多いが、中には毎週開催している組織もある。

収支記録については、ハンドポンプ付機械掘り井戸を維持管理する ES-6 の水組合で作成されていない。また、AR-7 及び WH-10 では収支記録は作成されているものの、毎月ではなく 3 か月ごとであった。その他の市給水事務所及び水組合については全て毎月作成されている。

住民総会は9つの小都市（ES-3, ES-4, ES-8, ES-11, AR-4, AR-6, AR-7, WH-4, WH-7）で開催されていなかった。

表 6.7.1: 小都市ごとの運営維持管理組織、会議開催状況及び収支記録作成状況

ID	小都市	給水施設維持管理組織	会議開催の有無・頻度	毎月の収支記録作成の有無
ES-1	Wonji Shewa Alemtena	water committee not formally established & Adama City WSSSE	no	no
ES-2	Geldiya	water committee	yes (4 times/year)	yes
ES-3	Dire	2 water committees for each borehole (BH1and BH2)	no for WC1, yes (24 times/year) for WC2	yes (both WC1 and WC2)
ES-4	Bofa	Bofa Town Water Supply Service Office	yes (12 times/year)	yes
ES-5	Bole	Bole-Golegota Town Water Supply Service Office	yes (12 times/year)	yes
ES-6	Ude Dhankaka	water committee	yes (12 times/year)	no
ES-7	Bekejo	water committee	yes (12 times/year)	yes
ES-8	Kamise	Water Committee/ Gimbichu-Fentale Rural Water Supply Service Enterprise	yes (12 times/year)	no
ES-9	Chefe Donsa	Chefe Donsa Town Water Supply Service Office	yes (24 times/year)	yes
ES-10	Arede	Water Committee	yes (24 times/year)	yes
ES-11	Biyo	Water Committee	yes (12 times/year) before breakdown of windmill borehole	yes
ES-12	Adulala	Adulala Town Water Supply Service Office	yes (24 times/year)	yes
AR-1	Sire	Sire-Merfe Water Management Board	yes (12 times/year)	yes
AR-2	Bolo	water committee	yes (12 times/year)	yes
AR-3	Arboye	water committee	yes (48 times/year)	yes
AR-4	Aseko	water committee	yes (24 times/year)	yes
AR-5	Golegota	Bole-Golegota Town Water Supply Service Office	yes (12 times/year)	yes
AR-6	Gonde	Gonde-Itaya Water Management Board	yes (12 times/year)	yes
AR-7	Arbe Gebeya	water committee	yes (12 times/year)	no, 4 times/year
WH-1	Chorora	water committee	yes (12 times/year)	yes
WH-2	Bedeyi	water committee	yes (24 times/year)	yes
WH-3	Hardim	water committee	yes (24 times/year)	yes
WH-4	Bube	water committee	yes (12 times/year)	yes
WH-5	Mieso	Mieso Town Water Supply Service Office	yes (12 times/year)	yes
WH-6	Hargeti	not applicable	not applicable	not applicable
WH-7	Bordede	water committee	yes (12 times/year)	yes
WH-8	Kenteri	not applicable	not applicable	not applicable
WH-9	Aneno	not applicable	not applicable	not applicable
WH-10	Belo	water committee	yes (52 times/year)	no (4 times/year)
WH-11	Kora	water committee	yes (10 times/year)	yes

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

### b.3 施設オペレーター

施設オペレーターが存在するのは動力ポンプ給水施設のみであり計26名である。このうち10年以上の経験を有するのは9名で最長で21年であった。一方、経験3年未満のオペレーターは6名であった。このうち1年未満のオペレーターは2名で最短は2か月であった。また、22名のオペレーターが何らかの研修を受講していた。研修期間は短い場合には2日間、長い場合には10か月と様々であった。

## b.4 料金徴収及び積立金管理

水料金は表 6.7.2に示すとおりであった。料金体系はハンドポンプ井戸が定額制である以外は全て従量性であった。動力ポンプを使用する場合は運転コストがかかるため自然流下式に比べて割高となる。また、動力源として発電機を使用する方が運転コストが割高となるため、発電機を使用している施設は商用電力を使用している施設の約 2 倍の料金となっている。さらに取水ポンプと中継ポンプの 2 台のポンプを使用する場合は、ポンプを 1 台使用する場合の約 2 倍の料金となっている。

徴収率は、7 都市（ES-5, ES-9, ES-12, AR-5, AR-7, WH-4, WH-5）を除いて 100%であった。水料金の設定は、22 都市において「維持管理を行う上では安すぎる」との回答であった。積立金の保管場所は、4 都市（ES-1, ES-8, ES-11, WH-2）を除いて水組合または市給水事務所が最寄りの銀行に口座を開設して積立を行っている。8 つの水組合または市給水事務所において積立金残高が 100,000 Birr を超えており、最高額は AR-6 の 1,300,000 Birr であった。一方、AR-2 では積立金残高が 0 Birr であった。

表 6.7.2: 給水施設の種類による水料金の範囲

水源	動力	動力ポンプ台数	小都市ID	料金		
				体系	最低	最大
湧水	自然流下	0	AR-3, AR-6, AR-7	従量性	1.50	5.00
湧水	商用電力	1	ES-9, AR-4	従量性	5.00	9.00
湧水	発電機	1	WH-4	従量性	20.00	21.00
井戸	商用電力	1	ES-2, ES-3, ES-4, ES-12, AR-2, WH-5	従量性	6.00	8.70
井戸	発電機	1	ES-5, AR-5, ES-7, ES-10, WH-1, WH-3, WH-7, WH-10, WH-11	従量性	16.00	25.00
井戸	発電機	2	WH-2	従量性	38.00	42.00
井戸	風力	0	ES-11	従量性	8.00	10.00
井戸	人力	0	ES-6	定額制	10.00	10.00
広域水道	—	—	ES-1, ES-8	従量性	5.00	6.25

単位（従量制）： Birr/m<sup>3</sup>

単位（定額制）： Birr/月/世帯

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

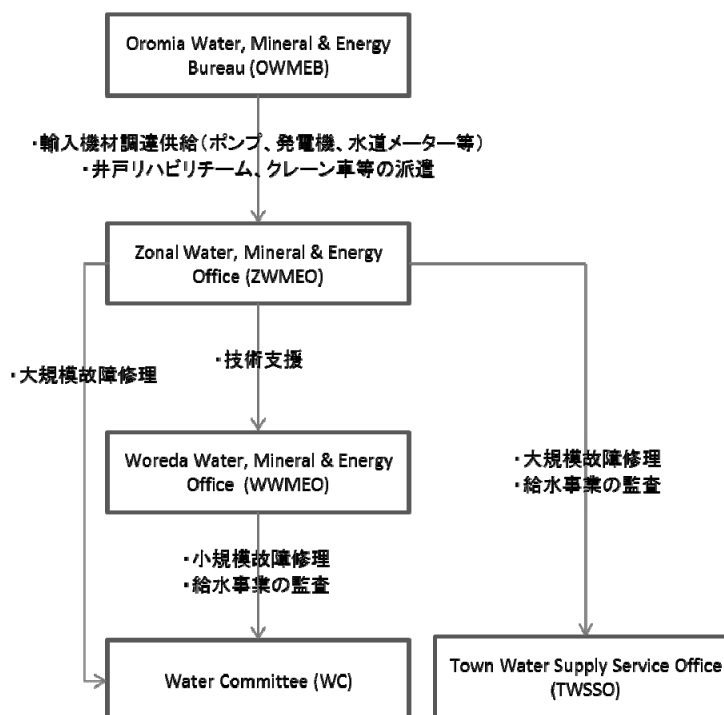
## b.5 維持管理支援体制

オロミア州における維持管理支援体制を図 6.7.1示すとおりであり、オロミア州水・鉱物・エネルギー局（Oromia Water, Mineral and Energy Bureau: OWMEB、以下、州水局）が全体を統括している。

水組合が維持管理の支援を要請する場合は、まず郡水・鉱物・エネルギー事務所（Woreda Water Mineral and Energy Office: WWMEO、以下、郡水事務所）に支援を要請する。郡水事務所が対応困難と判断した場合は、郡水事務所が県水・鉱物・エネルギー事務所（Zone Water Mineral and Energy Office: ZWMEO、以下、県水事務所）に支援を要請する体制となっている。

市給水事務所は郡水事務所を介さずに、直接、県水事務所に支援を要請する体制となっている。





出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 6.7.1: 運営維持管理支援体制

## b.6 修理への対応

通常、郡水事務所には、ポンプ、発電機、制御盤等の修理・交換に対応できる機械・電気系の技術者がいないため、県水事務所がこれらの作業を行っている。

県水事務所は、水中ポンプの設置や引き上げの際に必要なクレーンや井戸の改修に必要なサービスリグなどの機材を保有していない。これらの機材が必要となる場合は、県水事務所から、これらの機材を保有する州水局にポンプ交換チーム及び井戸改修チームの出動を要請している。州水局はポンプ交換チームを 3 チーム、井戸改修チームを 4 チーム保有しているが、使用する機材はかなり老朽化している。

市給水事務所及び水組合は、スペアパーツなど修理に必要な材料の購入費及び郡水事務所及び県水事務所の職員の現場までの交通費、クレーン車などの必要機材の燃料代などを支払うこととなっている。

更新用の新規のポンプ及び発電機は高額かつ輸入品であるため州水局がまとめて調達している。市給水事務所及び水組合に機材購入費用を賄う積立金が不足している場合は、州水局から無償で支給される。この場合、州水局は新品ではなく中古品を支給することがある。

## c. 対象小都市の運営維持管理に対する水組合・事務所の能力と活動の現状

対象小都市の運営維持管理組織の種類と人員を表 6.7.3に示す。水組合の職員は、施設オペレーター、会計係、警備員、共同水栓の水売り人などである。また、過去 3 年間の収入・支出及び 2014 年 1 月現在の積立金残高を表 6.7.4に示す。

全ての市給水事務所の積立金残高は 30 万 Birr を超えており経営状態は良好と判断され

る。一方、水組合の積立金残高は ES-2 を除いて 10 万 Birr ブル未満であり、中には積立金がゼロの水組合も存在する。水組合と市給水事務所とでは給水規模の違いはあるものの、積立金残高からを見ると経営状態が良好ではない水組合が多いと判断される。

水組合の委員の任期は 2 年と定められている。2 年ごとに新しい委員と交代するため経営のノウハウが蓄積されない。また、引継ぎが悪い場合には過去の記録等が紛失してしまう場合もある。委員が 2 年ごとに利用者から選出されるという民主的な組織である反面ノウハウが蓄積されないため、常に素人が経営している状態である。

一方、市給水事務所は、大半の職員が理事会から正規雇用されているため、経験に応じてノウハウが蓄積されるプロフェッショナルの組織である。この違いが経営状態に表れていると判断される。

表 6.7.3: 対象小都市の運営維持管理組織及び人員

ID	市	維持管理組織	委員	職員	計	備考
ES-1	Wonji Shewa Alemtena	なし	0	3	3	Adama市上下水道公社が供給
ES-2	Geldiya	水組合	7	7	14	
ES-3	Dire	水組合	14	7	21	2箇所の動力ポンプ井戸給水施設のそれぞれに水組合が存在
ES-4	Bofa	市給水事務所	0	11	11	
ES-5/ AR-5	Bole-Golegota	市給水事務所	0	24	24	
ES-6	Ude Dhankaka	水組合	21	3	24	3箇所のハンドポンプ付深井戸のそれぞれに水組合が存在
ES-7	Bekejo	水組合	7	6	13	
ES-8	Kamise	水組合	5	2	7	Gimbichu-Fentale上下水道公社が供給
ES-9	Chefe Donsa	市給水事務所	0	18	18	
ES-10	Arede	水組合	7	3	10	
ES-11	Biyo	水組合	7	3	10	
ES-12	Adulala	市給水事務所	0	11	11	
AR-1	Sire	市給水事務所	0	11	11	
AR-2	Bolo	水組合	7	3	10	
AR-3	Arboye	水組合	7	14	21	
AR-4	Aseko	水組合	7	10	17	
AR-6	Gonde	市給水事務所	0	18	18	
AR-7	Arbe Gebeya	水組合	7	4	11	
WH-1	Chorora	水組合	7	4	11	
WH-2	Bedeyi	水組合	7	9	16	
WH-3	Hardim	水組合	7	6	13	
WH-4	Bube	水組合	7	3	10	
WH-5	Mieso	市給水事務所	0	11	11	
WH-6	Hargeti	なし	0	0	0	給水施設が存在しない
WH-7	Bordede	水組合	7	7	14	
WH-8	Kenteri	なし	0	0	0	給水施設が存在しない
WH-9	Aneno	なし	0	0	0	給水施設が存在しない
WH-10	Belo	水組合	7	4	11	
WH-11	Kora	水組合	7	5	12	

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

表 6.7.4: 市給水事務所・水組合の収入、支出及び積立金残高(単位: Birr)

ID	市	2011年		2012年		2013年		積立金残高(2014年1月)
		収入	支出	収入	支出	収入	支出	
ES-2	Geldiya	118,140	61,768	120,900	53,506	151,535	93,449	322,000
ES-3	Dire	NA	NA	NA	NA	244,805	225,048	71,500
ES-4	Bofa	355,588	260,324	356,873	594,025	578,727	461,405	535,000
ES-5/ AR-5	Bole/ Golegota	589,138	449,392	795,501	640,118	1,068,191	851,937	465,147
ES-6	Ude Dhankaka	NA	NA	NA	NA	7,200	3,600	3,600
ES-7	Bekejo	NA	NA	NA	NA	84,309	71,326	61,500
ES-9	Chefe Donsa	230,265	229,030	279,487	207,305	279,525	286,812	145,000
ES-10	Areda	NA	NA	NA	NA	35,790	33,438	2,332
ES-11	Biyo	NA	NA	5,708	6,667	NA	NA	NA
ES-12	Adulala	222,687	156,347	239,088	448,303	258,774	291,711	335,720
AR-1	Sire	208,167	140,612	279,698	198,421	435,322	233,566	382,072
AR-2	Bolo	NA	7,440	NA	NA	94,122	NA	0
AR-3	Arboye	165,840	145,527	135,389	135,354	75,308	118,527	10,500
AR-4	Aseko	16,439	16,439	49,933	41,693	100,428	82,109	27,400
AR-6	Gonde	527,865	673,039	651,153	358,640	581,297	353,885	1,300,500
AR-7	Arbe Gebeya	19,429	9,408	24,187	11,634	NA	NA	15,200
WH-1	Chorora	54,195	52,680	85,000	78,230	111,290	89,142	40,500
WH-2	Bedeyi	NA	NA	100,084	100,399	135,014	99,032	10,000
WH-3	Hardim	318,075	NA	265,560	119,469	132,780	NA	25,000
WH-4	Bube	NA	NA	NA	NA	NA	NA	15,000
WH-5	Mieso	392,033	101,439	384,336	147,034	76,221	152,642	316,586
WH-7	Bordede	309,520	53,088	158,030	27,084	184,334	283,160	55,000
WH-10	Belo	NA	NA	NA	NA	NA	NA	16,000
WH-11	Kora	NA	NA	NA	NA	88,469	70,929	92,000

注: ES-6はハンドポンプ井戸1箇所当りの収支である。WH-4及びWH-10の収入・支出のデータは入手できなかった。AR-6の市給水事務所はGonde市及びその周辺の16村に対する広域給水事業を行っている。

出典: 調査団、データ元: 担当団員による調査結果

## 6.7.2 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運営維持管理組織が存在しない。これらの3小都市については、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が存在しない小都市が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

市給水事務所の積立金の残高は全て 30 万 Birr を超えており水料金設定は適切と判断されるが、水組合においては 1 箇所を除いて 10 万 Birr を下回っており、中には積立金がゼロの水組合もある。積立金が十分に積立てられ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、開始時刻・終了時刻を含む運転時間、燃料・オイル・電力等の消費記録、運転開始時・終了時の流量計の読み取りによる水生産量記録などの記録・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

大半の水組合は量水器の検針による水消費量の記録や収支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

## 6.7.3 運営維持管理計画

### a. 運営維持管理体制

#### a.1 運営維持管理に係る関係者及び役割分担

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 6.7.5 に示すとおりとなっている。現時点ではこの体制が変更されるという情報がないことから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 6.7.5: 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	・ 州全体の給水計画の策定 ・ 大型給水プロジェクトの実施 ・ 下部組織への技術支援 ・ 給水施設の運営維持管理支援	・ ポンプ、発電機などの調達 ・ 井戸メンテナンスチームの派遣 ・ ポンプ撤去・据付チームの派遣
県水・鉱物・エネルギー事務所	州政府	・ 県全体の給水計画の策定 ・ 給水プロジェクトの実施 ・ 下部組織への技術支援 ・ 給水施設の運営維持管理支援	・ 井戸、ポンプ、発電機などの大規模な故障への対応 ・ 市給水事務所への運営維持管理支援
郡水・鉱物・エネルギー事務所	郡政府	・ 郡全体の給水計画の策定 ・ 給水プロジェクトの実施 ・ 農産部給水施設の運営維持管理支援	・ ハンドポンプ修理など軽微な故障への対応 ・ 水組合への運営維持管理支援
都市上下水道公社	市政府	・ 大都市への上下水道サービスの提供	・ 上下水道サービスの提供 ・ 施設の運営維持管理
市給水事務所	市政府	・ 小都市への給水サービスの提供	・ 給水施設の運営維持管理
水組合	住民	・ 農産部への給水サービスの提供	・ 給水施設の運営維持管理

出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

## a.2 支援体制

表 6.7.5に示すとおり給水施設の直接の運営維持管理の主体は市給水事務所または水組合となるが、これらの組織の能力は脆弱であるため州水局の支援が必要となる。現行の支援体制は図 6.7.1に示すとおりであるが、政府の方針が変更されるという情報はないため本計画についてもこの支援体制が継続されることを前提とする。

## b. 運営維持管理組織

### b.1 組織計画

給水施設の運営維持管理の直接の担い手は、市給水事務所または水組合である。前述のとおり、水組合の委員は任期 2 年で交代することから運営維持管理のノウハウが引き継がれないため、市給水事務所を設立することが望ましいが、19 小都市の中でオロミア州政府の設立基準を満たす小都市はない。本計画における小都市別の運営維持管理組織を表 6.7.6に示す。

表 6.7.6: 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 6.7.7: 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	計				
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

## c. 運営維持管理費

運営維持管理費は、施設運営費及び施設更新費から構成される。施設計画及び水管理組織の体制を踏まえて適切な運営維持管理費を算出する必要がある。

### c.1 施設運営費

#### c.1.1 運転経費

概略給水計画を策定した 19 小都市のうち 3 小都市を除く 16 小都市については既に電化されている。水中ポンプの運転コストは、動力源として発電機を使用するよりも商用電力を使用する方が安価であるため、電力会社から買電することを基本とする。しかしながら、既に述べた通り、停電が頻発しているため、電力の供給は安定していない。このため、予備電源としてディーゼル発電機を設置し、停電時にはディーゼル発電機により電力供給することとし、運転経費は各小都市の停電発生状況のデータを踏まえて算出する。

#### c.1.2 人件費

市給水事務所の職員は全て有給で雇用されているため全職員の人件費を計上する。水組合については 2 年ごとに交代する水組合の委員については無給のボランティアである



ため計上しないが、水組合が雇用する施設オペレーター、共同水栓料金徴収人等の有給雇用者の人件費を計上する。

### **c.1.3 修繕費**

水栓の故障や配管の漏水等の突発的な不具合が1か月あたり5回程度発生し、1回当りの修繕費が1,000 Birr かけると仮定し、5,000 Birr/月を計上する。

### **c.1.4 諸雑費**

通信費として500 Birr/月及び事務経費（用紙、トナー等）として500 Birr/月を計上する。

## **c.2 施設更新費**

エチオピア国設計基準に示される動力ポンプ及びディーゼル発電機の耐用年数は10年とされていることから償却期間を10年とし償却費を計上する。

その他の施設の耐用年数としては、井戸20年、鋼管40年、貯水槽50年、共同水栓25年などと設定されているが、これらの施設の更新費用については州水局の支援が受けられるものと想定し、施設更新費に計上しない。

## **6.7.4 本計画における運営維持管理費**

以上に基づき算出した新規給水施設の運営維持管理費を表6.7.8に示す。

この結果、ES-2、ES-4、ES-8、AR-3及びAR-5の5箇所の小都市において給水原価が現行水料金を上回った。現時点では井戸掘削や給水施設建設地点の測量が未実施であることから本計画の運営維持管理費はあくまで想定であるが、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 6.7.8: 運営維持管理費

ID	小都市	前提条件							運転費											施設更新費 (Birr/月)	運転費+ 施設更新 費 (Birr/月)	1日平均給水量		給水原価 (Birr/m <sup>3</sup> )	現行水料金 (Birr/m <sup>3</sup> )	
		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 (kVA)	燃料消費量		電気料金 (Birr/月)	燃料費 (Birr/月)	計		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)									
									(L/時間)	(L/月)			(Birr/月)	(Birr/月)												
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	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	5,000	1,000	8,954	4,220	13,174	50	1,500	8.8	4.0
ES-6	Ude Dhankaka	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	1,000	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	1,000	53,770	7,014	60,784	135	4,050	15.0	25.0
ES-11	Biyo	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	1,000	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	1,000	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	1,000	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	1,000	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	1,000	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	1,000	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	1,000	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	1,000	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	1,000	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	1,000	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	1,000	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	1,000	19,820	8,908	28,728	84	2,520	11.4	-
WH-10	Belo	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	1,000	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	1,000	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

## 6.7.5 運営維持管理能力強化計画の策定

前述の課題を踏まえ、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 6.7.9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 6.7.9: 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 はじめに

環境社会配慮調査の目的は、JICA 環境社会配慮ガイドライン（2010年4月版：以下、JICA ガイドライン）並びにエチオピア国の環境影響評価実施ガイドライン（2011年4月版：以下、連邦ガイドライン）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、何らかの影響が懸念される場合は回避策を提案する一方、不可避の影響については緩和対策と補償措置を示すことによって、計画立案にフィードバックするための資料を作成・提供することにある。

### 7.2 事業コンポーネントの概要

給水計画は、16の郡に跨り、合計30の地方小都市に対して立案される予定であったが、その後オロミア州政府や One Wash プログラムの計画が具体的に実施に移された小都市が調査中に出現した。また水質分析の結果からフッ素濃度の値がエチオピアの旧基準値（3 mg/L）を超える小都市や2020年の対象年における安全な水の充足率が推定で100%を超える小都市も現われ、これらの小都市を除いて合計19の小都市について給水計画を立案することになった。対象小都市のすべてにおいて井戸（地下水）を水源としており、19小都市のうち2020年の給水計画量（計画1日最大給水量）はJeju 郡 Arboye 市における550 m<sup>3</sup>/日が最大である。個々の小都市における事業の概要は、第6章及びサポーティングレポートに詳述した。

### 7.3 ベースとなる環境及び社会の状況

#### 7.3.1 自然環境

本プロジェクトの対象地域の気象・水文状況や地形地質及び水理地質状況は前述した。なお、本プロジェクトの主要対象地域であるアワシュ川中流域には、アワシュ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（保護区内での居住は法律により禁止されているため、村落や小規模集落がある地域は保護区に該当しない）。一部の遊牧民等の居住は存在する可能性があるが、非合法であり、本来保護区内に居住は構えられない（Council of Ministries Regulations No. 163/2008）。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。

#### 7.3.2 社会環境

社会経済調査結果に基づいた、人口、民族構成、宗教、水因性疾患、農業、家畜飼育等に関してはサポーティングレポートに詳述した。

対象地域内には、East Shewa を中心とした国営農場2箇所及び州営農場、民間農場がある。また、Mojo、Adama といった国内最大の物流拠点を持つ。近年は、アディスアベ

バ郊外から Adama 東まで有料高速道路が開通し、またアディスアベバとジブチを結ぶ鉄道建設も、現在 Mieso 周辺まで完了している（2015 年 8 月）。これらの建設活動を背景に周辺エリアでは、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 (ES-8) や Bedeyi (WH-2) 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（Grade 1～Grade 8）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。教育施設及び教員の不足や住民の意識等も関係するが、地域によって未就学若しくは中途退学の最大の原因は水汲み労働に従事するためとのことであった。

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。

#### 7.4 環境カテゴリーの分類

事業内容・規模及び対象地方小都市の環境・社会状況から総合的に判断し、環境影響事項のうちの環境影響を及ぼしやすい事業特性は有さず、環境を受けやすい地域特性を含まないと判断できることから、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。

#### 7.5 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。

上記のガイドラインに従った、給水及び衛生事業に関する審査は、以下の表 7.5.1 のスケジュール 1 及びスケジュール 2 に分類される。前述の事業コンポーネントの項で示したとおり、本プロジェクトで実施した給水計画にはスケジュール 1 に該当する内容はなく、本プロジェクトで実施した各小都市の給水計画の給水量は 2,000 m<sup>3</sup>/日以下である。

また非自発的住民移転及び土地収用、二次汚染の発生、文化財等遺産の消失・損傷、自然保護区域の影響及び国を跨ぐ負の影響等にはいずれも当てはまらない。一方、小都市への給水として計画される事業なので、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。



表 7.5.1: 給水及び衛生事業に関する審査の分類

スケジュール 1 (完全な EIA を要求)	スケジュール 2 (簡易環境影響評価を要求)
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 堤高 15m 以上、貯水池表面積が 50ha 以上のダム建設</li> <li>● 工業用、農業用若しくは都市給水のための 2,000m<sup>3</sup>/日を超える地下水開発</li> <li>● 運河開設並びに洪水救済事業</li> <li>● 水系近傍都市の灌漑計画</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 地方給水並びに衛生事業</li> <li>● 土地灌漑（小規模）</li> <li>● 下水道整備</li> <li>● 雨水貯留施設</li> </ul>

## 7.6 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。

## 7.7 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。

予測される負の影響の整理、詳細はサポーティングレポートに記載した。

## 7.8 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。今回聞き取り調査を実施した小売業者はいずれも、①本業を他に持っていて、その傍ら他住民のために水を他から買い付け、販売している②自身の家に個別水栓があり、必要に応じて転売している、の 2 パターンであることが判明した。そのため、影響は軽微且つ非常に限定的なものと考えられる。

大型車両による大気汚染や工事中の騒音は、実施段階においてエチオピア国の環境基準値（Environmental Policy of Ethiopia, 1997）に沿った調査の実施が必要であるが、今回の現地調査において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。これまで水が原因で問題を起こしてきた経緯があったが、関係者への聞き取りによると、対立のほとんどは都市内での土地問題に起因しておりそれに関連した水の取り合いが衝突の発端となっているに過ぎないとのことであった。よって本計画自体を妨げるものではないと判断できる。ただ、対立関係が存在することも事実なので、双方に不公平感を生まないような計画・実施が要求される。

## 7.9 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 評定（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。

環境モニタリング計画に基づき、大気汚染、騒音・振動及び地下水位の低下に関してモニタリングシート案を作成した。建設活動に伴う内容は、工事関係者及び事業主のオロミア州水・鉱物・エネルギー局の責務となるため、緩和のための苦情窓口を同局内に設置する等の措置を検討することが望ましい。

## 7.10 ステークホルダー協議

給水施設の運営維持管理を担う組織が存在しないのは、対象小都市のうち 5 つである（Hargeti 市、Kenteri 市、Kamise 市、Aneno 市、Wonji Shewa Alemtena 市）。いずれも公共サービスとしての給水事業が全く行われていない、若しくはごく少量の給水量となっており、必要性の観点からこれまで組織されなかったと考えられる。今後はこれらの地域も必要に応じ組織され、住民のオーナーシップを基礎とした給水施設運営が望ましい。

いずれにしても、今回の計画では住民の非自発的移転及び用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。

## 7.11 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減の発生）、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 はじめに

概略給水計画を策定した 19 小都市の中から、当該地域の地下水開発可能量評価（水量・水質）、給水困窮度、裨益効果、給水施設維持管理組織の能力、環境及び社会への影響に基づき優先度の高い小都市概略給水計画を 10 計画程度選定する方針とし、以下に述べるとおり優先小都市を選定した。

### 8.2 地下水開発可能量評価のまとめ

#### 8.2.1 水量ポテンシャル評価

水量ポテンシャルは水理地質調査結果より想定した取水可能量により評価した。取水可能量は表 8.2.1に示すとおり取水可能量の高い順に 10 L/sec～を「A」、5～10 L/secを「B」、0～5 L/secを「C」とする 3 段階により評価した。

表 8.2.1: 水量ポテンシャル評価結果

ID	小都市名	取水可能量(L/sec)	評価
ES-2	Geldiya	10～	A
ES-4	Bofa	5～10	B
ES-6	Ude Dhankaka	10～	A
ES-8	Kamise	10～	A
ES-10	Areda	5～10	B
ES-11	Biyo	10～	A
AR-2	Bolo	10～	A
AR-3	Arboye	5～10	B
AR-4	Aseko	5～10	B
AR-6	Gonde	5～10	B
WH-1	Chorora	5～10	B
WH-2	Bedeyi	5～10	B
WH-3	Hardim	10～	A
WH-4	Bube	0～5	C
WH-6	Hargeti	10～	A
WH-8	Kenteri	10～	A
WH-9	Aneno	0～5	C
WH-10	Belo	0～5	C
WH-11	Kora	10～	A

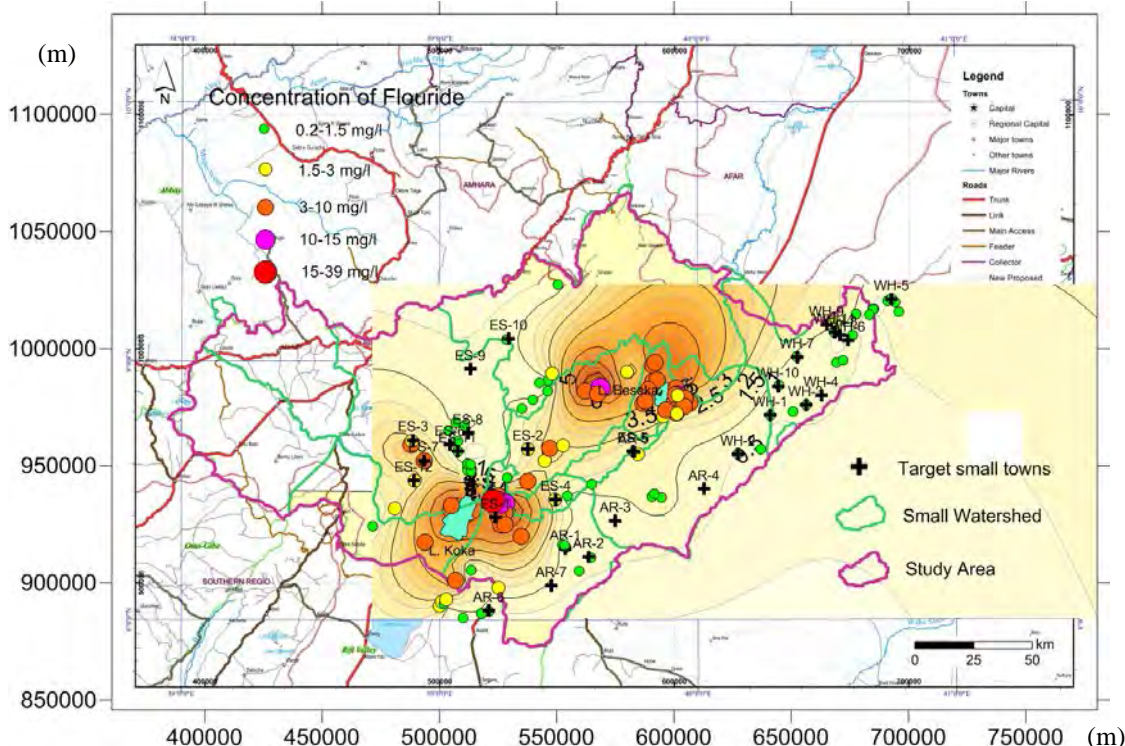
出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

#### 8.2.2 水質ポテンシャル評価

水質ポテンシャルは対象小都市において既存井戸がある場合は本調査で実施した水質分析結果より評価した。対象小都市内に既存井戸がない場合は対象地域の既存井戸の水

質をマッピングした水質濃度分布図に基づき評価した。

本調査の結果、エチオピア国水質基準に抵触する水質項目は、フッ素および総硬度の2項目であった。フッ素に関しては、調査地内のフッ素濃度分布図と対象小都市の関係を図 8.2.1に示す。



出典：調査団、データ元：担当団員の調査結果

図 8.2.1: フッ素濃度分布と小都市の位置関係図

フッ素は健康に影響する水質項目であり、エチオピア国基準では毒性または病原性の健康被害の水質項目に含まれている。エチオピア国水質基準は 2013 年 10 月に改訂されたが、フッ素は旧基準の 3.0 mg/L から 1.5 mg/L に改訂されている。しかしながら、本調査対象地域の East Shewa 県においてはフッ素濃度が高い地域が Koka 湖の周辺や、Mt. Zikwala 周辺に分布しており、新基準値を満足しない既存水源が多く存在する。このため、新基準値を満たさないが旧基準値を満たす小都市については概略給水計画策定の対象から除外しなかったことは第 6 章で述べたとおりである。

一方、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、味覚の水質項目である。

以上を踏まえ、全ての水質項目がエチオピア国基準値を超えない場合を「A」、総硬度はエチオピア国基準値を超えるがフッ素がエチオピア国基準値を超えない場合を「B」、フッ素がエチオピア国基準値（1.5 mg/L）を超えるが旧基準値（3.0 mg/L）を超えない場合を「C」とした。



表 8.2.2: 水質ポテンシャル評価結果

ID	小都市名	フッ素(mg/L)	総硬度(mg/L)	評価
		エ国基準 1.5mg/L、旧基準 3.0mg/L	エ国基準 (300mg/L)	
ES-2	Geldiya	1.69	106	C
ES-4	Bofa	1.96	130	C
ES-6	Ude Dhankaka	0.71	250	A
ES-8	Kamise	< 1.5(想定)	< 300(想定)	A
ES-10	Areda	0.79	204	A
ES-11	Biyo	< 1.5(想定)	< 300(想定)	A
AR-2	Bolo	0.73	202	A
AR-3	Arboye	< 1.5(想定)	< 300(想定)	A
AR-4	Aseko	< 1.5(想定)	< 300(想定)	A
AR-6	Gonde	< 1.5(想定)	< 300(想定)	A
WH-1	Chorora	0.54	272	A
WH-2	Bedeyi	0.50	354	B
WH-3	Hardim	0.71	400	B
WH-4	Bube	< 1.5(想定)	< 300(想定)	A
WH-6	Hargeti	< 1.5(想定)	< 300(想定)	A
WH-8	Kenteri	< 1.5(想定)	< 300(想定)	A
WH-9	Aneno	< 1.5(想定)	< 300(想定)	A
WH-10	Belo	0.65	78	A
WH-11	Kora	0.50	656	B

出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

### 8.3 給水困窮度

#### 8.3.1 安全な水の供給量

安全な水の使用量は各小都市の水組合または市給水事務所の共同水栓及び各戸水栓における量水器の検針記録に基く既存給水施設の水使用量を人口で除して1人1日当りの使用量を算出した。使用量が0~10 L/c/dを「A」、10~20 L/c/dを「B」、20 L/c/d以上を「C」とした。

表 8.3.1: 安全な水の供給量

ID	小都市名	2014年1人1日当り 供給量(L/c/d)	評価
ES-2	Geldiya	41.6	C
ES-4	Bofa	54.9	C
ES-6	Ude Dhankaka	0.0	A
ES-8	Kamise	2.4	A
ES-10	Areda	4.0	A
ES-11	Biyo	0.0	A
AR-2	Bolo	15.3	B
AR-3	Arboye	37.4	C
AR-4	Aseko	8.8	A
AR-6	Gonde	33.8	C
WH-1	Chorora	7.8	A
WH-2	Bedeyi	5.7	A
WH-3	Hardim	3.1	A
WH-4	Bube	2.9	A
WH-6	Hargeti	0.0	A
WH-8	Kenteri	0.0	A
WH-9	Aneno	0.0	A
WH-10	Belo	2.6	A
WH-11	Kora	15.9	B

出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

### 8.3.2 安全な水の充足率

安全な水の充足率の評価は、現在の水供給量に対する 2020 年の水需要の割合とする。現在の水供給量は水組合及び市給水事務所の量水器の検針記録に基づく使用量とした。また、2020 年の水需要は 6 章の給水計画の水需要予測の項で述べたとおり、2020 年の予測人口と GTP-2 に示される給水原単位により計算されたものである。

2020 年の計画 1 日平均給水量に対する既存施設の水供給量の割合が 0～30%を「A」、30～60%を「B」、60～100%を「C」とした。

表 8.3.2: 安全な水の充足率

ID	小都市名	2020年計画1日平均給水量 (m <sup>3</sup> /日)	2014年水供給量 (m <sup>3</sup> /日)	2020年充足率 (%)	評価
ES-2	Geldiya	135.7	93.8	69	C
ES-4	Bofa	249.3	229.8	92	C
ES-6	Ude Dhankaka	344.3	0.0	0	A
ES-8	Kamise	286.2	11.5	4	A
ES-10	Areda	164.3	11.0	7	A
ES-11	Biyo	163.1	0.0	0	A
AR-2	Bolo	95.5	24.2	25	B
AR-3	Arboye	458.5	271.7	59	B
AR-4	Aseko	322.3	46.3	14	A
AR-6	Gonde	206.6	116.2	56	B
WH-1	Chorora	97.7	21.2	22	A
WH-2	Bedeyi	182.3	16.8	9	A
WH-3	Hardim	356.6	18.1	5	A
WH-4	Bube	215.7	18.1	8	A
WH-6	Hargeti	115.2	0.0	0	A
WH-8	Kenteri	61.0	0.0	0	A
WH-9	Aneno	97.1	0.0	0	A
WH-10	Belo	158.2	12.2	8	A
WH-11	Kora	82.5	37.8	46	B

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

## 8.4 裨益効果

### 8.4.1 裨益効果

裨益効果については給水計画の対象人口が多ければ多いほど裨益効果が高いと判断する。2007 年センサス人口に基づく計画目標年の 2020 年の小都市別の予測人口は、表 8.4.1 に示すとおりである。人口 10,000 人以上を「A」、5,000～10,000 人を「B」、0～5,000 人を「C」の評価とした。

表 8.4.1: 2020 年予測人口

ID	小都市名	2020年予測人口	評価
ES-2	Geldiya	2,873	C
ES-4	Bofa	5,326	B
ES-6	Ude Dhankaka	7,334	B
ES-8	Kamise	6,167	B
ES-10	Areda	3,502	C
ES-11	Biyo	3,446	C
AR-2	Bolo	2,010	C
AR-3	Arboye	9,254	B
AR-4	Aseko	6,724	B
AR-6	Gonde	4,370	C
WH-1	Chorora	3,183	C
WH-2	Bedeyi	3,748	C
WH-3	Hardim	7,515	B
WH-4	Bube	7,286	B
WH-6	Hargeti	3,926	C
WH-8	Kenteri	2,044	C
WH-9	Aneno	3,326	C
WH-10	Belo	5,471	B
WH-11	Kora	2,771	C

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

## 8.4.2 費用対効果

オロミア州政府は都市として持続的な成長が見込まれる都市に対する資格の認定を行っている。都市の資格を得るための条件としては、①人口 2,000 人以上であること、②都市として持続的な成長に適する地理的条件を備えていること、③水などの天然資源を有していること、④十分な学校及び人間・家畜のための病院を有していること、⑤51%以上の世帯が農業以外の労働収入を得ていること、⑥歳出の 35%以上が都市の税収により賄われていること、⑦定期的かつ定められた場所において市場が開催されていることなどが規定されている。

また、都市の格付けとしては人口及び税収の多い順にグレード 1、2A、2B、3A、3B、3C、4A、4B、4C の各段階に分かれている。

都市の資格を有していない都市は村 (Kebele) に分類されるが、これらは上記の条件を兼ね備えていない地域であり費用対効果は低いと判断される。

オロミア州工業・都市開発局発行の都市リストに示すグレード 3 の都市を「A」、グレード 4 の都市を「B」、村を「C」の評価とした。

表 8.4.2: 小都市の都市・村の分類

ID	小都市名	分類	オロミア州都市格付け	評価
ES-2	Geldiya	都市(Town)	4-C	B
ES-4	Bofa	都市(Town)	4-C	B
ES-6	Ude Dhankaka	都市(Town)	4-C	B
ES-8	Kamise	都市(Town)	4-C	B
ES-10	Areda	都市(Town)	4-C	B
ES-11	Biyo	都市(Town)	4-C	B
AR-2	Bolo	都市(Town)	4-C	B
AR-3	Arboye	都市(Town)	4-A	B
AR-4	Aseko	都市(Town)	4-C	B
AR-6	Gonde	都市(Town)	4-C	B
WH-1	Chorora	村(Kebele)	-	C
WH-2	Bedeyi	都市(Town)	4-C	B
WH-3	Hardim	都市(Town)	4-C	B
WH-4	Bube	村(Kebele)	-	C
WH-6	Hargeti	村(Kebele)	-	C
WH-8	Kenteri	村(Kebele)	-	C
WH-9	Aneno	村(Kebele)	-	C
WH-10	Belo	村(Kebele)	-	C
WH-11	Kora	村(Kebele)	-	C

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

## 8.5 運営維持管理組織の能力比較

### 8.5.1 運営維持管理組織

表に示す通り、19小都市のうち既に運営維持管理組織が存在するのは16小都市である。このうち市給水事務所が運営維持管理を行っているのは2小都市であり、残りの14小都市は水組合が運営維持管理を行っている。

第6章で述べた通り、市給水事務所が運営維持管理を行っている給水システムは7か所であるが、積立金残高は全て30万Birrを超えており経営状態は良好と判断される。一方、水組合の積立金残高は、ES-2を除いて10万Birr未満であり、中には積立金ゼロの水組合もある。市給水事務所との給水規模の違いはあるものの、積立金残高から判断すると経営状態が良好ではない水組合が多いと判断される。

水組合の委員の任期は2年と定められている。2年ごとに新しい委員と交代するため経営のノウハウが蓄積されない。また、引継ぎが悪い場合には過去の記録等が紛失してしまう場合もある。委員が2年ごとに利用者から選出されるという民主的な組織である反面、ノウハウが蓄積されないため常にアマチュアが経営している状態であると言える。

市給水事務所の職員は理事会から半永久的に雇用されているため、経験に応じてノウハウが蓄積される、言わばプロフェッショナルの集団であると言える。この違いが経営状態に表れていると考えられる。

以上のとおり水組合よりも市給水事務所の方が高い運営維持管理能力を有すると判断される。よって、市給水事務所を「A」、水組合を「B」、組織なしを「C」とした。

表 8.5.1: 小都市の運営維持管理組織

ID	小都市名	有無	種類	評価
ES-2	Geldiya	有	水組合	B
ES-4	Bofa	有	市給水事務所	A
ES-6	Ude Dhankaka	有	水組合	B
ES-8	Kamise	有	水組合	B
ES-10	Areda	有	水組合	B
ES-11	Biyo	有	水組合	B
AR-2	Bolo	有	水組合	B
AR-3	Arboye	有	水組合	B
AR-4	Aseko	有	水組合	B
AR-6	Gonde	有	市給水事務所	A
WH-1	Chorora	有	水組合	B
WH-2	Bedeyi	有	水組合	B
WH-3	Hardim	有	水組合	B
WH-4	Bube	有	水組合	B
WH-6	Hargeti	無	-	C
WH-8	Kenteri	無	-	C
WH-9	Aneno	無	-	C
WH-10	Belo	有	水組合	B
WH-11	Kora	有	水組合	B

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

## 8.5.2 水料金支払い意思

水料金の支払い意思が高ければ、給水施設の運営が円滑に行われると想定されるため、本調査の水利用実態調査より得られた小都市ごとの支払い意思のサンプル世帯調査結果により評価した。小都市ごとに「意思あり」と回答した世帯数を全サンプル世帯数で除した割合により評価した。

「意思あり」と回答した人の割合が 90~100%を「A」、80~90%を「B」、80%以下を「C」の評価とした。

表 8.5.2: 水料金支払い意思

ID	小都市名	「意思あり」と回答した人の割合 (%)	評価
ES-2	Geldiya	78	C
ES-4	Bofa	96	A
ES-6	Ude Dhankaka	83	B
ES-8	Kamise	100	A
ES-10	Areda	91	A
ES-11	Biyo	96	A
AR-2	Bolo	100	A
AR-3	Arboye	100	A
AR-4	Aseko	91	A
AR-6	Gonde	100	A
WH-1	Chorora	91	A
WH-2	Bedeyi	78	C
WH-3	Hardim	100	A
WH-4	Bube	91	A
WH-6	Hargeti	87	B
WH-8	Kenteri	65	C
WH-9	Aneno	65	C
WH-10	Belo	83	B
WH-11	Kora	74	C

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

## 8.6 施設建設に伴う環境及び社会への影響

### 8.6.1 環境への影響

環境に関しては、ポジティブな影響を与えることは考えにくいいため、満点からの減点方式とする。

「影響が軽微、若しくは懸念されない」場合を「A」、「1つ以上の懸念が存在する」場合を「B」および「2つ以上の懸念が存在する」場合を「C」の評価とした。評価結果を表 8.6.1に示す。

表 8.6.1: 環境への影響

ID	小都市名	調査結果	評価
ES-2	Geldiya	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
ES-4	Bofa	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
ES-6	Ude Dhankaka	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
ES-8	Kamise	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
ES-10	Areda	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
ES-11	Biyo	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
AR-2	Bolo	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
AR-3	Arboye	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
AR-4	Aseko	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
AR-6	Gonde	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
WH-1	Chorora	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
WH-2	Bedeyi	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
WH-3	Hardim	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
WH-4	Bube	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
WH-6	Hargeti	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
WH-8	Kenteri	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
WH-9	Aneno	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
WH-10	Belo	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
WH-11	Kora	影響が軽微・若しくは懸念されない	A

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果



## 8.6.2 社会への影響

社会に関しては、ポジティブとネガティブの両方が考えられる。そのため、B 点を基点とし、特にポジティブな影響が期待される地域は A とする（不登校率の原因 1 位が水汲みの地域、全体の患者の上位 5 位のうち 3 つ以上が水因性疾患の地域）。

「良い影響が期待されるもの」場合は「A」、「影響が軽微・若しくは懸念されない」場合は「B」および「1 つ以上の懸念が存在する」場合は「C」とした。評価結果を表 8.6.2 に示す。

表 8.6.2: 社会への影響

ID	小都市名	調査結果	評価
ES-2	Geldiya	影響が軽微・若しくは懸念されない	B
ES-4	Bofa	影響が軽微・若しくは懸念されない	B
ES-6	Ude Dhankaka	良い影響が期待される	A
ES-8	Kamise	影響が軽微・若しくは懸念されない	B
ES-10	Areda	影響が軽微・若しくは懸念されない	B
ES-11	Biyo	良い影響が期待される	A
AR-2	Bolo	良い影響が期待される	A
AR-3	Arboye	良い影響が期待される	A
AR-4	Aseko	影響が軽微・若しくは懸念されない	B
AR-6	Gonde	影響が軽微・若しくは懸念されない	B
WH-1	Chorora	良い影響が期待される	A
WH-2	Bedeyi	良い影響が期待される	A
WH-3	Hardim	影響が軽微・若しくは懸念されない	B
WH-4	Bube	良い影響が期待される	A
WH-6	Hargeti	良い影響が期待される	A
WH-8	Kenteri	良い影響が期待される	A
WH-9	Aneno	影響が軽微・若しくは懸念されない	A
WH-10	Belo	影響が軽微・若しくは懸念されない	B
WH-11	Kora	影響が軽微・若しくは懸念されない	B

出典: 調査団、データ元: 担当団員の調査結果

## 8.7 点数化基準

評価の大項目は、上記の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。重み付けの根拠は以下のとおりである。

- 地下水開発可能性が低い場合には給水計画自体がなりたないため、地下水開発ポテンシャルを最優先する必要があると判断した。
- 安全な水に困窮している場合にはプロジェクト実施の緊急性が高いため、安全な水の困窮度を第 2 優先順位とした、
- 建設されても運営維持管理能力が不足している場合には持続性を担保できないため、給水施設運営維持管理能力を第 3 優先順位とした。
- 我が国の無償資金協力等の資金が有効活用されるためには、裨益効果、費用対効果の高い案件とする必要があることから、裨益効果・費用対効果を第 4 優先順位とした。
- 環境及び社会への影響は他の 4 項目に比べてインパクトが小さいため最終順位とした。

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。重み付けの根拠は以下のとおりである。

- 地下水ポテンシャルとしてはまず水を出すことが優先されるため、水量に 10 点の重みを付けた。
- 水の使用量については地域差等があるが、充足率については需要量に対する供給量の割合なので困窮度に近い値である。このため充足率に 5 点の重みを付けた。
- 投資効果を測るためには、裨益効果よりも費用対効果の方がインパクトが大きいと判断し、費用対効果に 5 点の重みをつけた
- 水料金支払い意思よりも実際に維持管理組織が存在して運営維持管理を行っている方が高い維持管理能力を有することが確実にであると判断し、運営維持管理組織に 10 点の重みを付けた。
- 環境への影響はネガティブ・インパクトの評価が主体であるが、社会への影響はポジティブ・インパクトに対する評価も含まれるため、社会への影響に 4 点の重みを付けた。

表 8.7.1 に点数化の基準を示す。

表 8.7.1: 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

## 8.8 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 8.8.1 に示すとおりである。また、点数化の詳細結果を表 8.8.2 に示す。

表 8.8.1: 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

表 8.8.2: 対象小都市の点数化および優先順位付の結果

		対象小都市の点数化結果																												優先順位				
項目		1 地下水開発ポテンシャル(30点)							2 安全な水の困窮度(25点)							3 裨益効果・費用対効果(15点)						4 給水施設運営維持管理能力(20点)						5 環境及び社会への影響等(10点)		6 得点合計(100点)				
小項目		水量(20点)			水質(10点)				安全な水の供給量(10点)			安全な水の充足率(15点)				裨益効果(配点5点)			費用対効果(10点)			運営維持管理組織(15点)			水料金支払い意思(5点)			環境(3点)		社会(7点)				
判定基準		取水可能量	判定	得点	フッ素*1	総硬度*2	判定	得点	2014年1人1日当り供給量(L/c/d)	判定	得点	2020年計画1日平均給水量(m3/日)	2014年水供給量(m3/日)	2020年充足率(%)	判定	得点	2020年予測人口	判定	得点	タケンの格付け	判定	得点	運営維持管理組織の有無・種類	判定	得点	「意思あり」とした回答者の割合(%)	判定	得点	判定	点数	判定	点数		
ID	小都市名	(L/sec)	(0~20)	(mg/L)	(mg/L)	(0~10)	(L/c/d)	(0~10)	(m3/日)	(%)	(0~15)	(m3/日)	(%)	(0~15)	(0~5)	(0~10)						(0~15)	(0~5)								(0~100)			
ES-2	Geldiya	10~	A	20	1.69	106	C	2	41.6	C	2	135.7	93.8	69	C	3	2,873	C	1	4-C	B	8	水組合	B	9	78	C	1	A	3	B	4	53	19
ES-4	Bofa	5~10	B	12	1.96	130	C	2	54.9	C	2	249.3	229.8	92	C	3	5,326	B	3	4-C	B	8	市給水事務所	A	15	96	A	5	A	3	B	4	57	17
ES-6	Ude Dhankaka	10~	A	20	0.71	250	A	10	0.0	A	10	344.3	0.0	0	A	15	7,334	B	3	4-C	B	8	水組合	B	9	83	B	3	A	3	A	7	88	1
ES-8	Kamise	10~	A	20	<1.5(想定)	<300(想定)	A	10	2.4	A	10	286.2	11.5	4	A	15	6,167	B	3	4-C	B	8	なし	C	0	100	A	5	A	3	B	4	78	5
ES-10	Arede	5~10	B	12	0.79	204	A	10	4.0	A	10	164.3	11.0	7	A	15	3,502	C	1	4-C	B	8	水組合	B	9	91	A	5	A	3	B	4	77	7
ES-11	Biyo	10~	A	20	<1.5(想定)	<300(想定)	A	10	0.0	A	10	163.1	0.0	0	A	15	3,446	C	1	4-C	B	8	水組合	B	9	96	A	5	A	3	A	7	88	2
AR-2	Bolo	10~	A	20	0.73	202	A	10	15.3	B	6	95.5	24.2	25	B	9	2,010	C	1	4-C	B	8	水組合	B	9	100	A	5	A	3	A	7	78	6
AR-3	Arboye	5~10	B	12	<1.5(想定)	<300(想定)	A	10	37.4	C	2	458.5	271.7	59	B	9	9,254	B	3	4-A	B	8	水組合	B	9	100	A	5	A	3	A	7	68	14
AR-4	Aseko	5~10	B	12	<1.5(想定)	<300(想定)	A	10	8.8	A	10	322.3	46.3	14	A	15	6,724	B	3	4-C	B	8	水組合	B	9	91	A	5	A	3	B	4	79	4
AR-6	Gonde	5~10	B	12	<1.5(想定)	<300(想定)	A	10	33.8	C	2	206.6	116.2	56	B	9	4,370	C	1	4-C	B	8	市給水事務所	A	15	100	A	5	A	3	B	4	69	11
WH-1	Chorora	5~10	B	12	0.54	272	A	10	7.8	A	10	97.7	21.2	22	A	15	3,183	C	1	ケハレ	C	2	水組合	B	9	91	A	5	A	3	A	7	74	8
WH-2	Bedeyi	5~10	B	12	0.50	354	B	6	5.7	A	10	182.3	16.8	9	A	15	3,748	C	1	4-C	B	8	水組合	B	9	78	C	1	A	3	A	7	72	9
WH-3	Hardim	10~	A	20	0.71	400	B	6	3.1	A	10	356.6	18.1	5	A	15	7,515	B	3	4-C	B	8	水組合	B	9	100	A	5	A	3	B	4	83	3
WH-4	Bube	0~5	C	4	<1.5(想定)	<300(想定)	A	10	2.9	A	10	215.7	18.1	8	A	15	7,286	B	3	ケハレ	C	2	水組合	B	9	91	A	5	A	3	A	7	68	13
WH-6	Hargeti	10~	A	20	<1.5(想定)	<300(想定)	A	10	0.0	A	10	115.2	0.0	0	A	15	3,926	C	1	ケハレ	C	2	なし	C	0	87	B	3	A	3	A	7	71	10
WH-8	Kenteri	10~	A	20	<1.5(想定)	<300(想定)	A	10	0.0	A	10	61.0	0.0	0	A	15	2,044	C	1	ケハレ	C	2	なし	C	0	65	C	1	A	3	A	7	69	12
WH-9	Aneno	0~5	C	4	<1.5(想定)	<300(想定)	A	10	0.0	A	10	97.1	0.0	0	A	15	3,326	C	1	ケハレ	C	2	なし	C	0	65	C	1	A	3	A	7	53	18
WH-10	Belo	0~5	C	4	0.65	78	A	10	2.6	A	10	158.2	12.2	8	A	15	5,471	B	3	ケハレ	C	2	水組合	B	9	83	B	3	A	3	B	4	63	15
WH-11	Kora	10~	A	20	0.50	656	B	6	15.9	B	6	82.5	37.8	46	B	9	2,771	C	1	ケハレ	C	2	水組合	B	9	74	C	1	A	3	B	4	61	16

\*1 エチオピア国新基準値:1.5 mg/L、旧基準値:3.0 mg/L

\*2 エチオピア国基準値:300 mg/L

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

*Conclusion and  
Recommendations*

## 9 結論と提言

### 9.1 結論

アワシュ川中流域の自然状況・社会経済状況・小都市の給水計画と優先小都市にかかる調査の結論と考え方を以下のとおり記載する。

#### 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 分の間位置し、約 29,000 km<sup>2</sup> の面積を有する地域である。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、アワシュ川周辺の独立した流域を形成した中流域にあたる。
- 2) 平均年降雨量は、20 観測所のうちアワシュ川の最下流域の Metehara で 508 mm 程度、アディスアベバで 1,283 mm を記録し、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。11 観測所の年間蒸発量は 1,622 mm から 3,023 mm の範囲である。月間気温のうち流域下流では最高気温 36℃、高地では最低気温が 10℃を下回る。
- 3) 調査地域のほぼ中央部をアワシュ川が北西方向から南東、北東方向に流下し、その流域に人工湖である Koka 湖と下流部に Beseka 湖が存在する。アワシュ川中流域の流量のピークは 8 月中旬から 9 月上旬にかけて観測され、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。Koka ダムからは乾季に約 35 m<sup>3</sup>/sec のコンスタントな放流がみられ、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。水文解析の主な目的は、アワシュ川中流域での地下水涵養量を算出することであるが、13 の小流域について年平均雨量とその流出率及び基底流量を求めるための BFI (Base Flow Index) を利用して地下水涵養量を求めた。解析の結果、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、アファ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する。アフリカ地溝帯はアデン会合点から南西～南南西へジブチ、エリトリア、エチオピア、ケニア、ウガンダ、タンザニアと東アフリカ地域を縦断する。調査地域は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しており、北東側は Afar Rift と隣接する。リフトの縁の構造は MER の RVLB からアワシュ川流域で NNE-SSW から NE-SW 方向に変化しており Afar Rift ではアデン接合部付近で両側に大きく開口する。
- 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の主拡大軸としてWonji断層群がリフト内に形成され、これに伴う玄武岩および流紋岩が噴出した。これらの火山活動はアルカリ岩系の玄武岩による割れ目噴火、および流紋岩の噴火による火山体とカルデラの形成により特徴づけられる。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とともに堆積盆の底部火山活動に伴う断層群で特徴づけられる。

- 7) 火山活動に伴う火山の特徴は、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。火山活動は大きく後期鮮新世~前期更新世と中期更新世以降の活動が認められる。ともに火山体の形成とカルデラを伴う活動により特徴づけられる。
- 8) 詳細な地質図の作成は正確な水理地質図作成の基礎となる。地質踏査では、調査範囲が広大であるため、堆積物の特徴と分布から全域を4つの地域にわけ、その中から特徴的な層相を基準にして（一種の鍵層）各地域の地質対比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、既存井戸やJICA新規井戸での地層対比及び帯水層情報からエチオピアの基準に沿って、以下のように区分できる（A：高い、B：中間、C：低い）

1. =1C、2. =3B~3C、1B~1C、3. =3C~3A

水理地質図は上記の帯水層区分を考慮しながら地質分布を参照して作成した。

- 1 0) 調査地域の一部の不圧地下水を除いて被圧水頭を示した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作成した地下水位コンター図では、流線の方法は、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。
- 1 1) 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、これらの表層における分布は、調査地北西側と南東側のリフトバレーリッジ付近にみられる。地下地質ではリフトバレーフロア一部で確認される。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、地下水涵養量と揚水流量からみた地下水利用量の比較でも、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下量予測結果との相関式から、許容できる小流域内の地下水降下量等から計算で求めたアワシュ川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でエチオピア国基準値を超える箇所は少ない。総硬度、カルシウムは、調査地域の南東側のリフトに沿っ

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国基準以上の濃度が検出されるが、10 点程度である。

- 1 5) 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）。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傾向がみられるが、上述の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 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。同湖の集水面積は 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内部収束流域を形成している。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、農場や居住家が浸水・水没した。1960 年代後半以降、Beseka 湖の水位は約 12m 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。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。
- 3) 本調査では Beseka 湖周辺の地形・地質・地質構造、および水理地質にかかる調査の進捗を報告するとともに、これまで Beseka 湖水位上昇の主たる原因とされてきた灌漑余剰水について、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 湖および周辺の水質分析、灌漑排水量の推定および水バランス解析を行った。
- 4) 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、大きく沖積低地面 (Alluvial lower plane)、玄武岩低地面 (Basalt lower plane)、中間面 (Middle plane)、高地面 (Upper plane)、酸性火山岩ドーム (Acidic rock dome)、峡谷、湖面の 7 つに区分できる。
- 5) 地質は、下位より第三紀鮮新世の Birenti Hada 流紋岩類 (Tr)、古イグニブライイト (Ti)、Nura Hara 玄武岩類 (Tb)、第四紀更新世の Dino イグニブライイト (Qi1)、Sobebor 火山砂層 (Qs)、更新世玄武岩類 (Qb1)、Kone イグニブライイト (Qi2)、Fentale 火山岩類 (Qf)、Fentale イグニブライイト (Qi3) 及び第四紀完新世の完新世玄武岩類 (Qb2)、沖積層 (Qal) からなる。Beseka 湖周辺において、北は Fentale 山北西麓から南は Nura Hira 農場までの北北西-南南東に伸びる小流域 (532 km<sup>2</sup>) について、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。
- 6) 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。
- 7) 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

深度も異なるため、ここでは井戸深度 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、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。

- 8) 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国基準を超えている。深度とフッ素濃度との相関もほとんどない。
- 9) 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。湖面温度の継続的な上昇は灌漑水（すなわち河川水）よりも流域西側ないしは南西側からの高温の湧水の流入を要因とした湖拡張を強く暗示するものである。
- 1 0) 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（ $\text{NaHCO}_3$  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。
- 1 1) 灌漑水を考慮した水収支解析では、1960 年代後半に開発された灌漑地域からの余剰水で湖拡張が説明できるかを検証した。その結果、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 年統計ではアワシュ川中流域で約 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) 基幹産業の農業における主要農産物は、作付面積及び収穫量から見てテフと小麦が卓越する。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。
- 4) 教育では、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。その結果、地下水開発ポテンシャルのうちの水質項目（フ

- ッ素濃度が旧基準（3 mg/L）以上）、他プロジェクトの有無、安全な水の十分な供給の有無から判断して最終的に 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/sec、村落 25 L/sec 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。井戸の開発が可能かどうか、地下水涵養量と利用計画、地下水の開発可能性から検討し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し検討された。とくに以下の点の強化が必要になる。それは、運営維持管理関係者の明確化と役割の分担、支援体制の確立等である。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以下の項目に沿って実施した。それらは地下水開発可能量評価（水量、水質）、給水困窮度（安全な水の供給量、安全な水の充足率）、裨益効果（人口比較、費用対効果）、運営維持管理組織の能力（組織、水料金支払い意思）及び施設建設に伴う環境及び社会への影響であり、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 環境社会配慮ガイドライン（2010 年 4 月版：以下、JICA ガイドライン）並びにエチオピア国の環境影響評価実施ガイドライン（2011 年 4 月版：以下、連邦ガイドライン）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 提言と教訓

### 9.2.1 はじめに

アワシュ川中流域の既存の地質図、水理地質図は Nazret 地域の既存資料「Kazmin 他 Nazret 図幅, 1978、Hydrogeology (Map) of the Nazret, EIGS, 1985」があり、それらが作成されてから 30 年以上を経ている。そのため今回新しいデータの収集と解析に基づいた地質図、水理地質図の作成を行った。またこれらの図面を利用した、オロミア州の小都市に対する給水計画も立案した。

しかしながら、これらの作業を通じて以下のとおり課題も認識されており、本項目ではその改善にむけたエチオピア側への提言と、日本側への教訓について整理する。

## 9.2.2 地下水データベースシステムの活用

2009年～2010年に当時の水エネルギー省（Ministry of Water and Energy: MoWE：旧名）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。2013年に1度だけ州・省の関係職員へのENGWIS活用研修を実施したが、その後継続した研修は行われていない。今回プロジェクトにおいても763本のアワシュ中流域のENGWISデータを手入力し確認した結果、十分な整備の結果が見られず、精度のよいデータはほとんど見つけることが出来なかった（例えば位置情報がない、帯水層情報が無い、地下水位や揚水流量のデータがない等）。このように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。またデータ収集が円滑に進んでいない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。このような点を踏まえて、本件に係る主な提言は以下の通りである。

- フォーマットに基づいたデータの収集上の問題点を改善するために、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。
- データを円滑に収集することの体制の強化のためには、州だけでなく県の強化が欠かせない。県の職員が地下水データの重要性を認識することによって県の中に地下水管理の体制が確保され、その結果郡への指導も高まる。そのためには省の関係職員が州関係者と共に県への指導も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。
- 全体的な点としては、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（Ministry of Water, Irrigation and Electricity: MoWIE）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。そのためには最初に水灌漑電力省内の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。次にはこのシステムを必要とする省職員や地方の水局職員にデータ収集方法や内容に関するトレーニングを継続して行う必要がある。これらを実践に移すことは不可欠であるため、活動を行うための予算確保が必須となる。精度のよい水理地質図の作成は地下水開発にとって必須だが、今後エチオピア側がENGWISを運用するにあたっては、活用に向けた具体的な議論が重要となる。

### 9.2.3 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、アワシュ中流域の井戸掘削でも掘削の遅延とトラブルが多発した。主な原因に対する見解は以下の通りである。

- ① 掘削業者の機械のトラブルが多発した。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ために、破損した場合、パーツの取得や修理に非常に時間を要する。また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。さらに、コンプレサー等の基本的な機材が各掘削チームに常備されておらず、何班かで1台のコンプレサーを使い回すことになり、作業効率が落ちている。また、ケーシングのうちuPVCの扱いに慣れておらず、口元でのトラップがうまくできずに落下するなどの事故が発生した。
- ② リフトバレー、アワシュ中流域の掘削地点は逸水や孔壁崩壊が多く発生し地質的に掘削困難な場所が多い。日本では崩壊が多発する箇所はケーシング掘り等を行い崩壊部分を保護するが、エチオピアの掘削業者で深い深度まで挿入できる肉厚の保護ケーシングを持っている業者は少ない。また、そのような技術の導入が少なく経験も浅いため、崩壊箇所の処理が難しい。また、井戸業者もDTHは多用するものの泥水掘りが苦手慣れていない。

上記課題を踏まえた教訓と、日本側への提言は以下の通りである。

- 大地溝帯内の掘削では、現時点のエチオピア側の掘削技術を考慮すると300m級の掘削深度では、仕掛から完工まで2~3ヶ月/台は最低限でも要するため余裕をもった掘削スケジュールを設定すべき。
- 掘削業者の選定にあたっては、自社での掘削機械の保有台数の確認やスペアパーツの保管状況を技術的な配点として選定評価に加味すること（今回も技術的配点に加味したが、さらに機材等の保管状況の細かいチェックが必要）。低価格による選定だけではなく、技術点を加味することが肝要。
- 掘削の見積もりは、現地で発生するトラブルや機械の純正品購入等に迅速に対応を行うためにも余裕をもった金額の設定が必要。
- 掘削工程にはマシンのメンテナンスやドリラーの経験値が考慮されていないため、掘削工程はエチオピア側と意見交換をした上で通常の3倍程度の工程を想定したほうが無難。
- 掘削長が200m以上の孔の場合のケーシングはスチール製であることが望ましい。まず、孔壁崩壊が頻繁に発生する当地のような地域では、孔曲り、礫のせり出しなどで、必ずしも掘削深度までケーシングを入れられない場合があり、一度入れたケーシングを引く抜き、孔内のリーミングを行ってケーシングの再挿入を行うという手順を踏むと良い。その際、uPVCでは挿入時に破損の可能性は否めず、押し込みや回転をかけての挿入が出来ないため、井戸の仕上げが難しい場合がある（特にDTH掘りの場合）が、スチールケーシングの場合は多少の孔曲りや礫のせり出し等があっても押し込みや回転をかけて挿入することができて、井戸仕上げのリスクはuPVCより少ない。また井戸洗浄時でもスチールケーシングは

高压の空気圧を送り込むことができ、孔内のスライム等を素早く除去できる利点もある。

エチオピア側への提言は以下の通り。

- MoWIE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。その際、民間業者に所属する地質技術者も含めて協働で作業を行い、ENGWIS のデータとして使用できるような精度の高い掘削や揚水試験の研修を目指す必要がある。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。その他以前に掘削能力向上のためのコミティを MoWIE を核として結成したことがあったが、その組織が残存する場合はその組織を効果的に利用することが望ましい。
- 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、アディスアババで掘削する場合の 1.5 倍程度の予算は確保することが望ましい。
- MoWIE 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。業者のモチベーションも上がり、MoWIE 側は講習によって業者のレベルを認識することができる。

#### 9.2.4 給水計画の効果的な利用

プロジェクトでの給水計画の基礎となる給水人口や給水原単位については、調査団内や JICA との協議を重ねており、主な特徴は以下の通り。

- 給水人口については 2007 年センサスを基準として人口増加率を乗じた値を原則採用している。2007 年のデータがない小都市はヒアリングの値を採用した。
- 給水区外の利用者の追加に関しては、根拠となる数字はあくまで聞き取りによるものであり、根拠となるエビデンスは存在しないため、給水区外利用者数は計上していない。今後の給水対象区に小都市外部の地域を含めて計画している小都市はない。
- 給水原単位は、各戸水栓と共同水栓ともに、GTP II の提案に沿って 40 L/c/d（都市部）、25 L/c/d（農村部）とした。また各戸水栓の 2020 年（対象年）までの普及率は、経過年数と普及率の統計的なカーブを使用して小都市ごとに決定した。

以上のデータを基礎に作成された給水計画の効果的な利用に係る提案は以下のとおり。

- 19 のうち、9 の小都市は、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 の小都市の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を十分に活用すること。
- 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際して、地下水のポテンシャルを把握するため、今回作成した水理地質図を十分活用すること。

#### 9.2.5 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。とくに地下水の枯渇が発生しないと予測した地下水位の推定降下量から開発可能な揚水流量を想定すると、地下水涵養量の4%～52%という値が算出された。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。このような点を踏まえ、以下に調査地内の地下水開発と管理に関する提言を行う。

- 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の地下地質で出現し、地下水開発による掘削事例が多い。ただし中央部では地下水位が深い場合（深度 150m 以深）もあり、開発時には 8 インチ以上のケーシングを使用し、取水能力の高い水中ポンプを挿入することが望ましい。
- 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。とくに最近では 300 m 以上の井戸掘削で高揚水流量を得ている箇所もみられる。ただし、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、用途にとっては掘削深度を 200 m 程度で掘留にすることも選択の一つである。
- 4 章での水質の項でも述べたように、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。また Koka 湖北西側にかけてもフッ素の濃度の高い地域が顕著にみられる。地下水開発にあたってはこれらの地域を避けることが望ましい。地質的な共通点としては、第四紀更新世の中でも比較的新しい時代の流紋岩質の火山体周辺（例えば Gedemsa、Zikwala、Boseti、Fentale）にフッ素濃度の高い地域が認められる。ただしやむを得ない事情でこのような地点で掘削せざるを得ない場合は、試みとして掘削深度を深めに設定し（深度 250 m 以上）、掘削孔の上部を確実にシールしスクリーン深度を深くするなどの工夫を行うことが良い。しかし調査地での地下水は裂隙水であるため、フッ素汚染水の分布が複雑で把握しにくく、亀裂に沿った地下水の下方への浸入も考えられる。このように不確定要素も多いため、現時点はフッ素濃度が高い地域の地下水開発はできるだけ避けて計画し、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を選定し、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。
- アワシュ川中流域は、上述したように割れ目系の少ない地域やフッ素濃度の高い地域等を除けば地下水開発の可能性が高いと思われる。また今回、開発可能揚水流量を推定したが、地下水涵養量からも必要な揚水流量の確保が可能であると推

察される。ただし、地下水の賦存状態は、降水量に影響を大きく受け、地下水涵養量も変化するため、エチオピア側にとって地下水を管理することは今後必須となる。地下水の管理のためには、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の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。今後アワシユ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。また井戸管理も含めた揚水流量の把握や水質変化等の経年変化の把握も必要である。表 9.2.1に主なモニタリング項目を示す（黄色がモニタリング内容）。

### 9.2.6 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、とくに西側からの地下水を Beseka 湖へ流入する前に止めるような対策は現実的ではないため、第 3 章で述べたように、灌漑余剰水が最大限湖に流入する同等量を排出する施設を設置し、アワシユ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。

