# Chapter 11

Beseka湖周辺の 水文・水理地質解析 Hydrology and Hydrogeology Analysis around Lake Beseka

# 11 Beseka 湖周辺の水文・水理地質解析

#### 11.1 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。

#### 11.2 Beseka 湖の拡張問題

#### 11.2.1 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 11.2.1参照)。



出典:参考資料10

図 11.2.1: 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、農場や居住地が浸水・水没した。1969年代後半以降、Beseka 湖の水位は約12m上昇し、湖面積は3.6km<sup>2</sup>から55km<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。





水没した鉄道 出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

Beseka 湖からの排水路

図 11.2.2: Beseka 湖の現状

Beseka 湖の水位上昇の原因やメカニズムについては様々な調査・研究がなされている。 そのうち以下の調査研究に関する報告書が入手可能である。

- Study of Lake Beseka, May 1999 (水資源省、現水灌漑エネルギー省)
- Growing Lake with Growing Problems: Integrated Hydrogeological Investigation on Lake Beseka, Ethiopia, 2009 (Eleni Ayalew Belay 氏)
- Study and Design of Lake Beseka Level Rise Project II, August 2011 (水工設計・建設 機構、Water Works Design and Supervision Enterprise; WWDSE)
- Assessment and Evaluation of Causes for Beseka Lake Level Rise and Proposed Immediate Mitigation Measures, July 2013 (Oromia 水工設計・建設機構、Oromia Water Works Design & Supervision Enterprise; OWWDSE)

上記調査研究では Beseka 湖あるいは同湖流域の水収支についての解明が試みられている。図 11.2.3は Ayalew (2009)による長期水収支状況の解析結果であり、Beseka 湖流域 への年間 30.5 百万 m<sup>3</sup>の地下水流入を推定している。



出典:調査団、データ元:参考資料⑥

図 11.2.4は WWDSE による水収支解析結果を示したものである。図中の数値は 2010 年 と 2011 年の解析結果の算術平均値である。同解析においては Beseka 湖集水域外からの流

図 11.2.3: Beseka 湖流域の水収支解析結果(Ayalew、2009)

入量として年間 43 百万 m<sup>3</sup>の地下水流入が推定されている。



出典:調査団、データ元:参考資料22

図 11.2.4: Beseka 湖流域の水収支解析結果(WWDSE、2011)

既存調査研究によると、考えうる Beseka 湖水位の上昇原因として以下の点が挙げられている。

- 古い農場からの排水
- 灌漑用土水路からの漏水・浸透
- 新たな地殻変動活動が引き起こした流域間の地下水流動変化
- 灌漑エリアの新設や上流域の開発による地下水位の改変
- 雨量の増加

緩和策、対応策としては以下のものが提案されている。

- i) 灌漑水路のライニング、ii) 灌漑地区における水利用の効率化、およびiii) サ トウキビ農場からの排水管理による湖への流入量の削減。
- 排水路の規模増大によるアワシュ川への排水量増加
- 水没地域の嵩上げ

#### 11.2.2 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。 図 11.2.5は MoWIE のデータに基づき各年の 12 月時点の湖水位をプロットしたものであ る。



出典:調査団、データ元:参考資料①



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 11.2.6に示す。



出典:調査団、データ元:参考資料⑤及び⑥

#### 図 11.2.6: 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。

**MoWIE**は Beseka 湖付近の 5 千分の一地形図を基に、湖水位(H)と湖面積(A)および湖貯水量(V)の関係すなわち H-A 曲線および H-V 曲線を作成している。これらの曲線を図 11.2.7に示す。

<sup>&</sup>lt;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。



出典:調査団、データ元:参考資料①



上記の水位データと水位—湖貯留量曲線を基に、湖面積および湖貯留量の時系列を推定しグラフ化したものを図 11.2.8および図 11.2.9に示す。



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⑤及び⑥

### 図 11.2.9: Beseka 湖貯留量の時系列データ(1912-2009)

図 11.2.10は Beseka 湖貯留量の毎年の変化(実線)を示したものである。同図にはこれ に加えて、区間(概ね5年)平均の貯留量変化量(太い実線)と1967年から2009年ま での変化量の平均値(点線)をも示している。



出典:調査団、データ元:参考資料①および②

図 11.2.10: Beseka 湖貯留量の変化

上図から、1967年以降の湖貯留量の増加は年平均で約7.17百万m<sup>3</sup>となる。最も急激 な変動は1971年から1977年にかけて起こっており、年間の増加量は18百万m<sup>3</sup>を超え る。また、1992年から1999年にかけても年平均9百万m<sup>3</sup>程度の湖貯留量増加が発生し ている。なお、1967年から1977年までの年平均湖貯留量増分は11.07百万m<sup>3</sup>、それ以降 2009年までは5.83百万m<sup>3</sup>であった。

Beseka 湖流域内 Metehara 雨量観測所における年間降水量と湖貯留量の変化量の関係を 示したものが図 11.2.11である。図には湖水位低下策として建設された排水路やポンプの 影響を受けていない 1977 年から 1998 年のデータをプロットしている。



出典:調査団、データ元:参考資料2

#### 図 11.2.11: Metehara 観測所の年降水量とBeseka 湖貯留量変化の関係(1977-1998)

上図からは、当然ながら Metehara 観測所の年間降水量と湖貯留量増分に正の相関が見 られる。一方で、同規模の年間降水量に対する貯留増量には大きな幅がある。これは、i) Metchara 地点雨量(点雨量)と Beseka 湖流域雨量(面積雨量)の違い、ii)雨量データや 地形データ(H-V曲線)の精度、iii)貯留量増加への雨量以外の要因による影響などが組 み合わさって生じるものと考えられる。

雨量の多寡はもちろん湖貯留量に影響する要素である。しかしながら、第2章に示したとおりアワシュ川中流域内の地点雨量については何ら顕著な変化は見られていない。 また、図 11.2.12は Metehara 地域にある砂糖農場における 1963 年から 1996 年にかけての 年間降水量の推移である。1960 年代より前のデータはないものの、図 11.2.12を見る限り 雨量の急激な増加といった事象は見られない。



出典:調査団、データ元:参考資料①

#### 図 11.2.12: Metehara 地域の砂糖農場における年間降水量の長期トレンド

2004 年に排水施設が建設される以前、閉鎖流域である Beseka 湖流域はアワシュ川とは つながっていなかった。すなわち、地下水域への透過や浸透が無視できるほどに小さい と仮定すれば、湖から出てゆく水量は専ら湖面蒸発が占めることとなる。湖面からの蒸 発量は以下の単純な数式によって推定される。

 $VE_{lake} = A_{lake} \times C_{pan} \times E_{pan} / 1000$ 

ここに、VE<sub>lake</sub>: 湖面蒸発量 [百万 m<sup>3</sup>]
A<sub>lake</sub>: 湖面積 [km<sup>2</sup>]
C<sub>pan</sub>: パン係数 (MoWIE (1999)に倣い 0.80 を適用)
E<sub>pan</sub>: Metehara 地点でのパン蒸発量 [mm]

上式により推定した Beseka 湖からの蒸発量を2004年以降の排水施設からの放流量とと もに図 11.2.13に示す。



出典:調査団、データ元:参考資料⑥



上式によると、湖面蒸発量は湖面積に比例して増加する。第1章で示したとおり、 Metehara 付近の年間蒸発量が約3,000 mm であることから、湖面が1km<sup>2</sup>拡張するごとに 湖面蒸発量は2.4 百万 m<sup>3</sup>増加することになる(パン係数として0.80 を適用した場合)。

#### 11.2.3 Beseka湖周辺の灌漑計画と現況

既述のとおり、Beseka 湖の拡張は 1960 年代後半から始まったといわれている。この湖 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<sup>2</sup>。

Beseka 湖周辺の先住民は遊牧民であり主として牛やラクダといった家畜に生計を依存 している。同地域において耕作は一般的ではなく、半遊牧民がわずかな土地を耕して天 水によるサトウモロコシやトウモロコシ栽培を行っている程度である。したがって、 Beseka 湖流域での耕作は湖南岸の国営 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 に限定しうる(図 11.2.14参照)。これらが Beseka 湖流域および近傍の大規模灌漑プロジ ェクトである。

<sup>&</sup>lt;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うる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。





図 11.2.14: Beseka 湖流域内外の灌漑プロジェクト

以下に各々の灌漑プロジェクトについてその概要を述べる。

#### a. Abadir農場

MSEは1960年代後半に設立された大規模な国営農工関連企業である。同地域における 灌漑農業は1968年に導入され綿花や柑橘類が栽培されていた。その後、1978年にサトウ キビへと栽培作物が変更された。

現在の MSE による栽培面積は合計 10,218 ha である。灌漑を利用したサトウキビプラ ンテーションは 3 地区すなわち i) Abadir 地区(アワシュ川左岸側)、ii) 主農場(アワシ ュ川右岸側にある最大の地区)、および iii) 北部地区(アワシュ川左岸側)に分割され る。Abadir 灌漑農場はアワシュ川の西側に位置する 3,158 ha の農場である。灌漑用水は アワシュ川上の取水施設を通じて供給されている。同農場は Beseka 湖のすぐ南に位置し ている。Abadir 農場全体のうち 2,315 ha が Beseka 湖流域内に位置しており余剰水は同湖 に注がれる。

Abadir 農場の灌漑システムは取水口、主水路(被覆工なし)、配水路、二次水路、ため池、支線用水路、副支線用水路、引き込み水路および畝から形成される。主水路延長

は8kmである。

表 11.2.1に MSE により測定された Abadir 農場への灌漑取水量を示す。1977 年から 2009 年にかけての平均取水量は約 102 百万 m<sup>3</sup> (3.24 m<sup>3</sup>/秒) である。

年	取水量 (百万 m <sup>3</sup> )	年	取水量 (百万 m <sup>3</sup> )	年	取水量 (百万 m <sup>3</sup> )
1977	111.9	1988	91.4	1999	No data
1978	87.0	1989	91.4	2000	104.5
1979	100.4	1990	91.4	2001	104.4
1980	90.3	1991	109.0	2002	103.8
1981	125.9	1992	109.0	2003	81.7
1982	119.6	1993	109.0	2004	84.2
1983	130.3	1994	92.7	2005	100.9
1984	129.0	1995	97.1	2006	111.9
1985	83.7	1996	107.0	2007	104.7
1986	93.9	1997	102.7	2008	115.5
1987	87.9	1998	92.7	2009	103.2

表 11.2.1: Abadir 農場の取水量

出典:調査団、データ元:参考資料2

#### b. Nura Hira農場

Nura Hira 農場の総灌漑面積は 6,335 ha である。このうち 1,529 ha が Beseka 湖南西部の 流域内に位置している。Nura Hira 農場の灌漑システムは取水口、主水路(被覆工なし)、 配水路、二次水路、ため池、支線用水路、副支線用水路、引き込み水路および畝から形 成される。主水路の延長は 34.5 km である。同農場ではアワシュ川から取水し、オレンジ、 マンダリン、トウモロコシ、トマト、タマネギ、綿花等各種作物を栽培している。

表 11.2.2に Nura Hira 農場により測定された灌漑取水量を示す。1977 年から 2009 年に かけての平均取水量は約 105 百万 m<sup>3</sup> (3.34 m<sup>3</sup>/秒) である。

年	取水量 (百万 m <sup>3</sup> )	年	取水量 (百万 m <sup>3</sup> )	年	取水量 (百万 m <sup>3</sup> )
1977	107.1	1988	117.7	1999	No data
1978	95.8	1989	111.3	2000	No data
1979	139.9	1990	86.5	2001	91.4
1980	116.7	1991	86.8	2002	98.4
1981	139.4	1992	88.9	2003	90.2
1982	86.2	1993	95.7	2004	98.2
1983	101.7	1994	91.2	2005	100.6
1984	109.4	1995	94.8	2006	99.8
1985	141.0	1996	70.7	2007	97.9
1986	166.1	1997	85.2	2008	108.9
1987	160.8	1998	89.4	2009	102.6

表 11.2.2: Nura Hira 農場の取水量

出典:調査団、データ元:参考資料22

c. Fentale灌漑プロジェクト

Fentale 灌漑は大規模なコミュニティ灌漑事業である。トウモロコシ、落花生、サトウ キビ、タマネギ、飼料など各種作物が栽培されている。主水路は Nura Hira 農場の辺縁部 を走り Fentale 山麓まで達する。主水路延長は46 km であり、水路からの浸透ロスを抑え るため、石積みやジオメンブレンによる被覆が施されている。主水路から二次水路・三 次水路へは埋設管を通じて灌漑用水が供給される。

Fentale 灌漑プロジェクトの総面積は約 18,000 ha であり、正味灌漑面積は 16,000 ha である。現在、約 6,000 ha が灌漑されておりこれらの既灌漑地域は全て Beseka 湖流域内に含まれる。

Beseka 湖流域内の主要灌漑プロジェクトの要約を表 11.2.3に示す。

灌漑プロジ ェクト	灌溉開始時期	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	18,000 ha	6,000 ha	Maize, Groundnut, Sugarcane,
	(not completed)			Onion, Forage, etc.

表 11.2.3: Beseka 湖流域内の主要灌漑プロジェクト

出典:調査団、データ元:参考資料①および②

#### 11.3 地形·地質·地質構造

#### 11.3.1 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 11.3.1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 11.3.2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 11.3.1に示す。

表 11.3.1: 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	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		
	plane	ニンブライト)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	Pleistocene	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。		
低地面	basalt lower	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		
	plane	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		

地形区分		特徴		
		期更新世の火山噴出物(Dino イグニンブライト及び 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	Acidic rock	Fentale 山、Kone カルデラ、Birenti 山、Hada 山等の火山体の主要部		
-2	dome	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		

Beseka 湖周辺の地形は、主に第三紀の玄武岩や火砕流堆積物で構成される地溝帯両縁 辺の丘陵地〜台地より、北東-南西方向に伸びる主エチオピア地溝帯(MER)の主断層崖 を経て、正断層によって形成された小規模な地塁と半地溝を繰り返しながら MER の中心 まで徐々に標高を下げる。Beseka 湖はまさにその MER 中心軸の真ん中に形成された構造 湖である。おそらく正断層に沿って MER の中心部に集まって流れていた地下水が、Fentale 山によって地下で堰き止められた結果、地下水位が上昇して現在の位置で湖が形成され ているものと考えられる。

また地表水(アワシュ川)に関しても、もともと最も標高の低いMERの中心部を流れ ていたものと想定されるが、Fentale 火山の出現によりその流路を東周りに大きく迂回す るように変遷したものと考えられる。その証拠に、Beseka 湖の東で、地形的に一段高い 中間面をアワシュ川が開析して最大落差 170 m に及ぶ深い峡谷を形成している。アワシ ュ川の支流の Arba 川でも同様に深い渓谷がみられるが、この渓谷が北東-南西方向の断層 群に並行して発達しているのに比べ、Beseka 湖東部でアワシュ川沿いに発達する峡谷は、 断層の方向と関係なく発達している。

アワシュ川による Fentale 山の迂回は、Beseka 湖東の Metehara サトウキビ農園の東縁を 発端として、再度 MER の低地部に戻るまでの約 50 km に及んでいる。



出典:調査団、データ元:DEM データ:ALOS、解像度 5m、垂直精度 5m

図 11.3.1: 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)



Beseka 湖の北側には Fentale 山を形成する流紋岩質溶岩類及びそれを覆う溶結凝灰岩が、 また西側には Kone カルデラを中心として後期更新世の玄武岩質溶岩類が分布し、それぞ れ地形の高まりを形成している。Beseka 湖の東側及び南側には、アワシュ川の氾濫原と 思われる沖積層が広く分布し、その大部分はサトウキビ農園に利用されている。

標高分布図(図 11.3.1参照)で北西-南東方向の断面(A-A'断面)を見ると、Beseka 湖 面の標高が最も低く、湖の東側を流れるアワシュ川との間には高さ 10~15m 程度の小さ な高まりが存在している(図 11.3.3参照)。さらに南東側は、リフトの主断層群が分布 し、地溝と地塁を繰り返しながら徐々に南東側へ標高を増している。北西方向を見ると、 Fentale 山と Kone カルデラの間に緩やかな凝灰岩の低地が続くが、Kone カルデラ北部に 広がる低地とは、北北東-南南西に延びる地塁によって地形が区切られている。



出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

東西方向の断面(B-B'断面)を見ると、A-A'断面でみられた Beseka 湖東の地形の高まりは極わずかで、さらに東に蛇行しながら流れるアワシュ川と湖の標高はほぼ同じか、わずかにアワシュ川の標高が低い(図 11.3.4参照)。Beseka 湖の西側には玄武岩質溶岩類が Kone カルデラまで徐々に標高を上げながら連続している。



出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

#### 図 11.3.4: Beseka 湖周辺の東西方向の地形断面(B-B')

南-北方向の断面(C-C'断面)では、Beseka 湖南部に広がる農園と湖は地形的に連続 しており、地形勾配を見ても農園からの表流水は Beseka 湖へ直接流入すると考えられる (図 11.3.5参照)。2015 年 5 月に現場を訪れた際は、乾季のため表流水の流入は確認で きなかった。

図 11.3.3: Beseka 湖周辺の北西-南東方向の地形断面(A-A')



Beseka 湖の形状は北東-南西方向に伸びる断層構造に支配されており、この湖が構造湖 であることがわかる。特に湖の北側には北東-南西方向に伸びる正断層の微地形が顕著に みられる。中には最大約 20 m の開口を伴い、Fentale 山東麓に向かって伸びる正断層の延 長も現地で観察できる。これらの断層群は Beseka 湖の湖底にも延長しているものと想定 される。

航空写真解析による Beseka 湖周辺の地形解析

プロジェクト第1年次後半に入手した 37 枚の航空写真(図 11.3.6)を用いて、火山地 形区分、断層地形解析及び Beseka 湖に流入する旧河道の解析を行った。このうち、火山 地形区分、及び断層地形解析の結果については Beseka 湖周辺の地質図に反映している。



出典:調査団、データ元: SPOT 衛星画像

図 11.3.6: 解析に用いた航空写真位置図

航空写真は1972年1月(乾季)に撮影されたもので、Beseka湖面上昇の初期にあたる。 実体鏡を用いて航空写真を解析した結果得られた当時の湖の形及び周辺の湿地、河道の 分布を図 11.3.7に示す。また合わせて、2008年に撮影された ALOS 画像から得られた Beseka湖の形(黒点線)及びサトウキビ農園の範囲(緑色)を同じ図に示す。1972年の

図 11.3.5: Beseka 湖周辺の南北方向の地形断面(C-C')

Beseka 湖の面積(11.7 km<sup>2</sup>)は、2008年の衛星画像で得られる面積(42.3 km<sup>2</sup>)に比べる と、約28%の大きさである。Beseka 湖南西側には湿地帯が分布しており、さらに南側か ら湖に向けて6~7筋の小河道が見られる。航空写真からは、写真が撮られた乾季の時期 に、これらの河道上に実際に水が流れていたかどうかは確認できなかったが、河道に沿 って植生が発達しているのが観察できる。小河道はサトウキビ農園の北側の境界部分か ら始まっているが、河道と農園の因果関係は航空写真のみからは不明である。また、航 空写真解析の結果、表流水の流入は湖南部以外では確認されなかった。



出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果



#### 11.3.2 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 11.3.8 及び図 11.3.9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。



図 11.3.8: 詳細調査地域の地質図

11-19









#### 図 11.3.9: 詳細調査地域の地質断面図

11-20

#### 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 イグニンブライトに、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。





Kone イグニンブライトに覆われる Birenti-Hada 流 Bilenti 山頂周辺に帯状に分布する黒曜石。L-BA09





更新世玄武岩類に覆われる Birenti-Hada 流紋岩類。 L-BA02



Birenti-Hada 流紋岩類の板状節理。

出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

図 11.3.10: Birenti-Hada 流紋岩類の露頭写真

古イグニンブライト 2)

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 る広域イグニンブライトである。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(60~100m)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 イグニンブライトが断層崖 の斜面を薄く覆っているのが観察される。本イグニン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 イグニン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 イグニンブライ 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。





傾斜した古イグニンブライトの溶結凝灰岩を Fentale イグニンブライトの溶結凝灰岩が不整合で レンドの断層崖。下半分は同地層の崖錐(Haro 覆う露頭(Haro Gersa)。L-BA04 出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

古イグニンブライトが露出する北北東-南南西ト Gersa) 。 L-BA10

#### 図 11.3.11: 古イグニン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、比較的多くの潅木類に覆われ 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1mm 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 イグニン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)。 出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

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

#### 図 11.3.12: Nura Hira 玄武岩類の露頭写真

#### 4) Dino イグニンブライト

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 イグニンブライト、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 イグニンブ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。



Dinoイグニンブライト Nura Hira 玄武岩類

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

Nura Hira 玄武岩類を覆う Dino イグニンブライ ト。L-BA05

出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

#### 図 11.3.13: Dino イグニンブライトの露頭写真

#### 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 箇所にのみ、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 <u>\_地下水開発計画プロジェクト ファイナル・レポート(サポーティングレポート)</u>

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、水冷破砕された火砕 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砕屑物)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 イグニン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。



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

山体周辺に向かって傾斜する層理(Sobebor)。



#### 図 11.3.14: Sobebor 火山性砂岩層の露頭写真

#### 更新世玄武岩類 6)

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 グニン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 イグニン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 イグニンブライトより上 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** イグニン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 出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

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



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

図 11.3.15: 更新世玄武岩類の露頭写真

7) Kone イグニンブライト

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70m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20m堆積しているのが確認できる。

本溶結凝灰岩は Fentale イグニンブライト及び Dino イグニン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 イグニン ブライト。L-BA17

更新世玄武岩類を覆う Kone イグニンブライト (Kube)。L-BA08

図 11.3.16: Kone イグニン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1m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 イグニン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



Fentale イグニンブライトが侵食されて Fentale 火 Fentale 山南斜面に分布するガラス質流紋岩。 山岩類のガラス質トラカイト(矢印)が露出して L-BA21 いる様子(Fentale 山南麓)。L-BA20

出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果



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



#### 図 11.3.17: Fentale 火山岩類の露頭写真

#### Fentale イグニンブライト 9)

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 イグニンブ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 イグニンブ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±0.1Ma (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。



ニンブライト(Fentale 山南麓)。L-BA22



Fentale 山南斜面の谷地形を覆う Fentale イグニン ブ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



## 図 11.3.18: Fentale イグニンブライトの露頭写真

本地層で見られる地形的な特徴として、地表面に分布する多数の Blister (膨れ) と呼 ばれている溶結凝灰岩の円錐状の高まりが挙げられる。Blisterの存在は Fentale 山の近傍 (約 10 km 以内) に限られており、特にその範囲内に平坦面のある西麓と南麓に多く現 存している。大きさは直径 5~30 m、高さ数mのものが大半であるが、衛星画像で確認 すると、複数の結合によって直径 100 m に達しているものもある。比較的大きい Blister は中心部が崩壊して、縁の形のみ残っている場合が多い。

Blister は、凝灰岩が溶結して粘性をもった状態のときに蒸気で膨らんで形成されたも のと考えられている(EIGS and ELC, 1987)。この考えを支持するべく、Blister 内部は空 洞であり、内部が観察できる Blister において、溶けた凝灰岩が鍾乳石のように下に垂れ 下がって固結しているのが観察できる。また、地表面に発達する亀甲状の亀裂は、Blister の中心部には達していない(写真)。

Blister の成因としては、火砕流が湿地や浅い湖の上に堆積し、水が蒸気となって固結



Fentale 火山岩類のトラカイトを覆う Fentale イグ Fentale イグニンブライトにみられるガラス質レン ズ構造(Fiamme)。



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

途中の凝灰岩を押し上げたと考えられてきた(EIGS and ELC, 1987)。しかし、Blisterは、 Fentale 火山岩類のトラカイト溶岩(表面はブロック状)が形成する溶岩台地の高台の上 や、稀に台地の縁の斜面上にも存在していることから、これらの場所のすべてが湿地や 湖であったとは考えづらい。また本地層下部に湖沼堆積物のような痕跡も見当たらない。 さらに、水面にたまった堆積物は急冷されるため、凝灰岩が強溶結をするとも考えづら い。一般的に火砕流は多くの揮発性成分を含んでおり、非溶結の堆積物中にはしばしば ガス抜けパイプが観察される。おそらく Fentale イグニンブライトを形成した火砕流に含 まれていた大量のガスが、堆積物の溶結によって逃げ場を失い、ある部分に集結するこ とで体積を増し、Blisterの構造を形成したのではないかと推測する。



中心部が崩れずに内部の空洞が残っている Blister (Fentale 山南麓)。L-BA25



膨張時に生じたと考えられる地表面の亀裂は、内 中心部が崩壊した Blister 跡(直径約 20m)(Fentale 部まで達していない(Fentale 山南麓)。 出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果



Blister 内部の溶結凝灰岩下部の表面。解けた凝灰 岩が鍾乳石のように下に垂れ下がって固結してい (Fentale 山南麓) る。



山南西麓)。

図 11.3.19: Fentale イグニンブライトの地表面に形成されている Blister 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) <sub>o</sub> L-BA26



Fentale 火山岩類を覆う Fentale イグニンブライト、 Beseka 湖に到達する完新世玄武岩溶岩。L-BA28 さらにそれを覆う完新世玄武岩類。L-BA27 出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果



玄武岩噴出口に見られるスパターコーン (Dinbiba) <sub>o</sub> L-BA26



図 11.3.20: 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ュ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 沖積層の断面(Bilenti山北東部)。
(Abadir 農場)。L-BA29
出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

図 11.3.21: 沖積層の写真

### **b.** 既存ボーリングデータ解析

Beseka 湖周辺の既存井戸のうち、地質柱状図の記載のある 22 井及び本プロジェクトで 掘削した観測井戸 3 井について、地質記載に基づいた地層の対比、層序及び層厚の検討 を行った。既存井のほとんどが深度 40~73 m と比較的浅い井戸であり、深部の地質情報 に関しては乏しいが、本プロジェクトの 3 本の観測井戸(114~204 m)と、Matahara 東 約 6 km に MoWIE が 2014 年に灌漑用に掘削した 595 m の井戸の地質情報により、ほぼ地 表踏査の結果と整合のとれた地層の対比が可能であった。隣り合った井戸であっても大 きな岩層のずれが生じている場合などは、記載エラーの可能性も否定できないが、当時 の地形や断層の影響が大きいと考えられる。

各断面図では、標高にあわせて各井戸の地質柱状図を配置し、層序の連続性を模式的 に示してある。

Beseka 湖周辺の既存井戸及び本プロジェクトの試掘井の位置、断面図側線の位置を図 11.3.22に、また各側線の断面図を図 11.3.23、図 11.3.24、図 11.3.25、図 11.3.26、図 11.3.27、 図 11.3.28に示す。これらの検討結果は地質断面図(図 11.3.9)に反映させている。



図 11.3.22: Beseka 湖周辺の既存井戸及び本プロジェクトの試掘井戸の位置と柱状図断面 のプロファイル



# 図 11.3.23: 既存井戸柱状図プロファイル A-A'断面(縦横比 30:1)






出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

図 11.3.25: 既存井戸柱状図プロファイル C-C'断面(縦横比 40:1)



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





出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果 図 11.3.28: 既存井戸柱状図プロファイル F-F'断面(縦横比 40:1)

## c. 層序対比

地表踏査及び井戸柱状図を総合的に検討した結果得られた本詳細調査地域の層序及び 他地域との対比を表 11.3.2にまとめる。

年代区分		公分	層序	凡例	Kazmin and Berhe (1978)	過去の年代測 定結果
新生代		宗	沖積層 (Alluvial deposits)	Qa	Alluvium	
	第四	新世	完新世玄武岩類 (Recent basalts)	Qb2	Recent aphyric basalts	Between 1810 and 1830 (Buxton, 1949)
	紀	更新	Fentale イグニンブライト (Fentale ignimbrites)	Qi3	Young ignimbrites of Fantale	1.1±0.1Ma (Gibson 1970)
		利世	Fentale 火山岩類 (Fentale volcanic rocks)	Qf	Pantelleritic volcanics of Fantale rhyolites, trachytes, tuffs and	

表 11.3.2: Beseka 湖周辺の地質層序の他地域との対比表

年代区分		分	層序	凡例	Kazmin and Berhe (1978)	過去の年代測 定結果
					agglomerates	
			Kone イグニンブライト	Qi2		
			(Kone ignimbrites)			
			更新世玄武岩類	Qb1a	Pleistocene-subrecent basalts	
			(Pleistocene basalts)	Qb1b		
			Sobebor 火山性砂岩層	Qs	Basaltic hyaloclastites	
			(Sobebor volcanic sand beds)			
			Dino イグニンブライト	Qi1	Dino ignimbrites	
			(Dino ignimbrites)			
			Nura Hira 玄武岩類	Tb	Bofa basalts	
			(Nura Hira basalts)			
	第二	鮮新	古イグニンブライト	Ti	Nazret Group	
	二紀	利世	(Older ignimbrites)			
			Birenti-Hada 流紋岩類	Tr	Older alkaline and paralkaline	
			(Birenti-Hada rhyolites)		rhyolitic domes and flows	

出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

## 11.3.3 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 イグニン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、開ロ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って Beseka 湖に抜ける比較的長く連 続する正断層が、Beseka 湖の北約2kmの地域で西落ち落差約10mの変位に加え、幅約 10mの開ロ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 ロクラック。L-BA30



断層によって切られた完新世玄武岩溶岩。 L-BA31



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。



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 11.3.29: 詳細調査地域に分布する断層群

## 11.4 水理地質

# 11.4.1 帯水層区分と地下水流動

第3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 11.4.1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 11.4.2~図 11.4.4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 11.4.1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 11.4.1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 11.4.5 は既存井戸が100mよりも浅い場合の地下水位コンター図、図11.4.6は既存井戸が100m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に違いが見られる。

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 11.4.1を参照しながら表 11.4.2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 11.4.7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④



図 11.4.2: 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 11.4.3: 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 11.4.4: JICA 井戸 AW BH-5 の概略柱状図と地質対比

x	Y	No	н	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 (m2/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イグニンブライト(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イグニンブライト(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イブニンブライト(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イグニンブライト(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イグニンブライト(Qi3)の間に 分布、柱状はFentaleイグニンブライト(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イグニンブライト。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イグニンブライト	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	-	-			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)、それ以深は凝灰岩(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	44.45	-	BH-05	23	930.42	996	表層からFentaleイグニンブライト(Qi3)	Qi3のBreccia
580000	990000	7	1000	25	975	975	50.6	6.7	-	25	975	-	表層はQi2のKoneイグニンブライト、	Qi2の割れ目
601000	983000	10	1000	13.6	986.4	986.4	56	12	-	-	-	-	表層はQi3のFentaleイグニンブライト。深度は10m程度で、それ以 深は柱状図では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イブニンブライト	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イグニンブライト主体	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イグニンブライト、Bofa basalts	Bofa(Tb3)
601567	980025	AW BH-5	959	2.90	956.10	956.10	140	7.6	-	94	865	-	- Fentaleイグニンブライト、Dinoイグニンブライト、Bofa basalts	

表 11.4.1: 柱状図のある既存井戸、JICA 井戸

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

地質年代	帯水層名	記号	水理地質的特徴
第四紀	完新統	Qal(沖積	<ul> <li>アワシュ川沿いの沖積層は小規模な分布を示す。</li> </ul>
完新世/更		層)	• Beseka湖周辺の沖積層は、砂や泥、礫からなり、層厚は11 m
新世			~40m程度ある。揚水流量も3~7L/sec程度揚水している。
	完新世玄武	Qb2	• 割れ目噴火の生成物である。
	岩類		<ul> <li>空隙を多く内包し、多くの水の貯留が可能である。</li> </ul>
			• 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。
	Fentale イグ	Oi3	• 対比した"Fentale Group of Ignimbrites (Qwi2)"は、場所に
	ニンブライ		よって違った水理地質的な特徴を示す。
	<b>Р</b>		• 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。
			• 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。
	更新世玄武	Qb1	• 鉛直、水平万回のショイントを持つ。
	宕類		• 既仔开戸アータからもドロータワンか小さく、比娚出量が7
			L/sec/m以上の値を示す箇所もめる。その他は揚水流量か1.4
			$\sim 1.6 \text{ L/sec}$ じめる。
			<ul> <li>Beseka砌周辺での保度50~70 m住皮の保度の既仔升户で</li> <li>         → 出点込在しており、 相水法員の記載は小ないが 8-12     </li> </ul>
			氏右が万和してわり、栃木加重の記載は少ないが、8~12 L/agoの値をデオ
			L/SECの値を小り。 ・ そのためこの支計単のグループけ中程度の透水性を持つと
			• このためこの公式石のクルークは千柱及の透水住を行うこ 考うられる
	Dino イガー	0;1	- 対比した"Dino Ignimbrites (Owi)"は、ジョイントや断層が目
	ンブライト	QII	・ NDC C/C Dino ignimonites (Qwi) は、ショイシー (前層が死 られろ
	• > > 1 1		<ul> <li>Beseka湖周辺での既存井戸の場水流量情報は少ない。</li> </ul>
			• 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。
			<ul> <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、</li> </ul>
			揚水流量は平均6L/secで中程度の透水性を示す。
第三紀鮮	Nura Hira 玄	Tb (Bofa	• 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
新世	武岩類	玄武岩類	cmの幅、間隔は1 m程度である。
		に対比)	• 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。
			• この層は一般的に中程度の透水性を示す。
	古イグニン	Ti(上部	• "Nazret Group of Ignimbrites (Nn)"は、分布した場所によって
	ブライト	Nazret 火	透水性が異なる。
		砕堆積物	• グループの地質は、イグニンブライト、溶結凝灰岩、火山
		(こ対比)	火流、流紋岩及び凝火岩からなる。
			• Melka Jiloの北東やKoneカルテフの北側では、節埋や断層が かけいていた。 四本 H 二 エン・ の 出した見 ジ トス
			・ 発達しており、 成仔开戸でも6.7L/secの 弱水流量がある。 ・ へ な し 、 て 取 物語 し に な い し 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、
			● 王14としく半均淠山重は15L/sec、比淠山重は2L/sec/m以上 でたり、仕商研は言いに八短されて位式より、
			しのり、生生性は向いに万規される固所も多い。 ・ その他の地域でけた山底法 海底巴の屋垣で 晒左サ豆ご
			■ この他の地域ではハ山次加、焼火石の増相で、风仔井戸ブ ータからむ添水烘が低い笛話となる。
	Biranti Uada	Tr(鲜虾+++	<ul> <li>         ・ ンパワロ辺かにからい面川 ひのる。         ・         ・         ・</li></ul>
	浙	ⅠⅠ (M+初 巴 法纹 学 箱	<ul> <li>一般的にけ亀型の多い笛斫け由母座の透水性を示す</li> </ul>
	1/11/1八/口 大只	いいへ 石垣 に対比)	「「「「「「「「「「「「「「」」」」」」「「「「「」」」」」「「「」」」」」「「「」」」」

表 11.4.2	: Beseka	湖周辺の帯水	層層準と特徴
----------	----------	--------	--------

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 11.4.7: Beseka 湖周辺の既存井戸の深度とフッ素濃度の関係図

## 11.4.2 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、アワシュ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ュ 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 150m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 11.4.8: 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[3]

## 図 11.4.9: Beseka 湖周辺の水理地質図(断面図)

#### **11.5** 湧泉、灌漑水等の流入状況

# 11.5.1 画像解析による湧水分布の経年変化

#### a. 背景・目的

図 11.5.1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 11.5.1: 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 11.5.1に示す。また、解析のフローを図 11.5.2に示す。

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

表 11.5.1: 解析に用いたデータ

出典 : 調査団



出典:調査団

図 11.5.2: Landsat データを用いた湖面温度の解析のフロー

Landsat データを使用した理由は下記のとおりである。

- ・ 熱赤外線に関するデータを含んでおり、湖面温度の推定が可能である。
- ・ 1970年代から運用されており、比較的古いデータも入手可能である。
- ・ 熱赤外線の空間分解能が約30mとBeseka湖面積に比べて十分緻密である。
- 無償で入手できる。

データは、米国地質調査所 USGS(http://earthexplorer.usgs.gov/)のアーカイブより、下

記の点に留意して選定・取得した。

- ・ Beseka湖上に雲の無いデータを選定する。
- ・ ノイズ・データ欠損などの不具合のないデータを選定する。
- ・ 観測時期の統一:本解析では、乾期で雲量の少ない12~1月頃に設定する。
- 温度解析のため、セマティックマッパー(TM:Thematic Mapper)センサーにより取得されたBand 6 (10.4 12.4 µm付近)の熱近赤外(TIR:Thermal InfraRed)を含むデータを選定する。
- ・ 温度解析の誤差を避けるため、同仕様のTMセンサーを搭載したLandsat 5のデー タのみを対象とする。
- **c.** 解析結果



各シーンにおける Beseka 湖面温度(湖面全体の平均値)は以下のとおりである。

出典:調査団、データ元:担当団員による調査結果

#### 図 11.5.3: Beseka 湖面温度の経年変化

上図から湖面温度の経年変化についての明瞭な傾向を読み取ることは難しい。この原 因としては、下記が考えられる。

- ・ 大気によるノイズ等による誤差が反映されている可能性ある。
- ・ Landsat データを用いた地表面温度解析では、放射輝度・放射率を介して地表面温 度を推定している(地表面温度の実測値ではない)。

そのため、本来は解析結果を実測値と比較するなど、キャリブレーションが求められる。しかし、既述のとおり Beseka 湖面温度を継続的に測定した記録がないため、キャリブレーションは困難である。

上述のとおり、画像解析で得られた水面温度自体の精度は不明確ながらも、その傾向

を把握することは有益である。そこで、湖面温度の変化傾向を得ること目的として、下 記解析を試みた。

- ・ 解析対象: Koka 湖及び Abadir 灌漑地区付近のアワシュ川(図 11.5.4参照)
- ・ 解析方法:Beseka 湖の湖面温度解析と同じ
- ・ 使用データ:Beseka 湖面温度の解析に用いたデータと同じ(=同じ日時)

Abadir 灌漑地区付近のアワシュ川の解析対象ポイント(ID=A-5)については、本調査で 水温を実測した場所と同じポイントとした。



出典:調査団

## 図 11.5.4: Beseka 湖、Koka 湖、アワシュ川(A-5)の位置

Koka 湖面温度の経年変化を図 11.5.5に示す。Beseka 湖同様、Koka 湖も湖面温度はば らついており、明瞭な傾向は見られない。一方で、Koka 湖水は表流水であるアワシュ川 の水から形成されていることから、年間の温度変化サイクルはほぼ一定であり、12 月~1 月の表面温度も実際には安定していると考えられる。



出典:調査団、データ元:担当団員による調査結果

#### 図 11.5.5: Koka 湖面温度の経年変化

そこで、Koka 湖面温度が 20 ℃ 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) から得られる温度データは信頼できるとして、同一シーンの Beseka 湖面温度と比較した (図 11.5.6)。



出典:調査団、データ元:担当団員による調査結果

#### 図 11.5.6: 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。

下図に、同じ4シーンにおける Beseka 湖の温度の平面分布状況を示す。平面分布状況 においても、Beseka 湖の西側の湖面温度が比較的高いことが読み取れる。



図 11.5.7: Beseka 湖面温度の平面分布状況

次に、同じ4シーン(1986/1/21, 1998/12/24, 1999/1/25, 2009/12/6)の Abadir 灌漑地区付 近アワシュ川表面温度と Beseka 湖面温度をプロットし図 11.5.8に示す。この図から、ア ワシュ川の水温がどのシーンでも 24~25 ℃と Beseka 湖面温度を上回っていることが分 かる。この図からは、温度の高い河川水(灌漑余剰水)が大量に流れ込んだために Beseka 湖面温度が上昇しているとの解釈も可能となる。



出典:調査団、データ元:担当団員による調査結果



#### d. 考察

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 11.5.2に示す。

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	25.1 °C	図 11.5.4上のポイントA-5
ョン東側)		
Koka湖	21.3 °C	湖内1ヶ所のデータ

表 11.5.2: 水質サンプルの温度(2014年3月9日)

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。

今後、湖水温の観点から Beseka 湖拡大原因を探るためには、Beseka 湖水温とアワシュ

川水温の定期的な観測が必要である。

表 11.5.2は 2014 年 3 月 9 日に取得した水サンプルの温度であり、Beseka 湖水温が湧水 の影響を受けていることをうかがわせるものである。もちろん日射や気温上昇に応じた 水温上昇もあって単純な解釈には注意すべきだが、このようなデータを継続的に取得す ることで、より説得力のある考察が可能となる。

#### 11.5.2 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 11.5.3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 11.5.4に示す。

			Number of Sampling Points				Reference Coordinate		
Zone or Region	Detailed Place	Type of Water Sources	For Physio- chemical Analysis	For Isotope Analysis	SL. No.	Location ID (Sample ID)	Easting	Northing	Remarks
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 Wast 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	
			31	20					

表 11.5.3: Beseka 湖周辺の水質サンプリング地点リスト

出典:調査団、データ元:参考資料④

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	灌溉水	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

#### 表 11.5.4: 既存データのリスト(Beseka 湖周辺)

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 11.5.9に示す。



出典:調査団、データ元:参考資料④

a.



# トリリニアーダ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ダイアグラムに整理した結果を図 11.5.10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CaHCO₃型 を示し表流水の性質を呈する。一部NaHCO₃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NaHCO3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SO4とCIが多く含まれ、 Na2SO4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NaHCO₃型にほぼ位置している。
- 湖水は、NaHCO₃型かNa₂SO₄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) HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> → HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> → SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> → SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> + Cl<sup>-</sup> → Cl<sup>-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> → Cl<sup>-</sup> (陽イオン) Ca<sup>2+</sup> → Ca<sup>2+</sup> + Na<sup>+</sup> → Na<sup>+</sup>

ダイアグラム上では $\mathbf{I} \to \mathbf{II} \to \mathbf{IV}$ 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 11.5.10のトリリニアーダイアグラムからは、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 $\mathbf{II}$ に位置し、湖水の大部分が温泉水等のタイプに属する $\mathbf{IV}$ 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



## 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 11.5.11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 11.5.12~図 11.5.14に示した。



出典:調査団、データ元:参考資料④





出典:調査団、データ元:参考資料④











出典:調査団、データ元:参考資料④



これらの図から以下の点が考察される。

- 図 11.5.11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NaHCO3型に属する。9点のうち1点(B1-6)はCIとSO4<sup>2-</sup>が他と比べ多く含ま れる。トリリニアーダイアグラムでは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CaHCO3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NaHCO3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 11.5.11でもっとも全体の濃度が高くSO4<sup>2-</sup>やCIの濃度も高い、 NaHCO3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 NO3やSO4が消失する場合が多いが、調査地内でも井戸の地下水はNO3やSO4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 11.5.12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、SO4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 11.5.13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 11.5.14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NaHCO3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、SO4やClも見られるが、HCO3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 11.5.5に示す。

Detailed Diver	Town of Works Commen	Location ID	Reference	Coordinate	Date of	δ <sup>2</sup> H	δ <sup>18</sup> O
Detailed Place	Type of water Sources	(Sample ID)	Easting	Northing	Sampling	(‰)	(‰)
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 Wast 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

表 11.5.5: 安定同位体分析リストと結果

\*New wells were analyzed by IAEA

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<sup>2</sup>H)と質量数18の酸素原子(重酸素:<sup>18</sup>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 11.5.15のデルタダイアグラムに示す。

\_地下水開発計画プロジェクト ファイナル・レポート(サポーティングレポート)

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  $\delta$  <sup>18</sup>O+12.3 が定義されている。MWL や LMWL は図 11.5.15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δ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δ値はその付近の降水のδ値の加重平均値にほぼ等しいと考えら れる。図 11.5.15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δ 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、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=5.1δ<sup>18</sup>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 ‰  $\delta^{18}$ O と -11.84 ‰ δ<sup>2</sup>H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 11.5.15 参照)(AW BH-1, 3, 4N, 9 及び 11)の平均値は、-3.01 ‰ δ<sup>18</sup>O と-11.28 ‰ δ<sup>2</sup>H の値で ある。この値は上述の交点のδ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。ちなみに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‰  $\delta^{18}$ Oと-10.7‰  $\delta^{2}$ H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 11.5.15: 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。

				Reference		
Detailed Place	Type of Water Sources	SL.	Location ID	<b>.</b> .		Final Result
		No.	(Sample ID)	Easting	Northing	$TU \pm 0.5 \sigma$
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	-

#### 表 11.5.6: トリチウム分析リストと結果

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(<sup>3</sup>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β崩壊 して<sup>3</sup>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。

## 11.5.3 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 どの程度寄与しう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 11.2.14 参照)。


出典:調査団、データ元:参考資料⑤及び⑥

図 11.5.16: Beseka 湖の水位変化と灌漑プロジェクト開始時期

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 •

WWDSE (2011)によると、Nura Hira 農場については転流施設の建設(1984 年)により 灌漑余剰水が Beseka 湖へ流入することはなくなっている。よって同農場における灌漑効 率は推定しない。ただし、水バランス計算においては既往調査(MoWR, 1999)で推定さ れた 1977~1983 年までの年灌漑排出量 11.2 百万 m<sup>3</sup>を加えて検討する。

また、Fentale プロジェクトは 2007 年に一部が灌漑を開始し、現在も開発中である。1960 年代後半以降の水位上昇局面とは無関係なのでこの検討からは除外する。

Abadir農場の灌漑効率 b.

#### 灌漑時に発生する損失と効率評価の目安 **b.1**

一般に、灌漑時に発生する損失には図 11.5.17に示すようなものがあり、これらは作物 の生育に直接寄与しないまま蒸発、地下浸透、あるいは排水路へ流出するものである。



### 図 11.5.17: 灌漑時に発生する主な損失

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 既往調査でのAbadir農場の灌漑効率推定結果

Abadir 農場の灌漑効率については、MoWIE によって現地での測定を含む検討を通じて 以下のように推定されている。

年	水路運搬時 (A)	圃場灌水時 (B)	灌漑効率 (A x B)
1977	—	—	30%
1997	82%	65%	53%
2010	87%	65%	56%

表 11.5.7: 既往調査による Abadir 農場の灌漑効率

出典:参考資料⑤及び⑥

上表によると、1977 年当時は 30%と低かった灌漑効率は 1997 年までには 50%以上に 改善し良好なレベルを保っている。

### b.3 本調査でのAbadir農場の灌漑効率推定

本 JICA 調査では、既往調査とは別のアプローチから Abadir 農場の灌漑効率を検証する。

具体的には、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。



図 11.5.18: 本調査で推定する灌漑効率

### b.3.1 Abadir 農場の取水量

1977 年から 2009 年における Abadir 農場の取水量は表 11.2.1に示したとおりである。 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.3.2** 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。

 $ET_{sugarcane} = ETo x Kc$ 

ここに、 ET<sub>sugarcane</sub>: サトウキビの必要水量 (mm/年) ETo: 基準蒸発散量 (mm/年)

Kc: 作物係数

Metehara 気象観測所のデータからペンマンーモンティース(Penman-Monteith)法<sup>3</sup>を用いて ETo を計算すると、2,224 mm/年となる。

FAO によると、サトウキビの生育段階は図 11.5.19のとおりであり、各段階の期間と Kc 値として表 11.5.8のように提案されている。

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



図 11.5.19: サトウキビの生育段階

表	11.5.8:	サトウキビ生育段階ごとの作物係数(Kc)
---	---------	----------------------

段階	期間 (日数)	Kc 值
Initial	35	0.40
Crop Development	60	*0.825
Mid Season	190	1.25
Late Season	120	0.75

注: Crop Development 段階の Kc 値は前後の段階の Kc 値の平均値とした。 出典:参考資料⑧

上表から、年間の Kc 値を以下のように計算した。

$$K_c = \frac{35 \times 0.40 + 60 \times 0.825 + 190 \times 1.25 + 120 \times 0.75}{35 + 60 + 190 + 120} = 0.965$$

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.3.3** 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) による以下の式で推定する。

 $P_{eff} = 0.6P_{month} - 10 (P_{month} \le 70mm)$  $P_{eff} = 0.8P_{month} - 24 (P_{month} > 70mm)$ ここに、  $P_{month}$ : 月雨量 (mm)  $P_{eff}$ : 有効雨量 (mm)

Metchara 観測所の月平均雨量データから有効雨量を推定した結果を表 11.5.9に示す。

月	総雨量(mm)	有効雨量	月	総雨量(mm)	有効雨量
		(mm)			(mm)
1月	11	0	7 月	121	73
2 月	25	5	8月	118	70
3月	47	18	9月	43	16
4 月	46	18	10 月	22	3
5月	35	11	11 月	6	0
6月	26	6	12月	8	0
			合計	508	220

表 11.5.9: Abadir 農場における有効雨量

以上から、Abadir 農場における年間の有効降雨量は220 mmと推定される。

### **b.3.4** 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。また、これは表 11.5.7に示した既往調査の結果とも整合するものである。

表 11.5.10は上述した手法で Abadir 農場における各年の灌漑効率を推定したものである。灌漑効率は 40% から 60% 程度と妥当な範囲にあると考えられる。

Year	Intake Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Cultivation Area (ha)	Effective Rainfall (mm)	ETo (mm)	Кс	Required Water (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Ineffective Intake Water (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Irrigation Efficiency	FAO's Evaluation
1977	111.9	2,842	428	2,224	0.965	48.83	63.07	43.6%	Reasonable
1978	87.0	2,842	188	2,224	0.965	55.65	31.35	64.0%	Good
1979	100.4	2,842	229	2,224	0.965	54.50	45.90	54.3%	Good
1980	90.3	2,842	221	2,224	0.965	54.73	35.57	60.6%	Good
1981	125.9	2,842	326	2,224	0.965	51.72	74.18	41.1%	Reasonable
1982	119.6	2,842	442	2,224	0.965	48.44	71.16	40.5%	Reasonable
1983	130.3	2,842	298	2,224	0.965	52.53	77.77	40.3%	Reasonable
1984	129.0	2,842	78	2,224	0.965	58.78	70.22	45.6%	Reasonable
1985	83.7	2,842	334	2,224	0.965	51.52	32.18	61.5%	Good
1986	93.9	2,842	132	2,224	0.965	57.24	36.66	61.0%	Good
1987	87.9	2,842	198	2,224	0.965	55.36	32.54	63.0%	Good
1988	91.4	2,842	256	2,224	0.965	53.73	37.67	58.8%	Good
1989	91.4	2,842	248	2,224	0.965	53.96	37.44	59.0%	Good
1990	91.4	2,842	362	2,224	0.965	50.70	40.70	55.5%	Good
1991	109.0	2,842	266	2,224	0.965	53.43	55.57	49.0%	Reasonable
1992	109.0	2,842	287	2,224	0.965	52.83	56.17	48.5%	Reasonable
1993	109.0	2,842	318	2,224	0.965	51.95	57.05	47.7%	Reasonable
1994	92.7	2,842	309	2,224	0.965	52.22	40.48	56.3%	Good
1995	97.1	2,842	215	2,224	0.965	54.88	42.22	56.5%	Good
1996	107.0	2,842	336	2,224	0.965	51.46	55.54	48.1%	Reasonable

表 11.5.10: Abadir 農場における年ごとの灌漑効率

Year	Intake Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Cultivation Area (ha)	Effective Rainfall (mm)	ETo (mm)	Kc	Required Water (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Ineffective Intake Water (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Irrigation Efficiency	FAO's Evaluation
1997	102.7	2,842	218	2,224	0.965	54.82	47.88	53.4%	Good
1998	92.7	2,842	233	2,224	0.965	54.39	38.31	58.7%	Good
1999			254						
2000	104.5	2,842	242	2,224	0.965	54.13	50.37	51.8%	Good
2001	104.4	2,842	200	2,224	0.965	55.31	49.09	53.0%	Good
2002	103.8	2,842	95	2,224	0.965	58.28	45.52	56.2%	Good
2003	81.7	2,842	224	2,224	0.965	54.63	27.07	66.9%	Good
2004	84.2	2,842	284	2,224	0.965	52.93	31.27	62.9%	Good
2005	100.9	2,842	273	2,224	0.965	53.24	47.66	52.8%	Good
2006	111.9	2,842	198	2,224	0.965	55.37	56.53	49.5%	Reasonable
2007	104.7	2,842	310	2,224	0.965	52.19	52.51	49.8%	Reasonable
2008	115.5	2,842	264	2,224	0.965	53.50	62.00	46.3%	Reasonable
2009	103.2	2,842	176	2,224	0.965	55.99	47.21	54.3%	Good

#### **b.3.5** 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。

実際にはこのうちのある程度の割合は湖へ到達する前に蒸発するなどして失われるは ずである(図 11.5.17参照)が、その割合を合理的に推定するのは困難であるため、以下 の議論はその全量が Beseka 湖へ到達するものと仮定して進める。

#### 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 11.5.20に示す。



```
図 11.5.20: 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。

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
		$(532 \text{ km}^2 - 33.4 \text{ km}^2)$
流入量合計	80.7 百万 m <sup>3</sup>	
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>
流出量合計	80.7 百万 m <sup>3</sup>	
バランス	0.0 百万 m <sup>3</sup>	

表 11.5.11: ELSA=33.4 km <sup>2</sup> とした場合の Beseka 湖流出入
---



出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

### 図 11.5.21: ELSA=33.4 km<sup>2</sup>とした場合の Beseka 湖の年間水バランス

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 11.5.12に示すとおりとなる。

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
		$km^2 - 4 km^2$ )
流入量合計	68.6 百万 m <sup>3</sup>	
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>
流出量合計	9.7 百万 m <sup>3</sup>	
バランス	58.9 百万 m <sup>3</sup>	

表 11.5.12: ELSA=4 km<sup>2</sup>とした場合の Beseka 湖流出入量

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。つまり、この場合は湖面積 4 km<sup>2</sup>で安定するためには、以下の仮

定のどちらかを導入する必要がある。

【仮定1】

Beseka 湖から 58.9 百万 m<sup>3</sup>に及ぶ何らかの流出が発生している。これを「流出 X」と 呼ぶ。



出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

### 図 11.5.22: ELSA=4 km<sup>2</sup>とした場合の Beseka 湖の年間水バランス(流出 X を仮定)

### 【仮定2】

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

水バランス計算上は上記の 2 つの仮定は全く同じ結果をもたらす。一方で、拡張前の Beseka 湖は塩分濃度が極めて高かったという事実に着目すれば、流域から流入量が限定 されていたと推定する方が合理的である。

このことから、以降の水バランス計算の前提として仮定2(損失Y)を導入する。

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 11.5.24および図 11.5.25に示す。



出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果



図 11.5.24: 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 11.5.25: 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。

次に、気候条件の変化が平衡湖面積にどの程度影響するかを確認するため、以下の条

件にて感度分析を行った。

- 雨量(508 mm/年)が10% 増減した場合。
- 蒸発量(2,418 mm/年)が10%増減した場合。

結果を表 11.5.13に示す。

表 11513	気候条件に対する平衡湖面積の感度分析結果
1X 11.0.10.	XICATION 2010月10日限22022月11日本

		雨量					
		-10%	60%	+10%			
		457 mm/年	508 mm/年	559 mm/年			
	-10%	0.7 km <sup>2</sup>	4.5 km <sup>2</sup>	8.5 km <sup>2</sup>			
1.4	2,176 mm/年	(33.4 km <sup>2</sup> )	(37.9 km <sup>2</sup> )	(42.7 km <sup>2</sup> )			
HH سلام	60%	0.7 km <sup>2</sup>	$4.0 \text{ km}^2$	7.5 km <sup>2</sup>			
款 承	2,418 mm/年	(29.4 km <sup>2</sup> )	(33.4 km <sup>2</sup> )	(37.5 km <sup>2</sup> )			
1117.5	+10%	0.6 km <sup>2</sup>	3.6 km <sup>2</sup>	$6.7 \text{ km}^2$			
	2,660 mm/年	(26.4 km <sup>2</sup> )	(29.8 km <sup>2</sup> )	(33.4 km <sup>2</sup> )			

注:括弧内の平衡湖面積は損失Yを見込まない場合の感度分析結果である。

出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

上表から分かるとおり、雨量を 10%増加させ、蒸発量を 10%減少させても平衡湖面積 は 8.5 km<sup>2</sup>へと増加するに過ぎず、現実に発生した 4 km<sup>2</sup>から 50 km<sup>2</sup>超への湖面積拡大を 気候の変化のみで説明するのは不可能と考えられる。

## 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.3.5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 11.5.14および図 11.5.26参照)。

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
		$(532 \text{ km}^2 - 21.4 \text{ km}^2)$
損失 Y	-58.9 百万 m <sup>3</sup>	
灌漑余剰水	35.0 百万 m <sup>3</sup>	
流入量合計	51.8 百万 m <sup>3</sup>	
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>
流出量合計	51.8 百万 m <sup>3</sup>	

表 11.5.14: 灌漑余剰水(35 百万 m<sup>3</sup>)を含んだ水バランス計算結果



出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

### 図 11.5.26: 灌漑余剰水(35 百万 m<sup>3</sup>)を含んだ Beseka 湖の年間水バランス

上記aで述べたとおり、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 11.5.15および図 11.5.27参照)。

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
		$(532 \text{ km}^2 - 27.0 \text{ km}^2)$
損失 Y	-58.9 百万 m <sup>3</sup>	
灌溉余剰水(Abadir)	35.0 百万 m <sup>3</sup>	
灌溉余剰水(Nura Hira)	11.2 百万 m <sup>3</sup>	
流入量合計	65.3 百万 m <sup>3</sup>	
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>
流出量合計	65.3 百万 m <sup>3</sup>	

表 11.5.15: 灌漑余剰水(46.2 百万 m<sup>3</sup>)を含んだ水バランス計算結果



### 図 11.5.27: 灌漑余剰水(46.2 百万 m<sup>3</sup>)を含んだ Beseka 湖の年間水バランス

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.3.1参照)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 11.5.16およ び図 11.5.28に示す。

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
		$(532 \text{ km}^2 - 54.8 \text{ km}^2)$
損失 Y	-58.9 百万 m <sup>3</sup>	
灌溉余剰水	102.0 百万 m <sup>3</sup>	
流入量合計	132.5 百万 m <sup>3</sup>	
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>
流出量合計	132.5 百万 m <sup>3</sup>	
山曲、調木回、ゴ、カニ、担火回	星の調本分田	

表 11.5.16: 灌漑余剰水(102 百万 m<sup>3</sup>)を含んだ水バランス計算結果



出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

### 図 11.5.28: 灌漑余剰水(102 百万 m<sup>3</sup>)を含んだ Beseka 湖の年間水バランス

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20km<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27km<sup>2</sup>程度にとどまる。実際に観測された50km<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 11.5.29: 各年の水バランス計算による Beseka 湖水位の変化(灌漑余剰水あり)



出典:調査団、データ元:担当団員の調査結果

### 図 11.5.30: 各年の水バランス計算による Beseka 湖面積の変化(灌漑余剰水あり)

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。

### c.3 灌漑余剰水を考慮した水バランス計算(損失Yなし)

次に、過去の湖面安定時の平衡湖面積を4km<sup>2</sup>とするために導入した損失Y(年間58.9 百万m<sup>3</sup>)がなくなったと仮定した条件でc.2と同様の水バランス計算を行った。

灌漑余剰水を 35 百万 m<sup>3</sup> とした場合の結果を表 11.5.17および図 11.5.31に、102 百万 m<sup>3</sup> とした場合の結果を表 11.5.18および図 11.5.32に示す。

項目	面積/体積	計算(備考)
平衡湖面積(ELSA)	50.8 km <sup>2</sup>	
流入量		
湖面への直接降雨量	25.8 百万 m <sup>3</sup>	508 mm x 50.8 km <sup>2</sup>
流域からの流入量	62.0 百万 m <sup>3</sup>	508 mm x 1.090 (532 km <sup>2</sup> - 50.8 km <sup>2</sup> ) <sup>-0.236</sup> x
		$(532 \text{ km}^2 - 50.8 \text{ km}^2)$
灌溉余剰水	35.0 百万 m <sup>3</sup>	
流入量合計	122.8 百万 m <sup>3</sup>	
流出量		
湖面からの蒸発量	122.8 百万 m <sup>3</sup>	3,023 mm x 0.8 x 50.8 km <sup>2</sup>
流出量合計	122.8 百万 m <sup>3</sup>	

表 11.5.17: 灌漑余剰水(35 百万 m<sup>3</sup>)を含んだ水バランス計算結果(損失 Y なし)



図 11.5.31: 灌漑余剰水(35 百万 m<sup>3</sup>)を含んだ Beseka 湖の年間水バランス(損失 Y なし)

項目	面積/体積	計算(備考)
平衡湖面積(ELSA)	84.1 km <sup>2</sup>	
流入量		
湖面への直接降雨量	42.7 百万 m <sup>3</sup>	508 mm x 84.1 km <sup>2</sup>
流域からの流入量	58.7 百万 m <sup>3</sup>	508 mm x 1.090 (532 km <sup>2</sup> - 84.1 km <sup>2</sup> ) <sup>-0.236</sup> x
		$(532 \text{ km}^2 - 84.1 \text{ km}^2)$
灌溉余剰水	102.0 百万 m <sup>3</sup>	
流入量合計	203.5 百万 m <sup>3</sup>	
流出量		
湖面からの蒸発量	203.5 百万 m <sup>3</sup>	3,023 mm x 0.8 x 84.1 km <sup>2</sup>
流出量合計	203.5 百万 m <sup>3</sup>	

表 11.5.18: 灌漑余剰水(102 百万 m<sup>3</sup>)を含んだ水バランス計算結果(損失 Y なし)

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

以上から、損失 Y を見込まない場合、Abadir 農場から排出されうる灌漑余剰水によっ

て Beseka 湖面積は 50 km<sup>2</sup>程度にまで拡張する可能性がある。ただし、図 11.5.24および 図 11.5.25に示したとおり、この場合には湖水位上昇前の状況自体が再現できていないこ とに注意すべきである。

### 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農場から排出されう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。
- 損失Yを見込まない場合、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湖面積は実績に見合うものとなるが、その場合、過去の平衡湖面積 は33.4 km<sup>2</sup>であり、3~5 km<sup>2</sup>で安定していたという情報と矛盾する。

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、図 11.5.16参照)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 11.5.33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。



### 図 11.5.33: Beseka 湖水位の変動から計算した追加流入量

 ● WWDSE (2011)においても同様の結果が示されており、年々増加傾向にある地下 水流入の存在を示している(図 11.5.34参照)。



STORAGE CHANGE & GROUNDWATER INFLOW VERSUS TIME

出典:参考資料⑥



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等量を排出する施設(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<sup>3</sup>。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<sup>3</sup>。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(=35×6,000 /2,315)

これより、合計 126 百万 m<sup>3</sup>(4 m<sup>3</sup>/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 1.2 m、流速約 0.5 m/秒とすると排水能力は 4.20 m<sup>3</sup>/秒)ですでに確保されていると考えられ る。

### 11.6 Beseka 湖の湖水涵養機構

## 11.6.1 Beseka湖周辺の灌漑地

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。

灌漑地と Beseka 湖の位置関係を図 11.6.1に示した(SRTM データから得られた地形も 図中に表示)。Fentale\_2 及び Fentale Vast は現在稼働状況にない。



図 11.6.1: Beseka 湖周辺の灌漑地の位置図

Beseka 湖南側の上流域に位置している Abadir 灌漑地は湖に近接しており、灌漑地部分の標高が湖より高いので、その灌漑地からの灌漑用水が湖に流入する可能性あると考えられる。

# 11.6.2 灌漑地からの流入量

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の予測 は難しいが、MoWIE が 1977 年~2011 年までの Beseka 湖に灌漑地からどの程度の量が流 入したか(灌漑余剰水)をまとめた結果を表 11.6.1に示した。

Year	Nura Hira	Abadir	Fentale	Total(MCM)
1977	13.4	20	0	33.4
1978	12	20	0	32
1979	17.5	2.9	0	20.4
1980	14.6	2.6	0	17.2
1981	10.8	3.6	0	14.4
1982	12.7	3.4	0	16.1
1983	13.7	3.8	0	17.5
1984	0	3.7	0	3.7
1985	0	2.4	0	2.4
1986	0	2.7	0	2.7
1987	0	2.5	0	2.5
1988	0	2.2	0	2.2
1989	0	2.2	0	2.2
1990	0	2.2	0	2.2
1991	0	2.8	0	2.8
1992	0	2.8	0	2.8
1993	0	2.8	0	2.8
1994	0	2.4	0	2.4
1995	0	2.5	0	2.5
1996	0	2.8	0	2.8
1997	0	2.7	0	2.7
1998	0	2.4	0	2.4

表 11.6.1: 灌漑地から Beseka 湖への想定流入量

\_地下水開発計画プロジェクト ファイナル・レポート(サポーティングレポート)

Year	Nura Hira	Abadir	Fentale	Total(MCM)
1999	0	1.8	0	1.8
2000	0	1.2	0	1.2
2001	0	1.2	0	1.2
2002	0	1.2	0	1.2
2003	0	0.9	0	0.9
2004	0	1	0	1
2005	0	1.2	0	1.2
2006	0	1.3	0	1.3
2007	0	1.2	0	1.2
2008	0	1.4	0	1.4
2009	0	1.2	31.7	32.9
2010	0	1.1	42.2	43.3
2011	0	1.1	64.3	65.4

検討の方法としては、表 11.6.1の灌漑地流入量をモデル内の各灌漑地の面積に合わせ て設定されたセルの総面積で除し、各灌漑量の平均値を算出することにした。

たとえば、モデルにおいて Fentale 灌漑地から抽出したセル数は 873 個である。それを セルサイズの 500×500 m で計算すると、灌漑地面積の合計値が 21,825 万 m<sup>2</sup>となる。2011 年の Fentale 灌漑地で予測された灌漑用水量値 64.3 MCM を使って灌漑地面積の合計値で 除すと、各セルの年で設定した涵養量値は 0.29 m/年となる。一方、Abadir 灌漑地から抽 出したセル数は 111 個である。Fentale 灌漑地と同じ 500×500 m で計算すると、灌漑地面 積の合計値は 2,775 万 m<sup>2</sup>となる。その灌漑地で 2011 年に使われた灌漑地流入量 1.1 MCM で割ると各セルに設定した灌漑地流入値は 0.04 m/年となる。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。

#### 11.6.3 第1の解析結果

第1の解析結果は図 11.6.2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 11.6.2: 灌漑地流入量とモデルによる湖水位変動との解析結果(50%減少値)

前述したとおりに、灌漑地は 1960 年代からであり、灌漑地からの流入も 1960 年代から開始されたと思われる。しかし、1977 年以前の関連データはないので、灌漑量の設定は 1977 年からのデータを利用して行った。

1977 年から 2008 年まで Abadir 灌漑地と Nura Hira 灌漑地だけ灌漑地からの流入がなさ れている。しかし、その間では Nura Hira 灌漑地では、流入がみられたのは 1983 年まで である。なお、1977 年から 1983 年の間では Abadir と Nura Hira 灌漑地ともに灌漑地から の流入が行われている。モデルによって予測した結果の中では 1979 年から 1983 年の間 では湖水位の変動と灌漑量の間には比較的大きな差が生じることになった。

2008年まで湖水位の変動に影響を与えているのは主に Abadir 灌漑地だと考えられ、灌漑地流入量の変動を検討した。1977年から 1978年の間において灌漑地流入量は 20 MCM ではあるが、その後相当低減し、最大値 3.8、最小値 0.9、平均値 2.1 MCM である。1977年から 1978年の灌漑量と比べて約 1/10である。そのために、図 11.6.2に示されているように、1979年から湖水位が上昇せずに、少しずつ低減するようになった。いずれにしても灌漑が実施される前の初期水位と比べて、その後は湖水位が上昇している。

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。

11.6.4 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11.6.3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、0.05m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0.0009m上昇した。



図 11.6.3: 灌漑地流入量とモデルによる湖水位変動との解析結果(灌漑流入量と同じ)

#### 11.6.5 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 11.6.4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0.1m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 11.6.4: 灌漑地流入量とモデルによる湖水位変動との解析結果(灌漑流入量の倍)

今回、さらにアワシュ川からの各灌漑地への流入量のデータを表 11.6.2に示した。

Year	Nura Hira	Abadir	Fentale	Total(MCM)
1977	107.1	111.9	0	219
1978	95.8	87	0	182.8
1979	139.9	110.4	0	250.3
1980	116.7	90.3	0	207
1981	139.9	125.9	0	265.8
1982	86.2	119.6	0	205.8
1983	101.7	130.3	0	232
1984	0	129	0	129
1985	0	83.7	0	83.7
1986	0	93.9	0	93.9
1987	0	87.9	0	87.9
1988	0	91.4	0	91.4
1989	0	91.4	0	91.4
1990	0	91.4	0	91.4
1991	0	109	0	109
1992	0	109	0	109
1993	0	109	0	109
1994	0	92.7	0	92.7
1995	0	97.1	0	97.1
1996	0	107	0	107
1997	0	102.7	0	102.7
1998	0	92.7	0	92.7
1999	0	99.83	0	99.83
2000	0	104.5	0	104.5
2001	0	104.4	0	104.4
2002	0	103.8	0	103.8
2003	0	81.7	0	81.7
2004	0	84.2	0	84.2
2005	0	100.9	0	100.9

表 11.6.2: 各灌漑地への河川からの流入量

Year	Nura Hira	Abadir	Fentale	Total(MCM)
2006	0	111.9	0	111.9
2007	0	104.7	0	104.7
2008	0	115.5	0	115.5
2009	0	103.2	684.1	787.28
2010	0	16.17	900.3	916.5
2011	0	99.83	1359.8	1459.68

この流入量は、灌漑地から直接 Beseka 湖に流入するものではないが、仮に表 11.6.2の すべての河川水が直接 Beseka 湖に流入したとして湖水位の変動と比較すると、図 11.6.5 のようである。



図 11.6.5: 河川流入量とモデルによる湖水位変動との解析結果(流入量と同じ)

湖水位の変動パターンは、灌漑用水量の変動に伴い変化する。2008 年までの最大水位 値が 1983 年で現われ、初期水位と比べると 0.062 m の上昇する結果である。湖水位上昇 量の最小値は、Abadir 灌漑地からの流入量で示された 2003 年に出現し、初期水位と比較 すると湖水位は 0.038 m 上昇する結果となった。このことは、極端な例として、河川水が 灌漑地を通過し、直接流入した場合でも、モデル上では湖水位はほとんど上がらず、2011 年の最大値でも 0.6 m 程度の上昇量を示す程度である。

### 11.6.6 モデルによる灌漑地の地下水変動予測

Beseka 湖水位変動のみだけでなく、周辺の水位変動、特に灌漑地部分での水位変動を 検討した。灌漑地流入量が長い間継続している、Beseka 湖南側の Abadir 灌漑地のモデル による地下水位変動について検討した。

### a. Abadir灌漑地の地下水位変動(灌漑地からの流入量で想定した場合)

Abadir 灌漑地は Beseka 湖の上流側にあり、しかもかなり湖に近接する。モデルによって解析した水位変動の結果は図 11.6.6に示す。

Abadir 灌漑地での地下水位変動は Beseka 湖の水位変動結果と概ね合致している。特に 1984 年から 2008 年の間 Abadir 灌漑地だけ灌漑に利用されている年では、地下水位の変 動と涵養量の予測結果とは相当合っていると考えられる。

なお 2009 年から 2011 年では Fentale 灌漑地の灌漑が始まった。Fentale 灌漑地の一部分 は図 11.6.1に示したように Abadir 灌漑地の上流側に位置している箇所もあり、灌漑地流 入量は Abadir 灌漑地にも影響していると思われる。そのために 2009 年~2011 年の間に は Abadir 灌漑地自身の灌漑地流入量は殆ど変わっていないが、上流側の Fentale 灌漑地か らの影響を受けて、水位の上昇が見られる。ただし 1977 年から 1978 年 Abadir 灌漑地で 最大灌漑地流入量を記録した年と比べてモデル地下水位の上昇量はわずかである。



図 11.6.6: Abadir 灌漑地での地下水位変動モデル予測(灌漑地からの流入量)

3 クライテリアの灌漑地流入量によるモデル上での地下水位の変動は以下のようである。

- 1) 灌漑地流入量を 50%の想定にしたとき、水位変動の最大値は 1978 年に現 われ、初期設定した水位と比べて 0.116 m 上昇した。最小値は 2003 年に 現われ、初期設定した水位と比べて 0.0019 m 上昇した。
- 2) 灌漑地流入量が実測値と同じと想定したとき、水位変動の最大値は 1978 年に現われ、初期設定した水位と比べて 0.227 m 上昇した。最小値は 2003 年に現われ、初期設定した水位と比べて 0.0038 m 上昇した。
- 3) 灌漑地流入量を2倍の想定にしたとき、同じように最大値が1978年、最小値が2003年で現われた。初期設定した水位と比べれば最大値が0.443m、 最小値が0.0075m上昇することになった。

最大灌漑地流入量の1978年において3クライテリア設定結果の地下水位変動の最大値

とBeseka湖水位変動の結果と比べるなら0.09、0.176と0.344 m 上昇する予測結果である。

### b. Abadir灌漑地の地下水位変動(河川流入量で想定した場合)

河川からの流入量を想定したときに、灌漑地の地下水位変動量は図 11.6.7のようである。



図 11.6.7: Abadir 灌漑地での地下水位変動モデル予測(河川流入量での推定)

Abadir 灌漑地での3種類のクライテリアに沿った河川流入量による地下水位の変動結果をいかに示す。

- 河川流入量を50%の想定にしたとき、水位変動の最大値は1983年に現われ、 初期設定した水位と比べて0.136 m上昇した。最小値は2003年に現われ、初 期設定した水位と比べて0.085 m上昇した。
- 河川灌漑地流入量が実測値と同じと想定したとき、最大値が1983年、最小値 が2003年で現われた。初期設定した水位と比べれば0.273 mと0.171 m上昇した。
- 河川灌漑地流入量を2倍の想定にしたとき、同じように最大値が1983年、最 小値が2003年で現われた。初期設定した水位と比べれば最大値が0.545 m、 最小値が0.341 m上昇することになった。

最大河川流入量を想定した、1983年において3種類設定結果の地下水位変動の最大値 と Beseka 湖水位変動の結果と比べるなら0.101、0.211と0.422 m上昇する予測結果であ る。

### 11.6.7 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 11.6.8に示した。



図 11.6.8: 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 11.6.8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。

### 11.7 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(NaHCO3型 もしくは Na2SO4/NaCl型)が周辺の地下水や湧水(いずれも NaHCO3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。

\_地下水開発計画プロジェクト ファイナル・レポート(サポーティングレポート)

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と見られることから、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
  - Evaluation of water resources of the Ada'a and Becho plans groundwater basin for irrigation development project, WWDSE, planned by MoWR, 2009
  - Allaidege plain groundwater resources assessment project, WWDSE planned by MoWR, 2009
  - Study and design of Lake Besaka level rise project II, WWDSE, planned by MoWE, 2011
  - Growing lake with growing problems: integrated hydrogeological investigation on Lake Beseka, Ethiopia, ELENI AYALEW BELAY, 2009
  - 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)
  - 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
  - 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
- 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)
- (9) Manual for CROPWAT version 5.2. FAO, Rome. 45pp.
- ① Growing Lake with Growing Problems: Integrated Hydrogeological Investigation on Lake Beseka, Ethiopia, Eleni Ayalew Belay, 2009

- Buxton, D.R. (1949): "Travel in Ethiopia" Centre national de la recherche scientifique (CNRS), France.
- 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.
- Gibson I.L. (1970): "A pantelleritic welded ash-flow tuff from the Ethiopian Rift Valley" -Contr. Mineral and Petrol., 28, 89-111.
- Kazmin, V. and Berhe, S. M. (1978): Geology and Development of the Nazret Area, Northern Ethiopian Rift, Ethiopian Institute of Geological Survey Report.
- Mohr, P.A. (1960): Report on a geological excursion through southern Ethiopia. Geophys.
   Observatory of Addis Ababa Bull., 3, 9-20.



# **MINUTES OF MEETING**

1. I M

# ON

# THE INCEPTION REPORT

# FOR

# THE PROJECT FOR

# **GROUNDWATER RESOURCES ASSESSMENT**

# IN THE MIDDLE AWASH RIVER BASIN

# IN

# THE FEDERAL DEMOCRATIC REPUBLIC OF ETHIOPIA

Addis Ababa, November 11 15 12 1 Addis Ababa Mr. Toshiyuki Matsumoto ebede Gerba fo Ethiopia Team Leader State Minister JICA Project Team Ministry of Water Resources eral Demo Ministry of Kokusai Kogyo Co., LTD. Federal Democratic Republic of Ethiopia F Witnessed by Dr. Yuji Maruo Japan International Senior Advisor Japan International Cooperation Agency (J

In response to the official request of the Government of the Federal Democratic Republic of Ethiopia (hereinafter referred to as "the Government of Ethiopia"), the Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as "JICA") dispatched the Preparatory Study Team in September, 2012. And based on the discussion made in that time, both the Japan and the Ethiopia sides had the agreed Record of Discussion (hereinafter referred to as "R/D") which was signed on May 27th 2013.

Based on the R/D, JICA dispatched JICA Project Team (hereinafter referred to as "the Team") for THE PROJECT FOR GROUNDWATER RESOURCES ASSESSMENT IN THE MIDDLE AWASH RIVER BASIN (hereinafter referred to as "the Project") to the Ethiopia. The Team discussed various matters described below in a meeting with the officials of the Ministry of Water and Energy (hereinafter referred to as "MoWE") and other authorities concerned with the Project. The list of those who attended this meeting is shown in Appendix-1.

### 1. Explanation of Inception Report (IC/R)

The Team submitted twenty (20) copies of the Inception Report (hereinafter referred to as "IC/R") to the Steering Committee Members (hereinafter referred to as "SCM")) and relevant authorities by 1st November, 2013.

The IC/R was presented by the Team to the MoWE and concerned authorities in the 1st Steering Committee, held on 5th November 2013 in Addis Ababa, which was chaired by Ato Tesfaye Tadese (Director; the Groundwater Resources Study Development and Management Directorate "GRSDMD" of MoWE ) and later Ato Zebene Lakew(GRSDMD).

In the meeting, the Team explained the objectives, outline and scope of the study proposed in the IC/R. Various matters are discussed among the Team, the MoWE, Geological Survey of Ethiopia (hereinafter referred to as "GSE") and concerned authorities.

The Ethiopian side agreed on the contents of the IC/R such as objectives, schedule, methodology and activities in principle, and promised to provide close cooperation with the Team during the Project period.

Major issues discussed in the 1st Steering Committee meeting were as follows:

1) Designation of Steering Committee Member (SCM) and Counterpart personnel

The SCM and Counterpart (hereinafter referred to as "C/P") personnel were confirmed UNUSAI in the 1st Steering Committee meeting as shown in Appendix2 and 3 respectively. KOG

The SCM will convene at the time of report submission such as IC/R, Interim Report and Draft Final Report, and also at the time when any necessity arises.

> val Democ Ministry of

All C/P personnel shall closely cooperate with the Team for the smooth implementation of the Project. The Team strongly requested that the MoWE and GRSDMD of MoWE, which is the Implementing Agency of the Project, should assign the designated C/P personnel and secure the budget for their activities. The Ethiopian side agreed to it.

### 2) Methodology and activities of the Project

GSE mentioned that the number of water quality sampling points and geophysical survey points are too few compared to the Project area of approximately 20,000Km<sup>2</sup>. JICA explained that major objectives of the project are to evaluate the groundwater potential in the regional scale and to produce the geological and hydrogeological maps of 1:250,000 scales. In the previous Study on Groundwater Resources Assessment in the Rift Valley Lakes Basin (hereinafter referred to as "RVLB"), the Team confirmed the continuous occurrence of the same sequence of stratigraphy all through the area from the Kenyan border in the south-west to the Lake ZIWAY in the north-east. The Team expects similar stratigraphy occurs in the Middle Awash River Basin as well (refer to Appendix4). Considering the project period, limitation of budget and the reasons mentioned above, the Team made the plan of the water quality analysis and geophysical survey. The Team also answered that certain water quality maps will be produced in the regional scale as well.

MoWE pointed out that the approximately 200m as an average depth for observation wells is too shallow, because there are data of low yield in shallow wells in the Project area. The Team explained that one of the major objects of the Project is to detect a series of aquifers which were identified in the previous RVLB Project at the depth of about 150 to 400m and to evaluate the potentials of these aquifers. The Team also explained that the deeper aquifer which was identified by the previous RVLB Project in the formation of Neogene Basalt is considered to be too deep and very difficult to detect the aquifer in the Middle Awash River Basin area. Therefore drilling of 500 to 600m depth suggested by MoWE is regarded to be out of scope in the Project. MoWE also commented that a study project around Lake Besaeka was going on by Oromia Water Works and Design, Supervision Enterprise (hereinafter referred to as "OWWDSE"). Therefore it is better to coordinate with OWWDSE in order to avoid any possible duplication of each project. And since there are lots of data in regard to the Project area, it is important to review such data, in particular the correlation of geological units between the Project area and the previous one. The Team took note.

Reselection of 30 small towns and procedure of screening

The Team explained that 30 small towns population of which is less than about 15,000 are the target for making provisional water supply plan. Initially 30 small towns were listed by the OWMEB for making the provisional water supply plans. However 4 towns in the initial list are located out of Middle Awash River Basin and I town of initial list is out of

Veral Democratic

Ministry of

÷

Oromia Region. The Team requested that OWMEB submit a list of 30 reselected small towns considering appropriate population size, no duplication with other project and relatively low water coverage rate by the end of November. The Team explained that as a result of investigation of these small towns, if the Team comes to the conclusion that no adequate water source were found or no adequate management for the water supply system were expected, those small towns would be excluded from making provisional water supply plan. The Team also explained that no replacement of excluded small towns will be made. Also the Team explained that at most 10 small towns will be selected as priority small towns for the development. The OWMEB promised to submit a list of 30 reselected small towns to the Team by the end of November.

#### 4) Screening criteria of small towns

JICA commented that it needs to clarify the capacity of Operation and Maintenance (hereinafter referred to as "O&M") of the small town water supply service office. JICA also asked to clarify the criteria or bench marks to assess the O&M capacity of small towns in the process of screening the priority small towns. The Team answered that the detailed criteria for assessing O&M capacity of the small town water supply service office were described in the IC/R.

#### 5) Dissemination of information and technology transfer (seminar/workshop)

In the IC/R, one technology transfer seminar was planned to be held on July 2015 at the time of submission Draft Final Report. However JICA advised that at least one more special seminar or workshop, for example, the analysis results of Lake Beseka should be held during the Project period. And also, One WASH program might invite the Team to share the progress of the project with the technical working group of water sector.

### 6) Utilization of equipment of EWTI

94

ddis Ababa

The Team requested EWTI to deploy its geophysical equipment and C/P personnel during the Project as a program of geomagnetic exploration and interpretation training.

### 2. Undertakings by the Government of Ethiopia

The Government of Ethiopia shall accord privileges, exemptions and other benefits to the Team in accordance with the Agreement on R/D between the Government of Japan and the Government of Ethiopia, signed on May 27<sup>th</sup>, 2013.

Ministry of

4 blic

-
#### 3. Other relevant issues

#### 1) Collection of existing data

The Team requested to all the SCM to collect the existing data for the Project. MoWE promised to provide the ENGWIS (Ethiopia National Groundwater Information System) data. All the SCM agreed to cooperate in the data collection.

#### 2) Request from JICA

JICA expected that the Project would accelerate water resources management intervention in Ethiopia, and that MoWE took a strong leadership in order to let the different stakeholder to be involved in the activities of water resources management. And also JICA pointed out that the Team should keep a close communication with water supply and sanitation directorate of the ministry as well as the national WASH coordination office in order to avoid the duplication among the related project.

#### 3) Official language for the Project

Both sides agreed that English is the principal language for the Project documents, including the M/M.

#### 4) Outline of project schedule:

The outline of project schedule is as follows:

Cont. year	First Year					Second Year																		
Fisical Year	2	01:	3						20	)14					2015									
Cal. Month	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Report	IC	/R					P/R	1)		P	A (R(2	>										A DF/F	R	▲ F/R
SC		1															2					3		
Addis Eth	Abaa		40	*		-pon			))))	as loss and *		and the second s	n & i on j J Du	emo	eral crait	A di	The south of Brhow we	N	m					

## ATTENDANCE LIST

## ETHIOPIAN SIDE MoWE

Ato Tesfaye Tadese Ato Zebene Lakew Ato Ketema W/ agegnehu Ato Tegenu Tsegaye

OWMEB Ato Fekadu Lebecha

GSE Ato Muhuddin Abdela Ato Demis Alamirew Ato Akililu Haile

JAPANESE SIDE JICA Ethiopia Office Mr. Itsuro Takahashi Mr. Ephrem Fufa

JICA Official Mission Dr. Yuji Maruo Mr. Masanori Yamazaki

JICA Project Team Mr. Toshiyuki Matsumoto Mr. Hisayuki Ukishima Mr. Satoshi Ishida Mr. Yosuke Yamamoto



GRSDM director GRSDM member GRSDM member Senior hydrologist

**OWMEB** member

Hydrogeology section director Senior hydrogeologist Senior geophysist

Project formulation advisor (water sector) In house consultant (water sector)

Leader of official mission Project formulation

Team leader Hydrogeology/ Water quality Small town supply scheme development water Socio-economic survey



Name	Position	Organization	Remarks
Ato. Kebede Gerba	State Minister	MoWE	Chair Person
Ato. Tesfaye Tadesse	GRSDM Director	MoWE	C/P
Ato. Zebene Lakew		MoWE	C/P
Ato. Hundie Melka	Chief Geologist	GSE	Member
Ato. Tadesse Alemu	Head Regional Geology	GSE	Member
Ato.Muhuddin Abdela		GSE	Member
Ato. Fekadu Lebecha		Oromia Regional Water, Mineral and Energy Bureau (ORWMEB)	C/P
Prof.Tenalem Ayenew		Addis Ababa University (AAU)	Member
Mr. Itsuro Takahashi		JICA Ethiopia Office	Member
		JICA Project Team	Member

# List of Members of Steering Committee of the Middle Awash River Basin Project



15-15 Minis TV C 0, rer Republic 05 wier d

イソセプション・フポートにかかる協議

# List of Members of C/P Personnel of the Middle Awash River Basin Project

Name	Position	Organization	Remarks
Ato. Tesfaye Tadesse	GRSDM Director	Ministry of Water and Energy (MoWE)	Project director, SCM
Ato. Zebene Lakew		MoWE	Project coordinator, SCM
Ato. Ketema W/agegnehu		MoWE	
Ato. Fekadu Lebecha		Oromia Regional Water, Mineral and Energy Bureau (OWMEB)	SCM
Ato. Tamiru Fekadu	Course coordinator	Ethiopian Water Technology Institute (EWTI)	





m

# Correlation of Stratigraphy in the RVLB

Perio	d/ Epocl	h Lake Ziway	Lake Abijata, Langano, Shala	Butajira- Hosaina	Lake Awasa	Sodo-Dila-YirgaChafe	Abaya-ArbaMinch	Major Lithology
		Alluvium	Alluvium	Alluvium	Alluvium	Alluvium	Alluvium	Fine sand - mud
		Bulbula lacustrine deposits	Bulbula lacustrine deposits		Shalo lacustrine deposits			Lake deposits such as gravel, sand and
								mud
	ana	Mt. Aluto volcanics	Alge volcanics	Mt. Ambericho volcanics	Corbetti volcanics	Duona Fango volcanics		Rhyolite lava flows, pumice falls,
	000	m	h		~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~			flows
	Ĩ	Deneba Recent Basalt	Awara Recent Basalt	Butailira Recent Basalt	Awasa Recent Basalt	Abaya Recent Basalts		Basalt lavas and reddish brown basaltic
								scoria
		Meki lacustrine deposits			Wondotika lacustrine denosits			Lake deposits such as poorly-sorted
	-							sand
1		Asela poorly welded	Langano poorly welded	Dugba poorly welded	Shashemene poorly welded		n to bail a sound source	Yellowish white rhyalitic numice tuff
nan		pumiceous pyroclastics	pumiceous pyroclastics	pumiceous pyroclastics	pumiceous pyroclastics	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~		renorman minis rigonao parmee tam
Quater		Kulmusa highly Welded-Tuff	Kuyera highly Welded-Tuff	Koshe highly Welded-Tuff	Mt. Kuwe highly Welded-Tuff	Samero highly Welded-Tuff		Rhyolitic to andestic welded tuff
		Ketar river acidic volcano-	Lake Shala acidic volcano-	Amecho acidic volcano-	Yiega Alem acidic volcano-	Yirga Alem acidic volcano-		annun harde strate al.
	a	sedimentary rocks	sedimentary rocks	sedimentary rocks	sedimentary rocks	sedimentary rocks	- 10 million - 10 million	Rhyolitic tuffs and pumice tuffs
	Len	Gonde Strongly Green	Bilate river Strongly Green	Bilate river Strongly Green	Hantate Strongly Green	Hantate Strongly Green	Post-rift Volcanics	
ſ	Pisto	Welded-Tuff	Welded-Tuff	Welded-Tuff	Welded-Tuff	Welded-Tuff		Rhyolitic to andestic welded tuff
	ā	Adami Tulu basaltic	Shala Senbete basaltic	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	Abaye ridge basaltic			
		pyroclastics	pyroclastics		pyroclastics	Doriga basaltic pyroclastics		Basaltic tulf breccias and lapilli tuffs
		Ocelehe Papeli	Laka Chitu Baseli	Danaha Basalt	Vula Dacell	Kahada Dasali		12
0								Massive basalt lavas
		Lekansho Lake deposits						Lake denosite such as sand stone
	-							
	1.	Gademotta rhyolite	Aje rhyolite	Gademotta rhyolite	Wendo Genet Rhyolite	Hobicha rhyolite	Gocho Rhyolite	Rhyolite lava flows and rhyolitic ruffs
	Plio	Bofa Bagalt	Lonie Rocalt	N/26	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~			Papelt Lavas and surgelection
1	-	Dola Dasali				_		Basait Lavas and pyroclastics
				NQs				Rhyolitic tuffs, Plagioclase rhyolite tuff
		Hangasu Rhvolite	Munesa rhvolite	N1 2n	Wiliara Rhyolite			Phyolitic tuffs Placioclase rhyolite tuff
10	-	Thangada Tanyonto	manosa niyomo		Wijigra Nijyono			Kinyonic tuns, Plagioclase myonte tun
lene	Plioc	ene	1 100001 CQ. 1 10001 2 5 91	Nin	2010/01/01/01/01			Basalt Lavas and pyroclastics
leog								Construction of the state of th
2				Niar				Rhyolitic tuffs Plagioclase rhyolite tuff
	-		-					The second s
	Mioc	ene				~~~~~~	Sharenga Rhyolite	Rhyolite piles and necks
						Middle Basalt	Middle Basalt	Porous basalt lavas
	-auto	Cene				Shole Ignimbrite	Shole Ignimbrite	Densely-welded rhyolitic welded tuff
	Eoce	Oligo				Lower Basalt	Lower Basalt	Porphyritic basalt lavas
	ic			Adigrat Sandstone	2			
5020				Antaro Limestone				Sandstone, Shale and Limestone
-Ca	nbrian			Biotite Gasice Permetite	7 1	Biotile Choice	Coolee Piotite Matazzaile	Biotita Gasiss Granita and Bermatita
- our	. ineritati			Sintle Graiss, reginable		Diotite Griefss	Griefes, Dioute Metagranite	Sione Griess, Granite and Pegmatite

## **MINUTES OF MEETING**

## ON

## **THE PROGRESS REPORT 1**

## FOR

### **THE PROJECT FOR**

## **GROUNDWATER RESOURCES ASSESSMENT**

#### IN THE MIDDLE AWASH RIVER BASIN

## IN

## THE FEDERAL DEMOCRATIC REPUBLIC OF ETHIOPIA



In response to the official request of the Government of the Federal Democratic Republic of Ethiopia (hereinafter referred to as "the Government of Ethiopia"), the Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as "JICA") dispatched the Preparatory Study Team in September, 2012. And based on the discussion made in that time, both the Japan and the Ethiopia sides had the agreed Record of Discussion (hereinafter referred to as "R/D") which was signed on May 27<sup>th</sup> 2013.

Based on the R/D, JICA dispatched JICA Project Team (hereinafter referred to as "the Team") for THE PROJECT FOR GROUNDWATER RESOURCES ASSESSMENT IN THE MIDDLE AWASH RIVER BASIN (hereinafter referred to as "the Project") to the Ethiopia. The Team discussed various matters described below in a meeting with the officials of the Ministry of Water Irrigation and Energy (hereinafter referred to as "MoWIE") and other authorities concerned with the Project. The list of those who attended this meeting is shown in Appendix-1.

#### 1. Explanation of Progress Report 1 (PR/R 1)

The Team prepared twenty two (22) copies of the Progress Report 1 (hereinafter referred to as "PR/R1") for relevant authorities and submitted to the Counterpart Members (hereinafter referred to as "C/P")) and GSE members by 16<sup>st</sup> April, 2014.

The PR/R1 was presented by the Team to the MoWIE and concerned authorities in the 1<sup>st</sup> C/P meeting, held on 24<sup>th</sup> April 2014 in Addis Ababa, which was chaired by Ato. Zebene Lakew (GWD and Project Coordinator).

In the meeting, the Team explained the summary of project and contents of the results of study described in the PR/R1. Various matters are discussed among the Team, the MoWIE, Oromia Regional Water, Mineral and Energy Bureau (hereinafter referred to as "OWMEB") and concerned authorities.

The Ethiopian side agreed on the contents of the PR/R1 such as objectives, schedule, results of survey and activities in principle, and promised to provide close cooperation with the Team during the Project period.

Major issues discussed in the 1st C/P meeting were as follows:

1) The possibility for increasing the study coverage area was discussed and it reached common understanding that due to time limitation and other planning issues the study should continue concentrating on its initial designated study areas.

2) It was explained on Oromia regional government side that there is an urgency of the need to supply water to some of the candidate project towns where currently se, shortage of potable water supply Regarding this issue, the Japan side explained that idis Ababa Etniopia ÷., é. Olkorr in the

there is no realistic possibility for any consideration to indulge in any construction of water supply before the schedule time as process of any rearrangement or rescheduling will take long period. However, it is agreed that the OWMEB will notify the project office if Oromia regional government go ahead financing by itself with the urgent construction of water supply for any of the candidate project towns.

3) It is commonly reached an understanding that the role of counter parts is very important for the successful accomplishment of the study. The roles of counterparts are mainly providing over all assistance to the experts, indicate ways and advices for the proper execution of the project. In this respect, C/P (or Steering committee member) from GSE are expected to provide guidance and direction to the project team especially on tasks of geological and hydro-geological mapping.

4) It has been agreed that the monthly activity report which has been thus far only submitted to JICA should also be prepared briefly from 1 to 2 pages and to be submitted monthly to Groundwater Directorate of MoWIE.

5) An issue regarding the use of the clay with the mixture of the bentonite for the test well drilling has been raised by the counterpart since it may contaminate the groundwater. However, Japanese side explained that the clay is used only at the upper part of the test well to protect the well walls from collapse and it is not applied within the aquifer. Also, circulation processes are made to keep the test well clean.

6) It is generally agreed that knowledge and skill transfer to counter parts is mainly done through participation in practical activities at the field. However, in addition to this, the short term seminar issue raised by MoWIE side may be considered by JICA provided that the seminar request has to be presented with clearly defined objectives and rationalization of the needs in a brief proposal.

Finally it has been told from the Japanese side that the next Progress Report 2 is scheduled to be submitted by the end of July 2014





## ATTENDANCE LIST

ETHIOPIAN SIDE MoWIE Ato Zebene Lakew Ato Ketema W/ agegnehu

**OWMEB** Ato Fekadu Lebecha GWD member and project coordinator of C/P GWD member and C/P

OWMEB and Steering Committee member

**EWTI** Ato Tamiru Fekadu

Coarse coordinator of EWTI and C/P

JAPANESE SIDE JICA Ethiopia Office Mr. Itsuro Takahashi Mr. Ephrem Fufa

JICA Project Team Mr. Toshiyuki Matsumoto Mr. Masahiko Ikemoto Mr. Masatoshi Tanaka Mr. Makoto Tokuda Mr. Gebeyehu Berhane Mrs. Kidist Negussie Project formulation advisor (water sector) In house consultant (water sector)

Team leader Volcanic Geology Test Well Drilling Coordinator / Assistant to Hydrometeorology Office and Field Technical Assistant





#### **MINUTES OF MEETING**

10.00

## ON

## **THE PROGRESS REPORT 2**

## FOR

#### **THE PROJECT FOR**

## **GROUNDWATER RESOURCES ASSESSMENT**

## IN THE MIDDLE AWASH RIVER BASIN

IN

## THE FEDERAL DEMOCRATIC REPUBLIC OF ETHIOPIA

Addis Ababa, July 30, 2014 Testaye Tedes 松丰俊 Groundwater Addis Ababa Ato. Tesfaye Tadese Ethiopia Mr. Toshiyuki Matsumoto Groundwater Directorate Directorate Team Leader JICA Project Team Ministry of Water, Irrigation and Energy Kokusai Kogyo Co., LTD

Federal Democratic Republic of Ethiopia

Witnessed by

Mr. Itsuro Takahashi

Project formulation advisor (water sector)

Japan International Cooperation Agency (JICA)

In response to the official request of the Government of the Federal Democratic Republic of Ethiopia (hereinafter referred to as "the Government of Ethiopia"), the Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as "JICA") dispatched the Preparatory Study Team in September, 2012. And based on the discussion made in that time, both the Japan and the Ethiopia sides had the agreed Record of Discussion (hereinafter referred to as "R/D") which was signed on May 27th 2013.

Based on the R/D, JICA dispatched JICA Project Team (hereinafter referred to as "the Team") for THE PROJECT FOR GROUNDWATER RESOURCES ASSESSMENT IN THE MIDDLE AWASH RIVER BASIN (hereinafter referred to as "the Project") to the Ethiopia. The Team discussed various matters described below in a meeting with the officials of the Ministry of Water, Irrigation and Energy (hereinafter referred to as "MoWIE") and other authorities concerned with the Project. The list of those who attended this meeting is shown in Appendix-1.

#### **1.** Explanation of Progress Report 1 (P/R 2)

The Team submitted nine (9) copies of the Progress Report 2 (hereinafter referred to as "P/R 2") to the related counterparts and members of Geological Survey of Ethiopia (hereinafter referred to as "GSE"). The P/R 2 was presented by the Team (Mr. Matsumoto, Mr. Sakai and Mr. Ishida) to the MoWIE and relevant organizations on 24th July 2014 which was chaired by Ato Tesfaye Tadesse (GD/Director). The discussion (refer below) has been made between the counterparts and GSE members and the contents of the P/R 2 have been agreed.

#### 2. Discussion issues

ddis Ababa Ethiopia

- $\triangleright$ It was explained by participants that the report is generally good but some terminologies applied in some part of the P/R2 (in water quality sections for instance) found confusing and in this regard, the Team agreed to take corrective actions using easily comprehensible terms applicable to the field of the discipline under the Project. Moreover, the Team also agreed to take editorial corrections that were observed in some part of the P/R2.
- The Beseka Lake water level (dimension) historical analysis was presented in the report  $\triangleright$ only up to year 2010 and regarding this issue the Team explained that in the next phase of the study analysis will cover up to latest data available year within the project completion period. R. Thick P.

- I KOr It was suggested on MoWIE side that conducting analysis of fluoride concentration with the different depth level of groundwater is important and in this regard, the Team

ederal Democratic

shy of Water

Im

2

commented as much as possible to compare the relation well depth and fluoride concentration as suggested.

- It was explained that one of the result expected from the Project is to estimate the cause/s for the continuous increase of Lake Beseka and in this regard, the MoWIE agreed to supply all available study documents conducted thus far (including the recently completed study by the WWDSE) to the Team and it was also suggested by the MoWIE side that the simultaneous rise of the volume of Lake Beseka water with the start of irrigation with Nura Hera & Abadir state farms in the past as well as its recent increase with the launch of the Fentale project has to be given due analysis beyond its mere coincidence matter and this suggestion.
- It was commented on GSE side that the aquifer potential is not treated in the P/R2 and the Team has explained that the hydrogeological map is not be prepared yet, and it is to give necessary emphasis on this issue in its next phase study report.
- It was considered by the Team that field assessment reports of Professor Suzuki and Mr. Murakami on geology and quality of existing irrigation (canal) farm system, which were prepared in April 2014 but not included in this report directly, may be included as annex or supplementary report in the P/R2.
- It was suggested by MoWIE that maintaining the planned depth level in the drilling of remaining test wells is important and MoWIE has concerned in the procedure of limiting depth of drilling before geological, hydrogeological and geophysical surveys. The team said that the drilling depth in the study area was decided using the previous data regarding the Rift Valley Lakes Basin Project and the geophysical survey results of this project. It was also commented by MoWIE that since there is too much delay with the performance of the drilling contractor, the Team has to take appropriate measures in order to maintain the drilling schedule. The Team explained that it has taken countermeasure to dispatch machine driller and technician from Thailand for the drilling.
- It is agreed that the Counterparts from GSE and MoWIE will participate in the field work along with experts of the Team for preparation of geological and hydrogeological maps.

Finally, it has been told from the Team that the next Interim Report is scheduled to be submitted by the end of February 2015.





END

## ATTENDANCE LIST

## ETHIOPIAN SIDE MoWIE

Ato Tesfaye Tadesse	GD Director
Ato Zebene Lakew	GD member
Ato Ketema W/ agegnehu	GD member

**OWMEB** Ato Fekadu Lebecha

## GSE

1

Ato Muhuddin Adbela Ato Akihilu Haile

JAPANESE SIDE JICA Ethiopia Office Mr. Itsuro Takahashi

#### **JICA Project Team**

Mr. Toshiyuki Matsumoto Mr. Kensuke Sakai Mr. Ishida Satoshi

Mr. Makoto Tokuda Mr. Gebeyehu Berhane Mrs. Kidi<u>st Neg</u>ussie



OWMEB member

GSE member GSE member

Project formulation advisor (water sector)

#### Team leader

Sub-leader/ Hydrometeorology/Project Evaluation Small Town Water Supply Scheme Development / Water Use Planning / O&M Planning Coordinator / Assistant to Hydrometeorology Office and Field Technical Assistant Project Assistant



## **MINUTES OF MEETING**

## ON

## THE INTERIM REPORT

## FOR

#### **THE PROJECT FOR**

## **GROUNDWATER RESOURCES ASSESSMENT**

## IN THE MIDDLE AWASH RIVER BASIN

### IN

### THE FEDERAL DEMOCRATIC REPUBLIC OF ETHIOPIA



In response to the official request of the Government of the Federal Democratic Republic of Ethiopia (hereinafter referred to as "the Government of Ethiopia"), the Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as "JICA") dispatched the Preparatory Study Team in September, 2012. And based on the discussion made in that time, both the Japan and the Ethiopia sides had the agreed Record of Discussion (hereinafter referred to as "R/D") which was signed on May 27<sup>th</sup> 2013.

Based on the R/D, JICA dispatched JICA Project Team (hereinafter referred to as "the Team") for THE PROJECT FOR GROUNDWATER RESOURCES ASSESSMENT IN THE MIDDLE AWASH RIVER BASIN (hereinafter referred to as "the Project") to the Ethiopia. The Team discussed various matters described below in a meeting with the officials of the Ministry of Water, Irrigation and Energy (hereinafter referred to as "MoWIE") and other authorities concerned with the Project. The list of those who attended this meeting is shown in Appendix-1.

#### 1. Explanation of Interim Report (IT/R)

The Team submitted twenty (20) copies of the Interim Report (hereinafter referred to as "IT/R") to the related counterparts and steering committee members (Geological Survey of Ethiopia (hereinafter referred to as "GSE") and Addis Ababa University (hereinafter referred to as "AAU")). The IT/R was presented by the Team (Mr. Matsumoto, Mr. Sakai and Mr. Ishida) to the MoWIE and relevant organizations on 11<sup>th</sup> June 2015 which was chaired by Ato Zebene Lakew (GD/ Project coordinator) after welcoming address by His Excellence State Minister, Mr. Kebede Gerba. The discussion (refer below) has been made between the counterparts and Steering Committee members and it was agreed that the content of Interim Report is good and acceptable and it was also explained by participants that the presentation made by experts of the Team was elaborative and good.

#### 2. Discussion issues

) the fractine analysis;

It was suggested by participants that the rainfall trend calculation over the last 30 years showed in the report little increasing or constant but some other studies indicated decreasing and in this regard, the Team responded that the calculation of the rainfall trend was made using data collected from the Meteorological Agency. However, if there is any miscalculation, the Team may try to review its calculation in the draft final report;

 In response to the question raised by participants regarding how the study reflect the impact of fracture over recharge estimation, the Team explained that the recharge estimation was calculated by hydrology analysis; and therefore, the study not applied

1. Starle Water, bri

- It was suggested by participants that Lake Beseka is a structure lake and requested \* explanation how the study considers the different flow directions; in this regard, the Team explained that this issue may be checked with the analysis of the hydrogeological map in the draft final report;
- Participants raised the issue of the appropriateness of the sampling points where the Team collected the water samples in Lake Beseka area to investigate the contribution of irrigation to the expansion of Lake Beseka; and in this regard, it has been reached an understanding on the difficulty encountered by the Team on getting adequate sample points due to the swampy area between the irrigated plantation and Lake Beseka (as samples were taken from surface level both from the lake and irrigation canal );
- Regarding the content of fluoride and depth level relationship, it has been reached common understanding by the participants and the Team that fluoride and depth level is not always correlated. However, in the case of the presence of high productive basic volcanic aquifers connected with regional groundwater flow at deeper depth, the deeper we go the less will be the fluoride content in the water;
- $\boldsymbol{\lambda}$ It was suggested by the participants that in the report there is use of pump test data obtained from early period result of pump testing and in this regard, the Team has agreed to recheck calculation if they were made by using figure obtained from the early period result of pump testing and to make corrections accordingly;
- It was suggested by participants that there are other studies which conducted TDS analysis for identifying the cause of expansion of Lake Beseka but review of studies on the result of this analysis not mentioned in this report and in this regard, the Team explained that it may try to review studies which conducted TDS analysis in order to identify the cause for expansion of Beseka Lake from the point view of this analysis;
- 7 In response to the question raised regarding the delay of drilling completion, the Team has explained that the delay in the completion of test well drillings was mainly caused due to the geological difficulties of the drilling areas;
- ٢ It was suggested by participants that the coverage area of the hydrogeological map mentioned in the report is less than the project study area and in this regard, the Team explained that the hydrogeological map of some part (west part) of the study area are already covered by recent GSE hydrogeological map and this part is not covered in this study's hydrogeological map; and which is the reason for difference of the area size between the study's hydrogeological map and project study area; DI KOR

It was suggested by participants that the importance of having consultation with concerned bodies in order to avoid duplicating efforts, especially, in conducting wa ¢\*\* 3

> Addis Ababa Ethiopia

11

of Walter

facility planning and in this regard, the Team replied that while working on water facility planning there has been repeated consultation with the different concerned departments of Oromia Water Mineral and Energy Bureau and this will continue to the end of the project;

- Participants have also explained for importance of explaining in the study report for unusual result of the relationship of well depth and yield in west Harerge zone and in this regard, the Team responded that if possible it may try to review the situation and reason out the cause of such exceptional results of the relationship of well depth and yield in the draft final report;
- Regarding the methodology or technique thus far applied by the Team to solve the drilling problems encountered in difficult geological area, the Team explained that sometimes the Team applied casing methods to avoid such drilling problems in this area for example;
- It was suggested by the Team that it is important to get GTP2 for water demand analysis of water facitity planning; in this regard, the Ministry side responded that GTP2 is not yet finalized and promised to supply the information to the Team as soon as it is officially announced;
- Finally, the chairman/facilitator gave suggestion that the Team has to render more effort to further identify the cause of Lake Beseka expansion and to give also emphasis to the knowledge transfer issue.

Moreover, it has been told from the Team that the next Draft Final Report is scheduled to be submitted by the end of October 2015.

END





## ATTENDANCE LIST

## ETHIOPIAN SIDE **MoWIE** Ato Kebede Gerba State Minister/Chairman of Steering Committee Ato Zebene Lakew GD member Ato Ketema W/ agegnehu GD member **OWMEB** Ato Fekadu Lebecha **OWMEB** member **EWTI** Ato Tamiru Fekadu C/P member GSE Ato Demissie Alamirew GSE member JAPANESE SIDE **JICA Ethiopia Office** Mr. Itsuro Takahashi Project formulation advisor (water sector) Ato Ephrem Fufa **Program Officer JICA Project Team** Mr. Toshiyuki Matsumoto Team leader Mr. Kensuke Sakai Sub-leader/ Hydrometeorology/Project Evaluation Mr. Ishida Satoshi Small Town Water Supply Scheme Development / Water Use Planning / O&M Planning Mr. Gebeyehu Berhane Office and Field Technical Advisor Mrs. Kidist Negussie Project Assistant

## **MINUTES OF MEETING**

## ON

## THE DRAFT FINAL REPORT

## FOR

#### **THE PROJECT FOR**

## **GROUNDWATER RESOURCES ASSESSMENT**

## IN THE MIDDLE AWASH RIVER BASIN

IN

## THE FEDERAL DEMOCRATIC REPUBLIC OF ETHIOPIA



JICA Ethiopia Office

a Flectricity

Ministry

In response to the official request of the Government of the Federal Democratic Republic of Ethiopia (hereinafter referred to as "the Government of Ethiopia"), the Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as "JICA") dispatched the Preparatory Study Team in September 2012. And based on the discussion made in that time, both the Japan and the Ethiopia sides had the agreed Record of Discussion (hereinafter referred to as "R/D") which was signed on May 27, 2013.

Based on the R/D, JICA dispatched JICA Project Team (hereinafter referred to as "the Team") for THE PROJECT FOR GROUNDWATER RESOURCES ASSESSMENT IN THE MIDDLE AWASH RIVER BASIN (hereinafter referred to as "the Project") to the Ethiopia. Up on the completion of the Project and submission of the Draft Final report (hereinafter referred to as "DF/R"), the Team discussed various matters described below in a meeting with the officials of the Ministry of Water, Irrigation and Electricity (hereinafter referred to as "MoWIE") and other authorities concerned with the Project.

#### **<u>1. Explanation of DF/R</u>**

The Team submitted twenty one (21) copies of the DF/R to the MoWIE.

The DF/R was presented by the Team to the MoWIE and concerned authorities, and was discussed at the time of the seminar for DF/R on 27<sup>th</sup> October 2015 in Addis Ababa and at the time of the steering committee meeting (hereinafter referred to as "SCM") on the same date in Addis Ababa. The attendant list of the seminar and the SCM are attached in Appendix-1.

Technical matters, such as geology, hydrogeology and water supply planning of DF/R were discussed among the participants from the MoWIE, Geological Survey of Ethiopia (hereinafter referred to as "GSE"), Ethiopia Water Technology Institute (hereinafter referred to as "EWTI") and concerned authorities and the Team. The contents of discussion on DF/R in the seminar and the SCM are shown in Appendix-2.

The Ethiopian side basically agreed with the contents of DF/R, understood the study results of DF/R, and confirmed the maximum utilization of the Final Report (hereinafter referred to as "F/R") by the attached document titled "Actions to be taken for effective use of the outputs of the Project" in Apendix-3.

Major issue and the content regarding DF/R are as follows:

- 1) The Team explained that the Ethiopian side should submit if any comments, question and corrections on the DF/R to the Team by the 4 November 2015 by e-mail.
- 2) The Team also explained that as the results of discussion made during the servinar and the SCM, the correction and modification wherever necessary would be reflected in F/R.

#### 2. Recommendations from the Team

.

The Team made the following five (5) recommendations on the groundwater resources study and management in Ethiopia at the time of seminar and SCM.

- 1. Actual use of groundwater database (ENGWIS)
- 2. Good practices for the observation well and improvement of drilling technology
- 3. Effective utilization of the water supply plan
- 4. Groundwater development and management
- 5. Countermeasure for the control of Lake Beseka level rise

Ethiopian side replied to the recommendations as follows;

The Ethiopia side generally accepted the above-stated recommendation given by the Team.





2

## **ATTENDANCE LIST**

## 1. The seminar for DF/R **ETHIOPIAN SIDE**

## Ministry of Water Irrigation & Electricity (MoWIE)

Mr. Tesfaye Tadese	Project Director
Mr. Muaus Amare	Hydrogeologist
Mr. Seife Negash	Hydrogeologist
Ms. Tiruwork Tadege	GIS Directorate Representative
Mr. Mesfin Mulugeta	Water Sector Working Group
	Secretariat Coordinator
	TT 1 1 1 (

Mr. Dawit Kifle

## **EWTI** Dr. Markos Wijori Mr. Geremew Game

#### GSE

Mr. Hunde Melka Mr. Demisse Alamirew

## **Oromia Region** Mr. Abdurahim Hajison Mr. Takele Mengesha

#### Others

Ms. Oona Raufiairen Mr. Abebe G/Hiwot Mr. Shiferaw Lilu Mr. Esayas Tilahun Mr. Moges Tigabe Asres Mr. Getachew Geletu

JAPANESE SIDE JICA Ethiopia Office Mr. Kimiaki Jin

Hydrogeologist

Irrigation Directorate Director Drilling Technology Directorate Director

**Chief Geologist** Hydrogeologist

**OWMEB** Deputy Head **OWMEB Head of Planning** 

**One Wash Project** TAM Geo-Engineering General Manager TAM Geo-Engineering Deputy General Manager Hydrogeologist Hydrogeologist Hydrogeologist

alle

Vinist

Japan Interna Chief Representative A notists

Project Formulation Advisor (water sector) Mr. Itsuro Takahashi Mr. Ephrem Fufa Leta In-house consultant for water sector

**JICA Project Team** 

Mr. Toshiyuki Matsumoto Mr. Kensuke Sakai Mr. Satoshi Ishida Mr. Makoto Tokuda Mr. Gebeyehu Berhane Ms. Kidist Negussie Asrat

**JICA Official Mission** Mr. Keisuke Yamagami

Team Leader **Deputy Team Leader** Water Supply Planning **Project Coordinator Project Assistant Project Assistant** 

Project Planning

2. The SC for DF/R ETHIOPIAN SIDE Ministry of Water Irrigation & Electricity (MoWE) Hydrogeologist Mr. Dawit Kifle

**EWTI** 

Mr. Geremew Game

GSE Mr. Hunde Melka Mr. Demisse Alamirew

**Oromia Region** Mr. Takele Mengesha

**JAPANESE SIDE JICA Ethiopia Office** Mr. Itsuro Takahashi

JICA Study Team Mr. Toshiyuki Matsumoto Mr. Kensuke Sakai Mr. Satoshi İshida

Drilling Technology Directorate Director

**Chief Geologist** Hydrogeologist

**OWMEB Head of Planning** 

Project Formulation Advisor (water sector)



Mr. Makoto Tokuda Mr. Gebeyehu Berhane Ms. Kidist Negussie Asrat

¥.11

# JICA Official Mission Mr. Keisuke Yamagami



Project Coordinator Project Assistant Project Assistant



5

#### The discussion on the DF/R

#### 1. The Seminar for DF/R

The questions, suggestions and comments from the participants and answer from the Team were as follows;

#### QUESTIONS AND ANSWERS ON GEOLOGY AND HYDROGEOLOGY IN WHOLE AREA

- Q. Why the "executive summary" part not included in the Report?
- A. This Report is only a draft report and the "executive summary" part will be included in the Final Report.
- Q. How the capacity of staff in Groundwater Directorate up-graded during the project?
- A. The knowledge transfer to the staff in Groundwater Directorate was done through inviting them to participate in the geological and hydrogeological field surveys, and provision of in-house training in the use of GIS and other related software.
- Q. What is the over-all water resource potential in the middle awash basin area as per the result of the study?
- A. The Team answered that the project scope is only groundwater and the groundwater resources situation is adequately dealt and discussed in the DF/R.
- Q. What environmental aspect is threatening in the project study basin area?
- A. The Team responded that there is no significant negative environmental impact in the 30 towns project area with the future implementation of the project; however, there is need of further investigation in the other part of the project study basin area.
- Q. Since concentration of fluoride is somewhat related with the depth level of well, why this aspect is not treated likewise in this D/F Report?
- A. The Team responded to this question that fluoride concentration relationship with the depth level of well is not always true because geological condition has also its own impact and this issue is addressed and dealt in the D/F Report as per the scope of the project.
- Q. The participants asked that since Awash river is the most exploited river in the country, "why the effect of industrial pollution to this river not addressed fully in the study of the country of the

A. The Team responded to the above-mentioned question that as per the project scope it is only expected to conduct water quality analysis and this has been accomplished by the project; however, to get the full impact of the pollution to the river other investigation with all parameters has to be executed.

1. 1

QUESTIONS AND ANSWERS ON THE HYDROLOGY, AND HYDROGEOLOGY AROUND LAKE BESEKA

- Q. Regarding Lake Beseka, the participants asked that the cause for increasing of the volume of the lake suggested in the Report as it could be the groundwater but why this not supported by isotope analysis? And other parameters such as weathering, later al & vertical fracture analysis were not discussed in the Report. Why?
- A. The isotope analysis is still in the process at IAEA and as soon it is completed its result will be included in the Final Report. On the other hand, the Team answered that the project as its main objective is not focused on finding the real cause for the increasing volume of the Lake but to see the impact of irrigation on the Lake and make its recommendation. Dealing with all other parameter aspects (of the possible causes) for increasing volume of the Beseka Lake is out of the project scope.
- Q. What calculation or analysis is done to conclude the effect of Lake Koka for the increasing volume of Lake Beseka?
- A. The Team responded that nothing is done on analytical aspect on this issue and in this regard the Ethiopian side is expected to make further survey and analysis.

#### QUESTIONS AND ANSWERS ON WATER SUPPLY PLANNING

- Q. Why the water supply plan is stated as provisional plan and the design period is limited to 5 years (2020)?
- A. The water supply plan is provisional because if the project is going to be implemented a further detail study is expected to be conducted before construction; and the year "2020" is not stated as the end of the design period but in the Report it is mentioned as "target year" for the start of new water supply system.
- Q. It is not clear the suggestion stated in the Report that "the regional water bureau has to procure pumps and generator". Is it the matching fund?
- A. The Team made clarification that the issue of providing "pump and generators" by regional water bureau is during the "Operation and Maintenance" period not at the construction phase which is covered by the Project.

oppen Internation Ag

7

ENV Jiel.

Notester.

#### 2. The SC for DF/R

- T

The questions and answers (Q&A) at the seminar for DF/R were further discussed with the C/P in the steering committee meeting for the clarification of contents as follows:

- The Project was expected to conduct 30 small towns but accomplished a provisional Q. water supply plan of only 19 towns for various reasons. Why replacement was not done in place of the canceled small towns?
- A. The Team responded that as per the TOR and scope of the project, the Team was responsible for screening eligible (for funding) small towns out of the 30 towns given by the Oromia region water bureau to the project and to develop the provisional plan for this selected number of towns. And accordingly, the project has prepared the provisional water supply plan
- The participants asked that without the detail analysis of the fracture and water flow Q. issues in the basin area; is it possible to use the project's developed hydrogeological maps as reference for well development in the area?
- The Team surveyed the geological conditions with the structural analysis in the field and A. also the parameters of aquifer units such as yield, specific capacity and transmissivity included the geological information with fracture condition. Therefore, the Team believes that the developed hydrogeological maps can serve as basic reference in the ground water development projects.
- Q. The MoWIE and OWMEB will have the use of the findings in the report; however, what is the further interest of JICA in advancing further development of the basin?
- The representative of JICA Ethiopia Office responded that at the moment JICA has no Α. plan on this matter; however, if there is need of further development cooperation, the concerned government agency can submit its request through MoFEC (Ministry of Finance Economic Cooperation) and JICA may give its response on the submitted request.
- Q. The participants asked that in the less fracture zone of the basin, what is the recommendation of the Project Team-Is it better to avoid the area or to make further investigation?
- Α. The Team responded that further investigation has to be conducted.
- О. The participants asked whether the Project Team developed any standard groundwater data monitoring or transmission sheet to transfer data from zonal offices to MoWIE?
- The Project Team responded that it has had no format of hard copies but software for Α. monitoring of groundwater level and this is only one parameter addressing the groundwater aspects. Moreover, the Team has agreed to prepare and include a Unillan. pan Inter

opperation Agenti

groundwater monitoring sheet in its Final Report that include items (but not limited to) of groundwater level, chemical aspects, fluoride level, etc..



10

11





## Actions to be taken for effective use of the outputs of the Project (Final Report including Geological/hydrogeological map and cross sections)

The most essential point for the effective use of the Project report by the Ethiopian side is to ensure the delivery of the report to the agencies concerned. The Groundwater Directorate (GD) of the Ministry of Water, Irrigation and Electricity (MoWIE) is responsible for this delivery since it is the coordinating body of this Project. The agencies shown below shall receive the Final Report:

- > Oromia Water, Mineral and Energy Bureau (OWMEB)
- Three (3) Zonal Water, Mineral and Energy Offices (ZWMEO) of West Hararge, Arsi and East Shewa in Oromia Region (delivered through OWMEB)
- Geological Survey Ethiopia (GSE)
- Addis Ababa University (AAU)
- Awash Basin Authority (ABA)

Each agency concerned is expected to take the following actions, and fully utilizing the outputs of the Project.

- The GD of MoWIE is responsible for groundwater development planning for the entire country including the Middle Awash River Basin. This Final Report shall be referred with due consideration and through understanding, when the GD prepares a groundwater development plan in the Middle Awash River Basin. Especially, the geological maps, hydrogeological maps, and the cross-sectional drawings of each map would be powerful tools for the acquisition of reliable hydrogeological information in the objective groundwater development areas, and the preparation of proper development plans.
- The ZWMEOs in Oromia Region have the responsibility to develop the groundwater resources in its own zones. Moreover, when the ZWMEOs make selections of areas, where they need water resource development, responding to the requests of OWMEB, the ZWMEOs shall fully utilize the delivered Final Report and geological/hydrogeological maps with its cross-sectional drawings. In the event of the ZWMEOs find difficulties to understand the contents of the Final Report, and maps/drawings, the OWMEB shall give explanations on the contents. The Project Team is ready to give explanation to the OWMEB staff although the time is limited.

 Water Resources Management Department and Water Supply Facility Management Process Department of the OWMEB are responsible for the water resources development and water supply planning for small towns and villages in the Region. At the time of making plans, drawings and water supply plans formulated in the Final Report shall be used to confirm

10

the adequacy of water sources, and to refer the planning methodology.

• The Final Report, geological/hydrogeological maps, cross-sectional drawings of each map, and the explanatory notes of this Project is expected to be stored and disposed in the library of GSE as the same as the outcomes of the previous JICA project of "the Study on Jarar Valley and Shebele Sub-basin Water Supply Development Plan, and Emergency Water Supply (2013)". Those outcomes shall be available for inspections by anyone, and are expected to be referred as basic geological and hydrogeological information in the Middle Awash River Basin by private geological survey companies, GSE, AAU and other donors, etc.

The Project Team is ready to disseminate the information of where the Final Report can be accessed, in the Technology Transfer Seminar or other occasions.

It is preferable if the GSE can make necessary arrangement for publishing and selling the geological maps, hydrogeological maps, cross-sectional drawings and explanatory notes.

• The ABA shall utilize the outcomes of the Project for better management of the Basin after reviewing the study results of the Lake Beseka issues.



END

# 添付資料(確認書)



KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

Overseas Operations Department: 2 Rokubancho, Chiyoda-ku, Tokyo 102-0075, Japan TEL:\*\*81-3-6361-2452 FAX:\*\*81-3-3237-5477

The Project of Groundwater Resource Assessment in the Middle Awash River Basin in The Federal Democratic Republic of Ethiopia

Date: 1<sup>st</sup> August 2014

Ref: No.21/TM/14

Ministry of Water Irrigation & Energy (MoWIE) Attention to Ato. Tesfaye Tadesse (Groundwater Directorate Director)

#### Re: Handing over of JICA funded equipment

Dear Sir,

This is evidence that the following items procured by The Project of Groundwater Resource Assessment in the Middle Awash River Basin in The Federal Democratic Republic of Ethiopia were certainly handed over to the Groundwater Directorate of Ministry of Water Irrigation & Energy (MoWIE). The equipments are listed in the attachment.

Groundwater Directorate surely received these items and promised to sustainably implement the project activities using the provided equipment.



Mr. Toshiyuki MATSUMOTO Team Leader/Groundwater Resources Development & Management for JICA Study Team Kokusai Kogyo Co., Ltd. as End User

Tesfave Groundwate

Democranc of Water

Ato. Testaye Tadesse Groundwater Directorate Director Ministry of Water Irrigation & Energy (MoWIE)

CONSULTING ENGINEERS; GROUND WATER DEVELOPMENT, SOLID WASTE MANAGEMENT, AGRICULTURE & FOREST RESOURCES DEVELOPMENT, ENVIRONMENT CONSERVATION, PHOTOGRAMMETRY & GIS AND OTHERS



KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

Overseas Operations Department: 2 Rokubancho, Chiyoda-ku, Tokyo 102-0075, Japan TEL:\*\*81-3-6361-2452 FAX:\*\*81-3-3237-5477

The Project of Groundwater Resource Assessment in the Middle Awash River Basin in The Federal Democratic Republic of Ethiopia

# **List of Equipment**

No.	Item	Quantity
1	Handy GPS	4
2	Automatic Water Level Gauge / Data Logger	12
3	Portable Water Level Gauge (200m)	1
4	Portable Water Level Gauge (300m)	1
5	Electrical Conductivity Meter (EC)	2
6	pH Meter	2
7	Oxidation Reduction Potential Meter (OPR)	2
8	GIS Software (ArcGIS)	1
9	Groundwater Modelling Software (Processing Modflow)	1
10	Cross View for ArcGIS	1
11	Cross View Editing Software (Surfer / Digger)	4
12	GPS Data Editing Software (MxGPS)	1
13	Multifunction Printer	1
14	Desktop PC	2
15	Laptop PC	2
16	External Storage Device	2
17	Microsoft Office	1



CONSULTING ENGINEERS; GROUND WATER DEVELOPMENT, SOLID WASTE MANAGEMENT, AGRICULTURE & FOREST RESOURCES DEVELOPMENT, ENVIRONMENT CONSERVATION, PHOTOGRAMMETRY & GIS AND OTHERS

# Ministry of Water, Irrigation & Energy (MoWIE)

## **Temporary Handover of Equipment**

The Groundwater Directorate has temporarily transferred the following equipment for project office of the Middle Awash Basin Groundwater Resource Assessment which were procured by The Project and was handed over to the Groundwater Directorate of Ministry of Water Irrigation & Energy (MoWIE). The equipment are listed below.

# List of Equipment

No.	ltem	Quantity
1	Handy GPS	4
2	Automatic Water Level Gauge / Data Logger	12
3	Portable Water Level Gauge (200m)	1
4	Portable Water Level Gauge (300m)	1
5	Electrical Conductivity Meter (EC)	2
6	pH Meter	2
7	Oxidation Reduction Potential Meter (OPR)	2
8	GIS Software (ArcGIS)	1
9	Groundwater Modelling Software (Processing Modflow)	1
10	Cross View for ArcGIS	1
11	Cross View Editing Software (Surfer / Digger)	4
12	GPS Data Editing Software (MxGPS)	1
13	Multifunction Printer	1
14	Desktop PC	2
15	Laptop PC	2
16	External Storage Device	2
17	Microsoft Office	1 1
13		

as Receiver

For Mr. Toshiyuki MATSUMOTO Team Leader/Groundwater Resources Development & Management for JICA Study Team Kokusai Kogyo Co., Ltd. as Provider

Tesfaye Tadesse

of Water, Imig

Mo. Tesfaye Tadesse Groundwater Directorate Director Ministry of Water Irrigation & Energy (MoWIE)

Date: 2<sup>nd</sup> November 2015

## Ministry of Water, Irrigation & Electricity (MoWIE)

## Handover of Equipment

The Groundwater Directorate has received the following equipment from project office of the Middle Awash Basin Groundwater Resource Assessment which were procured by the project. The equipment are listed below.

## List of Equipment

No	Item	Quantity
1	Handy GPS	4
2	Automatic Water Level Gauge (Data Logger)	12
3	Portable Water Level Gauge (200m)	.1
4	Portable Water Level Gauge (300m)	1
5	Electrical Conductivity Meter (EC)	2
6	pH Meter	2
7	Oxidization Reduction Potential Meter(OPR)	2
8	GIS Software (ArcGIS)	1
9	Groundwater Modeling Software (Processing Modflow)	1
10	Cross View for ArcGIS	1
11	Cross View Editing Software (Surfer/Digger	4
12	GPS Data Editing Software(MxGPS)	1
13	Multifunction Printer	1
14	Desktop PC	AP BOTH
15	Laptop PC	were hant.
16	External Storage Device	an on 2
17	Microsoft Office	No m

as Provider

For Mr. Toshiyuki MATSUMOTO Team Leader/Groundwater Resources Development & Management for JICA Study Team Kokusai Kogyo Co., Ltd.

as Receiv Pederal Demo Vater, Inigation Ato Tesfaye Tadesse

Groundwater Directorate Director Ministry of Water, Irrigation & Electricity (MoWIE)