

第3章

水資源ポテンシャル

3 水資源ポテンシャル

3.1 概要

調査地域での水資源に関しては表流水と地下水が考えられるが、基本的な利用に対するコンセプトとしては次のようなことが考えられる。

- 1) 水資源利用が持続的に行われること、
- 2) 年間を通じて水資源が利用できること、
- 3) 水資源の水質が衛生的であること。

3.2 表流水の使用可能性とポテンシャル

3.2.1 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。

Katar、Bilate、Kuflo、Weyto の各河川以外は乾期の流量はほぼ $2\text{m}^3/\text{s}$ 以下であり、施設の建設を行っても年間を通じた安定的な飲料水供給は不可能である。

水質に関しての主要河川の分析結果を表 3.1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）の結果は水質のガイドラインに沿って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おり、浄化施設を建設するとしても大規模な施設となり経費的に問題となるとともに維持管理が困難となる。

表 3.1: 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
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	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		

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と濁度の処理で施設建設が大規模になりすぎる。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。

3.2.2 湖水

リフトバレー地域の湖沼については前述したように主な湖が8つ存在する。このうち Chew Bahir 湖はリフトバレー地域の最南端に位置し水質、水量の面からも飲料水のポテンシャルとしては著しく低いため水源としては対象外である。その他の湖は水位変動が1970年代前半から測定されており、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。

表 3.2: 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)

表 3.2に湖の主要水質分析値を示した。pH、TDS、濁度、Na、Cl など、味などの項目が基準を満たしておらず、Ziway 湖、Awassa 湖および Abaya 湖以外はとくに塩分濃度が高く飲用には適さない。またフッ素濃度が 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。

以上のように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相当と考えられる。

3.3 地下水ポテンシャル

地表水の検証結果も踏まえリフトバレー湖沼地域の飲用水源として地下水の利用を考えた場合、地下水、とくに深層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. 基本的に水質が飲用水に適しており、季節を通じて変動するが概ね安定している。
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。持続的でかつ年間を通じて利用できる。
3. 良好な帯水層があれば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態で賦存し、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た。

3.3.1 帯水層単元の分類

地層に対する帯水層単元から、本調査地域の帯水層は主に次の 3 つに区分することができる。

1. 沖積層ならびに湖沼堆積物
2. 更新世の凝灰岩、溶結凝灰岩、玄武岩質岩
3. 第三紀の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、下位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。これらの地層の水理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 3.3参照）の凡例を用いて区分すれば表 3.4の通りとなる。

表 3.4での帯水層区分は表 3.3の帯水層の特徴（番号）と生産性の区分との組み合わせで表現している。

表 3.3: 水理地質図(縮尺:1/2,000,000)での帯水層区分と定義

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	低
			D	貧
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 3.4: 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。
		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、礫質部分は透水性が高い。
	Pm volcan	Corbetti Pumice Flow & Fall Deposits/ Corbetti Rhyolitic	流紋岩質溶岩、隆、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。
		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、下部の不透過層の存在により局部的に良好な帯水層となりうる。
		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、下部の不透過層の存在により局部的に良好な帯水層となりうる。
	ob	Kulmusa Highly Welded Tuff	流紋岩～安山岩質溶結凝灰岩	3B	裂隙水の帯水層	比較的裂隙が多くすぐれた帯水層となりうるが、下位層の透水性状により漏水の可能性がある。
		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。
		Adami 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。
ba	Ogoche 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。	
	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。	
鮮新世-更新世	rh	Gademotta Rhyolite	流紋岩溶岩および凝灰岩	3A-3C	裂隙水の帯水層	地域の水理的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 Basal	玄武岩溶岩および火砕岩類	3A	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。
	NQs	流紋岩質凝灰岩	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、平面的な広がりは限定的である。	
	rh/N1_2n	N1_2n Rhyolite	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。	
	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、平面的な広がりは限定的である。
	N1ar	N1ar 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。
	Ngs	Sharenga Rhyolite	流紋岩岩頭	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。
	Ngu	Upper Basalt	多孔質玄武岩溶岩	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。
	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	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。
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	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。	
	Pgl	Lower Basalt	斑状玄武岩溶岩	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。
Mes	Aoigrat 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	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。

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

3.3.2 帯水層単元の特徴と井戸

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 3.5にとりまとめた。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り、本地域で最も多く利用されている帯水層(採用した既存井戸数の 81%)は更新世凝灰岩・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 Ziway 湖~Shalla 湖にかけてと Awassa 周辺に認められる）に分布している。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。調査地域の水理地質的基盤は第三紀鮮新世の流紋岩質岩であると考えている。第三紀の古い地層の分布は調査地の南部が主流である。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 3.5: 主要帯水層及び既存井戸記載との対比と分布

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, scoricous 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	rhinite, 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 Abaya 湖から北側の地域に分布が確認されており、構造運動により発達した裂罅系に胚胎する地下水をその主水源としている。

3.3.3 帯水層ポテンシャルの評価と揚水量

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、上述の通り主要な 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 = 3A~3B（凝灰岩は1B）
3. 第三紀流紋岩質凝灰岩・玄武岩 = 3A~3C

表 3.6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 (m²/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。特に玄武岩質凝灰岩角礫岩～火山礫凝灰岩では湧水量平均 6.3l/sec、比湧水量平均 134l/min/m、透水量係数も平均 242m²/day と突出している。帯水層 2 は基本的に裂罅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。この帯水層も主に裂罅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 3.6: 帯水層常数

帯水層	記号	主な地層	Q(l/sec)			Specific Capacity (l/min/m)			Transmissivity (m ² /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	玄武岩質凝灰岩角礫岩～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 3.1に各地域の井戸及び湧泉の揚水量（湧出量）を示す。一般的に揚水量の多い水源

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、かならずしも高い揚水量（湧出量）は期待出来ない。

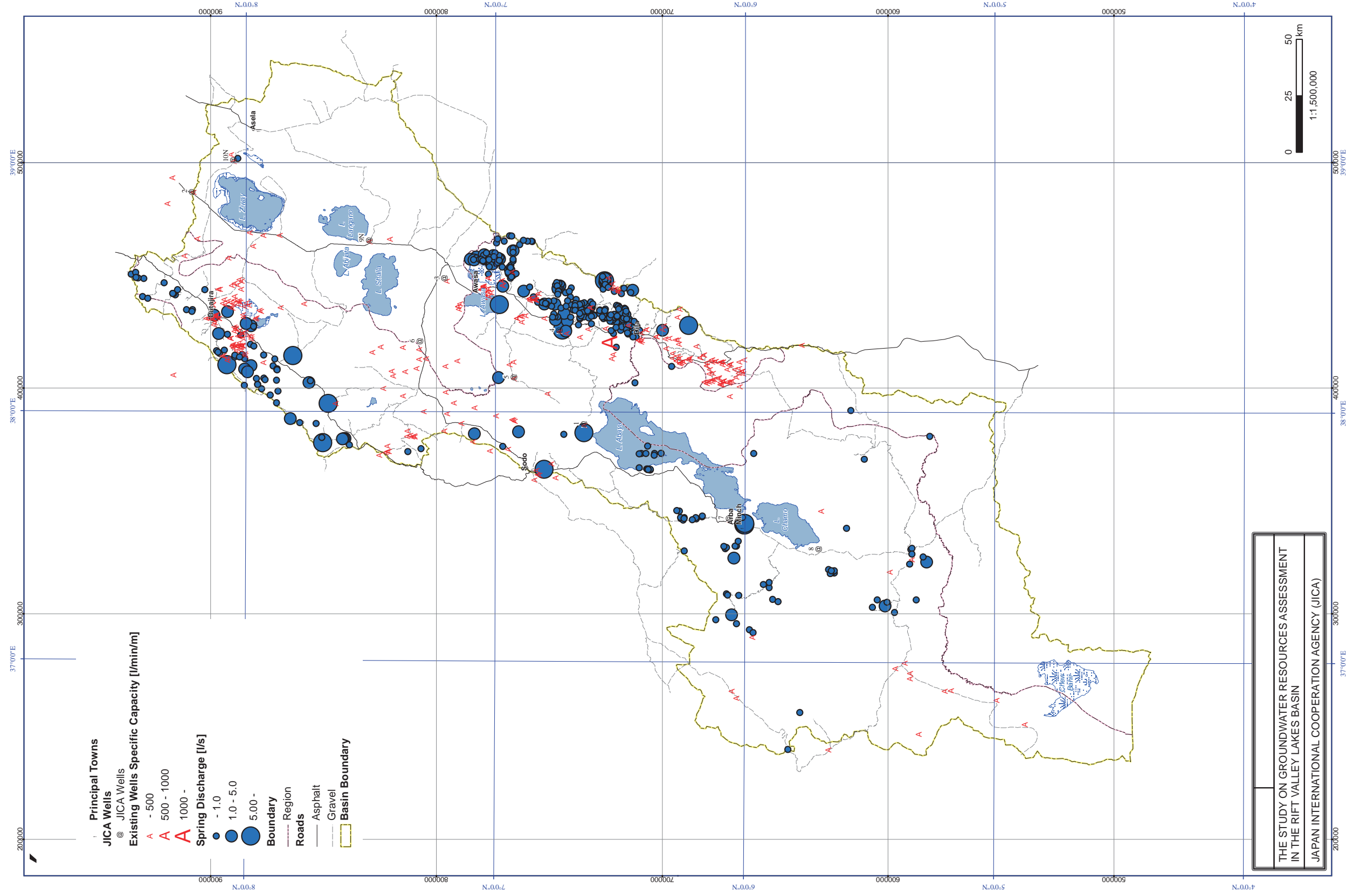


図 3.1: 水源の揚水量(湧出量)

3.3.4 地下水涵養量

地下水利用可能量の評価のために地下水涵養量を把握することが重要である。

地下水涵養量を計算で求めるための地下水位の連続測定記録やライシメーターの観測記録がないため、長期水文周期での涵養量と流出量が等しいことを利用し、地下水流出量の算定より涵養量を求めた。

河川流量は、降水の直接流出と地下水流出で構成され、前者には地表流出や中間流出があり、後者には河川への地下水流出、湖への地下水流出、流域外への地下水流出などが挙げられるが、最も重要なのは河川への地下水流出である。河川日流量データを基に降水の直接流出と地下水流出（基底流）に区分するための解析プログラムを2種類選定し解析を行った（2種類のプログラム：PART（USGS,2007）、RAT（Monash University, 2006））。最終的には2種類からの平均値のBFI（Base Flow Index）を各湖で求め、降雨分を差し引いた各湖での蒸発散量とBFIを乗じて、基底流分＝地下水涵養量として以下の表3.7に結果を導いた。水資源量中の地下水涵養量は1,965.7（Mm³）である。後述するように地下水揚水量の地下水涵養量に占める割合は、各サブベースンを見た場合、多いところで20%程度、少ないところは0.13%であった。

表 3.7: RVLB 内の湖から求めた地下水涵養量

Name	Evapo _{net}	BFI	GWR	Others	Total
Abaya	585.1	0.62	362.8	14.6	377.4
Abijata	106.5	0.60	63.9	2.7	66.6
Awassa	91.6	0.45	40.8	2.3	43.1
Chamo	282.2	0.68	191.9	7.1	199.0
Chew Bahir	412.7	0.74	305.4	10.3	315.7
Langanano	423.0	0.65	275.0	10.6	285.5
Shalla	185.9	0.27	50.2	4.6	54.8
Ziway	977.7	0.60	586.6	24.4	611.1
Others	19.5	--	12.1	0.5	12.6
Total	3084.3	--	1888.6	77.1	1965.7

Evapo_{net}: Net Evaporation amount from lakes in rift valley area (Mm³).

BFI: Base flow index.

GWR: Groundwater recharge amount (Mm³).

Others: Groundwater recharge amount used by all other water consumption (Mm³).

Total: Total groundwater recharge amount for the lakes (Mm³).

3.4 水理地質図と地下水流動

3.4.1 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 3.2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 Bahir 周辺には砂、砂礫、泥を主体とした湖沼堆積物 (lac2、lac1) が分布する。さらに流入河川などからもたらされた現世の堆積物 (Al、Q=砂、泥、砂礫) が分布する。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は新しい未固結堆積層に比べて低いと考えられる。ただし、前述のように帯水層常数の比較では湖沼堆積物のほうが新しい未固結堆積物に比べ湧出量が高くなっている。一般に湖沼堆積物はリフトバレー低地部に広く浅く堆積していると考えられており、湖水の拡大縮小に伴い堆積し、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、フッ素濃度が一様に高く、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にかけての北部新期火山岩地帯の水理地質状況

主要な帯水層は前述した、更新世の凝灰岩、溶結凝灰岩および玄武岩質岩であり、水理地質図上では水色系に区分されている地域である。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、新期玄武岩、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 (Vol) 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)、玄武岩質凝灰角礫岩～火山礫凝灰岩 (tb)、塊状玄武岩 (ba) である。すなわち、玄武岩、流紋岩、溶結凝灰岩は構造運動による裂隙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% の水源をこれら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位の凝灰岩や安山岩である。地形的には、谷両翼の傾斜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。

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第三紀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 (Me)、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。また JICA 井戸の掘削で、Arba Minch 周辺で古い玄武岩 (Pg1 相当層) から生産性の高い揚水結果も得られている。ただし、これらの地層の多くは連続性が未定であり、また帯水層としての能力も極めて限定的である。このほか古第三紀の玄武岩や溶結凝灰岩が分布するが、前者は広く南部地域に分布し、地域的には良好な帯水層を形成する。全体としてこの地域についての水理地質的な情報（特に既存井戸）は欠如しており、流動や帯水層の定量的特性などはわかっていない。中・古生層については水理地質的基盤を呈してい

る。

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。

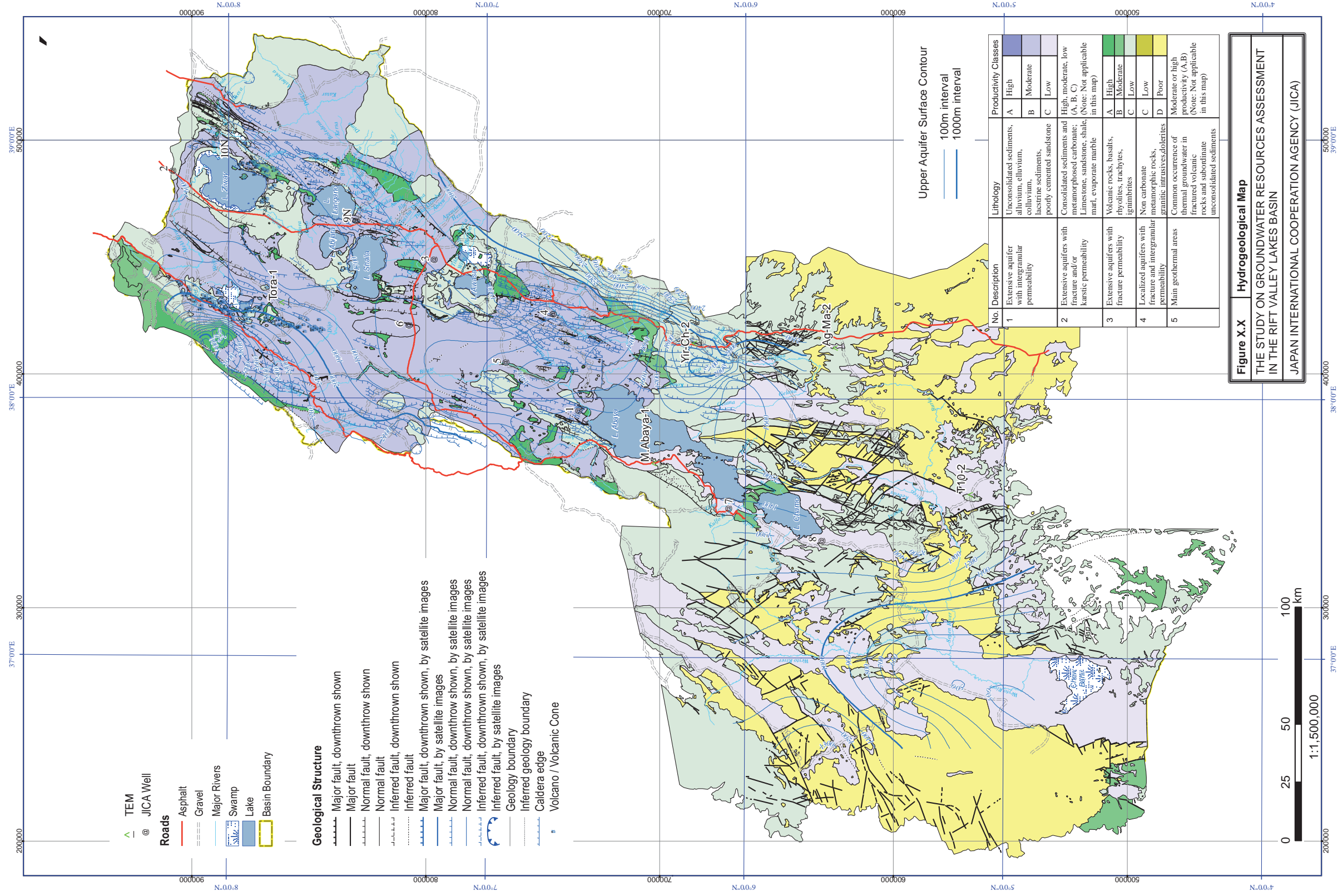


図 3.2: リフトバレー地域の水理地質図

3.4.2 地下水流動

a. 水理地質断面図

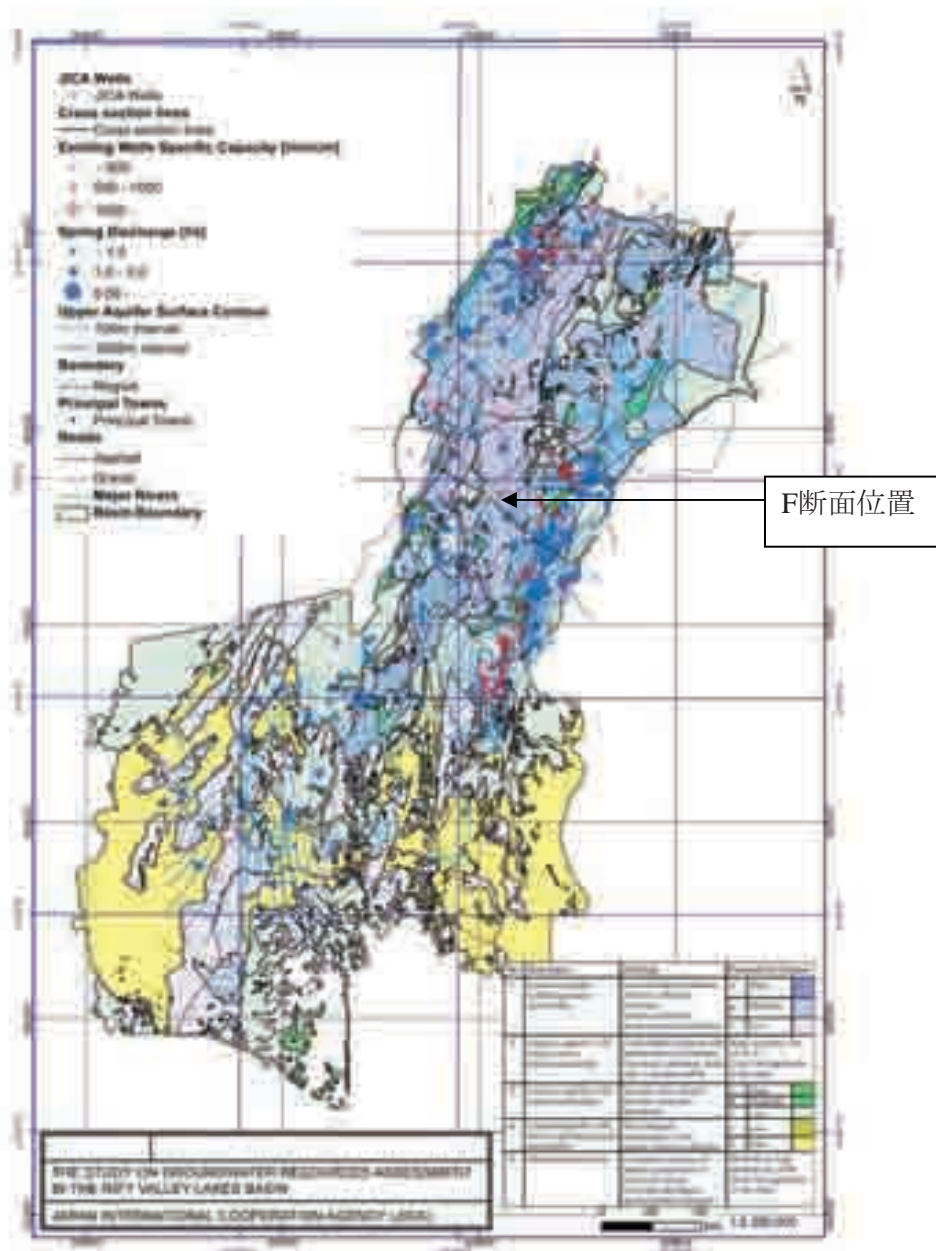
主要帯水層は先に述べたとおり更新世の火山岩類である。この帯水層の上面と下面の標高をトラッキングしてその断面的な分布を示した（例として Awassa 湖の南側で東西に JICA 井戸 No4 と No5N 横切る断面図：図 3.3参照）。水理地質図の記載でも指摘したとおり、本帯水層は地溝帯の斜面部で導水勾配が非常に高く（細かくみれば断層によって堰き止められて導水勾配が緩やかな箇所もあるが）、谷の中央付近では凹状に分布している。帯水層の厚さは最大で約 100m であるが、これは、多数の亀裂が発達する範囲としてとらえるのが現実的である。尚、同じ帯水層に属していても、全体的な傾向はこの断面に分布するが、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。

b. 地下水流動系

地下水流動系を考察する上で重要な要素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の分布が水平、垂直的にランダムである。既存井戸データからは地下水の被圧、不圧状態を識別することは帯水層記載も少なく困難である。調査地域全体水位標高を機械的にデータベースから地下水の標高を示した図を作成すると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。そのため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。

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。

Western Ziway、Bilate、Awassa、Gidabo 及び Galena の各ベーズ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（一部は断層による堰き止めの箇所もあるが）、中央部付近ではほぼ平坦となっており、ベーズ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。



F 断面線

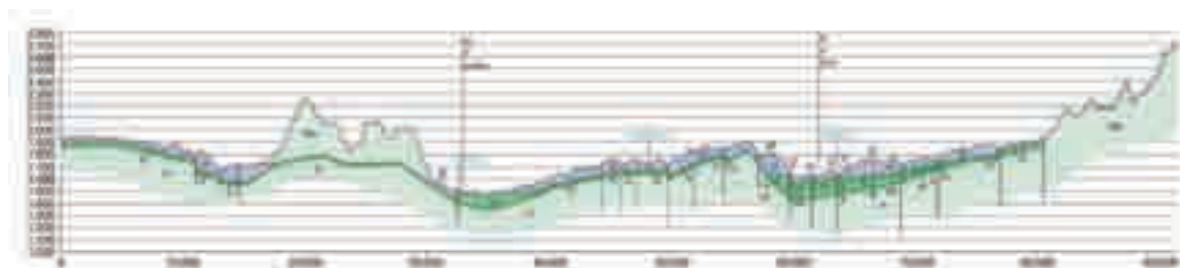


図 3.3: F 断面線の水理地質状況

3.5 地下水水質

3.5.1 水質分析の項目と方法

a. 水質サンプル地点の選定

帯水層単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. 前述の 14 サブベーズンごとに採水を行う。
2. それぞれのサブベーズ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。

以上の選定基準に基づき 90 か所の水質サンプル地点を選定した。また 10 箇所の新規観測井地点で採水し、合計 100 地点のサンプルを採取した。

b. 水質分析の項目と方法

b.1 現場測定と方法

現地での分析項目は、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, NO₂, As, NH₄）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。測定方法は簡易測定器、パックテスト及び簡易試験紙を用いて地下水採水ののちにすぐに実施した。

b.2 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項目（Ca, Cl, Mg, Na, K, HCO₂, SO₄, NO₃）も含めた。そのほかとくに人体への影響等をみるために必要な項目（Mn, Cl, NO₃, NO₂, F）も含め 22 項目の室内分析を実施した。分析方法は分析ガイドラインによる。

b.3 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する。

安定同位体は重水素(D)と重酸素(¹⁸O)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ベーズン・地質における差異について検討する。

3.5.2 水質の特徴と同位体分析

a. 水質分析結果

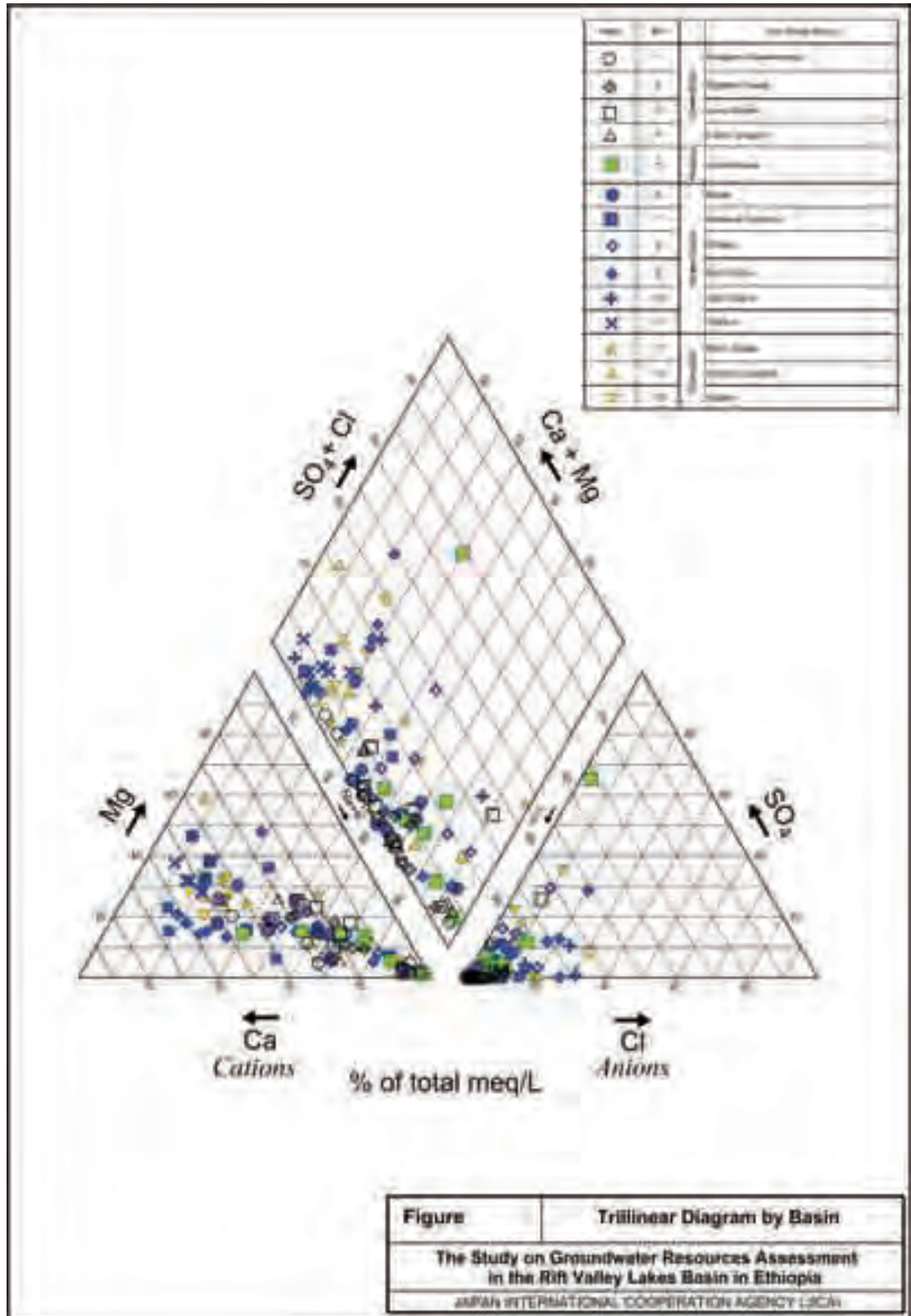
現場簡易測定ではフッ素の値が 3.0mg/l の基準値と同等のものがみられ、特に Awassa サブベーズンでは 7 サンプルのうち 4 サンプルおよび Awassa サブベーズン以北の地域（Ziway 湖から Awassa 湖の間）では、湖沼堆積物、溶結凝灰岩、凝灰岩、他火山砕屑物を帯水層とする地域で基準値と同等のものが散見された。他方、Abaya 湖北端以南の地域でも湖沼堆積物の帯水層中にやや高いものが認められるものの、サンプルの総数に対してごくわずかである。大腸菌、一般細菌の現場での検出は、室内試験での検出がないことから、飛沫、接触など人為的なものであると想定される。

室内試験結果については、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。フッ素濃度が高いものは Eastern Ziway サブベーズン湖沼堆積物起源の地下水（7.41mg/l）及び Awassa サブベーズ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。

b. 水質特性

トリリニアダイアグラムによる水質特性は、流域ごとでは全体的な傾向として塩素イオンが少なく概ね NaHCO_3 型と $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型に区分される（図 3.4参照）。南部の Chew Bahir 流域、Abaya-Chamo 流域は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ている。それに対して Awassa 流域は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。また地溝帯の縁の地下水質がより循環型の地下水の性状を示す。

一方地質での地下水特性は、砂岩、石灰岩、玄武岩、火山砕屑岩、花崗岩や片麻岩などを帯水層とする裂隙系の地下水は $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型に、凝灰岩、凝灰角礫岩、湖沼堆積物、沖積層などに属する地下水（層状水）は 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隙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にあり、谷縁辺部に多く分布する火山岩類や変成岩などの裂隙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。



d. フッ素分布と傾向

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、深度的な傾向を検討すると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、アワサ周辺や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（図 3.6参照）から考察すれば、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（図 3.7参照）。

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るより、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、（完新世）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。

尚、これらの点については No5 の温泉の箇所では流紋岩質の岩相でフッ素の値が比較的高い傾向にある。

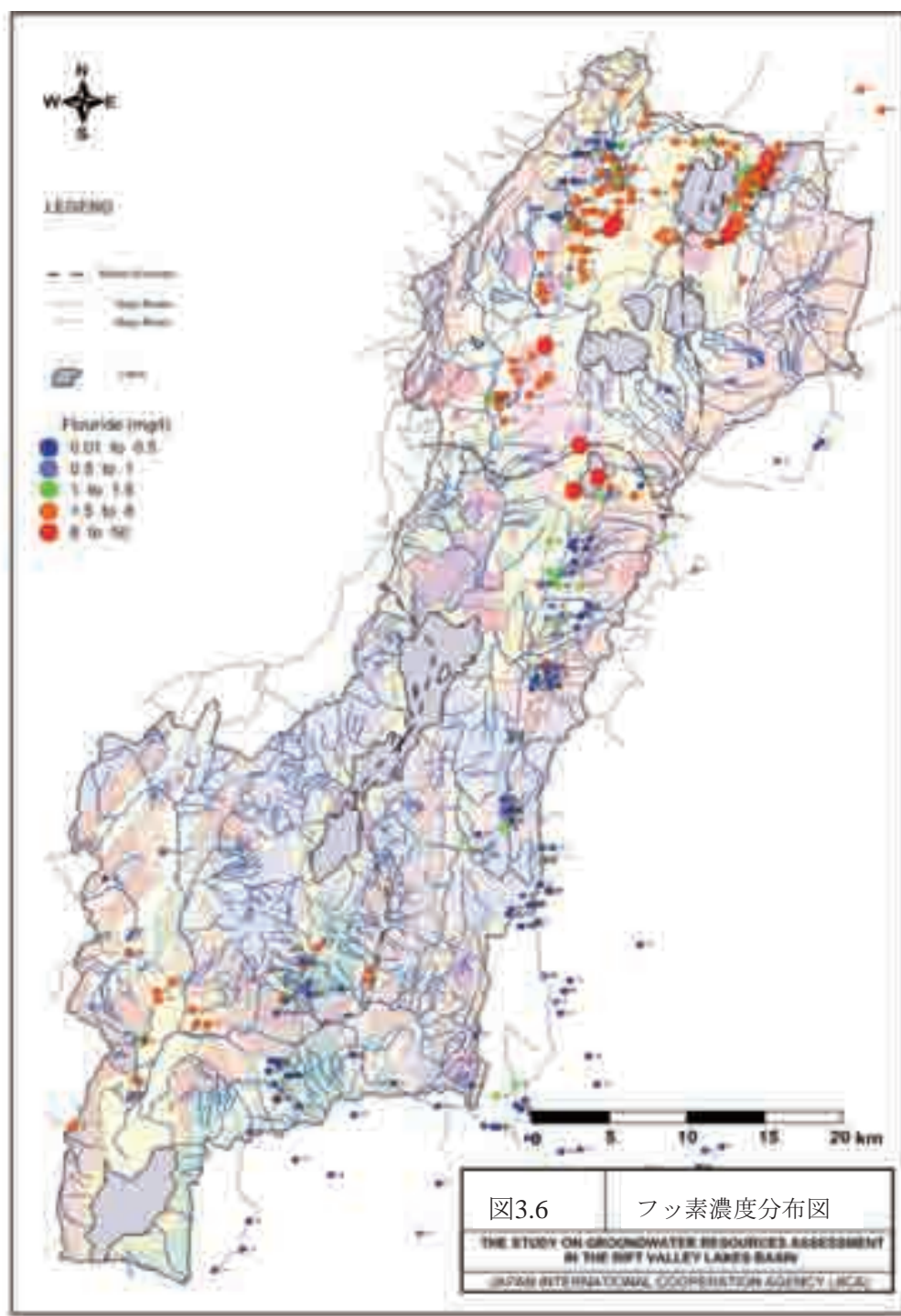


図 3.6: フッ素濃度分布図

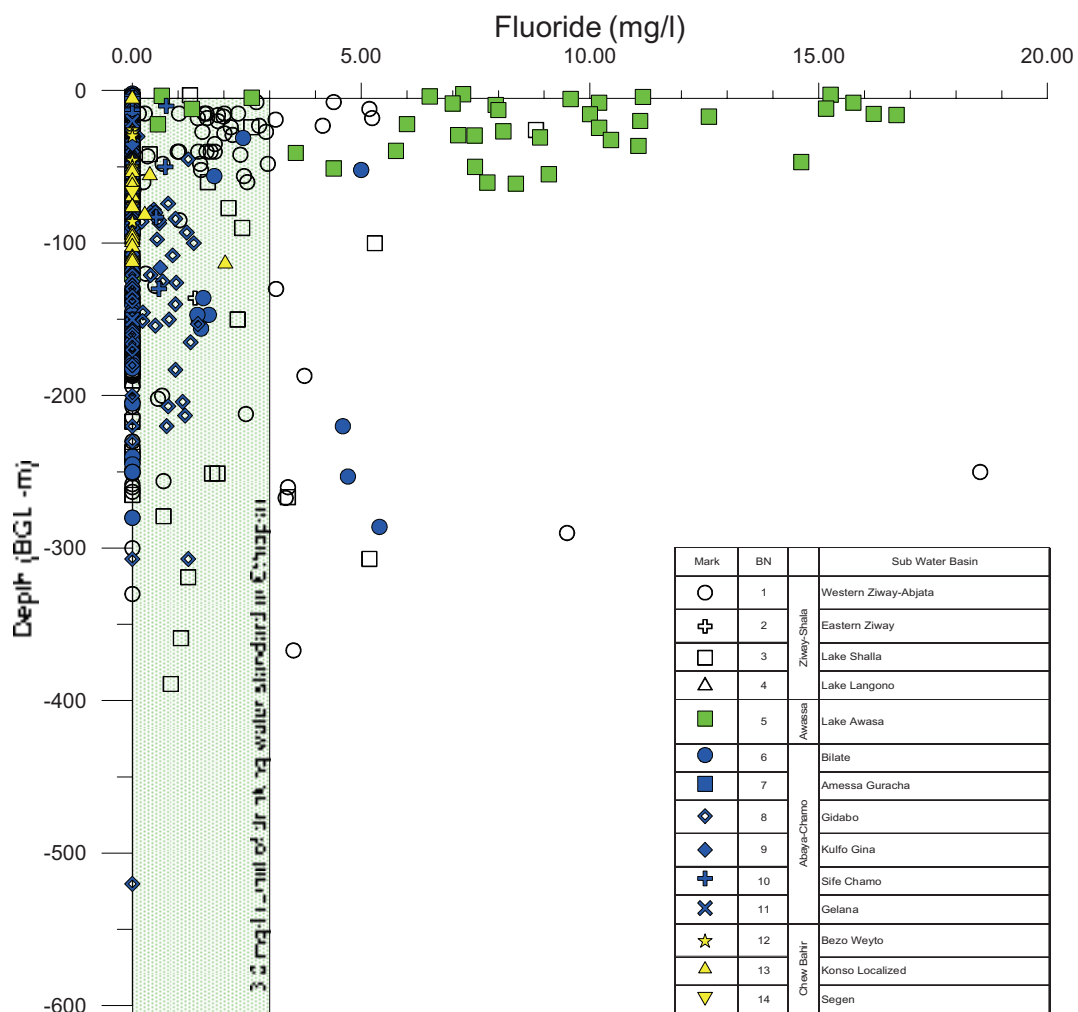


図 3.7: 調査地域全域のフッ素濃度と深度の関係

第4章

給水計画

4 給水計画

4.1 要請小都市に対する給水計画

4.1.1 要請小都市の概要

南部諸民族州とオロミア州から要請（2010年3月）された小都市は、82小都市（南部州52、オロミア州30）であり、2州の殆どの小都市を含んでいる。小都市の位置図は以下の図4.1のとおりである。要請小都市の平均人口は5,800人（2010年）、平均給水率は約24%（100%以上の場合は考慮しない）、人口増加率は3.3%/年（2011～2015年）となっている。要請小都市の給水事情は、87%の小都市は既存の給水施設を持つが、施設は老朽化し機能していない箇所も多い（給水率50%以下の箇所が45%に達する）。残りは伝統水源（小河川等の表流水利用）に頼る。水因性疾患は、腸チフス、赤痢、下痢等発生している。

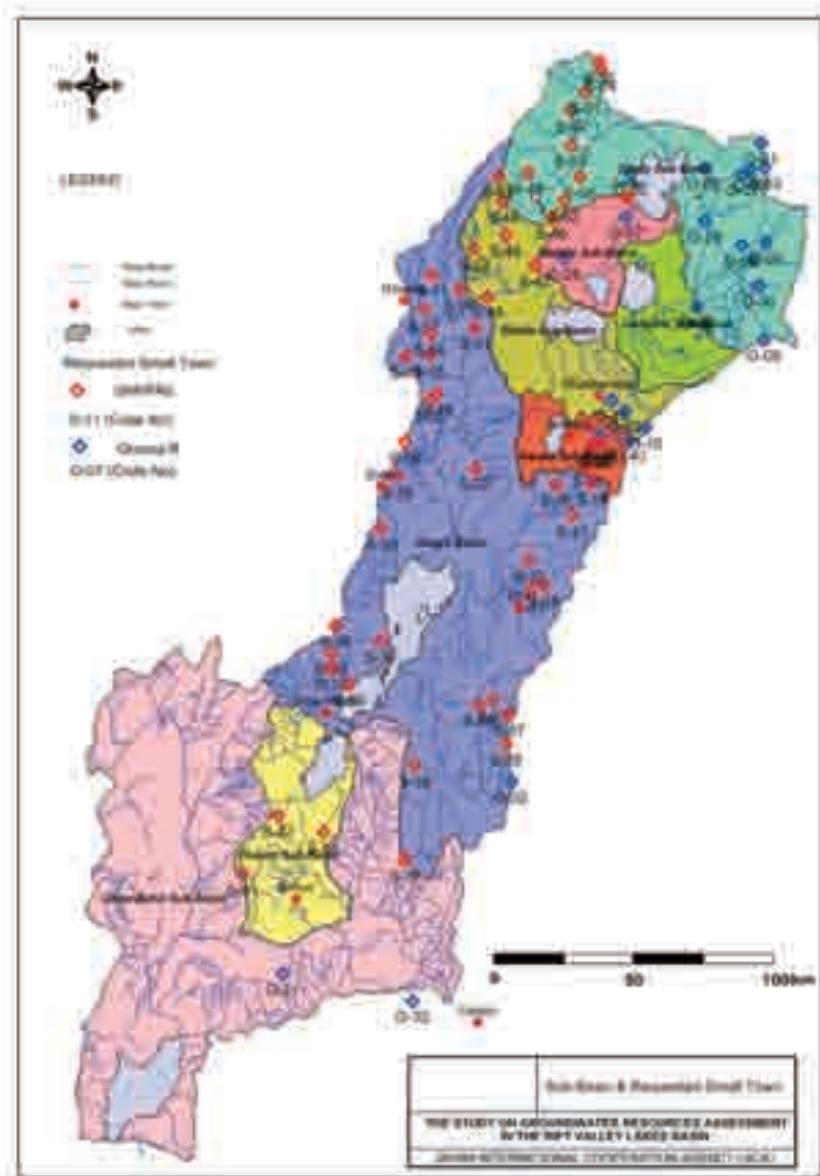


図 4.1: 流域と要請された小都市

4.1.2 要請小都市の地下水開発の可能性

地下水ポテンシャルについては水理地質図から判断して Abaya 湖周辺から北側については一部をのぞいて（Awassa 湖の北東～東側）中程度から高い生産量が見込める。ただし生産量は問題ないが、フッ素の値が水質基準以上を示す箇所としてオロミア州の Ziway 湖周辺や南部諸民族州の Butajira の南東側、Awassa 湖周辺に一部認められる。一方 Abaya 湖周辺から南側では主に第三紀中新世以前の玄武岩類や凝灰岩類、および先カンブリア紀の片麻岩や花崗岩が分布し、前者は低位～中位、後者は貧から低位の生産量が予想される。これらの分布地域では低地部に第四紀の堆積物が分布しこれらは中程度の生産量が見込める。

優先上位都市は主に Abaya 湖周辺から北側の更新世以降の地層からなる地域に分布し、中程度から高い生産能力を有する地域にあたる。水理地質断面図から推定される井戸の帯水層深度は主に 130m-150m と 50m-70m の深度が想定され、井戸深度は 100m から 200m 程度と予想される。推定される揚水量は 3L/sec~7L/sec の間である。Abaya 湖周辺とそれより南側に位置する優先上位都市の一部は、低位から中程度の生産能力である帯水層をもつ。水理地質断面図から推定される井戸の帯水層は 80m-100m で井戸深度は 150m 程度と推定できる。推定される揚水量は、2L/sec~5L/sec 程度である。オロミア州での優先上位都市の対象となる小都市はすべて Awassa 湖周辺から北側に分布し、大半は Ziway 湖の東方に位置する。地下水ポテンシャルは低位から中程度の生産能力を有すると思われる、帯水層の想定深度は 30m-100m から 130m-150m と幅広い。井戸深度は 150m-200m と推定される。

その他の要請都市は南部諸民族州がリフトバレー全域に分布するが、オロミア州はほとんどの小都市が Abaya 湖から北側に位置する。南部諸民族州では地下水ポテンシャルは中程度の生産能力で、Abaya 湖周辺から南側では貧～低位の生産能力となる。オロミア州では地下水ポテンシャルは低位～中程度の生産能力を示す。

4.1.3 給水計画の概略設計方針

要請小都市の給水計画は以下の方針に基づき、計画することとした。また、給水システムのモデル図を図 4.2に示す。

a. 基本事項

- 計画目標年を 2015 年とする。
- 給水原単位はエチオピア国 “Urban Water Supply Design Criteria 2006” に準拠して 20L/c/day とする。
- 対象小都市における目標給水率を 100% とし必要な水源及び施設を計画する。
- 人口は各小都市における最新の統計データを採用する。
- 給水施設の水源は干ばつ等の影響を受けにくい深井戸を基本とする。但し、安定した水量・水質が確保できる湧水源が存在する場合は、湧水の利用も行うこととする。

- 給水施設機材及び資材仕様は維持管理費を最小限に抑えるため、最小限のスペックとする。
- 初期投資（建設費）を抑えるため、出来る限り現地調達資機材および工法にて計画する。
- 管路は導水・送水・給水用の管路を基本に、本管・支管の組み合わせとしたシンプルな系統とする。

b. 概略設計方針

b.1 新規井戸

新規井戸の計画数量（本数）は、各小都市における必要給水量を人口及び給水原単位から算出し、地下水ポテンシャル評価に基づく想定可能揚水量から必要本数を算出する。データが無くポテンシャル評価が困難な小都市については「エ」国における標準的な井戸揚水量により、計画本数を算定する。

b.2 電動ポンプ

給水施設のポンプの動力方式は、商用電力と停電時用発電機の相互運転方式とする。電動ポンプによる揚水施設では、小都市において計画給水量が多く、かつ、地下水位が深い場合等は、高揚程の電動ポンプを採用する。ポンプの運転時間は最大 8 時間程度とする。ポンプ揚水管頂部（井戸口）には、ポンプの防護および保守点検の観点から空気弁・圧力計・制水弁・流量計・逆止弁・排水用 T 字管を連続して設置するが、流量計の計測精度維持のため、流量計の前後に規定の長さの直管を設置して管内水流を層流に保つような設計とする。

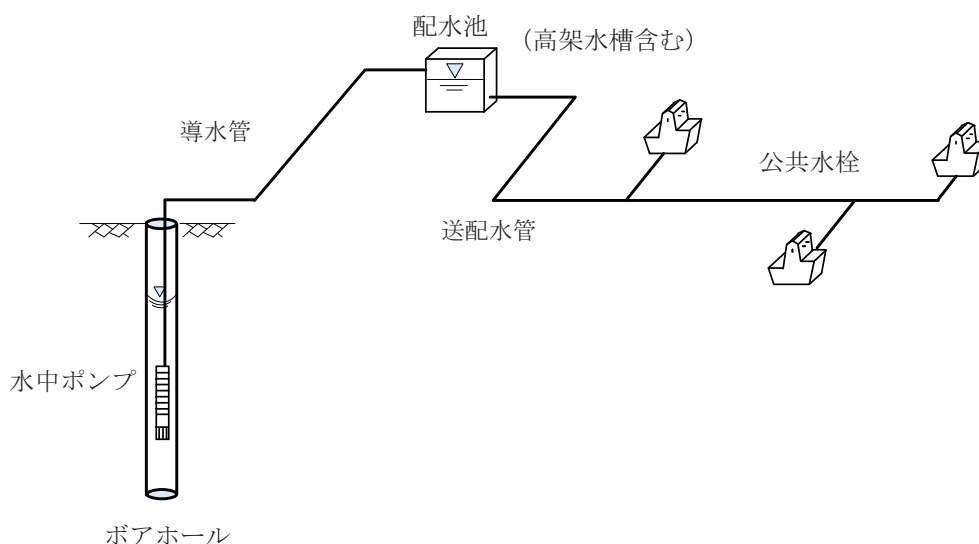


図 4.2: 給水施設のモデル

b.3 貯水槽形式と容量

貯水槽の形式は、小都市の地形条件や広がりによって、地上式或いは高架式を検討する。地上式貯水槽は、「エ」国で標準的に採用されている防水コア併用の円形石積構造または内防水併用の矩形 RC 構造を採用する。また、高架水槽は、鋼材架台にプラスチック製タンクを架載した構造を採用する。貯水槽の容量は、日平均最大給水量に 3 割程度の余裕を見込む。

b.4 浄水施設

本計画の水源は水質を満足したものを採用するため、原則として浄水施設は計画しない。

b.5 配水方式と配水管

公共水栓および各戸給水への配水方式は比較的維持管理が容易な自然流下式を採用する。また、配水ネットワーク形状についても、容易な維持管理となるよう、貯水槽から給水地点への配水管は、管網形式とせず、各管の配水方向は一方向（貯水槽→給水地点）とする。

「エ」国での管材料は、亜鉛メッキ管（GIP）が多く採用されてきていたが、最近では PVC 管の他、施工が容易な PE 管の採用が盛んになっているため施工性、維持管理性及び経済性の観点から、PVC 管や PE 管を採用する。

b.6 給水方式

給水方式は公共水栓方式とし、構造は「エ」国の標準構造図の基づくものとする。公共水栓の計画数量は、UAP やデザインクライテリア等の諸条件（水栓へのアクセス距離、給水人口等）に準拠して算出する。また、公共水栓の配置は既存給水区域の重複をさけて計画する。

b.7 水消費管理

生産水量や販売水量の管理を確実に、かつ、正確に行うために、井戸の揚水管頂部や貯水槽の配水管起点部及び公共水栓の配水本管接合部等に流量計を設置する。

以上の概略設計に基づく要請小都市の給水計画についてまとめると以下の表 4.1 と表 4.2 のとおりである。

表 4.1: 要請小都市の施設規模と概算事業費

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

1USD=75.85円(2011年11月JICA統制レート)

表 4.2: 要請小都市の給水計画

SNNPRS				人口		井戸	ポンプ	発電機	発電機室	導水管路	貯水槽	送水管路	配水管路	公共水栓	
No.	Zone	Woreda	Small Town	2010	2015	nos.	nos.	nos.	nos.	m	nos.	m	m	nos.	
1	SZ-01	Gurage	SW-01 Sodo	S-01 Buei	6,961	8,188	1	1	1	1	1,140	1	3,800	11,400	23
2	SZ-01	Gurage	SW-01 Sodo	S-02 Kela	3,519	4,139	1	1	1	1	690	1	2,300	6,900	12
3	SZ-01	Gurage	SW-01 Sodo	S-03 Tiya	1,937	2,278	1	1	1	1	450	1	1,500	4,500	7
4	SZ-01	Gurage	SW-01 Sodo	S-04 Suten	1,298	1,527	2	2	2	2	1,080	1	1,800	5,400	4
5	SZ-01	Gurage	SW-03 Mareqo	S-06 Koshe	6,858	8,067	2	2	2	2	900	1	1,500	4,500	23
6	SZ-02	Hadiya	SW-04 Lemmo	S-07 Lisana	1,711	2,013	1	1	1	1	450	1	1,500	4,500	6
7	SZ-02	Hadiya	SW-05 Shashago	S-09 Dosh	1,881	2,213	1	1	1	1	450	1	1,500	4,500	6
8	SZ-02	Hadiya	SW-07 Analemmo	S-11 Fonko	2,380	2,799	1	1	1	1	600	1	2,000	6,000	8
9	SZ-02	Hadiya	SW-08 Mirab Badawocho	S-12 Wada	2,113	2,485	1	1	1	1	510	1	1,700	5,100	7
10	SZ-03	Kembata Timbaro	SW-09 Anigacha	S-13 Anigacha	6,811	8,011	1	1	1	1	1,050	1	3,500	10,500	23
11	SZ-03	Kembata Timbaro	SW-10 Kedia Gamela	S-14 Adilo	4,659	5,480	1	1	1	1	450	1	1,500	4,500	16
12	SZ-03	Kembata Timbaro	SW-11 Dayiboya	S-15 Daniboya	8,111	9,541	2	2	2	2	1,200	2	2,000	6,000	27
13	SZ-04	Sidama	SW-12 Shebedio	S-16 Leku	11,810	13,892	1	1	1	1	1,200	1	4,000	12,000	40
14	SZ-04	Sidama	SW-13 Dara	S-17 Kebado	8,365	9,839	2	2	2	2	1,200	1	2,000	6,000	28
15	SZ-04	Sidama	SW-13 Dara	S-18 Teferi Kela	4,178	4,914	1	1	1	1	900	1	3,000	9,000	14
16	SZ-04	Sidama	SW-14 Gorche	S-19 Goreche	2,986	3,512	1	1	1	1	450	1	1,500	4,500	10
17	SZ-04	Sidama	SW-15 Malga	S-20 Manicho	4,017	4,725	1	1	1	1	450	1	1,500	4,500	14
18	SZ-04	Sidama	SW-16 Wensho	S-21 Bokasa (Bokaso)	2,039	2,398	4	4	4	4	1,200	1	1,000	3,000	7
19	SZ-04	Sidama	SW-41 Alta Chuko	S-22 Chuko	8,884	10,450	2	2	2	2	3,000	1	5,000	15,000	30
20	SZ-04	Sidama	SW-18 Wendo Genet	S-23 Chuko	14,826	17,204	4	4	4	4	4,200	1	3,500	10,500	49
21	SZ-04	Sidama	SW-18 Wendo Genet	S-24 Ela (Kela)	5,259	6,186	2	2	2	2	600	1	1,000	3,000	18
22	SZ-05	Gedeo	SW-20 Kochore	S-27 Fiseha Genet	4,189	4,927	4	4	4	4	3,600	1	3,000	9,000	14
23	SZ-05	Gedeo	SW-21 Gedeb	S-28 Gedeb	10,021	11,787	4	4	4	4	3,600	1	3,000	9,000	34
24	SZ-06	Wolayita	SW-23 Humbo	S-30 Tabela (Humbo)	6,246	7,347	2	2	2	2	2,100	1	3,500	10,500	21
25	SZ-06	Wolayita	SW-24 Deguna Fanigo	S-32 Dimtu	1,702	2,002	2	2	2	2	600	1	1,000	3,000	6
26	SZ-07	Gamo Gofa	SW-26 Mirab Abaya	S-34 Birbir	5,831	6,859	2	2	2	2	1,500	1	2,500	7,500	20
27	SZ-07	Gamo Gofa	SW-27 Chench	S-35 Chenicha	10,223	12,025	2	2	2	2	2,040	1	3,400	10,200	34
28	SZ-07	Gamo Gofa	SW-27 Chench	S-36 Ezo	1,822	2,143	4	4	4	4	960	1	800	2,400	6
29	SZ-07	Gamo Gofa	SW-27 Chench	S-37 Dorze	1,256	1,477	2	2	2	2	360	1	600	1,800	4
30	SZ-07	Gamo Gofa	SW-28 Amaro Special	S-38 Kele	8,832	10,153	4	4	4	4	1,800	1	1,500	4,500	29
31	SZ-07	Gamo Gofa	SW-29 Burji Special	S-39 Soyama	6,268	7,373	2	2	2	2	1,500	1	2,500	7,500	21
32	SZ-07	Gamo Gofa	SW-30 Konso Special	S-41 Segen	3,626	4,265	2	2	2	2	900	1	1,500	4,500	12
33	SZ-07	Gamo Gofa	SW-31 Darashe Special	S-42 Gidole	13,176	15,498	4	4	4	4	3,000	1	2,500	7,500	44
34	SZ-08	Silte	SW-32 Siliti	S-43 Kibat	5,876	6,676	4	4	4	4	3,000	2	2,500	7,500	19
35	SZ-08	Silte	SW-32 Siliti	S-44 Alkeso	1,028	1,209	1	1	1	1	750	1	2,500	7,500	3
36	SZ-08	Silte	SW-33 Lanifaro (Lanifuro)	S-46 Tora	9,163	10,778	4	4	4	4	3,360	1	2,800	8,400	31
37	SZ-08	Silte	SW-33 Lanifaro (Lanifuro)	S-47 Mito	3,277	3,855	2	2	2	2	1,200	1	2,000	6,000	11
38	SZ-08	Silte	SW-34 Dalocha	S-48 Dalocha	7,024	8,262	1	1	1	1	810	1	2,700	8,100	24
39	SZ-08	Silte	SW-35 Sankura	S-49 Alem Gebeya	3,656	4,300	2	2	2	2	1,500	1	2,500	7,500	12
40	SZ-08	Silte	SW-35 Sankura	S-51 Matoria	2,730	3,211	1	1	1	1	360	1	1,200	3,600	9
41	SZ-08	Silte	SW-36 Wilbareg	S-52 Wilbareg (Bilbareg)	2,197	2,584	2	2	2	2	1,200	1	2,000	6,000	7
42	SZ-01	Gurage	SW-02 Meskan	S-53 Hamus-Gabeya (Bamo)	4,152	4,884	2	2	2	2	480	1	800	2,400	14
43	SZ-02	Hadiya	SW-05 Shashago	S-54 Hirkofofo	2,590	3,047	2	2	2	2	300	1	500	1,500	9
44	SZ-02	Hadiya	SW-06 Misrak Badawocho	S-55 Weyira Matoria	8,346	9,817	2	2	2	2	900	2	1,500	4,500	28
45	SZ-05	Gedeo	SW-20 Kochore	S-56 Biloya	4,484	5,274	4	4	4	4	1,560	1	1,300	3,900	15
46	SZ-05	Gedeo	SW-21 Gedeb	S-57 Chorso-Matoria	8,500	9,998	2	2	2	2	1,200	1	2,000	6,000	29
47	SZ-06	Wolayita	SW-37 Damot Pulasa	S-58 Shento	5,345	6,287	1	1	1	1	540	1	1,800	5,400	18
48	SZ-06	Wolayita	SW-38 Sodo Zuria	S-59 Dalbo Atowa	4,772	5,613	2	2	2	2	900	1	1,500	4,500	16
49	SZ-07	Gamo Gofa	SW-39 Arba Minch Zuria	S-60 Lanite	7,221	8,494	2	2	2	2	1,080	1	1,800	5,400	24
50	SZ-07	Gamo Gofa	SW-30 Konso Special	S-61 Gewada	5,967	7,019	5	5	5	5	1,500	2	1,000	3,000	20
51	SZ-08	Silte	SW-32 Siliti	S-62 Udasa	4,470	5,258	1	1	1	1	600	1	2,000	6,000	15
52	SZ-08	Silte	SW-40 Alichu wuriro	S-63 Kawakoto	783	921	1	1	1	1	540	1	1,800	5,400	3
SNNPRS 平均					5,284	6,215	2	2	2	2	1,268	1	2,060	6,179	18
SNNPRS 合計					274,776	323,204	108	108	108	108	65,910	56	107,100	321,300	923

Oromia region					人口		井戸	ポンプ	発電機	発電機室	導水管路	貯水槽	送水管路	配水管路	公共水栓
No.	Zone	Woreda	Small Town	2010	2015	nos.	nos.	nos.	nos.	m	nos.	m	m	nos.	
1	OZ-01	Arsi	OW-01 Hitosa	O-01 Iteya	14,239	16,749	1	1	1	1	1,650	1	5,500	16,500	48
2	OZ-01	Arsi	OW-02 Zway Dugda	O-02 Ogolcha (Agolcho)	4,759	5,598	1	1	1	1	1,050	1	3,500	10,500	16
3	OZ-01	Arsi	OW-03 Tiyo	O-03 Gonde	4,350	5,117	1	1	1	1	1,200	1	4,000	12,000	15
4	OZ-01	Arsi	OW-04 Digaluna Tijo	O-05 Kidame Digelu	1,780	2,094	1	1	1	1	540	1	1,800	5,400	6
5	OZ-01	Arsi	OW-04 Digaluna Tijo	O-06 Sagure	10,926	12,852	2	2	2	2	1,200	2	2,000	6,000	37
6	OZ-01	Arsi	OW-05 Munesa	O-07 Kersa	9,916	11,664	4	4	4	4	5,400	1	4,500	13,500	33
7	OZ-04	West Arsi	OW-20 Limana Bilbilo	O-09 Meraro	4,725	5,558	1	1	1	1	960	1	3,200	9,600	16
8	OZ-04	West Arsi	OW-08 Kofele	O-10 Kofele	14,401	16,939	5	5	5	5	7,500	2	5,000	15,000	48
9	OZ-01	Arsi	OW-03 Tiyo	O-11 Kulumsa	3,472	4,084	1	1	1	1	600	1	2,000	6,000	12
10	OZ-01	Arsi	OW-01 Hitosa	O-12 Boru Jawi	4,446	5,230	2	2	2	2	1,200	1	2,000	6,000	15
11	OZ-03	East Shewa	OW-16 Adami Tulu & Jido Kombolcha	O-20 Abosa	3,578	4,209	1	1	1	1	330	1	1,100	3,300	12
12	OZ-03	East Shewa	OW-16 Adami Tulu & Jido Kombolcha	O-22 Adami Tulu	8,166	9,605	4	4	4	4	4,200	1	3,500	10,500	27
13	OZ-03	East Shewa	OW-16 Adami Tulu & Jido Kombolcha	O-28 Jido	2,659	3,128	1	1	1	1	540	1	1,800	5,400	9
14	OZ-01	Arsi	OW-03 Tiyo	O-29 Katar Genet	3,953	4,650	1	1	1	1	960	1	3,200	9,600	13
15	OZ-01	Arsi	OW-20 Limana Bilbilo	O-30 Lemo Sirba	5,590	6,575	2	2	2	2	1,500	1	2,500	7,500	19
16	OZ-02	Borena	OW-09 Taltele	O-31 Milami	4,510	5,305	2	2	2	2	1,260	1	2,100	6,300	15
17	OZ-02	Borena	OW-21 Bure Hara	O-32 Garaba	7,500	8,822	2	2	2	2	1,800	1	3,000	9,000	25
18	OZ-02	Borena	OW-10 Yabelo	O-33 El Woyya(Wayya)	4,090	4,811	1	1	1	1	300	1	1,000	3,000	14
19	OZ-04	West Arsi	OW-22 Wondo	O-34 Bura (Busa)	5,112	6,013	2	2	2	2	1,500	1	2,500	7,500	17
20	OZ-03	East Shewa	OW-19 Adama	O-35 Awash Mercasa	10,200	11,998	2	2	2	2	1,800	1	3,000	9,000	34
21	OZ-03	East Shewa	OW-23 Bosat	O-36 Walanciti	11,260	13,245	5	5	5	5	9,750	2	6,500	19,500	38
22	OZ-03	East Shewa	OW-23 Bosat	O-37 Doni	4,164	4,898	1	1	1	1	600	1	2,000	6,000	14
23	OZ-03	East Shewa	OW-23 Bosat	O-38 Befi (Bofa)	7,040	8,281	2	2	2	2	1,620	1	2,700	8,100	24
24	OZ-04	West Arsi	OW-22 Wondo	O-39 Intaye	8,500	9,998	2	2	2	2	1,680	1	2,800	8,400	29
25	OZ-04	West Arsi	OW-08 Kofele	O-40 Kabate	4,146	4,877	2	2	2	2	1,080	1	1,800	5,400	14
26	OZ-04	West Arsi	OW-14 Sheshemane	O-41 Awasho-Dhanku	7,040	8,281	4	4	4	4	2,880	1	2,400	7,200	24
27	OZ-04	West Arsi	OW-14 Sheshemane	O-42 Hursa	5,700	6,705	4	4	4	4	2,400	1	2,000	6,000	19
28	OZ-02	Borena	OW-12 Mijo (Miyo)	O-43 Hidi-Lola	6,550	7,704	2	2	2	2	1,500	1	2,500	7,500	22
29	OZ-02	Borena	OW-13 Dugda dawa	O-44 Fincadaa (Fincawaa)	7,200	8,469	2	2	2	2	1,500	1	2,500	7,500	24
30	OZ-03	East Shewa	OW-24 Liben	O-45 Adulala	3,601	4,236	1	1	1	1	450	1	1,500	4,500	12
Oromia Region 平均					6,452	7,590	2	2	2	2	1,965	1	2,797	8,390	22
Oromia Region 合計					193,573	227,695	62	62	62	62	58,950	33	83,900	251,700	651
2州平均 (SNNPRS+Oromia)					5,868	6,903	2	2	2	2	1,616	1	2,428	7,284	20
2州合計 (SNNPRS+Oromia)					468,349	550,899	170	170	170	170	124,860	89	191,000	573,000	1,574

4.1.4 給水施設の運営・維持管理の現状と課題

a. 現状

a.1 既存組織状況

82の小都市のうち、既存給水施設を有する小都市の殆どに運営・維持管理のための水管理組織が存在する。運営・維持管理の組織形態としては、独立採算制の水道事業者から水利用者で構成された小規模な水組合（Water Committee）、または小都市行政組織内の水管理部署等、様々である。

既存の水管理組織の多くは、施設の修繕を行う技術班と、水料金の徴収とその資金管理を行う事務班の2つによって構成されている。組織のスタッフ数は1名～10名と小都市によって異なっている。

a.2 運営状況

水料金の徴収は、一部の小都市において定額制（12%）となっているが、従量制（82%）による徴収が殆どである。水料金の価格は、動力ポンプによる各戸給水が行われている小都市においては、各州が作成した給水契約書フォームに基づき、水料金価格が設定されている。水単価は $1\text{m}^3\sim 30\text{m}^3$ /月の範囲で単価が区分されている。一例としては $0\sim 5\text{m}^3 : 3.25\text{Birr}/\text{m}^3$ 、 $6\sim 10\text{m}^3 : 3.5\text{Birr}/\text{m}^3$ 、 $11\sim 30\text{m}^3 : 3.75\text{Birr}/\text{m}^3$ 、 30m^3 以上： $4\text{Birr}/\text{m}^3$ である。また、流量計本体のリース料金も徴収されているケースも多く見られた。ハンドポンプや湧水（On-Spot）形式の給水施設では、世帯単位で月額料金（定額制 1~3 プル/月/世帯）が設定されていた。

水料金収入は、給水施設の規模や水料金の設定で異なるが、1,000～16,000 プル/月の範囲である。徴収率は平均で概ね40~50%である。また収入に対する支出のうち大きなウェイトを占めるのが、ポンプ動力用の燃料費、漏水補修等のための送配水管材類費用であるが比率は不明である。収支バランスとしては赤字運営の小都市が殆どであり、その理由として施設の修理や配水管拡張などの支出が多いためである。

b. 課題

b.1 給水施設管理のための基礎情報が不足

水源情報（地下水位、揚水量、湧水湧出量等）や給水施設情報（井戸・ポンプ諸元、管路の管種、延長、埋設位置、竣工時期等）に関する書面（図面）での記録が記録・保管されておらず、施設の直接管理者の記憶に頼っているため、正確な情報が不足している。

b.2 運営・維持管理能力が不足

事業運営の必要経費や支出額の傾向について把握されていないこと、また、収支バランスに基づいた水料金の設定がなされていない。

施設の維持管理においては、ポンプや発電機の老朽化により必要な水量が確保できな

いことや管路の老朽化や施工不良による漏水が発生している。施設設計の不良により、十分な貯水量・給水能力が備わっていない場合もある。また、老朽化した貯水槽の補強・補修、管路の漏水補修、管材料の選定等々の知識がないため、適切な修繕が行われていないなどの課題がある。

4.2 優先上位都市に対する給水計画

4.2.1 要請小都市の詳細情報

要請小都市の詳細情報は小都市プロフィール（データブック参照）に整理した。小都市プロフィールは、給水計画の立案に必要な主な以下の情報を現地調査及び情報収集を行い取りまとめている。

- 行政区分
- 位置情報（衛星写真及び GPS による道路・建造物配置等）
- アクセス情報（主要都市からの距離、道路概況）
- 給水率（統計人口から水源湧出量と管末消費量による試算）
- 既存水源情報（水源の種類や数、井戸深度、水量、水質等）
- 既存給水施設情報（主要構造物の内容、取水方式、運転時間等）
- 運営・維持管理情報（水管理組織の種類や規模、水料金、維持管理方法等）
- 給水に関する課題や問題点（ハード及びソフト面）

上記の詳細情報を基に、優先上位都市の選定を行った。

4.2.2 優先上位都市の選定と規模

優先上位都市は特に優先度の高い項目である「水量」、「水質」、「給水率（水困窮度）」及び「被益人口（事業効果）」を選定基準とし、すべて該当する小都市を優先小都市として選定した。その結果、優先上位都市は南部諸民族州で 11 小都市、オロミア州で 9 小都市が選定された。優先上位都市の給水計画の内容については、表 4.3 及び表 4.4 のとおりである。

表 4.3: 優先上位都市の施設規模と概算事業費

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

1USD=75.85円(2011年11月JICA統制レート)

表 4.4: 優先小都市の給水計画

SNNPRS					人口		井戸	ポンプ	発電機	発電機室	導水管路	貯水槽	送水管路	配水管路	公共水栓		
No.	Zone	Woreda		Small Town		2010	2015	nos.	nos.	nos.	nos.	m	nos.	m	m	nos.	
7	SZ-02	Hadiya	SW-05	Shashago	S-09	Dosha	1,881	2,213	1	1	1	1	450	1	1,500	4,500	6
11	SZ-03	Kembata Timbaro	SW-10	Kedia Gamela	S-14	Adilo	4,659	5,480	1	1	1	1	450	1	1,500	4,500	16
12	SZ-03	Kembata Timbaro	SW-11	Dayboya	S-15	Daniboya	8,111	9,541	2	2	2	2	1,200	2	2,000	6,000	27
14	SZ-04	Sidama	SW-13	Dara	S-17	Kebado	8,365	9,839	2	2	2	2	1,200	1	2,000	6,000	28
24	SZ-06	Wolayita	SW-23	Humbo	S-30	Tabela (Humbo)	6,246	7,347	2	2	2	2	2,100	1	3,500	10,500	21
36	SZ-08	Silite	SW-33	Lanifaro (Lanifuro)	S-46	Tora	9,163	10,778	4	4	4	4	3,360	1	2,800	8,400	31
40	SZ-08	Silite	SW-35	Sankura	S-51	Mazoria	2,730	3,211	1	1	1	1	360	1	1,200	3,600	9
42	SZ-01	Gurage	SW-02	Meskan	S-53	Hamus-Gabeya(Bamo)	4,152	4,884	2	2	2	2	480	1	800	2,400	14
43	SZ-02	Hadiya	SW-05	Shashago	S-54	Hirkofoto	2,590	3,047	2	2	2	2	300	1	500	1,500	9
44	SZ-02	Hadiya	SW-06	Misrak Badawocho	S-55	Weyira Mazoria	8,346	9,817	2	2	2	2	900	2	1,500	4,500	28
48	SZ-06	Wolayita	SW-38	Sodo Zuria	S-59	Daibo Atowa	4,772	5,613	2	2	2	2	900	1	1,500	4,500	16
SNNPRS 平均							5,547	6,525	2	2	2	2	1,064	1	1,709	5,127	19
SNNPRS 合計							61,015	71,770	21	21	21	21	11,700	13	18,800	56,400	205
Oromia region					人口		井戸	ポンプ	発電機	発電機室	導水管路	貯水槽	送水管路	配水管路	公共水栓		
No.	Zone	Woreda		Small Town		2010	2015	nos.	nos.	nos.	nos.	m	nos.	m	m	nos.	
8	OZ-04	West Arsi	OW-08	Kofele	O-10	Kofele	14,401	16,939	5	5	5	5	7,500	2	5,000	15,000	48
9	OZ-01	Arsi	OW-03	Tiyo	O-11	Kulumsa	3,472	4,084	1	1	1	1	600	1	2,000	6,000	12
10	OZ-01	Arsi	OW-01	Hitosa	O-12	Boru Jawi	4,446	5,230	2	2	2	2	1,200	1	2,000	6,000	15
14	OZ-01	Arsi	OW-03	Tiyo	O-29	Katar Genet	3,953	4,650	1	1	1	1	960	1	3,200	9,600	13
15	OZ-01	Arsi	OW-20	Limana Bilbilo	O-30	Lemo Sirba	5,590	6,575	2	2	2	2	1,500	1	2,500	7,500	19
19	OZ-04	West Arsi	OW-22	Wondo	O-34	Bura (Busa)	5,112	6,013	2	2	2	2	1,500	1	2,500	7,500	17
25	OZ-04	West Arsi	OW-08	Kofele	O-40	Kabate	4,146	4,877	2	2	2	2	1,080	1	1,800	5,400	14
26	OZ-04	West Arsi	OW-14	Sheshemane	O-41	Awasho-Dhanku	7,040	8,281	4	4	4	4	2,880	1	2,400	7,200	24
27	OZ-04	West Arsi	OW-14	Sheshemane	O-42	Hursa	5,700	6,705	4	4	4	4	2,400	1	2,000	6,000	19
Oromia Region 平均							5,984	7,039	3	3	3	3	2,180	1	2,600	7,800	20
Oromia Region 合計							53,860	63,354	23	23	23	23	19,620	10	23,400	70,200	181
2州平均 (SNNPRS+Oromia)							5,766	6,782	2	2	2	2	1,622	1	2,155	6,464	19
2州合計 (SNNPRS+Oromia)							114,875	135,124	44	44	44	44	31,320	23	42,200	126,600	386

4.2.3 優先上位都市の給水計画における運営・維持管理の財務分析

優先上位小都市を対象として 2015 年のプロジェクト対象年の ATP（世帯収入の 5% で 100%回収を前提とした支払能力）と建設コストから導いた運営維持管理費用（O&M コスト）との比較を行った。その際の年間世帯収入は、調査結果から南部諸民族州で 12,357Birr、オロミア州で 18,891Birr となった。その結果、南部諸民族州の ATP は月額 51.5Birr、オロミア州で 78.71Birr が支払可能であり日本円換算での年間の支払能力では合計 91.3 百万円である。したがって、O&M コストは 91.3 百万円を下回れば、水管理組織による自立的な運営・維持管理が可能と判断できる。

4.2.4 地下水涵養量と揚水量の比較

流域ごとの地下水涵養量と 2025 年の計画揚水量を比較した結果を表 4.5に示す。Awassa 流域を除いて 2025 年の計画揚水量を加えても既存井戸の揚水量が変化ない場合、地下水涵養量に対する揚水量の比率はほぼ 5%以下であり、地下水の量的な利用は問題ない。

表 4.5: 地下水涵養量に対する揚水量の比率

サブゾーン名	揚水量(既存井戸)			計画揚水量(2025年)		揚水量計 Mm3/year	地下水涵養量 Mm3/year	地下水涵養量に 対する揚水量の比率		
	L/sec	m3/year	Mm3/year	m3/year	Mm3/year					
Ziway	Western Ziway	216.08	238.72	7528273.92	7.53	1317650	1.32	8.85	611.1	1.45
	Eastern Ziway	22.64								
Langano	6.8	6.8	214444.8	0.21	152570	0.15	0.36	285.5	0.13	
Abijata	17.66	17.66	556925.76	0.56	213160	0.21	0.77	66.6	1.16	
Shalla	22.63	22.63	713659.68	0.71	734745	0.73	1.44	54.8	2.63	
Awasa	272.93	272.93	8607120.48	8.61	508445	0.51	9.12	43.1	21.16	
Abaya	Bilate	190.15	523.65	16513826.4	16.51	2059695	2.06	18.57	377.4	4.92
	Gidabo	198.15								
	Galana	129.85								
	Kulfo Gina	5.5								
Chamo	Sife Chamo	6	14	441504	0.44	295285	0.3	0.74	199	0.37
	Konso Localzed	8								
Chew Bahir	29	29	914544	0.91	206225	0.21	1.12	315.7	0.35	

4.2.5 給水計画の実施により期待される効果

給水計画の実施により以下の効果が期待できる。

(1) 定量的効果

給水施設の建設により

- ① 南部諸民族州の要請小都市において、給水人口が 274,000 人(2010 年)から 323,000 人(2015 年)、給水率が 2010 年から 2015 年にかけて 17.9%増加する。
- ② オロミア州の要請小都市において、給水人口が 193,000 人(2010 年)から 227,000 人(2015 年)、給水率が 2010 年から 2015 年にかけて 17.6%増加する。

(2) 定性的効果

- ① 安全で安定した水が供給されることにより、衛生状況が改善され水因性疾患の低減が期待される。
- ② 児童、女性の水汲み労働が軽減され、就学、就労率の向上が期待される。
- ③ 便益をうけた人の生産性の高い活動により経済的好機が広がり、雇用需要が拡大することが期待される。

第5章

地下水モデルによる将来予測

5 地下水モデルによる将来予測

5.1 概要

地下水モデルによる分析により、本件で計画された給水計画の実施可能性を検討した。調査地域では地下水モデルが調査地域の地下水環境にできるだけ合致するよう調査結果に基づき、地下水関連パラメーター及び観測データを抽出し、モデルのパラメーター及びパッケージとして設定した。

5.2 地下水モデリング

リフトバレー地域の地下水モデリングは4つのサブベースンを選定して実施した。モデル地域は以下の4地域を選定した（図 5.1参照）。

- 1) Bilate サブベースン、2) Ziway-Shalla サブベースン、3) Gidabo-Galana サブベースン（Abaya-Chamo サブベースン内；通称 Abaya Lake 東流域）、4) Amessa Guraoha-Kulfo Gina サブベースン（Abaya-Chamo サブベースン内；通称 Abaya Lake 西流域）

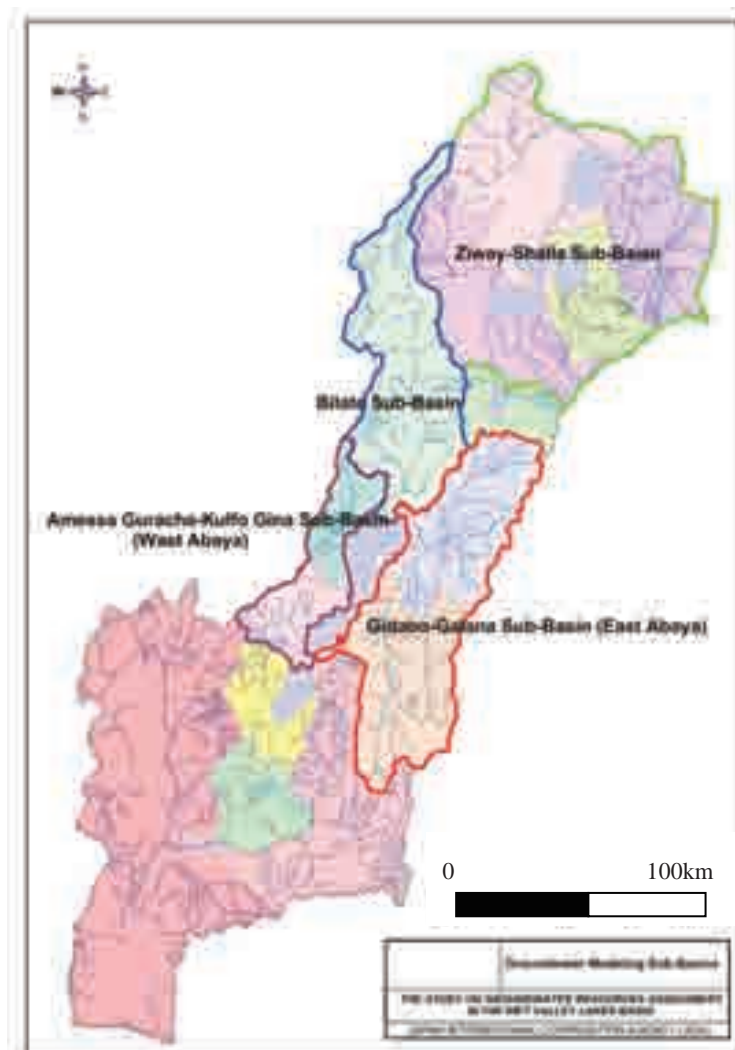


図 5.1: 地下水モデルサブベースン

地下水モデリングは対象とするサブベースンの水理地質条件、帯水層単元および帯水層常数を用いて地下水環境を構築し、今後サブベースンでの地下水利用による地下水変動状況を予測し地下水管理に役立てるものである。

各サブベースンの地下水シミュレーション時に用いたモデルの基礎情報は次の通りである。なおシミュレーションプログラムは、Modflow (USGS 製)を使用した。

表 5.1: モデルの基礎情報

サブベースン	モデル範囲 (km ²)	解析セル数 (東西×南北)	メッシュ間隔 (km)	層区分
Ziway-Shalla	24,300	10,800 (100×108)	1.5	4層
Bilate	13,616	13,616 (74×184)	1.0	4層
Abaya East	18,870	18,870 (111×170)	1.0	4層
Abaya West	5,184	5,184 (108×48)	1.0	4層

その他の条件、パラメーター等は4つのベースンでほとんど同じデータのもとに解析を実施した。それぞれの内容は以下に示す。

a. 境界条件

境界条件とは最初から設定されるセル間の条件であり、不透水層境界の設定は、モデル地域外に設定した。またモデル内の河川、湖は定水頭として第1層に設定した。定水頭の厚さは第1帯水層を2つに区分し層厚を薄く確保した。

b. パラメーターの設定

帯水層タイプ、透水係数、有効間隙率等のパラメーターを次の通り設定した。4層に区分した各層の帯水層タイプは、第1層は不圧帯水層、第2層～第4層では被圧帯水層として設定した。水平方向の透水係数は帯水層定数の情報が少ない中、モデル地域外の情報も収集して以下の表 5.2のような設定を行った。なお鉛直方向の透水係数は、一律に0.00001m/dayに設定した。

有効間隙率は各層一律に0.1とした。

c. モデルパッケージ

地下水涵養量に関するパッケージでは、それぞれの各サブベースンでの湖沼の蒸発量と各サブベースンでの河川流量の基底流指数 (BFI) を乗じて日単位の地下水涵養量を算出し当てはめた。各セルへは標高に比例させて地下水涵養量を振り分けた。地下水の涵養量はすべて第1層に設定した。

井戸パッケージは、各サブベースン内に分布する井戸の位置と揚水量を該当するセルにあてはめ、さらに深度によって各層に振り分けた。揚水量に関してはデータの無いものが多く、一人当たり、一日当たりの基準揚水量をあてはめ、そこでの揚水量とした。

表 5.2: モデル内での透水係数設定

Symbol	Main Lithofacies	Transmissibility (m ² /day)	Average (m ² /day)
AL/Q	Fine sand or mud	90.2 - 388	248
Lac	Lacustrine sediment	10 - 2080	1,081
N1_2n	Rhyolite	2.5 - 376.5	190
Volcano	Volcanics	1980 - 3801	2,891
rb	basalt	64 - 79	72
W	Volcanics & sedimentary rocks	2 - 3801	1,907
Tb	Scoria	158.7	158.7
Ba	Basalt	64 - 79	72
Ngs	Rhyolite	64 - 79	72
Pgl	Basalt	64 - 79	72
G	Welded tuff	12.5 - 914	52
Rh	Rhyolite	2.5 - 376.5	190

d. 内挿検定の結果

モデルの収束性あるいは安定性を確認するため、モデル構築後最初の検定方法として一般的な定常流計算法を採用した。定常流計算は時間スパンを無限大に設定し、与えられた諸パラメーターとパッケージに基づき地下水位が安定する条件値を求める。

モデルを設定後、最初に定常流計算を実施しモデルが収束するかどうか確認を行う必要がある。ただし、モデルの諸パラメーターが適切に設定されていない場合、定常流計算を実施すると収束せずエラーが発生する。

詳細なモデルの内挿検定を実施するために、セル毎のパラメーターを調整できる内挿検定プログラムを作成し、繰り返し計算を実施した。

その結果、モデルの収束性の確認がなされ、モデル地域での地下水位分布は地形に従うという特徴が良く現れた（事例：Ziway-Shalla サブベースンでの内挿検定結果（第1層を代表）図 5.2参照）。

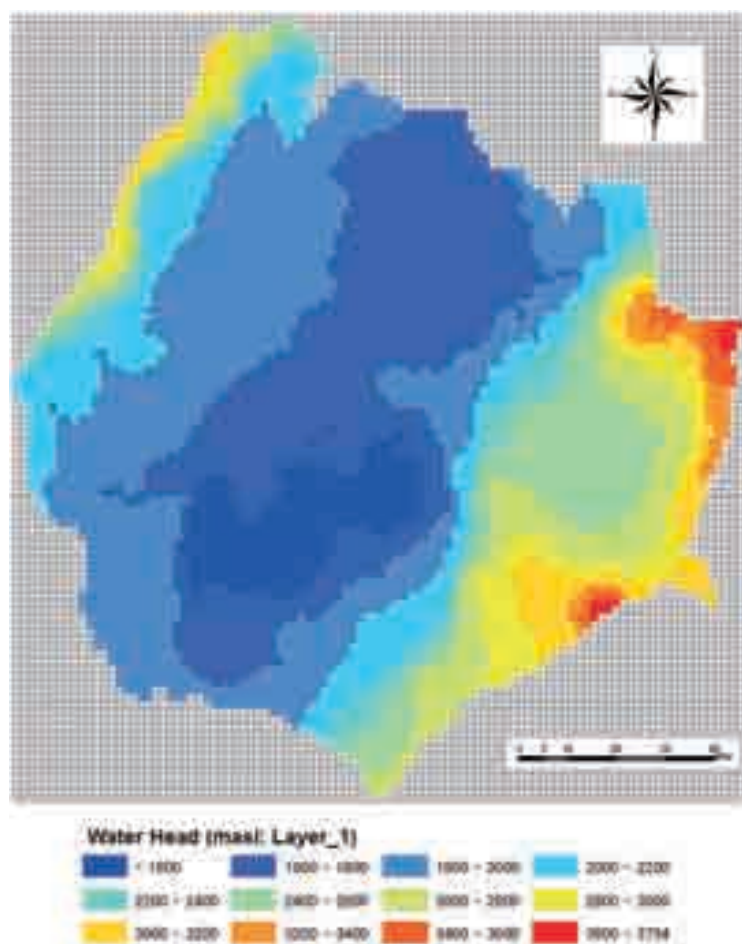


図 5.2: Ziway-Shalla サブベースン内の内挿検定結果(第 1 層を代表:単位 m)

5.3 地下水モデルの修正と内挿検定結果

インテレムレポートを作成した時点では、前述のように地下水情報をはじめ、自然条件等の各種関連情報を取りこんでいるGISデータベースに基づき、モデルの境界条件等を設定していたが、その後、C/PのTenalem教授と協議を行った結果、GISデータベースの情報の一部を変更する必要が生じたため、モデルの修正を実施した。主な修正部分は、モデル地域の中で最も広く、新規井戸の数も一番多いZiwayモデルにおいて、境界条件と各層の透水係数である。境界条件とは定水頭境界とした一部の河川と湖の条件設定をいう。修正前後のモデル境界は図 5.3に示す。

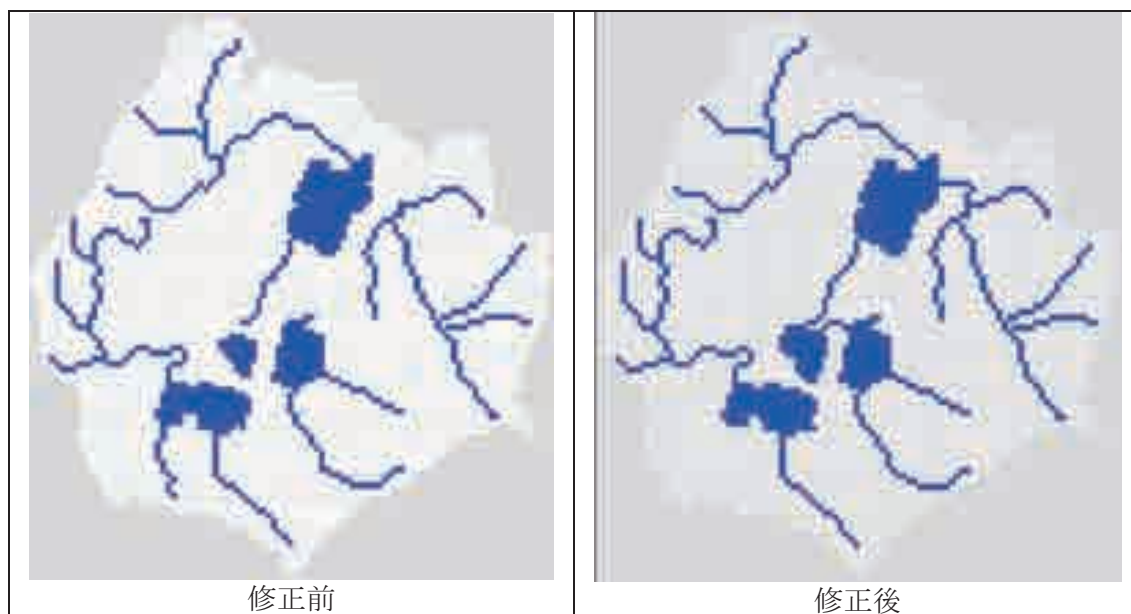


図 5.3: Zaway 地下水モデルの境界条件の修正

GISデータベースに従い、定水頭境界として設定した一本の河川は恒常河川ではなく、雨期だけ水が流れる一時河川であることが分かったので、その河川は定水頭境界の設定から計算境界に設定を修正した。その代わりに、湖の間は河川によって繋がっていることが判明したので、それら河川は定水頭境界条件としてモデル内に設定した。尚、湖の面積と水面標高はGISデータベースではなく Tenalem教授の著書「The Hydrogeological System of the Lake District Basin – Central Main Ethiopian Rift」を参照して値を適用した。

境界条件平面上(第1層)の修正だけではなく、Zaway流域内にある4つの主要湖沼の内、250mを超える極めて深い湖(Shalla 湖)があり、その湖の定水頭条件設定は第1層に限りざる、第4層までとし修正した。修正前後のShalla湖の定水頭条件は図 5.4 に示す。

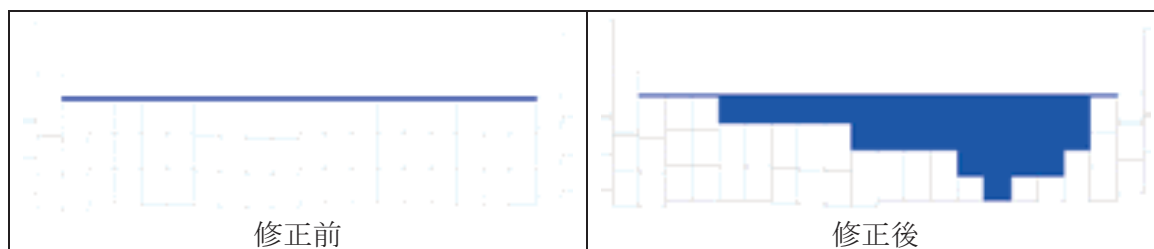


図 5.4: Zaway 地下水モデルの境界条件の修正(Shalla 湖)

インテレムレポートを作成した時点では、4つの主要湖沼Zaway、Abijata、LanganoとShalla湖の湖水位設定はUSNASAのDEMデータSRTMに基づいて行った。この湖水位設定には本来の河川水位との相違があるとC/PのTenalem教授からの指摘があり、「The Hydrogeological System of the Lake District Basin – Central Main Ethiopian Rift」に従い、定水頭境界の水位値修正を行った。修正した結果は表 5.3に示すとおりである。

表 5.3: 湖水位標高の修正結果

Lake	Level_1	Level_2
Ziway	1639	1636
Abijata	1577	1578
Langano	1586	1585
Shalla	1555	1550

また、インテレムレポートを作成した時点では、Ziway地下水モデルのキャリブレーションはGISデータベースの13本の井戸データを利用した。その後、EWTECから6本の観測井戸のデータを追加し、計19本の井戸データによりキャリブレーションを実施した。観測井戸の位置とキャリブレーションの結果は図 5.5に示す。

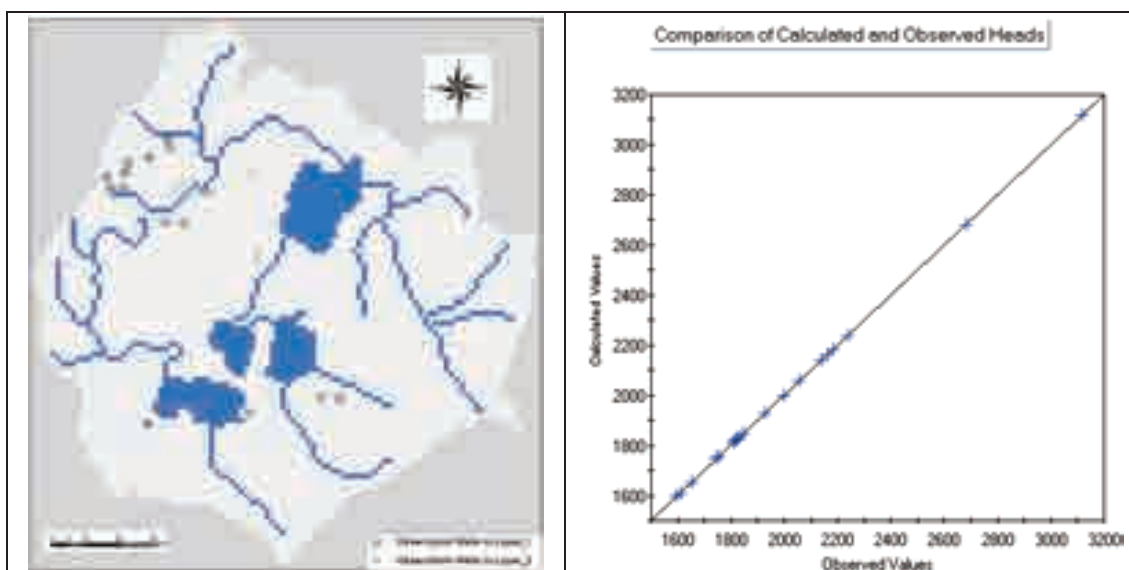


図 5.5: Ziway 地下水モデルの観測井位置と内挿検定結果

修正したZiway地下水モデルでの各層の水位分布を図 5.6から図 5.8に示した。

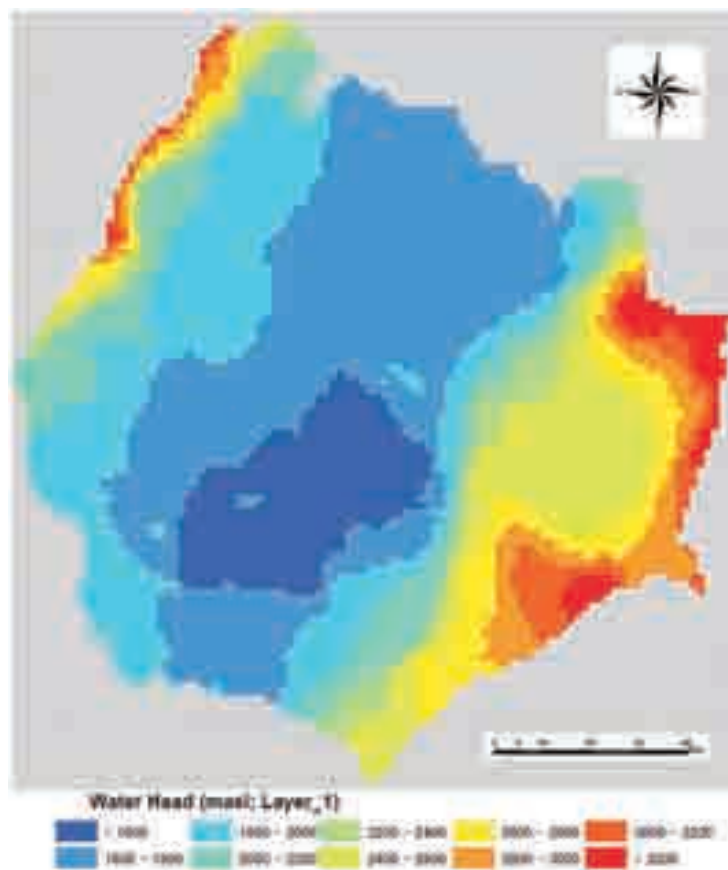


図 5.6: Ziway モデルの内挿検定結果(第 1 層:単位 m)

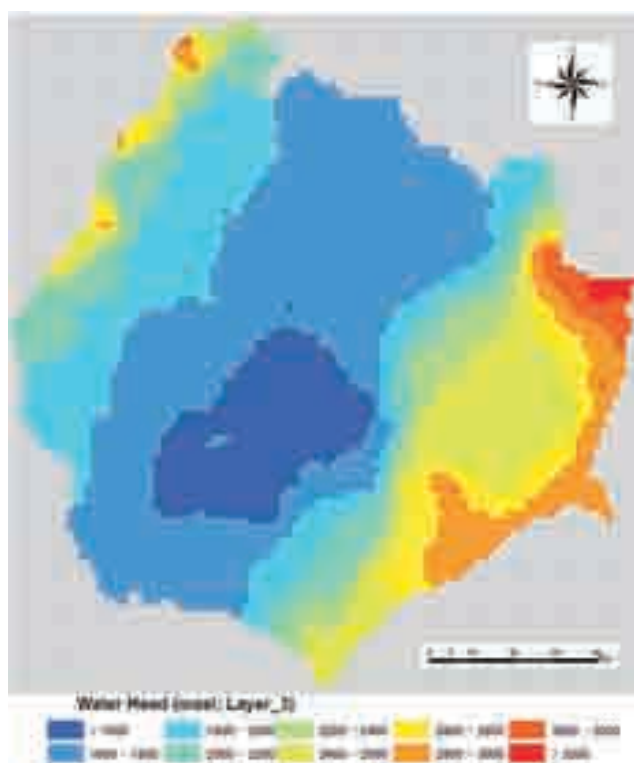


図 5.7: Ziway モデルの内挿検定結果(第 3 層:単位 m)

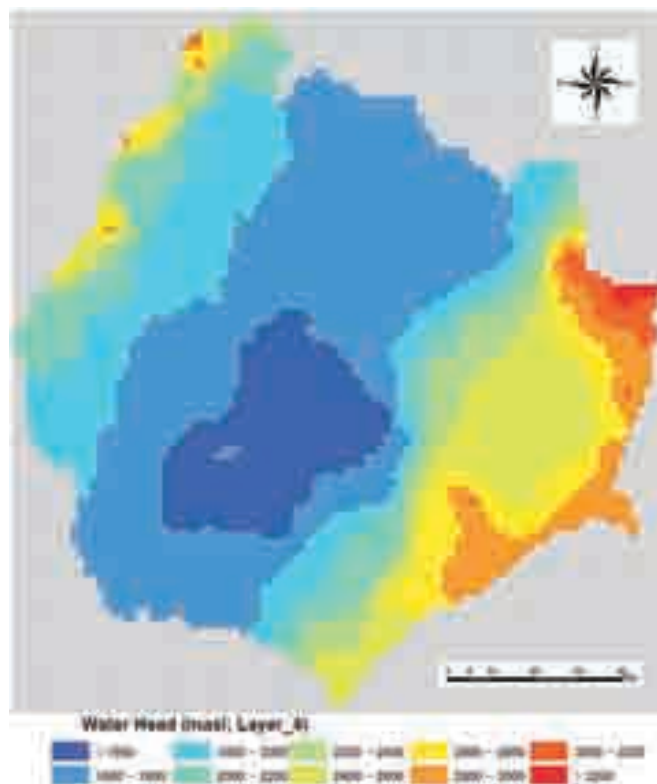


図 5.8: Ziway モデルの内挿検定結果(第 4 層:単位 m)

5.4 将来の予測シナリオ案の設定

地下水モデルを利用して新規建設予定の井戸の地下水環境への影響を予測するために 4 つのシナリオを設定した。

a. シナリオ1（基準シナリオ=現状維持案）

将来予測を実施する場合、新規井戸からの揚水量は年に伴い増加するように計画されたので、地下水モデルの設定時におこなった、定常流計算ではなく、非定常流計算を実施した。

新規井戸建設を計画する場合、地下水位の低下は避けられない。この地下水位低下量が許容範囲内に納められるかどうかについては十分な検討が必要である。地下水位の過剰低下が発生すると、各種の問題が生じる恐れが出てくる。例えば、揚水量不足、揚水コストが増大、地盤沈下等。従って、地下水予測の主要な目的は発生する地下水位低下量を明らかにすることである。一方、地下水低下量を算出する場合、基準水位を何にするか検討する必要がある。

自然状況下での地下水位変動を明らかにするために、シナリオ 1 は新規井戸を利用しないことを条件（現状維持）として作成した。このシナリオの中では降水量及び地下水涵養量の季節及び水文年の変動が含まれるので、各種水文条件の変動に対応できる。このシナリオで得られた地下水位変動量は新規井戸を利用する場合の地下水位低下量を算

出するための基準値となる。

b. シナリオ2からシナリオ4

調査地域内では、各種自然及び社会経済条件の相違により、新規井戸を利用して給水する場合の給水人口及び人口の増加率等が異なる。新規井戸を利用する計画目標年は新しいUAP2の計画で2015年までが給水計画の対象年となっており、その後は5カ年ごとの国家計画のスパンと給水ポンプ等の減価償却をほぼ10年間と考え、2015年+10年として2025年までの予測を行う設定とした。計画目標年までの人口の増加率は今までの社会経済分析の結果に基づき設定した（2011-2015：3.3%、2016-2020：2.8%、2021-2025：2.5%）。給水人口に基づいた給水量設定には不確定因子があるので、一つだけではなく、複数の給水計画案が考慮する必要がある。新規建設予定の74本井戸の揚水量計画は3つに考案され、図5.9に示している。計画目標年2025年までの日単位揚水量(m³/day)は次の通りである。

- シナリオ1（Plan1）：12,534（今後の小都市での汲み上げ量（日平均水量））
- シナリオ2（Plan2）：15,032（今後の小都市での汲み上げ量（日最大水量））
- シナリオ3（Plan3）：17,814（日最大水量で2016年~2025年までの給水原単位を25L/c/dに引き上げる）

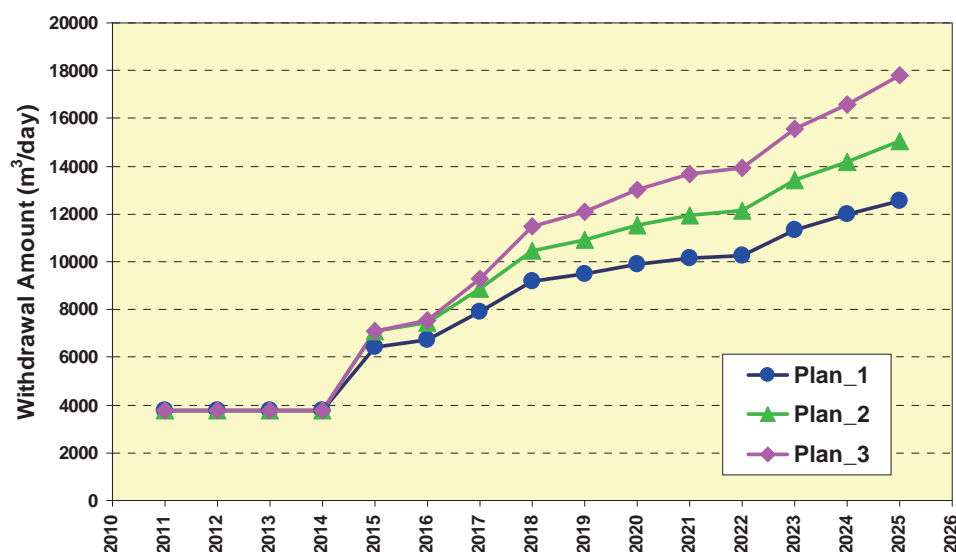


図 5.9: シナリオによる給水計画ごとの揚水量変化.

この3つの給水計画案に基づき、地下水モデルの将来予測のベースとした3つのシナリオを作成した。

5.5 給水計画案における井戸の分布

前述のようにリフトバレー地域では地下水シミュレーションを行うために、4つのモデルが作成された。地下水開発計画の中で計画された74本の井戸のうち62本がモデル地

域の中にあり、新規井戸数全体の 8 割以上占めている。各モデル内にある井戸の位置(対応する行と列)は新規井戸計画の座標によって決められ、各モデル内の層区分は新規井戸の予想したスクリーンの深さによって決められた。各モデル内で取り込まれた新規井戸の番号と対応する行列番号、座標、深さ、スクリーンの深さと対応する層区分は表 5.4 から表 5.7に示す。

表 5.4: Ziway 地下水モデル地域の計画井戸 (32 井戸)

Town_ID	Easting	Northing	Row	Col	Depth	Strainer	Layer
O-01	525789	898989	27	87	100	30-100	1
O-02	501151	888795	33	71	140	60-140	3
O-03	520879	888380	33	84	100	30-100	1
O-05	527753	858194	53	88	100	80-100	3
O-06	517142	857073	54	81	150	130-150	1
O-07	498043	831878	71	69	110	50-110	1
O-09	526870	818549	79	88	100	80-100	1
O-10	476343	782584	103	54	110	50-110	1
O-11	517670	886130	34	82	100	30-100	3
O-12	527151	889046	32	88	100	80-100	1
O-20	469693	886574	34	50	120	50-120	3
O-22	467669	869137	46	48	150	100-150	3
O-28	441606	852012	57	31	120	50-120	3
O-29	501766	867164	47	71	150	130-150	1
O-30	524802	840806	65	86	150	130-150	1
O-41	461770	793962	96	44	110	50-110	1
O-42	467482	789539	99	48	110	50-110	3
S-01	450564	919685	12	37	100	80-100	1
S-02	444689	912633	17	33	120	80-120	1
S-03	456768	932196	4	41	100	80-100	1
S-04	457353	928959	6	41	100	80-100	1
S-06	448175	885173	35	35	150	80-150	1
S-43	426149	887107	34	21	150	130-150	1
S-44	415670	875249	42	14	100	50-100	1
S-46	436358	868558	46	27	100	80-100	1
S-47	429240	848987	59	23	150	80-150	3
S-48	416683	861330	51	14	180	130-180	3
S-49	409074	836119	68	9	250	200-250	3
S-52	403219	855693	55	5	100	50-100	1
S-53	444381	898358	26	33	150	80-150	3
S-62	441600	875629	41	31	100	80-100	1
S-63	413574	885422	35	12	100	30-100	1

表 5.5: Bilate 地下水モデル地域の計画井戸（12 井戸）

Town_ID	Easting	Northing	Row	Col	Depth	Strainer	Layer
S-07	382047	830873	68	18	200	130-170	1
S-09	397071	839228	59	33	150	80-120	3
S-11	385587	844936	54	21	200	130-150	1
S-13	374202	811859	87	10	200	130-150	1
S-14	387502	796712	102	23	200	130-150	1
S-15	383977	812084	86	19	200	130-150	3
S-32	403721	766084	132	39	200	130-150	3
S-51	403911	823298	75	39	150	30-80	3
S-54	384570	820680	78	20	200	130-150	3
S-55	384678	793963	105	20	200	130-150	1
S-58	373639	776639	122	11	200	130-150	1
S-59	370680	762721	136	6	100	50-70	1

表 5.6: Abaya 湖東地下水モデル地域の計画井戸（12 井戸）

Town_ID	Easting	Northing	Row	Col	Depth	Strainer	Layer
O-32	419060	638333	130	69	100	80-100	1
S-16	438137	759326	9	89	70	50-70	1
S-17	427292	715624	53	78	100	80-100	1
S-18	432846	718356	50	83	100	80-100	1
S-19	453653	759991	9	104	70	50-70	1
S-21	445220	746447	22	96	100	80-100	1
S-22	426989	728189	40	77	150	100-150	1
S-27	411345	671729	97	62	100	80-100	1
S-28	416921	653784	115	67	100	80-100	1
S-38	377988	644892	124	28	100	80-100	1
S-56	405405	669769	99	56	100	80-100	3
S-57	418355	665767	103	69	100	80-100	1

表 5.7: Abaya 湖西地下水モデル地域の計画井戸（6 井戸）

Town_ID	Easting	Northing	Row	Clm	Depth	Strainer	Layer
S-30	364091	741131	24	16	70	50-70	1
S-34	363450	695658	64	38	100	80-100	3
S-35	342198	691040	78	22	100	80-100	1
S-36	344386	702079	68	18	100	80-100	1
S-37	342151	684810	84	25	100	80-100	1
S-60	350026	678098	86	35	110	80-120	3

5.6 非定常流解析での条件設定

5.6.1 必要パラメーター

比貯留量と比浸出量に関しては以下のように設定した。

- Specific Storage : 一律0.000001
- Specific Yield : 一律0.1

5.6.2 ピリオド設定

C/P のアディスアベバ大学の Tenalem 教授との協議の結果、1年に2periods（乾季(11月～3月)と雨季(4月～10月))にあわせ非定常流計算のピリオド設定をした。最後の2025年では年末の乾季が1つのperiodsとして加算されるため、2011年から2025年の15年間では合計ピリオド数は

$$\text{全体 Periods} = 15 \times 2 + 1 = 31 \text{Periods}$$

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

$$\text{全体 Steps} = 15 \times 12 = 180 \text{Steps}$$

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

$$\text{乾季での揚水量} / \text{年平均揚水量} = (12 - 0.9 \times 7) / 5 = 1.14$$

5.6.3 予測期間での涵養量設定

定常流方法でモデルのキャリブレーションを実施する場合、各モデル地域の平均降水量に基づき、涵養量を設定した。非定常流の方法を利用して予測を実施する場合、平均降水量に基づき計算すると、シミュレーションの精度が落ちるため将来予測は降水量の平均値を利用する方法ではなく、年度別の降水量変動に基づき涵養量を設定した。

今までの降水量変動は既存データから把握できるが、将来の降水量予測は今までの降水量のデータから給水計画目標年に合わせて連続15年間分の降水量データを抽出し、将来予測の涵養量設定の基礎とした。

a. 雨量観測所の選択基準

a.1 観測所の位置

各気象観測所において観測された降水量は地形等の因子によって大きく異なる。その降水量に基づいた地下水涵養量を過大あるいは過小に設定しないように、雨量観測所の

位置はできるだけモデルの中心部にあるものを選定した。

a.2 観測年

給水計画年は 2011 年から 2025 年の 15 年間であるため、雨量観測所からのデータは 15 年以上あることを選択の基準とした。

a.3 欠測値

15 年間以上観測記録のあるすべての観測所に、降水量の欠測が認められた。水文解析を実施する場合、補完法を利用、修正したが、補完した結果と真の結果との間に相違があるのは言うまでもないことである。より正確な降水量データを利用するために、欠測値の少ない時間系列が選択基準となる。

以上の 3 つの基準を元に選択された雨量観測所の名前と位置は図 5.10 に示す。

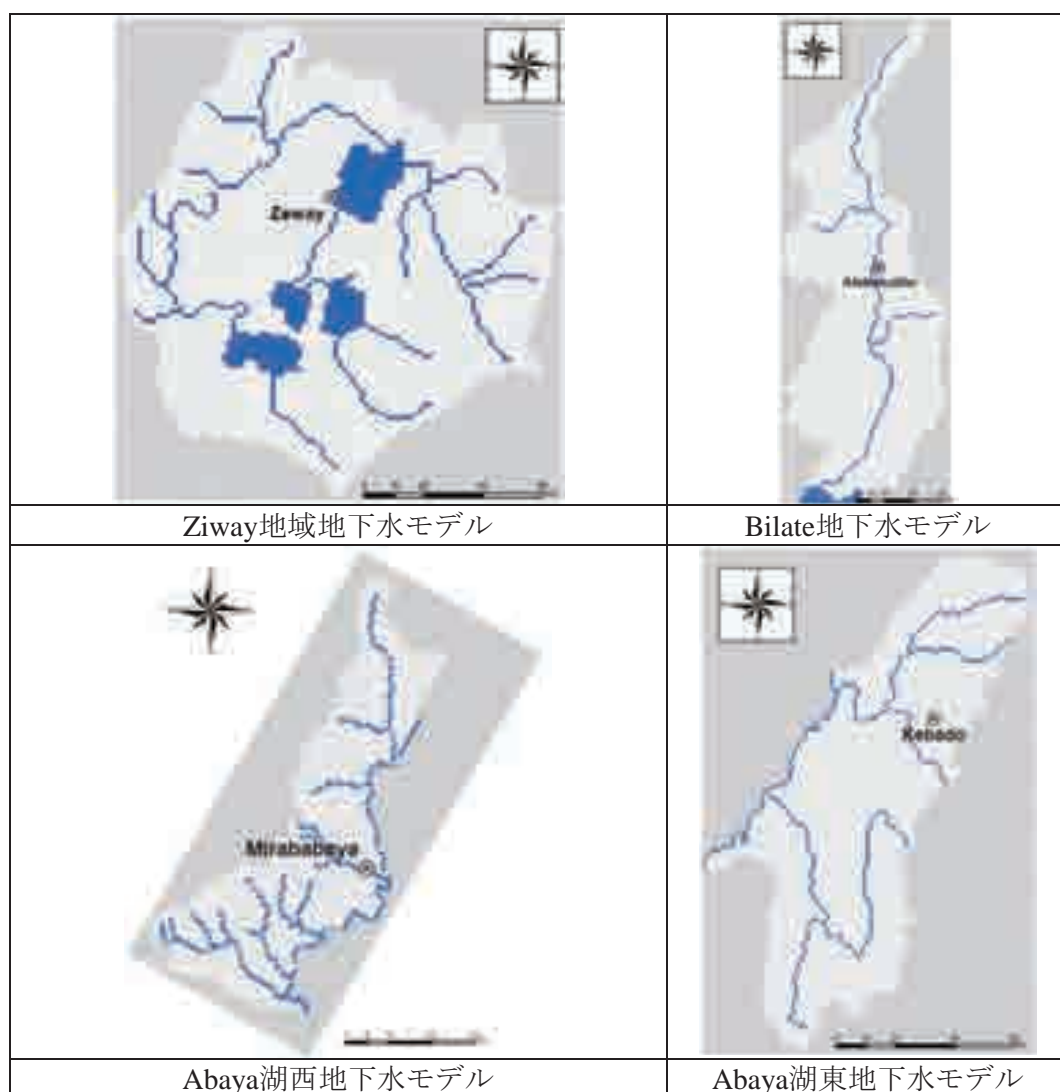


図 5.10: モデル内で選定された各雨量観測所の位置

b. 雨量観測利用期間の選択

水文解析の結果から調査地域では降雨量の循環周期は 10 年前後である。従って、15 年

間の計画年では一つの降雨周期を含んでいるおり問題がない。一方上述の 4 雨量観測所での観測期間はいずれも 15 年以上である。そこで、全観測期間内では連続観測期間内の欠測日数が少ないことを基準として観測結果を利用した。選出された結果は次の通りである。

b.1 Ziway地域地下水モデルにおける月平均降雨量の変移

Ziway(Zeway)気象観測所では 1982 年から 2010 年 29 年間の観測結果がある。その中 15 年間連測観測データの内欠測日の少ない期間は 1990 年～2004 年であった。この期間内での欠測日は 12 日間であり、2001 年の 5 日間と 2002 年の 7 日間であった。選択された 15 年期間内での乾季(11 月～3 月)と雨季(4 月～10 月)に分けた降雨量月平均値の変動は図 5.11 に示す。

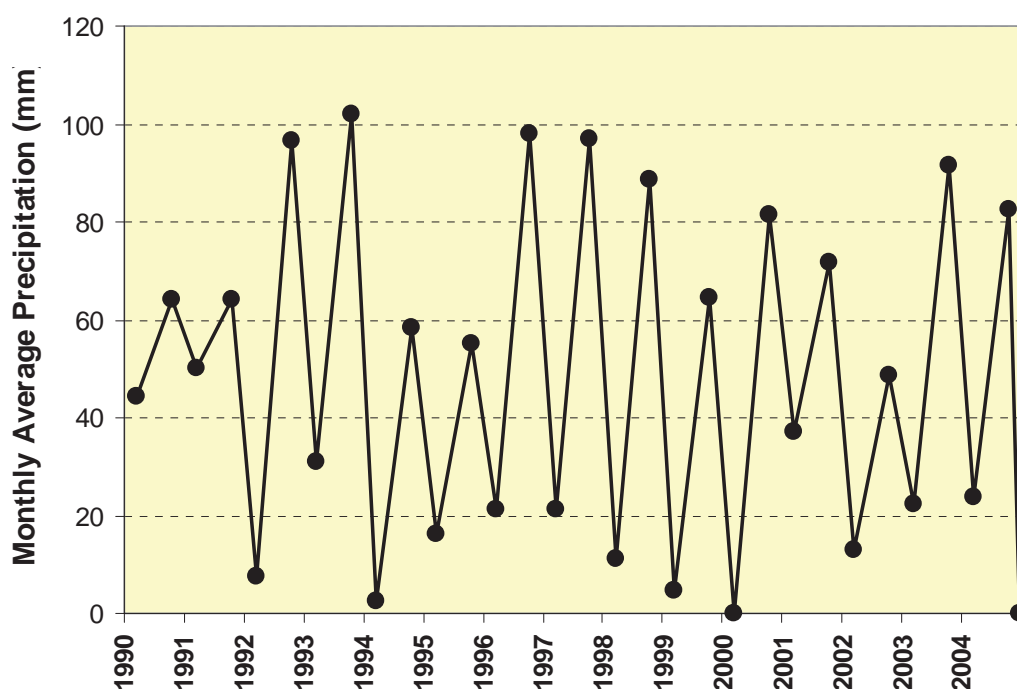


図 5.11: Ziway 観測所での月別平均降雨量

b.2 Bilate地下水モデルにおける月平均降雨量の変移

Bilate Model の予測期間における涵養量設定は、雨量観測所 Alaba Kulito での観測結果を利用した。当該観測所では 1989 年から 2010 年 22 年間の観測結果がある。その中 15 年間連測観測データの内欠測日の少ない期間は 1996 年～2010 年の間であった。欠測日は 2000 年の 1 日だけである。選択された 15 年期間内での乾季と雨季に分けた降雨量月平均値の変動は図 5.12 に示す。

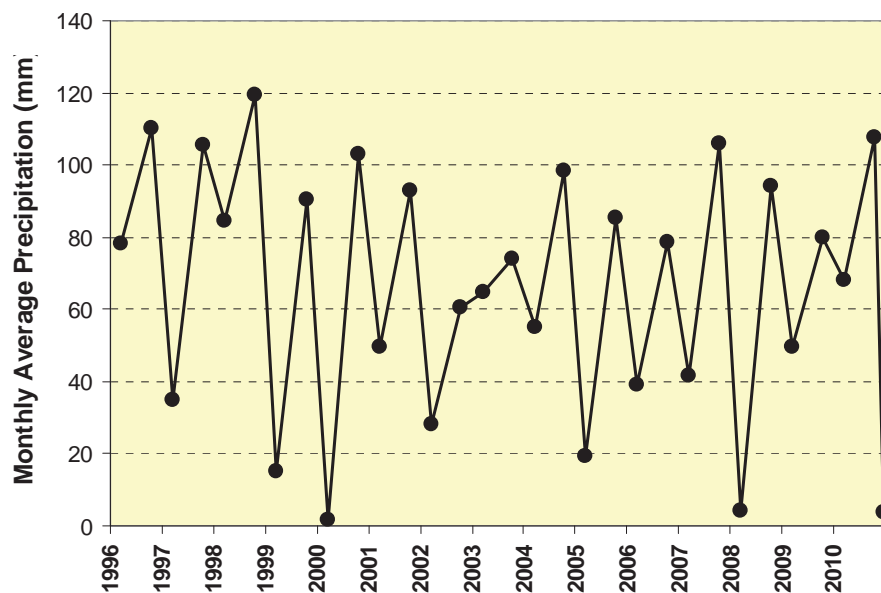


図 5.12: Alaba Kulito 観測所での月別平均降雨量

b.3 Abaya湖東地下水モデルにおける月平均降雨量の変移

Eastern Abaya Model の予測期間における涵養量設定は、雨量観測所 Kebado での観測結果を利用した。当該観測所では 1991 年から 2010 年 20 年間の観測結果がある。その中 15 年間連測観測データの欠測日の少ない期間は 1995 年～2009 年の間であった。全部の欠測日は 6 日間で、2001 年の 5 日間と 2008 年の 1 日間であった。選択された 15 年以内での乾季と雨季に分けた降雨量月平均値の変動は図 5.13 に示す。

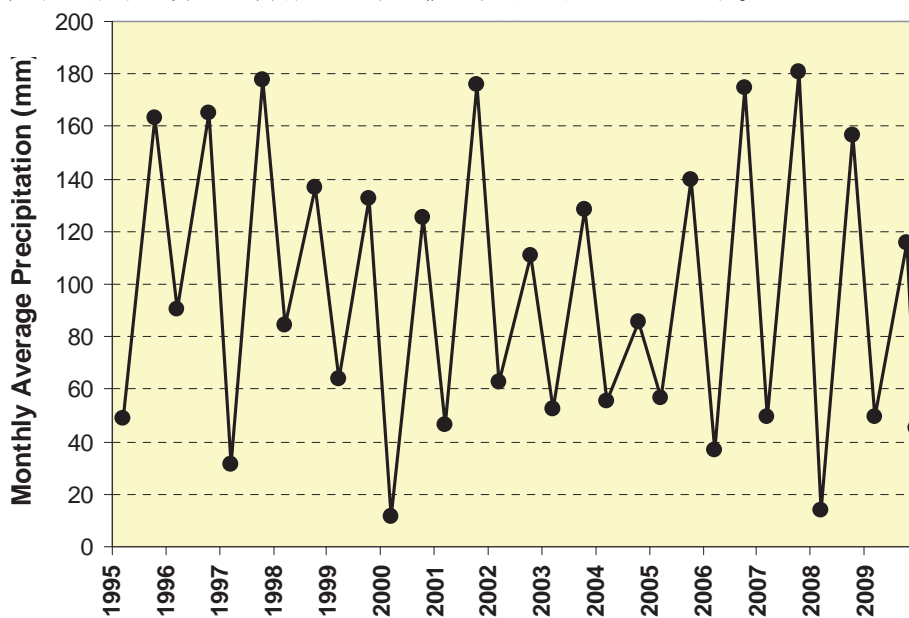


図 5.13: Kebado 観測所での月別平均降雨量

b.4 Abaya湖西地下水モデルにおける月平均降雨量の変移

Western Abaya Model の予測期間における涵養量設定は雨量観測所 Mirababaya での観

測結果を利用した。当該観測所では 1982 年から 2010 年 29 年間の観測結果がある。その
中 15 年間連続観測データの欠測日の少ない期間は 1995 年～2009 年の間であった。欠
測日は 2 日間であり、1998 年と 2001 年 1 日ずつであった。選択された 15 年以内での
乾季と雨季に分けた降雨量月平均値の変動は図 5.14 に示す。

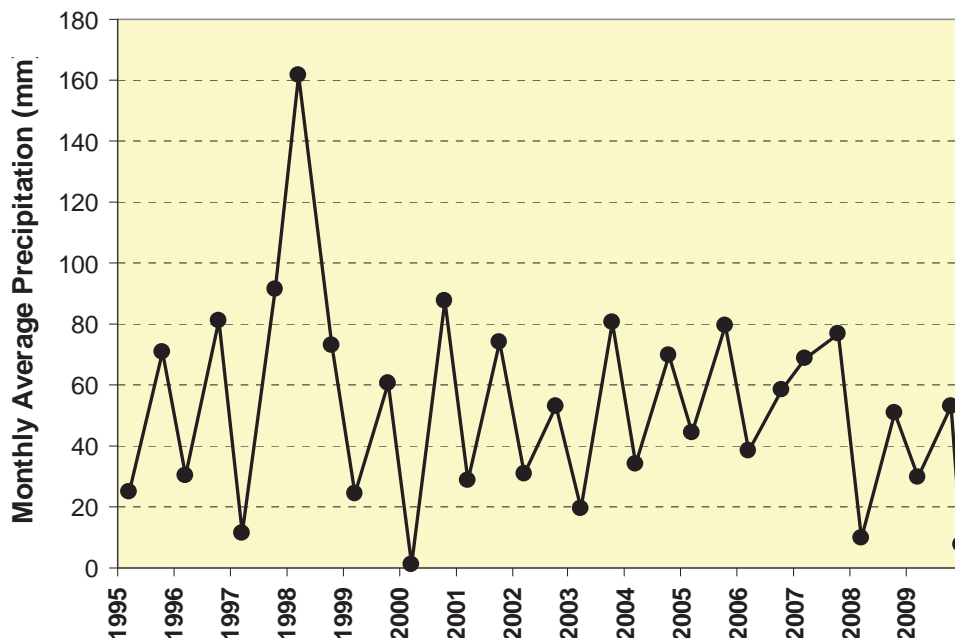


図 5.14: Mirababaya 観測所での月別平均降雨量

5.6.4 予測期間での境界条件設定

地下水位に影響を及ぼすのは涵養量と揚水量だけではなく、定水頭境界として設定さ
れた河川と湖の水位変動をも影響因子である。そのために、MODFLOW では
Time_Variant_Specific_Head というパッケージを利用する。一方、湖の水位変動に関して
は主要湖沼の水位変動観測結果から読み取れるが、河川内での水位変動観測結果はない。
このため河川水位変動の設定は次の通り行った。

a. 河川水位変動の設定

a.1 最高水位設定

最高水位は選出された降水量観測期間内で最も大きな降水量値が出現した雨季に設定
し、平均河川水位より 0.7m 高くした。その他 14 年間雨期での河川水位値の上昇量は当
該年の雨季降雨量と最大雨量年の割合に従って設定した。

a.2 最低水位設定

最低水位は選出された降水量観測期間内で最も少ない降水量値が出現した乾季に設定
し、平均河川水位より 0.5m 低くした。その他 14 年間乾期での河川水位値の低下量は当
該年の乾季降雨量と最小雨量年の割合に従って設定した。

湖の水位変動は各モデル内の主要湖沼の水位変動観測結果に従って設定した。

b. Ziway湖（Ziway地域地下水モデル）の水位変動の設定

Ziway Lake の水位観測記録は図 5.15に示したとおり、1974年から2008年まで35年間の観測結果がある。そのうち涵養量計算に利用された降水量観測期間1990年～2004年のデータを選択し、湖沼水位変動量設定のベースとした。当該期間内での最大、最小と平均湖水位はそれぞれ2.3、0.22と1.17mであった。この結果を利用し、表5.1に示した4つの湖の水位平均値を元に最大水位上昇1.13m、最大水位低下0.95mとした。各対応年の乾、雨季での水位値変動は湖沼水位値変動に比例して設定した。

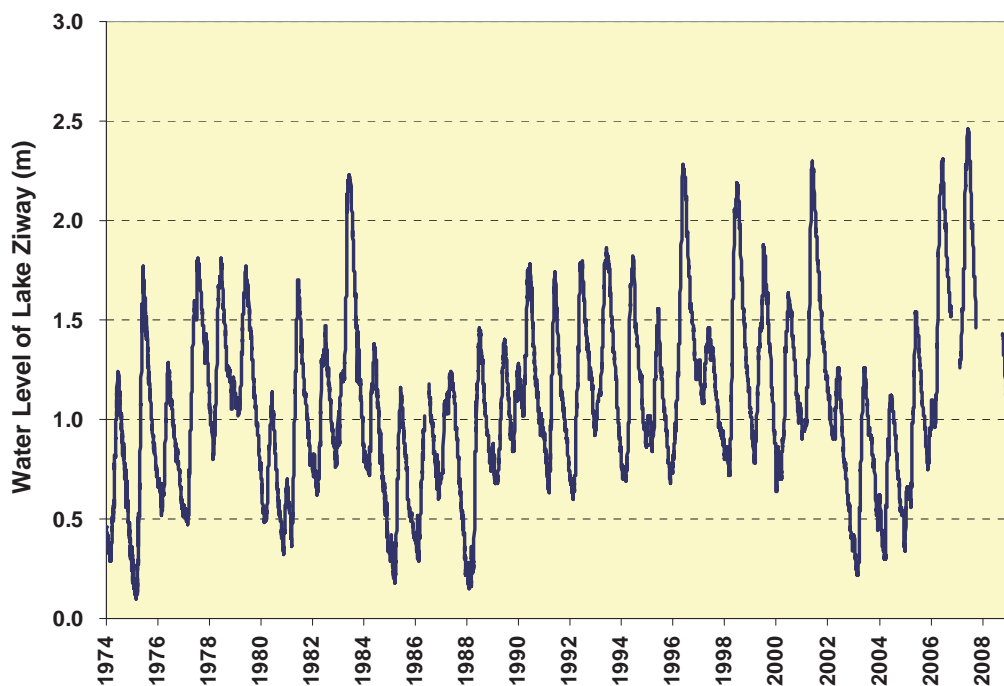


図 5.15: Ziway 湖の湖水位変動結果

c. Abaya湖（Bilate モデル、Abaya西、東地下水モデル）の水位変動の設定

3つのモデルに関連しているAbaya Lakeの水位観測記録は図 5.16に示したとおり、1969年から2009年まで41年間の観測結果がある。しかし、2009年の湖水水位観測結果は3月までである。この湖水水位観測系列は関連する各モデルで利用された降水量観測期間に完全に一致することはできない。従って次の通り湖水水位変動の設定を行った。

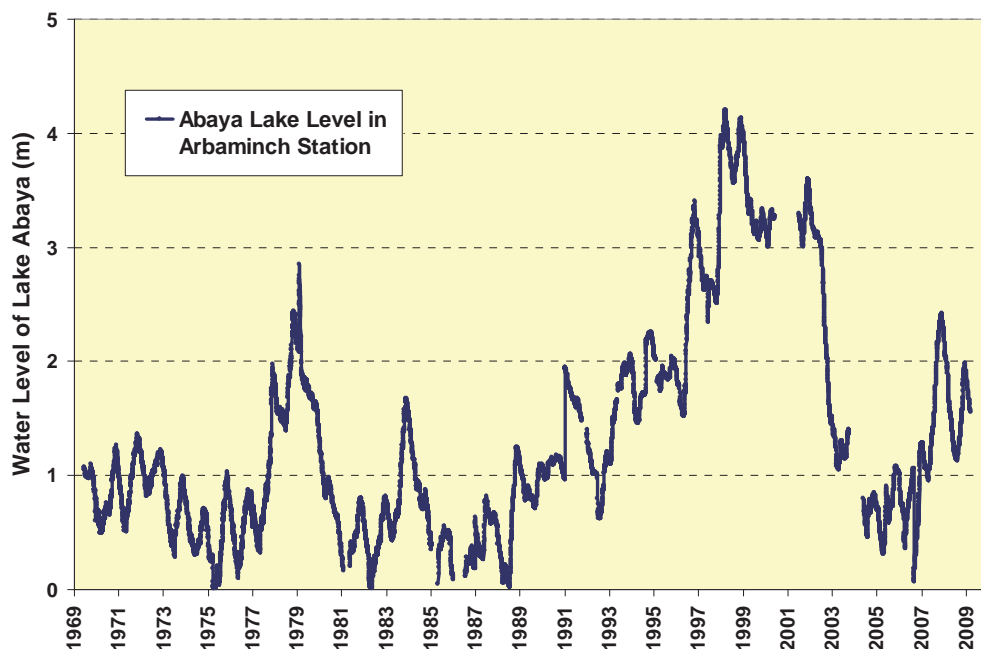


図 5.16: Abaya 湖の湖水位変動結果

c.1 利用するデータ系列の選択

観測データの比較的完全で、モデルに利用した雨量観測期間とできるだけあう系列として1994年3月から2009年3月まで15年間の湖水位変動観測結果を利用することにした。

c.2 最大値、最小値と平均値の算出

選択された湖水位観測期間内での湖水位最大値、最小値及び平均値は次の通りである。

最大値：4.2m

最小値：0.07m

平均値：2.09m

各モデルで利用された降雨量データの観測期間に対応している湖水位観測期間内での湖水位変動は平均水位から最大 2.11m 上昇、最小 2.02m 低下するように設定した。各年及び各季節での湖水位変動は湖水位の観測結果を元に設定した。

c.3 欠測期間の補完

2009年4月から2009年12月まで(Eastern Abaya モデルと Western Abaya モデルに対応)と2009年4月から2010年12月までの湖水位変動量は各モデルでの降水量変動量に比例して設定した。

5.7 将来予測結果

上述したパラメーターやパッケージの設定に基づき、4つのシナリオをそれぞれのモデル内に取り込み、地下水位変動量の計算を実施した。4つのモデルに入れられた62本の新規井戸での地下水位変動量のデータはデータブックにまとめた。

5.7.1 Ziway地域地下水モデルにおける地下水低下量

4つの地下水モデルの中、Ziwayモデルのドメインが最も大きく、井戸の数も32本で、最も多い。すべての32本井戸を利用する場合の地下水位低下量は表5.8に示す。

表 5.8: Ziway 地域地下水モデルでの地下水位低下量

Well_Code	N_Min	N_Max	P_Min	P_Max	Down_Max
O_01	2145.7	2146.6	2145.7	2146.6	0.04
O_02	1699.0	1699.8	1699.0	1699.8	0.01
O_03	2241.6	2242.6	2241.3	2242.4	0.46
O_05	2652.3	2653.4	2652.3	2653.4	0.02
O_06	2499.3	2500.3	2498.7	2500.1	0.77
O_07	2708.9	2709.8	2708.1	2709.5	0.99
O_09	2962.1	2963.2	2961.8	2963.2	0.32
O_10	2597.2	2598.3	2594.2	2597.7	3.41
O_11	2156.0	2157.2	2156.0	2157.2	0.01
O_12	2389.3	2390.2	2388.7	2390.1	0.67
O_20	1641.4	1642.9	1641.0	1642.8	0.50
O_22	1629.6	1630.4	1626.8	1629.5	3.00
O-28	1625.6	1626.3	1625.6	1626.2	0.04
O-29	2138.6	2139.7	2138.5	2139.7	0.11
O-30	2483.7	2484.8	2483.5	2484.8	0.25
O-41	2090.1	2091.1	2090.0	2091.1	0.14
O-42	2397.8	2398.9	2397.7	2398.9	0.05
S_01	2001.7	2002.7	2001.6	2002.6	0.18
S_02	1902.3	1903.0	1902.2	1903.0	0.06
S_03	2273.0	2273.8	2272.8	2273.8	0.27
S_04	2194.7	2195.6	2194.5	2195.5	0.20
S_06	1802.9	1803.7	1802.3	1803.5	0.59
S_43	2099.5	2100.2	2099.3	2100.2	0.14
S_44	2170.9	2172.0	2170.9	2171.9	0.03
S_46	1833.8	1834.5	1833.0	1834.4	0.85
S_47	1728.7	1729.4	1728.6	1729.4	0.04
S_48	1945.0	1945.9	1944.8	1945.9	0.16
S_49	1875.7	1876.8	1875.7	1876.8	0.02
S_52	2011.6	2012.5	2011.5	2012.4	0.02
S_53	1838.7	1839.7	1838.7	1839.7	0.03
S_62	1844.8	1845.5	1844.1	1845.5	0.84
S_63	2879.1	2880.2	2878.9	2880.2	0.34

N_Min : Minimum value of water level in scenario_1 (No new wells)

N_Max : Maximum value of water level in scenario_1 (No new wells)

P_Min : Minimum value of water level in scenario_4 (Plan_3 with largest withdrawal)

P_Max : Maximum value of water level in scenario_4 (Plan_3 with largest withdrawal)

Down_Max: Maximum water level drawdown by comparing water levels between scenario 1 and 4.

Ziway 地域地下水モデルにある 32 本の新規井戸の地点では、井戸建設前の地下水位は単なる地下水涵養量の変動に従い、0.69m~1.47m の間に変動する。新規井戸の建設・利用して揚水量の増加に伴い、井戸建設前と比べて地下水位の低下が生じるが、井戸の建設地点により、生じた水位低下量は大きく異なる。基準シナリオ(シナリオ 1)の水位と比較すると、計画されたシナリオ 4 の水位低下量は平均で 0.53m であり、最大、最小水位低下量はそれぞれ 3.41m と 0.01m である。

図 5.17は計算に利用した 4 つのシナリオでの水位変動結果を合わせて示している。最大計画揚水量のシナリオ 4 は当然のことではあるが、他 2 つの揚水シナリオと比較して、地下水位低下量が大きくなっている。地下水位の変動は地下水涵養量の設定に伴い、一義的に低下することではなく、下がっている傾向の中で豊水年(2018,2022 等)では上昇する。

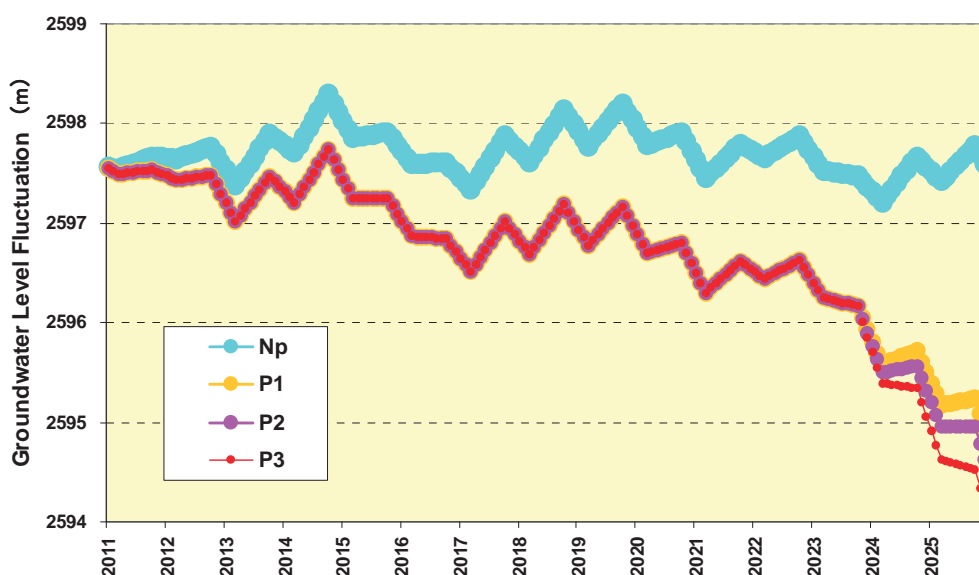


図 5.17: 計画井戸 O_10 の地下水位変動 (Ziway 地域地下水モデル)

目標年に到達するまでの3年間 2023-2025 年では地下水位低下が著しくなるように見える。それは涵養量設定ベースである降水量の変動パターンと比較すると説明できる。計画年 2023 年に対応する降雨量設定年(2002 年、図 5.11参照)の雨季平均降水量が最も小さくて、渇水年である。その次の計画年 2024 年は平水年で、最後の計画年 2025 年(図 5.11 の 2004 年に対応)乾季降水量はゼロであり、地下水涵養量はない。ちなみに、井戸建設予定地点での最大水位低下量は表 5.8に示したとおり、3.41m である。

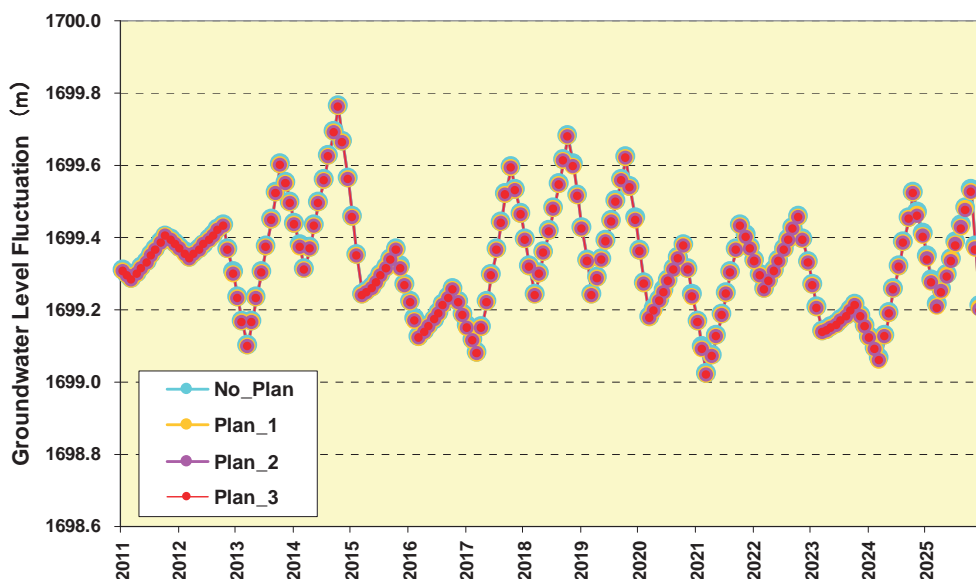


図 5.18: 計画井戸 O_02 の地下水位変動 (Ziway 地域地下水モデル)

図 5.18は Ziway モデルにある地下水位低下量の最も小さい井戸(番号 O_02)での水位変動を示す。シナリオ_1 での地下水位変動量は 0.741m であり、他 3 つのシナリオでの地下水位変動はともに 0.743m である。シナリオ_1 と比較して地下水位低下量はわずか 0.01m である。揚水を実施したが地下水位低下は殆ど生じない原因は次の図を用いて説明ができる。

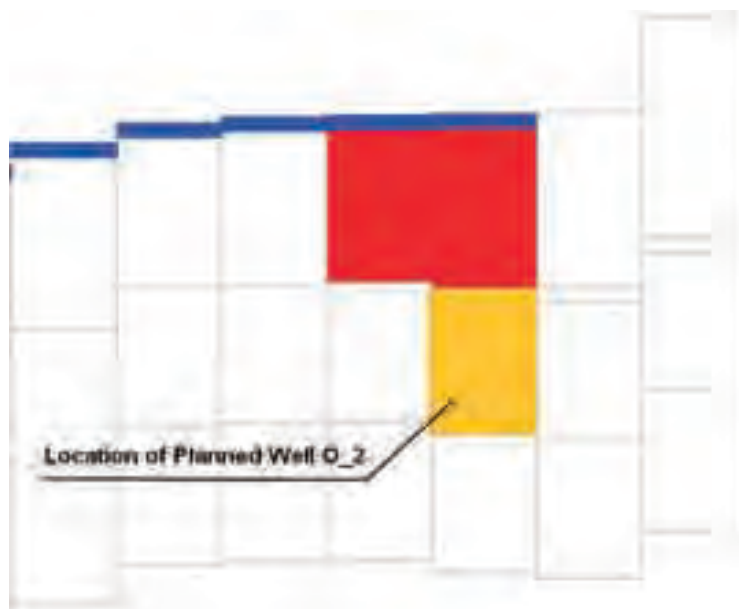


図 5.19: 計画井戸 O_02 の位置 (Ziway 地域地下水モデル)

図 5.19に示したとおり、新規建設予定の井戸（番号：O_02）は定水頭境界として設定された河川セルの直下にある。井戸所在位置の地下水位は河川水位の影響を強く受けていると考えられる。従って、計画目標年の 2025 年まで地下水揚水量は 250m³/day と設定されたにもかかわらず、シナリオ 1 と比較すれば水位低下はわずかである。

図 5.20は Ziway モデルに取り込んだ 32 本計画井戸の位置と計画目標年(2025 年 12 月 31 日)まで、モデルの第 1 層での地下水位低下量及びその影響範囲を示す。井戸から遠く離れた地域では井戸揚水からの影響はない。井戸番号 O_02 等の井戸は井戸所在グリッドでの地下水位低下量が小さいだけでなく、隣合わせのグリッドへの影響も無視できるほど小さい。モデルのグリッドサイズは 1.5km なので、井戸揚水による影響範囲は井戸から 750m 以内に限定されていると考えられる。一方、井戸 O_10 での最大水位低下量は 3.43m で、その他 O_01、O_12 等の井戸では井戸所在グリッドでの水位低下が相対的に大きいし、井戸周辺グリッドへの影響もはっきりしている。すなわち、井戸揚水による水位低下量は 1m 以内であるが、数キロまでの周辺地域まで及ぶ可能性があると考えられる。

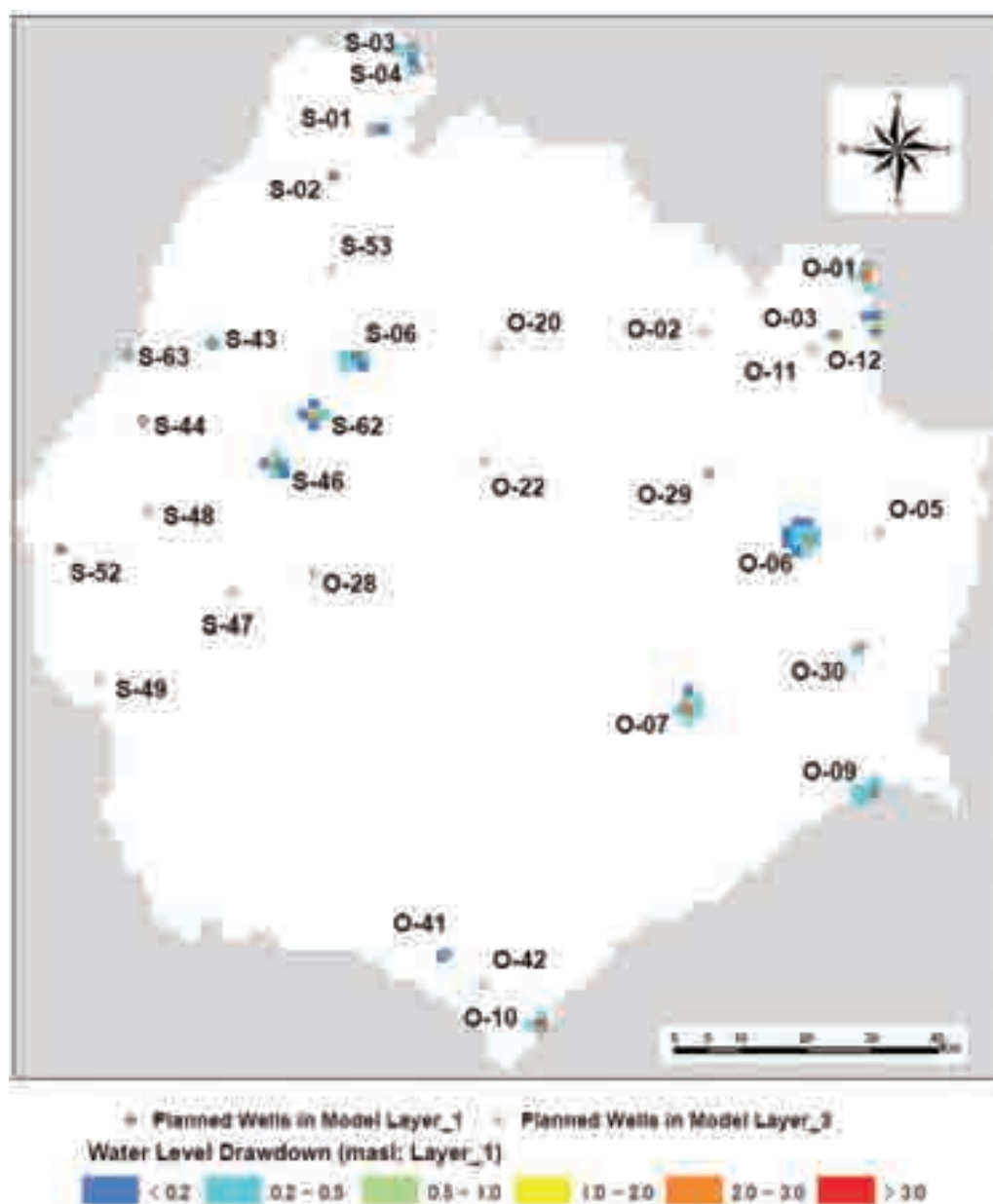


図 5.20: 計画井戸位置と地下水位低下予測(第 1 層)(Ziway 地域地下水モデル:単位 m)

計画された井戸の層分けは、計画井戸スクリーンの深さによって決められ、第 1 層に限らず、第 3 層に設定された井戸もある。図 5.21は第 3 層での地下水位低下量の分布を示す。当該層では最大地下水位低下量は井戸 O_22 が設置したグリットにあり、5.56m である。この程度の地下水位低下量は注意する必要があるが、許容範囲内にあると考えられる。ちなみに、井戸 O_22 の位置はグリットの中心から離れているので、井戸所在グリットの水位低下量 5.56m に対して、井戸座標地点での地下水位低下量は 3.0m である。

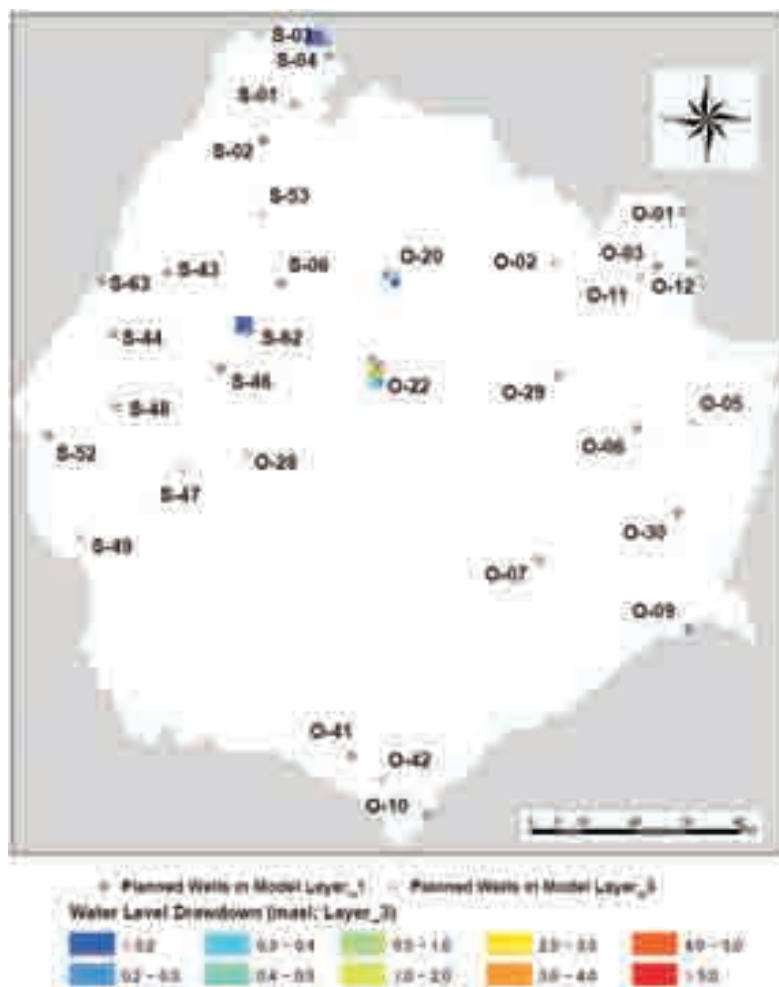


図 5.21: 計画井戸位置と地下水位低下予測(第 3 層)(Ziway 地域地下水モデル:単位 m)

5.7.2 Bilate 地下水モデルにおける地下水低下量

Bilate モデルに利用された井戸の数は 12 本である。全部 12 本井戸を利用する場合の地下水位低下量は表 5.9に示している。

表 5.9: Bilate 地下水モデルでの地下水位低下量

Well_Code	N_Min	N_Max	P_Min	P_Max	Down_Max
S_07	2002.0	2002.8	2001.5	2002.6	0.65
S_09	1945.8	1946.7	1945.8	1946.7	0.02
S_11	2221.4	2222.2	2219.3	2221.8	2.34

Well_Code	N_Min	N_Max	P_Min	P_Max	Down_Max
S_13	2059.5	2060.3	2057.7	2059.8	1.89
S_14	1855.0	1855.6	1852.6	1855.5	2.47
S_15	1950.7	1951.4	1948.6	1951.0	2.14
S_32	1476.2	1477.1	1476.2	1477.1	0.01
S_51	1843.9	1844.7	1843.9	1844.7	0.02
S_54	1894.7	1895.5	1894.6	1895.5	0.05
S_55	1688.6	1689.3	1686.2	1689.3	2.51
S_58	1500.8	1501.4	1500.4	1501.4	0.39
S_59	1440.9	1441.6	1439.9	1441.6	1.06

N_Min : Minimum value of water level in scenario_1 (No new wells)

N_Max : Maximum value of water level in scenario_1 (No new wells)

P_Min : Minimum value of water level in scenario_4 (Plan_3 with largest withdrawal)

P_Max : Maximum value of water level in scenario_4 (Plan_3 with largest withdrawal)

Down_Max: Maximum water level drawdown by comparing water levels between scenario 1 and 4.

Ziway モデルと同様、新規井戸建設を実施しなければ、地下水位変動は地下水涵養量の変動に従うものであり、12 本新規建設予定の井戸地点では最大、最小と平均地下水位変動量はそれぞれ 0.94m、0.60m と 0.77m である。新規井戸の建設と利用によって地下水位の変動量が大きくなり、最大、最小と平均値はそれぞれ 3.1m、0.81m と 1.72m となる。

12 本計画井戸の中、シナリオ 4 とシナリオ 1 と比較する場合、最大地下水位低下量は井戸 S_55 の地点で見られ、2.51m である。それに対して、最小地下水位低下量は井戸 S_32 で現れ、Ziway モデルと同様 0.01m である。計画目標年の 2025 年まで、この 2 本井戸地点で地下水位変動予測結果は図 5.22 と図 5.23 に示す。

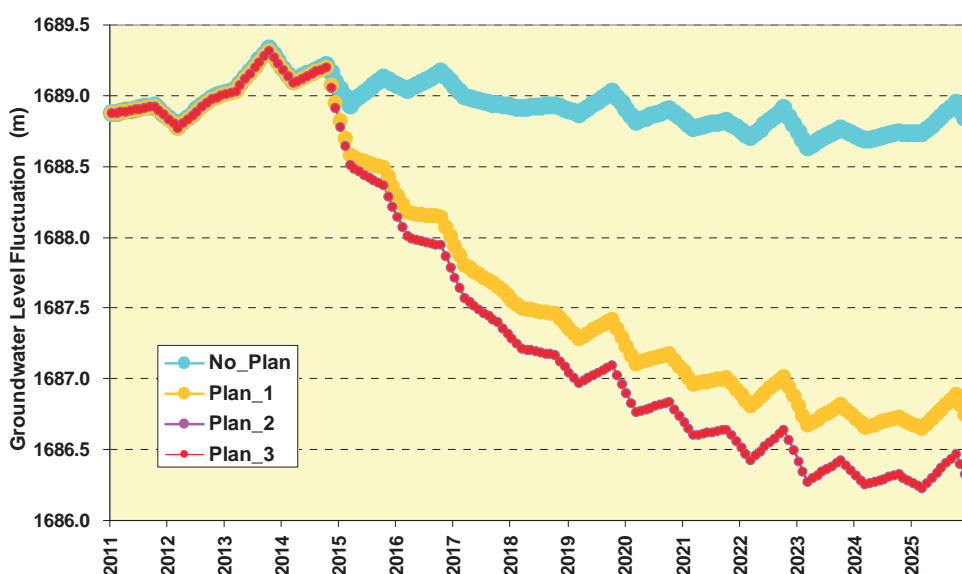


図 5.22: 計画井戸 S_55 の地下水位変動 (Bilate 地下水モデル)

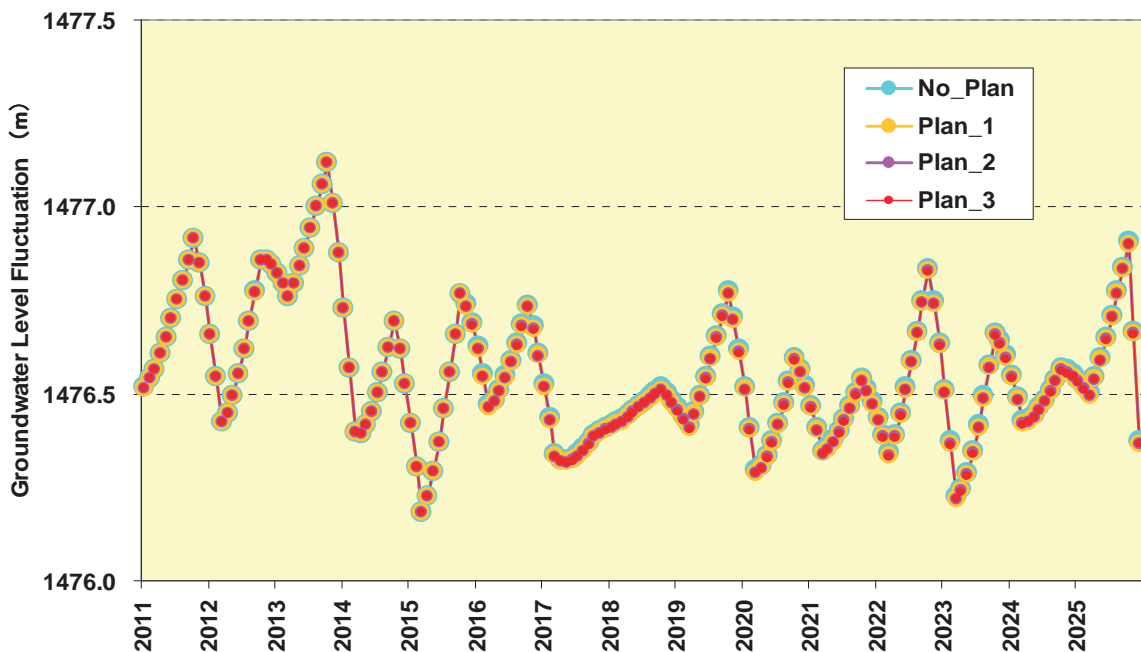


図 5.23: 計画井戸 S_32 の地下水位変動 (Bilate 地下水モデル)

Ziway モデルと同様、新規井戸は井戸建設計画のスクリーンの深さに従って、モデル内の第1層と第3層に分けられている。そして、井戸座標地点での水位変動だけではなく、井戸が設置したグリッドでの水位低下量をも検討する必要がある。計画目標年の2025年まで、Bilate モデル内第1層と第3層において、新規井戸の揚水による地下水位低下量とその影響範囲は図 5.24と図 5.25に示す。

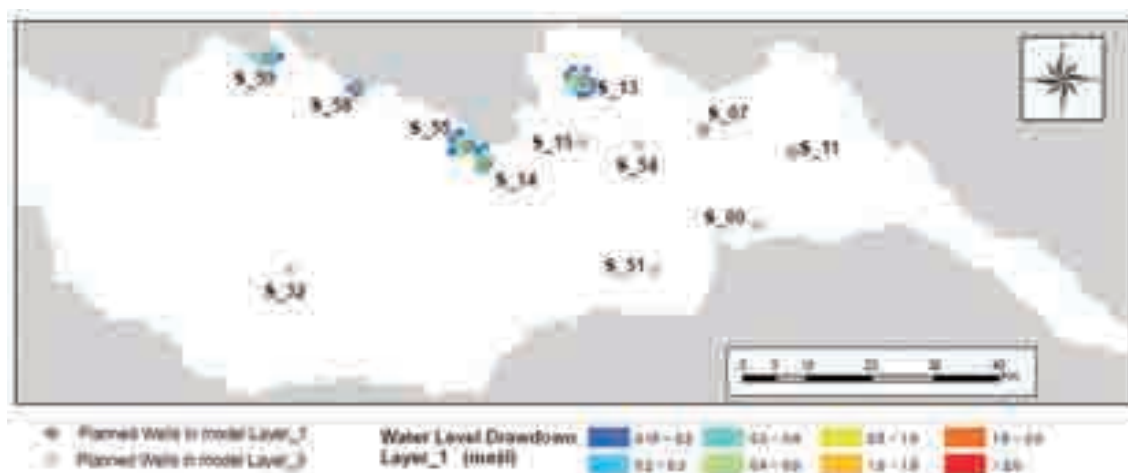


図 5.24: 計画井戸位置と地下水位低下予測(第1層)(Bilate 地下水モデル:単位 m)

図 5.24はBilateモデルに取り込んだ12本計画井戸の位置と計画目標年まで、モデルの第1層での地下水位低下量及びその影響範囲を示す。最大水位低下量は井戸S_55が入れたグリッドで見られ、2.51mである。

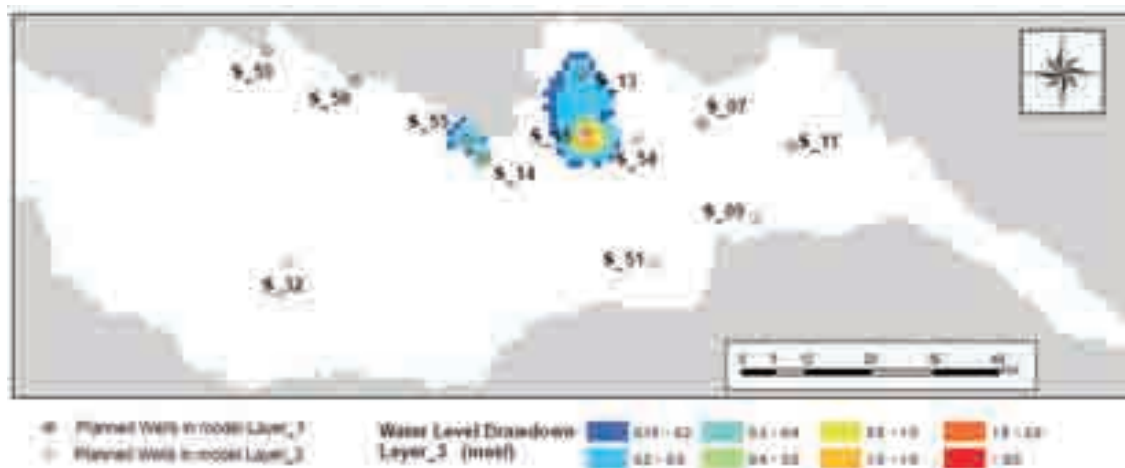


図 5.25: 計画井戸位置と地下水位低下予測(第3層)(Bilate 地下水モデル:単位 m)

図 5.25は Bilate モデルに第3層での地下水位低下量及びその影響範囲を示す。最大水位低下量は井戸 S_15 が入れたグリッドで現れ、2.12m である。この値は表 5.7に示した同井戸の最大水位低下量 2.14m よりも小さい。当該井戸での最大水位低下量は 2024 年乾季終了時(2005 年 4 月)に現れている。図 5.12と対照して見ると計画年の 2025 年の前年度 2024 年に対応している降水量設定年(2009 年)は渇水年であり、地下水涵養の主要季節である雨季の降水量は 15 年間雨期降水量の平均値より遥かに小さい。平年より涵養量が少ないので、最大地下水位低下量が生じたと考えられる。

また、地下水を利用する場合、地質水文地質条件によって、帯水層の間に影響を及ぼすこともある。Ziway モデルでは第3層にある井戸の水位変動は第1層の河川水位によってコントロールされたのはその一例ではある。図 5.25に示したように、第1層に設定された井戸(S_55、S_14 等)の揚水により、第3層の水位低下も生じることがある。

5.7.3 Abaya湖東地下水モデルにおける地下水低下量

Abaya 湖東モデルに使用された井戸は 12 本である。12 本の井戸を利用する場合の地下水位低下量は表 5.10に示している。

表 5.10: Abaya 湖東地下水モデルでの地下水位低下量

Well_Code	N_Min	N_Max	P_Min	P_Max	Down_Max
O_32	2150.0	2150.5	2147.0	2150.0	3.26
S_16	1813.0	1813.4	1812.6	1813.3	0.43
S_17	1781.1	1781.5	1778.1	1781.3	3.15
S_18	1837.4	1837.8	1837.3	1837.8	0.20
S_19	2280.7	2281.2	2280.2	2281.1	0.53
S_21	1920.2	1920.7	1919.4	1920.7	1.01
S_22	1805.1	1805.5	1802.6	1805.1	2.64
S_27	2133.7	2134.2	2130.6	2134.0	3.28
S_28	2247.6	2248.1	2247.4	2248.1	0.38

Well_Code	N_Min	N_Max	P_Min	P_Max	Down_Max
S_38	1643.3	1643.6	1641.0	1643.3	2.44
S_56	1732.0	1733.2	1732.0	1733.2	0.02
S_57	2383.1	2383.7	2380.4	2383.5	2.96

N_Min : Minimum value of water level in scenario_1 (No new wells)

N_Max : Maximum value of water level in scenario_1 (No new wells)

P_Min : Minimum value of water level in scenario_4 (Plan_3 with largest withdrawal)

P_Max : Maximum value of water level in scenario_4 (Plan_3 with largest withdrawal)

Down_Max: Maximum water level drawdown by comparing water levels between scenario 1 and 4.

新規井戸建設を実施しなければ、地下水位変動は地下水涵養量の変動に従うものであり、12本新規建設予定の井戸地点では最大、最小と平均地下水位変動量はそれぞれ1.19m、0.38mと0.57mであった。新規井戸の建設と利用によって地下水位の変動量が大きくなり、最大、最小と平均値はそれぞれ3.35m、0.53mと1.91mとなる。

12本計画井戸の中、シナリオ4とシナリオ1と比較すると、最大地下水位低下量は井戸S_27の地点で現れ、3.28mである。それに対して、最小地下水位低下量は井戸S_56で現れ、0.02mである。計画目標年の2025年まで、この2本井戸地点で地下水位変動の様子は図5.26と図5.27に示す。

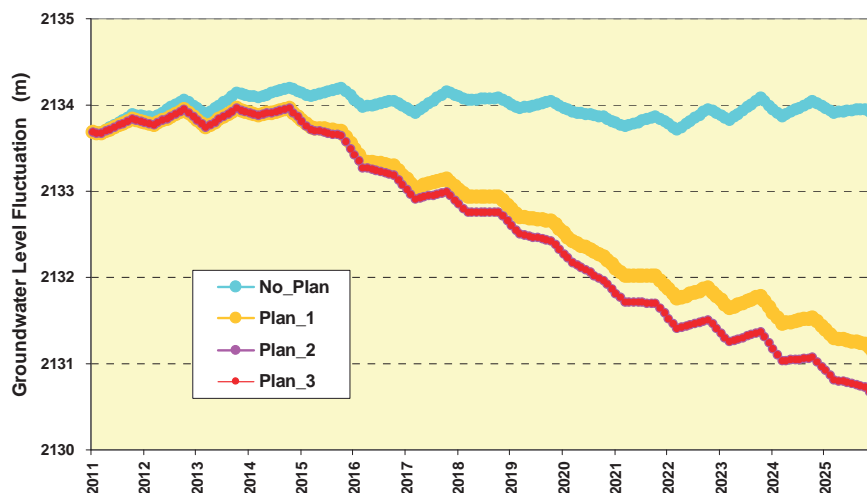


図 5.26: 計画井戸 S_27 の地下水位変動 (Abaya 湖東地下水モデル)

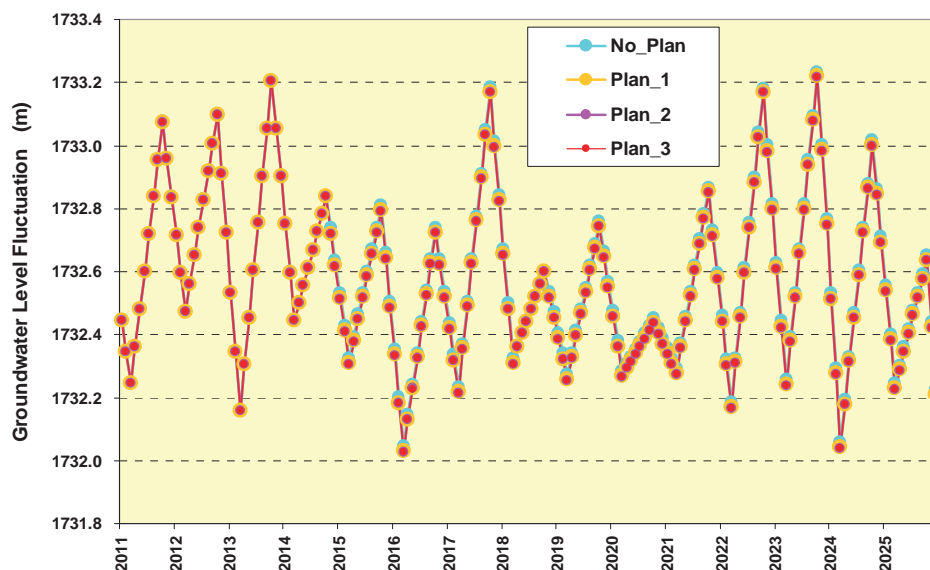


図 5.27: 計画井戸 S_56 のの地下水位変動 (Abaya 湖東地下水モデル)

井戸が設置したグリットでの水位低下量を検討する必要があるので、計画目標年の2025年まで Eastern Abaya モデル内第1層と第3層において、新規井戸の揚水による地下水位低下量とその影響範囲は図 5.28と図 5.29にまとめた。

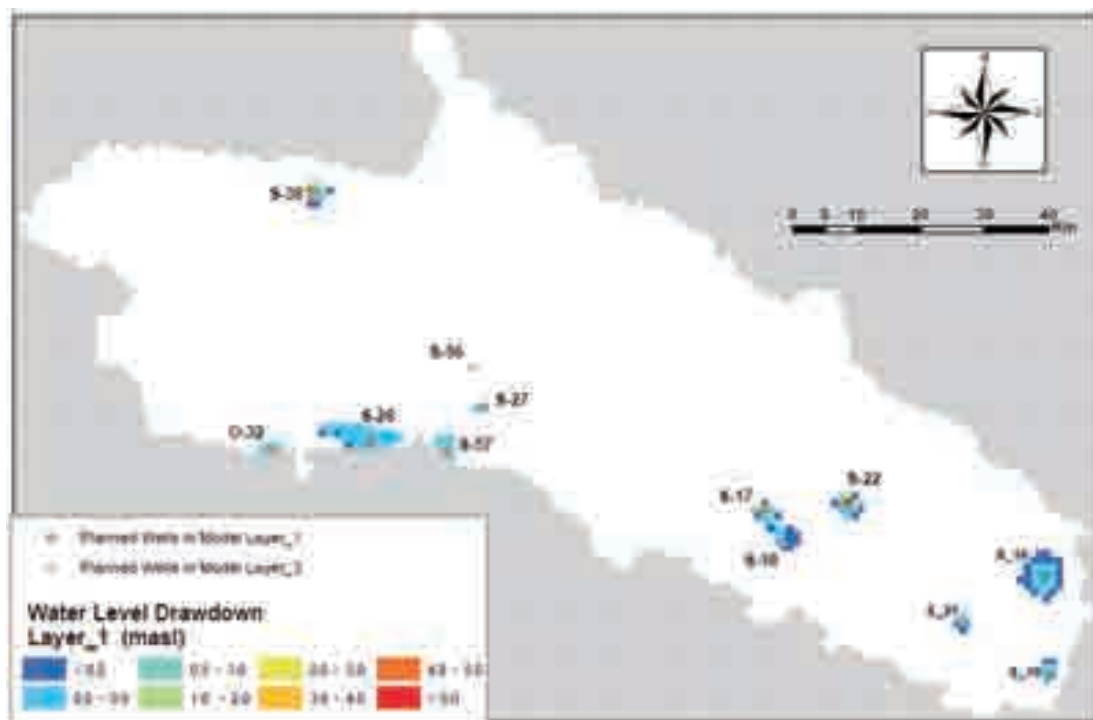


図 5.28: 計画井戸位置と地下水位低下予測(第1層) (Abaya 湖東地下水モデル: 単位 m)

表 5.8に示した井戸座標位置で測った最大水位低下量は3.28mであり、井戸 S_27 の地点で観測された。しかし、グリット中心点での水位低下を集計した結果によれば、最大

水位低下は 5.59m であり、井戸 S_22 番のグリッドで現れている。それに対して、S_22 番井戸の座標位置での最大水位低下量は 2.64m であった。この原因については図 5.29から説明できる。

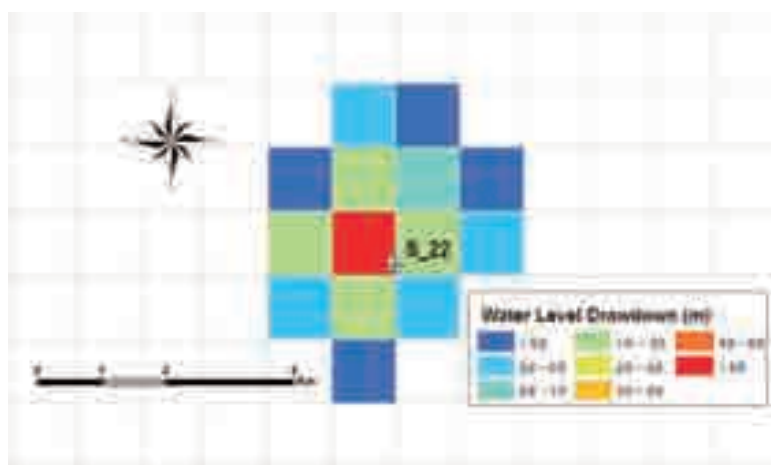


図 5.29: 計画井戸 S_22 周辺の地下水低下状況 (Abaya 湖東地下水モデル)

図 5.29に示したように、井戸計画座標情報に従って井戸位置はグリッドの中心点から大きく離れている。揚水量を井戸の所在地ではなく、井戸所在グリッドの中心点に設定しているModflowの計算方法によって、井戸所在地とグリッド中心点の水位差には大きな差が生じたわけである。

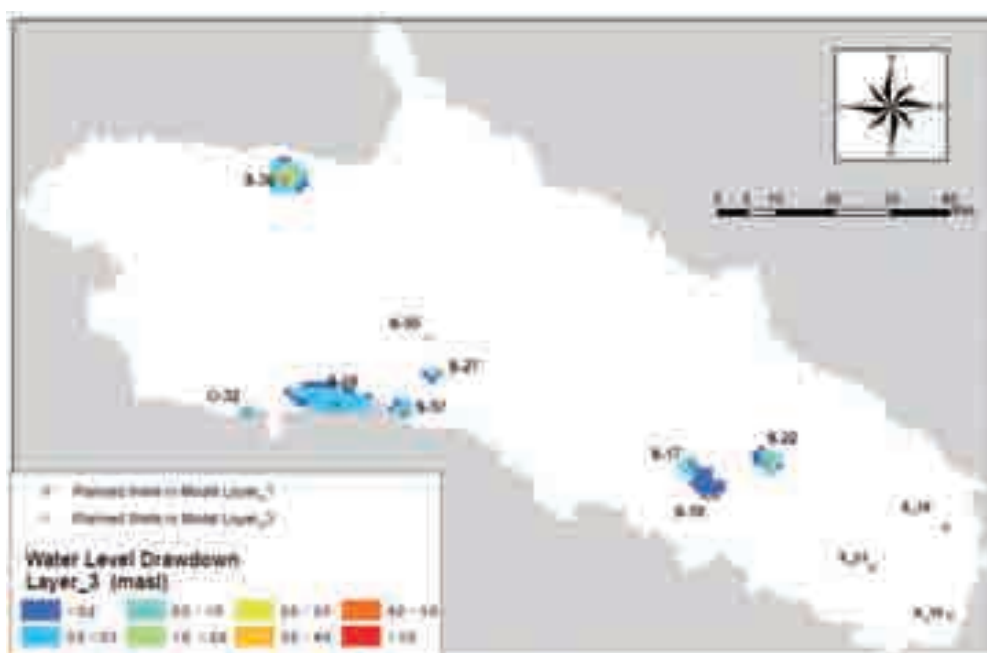


図 5.30: 計画井戸位置と地下水位低下予測(第 3 層) (Abaya 湖東地下水モデル: 単位 m)

図 5.30は計画目標年の 2025 年まで、Eastern Abaya モデルに新設した揚水井戸が最大計画揚水量 (シナリオ_4) で利用する場合、モデル第 3 層での地下水位低下量を示す。最大水位低下量は井戸 S_38 のグリッドで現れ、3.29m である。

5.7.4 Abaya湖西地下水モデルにおける地下水低下量

Western Abaya モデルに利用した井戸の数は6本である。6本の井戸を利用する場合の地下水位低下量は表 5.11に示している。

表 5.11: Abaya 湖西地下水モデルでの地下水位低下量

Well_Code	N_Min	N_Max	P_Min	P_Max	Down_Max
S_30	1516.3	1516.9	1514.3	1516.6	2.38
S_34	1234.1	1234.7	1234.1	1234.7	0.02
S_35	2595.1	2595.9	2594.2	2595.7	1.26
S_36	2799.3	2800.9	2798.8	2800.6	1.76
S_37	2333.8	2334.6	2333.6	2334.5	0.62
S_60	1216.2	1216.8	1216.1	1216.8	0.07

N_Min : Minimum value of water level in scenario_1 (No new wells)

N_Max : Maximum value of water level in scenario_1 (No new wells)

P_Min : Minimum value of water level in scenario_4 (Plan_3 with largest withdrawal)

P_Max : Maximum value of water level in scenario_4 (Plan_3 with largest withdrawal)

Down_Max: Maximum water level drawdown by comparing water levels between scenario 1 and 4.

新規井戸建設を実施しなければ、地下水位変動は地下水涵養量の変動に従うものであり、6本新規建設予定の井戸地点では最大、最小と平均地下水位変動量はそれぞれ1.11m、0.60mと0.79mであった。新規井戸の建設と利用によって地下水位の変動量が大きくなり、最大、最小と平均値はそれぞれ2.25m、1.32mと0.62mとなる。

6本計画井戸の中、シナリオ4とシナリオ1と比較する場合、最大地下水位低下量は井戸 S_30 の地点で現れ、2.38m である。それに対して、最小地下水位低下量は井戸 S_34 で現れ、0.02m である。計画目標年の2025年まで、この2本井戸地点で地下水位変動の様子は図 5.31と図 5.32に示す。

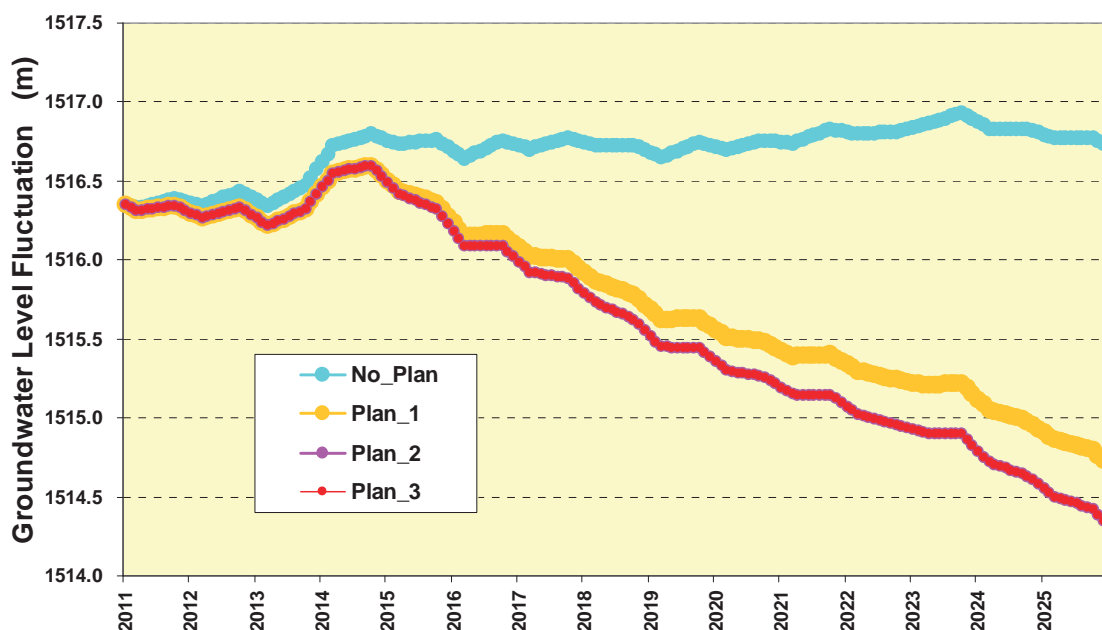


図 5.31: 計画井戸 S_30 の地下水位変動 (Abaya 湖西地下水モデル)

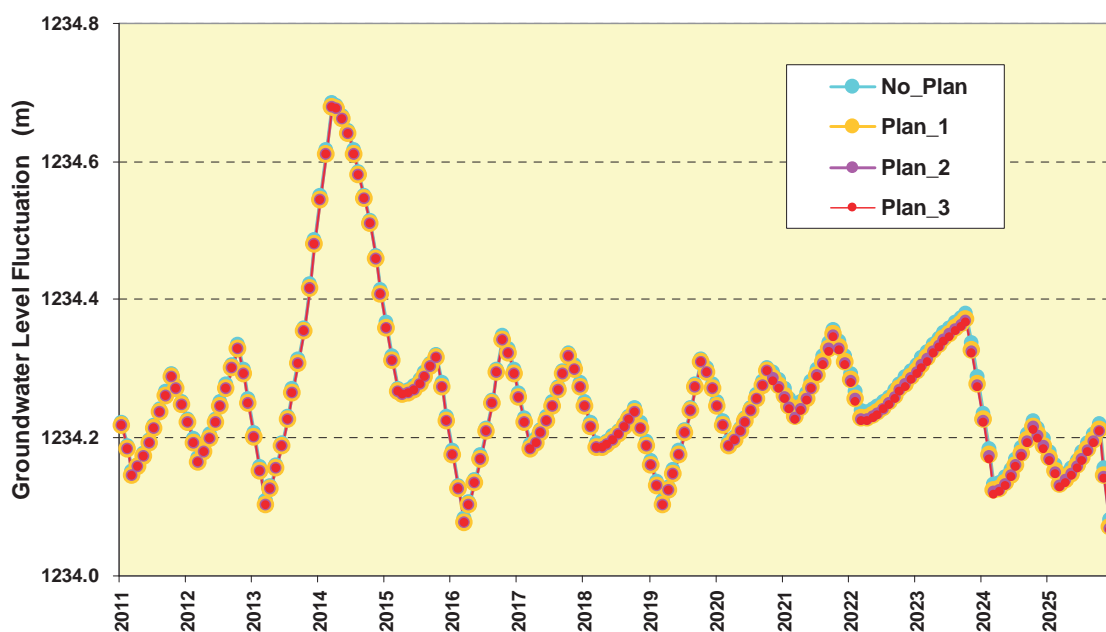


図 5.32: 計画井戸 S_34 の地下水位変動 (Abaya 湖西地下水モデル)

計画目標年の 2025 年まで Western Abaya モデル内第 1 層と第 3 層において、新規井戸の揚水による地下水位低下量とその影響範囲は図 5.33 と図 5.34 に示す。

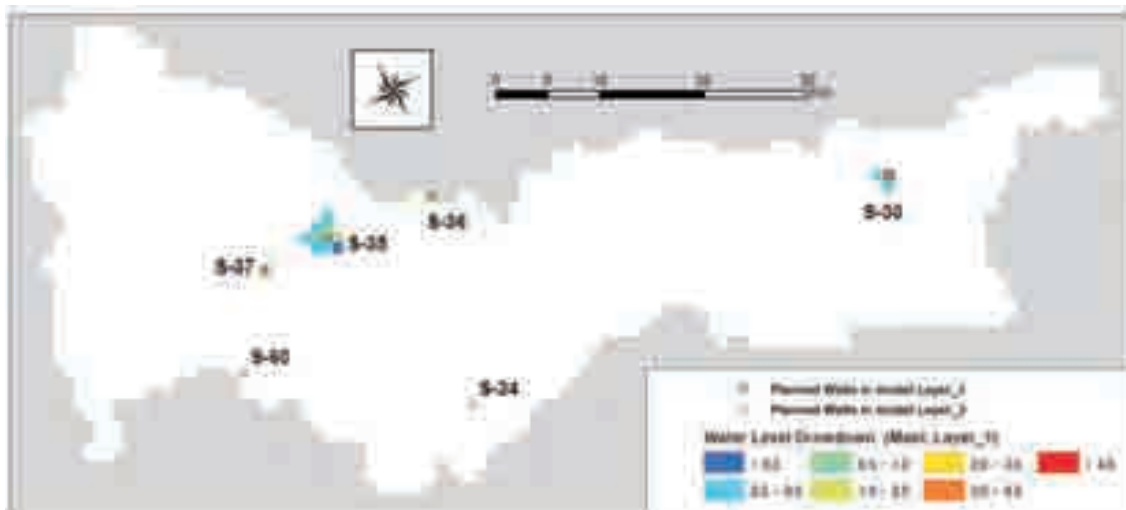


図 5.33: 計画井戸位置と地下水位低下予測(第1層)(Abaya 湖西地下水モデル:単位 m)

Western Abayaモデルにある6本の計画井戸のはいったグリッドでは、井戸番号S_30がのグリッドで最大水位低下量が現れ、4.5mである。この値は、井戸座標位置で測った地下水位低下量2.38mより約2倍である。その原因はEastern Abayaモデルにある井戸S_22と同じ、井戸の座標位置がグリッドの中心から遠く離れているからである。

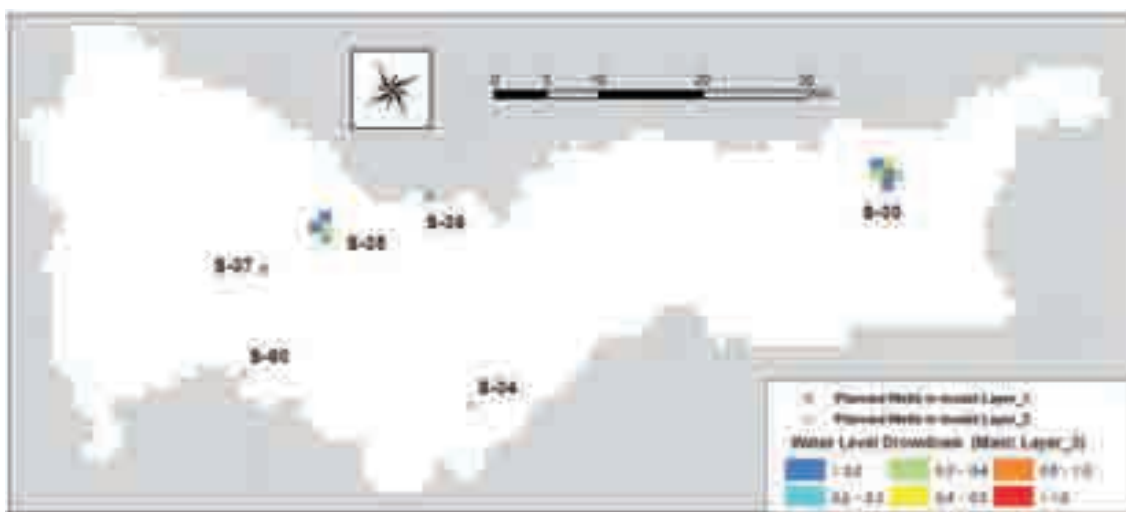


図 5.34: 計画井戸位置と地下水位低下予測(第3層)(Abaya 湖西地下水モデル:単位 m)

Western Abaya モデル第3層地下水位低下量の最大値も井戸 S_30 の入れたグリッドで現れ、1.71mである。

5.8 予測による井戸の評価

4つのモデル地域に計画された62本の井戸の地下水環境への影響を検討した。井戸の影響を評価するために利用した降水量データは15年間であるため、少なくとも15年確率の渇水年の影響が調べられたと考えられる。特に、図5.11～図5.14に示したように、4つのモデルでの降水量系列では揚水量の大きい計画目標年に近い年で渇水年が現れたので、リスクの大きい条件下での地下水位変動量の評価となったと考えられる。

井戸評価の結果としては、計画目標年(2025年)までの15年間において、井戸座標位置での地下水位変動は井戸の新設を実施しない場合（現状維持、基準シナリオ1）、最大値：1.47m、最小値：0.38m、平均値：0.82mである。それに対して、新設井戸を利用し、最大計画揚水量で取水した場合の地下水変動量は最大値：3.58m、最小値：0.53m、平均値：1.48mとなった。最大計画揚水量シナリオ4と井戸の新設を考慮しない基準シナリオ1と比較すれば、地下水位低下量は、最大値：3.41m、最小値：0.01m、平均値：0.95mである。上記の値で井戸の座標位置ではなく、井戸が設定されたグリッド中心部での地下水位低下量は、最大値：5.59m、最小値：0.01mおよび平均値：1.32mである。

いままでの結果から豊水年や平水年の地下水涵養条件だけではなく、15年確率の渇水年で最大計画揚水量(シナリオ4)の揚水を行う場合でも、地下水低下量だけでなく地域が限定的であることから地下水環境に対して揚水の影響は少ないといえる。

第6章

技術移転ワークショップ

6 技術移転ワークショップ

6.1 概要

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

6.2 ワークショップの実施

技術移転ワークショップは以下の5つの分野について実施した。主な実施状況は以下の表 6.1 のようである。

表 6.1: 各分野の実施状況

分野	開催日	参加人数	主たる参加者
電磁探査	2010年12月23日、24日	14名+4名 (日本人)	GSE、MoWE、AAU、EWTEC、民間コンサルタント会社(1社)
火山地質	2011年1月26日、27日	10名+4名 (日本人)	MoWE、EWTEC、GSE、AAU、オロミア州、南部諸民族州水資源局
GIS/データベース	2011年5月23日、24日	14名+2名 (日本人)	MoWE、AAU、GSE、民間コンサルタント会社(2社)
同位体/水質	2011年5月23日	25名+3名 (日本人)	MoWE、AAU、GSE、民間コンサルタント会社(2社)
地下水モデル	2011年5月25日	13名+3名 (日本人)	MoWE、AAU、GSE、民間コンサルタント会社(1社)

6.2.1 主な目的と技術移転内容

a. 電磁探査

TEM法電磁探査ワークショップの主な目的は、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。

初日は主に講義を行い、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、参加者は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。

b. 火山地質

今回の地質調査結果をエチオピア国側 C/P と共有し、かつ火山地質学的な意義を確認するため火山地質ワークショップを実施した。ワークショップの主な内容と場所等は次の表 6.2 のようである。主に調査地に連続する溶結凝灰岩の分布と特徴、対比等について現場で C/P 間、あるいは調査団側と突っ込んだ議論が行われた（図 6.1 参照）。

表 6.2: 火山地質ワークショップ内容とスケジュール

場所名	位置	巡検内容
1 日目		
Koshe (Ziway 西方)	8°00'55.3"N 38°31'32.8"E	溶結凝灰岩(Koshe highly welded tuff)の産状、岩相
Gademotta (Ziway 西方)	7°56'50.5"N 38°38'58.9"E	Gademotta カルデラを構成する火山岩類と溶岩、火山体の堆積物の分布と形成
Adele (Langano 湖南方)	7°25'49.2"N 38°40'37.5"E	溶結凝灰岩(Kuyera highly welded tuff)の産状、岩相および溶結構造の確認
2 日目		
Mt.Chebi 山麓 (Shashemene 西方)	7°10'52.5"N 38°28'56.5"E	降下軽石層とそれを覆う黒曜岩溶岩の産状
Bura (Shashemene-Sodo 道路)	7°14'52.1"N 38°30'55.5"E	玄武岩質スコリア円頂丘の地質断面構造および降下軽石層
Langano 湖畔	7°35'32.5"N 38°41'27.5"E	軽石質凝灰岩 (Langano poorly welded pumiceous pyroclastics)の産状、岩相



図 6.1: 現場での露頭観察

c. GIS/データベース

本調査で実施した GIS/データベースの作業内容と解析結果を材料にして調査結果を知ってもらおうと同時に GIS の基礎を学ぶことを目的にワークショップを実施した。ワーク

ワークショップはPCを各自に用意し次のような内容について演習を中心に行った。

ケーススタディ1: 調査エリア位置図の作成：主にはArcMapを用いた操作と打ち出し、ArcGISの構成についての説明

ケーススタディ2: 現場調査用図面の作成：DEM (Digital Elevation Model)とASTER/DEM (Digital Elevation Model)データについての説明、等高線の作成、位置情報の付与、試掘サイトのプロット、SHPデータへの属性追加、主題図作成、SHPファイルへの出力と座標データ変換 (WGS <> UTM) 、そして投影及び座標情報について

ケーススタディ3: 基本的解析手法について：断面図作成、DEMを活用した集水域・流域界作成、水文モデルツールを活用した集水域・流域界作成の過程、集水域の面積計測そして地理情報の種類についての説明

ケーススタディ4: 紙地図からGISデータへの変換(デジタイズ)：SHPファイルの作成方法 (polygon)、デジタイズそしてデジタイズ図形への属性付与

d. 同位体/水質

水質と同位体分析の基礎を学ぶとともに調査結果を知ってもらうことを主な目的としてワークショップを行った。主な内容は本調査地域における分析結果の解析と日本での同位体結果の活用方法（論文紹介）について話題を提供した。本調査における同位体分析はAAUが担当し、キャリブレーションや機材もAAUのものを使用したため、AAUの同位体分析が専門の教授から「同位体の基礎」と題する講演を行った後、本調査での調査結果のまとめをプレゼンテーションした上で、本件についての解釈やディスカッションを行った。その後、富士山麓での同位体分析結果に地下水流動シミュレーションを応用した事例を紹介した。

発表による技術移転の後、AAUの同位体分析機材についての紹介、オペレーションの方法、ならびに重水素のサンプル抽出と分析方法について各ラボラトリーの責任者からその実際の使用法と分析方法についての説明が行われた。

以下に、同位体分析技術移転セミナーのプログラムを示す。

PROGRAM

1. Introduction: The aim of this seminar

By Mr T Matsumoto (Team Leader)

2. The basics of isotope as a tracer (Hydrogen and Oxygen Isotope)

By Dr Seifu Kebede (Professor AAU)

3. The Isotopic Analysis Results of the Rift Valley

By Mr. K. Ichikawa (JICA Expert)

4. Discussions & Comments

- Transfer to the Hydrochemistry laboratory -

Explanation of the Isotopic analysis machine – preparation of samples and mechanism

By Ato Adane (Laboratory Reseacher AAU)

同位体分析は基本的にすべてAAUが行ったこともあって、ほとんどの説明はAAU側からなされた。

e. 地下水モデル

地下水モデルの基礎を技術移転し C/P にその意義を理解してもらうためにワークショップを開催した。主な内容は以下のようである。

- 1) 地下水システムのご概念と理論
- 2) 地下水シミュレーションの歴史
- 3) 地下水シミュレーションの方法とプログラム
- 4) Modflow を元にしたプログラムの主要機能とパッケージ
- 5) 地下水モデルを作成する基本手順

約 260 枚のスライドを利用して、ワークショップで説明を行った。そこでのすべてのスライドはハンドオーバーして参加者に配った。

6.2.2 技術移転ワークショップの意義と課題

開発調査における技術移転は、技術協力プロジェクトのような長い期間をかけずに実施する場合が多い。そのため今回のようにいろいろな分野について調査結果を共有しながら技術移転を短期間に行うのは有効なやり方であると思われる。技術移転を受ける側も技術力の差がありどこに焦点を当てるのか難しいところもあるが、調査結果を導き出しながら作業内容についてスタートできれば、比較的理解しやすく、技術移転する側も実例をもとに講義できるためやりやすい側面がある。実施期間が短期間になることに対する C/P 側の不満があるのはいたしかたないが、ワークショップによって大枠を理解することの意義は十分にあると思われる。各分野での参加者の声を整理すればワークショップを実施した意義は次のように見えてくる。

- C/P は電磁探査の測定方法や操作についてはある程度知っているが応用面では対応できない。解析手法については全体に未熟である。今回は多様な地質に対する探査は出来なかったが、実際の探査と解析については伝授できたと思われる。課題は、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で作業を行ったが、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。
- C/P は、基礎的な火山地質の概念は周知しているが、現地踏査による地層の識別や分布の確認および対比等の作業経験は非常に少ない。そのため調査地内で特徴的に分布する代表的な溶結凝灰岩の岩相の確認と対比を行い、具体的な踏査の手法を技術移転した。また調査地に特徴的に分布するカルデラ（跡）を伴う火山体の構造や岩相を

確認し、火山活動の特徴を共同の認識したほか、完新統の新しい玄武岩溶岩について観察し他の地層との層序関係を認識した。火山地質は、水理地質図の基礎となる情報であり、C/P 側もリフトバレー地域の火山地質の特徴と分布および広い地域での対比の方法が良く理解できたと言った声が多く出た。課題は全体として水理地質を専門とする関係者が多かったため地質と水理地質との関係を示すことである。

- その他 3 分野に関しては、基礎知識はあるものの自分たちで実際に作業を直接行うことが少ない分野である。そのため今回は基礎となる演習や理論を学ぶことができ参加者も非常に有益であったことがアンケートの回答にも現れている。課題は実施期間をもう少し長く取れるようにすることと、参加者の技術程度に合わせた内容にすることである。例えば AAU のドクターコースに所属する参加者はいくつかの経験をもっておりとくに地下水モデルでは具体的な演習をもう少し取り入れてもよかったのではと思われる。いずれにしても参加者はすべての分野で実地研修を求めている。

第7章

結論と提言

7 結論と提言

7.1 結論

- (1) 気象関連因子のうち降雨量はリフトバレー湖沼地域（以後 RVLB）全域の 72 箇所の観測所の年間平均値を比較すると、最小値で 492mm、最大値で 2,582mm、平均値で 1,079mm となる。エチオピア全土における 7 月~9 月の雨季は RVLB では明瞭ではない。蒸発量は 5 箇所の観測所の記録であるが、年平均値の比較で最小値 1,395mm、最大値 1,963mm である。気温は全観測所の年平均気温は 19.6°C である。
- (2) 河川流量は 36 箇所の流量観測所から収集したデータから年間を通じて月平均流量が 4 つのパターンにわかれることが明確になった。大部分の記録は雨季と乾季の降水量の影響をうけ 2 回のピークがあるものと 1 回のピークのものである。残りは流量の季節変動がほとんどないものと雨季以外の河川流量がほとんどないものである。
- (3) 既存資料によれば、RVLB には 8 つの主要な湖沼が存在している。湖の成因は構造湖あるいはカルデラ湖であり、最も水深が深いところで Shalla 湖の 266m、最も浅い湖で Ziway 湖の 9m である。湖の面積では Abaya 湖の 1160km² が最大であり、Awassa 湖は 130km² と最も狭い。湖の分布と呼応した流域から、主要流域として 4 つ、またその中のサブベースンとして 14 の流域に分割される。4 つの主要流域は、1. Ziway-Shalla、2. Awassa、3. Abaya-Chamo、4. Chew-Bahir である。RVLB は周辺流域から閉鎖された環境にあり、湖沼からの蒸発量が全蒸発量のほとんどの量を占める。
- (4) RVLB は「アフリカ大地溝帯」と呼称される地理帯に属する。流域面積は 53,000km² であり、周囲を断層に区切られた独立の流域を形成している。地域内では地形的に 2 つの地域に区分され、Ziway 湖周辺から Awassa 湖までの平坦な地域と Abaya 湖から Chew Bahir 間の比較的急峻な地形である。
- (5) RVLB における最古の火山活動は漸新世における玄武岩と流紋岩の活動、前期中新世での地溝の形成と玄武岩の噴出、鮮新世の大規模な火山灰を伴う噴火活動である。また後期鮮新世~前期更新世と中期更新世以降の火山活動は更新世になると大規模なカルデラを伴う流紋岩質火山岩と、単性の火山円頂丘からなる玄武岩の火山列が存在する。地質構造では RVLB 北部の断層群は両縁辺部に存在する変位の大きい断層と、それに伴う同方向の小断層群が発達するとともに堆積盆の底部火山活動に伴う Wonji 断層群で特徴づけられる。一方、南部の先カンブリア系および第三系の分布域では、断層は連続性および規則性に乏しい特徴を持つ。
- (6) 現地踏査においては堆積物の特徴と分布から全域を 7 つの地域にわけ、その中から特徴的な層相を基準にして（一種の鍵層）各地域の地質対比を行い、層序対比表を作成した。最終的には総合層序表を作成し調査地域の地質図を完成させた。
- (7) RVLB での主たる帯水層は、第四紀更新世の流紋岩質溶結凝灰岩（G）およびその下位の玄武岩質凝灰角礫岩~火山礫凝灰岩（tb）である。これらの地層は Abaya 湖から北側の地域に分布し裂か系が発達する。また Abaya 湖から南部地域に分布す

る第三紀流紋岩溶岩・凝灰岩、玄武岩類も一部裂隙系の発達する箇所では良い帯水層になる。

- (8) RVLB では、水資源ポテンシャルに関しては調査地域内では表流水（河川水や湖水）と地下水が考えられる。表流水は年間を通じて河川水が枯渇するなど水資源の利用が継続できない、および湖水、河川水ともに水資源の水質が問題であり、表流水は飲料水源としてはポテンシャルが低いことが判明した。
- (9) 地下水ポテンシャルの高い地層に関しては帯水層単元を考慮して次の3つに区分できる。1. 沖積層ならびに湖沼堆積物、2. 更新世の凝灰岩、溶結凝灰岩、玄武岩質岩、3. 第三紀の流紋岩質凝灰岩ならびに玄武岩。これらの帯水層ポテンシャルは、既存井戸や JICA 新規井戸からエチオピアの基準に沿って、以下のよう

に区分できる（A：高い、B：中間、C：低い、1～3は地層区分）

1. = 1B~1C、2. = 3A~3B、3. = 3A~3C

水理地質図は上記の帯水層区分を考慮しながら地質分布を参照して作成した。

- (10) RVLB の中の地下水流動をみると北部の Western Ziway、Bilate、Awassa、Gidabo 及び Galena の各バズンではリフトの斜面において谷を流下し、RVLB 中央部付近ではほぼ平坦となっており、バズ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 湖の間にむかう流れである。RVLB の南部では Weyto 川流域から Chew Bahir 塩湖周辺の標高 500m 前後の低地に向って流下、収束する。
- (11) 既存井戸や湧水地点 93 箇所、JICA 井戸 7 箇所の合計 100 地点の室内水質試験結果では、飲料水基準を基本的には許容値を大きく超えるものは限られている。フッ素ではエチオピア基準を超えている箇所が全体の 10% 程度である。トリリニアダイアグラムからの考察では、裂隙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にあり、谷縁辺部に多く分布する火山岩類や変成岩などの裂隙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。
- (12) 酸素・水素同位体比では、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。とくに天水線上に近接するものは一般的に循環型の地下水で浅層地下水が比較的多い。また、Ziway の西側では $\delta^{18}\text{O}$ と δD 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西側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
- (13) フッ素の分布傾向は以下のような特徴がある。
- 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。
 - Awassa 湖では湖を取り巻くように高濃度帯が存在する。
 - 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るより、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。

- (14) 要請小都市は 82 であり（南部諸民族州で 52、オロミア州で 30）、それらの小都市に関して給水計画を作成した。主な必要項目は次のようである。
1. 目標年次：2015 年、
 2. 給水原単位：20L/c/d、
 3. 水源：地下水、
 4. 給水施設のモデル：10 通りのモデルを検討した。その他既存の水管理組合の維持管理状況から課題を整理し、そのための方策を示した。最終的には 82 の要請小都市に対し、目標年次で 55 万人への給水が 170 本の井戸で賄える。
- (15) 地下水開発計画は給水計画の水源として地下水を利用することを予定しているが、それらの開発が可能かどうか、地下水涵養量と利用計画、地下水の開発可能性、水源開発の予算面からの裏付けを検討した。基本的には地下水涵養量に対する 2015 年の予想揚水量は多いところで Awassa サブベースンの約 20%、その他の地域は 5%以下で開発が可能な地下水涵養量である。
- (16) 82 の要請小都市のうち実施の優先度を定めるために小都市の分類と優先付けによる優先上位都市を選定した。その小都市に対しての評価を経済財務分析に基づき実施した。その結果住民の支払能力が建設コストから想定される運営維持管理費用よりも多くなる結果になった。またその他の組織制度、自然社会環境および技術状況の評価もとくに問題ない結果となった。
- (17) 地下水モデルの計算は選定した 4 地域の流域（Ziway-Shalla 地域、Bilate 地域、Abaya 湖東地域、Abaya 湖西地域）で行い内挿検定を実施した結果は現況を反映したものとなっている。そのためモデルを固定して今後の地下水利用に対応した地下水変動予測を行った。その結果 4 つのシナリオのうち揚水量の増加が最大の場合においても最大 5.6m（平均 1.3m）の地下水位低下で、地域も限定されており、地下水環境に与える影響は少ない。

7.2 提言

7.2.1 地下水データベースシステムの確実な構築

「エ」国では、地下水調査にかかる国家マスタープランであるエチオピア地下水資源評価プログラム(EGRAP: Ethiopian Groundwater Resources Assessment Program)によって、地下水ポテンシャルの情報を水源開発に活用すべくいくつかの強化策を図ってきた。地下水データベース(ENGDA: Ethiopia National Groundwater Database)の構築は、重要な強化策のひとつであったが継続できず、後継の地下水データベースとして新たに ENGWIS (Ethiopian National Groundwater Information System) プロジェクトを立ち上げ、2010 年 3 月にプロジェクトは終了している。このプロジェクトに関してはすでにプログレス (1) とインテリムレポートで記述しているが、一言で言うなら一私企業によるソフトの構築が終了し約 30,000 点の地下水情報が入力された段階ということである。調査団もこのデータを利用すべく内容の確認を行ったが、十分な整備の結果が見られず、精度のよいデータはほとんど見つけることが出来なかった。主な問題点は位置情報がない、帯水層情報が無い、地下水位や揚水量のデータがないなどである。ENGWIS に関しては今後ドナー（主に UNICEF）による援助（現在申請中）によってデータの更新、あらたに 100,000 点の情報を追加登録するなどの計画があるため、徐々に改良されると思われるが、プロ

プロジェクトを継続させるために ENGWIS の運用に際して「エ」国として地下水データベースの重要性についてどの程度具体的な議論がなされていくかである。ドナーやエチオピア政府からの予算的援助が無い限り実施は困難を伴うが、当面对応しなければならない主な提言点としては以下のように列挙される。

- インターネット環境の整備がなされているのが前提として、外からのアクセスができるように技術面、運用面の基本的な整備を行う必要がある。技術面ではサーバーの性能を充実させ同時多数のアクセスを可能にする、運用面ではシステムを利用するための制度、ルール作りを行いユーザーの特定を行うなどの処理が必要である。
- いままでのデータは更新するとして、今後各州などからの地下水情報に関しては、入力すべき情報を特定し必要なデータを確実に取得すべきである。そのためにデータの内容について AAU、MoWE、および GSE が協力して項目を決定し情報フォーマットを確定する。

技術面、運用面、情報内容面の実行の目途がついた段階、あるいは具体的なロードマップが確定した段階で、水エネルギー省内での位置付けを明確にして国家プロジェクトとしての予算面、制度面を確立し、UAP などの国家目標の達成に役立てる。そのためには最初に水エネルギー省内の ENGWIS の運用、技術面の具体的な実施が可能な人員の配置を急ぎ行う必要がある。次にはこのシステムを必要とする水エネルギー省職員や地方の水局職員にデータ収集方法や内容に関するトレーニングを行う必要がある。

7.2.2 水理地質図のよりよい活用と作成技術の向上のために

EGRAP では、地下水データベースの構築とあわせて地下水ポテンシャル調査の実施及び水理地質図の作成を強化策のひとつとして挙げているが、今回のリフトバレー湖沼地域の他には今のところ既存の水理地質図のコンパイルも含め、縮尺 1:250,000 の水理地質図作成作業が具体的に実施されている地域の情報は聞いていない（Nazret 地域のようにすでに作成されている地域は除くとして）。精度の高い水理地質図の作成には上述した精度の高い既存データベースの存在が必須である。このため水理地質図と既存の地下水ポイントデータの存在は表裏一体のものである。つまり面的な水理地質的情報は水理地質図から、水理地質断面方向の情報は既存の井戸情報等から得るのである。ただし水理地質図にも地下水コンターや主要帯水層上面のコンター等の情報を入れ、また井戸情報も地点として識別できるようにしている。「エ」国では地形図の利用も含めて現地での地質図や水理地質図の活用は地方の水局職員では皆無である場合が多いため、とりあえずはリフトバレー湖沼地域での水理地質図の利用の方法を水エネルギー省の職員にも知ってもらい、地方の職員に広めてもらいたい。活用法の一例としては以下のようなことが挙げられる。

- 既存の井戸情報が少ない場合でも、水理地質的にみて同一の帯水層の広がりがある水理地質図から読むことができれば井戸の選定もしやすい。水理地質図はそのような場合に活用できる。
- 地質、水質の特徴も水理地質図の付属図面として表示されるため地下水開発の可能性に関して総合的に把握できる。また湧泉の位置も明らかにしてあるので、水資源利用

に際しても代替案の選択がしやすい。

- 地方小都市の水局の職員が自分たちの住む場所の水理地質状況を、識（色）別された図面で視覚的に面的に把握できることは有意義である。少なくともどの地域で地下水ポテンシャルが高いのかを面的にとらえることができる。それによって地方の給水計画の立案に貢献できると思われる。

今後は「エ」国でも水エネルギー省職員なども水理地質図の作成技術を身につけ、自分たちで具体的に実施できることが望ましいが、その際最低限必要な技術としては、正確な地質図の作成ができるかどうかである。「エ」国の地質技術者は、地質に関する知識は豊富であり具体的に現場で知識を生かして作業する人もいるが、今回の調査を通じて思うのはそのような現場技術者は少数である。今後はこのような地質踏査のできる人材の確保や登用を水エネルギー省内で行うべきである。いずれにしても水理地質図の作成技術の向上のためには精度の高い地質図の作成が必須条件である。次には精度の高い既存資料をいかに収集するかである。前述の ENGWIS の例を見るまでもなく、精度の高い既存データは少ない。そのために自分たちで井戸の位置情報を得たりしなくてはならないことを実施する、あるいはデータ収集体制を構築する必要がある。

7.2.3 井戸掘削技術、掘削結果の整理、揚水試験の向上をめざして

今回の開発調査を通じて、最大の難関であったのは、井戸掘削技術に問題があり、思うように掘削が進まなかったことである。また既存井戸の地質情報が少なく、また情報の精度に問題があり揚水試験も規定のものが実施されていない事例も多かった。前述の2つの提言に関しても、この掘削技術をなくしては精度の高い成果は得られない。

掘削に関しては、リフトバレー湖沼地域というだけで、また深度が深く調査に重きを置いているというだけで応札する業者も少なくまた応札した業者でもいくつかは破格の応札価格で応じてきた。確かに RVLB 地域は複雑な地質条件であり、硬軟の地層の繰り返しも多く、作業がやりやすいとは言いがたいが、井戸掘削としてはこのような条件の地域は当然考えられ、また今後 RVLB でも深井戸の掘削を行うことが必要になってくる。掘削技術は大きくみて、泥水を利用するロータリー手法の掘削とハンマーを利用する DTH の手法があるが、掘削業者の中で両方の技術をもった業者は少なく、仕様書に示されているにもかかわらず今回の掘削でも地層の状況を見ながら両方の掘削方法を試しながら自主的に実施した業者は皆無であった（サブコンも含め3社導入したが）。

調査団は、掘削中に切り屑（チップサンプル）を1mごとに採取し記載していたが、既存の井戸資料にはそのような作業を行っている例は少ない。揚水試験に関しては、現場作業の最も基礎的かつ解析結果に最も影響のする揚水量測定に関してとくに段階揚水試験時にかなり誤差がでていた。また段階試験時の各ステップの揚水量もなかなか決められない状況もあった。このように井戸掘削全般の課題に対する提言は以下のようなことが挙げられる。

- 水エネルギー省を中心に民間業者も巻き込んだ井戸掘削レベルの向上をめざした長期間にわたる実地研修を行う必要がある。その際民間業者に所属する地質技術者も含めて協働で作業を行い、ENGWIS のデータとして使用できるような精度の高い掘削

や揚水試験をめざす。講師はエンタープライズや高いレベルをもつ民間業者および EWTEC が考えられる。業者が古い機械を持参している場合でも掘削できるような研修も実施することが望ましい。

- リフトバレー湖沼地域のように地質的に難しい地域での掘削には、それに合う単価の設定も必要になる。高すぎるのも問題であるが、アディスアベバで掘削する場合よりも予算的には高めの掘削費用が必要となる。
- 実地研修のほかに、とくに民間業者を対象にした講習会を実施し、その中で資格制度導入して業者のランクづけを行う必要がある。それによって業者のレベルを認識しておくことが肝要だと思われる。

7.2.4 人口約10,000人以下の小都市における給水計画の利用

今回要請のあった南部諸民族州とオロミア州の合計 82 の小都市を対象にした給水計画を立案した。またそれらの中から優先上位都市の選定作業も行っている。給水計画の立案にあたっては、各小都市の実態調査が重要であり今回はすべての要請小都市のタウンプロファイルを作成し詳細なデータの取得に努めた。しかしながら給水率をはじめ正確なデータが整備されていない箇所も多い。基本的にどのようなデータが給水状況を知るために重要なのか各州の水資源局や本省の水エネルギー省の職員が理解を深める必要がある。そのために今回のプロジェクトではデータブックに各タウンプロファイルを添付した。そこには調査項目が細部にわたって記載されており、この内容を十分に活用してほしい。給水計画等の策定に関しては地道な各小都市のデータ収集が重要である。

次に今回は地下水ポテンシャルの評価と水理地質図を作成しているため対象となる小都市での地下水開発も念頭においた地下水開発計画とあわせて給水計画に利用することが重要である。そのためには前述した水理地質図の活用と自分たちでの応用を行うことが肝要である。つまり州やゾーンおよびワレダで協力し合いながら小都市の給水計画を自分たちの利用しやすいように改善することである。そのために今回の報告書をエチオピア側で大いに利用していただきたい。

今回の優先上位都市はいくつかのクライテリアを利用して選定している。州は今回の報告書をうまく活用しながら政府あるいは他ドナーへの働きかけを行い、給水率の向上を目指すことが望ましい。