

## 第3章

---

---

### 水理地質

### 3 水理地質

#### 3.1 衛星画像解析

##### 3.1.1 衛星画像

水理地質状況と地質構造を把握するため、以下の衛星画像を用いて地表情報の解析を行なった。

表 3.1: 解析に用いた衛星画像

衛星	情報	主目的
ランドサット	TM(1986-1990), ETM+(2000), 7バンド、オルソ補正、解像度 30m	地表解析
SRTM	1994-, 解像度 30m	DEM の抽出、コンター作成
ASTER	2006, 3 バンド、オルソ補正	DEM の抽出、3 次元モデル解析
SPOT	2006-2007, 解像度 0.5m	地表解析

SPOT による画像を図 3.1に示す。

##### 3.1.2 地表解析

衛星画像の地表解析結果は“Rift Valley Lakes Basin Integrated Resources Development Master Plan Study Project, June 2008, Halcrow Group Limited and Generation Integrated Rural Development Consultants, Ministry of Water Resources, The Federal Democratic Republic of Ethiopia” (以降 Halcrow 2008 とする)に詳しい。本調査においては SPOT 画像を 2010 年 7 月に入手した。主要な地表解析結果は Halcrow 2008 を参照して記載する。

Halcrow 2008 は以下の衛星画像を用いて詳細な解析結果を記載している。

- ランドサットMSS - 1970年, (全4バンド、オルソ補正)
- ランドサットTM - 1986-1990年 (全7バンド、オルソ補正)
- ランドサットETM - 2000年 (全8バンド、オルソ補正)
- MrSid合成画像1987-90年 (全7バンドカラー合成画像、オルソ補正)
- MrSid合成画像2000年 ((全7バンドカラー合成画像、オルソ補正)
- アスター衛星画像 2000 年 (3 バンド、一部オルソ補正)

調査対象地域の土地被覆分類図 (1:250,000) は、自動画像分類と目視による分類及び現地確認作業によりとりまとめられた。土地被覆分類と土地利用の変遷については一般的

に次の様にとりまとめられる（Halcrow 2008）

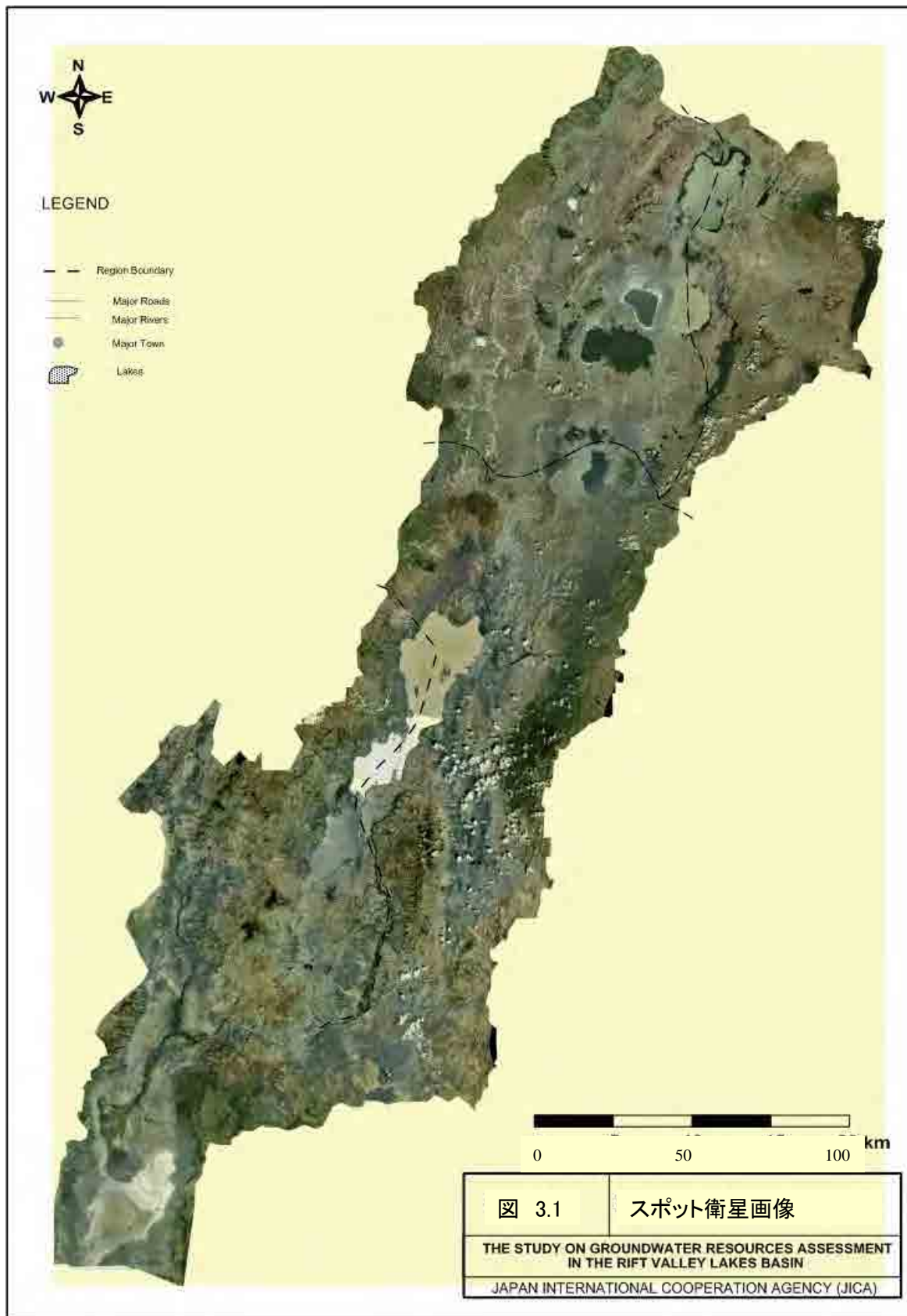


図 3.1: スポット衛星画像

**都市：**都市及び準都市区域は調査対象地域全域で拡大している。

**アフリカ高山帯植生：**開墾によって序々に減少し被覆は *Arsi* に移行している。地域は新規開拓に不適なので、開拓の強化はこの傾向を減少させる。

**森林：**一般に一部地域を除いて森林地域は 1992 年のそれと変化していない。しかし、農地の森林伐採の後、植林を行なっていないので、森林の退化は明らかである。森林の植林、農地の植林が行なわれているものの、多くの地域で燃料木材の供給は不十分である。

**山林：**山林地帯は過去 20 年伐採よりも退行が著しい。山林が広がっているという証拠は無い。

**低木帯：**一般に湿った石の多い土壤に限られるため開墾できない。より乾燥した南部地域、特に主要河川沿いの氾濫原では開墾が進んでいる。

**河川植生帯：**ほとんど変化無し。

**草原：**地域の北部で草原が開墾地域に変化しているが、非常に小さな地域である。

**湿地帯：**湿地帯は常に変化にさらされておりまた変化が予測される。20 年間に变化した形跡がある。これは水の浸入と退行、浸入後の植生被覆の増大によりもたらされる。

**裸地：**地域で裸地の拡大が認められるが、土壌浸食よりも湖の水位の変化によるものと考えられる。

**湖：**湖の変化は *Lake Abiyata* に限定される。この湖の水位は 2000 年から 2006 年にかけて大幅に低下した。以前の *Lake Chew Bahir* は塩湖となっており、水はほとんど無い。

土地被覆分類と土地利用についての調査結果から、過去 21 年間に大きな変化は無いと判断される。土地利用の特性上、人口が増えれば自給のために農地の生産性をあげる必要があるが、これはとても困難になっている。長く同じ土地を使い続けければ土地の生産性は悪化するという問題となる。

### 3.1.3 デジタル標高モデル

デジタル標高モデルには **SRTM**（スペースシャトル地形調査ミッション）及びアスタ-衛星画像を用いた。これらのモデルは地形コンターや **DEM** 陰影図を作成することによって調査地域の地表面の特徴をとらえるために実施した。**DEM** 陰影図はリニアメント（線形構造）や他の地形特性（火山口や火山）を同定し地質状況と地質発達史にかかる地質構造を解明するために利用した。**DEM** 陰影図を

図 3.2に、それから読み取った主要なリニアメントを図 3.3に示した。

**DEM** 陰影図は調査地域の地形特性の概要を示す。大局的に見てリフトバレー湖沼地域の地形特性から 2つの地域に区分できる。*Ziway* から *Awassa* にいたる北部地域では谷底部は西側の起伏と丘を除きほとんど平坦面である。東側では階段状の崖が谷縁辺部まで達している。北北東-南南西方向のリニアメントが卓越している。

他方、北側の地形特性では、*Lake Abaya* から *Chew Bahir* の南縁では比較的急峻な地形が卓越している。また *Abaya-Chamo* の東では連続した山岳地帯が南北から北北東-南南西方向にのびており、そのリニアメントは *Lake Awasa* まで追跡出来る。これらの北側では東北東-西南西方向のリニアメントが卓越している。

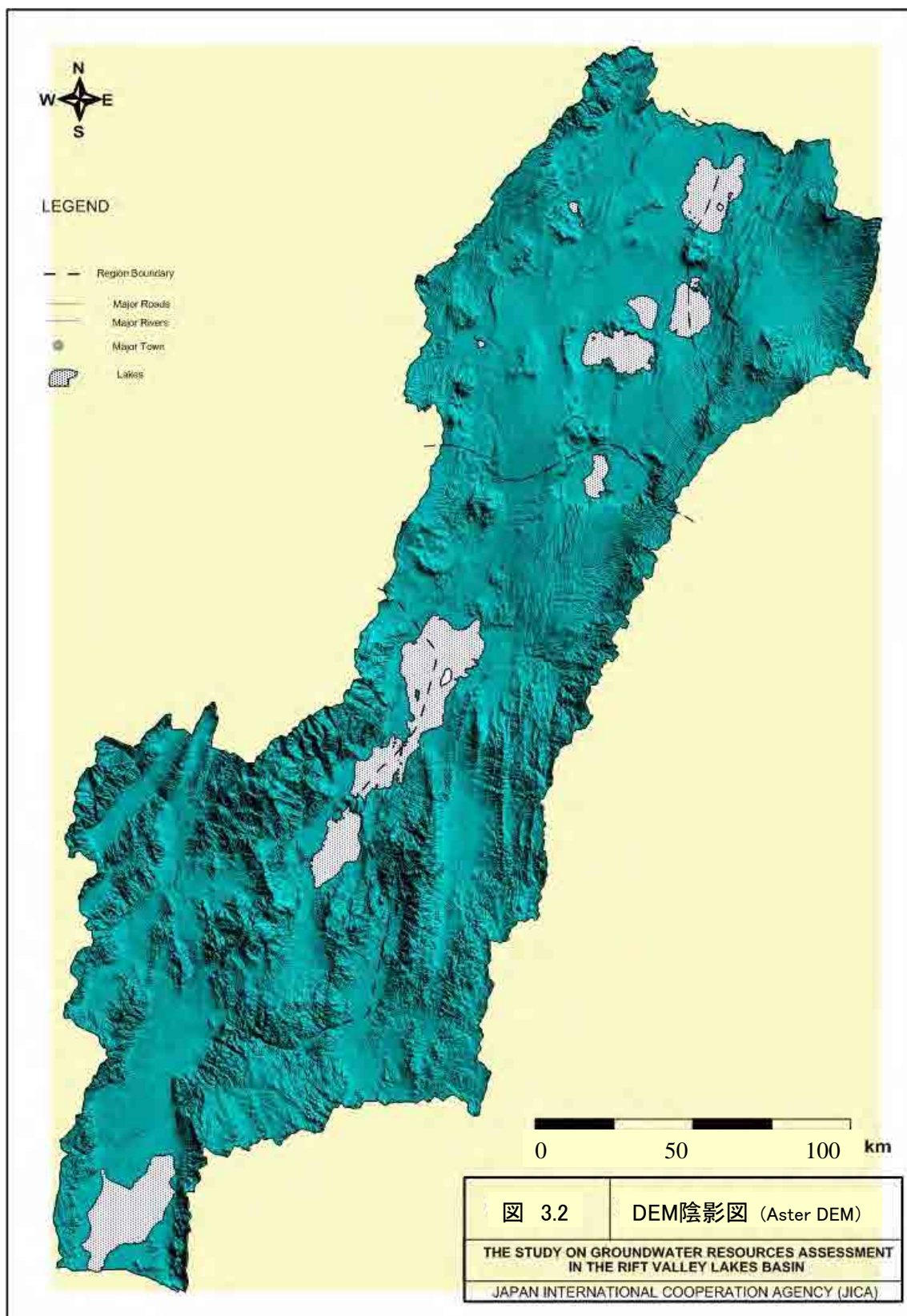


図 3.2: DEM 陰影図 (Aster DEM)

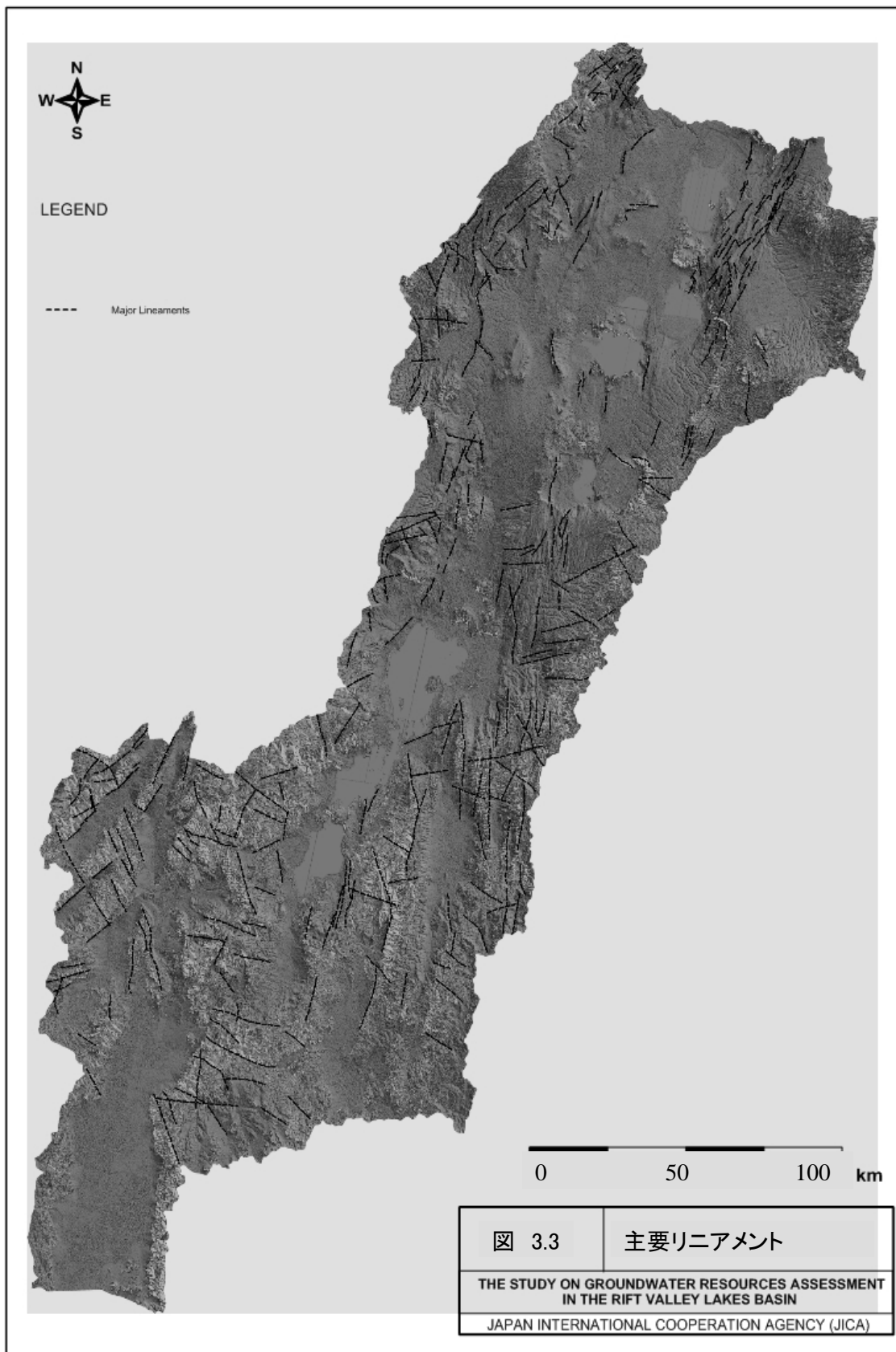


図 3.3: 主要リニアメント

本地域の構造特性はリフトバレー湖沼地域に分布する二つのリフト、エチオピアリフト (MER) と南西エチオピアリフト (SWR) の存在と関連している。MER は Afar から Lake Chamo 地域まで広がり、SWR は西側に分布し大まかに南北方向に伸びるものでケニアリフトと関連している。Gregory リフトは Chew Bahir の北でケニアリフトと接している。Halcrow 2008 ではこれらの断層系はこれらの大きな二つのリフトで説明できるとしている。

### エチオピアリフト (MER)

MER は東西方向の活発な引っ張り構造運動で特徴付けられその方向は東西方向に卓越している。MER では主要な二つの断層系が認められる:ENE 方向の断層系はリフトの縁辺部に卓越し、N-S 方向の断層系 (Wonji 断層群 WFB) は様々な形態 (S 字型、重複、右階段状、階段状) からなる断層系で間接的にリフトの底部の横断している。

MER の外縁部は広い間隔でならぶ断層系と垂直方向の大きな変位に特徴付けられる。東縁部では良く発達した連続する一連の境界断層からなり、西側では Mt. Guragie 地域に分布するいくつかの主要断層からなる。MER は中心部で幅 100km (Fonko と Lake Langanon の間) あるが、Lake Abaya 地域で細くなり N-S 方向に分布する Amaro ホルストによって二又に分かれる。これによって西側の Ganjuli 盆地と東側の Galena 低地に分断される。

リフトの底部是一群の密集した断層系に影響を受けている。これらの断層系は急傾斜を呈し WFB と密接に関連しており、その活動時期は約 1.6Ma である。これらに付随した並行断層は、リフト底部を形成する広範な変移を引き起こした。リフトの中心部分ではこれらの断層はリフトの主要方向と同じく NS 方向に卓越している。

WFB の断層系はリフト底部にも影響を及ぼし、密で、階段状、直線上、円弧状を呈して数十 km 連続して分布する。断層境界から形成された多くのブロックはこの断層系を境界としている。これらの断層に伴って垂直方向の変位を持ち、放射状、一群の円錐形状、複雑な菱形の構造を持つ開口破碎帯が発達する。

### 南西エチオピアリフト (SWR)

Gofa 盆地と Chew Bahir リフトが西部を占め、Chamo 地溝帯 (Ganjuli 地溝帯) が南部に分布する。北東-南西方向の断層が第三期の溶岩をブロックしながら南西方向に方向を変える。鋭角の断層により形成された変位は走行に沿って北部で少なくなっており、Gofa 盆地と山脈は、北緯 6 度 30 分付近からその地形的特性がなくなり、東南-南西方向の河川に覆われてしまう。北側ではこの北東-南西方向の断層は完全に Gojeb 地溝帯と同じ方向に東西方向のものに入れ替わってしまう。南側では Chew Bahir リフトは南北方向に発達する主要断層と対称的に分布する。垂直方向の変位は走行に沿って変化し South of Woyito ホルストにて西側の境界断層付近において約 200m となる。主要境界断層の方向は変化するが走行は概ね北北西である。この地域では北東-南西方向の境界断層は北北西-南南東の断層系に切られている。

## 3.2 水理地質の既存研究

### 3.2.1 概要

本調査で参照した図面、レポート及び調査研究を以下に示す。

#### 地形図

Ethiopian Mapping Authority (EMA)

Scale	1:250,000	Sheet “NC37-14”	AK’AK’ BESEK’A
		Sheet “NC37-15”	NAZRET
		Sheet “NB37-2”	HOSA’INA
		Sheet “NB37-3”	ASELA
		Sheet “NB37-5”	SAWLA
		Sheet “NB37-6”	DILA
		Sheet “NB37-9”	JINKA
		Sheet “NB37-10”	AGERE MARYAM
		Sheet “NB37-13”	IST’IFANOS HAYK
		Sheet “NB37-14”	YABELO

#### 地質図

Geological Map of Ethiopia 1:2,000,000 Scale (GSE, 1996 )

Geological Map of AGERE MAYAM “NB37-10” 1:250,000 scale (GSE, 1997)

Geological Map of SOLOLO “NA37-2” 1:250,000 scale, (GES, 1997)

Geological Map of The Ethiopian Rift 1:500,000 scale (GSE, 1981)

Maps of the central part of the rift 1:750,000 scale (Di paola, 1972 and 1976)

Geological map of northern and central parts of the Amaro Horst and adjacent regions 1:500,000 scale (Levitte, D. 1974, unpublished)

Geological map of Lake Ziway area, 1:500,000 scale (Birhane et al., 1976 unpublished)

Seife M. Berhe, 1978, Nazreth geological map 1:250,000 scale, EIGS.

Geological map of northern Lake Abaya, 1:250,000 scale (Birhane et al., 1981)

Geological map of Omo River Valley Project Area (southern half), 1: 250,000 scale (Davidson et al., 1973)

Geological map of Omo River Valley Project Aresa, 1:500,000 scale (Davidson, 1983)

Geological map of Oromiya Region, 1:1,000,000 scal (Geoder-Afred, 1999)

Geological map of Lake Ziway-Asela Region 1:50,000 scale )Bekele et al., 1990)

Geological map of northern main Ethiopia Rift 1:200,000 scale (Tsigaye et al., 2005)

Geological and surface hydrothermal alteration maps of north-western Lake Abaya area, 1:50,000 scale (Tadiwos et al ., 2002)

Geological Map of Agere Mariam Map Sheet (NB 37-10) (W/Gabriel et al., 1997)



## 水理地質図

Hydrogeological Map of Ethiopia 1:2,000,000 scale (GSE, 1988 )

Hydrogeological Map of The Lakes Region 1:250,000 scale (GES, Compiled by Tesfaye Chernet, 1982)

Hydrogeology of Nazret 1:250,000 scale (GSE(Compiled by Getahun Kebede), 1985)

Hydrogeological Map of Butajira-Ziway Area 1:150,000 scale (EWTEC, 2008)

## 文献・レポート

Abebe A., Meseret T-M., and Solomon K., 2002 Geothermal Resources Exploration in Abaya and Tulu Moye-Gedemsa Geothermal Prospects, Main Ethiopian Rift, GSE. Addis Ababa, P12-39, 2-119.

Altaye, E, Befekadu Oluma, Abiy Hunegnaw, Ketsela Tadesse, Mohhamedberhan Abdulkadir (1986): A review of geological and geophysical exploration of Corbeti geothermal prospect, Ethiopia. Proceeding of 8<sup>th</sup> NZ Geothermal Workshop, p205-211.

Bigazzi, B., Bonadonna, F.P., Di Paula, G.M. and Giuliani, A., 1993. K-Ar and Ission Track Ages of the Last Volcano Tectonic Phase in the Ethiopian Rift Valley (Tulu Moye area). In, Geology and Mineral Resources of Samelia and Surrounding Regions, 1<sup>st</sup> Agron. Oltermore (Firenze), Vol, 113, P311-322

Birhane M., Molla B., Negusie M., Paulos T-G., and Tesfaye T-M., 1981. Geological Report on Northern L.Abaya Geothermal Region, Geothermal Exploration Project, EIGS, Addis Ababa

Davidson, D. C. Rex (1980): Age of volcanism and rifting in southwestern Ethiopia. Nature Vol. 283, p657-658 (hardcopy only)

Davidson, A.et. al., 1983. The Omo River Project, Reconnaissance Geology and Geochemistry of Parts of Ilubabor, Kefa, Gemu Kefa and Sidams, Ethiopia, EIGs

Di Oaika, G.M., Seife M. Berhe and Arno, V., 1993. The Kella Horst. Its Origin and Signigicalnce in Crustal Attenuation and Magimatic Processes in the 'Ethiopian Rift Valley In: Abbata, E., Sagri, M. and Sassi, F.P. (eds.) Geology and Mineral Resources of Somalia and Surrounding Regions. Istituto Agronoica per l'obtremare, Fireze, vol. 113,P 323-338

Di Paula, M., 1990. Geological, Geothermal Report on Central Part of the Main Ethiopian Rift Valley, GSE

Di Paora M., (1972): Geology of Corbetti Caldera Area. Bulletin of Volcanology Vol. 35, p497-506.

Ebinger, C.J., Yemane, T., W/Gabriel, G., Aronson,J.L, and Walter, R.C., 1992. Late Eocene-Recent Volcanism and Faulting in the Southern Main Ethiopian Rift, Jour. Of the Geol. Society of London, v.150, p99-108.

Ebinger, C.J. and Casey. M., 2001. Continental Break Up in Magmatic Provinces. An Ethiopian Example, Geology, V.29, P527-530, doi: 10.1130/0091-7613 (2001) 0292.0.co;2.

EIG-UND, 1973. Geology, Geochemistry and Hydrology of that Springs of the East African Rift System within Ethiopia, UN report, New York

Electro Consult, Geothermic Italiana, 1987. Geothermal Reconnaissance Study in the Selected Sites in the Ethiopian Rift System. EIGS lib No. 840-051-40-I Geological Report. ELC, Milano, Italy-Geothermal Italiana, Pisa, Italy.

Grove, A.T, F. Alayne Street, A. S. Goudie (1975) Former lake levels and climatic change in The Rift Valley of southern Ethiopia. The Geographical Journal, Vol. 141-2, p177-194

Katoh/Shigehiro, Shinji Nagaoka, Giday WoldeGabriel, Paul Renne, Mjorie G. Snow, Yonas Berene, Gen Suwa (2000): Chronostratigraphy and correlation of the Plio-Pleistocene tephra layers of the Konso Formation, southern Main Ethiopian Rift, Ethiopia. Quaternary Sciences Reviews Vol. 19, p1305-1317

Kazmin, V. and Seife M.Berhe, 1978. Geology and Development of the Nazareth Area, Northern Ethiopian Rift, EIGs.

Levitte, D., Colomba, J, and Mohr, P. 1974. Reconnaissance Geology of the Amaro Horst, Southern Ethiopia Rift

Le Tuldu/C, Jean-Jacques Tiercelin, Elisabeth Gibert, Yves Travi, Kiram-Eddine Lezzar, Jean-Paul Richert, Marc Massault, Françoise Gasse, Raymonde Bonnefille, Michiel Decobert, Bernard Gensous, Vincent Jeudy, Endale Tamrat, Mohammed Umer Mohammed, Koen Martens, Balemwal Atnafu, Tesfaye Chernet, David Williamson, Maurice Taieb (1999) : The Ziway-Shala Lake basin system, Main Ethiopian Rift : Influence of volcanism, tectonics and climatic forcing on basing formation and sedimentation. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology Vol. 150, p135-177.

Mengesha Teferra, Tadiwos Chernet and Workneh Haro, 1996 Explanatory Note for the Geol. Map of Ethiopia (2<sup>nd</sup> edi) Ball, No. 3, EIGS, Addis Ababa, Ethiopia.

Mohr, P.A., J. G. Mitchell, R. G. H. Reynolds (1980): Quaternary Volcanism and Faulting at O'A Caldera, Central Ethiopia Rift. Bulletin of Volcanology Vol. 43-1, p173-189.

Mohr, P.A., 1987. Patterns of Faulting in the Ethiopian Rift Valley. Tectonophysics, V.143, P 169-179, doi 10-1016/0040-1951 (87) 90086-2

Mohr, P.A., 1967. The Ethiopian Rift System. Bulletin of the Geophysical Observatory, Vol.71,P1-65, Addis Ababa.

Mohr, P.A., 1962. The Ethiopian Rift System. Bulls of the Geophysical Observatory, Addis Ababa, Vol.3, P33-62

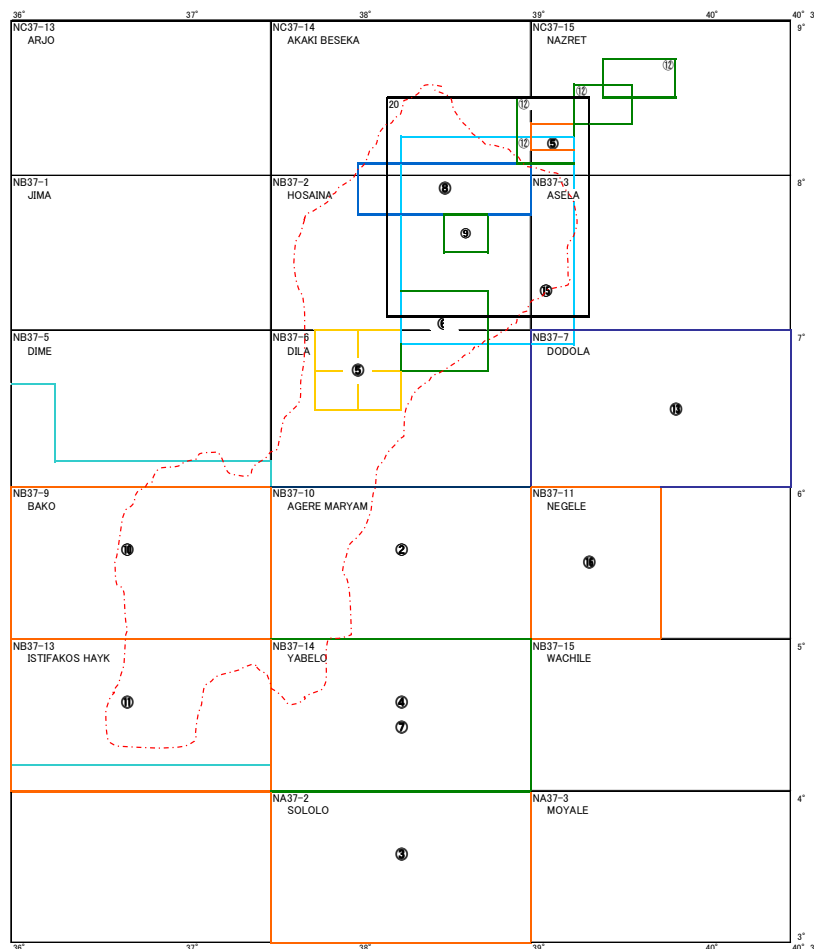
Robert L. Laury, Claude C. Albritton Jr. (1999): Geology of Middle Stone Age archeological sites in the Main Ethiopian Rift Valley. Geological Society of America

Stephan Thiemann, Gerd Forch (2004): Water Resources assessment in the Birate River catchment – Precipitation Variability -. Lake Abaya Research Symposium 2004 Proceedings, p73-78.

Tadiwos Chernet and Solomon Kebede, 1999. Geological and Surface Hydrothermal Alteration Mapping of NW DL. Abaya, at 1:50,000 scale, GSE, Geothermal Division, Internal report.

Tamiru A. Abiye (2008): Environmental resources and recent impacts in the Awassa collapsed caldera, Main Ethiopian Rift. Quaternary International Vol. 189, p152-162

- Tesfaye Abebe, 1987. Geological and Petrochemical Study of Tulu Moye and Gedemsa Geothermal Project, Pisa, Italy.
- Tesfaye Mamo, 2000. Report on the Geology and Surface Hydrothermal Alteration Around Tulu Moye Gedemsa Area for Siting Temperature Gradient Holes, GSE Geothermal Division, Internal Report.
- W/Gabriel G., J.L. and Walter, R.c., 1990 Geology, Geochronology and Rift Basin Development in the Central Sector of the Main Ethiopian Rift: Geol. Society of America, Bull.,V.102, P439-458, doi: 10.1130 /0016-7606 (1990) 1022.3-coj2
- W/Gabriel, G., Gesfay, Y., White, T., Asfaw, B.and Suwas G, 1991. Age of Volcanism and Fossils in the Buji=Soyoma Area, Amaro Horst, Southern Main Ethiopian Rift Journal of African Earth Sciences, V.13, P437-447, doi: 10.1016/0899-5362 (91) 90107-A.
- W/Gabriel, G., Aronson, J.c., Walter, R.C. and Hart W.K., 1992. Geochronology and Distribution of Silicic Volcanic Rocks of Plio-Pleistocene Age from the Central Sector of the Main Ethiopian Rift Quaternary International, V.13-14, P69-76, doi 10-1016/1040-6182 (92) 90011-9
- W/Gabriel, G., Nasir H., and Tesfaye Y., 1994. Geology of the Agere Mariam Area. Addis Ababa, Ethiopian Institute of Geological Surveys, Memoir No. 8.
- W/Gabriel, G., Walter, R.C. and Hart, W.K., Mertzman, S.A. and Aronson, J.L., 1999. Temporal relations and Geochemical & Feature of Felsic Volcanism in the Central Sector of the Main Ethiopian Rift Acta vulcanologica, V.11, P53-67.
- W/Gabriel G, Grant Heiken, Tim D. White, Berhane Asfaw, William K. Hart, Paul R. Renne (2000): Volcanism, tectonism, sedimentation, and the paleoanthropological record in the Ethiopian Rift System. Geological Society of America Special paper 345, p83-99.



①	821-401-02	Compiled by A.DAVIDOSON, 1983, GSE THE OMO RIVER PROJECT Reconnaissance Geology and Geochemistry of Parts of Ilubabor, Kefa, Gemu Gofa, and Sidamo	scale = 1: 500,000
②	821-701-59	Compiled by WOLDEGABRIEL GENZEBU, NASIR HASSEN & TESFAYE YEMANE, 1994 GEOLOGY OF THE AGERE MARYAM AREA	scale = 1: 250,000
③	821-701-75	Compiled by Solomon Gerra and Amenti Abraham, 1999, GSE GEOLOGY OF THE SOLOLO AREA	scale = 1: 250,000
④	821-701-91	Compiled by Hailemeskel Awoke and Fekadu Hailu, 2007, GSE The Geology of Yabelo Map Sheet (NC37-14)	scale = 1: 250,000
⑤	860-051-28	Compiled by Abebe Ayele, Meseret teklemarian and Solomon Kebede, 2002, GSE Geothermal resource Exploration in Abaya and Tulu Meye Gedemisa geothermal Prospects, Main Ethiopian Rift	scale = 1: 50,000 & 1:20,000 (Sarea)
⑥	880-701-15	Tadesse Dessie, Zenaw Tessema, 2003 Hydrogeology and Engineering Geology of Awassa Lake Catchment	scale = 1: 75,000 (Geo. & Eng. Map)
⑦	880-701-13	Yohannes Belete, Bekele Abaire, Bayesa Asfaw, Moges Tigabe, Degefe Shiferaw, Melese Belachew, Nigatu Adege(Dr), Alemay Hydrogeological, geophysical and engineering Geological Investigation of Yabelo Sheet (NB37-14)	scale = 1: 250,000 (Hydro. & Eng.)
⑧	-	EWTEC, 2008 Butajira-Ziway Area Development Study Project, Hydrological Map	Hydrological Map scale = 1: 150,000
⑨	860-451-17	elc electroconsult milano Itaria(1986) Ministry of mines and energy Geothermal exploration project ethiopian lakes district rift, exploitation of langano-aluto geothermal resources feasibility repo	Report (CD2)
⑩	880-401-02	Niri Sika, (1987) Hydrogeology and hydrochemistry of the Bako and Ist'Ifamos Hayk' area NB37-9 and NB37-13	
⑪	880-701-12	Yohannes Belete, Bayesa Asfaw, Muhedin Abdela, Dinku Belay, 2000, GSE Hydrogeological and Engineering Geological Investigation of Chew Bahir Sheet (NB37-13)	scale = 1: 250,000 (Hydro. & Eng.)
⑫	860-051-44	elc electroconsult, geptermica, (1987) Ministry of mines and energy geothermal reconnaissance study of selected sites of the ethiopian rift system geological report	scale = 1: 50,000
⑬	821-751-051	(No detail Info), 1997, GSE Geology of the DODOLA AREA	scale = 1: 250,000
⑭	880-051-29	W. George Darling, Berhahu Gizaw and Musa K. Aruset, (1996) Lake groundwater relationships and fluid-rock interaction in the East African Rift Vallay	
⑮	880-051-16	Tesfaye Charnet, 1982 Hydrogeology of the Lakes Region, Ethiopia (Lakes Ziway, Langano, Abiyata, Shalla and Awassa)	
⑯	912-701-05	Tadesse Yihume, 2003 Chemical Th-U-total Pb isochronage of zircon and monazite from granitic rocks of the Negele area, southern Ethiopia	
⑰	860-051-09	Befekadu Oluma, Abiy Hunegnaw, Ketsela tadesse and Mohammedberham Abdulkadir, 1986 Geothermal Exploration Project Lakes District	
⑱	860-051-15	Mohammedberham Abdulkadir, 1992 Interpretation of schulumberger Soundings and Head-on Profiling	
⑲	880-051-23	Continental Consultants, 2002 Ethiopian Guidline Specification for Drinking Water Quality	
20	-	N. Dainelli, M. Benvenuti, M. Sagri, 2001 (Department of Earth Sciences, University of Florence, Italy) Geological Map of the Ziway - Shala Lakes Basin	

図 3.4: 地質図作成に用いた文献

### 3.2.2 既存研究の概説

収集したデータ、レポート及び調査研究はその大部分がリフトバレー湖沼地域の様々な地質学的研究に関するものである。これらの資料は主に GSE、AAU 及び MoWE で収集した。地域の水理地質学的研究に関しては、主に 2 つの重要な研究を参照した。それぞれのプロジェクトの概説を以下に示す。

#### Halcrow 2008

先に記載した通り、“Rift Valley Lakes Basin Integrated Resources Development Master Plan Study Project, June 2008, Halcrow Group Limited and Generation Integrated Rural Development Consultants, Ministry of Water Resources, The Federal Democratic Republic of Ethiopia” を Halcrow 2008 として引用している。

Halcrow 2008 はリフトバレー湖沼地域の地質及び水理地質的状况を研究した最も最新の研究である。このレポートは既に地質図及び水理地質的考察を含む大多数の過去の研究を集大成しており、このレポートを参照すれば必然的に過去の膨大な調査研究の状況を把握することになる。

このレポートに引用された地質図は GES が作成した標準 1:250,000 スケールの地質図とその他（大部分は AAU）の出版されていない図面類をとりまとめたものである。引用しているレポートやプロジェクトは以下の通りである。

#### オロモ川プロジェクト地域：

エチオピア政府とカナダ政府の政府間援助協定にもとづいて実施されたもので、両国のチームによって 1972 年から 1974 年にかけて Omoro River Valley 地域にて地質図作成、地質化学図作成及び地質化学探査が行なわれた。調査対象範囲は約 81,000km<sup>2</sup> である。地質図を作成した地域は Chew Bahir 地域の最も西南端で、比較的小さなエリアである。

#### Agere Mariyam 図副 (NB 37-10) and Yabelo 図副 ((NB 37-14):

1986 年から 1989 年 (Agere Mariyam) 及び 1999 年から 2000 年 (Yabelo) に GSE によって作成された 1:250,000 スケールの地質図。1:250,000 スケールの地質図は出版されたが (W/Gabriel et al., 1976)、付随するレポートは添付されなかった (W/Gabriel et al., 1974)。

#### その他の地質図：

地熱プロジェクトの探査チームは未出版ではあるが Lake Abaya 地域の 1:250,000 スケールの地質図 (Birhane et al., 1981)、Lale Abaya 地域の 1:500,000 スケールの地質図 (Birhane et al., 1976) 及び Amoro Horst の中央部と北側及びその周辺地域の 1:500,000 スケールの地質図 (Levitte, 1974) を作成した。

また、地熱探査チームは Lake Abaya の北西、約 3,000km<sup>2</sup> をカバーする地域で 1:50,000 スケールの詳細地質図と地表熱水変質図 (Tadiwos et al., 2002) を作成した。更に最近になって Tsegaye et al., (2005) は 1:200,000 スケールの Ziway 地域の地質図と付随レポートを出版した。

#### ENGWIS

このプロジェクトは水セクターにかかるデータマネジメントシステムを水エネルギー

省（MoWE）、GSE 及び州水局（RWB）にて構築するもので、UNICEF が予算を提供した。プロジェクトの実施期間は 2009 年 6 月から 2010 年 3 月までである。

このプロジェクトは中央政府によるウェブベースの情報システム構築を焦点に、中央政府、地方政府へのデータ収集、まとめ及び利用のトレーニングを行なうものである。

このプロジェクトではレポートは作成されていないが、地下水にかかる様々なソースからのデータを収集しとりまとめている。このプロジェクトはエチオピア全土を対象にしたものであるが、本調査ではリフトバレー湖沼地域の最新情報が含まれている。

このプロジェクトではこのデータベースから調査地域のデータを使用した。すべてのデータが電子化されたわけでは無いが、このデータセットには、井戸位置、湧水量、地下水水位、帯水層情報や水質などの情報が含まれている。

#### その他の情報

1960 年代から 1970 年代にかけてフランス、イタリア、西ドイツの地球科学チームがリフトの構造と火山活動に関する膨大な研究を行なっている。これらの研究では岩石学と地質構造に関する詳細な記載がなされている。

本調査の重要な目的の一つに火山活動における地質層序の対比とその層序の連続性と分布を把握することがあげられる。これらの詳細な地質学的まとめについては第三章に記載する。

### 3.3 サブベースンの特徴

本地域の水系は基本的にすべてリフトバレー中央部に多数分布する湖に流入している。したがってサブベースン区分では、必然的に湖を中心とした水系ならびに流域を考慮することとなる。地域には Ziway, Langano, Abijata, Shalla, Awassa, Abaya, Chomo 及び Chew Bahir（現在はほとんど水量無し）の主要湖（面積 100km<sup>2</sup> 以上）が分布する。それら湖の形成環境（主に沖積層）と流入湖群から、Ziway, Langano, Abijata, Shalla 流域、Awassa 流域、Abaya, Chomo 及び Chew Bahir の各主要流域に分類される。この区分は河川流入系と終端及び地域地質などの背景をもとに区分したもので合理的であること、本地域の流域区分のスタンダードとなっていることから、本レポートでもこの主要流域区分を採用する。さらに主要流域をサブベースンに区分した。その方法について以下に記載を行なう。

#### 3.3.1 サブベースンの分類

前述したとおり、当該地域は大きく分けて次の 4 つの主要流域に区分される。

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

これらの流域はそれぞれ独立した水文学的集水域である。この主要流域区分では地質毎、地域ごとの水理地質特性を把握するためには極めて大雑把であることから、さらにサブベースンに区分する。図 3.5 にリフトバレー湖沼地域の主要湖を通る断面図を示す。

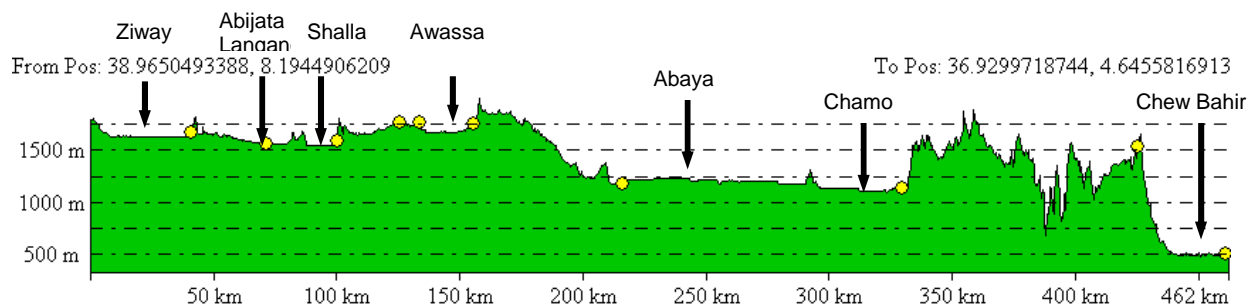


図 3.5: 主要湖横断面図(主要湖の高度)

河川の流入終端、及び流入河川の特徴から各流域を以下の通り細分した。

**a. Ziway-Shala 流域**

この流域では基本的には流入する湖によってサブベーズンを区分した。Ziway 湖への流入は主に東側の流入 (Eastern Ziway) と西側の流入に分けられる。西側の流入域は Abijata 湖への流入域と明確な区分が出来ないため Ziway-Abijata サブベーズンとして一括した。Langano 湖への流入は同一の河川系で統一することができるので、Langano サブベーズン、さらに Shalla 湖へは西部、東部からの流入があり合わせて Shalla サブベーズンとした。

**b. Awassa流域**

Awassa 流域は Awassa 湖を中心として完全に閉じた流域を持つことから単独で Awassa サブベーズンとした。東側はリフトバレー東壁から西に流下する小河川群からなり、Humo から Abaye にかけての火成岩からなる小丘によってせき止められている。単純に標高から見れば Awassa 湖からの地下水の流出で Shalla 湖や Abaya 湖とも水理的なつながりがある可能性が高いが、湖間のインターアクションは十分に理解されていない。

**c. Abaya-Chamo流域**

Abaya 湖はリフトバレー湖沼地域で最大の湖であり、多くの河川が流入している。この流域でのサブベーズンは、主に流入する主要河川の流域をサブベーズンとして区分した。すなわち、ピラテ川 (Bilate サブベーズン)、Gidabo 川 (Gidabo サブベーズン)、Gelena 川 (Gelena サブベーズン)、Amessa、Guraccha 川 (Amessa Guracha サブベーズン)、Kulfo、Gina 川 (Kulfo Gina サブベーズン) である。尚 Chamo 湖と Abaya 湖の関係については、インターアクションがあるという説と、両者は独立した水系であるという説がある。Chamo 湖へ流入する流域は Sife、Chamo のみであり、これを Sife-Chamo サブベーズンとする。

**d. Chew Bahir流域**

最南部の3つの流域を一括して Chew Bahir 流域としてまとめた。この地域は Chew Bahir 湖に至る2つの大きな河川の流域である。Segen 川は Chamo 湖と Abaya 湖の東部に源を発生し Soyema Yeterara Senselet と呼ばれる山脈の西を流下する Haru Shet 川から南部で Segen 川に合流する流域を Segen サブベーズンとする。また Chamo 湖南部の Segen 合流

する小河川の集合域を Konso Localized、Weyto 川流域を Bezo Weyto サブベースンとした。

表 3.2に主要流域とサブベースンの区分を、

図 3.6にサブベースン区分図を示す。

表 3.2: 主要流域とサブベースン

No	Large Scale Classification	No	Sub Basins	Total Area (km <sup>2</sup> )
1	Ziway-Shalla	1	Western Ziway-Abijata	4398
		2	Eastern Ziway	3434
		3	Lake Shalla	3762
		4	Lake Langano	1807
2	Awassa	5	Lake Awassa	1201
3	Abaya-Chamo	6	Bilate	5419
		7	Amessa Guracha	1125
		8	Gidabo	3491
		9	Kulfo Gina	1302
		10	Sife Chamo	1436
		11	Galana	3856
4	Chew Bahir	12	Bezo Weyto	12143
		13	Konso Localized	1685
		14	Segen	5230



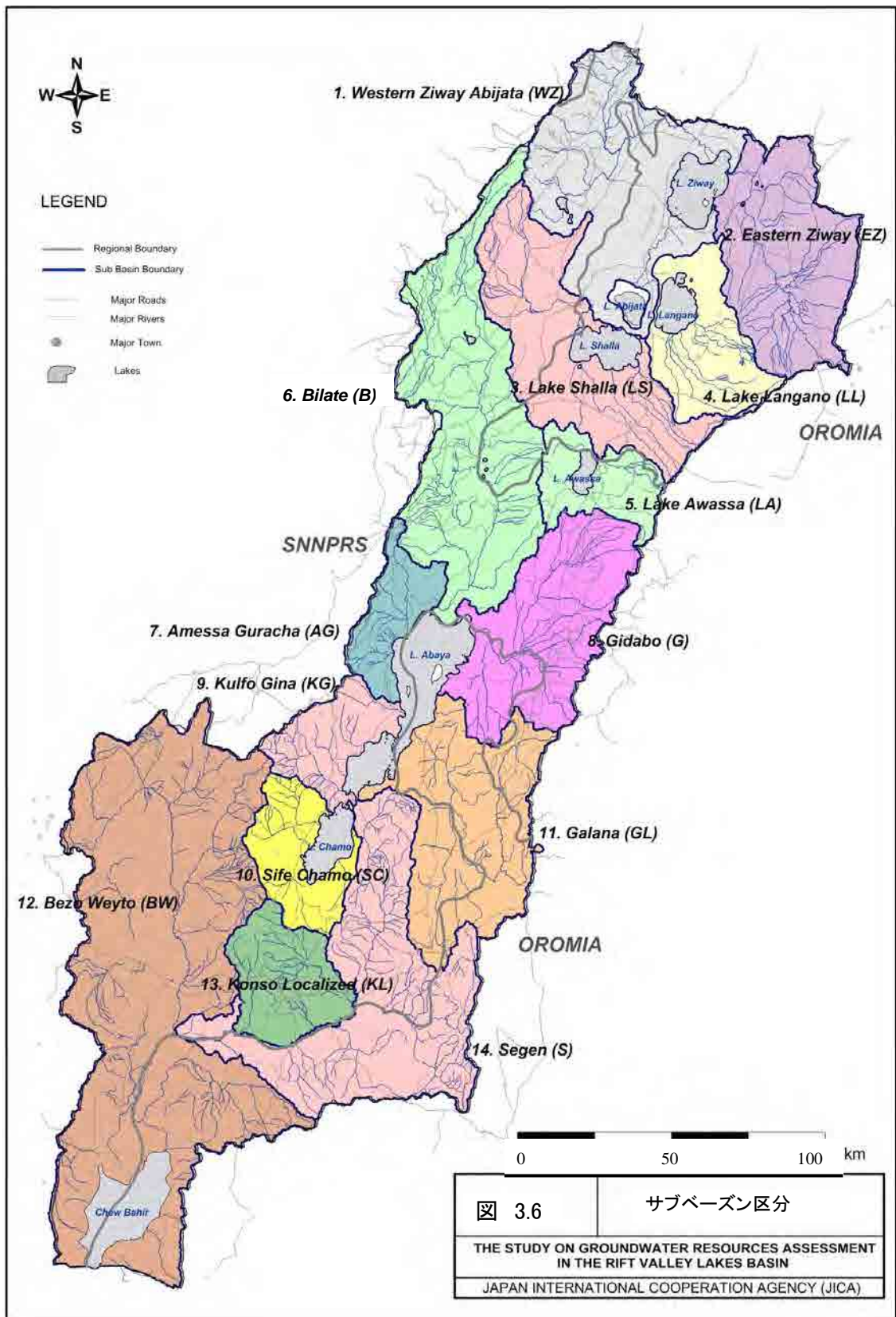


図 3.6: サブベースン区分

### 3.3.2 サブベースンの地形と水系

各サブベースンの地形・水系の特性を表 3.3に、サブベースンと陰影図を図 3.7に示す。

表 3.3: サブベースン毎の地形・水系特性

No	主要流域	No	Sub Basins	地形特性	主要水系	面積 (km <sup>2</sup> )
1	Ziway-Shalla	1	Western Ziway-Abijata	西部はカルデラ壁と直立した崖からなり、なだらかな丘陵地へ至る。プタジラ東側から Ziway-Abiyata 湖にかけては平坦面を形成。	主要河川は Meki 川で Ziway 湖に流入する河道は地形の影響を強く受け、西で南北、東で東西方向の流路となる。Abijata 湖付近では流入河川は認められない	4398
		2	Eastern Ziway	標高約 4000m の Galema 山脈からすり鉢状の山麓を経、断層崖から Ziway 平坦面に至る。河川勾配は比較的傾斜あり。	山脈から枝上に伸びた小河川系が幾重にも発達して Ketar 川に集積される。流路は西北西-東南東方向。	3434
		3	Lake Shalla	北西-南東方向に伸び、東西縁辺部で急崖を認める。Shalla 湖周辺は平坦面、火山コーン点在。	主要な湖への流入河川は認められない。小さな非定常河川が数条、北西-南東方向に発達する。	3762
		4	Lake Langano	標高 4000m 級の Kaka 山、Kubsa 山から落差 100m 近い断層崖を経て Langano 湖に至る。	主要な湖への流入河川は認められない。小さな非定常河川が数条、北西-南東方向に発達する。	1807
2	Awassa	5	Lake Awassa	東部に 2500m 以上の崖があり、Awassa 湖面までの落差 600m。Humo 山に連なる一連の丘陵地が堰堤状に Awassa 湖を囲む。	小河川系が東西方向に発達する。Awassa 湖の東部では 100km <sup>2</sup> を越すスワンプが認められる。	1201
3	Abaya-Chamo	6	Bilate	なだらかなピラテ川沿いの平坦面。西部に断層崖、火山コーンが認められる。	流路 3km 以上で調査地内では最も長いピラテ川が主要水系であり、Abaya 湖に流入する。	5419
		7	Amessa Guracha	標高 2500m 前後の丘陵地に囲まれた流域で、Abaya 湖の北端部で広大な平野を形成する。	すりばち状の斜面のあらゆる方向から、Amessa, Guracha 川に合流し Abaya 湖に至る。	1125
		8	Gidabo	東壁は 300m 級の断層崖からなる。ほぼ丘陵地から構成されるが、Abaya 湖付近で平野となる。	主要河川は Gidabo 川で、多くの小河川を集めて南北方向に流下、湖付近で東方向となる。	3491
		9	Kulfo Gina	3000m 級の山脈が連なり平坦面はほとんど認められない。	北東-南西方向の谷が発達する。主要河川は Kufffo 川	1302
		10	Sife Chamo	Chamo 湖を取り巻く様に山嶺が発達する。	主要な河川は Chamo 南部、西部山麓から流下する。	1436
		11	Galana	南北方向に明瞭な構造線が発達する。Furfursa, Haro 稜線間に広い谷状部が存在。	Furfursa, Haro 稜線間をほぼ南北から北西方向に流下する Galana 川が主体。	3856
4	Chew Bahir	12	Bezo Weyto	南北に強い構造線が認められる。東西に断層崖発達。	主要河川は Weyto 川で流路は 200km 以上。北方向に流下	1214 3
		13	Konso Localized	ほぼ南北に山塊が認められる。丘陵地帯。	短い支流が多数発達する。Segen 川に合流する。	1685
		14	Segen	構造性の山稜の間に細い谷地形が発達する。	東西方向に流下する Segen 川が主要河川である。	5230

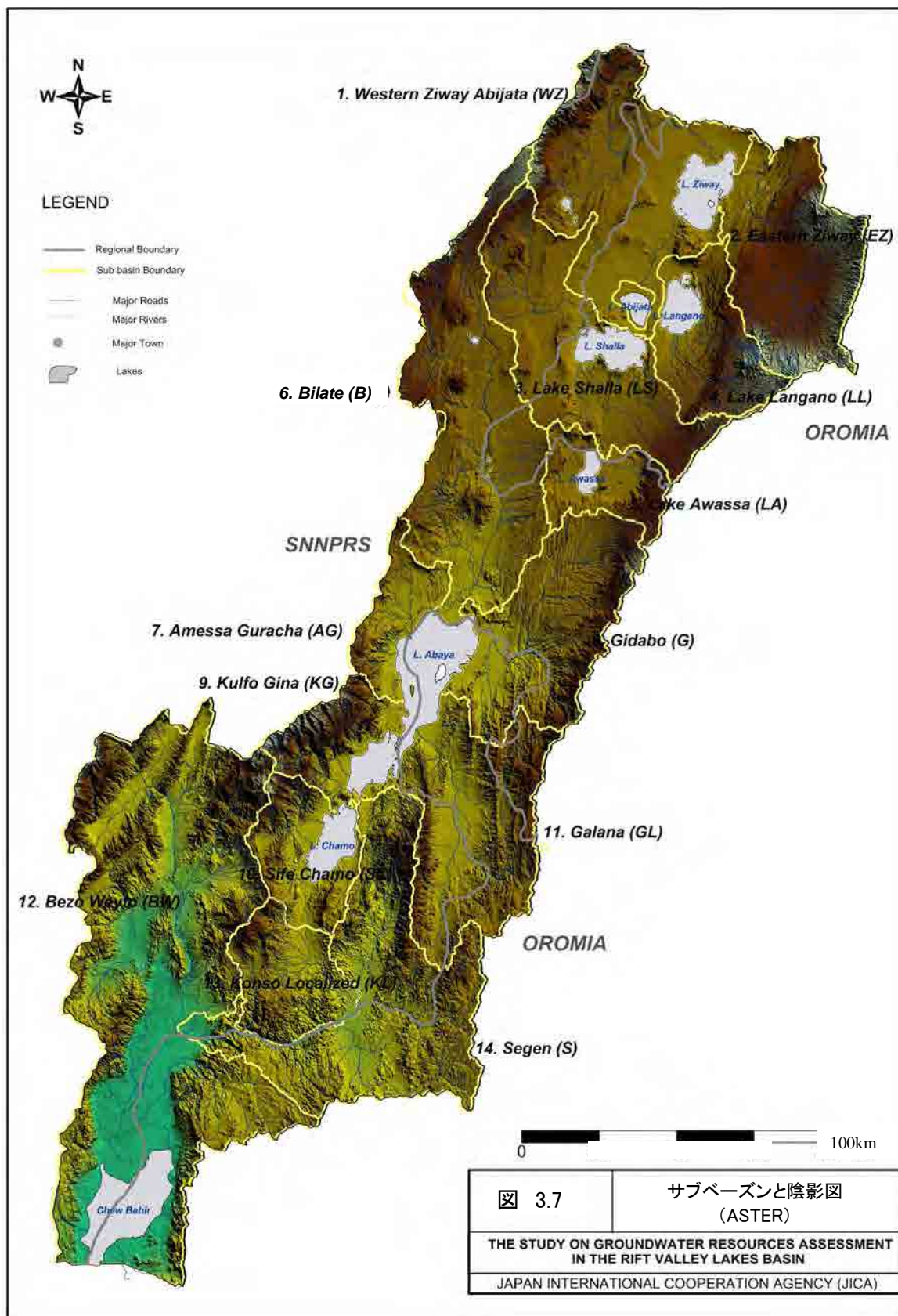


図 3.7: サブベースンと陰影図(Aster)

### 3.4 水理地質データの収集と現地データ

ITR 作成段階ではプロGRESSレポート2のデータを踏襲し、その後最終的にはオロミア州にて収集したデータを加味したデータを基に解析を行った。データの内容は Halcrow 2008、ENGWIS 及びオロミア、南部諸民族州から集積したデータである。これらのデータには先レポートに述べたごとく以下のとおりの問題点が認められた。

- 1) 重複データが多く、それぞれのデータコラムに異なる表記が認められる。
- 2) 座標と井戸番号のみ、といったほとんど参考にならないデータが多数存在
- 3) 水理特性を把握するためのデータ数は非常に少ない。
- 4) データにおけるパラメータの単位が不明瞭
- 5) 帯水層の性状を知るための地質柱状図や帯水層の地質が不明

このような問題が散見されたため、プロGRESSレポート 2 の段階で既存データベースを全面的に見直すとともに、南部州・オロミア州においてワレダレベル、NGO、井戸業者などが保有しているデータを収集した。その際、以下のデータを重視して収集した

- 1) ボーリング位置の座標があるもの（一部のものは現地にて測定）
- 2) 帯水層の地質特性がわかるもの
- 3) 帯水層の層厚またはスクリーンに位置がわかるもの
- 4) 湧水量他帯水層常数の記載があるもの（最低限湧出量 Q の記載のあるもの）

収集したレポート（電子ファイルはほとんど入手不能）はデータの欠損や座標が無いものが多く、これらの地点はワレダの協力を得て実際に現地に赴き GPS で測定した。また、既存データベースには含まれていなかった JICA 南部諸民族州無償資金協力の掘削井戸のデータも加えた。ただし、湧泉にかかるデータは引続き以前のデータを利用した。こうして集められたデータを本レポートで使用した。スクリーニングをすることによって、最終的にはボーリング合計 324 本（新規掘削井戸 7 本含む）、湧泉計 445 本であり、そのソースは表 3.4に示す通りである。

表 3.4: 利用データ総数

No	データソース	データ総数（水源データ・2011年6月現在）			
		BH(PR1)	BH(PR2)	BH(ITR)	Spring
1	Halcrow、ENGWIS、州水局	2,406	239	221	445
2	2011年調査（各州水局、ワレダ、NGO、井戸業者等）	-	103	103	-
	合計	2,406	342	324	445

### 3.4.1 既存井戸データ

プロGRESSレポート 1 号時に比較すれば、対象とする既存井戸の総数は大幅に減少したが、より正確な情報をもとに解析を行なうことができた。図 3.8に既存井戸の分布を示した。この図から明らかな通り、大部分の水理地質情報を含むデータは、Western Ziyay-Abijata、Bilate、Gidabo、Galena の各サブベースンに集中している。他の地域では数本から十数本のデータしか認められない。特にオロミア州では水理情報を含む井戸データがほとんど皆無であることが判明した。その後、オロミア州のデータを収集したものの有意のデータを含む井戸データ数は少ない。この理由はオロミア州と南部諸民族州の境界が未だに未確定であり、過去に何度も変更されたこと、及び WOO（ワレダ水オフィス）の管轄地域が絶えず入れ替わったことにより、井戸データレポートが紛失されたことによる。収集した情報数は ENGWIS や Halcrow, 2008 のものに比較して圧倒的に少ないものの、有用なデータ数は特定の地域では比較的充実しており以下のとおりとなった。（表 3.5参照）

表 3.5: 井戸データベース中の重要な水理パラメータの総数

パラメータ	情報の総数	
	最終利用データ	PR2 作成時
湧出量	319	650
透水量係数	41	49
帯水層種類	303	316

### 3.4.2 湧泉データ

湧泉データの総数は 445 ヶ所である。このデータも水理パラメータ（湧水量）のデータがあるものに限定した。更に調査地域に限定し、調査地外のものについては PR1 作成時のデータ総数 2,207 より大幅に減少した。このデータについても井戸情報と同じくオロミア州のものが極端に少なくなっている。図 3.9にその分布を示す。

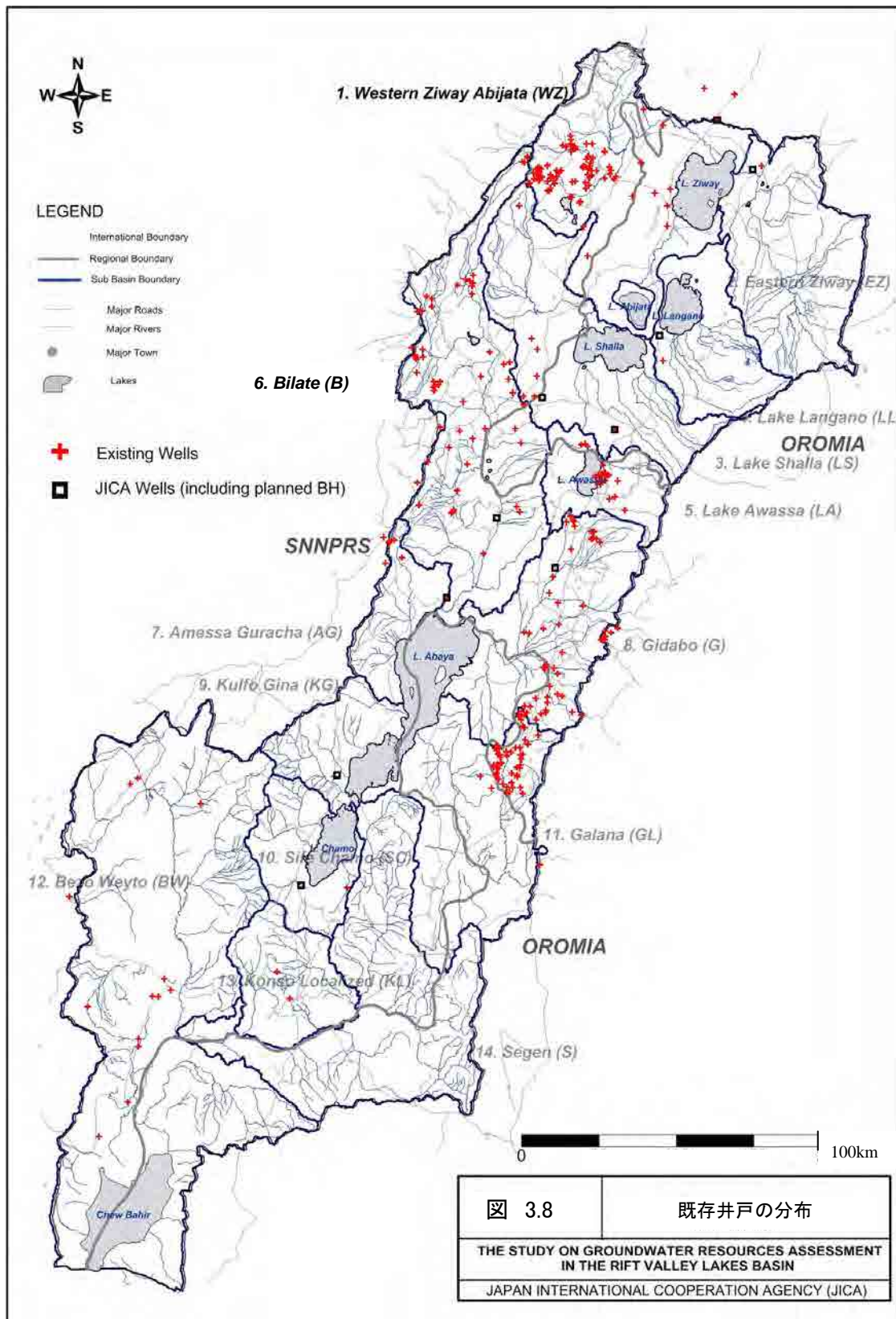


図 3.8: 既存井戸の分布

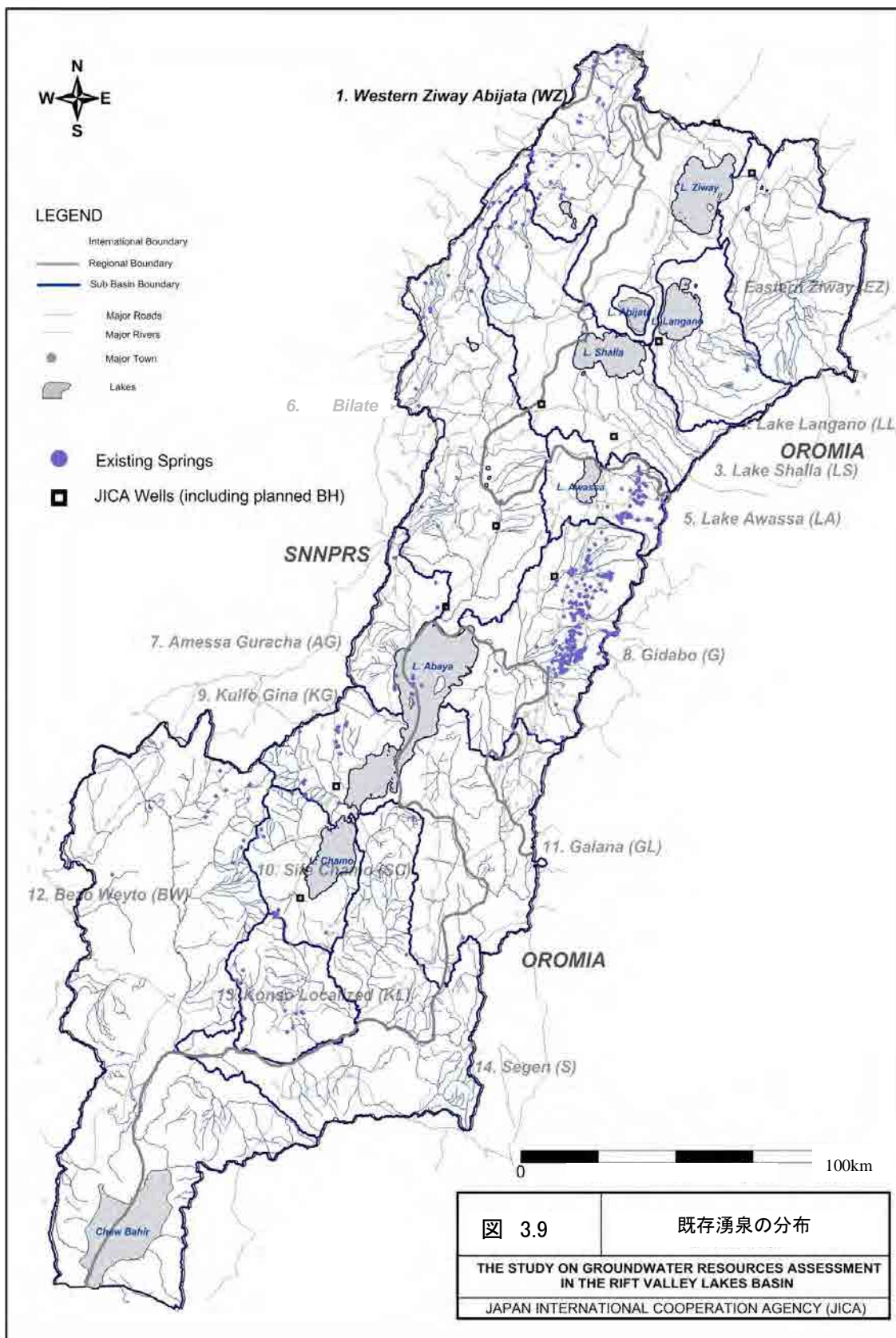


図 3.9: 既存湧泉の分布

### 3.5 表流水のポテンシャル

本調査では基本的には水源開発対象を地下水に絞っており、河川水、湖水に代表される地表水については、調査の対象としていない。その主な理由としては、衛生的で持続可能な水源として適切では無いからである。この章では、河川水と湖水に関する飲用水源としての可否について、既存文献を参考として考察する。

#### 3.5.1 河川水

調査地域の河川のほとんどが、季節河川であり、かつ少数の河川も乾期には著しく水量が減少することから、水の安定供給という面で問題点があると同時に、河川は多くの周辺住民によって無秩序に使用されており、衛生面からも飲料水源としては問題がある。

表 3.6に調査地域の主要河川の月別平均最低・最大流量を示す。Katar、Bilate、Kuflo、Weyto の各河川以外は乾期の流量はほぼ  $2\text{m}^3/\text{s}$  以下である。従ってたとえインフィльтраーション・ギャラリーなどの施設を作り、河川水のインテークを行なったとしても、年間を通じた安定的な飲料水供給は不可能である。

表 3.6: 主要河川の最小・最大流量(月平均)

River Name	Measureing Location	LowFlows( $\text{m}^3/\text{s}$ )		HighFlows( $\text{m}^3/\text{s}$ )	
		Month	Mean	Month	Mean
Ziway-Abiyata-Langano Sub-catchment					
Katar	Abura	January	2.152	August	51.812
Meki	MekiVillage	December	0.781	August	30.661
Bulbula	AdamiTulu	June	1.246	October	16.735
Bulbula	Bulbula	May	1.095	September	9.815
Horakello	Langano	April	0.292	October	4.035
Debada	Kuyera	January	0.113	September	3.660
Awasa Sub-catchment					
Wesha	WendoGenet	January	0.480	October	0.866
TikurWiha	DatoVillage	March	1.640	October	5.327
Abaya-Chamo Sub-catchment					
Bilate	Bilaten	January	2.699	September	43.455
Kola	AletaWondo	February	0.555	August	5.696
Gibado	Tore	March	1.110	May	7.932
Gelana	Getem	February	1.033	October	14.037
Hamassa	Wajifo	January	0.503	August	9.057
Hare	ArbaMinch	February	0.796	May	4.085
Kulfo	ArbaMinch	January	1.441	September	7.815
Kulfo	Outlet	February	3.433	May	7.695
Weyto	WeytoBridge	February	7.881	May	23.170

Rift Valley Lakes Basin Integrated Resources Development Master Plan Study Project Phase 1 Final report (June 2008, Ministry of Water Resources, Halcrow, GIRD Consultants)



主要河川の水質分析結果を表 3.7に示す。また、主要分析項目のエチオピア飲料水基準及びWHO基準を表 3.8に示す。いずれの河川も乾期には一部の項目が濃縮して高くなる傾向を示すが、雨季（8月）の結果は飲料水源として問題の無いレベルとなっている。しかし、濁度（Turbidity）はエチオピア基準の7に比べて相当高い値となっている。健康には特に問題は無いものの、利用者からクレームが出るレベルとなっている。

表 3.7: 主要河川の水質(主要項目のみ)

Parameters	Katar		Meki		Bulbula		TikurWiha		Bilate		Gidabo		Gelana		Kulfo		Sile		Weyto	
	Apr	Aug	Apr	Aug	Apr	Aug	Apr	Aug	Apr	Aug	Apr	Aug	Apr	Aug	Apr	Aug	Apr	Aug	Apr	Aug
pH	7.84	7.29	7.94	7.25	7.8	7.9	7.21	6.91	8.69	8.28	7.45	7.86	8.15	7.94	8.0	7.9	8.04	8.03		
TDS(mg/l)	94	39	142	43	231	211	175	109	1014	64	39	67	52	60	69	74	98	91		
DO(mg/l)	197	83.3	294	90.4	6.2	6.8	2.4	3.2	4.7	6.8	6.0	5.8	6.0	6.7	5.6	6.7	4.1	6.8		
EC(SS/cm)	4.9	6.6	5.6	6.4	482	442	368	229	2120	135	83	140	110	128	145	156	206	193		
TSS(mg/l)	94	312	530	3,600	96	122	196	68	168	1390	501	348	649	1480	450	542	1474	1036		
TurbidityNTU	40	255	470	-	35	83	104	36	109	1242	256	306	321	1353	148	388	546	720		
Na(mg/l)	16	5.2	29	15	54	60	57.5	35.0	450.0	12.0	6.6	7.0	5.2	6.0	7.9	7.7	11.6	13		
K(mg/l)	5.1	3.5	10.1	5.9	12.3	10.6	13.5	6.0	21.5	8.1	2.9	1.9	1.2	1.3	1.5	1.5	3.1	2.0		
Ca(mg/l)	15.2	8.0	25.6	4.8	25.6	20.8	8.8	9.6	16.8	15.2	4.8	14.4	14.4	13.6	14.4	15.2	19.2	19.2		
Mg(mg/l)	4.86	1.944	6.804	0.486	8.75	6.8	4.86	2.92	2.43	2.43	1.94	4.37	1.94	4.86	5.35	4.86	6.8	5.83		
HCO3(mg/l)	82	12.2	108	29.28	202	190	124	75.6	568	58.56	30	61	46	48.8	56	68.32	68	78.1		
Cl(mg/l)	1.5	2.5	5.5	2.0	14	12.5	13.0	13.5	65.5	4.5	2.0	6.0	1.3	2.0	7.5	5.5	8.5			
F(mg/l)	0.5	0.28	1.34	0.22	1.49	1.72	1.7	1.25	16.0	0.97	0.35	0.91	Trace	0.22	0.79	0.48	0.53	0.65		
SO4(mg/l)	1.27	3.04	18.62	2.4	6.14	0.4	40.73	2.2	44.65	0.18	14.18	0.6	3.6	5.1	0.85	0.62	2.33	0.09		
SAR	0.92	0.43	1.3	1.74	2.47	2.93	2.7	2.11	59.2	0.87	0.32	0.29	0.18	0.25	0.30	0.30				

Sampled in 2007, referred to Rift Valley Lakes Basin Integrated Resources Development Master Plan Study Project (June 2008, MOWR, Halcrow, GIRD Consultants)

表 3.8: 主要項目水質ガイドライン(エチオピア 2002、WHO)

Parameter	Ethiopian Guideline	WHO Guideline
pH	6.5-8.5	6.5-8.5
Fluoride(mg/l)	3.0	0.6-1.57
Nitrate(mg/l)	50	45
Chloride(mg/l)	533	250
Iron(mg/l)	0.4	0.3
TDS(mg/l)	1776	1000

以上の通り、調査地域の河川は絶対量の季節変動によって安定供給が出来ないという大きな問題がある。従って河川水の飲料水源としてのポテンシャルは低いといわざるを得ない。

### 3.5.2 湖水

本調査地にはリフトバレー湖沼地域の名が示す通り大小様々な湖が散在する。湖はリフトバレーで形成された地溝帯の谷部に分布していて、例えば旧火山カルデラの小さなクレーターに溜まる水も含めれば数十の湖、もしくは池が点在する。本章では湖水の飲料水源としての可能性について検証する。ここでは、Ziway、Langanano、Abijata、Shalla、Abaya、Chamoの各湖について検証し、大半が塩湖となっていて周辺に主要なタウンが無い最南端のChew Bahirについては水質と水量及び有効活用の観点から飲料水のポテンシャルとして極めて低いことを考慮し検証しない。

地域の主要湖の諸元を表 3.9に示した。調査地内で最大の湖は Abaya 湖で面積 1160km<sup>2</sup>であるが、平均深度は 7m と浅く、貯水量は 8.2km<sup>3</sup>しかない。他方、地域内でもっとも貯留容量が大きな湖は Shalla 湖である。この湖は面積では 409km<sup>2</sup>で Abaya 湖の三分の一しかないにもかかわらず、最大深度 266m、平均深度が 87m あり、貯水量は 36.7km<sup>3</sup>と Abaya 湖の四倍に達する。

表 3.9: 主要湖の諸元

Lake	Altitude	Surface Area	Max depth	Avr depth	Volume
	m.a.s.l	km2	m	m	km3
Ziway	1636	440	8.95	2.5	1.1
Langanano	1582	230	47.9	17	5.3
Abijata	1578	205	14.2	7.6	1.61
Shalla	1558	409	266	87	36.7
Awassa	1697	129	22	11	1.3
Abaya	1285	1160	13	7	8.2
Chomo	1235	551	13	6	3.3

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

これら湖の水位変動は 1970 年代前半から測定されている。水位変動は年によって、また湖によって差異はあるものの、長期的（数十年）には比較的相対変化は少なく、湖への流入と蒸発散などの流出のバランスは比較的安定していると考えられる。よって、タウン給水などにかかる水量の大きな体積を持つ湖においては飲料水源のための水量は確保が可能であると判断する。しかし、これらの湖は水質面で問題があるものが多い。

飲料水源としてとらえたとき、最大の問題は水質である。表 3.10に湖の主要水質分析値を示した。グレーにハッチングされたコラムが水質基準を超えた部分である。pH、TDS、濁度、Na、Cl など、味などや消費者の嗜好にかかわる項目が基準を満たしていないのはまだ考慮の範囲内としても、フッ素濃度が Ziway 湖を除く全ての主要湖で超過しており、飲料水としては不相当と判断せざるを得ない。唯一可能な Ziway 湖についても飲料水源としては良好なものでは無い。特に Abijata 湖、Shalla 湖については、雨期、乾期を問わず 100mg/l を超過しており、飲料にはまったく適さない水質であることがわかる。

表 3.10: 主要な湖の水質(主要項目のみ)

Parameters	ZiwayLake		LakeAbiyata		LakeShala		LakeLangano		LakeAwasa		Abaya		Chamo	
	Apr	Aug	Apr	Aug	Apr	Aug	Apr	Aug	Apr	Aug	Apr	Aug	Apr	Aug
pH	8.7	8.0	10.1	10.0	9.8	9.8	8.9	9.2	9.0	9.0	9.1	9.1	9.6	9.4
TDS(mg/l)	220.0	214.0	41.5	41600.0	23160.0	21300.0	923.0	959.0	424.0	408.0	628.0	540.0	1004.0	899.0
DO(mg/l)	460.0	445.0	2.9	2.3	2.8	2.7	1932.0	1941.0	6.7	6.7	6.1	6.8	6.3	6.8
EC(SS/cm)	6.0	6.7	83.6	84250.0	48150.0	44000.0	6.7	6.8	886.0	848.0	1319.0	1116.0	2104.0	1827.0
TurbidityNTU	46.0	54.0	22.0	26.0	22.0	26.0	77.0	97.0	13.0	16.0	112.0	89.0	59.0	66.0
Na(mg/l)	63.5	59.0	12940.0	13100.0	6000.0	6950.0	405.0	375.0	162.0	168.0	246.0	222.0	430.0	425.0
K(mg/l)	11.9	11.2	6284.0	6300.0	240.0	244.0	23.5	23.0	26.0	30.0	19.0	16.0	20.5	20.0
Ca(mg/l)	22.4	20.8	3.2	4.0	0.0	6.4	4.8	4.8	11.2	10.4	15.2	14.4	6.4	8.0
Mg(mg/l)	7.3	6.3	0.0	0.0	3.9	0.0	1.5	0.5	4.9	5.4	1.9	2.9	7.8	7.8
HCO3(mg/l)	166.0	185.0	6286.0	6344.0	4652.0	244.0	426.0	505.0	194.0	310.0	354.0	395.0	566.0	568.0
Cl(mg/l)	12.5	12.0	10778.0	10900.0	3250.0	6300.0	182.0	200.0	27.0	51.0	63.5	107.5	130.0	300.0
F(mg/l)	1.5	1.6	370.0	370.0	156.0	220.0	7.9	10.2	7.7	9.6	8.2	8.0	9.3	8.9
SO4(mg/l)	1.4	25.4	17.3	15.8	5.2	12.6	2.1	1.2	0.1	4.8	3.4	9.7	1.2	5.2
SAR	3.0		653.0	267.0			41.5		10.2		15.7	27.0		

■ エチオピア飲料水基準外の項目

Sampled in 2007, referred to Rift Valley Lakes Basin Integrated Resources Development Master Plan Study Project (June 2008, MOWR, Halcrow, GIRD Consultants)

以上のとおり、リフトバレー湖沼地域の湖は総じて飲料水源としてのポテンシャルは、水量の大きさは別として、水質の面で著しく不適當と考えられる。逆説的に考えれば、政府、地方政府、水資源省などの指導があったにせよ、歴史的に湖周辺のコミュニティはほとんどが湖を飲料水源とせず、湧泉や井戸を利用している事実からも、湖が飲料水源として不適切であることを間接的に証明していると考えられる。

これら湖及び河川の分布を図 3.10に示す。

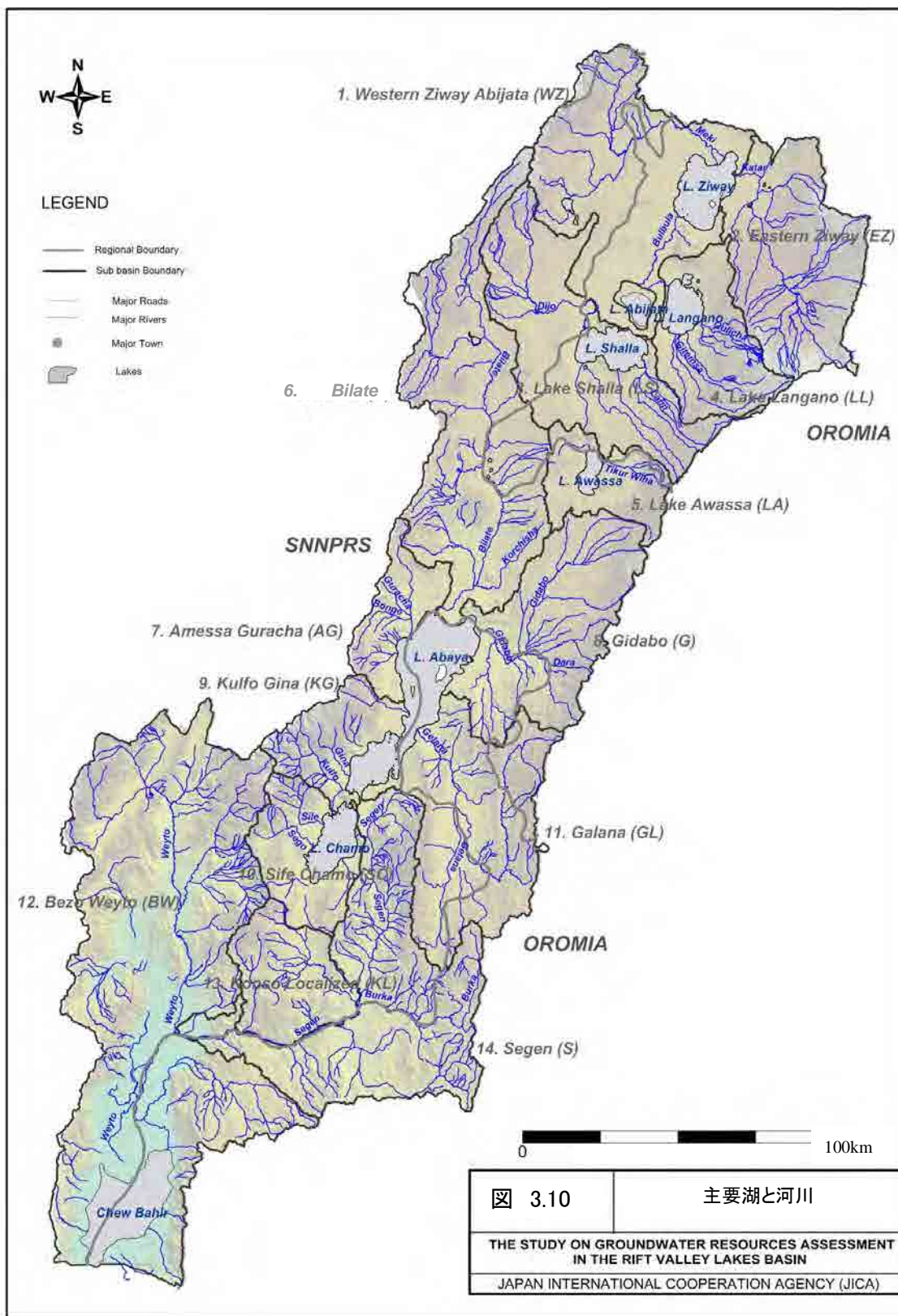


図 3.10: 主要湖と河川

### 3.6 地下水のポテンシャル

地表水の検証結果からリフトバレー湖沼地域の飲用水源として唯一適したものは地下水と考えられる。地下水の飲料水源としての大きな特徴として、下記があげられる。

1. 基本的に衛生的であり、水質も季節を問わず安定している。
2. 給水施設に見合った一定の水量が得られ、季節変動に大きな影響を受けない。
3. 良好な帯水層があれば地形・地域を問わず揚水することが出来るため、コミュニティの近傍に水源を確保できる。

本調査地域では、既存データから少なく見積もっても1万ヶ所以上の井戸、湧泉が水源として利用されてきた。ただし全ての地下水源が上記の特徴を持つわけでは無い。特に沖積層など比較的浅い浅層地下水を対象とした手堀井戸や浅井戸などは、家畜などの糞尿や化学肥料など地表からの汚染に容易に影響を受けることや、季節的な水位変動を比較的受けやすいため、安定した水量が確保出来ないなどの問題がある。よって、上述した利点を満足する良好な帯水層の分布を把握する必要がある。地下水のポテンシャルを調査するにあたって、帯水層がどのような形で賦存し、水質や水量などが個々の帯水層でどのようなものかを検証しなければならない。

#### 3.6.1 帯水層単元の分類と特徴

現在までに実施した地表地質踏査、試験掘削及び既存井戸データなどから、帯水層について検証を行なう。

##### a. 既存井戸の帯水層の検証

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

表 3.11: 既存井戸帯水層の地質構成

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

この表が示す通り、本地域の帯水層は約 70%が火山岩とそのメンバーから構成されていることがわかる。

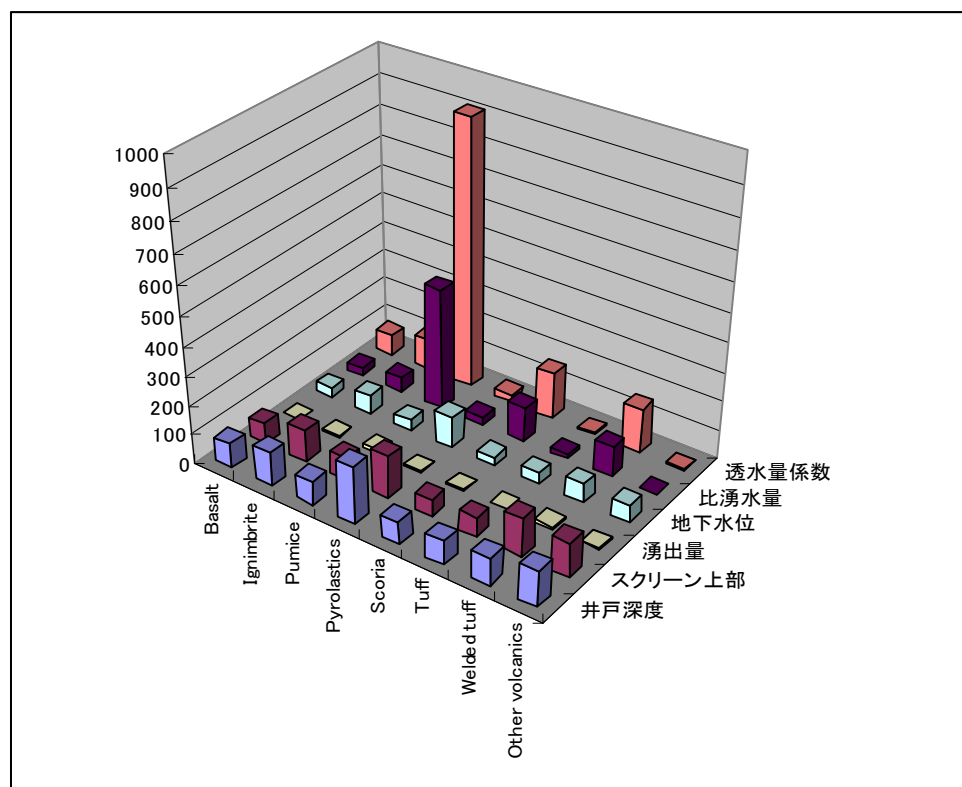


図 3.11: 火山岩系列の主要パラメータ比較(各パラメータの大小比較)

既存井戸データから良好な帯水層としては礫層 (Gravel)、軽石層 (Pumice)、スコリア層などがあげられる。尚、本解析に用いたすべてのデータから井戸深度は平均で 50m 以上であり、大部分の火山岩の帯水層は 80m 以上の深度に分布している。

「エ」国での帯水層の地質については、本調査地域で掘削されている井戸の大多数は、DTH 掘削であるため、地質柱状図の記載は掘削屑の岩片から判別するしかない。従って、適切な地質技術者がいない場合は岩質を的確に判断出来ないことから、掘削屑の形状から、砂 (Sand)、礫 (Gravel) などの記載が多くなる。ここでの分類結果が砂や礫ということだけでは沖積層か、他の火山岩の砕屑片だったのかを判断するのは困難である。記載状、砂や礫となっても、本来は火山砕屑物のものである可能性を否定出来ないことに留意する必要がある。

**b. 地質踏査、JICA 試掘井戸と既存データの対比の試み**

本調査で行なった地表地質踏査、ならびに JICA 試掘井戸と既存井戸との対比を行なう。地表地質踏査結果をもとにした地質層序を表 3.12 に示す。この層序表は、地表地質踏査によって火山地質学的観点から層序を区分したもので、地層の連続性や平面的な分布を示している。

表 3.12: リフトバレー湖沼地域の地質層序

年代区分	層序	地層名	各地域における層序名	代表的な層相	
第四紀	完新世	Al	Alluvium	Alluvium	細粒砂および泥
		Q	Unclassified Fluvial Deposits	Quaternary sediments	砂質礫および泥
		lac 2	Bulbula Lacustrine Deposits	Bulbula lacustrine deposits, Shalo lacustrine deposits	砂礫層、泥層などの湖成堆積物
		Pm	Corbetti Pumice Flow & Fall Deposits/ Corbetti Rhyolitic Volcanics	Mt. Aluto volcanics, Alge volcanics, Mt. Ambericho volcanics, Corbetti volcanics, Dugna Fango volcanics	流紋岩質溶岩、降下軽石、軽石流堆積物および黒曜岩
		rb	Butajira Recent Basalt	Deneba Recent Basalt, Awara Recent Basalt, Butajira Recent Basalt, Awasa Recent Basalt, Abaya Recent Basalts	玄武岩溶岩、赤褐色玄武岩質スコリア
	更新世	lac 1	Meki Lacustrine Deposits	Meki lacustrine deposits, Wondotika lacustrine deposits	不淘汰砂礫層および凝灰岩、軽石、火山砂層などの湖成堆積物
		Y	Largano Poorly Welded Pumiceous Pyroclastics	Asela poorly welded pumiceous pyroclastics, Largano poorly welded pumiceous pyroclastics, Dugba poorly welded pumiceous pyroclastics, Shashemene poorly welded pumiceous pyroclastics	黄～黄白色流紋岩質軽石質凝灰岩
		ob	Kulmusa Highly Welded Tuff	Kulmusa highly Welded-Tuff, Kuyera highly Welded-Tuff, Koshe highly Welded-Tuff, Mt. Kuwe highly Welded-Tuff, Samero highly Welded-Tuff	流紋岩～安山岩質溶結凝灰岩
		W	Ketar River Acidic Volcanic Sedimentary Rocks	Ketar river acidic volcanic sedimentary rocks, Lake Shala acidic volcanic sedimentary rocks, Anecho acidic volcanic sedimentary rocks, Yiega Alem acidic volcanic sedimentary rocks	流紋岩質軽石質凝灰岩および凝灰岩
		G	Gonde Strongly Green Welded Tuff	Gonde Strongly Green Welded-Tuff, Biate river Strongly Green Welded-Tuff, Hantate Strongly Green Welded-Tuff	流紋岩～安山岩質溶結凝灰岩
		tb	Adami Tulu Basaltic Pyroclastics	Adami Tulu basaltic pyroclastics, Shala Senbete basaltic pyroclastics, Abaye ridge basaltic pyroclastics, Donga basaltic pyroclastics	玄武岩質凝灰角礫岩～火山礫凝灰岩
		ba	Ogolche Pleistocene Basalt	Ogolche Basalt, Lake Chitu Basalt, Deneba Basalt, Yubo Basalt, Kebedo Basalt, (Post-rift Volcanics)	塊状玄武岩溶岩
		lak	Lekansho Lacustrine Deposits	Lekansho Lacustrine Deposits	細粒砂岩の細互層の湖成堆積物
		第三紀	鮮新世-更新世	rh	Gademotta Rhyolite
N2b	N2b Basalt			Bofa Basalt, Lepis Basalt	玄武岩溶岩および火砕岩類
NQs	NQs Rhyolite			NQs	流紋岩質凝灰岩
鮮新世	rht/N1_2n		N1_2n Rhyolitic Volcanics/Rhyolitic Tuff	Munesa rhyolite, Hangausa Rhyolite, Wijjira Rhyolite, N1_2n	斜長石流紋岩質凝灰岩
	N1n		N1n Basalt	N1n	アンカー玄武岩、アルカリ玄武岩
中新世	N1ar		N1ar Rhyolite	N1ar	流紋岩質凝灰岩
	Ngs		Sharenga Rhyolite	Sharenga Rhyolite	流紋岩岩頭
	Ngu		Upper Basalt	Upper Basalt	多孔質玄武岩溶岩
	Ngb		Beyana Tuff	Beyana Tuff	火山礫凝灰岩および凝灰岩
始新世-晩新世	Ngm		Middle Basalt	Middle Basalt	斑状玄武岩溶岩
	Pgs	Shole Welded Tuff	Shole Ignimbrite	流紋岩質強溶結凝灰岩	
中生代	先カンブリア紀	Pgl	Lower Basalt	Lower Basalt	斑状玄武岩溶岩
		Mes	Adigrat Sandstone, Antaro Limestone	Adigrat Sandstone, Antaro Limestone	砂岩・石灰岩
	Pre	Biotite Gneiss, Pegmatite	Biotite Gneiss, Pegmatite	黒雲母片麻岩・花崗岩	

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

従来の地質層序は岩石区分を主体としたものであったため、帯水層の区分として層序が加味されたデータはほとんど認められない。ここでは、既存データと本層序を対比することによって、帯水層がどの層序にあたるのかを JICA 井戸等から検証し、それぞれを帯水層単元としてまとめ、それぞれの帯水層としての諸元を提示した。尚、調査地域には第三紀から第四紀の玄武岩、凝灰岩、溶結凝灰岩などが繰り返し堆積している。

### b.1 断面図と既存井戸の対比

地表地質踏査から想定される地質断面図を特にピラテ川沿いに作成した。それらの断面図に既存井戸の帯水層を記載すると、既存井戸で玄武岩 (Basalt) と記載されている帯水層は、鮮新世-更新世の流紋岩溶岩及び凝灰岩 (rh)、玄武岩溶岩及び火砕岩類 (N2b) に相当すると考えられる。その他局所的な地質図との対比を現時点で行なった結果を下表にまとめる。本調査の段階では残り 3 本の試験井戸がまだ終わっていないため、地表地質踏査から想定される地質断面図を部分的に作成した。それらの断面図に既存井戸の帯水層を記載すると、既存井戸で玄武岩 (Basalt) と記載されている帯水層は、鮮新世-更新世の流紋岩溶岩及び凝灰岩 (rh)、玄武岩溶岩及び火砕岩類 (N2b) に相当すると考えられる。また、既存井戸の主要帯水層は更新世の溶結凝灰、凝灰角礫岩であるが、その上部に分布する軽石凝灰岩層なども条件によって良好な帯水層となる可能性がある。

表 3.13: 地質層序と帯水層比較

年代区分	層序	代表的な層相	既存井戸帯水層との対比	分布		
新生代	完新世	Al / Q	細粒砂および泥	<b>Aluviun</b>	調査地域全域に分布する。	
		lac 2	砂礫層、泥層などの湖成堆積物	<b>Clay Sand Grave</b>	調査地域北部およびAwassa周辺に局所的に分布する。	
		Pm volcan	流紋岩質溶岩、降下軽石、軽石流堆積物および黒曜岩		Ziway周辺地域からAbaya-ArbaMich周辺地域まで、火山体やカルデラ地形をなし、局所的に分布する。	
		rb	玄武岩溶岩、赤褐色玄武岩質スコリア		調査地域南部を除き、大地溝帯底部に帯状に分布する。	
	lac 1	不淘汰砂礫層および凝灰岩、軽石、火山砂層などの湖成堆積物		Ziway湖周辺およびAwassa湖周辺にのみ局所的に分布する。		
	第四紀	更新世	Y	黄～黄白色流紋岩質軽石質凝灰岩	<b>Tuff</b>	ZiwayからAwassa周辺地域にかけて連続的に分布する。
			ob	流紋岩～安山岩質溶結凝灰岩	<b>Ignimbrite Welded Tuff</b>	ZiwayからDila周辺にかけて連続的に分布する。
			W	流紋岩質軽石質凝灰岩および凝灰岩	<b>Tuff</b>	ZiwayからDila周辺にかけて連続的に分布する。
			G	流紋岩～安山岩質溶結凝灰岩	<b>Pyroclastics Welded Tuff</b>	ZiwayからDila周辺にかけて連続的に分布する。
		tb	玄武岩質凝灰角礫岩～火山礫凝灰岩	<b>Scoria</b>	調査地域全域にかけて局所的に分布する。	
		ba	塊状玄武岩溶岩	<b>Basalt</b>	調査地域全域にかけて局所的に分布する。	
		lak	砂礫層、泥層などの湖成堆積物		Ziway周辺のみ局所的に分布する。	
		rh	流紋岩溶岩および凝灰岩	<b>Pumice Basalt</b>	調査地域全域にかけて連続的に分布する。	
	第三紀	鮮新世-更新世	N2b	玄武岩溶岩および火砕岩類	<b>Basalt</b>	Ziway南部に局所的に分布する。
			rh/NO	流紋岩質凝灰岩		Ziway周辺およびAwassa周辺に局所的に分布する。
		中新世	N1_2n	斜長石流紋岩質凝灰岩		Langano湖東方の地溝帯縁部に分布する。
			Nqs	流紋岩岩頭		Abaya-ArbaMich周辺地域にのみ分布する。
			Nau	多孔質玄武岩溶岩	<b>Basalt?</b>	Dila以南の調査地域全域に連続的に分布する。
Nqb			火山礫凝灰岩および凝灰岩	<b>Basalt?</b>	Dila以南の調査地域全域に連続的に分布する。	
Ngm			多孔質玄武岩溶岩	<b>Basalt?</b>	Dila以南の調査地域全域に連続的に分布する。	
Pgs			流紋岩質強溶結凝灰岩		Dila以南の調査地域全域に連続的に分布する。	
Pgl	多孔質玄武岩溶岩	<b>Basalt?</b>	Dila以南の調査地域全域に連続的に分布する。			
中生代	Mes	砂岩・石灰岩		Butajira北方のKellaに局所的に分布する。		
先カンブリア紀	Pre	黒雲母片麻岩・花崗岩		Butajira北方のKella, および調査地域南方のHagereSelam-Yabero地域に分布する。		

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

## b.2 JICA試験井戸と既存井戸の対比

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



表 3.14: JICA 井戸と近隣井戸の記載比較

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

■ JICA 試験井 白抜き;近傍の既存井戸

### c. 帯水層区分

上述したとおり、層序に対する帯水層単元での帯水層評価は現時点では十分行なう事が出来ないが、概ね帯水層は次の3つに区分することが出来る。

1. 沖積層ならびに湖沼堆積物
2. 更新世の凝灰岩、溶結凝灰岩、玄武岩質岩
3. 第三紀の凝灰岩ならびに玄武岩

既存井戸の帯水層記載では、破碎した玄武岩やイグニブルライトの記載が多く、恐らく当地域では玄武岩や流紋岩を主体とした火山岩類は構造運動の影響によって多くの亀裂が発達していると考えられる。本地域ではこれらの火山岩類が良好な帯水層となっている。さらに、軽石やスコリアを含む凝灰岩質の地層では、地層それ自体では透水性が高すぎるため良好な帯水層とはならないが、下部に不透水層が発達する地域では良好な帯水層となりうる。

### d. 帯水層の分類と特徴

層序に対する帯水層単元から、本調査地域の帯水層は次の3つに区分することが出来る。

1. 沖積層ならびに湖沼堆積物
2. 更新世の凝灰岩、溶結凝灰岩、玄武岩質岩
3. 第三紀の凝灰岩ならびに玄武岩

既存井戸の帯水層記載では、破碎した玄武岩やイグニブルライトの記載が多く、恐らく当地域では玄武岩や流紋岩を主体とした火山岩類は構造運動の影響によって多くの亀裂が発達していると考えられる。本地域ではこれらの火山岩類が良好な帯水層となっ

いる。さらに、軽石やスコリアを含む凝灰岩質の地層では、地層それ自体では透水性が高すぎるため良好な帯水層とはならないが、下部に不透水層が発達する地域では良好な帯水層となりうる。これらの地層の地質的なポテンシャル評価をエチオピアの帯水層区分（表 3.15）を用いて区分すれば表 3.16の通りとなる。

表 3.15: 1:2,000,000 水理地質図（GSE） - 帯水層区分と定義

No.	帯水層の特徴	岩相	生産性からの区分	
1	良好な層状水の帯水層	沖積層、風化残留層、崩積土層、湖沼堆積物及び固結不良の砂岩、未固結の火山性堆積物	A	高
			B	中
			C	低
2	良好な裂隙水もしくはカルスト性の裂隙水の帯水層	未固結の堆積岩及び変成を受けた炭酸塩岩：石灰岩、砂岩、頁岩、マール、蒸発残留岩	本地域には存在しない	
3	良好な裂隙水の帯水層	火山岩：玄武岩、流紋岩、粗面岩、イグニンプライト	A	高
			B	中
			C	低
4	局所的な層状水及び裂隙水の帯水層	非炭酸塩岩、先カンブリアン結晶基盤岩類（花崗岩、片麻岩）、粗粒玄武岩	C	中
			D	低
5	主要な地熱地域	熱水が産出する。破碎した火山岩、粗面岩及び未固結堆積層	本地域には存在しない	

表 3.16: リフトバレー地域の帯水層区分

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

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

### 3.6.2 帯水層ポテンシャルの評価

地表水の検証結果からリフトバレー湖沼地域の飲用水源として唯一適したものは地下水と考えられる。地下水の飲料水源としての大きな特徴として、次のような点があげられる。

1. 基本的に衛生的であり、水質も季節を問わず安定している。
2. 給水施設に見合った一定の水量が得られ、季節変動に大きな影響を受けない。
3. 良好な帯水層があれば地形・地域を問わず揚水することが出来るため、コミュニティの近傍に水源を確保できる。

本調査地域では、既存データから少なく見積もっても1万ヶ所以上の井戸、湧泉が水源として利用されてきた。ただし全ての地下水源が上記の特徴を持つわけではない。特に沖積層など比較的浅い浅層地下水を対象とした手堀井戸や浅井戸などは、家畜などの糞尿や化学肥料など地表からの汚染に容易に影響を受けることや、季節的な水位変動を比較的受けやすいため、安定した水量が確保出来ないなどの問題がある。よって、上述した利点を満足する良好な帯水層の分布を把握する必要がある。地下水のポテンシャルを調査するにあたって、帯水層がどのような形で賦存し、水質や水量などが個々の帯水層でどのようなものかを検証しなければならない。

本調査で同定された帯水層を既存井戸の記載と対比し、その分布について表 3.17にとりまとめた。この表に示されるとおり、既存井戸の記載は岩相が細かく示されていないため、地層の分布範囲や一部のキーワード (pumice, scoria, ignimbrite) を用いて対比した。既存資料や文献で一括して Ignimbrite と記載されている大部分のものは更新世の流紋岩から安山岩質溶結凝灰岩に対比することができる。また帯水層となっているスコリア質の凝灰岩は同じく更新世玄武岩質凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩に区分される。

この表からも明らかなおおり、本地域で最も多く利用されている帯水層(全参照既存井戸数の81%)は2.更新世凝灰岩・溶結凝灰岩及び玄武岩質岩であり、その構成メンバーは上位より軽石質の凝灰岩、溶結凝灰岩、凝灰角礫岩及び玄武岩で、これらは主に Abaya 湖東岸から Ziway 湖北部にかけて分布する。また沖積層ならびに湖沼堆積物は、砂、砂礫、シルトなどからなり、調査地域のほぼ全域（湖沼堆積物は主に北部、Awassa 周辺に認められる）に分布している。今回参照した井戸は主にボアホール（機械掘削井戸）なので、手堀井戸を加えればこの帯水層が最も利用されていると考えられる。調査地域の水理学的基盤は第三紀鮮新世の流紋岩質岩であると考えられるが、第三紀より古い地層の分布は南部が主流である。これらの岩石についても局部的に帯水層を有することがあるが、全参照井戸個数の6%に過ぎない。

表 3.17: 主要帯水層及び既存井戸標記との対比と分布

帯水層	記号	主な地層	井戸総数*	既存井戸での主要な記載	主要分布地域
1 沖積層ならびに湖沼堆積物	Al/Q	細粒砂、泥	25	sand, gravel, alluvium, clay	調査全域に分布する。
	Lac1	砂礫層、泥層	4	clay, sand, lacustrine	調査地域北部およびAwassa周辺に局所的に分布する。
2 更新世凝灰岩・溶結凝灰岩・玄武岩質岩	W	流紋岩質軽石質凝灰岩および凝灰岩	56	tuff, pumice tuff, pumice, sandy tuff	ZiwayからDila周辺にかけて連続的に分布する。
	G	流紋岩～安山岩質溶結凝灰岩	35	ignimbrite, welded tuff	ZiwayからDila周辺にかけて連続的に分布する。
	tb	玄武岩質凝灰角礫岩～火山礫凝灰岩	30	tuff breccia, scoriaceous basalt, scoria	調査地域全域にかけて局所的に分布する。
	ba	塊状玄武岩溶岩	71	basalt, fractured basalt	調査地域全域にかけて局所的に分布する。
3 第三紀凝灰岩・玄武岩	rh, N2b	流紋岩溶岩、凝灰岩、火山砕屑物	11	rholite, rholitic tuff, pyroclastics, trachyte	調査地域全域にかけて連続的に分布する。
	N1n, N1ar	流紋岩質凝灰岩・玄武岩	4	fractured basalt, basalt	Dila以南の調査地域全域に連続的に分布する。

\* 砂、砂礫、泥などの記載でその起源が不明なものについては対比していないため、既存データ総数より少なくなっている。

以上から、調査地域で飲料用水源としての特質（水質、持続性、分布範囲）を満たす帯水層は更新世凝灰岩・溶結凝灰岩並びに玄武岩質岩である。この帯水層は特に調査地北部に分布が確認されており、構造運動により発達した亀裂系に胚胎する地下水をその主水源としている。

#### a. 帯水層ポテンシャルの評価

既存井戸データ、新規データ及び地表地質踏査結果をまとめ、上述のとおり主要な 3 つの帯水層を同定した。これらの帯水層のポテンシャルはエチオピア基準で区分すれば、以下のとおりである。

1. 沖積層ならびに湖沼堆積物 = 1B～1C
2. 更新世凝灰岩・溶結凝灰岩並びに玄武岩質岩 = 3B～3A (凝灰岩は1B)
3. 第三紀凝灰岩・玄武岩 = 3C～3A

それでは、これらのそれぞれの帯水層の定量的な評価はどうであろう。表 3.18に各帯水層とその地層について湧水量 (Q (l/sec))、比湧水量(Specific Capacity (l/min/m))、透水量係数 (Transmissivity (m<sup>2</sup>/day)) の平均値、最大値、最小値を示した。帯水層 2 が湧水量、比湧水量ならびに透水量係数いずれも高いスコアをマークしている。特に玄武岩質凝灰角礫岩～火山礫凝灰岩では湧水量平均 6.3l/sec、比湧水量平均 134l/min/m、透水量係数も平均 242m<sup>2</sup>/day と突出している。帯水層 2 は基本的に亀裂系の帯水層であることから、最小値は低くなっているものの、湧水量は平均で 3～7l/sec が期待でき、最大では 50l/sec に達するものもある。また帯水層 1 も良好な帯水層であるといえる。ただし、この帯水層の多くは不圧帯水層で浅層地下水である場合が多いことから、地表からの流入によって季節変動することがあり、かつ水質も地表面の影響を受けやすい。帯水層 3 は主に南部での水源となる可能性のある帯水層である。この帯水層も主に亀裂系の地下水を主源

とするため、その分布は把握しづらいが、南部地域では重要な水源となると考えられる。  
上述のとおり、地下水のポテンシャルとして各帯水層を比較すれば、その分布範囲が広く、良好な帯水層常数から更新世凝灰岩・溶結凝灰岩・玄武岩質岩が最もポテンシャルの高い帯水層である。

表 3.18: 帯水層の帯水層常数

帯水層	記号	主な地層	Q (l/sec)			Specific Capacity (l/min/m)			Transmissivity (m <sup>2</sup> /day)		
			AVE	MAX	MIN	AVE	MAX	MIN	AVE	MAX	MIN
1 沖積層ならびに湖沼堆積物	Al/Q	細粒砂、泥	2.8	6.5	0.2	31.9	72.6	3.9	75.3	92.6	43.0
	Lac1	砂礫層、泥層	4.6	7.3	1.5	20.8	40.9	0.6	69.0	137.0	1.0
2 更新世凝灰岩・溶結凝灰岩・玄武岩質岩	W	流紋岩質軽石質凝灰岩および凝灰岩	5.5	47.0	0.2	42.4	106.6	1.0	42.5	84.8	0.2
	G	流紋岩～安山岩質溶結凝灰岩	4.6	18.5	0.2	31.2	91.2	0.3	65.3	173.9	0.0
	tb	玄武岩質凝灰角礫岩～火山礫凝灰岩	6.3	22.0	0.1	134.6	414.6	2.5	242.0	914.4	12.5
	ba	塊状玄武岩溶岩	2.9	7.7	0.2	19.3	55.1	2.9	77.7	211.7	2.7
3 第三紀凝灰岩・玄武岩	rh, N2b	流紋岩溶岩、凝灰岩、火山砕屑物	4.9	19.6	0.6	11.6	25.6	3.8	9.3	24.8	0.1
	N1n, N1ar	流紋岩質凝灰岩・玄武岩	3.9	6.0	2.0	13.5	13.5	13.5	12.6	12.6	12.6

図 3.12に各地域の井戸及び湧水の湧出量を示す。一般的に湧出量の多い水源は地溝帯両翼の急斜面から平坦面に至る緩斜面上に多く認められる。また両翼斜面では、地下水勾配も著しく、かならずしも高い湧水量は期待出来ない。

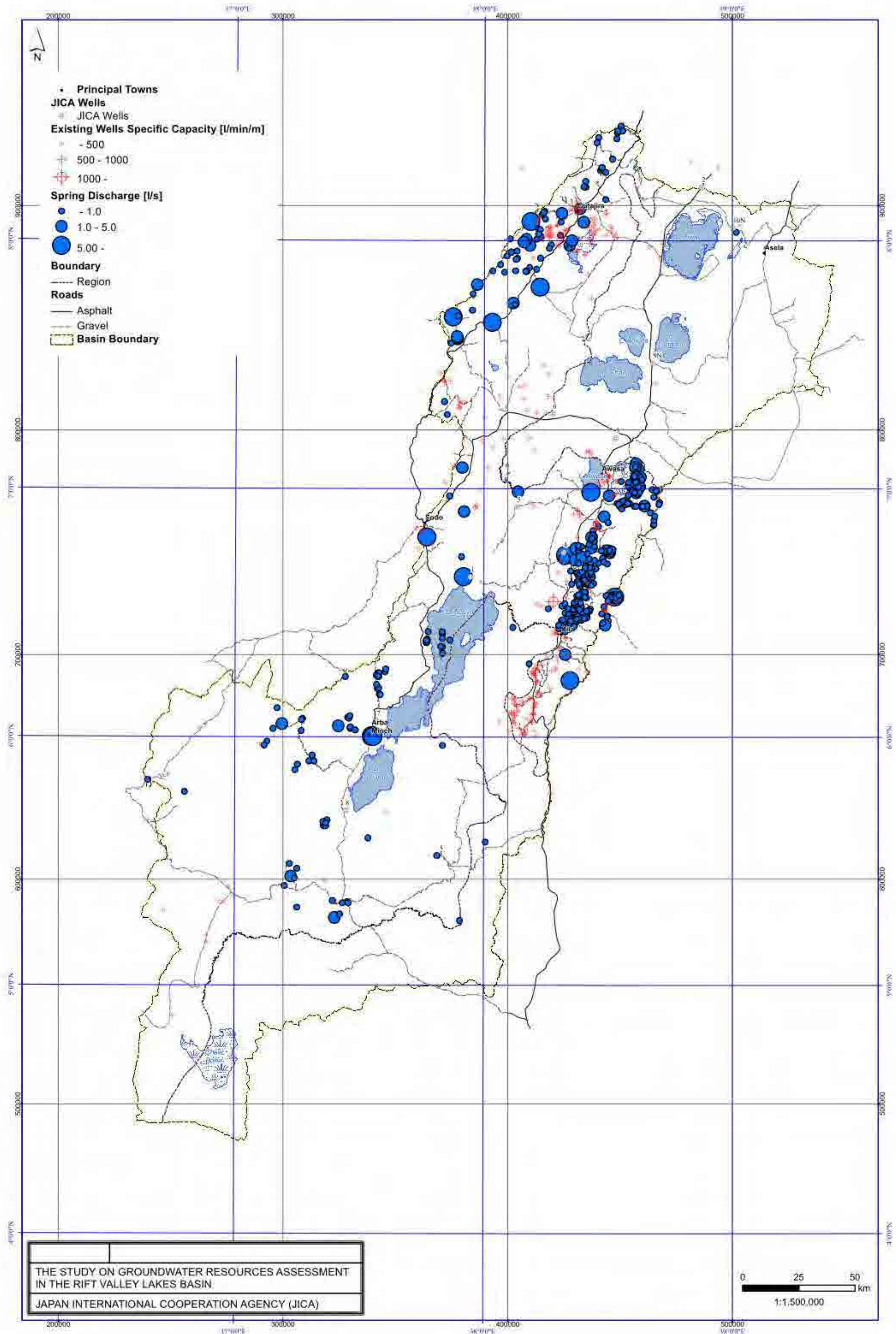


図 3.12: 主要水源の湧出量

### 3.7 水理地質図と水理地質断面図の作成

#### 3.7.1 水理地質図

地質調査結果ならびに、地層層序から得られた各地層の特徴と水理地質学的特性について、既存井戸や既存資料も参照して水理地質図を作成した。水理地質図は調査地全域の図面を参考として図 3.13に示したほか、リフトバレー全域の縮尺 1/250,000 の 4 枚の図面で 1 セットとして全域を網羅したものをメインレポートに添付した。

この水理地質図をもとに調査対象地域の水理地質特性を考察する。

当該地域は水理地質学的に大きく二つのユニットに区分される。

1. Ziway から Dila にかけての北部新期火山岩地帯
  2. Abaya 湖中央部からそれ以南にかけての第三紀火山岩類及び古生層
- またその他、主要な湖の周辺には完新世の砂礫や湖沼堆積物が分布する。

上記いずれの地域でも火山活動の結果それに伴う火山岩類が幾重にも重なっているという条件は同じではあるものの、水理的には両者は異なる。

##### a. 湖周辺の完新世未固結堆積物

Ziway 湖から Awassa 湖にかけての一連の湖と Abaya 湖及び Chamo 湖そして現在は塩湖であるが Chew Bahia 周辺には砂、砂礫、泥を主体とした湖沼堆積物 (lac2、lac1) が分布する。さらに流入河川などからもたらされた現世の堆積物 (Al、Q=砂、泥、砂礫) が分布する。一般に湖沼堆積物は比較的固結度が高い傾向があり、泥質の部分を多く含むため透水性状は新しい未固結堆積層に比べて透水性は低いと考えられる。ただし、透水常数の比較では湖沼堆積物の方が湧出量が高くなっている。一般にこれらの堆積物はリフトバレーの床部分に平坦に浅く堆積していると考えられており、主に浅層地下水を貯留する。従ってこれらの水源は手堀井戸やリングウェルなど最大 8~12m 程度の井戸によって利用されている。ただし、Ziway 湖から Shalla 湖に至る一連の湖の北西部では、フッ素濃度が様に高く、湖水も例外では無い。また降雨量や日照条件によって大きく水量が左右されるため、水源に適した帯水層とはなり得ない。

このタイプの堆積物で特に地下水ポテンシャルが高いと想定される地域としては Ziway 湖の北東のやや標高の高い地域から西方の低地部であり、とくに西方部は厚く沖積層や湖沼堆積物が分布する。また Bilate 川沿いならびに Abaya 湖北部でも地下水ポテンシャルは高いと想定される。

##### b. ZiwayからDilaにかけての北部新規火山岩地帯の水理地質状況

主要な帯水層は前述した 2. 更新世の凝灰岩、溶結凝灰岩、玄武岩質岩であり、水理地質図上では水色に区分されている地域である。更新世の一連の火山岩類は多くの岩層を伴う。特に更新世から完新世にかけての火山活動から形成された、スコリア層(rb)、軽石層 (Pm) 並びに凝灰岩、火山礫凝灰岩、玄武岩 (volcan) の内、固結度の低いスコリア層、軽石層及び凝灰岩は空隙率も高く、透水性状も良い。しかし、これは溢水性が高い



事と同義であり、下部に難透水層の存在が無ければほとんど地下水を貯留することが出来ない。これらの岩石は Ziway 付近に多く分布しており、いずれも帯水層とはなっていない。ただし、浅層地下水の貯留が局部的に認められる箇所もある。

一連の火山岩の中で最も帯水層として有望なのが、前期更新世の流紋岩質凝灰岩～凝灰岩 (W)、流紋岩～安山岩質溶結凝灰岩 (G)、玄武岩質凝灰岩礫岩～火山礫凝灰岩 (tb)、塊状玄武岩 (ba) である。砂礫層、泥層などの湖生堆積物 (lak) は固結した堆積岩層となっていて、難透水層となっているため、上部の地層は帯水層としての条件を整えば良好な帯水層となり得る。すなわち、玄武岩、流紋岩、溶結凝灰岩は構造運動による亀裂系の発達が生じた条件であり、その上部の凝灰岩層については下部の難透水層がベースとなれば帯水層としての条件を満たすこととなる。この地域の大多数の供用中の井戸はほぼ 80% の水源をこの帯水層から採取している事は前述したとおりである。尚、地質図上では全域がほぼ更新世流紋岩質軽石質凝灰岩及び凝灰岩 (W) によって覆われているため、水理地質図では北部全域がこの地層である様に見えるが、主要な帯水層はこの下部の凝灰岩や安山岩であることを注記しておく。地形的には、谷両翼の高度変換点付近に良好な帯水層が集中している。この理由として地溝帯の縁辺部では構造運動の影響から多くの断層系が形成されており、それに伴い火山岩類が破碎され、亀裂が発達することによって水が貯留しやすい環境が生成したと考えられる。

後述するが、この火山岩類中の帯水層は地溝帯が形成された時期の谷地形面に平行して形成されていると考えられ、その方向も地溝帯斜面部で斜面に平行に中央谷方向へ流れる。またこれらの地下水の流下終点は湖では無く、Abaya 湖と Awassa 湖の中間付近である。

このタイプの火山岩が分布する Abaya 湖北部全般において、特に Ziway 東部から Bilate 川東部にかけての地溝帯東部斜面から中央平野に至る地形変化点、ならびに Awassa から Dila にかけての地溝帯西部斜面から中央平野に至る地形変化点付近は比較的地下水ポテンシャルが高いエリアであると考えられる。

### c. Abaya湖中央部からそれ以南にかけての古期火山岩類及び古生層

水理地質図では主に薄茶色から黄土色に区分されている大部分のエリアがこの岩相に相当する。この地域の大多数の地層は第三紀の凝灰岩及び玄武岩、流紋岩の互層からなる。また極めて局所的ではあるが、中生代砂岩、石灰岩 (Mes)、先カンブリア紀の黒雲母片麻岩・花崗岩 (Pre) が分布する。時代的にも古く、上記更新世帯水層の水理学的基盤と考えられているが、一部の地層については局所的に帯水層となっている。特に完新世と第三紀層の境界付近に分布する流紋岩溶岩及び凝灰岩 (rh) の破碎帯付近は水が溜まりやすい環境下にあると言える。さらにその下層の玄武岩溶岩および火砕岩類 (N2b) についても条件によっては帯水層となる。第三紀鮮新世の凝灰岩、玄武岩 (N1n) 及び第三紀中新世の流紋岩類、玄武岩溶岩 (N1ar) などについても局地的に帯水層をなす。ただし、これらの地層の多くは連続性に乏しく、また帯水層としてのキャパシティも極めて限定的である。この地域についての水理地質的な情報（特に既存井戸）は欠如しており、流動や帯水層の定量的特性などはわかっていない。

この層に該当するものは全般に地下水ポテンシャルは小さい。ただし、これは既存データが少ないことも評価を下げる原因となっている部分も否めないため、今後はこれらの地域の新規井戸データを付加することでよりポテンシャルの高いエリアを特定する必要がある。

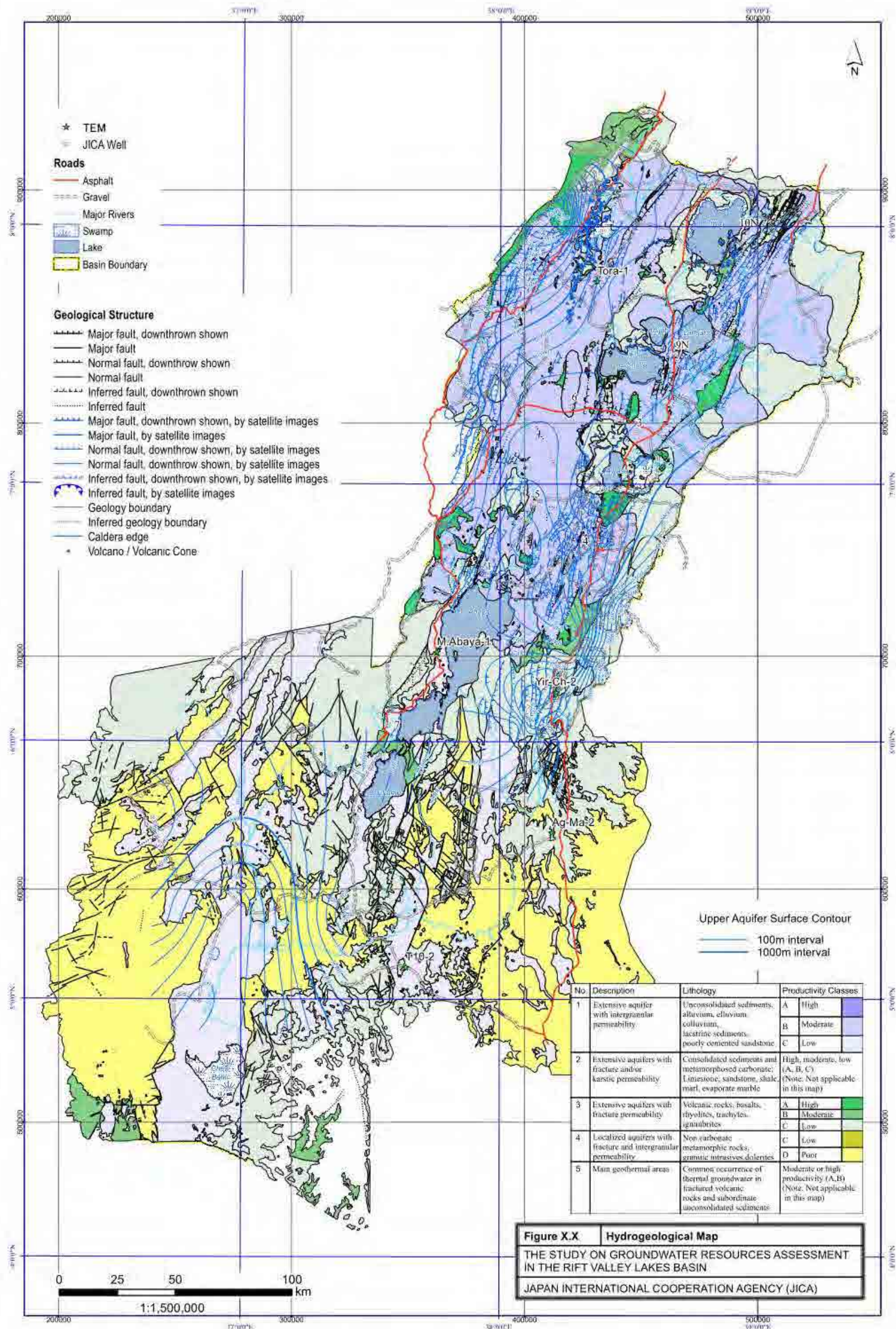


図 3.13: 水理地質図

### 3.7.2 水理地質断面図

主要帯水層は先に述べたとおり更新世の火山岩類である。この帯水層の上面と下面の標高をトラッキングしてその断面的な分布を示した（図 3.14参照）。前述のように本帯水層は地溝帯の斜面部で導水勾配が非常に高く、谷の中央付近では凹状に分布している。特記すべきは、この帯水層は谷の内部にある凹部、すなわち山岳部や丘陵にはほとんど影響を受けていないという点である。帯水層の厚さは最大で約 100m であるが、これは、多数の亀裂が発達する範囲としてとらえるのが現実的である。尚、同じ帯水層に属していても、全体的な傾向はこの断面に分布するが、その帯水層の能力は深度方向、平面方向でかなり変化するという事実も十分に考慮することが必要である。しかし、今回明らかとなった帯水層を立体的にとらえて探査の指針とし、またフッ素濃度の高い懸念がある箇所を回避することができれば、水量、水質について問題の無い水源を、比較的精度良く開発することが出来ると考えられる。

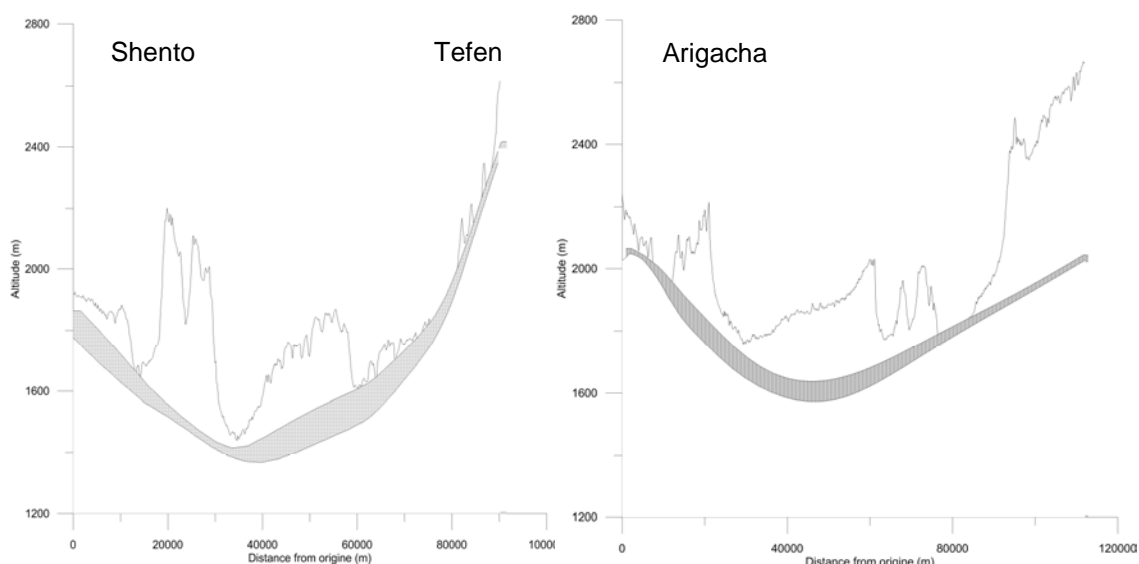


図 3.14: 帯水層の分布(ハッチは帯水層、縦横比率 1:100)

### 3.7.3 地下水流動系の考察

地下水流動系を考察する上で重要なパラメータは既存井戸の地下水位である。そしてその既存井戸の分布と密度は結果に大きな影響を与える。本調査地域では当初 ENGWIS 及び HALCROW のすべての地下水位データをもとにその傾向を把握する方針で臨んだ。本地域では多様な火山活動の結果、当地域には凝灰岩、凝灰角礫岩、溶結凝灰岩及び玄武岩質岩などが互層状に分布しており、かつ様々な構造運動によってこれらの岩石が断層などによって分断されている。また地溝帯の谷部には多くの湖が分布し、浸食作用に

よって集積した沖積層ならびに湖沼堆積物が堆積している。このため不圧帯水層と被圧帯水層とがランダムに分布している。既存井戸データにはこれらの地下水の被圧、不圧状態についての記載が無い。図 3.15に地下水標高図を示した。調査地域全体水位標高は機械的にデータベースから地下水の標高を示した図である。このようにランダムに目玉ができており地下水の分布傾向には一貫性が無い。そこで今回はこのような被圧帯水層と不圧帯水層の差異によって影響されないように帯水層の上面をコンターに示す事で流動方向を把握することとした。図 3.15の右図面が帯水層上面コンターである。ただし、本調査で利用した井戸は Galana、Segen から Amessa Guracha、Kulfo Gina にかけてのサブベースン、及び Eastern Ziway、Lake Langano サブベースンには参照できる井戸が無いため、白抜けしている。

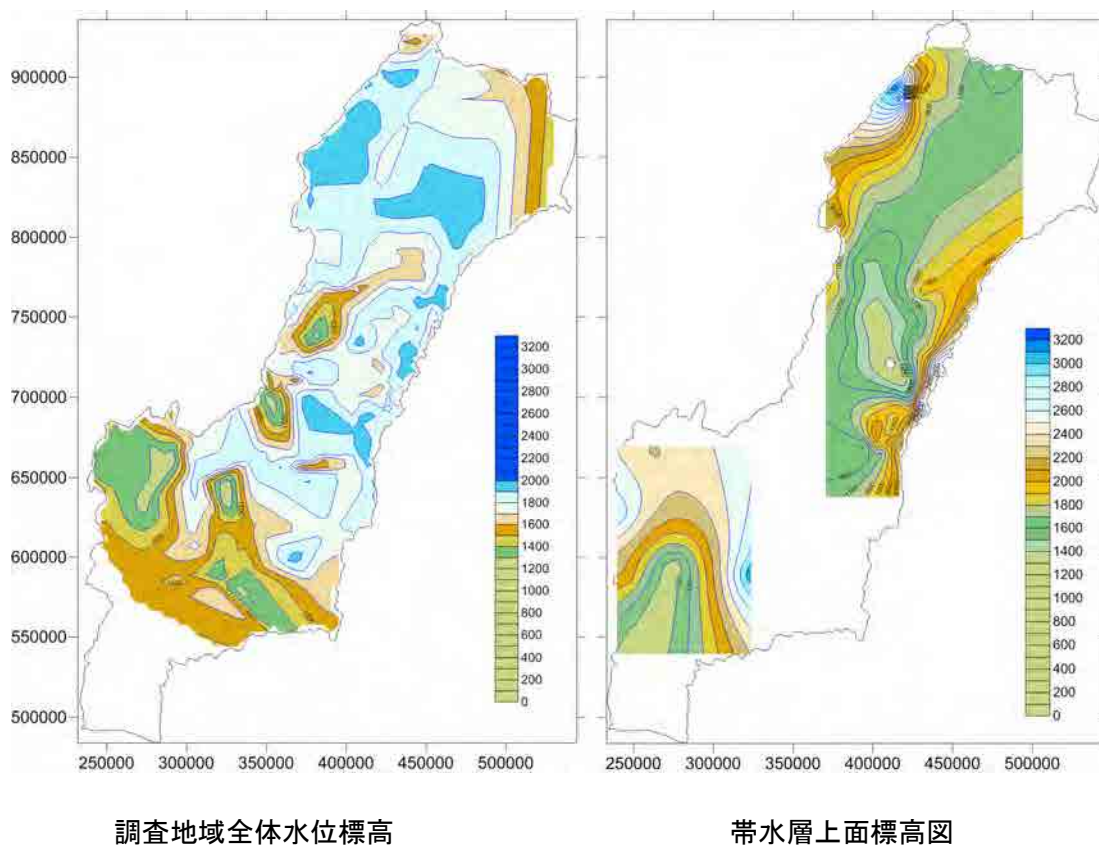


図 3.15: 地下水位標高図

帯水層の上面をコンターとすることは、地下水の流動を間接的に示唆するものであり、本調査ではこのコンターを地下水の分布標高とみなすこととする。

この図からも明らかなおり、Western Ziway、Bilate、Awassa、Gidabo 及び Galana の各ベースンではリフトの斜面において急勾配となって谷を流下し、中央部付近ではほぼ平坦となっており、ベースンの地形的特徴とほぼ一致する勾配を持つ。ただし、その終点は必ずしも湖では無く、Abaya 湖北部から Awassa 湖間でもっとも低くなっており、この地域が縁辺部から水を集積している地域となっていることがわかる。また、南部では Chew Bahir 塩湖周辺の標高 500m 前後の低地に向って Weyto 川流域から流下する。

### 3.8 地下水水質

#### 3.8.1 水質分析項目と分析方法

全体で 100 サンプルを採取する。そのうち 90 サンプルは既存井戸及び湧泉、残りの 10 サンプルは本調査で行なう試掘井戸から採取した。サンプル採集と分析は現地業者に委託して実施した。本レポートでは既存井戸・湧泉合計 90 ヶ所、新規ボーリング孔から 10 ヶ所の合計 100 ヶ所で水質分析用サンプルを採取、分析を実施した。

##### a. 現場測定と方法

現地では以下の 12 項目について簡易測定を実施した。既存井戸については地下水サンプラーにて水を採取したのち、3 名の分析担当技術者がただちに各項目の測定を行なった。分析項目は水質基本項目（温度、電気伝導度、pH、ORP）、人体に影響を及ぼす可能性のある項目（Fe, Mn, F, NO<sub>3</sub>, As, NH<sub>4</sub>）と菌類（大腸菌、一般細菌）である。室内試験実施前に水質の目安を把握することを目的とした。測定項目、測定方法及びそれに対応する水質基準を下表に示す。

表 3.19: 現場簡易水質分析項目

NO	項目	測定方法	エチオピア飲料水基準*
1	温度	簡易温度計	特に無し
2	電気伝導度 (EC)	簡易電気伝導度計	特に無し
3	pH	簡易 pH 計	特に無し
4	酸化還元ポテンシャル (ORP)	簡易 ORP メータ	特に無し
5	鉄 (Fe)	パックテスト	0.4 mg/l
6	マンガン (Mn)	パックテスト	0.8 mg/l
7	フッ素 (F)	パックテスト	3.0 mg/l
8	亜硫酸塩 (NO <sub>3</sub> )	パックテスト	6.0 mg/l
9	ヒ素 (As)	パックテスト	0.01 mg/l
10	アンモニア (NH <sub>4</sub> )	パックテスト	2 mg/l
11	大腸菌	簡易試験紙	0/100ml
12	一般細菌	簡易試験紙	0/100ml

\*Specification for Ethiopian Drinking Water Quality Guidelines (September 2002, Ministry of Water Resources, The Federal Democratic Republic of Ethiopia)

## b. 室内分析と方法

本調査では、リフトバレー湖沼地域内での地下水（湧泉含む）の水質が地質毎（帯水層の性質）や流域毎に区分出来るかどうか（地下水の起源）を検証する事に主眼をおいて項目を選定した。飲料水源として不適切な項目についても分析対象としたが、地下水起源を検討する上で効果的な、トリリニアダイアグラム、ヘキサダイアグラムを作成するために必須のパラメータ（Ca, Cl, Mg, Na, K, HCO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>）を重点的に選定した。

表 3.20: 室内水質試験実施項目と主要目的

NO	項目	ガイドライン* (mg/l)	実施目的
1	味	不快で無い事	飲料水消費者の嗜好
2	臭い	不快で無い事	飲料水消費者の嗜好
3	濁度	7	飲料水消費者の嗜好
4	全蒸発残留物(TDS)	1776	飲料水消費者の嗜好
5	懸濁物(SS)	NA	飲料水消費者の嗜好
6	pH	6.5 - 8.5	飲料水消費者の嗜好
7	電気伝導度(EC)	NA	飲料水消費者の嗜好
8	全硬度(CaCO <sub>3</sub> )	NA	飲料水消費者の嗜好
9	カルシウム(Ca)	NA	成分比特性
10	マグネシウム(Mg)	NA	成分比特性
11	カリウム(K)	NA	成分比特性
12	ナトリウム(Na)	358	味など飲料水としての適否・成分比特性
13	鉄(Fe)	0.4	飲料水消費者の嗜好
14	マンガン(Mn)	0.8	人体への影響
15	塩素(Cl)	533	人体への影響・成分比特性
16	硫酸塩(SO <sub>4</sub> )	483	成分比特性
17	硝酸塩(NO <sub>3</sub> )	50	人体への影響・成分比特性
18	亜硝酸塩(NO <sub>2</sub> )	6.0	人体への影響・成分比特性
19	アルカリ度 (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	NA	成分比特性
20	フッ素(F)	3.0	人体への影響
21	全リン (TP)	NA	参考値
22	アンモニア(NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	2	飲料水消費者の嗜好

\*Specification for Ethiopian Drinking Water Quality Guidelines (September 2002, Ministry of Water Resources, The Federal Democratic Republic of Ethiopia)

ただし、本レポート執筆では新規ボーリング（RV BH-4~10）の掘削が完了していないため水質結果は掲載していない。

### c. 同位体分析

本調査においては、水に含まれる同位体の成分比を分析することにより、地下水の起源を推定し、例えばフッ素高濃度地域との地下水涵養における関係を把握する。

安定同位体は重水素(D)と重酸素( $^{18}\text{O}$ )を測定し、その結果についてダイアグラムにて解析を行う。これによって採集サンプルの起源を推定し、帯水層の分布するサブゾーン・地質における差異について検討する。

## 3.8.2 サンプル採取サイトの選定

帯水層单元ごとの地下水の特性を把握するため、下記の通りサンプリングサイトを選定した。

1. 各流域を区分し 14 サブゾーンに分類
2. それぞれのサブゾーン内において異なる地層、異なる水源（井戸、湧泉）からそれぞれ 6~7 ヶ所を選定しサンプルを採集。
3. 現地にて、選定された対象からサンプリング出来ない場合には州水局のアドバイスを受けて同一帯水層から選定する。

図 3.16にサンプリング地点を示す。また、そのリストを表 3.21に示す



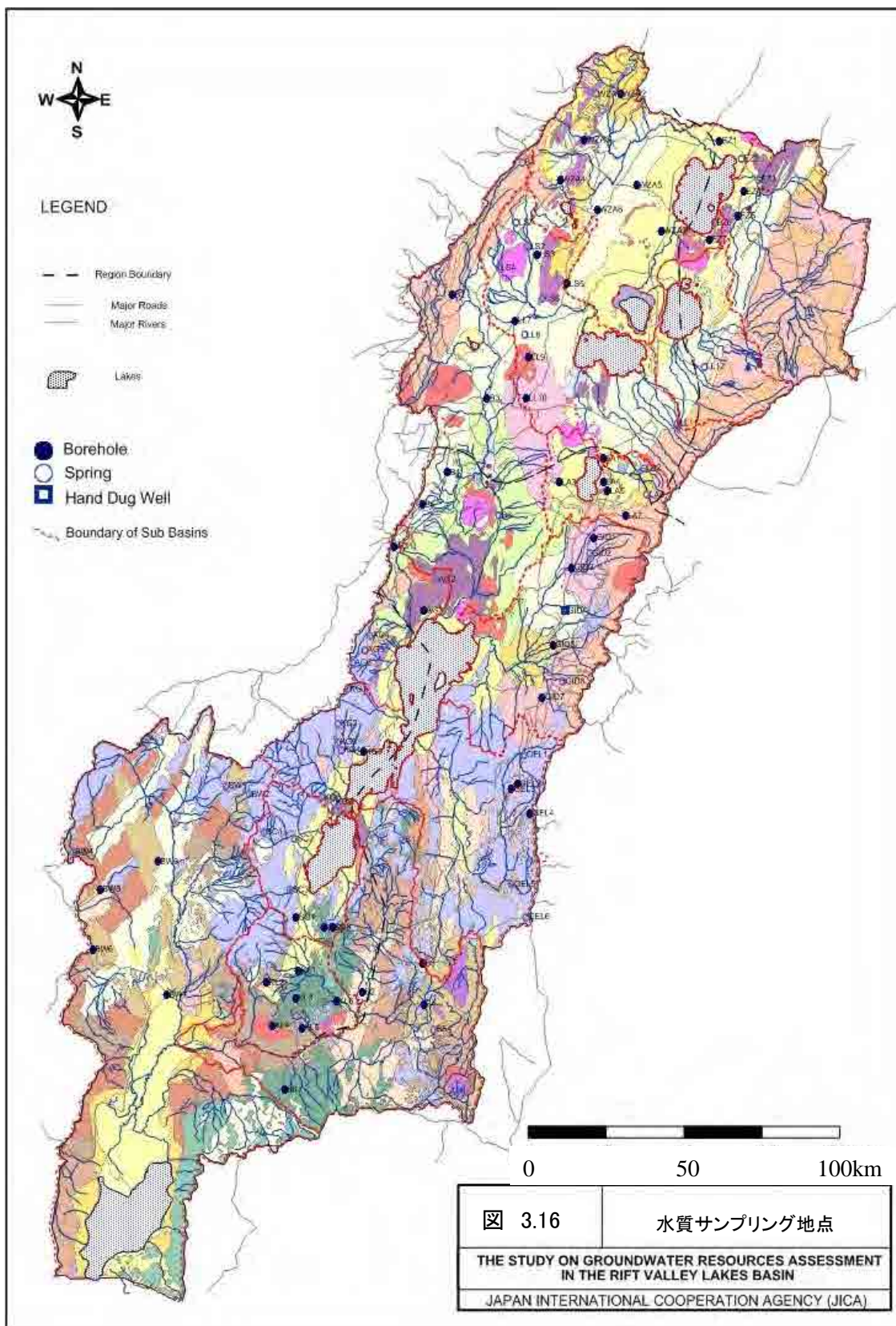


図 3.16: 水質サンプリング地点

表 3.21: 水質分析地点の地質とサブゾーン

Bno	BasinName	Samp_P_ID	Geology	SourceType	Eastings	Northings	Remarks
1	Western Ziway-Abjata	WZA1	Qwbh	spring	440353.00	918436.00	
		WZA2	N1_2n	Borehole	449814.00	918599.00	
		WZA3	Qwbh	Borehole	436107.39	901949.82	
		WZA4	Qdi	Borehole	426750.58	887592.79	
		WZA5	Qdi	Borehole	455903.00	885591.00	
		WZA6	Qdi	Borehole	440921.00	876752.00	
		WZA7	Ql	Borehole	465363.00	869206.00	
2	Eastern Ziway	EZ1	Ql	Borehole	487538.00	901548.00	
		EZ2	Ql	spring	495889.00	895142.00	
		EZ3	Ql	spring	502396.00	887587.00	
		EZ4	Ql	Borehole	496746.00	883403.00	
		EZ5	Qwbh	Borehole	494507.00	874562.00	
		EZ6	Ql	spring	485555.00	872111.00	
		EZ7	Ql	Borehole	483552.00	866076.00	
3	Lake Shalla	LS1	Qdi	spring	410040.00	872237.00	
		LS2	Qwpu	spring	414532.00	863503.00	
		LS3	Qdi	Borehole	418241.00	860616.00	
		LS4	Qwpu	spring	403414.00	855821.00	
		LS5	N1_2n	Borehole	429417.53	850002.26	
		LS6	Qwbh	spring	420168.00	844740.00	
4	Lake Langono	LL10	Qdp	Borehole	413811.47	808766.15	
		LL11	Qdi	spring	471440.00	799751.00	
		LL12	Qdi	spring	481628.00	820252.00	
		LL7	Qdi	Borehole	409686.00	836778.00	
		LL8	Qdi	spring	413167.00	831630.00	
5	Lake Awasa	LL9	Qws	Borehole	414848.79	823508.22	
		LA1	Qws	Borehole	443247.00	787145.00	
		LA2	Qdi	spring	458768.00	783746.00	
		LA3	Ql	Borehole	426416.00	778488.00	
		LA4	Ql	Borehole	443296.00	778694.00	
		LA5	Qws	Borehole	444891.00	775368.00	
		LA6	N1_2n	spring	459970.00	773976.00	
6	Bilate	LA7	NQs	Borehole	451604.00	766446.00	
		B1	NQs	spring	412472.00	893811.00	
		B2	NQs	Borehole	385835.00	846152.00	
		B3	Qdi	Borehole	399055.00	808866.00	
		B4	Qdi	Borehole	383940.00	782096.00	
		B5	Qdi	Borehole	374310.00	770488.00	
		B6	Qvs	spring	403650.00	766500.00	
7	Amessa Guracha	AG1	NQs	Borehole	363549.00	755433.00	
		AG2	Qwbp	spring	379661.00	743494.00	
		AG3	Qwbp	Borehole	374898.00	732412.00	
		AG4		spring	354515.00	723336.00	
		AG5	Pv	spring	352367.00	718157.00	
		AG6	Pv	spring	347611.00	713476.00	
8	Gidabo	GID1	Qdp	Borehole	439758.00	758653.00	
		GID2	Qdp	spring	438017.00	753002.00	
		GID3	Qdp	Borehole	431299.00	747854.00	
		GID4	Qdi	hand dug well	428801.00	732211.00	
		GID5	Qa	Borehole	424000.00	720000.00	
		GID6	PNv	spring	427915.00	706700.00	
		GID7	PNv	Borehole	420150.00	701089.00	
9	Kulfo Gina	KG1	Pv	spring	345897.00	704036.00	
		KG2	Pv	spring	342307.00	691646.00	
		KG3	PNv	spring	342008.00	684900.00	
		KG4	Pv	spring	343470.00	682077.00	
		KG5	Qa	Borehole	351823.00	681377.00	
		KG6	Pv	spring	335938.00	664942.00	
		KG7	Qwbp	spring	340514.00	663331.00	
10	Sife Chamo	SC1	Pv	spring	313955.00	652539.00	
		SC2	Qa	spring	325813.00	650053.00	
		SC3	Pv	spring	323955.00	631606.00	
		SC4	Qa	Borehole	326268.00	621806.00	
		SC5	NMt	Borehole	337177.93	618029.40	
		SC6	NMt	Borehole	340044.00	618188.00	
11	Gelana	GEL1	Pv	spring	413097.00	680370.00	
		GEL2	PNv	Borehole	410584.00	669815.00	
		GEL3	PNv	Borehole	408331.00	668006.00	
		GEL4	PNv	Borehole	415473.00	659170.00	
		GEL5	Pcgn4	spring	408449.00	633710.00	
		GEL6	Pv	spring	413840.00	621971.00	
12	Bezo Weyto	BW1	Pcgn4	spring	299599.00	669160.00	
		BW2	Pv	spring	308307.00	666051.00	
		BW3	Pcgn4	Borehole	273518.78	641784.04	
		BW4	Pcgn3	spring	241142.00	645216.00	
		BW5	NQs	Borehole	251506.68	631850.39	
		BW6	Pcgn4	Borehole	248647.00	610123.00	
		BW7	QHr	Borehole	276954.74	593722.42	
13	Konso Localized	KL1	Qa	Borehole	327166.32	602575.18	
		KL2	Pcgn1	Borehole	314963.82	598184.77	
		KL3	NMt	Borehole	326032.44	592626.67	
		KL4	Pcgn4	Borehole	317138.94	582698.21	
		KL5	Pcgn1	Borehole	328439.00	581952.00	
		KL6	NMt	Borehole	341546.24	591483.08	
14	Segen	S1	NMt	spring	366914.00	649685.00	
		S2	Qe	Borehole	351527.97	594777.38	
		S3	Qe	Borehole	374494.00	605132.00	
		S4	Pv	Borehole	374737.00	590400.00	
		S5	Pcgn4	spring	378773.00	581400.00	
		S6	NMt	Borehole	321726.00	559650.00	

### 3.8.3 水質分析の結果

水質分析の結果一覧表（サイト簡易分析結果、室内分析結果及び同位体分析結果）はデータブックに示す。エチオピア飲料水水質基準（データブック参照）にのっとり、分析結果を評価することとする。

現場簡易測定ではフッ素の値が 3.0mg/l の基準値と同等のものが散見される。特に Awassa サブベースンでは7サンプルのうち4サンプルが基準値と同等であった。また、Awassa サブベースン以北の地域（Ziway 湖から Awassa 湖の間）では、湖沼堆積物、溶結凝灰岩、凝灰岩、他火山砕屑物を帯水層とする地域で基準値と同等のものが散見された。他方、Abaya 湖北端以南の地域でも湖沼堆積物の帯水層中にやや高いものが認められるものの、サンプルの総数に対してごくわずかである。大腸菌、一般細菌ともにほとんどのサンプルで確認されているが、室内試験では検出されていないことから、飛沫、接触など人為的なものであると想定される。

他方、室内試験結果についても、飲料水基準を必ずしも満たしていない水源が散見されるが、基本的には許容値を大きく超えるものは限られている。人体への影響が懸念される分析項目としては、フッ素、鉄、硝酸塩、飲料水としての嗜好性にかかる項目としては、濁度、TDS、アンモニア、硬度及び硫酸塩などが基準値を超えている。フッ素濃度が高いものは Eastern Ziway サブベースン湖沼堆積物起源の地下水（7.41mg/l）及び Awassa サブベースンの新規火山堆積物から湧出する水（10.33mg/l）などがある。鉄の濃度は概ね最大で 0.8mg/l で大多数の結果は基準値の 0.5mg/l を下回る。しかし北部の基盤岩地域の井戸において 58.8mg/l を記録している。熱水変質を受けた基盤岩に由来するものであると想定される。飲料水としての嗜好にかかる項目では濁度、TDS、アンモニア、硬度及び硫酸塩で基準値を超えるものが散見されるが、今回のサイトはいずれも現在飲料水源として利用されているものであり、いくつかの例外を除けば飲料水源として適していると判断される。

尚、他のイオンにかかる結果については事項、水質の評価の章で述べる。

### 3.8.4 水質の評価

水質分析の結果から、トリリニアダイアグラム、ヘキサダイアグラム及び同位体分析結果をもとに、流域毎、地質毎の水質の特性を以下に述べる。

#### a. トリリニアダイアグラムによる評価

トリリニアダイアグラムを用い流域及び地質の特性について評価する。カルシウム、マグネシウム、ナトリウム及びカリウムに代表される陽イオンと、硫酸塩、塩素、重炭酸などの陰イオンの構成比を図 3.17（トリリニアダイアグラム、もしくはパイパーダイアグラム）にその成分比を投影することによって、一般的に中央の菱形部分の I から IV の水の特性を以下のように区分している。

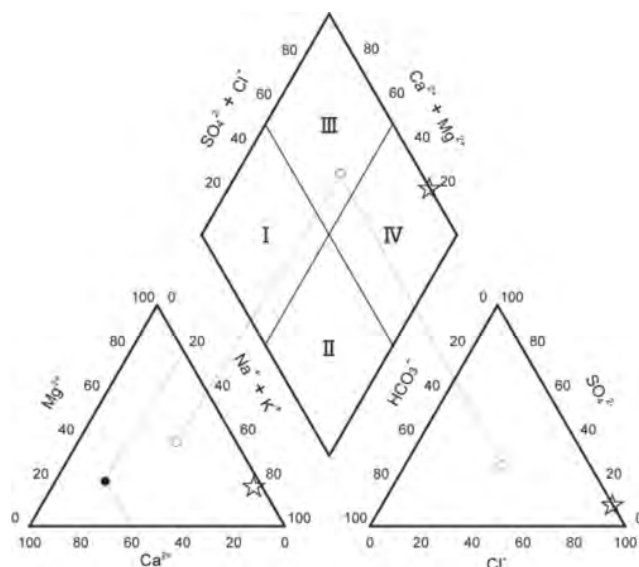


図 3.17: トリリニアダイアグラム

- I  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  型 (Carbonate hardness) : 浅層地下水、河川水
- II  $\text{NaHCO}_3$  型 (Carbonate alkali) : 深層地下水
- III  $\text{CaSO}_4 \text{ CaCl}_2$  型 (Noncarbonate hardness)
- IV  $\text{NaSO}_4 \text{ NaCl}$  型 (Noncarbonate alkali) : 海水、化石塩水、温泉

#### a.1 流域毎の地下水特性

流域毎の水質のパターンを図 3.18に示した。全体的な傾向として塩素イオンが少なく概ね  $\text{NaHCO}_3$  型と  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  型に区分される。流域別では南部の Chew Bahir 流域、Abaya-Chamo 流域は  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  型である。地下水の如何にかかわらず浅層地下水河川水起源のものが優勢である。循環性地下水は大部分がこのパターンに区分されると言われている。それに対して Awassa 流域は  $\text{NaHCO}_3$  型であり深層地下水起源の水が優勢であり、停滞的な地下水環境はこのパターンをとる場合が多いとされる。Ziway-Shalla サブベーズンでは I 型と II 型の複合的な要素が強い分布となっている。リフトバレー湖沼地域の流域毎の地下水特性の比較においては、大局的には南部流域でより循環性地下水特性が強く、北方向に徐々に停滞性の地下水パターンを示唆している。

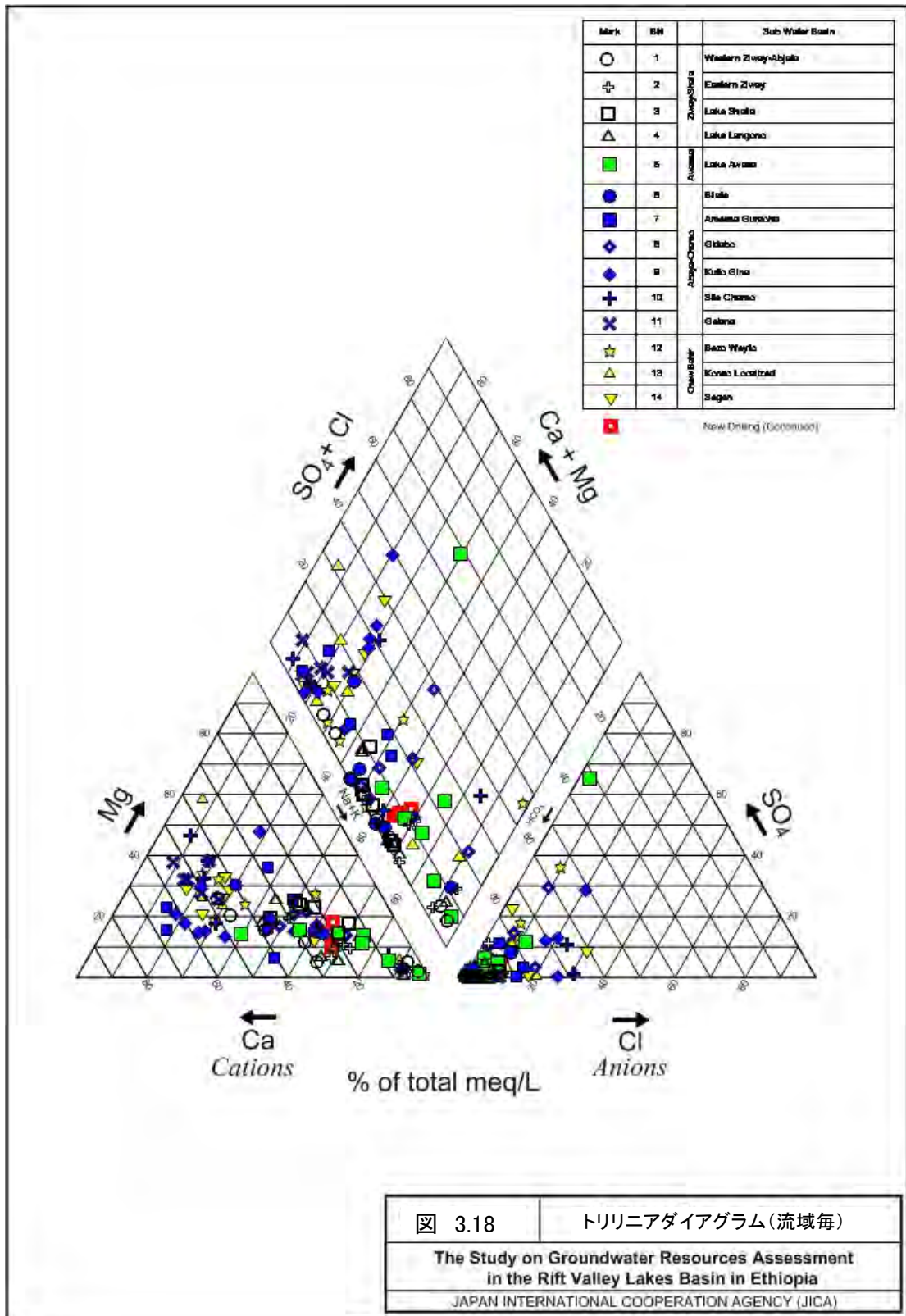


図 3.18: トリリニアダイアグラム (サブバースン毎)

## a.2 地質毎の地下水特性

砂岩、石灰岩、玄武岩、火山砕屑岩、花崗岩や片麻岩（図 3.19中の 2A から 2C）などを帯水層とする裂罅系の地下水は  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  型に、凝灰岩、凝灰角礫岩、湖沼堆積物、沖積層（図 3.19中の 1A から 1C）などに属する地下水（層状水）は  $\text{NaHCO}_3$  型もしくは  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2\text{-NaHCO}_3$  型のパターンを示している。これらのパターンからより裂罅系の帯水層は循環性地下水特性がより強く、層状水の帯水層は停滞的な地下水特性を示す。このパターンは中央部に分布する沖積層や湖沼堆積物などに賦存する地下水は停滞的な環境下であり、谷縁辺部に多く分布する火山岩類や変成岩などの裂罅水は循環性地下水の特性を持つものが多い事を示唆している。

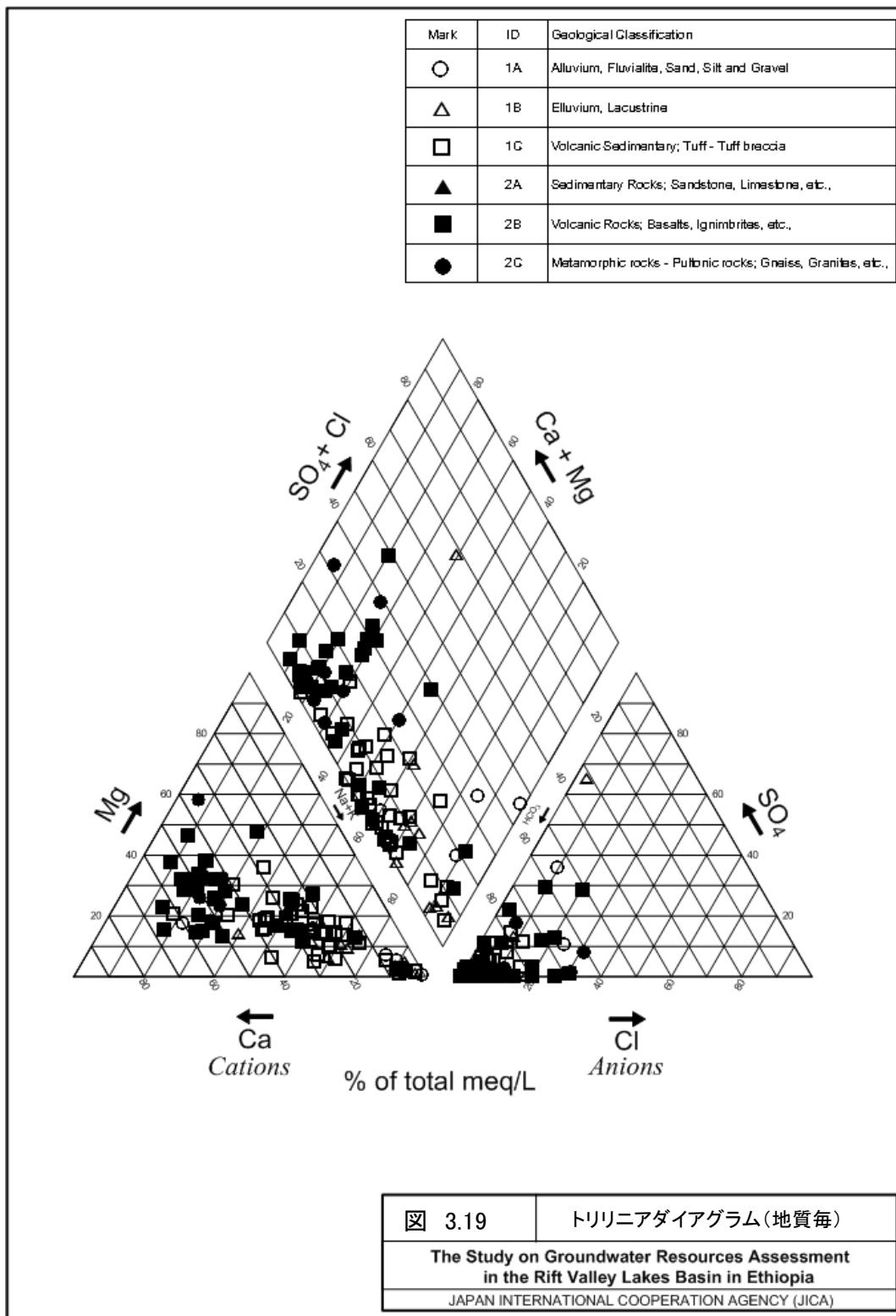


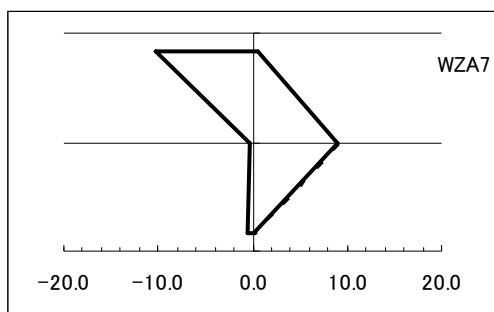
図 3.19: トリリニアダイアグラム(地質(帯水層)別)

**b. ヘキサダイアグラムによる評価**

トリリニアダイアグラムと同様に地下水の構成成分比からタイプに区分するものである。図 3.20に典型的なタイプの区分例を示した。なお流域別の各サンプルのヘキサダイアグラムをデータブックに示した。ちなみに今回実施した分析タイプはCa-HCO<sub>3</sub>型とNa-HCO<sub>3</sub>型及び中間領域タイプが認められる。

**b.1 Na-HCO<sub>3</sub>型**

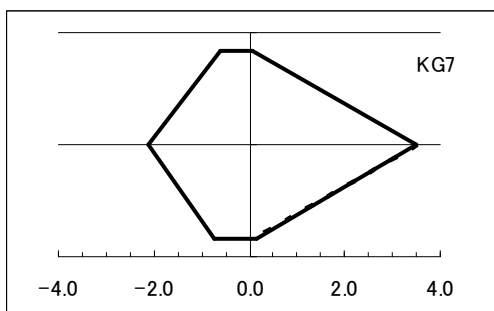
基本的には停滞的な環境にある地下水がこのパターンに該当すると言われている。また。地表から比較的深い位置にある地下はこれに該当すると言われているが、このタイプのパターンを示すものは主に北部に多く分布する。



Na-HCO<sub>3</sub>型の例(Western Ziway)

**b.2 Ca-HCO<sub>3</sub>型・中間領域型**

循環性地下水の大半がこのパターンに該当し、これは逆に南部に分布することが多い。また、中間タイプのもの循環性の特徴を示す。



Ca-HCO<sub>3</sub>型の例 (Kulfo Gina)

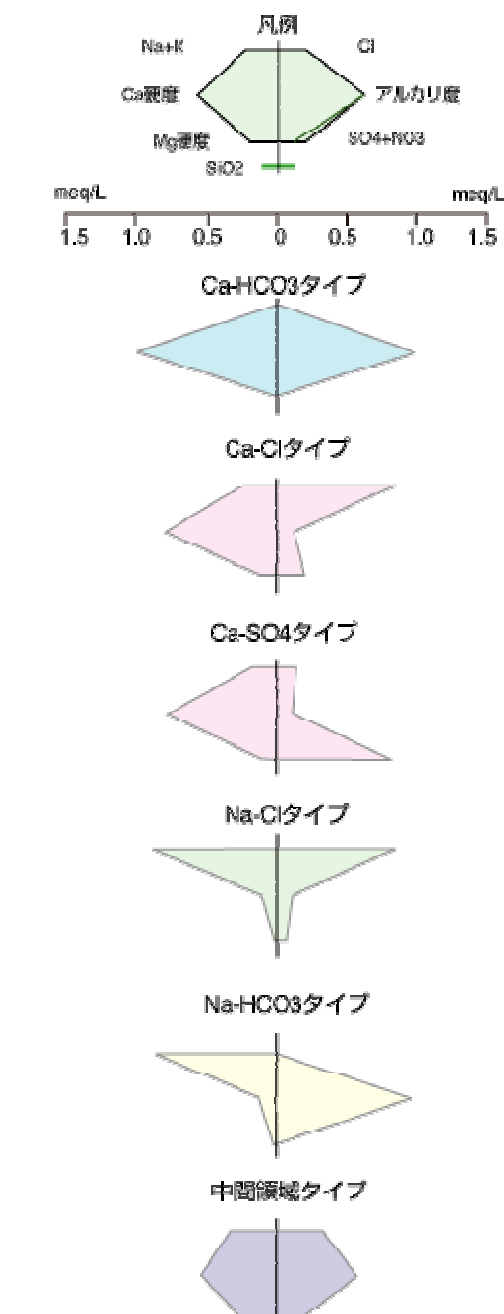
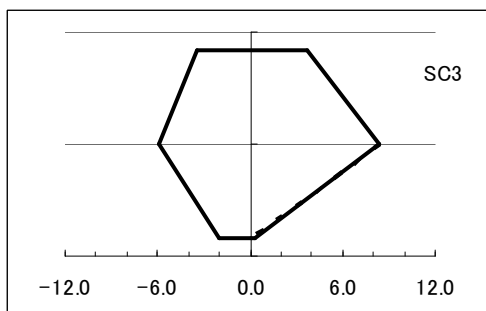


図 3.20: ヘキサダイアグラムのタイプ



中間領域型の例(Sife-Chamo)



### 3.8.5 酸素・水素同位体

Craig(1961)は世界各国の河川水、湖水、雨水、雪の酸素・水素安定同位体比を調べ、両同位体比には、概ね以下の関係があることを示した。

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

この式で表される直線を天水線と呼び、地下水をはじめとする水の起源や蒸発環境などを推定するために用いられている。一般的に、地下水の酸素・水素安定同位体比が、天水線に近い関係を示すのであれば、その地下水の源は降水であると考えられる。また、湖水のように強い蒸発作用を受けている場合、同位体比は次の式で代表される。

$$\delta D=5 \delta^{18}O+\alpha$$

また油田塩水や地熱水には明らかに天水線とは異なる同位体組成を示すものがある。このような特性を利用することで、地下水の起源を推定することが出来る。

#### a.1 同位体比結果の考察

リフトバレー湖沼地域の同位体比を流域毎、地質毎にまとめると図 3.21及び図 3.22に示す通りとなる。同位体比散布図の回帰線は  $\delta D=7.12 \delta^{18}O+12.3$  であり、天水線 (Craig, 1961) に近似しているといえる。図からあきらかな通り大部分の  $\delta^{18}O$  は 0 以下の低い値をしめし、それに対して  $\delta D$  は -10 から 10 までの値をとり、海水成分を示す SMOW (0, 0) 下部に密集している。基本的には、同位体比は天水線に近似しており、降水起源のものが大多数を占めると考えられる。また、 $\delta$  値が全体的に低いことは、高度効果によってリフトバレー湖沼地域の東西の比較的高い地域からもたらされた天水起源であることを示唆している。この集中域以外で  $\delta$  が大きいところと小さいところでは、近似曲線及び天水線から離れて、むしろ  $\delta D=5 \delta^{18}O+\alpha$  の直線範囲に入ってくる。図では  $\alpha$  を 2 から 20 の範囲で設定した (図の破線)。

これらの集中部から離れた同位体比を示すものは Ziway-Shalla サブベーズン、Chew Bahir サブベーズンに認められる。また、地質区分では沖積層、湖沼堆積物、石灰岩や火山砕屑物を帯水層とするもの該当している。すなわち上述したとおり、近傍に地熱水が分布しているところや、塩湖水の影響を受けた水はこのように他の同位体構成比とは若干異なる構成比を示している。

本来的には酸素・水素同位体比検討の際には、高度効果（高度が高くなるほど  $\delta$  が低くなる）及び温度効果（温度が高くなるほど  $\delta$  が低くなる）を考慮して、これらの効果によって各測定結果を検証する事が望ましい。また、湖などの同位体比との比較検討も必要であると考えられる。しかし、現在このような研究はこの地域ではあまり行なわれていないため、同位体の評価に供するさらなる分析が必要である。特に湖水や河川水の同位体分析結果を用いて、その水の起源に関する傾向をより正確に把握できるように各種研究機関・政府諸機関に働きかける必要があると判断する。

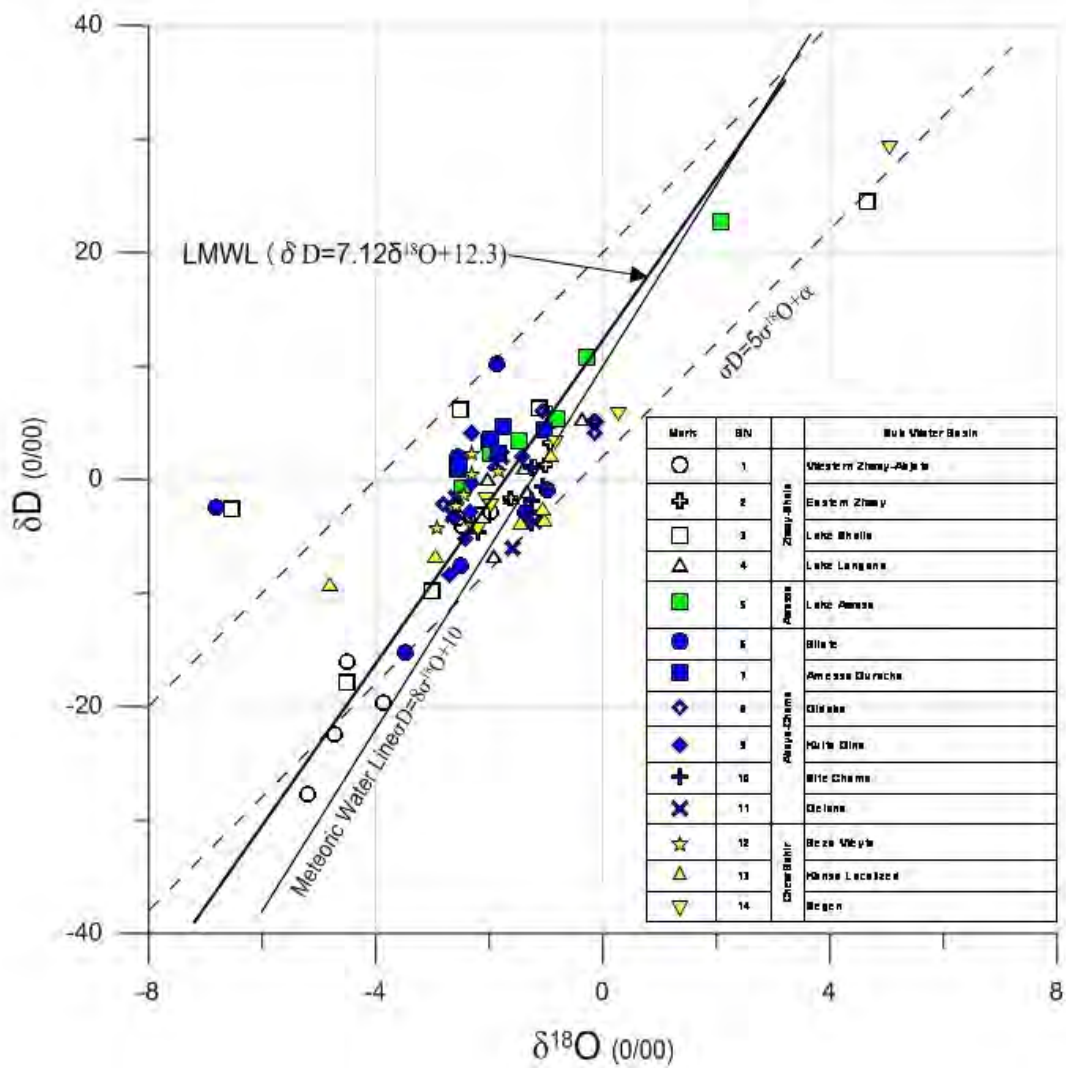


図 3.21: 酸素・水素同位体比の分布(サブ・ベースン毎)

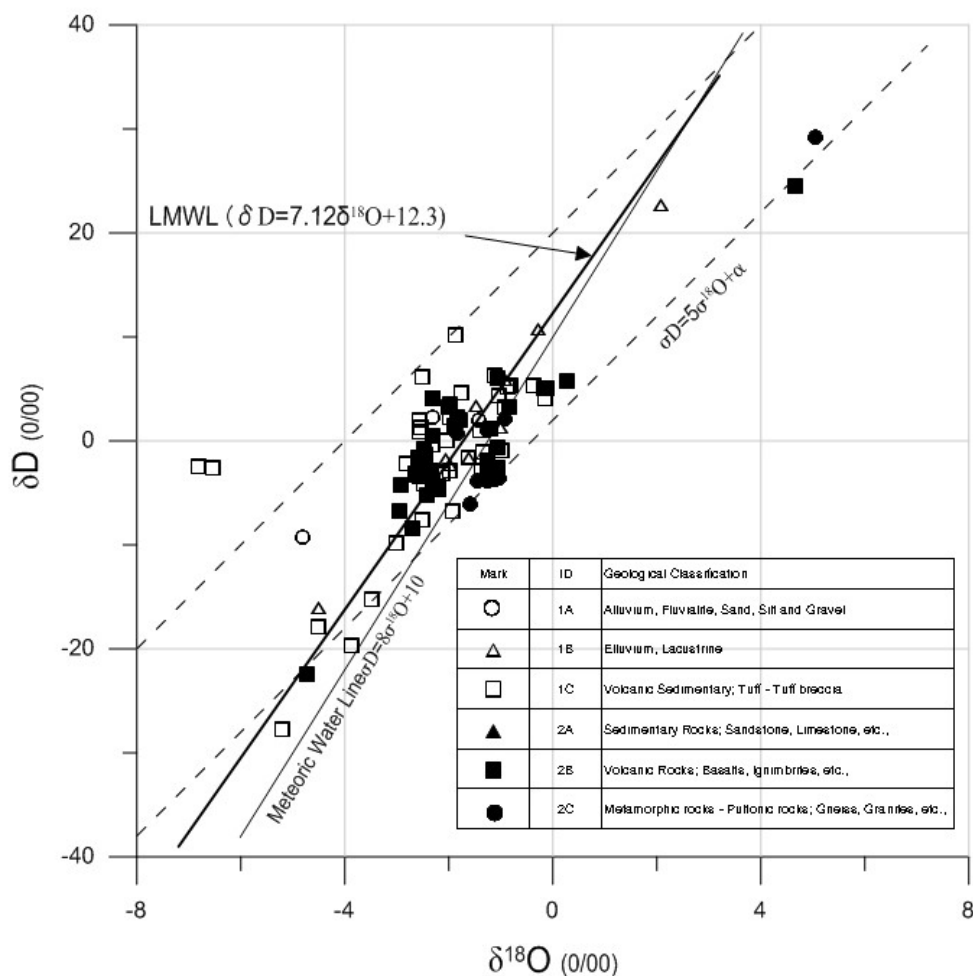


図 3.22: 酸素・水素同位体比の分布(地質(帯水層)毎)

Craig(1961)は世界各国の河川水、湖水、雨水、雪の酸素・水素安定同位体比を調べ、両同位体比には、概ね以下の関係があることを示した。

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

この式で表される直線を天水線と呼び、地下水をはじめとする水の起源や蒸発環境などを推定するために用いられている。一般的に、地下水の酸素・水素安定同位体比が、天水線に近い関係を示すのであれば、その地下水の源は降水であると考えられる。また、湖水のように強い蒸発作用を受けている場合、同位体比は次の式で代表される。

$$\delta D = 5 \delta^{18}O + \alpha$$

また油田塩水や地熱水には明らかに天水線とは異なる同位体組成を示すものがある。このような特性を利用することで、地下水の起源を推定することが出来る。

### 3.8.6 フッ素の分布とその傾向

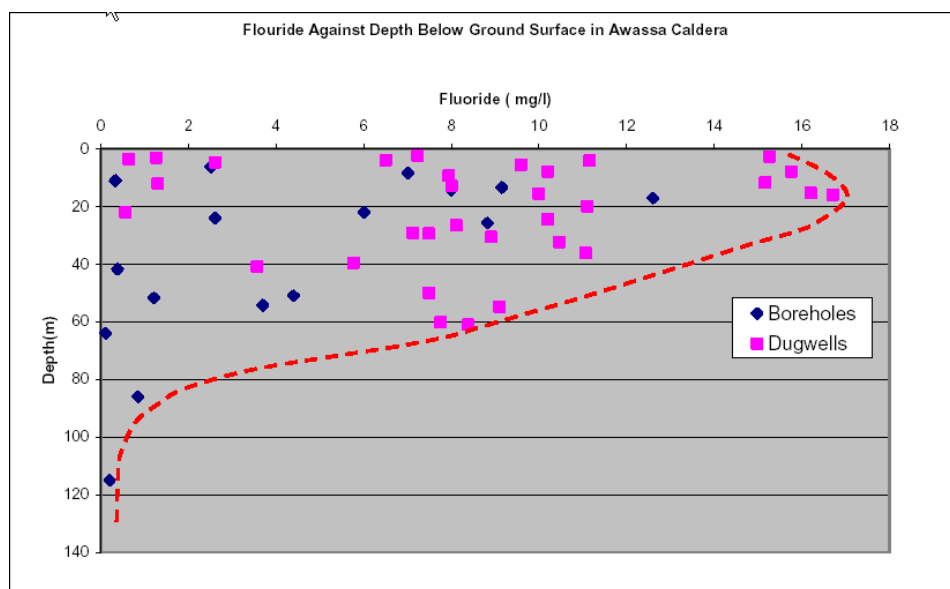
当地域のデータベースから、フッ素データを抽出してフッ素の高い地域の面的、深度的な傾向を把握した。図 3.25に当地域のフッ素濃度データを示す。エチオピア水質基準 (3.0mg/l) を大幅に上回る井戸の分布は主に Ziway 湖から Shalla 湖の北西部、平坦面から斜面の変曲点付近、Bilate 川の北東及び Awassa 湖周辺部に分布している。また、図 3.23にはアワサ周辺の深度別フッ素濃度、

図 3.24図 3.24には本調査データベースから得られた深度別のフッ素濃度図を示した。これらの結果を考察すれば、以下のような特徴が認められる。

1. Butajira 周辺では溶岩丘が分布する地域に集中して分布している。
2. Awassa 湖では湖を取り巻くように高濃度帯が存在する。
3. 深度別フッ素濃度図は不明瞭ながら、深度方向にフッ素濃度が低くなる傾向がある。

これらの事から、フッ素は地下深部からもたらされたと考えより、比較的浅い地域 (すなわち新しい火山活動に伴う地域) に集中して分布しており、それは更新世以降の火山活動と密接な関係があると考えられる。ただし、これらの因果関係を明確にするためのデータは十分では無い。

高濃度のフッ素が分布する原因として、AAU や地質調査所他多くの研究者によって、熱水鉍化作用起源、新規火山活動のオブシディアン (黒曜石) 起源とするものの 2 つの説が議論されている。本レポートでは成因についての深い考察は行わないが、本調査で得られたデータからは、より後者に近い傾向が認められる。



National Fluoride Mitigation Project ( NFMP) Short Course on Integrated Fluorosis Mitigation  
Approaches:Flouride Distribution Mapping, October 5- 15, 2009Zenaw Tessema ,

図 3.23: アワサ周辺の井戸深度と濃度

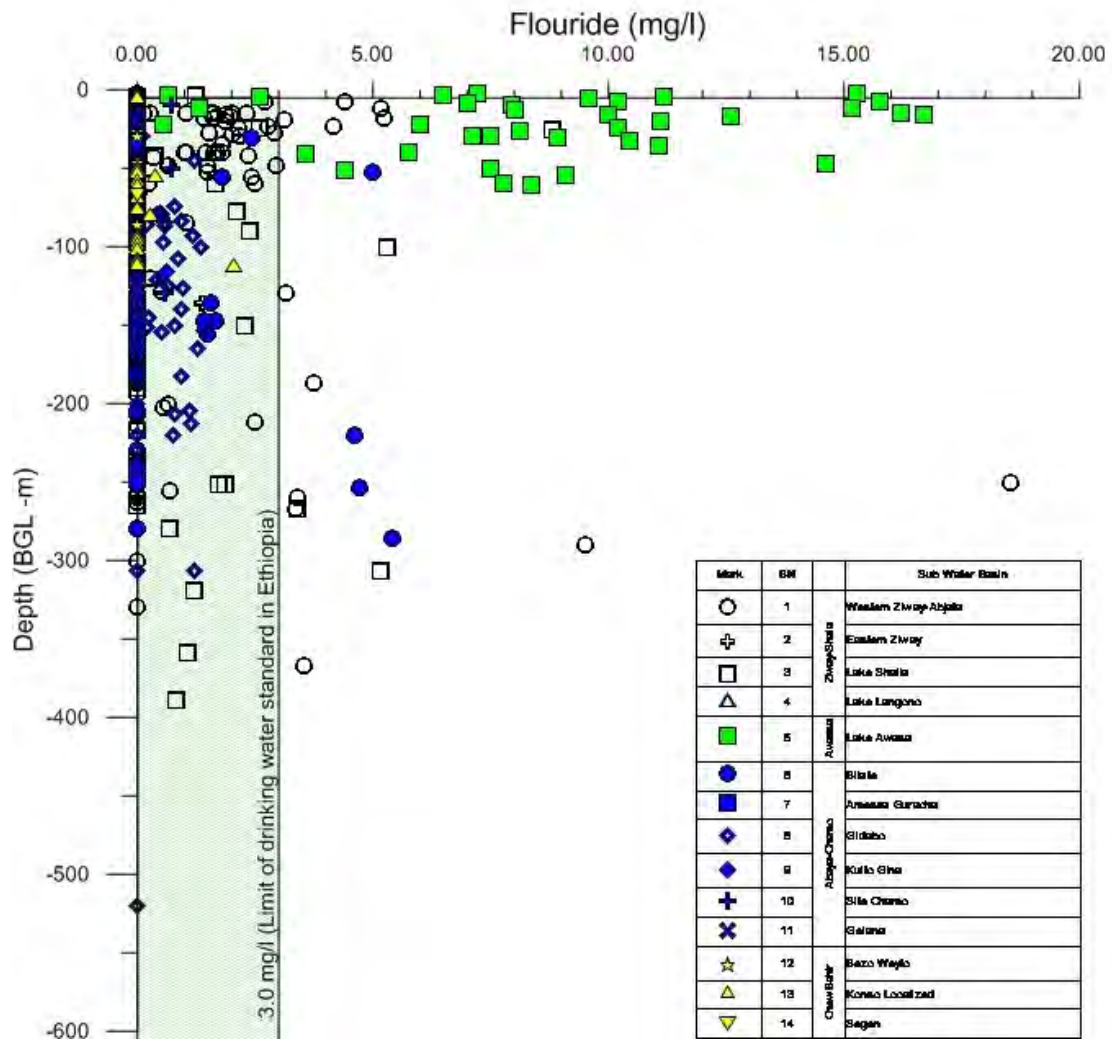


図 3.24: 調査地域全域のフッ素濃度と深度の関係

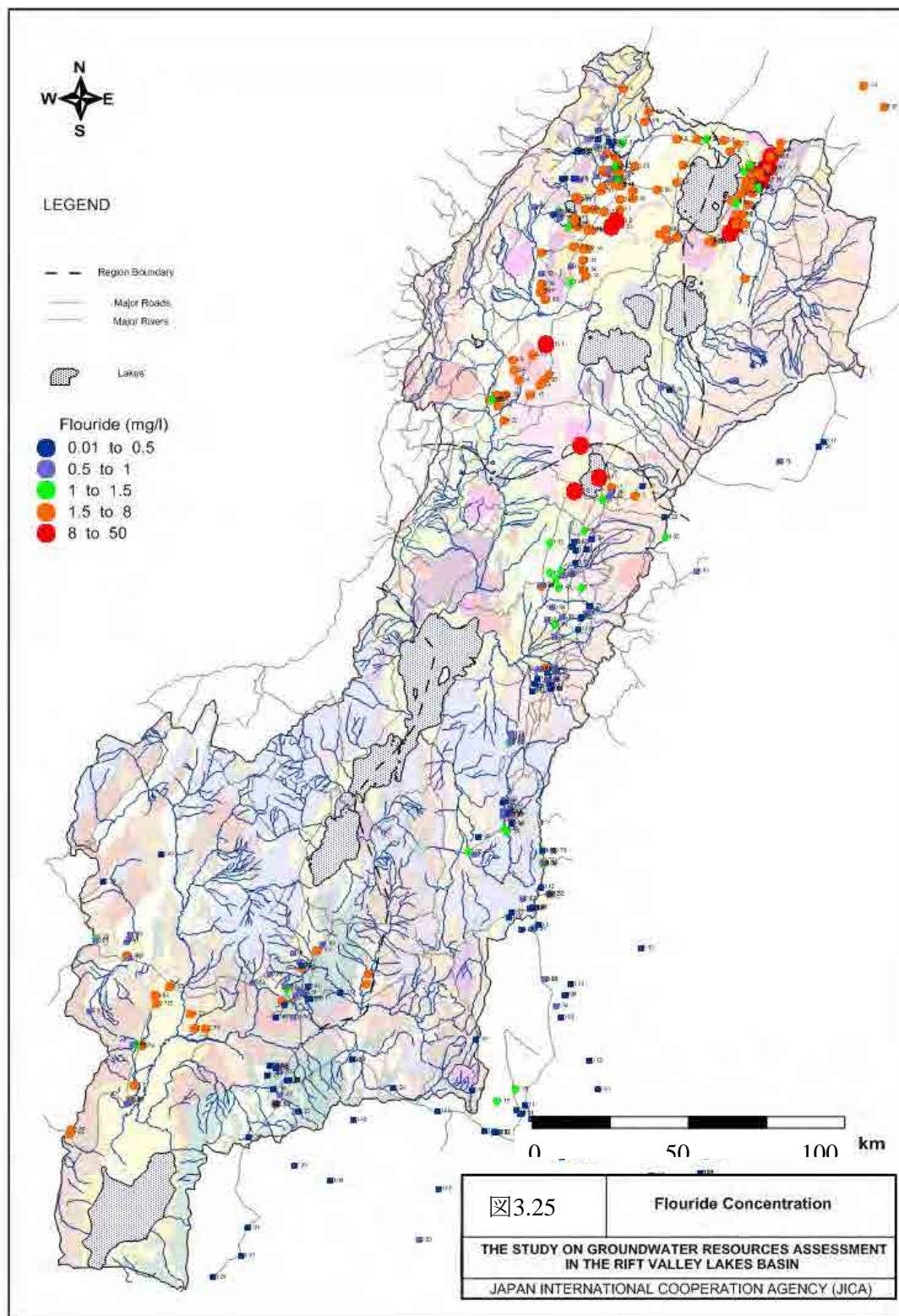


図 3.25: フッ素濃度の地域的分布

## 第4章

---

---

### 物理探查

## 4 物理探査

### 4.1 電気探査

#### 4.1.1 探査の原理と手法

電気探査は、大地に直流電気を流し、それにより形成される電位から地下の比抵抗分布を明らかにする方法である。すなわち、岩石の電氣的な性質がそれぞれ異なること、あるいは異なるために自然に生じている現象を利用して、地表下の岩石・地質の比抵抗を調べ、地下水の状況及び地質構造を明らかにすることである。本調査での電気探査は、水平探査及び垂直探査を併用して実施した。

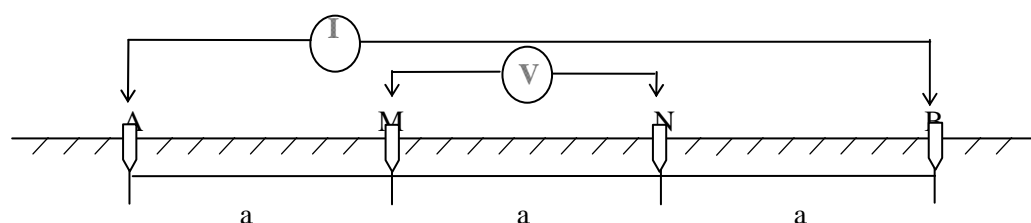
##### a. 水平探査

水平探査は、ある一定深度の見掛比抵抗（ $\rho a$ と記す）の異常値（基盤岩中の破碎帯あるいは周辺の地質構造と異なる地点）を抽出することである。

水平探査の手法は、ウエンナー法を採用した（図 4.1参照）。

ウエンナー法探査法は一測線上で電極間隔を一定に保ち、同一深度の見掛比抵抗（ $\rho a$ ）を求め、その水平変化を調べる手法である。電極間隔（ $=a$ ）は50m、100m、200mの3種類とした。

測線はリニアメントと直交した方向に設けるようにし、測定間隔は 25mである。測定値は片対数グラフ（見掛比抵抗（ $\rho a$ ）－電極間隔（ $a$ ）のグラフ）にプロットし、グラフ上の  $\rho a$  から異常点を選び、この点を垂直探査の測定地点とした。



$$\rho a = 2 \pi a (V/I), \quad \rho a = \text{見掛比抵抗 (ohm-m)}$$

a : 電極間隔(50m、100m、200m)、I : AB間の送信電流(A)

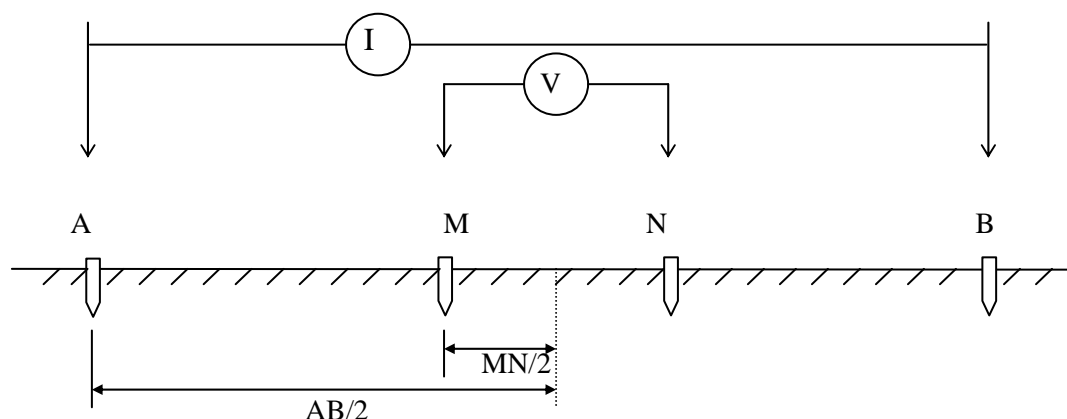
V : MN間の測定電圧(V)、AB : 電流電極、MN : 電位電極

図 4.1: ウエンナー法電極配置

##### b. 垂直探査

垂直探査は、地表下の水平な層状の地下構造を探査する方法である。本調査ではシュランベルジャー法の電極配置を採用した（図 4.2参照）。





$$\rho_a = \pi/4 \times ((AB^2 - MN^2)/MN) \times (V/I), \quad \rho_a = \text{見掛比抵抗(ohm-m)}$$

I : AB間の送信電流(A)、V : MN間の測定電圧(V)、AB : 電流電極、MN : 電位電極

図 4.2: シュランベルジャー法電極配置

電流電極と電位電極の電極間隔が小さければ見掛比抵抗値は浅い部分の構造を反映し、大きければ深部の構造も含む値になる。したがって、電極間隔を変えて一連の測定を行い、電極間隔の関数として見掛比抵抗( $\rho_a$ )を求めれば地下構造の解析が可能となる。

シュランベルジャー法は、測線上に設けた外側の 2 箇所の電流電極(A、B)に送電し、その内側に設けた一对の電位電極(M、N)で電位差を測定する。それぞれの電極間隔に対応した  $\rho_a$  を求め、この  $\rho_a$  と電極間隔との関係を両対数グラフにプロットし、曲線で表示した。この曲線は一般的に VES (Vertical Electric Sounding) 曲線と呼ばれている。電流電極間隔(AB/2)と電位電極間隔(MN/2)との組合せを、表 4.1に示す。

表 4.1: シュランベルジャー法電極間隔一覧

(AB/2)	1.5	2.1	3	4	6	9	13
(MN/2)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
(AB/2)	20	25	30	35	40	50	60
(MN/2)	0.5	0.5/10	0.5/10	10	10	10	10
(AB/2)	80	100	130	160	200	250	300
(MN/2)	10	10	10	10	10/45	10/45	45
(AB/2)	350	400	500	600	700	-	-
(MN/2)	45	45	45	45	45	-	-

### c. 測定装置

測定機器は EWTEC から借用し、機種は Advanced Geosciences Inc 社製(米国)の STING R1 である。以下に電気探査測定装置及び測定機器仕様を示す。



図 4.3: 使用した電気探査測定器

表 4.2: 電気探査測定器仕様

測定機器名	仕様
STING R1	Output current : 1~500mA

d. 現地測定

d.1 測定方法

電気探査は試掘サイト予定地10箇所を実施し、水平探査と垂直探査との組合せで測定した。

水平探査によって地表下の地質構造の相違（バックグラウンドと比べて見掛比抵抗値の低部）を示す地点を選び、この地点で垂直探査を実施した。垂直探査の比抵抗値より地下水賦存の可能性の判断及びその深度を推定した。

d.2 測定状況

水平探査の測線はリニアメントに対し直交する方向に設定した。リニアメントの発達していない地域では、水理地質的に有利な谷地あるいは低地に測線を設けた。測定地域によっては植生が蜜で、測線設定が困難な地域では地元住民の協力を得ながら伐採しての測線設定を行なった。

調査地域の一部で表土が乾燥していたために接地抵抗が高く、電流が流れ難かった。電流が上手く流れない地域では、電流電極の本数を増やしたり、塩水を撒いたり、電極設置の位置を換えたり、等を行なって接地抵抗を下げる工夫を行なった。

測定は通電電流50mA以下で測定した場合の値に再現性が見られなかったため、50mA以上の電流が流れた時の値を測定値とした。取得したデータは、全体的に良好と思われる。測定地点はGPSで緯度経度を測り、測点位置図を作成し、さらに測定地点の写真を撮影した（データブック参照）。

e. 解析方法

解析ソフトウェアは、米国 Interpex Ltd.社製の“RESIX-P”を使用し、一次元インバージ

ン解析を行った。解析は、既存井戸の地下水位・掘削深度・隣接点での解析結果や地形・地質等を考慮して行った。また VES 曲線から幾層かの層構造であるかを判断して解析を行なった。層構造解析は、各層の深度をできるだけ正確に抽出できる解析方法である（図 4.4参照）。図 4.4はオロミア州の試掘サイト BH-2 (Berta/Meki)の解析例である。図の左側は、測定データ及び解析された比抵抗構造の理論曲線、右図は解析された層構造解析図を示している。

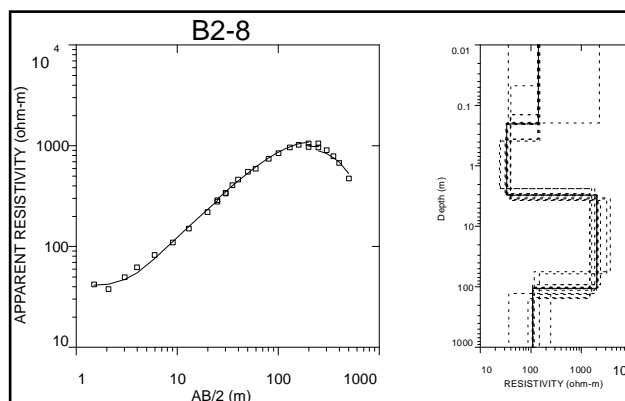


図 4.4: 層構造解析例

#### 4.1.2 探査地点の選定

##### a. 探査数量

調査対象地域はオロミヤ州及び南部諸民族州の 2 地域で 10 箇所の試掘サイトである。表 4.3に電気探査の調査数量を示す。詳細は、データブックに電気探査測定データに示した。

表 4.3: 電気探査調査数量

州名	試掘サイトNo.	サイト名	調査数量	
			垂直電気探査	水平電気探査 測線数,測線長
オロミア	2	Berta/Meki	10	1line, 500m
	3	Oyne Umbure	10	1line, 500m
	10	Brindar	10	3ines, 1500m
SNNPRS	1	Abaya Chokare	10	2lines, 775m
	4	Chancho	10	1line, 500m
	5	Fango Damot	10	1line, 500m
	6	Lajo	10	1line, 500m
	7	Arbaminch	10	2lines, 1000m
	8	Walesa	10	1line, 500m
	9	Beresas	10	2lines, 1000m
計	10	10	100	15lines, 7275m

**b. 探査地点の踏査と選定**

事前調査として、水理地質担当者と共に試掘サイトを訪問し、電気探査の位置、探査地域への道路状況等の確認を行った。探査開始時には、試掘サイトの近隣村落へ本プロジェクトの説明を行い、既存井戸の確認、給水事情の聞き取り、物理探査実施時の測線敷設及び測定への住民の協力を求めた。

**4.1.3 探査及び解析結果**

**a. 探査結果**

電気探査の測定結果として、各サイトの探査位置図（図 4.5～図 4.14参照）、電気探査測定データ（データブック参照）、水平探査測定結果図（データブック参照）、解析結果は、電気探査解析結果一覧（表 4.4参照）、比抵抗構造断面図（データブック参照）、各サイトのVES曲線及び解析結果図（データブック参照）としてまとめた。また、電気探査の作業写真をデータブックに示した。

各試掘サイトの解析結果により、試掘地点は低比抵抗層を示す測点を選定した。低比抵抗層は、主に風化層あるいは砂まじり土砂の堆積層等に対応し、その下層部の高比抵抗層は基盤岩に相当していると思われる。

表 4.4: 電気探査解析結果一覧

BH.No.	Area	No.	Coordinates (UTM)	Elevation (m)	Parameter	Layers					
						L1	L2	L3	L4	L5	L6
1	Berta/Meki	1	37N 734542 383212	1226	Resistivity(Ohm-m)	11	16	494	59		
					Thickness(m)	0.6	11.0	25	-		
					Depth(m)	0.6	11.6	36.6	-		
		2	37N 734744 383449	1234	Resistivity(Ohm-m)	168	15	756	11		
					Thickness(m)	0.4	9.0	38	-		
					Depth(m)	0.4	9.4	47.4	-		
		3	37N 734852 383283	1229	Resistivity(Ohm-m)	390	14	196	72		
					Thickness(m)	0.2	6.1	41	-		
					Depth(m)	0.2	6.3	47.3	-		
		4	37N 734903 383187	1223	Resistivity(Ohm-m)	34	17	291	48		
					Thickness(m)	6.9	5.6	31	-		
					Depth(m)	6.9	12.5	43.5	-		
		5	37N 734684 383111	1221	Resistivity(Ohm-m)	23	11	598	25		
					Thickness(m)	3.8	4.1	37	-		
					Depth(m)	3.8	7.9	44.9	-		
		6	37N 734695 383584	1241	Resistivity(Ohm-m)	62	10	1330	17		
					Thickness(m)	0.5	8.0	53	-		
					Depth(m)	0.5	8.5	61.5	-		
		7	37N 734899 383672	1237	Resistivity(Ohm-m)	12	28	239	96		
					Thickness(m)	0.2	11.0	66	-		
					Depth(m)	0.2	11.2	77.2	-		

2	Awara Godaha	8	37N 734844 383569	1226	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	21 1.1 1.1	9.8 6.7 7.8	1195 30 37.8	7.1 -	
		9	37N 734938 383521	1231	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	561 0.2 0.2	19 11.0 11.2	733 33 44.2	61 -	
		10	37N 735059 383453	1236	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	1377 0.3 0.3	16 13.0 13.3	410 41 54.3	64 -	
		1	37P 908215 486440	1703	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	141 0.6 0.6	51 6.9 7.5	4269 59 66.5	46 -	
		2	37P 908100 486650	1703	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	90 0.2 0.2	82 6.3 6.5	1437 150 156.5	59 -	
		3	37P 907905 486546	1703	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	331 0.3 0.3	49 4.6 4.9	1714 130 134.9	63 -	
		4	37P 907710 486440	1703	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	23 0.6 0.6	20 1.7 2.3	6139 41 43.3	9.7 -	
		5	37P 907830 486230	1703	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	67 0.4 0.4	42 4.0 4.4	1263 198 202.4	86 -	
		6	37P 908030 486340	1703	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	103 0.7 0.7	50 6.4 7.1	4239 62 69.1	184 -	
		7	37P 907280 486860	1703	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	161 0.3 0.3	62 3.7 4.0	999 198 202.0	161 -	
3	Oyne Umbure Chefo	8	37P 907780 486760	1703	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	142 0.2 0.2	33 2.9 3.1	2040 102 105.1	109 -	
		9	37P 907580 486660	1703	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	236 0.2 0.2	29 3.2 3.4	1733 139 142.4	44 -	
		10	37P 907660 486980	1703	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	64 0.1 0.1	36 3.2 3.3	1806 129 132.3	41 -	
		1	37N 796402 448142	1812	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	849 0.2 0.2	11916 1.7 1.9	181 26.0 27.9	776 94.0 121.9	603 -
		2	37N 796293 448035	1809	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	2535 0.5 0.5	14180 1.9 2.4	313 35.0 37.4	638 79.0 116.4	125 -
		3	37N 796232 447888	1813	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	2447 0.5 0.5	6513 2.3 2.8	272 27.0 29.8	347 55.0 84.8	309 -
		4	37N 796100 447864	1817	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	2077 0.6 0.6	7638 3.2 3.8	174 24.0 27.8	1002 81.0 108.8	247 -
		5	37N 796079 448008	1814	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	3053 0.4 0.4	7932 3.1 3.5	178 31.0 34.5	1004 66.0 100.5	80 -
		6	37N 796116 448151	1808	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	1665 0.8 0.8	6579 2.0 2.8	193 75.0 77.8	4225 41.0 118.8	118 -
		7	37N 796145 448370	1818	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	128 0.1 0.1	15885 0.8 0.9	127 21.0 21.9	705 107.0 128.9	71 -
4	Chancho	8	37N 795926 448131	1821	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	280 0.1 0.1	13537 1.2 1.3	124 25.0 26.3	839 98.0 124.3	45 -
		9	37N 795960 448290	1819	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	136 0.1 0.1	11164 0.9 1.0	90 9.7 10.7	597 152.0 162.7	87 -
		10	37N 796001 448498	1817	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	837 0.3 0.3	10164 1.3 1.6	139 45.0 46.6	908 99.0 145.6	76 -
		1	37N 745299 424849	1639	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	11 0.8 0.8	34 1.4 2.2	12 30.0 32.2	45 116.0 148.2	17 -
		2	37N 745363 424658	1640	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	23 2.0 2.0	19 17.0 19.0	62 16.0 35.0	10 36.0 71.0	46 -
		3	37N 745429 424917	1638	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	11 0.8 0.8	24 1.1 1.9	9.3 26.0 27.9	55 122.0 149.9	4.8 -
		4	37N 745614 424971	1642	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	20 0.5 0.5	57 0.8 1.3	10 26.0 27.3	49 91.0 118.3	15 -
		5	37N 745625 424839	1642	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	11 0.8 0.8	31 25.0 25.8	9.9 37.0 62.8	56 -	

5	Fango Damot	6	37N 745472 424829	1642	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	22 1.4 1.4	41 8.6 10.0	16 44.0 54.0	43 -			
		7	37N 745130 424754	1634	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	8.9 1.6 1.6	34 7.3 8.9	9.1 38.0 46.9	52 121.0 167.9	23 -		
		8	37N 755005 424642	1637	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	7.6 6.2 6.2	16 37.0 43.2	10 19.0 62.2	76 126.0 188.2	10 -		
		9	37N 745208 424589	1638	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	7.2 0.5 0.5	19 0.6 1.1	16 13.0 14.1	34 41.0 55.1	21 77.0 132.1	63 -	
		10	37N 745488 424417	1654	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	7.2 2.4 2.4	18 5.6 8.0	145 34 42.0	37 -			
		1	37N 763713 403064	1477	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	27 1.4 1.4	78 10.0 11.4	15 6.8 18.2	51 155.0 173.2	20 -		
		2	37N 763727 402963	1483	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	59 0.8 0.8	25 1.0 1.8	47 18.0 19.8	27 16.0 35.8	171 38.0 73.8	18 -	
		3	37N 763735 402743	1487	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	143 2.7 2.7	643 5.8 8.5	36 8.0 16.5	253 108.0 124.5	29 -		
		4	37N 763758 402620	1490	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	7.2 0.4 0.4	13 3.4 3.8	224 65 68.8	51 -			
		5	37N 763369 403131	1475	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	57 0.2 0.2	26 16.0 16.2	97 103 119.2	1.7 -			
6	37N 763373 402983	1484	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	550 0.3 0.3	40 7.2 7.5	141 82 89.5	9.1 -					
7	37N 763379 402779	1487	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	17 0.6 0.6	5.5 3.7 4.3	269 53 57.3	7.4 -					
8	37N 763379 402627	1494	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	40 0.4 0.4	7.2 3.0 3.4	1072 22 25.4	37 -					
9	37N 763189 402973	1481	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	52 0.6 0.6	39 15.0 15.6	262 15.0 30.6	22 16.0 46.6	261 33.0 79.6	1.9 -			
10	37N 763103 402737	1481	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	87 0.5 0.5	12 2.2 2.7	141 93 95.7	21 -					
6	Lajo	1	37N 807110 419595	1878	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	551 2.7 2.7	56 5.5 8.2	352 170.0 178.2	84 -			
		2	37N 806969 419804	1878	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	165 1.3 1.3	25 1.9 3.2	326 115.0 118.2	127 -			
		3	37N 807026 419973	1880	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	218 1.2 1.2	29 2.2 3.4	191 45.0 48.4	256 226.0 274.4	57 -		
		4	37N 807098 420187	1880	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	143 1.4 1.4	26 2.7 4.1	318 52.0 56.1	337 66.0 122.1	131 -		
		5	37N 807200 419900	1873	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	365 1.4 1.4	31 2.4 3.8	280 198.0 201.8	67 -			
		6	37N 806900 420175	1889	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	259 0.8 0.8	44 2.6 3.4	624 11.0 14.4	198 286.0 300.4	69 -		
		7	37N 807295 420185	1882	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	185 1.8 1.8	29 2.7 4.5	386 22.0 26.5	244 197.0 223.5	59 -		
		8	37N 806775 419800	1877	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	393 1.2 1.2	33 2.4 3.6	410 18.0 21.6	256 243.0 264.6	48 -		
		9	37N 806840 420000	1884	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	294 2.5 2.5	34 3.4 5.9	141 21.0 26.9	281 189.0 215.9	56 -		
		10	37N 805176 418712	1901	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	599 3.7 3.7	21 3.5 7.2	361 91.0 98.2	104 -			
7	Arba Minch	1	37N 670539 341465	1203	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	7.3 1.1 1.1	47 5.0 6.1	1.8 4.0 10.1	12 85.0 95.1	3.6 117.0 212.1	106 -	
		2	37N 670519 341711	1203	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	14 1.0 1.0	6.9 1.1 2.1	22 34.0 36.1	7.5 64.0 100.1	9.9 -		
		3	37N 670498 342009	1203	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	11 1.2 1.2	20 12.0 13.2	11 15.0 28.2	15 96.0 124.2	5.1 158.0 282.2	92 -	

		4	37N 670477 342306	1203	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	9.4 0.7 0.7	7.4 1.6 2.3	24 60.0 62.3	9 -					
		5	37N 670150 341440	1203	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	13 1.4 1.4	36 2.7 4.1	7.5 6.7 10.8	38 20.0 30.8	4.9 70.0 100.8	17 -			
		6	37N 670110 341880	1203	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	6.3 1.3 1.3	88 18.0 19.3	4.6 18.0 37.3	27 63.0 100.3	11 -				
		7	37N 670070 342270	1203	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	9.4 12.0 12.0	167 6.8 18.8	1.1 18.0 36.8	64 73.0 109.8	1.4 -				
		8	37N 669760 341410	1203	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	8.9 0.6 0.6	152 19.0 19.6	16 -						
		9	37N 669720 341850	1203	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	7.6 0.8 0.8	14 13.0 13.8	70 7.0 20.8	12 -					
		10	37N 669680 342230	1203	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	14 3.0 3.0	8.7 2.1 5.1	60 13.0 18.1	17 -					
		8	Walesa	1	37N 630294 327372	1157	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	7.6 1.3 1.3	28 15.0 16.3	5.5 159.0 175.3	129 -			
				2	37N 630500 327541	1160	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	14 3.2 3.2	47 5.6 8.8	3 37.0 45.8	11 -			
				3	37N 630591 327620	1160	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	5.6 0.4 0.4	38 9.6 10.0	5.7 197.0 207.0	45 -			
4	37N 630664 327740			1155	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	20 0.8 0.8	14 9.7 10.5	4.6 105.0 115.5	5.9 -					
5	37N 630726 327884			1150	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	14 2.4 2.4	34 4.4 6.8	5.5 50.0 56.8	1.1 49.0 105.8	83 -				
6	37N 630169 327374			1154	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	13 1.4 1.4	231 0.9 2.3	13 111.0 113.3	1.3 87.0 200.3	136 -				
7	37N 630123 327654			1145	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	13 1.6 1.6	23 6.9 8.5	5.6 133.0 141.5	10 -					
8	37N 630050 328071			1144	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	5.1 0.6 0.6	15 6.1 6.7	3.7 43.0 49.7	7.8 157.0 206.7	23 -				
9	37N 630264 327750			1145	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	41 2.0 2.0	16 15.0 17.0	2.4 21.0 38.0	20 37.0 75.0	2 99.0 174.0	49 -			
10	37N 630351 328010			1145	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	9.6 1.1 1.1	15 14.0 15.1	1.9 16.0 31.1	24 27.0 58.1	1.6 67.0 125.1	184 -			
9	Beresia	1	37N 596847 330444	1200	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	4.6 7.2 7.2	1.7 3.5 10.7	109 19.0 29.7	42 -					
		2	37N 597037 330474	1196	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	8.8 3.1 3.1	21 14.0 17.1	45 39.0 56.1	33 -					
		3	37N 597164 330545	1181	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	22 0.9 0.9	85 1.8 2.7	18 9.3 12.0	98 21.0 33.0	16 64.0 97.0	153 -			
		4	37N 597249 330600	1187	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	8.1 0.9 0.9	24 13.0 13.9	41 135.0 148.9	25 -					
		5	37N 596949 330314	1202	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	34 0.3 0.3	4.1 10.2 10.5	32 -						
		6	37N 596731 330662	1202	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	7.4 2.9 2.9	4 15.0 17.9	157 55.0 72.9	6.2 -					
		7	37N 596853 330823	1200	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	94 0.4 0.4	8.2 23.0 23.4	73 46.0 69.4	26 -					
		8	37N 596750 330892	1205	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	3.5 1.6 1.6	12 2.0 3.6	1.3 5.1 8.7	127 59.0 67.7	28 -				
		9	37N 596923 330674	1199	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	5.9 2.4 2.4	25 2.0 4.4	3.6 4.8 9.2	133 23.0 32.2	27 -				
		10	37N 597073 330723	1200	Resistivity(Ohm-m) Thickness(m) Depth(m)	5.9 5.5 5.5	124 21.0 26.5	27 -						

10	Brindar	1	37N 566688 348801	890	Resistivity(Ohm-m)	2.8	86	2.5	68	5	14	
					Thickness(m)	0.2	1.4	5.8	28.0	78.0	-	
					Depth(m)	0.2	1.6	7.4	35.4	113.4	-	
		2	37N 566601 349030	887	Resistivity(Ohm-m)	37	2.8	5.2	6.4	-	-	-
					Thickness(m)	0.2	6.9	152.0	-	-	-	
					Depth(m)	0.2	7.1	159.1	-	-	-	
		3	37N 566526 349214	887	Resistivity(Ohm-m)	17	1.4	7.7	1.3	72	-	-
					Thickness(m)	0.4	9.9	11.0	29.0	-	-	
					Depth(m)	0.4	10.3	21.3	50.3	-	-	
		4	37N 566443 349420	887	Resistivity(Ohm-m)	7.1	3	9.9	2.8	9.6	-	-
					Thickness(m)	5.3	9.3	18.0	26.0	-	-	
					Depth(m)	5.3	14.6	32.6	58.6	-	-	
		5	37N 566343 349678	887	Resistivity(Ohm-m)	8.2	22	2.2	40	-	-	
					Thickness(m)	0.6	1.3	94.0	-	-		
					Depth(m)	0.6	1.9	95.9	-	-		
		6	37N 566764 348611	892	Resistivity(Ohm-m)	15	37	14	23	-	-	
					Thickness(m)	1.1	42.0	117.0	-	-		
					Depth(m)	1.1	43.1	160.1	-	-		
		7	37N 566285 349826	887	Resistivity(Ohm-m)	12	2.7	7.9	1.9	67	-	-
					Thickness(m)	3.0	3.6	45.0	56.0	-	-	
					Depth(m)	3.0	6.6	51.6	107.6	-	-	
		8	37N 566249 349915	887	Resistivity(Ohm-m)	14	1.4	7.8	2.6	1010	-	-
					Thickness(m)	3.1	3.5	20.0	100.0	-	-	
					Depth(m)	3.1	6.6	26.6	126.6	-	-	
		9	37N 566191 350055	887	Resistivity(Ohm-m)	3.9	1	11	2.2	45	-	-
					Thickness(m)	5.1	6.1	19.0	126.0	-	-	
					Depth(m)	5.1	11.2	30.2	156.2	-	-	
		10	37N 566157 350148	887	Resistivity(Ohm-m)	8.9	17	6	2.4	82	-	-
					Thickness(m)	0.4	4.1	36.0	95.0	-	-	
					Depth(m)	0.4	4.5	40.5	135.5	-	-	

b. 探査結果と地質との関係

b.1 見掛け比抵抗値と地質

取得した見掛け比抵抗値（ $\rho a$ ）は、数 ohm-m～数 1,000ohm-m の範囲に分布する。各試掘サイトで取得した  $\rho a$  を表に示す(表 4.5)。また、過去における 2 州地域の  $\rho a$  に対応すると推定される岩石を表にまとめた(表 4.6参照)。

表 4.5: 各サイトの見掛け比抵抗値

州名	試掘サイト No.	サイト名	見掛け比抵抗値 (ohm-m) (最小-最大,平均)
オロミア	2	Berta/Meki	25-1148, 46-1049
	3	Oyne Umbure	181-6656, 243-4818
	10	Brindar	3-41, 5-15
SNNPRS	1	Abaya Chokare	13-250, 23-144
	4	Chancho	10-103, 16-40
	5	Fango Damot	11-190, 28-113
	6	Lajo	46-589, 75-328
	7	Arbaminch	9-94, 13-32
	8	Walesa	3-55, 6-26
	9	Beresa	6-68, 10-39



表 4.6: 見掛け比抵抗値と岩石

No.	岩石	見掛け比抵抗値(ohm-m)
1	堆積物：細粒の粘土、シルト、飽和水	<10
2	堆積物：粗粒の岩石、飽和水	10-100
3	強風化層：変質した岩層	<20
4	中程度の風化層：破碎岩	40-200
5	中程度の風化層：破碎岩、飽和水	10-100
6	中程度の風化層：初期の火山碎屑物	100-1,000
7	軽石質の火山碎屑物	>1,000-1,5000
8	飽和水の火山碎屑物	10-100

## b.2 オロミア州

### ●BH-2 (Berta/Meki)

Meki区域は砂と粘土から成る堆積物（沖積層と湖成堆積物）で覆われている。下部に堆積物、火山碎屑物から成るDino構造、溶結凝灰岩と凝灰岩は堆積物と推定される。これらはこの区域で掘削された地質記録により明らかにされた。

### ●BH-3 (Oyne-Chefe-Umbure)

サイトはDino形成に属しているルーズなそして粗い軽石質の火山碎屑物で、広範囲に渡って覆っている。凝灰岩と溶結凝灰岩は地表下部に横たわって堆積されていることが予想される。

### ●BH-10 (Brindar)

サイトの地表は主に玄武岩質砂礫、砂と泥で構成された物質等で覆われ、おそらく沖積層の分布が考えられる。

表面下の全区域は Teltele 玄武岩の基礎と考えられる。それは水晶のような基盤岩の上に不整合に横たわる中新世年代の台地玄武岩と考えられる。

## b.3 南部諸民族州

### ●BH-1 (Abaya Chokare)

この区域はWonji断層ベルトの一部で集中的に断層が生じた地域で横たわっている。そしてエチオピアリフトバレー軸の延長地域と火山活動との関係は明らかである。サイトにおいて優勢な地質はその区域で広く行き渡り、浸食のために露出され非常に粗い軽石質の火山碎屑物から成り立っている。これらの岩はおそらくNazretグループの溶結凝灰岩が基礎と考えられる。隣接した高い尾根は、新期の玄武岩で覆われている（例えばVES1-7）。

### ●BH-4 (Chancho)

Chancho区域は酸性の火山、主に固結されていない火山碎屑物、凝灰岩及び溶結凝灰岩

で覆われている。これらの岩石はNazretグループの溶結凝灰岩が基礎となっている。沖積層はその区域を横切る小川の氾濫原で確認できる。

その区域は、断層がAwasa湖の南からAbaya湖の北東まで広がる状態で、NE-SW方向の範囲に断層が位置している。

#### ●BH-5 (Fango Damot)

本区域はBilate川に近いDuguna山の丘に位置する。露出された地質の北側がDino形成の火山砕屑物と想定される。これらの岩石はおそらくNazretグループの溶結凝灰岩が基礎となっている。西部方向のDuguna山は流紋岩質と粗面岩状の溶岩で覆われている。

#### ●BH-6 (Yaye/Alaba)

サイト地域はDino形成に属しているルーズで、粗い軽石質の火山砕屑物が広範囲に渡って覆われている。これらの岩石はおそらくNazretグループの溶結凝灰岩が基礎と考えられる。

#### ●BH-7 (Arba Minch)

サイトはAbaya湖の南西の平野に位置し、沖積の堆積物や湖成起源が厚く分布している。また、砂利・粘土の沖積層が表面を覆っていることが分かる。

主要な断層断崖が平野とGemu高地と境界をなし、後者は広範囲で火山岩によって覆われている。したがって、堆積物は同じ火山性で基礎となっていると考えられる。

地域周辺では多数の温泉と噴気孔が確認でき、地熱活動の地域であることが分かる。

#### ●BH-8 (Walesa)

厚く覆っている堆積物（沖積層、崩積土、湖上堆積物）はChamo湖と西の険しい断崖に平らな地形と近接に起因している。Wazeka川はその区域の東部で氾濫し、巨礫、玉石、砂利等が堆積している。

Gidole高地と隣接した低地と境界をなしている断崖はNE-SW方向の主要な断層で、Chamo湖盆地の西の端を形成している。サイト西方のGidole山は、基底の砂岩と上に重なった溶岩流の間に存在し、その下位に玄武岩質溶岩が分布し厚い火山岩で覆われている。先カンブリア時代の基盤岩は火山性と考えられる。

#### ●BH-9 (Beresa)

Beresaサイトは地域の火山溶岩流の上に横たわり、GemuとGidole高地で確認されるが、先カンブリア時代の基盤岩とは不整合である。局所的には中程度で風化されており、そして破碎された玄武岩質岩がわずかに覆い、いくつかの場所において露出している。

### c. VES曲線

VES曲線は3タイプに分けることができる。見掛比抵抗値が地表下より“高～低～高”あるいは“高～低～高～低～高”を示すAタイプ（凹タイプ）、見掛比抵抗値が地下深部で下降するBタイプ（凸タイプ）、見掛比抵抗値が地表下より“低～高”と上昇するCタイプ（∟タイプ）である。

Aタイプは全体の約25%、Bタイプは約70%で、概ね2タイプを示す（表4.7）。地下水の存在を示すタイプはA及びBと考えられ、地下水腑存の可能性は高いと思われる。

表 4.7: 比抵抗構造とVES 曲線タイプ

比抵抗構造層数	該当数	VESタイプ		
		A(凹タイプ)	B(凸タイプ)	C(∟タイプ)
3	3	1	2	—
4	49	8	38	3
5	38	9	28	1
6	10	6	3	1
計	100	24	71	5

#### d. 比抵抗構造

比抵抗構造は3～6層構造を示し、全体の90%が4～6層構造を占める（表4.7参照）。全体的に地表浅部は乾燥して比抵抗が高い。その下層は風化層あるいは浅層地下水で比抵抗が低くなるがその深部では高比抵抗を示している場合が多い。さらに深部になると比抵抗が低くなる傾向を示している。このうち地下水の可能性が高いA及びBタイプは95%を示している。比抵抗構造から選定した各サイトの試掘地点及び計画掘削深度、各サイト全般に渡って推定される地質を表4.8に示す。

表 4.8: 試掘サイトの比抵抗構造に対する地質

州名	試掘サイト No	サイト名	比抵抗構造層数	Ves No. 計画試掘深度(m)	地質
オロミア	2	Berta/Meki	4	VES10 250	1 <sup>st</sup> -2 <sup>nd</sup> :表土 3 <sup>rd</sup> :火山碎屑物（凝灰岩、火山岩、火山灰） 4 <sup>th</sup> :風化層、破碎岩、火山碎屑物（帯水層）
	3	Oyne Umbure Chefo	5	VES8 250	1 <sup>st</sup> -2 <sup>nd</sup> :表土、軽石質火山碎屑物 3 <sup>rd</sup> :風化した火山碎屑物 4 <sup>th</sup> :火山碎屑物（新鮮/乾燥された層） 5 <sup>th</sup> :火山碎屑物（含水層）、破碎岩
	10	Brindar	4-6	VES8 150	1 <sup>st</sup> -2 <sup>nd</sup> :堆積物（砂礫、砂） 3 <sup>rd</sup> -5 <sup>th</sup> :堆積物、塩水化？ 6 <sup>th</sup> :火山岩（凝灰岩）

SNNPRS	1	Abaya Chokare	4	VES6 150	1 <sup>st</sup> -2 <sup>nd</sup> :凝灰岩 3 <sup>rd</sup> :軽石質火山砕屑物 4 <sup>th</sup> :風化或いは破碎された溶結凝灰岩 (含水層)
	4	Chancho	4-6	VES3 250	1 <sup>st</sup> -2 <sup>nd</sup> :表土-粘土質 3 <sup>rd</sup> :粘土質-火山砕屑物 4 <sup>th</sup> :風化した火山砕屑物 5 <sup>th</sup> -6 <sup>th</sup> :火山砕屑物 (含水層、破碎、飽和)
	5	Fango Damot	4-6	VES3 250	1 <sup>st</sup> -3 <sup>rd</sup> :表土-粘土質、火山砕屑物 4 <sup>th</sup> :風化した火山砕屑物 5 <sup>th</sup> -6 <sup>th</sup> :風化或いは破碎された火山岩、火山砕屑物
	6	Lajo	4-5	VES7 400	1 <sup>st</sup> -2 <sup>nd</sup> :表土、風化した火山砕屑物 3 <sup>rd</sup> -4 <sup>th</sup> :軽石質火山砕屑物 4 <sup>th</sup> -5 <sup>th</sup> :破碎岩、火山砕屑物 (含水層)
	7	Arbaminch	3-6	VES6 250	1 <sup>st</sup> -2 <sup>nd</sup> :表土、砂礫 3 <sup>rd</sup> :堆積物 (粗い堆積物) 4 <sup>th</sup> -5 <sup>th</sup> :堆積物 (粘土、シルト、塩水) 6 <sup>th</sup> :基盤岩、火山岩
	8	Walesa	4-6	VES5 250	1 <sup>st</sup> -2 <sup>nd</sup> :表土 3 <sup>rd</sup> :堆積物 (粗い堆積物) 4 <sup>th</sup> :堆積物 (塩水?) 5 <sup>th</sup> -6 <sup>th</sup> :基盤岩、火山岩
	9	Beresa	3-6	VES2 150	1 <sup>st</sup> -2 <sup>nd</sup> :表土、風化 3 <sup>rd</sup> -6 <sup>th</sup> :風化岩 (帯水層)

## e. 探査結果からみた水理地質状況

### e.1 オロミア州

#### ●BH-2 (Berta/Meki)

本サイトの比抵抗構造は3～4層を示す。上位2層は100ohm-m以下の比抵抗で層厚3～10mと変化し、風化或いは変質した火山砕屑物と考えられる。中間層は1,200～4,300ohm-mの高比抵抗を示し、乾燥した火山砕屑物と思われる。最下層は10～100ohm-mの比較的低い比抵抗を示し、風化或いは破碎された火山岩もしくは火山砕屑物等が地下水で飽和されていると考えられる。

#### ●BH-3 (Oyne-Chefe-Umbure)

本区域は4～5層の比抵抗構造を示す。表層は1,000～7,000ohm-mの高比抵抗を示し、厚さは2～4mと薄く、乾燥した軽石質の火山砕屑物と思われる。表層下は100～300ohm-mの比較的低い比抵抗となり、中程度に風化された火山砕屑物と考えられる。4層目の比抵抗は300～4,000ohm-m程度と高い値を示し、乾燥した火山砕屑物或いは新鮮な岩石と解釈される。最下層の5層目は100ohm-m以下～300ohm-mの範囲の低～中比抵抗で、この低比抵

抗層は火山砕屑物が地下水により飽和されているか、あるいは風化または破砕された岩石の存在が考えられる。

#### ●BH-10 (Brindar)

本比抵抗層は大略的に2～3層に分けられる。表層は10ohm-m以下の低比抵抗で、堆積物（沖積層）あるいは風化層または破砕された岩石と考えられ、地下水が豊富に存在していると予測される。その下位は40～100ohm-mの比抵抗層で基盤岩と考えられる。

### e.2 南部諸民族州

#### ●BH-1 (Abaya Chokare)

調査区域は主に3層の比抵抗構造を示す。表層は20ohm-m以下の低比抵抗で、変質あるいは風化が進んだ凝灰岩によって比抵抗が低くなっていると思われる。その下層は200～1,200ohm-mの高比抵抗層となり、乾燥した軽石質の火山砕屑物と思われる。最下層は10～100ohm-mの低比抵抗層を示し、風下層もしくは破砕された岩石の存在が考えられる。この最下層は帯水層の存在が予測され、その厚さは平均50mと考えられる。

#### ●BH-4 (Chancho)

本サイトの比抵抗構造は4～5層を示す。上位2層は10～20ohm-mの低比抵抗を示し、粘土或いは風化された火山砕屑物に起因すると考えられる。これらの下層に40～100ohm-mの低～中比抵抗の層を示し、風化された火山砕屑物の存在が考えられる。最下層は5～20ohm-mと比抵抗が低くなり、この低比抵抗は火山砕屑物或いは風化層或いは破砕された岩石が地下水で飽和されている可能性が高いと考えられる。

#### ●BH-5 (Fango Damot)

本地区は主に3～4層の比抵抗構造を示し、表層は10～200ohm-mの低～中比抵抗で層厚は2～16mと薄く、地質的には粘土層或いは風化された火山砕屑物と考えられる。中間層は100～1,000ohm-mの中～高比抵抗を示し、地下水を含まない風化層による高比抵抗と考えられる。最下層は中間層とは対照的に比抵抗が著しく低く、その値は20～30ohm-mである。この低比抵抗の起因は風下層或いは破砕された岩石または火山砕屑物等が地下水によって飽和されている可能性が高い。

#### ●BH-6 (Yaye/Alaba)

比抵抗構造は主に4層を示す。表層は1～4mの薄層の高比抵抗140～600ohm-mを示し、表層には砂の分布が認められる。その下層は比抵抗が20～60ohm-mと低くなり、風化された火山砕屑物の影響によるものと考えられる。3層目は200～600ohm-mの高比抵抗を示し、新期の火山砕屑物の存在が考えられる。最下層は50～130ohm-mと低くなり、火山砕屑物が地下水によって飽和され比抵抗が低くなっているものと考えられる。

#### ●BH-7 (Arba Minch)

本地区は厚い堆積層で覆われ、火山岩が基盤と予測される。最下層の比抵抗は90～100ohm-mで基盤岩に対比され、この基盤岩上に堆積物が分布し、その厚さは平均130～150mである。堆積物は3つのグループに分けることができ、1つ目のグループは10ohm-m以下の著しく低い比抵抗で細粒堆積物（粘土、シルト層）または塩水化された地下水の飽和が考えられる。2つ目のグループは10～20ohm-mの低比抵抗で細粒～粗粒状の堆積物、3つ目のグループは20～100ohm-mの比抵抗で砂状もしくは礫層と考えられる。例として、粗粒状の堆積物がVES7-6とVES7-8の浅層において認められる。

#### ●BH-8 (Walesa)

ワレサ区域は同じく沖積層及び湖成堆積物が厚く分布している。解析結果により比抵抗構造は堆積物と基盤岩の層に区分できる。基盤岩は40～200ohm-mの範囲の比抵抗を示し、堆積物は10～40ohm-mの低比抵抗で10m以下の厚さと考えられる。堆積物中には著しく低い5ohm-m以下の比抵抗が認められ、この低比抵抗は塩水化された地下水で飽和されている可能性が考えられる。堆積物の厚さは100～200mと変化に富んでいる。

#### ●BH-9 (Beresá)

調査区域は風化或いは破砕された玄武岩で覆われている。比抵抗構造は主に3～4層を示し、上層2層は20ohm-m以下の著しい低～低比抵抗で風下層と思われる。その下層は40～160ohm-mの中比抵抗で風化或いは破砕された岩石と考えられる。最下層は10～40ohm-mの低比抵抗を示し、風化層或いは破砕された岩石が地下水で飽和されていると考えられる。特にVES9-3の解析結果によれば、100m深度において帯水層の下部に岩の存在が想定される。

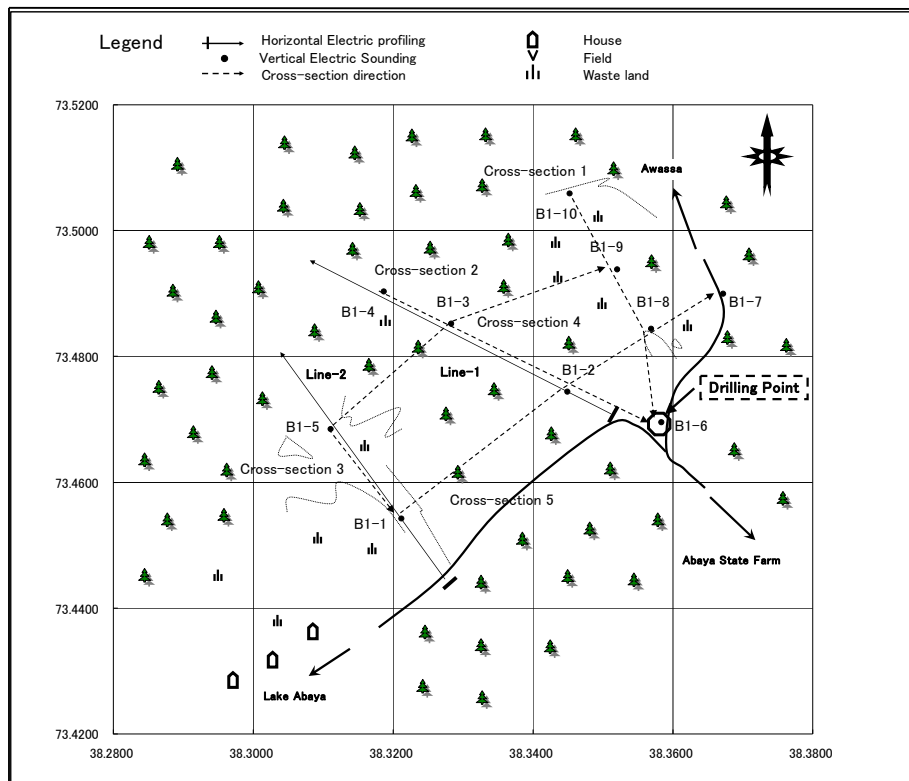


図 4.5: 調査位置図 (観測井 No.1 地点: Abaya Chokare)

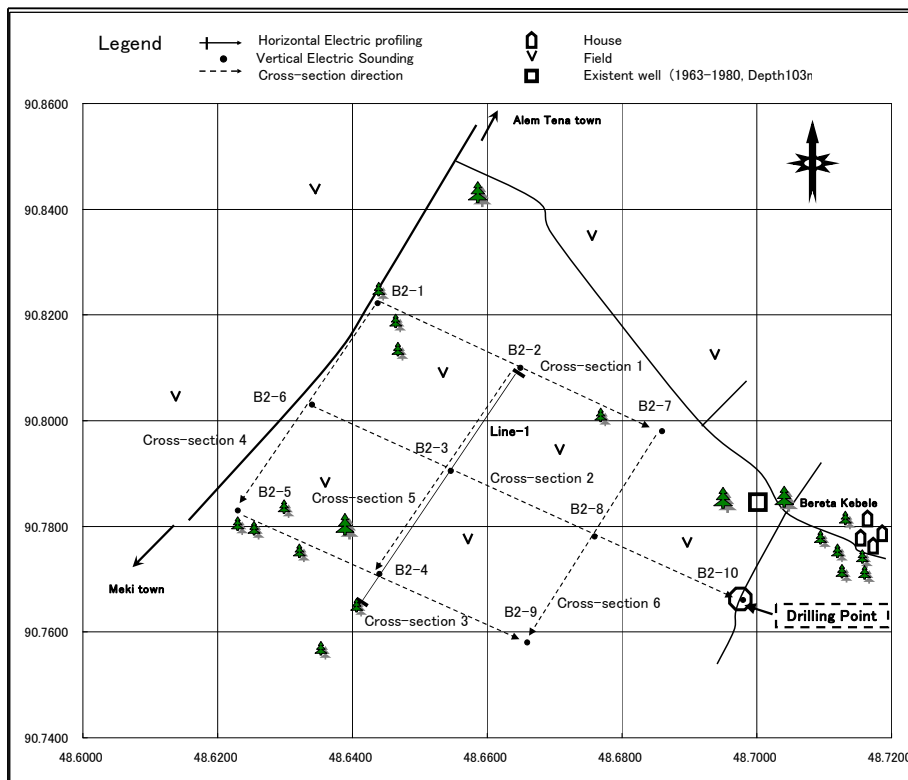


図 4.6: 調査位置図 (観測井 No.2 地点: Awra Godana)

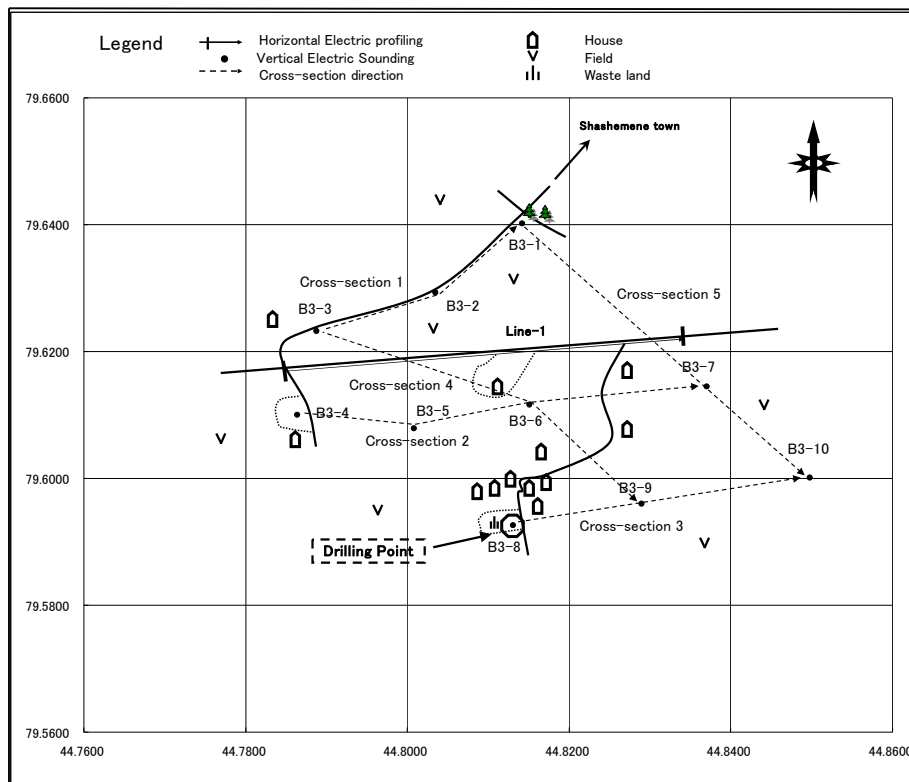


図 4.7: 調査位置図 (観測井 No.3 地点: Oyne Umbure Chefo)

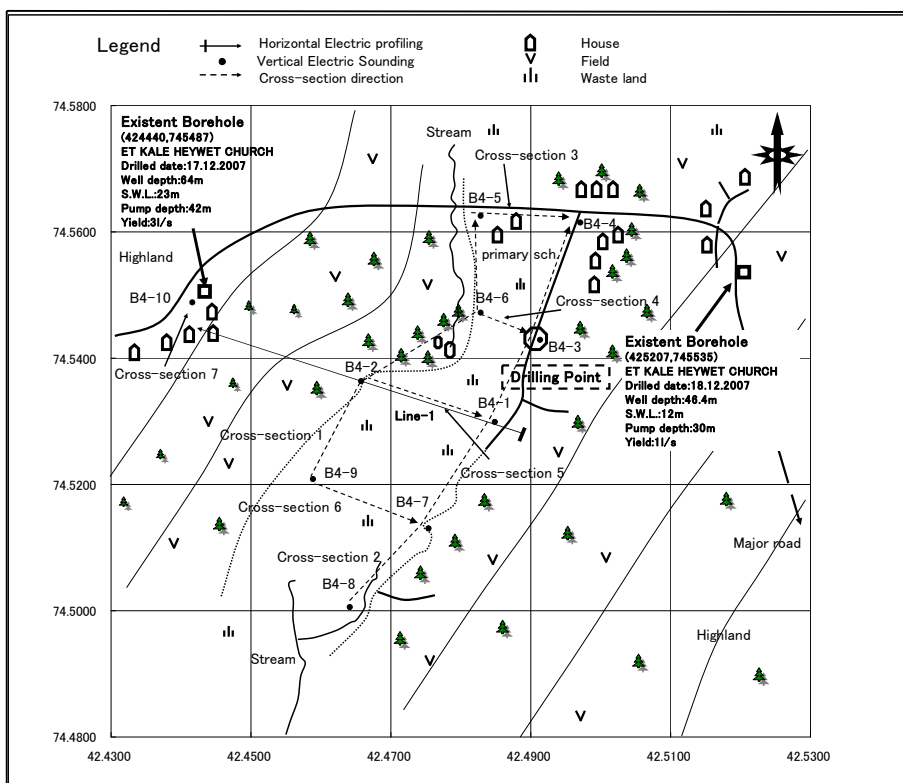


図 4.8: 調査位置図 (観測井 No.4 地点: Chancho)



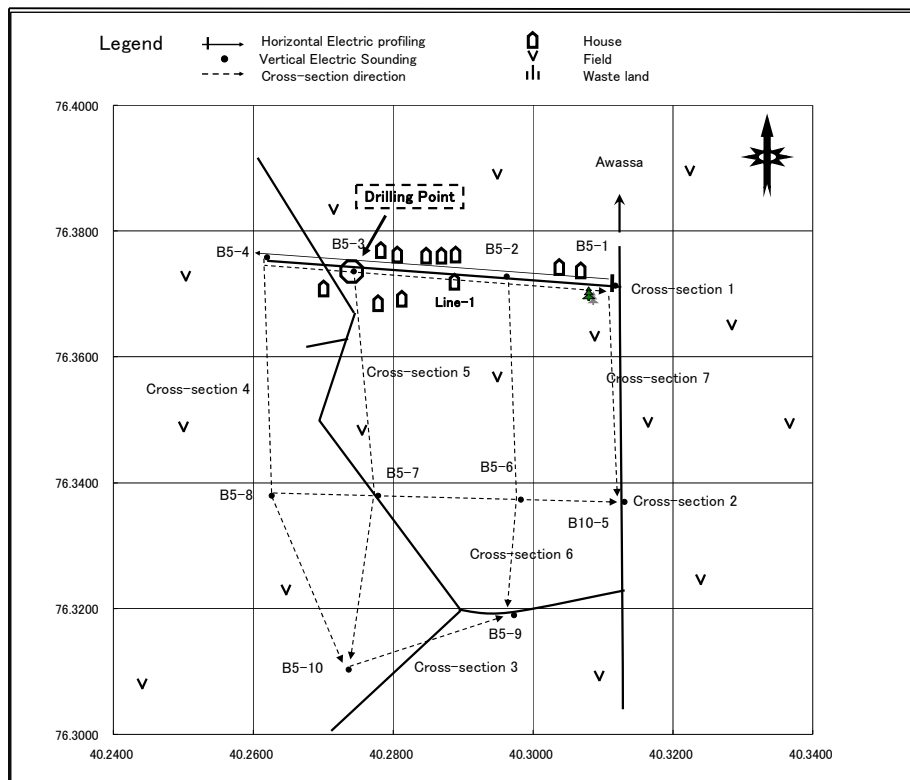


図 4.9: 調査位置図 (観測井 No.5 地点: Fango Damot)

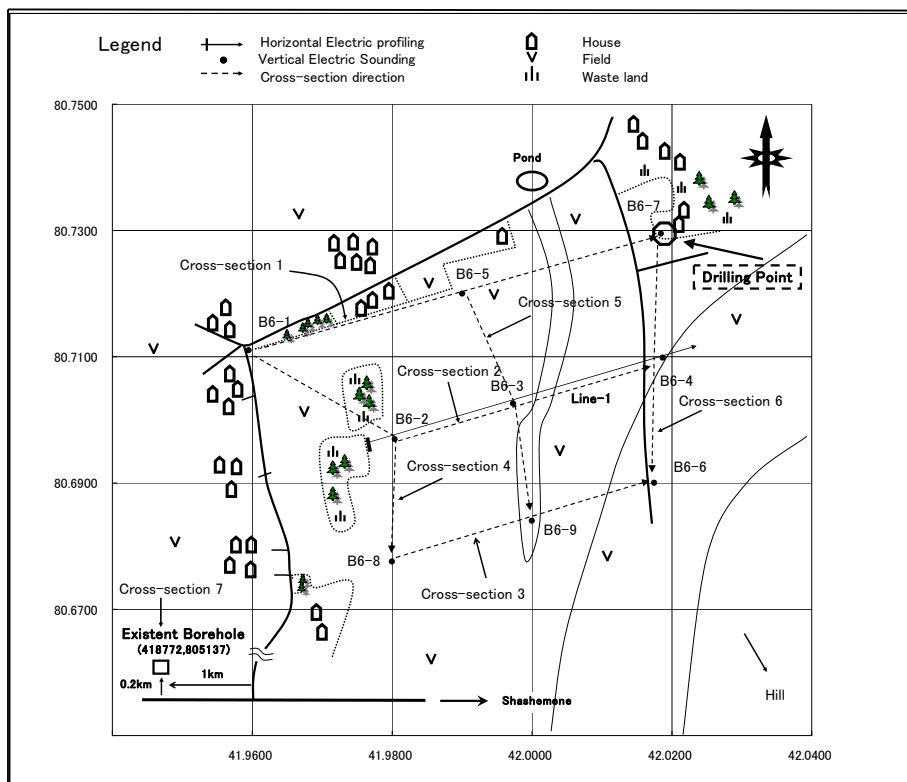


図 4.10: 調査位置図 (観測井 No.6 地点: Lajo)

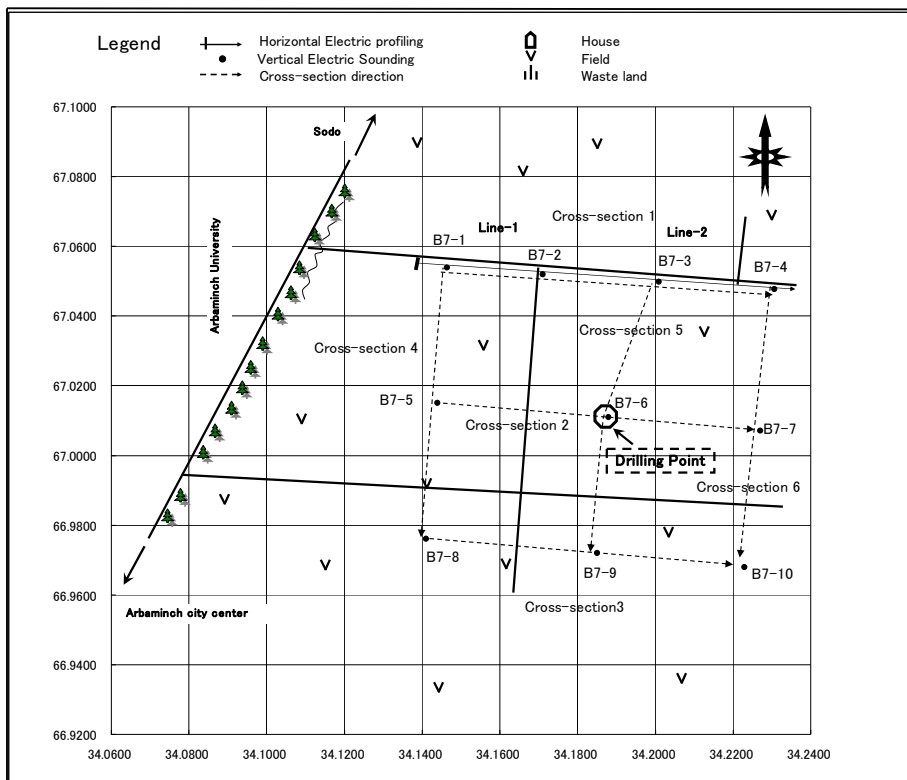


図 4.11: 調査位置図 (観測井 No.7 地点: Arbaminch)

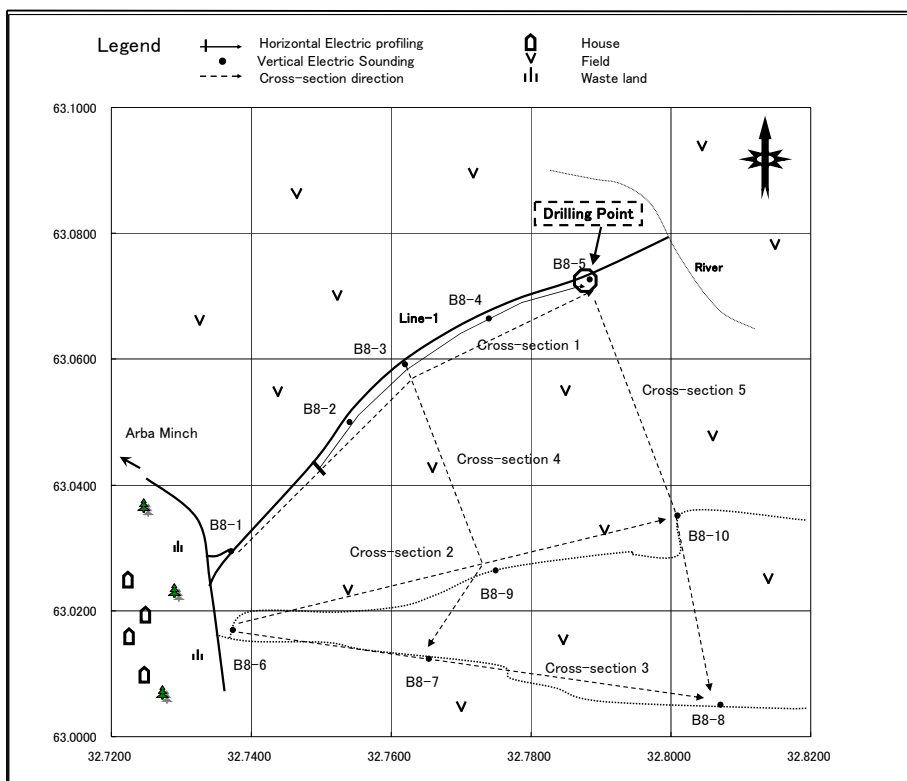


図 4.12: 調査位置図 (観測井 No.8 地点: Walesa)

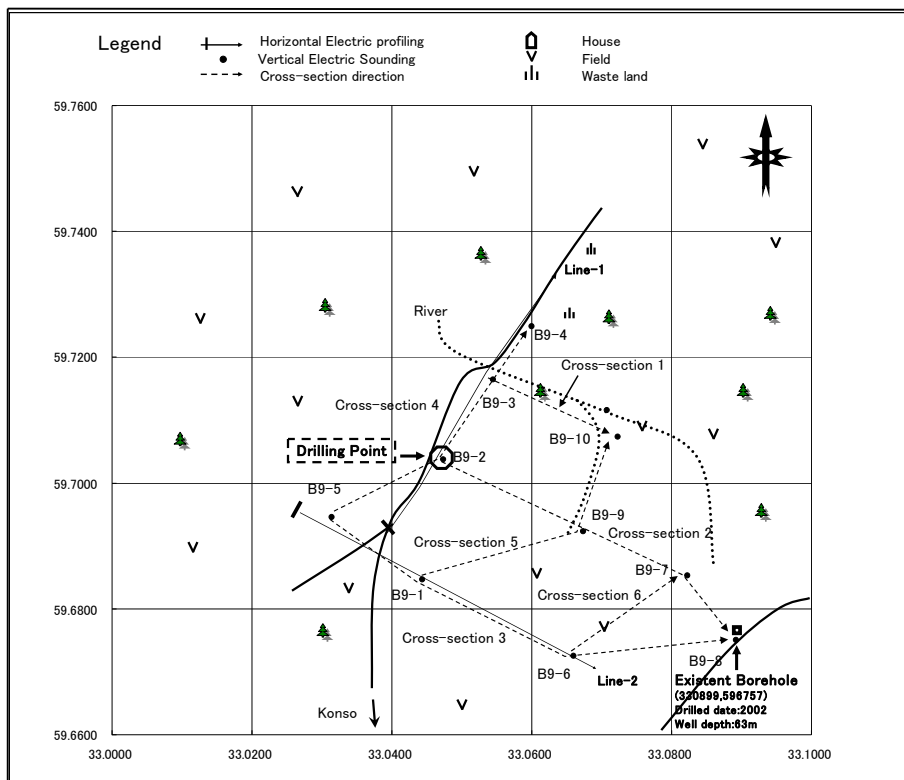


図 4.13: 調査位置図 (観測井 No.9 地点: Beresa)

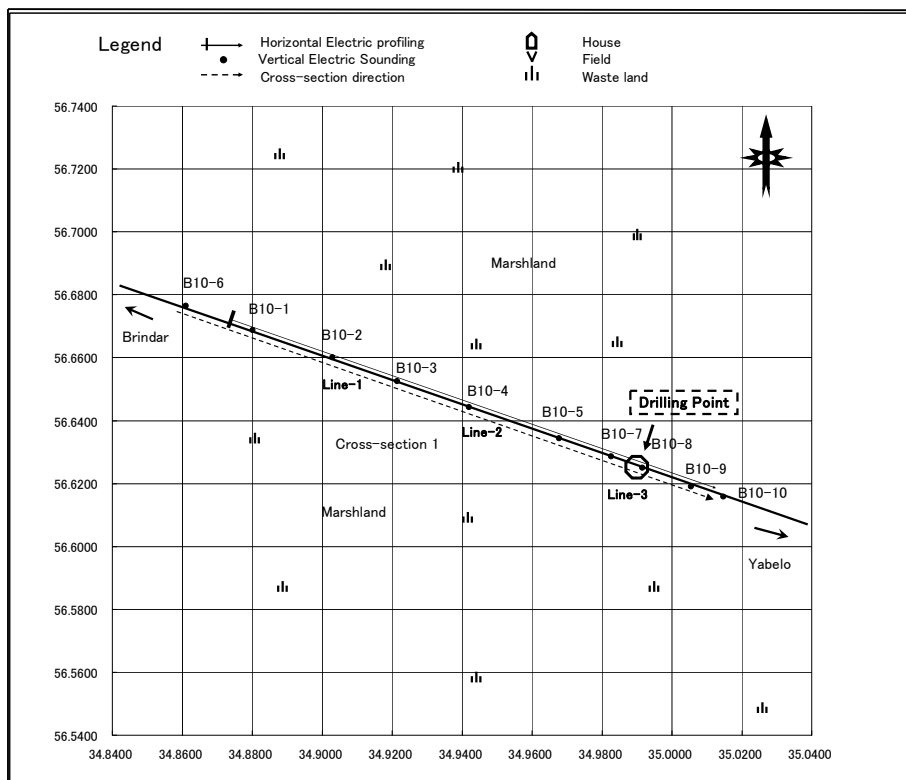


図 4.14: 調査位置図 (観測井 No.10 地点: Brindar)

## 4.2 TEM 法電磁探査

### 4.2.1 探査の原理と手法

過渡現象(或いは時間領域)電磁探査法はTEM法と呼ばれ、送信器により人工的に磁場を励起させ、地下からの応答を時間領域で測定し、地下の比抵抗構造を調査する方法である。通常この方法は地上にループ状のケーブルを敷設し、そのケーブルに定電圧(直流)電流を流し、その電流を急激に遮断した後の磁場の時間的変化率をコイル状の磁場センサーで測定する。ループ送信源は大地に直接接触して送信を行わないため、砂漠・岩盤露出地域のような接地抵抗が高く直流電気探査が困難な地域での調査にも適している。この電流遮断後の2次磁場は、地下に励起された渦電流により発生する。渦電流は図4.15に示すように時間とともに地下深部に透過していく。この現象は煙草の煙が広がっていく様子に似ているため、スモーク・リングとも呼ばれている。一方、電流遮断後のコイル出力電圧(磁場の時間変化)は、地下の比抵抗構造に影響を受ける。例えば、その比抵抗が高い場合には電流遮断後直後の出力電圧が大きくなるが、その後急激に減衰していく。逆に低比抵抗媒体では、電流遮断後直後の出力電圧は高比抵抗媒質の場合に比べて低いが、その減衰率は小さい。コイル出力電圧値は、見掛比抵抗値に換算することができ、深度の情報は電流遮断後の経過時間に関連する。

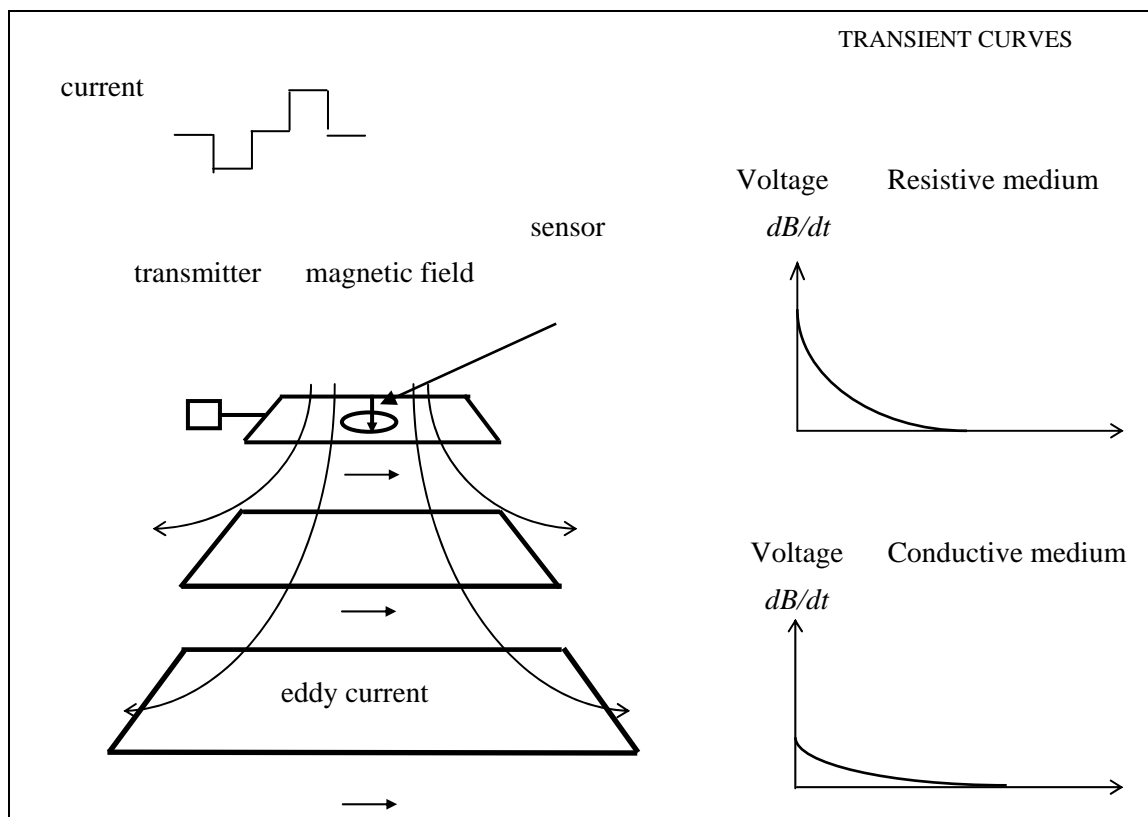


図 4.15: TEM 法測定概念図

この方法の特徴を以下に列記する。

- 1) 電極を地面に接地する必要が無く、受信コイルも地上に水平に設置するだけでよい  
ため、接地抵抗が高い砂漠や岩盤露出岩地域では作業効率上非常に有効である。
- 2) 測定装置は小型軽量であり、アクセスの悪い砂漠や山岳地でも使用が可能である。
- 3) 送信電流を遮断した後の磁場の過渡現象を測定するために、測定中には1次磁場は存  
在しないため、非常に安定した受信信号を測定することができる。
- 4) 磁場のみを測定するため、電場測定を必要とする手法で問題となるスタティック・  
シフト(地表直下の局所的な比抵抗異常体の影響が地下深部まで及ぶ現象)が発生し  
ない。

本調査で使用した測定装置はカナダのGeonics社製のTEM法測定システムで、EWTECから借用した。この測定システムの仕様を表 4.9に示す。本測定システムは主として受信器、受信コイル及び送信器からなる。

Protom57-MK2Dは、TEM法測定データ収録装置であり、対象深度によって電流遮断後の磁場変化率を収録するためにいくつかの測定時間レンジが設定されている。その測定レンジは、H(電流遮断後85.29~6,980  $\mu$ s)、M(352~27,900  $\mu$ s)、L(881~69,800  $\mu$ s)と呼ばれる3つの測定レンジが使用できる。これらの測定レンジは基本周波数と呼ばれているもので送信器とともに制御されている。また、各測定レンジは概ね対数間隔の時間で設定されたゲートが各レンジに20個ずつ設けられている。各ゲートのサンプリング時間を表 4.10にまとめる。

送信器のTEM57-MK2は、バッテリー駆動及び発電機の併用可能で、最大25Aの送信ができる。

磁場センサーには、インダクション磁力計(コイル)を利用した。

Protom57-MK2Dと送信器との時刻の同期は、レファレンス・ケーブルで繋ぎ、Protom57-MK2Dの内蔵時計によって行なう。

磁場センサーからの受信信号は記録装置のアンプで増幅された後、スタッキング処理される。スタッキング処理後の受信信号は20ゲート(測定時刻)でサンプリングされ、内部メモリーに記録される。現場作業終了後、測定記録を測定装置のメモリーからコンピュータへ転送して解析を行なう。



受信器 Protom D



送信器/発電機

図 4.16: 電磁探査測定器(写真)

表 4.9: TEM 測定システム

Equipment		PROTEM 57
Receiver	Measured Quantity	Time rate of decay of induced magnetic field
	Repetition Rate(Hz)	285/237.5, 75/62.5, 30/25, 7.5/6.25 ,3/2.5
	Time Gates	20 geometrically spaced time gates
	Synchronization	(1)Reference cable (2)High stability quartz crystal
Transmitter	Current Wave Form	Bipolar rectangular current with 50% duty cycle
	Maximum Current	25A
	Output Voltage	110 and 120 VAC for 120V 210 and 230 VAC for 220V
Receiver Coil		Air-cored Coil Effective Area:100m2

表 4.10: 送信器 TEM-57-MK2 のサンプリング時刻表

Gate No	EM57 time range		
	H	M	L
1	0.0859	0.352	0.881
2	0.104	0.427	1.06
3	0.129	0.525	1.31
4	0.159	0.647	1.61
5	0.198	0.802	2.00
6	0.248	1.00	2.50
7	0.312	1.25	3.14
8	0.393	1.58	3.95
9	0.497	1.99	4.99
10	0.629	2.52	6.31
11	0.797	3.19	7.99
12	1.01	4.05	10.13
13	1.28	5.14	12.86
14	1.63	6.54	16.35
15	2.07	8.32	20.80
16	2.64	10.59	26.47
17	3.37	13.49	33.72
18	4.29	17.19	42.99
19	5.47	21.90	54.74
20	6.97	27.92	69.77

Unit: msec

- a. 現地測定
- a.1 測定点の測位

測定点位置は、GPS(Global Positioning System)により測定を行なった。測定点の概略の測定位置図は、図 4.17に示した。

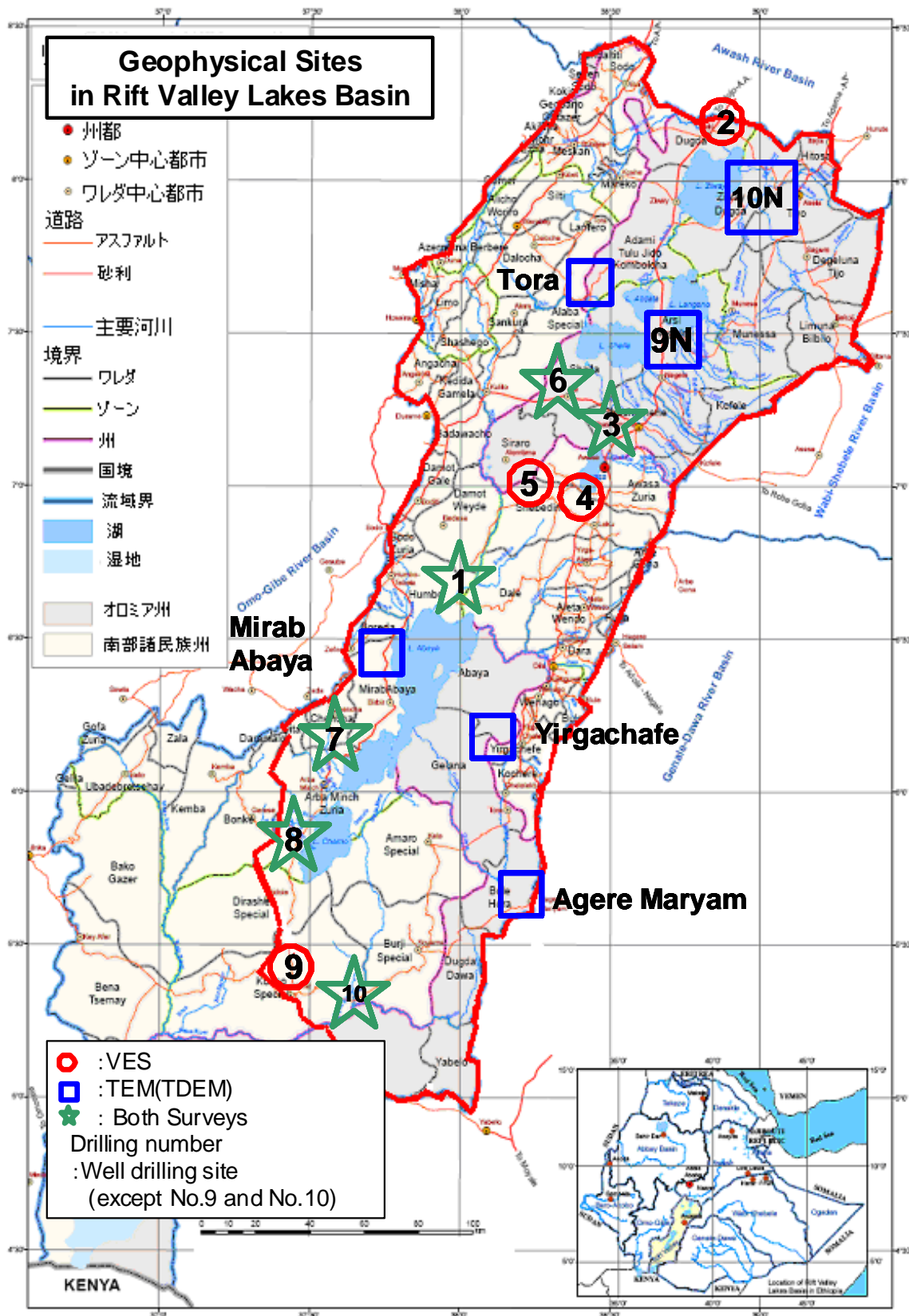


図 4.17: 概略測定値図

## a.2 測定方法

TEM法の測定配置は、セントラルループ法を主とし、測点BH6の地点でアウトループ法を実施した。セントラルループ法測定配置は図 4.18に示すように100m×100mの送信ループを用いて、その中心にEM57用センサーを地表に設置して測定した。一方、アウトループ法測定配置は送信ループの中心から50m離れた地点でEM57用センサーを地表に設置して測定した。測定は、送信電流遮断後85.29  $\mu$ s～69.8msの時間範囲で行っており、浅部の比抵抗情報から深部400m程度までの比抵抗情報を抽出した。

送信ループの四隅は簡易測位器(Compass Glass、倍率  $10^\circ \times 2.2$ )と巻尺を用いて、方位・距離を決定した。

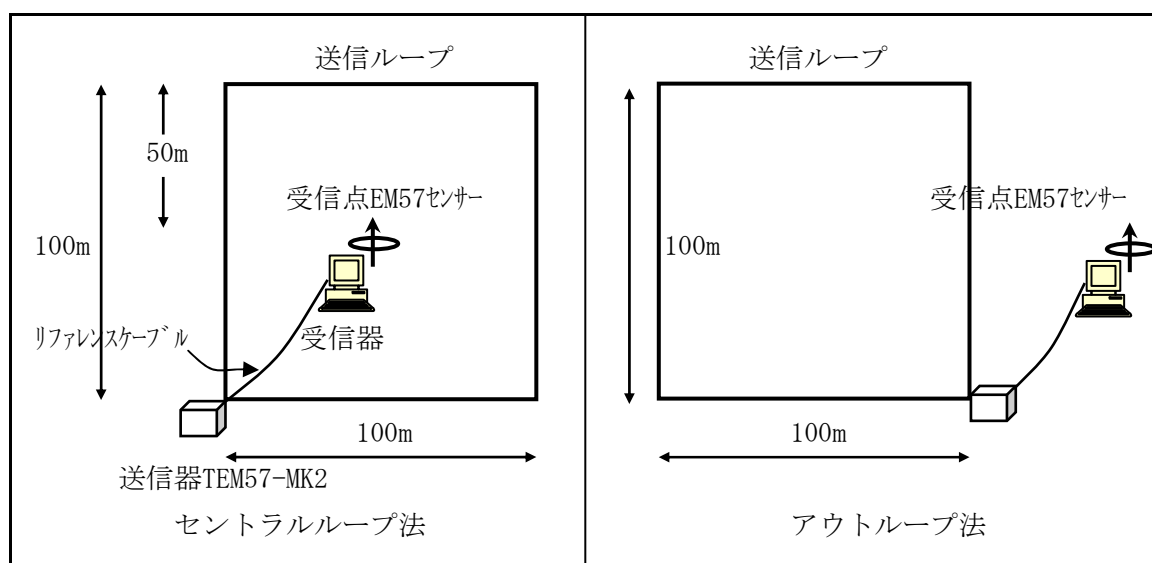


図 4.18: TEM 法の送信源と測定点の配置

TEM 法の測定手順は以下の通りである。

- 1) 測定地点を簡易測位器と巻尺にて決定する。
- 2) 送信ループの方向及び長さを簡易測位器にて測量し、100m×100m のループを設置する。
- 3) 送信ループケーブルの両端に TEM57-MK2 送信器を接続する。
- 4) 送信ループ内部に設置した測定点に磁気センサーを水平に設置する。
- 5) 磁気センサーから 5m 程度離れた場所に受信器を置く。
- 6) 送信器と受信器とをリファレンスケーブルで接続する。
- 7) 送信電流を 9～17A とし、測定レンジ H・M・L の測定を行う。
- 8) Protom57-MK2D システムによる測定終了後は、測定器材を撤収し、次の送信ループ設置場所へ移る。

## a.3 測定状況



BH-3 及び BH-10N 地域周辺に高压線が通っており、一部の測点にこの送電線の影響と思われる人工的なノイズがデータに混入した。その他、Tora 地域及び BH6 の一部の測点にもデータのバラツキがあった。これらの測点 BH-3、BH-10N、Tora 地域及び BH6 については再調査を実施した。その他の測定点では比較的良いデータを取得することができた。

## b. 解析方法

解析ソフトウェアは、米国 Interpex Ltd. 社製の“IX1D ver. 3”を使用した。解析は測定データから地下比抵抗構造を求めるために、以下に示す Smooth インバージョンと層構造インバージョンと呼ばれる解析手法を使用した。

### b.1 Smooth インバージョン

実際の解析では、まず Smooth インバージョンと呼ばれる手法で解析した(図 4.19参照)。

Smooth インバージョンは、層厚が深度方向に対して対数的に厚くなるように自動的に設定し、各層の比抵抗値のみをインバージョンで解く方法である。さらに、各層間の比抵抗は穏やかに変化するという拘束条件を設けている。

本手法では初期値を与えず解析結果が得られるため、解析者によらず同じ結果が得られる特徴がある。Smooth インバージョン解析結果は地下構造を映像化(イメージング)し、大局的な比抵抗変化を把握することに適している方法である。

図 4.19は試掘サイト BH10N-7 の解析例である。図の左側は、測定データ及び解析された比抵抗構造の理論曲線、右図は解析された Smooth インバージョンによる解析図である。

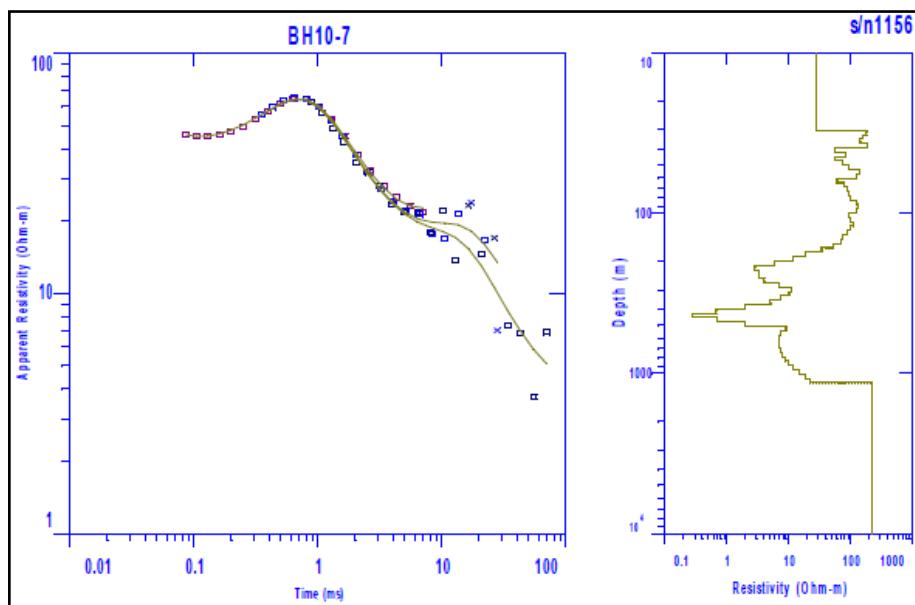


図 4.19: 観測井サイトの BH-10N の Smooth インバージョンによる解析例

### b.2 層構造インバージョン

比抵抗構造が地質境界で急激に変化している場合は、層境界深度を正確に求めるために、比抵抗値と層厚を自由に変化させることが可能な層構造インバージョンが適している。

層構造インバージョンは、初期値として層の数、各層の比抵抗値、各層の値を与え、その初期値をもとに、測定結果に最も適した水平多層構造を解析する。

図 4.20は BH10N-7 の解析例で、右図の赤線が層構造インバージョンで解析された層構造解析図である。

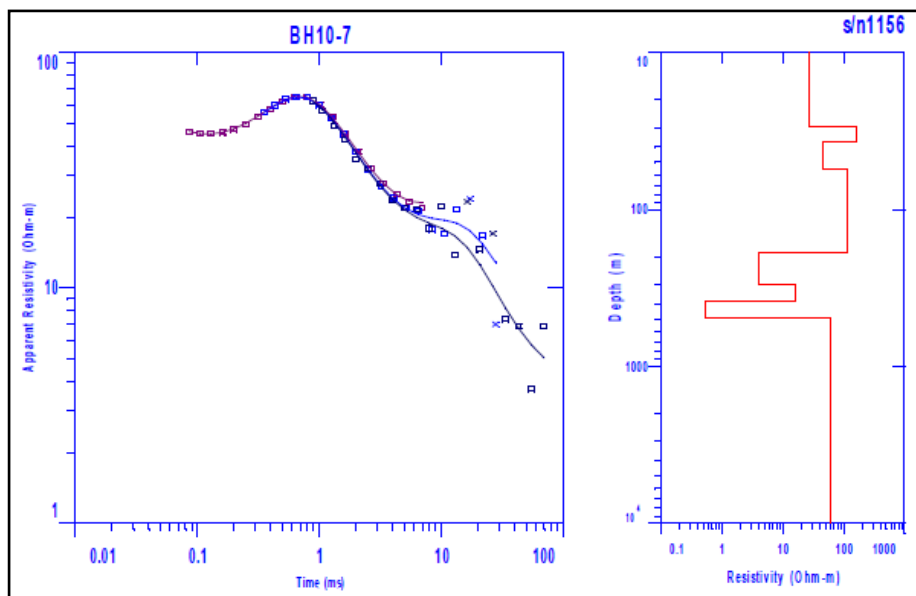


図 4.20: 観測井サイトの BH-10N の層構造インバージョンによる解析例

本調査で行なったデータ解析手順を図 4.21に示す。

測定された各ゲートの測定値は、ループの大きさ・受信器のゲイン・電流値等をチェックした後、見掛比抵抗値に変換される。

Protom57-MK2D測定電圧値 $V_0$ (単位:mV)は、次式により磁場変化率 $dB/dt$ ( $nV/m^2$ )に変換する(Geonics, 1992)。

$$dB/dt = (V_0 \times 19200) / (E \times 2^n)$$

ここで、 $E(m^2)$ は受信コイルモーメント、 $n$ は増幅器の利得である。さらに、磁場変化率は、次式により時間関数の見掛比抵抗値 $\rho_a(t)$ (ohm-m)に変換する。

$$\rho_a(t) \doteq (\mu / 4\pi t_c) \times (2\mu M / (5t_c dB/dt))^{2/3}$$

ここで、 $\mu$ は真空中の透磁率( $4\pi \times 10^{-7}$ (H/m))、 $t_c$ (ms)は送信電流遮断後の経過時間、 $M$ は送信器のモーメントであり、送信ループ面積( $m^2$ )と電流値(A)の積である。

比抵抗構造を求めるための層構造インバージョンでは、地下の比抵抗構造を水平成層と仮定し、適当な初期構造を与え、そこから計算される磁場応答と測定データを比較し、

その差が少なくなるように構造(比抵抗と層厚)を変化させ、十分にその差が小さくなった構造を真の比抵抗構造とした。層構造インバージョンには、リッジ・リグレーションと呼ばれる非線形最小二乗法の理論を使い自動的に計算した。

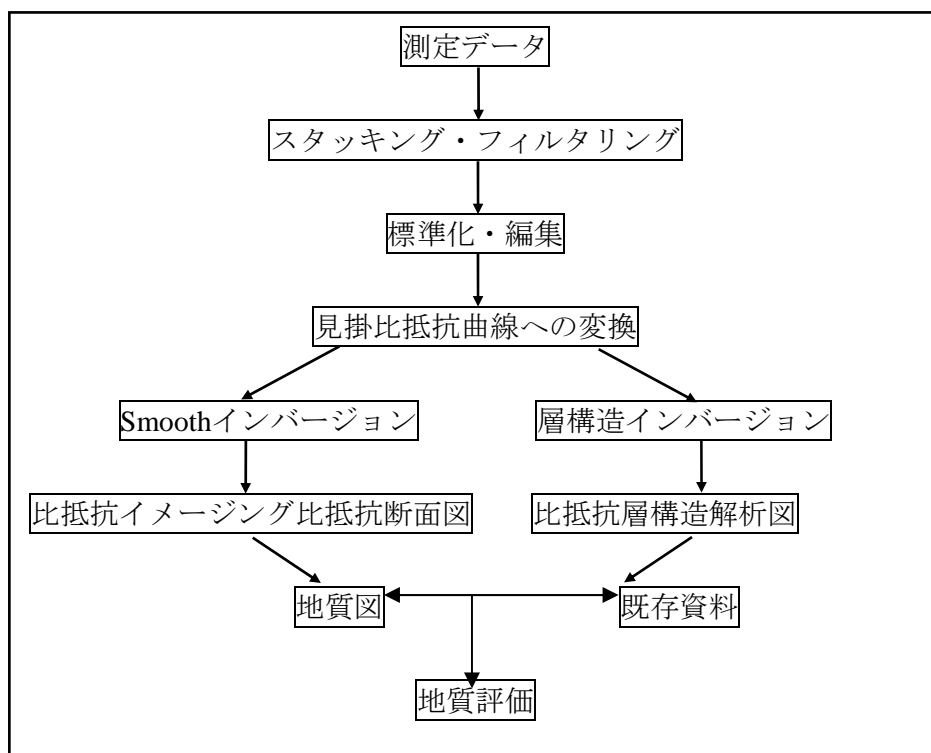


図 4.21: 解析手順

## 4.2.2 探査地点の選定

### a. 選定理由と探査数量

探査地点は、第一年次で実施した電気探査と掘削結果と電磁探査の対比を行い、地質断面図作成のために必要と考えられることを目的として選定した。また新しく掘削を行う予定の箇所(比抵抗構造)を把握し、そこでの主要な帯水層の地下水可能性を評価することも探査地点の選定理由のひとつとした。

調査対象地域はオロミヤ州及び南部諸民族州(SNNPRS)の2地域12箇所である(概略位置は図 4.17参照)。電磁探査は試掘サイト予定地5箇所(BH-6、BH-7、BH-8、BH-9N、BH-10N)、第1年次で掘削実施済の試掘サイト2箇所(BH-1及びBH-3)、この他に地質構造の把握の目的で4箇所(Tora地域、Mirab Abaya地域、Yirgachefe地域、Agere Maryam地域)、電気探査実施地点のBH-10で実施した。

表 4.11に電磁探査の調査数量を示す。詳細は、データブックの電磁探査測定記録に示した。

表 4.11: 電磁探査実施数量

州名	探査地点	サイト名	電磁探査 調査数量	電気探査 測定地点	掘削終了 地点
オロミア Olomia	BH-9N	Hadda Boso/Dole	10	-	-
	BH-10N	Ubo Bericca/Ogolcho	10	-	-
	BH-3	Meja Dema	4	○	○
	BH-10	Brindar	3	○	-
	Tora	Meded Gagebo/ Anshebeso Kuchi	3	-	-
	Yirgachefe	Budukisa/Worago	3	-	-
	Agere Maryam	Bule Kagna	3	-	-
SNNPRS	BH-1	Abaya Chokane	3	○	○
	BH-6	Yeye Alaba/Lajo	3	○	-
	BH-7	Weze / Hare	3	○	-
	BH-8	Walesa / Kolta	3	○	-
	Mirab Abaya	Fetle Doronje	3	-	-
計	12	12	51	-	-

#### b. 探査地点の踏査と選定

当初計画では、調査地域南部のBH-9及びBH-10試掘地点を予定していたが、水理地質的な観点から、これらの2箇所の掘削地点を調査地域北部へ移動した。これらの地点は、水理地質担当者及びGSEと共に試掘サイト候補地を踏査・選定し、BH-9N及びBH-10Nと名称を改めた。また、地質断面図や水理地質断面図の作成にあたり、試掘サイト間に電磁探査地点の補完を行った。探査開始時には、試掘サイトの住民へ本プロジェクトの説明を行い、既存井戸の確認、給水事情の聞き取り、物理探査への住民の協力を求めた。

### 4.2.3 探査及び解析結果

#### a. 探査結果

電磁探査の測定結果として、データブックに電磁探査の現場写真、電磁探査位置図、見掛比抵抗曲線および解析結果図、および電磁探査測定記録としてまとめた。

#### b. TEM探査結果とVES及び掘削結果との比較、水理地質的解釈

解析は前述のように、Smoothインバージョンからなる比抵抗構造を求める方法と、4～8層からなる層構造インバージョンを実施した。

各インバージョンにより解析された結果をもとに、各々の比抵抗断面図を作成した。なお、Smoothインバージョンによるイメージング比抵抗構造断面図は、比抵抗値を対数軸のカラーバーで表示し、高比抵抗域を暖色系、低比抵抗域を寒色系で示した。

## b.1 TEM探査およびVES探査の解析比抵抗値の相違について

TEM 法電磁探査は、低比抵抗域での感度が高く地下水調査では非常に有効な方法である。しかし、地表付近が数千  $\Omega\text{m}$  以上の高比抵抗域での探査においては、測定できなくなる場合がある。TEM 探査は地中における誘導電磁場の応答から、地盤の比抵抗値の逆数である導電率 (conductivity) を測定する。電磁探査は周波数の違いによって透入深度が異なることを利用し、深度方向の導電率の変化を調べる。周波数と深度の関係は、周波数が高い電磁波は浅層部分の地盤状況を、周波数が低い電磁波は深層部分の地盤の状況を反映する。探査深度は地表下数 m～数百 m である。電磁探査の解析ソフトウェアは前述のように米国 Interpex Ltd. 社製の“IX1D ver3”を利用した。一般的に解析される値は、低比抵抗側にフィットするように解析されることが多く、解析値は電気探査の値よりも低くなる場合が多い。

一方、VES 法電気探査は、高比抵抗域での感度が高く、そのような地域において有効な方法で探査精度がよいとされている。VES 探査は大地の電気的特性である比抵抗 (resistivity) を求めることを目的とし、電位電極を接地させ、その間隔を順次広げながら地下の比抵抗を計測する。探査深度は地表浅部から 200m 程度である。これ以降の深部探査では、電極系の展開が大きくなり過ぎて実用性を失ってしまうことが多くなるため、これより深い探査には電磁探査 (TEM 探査) を利用し、双方の結果を加味して総合的な解釈を行う場合がある。さらに、種類の違う薄い層が互層を成して堆積している場合、電気探査の分解能が不足しこれを 1 つの層と見なしてしまうことがある。また、大地に異方性があっても電気探査では検出することができず、地層の比抵抗や層厚の見積もりを間違えることがある。電気探査の解析ソフトウェアは、電磁探査の解析ソフトと同じく米国 Interpex Ltd. 社製である“RESIX-P”を使用した。解析値は、高比抵抗にシフトされて解析されることが多く、電磁探査の解析値よりも高い値になることが多い。

この他に測定時季の違いによる取得データの相違も考えられる。電気探査の測定は3～5月の雨季であり、地下水面は若干上昇し、地表面が水によって飽和されやすい時期と考えられる。電磁探査は11～12月の乾季に測定を実施しており、地下水位の低下や、体積含水率 (飽和度×間隙率) の変化によって測定値が一致されないことも考えられる。よって、同一測定地点であっても、取得される測定値に違いが生じ、また帯水層の規模の違いにより得られるデータに相違が生じることも考えられる。

今回の調査におけるTEM探査結果及びVES探査結果との比較では、解析された比抵抗値及び深度の一部の測点で相違が見られるが、比抵抗構造は大略的に類似した層構造を示しているといえる。

以下に、各サイトの比抵抗構造の特徴を述べる。

## c. オロミア州

### c.1 BH-9N(Hadda Boso/Dole)

本地点は、Langano湖、Abijata湖及びShala湖に囲まれている平野地である。標高は約1,640mでLangano湖の湖水面から数十m以上の高い位置にある。TEM法の測定点数は10点、測点間隔は約200mである(データブック参照)。なお、観測井掘削の予定地域であり、その掘削深度は200mである。

TEM法解析結果からSmoothインバージョン及び層構造解析による比抵抗断面図を3断面(図 4.22、図 4.23、図 4.24) 作成した。以下に各測線の特徴を述べる。

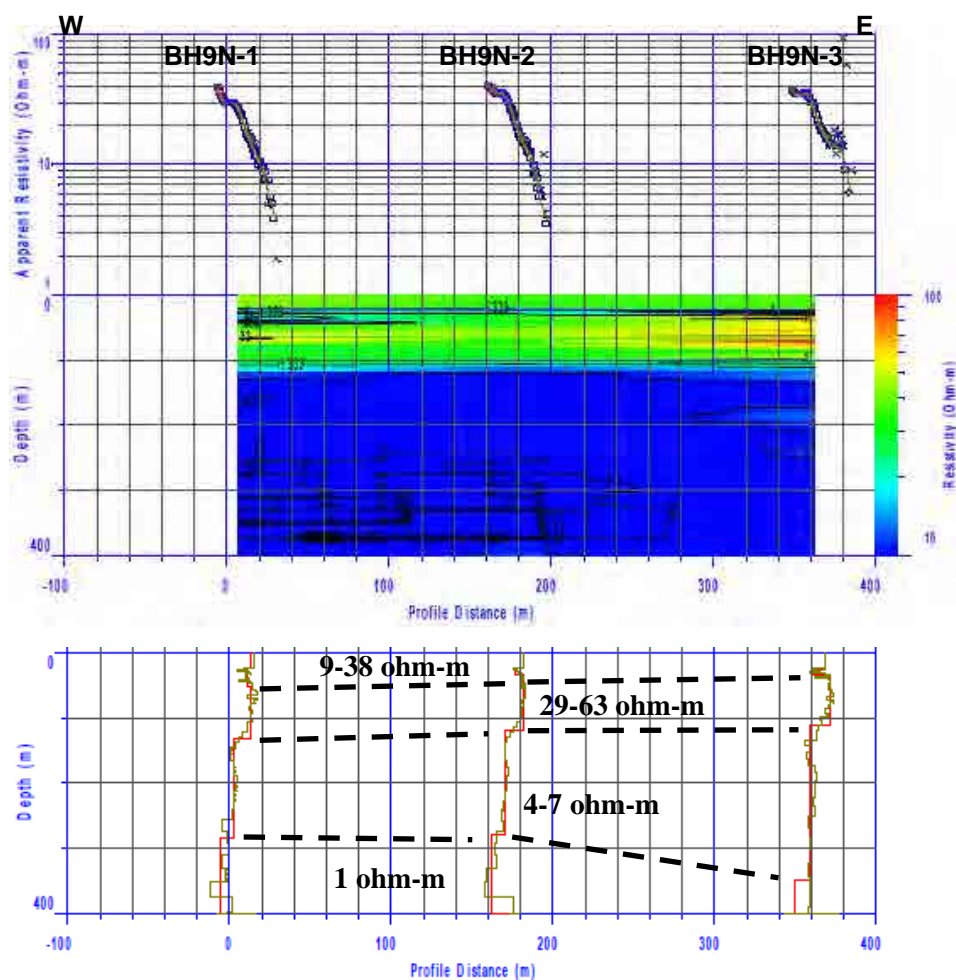


図 4.22: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図 (BH-9N 測線 1)

比抵抗構造は4層を示し、表層から深度100m程度まで比抵抗がやや高いが、これより下部層は比抵抗が低くなる。特に、300m以深では著しく比抵抗が低い。

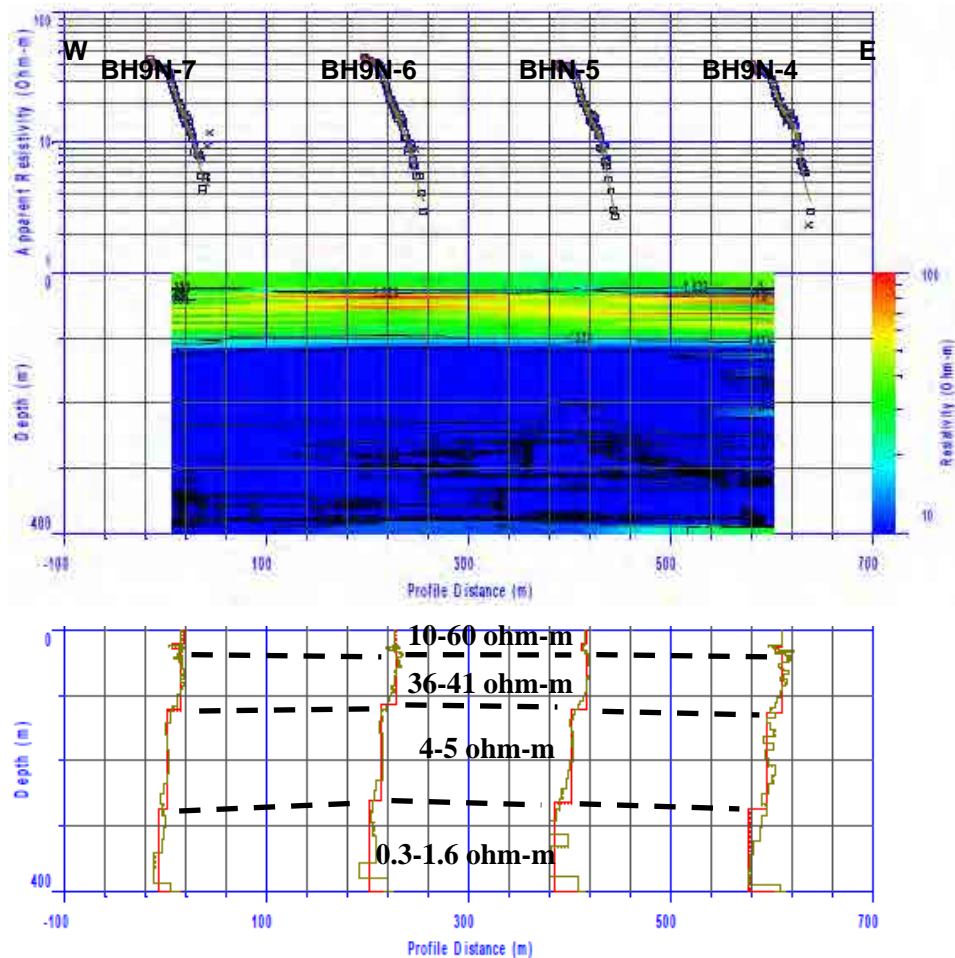
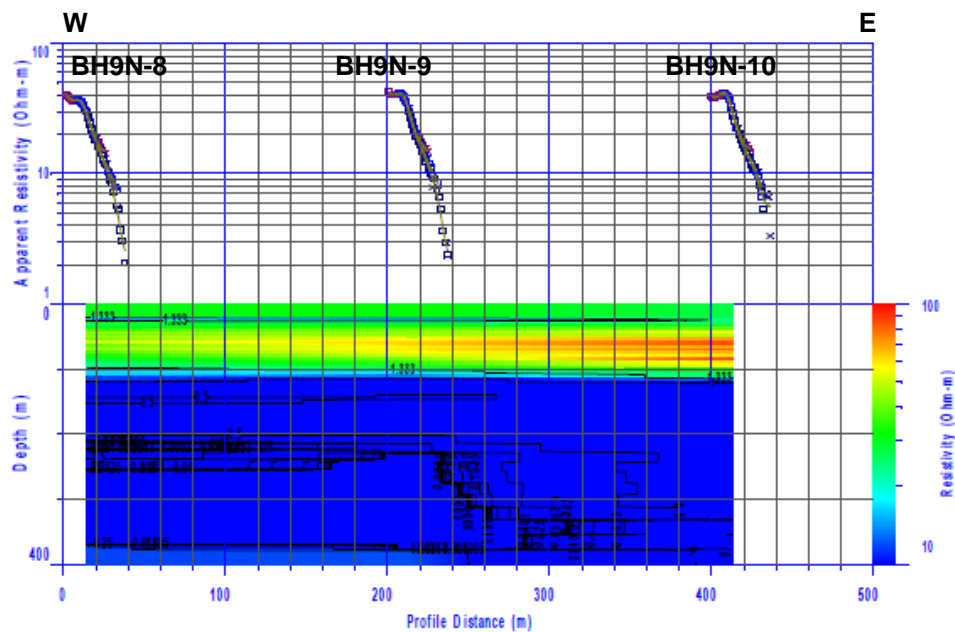


図 4.23: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図 (BH-9N 測線 2)

本断面も4層構造を示し、表層から100m深度までは高比抵抗、その下層から比抵抗が低くなり、300m以深から著しく比抵抗が低くなる。



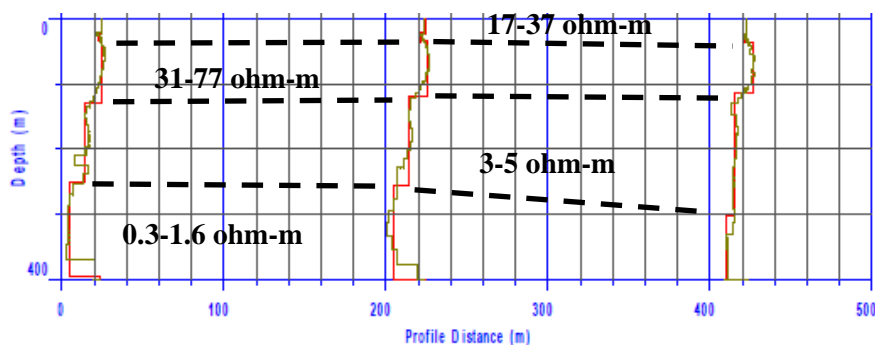


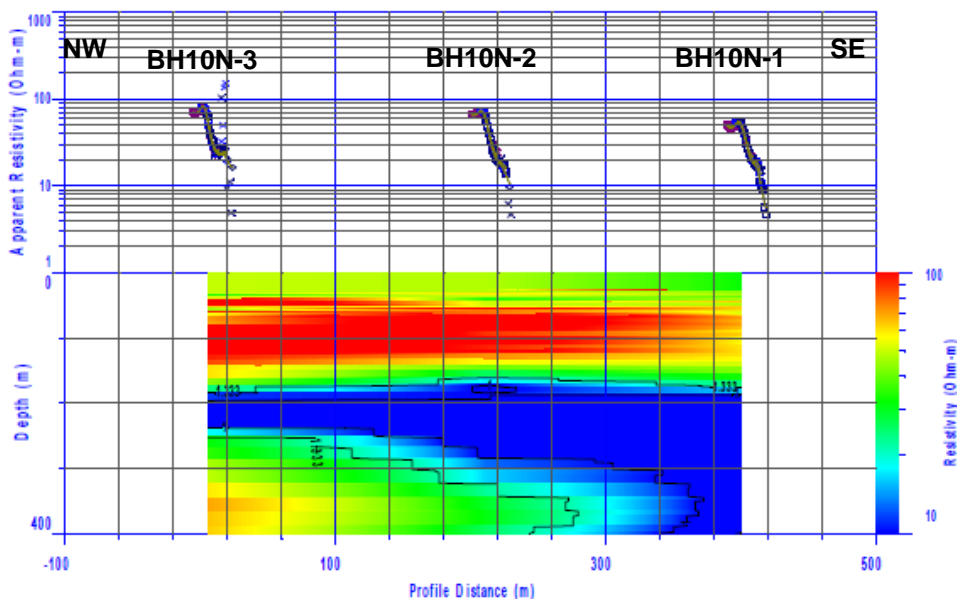
図 4.24: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図 (BH-9N 測線 3)

本断面についても、測線1及び測線2と類似した比抵抗構造を示している。

本地域の地質は火山堆積物などが堆積している。これらの堆積物は、固結の弱い地質と考えられることから水を十分に含みやすい。特に地表下100m以深では地下水の飽和によって比抵抗が低くなっていると考えられる。また本地域にはNS方向に断層群が通っており、地下深部の地層はこれらの断層の影響を受けて高い透水性を持ち、水の貯留層になっていると思われる。

## c.2 BH-10N(Ubo Bericca/Ogolcho)

本地点は、Zway湖北東8kmに位置する平野地である。標高は1,700m程度でZway湖水面より100m程度高地にある村落である。TEM法測定点数は10点、約200m間隔での測定を実施した(別添資料5.3参照)。本地域も掘削深度200mが予定されている。本地点でも比抵抗断面図を3断面(図 4.25、図 4.26、図 4.27)作成し、概ね類似した比抵抗構造が得られた。以下に主な特徴を述べる。





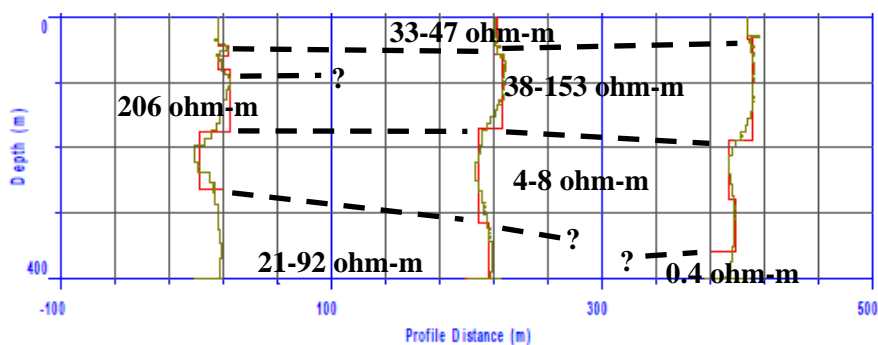


図 4.25: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図 (BH-10N 測線 1)

本断面の比抵抗構造は主に4層を示し、上層から300m深度付近までは中比抵抗～高比抵抗～低比抵抗を繰り返している。しかし、これより深くなると比抵抗が異なってくる。測点BH-10N-3及び測点BH-10N-2の最下層は比抵抗が高く、測点BH10N-1は比抵抗が著しく低くなる。これらの測点間に比抵抗構造の異常が考えられる。

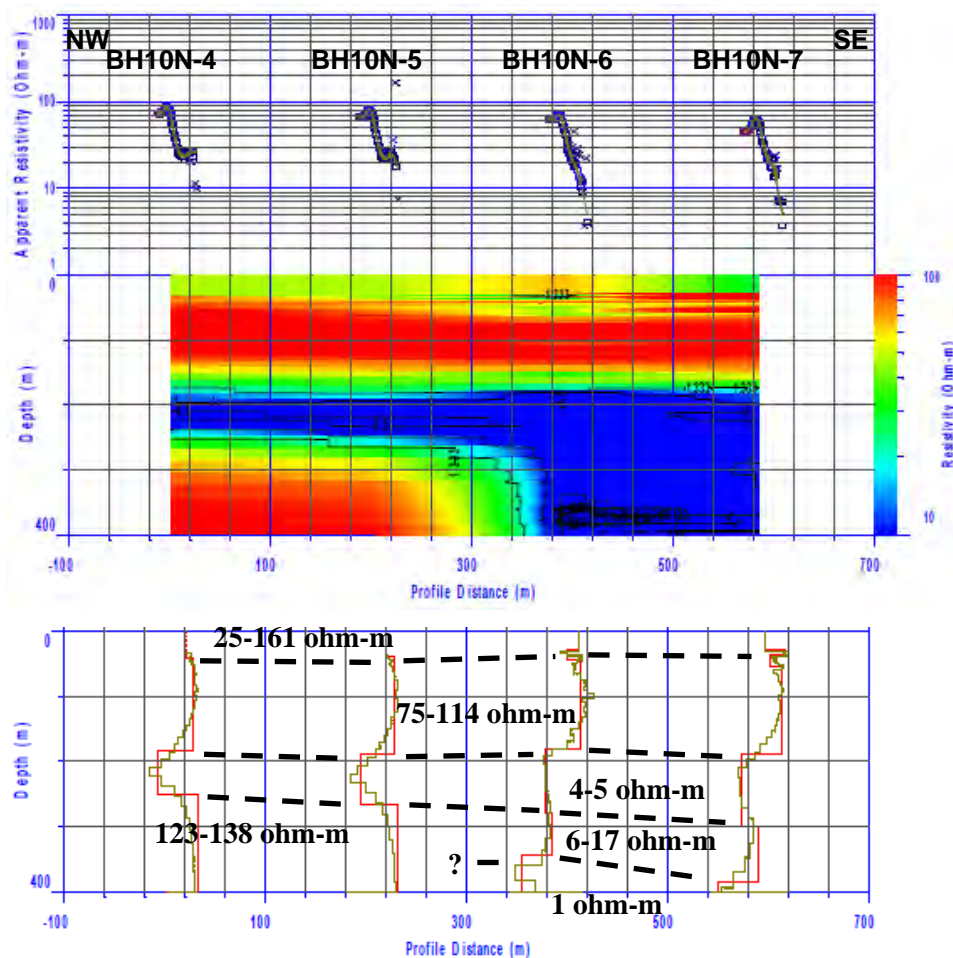


図 4.26: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図 (BH-10N 測線 2)

本断面の比抵抗構造も深度300m付近までは中比抵抗～高比抵抗～低比抵抗と前の断面1と同様であり、また最深部についても同じ傾向が認められる。特に測点BH-10N-5と測点BH-10N-6との間で比抵抗構造の相違が認められる。

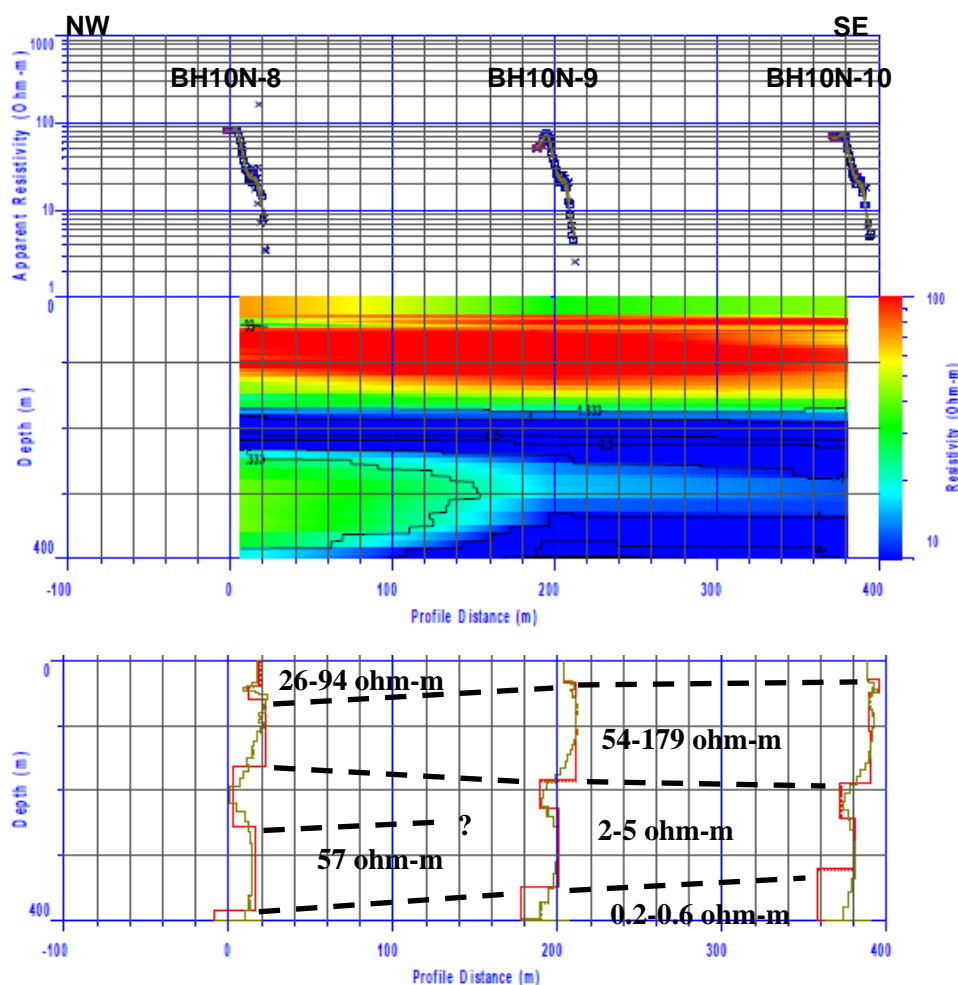


図 4.27: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図 (BH-10N 測線 3)

本断面についても他の2断面の比抵抗構造と類似している。また測点BH-10N-8とBH-10N-9との間で比抵抗構造が異なっている。

以上をまとめると、各断面の比抵抗構造の異常箇所は地域中央東部側の南北で、この付近に比抵抗の不連続線が推定される。

本地域の地質は完新世Q1が分布し、湖成堆積物、砂、泥、火山碎屑物などが堆積している。また、北北東-南南西に無数の断層が通っていることから、これらの断層を反映して、比抵抗の相違を示唆している可能性が高い。また、低比抵抗域は、地下水の飽和によって比抵抗が低くなっていると考えられる。

### c.3 BH-3(Meja Dema)

本地点はShashemene西方約5kmに位置する農村地域で、標高は1,810m程度である(別添資料5.4参照)。第1年次に実施した電気探査結果から選定した地点にて観測井掘削が終了している。電磁探査結果による比抵抗構造断面図(図4.28)を下記に示す。表4.12～表4.14は第1年次に実施した電気探査結果と今回実施した電磁探査結果に掘削結果からの地質情報を対比させたものである。さらに図4.29にこれらの総合解析結果をまとめた。

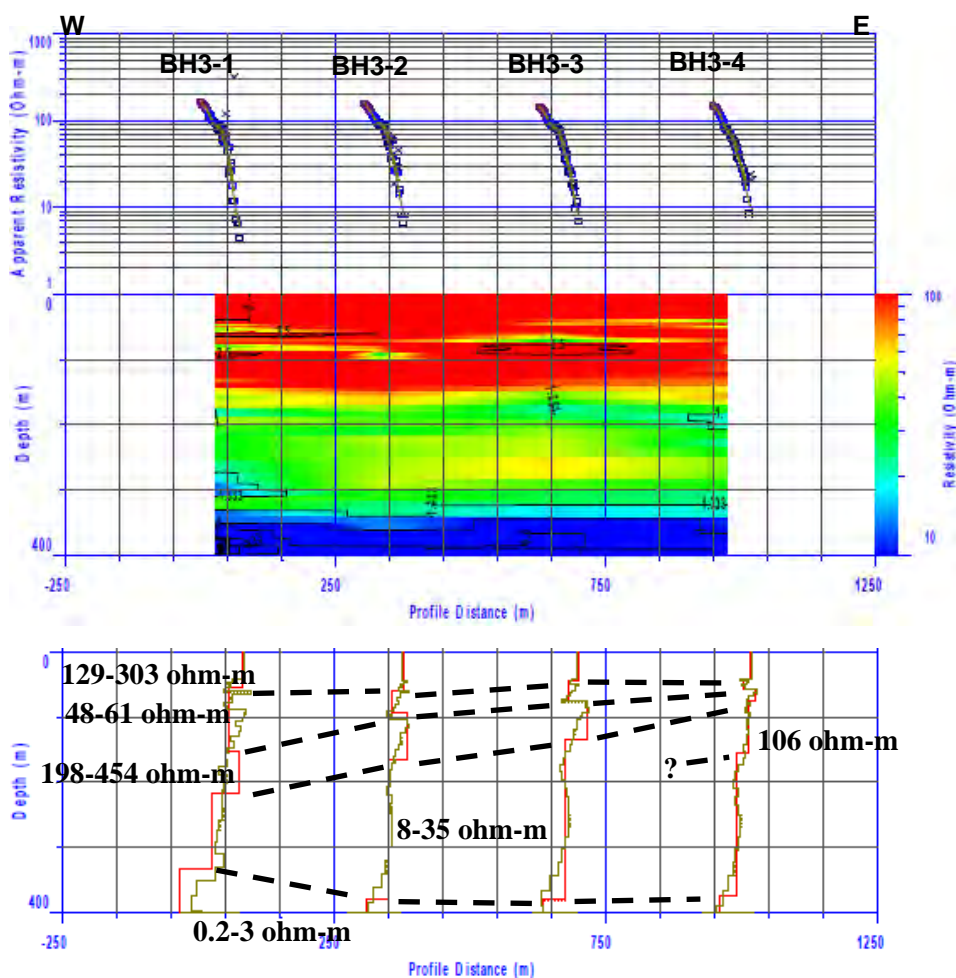


図 4.28: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図(BH-3)

本断面の比抵抗構造は主に5層を示す。その比抵抗構造は、地表から高比抵抗～中比抵抗～高比抵抗～中比抵抗～低比抵抗と地下深部に従い比抵抗が低くなる傾向を示している。各測点間には比抵抗構造の不連続は認められない。

表 4.12: 電磁探査解析結果及び電気探査結果との比較(BH-3 その1)

測定	パラメータ	TEM3-3/VES3-8					
		—	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層
TEM	比抵抗 (ohm-m)	—	158.2	55.8	454	34.9	2.8
	層厚(m)	—	43.1	33.3	57.4	248	—
	下面深度 (m)	—	43.1	76.4	133.8	382	—
		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	—
VES	比抵抗 (ohm-m)	280	13537	124	839	45	—
	層厚(m)	0.1	1.2	25.0	98.0	—	—
	下面深度 (m)	0.1	1.3	26.3	124.3	—	—
掘削結果 (247m)	—	軽石質凝灰岩 溶結凝灰岩 凝灰角礫岩 (一部風化変質した凝灰岩)				—	—

\*網掛け部分は比抵抗値/下面深度が類似

電磁探査結果は、地表下43mまで高比抵抗、その下部層で低く、再度比抵抗が高くなり、第4層以下は比抵抗が低くなる。電気探査結果との比抵抗構造を比べると、電気探査の地表下125mまでの比抵抗値及び下面深度は一致していないが、地表下125m以下では概ね一致している。

表 4.13: 電磁探査解析結果及び電気探査結果との比較(BH-3 その2)

測定	パラメータ	TEM3-4/VES3-10						
		—	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層
TEM	比抵抗 (ohm-m)	—	129.0	61.3	213.5	106.3	27.1	4.1
	層厚(m)	—	42.3	14.6	18.7	79.2	220.9	—
	下面深度 (m)	—	42.3	56.9	75.6	154.8	375.8	—
		第1層	第2層	第3層	—	第4層	第5層	—
VES	比抵抗 (ohm-m)	837	10164	139	—	908	76	—
	層厚(m)	0.3	1.3	45.0	—	99.0	—	—
	下面深度 (m)	0.3	1.6	46.6	—	145.6	—	—
掘削結果 (247m)	—	軽石質凝灰岩 溶結凝灰岩 凝灰角礫岩 (一部風化変質した凝灰岩)				—	—	

\*網掛け部分は比抵抗値/下面深度が類似

電磁探査結果と電気探査結果を比較すると、電気探査で解析された比抵抗値は電磁探査で解析された比抵抗値よりも全体的に高くなっている傾向にある。

電気探査結果によれば、地表下40m付近までの比抵抗構造が細分されているが、電磁探査はこれらの層を一つの層と解析されているものの双方は高比抵抗であり全体的な深度も一致しているようである。中深部については、それぞれにおける層構造の層数に相違

が認められるが、最深部の低比抵抗の深度については良い一致を示している。比抵抗値も概ね整合している。

電気探査の探査深度はおおよそ200mまでであるが、電磁探査はさらに深く400m程度までの探査深度である。300mより以深には著しく低い比抵抗を示しており、塩水化された地下水の影響により比抵抗が低くなっていると考えられる。

表 4.14: 電磁探査解析結果及び掘削結果との比較 (BH-3)

測定	パラメータ	TEM3-1/掘削地点				
		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層
TEM	比抵抗 (ohm-m)	302.5	59.3	198.2	8.3	0.2
	層厚 (m)	55.4	96.7	65.2	116.7	—
	下面深度 (m)	55.4	152.1	217.3	334.0	—
掘削結果 (247m)	—	軽石質凝灰岩 溶結凝灰岩 凝灰角礫岩 (一部風化変質した凝灰岩)			—	—

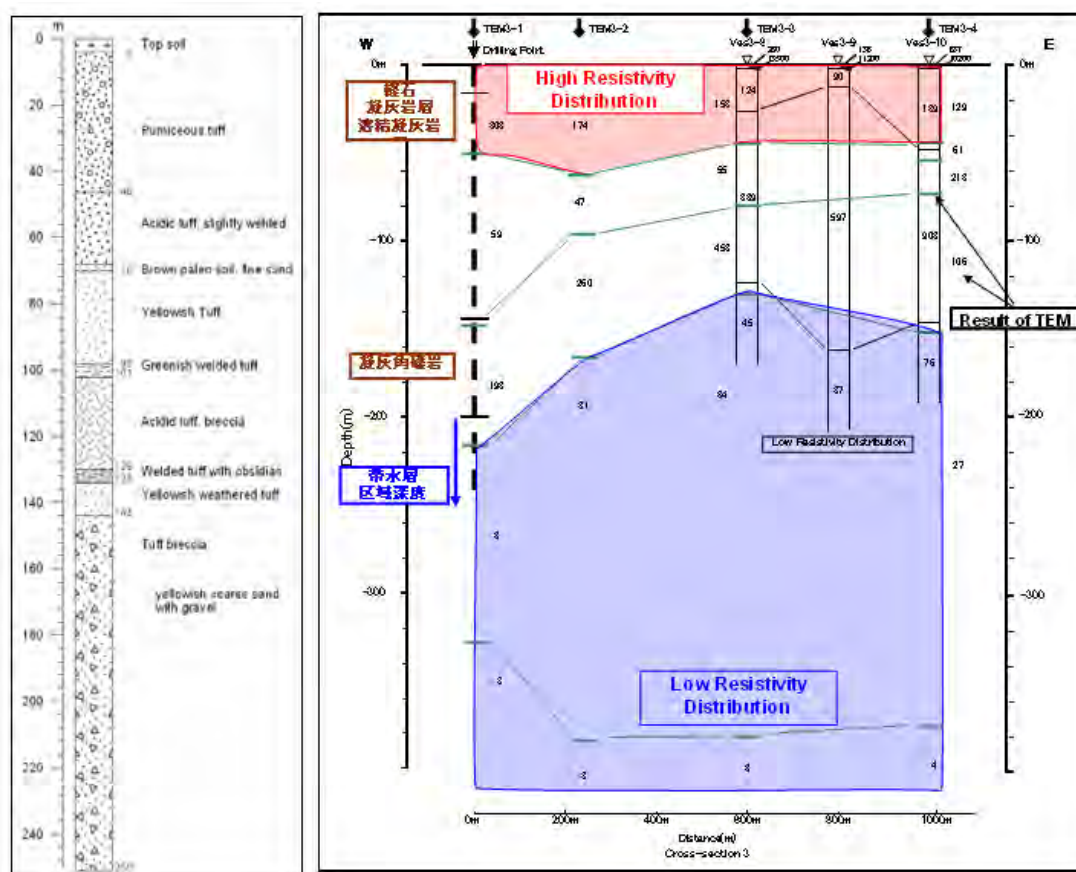


図 4.29: 総合解析断面図 (BH-3)

掘削結果による本地域の岩相は、軽石、凝灰岩層、溶結凝灰岩層を示している。70m付近には風化変質した凝灰岩と推定されるシルト質堆積物が確認されている。140m付近か

ら火山岩類切りくずがでており、未固結～半固結の凝灰角礫岩の礫と判断されている。また、帯水層区域深度は200m～247m(孔底深度)とされている。

TEM法解析結果と比較すれば、上層の比抵抗は高く、軽石、凝灰岩層、溶結凝灰岩層に対比され、水を含まない層と考えられる。中深部は比抵抗がやや低くなり、凝灰角礫岩に相当する。この地層も帯水層になりにくいと考えられる。さらに下部200m付近から著しく比抵抗が低くなり、軽石、溶結凝灰岩、玄武岩質岩の礫などであることから、良質な帯水層となり、また帯水層区域深度ともほぼ一致している。

したがって、今回のTEM法の解析結果は、第1年次の電気探査結果と検討した結果、大局的な比抵抗構造の結果と概ね調和的であり、さらに掘削結果による地質状況とも整合している。

#### c.4 BH-10(Brindar)

本地点はKonsoから南西約35kmに位置する低地で、標高890m程度である。近くには川が流れており、雨季の豪雨時には川が氾濫し、この周辺一帯が冠水することが多い。この地区は、第1年次に電気探査を実施しており、電気探査結果と比較する目的の他に地下深部の比抵抗情報を把握するために電磁探査を実施した。TEM法の測点数は3点である(データブック参照)。

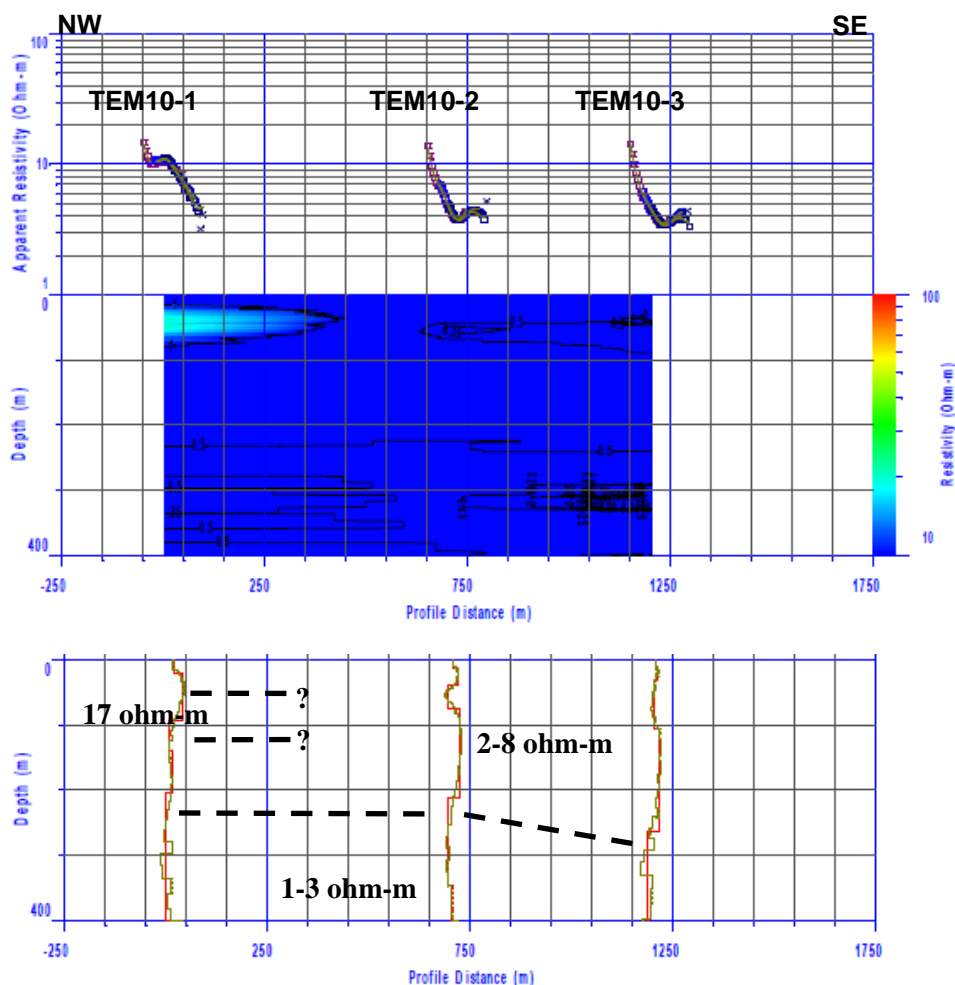


図 4.30: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図(BH-10)

測点TEM10-1では地表下20~90mにやや高い比抵抗を示し、他の2測点と比抵抗構造が異なっているものの比抵抗値に大きな相違がなく、全体的に10ohm-m以下の低比抵抗を示している。

本地域は、玄武岩質砂礫、砂・泥などの沖積堆積物に覆われ、地表面下は Teltele 玄武岩の基盤が分布している。表層から深部の低比抵抗は堆積物あるいは風化層と考えられ、地下水が豊富に存在していると考えられる。測点 TEM10-1 のやや高い比抵抗は玄武岩の基盤と思われる。

表 4.15~表 4.17は電磁探査結果と電気探査結果の比較表である。

表 4.15: 電磁探査解析結果及び電気探査解析結果との比較(BH-10、その 1)

測定	パラメータ	TEM10-1/VES10-1						
		—	—	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層
TEM	比抵抗 (ohm-m)	—	—	6.1	17.6	3.7	5.3	2.3
	層厚(m)	—	—	21.5	71.4	46.0	66.2	—
	下面深度 (m)	—	—	21.5	93.0	139.0	205.1	—
		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層	—
VES	比抵抗 (ohm-m)	2.8	86	2.5	68.0	5.0	14.0	—
	層厚(m)	0.2	1.4	5.8	28.0	78.0	—	—
	下面深度 (m)	0.2	1.6	7.4	35.4	113.4	—	—

\*網掛け部分は比抵抗値/下面深度が類似

電磁探査結果は、地表下22mまで比抵抗が低く、その後の地表下93mまで高比抵抗となり、第3層から下層まで比抵抗が低くなる。

電気探査の結果と比較すると、表層から第3層までの低比抵抗値はやや整合しているが深度は10m以上深い。さらにこの下層に高比抵抗が認められるが、電磁探査結果の方が深くなる。それぞれの測点の高比抵抗の下部層は比抵抗が低く、比抵抗値は概ね一致しているようである。

表 4.16: 電磁探査解析結果及び電気探査解析結果の比較(BH-10、その 2)

測定	パラメータ	TEM10-2/VES10-4						
		—	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層
TEM	比抵抗 (ohm-m)	—	3.7	6.5	2.1	8.2	2.0	3.3
	層厚(m)	—	12.7	25.9	36.4	138.3	134.7	—
	下面深度 (m)	—	12.7	38.6	75.0	213.3	348.1	—
		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	—	—
VES	比抵抗 (ohm-m)	7.1	3.0	9.9	2.8	9.6	—	—
	層厚(m)	5.3	9.3	18.0	26.0	—	—	—
	下面深度 (m)	5.3	14.6	32.6	58.6	—	—	—

\*網掛け部分は比抵抗値/下面深度が類似

電磁探査の結果、全体的に10ohm-m以下の低比抵抗を示している。この解析された層構

造の中では第4層の比抵抗がやや高くなっている。

電気探査結果も同様に、10ohm-m以下の比抵抗で、各層の下面深度に一部相違が認められるが、比抵抗値と下面深度が調和的である。

表 4.17: 電磁探査解析結果及び電気探査解析結果の比較(BH-10、その3)

測定	パラメータ	TEM10-3/VES10-8						
		—	—	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層
TEM	比抵抗 (ohm-m)	—	—	3.8	4.6	2.7	5.6	1.3
	層厚(m)	—	—	13.3	18.7	73.7	157.3	—
	下面深度 (m)	—	—	13.3	31.9	105.6	262.9	—
		第1層	第2層	—	第3層	第4層	第5層	—
VES	比抵抗 (ohm-m)	14.0	1.4	—	7.8	2.6	1010	—
	層厚(m)	3.1	3.5	—	20.0	100.0	—	—
	下面深度 (m)	3.1	6.6	—	26.6	126.6	—	—

\*網掛け部分は比抵抗値/下面深度が類似

本測点の電磁探査結果も同様に10ohm-m以下の低比抵抗を示している。

電気探査結果と比較すると、概ね類似した比抵抗値を示し、各層の下面深度も調和的である。ただし、電気探査の第4層の比抵抗値は1,000ohm-mと著しく高く、電磁探査結果の値とに相違が認められる。

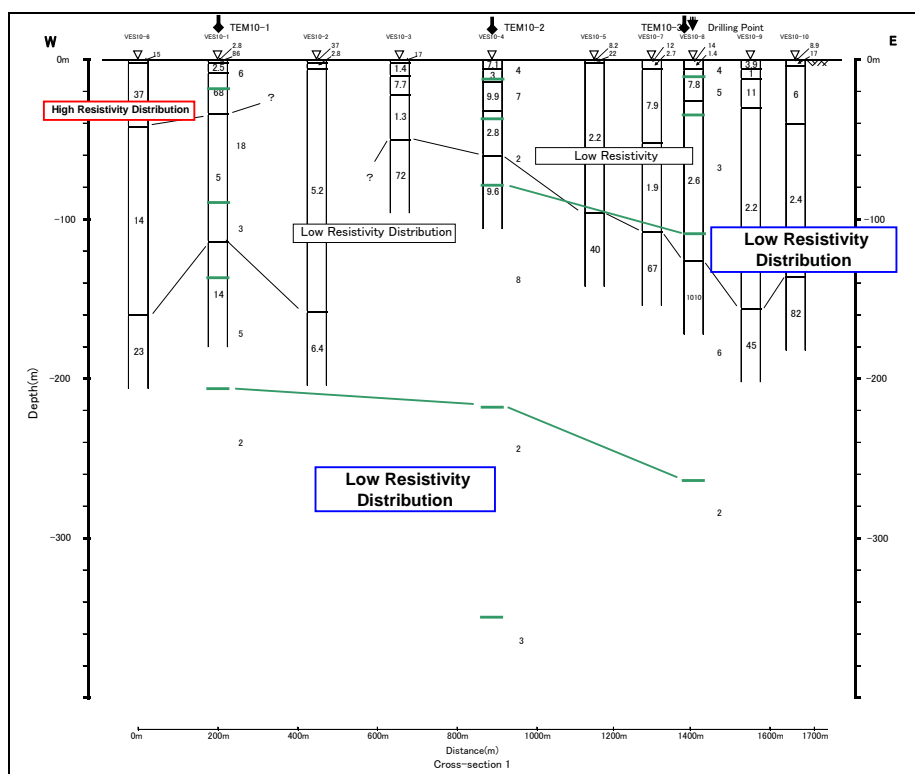


図 4.31: 総合解析断面図(BH-10)

図 4.31は、電磁探査結果及び電気探査結果を重ね合わせた断面図である。断面図の西



側の電気探査結果による表層に高比抵抗が認められる以外は、全体的に比抵抗に大きな差はなく、10ohm-m以下と低い。層構造の傾向として表層から地表下100m程度まで低比抵抗、その下層はやや高くなるが、地表下200m以深から著しく比抵抗が低くなる。

本地域の地表面下はTeltele玄武岩の基盤が分布し、表層から深部までの低比抵抗は堆積物あるいは風化層に相当すると考えられ、地下水の存在の可能性が高い。また、断面西の測点VES10-6及びTEM10-1のやや高い比抵抗は玄武岩の基盤と考えられる。

### c.5 Tora(Meded Gagebo/Anshebeso Kuchi)

本地点は、地質断面図作成の情報源として電磁探査を実施した。調査地はButajiraから南方約35km、Abija湖北西約20kmに位置し、標高1,880mの平野地である。地質図によれば氾濫が受けやすい土地で、周囲には小さな湖や水井戸が数多く点在している。

また、本地域北東約10kmにあるToraに既存井戸が存在し、その地質柱状図を入手している。今回の電磁探査結果並びに地質柱状図との比較検討した結果を述べる。なお、TEM法の測定点数は3点である(データブック参照)。

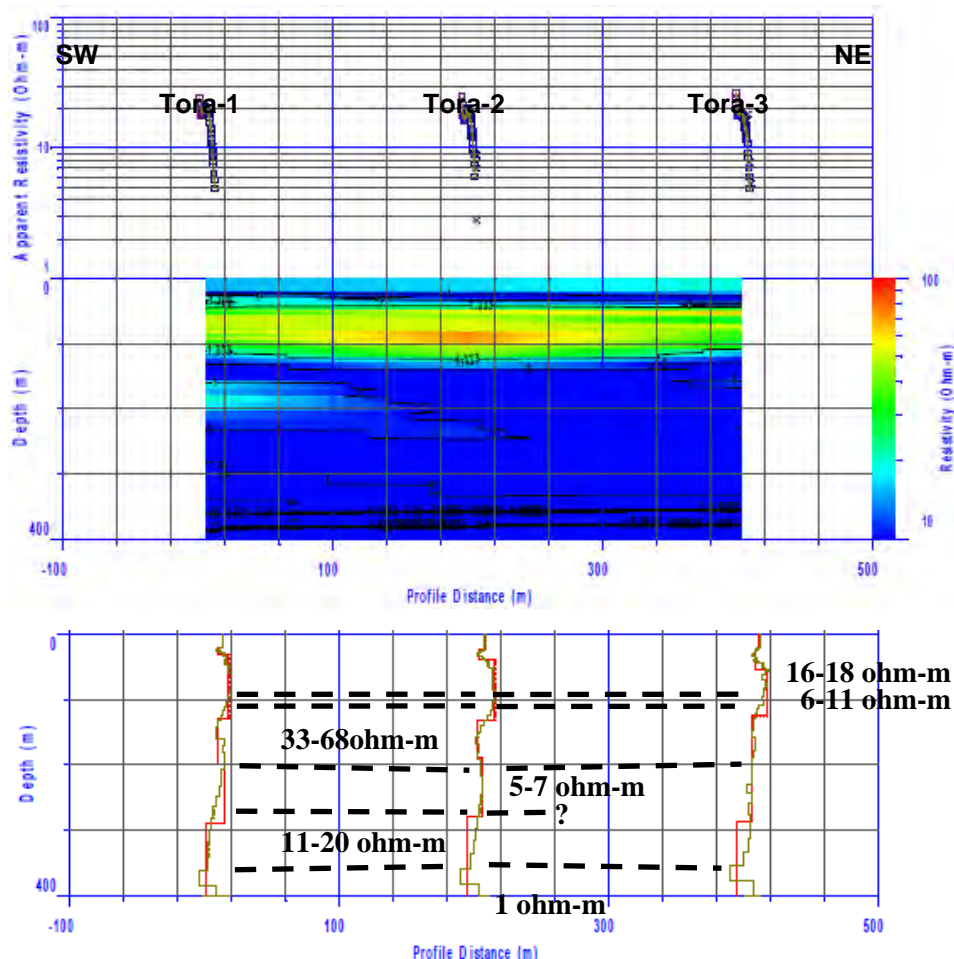


図 4.32: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図 (Tora 地域)

本地点の比抵抗構造は5~6層を示し、上部層から低~高~低比抵抗と続いている。特

に地表下約30~130mに33~68ohm-mのやや高い比抵抗が認められる。また、測点間での比抵抗構造に比抵抗の不連続は認められない。

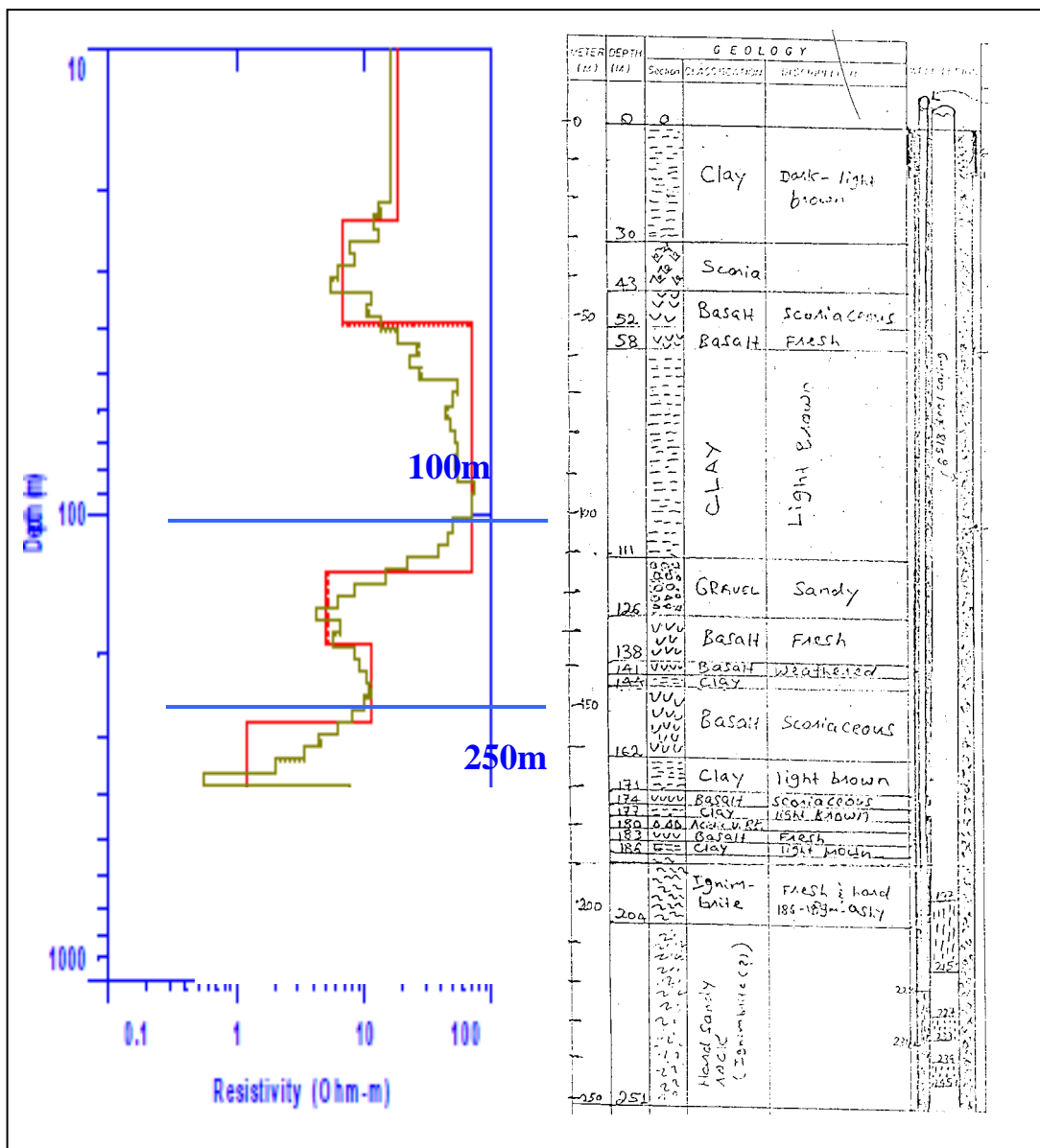


図 4.33: 解析断面図と地質柱状図との比較

地質柱状図は、Recent Basaltの分布する地域にあり、地質図から判断すると電磁探査の地点の地質と直接の対比はできない。柱状図の記載と地質図の対比を行うと、138mまでがRecent Basalt、138m~186mまでは弱溶結の凝灰岩や火山砕屑物（いわゆる白）および186m~204mは強溶結凝灰岩（いわゆる緑）、その下位は流紋岩の可能性が高い。S. W. L は189. 1mである。

電磁探査結果では地表下40m付近まで低比抵抗、地表下40~130mまで高比抵抗、これより地表下280m付近から著しく比抵抗が低くなって来る。

これを地質と比較してみると、上部層の低比抵抗は火山砕屑物（いわゆる白）、高比抵抗は十分に区分されていないが、この間に強溶結の凝灰岩や流紋岩が分布する可能性

がある。帯水層はこの凝灰岩以深と思われるが、柱状図との比較はそのままできないので、確定はできない。

### c.6 Yirgachefe (Budukisa/Worago)

本地点は、地質断面図作成の情報として電磁探査を実施した。本地点は、Yirgachefe市街から北方4km程度離れた起伏に富むコーヒー畑で、標高は1,870mである。TEM法の測点は3点である(データブック参照)。

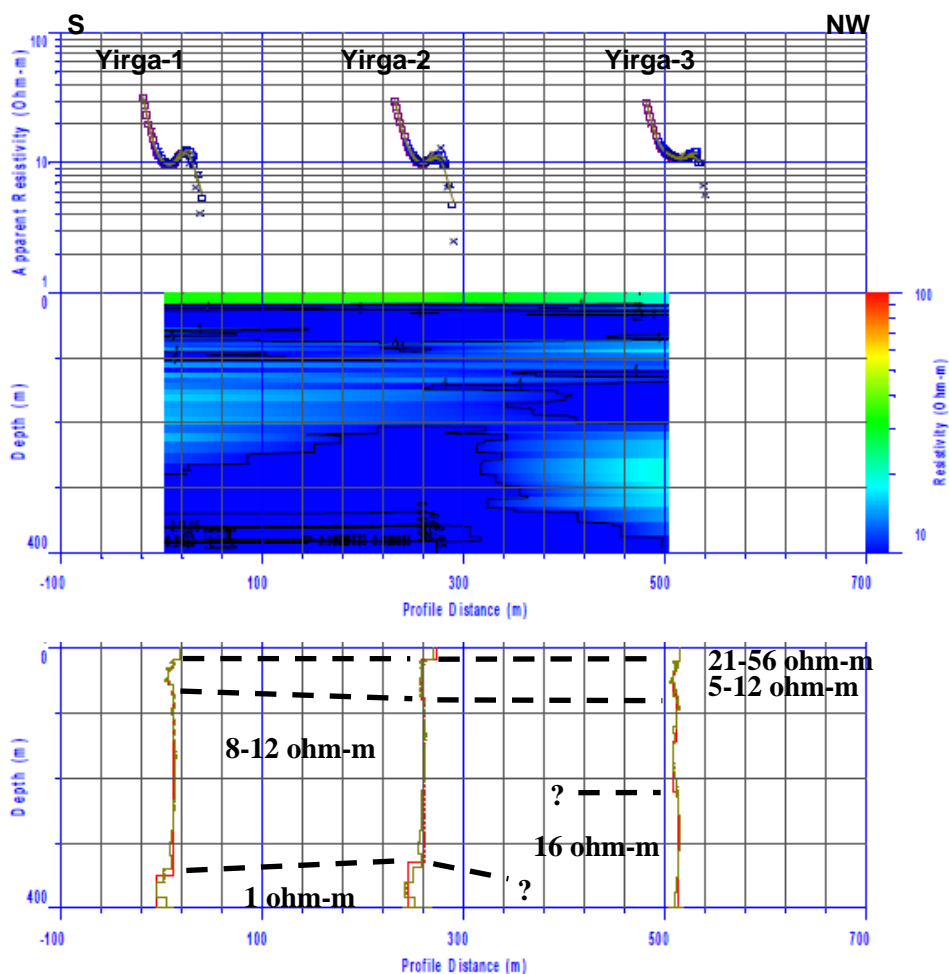


図 4.34: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図(Yirgachefe 地域)

本地点の比抵抗構造は主に4層を示し、表層から高～低～著しく低い比抵抗を示している。しかし、測点Yirga-3の地表下220mにやや高い比抵抗が認められる。

本地点の地質は、流紋岩、粗面岩、凝灰岩、玄武岩など漸新世～中新世の湖成堆積物PNv 或いはPv が分布し、また南北方向に無数の断層群が発達している。この地域は湖成堆積物が厚く覆い、また断層群が無数に存在していることから、風化した流紋岩や裂隙水が地下深部まで浸透して比抵抗が低くなっていると考えられる。

### c.7 Agere Maryam(Bule Kagna)

本地点は、地質断面図作成の情報として電磁探査を実施した。本地点は、Agere Mariam市から西約5kmの山間部に囲まれた低地である。標高は、1,760mである。TEM法の測定点数は3点で、測点間隔は300mである(データブック参照)。

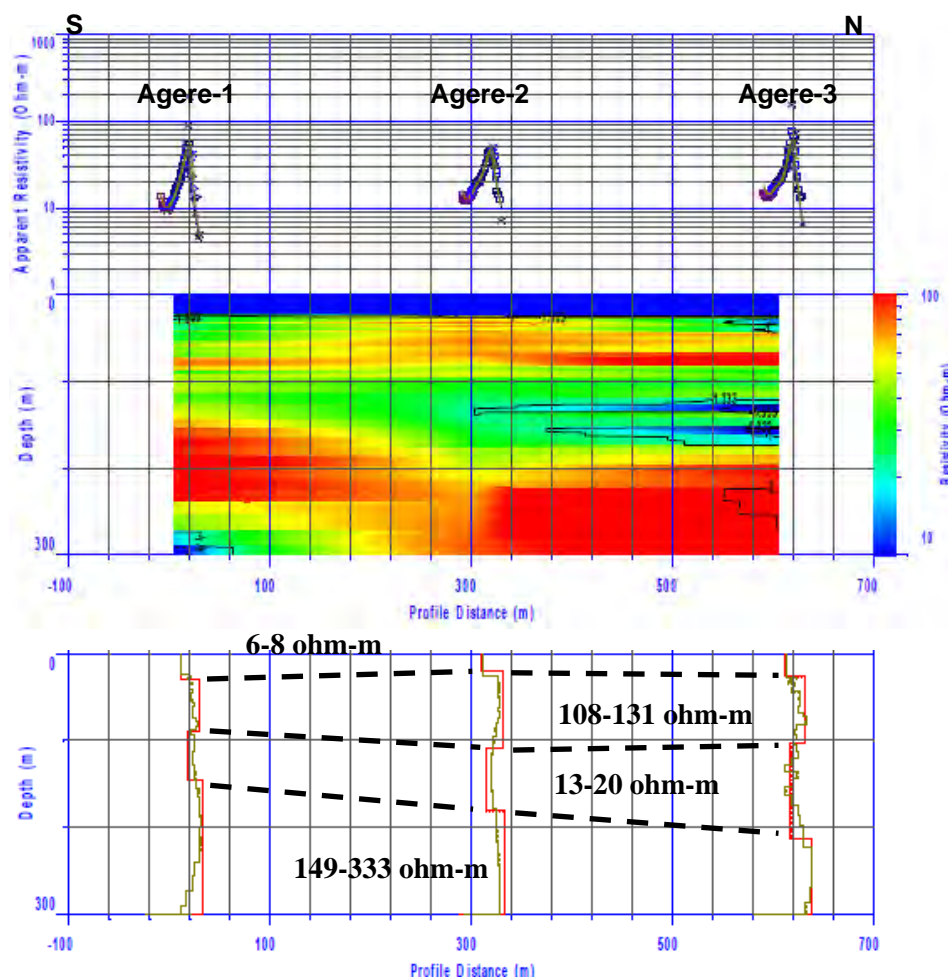


図 4.35: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図 (Agere Maryam 地域)

これまでに述べてきた比抵抗構造と異なり、全体的に比抵抗が高い地域である。表層から地表下30m及び地表下100~200mまでは低比抵抗であるが、これ以外の層で高くなる傾向を示している。なお本地区の測定データのL周波数において取得したデータにバラツキが多く、深部の解析精度が悪い。よって、解析された深度は300m程度と思われる。

本地点の地質は、漸新世~中新世の湖成堆積物P<sub>v</sub>が分布する中での狭い範囲で分布する完新世Q<sub>a</sub>の沖積層である。

表層は砂、泥、砂利などが堆積し、地表下100mまでの高比抵抗は地下水を含まない玄武岩、その下層100~200mまでの低比抵抗は地下水で飽和された玄武岩と考えられる。更に地表下200m以深の高比抵抗は基盤岩と思われる。

d. 南部諸民族州

d.1 BH-1(Abaya Chokane)

本地点はAbaya湖北端から約3kmに位置する森林地帯で標高1,240m程度、湖水からの比高差は数十mと思われる。

以下に電磁探査の結果を述べる。

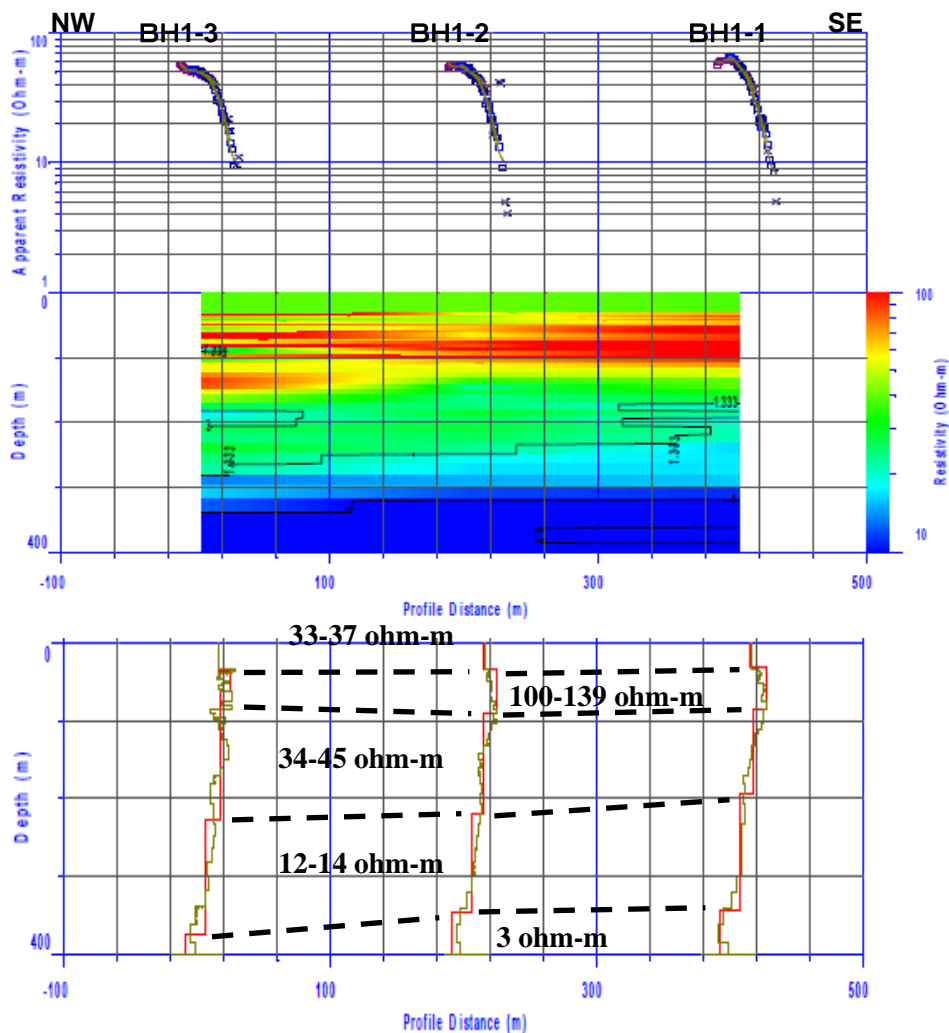


図 4.36:Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図(BH-1)

本地点の比抵抗構造は5層で、上位から中～高～中～低比抵抗を示す。表層は40ohm-m以下の比抵抗で層厚は30m、その下部層は高比抵抗で地表下90mまで続く。さらに地表下200mまで40ohm-m前後の比抵抗となり、その下部から地表下350mまで比抵抗が低くなり、最下層は著しく比抵抗が低くなる。

表 4.18は第1年次に実施した電気探査解析結果と今回実施した電磁探査解析結果、さらに掘削結果からの地質も対比した。なお、測点TEM1-2地点は、測点VES1-3とVES1-2の中間地点であるため、これらの測点との結果を対比していない。

表 4.18: 電磁探査解析結果及び電気探査解析結果との比較(BH-1、その 1)

測定	パラメータ	TEM1-3/VES1-4					
		—	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層
TEM	比抵抗 (ohm-m)	—	37.5	100.8	42.1	11.5	2.1
	層厚(m)	—	37.7	24.1	166	148.5	—
	下面深度 (m)	—	37.7	61.8	228	376	—
		第1層	第2層	第3層	第4層	—	—
VES	比抵抗 (ohm-m)	34	17	291	48	—	—
	層厚(m)	6.9	5.6	31	—	—	—
	下面深度 (m)	6.9	12.5	43.5	—	—	—
掘削結果 (150m)	—	軽石層 溶結凝灰岩層 流紋岩層			—	—	

\* 網掛け部分は比抵抗値/下面深度が類似

電磁探査の結果、第2層に高比抵抗が地表下38～62mの範囲に分布する他は、各層の比抵抗は低い。特に地表下380m付近から著しく比抵抗が低くなる。

電気探査の結果と比較すると、電気探査の高比抵抗深度は地表下13～44mの範囲に分布し、電磁探査の方が深く解析されている。しかし、この高比抵抗の下部の低比抵抗は双方とも比抵抗値がほぼ一致している。

掘削結果による本地域の岩相は、地表下42mまで軽石層、その下層には溶結凝灰岩層、さらにその下層126mから硬い流紋岩層を示している。深度10～60m付近まで軽石に富む火山灰層・砂礫・溶結凝灰岩層が確認されている。また、帯水層区域深度は67～130mとされている。

地質との対比では、高比抵抗は火山灰層、軽石層、溶結凝灰岩層で水を含まない層と考えられる。この下部の低比抵抗は割れ目の発達した溶結凝灰岩、流紋岩層であると思われる、また、帯水層区域の深度は67mからとされており、電磁探査の高比抵抗の下面深度とほぼ一致している。

表 4.19: 電磁探査解析結果と電気探査解析結果との比較(BH-1、その 2)

測定	パラメータ	TEM1-1/VES1-6/掘削地点近傍					
		—	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層
TEM	比抵抗 (ohm-m)	—	33.2	139.0	45.4	13.6	2.6
	層厚(m)	—	30.4	56.2	107	151	—
	下面深度 (m)	—	30.4	86.8	194	345	—
		第1層	第2層	第3層	第4層	—	—
VES	比抵抗 (ohm-m)	62	10	1330	17	—	—
	層厚(m)	0.5	8.0	53	—	—	—
	下面深度 (m)	0.5	8.5	61.5	—	—	—
掘削結果 (150m)	—	軽石層 溶結凝灰岩層 流紋岩層			—	—	

\* 網掛け部分は比抵抗値/下面深度が類似

電磁探査の結果は、表 4.18の比抵抗構造と類似している。第2層の高比抵抗の下面深度は測点TEM1-1の方が深く、また帯水層区域深度は67mであるが、第2層の深度はこれより20m程深い。

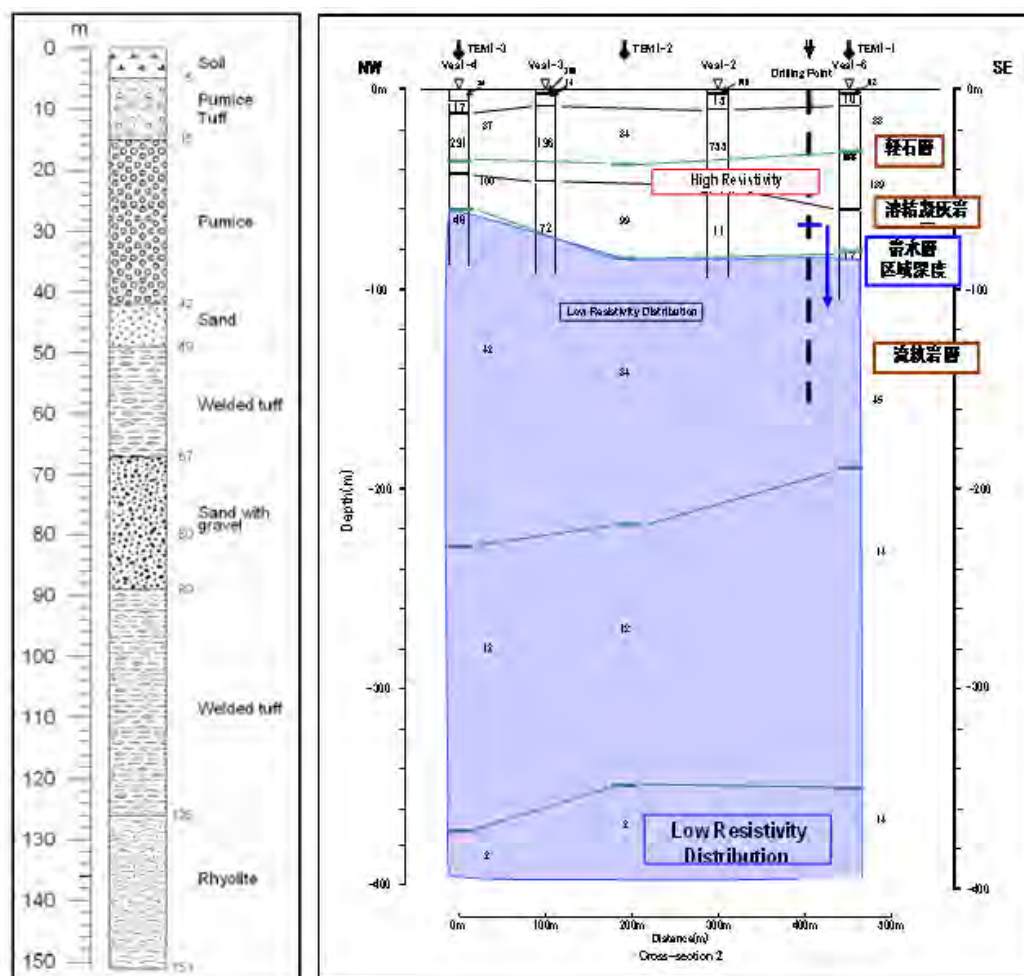


図 4.37: 総合解析断面図 (BH-1)

図 4.37はBH-1の総合解析断面図である。

電磁探査の高比抵抗の下面深度は約62~87m、電気探査の高比抵抗の下面深度は約44~62mで、全体的には帯水層区域深度の67mとほぼ同じである。

地質と比較すれば、上層90m付近までの高比抵抗は火山灰層、砂礫、溶結凝灰岩層であり、水を含まない層と推定される。この下層は比抵抗が低くなり、砂礫層、割れ目が発達していると考えられる溶結凝灰岩、流紋岩層に相当し、帯水層区域深度とほぼ一致している。

したがって、電磁探査結果は、電気探査結果と概ね比抵抗構造と調和的であり、さらに掘削結果による地質状況とも整合する。

## d.2 BH-6(Yeye Alaba/Lajo)

本地点は、Shashemaneから西方約35kmに位置する農村地域である。第1年次に電気探査が実施され、また掘削が予定されており、その掘削深度は400mである。電磁探査の測定

点数は3点であるが、本地点はEWTECの地下水探査ショートコースの実習地であり、その実習に参加した時の測定データの解析も行った。以下にそれらの比抵抗構造の特徴を述べる。

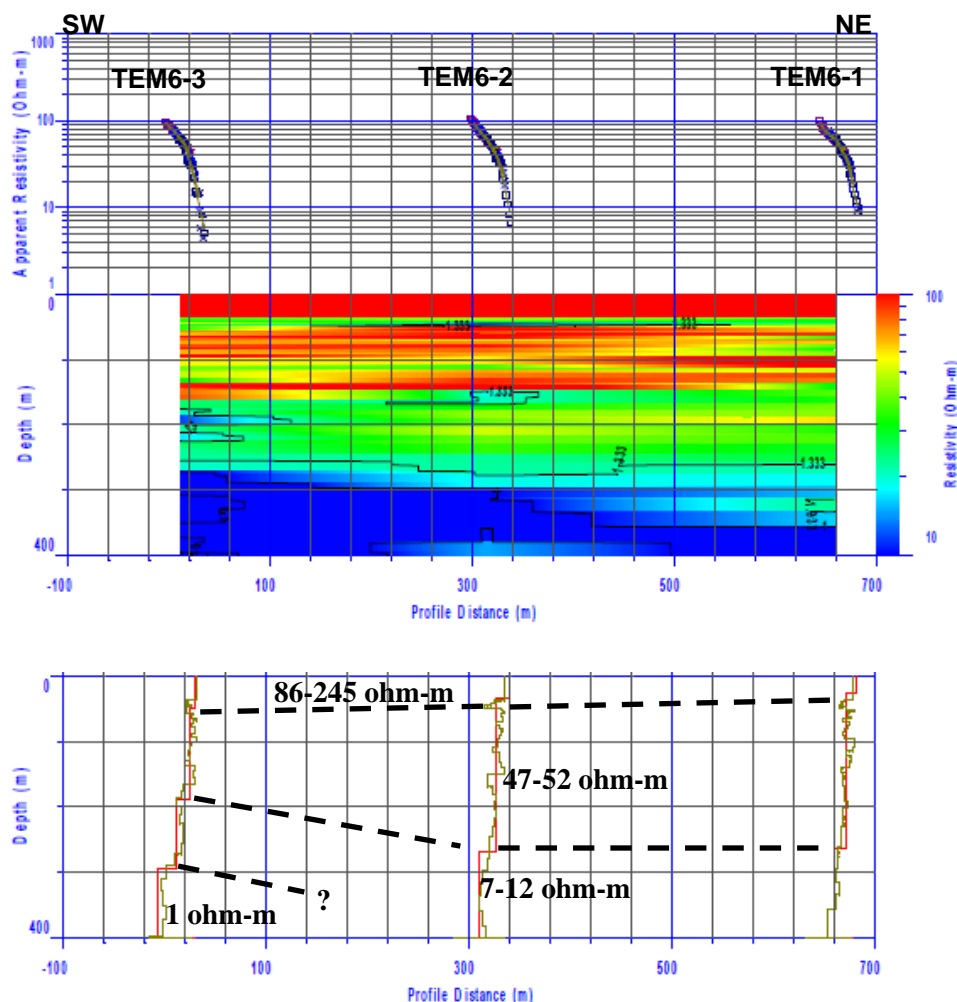


図 4.38: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図(BH-6、その 1)

本断面の比抵抗構造は3~4層である。地表下浅部は高比抵抗を示し、その下層は中比抵抗でその深度は200~300mである。これより下層の比抵抗は低くなり、測点TEM6-3の地表下300mから著しい低比抵抗が認められる。

調査地域は第四紀WonjiグループDinoに属しているQdpで、粗い軽石質の火山砕屑物が広範囲に渡って分布している。表層から200m以深の高~中比抵抗は風化された火山砕屑物あるいは破碎された岩石の存在が考えられる。また、本地域の南西3kmに深井戸(掘削深度360m)があり、そのSWLは273mであることから、この下層の低比抵抗は地下水により飽和されていると考えられる。

図 4.39は、EWTECが電磁探査を実習したときの解析結果である。



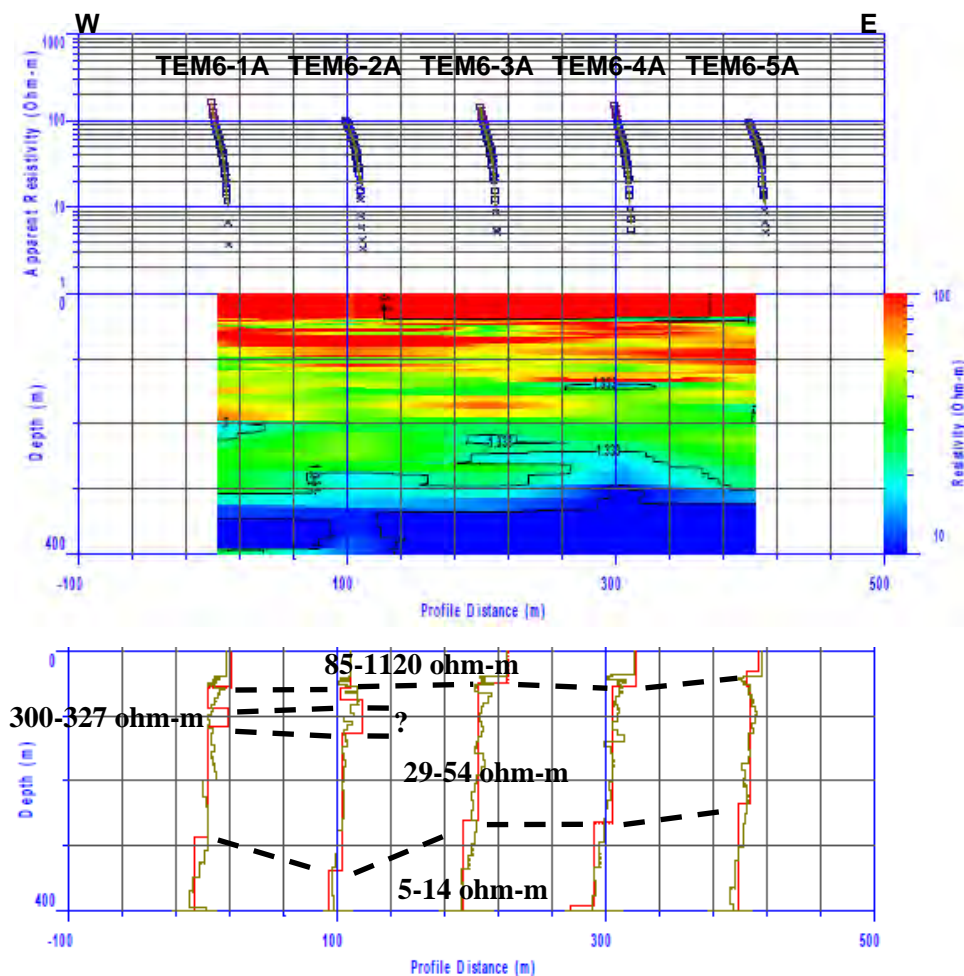


図 4.39: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図 (BH-6、その 2)

本断面の測点TEM6-1A及びTEM6-2Aは5層構造で地表下100m付近に層厚30~50mで高比抵抗が認められるが、その他の測点では3層構造を示し、全体的には前述の比抵抗構造とほぼ類持した構造を示している。は電磁探査結果と電気探査結果の比較表である。

表 4.20: 電磁探査解析結果及び電気探査解析結果との比較(BH-6、その 1)

測定	パラメータ	TEM6-3/VES6-8						
		—	—	第1層	第2層	第3層	第4層	—
TEM	比抵抗 (ohm-m)	—	—	85.9	52.1	10.8	1.4	—
	層厚 (m)	—	—	48.8	139.7	106.9	—	—
	下面深度 (m)	—	—	48.8	188.4	295.4	—	—
		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	—	—
VES	比抵抗 (ohm-m)	393.0	33.0	410.0	256.0	48.0	—	—
	層厚 (m)	1.2	2.4	18.0	243.0	—	—	—
	下面深度 (m)	1.2	3.6	21.6	264.6	—	—	—

\* 網掛け部分は比抵抗値/下面深度が類似

電磁探査の第1層の比抵抗は高く、これより下層から比抵抗が段階的に低くなる。一方、電気探査では第2層に薄層の低比抵抗が認められるが、第1層から第3層は全体的に高比抵抗を示し、電磁探査結果と同じ傾向であるが深度が浅い。第4層も高比抵抗ではあるが第3層より低く、さらに最下層の比抵抗は低い。

双方の探査結果の比抵抗を比較すると、電磁探査の第4層の低比抵抗と電気探査の第5層の低比抵抗との比抵抗値に大きな差はあるが深度はほぼ一致している。

表 4.21: 電磁探査解析結果及び電気探査解析結果との比較(BH-6、その 2)

測定	パラメータ	TEM6-2/VES6-3						
		—	—	第1層	第2層	第3層	—	—
TEM	比抵抗 (ohm-m)	—	—	245.1	46.5	7.3	—	—
	層厚 (m)	—	—	34.0	235.5	—	—	—
	下面深度 (m)	—	—	34.0	269.5	—	—	—
		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	—	—
VES	比抵抗 (ohm-m)	218.0	29.0	191.0	256.0	57.0	—	—
	層厚 (m)	1.2	2.2	45.0	226.0	—	—	—
	下面深度 (m)	1.2	3.4	48.4	274.4	—	—	—

\* 網掛け部分は比抵抗値/下面深度が類似

本測点も電磁探査の第1層の比抵抗は高く、この下部層から比抵抗が低くなる。

電気探査では、第2層に薄層の低比抵抗が認められるが、この薄層を除けば表層から第4層までは高比抵抗が深度270m程まで続き、これより以深は比抵抗が低くなる。

双方の結果を比べると、比抵抗構造の層状に違いが認められるが、どちらの最下層も比抵抗が低く、その深度もほぼ同じである。

表 4.22: 電磁探査解析結果及び電気探査解析結果との比較 (BH-6、その 3)

測定	パラメータ	TEM6-1/VES6-7						
		—	—	第1層	第2層	第3層	—	—
TEM	比抵抗 (ohm-m)	—	—	157.0	50.1	12.3	—	—
	層厚 (m)	—	—	26.9	238.1	—	—	—
	下面深度 (m)	—	—	26.9	265.0	—	—	—
		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	—	—
VES	比抵抗 (ohm-m)	185	29.0	386.0	244.0	59.0	—	—
	層厚 (m)	1.8	2.7	22.0	197.0	—	—	—
	下面深度 (m)	1.8	4.5	26.5	223.5	—	—	—

\* 網掛け部分は比抵抗値/下面深度が類似

本測点もこれまでの比抵抗構造と大略的に類似しており、電磁探査及び電気探査の高比抵抗の深度及び最下層の低比抵抗の深度はほぼ同じである。

図 4.40の断面図は、電磁探査と電気探査の解析結果を併記した図面である。

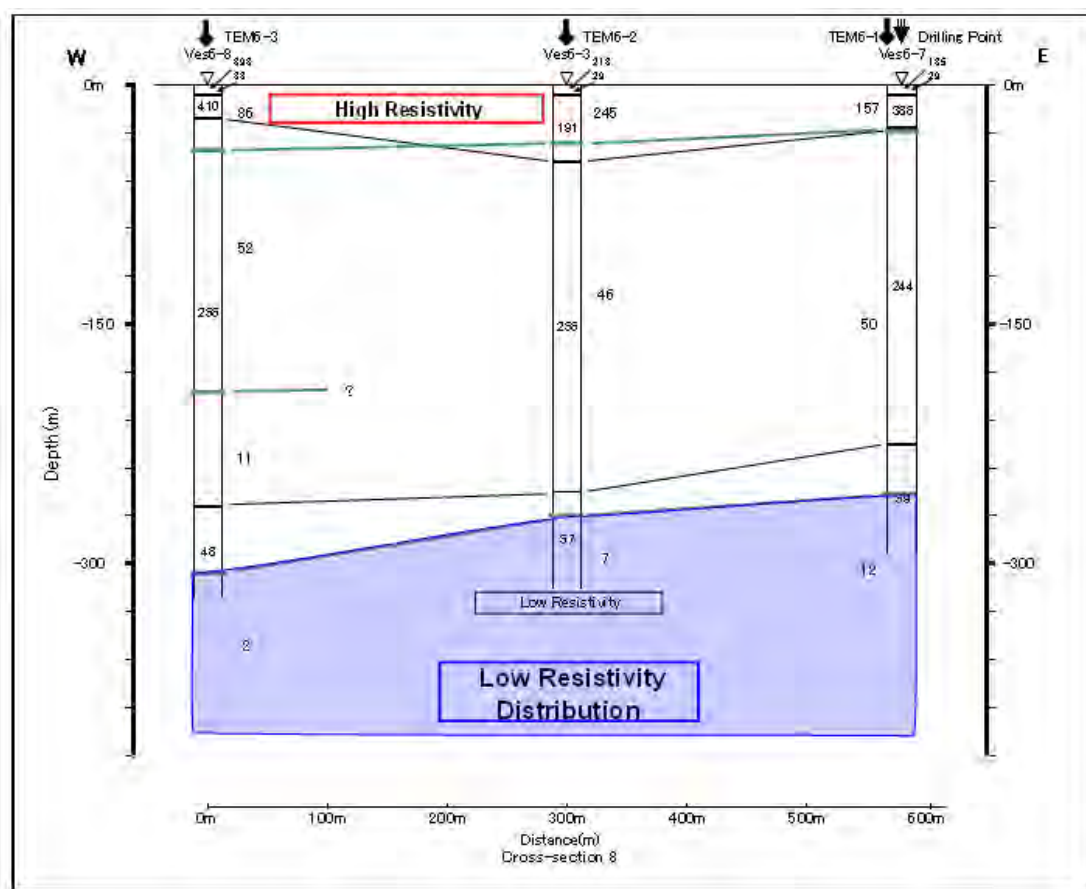


図 4.40: 総合解析断面図 (BH-6)

比抵抗構造は概ね3層を示し、地表下50mまで80ohm-m以上の高比抵抗、その下部は地表下260m程度まで50ohm-mと比抵抗が低く、さらに地表下260~300m以深で10ohm-m以下の比抵抗となる。この低比抵抗の深度は、本地域南西にある井戸のSWL273mとほぼ一致した深さである。

調査地域は第四紀WonjiグループDinoに属するQdpで、粗い軽石質の火山砕屑物が堆積している。表層から200m以深の高~中比抵抗は風化された火山砕屑物あるいは破碎された岩石に相当していると考えられる。

### d.3 BH-7(Waz/Arbaminch)

本地点は、Arbaminch大学前の農場地で、標高1,200mである。第1年次に電気探査が実施され、また本地区では掘削(深度200m)が予定されている。TEM法の測定点数は3点である(データブック参照)。

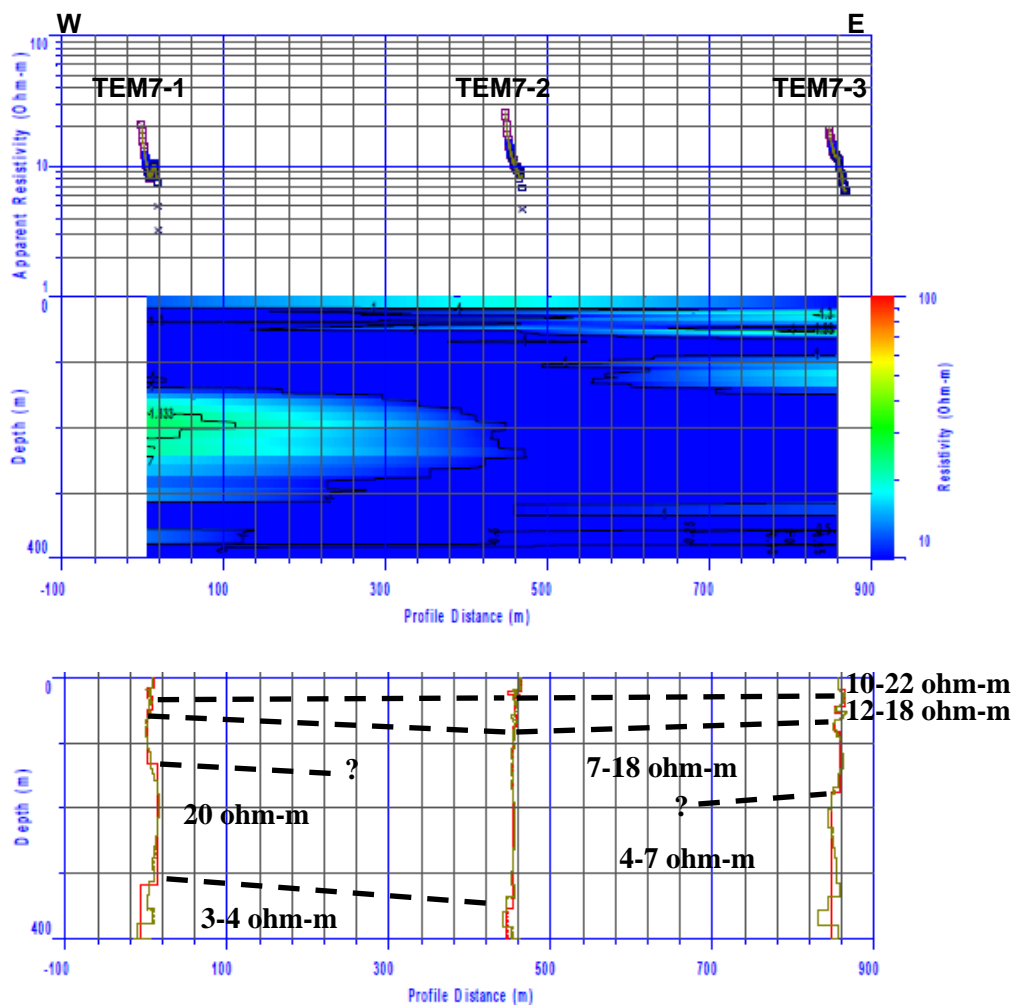


図 4.41: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図 (BH-7)

本地点の比抵抗構造は概略5層である。表層の比抵抗は10ohm-m以上の比抵抗、この下部層でやや比抵抗が低くなり、さらに最下層で比抵抗が著しく低くなる。測点TEM7-1の深度130~320mに20ohm-mのやや高い比抵抗が認められる。

本地域の地質は完新世Q1で、湖成堆積物、砂、泥、火砕性の堆積物などが堆積している地域である。これらの堆積物は、固結の弱い地質と考えられることから地下水を十分に含みやすく、地下水の飽和によって比抵抗が低くなっていると考えられる。

次に電磁探査と電気探査を比較した結果について述べる。

表 4.23: 電磁探査解析結果及び電気探査解析結果との比較(BH-7、その 1)

測定	パラメータ	TEM7-1/VES7-5						
		—	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層
TEM	比抵抗 (ohm-m)	—	13.3	6.4	12.3	6.2	20.3	3.0
	層厚 (m)	—	16.7	13.5	18.2	84.7	185.3	—
	下面深度 (m)	—	16.7	30.2	48.4	133.1	318.5	—
		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層	—
VES	比抵抗 (ohm-m)	13.0	36.0	7.5	38.0	4.9	17	—
	層厚 (m)	1.4	2.7	6.7	20.0	70.0	—	—
	下面深度 (m)	1.4	4.1	10.8	30.8	100.8	—	—

\* 網掛け部分は比抵抗値/下面深度が類似

電磁探査は、表層から高～低と繰り返しの比抵抗構造を示し、電気探査については低比抵抗から始まるが同様に繰り返した比抵抗構造となっている。これらの各比抵抗層と深度を対比すると、表層から地表下30mまでは比抵抗値及び深度は異なるが、これより下部層は比抵抗値、深度もほぼ一致しているように見られる。特に電磁探査の第4層と電気探査の第5層の比抵抗値と深度、電磁探査の第5層と電気探査の比抵抗値は類似した値である。

表 4.24: 電磁探査解析結果及び電気探査解析結果との比較(BH-7、その 2)

測定	パラメータ	TEM7-2/VES7-6						
		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層	第7層
TEM	比抵抗 (ohm-m)	20.7	4.4	17.7	10.0	10.6	7.7	4.0
	層厚 (m)	21.7	4.6	5.3	24.8	18.2	280.5	—
	下面深度 (m)	21.7	26.4	31.7	56.5	74.7	355.2	—
		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	—	—
VES	比抵抗 (ohm-m)	6.3	88.0	4.6	27.0	11.0	—	—
	層厚 (m)	1.3	18.0	18.0	63.0	—	—	—
	下面深度 (m)	1.3	19.3	37.3	100.3	—	—	—

\* 網掛け部分は比抵抗値/下面深度が類似

電磁探査は、地表下30mまで高～低～高比抵抗の繰り返しとなるが、これより下層は約10ohm-m以下と比抵抗が低くなり、特に最下層は著しく低い。電気探査でも繰り返しの比抵抗構造を示している。

双方の結果を比較すると、電磁探査の第3層から最下層の層は電気探査の第4層以降の層に相当するものと思われるが、明瞭な対比が困難である。しかし、電磁探査の第6層と電気探査の第5層の低い比抵抗層は、低比抵抗境界の深度とも考えられる。

表 4.25: 電磁探査解析結果及び電気探査解析結果との比較(BH-7、その 3)

測定	パラメータ	TEM7-3/VES7-7						
		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層	第7層
TEM	比抵抗 (ohm-m)	9.6	21.9	6.8	15.3	6.7	11.8	4.1
	層厚(m)	19.3	23.8	10.3	11.6	18.0	92.3	—
	下面深度 (m)	19.3	43.1	53.4	65.0	83.0	175.4	—
		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	—	—
VES	比抵抗 (ohm-m)	9.4	167	1.1	64	1.3	—	—
	層厚(m)	12.0	6.8	18.0	73.0	—	—	—
	下面深度 (m)	12.0	18.8	36.8	109.8	—	—	—

\* 網掛け部分は比抵抗値/下面深度が類似

電磁探査の比抵抗構造は、低～高の比抵抗の繰り返しを示し、最下層の第7層は著しく比抵抗が低くなる。電気探査でも低～高の繰り返した比抵抗構造を示し、第5層で比抵抗が著しく低い。それぞれで解析された結果を比較すると、比抵抗の値及び深度は一致しないことが多いが、電磁探査の第5層の低比抵抗の深度と電気探査の第5層の低比抵抗の深度とが同一と考えられる。

図 4.42の断面図は、電磁探査と電気探査の解析結果を併記した図面である。

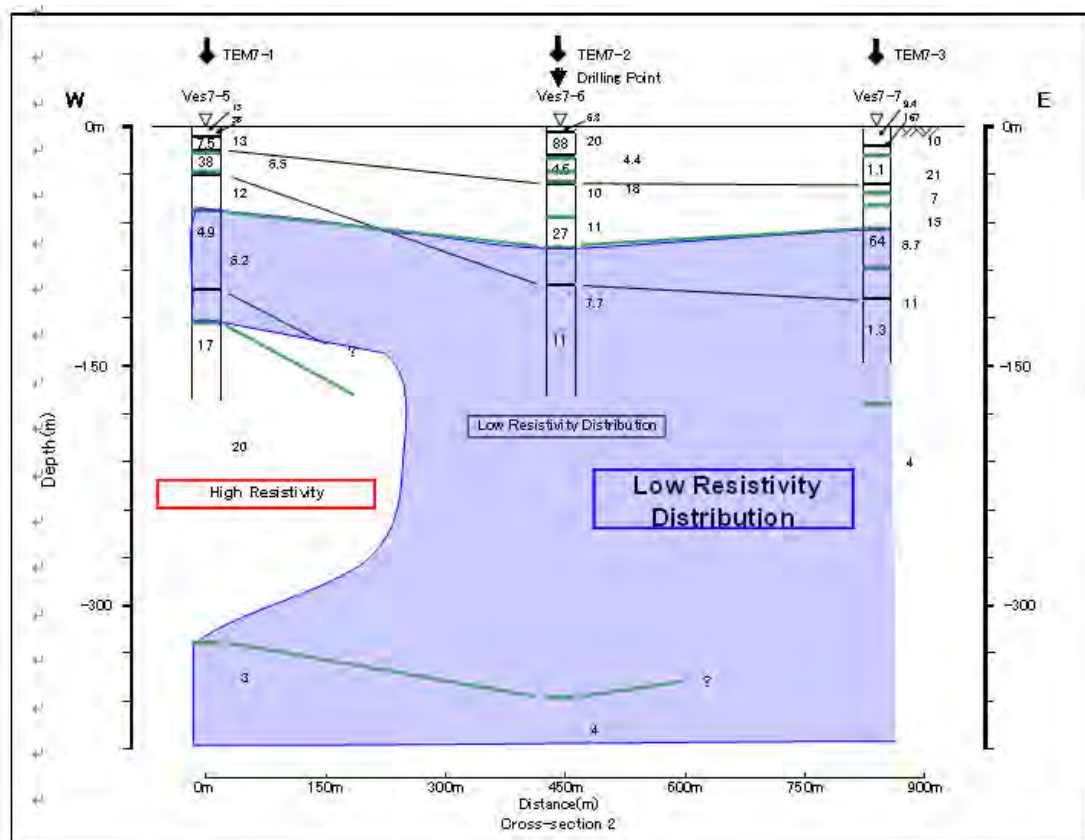


図 4.42: 総合解析断面図 (BH-7)

地表下60mまでの比抵抗構造は4～5層に分割され、高～低～高と繰り返しの比抵抗構造を示している。地表下浅部に関しては比抵抗値と深度に相違が認められるが、対極的に

は双方に大きな違いは認められない。また、地表下60~90mの間で低比抵抗が認められる。電磁探査の測点TEM7-1の深度120m付近と電気探査の測点VES7-5の深度115m付近から高比抵抗が認められ、比抵抗値と境界深度がほぼ一致している。

本地域の地質は完新世Q1で、湖成堆積物、砂、泥、火砕性の堆積物などが堆積している。地表下60m以深の低比抵抗は、これらの堆積物に地下水が浸透され、飽和水によって比抵抗が低くなっていると考えられる。

#### d.4 BH-8(Walesa/Kolta)

本地点は、Arbaminchから南方約40km、Abaya湖南端から約3kmに位置し、標高は1,150m程度である。湖水との比高差は数十mと考えられる。第1年次に電気探査が実施され、また本地区で深度200mの掘削を予定している。TEM法の測定点数は3点である(データブック参照)。

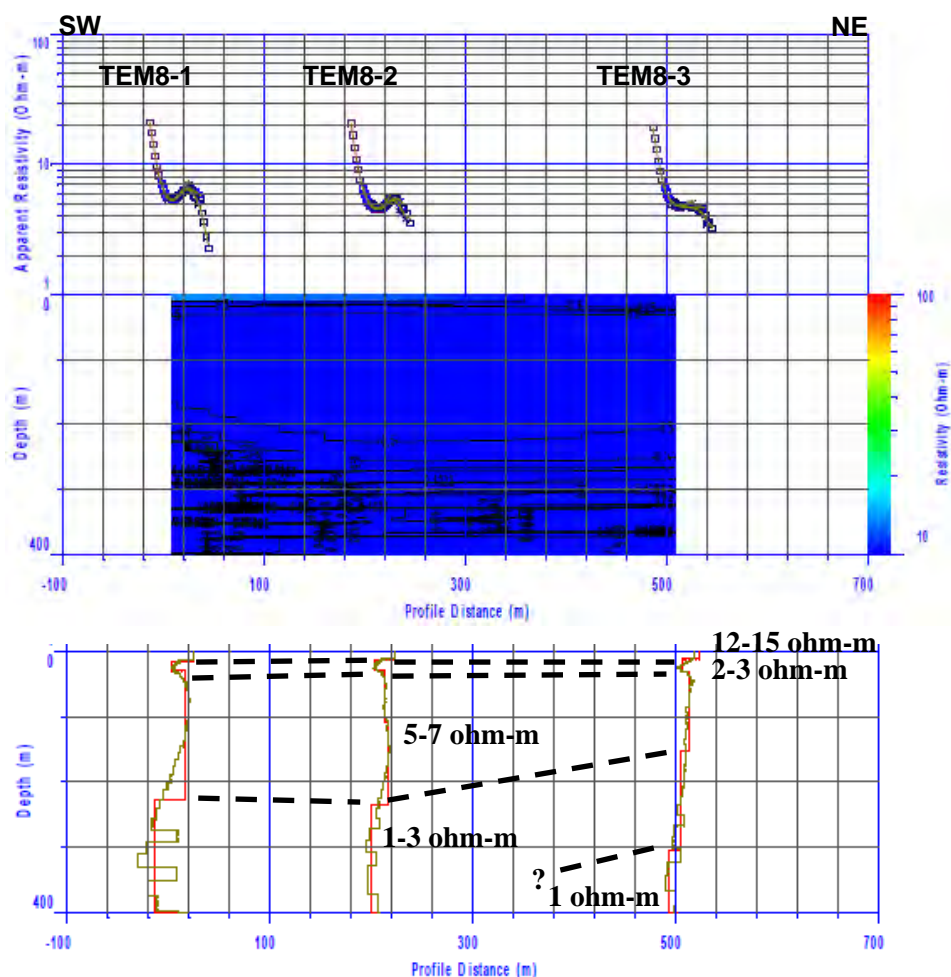


図 4.43: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図 (BH-8)

本地区の比抵抗構造は4~5層を示し、表層の比抵抗は10ohm-m以上の比抵抗を示し、この下層から深部まで10ohm-m以下の低比抵抗となっている。

本地域の地質は完新世Q1で、湖成堆積物、砂、泥、火砕性の堆積物などが堆積してい

る地域である。これらの堆積物に地下水が浸透され、地下水の飽和によって比抵抗が低くなっていると考えられる。

下表は電磁探査結果と電気探査結果の比較表である。

表 4.26: 電磁探査解析結果及び電気探査解析結果との比較(BH-8、その 1)

測定	パラメータ	TEM8-1/VES8-2						
		—	第1層	第2層	第3層	第4層	—	—
TEM	比抵抗 (ohm-m)	—	14.8	2.3	6.7	0.5	—	—
	層厚(m)	—	15.4	14.7	196.8	—	—	—
	下面深度 (m)	—	15.4	30.1	226.9	—	—	—
		第1層	第2層	第3層	第4層	—	—	—
VES	比抵抗 (ohm-m)	14.0	47.0	3.0	11.0	—	—	—
	層厚(m)	3.2	5.6	37.0	—	—	—	—
	下面深度 (m)	3.2	8.8	45.8	—	—	—	—

\* 網掛け部分は比抵抗値/下面深度が類似

電磁探査の比抵抗構造は、表層から高～低～高～低の比抵抗を示し、特に最下層で著しく比抵抗が低くなる。電気探査の比抵抗も高低を繰り返している。

これらの比抵抗構造を対比すると、地表下15mまでは比抵抗値及び深度に違いが認められるが、これより下部層では良く一致している。

表 4.27: 電磁探査解析結果及び電気探査解析結果との比較(BH-8、その 2)

測定	パラメータ	TEM8-2/VES8-3						
		—	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	—
TEM	比抵抗 (ohm-m)	—	12.0	2.2	5.0	7.2	1.6	—
	層厚(m)	—	14.3	14.0	88.9	125.4	—	—
	下面深度 (m)	—	14.3	28.3	109.1	234.5	—	—
		第1層	第2層	—	第3層	第4層	—	—
VES	比抵抗 (ohm-m)	5.6	38.0	—	5.7	45	—	—
	層厚(m)	0.4	9.6	—	197.0	—	—	—
	下面深度 (m)	0.4	10.0	—	207.0	—	—	—

\* 網掛け部分は比抵抗値/下面深度が類似

電磁探査及び電気探査の地表下15mまでは比抵抗が高く、これより下部層で比抵抗が低くなる。電磁探査では、地表下15～235m付近までの比抵抗に大きな変化がなく同一層とも言える。しかし、この下部層から比抵抗が変わって著しく低くなる。電気探査では、地表下10～210mまで電磁探査の比抵抗値とほぼ同じである。最下層は高比抵抗を示し、この層は電磁探査の第4層に対比されると考えられる。



表 4.28: 電磁探査解析結果及び電気探査解析結果との比較(BH-8、その 3)

測定	パラメータ	TEM8-3/VES8-5						
		—	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	—
TEM	比抵抗 (ohm-m)	—	12.5	2.8	4.9	2.5	0.9	—
	層厚 (m)	—	11.7	18.8	123.2	152.2	—	—
	下面深度 (m)	—	11.7	30.5	153.7	305.9	—	—
		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	—	—
VES	比抵抗 (ohm-m)	14.0	34.0	5.5	1.1	83	—	—
	層厚 (m)	2.4	4.4	50.0	49.0	—	—	—
	下面深度 (m)	2.4	6.8	56.8	105.8	—	—	—

\* 網掛け部分は比抵抗値/下面深度が類似

表層の比抵抗はどちらも高く、その下部層で比抵抗が低くなる。ただし、その低比抵抗は電磁探査で地表下300m以深まで続いているが、電気探査では地表下100mと浅くなっている。また、電気探査の最下層の比抵抗が高く、電磁探査結果と一致しない。

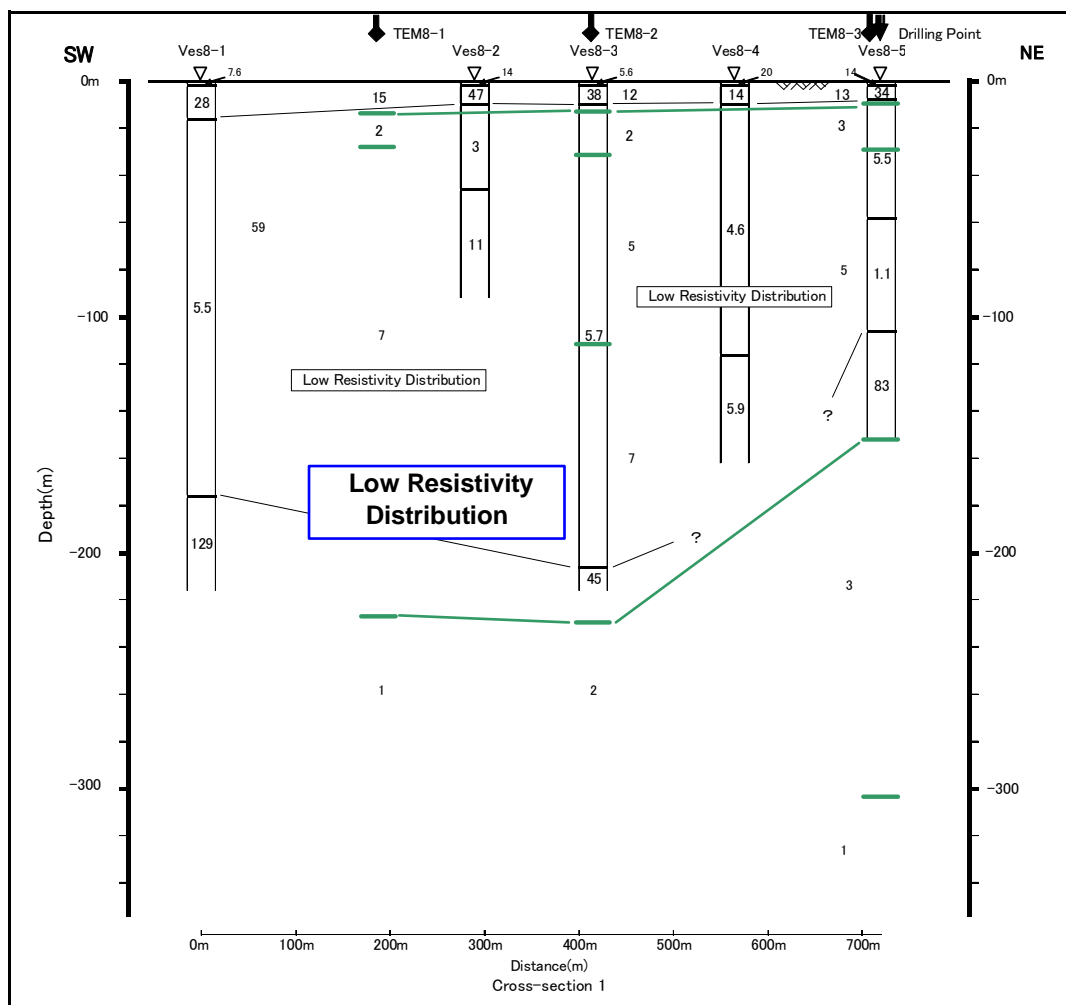
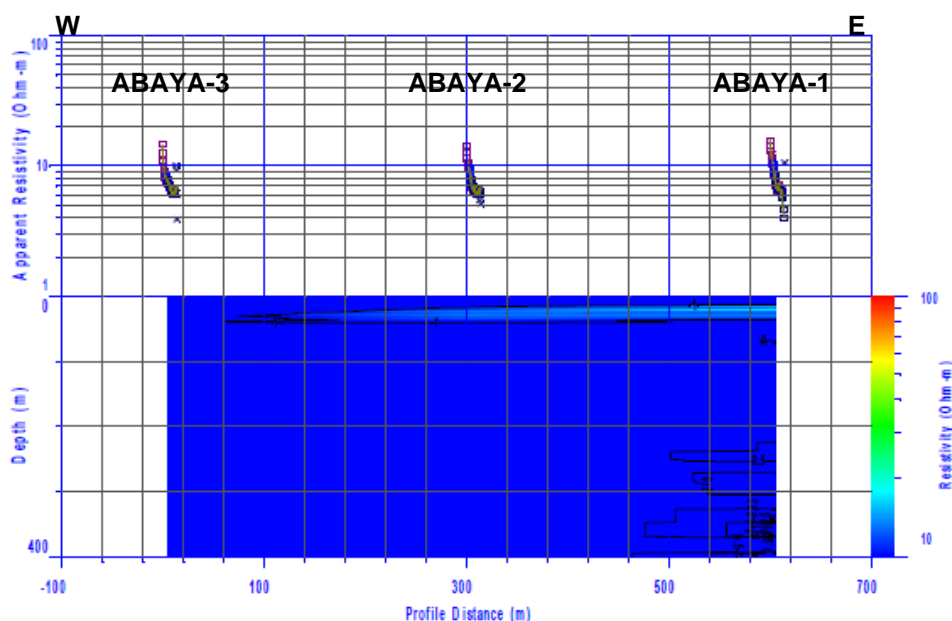


図 4.44: 総合解析断面図 (BH-8)

図 4.44の断面図は、電気探査による解析結果と電磁探査の解析結果をまとめた図面である。表層の20mまでの比抵抗は双方とも高く調和的である。その下層は低比抵抗となり、その層厚は100~200mと変化に富んでいる。さらに最下層については、電気探査での解析結果では比抵抗が高くなり、電磁探査からの解析結果では著しく比抵抗が低い。電気探査のVES曲線を再確認した結果、本地区の深度AB/2は殆どの比抵抗値が増加している。一方、電磁探査の見掛比抵抗曲線はサンプリング時間の経過と共に比抵抗値の減少が認められる。いずれにしてもこれらの最下層については整合がなく、どちらの解析結果が妥当であるのか判断ができない。しかし、電気探査での測定で送信電流が弱すぎて受信電位が著しく小さかったため、深部の真の見掛比抵抗値が得られなかった可能性が疑われる。しかしながら、電磁探査によるデータにはバラツキもなく、精度良いデータの取得が行えたことにより、今回の総合的な解釈では電磁探査結果の深部の比抵抗構造が正当とも言える。

#### d.5 Mirab Abaya(Fetle Doronje)

本地点は、地質断面図作成のための比抵抗構造の情報として電磁探査を実施した。本地点は、Mirba Abayaから北約10kmの農村地帯でAbaya湖から西5kmに位置している。標高は1,320mで、湖水との比高差は100m以上と思われる。TEM法の測定点数は3点、測点間隔は300mである(データブック参照)。



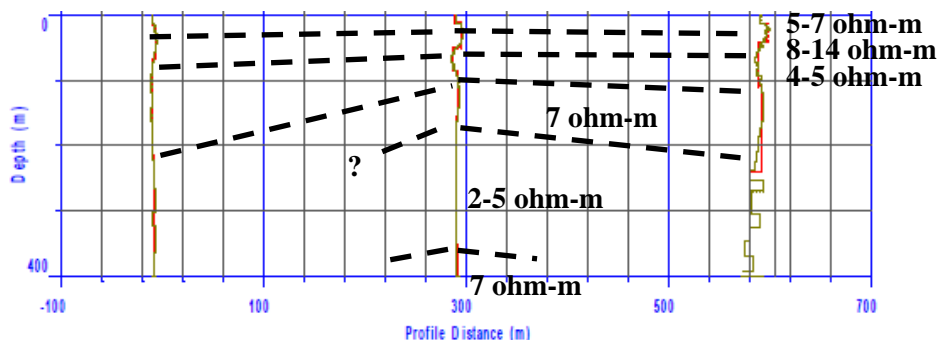


図 4.45: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図 (Mirab Abaya 地域)

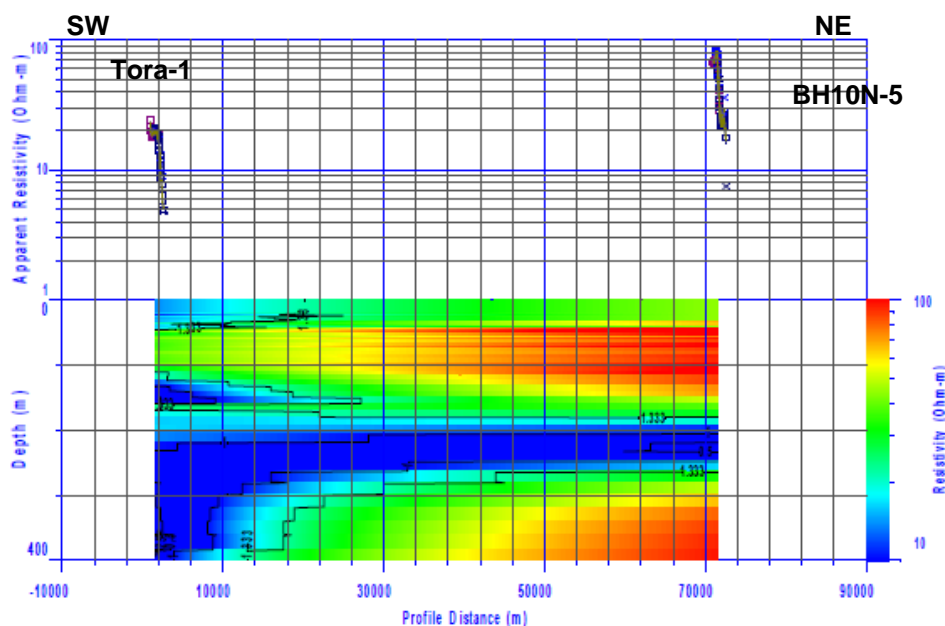
本地点の比抵抗構造は4~6層に分けられ、全体的に低比抵抗構造を示している。特に、ABAYA-2の最下層には比抵抗が若干高くなる層が認められるが、比抵抗値に差は殆どなく、また、測点間での比抵抗構造に不連続な構造も認められないことから成層構造と思われる。

本地域の地質は完新世Q1が分布し、湖成堆積物、砂、泥、火山碎屑物などが堆積している。これらの堆積物は、固結の弱い地質と考えられることから水を十分に含みやすく、地下水の飽和によって比抵抗が低くなっているとも考えられる。

e. その他の層構造解析図

電磁探査解析結果から、東西方向及び南北方向の比抵抗構造断面図を作成した。断面図は各地域の1箇所の測定地点の解析結果を元に作成している。その選定条件として、測定データにノイズの混入が少ない測定点、解析精度が良かった測定点、各地域の測定データ或いは解析結果が類似している場合は測定地域の中心の測定点を選んだ。以下に各断面の特徴を述べる。

e.1 Tora-BH10N



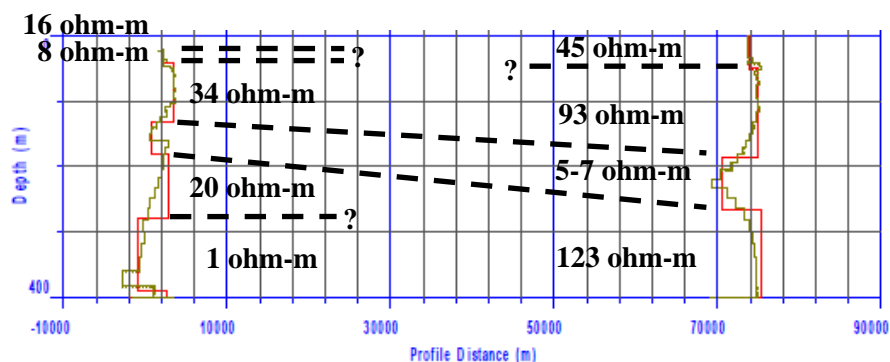
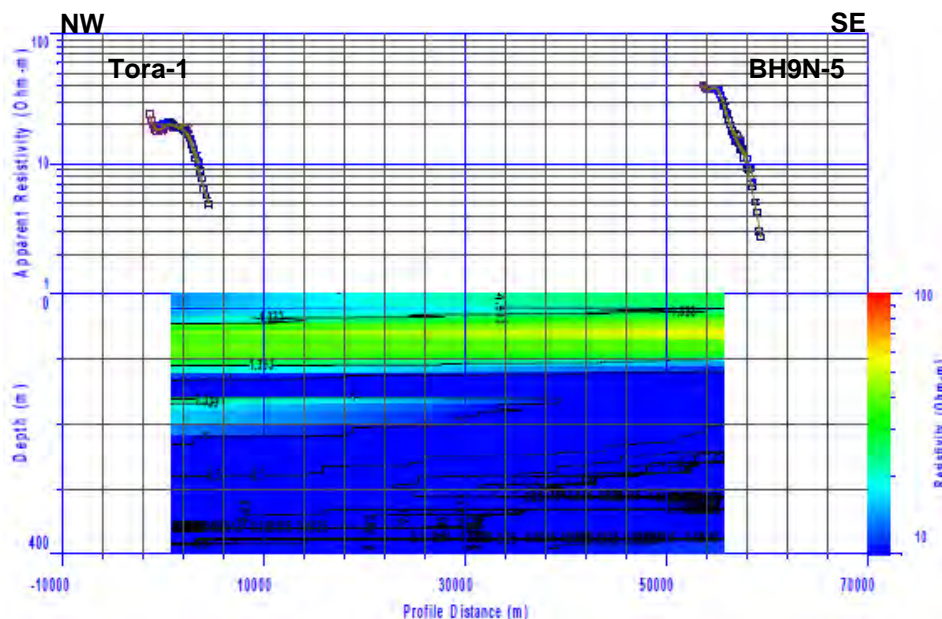


図 4.46: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図 (Tora-BH10N)

本断面はSW-NE方向で、測定点の距離は約70kmである。比抵抗構造は、測点Tora-1では比抵抗が低く、測点BH10N-5では全体的に比抵抗が高く、これらの測定間に比抵抗構造の不連続が推定される。この他に地表下200mに低比抵抗が存在している。Tora地区での地質柱状図では186~204mまで溶結凝灰岩 (いわゆる緑)、204~251mまで流紋岩が分布し、また、測点BH-10Nでは砂、泥、などの湖成堆積物が堆積している。地表下深部の低比抵抗は帯水層の存在による可能性も高い。測点BH-10N-5の表層の高比抵抗は湖成堆積物に対応され、地下深部の高比抵抗は溶結凝灰岩あるいは流紋岩の存在が考えられる。

## e.2 Tora-BH9N



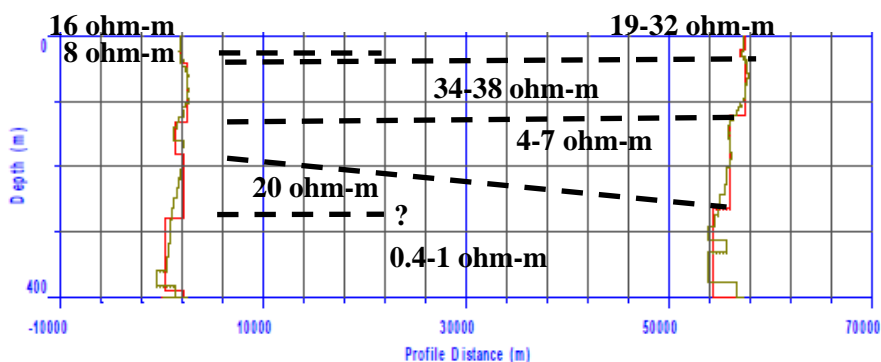


図 4.47: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図(Tora-BH9N)

本断面はNW-SE方向の断面で、測点間距離は約55kmである。地表下100mまではやや比抵抗が高いが、これらの下部層では比抵抗が低くなっている。溶結凝灰岩、流紋岩などが分布し、さらに地表下100m以深は帯水層によって比抵抗が低くなっていると考えられる。

e.3 BH-9N-BH-10N

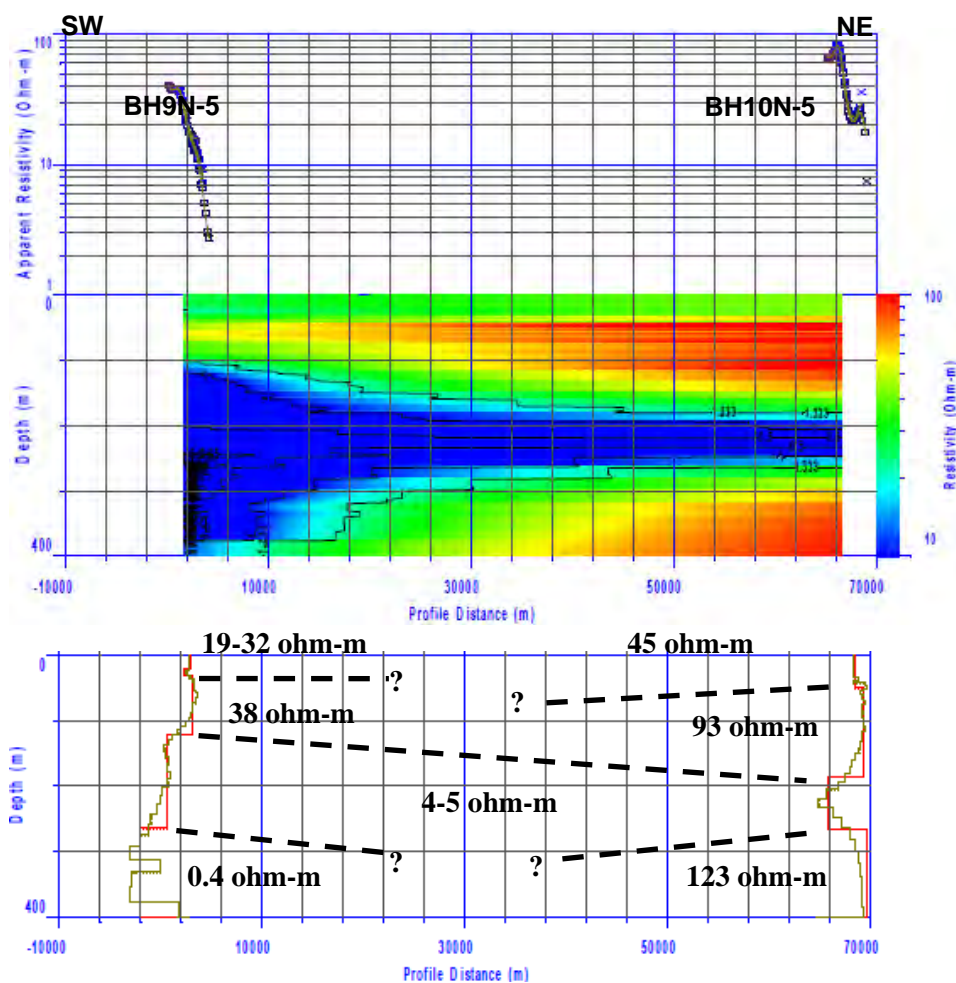


図 4.48: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図(BH9N-BH10N)

本断面はNE-SW方向の断面で、測点BH9Nの地表下100m以深は低比抵抗を示し、測点BH-10Nは地表下200~270mで低比抵抗を示している。本地区の地質は完新世Q1が分布し、湖成堆積物、砂、泥、火山砕屑物などが堆積している。また、測点BH10Nの地区には北北東-南南西に無数の断層が通っており、これらの断層に反映して、低比抵抗となっている可能性もありえる。

e.4 BH-6-Tora

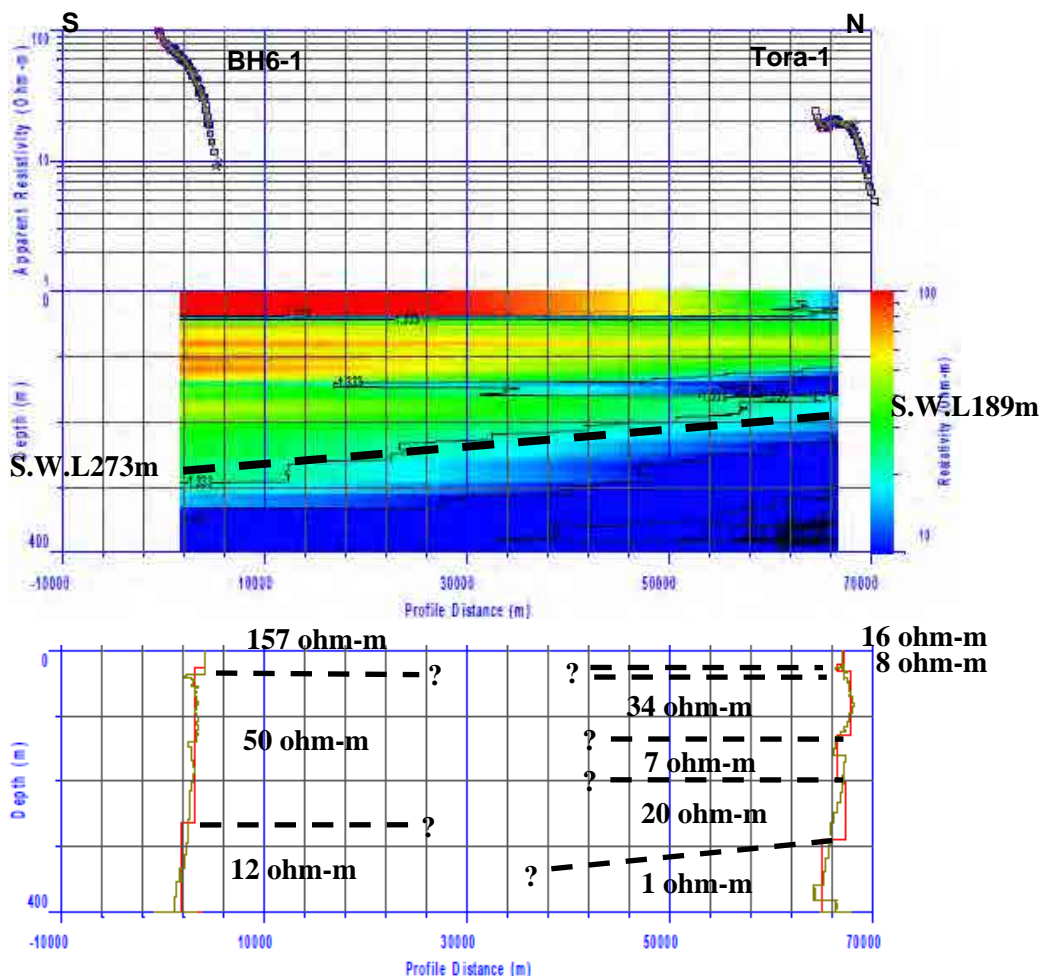


図 4.49: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図(BH6-Tora)

本断面はN-S方向で、測点間距離は約65kmである。比抵抗は測点BH6-1で高く、測点Tora-1で低い。測点BH6の地質は、粗い軽石質の火山砕屑物が広範囲に渡って分布している。表層から200m以深までの高~中比抵抗は風化された火山砕屑物あるいは破碎された岩石の存在が考えられる。さらに下層の低比抵抗は帯水層であると考えられる(本地区南西3kmの深井戸SWL273m)。

e.5 BH-6-BH-3

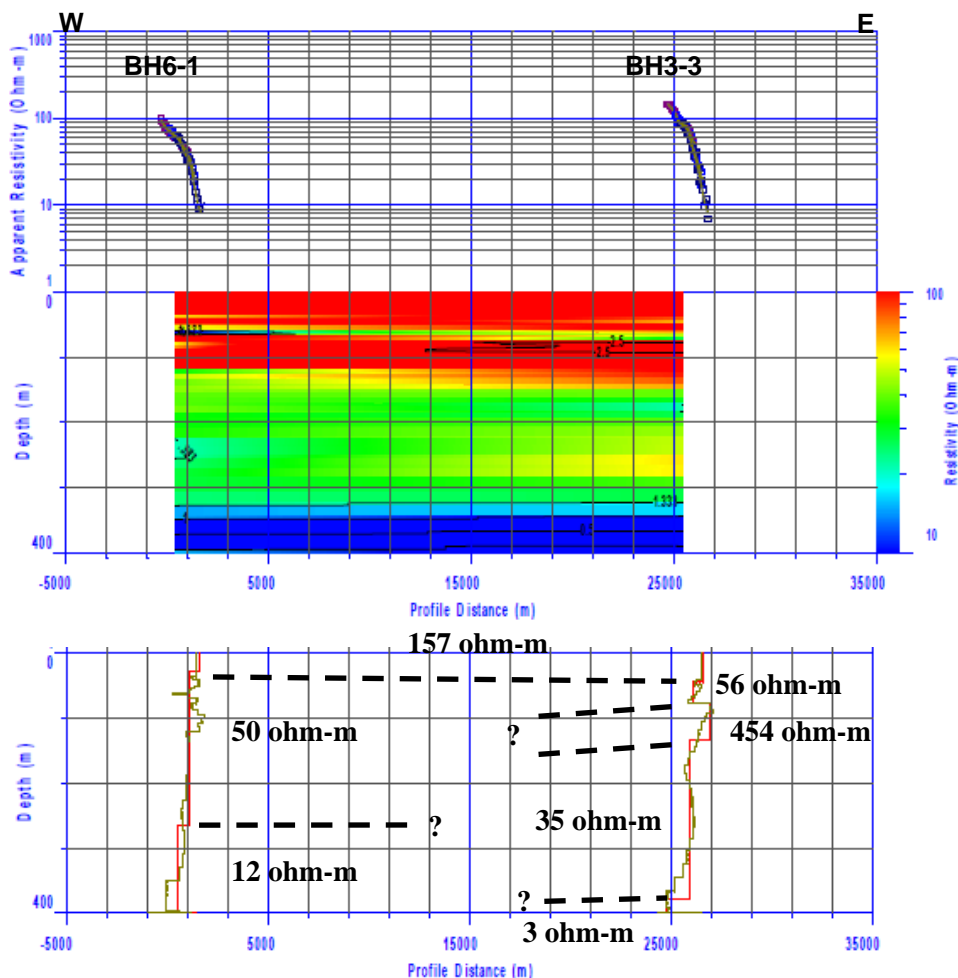


図 4.50: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図(BH-6-BH-3)

本断面はほぼE-Wの方向で、測点間距離は約25kmである。双方の比抵抗値及び層厚に多少の差があり、測点間に比抵抗構造の不連続の存在も考えられる。測点BH-6の地質は、粗い軽石質の火山砕屑物が広範囲に渡って分布している。表層から地表下265mまでの高～中比抵抗は風化された火山砕屑物あるいは破碎された岩石の存在が考えられる。また、地表下265mから低比抵抗を示しているが、本地区の近傍の既存井戸のSWL273mとほぼ一致しており、飽和された地下水により比抵抗が低くなっていると考えられる。

一方、測点BH3の地質は軽石、凝灰岩層、溶結凝灰岩層等が分布し、70m付近に風化変質した凝灰岩とシルト質堆積物が認められている。さらに140m付近から火山岩類切りくずがでており、未固結～半固結の凝灰角礫岩の礫と判断されている。また、帯水層区域深度は200m以下であり、この付近の深度で比抵抗が低くなることから、帯水層区域深度ともほぼ一致しているようである。

#### e.6 BH-3-BH-9N-BH-10N

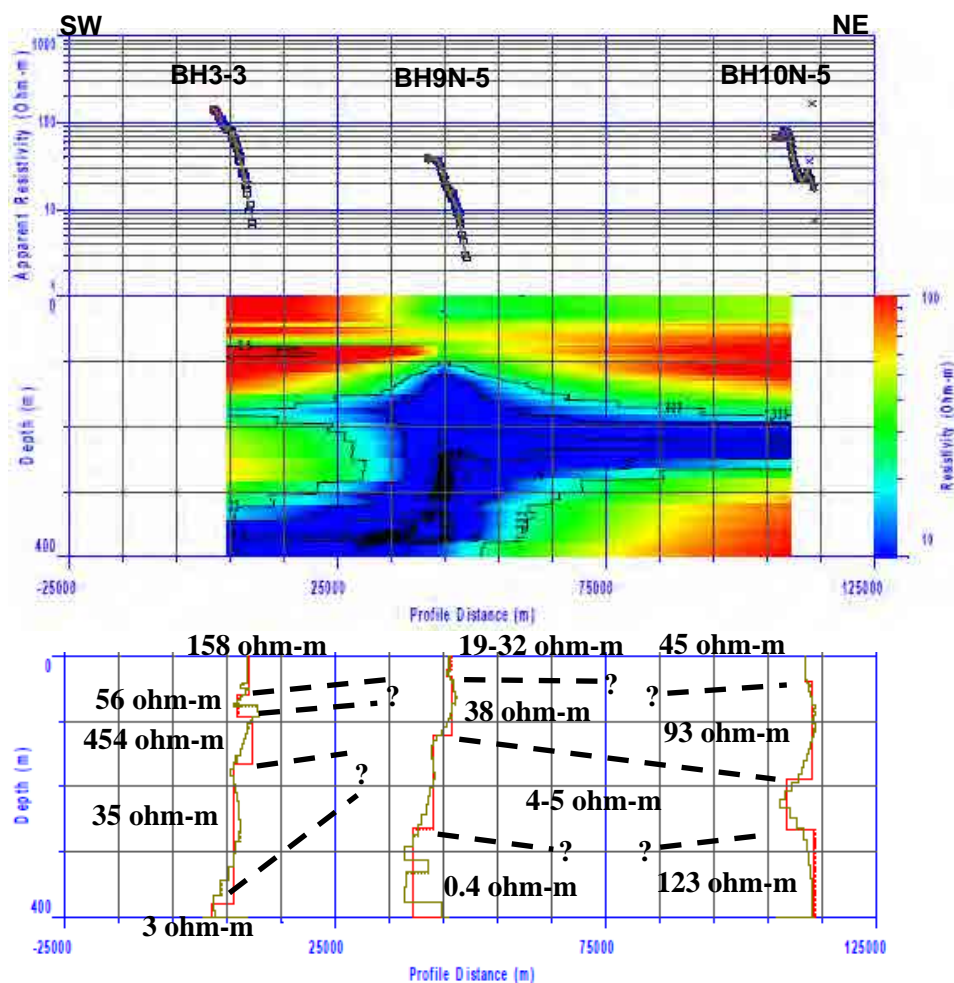


図 4.51: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図(BH3-BH9N-BH10N)

本断面はNE-SW方向の断面で、測点BH-3と測点BH-10Nとの距離は約105kmである。比抵抗構造は、比抵抗値に差はあるが地表下100~200m程度まで全体的に比抵抗が高く、これより下部層は比抵抗が低くなっている。特に測点BH3と測点BH9Nとの間に比抵抗構造の不連続が推定される。この測点間にはShala湖に流入するNW-SE方向の河川が多数存在し、またNW方向に無数の断層が存在している。よって、この比抵抗異常域である測点間は、岩盤の風化或いは破碎された火山岩もしくは凝灰岩層、溶結凝灰岩層等が地下水で飽和されていると考えられる。

#### e.7 Mirab Abaya-Yirgachafe



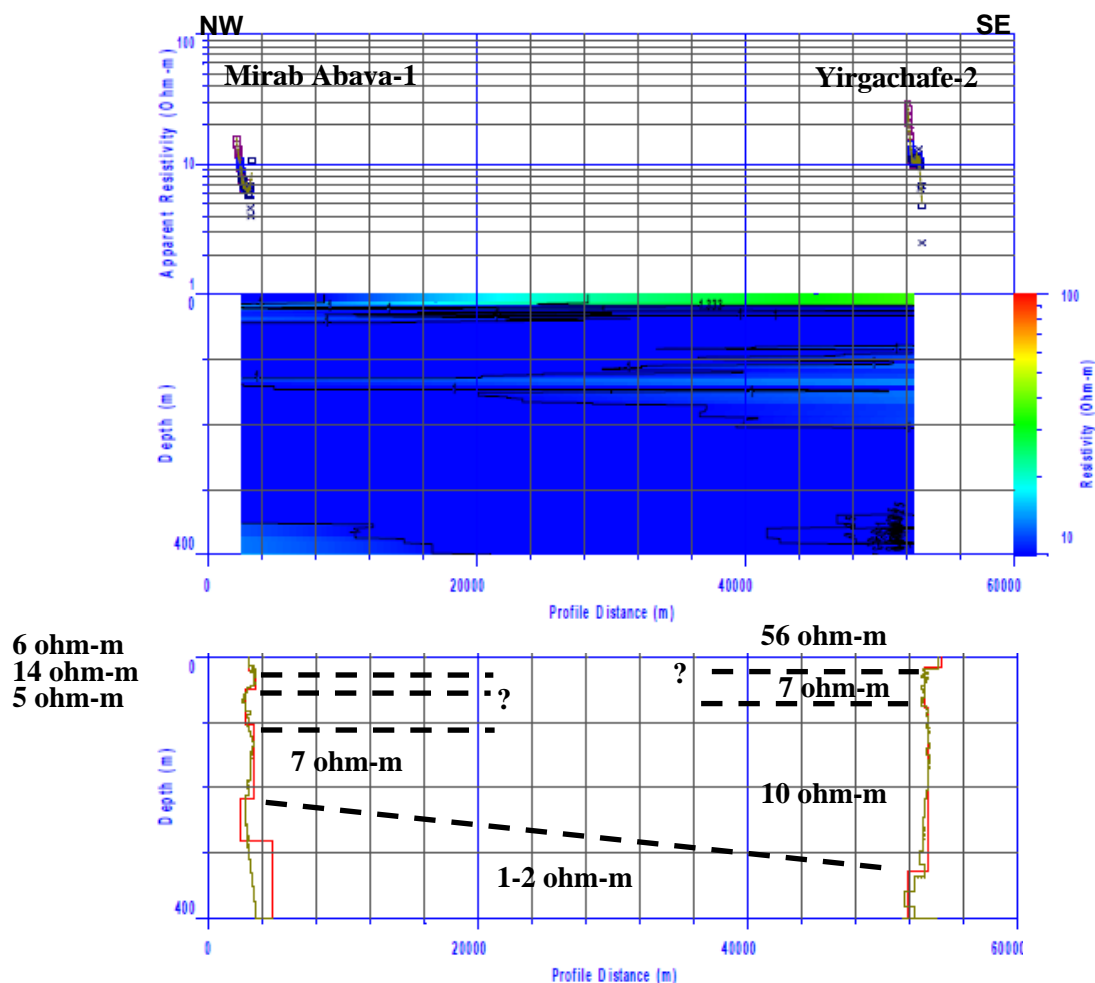


図 4.52: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図  
(Mirab Abaya-Yirgachafe)

本断面はAbaya湖を挟んだNW-SE方向の断面で測点間の距離は約50kmである。Yirgachafe地区の表層に高い比抵抗が認められる以外は殆どの層で比抵抗が低い。Mirab Abaya地区は完新世Q1の湖成堆積物、砂、泥、火砕性の堆積物などが堆積しており、これらの堆積物は体積含水率が高く、地下水が飽和して比抵抗が低くなっていると考えられる。

Yirgachafeも同様に漸新世～中新世の湖成堆積物PN<sub>v</sub> 或いはP<sub>v</sub> が分布し、また、無数の断層群が存在している地区でもあることから、風化層或いは破碎された岩石が地下水で飽和されている可能性が高い。

#### e.8 BH-7-Yirgachafe

図 4.53の断面もAbaya湖を通るE-W方向の断面で測点間距離は約65kmである。比抵抗は全体的に低い。

測点BH7の地質は完新世Q1で、湖成堆積物、砂、泥、火砕性の堆積物などが堆積している。Yirga地区の地質は、流紋岩、粗面岩、凝灰岩、玄武岩などの湖成堆積物が分布している。これらの堆積物は、固結の弱い地質と考えられ、地下水を十分に含みやすく、地下水が飽和されていると想定される。

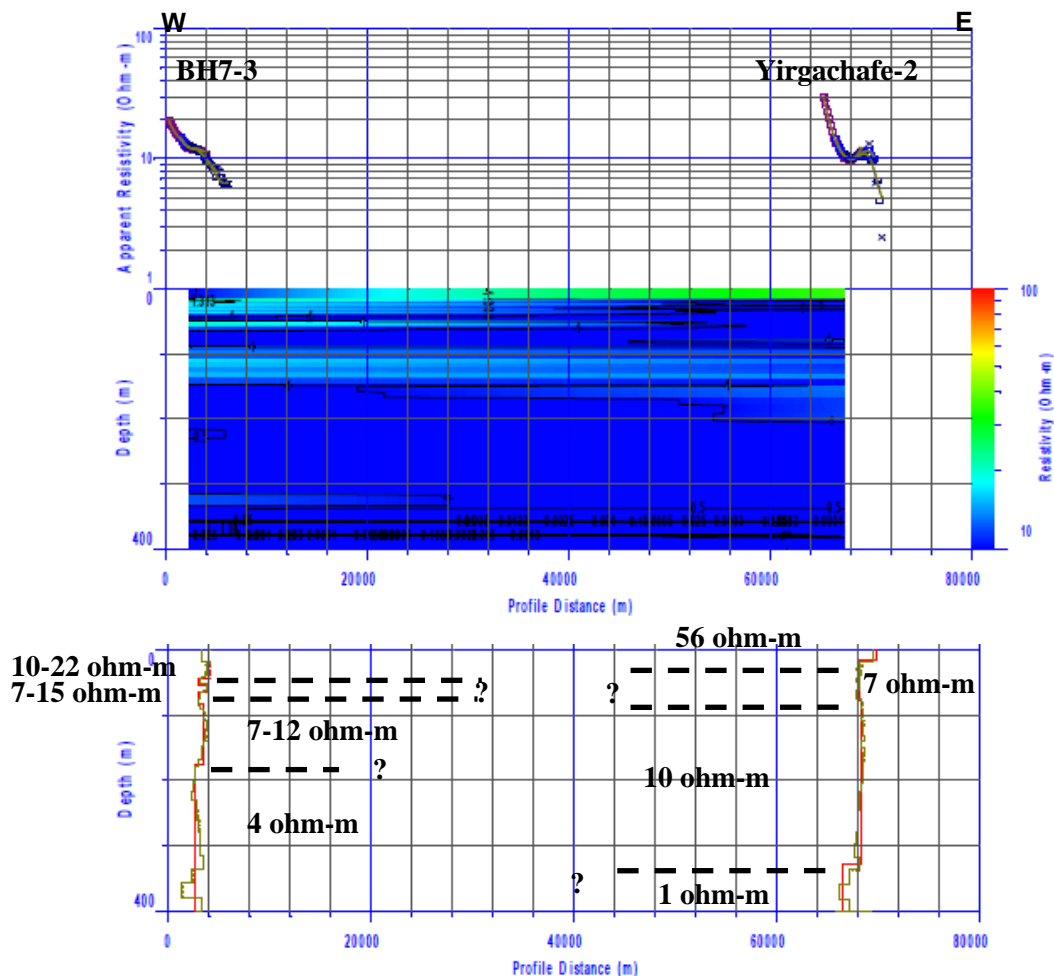


図 4.53: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図(BH7-Yirgachafe)

### e.9 Agere Maryam-Yirgachafe

本断面はN-S方向の断面で測点間距離は約55kmである。双方の測点で比抵抗構造が異なり、比抵抗構造の不連続が測点間に存在している可能性がある。Agere Maryam地区での比抵抗構造は低～高～低～高の比抵抗を示し、地表下20～110mと地表下180m以深が高比抵抗である。Yirgachafe地区では表層のみ比抵抗が高いが、これより下部層は10ohm-m以下の低比抵抗を示す。

Agere Maryam地区の地質は、完新世Q a の沖積層で、表層は砂、泥、砂利などが堆積し、地表下100mまでの高比抵抗は地下水を含まない玄武岩と考えられる。地表下100～200mまでの低比抵抗は地下水で飽和された玄武岩と考えられ、地表下200m以深の高比抵抗は基盤岩と思われる。Yirgachafe地区は湖成堆積物PN v あるいはP v が厚く覆い、風化した流紋岩や裂隙水が地下深部まで浸透していると考えられる。

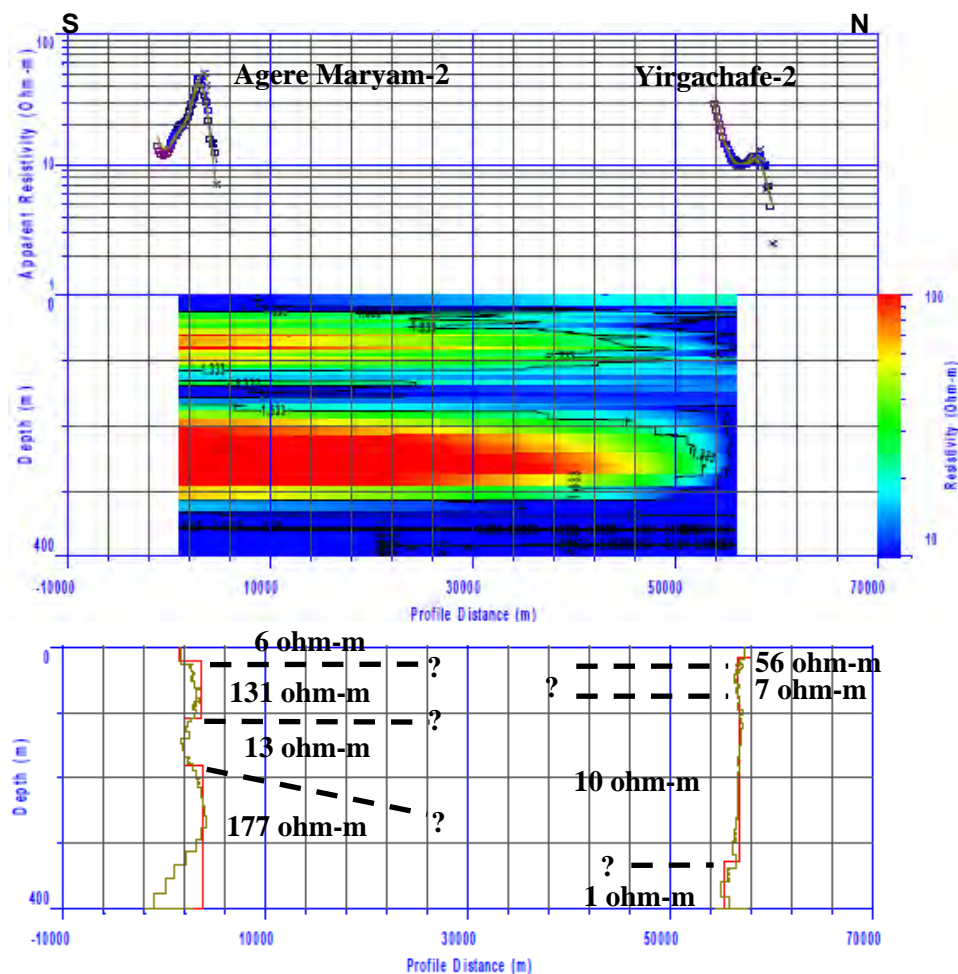


図 4.54: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図

(Agere Maryam-Yirgachafe)

#### e.10 BH-8-Agere Maryam

図 4.55の断面はE-W方向の断面で測点間距離は約80kmである。測点BH-8は全体的に低比抵抗であるのに対し、Agere Maryam地区は高比抵抗と、本断面も測点間に比抵抗構造の不連続の存在が考えられる。なお、Agere Maryam地区の測定データのL周波数において取得したデータにバラツキが多く、深部の解析精度が悪い。よって、解析の深度は300m程度と思われる。

測点BH-8の地質は完新世Q1で、湖成堆積物、砂、泥、火山碎屑物などが堆積している。Agere Maryam地区の地質は完新世Q a の沖積層で、表層は砂、泥、砂利などが堆積し、地表下100mまでの高比抵抗は地下水を含まない玄武岩、その下層100~200mの低比抵抗は地下水で飽和された玄武岩、また地表下200m以深の高比抵抗は基盤岩と考えられる。

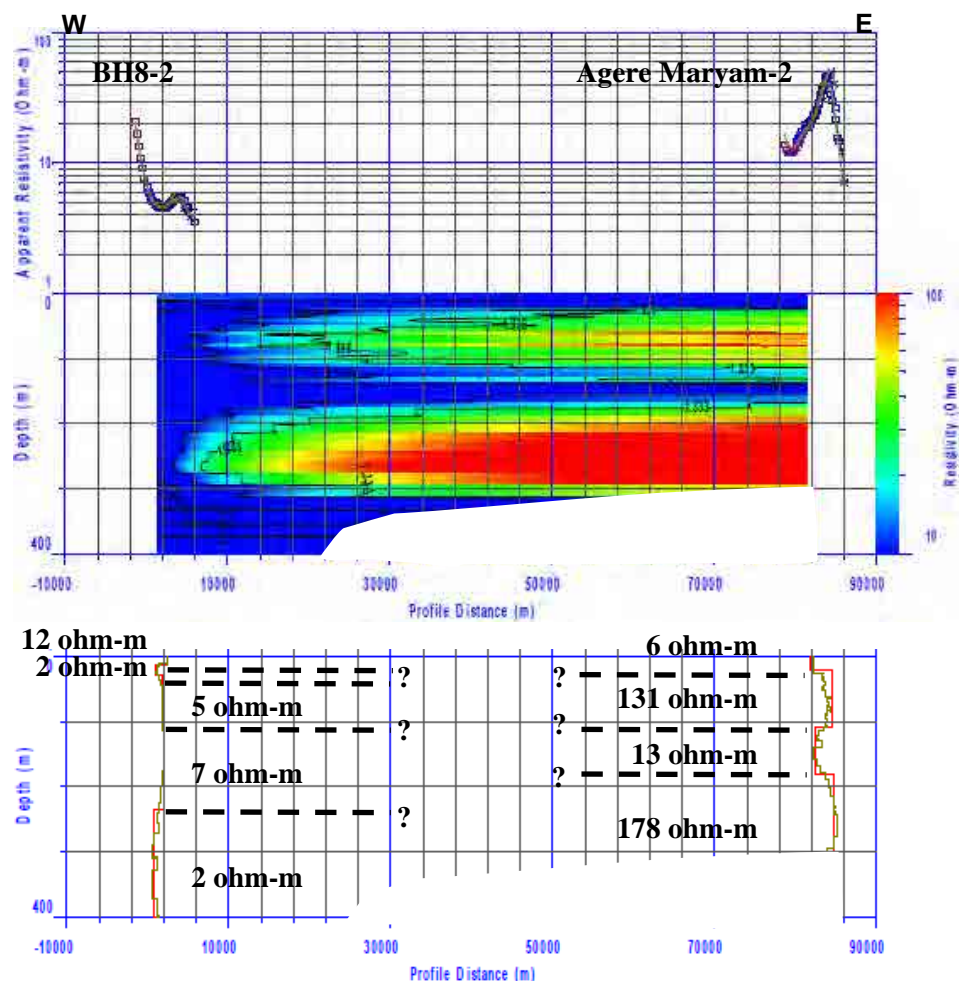


図 4.55: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図(BH-8-Agere Maryam)

#### e.11 BH-8-BH-10

図 4.56の断面はNW-SE方向で、測点間距離は約55kmである。本断面の比抵抗は低比抵抗を示し、特に比抵抗構造の異常は認められない。

測点BH8は完新世Q1の地質で、湖成堆積物、砂、泥、火山碎屑物などが堆積している地域である。これらの堆積物は、地下水を十分に含みやすく、地下水の飽和によって比抵抗が低いと考えられる。また測点BH-10は玄武岩質砂礫、砂・泥などの沖積堆積物に覆われ、地下水が豊富に存在していると思われる。

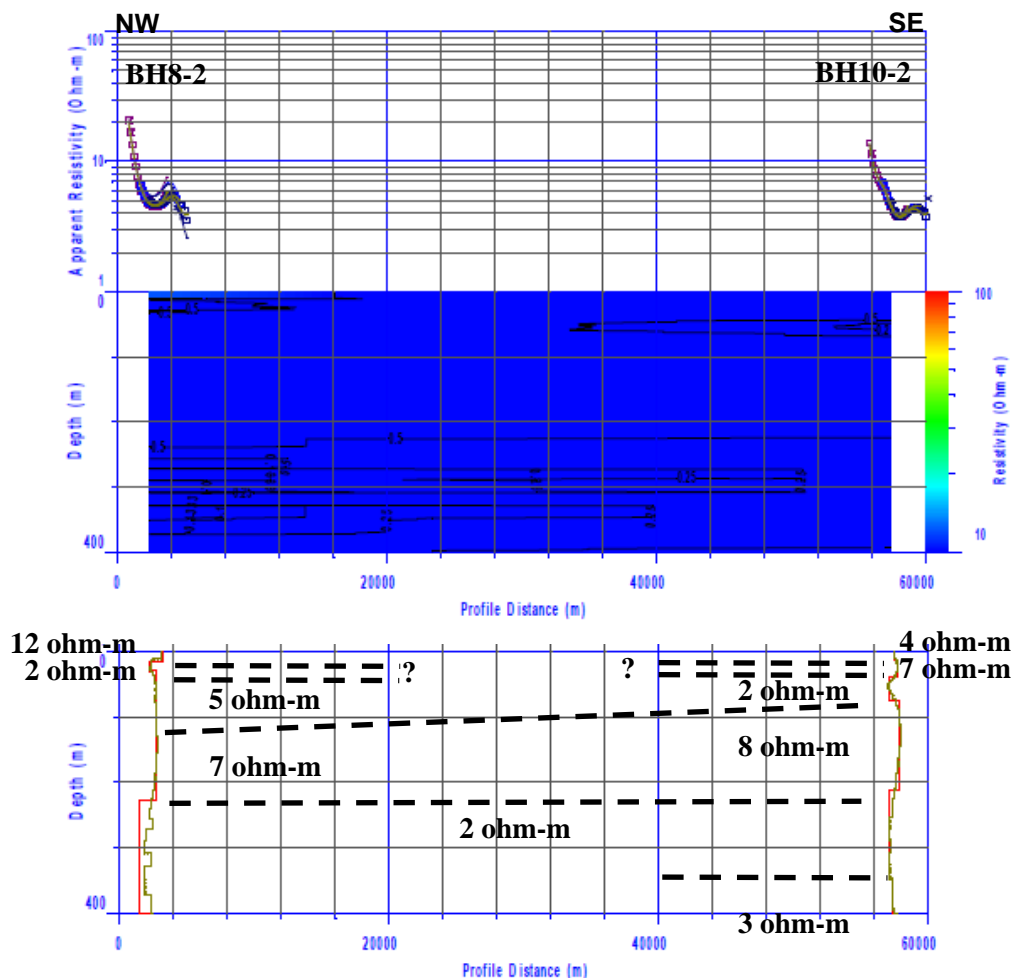


図 4.56: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図(BH-8-BH-10)

#### e.12 BH-8-BH-7-Mirab Abaya-BH-1

図 4.57の断面はAbaya湖及びChamo湖の西側を通るNE-SW方向の断面で、測点BH8～BH1までの測点間距離は約120kmである。Mirab Abaya地区からSW側では比抵抗は全体に低く、NE側で比抵抗が高い。この測点間で比抵抗構造の不連続が推定される。

測点BH-8からMirab Abayaの地質は完新世Q1の湖成堆積物、砂、泥、火砕性の堆積物などが堆積し、地下深部まで地下水が飽和されていると考えられる。

また測点BH-1の掘削結果によれば、地表下42mまで軽石層、その下層には溶結凝灰岩層、さらにその下層126mから硬い流紋岩層を示している。また、帯水層区域深度は67～130mとされている。高比抵抗は火山灰層、軽石層、溶結凝灰岩層、この下部の低比抵抗は割れ目の発達した溶結凝灰岩、流紋岩層と考えられる。

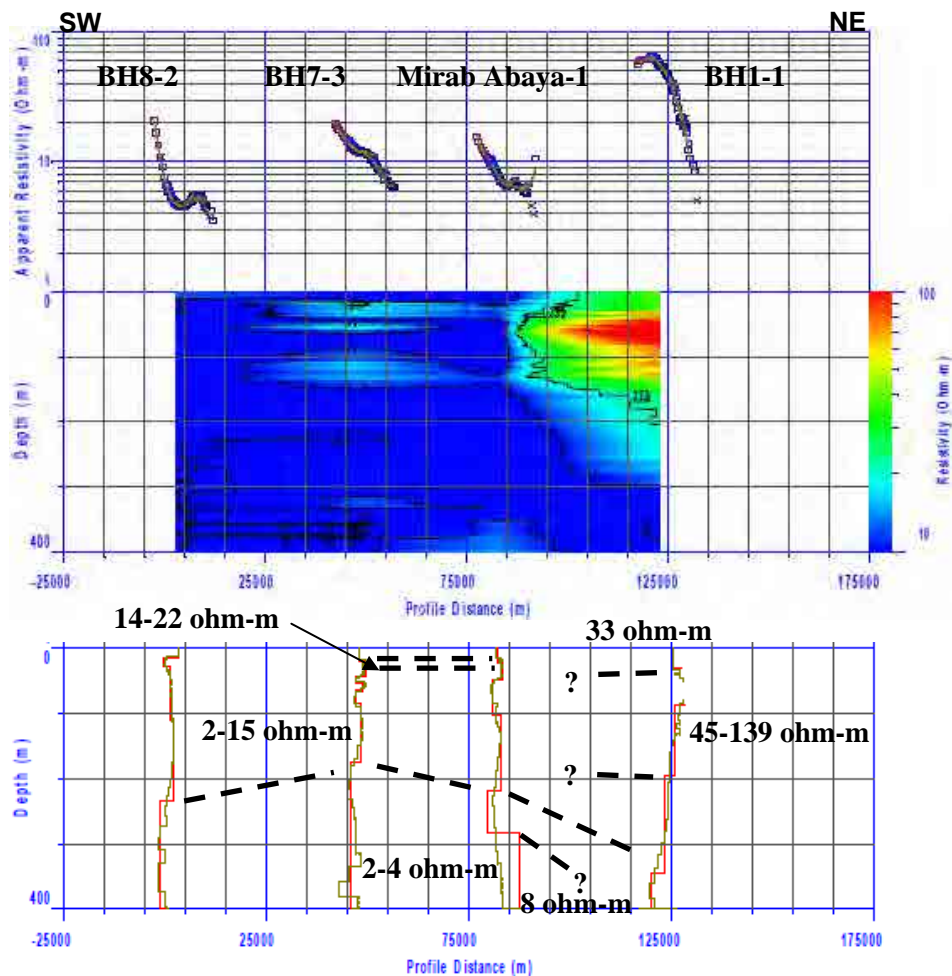


図 4.57: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図(BH8-BH7-Mirab Abaya-BH1)

### e.13 BH-10-Agere Maryam

断面はNE-SW方向で測点間距離は約80kmである。本断面の比抵抗構造は、測点BH10で低比抵抗、Agere Maryam地区で高比抵抗とこの測点の間で相違が認められ。

測点BH10の地質は、玄武岩質砂礫、砂・泥などの沖積堆積物に覆われ、低比抵抗は堆積物あるいは風化層で地下水が豊富に存在していると考えられる。Agere Maryam地域は、完新世Q a の沖積層が堆積し、表層は砂、泥、砂利、地表下100mまでの高比抵抗は地下水を含まない玄武岩、その下層200mまでの低比抵抗は地下水で飽和された玄武岩と考えられる。更に最下層の高比抵抗は基盤岩と推定される。

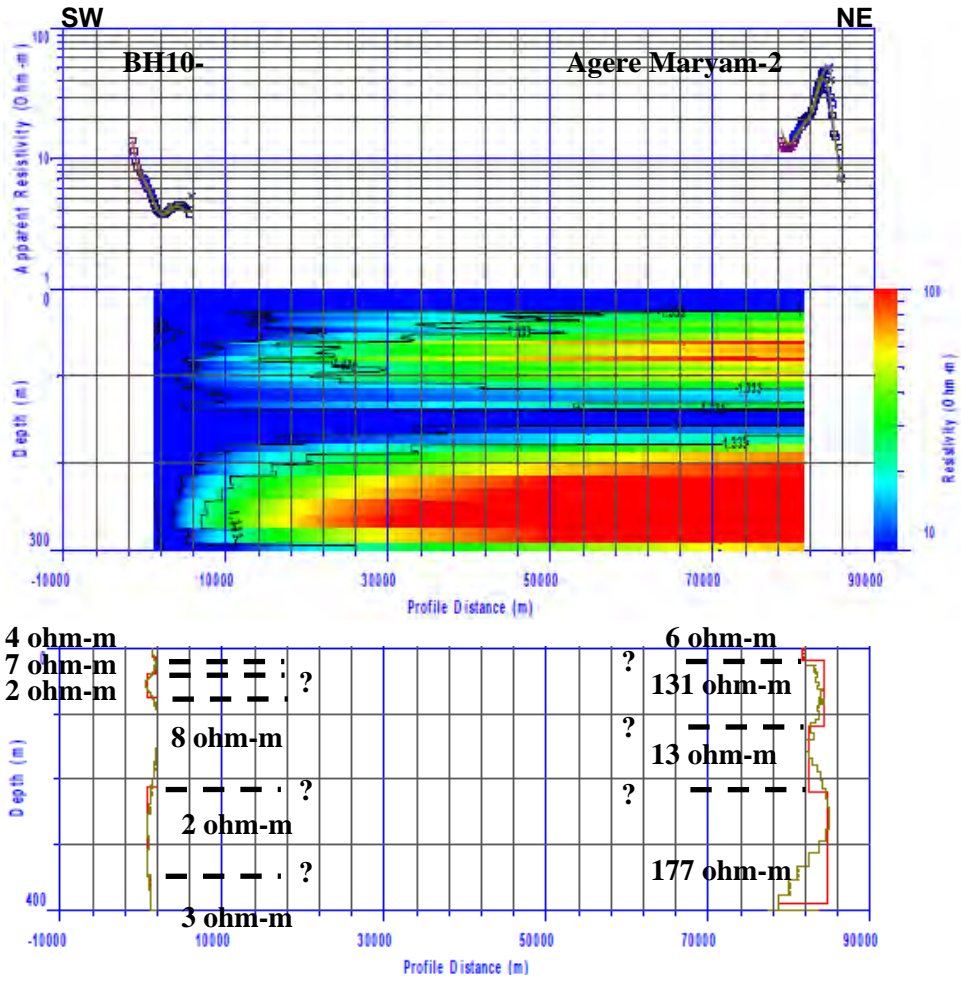
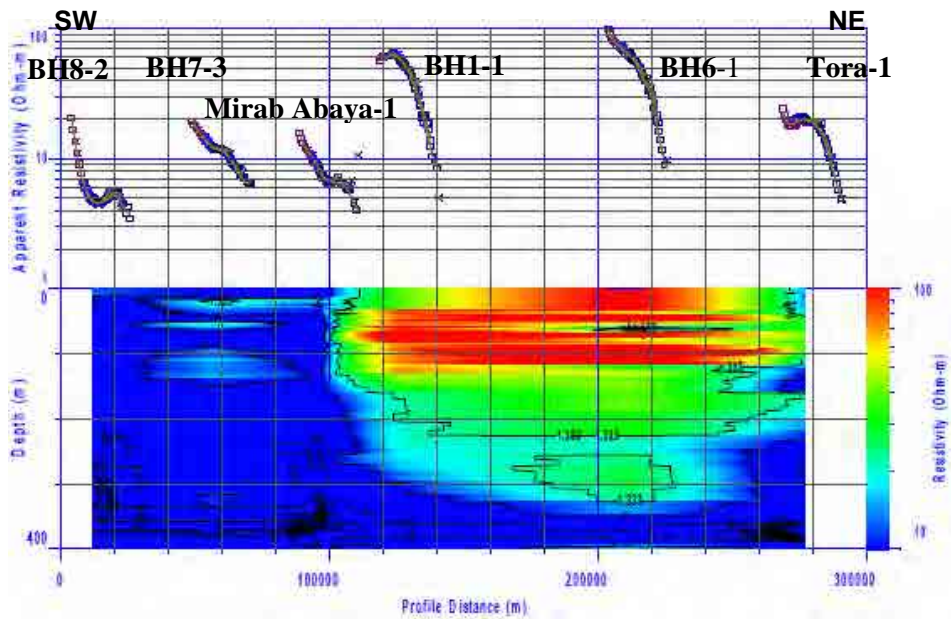


図 4.58: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図(BH10-Agere Maryam)

e.14 BH-8-BH-7-Mirab Abaya-BH-1-BH-6-Tora



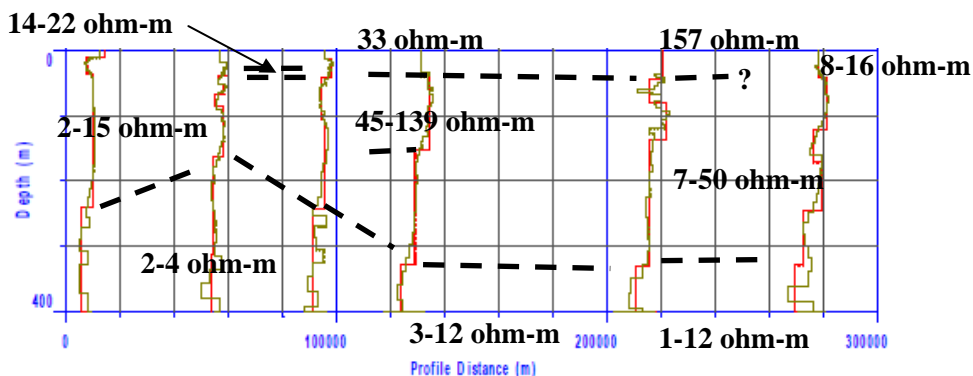


図 4.59: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図

(BH-8-BH-7-Mirab Abaya-BH-1-BH-6-Tora)

図 4.59の断面はリフトバレー湖沼地域西側のSW-NE方向断面である。測点の始点から終点までの距離は約265kmである。比抵抗は測点BH-1～BH-6の地表下250mまで高い値を示しているが他の地域では低い値となっている。比抵抗構造の不連続は、Mirab Abayaと測点BH1との間で推定される。

測点BH-8からMirab Abayaの地質は完新世Q1の湖成堆積物、砂、泥、火砕性の堆積物などが堆積し、地下水はこれらの固結の弱い地質に水を十分に含みやすく、地下水が飽和されていると考えられる。

測点BH-1は地表下42mまで軽石層、その下層には溶結凝灰岩層、さらにその下層126mから硬い流紋岩層で、高比抵抗は火山灰層、軽石層、溶結凝灰岩層、この下部層の低比抵抗は割れ目の発達した溶結凝灰岩、流紋岩層と考えられる。

測点BH-6は、粗い軽石質の火山砕屑物が分布している。表層から地表下200m以深までの高～中比抵抗は風化された火山砕屑物あるいは破碎された岩石の存在が考えられ、さらに下部層の低比抵抗は帯水層であると考えられる(近隣の既存井戸情報SWL273m)。

**e.15 BH-10-Agere Maryam-Yirgachafe-BH-3-BH-9N-BH-10N**



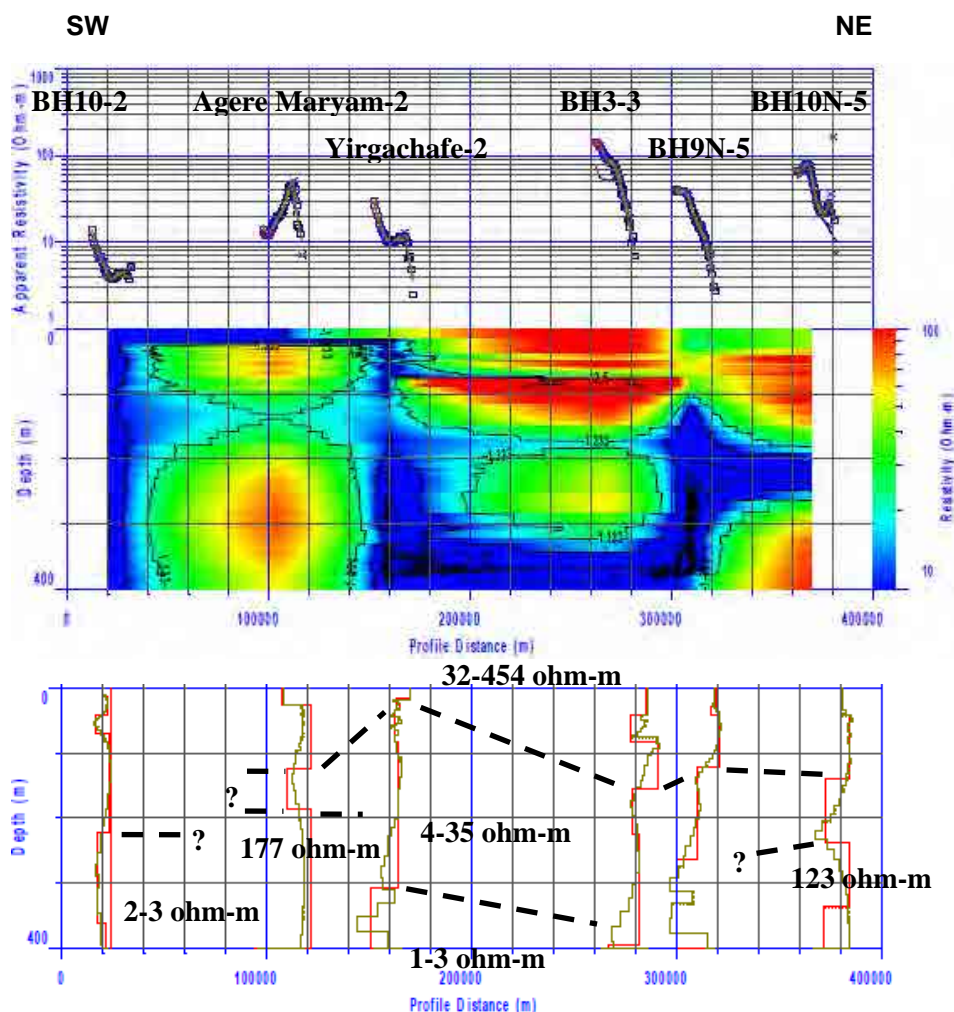


図 4.60: Smooth イメージング比抵抗及び層構造解析断面図

(BH10-Agere Maryam-Yirgachafe-BH3-BH9N-BH10N)

図 4.60の断面はリフトバレー湖沼地域東側のSW-NE方向断面である。測点の始点から終点までの距離は約350kmである。本断面の比抵抗は変化に富み、また比抵抗構造の不連続は、測点BH-10とAgere Maryam、Agere MaryamとYirgachafe、測点BH3と測点BH9Nとの間に推定される。

各地域の地質と比抵抗とを比べると、測点BH-10は玄武岩質砂礫、砂・泥などの沖積堆積物が分布し、低比抵抗は堆積物・風化層等を示唆して地下水が存在している可能性が高い。

Agere Maryam地域は、完新世Q aの沖積層が堆積し、地表下は砂、泥、砂利等の堆積物、地表下100mまでの高比抵抗は地下水を含まない玄武岩、地表下200mまでの低比抵抗は地下水で飽和された玄武岩、最下層の高比抵抗は基盤岩と推定される。この測定地点は他の地点と比べ地形・地質的な影響で高比抵抗値を示している。

Yirgachafe地域は湖成堆積物PN<sub>v</sub> 或いはP<sub>v</sub> が厚く分布し、低比抵抗は風化した流紋岩や裂隙水が地下深部まで浸透していると考えられる。

測点BH-3の上部層の高比抵抗は軽石、凝灰岩層、溶結凝灰岩層に対比され、地下水を

含まない地層、中深部のやや低い比抵抗は凝灰角礫岩でこの地層も帯水層になりにくいと考えられる。さらに地表下200m付近から著しく比抵抗が低くなり、軽石、溶結凝灰岩、玄武岩質岩の礫などに相当すると考えられることから帯水層と思われる。

測点BH-9Nは完新世Q1が分布し、湖成堆積物、砂、泥、火山砕屑物などが堆積している。これらの堆積物は地下水を十分に含みやすい地質であり、特に地表下100mから下部は地下水の飽和によって比抵抗が低くなっていると考えられる。

測点BH-10Nの地質も完新世Q1が分布し、湖成堆積物などが堆積している。地表下300m深度付近までは中比抵抗～高比抵抗～低比抵抗を繰り返している。本地域には北北東～南南西に無数の断層が通っており、これらの断層に反映して低比抵抗となっている可能性が考えられる。

### 4.3 技術移転について

#### 4.3.1 電磁探査ワークショップ

TEM法電磁探査ワークショップは、12月23日及び24日にEWTECにて開催した。ワークショップの目的は、電磁探査の概論を理解し、また実習をとおして測定方法や測定データの取得・解析及び解釈を体験学習することである。参加者は、GSE、MoWE、AAU、民間コンサルタント、EWTECなどの関係者で総勢14名であった。

初日は講義を行う、本プロジェクトの調査目的、第1年次で実施された電気探査の概要及び調査結果、電磁探査の概要及び調査結果、掘削結果と比抵抗構造の対比などを中心に説明した。二日目はEWTECの敷地にてTEM法探査の実習を行い、参加者に送信ループの敷設から調査機器の設定、測定及び撤収までを体験していただいた。実習では、EWTECの敷地に敷設できる送信ループの大きさは50m四方が限度であったため、地表下の比抵抗情報は最大200m程度と考えられる。なお、測定はセントラルループ法で実施した。その後、取得したデータの解析を行い、既存の地質柱状図との比較を交えながらの討論を行なった。

このワークショップの参加者からは、TEM法電磁探査について初めて講義を聴き、実習をすることにより、TEM法の内容が理解できた、TEM法で地表下数百mまでの比抵抗構造の情報が把握できることがわかった、また電気探査並びに掘削結果などとの比較検討の実例をとおして電磁探査は精度的にもある程度信頼できるものであることがわかった等、感想があった。

図 4.61、図 4.62は、解析結果とEWTECの敷地内で掘削されたボーリング結果である。ただし、掘削地点と実習地点との距離は数十m以上離れており、比高は実習地点の方が10m程高い。

本実習サイトの地質は玄武岩質な地層が主である。表層は粘土質土壌、その下層から亀裂交じりの玄武岩、深度92m付近から大規模な裂罅が認められている。

解析された比抵抗構造では、深度100m付近から低比抵抗を示し、裂罅の影響及び地下水で飽和されていると考えられる。なお、SWLは29mとのことである。

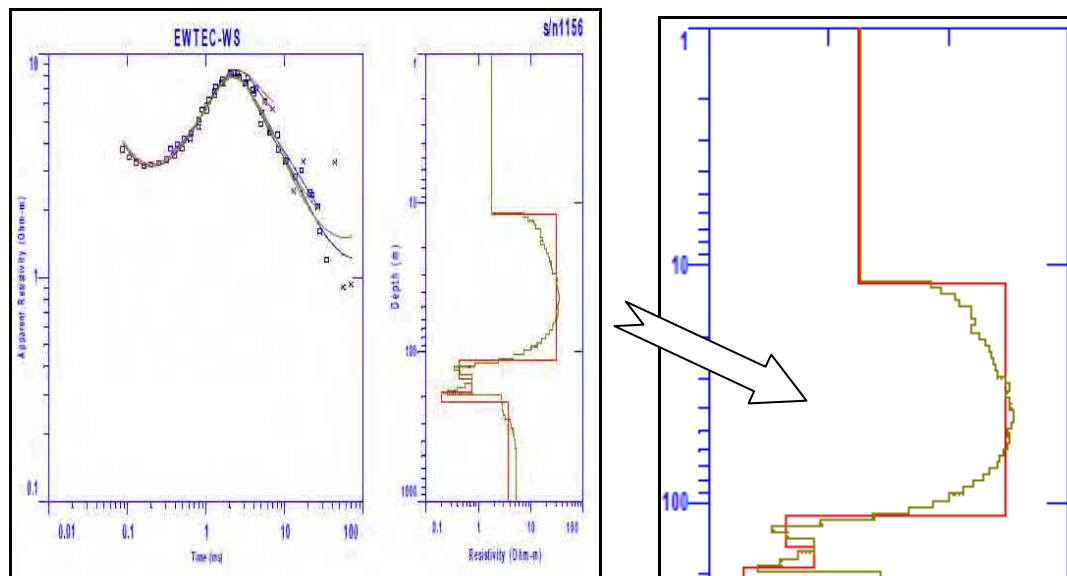


図 4.61: EWTEC 敷地内における比抵抗解析結果図

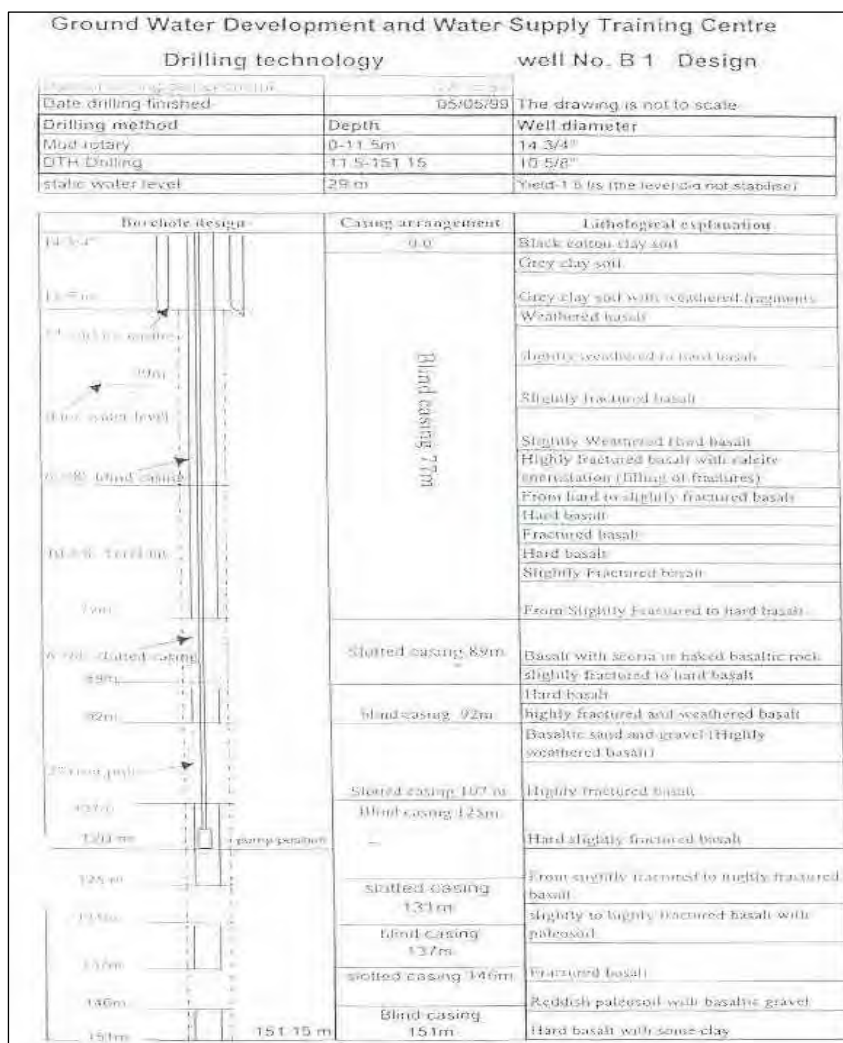


図 4.62: EWTEC 敷地内の地質柱状図

#### 4.3.2 C/Pに対する技術移転と共同作業の結果

電磁探査ワークショップも C/P に対する技術移転の一つである。ワークショップを通じて以下に C/P の現状と技術移転内容を示す。

##### a. 現状

- C/P の主な現状は、測定方法および操作についてはある程度知っている。
- 目的の探査深度に応じた送信ループの大きさの選定に対するノウハウがない。
- 解析手法について未熟なところもある。

##### b. 主な技術移転内容

- 今回はいろいろな地質の箇所での共同作業が実施できなかったが、実際の探査と解析については伝授できたと思われる。今後は地質の違いに応じて、例えば沖積層、火山岩地帯、破碎・断層等の分布する地域でバリエーションのある測定データを数多く取得し、探査技術並びに解析技術の向上を目指すことが望ましい。
- 今回は一定の送信ループの大きさを作業を行ったが、今後はループの大きさを変えた測定を試みる。解析結果から、探査深度と解析分解能の比較検討を行い、測定周波数の探査深度の限界を教授することが必要である。
- 取得されたデータの比較、解析結果に対する考察を行った。
- 解析図の表示・作成を教授した。

##### c. EWTECとの共同作業の結果

リフトバレー地域の今度掘削予定の BH-No6 地点で、EWTEC が研修を行っている箇所共同作業を行った。主には、現地測定の指導、測定装置の操作方法等であったが、C/P 側（EWTEC の C/P : インストラクター）では以下の長短がみられた。

- 調査の準備（測線の設定、測点位置の決定、送信ループの敷設）について、研修生に適時指示を行なっているものの、研修生に上手く伝わらず自ら作業を行っている場面もあった。また、送信ループ敷設の位置決めで測量ミスにより時間のロスがあった。
- 送信機及び受信機の操作について、送信機の操作はほぼ理解できている。しかし、受信機の操作については、ルーチン化した操作はできるものの、パネルに表示された細部までの内容について理解度に欠けている部分がある。また、信号強度に対するノイズ強度の制御（増幅器のコントロール）の仕方が上手くいっていない。その他、測定周波数におけるスタッキング回数（データ取得回数）が適時な設定ができない。
- 一連の解析手順を習得している。しかし、取得した測定データの質の吟味ができていない、解析に利用する測定データ（測定時間に応じた磁場強度値）の個々の採用・不採用（削除）の判断ができていないなどが感じられた。